

# 第1回

## 日本の再生可能エネルギー開発の原点，サンシャイン計画，太陽光発電の開発はどう始まりその成果がどう広まったか

The origins of Japan's renewable energy development, the Sunshine Project, how did the development of solar power generation begin, and how did its results spread?

桑野幸徳\*

### 1. はじめに

太陽光発電は地球環境問題の解決，人類の新しいクリーンエネルギーの担い手として，現在では，世界的規模に普及してきている。日本では国家プロジェクトとしてサンシャイン計画が50年前に発足し，その開発，実用化に大きく寄与した。ここに至るまでその道は必ずしも順風ではなかった。ここに先人達がどの様にその困難を乗り越えて来たかを筆者の経験をもとに記載し，これからも乗り越えなくてはならない課題を解決する皆さんへの伝言としたいと思う。

### 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。

その目標は26年後の2000年に太陽電池のコストを約1/100にすると言う壮大な計画であった（結果どうなったかは後段で述べる）。

第一期のサンシャイン計画は1974年～1980年の6年間続けられた<sup>1)</sup>。この第一期は小規模な研究開発からスタートした。初期の太陽光発電プロジェクトにおいては，基礎研究は通商産業省工業技術院（現国立研究開発法人産業技術総合研究所）が担当し，応用研究として民間への委託研究がなされた。その内容は多結晶Si薄膜，リボン結晶Si，化合物半導体としてCdTe系を中心に太陽電池素子（セル）の研究開発からスタートした。テーマも規模も小規模であった。

サンシャイン計画の推進状況を発足当時から現在までの経過をFig. 1に示す。

筆者は，当時，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，太陽電池への展開が期待されていた<sup>2)</sup>。この材料は結晶Si材料に比して吸収係数が大きく，1μm以下の（結晶系Si太陽電池の約1/100にも満たない）厚さでセルが出来るとされ，製法も結晶Si系のような高温を必要とせず，200℃以下の低温で基板の上にプラズマ反応を用いてa-Si膜が形成で

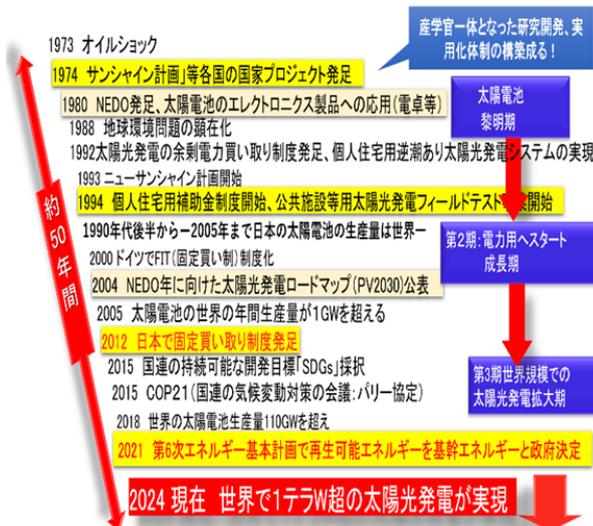


Fig. 1 History of development and expansion of solar power generation

\* 太陽光発電技術研究組合 名誉顧問 日本太陽エネルギー学会フェロー (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-13-3 虎ノ門東洋共同ビル)

き、低コストで太陽電池が出来ると考えられた。筆者はこの a-Si を用いた太陽電池の研究に取り組んだ。しかし、当時は、新材料で基礎研究のレベルであった a-Si 太陽電池はサンシャイン計画の開発テーマとして採択されていなかった。

オイルショックを契機に、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。このような状況で、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・コストでは既存の化石燃料を用いた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、その頃、トランジスタから集積回路 (IC) への進化と、液晶画面の採用で省電力化、小型軽量化が進んだ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。

筆者は a-Si 太陽電池がプラズマ反応で薄膜を基板に堆積して形成する特長を生かし、当時、開発されていた集積回路 (IC) と同様な製法で、マスクパターンを組み合わせるにより a-Si 太陽電池を短冊状に分割し、多段に直列接続して任意の電圧を取り出せる太陽電池を発明し、集積型 a-Si 太陽電池と名付けた (Fig. 2)<sup>3)</sup>。

薄膜太陽電池では電流を取り出す電極は薄膜であるため、薄膜電極の直列抵抗が大きくなり、損失が増加する。太陽電池を短冊状に分割し、直列接続することにより、電圧を上げ、電流を小さくして直列

抵抗損失を減らすことを狙った物である。この集積型構造は後に登場する多くの薄膜太陽電池には必須の技術となった。

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 (Fig. 3)。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、室内光で発電する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)。

### 3. その後の地球環境問題とサンシャイン計画

1980 年に石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律 (代エネ法) が制定された。新エネルギー技術の開発の母体として新エネルギー総合開発機構 (NEDO) が設立された。この時期に太陽電池の開発は Si 原料、セル、モジュールそしてシステムの開発まで大幅に充実された。新しい太陽電池として新登場した a-Si 太陽電池も加わった。

筆者らが開発したソーラー電卓が引き金となり、1980 年の第二期サンシャイン計画発足 (NEDO の発足時) に同計画に採択され電力用 a-Si 太陽電池の開発を始めた。

第三期サンシャイン計画 (1986 年～1988 年) は世界が高度成長期に入り、発展途上国での工業化も進んでいった時代であった。化石燃料を消費することによる大気中の窒素酸化物や硫黄酸化物による環境汚染問題、特に、この年代では酸性雨の問題やオゾンホールが大きな問題となった。このことにより、サンシャイン計画はさらに加速されていく。前期に引きつづいた内容に加え、各種太陽光発電システム

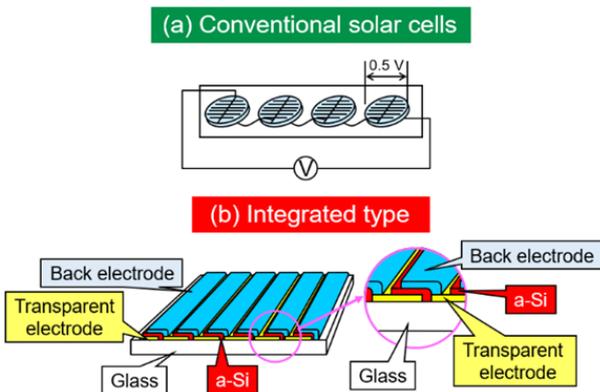


Fig. 2 Structure of a conventional crystalline Si solar cell module and an integrated a-Si solar cell module



Fig. 3 The world's first solar calculator (left) and solar wristwatch (right) equipped with integrated a-Si solar cells.

の研究開発、光熱ハイブリット型太陽光発電システムの開発に力がそそがれた。

第四期サンシャイン計画（1989年～1992年）になると地球温暖化の問題が顕在化してくる。二酸化炭素の削減に対しても太陽発電の重要性が注目された。2010年における日本のエネルギーの5.3%を新エネルギー等で供給する「石油代替エネルギー供給目標」が決定された。また、1990年には民間においても太陽光発電の研究開発を積極的に促進するため、太陽光発電技術研究組合（PVTEC）が民間企業研究開発連合体として結成された。サンシャイン計画による国からの委託研究はPVTEC経由で各民間企業に割り振られ、官民一体となって効率的な開発が加速的に進められることになった。

#### 4. 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

日本のサンシャイン計画や各国の研究開発により、1990年前後には、結晶系Si太陽電池で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、前述のように、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源である太陽光発電が再び脚光を浴びてきた。

### 5. それまで出来なかった逆潮流ありの制度の確立と初めての個人住宅太陽光発電所の建設

#### 5.1 法制度改革への働きかけ

現在では当たり前であるが、太陽光発電（PV）システムを電力会社の電力系統に直接接続して、電力を売買する方式は1992年まで認められていなかった。当時の制度では、太陽光で発電した電力は蓄電池に一旦蓄え、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PVシステムと電力会社の電力系統連系が必要と考えた。

太陽電池業界は、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PVシステムと電力系統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。

#### 5.2 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にとって、自宅での太陽光発電は大きな夢であった。筆者は少年の頃読んだ、「種痘ワクチン」を発明した英国の医師、ジェンナーがその効果を確認するため第1号の試験ワクチンを自分の子供に接種したことを思い出した（その後、再確認したら自分の子供でないことが判明したが、当時はそれを信じていた）。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、三洋電機の仲間と話し合い、ぜひ、筆者の自宅で実験を兼ねて太陽光発電所を設けようと決心した。

#### 5.3 逆潮流あり太陽光発電システムの開発

家庭用のPV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し、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）。

余剰電力を商用の電力系統に電力を逆潮流させるため、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）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）。

#### 5.4 難航した電力会社との最初の交渉

当時、住宅にPV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。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。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った。その時の電力会社の支店でのやりとりの主旨を記載しておこう。

系統連系の申請書を提出する手続きでの話し合いで、電力会社の担当者からは「電力会社は電気を売る会社なのに、なぜ桑野さんの自宅で発電した電気を買わなければならないのですか?」、「電気が家庭から逆流してくるとしたら、その先で、電気工事をしているとその人が感電する恐れがありますね」、

と消極的であった。PVシステムの系統連系は、電力会社の社長会で、当時の地球環境問題に対する電力会社の英断として決められた経緯もあり、現場の担当者からすれば至極当然の対応ではあった。結局、支店での話し合いでは決着が付かず、本店での話し合いになった。その話し合いの中で、関西電力（株）の配電課長（当時）の多山洋文氏が登場した。氏は太陽光発電に対してその必要性をよく理解してくれて困難な連系のための指針作りを行ってくれた。

例えば、電気工事をしている際に、家庭で発電した電気が逆流してきて感電しないように、太陽光発電システムを設置した家庭からの逆流してくる電柱に「逆潮流あり」と表示すると共に系統遮断器を設置し、工事の場合、担当者が対応できる様にするなどの対応を考えて電力側を説得してくれた。幸いにして電力会社の理解も得られて、認可があり、自宅にPV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。

### 5.5 初めての太陽光発電所のシステムの概要

設置された太陽電池の最大出力は1.8kWで、5つのアレイから構成されており、ベランダ（①、②）にアモルファス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（Fig. 4）。

このPVシステムは、Fig. 5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。

発電式はご協力いただいた多くの人達にご参加いただき盛大に行った（Fig. 6）。その時、20年経ったら盛大にお祝い会を開くことを誓い合った。

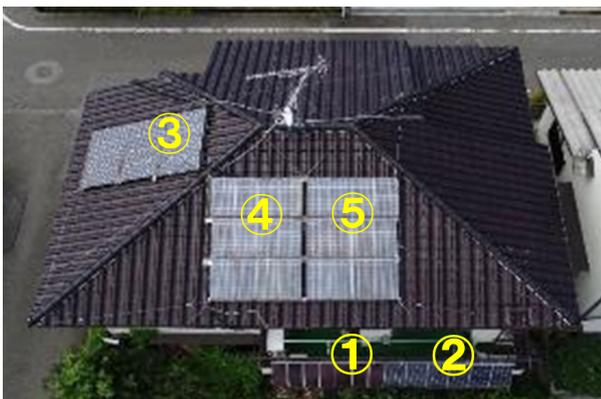


Fig. 4 Layout of the PV module installed in the system.

### 5.6 現在では考えられない規制の基での設置

当時、家庭にPVシステムを設置する時には、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 発電所なので個別に許可申請をする必要があった。
- ② 不測の事態が起きた時、系統から遮断する特別な大型のキャリアバックくらいの大きさの遮断装置が必要であった。
- 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。

このような規制があると、一般家庭への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

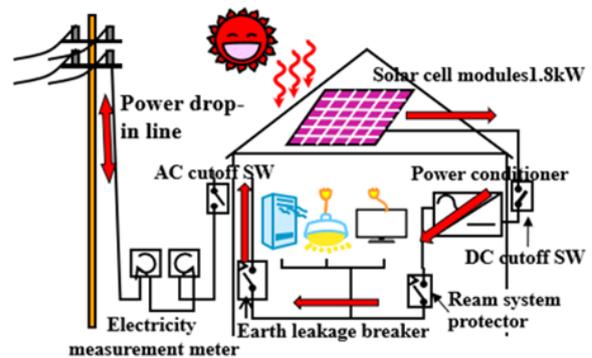


Fig. 5 Diagram of the PV system using reverse power flow.



Fig. 6 Construction progress of the Kuwano PV residence with reverse power flow and the opening ceremony

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、その後の個人住宅PV発電所が多数建設され安全性は確認され不要になった。

これらの基準はその後、世界に普及した家庭用PVシステムの標準となった。

～もし太陽電池の開発が国家プロジェクトでなかったら売電制度は出来なかった？～

電力会社からすれば、個人が自宅で発電した電気を電力会社が買う仕組みは、当時は、どう考えても大変難しい問題であった。なぜなら、電力会社からすれば、末端から天候に左右される不安定な電力が湧き入る感じである。個人住宅でのPVシステムで発電した電力は天候に左右され、戻ってくる電気の周波数も電力会社ではコントロールできない。ではなぜ電力会社は個人住宅のPVシステムからの電力を買い取る仕組みを受け入れたのであろうか？

当時、地球環境問題、特に酸性雨、オゾンホールなどの問題が顕在化はしていた。エネルギーの供給責任を負っていた電力会社が電力を作り出すために多くの化石燃料を消費していたので、その化石燃料により地球環境問題が引き起こされている認識は電力会社にはあった。

しかし、個人住宅のPVシステムで発電した電気を買い取る制度を受け入れるには大変な決断が必要である。太陽光発電は幸いにして、サンシャイン計画という国家プロジェクトで推進され、一企業の事業の目的でもなく、国家、人類のためという大義がこの売電制度を推し進めたと筆者は考えている。当

時、ドイツの一部で州単位でのこの逆潮流ありのPVシステムはあったが、全国的に統一した逆潮流制度を確立した国は、筆者の知る限り、世界で日本が最初である。

## 6. 30年間経過の太陽光発電システム

30年間の発電実績を Fig. 7 に示す。1992年から2015年の23年間はほとんど劣化していない。さすがに、2017年、つまり、25年を過ぎると、かなりの劣化率で出力が低下してきている<sup>4)</sup>。

- 1) 1992年から2012年の20年間の発電量の年平均劣化率は0.44%/年であった。
- 2) 2015年/2021年比での年平均劣化率は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。この結果から、太陽光発電の寿命は20年～25年間あり、30年経っても働き続ける優れたものであることが実証された。現在のPVシステムはもっと改良されていると思われるが、貴重なデータである。

桑野太陽光発電所は逆潮流ありの実稼働システムとしては、多分、世界最長稼働を記録したと思う。

30年経過したa-Si、多結晶Si太陽電池モジュールの解析も行った<sup>4)</sup>。

その概要をまとめると以下の様になる。

- 1) 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。
- 2) 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

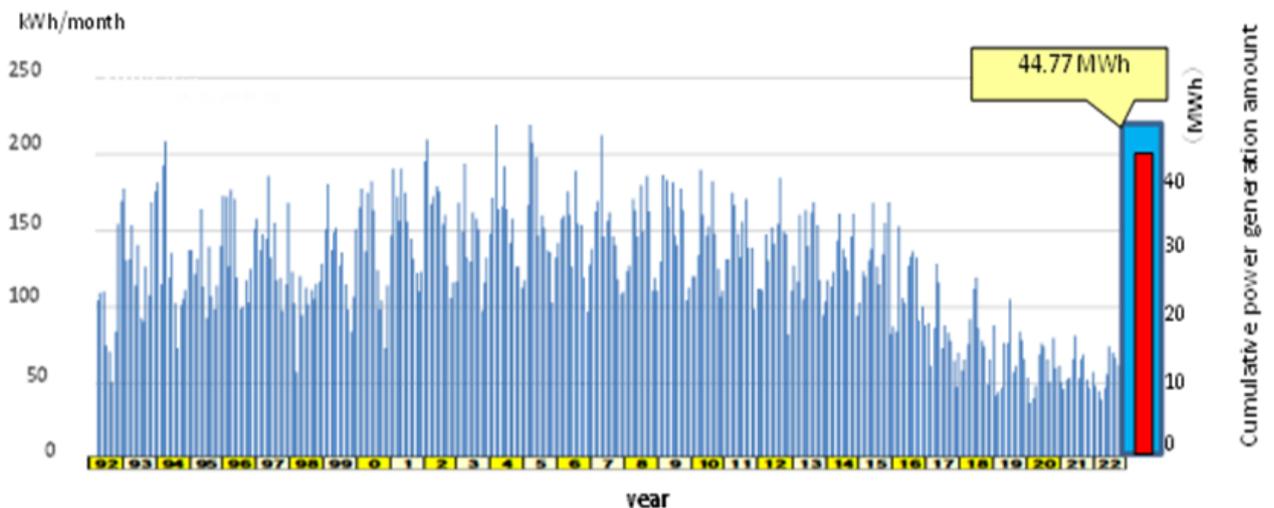


Fig. 7 Change in power generation for 30 years

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枚あった。最大93%の出力を確保出来ているものがある一方、極端に低下しているものがあり、個体差が大きかった。

## 7. 国の助成が始まる

世界に先駆けて、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）。

## 8. 大規模太陽光発電所への展開

サンシャイン計画で最初の大規模太陽光発電所は1986年にNEDOから四国電力と電力中央研究所が共同受託して完成した。当時、わが国最大の1MWの「太陽光発電試験プラント」（四国の西条太陽光発電試験発電所）で各種太陽電池モジュールが設置され太陽光発電の普及に向けた各種実験が行われた（Fig. 8）。

その後、2008年には「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究北杜サイト」にて、北杜市とNTTファシリティーズがNEDOから委託を受け、2MW級の太陽光発電システムを構築し、系統連系時に電力系統側へ悪影響を及ぼさないシステムの実現を目指し、大規模太陽光発電システムの普及拡大に向けた実証研究がなされた。

これらの成果を基に、日本の企業は国内や海外での太陽光発電所の建設を行った。



Fig. 8 Saijo PV test Site, Saijo City, Ehime Prefecture

## 9. 固定価格買い取り制度の創設

2011年、不幸にも東日本大震災が起こり、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、ドイツ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、固定買い取り制度（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。2023年にはFig. 9に示すように約91GWにも達した<sup>5)</sup>。2022年の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<sup>6)</sup>。

## 10. 拡大する世界の太陽光発電

太陽電池の変換効率の向上と各国の普及策により太陽光発電はコストがさがり、さらに、地球環境問題の顕在化で世界に普及する時代がやって来た。

### 10.1 低コスト化が実現

サンシャイン計画はその後、NEDOに引き継がれ太陽光発電に関する研究開発が継続されている。日本と共に各国が太陽光電池と発電システムの開発及び普及に力を入れて来た。

変換効率もセル構造の改善、製造プロセスの改善で大幅に低コスト化が実現した。現在、世界で主流となっているセル構造はTopconセル、HIT（SHJ）セル、バックコンタクトセルとなっている。

その中で、筆者らが開発したHITセル<sup>※)</sup>はサンシャイン計画の下、日本で開発された独特の技術でアモルファスSiと結晶Siを組み合わせたFig. 10に示す様な構造の太陽電池である。従来の一般的Si系太陽電池は結晶Siウェーハの中にp-n接合を高

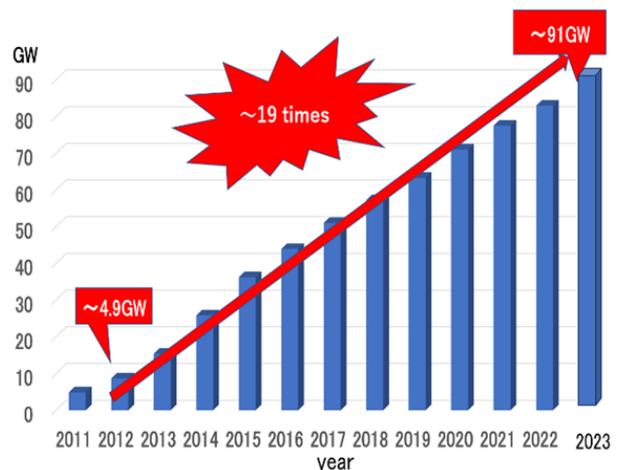


Fig. 9 Changes in the cumulative capacity of PV systems installed in Japan

※ HIT はパナソニックの登録商標

温で不純物を拡散して太陽電池を形成するが、HITセルはn型の結晶Siの表面にp型a-Si膜を低温で形成して太陽電池を形成する。つまり、結晶状態のSiとアモルファス状態のSiで太陽電池を形成する、ヘテロ接合による太陽電池である。この構造は従来に無い、極めて画期的な構造により大幅な変換効率の向上や両面発電が出来ると言った極めてユニークな太陽電池である<sup>7)</sup>。

これは、先に記載した1980年に開発した、エレクトロニクス用太陽電池である集積型a-Si太陽電池の基礎技術が電力用に生きたことを示すものである。

さらに最近では日本で始め開発された曲面使用が可能なペロブスカイト太陽電池の開発が進められている。

現在ではこれらの成果により、太陽電池のコストは2022年で約30円/W程度となっており、事業用PVシステムとしての発電コストは世界のレベルでは6.8円/kWh、日本で12円/kWhとなっており<sup>8)</sup>、通常の家や事業所で購入する電力料金より大幅に安くなってきた。つまり、サンシャイン計画で目標としたもの以上の結果が実現したことになる。

### 10.2 世界は大きな転換点に来た

前述の1994年の日本の助成制度(9章参照)による普及が引き金となりその後、ドイツでFIT制度が出来、この制度が全世界に拡大した。多くの国で太陽光発電の設置が進み、世界のPVシステムの累積設置量は2023年にはFig.11に示すように推定、1.6TW(1.600GW)に達した<sup>5)</sup>。

地球温暖化を止めるため、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が開始された。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。

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。

地球環境問題とエネルギー安全保障の観点からも太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーへの期待が急速に高まっている。

### 11. おわりに

サンシャイン計画が創設されてから50年間の太陽光発電に関する歴史を振り返った。筆者が関係した内容を中心に記載した。サンシャイン計画で開発された内容は他に数多くある(紙面の関係で盛り込めなかった)。同計画が想定した代替エネルギーの開発を目的としたテーマから世界の状況は大きく変化し、地球環境問題、特に、地球温暖化を防ぐためのカーボンニュートラルという大きなテーマが加わり、50年前に太陽光をエネルギー源として活用しようと言うサンシャイン計画の先見性、重要性が、現在、再認識されている。

太陽光発電に関しては、多くの困難を世界の人達、国家が努力して乗り越え、当初の予定より少し遅れたが、太陽電池のコスト1/100を実現し、1テラW以上の太陽光発電所が設置された。さらにこれからも多くの人々が努力して、太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーが人類の基本的エネルギーを賄う時代が到来するであろう。

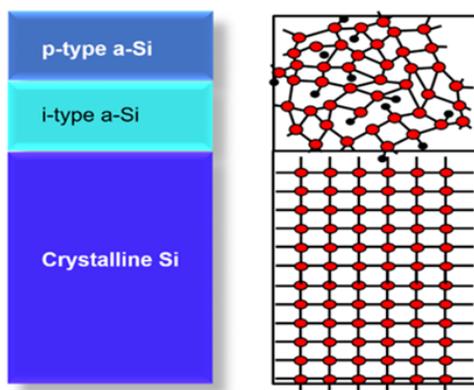


Fig. 10 The HIT structure consists of amorphous Si stacked on crystal Si

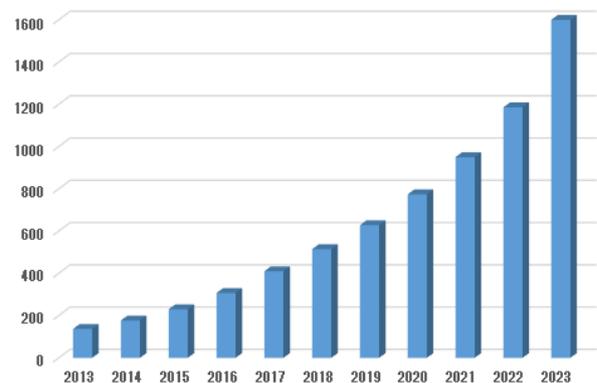


Fig. 11 The cumulative capacity of PV systems installed in the world exceeded 1.6TW in 2023

～最終的にはジェネシス計画へ～

筆者等が1989年（35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（Global Energy Network Equipped with Solar cells and International Superconductor grids：GENESIS）（Fig. 12）を紹介しておこう．同計画は，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%’（Table 1）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<sup>9)</sup>．

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．

前述の究極のジェネシス計画を基に以下のことを推定してみた．太陽光からの電力変換効率は約10%，その電力で水から水素を発生する変換効率約

70%，この水素と窒素を反応させて，アンモニアを合成する効率を50%とすると全人類のエネルギーの全てを賄う，新しい燃料，アンモニアを製造するために必要なエネルギーを作り出すための太陽光発電の面積は全世界の砂漠の約12%の面積になり，これは実現可能である．

人類は将来，太陽光発電での電力を使って製造した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．ジェネシス計画を提案してから35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．

【謝辞】

本稿で述べたこれらの成果は筆者を支えてくれた三洋電機や多くの太陽光発電関連の企業また大学関係者，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て実現できたと思い，ここに深く感謝の意を表します．

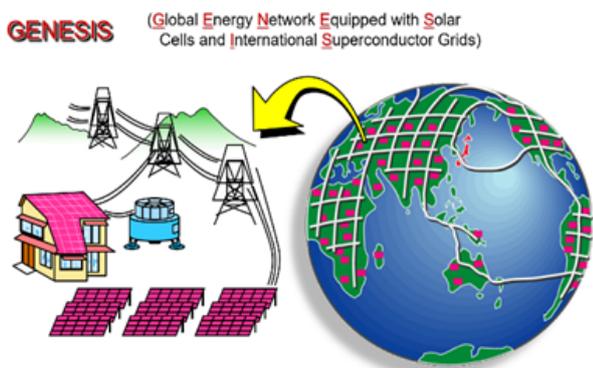


Fig. 12 GENESIS (Global Energy Network Equipped with Solar Cells and International Superconductor Grids)

Table 1 World's energy consumption and required solar cell system area

year	2000	2010	2050	2100
Worldwide energy consumption estimate (oil equivalent billion kl/year)	110	140	350	1,110
Conversion efficiency of PV systems (%)	10	10	15	15
Area to be carpeted with PV systems (km <sup>2</sup> )	729	802 (4% of entire desert area)	1,030	1,850

参考文献

- 1) 桑野幸徳, 太陽電池開発の歴史, 126-128 (2011), オーム社
- 2) P.G. Le Comber, W.E. Spear, Electronic Transport in Amorphous Silicon Films, Phys. Rev. Lett. 25, 509 (1970)
- 3) 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)
- 4) Y. Kuwano, M. Taguchi 30-year-old Japan's first private residential photovoltaic system with reverse power flow , Journal of Japan Solar Energy Society, 50 (2), 75-82, (2024) doi.org/10.24632/jses.50.2\_75
- 5) IEA Snapshot-of-Global-PV-Markets\_2024 [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/04/Snapshot-of-Global-PV-Markets\\_20241.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/04/Snapshot-of-Global-PV-Markets_20241.pdf)
- 6) 環境エネルギー政策研究所報告書 <https://www.isep.or.jp/archives/library/14364>

- 7) M. Tanaka, M. Taguchi et. al., Development of New a-Si/c-Si Heterojunction Solar Cells, Jpn. J. Appl. Phys. 31, 3518-3522 (1992)
- 8) 経済産業省資料, 2022年, 国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/078\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/078_01_00.pdf)
- 9) Y. Kuwano, Progress of Amorphous Silicon Solar Cells, Proc. 4th. Int. Photovoltaic. Science and Engineering Conf. Sydney, 557-564 (1989)

### 著者略歴



桑野 幸徳 (クワノ ユキノリ)  
 工学博士  
 元三洋電機(株) 代表取締役社長  
 CEO  
 大和ハウス工業(株) 社外取締役,

太陽光発電技術研究組合名誉顧問  
 日本太陽エネルギー学会フェロー

1941年生まれ, 熊本大学理学部卒業, 大阪大学工学博士. 1963年三洋電機(株)に入社以来, 太陽電池の研究開発に従事, その後, 三洋電機(株)取締役, 研究開発本部長, 情報通信事業本部長, 半導体カンパニー社社長を歴任し, 三洋電機(株)代表取締役社長 CEO に就任.

この間, 集積型アモルファスシリコン太陽電池を発明し, 世界で最初にアモルファスシリコン太陽電池を工業化した. 又, 太陽光発電技術研究組合理事長, 大阪大学客員教授を歴任.  
 太陽電池の研究開発に関する業績で科学技術長官賞, PVSEC AWARD 等受賞.

著書: 太陽電池を使いこなす(講談社), 太陽電池開発の歴史(オーム社), 人類を救う太陽光発電に人生をかけた男(22世紀出版社)など.