

# Task15：建材一体型太陽光発電に関する 国際研究協力の枠組み

## Enabling Framework for the Development of BIPV

松井卓矢\* 近藤道雄\*

### 1. はじめに

世界のエネルギー需要の約70%は都市部で消費されており<sup>1)</sup>、建築物などの民生部門からのCO<sub>2</sub>排出量は世界全体<sup>2)</sup>と日本<sup>3)</sup>のいずれもおよそ30%程度であると報告されている。足元でカーボンニュートラル化に向けた潮流が加速する中、都市部に多い建築物からの排出削減がますます重要になってきている。これまで、ネット・ゼロ・エネルギービル（ZEB）の普及に向けた建物の省エネ化が進められてきたが、徹底的な省エネ化を図ったとしても多くのオフィスビルなどでは正味のゼロエネルギー化を達成することは困難である。そのため、図1の例に示すように、これまで利用されてこなかった建物のファサード等に太陽電池モジュール（パネル）を組み込んだ建材一体型太陽光発電（Building Integrated Photovoltaics, BIPV）の普及を促進し、建物自体の創エネ化を図る必要がある。

しかしながら、これまでBIPV市場は未成熟で規模も小さいままにとどまってきた。これはいくつかの理由が考えられる。生産規模が小さいことに起因してコストが高いことや、専門領域が電気と建築に跨ること、規格やガイドラインが整備されていないこと、多様なデザインや意匠性が求められること、導入メリットが不明確であること、などが挙げられる。このようにBIPVの技術や社会受容に関する課題が山積する中、IEA-PVPSにおいてBIPVの普及を目的とする“Task15: Enabling Framework for the Development of BIPV”が2016年に発足した<sup>4)</sup>。Task15は、BIPVの導入障壁の明確化や各国の法規制に関する情報収集、共通基盤的な評価手法の開発、国際規格（国際標準）の策定などを目的とし、太陽光発電や建築材料、建築設計のエキスパートが集まる団体である。次項からIEA-PVPS Task15の

具体的な活動とこれまでの成果について紹介する。

### 2. これまでの活動概要

Task15はPhase 1（第一期 2016-2019）とPhase 2（第二期 2020-2023）に分けられ、現在、Phase 2の活動が始まって約1年半経過したところである。ここでは、すでに完了したPhase 1の4年間におこなわれた活動の概略と主な成果について述べる。また、活動の一環で調査がおこなわれた各国の著名なBIPV事例について紹介する。

#### 2.1. Phase 1の概要と主な成果

Phase 1は表1に示すように、A：世界各国の設置事例の調査、B：ビジネスモデルの分析、C：BIPVの国際規格化に関する調査、D：環境・リサイクル、E：実証・研究開発の5つのサブタスクで構成された。参加国は、日本の他、オーストリア、中国、ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、イタリア、韓国、ノルウェー、オランダ、スペイン、スウェーデン、スイス、カナダ（15か国）で、代表はオランダのMichiel Ritzen氏（Zuyd University）が務めた。参加国の構成から、BIPVへの取り組みが活発なヨーロッパ諸国がこの分野を牽引していることわかる。各サブタスクの成果は、テーマごとに出版されたレポートで詳細に報告されている。紙面の都合上、本稿では特に日本の寄与・貢献が大きかったサブタスクCの国際規格化に関する調査活動について述べる。

国際規格化の目的はそれまであいまいだった技術や導入基準を明確化することで普及拡大を図ることである。BIPVについては、ヨーロッパ独自のローカル規格であるEN50583シリーズが先行して発行されたが、Task15はこれを国際規格化に向けて必

\* 国立研究開発法人産業技術総合研究所

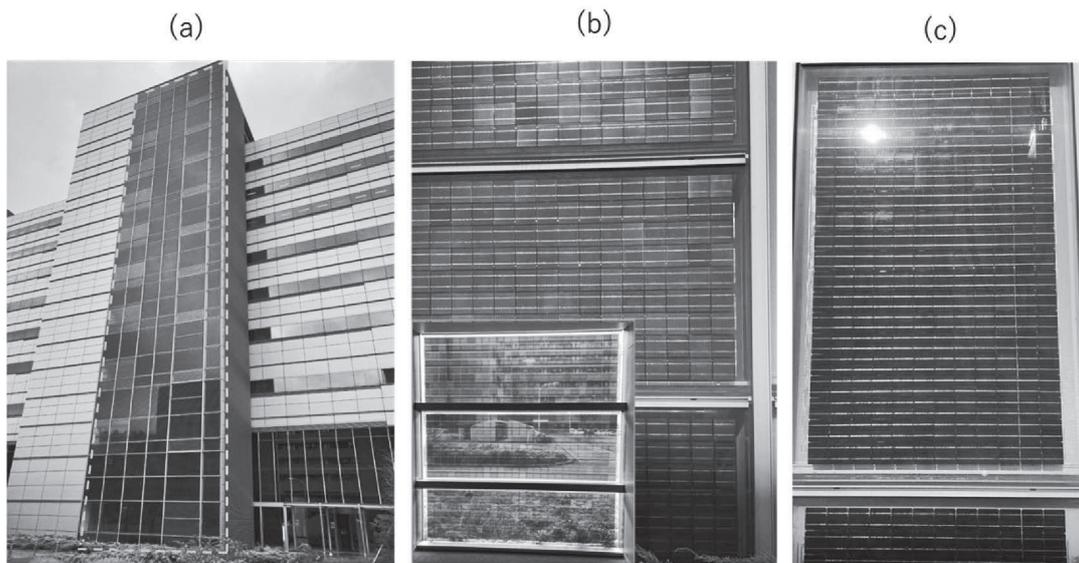


図1 (a) 9階建ビルに適用されたBIPV事例（産総研つくばセンター）。ビルのファサードとして(b)半透過型（シースルー型）や(c)非透過型の結晶シリコン太陽電池モジュールが使用されている（(a)破線部）。(b)の挿入図は屋内から撮影したもので、太陽電池モジュール越しに屋外の様子が見える。

表1 Task15 Phase1（2016-2019年）で構成されたサブタスクと、各サブタスクで取り扱われた主なテーマと出版されたレポート。

サブタスク	名称	主なテーマ	レポート
A	BIPV project database	世界のBIPV設置事例集	5)
B	Transition towards sound BIPV business models	ビジネスモデル、普及拡大の障壁	6) 7)
C	International framework of BIPV specifications	BIPVの定義 BIPVに関するニーズ・機能 BIPVに求められる仕様・規格 多機能的な性能評価手法	8) 9) 10) 11)
D	Environmental benefits of BIPV	BIPVのライフサイクルアセスメント	-
E	Demonstration	BIPV設計に必要なモデル BIPVの意匠性・色彩に関する研究開発 世界の試験機関	12) 13) 14)

要な情報収集や評価試験方法などについて整理・分析をおこなってきた。また、Task15に携わった専門委員の多くがIECの国際規格化活動にも積極的に関与してきた。その結果、2020年にIEC63092 (Photovoltaics in buildings- Part 1: Requirements for BIPV modules, - Part 2: Requirements for BIPV systems) が発行された。これは当時の想定よりも短い時間で発行に至ったもので、国際連携が有効に機能した好例であるといえる。Task15のサブタスクCでは、IEC63092シリーズの発行に至るまでBIPVの国際規格化への提言を目的に活動し、4年間で以下の4つのレポートを作成した。

1番目のレポート (International definitions of BIPV)<sup>8)</sup> では、BIPVに関する既存の国際規格 (ISO)

や、各国・地域の規格、研究開発プロジェクト等でBIPVがどのように定義されているか、についてまとめられている。共通することとしては、「BIPVの太陽電池モジュールは発電機能と建材機能をあわせもち、太陽電池モジュールを取り外した際は適切な建築材料で置き換えが必要なもの」として定義されている。ここで建材機能とは、気候耐性（耐風圧、水密性、気密性）や熱・日射除け、落下防止、防火、防音など多岐にわたり、その定義の範囲については国・地域ごとにわずかに異なる。BIPVを設置する建物の部位としては、一般的な屋根の他、スカイライト（天窗）、ファサード（レインスクリーン、カーテンウォールなど）、バルコニー・パラペットなどがある（図2）。一方、建物の外皮に太陽電池モジュール

ルを取り付けた (attachした) ものは太陽電池モジュールを取り外しても建材機能が維持されるため、Building Attached Photovoltaics (BAPV) として区別されている。

2 番目のレポート (Compilation and Analysis of

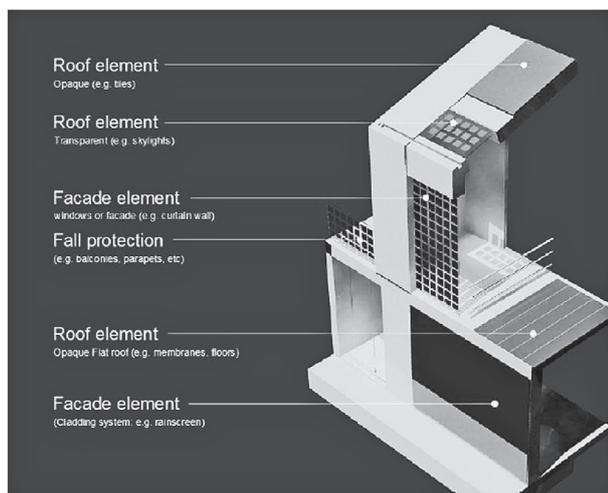


図2 様々な建築部位に適用される BIPV の例<sup>8)</sup>。BIPV の太陽電池モジュールは発電機能と建材機能を有し、太陽電池モジュールを外した際は適切な建材材料で置き換えが必要なもの、として定義されている。

User Needs for BIPV and its Functions)<sup>9)</sup> では BIPV に求められるニーズ・機能についてまとめられている。BIPV の国際規格化には考慮すべき技術的なニーズや機能が多岐にわたる。これは BIPV が電気材料であるとともに建築材料であることに由来している。表2では、BIPV の耐久性や発電量予測に関する各国の共通基盤的なニーズや、環境試験や火災安全性など国・地域によって異なるニーズについて分類されている。その他の BIPV に期待されるニーズとして、エネルギーの自給自足や建材としての美観、グリーン化推進のアピール、経済に関する価値・指標などがあるが、これらは国際規格化で取り扱うことが難しい非技術的なニーズとしてカテゴライズされている。

3 番目のレポート (Analysis of requirements, specifications and regulation of BIPV)<sup>10)</sup> は世界の BIPV に関する既存の規格についてサーベイしたもので、ここでは Task15 のメンバーである AGC の井上氏をはじめとする日本の専門委員が主導的な役割を果たした。図3に示すように、BIPV に関して

表2 BIPV に求められるニーズ・機能の分類と、国際規格化への適否 (技術的または非技術的なニーズ・機能)<sup>9)</sup>。

Category		Item	
Needs	Technical *	More International	Mechanical resistance and stability (of the user's building)
			Water tightness
			Air tightness
			Hygiene, health and the environment (for the building user)
			Safety and accessibility in use
			Protection against noise (inside and outside the building)
			Energy economy and heat retention (during operation of building)
			Electricity for consumption by user
			Reliable prediction of power generated applying simulation
			Durability/Reliability
			Ease of maintenance
			Protection against theft
			Protection against vandalism
			Flexibility in module dimensioning
			Sustainable use of natural resources (during complete building life cycle)
			Minimisation of disturbing reflection
			Declaration of performance
			More Local
	Safety in case of fire (in or near the user's building)		
	Non-technical		BIPV self-sufficiency
Aesthetically pleasing building appearance			
Visible expression of "green" values / corporate image			
Economic needs			

\*Scope of IEA PVPS Task 15 Subtask C (international standardization of BIPV)

はこれまでヨーロッパ独自のローカル規格である EN50583 シリーズ “Photovoltaic in Buildings” が 2016 年に発行されている。また、太陽電池モジュールに使用されるガラス材料に関する国際規格 ISO/TS 18178 “Glass in building - Laminated solar photovoltaic glass for use in buildings” が 2018 年に発行されている。一方、太陽光発電分野で多数ある IEC の国際規格では BIPV に関する規格がなかった。そこで、ISO と IEC、Task15 の専門家が集まったプロジェクトチームが IEC TC82 で立ち上がり、IEC 国際規格化に向けた活動が 2017 年に奈良で開催された IEC TC82 Plenary 会議からスタートした。IEC TC82 では、すでに発行されている EN50583 の Part1:BIPV modules と Part2:BIPV systems をベースとして国際規格の開発が進められた。その中で Task15 のサブタスク C では EN50583 で引用されているヨーロッパ規格と国際規格の対応関係を調査するとともに、国際規格に向けた改訂作業をおこなうことで新しい IEC63092 シリーズの発行に大きな役割を果たした。

4 番目のレポート (Multifunctional Characterisation of BIPV - Proposed Topics for Future International Standardisation Activities)<sup>11)</sup> では BIPV の多機能性評価について報告されている。このレポートでは、既存の規格にある試験手順では評価できない BIPV 特有の機能を抽出し、建材 (一般建材との比較) や PV モジュール (一般モジュールとの比較)、建築物の特徴 (部分影が発生しやすいなど) の 3 つの観点から検討がおこなわれた。試験のタイプを (1)

電気, (2) 機械的安定性, (3) 火災安全性, (4) 光学特性, (5) 耐久性・信頼性の 5 つに分類し、分類ごとに試験内容や BIPV に求められる要件、一般モジュールの評価法からの改変点などがまとめられている。

ここで BIPV の多機能性に関する性能試験の例を一つ紹介する。ビルのファサードとして設置される BIPV は窓および腰部の両方に用いられるが、日本の空調負荷の大部分は冷房負荷であり、冷房負荷の大半が窓からの日射の流入に起因する。したがって窓を遮熱型低放射ガラス (Low-e ガラス) に交換したり、日射をブラインドなどの方法で遮蔽したりするなどの方策が必要である。開口部を有する窓やカーテンウォール用の BIPV では図 4 (a) に示すように日射を遮蔽した分を発電という形で有効利用するが、この場合屋内に流入する熱量は太陽電池のない透明部分を透過してきた光による寄与と、日照射によって加熱された太陽電池からの二次的な熱放射による寄与の両方で決定される。このように入射光が熱として屋内に流入する割合を日射熱取得率 (Solar Heat Gain Coefficient : SHGC) という。この日射熱取得率の評価は、ガラスのように透過率が一樣な場合はその光学測定から計算によって求める ISO9050 の試験方法が一般的に用いられているが、開口部を有する BIPV のように太陽電池からの二次放射がある場合は単純な光学測定では正確な評価が困難である。LIXIL の石井氏らは、経済産業省の委託事業「建材一体型太陽光発電 (BIPV) モジュール・システムに関する国際標準化 (2018-2020)」のもと、

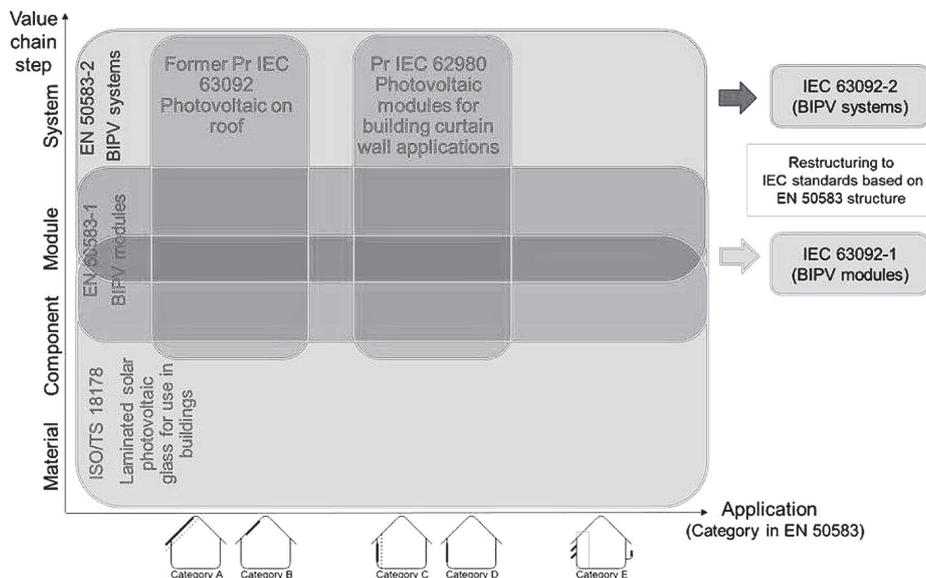


図 3 BIPV に関する国際規格 (ISO, IEC) とローカル規格 (EN)<sup>10)</sup>。各規格の対象とする BIPV の設置部位 (屋根, 壁面, ルーバー) やカテゴリー (材料, モジュール, システム) との関係について示している。

開口部を有する太陽電池モジュールの日射熱取得率を実験的に計測し、太陽電池モジュールの回路の開閉（開放状態と最適動作状態）を行うことで、発電による日射熱取得率（g 値）が低減することを実験的に証明した<sup>15)</sup>。この結果は空調負荷を低減できる BIPV の利点を裏付けるもので、Task15 においても国際規格の策定に向けて重要な研究課題として位置づけられた。

## 2.2. BIPV の事例調査

BIPV は、単に発電機能や建築機能の性能を満足すればよいということではない。例えば人の目に触れやすい建物のファサード等に太陽電池モジュールを設置する場合はその意匠性や多様性が強く求められる。一見太陽電池として認識されない BIPV が好まれたり、逆に角型の結晶シリコン太陽電池セルの配列パターンを積極的にデザインとして使われたりする。BIPV の機能や意匠は日々進化しており、世界の BIPV に関する先進事例を調査・分析することも Task15 の活動に含まれている。世界の著名な BIPV 事例については Task15 のレポートに詳細に纏められているが<sup>5)</sup>、ここでは特に意匠に重点を置

いた代表的なものを 3 件紹介する。

1 件目はデンマークにあるコペンハーゲン International School で、深緑色でタイル状の太陽電池モジュールをファサードとして用いた建物である（図 5）。700 mm × 720 mm の結晶シリコン太陽電池モジュール（12,000 枚、700 kWp）を壁面に対し上下左右の異なる方向に 4 度の角度で傾けて取り付けられた特徴的なデザインで、これにより建物によるグレア（太陽光の反射）を低減するとともに、一つの色でも異なる色合いを演出することに成功している。なお、深緑色はガラス表面のナノ構造技術により得られている。建物に接近すると角型の結晶シリコン太陽電池の配列が見えるが、一見しただけでは太陽電池であることは認識されない。一方、このような太陽電池モジュールを傾けて設置する形態では、部分影が生じる頻度が高くなる問題がでる。部分影は発電量を低下させるだけでなく、太陽電池モジュールにホットスポットを誘発し、故障や事故を引き起こす原因になるため、その対策として約 4 m<sup>2</sup> の小さい区画のモジュールごとにマイクロインバーターを接続する方式が用いられている。建物の



図 4 (a) 開口部を有する窓やカーテンウォール型 BIPV における熱の流出入と、発電による日射熱取得率への影響を表す概念図<sup>15)</sup>。(b) 日射熱取得率の評価に用いる試験装置<sup>11)</sup>。

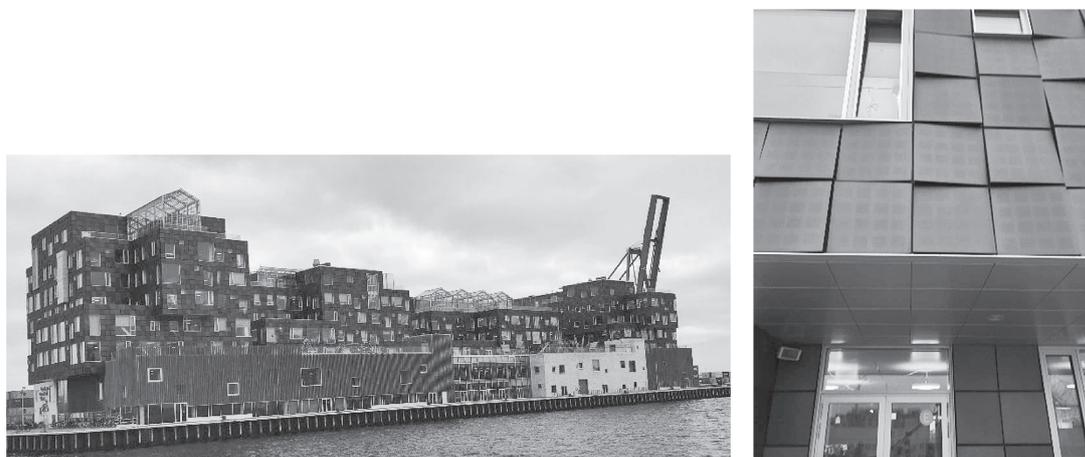


図 5 デンマーク・コペンハーゲン International School のファサードに結晶シリコン太陽電池モジュールを用いた BIPV 事例。

年間電気消費量の50%を太陽光発電で賄われている。

2件目はスイスにある住宅用のアパートである(図6)。もともとの省エネ型の建物を創エネ型の建物に改築したいというオーナーの意向で2010年にリノベーションされた建物である。1件目と同様にファサードに結晶シリコン太陽電池モジュールが使用されているが、建築物として受け入れられやすいグレーを基調とするカラーモジュール(1,545枚, 159 kWp)を使用し、至近距離でも太陽電池であることが認識されない。モジュールの単価は、一般の建材に比べて4-5万円高額であるが、売電により15-20年で回収できる試算である。

3件目については建物の説明の前にTask15で行われている全体会議について触れたい。Task15では年2回全体会議があり、これまで欧州で開催されることが多かったが、欧州以外ではこれまでモロッコとカナダ、そして日本で開催された。日本での開催は2018年2月に東京工業大学で行われた。会議の重要なサイドイベントとして、各国の代表的なBIPV事例の視察がある。図7は、Task15のメンバー

と視察した東京都豊島区役所と住宅が統合された建物の写真である。この区役所のファサードは隈研吾氏と日本設計が設計したもので、Eco Veil(エコベール)と名付けられている。建物のバルコニー部に黒色の結晶シリコンやエンジ色のアモルファスシリコン太陽電池モジュールを用い(計57 kWp)、その他、透明なガラス、木製のルーバーなど異なる色調の材料を組み合わせたデザインが採用されている。なお、後方の住宅用高層ビルの屋根とバルコニーには、それぞれ結晶シリコン太陽電池モジュールと半透過型のアモルファスシリコン太陽電池モジュールが用いられている(計77 kWp)。

### 3. 今後の活動

現在のPhase 2では、Phase 1で培われた知見やネットワークを基盤として、より高度化された活動を実施している。BIPV普及の本格化に向けた課題や障壁を広範に取り扱い、BIPVの各種利害関係者(ビル設計・施工者、エネルギー部門、公共や政府、経済関係)の間に存在するギャップを埋めることを目的として活動している。



図6 スイス・チューリッヒのアパートのファサードに結晶シリコン太陽電池モジュールを用いたBIPV事例。太陽電池モジュールは2010年の建物のリノベーションの際に取り付けられた。

(a)

(b)



図7 (a) 東京都豊島区役所と高層住宅が統合された建物のBIPV事例と、(b) Task15メンバーによる視察の様子。

表3 Phase 2で構成されたサブタスクの名称と、各サブタスクで取り組まれている主なテーマおよびPhase1のサブタスクとの関係

サブタスク	名称	主なテーマ	関連するPhase 1のサブタスク
A	Technical Innovation System (TIS) analysis for BIPV	BIPV市場拡大に向けた解析・提言	B
B	Cross-sectional analysis: learning from existing BIPV Installations	BIPV性能指数（発電量、環境、建築、意匠、経済）の評価、BIPVモジュール評価のラウンドロビン	C
C	BIPV guidelines	各国のBIPV技術情報収集・ガイドラン	A, B
D	Digitalization for BIPV	BIPVのデジタル設計ツールに関する調査	-
E	Pre-normative international research on BIPV characterisation methods	BIPVの評価手法の国際規格（日射熱取得率、電気・安全、火災、発電量予測・評価）	C

Phase 2では表3に示すように、A:技術イノベーションシステムの解析、B:既設BIPVの設置事例から学ぶ分野横断的な分析、C:BIPVのガイドライン作成、D:BIPVのためのデジタル技術、E:特性評価手法に関する国際規格化に向けた研究、の5つのサブタスクで構成されている。Phase 1の参加国の他、オーストラリアとフィンランド、シンガポールが新たに加わり（計18か国）、代表はドイツのJohannes Eisenlohr氏（Fraunhofer ISE）が務める。Phase 2のキックオフミーティングが2020年3月にドイツ・フライブルクで開催されたが、新型コロナウイルスの影響で日本からは参加できなかった。その後は2020年10月と2021年4月にオンラインで全体会議が開催されている。

表3にはPhase 1のサブタスクとの関係性を示しており、ほとんどのサブタスクはPhase 1から継続的な活動を行っていることがわかる。一方、Dのデジタル技術はPhase 2からスタートした活動であり、BIPVの普及に必要なデジタル設計ツールに関する調査を行っている。これらのサブタスクの中で、日本は太陽光発電技術研究組合を中心に実施しているNEDO委託事業「壁面設置太陽光発電システム市場拡大のため共通基盤技術開とガイドラン策定」と関連性の高いサブタスクC（BIPVのガイドライン作成）と連携し、TASK15の活動と互恵的な関係を構築することに努めている。また、サブタスクE（特性評価手法に関する国際規格化に向けた研究）では、LIXILの石井氏が前述のBIPVの日射熱取得

率の評価手法に関する活動をリードしている。このようにTask15はBIPVに関わる世界の専門家とのネットワーキングや国際協調の場として有用な場であり、今後もTask 15で作成するレポートに貢献するとともに、その成果を日本国内で広く紹介していく。

参考文献

- 1) D. Moran et al., Carbon footprints of 13 000 cities, Environ. Res. Lett. 13 064041 (2018).
- 2) IEA 「World Energy Balances 2019 Edition」
- 3) 国立環境研究所 日本の温室効果ガス排出量（1990～2019年度）確報値
- 4) <https://iea-pvps.org/research-tasks/enabling-framework-for-the-development-of-bipv/>
- 5) T. Reijenga et al., Successful Building Integration of Photovoltaics - A Collection of International Projects (2020), <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/03/IEA-PVPS-Task-15-An-international-collection-of-BIPV-projects-compr.pdf>.
- 6) P. Macé et al., Transition towards Sound BIPV Business Models, Report IEA-PVPS T15-03 : 2018, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/Inventory\\_on\\_Existing\\_Business\\_Models\\_Opportunities\\_and\\_Issues\\_for\\_BIPV\\_by\\_Task\\_15.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/Inventory_on_Existing_Business_Models_Opportunities_and_Issues_for_BIPV_by_Task_15.pdf).

- 7) P. Macé et al., Development of BIPV Business Cases -Guide for stakeholders, Report IEA-PVPS T15-10 : 2020, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/06/Task-15-STB-B3-Report\\_Final.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/06/Task-15-STB-B3-Report_Final.pdf).
- 8) H. R. Wilson et al., International definitions of "BIPV", Report IEA-PVPS T15-04 : 2018, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/IEA-PVPS\\_Task\\_15\\_Report\\_C0\\_International\\_definitions\\_of\\_BIPV\\_hrw\\_180823.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/IEA-PVPS_Task_15_Report_C0_International_definitions_of_BIPV_hrw_180823.pdf).
- 9) H. R. Wilson et al., Compilation and Analysis of User Needs for BIPV and its Functions, Report IEA PVPS T15-06 : 2019, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/IEA\\_PVPS\\_Task\\_15\\_STC\\_C1\\_Report\\_20190216.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/02/IEA_PVPS_Task_15_STC_C1_Report_20190216.pdf).
- 10) S. Inoue et al., Analysis of requirements, specifications and regulation of BIPV, Report IEA-PVPS T15-08 : 2019, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS\\_15\\_R08\\_Analysis\\_of\\_requirements\\_specifications\\_regulation\\_of\\_BIPV\\_report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R08_Analysis_of_requirements_specifications_regulation_of_BIPV_report.pdf).
- 11) H. R. Wilson et al., Multifunctional Characterisation of BIPV -Proposed Topics for Future International Standardisation Activities, Report IEA-PVPS T15-11 : 2020, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA-PVPS\\_T15\\_R11\\_Multifunctional\\_Characterisation\\_BIPV\\_report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA-PVPS_T15_R11_Multifunctional_Characterisation_BIPV_report.pdf).
- 12) N. Jakica et al., BIPV Design and Performance Modelling : Tools and Methods, Report IEA-PVPS T15-09 : 2019, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS\\_15\\_R09\\_BIPV\\_Design\\_Tools\\_report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R09_BIPV_Design_Tools_report.pdf).
- 13) G. Eder et al., COLOURED BIPV Market, Research and Development : Tools and Methods, Report IEA-PVPS T15-07 : 2019, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS\\_15\\_R07\\_Coloured\\_BIPV\\_report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf).
- 14) G. Eder et al., BIPV research teams & BIPV R&D facilities -An international mapping, Report IEA-PVPS T15-02 : 2017, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/BIPV\\_](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/BIPV_)

[Research Teams BIPV R D Facilities. An International Mapping by Task 15.pdf](#).

- 15) H. Ishii et al., Thermal Performance (G-Value and U-Value) - Evaluation of BIPV Applied to Glass Facade. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Conference, Amsterdam, (2017).

### 謝辞

本稿を執筆するにあたり，Task15の活動開始当初から専門委員として参画された太陽光発電技術研究組合の斉藤洋子氏に多大な協力をいただいた。Task15の活動は国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構の支援のもと，太陽光発電技術研究組合や垂直設置PV基盤技術検討委員会と実施したもので，関係各位に感謝申し上げます。

### 著者略歴



松井卓矢 (まつい たくや)

2002年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士後期課程修了。博士(工学)。2002年に産業技術総合研究所に入所。2015-2016年ドイツFraunhofer-ISE客員研究員。現在は産業技術総合研究所ゼロエミッション国際共同研究センター 上級主任研究員。埼玉大学連携准教授、名古屋大学客員教授。



近藤道雄 (こんどう みちお)

1987年大阪大学大学院基礎工学研究科物性物理専攻博士課程修了。工学博士。1987年東京大学助手を経て1993年に電子技術総合研究所(現産業技術総合研究所)に入所。2004-2013年産業技術総合研究所太陽光発電研究センター長。現在は同所ゼロエミッション戦略部 上席イノベーションコーディネータ。東京工業大学連携併任教授，北陸先端大学連携併任教授，福島大学客員教授，国際電気標準会議TC82国際議長。