

わが国の太陽光発電ガラス関連産業の動向と成長条件
報告書

令和6年3月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所

委託先:公益財団法人未来工学研究所

目次

1. はじめに	1
2. 調査研究の背景と目的	3
3. 調査の内容と方法	4
3.1 世界の BIPV 市場、関連する政策等の動向	4
3.2 国内の技術および市場の動向調査.....	4
3.3 わが国と海外関連メーカーの特許調査	6
3.4 欧州と中国における BIPV 政策、プロジェクト、公的支援等の状況	6
3.5 わが国における BIPV 関連産業の形成条件	7
3.6 提言	7
4. 世界の BIPV 市場、関連する政策等の動向.....	8
4.1 BIPV の定義.....	8
4.2 世界の BIPV 市場	9
4.3 BIPV に関する欧州の概況.....	14
4.3.1 欧州の BIPV の市場と政策.....	14
4.3.2 EU の再生可能エネルギー推進策と BIPV への取組み	15
4.4 BIPV に関する中国の概況.....	17
4.4.1 中国の BIPV の市場と政策.....	17
4.4.2 中国の太陽光発電技術開発と BIPV への取組み.....	18
5. 国内の技術および市場の動向	21
5.1 PV ガラスに搭載する太陽電池の動向と PV ガラスと BIPV との関係	21
5.2 企業の技術動向調査	23
5.2.1 米ユビキタスエナジー (UE 社) /ENEOS ホールディングス/日本板硝子	23
5.2.2 大成建設/カネカ	29
5.2.3 AGC.....	36
5.2.4 パナソニックホールディングス	41
5.2.5 国内企業の BIPV 製品開発と事業展開に関する考察	46
5.3 大学・研究機関の研究動向調査	52
5.3.1 桐蔭横浜大学 宮坂力特任教授	52
5.3.2 東京大学 瀬川浩司教授.....	56
5.3.3 公立諏訪東京理科大学 渡邊康之教授	58
5.3.4 大学における PV ガラスの研究開発に関する考察	60
6. わが国と海外関連メーカーの特許調査.....	62
6.1 特許調査の目的.....	62
6.2 特許情報の調査方法	62

6.3	BIPV 関連特許調査の結果.....	63
6.4	総括	70
7.	欧州と中国における BIPV 政策、プロジェクト、公的支援等の状況	71
7.1	欧州	71
7.1.1.	EU の 2030 年気候目標と建築部門における再生可能エネルギー 利用・建物改築促進策	71
7.1.2.	EU の BIPV プロジェクトの特徴.....	73
7.1.3.	欧州における BIPV のインセンティブ付与の考え方の例	79
7.1.4.	欧州における BIPV 推進の成功要因	81
7.2	中国	83
7.2.1.	現行の中国の国家戦略における太陽光発電及び BIPV の位置づけ.....	83
7.2.2.	中国の BIPV 基本政策、BIPV 補助金政策、BIPV 開発プロジェクト、 社会実装等の状況.....	90
7.2.3.	中国の BIPV 推進策の特徴に関する総括.....	93
8.	わが国における BIPV 関連産業の形成条件.....	94
8.1	技術的・実用化の課題	94
8.1.1.	太陽電池としての寿命と建築物の寿命のミスマッチへの対応.....	94
8.1.2.	今後期待される PV ガラスに応用される太陽電池の状況	94
8.2	事業化及び産業化に向けた課題	96
8.3	わが国の BIPV 関連産業の成長条件	98
9.	提言	99

1. はじめに

現在、BIPV¹と略称される新たな事業領域は、世界各国の太陽光発電関連事業の展開経緯を踏まえ、多少異なる概念で用いられている。我が国では「建物一体型太陽光発電」設備としては、戸建て住宅の屋根材については既に実用化されているが、いわゆるビルディングの外壁部を利用した建物一体型太陽光発電設備についての多くは、実証段階かそれ以前の開発段階にあり、日本語のビルディングの語感も加担し、BIPVの語は我が国では新たに事業化すべき新規産業領域のことを意味すると認識されることが多い。その際、「外壁部」は「窓ガラス」と文字通りの「外壁材」に区別して想定し、開発課題の多くは太陽光発電シートを窓ガラスに敷設した設備のことを意味すると限定的に認識されることが通常である。この場合、新規産業化にとって幸いなことに、最新のオフィス用高層ビルの外壁部は全面ガラスのカーテンウォールを採用していることが多い。この場合、太陽光発電シートは必ずしも全面が透明である必要はなく、部分的に可視光を透過して室内から外の景色が眺められる構造にしていれば良い。

一方、建物一体型太陽光発電設備が既に産業化されている諸外国では、BIPVの語は上記の先端産業領域を含め包括的な概念として用いられている。実態としては、中国では屋根一体型が中心であり、欧米では屋根一体型に加え高層ビルの外壁部の活用が目指されている。特に欧州では、伝統的なビルの外観を維持した一体型部材の開発や新規高層ビルの場合でも色彩を加えたファッショナブルなビルや美観に配慮したデザインに開発の重点が置かれている。韓国では、夜間、ビル全体を広告塔とする発光機能を付加した建物一体型が開発され、さらに外壁部の新たな活用方式として発光強度の高いLEDの開発に伴い昼間でもデザインされた動画映像をまとった巨大ビル²も出現している。

我が国のシリコン系太陽光発電技術は、研究段階では先行していたが実用化段階ではコストの面で中国企業に敗れ、多くの市場が奪われてきた経緯がある。本調査の目的は、発電効率の高度化が期待されるペロブスカイト系をはじめとする新規太陽光発電技術の実用化においてはシリコン系の轍を踏まない対応が必要であるとの認識の下で、諸外国の包括的な意味でのBIPVの進展状況について把握するとともに、我が国の今後の取り組み方に資する知見を提示することを目的としている。その概要をまとめると以下ようになる。

第一に、社会的価値にかかわる新領域を実体化するためには、目標を明確にした政策的な枠組みを設定する必要がある。シリコン系の失敗はFITに類する導入インセンティブの設定が遅れたことに加え、コスト競争力への抜本的な取り組みが企業側に欠けていた点にある。したがって、第二には、ペロブスカイト系等の新規太陽光発電設備の展開においては実用化に向けた研究開発体制を整備する必要がある。比較的研究ポテンシャルの高い大学における

¹ Building-integrated photovoltaics の慣用的な略記。似た概念である BAPV は Building-applied photovoltaics を意味し、光電変換部分が建築資材と一体化されているか、光電変換パネルを取り付けているかの違いがある。

² 例えば、ソウル市庁舎の新館。

基礎研究段階では光電変換セルのレベルでのチャンピオンデータ競争にいつまでも拘泥することなく、耐候堅牢度の高い新ペロブスカイト系を目指す等の多様な研究体制を強化するとともに、実用化に取り組む企業に対しては人材育成とニーズ型の研究開発体制の育成に協力すべきである。具体的には、第三に高層ビルの建設にかかわる設計、建設、資材製造、材料開発等の企業群に加え、施主やディベロッパー等のニーズ側の核心を握る事業者も加えたBIPV 企業団体と関連省庁の実務者さらにはシンクタンク等の関連研究者やコンサルタント等の知的支援者とが一体的に情報共有と意見交換が可能な開かれた場を設定し³、柔軟で多様な事業領域を設定すると共にそれら事業領域に見合った規格、基本的な技術仕様、導入支援政策等を具体的に構想し推進する。

このような新たな推進方式に関連する内容と国内外の状況に関して、以下の章で詳細に報告する。

³ 欧米では、社会的課題の解決を目指す開発体制のあり方として、ITS アメリカを嚆矢とするプラットフォーム型が一般化している。欧州でも、社会課題の解決を目標とする課題が、フレームワークプログラムを拡張した Horizon 2020 以来多数展開されている。これらにおける政府の基本的な役割は優先すべきクライテリアを設定するなど、プロジェクトの大きな方向性の設定と経費の一部の負担に留め、具体的な内容については事業を展開する実務者の合議に委ねるべきである。

2. 調査研究の背景と目的

太陽光発電ガラス（以下、PV ガラス と表記）は、太陽電池を搭載した、光を電気に変換する建材一体型太陽光発電設備（以下、BIPV と表記）の一種である建築用ガラスである。また、PV ガラスは送電が困難な遠隔地の電力問題を解決するためのマイクログリッドとしての役割を果たすことも可能であり、さらに自動車技術と統合することで自動車の効率性を高めるシステムとしても期待されている。そのため、わが国ではエネルギー価格の高騰と脱炭素社会の実現を見据え、建物の ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）化を進めるための切り札として注目され始めている。

しかしながら、わが国の PV ガラス関連産業（サプライチェーン等）自体の国際競争力は決して高いとは言えず、当該市場が世界規模で急成長することが期待される中、わが国における PV ガラス関連産業の基盤強化は喫緊の課題であると考えられる。さらに、環境条件の変化やコスト高により PV ガラスの導入が遅れている新興国や低開発国向けに、新たな PV ガラスの製品提供も必要になっていくものと予想されることから、当該分野におけるイノベーションを日本から発信するためには、PV ガラス関連産業のみならず大学発ベンチャー等の役割も重要である。

このような背景から、本調査研究では、文献調査及び事例調査に基づいて、わが国の PV ガラス関連産業の技術・市場動向を踏まえて今後の成長条件を析出することで、脱炭素社会の実現とわが国における新産業創出に寄与することを目的とする。

3. 調査の内容と方法

本業務は、文献調査及びヒアリング調査により、以下について調査した。

3.1 世界の BIPV 市場、関連する政策等の動向

現在、欧州地域は PV ガラスの最大の市場の一つである。その背景としては、2010 年代からのソーラー・ヨーロッパ・産業・イニシアティブ SEII の展開に続き、スウェーデン、UK を始めとする各国においても多数の関連プログラムが実施され、BIPV に関する規格が設定されていることが寄与していると思われる。

結果として英国企業がドイツに一貫生産工場を設置し、ドイツに多数の PV ガラス設置建物が建造されてきている。ドイツのみならず他の欧州地域でも、脱炭素社会に向けて PV ガラスなど BIPV を使用した建築が増えている。この動きが欧州の PV ガラス市場が活性化している要因ではないかと考えられる。

一方、中国では、2010 年代初頭から建築家、建物設計者、エンジニア、建物所有者、電力会社などから成る建築チームが協力し、建物の「外皮」の設計・施工が試みられてきている。中国においては、BIPV の性能的意義を「太陽光発電プラス（光伏+）」としており、既存の太陽光発電パネルに建築部材としての性能を付加したものとして捉えられている。

これらを踏まえ、BIPV の用途別の世界市場、欧州や中国を中心とした最近の BIPV（PV ガラスを含む）の市場、政策等の動向について調査し、整理した。

3.2 国内の技術および市場の動向調査

(1) 企業の技術動向調査

国内の PV ガラス市場には、2023 年 10 月現在において 5 つの企業グループが参入している。PV ガラスの構造は、【A】全面透明型と、【B】短冊シェード等型（光電変換部分は不透明）に大きく 2 つに分類できる。

PV ガラスの開発に当たっては、ゼネコンやサッシメーカー等の建設資材メーカーとの共同開発の形態を取る場合が多い。【A】全面透明型、【B】短冊シェード等型別に、共同開発企業をグループ化すると、下記のように整理することができる。

【A】全面透明型

共同開発企業のグループ	実証状況
日本板硝子+米ユビキタス エナジー(UE 社)+ENEOS ホールディング	透明導電膜付きガラスの上にシリコン系太陽電池を製膜し、裏面電極を付けた構造である。可視光を透過し、紫外線および赤外線を吸収して発電する。UE 社の開発であるが、技術的な開示情報が少なく、実用化に懸念が持たれる。工場構内や高輪ゲートウェイ等で実証実験が行われている。
NTT-AT+inQs+YYK AP	二酸化ケイ素の微粒子(Solar Quartz)を電極材料に使用し、可視光を透過し紫外線および赤外線を吸収して発電する。inQs（インクス

共同開発企業のグループ	実証状況
	社)が開発し、NTT-ATが販売している。inQsの企業としての信頼性を調査する。海城学園サイエンスセンターにて実証実験が行われている。

【B】短冊シェード等型

共同開発企業のグループ	実証状況
カネカ+大成建設	ガラスに極薄のシリコン膜（ヘテロ接合型）をコーティングした構造。T-Green® Multi Solar（シースルータイプ）として販売している。
AGC	2枚のガラスに発電セルを挟み込んだ（BIPV）である。サンジュール（sunjoule）として販売中であるが、半透明である。実証検証として、NTT品川 TWINS 連絡通路他 12 例で実施中である。。
パナソニックホールディングス	発電層をインクジェット塗布製法とレーザー加工技術を組み合わせて形成する構造である。2023年9月1日から、1年以上にわたる長期実証実験を開始した。

今回、「NTT-AT+inQs+YYK AP」グループより、ヒアリングの許諾を得られなかったことから、「NTT-AT+inQs+YYK AP」グループを除く、4つの共同開発企業グループ別に、ヒアリングを実施した。ヒアリングは、以下の項目に焦点を置いて実施した。

- ・ 開発が進められている製品／商品名、製品／商品のタイプ及び開発段階
使用されている太陽電池⁴等
- ・ 製品・商品の特徴
- ・ 関係企業の役割
- ・ 共同開発や事業連携に至った経緯
- ・ 最近の実証実験の内容、結果等
- ・ 事業化の見込み
- ・ BIPVへの対応
- ・ 国に期待する支援

(2) 大学・研究機関の研究動向調査

以下は、PVガラスに関連する研究を行っている主な国内大学・研究機関である。

大学・研究機関名	代表研究者	研究の内容
OPTMASS（京大発ベンチャー）	坂本雅典 准教授 （京都大学化学研究所）	赤外線（熱線）だけを吸収してほかの光と透過する「熱線遮蔽ナノ粒子」を使用して、太陽光発電ガラスを開発中である。

⁴ 発電素子という言葉も使用されている場合もあるが、本報告書では「太陽電池」という表現で統一した。

大学・研究機関名	代表研究者	研究の内容
桐蔭横浜大学	宮坂力特任教授	ペロブスカイト型太陽電池の発明者であり、実用化を支える開発研究を行っている。
公立諏訪東京理科大	渡邊康之准教授	透過型有機薄膜太陽電池を農業ビニールハウスに適用する研究を行っている。植物栽培を促進する光を透過し、植物栽培に寄与しない光で発電する技術の開発に取り組んでいる。
東京大学	瀬川浩司教授	「軽量かつフレキシブル」「安価で高性能」などの条件を満たす次世代型太陽電池（ペロブスカイト太陽電池、量子ドット太陽電池、多励起子生成太陽電池、蓄電機能内蔵太陽電池など）の研究を幅広く進めている。

これらの大学・研究機関のうち、京大発ベンチャー企業である OPTMASS のみが製品開発の段階にあるとされているが、他は研究開発段階である。

今回、桐蔭横浜大学（宮坂力特任教授）、東京大学（瀬川浩司教授）及び公立諏訪東京理科大（渡邊康之准教授）からヒアリングの許諾を頂いたことから、これらの大学に対してヒアリングを実施した。ヒアリングは、以下の項目に焦点を置いて実施した。

- ・ 研究者側から見た従来型太陽電池の敗北原因
- ・ 今後中国等の海外企業からの追従を許さないための方法
- ・ BIPV（PV ガラスを含む）技術を実用化する（大量生産体制の構築等）ための課題
- ・ 実現できている発電効率など、技術的なブレークスルーの成果 等

3.3 わが国と海外関連メーカーの特許調査

我が国と欧州、米国、中国、韓国等の海外関連メーカーにおける BIPV（PV ガラスを含む）の技術開発を公開特許情報で調査し、欧州、米国、中国、韓国等とわが国の公開特許情報との比較から、日本の技術開発と実用化の置かれた現状を把握した。

3.4 欧州と中国における BIPV 政策、プロジェクト、公的支援等の状況

EU においては、建築物に BIPV を使用して太陽光発電を行い、建物を分散型エネルギー生産施設に変えることで、EU の 2030 年気候目標の達成を支援し、同時に土地や景観を保護することができるとしている。このため、EU は、BIPV が技術的、エネルギー的、そして美観的な要件も満たすことで、目標達成の成功要因になり得るとしており、EU の大規模な R&D 枠組み計画である「Horizon 2020」の中で、複数の大規模な BIPV プロジェクトが実施された。

一方、中国においては、「第 14 次 5 年計画における再生可能エネルギー開発計画」を策定し、「2030 年に二酸化炭素排出量ピークアウト、2060 年にカーボンニュートラル（温暖化ガス排出量実質ゼロ）を実現する」という「3060 目標を掲げ、グリーンエネルギーに関し政策主導の開発から市場主導の開発へ段階を移行させることが表明されている。その一環として、中国共産党

の強力な指導力の下、各地方政府が、都市や町の建物や土木建築物を対象として、民間を巻き込みながら、BIPV を中心とした施工方式によるグリーン・ビルディングの割合を増強させ、BIPV の実装に突き進んでいる。

これらを踏まえて、欧州と中国における BIPV 政策、プロジェクト、補助金を含めた公的支援の例等について調査し、整理した。

3.5 わが国における BIPV 関連産業の形成条件

上記 3.1～3.4 項を踏まえて、BIPV の実用化の課題と BIPV の産業化の課題の観点から、わが国における BIPV 関連産業の形成条件について分析した。

3.6 提言

上記を踏まえて、我が国が BIPV 産業を育成していくうえで必要な方策について提言した。

4. 世界の BIPV 市場、関連する政策等の動向

本章では、最初に、BIPV の定義について述べ、世界の BIPV (PV ガラスを含む) 市場について整理する。次に、欧州と中国に焦点を置いて、BIPV の市場、政策等の動向について述べる。

なお、世界の BIPV 市場、欧州の BIPV 市場や関連する政策等については、主として、米国のコンサル企業が、米国エネルギー省 (Department of Energy: DOE) の太陽エネルギー技術局 (Solar Energy Technologies Office: SETO) から委託を受けて実施された、BIPV に関する調査研究レポート⁵の情報を参照した。

4.1 BIPV の定義

BIPV 定義は国によって異なる。BIPV に関する「標準的な」定義は存在しないが、欧州規格である EN 50583⁶が、最も一般的で国際的に受け入れられている定義である⁷。現在、EN 50583 を基に、国際規格である IEC63092 が提案されている。

図 4-1 に示したように、IEC63092 (EN 50583 も同様) では、BIPV モジュールの取り付けカテゴリ別にその特徴が示されている。

当該規格では、本質的に建材と太陽光発電設備が一体化しているか否かに焦点が置かれており、ルーバー、バルコニー、手摺等も BIPV に分類されている。また、構成部材についても、合わせガラス・モジュールのような透過性のある部材だけではなく、多様な部材も BIPV の対象になっている。建築外皮を覆う機能材と一体化している太陽光発電設備であれば、いかなる構造、工法及び用途であっても、「BIPV」と呼称するという意図が見られる⁸。

⁵ Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.

⁶ EN 50583 は、建築用太陽電池の欧州規格であり、BIPV のモジュールとシステムに関して規定している。

⁷ Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.

⁸ 石井、“BIPV モジュールのシステムおよびモジュールの国際標準化に向けた建築的課題”、GBRC 技術報告、2019 年。

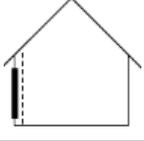
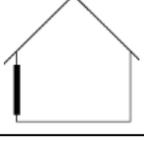
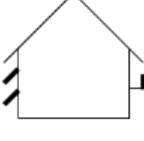
カテゴリ	概要	BIPVモジュール取り付けのイメージ
カテゴリA	傾斜面屋根一体型で建物内からアクセス不可。BIPVモジュールが、水平面から0～75°の傾斜角で、建物の外皮に取り付けられる。その下に、大きなガラス片が落下するのを防ぐため、バリアが設置される。	
カテゴリB	傾斜面屋根一体型で建物内からアクセス可能。BIPVモジュールが、水平面から0～75°の傾斜角で、建物の外皮に取り付けられる。	
カテゴリC	非傾斜(垂直)外皮一体型で建物内からのアクセス不可。BIPVモジュールは、水平面から75～90°の傾斜角度で、建物の外皮に取り付けられる。大きなガラス片が落下するのを防ぐため、後部にバリアが設置される。	
カテゴリD	非傾斜(垂直)外皮一体型で建物内からのアクセス可能。BIPVモジュールは、水平面から75～90°の傾斜角度で、建物の外皮に取り付けられる。	
カテゴリE	外部統合型で、建物内部からアクセス可能または不可。BIPVモジュールは建物に取り付けられ、その外皮(バルコニーの手すり、シャッター、日よけ、ルーバーなど)の外側に付加的な機能の層を形成する。	

図 4-1 BIPV アプリケーション・カテゴリ別の BIPV モジュール取り付けの形態とイメージ
(出典：「IEA Task 15, “Categorization of BIPV applications,” Report IEA-PVPS T15-12, 2021.」⁹より、「石井、“BIPV モジュールのシステムおよびモジュールの国際標準化に向けた建築的課題”、GBRC 技術報告、2019 年.」を参考にして、未来工学研究所が和訳・編集)

4.2 世界の BIPV 市場

(1) BIPV の用途別の世界市場

BIPV の世界市場は用途別にセグメント化されている。BIPV の用途には、屋根材（屋根板 (roofing shingles)、屋根瓦 (roofing tiles)、立ち上げ継ぎ目金属屋根 (standing seam metal roofing)、単層膜屋根 (single-ply membrane roofing)、ファサード (facades)、グレージング (Glazing)¹⁰、建築用遮光 (Architectural Shading) などがある¹¹。

表 4-1 に、世界の BIPV の用途別の市場を示す。

⁹ https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/09/IEA-PVPS-T15-12_2021_BIPV-categorization_report.pdf

¹⁰ グレージングには、窓、カーテンウォール、天窗、風除室等が含まれる。

¹¹ Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.

表 4-1 世界における BIPV の用途別の市場（単位：100 万米ドル）^(注1)

（出典：Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.）¹²

BIPV の用途	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	CAGR ^(注2) (2020～2025 年)
立ち上げ継ぎ目金属屋根 (Standing seam metal roofing)	955.4	951.6	1,098.3	1,582.8	2,438.4	20.7%
屋根瓦 (Roofing tiles)	396.9	420.4	516.2	844.2	1,482.1	28.7%
単層膜屋根 (Single-ply membrane roofing)	305.5	330.3	413.5	700.1	1,267.7	30.9%
屋根板 (Roofing shingles)	331.8	350.7	429.8	700.5	1,225.9	28.4%
グレージング (Glazing)	788.6	806.2	956.5	1,463.6	2,411.3	24.5%
ファサード (Facades)	702.4	695.2	797.9	1,139.8	1,746.8	20.2%
建築用遮光 (Architectural shading)	314.7	306.6	345.9	475.6	696.9	17.8%
合計	3,795.3	3,861.0	4,558.1	6,906.6	11,269.1	23.9%

（注1）2019 年を基準年として、2020～2025 年の市場額を推定。

（注2）CAGR（Compound Annual Growth Rate）：年平均成長率

BIPV の用途別で見ると、屋根材は、短・中期的な BIPV 市場において最大のセグメントを構成している。グリーン・ビルディングのトレンド、中国や欧州におけるネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング（Net Zero Energy Building: NZEB）の義務化などが、PV 屋根市場を牽引していると考えられる¹³。

BIPV グレージング（窓、カーテンウォール、天窓、風除室等が含まれる）は、立ち上げ継ぎ目金属屋根とともに、BIPV の用途別の市場で最も大きなセグメントを構成している。欧米では、BIPV グレージングは、高級建築用ガラスと比較した場合、既に競争力のある価格となっているため、PV 窓や BIPV の用途では価格面での制約は少ないとされている¹⁴。

（2）国・地域別の BIPV 設置規模及び BIPV による潜在的な発電能力

① BIPV 設置規模

表 4-2 は、2018 年に、2014 年から 2020 年までの世界の地域別の BIPV 設置の状況と見通しについて、メガワット（MW）ベースで分析・予測したものである。

¹² 本表の情報源：BCC Research, “Building-Integrated Photovoltaics (BIPV): Technologies and Global Markets,” 2021.

¹³ Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.

¹⁴ Ibid.

本表によると、2014年のBIPV設置規模が1.5MW、2020年のBIPV設置規模が11.1MWと推定され、6年間で7倍以上の規模に拡大すると予測されている。また、2014～2020年のBIPV市場の世界平均のCAGR（年平均成長率）は39%に達するとされている。

地域別に見ると、欧州、アジア（おそらく中国が中心）及び米国が世界のBIPV市場で支配的な役割を果たしている。日本は、米国に次いでBIPV市場があるが、CAGRで見ると他の国・地域は30%を大きく超えている（アジア・太平洋地域は50%に迫っている）一方、日本は30%を切っている。

表4-2 国・地域別のBIPV市場の展開と2014年から2020年までの予測（電力（MW）ベース）

（出典：Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.）¹⁵

国・地域	2014年 (MW)	2015年 (MW)	2016年 (MW)	2017年 (MW)	2018年 (MW)	2019年 (MW)	2020年 (MW)	CAGR (注) (%)
アジア・太平洋地域	300	492	772	1159	1672	2329	3184	47.8
欧州	650	967	1441	2103	2929	3807	4838	39.7
米国	319	476	675	917	1200	1491	1766	33.0
カナダ	42	61	86	119	157	190	228	32.6
日本	143	201	268	434	434	520	612	27.5
その他の地域・国	81	125	184	355	355	451	561	37.9
総計 (GW)	1.5	2.3	3.4	4.9	6.7	8.8	11.1	

（注）CAGR（Compound Annual Growth Rate）：年平均成長率

② BIPVによる潜在的発電能力

国際エネルギー機関（International Energy Agency: IEA）は、いくつかのIEA加盟国に関するBIPVの潜在的な電力消費量について、文書（IEA-PVPS17-4:2002）¹⁶として報告したとされる。

同文書では、表4-3に示すように、これらの国における住宅地、農業地、工業地、商業地等における建物の建屋根やファサードの利用可能な面積を評価し、屋根やファサード面積に対応する潜在的なBIPV発電量と電気消費量に対するBIPV発電の潜在的需要比率を予測している¹⁷。

表4-3から、日本、フィンランド及びスウェーデン以外の国は、電気消費量に対するBIPV発電の潜在的需要比率が30%を超えており、BIPVへの期待感が大きいと考えられる（日本、フィンランド及びスウェーデンは、国土面積における森林面積の割合が高い）。特に、米国、オーストラリア、イタリア及びスペインは、電気消費量に対するBIPV発電の潜在的需要比率が40%を大きく超えている。

¹⁵ 本表の情報源：Tiantian Zhang, Meng Wang, and Hongxing Yang, “A Review of the Energy Performance and Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems,” *Energies*, Vol. 11, No. 3157, November, 2018. (<https://doi.org/10.3390/en11113157>)

¹⁶ この文書は、インターネット上にアップされていないようである。

¹⁷ Dawnbreaker, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.

表 4-3 選定された IEA 加盟国における BIPV による潜在的な発電能力 (注)

(出典 : Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.)¹⁸

国	BIPV に使用可能な潜在的な屋根面積 (km ²)	BIPV に使用可能な潜在的なファサード面積 (km ²)	BIPV 屋根による潜在的な発電量 (TWh/年)	BIPV ファサードによる潜在的な発電量 (TWh/年)	BIPV による潜在的な総発電量 (TWh/年)	実際の電気消費量 (TWh)	潜在需要比率 (%)
オーストラリア	422.5	158.34	68.176	15.881	84.057	182.24	46.1
オーストリア	139.62	52.36	15.197	3.528	18.725	53.93	34.7
カナダ	963.54	361.33	118.708	33.054	151.762	495.31	30.6
デンマーク	87.98	32.99	8.710	2.155	10.865	34.43	31.6
フィンランド	127.31	32.99	11.763	3.063	14.827	76.51	19.4
ドイツ	1295.92	485.97	128.296	31.745	160.040	531.64	30.1
イタリア	763.53	286.32	103.077	28.827	126.904	282.01	45.0
日本	966.38	362.39	117.416	29.456	146.872	1012.94	14.5
オランダ	259.36	97.26	25.677	6.210	31.887	99.06	32.2
スペイン	448.82	168.31	70.689	15.784	86.473	180.17	48.0
スウェーデン	218.77	82.04	21.177	5.515	26.692	137.12	19.5
スイス	138.22	51.84	15.044	3.367	18.410	53.17	34.6
英国	914.67	343.00	83.235	22.160	105.395	343.58	30.7
米国	10096.26	3876.10	1662.346	418.312	2080.661	3602.63	57.8

(注) 本表の情報は 2002 年に発表された IEA レポート (IEA-PVPS17-4:2002) に基づく。

(3) 世界の地域別及び建物ストック・クラス別の BIPV 市場

表 4-4 に、世界の地域別 (アジア・太平洋、欧州、北米・中米・南米、中東・アフリカで区分) の BIPV 市場予測 (2019~2025 年) を示す。

また、表 4-5~表 4-7 に世界の地域別 (と同じ区分) の住居用建物、商業用建物、産業用建物の BIPV 市場予測 (2019~2025 年) を示す。

BIPV の世界市場としては、アジア・太平洋地域の市場が最も大きく、次いで欧州の市場が大きい。アジア・太平洋地域の BIPV 市場が最も大きい理由は、中国の BIPV 市場が極めて大きいということが考えられる。実際、米国の民間の市場レポート¹⁹によると、中国の BIPV 市場は 2026 年までに 41 億米ドルに達するとされているが、表 4-4 より、2025 年におけるアジア・太平洋地域の BIPV 市場が約 44 億米ドルと予測されていることから、中国の BIPV 市場がいかに巨大であるかを裏付けることができる。

¹⁸ 本表の情報の出典 : Tiantian Zhang, Meng Wang, and Hongxing Yang, “A Review of the Energy Performance and Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems,” *Energies*, Vol. 11, No. 3157, November 14, 2018. (<https://doi.org/10.3390/en11113157>)

¹⁹ “Global Building Integrated Photovoltaics (BIPV) Market Trajectory & Analytics Report 2022-2026 - ResearchAndMarkets.com,” *Business Wire*, March 14, 2022. (<https://www.businesswire.com/news/home/20220314005624/en/Global-Building-Integrated-Photovoltaics-BIPV-Market-Trajectory-Analytics-Report-2022-2026---ResearchAndMarkets.com>)

なお、建物ストック・クラス別の BIPV 市場をみた場合、欧州は産業用建物と住居用建物の市場が、アジア・太平洋地域は商業用建物と産業用建物の市場が大きいという傾向が見られる。

表 4-4 世界の地域別の BIPV 市場 (単位：100 万米ドル) (注1)

地域	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	CAGR (注2) (2020~2025 年)
アジア・太平洋	1,490.10	1,521.30	1,792.30	2,702.70	4,384.70	23.60%
欧州	1,081.40	1,089.70	1,281.60	1,927.90	3,124.40	23.50%
北米・中米・南米	841.8	866.4	1,036.60	1,613.90	2,706.80	25.60%
中東・アフリカ	382	383.6	447.6	662.1	1,053.20	22.40%
合計	3,795.30	3,861.00	4,558.10	6,906.60	11,269.10	23.90%

(注1) 2019 年を基準年として、2020~2025 年の市場額を推定。

(注2) CAGR (Compound Annual Growth Rate)：年平均成長率

表 4-5 世界の地域別の住居用建物の BIPV 市場 (単位：100 万米ドル) (注1)

地域	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	CAGR (注2) (2020~2025 年)
欧州	380.2	380.0	443.3	656.0	1,045.4	22.4 %
アジア・太平洋	270.2	286.0	348.9	562.2	970.6	27.7 %
北米・中米・南米	255.8	266.3	322.3	513.2	880.0	27.0 %
中東・アフリカ	134.5	137.0	162.0	246.1	401.8	24.0 %
合計	1,040.7	1,069.3	1,276.5	1,977.5	3,297.8	25.3 %

(注1) 2019 年を基準年として、2020~2025 年の市場額を推定。

(注2) CAGR (Compound Annual Growth Rate)：年平均成長率

表 4-6 世界の地域別の商業用建物の BIPV 市場 (単位：100 万米ドル) (注1)

地域	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	CAGR (注2) (2020~2025 年)
アジア・太平洋	579.2	595.3	706.2	1,079.2	1,773.9	24.4 %
北米・中米・南米	289.1	296.0	352.2	542.4	899.7	24.9 %
欧州	285.9	289.1	341.1	516.6	842.8	23.9 %
中東・アフリカ	77.4	78.6	92.9	140.7	229.1	23.9 %
合計	1,231.6	1,259.0	1,492.4	2,278.9	3,745.5	24.4 %

(注1) 2019 年を基準年として、2020~2025 年の市場額を推定。

(注2) CAGR (Compound Annual Growth Rate)：年平均成長率

表 4-7 世界の地域別の産業用建物の BIPV 市場 (単位：100 万米ドル) (注1)

地域	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	CAGR (注2) (2020~2025 年)
アジア・太平洋	640.7	640.0	737.2	1,061.30	1,640.2	20.7 %
欧州	415.3	420.6	497.2	755.3	1,236.2	24.1%

地域	2019年	2020年	2021年	2023年	2025年	CAGR ^(注2) (2020~2025年)
北米・中米・南米	296.9	304.1	362.1	558.3	927.1	25.0%
中東・アフリカ	170.1	168.0	192.7	275.3	422.3	20.2%
合計	1,523.0	1,532.7	1,789.2	2,650.2	4,225.8	22.5%

(注1) 2019年を基準年として、2020~2025年の市場額を推定。

(注2) CAGR (Compound Annual Growth Rate) : 年平均成長率

4.3 BIPVに関する欧州の概況

4.3.1. 欧州のBIPVの市場と政策

表4-8に、欧州におけるBIPVの用途別の市場を示す。

欧州はBIPVにとって安定した市場機会であるが、その理由の一部は、欧州で使用されている建材にある。欧州は、屋根瓦の普及率、その交換サイクル、既存構造物との調和を求める地域の条例、BIPV屋根への地域的な重点の置き方など、すべてが太陽電池屋根瓦市場に寄与している。

BIPVの伝統的な歴史的建造物(Traditional Historical Buildings: THB)に関する主な問題は、太陽電池の色による視覚的な影響であり、貴重な筐体や伝統的な素材への全体的な挿入のレベルに影響することであるが、既に、高集積度で視覚的な影響が殆どみられないBIPVのアプリケーションが市場に出ている。窓一体型太陽光発電(Window-Integrated Photovoltaics: WIPV)やその他のガラス面も、THBに組み込むべき重要な製品であるとされている²⁰。

表4-8 欧州におけるBIPVの用途別の市場(単位:100万米ドル)^(注1)

(出典: Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, "Building Integrated Photovoltaics," A report prepared for Department of Energy's Solar Energy Technologies Office, May 2021.)

BIPVの用途	2019年	2020年	2021年	2023年	2025年	CAGR ^(注2) (2020~2025年)
屋根	514.2	539.7	656.9	1,056.7	1,827.1	27.6%
ファサード	326.4	321.0	366.1	516.2	780.9	19.5%
建築遮光	138.0	136.3	156.1	220.6	332.2	19.5%
グレーディング	102.8	92.7	102.5	134.4	184.2	14.7%
合計	1,081.4	1,089.7	1,281.6	1,927.9	3,124.4	23.5%

(注1) 2019年を基準年として、2020~2025年の市場額を推定。

(注2) CAGR (Compound Annual Growth Rate) : 年平均成長率

欧州では、EUを近代的で資源効率に優れ、競争力のある経済へと変革することを目的とした、「欧州グリーン・ディール」の発表(2019年12月)に伴い、2050年までにEUの温室効果ガス排出量を実質ゼロにする気候中立(climate-neutral)目標、並びに、2030年までに同排出量を1990年比で55%以上削減する目標を法定化する「欧州気候法(European Climate Law)」が公布

²⁰ Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, "Building Integrated Photovoltaics," A report prepared for Department of Energy's Solar Energy Technologies Office, May 2021.

された。これにともない、「再生可能エネルギー指令」の目標を2030年までに42.5%に引き上げることが提案され、さらに「建物エネルギー性能指令（Energy Performance of Buildings Directive）」の改正が提案され、2030年に、建築部門における再生可能エネルギーの利用を49%にするという目標が示された。EUでは、BIPVがこの目標の達成に最も重要な役割を果たすものとして位置づけられた。

このような状況を踏まえて、EUでは、欧州各国がBIPVの設置に有利なFIT（再エネ電気の固定価格買取）制度を策定し、粘土瓦の色や形を通じてTHB材料を模倣することができる技術が開発されたことが、BIPV市場の確保に貢献したとされている²¹。

欧州の主要国はBIPVにとって最高の機会を提供している。ドイツはBIPV製品の生産に携わる多数のPV企業が存在するため、依然としてトップの座にある。世界中で、建築会社、タイルメーカー、施工会社とのパートナーシップや提携が、BIPV市場における重要な成功要因となっている。2018年の段階では、BIPVのkW当たりの固定価格買取制度（FIT）の支給額の大きさから、BIPVプロジェクトの推進が最も有利とされている欧州の国家は、フランス、イタリア、英国及びドイツであるとされる。

4.3.2. EUの再生可能エネルギー推進策とBIPVへの取組み

EUでは、「欧州グリーン・ディール（European Green Deal）」の発表に伴い、再生可能燃料、地熱、太陽熱、太陽光発電等のような再生可能発電技術（BIPVを含む）を使用することにより、欧州のすべての新築ビルをニアリー・ゼロ・エネルギー・ビルディング（Nearly Zero Energy Building: NZEB）にすることを義務付けている。

NZEBの義務化は、ガラス会社や建築用被覆材会社に対し、PV容量を含む製品の開発を加速するよう促している。NZEB規制が2020年に施行されることに伴い、建築家や建設業者はグリーンテクノロジーの登場に備えていた。NZEBの取り組みを満たし、維持する上で可能性が強調されている分野のひとつが照明である。照明は、建物のエネルギー消費の約10~20%を占める。このため、将来的には天窓が増え、天窓や風除室に太陽光発電機能が組み込まれる可能性がある。これは、日射熱を遮光で和らげ、冷房や照明需要を相殺するための発電を行うための必然的なステップであると考えられている²²。

BIPV設備は建物に適合するようにサイズが調整されるため、BIPV設備が最大出力であってもPV出力の価値は系統からの小売価格によって制約される。そのため、PVメーカーは、PV技術を建物の部材そのものに組み込むことに興味があるため、セラミック、セメント、スレート、金属などの屋根瓦を製造するさまざまな建築部材メーカーから関心を持たれている²³。

BIPVを設置する地域ごとに、BIPVを設置する建物の部位や材料別のインセンティブが異なるため、こうした関係は重要である。例えば、欧州のBIPV市場では、PV容量を屋根材に埋め込

²¹ Ibid.

²² Ibid.

²³ Ibid.

むか、屋根材に直接接着することが求められている。こうした要件は、数十年にわたり PV 技術を建築環境に融合させる方法を考案してきた欧州の PV メーカーや研究機関の活動を後押ししてきた。欧州が PV 新素材開発の中心地となっていることは広く認められており、専門家たちは、既存の建物の外観に製品を視覚的にマッチさせる企業や、BIPV システムの新しい、広く適用可能な形態を発明する企業が、最高の業績を上げると考えられている²⁴。

さらに、スペインと英国における建設業界の回復など、この地域における BIPV の採用と普及を後押しする要因もある。スペインは FIT プログラムを撤回し、中止した。スペインの建築産業は、その立地条件、歴史的に瓦屋根が好まれること、そして財政的に実行可能で技術的に健全な選択肢を常に探している太陽光発電産業であることから、非常に重要である。英国は FIT プログラムを設立し、当初は地上での一括受電型太陽光発電所の開発を奨励したが、その後、建物内でのプロジェクトを奨励するようにプログラムを調整した²⁵。

欧州におけるエネルギー効率の高い平らな金属屋根の増加が、BIPV の市場の機会を生みだしている。ドイツ、フランス及び英国政府によって、このような素材に太陽光発電を設置する動きが奨励されている。スポーツ・スタジアムや大型ショッピング・モールを擁する成長中の郊外では、駐車場構造の大規模な建設や改修が必要であり、欧州の主要空港の大半も同様であるため、今後数十年間はヨーロッパで最も強力な BIPV 市場のひとつになると予想されている²⁶。

欧州における BIPV 設置で考慮すべきもう一つの重要な要素は、文化的背景である。欧州には古い建物が多く、時には古い建物と新しい大都市の高層ビルや広い屋根の商業・産業用の太陽光発電設備が混在している。既存の貴重な建物の大規模な建て替えや改修の際には、美観や歴史が重要な要素となるため、古い建物の歴史的な外観の保存が優先されることが多いが、その一方で、建築環境における大規模な太陽光発電設備の設置を促進するためのさまざまな手段が検討される。これには、美的嗜好や文化的・歴史的嗜好に加え、様々な規制が関わってくるが、地方における再生可能エネルギー発電は有益であるという見解もあり、規制当局は BIPV 技術の的を絞った適用に関するガイドラインを提供している。例えば、人目につかない屋根はすべて BIPV 屋根葺き替えの候補となるが、人目につく屋根の場合は、以前の仕上げを忠実に模倣した BIPV 屋根を設置する必要がある。同様に、BIPV グレージング製品も、窓の交換時には通常の窓の外観を維持する必要があるが、新しい建物では斬新な外観を持つことができるとされる²⁷。

なお、上記の議論に関連して、7章で、EU の「欧州グリーン・ディール」政策を踏まえた BIPV 推進策、並びに、EU の BIPV 産業化政策を強力に推進することを狙いとして「Horizon 2020」で実施された、BIPV 関連の大規模プロジェクトについて詳しく説明する。

²⁴ Ibid.

²⁵ Ibid.

²⁶ Ibid.

²⁷ Ibid.

4.4 BIPVに関する中国の概況

4.4.1. 中国のBIPVの市場と政策

中国は近年、太陽光発電年間導入量で世界首位を独走している（2019年：導入量30.1GW、2020年：同48.2GW、2021年：同54.9GW）²⁸。これは、2021年の導入量世界2位位の米国の26.9GWを大きく引き離すものである。また、太陽電池の生産は中国が最大のシェア（75%）を占める状況が続いているが、カーボンフットプリント、人権問題、エネルギーセキュリティ等の観点から、欧米ではサプライチェーンを見直す動きもある²⁹。

中国政府によれば、「第13次5カ年計画」（2016~2020年）期間中、中国の再生可能エネルギー開発は飛躍的な発展を遂げ、設備容量、利用水準、技術・設備、産業競争力は新たな段階に踏み出したとされている。開発規模は拡大し続けており、2020年末までに、中国の再生可能エネルギー発電設備容量は9億3,400万キロワットに達し、総発電設備容量の42.5%を占め、風力発電は2億8,000万キロワット、太陽光発電は2億5,000万キロワット、水力発電は3億4,000万キロワット、バイオマス発電は3億キロワットに達し、世界第1位になるとの見通しが示されていた。

太陽光発電技術も急速な進歩を見せており、中国国内で大量生産された単結晶シリコン電池の平均変換効率は22.8%、多結晶シリコン電池の平均変換効率は20.8%に達しているとされる³⁰。

中国ではBIPVを「光伏建筑一体化」と称している。中国国内ではBIPVの性能的意義を「太陽光発電プラス（光伏+）」としており、既存の太陽光発電パネルに建築部材としての性能を付加したものとして捉えられている。

中国太陽光発電産業協会（中国光伏行业协会）によると、中国のBIPV設置容量は2020年に709MWに達し、一部の企業のBIPV生産量は欧州を上回った。今後、BIPVの統一規格の制定に伴い、BIPV建築物の割合も増加し続け、同協会によれば2021年の中国のBIPV（新築）市場規模は約1300億元以上に達した³¹。また、最新の報道によれば、コロナ禍におけるゼロコロナ政策の経済への後遺症や昨今の不動産バブル崩壊の兆しにも関わらず、中国のBIPV産業は継続的な需要の伸びを見せている。華経産業研究院（华经产业研究院）の分析によると、中国のBIPV（屋上設置）市場規模は2022年に917億2,600万元に達し、2027年には3,667億7,300万元に達すると予想されている³²。

²⁸ IEA PVPS Task 1, “Trends in Photovoltaic Applications 2022”

²⁹ NEDO、「太陽光発電主力電源化推進技術開発／動向調査等／太陽光発電の技術および産業・市場動向調査（含、国際技術協力プログラムへの参画）」、2022年度成果報告会資料、p27.

³⁰ “十四五”可再生能源发展规划”

³¹ Solar.ofweek.com”2022年中国光伏建筑一体化行业发展现状及市场规模分析 中国BIPV市场潜力巨大【组图】”<<https://solar.ofweek.com/2022-03/ART-260008-8420-30555670.html>>

³² 华经产业研究院发布的《2023-2028年中国BIPV行业市场调查研究及发展战略规划报告》，報告概要は华经情报网ウェブサイト「2023年中国BIPV(建筑光伏一体化)行业现状及发展趋势分析，行业的快速发展将得到进一步推动」[图]

<<https://www.163.com/dy/article/IRCLA5AK05387IEF.html#:~:text=%E6%95%B0%E6%8D%AE%E6%98%B>

こうした情勢を受け、中国住宅建設部³³は2021年10月、「建築物のエネルギー効率と再生可能エネルギー利用に関する一般仕様」を2022年4月1日から実施される国家標準として承認する通達を公表した。「第14次5カ年計画」(2021～2025年)におけるグリーンエネルギー関連の指示が住宅建設部から発表されたことを受け、通達では新築の建築物には太陽光発電システムを設置しなければならないことが明示され、そのためのエンジニアリングと建設の必須仕様を工事は厳格に実施しなければならないこととなった。「建物のエネルギー効率とグリーン・ビルディング開発計画通知」は、「第14次5カ年計画」に伴って発出されたもので、新規の50GWの太陽光発電設備の実装計画を追加する内容である。

4.4.2. 中国の太陽光発電技術開発とBIPVへの取組み

(1) 太陽光発電技術開発プログラム

「太陽光発電フロントランナー・プログラム(光伏领跑者计划)」は、国家エネルギー局(国家能源局³⁴)が2015年から毎年実施する太陽光発電特別支援プログラムであり、業界をリードする技術や製品の開発、先進的な技術による太陽光発電の実証基地の構築を目的とする。プログラムでは先進技術による太陽光発電実証基地、新技術応用実証プロジェクトなどの実施方法を構築することが謳われている。

発展改革委員会など8部門が2015年1月8日に発表した「エネルギー効率リーダー制度実施計画」によると、ここでいう「太陽光発電フロントランナー」とは、同等の範囲内でエネルギー効率が最も高い製品、企業、単位を指す。

2017年、国家エネルギー局、工業情報化部、認証・認定委員会は「【2017】第32号 主要太陽光発電製品の技術指標の改善及び監督強化に関する通知」を發布し、プログラムで使用される多結晶シリコンモジュールと単結晶シリコンモジュールの光電変換効率の最低基準をそれぞれ17%と17.8%と規定している。通知ではモジュールの減衰率についても厳しい規定がある。

E%E7%A4%BA%EF%BC%8C2022%E5%B9%B4%E6%88%91%E5%9B%BD,%E5%B0%86%E8%BE%BE%E5%88%B03667.73%E4%BA%BF%E5%85%83%E3%80%82&text=%E5%B9%95%E5%A2%99%E6%98%AF%E5%BB%BA%E7%AD%91%E7%9A%84%E5%A4%96,%E7%BB%93%E6%9E%84%E6%88%96%E8%A3%85%E9%A5%B0%E6%80%A7%E7%BB%93%E6%9E%84%E3%80%82 >に掲載。

³³ 国土交通省に相当する中央省庁。

³⁴ 第12期全国人民代表大会(全人代)第1回会議で承認された「国務院の制度改革・機能転換計画」および「国務院の省・委員会管轄の国家局の設置に関する通達」(国発[2013]第15号)に基づき、国家発展改革委員会が管轄する国家局として国家能源局(次官級)が設置された。局の主要な責務は以下の通りである。すなわち、エネルギー開発と関連監督管理に関する法律案、法規案、法規を起草し、エネルギー開発戦略、計画、政策の実施を策定・組織し、エネルギーシステムの改革を推進し、関連改革プログラムを策定し、エネルギー開発と改革における主要問題を調整する。主要なエネルギー設備の研究開発と関連する主要な科学研究プロジェクトを組織・推進し、エネルギー科学技術の進歩、設備一式の導入、消化と革新を指導し、関連する主要な実証プロジェクトと新製品、新技術、新型設備の普及と応用を組織・調整する。(抜粋)(国家能源局ウェブサイト”国家能源局简介”<<https://www.nea.gov.cn/gjnyj/>>)

プログラムは、太陽光発電産業の発展を導くために、国家が先進的な技術や設備を導入し、パイオニアを育成するためのものである。2017年に策定された中国の太陽光発電政策のキーワードは、「フロントランナー」、「太陽光発電の補助」、「分散型家庭用太陽光発電」であり、「太陽光発電フロントランナー・プログラム」の重要性が確認されている。

(2) 省エネ・排出削減を踏まえた BIPV の導入

「2020年の「ダブルカーボン」目標（2020年“双碳”目標³⁵）」が打ち出されて以来、中国の省エネ・排出削減は政治的に遅れを取ることが許されない状況である。中国の建築物のエネルギー消費量は46.7%と高く、低エネルギー消費のグリーン建築物の導入が求められている。近年、省・市もゼロエネルギーに近い建築物に対する支援政策や開発目標を集中的に導入しており、BIPVは、中国の将来の建築物の発展方向として、徐々にグリーン建築物の「標準」となりつつある。

現在、中国で主流の建物と太陽光発電を組み合わせる施工方式には、添付型・据置型太陽光発電設備（Building Attached Photovoltaics: BAPV）と BIPV の 2 つがある。一般的に中国では BIPV は、発電機能だけでなく、建物の部品や建材の機能を担いつつ建築の審美性の程度を高めるので、建物の全体的な外観に悪影響を与え、建物の重量負荷を増加させる BAPV よりも未来的な製品であると見なされている。

(3) BIPV に関連する補助金政策

中国で BIPV 設置への補助が政策として実施されたのは 2009 年が初めてである。中国財政部³⁶は 2009 年 7 月 6 日に、住宅建設部と共同で「关于印发可再生能源建筑应用城市示范实施方案的通知」を公布した。通知では都市部における再生可能エネルギー建築一体化のモデル建設に対する補助政策も規定され、条件を満たした都市の「再生可能エネルギーと公共施設の建築一体化」プロジェクトに対して、5000～8000 万元が補助金として支給されることになっていた。申請可能な主体は、地級市（区、州、盟）や副省級都市であり、直轄市がプロジェクトを申請することも可能で、管轄区内の地級市をモデル都市として組織化し、申請することも可能になっていた。

この制度はあくまでパイロット的なモデル建設が目的であり、都市部の場合、各省・自治区・直轄市でプロジェクト申請の適用は 3 件以内という制限があるなど、比較的小規模な補助制度であった³⁷。

³⁵ 目標の名称は習近平国家主席が第 75 回国連総会の一般討論で、「中国が気候変動対策への国家的貢献を拡大し、二酸化炭素排出量を 2030 年までにピークアウトさせ、2060 年までにカーボンニュートラルを達成する努力をする」と発表したことに由来する。

³⁶ 財務省に相当する中央省庁。

³⁷ 知足章宏「中国版グリーン・ニューディールの考察－環境関連投資、省エネおよび再生可能エネルギー支援策の動向」,社会システム研究,2010.9,pp155-156 の記述をもとにした。

なお、上記の議論に関連して、7章にて、中国における BIPV 戦略、政策、プロジェクト等について詳しく説明する。

5. 国内の技術および市場の動向

本章では、PV ガラスに搭載する太陽電池の動向と PV ガラスと BIPV との関係について述べる。次に、PV 透明ガラスに関する研究、技術開発等を行っている国内企業と大学へのヒアリング及び関連する文献調査を踏まえて、開発段階にあるものも含めた、PV 透明ガラスに関連する国内の技術や市場の動向について整理する。

5.1 PV ガラスに搭載する太陽電池の動向と PV ガラスと BIPV との関係

PV ガラスは建築用ガラスとして使用されることから、BIPV のカテゴリに属する。石井³⁸による BIPV 自体の定義は、所定の外皮性能と発電性能を有し、建材として統合した PV モジュールおよび PB システムとしている。ここでの外皮性能とは、風雨に耐えられる性能として、風耐圧性、気密性、水密性の三性能が必要である。類似したカテゴリに、添付型・据置型太陽光発電設備 (BAPV) がある。これは建材の上から設置されるもので室内側から取付けられた場合は外皮性能を問われない。

PV ガラスの用途としては、窓、カーテンウォール、バルコニーの手摺など、もともとガラスが使用されていた部分が挙げられる。これらの用途では外皮 (屋外部分) に設置されるため、建築に関する BIPV の三性能は既存の建材性能基準に準じる必要があるが、電気的な部分を建材と同等水準に求めることは難しい。したがって電気的安全性を保証する基準が必要となる。但し、BAPV として室内側から設置された場合外皮性能は問われない。

PV ガラスは建材としての性能の他に PV としての性能評価基準も必要となる。屋外設置型 PV モジュールは発電量の評価基準が設定されているが、BIPV となると防眩処理の有無や設置方向、角度など BIPV として新たに加わる諸条件を加味したものとする必要が出てくる。

太陽電池には、表 5-1 に示すような種類がある。それぞれに特徴があるが、PV ガラスとして実用化されているものは単結晶シリコン、多結晶シリコン、化合物といった屋外設置の大型太陽光発電パネルとして実績のある無機系材料に限られている。有機材料系は、フィルム上に形成すれば軽量でガラス表面に貼り付けられ、しかも低コストで製造可能とされており BIPV 向けとしても有望視されている。特にペロブスカイト型は日本発の発明として期待は高いが、耐久性の課題がまだ完全に解決されておらず実用化に向けて開発途上にある。また、この表には掲載していないが、可視光に対して透過度の高い PV 開発³⁹も進められており、完成すれば窓やカーテンウォールなど採光が必要な場所への利用が可能になるため、今後の開発動向が注目されている。

³⁸ 石井、“BIPV モジュールのシステムおよびモジュールの国際標準化に向けた建築的課題”、GBRC 技術報告、2019 年。

³⁹ Alaa A.F. Husaina, et al., “A review of transparent solar photovoltaic technologies,” Renewable and Sustainable Energy Reviews 94, 2018.

表 5-1 太陽電池セルの種類と特徴 ※1

種類		特長	変換効率 ※2	BIPV に応用した場合の特長と課題	状況 ※3
シリコン系	単結晶	高価だが変換効率、信頼性は高い。	～20%	特長：性能、信頼性が高い 課題：比較的重量があり、高価	○
	多結晶	単結晶 Si より低コストで最も普及	～15%	特長：信頼性は単結晶と同等に高く、単結晶より安価で最も普及している 課題：重量は単結晶と同じ課題だが、単結晶より効率が落ちる	○
	アモルファス	多結晶より低コストだが変換効率も低い	～9%	特長：薄膜で軽くでき、大面積で量産可能 課題：効率が低い	○
化合物半導体系	CIS 系	単結晶 Si と同価格だが変換効率がやや劣る	～14%	特長：薄膜型で軽量化、省資源で量産可能 課題：インジウムの資源量	○
	CdTe 系	Cd を使用しているが、欧米中心に普及	～13%	特長：省資源で量産可能 課題：毒性のある Cd の使用	○
	III-V 族系	高効率だが高価で人工衛星などが主な用途	(セル効率) 38%	特長：超高性能 課題：高コスト	○
有機系	色素増感	酸化チタンに吸着した色素が光を吸収して発電	(セル効率) ～14%	特長：低コスト、軽量 課題：性能、耐久性	△
	有機薄膜	有機系半導体を用い塗布だけで作成可能	(セル効率) ～12%	特長：低コスト、軽量 課題：性能、耐久性	△
	ペロブスカイト型	ペロブスカイト型の結晶構造を持つ材料を使用	(セル効率) ～26%	特長：低コスト、軽量 課題：性能、耐久性	△

※1：NEDO 再生可能エネルギー白書第 2 版を基に作成

※2：モジュール変換効率、研究段階のものはセル効率

※3：○は実用化済み、△は研究段階

5.2 企業の技術動向調査

以下の企業のグループ別にヒアリング調査・整理を行った。

- ・ 米ユビキタスエナジー(UE社)/ENEOSホールディングス/日本板硝子
- ・ 大成建設/カネカ
- ・ AGC
- ・ パナソニック

ヒアリング・文献調査した内容は、概ね以下の項目別に整理した。

- ・ 開発が進められている製品／商品名、製品／商品のタイプ及び開発段階
- ・ 使用されている太陽電池等
- ・ 製品・商品の特徴
- ・ 関係企業の役割
- ・ 共同開発や事業連携に至った経緯
- ・ 最近の実証実験の内容、結果等
- ・ 事業化の見込み
- ・ BIPVへの対応
- ・ 国に期待する支援
- ・ その他コメント

5.2.1. 米ユビキタスエナジー（UE社）/ENEOSホールディングス/日本板硝子

(1) 開発が進められている製品／商品名、製品／商品のタイプ及び開発段階

「UE Power™」⁴⁰という全面透明型のPV窓パネル製品の開発が進められている。「UE Power™」は実証実験の段階の製品である。

(2) 使用されている太陽電池等

太陽電池の材料に、光吸収色素（地球上に豊富に存在する毒性の無い材料で、織物や塗料に含まれる顔料に似ている）を使用しているという情報はある⁴¹が、技術の詳細については開示されていない。

(3) 関係企業の役割

「UE Power™」の開発・導入・事業化に当たっては、米ユビキタスエナジー(UE社)、ENEOSホールディングス及び日本板硝子3社が関与している。

⁴⁰ UE web ページ (<https://ubiquitous.energy/>)

⁴¹ UE web ページ (<https://ubiquitous.energy/>)

UE社は、米国のスタートアップで、「UE Power™」の開発元である。

ENEOS ホールディングスは、事業の主体として、「UE Power™」を国内に導入する可能性について検討を進めている。

一方、日本板硝子は、「UE Power™」が日本に導入される際に技術支援を担う予定である。なお、UE社の太陽光発電パネルの太陽電池部分（発電用素子）は完全にUE社のものであることから、同社はUE社に対して技術的な支援はしていない。

(4) 「UE Power™」の特徴

「UE Power™」で発電用素子として使用されている半導体の材料（光吸収色素）は企業秘密であり、その情報は、事業連携しているENEOSホールディングスや日本板硝子にも明かにされていない。以下は、公開可能な「UE Power™」の特徴に関する情報である。

- ・ 可視光線が透過し、紫外線と赤外線を吸収して発電する。太陽光発電パネルの発電効率は、ラボレベルで10%程度である。
- ・ PVガラスの可視光透過率（～80%）が高く、普通の窓として使用することができる。
- ・ 複層ガラス構造になっている。2枚のガラスの間にスペーサーがある。中のガラスの1枚の内側（空気層側）にコーティングをしている。
- ・ 建築用のLow-E（Low Emissivity）ガラス⁴²と同様の技術を使用している。断熱効果を高めるために、室外ガラスの空気層側のガラスにコーティングする技術（スパッタリング）である。UE社の発電用素子のコーティングする技術も同じような工程で膜付けされている。
- ・ UE社が発電用素子として使っている企業秘密である半導体の材料（光吸収色素）は、今の材質では酸素や湿気に触れると劣化するようである。そのため、複層ガラス構造にして、中にアルゴンガスが封入されている⁴³。
- ・ 日本板硝子は、Low-E複層ガラスは10年保証をしている。UE社の太陽光発電パネル（複層ガラス）も同じような技術であるため、10年保証を考えているが、実用上20～30年は、問題はない。
 - ガラスは半永久的ではない。Low-E複層ガラスで、主に銀の膜で低放射を行っている。銀の膜は劣化するが、最も劣化しやすいのは、2枚のガラスを封着している封着剤である。封着剤は、通常、シリコンとブチルの2重のシールをしている。シリコンは紫外線と水が当たると劣化が促進されるので、通常複層ガラスの場合はサッシの中に入れ込んでもらうようにしている。
 - 発電ガラスの劣化や交換方法については、サッシメーカー、ゼネコン、設計事務所などと検討を進める。

⁴² Low-E膜といわれる特殊な金属膜でコーティングされたガラスで、太陽から放射される熱や暖房で暖めた熱を吸収・反射することで熱を伝わりにくくする原理となっている。

⁴³ 欧米では、断熱効果を高めるために、複層ガラスにアルゴンガスを封入する。実務上ガス漏れは心配ないようである。

- ・ 「UE Power™」は、発電することによる省エネと断熱効果による省エネにより、二酸化炭素削減に大きく寄与している。これが売りになっている。

(5) UE社と共同開発や事業連携に至った経緯

「UE Power™」の国内への導入・事業化については、ENEOS ホールディングスと日本板硝子が検討を行っている。以下、これらの企業が、UE社と共同開発や事業連携に至った経緯を示す。

① ENEOS ホールディングス

ENEOS ホールディングスは、未来事業推進部という新規事業を専門とする部門の担当者が、技術展示に関するイベントで、UE社の創業者であるマサチューセッツ工科大学（Massachusetts Institute of Technology: MIT）教授の講演を聞いた時に、面白い技術であると考えてUE社と提携した。

なお、ENEOS ホールディングスは、新規事業開発という観点からUE社と提携しており、技術的な面は、日本板硝子とUE社が主導している。

② 日本板硝子

UE社でコーティングするもとなるガラスは透明導電膜付きガラス⁴⁴であり、これは日本板硝子が生産・提供している。UE社は、このガラスの上にコーティングして複層ガラスにしている。UE社は、もともと日本板硝子の顧客である。

UE社は、ガラスの製造や建築に関する知識に欠けていたことから、米国内でパートナーを探していた。日本板硝子がガラスを提供しているので、まず、北米でUE社と事業を行うことになった。実証実験も最初に北米で行った。

(6) 最近の実証実験の内容、結果等

2023年5月8日から7月14日にかけて、高輪ゲートウェイにて「UE Power™」の実証実験が行われた。なお、JR東日本とYYK APがこの実証実験に協力した。具体的には、JR東日本が当該実証実験の場を提供し、YYK APが、当該実証実験用に、UE社の「UE Power™」のフレームの設計・製作を行った。

図5-1に、高輪ゲートウェイにおけるUE社製PV窓パネルの実証実験の様子を示す。実証実験では、想定どおりの結果が出たようである。

実証実験結果は公表できないとのことであったが、実験の内容は、以下のとおりである。

⁴⁴ ガラスの製造工程で、熱分解を活用し、ガラス表面上に透明導電膜（TCO）を成膜した製品。成膜技術は、オンラインCVDと呼び、その膜の耐久性は非常に高く、さまざまな用途に使用できる。金属薄膜は、フッ素を添加した酸化スズ膜であり、FTO、SnO₂:Fとも呼ばれている。日本板硝子は、ガラス厚み0.7mmの開発に成功した（従来は1mm～8mm）。

① 日々の日射量と発電量を測定

高輪ゲートウェイはガラス張りの建物である。そのため、既設の窓ガラスの内側（室内）に、18枚のガラスからなる同窓パネルを設置した。外側のガラスが合わせガラスで紫外線をカットするので、事前に、シミュレーションでその影響を含めて発電量を計算して、実際の発電量と比較した。ほぼ想定通りの結果が出た。

② 発電した電気でサイネージ（電子掲示板）を稼働

1枚のサイネージを設置して、UE社のPV窓パネルで発電した電気ですいネージを稼働した。日本板硝子としては、複数のビルのオーナー、ディベロッパー、ハウスメーカー等から声掛けをもらっていることから、引き続き実証実験の知見を積み重ねていくとのことであった。



<UE製太陽光発電窓パネルの特徴>



図 5-1 高輪ゲートウェイにおける UE 社製 PV 窓パネルの実証実験の様子
(出典：ENEOS・JR 東日本・YKK AP・NSG、「高輪ゲートウェイ駅構内における透明太陽光発電窓パネルを使用した実証実験の開始について」、2023 年 4 月 26 日)⁴⁵

(7) 事業化の見込み

ENEOS ホールディングスと日本板硝子は、「UE Power™」の導入・事業化に対して以下のよう

⁴⁵https://www.jreast.co.jp/press/2023/20230426_ho03.pdf

① ENEOS ホールディングス

- ・ 事業を担当している ENEOS ホールディングスの未来事業推進部は、ベンチャー企業と提携し、ビジネスの種を見つけることをミッションとしている。モノになりそうな事業が見つければ以後は事業部が引き取る仕組みであるが、まだその段階にはない。
- ・ 今後の国内展開については何も決まっていない。PV ガラスの国産化につながれば良いと考えてはいるが、国内市場にどのように対応するかについては、あらゆる選択肢を排除してはいないという段階である。
- ・ PV ガラスは建物の一部となるものであることから、ディベロッパーやコンストラクターと会って話をしている段階である。

② 日本板硝子

- ・ UE 社は、PV 窓パネルの試作を終え、現在は製造ラインを建設する資金調達中とされており、3年以内に米国市場での量産を開始し、日本市場でも販売をしていく計画とされる（2023年4月時点の情報）⁴⁶。
- ・ UE 社は、北米で、2026年に商用化のラインを立ち上げようとしている。その結果を待って、ビジネスとして成立するのであれば、国内で製造拠点を作りたいと考えている。
- ・ コストダウンについては、2026年に予定されている UE 社の商用化のラインの可否にかかっている。UE 社によると、現段階の製造ラインの構想で、通常のカーテンウォールの2割アップのコストになると想定されている。

(8) BIPV への対応について

日本板硝子から以下のコメントがあった。

- ・ EU の BIPV の規格は良く分からないが、日本板硝子は、ISO の BIPV の規格グループには参画している。
- ・ 日本板硝子の欧州の関連会社では、結晶系シリコンの BIPV を作っている（結晶系シリコンは、日本板硝子に技術的な優位性が無いので、欧州の関連会社の取り組みである）。今後 BIPV という分野が伸びていくのではないかと、と言われており、日本板硝子もそのように考えている。

(9) 国に期待する支援

日本板硝子から、国に期待する支援として、以下のような要望があった。

- ・ UE 社が考えている北米ビジネスモデルは、二酸化炭素削減による税金に関するインセンティブが働いている。ビルのオーナーに、二酸化炭素削減による税金の免除というインセンテ

⁴⁶ 森 英信、「ENEOS とも提携「窓」に利用できる透明ガラスで太陽光発電技術を提供 Ubiquitous Energy」、Techblitz、2023年4月3日。<https://techblitz.com/ubiquitous-energy/>

イブがあり、それを考慮したビジネスモデルを作っているようである。二酸化炭素削減に資するということに対して、国の補助金があれば良いと思う。

(10) その他コメント

日本板硝子から、PV ガラスの普及や国の補助金の在り方に関して、以下のようなコメントがあった。

- ・ 日本では結晶系シリコンは受け入れられにくいのではないかと「UE Power™」の可視光透過率（～80%）を見てしまうとなおさらである。
- ・ 2023 年度に、国交省・経産省・環境省の共同で、補助金で住宅省エネキャンペーンを実施している。令和5年度の補正予算にも組み込まれている。その中に、「先進的窓リノベ」事業がある。実地レベルの窓にリフォームすると補助金が付くものである。この施策によって、住宅の内窓がかなり普及した。
 - 住宅の場合は窓をリノベすれば良いということで分かりやすいが、ビルの場合は、窓だけではなく、空調、カーテンウォール等を含めて、ビル全体の省エネを考える必要がある。ガラスや BIPV だけで省エネを考えるのは難しいのではないかと。新築のビルの省エネ対策だと可能性はあるかもしれない。
 - 住宅の場合は、内窓を入れると簡単に断熱性が高まるので、省エネ効果が分かりやすい。UE 社の太陽光発電パネルは、複数の住宅メーカーに興味を持ってもらっている。バルコニーの手摺に PV ガラスを使うことに関して要望がある。

5.2.2. 大成建設/カネカ

(1) 開発が進められている製品／商品名、製品／商品のタイプ及び開発段階

2019年12月に、「T-Green® Multi Solar」という、BIPVパネルを開発し、商品化した。

「T-Green® Multi Solar」には、以下の製品と商品が存在する。これらの具体的な特徴については後述する。

【製品】

- ・ シースルータイプ（透過性あり）：2019年12月発表
- ・ ソリッドタイプ（透過性なし）：2019年12月発表

【商品】（上記2種類の製品を用いた商品）

- ・ バルコニー用ガラス手摺一体型：2022年10月発表

(2) 使用されている太陽電池等

シリコン結晶系太陽電池を使用。

(3) 関係企業の役割

大成建設が自社ビルの壁面に太陽光発電パネル(PV ガラス)を使用して建設した ZEB（ゼロ・エネルギービル）であり、大成建設の将来のビル建築事業の一環として、意匠性の高い外壁一体型の PV ガラスを大成建設が考案し、カネカがこの PV ガラスを実現する役割での共同開発のテーマとなり、両者の共同で商品化が行われた。

商品化当初は、カネカが、T-Green® Multi Solar を製品として大成建設に納入し、専門施工業者がそれを取り付けている。なお、これまでは、カネカは、大成建設の設計・施工案件と一緒に開発をしてきたが、技術が確立してきたので、今後は大成建設以外にも展開していく。

(4) T-Green® Multi Solar の特徴

T-Green® Multi Solar は、BIPV パネルであり、BIPV 製品の一つとすることができる。

図 5-2 に、シースルータイプとソリッドタイプの太陽電池や発電技術の特徴を、図 5-3 に、シースルータイプとソリッドタイプの利用シーンを焦点においた技術的特徴を示す。

また、表 5-2 に、シースルータイプとソリッドタイプの製品としての特徴を整理したものを示す。

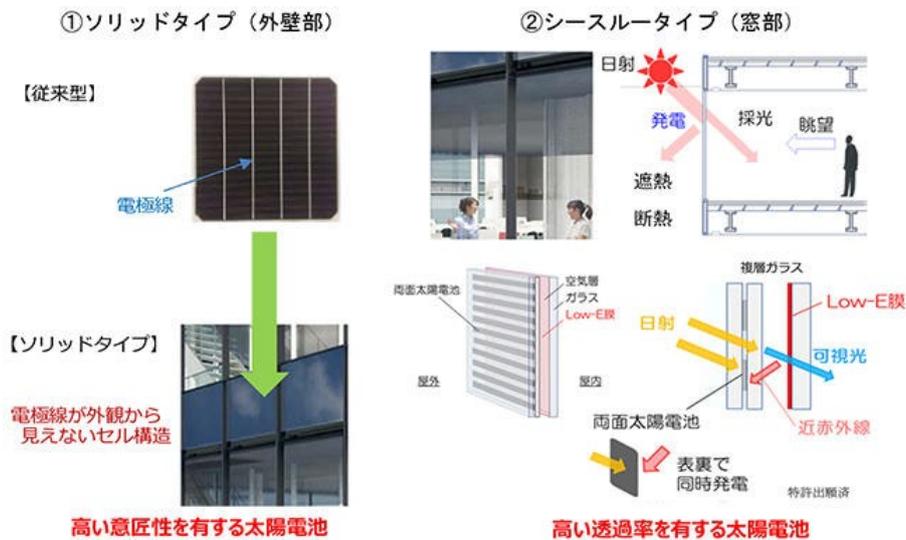


図 5-2 シースルータイプとソリッドタイプの太陽電池や発電技術の特徴
 (出典：大成建設株式会社・株式会社カネカ、「外壁・窓で発電する外装システム「T-Green® Multi Solar」を開発ー」、2019年12月19日)⁴⁷

創エネ 外装デザインに合わせて2つのタイプから選択

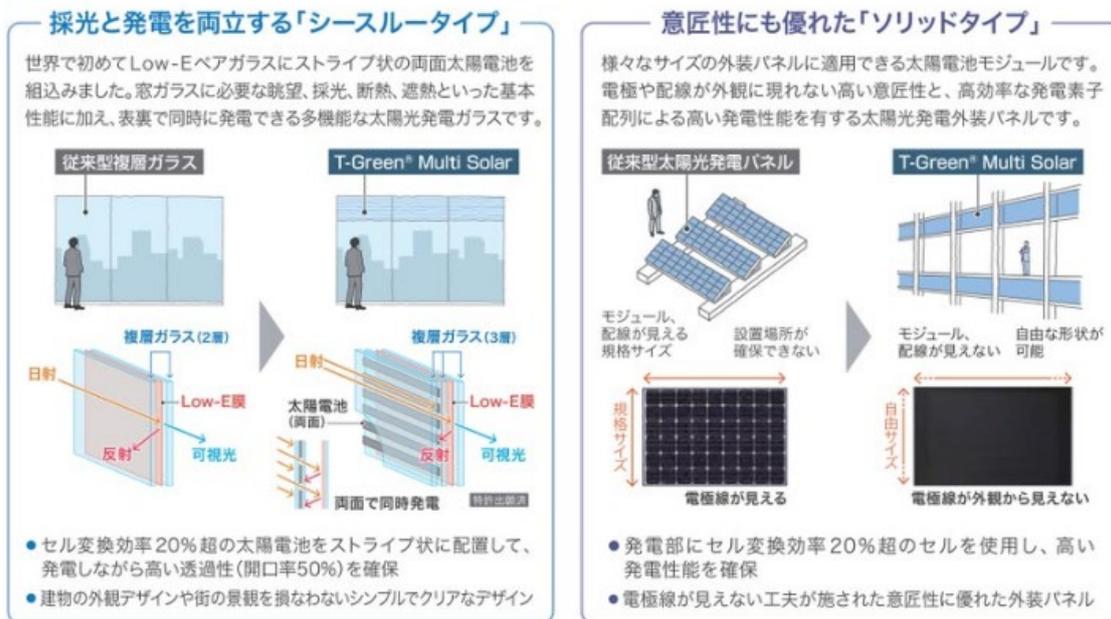


図 5-3 シースルータイプとソリッドタイプの利用シーンを焦点においた技術的特徴
 (出典：大成建設株式会社パンフレット「ビルどこでも発電、マチまるごと安心。」)⁴⁸

⁴⁷ https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2019/191219_4837.html

⁴⁸ https://taisei-techsolu.meclib.jp/techsol_053_latestinformation/book/#target/page_no=1

表 5-2 T-Green® Multi Solar の「シースルータイプ」と「ソリッドタイプ」の製品としての特徴
(文献調査及びヒアリングに基づき未来工学研究所作成)

製品の特徴	シースルータイプ	ソリッドタイプ
主な特徴	<ul style="list-style-type: none"> ビルの窓部に設置する多機能型（採光、断熱、遮熱、発電）PV ガラス。 開口率：50%。 Low-E ペアガラスにストライプ状の両面太陽電池が組み込まれている（世界初）。 Low-E で反射した光がガラスの表裏で同時に発電できる。隙間から抜けた光が裏側にある Low-E ガラスで赤外線が反射される（特許出願）。 断熱機能を有する「省エネガラス」と同等の機能も持つ。 	<ul style="list-style-type: none"> ビルの外壁部に設置する高い発電性能を有する PV 外装パネル。 透過性無し（防眩・色付き仕様有）。 電極や配線が外観に現れない高い意匠性を持つ。 壁材と同じで、スパンドレル部に改めて一から設置するのではなく、ガラスのサッシやフレームの中に入れることができる構成になっているので、専用架台を設置する等の後付けの問題といった課題が無い。
太陽電池のタイプ（シリコン）	<ul style="list-style-type: none"> ヘテロ接合型単結晶シリコン太陽電池（両面受光型） 	<ul style="list-style-type: none"> 単結晶シリコン太陽電池 PERC セル（「ソリッドタイプ」の場合、両面受光型の発電素子を使う必要性がないので、経済性を考えてヘテロ接合型の発電素子を使うケースもある）
発電素子の性能	<ul style="list-style-type: none"> セル変換効率：20%超 セル部出力：70W/m²以上（開口部込） 	<ul style="list-style-type: none"> セル変換効率：20%超 セル部出力：約 200W/m²
PV パネルの標準仕様	<ul style="list-style-type: none"> モジュール寸法：1m×1.1m モジュール出力：58.5 ワット 	<ul style="list-style-type: none"> モジュール寸法：1m×1.1m モジュール出力：156 ワット
太陽電池モジュールの出力保証期間	<ul style="list-style-type: none"> 25 年～30 年の発出力保証（設置環境に基づく）。 	
カーテンウォール	<ul style="list-style-type: none"> 窓もパネルもアルミのサッシの中に入れており、窓の部分が「シースルータイプ」でサッシとして入っている。 	<ul style="list-style-type: none"> 壁の部分は、「ソリッドタイプ」として色付きのパネルとして入っている⁴⁹。
取り換え方法	<ul style="list-style-type: none"> ビルの外壁 PV としては設置後 10 年は 90%、20 年までは 80%、30 年までは 70%以上の出力保証。T-Green® Multi Solar は建材としては外装ガラスと同様の耐用年数とメンテナンスが可能。交換時は、通常ガラスと同じ交換方法。 	
発電した電気の利用方法	<ul style="list-style-type: none"> 通常は、建物構内の電力系統に繋いで自家消費し、建物の消費電力量を削減する。停電等の電力系統での異常があった時は、BCP 対応として自立電源として利用が可能。 	

⁴⁹ 日本の都市型のビルは高く、屋上の面積には限界があり、屋上にパネルを置くことができない。また、ビルの上部にある機械室をどのように隠すか、ということが問題になっている。そういった意味で、壁面を「ソリッドタイプ」のパネルで覆うという観点からニーズがある（大成建設）。

製品の特徴	シースルータイプ	ソリッドタイプ
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 昨今のメガソーラーの普及拡大により、昼間は再エネ電力が余剰となるため電力会社は出力制御（太陽光発電システムの強制停止）を行っている。一方、都市部では朝夕の電力需要が増加し再エネでの供給が不足している。建物の西壁や東壁に T-Green® Multi Solar の太陽電池ガラスを設置することによって、朝夕の時間帯でも電力供給が可能となる。今後、需給制約を受けない再エネの導入方法として、壁面発電の普及拡大を提案している。 	

なお、バルコニーは、東や南の方向に向いており、高さも建築基準法で決まっているため、標準化しやすいということから、「シースルータイプ」と「ソリッドタイプ」を応用した、バルコニー用の「ガラス手摺一体型太陽電池システム」が開発された（図 5-4 参照）。



図 5-4 超高層マンションのバルコニーで発電する「ガラス手摺一体型太陽電池システム」の導入イメージ（出典：大成建設株式会社・株式会社カネカ、「バルコニー用「T-Green® Multi Solar」を開発」、2022 年 10 月 11 日）⁵⁰

⁵⁰ https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/221011_9103.html

(5) 共同開発や事業連携に至った経緯

① 大成建設

2014年に、ZEB（ゼロエネルギービル）棟を建て、それが新聞記事となった。当時のカネカの会長が、ぜひともZEBへの取組に先進的な技術を持った会社と共同開発をしたいという申し入れがあった。共同開発のテーマの一つがPVガラスであった。

カネカからは、デザイン性の優れたPVガラスで、窓や壁面に使いたいという希望があった。建築の場合、窓や壁の形状が様々なので、そういったものに適合し、意匠性の優れたPVガラスを共同開発しようということになった。

当時、カネカは瓦型一体型の薄膜シリコン太陽電池を販売していた。最初は、それを基に、その表面のガラスをカラーガラスにして、意匠性に優れたものとして外壁に貼っていた。その後、PVガラスを外装と一体化して使おうという話になった。その場合、外装なので、黒色のPVガラスであれば、配線等が見えないシングリングとしたのでデザイン性に優れたものにしませうということで、T-Green® Multi Solar「ソリッドタイプ」を開発するに至った。

一方、窓に設置するものは、透過性とデザイン性に優れたものが必要だと考えた。当時PVガラスの他社技術には、太陽電池セルの配線が縦に入って、簾のような形状になっているものがあった。意匠性を改善し、いろんなガラス形状に適合させるための研究開発を行い、太陽電池セルの配線を横一線にストライプ状に配置したPVガラスを開発した。大成建設社内でデザイン性を検討して、ストライプ幅を4mm×4mmにして、2019年12月に「シースルータイプ」として商品化した。

その後、教育機関、公共施設等実物件に採用して頂き、どんな意匠でも作ることができることを実証した。一品生産の場合は製造コストも高くなる。現在は普及拡大のため標準仕様を設定しコストダウンを進めており、その中で普及型のバルコニー用のガラス手摺一体型太陽電池システムを開発した。

② カネカ

カネカの太陽電池事業の最初は電卓用の太陽電池を作っていた。NEDOのサンシャインプロジェクト（今のNEDOのペロブスカイト太陽電池プロジェクトのようなもの）に参画したことが基になっている。カネカとして、50年近く研究開発をしている。

当時アモルファス・シリコンという薄膜で民生用の太陽電池を作っていた。電力型の太陽電池の事業化は、1999年に兵庫県の豊岡市に20MWのプラントの工場を創業した。2000年代後半まで、アモルファス・シリコンを中心とした製品でビジネスをしていた。

日本では2012年からFITがスタートしたこともあって、顧客が、大容量化、高効率化を求めるようになってきた。その頃から、アモルファス・シリコンと単結晶シリコンを組み合わせた、ヘテロ接合型の太陽電池（結晶系の太陽電池）の製造やパネルの生産を行っている。国内の太陽電池メーカーの殆どは、太陽電池セル事業から撤退して海外から調達しているが、カネカは、太陽電池セル（モジュールを含めて）は、唯一の純国産であると言って良いと思われる。

カネカは、あまりメガソーラーに注力せず、住宅用（屋根、瓦等）向けのマーケットを対象としていた。そこへ、大成建設から、非住宅の外装にも太陽電池を付けていこうという話を頂いた。カネカでは、屋根の上に太陽電池を付けるのではなく、瓦として機能する太陽電池、すなわち、BIPV という形で展開してきた。その延長線上で、建物の外装も、壁材や窓ガラスとして使えるような、建材一体型太陽電池を開発している。

(6) 最近の実証実験の内容、結果等

特になし。

(7) 事業化の見込み

大成建設とカネカは、2019年12月に、「T-Green® Multi Solar」(BIPV パネル)を開発し、商品化しているが、カネカより、今後改良すべき点として以下の2点が挙げられた。

- ・ コスト面（製品の性能と品質を維持しながら、どの程度コストを下げられるのか、どこまで標準化し、シンプル化して、顧客に求められる品質をどこまで維持するのか）
- ・ 量産体制（設備投資、量産化及び自動化）

また、コストに関しては、以下のようなコメントがあった。

- ・ シースルータイプは、ソリッドタイプの5倍の価格である。Low-E ガラス自体の価格もまだ高い。
- ・ シースルータイプの発電ガラスは、発電性能を犠牲にしているので、通常の PV の様に発電回収では商品の価値について評価できない。
 - シースルータイプの発電ガラスは、結局、太陽電池を間引いているわけである。発電性能を期待するのであれば、ソリッドタイプが良い。単純に投資対効果をみたときに、ソリッドタイプは、二酸化炭素削減効果を含めて評価することができる。シースルータイプの発電ガラスは、省エネ性能及び発電性能による一次エネルギーの削減という観点からは、間違いなくポジティブな評価になる。
 - 大成建設としては、「発電する窓」、「デザイン窓」、「こんなきれいな窓で発電するの」といった受け取り方をしてほしいと思っている。コストダウンをしていくことも必要である。

(8) BIPV への対応

カネカより、欧州の BIPV ガラスの発電技術について、以下のような情報を得た。

- ・ 技術開発でみると、欧州で導入されている BIPV ガラスは、シースルーのようなセルレベルからのモノ作りの技術ではなく、カバーガラス（ガラスに印刷で色を付ける）であり、外装

で印象を変える技術が殆どであるので、太陽電池の出力性能が格段に落ちる。ガラスに印刷する技術は、セラミックス印刷で普通に使われている技術で、そういったものを太陽電池のカバーガラスとして使うのが欧州で進められている方法である。

また、カネカと大成建設は、BIPV ガラスの展開に関して以下のような戦略を検討している。

- ・ 大成建設の横浜支店に取り付けたものが、カラーガラスの太陽電池ガラスである。これは新しい技術を使っていて、太陽電池ガラスのガラスをカラーにしても発電性能が 10%程度しか落ちない。こういった技術を武器として、海外市場に働きかけたい。海外の事例は、発電性能を犠牲にしたものが殆どである。

(9) 国に期待する支援

カネカから、以下の要望があった。

- ・ BIPV の社会実装はまだまだ黎明期であり、事業初期の支援として工事費や材料費を 1/2 あるいは 2/3 補助してもらえれば、ありがたい。
- ・ Low-E ガラスの場合、費用対効果や回収期間については言及されないが、太陽電池の場合には言及される。メガソーラーの事業性評価の場合、どうしても事業の回収期間が問題になるので、それが影響していると思う。PV ガラスの場合、今どれだけ省エネできているのかといった評価を重点的にしてもらいたい。
 - 「メガソーラーの場合 10 年で回収できるよ」と言われる。「PV ガラスは建物の一部なので 30 年は持つ」、というような言い方をしている。そういった意味で BIPV の評価の考え方を変えてもらいたい。

(10) 今後の展開

大成建設及びカネカは、今後の展開として以下を検討している。

- ・ 国内でも、建物の正面の PV ガラスをカラー化したいという要望がある。PV ガラスをカラー化することは、発電効率を落とすことになる。どんな色であれば発電効率を落とさずに済むか、という研究を行っている（大成建設）。
- ・ 大成建設のベトナムのハノイにあるタワーで、高層ビルにシースルーの PV ガラスを入れている。タイにもソリッドタイプの PV ガラスを入れている。東南アジアを中心に展開したいと考えている。当面は、大成建設とカネカの海外拠点に導入したいと考えている。サプライチェーン上は、現地でのもの作りを含めて、基本的な生産体制はできているとご理解頂きたい（カネカ、大成建設）。

5.2.3. AGC

(1) 開発が進められている製品／商品名、製品／商品のタイプ及び開発段階⁵¹

1999年に、BIPVガラスである「サンジュール®」の開発が始まった。

「サンジュール®」は、以下の3つのタイプで構成されている。これらの商品の具体的な特徴については後述する。

- ・ スクエア（基本タイプ）：AGCの基本製品（透過性無し）
- ・ SUDARE（シースルータイプ）：短冊シェード型製品（開口率55%）
- ・ GR（エコロジーグリーンタイプ）：壁面に設置する製品（透過性無し）

(2) 使用されている太陽電池等

シリコン結晶系太陽電池を使用している。

(3) 関係企業の役割

太陽電池（シリコン結晶系）を購入し、AGC単独で「サンジュール®」を開発した。他社との協業体制は取っていない。「サンジュール®」のビルへの取り付けについては、各BIPVモジュール⁵²から集電配線を実施し接続箱まで配線する範囲をワンストップでAGCグループが請け負っている。

(4) サンジュール®の特徴

① サンジュール®の構造

サンジュール®の構造は、図5-5に示すように、太陽電池セル（シリコン結晶型）を中間膜で挟んだユニットを2枚の熱処理ガラスの間に挿入した構造になっており、合わせガラスタイプと合わせ複層ガラスタイプの2つのタイプがある。

⁵¹ <https://www.asahiglassplaza.net> および <https://special.nikkeibp.co.jp/atclh/NXT/22/agc0414/>

⁵² モジュールとは、太陽電池セルを複数組み合わせた一枚の最小ユニット。パネルと呼称するメーカーもある。

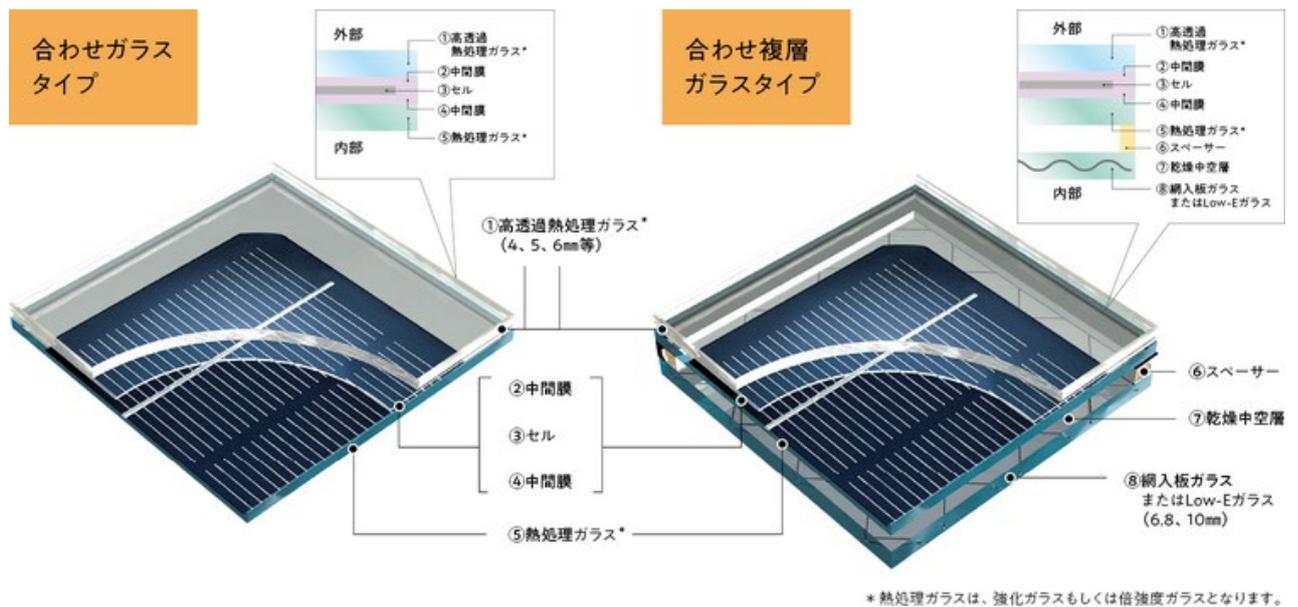


図 5-5 サンジュール®の構造

(出典：AGC ウェブサイト、「サンジュール®仕様・性能」)⁵³

合わせガラスタイプは、高透過熱処理ガラスと熱処理ガラスから構成され、合わせ複層ガラスタイプは、高透過熱処理ガラス、熱処理ガラス、空気層及び網入板ガラスまたは Low-E ガラスから構成される。合わせ複層ガラスタイプは断熱効果がある。

② サンジュール®の製品構成

サンジュール®は、合わせガラスタイプを基本とした採光型で、カスタム性の高い建材一体型太陽光発電ガラス（BIPV ガラス）であり、以下の3種類の製品で構成されている。

表 5-3 サンジュール®の製品の構成と特徴⁵⁴

製品の種類	特徴
スクエア（基本タイプ）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 正方形の太陽電池セルを、図 5-5 に示した方法でガラスに挿入した AGC の基本製品。 ・ 太陽電池セルの種類は現在、片面セル（約 158mm×約 158mm）と両面セル（約 158mm×約 158mm）の2種類から選択可能。黒系の単結晶シリコンを使用。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 片面セルは、カーテンウォールや、トップライトなど片側の面から太陽光を受光し発電。 ➢ 両面セルは、フェンスや手すりなど両面から受光し発電。

⁵³ <https://www.asahiglassplaza.net/products/sunjoule/spec/>

⁵⁴ <https://www.asahiglassplaza.net/products/sunjoule/special1/>

製品の種類	特徴
	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光の透視性は低いため、公共歩行通路や庇に使われることが多く、ビルの窓開口部への太陽光発電ガラスとしては不向きである。 定格出力（目安）：100～130W /m²
SUDARE（シーズルータイプ）	<ul style="list-style-type: none"> 太陽電池セルをレーザーカットして、約 156mm×約 81mmの短冊（すだれ状）に加工して、透視性を高めた製品。黒系の単結晶シリコンを使用。 透視性を高めてはいるが、セルが短冊状になっているため、通常のガラスに比べて開口率は57%程度である。スクエアタイプに比べて単位面積当たりの発電量は50%程度落ちる。セルを加工するため、スクエアタイプよりも割高である。 定格出力（目安）：55 W /m²
GR（エコロジーグリーンタイプ）	<ul style="list-style-type: none"> 正方形（158mm×158mm）の太陽電池セル（グリーン色の多結晶片面シリコン）を使用。環境への配慮を感じさせる色合いにより、壁面緑化との併用等で、一層のグリーン・ビルディングのイメージを演出する。 透視性がないので、主に壁面に使用される。 定格出力（目安）：90W /m²



図 5-6 サンジュール®のスクエア（基本タイプ）の採光性を活かした庇の事例
（出典：AGC ウェブサイト、「サンジュール®ラインナップ」）⁵⁵

③ カスタム性から見たサンジュール®の特長

AGC は、ガラスメーカーであるため、建物建材としてのガラスに対して顧客のニーズや要望に合わせた広範な BIPV モジュールを製作することができる（表 5-4 参照）。

⁵⁵ Ibid.

表 5-4 カスタム性から見たサンジュール®の特長

内容	特徴
自由設計と意匠性	顧客や設計者の要望に沿って、様々なガラスサイズや形状に対応でき、一定の条件のもと自由なセル配置が可能である。したがって、意匠性の高いPVガラスを提案することができる。また、取り付けもサッシ枠に納めるだけでなくフレームレス構法も可能である。
設計施工とワンストップ対応	サンジュールの設計から施工までワンストップで対応。開口部の設計・施工に関して豊富な実績があり、信頼性の高い BIPV モジュールを提案することができる。約 250 件の施工実績がある。
ビル窓部以外の用途	ファサード、フェンス、庇、通路用シェルター、ルーバー等にも適用できる。蓄電池と組み合わせることで、災害時の非常用電源として使用することもできる。
一般住居への対応	対応していない。

(5) 最近の実証実験の内容、結果等
特になし。

(6) 事業化の経緯

2001 年に、最初の基本製品である「サンジュール スクエア」を開発し、販売を開始した。2015 年に、窓部で使用でき、より眺望を活かすことができる「サンジュール SUDARE」の販売を開始した。GR (エコロジーグリーンタイプ) は、環境への配慮を感じさせる色合いにより、壁面緑化のようなイメージで、一層のグリーン・ビルディングのイメージを演出できる。

AGC では、サンジュール®について約 250 件の施工実績があり、BIPV の実績は豊富である。なお、10 年以上前に、米国のユビキタスエナジー(UE 社)との提携を検討したが、発電効率・耐久性の点から計画段階で中止となった。

(7) BIPV への対応

ガラスとしての耐久性は半永久的であるが、太陽電池は経年劣化により発電効率が落ちてくるので、発電量が減っていく。したがって、サンジュール®の BIPV を交換するか否かは、ユーザーの判断による。作業用のゴンドラを使って、高層ビルに設置したサンジュール®の BIPV モジュール数枚程度の交換は可能である。

現在、サンジュール®の BIPV は、ビルごとに仕様が異なるため少量生産ではあるが、日本の得意とする顧客のニーズや要望に合わせて、細部に気を配った設計・施工ができることが利点であると考えている。1 年間のモジュール出力および自然破損の保証⁵⁶をしている。

⁵⁶ <https://www.asahiglassplaza.net/products/sunjoule/caution/>

(8) 課題と今後の展開

- ・ 「建築ガラス アジアカンパニー」という組織の下、市場成長が見込まれるアジアへの事業展開を検討している。
- ・ ペロブスカイト太陽電池を使った太陽光発電ガラスについて研究を進めている。

(9) 国に期待する支援等

- ・ 建築の規制をする国土交通省や各地方自治体などが、新たに建築する建物に対し一定程度のオンサイトの発電を搭載することが確認申請を下す際の条件にするなどの規制の創設に期待する。

(10) その他コメント

AGC より、欧州や中国の BIPV 市場について、以下のようなコメントがあった。

- ・ 国に支援を要請してきた結果、R6 年度から BIPV に特化した補助金が新設された。「民間企業等による再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業」（予算 40 億円）のうち、「窓、壁等と一体となった太陽光発電の導入加速化支援事業」に補助金が与えられるようになった。
- ・ EU の BIPV 市場では、EU の建築業界にはゼネコンがないので、EU における AGC のビジネスは、資材提供だけに留まっている。
- ・ 中国には、まだ狭義の BIPV への参入メーカーはない。BIPV 市場では、顧客のニーズや要望に合わせて個別に設計し、施工する必要があるが、中国ではこの面が弱いのではないかと。
- ・ サンジュール®を広く普及させるための課題は、コストが大きな障害となっている。

5.2.4. パナソニックホールディングス

(1) 開発が進められている製品／商品名、製品／商品のタイプ及び開発段階

パナソニックホールディングスは、2023年8月に、ペロブスカイト太陽電池（以下、PSCと表記する）を使用したBIPVガラスのプロトタイプを開発した。この製品は実証実験の段階のものである。

(2) 使用されている太陽電池等

現在実証実験が進められている、PSCを使用したBIPVガラスの試作品は、図5-7に示すように、塗布型の高効率なPSC⁵⁷を使用している。

短冊状の形態にするには、レーザーによるスクラビング加工により、ガラス基板上のペロブスカイト層を含む塗膜を部分的に剥離して、透過光を確保するとともに未剥離の太陽電池部分で発電する⁵⁸。

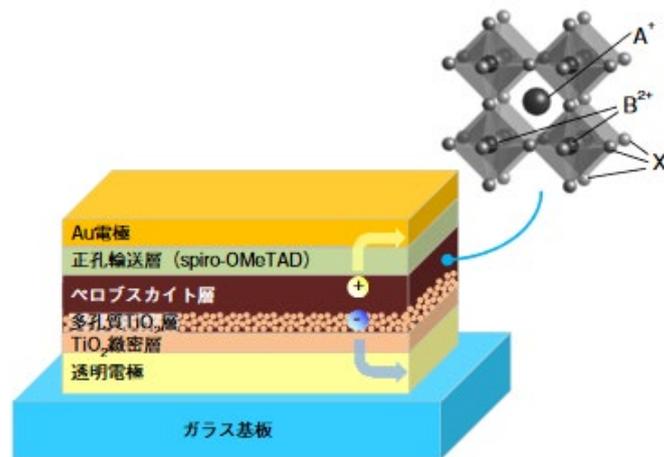


図 5-7 PSC の構造と結晶構造

(出典：パナソニックホールディングス株式会社、「Panasonic Technical Journal」)⁵⁹

(3) 関係企業の役割

当該PSCを使用したBIPVガラスは、パナソニックホールディングスが単独で開発した。

PVガラスの据え付けに関しては、ビルの場合は屋上には置くことができないケースが多いので、壁面に設置する。子会社のパナソニック環境エンジニアリングに据付のノウハウがあるので据え付けは可能であるが、他社との協業に関する判断について検討されている。

⁵⁷ 試験検証用のサンプルとしての構造を示すものであり、実際の製品構造を示すものではない。

⁵⁸ <https://www.p-perovskite.com>

⁵⁹ 藤村慎也，松下明生，山本輝明，松井太佑，内田隆介，根上卓之：“ペロブスカイト太陽電池の耐久性向上”，Panasonic Technical Journal, Vol.63, No.1, May 2017.

(4) 製品・商品の特徴

図 5-8 に当該 PSC を使用した BIPV ガラス製品のイメージを、図 5-9 に当該製品の利用イメージを示す。

当該製品は、以下のような特徴を持つ。

- ・ ペロブスカイト PV ガラスの発電効率は、実験ベースでシリコン製の PV ガラスの最大値（20%）に近い水準（18.1%）まで出るようになっている。
- ・ 太陽電池の素材のペロブスカイトは、湿度や光・熱の環境変化に弱いため、BIPV として使用中に水分が入らないことが重要となる。ペロブスカイト PV ガラスは、合せガラスの構造をとることから、外部からの水分の侵入を防ぐために、端面を封止することがポイントになる（図 5-8 参照）。
- ・ パナソニックホールディングス独自のインクジェット塗布製法とレーザー加工技術を組み合わせることで、PSC を使用した BIPV ガラスのサイズ、透過性、グラデーションを含めたデザインなどの自由度を高めたカスタマイズにも対応可能である。
 - ガラス全面のペロブスカイトをレーザーで削って透明性を上げていくので、ガラスの透過性をカスタマイズすることができるが、透過性と発電量はトレードオフの関係になる。
- ・ ペロブスカイトの溶剤を塗布することで製作可能であることから、PV ガラスの製造時のエネルギーの消費量はシリコンの場合の 1/6 程度であり、ライフサイクルでの CO₂ 削減効果はシリコンより優れているとされる。ペロブスカイトをフィルム基板上に塗布する会社（積水化学、東芝など）もあるが、パナソニックはペロブスカイトをガラス基板上に塗布する製品のため、市場で共存する形になっている。
- ・ ビルの外壁の PV ガラスとして、普通のガラスと同じように使用することができる。人の視線のところは透過率を上げる等、デザイン的な工夫が可能である。ビルの壁面のみではなく、天窓やバルコニーにも使用することが可能である（図 5-10 参照）⁶⁰。

なお、PSC を使用した BIPV ガラスは、実証開始段階では小面積の実証モジュールのため、小モジュール間の配線が必要であったが、畳サイズのものを製造することができれば、配線が少なくなる見込みである。

⁶⁰ パナソニック ホールディングス株式会社ウェブサイト「世界初、ガラス建材一体型ペロブスカイト太陽電池 Fujisawa サステイナブル・スマートタウン内で長期実証実験を開始」、2023 年 8 月 31 日
(<https://news.panasonic.com/jp/press/jn230831-1>)



図 5-8 PSC を使用した BIPV ガラス製品のイメージ

(出典：パナソニック ホールディングス株式会社ウェブサイト、「世界初、ガラス建材一体型ペ
ロブスカイト太陽電池 Fujisawa サステイナブル・スマートタウン内で長期実証実験を開始」、
2023 年 8 月 31 日) ⁶¹



図 5-9 PSC を使用した BIPV ガラス製品の利用イメージ

(出典：パナソニック ホールディングス株式会社ウェブサイト、「世界初、ガラス建材一体型ペ
ロブスカイト太陽電池 Fujisawa サステイナブル・スマートタウン内で長期実証実験を開始」、
2023 年 8 月 31 日) ⁶²

⁶¹ <https://news.panasonic.com/jp/press/jn230831-1>

⁶² Ibid.



図 5-10 PSC を使用した BIPV ガラスのバルコニーへの設置の様子

(出典：パナソニック ホールディングス株式会社ウェブサイト、「世界初、ガラス建材一体型ペロブスカイト太陽電池 Fujisawa サステイナブル・スマートタウン内で長期実証実験を開始」、2023 年 8 月 31 日)⁶³

(5) 開発に至った経緯

2050 年におけるカーボンニュートラルの達成に必要なとされる PV の累積導入量 (200~300GW) を実現するには、従来型の技術だけでは不十分であるため、日本のような平地面積が少なく、建物の屋上も設置面積が限られるところでは、建物の窓や壁面等を利用した発電が不可欠である。

従来の結晶シリコン系の太陽電池では、透光性やデザイン面の観点から窓などのガラス部へ設置が課題であったことから、ガラス建材一体型の PSC が、これらの課題を解決し、都市部を含めた太陽電池の設置場所の大幅な増大への貢献ができるものと考えられた⁶⁴。

(6) 最近の実証実験の内容、結果等

2023 年 9 月から、神奈川県藤沢市にて、PSC を使用した BIPV の実証実験を開始した (2024 年 11 月 29 日までを予定)⁶⁵。

実証実験では、これまでのところ想定通り発電している。PV ガラスの耐久性に関しては、ラボレベルでは 10 年、20 年に相当するデータは出ているが、PV ガラスのサイズが大きくなって屋外に出した場合の耐久性は未確認であることから、この実証実験でそれを確認している。

⁶³ Ibid.

⁶⁴ Ibid.

⁶⁵ <https://tech.panasonic.com/jp/td/news/20230831.html>

(7) 事業化の見込み

PSC を使用した BIPV は、5 年以内に量産する予定としている（テスト販売は早期に行うとのこと）。ターゲットとする市場はビル建築である。畳サイズの PV ガラスの試作ラインは 2024 年 4 月に立ち上がる予定である。パナソニックホールディングスとしては、BIPV 市場に参入するにあたり顧客のニーズに応じた注文品市場であることから、中国勢が参入しづらい高付加価値市場向けの製品からはじめたいと考えている。

なお、パナソニックホールディングスとしては、太陽電池市場において、将来的には PSC がシリコンの置き換えになる可能性はあるが、当面は PSC 独自の市場形成が進むと考えている。

(8) BIPV への対応

フィルムシートに塗布してガラスに貼るタイプでは、フィルム部材費や貼付け施工費がかかるが、ガラスに PSC を直接塗布した BIPV は、当該タイプに比べてコストダウンができるところが有利な点である。

PSC を使用した BIPV を製品として市販する場合は、オンデマンドで客先の仕様に合わせて光の透過率を調整する。全面塗布のペロブスカイトをレーザーで加工するので、このような製造が可能である。

(9) 国に期待する支援

政府の支援には、経産省、環境省、国土交通省別に、PV ガラス導入のための支援スキームがあるので、PSC および PSC を使用した BIPV で現状において存在する課題を、将来的には克服する出来るように研究開発を促進していきたいと考えている。

太陽電池については、現状では PSC はシリコンと kW 単価ベースでの競争が難しいので、市場の立ち上がり時期は、PSC はシリコンで足りないところを補うという戦略で、シリコンとの棲み分けを考えている。

(10) その他コメント

欧州の RoHS 規制は、電力用途の太陽電池においては規制の範囲外であるが、日本では、太陽電池モジュールの製造・販売事業者が、あらかじめ鉛ほかの含有化学物質の情報を提供することによって、排出事業者(撤去業者等)により適正処理されることとなっている⁶⁶。将来的には PV ガラスのリサイクルのエコシステムを作ることができれば良いと考えている。

⁶⁶一般社団法人太陽光発電協会、“使用済太陽電池モジュールの適正処理に資する情報提供のガイドライン”、2017 年。 (<https://www.jpea.gr.jp/wp-content/themes/jpea/pdf/t171211.pdf>)

5.2.5. 国内企業のBIPV製品開発と事業展開に関する考察

表5-5に、今回ヒアリングした企業のBIPV製品の特長を比較・整理したものを示す。

ヒアリング調査を行った企業では、大成建設／カネカとAGCが既に製品化しており、市場導入が進められている。製品化されているPVガラスには、単結晶および多結晶のシリコン太陽電池が用いられている。海外ではCISなど化合物系太陽電池を用いた例もあるが、現在、日本で製品化されているのはシリコン系のみのものである。これは、シリコン系太陽電池は屋外や屋根に設置するソーラーパネルなどで実用化の実績があり、入手性およびコストの面でも安定しているためPVガラスへの応用が進んでいると考えられる。

以下、各社が挙げている技術課題や事業展開の見通しについて整理する。

- ・ シリコン系太陽電池のPVガラスの今後の技術的課題は、大成建設・カネカが指摘したようにカラー化という顧客の要望に対して、いかに発電効率を落とさないようにするか、である。欧州では発電効率を落としてもカラー化の需要があるようなので、無色のPVガラスと同等あるいは同等に近い性能が出せれば、欧州市場参入の機会が広がるものと思われる。
- ・ 一方、パナソニックのペロブスカイト型太陽電池（以下、PSC）を使ったPVガラスは、まだ実証実験段階にあり、今後の開発進捗を注視していく必要がある。パナソニックはガラスに直接PSCを形成するガラス型PSCだが、桐蔭横浜大学・宮坂教授が言及したように曲げられるフィルム型PSCが実用化できれば応用範囲も広く、普及が進んで量産効果がでてくればコストも下がっていくことが期待できる。
- ・ またUE社の透明PVガラスは、シリコン系太陽電池を使ったシースルータイプよりも可視光透過率が高く、スリットが見えないため窓として利用する場合はデザインの的にも優位である。但し、技術的な開示がされていないため、どのような技術的課題があり、どこまで改善されているかが不明である。こちらはまだ実証実験段階なので、その結果を注視していく必要がある。

シリコン系太陽電池を使ったPVガラスはすでに実用化されており、大成建設・カネカでは建材としてのガラス材と同等の耐用年数とメンテナンスが可能としている。今後は、性能と品質を下げずに更なるコストダウンを図り、そのための量産体制をどのように構築していくか、に取り組むことになる。また、発電性能を極力落とさずにカラー化する検討も進んでいくことであろう。併せて標準化を進めることで、BIPVとしてのPVガラスの普及が加速されると考えられる。

PSCを使ったPVガラスであるが、現時点ではまだ実証実験段階のため、実用化までにはもう少しばかり時間がかかりそうである。発電効率の向上や耐用年数などに課題はあるものの、PSCは日本発の発明として期待が高いために早期の市場導入が期待されている。

可視光透過型のPVガラスもまだ実証実験段階であり、今後の進捗に注目していかなければならない。窓への応用に最適という特長を持つだけに、実用化できれば一気に普及する可能性はある。UE社の技術が開示されていないため、技術課題等は推測するしかないが、それらが克服できれば将来有望な製品になると思われる。

表 5-5 ヒアリングした各社 BIPV 製品の特長比較

比較項目		半透明ガラス(短冊状)		透明ガラス	
		シリコン結晶系太陽電池		ペロブスカイト系太陽電池	太陽電池の材料に光吸収色素を使用
		大成建設/カネカ(製品開発)	AGC	パナソニックホールディングス	UE社/ENEOSホールディングス/日本板ガラス
開発状況	開発段階	製品化・市販	製品化・市販	実証実験段階 (2023年8月～:神奈川県藤沢市 Fujisawa サステイナブル・スマートタウン)	実証実験段階 (2023年 5/8～7/14: JR高輪ゲートウェイ)
	製品のタイプ (企業の表現をそのまま使用した)	建材一体型PVパネル(BIPVパネル)	建材一体型PVガラス/モジュール	建材一体型PVガラス(BIPVガラス)	PV窓パネル
	製品名(製品・商品化時期)	【Green® Multi Solar】 ・シースルータイプ(2019年12月) ・ソリッドタイプ(2019年12月) 【上記2種類の製品を用いた商品】 ・バルコニー用ガラス手摺一体型(2022年10月)	【サンジュール】 ・2000年販売開始 ・施工実績250件以上 ・スクエアタイプ(基本)・SUDARE(シースルータイプ)とGR(エコロジーグリーンタイプ)がある	-	-
製品の特徴	製品のセールス・ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・BIPVを念頭に置いた製品。建材一体型のPVパネルで、建材としての機能を併せ持つ。 ・シースルータイプは、複層ガラス(Low-Eガラス)を使っているので、発電機能だけではなく、断熱機能を有する、「省エネガラス」と同等の機能も持っている。Low-Eガラスで反射した光が、ガラスの表裏で同時に発電できる。 ・ソリッドタイプは、ビルの外壁部に設置するPV外装パネル。電極や配線が外観に現れない高い意匠性を持つデザイン性と意匠性に優れている。専用架台を設置する等の後付け 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラスサイズやセル配置のカスタムメイド対応が可能な意匠性の高いBIPVガラスである。 ・設計～施工をAGCグループでワンストップ対応 ・建物で創エネし、ZEBに貢献するとともに災害時などの非常用の電力として活用することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・独自のインクジェット塗布製法とレーザー加工技術を組み合わせることで、ペロブスカイトPVガラスのサイズ、透過性、グラデーションを含めたデザインなどの自由度を高めたカスタマイズにも対応可能。 ・PVガラスの製造時のエネルギーの消費量はシリコンの場合の1/6程度であり、ライフサイクルでのCO2削減効果はシリコンより優れている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全面透明型のPV窓パネル。PVガラスとして可視光透過率に優れており、普通の窓として使用することができる。 ・複層ガラス(Low-Eガラス)を使っているので断熱効果も高い。 ・PV窓パネルとして、発電することによる省エネと断熱効果による省エネにより、二酸化炭素削減に大きく寄与する。

比較項目		半透明ガラス(短冊状)			透明ガラス
		シリコン結晶系太陽電池		ペロブスカイト系太陽電池	太陽電池の材料に光吸収色素を使用
		大成建設/カネカ(製品開発)	AGC	パナソニックホールディングス	UE社/ENEOSホールディングス/日本板ガラス
		の問題といった課題が無い。 ・停電等の電力系統での異常があった場合は、BCP対応で自立電源として利用可能。			
	PVガラス及び太陽電池の特徴	・シースルータイプ:Low-Eペアガラスにストライプ状の両面受光型のヘテロ接合型単結晶シリコン太陽電池を組み込んでいる。 ・ソリッドタイプ:単結晶型シリコン太陽電池を組み込んでいる。経済性を考えてPERCセル(ヘテロ接合型の発電素子)を使うケースもある。	シリコン太陽電池(セル)は購入品を使用。 ・BIPVガラスの構造は、太陽電池セル(シリコン結晶型)を中間膜で挟んだユニットを2枚の熱処理ガラスの間に挿入した構造になっている。 ・SUDAREは、シリコン太陽電池をスクライビング加工しスリット状にして、透過性を高めたものである。	・基本的には、PSCの性能に依存する。耐久性に課題がある。 ・ペロブスカイトPVガラスは、合せガラスの構造をとることから、外部から水分の侵入を防ぐために、端面を封止することが必要。	・太陽電池として使用されている発電素子の材料(光吸収色素)は企業秘密。 ・可視光線が透過し、紫外線と赤外線を吸収して発電する。 ・複層ガラス構造になっており、2枚のガラスの間にスペーサーがある。中のガラスの1枚の内側(空気層側)にコーティングをしている。 ・太陽電池として使っている材料(光吸収色素)は、酸素や湿気に触れると劣化するようである。そのため、複層ガラス構造にして、中にアルゴンガスが封入されている。
	セル変換効率	・20%超	・シリコン単結晶太陽電池を使用しているが、具体的な数値は不明	・ラポレベルで18.1%。	・ラポレベルで10%。
	ガラスの透過性	・シースルータイプ:50% ・ソリッドタイプ:透過性無し ・バルコニー用ガラス手摺一体型:シースルータイプとソリッドタイプを併用	・スクエアタイプのモジュール(158mm×158mm)間の隙間をどれくらいにするかによって、透過性は違ってくる。(設置環境によって透過性を決める) ・太陽電池を横に帯状にスライスしたSUDAREでは、透過性57%	・ガラス全面のペロブスカイトをレーザーで削って透明性を上げていくので、ガラスの透過性をカスタマイズすることができるが、透過性と発電量はトレードオフの関係になる。	～80%

比較項目	半透明ガラス(短冊状)			透明ガラス
	シリコン結晶系太陽電池		ペロブスカイト系太陽電池	太陽電池の材料に光吸収色素を使用
	大成建設／カネカ(製品開発)	AGC	パナソニックホールディングス	UE社／ENEOSホールディングス／日本板ガラス
性能保証期間、交換等	<ul style="list-style-type: none"> 太陽電池モジュールの発出力保証は、25～30年(設置環境に基づく)。 ビルの外壁PVとしては、設置後10年は90%、20年までは80%、30年までは70%以上の出力保証。 T-Green® Multi Solarは建材としては外装ガラスと同様の耐用年数とメンテナンスが可能。 	<ul style="list-style-type: none"> モジュールの出力を1年間保証。 ガラスとしての耐久性は、半永久であるが、発電セルは経年劣化で発電量は減少するので、交換はユーザー判断となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性は20年、性能は80%保証を目標。 	<ul style="list-style-type: none"> PVガラスの発電性能は10年保証(Low-E複層ガラスは10年保証をしている)を考えている(日本板ガラス)
実装対象の建築物	<ul style="list-style-type: none"> 中層・高層ビル 大規模商用施設 マンション 一般住宅 	<ul style="list-style-type: none"> 大規模建物が対象であり、個人住宅には対応していない。 	<ul style="list-style-type: none"> ターゲットとしてビルを想定。 	<ul style="list-style-type: none"> 中層・高層ビル 一般住宅
実装実績	<ul style="list-style-type: none"> 校舎(高校) 庁舎(複合施設含む) 国際展示場 自社ビル 等 <p>出典：https://bipv-re-mieruka.jp/bipv.html、https://bunganet.tokyo/furu-bira/、https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/na/18/00160/010600002/等</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高輪ゲートウェイ駅 庁舎(藤沢市役所) 体育館(ならばスカイアリーナ) 企業ビル(小野薬品工業東京ビル) <p>出典：AGCのHPのサンジュール「施工事例・課題解決事例」(https://www.asahiglassplaza.net/casestudy/)</p>	なし	なし
価格	<ul style="list-style-type: none"> シースルータイプはソリッドタイプの5倍の価格(Low-Eガラス自体の価格もまだ高い)。 シースルータイプの発電ガラスは、発電性能を犠牲にしているので、通常のPVのように発電回収では商品の価値について評価できない。 	<ul style="list-style-type: none"> SUDAREは、スクエアタイプより割高となる。 	-	-

比較項目		半透明ガラス(短冊状)		透明ガラス	
		シリコン結晶系太陽電池		ペロブスカイト系太陽電池	太陽電池の材料に光吸収色素を使用
		大成建設/カネカ(製品開発)	AGC	パナソニックホールディングス	UE社/ENEOSホールディングス/日本板ガラス
	BIPVへの対応	<ul style="list-style-type: none"> ・建材一体型のPVパネルとして対応。(欧州で導入されているBIPVは、シースルーのようなセルレベルからのモノ作りの技術ではなく、カバーガラス(ガラスに印刷で色を付ける)であり、外装で印象を変える技術が殆どであるので、太陽電池の出力性能が格段に落ちる) 	<ul style="list-style-type: none"> ・BIPVガラスとして市販している。ただし、主力はスクエアタイプの模様。 	<ul style="list-style-type: none"> ・BIPVとして市販する場合は、オンデマンドで客先の仕様に合わせて光の透過率を調整する。全面塗布のペロブスカイトをレーザーで加工するので、このような製造が可能である。 	検討段階。
今後の展開	製品面の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・性能と品質を維持しながら、どれだけコストを下げられるのか。 ・どこまで標準化し、シンプル化して、顧客に求められる品質をどこまで維持するのか。 ・量産体制(設備投資、量産化及び自動化) 	<ul style="list-style-type: none"> ・コスト低減。 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性が課題。PVガラスの耐久性に関しては、ラボレベルでは10年、20年に相当するデータは出ているが、サイズが大きくなって屋外に出した場合の耐久性は未確認。 	<ul style="list-style-type: none"> ・商用化 ・コスト低減
	ビジネス面の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・国内でも、欧州のように、建物の正面のPVガラスをカラー化したいという要望がある。発電ガラスをカラー化することは、発電効率を落とすことになる。どんな色であれば発電効率を落とさずに済むか、という研究を行っている(大成建設)。 ・カネカと大成建設の共同で、横浜支店に入れている太陽電池がカラー太陽電池である。これは新しい技術を使っていて、太陽電池をカラーにしても発電性能が10%程度しか落ちない。こういった技術を武器として、海外市場に働きかけたい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「建築ガラス アジアカンパニー」という組織の下、市場成長が見込まれるアジアへの事業展開を検討している。 ・EUにおけるAGCのビジネスは、資材提供だけに留まっている。EU市場の建築業界には日本におけるゼネコンが存在しないため。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ターゲットとする市場はビル建築である。畳サイズのPVガラスの試作ラインは2024年4月に立ち上がる予定。 ・顧客のニーズに応じた注文品市場であることから、中国勢が参入しづらい高付加価値市場向けの製品からはじめたいと考えている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・検討中(ENEOSホールディングス)。 ・UE社は、北米で2026年に商用化のラインを立ち上げようとしているので、その状況を踏まえて、国内で製造拠点を作ることを検討する(日本板硝子)。

比較項目		半透明ガラス(短冊状)			透明ガラス
		シリコン結晶系太陽電池		ペロブスカイト系太陽電池	太陽電池の材料に光吸収色素を使用
		大成建設／カネカ(製品開発)	AGC	パナソニックホールディングス	UE社／ENEOSホールディングス／日本板ガラス
		<ul style="list-style-type: none"> ・東南アジアを中心に、T-Green® Multi Solar製品を展開したい。当面は、大成建設とカネカの海外拠点に導入したい。 			
	国に期待する支援	<ul style="list-style-type: none"> ・BIPVの社会実装はまだ黎明期である。事業初期の支援として、工事費や材料費を1/2あるいは2/3を補助してほしい。 ・Low-Eガラスの場合、費用対効果や回収期間については言及されないが、太陽電池の場合は言及される。今どれだけ省エネできているのかといった評価を重点的にしてほしい。そういった観点から、BIPVの評価の考え方を改めてほしい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省や各地方自治体などが、新たに建築する建物に対し一定程度のオンサイトの発電を搭載することが確認申請を下す際の条件にするなどの規制を創設することに期待する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国の支援スキームを通して、現状において存在する課題を、将来的には克服すべく研究開発を促進していく。 ・PSCはシリコンとkW単価ベースでの競争が難しいので、PSCがシリコンで足りないところを補うという戦略で、シリコンとの棲み分けを考えている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・UE社が考えている北米ビジネスモデルは、二酸化炭素削減による税金に関するインセンティブが働いている。ビルのオーナーに、二酸化炭素削減による税金の免除というインセンティブがあり、それを考慮したビジネスモデルを作っているようである。二酸化炭素削減に資するという点に対して、国の補助金がつけば良い(日本板硝子)。

5.3 大学・研究機関の研究動向調査

以下の大学別にヒアリング調査・整理を行った。

- ・ 桐蔭横浜大学（宮坂力特任教授）
- ・ 東京大学（瀬川浩司教授）
- ・ 公立諏訪東京理科大学（渡邊康之教授）

ヒアリング・文献調査した内容は、概ね、以下の項目別に整理した（大学の研究対象を考慮して適宜整理項目を設定した）。

- ・ 研究者側から見た従来型太陽電池の敗北原因
- ・ 今後中国等の海外企業からの追従を許さないための方法
- ・ PV ガラス技術を実用化する（大量生産体制の構築等）ための課題
- ・ 実現できている発電効率など、技術的なブレークスルーの成果

以下、各研究者へのヒアリング結果を示す。

5.3.1. 桐蔭横浜大学 宮坂力特任教授

(1) 研究内容

① 研究テーマ

研究テーマは、新しいエネルギー変換システムとしての太陽光エネルギー変換素子の開発である⁶⁷。太陽光エネルギー変換素子として、色素増感型太陽電池と PSC（ペブロスカイト太陽電池）を中心に研究開発を行っている。宮坂教授は、PSC の発明者であり、その実用化を支える開発研究を積極的に行っている。特にフィルム型 PSC の技術開発に尽力している。

② PSC の開発状況

PSC の開発には、現在日本では 16 社ほどの企業が尽力している。PSC には、フィルム型とガラス型が存在し中国はガラス型に注力して、開発がかなり進んでいることのことであった。その背景には、シリコン太陽電池を PSC に置き換える狙いと、また、フィルム型の PSC は、ガラス型 PSC に比べて発電効率などの点で性能が低いことなどが要因であるとのことであった。ガラス型 PSC は重く使い勝手が悪いが、フィルム型の PSC は軽く使い勝手がよい。しかしながら、両者を比較するとフィルム型は、コストが高価であるという課題がある。

現在、PSC のセル変換効率は 26%以上を実現し、さらにペロブスカイト／シリコンタンデムでは、セル変換効率は 30%以上を実現している。

⁶⁷ <https://www.cc.toin.ac.jp/sc/miyasaka/research/index.html>

PSCは、常温付近でペロブスカイトの溶液を塗布して製造できるという利点があるため、各社安価に製造できる方法を提案している。

表 5-6 に、ペロブスカイトの溶液の塗布による PSC 製造に関する代表的な方法について述べる。

表 5-6 ペロブスカイトの溶液の塗布により PSC 製造に関する代表的な方法

ペロブスカイトの溶液の塗布の代表的な方法	概要
ロール to ロール(R2R)塗布	フィルムなどのロール状基材を巻き出し、連続的に塗布、乾燥、巻取り工程を経て連続的に生産できる。このため大量生産に適している（積水化学など）。
メニスカス塗布	フィルム基材と塗布ヘッドの間に設けたギャップに塗布溶液を注入し形成された溶液をフィルム基材に塗り付ける（東芝など）。
インクジェット塗布	ベース基材（フィルム、ガラスなど）に塗布ノズルから直接液剤を吹き付ける（パナソニックなど）。

③ PSC の特徴

PSC の特徴は、一つ目は、エネルギー変換効率が高いことが挙げられる。今後の研究によって、さらにエネルギー変換効率の向上が期待できる。二つ目は、フィルム型 PSC は、軽量かつ柔軟性があるため、従来のシリコン太陽電池では難しかった曲面のある自動車の屋根への応用なども考えられている。三つ目は、シリコン太陽電池に比べて、弱い光（曇天、雨天、屋内など）のもとでも発電効率が下がらないことが挙げられている。

その他の特徴として、PSC 製作のむずかしさが挙げられる。それは、溶剤に溶かした状態の原料を塗布するが、結晶化の反応が塗布後からはじまる点にある。したがって、塗布後の反応をいかにコントロールするかが重要となる点である。

④ 海外との競争上の優位点

PSC が海外とのコストやシェアの競争において優位な点は、以下のとおりである⁶⁸。

- ・ 原材料を国内で調達することができる。ヨウ素をはじめとして、日本に豊富に産出される原材料が多い。
- ・ 品質（性能、耐久性）を決める構造が、化学技術の高いレシピとノウハウを必要とする。PSC の製造には、精密な塗布技術を必要とし、原料の処方にも複雑で細かな知見と地道な努力が必要とされる。海外の技術者はこの方面は不得意なので、日本に優位性がある。

⁶⁸ 『宮坂力、「ペロブスカイト太陽電池の開発と実用化の動向」、経営講演会講義録、りそな中小企業振興財団、2023年10月』より引用。

- ・ 日本は、太陽電池をシステム化・複雑化する技術に能力を発揮する。PSC の高性能製品は、日本が専有し、廉価版は中国が受け持つという世界戦略が考えられる。
- ・ 低コスト生産が可能である。常温付近でペロブスカイトの溶液を塗布して製造できるという利点があるため、大量生産が可能である。

⑤ 今後の課題

PSCの課題は、耐久性と原料に鉛を使う点にある。そのほかはすべてシリコンより優れているので、シリコンに置き換わる可能性がある。ただし、フィルム型はガラス型に比べると加工賃がかさむのでコストが高くなる。ガラスは耐熱性が高いので、塗布後に高温で処理できるが、フィルムは150度ぐらいしかもたないため、低温で特殊な処理が必要となるためである。

海外企業に対抗するには、1社で閉じて開発していくのではなく、数社で連合を作って共同体制で開発していくことも必要である。

(2) PSCを使用したBIPVガラスについて

① 開発状況

PSCを使用したPVガラスを研究開発しているのは、調査した範囲ではパナソニック1社のみである。

結晶シリコンは、耐久性は高いが、PSCは耐久性に課題を持っているのが現状である。特に温度・水分に弱い。PSCを利用したBIPVガラスを考えた場合、熱は室内に空調が効いているので劣化への影響は小さい、また、光による劣化も屋根に乗せる使い方よりは小さいだろう。実際にビルに実装して商品化してみないと耐久性はどのくらいなのかわからない部分がある。劣化が進んだからPVガラスを交換するというのではリスクが高い。

フィルム型PSCの場合、劣化すれば内側に貼ったフィルム型PSCをはがして、再度張り替えればよいことから、フィルム型PSCを内側の窓に貼る方式は商品化へのリスクは低いと思う。ただし、PSCはシリコン並み(約20年)の耐久性が得られれば良いが、現状ではまだそこまでの耐久性が得られていない。この点が普及の課題である。

② 海外との競争上の優位点

日本は、複雑化した製品を作るのが長けているので、PVガラスにおいても意匠性に優れたものを作れば、中国等の海外企業は追従できないと考えられる。

③ 各社の事業展開の方向性

以下は、PSCを製造している各社の事業展開の方向性である。

- ・ パナソニックはPSCを使用したPVガラスを、5年以内に量産する予定としている。ターゲットとする市場はビル建築である。

- ・ カネカは、シリコン太陽電池を牽引してきた企業で、シリコン-ペロブスカイトのタンデム型太陽電池の PV ガラスに参入したいと考えている。
- ・ 積水化学においては、ガラス型 PSC は一切扱っておらず、フィルム型に特化している。フィルム型の耐久性が 15 年を実現できれば、いたるところに応用が利くだろう。

④ 他の PV ガラスに使用されている太陽電池との優位性に関する宮坂先生のコメント

- ・ 日本はシリコンの市場は奪わないが、シリコンでは設置できないところに応用が利くと考えている。また、シリコン太陽電池を回収する際には、膨大なエネルギーを必要とするが、ペロブスカイト太陽電池は簡単に回収できる。使用済のシリコン太陽電池の廃棄に非常にコストがかかることが問題になっている。
- ・ フィルム型 PSC の PV ガラスに対抗して、ユビキタス社の透明 PV ガラスがある。発電効率はまだ 10%程度で低いが高透明度が高い。ユビキタス社の透明 PV ガラスが、コストと耐久性に問題がなければ PV ガラスとして普及することも考えられるが、施工や途中で交換を考えると、どのようなガラスのタイプにも適用できて交換ができるフィルム型 PSC は優位性があると考えられる。ただし、透明型の PV ガラスでも価格が高くても、付加価値がつけられるのであれば普及は進むかもしれない。

⑤ 今後の課題

PSC を使用した PV ガラスの課題は、PSC の課題と同様に耐久性と原料に鉛を使う点にある。フィルム型の PSC が、15 年の耐久性を実現することができれば、至るところに応用される可能性がある。

5.3.2. 東京大学 瀬川浩司教授

(1) 研究内容

瀬川教授は、東京大学先端科学技術研究センター（先端研）の若手教授であった 2009 年、最先端研究開発支援プログラム（FIRST）30 課題の一つとして、彼が主宰する「低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発～複数の産業群の 連携による次世代太陽電池技術開発と新産業創成～」プロジェクトが選定された。このプログラムは麻生首相の置き土産であり、超大型研究予算に合わせて有機系太陽電池に係る全国の研究者ネットワークを立ち上げた。後にペロブスカイト太陽電池として花開く有望な研究分野もこのメンバーの中から芽生えた。

先端研は、恒常的に先端的であることを標榜していて、研究者は 10 年を限度として出身専攻課程に戻り、新たな分野の研究者を迎え、入れ替わる仕組みになっている。瀬川教授は現在総合文化研究科広域科学専攻の専攻長であるが、FIRST 以来企業からの寄付等で建設した当該分野の研究棟で現在も産学連携研究を継続している。学内的には 20 社余りの企業と「東京大学サステイナブル未来社会創造プラットフォーム⁶⁹⁾」を構成している。さらに、有機系太陽電池の研究組合である「有機系太陽電池技術研究組合（RATO）⁷⁰⁾」も主催し、ペロブスカイト太陽電池の機能向上と企業における人材育成に助力している。

(2) 事前に設定した質問事項に対する瀬川教授の回答

① 研究者側から見た従来型太陽電池の敗北原因

日本が従来型太陽電池で敗北したと考えられる原因は少なくない。この質問に関して、瀬川教授から以下の率直なご意見を頂いた。

- ・ 日本の太陽電池メーカーは、専業ではなく、電気メーカーの一部門に過ぎず大規模投資ができなかったため、スケールメリットの点で中国に敗れた。
- ・ 日本の太陽電池メーカーは、製造装置メーカーにコストダウンを強要したうえに、追加の設備投資も行わず、販売先に困った企業が製造装置を海外に販売した。
- ・ 日本企業の技術者に対する扱いが悪く、特に定年後の有能な技術者が海外に流出した。
- ・ 日本企業の技術レベルは、世間で言われているほど高くはなかった。日本がモタモタしているうちに、中国の技術レベルが格段に上がった。
- ・ 日本企業の海外営業力が劣っていた。交渉現場で即決できない担当者を送ってくるのは、日本企業のみである。
- ・ 原料調達に失敗した。
- ・ 日本企業は、あまり良い技術ではないアモルファス・シリコン太陽電池に固執して失敗した。
- ・ 蓄電池、有機 EL、太陽電池でトップを走っていた三洋電機を買収したパナソニックも、その技術を活かすことができなかった。

⁶⁹⁾ <http://www.sustainable.rcast.u-tokyo.ac.jp/>

⁷⁰⁾ <http://solarcells.jp/>

- ・ 日本企業が短期的な利益確保に走り、研究開発への投資をどんどん削減した。
- ・ 企業トップに先見性が欠けていた。

② 今後中国等の海外企業からの追従を許さないための方法

この質問に関して、瀬川教授から以下の率直なご意見を頂いた。

- ・ まず、日本企業のトップが自社の技術を理解し、後押しすることが必要である。海外のコンサルに事業計画を考えさせたり、海外の経営者を連れて来たりするのは止めるべきである。
- ・ 国プロ等の研究開発については、審査員のレベルが低過ぎて話にならない。もっと技術がわかる人間を審査員にすべきである。
- ・ 特許の件数で業績評価する日本の風習を改めるべきである。重要なノウハウの特許化等を行う必要は無い。
- ・ 有能な技術者の給与は現在の数倍にすべきである。日本の年功序列的給与体系では、有能な人材が育たない。

③ PV ガラス技術を実用化する（大量生産体制の構築等）ための課題

大規模投資による一貫生産体制を構築することが必要である。しかし、PV ガラスがゴールだとは考えないほうが良い。

④ 実現できている発電効率など、技術的なブレークスルーの成果

この質問に関して、瀬川教授から以下の率直なご意見を頂いた。

- ・ このような質問は、文系の経営者から良く頂く。技術が理解できないので、単純な質問しかできないのであろう。
- ・ このような質問の仕方しかできない日本の経営者が癌なのである。よって、海外のシンクタンクなどの浅薄なレポートなどを参考にするわけである。もう少しプロ好みの質問を頂ければ幸いである。

5.3.3. 公立諏訪東京理科大学 渡邊康之教授

(1) 研究の背景

現在、我が国では少子高齢化に伴う農業従事者の減少や TPP 問題の渦中にある一方で、22 世紀に向けた世界情勢を視野に入れて考えてみると、人口爆発によるエネルギー・環境・食糧問題など、深刻な状況に直面していくことが予想される。

そのような情勢を受けて、農林水産省が農地に太陽光発電施設を設置するための運用方針を条件付きで示したことを皮切りに農地を利用した太陽光発電技術である「営農型太陽光発電」（農地に支柱で支えられた架台を立て、その上に太陽光パネルを設置して農業と太陽光発電を両立する事業であり、「ソーラーシェアリング」とも呼ばれる）への期待が高まっている一方で、農地に設置した太陽光パネルの陰による農作物への悪影響など課題が多い⁷¹。

渡辺教授は、上記課題の解決に向けて、農作物栽培に必要な太陽光を透過する有機薄膜太陽電池を用い、農作物栽培に悪影響を与えずに太陽光発電を行う「ソーラーマッチング」に関する研究を実施されている。

(2) 研究の内容

半導体研究（LED の材料）の経験を活かした有機 EL（OLED）等の光半導体を基盤とした研究を手掛けた後、現在は有機薄膜太陽電池の開発を行っている。国土の狭い日本ではメガソーラー設置には限界があり、太陽光エネルギーの有効活用という観点でエネルギー問題と食糧問題の両方を解決する研究を遂行している。具体的には、太陽電池で赤・青・緑の光を透過する素子を作り、農作物に必要な光は透過させ、それ以外は発電に利用する「ソーラーマッチング」技術を開発している。

「ソーラーマッチング」とは、農作物栽培に必要な光である青色域と赤色域の光を透過し、農作物栽培にあまり寄与しない緑色域の光で発電可能なシースルー有機薄膜太陽電池を開発することで農作物栽培と太陽光発電の両立を勘案したものである（図 5-11 参照）⁷²。太陽電池で赤・青・緑の光を分けるモジュールを作り、農作物に必要な光は透過させ、それ以外は発電に利用する技術を開発しており、発電効率は 4%程度と一見すると低い値のように見受けられるが、実際には上記で述べた「営農型太陽光発電」において、環境省や農水省が掲げている導入ポテンシャル（0.040kW/m²）に匹敵する発電量を得るところまで来ている。

有機薄膜太陽電池は、10 年前の発電効率は日本企業で 10%程度であったが、その後、日本企業が消滅し、2023 年には外国研究機関で 20%に手が届くところにきている。有機薄膜太陽電池は、概ね 1 年で発電効率が 1%程度改善している状況であり、2025 年にはペロブスカイトの発電効率に追いつく可能性がある。しかし、「ソーラーマッチング」においては、有機薄膜太陽電池に、赤と青の光を農業用に透過させて、紫外線・赤外線で発電することを求めていることから、

⁷¹ 渡邊康之、“農業と太陽光発電を両立！発電するビニールハウスの開発”、我孫子サイエンスカフェ、2019 年 11 月 10 日、(<http://abikoscience.web.fc2.com/52nd/52TaiyoukouHatuden.pdf>)

⁷² 渡邊康之、“有機薄膜太陽電池を遮光フィルムとして用いた営農型太陽光発電～OPV で発電しながら美味しい野菜や果物を作ろう！～”、日本太陽光発電学会、2023 年 10 月 2 日。

ペロブスカイトと競合を考えているわけではない。

本研究は、「agrivoltaic projects」（営農型プロジェクト）の研究であるが、IEA としても、産業育成の観点から「ソーラーマッチング」技術を注視していく必要があると考えられる。

【半透明有機薄膜太陽電池（ST-OPV）】
透過する光をコントロール可能な太陽電池

透過型パネル 従来のソーラーシェアリングのように、パネルによりできる日陰で栽培面積が減るおそれありません（下写真）

波長チューニング ○光合成に大きく寄与する赤色・青色の光を透過→植物栽培に利用
○光合成にあまり寄与しない緑色の光を吸収→発電に利用

発電と植物栽培を両立する「ソーラーマッチング」



図 5-11 ソーラーマッチングの狙いとメリット

（出典：渡邊康之、“有機薄膜太陽電池を遮光フィルムとして用いた営農型太陽光発電～OPVで発電しながら美味しい野菜や果物を作ろう！～”、日本太陽光発電学会、2023年10月2日）

(3) BIPV の事業展開に関する課題

渡邊教授は、かつて PV ガラスも研究の対象にされていたことから、太陽光発電技術の農業への展開の BIPV の事業展開の課題に関して、以下のコメントを頂いた。

- ・ 太陽光発電設備は農地法の制約もあり現実的ではなかったが、農水省が営農型太陽光発電に向けた農地転用の許可を出し、現在は農地での太陽光発電技術が脚光を浴びるようになった。
- ・ PV ガラスの場合、窓の外側に関する規制として建築基準法があり、窓の内側に関する規制として防火・消防に関連する規制がある。BIPV を事業展開するには、種々の規制の問題を整理しながら、省庁の壁を取り払って政策を作っていく必要がある。

5.3.4. 大学における PV ガラスの研究開発に関する考察

以下、大学へのヒアリング結果を踏まえて、実用化を目指す研究開発フェーズでの大学研究者の役割、現在のペロブスカイト太陽電池の開発状況、並びに、ペロブスカイト太陽電池の原理的な側面及び新規太陽光発電素子の探索について考察する。

(1) 実用化を目指す研究開発フェーズでの大学研究者の役割

ペロブスカイト分野に限らないが、我が国の国プロでは、実用化段階であるにもかかわらず、当該分野の大学の研究者が研究グループを取り仕切っていることが多くみられる。結果として大学研究者の興味がいつまでも優先され、研究成果の高度化に励むことになる。本来ならば、実用化段階の中心的プレーヤーであるべき企業の研究者の関与が薄くなってしまっている。企業が研究開発に励んでいた 80 年代まででは見られなかった現象である。バブル崩壊以降、企業では新規研究開発分野への研究費を削減することが一般化し、企業部門の研究成果が著しく減少している。

大学の有力な研究者から見ると、新規分野に関する企業研究者の知的蓄積は低く、とても彼らに実用化段階を任せる気にはなれないという感想が返ってくる。しかし、例えばシリコン太陽光発電の経緯を見ると、コストの面で中国企業に太刀打ちできない状況になってからも、多くの研究開発が続けられたが、シリコンをベースとする建物一体型の BIPV に関しては、施工ガイドラインの策定に取り組み始めたのは 2020 年度からであり、現在、第 3 代目の施工ガイドライン（2023 年度版）が公表されたに過ぎない。ペロブスカイト型に関しては、まだ施工ガイドラインを策定する段階には至っていない。

(2) 現在のペロブスカイト太陽電池の開発状況

ペロブスカイト太陽光発電システムは、エネルギー効率としては発見以来 10 年で、シリコンを凌駕するモジュールが登場するに至り、本来、実用化を目指した本格的な取り組みを開始すべき段階にあると言える。幸い、シリコン系での事業化に取り組んだ蓄積がある⁷³。望むらくは、両デバイスの特徴を使い分けながら、基礎研究段階で先行しているペロブスカイト系の我が国の利点を活かし、実用化に取り組む業界団体を構成すべきである。

その際重要なことは、技術開発にこだわるのではなく、ニーズ型で新たな用途開発に取り組み、住宅やビルだけではなく、防音壁や移動体等にも興味を広げる柔軟なコミュニティとすべきである。この方式として、欧米では一般化しているプラットフォーム型での闊達な場が必要である⁷⁴。

⁷³ 「太陽光発電研究組合 (PVTECH)」(<https://www.pytec.or.jp/deliverables/view/85>)。幸い、「太陽エネルギーデザイン研究会 (SDC)」は両タイプを使い分けしている (<https://www.solar-design.jp/>)。

⁷⁴ 平澤冷、「ITS 関連政策の国際比較：政策分析の視点から」、研究・技術計画学会（現在：研究・イノベーション学会）年次学術大会公演要旨集 シンポジウム、15：p170-178、2000 年。

(3) ペロブスカイト太陽電池の原理的な側面及び新規太陽光発電素子の探索

大学の本来の役割は新たな発見に資する事であり、ペロブスカイト系の原理的な特徴、例えばシリコン系と異なり、不純物の混入に対して頑健であったり、集電膜によっては光応答によって急速に劣化する現象があったりするが、その原因も突き止められてきている⁷⁵。しかし、ペロブスカイト系以外にも新たな可能性を探る方向性も捨てるべきではない。

⁷⁵ 日本化学会編、ペロブスカイト太陽電池の学理と技術、化学同人、ページ 20、図 1 (2024)。
G. Giorgi, J. Fujisawa, H. Segawa, K. Yamashita, J. Phys. Chem. Lett, 4, 4213(2013)

6. わが国と海外関連メーカーの特許調査

特許は、当該国の先端技術が集約された公開情報である。したがって、特許を調査することにより、技術動向の方向性を把握することができる。

本章では、欧州、米国、中国、韓国等の PV ガラスや BIPV の技術開発に力を入れている国及び日本の主要企業の BIPV 関連特許について調査・分析を行った結果について述べる。

6.1 特許調査の目的

特許は、企業が新規製品開発の段階で技術開発を効率的に進めるために重要な役割を果たす。特許調査においては、該当新規開発製品の新規性調査や特定の特許が無効であることを証明する無効化調査、さらに競合他社に対する競合分析が重要であるが、これらに並んで重要な役割を果たすのが、特定の技術分野の最新の動向や未来のトレンドを把握する技術動向分析である。

本業務では、BIPV の最新の動向や未来のトレンドを把握することを目的として、欧州、米国、中国、韓国を中心とした主要企業と国内の主要企業の BIPV 関連特許を調査・分析した。

6.2 特許情報の調査方法

(1) 利用した特許データベース

本調査では、(European Patent Office: EPO) データベースである Espacenet⁷⁶ (エスパスネット) を利用して特許検索を実施した。Espacenet は、EPO 及び欧州特許条約加盟国の特許庁が提供する特許及び特許出願検索のための無料のオンライン・サービスである。

日本や米国は、欧州特許条約加盟国ではないが、日本の特許庁 (Japan Patent Office: JPO) や米国特許商標庁 (United States Patent and Trademark Office: USPTO) などは Espacenet に情報を提供している。すなわち、Espacenet は欧州各国の特許庁、EPO、JPO、USPTO、世界知的所有権機関 (World Intellectual Property Organization: WIPO) の特許情報のフルテキストを収録するとともに、基本的な検索機能と分析機能を備えたデータベースである。

Espacenet を調査することにより、世界の特許情報を調査することができるが、Espacenet に掲載されている情報は、各国の特許庁が提供したものであるため、その内容や更新頻度は各国の特許庁に依存していることに注意する必要がある。

なお、EPO が公告した特許は、特許番号の先頭に「EP」が付される。これにより、1 つの欧州出願 (EP 出願) をすることで複数の国で効力をもつ欧州特許を取得することができるようになった。同様に WIPO が、公告した特許は特許番号の先頭に「WO」が付される。

⁷⁶ <https://worldwide.espacenet.com/>

(2) 検索条件

国際特許分類 (International Patent Classification: IPC) ⁷⁷を用いて、以下の検索条件で検索を実施した。

- ・ 表 6-1 に示した IPC 分類をベースとして、BIPV 関連特許を網羅すると考えられる検索条件式 (表 6-1 参照) を設定し、BIPV 関連特許をピックアップした。
- ・ 検索期間は、2014 年から 2023 年の 10 年間をとり、特許出願数が多い国を抽出した。

表 6-1 特許検索条件でベースとした BIPV に関連する IPC 分類の標記の説明と検索条件式

選定した IPC 分類の標記 ⁷⁸	H01L31/00	赤外線、可視光、短波長の電磁波、または粒子線放射に感応する半導体装置で、これらの放射線エネルギーを電気的エネルギーに変換するか、これらの放射線によって電気的エネルギーを制御かのどちらかに特に適用されるもの。;それらの装置またはその部品の製造または処理に特に適用される方法または装置。;それらの細部。
	H02S20/21	道路に特に適合したもの (例: 防音壁と一体化したもの)。
	H02S20/22	建物に特に適合したもの。
	H02S20/23	屋根構造に特に適合したもの。
	H02S20/24	平らな屋根に特に適合したもの。
	H02S20/25	屋根用タイル要素 (例: 瓦)。
	H02S20/26	PV モジュールと一体化した建材 (例: ファサード要素)。
検索条件	H01L31/00 and (H02S20/21 or H02S20/22 or H02S20/23 or H02S20/24 or H02S20/25 or H02S20/26)	

6.3 BIPV 関連特許調査の結果

(1) 10 年間の BIPV 関連特許の推移

図 6.1 は、累積値による主要国の 10 年間の BIPV 関連特許件数が多い国の推移を示したものである。

図 6.1 より、特に、米国 (US) 及び韓国 (KR) が積極的に BIPV 関連特許を出願していることがわかる。欧州全体の BIPV 関連特許出願件数も、米国、韓国に次いで多い。一方、日本 (JP) と中国 (CN) は、米国、韓国と比較すると、BIPV 関連特許件数は、1/4~1/5 程度である。

⁷⁷ 特許出願された発明を分類するために国際的に統一された分類。

⁷⁸ IPC 分類表及び更新情報 (日本語版) (<https://www.jpo.go.jp/system/patent/gaiyo/bunrui/ipc/ipc8wk.html>)

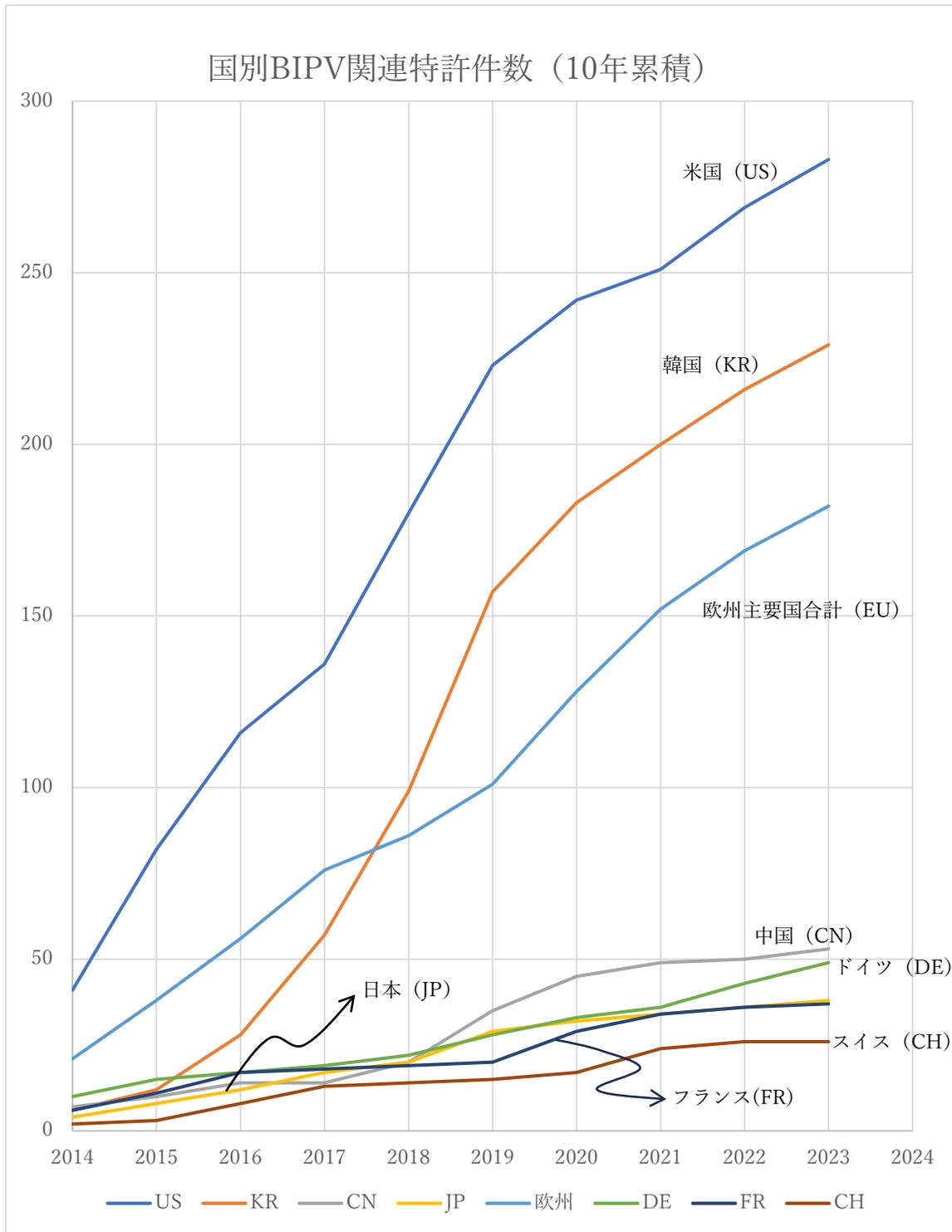


図 6-1 主要国の BIPV 関連特許件数の推移（累積）

次に、図 6-2 に、欧州主要国における BIPV 関連特許件数の内訳を示す。

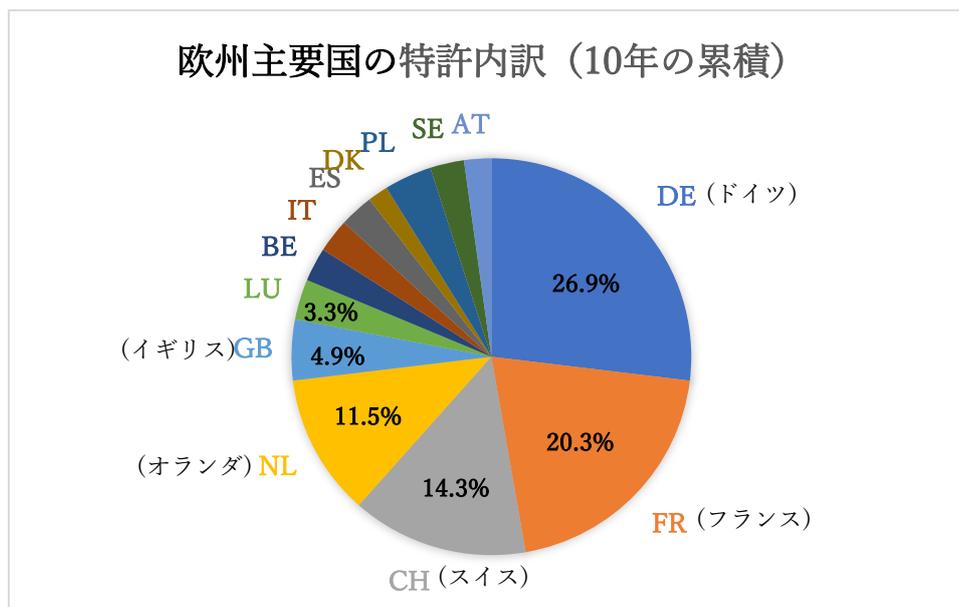


図 6-2 欧州主要国の BIPV 関連特許の国別内訳

(注) LU：ルクセンブルク、BE：ベルギー、IT：イタリア、ES：スペイン、DK：デンマーク、PL：ポーランド、SE：スウェーデン、AT：オーストリア

ドイツ、フランス、スイス、オランダ及びイギリスの五カ国で、欧州主要国全体の BIPV 関連特許の約 80%を占めている。各国の特許内容については後述する。

(2) 米国、韓国、欧州、日本及び中国の特許に表れている特徴

図 6-1 に示した米国、韓国、欧州主要国（ドイツ、フランス、スイス）、日本、中国の BIPV 関連特許に表れている特徴を明らかにするため、直近3年間（日本については10年間）について、特許内容を、「PV モジュール（単体）の技術的革新を主体とするもの（A 分類）」と、「PV モジュール（システム）の実装を促進することを主体とするもの（B 分類）」の2つに焦点を置いて分析した。

表 6-2 に、A 分類と B の分類の代表的な事例を示す。また、図 6-3 に、米国、韓国、ドイツ、フランス、スイス、日本及び中国の BIPV 関連特許における、A 分類と B 分類との比率を示す。

表 6-2 BIPV 関連特許において、「PV モジュール（単体）の技術的革新を主体とするもの」と「PV モジュール（システム）の実装を促進することを主体とするもの」に関する代表的な事例

BIPV 関連特許において着目した特徴	代表的な事例
PV モジュール（単体）の技術的革新を主体とするもの（A 分類）	<ul style="list-style-type: none"> • PV モジュールの発電効率や耐久性の向上 • PV モジュールの新しい素材や処方の開発 • PV モジュールの新しい製造方法
PV モジュール（システム）の実装を促進することを主体とするもの（B 分類）	<ul style="list-style-type: none"> • PV モジュールを設置する工夫 • PV モジュールの意匠性の向上

BIPV 関連特許において着目した特徴	代表的な事例
	・ PV モジュール配線の工夫

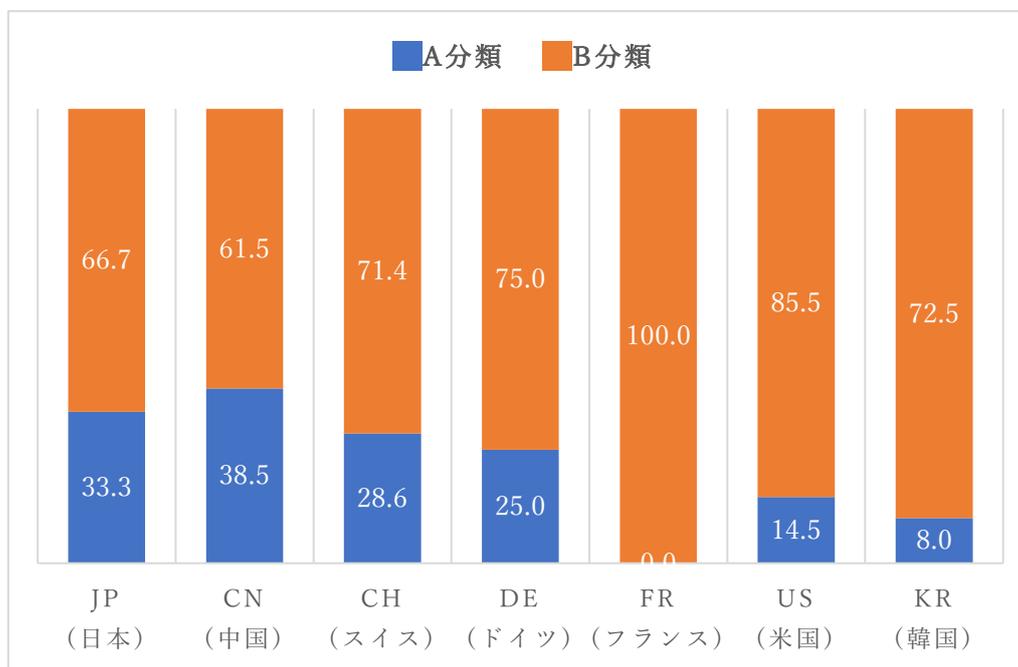


図 6-3 米国、韓国、ドイツ、フランス、スイス、日本及び中国の BIPV 関連特許における、「PV モジュール (単体) の技術的革新を主体とするもの (A 分類)」と「PV モジュール (システム) の実装を促進することを主体とするもの (B 分類)」の比率

以下、図 6-3 を踏まえて、各国の BIPV 関連特許の特徴について述べる。

米国、韓国及びフランスは、A 分類よりも、B 分類に関連する BIPV 関連特許の割合が圧倒的に多く、次に、スイスとドイツが、B 分類に関連する BIPV 関連特許の割合が多い。一方、中国及び日本は、米国、韓国及び欧州主要国と比較すると、B 分類に関連する BIPV 関連特許の割合が少ない。

事実、欧州主要国 (ドイツ、フランス、スイス)、米国、韓国、中国及び日本における、BIPV に係る特許の構成の特徴を整理すると、表 6-3 のようになる。

表 6-3 欧州主要国 (ドイツ、フランス、スイス)、米国、韓国、中国及び日本の BIPV に係る特許の構成の特徴

国名	BIPV 関連の特許の特徴
欧州主要国 (ドイツ、フランス、スイス)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存の街並みの外観に合うような装飾積層を PV モジュールに組込む。 ・ 着色した PV モジュールによって、美観を向上させる。 ・ PV モジュール設置方法を工夫する。
米国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 意匠性・美観を向上する。 ・ 電氣的な施工を容易にさせる。

国名	BIPV 関連の特許の特徴
韓国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 火災予防機能や安全装置機能を付加する。 ・ 屋上設置する PV モジュールに広告用ディスプレイ機能を持たせる。
中国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発電効率を向上させる。 ・ 高い適用性や信頼性および長い耐久性を向上させる。
日本	<ul style="list-style-type: none"> ・ 長期耐久性や発電効率を向上させる。 ・ 出力を安定させる。

表 6-3 に示すように、欧州主要国（ドイツ、フランス、スイス）、米国及び韓国では、BIPV 関連特許から、BIPV の社会実装の面に重きが置かれ、BIPV を社会に広く普及させようという段階にあると考えられる。

一方、中国や日本は、BIPV の発電効率の向上や耐久性・信頼性の向上など、PV モジュールの技術革新に重点を置いており、BIPV を社会に広く普及させるという段階には至っていないことが伺える。

今後日本が、BIPV を広く社会に浸透させるには、企業においては製品開発によって品質を向上させることも必要ではあるが、施工実装技術にも資金を投入して、この方面の技術力を充実させることも必要であると考えられる。

(3) BIPV 垂直外皮一体型（非傾斜）に関連する特許の具体的なタイトル

最近、BIPV 技術の中でも、国際的にも、大規模ビルをターゲットとした垂直外皮一体型（非傾斜）が注目されている。

表 6-4 に、直近 3 年間（日本については 10 年間）の BIPV 関連特許（2024 年 3 月時点で、200 件以上存在する）のうち、垂直外皮一体型（非傾斜）に関連する特許の例のタイトルを示す。

**表 6-4 直近 3 年間における BIPV 垂直外皮一体型（非傾斜）に関連する特許タイトルの例
（（*）は PSC（ペロブスカイト）関連）**

申請国	特許タイトル	申請者	特許番号
米国	WINDOW-INTEGRATED TRANSPARENT PHOTOVOLTAIC MODULE (窓一体型透明太陽光発電モジュール)	UBIQUITOUS ENERGY INC	KR20230020578A
米国	* COLOR NEUTRAL SOLAR PHOTOVOLTAIC WINDOW (カラーニュートラルな太陽光発電窓)	OMEGA OPTICAL LLC	US11469706B2
韓国	Building integrated Photovoltaic system with two-Sided power generation technology (両面発電技術による建物一体型太陽光発電システム)	ABM CO LTD	KR20230140261A
韓国	Photovoltaic module that can be applied to buildings and has improved esthetics and	SK SOLAR ENERGY CO LTD	KR20230081748A

申請国	特許タイトル	申請者	特許番号
	efficiency through the implementation of glass surface patterns (建築物に適用可能な太陽光発電モジュール)		
韓国	Color Photovoltaic Module for Building (建築用カラー太陽電池モジュール)	SK SOLAR ENERGY CO LTD	KR102253483B1
韓国	Colored transparent solar cell (カラー透明太陽電池)	ELECTRONICS & TELECOMMUNICATIONS RES INST	KR20210001841A
韓国	DC Building-integrated solar power generation system and building-attached solar power generation system with intelligent DC ground fault blocking function (直流インテリジェント地絡遮断機能付きビル一体型太陽光発電システム)	HD SOLARTEC	KR20230166208A
韓国	BIPV Building-integrated high-insulation multi-storey color BIPV manufacturing method with output reduction prevention function (BIPV 建物一体型高断熱多層カラーBIPV 出力低下防止機能付き製造方法)	RIGMAH GLASS CO LTD	KR20230070119A
韓国	Building integrated solar panel applying various pattern glass surface technology (様々なパターンのガラス表面技術を応用した建物一体型ソーラーパネル)	SEJONG INT CO LTD	KR102515867B1
韓国	BIPV Metal-Integrated BIPV Module including Honeycomb Structure and Method (ハニカム構造を含む BIPV メタルインテグレートッド BIPV モジュールとその製造方法)	KALSUN CO LTD	KR102585948B1
韓国	BIPV Building-integrated color junction BIPV manufacturing method with power Drop prevention function (BIPV 電力低下防止機能付きビル一体型カラー接合 BIPV 製造方法)	RIGMAH GLASS CO LTD	KR20230070120A
韓国	Building-Integrated Photovoltaic Module with Improved Power Generation Efficiency Constructability Fire Resistance and Durability Using Honeycomb (ハニカムを用いて発電効率を向上させた建築物一体型太陽電池モジュール)	KALSUN CO LTD	KR102545458B1
韓国	Color Photovoltaic Module for Building (建築用カラー太陽電池モジュール)	SK SOLAR ENERGY	KR102265267B1
日本	SOLAR CELL MODULE, PRODUCTION METHOD FOR SAME, AND BUILDING	AGC INC, AGC GLASS EUROPE(BE)	EP4068394A1

申請国	特許タイトル	申請者	特許番号
	EXTERNAL WALL MATERIAL USING SAME (太陽電池モジュール及びその製造方法並びにそれを用いた建築外壁材)		
日本	SOLAR BATTERY MODULE, METHOD FOR MANUFACTURING SAME, AND CONSTRUCTION-USE EXTERIOR WALL MATERIAL USING SAME (太陽電池モジュール及びその製造方法並びにそれを用いた建築用外壁材)	AGC INC, AGC GLASS EUROPE(BE)	EP4071832A1
日本	* INSTALLATION STRUCTURE FOR PHOTOVOLTAIC SHEET (太陽光発電シートの設置構造)	SEKISUI CHEMICAL	WO2023182405A1
日本	* INSTALLATION STRUCTURE FOR PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION SHEET (太陽光発電シート設置構造)	SEKISUI CHEMICAL	WO2023182429A1
日本	GLASS BUILDING MATERIAL (ガラス建材)	KANEKA	EP3518295A1
日本	GLASS BUILDING MATERIAL (ガラス建材)	KANEKA	EP3771091A1
日本	COATING MATERIAL, COVER GLASS, SOLAR CELL MODULE AND OUTER WALL MATERIAL FOR BUILDING (コーティング材、カバーガラス、太陽電池モジュール、建築用外壁材)	AGC INC, AGC GLASS EUROPE(BE)	US11563403B2
日本	SOLAR CELL APPARATUS AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME (太陽電池装置およびその製造方法)	PANASONIC IP MAN	US10050163B2
中国	CRYSTALLINE SILICON BIPV BUILDING COMPONENT AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR (結晶シリコン BIPV およびその製造方法)	YONZ TECH CHANGZHOU YONZ I BUILDING SYSTEM TECH	WO2023050772A1
中国	CRYSTALLINE SILICON BIPV BUILDING COMPONENT (結晶シリコン BIPV コンポーネント)	YONZ TECH CHANGZHOU YONZ I BUILDING SYSTEM TECH	WO2023197759A1

なお、直近 3 年間（日本については 10 年間）の BIPV 関連特許のうち、PSC（ペロブスカイト）を使用した BIPV（垂直外皮一体型（非傾斜）、カーテンウォール）に関連する特許は 3 件⁷⁹

⁷⁹ タイトルやアブストラクトにペロブスカイトと記載されていることや、記載内容から PSC と判断できる特許に限定して抽出した。

あったが、米国と日本以外からの特許は、認められなかった。PSCを使用した先進的な垂直外皮一体型（非傾斜）のBIPVはまだ特許出願は少なく、これからの技術と考えられる。

表 6-5 は、BIPV 関連特許以外で、特に注目される特許である。量子ドット太陽電池は、基礎研究の段階である。また太陽光発電スマート・ウィンドウは、太陽光発電窓での制御データの受信や、窓センサーによってキャプチャされたセンサーデータの送信を行うものであり、将来のひとつの方向を示す技術と考えられる。

表 6-5 BIPV 以外の注目特許

申請国	特許タイトル	申請者	特許番号
韓国	Fitting and Fitting system having the same (量子ドット太陽電池)	KOREA ELECTRONICS TECHNOLOGY	KR102622645B1
米国	PHOTOVOLTAIC SMART WINDOW (太陽光発電スマート・ウィンドウ)	UBIQUITOUS ENERGY INC	WO2022093985A1

6.4 総括

日本は、欧米と比べると、「PV モジュール（単体）の技術的革新を主体とするもの」、すなわち、発電効率・耐久性の向上や新しい素材・製造方法に関する出願の比率が高く、技術革新の特性を極めることにより、完成度の高い製品を開発することに重点が置かれていると考えられる。

BIPV の普及で先行する欧米と競争していくには、技術革新の特性を極める努力ばかりではなく、BIPV 施工実装技術にも注視した技術開発を実施して使いこなすことを促進する必要があると考えられる。

また、PSC を使用した先進的な垂直外皮一体型（非傾斜）の BIPV は、世界的に見てもまだ特許出願は少なく、今後、日本として力を入れていくべき先端の BIPV 技術であると考えられる。

7. 欧州と中国における BIPV 政策、プロジェクト、公的支援等の状況

EU においては、2030 年気候目標を達成するためには、建築物のエネルギー効率を高め、再生可能エネルギーを利用する必要があるとしている。EU は、その一環として、建築環境において太陽光発電することにより、建物を分散型エネルギー生産施設に変えることで、EU の目標達成を支援し、同時に土地や景観を保護することができるとして、BIPV が技術的、エネルギー的、そして美観的な要件も満たすことで、目標達成の成功要因になり得るとしている。

一方、中国においては、「3060 目標」を達成する一環として、再生可能エネルギー開発について省庁横断的な総合的推進体制を整備し、省・自治体レベルで、BIPV による給電を含めた建築物のエネルギー使用構造の最適化、都市の新しい土木建築物を対象とした、BIPV を含む施工方式でのグリーン化（100%）等の基本政策を発表し、建材タイプの太陽光発電部品の使用を奨励する計画を推進している。

以下、上記を踏まえて、EU に関しては、EU の 2030 年気候目標と建築部門における再生可能エネルギー利用・建物改築促進策、EU の BIPV プロジェクトの特徴及び欧州における BIPV のインセンティブ付与の考え方の例を示す。また、中国に関しては、中国の国家戦略における太陽光発電及び BIPV の位置づけ、BIPV に関する基本政策、BIPV 補助金政策、BIPV 開発プロジェクト、社会実装等の状況について示す。

7.1 欧州

7.1.1. EU の 2030 年気候目標と建築部門における再生可能エネルギー利用・建物改築促進策

2019 年 12 月、欧州委員会（EC）は、EU の新たな成長戦略、すなわち、EU を近代的で資源効率に優れ、競争力のある経済へと変革することを目的とした、「欧州グリーン・ディール（European Green Deal）」を公表した。EC は、この中で、2050 年までに EU の温室効果ガス排出量を実質ゼロにする気候中立（climate-neutral）目標を達成するため、これを法定化する「気候法（European Climate Law）」を提案した。

2021 年 7 月、EU において、2050 年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロとする気候中立の目標、並びに、2030 年までに同排出量を 1990 年比で 55%以上削減する目標を法定化する「欧州気候法（European Climate Law）」が公布された。EU は現在、経済のすべての主要部門を対象とする法的拘束力のある気候目標を定めている。これには、以下が含まれる⁸⁰。

- ・ 幅広い部門における排出量削減目標
- ・ 天然の炭素吸収源を増やすための目標

⁸⁰ EC 「Delivering the European Green Deal」

（https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en）

- ・ 排出量に上限を設け、汚染に価格を付け、グリーン・ディールへの移行への投資を生み出すための最新の排出量取引制度
- ・ 市民や中小企業への社会的支援

2019年12月の欧州グリーン・ディールで提示された、より高い温室効果ガス排出量の削減目標を満たすためには、「再生可能エネルギー指令 (Renewable Energy Directive)」の改定が必要であった。ECは、2021年7月14日、「再生可能エネルギー指令」の改正案を含む、欧州の新たな2030年気候目標を発表した。同指令は、2030年までにEU全体のエネルギーミックスに占める再生可能エネルギー源の割合を32%から少なくとも40%に引き上げるというものであった⁸¹。

2022年5月18日、ECはREPowerEU計画を発表した。この計画は、省エネ、再生化可能エネルギーの更なる展開及びエネルギー供給の多様化を支援するもので、ECは、発電、産業、建物、輸送における再生可能エネルギーの規模拡大の一環として、「再生可能エネルギー指令」の目標を2030年までに42.5%に引き上げることが提案した。これは、EUにおける再生可能エネルギーの割合をほぼ倍増させることを意味する。2023年11月20日、改訂された再生可能エネルギー指令⁸²はすべてのEU諸国で発効した⁸³。

「欧州グリーン・ディール」への移行を推進するうえで、エネルギー製品への税制について適切なインセンティブを与えることが検討されている。まだ交渉中であるが、ECは、社会的影響を緩和し、社会的弱者を支援する一方で、暖房および輸送の最低税率を気候変動目標に合わせることを提案した⁸⁴。

EUでは、現在、建築部門から排出される温室効果ガス排出量は、全部門から排出される温室効果ガス排出量の36%に達し、また、建築部門で消費されているエネルギーは、全部門で消費されているエネルギーの40%に達しており、建築部門における温室効果ガス排出量の削減と再生可能なエネルギーの利用の増強が求められている⁸⁵。ECは、この目標の一環として、「環境に優しいライフスタイルのための建物の改築」を掲げ、今後10年間で建物の改築率を少なくとも2倍にし、改築がより高いエネルギー効率と資源利用の効率化につながるようにすることを目指している。

⁸¹ EC 「Renewable energy targets」 (https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en)

⁸² EC 「Renewable Energy Directive」 (https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)

⁸³ EC 「Renewable energy targets」 (https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en)

⁸⁴ EC 「Delivering the European Green Deal」
(https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en)

⁸⁵ EC 「BIPV: AN ESSENTIAL ROLE TOWARDS ENERGY TRANSITION」 March 2022.
(<https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/content/infographics-1-draft4.pdf>)

EC は、必要な建物の改築に拍車をかけるため、2021 年に、各国の事情を慎重に考慮しながら、欧州全域の建物のエネルギー性能を段階的に向上させる「建物エネルギー性能指令 (Energy Performance of Buildings Directive)」の改正を提案した。建物の改築は、断熱材の設置、古くなった窓やドアの交換、暖房システムの向上、太陽電池パネルの設置など、多くの個別対策によって達成することができるとされる⁸⁶。EC は、建築物に関する EU の新規則を補完し、加盟国の努力を導くために、2030 年に、建築部門における再生可能エネルギーの利用を 49%にするという目標が示された⁸⁷。

なお、エネルギーや移動の貧困の影響を最も受けている、あるいはその恐れがある EU 市民を支援することを目的として、「社会的気候基金 (Social Climate Fund)」が新たに創設された。同基金は、最も脆弱な市民や中小企業のグリーン移行を支援するために、総額 860 億ユーロ以上を提供する。同基金は、エネルギー効率、建物の改修 (断熱材など)、クリーンな冷暖房 (ヒートポンプなど)、再生可能エネルギーの統合 (ソーラーパネルなど)、ゼロエミッションや低排出モビリティ、公共交通機関を含む交通機関への構造的対策や投資を通じて、こうした弱者を支援するとされる⁸⁸。

7.1.2. EU の BIPV プロジェクトの特徴

(1) EU における BIPV の位置づけ

前述したように、建物環境での太陽光発電は、土地や景観を保護しつつ、建物を分散型の再生可能エネルギー生産施設に変えることによって、EU の 2030 年気候目標の達成の一環として建築部門に求められている、再生可能エネルギーの利用を 49%にするという目標に大きく貢献することができるとされている。

これに関して最も重要な役割を果たすのが BIPV である。EU においては、BIPV は以下のような特徴を持つものと定義されている⁸⁹。

- ・ BIPV は、建築構造の一部であり、多機能に使用される。
- ・ 建物全体に関わる。
- ・ 形状、色及び寸法を自由にカスタマイズすることができる。

⁸⁶ EC 「Delivering the European Green Deal」

(https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en)

⁸⁷ Council of the EU 「Renewable energy: Council adopts new rules」 October 9, 2023.

(<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/10/09/renewable-energy-council-adopts-new-rules>)

⁸⁸ EC 「Delivering the European Green Deal」

(https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en)

⁸⁹ EC 「BIPV: AN ESSENTIAL ROLE TOWARDS ENERGY TRANSITION」 March 2022.

(<https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/content/infographics-1-draft4.pdf>)

EUでは、BIPVは、表7-2に示すように、屋根、外壁、窓、バルコニー等、建物全体に適用する技術としていることから、改築がより高いエネルギー効率と資源利用の効率化につながるようにすることを目的として、建物の改築を促している（今後10年間で建物の改築率を少なくとも2倍にする）。



図 7-1 BIPV の各種形態のイメージ
(出典：EC, 「BIPV: AN ESSENTIAL ROLE TOWARDS ENERGY TRANSITION」
March 2022.)⁹⁰

EUでは、BIPV技術は、「太陽光発電の出力を増加させ、屋根タイル、ファサードの被覆材、窓といった新しい利用可能な表面を解放することで、建物の外壁全体に太陽光発電を拡大するもの」とされている。また、EUでは、「BIPVは、非常に革新的で、地域に根ざしたもので、市場の見通しが明るく、EUの産業のフラッグシップとなりうる」とされており、「BIPVは、特に産業への展開と革新的な製造プロセスにおいて、間もなく欧州の主流建材となる可能性がある」とされている。BIPVは、よりクリーンで、よりスマートで、より効率的な建物を支援することができるため、「欧州グリーン・ディール」の目標に沿って、2050年までに気候中立の達成に貢献することができる」とされている⁹¹。

EC（欧州委員会）によると、BIPV技術は最近、目覚ましいコスト競争力を獲得しており、太陽電池タイルやPVウインドウのような最も有望な市場分野に政治的及び産業的に焦点を置くことで、こうした市場の最初のセグメントへの初期の市場参入を成功させ、その後、第2段階として、製品の多様化と応用の拡大を図ることができるとしている。BIPV技術は、また、EUの建物改築戦略、特に既存建物における再生可能エネルギー利用の最大化において、重要な役割を果たすことができるとしている⁹²。

更にECは、BIPV製品を市場要件に適合させるうえで、カスタム化、標準化及びエネルギー性能の間で適切なバランスをとることが重要であるとしている。安全性を担保するための統合的

⁹⁰ Ibid.

⁹¹ JRC, “How Photovoltaics can ride the EU Building Renovation Wave,” Science for Policy Briefs, 2020.
(https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc120970_bipv_policy_brief.pdf)

⁹² Ibid.

なアプローチと調和した認証手続きを確立することで、市場の信頼を高め、建築家、建築技術者、請負業者、消費者といったさまざまな需要層への普及を促進することができるとしている。

その一方で、ECは、BIPV製品の循環性を担保するための産業戦略（特にBIPV製品のライフサイクルとライフサイクル・アセスメント）が必要であり、それが、BIPV製品の市場への引き込みを補完する必要性を述べている。また、ECは、BIPV製品の寿命と耐久性を実証し、これらが修理可能性、検査可能性及び運用性とメンテナンスの簡便性に関する要件を満たしていることを確認するためには、さらなる努力が必要であることを述べている⁹³。

(2) EUのHorizon 2020とBIPV/PVガラス開発プロジェクト

EUのBIPV関連のプロジェクトは、2016年から、EUの研究・イノベーション枠組み計画である「Horizon 2020」を構成するプロジェクトの一環として実施された。

EUのBIPV関連のプロジェクトは、「Horizon 2020」の中で、「安全でクリーンかつ効率的なエネルギー」の開発と社会的実装という形で、明確に位置づけられている。

「Horizon 2020」は、EUにおける史上最大規模の研究・イノベーション資金助成計画（予算額が800億ユーロ）であり、2020年に終了した⁹⁴。「Horizon 2020」は、大学・研究機関で生まれた優れたアイデアを市場へ展開することにより、より多くの画期的な発見や世界初の技術創出に繋げることを狙いとした計画であり、以下の3つの柱を中心に構成された⁹⁵。

① 卓越した科学

研究人材の育成、誘致、確保、最良の研究インフラの開発を支援することにより、欧州の世界レベルの科学を支援する。

② 産業リーダーシップ

マイクロエレクトロニクス、先端製造業など、既存および新興の部門における主要技術を支援する。また、研究開発への民間投資を誘致し、欧州における革新的な中小企業の増加を支援する。

③ 社会的課題

社会と市民を対象とした研究開発（気候、環境、エネルギー、交通等）を支援する。社会科学や人文科学を含む学際的なコラボレーションから生まれる画期的なソリューションの開発を支援する。

⁹³ Ibid.

⁹⁴ 「Horizon 2020」は、2021年から「Horizon Europe」へ展開されている。

⁹⁵ EC 「Horizon 2020 structure and budget」

(https://ec.europa.eu/research/participants/docs/h2020-funding-guide/grants/applying-for-funding/find-a-call/h2020-structure-and-budget_en.htm#IndLs)

表 7-1 に、「Horizon 2020」の予算規模を示す。

表 7-1 「Horizon 2020」の予算規模⁹⁶

「Horizon 2020」の3つの柱	予算額 (2014~2020年)
卓越した科学	244 億ユーロ
産業リーダーシップ	170 億ユーロ
社会的課題	297 億ユーロ

表 7-1 より、これら3つの柱のうち、「社会的課題」に最も多くの予算が割り当てられている。「Horizon 2020」における「社会的課題」のサブカテゴリーには、「安全でクリーンかつ効率的なエネルギー」、「スマート、グリーンかつ統合的な輸送」といった環境問題を中心としたサブ課題が含まれている。

表 7-2 は、「Horizon 2020」における主な BIPV プロジェクトの構成と概要である。

「Horizon 2020」で実施された BIPV プロジェクトには、「PVSITES」、「BIPVBOOST」、「IMPRESSIVE」等があるが、実際、これらのプロジェクトは、すべて、「社会的課題」のサブ課題「安全でクリーンかつ効率的なエネルギー」の枠組みで予算化されている。

EU においては、BIPV 市場は、主に建築物のエネルギー性能に関する法規制がますます厳しくなっているゆえに成長しているとされているが、意思決定者やエンドユーザーからの主要な要求に適合する総合的なソリューションがないため、市場導入が妨げられていた。BIPV 市場展開の障害となっているのは、コスト削減、設計の柔軟性、高性能、長期信頼性、美観及び法的規制の標準化と遵守であるとしている⁹⁷。

このようなことから、「Horizon 2020」の BIPV プロジェクトは、「BIPV 市場の新しいセグメントへの初期の市場参入を成功させ、その後、第2段階として、製品の多様化と応用の拡大を図る」という EU の BIPV 産業化政策を強力に推進することを狙いとするものであったとすることができる。

実際、「Horizon 2020」の BIPV プロジェクトのコーディネータは、「欧州の太陽光発電と建設産業のバリューチェーンに対して世界的な市場を創出するには、高効率で多機能なエネルギー生産建材を開発することを目的として、欧州産業界の総力を結集する必要がある」と表明している⁹⁸。

これら3つの BIPV プロジェクトは、上記の背景の下に、以下のような位置づけで実施されてきたと言える。

⁹⁶ Ibid.

⁹⁷ EC 「Solar technology brings Europe closer to nearly-zero energy building」

(<https://cordis.europa.eu/article/id/396761-solar-technology-brings-europe-closer-to-nearlyzero-energy-buildings>)

⁹⁸ Ibid.

(a) PVSITES (実証研究)

欧州内外に BIPV 技術の認知度を高め、BIPV 技術を適用できる建物の数やキャパシティを増加させることで、欧州の BIPV 及び建築業界を強化できることを実証し、BIPV 技術を大規模な市場展開に導く。

(b) BIPVBOOST (実装・生産技術研究)

BIPV アプリケーションを促進するための技術的ソリューションを開発し、BIPV システムの生産コストを下げ、BIPV システムの柔軟でかつ自動化された製造ラインを開発し、標準化を行うことで、迅速に BIPV の市場導入に持っていく。

(c) IMPRESSIVE (新興技術開発)

可視光域を除く紫外光と近赤外光を選択的に変換する光起電力セルを開発し、無色で完全に透明なデバイスを実現する。

表 7-2 「Horizon 2020」における BIPV プロジェクト

プロジェクト名 (プロジェクト実施期間)	プロジェクトの目的、アプローチ等	成果等
PVSITES ^{99,100} (2016年1月～2020年6月： 8億4676万ユーロ)	<ul style="list-style-type: none">・ BIPV 技術／システムに関する意欲的なポートフォリオ（BIPV 技術の認知度を欧州全土および欧州国外に高め、設置容量の大幅な増加を通じて欧州の BIPV 及び建築業界を強化する）を実証することで、BIPV 技術を大規模な市場展開に導く。・ 費用対効果の高い再生可能エネルギー発電、エネルギー需要の削減、スマートなエネルギー管理という観点から、インパクトの高い実証・普及活動を達成する。	<ul style="list-style-type: none">・ 欧州の政策や法的枠組みに完全に沿った幅広い BIPV ソリューションを実証。・ 美観に優れ、高性能でコスト効率の高いガラスベースのシリコンモジュールや、薄膜銅インジウム－ガリウム－セレン（CIGS）－オン・メタルモジュール技術を数多く開発。・ 結晶シリコンおよび CIGS BIPV モジュールのテストに成功し、PV および建設基準への適合性を実証した。・ パワーエレクトロニクス分野では、プロジェクト・パートナーが炭化ケイ素（SiC）ベースのインバータ・プロトタイプを製造し、最初のテストを完了。・ 建物のエネルギー性能と BIPV システム生産を実際の運用条件で共同シミュレーションを実施。

⁹⁹ PVsites website (<https://www.pvsites.eu/>)

¹⁰⁰ EC 「Solar technology brings Europe closer to nearly-zero energy building」
(<https://cordis.europa.eu/article/id/396761-solar-technology-brings-europe-closer-to-nearlyzero-energy-buildings>)

プロジェクト名 (プロジェクト実施期間)	プロジェクトの目的、アプローチ等	成果等
		<p>ュレーションするためのソフトウェア・プラットフォームを開発。</p>
<p>BIPVBOOST^{101,102} (2018年10月～2023年5月： 11億4345万ユーロ)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建築物における BIPV アプリケーションを促進するための技術的ソリューションを開発する。 ・ 多機能 BIPV システムのコストを下げ、従来の非 PV 建築ソリューションや非一体型 PV モジュールに対するコスト超過を抑える。設計の柔軟性、高性能、長期信頼性、デザインの美しさを維持しながら、大幅なコスト削減を達成する。 ・ これらは、ニアリー・ゼロ・エネルギー・ビル (NZEB) の大量実現に向けた技術の貢献の実証を通じて行われる。 ・ 迅速な市場導入を可能にする標準化と規制遵守に重点を置く。これを達成するために、BIPV システムのための柔軟で自動化された製造ラインを設計する。さらに、建物のエネルギーシステムの運用ニーズに最適に対応するエネルギー管理ツールを提供する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動化された柔軟性のある BIPV モジュール製造ラインを開発し、工程に沿った大幅なコスト削減を実現。 ・ BIPV の幅広い製品ポートフォリオは、c-Si (単結晶及びバイフェーシャル)、バックコンタクト型 (b-c) 及び a-Si (アモルファス・シリコン) 技術に基づく、コスト競争力のある審美的に高度なガラス BIPV モジュールを提供。 <ul style="list-style-type: none"> ▶ デジタル印刷と競合する半透明ガラス a-Si パターンガラス ▶ 低コスト、大判、厚みのある欄干用ガラス-ガラス二面セル・モジュール ▶ ガラス-ガラス b-c ウォーカブル・フロア ・ 幅広い用途 (カーテンウォール、手すり、ウォークアブル・フロア、換気ファサード) に対応し、美観、性能、コストの面で優れたバランスにとれた製品を提供。 ・ 幅広いサイズのフレームレス PV モジュールを超高速、安全、低コストで設置することができ、また、設置後、各太陽電池モジュールは点検やメンテナンスのために簡単に取り外すことができる。 ・ 施工業者向けに、特定のモジュールサイズに対応した施工ツールを開発し、施工業者による取り付けブラケットの取り付けを可能にした。 ・ 欧州では EN 50583 を、標準化の参照として導入したが、BIPV 多機能

¹⁰¹ BIPVBOOST website (<https://bipvboost.eu/>)

¹⁰² EC 「BIPVBOOST」 (https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/bipvboost-0_en)

プロジェクト名 (プロジェクト実施期間)	プロジェクトの目的、アプローチ等	成果等
		製品は明確な規制がなく、不確かな認定プロセスで停滞していたが、エネルギー経済性、機械的安全性、電気安全、火災安全性に焦点を置いて、新たに試験性能評価手順を確立した。
IMPRESSIVE^{103,104} (2019年1月～2022年6月： 2億9291万ユーロ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 美観に優れ、完全に透明で無色でありながら、効率的で低コストの PV 技術を開発する。 ・ 可視光域を除き、紫外線と近赤外線を選択的に変換する透明 PV 電池を開発し、無色で完全に透明なデバイスを実現する。ハイブリッド・タンデム型の UV (紫外線) - ペロブスカイト太陽電池と NIR (近赤外線) - 色素増感太陽電池を用いたアプローチを採用する。 ・ プロジェクトで開発された技術・ソリューションを、強力にかつ迅速に市場へ導入する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハイブリッド・タンデム型 UV (紫外線)・ペロブスカイト太陽電池が PCE (電力変換効率) 10%以上、AVT (平均可視透過率) 約 60%に達することを実証。 ・ 工業化に向けて解決すべき重要なボトルネックである IEC61646 加速経時試験プロトコルに合格する可能性を示した。 ・ 現在生産されている太陽光発電技術では、真空や高温下 (1000°C以上) での複数の精製工程を含む高品質の単結晶が必要であるのに対し、IMPRESSIVE で開発した技術は溶液プロセスであるため、エネルギー回収期間 (3ヶ月未満) や CO2 排出量に関して環境に優しい。

7.1.3. 欧州における BIPV のインセンティブ付与の考え方の例

欧州における BIPV の政策とインセンティブは 20 年近く前にさかのぼるとされる。世界の市場で先駆けて BIPV の普及に取り組んだのはイタリアである。BIPV の政策とインセンティブは、フランスとイタリアが主導し、それぞれ 2006 年と 2007 年に固定価格買取制度 (FiT) が導入され、2009 年に市場が成熟し始めた¹⁰⁵。

電力網に売電される再生可能エネルギーに対する FiT は、EU 全域および地域レベルで導入されているが、欧州委員会 (EC) が定めた規則では、1~3MW を超える再生可能エネルギープロジェクトに対して、補助金制度の縮小が義務付けられており、このレベル以下であれば、引き続

¹⁰³ IMPRESSIVE website (<https://impressive-h2020.eu/>)

¹⁰⁴ EC 「Transparent photovoltaic cells: the future is clear」 (<https://cordis.europa.eu/article/id/442601-transparent-photovoltaic-cells-the-future-is-clear>)

¹⁰⁵ SUPSI, “Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders,” Status Report, 2020.

き補助金を受け取ることができる。しかし、これは、BIPV プロジェクトが大規模になった場合には、開発者が補助金を受けられなくなる可能性があるため、BIPV 推進の阻害要因になると考えられている¹⁰⁶。

インターネットで調査した範囲では、欧州における BIPV のインセンティブに関する具体的な情報は非常に少ないが、イタリアとフランスに関して、限定的ではあるが、最近の BIPV のインセンティブに関連する情報が得られた。イタリアは、世界で最も早く国のプロジェクトとして、BIPV 研究プロジェクトを始めた国¹⁰⁷であり、BIPV に関するインセンティブも早くから実施していた¹⁰⁸。また、フランスも BIPV 製品や設備の導入に当たり、「景観統合要件」を満たすものを条件としてインセンティブを与えている。

以下、イタリアの BIPV のインセンティブの考え方やフランスの事例を示す。

(1) イタリア

イタリアでは、2020 年末の PV 総設備容量 2160 万 kW (21.6 GW) のうち、約 250 万 kW (2.5GW) が BIPV 発電である。この 250 万 kW は、Gestore dei Servizi Energetici (GSE) が管理する FiT の下でインセンティブが付与されている¹⁰⁹。

イタリアにおける BIPV の導入は、2005 年に導入された FiT 法とともに始まった。その際、GSE は、インセンティブの配分を担当する実施機関に任命された。GSE は、国が所有する株式会社で、再生可能エネルギーシステムとエネルギー効率に関するエネルギー政策を、インセンティブを通じて実施する役割を担っている。

イタリアでは、インセンティブにかかる費用は、すべての最終消費者が支払う電気料金の一部で賄われている。こうした手厚いインセンティブやボーナスのおかげで、イタリアでは特に 2009 年から 2011 年にかけて PV 市場が活況を呈した。

電気料金制度は、小規模発電（分散型発電）と建築物との統合を促進するために設計されたもので、①建物と統合化されていない、②建物と部分的に統合されている、④建物と統合されている、という 3 つの実施状況に応じて、それぞれ独自の料金制度が設けられている。

BIPV に関しては、インセンティブ制度は、部分的統合システムと完全統合システムを対象としている。

¹⁰⁶ Kristen Johnson, Eliza Gough and Jenny C. Servo, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.

¹⁰⁷ 2001 年～2002 年にかけて 11 kW の BIPV プラント（PV 屋根型）が設置された。

¹⁰⁸ N. Aste, C. Del Pero and F. Leonforte, “The first Italian BIPV project: Case study and long-term performance analysis,” Solar Energy Vol. 134, September 2016.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X16301050>)

¹⁰⁹ IEA, “Building Integrated Photovoltaic Policies in Italy,” Report IEA-PVPS T1-40: 2021, December 2021.

(a) 部分的統合システム

部分的統合システムのケースは、既存の建物の大部分を考慮したもので、多くの場合、歴史的な街並みにあることから、平らな屋根の上に水平に、または傾斜した屋根と同じ傾斜で太陽光発電モジュールを設置するものである。

(b) 完全統合システム

建築物の外壁の一部として PV モジュールを設置する際、建築物との一体化に対して高いインセンティブが与えられた。PV モジュールが屋根のファサードやシェルターの構成要素の代わりとなることが要求され、PV は BIPV に向けた第一歩を踏み出した。

(2) フランス

フランスは、2018 年の段階では、BIPV 設置費用の 50% を中央政府が補助しており、他の国よりも BIPV 設置の支援が手厚いとされる¹¹⁰。

フランスのエコロジー移行省は、2022 年 10 月、500kW までの太陽光発電システムを支援する新たな施策パッケージを導入した。この施策には、一連の「景観統合要件」に適合する太陽光タイルを使用した BIPV システムに対する FiT ボーナスが含まれている¹¹¹。

フランス政府が最近導入した規定によると、以下の「景観統合要件」を満たすものがこの制度の対象となる。

- ・ BIPV システムが、屋根の密閉機能を確保しており、屋根の傾斜角度が 10~75 度であること。
- ・ BIPV システムがフランスの建築科学技術センター（Centre Scientifique et Technique du Bâtiment: CSTB）¹¹²の承認を受けていること。
- ・ BIPV システムの面積が屋根面積の 80% を超えないこと。

7.1.4. 欧州における BIPV 推進の成功要因

現在、BIPV に特化したインセンティブは、段階的に廃止されている一方で、BIPV のビジネスモデルは、最適化された太陽光発電の自家消費率により依存する方向にあるとされる¹¹³。

¹¹⁰ Ibid.

¹¹¹ Gwénaëlle Deboutte, “France provides incentives to landscape-integrated BIPV,” PV Magazine, March 16, 2022. (<https://www.pv-magazine.com/2022/03/16/france-provides-incentives-to-landscape-integrated-bipv/>)

¹¹² 建物の品質と安全性を保証することを目的とするフランスの公的機関。

¹¹³ Ibid.

実際、EU の研究・イノベーション枠組み計画である「Horizon 2020」で実施された、EU の大規模 BIPV プロジェクトの一つである「BIPVBOOST」¹¹⁴の分析によると、BIPV 市場は、BIPV 技術に対する本質的な魅力の増大と、より有利な市場条件に基づいて駆動されているとされている。

これら駆動要因は、以下のように整理される¹¹⁵。

- ・ PV システム部品の低価格化
- ・ 競争力向上につながる体系的なイノベーション（太陽電池の効率の向上、システム損失の低減、BIPV 要素の信頼性向上など）
- ・ BIPV 製品の美観の向上とカスタマイズの可能性
- ・ 幅広い製品メーカーによる競争の活性化
- ・ 建物の持続可能性を高めることを目的とした規制の圧力
- ・ 建物の所有者や居住者により一層価値観が高まってきた、「グリーン」で持続可能なエネルギー

¹¹⁴ 建築物における BIPV アプリケーションを促進するための技術的ソリューションを開発すること、設計の柔軟性、高性能、長期信頼性、デザインの美しさなどを維持しながら、BIPV の大幅なコスト削減を達成すること等を目的とするプロジェクト（2018 年 10 月～2023 年 5 月）。BIPVBOOST については表 7-2 を参照。

¹¹⁵ Dawnbreaker, “Building Integrated Photovoltaics,” A report prepared for Department of Energy’s Solar Energy Technologies Office, May 2021.

7.2 中国

7.2.1. 現行の中国の国家戦略における太陽光発電及びBIPVの位置づけ

「中華人民共和国再生可能エネルギー法（中華人民共和国可再生能源法）」、「中華人民共和国国家経済社会発展第十四次五カ年計画 2035 年ビジョン目標（中華人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要）」、「現代エネルギーシステム第十四次五カ年計画（“十四五”現代能源体系规划）」の要求に基づき 2021 年 10 月に中国国家発展改革委員会など 9 の部門¹¹⁶が共同で策定した「第 14 次 5 年計画における再生可能エネルギー開発計画（“十四五”可再生能源发展规划）」では、「2035 年までに生態環境を根本的に改善し、美しい中国を建設するという目標を達成するための再生可能エネルギーの開発は、中国の環境文明と持続可能な発展を建設するための客観的な必要条件である」とのビジョンが示された。本計画の中で、具体的に「中国は、2030 年までに二酸化炭素排出量のピークに達するよう努力し、2060 年までにカーボンニュートラルを達成することを明確にする」との目標が掲げられている。

注目すべきは、本計画は以前の類似計画とは異なり、初めて国務院 9 部門が共同で策定した点であり、再生可能エネルギー開発について省庁横断的な総合的推進体制が整備されつつある。また、「市場指向の開発」と「グリーンエネルギーの高レベルの消費（消費革命）」との目標が示され、グリーンエネルギーに関し政策主導の開発から市場主導の開発へ段階を移行させることが表明されている。

本計画では、「基本原則」として、イノベーションを再生可能エネルギー発展の根本的な原動力とし、再生可能エネルギー技術の進歩、コスト削減、効率向上、制度改善を重点的に推進し、再生可能エネルギー新技術、新業態、新形態の育成を加速することが謳われている。同時に、再生可能エネルギー産業チェーン・サプライチェーンの現代化を進め、再生可能エネルギー産業のイノベーションと競争力を強化することが示されている。

本計画の中で、特に BIPV の普及に関する戦略の概要は、以下の通りである。

- ・ 複数のシナリオにおける太陽光発電の総合的な発展を強力的に推進する。分散型太陽光発電の発展を全面的に推進し、工業園区、経済開発区、公共建築物などの屋上太陽光発電の開発と利用を重視し、新しく建設される工場や公共建築物における太陽光発電ビルの総合的な発展を積極的に推進する。農村部においては、「千家光浴行動（光世帯運動）」を実施し、県（区）全体の屋上における分散型太陽光発電の発展を標準化し、秩序立てて推進し、太陽光発電で新しい農村を建設する。
- ・ 太陽光発電業界に「光伏+（BIPV）」の開発を積極的に推進させ、「光伏+」の総合利用行動を積極的に推進し、農業（牧畜）太陽光付加、漁業太陽光付加などの複合発展モードを奨励する。

¹¹⁶ 国家发展改革委、国家能源局、財政部、自然资源部、生态环境部、住房城乡建设部、农业农村部、中国气象局、国家林业和草原局

- ・ 太陽光発電と 5G 基地局、ビッグデータセンターなどの情報産業との融合発展を推進し、新エネルギー自動車の充電施設、鉄道沿線施設、高速道路サービスエリア、高速道路沿いの交通分野での太陽光発電の応用を推進し、地域の実情に合わせて太陽光発電回廊を開発する。

本計画におけるアクションプランでは、太陽光発電の普及目標については、新規に建設する工業団地及び公共建築物への太陽光発電設備の設置率を 50%以上とすることが掲げられている。日本の場合、政府建築物では「2030 年には設置可能な建築物等の約 50%に太陽光発電設備が導入され、2040 年には 100%導入されていることを目指す」とされており¹¹⁷、概ね同水準の設置率目標であると言える。

社会実装については、「BIPV 総合利用アクション」を定め、特に情報産業施設や高速交通網への BIPV の導入を図っている。欧州では高速道路沿いの遮音壁への BIPV 設置計画が見られるものの、BIPV と情報産業との融合発展については特に言及された例はなく、中国の独色が強いと言える。

実証実験については、特に「高効率結晶シリコン電池、カルコゲナイド電池」の開発実証が示されているが、日本において俄かに注目を集めるペロブスカイト等の有機系の電池についての言及はない。

イノベーション政策については、「再生可能エネルギー、新電力システム、大規模エネルギー貯蔵、水素エネルギーなどの技術分野に重点を置き、資源を統合し、核心技術の重大な科学技術共同研究、重大な工学技術共同革新を実施するための取り組みにあたる機関を組織する」とされており、新たなグリーンエネルギー関連研究開発機関が設置されることになるのかが注目される。

リサイクルについては、ライフサイクル全体のグリーン閉ループを実現するとされており、欧州や日本と同様にリサイクル分野に無関心ではないことが示されている。計画中に「生態環境を根本的に改善し、美しい中国を建設する」とあるように、中国の「環境汚染大国」との悪評の払拭に国全体を上げて取り組んでいる最中であると言える¹¹⁸。また、環境意識向上に向けた国民への指導として、「メディアを用いて国の方針の宣伝を行う」との方針にあるように、国内的にプロパガンダを用いても「環境先進国化」を強力に推進するとの当局の意思が見て取れる。

標準化については、国内の工業標準認証制度の改善を行うとともに、国内企業が再生可能エネルギー分野の国際標準の開発に積極的に参加することを奨励するとしており、国家当局のみならず民間企業など広範なステークホルダーの能力を動員して国際標準化の流れをリードすることが目論まれている。

¹¹⁷ 国・地方脱炭素実現会議「地域脱炭素ロードマップ」（令和 3 年 6 月 9 日）

¹¹⁸ 関連する地方政府通知には、たびたび「指導原則」として「習近平の新時代の中国の特色ある社会主義の思想の指導を堅持し、第 20 回中国共産党全国代表大会の精神を全面的に実施し、習近平の生態文明の思想を徹底的に実施すること」といった表現が見受けられる。（广东省中山市住建局「关于印发推进新建建筑可再生能源应用实施意见的通知」など）

本計画では、再生可能エネルギー産業規制の「行政改革」を進め、参入障壁を除去するなど民間市場の力を活用して開発に取り組むとの姿勢が鮮明になっている。ただし、投資管理・産業規制の緩和はあくまで「国家安全保障、国家主要生産力の配置、戦略的資源の開発に関わらない再生可能エネルギープロジェクトについて」行うとしており、安全保障など国力に直結する機微分野については従前通り国家管理を続けるとの方針が確認されている。

他には、中国の影響力拡大のための対外戦略である一帯一路構想と一体のものとして、グリーン化を推進するとの既定路線が確認されている。また、グリーン・ガバナンスをめぐる国際交渉の場等では、世界に対して「中国の声を聞かせる」との決意が表明されており、この分野での世界における主導権を握りたいとの中国指導部の思惑が透けて見える。

全体として、計画実施の遅延防止のため、詳細な手続きでのモニタリングと評価を行うとしている点も特徴的である。

本計画における、BIPV を含む太陽光発電全般の開発・普及にあたっての具体的なアクションプランの詳細は、表 7-3 の通りである。

表 7-3 「第 14 次 5 年計画における再生可能エネルギー開発計画」における BIPV を含む太陽光発電開発・普及のためのアクションプラン

(出典：「第 14 次 5 年計画における再生可能エネルギー開発計画」をもとに
未来工学研究所作成（下線部は筆者による）)

項目	概要
社会実装	<p>【町や都市における屋上太陽光発電事業】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 屋根面積が豊富で、送電網へのアクセスや電力消費の条件が整っている政府ビル、交通の要所、学校、病院、工業団地などの屋上で、「自家発電・自家消費・余剰電力ネット利用」の分散型太陽光発電の発展を促進することに重点を置き、ビル屋上での分散型太陽光発電の普及率を向上させる。 ・ 「第 14 次 5 年計画」期間中、新しい工業団地や新しい大型公共建築物における分散型太陽光発電の設置率を 50%以上に到達させる。 <p>【BIPV 総合利用アクション】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>太陽光発電と 5G 基地局、ビッグデータセンターなどの情報産業との融合発展を推進し、新エネルギー自動車の充電施設、鉄道沿線施設、高速道路サービスエリア、高速道路沿いのエリアでの BIPV の包括的な使用を促進する。</u> <p>【光世帯運動】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 農村活性化戦略と連動して、屋根の整備が可能な農村部では集中的に太陽光発電パネルを導入する。分散型太陽光発電の建設を拡大し、約 1000 の太陽光発電実証村を設置する。 <p>【新エネルギー発電所アップグレード・イニシアティブ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 優れた風力・光熱資源に恵まれた地域において、耐用年数に達した、または近づきつつある風力発電・太陽光発電設備の廃止・転換を推進し、発電所の設備容量、発電効率、経済性を向上させる。 ・ 環境的制約と経済的アップグレードの必要がある発電施設は、地域の状況に応じて早期廃止にし、関連する政府政策を合理化する。 ・ <u>太陽光発電と生態系保護や文化観光の融合を推進する。</u>
実証実験	<p>【再生可能エネルギー技術革新実証】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 各地域の気候特性に合わせて、寒冷地、温暖地、高原、高温多湿などの典型的な気候地域で太陽光発電の実証基地を建設し、太陽光発電の主要部品とシステムの実証研究を行い、太陽光発電産業のアップグレードを支援する。 ・ <u>新しい高効率結晶シリコン電池、カルコゲナイド電池、その他の先進的で高効率な電池技術の応用実証を実施し、大規模な市場を持つ最先端技術の開発を促進し、太陽光発電の技術進歩と産業高度化を引き続き推進する。</u>
サプライチェーン政策	<p>【再生可能エネルギー産業チェーンのサプライチェーンの近代化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 再生可能エネルギー産業の最適化とアップグレードを推進し、製造設備のアップグレードと新製品の大规模な応用開発を強化し、再生可能エネルギー産業のインテリジェント製造とグリーン製造プロジェクトを実施し、ハイエンド、インテリジェント、グリーンな方法で産業の発展を促進する。 ・ 再生可能エネルギー発電、熱供給、ガス生産のための先進的で応用可能な技術を開発し、再生可能エネルギー産業チェーンのサプライチェーンの多様化を促進する。
リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再生可能エネルギー産業基盤の再構築を推進し、重要な産業技術の工学研究を加速する。

項目	概要
	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>廃止された施設の風力発電機、太陽光発電モジュールのリサイクル・処理技術、新産業チェーンの開発を推進し、風力発電と太陽光発電のグリーン産業チェーンの最後のリンクを構成し、ライフサイクル全体のグリーン閉ループ発展を実現する。</u>
標準化政策	<p>【工業標準認証制度の改善】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>再生可能エネルギー技術・設備標準、試験、認証、品質監督の組織体系を改善し、再生可能エネルギー設備の生産、プロジェクト建設、運営管理を改善する。</u> ・ <u>国内企業が再生可能エネルギー分野の国際標準の開発に積極的に参加することを奨励し、標準制度、適合性評価制度及び国際標準を推進し、認証結果の国際相互承認を推進する。</u>
イノベーション政策	<p>【再生可能エネルギー・イノベーション・チェーンの改善】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>科学技術イノベーション支援を強化する。エネルギー研究開発・革新プラットフォームへの支援を強化し、再生可能エネルギー、新電力システム、大規模エネルギー貯蔵、水素エネルギーなどの技術分野に重点を置き、資源を統合し、核心技术の重大な科学技術共同研究、重大な工学技術共同革新を実施するための取り組みにあたる機関を組織する。</u> ・ <u>ハイレベルの人材の育成と導入を強化し、各種機構に再生可能エネルギー専門分野の開放と企業との協力による人材育成を奨励し、再生可能エネルギーメカニズム分野におけるハイエンドの人材の導入を改善し、人材の評価と奨励メカニズムを改善し、国際競争力のある科学技術人材とイノベーションチームを数多く創出する。</u> ・ <u>技術やプラットフォームをテストし、典型的な気候条件下での太陽光発電技術の実証的検証のための公共サービスプラットフォームを構築し、新技術の実証的検証と工学的転換を加速する。</u> ・ <u>知的財産権の保護を強化し、イノベーションと企業家精神の制度改革を推進し、市場志向の専門的な技術移転機関と技術管理者を建設し、科学技術成果の転化を促進し、産学研究フェアなどのさまざまな形式を通じて、国内外の先進的な科学技術成果の移転と結合を強化する。</u>
民間参入促進のための行政改革	<p>【再生可能エネルギー産業規制の「行政改革」の深化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>政府の簡素化と地方分権への取り組みを強化する。政府の権限と責任についてのリスト化制度を導入し、再生可能エネルギーのビジネス環境を市場化と法の支配のために継続的に最適化する。</u> ・ <u>市場アクセスのためのネガティブリスト制度を実施し、リスト以外の隠れたアクセス障壁を取り除き、アクセス制限をさらに緩和する。</u> ・ <u>国家安全保障、国家主要生産力の配置、戦略的資源の開発に関わらない再生可能エネルギープロジェクトについて、投資管理メカニズムを改善し、申請認可を促進し、企業投資プロジェクトのコミットメント制度の実施を奨励する。</u> ・ <u>再生可能エネルギープロジェクトの認可・申請プロセスを最適化し、風力発電と太陽光発電の能力更新・延命運転の管理を標準化し、分散型再生可能エネルギー投資の管理手続きをさらに簡素化する。監督管理メカニズムを改善する。再生可能エネルギー開発に有利な調整された規制メカニズムを構築する。</u> ・ <u>国家計画政策の効果的な実施を確保するため、再生可能エネルギー計画、産業政策、開発・建設、送電網へのアクセス、スケジューリング・取引、消費・利用に対する監督を強化する。</u> ・ <u>新産業と新形態の再生可能エネルギーに対する包括的かつ慎重な監督を実施する。</u>

項目	概要
	<p>再生可能エネルギー産業の信用システムの構築を推進し、信用監督を強力に推進し、市場主体の信用格付けシステムを確立し、インセンティブと背任に対する罰則のメカニズムを改善する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 政府サービスのレベルアップエネルギー・天然資源、生態環境などの複数部門による共同承認メカニズムの構築、プロジェクト承認(申請)の「ワンストップ」サービスの実施など、政府サービスを提供する革新的な方法を導入する。「インターネット+政府サービス」を深く発展させ、政府サービスの標準化を推進し、政府サービスの質と効果の全面的な向上を促進する。 ・ <u>再生可能エネルギーの開発と利用のための多部門調整メカニズムを確立</u>し、関連する権限に基づく事務処理プロセスを最適化し、プロジェクト実施条件を改善し、良好な発展環境を作り出す。 ・ 地域の消費責任の重み付けの完了を監視・評価し、地方自治体の評価システムの取り込みを促進し、電力網と市場主体による消費完了の評価を強化し、地域の責任を強化する。 ・ インセンティブメカニズムを改善し、再生可能エネルギーの消費と優先的利用を奨励する政策メカニズムを確立・改善し、再生可能エネルギーの消費と利用の規模を拡大する。
市場主導の開発誘発	<p>【再生可能エネルギーの市場ベースの開発メカニズムの改善】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 再生可能エネルギーの開発・建設の管理メカニズムを改善する。風力発電と太陽光発電プロジェクトの開発・建設管理方法を改善し、市場型競争配分、競争配分、市場自主権を組み合わせたプロジェクト開発・管理メカニズムを確立する。 ・ 全国統一電力市場システムの価格誘導の役割を十分に発揮し、市場メカニズムを通じて、再生可能エネルギーの開発と建設の配置を最適化する。 ・ 再生可能エネルギーの全量買取保証制度のための改善再生可能エネルギー法を施行し、全量買取保証制度をさらに改善し、再生可能エネルギー電力の買取保証と市場型取引をうまく連動させる。 ・ 再生可能エネルギーの市場取引への参加比率を段階的に拡大し、保証時間数以上の電力の全量消費を実現するため、市場への参加を促す。
グリーンエネルギー消費のための健全なメカニズムの確立	<p>【グリーン電力証書メカニズムの改善】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ グリーン電力証書のグリーン電力消費属性表示機能を強化し、グリーン電力証書の発行範囲を拡大し、市場によるグリーン電力証書価格の形成を促進し、手頃な価格のプロジェクトがグリーン電力証書取引を積極的に行うよう奨励する。 ・ グリーン電力証書と再生可能エネルギー電力消費の保証メカニズムをうまく連動させる。グリーン証書取引と炭素取引をうまくリンクさせ、再生可能エネルギーの生態環境価値をさらに反映させる。 ・ グリーンエネルギー消費評価・認証・表示制度を確立する。統一的なグリーン製品表示・認証制度の下で、グリーンエネルギー消費評価制度の確立を推進し、グリーン証書に基づくグリーンエネルギー消費認証基準・制度・表示制度を徐々に確立し、グリーン証書取引を活性化させ、評価・認証による科学的で柔軟なグリーンエネルギー消費制度の建設を推進する。 ・ グリーンエネルギー消費を積極的に指導する。<u>メディアの役割を強化し、グリーンエネルギー消費に関する徹底的な公共の福祉宣伝と教育を実施し、再生可能エネルギーを使用する企業、サービス、活動、その他の消費主体、および消費者の行動を</u>

項目	概要
	<p>認証する取り組みを強化する。</p> <ul style="list-style-type: none"> グリーンエネルギー消費製品の認証を増やし、新エネルギー設備メーカー、自動車、IT、その他の企業がグリーンエネルギーの使用比率を高め、グリーン製品を生産するよう奨励する。工業、建設、運輸、その他の分野および公的機関において、グリーンエネルギー使用の要件を高め、再生可能エネルギーの消費を支援する政府調達政策を適用する。
国際協力	<ul style="list-style-type: none"> 「開放と統合」政策を堅持し、再生可能エネルギーにおける国際協力を深める。 気候変動に対処するための国際協力を強化し、世界的なエネルギー転換に積極的に参加し、再生可能エネルギー産業における国際協力をより深いレベルで推進する。
一帯一路関連・グローバルガバナンス	<ul style="list-style-type: none"> 国際協力・交流メカニズムとプラットフォームを継続的に改善する。「一帯一路」エネルギー大臣会合のプラットフォームを有効活用し、グリーンで包括的な「一帯一路」エネルギーパートナーシップを構築し、「一帯一路」におけるグリーン発展に関するコンセンサスを形成する。 国際エネルギー転換フォーラムと関連活動を組織する。重要な国際組織や国との再生可能エネルギー政策対話と協力を強化し、綿密な計画指導、政策設計、技術交流、資金交流、経験共有など全面的な取り組みを行い、<u>中国の声を聞かせるようにし、中国のストーリーをよく伝える。</u> グローバルなエネルギーと気候のガバナンスに積極的に参加する。グリーンエネルギー開発に関する他の途上国との協力を強化し、エネルギー分野における気候変動への対応能力を強化する。能力構築と低炭素移行支援を必要としている国々に技術を提供し、世界的なエネルギー移行を現実的に推進する。
再生可能エネルギーのためのグリーン金融システムの改善	<ul style="list-style-type: none"> グリーン金融基準制度を改善し、グリーン・低炭素発展のための金融支援に関する特別政策を実施し、規制に従って地方政府の補助金やその他の奨励プログラムに再生可能エネルギー分野の融資を含め、末端の分散型再生可能エネルギーを支援する金融支援メカニズムを確立する。 グリーン金融商品と市場システムを充実させ、水力発電、風力発電、太陽光発電、揚水発電所インフラ不動産投資信託ファンドなどのパイロットプロジェクトを実施し、適格な新エネルギープロジェクトに対するグリーンボンドとグリーンクレジットの支援をさらに強化する。 再生可能エネルギー産業の発展を支援するため、市場化、多チャンネル融資、投資ファンド設立の原則に基づき、社会資本を奨励する。
国内調整の強化	<ul style="list-style-type: none"> 国家基地に含まれるプロジェクトについては、トップダウン、トップダウン統合、国家協調、省全体などのレベルごとの責任を規定し、国家と省レベルの協調を確立する。 既存の投資管理制度の下で、基地の開発と建設は省を主体として協調され、各種企業が対等な立場で競争し、開発企業、送電網企業、プロジェクトが立地する地方政府が具体的に実施する。 国家は、基地プロジェクトの統一計画、統一配置、明確な基準と要求を実施し、国家基地に含まれるプロジェクトの土地、環境保護、送電と消費、系統連系運転などの建設条件の実施を調整する。
モニタリングと評価の強化	<ul style="list-style-type: none"> 動的な監視、中期的な評価と計画の実施の概要評価、厳格な評価手続き、タイムリーな評価作業、経験のタイムリーな要約、問題の分析、対策の策定、改善計画の実施などにつき、国家能源局によって調整を行う。

項目	概要
	・ 再生可能エネルギー発電プロジェクトの開発と建設のための毎月のスケジュールリングメカニズムを確立し、プロジェクトの建設の後れを取らないようにし、主要な問題の解決を調整する。
地方政府の実施義務の洗練化	・ 地方計画を指導する国家計画の役割をより発揮させるため、 <u>地方政府は、この計画で特定された主要目標、主要課題、主要プロジェクトを地域のエネルギー開発に含める。</u>

7.2.2. 中国の BIPV 基本政策、BIPV 補助金政策、BIPV 開発プロジェクト、社会実装等の状況

中国国内の報道から、中国における最新の BIPV の基本政策、BIPV 補助金政策、BIPV 開発プロジェクト、社会実装等の状況について、以下のような事実を確認することができる。

(1) BIPV 基本政策^{119,120}

据国际能源网/光伏头条 (PV-2005) 統計によると、2023 年 12 月現在、安徽省、北京市、福建省、広東省、海南省、河北省、河南省、黒龍江省、湖北省、湖南省、吉林省、江蘇省、江西省、遼寧省、内モンゴル自治区、寧夏省、青海省、山東省、山西省、陝西省、上海市、四川省、天津市、新疆ウイグル自治区、雲南省、浙江省、重慶市の 27 の省・自治体が BIPV に関する基本政策を発表している。

- ・ 上海市は、新しい公共建築物、住宅建築物、工業工場は、必要に応じて 1 種類以上の再生可能エネルギーを使用すべきであるという文書を発表した。2025 年までに、BIPV での給電を含め建築物のエネルギー使用構造を引き続き最適化し、都市と町の新しい建築物における再生可能エネルギーの代替率を 10% とする計画である。2030 年までに、都市や町の新しい建物における再生可能エネルギーの代替率を 15% に引き上げる。
- ・ 済南市、山東省は、第 14 次 5 カ年計画期間中、都市の新しい土木建築物の BIPV を含む施工方式でのグリーン化率を 100% とし、政府庁舎または政府投資ベースの公共建築物やその他の大規模な公共建築物は、2 つ星のグリーン・ビルディング基準の建設に準拠し、公共建築物への他の投資は、1 つ星のグリーン・ビルディング基準に従わねばならないとした。
- ・ 安徽省魯安市は、2025 年末までに市や町の新築建築物に占める星付きグリーン・ビルディングの割合を 30% 以上に、2030 年末までに市や町の新築建築物に占める星付きグリーン・ビルディングの割合を 40% 以上にするという文書を発表した。

¹¹⁹ 国际能源网ウェブサイト「2 月光伏政策复盘分析：整县推进、光伏建设方案、光储、BIPV、光伏规划等相关政策都有！（42 条、17 省市）」(<https://solar.in-en.com/html/solar-2436722.shtml>)

¹²⁰ 国际能源网ウェブサイト「最新！BIPV 政策资料包（附全文件）」(<https://solar.in-en.com/html/solar-2435713.shtml>)

(2) BIPV 補助金制度 ¹²¹

2024 年 2 月現在、安徽省広徳市、安徽省蕭県、安徽省蚌埠市、安徽省合肥市、北京市、北京経済技術開発区、広東省広州市黄浦区（広州開発区、広州ハイテク（高新）区）、広東省深セン市福田区、広東省恵州市、広東省龍崗区、深セン市、河北省、石家荘市、河北省、黒龍江省、吉林省、江蘇省蘇州市、江蘇省南京市、江蘇省張家港市、陝西省陝西省西安市、上海市、上海市黄浦区、上海市徐匯区、上海臨港新区、上海市楊浦区、新疆ウルムチ市、浙江省衢州克城区、浙江省衢江区、浙江省台州黄岩区、重慶市、寧夏省の合計 30 自治体で BIPV 補助金に関する 36 の政策が導入された。それぞれの補助金は 0.1~0.4 元/kWh の範囲で、補助期間は最長 5 年間である。

- ・ 北京の BIPV 補助金が最も野心的であり、太陽光発電のビルディング・インテグレーション（太陽光発電モジュールを建物の部品として使用すること）を実現するすべてのプロジェクトに対して、0.4 元/kWh（税込み）の補助金が支給され、補助期間は 5 年間である。
- ・ 上海市、広東省深圳市福田区、広東省深圳市龍崗区は、建物一体型太陽光発電（BIPV）プロジェクトに対する最大で 5 年間、0.3 人民元/kWh の補助金が上記の北京の補助金に次ぐ規模となっている。

(3) BIPV 設置計画 ¹²²

2024 年 2 月現在、安徽省、安徽省蕪湖市、安徽宣城市、安徽省陸安市、北京市朝陽区、福建省南平市、福建省福州市、広東省、広東省合安市、広東省佛山市、広東省湛江市、広東省深圳大鵬新区、広東省江門市、広東省茂名市、河北省、河北省頂興県、河北省益善県、河北省新治市、河北省五橋県、河北省南埕県、河北省廊坊市、河北省貴安県、河南省開封市、河南省焦作市、黒龍江省齊齊哈爾市、黒龍江省、湖北省襄陽市、湖北省宜昌市、湖北省、湖南省、吉林省、江蘇省、江蘇省塩城市、江蘇省蘇州市、江西省南昌市、遼寧省、寧夏省、青海省、青海省貴徳県、山東省、山東省濰坊市、山東省済南市、山西省、陝西省西安市、上海市、四川省、天津市雲南省、浙江省杭州市、浙江省寧波市、浙江省温州市、浙江省麗水市、浙江省紹興市、浙江省東投市、浙江省平湖市、浙江省阜陽市、浙江省杭州市、浙江省浦江市、浙江省海寧市、浙江省舟山市、浙江省東陽市、重慶市、海南省の合計 67 自治体において、BIPV 計画に関連する 82 の政策文書が発表された。

- ・ 広東省中山市では BIPV の設計と施工を積極的に推進し、太陽光発電屋根材、太陽光発電ガラスカーテンウォールなどの建材タイプの太陽光発電部品の使用を奨励する計画を推し進めている。関連する中山市住宅都市農村開発局の 2024 年 1 月 29 日付の書簡 ¹²³では、「幅広く綿密な広報と専門家養成研修の組織化」として、「積極的に世論の宣伝と市民への教育を行い、

¹²¹ Ibid.

¹²² Ibid.

¹²³ 国際エネルギーウェブサイト「广东中山：积极开展 BIPV 设计建设，鼓励采用光伏屋面材料、光伏玻璃幕墙等建材型光伏构件」(<https://solar.in-en.com/html/solar-2436301.shtml>)

様々な形式と手段を利用して、建築物のエネルギー構造の最適化、建築物における再生可能エネルギーの応用を促進する政策と措置、典型的な事例と先進的な経験について、全面的かつ多方面にわたる宣伝と指導を行い、建築物における再生可能エネルギーの応用に関連する技術と製品に対する市民の認識と受容を高める。関連事業の開発、設計、建設、監督人材の育成を強化し、実務者の技術・管理レベルを向上させ、市内で再生可能エネルギーの建築物への応用を促進するための良好な雰囲気を作る」との世論工作を含む当局の強固な方針が表明されている。

(4) BIPV モジュール開発プロジェクト¹²⁴

2024年1月30日、安徽省馬鞍山市と県生態環境副局は「安徽兆新慧科新能源科技有限公司年産1GW プレート連系 BIPV 太陽光発電モジュールプロジェクト」を発表した。プロジェクトの総投資額は1.2億元にのぼり環境保護のために93萬元が投資され、工期は3ヶ月である。プロジェクトは安徽精飛科技有限公司の総建築面積は8096平方メートルの完成済みの工場を借りて実施され、積載機、接着機、フレーム機、コンベアライン、洗浄機などを購入して、「プレート連系」BIPV モジュール生産ラインを建設し、プロジェクト完成後、年間1GWの「プレート連系」BIPV 太陽電池モジュールを生産できる見込みである。

- ・ 兆新股份は2024年3月6日、簡易手続きによる2024年A株株式発行案（修正案）を特定対象に公表した。簡易手続きによる株式発行価格は1株当たり1.82元、発行株数は1億3200万株、資金調達総額は2億4000萬元以下である。会社提案によると、今回の資金調達の目的に、上述の年間生産量1GWの「プレート連系」BIPV 太陽光発電モジュールプロジェクトが含まれている¹²⁵。

(5) 鉄道施設への BIPV 設置計画¹²⁶

2024年2月15日、国家鐵路管理局（国家铁路局）、国家發展改革委員会（国家发展改革委）、生態環境部（生态环境部）、交通運輸部（交通运输部）、国家鐵路グループ（国鉄集团聯合）が共同で「鉄道産業低炭素化發展促進実施計画（推动铁路行业低碳发展实施方案）」を発表した。計画では、新しい旅客駅は、グリーン建設に関する関連基準に従って設計・建設される。具体的には、駅における太陽光発電などの省エネルギー・新エネルギー技術の応用を強化し、駅舎太陽光発電建設統合（BIPV）の利用を優先するか、または新しい鉄道駅やその他の建物の屋根に太陽光発電システムを設置するための条件を確保することが指示されている。

¹²⁴ 「年産1GW“板塊互聯”BIPV 光伏組件項目落戶安徽馬鞍山」 (<https://solar.in-en.com/html/solar-2435703.shtml>)

¹²⁵ 国际能源网ウェブサイト「募資2.4億元！兆新股份加碼分布式光伏以及BIPV組件製造」 (<https://solar.in-en.com/html/solar-2436682.shtml>)

¹²⁶ 国际能源网ウェブサイト「五部委：新建铁路場站優先采用BIPV或預留光伏发电系統設置條件」 (<https://www.in-en.com/article/html/energy-2330603.shtml>)

(6) 僻地での大規模設置計画

内モンゴル自治区フフホト市住宅都市農村開発局は 2024 年 3 月 4 日、フフホト科学技術都市イノベーションセンター¹²⁷計画に関するコメントを発表した。発表によると、この計画では建設されるグリーン・ビルディングは、BIPV、地中熱ヒートポンプシステムなど 8 つの省エネ低炭素技術を導入し、全域におけるグリーン・ビルディング団地を形成するとされている。

なお、当局は「プロジェクト準備の理由」として「新時代の発展の中で、科学技術城（都市の意）の建設はグローバルな革新要素と国家戦略機会の再編を把握し、対外的には中国-モンゴル-ロシア経済回廊を結びつけ、対内的には北京-天津-河北とフバオ地方（内蒙古）各都市を結びつけるという、国家の自主革新とハイテク産業の発展における初期試験と典型的なモデルの役割を果たすべきである」とし、計画の目指す対外的な経済及び科学技術覇権の野心を隠さない¹²⁸。

7.2.3. 中国の BIPV 推進策の特徴に関する総括

以上に見たように、中国では基本的に習近平指導部による強力なトップダウン体制の下、環境配慮国家としての「中国の夢」を実現すべく、各地方政府が各種通知を発布し民間を巻き込みながら BIPV の実装に邁進している。そこでは、BIPV をはじめとする環境技術の社会的受容性を高めるために当局による民衆への指導や宣伝といった手段を用いることが宣明されている。また、途上国への技術供与と出捐（及びその論理的帰結としての債権債務関係）を手段とする「一带一路」政策の有力な要素として中国の環境技術力を位置付け、対外的な影響力拡大の手段としたいとの思惑も透けて見える。このように国家主義的な色彩を帯びた中国の BIPV 開発であるが、一方で市場主導の開発戦略が唱えられ、実際に 2023 年 12 月に国家発展改革委員と国家能源局は、農村部での新エネルギー開発について、「プロジェクトの所在地の政府の関連部門は、強制的な産業支援を行ってはならず、市場ベースのアプローチによるプロジェクト開発を優先する」よう通知を出すなど¹²⁹、民間部門の強化育成に本腰を入れようとしている姿勢が垣間見える。

¹²⁷ フフホト科学技術都市イノベーションセンターはフフホト新城の北部に位置し、敷地面積は約 360.4 ヘクタールで、フフホト科学技術都市構想の核心的な実証区でもある。

¹²⁸ 国際エネルギーウェブサイト「内蒙古呼和浩特：引入 BIPV、地源热泵系统等八项节能低碳技术 打造全域绿色建筑群」(<https://newenergy.in-en.com/html/newenergy-2431769.shtml>)

¹²⁹ 国際エネルギーウェブサイト「12 月光伏政策复盘分析：光伏补贴、光伏建设方案、光储、BIPV、光伏规划等相关政策都有！（51 条、22 省市）」(<https://solar.in-en.com/html/solar-2433568.shtml>)

8. わが国における BIPV 関連産業の形成条件

本章では、7 章までの調査結果と議論を踏まえて、BIPV に関する技術的・実用化の課題、BIPV の事業化及び産業化に向けた課題について分析し、わが国における BIPV 関連産業の形成条件について検討する。

8.1 技術的・実用化の課題

8.1.1. 太陽電池としての寿命と建築物の寿命のミスマッチへの対応

BIPV に搭載されているシリコン系太陽光発電デバイスの発電期間は 20～30 年¹³⁰とされている。屋根材にアスファルトシングルやスレートを用いた場合の耐用年数も 20～30 年のため、屋上に太陽光発電デバイスを設置した場合、屋根の葺き替えとほぼ同時期に耐用年数を迎えることになり、一括して工事を行うことができる。すでに実用化している大成建設・カネカでも、太陽電池の劣化により発電効率は徐々に下がっていくものの、25～30 年の発出力保証をしている。

しかしながら鉄筋コンクリートでできたオフィスビルの場合、法定耐用年数¹³¹でさえ 50 年程度である上、実際にはメンテナンスを施しながら更に長く使用されるケースもある。

従って、屋根や壁面に太陽光発電デバイスを搭載した BIPV を使った場合、20～30 年後には取り換える必要が出てくる。そうしなければ、せっかくビル内で消費する電力を太陽光発電で賄う ZEB (Zero Energy Building) を達成しても、発電デバイスの寿命が尽きた後には再び外部からの供給電力を必要として元に戻ってしまうからである。

大成建設・カネカは、メンテナンス性や交換設置性を考慮した構造を採用していると思われるが、建物の使用年数を 50 年とした場合、何度か太陽光発電デバイスを取り換えることを前提とすることになる。そのため BIPV を使用する建物には、太陽光発電デバイスの交換を前提とした構造設計が必要になるとと思われる。

8.1.2. 今後期待される PV ガラスに応用される太陽電池の状況

(1) ペロブスカイト型太陽電池を搭載した BIPV 実用化の課題

ペロブスカイト型太陽電池は薄く軽量で曲げることができ、開発では日本がリードしている実用化への期待が大きい次世代太陽電池である。5 章に、ペロブスカイト型太陽電池の具体的な開発状況の例を示したが、20 年の耐久性を持つことを目標にした実証実験¹³²も進められている。ここでは、ペロブスカイト型太陽電池を BIPV へ応用する場合の主な課題を整理しておく。

¹³⁰ 丸紅 (<https://solacle.jp/magazine/detail/lifespan>)

¹³¹ 国税庁 (https://www.nta.go.jp/taxes/shiraberu/taxanswer/shotoku/pdf/2100_01.pdf)

¹³² 日刊工業新聞 (<https://newswitch.jp/p/40001>)

① 耐久性の課題

有機系材料を使用するペロブスカイト型太陽電池は、耐久性が大きな課題となっている。耐久性には、主に「耐熱性」、「耐湿性」、「耐光性」が求められるが、パナソニックの報告によると、「耐熱性」と「耐光性」については実用化に向けた条件をクリアできそうな結果を得ている。

「耐湿性」については、85°C85%試験 1000 時間後の変換効率の維持率 96%を実現したという報告¹³³があるものの、これで実用上十分かは定かではない。今後、屋外暴露試験と各種負荷試験の関連性を把握することで、加速係数を導出し、寿命予測手法を確立するとのことである。

パナソニックとは別に、積水化学が実用化に向けた実証実験を進めている。積水化学は大気中の水蒸気を封止するバリアフィルムを開発しているが、20 年以上の耐湿性を保証する性能はかなりレベルが高いことが予想されている。有機 EL ディスプレイやペロブスカイト型太陽電池で使用されるバリアフィルムの要求水蒸気透過度 (Water Vapor Transmission Rate: WVTR) は、10-6g m⁻² day⁻¹ 程度とされている¹³⁴が、屋外で風雨にさらされる太陽電池は室内で使用するディスプレイ以上に厳しい封止条件が要求されると思われる。水蒸気透過度以外の条件も含めてバリアフィルムの開発進捗が注目されている。

② 高発電効率化の課題

発電量を稼ぐには大面積にする必要があるが、内部直列抵抗の影響を抑制するため、受光面を複数のセルに分割して直列接続する方法が取られている。この時、各セルの発電効率のバラツキを抑える必要がある。各セルの発電効率のバラツキが大きいと、全体の発電効率を落としてしまうからである。

ペロブスカイト型太陽電池の場合、塗布した発電材料の膜厚によって発電量が決まるため、できるだけ膜厚を均一にすることが必要である。パナソニックが発表した文献より、要求される膜厚は 0.5 μm 程度と考えられ、この厚さで均一に塗布する量産技術が求められている。

③ 低コスト化への課題

発電材料や封止材などの材料の低コスト化はもちろんのこと、製造においても発電材料の均一な厚みでしかも高速に塗布することで生産性を上げることが求められる。

発電材料の塗布方法は、当初用いられたスピコート方式の他、インクジェットやスプレー方式がある。スピコート方式は均一な膜厚を確保しやすいが、セルの大面積化や Roll to Roll の生産方式には向かないため、コスト低減には限界がある。生産性に優れる Roll to Roll にはスプレーかインクジェットが向いている。パナソニックはインクジェット方式を採用している。

¹³³ NEDO 「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 (開口部向けペロブスカイト B I P V モジュールの開発)」2022 年度分中間年報 (2023) .

¹³⁴ J S T 研究成果最適展開支援プログラム・新技術説明会資料「印刷で作製できるガラス並みのウルトラ・ハイバリア」(2022) https://shingi.jst.go.jp/pdf/2022/2022-jst-2_004.pdf

量産へ向けた開発も並行して進められているが、如何に寿命を加味した総発電量に対する総コスト（生産コストのみならず稼働期間に必要なコストの総計）を下げていくかが、普及に向けた制度設計にも重要な課題である。

(2) 可視光透過型太陽電池（TPV）を搭載した BIPV の課題

UE 社の技術の詳細は企業秘密として明らかにされていないが、UE 社の Co-Founder と紹介されている 3 人の経歴¹³⁵を調べたところ、MIT（マサチューセッツ工科大学）で可視光透過型太陽電池（Transparent Photovoltaic、以下 TPV）を開発していたメンバーであることがわかった。彼らの名前から文献調査を行った結果^{136, 137}、有機薄膜系の太陽電池であると推定した。UE 社の太陽電池が有機系であるならば、基本的にはペロブスカイト型と同様の耐久性に課題があると推測される。従って、BIPV への応用は建物内側から交換可能な構造にすることが求められるだろう。但し、ある程度の可視光を通すため、ペロブスカイト型のように発電部分と可視光透過部分を交互に配置したストライプ状にする必要はなく、通常の窓にも違和感なく使用できる点で優位である。もちろん、実用化といえる耐久性と発電効率をどこに設定するかによるが、TPV の方が窓や庇など BIPV への応用範囲が広がり、需要も大きくなる可能性がある。

8.2 事業化及び産業化に向けた課題

BIPV の技術的課題を克服しても、事業化に向けた課題を解決しないと実用化には至らない。ここでは事業化に向けた課題を整理した。基本的には BIPV が再生可能エネルギーの普及拡大への施策の一つであるため、経済的に独立採算の目途が立つまでは政府による政策的関与は必要であると思われる。

(1) BIPV 設置事業者へのインセンティブ付与

国内では「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法」（再エネ特措法）が 2011 年に成立、翌 2012 年に施行され、2024 年 4 月 1 日付けで改正¹³⁸されている。主な制度には、FIT（固定価格買取制度）¹³⁹とフィードイン・プレミアム制度¹⁴⁰（Feed-in Premium: FIP）がある。どちらも再生エネルギーで発電した電力の料金を、電力会社が提供する電力価格と同等となるよう補助する制度である。

¹³⁵ UE web ページ (<https://ubiquitous.energy/team/>)

¹³⁶ Lunt, R. and Bulovic, V, “Transparent, near-infrared organic photovoltaic solar cells for window and energy-scavenging applications,” Applied Physics Letters 98, 2011.

¹³⁷ Traverce, C et-al, “Emergence of highly transparent photovoltaics for distributed applications,” Nature Energy, 2017.

¹³⁸ 経済産業省「改正再エネ特措法の施行に向けて」

(https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/kyosei_wg/pdf/012_01_00.pdf)

¹³⁹ https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/surcharge.html

¹⁴⁰ <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/fip.html>

BIPV を使用した建物の場合、何年で初期投資分が回収できるインセンティブを得られるような制度設計が必要である。また、建物の寿命より PV の寿命が短いため、PV の劣化による発電効率の低下や交換費用も試算に組み入れることが必要となる。

このようなインセンティブを受取る事業者は、商業用ビルではビル運営会社となる。なぜなら、ビルを建築する施工会社ではなく施工主となる不動産ディベロッパーが BIPV 設置にかかるコストを支払い、その投資回収をテナントの賃料から行うからである。ビル運営会社は、テナントに対して電力会社の電力価格に BIPV の投資額を適用年数で案分したコストを付加して請求することになる。このコスト付加部分をインセンティブとしてビル運営会社へ還付する制度があれば、積極的な導入が図られると思われる。

参考として図 8-1 に、上記の説明を考慮した、BIPV を導入した商用ビルの簡易的なビジネスフローを示す。

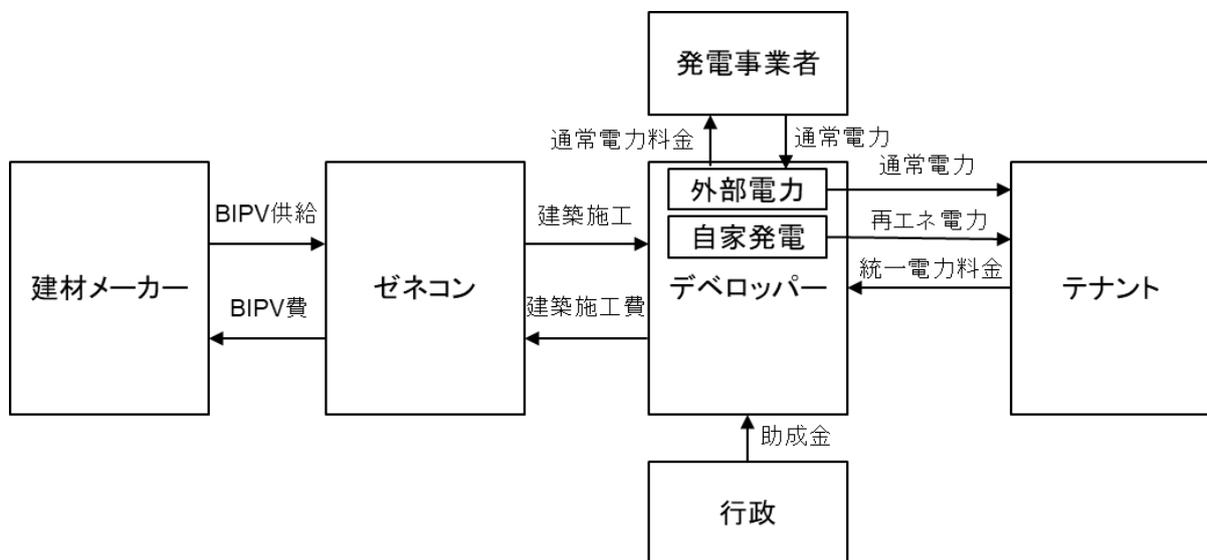


図 8-1 BIPV を導入した商用ビルの簡易的なビジネスフロー (未来工学研究所作成)

(2) 初期投資負担の軽減措置

BIPV の事業化を加速させるために、開発費や初期量産投資の負担軽減措置は有効である。政府は環境技術普及促進協会を通じて、「新たな手法による再エネ導入・価格低減促進事業」の一環として「窓、壁等と一体となった太陽光発電の導入加速化支援事業」の公募¹⁴¹を開始している。

公募説明会資料¹⁴²によると、補助対象経費は必要な工事費（本工事費、付帯工事費、機械器具費、測量及び試験費）、設備費、業務費及び事務費となっており、補助金の交付額は以下のように定められている。

- ・ 窓と一体となった太陽光発電設備：補助率 5 分の 3（上限は 5,000 万円※）

¹⁴¹ <https://www.eta.or.jp/offering/2024/offsite/index.php>

¹⁴² https://www.eta.or.jp/offering/2024/offsite/files/03_koubogaiyou.pdf

- ・ 壁等と一体となった太陽光発電設備：補助率2分の1（上限は3,000万円※）

※ 2か年の場合は、2か年の合計額の上限額。

この施策がどの程度の普及促進効果をもたらすかは、今後の評価をまたなければならないが、BIPV 普及に向けた政策が日本でも動き出していることを認識しておきたい。

8.3 わが国の BIPV 関連産業の成長条件

我が国は、太陽光発電関連分野で、苦い経験を喫した。日本はシリコン系太陽光発電分野では研究の着手段階から先陣を切り総合電機系各社がその実用化を目指してしのぎをけずってきた。しかし、シリコン系の光電変換効率は不純物の存在により大きく損なわれるバンド構造であるため、純度を高める競争となり、電気料金の価格に製造コストが大きく左右される。日本各社の戦略は発電効率を高めることによってコスト競争で優位な位置に立つことを願った。欧州では、再生可能エネルギーの普及により脱炭素化を目指し、補助金により他の電源に対抗できる条件を整えることにした。一方中国は電気料金の安いノルウェーから安い金属シリコンを輸入し国内の巨大市場むけに大量生産方式により安価な単結晶版を製造する方式を確立し、補助金も得て輸出競争力も固めた。日本各社が気づいたときには中国は圧倒的なコスト競争力を有していた。

次の戦場はペロブスカイト太陽電池（PSC）である。特許分析によれば、中国はまだ PSC に乗り出していないようであるが、韓国は既に PSC による BIPV をターゲットにしている。欧州は、伝統的な外観を保持した部材など BIPV への進出のキーワードは景観である。PSC はまだ完成された技術ではなく、シリコンを凌駕する光電変換効率と少なくとも 10 年以上の耐久性の確保が望まれる。シリコンと比較すると、PSC の最大の利点はコストと容易な製膜法である。形状の単純な一体型屋根材分野で中国と競うより、大規模ビルの側壁の方がデザインを加味するなど高級感等の武器で戦える。その場合、ビルごとに異なる規格が入り込み我が国に向いているのではなかろうか。

この領域では多分野の事業者が介在することになり、独自の開発体制が必要になる。大きな枠組みや方向性は行政が仕切るとして、実務性の高い具体的な話は関係事業者間の作業が円滑に進む方式に委ねてみてはいかがであろうか。

9. 提言

日本は、BIPV 分野において中国等の海外企業からの追随を許さないための方策を考える必要がある。以下、我が国が BIPV 産業を育成していくうえで必要な方策について提言する。

- ・ 国は、PSC（ペブロスカイト）を用いた建材一体型の BIPV（高層ビルの側壁を焦点に置く）に関する研究開発を推進する。
- ・ 上記の研究開発を推進していくため、高層ビルの建設にかかわる設計、建設、資材製造、材料開発等の企業群に加え、施主やディベロッパー等のニーズ側の核心を握る事業者も加えた BIPV 企業団体と、関連省庁の実務者さらにはシンクタンク等の関連研究者やコンサルタント等の知的支援者とが一体的に情報共有と意見交換が可能な開かれた場を設定し、独自の開発体制を構築する。
- ・ 国の関与は、研究開発プロジェクトの大きな方向性の設定と経費の一部の負担に留める。実務性の高い具体的な内容は関係事業者の作業が円滑に進む方式に委ねる。

(禁無断転載)

23-11-2

わが国の太陽光発電ガラス関連産業の動向と成長条件
報告書

令和6年3月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所
委託先:公益財団法人未来工学研究所

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号

TEL: 03-3434-8251

<http://www.jspmi.or.jp>