

建築への太陽電池の最適な設置方法に関する研究

佐藤 克芳¹・宮坂 力¹・池上 和志¹

桐蔭横浜大学大学院工学研究科

(2012 年 4 月 10 日 受理)

1. はじめに

一今後の電力供給システムのあり方と太陽電池の建築における位置づけー

2011. 3. 11 の震災事故によって原子力から改めて自然エネルギー利用に強い関心が向けられている。また、災害時における大規模ライフラインの脆弱性があぶりだされ、これとは別系統のエネルギー供給システムを確保しておく重要性が認識された。すなわち分散型独立エネルギー供給システムの確保である。

電力においては、化石燃料による自家発電、燃料電池、風力発電機、太陽熱発電機、太陽電池等があげられるが、災害時における燃料供給面の懸念、安全性、規模等を勘案すると太陽電池が一番適していると考えられる。この太陽電池を利用した小規模な独立分散型エネルギーシステムを考えた場合、各建物はその単位となり、建物は 1 個の電力供給システム、すなわち発電所になる。この建物を最も効率的な発電施設として機能させるために、多種ある太陽電池をいかに効果的に建物に設置するかが重要となる。

現在、建物南面屋根部分に結晶シリコン太

陽電池を設置するのが主流となっているが、面積的には限られており、設置できる太陽電池数量には限界がある。また、重量も相当なものであることから、施工的に難があり、強度面、防水面等建物にも負担をかけている。建物を効率的な発電体とするためには、発電効率の高い太陽電池を採用することの他、太陽電池をより多くの建物部分に取り付け、大きな設置面積を確保することも重要となる。このためには軽量で屋根部分以外にも使用できる太陽電池をはじめ、独自の特性を持つ太陽電池を、その特性に合わせて建物各部位へ適用することが重要である。このようなことから、将来的には太陽電池は建築を構成する重要な部材、すなわち建材の一つになっていくものと考えられる。

建築を災害時における視点でとらえると、災害時において一番に確保すべきは人命であり、物理的な面からはシェルターとしての建築が重要となる。これには耐震性、強度、安全性が要求される。また、生活面からはライフラインの確保が重要であり、特に独立して電力の供給体となりえる建築が重要性を増している。この発電電力によって TV、IT 機器への電力供給・補充、照明、冷暖房、エレベ

¹ Katsuyoshi Sato, Tsutomu Miyasaka and Masashi Ikegami : Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Japan 225-8503

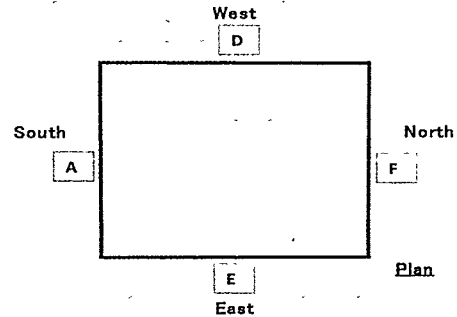
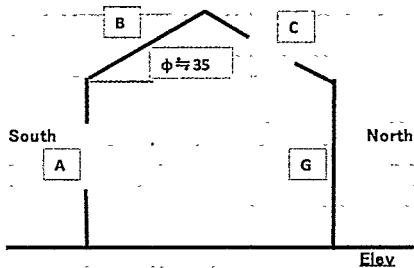
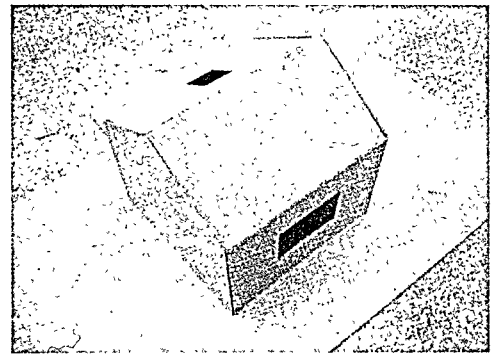
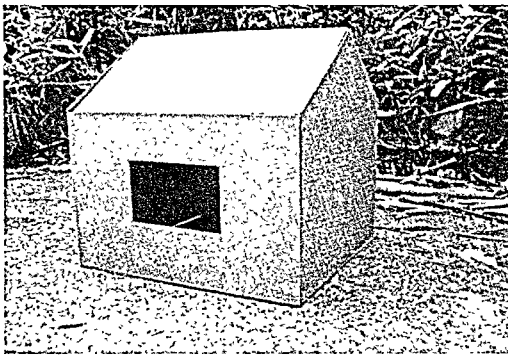


図1 光強度の計測に用いた模型ハウスの構造

ター、給排水ポンプ用の電源等としての利用が考えられる。なお、災害時には、電力は大容量よりは小口、ポータブル、軽量、シンプル構造、交換容易性等といった性能が求められるであろう。特に災害時にはタイムリーな情報が重要であり、携帯IT機器からの情報取得が有効であることは今回の震災が教えるところであり、これら機器への電力供給のため、人々が避難、居住している建築における発電はより利便性が高く重要であると言える。本稿では各種太陽電池の特性と、建築への最適な応用方法について考察する。

2. 建築への設置において太陽電池に求められる性能

建築物を効率的な発電体として機能させるためには、太陽電池を屋根だけでなく、建物正面部分、外壁、内壁、窓、天窓等幅広く設置してより大きな太陽電池設置面積を確保することがまず重要となる。そのうえで、その

設置部位に最適な太陽電池を選択することが重要である。

建築においては、外部、内部、部位、間取り、内装仕上げ、方位、時間、季節、および使用する照明器具等により光環境が変わる。太陽電池の出力は光強度と光の波長特性に直接左右されて、大きく変動することから、建築における光環境を理解しておくことは重要である。

そこで、本研究では、建築物とくに戸建ハウスについて、種々の位置における太陽光発電の出力を比較することを目的として、ハウスの模型を作製して輻射される光強度の違いと、太陽電池による光発電の出力の違いを計測することを試みた。図1はこの計測に用いた模型ハウスの写真と、構造の概略である。

図1の模型は、床面積 900 cm²、窓面積 112 cm²、天窓面積 34 cm²、屋根勾配は約 35 度となっている。この模型において、屋外にて太陽光による建物部位 (A ~ G) における太陽光輻射の強度を照度 (Lx) として実測し、その差異、および内壁、床の白色内装の有無による照度

表 1 模型ハウスの部位における太陽光輻射の強度 (Lx) と強度比

Place	A	B	C	D	E	F
Light Intensity(Lx)	2,250	4,540	1,860	985	1,100	305
Ratio	1.00	2.02	0.83	0.44	0.49	0.14

Place	A	B	G	G(toplight)
Light Intensity(Lx)	42,200	85,600	330	1,052
Ratio	1.00	2.03	0.01	0.02

Place G	Condition	Condition2	Condition3	Light Intensity(Lx)	Ratio
	toplight	Natural Wall	Natural Floor	981	1.00
	toplight	White Wall	Natural Floor	1,253	1.28
	toplight	White Wall	White Floor	1,651	1.68

の差異を測定した。この結果をまとめたのが表 1 である。(計測日時、天候：中段、下段 2011.10.10 13:00 晴れ、上段 11.3 12:30 曇り)

表 1 に示したように、太陽光のもとで、南面屋根は南面外壁の約 2 倍の照度、南面外壁は東西面外壁の約 2 倍の照度を示した。また、天窓 (トップライト) の効果は、通常窓の 3 倍以上の照度増加がみられ大きい。内装の仕上がり色の影響も大きく、白色の内壁仕上げは、原木色の約 3 割、また白色の床仕上げは、原木色に対して、照度を約 4 割も引き上げるこ

とを示した。

更に光強度以外に太陽光入射角度、照度の変化率、温度変化率も建物部位により異なってくる。建築において太陽電池に求められる性能は、発電効率、照度依存性、角度依存性、温度依存性、重量、施工容易性、可変・柔軟性、透明性等の機能面の他、デザイン性、色彩といった入居者、利用者に対する心地よさがあり圧迫感を与えない心理的な面も重要な要素となる。

以下、表 2 に建築における部位別太陽電池

表 2 建築物の部位が太陽電池に求める出力特性

	Exterior		Interior
	South	East, West	
Roof	高効率 軽量 高耐久性 温度安定性	軽量 高耐久性 温度安定性 角度安定性 照度安定性	透明性 軽量 温度安定性
Wall	高効率 デザイン性 温度安定性 高耐久性 低コスト	角度安定性 照度安定性 高耐久性 低コスト	低照度安定性 デザイン性 交換容易性 低コスト
Window	透明性 デザイン性 温度安定性 高耐久性	透明性 デザイン性 角度安定性 照度安定性 高耐久性	軽量 デザイン性 交換容易性 温度安定性

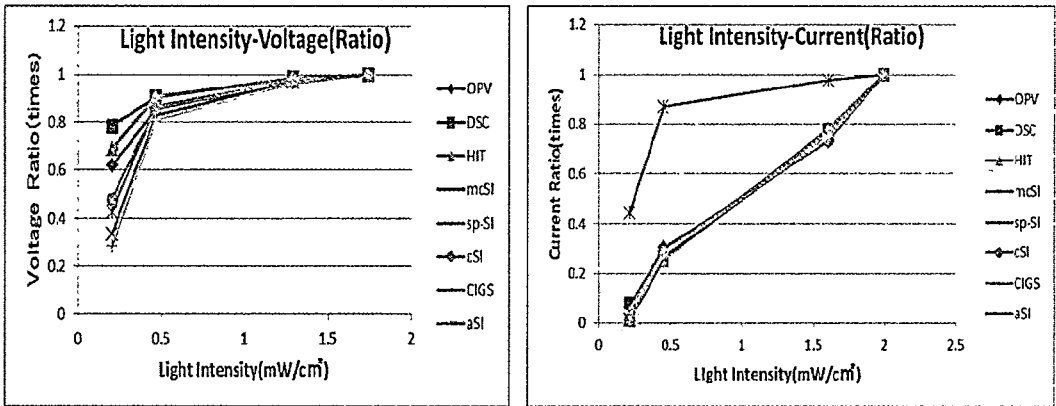


図2 各種太陽電池の光強度依存性（左：電圧、右：電流、人工照明光を用いて測定、最大値を1に規格化して示してある）

人工照明光：蛍光灯 27W、ハロゲンランプ 250W、同 500W、同 750W

に求められると考えられる出力特性を列挙した。

3. 各種太陽電池が持つ特性

建築に求められる性能を満たす具体的な太陽電池を探るため、次の8種の太陽電池について様々な光環境における特性を調査し、いくつかの市販品を購入してその出力特性を測定した。これらの太陽電池の構造と発電特性については、総説を参照されたい。³⁾

色素増感太陽電池（DSC）を除くすべての太陽電池は、固体接合型であり、いわゆる物理接合による太陽電池である。実用化しているもっとも一般的な結晶シリコン太陽電池は出力電圧が0.6V以下と低いが、太陽光の赤外波長領域までに分光特性を持つ。一方、非結晶薄膜シリコン太陽電池は、電圧は0.8V程度と高いが、太陽光の可視光（波長＜800nm）のみにしか応答しない。^{1,2)}

DSCは固体／液体接合による電気化学方式の湿式太陽電池であり、発電の原理は全く異なるものの、その分光特性と出力電圧は非結晶薄膜シリコン太陽電池にかなり近い。DSCは有機薄膜太陽電池と並んで、低コストの次世代型の太陽電池として注目されている。本研究の1つの目的は、この次世代型太陽電池

の建築への応用に向けた利点を評価することである。

〈計測に用いた太陽電池〉

色素増感太陽電池（DSC）、結晶シリコン太陽電池（cSI）、非結晶薄膜シリコン太陽電池（aSI）、有機薄膜太陽電池（OPV）、CIGS太陽電池（CIGS）、HIT太陽電池（HIT）、多結晶シリコン太陽電池（mcSI）、球状シリコン太陽電池（sp-SI）

図2に各種の太陽電池について、光強度の依存性を測定した結果を示す。電圧の光量依存性はCIGS、mcSIが高く、DSC、aSIは安定している結果を示している。電流の光量依存性はsp-SIが安定しているが、その他の太陽電池は皆同じような傾向を示し依存性が高い結果となった。なお、グラフが途中で折れているのは人工照明光の光源種の違いによるもので、ハロゲンランプのほうが蛍光灯よりも幅広い波長を有していることによる。

図3には、太陽電池の出力（電圧、電流）の光入射角度への依存性について測定した結果を示す。各種の太陽電池について、電圧の入射角度依存性はすべて同じような傾向を示し、概ね角度が大きくなるにつれて電圧は低下している。この中でCIGSが変化率が一番大きく、

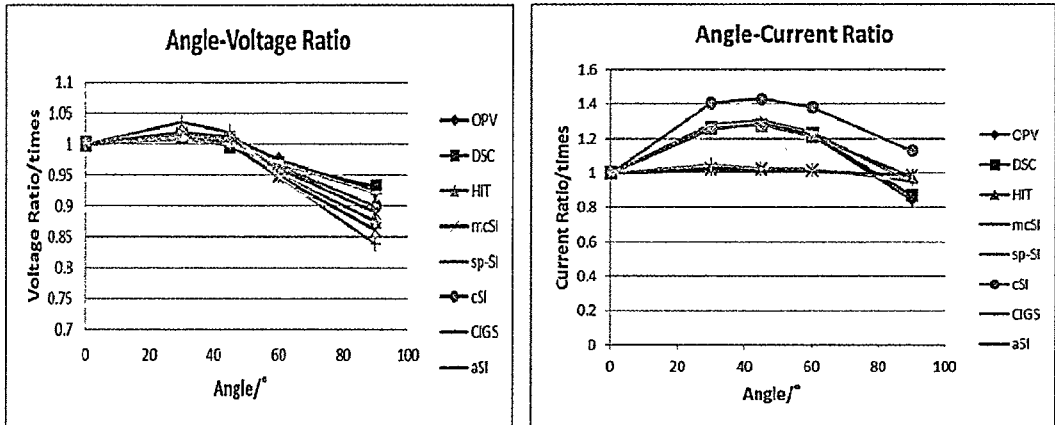


図3 各種太陽電池の光入射角度依存性（左：電圧、右：電流）
太陽光のもとで屋外にて測定。0度は地面に対し水平、90度は同垂直と設定した。

また注目すべき点として、色素増感太陽電池（DSC）は電圧が最も安定している。DSCの出力が、光強度（照度）の違いによっても影響を受けにくく安定していることは、DSCの発電の原理に基づくものであり、ここで比較した太陽電池の中で、DSCは唯一、電気化学反応を用いるタイプであることが特徴的である。一般の電池と同じく、電圧は電気化学反応による電位差（電圧）によって規定されていることから、この特徴が導かれている。^{4.5)}

球状シリコン太陽電池（sp-Si）の電流が安

定しているのは、その形状の特徴から光入射角度の影響を受けにくいことが理由として挙げられる。

4. 太陽電池の建築への適用・組み合わせ例

以上の測定結果を踏まえ、最適な建築への太陽電池設置例として、今回測定で使用した8種の太陽電池の部位別適用例を図4および表3に示す。

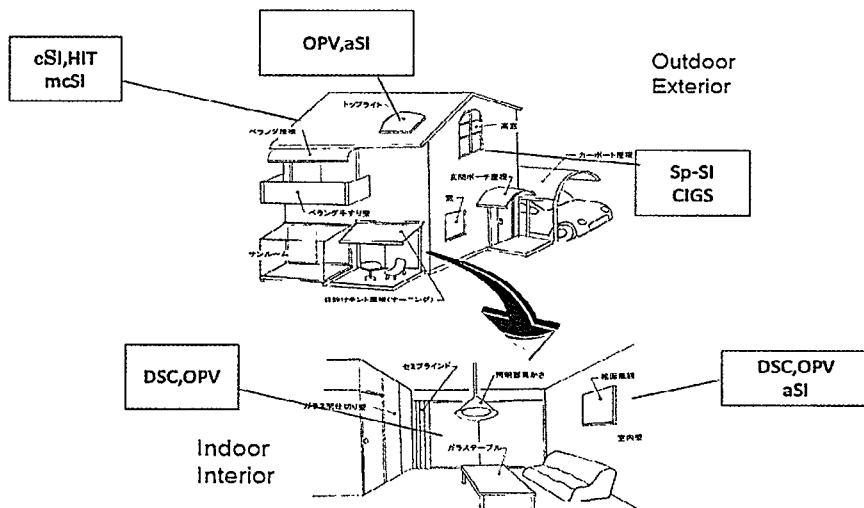


図4 各種太陽電池の建築への適用例（イメージ）

表3 各種太陽電池の建築への適用例と適用理由

	Exterior		Interior
	South	East, West	
Roof	cSI,HIT,msSI 照度依存性大きい 角度依存性大きい	Sp-SI, CIGS 角度依存性小さい 照度依存性小さい	DSC,aSI,OPV 半透明 軽量
Wall	cSI,HIT,mcSI 照度依存性大きい 角度依存性大きい	sp-SI, CIGS 角度依存性小さい 照度依存性小さい	aSI,OPV,DSC sp-SI 照度依存性小さい 交換容易性 低コスト
Window	OPV,aSI 半透明 温度安定性高い	OPV,aSI 半透明 照度依存性小さい 温度安定性高い	DSC,OPV 半透明 軽量 デザイン性 交換容易性

5. おわりに

太陽電池を設置した建築は、災害発生時に物理的に人命を守るべき施設として機能する他、独立型ライフラインの電力供給施設として人々の安全、生活を守る重要な役割を果たすことが期待される。建築をより効果的な発電体として機能させるためには、まず屋根だけでなく、建物の内外部を含めたより多くの部分を太陽電池の設置場所として活用することが重要である。そのためには、建物各部位における光環境に適した、更にはデザイン、心理面までも含めた条件に適した太陽電池を選択、組み合わせて利用することが重要となる。この点において、低照度に安定した出力性能を持つ他、軽量、カラフル、半透明、フレキシブルといった特徴を持つ次世代型太陽電池の一つである色素増感太陽電池 (DSC) は、デザイン性を付加しやすい太陽電池あり、内外装材、建具等建築には応用しやすい太陽電池といえよう。

今回、各種太陽電池の特性を測定し、その結果を踏まえた建築部位への太陽電池の選択適用を考察したが、他方、太陽電池の特性を

活かす建築構造、間取り、窓の配置、内装仕上げ等の検討も重要で、効果的であると考えられる。

今後、太陽電池は建築にとって建物に外付けする単なる発電機器ではなく、建物を構成する重要な基本部材として位置づけされていくものと考ええる。また、太陽電池を建築に合わせて選択利用していくことが必要であるとともに、将来的には、建築に合った太陽電池を開発していくことも一方では必要となるものと考ええる。

【参考文献】

- 1) 谷口 彰敏 発行, 最新太陽電池技術の徹底検証・今後の展開, 情報機構, 2008 年.
- 2) 桑野 光徳, 近藤 道雄監修, 図解 最新太陽電光発電のすべて, 工業調査会, 2009 年.
- 3) 宮坂 力 監修, “新コンセプト太陽電池と製造プロセス”, シーエムシー出版, 2009 年 5 月
- 4) T. Miyasaka, Y. Kijitori, and M. Ikegami, *Electrochemistry*, 75, 2-12 (2007) .
- 5) 宮坂 力, 月刊ディスプレイ, 18 (3) , 10-17 (2012) .