

30-year-old Japan's first private residential photovoltaic system with reverse power flow

Yukinori KUWANO^{*1‡}Mikio TAGUCHI^{*2}

30年経過した日本で最初の逆潮流あり個人住宅用太陽光発電所

桑野 幸徳^{*1‡}田口 幹朗^{*2}

Abstract

Solar power generation, which converts solar energy into electricity, began to be developed in earnest after the oil crisis of 1973, and it has now become an important energy source that can solve the energy and global environmental problems. The authors have been involved in the development and promotion of such solar power generation for 50 years, and in 1992 installed the first solar power generation system with reverse power flow for an individual residence in Japan. This report describes the process of installing this system through many difficulties, and the results of long-term performance for 30 years after its installation. The average annual degradation rate of power output during the first 20 years of installation was 0.44%/year, which was good, but output clearly began to decline after 23 years, and the average annual degradation rate from 23 to 30 years was 5.96%. The degradation of polycrystalline Si solar cells was mainly due to an increase in series resistance.

Keywords: PV system, solar cells, modules, reverse power flow, amorphous silicon, crystalline silicon

1. はじめに

太陽光発電は人類が抱える地球環境問題、エネルギー問題の解決策として、1970年代前半から注目され、いまや人類の主要なエネルギー源として認知されるまでになってきた。筆者等は1973年の第4次中東戦争に端を発したオイルショックの後、太陽電池の開発に従事して、約50年間、世界中の多くの人々と太陽光発電の開発、普及に取り組んできた。当時、個人住宅に太陽光発電システムを設置して発電した電気を自宅で消費し、余れば電力会社に売電する（これを逆潮流ありと呼ぶ）社会制度は未だ確立されておらず、この方式の実現の為、多くの人と協力して法制度の整備に向けた働きかけを行い、日本でもこの制度が1992年の春に実現した。そこで同年7月に日本で最初の個人住宅太陽光発電所（逆潮流あり）を自宅に建設し、発電・売電を開始した。その後、この太陽光発電システムは順調に発電・売電をして30年間、発電データを取得した。

この一步が引き金になり、2022年、日本では推定で300万戸以上の住宅に太陽光発電システムが設置され¹⁾、さら

に大規模発電所も多数建設された。これらを含めると、約85GW（1GWは100万kW）が稼働している²⁾。

世界に目を向けると、2022年に240GWの太陽光発電所が建設され、累計で1,185GW、つまり約1.2TW（テラワット）に達している²⁾。

本論文では1973年に起こったオイルショックを契機に始まった太陽電池の開発から、個人住宅向けの本格的な電力システムとして、日本で最初の個人住宅での逆潮流ありの太陽光発電システムを設置するまでの経緯及び、その太陽光発電システムを設置してから、30年間の発電状況の変化、30年経過した太陽電池モジュールの劣化状況について報告する。

2. 日本に於ける太陽電池開発の黎明期

日本の太陽電池の開発は1973年（約50年前）のオイルショックが契機となった。当時エネルギー源の中心であった石油の価格が第4次中東戦争で約4倍に高騰したことにより、石油に替わる代替エネルギーとして太陽エネルギーなどの再生可能エネルギーの開発が各国で進められた。日

*1 Photovoltaic Power Generation Technology Research Association
Honorary advisor, 1-13-3Toranomonn-Touyoukyoudo-Bil Toranomonn
Minato-ku Tokyo 105-0001, Japan
‡e-mail: yuki-kuwano@nifty.com

*2 Electric Works Company, Panasonic Corporation

Received: January 17, 2024, Accepted: February 21, 2024

*1 太陽光発電技術研究組合名譽顧問（〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-13-3 虎ノ門東洋共同ビル）

*2 パナソニック株式会社 エレクトリックワークス社

（原稿受付：2024年1月17日、受理日：2024年2月21日）

本でもサンシャイン計画が立案され、その一環として太陽電池とそれを用いた太陽光発電システムの開発が進められた。

当時の太陽電池の研究は主として結晶系 Si 材料が中心であったが、筆者等は新しい材料である、アモルファス材料の研究開発を行っていた。その頃、アモルファスシリコン (a-Si) で p,n 制御が出来ることが報告され³⁾、筆者もこの a-Si を用いた太陽電池の研究に取り組んだ。多くの国々の研究者たちが太陽電池の開発に努力し、効率向上や製造コストの低減に取り組んだが、オイルショックから数年が過ぎると石油の価格も元に戻った。一方、太陽電池を用いた太陽光発電のコストはなかなか低下しなかった。そのような状況で、代替エネルギーの開発の熱気は冷めて行き民間企業の中には研究開発から撤退する所も出てきた。

筆者等は当時の太陽電池の性能・コストでは既存の発電システムで発電した電力コストに太刀打ちするのは困難と考え、電力用の開発は続けるが、太陽電池が電力用として使えるようになるまでの初期需要として、当時、登場したトランジスターを利用した民生用エレクトロニクス商品（電卓、電子腕時計など）へ太陽電池を応用することを考えた。

薄膜太陽電池である a-Si 太陽電池の特長を生かし、a-Si 太陽電池を多段に直列接続して任意の電圧を取り出せる集積型 a-Si 太陽電池を発明した (Fig. 1)⁴⁾。民生用エレクトロニクス商品は数ボルトで動作するので、この集積型 a-Si 太陽電池は、これらの民生用エレクトロニクス商品を稼働させるのに適していた。特に、電卓などは従来、化学電池で稼働していたので電池切れを起こすが、室内光で動く太陽電池を搭載することで、いわば半永久的に稼働出来るので好評であった（現在でも、この太陽電池は日本で製造され多くのエレクトロニクス製品に使われている）。



Fig. 1 The world's first solar calculator (left) and solar wristwatch (right) equipped with integrated amorphous silicon solar cells.

3. 1990 年頃から発電効率が向上し、電力用に太陽電池が使えるようになる

ソーラー電卓は太陽電池を多くの人に理解してもらうには適した商品であったが、やはり電力用への応用が重要であり、筆者等も国の太陽電池開発プロジェクト‘サンシャイン計画’に参画して、電力用太陽電池の研究開発に取り組んでいた。1990 年前後には、実用的な大きさの太陽電池 (モジュール) で発電効率が 10% を超えるものが生産できるようになった。また、この時代には地球温暖化や、酸性雨などの環境問題が顕在化して、クリーンなエネルギーである太陽光発電が再び脚光を浴びてきた。

4. 電力システムを經由して電力の売り買いが出来る制度の確立

それまでの太陽光発電システムは電力会社の電力システムに直接接続して、電力システムと電力をやり取りする方式は認められてなかった。つまり、太陽光で発電した電力を蓄電池に一旦蓄え、その蓄えた電力を交流に変換して家庭で使用する方式であった。この場合、高価な蓄電池やメンテナンスの費用がかかり、太陽光発電での発電単価が高過ぎて実用化は難しかった。そのような状況下で太陽光発電を実用化させる為には太陽光発電システムと電力会社の電力システム連系が必要とされた。太陽電池業界は業界を上げて、通商産業省 (現経済産業省) や電力業界に対し、それまで認められていなかった太陽光発電システムと電力システムの接続を可能にして、太陽電池で発電した電気を家庭で消費し、余れば電力会社に買い取ってもらう制度の創設を働きかけた (これを逆潮流ありの制度と呼ぶ)。

幸いにして、電力業界の協力が得られ、1992 年の春にこの制度は発効した。

5. 初めての逆潮流あり個人住宅用太陽光発電所

5.1 自宅に設置を決める

逆潮流ありの制度が創設されたとき、永年、太陽電池の研究開発に携わってきた筆者達にとって、自宅での太陽光発電は大きな夢であった。特に太陽光発電を個人住宅で行うと、設置の手続き、工事での問題、運転中のトラブルなどがあると考えた。そこで、三洋電機の研究開発本部の仲間と話し合い、ぜひ、筆者の一人である桑野の自宅で実験を兼ねて太陽光発電所を設けようと思った。

5.2 逆潮流あり太陽光発電システムの開発

家庭用の太陽光発電システムの仕組みは、屋根の上に設置した太陽電池で発電した電力 (直流) を交流に変換して、家庭に供給し電気製品を動かす、余れば電力会社の電力線に供給することを可能にする仕組みである (この場合は従来のような蓄電池は必要としない)。

最終的には電力システムに電力を逆潮流させるため、その電

力の電圧，周波数などを厳密に制御しなくてはならない。この制御装置（パワーコンディショナーと呼ばれる）や，電力系統になにか不具合が起こりそうな時には回路を切り離す連系保護装置と呼ばれる保護装置の設置が，当時必要とされたので，これらを開発した（後に，この保護装置の設置は安全性が確保されていることが実証され撤廃された）。

5.3 難航した電力会社との最初の交渉

当時，住宅に太陽光発電システムを設置しようとする場合，一般の発電所扱いになり，発電所としての申請書を関係官庁に提出する必要があるが，つまり，「桑野太陽光発電所」としての申請が必要であった。この申請書を出し，特に重要な関係が発生する電力会社との折衝を始めた。しかし，それからが大変であった。第1号であるので電力会社も慎重で，何回も話し合いを持ち，論議を重ねた結果，幸いにして理解が得られて，認可があり，自宅に太陽光発電システムを設置して1992年7月31日に発電式を行うことが出来た。

5.4 30年前の設置の状況と発電式の様子

第1号なので設置は地元の電気工事を営んでいた会社をお願いした。既築の家への設置なので瓦を痛め雨漏りなどないように，20年以上の風雨に持つように，設置工法など綿密な打ち合わせを行い施工した（Fig. 2）。

この時，電力系統との接続工事は，関西電力（株）の配電課長（当時）の多山氏が担当してくれた。

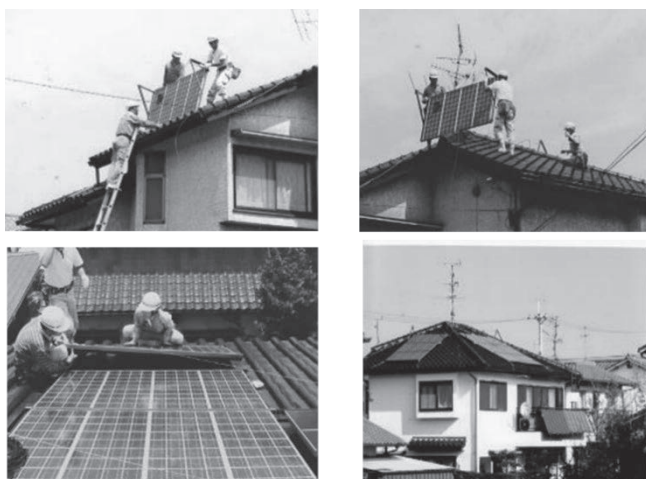


Fig.2 Construction progress and completed Japan's first private residential PV system. (upper left: Panels are lifted by hand, upper right: Working on the roof, lower left: Panel installation, lower right: Outlook of the completed system)

発電式は協力いただいた多くの人達に参加いただき盛大に行った（Fig. 3）。その際，20年経ったら盛大にお祝い会を開くことを誓い合った。



Fig. 3 Opening ceremony for the Japan's first private residential PV system (Kuwano PV Plant) held on July 31, 1992.

5.5 初めての太陽光発電所のシステムの概要

この太陽光発電所のシステムは，Fig. 4に示すように，屋根やベランダに設置された太陽電池で発電した直流の電気をパワーコンディショナーで交流に変換し，家庭の電気製品を動かし，余れば電力会社に売る方式である。従来のように，蓄電池は設置されていない。電力計は売りと，買いの2種類が設置されている（その後，両方を兼ね備えた一体型に変更された）。

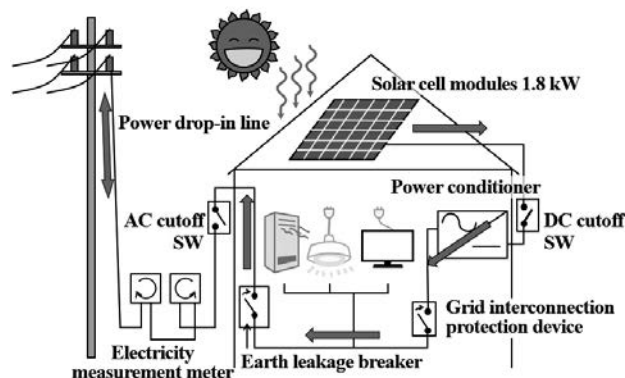


Fig. 4 Diagram of the PV system using reverse power flow.

この太陽光発電システムの太陽電池モジュールの設置状況を Fig. 5 に，設置された各種太陽電池モジュールの特性及びパワーコンディショナーの特性を Table 1, 2 に示す。本システムの最大出力は1.8 kWで，5つのアレイから構成されており，ベランダ（①，②）にa-Siのモジュールが7枚と，セルを1/2にカットしたタイプの多結晶Siのモジュールが6枚，屋根の西側（③）に12枚の多結晶Siモジュール，南側（④，⑤）に12枚の多結晶Siモジュールを2アレイ設置した。

パワーコンディショナーの外観を Fig. 6 に示す。絶縁方式には低周波絶縁トランス方式が用いられた。

Table 1 Various types of PV modules installed in the system.

	①	②	③	④	⑤
Location	Balcony	Balcony	Roof (West)	Roof (South-2)	Roof (South-1)
Cell type	a-Si	Poly-Si, half cut	Poly-Si	Poly-Si	Poly-Si
Model	AMP-06S2	CSP-4533M	CSP-4516M	CSP-4516	CSP-4516M
Output [W/panel]	14.1	45.0	45.0	40.0	45.0
# of modules connected in series	7	6	12	12	12
Array outputs [W]*	98.7	270	540	480	540

*) The system output is the product of the array outputs and the DC-AC conversion efficiency of the power conditioner, which is approximately 1.8 kW.

Table 2 Specifications of the power conditioner.

Model	Rated power	Isolation	Rated input voltage	Input voltage range	Rated output voltage	Efficiency
SSI-L33-S	3.0 kW	Low-frequency Transformer Isolation	DC 200 V	DC 170~300 V	AC 202 V	90% or more

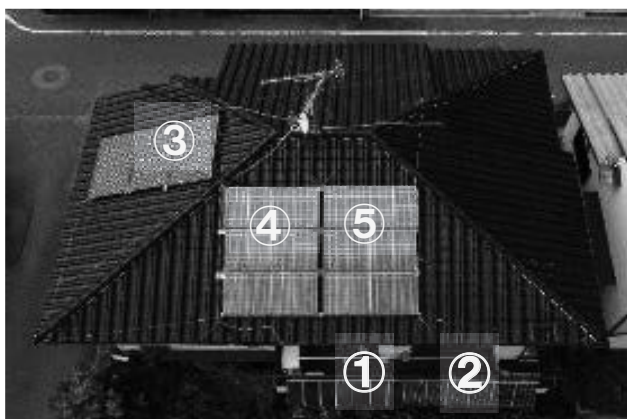


Fig. 5 Layout of the PV module installed in the system.



Fig. 6 Photo of the power conditioner.

6. 国へ制度の変更を働きかける

6.1 第1号家庭用太陽光発電所は特別の許可

当時、太陽光発電を設置する時は、電力会社が発電所を建設するのと同じくらいの手続きと保護手段が必要であった。以下その詳細を記す。

①発電所なので許可申請を個別にする必要があった（設置希望者は個別の申請）

②不測の事態が起きた時、系統から遮断する特別な装置が必要であった（Fig. 7に当時の大型の遮断装置を示す）。

③常時監視のための電気主任技術者の専任が必要であった。

このような規制はそれまでの通常の大規模発電設備に要求されていたものであった。

これでは一般家庭へ太陽光発電は普及しないと考え、業界をあげて制度の変更を再度、国に働きかけた。その結果以下のように改善された。

①の個別申請は通常の電気製品と同じように、型式認可でよいことになった（つまり、個別の申請でなく、一般の電気製品と同様、メーカーの型式認可で認可された商品なら個別の申請が必要でなくなった）。

②の大型の電力遮断装置もパワーコンディショナーへの内蔵でよいことになった。

③の電気主任技術者の専任も安全性は確認され不要になった。

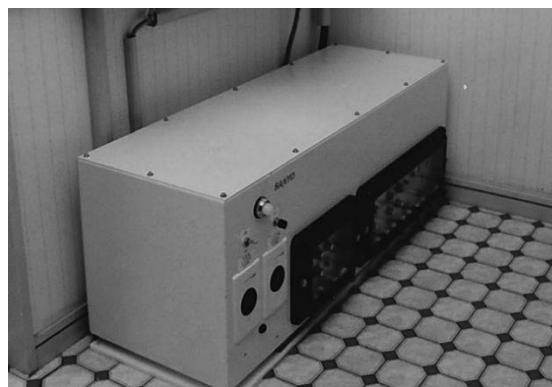


Fig. 7 Photo of the large device for grid interconnection protection initially required to install.

6.2 国の助成が始まる

1994年から個人住宅への助成策ができ、日本の太陽電池の生産量は飛躍的に増大し、1999年から2005年までの7年間、日本は世界一の太陽電池生産国になった（その後、中国での国策などで日本の太陽電池生産量の世界順位は後退する）⁵⁾。

7. 開設20周年、25周年、30周年を迎えて見学会達成式を開催

2012年に太陽光発電所開設20周年、2017年に25周年、2022年に30周年達成を迎えて、順調に発電を続けていることから、見学会と記念パーティーを開催した（Fig. 8）。



(1) The 20th Anniversary Ceremony



(2) The 25th Anniversary Plant Tour

Fig. 8 Ceremonies and plant tours held for the 20th and 25th anniversaries.

8. 固定価格買い取り制度が創設された

2011年、不幸にも東日本大震災が起これ、東京電力福島原子力発電所で原発事故が起こった。これを契機に、諸外国に遅ればせながら日本でも再生可能エネルギーの普及促進を目指して、固定価格買取制度（日本版FIT）が創設された。その制度で、日本の再生可能エネルギー、特に、太陽光発電の設置量は飛躍的に伸びた。Fig. 9に示すように、2022年には累積で約85GWにも達した⁶⁾。また、同年

の発電実績では国内の年間発電電力量の9.9%太陽光発電となっており、日本の基幹電力の一部を担うまでになった⁶⁾。

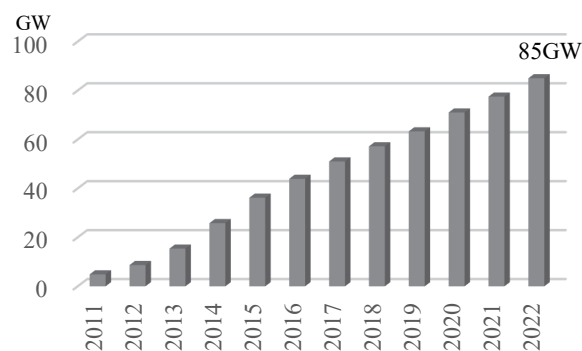


Fig. 9 Cumulative amount of solar power plant installed in Japan over the past 10 years.

9. 30年間経過の太陽光発電システム

9.1 30年間の桑野太陽光発電所の発電データ

設置から30年経過した桑野太陽光発電所をFig. 10に示す。30年前のFig. 2と比較して外観の変化はほとんどない。

30年間の発電実績をFig. 11に示す。1992年から2015年までの23年間はほとんど劣化していない。さすがに、2017年、つまり、設置後25年頃から、出力があきらかに低下し始めた。

- 1) 1992年から2012年の20年間の発電電力量の年平均劣化率は0.44%/年であった。
- 2) 2015年に対する2022年の発電電力量の比から求めた年平均劣化率は5.96%であった。

*測定は初期の3年間は関西電力（株）で測定、その後は三洋電機（株）・パナソニック（株）で測定。



Fig. 10 The Kuwano PV Plant after 30 years of operation.

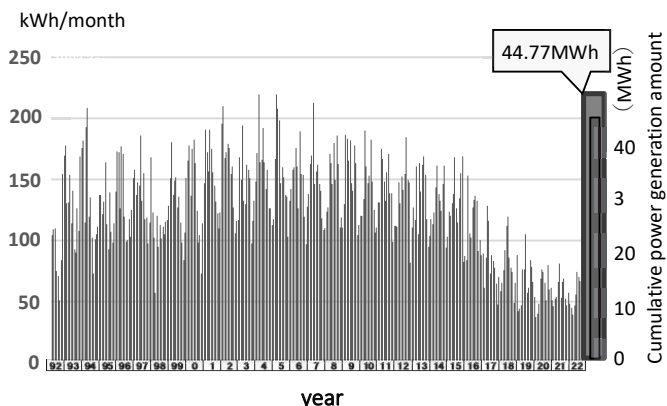


Fig. 11 Change in power generation for 30 years .

設置から 30 年間を経過したが、これまで一度も故障せず順調に発電した（これはまれに見る例である）。三洋電機製のパワーコンディショナー（Fig. 6）も初期のものから取り替えていない（多くの人が驚くが、このシステムでは交換していない）。

この結果から、約 30 年前の太陽電池モジュールとパワーコンディショナーや配線であるが、太陽光発電システムの寿命は 20 年～25 年間あり、30 年経っても働き続ける優れものであることが実証された。現在のシステムはもっと改良されていると思われるが、30 年間の実証実験としては貴重なデータとなった。

9.2 太陽電池モジュールの解析

本太陽光発電システムの劣化の要因については太陽電池モジュール、パワーコンディショナー、電力配線などが考えられるが、今回は 30 年前の初期特性データが保存されていた太陽電池モジュールを中心に解析した。

9.2.1 モジュール構造

30 年前の多結晶 Si 太陽電池モジュールの構造を Fig. 12 に示す。当時、市販されていた太陽電池モジュール構造で、カバーガラスに a-Si 又は多結晶 Si 太陽電池を充填剤であるエチレンビニルアセテート（EVA）で充填し、裏面シート材としてアルミをフッ素ビニル樹脂（PVF）で挟んだフィルムを用いて封止した構造である。多結晶 Si 太陽電池の反射防止膜として、酸化インジウム錫（ITO）を用いたタイプとシリコンナイトライド（SiN）を用いたものを設置した。a-Si 太陽電池モジュールについては、フレームにゴムを用いた。

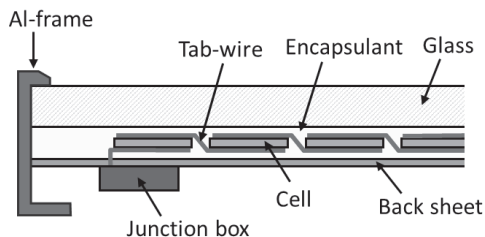


Fig. 12 The structure of the PV modules in the system.

9.2.2 外観変化

Fig. 13 に示すように、30 年経過後のガラス面の表面状態は汚れが若干あり、清掃前後でソイリングによる影響として短絡電流 (I_{sc}) の減少は多結晶 Si 太陽電池モジュールで 15%、a-Si 太陽電池モジュールで 1.5%程度と見積もられた。ただし、清掃による I_{sc} の増加に対し、曲線因子 (FF) が低下したため、出力への影響としては、結晶で 4%、a-Si で 1%程度となった。

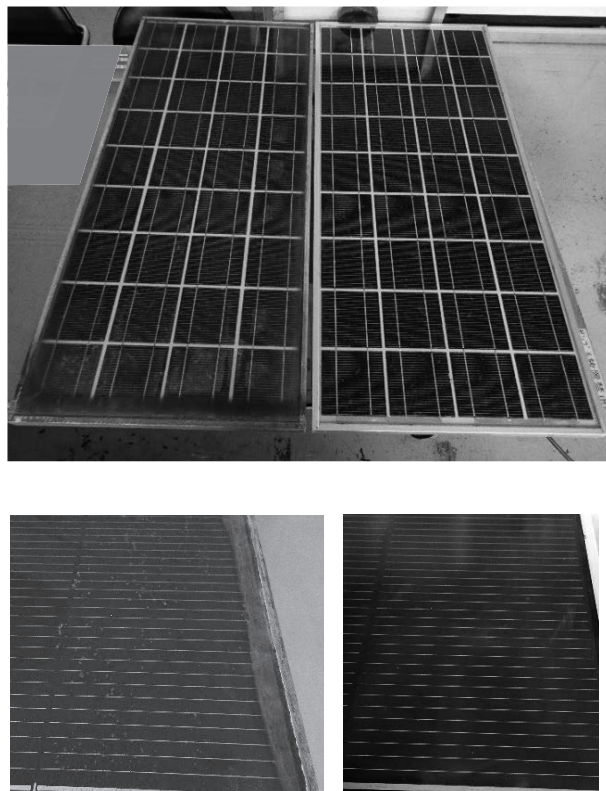


Fig. 13 The appearance of poly-Si PV modules (upper left: After 30-year outdoor exposure, upper right: Indoor Storage) and a-Si PV module (lower left: After 30-year outdoor exposure, lower right: Indoor Storage).

9.2.3 電気的特性の変化

設置した太陽電池モジュールの 30 年後の出力維持率を Table 3 に示す。

Table 3 が示すように、30 年経過の a-Si 太陽電池モジュールの劣化は初期効率が低かったこともあり小さく、維持率は約 80%であった。FF が主に低下しており、a-Si 層の導電率低下による出力低下と考えられる。一方、多結晶 Si 太陽電池モジュールは表面の反射防止膜（AR）の違いで劣化特性に差があり、ITO を用いたものは平均の維持率は 50～70%であり、最も良くても 70%台であったのに対し、シリコンナイトライド（SiN）を用いたものでは維持率の平均値としては 68%程度ではあるが、仕様値の 80%以上の出力を維持できているものが 24 枚中 8 枚ある一方、極端に低

下しているものがあり、個体差が大きかった。

CSP-4516 のモジュール内の 1 つのセルについて I - V 測定した例を Fig. 14 に示す。直列抵抗成分の増加により、短絡電流にまで影響していることがわかる。一方、開放電圧は 30 年経過後もほとんど変化しておらず、pn 接合特性自体に大きな変化は無いようである（当時、表面パッシベーションなどの高効率化技術は開発途上で生産品には応用されておらず、接合以外の要因で開放電圧が決定されていたという面はある）。直列抵抗増の理由は電極の剥離や腐食等、近年詳しく研究がなされているが⁷⁾、当時の電極材料や形成条件等の資料が無く、特定は難しい。

Table 3 Comparison of module output retention after 30 years.

	Min.	Ave.	Max.
AMP-06S2 (a-Si) 7 枚	74.7%	80.3%	87.7%
CSP-4516 (AR : ITO) 12 枚	39.4%	51.3%	65.3%
CSP-4516M (AR : SiN) 24 枚	1.5%	67.9%	93.0%
CSP-4533M (AR : ITO) 6 枚	62.0%	70.0%	77.9%

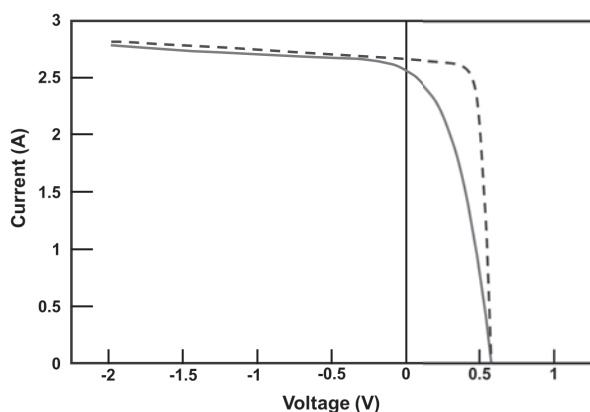


Fig. 14 I-V characteristics of one cell in a poly-Si module (CSP-4516) after 30 years (solid line). The dashed line is an initial value calculated from the specification (for reference only).

30年にわたる長期間の屋外使用により各部材にどのような変化が起こっているかをさらに詳細に解析し、今後の高信頼性太陽電池モジュールの開発に役立てていきたい。

10. おわりに

1973年オイルショックを契機に本格的に始まった日本の太陽光発電の開発は、最初、国のプロジェクトで推進されるが、エネルギー情勢の変化で企業での事業化がうまくいかなかった。しかし、その様な逆風の中でも、エレクトロニクス製品へ太陽電池を応用して開発を続けた。

サンシャイン計画から約 20 年経った時点で（現在から約 30 年前）実用に耐える効率が実現した。これにより、筆者等はここで述べたように、個人住宅での太陽光発電を推進した。しかし、当時は、電力系統への系統連系のための社会制度が出来ておらず、その社会制度の変革をも業界を挙げて国へ働きかけることで実現された。また、このシステムのもつ大きな課題を社会に発信して変革を実現し（個別認証から電気用品認証への展開、電気主任技術者を必要としない制度への変更、高価な緊急遮断器の不必要など）今日のような太陽光発電が実現したことを記載しておきたい。

～世界は大きな転換点に来た～

2021年10月に開催されたCOP26で世界がカーボンニュートラルへの取り組みを始めた。日本政府も2021年の第6次エネルギー基本法で再生可能エネルギーを日本の基幹エネルギー源にすることを定め、太陽光発電を始め再生可能エネルギーの普及に強力に取り組むことが決まった。そして、前述のように世界の太陽光発電の累積設置量は2022年で約1.2 TWに達した²⁾。

2022年の2月に始まった、ロシアによるウクライナ侵攻は、気候変動以外の問題として、世界にエネルギー問題に対する大きな課題を突きつけた。エネルギー安全保障をどのようにしてゆくの？を考えさせる状況が生まれた。

～最終的にはジェネシス計画へ～

筆者等が1989年（34年前）に提唱した、世界規模での太陽光発電システムである‘ジェネシス計画’（Fig. 15）は、家庭の屋根、ビルの屋上、工場の屋根に、次々と太陽光発電を設置し、最終的には世界の砂漠の‘僅か4%’の面積に太陽電池を敷き詰めれば、全人類が必要とするエネルギーの全てを賄うことが出来るという計画である⁸⁾。

最近の次世代のエネルギー源として、太陽光発電で発生させた電力で、水を電気分解して、水素を発生させ、その水素を直接化石燃料の代わりにする構想やその水素と空気中の窒素を反応させアンモニアを製造し、液体燃料として使う方式が各国の国家プロジェクトとして提案されている。その場合のエネルギー源が太陽のエネルギーを用いた太陽光発電などである。

人類は将来、太陽光発電での「電力」か、その電力を使って製造した「水素」、又は、その水素と空中の窒素で合成した「アンモニア」をエネルギー源として使う時代、つまり、化石燃料に頼らない時代に向かうであろう。筆者等はそれの実現のため、今後も寄与したいと思っている。人類にとって理想的なエネルギーシステムとして、ジェネシス計画を提案してから34年が経ち、世界の太陽光発電はテラワットの時代に突入し、それが着実に進んでいる。私達人類が、クリーンで無限の太陽エネルギーで生活できる時代をぜひ実現して行きたいと思う。

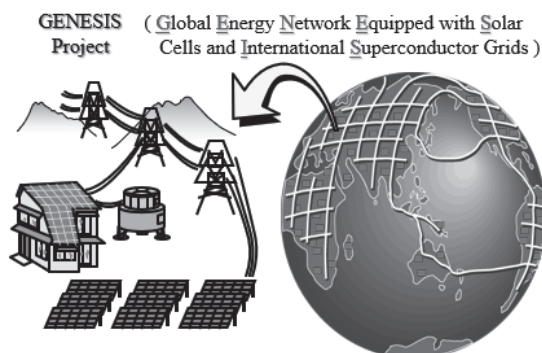


Fig. 15 GENESIS Project

【謝辞】

筆者等が携わった太陽光発電の歴史と、自宅に最初の太陽光発電システムを設置から 30 周年までの歴史を振り返った。これらの成果は筆者達を支えてくれた三洋電機・パナソニックの皆さんの力も大きく、また大学関係者、産業技術総合研究所、経済産業省、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）、電力会社や太陽光発電に関係する業界や関係団体の方々のご協力があった実現できたと思ひ、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 経済産業省，調達価格等算定委員会，2020 年 10 月 30 日 第 62 回，資料 1 太陽光発電の状況（accessed Feb. 20 2024），https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/062_01_00.pdf
- 2) IEA, Snapshot of Global PV Markets 2023（accessed Feb. 20 2024），https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/04/IEA_PVPS_Snapshot_2023.pdf
- 3) P.G. Le Comber, W.E. Spear, Electronic Transport in Amorphous Silicon Films, Phys. Rev. Lett. 25, 509 (1970) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.25.509).
- 4) Y. Kuwano, T. Imai et al., Amorphous Si Photovoltaic Cell Module (Integrated Cell Module), Proceeding of the 1st Photovoltaic. Sci. & Eng. Conf. in Japan, 137-141 (1979).
- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（編集），なぜ，日本が太陽光発電で世界一になれたのか，100-101 (2007).
- 6) 環境エネルギー政策研究所，2022 年の自然エネルギー電力の割合（暦年・速報）（accessed Feb. 20 2024），<https://www.isep.or.jp/archives/library/14364>
- 7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，2015 年度～2019 年度成果報告書（管理番号 20200000000526），太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発（太陽電池モジュールの劣化現象の解明，加速試験法の開発），8-13, (2020)（accessed Feb. 20 2024），<https://seika.nedo.go.jp/pmg/PMG01B/PMG01BG02>
- 8) Y. Kuwano, Progress of Amorphous Silicon Solar Cells, Proc. 4th. Int. Photovol. Science and Engineering Conf. Sydney, 557-564 (1989).