

# 壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン

2024 年度版

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務「太陽光発電主力電源化推進技術開発/太陽光発電の新市場創造技術開発/壁面設置太陽光発電システム技術開発（壁面設置太陽光発電システム市場拡大のための共通基盤技術の開発とガイドライン策定）」の結果として得られたものです。

2025 年 3 月 31 日



国立研究開発法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構

Photovoltaic Power Generation Technology Research Association  
PVTEC 太陽光発電技術研究組合

**PVTEC**

Photovoltaic Power Generation  
Technology Research Association



## はじめに

ZEB (Zero Energy Building) の実現・普及目標が設定され、「2030 年には新築建築物の平均で ZEB を実現」と記されている。経済産業省資源エネルギー庁では、ZEB の定義上、基準一次エネルギー消費量からのエネルギー削減量に応じて、ZEB (再生可能エネルギーも含め 100%以上)、Nearly ZEB (再生可能エネルギーも含め 75%以上 100%未満)、ZEB Ready (50%以上 75%未満)、ZEB Oriented (建物用途別に 30%以上、40%以上 50%未満) の 4 段階に分類している。ZEB の評価には、建築物省エネ法において、住宅・建築物の一次エネルギー消費量の基準である BEI (Building Energy Index) という指標が用いられている。建築外皮に BIPV を適用すれば、本来のエネルギー創出機能に加えて、太陽電池 (PV) セル部での遮蔽効果と発電でのエネルギー移動効果により日射熱取得率の低減 (夏季の空調負荷低減等) が期待でき、BEI は有利にカウントされる。ZEB 実現には、パッシブ技術 (外皮断熱、日射遮蔽、自然採光など)、アクティブ技術 (高効率空調、高効率照明: LED 照明など)、および太陽光発電代表される創エネ技術を融合したエネルギーマネジメントが必要不可欠である。創エネ効用の促進に向けて、既に広く普及している屋根設置型に加えて、壁面設置型太陽光発電システムの利用拡大が期待されている。

本ガイドラインは、建築物の外壁や屋根などの建築外皮に太陽光発電を適用する建築一体型太陽光発電 (広義の BIPV : Building-Integrated Photovoltaics) の太陽電池 (PV) モジュール・太陽光発電 (PV) システムに関して、導入や提供を検討する建築主、建築設計者、建築施工者、電気設備工事業者、各種専門工事業者、カーテンウォールメーカー、電機メーカー、PV セルメーカーおよび PV モジュールメーカーなど、関連するすべての事業者を対象としている。これまで、太陽光発電設備に関するガイドラインとしては、「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン及び構造設計例」や「特殊な設置形態の太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版」が発刊されているが、建築物の外壁等への PV 設置に特化した設計・施工ガイドラインはこれまでに無く、全体像の把握を行う上での不便さや拠り所に対する不安感があった。特に建築一体型太陽光発電は、建築分野と電気分野および各関連分野とが複雑に絡み合い、各専門分野からのアプローチだけでは理解しにくい部分もある。そこで、本ガイドラインでは、建築分野と電気分野の双方から、お互いの分野にアプローチしやすいように、包括的に必要と考えられる項目に焦点を当て纏めている。お互いの理解が深まることで、円滑に導入できる環境を整えることも本書の狙いの一つである。また、建築一体型太陽光発電の導入には、安全性や品質および性能などのモノづくり部分に加え、設置後の維持管理による運用面も重要となることから、本書では、各分野の実務者から研究者まで多様な専門家に執筆して頂き、かつ特定分野に偏ることがないように配慮して構成した。

「第 1 章 目的と対象」では、建築分野、PV 分野、双方の専門家が活用できるように、本ガイドラインの目的、用語の定義および適用範囲を解説する。「第 2 章 性能および安全性」では、壁面設置 PV モジュールの建築外皮および太陽電池としてのそれぞれの性能および安全性について解説する。「第 3 章 材料」では、壁面設置 PV モジュールの建築外皮部分および太陽電池

部分のそれぞれの使用材料について解説する。壁面設置太陽光発電システムの導入可否検討は、新築建物では建築設計の初期段階から、既築建物への設置では外壁改修設計の初期段階から、それぞれ開始する必要がある。「第4章 設計」では、PV モジュール設置に向けた建築設計における全体計画、壁面設置 PV モジュールの設計および施工計画について解説する。「第5章 製作」では、壁面設置 PV モジュールの製作及び壁面材料の代表的事例としてメタルカーテンウォールの製作について解説する。「第6章 取付施工」では、PV モジュールを壁面に設置する代表的な工法、取付施工手順などについて解説する。壁面設置太陽光発電システムを適正、かつ安全に運用するためには、施主への引渡し前の検査と引き渡し後の維持管理が重要である。「第7章 検査」では、壁面設置 PV モジュールの製作および施工過程におけるそれぞれの検査項目と検査手順について解説する。「第8章 維持管理」では、壁面設置太陽光発電システムを適正、かつ安全に運用するための維持管理の必要性と具体的な維持管理方法について解説する。壁面設置太陽光発電システムの導入可否においては、発電量予測が重要な意思決定項目となるため、計画初期段階では、発電量早見表による概算値も実務上有効と考え、垂直設置太陽光発電システムの発電量早見表を付録として掲載する。

壁面設置太陽光発電システムは、持続可能な社会の実現に向けて脱炭素化に貢献でき、また、昨今の異常気象による非常時・災害時においても、有効に機能する可能性のある有意義なシステムである。本ガイドラインが壁面設置太陽光発電システムの導入に向けて安全、性能、品質および維持管理における一助となれば幸いである。本書を通じて、BIPV の発展に寄与することを期待したい。

最後になりましたが、本ガイドラインの作成にあたり、「NEDO 委託事業 垂直設置 PV 基盤技術検討委員会 設計・施工ガイドライン策定分科会」の皆様をはじめ、経済産業省、NEDO 事業に参加頂いている企業や研究機関ならびに太陽光発電技術研究組合など、多くの方々のご支援ご協力を賜りました。この場をお借りして、厚くお礼を申し上げます。

## 2024 年度改訂に際して

2050 年カーボンニュートラル実現に向けて、2024 年度中に策定予定の第 7 次エネルギー基本計画では、再生可能エネルギーの主力電源化がさらに強調される見込みである。特に、土地利用が制約される都市部での再生可能エネルギーの導入には、建物の屋根や壁面を活用した建築一体型太陽光発電（広義の BIPV）のさらなる普及加速が期待されている。

2023 年度末に公開した「壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2023 年版」について、PVTEC 会報誌、ウェビナー、研究会・学会イベント、個別ヒアリングなどを通じて、その概要を建築系／PV 系の専門家および有識者の方々に広く紹介してきた。これらの機会を通じて頂いた多くの貴重なご意見を参考に、この度、2024 年度改訂を実施した。

本改訂の要点の一つは、用語の整理である。本ガイドラインで使用している専門用語（約 240 語）を抽出し、逆引き可能な索引を巻末に追加した。また、頻出する重要用語の定義に関する記述を改善した。次世代型ペロブスカイト太陽電池は世界的な注目を集めており、本ガイドラインへの追加記載のご要望も多かったが、当該技術は「技術進化途上で時期尚早」との結論に至り、今後の改訂機会での検討課題とした。

2024 年度は「壁面設置太陽光発電システム」に関連する以下のガイドラインが公開されているので、参考までに紹介する。

- ・「建物設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2024 年版」（2024 年 8 月公開、<https://www.nedo.go.jp/content/100981448.pdf>）、作成：産業技術総合研究所、構造耐力評価機構、太陽光発電協会、大成建設（株）、大阪公立大学、発行元：新エネルギー・産業技術総合開発機構） 建物の屋根や壁面への設置に関する具体的な設計・施工方法をまとめており、主に構造耐力的安全性（風荷重、積雪荷重、地震耐性、など）と電気的安全性（電気配線、接続方法、など）について詳述している。
- ・「壁面設置太陽光発電システム 日射熱取得率（高精度）評価に関する技術文書」（2025 年 3 月公開、<https://www.pvtec.or.jp/deliverables/view/427>、作成：太陽光発電技術研究組合、産業技術総合研究所、発行元：太陽光発電技術研究組合） 壁面設置太陽電池モジュールの日射熱取得率評価技術の各国の現状、および、日本国内で開発した日射熱取得率高精度評価技術について解説している。
- ・「壁面設置太陽光発電システム 発電電力量推定方法に関するガイドライン～入射角依存性を考慮した推定方法～」（2025 年 3 月公開、<https://www.pvtec.or.jp/deliverables/view/428>、作成：太陽光発電技術研究組合、産業技術総合研究所、発行元：太陽光発電技術研究組合） 壁面設置太陽電池モジュールの光入射角依存性を考慮した高精度発電電力量推定技術について解説している。

## 本書作成関係委員会

壁面設置太陽光発電システム技術開発（壁面設置太陽光発電システム市場拡大のための共通基盤技術の開発とガイドライン策定）

### 基盤技術検討委員会 「設計・施工ガイドライン」分科会

|      |        |                      |
|------|--------|----------------------|
| 分科会長 | 石井 久史  | (株) LIXIL)           |
| 委員   | 梅田 和彦  | (大成建設 (株))           |
|      | 大関 崇   | (産業技術総合研究所)          |
|      | 川野辺 毅  | (AGC (株))            |
|      | 近藤 道雄  | (早稲田大学)              |
|      | 櫻井 啓一郎 | (産業技術総合研究所)          |
|      | 齊藤 公彦  | (福島大学)               |
|      | 高野 章弘  | (F・WAVE (株))         |
|      | 高山 泰樹  | (大日本印刷 (株))          |
|      | 中島 昭彦  | (株) カネカ)             |
|      | 萩原 伸治  | (建材試験センター)           |
|      | 松井 卓矢  | (産業技術総合研究所)          |
|      | 水野 英範  | (産業技術総合研究所)          |
|      | 宮崎 淳   | (株) 日本設計)            |
|      | 村上 洋平  | (パナソニックホールディングス (株)) |
|      | 望月 三也  | (株) ケミトックス)          |
|      | 森田 健晴  | (積水化学工業 (株))         |
|      | 矢野 一志  | (カモイケデザインラボ)         |

オブザーバー 新エネルギー・産業技術総合開発機構

### 諮問委員会

|    |       |          |
|----|-------|----------|
| 委員 | 秋元 孝之 | (芝浦工業大学) |
|    | 大岡 龍三 | (東京大学)   |
|    | 清家 剛  | (東京大学)   |
|    | 田辺 新一 | (早稲田大学)  |
|    | 森 太郎  | (北海道大学)  |

|     |       |               |
|-----|-------|---------------|
| 事務局 | 池田 祐一 | (太陽光発電技術研究組合) |
|     | 斎藤 洋子 | (太陽光発電技術研究組合) |
|     | 寺川 朗  | (太陽光発電技術研究組合) |
|     | 筒 博司  | (太陽光発電技術研究組合) |
|     | 田中 誠  | (太陽光発電技術研究組合) |

## 「壁面設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン」

### 目次

|            |                                    |            |
|------------|------------------------------------|------------|
| <b>第1章</b> | <b>目的と対象</b>                       | <b>7</b>   |
| 1.1        | 目的                                 | 7          |
| 1.2        | 定義                                 | 8          |
| 1.3        | 適用範囲                               | 9          |
| <b>第2章</b> | <b>性能および安全性</b>                    | <b>11</b>  |
| 2.1        | 建築外装の性能および安全性                      | 11         |
| 2.1.1      | 概要                                 | 11         |
| 2.1.2      | 構造安全性能                             | 13         |
| 2.1.3      | 防耐火安全性能                            | 19         |
| 2.1.4      | 基本性能                               | 23         |
| 2.1.5      | 各種環境性能等                            | 26         |
| 2.1.6      | その他の性能等                            | 36         |
| 2.1.7      | 試験等                                | 37         |
| 2.2        | 電氣的性能および安全性                        | 40         |
| 2.2.1      | 概要                                 | 40         |
| 2.2.2      | 発電性能                               | 43         |
| 2.2.3      | 絶縁性等                               | 45         |
| 2.2.4      | 温度安全性                              | 51         |
| 2.2.5      | 外的因子安全性                            | 53         |
| 2.2.6      | 外観                                 | 57         |
| <b>第3章</b> | <b>材料</b>                          | <b>63</b>  |
| 3.1        | 建築外皮の使用材料                          | 63         |
| 3.1.1      | 建築外皮の構成                            | 63         |
| 3.1.2      | メタルカーテンウォールに使用する材料                 | 64         |
| 3.1.3      | PCカーテンウォールに使用する材料                  | 71         |
| 3.1.4      | 押出成形セメント板等の材料                      | 74         |
| 3.2        | BIPV、BAPV モジュールに使用する材料（特性、強度、品質など） | 77         |
| 3.2.1      | PV セルテクノロジー                        | 77         |
| 3.2.2      | PV モジュールの主要部材                      | 86         |
| <b>第4章</b> | <b>設計</b>                          | <b>105</b> |
| 4.1        | 新築時の全体計画                           | 105        |
| 4.2        | 既存外壁の全体計画                          | 112        |
| 4.3        | 発電量予測                              | 115        |

|              |                                     |            |
|--------------|-------------------------------------|------------|
| 4.4          | BIPV の設計 .....                      | 116        |
| 4.5          | 施工計画書等の作成 .....                     | 120        |
| <b>第 5 章</b> | <b>製作 .....</b>                     | <b>125</b> |
| 5.1          | BIPV モジュールの製作 .....                 | 125        |
| 5.2          | BIPV モジュールを組み込むメタルカーテンウォールの製作 ..... | 133        |
| <b>第 6 章</b> | <b>取付施工 .....</b>                   | <b>141</b> |
| 6.1          | 工法による違い .....                       | 141        |
| 6.2          | 取付施工手順 .....                        | 142        |
| 6.3          | 搬入受入れ検査等 .....                      | 143        |
| 6.4          | 既存外壁での注意事項 .....                    | 146        |
| <b>第 7 章</b> | <b>検査 .....</b>                     | <b>147</b> |
| 7.1          | 製作過程の検査 .....                       | 147        |
| 7.2          | 施工過程の検査 .....                       | 149        |
| <b>第 8 章</b> | <b>維持管理 .....</b>                   | <b>151</b> |
| 8.1          | 維持管理の必要性 .....                      | 151        |
| 8.2          | 維持管理上の留意事項 .....                    | 153        |
| 8.3          | 維持管理方法 .....                        | 156        |
| <b>付録 A</b>  | <b>垂直設置太陽光発電システムの発電量早見表 .....</b>   | <b>160</b> |

## 第1章 目的と対象

1970年代のエネルギー危機を受けて、再生可能エネルギーの重要性が認識され、世界各国で太陽光発電の研究開発が活性化した。当時の太陽電池は非常に高価であり、コスト低減が至上命題であった。1980年代には、PVモジュールに建材としての機能を持たせることで、発電設備としてのコストを抑えて経済合理性を高める「建材一体型太陽電池（狭義のBIPV：Building Integrated Photovoltaics）」というアイデアが生み出された。1990年代には、日本および欧米で太陽光発電の系統連系が開始され、屋根材一体型太陽電池の普及が進むとともに、特殊用途として壁材一体型太陽電池や窓材一体型太陽電池も登場した。建材一体型太陽電池（狭義のBIPV）が建材と統合された特別な仕様設計を要するのに対して、量産仕様のPVモジュールを利用できる「建物据付型太陽光発電（BAPV：Building Attached Photovoltaics）」は、既存の建物への太陽光発電システムの追加設置において、より柔軟かつ費用対効果の高いソリューションとして2000年代以降に普及が進んだ。

新築や大規模な改修の際に採用されることが多い建材一体型太陽電池（狭義のBIPV）と建既存の建物の改修に適した建物据付型太陽光発電（BAPV）は、いずれも建築環境における再生可能エネルギーの使用を促進する上で重要な役割を果たしてきた。本ガイドラインでは、「建築一体型太陽光発電（広義のBIPV：Building-Integrated Photovoltaics）」をこれらの両者を包含する概念として位置付ける。本ガイドラインは、建築基準法に規定される建築物の建築外皮に設置される太陽光発電設備全般を対象とする。

### 1.1 目的

本ガイドラインは、様々な形態の壁面設置太陽光発電システムを対象とし（図1-1-1）、各種太陽光発電設備（モジュール、パワーコンディショナ、その他機器）および太陽光発電システムの安全性と適正な機能を確保するための指針を提供し、これらの技術の普及を促進することを目的とする。



図 1-1-1 BIPV および BAPV の適用想定箇所 1-1)

## 1.2 定義

本ガイドラインでは、「狭義の BIPV」と「BAPV」を包含する概念として「広義の BIPV」を再定義する（図 1-2-1）。国際工業規格（EN 50583<sup>1-2)</sup>、IEC 63092-1<sup>1-3)</sup>）においても、「広義の BIPV」は「BAPV」を包含する概念とされており（表 1-2-1）、本ガイドラインの定義と整合する。

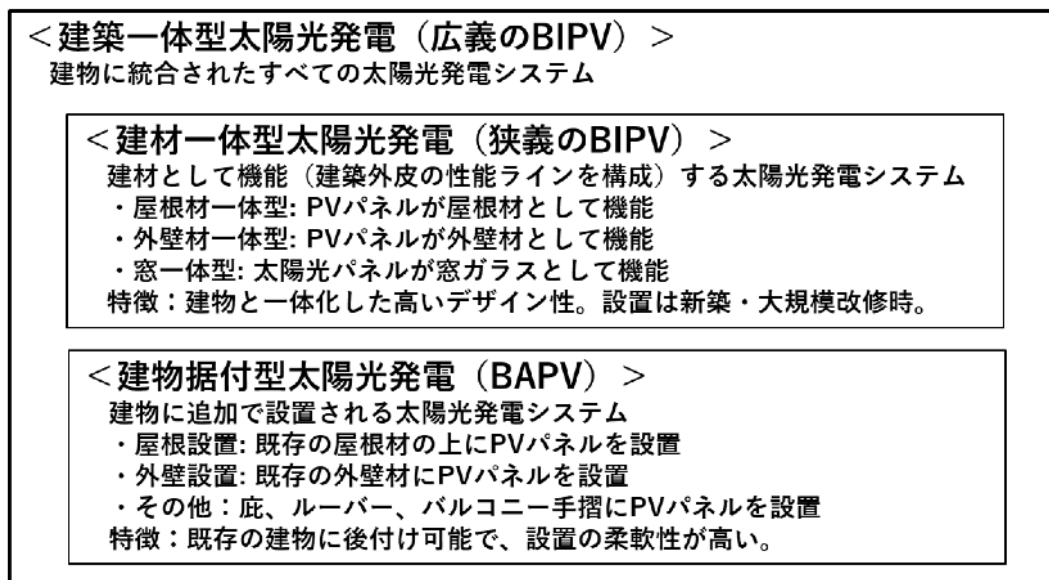


図 1-2-1 広義の BIPV、狭義の BIPV および BAPV

建物の外壁は垂直面だけとは限らず、傾斜角度が連続的に変化するケースや水平に近いトップライト屋根のようなケースもあるので（図 1-2-2）、これらすべてを建築外皮（垂直外壁および傾斜外壁：ファサード、外壁に付随する部分および屋根：エンベロープ）と定義する。表 1-2-1 において、国際工業規格における分類は Category A~E であるが、本ガイドラインでは Category B および D において「建物内から直接アクセスできないが、PV モジュールが性能ラインと同一のもの」を Category F として追加する。

建材一体型太陽電池（狭義の BIPV）においては、BIPV モジュールはガラスや金属パネルおよびプレキャストコンクリート板（PC 板）等と同様に建築外皮の一構成部材として、建築外皮の主要な 3 性能（耐風圧、気密、水密）を保持する上で建築外皮の性能ライン（図 1-2-3）を形成し、これらの部材と同様の機能や役割を果たすものと定義する。それは、仮に BIPV モジュールを取り外した場合、建築外皮性能を保つことができず、建築として成立しなくなることを意味する。一方、建物据付型太陽光発電（BAPV）においては、BAPV モジュールは建築外皮の性能ラインとは別に屋内または屋外側に適用されるものであり、仮に BAPV モジュールを取り外しても建築外皮の性能に何ら影響を与えないものと定義する。両者はいずれも太陽光発電設備として機能するが、建築上の役割は大きく異なるため、本ガイドラインでは明確に分類し定義付けた。

表 1-2-1 EN 50583 および IEC 63092-1 をベースに広義の BIPV を再定義<sup>1-3)</sup>

| カテゴリー | カテゴリーの要件解説                                                                                                                                                                 |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A     | 傾斜角 $0 \sim 75^\circ$ の外壁屋根に設置され、建物内から直接アクセスできない。<br>PV モジュールは、大きなガラス片が屋内に落下するのを防ぐため、PV モジュール下部にバリア（性能ライン）層を設け、 $0 \sim 75^\circ$ の角度範囲で建築物および施設の外皮に取付けられる。これを BAPV と呼ぶ。   |
| B     | 傾斜角 $0 \sim 75^\circ$ の外壁屋根に設置され、建物内から直接アクセスできる。<br>PV モジュールは、 $0 \sim 75^\circ$ の角度範囲で建築物および施設の外壁屋根に外皮の性能ラインとして取付けられる。これを BIPV と呼ぶ。                                       |
| C     | 垂直面 $75 \sim 90^\circ$ の外壁に設置され、建物内から直接アクセスできない。<br>PV モジュールは、大きなガラス片が屋内に落下するのを防ぐため、PV モジュールの屋内側にバリア（性能ライン）層を設け、 $75 \sim 90^\circ$ の角度範囲で建築物および施設の外皮に取付けられる。これを BAPV と呼ぶ。 |
| D     | 垂直面 $75 \sim 90^\circ$ の外壁に設置され、建物内から直接アクセスできる。<br>PV モジュールは、 $75 \sim 90^\circ$ の角度範囲で建築物および施設の外壁に外皮の性能ラインとして取付けられる。これを BIPV と呼ぶ。                                         |
| E     | 建物内から外部側に統合され、直接アクセスできる、できないもの双方を含む。<br>PV モジュールは建築外皮（性能ライン）に付随するバルコニー、手摺、シャッター、日よけ、ルーバーなどに取付けられる。                                                                         |
| F     | 上記 B、D において、直接アクセスできないが、BIPV モジュールが性能ラインと同一のものを指す。例えば、垂直面であれば、カーテンウォール構法のスパンドレル部であり、屋根であれば、屋根裏側に設置されているような場合である。                                                           |



図 1-2-2 建築外皮の在り様<sup>1-4)</sup>

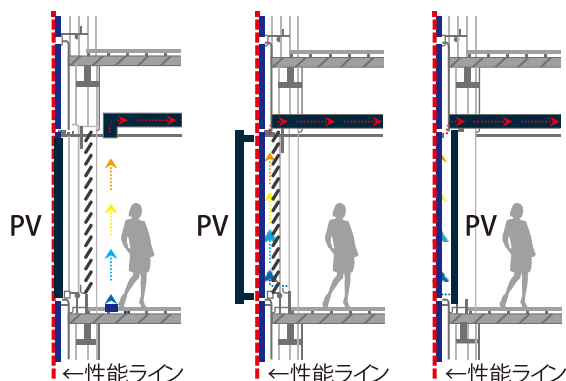


図 1-2-3 外皮の性能ラインと BIPV、BAPV の関係<sup>1-5)</sup>

### 1.3 適用範囲

本ガイドラインの適用範囲は、建築外皮に設置される PV 設備を対象としている。ここで建築物とは、建築基準法に規定されている通り、「土地に定着する工作物のうち、屋根および柱若しくは壁を有するもの（これに類する構造のものを含む。）、これに附属する門若しくは塀、観覧のための工作物または地下若しくは高架の工作物内に設ける事務所、店舗、興行場、倉庫その他これらに類する施設（鉄道および軌道の線路敷地内の運転保安に関する施設並びに跨線橋、プラッ

トホームの上家、貯蔵槽その他これらに類する施設を除く。)をいい、建築設備を含むものとする」と記されているが、本ガイドラインでは、より国際的な視野に立ち、建築基準法上の建築物（門若しくは塀は除く）のみならず、人々が介在し執務や往来する（例えば、鉄道施設やプラットフォーム上屋に代表される施設）空間など、すべての建築物およびその他これらに類する施設等も対象とした。ただし、戸建て住宅に設置される太陽光発電設備は、既に多くの実績があり、指針やガイドライン等が制定されているため、本ガイドラインの対象外とする。また、外壁は建築基準法および同施行令での分類上、建築物の構成要件として主要な役割を果たし、耐力壁や非耐力壁も構造性能や耐火性能に応じて規定されているが、ここでは、その違いに関係なく、すべての外壁を対象とした。以上より、建築物およびその他これに類する施設の建築外皮（外壁と屋根）に設置される PV 設備すべてを、本ガイドラインの適用範囲とする。

#### 引用文献・参考文献等

- 1-1) LIXIL:BIPV「Solar Through:ソーラースルー」カタログ, 2013
- 1-2) EN 50583 Photovoltaics in buildings BIPV Modules, 2016
- 1-3) IEC 63092-1 Photovoltaics in buildings -. Part 1: Requirements for building-integrated photovoltaic modules, 2020.9, IEC63092-1 p.11 Table 1
- 1-4) 撮影：石井久史
- 1-5) 石井久史, BIPV モジュールおよびシステムの国際標準化に向けた建築的技術的課題, 日本建築総合試験所 GBRC Vol.44, No.2, 2019 年 4 月, [https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC176\\_850.pdf](https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC176_850.pdf) を元に加筆修正

## 第2章 性能および安全性

BIPV は、建築外皮に設置される太陽光発電設備であることから、建築分野と電気分野の双方を理解しておくことが求められる。建築分野では、主に建築外皮における一構成要素として BIPV モジュールが適用されるため、建築外皮に要求される法的制約としての荷重に対する構造安全性や防耐火性能、性能仕様に関わるものとしての気密水密性や熱的性能（断熱性や日射熱取得率）等が要求される。BIPV モジュールは、型式認証 PV モジュールとは異なり、各層や部位ごとにガラス厚やガラス構成に違いを持たせている。また、建築外皮は地震時に動くことへの対処が必要であり、単純に外壁に後付けできない。さらに、BIPV モジュールの配線ケーブルが建築外皮の気密水密ラインを跨る場合や防火区画を貫通する場合は、漏気漏水の原因になるばかりではなく、防火区画を満たせないといった問題にもつながりかねないため、注意が必要である。当然、これらの要件を満たせないと建築外皮として成立しないこととなる。

一方、電気分野では、太陽光発電設備に要求される性能や安全性として、最大出力、絶縁性、部分影、温度および火災に対する安全性試験などの必要性を理解してもらうために、型式認証 PV モジュールに適用されている評価方法を中心に解説を行い、その上で BIPV の適用に向けた留意事項を述べている。幾つかの試験は、建築と電気分野とでオーバーラップするものの、全く同じ試験ではないため、要件に応じて適宜判断する必要がある。本章では、法的制約や性能等および評価方法を解説することで BIPV への理解度を高めて頂き、BIPV の導入に向けた設計検討をスムーズに行えるようにすることを目指した。

### 2.1 建築外装の性能および安全性

#### 2.1.1 概要

##### 2.1.1.1 性能および安全性の必要性

建築物は、主に支える部分と仕切る部分とに分類される。支える部分とは基礎・柱・梁・床など建築構造躯体であり、仕切る部分とは外壁や内壁などを指す。本ガイドラインが対象とする BIPV モジュールや BAPV モジュールは、建築物を仕切る部分である建築外皮の構成要素として、カーテンウォール構法やその他構工法の適用部位に組み込まれる（図 1-1-1 参照）。そのため、建築の内外を仕切る建築外皮は、内部空間の環境維持を図る上で、外乱等に対する性能および安全性を満たさなければならない。例えば、風荷重や地震荷重に対しては、建築構造躯体と同様に建築外皮も長期に亘り、破損や脱落が生じないように十分な性能と安全性が確保されている必要がある。そのため、建築外皮を構成する BIPV モジュールや BAPV モジュールも、それに適合していなければならない。そこで、本節では、建築外皮に関わる性能および安全性について、以下の法令、政令、省令、その他基準規則等に従い、BIPV モジュールおよび BAPV モジュールに関わる部分を中心に解説する。建築基準法および同法施行令、国交省告示、通達、技術的助言、日本産業規格、公共建築工事標準仕様書、建築工事監理指針、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 14 カーテンウォール工事<sup>2-1-1)</sup>、同 JASS 17 ガラス工事<sup>2-1-2)</sup>、一般社団法人建築開口部協会 改定カーテンウォール性能基準 2013<sup>2-1-3)</sup> および関連基準書などを参考に建築と電気の領域に跨る部分を抽出して纏めた。

### 2.1.1.2 求められる性能および安全性

建築外皮に BIPV および BAPV モジュールを導入する上で必要な性能と安全性等に関する項目を表 2-1-1 に纏め、建築分野と電気分野の双方で共通する部分を抽出した。表中の✓は、各分野で規格や規準に従って確認されている項目であり、本ガイドラインでも概要を解説している項目となる。

表 2-1-1 建築外皮と PV 設備に求められる性能および安全性の例一覧

| 建築関連検討項目<br>(2 章 1 節) | 電気関連検討項目<br>(2 章 2 節) | 主に性能等 |             | 主に安全性 |             |
|-----------------------|-----------------------|-------|-------------|-------|-------------|
|                       |                       | 建築外皮  | PV<br>(MQT) | 建築外皮  | PV<br>(MST) |
| 2.1.2.1 常時の構造安全性      |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.2.2 耐風圧性能         | 2.2.5.3 静的荷重          |       |             | ✓     | ✓           |
| 2.1.2.3 耐震性能          |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.2.4 層間変位追従性能      |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.2.5 耐温度差性能        | 2.2.4.1 温度サイクル        |       |             | ✓     | ✓           |
| 2.1.2.6 組合わせ荷重        |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.2.7 積雪荷重          | 2.2.5.3 静的荷重          |       |             | ✓     | ✓           |
| 2.1.3.1 耐火性能          |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.3.2 防火性能          | 2.2.5.1 火災、着火性、逆電流    |       |             | ✓     | ✓           |
| 2.1.3.3 排煙設備          |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.3.4 非常用進入口        |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.3.5 避雷            |                       |       |             | ✓     |             |
| 2.1.4.1 水密性           |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.4.2 気密性           |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.5.1 遮音性           |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.5.2 断熱性           |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.5.3 日射遮蔽          |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.5.4 結露防止性         | 2.2.4.3 結露凍結          | ✓     | ✓           |       | ✓           |
| 2.1.5.5 撥音・金属摩擦音      |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.5.6 風切音           |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.5.7 グレア、電波反射      |                       | ✓     |             |       |             |
| 2.1.6.1 耐久性           | 2.2.2.2 屋外暴露          | ✓     | ✓           | ✓     | ✓           |
| 2.1.6.2 耐候性           | 2.2.2.2 紫外線           | ✓     | ✓           |       | ✓           |
| 2.1.7.1 実大試験          |                       | ✓     |             | ✓     |             |
| 材料適合性                 | 2.2.6.1 外観信頼性関連       | ✓     |             | ✓     |             |
| 外観意匠性                 | 2.2.6.1 外観意匠性         | ✓     |             |       |             |
| 材料クリープ                | 2.2.4.4 材料クリープ        |       | ✓           | ✓     |             |
| 貫通                    | 2.2.5.2 貫通            |       | ✓           | ✓     | ✓           |
| 衝撃安全性                 | 2.2.5.2 衝撃に対する安全品質    |       | ✓           | ✓     | ✓           |
| 降雹                    | 2.2.5.4 降雹            |       | ✓           | ✓     | ✓           |
|                       | 2.2.2.1 最大出力          |       | ✓           |       | ✓           |
|                       | 2.2.2.1 低照度時の性能       |       | ✓           |       |             |
|                       | 2.2.3.1 絶縁            |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.1 潤湿漏れ電流        |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.2 絶縁層の厚さ        |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.2 シャープエッジ       |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.2 接近性           |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.2 切断性           |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.3 バイパスダイオード機能   |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.3 ホットスポット耐久性    |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.3.4 等電位ボンディング連続性  |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.4.1 PV の到達温度      |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.4.2 バイパスダイオード温度上昇 |       |             |       | ✓           |
|                       | 2.2.5.5 端子強度          |       |             |       | ✓           |

※MQT: Module Quality Test, MST: Module Safety Test

## 2.1.2 構造安全性能

### 2.1.2.1 常時の構造安全性能

常時構造安全性とは、JASS 14<sup>2-1-1</sup>)に規定されており、建築外皮に適用されるガラスや金属パネルおよびPC板等あらゆる建築外皮構成材が長期荷重（自重）に対して安全に保持され、荷重が円滑に構造躯体へ伝達できることを意味する。BIPV モジュールと BAPV モジュールも建築外皮構成材の一つに該当し、如何なる状況でも安全性が確保されていなければならない。BIPV モジュールがカーテンウォール構法等に組込まれる場合（Category B, D, F）は、力学的には既存ガラスと同様の取扱いが可能となるが、BAPV の底やルーバー（Category E）を取扱う際には、支持構造部の境界条件が重要となるため、各種荷重の作用方向などに留意する必要がある。また、BAPV モジュールが建築外皮の性能ラインから外側に配置されている場合（Category A, C）は、その配置されている位置（外部側に突出している度合い）により、力学的な取扱い方は変わる。

### 2.1.2.2 耐風圧性能

耐風圧性能を確認する前に、風荷重として風圧力を決定する必要がある。建築物に作用する風圧力は、屋根ふき材および屋外に面する帳壁の風圧に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件として、施行令 82 条の 5 を受けた平成 12 年建設省告示第 1458 号に規定されており、気象条件、建設地域、周辺環境等における基準風速（図 2-1-1）や地表面粗度区分により変化する。また、超高層建物や複雑な形状をしている建築物のように特殊な場合は、風洞模型による風洞試験を実施して風力係数などを決定することもある（図 2-1-2）。

建築物に作用する風圧力（ここでは帳壁について取り上げる）は、図 2-1-3 に示すように高さや部位および建物内圧抵抗によっても変化し、正圧と負圧とが存在する。負圧には一般部と隅角部があり、特に隅角域では絶対値として正圧以上に大きくなることもあるので注意が必要である。また、建物形状（風上・風下開放、閉鎖型建築物）により、外圧係数や内圧係数は変わるので条件別に適切な係数を適用する。

わが国では、風圧力の決定は建設省告示第 1458 号に従い、次式(1)~(4)を用いて算定する。ただし、再現期間もプロジェクトごとに指定される場合があるので、同じ地域で同じ高さの建築物という理由だけで風圧力が同じであるとは限らない。再現期間を考慮する場合は、実務上、再現期間係数( $y$ )<sup>2-1-6</sup>)を式(2)の  $V_0$  に乗じて算定する。

実際の建築プロジェクトでは、BIPV モジュールの適用に際して、高さや部位による風圧力の変化に伴い、ガラス板厚も部位ごとに使い分けている。その点は、型式認証 PV モジュールを一樣に扱う場合とは大きく異なってくる点に注意が必要となる<sup>1-5)</sup>。

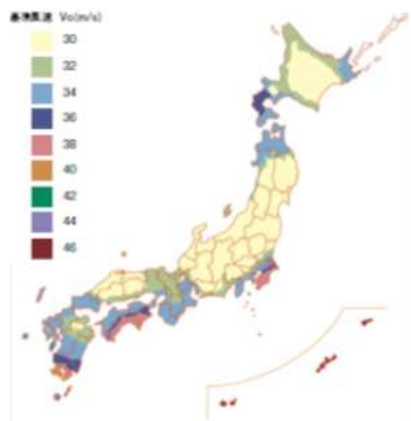


図 2-1-1 基準風速分布 2-1-4)



図 2-1-2 風洞試験装置の例 2-1-5)

$$W = \bar{q} \hat{C}_f \quad \text{式(1)}$$

$$\bar{q} = 0.6 E_r V_o^2 \quad \text{式(2)}$$

$$E_r = 1.7 \left( \frac{H'}{Z_G} \right)^\alpha \quad \text{式(3)}$$

$$\hat{C}_f = C_{pe} \cdot G_{pe} - C_{pi} \cdot G_{pi} \quad \text{式(4)}$$

ここに

$W$  設計風圧(Pa)

$\bar{q}$  平均速度圧(Pa)

$\hat{C}_f$  ピーク風力係数

$E_r$  平均風圧の鉛直成分を示す係数

$V_o$  基準風速(m/s)

$H'$   $H$ または  $Z_b$ の大きい方の値(m)

$Z_G, \alpha$  地表面粗度区分表に掲げられる数値

$C_{pe} \cdot G_{pe}$  ピーク外圧係数(正圧と負圧)

$C_{pi} \cdot G_{pi}$  ピーク内圧係数

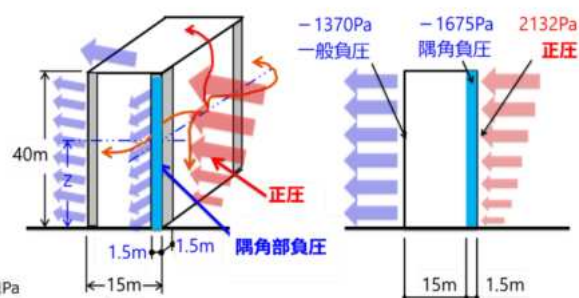
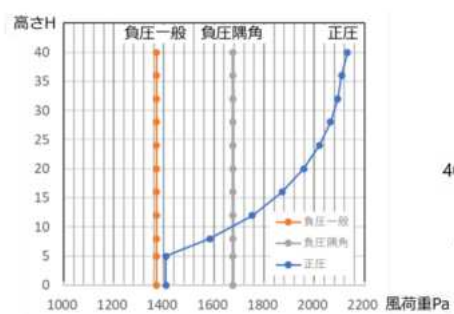


図 2-1-3 風荷重の作用イメージ 1-5) に加工修正

耐風圧性能の検討は、実務上、大半がカーテンウォールフレームやガラス板および構造躯体との緊結部などを計算により対応しているが、ケースによっては大型風洞試験装置を用いて、2～3 階建ての高さに相当する実大の建築外皮を構成し、大型チャンバーにて耐風圧試験（正負の静的および動的荷重負荷を与える）により、安全性を確認することもある。この点は、目的の

違いもあるが、PV 側の実大モジュールに対する静的荷重試験 MST 34、MQT 16（電氣的安全性）とは大きく異なるところである。

### 2.1.2.3 耐震性能

一般に建築物は、地盤に強固に緊結されているため（免震建築等を除く）、地震が発生すると、その振動波（上下、左右振動など多様）は地盤の固さや建築物の剛性などによって、応答の仕方が変わる。建築物は、想定した振動に対して主要構造部が健全でなければならず、建築外皮も同様に、これらの揺れに対して、原則、部材の脱落や破損がないように安全に保持されていなければならない。ファサードの構成上、主流となっているカーテンウォール構法では、地震による初期入力波と固有値が一致した際の複合振動波（水平方向や鉛直方向およびそれらの複合荷重）によって、作用する地震力に対し安全である必要がある。

JASS 14 カーテンウォール工事<sup>2-1-1)</sup>では、慣性力に対する安全性能を以下のように定めている（表 2-1-2）。この条件に対して大地震時にもカーテンウォール部材は脱落せず、中地震時には取付け金物が躯体変位にスムーズに追従し、かつ漏水などの外壁機能の低下を生じない（初期性能を損なわない範囲に留まる）ことが要件となる。

表 2-1-2 慣性力に対する安全性能

| 作用方向 | 震度        | 慣性力                             |
|------|-----------|---------------------------------|
| 水平   | $K_H=1.0$ | $F_{EH} = K_H \times \text{自重}$ |
| 鉛直   | $K_V=0.5$ | $F_{EV} = K_V \times \text{自重}$ |

ここに

$K_H$ : 水平震度

$F_{EH}$ : 水平方向の慣性力

$K_V$ : 鉛直震度

$F_{EV}$ : 鉛直方向の慣性力

ただし、慣性力に対する安全性能では、脱落しない限界という力学的な判断が極めて難しいため、一般的には安全側の判断として、大地震時の地震力に対して、各部材の許容耐力（短期許容応力度）で設計することで、何れの性能も満足させることを期待するという考え方を採用している<sup>2-1-1)</sup>。この点は、カーテンウォールの構成要素である BIPV や BAPV も適用されることになる。特に、水平ルーバーや鉛直ルーバータイプの BAPV モジュールでは、影響を受けやすいため、設計への配慮が必要となる。

### 2.1.2.4 層間変位追従性能

建築外皮は、地震荷重を受けて建築物の揺れを減衰させることを目的としない非耐力壁に分類されることがほとんどであり、その際、地震動に対して層間変位追従性が要求される。これは、地震によって主要構造部の層間で変形角（回転角）や部材角が生じることで、カーテンウォール部材がその変形角等に対して健全に追従しなければならないということを示唆している。すな

わち、建築外皮は、動くことで直接的な入力荷重をいなくす構造としている。以下に層間変位追従性能に関わる許容変位角を示し、図 2-1-4 には面内層間変位時の挙動例、図 2-1-5 には実大試験の様子を示す。フレーム部分と面材部分とでは挙動が異なることが見て取れる。従って、BIPV では層間変位追従性能に対してジャンクションボックスの位置や配線の在り方が重要となり、建築外皮の部材間に跨って設置される BAPV では、特に挙動差に配慮を要する。

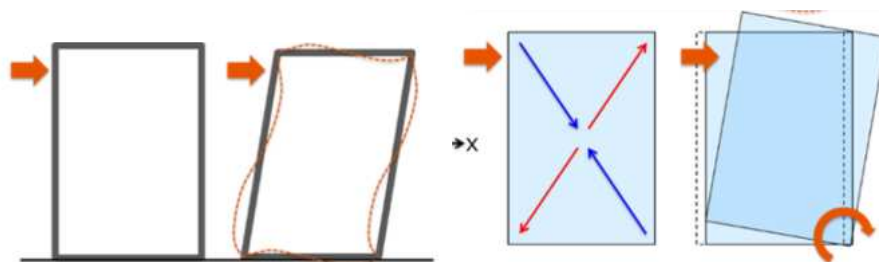


図 2-1-4 面内層間変位時の挙動例（イメージ）

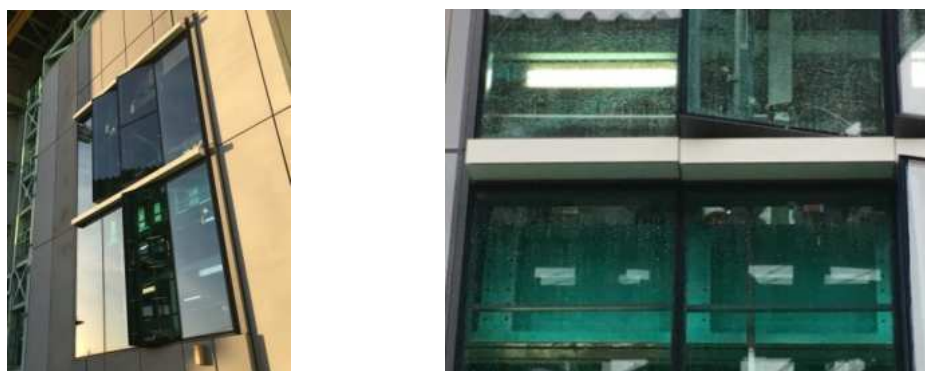


図 2-1-5 大型風洞試験設備による層間変位追従性試験の様子<sup>2-1-7)</sup>

政令において、建築構造に要求される層間変形角は、二次設計では  $1/200$ （主要構造部の著しい損傷のおそれがない場合は  $1/120$ ）以内であることを確かめるとされており、限界状態設計法においては、さらに厳しい層間変形角となる。一方、ガラスファサードに要求される層間変形角は、層間変位追従性能として表現される。これは、地震時に生じる骨組み（主要構造部）の層間変形角に対して、ファサードを構成する部材が破損・脱落することなく安全に追従し得る性能を指している。

表 2-1-3 に層間変位追従性能のグレード<sup>2-1-3)</sup>と表 2-1-4 にグレードに応じた破損程度<sup>2-1-3)</sup>を示す。中高層の一般的な建築物あるいは鉄骨造の建築物では、最低限グレード 2 以上、通常はグレード 3 が要求される。また、表中ではグレード 4 を上限としているが、これはプロジェクトごとに変わる場合がある。破損程度における  $1/300$  では、外観上目立った残留変形を生じないこと、水密性能の低下をきたすようなシールや気密材の剥離・離脱などもなく、全く補修を必要としない程度を指す。同じく  $1/150$  では、ガラス、板材、支持部材ならびに部品等の破損や脱落が

なく、人命の安全および屋内の財産が保護される程度とされる。このように BIPV や BAPV モジュールも建築外皮の構成要素として、要求性能を満たす必要がある。

表 2-1-3 層間変位追従性能グレード<sup>2-1-3)</sup>

| 性能グレード      | -     | 1     | 2     | 3     | 4     |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 層間変形角 (rad) | 1/300 | 1/200 | 1/150 | 1/120 | 1/100 |

表 2-1-4 層間変位追従性能グレードに応じた破損程度<sup>2-1-3)</sup>

|               |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| カーテンウォールの層間変位 | 1/400       | 1/300       | 1/150       |
| カーテンウォール破損程度  | 健全で再使用できる程度 | 健全で再使用できる程度 | 主要部が破損しない程度 |

#### 2.1.2.5 耐温度差性能

建築外皮を構成する主要部材は、カーテンウォールフレームや面材に適用されるアルミニウム合金、面材としてのガラスや PC 板等、フレームと構造躯体を緊結する鋼材、水密気密性能維持に必要なシーリング材やガスケット、防耐火上欠かせない耐火ボードや耐火被覆材、カーテンウォールフレームにガラスを嵌め込み保持するシーリング材、ガスケットおよびゴム類など多岐にわたる。これらの材料は、各々の線膨張係数が異なる（表 2-1-5）と同時に設置環境の違いもあることから、部材間温度差による伸縮差が生じ、場合によっては熱伸縮履歴による破損や性能低下など建築外皮性能の維持に大きな影響を与えることがある。そのため、適用部位別/適用色別に実効温度差を確認した上で、伸縮差を見極めながら設計し部材選定を行う。伸縮差の対処としては、異種材間の接合部ではルーズホールを設け、部材間に滑り加工を施すことで対処することも一例として考えられる。耐温度差性能は、PV モジュールにおける温度サイクル試験（MST 51）などとも共通するが、建築外皮の場合は特殊な事情を除き、計算による評価で対応することが多い。参考までに表 2-1-5 には、各素材の線膨張係数例を示す。

表 2-1-5 各素材の線膨張係数例

| 材種      | アルミニウム合金              | ガラス                | 封止材 EVA                     | 単結晶シリコン              | ガスケット EPDM           | シーリング材 シリコーン        |
|---------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 線膨張係数/℃ | $23.5 \times 10^{-6}$ | $9 \times 10^{-6}$ | $16 \sim 20 \times 10^{-5}$ | $4.0 \times 10^{-6}$ | $2.3 \times 10^{-4}$ | $11 \times 10^{-6}$ |

#### 2.1.2.6 荷重の組合せを考慮した安全性

建築外皮には、常時作用している長期荷重と風圧力や地震力による短期荷重の 2 つがある。図 2-1-6 には荷重の作用方向を示す。荷重の組合せを考慮した安全性は、これらの荷重により決定される複合応力度が許容応力度以下となるようにする。特に庇やルーバー状の BAPV モジュール（Category E）では注意が必要となる。

| 作用方向  | 鉛直方向 | 水平方向 |      | その他 |
|-------|------|------|------|-----|
| 荷重種類  |      | 面内   | 面外   |     |
| 固定荷重  | ①, ④ |      |      |     |
| 積雪荷重  | ④    |      |      |     |
| 風荷重   | ④    | ③※   | ②    |     |
| 地震荷重  | ①, ④ | ③, ⑥ | ②, ⑤ |     |
| 熱伸縮荷重 |      |      |      | ○   |
| 衝撃荷重  |      | ③※   | ②    |     |

※ 出隅入隅コーナー部におけるガラス突合せの場合

図 2-1-6 荷重の作用方向に関する各種加重の作用方向 <sup>2-1-8)</sup>

#### 2.1.2.7 積雪・落雪対策

ファサード形状や垂直面ファサードでも、水平庇やルーバーが配置されることによって、積雪や落雪の影響を受けることがある。また、単に落雪だけではなく、庇やルーバーに付着した雪が溶けだして夜間に冷却され、氷柱上となったものが風圧力などにより落下して下階に影響を与える可能性もある。そのため、地域や環境によっては、融雪融解装置を設けることも想定される。積雪荷重は、建築基準法施行令第 86 条により決定され、単位積雪荷重や垂直積雪量に依存する。単位積雪荷重は、積雪量 1 cmあたり 20N/m<sup>2</sup>以上であり、多雪地域では 30N/m<sup>2</sup>以上となる。また、垂直積雪量の算定にあたっては、地域や標高および当該地域における海率（海面の占める割合）などによって異なる。表 2-1-6 には、積雪荷重を見込まなければならない検討項目を示す。

表 2-1-6 一般区域と多雪区域の荷重状態 <sup>2-1-9)</sup> 引用：国交省抜粋

| 力の種類 | 荷重及び外力について想定する状態 | 一般の場合     | 多雪区域の場合            |
|------|------------------|-----------|--------------------|
| 長期   | 常時               | G + P     | G + P              |
|      | 積雪時              |           | G + P + 0.7 S      |
| 短期   | 積雪時              | G + P + S | G + P + S          |
|      | 暴風時              | G + P + W | G + P + W          |
|      |                  |           | G + P + 0.35 S + W |
|      | 地震時              | G + P + K | G + P + 0.35 S + K |

G：固定荷重、P：積載荷重、S：積雪荷重、W：風圧力、K：地震力

2.1.3 防耐火安全性能

2.1.3.1 耐火性能

外壁や屋根には耐火性能が求められる。耐火性能とは、通常の火災が終了するまでの間、建築物の倒壊および延焼を防止するために必要な性能のことである。建築基準法施行令 107 条にある外壁に求められる耐火性能は、表 2-1-7 に示すように最上階からの階数別に耐力壁と非耐力壁との違いにより、各階層や外壁の種類によって耐火時間が規定されている。耐力壁と非耐力壁は、非損傷部や延焼のおそれのある部分およびそれ以外の部分により分類される。建築外皮は非耐力壁であることが多く、延焼のおそれのある部分とそれ以外の部分とで耐火時間を判断する。延焼のおそれのある部分の場合は 1 時間耐火が必要となり、延焼のおそれのある部分以外の部分では 30 分耐火となる。ここで、延焼のおそれのある部分とは、図 2-1-7 に示すように隣地境界線や同一敷地内の外壁間中心線および道路中心線からの距離が 1 階では 3m 以内、2 階以上では 5m 以内に外壁が掛かる部分のことをいう。従って、耐火性能を維持するために、当該部位（スパンドレル部が多く、Category F に該当）に所定の耐火時間を満たす耐火材などで塞ぐことが必要となる。その際、BIPV モジュール自体が燃え草とならぬようにしなければならない。また、BIPV の配線ケーブルが耐火区画を貫通する際は、耐火性能を確保するための十分な対策を講じる必要がある。

表 2-1-7 外壁および屋根の耐火性能に関する一覧表

|                           | 外壁   |          |             | 屋根   |         |
|---------------------------|------|----------|-------------|------|---------|
|                           | 耐力壁  | 配力壁・非耐力壁 |             |      |         |
|                           |      | 非損傷性     | 延焼のおそれのある部分 |      | それ以外の部分 |
|                           |      |          | 遮熱性、遮炎性     |      | 遮熱性、遮炎性 |
| 最上階から数えた階数が 2 以上で 4 以下の階  | 1 時間 | 1 時間     | 30 分        | 30 分 |         |
| 最上階から数えた階数が 5 以上で 14 以下の階 | 2 時間 | 1 時間     | 30 分        | 30 分 |         |
| 最上階から数えた階数が 15 以上の階       | 2 時間 | 1 時間     | 30 分        | 30 分 |         |

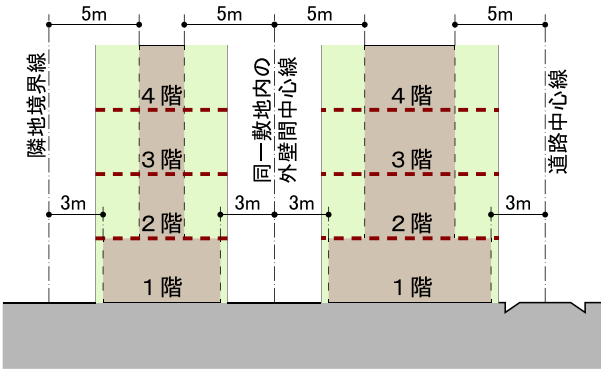


図 2-1-7 多層階建物の延焼リスク領域

2.1.3.2 防火性能

防火性能とは、建築物の周囲において発生する通常の火災による延焼を抑制するために、当該外壁または軒裏に必要とされる性能をいい、建築基準法、同法施行令で詳細に規定されている。耐火建築物、準耐火建築物や防火地域または準防火地域にある建築物の外壁で延焼のおそれのある部分の開口部については、屋内からの火炎は最小限に食い止めて屋外へ出さず、屋外からの貫き火を防ぐことで、延焼を防止するために防火設備（防火戸）の使用が義務づけられている。防火設備には、使用の目的と場所によって特定防火設備と防火設備がある。特定防火設備は、火災の拡大を防止するものであり、防火区画の開口部、外壁の開口部、避難階段の出入口部分などに用いられてる。防火設備は、主として開口部の延焼防止を目的として、防火区画の一部や外壁の開口部などに用いられるものを指す（図 2-1-8）。防火設備は、政令で定める技術的基準に適合するもので、国土交通大臣が定めた構造方法を用いるか、国土交通大臣の認定を受ける必要がある。一般的には、防火設備対応のフレームと網入りガラスや耐熱強化ガラスなどが用いられる。表 2-1-8 には防火設備関連法令等を纏めて示す。BIPV モジュールも外壁の開口部で延焼の恐れのある部分に設置する場合や防火区画部に接する外壁に開口部を設置する場合は、この制約を受けることとなる。図 2-1-9 には、防火性能を確認する上で結晶シリコンを用いた BIPV モジュールと、同じ構成で同じ板厚の透明合わせガラスとを比較した際の試験状況（左：BIPV モジュール、右：透明合わせガラス）を示す 2-1-10）。試験結果から、本試験条件下では、BIPV モジュールは、従来の合わせガラス仕様と大きな差がないことが報告 2-1-10）されている。

表 2-1-8 外壁および屋根の防火性能（防火設備）に関する法令

|        | 延焼のおそれのある部分            | 防火区画端部の延焼<br>防止措置が必要な箇所     |
|--------|------------------------|-----------------------------|
| 法令、政令  | 建築基準法第 2 条<br>第 9 号の二ロ | 建築基準法施行令<br>第 112 条第 11 項   |
| 設置場所   | 外壁の開口部で<br>延焼のおそれのある部分 | 防火区画端部に接する外壁に<br>開口部を設置する場合 |
| 性能 遮炎性 | 20 分                   | 20 分                        |

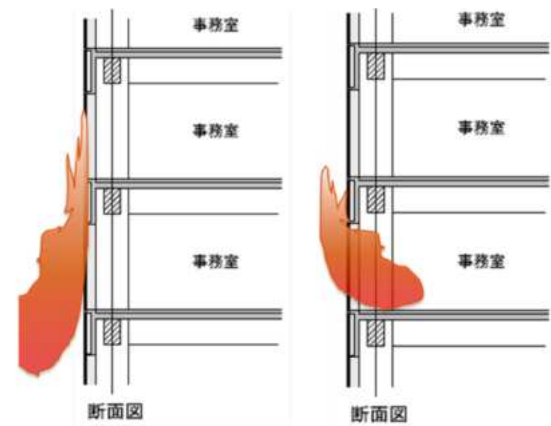


図 2-1-8 防火設備の屋内外加熱想定部位



図 2-1-9 BIPV における防火試験の様子 2-1-10)

### 2.1.3.3 排煙設備の設置

排煙設備とは、火災時に発生した煙を自然排煙または機械排煙により屋外に排出し、避難時間を確保するための設備である（図 2-1-10）。建築基準法施行令 126 条の 2 により、下記①～④に該当する場合は、排煙設備を設置しなければならない。排煙設備部に BIPV および BAPV モジュールを設置する場合は、開閉動作が伴うため、配線ケーブルも含めて可動域に対する配慮が必要であると同時に、火災プルームなどの温度に対応できることが要求される。

- ①特殊建築物で延べ床面積が 500 m<sup>2</sup>を超えるもの。
- ②階数が 3 以上（地下階数も含む）で延べ床面積 500 m<sup>2</sup>を超える建築物（高さ 31m 以下の部分にある居室で、床面積 100 m<sup>2</sup>以内ごとに防煙区画されたものを除く）。
- ③居室で、天井または壁の上部 80 cm 以内の開放できる部分の面積が、その居室面積の 1/50 未満のもの。（排煙上の無窓居室）
- ④延べ面積 1000 m<sup>2</sup>を超える建築物の居室が、200 m<sup>2</sup>を超えるもの（高さ 31m 以下の部分にある居室で、床面積 100 m<sup>2</sup>以内ごとに防煙区画されたものを除く）。

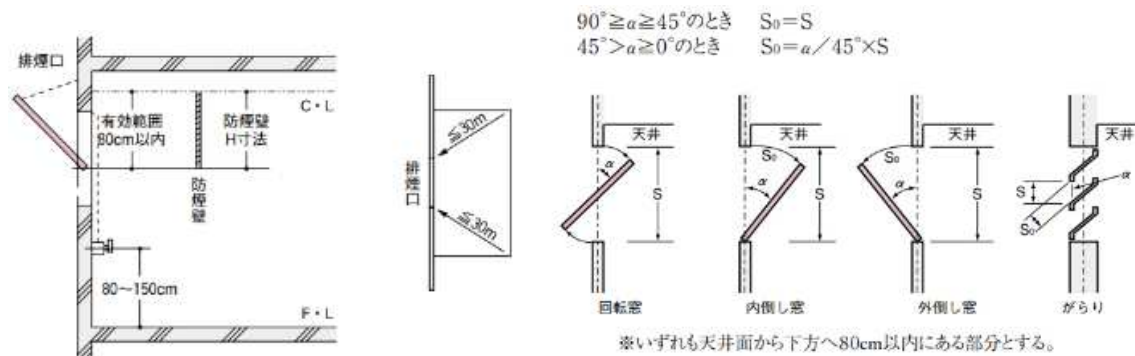


図 2-1-10 排煙設備の開閉パターン等 2-1-4)

### 2.1.3.4 非常用進入口およびこれに代わる窓の設置

建築基準法施行令 126 条の 6 には、火災時の消火活動や救出に活用するために非常用進入口の設置が義務付けられている。設置要件は、建築物の高さ 31m 以下の部分にある 3 階以上の階となり、図 2-1-11 に示すように長さ 4m 以上奥行き 1m 以上のバルコニー、直径 10 cm 以上の赤色灯および窓面に一边が 20 cm 以上の赤色正三角形表示が必要となる。ここでは、窓の開閉が求められ、非常用進入口を知らせる表示も義務付けられている。そのため、開閉窓に対する配線ケーブルへの配慮や BIPV モジュールへの影が常に生じる環境を、どう克服するかなどの課題がある。

非常用進入口とは別に非常用進入口に代わる窓がある。これは、WH=750 mm×1200 mm 以上か直径 1000 mm 以上の円が内接できれば設置要件を満たせる（図 2-1-11）。ただし、屋外からの進入を妨げる構造を有しないものとし、屋外から開放できるか破壊して室内に進入できる構造としなければならない。また、開閉しない非常用進入口の代替となる窓は、原則ガラスを破壊して進入することを想定したものであるため、ラミネートガラスやガラス厚さが 6 ミリを超える（強

化ガラスでは 5 ミリを超える) ガラスは認められない。ただし、ガラスの大きさや設置高さ等の条件付きで 8 ミリ以下でも認められる場合もあるようなので、事前に所轄消防署に確認しておく必要がある。つまり、開閉しない非常用出入口の代替となる窓には、BIPV や BAPV モジュールを設置することが出来ないと考えておいた方が良い。

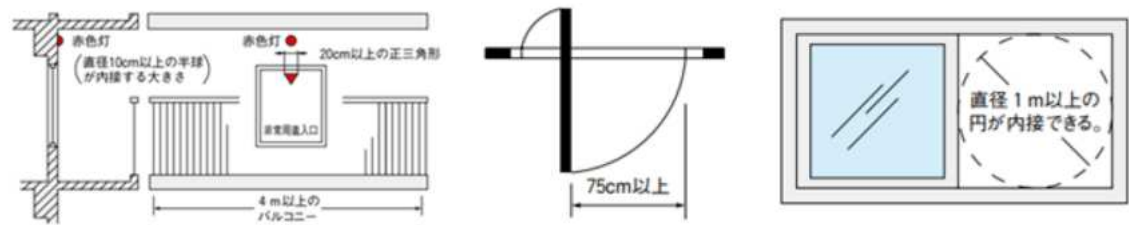


図 2-1-11 非常用出入口およびこれに代わる窓 <sup>2-1-4)</sup>

### 2.1.3.5 避雷対策

高層ビルでは、外壁にカーテンウォール構法が多く採用されており、面材はガラスで覆われている。その際の側壁雷保護は、メタルカーテンウォールのアルミフレーム部か PC カーテンウォールの清掃用ゴンドラレール (アルミニウム合金) を側壁雷保護の受雷部として使用することがある。その場合は、建築物の柱や梁等の構造躯体と電気的に接続する必要があるが、カーテンウォール構法自体が構造躯体に緊結されているため、理にかなっている。一方、高層マンションにおける外壁は、PC カーテンウォールが採用されるケースが多い。高層マンションでは、事務所ビルとは異なり、清掃用ゴンドラレールは存在しない。したがって、側壁雷保護を形成するのは、一般的に困難であることから、高層マンションにおける避雷設備に関しては、JIS A 4201-2003 を採用し、側壁雷保護を回避するケースもある (表 2-1-9)。

庇やルーバー状の BAPV モジュールでは、側壁よりも外側に突出するため、万が一、このモジュールが受雷部となると電力取出し配線がパワコンなどと接続されているため、何かしらのサージ対策も考慮しておく必要がある。もちろん、これらとは別の手立てが講じられているか、そのような心配がない場合は、この限りではない。

表 2-1-9 JIS A 4201-2003 における受雷部システム <sup>2-1-11)</sup>

| 保護<br>レベル | 回転<br>球体法    | 保護角法            |     |     |     |           | メッシュ<br>法      |
|-----------|--------------|-----------------|-----|-----|-----|-----------|----------------|
|           | 球体半径<br>R(m) | h*に応じた保護角 a [°] |     |     |     |           | メッシュ<br>幅 L(m) |
|           |              | 20m             | 30m | 45m | 60m | 60m<br>超過 |                |
| I         | 20           | 25              | —   | —   | —   | —         | 5              |
| II        | 30           | 35              | 25  | —   | —   | —         | 10             |
| III       | 45           | 45              | 35  | 25  | —   | —         | 15             |
| IV        | 60           | 55              | 45  | 35  | 25  | —         | 20             |

注 1 表中一箇所は、回転球体法及びメッシュ法を適用する。  
 2 h\*は、地表面から受雷部の上端までの高さとする。ただし、陸屋根の部分においては、h を、陸屋根から受雷部の上端までの高さとしてすることができる。

## 2.1.4 基本性能

### 2.1.4.1 水密性能

建築外皮の基本性能には、風雨による室内側への水の浸入を防ぐ程度を表す水密性と空気のもれを防ぐ程度を表す気密性の 2 つがあり、そこに前述の耐風圧性を加えて 3 性能と呼ばれている。水密気密性能は、以下の表 2-1-10 に示す規格類を参考に実施することが多い。

表 2-1-10 水密性および気密性に関する評価方法

| 項目  | 関連規格 (JIS)                                              | 関連する国際規格 (ISO)                                                                                                              |
|-----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水密性 | JIS A 1414-3 : 2010 (建築用パネルの性能試験方法—第 3 部: 温湿度・水分に対する試験) | なし                                                                                                                          |
|     | JIS A 1517 : 2020 (建具の水密性試験方法)                          | ISO 15821:2007 (Doorsets and windows — Water-tightness test under dynamic pressure — Cyclonic aspects)                      |
| 気密性 | JIS A 1516 : 1998 (建具の気密性試験方法)                          | ISO 6613:1980 (Windows and door height windows — Air permeability test)<br>ISO 8272:1985 (Doorsets — Air permeability test) |

水密性および気密性は、一般的に、図 2-1-12 の動風圧試験装置を用いて行う。評価対象となる試験体を、圧力箱(チャンバー)を密閉するように設置する。送風機からチャンバーの中に空気を入れるとチャンバー内部の圧力が上がり(正圧になる)、逆に、空気を引くとチャンバー内部の圧力は下がる(負圧になる)。また、チャンバー内に設置された散水ノズルから所定量の水を散布することも可能である。これらの機構を有した動風圧試験装置を用いて、水密性および気密性試験の規格に規定される圧力、散水等の条件を評価対象に与えることにより、各性能を確認する。

BIPV モジュールを用いる場合は、実際に適用するものと同じように、ジャンクションボックスが設けられており、配線ケーブルや配線コネクタがフレーム内に配置されている状態での試験体を用意して評価する。

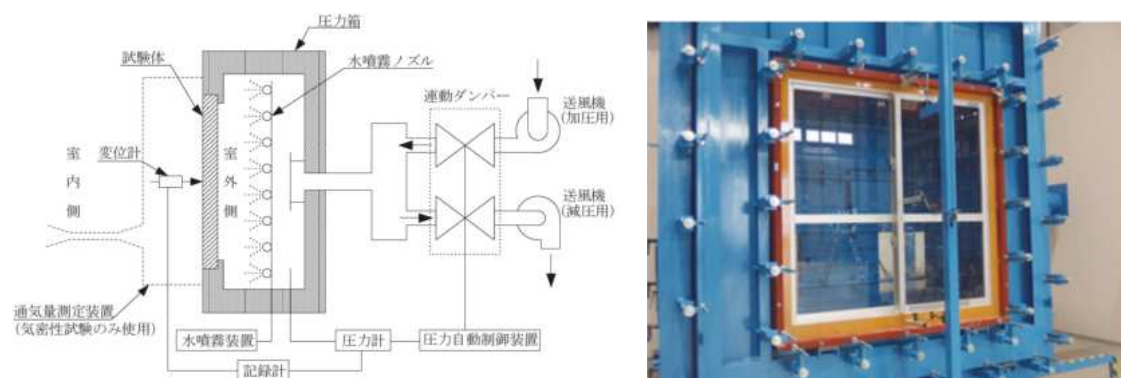


図 2-1-12 動風圧試験装置の概要および水密性試験用供試体設置状況 2-1-12)

水密性は、建物内外を隔てる壁や窓等に対して、屋内側への雨水の浸入を防ぐ程度を表す性能である。評価方法は表 2-1-10 に示した通り、外壁と建具（窓）においてそれぞれ規格が存在するが、カーテンウォール構法についても基本的な原理は同じである。図 2-1-13 に示すような加圧プロセスにおいて屋外環境に面する表面に散水を行い、反対側（屋内側）への漏水状況を目視によって観察する。試験に用いる加圧プロセスの条件によって、JIS A 4706（サッシ）では表 2-1-11 に示すような等級を設けている。記号の右側に記載される数値が大きいほど水密性が高くなる。表 2-1-12 など参考に、対象とする建物に要求される等級を確認するとよい。ただし、カーテンウォール構法の場合は、中低層ビルだけではなく、高層ビルや超高層ビルに適用されることもあるため、FIX 部では表 2-1-11 中の数値を超えるレベルまで圧力差を生じさせて確認する場合がほとんどである。

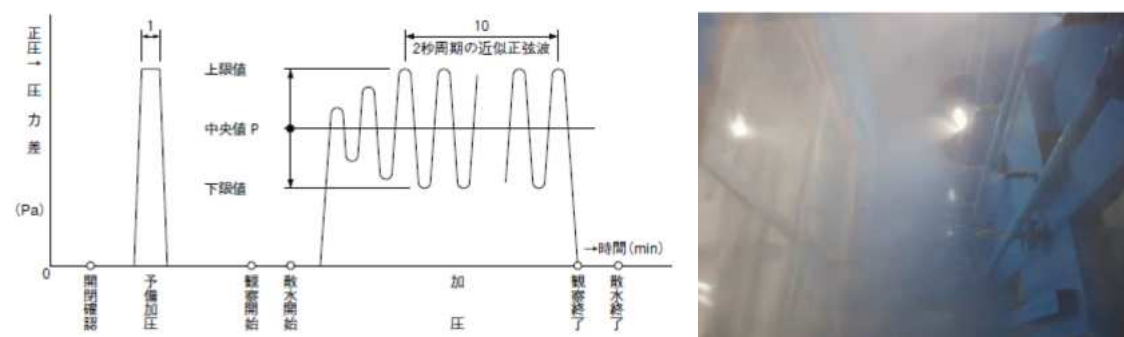


図 2-1-13 水密性試験手順の概要<sup>2-1-13)</sup> および水密性試験実施状況<sup>2-1-12)</sup>

表 2-1-11 JIS A 4706（サッシ）における水密性の性能<sup>2-1-14)</sup>

| 等級  | 圧力差の中央値 | 判断基準                                                                                             |
|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W-1 | 100Pa   | 加圧中に JIS A 1517 に規定する次の状況が発生してはならない。<br>a) 枠外への流れ出し<br>b) 枠外へのしぶき<br>c) 枠外への吹き出し<br>d) 枠外へのあふれ出し |
| W-2 | 150Pa   |                                                                                                  |
| W-3 | 250Pa   |                                                                                                  |
| W-4 | 350Pa   |                                                                                                  |
| W-5 | 500Pa   |                                                                                                  |

表 2-1-12 水密性における等級の目安<sup>2-1-15)</sup>

| 水密性能の JIS 等級 | W-1   | W-2 | W-3 | W-4   | W-5 |
|--------------|-------|-----|-----|-------|-----|
| 選択の目安        | 市街地住宅 |     |     |       |     |
|              | 郊外住宅  |     |     |       |     |
|              |       |     |     | 低層ビル  |     |
|              |       |     |     | 中高層ビル |     |

※上表は一般的な地域における目安である。建物の立地条件、使用条件等によって異なる。

BIPV モジュールは、ガラスと同様に扱われることが多いため、窓やカーテンウォールのフレーム内に嵌め込む形式を採用している。そのため、フレーム内への雨水の浸入により、ケーブルコネクタ部やジャンクションボックスは影響を受けやすい。特に窓やカーテンウォールは、図 2-1-14 に示すように浸入した雨水を排出できるように設計されており、BIPV モジュール四周端部は排水経路となっている可能性が高く、設置に注意が必要である。また、BIPV モジュールに設置されるジャンクションボックスからの配線ケーブルは、止水ラインを貫通して屋内に導かれるため、前述の地震時や風圧を受けた際の挙動に対して追従しながら止水することが求められる。一方、BAPV モジュールは、外皮の性能ラインの外部側に設置されるため、そこまで水密性能における制約は受けないが、BAPV モジュールを既存カーテンウォールなどに後付けする場合には、外皮の性能ラインを破り、雨水浸入の可能性が高まるため、慎重に検討を進める必要がある。

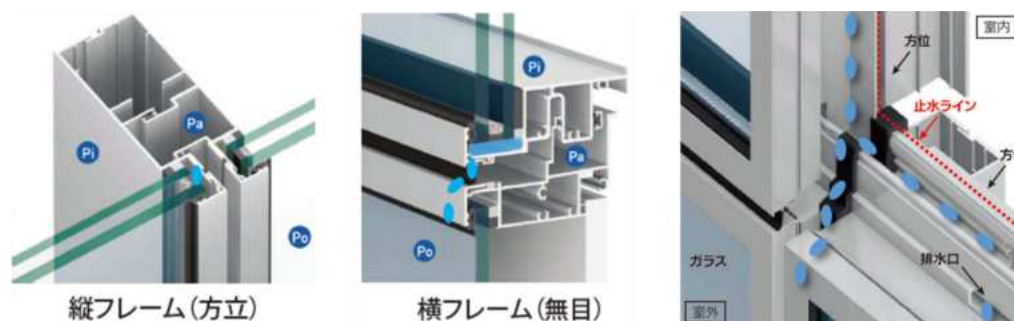


図 2-1-14 メタルカーテンウォールの排水機構例 2-1-16) に加工

#### 2.1.4.2 気密性

BIPV モジュールを用いることで気密性に何らかの影響が出るとすれば、それは電力取出しケーブルにおける配線部処理の仕方にあると想定する。そのようなことを踏まえながら、ここでは、気密性に関する解説を行う。

気密性は、建物内外を隔てる壁や窓等に対して、空気の漏れを防ぐ程度を表す性能である。その評価方法は、表 2-1-10 に示すとおりである。試験装置は、前述の水密性と同じ動風圧試験装置を用いるが、空気の漏れ量を測定するための流量測定装置が別途必要となる（図 2-1-15）。試験では、図 2-1-16 に示すように、圧力を段階的に変化させ、各圧力における空気の漏れ量（流量）を測定する。気密性能が高い（空気の漏れ量が少ない）状態であれば、水密性の部分で言及した通り、水密性能の向上が望め、それと同様に室内の冷暖房における熱負荷が少なくなり、省エネルギーにつながる。また、室内外の騒音対策としても有益に働き、屋外からの音を遮り、室内環境の静けさに繋がる。さらに、空気の漏れと一緒に侵入する粉塵等が少なくなるなど、室内環境の快適性にも繋がる。表 2-1-13 など参考に、対象とする建物に要求される等級を確認するとよい。また、前述の水密性能と同様に、BIPV モジュールや BAPV モジュールでも配線類が止水ラインや気密ラインを貫通して屋内に導かれるため、前述の地震時や風圧を受けた際の挙動に対して追従しながら気密を維持することが求められる。BIPV や BAPV の配線ケーブル自

体は安易に屋内側へ引き込むことは出来るが、その処理を誤ると漏気による音鳴りや水密性能への影響も考えられるため、慎重に検討をする必要がある。

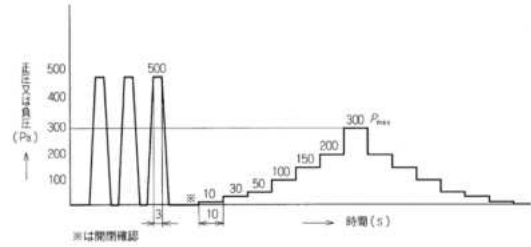
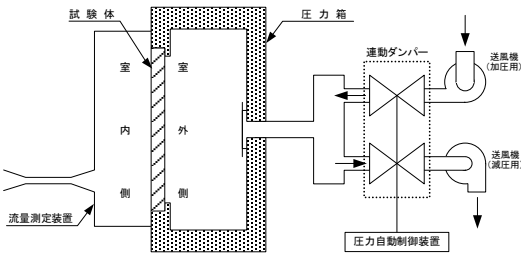


図 2-1-15 動風圧試験装置の概要（気密性試験） 図 2-1-16 気密性試験時における加圧手順<sup>2-1-17)</sup>

表 2-1-13 気密性における等級の目安<sup>2-1-15)</sup>

| 気密性能の JIS 等級 | 気密等級線   | (参考) 対応サッシ・ドア |
|--------------|---------|---------------|
| A-1          | A-1 等級線 | 室内建具など        |
| A-2          | A-2 等級線 |               |
| A-3          | A-3 等級線 | 普通サッシ・ドア群     |
| A-4          | A-4 等級線 | 断熱・防音サッシ・ドア群  |

## 2.1.5 各種環境性能等

### 2.1.5.1 遮音性能

BIPV や BAPV モジュールは、直接的に遮音性能の向上に寄与することは少ないが、ガラスの構成上は遮音性能に対して優位に働く場合が多い。それは BIPV モジュールが合わせガラス仕様となることに加え、昨今の脱炭素の実現に向けた複層ガラス化が挙げられる。特に BIPV モジュールの合わせガラス部分における減衰効果は、異厚構成とすることで、その効果のある程度期待することができる。また、BAPV モジュールのように底や水平ルーバーのような構成とすることで遮音性能をある程度向上させる可能性がある。既往の研究<sup>2-1-18)</sup>では多機能ルーバーを用いた実験と解析結果から、一定の指向性をもった音源に対して遮音性の向上を見込めることが報告されている。これらを踏まえ、ここでは、遮音性能に関する評価方法について概要を解説する。遮音性は、音を遮る程度を表す性能である。遮音性は、音響透過損失（ただ単に透過損失ということもある）を用いて表現され、数値が大きい程、音を遮る性能を有していることを示す。この音響透過損失を測定する方法を表 2-1-14 に示す。試験は、図 2-1-17 に示すような 2 つの残響室（音源室、受音室）の間の開口部に試験体を設置して実施する。試験室は、音がランダムに反射するように、正対する面が存在しないように壁または床・天井を配置した複雑な形状となっている。JIS A 4706（サッシ）では、遮音性の等級として T1～T4 の 4 つが設定されている。例えば、T2 等級であれば、約 30dB の音を遮る性能を有しているため、50dB の騒音が屋外で発生している場合、室内側では 20dB 程度まで下がった状態となる。ただし、これは、理解しやすいように示した例であり、諸条件によって異なる点に注意して頂きたい。一般的には、屋外における騒音にはさまざまなものがあり、図 2-1-18 が参考になる。

表 2-1-14 遮音性能に関する評価方法

| 項目  | 関連規格 (JIS)                                   | 関連する国際規格 (ISO)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 遮音性 | JIS A 1416 : 2000 (実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法) | ISO 140-1:1997 (Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission)<br>ISO 140-3:1995 (Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements) |

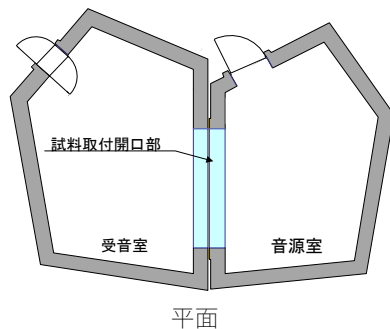


図 2-1-17 遮音性能試験装置の概要図

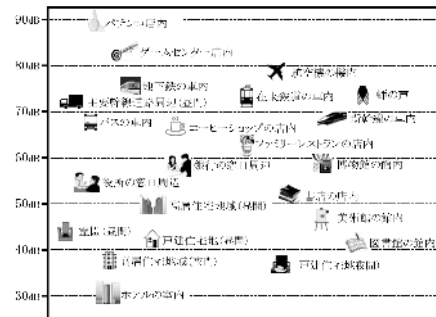


図 2-1-18 騒音の目安 (2-1-19)

### 2.1.5.2 断熱性能

BIPV モジュールは、PV セルが合わせガラスの間に介在するため、断熱性能への影響が考えられるが、BIPV モジュールと同じ材種材質、同じ構成、同じ厚さのガラスと比較した際に、断熱性に関する影響は極めて少ないという研究報告がある<sup>2-1-20</sup>。これは、PV セルの熱伝導率が大きいことや厚さが極めて薄いことに起因する。すなわち、PV セルなどがガラス間に介在したとしても大きな影響はなく、従来の合わせガラス（同種、同構成、同厚の場合）と同じように扱えることを意味する。図 2-1-9 の試験結果<sup>2-1-20</sup>は、開口率 100%（PV セル 0%）の合わせガラスと同 20%（PV セル 80%）、同 30%（PV セル 70%）および同 40%（PV セル 60%）の BIPV モジュールとを比較したものであるが、開口率 100%の合わせガラスに対して誤差は±1%以内であったことから、ほぼ差が生じないものと考えられる。しかしながら、断熱性能は非常に重要な性能評価の一つであるため、ここでは、建築外皮における断熱性評価方法についても解説する。

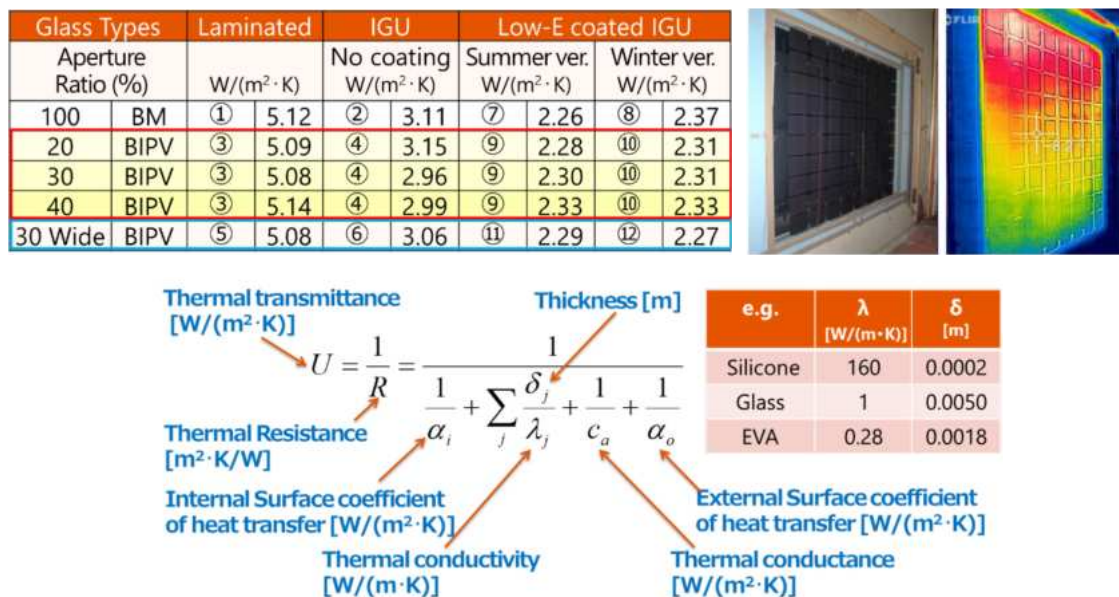


図 2-1-19 従来ガラスと BIPV モジュールとの断熱性に関する比較結果 <sup>2-1-20)</sup>

断熱性は、熱の移動を抑える程度を表す性能である。断熱性は、熱貫流率（または熱貫流抵抗）を用いて表現され、数値が小さい程、熱の移動を抑える性能を有していることを示す。この熱貫流率を求める方法を表 2-1-15 に示す。表に示すように、性能を求める方法には、測定を行う方法と、計算による方法の 2 つがある。

測定を行う方法には、壁のような構成材を対象とした測定方法の JIS A 1420、窓やドアのような建具を対象とした測定方法の JIS A 4710 があり、図 2-1-20 に示すような 2 つの恒温室（低温室と高温室）の間の開口部に試験体を設置して実施する。その他、ガラスのみを対象とした場合には、JIS R 3107 による方法もある。この JIS R 3107 は計算方法を規定した内容であるが、計算に必要な物性値は、他の試験規格によって測定することとしている。

計算による方法は、市販の計算ソフトを用いることが多い。JIS または ISO の計算方法に準じて構築されたプログラムが日本または海外で複数あるため、それらを用いることによって計算することが可能である。さまざまな仕様がある場合、すべてを測定することは時間と費用が掛かってしまうため、測定と計算とをうまく組み合わせて合理的に対応するのが望ましい。

表 2-1-15 断熱性能に関する評価方法

| 項目  | 関連規格 (JIS)                                              | 関連する国際規格 (ISO)                                                                                                                                                  |
|-----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 断熱性 | JIS R 3107 : 2019 (建築用板ガラスの熱貫流率の算定方法)                   | ISO 10929:1994 (Glass in building -Calculation of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing)                                            |
|     | JIS A 1420 : 1994 (建築用構成材の断熱性測定方法—校正熱箱法及び保護熱箱法)         | ISO 8990:1994 (Thermal insulation - Determination of steady-state thermal transmission properties - Calibrated and guarded hot box)                             |
|     | JIS A 4710:2015 (建具の断熱性試験方法)                            | ISO 12567-1:2010 (Thermal performance of windows and doors - Determination of thermal transmittance by the hot-box method - Part 1: Complete windows and doors) |
|     | JIS A 2101 : 2003 (建築構成要素及び建築部位—熱抵抗及び熱貫流率—計算方法)         | ISO 6946:2017 (Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance -Calculation methods)                                   |
|     | JIS A 2102-1 : 2015 (窓及びドアの熱性能—熱貫流率の計算-第1部：一般)          | ISO 10077-1:2017 (Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance -Part 1: General)                                   |
|     | JIS A 2102-2 : 2011 (窓及びドアの熱性能—熱貫流率の計算-第2部：フレームの数値計算方法) | ISO 10077-2:2017 (Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames)              |
|     | —                                                       | ISO 15099:2003 (Thermal performance of windows, doors and shading devices — Detailed calculations)                                                              |
|     | JIS A 2105 : 2018 (カーテンウォールの熱性能—熱貫流率の計算)                | ISO 12631:2017 (Thermal performance of curtain walling — Calculation of thermal transmittance)                                                                  |

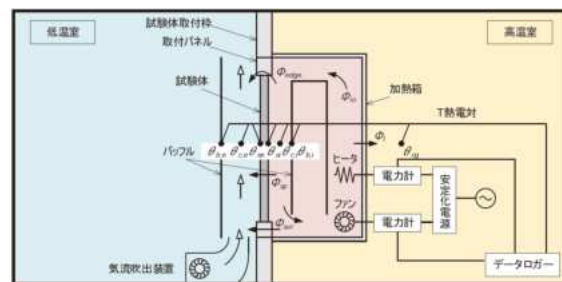


図 2-1-20 建具の断熱性試験装置の概要 (2-1-21)

平成 28 年から建築物省エネ法が施行され、建築物の用途・規模に応じて段階的に義務化がすすめられている。要求される基準は、住宅部門と非住宅部門とに分けて設定されている。また、各地域における気候に応じて、日本の全地域を 1 地域から 8 地域に区分し、各地域に応じて基準を設けている。基準は地域ごとに設定されており、地域区分は図 2-1-21 のとおりである。

参考として、JIS A 4706 (サッシ) に規定される断熱性 (熱貫流率) を表 2-1-16 に示す。

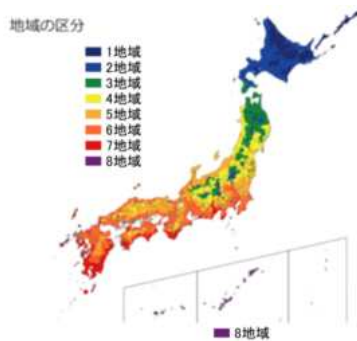


図 2-1-21 地域区分の概要 2-1-22)

表 2-1-16 JIS A 4706 (サッシ) における断熱性の規定 2-1-14)

| JIS 等級 | 熱貫流率                      | 判断基準                     |
|--------|---------------------------|--------------------------|
| H-1    | 4.7 W/(m <sup>2</sup> ・K) | 熱貫流率が等級との対応値以下でなければならない。 |
| H-2    | 4.1 W/(m <sup>2</sup> ・K) |                          |
| H-3    | 3.5 W/(m <sup>2</sup> ・K) |                          |
| H-4    | 2.9 W/(m <sup>2</sup> ・K) |                          |
| H-5    | 2.3 W/(m <sup>2</sup> ・K) |                          |
| H-6    | 1.9 W/(m <sup>2</sup> ・K) |                          |
| H-7    | 1.5 W/(m <sup>2</sup> ・K) |                          |
| H-8    | 1.1 W/(m <sup>2</sup> ・K) |                          |

### 2.1.5.3 日射遮蔽性能

日射遮蔽性は、日射を遮る程度を表す性能である。日射遮蔽性は、日射熱取得率を用いて表現され、数値が小さい程、日射を遮っていることを示す。日射熱取得率は、無次元数であり、数値としては 0～1 で表される。日射熱取得率の値を表す記号としては、JIS A1493 では  $\eta$ 、ISO19467 では  $g$ 、NFRC201 では SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)、をそれぞれ用いている。厚さ 3 mm の透明単板ガラスであれば、日射熱取得率  $g$  値は 0.88 である。BIPV モジュールでは、夏期の太陽エネルギーを一部遮断して透明単板ガラス 3 mm の  $g$  値よりも格段に屋内側への熱の流入を削減できるため、その分、設備機器への負荷が抑制される。そして、ペリメーターゾーン近傍では、遮光による効果を楽しむことができる。日射熱取得率を下げるには、遮蔽物設置、特定波長領域の反射、放射抑制コートを施す等があるが、BIPV モジュールならば、ファサードで受光した太陽エネルギーを遮蔽と光起電力効果により  $g$  値を下げられる (図 2-1-22)。



図 2-1-22 PV セルにより遮光されている様子 2-1-23) ~ 2-1-25)

BIPV モジュールは、PV セルで遮光が行われるのと同時に吸収した光を光起電力効果により電力変換するため、屋内側への二次放射も抑制される。既往の研究 2-1-20), 2-1-26) では、その効果により表面温度の減少と日射熱取得率が 5～7% 小さくなることが確認されている。図 2-1-23 には、そのメカニズムの概要を示す。図中の PV セルは単結晶シリコンであり、その代表的なスペクトルレスポンスをプロットした。この PV セルは、プロットされたカーブの感度に従い発電するが、前述通り、太陽エネルギーは電力変換されるため、その分が  $g$  値の上昇を抑制する効果となる。既往の研究では、最大電力点追従制御 (MPPT : Maximum Power Point Tracking) 状態と開回路状態で PV セル表面の温度差は 5℃ ほど生じる結果が得られている 2-1-20), 2-1-26)。この現象を捉え、BIPV モジュールにおける日射熱取得率の評価方法 2-1-27) を国際規格 (IEC 63092-

3NP) として提案し、現在も議論が進められている。

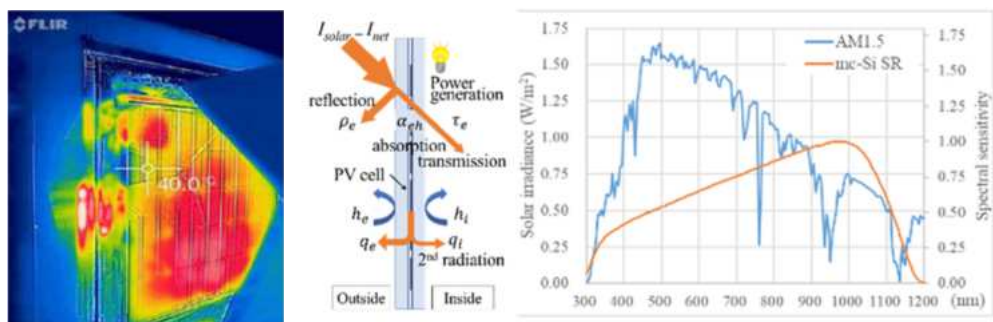


図 2-1-23 BIPV モジュールにおける日射熱取得率向上のメカニズム概要 <sup>2-1-20, 26)</sup>

ここでは、参考までに一般的な日射遮蔽性能に関する評価方法を表 2-1-17 に示す。断熱性と同様に、性能を求める方法には、測定を行う方法と、計算による方法の 2 つがある。

測定を行う方法には、窓やドアのような建具を対象とした測定方法の JIS A 1493 があり、図 2-1-24 に示すような太陽を模擬した人工光源と恒温室などによって構成された装置を用いて実施する。その他、ガラスのみを対象とした場合には、JIS R 3106 による方法もある。計算による方法は、前述の断熱性と同様に複雑な計算になるが、フレーム部分の複雑さについては断熱性による計算方法が引用されているため、断熱性の計算方法より規格のページ数は少ない。

参考として、JIS A 4706 (サッシ) に規定される日射熱取得性の規定を表 2-1-18 に示す。

表 2-1-17 日射遮蔽性能に関する評価方法

| 項目    | 関連規格 (JIS)                                                     | 関連する国際規格 (ISO)                                                                                                                                                                                |
|-------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 熱取得率  | JIS R 3106 : 2019 (板ガラスの透過率・反射率・放射率の試験方法及び建築用板ガラスの日射熱取得率の算定方法) | ISO 9050:2003 (Glass in building - Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors) |
| 日射遮蔽性 | JIS A 1493 : 2021 (窓及びドアの熱性能—ソーラーシミュレーターを用いた日射熱取得率の測定)         | ISO 19467:2017 (Thermal performance of windows and doors - Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator)                                                                |
|       | JIS A 2103 : 2014 (窓及びドアの熱性能—日射熱取得率の計算)                        | ISO 15099:2003 (Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations)                                                                                            |

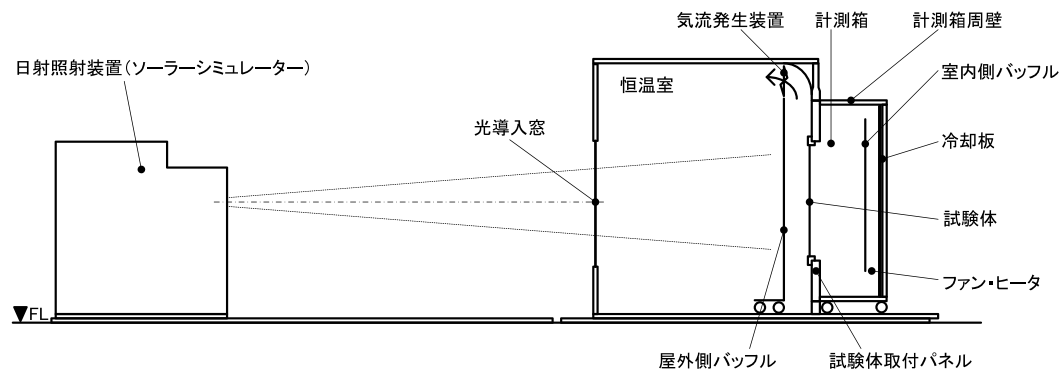


図 2-1-24 日射熱取得率試験装置の概要 (JIS A 1493<sup>2-1-28)</sup> をもとに作図)

表 2-1-18 JIS A 4706（サッシ）に規定される日射熱取得性の規定<sup>2-1-14)</sup>

| JIS 等級 | 日射熱取得率 | 判断基準                       |
|--------|--------|----------------------------|
| N-1    | 1.00   | 日射熱取得率が等級との対応値以下でなければならない。 |
| N-2    | 0.50   |                            |
| N-3    | 0.35   |                            |

#### 2.1.5.4 結露防止対策

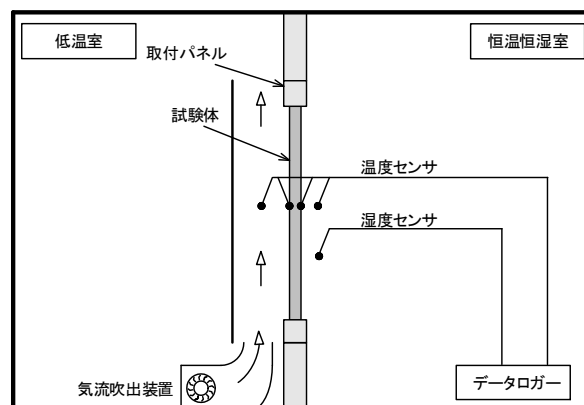
結露防止対策は、室内環境の快適性および衛生面の観点、また結露が発生する場所によっては建物の構造的・耐久性に影響を与えることもあるため、適切に対応する必要がある。特に BIPV や BAPV モジュールには、電力の取出しやジャンクションボックスなどがあるため、電気的安全性も踏まえて対応できることが望ましい（電気的安全性評価は次節で説明）。結露は、断熱性能が低い箇所に発生するケースが多いため、建物として断熱性が弱い開口部（建具など）は特に注意を払う必要がある。

ここでは、建材等における評価方法として、表 2-1-19 の JIS A 1514 を用いた方法の概要を説明する。または、前述の断熱性能の評価に用いられる計算方法によって得られた表面温度などの結果を用いることも可能である。

評価方法の JIS A 1514 は、前述の断熱性試験と同じ装置を用い、室内側の熱量測定用の熱箱を取り除いた状態で実施するものである（図 2-1-25）。測定結果の評価は、結露の発生の有無を目視によって行う。結露が発生した場合には、結露性状を“くもり、小水滴、大水滴、流れ、結氷”の 5 種類に分けて観察する。

表 2-1-19 結露防止対策に関する評価方法

| 項目     | 関連規格（JIS）                        | 関連する国際規格（ISO） |
|--------|----------------------------------|---------------|
| 結露防止性能 | JIS A 1514 : 2015（建具の結露防止性能試験方法） | なし            |

図 2-1-25 結露試験装置の概要（JIS A 1514<sup>2-1-29)</sup> をもとに作図）

#### 2.1.5.5 撥音・金属摩擦音などの対策

撥音・金属摩擦音は、金属と金属、または金属と他の材料との接触する箇所において発生する音のことである。これらは、地震や風などによる振動によって発生するケースと、日射の有無（日射のあたる箇所・あたらない箇所）や急な気温の変化などによる部材・材料の温度変化（前述：2.1.2.5 耐温度差性能）によって発生するケースがある。発生する音の程度によってはクレームになることもある。特に BAPV モジュールの場合は、外皮の性能ラインよりも屋外側に設置されることが多いため、そのような点に注意が必要である。

金属と金属、または金属と他の材料との接触する箇所には、摩擦などによる抵抗を軽減する処置を施す方法や、材料どうしが接触しないように距離をあける（クリアランスをとる）などの対策をとる必要がある。ただし、この対策によって隙間が発生し、気密性や防水性などの性能が低下しないように注意する必要がある。

#### 2.1.5.6 風切り音の対策

建物は、外界の気象条件の影響を受ける。その中で、風による影響としては耐風圧性が機能的に注目されることが多いが、中高層建築物では風の影響による音（風切り音）についても注意する必要がある。建物形状、デザイン等により、建物の外側表面には凹凸が形成されるため、そこに風があたると音が発生する。音の発生の有無、音の大きさ、音の高低（周波数）等は、建物の外側表面の凹凸性状、風向や風速によって異なる。風切り音は、風が建物に当たったときに発生する音のことであり、また、外壁を添うように流れた風は、ルーバーなどの隙間を吹き抜ける際に風が当たったルーバーの風下側に剥離が生じて、ルーバー自体の固有振動により風切り音が発せられる場合がある。特に底や平滑なルーバー状 BAPV モジュールに起こる可能性があるため、振動モードなどを調整するための接合部における境界構造の工夫が必要となる。風切り音が発生した場合の音の大小、音の高低（周波数）などを設計・予測することは難しい。発生した音が小さな音であっても、人によっては好ましくない音と覚えることがあるので注意が必要だが、適切に評価するのは難しい。

例えば、図 2-1-26 や図 2-1-27 のような音響用の風洞装置などを用いて風切り音の確認をするのも一つの方法である。図 2-1-26 は部屋の周囲は吸音壁となっているため、対象となる部材（材料）をノズルの前に設置することによって、風切り音が発生するかどうかを確認することができる。図 2-1-27 は、音響用に構築した設備ではないため送風用の機械音等が周囲に反響している環境だが、2500 mm 角の吹出口を有しているため、ある程度大きな形状のものを対象として風切り音の有無を確認することができる。

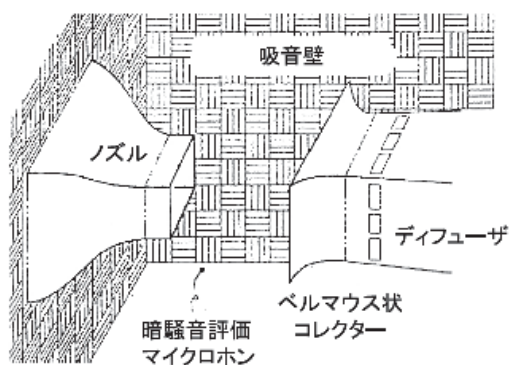


図 2-1-26 大形音響風洞の計測部イメージ 2-1-30)



図 2-1-27 大型送風散水試験装置 2-1-31)

### 2.1.5.7 グレア・電波の反射防止

#### (a) 光の反射防止

建物は、光や電波などの電磁波による影響を周囲から受け、その影響を周囲にも与えてしまう場合がある。これらの影響は、光害や電波反射障害に至るケースもあり、注意を要する。

光とは、可視光域（目に見える波長範囲）を対象とすることが多く、身近なものであれば日射による日差しがある。日射の中で明るいと感じるのは可視光域のみであり、他の波長域は視認できない。日射のエネルギーは図 2-1-28 のような分布 2-1-32) をしており、可視光域が半分程度のエネルギーを占めている。建物内に日差しが差し込むとまぶしい、という対策のために建築外皮で日射を反射させた場合、建物内部では目的を達成できる。これは、自身の目的が達成されたことによる利益（プライベートベネフィット）となる。一方、建物周囲には建築外皮で反射された日射の影響を受け、反射日射（光の反射）によって不都合が生じる可能性がある。他者へ光の影響をあたえる害、ということで“光害”と呼ばれることもあり、注意が必要である。図 2-1-29 には光反射によるグレアを周囲に与えてしまっている例である 2-1-25)。建築外皮で日射を反射させることは、建物外部に光のまぶしさの影響を与えるだけでなく、可視光域を含めた日射を反射しているため、日射のエネルギーも反射していることになる（図 2-1-30）。近年、夏期における日射の侵入を抑制するために建築外皮で日射を反射する遮熱化を施した建物が増えており、これは都市部においてヒートアイランド現象の原因の一つにもなっている。自身の利益（プライベートベネフィット）だけでなく、周囲に対しても配慮した設計・施工を実施することによって、公的にも有効な対応となるパブリックベネフィットにも配慮することが望ましい 2-1-33) が解決への道筋はまだまだ先のことであろう。グレアに対する対策は、再帰反射フィルムによるものやガラスの表面に物理的に凹凸を設けることで光を拡散し、直接的な眩しさを緩和することなどが行われているが、後者の場合、ガラスの耐久性や汚れの問題、そしてデザイン性への影響など課題がある。

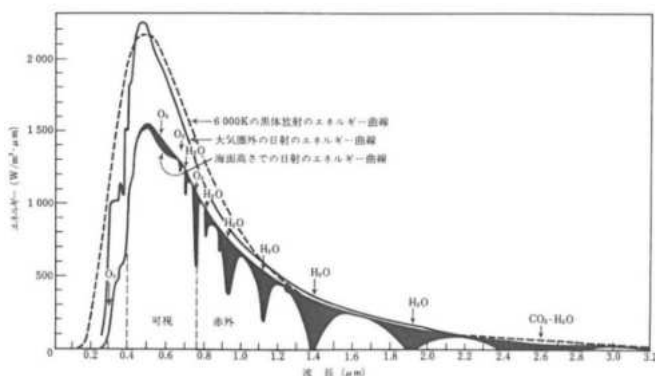


図 2-1-28 日射のエネルギー分布 2-1-32)



図 2-1-29 グレアの事例 2-1-25)

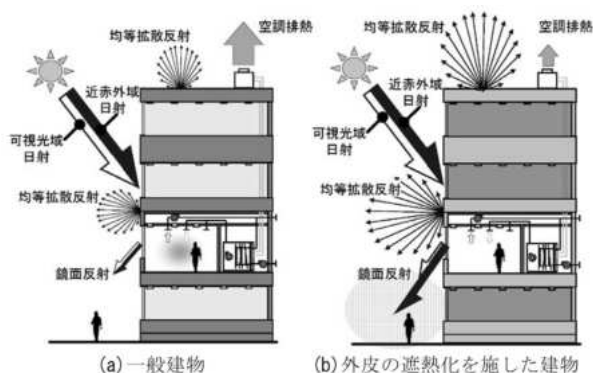


図 2-1-30 建物外における反射模式図 2-1-34)



図 2-1-31 再帰反射イメージ 2-1-35)

## (b) 電波の反射防止

電波は周波数 300 万 MHz 以下 (3THz 以下) の電磁波を指し、電波には図 2-1-32 に示すようにさまざまな種類がある。参考として、電波を含む電磁波の利用分野を図 2-1-33 に示す。

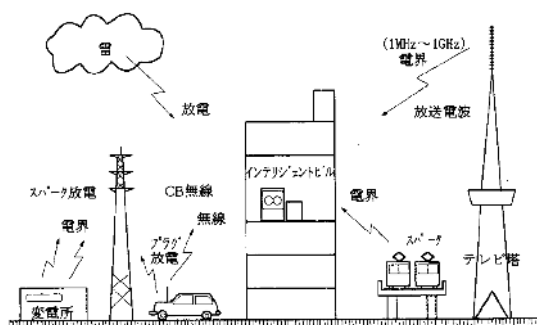


図 2-1-32 電磁波・電界の発生源 2-1-36)

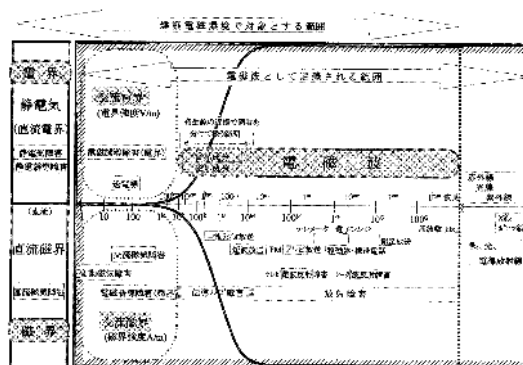


図 2-1-33 電磁界の分類と利用分野 2-1-36)

生活においてよく利用するものから、特殊な機器に至るまで、さまざまなものに電波は利用されている。建築外皮で電波を反射 (遮断) された場合、建物内で利用できなくなる機器もある。建物内で利用できるように有線対応や中継ポイントの設置などで対応が可能なケースもある。

一方、周囲から受ける他の電波の影響によって操作に不具合が生じる電波障害への対策も必要となる。建物に使用する材料について、電波の遮蔽または透過性を確認し、選定するのが望ましい。なお、都市部のように建物が密集する場所では、建物相互が影響するケースもあり、電波障害の事前予測や対策が難しいケースもあるため注意が必要である。

BIPV におけるノイズによる影響は、モジュールごとに基板やマイコンおよび通信等の機能を有するわけではないため、直接的なノイズによる影響を受けにくいと想定される。一方、基板やマイコンおよび通信などとして機能する場合は、EMS 試験などを実施し確認しておく必要がある。

## 2.1.6 その他の性能等

### 2.1.6.1 耐久性能

耐久性は、経年によって起こる変質変形などに耐える程度を表す性能である。また、耐久性は、ある外力（劣化外力）に対する抵抗の程度、所定の機能を保持した状態で使用（利用）できるかの程度を表す性能であることから、10 年や 20 年等のように期間（時間）で表現する耐用年数を用いることもある。建物にとって耐久性は重要な性能の一つである。建物に使用される材料・機器等は、それぞれ耐久性（耐用年数）が異なるため、各々の材料・機器に対して適切な間隔（期間）で補修等のメンテナンスや交換を実施するのが望ましい。特に BIPV や BAPV モジュールは、建材製品と電気製品との両機能を有することから、耐用年数による違いが顕著である。一般的な建材製品は、メンテナンス度合いにもよるが 50 年くらいの耐久性を有しており、BIPV や BAPV では、電気的性能に関して、そこまでの耐久性は無いことから、計画段階でメンテナンスが出来るような工夫が必要となる。

耐久性に影響を与える劣化外力には、例えば、熱（温度）、水（水分・湿気）、光（日射、紫外線）、ガス（CO<sub>2</sub>）、振動（地震）など多数ある。建物が建設される地域によっては、気象条件や自然環境の条件が異なるため、劣化外力の強さ（大きさ）が変わる。設計においては、これらの条件を考慮し、材料の選定を行う必要がある。また、材料は、これら劣化外力に対してどの程度の抵抗性を有しているのかを、試験によって確認しておくことが必要となる。10 年や 20 年の長い期間を模擬するために、劣化外力を高めた条件で試験を実施する促進試験により時間短縮を図ることも有効な手段である。一般的な材料や部材については、JIS や ISO 等の規格において促進試験の評価方法が示されている。これらを参考にして、評価するのが望ましい。なお、JIS や ISO にもとづいた促進試験を実施したとしても、10 年や 20 年の耐力を保証するものではない。

### 2.1.6.2 耐候性能

耐候性は、耐久性を表す性能の一つであり、気候に対する耐力（抵抗力）を表す性能である。一般的には、太陽光（紫外線）、雨（水）、温度（熱）などの劣化外力を対象とすることが多い。耐候性を評価する試験（耐候性試験）には、屋外に暴露して実施する屋外暴露試験と、試験室に

において劣化外力を高めた条件を与えて実施する促進耐候性試験との 2 種類がある。建材を対象とした耐候性試験の概要を表 2-1-20 に示す。促進試験の前後には強度や伸びなどの機械的な性能、剥離、ひび割れ、色などの外観が評価項目となっている。

耐候性試験には、キセノンアークランプが採用されている。この試験装置は、装置の中央にランプが設置され、そのランプの周囲に試験片を配置した形式をとっている。近年は、紫外線の強度が高いメタルハイドランプを用いた方法が JIS A 1501（樹脂製建具のメタルハイドランプによる促進耐候性試験方法）として標準化された。頻度は少ないが、新規の評価方法が構築されているケースや、既存の評価方法の JIS が改正されることがあるため、最新の動向を参照するのが望ましい。耐候性試験は、PV 側でも UV 試験などが実施されているので、確認する項目や条件を明確にした上で、厳しい方の試験で実施することをお薦めする。

表 2-1-20 主な建材の促進耐候性試験条件と評価方法の概要 2-1-37)

| 分類       | 建材の名称                | 規格番号       | 促進条件 (注1)  |                                            | 耐候性の評価 (注2) |                  |
|----------|----------------------|------------|------------|--------------------------------------------|-------------|------------------|
|          |                      |            | WX-A       | WS-A                                       | 評価方法        | 評価項目             |
| 外装材      | 窯業系サイディング            | JIS A 5422 | —          | 1000 時間                                    | 外観観察        | 表面の剥離、膨れ         |
|          |                      |            |            |                                            | 色差測定        | 色差               |
| 屋根材・防水材  | 住宅屋根用化粧スレート          | JIS A 5423 | —          | 2000 時間                                    | 外観観察        | 化粧層の剥がれ、ひび割れ、変退色 |
|          | 建築用塗膜防水材             | JIS A 6021 | 325 時間     | 250 時間                                     | 外観観察        | 伸び時のひび割れ         |
|          |                      |            |            |                                            | 引張試験        | 引張強さ比、伸び率        |
| フィルム・シート | 建築窓ガラス用フィルム          | JIS A 5759 | —          | 500 時間                                     | 外観観察        | 膨れ、ひび割れ、剥がれ      |
|          |                      |            |            | 1000 時間                                    | 遮蔽係数測定      | 遮蔽係数の変化          |
|          |                      |            |            | 2000 時間                                    | 熱貫流率試験      | 熱貫流率の変化          |
|          |                      |            |            |                                            | 粘着力試験       | 粘着力              |
|          | 透湿防水シート              | JIS A 6111 | 外壁用<br>屋根用 | 44MJ/m <sup>2</sup><br>22MJ/m <sup>2</sup> | 防水試験        | 水圧               |
| 建具       | 無可塑ポリ塩化ビニル製<br>建具用形材 | JIS A 5558 | —          | 500 時間<br>1000 時間                          | グレースケール     | 変退色              |
|          |                      |            |            |                                            | 衝撃試験        | シャルピー衝撃値         |
| エクステリア材  | プラスチックデッキ材           | JIS A 5721 | —          | 500 時間                                     | 引張試験        | 引張強さ変化率、伸び変化率    |

(注1) WX-Aはキセノンアークランプ型耐候性試験機、WS-Aはオープンフレームカーボンアークランプ型耐候性試験機を示す。表中の時間数は照射時間数を示す。  
WX-A、WS-Aの両欄に時間数の記載があるものはいずれかを選択することを示す。1つの欄に複数の時間数の記載があるものは、製品の種類によっていずれかを選択することを示す。  
(注2) 耐候性の評価方法及び評価項目は、対象建材の種類に応じて規定されており、各規格に適用する全ての種類に要求されているものではない。

### 2.1.7 試験等

#### 2.1.7.1 実大試験

建物の部位は、その部位を構成する材料としての性能を満足し、適切に施工されれば目的とした性能を確保されていると判断されることが多い。なお、すべての建物が同じ形状・仕様ではないため、建物のファサードとして要求される構造・防耐火・基本性能に与える影響がない仕様の適用範囲内等であれば、あらかじめ確認された性能は確保されると判断されることが多い。

日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説の JASS14 カーテンウォール工事<sup>2-1-1)</sup>では、“設定性能を確認するための実大による性能試験の実施および実施する場所の試験項目と供試体形状は、特記による”となっている。

カーテンウォールのような建物を対象として実大試験を実施しようとした場合、対象となる部位を再現した大きな試験体となり、例えば、層間変位の性能を確認するための試験を実施しようとした場合に図 2-1-34 のような大きな試験装置が必要となる。



最大荷重：水平方向±500kN、試験体最大寸法：幅；約 6m、高さ；約 7.5m

図 2-1-34 多層構面用水平加力試験装置 2-1-38)

#### 2.1.7.2 その他の試験

ここに示した構造安全性、防耐火安全性、基本性能および各種環境性能などの性能以外に、換気口の通気性、開閉部の耐久性なども要求性能として挙げられ、個々について試験を実施し、確認する必要がある。また、新規に開発した材料や機能がある場合には、これらについても性能の確認が必要となる。試験を実施する際には、その評価方法・試験方法、判定の基準などを事前に検討・作成し、対応を図るのが望ましい。

## 引用文献・参考文献等

- 2-1-1) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 14 カーテンウォール工事, 2017 年
- 2-1-2) 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 17 ガラス工事, 2013 年
- 2-1-3) 一般社団法人建築開口部協会 改定カーテンウォール性能基準 2013
- 2-1-4) LIXIL, 技術資料, [https://tostem.lixil.co.jp/lineup/bldg/technical\\_documentation/](https://tostem.lixil.co.jp/lineup/bldg/technical_documentation/)
- 2-1-5) 東京工芸大学風工学拠点, <http://www.collaborate.wind.t-kougei.ac.jp/about/>
- 2-1-6) 板ガラス協会, 板ガラス協会推奨基準, 2001 年 3 月, <https://www.itakyo.or.jp/upload/20060428135424083.pdf>
- 2-1-7) 石井久史, 複層ガラスを用いたダイレクトボンディング型 4 辺 SSG 構法の実施例について, 日本建築総合試験所技術報告, GBRC Vol45 No.3, 2020 年 7 月, [https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC181\\_874.pdf](https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC181_874.pdf)
- 2-1-8) 石井久史, ガラスファサードの設計法について・構造・材料の側面から, 日本建築総合試験所技術報告, GBRC Vol37 No.1, 2012 年 1 月, [https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC147\\_736.pdf](https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC147_736.pdf)
- 2-1-9) 国土交通省, 建築基準法における積雪に関する基準について, 資料 2-4, <https://www.mlit.go.jp/common/001030519.pdf>
- 2-1-10) H. Ishii, Experimental Study on BIPV Module of Closed-Circuit Situation Exposed to Fire, Grand Renewable Energy World Conference 2018, 2018.6
- 2-1-11) JIS A 4201-2003 建築物等の雷保護, JIS A 4201-2003 p.4 表 1「保護レベルに応じた受雷部の配置」
- 2-1-12) 阿部恭子、松本智史、安岡恒：開口部の安全性、室内環境に関わる性能について、建材試験情報、Vol.55、No.11-12、pp.6-10、2019
- 2-1-13) JIS A 1517（建具の水密性試験方法）
- 2-1-14) JIS A 4706（サッシ）：2021 p.3-4 表 1「性能」
- 2-1-15) 日本サッシ協会「窓の性能 10 項目について」  
[https://www.jsma.or.jp/Portals/0/images/useful/houreikijun/02\\_10items\(2203\).pdf](https://www.jsma.or.jp/Portals/0/images/useful/houreikijun/02_10items(2203).pdf)
- 2-1-16) LIXIL, カーテンウォール RX シリーズカタログ  
[https://webcatalog.lixil.co.jp/portal/CatalogDetail.do?method=initial\\_screen&catalogID=15297350000&volumeID=LXL13001&designID=newwinter](https://webcatalog.lixil.co.jp/portal/CatalogDetail.do?method=initial_screen&catalogID=15297350000&volumeID=LXL13001&designID=newwinter)
- 2-1-17) JIS A 1516（建具の気密性試験方法）
- 2-1-18) S. Sakamoto, H. Lee, H. Ishii, T. Katayama, S. Iwase, K. Takahashi, In-situ experiment and numerical analysis on an effect of noise shielding louvers attached on a building façade, Inter noise 2017 in Hong Kong, Aug. 2017
- 2-1-19) 末岡伸一、内田英夫、菊地英男、鴨志田均、門屋真希子、田中進：「騒音の目安」作成調査結果について（騒音調査小委員会）、全国環境研会誌、34 巻 4 号、pp.22-29、2009
- 2-1-20) H. Ishii, Evaluation of Thermal Properties for BIPV in Glass Façade, EU PVSEC 2017 in Amsterdam
- 2-1-21) 阿部恭子、松本智史、安岡恒：開口部の安全性、室内環境に関わる性能について、建材試験情報、Vol.55、No.11-12、pp.6-10、2019
- 2-1-22) 平成 28 年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（非住宅建築物）、<https://www.kenken.go.jp/becc/building.html>（2022.12.18 参照）
- 2-1-23) IEA PVPS Task15 Technical Reports / Successful Building Integration of Photovoltaics – A Collection of International Projects / ISBN 978-3-906042-92-3
- 2-1-24) Permasteelisa Group projects, 2016
- 2-1-25) BIPV って何？・太陽エネルギーを継ぐ建築・、太陽エネルギーデザイン研究会、テツアド出版、2015 年 7 月
- 2-1-26) H. Ishii, Thermal Properties for BIPV in Glass Façade -Experimental Results of Thermal Transmittance and Solar Heat Gain Coefficient for Crystal Silicon PV Module, EU PVSEC 2018 in Brussels Belgium, 2018.9
- 2-1-27) H. Ishii, M. Kondo, S. Hagihara, Evaluation of Thermal Properties for BIPV in Façade Proposal of SHGC evaluation method for BIPV using ISO 19467, EU PVSEC 2019 in Marseille France
- 2-1-28) JIS A 1493（窓及びドアの熱性能－ソーラーシミュレーターを用いた日射熱取得率の測定）
- 2-1-29) JIS A 1514（建具の結露防止性能試験方法）
- 2-1-30) 丸田芳幸、戸井武司：音響風洞、日本音響学会誌、72 巻 7 号、pp.420-421、2016
- 2-1-31) 牧田智明：試験設備紹介 大型送風散水試験装置、建材試験情報、Vol.55、No.7-8、pp.22-23、2019、<https://www.jtccm.or.jp/Portals/0/resources/library/chuo/ogata.pdf>（2022.12.18 参照）
- 2-1-32) 日本建築学会編、『建築学便覧 I 計画 第 2 版』、丸善、p.1100、1980
- 2-1-33) 竹林英樹、近藤靖史、クールルーフ適正利用 WG：パブリックベネフィット評価ツールの開発－クールルーフの適正な普及のための簡易評価システムの検討（その 2）－、日本建築学会技術報告集、Vol.16、No.33、pp.589-594、2010
- 2-1-34) 藤田渉、井上隆、一ノ瀬雅之、長浜勉、高草智：建物周辺放射環境を考慮した開口部の遮熱対策に関する研究－近赤外線における再帰反射特性を有する遮熱フィルムの提案と効果検討－、日本建築学会環境系論文集、Vol.79、No.696、pp.167-172、2014
- 2-1-35) <https://www.dexterials.jp/products/window-film/albeedo.html>
- 2-1-36) 山本恭：建築電磁環境とシールド技術、日本音響学会誌、60 巻 2 号、pp.78-84、2004
- 2-1-37) 菊地裕介：試験設備紹介 促進耐候性試験機、建材試験情報、Vol.56、No.11-12、pp.14-15、2020
- 2-1-38) 多層構面用水平加力試験装置、建材試験センターホームページより引用、[https://www.jtccm.or.jp/Portals/0/resources/library/chuo/kozo\\_tasoukoumen.pdf](https://www.jtccm.or.jp/Portals/0/resources/library/chuo/kozo_tasoukoumen.pdf)（2022.12.18 参照）

## 2.2 電氣的性能および安全性

### 2.2.1 概要

#### 2.2.1.1 適用範囲

建築プロジェクトでは、往々にして既製品が適用されず、特に建築の魅せ場となっているファサード（建築外皮）領域は、特注仕様となることが多い。仮に特注仕様とならない場合であっても、建築外皮の構成部材として BIPV モジュールを適用する際に要求される WH 寸法やガラス厚さは多岐にわたる<sup>1-5)</sup>。すなわち、それは、型式認証 PV モジュールの安易な適用が困難であることを意味する。しかしながら、BIPV や BAPV には（図 1-1-1）、型式認証 PV モジュールの要素とも共通する部分があるため、電氣的性能および安全性に関しては、大いに参考となるはずである。そこで、本節では、PV モジュールの理解を深める上で、型式認証 PV モジュールを引用して、電氣的性能および安全性について解説する。

PV モジュールの電氣的性能および安全性は、それぞれの規格（性能評価規格・安全性評価規格）にもとづき評価される。規格は JIS（Japanese Industrial Standards; 日本産業規格）、IEC（International Electrotechnical Commission; 国際電気標準会議）、UL（Underwriters Laboratories Inc.; アメリカ保険業者安全試験所）、ANSI（American National Standards Institute; 米国国家規格協会）、EN（European Norm; 欧州規格）等がある。JIS 規格の構成および IEC 規格との対応関係を図 2-2-1 に示す。

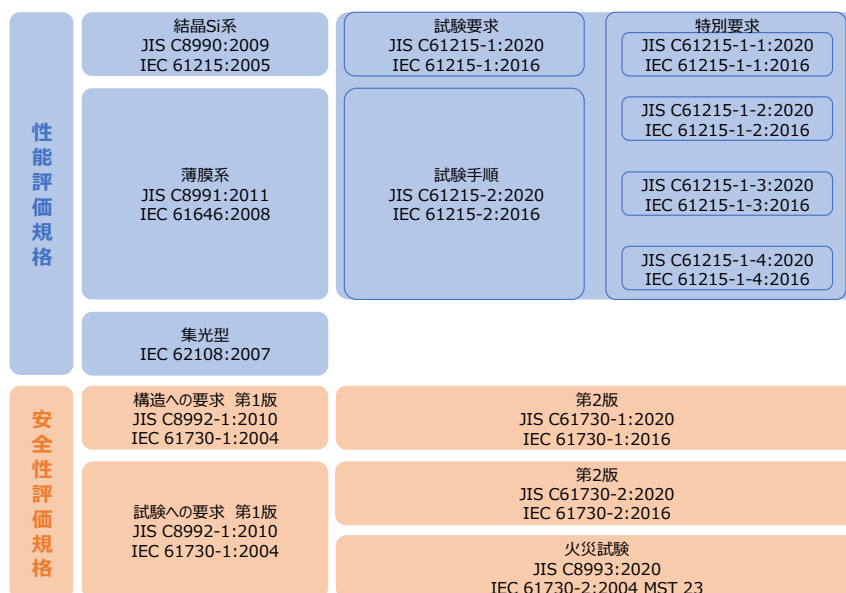
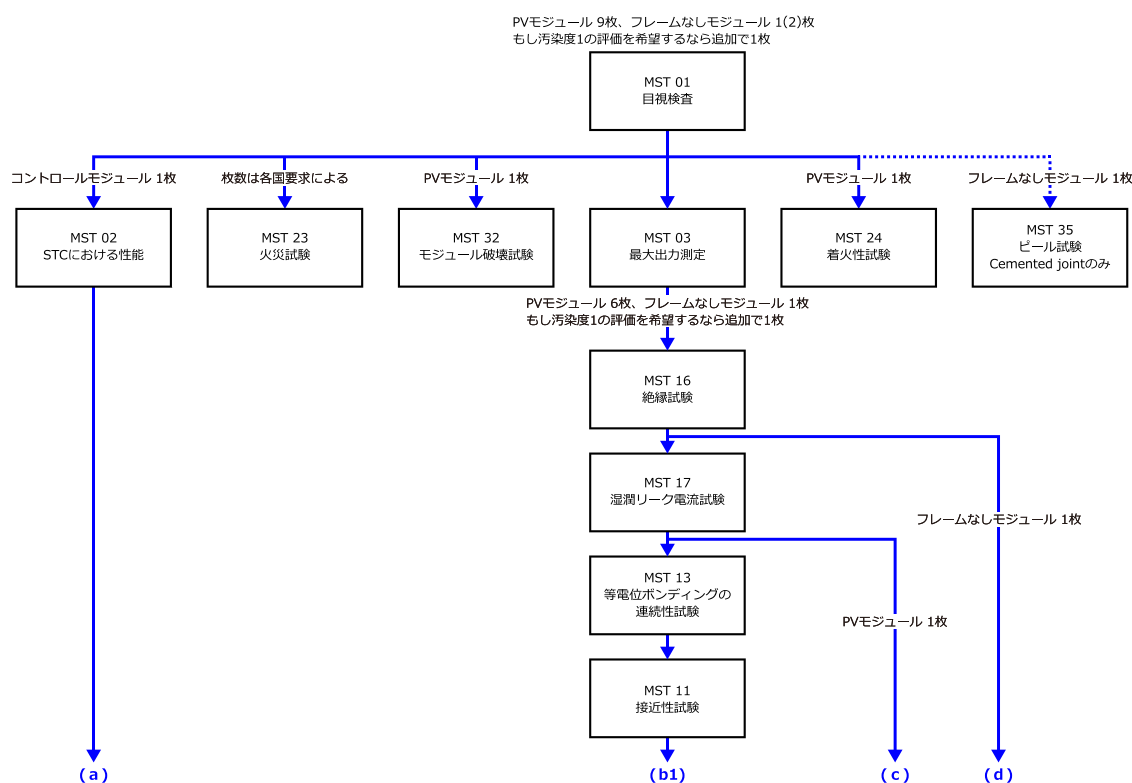


図 2-2-1 規格の位置付け

#### 2.2.1.2 性能と安全性の確認（フロー）

PV モジュールは、破壊評価を除きシーケンス試験によって評価される。シーケンス試験とは、予め決められた順序に従って行う一連の試験のことであり、例として IEC61730-2<sup>2-2-1)</sup> に示さ

れている安全性評価のシーケンスフローチャートを図 2-2-2 に示す。図中に見られる MST とはモジュール安全試験 (Module Safety Test) を指しており、続く番号によって各種試験内容が識別されている。また、MST はモジュール品質試験 (Module Quality Test) で用いられる MQT を参照している場合も多くみられる。現在、市場において「規格品」として流通している PV モジュールは、このような流れで安全性と性能が担保されている。なお、本書で対象とする壁面 BIPV モジュールについては、形状 (曲面等) やサイズ、構成部材によって試験内容がそのまま適用可能な場合と独自試験を適用しなければならない場合があることに留意する必要があり、特に BIPV が適用されるような建築プロジェクトでは後者となることが予想される。その場合は、各試験を建築設計者、建築施工者、ファサードコントラクター (カーテンウォールメーカー等)、PV メーカー、他などが協議を行いながら進めることが多い<sup>1-5)</sup> が、ここで示す MST や MQT は、その協議を行う上でもベースとして十分に参考となり得る。



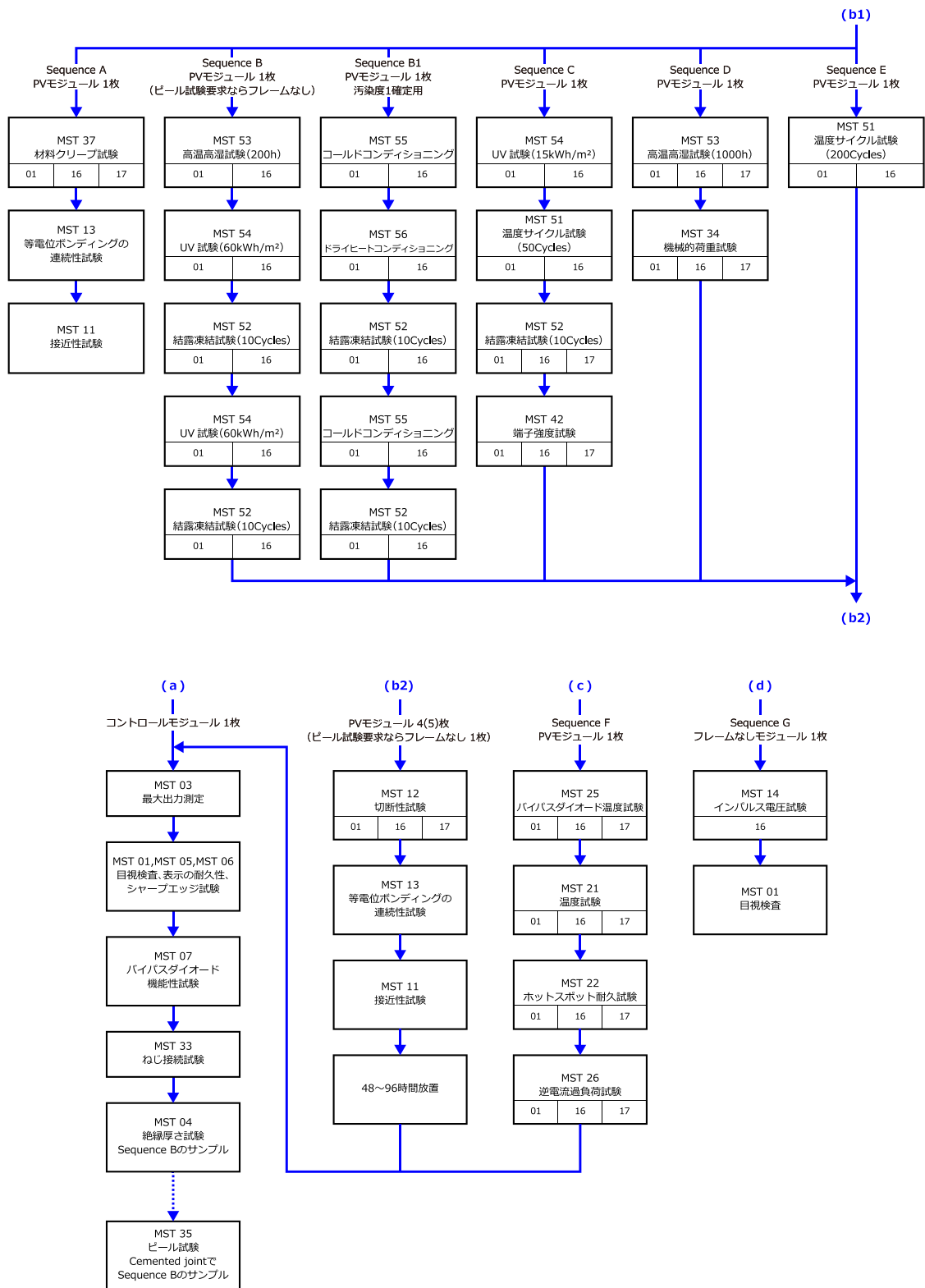


図 2-2-2 IEC61730-2 に示されている安全性評価のシーケンスフローチャート例 2-2-1)

## 2.2.2 発電性能

### 2.2.2.1 出力特性

#### (a) 最大出力 (MST 03、MQT 02)

PV モジュールの発電性能は、最大出力という形で評価される。PV モジュールの最大出力は、規格で規定された装置セットアップ・条件 (PV モジュールの裏面における温度と PV モジュールの受光面における放射照度の組み合わせ、例えば  $25^{\circ}\text{C}$ 、 $1000\text{ W/m}^2$ ) ・手順により決定する。特に「エアマス 1.5、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $1000\text{ W/m}^2$ 」という条件下で測定した最大出力は、「公称最大出力」と言われており、製品ラベルにおける「定格出力」に相当する。各種ストレス試験の前後では、最大出力を測定して出力値の比較を行うことにより、該当の PV モジュールに劣化・故障等がないことを確認する。光の照射は PV モジュールに対して垂直方向からの評価となっており、ここで得られる出力は、実際の BIPV の設置条件下で得られる値とは異なることに注意が必要である。発電量予測などを行う場合には、出力特性の他に太陽高度、太陽方位による角度因子、周辺環境による効果影響 (アルベド、周辺反射、影等)、温度条件等環境要因などを考慮した上でシミュレートする必要がある。

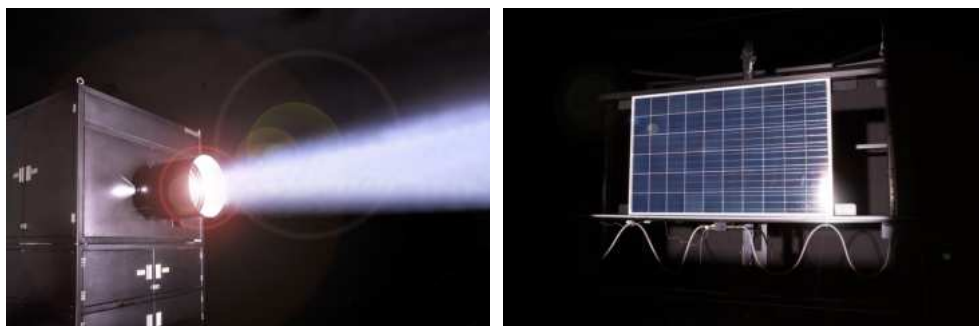


図 2-2-3 最大出力決定 ソーラーシミュレーターによる PV モジュールへの光照射：高精度 <sup>2-2-2)</sup>



図 2-2-4 卓上型ソーラーシミュレーターによる PV モジュールへの光照射

(左：照射前、右：照射中) <sup>2-2-3)</sup>

#### (b) 低照度時の性能 (MQT 07)

PV モジュールの出力は、放射照度（日射強度）に非線形的に依存する（比例関係にならない）ため、曇天時を想定した低放射照度時の性能を、温度  $25^{\circ}\text{C}$ （PV モジュールの裏面において）および  $200\text{ W/m}^2$  の照射強度（PV モジュールの受光面）によって確認する。

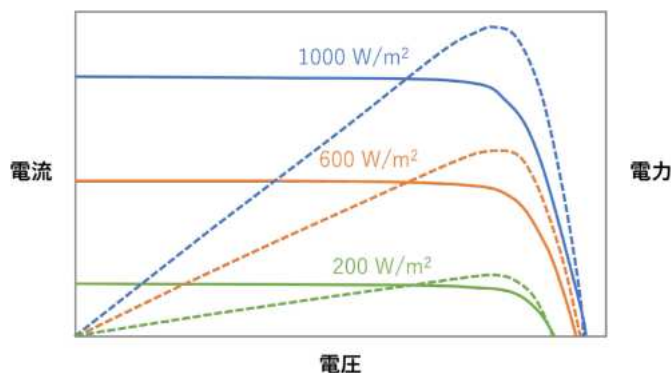


図 2-2-5 PV モジュールの出力特性照度依存性例（非線形となる）<sup>2-2-3)</sup>

#### 2.2.2.2 耐候性、耐光性

##### (a) 紫外線 (MST 54、MQT 10)

建築外皮は、日射を直接浴びる領域のため、常々、耐候性・耐光性の実力を確認する上で紫外線（以下：UV）照射試験が行われている。PV モジュールも同様に外部環境に曝されているため、UV 照射によって PV モジュールに含まれている、特に UV に敏感な材料・接着剤等に劣化がないことを確認している。一般には「プレコンディショニング試験」と言われ、温度サイクル試験・結露凍結試験を実施前に行う試験である。PV モジュールの温度を一定 ( $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) に保持した状態で、波長範囲  $280 \sim 400\text{ nm}$  の紫外線を放射量が  $15 \sim 60\text{ kWh/m}^2$  の範囲で照射する。これは、夏の正午頃の強い紫外線を  $300 \sim 1200$  時間照射したことに匹敵する。所定の時間、UV 照射した後は、著しい目視欠陥（例えば、構成部材の変色等）が発生しないこと、絶縁特性（湿潤漏れ電流特性、MST 17）に変化がないことを確認する。

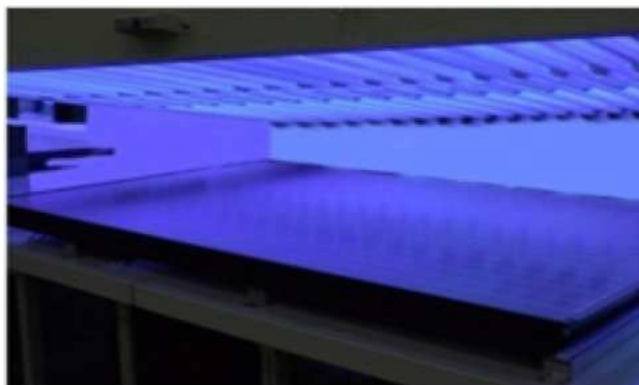


図 2-2-6 PV モジュールへの紫外線照射（プレコンディショニング）<sup>2-2-2)</sup>

## (b) 屋外暴露 (MQT 08)

屋外暴露試験は、PV モジュールが実際の屋外環境条件下にて性能を保持できることおよび屋内で実施する各種試験では再現できない複合的要因（温度・湿度・紫外線・風振動・積雪荷重等）による劣化がないことを確認する。実際の使用環境に近い条件下（規格で規定）において、PV モジュール（一般的なサイズは  $1.5\sim 1.7\text{ m} \times 1\text{ m}$  程度）を設置し、 $60\text{ kWh/m}^2$  の太陽光照射を行う（照射量は別途設置する太陽光照射モニターで測定）。所定の太陽光照射が行われた後は、著しい目視欠陥が発生しないこと、絶縁特性（湿潤漏れ電流特性、MST 17）に変化がないことを確認する。

図 2-2-7 には、屋外暴露試験体によるセル割れを示す。また、図 2-2-8 には封止材の剥離による外観変化を示す。これらの症状は、発電性能に影響を与えるため、事前に確認を要する。



図 2-2-7 屋外暴露による  
セル割れ<sup>2-2-3)</sup>

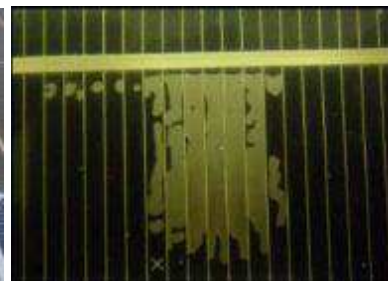


図 2-2-8 屋外暴露による封止材の剥離<sup>2-2-3)</sup>

## 2.2.3 絶縁性等

### 2.2.3.1 絶縁性 I

#### (a) 絶縁 (MST 16、MQT 03)

BIPV モジュールは、表 1-2-1 に示す Category D や E のように、直接的に触れられる環境にある。そのため、絶縁性試験では、PV モジュールの通電部と人が接触可能箇所（モジュールのフレーム部分等）との間で十分に絶縁されていることを確認する必要がある。一般的なガラス/バックシート構造の PV モジュールの絶縁は、図 2-2-9 に示したように空間距離 (cl)・沿面距離 (cr)・絶縁幅 (DTI)・薄層の厚さによって作り出されている。BIPV モジュールにおいては、裏面がバックシートではなく、ダブルガラス構造をとることが多いため、裏面ガラスによる絶縁幅も重要である。また、フレームレスモジュールとする場合は、フレーム有りモジュールよりも空間距離・沿面距離を大きく取る等の工夫も重要である。絶縁性試験では、PV モジュールの感電保護クラスに準じた試験電圧（例えば、感電保護クラス II の場合は  $2000\text{ V} + 4 \times \text{最大システム電圧}$ 、感電保護クラス III の場合は  $500\text{ V}$ ；感電保護クラスに関しては表 2-2-1 を参照）を付与し、絶縁抵抗を測定する。PV モジュール面積が  $0.1\text{ m}^2$  未満の場合、絶縁抵抗は  $400\text{ M}\Omega$  未満であってはならない。PV モジュール面積が  $0.1\text{ m}^2$  以上の場合、測定した絶縁抵抗と PV モジュール面積との積が  $40\text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2$  未満であってはならない。試験中は、絶縁破壊（絶縁部に過度な電圧がかかることにより絶縁性が失われ大電流が流れる現象）や表面トラッキングが起こらないこ

とも合わせて確認する。

表 2-2-1 感電保護クラスの分類

| 感電保護クラス | 0          | I           | II                    | III         |
|---------|------------|-------------|-----------------------|-------------|
| 保護方法    | 基礎絶縁のみ     | 基礎絶縁と保護用設置線 | 基礎絶縁と二重絶縁または強化絶縁      | 安全特定電圧電源に接続 |
| 設置場所の制限 | 立入制限区域内で使用 | 特別な設置方法が必要  | 立入制限のない区域での使用         | 制限なし        |
| 備考      | —          | 太陽電池には該当なし  | —                     | —           |
| 試験電圧    | —          | —           | 2000 V + 4 × 最大システム電圧 | 500 V       |

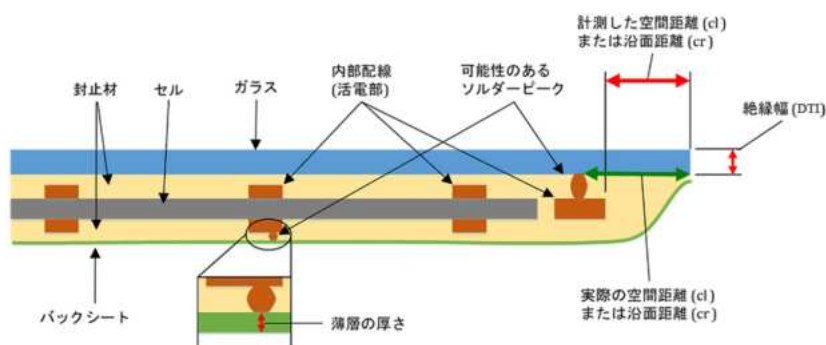


図 2-2-9 一般的なガラス/バックシート構造の PV モジュールの絶縁（赤矢印部分） 2-2-4)

#### (b) 湿潤漏れ電流（MST 17、MQT 15）

BIPV モジュールは、窓周りに配置されることが多いため、雨水、結露および清掃時の洗浄水など、湿潤環境となることが想定される。そこで湿潤漏れ電流試験（図 2-2-10）では、雨・高湿度における運転条件下での PV モジュールの絶縁性を確認するとともに、PV モジュールの充電部（活電部、内部回路）に湿気が侵入しないことを確認する。PV モジュールを湿潤環境状態で 500 V または PV モジュールの最大システム電圧（500 V 以上の場合）を 2 分間印加し、絶縁抵抗を測定する。面積が 0.1 m<sup>2</sup>未満の PV モジュールの場合、絶縁抵抗は 400 MΩ 未満であってはならない。PV モジュール面積が 0.1 m<sup>2</sup>以上の場合、測定した絶縁抵抗と PV モジュール面積との積が 40 MΩ・m<sup>2</sup>未満であってはならない。BIPV 用のダブルガラス構造モジュールでは、充電部であるジャンクションボックスがモジュールの端面に設けられることが多いため、本試験の適用が推奨される。

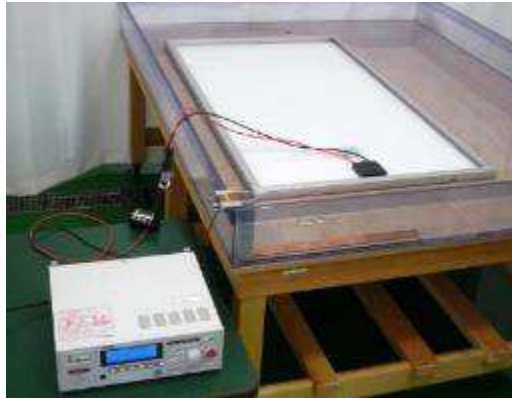


図 2-2-10 湿潤漏れ電流試験（水槽中で水に浸した PV モジュールに電圧を印加している様子）<sup>2-2-2)</sup>

### 2.2.3.2 絶縁性 II

#### (a) 絶縁層の厚さ (MST 04)

絶縁層の厚さに関しては、PV モジュールの表面または裏面に位置する重合材の絶縁シートに対して、製造工程においてかかるストレス（ラミネート等）後においても、JIS C 61730-1:2020 の表 3 または表 4 に規定された最小の絶縁層の厚さ要求を満たしているか確認する。方法としては断面カット等の破壊方法、光学測定・超音波測定等の非破壊方法があるが、値付けには測定の不確かさを考慮する必要がある（例えば、絶縁材料の厚さとして  $150\mu\text{m}$  が必要で測定の不確かさが  $\pm 10\%$  である場合、測定値は  $165\mu\text{m}$  以上でなければならない）。図 2-2-11 には、PV モジュールの絶縁層厚さを確認する上で切断した、絶縁層部分の断面写真を示す。

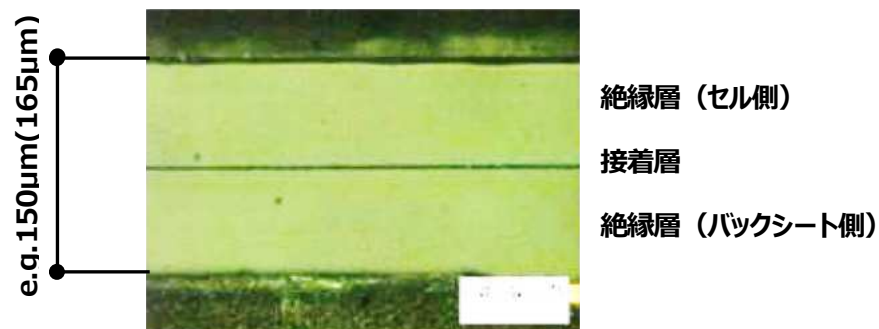


図 2-2-11 絶縁層の断面写真<sup>2-2-2)</sup>

#### (b) シャープエッジ (MST 06)

シャープエッジは、型式認証 PV モジュール関連の試験項目であるが、壁面に設置される場合で人の手に触れる高さや位置にある場合は、注意が必要となる。人が接触する可能性のある PV モジュールの表面は、滑らかであり、導体の絶縁を損傷したりケガの危険をもたらしたりする鋭利なエッジ、バリなどが無いことを目視により確認する。

### (c) 接近性 (MST 11)

接近性試験は、BIPV モジュールにとって必要な検討項目である。PV モジュールに接近した場合に感電のリスクがないことを確認するため、危険とされる 35 V 以上の充電部への接近に対し十分な保護を備えた構造となっているかを確認する。コネクタ・端子箱および PV モジュールの電気回路に接近できるすべての場所に対し、検査プローブ（荷重 10N）との間で電気的な接触がない（抵抗値 1 M $\Omega$  以上）ことを確認する（図 2-2-12）。通常、BIPV モジュールは、感電クラス II（表 2-2-1）に該当することが想定されるため、本試験を実施する必要がある。

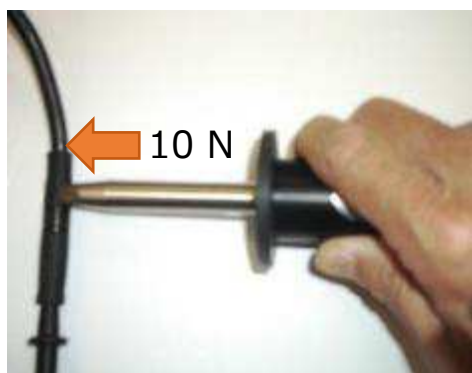


図 2-2-12 接近性試験（検査プローブをケーブルコネクタ部に押しあてている様子）<sup>2-2-2)</sup>

### (d) 切断性 (MST 12)

PV モジュールの設置・メンテナンス時に、作業者が感電の危険にさらされることなく通常の扱いに耐えうるかを確認する。例えば、施工時にカッターなどでバックシートを傷つけてしまい、活電部が露出し接触してしまうことによる感電などが考えられる。対象となる PV モジュールは重合材（樹脂材料）をバックシートまたはフロントシート部材として用いているものであり、両面ガラス（ダブルガラスモジュール）PV モジュールは試験の適用外である。試験方法は、炭素鋼の刃を試験面にあて、一定の力で引張ることを繰り返し、試験面から活電部（内部回路）の露出が起こらないことを目視確認するとともに、絶縁試験 (MST 16)、湿潤漏れ電流試験 (MST 17) を実施し、不具合の有無を確認する。試験の様子を図 2-2-13 に示す。



図 2-2-13 試験の様子<sup>2-2-2)</sup>

### 2.2.3.3 部分影に対する安全性

#### (a) 部分影による対策と課題

BIPV の発電量は、壁面設置特有の日射条件に依存するが、それ以外に隣接建物の高さ、隣棟間隔、BIPV モジュールの汚れ(雨垂れ、鳥類の糞)、航空障害灯、樹木および電線電柱等、部分影の影響を受ける。PV モジュールの一部に影がかかると、その部分は抵抗として作用し発熱が起こる。この現象をホットスポットと呼ぶ。ホットスポットを回避するには、抵抗部分を迂回するバイパスダイオードで対処が可能である。バイパスダイオードが正常に機能すれば、ホットスポットによる温度上昇は一般的には 130 度以下に抑えられる。一方、バイパスダイオードが故障・不具合を起こすと、ホットスポットによる温度上昇は 400 度以上に達することがあり、これは一般的な封止材 (EVA) の発火温度を上回るため、火災リスクとなる。また、BIPV における Category D と E (バルコニーの場合) では、直接 BIPV モジュールに触れることが出来るため、火傷などのリスクを負う可能性もあるので注意が必要である。図 2-2-14 には、バイパスダイオード故障による裏面端子箱周辺の発熱<sup>1)</sup> 状態を示し、図 2-2-15 にはホットスポット耐久性試験の様子を示す。

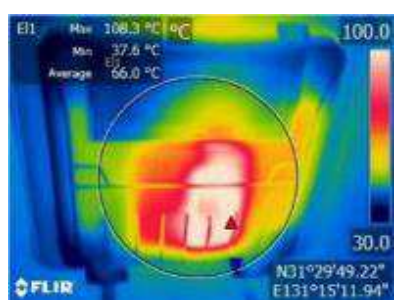


図 2-2-14 端子箱の発熱時<sup>2-2-3)</sup>

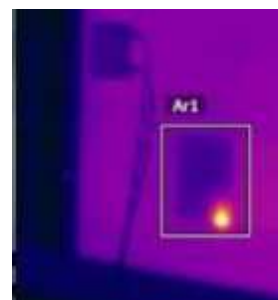


図 2-2-15 ホットスポット耐久性試験<sup>2-2-2)</sup>

#### (b) バイパスダイオード機能 (MST 07、MQT 18)

バイパスダイオード機能試験では、PV モジュールに部分影がかかった際に起こる局所的な温度上昇 (ホットスポット) を回避するためのバイパスダイオードの熱設計と長期信頼性を確認する。試験手順としては、温度 75℃において、PV モジュールの短絡電流値の 1.25 倍の電流を 1 時間流し、著しい目視欠陥が発生しないこと、湿潤漏れ電流試験 (MST 17) を実施し不具合がないことおよびダイオード機能が失われないことを確認する。ダイオード機能の有無は、最大出力の決定 (MST 03) において、PV モジュールのストリングの一部を遮光した状態で電流・電圧特性を測定し判断する (遮光なしの PV モジュールの電流・電圧特性に比べて、短絡電流値は維持し、開放電圧値が遮光したストリング分低下していることが確認できれば問題ない)。

### (c) ホットスポット耐久性 (MST 22、MQT 09)

ホットスポット耐久性試験は、PV モジュールの一部が日陰になる等で生じる逆バイアスで、加熱が起こった際のモジュールの耐久性を確認する。試験手順は、PV モジュール上に陰影を作り、ホットスポット現象を発生させ、その状態を規定時間内維持する。所定の負荷を掛けた後は、著しい目視欠陥が発生していないこと、絶縁試験 (MST 16)、湿潤漏れ電流試験 (MST 17) を実施し不具合がないことを確認する。図 2-2-14 には、PV モジュールの一部に陰を設けた上で光照射試験を実施し、その状態をサーモカメラで撮影した様子を示す。局所的に温度上昇している様子が見て取れる。

### 2.2.3.4 グラウンド等電位ボンディングの連続性 (MST 13)

MST 13 では、PV モジュールの金属フレーム等の導電部間に連続導通路があるか (アースが取れているか) を確認する。これは、雷等を受けた PV モジュールに触れた場合でも感電の危険性を軽減させることができる連続導通路があることを確認することが目的である。製造業者は、規定する等電位ボンディング点と、そこから物理的に最も離れた露出導電部間 (図 2-2-16) に、PV モジュールの最大過電流保護定格の 2.5 倍の電流を 2 分以上通電し、抵抗を算出する。これをすべての接触可能な導電部で繰り返す。その際、抵抗値は  $0.1\Omega$  未満でなければならない。

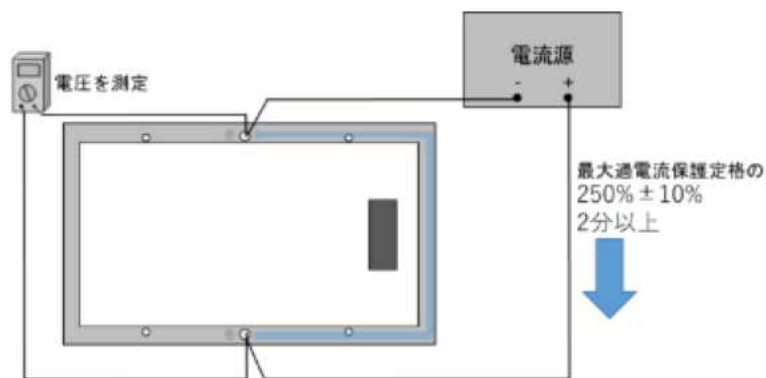


図 2-2-16 等電位ボンディングの連続性試験 (2-2-2)

### 2.2.3.5 避雷 インパルス電圧 (MST 14)

BIPV が設置される環境下では、避雷による影響は避雷針や建築外皮により処理されることが一般的であるが、フレームレスな BIPV モジュールや BAPV モジュールのように後付けされた場合は、その影響を受ける場合も想定される。MST 14 は、PV モジュールの絶縁部の過電圧 (雷サージ等) に対する耐力を確認する試験である。そのため、本試験ではフレーム無しまたはフレームが端部絶縁を担っている PV モジュールを導電性金属箔で覆った状態で (図 2-2-17)、規格に適合したインパルス電圧を 3 回印加し、さらに、電圧の極性を反対にしてインパルス電圧を 3 回印加する。電圧印加後は、著しい目視欠陥が発生しないこと、絶縁破壊・表面トラッキングがないこと、絶縁試験 (MST 16) の要求事項を満足していることを確認する。

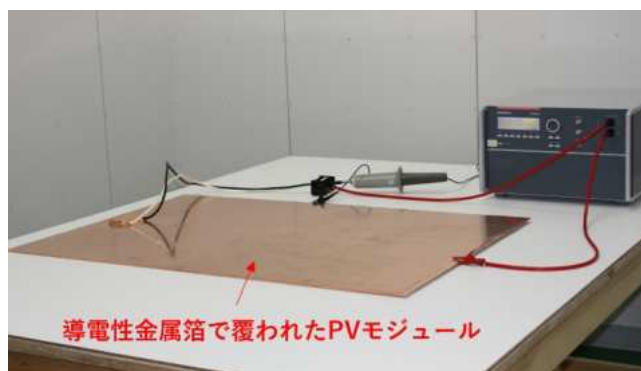


図 2-2-17 インパルス電圧試験<sup>2-2-2)</sup>

## 2.2.4 温度安全性

### 2.2.4.1 温度環境Ⅰ 表面温度

#### (a) PV の到達温度 (MST 21)

MST 21 では、PV モジュールの構成に用いられているさまざまな部品、材料の最大基準動作温度を決定し、適切性を評価する。試験としては、屋外環境か、または屋内環境で実施する。屋外環境では放射照度  $700\sim 1000\text{W/m}^2$  の自然太陽光を利用（風速  $1\text{ m/s}$  以下）または屋内環境では  $1000\text{ W/m}^2$  のソーラーシミュレーターで行い、PV モジュールを最大出力付近で動作させ、熱安定に達した状態で各所の温度測定を行う。屋内試験の場合は、結果を環境温度  $40^\circ\text{C}$  換算とするための補正を行う（ $40 - \text{屋内温度の値}$  を上乗せする：屋内温度が  $25^\circ\text{C}$  の場合、 $15^\circ\text{C}$  上乗せ）。ただし、近年、最高気温が  $40^\circ\sim 41^\circ$  を記録した地域（気象庁データ）も複数存在しており、BIPV を設置する都市部環境では、気温測定点よりもさらに高い温度であることが想定される。そのため、BIPV モジュールを適用する場合には、関係者と協議の上、換算温度を実態に近づける運用も考えられる。代表的な確認部位としては、フロントシート、バックシート、端子箱内部、配線端子、配線電線の絶縁部、接続コネクタ本体およびバイパスダイオードが挙げられる。本試験では、測定温度が各部品・材料の適用温度以下であることを確認する。また、著しい目視欠陥がないこと、絶縁試験（MST 16）、湿潤漏れ電流試験（MST 17）を実施し不具合がないことを確認する。

#### (b) 温度サイクル (MST 51、MQT 11)

温度サイクル試験では、PV モジュールに温度変化を繰り返し加え生じる熱的ミスマッチ、疲労、その他のストレスに対する耐久力を確認する。試験手順は、試験槽内に PV モジュールを設置し、図 2-2-18 に示すように  $-40^\circ\text{C}$  から  $+85^\circ\text{C}$  の温度サイクルに曝す。 $+25^\circ\text{C}$  を超えている間には PV モジュールの最大出力動作電流値を流し、その他の間は最大出力動作電流値の  $1\%$  以下を流す。温度サイクルは 200 サイクルである。本試験では、試験中に電流フローの中断がないこと、試験後に著しい目視欠陥がないこと、湿潤漏れ電流試験（MST 17）を実施し不具合がないことを確認する。図 2-2-19 は、温度サイクル試験で不具合が確認された際の原

因となりやすいポイント（材料間の熱膨張係数等の違いで剥離や断絶が起こりやすい）を示している。

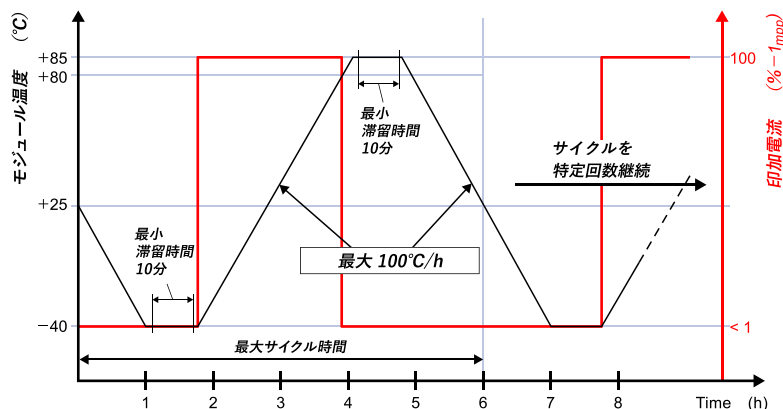


図 2-2-18 温度サイクル試験における温度サイクルグラフ 2-2-4)

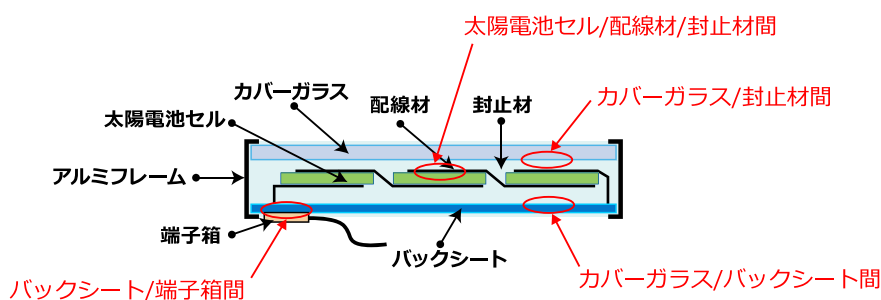


図 2-2-19 熱的ミスマッチ・疲労が起きやすいポイント

(結晶シリコン PV モジュールの場合) 2-2-3)

#### 2.2.4.2 温度環境 II エラー時

バイパスダイオードの温度上昇 (MST 25、MQT 18) については、2.2.3.3(b)参照のこと。

#### 2.2.4.3 温湿度結露凍結 (MST 52、MQT 12)

結露凍結試験とは、PV モジュールが高温高湿後に氷点下温度に達した場合の耐久力を確認する試験である。試験手順は、試験槽内に PV モジュールを設置し、最大出力動作電流値の 0.5% 以下を流した状態で、図 2-2-20 に示したように温度 85°C・相対湿度 85%と -40°Cの条件を繰り返す (10 サイクル)。本試験では、試験中に電流フローの中断がないこと、試験後に著しい目視欠陥がないこと、湿潤漏れ電流試験 (MST 17) を実施し不具合がないことを確認する。結露凍結試験は、主に PV モジュールの構成部材の熱・水分による膨張・収縮の影響を評価する試験であるため、実サイズの PV モジュールを用いることが困難な場合は小サイズのモジュールで行うことも有効である。

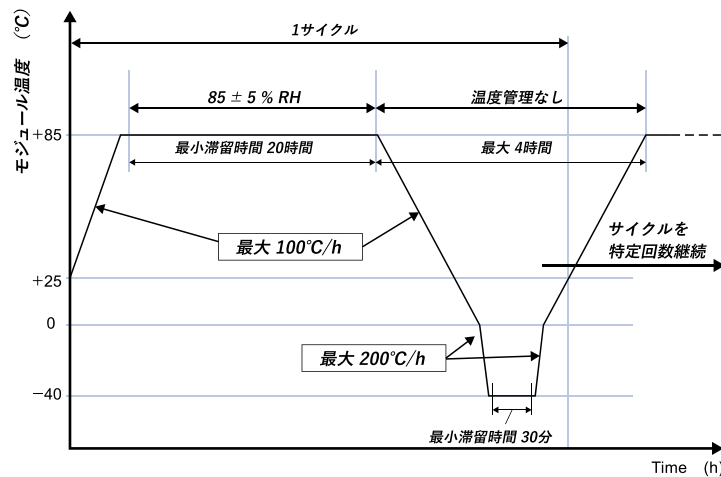


図 2-2-20 結露凍結試験における温度-時間グラフ 2-2-4)

#### 2.2.4.4 クリープ 材料クリープ (MST 37)

MST37 は、PV モジュールが屋外の高温下で動作している場合に、使用されている材料が滑動しない、または接着力が低下しないことを確認する。試験手順は、試験槽内に PV モジュールを垂直に設置し、105°C で 200 時間維持する。負荷後は、著しい目視欠陥がないこと、接近性試験 (MST 11) ・等電位ボンディング連続性試験 (MST 13) ・絶縁試験 (MST 16) ・湿潤漏れ電流試験 (MST 17) を実施し不具合がないことを確認する。

#### 2.2.4.5 長期信頼性

バイパスダイオードの熱設計の妥当性および長期信頼性については、2.2.3.3(b)参照のこと。

### 2.2.5 外的因子安全性

#### 2.2.5.1 火災安全性

##### (a) 火災 (MST 23)

PV モジュールが、モジュールと一体となっている建物または外部（隣接する建物等）が発生源である火災にさらされた際の防火性能について確認する。火災を直接モジュール表面にあて、延焼が起こらないことを確認する火炎伝播試験 (図 2-2-21 左)、モジュール表面に木材で組んだ火種を置き、燃え抜きが起こらないことを確認する飛び火試験を行う (図 2-2-21 右)。両試験ともに最も厳しい A から B および C の 3 クラスに分類される。PV モジュールは通常クラス C 以上が要求されるが、設置する地域の環境・条件を考慮してより高いクラスを求められることがある。例えば、森林火災の多い米国カリフォルニア州などでは、条例によりクラス A などが要求される。火炎伝播試験・飛び火試験は、PV モジュール自体の防火性能の試験であるため、試験後の PV モジュールの機能についての確認は行わない。ここでは、BIPV や BAPV としてカテゴリー A、C に該当するものが対象となるが、垂直面設置のカテゴリー B や D で若干傾斜する場合（垂直面 75°~90°未満）や Category E のルーバー等は、必要に応じて火災伝ば試験の実施するこ

とを検討しても良い。ただし、現時点では垂直面設置を対象とはしていないため、参考程度となる。また、条件などは異なるが、建築分野で実施している防火試験などで確認する方法も考えられる。何れにしても適用に向けては、厳しい方の規格や規準をベースに対応すべきである。



|        | クラスC  | クラスB  | クラスA  |
|--------|-------|-------|-------|
| 火炎温度   | 704℃  | 760℃  | 760℃  |
| 接炎時間   | 4分    | 10分   | 10分   |
| 火炎伝ば距離 | 3.9 m | 2.4 m | 1.8 m |

| 項目      | クラスC                | クラスB            | クラスA            |
|---------|---------------------|-----------------|-----------------|
| ブランドサイズ | 38.1×38.1×19.8 [mm] | 150×150×57 [mm] | 300×300×57 [mm] |
| ブランド個数  | 20個                 | 2個              | 1個              |
| 材質      | ホワイトバイン             | ダグラスファー (米松)    | ダグラスファー (米松)    |

図 2-2-21 防火性能の確認（左：火炎伝播試験 右：飛び火試験） 2-2-2)

(b) 着火性 (MST 24)

着火性試験は、モジュール部材の耐火性能の試験である。PV モジュールを垂直に配置し放射照度がない状態で、モジュール部材の着火性を評価する。バーナーの炎を、露出している可燃性材料部位（ただしジャンクションボックス・ケーブル・コネクタは除く）に直接接触させ、15 秒間以内に着火が発生しないことを確認する。また、接炎から 20 秒以内に、接火箇所から 150 mmを超える火炎伝ばが起こらないことを確認する。図 2-2-22 は試験体の表面に接炎が行われている様子である。BIPV 用のダブルガラスモジュールのように、試験体の端部が不燃性材料（カーテンウォールフレームなどに嵌め込まれていない状態）で保護されていない場合には、端部への接炎による評価も要求される。



図 2-2-22 着火性試験 2-2-2)

(c) 逆電流過負荷 (MST 26)

MST26 では、PV モジュールが逆電流故障状態（落雷等で逆流防止ダイオードが故障してしまい、並列に接続しているストリングから電流が流れ込んでしまう状態）となった場合を想定して、発火または火災のおそれを確認する試験である。試験手順は、PV モジュールの裏面を白い

薄葉紙で覆った状態で設置し、逆電流として PV モジュールの最大過電流保護定格の 135%を 2 時間流すことで、PV モジュールが燃えない・著しい目視欠陥がないこと、および接している薄葉紙が燃えない・焦げないことを確認する。また、絶縁試験 (MST 16)・湿潤漏れ電流試験 (MST 17) を実施し、不具合がないことを確認する。

#### 2.2.5.2 衝撃、貫通

##### (a) 衝撃に対する安全・品質性能 (MST 32)

BIPV は、窓ガラスの代わりに建築外皮へ設置されることから、物体の衝突や衝撃によって破損し、人的被害の原因になるおそれが想定される。そこで、メーカーの仕様にもとづいて設置された PV モジュールが破損した際に、人体への怪我のリスクが最小限に抑えられているか確認する試験が従来の PV モジュールには規定されている。試験手順は、衝撃体 (重量  $45 \pm 0.5$  kg) をモジュール表面から 300 mm 以上吊り上げた状態から静止後、衝撃体を開放してモジュールと衝突させる (図 2-2-23)。判定基準は、取り付けたモジュールがフレームから外れないこと、破損した場合でも直径 76 mm の球が自由に通過できる大きさの割れ目または孔が生じず、かつ大きさ  $65 \text{ cm}^2$  以上の破片が飛散しないことが要求される。なお、破損した場合の判定基準 (76 mm、 $65 \text{ cm}^2$ ) は、建築用安全ガラス規格 (ANSI Z97) を参照したものであるが、BIPV への適用を考慮した場合は、その在り方に関してプロジェクトごとに協議が必要となる。



図 2-2-23 衝撃破壊試験 2-2-2)

#### 2.2.5.3 機械的性能

##### (a) 静的荷重 (MST 34、MQT 16)

建築外皮に作用する風荷重や積雪荷重に対しては、前述の通り、建築基準法や同法施行令および告示等に従い、実務上は、建築構造設計者やカーテンウォールメーカー (ファサードコントラクター) が計算やシミュレーションを実施し (特殊形状・特殊構造の場合は風洞試験を実施する場合もある)、構造安全性の確認を建築設計者や建築施工者が行っているが、ここで対象とする試験は、PV モジュールに作用する風・雪・氷などを静的荷重として複数回作用させて耐久性を評価し、電気的安全性を確認している。具体的には、製造業者が定義する設定荷重 ( $2400 \text{ Pa}$  以上、降雪地帯用としては積雪約 2.5 m 分に相当する  $5400 \text{ Pa}$  など) を PV モジュールの表面・裏面にそれぞれ 1 時間×3 サイクルかける (図 2-2-24)。試験中は電気的導通が保たれていることを確認する。また、試験後に著しい目視欠陥がないこと、湿潤漏れ電流試験 (MST 17) を実施し不具合がないことを確認する。

一般的に建築外皮に作用する風荷重は、静的荷重よりも動的荷重 (脈動圧) が現実的である。特に BIPV モジュールの場合、モジュール内の構成部材や各種接合部などの負荷を実環境と近

い状態で評価するには、正負脈動圧による環境下での試験が望ましいと現時点では考えるが、現行の PV 関連規格にはそのような試験が示されていない。そのため、例えば高層ビルなどにおいて BIPV として適用する際には、プロジェクトごとに载荷方法を協議するなどして、BIPV モジュール内構成部材の変形追従性と電気的安全性を確認した方が良い。



図 2-2-24 静的荷重試験 左：正方向荷重（下向き） 右：負方向荷重（上向き）<sup>2-2-2)</sup>

#### 2.2.5.4 降雹

##### (a) 降雹（MQT 17）

MQT17 では、PV モジュールの雹の衝突に対する耐久性を確認する。雹を想定した氷球（球径 25 mm、質量 7.53g 以上のもの）を速度 23.0m/s 以上で PV モジュールの 11 か所以上に衝突させる（図 2-2-25）。氷球衝突後は、衝突部位に損傷がないこと、著しい目視欠陥がないこと、湿潤漏れ電流試験（MST 17）を実施し不具合がないことを確認する。



図 2-2-25 試験時氷球打撃位置  
11 か所の例<sup>2-2-3)</sup>

#### 2.2.5.5 動きに対する対応

##### (a) 端子強度（MST 42、MQT 14）

端子強度試験では、PV モジュールの端子箱およびケーブルの取付部が、通常の組み立てや取扱作業中に加わるストレスに対する耐久力を確認する。試験手順は、端子箱に 40N の引張力を 2 方向（PV モジュールに平行な方向、垂直な方向）に 10 秒間加え、端子箱の取付面に絶縁特性を損なう変異が発生しないことを確認する。また、著しい目視欠陥がないこと、湿潤漏れ電流試験（MST 17）を実施し不具合がないことを確認する。ケーブルに 50 回の引っ張りを繰り返し、ケーブルの変位が 2 mm 以下であることを確認する。次に、ねじり試験としてトルクを 1 分間印加し、著しい目視欠陥がないこと、絶縁試験（MST 16）、湿潤漏れ電流試験（MST 17）を実施し不具合がないことを確認する。壁面設置用 PV モジュールの場合は、設置環境温度によってさらなる負荷が加わることを考慮する必要がある。

## 2.2.6 外観

### 2.2.6.1 PV モジュールの外観不良例

従来の PV モジュールにおいては、外観に関する不良についても多くの報告があり、それらの代表的なものを以下に示す。

#### (a) 焼損跡

PV は 1 つのセルで発生する電圧は低いため複数のセルを直列接続する必要がある。例えば、結晶シリコン PV モジュールでは、1 枚あたり約数 A~10A 程度出力するセル（セルサイズによる）をすべて直列接続し所望の高電圧を得ている。よって、これらモジュール内のどこかに電極や配線不良が生じるとその部分の電気抵抗が高くなって発熱が生じ、その発熱によりさらに不良が促進され、さらなる発熱が生じて最終的に封止材やバックシートを焦がすまでに至る場合がある。一般的に、このような電極および配線不良による高い抵抗が生じた場合は、PV モジュール内に付属されているバイパスダイオードにより、その不良個所を迂回して電流を流すようになっているため（その迂回分だけ出力電圧も低下）、通常は激しい焼損は起こらないが、バイパスダイオード自体の不具合が重なった場合、かなりの高温となって激しい焼損を引き起こすことがある（図 2-2-26 (a)）。また、このような高温の発熱不具合を有するモジュールの傍に可燃物が存在すると火災を引き起こす危険性が高まり、戸建て住宅向け屋根置き BIPV モジュールでは、野地板やルーフィングの屋根下地材と PV モジュール（ケーブル含む）の間に鋼板などの不燃材を挿入することが推奨されている。これを BIPV モジュールに置き換えると、BIPV モジュールは、その裏面は直接触れられる居室となることが多く、燃えやすいカーテンや木製ブラインドなどが配置されていることも考えられるため、さらに注意が必要となる。

#### (b) デラミネーション

PV モジュールは、主に表面ガラス、PV セル、バスバーおよびバックシート等で構成される。これらを一体封止するには、透明樹脂封止材が用いられ、一定時間の加圧高温化でラミネート加工される。透明封止材は、屋外曝露による経年変化や周辺部材との関係性から、ガラスやセル表面から剥がれる（デラミネーション）ことがある（図 2-2-26 (b)）。建築物に利用する場合は、明らかな外観上の問題や構造性能の低下となる他に、セルの不十分な固定状態が続くことでセル割れや配線の接触不良を誘発し、上記の焼損事故を招くおそれがあるといった安全上の懸念もある。

#### (c) 黄変

透明樹脂封止材は、屋外曝露による経年変化で、デラミネーションだけでなく色が黄色く変化する黄変を起こすこともある（図 2-2-26 (c)）。一般的に、この黄変については特に安全上問題になったり、発電出力が大きく低下したりといったような問題は起こさないが、建築物に利用する場合は、明らかな外観上の問題となる可能性がある。

#### (d) スネイルトレイル<sup>2-2-5)</sup>

スネイルトレイルは、結晶シリコン PV セル上に現れる、カタツムリ (Snail) が這った跡 (Trail) に似た変色現象であり、設置から数か月～1 年後くらいに発生するとされている (図 2-2-26 (d))。この発現メカニズムは、PV モジュールの輸送や設置時の振動および衝撃または設置後稼働時の機械的負荷などによってセルにクラックが入り、バックシートを通してモジュール内に入った水分が封止材の添加物とともにそのクラック部に浸入してセルの銀電極と反応し、それがクラックに沿って拡散することで変色が発生するとされている。一般的に、このスネイルトレイルについても特に安全上問題になったり、発電出力が大きく低下したりといったようなことは起こさないが、建築物に利用する場合は、明らかな外観上の問題となる可能性がある。特に BIPV モジュールの場合は、1 つのプロジェクト内でも部位によって風圧力の差が生じているため、PV モジュールへの機械的負荷が増大する恐れがあり、面材剛性に注意を要する設計が望まれる。

このように、外観意匠に関わる事項だけではなく、発電の信頼性および安全性に関わるものがあり、BIPV モジュールとして用いる際は、両者に対して注意が必要である。さらに建築物などに用いる PV においては、着色や模様、表面装飾を施した PV モジュールが用いられることもあり、これら意匠性に関わる外観も重要となってくる。以下に、信頼性・安全性と意匠性に分けて、「外観」チェックの要点を述べる。



(a) 焼損跡



(b) デラミネーション



(c) 黄変



(d) スネイルトレイル

図 2-2-26 PV モジュールの外観異常の代表例<sup>2-2-3)</sup>

### 2.2.6.2 信頼性・安全性

信頼性・安全性の観点からは、一般の PV モジュールに対して、気泡や剥離、焼損や溶融跡などを前項の 2.1.1～2.1.5 に記載された各種試験後に目視検査することが JISC61215-1:2020「地上設置の太陽電池（PV）モジュール—設計適格性確認及び型式認証—第 1 部：試験要求事項」、JISC61215-2:2020「地上設置の太陽電池（PV）モジュール—設計適格性確認及び型式認証—第 2 部：試験方法」、JIS C 61730-1:2020「太陽電池（PV）モジュールの安全適格性確認—第 1 部：構造に関する要求事項」、JIS C61730-2:2020「太陽電池（PV）モジュールの安全適格性確認—第 2 部：試験に関する要求事項」で規定されている。

具体的には、JISC61215-1:2020、JISC61215-2:2020 において、外観に関わる検査として、PV モジュールの出力を含めて信頼性喪失のリスク原因となり得る著しい目視欠陥検査が規定されており、1000 lx 以上の照度条件下で、以下項目を注意深く検査するとしている。

- ・ 外表面の破壊、ひび割れ、または断裂。
- ・ スーパーストレート、サブストレート、フレームおよび端子箱を含む外表面の PV モジュールの動作が損なわれるような曲がりまたは位置ずれ。

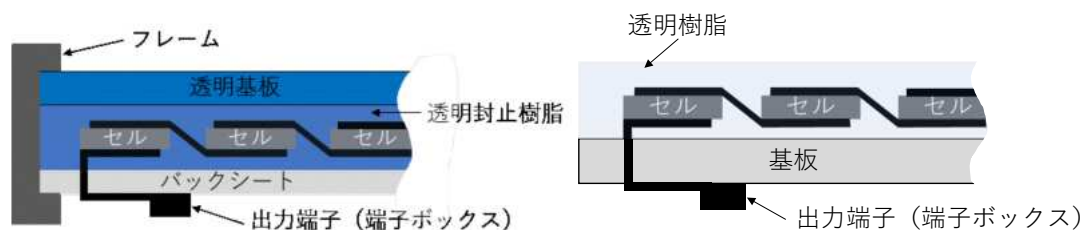


図 2-2-27 スーパーストレート構造（光の入射側に透明基板を配置する構造）とサブストレート構造（光の受光側に基板を配置する構造）の概略図 <sup>2-2-6)</sup>

- ・ 電気回路と PV モジュール端部との間に連続する気泡または剥離。
- ・ PV モジュールの機械的強度がラミネートまたはその他の接着手段に依存している場合は、気泡の合計面積は、PV モジュール面積の 1 %を超えてはならない。
- ・ 封止材、バックシート、フロントシート、ダイオード、充電部の溶融または焼損を示す証拠。
- ・ PV モジュールの据付けおよび動作を損なう構造的損傷。
- ・ PV モジュールの電気回路からセルの発電面積の 10 %以上が喪失し得るようなひび割れまたは破壊したセル。
- ・ 任意のセルの 10 %を超える面積におよぶ PV モジュールのアクティブ（充電）回路の任意の層における空隙または視認可能な腐食。
- ・ 接続部、継ぎ目または端子の破損。
- ・ 充電部の短絡または充電部の露出。
- ・ PV モジュール上の表示（ラベル）が脱落している、または内容が読めない。

ただし、プロジェクト対応型の BIPV モジュールにおいては、BIPV モジュール上の表示ラベルが設けられていないケースがあり、これは維持管理方法による違いと考えられる。

これらの目視検査は、JISC61215-2:2020 で定められる「屋外曝露試験 (MQT 08)」、「ホットスポット耐久試験 (MQT 09)」、「紫外線前処理試験 (MQT 10)」、「温度サイクル試験 (MQT 11)」、「結露凍結試験 (MQT 12)」、「高温高湿試験 (MQT 13)」、「端子強度試験 (MQT 14)」、「コード係留試験」、「機械的静荷重試験 (MQT 16)」、「降電試験 (MQT 17)」、「バイパスダイオード機能試験 (MQT 18)」の試験後にも実施することが規定されている。

また、JIS C 61730-1:2020、JIS C 61730-2:2020 においては、前記の信頼性に加えて安全性に関わる目視欠陥検査が規定されている。具体的には、導体の絶縁を損傷したり、けがの危険をもたらしたりするおそれのある鋭利なエッジ、バリなどの有無のチェックや表示部の耐久性が追加されている。さらに、電気的安全性に関して、絶縁体中の気泡またはデラミネーションがある場合の沿面距離（絶縁物の表面に沿って測定した二つの導電部間または導電部と機器の可触面との間の最短距離）についての規定が追加されている。具体的な著しい目視欠陥として以下項目が示されている。

- ・破損、亀裂または裂けた外側表面
- ・PV モジュールの安全性が損なわれるほど、フロントシート、バックシート、フレーム、端子箱などの外面が著しく曲がる、または位置ずれを起こしている状態
- ・セメントジョイント<sup>2-2-7</sup>において、セメントジョイントの必要最小距離（JIS C 61730-1:2020 の表 3 および表 4 参照）の 2 倍以下の位置に気泡またはデラミネーションがある場合は、気泡またはデラミネーションは導電性と評価され、気泡またはデラミネーション間は電氣的に接続されているとみなす。絶縁材の中にそのような気泡またはデラミネーションがある場合の最短距離は、合計でセメントジョイントの必要最小距離よりも短くてはならない。
- ・c) 以外の接着において、最短距離が必要最小沿面距離（JIS C 61730-1:2020 の表 3 および表 4 参照）の 2 倍以下の位置に気泡またはデラミネーションがある場合、それらは導電性と評価され、気泡またはデラミネーション間は電氣的に接続されているとみなす。絶縁物の中にそのような気泡またはデラミネーションがある場合の最短距離は、合計で必要最小沿面距離よりも短くてはならない。
- ・PV モジュールの設置の安全性および安全な動作が損なわれる程度の機械的完全性の喪失
- ・機械的完全性がラミネーションまたは他の接着手段に依存する場合、全ての気泡の総面積は、PV モジュール全面積の 1 %を超えてはならない。
- ・部品が溶ける、または燃えた証拠
- ・最終検査で、JIS C 61730-1:2020 の 5.2 および表示の耐久性試験 (MST 05) に適合していない表示
- ・最終検査で、シャープエッジ試験 (MST 06) に適合していないエッジ

### 2.2.6.3 意匠性

脱炭素化に向けた創エネ電源として建築物への PV 導入が進んでいるが、その建築物の意匠性向上の観点から、PV セルそのものが外観上見えてしまう従来の PV モジュールと異なり、さまざまな色や模様、ガラスと異なる表面質感などをもたせて、見た目には一般的な壁や屋根などの部材と区別がつかないような PV モジュールも開発され、市場に浸透しつつある。これらの PV モジュールについては、前記の信頼性・安全性の他に、これら色や模様、表面加工の仕様との合致性や長期安定性を検証する試験方法や外観検査方法が必要となるが、現状、これら意匠性に適応した試験・検査方法の標準規格は存在せず、ベンダーとユーザー間で取り決めを行うのが実情であると考えられる（意匠性の観点で類似する塗料の分野では、例えば JIS K 5600-7-7「塗料一般試験方法一第 7 部：塗膜の長期耐久性」においては、試験方法の要点は規定しているものの、試験条件の選択や試験の可否判定基準はベンダーとユーザー間で取り決めるものとしている）。

この中で、意匠性の長期安定性の試験方法については、前記の信頼性・安全性で示した一般の PV モジュールの標準規格試験もしくはそれに準ずる試験を行い、試験前後での色や模様、表面加工等の変色、ムラ、はがれなど外観変化を検査する方法が考えられる。さらに、色の検査に関しては、測色計などを用いて定量的な評価を行うことも可能である。例えば、CIE（国際照明委員会）が定める方法による測定により、被測定物の色を  $L^*a^*b^*$  色空間などの空間座標で表示することが可能であり、この色空間座標の位置差（座標間距離）によって色差を定量化することが可能である。これにより、長期安定性試験前後での退色、変色などの色差や、同一面内での位置による色差（色ムラ）を定量的に検査することが可能となる。

特に意匠性モジュールの代表格の着色 PV モジュールの劣化については、まだ市販が始まって間もないためムラの発生や変退色などの報告は見当たらないが、その着色部位が、前面ガラスと封止材の間にあったり封止材の内部等にあったりするため、これら密着性の確認は重要である。また、色自体の耐久性については、既に他分野で実績のあるセラミックインク印刷を利用したものなどはさほど大きな問題とならないと考えられるが、着色 PV モジュールに特化した新技術などについては、その長期安定性についての確認は必要であり、実際に UV 照射試験や高温高湿試験による密着性や色の変化に関する試験結果を公表しているメーカーもある。<sup>2-2-8)</sup>

建築物で用いられる PV モジュールは、鉛直、水平、曲面、東西南方位等さまざまな設置条件が考えられる。一方、見た目の色は照射光スペクトルによっても変化するため、朝昼晩といった時間帯や晴れ曇りといった天候によっても変化する。景観条例などにより周辺環境との調和を求められる建築物に対する PV モジュールの色、柄選定においては、これらさまざまな条件変化に伴う色変化にも十分注意を払う必要があり、色の検査方法についてもこれらの点を考慮される可能性もある。

#### 引用文献・参考文献等

- 2-2-1) IEC 61730-2:2023 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing, IEC61730-2 Edition 2.0 2016-08 p.16 Figure 1 “Test sequences”
- 2-2-2) 写真・図はすべて株式会社ケミトックス提供による
- 2-2-3) 写真・図はすべて国立研究開発法人産業技術総合研究所提供による
- 2-2-4) IEC 資料を基に株式会社ケミトックス作成
- 2-2-5) <https://www.chemitox.co.jp/wp-content/themes/chemitox/pdf/13.pdf>
- 2-2-6) 執筆者（福島大 齊藤）作成による
- 2-2-7) PV モジュールの端部において絶縁接着剤等で接合された各部材は一つの個体絶縁材料であるとみなすことができる。このような接合部をセメントジョイントという。例えば両面ガラスモジュールにおける表裏のガラスと絶縁接着剤の接合部を指す。
- 2-2-8) T. Bernasconi and G. Bugnon, Colored BIPV a comprehensive value solution, 17th Advanced Building Skins Conference and Expo (2023)

### 第3章 材料

BIPV は、建築外皮と太陽電池の機能を統合したものである。建築外皮は法的要件、デザイン性、要求性能、維持管理およびコスト等を考慮して選ばれ、設置面などに応じて、カーテンウォール構法や押出成形セメント板などの外装システムが適用されている。その材料には、主にアルミニウム合金押出型材やパネルをはじめ、鋼材、ステンレス鋼、樹脂材、ガラス、ガスケット、シーリング材、断熱材、遮音材、耐火ボード、PC 板、セメント系パネル、ALC パネル、高力ボルト、フィルム材などが用いられており、採用する構工法により、材料の取扱い方や構成方法などは異なる。材料特性や構成要素を適切に管理し、建築外皮として最適化することが重要である。

一方、BIPV モジュールは、PV セル、封止材、カバーガラス、バックシート、バスバー、ダイオード、ジャンクションボックス、ケーブルおよびケーブルコネクタ等の材料により構成されている。特に PV セルには結晶シリコン太陽電池が多く用いられており、その市場占有率は 95% 以上であるが、並行して新たな PV セルテクノロジーに即した新型 PV モジュールの開発・普及が期待されている。そのため、本章では、BIPV モジュールに関わる各種材料に焦点を当て解説している。また、BIPV システムは、ストリングケーブル、接続箱およびパワーコンディショナにより構成され、これらの要素を適切に管理し最適化することが重要である。さらに、着色 BIPV などの「意匠性」は、壁面設置 BIPV に付加価値を与える可能性があるが、外観価値の長期安定性に対する標準試験規格は現在進行中の開発課題である。

#### 3.1 建築外皮の使用材料

##### 3.1.1 建築外皮の構成

建築外皮はデザイン性、要求性能、維持管理およびコストなどを踏まえ、そのプロジェクトで最も適した構工法が採用されている。建築外皮を大別すると湿式工法と乾式工法とがあり、例えば、前者は鉄筋コンクリート（RC）造の壁、後者はカーテンウォール構法等が該当する。BIPV や BAPV モジュールが適用される構工法には、図 3-1-1 に示すメタルカーテンウォール、PC カーテンウォール、窯業系建材パネル（押出成形セメント板や ALC）が挙げられる。これらの構工法に採用される部材は多岐にわたり、それらの物理的特性や機械的特性が異なることに加え、同時に設置環境などの条件も異なることから、第 2 章で説明した要求性能に対応できるよう、事前に十分な選定を行う必要がある。本節では、建築外皮の構工法別に外皮システムの中に BIPV モジュールおよび BAPV モジュールを組込む場合を想定し、これらに関連する部材を解説する。



メタルカーテンウォール 3-1-1)

PC カーテンウォール+窓 3-1-2)

窯業系建材+窓 3-1-3)

図 3-1-1 建築外皮における構成方法の分類（乾式工法の場合）

### 3.1.2 メタルカーテンウォールに使用する材料

#### 3.1.2.1 主要部材

カーテンウォール構法は、国内外を問わず、低層ビルから超高層ビルまで幅広く適用されており、最もポピュラーで多くの実績がある。メタルカーテンウォールの主要部材はフレーム材と面材および躯体緊結材に分類され、それ以外にもフレーム部回りや面材部回りに適用される塞ぎ材や緩衝材および BIPV モジュールに付随する端子箱や配線ケーブルなど多岐にわたる。以下、これら使用部材について簡単に解説する。

#### 3.1.2.2 フレーム材

フレームは、建築外皮の 3 性能（第 2 章）を満たす上で極めて重要な役割を果たすため、強度や耐候性・耐久性および形状自由度などを満たせるアルミニウム合金が採用されている。アルミニウム合金としては、主に Al-Mg-Si 系（6000 系）の 6063 材が押出性や表面処理に優れており、フレーム材として使用されている。アルミニウム合金製フレームに BIPV モジュールを嵌込む際は、ガラスと同様にフレームと BIPV モジュール周辺に副資材（後述）が必要となる。また、配線ケーブルを貫通する孔を施す場合は、切削面がシャープエッジにならないような措置が必要である。図 3-1-2 は、カーテンウォールフレームの断面形状例を示す。



図 3-1-2 カーテンウォールフレームの断面形状例 2-1-16) 前掲（第 2 章 図 2-1-14）

### 3.1.2.3 フレームに嵌込む面材（ガラスパネル アルミパネル）

面材は、開口部やスパンドレル部および柱方部に適用され、透過性が求められる開口部にはガラスパネル、非透過性が求められる部位にはアルミニウム合金製パネル等が使用される。また、BIPV モジュールは、ガラスパネルやアルミニウム合金製パネルと同様にパネル化されているので、フレームに嵌込む形で保持することが多い。以下簡潔に解説する。

#### (a) フロートガラス

最も一般的な板ガラスであり、板厚は 3～25 mm（製造者別に異なる）、大きさは約 3m×10m ままで製造できる。設置環境、大きさ、厚さおよび支持状況により安全性を検討する必要がある。

#### (b) 型板ガラス

ロールアウト製法により片面に柄をつけたガラスである。光を通しながら視線を遮ることができるガラスとして適用されている。許容応力度は低いので注意が必要である。

#### (c) 熱線吸収ガラス

ガラスの原料に金属を入れグリーン、ブロンズ、グレー等着色したもので、日射熱を 40～70% 程度吸収して室内への熱の流入を防ぎ、冷房効果を高めるのに役立つ。

#### (d) 熱線反射ガラス

ガラス表面の反射により光エネルギーの一部を遮断するガラスである。ガラス表面の片面または両面に薄い金属酸化膜をコートし、反射率が 30%を超えるため、冷房負荷軽減に役立つ。

#### (e) 高透過ガラス

通常フロートガラスは青みがかっており、その原因とされる鉄成分を取除くことで透過性を向上させたものである。高透過ガラスを強化加工したものが BIPV モジュールに採用される。また、BIPV モジュール用ガラスとしては、強化加工に加えて、透明導電膜を付与したものがある。透明導電膜には一般的に ITO 膜（酸化インジウムスズ）と FTO 膜（フッ素ドープ酸化スズ）がある。PV セルテクノロジーの違いにより、使い分けられる。

#### (f) 強化ガラス

フロートガラスに熱処理を施し強度を高めたもので、強度は通常のフロートガラスに比べて 3～5 倍である。破損時は破片が粒状となることで（図 3-1-3）、人体に対して安全なガラスといわれている。一般には低層部に用いられることが多い。また、日本では破損後の破片や塊の落下を懸念して、単板ガラスでは高層部に採用されない。熱処理ガラスは、微細な異物に起因する自然破壊が生じる<sup>3-1-4)</sup>可能性があるため、建築外皮に用いる場合には、破損した際の飛散や脱落の防止、取換え作業をどう行うかについても検討を行っておく必要がある。BIPV モジュールでは、

強化ガラスが一般的であり、受光面側は高透過強化ガラス、非受光面側は強化ガラスとする構成が多い。

#### (g) 倍強度ガラス

強化ガラスと同じように熱処理を施したガラスである。通常のプロートガラスの約2倍の強度をもつ。ガラス破損時は、強化ガラスとは異なり、フロートガラスに近い割れ方となるため(図3-1-3)、破損時の飛散脱落防止に対し有効に働く。倍強度ガラスも強化ガラス同様に自然破損のおそれがゼロではないので、注意して扱う必要がある。

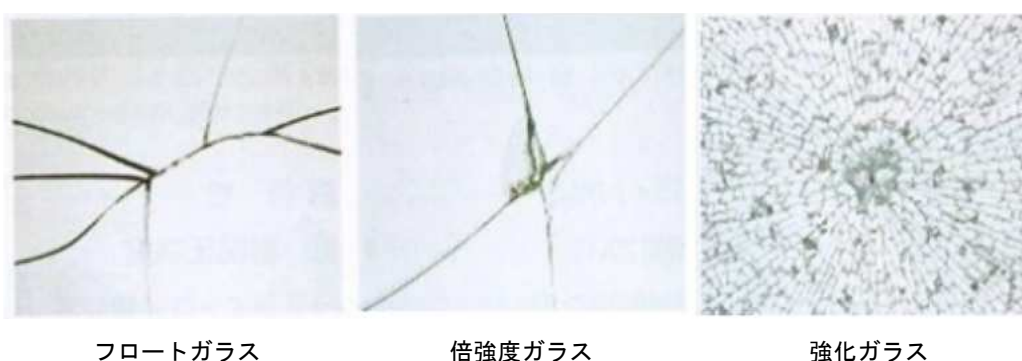


図 3-1-3 各ガラスの破損パターン例 <sup>3-1-5)</sup>

#### (h) 耐熱強化ガラス

エッジの特殊加工と超強化処理を施した耐熱性の高い強化ガラスである。強度は、強化ガラスよりも2倍以上高く、優れた耐熱性や遮熱性から防火ガラスとして用いられる。ワイヤレスでデザイン性に優れるが、BIPV モジュール化は、エッジ形状の違いから簡単ではない。

#### (i) 網入りガラス

金網(ワイヤ)を封入したガラスである。火災時にガラス破損が生じて金網が落下や隙間を防ぐ。許容応力度は低く、BIPV モジュールとの複層ガラス化には注意が必要となる。

#### (j) 合わせガラス

2枚のガラスを強靱な特殊中間膜で貼合わせたもので、破損時も中間膜によりガラス破片の飛散を防止できる安全性の高いガラスである。中間膜は、PVB(ポリビニルブチラル樹脂)、EVA(エチレン・酢酸ビニル共重合体)およびアイオノマーが採用されている。BIPV モジュールは合わせガラス仕様が多いため、封止材として中間膜の特性が非常に重要となる。

#### (k) 複層ガラス、Low-E 複層ガラス

複数のガラス間に中空層を設け周囲を封着したもので、単板ガラスに比べ2倍以上断熱効果がある。ガラスの中空層側表面に銀や酸化錫等を薄膜コートして赤外反射率を高め、放射熱伝達を

低減させたものが Low-E 複層ガラスである。通常の複層ガラスより断熱性や遮熱性は向上する。

#### (l) 合わせ複層ガラス

合わせガラスと単板ガラス等を用いて複層化したガラス構成のことである。例えば、断熱性を得ながら BIPV モジュールとする際に適用される。BIPV モジュールとガラスとで中空層を有する複層ガラス化を図るので、重量やフレームの見込寸法が増すことに注意が必要となる。

#### (m) アルミニウムパネルおよびアルミニウム合金製パネル

ソリッドパネルとハニカムパネルおよび樹脂材や断熱材との複合板がある。アルミパネルは、ガラスパネルと同様の扱いとなり、PV モジュールのバックシートとして用いることもある。純アルミ（1000 系）と Al-Mn 系（3000 系）および Al-Mg 系（5000 系）のアルミニウム合金が一般的で、表面処理によりデザイン性と耐候性を維持でき、軽量な点が特長である。曲げ板、切り板、複合板などの形態がある。

#### (n) ステンレスパネル

ステンレス鋼板には、熱間圧延と冷間圧延があり、薄板の物は主に後者で成形される。材種としては SUS304、SUS316、SUS430 などが主流であり、塩害地域等には SUS316 が用いられることもある。表面仕上げに関しては、ステンレス鋼特有の素材感を活かした仕上げがある。

#### (o) 鋼製パネル

鋼板（鋼材）は、大気中にそのまま曝されると表層に酸化物や水酸化物を生成する（錆が生じる）。そのため、防錆目的で亜鉛めっきや塗装などを施したうえで使用する。近年は、亜鉛めっきに Al や Mg 等を添加して、耐食性を高めためっき鋼板も用いられている。

以下に、ガラスや金属パネル類の構成を図 3-1-4 に示す（各ガラスや金属パネル類の見出し番号別に分類 例 (a)、(b)）。また、図 3-1-5～図 3-1-7 には、通常のダブルガラスモジュールや IGU（複層ガラス）化された BIPV モジュールおよびアルミニウム合金樹脂複合パネルにアモルファスシリコン系 PV を貼付けた事例を示す。

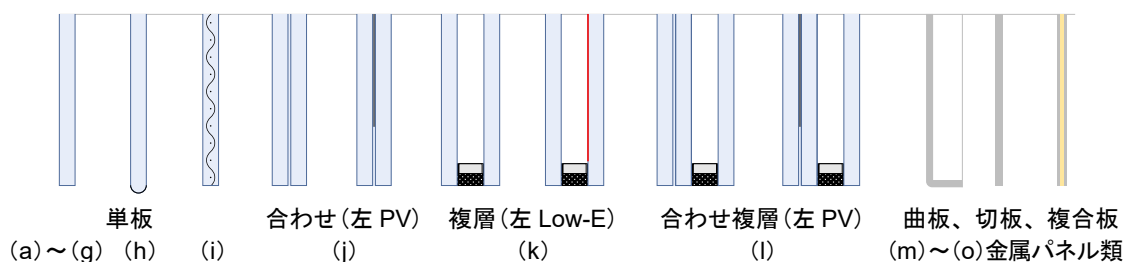


図 3-1-4 ガラスやパネル類の構成 3-1-6) に加工修正



図 3-1-5 ダブルガラス  
モジュール 3-1-7)



図 3-1-6 IGU BIPV  
モジュール 3-1-8)



図 3-1-7 アルミパネル  
+ a-Si 系 PV 3-1-9)

### 3.1.2.4 フレームに嵌込む BIPV モジュール

BIPV モジュールは、ガラスとガラスの間に PV セルや配線および封止材などを配置してラミネートしたダブルガラスモジュールタイプのものが多い。一方、汎用的な型式認証 PV モジュールの場合は、カバー材として、受光面側はガラスで非受光面側は樹脂材などが使われている。BIPV モジュールは、主に熱応力などの観点から、強化ガラスが採用されている。受光面側ガラスは、発電性能の向上を見込むために高透過の強化ガラスを、非受光面側ガラスでは通常の強化ガラスを用いることが多い。一般的に、建築外皮に採用される強化ガラスの厚さは、通常の型式認証 PV モジュールが採用している 3.2 mm 厚ガラスではなく、4 mm 以上 (JIS R 3206 規定) となるので注意が必要である。ここで強化ガラスを採用する意図は、日射光を受光する PV セル部とカーテンウォールや窓のフレーム内に納まっているガラスエッジ部との間に温度差が生じ、熱応力差が発生することが熱割れの原因とされているためである (図 3-1-8)。そこで、予め熱応力の大きい強化ガラスを使用することで、熱割れの発生を予防することが可能となる。また、強化ガラスは、極稀にガラス内部に存在する不純物の影響で不意に破損することがあり (図 3-1-9)、高層階での使用を避けることが推奨されている。

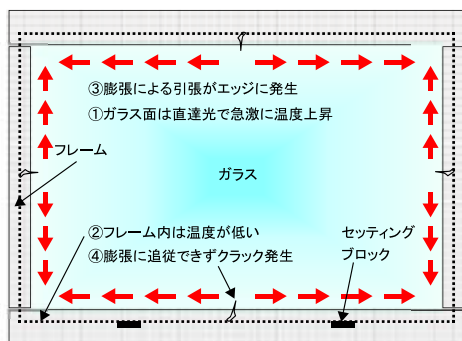


図 3-1-8 熱割れのイメージ 3-1-6)



図 3-1-9 強化ガラスの自然破損 (NIS 起因による) 例 3-1-10)

強化ガラスにおける自然破損のメカニズムは、文献 3-1-4) に記されている通りであるが、その対策としては合わせガラス化を図ることで破損直後の脱落を遅らせることが可能となる。また、BIPV モジュールの場合、合わせガラス構造となっているため、安全対策上は最低限の措置が講じられていると考えられるが、さらなる安全性を担保して倍強度ガラスを選択することも

可能である。なお、ガラスの板厚については主に 2 章で述べた告示式による作用荷重算定を行い、使用するガラスがその荷重に対して十分に安全であるかどうかを建築基準法に定められた算定手順に従い、板厚を決定する必要がある。ただし、ここでの算定手順は、ガラスが 4 辺支持されている条件での算定式であるため、2 辺支持や孔明け点支持のような特殊支持の場合は該当しないので、そのようなケースでは、カーテンウォールメーカー（ファサードコントラクター）やガラスメーカーにコンサルティングを依頼する必要がある。

BIPV モジュールは、メタルカーテンウォールのビジョン部や窓の開口部に採用されるケースが多いため、熱的性能を強く求められる。さらに、トップライト等を使用する場合には、建築関連法規や安全性の観点から、網入りガラスの使用が求められるが、複層ガラス仕様として受光面側に BIPV モジュール、空気層を挟んだ非受光面側に網入りガラスを採用することで対応が可能となる場合がある。ただし、種類や層構成による適用の可否は、法令状の制約や安全性の観点から、建築設計者などに確認し、決定する必要がある。図には、ダブルガラスモジュールと網入りガラスとの複層ガラス仕様を示す。ダブルガラスモジュールと網入りガラスとの複層ガラスとなると、ガラス重量は増し、フレームに嵌込む際の見付寸法に制約が出る場合があるので、設計初期段階から十分な検討を進める必要がある。

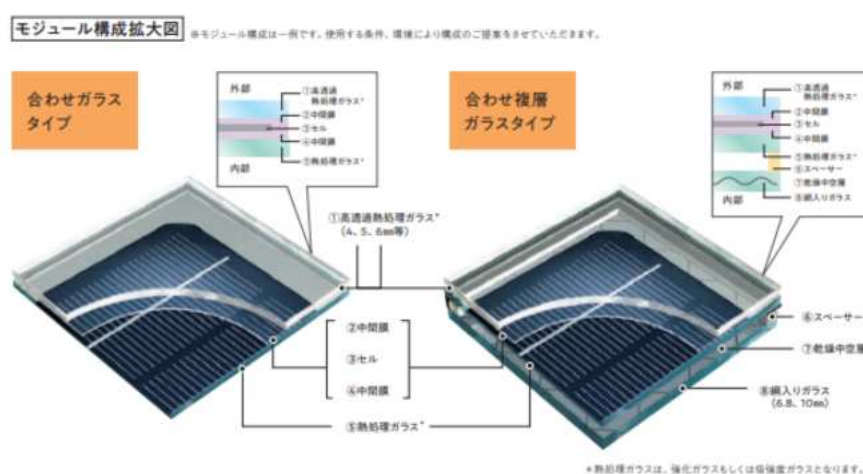


図 3-1-10 ダブルガラスモジュールの構成 3-1-11)

### 3.1.2.5 躯体緊結部

躯体緊結部は、すべての荷重を受ける重要な部位のため、主にアルミニウム合金（A6061）、鋼材（SS400）、丸鋼（SR235、SR295）、高力ボルト（F8T、F10T）および溶接棒等が扱われている。各種素材特性、許容応力度および耐力等を十分に把握した上で、設計を行い、施工時の品質管理にも留意が必要となる。また、設計段階では、施工誤差や製作誤差などを吸収するための調整代も設けておく必要もある。採用にあたっては、各種 JIS 規格や日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 14 カーテンウォール工事<sup>2-1-1)</sup>などを参考とすることを推奨する。

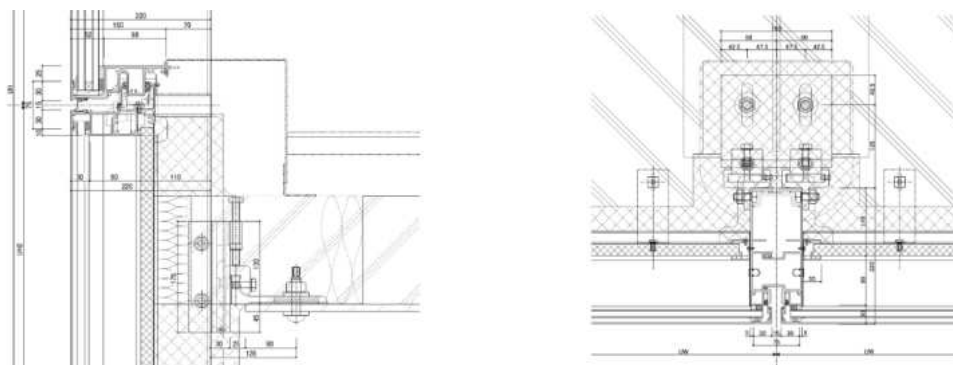


図 3-1-11 躯体緊結部 3-1-1)

### 3.1.2.6 その他副資材

メタルカーテンウォールには、主要な部材以外にも性能の維持に必要な部材が数多く使用されている。ここでは、主要な副資材について簡単に解説する。また、BIPV モジュールに付随するジャンクションボックスや配線ケーブル、コネクタ類は PV モジュールに付随する材料として 3.2 で詳述する。

シーリング材は、被着体の材種や表面処理状況およびムーブメントの種類によって適用されるものが異なる。特に一般的に採用されているシーリング材は、シリコン系、変性シリコン系、ポリサルファイド系などとなるが、湿気硬化型と反応硬化型での特性による違いや打継特性および他部材との相性などもあるので、十分な検討が必要となる。図 3-1-12 には、合わせガラスとシーリング材が接触する領域でデラミネーションが生じた事例を、図 3-1-13 には、合わせガラスとシーリング材におけるコンパチビリティの確認試験によりデラミネーションを再現した時の写真を示す。デラミネーションは単に美観上の話だけではなく、合わせガラスの構造耐力にも影響をおよぼすので、適切な部材の組合わせを行うことが重要となる。また、ガスケット類にはシリコンゴム (SR)、エチレンプロピレンジエンゴム (EPDM)、クロロプレンゴム (CR)、塩化ビニルゴム (PVC) があり、これらの材料は気密水密上重要な役割を果たすので、シーリング材と同様に他部材との適合性を踏まえ、後々欠陥とならないように各プロジェクトで十分な検討を要する。



図 3-1-12 デラミネーション事例 3-1-12)



図 3-1-13 試験による再現 3-1-12)

### 3.1.3 PC カーテンウォールに使用する材料

#### 3.1.3.1 PC カーテンウォールの形態と主要部材

現時点では、PC カーテンウォールに BIPV が直接適用された事例は確認されていないが、PC カーテンウォールと BIPV モジュールを隣り合わせて配置して建築外皮を構成する場合や将来的に PC カーテンウォール自体に適用されることを想定して、ここでは PC カーテンウォールについて解説する。PC カーテンウォールとは、PC 板を用いたカーテンウォール構法のことである。PC とはプレキャストコンクリートの略であり、工場で所定の型枠内に鉄筋を配置（配筋）し、コンクリートを型枠に流込み硬化成型したコンクリート製品を指す。PC カーテンウォールは、メタルカーテンウォールに比べて重くなるのが欠点ではあるが、耐火性、断熱性および遮音性が高い。石材やタイルおよび塗装など、さまざまな仕上げに対応できる点も大きな特長であり、形状の自由度が高いため、陰影をつけたり表情を豊かにしたりすることが可能となる。PC カーテンウォールは、PC 板のベースとなるコンクリート部分と表面仕上げ材部分および躯体緊結部に分類される。また、PC カーテンウォールの形態は大きく分けて、パネル方式、腰壁方式、柱型・梁型方式、方立方式の 4 つの方式がある。以下の図 3-1-14 にその形態を示す。

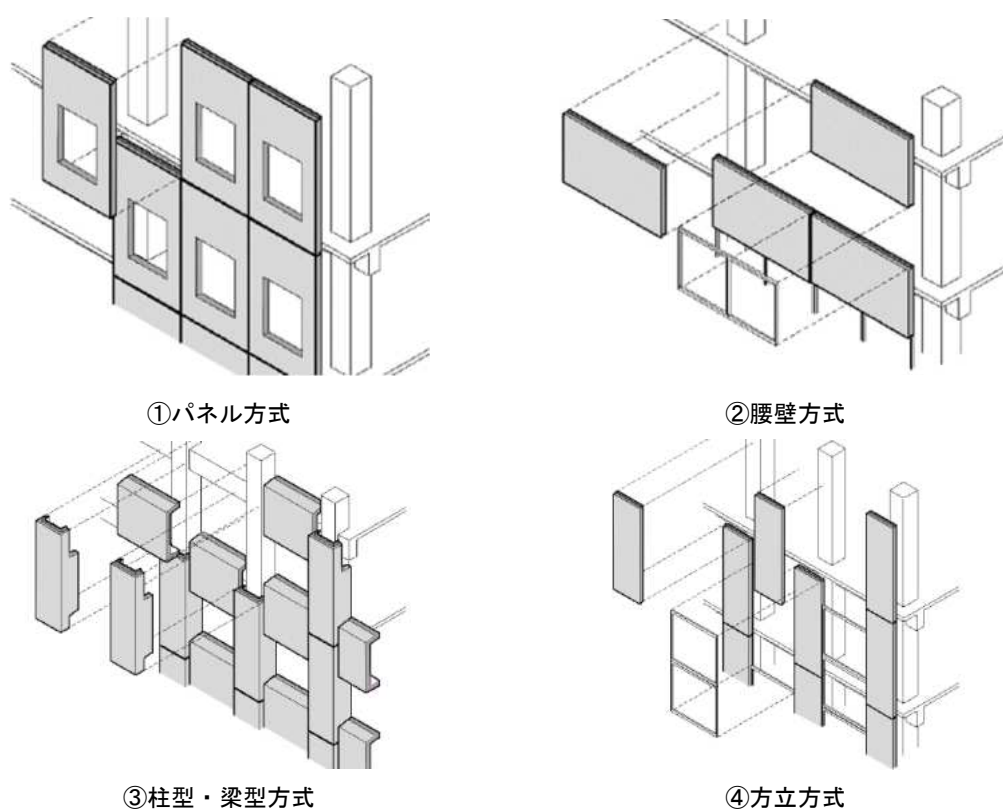


図 3-1-14 PC カーテンウォールの形態 3-1-2)

また、地震時には、PC カーテンウォールも層間変位追従性能が要求される。層間変位追従性はパネル割や配置および接合形式によって動きが異なる。ここでは、面内における代表的な層間

変位追従時挙動を図 3-1-15 に示す（実際には面外方向も考慮する必要がある）。ロッキング、スウェー、スライドのような動きをするため、BAPV モジュールの設置時には注意が必要となる。

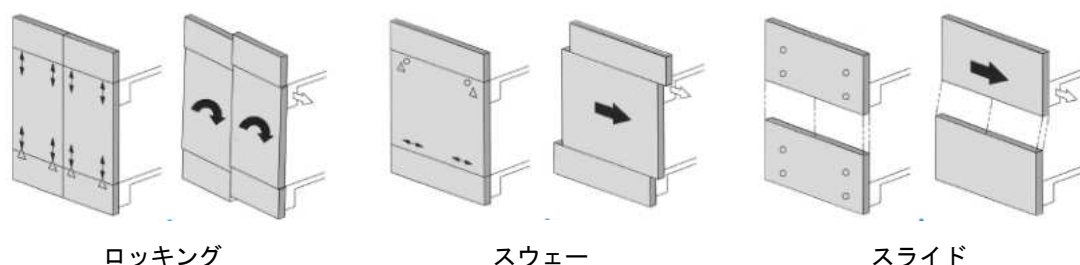


図 3-1-15 PC カーテンウォールの層間変位追従性 <sup>3-1-2)</sup>

### 3.1.3.2 面材

PC カーテンウォールの形態は図 3-1-14 に示す通りであるが、どれも面材である PC 板を構造躯体に緊結する形で成立させている。4 つの方式のうち、①パネル方式だけは PC 板の中央に開口部が設けられており、他②～④方式は PC 板の外周部に横連窓や縦段窓カーテンウォール、サッシを組み合わせるような仕組みになっている。前者は、PC 板にフレームが打ち込まれ、ガラスを嵌め込めるようになっており、これを PC 打ち込みカーテンウォールという。後者は、PC 板にメタルカーテンウォールやサッシフレームを現場で後付けできるように工夫されている。このように PC カーテンウォールに BIPV モジュールを組み込む場合は、①パネル方式の開口部か③～④の外周側開口部が想定される。どの方式でも層間変位追従性能は異なるため、案にフレームに嵌め込むだけでは、地震時にガラス破損が生じる可能性があるため、十分に検討する必要がある。また、PC 板自体に BIPV モジュールが組込まれる可能性は少なく（直接貼り付ける場合は除く）、その理由は PC 板自体の交換が極めて難しいためである。

PC カーテンウォールは、軽量化を図る上で軽量コンクリート 1 種が用いられることが一般的であるが、コンクリートの素地がそのまま仕上げとなる場合、または塗装仕上げとする場合には、通常の骨材を用いた普通コンクリートが用いられる場合もある。通常、鉄筋コンクリートとして設計されることが多いが、ガラス繊維を補強材として用いた GRC（Glass fiber Reinforced Cement）や、炭素繊維等その他の繊維を補強材として用いたコンクリートとすることで、軽量で強度の高い PC カーテンウォールが製作されている。コンクリートの設計基準強度（ $F_c$ ）は  $30\text{N}/\text{mm}^2$  であり、基準強度に準じて外乱などに対する設計を行う必要がある。

### 3.1.3.3 面材に付随するフレーム材

PC カーテンウォールの開口部は、フレーム材と面材（ガラスおよびそれらの隙間を埋めるシーリング材やガスケット等）で構成される。ガラスを支持するフレーム部はカーテンウォールを構成する部材の中でも特に重要なものであり、開口部の性能が大きく左右されるため、その選択にはさまざまな検討が必要となる。PC カーテンウォールの開口部でガラスを支える部材として

は、アルミニウム合金製フレーム、スチールサッシ、ジッパーガasket等があるが、アルミニウム合金製フレームが最も用いられている。アルミニウム合金製フレームは、軽量で押出成形によって作られるため、形状自由度と精度の高い加工ができることにより、高性能高品質の製品を作ることが可能となる。また、さまざまな仕上げを選ぶことができ、陽極酸化被膜や陽極酸化塗装複合被膜および塗装等が選択できる。BIPV モジュールを設置する場合は、この窓フレーム部分や打ち込みフレーム部分を活用して設置することが想定される。

#### 3.1.3.4 仕上げ材

コンクリートの素地または塗装を、PCカーテンウォールの仕上げとして用いる場合もあるが、外壁としての耐久性や意匠性を高めるため、タイル、石材およびパネル等を仕上げ材として用いることが多い。最近では石材模様の BIPV モジュールなども提案されており、これらを仕上材とする場合は、タイルや石材と同じように貼付けるか打込む形式になる可能性は少ない。その理由はエラー時による交換やメンテナンスが必要なためである。よって、交換可能な BAPV として採用される可能性の方が高い。ここでは、予備知識としてタイルと石材について簡単に説明する。

##### (a) タイル（磁器質タイル、せつ器質タイル、テラコッタ）

タイルには、磁器質タイル、せつ器質タイル、テラコッタなどの種類があり、それぞれ風合いや耐久性にも違いがある。また、取付け方もタイルの種類や大きさによって異なる。比較的小さな磁器質タイルを先付けする工法が普及してきたことと、さまざまな色合いや肌合いをもったタイルが使用できることから、バリエーションに富んだ表情を作ることが可能である。コンクリートに対する接着性を高めるために裏足を設けたタイルをコンクリート打設の際に直接打ち込んで一体化させる工法が一般的で、付着耐久性の高い工法となっている。PC の型枠に直接タイルを並べたうえでコンクリートを打設するため、平滑度等の精度の高い仕上げを作ることが可能である。近年、600 mm×600 mm等の大判タイルを打ち込む工法も増えているが、その場合には落下防止の定着金物で固定するのが一般的である。

##### (b) 石材

外壁に高級感をもたせるために、PC に本石を先付けする工法も 1980 年代から一般的な手法が確立され普及してきている。石材とコンクリートは熱挙動等が異なるため、石材を打ち込む場合には弾性エポキシやシリコン等の樹脂系の処理材を裏面に塗ることによりコンクリートとは縁を切り、定着金物で取付けをするのが一般的である。定着金物には、自重や地震力に耐えられるように設計されたかすがいやシアコネクター等ステンレス製の金物が用いられる。

#### 3.1.3.5 躯体緊結部材

取付け金物の材質は一般構造用圧延鋼材の他、鋳鉄も使用される。また、アルミニウム合金押出型材と組合わせて、高さ調整機能や層間変位に追従できる曲面座金を組込むものもある。

### 3.1.3.6 その他副資材

PC カーテンウォールに取付けられるフレーム（メタルカーテンウォールやサッシ等）とガラスとの間に使用するシーリング材としては、紫外線劣化と耐力に優れたシリコン系が主に使われる。メタルカーテンウォールなど金属部材間の目地には周囲への汚染が少ない変性シリコン系が一般的ではあるが、石目地にはシリコンポリサルファイド系を用いる。これらの材料は、BIPV モジュールと接する際には、充分のコンパチビリティの確認を行う必要がある（前述 3.1.2.6 参照）。

### 3.1.4 押出成形セメント板等の材料

#### 3.1.4.1 その他の材料

その他の建築の外壁として使われる材料としては、押出成形セメント板や ALC パネルが挙げられる。どちらも軽量化されたセメント系の材料であり、以前は低層建築のみに使用されていたが、最近では高い建物でも使うことのできる製品・工法が出てきたことから、中高層建築で使われるケースも増えてきている。

どちらも定型サイズのパネルを、決められたシステムで並べて取り付けることによって建築外皮を構成するシステムのため、多くの目地が入るところが意匠上の特徴である。通常のカーテンウォールより安価な点がメリットであり、意匠上あまり気を使わなくてもよい部位などに使われるケースが多い。地震時には、パネルが挙動するため、隣り合うパネル間に層間変位による変位差が生じる。そのため、BAPV モジュールを設置する場合には、1 枚の外壁パネルより小さいサイズのモジュールとして、複数の外壁パネルを跨がない設計とすることが望ましい。パネルへの孔明け加工は、強度上の問題（ALC 板は原則孔明け禁止）や、隙間の防水処理、さらに状況によっては防耐火処理が必要になるため容易ではない。従って、BAPV を設置する場合には、地震時等のパネルの挙動や様々な制約をきちんと理解したうえで、条件を満たすよう、慎重に計画を行う必要がある。

#### 3.1.4.2 押出成形セメント板の材料

押出成形セメント板（Extruded Cement Panel 略称：ECP）は、主として中高層の鉄骨建築物における外壁および間仕切壁に用いる材料で、セメント・けい酸質原料および繊維質原料を主原料として、中空を有する板状に押出成形しオートクレーブ養生したパネルである。

セメント系の材料を押出成形して製作するため、細かな断面形状が製作可能であり、中空のパネルとすることで軽量化が図れること、平滑性が高く、エッジがシャープであること等の特長を有する。耐火性能の高い不燃材料であり、遮音性能も高い。厚さは 50～100 mm、幅は 450～1200 mm が標準サイズであり、長さは 4000～5000 mm まで製作が可能である。

また、図 3-1-21 には、押出成形セメント板に薄膜系 PV モジュールを一体化した BIPV モジュールを示す。押出成形セメント板の押出性を活用したダキ部分を設けて PV モジュールを組み込み一体化している。図 3-1-22 に示す通り、既に複数の施工実績がある。

表 3-1-2 押出成形セメント板（ECP）製品規格<sup>3-1-13)</sup>

|           |        | フラットパネル                                                                           | デザインパネル                                                                            | タイルベースパネル                                                                           |
|-----------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|           |        |  |  |  |
|           |        | 表面をフラットにしたパネル                                                                     | 表面にリップ及びエンボスを施したパネル                                                                | 表面にタイル張付け用あり（蟻）溝形状を施したパネル                                                           |
| 寸法        | 厚さ（mm） | 50,60,75,100                                                                      | 60                                                                                 | 60                                                                                  |
|           | 幅（mm）  | 450,500,600,900,1000,1200                                                         | 600,900                                                                            | 600,605                                                                             |
|           | 長さ（mm） | 4000 以下 ,5000 以下                                                                  | 5000 以下                                                                            | 4000 以下                                                                             |
| 寸法許容差（mm） |        | （厚さ）+1.5,-1.5mm（幅）+0,-2mm（長さ）+0,-2mm                                              |                                                                                    |                                                                                     |

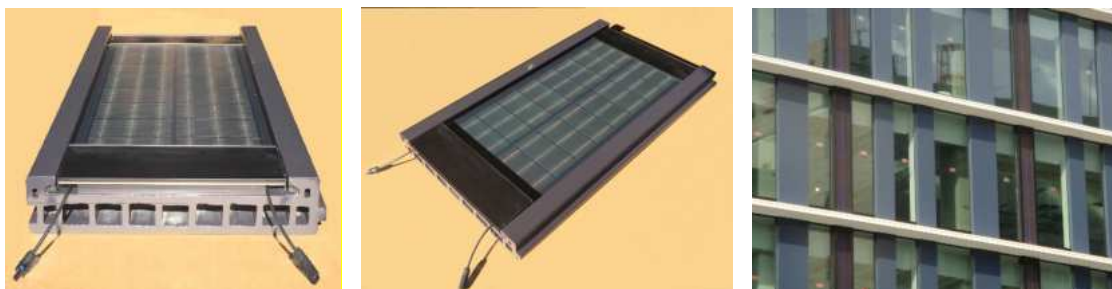


図 3-1-21 押出成形セメント板による BIPV モジュール<sup>3-1-7)</sup>



図 3-1-22 押出成形セメント板による BIPV モジュールの施工実績例<sup>3-1-7)</sup>

### 3.1.4.3 押出成形セメント板の支持部材等

建築外皮に押出成形セメント板を使用する場合には、Z クリップと呼ばれる支持金物を用いて取付施工を行う。ALC パネルと同様に Z クリップやブラケットから縦胴縁や横胴縁等を介して構造躯体へ荷重伝達される。その際に使用される材料は主に鋼材（SS400）である。Z クリップを用いた施工法は、簡便な施工と層間変位追従性に優れており、押出成形セメント板の設置方向により、縦張りや横張りの構法がある。デザイン性や現場環境によって適切な構法を選択する。

幅の狭い定型パネルである押出成形セメント板を支持するためには、押出成形セメント板を取り付けるための胴縁等の下地部材を一定の間隔で設置する必要がある。押出成形セメント板

に BAPV モジュールを設置する場合には、BAPV モジュールの荷重を押出成形セメント板に負担させるのではなく、パネルの隙間を貫通するような取付金物を用いて、直接、下地材に荷重を負担させるなどして、できるだけパネルに加工を行わないような計画とすることが望ましい。また、地震時には、パネル間に生じる挙動差を吸収できるような機構を有する支持部材にしておき、配線ケーブルにも十分留意する必要がある。

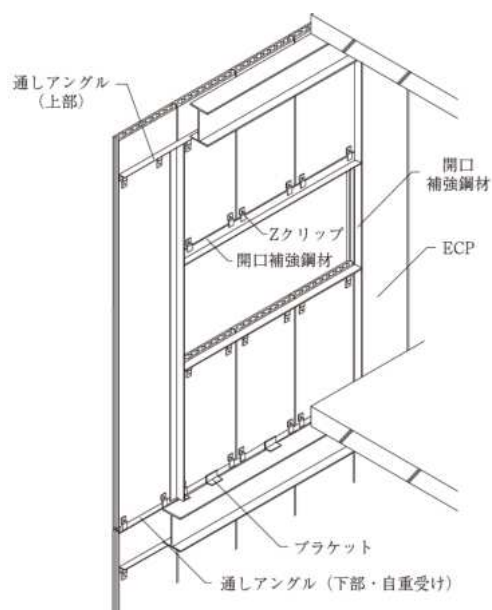


図 3-1-22 縦張り構法の例 3-1-13)

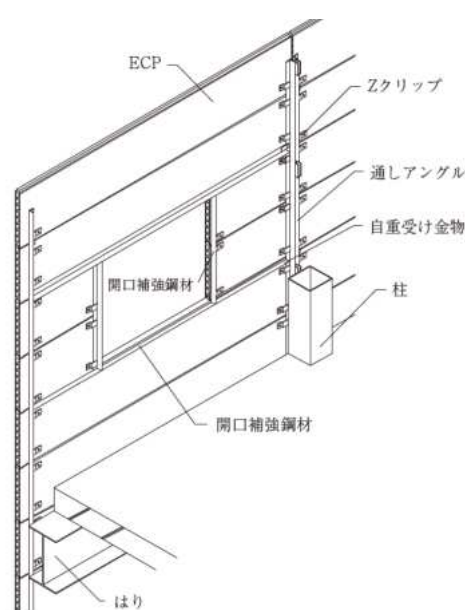


図 3-1-23 横張り構法の例 3-1-13)

#### 引用文献・参考文献等

- 3-1-1) LIXIL カーテンウォール E-SHAPE カタログ, ユニットカーテンウォール RX-U75 カタログ  
[https://www.lixil.co.jp/lineup/building\\_apartment\\_store/e-shape/](https://www.lixil.co.jp/lineup/building_apartment_store/e-shape/)
- 3-1-2) 株式会社エスシー・プレコン HP
- 3-1-3) ノザワ アスロック
- 3-1-4) 石井久史, ガラスファサードの設計法について・構造・材料の側面から・, 日本建築総合試験所技術報告, GBRC Vol37 No.1, 2012 年 1 月, [https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC147\\_736.pdf](https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC147_736.pdf)
- 3-1-5) AGC カタログ
- 3-1-6) ガラスファサード設計・施工ガイドブック, 日本鋼構造協会, 2014 年 5 月
- 3-1-7) BIPV って何?・太陽エネルギーを纏う建築・, 太陽エネルギーデザイン研究会, テツアド・出版, 2015 年 7 月
- 3-1-8) AGC, サンジュール SUDARE, <https://www.asahiglassplaza.net/products/sunjoule/special2/>
- 3-1-9) 三菱ケミカルグループ, 建材一体型太陽光発電アルポリックジオア, 2011 年 2 月  
<https://www.m-chemical.co.jp/news/mpi/201102280240.html>
- 3-1-10) 撮影: 石井久史
- 3-1-11) AGC 硝子建材㈱, サンジュール HP, <https://www.agc-gk.com/bldg/products/sunjoule/>
- 3-1-12) 石井久史, 小野正, 檜垣恭一, 松尾隆士, 岩崎功, 森秀之, 野口修, 渡部紀夫, 淡谷武治, 田中敏也, ガラスファサードに適用される合わせガラス中間膜フィルムとシーリング材の適合性実験  
 ― その 1 実験方法, その 2 実験結果 ― 日本建築学会大会学術講演会梗概集 (関東), 2011 年 8 月
- 3-1-13) ECP 施工標準仕様書, 押出成形セメント板協会, <http://www.ecp-kyoukai.jp/>

## 3.2 BIPV、BAPV モジュールに使用する材料（特性、強度、品質など）

### 3.2.1 PV セルテクノロジー

#### 3.2.1.1 PV セルテクノロジーの種類

PV に用いられる太陽電池にはさまざまな種類があるが、現時点では結晶シリコン太陽電池を用いた PV モジュール（パネル）が世界の市場（約 130 GW/年（2020 年））で 95%以上を占める。その主な理由は、PV 用結晶シリコンの低コスト化や、長期信頼性の実績、比較的高い変換効率などであり、当面この情勢が続くものと考えられる。

一方、結晶シリコン以外では、シースルー型や軽量フレキシブル型、超高効率型などの特長を活かした多様な市場展開を狙った新型 PV モジュールの開発・普及も期待されている。図 3-2-1 に太陽電池の種類を、表 3-2-1 にこれまでに報告されている PV モジュールの最高変換効率（2023 年 6 月現在、第三者評価の結果を纏めた文献<sup>3-2-1)</sup>）を示す。PV モジュールは太陽電池の最小単位である PV セルを集積化したものであり、一般的にモジュール効率はセル効率より低い。PV セルと PV モジュールの効率の差は太陽電池の種類によるが、最も普及している結晶シリコン太陽電池では比較的小さい。

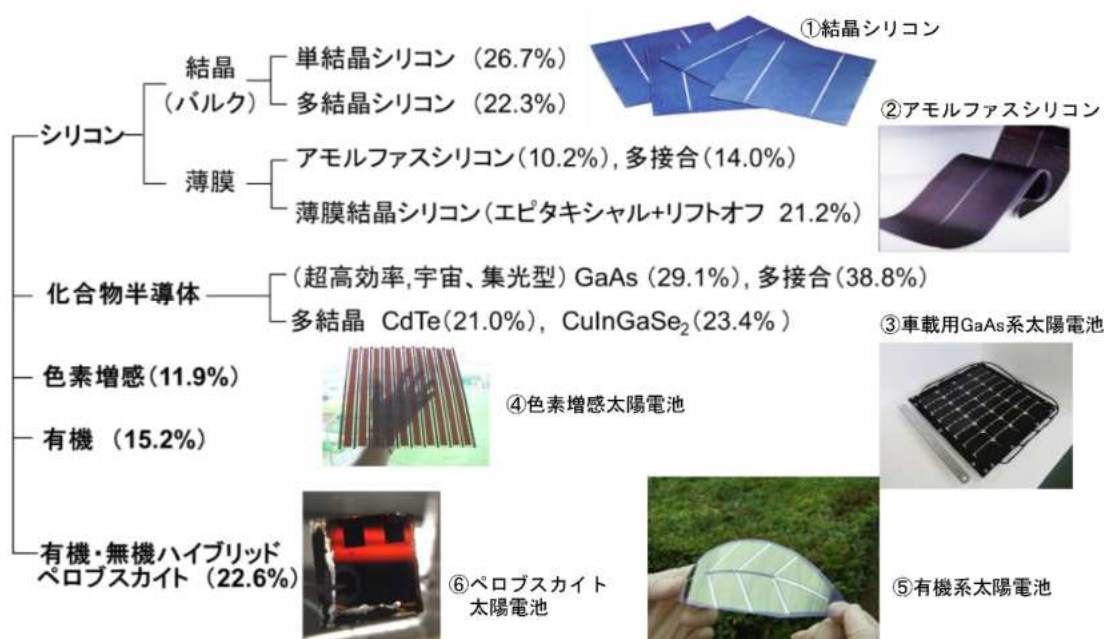


図 3-2-1 太陽電池の種類と研究開発でこれまでに報告された最高変換効率（面積 1 cm<sup>2</sup>以上）

写真：①結晶シリコン太陽電池、②アモルファスシリコン太陽電池<sup>3-2-2)</sup>、③GaAs 系太陽電池<sup>3-2-3)</sup>、  
④色素増感太陽電池<sup>3-2-4)</sup>、⑤有機系太陽電池<sup>3-2-5)</sup>、⑥ペロブスカイト太陽電池

表 3-2-1 これまでに報告された各種 PV モジュールの最高変換効率(面積 800 cm<sup>2</sup>以上、2023 年 6 月現在)

| 種類                   | 単結晶 Si | 多結晶 Si | 薄膜 Si  | CuInGa Se <sub>2</sub> | CdTe   | III-V (GaAs) | III-V (3 接合) | 有機    | PSC <sup>※1</sup> |
|----------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------|--------------|--------------|-------|-------------------|
| 変換効率(%)              | 24.7   | 20.4   | 12.3   | 19.2                   | 19.5   | 25.1         | 32.65        | 13.1  | 18.6              |
| 面積(cm <sup>2</sup> ) | 17,806 | 14,818 | 14,322 | 841                    | 23,582 | 866.45       | 965          | 1,475 | 809.9             |

※1：PSC はペロブスカイト

シリコンは結晶系と薄膜系に分類され、電力用途では結晶シリコンのシェアが圧倒的に高い。結晶シリコンも単結晶と多結晶に細分されるが、近年の市場では、より高い変換効率を得られる単結晶シリコンが用いられることが多く、本項では単結晶シリコン太陽電池の技術についてのみ解説する。一方、アモルファスシリコンを代表とする薄膜シリコンは時計やセンサーなどの電源に用いられることが多いが、BIPV 向けとしては、例えば薄膜シリコンに開口部を設けた半透明 PV モジュールが実用化されている。また、薄膜シリコンのフレキシブルな特徴を活用し、既存建築の窓や開口部に後付けできる PV ブラインドや PV ロールスクリーンも研究開発が進められ、実証段階にある。GaAs 等の III-V 族系化合物太陽電池はコストが高いが、優れた変換効率と放射線耐性を活かして宇宙用太陽電池や太陽光を追尾する集光型システムなどの限定用途に用いられてきた。最近では III-V 族薄膜結晶の低コスト製造技術の研究開発が進められ<sup>3-2-6)</sup>、飛行体や自家用車に応用する試みがなされている。薄膜系化合物太陽電池には CdTe や CuInGaSe<sub>2</sub> (CIGS) などがあり、それぞれ発電事業や屋根置きなどで用いられている。色素増感太陽電池 (DSSC : Dye-Sensitized Solar Cell) や有機系太陽電池 (OPV : Organic Photovoltaic) は、現時点では室内光を利用したセンサーやウェアラブルデバイスの電源として注目されており、一部は実用化されている。また、色素増感系は外付け縦型ルーバーとして適用された事例があり、既に 2013 年 12 月の設置から 10 年が経過した (2022 年 12 月現在)。有機薄膜系は実証段階のものとして建築外皮に実施されていた。最近注目されているペロブスカイト系は無機材料と有機材料をハイブリッドした新型太陽電池で、シリコンの代替や軽量フレキシブル太陽電池<sup>3-2-7)</sup>への応用、さらにシリコンなどの PV と組み合わせた高効率タンデム型 PV<sup>3-2-8)</sup>の開発・実用化が期待されている。2021 年、ポーランドのサウレテクノロジー (Saule Technologies) が世界で初めてペロブスカイト PV モジュールの商用生産を開始した。また、国内では、複数の企業が事業化に向けて NEDO の大型プロジェクトを推進している。図 3-2-2 から図 3-2-7 に各種 PV 技術を用いた代表的な BIPV 事例を示す。また表 3-2-2 には、PV セル種類別による特長と課題を示す。



図 3-2-2 薄膜シリコン系の事例  
カネカ<sup>3-2-9)</sup>



図 3-2-3 アモルファスシリコン (a-Si) 系の  
実証事例 LIXIL<sup>3-2-10)</sup>



図 3-2-4 CIGS の設置事例 東工大<sup>3-2-11)</sup>



図 3-2-5 色素増感太陽電池 (DSSC) の  
事例 EPFL<sup>3-2-12)</sup>



図 3-2-6 有機系太陽電池 (OPV) の  
実証事例 大成建設<sup>3-2-13)</sup>



図 3-2-7 ペロブスカイト事例  
SKANSKA<sup>3-2-14)</sup>

表 3-2-2 各種 PV セル・モジュールの特長と課題

| PV セルの種類                            | 特長                                                                                                | 課題                                                                             |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 結晶シリコン                              | 高い信頼性と実績、高効率 (>20%)、低コスト                                                                          | 軽量・フレキシブル化に不向き<br>製造時の CO <sub>2</sub> 排出が比較的多い                                |
| 薄膜シリコン<br>(アモルファスシリコン、<br>ナノ結晶シリコン) | 孔明け加工が可能(半透明太陽電池)<br>軽量・フレキシブル化が可能<br>高温時における出力低下が小さい                                             | 変換効率が低い (~10%)                                                                 |
| CIGS                                | 結晶シリコンに匹敵する性能<br>深黒色                                                                              | セルからモジュールにする際のロスが大きい<br>希少金属 (In) の使用                                          |
| CdTe                                | 低コスト                                                                                              | Cd の使用のためリサイクルが必須                                                              |
| III-V                               | 多接合技術による超高効率 (>30%)<br>宇宙用や集光太陽電池<br>車載用への応用に期待                                                   | 基板や原料が高価格                                                                      |
| 色素増感・有機系                            | 低コスト化が可能<br>エネルギーハーベスティング用として期待                                                                   | 変換効率が低い<br>耐久性耐候性に関する課題                                                        |
| ペロブスカイト                             | 小面積 (<1cm <sup>2</sup> ) では結晶シリコンに匹敵する性能<br>軽量・フレキシブル化が可能<br>塗布プロセスで製造可能<br>シリコンや CIGS とのタンデム化に期待 | 耐久性耐候性に関する課題<br>セルからモジュールにする際のロスが大きい<br>鉛の使用 (鉛フリーも開発されているが、現時点では性能や耐久性に課題が多い) |

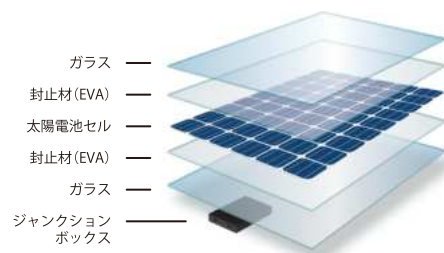
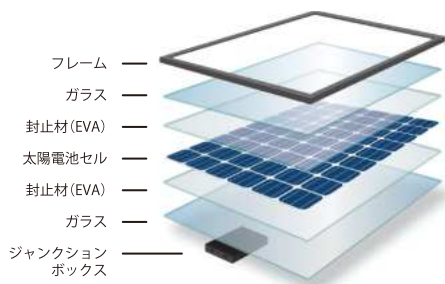
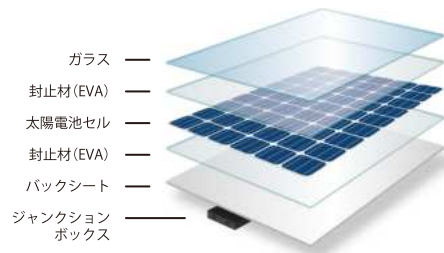
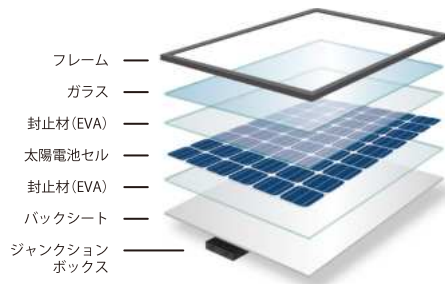
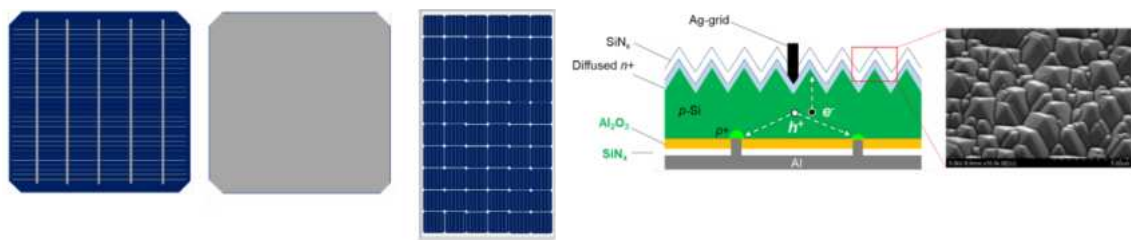
上記のように太陽電池の種類は多岐にわたるが、以下では BIPV への適用実績の多い PV セル・モジュールについて解説する。

### 3.2.1.2 結晶シリコン太陽電池

図 3-2-8 は一般的な結晶シリコン PV モジュールの構造であり、結晶シリコン PV セルを 60-70 枚 (100 枚以上の場合もある) 並べた構造となっている。単結晶シリコンウェーハは円柱状のシリコンインゴットから切り出すため、図のように四角が斜めにカットされていることが多いが、セルの充填率を上げるために真四角 (フルスクエア) にカットされた製品も出ている。ウェーハのサイズは 2019 年頃までは M2 と呼ばれる 156.75 mm 角の結晶シリコンウェーハを使用することが主流であったが、図 3-2-9 に示すように 2020 年以降 158.75 mm (G1)、161.7 mm (M4)、166 mm (M6)、181 mm (M10)、210 mm (M12/G12)、217 mm (M12+) と急ピッチでセルサイズが大型化してきた (M、G はそれぞれセミスクウェア、フルスクウェアを意味する)。M12 は 300 mm 口径のシリコンインゴットからとれる最大のウェーハサイズで、M2 に比べて面積は約 8 割増え、その分出力を上げることができる。ウェーハの大型化により、生産プロセスを大きく変えることなく出力を増やすことができ、セルの単価 (円/W) を安くすることが可能になる。近年は M10 または M12 の採用が主流になりつつあるが、モジュールサイズも同時に大きくなるため、モジュールのアッセンブリーや重量、輸送、設置・施工の兼ね合いでどのサイズが最適となるかは今後の動向を注視する必要がある。BIPV ではモジュールのサイズや形状をカスタマイズしたいというニーズがあるが、モジュールの設計が流通するウェーハサイズ

に左右されやすいことに留意する必要がある。

結晶シリコン太陽電池には、さまざまなタイプがあるが、一般的には片側受光タイプが多く、裏面は金属膜で覆われている。素子構造は厚さ約 0.1-0.2 mm の p 型シリコン基板に n 型シリコン拡散層を受光面側に形成した pn 接合構造を基本とする。p 型シリコン基板で光生成する電子・正孔をそれぞれ負極・正極に分離することで発電する。受光面は数ミクロンオーダーのピラミッド型凹凸構造（テクスチャ）を設け、これに透明な誘電体膜（主に窒化シリコン、 $\text{SiN}_x$ ）を製膜することで光の反射ロスを低減している。また、受光面の金属電極（銀）は光を遮るロスとなるため、その被覆率は数%程度としている。電極は 100 ミクロン以下の幅のフィンガー線と、フィンガーで集められた電流を集電する 1 mm 幅のバスバーから構成されている。定格時の単位セルあたりの出力は、電流が $\sim 7\text{ A}$ で電圧は $\sim 0.6\text{ V}$ である。受光面のバスバー電極と隣り合うセルの裏面電極を数珠状に直列接続し、モジュール化する。60 セルの直列接続の場合、モジュールの出力電流はセルと同じ約 7 A で電圧は約 40 V のため、モジュール出力は 300 W 前後となり、モジュールの変換効率は 18-20% のものが多い。PV セルは 2 枚の樹脂（封止材）の間に挟み、さらにそれをガラス-ガラスやガラス-バックシートで挟み加熱することで樹脂を軟化させて封止する。エッジ部はアルミフレームや樹脂などで封止される。



### 結晶シリコン太陽電池のストリング

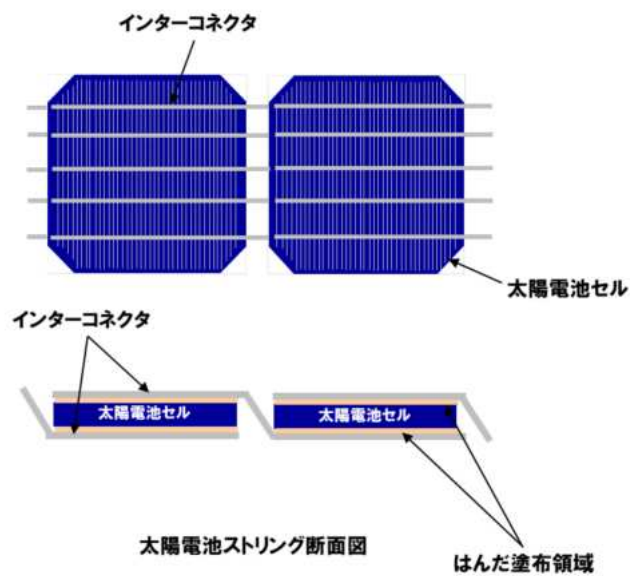


図 3-2-8 結晶シリコン PV セル・モジュールの構造

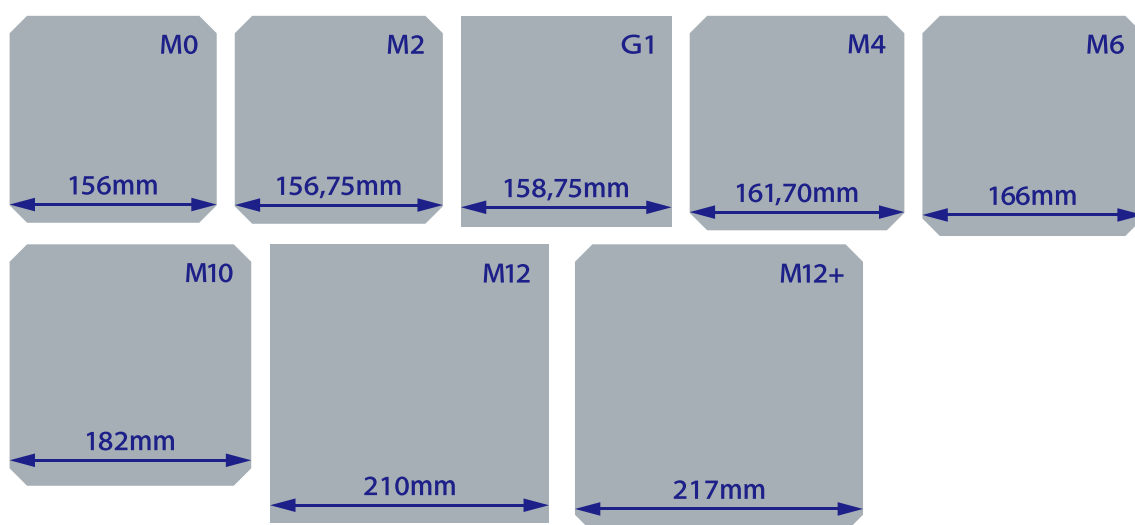


図 3-2-9 結晶シリコンウェーハサイズの変遷

表 3-2-3 出力・機能・意匠性向上を目的とした結晶シリコン PV セル・モジュール

| 種類             | 外観 | 特徴                                                                                                                         | 利点・目的                                                                                                                             |
|----------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 両面受光型          |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 表面と裏面が対称的な構造で、裏面からも採光する</li> </ul>                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 裏面からの拡散光(アルベド)を利用し発電量アップ</li> <li>■ 太陽電池パネルの垂直設置</li> <li>■ 窓ガラス、キャノピー、バルコニー等</li> </ul> |
| バックコンタクト型      |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 受光面にフィンガーやバスバー電極がなく、入射光の反射ロスを最小化することができる</li> <li>■ 製造・モジュール化に高度な技術が必要</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 片面受光で高い効率を実現</li> <li>■ 電極を隠し意匠性を向上</li> <li>■ BIPV 壁面</li> </ul>                        |
| ハーフカット 1/3 カット |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 結晶シリコン太陽電池を半分にカットし、モジュール化</li> </ul>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電流を減らし、ジュール熱損失を低減</li> <li>■ モジュールの影の影響を低減</li> </ul>                                    |
| Shingling      |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 結晶シリコン太陽電池を短冊状にカットし、瓦積状に重ね合わせてセル同士を電気接続する</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ バスバーレスで意匠性の向上(太陽電池に見えない)</li> <li>■ モジュールのセル充填率を向上することが可能</li> <li>■ BIPV 壁面</li> </ul>  |
| 半透明型           |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 太陽電池を細線化したり、穴を形成して開口部を設ける</li> <li>■ カット部のダメージ・欠陥の影響で出力が低下する傾向</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 窓ガラスやバルコニーなどに利用</li> </ul>                                                               |

以上は一般的な結晶シリコン PV セル・モジュールの構造であるが、表 3-2-3 に出力・機能・意匠性を向上させるために開発・製造される PV セル・モジュールとそれぞれの特徴について示す。特に建物の壁面に設置する BIPV では、意匠性向上に向けて金属電極を隠す手法が用いられることがある。具体的には、正極・負極の金属電極をすべて非受光面に配置した裏面電極(バックコンタクト)型や、結晶シリコン太陽電池を短冊状に切り、それぞれを瓦状に重ね合わせたシングリング構造などが開発されている。また、窓ガラスに応用する場合は、背面からも採光できる両面受光型や、結晶シリコンを細線状にカットし開口部を設けた半透明型の窓ガラスが実用

化されている。

単結晶シリコンウェーハの厚さは、コスト低減のため薄型化の傾向が続いている。現在の主流は 0.18 mm (180 ミクロン) であるが、ウェーハ加工やセルプロセス技術が進展し、現在は 0.12 mm (120 ミクロン) まで薄型化が可能である。ウェーハを 0.1 mm (100 ミクロン) 以下まで薄型化するとウェーハの割れが発生する確率が増え、歩留まりが下がる課題があるが、図 3-2-10 に示すようにウェーハを湾曲させることができ、曲面にフィットする PV モジュールを作製することができる。現在は、車の屋根への応用で曲面結晶シリコン PV モジュールが実用化されているが、曲面を有する外壁にも適用することができる。しかし、ウェーハの薄型化に伴って、ウェーハ表裏面におけるキャリア再結合ロスや太陽光の吸収ロスが発生し、出力が低下する場合がある。また、前述の通り、昨今はウェーハサイズが大きくなる傾向にあるため、高い歩留まり、かつ高スループットでウェーハを薄型化することについては、課題が残っている。

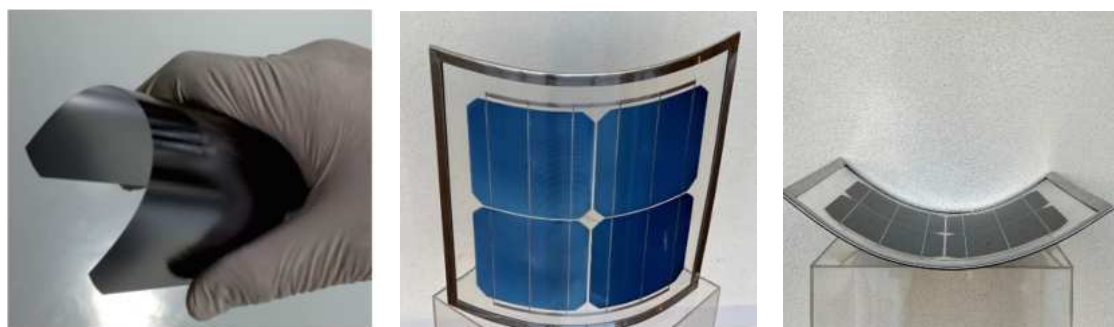


図 3-2-10 (左) 湾曲しても割れない薄型結晶シリコンウェーハと、  
(中央、右) 曲面を有する結晶シリコン PV モジュールの作製例<sup>3-2-15)</sup>

### 3.2.1.3 薄膜シリコン太陽電池

薄膜シリコン太陽電池の変換効率は、結晶シリコン太陽電池の半分程度であるが、開口部を設けることで図 3-2-11 のように半透明 PV モジュールを比較的容易に製造できる。この特長を活かし、建物のバルコニー (図 3-2-11)、トップライト (図 3-2-11) などに利用されている。また、ガラスの代わりに樹脂基板を用いることで、図 3-2-1②に示すようなフレキシブルな PV モジュールを製造することができ、曲率半径の小さいものにフィットさせることが可能になる。ガラスを用いないため、モジュールの重量が大幅に低減され、耐荷重の小さい屋根にも設置できるメリットがある。一方、樹脂フィルムは、ガラスに比べて外気の遮断性や機械的強度が小さいため、製品の長期信頼性は種類やメーカーによって異なることに留意する必要がある。また、同じシリコンでも、結晶シリコン太陽電池のセルの厚さが 0.1-0.2 mm であるのに対し、薄膜シリコンは、ガラスなどの支持基板に厚さ 0.0003-0.002 mm (0.3-2 ミクロン) の薄膜状のシリコンを製膜した太陽電池として分類されている。薄膜シリコン太陽電池は、1-2m 角の基板に透明電極やアモルファスシリコン p-i-n 層、裏面電極層を積層した素子構造を基本としているが、このアモルファスシリコン p-i-n 層の上にナノ結晶シリコン p-i-n 層を積層させ、タンデム構造化を図るこ

とで高出力化を実現した薄膜シリコン太陽電池もある。その製造方法は、各層にレーザースクライブでパターンニングし、幅 1 cm 程度の細線状のセルを隣り合うセルと直列接続し集積化することで PV モジュールが製造される（図 3-2-11）。



図 3-2-11 薄膜シリコン PV モジュールの実例<sup>3-2-16), 3-2-17)</sup> と、セル・モジュール構造

#### 3.2.1.4 CIGS 太陽電池

CIGS（または CIS）太陽電池は銅（Cu）、インジウム（In）、ガリウム（Ga）およびセレン（Se）の化合物薄膜を光吸収層とする非シリコン系 PV 太陽電池として実用化されている。モジュール構造は、薄膜シリコン PV と同様に大型ガラス基板に電極や CIGS 層および電荷輸送層を製膜した後、レーザーやメカニカルスクライブによりセル化・集積化される。CIGS 太陽電池では、一般的に膜側から受光するサブストレート型構造が用いられ、モジュールの変換効率は 15% 程度である。外観上の特徴としては、深い黒色で結晶シリコン太陽電池のようなバスバー電極が無いため、海外ではビル壁面の BIPV に適用された例が報告されている（図 3-2-12）。



図 3-2-12 CIGS を建築外皮に適用した事例<sup>3-2-17)</sup> 左:スウェーデン、右:オランダ

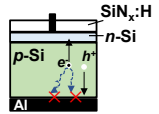
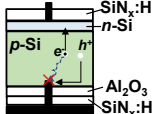
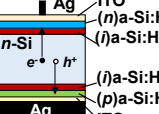
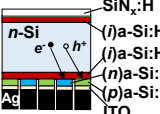
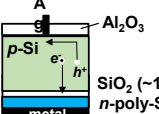
### 3.2.2 PV モジュールの主要部材

#### 3.2.2.1 結晶シリコン太陽電池の種類と素子構造

結晶シリコン太陽電池には、シリコンウェーハの極性（ $p \cdot n$  型）や接合の作り方（ホモ・ヘテロ接合）、接合・電極の配置（表・裏）などの組み合わせにより多様な素子構造があり、代表的なものを表 3-2-4 にまとめた。表 3-2-4 の Al-BSF（Back Surface Field）型は最もクラシカルな素子構造で、 $p$  型シリコンの裏面を全面 Al で覆うことで正孔に対するオーミックコンタクトを得ている。しかし、一般的に金属とシリコンが接触する界面は電子・正孔の再結合損失が大きく、高い変換効率が得られない。そこで、金属とシリコンの接触を減らす目的で酸化アルミニウム（ $Al_2O_3$ ）などの欠陥不動態化層（パッシベーション層）をシリコンと電極の間に挿入した構造が取り入れられ、この構造は PERC（Passivated Emitter Rear Cell）型と呼ばれ世界で最も多く生産されている<sup>3-2-18</sup>）。PERC 型は Al-BSF 型に比べて変換効率が高く、実用セルサイズで最高効率 24.0%が達成されている<sup>3-2-19</sup>）。しかし、PERC 型の構造においても電荷を取り出す金属電極が部分的にシリコンに接触している箇所があり、ここでの再結合損失が課題として残る。そこで裏面のパッシベーション層にキャリアを取り出す機能も具備させると、金属とシリコンの接触を完全に排除することができ、理想的な太陽電池ができる。これを実現する一つの材料は水素化アモルファスシリコン（ $a\text{-Si:H}$ ）で構成されたコンタクトで、これを用いた太陽電池はヘテロ接合（Silicon Heterojunction（SHJ））型と呼ばれる。ヘテロ接合太陽電池はパナソニック（旧三洋電機）が開発・実用化した技術であり、結晶シリコンの表裏に厚さ数 nm の非ドープ  $a\text{-Si:H}$  層（ $i$  型）と  $n$  型または  $p$  型にドープした  $a\text{-Si:H}$  を積層した構造をもつ<sup>3-2-19</sup>）。また、電極には一般的にインジウムスズの酸化物（ITO）などの透明電極と銀電極を用いる。表面と裏面に電極をもつ一般的な構造では、素子構造の表裏対称性から両面受光型 PV モジュール<sup>3-2-20</sup>）が製造できることや、薄型ウェーハ（ $<100\ \mu\text{m}$ ）<sup>3-2-19, 3-2-21</sup>）を利用できる利点がある。2022 年 11 月には中国の Longi 社が、この構造で 26.8%の変換効率を公表し、シリコン太陽電池の最高変換効率の記録を更新した<sup>3-2-22</sup>）。一方、 $a\text{-Si:H}$  の電子コンタクト（負極）と正孔コンタクト（正極）の双方を太陽電池の裏面側に配置した裏面電極（バックコンタクト）型も開発され、変換効率 26.7%が達成されている<sup>3-2-23</sup>）。これらのヘテロ接合型太陽電池は、 $a\text{-Si:H}$  の高いパッシベーション性能に起因して結晶シリコン太陽電池で最も高い開放電圧（ $V_{oc}$ ） $\sim 750\ \text{mV}$  が実証されている<sup>3-2-21</sup>）。一般的に太陽電池の電圧と出力は、セル温度とともに低下することが知られているが、開放電圧の高い太陽電池は高温時（ $>25^\circ\text{C}$ ）における出力低下が小さい特長を有するため、ヘテロ接合太陽電池は、他のタイプのシリコン太陽電池と定格出力が同じでも屋外の実発電量が高い傾向がある。

もう一つの材料は、極薄  $SiO_2$  と poly-Si の積層膜からなるコンタクトで、TOPCon（Tunnel Oxide Passivating（Passivated）Contact）型と呼ばれる<sup>3-2-24, 3-2-25</sup>）。結晶シリコンと接する極薄  $SiO_2$  層（1-2 nm）がパッシベーション層の役割を担い、 $n$  型または  $p$  型にドープされた poly-Si 層がそれぞれ電子、正孔のキャリア選択層としてはたらく。TOPCon 技術は汎用の PERC 型セル製造ラインへの適用が可能であるため、現在、PERC 型からより変換効率の高い TOPCon 型への移行が進んでいる。

表 3-2-4 各種結晶シリコン PV セル

| 種類     | Al-BSF                                                                                                          | PERC                                                                                   | ヘテロ接合<br>(表面裏面電極型)                                                                                                                                                          | ヘテロ接合<br>(裏面電極型)                                                                                            | TOPCon                                                                                                                                                      |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 特徴     | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 旧式</li> <li>■ 最も単純な製造プロセス</li> <li>■ 裏面が金属で覆われており、再結合ロスが大きい</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現在の主流</li> <li>■ 旧式に比べて裏面の再結合ロスを抑制</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 今後のシェア拡大が予想</li> <li>■ 両面受光タイプあり</li> <li>■ 高出力 (特に高温時)</li> <li>■ 低温焼成 Ag ペーストを使用 (高コスト)</li> <li>■ 透明電極に希少金属 (In) を使用</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 表面電極による遮光ロスなし</li> <li>■ 高い短絡電流密度</li> <li>■ 裏面電極の配線が複雑</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ PERC セルの裏面電極とシリコンの接触を完全排除し、高いパッシベーション性能を実現</li> <li>■ PERC セルの製造ラインのアップグレードで生産可能</li> <li>■ 今後のシェア拡大が予想</li> </ul> |
| 効率     | <20%                                                                                                            | 24.0%                                                                                  | 26.8%                                                                                                                                                                       | 26.7%                                                                                                       | 26.0%                                                                                                                                                       |
| 基本素子構造 |                                |       |                                                                                            |                           |                                                                          |

### 3.2.2.2 薄膜シリコン太陽電池の素子構造

薄膜シリコン太陽電池の基本構造は、基板側から受光するスーパーストレート型と、反対に膜表面側から受光するサブストレート型の2つのタイプがある。前者の構造は、レーザーなどを用いた大面積太陽電池の集積化・モジュール化が容易であるのに対して、後者は基板の透明性を問わないため、軽量でフレキシブルなステンレスやプラスチック基板を使用できる利点がある。いずれのタイプも、厚さ 0.3 ミクロン程度の i 型 a-Si:H (光吸収層) を数 nm 厚の p 型 a-Si:H 層および n 型 a-Si:H 層で挟んだ p-i-n 接合を基本構造とし、i 層にできる内蔵電界を利用することで光照射により励起される電荷 (電子と正孔) を効率良く電極から取出すことができる。また、図 3-2-11 に示したように、表面電極には光の透過性に優れた透明導電性酸化物 (TCO) が用いられ、代表的な材料としてフッ素をドーピングした酸化錫 (SnO<sub>2</sub>) などがある。裏面電極にはアルミニウムをドーピングした酸化亜鉛と金属 (Ag) の 2 層構造が一般的に用いられ、これにより、シリコンと裏面電極の界面で高い光の反射率が得られる。薄膜シリコン太陽電池で高い光電流を得るためには、受光面から入射する光や裏面電極で反射する光を i 層の中に閉じ込める技術 (light trapping) が極めて重要である。光閉じ込めには、通常、サブミクロンサイズの表面凹凸 (テクスチャと呼ぶ) を形成した TCO コート基板を用い、TCO/Si 界面における光の散乱効果により、光路長を i 型 a-Si:H 層膜厚より実効的に増大させることができる。

### 3.2.2.3 封止材

封止材は、透明フロント基材 (ガラス等) と PV セルおよび裏面の保護シート (バックシート) 間に使用され、光、熱、湿気、ほこりおよび衝撃などから保護する充填剤である。主に EVA (エチレン・酢酸ビニル共重合体) または POE (ポリオレフィンエラストマー)、PVB (ポリビニルブチラル) フィルム、シリコーン樹脂等の種類がある。

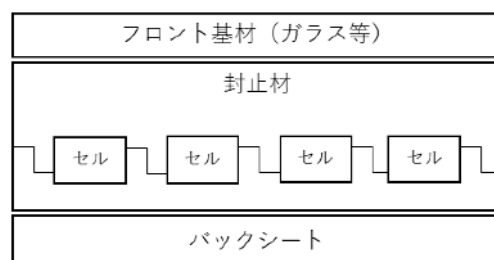


図 3-2-13 太陽電池の構造と封止材

表 3-2-5 各種封止材の特徴

| 材料     | 光線透過性 | 透湿性 | 耐候性 | 耐衝撃性 | 絶縁性 | 耐燃焼性 | 耐分解性 |
|--------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|
| EVA    | ○     | △   | ○   | ○    | ○   | △    | △    |
| POE    | ○     | ○   | ○   | ○    | ○   | △    | ○    |
| PVB    | ○     | △   | ○   | ○    | ○   | △    | △    |
| シリコーン  | ○     | △   | ○   | ○    | ○   | ○    | ○    |
| アイオノマー | ○     | △   | ○   | ○    | ○   | △    | ○    |

※各種資料をベースに著者が評価

#### (a) EVA（エチレン・酢酸ビニル共重合体）による封止

EVA とは、エチレン・酢酸ビニル共重合体という樹脂のことであり、EVA 封止材はその樹脂に各種の添加剤を配合・混練してシート状にしたものを指す。酢酸ビニル含有量の高い EVA は柔らかく、結晶シリコン系の PV モジュール製造のラミネート工程において、セル割れを防ぐ点で非常に優れており、太陽電池封止材に求められる機能である①耐熱性（セルの保護）、②透明性（発電効率確保）、③接着性（雨水等の浸入防止）、④柔軟性（セル割れ防止）および⑤長期安定性（耐候性）を有した最適な材料である。PV モジュールには、ほとんどの場合、EVA が使用されている。また、近年、EVA 製造メーカーからポリオレフィンエラストマー（POE）も、いくつか製品化されており、EVA の耐候性改善・水蒸気バリア性改善も図られている。

#### (b) PVB（ポリビニルブチラル）フィルムによる封止

PVB フィルムは、優れた光学特性とガラスとの接着性（ガラス片の飛散防止）、耐貫通性を有しており、安全合わせガラス用中間膜として、自動車や航空機のフロントガラスおよび建築用ガラス等に多く使用されている。PVB は架橋反応を必要としないものが多い。そのため、再加熱することにより、モジュール作製時のセルの位置修正や、回収されたモジュールの分別やリサイクルが容易になることが知られている。

### (c) シリコーン樹脂による封止

シリコーン樹脂とは、ポリオルガノシロキサンの通称名で、ケイ素と酸素という無機的な結合を主鎖に、メチル基に代表される有機基を側鎖にもつ高分子化合物である。シリコーン樹脂は、この構造に由来する優れた耐熱性、耐寒性、耐久性および難燃性を有しており、その用途も過酷な条件下で使用されるもの（自動車、エレクトロニクス、建築、宇宙開発など）から、日常的な用途（シャンプーや化粧品など）まで幅広く適用されている。

### (d) アイオノマー樹脂による封止

アイオノマー樹脂とは、金属イオンによる凝集力を利用し高分子を凝集体とした合成樹脂である。加熱すると分子間架橋が緩んで流動性を示すことから、熱可塑性樹脂と同じ手法で成型加工が可能となり、太陽電池での使用実績もある。Na イオンが溶出しないことから、同イオンの溶出が原因となる PV システム劣化現象（PID : Potential Induced Degradation）を抑えられることが分かっている。

表 3-2-6 に主要な封止材の製造メーカーを列挙する。近年中国メーカーのシェアが拡大しており、コストを抑えながら品質レベルが向上してきている。

表 3-2-6 封止材の主要メーカー

| 企業名                                        | 国名  | EVA・POE | PVB | シリコーン | アイオノマー |
|--------------------------------------------|-----|---------|-----|-------|--------|
| Hangzhou First Applied Material            | 中国  | ○       |     |       |        |
| Changzhou Sveck Photovoltaic New Materials | 中国  | ○       |     |       |        |
| HIUV New Materials                         | 中国  | ○       |     |       |        |
| Guangzhou Lushan New Materials             | 中国  | ○       |     |       |        |
| 信越化学工業                                     | 日本  |         |     | ○     |        |
| Lucent CleanEnergy                         | インド | ○       |     |       |        |
| Crown Advanced Material                    | 中国  | ○       | ○   |       |        |
| Vishakha Renewables                        | インド | ○       |     |       |        |
| RenewSys                                   | インド | ○       |     |       |        |
| Cybrid                                     | 中国  | ○       |     |       |        |
| TPI Polene                                 | タイ  | ○       |     |       |        |
| 3M Renewable Energy                        | 米国  | ○       |     |       |        |
| Hanwha                                     | 韓国  | ○       |     |       |        |
| Topray Solar                               | 中国  | ○       | ○   |       |        |
| 三井化学東セロ                                    | 日本  | ○       |     |       |        |
| 三井・ダウ・ポリケミカル                               | 日本  | ○       |     |       | ○      |
| クラレ                                        | 日本  |         | ○   |       |        |

図 3-2-14 には、BIPV モジュールの封止材劣化に起因した不具合事例を示す。これは、2001 年に施工されたフレームレスタイプのガラス点支持構法において、BIPV モジュールのガラスとガラスの間に使用している封止材の剥離（デラミネーション）が、大規模に発生した事例である。この事例では、一般的な太陽電池パネルには用いられないレジンを用いた特殊なケースであるが、このような不具合は発電性能の低下のみならず、合わせガラスとしての強度機能低下にもつながる。また、建物の審美性が大幅に損なわれることになるため、BIPV では特に封止材の長期信頼性が重要である。封止材のデラミネーションが生じる原因は多岐に渡るが、日々の温度サイクルによる部材の膨張・伸縮や部分影による局所的な加熱（ホットスポット）などの影響および BIPV モジュール特有の周辺部材とのコンパチビリティ（前述 3.1.2.6 参照）などが挙げられ、不具合の程度によっては、保証期間内にパネルを交換することも考えられる。BIPV パネルの保証条件は、メーカーや契約内容により異なるが、発電性能の保証なのか、外観も含めての保証なのかをよく確認する必要がある。



図 3-2-14 カーテンウォール型 BIPV で発生した不具合事例（デラミネーション）

#### 3.2.2.4 ガラス

前述の「3.1.2.4 フレームに嵌込む BIPV モジュール」を参照。

#### 3.2.2.5 ジャンクションボックス

BIPV モジュールには、電力を取出すための正負電極が設けられており、その電極部やダイオードなどを集約し保護する目的で設けられている箱をジャンクションボックス（端子箱）という。図 3-2-15 には、通常のジャンクションボックスと BIPV モジュール用ジャンクションボッ

クスの例を示す。汎用的な PV モジュールにおいては、背面取り出しタイプが一般的に使われているため、この PV モジュールが開口部に設置された場合は、ジャンクションボックスや配線ケーブルが視界に入り、美観上の問題となりやすい。一方、BIPV モジュールでは、ジャンクションボックスがガラスエッジ部（ガラス小口付けタイプ）に配置されており、配線ケーブルと共にフレーム内に隠蔽できるため、美観上ノイズレスを実現できる。しかしながら、ガラス小口タイプのジャンクションボックスは、フレームと BIPV モジュールとのエッジクリアランスに影響をおよぼすため、フレームの断面設計時にその分を考慮する必要がある。また、フレーム内にケーブルを通して室内側に引き込む場合は、フレームに孔明け加工が発生するため、水密性能（前述 2.1.4.1 参照）の維持に注意しながら、ケーブル経路を検討する必要がある。



通常のジャンクションボックス 3-1-7)



BIPV 用ジャンクションボックス 3-1-7)

図 3-2-15 ジャンクションボックス

### 3.2.2.6 ケーブル、コネクター

一般的に PV 向けに使われているケーブルは、架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブルを用いる。このケーブルは、耐候性、耐熱性および耐寒性に優れており、定格 600V のものを用いる。コネクターは MC3、MC4 などがあるが、接続を確実に実施できる MC4 が一般的に使われている。ただし、MC4 は径が大きいため小口端子箱で使う場合には、サッシ溝内に入らなくなるケースがあり、この場合には MC3 を用いる場合がある。図 3-2-16 にコネクター、ケーブルの外観を示す。



図 3-2-16 コネクター、ケーブル 3-2-26)

ジャンクションボックスやケーブルおよびコネクタの防水性能や安全性については、JIS 規格における電気機械器具の外郭による保護等級(JIS C 0920)の IP 表に準拠することで、その性能を担保している。汎用的な PV モジュールについては用途や使用環境によっても異なるが、ジャンクションボックスやケーブル、MC3 や MC4 等のコネクタの保護等級は一般的に IP67 (表 3-2-7、表 3-2-8) が使われることが多い。ただし、ジャンクションボックスは IP67 とするにはポッティングが必要となる。ファサードシステム等に適合させることを考慮すると、BIPV においても IP67 を用いることが望ましい。BIPV は住宅用や発電用 PV モジュールとは異なり、施工後にコネクタ等の状態を確認することが難しい場合が多いため、確実な部材選定が重要となる。

IP コード (Ingress Protection Code) は、固形物や水に対する機器の保護性能を表す規格で、通常は「IP」という文字の後に、それぞれ固形物に対する防護等級と水に対する防護等級を示す 2 つの数字が記載される。最初の数字が大きいほど、より細かい物質に対する防護性能が高く、二番目の数字が大きいほど、より厳しい水の状況に対する防護性能が高い。「IP67」は、「完全防塵」かつ「一定の条件下で水没しても使用可能」であることを示している。

表 3-2-7 保護等級（防塵と防水の保護と、試験方法） 3-2-27)

| 等級   | 人体や固形物体に対する保護 |                          |
|------|---------------|--------------------------|
|      | 保護の程度         | テスト方法                    |
| IP0〇 | 保護なし          | テストなし                    |
| IP1〇 | 手の接近からの保護     | 直径 50mm 以上の固形異物が侵入しないこと  |
| IP2〇 | 指の接近からの保護     | 直径 12mm 以上の固形異物が侵入しないこと  |
| IP3〇 | 工具の先端からの保護    | 直径 2.5mm 以上の固形異物が侵入しないこと |
| IP4〇 | ワイヤーなどからの保護   | 直径 1.0mm 以上の固形異物が侵入しないこと |
| IP5〇 | 粉塵からの保護       | 正常動作を阻害するような粉塵の侵入がないこと   |
| IP6〇 | 完全な防塵構造       | 粉塵の侵入が完全に保護されていること       |

| 等級   | 水の侵入に対する保護              |                                      |
|------|-------------------------|--------------------------------------|
|      | 保護の程度                   | テスト方法                                |
| IP〇0 | 水の侵入に対して特に保護されていない      | テストなし                                |
| IP〇1 | 垂直に落下する水滴からの保護          | 200mm の高さより 3～5mm/分の水滴、10 分間         |
| IP〇2 | 垂直より左右 15°の範囲の水滴からの保護   | 200mm の高さより 15°の範囲、3～5mm/分の水滴、10 分間  |
| IP〇3 | 垂直より左右 60°の範囲の降雨などからの保護 | 200mm の高さより 60°の範囲、10l/分の放水、10 分間    |
| IP〇4 | 全方向の飛沫水からの保護            | 300～500mm の高さより全方向に 10l/分の放水、10 分間   |
| IP〇5 | 全方向噴流水からの保護             | 3m の距離から全方向に 12.5l/分・30kPa の噴流水、3 分間 |
| IP〇6 | 波浪のような強力な噴流水からの保護       | 3m の距離から全方向に 100l/分・100kPa の噴流水、3 分間 |
| IP〇7 | 一定の条件で水没しても使用可能         | 水面下 1m、30 分間                         |
| IP〇8 | 水面下での使用が可能              | 使用者と製造者の協議による                        |

表 3-2-8 保護等級の組合せ 3-2-28)

|               |   | 水の侵入に対する保護 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |   | 0          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| 人体や固形物体に対する保護 | 0 | IP00       | --   | --   | --   | --   | --   | --   | --   | --   |
|               | 1 | IP10       | IP11 | IP12 | --   | --   | --   | --   | --   | --   |
|               | 2 | IP20       | IP21 | IP22 | IP23 | --   | --   | --   | --   | --   |
|               | 3 | IP30       | IP31 | IP32 | IP33 | IP34 | --   | --   | --   | --   |
|               | 4 | IP40       | IP41 | IP42 | IP43 | IP44 | --   | --   | --   | --   |
|               | 5 | IP50       | IP51 | IP52 | IP53 | IP54 | IP55 | --   | --   | --   |
|               | 6 | --         | --   | --   | --   | --   | IP65 | IP66 | IP67 | IP68 |

### 3.2.2.7 バックシート

バックシートは、PV モジュールの裏面に配置される構成部材である。両面採光のダブルガラスタイプの場合は、裏面材料がガラスとなる。また、BIPV モジュールでは、建築材料（屋根材など）が裏面材料になることもある。ここでは、裏面材料として、高分子フィルムなどにより構成されたシート材料（いわゆるバックシート）を対象とする。

#### (a) バックシートの機能

バックシートは、発電部（活電部）であるセルと十分な絶縁を確保し、感電に対する安全性を保つという基本的な役割がある。特に BIPV の Category B, D, E では、直接 BIPV モジュールに触れることが出来るため、感電に対する安全性は非常に重要となる。また、一般的に屋外で使用する BIPV および BAPV モジュールでは、バックシートが風雨や日射、温度サイクルなどの外部環境からセルを保護し、製品に耐久性をもたせる役割ももつ。表 3-2-9 には、バックシートに求められる機能を一覧にして示す。

バックシートは、白色の製品が多い。これは、太陽光を吸収しにくく、PV モジュールの温度を上昇させにくいことや、白色バックシートで反射した光を PV モジュールの中で再度、太陽電池に取り込んで性能向上を図るという狙いをもっている。デザイン性（美観）を重視する PV モジュールなどでは、限定的に黒色のバックシートが用いられることもある。最近では、ダブルガラスタイプの PV モジュールの裏面ガラスの代わりに、透明バックシートを適用する動きも出てきている。PV モジュールを軽量化しつつ、両面採光による発電ができる製品が実現化している。

表 3-2-9 バックシートに求められる機能

| 求められる機能   | 必要な特性                  | IEC 規格試験 (IEC61730-2)                                 |
|-----------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| 感電に対する安全性 | 電気の絶縁性                 | MST 04 絶縁層厚さ<br>MST 12 切断性<br>MST 16 絶縁               |
| 耐久性       | 紫外線耐性<br>耐加水分解性<br>耐熱性 | MST 54 UV プレコンディショニング<br>MST 53 高温高湿<br>MST 51 温度サイクル |
| セルの保護     | 水蒸気バリアー性               | MST 53 高温高湿                                           |
| デザイン性     | 着色性 (白色/黒色)            |                                                       |
| 反射光利用     | 着色性 (白色)               |                                                       |
| 両面採光発電    | 透明性                    |                                                       |

## (b) 主要なバックシートの構成材料

バックシートに必要な機能のうち、特に耐久性や水蒸気バリアー性を実現するために、フッ素系フィルム (ETFE、PVF、PVDF フィルムなど) や PET フィルムにフッ素樹脂塗工したフィルムを構成材料として用いることが多い。より高性能な水蒸気バリアー性を達成するためには、 $\text{SiO}_2$  などの無機系薄膜をコートすることも行われる。バックシートの最表面 (PV モジュールの最も裏側の面) には、太陽光および外気に直接曝されるため、このフッ素系フィルム層やフッ素樹脂塗工 PET 層が配置される。バックシートのセル側面には、封止材層が配置されるため、封止材層と良好な接着が確保できる接着層をコーティングしたり、薄い封止材層を接着剤により貼り合わせることで、接着層を配置する。

透光性をもつ透明バックシートには、透明のフッ素系フィルムや PET フィルムにフッ素樹脂コーティングした材料が用いられることが多い。

表 3-2-10 バックシートに使用されるフィルム

| 材料名                              | 特徴                                                          |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| ETFE<br>エチレンテトラフルオロ<br>エチレンコポリマー | 優れた耐久性、電気絶縁性、機械的特性、耐薬品性をもつ。フィルムの溶着が可能。接着性を保持させるためには表面処理が必要。 |
| PVF<br>ポリフッ化ビニル                  | 優れた耐久性、電気絶縁性、接着性能を示す。                                       |
| PVDF<br>ポリビニリデンフルオライド            | 優れた耐久性、電気絶縁性、機械的特性、耐薬品性をもつ。フィルムの溶着が可能。                      |
| PET<br>ポリエチレンテレフタレート             | 安価。優れた電気絶縁性。加水分解による劣化を発生する。接着性を保持させるためには、表面処理 (接着層) などが必要。  |

## (c) バックシートの製造メーカー

Cybird Technologies (中国)、Jolywood (中国)、Hangzhou First Applied Material (中国)、COVEME (イタリア)、KREMPEL (ドイツ) などが、世界的に大きなシェアを保有している。国内では、エムエーパッケージング、大日本印刷、東洋アルミニウム、恵和などの製造メーカーがある。

### 3.2.2.8 加飾フィルム

建築物への応用に向け、意匠性も意識したさまざまな色や模様、ガラスと異なる表面質感などをもたせた PV モジュールの開発が進められている。デザイン部材や PV モジュールへの組み込み方法もさまざまなものが提案され、まだその一部が製品化されて市場に展開されつつある段階のため、他の太陽電池部材と異なり、標準規格などで規定されるような材料、技術はまだ確立されていない。そこで、本項目では、現在進められている PV モジュールの主な装飾技術、部材を紹介する。

PV モジュールに表面質感を含めた装飾を施すには、PV モジュール表面に目的とするデザインの見た目、質感を有するフィルムなど部材を貼り合わせる事となる。例えば、木材や石壁などの表面質感をもたせる場合は、光が透過する程度に薄く加工したそれらを PV モジュール最表面のガラスに貼り合わせるといった開発が報告されている<sup>3-2-29)</sup>。

一方、着色に関しては、最表面に着色部材を貼り合わせるだけでなく、図 3-2-17 に示すようなさまざまな方法が提案されている。また、その対象は、結晶シリコン太陽電池から薄膜太陽電池、ペロブスカイト太陽電池、有機太陽電池など多岐にわたっているが、実際に製品化されている主なものは、太陽電池の発電層自体の色を着色に活用するものではなく、図 3-2-17 に示すように、太陽電池表面の反射防止膜や、封止材、カバーガラスへの加工により着色するもの、すなわち、結晶シリコン太陽電池や薄膜太陽電池を用いたガラスラミネート構造が主流である。これら着色方法の詳細は“IEA-PVPS 15 R07 Coloured BIPV report”<sup>3-2-30)</sup>などにまとめられているが、現状開発や製品化が進んでいる以下の 3 方式を紹介する。

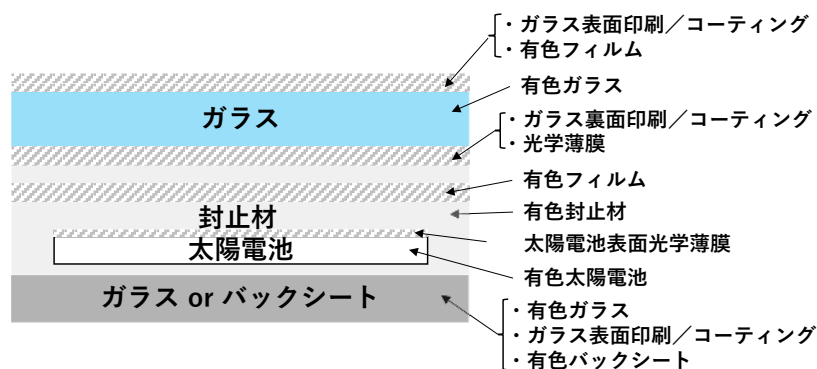


図 3-2-17 PV モジュールの着色方法

一つ目は、セラミックインクにより着色したガラスを PV モジュール表面側カバーガラスに用いる方法である（図 3-2-18①）。このセラミックインク着色ガラスは既に一般の建築ガラスとして実績があるため、長期信頼性やコストで優れるとされている。また、デジタル印刷と組み合わせることにより、絵柄形成などのデザイン自由度も高い。一方で、PV モジュールのカバーガラスに適用する場合は、セラミック印刷層での光吸収による発電出力低下があるため、この損失低減が課題である。

二つ目は、PV モジュールの表面側カバーガラスに光学多層膜を施して着色する方法である（図 3-2-18②）。一般的にこの光学多層膜には無機材料が用いられるため長期信頼性は高いと考えられ、またセラミックインクの場合と異なり、着色層の光吸収がないまたは小さいというメリットがある反面、光学干渉により見る角度により色味が変化するという問題を有している。ただし、カバーガラスの光学多層膜を形成した面と反対側の表面に加工を施したり、モルフォ蝶の羽構造を参考にした 3 次元光学構造を適用することにより、この色味変化を緩和する技術が開発されている。

最後は、カバーガラスと PV セルの間の封止材部に、加飾フィルムを挿入して着色する技術である。カラーバリエーションは、今後増えていく予定のようであるが、特に白色に特徴があり、可視領域のみに反射特性をもつ樹脂ベースフィルムを用いているため、1100nm 付近まで光吸収を有する結晶シリコン太陽電池に対して、近赤外領域における損失を低減できる好適な着色方法となっている（図 3-2-18③）。

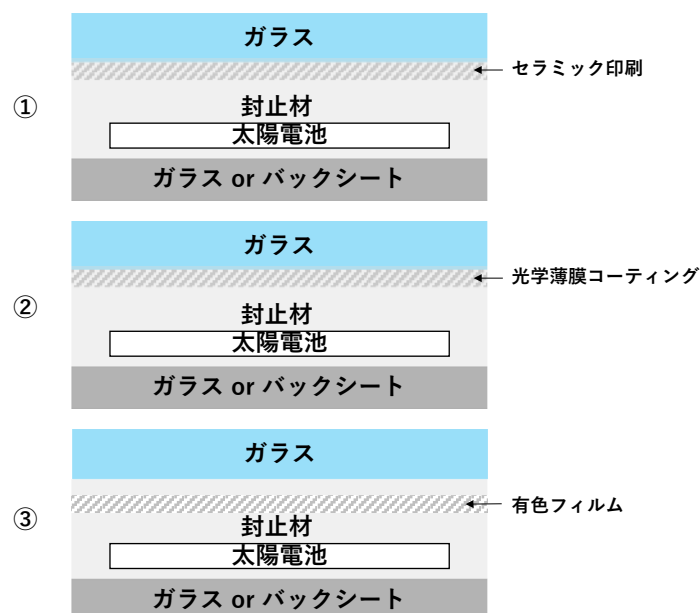


図 3-2-18 現在市販されている着色 PV モジュールの主な着色方法

着色 PV モジュールについて、これらの 3 方法を含む複数の方法について既に製品化がなされており、実際の建築物にも使用されている。グレー色、テラコッタ色、白色の実例を図 3-2-19①に示す。左の白色 2 枚については着色方法が異なっているが、微妙な色差自体については、着色方法というより表現したい色の設計によるところが大きいと考えられ、すなわち、色に関しては、顧客、デザイナーおよびメーカー間での色相、彩度、明度、表面質感などのカラーマネージメントが重要である。また、図 3-2-19②は、テラコッタ色とグレー色のモジュールを接近して撮影した写真であるが、グレー色では下地のセルが見える設計となっている。このように、着色モジュールにおいては、デザインに応じて単に色だけでなく隠ぺい力なども考慮する必要があり、さらに、

それらに伴う発電効率の変化についても留意しておく必要がある。

また、これら PV モジュールの安全性、信頼性に関しては、本ガイドライン 2 章で示される国内・国際標準規格に則った試験を行っているものと考えられるが、本ガイドライン「2.2.6 外観」のところでも述べられているように、「意匠性」に対する長期安定性（退色、色褪せや色ムラ、カバーガラス表面に貼付しているものであれば、その剥がれなど）に対する標準試験規格というものは、まだ確立していない。したがって、現状においては、ベンダーとユーザー間で、試験方法や合否判定基準に関する仕様の取り決めを行う必要がある。



① 屋外評価用に設置された着色モジュール 右上: グレー, 右下: テラコッタ, 左下: 白



② 暗室での光照射下における着色モジュール表面写真 左: テラコッタ, 右: グレー

図 3-2-19 着色 PV モジュールの実例写真

### 3.2.2.9 PV モジュールの副資材

PV モジュールの副資材は、モジュール主要部材同士の接着や連結および架台への設置のために用いられる資材である。一般的な屋根置き PV モジュールに使用されるものと同様な副資材であることが多い。PV モジュールの副資材には、次のようなものが挙げられる。

はんだは、図 3-2-8 に示されている PV セルとインターコネクタや、図 3-2-15 にあるモジュール内部の配線部材同士を電氣的に接合するために用いられる。はんだ付けが不十分の場合は、実環境下において接合部が外れ、PV モジュールの信頼性に影響をおよぼす可能性もあるため、物理的性質や機械的性質を考慮した合金組成の選定や確実なはんだ付けが必要である。また、溶着剤(フラックス)を用いる PV モジュールもある。接合させる金属表面に異物や酸化膜があると、はんだの拡がりが悪くなるが、フラックスを塗布することで最適なはんだ付けが可能となる。

はんだには、大別して共晶はんだと鉛フリーはんだに分けられる。共晶はんだは鉛を含むはん

だで、鉛に加えてスズやビスマス、銀等の金属との合金で形成されさまざまなタイプがある。一方、鉛フリーはんだは、スズや銅、銀、ニッケル、インジウム等の金属の合金で形成され、鉛フリーはんだにもさまざまなタイプがある。酸化防止やぬれ性の拡がり等の性能面では、共晶はんだが優れているが、RoHS 指令などの環境保全の取組みにおいて電子部品の多くで使用ができなくなっており、現在では鉛フリーはんだが主流となっている。電力用途を目的とした PV モジュールにおいても鉛フリーはんだを用いる製品が多く存在しており、鉛フリーはんだを使用することで環境イメージ向上にも繋がっている。共晶はんだと鉛フリーはんだの一般的な違いの例を表 3-2-11 に示す。

表 3-2-11 共晶はんだと鉛フリーはんだの違いの例

|        | 共晶はんだ                    | 鉛フリーはんだ                                 |
|--------|--------------------------|-----------------------------------------|
| 融点     | 約 183℃                   | 約 217℃                                  |
| 成分     | 鉛を含む<br>(他、スズ、ビスマス、銀等)   | 鉛を含まない<br>(他、スズ、銅、ニッケル、銀、<br>インジウム、亜鉛等) |
| ぬれ性    | 拡がりが良い                   | 拡がり良くない                                 |
| 引張強度   | 合金組成や製造条件による。<br>例：10Mpa | 合金組成や製造条件による。<br>例：15Mpa 共晶はんだよりも強い。    |
| 種類     | 約 20 種類 (JIS Z 3283)     | 約 30 種類 (JIS Z 3283)                    |
| 形状・サイズ | 線上のことが多いφ1～4 mm          |                                         |

### 3.2.2.10 PV システム設備類

PV システムは図 3-2-20 の例に示すように、ストリングケーブル、それを集電する接続箱、パワーコンディショナにより構成される。建物設置における配線は電気設備技術基準に則り、内線規程などを参考にして設計・施工する必要がある。



図 3-2-20 PV システムの基礎的な構成

#### (a) パワーコンディショナの選定

パワーコンディショナの種類を表 3-2-12 に示す。大きく分類すると、集中型、分散型、MLPE (Module Level Power Electronics) の 3 つがある。集中型とは、PV アレイにひとつのパワーコンディショナを利用して交流に変換する方式であり、分散型とは、発電所において太陽電池ストリングやアレイレベルに分割して複数台のパワーコンディショナを利用する方式である。MLPE は分散型を進めて、PV モジュールごとにパワーコンディショナ等を取り付ける方法である（図 3-2-21）。一般的にはパワーコンディショナの規模により分類されることが多く、集中型は 100kW～数 MW、分散型は 100kW 未満（このうち 10kW 未満は国内では住宅用と呼ばれることもある）などが目安であるが、明確な定義があるわけではない。MLPE は、PV モジュールごとに取り付けるものに呼称される。MLPE の中には DC/AC のインバータ機能を持つもの、DC/DC 機能だけ有して、パワーコンディショナは別にあるものが存在する。また、製品によっては、モジュール 1 枚でなく、数枚単位に取り付ける場合もある。MLPE には、部分影の影響やモジュールの不具合で生じるストリング内の電力ミスマッチによる損失を緩和するオプティマイザ機能がある。ただし、大規模発電所では大容量のパワーコンディショナを複数台発電所内で利用するケースがあることや、住宅用では小規模のパワーコンディショナを 1 台だけ利用するケースもあるため、集中型と分散型の分類は、それほど明確ではない。

電気回路や発電特性の観点では、PV モジュールの直並列回路と、それを構成する PV モジュールの発電特性の不均一な条件により発生するミスマッチとの関係、また、直流回路の集電と交流回路の集電規模等により、発電所全体で 1 台なのか、複数台なのかでシステムが分類されるため、

発電所全体の容量とパワーコンディショナの容量および台数の相対的な関係で、分類は決まるものと考えられる。したがって、システム設計の視点においては、ここで示す種類は、パワーコンディショナの容量で形式的な呼称として呼ばれていると理解することが良い。

電気的特性としては、できるだけ小さい規模単位で DC/AC 変換したほうが、直流回路の日影などの不均一な発電特性を持つ太陽電池の直並列によるミスマッチ損失を減らせることが知られている。他方、小さい規模ごとに取り付けるほど、パワーコンディショナの台数が増えることから、施工性や故障時のダウンタイムの長さおよび停止範囲など、それぞれにおいて長所短所が存在する。また、DC 回路による損失と AC 回路による線路損失の違い、DC と AC の事故時における保護方法の容易さなども変わってくるため、目的に応じて選択することが望ましい。特に BIPV を適用するような建築では、建物規模（BIPV 設置面積）や建物用途および利用目的などの観点から、パワーコンディショナの選定が行われるものと考えられる。

ここでは、パワーコンディショナの選定を行う際に、主に必要と思われる項目を列記する。

- ・電気安全環境研究所（JET）の認証試験を受けたパワーコンディショナにおいて、その性能以上の機器を選定すること。
- ・電気配線の施工性に優れたパワーコンディショナを選定すること。
- ・筐体内部の過熱防止機能を有しているパワーコンディショナを選定することが望ましい。
- ・接続箱と一体型のマルチストリング方式によるパワーコンディショナの場合、回路ごとに直流を遮断できる機能が備えられているパワーコンディショナを選定することが望ましい。
- ・外部からの電気配線を接続する端子台の温度が上昇した場合、直流から交流への変換運転を停止したり、アラーム表示を行う等の保護機能をもつパワーコンディショナを選定することが望ましい。
- ・主回路入力・出力端子部に圧着端子部を被う感電防止カバーがあることが望ましい。
- ・主回路入力・出力端子部に接続すべき外線の直流・交流・極性指示が見やすく表示してあることが望ましい。

表 3-2-12 パワーコンディショナ PV の種類

| パワーコンディショナの<br>種類 | 規模                     | 効率                                    | 耐久性／<br>メンテナンス                          | 世界市場<br>シェア                            |
|-------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 集中型               | アレイ<br>レベル             | 98.5%以下<br>(DC/AC)                    | 5・10 年（一般的な標準<br>メーカ保証期間）／<br>交換または部品交換 | 33.7%                                  |
| 分散型               | ストリング/<br>サブアレイ<br>レベル | 98%以下<br>(DC/AC)                      | 5・10 年（一般的な標準<br>メーカ保証期間）／<br>交換が多い     | 64.4%                                  |
| MLPE※             | モジュール<br>レベル           | 90-97%<br>(DC/AC)<br>99.5%<br>(DC/DC) | 25 年（代表的なメーカ<br>保証期間）／交換が多い             | 1.4%<br>(AC モジュール)<br>5.1%<br>(オブティイザ) |

※MLPE：Module level power electronics

出典：Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE「PHOTOVOLTAICS REPORT」を参考に作成

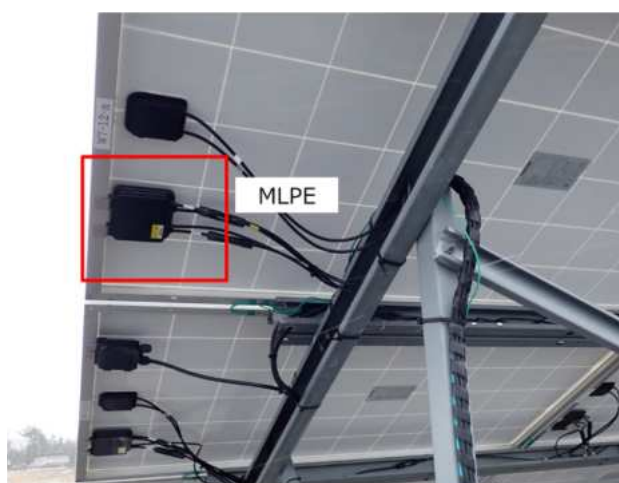


図 3-2-21 MLPE の設置例

#### (b) 接続箱の選定方法 (建物用の火災安全性)

ここでは、接続箱の選定を行う際に主に必要と思われる項目を列記する。

- ・ 直流 750V 以下のシステムにおいては JEM 1493「太陽光発電システム用接続箱及び集電箱」、750V を超え 1000V 以下においては JEM 1508「太陽光発電システム用接続箱及び集電箱 直流 750V を超え 1000V 以下対応」の要件項目を満足する、もしくは、それ以上の性能をもつ接続箱を選定することが望ましい。
- ・ 施工性に配慮した接続箱を選定することが望ましい。
- ・ 電力ラインにプリント基板配線を利用する場合、必要なトラッキング性能を満足したプリント基板を用いた接続箱を選定することが望ましい。
- ・ 接続箱内の配線用電線には耐熱電線を利用することが望ましい。
- ・ 短絡電流相当の電流が通電した状態において、電路を開放可能な直流開閉器を備えた接続箱を選定すること(断路器は使用しないこと)が望ましい。ただし、過電流保護と関連する場合、「絶縁・地絡保護・過電流保護の基本原則」を参照すること。
- ・ 火災時の延焼防止と認められる措置を施した筐体を用いた接続箱を選定すること。
- ・ 接続箱内に設置する過電流防止素子や避雷素子は保守点検が可能な部位に設置し、その仕様が視認できるように設置することが望ましい。視認が困難な場合は、回路図や点検手順を付与する等、保守点検時に過電流防止素子や避雷素子の焼損等が容易に発見できるようにすること。

接続箱の火災事故に関し、これまでに判明している延焼事故事例は、すべて樹脂製であり、金属製での延焼事故事例はない。また、金属製接続箱内での出火時に延焼を防止した事例の報告がある。これまでの事例から、接続箱の筐体については基本的には金属製を用いることが安全の確保に役立つ。しかし、樹脂製の接続箱は樹脂の種類や対策方法により燃焼性が異なる。そのため、必ずしも金属製接続箱以外を排除するものではない。金属製接続箱以外を利用する場合、延焼の危険を低減するために、接続箱は延焼防止と認められる措置を施す必要がある。延焼防止と認め

られる措置としては以下のような例がある。

- ①接続箱から他の可燃物への延焼がない十分な距離を確保すること。
- ②木造建築の内外装材への延焼がない十分な距離を確保すること。
- ③接続箱内の火元を速やかに除去できる対策を行っていること。
- ④接続箱内側に不燃材を利用していることが望ましい。
- ⑤さまざまな事故を想定して、接続箱の延焼が発生しないことを事前に確認した試験を満足していること。

IEC 60695-2-10 におけるグローワイヤ試験（着火源として規格化された電氣的加熱ワイヤを用いて、材料に接触させその燃焼性を確認する試験）では、接触時間を少なくとも 60 秒としているため、火元を除去できるような保護装置とあわせた利用が望ましく、その保護装置が動作する時間は 60 秒以内が望ましい。接続箱に不燃材以外を選定する場合は、延焼防止措置について、発注者は燃焼性などの安全特性の仕様を確認することを推奨する。例えば、前述の IEC 60695-2-10 の試験や、JEM1493 9.9 項や JEMA1508 9.8 の難燃性試験などがある。また、樹脂製を利用した対策の一例として、筐体自体に 5VA の難燃性をもたせる以外に、内部にも延焼防止策を設ける方法がある。この方法による延焼防止実績として、接続部の不具合と思われる箇所が発熱および PF 管（合成樹脂製可とう電線管）から浸入した水による短絡が原因で接続箱内部の部品が焼損した際に、筐体外部への延焼防止ができた事例がある。対策は、接続箱の筐体だけでなく、事故原因に繋がる恐れのある端子台や遮断器の材料も考慮し、選定する必要がある。

### (c) システムの特徴

PV システムは、その特徴として、電炉を遮断することが出来る。例えば、電路を遮断する方法としては、接続箱内の開閉器、断路器、遮断器、パワーコンディショナの停止などが想定される。ただし、これらの箇所で電路を開放した場合でも、太陽光が太陽電池に照射される状態では太陽電池は発電を継続するため、太陽電池アレイ側は電圧が印加され続けていることになる。また、地絡や短絡事故が発生している場合には、電氣的な閉回路を形成することがあり、電流も継続して流れるおそれがある。そのため、接続箱における電路の開放やパワーコンディショナの停止を行っても、感電や火災のおそれがあることに注意する必要がある（図 3-2-22）。感電を防止するためには、60V 以下などの電圧まで低下させる必要がある。

その方法としては、太陽電池を遮光シートなどにより完全に被覆し、エネルギー源の太陽光を直接的に止める方法が考えられるが、遮光範囲が広いことや即時性という点では、課題が残る。また、PV モジュールごとに機器を取付ける MLPE の利用などによる方法もある。MLPE は、前述の (a) パワーコンディショナの選定において説明した通り、太陽電池ごとに DC/DC コンバータや DC/AC インバータを取り付けたものであるため、制御によって PV モジュール単位で電圧制御や回路の遮断（高抵抗化による絶縁）が可能である。外部の通信により制御されることが一般的であるが、例えば制御信号が来ない場合は停止状態（ノーマリーオフとして、各太陽電池を数 V 程度にするなど）を行うことで、感電を防止することができる。

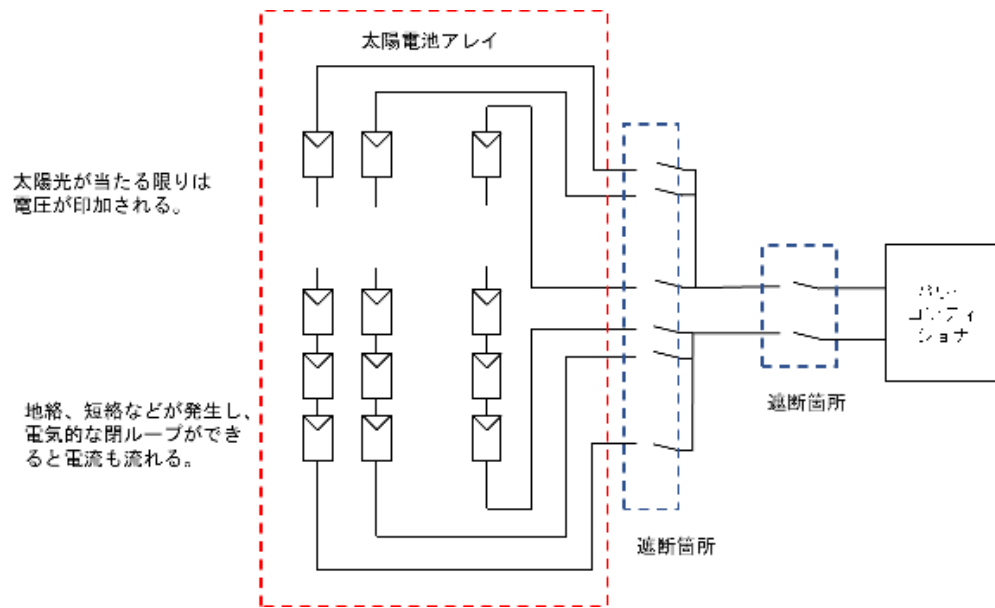


図 3-2-22 遮断箇所と電圧が印加範囲の概要

#### 引用文献・参考文献等

- 3-2-1) Green, M. A.; Dunlop, E. D.; Yoshita, M.; Kopidakis, N.; Bothe, K.; Siefer, G.; Hao, X. *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 2023, 31, 651-663.
- 3-2-2) <https://www.fwave.co.jp/en/>
- 3-2-3) <https://corporate.jp.sharp/news/160519-a.html>
- 3-2-4) <http://www.peccell.com/shikiso.html>
- 3-2-5) 写真提供：産業技術総合研究所（三菱商事（株）、キャノントッキ（株）との共同研究成果）
- 3-2-6) 産総研プレスリリース “高効率な多接合太陽電池の普及を加速させる技術を開発” 2020/10/15.
- 3-2-7) 東芝プレスリリース “世界最高のエネルギー変換効率 15.1%を実現したフィルム型ペロブスカイト太陽電池を開発” 2021/9/10
- 3-2-8) <https://www.oxfordpv.com/perovskite-silicon-tandem-cell>
- 3-2-9) [https://www.kaneka.co.jp/business/qualityoflife/pve\\_002.html](https://www.kaneka.co.jp/business/qualityoflife/pve_002.html)
- 3-2-10) <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00154/01522/>
- 3-2-11) <https://www.titech.ac.jp/public-relations/about/campus-maps/campus-highlights/environmental>
- 3-2-12) SwissTech\_Convention\_Centre\_2016\_SUPSI (Source: ©EPFL - Ph. Chris Blaser)
- 3-2-13) [https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wn/2014/140324\\_3962.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2014/140324_3962.html)
- 3-2-14) <https://sauletech.com/bipv/>
- 3-2-15) 写真提供：産業技術総合研究所
- 3-2-16) <https://www.kaneka-solar.jp/quality/history.html>
- 3-2-17) IEA report: Successful Building Integration of Photovoltaics, A Collection of International Projects (2020)
- 3-2-18) Dullweber, T.; Schmidt, J. *IEEE J. Photovolt.* 2016, 6, 1366.
- 3-2-19) Taguchi, M.; Yano, A.; Tohoda, S.; Matsuyama, K.; Nakamura, Y.; Nishiwaki, T.; Fujita, K.; Maruyama E. *IEEE J. Photovolt.* 2014, 4, 96-99.
- 3-2-20) Guerrero-Lemus, R.; Vega, R.; Kim, T.; Kimm, A.; Shephard L. E. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2019, 60, 1533-1549.
- 3-2-21) Sai, H.; Umishio, H.; Matsui, T. *Sol. RRL* 5, 2100634 (2021).
- 3-2-22) Lin, H.; Yang, M.; Ru, X.; Wang, G.; Yin, S.; Peng, F.; Hong, C.; Qu, M.; Lu, J.; Fang, L.; Han, C.; Procel, P.; Isabella, O.; Gao, P.; Li, Z.; Xu, X. *Nat. Energy* 2023, 8, 789
- 3-2-23) Yoshikawa, K.; Kawasaki, H.; Yoshida, W.; Irie, T.; Konishi, K.; Nakano, K.; Uto, T.; Adachi, D.; Kanematsu, M.; Uzu, H.; Yamamoto, K. *Nat. Energy* 2017, 2, 17032.
- 3-2-24) Feldmann, F.; Bivour, M.; Reichel, C.; Hermle, M.; Glunz S. W. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2014, 120, 270-274.
- 3-2-25) Richter, A.; Müller, R.; Benick, J.; Feldmann, F.; Steinhauser, B.; Reichel, C.; Fell, A.; Bivour, M.; Hermle, M.; Glunz, S. W. *Nat Energy* 2021, 6, 429-438.
- 3-2-26) 写真提供：木谷電器株式会社
- 3-2-27) JIS C 0920:2013 p.8 表 1, p.9 表 2
- 3-2-28) JIS C 0920:2013
- 3-2-29) Morlier, A.; Blankemeyer, S.; Schulte-Huxel, H.; Witteck, R.; Daschinger, T.; Bräunig, S.; Köntges, M.; Brendel, R. *Sol. RRL* 2021, 5, 2100356.
- 3-2-30) <https://iea-pvps.org/key-topics/iea-pvps-15-r07-coloured-bipv-report/>

## 第4章 設計

BIPV は、エネルギー生成と省エネルギーに貢献し、環境に配慮した建築としての価値を高める。また、建物のライフサイクル全体でのカーボン排出量を考慮する LCA や WLC の観点からも、これらの設備の設置は有効である。建築物の新築計画段階では、設計者が BIPV の設置を検討して最終的な決定は施主が行うが、その判断材料としてコスト、発電量、環境への配慮および LCA の観点などが考慮される。また、新築時に建築外皮を決定する際には、施主の要望、法的制約、性能要求、デザイン、周辺環境との調和、発電量、コストおよび採用する構工法などを考慮する。特に、BIPV モジュールを建築外皮に組み込む場合は、計画の初期段階から詳細な検討が必要である。また、既存建物の改修と BIPV・BAPV の設置の際には、具体的な性能を決定し、それを設計図書で明確に表現することが求められる。

BIPV の設計では、初期段階で必要とされる目標電力量と設置環境（面積や設置面等）を把握しておく必要がある。これは建築設計の計画段階で設計者と協議をして決定される事項である。また、建築外皮の要求性能や仕様を基に、BIPV モジュールシステムとしての検討を行い、最適なアレイとストリングおよびパワーコンディショナなどを決定する。その後、BIPV モジュールの詳細設計に進む。BIPV モジュールの詳細設計では、製作や施工に必要な情報としてモジュールの WH 寸法、構成、厚さなどを決定しなければならない。WH 寸法の決定は、建築外皮のデザインに沿って、カーテンウォールの割り付けに従うこととなる。これらの条件から、BIPV モジュールにおけるガラス板厚やガラス構成が明らかとなり、ケーブルなどの配線経路やジャンクションボックスのクリアランスをどの程度確保するかにより、BIPV モジュールの正確な WH 寸法が決定する。そのため、BIPV モジュールはほとんどが特注対応となる。

### 4.1 新築時の全体計画

#### 4.1.1 設計を取り巻く環境

地球温暖化が進み、その対策が世界的な最優先課題となっており、各国が 2050 カーボンニュートラルの目標をどのように実現していくかということに注目が集まっている。様々な視点から地球環境の向上に寄与する建物が求められるようになり、環境建築が評価される時代になってきている。民間の建物においても ESG 投資の考え方から、環境に寄与する建物を所有する会社が評価され投資が集まる世界的仕組みができており、特に公共建築においては民間に先駆け ZEB 実現（広義の ZEB）に向けた取り組みを積極的に推進することが 2014 年に閣議決定されて以降、2030 年の新築全面 ZEB 化に向けた動きが着実に推進されてきている。

建物に設置される BIPV や BAPV は、まさに「地球環境の向上に寄与する」建築要素である。実際に創エネ装置としてエネルギーを生み出しながら省エネに寄与するとともに、一般の人の目に触れる環境要素でもあることから、環境に良い建物としてのアピール効果も併せ持つ。例えば、屋上に設置される PV の場合、設置が採用されるかどうかの決定にあたっての最も重要な要因は、設置コストと発電量であるが、BIPV・BAPV の場合は、それに加えて環境配慮建築としてのアピール効果も採用の決定に重要な要素となってくる。また、単体で『ZEB』を目指す

している建物では、様々な要件からその建物において必要となる総発電量が決定され、その発電量を満たすだけの PV を設置しなければならないことになる。そのため、そのような建物では、必要量を満たすために若干発電効率が悪い場所にも PV を取付ける必要があり、PV としては設置コストが高くても、建物全体の計画の中で PV を設置するという判断がなされることになる。

また、世界がゼロカーボンを目指すなか、ライフサイクルアセスメント（LCA）やホールライフカーボン（WLC）の考え方が重要になってきており、建物が建設するにあたって排出されるカーボンや、建物が建設から解体までの間に排出されるカーボンが注目されている。PV はそれを製造するために排出されるカーボンよりも、発電することで生み出すエネルギーによって削減されるカーボンの方が多く、PV を設置することによって、建物の LCA を向上させる非常に有効な建築要素であり、設置にあたってはその効果も十分検討すべきである。

新築建物を計画するにあたり、外壁に BIPV を設置する検討を行うのは設計者であるが、最終的に設置するかどうかを決定するのは施主の役割になる。採用の判断にあたっては、設置コストや発電量は重要な判断材料であるが、それだけではなく、BIPV を設置することによって得られる環境配慮建築としてのアピール効果や、LCA の観点からの付加価値を、ESG 投資の視点や RE100 等の CSR の視点で評価した上で総合的に判断する必要がある。

#### 4.1.2 設計概要

新築時に建築外皮を決定していくためには、施主の要望、法的制約（建築基準法、消防法、その他条例等）、要求性能、デザイン性、周辺環境との調和、コストおよび採用する構工法などについて整理し、纏めていく必要がある（建築外皮の要求性能や採用する構工法に関しては、前述 2、3 章を参照）。特に BIPV モジュールを建築外皮に組込む場合、その目的は、脱炭素化の取組みの表現、建物の ZEB 化に向けた創エネの活用、BCP 対応など、様々であることから、通常的设计とは判断基準が大きく異なってくることになる。そのため、BIPV モジュールを採用する場合には、計画当初から入念に検討を行っていく必要がある。図 4-1-1 には BIPV を設置する場合におけるカーテンウォールの設計手順を示す。

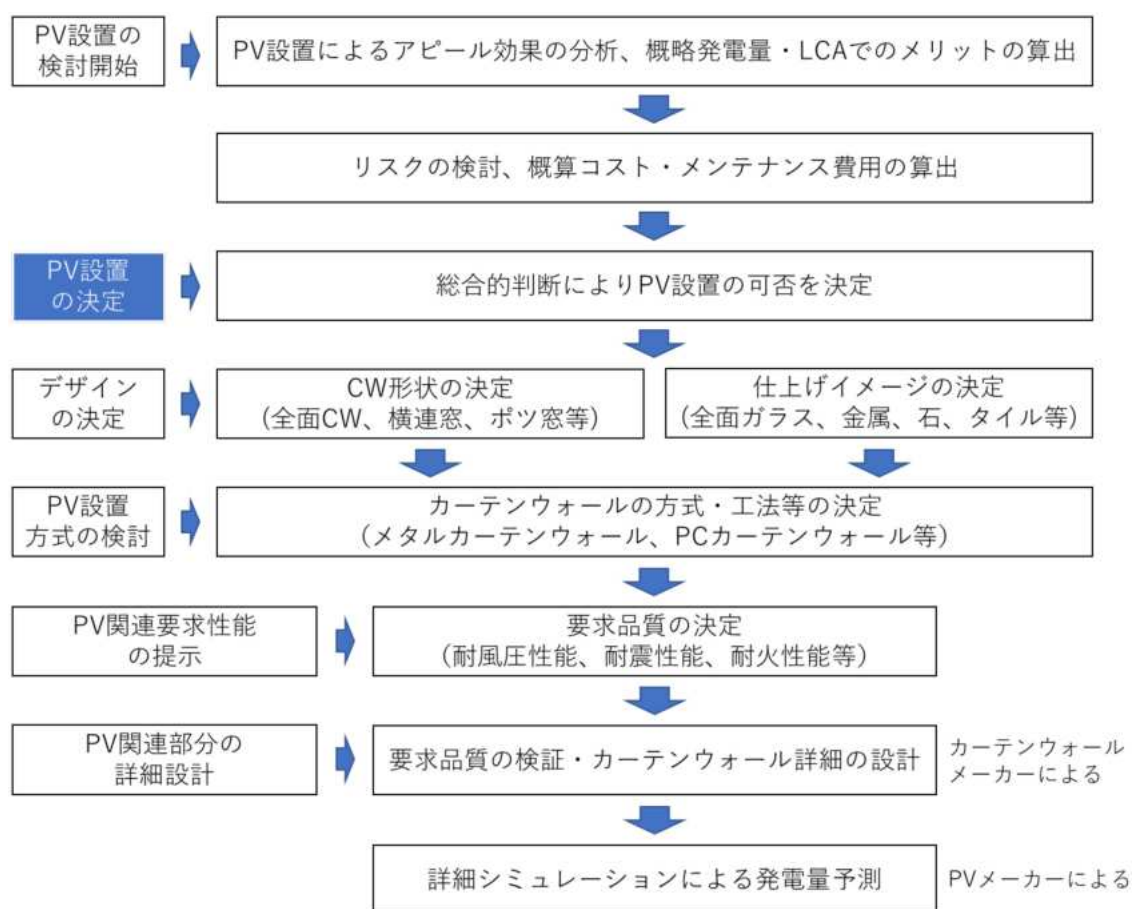


図 4-1-1 カーテンウォールの設計手順

まず、BIPVの設置検討にあたっては、そのプロジェクトにおけるPV設置のメリットをきちんと評価する必要がある。PVの設置によりエネルギーが創出されることは当然であるが、エネルギーの創出だけが目的であれば、比較的高価となるBIPVにする必要はない。BIPVの設置が決定されるためには、それ以外にも何らかのメリットが存在する必要がある。そのメリットの一つとして、環境建築であることへのアピール効果が挙げられる。外観からの視認性に優れたBIPVであれば、その効果との親和性も高く、環境建築であることを理解してもらいやすい。また、『ZEB』の達成にも寄与した上で、さらにワンランク上の環境建築であることも周知できる。これらの効果は、BIPVの採用において、重要な要素の一つと考えられる。

カーボンニュートラル社会の実現を目指し、今後、建築の設計にあたってLCAの算定が求められるようになっていくと考えられる。エネルギーを創出するPVはLCAの収支でマイナスになることから、これを建物に設置することにより建物全体のLCAを減らす効果が期待できる。BIPVに限った話ではないが、これもPVの重要なメリットである。

PV設置の検討にあたっては、メリットの評価と共にリスクをきちんと評価することも重要である。通常建物の外壁は、建物の寿命が来て解体されるまで、全面的な取替えはしないことを前提に設計されているが、BIPVになりPVシステムと一体化することにより、

PV システムの劣化や故障による修理または取替えのリスクが高まると考えられる。一般的に外壁の改修は大きな費用が掛かることが多く、これらのリスクを踏まえたうえで採用の可否を判断する必要がある。

通常、コストの検討にあたっては、設置にかかる費用の検討だけを行うことになるが、PV システム設置の場合は、設置に費用が掛かるだけでなく、エネルギー創出機能による恩恵も受けるため、建物のライフタイムで設置やメンテナンス費用を相殺していくことになる。そのため、これらを踏まえたうえで、適切にコストを判断する必要がある。

BIPV の設置可否については、設計者の提案を受けて、最終的には施主が判断することになると考えられるが、設計者が BIPV 設置の様々なメリットについて、説得力をもって説明しきれるかどうか、採用判断の重要な分岐点になると考えられる。

BIPV の設置について、施主の了解が得られたところから、具体的な設計（デザインの決定等）の段階に入ることになる。建築外皮は、建物のデザインを決定づける要素であるとともに、そこに適用される構工法（第 3 章参照）の性能が建物自体の性能に直結することから、中大規模建築物における建築外皮の設計は重要な意味をもつ。BIPV モジュールは、建築外皮を構成するカーテンウォール構法の一要素として、ガラスパネルと同様に適用されるため、デザイン性や性能に関してもカーテンウォール構法に準拠することが求められる（第 2 章参照）。

建築設計では、企画設計、基本設計、実施設計、見積調整、確認申請、工事監理、保守メンテナンスという流れで設計業務を進めるが、建築外皮におけるカーテンウォール採用時には、基本設計の段階から設計事務所に対してカーテンウォールメーカーは設計協力を行っている。カーテンウォールの必要性能や仕様の決定、デザインの決定は、原則、建築設計者が行うものであるが、その決定前プロセスにおいては、計画初期段階（企画設計や基本設計）からカーテンウォールメーカーに協力を仰ぎ、実現性やコストなども踏まえた検討を入念に行っている。実施設計段階では、カーテンウォールの詳細設計をカーテンウォールメーカーが行うため、デザイン性や法的要件およびコスト感などを満たしているかを設計者がチェックする形で進められるのが一般的である。そのため、カーテンウォールへの BIPV 設置を検討する際は、建築全体のデザインおよび建築性能に大きく影響することから、建築設計の初期段階から検討を行う必要がある。

カーテンウォールは建物の外観の印象を決定づける大きな要素であることから、建物周辺との調和についても検討する必要がある。建物室内から考えると、室内の快適性・環境性能に対して重要な意味をもつ窓の機能を定めるものであり、採光をどう確保し日射制御を行うか、排煙や換気の機能をどこまでもたせるか、建物用途や法規による規制についてもきちんと考慮したうえで検討を行う必要がある。また、カーテンウォールの断熱性能は建物の省エネ性能に大きな影響を与えるものであり、大規模建築では適合義務が課されている、省エネルギー計算を行うにあたって、重要な数値となる。

カーテンウォールの設計にあたっては、それらの検討要素を総合的に検討したうえで、具体的な性能等を決定し、設計図書でそれらを明確に表現する必要がある。カーテンウォールに

BIPV モジュールを設置する場合には、日射熱取得率等の外壁性能にも大きな影響を与える可能性があるため、そのような観点からも十分に検討を行う必要がある。

#### 4.1.3 発電量の予測

BIPV を計画するにあたっては、BIPV を設置する部分の日射条件の検討を行い、想定される発電量を把握しておくことが重要となる。設置する PV の容量、方位・角度、プロジェクト敷地の晴天率等の情報から、発電見込み量の概算を行うことが可能であるが、天気等の状況によって発電量は大きく予測と乖離することがあるため、注意が必要である。

通常、建物に PV を設置するにあたっては、建築主に対して予測発電量について説明することになるが、状況によって発電量は大きく変わる可能性があることをきちんと説明しておく必要がある。そのリスクを十分に伝えて理解が得ておかないと、発電量が予測より少なかった場合に、設計者としての責任を問われるおそれがある。

天候以外に要因によっても、発電量が減ってしまうリスクは存在する。南側の樹木が成長するなどして PV が日陰になってしまう場合や、PV に影をおとすような建造物が建ってしまう場合である。建物が密集して建てられている都心のプロジェクトでは、特にこのような事態が発生してしまうリスクが高い。敷地内の樹木による影であれば、ある程度対応することが可能であるが、南側の隣地に建造物が建ってしまった場合には、その影響は一時的なものではなく、その後、継続的に発電量が少なくなってしまうことから、発電計画に非常に大きな影響を与えることになる。周辺に建設される可能性の建物がある程度予想される場合には、建物の壁面に対しても日照時間についての影響をシミュレーションすることが可能であるため、あらかじめ検討しておくことが有効になる。

PV を屋上設置する場合には、周辺の建物と高さが同程度だと仮定すると、隣接建物の影響はそれほど大きくならないが、壁面に PV を設置する場合には、同程度の高さの建物でも大きな影響を受ける可能性がある。敷地内の南側や、南側の周辺敷地にどのような高さの建物が建つ可能性があるか、ということについても事前に検討を行って、リスクを軽減するような計画を行うとともに、建築主に発電予測量のリスクについて十分に説明し、了承を得ておくことが必要である。

#### 4.1.4 LCA の検討

全世界共通の目標となっている、2050 年カーボンニュートラル実現のため、CO<sub>2</sub>排出量の削減が重要課題となっている。特に近年、省エネだけではなく、ライフサイクルアセスメント（LCA）の観点からの評価が重要となっており、ホールライフカーボン（WLC : Whole Life Carbon）により CO<sub>2</sub>排出量を評価する手法が注目を浴びている。WLC とは、運用時に排出される CO<sub>2</sub>（オペレーショナル・カーボン）だけではなく、製品の製造時や建物の建設時に排出される CO<sub>2</sub>（エンボディド・カーボン）も含めて製品・建物の全寿命の中で排出される CO<sub>2</sub>の量を評価する考え方であり、建築においては ZEB 化が進みオペレーショナル・カーボン

がますます削減されていくなかで、エンボディド・カーボンの削減がますます重要になりつつある。

PVに代表される再生可能エネルギーは、エネルギーを生み出す機能を持っているため、オペレーショナル・カーボンだけを考えると CO<sub>2</sub>排出量がマイナスになるシステムである。十分な性能を持つシステムを適切な条件下で利用すれば、エンボディド・カーボンを考慮しても、投入した枯渇性エネルギーよりも多くのエネルギーを自然界から持続的に得ることができ、カーボンニュートラルの視点からも、温暖化ガスの排出量を削減することが可能となる。

但し、PVのWLC評価の結果は、製品の製作方法、実際の発電量、運用する期間等の要因によって大きく違ってくる。また、PVの種類によっても、製造時に必要になるエネルギーと設置後の発電量が違うため、評価結果は違ってくる。

CO<sub>2</sub>ペイバックタイムは、PVのLCA性能を評価する、分かりやすい指標の一つである。

ライフサイクルの中で、生産時に排出されるCO<sub>2</sub>を、発電によって節減できるCO<sub>2</sub>排出量で相殺できるまでに必要な期間がCO<sub>2</sub>ペイバックタイムであり、この数値が小さいほど温暖化抑制効果が高いこととなる。文献4-1-1)によると、太陽光発電によるCO<sub>2</sub>ペイバックタイムは2～4年程度となっており、ライフサイクルで考えてもPVは温暖化ガス排出量の削減に寄与するものであることが分かる。エネルギーペイバックタイムも同様の指標であり、PVの生産時に投入されるエネルギーを、発電により生み出されるエネルギーで相殺できるようになるまでの期間のことであり、これが短いほどエネルギー性能が優れていることになる。CO<sub>2</sub>ペイバックタイムにはエネルギーに直接起因しないCO<sub>2</sub>排出量も参入することになるため、似たような傾向にはなるものの、若干異なる数値となる。

表 4-1-1 太陽光発電システムのエネルギー・ペイバック・タイム、CO<sub>2</sub>ペイバック・タイム  
およびCO<sub>2</sub>排出原単位の算定結果（基本ケース）<sup>4-1-1)</sup>

|                                                   |         | 多結晶 Si | 単結晶 Si | a-Si/単結晶 Si<br>ヘテロ接合 | 薄膜 Si<br>ハイブリッド | CIS 系 |
|---------------------------------------------------|---------|--------|--------|----------------------|-----------------|-------|
| エネルギー・ペイバック・<br>タイム (年)                           | 住宅用     | 2.20   | 3.01   | 2.42                 | 1.75            | 1.41  |
|                                                   | 公共・産業等用 | 2.58   | 3.38   | 2.75                 | 2.31            | 1.89  |
| CO <sub>2</sub> ペイバック・タイム<br>(年)                  | 住宅用     | 2.63   | 3.48   | 2.80                 | 2.42            | 2.08  |
|                                                   | 公共・産業等用 | 3.33   | 4.17   | 3.41                 | 3.46            | 2.98  |
| CO <sub>2</sub> 排出原単位<br>(g-CO <sub>2</sub> /kWh) | 住宅用     | 58.6   | 77.6   | 62.5                 | 53.8            | 46.4  |
|                                                   | 公共・産業等用 | 69.2   | 86.8   | 71.0                 | 72.0            | 62.0  |

この検討は 2008 年のものであるため、その後のモジュールの効率アップと低価格化を考慮するとペイバックタイムはより向上していると考えられる。ただし、この検討は BIPV ではない通常の太陽光発電システムを前提とした検討であり、BIPV の WLC を考えると、取付等に様々な部材や金物が必要になり、エンボディド・カーボンが増えると考えられ、PVモジュールを壁面設置する場合には、屋上設置よりも発電効率が落ちる可能性が高いことなどを考慮すると、通常の屋上設置型 PV よりも不利になることが予想され、ペイバックタイムは長くなると

考えられる。また、より多くの WLC を削減するシステムとするためには、できるだけ取付け部材等を減らしつつ、発電効率が良くなるように設置することが望ましく、極力長期間にわたり運用できるようにすることが重要になるため、そのようなことに配慮した設計とすることが必要になる。

#### 4.1.5 設計

建築設計者は、PV 設置方式の検討部分（図 4-1-1）から建築外皮の具体的な設計プロセスへ移行する。ここでは、新築時の設計にあたって、検討すべき詳細項目を具体的に示す。

##### （a）基本的要求性能について

設計者は、建築外皮としてカーテンウォール構法を設計するにあたって、まず、建物の外壁としての要求性能を設定する。要求性能は建物の特性、立地や規模等から決まってくる条件と、建物のグレード等の条件を踏まえて決定する必要があるが、仕様書にそれらの性能を明記する。カーテンウォールに BIPV モジュールを組込む場合、BIPV をどのようにカーテンウォールに嵌め込む（取付ける）かということを検討する必要があるが、それによって建築外皮の要求性能をどこで確保するのかということを、考えたうえで断面を決めていく必要がある。

##### （b）外観図、姿図

カーテンウォールの設計図書には、まず、建物のすべての面の立面図が必要である。立面図では建物全体でのカーテンウォールの構成、割り付け、特殊な納まりになる個所等が把握できる。建物のカーテンウォールで用いるガラスの厚みは、部位（高さや隅角部かどうか）で違ってくるため、立面図にガラスの厚みを記入したガラス厚図（ガラス構成・ガラス種類なども含む）を作成する。ダブルガラスモジュールの BIPV を採用する場合等には、BIPV のモジュール構成や、配線の仕方等様々な種類が生じるため、同様の図面で BIPV モジュールの種類分けを示す必要がある。

##### （c）断面詳細図、各種詳細図

断面詳細図では、カーテンウォールを含めた基本断面の構成、荷重の受け方とファスナーの考え方、層間区画の構成の仕方、等について表現する。

各種詳細図では、建物の隅角部および端部等の特殊部位の納まり、ガラスやコンクリート等の他要素との取りあい、等について表現する。

##### （d）技術検討書

技術検討書には、設計段階で検討した撥音・摩擦音・雨音対策、避雷対策、落雪・着氷対策、光害対策、外壁の清掃・点検方法、ガラスが破損した場合の取り換え方法等の検討結果、風洞実験結果（行っている場合）等の項目について記載する。

## 4.2 既存外壁の全体計画

### 4.2.1 設計概要

地球温暖化の対策を進めるにあたっては、新築だけでなく既存建築物の改修が重要になっている。気候変動や資源の枯渇、人口減少による労働力の減少などの社会状況の変化によってフロー型からストック型への移行、既存建築物のストックの再生・活用が求められてくる。省エネ改修と同時に再生可能エネルギーの導入、BIPV・BAPVの設置は有効な手段と考えられる。

既存外壁の全体計画においては、新築の外壁に設置する場合の要求性能と同様に耐火性能、構造安全性能、風圧性能、耐震性能、温度差性能、水密性能、気密性能、遮音性能、熱性能、日射遮蔽性能、結露防止対策および耐久・耐用性能などを検証し、外壁に対する要求性能とBIPV・BAPVを外壁に適用する場合の要件を併せて計画していくが、新築と大きく異なるのは既存建物と既存環境を考慮しながら設計していかなければならない点にある。

既存建物における改修設計の概要としては、まず、既存建物の劣化状況と法的制限の把握、特注を含めたモジュールサイズの決定など、その条件下での具体的な設計およびデザイン、既存建物の構造に影響をおよぼさない施工方法の決定の3点が最も重要である。図 4-2-1 には、既存建物に BIPV を設置する場合のカーテンウォール・開口部の設計の進め方手順を示し、以下でこの3点について説明する。

#### (a) 現状把握

既存建物の劣化状況と法的制限の把握については、事前調査を行い、保存図書の確認、保存図書で確認できない部分は現地にて各種調査を実施する。併せて、建築基準法やその他の関連法規、また、地方自治体の建築条例などを確認する。その際に、改修工事であっても必ず建築確認申請の必要の有無を自治体や民間検査機関にヒアリングを行う。建築確認申請が必要ない場合でも外壁の変更範囲により景観条例の申請が必要なケースがあるので注意する必要がある。

#### (b) 設計

特注を含めたモジュールサイズの決定などその条件下での具体的な設計およびデザインについては、事前調査で行った既存建物の実寸測量調査の寸法をもとに設置個所やモジュール作業を決定していく。新築のような効率の良いパネル配置にならないため、発電効率と特注サイズのパネルを製作するコストとの比較検討なども必要である。また、周辺地域への光害対策についても既存建物の場合、特に注意が必要となる。

#### (c) 施工

既存建物の構造に影響をおよぼさない施工方法の決定については、事前調査データをもとに、BIPV・BAPVの荷重が既存建物に負担になる場合、構造計算を行って耐震改修またはバルコニーなどを減築して軽量化をはかって設置するなどの検討を行う必要がある。他にも既存外壁の上に重ね張り工法が可能かどうか、または既存外壁の仕上げ材やパネルを撤去して BIPV や

BAPV を設置するのかなどを計画の初期段階で判断する必要がある。撤去する場合は、既存の仕上やパネルの解体撤去費用なども総費用に計上する。施工方法については、あと施工アンカーの施工が可能かどうかの確認を行い施工方法について検討する。また、改修を行うタイミングについては、竣工後 20 年後、40 年後などの時期に建物全体として大規模な修繕・更新が必要になり、外壁に足場を架設したり、外壁シール材の取り替えを行うため、それらの工事と複合的に実施するのが効率的である。外壁の外断熱化と同時に行うことも環境配慮として有効である。

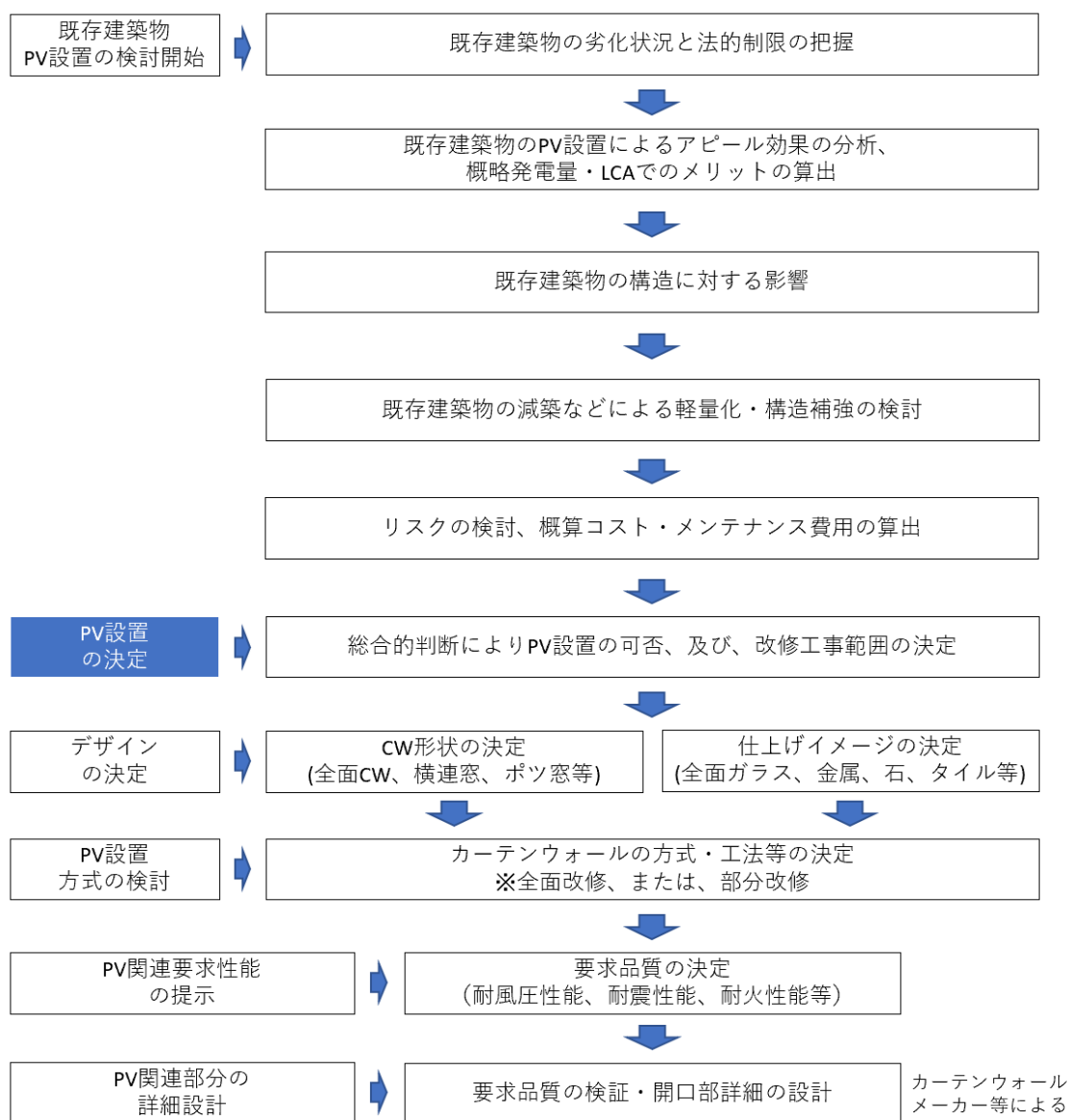


図 4-2-1 既存建物に BIPV を設置する場合のカーテンウォール・開口部の設計の進め方手順

#### 4.2.2 事前調査

事前調査においては、まず、建築確認済証や副本・構造計算書、竣工図などの保存図書一式の確認を行う。また、現地にて外壁各部の実測や外壁材の劣化状況などを確認し、既存外壁適性診断や建物の倒れ・不陸、雨漏れの有無などの各種調査を行う。併せて、自治体や民間検査機関、消防のヒアリングを行う。BIPV・BAPVを既存外壁に設置する改修工事においては、新築より制約が多いため、事前調査においては具体的な設計・デザインを行うための与条件を確実に整理することが重要である。

#### 4.2.3 設計

建築設計者は、PV 設置方式の検討部分（図 4-2-1）から建築外皮の具体的な設計プロセスへ移行する。ここでは、既築時の設計にあたって、検討すべき詳細項目を具体的に示す。

##### （a）仕様書

仕様書については、新築時の仕様書内容に加えて、改修時の仕様書を作成する必要がある。

##### （b）外観図・姿図

外観図・姿図については、既存建物の外観図・姿図と改修時の外観図・姿図を作成し、BIPV・BAPVの工事範囲等と比較できるようにする。また、新築時の外観図・姿図と既存建物の状況が異なるケースがあるので新築時の竣工図と既存建物現況を調査し、現状を良く把握しておくことが重要である。

##### （c）詳細図

詳細図については、新築時の詳細図に加えて、BIPV・BAPVの既存外壁部分の取り付け詳細を作成する必要がある。

##### （d）技術検討書（仕様書、安全性要件、性能要件）

技術検討書については、新築時の技術検討に加えて、既存外壁の強度を計算や実験によって検証しておく必要がある。

### 4.3 発電量予測

壁面への BIPV システムの設置を検討、設計するには、事前の発電量予測は非常に重要である。事前の発電量予測により、適正なエネルギー供給量を確保できるように BIPV システムを最適化し、過剰な設備コストを避けることができる。また、BIPV システムの投資回収期間を見積もり、システムの経済性を評価するのに役立つ。

一般的に、BIPV システムの発電量予測には、日照時間、気象条件、季節、設置角度、パネルの劣化など、多くの要素に影響を受ける。これらの要素に加えて、壁面に垂直に設置する BIPV においては、建物の影の影響や地表および隣接する建物からの反射光の影響を考慮する必要がある。建物の影は時間帯、季節、天候、そして障害物の形状と位置によって変化する。建物や地表からの反射光の量と方向は、隣接する表面の材質、色、角度、そして太陽の位置によって変化する。長期的には、壁面 BIPV 設置後に隣地の建物が建て替えられるなど、周辺環境が変化する可能性もある。以上の理由から、壁面に垂直設置される BIPV の発電量を予測することは、屋根上など他の設置場所に比べてより複雑である。壁面設置型 BIPV において、比較的簡便かつ高精度の発電予測技術は現在各国にて取り組み中の技術課題である。

このように、壁面設置型 BIPV の発電量予測は、多くの要素を考慮に入れる必要があり、その手順は複雑で、誤差要因も多い。しかし、BIPV システムの導入検討の最初期段階で発電量早見表を活用して、誤差要因を含む予備的な試算値であっても将来の発電量を見積もっておくことは有効である。垂直設置 BIPV 用発電量早見表の一例を付録 A (p.160) に示す。

発電量早見表は、プロジェクトの可能性を評価するためのツールであり、設計者は初期段階での評価を迅速かつ効率的に行うことができる。これにより、設計者やステークホルダーが BIPV 設置の意義と可能性を理解し、意思決定を行うための情報を提供することができる。また、早見表による時間とコストの節約により、設計者は詳細な設計と分析などの重要課題にリソースを集中することができる。しかし、発電量早見表は、あくまでも最初期評価のためのツールであり、その予測は誤差が大きい概算値であることを考慮し、将来発電量を過大評価し過ぎないように注意が必要である。また、BIPV システムの本格的な設計段階では、より詳細かつ正確な発電量予測を行う必要がある。

#### 4.4 BIPV の設計

BIPV の設計では、初期段階で必要とされる目標電力量と設置環境（面積や設置面等）を把握しておく必要がある。これは建築設計の計画段階で設計者と協議をして決定される事項である。また、建築外皮の要求性能や仕様を基に、カーテンウォールに組み込む BIPV モジュールシステムとしての検討を行い、最適なアレイとストリングおよびパワーコンディショナなどを決定する。その後、BIPV モジュールの詳細設計に進む。

BIPV モジュールの詳細設計では、製作や施工に必要な情報としてモジュールの WH 寸法、構成、厚さなどを決定しなければならない。WH 寸法の決定は、建築外皮のデザインに沿って、カーテンウォールの割り付けに従うこととなる（ガラスと同じプロセス）。ここでは、型式認証 PV モジュールのように一定寸法のを単に並べるのではなく、カーテンウォールの割り付け寸法に依存する。ここで得られた概算の WH 寸法から、製作限界の可否や施工性などを設計要件として検討確認する。

製作上必要となる真の WH 寸法は、カーテンウォールに組み込まれた際の支持状況に依存する。最もポピュラーな 4 辺単純支持の場合を想定すると、BIPV モジュールの WH 寸法決定に支配的なのは、風荷重、層間変位追従性、熱的性能、ガラスエッジから PV セルまでの端面・縁面距離および PV セルサイズや枚数などである（結晶シリコンの場合）。これらの条件から、BIPV モジュールにおけるガラス板厚やガラス構成が明らかとなり、ケーブルなどの配線経路やジャンクションボックスのクリアランスをどの程度確保するかにより、BIPV モジュールの正確な WH 寸法が決定する。そのため、BIPV モジュールはほとんどが特注対応となる。

風荷重（第 2 章で記述）は、高さや部位によって異なるが、BIPV モジュールに採用されるガラス厚の決定には直接的に関係する。このガラス厚の決定は、ガラスパネルに生ずる主応力を確認することに加え、ガラスパネルの撓み量を一定以下にすることで調整を加えている。その理由は、二つある。一つは居住者に心理的不安を与えない範囲の撓み量とすること、もう一つは PV セルやインターコネクション部分への過度な変形履歴を和らげるためである。

BIPV モジュールは PV セルの集合体であり、そこに電力取出部であるジャンクションボックスやバイパスダイオードなどが組み込まれている。PV セルの標準的なサイズは、6 インチ材（156 mm 角）が今までの主流であったが、最近では、このサイズよりも大きくなる傾向にある（前述 図 3-2-9 参照）。これを先程の BIPV モジュールの WH 寸法内にクラスターとして配置する。クラスターとは、PV セルの直流区間をバイパスダイオードで区切った PV セルユニットを指す。クラスターは部分影などによる影響を回避するためにバイパスダイオードで区切られているが、クラスター内の直流区間やバイパスダイオードの信頼性は火災などの懸念に直結するため、その設計には注意が必要となる。また、1 枚あたりの PV モジュールガラスの縁端部からの距離は、PV セルの品質管理上、一定以上に保つ必要があり、BIPV モジュール内に配置される PV セル枚数もそれらの制約の中で決定していく必要がある。さらに、配線ケーブルやジャンクションボックスの位置などは、カーテンウォールのフレーム内で取りまわすことを考慮して決定される。特に地震時における層間変位追従性能に関してはケーブルとフレーム間での擦

過による地絡などが考えられ、コネクタ部の箇所へ予期せぬ導体が介在することによるリーク電流などに留意する必要がある。加えて、ケーブルが気密水密ラインを跨ぐ場合は、建築外皮の基本性能として十分な対策を講じる必要があり、火災時の遮炎性維持や防火区画を貫通するケーブルに対応する上での設計的配慮も必要となる。メタルカーテンウォールの開口部に BIPV モジュールを組込むことを想定した際のディテール例を図 4-4-1 に示す。

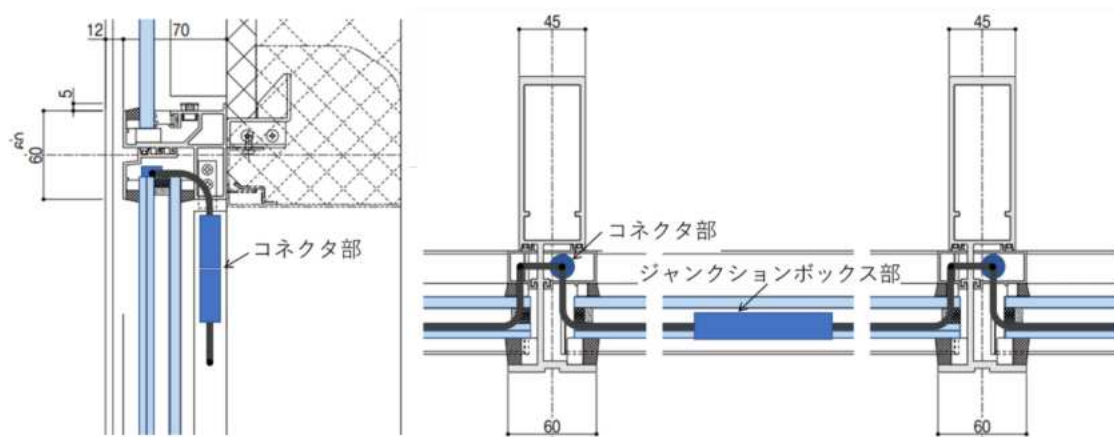


図 4-4-1 メタルカーテンウォールの開口部に BIPV モジュールを組込むことを想定したディテール例<sup>4-4-2)</sup>

#### (a) 部分影

方立フィンや無目カバーなど遮光要素が組込まれているファサードに BIPV モジュールを組込む場合は、太陽高度や太陽方位角およびガラス表面の反射角に応じて部分影が生じることがある(図 4-4-2)。特に PV セルが端面まで迫っていると、BIPV モジュールはカーテンウォールのフレームに嵌め込んだ際、端部 PV セル部分に部分影が生じやすくなる。部分影は、ホットスポット現象を発生させる原因となり、発電性能の低下や BIPV モジュールの破損などを起こす恐れがある。そのような事態を排除するには、BIPV モジュールの配置やクラスターごとにバイパスすることなどを考慮し設計する必要がある。また、ケースによっては、ダミーセル(後述)による構成も考えられる。

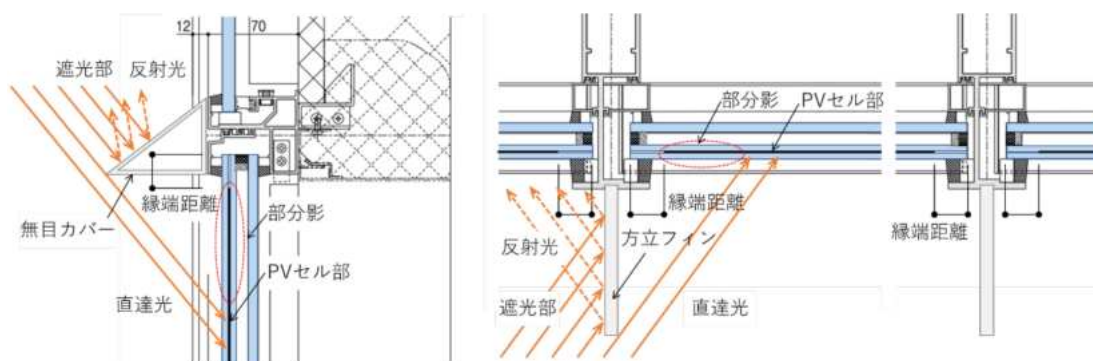


図 4-4-2 PV モジュール部、PV セル部に生じる部分影による例<sup>4-4-2)</sup>

#### (b) ダミーモジュール、ダミーセル

ファサードの構成上、形状が複雑でサイズが揃わない場合などは、PVセルの配置状況に応じて電圧を他のモジュールと同一に維持できないため、ケースによってはダミーモジュールを設けて対処する場合がある。図 4-4-3 にはダミーモジュールと図 4-4-4 ダミーセルの事例を示す。ダミーモジュールは、従来の BIPV モジュールと同じ材料、同じ構成で製作されるが、コネクタケーブルをストリングに接続せず、開回路状態のままの運用となる。または、バスバーやジャンクションボックスなどの取出し部を設けないモジュールもある。ダミーセルは予め影になる領域を想定して配置し、その部分は電氣的に繋がらない設計とすることで、外観上のデザイン性を維持できる。



図 4-4-3 ダミーモジュールの例 <sup>4-4-3)</sup>



図 4-4-4 ダミーセルの例 <sup>4-4-4)</sup>

#### (c) 更新時に向けた対応

建築物は、非常に長い期間の運用に耐えうる必要がある。型式認証を受けた標準 PV モジュール（例えば、野建てや屋根置き PV モジュール）は、保証期間中、太陽電池メーカーが在庫を持っているが、BIPV はプロジェクトごとの特注であることが多いため、BIPV モジュールをストック用として計画的に製作した上で保管しておくか、保証期間内は PV セルや封止材およびガラスなど同じ構成部材を確保し保有しておく必要がある。どうしても同じ材種で同じ厚さのものが揃わない場合は、性能や見た目も含めて同じようなものを抽出しておく必要があるが、その場合は、事前に施主や建築設計者などに確認しておく必要がある。

#### (d) デラミネーションなどの問題

BIPV モジュールは、型式認証された標準 PV モジュールとは異なり、カーテンウォールのフレームに直接嵌め込み、他の部材と近接して配置される。そのため、封止材が他部材により何らかの影響を受けてデラミネーションや黄変を発生させる恐れがある。そこで、これらの問題が生じないようにコンパチビリティなどに対する事前確認をしておく方が良い。図 3-1-12 にはデラミネーションが生じた事例を示し、図 3-1-13 にはデラミネーションを再現した研究報告を示す。事前にコンパチビリティを確認することで、施工後の不具合による交換などを抑制できる可能性がある。



再掲 図 3-1-12 デラミネーション事例<sup>3-1-12)</sup>



再掲 図 3-1-13 試験による再現<sup>3-1-12)</sup>

#### (e) フレキシブルモジュール等

最近、セルテクノロジーの進化やモジュール化技術の向上により、フレキシブルな PV モジュールや可撓性を得られる PV モジュールが提供されている。具体的な例を図 4-4-5 に示す。一つ目は、実用化されている薄膜シリコン (a-Si 等) とファブリックを用いた PV ロールスクリーン (図 4-4-5(a)) である。これは、ロールスクリーンの名の通り巻き取れるので、極めて高いフレキシブル性を有する PV モジュールとなっている。また、過去には、半透明な OPV セルによるフィルム状モジュールを、従来のウィンドウフィルムと同様にガラスへ直接貼り付ける製品 (図 4-4-5(b)) が上市されていた。このウィンドウフィルム状 PV モジュールは、高いフレキシブル性を有しており利便性も高かったが、発電効率が低いことや既存ガラスの熱割れへの懸念およびウィンドウフィルムの耐久性などによる課題があり、残念ながらあまり浸透しなかったと推察する。その一方で、OPV セルによるフレキシブルモジュールを既存壁面に直接貼付けられる商品 (図 4-4-5(c)) が国外メーカーを中心に上市され、日本の販売業者も、これらの商材を取扱い、取付施工をしている。

また、最近多くみられるのは、結晶シリコン PV セルによる可撓性を有した PV モジュールである。PV モジュールの可撓性は、PV セル厚さを薄くして、表面材裏面材を薄型の透明樹脂材などで構成することにより実現している。この PV モジュールは、主に中国など国外メーカーが提供しており、屋根や外壁に直接貼付ける形で取付施工することを想定している (図 4-4-5(d))。その他に可撓性と軽量化を図った PV モジュールとしては、同じく結晶シリコン PV セルを 1.3 mm 厚の化学強化ガラスで構成した PV モジュール (図 4-4-5(e)) がある。これらは、フレキシブルというよりも可撓性のあるモジュールという位置づけとなる。特に前者は、ハンドリング時にあまり曲げ過ぎるとセル割れを起こし、発電性能の低下やスネイルトレイルなどの問題にも成り兼ねないので、取扱いには注意が必要となる。さらに、最近では、ペロブスカイトによるフレキシブルモジュールに向けた動きもある。現時点では PV モジュールとして十分な繰返し曲げ追従性が得られているかどうかの確認が取れているわけではないが、可撓性、軽量、発電性能、原材料調達およびコスト等の観点から今後の発展が大いに期待されている。



(a) 巻き取り型(開口部) 4-1-5)



(b) 貼付けフィルム型(開口部) 4-1-6)



(c) 貼付けモジュール型(屋根) 4-1-7)



(d) 貼付けモジュール型(外壁) 4-1-7)



(e) 樹脂面材型(外壁) 4-1-8)



(f) 化学強化ガラス型(開口部) 4-1-9)

図 4-4-5 フレキシブル型 PV、可撓型 PV の事例等

#### 4.5 施工計画書等の作成

壁面への BIPV モジュールの設置には、メタルカーテンウォール工事で PC カーテンウォール工事の 2 種類が関連する。以下、BIPV モジュール設置に関連する内容を解説する。

BIPV や BAPV を組込んだメタルカーテンウォール工事で PC カーテンウォール工事の主な作業フローを図 4-5-1 に示す。準備段階では、設計図書（製作先指定有無等）、試験（モックアップ製作等）有無、要求性能（耐風圧性、水密性、気密性等:第 2 章 1 節参照）、作業制約（近隣の環境等）、PV 仕様等の確認を行う。

メタルカーテンウォール工事における施工計画は、仕様（材料、取付施工方法等）、構造計算（層間変位追従性、風荷重、治具強度等）、技術検討（ガラスの熱割れ、結露等）、形状と寸法（重量、他部材取合い等）等の確認を行い、施工計画書を策定する。

PCカーテンウォール工事における施工計画は、仕様（コンクリートの種類と設計強度、金物強度、表面仕上げ等）、構造計算（層間変位追従性、配筋、治具強度等）、技術検討（制震、接合治具等）、形状と寸法（パネル目地の許容寸法、躯体精度、補強等）等の確認を行い、施工計画書を策定する。その他で両工事に共通する施工計画としては、関連工事取合い（鉄骨建て方精度と重機選定、他部材取合い、PV 出力ケーブルの敷設経路等）、搬入、楊重、取付け、仮設

足場、養生等の計画、工程の検討等がある。専門工事業者の決定には、施工実績と有資格者の確認、要求品質、施工時期、工事範囲の伝達、契約締結等がある。

施工計画書には、工事期間、品質管理体制、設計仕様、施工数量、収まり詳細、検査含む工程表等を記載する。品質管理体制には、責任者、担当者、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールと BIPV モジュールの製作先と取付け担当等を記載する。設計仕様には、設計図面、試験の有無、要求性能等について記載する。施工数量には、部位、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールと PV の種類、仕上げ、サッシ有無等も記載する。収まり詳細には図面を添付する。

カーテンウォールの施工工程表の概略フローを表 4-5-1 に示す。詳細は施工物件ごとに異なるが、概略フローとして、施工計画、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールと BIPV モジュールの製作、躯体と BIPV モジュールの取付けとなる。PC カーテンウォールも同様のフローとなる。

カーテンウォールと BIPV モジュールは、製作先の工場検査、実大サンプルのモックアップ確認、製品検査を経て、現地受入検査で合格したものだけを実際に取付ける。取付け後は完成検査と竣工検査を行う。検査の内容については、第7章で解説する。カーテンウォールと BIPV モジュールはクレーン等で楊重して所定箇所へ取付けを行うが、軽量なものについては仮設足場組みまたは高所作業車を使用して所定箇所へ取付けを行うことがある。

製作図と要領書等は専門工事業者に作成を依頼して、内容を審査し承認する。承認後は、作業所は現地で墨出し、製作者は、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールと BIPV モジュールの本体、躯体先付け金物、付属金物を製作する。躯体先付け金物は、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールと BIPV モジュールの本体取付け前に躯体へ取付ける。付属金物を組み込んで製作したメタルカーテンウォール / PC カーテンウォール本体は製品検査を経て躯体へ取付ける。BIPV モジュールは、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォール本体を壁面に設置する前に工事現場にて組み込んだ後に楊重して壁面に設置する場合と、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールを壁面に設置した後に BIPV モジュールを楊重してメタルカーテンウォール / PC カーテンウォールに組み込む場合の 2 種類の方法がある。メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールの製品検査には寸法精度、外観、水密性、耐風圧性等の内容、BIPV モジュールの製品検査には絶縁検査等がある。

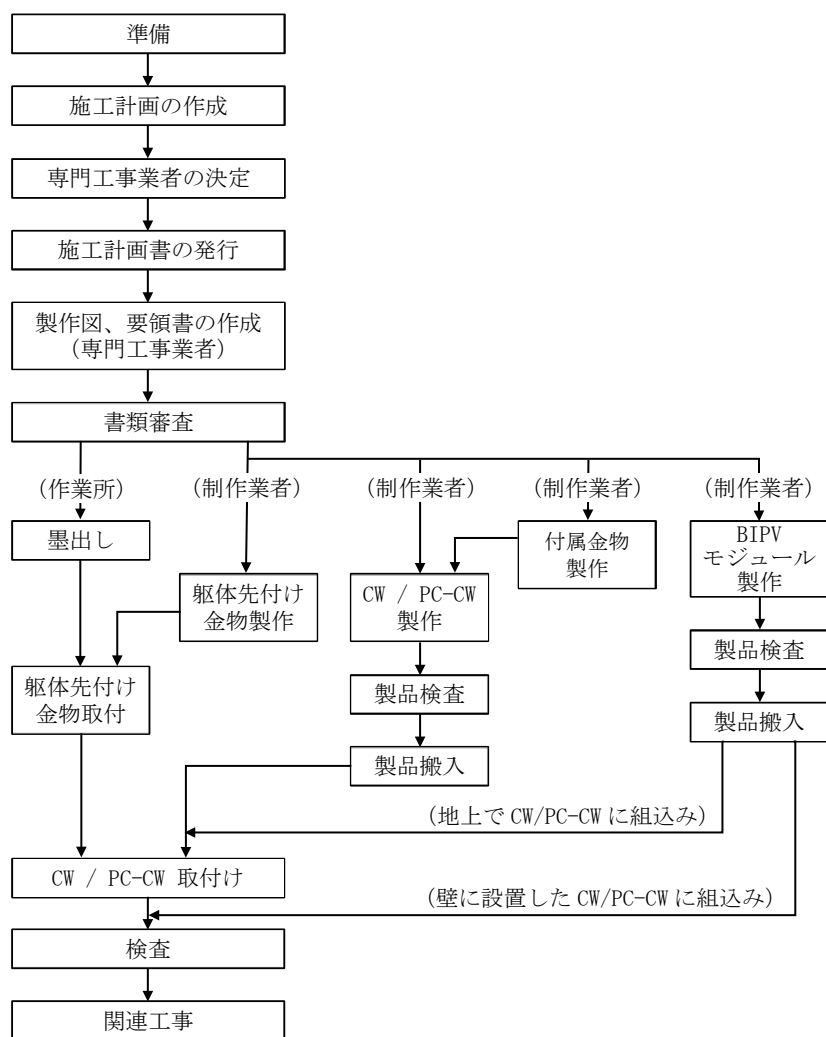


図 4-5-1 メタルカーテンウォール / PC カーテンウォール工事の作業フロー

表 4-5-1 メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールと BIPV の施工工程表（概略フロー）

| 項目 |              | 期間 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|--------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 計画 | 楊重計画         | ■  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|    | カーテンウォール製作図  | ■  | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
|    | PV製作図        | ■  | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 製作 | モックアップ確認     |    | ■ | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|    | カーテンウォール製作   |    |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
|    | BIPVモジュール製作  |    |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 施工 | カーテンウォール取付け  |    |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
|    | BIPVモジュール取付け |    |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
|    | 完成検査         |    |   |   |   |   | △ | △ | △ | △ |   |   | ■ |
|    | 竣工検査         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ■ |

▽：工場検査、製品検査      △：受入検査      ■：検査

BIPV モジュールをメタルカーテンウォールや PC カーテンウォール本体に設置する場合、基本的にはガラスと同様の取付け方法になるが、図 4-5-2 に示すように、BIPV モジュールの出力ケーブルの敷設ルート確保と、出力ケーブルに連結した延長ケーブルの敷設ルートを確保する必要がある。新築の場合は、メタルカーテンウォールや PC カーテンウォール本体に BIPV モジュールを現地で取り付け後、重機で楊重して躯体の所定部位に設置する。BIPV モジュールを後付けする場合は、屋外側から設置するには楊重または仮設足場が必要になる。

設置先はスパンドレル部（腰部：天井裏空間の外壁）と、ビジョン部（開口部：窓）の窓に大きく分類される。外壁用 BIPV には透光機能は不要であるが、窓用 BIPV には眺望と採光の機能が必要となる。また、建物の断熱性にも配慮が必要となるため、外壁用 BIPV の背面側には断熱材等の併設が、窓用 BIPV には断熱の他に日射に対する遮熱の機能がさらに必要となる。

なお、メタルカーテンウォール / PC カーテンウォールに組み込む BIPV モジュールは、発電保証期間終了後も外装として建物解体まで継続的に使用されることが想定されるため、建材としての耐久性も要求されるが、発電の不具合や BIPV モジュールの破損等で交換することを想定した施工計画が必要である。

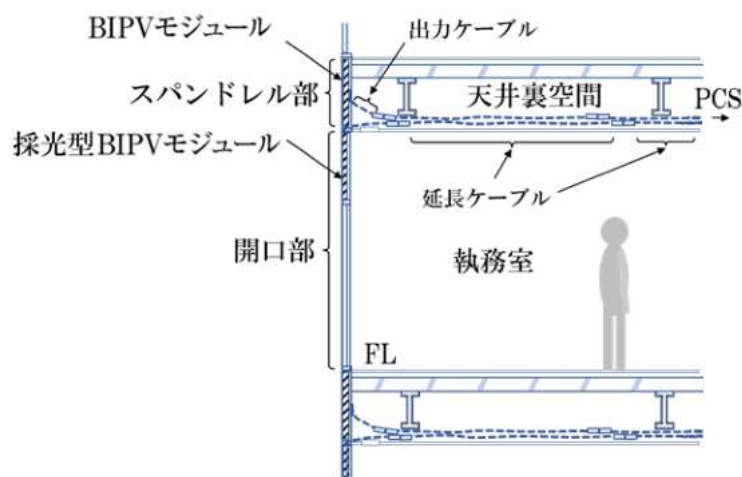


図 4-5-2 BIPV のケーブル敷設経路の例

#### 引用文献・参考文献等

- 4-1-1) NEDO, 太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究, 2009
- 4-1-2) LIXIL カーテンウォール E-SHAPE カタログ, [https://www.lixil.co.jp/lineup/building\\_apartment\\_store/e-shape/](https://www.lixil.co.jp/lineup/building_apartment_store/e-shape/)
- 4-1-3) IEA PVPS Task15 Technical Reports / Successful Building Integration of Photovoltaics – A Collection of International Projects / ISBN 978-3-906042-92-3
- 4-1-4) <https://newsroom.lixil.com/ja/2022071902>
- 4-1-5) ©2024 LIXIL 提供 PV ロールスクリーンシステム
- 4-1-6) <https://xtech.nikkei.com/dm/article/NEWS/20150807/431364/?SS=imgview&FD=-505476257>
- 4-1-7) <https://www.heliatek.com/en/references/>
- 4-1-8) <https://de-denkosha.co.jp/product/flexiblemodule/wall/>
- 4-1-9) [https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC176\\_850.pdf](https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC176_850.pdf)

## 第5章 製作

BIPV モジュールの構造には、バックシート構造、フレームレス化が可能なダブルガラス構造、断熱性向上効果のある複層ガラス構造などがある。壁面設置 BIPV モジュールとして一般的なダブルガラス構造には合わせガラス加工技術と PV モジュールの品質管理技術が必要で、「真空バッグ+オートクレーブ方式」、「真空バッグ+オープン方式」および「ラミネータ+オープン方式」の3つの製作方法がある。また、BIPV モジュールをカーテンウォールに組み込む工法には、「完全ユニット工法」、「フレーム部ユニット工法」および「ノックダウン工法」の3つがあり、それぞれ製作品質と製作工程および契約形態などが異なる。全体的に、BIPV モジュールのカーテンウォールへの組み込みは、従来のカーテンウォール製作とは異なる工程と注意点を伴う。

BIPV をカーテンウォールに組み込む場合は、カーテンウォール工法の違いにより、BIPV モジュールの組み込む時期や場所が異なる。完全ユニット工法の標準製作工程では、工場にてユニット化したカーテンウォールフレームに面材であるガラスや BIPV モジュールを組み込むため、その時までには BIPV モジュール等を製作、検査および出荷して、カーテンウォール製作工場に納品する必要がある。一方、フレーム部ユニット工法やノックダウン工法の場合には、BIPV モジュールやガラスおよび周辺のシーリング作業が現場となるため、カーテンウォールの出荷以降に対応することになる。

カーテンウォールの取付け施工におけるスケジュールは、鉄骨建方の後に遅滞なく取付施工を行い、次工種である設備工事（電気、空調、衛生等）や内装工事等に円滑に引継いでいく。そのため、建物の工程計画において重要な位置を占め、遅延が許されない。したがって、BIPV モジュールの製作にあたっては、カーテンウォールの製作方式や工程も踏まえて検討を行い、工程計画に合わせて遅滞なく BIPV モジュールを提供する必要がある。

### 5.1 BIPV モジュールの製作

#### 5.1.1 BIPV モジュールの構造

BIPV モジュールの構造には、フレーム有り、フレーム無し、バックシート構造、ダブルガラス構造などがあることを第3章2節でも紹介した（図3-2-8）。一般的な型式認証 PV モジュールは、受光面側にカバーガラス、背面に樹脂製バックシートを配置して封止し、機械的強度を高めるためにアルミフレームで補強している（図5-1-1）。

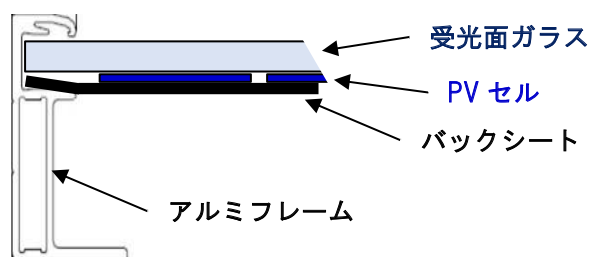


図 5-1-1 一般的な PV モジュール（アルミフレームタイプ）の断面構造

これに対して、ダブルガラスタイプの BIPV モジュールでは受光面側にカバーガラス、背面にも透明ガラスを配置した合わせガラス構造とすることにより、良好な採光・眺望機能を実現している（図 5-1-2）。さらに、この合わせガラス構造の裏面側に空気層を介してもう 1 枚のガラスを室内側に配置して複層ガラス構造とすることにより、建築物の断熱性が向上して空調消費エネルギーを低減することができる。

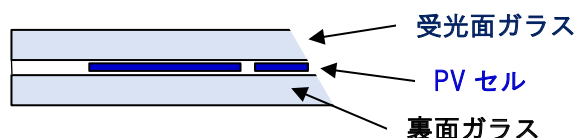


図 5-1-2 ダブルガラスタイプの BIPV モジュールにおける断面構造

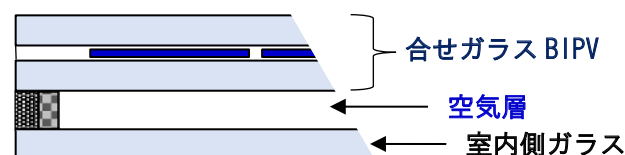


図 5-1-3 複層ガラス化したダブルガラスタイプの BIPV モジュールにおける断面構造

型式認証 PV モジュールのフレームは、モジュール内部の複数の部材を組み付けるための部材であり、一般的にアルミニウム合金（あるいはステンレス）などの金属材料が用いられる。フレームレスのダブルガラスタイプの BIPV モジュールは、総合的な面剛性に関しては、同じガラス板厚という条件であれば、フレームありの型式認証 PV モジュールと比較すると若干低下するが、BIPV モジュールの場合は、カーテンウォールフレームなどに嵌め込むため、大きな差とはならない。ただし、ガラス点支持構法のようなもので保持する場合は、境界条件の違いにより、フレームによる拘束効果が減少する分、面剛性は低下する（変形が大きくなる）ことに注意する必要がある。ダブルガラスタイプの BIPV モジュールは、型式認証の PV モジュールとは異なり、両面がガラスで保護されているので、水蒸気や酸、アルカリへの耐性が極めて高い。これらの違いは、それぞれの PV モジュールが設置される環境や用途により、適切な選択が求められる。アルミフレーム付き型式認証 PV モジュールは、一般的には耐久性と安定性が求められる場合に適しており、ダブルガラスタイプの BIPV モジュールは、デザイン性として建築物との一体化が重視される場合に適している。

### 5.1.2 ダブルガラスモジュールの製作

ダブルガラスタイプ BIPV モジュールの製作には、合わせガラスの加工技術と、PV モジュールの製作における品質管理技術の融合が求められる。代表的な合わせ加工方法として、真空バッグ＋オートクレーブ方式、真空バッグ＋オープン方式およびラミネータ＋オープン方式の 3 つがある。以下で解説する。

#### (a) 真空バッグ+オートクレーブ方式

真空バッグ+オートクレーブ方式は、面ガラス・中間膜・PVセル・中間膜・受光面ガラスの順に積層したあと、真空バッグにいれて脱気を行う（図 5-1-4）。その後、オートクレーブ（加圧加温接着炉）の中で、高圧条件下で加熱圧着する。この方式の特徴は、一度に大量の BIPV モジュールを製作することができる。一方、大容量の炉で加熱するため、加熱圧着に 8 時間程度と長時間を要する。

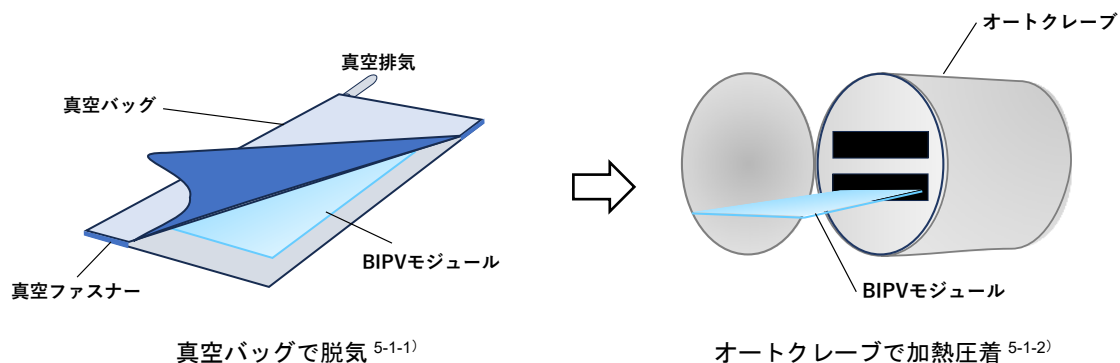


図 5-1-4 真空バッグ+オートクレーブ方式

#### (b) 真空バッグ+オーブン方式

真空バッグ+オーブン方式は、裏面ガラス・中間膜・PVセル・中間膜・受光面ガラスの順に積層した後に、真空バッグに入れて脱気し、その後、オーブンに入れて加熱する（図 5-1-5）。この方式は、オートクレーブに比べて一度の製作数量は少なくなるが、加工時間を短縮することができる。

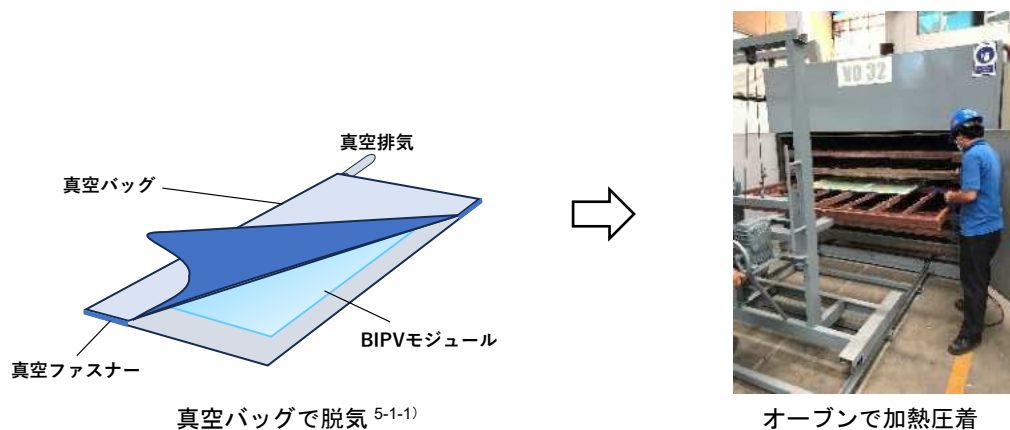


図 5-1-5 真空バッグ+オーブン方式

#### (c) ラミネータ+オーブン方式

ラミネータ+オーブン方式は、裏面ガラス・中間膜・PVセル・中間膜・受光面ガラスの順に積層した後に、ラミネータへ投入する。ラミネータでは、真空引き・真空加熱・加圧加熱の順に、

1 次圧着を行う（図 5-1-6 左）。1 次圧着後、内部の気泡や異物のないことを確認し、オープンに投入して 2 次圧着を行う（図 5-1-6 右）。この方式は、工程の途中で外観検査を行うことができる点が品質管理面の特長である。

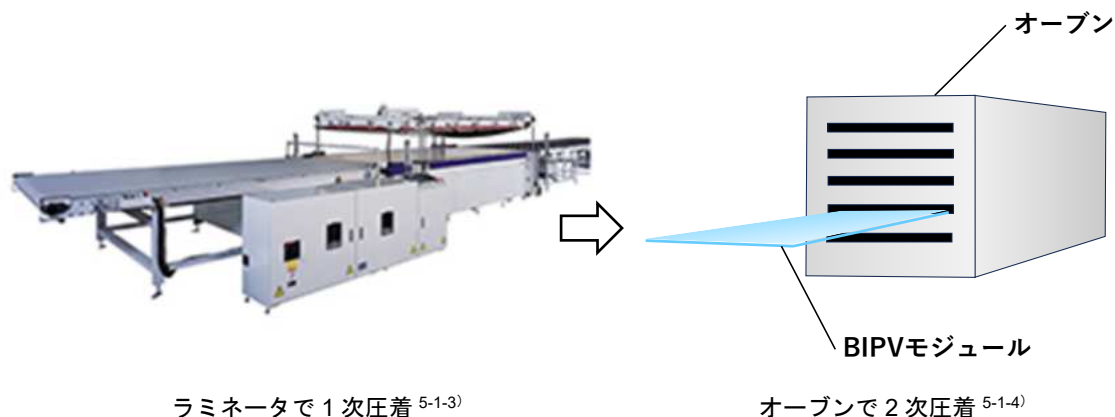


図 5-1-6 ラミネータ+オープン方式

### 5.1.3 BIPV モジュールの製造管理

BIPV モジュールの製作にあたっては、建築外皮の設計により決定された BIPV モジュールの詳細図を作成して納入先の同意を得た上で、PV セル、PV 関連副資材およびカバーガラス材料などの調達手配を行う。各部品の受入検査後に BIPV モジュールを組み立てる。まずはセル間配線によってストリングスを形成し、次にストリングスをカバーガラス上に配置してマトリックスを構成した後（図 5-1-7）、モジュールのラミネート処理を行う（図 5-1-6 左）。ラミネートされた BIPV モジュールの周辺端部を電極に注意しながら処理する仕上げを行い、検査、梱包、出荷となる。BIPV モジュールの設計・製作手順を図 5-1-8 に示す。



PV セル自動配線装置



自動レイアップ装置

図 5-1-7 BIPV モジュール組み立て装置 5-1-5)

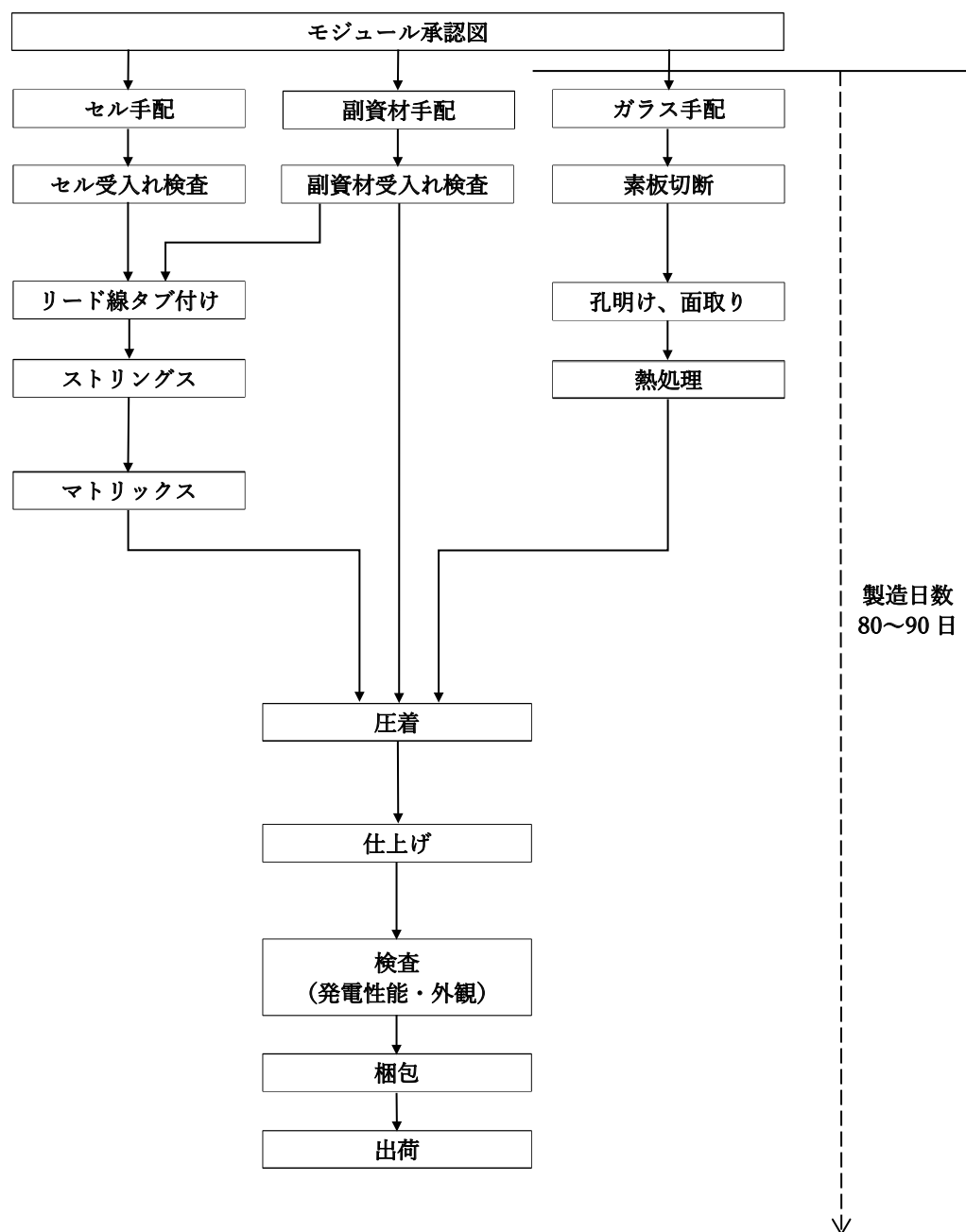


図 5-1-8 BIPV モジュールの製作手順（製作工程）

#### 5.1.4 製作許容差および検査等

##### 5.1.4.1 BIPV モジュールの製作許容差

BIPV モジュールは、抜取り検査を行い、合格した製作ロットの製品を出荷する。BIPV モジュールの許容寸法例と測定方法を表 5-1-1 に示す。

表 5-1-1 BIPV モジュールの製作許容寸法等の例

| 項目                 | 基準例                                                              | 測定方法                                                        |
|--------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 長さ、幅               | 〈1200 mm以下〉 $\pm 2$ mm<br>〈1200 mm超え 3000 mm以下〉 $+3$ mm、 $-2$ mm | 鋼製巻尺 (JIS B 7512)                                           |
| 対角差                | 〈3000 mm以下〉 $\pm 3$ mm                                           | 鋼製巻尺 (JIS B 7512)                                           |
| 厚み                 | $\pm 2.0$ mm                                                     | マイクロメータ (JIS B 7502)<br>またはノギス (JIS B 7507)<br>(4 か所/モジュール) |
| セル位置<br>ガラスエッジとの距離 | 使用上差し支えるものがないこと                                                  | 鋼製巻尺 (JIS B 7512)<br>または金属製直尺 (JIS B 7516)                  |
| セル隙間               | 使用上差し支えるものがないこと                                                  | 金属製直尺 (JIS B 7516)                                          |
| 反り                 | 0.3%以内                                                           | 金属製直尺 (JIS B 7516)                                          |
| 板ずれ                | 2.0 mm以内                                                         |                                                             |
| 膜引込                | 深さ 2.0 mm以内                                                      | 金属製直尺 (JIS B 7516)                                          |

BIPV モジュール用ガラスは、全数検査を行い、合格した製品のみ出荷する。表 5-1-2 には、BIPV モジュールに用いられているガラスの合わせ加工時における検査項目を示す。

表 5-1-2 BIPV モジュール用ガラスの検査項目例

| 項目      | 基準例                                           | 検査方法、測定方法          |
|---------|-----------------------------------------------|--------------------|
| 合わせ部 気泡 | 1m の距離から目視で選別できるものがないこと または、泡サイズが 9 mm以下であること | 目視                 |
| 合わせ部 異物 | 4φを超えるものがないこと                                 | 目視                 |
| ガラス ひび  | ないこと                                          | 目視                 |
| ガラス 欠け  | 長さまたは幅が板厚以下のこと                                | 金属製直尺 (JIS B 7516) |
| ガラス 傷   | 使用上差し支えるものがないこと                               | 目視                 |

#### 5.1.4.2 電気的特性の確認検査

BIPV モジュールの出荷前には、電気特性の確認検査を実施する。BIPV モジュールの電気的特性は、以下項目について各工業規格に準拠して全数検査する。

##### (a) 屋内出力測定 (JIS C 8904)

屋内出力測定は、制御された環境下で PV モジュールの電気出力を測定する。これは、BIPV モジュールが指定された性能基準を満たしていることを確認するための重要な手順である。JIS C 8904 に規定する結晶系太陽電池測定用ソーラーシミュレーターで PV モジュールを測定し、JIS C 8904 で規定する補正式をもとに基準状態（モジュール温度 25℃、分光分布 AM1.5 全天日射基準太陽光、放射照度 1000W・m<sup>2</sup>）への換算を行う。

##### (b) 屋外出力測定 (JIS C 8904)

屋外出力測定は、実際の環境条件下で PV モジュールの電気出力を測定する。これにより、モジュールが実際の使用環境で期待される性能を発揮できるかを評価する。自然太陽光の下で、PV モジュールを測定し、JIS C 8904 で規定する補正式をもとに基準状態への換算を行う。PV

モジュールの測定条件の一例を以下に示す。

- ・モジュール温度：10～70℃
- ・放射照度：800W/m<sup>2</sup>以上

#### (c) 判定基準（JIS C 8904）

屋内出力特性および屋外出力特性の判定基準は、PV モジュールが出荷される前に満たすべき性能基準を定義する。これには、PV モジュールの電気出力、効率、および信頼性などが含まれる。判定基準の一例を以下に示す。

- ・開放電圧：設計値±10%以内
- ・短絡電流：設計値の 90%以上
- ・最大出力：設計値の 90%以上

これらの手順は、BIPV モジュールが設計仕様を満たし、安全で信頼性の高い性能を提供できることを確認するために重要である。ただし、具体的な手順、方法、判定基準は、使用する BIPV モジュールや試験設備、規格などにより異なる場合がある。

#### 5.1.4.3 設置環境

BIPV モジュールの設置環境については、以下の要件が一般的に設定される。これらの要件は、BIPV モジュールの設計、製造、取り扱いにおいて重要なガイドラインを提供する。ただし、具体的な要件は、使用する BIPV モジュールや設置環境、規格などにより異なる場合がある。

##### (a) 標準仕様状態（JIS C 8904 に準拠）

- ・周囲温度：-20℃～+40℃
- ・相対湿度：45%～95%

これは一般的な屋外環境での使用を想定した温度範囲であり、この範囲内において BIPV モジュールは正常に動作することが期待される。

##### (b) モジュール動作温度

- ・-40℃～+90℃

これは、BIPV モジュールが安全に動作できる温度範囲を示している。この範囲を超えると、モジュールの性能が低下したり、損傷を受けたりする可能性がある。

##### (c) BIPV モジュール保存温度および湿度

- ・保存温度：-40℃～+60℃
- ・保存湿度：80%以下

これらは、BIPV モジュールが使用されないときの保存条件を示している。これらの条件を守

ることで、BIPV モジュールの寿命を延ばし、性能を維持することができる。

#### 5.1.4.4 出荷

BIPV モジュールの一般的な出荷手順を以下に示す。

##### (a) 梱包・養生

BIPV モジュールは、適切な緩衝材を使用して梱包する必要がある。これは、製品が輸送中に損傷を受けるのを防ぐためである。また、BIPV モジュールは、所定のパレットで現場に運び、パレットには使用箇所、枚数およびガラス構成などの必要事項が明示されている。

##### (b) 発送計画：

製品の発送に際しては、作業所監督員やカーテンウォール製作工場の受入れ係員らと事前に打ち合わせを行い、発送計画を立てる。これにより、決められた数量が遅滞なく発送される。

##### (c) 発送方法：

BIPV モジュールの発送方法は、製品の種類やサイズ、目的地などにより異なる。一般的には、信頼できる運送会社を通じて発送される。また、適切な梱包と取り扱いが行われ、製品が安全に目的地に到着することを確認する。

以上の手順は一般的なものであり、具体的な手順や方法は、使用する BIPV モジュールや目的地、運送会社のポリシーなどにより異なる場合がある。また、BIPV モジュールの取扱いは専門的な知識と技術を必要とするため、専門家の支援が必要である。

#### 引用文献・参考文献等

- 5-1-1) 提供：太陽光発電技術研究組合
- 5-1-2) 提供：太陽光発電技術研究組合
- 5-1-3) <https://www.nisshinbo-mechatronics.co.jp/products/machinery.html>
- 5-1-4) 提供：太陽光発電技術研究組合
- 5-1-5) <https://www.npcgroup.net/solarcell/p-m-e/si-lineup>

## 5.2 BIPV モジュールを組込むメタルカーテンウォールの製作

### 5.2.1 メタルカーテンウォール製作概要

BIPV モジュールは、カーテンウォール構法のフレームに組込まれることが多いことから、本節では、メタルカーテンウォール（以下、本節ではカーテンウォール）に組込むことを前提とした解説を行うことにする。

カーテンウォールの製作にあたっては、「公共建築工事標準仕様書（建築工事編）令和 4 年版の第 17 章カーテンウォール工事」<sup>5-2-1)</sup> に記された仕様に従うことが一般的である。また、それを補うものとして、日本建築学会から発刊されている「建築工事標準仕様書・同解説 JASS14 カーテンウォール工事」<sup>5-2-1)</sup> がある。カーテンウォールを採用する建物は、JASS 14 を適用するように設計図書に記されているため、BIPV モジュールをカーテンウォールに組込む場合は、これらに従いながら、BIPV モジュール特有の要件を加味した上で製作をする必要がある。

ここで、メタルカーテンウォールの製作は、主に以下 3 つの形態が考えられる（図 5-2-1）。

- ① 工場にて、カーテンウォールをユニット化し、そこに BIPV モジュールを組込んだ状態で出荷する（完全ユニット工法）。
- ② 工場にて、カーテンウォールをユニット化し、そこに BIPV モジュールを組込まない状態で出荷する（フレーム部ユニット工法）。
- ③ 工場にて、カーテンウォール部材を各々製作し、バラ材を出荷する（ノックダウン工法）。

製作品質を確保がしやすい工法は、①完全ユニット工法である。フレーム材を組み、そこに面材を嵌込むため、面材が BIPV モジュールの場合は、整った環境で製作過程を確認することができる。一方、②フレーム部ユニット工法では、工場にてフレーム部のユニット化を進めた上で、現場にて面材である BIPV モジュールを嵌込む。そのため、製作過程で両者を組んだ状態での確認ができない。これは③ノックダウン工法でも同じである。これらの形態は、契約形態によって変わるため、どの方法が最適なのかを十分に検討し判断することが求められる。

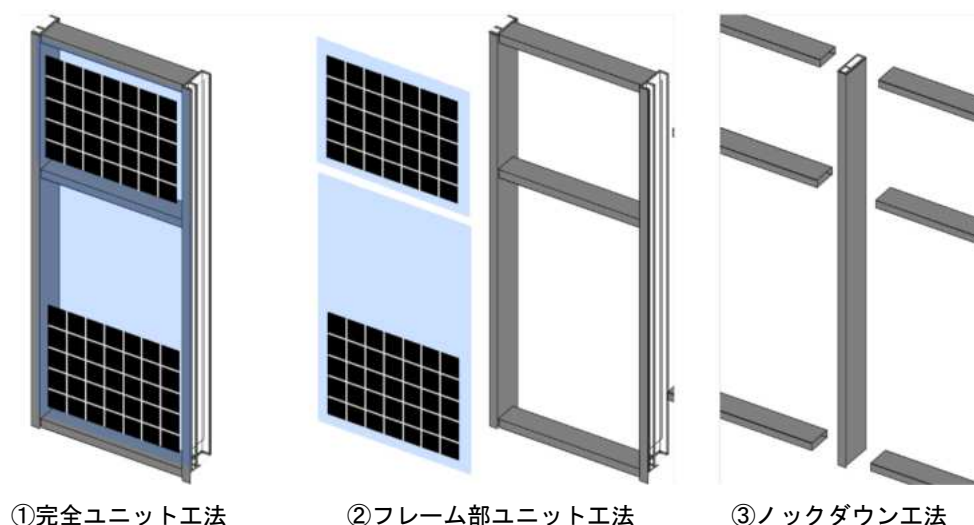
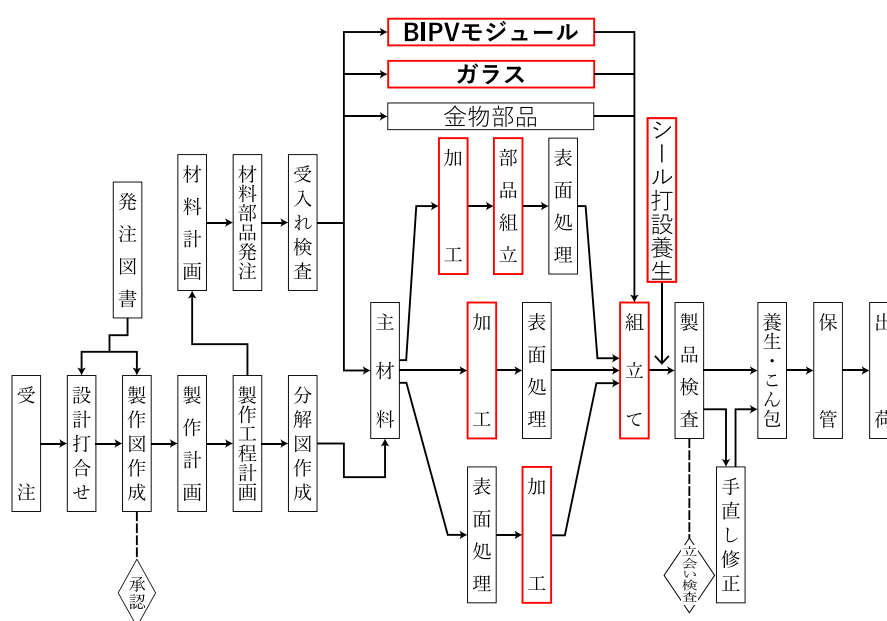


図 5-2-1 メタルカーテンウォールの各種工法概略

## 5.2.2 製作工程計画

BIPV を組み込んだカーテンウォールを製作する際は、通常の流れとは若干異なった製作工程となるため、事前に製作方法について検討し、適切な製作工程計画を作成する必要がある。

カーテンウォールの取付けは、建物全体の施工工程の中でも重要な項目の一つであり、納品の遅れが生じると、全体工程にも大きく影響する可能性があるため、製作工程計画の作成とその工程管理は重要な項目である。図 5-2-2 には、典型的なメタルカーテンウォール（完全ユニット工法）の標準製作工程に BIPV モジュールを加えた場合の流れは、下記ようになる。施工者は、カーテンウォールの製作にあたり、製作工程計画を作成し、監理者に提出する。



※加工：BIPVモジュール設置に即した加工を実施

図 5-2-2 メタルカーテンウォール（完全ユニット工法）の標準製作工程 5-2-2) に加工

BIPV をカーテンウォールに組込む場合は、予め検討された取付方法に従い、BIPV モジュールまたは取付金物の組込みの工程を製作工程計画に入れておく。カーテンウォール工法の違いにより、BIPV モジュールの組込む時期や場所が異なる点には注意を要する。上図は、完全ユニット工法における標準製作工程を示しているが、工場にてユニット化したカーテンウォールフレームに面材であるガラスや BIPV モジュールを組み込むため、その時までには BIPV モジュール等を製作、検査および出荷して、カーテンウォール製作工場に納品する必要がある。

一方、フレーム部ユニット工法やノックダウン工法の場合には、BIPV モジュールやガラスおよび周辺のシーリング作業が現場となるため、カーテンウォールの出荷以降に対応することになる。

カーテンウォールの取付け施工におけるスケジュールは、鉄骨建方の後に遅滞なく取付施工を行い、次工種である設備工事（電気、空調、衛生等）や内装工事等に円滑に引継いでいく。そ

のため、建物の工程計画において重要な位置を占め、遅延が許されない。したがって、BIPV モジュールの製作にあたっては、カーテンウォールの製作方式も踏まえて検討を行い、工程計画に合わせて遅滞なく BIPV モジュールや取付け用金物等を準備しておく必要がある。

### 5.2.3 製作手順

ここでは、完全ユニット工法による場合の製作における流れを簡単に説明する。

#### (a) アルミニウム合金製押出型材

カーテンウォール製品は、アルミニウム合金製押出型材を用いたフレームにより構成されることが大半である（鋼材やステンレス鋼材による製品も一部ある）。カーテンウォール製品は、主にレディメイドタイプとオーダーメイドタイプの製品とに分類される。前者はカーテンウォールメーカーが予め保有している標準的なアルミニウム合金製押出型材を使用した製品であり、後者はアルミニウム合金製型材を新規に製作して製品化したものである。当然、後者の方が難易度や製作期間およびコストは増加するが、大規模プロジェクトのほとんどが、オーダーメイドタイプのカーテンウォールを採用している。

レディメイドタイプのカーテンウォール製品を用いて BIPV モジュールを組込む場合は、フレームの開口寸法やのみ込み代が決まっているため、カーテンウォールの詳細設計に従い、BIPV モジュールの支持に必要なかかり代と面クリアランスおよび層間変位追従性に対応したエッジクリアランスを守って製作する。一方、オーダーメイドタイプのカーテンウォールでは、これらの設計要件に対して、アルミニウム合金製型材を新規製作することで調整は可能となるが、その分、高度なエンジニアリングと製作能力が要求されることになる。また、アルミニウム合金製型材を新規製作する場合は、その分のリードタイムを見込んだ製作工程を設けておく必要がある。

#### (b) 加工

押出成形されたアルミニウム合金製型材を所定の長さに切断し、部品組立する前工程としてファスナーやブラケット設置用のボルト孔やユニット化に必要なビス孔および部分的な切削や切断加工も NC 等を使用して行う。特に重要なことは、BIPV モジュールのケーブルを配置する貫通孔加工部において、電気安全性を維持するためにシャープエッジ対策を講じる必要がある。

#### (c) 表面処理

アルミニウム合金製押出型材の表面処理には、陽極酸化被膜（硫酸被膜、自然発色被膜、電解着色被膜）、複合被膜（陽極酸化被膜＋塗膜）、塗膜（化成被膜＋塗膜）、塗装（アクリル系、ポリウレタン系、フッ素系）などがある（詳しくは JASS 14 を参照）。表面処理の種類により、他部材との相性や工程による相違が生じるため、カーテンウォールメーカー等と事前に確認が必要となる。

#### (d) 副資材

カーテンウォール製品を製作する上では、構造上接合部に用いるファスナーやブラケット、気密水密を維持するために用いられるガスケットやシーリング材およびキャッチパン、断熱性能を向上させるための樹脂カバー材、ガラスや BIPV モジュールをフレーム内に配置する上で必要なセッティングブロック、防耐火性能維持に必要な不可欠な耐火ボードなど、多くの副資材が用いられている。BIPV モジュールを組込む場合は、これらの副資材に加えて、適宜、安全性と性能を維持できるような部材を用意して組込むことになる。

#### (e) 部品組立

カーテンウォールの主要構成部材である方立（縦材）や無目（横材）は、アルミニウム合金製押出型材を用いている。このアルミニウム合金製押出型材は、事前に加工処理や表面処理が施されている。その方立や無目に対して、性能維持に必要な副資材を的確に取付ける。

#### (f) 面材準備

カーテンウォールの主要構成部材である面材（ガラスや金属パネル）として位置づけられる BIPV モジュールは、事前に製作許容差内であることや外観上のキズおよびケーブルコネクタ部の破損等が無いことを、受入れ検査により確認した上で、次工程である組立に備えておく。

#### (g) 組立

カーテンウォールの主要構成部材である方立と無目をユニット状に組んだ上で、ガラスや金属パネルと同様に BIPV モジュールを組込む。ただし、BIPV モジュールは、従来ガラスや金属パネルと同じように扱えるわけではない。BIPV モジュールと通常ガラスとの違いは、BIPV モジュール自体の機能に加えて、ジャンクションボックスや配線ケーブルおよびケーブルコネクタ部が BIPV モジュールと一体となっている点にある。したがって、BIPV モジュールを組込むカーテンウォールの製作時には、従来要求される建築外皮性能維持（第 2 章 1 節）に加えて、発電装置として BIPV モジュールを安全にかつ健全に機能させるために（第 2 章 2 節）、製作工程を十分に考慮する必要がある。

図 5-2-3 左には、ユニット工法を採用したカーテンウォールの製作時における様子を示す。カーテンウォールフレームを組んだ状態に面材を嵌込んでいく。ここでは、面材として予め製作しておいた BIPV モジュール（図 5-2-3 右）をガラスと同じようにカーテンウォールフレームに配置し、配線ケーブルなどを這わせた上（フレーム内に納める場合）で、エッジクリアランスが確保されているかなどの最終位置調整を行う。このエッジクリアランスの調整は、建築外皮の性能維持に重要な役割を果たす。

また、ケーブルの配線ルートにおいて、ケーブルの最小半径などがケーブル材の径ごと（メーカーにより異なる場合もある）に示されているので、その限度内に納まるように配置しなければならない。加えて、層間変位追従性に対応するため、可動域を設けた配置にも心掛けなければな

らない。特にコネクタ部に曲げや引張力が作用してしまうような配置は、コネクタ部の破損や電気安全性にも影響を与えかねないため、避ける必要がある。

さらに、製作方法や手順により異なるが、ケーブルの配線が済み、BIPV モジュールの最終位置調整を行う前にケーブルを通した部分に気密水密シールを打設した上で適切に養生する必要がある。したがって、単にフレームへ嵌込めばよいわけではなく、カーテンウォール詳細図をベースに作成された製作図に従い組立てる必要がある。



完全ユニット工法の製作過程 5-2-3)、5-2-4) BIPV モジュールのセット 5-2-5)

図 5-2-3 メタルカーテンウォールの製作過程抜粋

## 5.2.4 製作許容差および検査等

### 5.2.4.1 BIPV モジュールの製作許容差

BIPV モジュールを組み込むカーテンウォールは、双方の機能を確実に活かすために、精度の高い製作が要求される。表 5-2-1 には、メタルカーテンウォールの製品許容差と BIPV モジュールの製作許容差例を併記して示す。この許容差を考慮した上で設計され、製作された部材を的確に検査し、組み込んでいく。

表 5-2-1 メタルカーテンウォール製品許容差 5-2-1) BIPV モジュールの製作許容差を併記

| メタルカーテンウォール            |                  |                |                |            | BIPV モジュール     |                |            |          |
|------------------------|------------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|------------|----------|
| 区分                     |                  | 項目             |                | 許容差 (mm)   |                |                |            |          |
| 単<br>一<br>材            | 形<br>材           | 長さ             | 1.5m 以下        | ±1.0       |                |                |            |          |
|                        |                  |                | 1.5m を超え 4m まで | ±1.5       |                |                |            |          |
|                        |                  |                | 4m を超えるもの      | ±2.0       |                |                |            |          |
|                        |                  | 曲り             | 長さ 1m につき      | 2.0        |                |                |            |          |
|                        |                  | 振れ             | 長さ 0.3m につき    | 1/2 度      |                |                |            |          |
|                        | パ<br>ネ<br>ル<br>材 | 辺長             | 1.5m 以下        | ±1.5       | 辺長             | 1.2m 以下        | ±2.0       |          |
|                        |                  |                | 1.5m を超え 4m まで | ±2.0       |                | 1.2m を超え 3m 以下 | +3.0, -2.0 |          |
|                        |                  |                | 4m を超えるもの      | +2.0, -3.0 |                | 3m 超え          | 特記による      |          |
|                        |                  | 見込み深さ          |                | ±1.0       | 厚み             |                | ±2.0       |          |
|                        |                  | 対角線長の差         |                | 3.0        | 対角線長の差 (3m 以下) |                | 3.0        |          |
|                        |                  | 平面度            |                | 2/1000     | 反り             |                | 0.3%       |          |
|                        |                  |                |                |            |                | 板ズレ            |            | 2.0 mm以内 |
|                        |                  |                |                |            |                | 膜引込み (深さ)      |            | 2.0 mm以内 |
| 組<br>立<br>ユ<br>ニ<br>ット |                  | 1.5m 以下        | ±2.0           |            |                |                |            |          |
|                        |                  | 1.5m を超え 4m まで | +2.0, -3.0     |            |                |                |            |          |
|                        |                  | 4m を超えるもの      | +2.0, -4.0     |            |                |                |            |          |
|                        | 対角線長の差           |                | 3.0            |            |                |                |            |          |

#### 5.2.4.2 製品の仕上がり

JASS 14 カーテンウォール工事<sup>5-2-2)</sup>では、「製品の仕上がり面は、均一であって、外観を著しく損なうきず・色むら・光沢むら、構造・防水・耐久性上支障となるような割れ・破損等があるてはならない。なお、合否判定については、監理者の承認を得た限度見本のある場合はそれによる。」と記されている。カーテンウォールの仕上がりは、美観と性能の2つの観点から重要であり、BIPV モジュールを建築外皮の一要素として組込む場合は、美観上の精度が求められる。単結晶や多結晶シリコンセル等は、微妙な外観上の差や斑が生じることがあるため、このようなばらつきが生じることについて関係者の理解を得るとともに、実際に製作する材料で限度見本をつくり、客観的な判断が可能になるようにしておくことが望ましい。

#### 5.2.4.3 製作者自主管理規格<sup>5-2-2)</sup>

施工者は、部材製作について製作自主管理規格を作成し、要求があれば監理者に提出する。製作者として品質管理を実施し、標準化を進めていく上では、製品規格（製品仕様書）を基に材料・部品・製作方法・検査等の諸規格や、品質・購買・整備・保管などの管理上の諸規定が設けられているのが一般的であり、部材製作の基準となるものである。これらの自主管理規格は、品質管理課における部材製作において、工程ごとの監理者の検査を受けなくとも品質保証可能な部材を提供できることを前提としている。建築外皮の一部を構成する BIPV モジュールについても、同様に自主管理規格を設け、きちんと自主検査を行っていくことが求められる。

#### 5.2.4.4 製作要領書<sup>5-2-2)</sup>

施工者は、製作者と協議のうえ、製作要領書を作成し、監理者に提出する。製作要領書には、部材の製作を始めるにあたって前提となる下記の内容について記載することになっている。BIPV に関連する部材についても、それぞれの項目ごとにその内容に従って、製作要領書に記載をする必要がある。

- ・使用材料：製作に必要となる材料の種類・材質・特性値等とそれぞれの適用規格
- ・製作仕様：工場製作ユニットとユニット間の構成上の仕様の内容
- ・製作：製作のフローチャートと確保すべき品質特性とその許容差
- ・検査：検査対象、項目、基準、立会検査・自主検査の区分
- ・養生・こん包：きず・汚染防止を目的とした養生・こん包方法
- ・保管・出荷：変形や損傷を防止する適切な保管方法

#### 5.2.4.5 検査

一般にカーテンウォールの製作・施工にあたっては、立場の異なる多くの組織が関わる。そのため、工程ごとの責任範囲を明確にしていくことが必要であり、それぞれの工程で検査を行って記録に残していくことが重要となる。特に、オーダーメイドカーテンウォールの場合は、国外拠点で製作することが 20 年前から行われているため、バックグラウンドの異なる多くのプレイヤー

が関与する。また、国外の生産工場では、日本とは管理基準（対象とする規格の違いや検査に対する慣習）や手法が異なることも考えられるため、性能仕様や検査項目などを明確に示した上で事前に合意を得ておく必要がある。

製作要領書および施工計画書の中には、品質管理計画（検査計画）が書かれているので、それに基づいて検査を実施する。検査の項目や頻度、判定基準などは予めプロジェクトごとの製作要領書・施工計画書に記載しておく必要がある。

BIPV のカーテンウォールを組込む場合は、通常のカーテンウォールでは行わないような検査が必要となるため、責任区分等を明確にしておく必要がある。また、検査が不合格になった場合の処置についても、製作要領書および施工計画書に明記しておくことが重要である。

検査結果はすべて記録し保管しておく。製作時の不良品質が施工時に問題になることや、施工時の不良品質が竣工後に問題になることがあり、そのような場合に対処可能となる。

検査は、原則として製作者および施工者が自主的に行う。監理者による検査の実施が特記されている場合にはこれに従うが、この場合も、施工者が実施する検査内容についての確認が目的であり、製作者および施工者の自主検査の結果が重要な意味を持つ。

#### 5.2.4.6 保管

カーテンウォール部材の保管にあたっては、予想される外力に対し十分安全で部材に損傷を与えたり、直射日光や雨水で変質したりしないよう、養生方法および保管場所に注意する。製品は出荷が円滑に行えるよう、よく整理して保管する<sup>5-2-2)</sup>。

通常、カーテンウォールは複数を重ねて保管することが多いが、BIPV を設置したカーテンウォールの場合には、PV セルのマイクログラック等に繋がらないように、BIPV モジュール部へ不用意な荷重（例えば、BIPV モジュール面に別部材を置いたり、人が載る等）を作用させないように配慮する。また、ケーブルやケーブルコネクタ部が挟まって破損したりしないように保管する。

#### 5.2.4.7 出荷

出荷にあたっては、部材に損傷を与えたり汚したりしないために、適切な養生と運搬方法を採用するが、BIPV では、はんだ部の損傷や断線および PV セルのマイクログラック防止のために、通常のカーテンウォールとは違い格段に繊細な対応が求められる。そのため、出荷・輸送の計画にあたっては BIPV のことを理解した担当者が参画し、そのような視点からも養生や運搬方法について検討を行う必要がある。

#### 引用文献・参考文献等

- 5-2-1) 公共建築工事標準仕様書（建築工事編）令和4年版，公共建築協会，2022年
- 5-2-2) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 14 カーテンウォール工事，日本建築学会，2012年
- 5-2-3) <https://www.archdaily.com/catalog/us/products/13222/curtain-wall-facade-systems-island-exterior-fabricators>
- 5-2-4) <https://mission-glass.com/about-us/fabrication-facility-overview/>
- 5-2-5) <https://onyxsolar.com/progetti/11-projects/207-dewa-dubai>

## 第6章 取付施工

BIPV モジュールは、カーテンウォール構法のフレームに組込まれることが多いことから、本章では、メタルカーテンウォール（以下：カーテンウォール）に組込むことを前提とした解説を行うことにする。カーテンウォールは、ユニット工法かノックダウン工法の 2 種類に分類できる。一般的に高層ビルファサードを対象とする場合は、ユニット工法が主であり、ユニット化されたカーテンウォールでは、工場にて BIPV モジュールが組込まれてくる。そのため、現場での作業は少なく、MC4 コネクタケーブルの接続と開放電圧や絶縁抵抗の確認程度である。

一方、ノックダウン工法は中小規模もしくは複雑な形状を有する場合に適用されることが多く、現場での対応も煩雑となりやすく天候、施工環境、カーテンウォールフレームの状態および配線の位置や接続方法などに留意が必要となる。現場では、複数の工種が施工を行っているため、他工種との関係性を十分に確認整理したうえで施工計画書を作成し、対応することが望まれる。万が一、BIPV モジュールの取付施工後にガラス面への傷が生じた場合は、修復が困難であれば交換となる。そのような点にも配慮をして、BIPV モジュールの交換や配線計画は検討しておく必要がある。

BIPV モジュールの運搬と揚重の手順は、ユニット工法とノックダウン工法で異なり、ノックダウンでは専用のパレット梱包が必要となる。既存外壁への取付施工には、新築時とは別の要件が多く存在し、さまざまな届出や許可が必要となるので、関連事業者への事前相談をすることが望ましい。

### 6.1 工法による違い

BIPV モジュールは、カーテンウォール構法のフレームに組込まれることが多いことから、本章では、メタルカーテンウォール（以下：カーテンウォール）に組込むことを前提とした解説を行うことにする。

メタルカーテンウォールにおける取付施工の手順は、ユニット工法かノックダウン工法によって大きく異なる。一般的に高層ビルファサードを対象とする場合は、ユニット工法が主であり、ユニット化されたカーテンウォールでは、工場にて BIPV モジュールが組込まれてくることが多い。そのため、現場での作業は少なく、MC4 コネクタケーブルの接続と開放電圧や絶縁抵抗の確認程度である。

一方、ノックダウン工法は中小規模もしくは複雑な形状を有する場合に適用されることが多く、現場での対応も煩雑となりやすい。特に BIPV モジュールを組込む場合は、建込み時の天候、施工環境、カーテンウォールフレームの状態および配線の位置や接続方法などに留意が必要となる。現場では、複数の工種が施工を行っているため、他工種との関係性を十分に確認整理したうえで施工計画書を作成し、対応することが望まれる。

建築外皮の施工完了後でも内装工事など別工種がある間は、ユニット形式かノックダウン形式かを問わず、BIPV モジュール部表面をしっかりと養生しておく必要がある。万が一、BIPV モジュールの取付施工後にガラス面への傷が生じた場合は、ガラスの傷に対する修復が困難な

ため、交換となることがある。そのような点にも配慮をして、BIPV モジュールの交換や配線計画は検討しておく必要がある。

## 6.2 取付施工手順

ここでは、ノックダウン方式のカーテンウォールに BIPV モジュールを現場で組込む際の一般的な取付施工手順例を示す。

- ・ 搬入：BIPV モジュールおよびケーブルの搬入と受入れ検査
- ・ 設置：BIPV モジュールをガラスと同様にカーテンウォールのフレーム部に嵌め込む。
- ・ 接続：モジュール間ケーブル接続、アレイのケーブル接続確認、アレイからパワーコンディショナの間の配線敷設作業および接続。

上記施工手順に従い、確認事項について詳述する。

### (a) 配線ケーブルの種類

配線ケーブルは、太陽光発電システムでの使用に適したものとする必要があり、IEC 62930 の要求事項に適合したものとする。ケーブルコネクタ部分は、片側が防水コネクタであり、もう片側は必要に応じて切断加工して使用できるようになっている。

### (b) 配線ケーブルの長さおよび径

ケーブル長さは、設計時に配線ルートが決定されており、その配線ルートに従って、ケーブル長さを調整する。ケーブル長とケーブル径は電流容量に依存するので、設計時に指定されているが、念のため、PV の出力とケーブル径から確認しておく。ケーブル長さが現場事情で変化する場合は、局所的に想定したケーブル径よりも細径の物を使用しなければならない場合には、電圧降下に注意する。

### (c) ケーブルラック上の配線

本工事施工による、ケーブルラックに太陽光ケーブルの敷設では、敷設時に有資格者により高所作業車での配線工事作業を行い、弱電流配線等や水管およびガス管と接近または、交差する場合はこれらと接触しないよう敷設支持する。設置環境上、やむを得ない場合は、絶縁材等を使用した上で、これらと接触しないようにする。

### (d) BIPV モジュール間の結線

BIPV モジュール間の結線作業は、配線系統図に従い、配線ケーブルの接続を確実に行う。モジュール間の結線では、防水コネクタ部に緩みが無いよう、接続時はコネクタ部の接続状況を目視（隙間が無いこと）と接続音で確認する（MC4 コネクタの場合は、接続時にカチッと発音する）。モジュール間の接続が行われた後は、フレームやペリカバー内等にケーブルを配置する

ため、最小曲げ半径などに注意して配置する。最小曲げ半径は、ケーブル径や製造先によって異なる。

#### (e) キュービクル、PCS への接続

パワーコンディショナの入力端子は、圧着端子となっているので、電源ケーブル径、締め付けビス種類や径の確認をして端末加工を施し接続する。すべての設置・結線作業が終わった後に、接続間違えないことを確認する。結線状態を確認後、BIPV モジュールにおける開放電圧の測定を行い、電圧が所定の数値で立っているかを確認する。また、同時に絶縁抵抗測定も行い、安全性を確認する。

### 6.3 搬入受入れ検査等

#### 6.3.1 運搬・揚重

運搬・揚重は、ユニットカーテンウォールとノックダウンカーテンウォールの場合とで異なる。ユニットカーテンウォールは、工場にて BIPV モジュールがカーテンウォールフレーム内に組込まれている状態で運搬・揚重されるのに対し、ノックダウンカーテンウォールでは、BIPV モジュールのみを運搬・揚重するので、BIPV モジュールが割れないように専用の鋼製パレット梱包としている。通常、1 梱包あたりの総重量は 1.0t 以内（パレット重量含む）とし、4t または 10t トラックで現場に搬入する。取付け完了後の空になったパレットは、次回搬入時返却して再利用する。図 6-3-1 には基本パレット寸法（M1 型）と大板専用タイプ（LD1）の例を示す。基本パレット寸法（M1 型）は W1920×H1480×D400 で空パレット時の重量は 105 kg であり、大板専用タイプ（LD1）は W1590（MAX3220）×H1850（MAX2400）×D650 で空パレット時の重量は 180 kg である。搬入時に現場内での水平移動が必要な場合は専用の台車を使用し、指定のストックヤードで保管する。台車は必ずストッパーを使用する必要がある。



図 6-3-1 鋼製パレットの例（左：M1 型、右：LD1）

### 6.3.2 保管

現場での保管は、ストックヤードが限られており、現場での工種も入り混じっているため、所定の位置に整理して安全通路を確保した上で保管する。強風による転倒の恐れがある場合は、ロープ等にて転倒防止処置を行い安全確保に努める。取付順序や取付場所による選別を行い、台車のまま保管する。飛来物や風散対策には養生シートをかけ、原則立て掛け保管する。なお、他職の工事により汚損のおそれがある場所は、シート等で適宜養生する。

### 6.3.3 受入検査

受入検査では、対象物を開梱し、寸法・外観の状態を確認後、通電検査を実施する。受入検査により、不具合が生じた場合は、直ちに協議をして良否の判断確認をする。表 6-3-1 に主な管理基準例・項目を示す。

表 6-3-1 管理基準例・項目

| 項目     | 管理基準例                                 |
|--------|---------------------------------------|
| 数量検査   | 納品書通りの数量確認                            |
| 寸法精度検査 | ガラス製作図、工場検査表の寸法通りに製作されていることの確認        |
| 外観検査   | 品種、厚み、寸法精度、あて傷、ハマ欠け、切口傾斜、気泡、異物等の有無の確認 |
| 通電検査   | 開放電圧 (Voc) の測定                        |
| 絶縁抵抗検査 | 絶縁抵抗 ( $\Omega$ ) を測定                 |

### 6.3.4 BIPV モジュールの取付け

BIPV モジュールの取付は、ガラス工事と同じ要領で、設置部位近傍の安全性や作業動線上が他工種と干渉しない場所であることを確認した上で鋼製パレットを移動させる。その際、BIPV モジュールを周囲にぶつけて破損しないように注意する。人力で移動する場合は、グレージングマシン(楊重・移動用吸盤機)を用いて複数人で移動させるため、より慎重な取り回しが要求される。図 6-3-2 に、搬入された鋼製パレットの様子を示す。取付は、鋼製パレットより BIPV モジュールを 1 枚ずつ取り出し、BIPV モジュール据付部および楊重(玉掛け)部に人員配置する。BIPV モジュールに充電式吸盤機を取付ける(図 6-3-3)。必要に応じてクレーンにチェーンブロックを取り付けることもある。クレーンにて楊重し据付部へ移動し(図 6-3-4)、BIPV モジュールを所定の位置へ据え置く(フレームに嵌め込む)。その後、水平方向鉛直方法位置、面調整、目地および配線位置等の納まり状態を調整し(図 6-4-5)、位置が決定した時点で吸盤機を取外す。

なお、楊重中は、BIPV モジュールは風などに煽られ回転しないように、作業員がナイロンスリングなどで BIPV モジュールを適宜保持しながら行う必要がある。また、強風時には、作業を一旦中止して現場管理者へ報告し、判断を仰ぐ必要がある。



図 6-3-2 パレットに積載された BIPV モジュール



図 6-3-3 グレージングマシンで楊重準備

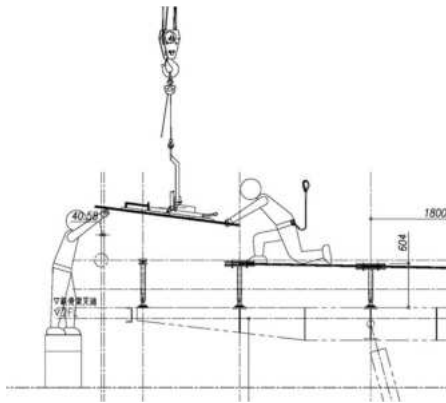


図 6-3-4 BIPV モジュールの取付施工



図 6-3-5 屋根 BIPV モジュールの取付施工の様子

### 6.3.5 自主検査

BIPV モジュールは、施工完了後に取付寸法(施工誤差)の確認や外観確認を行う。問題が発生した場合は現場担当者へ報告し、内容の協議をして問題解決に努める。自主検査が終了後は、監理者検査を受け、工事が完了する。BIPV モジュールにおける自主検査項目としては、BIPV モジュールの施工誤差や傷・破損個所の確認、ケーブルおよびコネクタの傷と接続状況の確認などがある。

### 6.3.6 シーリング工事

シーリング工事は、防水上非常に重要な工事となる。そのため、専門工事業者により適切に実施される必要がある。シーリング工事に際して BIPV モジュールに関連する項目としては、BIPV モジュールの電力取出しケーブルが様々な経路でカーテンウォールフレーム内に配線されているため、防水上重要な部位を跨ぐ場合は、確実にシーリングする必要がある。また、シーリングに際し、他部材との接触により、外観上の変化として剥離や黄変などの問題も生じているため、適合性を事前に確認しておくことをお薦めする。一般的なシーリング工事に関する内容は、JASS 8 防水工事、JASS 14 カーテンウォール工事、JASS 17 ガラス工事などが参考となる。

#### 6.4 既存外壁での注意事項

既存外壁における取付施工に関しては、新築時とは別の要件が多く存在する。通常、取付施工時には、施工計画の前提として、大規模な改修には建築主事への確認申請が建築士法で義務付けられており、また、足場仮設時には道路占有許可を得ることや労働安全衛生法に従うことなど、さまざまな届出や許可が必要となる。また、実務的には、運搬、揚重、保管、取付け、墨出し、躯体付け金物の取付け、主要部材の取付け、付属部品の取付け、ガラスの取付け、火炎防止層の施工、シーリング工事、表面仕上材の施工、施工中の養生、清掃、安全対策などを考慮しながら進めることになる。特に既築特有の課題は、既存の外壁がどのような設計製作施工がなされていたのかを、事前に詳細な調査をしておく必要がある。何故ならば、建築外皮は、3 性能（気密、水密、耐風圧）や防耐火性能などを保持しながら、地震時の挙動等に対してある程度柔軟に動ける構造としているためである。つまり、バリア機能と可動可変機能の双方を同時に実現している極めて精密な構造となっている。そのため、一つの機能としての動きを拘束するような計画をしてはならないし、バリア層を破るような取付を行うことも許されない。何故なら、性能（例えば 3 性能と防耐火性能）を担保できなくなるためである。特に BAPV で懸念されるのは、配線の取り回しや PV モジュールの取付アンカー類であろう。住宅の屋根でも多くの問題を抱えていた取付施工によって、どれだけの漏水被害があったかを思い起こせば容易に想像がつく。また、ビル外壁への設置では、第三者への影響を考慮して、部品類の落下は一切認められない。そのようなことに留意しながら、既存外壁に施工を行っていかなければならない。施工時では運搬揚重が制限されることは当然のこと、先程述べた通り、躯体自体の状況を事前調査で把握したうえで、安全性を考慮しながら施工する必要がある。また、入居者がいる状態であることや近隣住民への施工時の騒音対策や施工日時など何かと制約を受けるため、容易ではないことが多い。そのため、建築設計者、建築施工者、カーテンウォールメーカーおよびリニューアル專業会社などに事前相談することが望ましい。

## 第 7 章 検査

BIPV モジュール、カーテンウォール、PC カーテンウォールの製作過程では、出力検査、絶縁抵抗検査、寸法検査、外観検査が行われ、製作者と施工者が自主的にこれらを実施する。また、BIPV モジュールを現地でカーテンウォールや PC カーテンウォールに組み込む際には、出力ケーブルの敷設ルートが設計図書通りに確保されていることを確認する必要がある。施工過程では、受入時と取付け後に検査を実施し、すべての取付けが完了した後には完成検査を、竣工時にも同様の検査をそれぞれ実施する。これらの検査は、製品の品質と性能を確保するために重要である。

### 7.1 製作過程の検査

#### 7.1.1 BIPV モジュール

BIPV モジュールにおける製作過程の検査は、以下の (a) から (d) の各検査項目に対して検査を行った結果を検査成績書に記載し、それを発注者（施工者等）が確認する。

##### (a) 出力検査

出力は、全ての BIPV モジュールに対して、JIS C 61215 に準拠して PV モジュールメーカーが定める基準値以上（例えば設計値の 90%以上 等）であることを PV モジュールメーカーにて確認する。発注者（施工者等）は、検査成績書で基準値以上の出力であることを確認する。

##### (b) 絶縁抵抗検査

絶縁抵抗は、全ての BIPV モジュールについて、JIS C 61215 に準拠して測定値と PV 面積の積が所定の絶縁抵抗値以上であることを PV モジュールメーカーにて確認する。発注者（施工者等）は、検査成績書で基準値以上の絶縁抵抗値であることを確認する。

##### (c) 寸法検査

BIPV モジュールは、設置予定部位に計画どおりに取付けられることが要求される。そのため、JIS R 3205 に準拠して外形寸法等の許容差が PV モジュールメーカーと発注者（施工者等）が定めた基準値（例えば設計値の  $\pm 2\text{mm}$  等）以下であることを PV モジュールメーカーにて確認する。発注者（施工者等）は、検査成績書を確認して必要に応じて予め設定した数量等のルールに基づき、抜き取り検査を PV モジュールメーカーに依頼して、基準値以下であることを立会い試験により目視確認する。

##### (d) 外観検査

外観検査では、異物封入、気泡、割れ、ひび、きず等の有無を PV モジュールメーカーにて目視確認して、外観を損ねる BIPV モジュールではないことを確認する。発注者（施工者等）は、検査成績書を確認して必要に応じて外観を損ねる PV モジュールではないことを予め設定した数量等のルールに基づき、抜き取り検査を PV モジュールメーカーに依頼して、立会い試験により目視確認する。

### 7.1.2 メタルカーテンウォール

表 7-1-1 には、メタルカーテンウォール<sup>7-1)</sup> と BIPV モジュールにおける製作過程の検査項目を併せて示す。メタルカーテンウォール製作においては、外観と寸法の確認が主な検査内容となる。検査には JIS を適用することを基本とするが、その他を適用する場合には製作要領書等に記載して監理者に承認を受ける必要がある。

製作過程の検査は、材料検査、製作検査、製品検査に分類され、設計品質や設計内容を満足していることを確認することが目的である。検査は原則として製作者および施工者の自主的に実施されるが、監理者による検査が実施される場合がある。

材料検査では製作者の検査証明書、形状、寸法等で品質を確認する。製作検査は、具体的な製作過程における加工精度等を確認する。製品検査では、製品としての寸法精度、外観、水密性や耐風性等の性能等を確認する。

目視には限度見本等で感覚検査の判定基準を、製作要領書作成の段階で明確にしておくことが必要である。以上の内容がメタルカーテンウォールについての検査内容であるが、BIPV モジュールを現地にてメタルカーテンウォールに組み込むためには出力ケーブルの敷設ルートが設計図書どおり確保できていることを、貫通孔の位置や孔径等を設計施工側にて確認する。また、敷設ルートに出力ケーブルを損傷する突起等がないことも確認する。

表 7-1-1 メタルカーテンウォール<sup>7-1)</sup> と BIPV モジュールにおける製作過程の検査項目一覧

| 区分   | 検査項目                       | 検査方法                                  |
|------|----------------------------|---------------------------------------|
| 材料検査 | 1) 金属主材料の化学成分と機械的性質        | 検査証明書等の確認                             |
|      | 2) 組立て用部品の形状、寸法            | 各種ゲージによる測定・目視                         |
|      | 3) 取付け用金物の形状、寸法            |                                       |
|      | 4) ガラスの品種、寸法、きず            |                                       |
| 製作検査 | 5) 材料の切断、加工寸法              | 各種ゲージ等による測定                           |
|      | 6) 表面処理被膜および被膜厚さ           | 関連 JIS に定められた測定                       |
|      | 7) 表面塗装および塗膜厚さ             | 膜厚計による測定                              |
|      | 8) 組立て寸法、対角寸法              | 各種ゲージ。角度計等による測定                       |
|      | 9) ガラスの取付精度、取付け時のきずの有無     | 各種ゲージによる測定・目視                         |
| 製品検査 | 10) 製品の形状、寸法               | 各種ゲージ。角度計等による測定                       |
|      | 11) 見え掛り部の外観               | 目視                                    |
|      | 12) 接合部の目違い、隙間シーリング等の状態    | 各種ゲージによる測定・目視                         |
|      | 13) 締め金物の作動性               | 関連 JIS との整合確認                         |
|      | 14) ガラスの状態（割れ、傷）           | 目視                                    |
|      | 15) PV モジュール：出力、絶縁抵抗、寸法、外観 | 出力と絶縁抵抗は専用機器による測定。<br>寸法は各種ゲージ。外観は目視。 |

### 7.1.3 PC カーテンウォール

表 7-1-2 には、PC カーテンウォール<sup>7-2)</sup> と BIPV モジュールにおける製作過程の検査項目を併せて示す。PC カーテンウォール製作においては、外観と寸法の確認の他、コンクリート強度の測定が主な検査内容となる。カーテンウォール製作過程と同様に、検査には JIS を適用する

ことを基本とするが、その他を適用する場合には製作要領書等に記載して監理者に承認を受ける必要がある。

コンクリートの製作には型枠が必要で、型枠の寸法精度が製品の形状・寸法の品質に影響するため、型枠の寸法許容差の判定基準が製作者検査規格に明記される。測定箇所は、各辺の長さ、部材の厚さ、接合用金物の位置、面の反りとねじれと凹凸、辺の曲がり、対角線長の差で、型枠で製作した製品を検査して可否の判定を行う。

コンクリートの強度の基準は、打設後 4 週目の圧縮強度が品質基準強度以上である。

以上の内容が PC カーテンウォールについての検査内容であるが、カーテンウォールの場合と同様に、BIPV モジュールを現地にて PC カーテンウォールに組み込むためには、出力ケーブルの敷設ルートが設計図書どおり確保できていることを、貫通孔の位置や孔径等を設計施工側に確認する。また、敷設ルートに出力ケーブルを損傷する突起等がないことも確認する。

表 7-1-2 PC カーテンウォール<sup>7-2)</sup> と BIPV モジュールにおける製作過程の検査項目一覧

| 区分   | 検査項目                         | 検査方法                                  |
|------|------------------------------|---------------------------------------|
| 材料検査 | 1) セメント                      | メーカーの月別試験成績表、関連 JIS                   |
|      | 2) 骨材                        | 形状、粒度、泥分の有無<br>目視と標準見本比較、関連 JIS       |
|      | 3) 水                         | 関連 JIS                                |
|      | 4) 鉄筋                        | 目視、各種ゲージで測定<br>検査成績書、関連 JIS           |
|      | 5) 取付け用金物                    | 検査成績書、目視、各種ゲージで測定                     |
|      | 6) 先付け材料                     | 目視、各種ゲージで測定                           |
|      | 7) 表面仕上げ材料                   |                                       |
| 製作検査 | 8) 型枠                        | 目視、各種ゲージで測定                           |
|      | 9) 配筋                        |                                       |
|      | 10) 取付け用金物                   |                                       |
|      | 11) 先付け材料                    |                                       |
|      | 12) 表面仕上材料                   | 目視、スランプ試験、関連 JIS 等                    |
|      | 13) コンクリート                   |                                       |
|      | 14) 打設                       |                                       |
| 製品検査 | 15) 脱型時強度                    | 調合別供試体の圧縮強度                           |
|      | 16) コンクリート強度                 | 関連 JIS                                |
|      | 17) 形状・寸法                    | ノギス等による測定                             |
|      | 18) 取付け位置                    | 目視、各種ゲージで測定                           |
|      | 19) 表面仕上げ材                   | 目視、打診                                 |
|      | 20) BIPV モジュール：出力、絶縁抵抗、寸法、外観 | 出力と絶縁抵抗は専用機器による測定。<br>寸法は各種ゲージ。外観は目視。 |

## 7.2 施工過程の検査

表 7-1-1 には、メタルカーテンウォール製品 / PC カーテンウォール製品と BIPV モジュール製品における施工過程の検査項目<sup>7-1)</sup>を併せて示す。施工過程の検査は、受入時と取付け後に実施する。

#### (a) 受入時

メタルカーテンウォール製品 / PC カーテンウォール製品、BIPV モジュール製品の受入時に製品仕様書、性能検査書等を確認し、記載に誤りがないか、納品書と同じであるか、異物封入、気泡、割れ、ひび、きず等の有無等の外観での問題がないことを目視確認する。

#### (b) メタルカーテンウォール製品 / PC カーテンウォール製品への BIPV モジュール取付け

メタルカーテンウォール製品 / PC カーテンウォール製品と BIPV モジュールを施工現場で一体化する。一体化する手順には、構造躯体（柱と梁）に設置したメタルカーテンウォール製品 / PC カーテンウォール製品に BIPV モジュールをクレーン等で楊重して後付けする方法と、地上でユニットカーテンウォール / PC カーテンウォールに BIPV モジュールを取付けた状態で楊重して構造躯体に設置する方法がある。その他に、工場にてユニットカーテンウォールに BIPV モジュールを予め取付けた状態で出荷し、現場ではそのままカーテンウォールユニットを楊重して取付ける方法もある。いずれの場合も取付けた BIPV モジュールに割れ、ひび、きず等がないことを目視確認する。

#### (c) 取付け後

割れ、ひび、きず等の有無等の外観での問題がないことを目視確認する。BIPV モジュールからの漏電の有無を絶縁検査で確認する。すべての取付けが完了後、完成検査として外観の目視確認等を実施する。竣工時においても、竣工検査として外観の目視確認等を実施する。

表 7-2-1 カーテンウォールの施工検査<sup>7-1)</sup> と BIPV モジュールの施工検査

| 検査項目                      | 検査方法                           |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1) 取付け基準墨                 | スチールテープなどで実測                   |
| 2) 躯体付け金物取付け位置            | 取付け基準墨から実測                     |
| 3) 目地の幅、通り、段差             | ノギス等で実測                        |
| 4) 主要部材取付け位置              | 取付け基準墨から実測                     |
| 5) 取付け用金物取付状況             | 目視                             |
| 6) ガラス取付け状況               |                                |
| 7) 付属部品取付け状況              |                                |
| 8) シーリング工事                |                                |
| 9) 表面仕上げ（現場施工の場合）         |                                |
| 10) 火炎防止層                 | 検査項目を決めた上で目視                   |
| 11) 止水ラインの確認              | 止水上重要となるパネルの接合部、後の是正が困難な部分の目視  |
| 12) BIPV モジュール：絶縁抵抗、寸法、外観 | 絶縁抵抗は専用機器による測定。寸法は各種ゲージ。外観は目視。 |

#### 引用文献・参考文献等

- 7-1) 日本建築学会、建築工事標準仕様書・同解説 JASS 14 カーテンウォール工事、pp.29-33、2012 年 2 月  
7-2) 日本建築学会、建築工事標準仕様書・同解説 JASS 10 プレキャスト鉄筋コンクリート工事、2013 年 1 月

## 第8章 維持管理

BIPV の維持管理においては、従来の建築外皮における維持管理手法に加えて、太陽光発電設備としての維持管理方法を予め見込んでおく必要がある。通常、建材製品の耐久性は、BIPV モジュールやその周辺機器等の電気製品よりも格段に長く、メンテナンスの周期も大きく異なる。そのため、維持管理に際しては、建材製品と BIPV モジュール等電気製品間における差を埋めるメンテナンス計画が必要である。特に、BIPV は経年劣化で出力は徐々に低下する特性を有するが、定期的な点検を実施することで、出力異常などの状態を早期に発見できる。異常な出力低下の主要因は、BIPV モジュールに関連するものとしてダイオード破損、インコネ部等の断線、部分影、セル割れ等と、出力ケーブルコネクタ部の損傷やコネクタ部接続不具合およびパワーコンディショナの故障等がある。定期点検は、健全な発電を維持するために実施されることが必要である。

従来の型式認証 PV モジュールの故障率は、初期に故障率が高く、やがて安定して平坦となり、最後には寿命末期に急上昇するというバスタブカーブを示す。これは、BIPV モジュールでも同様の性状が想定されるため、設置当初に小まめな点検による運用とし、その後は、点検間隔を適宜調整することも考えられる。しかしながら、あまりにも点検頻度が多いと点検コストが嵩み、効率的ではない。そこで、外壁などに関連する点検と併せて実施することが考えられる。例えば、シーリング材などの点検と同時期に実施するのは、一つの考え方として想定される。すなわち、外装に関わる工種で点検回数や点検時期などが近いものと結びつけることも、一方策となり得る可能性がある。いずれにしても、施主、設計者、施工者などと協議の上、メンテナンス計画を立てる方が良い。点検では、IV 測定、絶縁抵抗測定、サーモカメラを用いた温度分布確認等を行う。

メンテナンスは専門工事業者が行い、取り外し時には破損や脱落を防ぎ、復旧時には性能を維持できるようにする必要がある。維持管理には日常点検、定期点検、臨時点検が必要だが、それぞれの点検項目は関係者との協議により決定される。ビル外壁における維持管理には、外部からも内部からもアプローチが必要で、外部からのアプローチ手段には、常設ゴンドラや仮設ゴンドラおよび外部足場などがある。点検や交換を実施するには、アプローチの仕方により行政などへ事前に届出の提出や許可が必要な場合もあり、当然、ビルオーナー、設計者、ゼネコン、管理会社およびテナント企業への事前確認も必要なことから、容易に実施できるとは限らないことを理解しておく必要がある。これら全ての点を踏まえ、適切なメンテナンスと管理が BIPV や BAPV モジュールの長期的な性能維持に重要となる。

### 8.1 維持管理の必要性

#### 8.1.1 耐用年数による違い

BIPV は建築外皮であると同時に発電設備でもあるため、従来の建築外皮における維持管理手法に加えて、太陽光発電設備としての維持管理方法を予め見込んでおく必要がある。通常、建築外皮や屋根に適用されている建材製品の耐久性は、BIPV モジュールやその周辺機器などの電気

製品類よりも格段に長く、また、メンテナンスの周期に関しても、BIPV モジュールやその周辺機器と建材とでは、異なってくることが想定される。そのため、維持管理に際しては、建材製品と BIPV モジュール等製品における差を十分に把握にしておき、そこに生まれるギャップを埋めるメンテナンス計画を提案する必要がある。

特に、BIPV は経年劣化で出力は徐々に低下する特性を有するが、定期的な点検を実施することで、出力異常などの状態を早期に発見できる。異常な出力低下の主要因は、BIPV モジュールに関連するものとしてダイオード破損、インコネ部等の断線、部分影（ホットスポット）、セル割れ等と、出力ケーブルコネクタ部の損傷やコネクタ部接続不具合およびパワーコンディショナの故障等がある。定期点検は、健全な発電を維持するために実施されることが必要である。

### 8.1.2 エラーの発生時期

従来の型式認証 PV モジュールの故障率は、図 8-1<sup>8-1)</sup> に示すように、初期に故障率が高く（初期故障期）、やがて安定して平坦となり（偶発的故障期）、最後には寿命末期に急上昇する（摩耗故障期）というバスタブカーブを示す。これは、BIPV モジュールでも同様の性状が想定されるため、設置当初に小まめな点検による運用とし、その後は、点検間隔を適宜調整することも考えられる。しかしながら、あまりにも点検頻度が多いと点検コストが嵩み、効率的ではない。そこで、外壁などに関連する点検と併せて実施することが考えられる。例えば、外壁の防水性能に関連するシーリング工事では、シーリング打設後、1 年、2 年、5 年という具合で初期時に頻繁に点検し、打ち替えは目安として 10 年に 1 回程度となる（目視検査や清掃は除く）。BIPV モジュールでも不具合は、初期とモジュールの寿命近くに起こりやすくなることが想定されるため、初期に出力特性の異常や変化など不具合の兆候を捉える上で、シーリング材などの点検と同時期に実施するのは、一つの考え方として想定される。そういう意味では、外装に関わる工種で点検回数や点検時期などが近いものと結びつけることも、一方策となり得る可能性がある。いずれにしても、施主、設計者、施工者などと協議の上、メンテナンス計画を立てる方が良い。点検では、IV 測定、絶縁抵抗測定、サーモカメラを用いた温度分布確認等を行う。

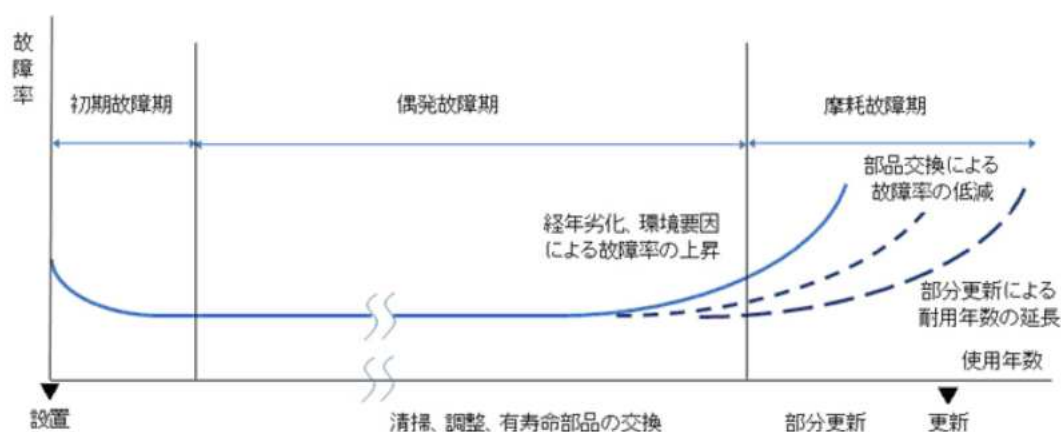


図 8-1 機械装置機器における故障率曲線<sup>8-1)</sup>

## 8.2 維持管理上の留意事項

### 8.2.1 安全性

#### 8.2.1.1 短絡・感電<sup>8-2)</sup>

BIPV や BAPV モジュールのメンテナンス方法は、建材と電気設備機器としての側面を考慮した上で行う必要がある。特に BIPV モジュールやジャンクションボックスおよびコネクタ部分を扱う場合には、メンテナンス作業ミスによりモジュールを破損させる原因となり、取扱い方を誤ると高電圧により人命にかかわる場合もあるので、十分に注意して行う必要がある。そのため、モジュールやコネクタおよびケーブル部分を扱う場合は、電気工事の有資格者が行う必要がある。

#### 8.2.1.2 破損・落下

BIPV や BAPV モジュールをカーテンウォールや外壁より取外してメンテナンスする際には、ダブルガラスモジュールのエッジ部が曝されているため、フレームなどにぶつけて BIPV モジュールを破損させてしまう恐れがある。また、BAPV モジュールのフレームを固定するブラケットなどボルトやビスで固定されている部分を不作為に取外したりすると破損や落下してしまうこともあるので、注意が必要である。さらに、コネクタケーブルの配線位置変更などは、漏水などの危険性や防耐火性能に影響をおよぼす場合もあるため、これらすべてのメンテナンス領域は、建築の専門工事業者（ガラス工事、カーテンウォール工事、シーリング工事など）が対応する必要がある。

### 8.2.2 製品

#### 8.2.2.1 設置時の瑕疵

BIPV モジュールは、工場出荷前に PV モジュールメーカーにて出力検査を実施して基準を満たした製品だけが納品される。建物設置前に、BIPV モジュールを目視確認してキズや割れ等がないことを確認する。設置後も BIPV モジュールの通電確認や絶縁確認および外観目視確認により問題が無いことを確認する。納入仕様の不足（未達）または不具合がある BIPV モジュールが発見された場合は、PV モジュールメーカーや施工者等（専門工事業者含む）と協議の上、納入仕様に準拠した BIPV モジュールまたは代替の BIPV モジュールへの交換を検討する。

納入仕様に準拠した BIPV モジュールの納入可能期間（リードタイム）は、PV モジュールメーカーによって異なるので、計画設計段階に確認しておくことが望ましい。受注生産を行っている PV モジュールメーカーであれば、原材料の保有期間または調達可能期間において、納入仕様に準拠した BIPV モジュールの確保は可能であるが、特殊な原材料を用いている場合は、代替 BIPV モジュールへの交換対応を検討する必要がある。ただし、IV 特性（特に電圧）の異なる BIPV モジュールをストリングすることはアレイに影響を与えるため、注意が必要である。

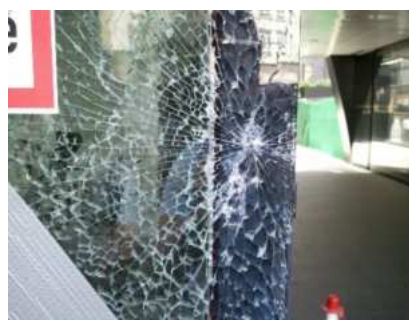
PV モジュールメーカーによっては、受注生産時に予備的に同じ仕様の BIPV モジュールを製作しているケースがあるので、将来的な交換を想定して予備的な在庫として導入者またはメーカーにて、一定期間保管管理することを計画設計段階で設定することが望ましい。

#### 8.2.2.2 ガラス破損

BIPV モジュールや BAPV モジュールは、受光面側に高透過強化ガラス、非受光面側に強化ガラスを採用しているため、NiS によりガラス破損（第 3 章 1 節参照：図 3-1-9）した場合には、BIPV モジュール全体にひび割れが生じた状態となり、目視で直ぐに発見できる。破損した BIPV モジュールは、割れた直後に交換することはできないため、一時的な落下防止措置とストリングを遮断することなどの安全措置を講じて、できるだけ早い時期に交換を実施する。特に、台風・強風や地震、積雪や近隣での落雷の後は臨時点検の実施を推奨する。

#### 8.2.2.3 回路等故障

BIPV モジュール内のタブ線やインコネ部およびはんだ部などに断線による症状が発生すると、BIPV モジュールの出力低下といった問題が発生する。断線部のクラスタを回避するために、常にバイパス回路に電気が流れる状態となり、端子箱内部の回路（ダイオード）に長期的な発熱が生じる恐れがある。これにより、バイパスダイオードの寿命を著しく低下させてしまうことがあり、発電性能などに大きく影響する場合がある。したがって、BIPV モジュールの設置後は、定期的な外観確認を実施した方がよい。



再掲 図 3-1-9 強化ガラスの自然破損（NiS 起因による）例 <sup>3-1-10)</sup>

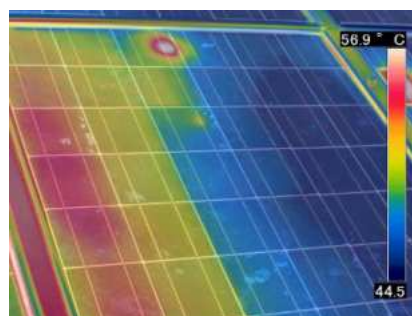


図 8-2 断線による熱画像 <sup>8-2)</sup>

#### 8.2.3 施工・点検・メンテナンス等

##### 8.2.3.1 改修工事における毀損防止

外装の改修工事では、PV に損傷を与えないように十分に配慮する。内装の改装工事で、出力ケーブル等の配線に損傷を与えないように予め配線ルートを図面で確認してから工事を行う。改修工事が終了後、発電出力に問題が無いか確認を行う。問題がある場合は、専門業者に調査を依頼して早期の復旧を図る。

##### 8.2.3.2 設置状況の確認

メンテナンス時には、PV モジュールへの影や汚れなどの状況確認を行う。例えば、PV モジュールの受光面の外側に横断幕や看板（最近ではフィルム状のものを貼り付ける等）などが設置してあると PV モジュール上に部分影が生じてしまうので、これを避ける必要がある。また、

PV モジュールの内側に目隠し板を貼る、もしくはフィルムを貼ると熱がこもり、モジュールの温度上昇に繋がることで発電性能の低下を招く恐れがあるため、この点も注意が必要である。

#### 8.2.3.3 配線状態の確認<sup>8-2)</sup>

メンテナンスでは、配線ケーブルの損傷や腐食の状態、ケーブルや接続コネクタの固定状況、コネクタ接続部の嵌合についても確認を行う。不具合が発見した場合には、必要に応じて補修を行う。ただし、日中は PV モジュールが発電しており感電の恐れがあるため、コネクタを挿抜したり、触れたりしないように注意する。点検後に BIPV モジュールを再接続する際は、電気アークが発生する可能性があり、僅かな光でも高電圧となるため、BIPV モジュールを完全に遮光し、開閉器（接続箱）などで周辺機器と遮断することが必要である。万が一、漏電遮断器やパワーコンディショナの地絡検出機能が動作した場合、感電防止のため、BIPV モジュールおよび支持部となるファスナーなどの導体（金属部分）には触らないように注意が必要である。

#### 8.2.3.4 発電状況の定期的な確認

発電状況の良否を判断するためには、発電量の予測値は必要である。発電量の予測値は、計画設計段階において JIS 規格に準拠して算出する。BIPV 設置後は、発電量予測値に対して大幅な発電量の低下がないかどうかを定期点検で確認する。出力保証は、発電層の裏面にバックシートがある PV モジュールの場合、設置後 20 年から 25 年程度が一般的で、最近は表面と裏面をガラスにして 30 年の出力保証の BIPV モジュールが設置される物件もでてきている。保証期間内は、発電状況の定期的な確認をして発電量の大幅な低下の可能性があれば、BIPV モジュールを設置した PV モジュールメーカー等の専門業者に相談する。

#### 8.2.3.5 BIPV モジュール

BIPV モジュールは、所定の発電性能が得られないなどの不具合も想定し、施工後でも円滑に交換できるような設計上の配慮が必要である。特に最近では、環境負荷低減のため BIPV モジュールにも IGU（Insulating Glass Unit：複層ガラス）が採用されている。IGU は 10 年保証のため、仮に性能が著しく低下するようなことが生じた際には（特に Ar ガス、Kr ガス仕様）、交換が必要となる場合もある。また、配線はメンテナンスがしやすい部位に設ける必要があり、方立や無目（フレーム）内に納められていれば、室内側からアタッチメントの取り外しだけで容易に行えて点検などには便利である。さらに、PV モジュールは、汚れによる発電性能の低下も懸念されるため定期清掃は必要だが、防汚コーティングなどによりクリーニング回数を減じて、発電効率とメンテナンスコストの両立を図る方法もある。

### 8.2.4 外的要因

#### 8.2.4.1 停電復旧後

定期点検、災害等による停電が発生した場合は、BIPV モジュールおよびシステムの安全性の

確認を行った上で、復旧後に出力状態を確認する。発電出力に問題がある場合は、専門業者に調査を依頼して早期の復旧を図る。

#### 8.2.4.2 表面の汚れ、付着物

BIPV モジュールのセル上に付着した汚れやゴミにより、セルに部分的な影が生じていないかを確認する。汚れなどでセル部に常時部分的な影が生じると、出力低下といった問題だけでなく、部分影の影響によるホットスポットや、部分影による電圧ドロップを回避するために常にバイパス回路に電気が流れる状態となり、端子箱内部の回路（ダイオード）に長期的な発熱が生じる恐れがある。これにより、バイパスダイオードの寿命を著しく低下させてしまうことがあり、発電性能などに大きく影響する場合がある。したがって、BIPV モジュールの設置後は、定期的な外観確認に基づき清掃を実施する。

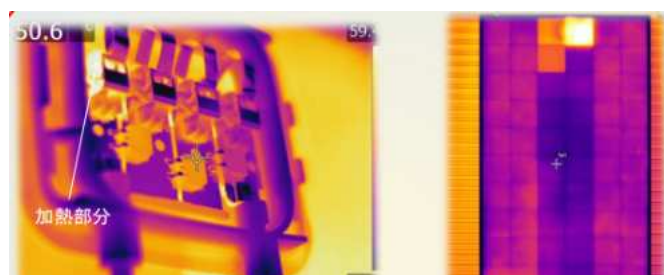


図 8-3 バイパスダイオードの過熱状況(左)  
ホットスポットの例(右)<sup>8-3)</sup>

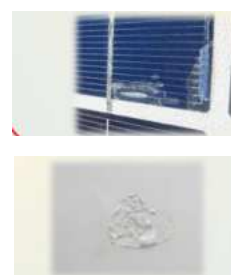


図 8-4 封止材の溶解(左)  
バックシートの溶解(右)<sup>8-3)</sup>

### 8.3 維持管理方法

#### 8.3.1 点検<sup>8-2)</sup>

維持管理を行っていく上では、日常点検、定期点検、臨時点検が必要となる。日常点検は、毎週、毎月という具合に比較的短いサイクルで簡便な手法を用いて、出来るだけ管理者の負担にならない範囲で初期の気づきを確認することである。定期点検は、数年に 1 回実施し、入念に点検を行うことを指す。臨時点検は台風後や災害後の復旧時に運用を継続または再開しても問題が無いかを確認する点検のことである。表 8-1 には、BIPV モジュールで想定される各点検項目を例示しておく。この項目が全てというわけではなく、必要に応じて建築主、設計者、施工者および専門工事業者などと連携協議して決定することが望ましい。

表 8-1 BIPV および BAPV モジュールにおける点検項目例 <sup>8-2)</sup>

|             | 日常点検<br>(常時、毎週、毎月)                 | 定期点検<br>(1年に1回以上)                                               | 臨時点検<br>(悪天候、災害後)                                               |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| BIPV モジュール  | 表面に目立った汚れ、破損が無いこと                  | 表面に汚れ、キズ、破損が無いこと<br>PV セルに割れが無いこと                               | 表面に目立った汚れ、著しいキズ、破損が無いこと                                         |
| BAPV モジュール  | 上記に加え、フレームに破損変形が無いこと               | 上記に加え、フレームに破損変形が無いこと                                            | 上記に加え、フレームに破損変形が無いこと                                            |
| ブラケット・ファスナー | 腐食、錆びが無いこと                         | 腐食、錆びが無いこと                                                      | 変形や破損部が無いこと                                                     |
| ケーブル        | 被覆部に損傷が無いこと                        | 被覆部に損傷が無いこと<br>コネクタ部が確実に接続されていること                               | コネクタ部が確実に接続されていること<br>コネクタ部に破損がないこと                             |
| 接地          |                                    | 接地線に確実に固定されていること                                                | 接地線に確実に固定されていること                                                |
| 端子          |                                    | ネジの緩みが無いこと                                                      | ネジの緩みが無いこと                                                      |
| シーリング材      | シーリング材に剥離やひび割れが無いこと                | シーリング材に痩せ、剥離、ひび、割れが無いこと                                         | シーリング材に痩せ、剥離、ひび、割れが無いこと                                         |
| 外壁材         | 屋根葺材が破損していないこと<br>隙間やズレがなく収まっていること |                                                                 |                                                                 |
| 屋根裏         |                                    | 野路裏、天井裏に結露、雨漏りの痕跡が無いこと                                          |                                                                 |
| 配電線管        | ケーブルを収める配管にキズ、腐食などが無いこと            |                                                                 |                                                                 |
| ストリング電圧     |                                    | ストリング開放電圧確認(初期値との比較)<br>IV 特性の測定                                | ストリング開放電圧確認(初期値との比較)<br>IV 特性の測定                                |
| ストリング電流     |                                    | ストリング短絡電流を確認(初期値と比較)<br>日射計で日射条件も測定、記録する                        | ストリング短絡電流を確認(初期値と比較)                                            |
| 接続箱         | 外箱に腐食、破損が無いこと                      | ネジの緩みが無いこと                                                      | ネジの緩みが無いこと                                                      |
|             | 配線に異常が無いこと                         | 接地線に異常が無いこと、接地線にねじ緩みが無いこと                                       | 接地線に異常が無いこと、接地線にねじ緩みが無いこと                                       |
|             |                                    | 各ストリングの絶縁抵抗値が $0.2\text{M}\Omega$ 以上であること(500V において)            | 各ストリングの絶縁抵抗値が $0.2\text{M}\Omega$ 以上であること(500V において)            |
|             |                                    | 出力端子ー接地間の絶縁を各ストリング毎に測定し、 $0.2\text{M}\Omega$ 以上であること(500V において) | 出力端子ー接地間の絶縁を各ストリング毎に測定し、 $0.2\text{M}\Omega$ 以上であること(500V において) |
|             |                                    | D 種接地抵抗測定 $100\Omega$ 以下<br>(低圧電路に漏電遮断器などがあれば $500\Omega$ 以下)   | D 種接地抵抗測定 $100\Omega$ 以下<br>(低圧電路に漏電遮断器などがあれば $500\Omega$ 以下)   |

### 8.3.2 外観の目視確認

BIPV モジュールを外観から確認し、取付施工後の状況との違いがあるかを目視確認する。特に確認すべき内容は、BIPV モジュールのセル部分に汚れが付着していないか、封止材が著しく変色や剥離していないか、セル表面にスネイルトレイルが生じていないか、タブ線などが破断していないか、ガラスが破損していないかなどである。外観の目視確認には、外部既設・仮設ゴンドラを用いるか、足場などを設置して確認することになる。ゴンドラを用いて確認する方がコスト面や効率という点で足場を架設するよりも優位である。ただし、足場を設置する場合は、他のメンテナンス工事と兼用できるメリットもある。最近では、ドローンを用いた検査方法なども考

案され試されているので、どの方法が最適かを事前に建築主や依頼者と合意形成を取っておく必要がある。また、可能であれば内観からもモジュールや配線などの状態を確認することが望ましいが、その場合は執務室からのアプローチとなるため、入居者への配慮や理解が必要となる。

### 8.3.3 赤外線カメラによる確認

BIPV モジュールを外観目視だけでは確認できない場合は、部分的に BIPV モジュール内に著しい発熱部位があるか否かなどを赤外線カメラなどで確認する方法もある（図 8-5）。これにより、ホットスポットとなっている箇所やダイオードでの発熱状態の発見に繋がり、効果的に状況を把握することが出来る。最近では、ドローンを用いた熱画像による確認方法（図 8-6）もあるため、ゴンドラや架設足場よりも素早く確認することが出来る。

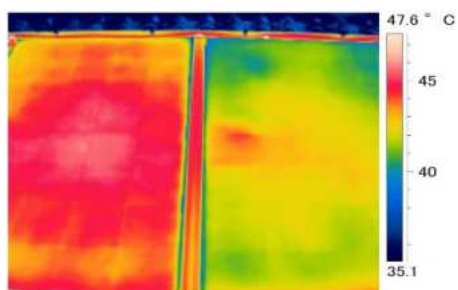


図 8-5 赤外線カメラによる点検<sup>8-2)</sup>



図 8-6 ドローン+赤外線カメラによる熱画像例<sup>8-3)</sup>

### 8.3.4 IV トレーサーを用いた確認<sup>8-2)</sup>

赤外線カメラなどである程度絞り込んだ BIPV モジュールに対しては、PV アナライザ（図 8-7）などを用いて IV 測定を実施し、日射量に対する発電能力を把握することで、出力低下や FF の形状変化などを確認して、BIPV モジュールが健全であるか否かを判断できる。図 8-8 には、PV アナライザを用いてストリングの IV 測定を行い、正常なものと異常なものの判別を行っている例である。IV カーブが極端に異なる性状を示すストリングは、どこかに異常があることを示している。また、発熱やそれに伴う焼損等のエラーが生じやすいバイパスダイオード部の健全性は、バイパスダイオードチェッカーなどにより、確認できる。ただし、確認には作業安全性を確保する上で、電気分野の有資格者である専門家が行う必要がある。



図 8-7 ハンディ PV アナライザ 8-4)

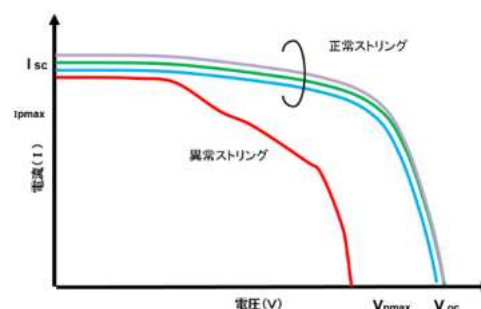


図 8-8 異常ストリングの検出 8-5)

### 8.3.5 コネクタ部の通電確認

何らかの影響により、ケーブル内で断線やコネクタ部の内部破損等が生じている場合を確認するには、各コネクタ間の電圧をテストなどで測定する。

### 8.3.6 維持管理に向けた事前計画の必要性

ビル外壁で維持管理のための検査やメンテナンスを行うには、外部からも内部からもアプローチが必要となる。例えば、ビジョン部（開口部）は内外からアプローチが可能であるが、スパンドレル部（腰部）は内部からのアプローチが困難であるため、外部側だけで検査やメンテナンス対応が出来る必要がある。外部からのアプローチ手段には、常設ゴンドラや仮設ゴンドラおよび外部足場などがある。外部足場は、設置に際してビル利用者への事前周知が必要となることに加えて、そもそも足場の設置には労働安全性法に従い労働基準監督署への届け出や、道路を使用する場合には警察署への道路使用許可、道路管理者（国、都道府県、市町村など）には道路占用許可を申請し、許可を得なければならず、様々な手続きが必要となる。定期点検やクリーニングなど、使われ方は様々であるが、最も過酷な要件である BIPV モジュールの交換を想定した計画を見込んでおいた方が良い。

#### 引用文献・参考文献等

- 8-1) 厚生労働省, 職場の安全サイト, [https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo59\\_1.html](https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo59_1.html)
- 8-2) BIPV って何?・太陽エネルギーを纏う建築, 太陽エネルギーデザイン研究会, テツアド・出版, 2015 年 7 月
- 8-3) 太陽電池モジュールの故障解析, ケミトックス, <https://www.chemitox.co.jp/wp-content/themes/chemitox/pdf/24.pdf>
- 8-4) PV アナライザ, 日本カーネルシステム, <http://www.kernel-sys.co.jp/product/Epsilon1000/>
- 8-5) <https://blog.nttrec.co.jp/i-v-curve-string-tracer/>

# 付録 A 垂直設置太陽光発電システムの発電量早見表

| 地点  | 設置方位 | 推定発電量 (kWh/kW) ※ |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-----|------|------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|     |      | 1月               | 2月    | 3月    | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月   | 年間    |
| 札幌  | 南    | 81.7             | 89.5  | 104.2 | 74.2 | 67.1 | 59.4 | 59.2 | 63.1 | 73.8 | 78.3 | 63.4 | 58.0  | 871.8 |
|     | 西    | 41.0             | 53.0  | 76.3  | 64.1 | 76.7 | 69.8 | 66.1 | 57.6 | 48.9 | 41.5 | 31.5 | 29.6  | 656.0 |
|     | 東    | 40.7             | 57.5  | 79.4  | 68.8 | 72.0 | 70.0 | 65.9 | 63.1 | 58.0 | 44.3 | 34.7 | 31.3  | 685.8 |
|     | 北    | 27.7             | 36.5  | 49.4  | 34.6 | 42.1 | 44.1 | 41.7 | 35.2 | 27.7 | 20.4 | 18.9 | 20.6  | 398.9 |
| 仙台  | 南    | 106.7            | 102.7 | 92.5  | 71.2 | 58.5 | 49.4 | 50.2 | 51.7 | 62.2 | 81.5 | 84.2 | 90.4  | 901.4 |
|     | 西    | 47.6             | 60.1  | 62.5  | 63.7 | 69.2 | 62.9 | 58.8 | 52.1 | 46.6 | 48.0 | 37.5 | 37.4  | 646.4 |
|     | 東    | 55.2             | 64.3  | 64.9  | 67.0 | 70.7 | 60.6 | 60.7 | 58.7 | 49.4 | 49.0 | 40.4 | 40.5  | 681.5 |
|     | 北    | 26.0             | 35.9  | 29.6  | 32.9 | 41.0 | 41.0 | 38.6 | 31.6 | 25.5 | 22.8 | 17.5 | 17.3  | 359.6 |
| 東京  | 南    | 123.2            | 88.8  | 84.9  | 65.8 | 58.0 | 45.1 | 50.3 | 52.1 | 56.3 | 70.7 | 81.2 | 101.7 | 878.2 |
|     | 西    | 56.3             | 46.0  | 57.0  | 60.0 | 71.2 | 58.7 | 60.7 | 58.4 | 47.1 | 44.2 | 37.7 | 42.3  | 639.7 |
|     | 東    | 57.4             | 48.5  | 66.3  | 66.6 | 72.2 | 56.9 | 61.2 | 60.8 | 43.2 | 41.1 | 40.2 | 41.7  | 656.2 |
|     | 北    | 24.9             | 20.3  | 28.7  | 34.3 | 42.6 | 41.1 | 40.9 | 33.3 | 25.9 | 22.0 | 18.9 | 17.2  | 350.1 |
| 名古屋 | 南    | 112.7            | 94.0  | 94.8  | 65.7 | 58.5 | 44.9 | 49.7 | 59.8 | 68.1 | 81.2 | 93.6 | 100.8 | 923.8 |
|     | 西    | 51.6             | 49.2  | 65.0  | 68.8 | 74.9 | 63.2 | 68.1 | 67.2 | 57.7 | 52.1 | 46.3 | 42.5  | 706.6 |
|     | 東    | 53.6             | 54.8  | 69.6  | 67.1 | 76.9 | 61.1 | 64.1 | 68.8 | 59.1 | 49.5 | 44.9 | 44.7  | 714.0 |
|     | 北    | 21.4             | 23.1  | 30.2  | 34.1 | 44.5 | 42.3 | 43.0 | 38.6 | 27.7 | 23.9 | 19.2 | 18.6  | 366.5 |
| 金沢  | 南    | 51.6             | 65.1  | 73.3  | 67.3 | 59.3 | 51.4 | 52.9 | 62.8 | 66.5 | 76.2 | 64.1 | 47.0  | 737.4 |
|     | 西    | 32.7             | 44.3  | 54.1  | 64.5 | 71.7 | 65.3 | 69.9 | 70.7 | 55.6 | 46.4 | 30.8 | 23.9  | 629.8 |
|     | 東    | 32.9             | 44.5  | 54.2  | 63.5 | 73.8 | 67.1 | 67.5 | 67.1 | 52.2 | 45.3 | 32.2 | 23.3  | 623.7 |
|     | 北    | 25.0             | 31.8  | 28.8  | 33.8 | 42.1 | 42.0 | 41.0 | 37.0 | 25.6 | 23.6 | 15.9 | 13.9  | 360.4 |
| 大阪  | 南    | 98.6             | 80.2  | 84.4  | 64.7 | 55.9 | 44.6 | 50.5 | 63.6 | 63.5 | 82.3 | 86.6 | 86.4  | 861.2 |
|     | 西    | 42.6             | 44.8  | 58.8  | 67.1 | 71.3 | 59.1 | 67.9 | 68.6 | 50.8 | 51.7 | 43.0 | 36.7  | 662.4 |
|     | 東    | 48.0             | 51.4  | 64.1  | 69.0 | 74.6 | 60.5 | 64.5 | 69.3 | 59.2 | 51.3 | 41.6 | 40.8  | 694.4 |
|     | 北    | 19.0             | 21.9  | 29.6  | 34.8 | 41.4 | 40.0 | 40.9 | 36.9 | 28.8 | 23.7 | 19.0 | 17.8  | 354.0 |
| 広島  | 南    | 85.7             | 79.5  | 83.8  | 62.7 | 57.3 | 44.8 | 50.0 | 62.2 | 66.9 | 86.8 | 82.4 | 81.8  | 843.9 |
|     | 西    | 42.0             | 46.3  | 61.6  | 64.2 | 71.3 | 54.4 | 68.8 | 69.6 | 55.1 | 53.8 | 39.0 | 37.4  | 663.4 |
|     | 東    | 41.5             | 48.0  | 65.8  | 66.2 | 70.1 | 56.7 | 60.6 | 70.7 | 59.6 | 55.3 | 43.7 | 38.8  | 677.2 |
|     | 北    | 20.7             | 24.0  | 31.9  | 33.9 | 44.4 | 40.1 | 41.9 | 38.4 | 30.3 | 23.7 | 19.5 | 19.0  | 368.0 |
| 高松  | 南    | 88.9             | 77.4  | 81.3  | 64.6 | 57.5 | 44.2 | 51.7 | 62.3 | 62.1 | 78.2 | 76.1 | 80.9  | 825.1 |
|     | 西    | 41.9             | 45.8  | 55.9  | 59.1 | 69.4 | 57.3 | 69.4 | 67.3 | 50.5 | 47.2 | 35.5 | 35.5  | 634.8 |
|     | 東    | 42.7             | 44.2  | 63.8  | 66.1 | 77.1 | 54.8 | 61.0 | 70.1 | 54.9 | 47.2 | 40.2 | 37.7  | 659.8 |
|     | 北    | 19.8             | 22.4  | 31.2  | 33.7 | 43.6 | 39.1 | 42.7 | 36.7 | 28.6 | 22.8 | 18.6 | 17.7  | 357.2 |
| 福岡  | 南    | 66.5             | 68.1  | 76.9  | 63.3 | 52.7 | 40.2 | 46.9 | 54.8 | 61.0 | 79.2 | 74.6 | 62.3  | 746.4 |
|     | 西    | 31.9             | 42.8  | 51.9  | 63.7 | 70.7 | 56.1 | 62.9 | 63.1 | 49.3 | 48.3 | 35.4 | 31.7  | 607.8 |
|     | 東    | 32.7             | 37.8  | 58.1  | 63.0 | 71.5 | 48.7 | 61.5 | 61.4 | 57.5 | 50.1 | 40.7 | 28.3  | 611.4 |
|     | 北    | 17.5             | 20.6  | 28.1  | 32.5 | 41.1 | 36.5 | 40.2 | 34.6 | 26.4 | 23.1 | 19.2 | 16.2  | 335.9 |
| 那覇  | 南    | 56.6             | 55.1  | 60.6  | 49.6 | 44.1 | 40.9 | 46.4 | 52.3 | 62.5 | 71.6 | 72.0 | 64.2  | 675.9 |
|     | 西    | 33.4             | 34.8  | 51.5  | 55.4 | 61.5 | 67.9 | 80.4 | 68.0 | 60.9 | 54.8 | 42.1 | 34.3  | 645.0 |
|     | 東    | 35.4             | 39.9  | 54.0  | 57.2 | 64.5 | 64.7 | 78.7 | 72.6 | 62.9 | 50.6 | 40.7 | 35.3  | 656.5 |
|     | 北    | 21.7             | 23.0  | 30.7  | 35.2 | 43.7 | 49.4 | 54.2 | 41.3 | 32.9 | 26.5 | 22.8 | 20.6  | 401.9 |

※推定発電量の試算条件

試算方式：JISC8907, 気象データ：METPV-20, 設置角度：90度, 設置容量：1kW, インバーター回路補正係数：0.90, アレイ回路補正係数：0.97, アレイ負荷整合補正係数：0.94, 温度係数：-0.41%/℃, 温度補正用係数A：57, 温度補正用係数B：0.33

発電量早見表の活用方法については「4.3 発電量予測」を参照

## 索引

### A

- ALC .....p.63、74  
：軽量気泡コンクリート (Autoclaved Lightweight aerated Concrete)
- ANSI ..... p.40  
：米国国家規格協会 (American National Standards Institute)
- a-Si ..... p.86  
：アモルファスシリコン (Amorphous Silicon)
- a-Si:H ..... p.86  
：水素化アモルファスシリコン (Hydrogenated Amorphous Silicon)

### B

- BAPV .....p.9、77、105、112、153  
：建物据付型太陽光発電 (Building-Attached Photovoltaics)  
建物応用型太陽光発電 (Building-Applied Photovoltaics)  
建物付加型太陽光発電 (Building-Added Photovoltaics)
- BEI ..... p.1  
：省エネルギー性能指標 (Building Energy Index)  
住宅・建築物の一次エネルギー消費量の基準
- BIPV .....p.9、77、105、112、153  
：広義の BIPV：建築一体型太陽光発電 (Building-Integrated Photovoltaics)  
狭義の BIPV：建材一体型太陽光発電 (Building-Integrated Photovoltaics)
- BSF ..... p.86  
：BSF (Back Surface Field)

### C

- CIE ..... p.61  
：国際照明委員会 (Commission Internationale de l'éclairage)
- cl ..... p.45  
：空間距離 (Clearance)
- CR ..... p.70  
：クロロブレンゴム (Polychloroprene)
- cr ..... p.45  
：沿面距離 (Creepage Distance)

CW..... p.64、71、105、112、133  
 : カーテンウォール (Curtain Wall)  
 帳壁

## D

DSSC..... p.78  
 : 色素増感太陽電池 (Dye-Sensitized Solar Cell)  
 DTI..... p.45  
 : 絶縁幅、絶縁距離 (Distance Through Insulation)

## E

EN ..... p.8  
 : 欧州規格 (European Norm)  
 欧州標準化委員会 (CEN : Comité Européen de Normalisation) が制定  
 EPDM ..... p.70  
 : エチレンプロピレンジエンゴム (Ethylene Propylene Diene Monomer)  
 ETFE..... p.94  
 : エチレン・テトラフルオロエチレン共重合体 (Ethylene Tetra Fluoro Ethylen)  
 EVA ..... p.17、49、66、87、88  
 : エチレン・酢酸ビニル共重合体 (Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer)

## F

Fc..... p.72  
 : 構造計算で設定したコンクリートの圧縮強度 (Force de Compression)  
 FTO ..... p.65  
 : フッ素ドーパ酸化スズ (F-doped Tin Oxide)

## G

GRC..... p.72  
 : ガラス繊維補強コンクリート (Glass fiber Reinforced Cement)  
 g 値 ..... p.30  
 : ISO19467 における日射熱取得率 (g-value)

## I

IEC..... p.8  
 : 国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission)  
 IGU ..... p.67、155  
 : 複層ガラス (Insulating Glass Unit)

|                                                            |               |
|------------------------------------------------------------|---------------|
| IP コード .....                                               | p.92          |
| : IP コード (Ingress Protection Code)                         |               |
| ISO .....                                                  | p.23、27、29、31 |
| : 国際標準化機構 (International Organization for Standardization) |               |
| ITO .....                                                  | p.63          |
| : 酸化インジウムスズ (Indium Tin Oxide)                             |               |

## J

|                                                             |      |
|-------------------------------------------------------------|------|
| JASS .....                                                  | p.11 |
| : 建築工事標準仕様書 (Japanese Architectural Standard Specification) |      |
| 日本建築学会 (AIJ) が発行                                            |      |
| JIS .....                                                   | p.40 |
| : 日本産業規格 (Japanese Industrial Standards)                    |      |

## L

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| LCA .....                               | p.106、109 |
| : ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment) |           |
| low-E .....                             | p.66      |
| : 低放射 (Low Emissivity)                  |           |

## M

|                                            |      |
|--------------------------------------------|------|
| MC .....                                   | p.91 |
| : ケーブルコネクタ規格 (Mechanical Connector)        |      |
| MLPE .....                                 | p.99 |
| : MLPE (Module Level Power Electronics)    |      |
| MPPT .....                                 | p.30 |
| : 最大電力点追従制御 (Maximum Power Point Tracking) |      |
| MQT .....                                  | p.41 |
| : モジュール品質試験 (Module Quality Test)          |      |
| MST .....                                  | p.41 |
| : モジュール安全試験 (Module Safety Test)           |      |

## N

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| NC .....                        | p.135 |
| : 数値制御 (Numerically Controlled) |       |

## O

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| OPV .....                         | p.78、79、119 |
| : 有機系太陽電池 (Organic Photovoltaics) |             |

## P

|                                              |                 |
|----------------------------------------------|-----------------|
| PC.....                                      | p.8、 71         |
| : プレキャストコンクリート (Precast Concrete)            |                 |
| PERC .....                                   | p.86            |
| : Passivated Emitter Rear Cell               |                 |
| PET .....                                    | p.94            |
| : ポリエチレンテレフタレート (Polyethylene Terephthalate) |                 |
| PF 管 .....                                   | p.102           |
| : Plastic Flexible Conduit                   |                 |
| POE.....                                     | p.87            |
| : ポリオレフィンエラストマー (Polyolefin Elastomer)       |                 |
| PV.....                                      | p.1、 77、 86、 98 |
| : 太陽電池、太陽光発電 (Photovoltaic)                  |                 |
| 太陽電池 (PV) セル、太陽電池 (PV) モジュール、太陽光発電 (PV) システム |                 |
| PVB.....                                     | p.87            |
| : ポリビニルブチラル (Polyvinyl Butyral)              |                 |
| PVC.....                                     | p.70            |
| : ポリ塩化ビニル (Polyvinyl Chloride)               |                 |

## R

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| RC .....                         | p.63 |
| : 鉄筋コンクリート (Reinforced Concrete) |      |

## S

|                                                    |      |
|----------------------------------------------------|------|
| SHGC.....                                          | p.30 |
| : NFRC201 における日射熱取得率 (Solar Heat Gain Coefficient) |      |
| SHJ .....                                          | p.86 |
| : シリコンヘテロ接合 (Silicon Heterojunction)               |      |
| SR.....                                            | p.70 |
| : シリコーンゴム (Silicone-Rubbe)                         |      |

## T

|                                                 |      |
|-------------------------------------------------|------|
| TOPCon .....                                    | p.86 |
| : Tunnel Oxide Passivating (Passivated) Contact |      |

## U

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| UL .....                                                          | p.40 |
| : アメリカ保険業者安全試験所 (Underwriters Laboratories Inc.) が策定する製品の<br>安全規格 |      |
| UV .....                                                          | p.44 |
| : 紫外線 (Ultraviolet)                                               |      |

## W

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| WLC .....                        | p.106、109 |
| : ホールライフカーボン (Whole Life Carbon) |           |

## Z

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| ZEB .....                                    | p.1 |
| : ネット・ゼロ・エネルギー・ビル (Net Zero Energy Building) |     |

## あ

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| アイオノマー .....                           | p.66、89     |
| : 太陽電池封止材の一種で Na 拡散を防止し PID を抑制する効果がある |             |
| アモルファスシリコン .....                       | p.84、86     |
| : シリコンを主体とする非晶質半導体                     |             |
| アルベド .....                             | p.43        |
| : 反射能 (albedo)<br>地表などで反射される太陽光の割合     |             |
| アレイ .....                              | p.99、100    |
| : 複数の太陽電池モジュールを機械的および電氣的に連結したもの        |             |
| 合わせガラス .....                           | p.20、66、125 |
| : 2 枚の板ガラスの間に合成樹脂の中間膜を挟み込んで圧着したもの      |             |
| 合わせ複層ガラス .....                         | p.67        |
| : 2 枚の板ガラスの間に乾燥空気層などの高断熱中間層を設置したもの     |             |

## い

|                                           |          |
|-------------------------------------------|----------|
| 色空間 .....                                 | p.61     |
| : RGB、CMYK、 $L^*a^*b^*$ など、座標数値で色を指定できる空間 |          |
| インバータ .....                               | p.99、102 |
| : 直流電力を交流電力に変換する装置                        |          |

## う

|                   |      |
|-------------------|------|
| 打継特性 .....        | p.70 |
| : コンクリート構造物の継目の特性 |      |

## え

|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| エアマス (AM) .....                              | p.43      |
| : 太陽光が通過してきた大気量 (AM : Air Mass)              |           |
| 太陽光スペクトルの指標で、大気圏外 ; AM 0、太陽高度 90 度の地表 : AM1、 |           |
| 太陽高度 42 度の地表 : AM1.5                         |           |
| エチレンプロピレンジエンゴム .....                         | p.70      |
| : エチレンとプロピレン、ジエンを三元共重合させて作られる合成ゴム            |           |
| エッジクリアランス .....                              | p.91、135  |
| : 建具溝に板をはめ込む際の溝底面と板端面の隙間寸法                   |           |
| エンボディド・カーボン .....                            | p.109、110 |
| : 建物の建設に際して排出される温室効果ガス量                      |           |
| 沿面距離 .....                                   | p.45、60   |
| : 二つの導電体の間にある絶縁体の表面に沿った最短距離                  |           |

## お

|                                                      |          |
|------------------------------------------------------|----------|
| 黄変 .....                                             | p.57     |
| : プラスチックなどが変色して黄ばむこと                                 |          |
| オートクレーブ .....                                        | p.74、127 |
| : 内部を高圧力にすることが可能な耐圧性の装置                              |          |
| 押出成形セメント板 .....                                      | p.74     |
| : セメント、けい酸質原料、繊維質原料を主原料として、中空を有する板状に押出               |          |
| 成形し、高温高圧蒸気養生した建築材料                                   |          |
| 音鳴り .....                                            | p.26     |
| : 建築材料の膨張や収縮によって発生する音                                |          |
| オプティマイザ .....                                        | p.99     |
| : 太陽光パネルの最大能力を引き出すために、MPPT (最大電力点追従) 機能により           |          |
| 電圧を最適化する直流変換装置                                       |          |
| 音響透過損失 .....                                         | p.26     |
| : 壁や床などの遮音性能を表す数値で、記号は TL (Transmission Loss)、単位は dB |          |
| (デシベル)                                               |          |

## か

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| カーテンウォール (CW) .....                    | p.64、71、133 |
| : 建物自体の荷重を負担しない耐力壁以外の内部と外部の空間をカーテンのように |             |
| 仕切る壁                                   |             |
| 外圧係数 .....                             | p.13        |
| : 風によって建物を押す力の割合を表す係数                  |             |

|                                                                      |               |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|
| 回転球体法.....                                                           | p.22          |
| ： 建物を包み込む大きな球体が動いたときに触れる部分が落雷の被害を受けやすい<br>と判断する雷対策のシステム              |               |
| 開放電圧 .....                                                           | p.30、49、86    |
| ： Voc (Open Circuit Voltage)<br>太陽電池のの正負出力端子を開放した状態での電圧              |               |
| 火炎伝播試験.....                                                          | p.53          |
| ： 空気と燃料ガスが混ざり合った状態で燃焼する際に、火炎が未燃領域に向かって<br>伝搬する様子を調べる試験               |               |
| 架橋 .....                                                             | p.88、89       |
| ： 高分子同士が化学結合で結ばれて硬化する化学反応                                            |               |
| 風切音.....                                                             | p.12          |
| ： 空気の流れによって発生する騒音                                                    |               |
| 加飾フィルム .....                                                         | p.95          |
| ： 印刷や塗装、真空蒸着、着色などの加工を施したフィルム                                         |               |
| ガスケット.....                                                           | p.17、63、70、72 |
| ： 配管フランジなどの隙間を埋めるシール材                                                |               |
| 風荷重.....                                                             | p.11、13、55    |
| ： 風の圧力とその風が当たっている面積（受圧面積）を乗じた数字                                      |               |
| 風振動.....                                                             | p.45          |
| ： 風が吹くことで発生する振動                                                      |               |
| 型板ガラス.....                                                           | p.65          |
| ： 片面に型模様を転写して製板したガラス                                                 |               |
| 型式認証 .....                                                           | p.11、13、40    |
| ： 太陽電池モジュールの製品型式ごとに、その性能、安全性および長期信頼性が<br>一定の水準を満たしていることを第3者機関で確認すること |               |
| カバーガラス .....                                                         | p.63、125      |
| ： 太陽電池モジュールを保護するために光入射面に設置するガラス                                      |               |
| ガラスエッジ.....                                                          | p.91          |
| ： 太陽電池モジュールのガラス端部                                                    |               |
| 感電保護クラス .....                                                        | p.45          |
| ： 電気機器の感電に対する保護の分類                                                   |               |

## き

|                        |      |
|------------------------|------|
| 逆電流故障.....             | p.54 |
| ： 太陽電池に周辺回路から電流が逆流すること |      |

|                                        |         |
|----------------------------------------|---------|
| キャッチパン .....                           | p.135   |
| ：結露水や浸入雨水を一時的に集める受け皿                   |         |
| 強化ガラス .....                            | p.65    |
| ：フロートガラスに比べて 3～5 倍の強度を持ち、耐衝撃性に優れた安全ガラス |         |
| 共晶はんだ .....                            | p.97、98 |
| ：主に錫と鉛で構成されるはんだ                        |         |
| 許容応力度 .....                            | p.15、17 |
| ：構造物や材料が安全に耐えられる最大の応力の値                |         |
| 許容耐力 .....                             | p.15    |
| ：構造物や部品などが変形や破壊に至らない安全と考えられる応力の最大値     |         |

## く

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| 隅角部（ぐうかくぶ） .....                     | p.13、111 |
| ：壁面が折れ曲がっている部分や、建築物におけるコーナー部         |          |
| 空間距離 .....                           | p.45     |
| ：二つの導電体の間にある空間経路での最短距離               |          |
| クリープ .....                           | p.12、53  |
| ：材料に荷重が負荷されるときに、ひずみが時間とともに増加する現象     |          |
| グレア .....                            | p.34     |
| ：良好な見え方を妨げ、不快感や物の見えづらさを生じさせるまぶしさ     |          |
| グレージングマシン .....                      | p.144    |
| ：高層ビルのガラス施工などを効率的かつ安全に行うために使用される施工機械 |          |
| グローワイヤ試験 .....                       | p.102    |
| ：電気・電子製品の部品や樹脂材料などの耐火性を評価する試験        |          |
| クロロプレンゴム .....                       | p.70     |
| ：クロロプレンを乳化重合してつくられた合成ゴム              |          |

## け

|                                                       |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| 結晶シリコン .....                                          | p.17、30、77 |
| ：シリコン原子が周期的に規則正しく配列した半導体材料                            |            |
| 限界状態設計法 .....                                         | p.16       |
| ：構造物の安全性や耐久性、使用性、復旧性などの観点から、複数の安全率（部分係数）を用いて照査を行う設計理念 |            |
| 建築外皮 .....                                            | p.7、8、9、11 |
| ：外壁、屋根、天井、床、窓、ドアなど、建物の外部と内部を隔てる境界部分                   |            |
| 建築基準法 .....                                           | p.8、10、11  |
| ：建築物の敷地や構造、設備、用途などに関する最低限の基準を定めた法律                    |            |

|                                                                                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 建築工事監理指針.....                                                                      | p.11 |
| ：「建築工事標準仕様書」の規定の意図を正しく伝えるために公共建築協会により<br>編集された解説書                                  |      |
| 建築工事標準仕様書.....                                                                     | p.11 |
| ：国土交通省が定める技術基準に従って、建築物の品質確保、施工の合理化などのために、<br>工事に使用される材料・機材・工法・試験などについて標準的な仕様を示した文書 |      |

## こ

|                                                            |             |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| 光害 .....                                                   | p.11、34、111 |
| ：太陽電池モジュールの反射光が近隣の建物や乗り物の窓などに映り込むことで<br>被害を与えてしまう問題        |             |
| 光学多層膜.....                                                 | p.96        |
| ：屈折率の異なる無機誘電体薄膜材料を複数層積層して、特定の波長の光を<br>反射・透過する機能を持たせたコーティング |             |
| 公共建築工事標準仕様書.....                                           | p.11        |
| ：公共建築物の建築工事標準仕様書                                           |             |

## さ

|                           |      |
|---------------------------|------|
| サブストレート .....             | p.87 |
| ：裏面電極側（裏面）から作製する薄膜太陽電池の構造 |      |

## し

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| シアコネクタ .....                                    | p.73      |
| ：建築工事において鉄骨やプレキャストコンクリートなどの構造物を接合・固定<br>するための部材 |           |
| シーケンス試験 .....                                   | p.40      |
| ：電気設備や機器が正しく動作するかを模擬的に試験し、動作状態を確認する試験           |           |
| シール（シール材、シーリング材）.....                           | p.113、137 |
| ：部材と部材の継ぎ目や隙間を埋める、ゴムのようなペースト状の材料                |           |
| 地震荷重 .....                                      | p.11、15   |
| ：地震によって建物に働く荷重                                  |           |
| 止水ライン.....                                      | p.25、150  |
| ：雨水や地下水が建物内に浸入するのを防ぐためのライン                      |           |
| 実大試験 .....                                      | p.17      |
| ：実物大の試験体を用いて、構造物の耐荷性能や破壊性状、耐久性などを検証する試験         |           |
| ジッパーガスケット .....                                 | p.73      |
| ：ガラスを金属やコンクリートなどの枠に固定する際に使用されるガスケット             |           |

|                                                          |             |
|----------------------------------------------------------|-------------|
| 遮炎性.....                                                 | p.19、20、117 |
| ：建物内で発生する火災や周囲で発生する火災の際に、屋外に火炎を出すおそれのある損傷を生じない性能         |             |
| 遮音 .....                                                 | p.26        |
| ：騒音や耳障りな音が内部に入り込んだり、外部に漏れたりしないように音を遮断すること                |             |
| 遮熱 .....                                                 | p.34        |
| ：太陽光や機械から放出される熱による室温の上昇を防ぐこと                             |             |
| ジャンクションボックス（端子箱） .....                                   | p.90        |
| ：太陽電池モジュールを接続したり、端子箱に接続したりするための小型・薄型の箱                   |             |
| シリコーン（シリコンゴム） .....                                      | p.70        |
| ：ケイ素（Si）を含む化合物を原料として作られる合成ゴムで、耐熱性や耐水性、耐薬品性、耐候性、耐寒性に優れている |             |
| 真空バッグ .....                                              | p.127       |
| ：気密性能を維持できるファスナーを使用することで、ガラスとガラスの間を真空状態にすることができる構造のバッグ   |             |

## す

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 水密 .....                                                       | p.8、11、16 |
| ：風雨による雨水の浸入を防ぐ性能                                               |           |
| スウェー .....                                                     | p.72      |
| ：カーテンウォールの上部または下部を固定して他端をスライドさせることで、層間変位を吸収層間変位に追従させる方式        |           |
| スーパーストレート .....                                                | p.87      |
| ：光入射側（表面）から作製する薄膜太陽電池の構造                                       |           |
| ストリングケーブル .....                                                | p.63、93   |
| ：太陽電池モジュールを接続するケーブル                                            |           |
| ストレス試験 .....                                                   | p.43      |
| ：実使用状態を模したストレスを課す試験                                            |           |
| スネイルトレイル .....                                                 | p.58      |
| ：太陽電池モジュールの表面に発生する黒や白の線状の模様で、カタツムリが這った跡（トレイル）のように見えることから名付けられた |           |
| スパンドレル .....                                                   | p.9、19、65 |
| ：金属製の化粧板で、外壁や天井材として使用される建築資材                                   |           |

## せ

|                                                            |         |
|------------------------------------------------------------|---------|
| 性能ライン.....                                                 | p.8、9   |
| ：建物の外壁や窓を設定するライン                                           |         |
| 積雪荷重.....                                                  | p.18    |
| ：積雪によって加わる荷重                                               |         |
| 絶縁.....                                                    | p.45    |
| ：漏電や感電を防止すること                                              |         |
| 絶縁幅.....                                                   | p.45    |
| ：電気絶縁が必要な素子と他の素子間に確保する必要がある最短距離                            |         |
| セメントジョイント.....                                             | p.60    |
| ：コンクリートやブロックなどの下地材と表面仕上げ材を強力に貼り合わせるための<br>樹脂（ポリマー）セメントモルタル |         |
| セル.....                                                    | p.63、77 |
| ：太陽電池を構成する最小の単位                                            |         |

## そ

|                                                |      |
|------------------------------------------------|------|
| 層間変位.....                                      | p.15 |
| ：地震や強風などの水平力によって建物が変形した際、上下階の床と床との水平方向の<br>変位差 |      |
| ソーラーシミュレーター.....                               | p.43 |
| ：疑似太陽光を人工的に発生させる装置                             |      |

## た

|                                                        |         |
|--------------------------------------------------------|---------|
| 耐温度差.....                                              | p.17    |
| ：壁の内外に温度差が生まれることで発生する結露の防止を目的として、断熱性能を<br>備えた製品を使用すること |         |
| 耐火.....                                                | p.19    |
| ：火災の急激な拡大を防ぐ建材の性能                                      |         |
| 耐貫通性.....                                              | p.88    |
| ：貫通に耐える性能                                              |         |
| 耐久性.....                                               | p.36    |
| ：経年によって起こる変質変形などに耐える程度を表す性能                            |         |
| 耐候性.....                                               | p.36、44 |
| ：風雨や温度変化、太陽光などの自然環境にさらされても変質を起こしにくい性質                  |         |
| 耐光性.....                                               | p.44    |
| ：太陽光による変質を起こしにくい性質                                     |         |

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| 耐震 .....                                                    | p.15       |
| ：地震などの揺れに耐える力、またはそのための構造や工法                                 |            |
| 耐熱強化ガラス .....                                               | p.66       |
| ：フロート板ガラスを素板として製造され、特殊な加工と超強化処理を施された窓ガラス                    |            |
| 耐風圧 .....                                                   | p.13       |
| ：サッシ窓やドアがどれくらいの風圧に耐えられるかを表す性能                               |            |
| 耐用年数 .....                                                  | p.36       |
| ：建物や機械が使用に耐えられなくなるまでの年数                                     |            |
| 耐力壁 .....                                                   | p.10、15、19 |
| ：建物が地震や風圧などの水平力に耐えるために必要な壁                                  |            |
| 多雪区域 .....                                                  | p.18       |
| ：建築基準法施行令第 86 条に基づき、特定行政庁が定める垂直積雪量が 100cm 以上の地域             |            |
| ダブルガラス .....                                                | p.45、69、93 |
| ：太陽電池モジュールの表面と裏面にガラスが取り付けられたもので、二面裏面入射光でも発電する両面発電型もある       |            |
| 断熱性試験 .....                                                 | p.29       |
| ：建物の壁や窓、屋根、床などの構成材の断熱性能を測定する試験                              |            |
| 短絡電流 .....                                                  | p.49       |
| ：Isc：(Short Circuit Current) 太陽電池の正負出力端子を短絡（ショート）した状態で流れる電流 |            |

## ち

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| 地表面粗度区分 .....                      | p.13、19     |
| ：地表面粗さを 4 段階に分類したもので、風圧力を算定する際に用いる |             |
| 中間膜 .....                          | p.66、127    |
| ：合わせガラスの間に挟み込む機能性樹脂フィルム            |             |
| 帳壁 .....                           | p.64、71、133 |
| ：カーテンウォール                          |             |

## て

|                                          |         |
|------------------------------------------|---------|
| 定格出力（公称最大出力） .....                       | p.43、86 |
| ：JIS が定める「基準状態」で算出された、太陽電池モジュールの発電能力を示す値 |         |
| テクスチャ .....                              | p.81、87 |
| ：入射光の反射を抑制するために太陽電池セルの表面に形成された微細凹凸構造     |         |
| 鉄筋コンクリート .....                           | p.63、72 |
| ：鉄筋とコンクリートを組み合わせた構造                      |         |

|                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| テラコッタ .....                      | p.73、96           |
| ：粘土を素焼きにして作られた建築用外壁材や床材、装飾品などの総称 |                   |
| デラミネーション .....                   | p.57、60、70、90、118 |
| ：太陽電池モジュールの構成部材が剥離する現象           |                   |

## と

|                                                         |        |
|---------------------------------------------------------|--------|
| 等電位ボンディング .....                                         | p.50   |
| ：金属導体同士を電氣的に接続して電位差を低減し、火花放電や感電、機器の絶縁破壊などを防止する手段        |        |
| 動風圧試験 .....                                             | p.23   |
| ：建築外装部材の耐風圧や水密性、気密性などの性能を評価する試験                         |        |
| トップライト .....                                            | p.8、84 |
| ：屋根に取り付けられた窓（天窗）                                        |        |
| 飛び火試験 .....                                             | p.53   |
| ：屋根の葺き材が火災によって発生した飛び火から炎上し、屋根裏面や隣棟などに延焼するのを防止する性能を調べる試験 |        |

## な

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 内圧係数 .....                   | p.13    |
| ：建物の内部から風を押し返す力の割合を係数化したもの   |         |
| 鉛フリーはんだ .....                | p.97、98 |
| ：環境保護のために開発された、鉛（Pb）を含まないはんだ |         |

## に

|                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 日射熱取得率 .....                                                                             | p.30 |
| ：外からの日射熱が開口部を通して室内にどれだけ入るのかを示す比率<br>（JIS では $\eta$ 、ISO では $g$ 、NFRC201 では SHGC の記号で表記）  |      |
| 日本産業規格 .....                                                                             | p.40 |
| ：経済産業省の審議会である日本産業標準調査会<br>（JISC : Japanese Industrial Standards Committee）が発行する国家規格（JIS） |      |

## ね

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 熱貫流率 .....                      | p.28、29 |
| ：建物の壁や床、窓などの複合材料の断熱性能を表す数値（U 値） |         |

## の

|                              |               |
|------------------------------|---------------|
| ノックダウン工法 .....               | p.125、133、141 |
| ：部品や半完成品を現地で組み合わせて完成品とする生産方式 |               |

## は

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 排煙設備 .....                                                        | p.21       |
| ：火災時に発生する煙やガスを屋外に排出する窓や機械設備                                       |            |
| 倍強度ガラス .....                                                      | p.66       |
| ：フロート板ガラスと比べて耐風圧強度や熱割れ強度が約 2 倍のガラス                                |            |
| バイパスダイオード .....                                                   | p.49、116   |
| ：太陽電池モジュール内のセルに部分影や故障が生じた際に、発電回路を迂回させて不具合の拡大を防止するために組み込まれているダイオード |            |
| 薄膜シリコン .....                                                      | p.84       |
| ：アモルファスシリコンや微結晶シリコンなど、厚さ数 $\mu\text{m}$ 以下の太陽電池材料                 |            |
| バスバー .....                                                        | p.57、63、81 |
| ：太陽電池のフィンガーから電流を収集する電極                                            |            |
| 撥音（はつおん） .....                                                    | p.33       |
| ：カーテンウォールにおいて、ファスナー、カーテンウォール部材、パネル補強骨などが熱膨張により接触して音を出す現象          |            |
| バックコンタクト .....                                                    | p.83、86    |
| ：太陽電池の開口面積率を高めるために裏面のみに取り出し電極を配置する技術                              |            |
| パワーコンディショナ（パワコン） .....                                            | p.63、99    |
| ：太陽電池で発電した直流電力を系統連系可能な交流電力に変換する機器                                 |            |

## ひ

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 光起電力効果 .....              | p.30    |
| ：太陽電池に照射した光が電気に変換される現象    |         |
| 庇 .....                   | p.13、18 |
| ：建物の窓や出入り口の上に取り付けられる小型の屋根 |         |
| 表面トラッキング .....            | p.45、50 |
| ：絶縁物の表面に導電路（トラック）が形成される現象 |         |

## ふ

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| ファサード .....                      | p.8、40 |
| ：建物の正面から見た外観のデザイン                |        |
| ファスナー .....                      | p.111  |
| ：建築材料の接合部に用いる金具                  |        |
| 封止材 .....                        | p.87   |
| ：太陽電池モジュールの内部を保護し外部の環境から損傷を防ぐシート |        |
| 風力係数 .....                       | p.13   |
| ：風圧力を求める際に使用する建築物が風力を受ける度合いを表す係数 |        |

|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| 複合応力度.....                                     | p.17        |
| ：建築基準法で定められている許容応力度計算の応力の組み合わせ                 |             |
| 副資材.....                                       | p.70、74、97  |
| ：副次的な材料                                        |             |
| 複層ガラス.....                                     | p.66、125    |
| ：複数枚の板ガラスを重ね、その間に乾燥空気やアルゴンガス、真空状態などの中間層を設けたガラス |             |
| 部分影.....                                       | p.11、49、154 |
| ：太陽電池モジュールの一部に影がかかること                          |             |
| フラックス.....                                     | p.97        |
| ：はんだ付けの下地電極に塗布して酸化物を除去する溶着材                    |             |
| フレキシブルモジュール.....                               | p.119       |
| ：柔軟性のある薄型・軽量の太陽光モジュール                          |             |
| プレキャストコンクリート.....                              | p.8、71      |
| ：工場で事前に製造されたコンクリート部材                           |             |
| プレコンディショニング.....                               | p.44、94     |
| ：IEC61215 や IEC61646 に規定された紫外線耐性評価試験           |             |
| フロートガラス.....                                   | p.65        |
| ：溶融した金属の上にガラス素地を流し、火造りのままで連続的に製造された透明板ガラス      |             |
| 分散型.....                                       | p.99、100    |
| ：小型のパワーコンディショナを複数設置する方式                        |             |

## へ

|                                                           |             |
|-----------------------------------------------------------|-------------|
| ヘテロ接合.....                                                | p.86        |
| ：バンドギャップが異なる半導体材料接合                                       |             |
| ペリメーターゾーン.....                                            | p.30        |
| ：建築物の外壁や窓に面する部分（外壁から内側に 3～5m の範囲）で、外気や日射の影響を受けやすく空調が難しい領域 |             |
| ペロブスカイト.....                                              | p.77、78、119 |
| ：ペロブスカイト構造という特殊な結晶構造を持つ次世代太陽電池材料                          |             |
| 変性シリコーン.....                                              | p.70、74     |
| ：シリル基を末端に持つポリエーテルを主成分とするシーリング材                            |             |

## ほ

|                |      |
|----------------|------|
| 放射照度.....      | p.43 |
| ：単位面積当たりの照射光強度 |      |

|                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 防水工事 .....                                                              | p.145      |
| ： 建築材料の隙間や目地をシーリング材で埋めて、雨水などの侵入を防ぐ工事                                    |            |
| 方立 .....                                                                | p.117、136  |
| ： カーテンウォールにおける縦桟部材                                                      |            |
| ホールライフカーボン .....                                                        | p.106、109  |
| ： 建築物の資材調達から建設、運用、解体・廃棄に至るまで、そのライフサイクル全体で排出される二酸化炭素（CO <sub>2</sub> ）の量 |            |
| 保護等級 .....                                                              | p.92、93    |
| ： JIS C 0920 に基づく防水能力の基準                                                |            |
| ホットスポット .....                                                           | p.49、90、11 |
| ： 太陽電池モジュールの一部が局所的に発熱する不具合                                              |            |
| ポリオルガノシロキサン .....                                                       | p.89       |
| ： シロキサン結合（Si-O-Si）を主体とするポリマー                                            |            |
| ポリサルファイド .....                                                          | p.70       |
| ： ポリサルファイドを主成分とするシーリング材                                                 |            |

## み

|              |      |
|--------------|------|
| 脈動圧 .....    | p.55 |
| ： 周期的に変動する圧力 |      |

## む

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| ムーブメント .....                    | p.70  |
| ： シーリング材の追従性能                   |       |
| 無目カバー .....                     | p.117 |
| ： カーテンウォールの横桟（無目）の見付け面に取り付けるカバー |       |

## も

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| モジュール .....                                      | p.7、77、125 |
| ： 複数の太陽電池セルを組み合わせて作られたパネル                        |            |
| モックアップ .....                                     | p.120      |
| ： 建物の実物を建てる前に作成される原寸大模型や縮尺模型                     |            |
| モルフォ蝶 .....                                      | p.96       |
| ： 中南米に生息する大形の蝶で、羽の表面にある楕形の鱗粉の積層構造が青色の波長だけを強く反射する |            |

## ゆ

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| ユニット工法 .....                      | p.125 |
| ： 工場で組み立てたカーテンウォールを現場に搬入して取り付ける工法 |       |

## よ

窯業系建材..... p.63

：セメントを主原料として、窯の中で高熱処理して製造された板状の外壁材や  
下地材など

楊重（ようじゅう） ..... p.143

：建築現場で建築資材を指定の場所に運ぶ仕事

## ら

ライフサイクルアセスメント.....p.106、109

：製品やサービスのライフサイクル全体における環境への影響を科学的、定量的に  
評価する手法

## る

ルーバー ..... p.13、15、17

：細長い羽板を一定の間隔で平行に並べて取り付けた建築アイテム

## れ

レジン..... p.90

：液体の樹脂

レディメイド..... p.135

：既製品

## ろ

ロールアウト製法..... p.65

：溶融したガラスを上下の2本のロールで挟んで引き延ばすガラスの加工方法

ロールスクリーン..... p.78、119

：生地を巻き上げて上下に開閉する窓装飾アイテム

ロッキング..... p.72

：カーテンウォールのパネルを面内方向に回転させて層間変位に追従させる方式