円筒形太陽電池の製造技術開発

Development of manufacturing technology for cylindrical solar cells

林　雅博　Masahiro Hayashi　　野村　隆利　Takatoshi Nomura

地球温暖化の抑止のため、世界的にカーボンニュートラルに向けた取り組みとして再生可能エネルギーの導入を増やし、主力電源化が推進されている。日本は国土面積当たりの太陽光発電導入量は主要国で1位であるが、従来の平板型太陽電池を設置する適地が残されていない。設置場所制約の課題を克服する次世代型太陽電池の開発が不可欠であり、産学官による大規模な開発事業が進められている。円筒形太陽電池は軽量かつ垂直設置も可能な太陽電池であるため、設置の自由度が高く、これまで平板型では設置できなかった場所へ設置することが可能となる。本稿では次世代型太陽電池として有望な円筒形太陽電池の特長と円筒形太陽電池の基盤技術であるガラス封止技術について紹介する。

In order to curb global warming, the introduction of renewable energy is increasing and renewable energy is being promoted as a main power source as part of efforts to achieve carbon neutrality worldwide. Although Japan ranks first among major countries in terms of the amount of solar power generation it has installed per unit of land area, there is still no suitable land left for installing conventional flat-plate solar cells. It is essential to develop next-generation solar cells that overcome the issue of installation location constraints, and large-scale development projects are underway by industry, academia, and government. Since cylindrical solar cells are lightweight and can be installed vertically, they have a high degree of installation freedom and can be installed in locations where flat plate solar cells could not be installed in the past. This paper introduces the features of cylindrical solar cells, which are promising as next-generation solar cells, and the glass sealing technology that is the basic technology for cylindrical solar cells.

1　はじめに

地球温暖化は、現代社会における最も深刻な環境問題の一つとして、世界的な関心を集めている。気温の上昇、異常気象、海面上昇、生態系の変化など、その影響はますます顕著に現れており、人類と地球環境に対する深刻な脅威をもたらしている。

地球温暖化の主要因は、人間の活動による温室効果ガスの排出であり、化石燃料の燃焼、森林伐採、産業プロセスなどにより温室効果ガスが大気中に放出され地球温暖化を加速している。

地球温暖化の抑止のため、世界的なカーボンニュートラルに向けた取り組みとして、再生可能エネルギー比率を高め、再生可能エネルギーの主力電源化が推進されている。日本においては第6次エネルギー基本計画において2030年の再生可能エネルギー比率を36～38%に、その内訳として太陽光発電は再生可能エネルギーの中でも最大の14～16%を目指している。日本は国土面積当たりの太陽光発電導入量は主要国で1位であるが、従来の平板型太陽電池を設置する適地が残されていない。設置場所制約の課題を克服する次世代型太陽電池の開発が不可欠である。

2　背景

次世代型太陽電池として設置の自由度が高く軽量な太陽電池が求められている。CKDを含む産学官連携のプロジェクトにおいて、我々はガラス管内に発電シートを挿入したFig.1に示す円筒形太陽電池を提案し、その特長から従来の平板型太陽電池では設置しづらい場所への設置をターゲットとする新市場を目指して研究開発を進めている。これまで塗布型フレキシブル太陽電池が報告されているが、高額なバリアフィルムを必要としており、低コストで水分、酸素等の侵入を完全に遮断する封止ができないという課題があった。我々は円筒形状のガラス管封止技術を用いてこの問題点を解決した。今回新たな外部電極を開発し、円筒形太陽電池の信頼性をより高めた。

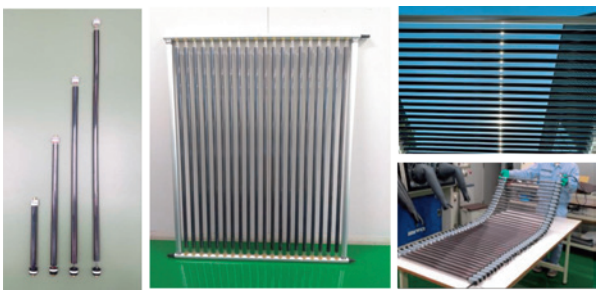

Fig.1　円筒形太陽電池ユニット及びモジュール
（写真提供：株式会社フジコー）

3 円筒形太陽電池の構造

円筒形太陽電池はFig.2のようにガラス管内に発電シートを挿入し、ガラス管の両端に外部電極を気密溶着したものである。発電シートは将来的に高効率が期待されるペロブスカイト太陽電池を使用することを見据えており、封止性能が太陽電池の寿命に大きく影響することから、Heリークテストにおいて10^{-10}Pa·m^3/sのリークレートでHeのリークが無いことを確認している。そのため、ペロブスカイト太陽電池の寿命に影響する酸素、水分を外気より完全遮断することが可能である。

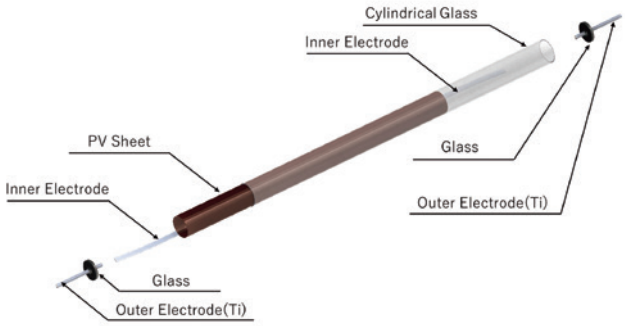

Fig.2　円筒形太陽電池の構造

4 円筒形太陽電池の特長

円筒形太陽電池は平板型太陽電池と比較して以下の特長を持つ。

- 一日の総発電量が多い
- 光と風が通過（モジュールの場合）
- 多方向からの受光
- 高い耐久性（ガラス封止）
- 軽量
- 風の影響を受けにくい
- 雪、埃が積もりにくい
- 水平・垂直設置可能
- 狭い場所でも縦型設置できる（壁面設置）
- 運搬、メンテナンスが容易
- 防眩性に優れる
- 意匠性に優れる設計・設置に期待
- ガラス管は、飛散防止フィルムで保護

つまり、自然現象の影響を受けにくい「自然共存型太陽電池」といえる。Fig.3は円筒形太陽電池の受光イメージを示す。太陽からの直達光を高効率で長時間受光可能で、散乱光や反射光も円周に沿って多方向から受光できるため、投影面積当たりの一日の総発電量は平板型の1.5倍に達する。

変換効率7.5%のフレキシブルアモルファスシリコン太陽電池を使用して、円筒形及び平面型の発電量の評価を実施した。Fig.4に水平設置、垂直設置した円筒形及び平板型の投影面積当たりの8時～18時の発電量を比較したグラフを示す。円筒形太陽電池は平板型と比較して朝方から夕方まで発電していることがわかる。

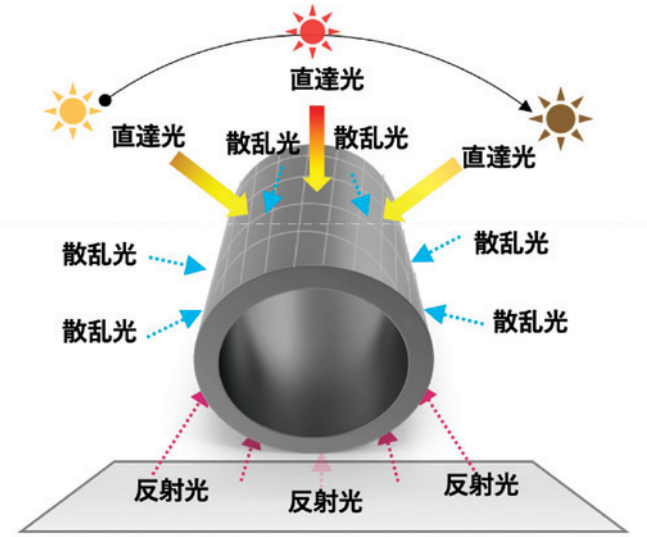

Fig.3　円筒形太陽電池の受光イメージ（資料提供：電気通信大学）

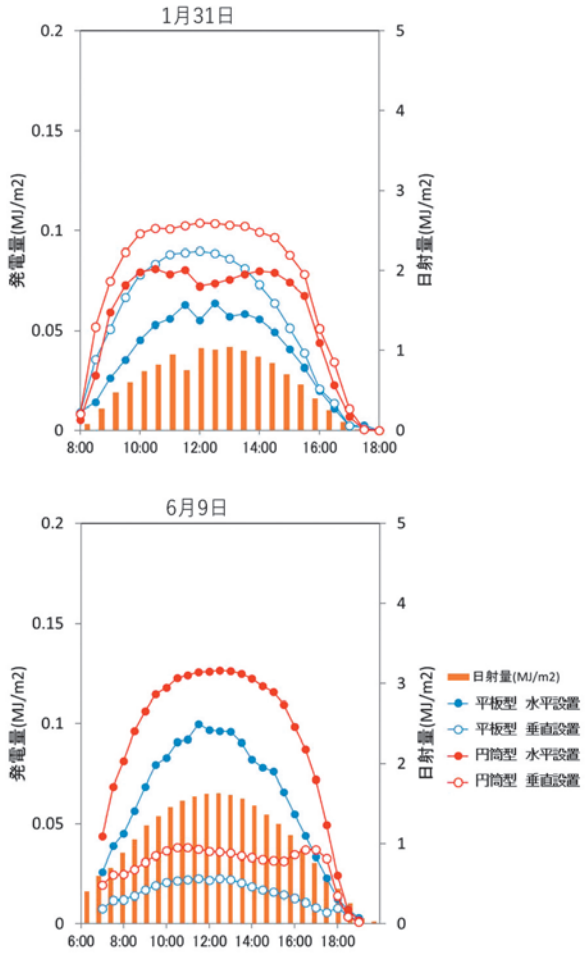

Fig.4　時間別発電量の比較（資料提供：株式会社フジコー）

5 ガラス封止

5−1

ガラス管両端部には「ステム」と呼ばれる、フレア形状のガラスに金属パイプが気密溶着された外部電極が備わっている。このステムを円筒ガラス管両端に溶着し完全封止が可能となることにより外部からの酸素、水分の侵入を完全に防ぐことができる。

ステムはフレア状に加工されたガラス管と金属パイプを気密溶着することが要求される。当社のランプ製造装置のガラス加工技術を応用して、新たな封止技術を確立することができた。本稿ではこの新たな封止技術を確立した内容について記述する。

5−2

ペロブスカイト太陽電池を発電シートとする場合、ヨウ素が発電シートに含まれるため、ヨウ素に侵されない電極用金属としてチタンを選定した。チタンの線膨張係数は8.4×10^{-6}/Kのため、対応するガラスとして、軟質ガラス(線膨張係数9.5×10^{-6}/K)が整合する。

これまでのランプの製造技術においては、軟質ガラスに対して、ジュメット線と呼ばれる鉄ニッケル合金線を芯材とした銅線(銅被覆鉄ニッケル合金線)をリード線とするガラス−金属封止の実績があるが、チタン線をリード線として封止するランプはCKDにおいては実績がなく、文献等を調査しても見つけられなかったため、手探りのスタートとなった。

5−3

外部機関によりチタンパイプを使用したステムを試作したところ、チタンパイプとガラス溶着部からのリークが確認された。その後加工条件を変えて調整したが、リークを無くすことができなかった。Fig.5に示すSEM観察の結果、チタンとガラスの界面に隙間があり、リークの原因となっていることがわかった。

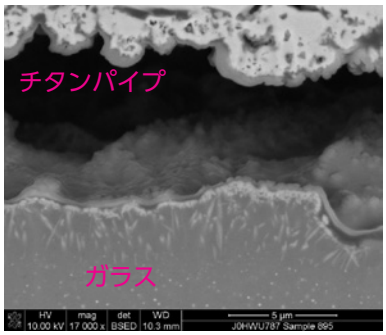

Fig.5　外部機関により試作したステム

5−4

当社においてステム製造装置を試作し、封止テストした結果を示す。ランプの封止で行ってきた条件を反映したものではFig.6のように界面に多孔質層が形成された。この状態でもHeのリークが確認された。

封止の加工条件を調整したところ、Fig.7のような界面を持つリークのないサンプルを試作することができた。

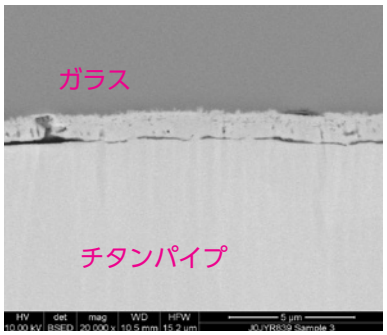

Fig.6　従来のランプ封止技術

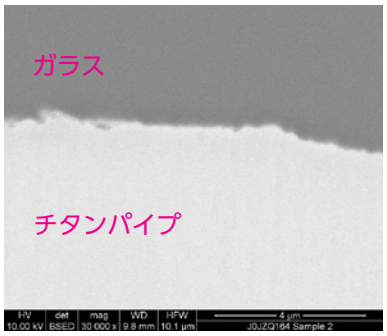

Fig.7　チタンに対応した封止技術

5−5

ステムとガラス管の気密溶着はランプ製造技術の応用で可能である。ガラス管の両端にステムを気密溶着させる工程は蛍光灯などのランプ製造工程と共通であるが、ランプと異なる点は、円筒形太陽電池の場合、ガラス管内部に発電シートが存在するため、ステムとガラス管を溶着する際の熱の影響を発電シートに及ぼさない工夫が必要である。ガラス溶着を行う加熱部から発電シート端部までの距離を多くとれば熱影響を少なくすることは可能である。しかし、ガラス管長に対する非発電部の比率が大きくなるため、発電能力が低下し製品としてマイナスポイントとなる。そこで、発電シートに熱を及ぼさないように断熱板をガラス加工部と発電シートの間に用意して発電シートに対する熱影響を最小限に抑えている。

6 封止部の構造と屋外テスト

フレア形状のガラスにチタンパイプを気密溶着させた外部電極であるステムを円筒ガラス管両端に溶着することで、完全封止が可能となり、外部からの酸素、水分の侵入を完全に防ぐことができるようになった。封止構造のイメージをFig.8に示す。

Fig.9では同仕様の太陽電池を用いて、ガラス管封止されたサンプルと、大気中に放置されたサンプルの変換効率の低下率を測定したものである。大気中に放置されたサンプルは18日間で初期性能から80%低下しているが、ガラス管封止のサンプルは57日後でも初期性能を維持している。

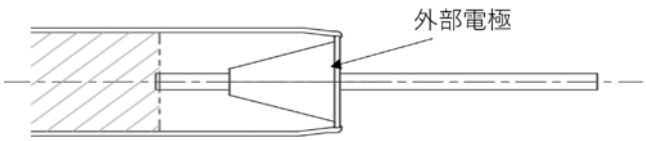

Fig.8　封止部の構造

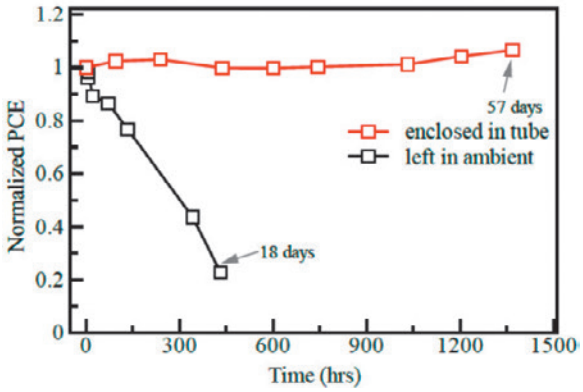

Fig.9　封止耐久性テスト（情報提供：株式会社フジコー）

7 製造装置

チタンパイプとガラスの気密溶着によりステムを製作し、製作したステムとガラス管の気密溶着を行う新しい封止技術と自動機械装置の同時開発で、安定した封止工程の実現を達成した。封止装置の外観写真をFig.10に示す。

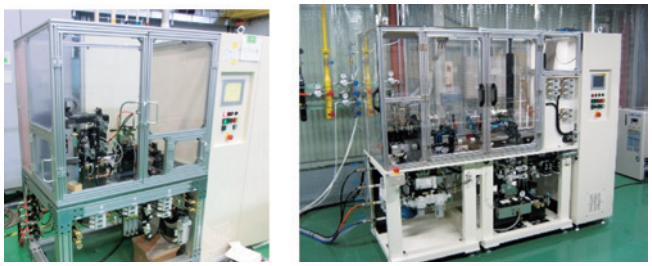

Fig.10　封止装置

8 おわりに

ランプ製造技術等で使用される溶着技術ではガラスとチタンの接着性は良くなく、接触部に僅かな隙間が空いて、酸素・水分の侵入が発生してしまう。本稿の成果は、ガラス管両端部にステムと呼ばれるフレア形状のガラス管にチタンパイプが気密溶着された外部電極を形成し、この外部電極を円筒ガラス管両端に溶着し完全封止が可能となることにより外部からの酸素、水分の侵入を完全に防ぐことができる封止技術を得たことである。また、円筒形太陽電池の実証実験を通じて実用化に大きく近づけることができた。

円筒形太陽電池の将来像として、Fig.11のようなルーバー状のビル壁面設置イメージ、Fig.12のような営農型太陽光発電（ソーラーシェアリング）が有力と考えている。共同研究先の電気通信大学が主体となり、東京都の「大学研究者による事業提案制度」において円筒形太陽電池による「都会型太陽電池による創電・蓄電の強化推進事業」を提案し、都民投票の結果1位通過で採択された。3年計画（2023年度～ 2025年度）で総予算4.9億円の大型プロジェクトであり、このプロジェクトを通じて円筒形太陽電池の実用化に向けた開発を加速させたいと考えている。

Fig.11　ビル壁面設置イメージ※

Fig.12　営農型太陽光発電実証試験
（写真提供：株式会社フジコー）

※https://townphoto.net/tokyo/roppongi3.html
から使用

執筆者プロフィール

林　雅博　Masahiro Hayashi
新規事業開発室
New Business Development Office

野村　隆利　Takatoshi Nomura
新規事業開発室
New Business Development Office