

太陽光発電一体型外装システムの開発

佐 竹 晃 義江 龍一郎

要 旨

地球環境、エネルギー問題への対応が社会的に求められている中、太陽光発電システムを備えた建築への関心が高まっている。

太陽光発電システムの建物への設置は、通常屋上部や屋根面において行われているが、設置スペースが不要、PR性が高い、従来必要な外装仕上を削除できるといった理由から、外壁面への設置が今後積極的に行われると見込まれている。この外壁面設置は、これまで主に合わせガラスに挟み込んだ太陽電池をアルミサッシに組み込む工法で行われているが、アルミサッシが目障りで意匠性が劣る、コストが高いといった課題があり改善が望まれていた。

筆者等は、この外壁面設置について「サッシレス」というコンセプトのもと、各種性能試験を通しシステム開発を進めてきた。今回技術研究所滑川分室に実証試作壁の設置を行い、サッシをなくしたことで建物を装うにふさわしいスリムな意匠性を持ち、かつ大幅な低コスト化を図ったシステムの実用化に目処をつけた。

キーワード 太陽光発電システム／地球環境／自然エネルギー／太陽電池／外装材

目 次

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1. はじめに | 5. 防耐火性検討 |
| 2. システム概要 | 6. 実証試作壁の設置 |
| 3. プロトタイプ評価による課題抽出 | 7. まとめ |
| 4. 意匠性の改良 | |

DEVELOPMENT OF A PHOTOVOLTAICS BUILDING EXTERIOR SYSTEM

Akira SATAKE

Ryuichiro YOSHIE

Synopsis:

Under the social background of conservation of global environment and energy saving, buildings with photovoltaics systems have lately drawn considerable attention.

Generally the photovoltaics systems are installed on the roofs of the buildings. However, the systems on the outside walls that need little space and have publicity for conservation will be utilized widely. The systems on the outside walls have always been fixed by sashes, but this method has weak points in its appearance and costs.

The authors have developed a non-sash photovoltaics system on building exteriors and have taken a trial on installing it to the office building of our technical research facility. It is smart in appearance, low in cost and suitable for practical use in the future.

1. はじめに

地球環境、エネルギー問題への対応が社会的に求められている中、太陽光発電システムをもつ建築への関心が高まっている。特にグリーン庁舎推進計画に代表される公共建築や環境共生関連企業の社屋等では、従来行われている屋根設置ばかりでなくPR性の高い外壁面への太陽電池設置が積極的に行われると見込まれる。しかし、その普及に対しては経済性が最大の問題となっており、その打開策として太陽電池と建材の一体化による低コスト化、システムの高付加価値化などが各社研究開発により実現され始めている^{1),2)}。一般的に外壁面への太陽光発電システムの設置は、図1に示す様に合わせガラスに挟み込んだ太陽電池をアルミサッシに組み込む工法で行われているが、筆者等はこの外壁面設置について「サッシレス」というコンセプトのもと、各種性能確認試験、プロトタイプ試作壁施工実験を通しシステム開発を進めてきた。今回技術研究所滑川分室に実証試作壁の設置を行い、サッシをなくしたことで建物を装うにふさわしいスリムな意匠性を持ち、かつ大幅な低コスト化を図ったシステムの実用化に目処をつけた。

本報では、本外装システムの概要紹介とともに、開発過程で実施した性能試験の結果や検討項目についての概要を報告する。

2. システム概要

太陽電池と無機系成形板で構成される複層パネルを乾式工法で建物に取り付け、パネル間を電氣的に接合するシステムで、ビル建材としての強度・耐久性等の基本性能を確保しつつ、高い意匠性を実現した外装システムである(表1、図2)。主に中低層建築への適用を考えており、また新築の建物ばかりでなく既存建物のリフォーム対応も考慮している。

2.1 太陽電池

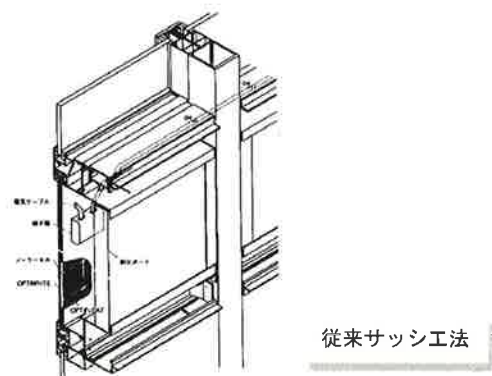
太陽光を電気エネルギーに変換する太陽電池には、単結晶シリコン、多結晶シリコンのほかアモルファスシリコンがあるが、本システムでは生産時の環境負荷が少ない点や量産化に適するため将来性が期待できるという理由から、アモルファスシリコン太陽電池を採用した。また耐久性を考慮して太陽電池がガラスでサンドイッチされたタイプを採用した。発電量は平米あたり約5.5Wである。

2.2 システムの特徴

- ・太陽電池をサッシレスで取付けることで、外部から金物類がほとんど見えず、美しくシンプルな建築デザインを実現した。
- ・金属製ファスナーによる乾式工法で、高い信頼性に加え、破損時の取り替えが外部から行える工法である。



写真1 実証試作壁 (技術研究所滑川分室)



従来サッシ工法

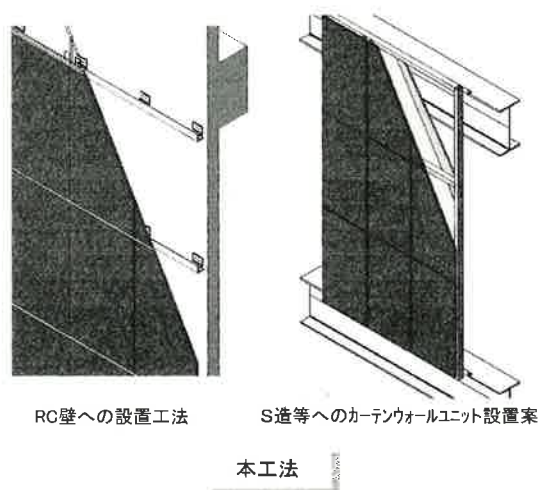


図1 システム概要図

- ・発電した電力は商用電源との系統連携により有効利用する。
- ・外壁面積あたりのコストは、従来のアルミサッシに組み込む工法に比べ40%程度低減出来る見込みがたった。(サッシを使わないことによる設置コスト減が図れた他に、壁面積あたりでみると低コストなアモルファス太陽電池を意匠性を損なわない形で設置することが可能となり、太陽電池のコスト減も図れた。)

3. プロトタイプ評価による課題抽出

サッシレスを実現するためのパネル仕様を表1に示す構成とし、以下に述べる仕様検討、性能評価試験を行い、さらにプロトタイプ試作壁の施工実験を実施した(平成10年度)。

- ・構成部材間接着強度(引張試験)、パネル製作性の検討を通し、接着剤を選定。
- ・接着強度耐久性検証(促進耐候性試験、温冷繰返し試験)。
- ・裏打ち補強材の選定(VFRC成型板、フレキシブルボードの2種)。
- ・ファスナー取付用インサートの選定。

上記検討の結果、強度、耐候性、耐久性等の要求性能を満足するパネル仕様を決定できたものの、屋外設置したプロトタイプ試作壁は、時の経過とともにパネルが大きく反り(外側に凸)、映りこみ映像が乱れるという意匠上の問題が発生した。また、可燃性である有機接着剤を使用した本パネルは防耐火面で旧建築基準法に適合しない問題も残されていた。次項以降ではこれら課題に対する検討結果について述べる。

4. 意匠性(映りこみ悪さ)の改良

プロトタイプ試作壁設置により顕在化したパネル反りによる映り込み悪さを改善すべく現状調査、改良仕様の検討を行った。

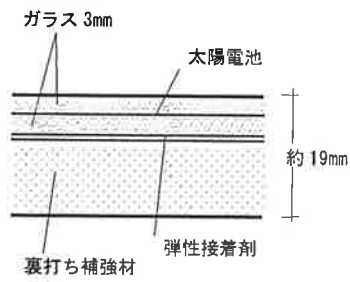
4.1 プロトタイプ試作壁の反り量測定

プロトタイプ試作壁で発生したパネル反りの実測を行った。実測は、9枚ある試作壁パネルのうち最下段の3枚について、試作壁設置3ヶ月後の6月、同5ヶ月後の8月の2回実施した。反り量推移を図3に示したが、反り量は試作壁設置3ヵ月後で平均約2.5mm、同5ヵ月後で平均約3.4mmと時とともに増大した。これは、複層パネル製作時に乾燥が十分でなかった裏打ち材が、気中放置され、また日射により高温となったことで乾燥収縮が進んだことが原因と考えられた。

4.2 パネル単体の面精度(面外変位)の把握

複層パネル(プロトタイプ試作壁用パネルと同時

表1 太陽光発電複層パネル仕様

パネル構成	標準パネルサイズ (重量)
	1,220× 657mm (約 30kgf)

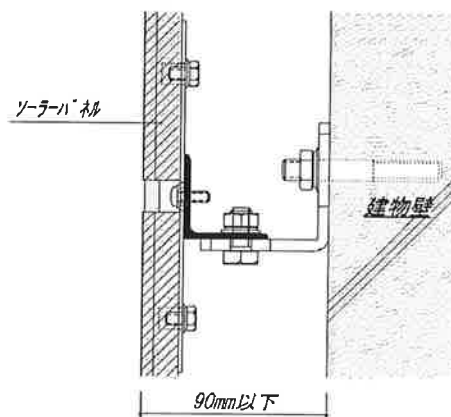


図2 システム鉛直断面図

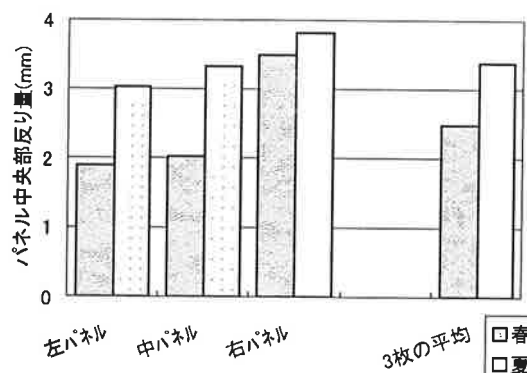


図3 プロトタイプ試作壁反り量実測結果

に製作した室内保存試験体)、太陽電池単体及び板ガラス(3mm)について表面の面外変位をレーザー変位計にて測定した。図4に面外変位測定結果のコンター図及び測定値と全平均値の差のヒストグラムを示したが、太陽電池自体に測定値の最大値と最小値の差(以下測定値巾)で2.1mmと比較的大きな歪みがあること、また複層パネルでは裏打ち材の反りがパネル表面歪みに大きく影響を及ぼすことが確認された。なお複層パネルでの測定値巾は1.5mmと太陽電池単体より減少しており、太陽電池自体が持つ歪みは裏打ち材により更正されることも確認された。この結果より、裏打ち材の反りが太陽電池自体が持つ測定

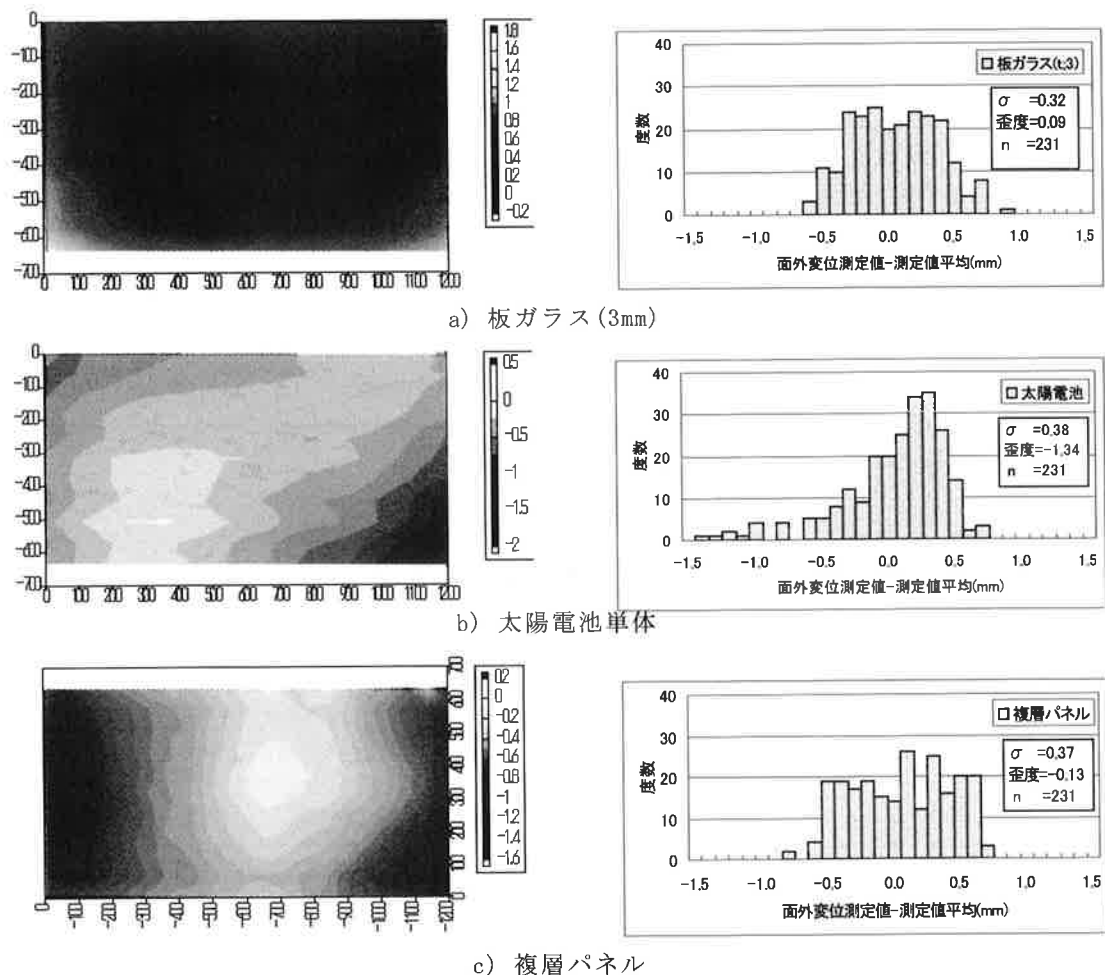


図4 パネル面外変位測定結果

値巾 2.1mm 以上となれば複層化による悪影響が出ると考えられるが、逆に 2.1mm 以下であれば歪みを更正する方向に働くと考えられる。なお、複層パネルと太陽電池単体の外観を肉眼で評価した場合も前者の方が歪みが少なく感じられた。

以上の結果をふまえ、太陽電池自体が持つ 2.1mm の歪みを低減することもねらって、パネル歪みの許容値を 1mm と設定し裏打ち材の仕様改良を行う方針をたてた。

4.3 裏打ち材の仕様検討

(1) 温冷サイクル試験

前述の通りプロトタイプ試作壁で発生した複層パネルの反りは、パネル製作時に十分に乾燥していなかった裏打ち材が屋外放置により乾燥収縮したことが原因と考えられた。そこで、屋外に設置された時と同様な温度を複層パネル表面に与え、裏打ち材の乾燥を促進する温冷サイクル試験³⁾を行い、反りの少ない裏打ち材の種類、パネル製作時乾燥状態を検討することとした。

本試験は、実際と同じ固定方法で設置した実大複層パネルに、夏季屋外設置時のパネル表面温度推移を想定した温冷サイクルをパネル表面に加えるもので、1サイク

ルを 20℃から 70℃まで 3 時間かけて昇温→70℃を 1 時間保持→70℃から 20℃まで 7 時間かけて降温→20℃を 1 時間保持とすることが標準的な試験条件として提案されている。今回は各試験体 15 サイクルの試験を実施することとし、試験中はパネル中央での面外変位を測定した。

(2) 試験体

表 2 に示すように、裏打ち材の種類、パネル製作時の乾燥状態を要因とした複層パネル試験体（表面は板ガラスで代替）を作成した。裏打ち材種類は建材メーカー各社の既成品を調査し、(耐風圧)強度、価格、加工性などの観点から評価・選定を行い、低コストな木片セメント板、吸水率・吸水膨張率の小さいフレキシブルボード、軽量で吸水膨張率の小さいガラス質繊維板の 3 種を水準とした。また裏打ち材乾燥状態については、下地材重量が恒量となるまで乾燥させる乾燥炉設定温度を 3 種設定した。なお、全試験体とも裏打ち材背面からの透湿を防ぐ目的で防湿塗膜を施した。

(3) 試験結果

複層パネル反りの進行がほぼ定常状態となっていた温冷 15 サイクル目での中央部平均変位を図 5 に示す。木片

セメント板試験体、ガラス質繊維板試験体では前述した許容値 1mm を満足することは出来なかったが、フレキシブルボード試験体は-0.4mm 以下の変位(外側に凹)であり、設定した許容値を十分満足するものであった。

本結果より裏打ち材にフレキシブルボードを選定することとした。なお以前に行ったプロトタイプ複合パネルでの試験結果は 5mm 程度であり、今回選定した仕様はこの反り量を 1/10 程度に低減できるものである。

4.4 表面仕様の検討

メーカー標準の太陽電池を用いた場合、ミラーガラスに近い現代的な意匠表現ができることがプロトタイプ試作壁により確認できたものの、前述の様に反射率が高いことで映像問題が発生することに加え、デザイン嗜好に添えない場合や、また光害が懸念され設置位置が制限される場合もあると考えられたため、適用範囲の拡大を図るべく映り込みを低減したパネル仕様について検討を行った。

映り込み低減を図るための方法とし、ガラス表面処理方法の一般技術であるサンドブラスト処理についてその仕様検討を行った。最適なブラスト粗さ、ブラスト方法を決定することを目的に太陽電池サンプルを 5 種類作成し、屋外設置により様々な日射条件での外観、雨濡れ時の色変化を確認した。どの仕様でも晴天時の映り込み問題は完全に解消されたが、降雨時の雨濡れ色に違いが発生し意匠的に見苦しいものもあった。今回サンプル 5 体の中で最も雨濡れの目立たない仕様を選定した。

なお、本表面処理を行うことにより、発電性能が大きく低下する、汚れがひどい、清掃性が悪くなるといったことが懸念された。後述する実証試作壁設置はこれらについての検証を行うことも目的としている。

5. 防耐火性検討

本外装システムの適用を見込んでいる事務所ビルや商業ビル等では、建築基準法上その殆どが準耐火建築物以上であることが求められ、この場合外壁には一定時間の耐火性能が要求される。RC 壁等に外装材として設置する本外装システムでは、この耐火

表 2 温冷サイクル試験体

乾燥状態 材質	30℃ 恒量	40℃ 恒量	60℃ 恒量
フレキシブルボード	-	○(F40)	-
木片セメント板	○(M30)	○(M40)	○(M60)
ガラス質繊維板	-	○(G40)	-

()内は試験体名

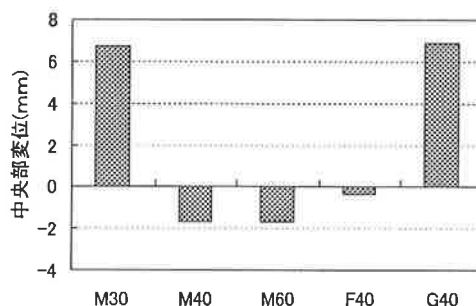


図 5 温冷サイクル試験結果

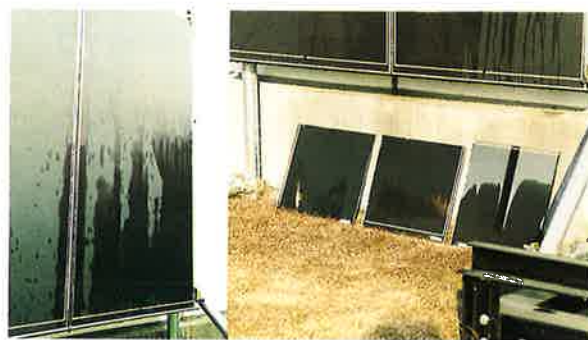


写真 2 太陽電池サンプルの濡れ色の状況

性能は背面壁で担保させる事ができ、外装パネル自体は延焼防止の観点から準不燃材料以上であればよいと判断されるが、本外装パネルは表1に示した様に可燃性(有機)接着剤を用いているため、旧建築基準法の下では準不燃材料以上と認められる見込みはなく、本システムの耐火建築物への適用は困難と考えられた。

しかし、建築基準法の改正により防耐火要求性能が性能規定化(要求性能を満たせば可燃物使用が可能となる)されることが本検討時点で見込まれていたため、改正建築基準法への適合を目指した検討を進めることとした。この改正建築基準法の詳細は

表 3 コーンカロリメータ試験結果

	普通接着剤仕様			難燃剤配合接着剤仕様		
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
10 分間の総発熱量(MJ/m ²)	7	6	1	9.5	7.5	7
	No1, 2 の平均 6.5*			平均 8		
最高発熱速度(kw/m ²)	46	50	30	52	55	45
	平均 42			平均 50.7		

※No. 3 試験結果は特異値と判断

本検討時点では明らかではなかったものの、ISOの防火材料試験であるコーンカロリメーター（CCM）試験が新試験として導入されると見込まれたため、本試験を実施しパネル材料防火性の基本的な確認を行うこととした。試験体には、表1に示した仕様の試験体の他に、表1中の弾性接着剤を難燃材配合により防火性能を付与した防火型のものに変更した試験体も用意した。

試験結果を表3に示す。各数値とも値が小さいほど防火性能が高いと評価できる。当初、防火性能が高くなると期待していた防火型接着剤仕様の試験結果は、普通接着剤仕様と比較して有意な差が表れなかった。この原因としては、難燃化のメカニズムが、火源等からの熱を接着剤に配合された難燃剤（無機水和物）により潜熱の形で吸熱させ、接着剤の温度上昇を抑え燃えにくくするというものであり、試験体燃焼時の総発熱量を測定する本試験では上記のような温度上昇を抑えるメカニズムが試験結果に効果として表れなかったためと考えられる。以上、CCM試験の下では難燃剤配合による効果は表れないことが明らかとなり、接着剤には普通接着剤を用いる方針を立てた。なお、改正建築基準法の動向が流動的で試験法、評価基準が公示されていない現状では、試験結果から材料防火性能のランク付けは出来ないが、普通接着材の試験結果は比較的良好と判断できるもので、耐火建築物へ適用できるとの見込みがたった。今後、これらが公示された時点であらためて評価試験、防火材料指定取得を行い、耐火建築物へのシステム適用を図る予定である。

補足) H12. 7 時点で防火材料試験に関する詳細は未だ確定されてはいないが、試験法、評価基準ともに当初見込んでいた通りになるとの情報が得られており、評価試験実施により耐火建築物への適用が可能となると判断している。

6. 実証試作壁の設置

裏打ち材、表面仕様に改良を加えた外装システムの意匠性・耐久性・施工性・汚れ等の評価及びコスト把握を目的に実証試作壁を施工した(写真1)。試作壁施工により得られた結果を以下に記述する。

- ・試作壁には標準ガラス仕様、映り込み低減仕様の2種のパネルを設置したが、両仕様ともビルファサードを装うシステムとして十分満足できる外観であることが確認できた。なお、後者においては雨濡れによる見苦しさもなかった。
- ・実証試作壁施工を通して把握した部掛け等を基に本システムのコストを把握した。その結果を図6に示す。
- ・実証試作壁にて標準ガラス仕様、映り込み低減仕様の発電性能の測定を行った。日射量と発電量の関係を図7に示す。プラスト処理を施したパネルの

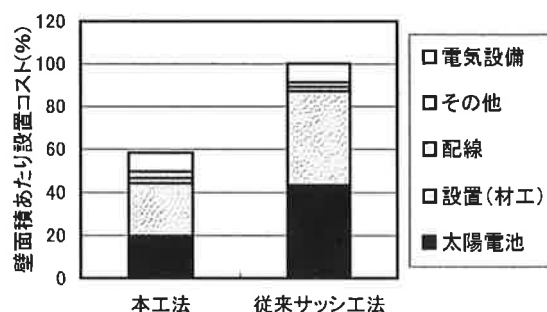


図6 システムコスト

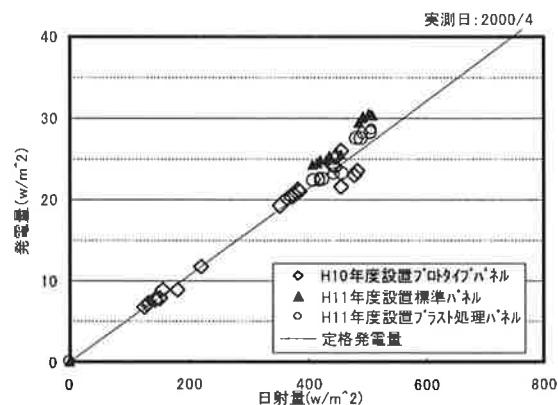


図7 発電量実測値

発電性能は標準ガラス仕様に対して7%程度の低下におさまることを確認した。

7. まとめ

本研究により、課題であった意匠性の悪さを改善でき、また材料防火性に関する性能確認試験により、建材として十分な性能を保有した低コストな太陽光発電外装システムの開発目処がたった。また高反射性の標準仕様に加え、映り込みを低減した表面プラスト仕様も新たに開発し、建物のイメージに応じた種々の外観が提案できるようになった。

今後は、防火材料に関する新評価法が公示された時点で防火材料指定の取得を図るとともに、設置した実証試作壁による長期観測（耐久性、汚れ、発電性評価等）を進めてゆき、問題の早期発見に努めてゆく予定である。

参考文献

- 1) 太陽光発電技術研究組合、鹿島 等、委託業務成果報告書 建材一体型モジュールの開発(ガラスカーテンウォール)、新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)、1993～1997。
- 2) 太陽光発電技術研究組合、YKK 等、委託業務成果報告書 建材一体型モジュールの開発(金属カーテンウォール)、新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)、1994～1997。
- 3) 建設省建築研究所、建設省官民連帯共同研究報告書—有機系接着剤を利用した外装タイル・石張りシステムの開発—、テツアドー出版、p.59、1997。