

# 再生可能エネルギーと建築デザインの融合 －欧州の ZEB / ZEH 化と BIPV の 最新事例・最新動向－

Renewable energy and fusion of the building design

-Trend latest European ZEB/ZEH the latest example of becoming it and BIPV-

矢野一志\*

## 1. はじめに

現在の新型コロナウイルスによるパンデミックが起こる少し前、昨年10月、11月にスイス・ベルンで開催された Advanced Building Skins Conference とチューリッヒで開催された BIPVBOOST の2つの会議に参加する機会を得た。NEDOの「既存建築物への ZEB 化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査」の PVTEC 調査委員会の委員での参加であったが、個人的な活動としても、太陽エネルギーデザイン研究会理事を通してのこれまでの活動と知見を広げる意味で貴重な機会となった。

特に、BIPVBOOST の事例視察ではチューリッヒ市内の3つの BIPV (建材一体型太陽電池) の最新事例を実際に見ることができたのは大きな収穫となった。本稿では、太陽エネルギーデザイン研究会での海外事例の視察や今回の BIPVBOOST での最新事例の視察、Advanced Building Skins Conference でのトピックスなどを通して、太陽エネルギーを中心とした「再生可能エネルギーと建築デザインの融合」について考えてみたい。

## 2. 建築デザインにおける PV 表現の変遷

昨年のスイスでの2つの会議と最新事例の視察報告の前に、これまでの建築デザインにおける PV 表現の潮流について整理を行いたい。筆者は2011年秋に太陽エネルギーデザイン研究会編「BIPV って何? 太陽エネルギーを纏う建築」を出版するに当たって、ドイツとスイスの PV を設置した ZEB / ZEH の事例を視察した。その際に、分類したのが「第1世代～第4世代の建築デザインにおける PV 表現

要素の変遷」である。それらのカテゴリーの理解を深めるために第1世代から第4世代までの PV デザインの流れをおさらいしたい。

まず、「第1世代」以前の分類として「第0世代 / PV デザイン以前」が存在する。設備としての PV をそのまま屋上や屋根に設置していた時期であり、表現としては未成熟だが黎明期に当たる。次に、「第1世代 / 見せる PV デザイン」である。代表的な事例はドイツ・フライブルグ郊外のエコロジータウン・ヴォーバンでソーラーアーキテクトのロルフ・ディッシュが構想・実現した Heliotrop や Solar Plus Energy House, Solar Ship などの一連の建物群がある。Heliotrop (図1) は、向日性の美しい植物の名称で、ギリシャ語の helio (太陽の) と tropos (向く) が語源となっている。太陽を追尾しながら PV と建物自体が回転するアイデアは、当時は画期的であったが PV のコストがコモディティ化



図1 Heliotrop/Rolf Disch solar Architecture

\*カモイケデザインラボ一級建築士事務所 代表



図2 フライブルグの外壁にPVを設置した建物



図3 Kraftweak-B/Grab Architekten

した現在では、当然ながら効力のない手法になってしまった。又、フライブルグではPVを直接外壁に貼った建物（図2）もあったが、これらは、ある種の啓蒙的な思想や、楽観的な未来への世界観が表現されており、PVデザインとしても建築デザインとしても前時代的なカテゴリーに分類される。

「第2世代／見せないPVデザイン」は、代表的な事例としてスイスのソーラーアーキテクトのベアット・ケンプフェンが構想・実現したSunny WoodやSunny Wattなどが挙げられる。Sunny Wattは、屋根に設置されたBIPVと真空管式太陽熱温水器、地中に貯められた太陽熱を利用する地中熱ヒートポンプなどを導入したゼロエネルギーの集合住宅である。アクティブな手法だけでなく、日射制御やダイレクトゲインなどのパッシブな手法も組み合わせたアクティブ&パッシブ手法のひとつの完成形である。屋根に設置されたBIPVは美しい納まりで創られているにも関わらず、巧みに外観として見えないようにデザインされている。スイスという都市景観や自然景観を守ってきた風土や国民性が強く反映されていると考えられるが、建築における隠喩的な表現としてPVの存在を暗示しておりデザイン的にも優れている。

次に「第3世代／知覚させるPVデザイン」であるが、代表的な事例として、グラブアーキテクトのKraftweak-Bやレネ・シュミットアーキテクトのUmwelt Arenaが挙げられる。Kraftweak-B（図3）はソーラーエンベロップという究極のエネルギーコンセプトを具現化した集合住宅である。外皮全体がエネルギーを生み出す装置になっており、屋根建材一体型のBIPV、そして、外壁は壁建材一体型の太陽熱パネルで覆われており、一年を通して太陽エネルギーを受光しやすい傾斜屋根にBIPV、冬に需要が高い太陽熱温水パネルを外壁の垂直面に設置して



図4 マイケル・グレッツェル教授の特別レクチャー

おり、季節による太陽高度を考慮した合理的な手法と言える。外皮全体をエネルギーエンベロップとすることでZEH化を実現し、さらに、余ったエネルギーを隣接建物に供給しエネルギーシェアしている。フレームレスのBIPVを設置した屋根は、ガラスの質感とミニマムな納まりで表現要素として先鋭化した印象を与えている。

最後に「第4世代／知覚させないPVデザイン」である。このカテゴリーの代表的な事例はまだないのだが、ヒントになったのは、太陽エネルギーデザイン研究会で訪問したローザンヌ工科大学の色素増感太陽電池研究で著名なマイケル・グレッツェル教授から受けた特別レクチャーである（図4）。将来、軽量化されてコスト効率も高くなった色素増感太陽電池が美しく建物を飾り、内部空間においてもオフィス・パーティーなどの家具と一体化されて発電、又、エネルギーハーベスティング技術によりパソコンなどのIT機器、家電などもスタンドアロンで環境に優しい社会の実現に繋がっていくという内容であった。色素増感太陽電池に限らず、様々な環境発電技術の確立によって、現在進行中の「第3世代のPVデザイン」が成熟化した先に、「第4世代のPVデザイン」として、もはや身の回りにPVなどの再生可能エネルギーが存在することも特別で

ない、普遍的な風景として再生可能エネルギーと建築デザインが融合していく未来を覗くことができた。

### 3. スイスの環境エネルギー戦略とスイスソーラー大賞

欧州各国で PV や BIPV を設置した優れた建築デザインは数多く存在するが、何故、スイスではそれらの優れたデザインが継続的に進化しているのかを考えてみたい。ひとつ目は、エネルギー政策と規制の関係である。スイスでは、新エネルギー法が国民投票で可決され、2050 年までに脱原発を実現することが国家方針で決定、現在、太陽光発電などの再生可能エネルギーや省エネを推進している。ドイツの 2022 年までの脱原発と比べると変化は緩やかであるが、新エネルギー法は 2035 年までに太陽光発電量を現在の 4 倍にし、多様な再生可能エネルギーを組み合わせたエネルギーミックスを実現、2050 年までに脱原発を達成する計画である。一方で、スイスは、野立ての太陽光発電については、観光立国で都市景観や自然景観を大切にしているため規制が強く掛かっている。このような社会背景から、建材一体型の BIPV が継続的に研究開発され国内で普及している要因となっている。

ふたつ目は、スイスソーラー大賞の存在である。スイスでソーラーエネルギーの普及に寄与したパイオニア的なプロダクトや建築などを毎年表彰する賞である。スイスソーラー大賞の中でも特に優れたプラスエネルギー建築に与えられるのが、世界的に著名な建築家のノーマン・フォスターが審査員を務めるノーマン・フォスターソーラーアワードである。Kraftweck-B (図 3) は 2010 年のこのアワードを受賞しており、この賞の存在が、建築家やデザイナーにとってひとつの目標となっていると考えられる。

### 4. BIPVBOOST で視察した最新事例

昨年秋の BIPVBOOST の最新事例ではスイス・チューリッヒ市内の 3 つの建物を視察することができた。これらは「第 3 世代 / 知覚させる PV デザイン」に位置付けられるが、Kraftweck-B (図 3) より進化しており、「第 4 世代 / 知覚させない PV」に移行しつつある事例と言える。一件目の事例は、2016 年完成の Viriden + Partner AG の設計による 7 階建ての集合住宅、MFH Hofwiesen-Rothstrasse (図 5～図 8) である。老朽化した集合住宅の ZEB 化改修であり、一部増築も行われている。屋根に 30kw の太陽電池、外壁に 160kw の太陽電池が設置



図 5 MFH Hofwiesen-Rothstrasse /Viriden + Partner AG



図 7 MFH Hofwiesen-Rothstrasse のディテール



図 6 MFH Hofwiesen-Rothstrasse の近景



図 8 MFH Hofwiesen-Rothstrasse の屋上の PV

されており、外壁4面はBIPVで構成されているが、グレーのカラーガラスの採用により古い街並みに調和した景観になっていることが特筆される。但し、着色したガラスにより発電量は4割程度低下している。効率性の価値観だけでなく、美観に配慮したデザインの価値観が優先されていると言える。太陽電池は単結晶シリコンであるが、ガラスの着色は濃く、外壁にセルの形状は全く見えない。遠景として見た時は一見、アルミパネルの外装のようにも認識されるが、近づくともこれまでに見たことのない外装材であることがわかる。一般的に着色したガラスをわざわざ外装全体に使用することはないので新鮮な印象を与えると同時に、建築的なディテールの納まりも美しく、高級感のある建材として非常に魅力的である。既設建築物の改修の為、パネルサイズの種類は多くなっている。この建物はもともと6階建てであり、1層階上げすることにより、床が増加して集合住宅としての収益性が向上している。又、外断熱の外壁改修も同時に行っており物件の資産価値も向上している。これらの与件も寄与してBIPVを活用した先進的なZEB化のプロジェクトが実現している。

二件目の事例は、2017年完成で同じViriden + Partner AGの設計による4階建ての集合住宅、

MFH Seewadelstrasse (図9～10) である。屋根と外壁で74kwの太陽電池が設置されている。同じ設計者であるが、大きな違いとしてはこの事例は改修でなく新築プロジェクトである。その為、外壁のパネルサイズが統一されており、BIPVによる外壁構成が効率化されている。又、外壁の妻側と平側でカラーガラスの色を切り替えることにより、モダンで軽快な印象を与えている。

三件目の事例は、2017年完成でArchitekten Gestaltenの設計による5階建ての集合住宅、Wohnhaus Solaris (図11～12) である。屋根に25kwの太陽電池、外壁に47kwの太陽電池が設置されている。この事例で特筆されるのは着色されたBIPVのカバーガラスの表面がフラットでなく、スクラッチタイルのようなテクスチャーが施されている点である。カラーもテラコッタ調で特色があり、パネルも横長形状をウマ貼りで設置することにより、一見、分かっているでもこれがBIPVであることに戸惑いを覚えるほどである。カバーガラスにテクスチャーが施されていることにより、発電効率は下がっていると考えられるが極めてデザイン性は高く、新しい建材としてのBIPVの可能性を感じる事例である。



図9 MFH Seewadelstrasse/Viriden + Partner AG



図11 Wohnhaus Solaris/Architekten Gestalten



図10 MFH Seewadelstrasseのディテール



図12 Wohnhaus Solarisのディテール

## 5. Advanced Building Skins Conference

Advanced Building Skins Conference は、先進的な建物の外皮に関する会議である。この会議では先進的な外皮デザインの素材や構造、ダブルスキンや省エネ、そして BIPV による太陽光発電の導入などが報告された。また、会場では最新の BIPV のサンプルの展示なども行われた。会議では建物の外皮を活用して、地球温暖化に歯止めをかけるべく CO<sub>2</sub> の排出量をいかに削減するかのような様々な試みが報告された。欧州の BIPV のトレンドとしては、発電量そのものの優劣以上に、いかに美しく太陽電池を外壁に設置することができるかが、次世代の大きなニーズとなってきている。この点は、日本とは異なり、都市景観や自然景観を大切に守ってきた欧州の歴史や文化も大きく影響している。各報告に共通するのは、「ブラックが美しいから、ホワイトが美しいへ」というキャッチフレーズに代表される新しい価値観である。より多くの建物が BIPV を活用して ZEB / ZEH 化していく為には、多様な BIPV のデザインが必要である。会場には様々なカラーや様々なテクスチャー、様々なプリントのサンプルが展示されていた。ホワイトのカラーガラスは、発電量は

下がるが、欧州では今後需要があると考えられており各社が開発を行っている（図 13）。

また、他の傾向としては、ブラックのセルの配列パターンを工夫することによってデザイン性を高める報告があった（図 14）。これも発電量は下がるがセル自体が低価格化していることによってニーズが生まれる可能性がある。その他、ガラスのソーラーチムニーに太陽電池を組み込むシステムの開発の報告があった（図 15・16）。省エネ化の建築的な要素技術に太陽電池を組み込むというアイデアは他の要素技術との掛け合わせも含めて可能性を感じる報告であった。

## 6. 最後に／持続可能な循環型社会に向けて

欧州の状況と日本では気候風土を含め異なるため、必ずしも欧州の最新事例や試みを追いかける必要はない。しかし、持続可能な循環型社会に向けての技術開発や制度設計が必要であることに変わりはない。今後、日本でも太陽エネルギーをはじめとした再生可能エネルギーを活用した ZEB / ZEH 化を推進していく為にも、欧州のように各分野が議論し、融合し、新しい価値観やライフスタイルなどのニーズを創出し、事業主や市民に提案していくことが大



図 13 ホワイトガラスの BIPV のイメージスライド

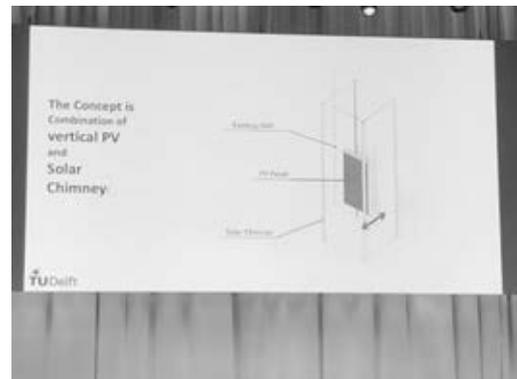


図 15 ソーラーチムニー PV 内臓の模式図のスライド

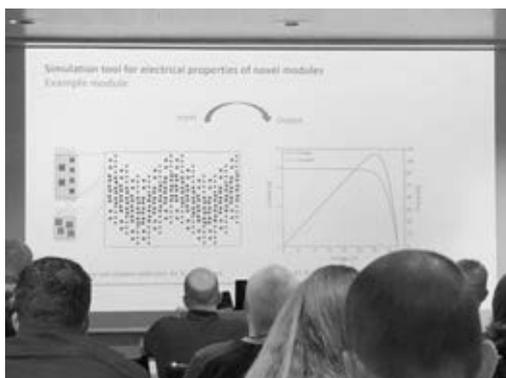


図 14 セルの配列パターンのデザイン例のスライド

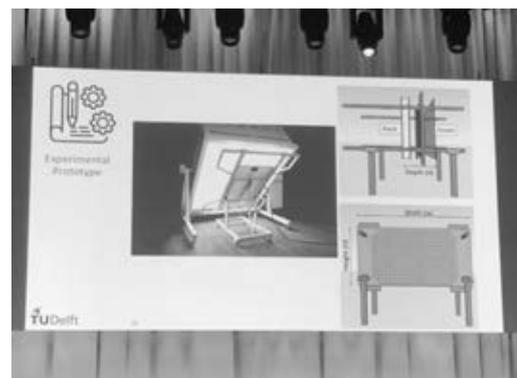


図 16 ソーラーチムニー PV 内臓の実験写真のスライド

切だと考える。

## 参考文献

- 1) 「BIPV って何？ 太陽エネルギーを纏う建築」  
／太陽エネルギーデザイン研究会編：テツア  
ドー出版
- 2) [https://www.solaragentur.ch/solarpreis/  
schweizer-solarpreis](https://www.solaragentur.ch/solarpreis/schweizer-solarpreis)
- 3) <http://www.swissinfo.ch/jpn/polit>
- 4) [http://poll.eth-communications.ch/dl/45-C13%20  
Prixforix%202017%20Virdén%20Partner.pdf](http://poll.eth-communications.ch/dl/45-C13%20<br/>Prixforix%202017%20Virdén%20Partner.pdf)
- 5) <http://www.viriden-partner.ch/>
- 6) [http://nightshift.ch/wpcontent/uploads/  
2018/02/GHS\\_1801\\_solaris.pdf#search=%27Wo  
hnhaus++Solaris%2F Architekten+Gestalt  
en%27](http://nightshift.ch/wpcontent/uploads/<br/>2018/02/GHS_1801_solaris.pdf#search=%27Wo<br/>hnhaus++Solaris%2F Architekten+Gestalt<br/>en%27)

※図中の写真は全て筆者の撮影による（図5～  
図16はNEDO「既存建築物へのZEB化に向  
けた太陽電池設置の可能性に関する調査」）

## 【略歴】



矢野一志

カモイケデザインラボ一級建築士事務  
所 代表

1968年 愛媛県今治市生まれ

1991年 日本大学理工学部海洋建築  
工学科卒業

1994年 早稲田大学大学院修士課程建設工学建築  
意匠専攻修了

以降、(有)今村雅樹アーキテクト、組織  
建築設計事務所などに勤務

2004年 (有)ウィークサムズ・スタジオ一級建築  
士事務所設立 代表

2009年～2014年日本大学理工学部海洋建築工学科  
非常勤講師を兼務

2011年～太陽エネルギーデザイン研究会理事

2015年 「BIPV って何？ 太陽エネルギーを纏う  
建築」／テツアドー出版共同執筆

2019年 カモイケデザインラボ一級建築士事務所  
に改称

東京と愛媛県今治の2拠点で設計活動を行う  
以降、現在に至る