

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電極対置型 Si 球状太陽電池と FRP を用いた
曲面ソーラーモジュールの開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 スフェラーパワー株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1-2	研究体制	4
1-3	成果概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	7

第2章 本論

1	球状太陽電池セル量産技術の確立	8
1-1	電極材料の検討	8
1-2	自動化用治具の改良	9
2	曲面モジュールに適した結線技術の改良	9
2-1	網目状（メッシュ）構造の設計	10
2-2	構造の強度試験・評価	12
2-3	FRP樹脂と保護樹脂との相性評価	14
3	太陽電池内包型FRP成型技術開発	14
3-1	成型法の確立	14
3-2	薄肉化技術	15
3-3	評価	17

第3章 全体総括

3-1	本研究開発で得られた成果	22
3-2	事業化への取組み	22

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

研究開発の背景

自動車産業ではCO₂排出量削減に向けた取り組みが加速している。こうした取り組みの中で、特に電気自動車やハイブリッド自動車といった「次世代自動車」が期待されているが、蓄電池の性能向上や車体重量の軽減が求められる一方、蓄電池の負荷を減らすために車体に搭載できる太陽電池が待ち望まれている。

しかしながら、従来の太陽電池技術では、次のような理由で、上記のニーズに十分対応できていない。まず、従来型の場合、平面を基本として設計されているため、光の入射角度が絶えず変化する移動体では安定した発電出力が見込めない。また、ガラス材で保護するため、重量も重く、厚みの削減にも限界がある（平均的なモジュールのサイズとして、重量：12～16 kg/m²、厚み：35～55 mm）。さらに、従来型では、平面を一方向に曲げるような曲面には対応できるものの、三次元的な曲面には対応できず、空気抵抗やデザインを重視する車体では適用範囲がきわめて限られる。

現在のところ、太陽電池の開発は、建物の屋根に据え置くことやソーラー発電所での設置を念頭に置いて進められており、常に太陽との位置関係が変化する移動体へ適用を考えた太陽電池はなかった。

これに対して、スフェラーパワー株式会社（認定時には京セミ株式会社、以下同じ）が独自に開発した球状太陽電池スフェラー®は、自動車に適用するのにふさわしい次のような特長を備えている。まず、セルの一つ一つが直径1～2 mmの微小な球の形をしており、光の入射角の変化に影響を受けにくい構造となっている。太陽からの直射光だけでなく、環境中の反射光や拡散光も採り込むことができる。また、このセルを直並列につなぎ、網目（メッシュ）状にモジュール化するため、三次元的な曲面に対応できる、部分日陰の影響を受けにくい、といった長所がある。

本研究開発は、この球状太陽電池の技術をもとに、太陽電池モジュールをFRP成型する技術の確立をめざしたものである。以下のような自動車開発のニーズに適した特性をもった太陽光発電モジュールを開発する。

- 太陽との位置関係が変化しても安定して受光でき、積算発電量が見込まれる
- 空気抵抗を減らし、デザインを妨げないよう、三次元曲面に対応できる
- 軽量かつ薄肉のモジュールで車体に一体化できる
- 日陰などの周辺環境から影響を受けにくい

研究開発の高度化目標及び技術的目標値

従来技術では、太陽電池モジュールの薄肉化・軽量化に限界があるとともに、三次元曲面への適用が不可能である。これに対して、球状太陽電池スフェラー®を使用し、薄肉化、軽量化、三次元曲面对応可能化を行なう。

従来技術では、平面状のセルをまず直列に結線し（セルストリングス）、その後、並列につないで（アレイ）、モジュールを製作する。これに対して、球状太陽電池スフェラー®を使用する場合、直径 1-2 mm の球状セルを網の目状に対置して、直並列を同時に結線する。この構造のために、モジュールの三次元曲面对応が可能となる。

また、太陽電池モジュールを FRP で成型する技術は今のところ確立していない。この技術を可能にすることにより、薄肉化・軽量化・三次元的成型を実現させる。

以上に見られるように、従来技術では不可能であった製品を、結線技術の改良と最適な FRP 成型技術の確立によって実現しようとするのが、本研究開発の主眼である。

本研究開発では、試作品を作製し、実車に搭載して評価を行なう。従来の太陽電池と比較して、次の表に見られるような改善をめざす。

	平板型 Si 結晶系太陽電池 (トヨタ「プリウス」等)	FRP 一体成型 三次元曲面对応モジュール
厚さ	35~55 mm	10 mm
重量	12~16 kg/m ²	8 kg/m ²
曲面对応	二次元的	三次元的 (R = 20 mm)
光捕集効率	-	積算発電量 (Wh/1Wp) で 30%の効率向上
部分日陰の影響	1/4 日陰で出力がほぼ 0	出力低減は日陰の割合に 比例

この試作品の目標達成を目指すために、各サブテーマにおいては、次のような目標を定める。

《1. 球状太陽電池セル量産技術の確立》

1-1 電極材料の検討

引っ張り試験を行ない、引っ張り強度が 1N 以上（社内規格）とする。ハンダのぬれ性を確認する。

1-2 自動化用治具の改良

現状のタクトタイムと比較して2倍の効率化を図る。

《2. 曲面モジュールに適した結線技術の改良》

2-1 網目状（メッシュ）構造の設計

90° R=20mm の曲げ、5回で特性が劣化（社内規格）しないモジュール。

2-2 構造の強度試験・評価

曲げ回数限度値は、社内規格による曲げ回数破壊試験とする。想定出来るワイヤー（金属や導電性繊維を含んだ部材）での強固な物を評価（尚、一般の結晶系太陽電池は曲げられない）。

2-3 FRP 樹脂と保護樹脂との相性評価

保護樹脂と FRP 樹脂の接着強度評価（社内規格による）。

《3. 太陽電池内包型 FRP 成型技術開発》

3-1 太陽電池内包型 FRP 成型法の確立

網目状構造太陽電池モジュールと保護樹脂に悪影響のない成型法。

3-2 薄肉化技術

球状太陽電池を活かし、尚且つ保護機能を失わない限界値の見極め。

3-3 評価

JIS 太陽電池信頼性試験（例：85℃、湿度 85%の環境下 500 時間保持後、初期値の発電特性 95%が確保）と実証移動体に則した評価試験。

なお、この技術を確立させることにより、創エネ効果で CO2 排出量削減の取り組みに寄与したい。

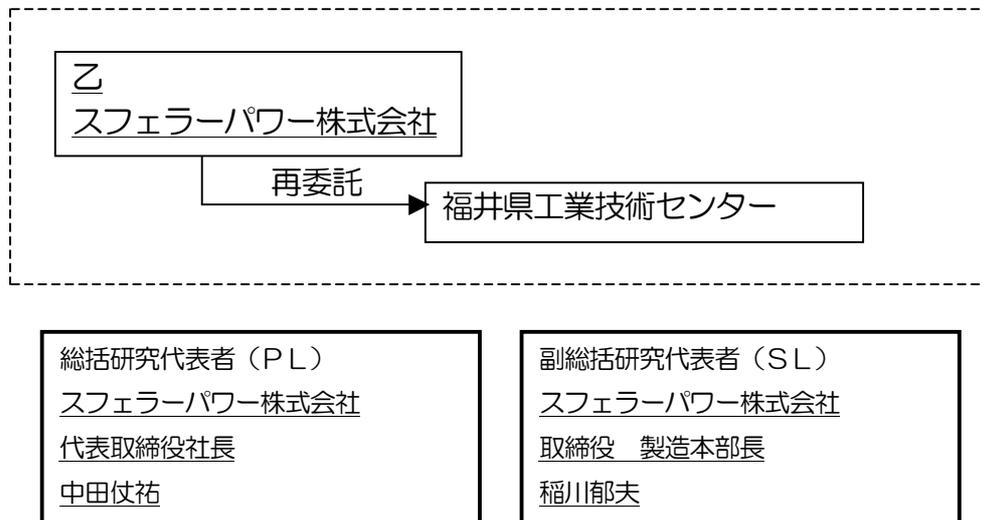
1500cc クラスのセダンで約 160W の太陽光発電モジュールを搭載し、6.3 百万 t の CO2 排出量削減（2006 年度の運輸部門からの CO2 排出量の 25%に相当する削減効果）をめざす。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

研究組織及び管理体制

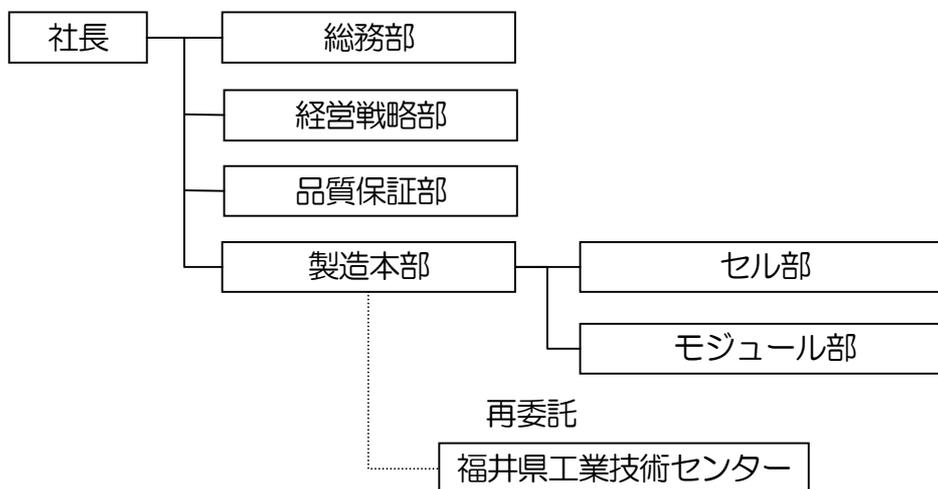
① 研究組織 (全体)



② 管理体制

1. 事業管理機関

[スフェラーパワー株式会社]



2. (再委託先)

福井県工業技術センター



(イ) 管理員及び研究員

【事業管理機関】京セミ株式会社

1. 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
中田仗祐	代表取締役社長	④
稲川郁夫	取締役 製造本部長 兼 セル部長	④
長友文史	経営戦略部 グループマネージャー	④

2. 研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
中田仗祐 (再)	代表取締役社長	①-1、②-1
稲川郁夫 (再)	取締役 製造本部長 兼 セル部 部長	①-1、①-2、②-1、②-2、②-3
中村英稔	製造本部 モジュール部 部長	②-1、②-2、②-3、③-1、③-2、③-3
松本利則	製造本部 モジュール部 シニアエンジニア	②-1、②-2、②-3、③-1、③-2
大谷聡一郎	製造本部 品質保証部 シニアエンジニア	①-2、②-2、②-3、③-3

【再委託先】

福井工業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
増田敦士	化学・繊維部 繊維研究グループ 主任研究員	②-1、②-2
村上哲彦	化学・繊維部 繊維研究グループ 主任研究員	②-1、②-2

1-3 成果概要

1. 球状太陽電池セル量産技術の確立
 - 1-1. 電極材料の検討 ----- 完了
 - 1-2. 自動化用治具の改良 ----- 完了
2. 曲面モジュールに適した結線技術の改良
 - 2-1. 網目状（メッシュ）構造の設計 ----- 完了
 - 2-2. 構造の強度試験・評価 ----- 完了
 - 2-3. FRP 樹脂と保護樹脂との相性評価 ----- 完了
3. 太陽電池内包型 FRP 成型技術開発
 - 3-1. 成型法の確立 ----- 完了
 - 3-2. 薄肉化技術 ----- 完了
 - 3-3. 評価 ----- 完了

1-4 当該研究開発の連絡窓口

スフェラーパワー株式会社
経営戦略部 長友文史
電話：075-605-7322
FAX：075-605-7323
E-mail: n.nagatomo@sphelarpower.com

第2章 本論

1. 球状太陽電池セル量産技術の確立

球状太陽電池セルを導入するにあたって、量産性をより高めるために、セルの電極材料の検討ならびに電極形成を自動化するための治具の改良を行った。

1-1 電極材料の検討

目標：引っ張り試験を行ない、引っ張り強度が 1N 以上（社内規格）とする。ハンダのぬれ性を確認する。

材料の選定、及び追加検討を実施した。引張強度は目標値を達成することができた。更に、生産工程にて問題ないことも確認し、コストも加味した上で、複数の候補から材料を選定するに至った。

従来スフェラーセルをアセンブリする接続材は、導電性接着剤を使用していた。これは電極特性・設備性・作業性に起因するものであるが、量産性・コスト・リペア性を、重視しハンダ材を採用する方向として、ハンダぬれ性が良い電極材料の研究開発をおこなった。

図1にスフェラーセルの構造を、図2に電極引張試験結果を示す。

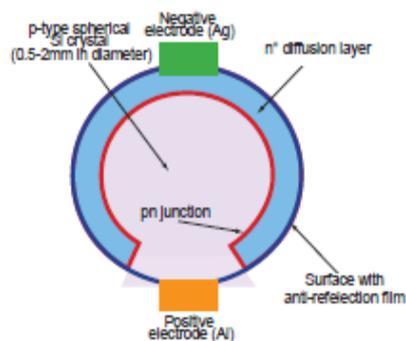


図1 スフェラー構造図

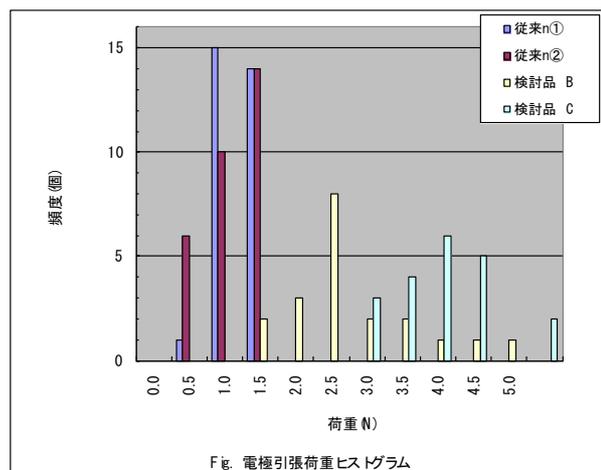


Fig. 電極引張荷重ヒストグラム

図2 ハンダ可能材料の電極引張試験結果

結果、検討品 C を採用した。

検討品 C のハンダとの相性を、下記に示す。

①ハンダのぬれ性

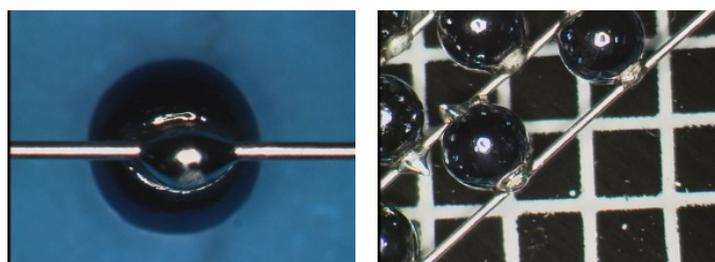


図3 ハンダぬれ性

②引張強度

No.	P側	N側
1	4.8	3.4
2	3.9	2.0
3	3.9	2.7
4	5.4	2.4
5	4.6	2.1
6	3.5	1.6
7	3.1	2.8
8	3.4	2.0
9	3.6	2.4
10	4.2	1.8
平均	4.04	2.32
標準偏差	0.714	0.537

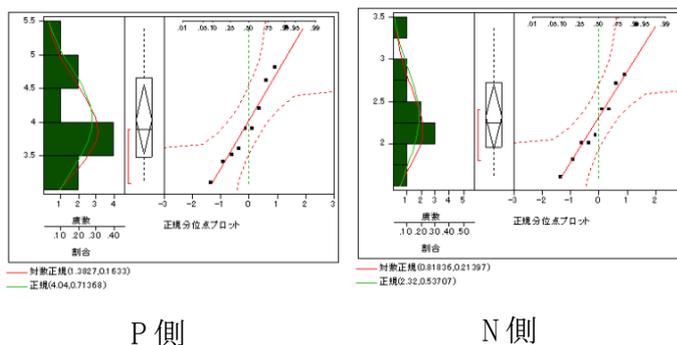


図4 引張強度 [単位：N]

1-2 自動化用治具の改良

目標：従来のタクトタイムと比較して2倍の効率化を図る。

本内容については、初年度に自動化を前提とした治具を作成し、電極形成を自動化する方法を検討した。そこで得られた結果をもとに実際の作業工程で試して、効率化の度合いを検証したことにより、目標のタクトタイム2倍の効率化が達成できた。

従来のスフェラー電極形成は、手作業に頼っていた。安価な球状太陽電池を実現するためには、この工程を省力化（自動化）する事が不可欠であった。

方法論として、パット印刷方式を応用することとした。パット印刷とは、パターンをエッチングされた平板から転写体にインキを転写し、被印刷物に印刷する方式（凹板転写印刷）である。研究開発では、シリコンゴムに導電性接着剤を印刷し、スフェラーに上下から転写する方法を確立した。

表1 従来方式と研究開発方式の比較

	基準生産数 [個]	作業時間 [min]
従来 方式	12,500	850
研究開発方式	12,500	420
低減率		-50.6%

2. 曲面モジュールに適した結線技術の改良

3次元曲面に対応可能な太陽電池一体型 FRP 成型を行うには、まず太陽電池の結線技術を開発する必要がある。従来の平板型の太陽電池の製造プロセスとの大きな違いの一つがこの工程にある。従来の太陽電池モジュールの製造においては、セルを先ず直接につないでセルストリングスを形成するのに対して、球状太陽電池スフェラー®を結線する際には、図5に見られるように、球状太陽電池スフェラー®をメッシュ状につなぎ、直列と並列を一度に形成する。

スフェラーパワー株式会社では、独自に設計・開発した装置を用いて、このプロセスを半自動的にこなすことができる。本研究開発では、FRP 工程に適したメッシュ状のセルストリングスができるように、この工程の改良を行なった。



図5 メッシュ

2-1 網目状(メッシュ)構造の設計

目標：90° R=20mmの曲げ、5回で特性が劣化（社内規格）しないモジュール。

球状太陽電池スフェラー®をワイヤーで結線したセルストリングスは、網目状の構造となる（メッシュ）。このメッシュは、曲面に沿わせて曲げることが可能であるが、FRP 成型する過程で破損が生じないように工夫する必要がある。成型時に問題のないようにメッシュの構造を最適化することを目指した。

最適化のために行った方法は、大きく2つに分けられる。

- ① 曲げや衝撃をある程度吸収する性質をもった結線部材の選定。
- ② 曲率のきつい曲面に対応するためのピッチの調整

結線部材の選定作業は、この分野に知見を有する福井県工業技術センターと共同で行った。当センターにおいて、球状太陽電池スフェラー®のメッシュ構造に適したフレキシブル性のある導電性繊維を開発した。

検討の結果、カバーリング技術を応用した耐熱導電性繊維を作製することとなった。カバーリング技術とは、従来は、芯糸が導体（銅線など）で、巻き付ける糸の鞘糸が保護する（カバーする）という意味でカバーリングと呼ばれる（図6）。本研究では、従来の技術とは逆の、芯糸が耐熱性を持ったアラミド繊維。鞘糸が導電性に優れた銅線を使用する（図7）。

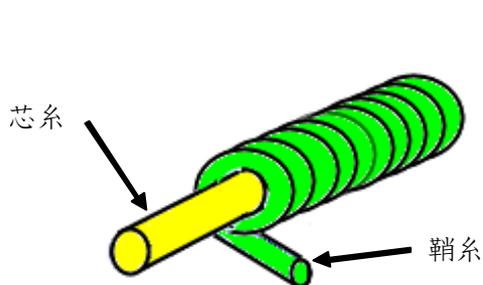


図6 カバーリングの説明

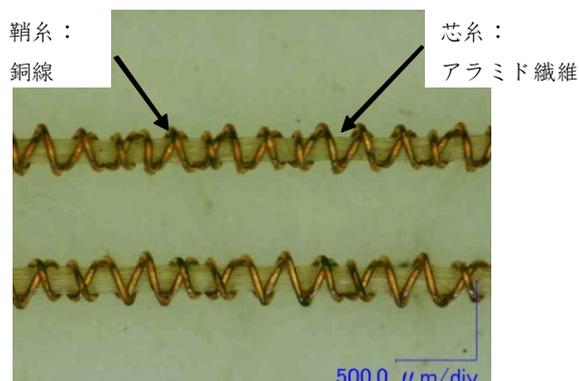


図7 試作した導電性繊維

鞘糸に該当する銅線は、このアラミド繊維の周囲に螺旋状に巻き付けられているので、たとえ引っ張られて、繊維が伸び縮みしても、銅線はばね状に変形して、断線に対して強度が増す効果がある。ただしこの方法は、線径が太くなる可能性ももちあわせている。したがって、光の透過性や屈曲性が損なわれる事が無いように、なるべく導電性繊維が細くなる選択を行う必要がある。この線径の観点からの検討も行った。

芯糸を変えての試作も行った。量産時のコストの視点から、アラミド繊維とは異なる部材を試験した。

更に、鞘糸を巻きつける回数と低効率の相関を試験した。

上記のカバーリング技術により、球状太陽電池のモジュール（メッシュ）はより曲面に適した構造となった。ただし、曲率のきつい曲面には、結線材料の変更だけでは十分に対応できないことが事前検討におり予想されたため、メッシュピッチの調整によって対応する検討もおこなった。

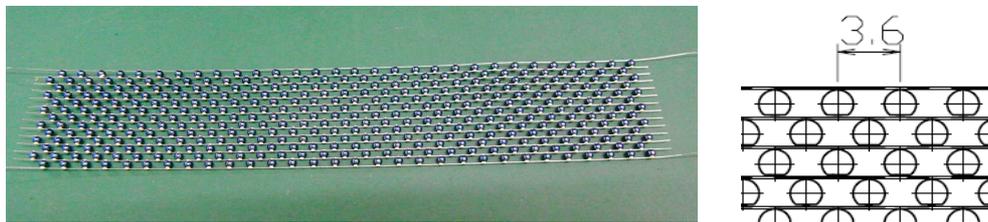


図8 スフェラーメッシュ

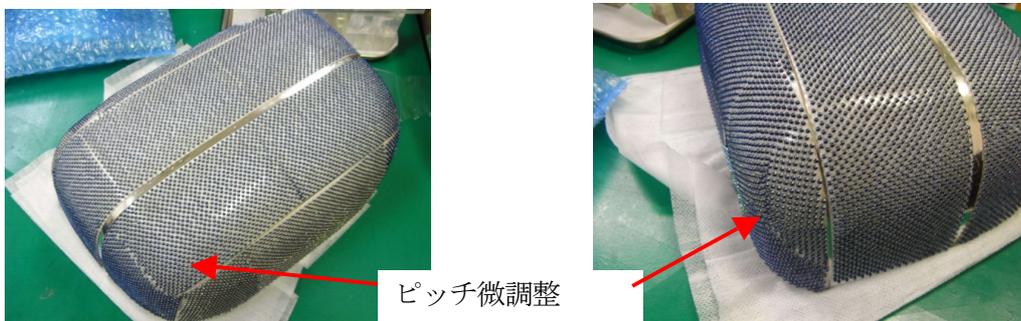


図9 強曲面への対応

他方、製作した試作品をもとに潜在顧客等へヒアリングをおこなったところ、性能とは別途、意匠性に関するコメントをもらった。表面に配置される都合上、常に視線にさらされる太陽電池は、意匠に対する要求がきわめて高く、採用に結び付けるには工夫が必要とのことであった。試作した試作品の仕上がりでは、球状太陽電池スフェラー®に対する期待を完全には満たせないの、多少の工夫が必要であることが判明した。

解説策をいくつか検討したが、決定的な改善には至らなかった。今後は、顧客との具体的な商談をおこなう中で、個別の要望にあわせて現実的な解決策を探ることになると見込まれる。

また、電気自動車のボディよりもより曲率のきついヘルメットの試作（図 10）をおこ

ない、成型時に問題がないかどうかの確認をおこなった。
その結果、曲率を高くすると成型時にメッシュモジュールを固定することが次第に問題となることが判明した。他方、固定ができれば、ヘルメット程度の曲率には十分に対応できることが確認できた。



図 10 試作品（ヘルメット）

2-2 構造の強度試験・評価

目標：曲げ回数限度値は、社内規格による曲げ回数破壊試験とする。想定出来るワイヤー（金属や導電性繊維を含んだ部材）での強固な物を評価（尚、一般の結晶系太陽電池は曲げられない）。

前述の導電性繊維を使用して実際にメッシュ構造を試作し、破壊試験（ひっぱり試験、曲げ強度試験）を行った。

福井県工業技術センターの協力を得て、部材のひっぱり試験、曲げ強度試験を行なった。この破壊試験においては、フレキシブルプリント配線板試験方法を定めた JIS C 5016 :1994 を参照しながら、評価した。往復運動するテキスタイル材料の試験方法（図 11）として、スコット型揉み試験機（図 12）がある。この試験機を利用し、純粋な曲げになるように試験治具を開発し、試験を行った。

試験の結果、 90° R=20mm の曲げ、5 回で特性が劣化（社内規格）しないモジュールを達成できることがわかった。

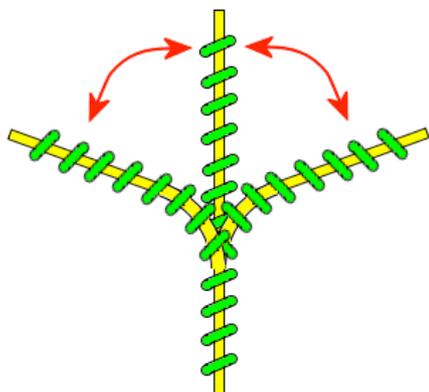


図 11 折り曲げ試験イメージ

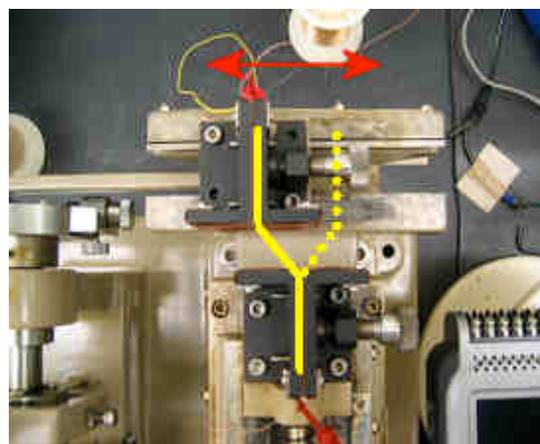


図 12 使用した折り曲げ試験機
（スコット型揉み試験機）

また、選択した導電性繊維で球状太陽電池スフェラー®メッシュ（図 13）を作製し、折り曲げ試験方法を繰り返し行った（図 14）。規程回数折り曲げた後、太陽電池特性評価を実施し、出力 90%以上維持を確認した。

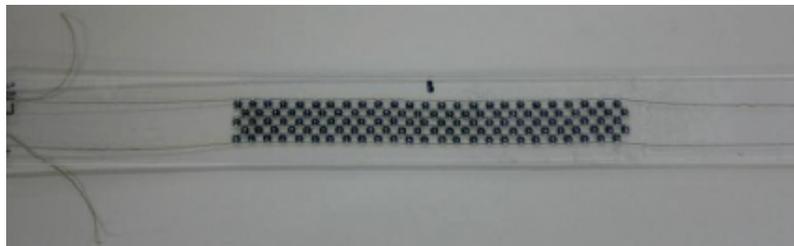


図 13 スフェラーメッシュ試験片

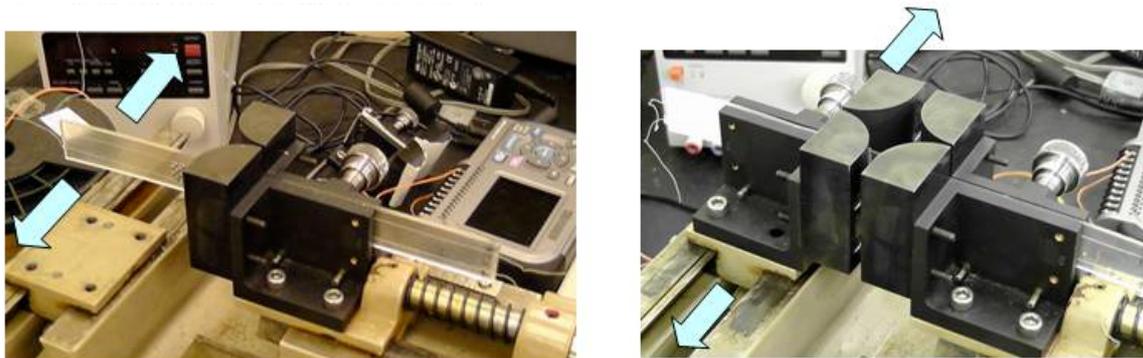
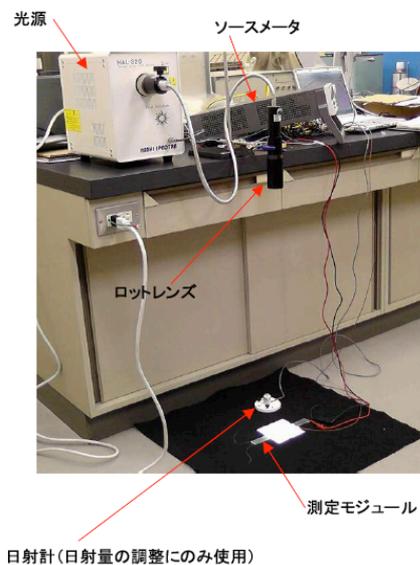


図 14 折り曲げ試験状況



測定条件

- 光源: AM1.5
- 照度: 330~360W/m²
- 測定温度: 21~29℃
- (恒温恒湿試験室内にて温度モニタリングのみ実施)

使用機器

- ・光源: 朝日分光 HAL-320
- ・測定器: Keithley ソースメータ2611A
- ・照度計: 栄弘精機 ML-020VM
- ・データロガー: HIOKI 8430(温度と照度のモニタリングに使用)

日射計(日射量の調整にのみ使用)

図 15 太陽電池特性評価方法

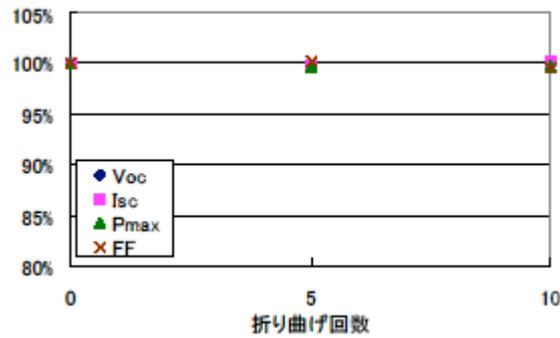


図 16 折り曲げ試験結果

試作したスフェラーメッシュは、目標値 5 回（10 回）までの曲げ試験は合格（出力 90%維持）している事が判った。

2-3 FRP 樹脂と保護樹脂との相性評価

目標：保護樹脂と FRP 樹脂の接着強度評価（社内規格による）

FRP 成型は、基本的に、ガラス繊維層（クロス）を基材として FRP 樹脂（ポリエステル等）を含浸させる手法をとる。計画の時点では、この成型の際、メッシュ構造の太陽電池をあらかじめ別の樹脂で保護しておく必要があるとみなされていた。

異なる保護樹脂にあらかじめ封入したメッシュをもとに、FRP の試験片を作製した。

平成 23 年度は、太陽電池としての特性、ヘイズ値など、異なる観点から試験片を評価した上で、保護樹脂を選定した。続いて、選定した保護樹脂を使用して、実寸の成型をおこなったが、小型の試験片の成型時とは異なる問題が生じた。保護樹脂無しの成型方法も同時に試みた。

結論としては、ハンドリングの問題が残るものの、保護樹脂無しで問題ないことが確認された。

3. 太陽電池内包型 FRP 成型技術開発

球状太陽電池スフェラー®上に均一な厚みの透明樹脂層が配置されるような FRP 成型方法を開発することを目指した（薄肉化）。また、通常の FRP においては要求されない透明性（光学的特性）を確保できるような成型技術を目指した。透明化を図ることで、内用された球状太陽電池セルに光が到達し十分に発電できるようにするとともに、採り込まれた光が内部で乱反射し、発電効率を向上させることが期待された。

本研究開発では、実際に太陽電池一体型の自動車外装材の試作を行い、実用化に耐えうる成型術の確率を目指した。

3-1 成型法の確立

目標：網目状構造太陽電池モジュールと保護樹脂に悪影響のない成型法。

複数ある成型方法の中から、球状太陽電池のメッシュ構造の内包に適した方法を検討するところからスタートした。検討の結果、ハンドレイアップ法で試作を進めることとなった。

ハンドレイアップ法で小型の試験片を製作した後、小型電気自動車のボディを実際に試作し、問題点の抽出等をおこなった。

RTM 法（レジントランスファーモールドイング成型法）については、可能性の検証の結果、試作を断念した。この RTM 法はハンドレイアップ法と比較して生産性が向上するが、樹脂を流し込む際に内包物が動かないように仮止めしておく必要がある。ただし、仮止めするには、すでに触れたように、保護樹脂でメッシュのハンドリングを向上する必要がある。しかしながら、保護樹脂と FRP 樹脂の相性に結論が出なかったため、この製法での試作実験は断念せざるをえなかった。

他方、この検討の過程で新しいアイデアも生まれた。前年度までのガラスクロスを使った成型（GFRP）に代わって、カーボンクロスを使った成型（CFRP）を採用することで製品特性の向上が期待できることがわかった。

CFRP の場合、具体的には、強度アップ、軽量化、薄肉化が期待できる（これら特性については、3-2 で詳述する）。また、こうした特性に加えて、意匠上の付加価値がプラスされる。

CFRP が可能となれば、同じハンドレイアップでも生産性の向上が期待できることが事前検討から分かった。



図 17 CFRP 試作品

3-2 薄肉化技術

目標：球状太陽電池を活かし、尚且つ保護機能を失わない限界値の見極め。

FRP の場合、使用するガラス繊維の種類（ガラスクロスもしくは、ガラスマット）と厚

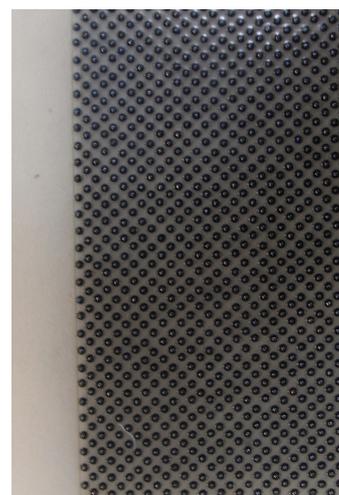
さに強度が関係する。

小片テストピースの試作（図 18）に基づいて、使用するガラス繊維をスフェラーメッシュ内側と外側で使い分けた。スフェラーメッシュ内側にガラスクロスを配し強度を保ちつつ、スフェラーメッシュ外側に「薄い和紙のようなガラスマット（サフェースバリアマット）」を使用することにより、【薄い=美しいスフェラーメッシュが見える=太陽光の透過が良い】FRP 製法が確立した。

この仕様により、実車サイズの FRP ボディ製作（図 19）に（一人乗り用自動車）で最適な厚みを割り出した（約 3.4mm）。有限会社タケオカ自動車工芸のアドバイス・協力の元、一人乗り用電気自動車 T-10 をベースとした実車サイズの試作とスクータータイプの試作をおこなった。



従来（ガラスクロス外／内）



研究開発（ガラスマット外／ガラスクロス内）

図 18 従来製法と研究開発製法の比較

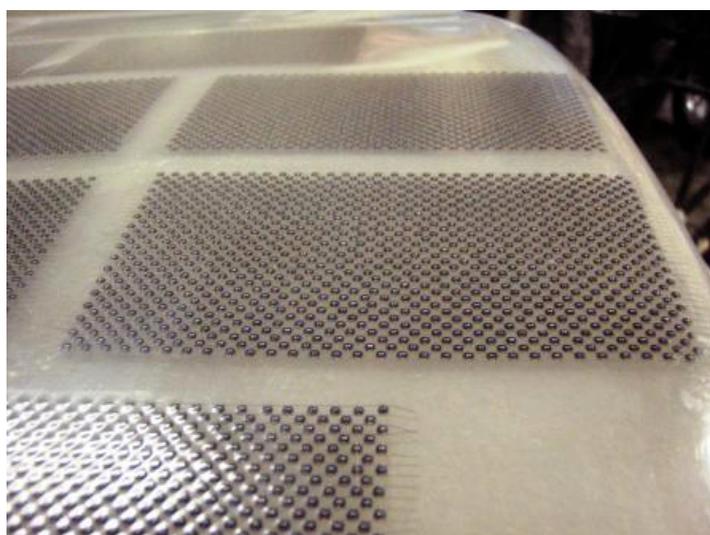


図 19 試作 FRP ボディ

3-3 評価

目標：JIS 太陽電池信頼性試験（例：85℃、湿度 85%の環境下 500 時間保持後、初期値の発電特性 95%が確保）と実証移動体に則した評価試験。

球状太陽電池の受光特性を確認した後、実車を想定した試作品を製作し、実証実験を行った。1.6 m × 2.0 m までのモジュールを測定できる太陽電池特性検査装置を導入するとともに、曲面状のモジュールも計測できるように改良を行った。

球状太陽電池の受光特性の確認

積分球（図 20）による特性評価をおこなった。曲面に配置したスフェラーメッシュでは、球状太陽電池の特徴である 3 次元的受光効果がある事が判った（約 2 倍の発電能力）。

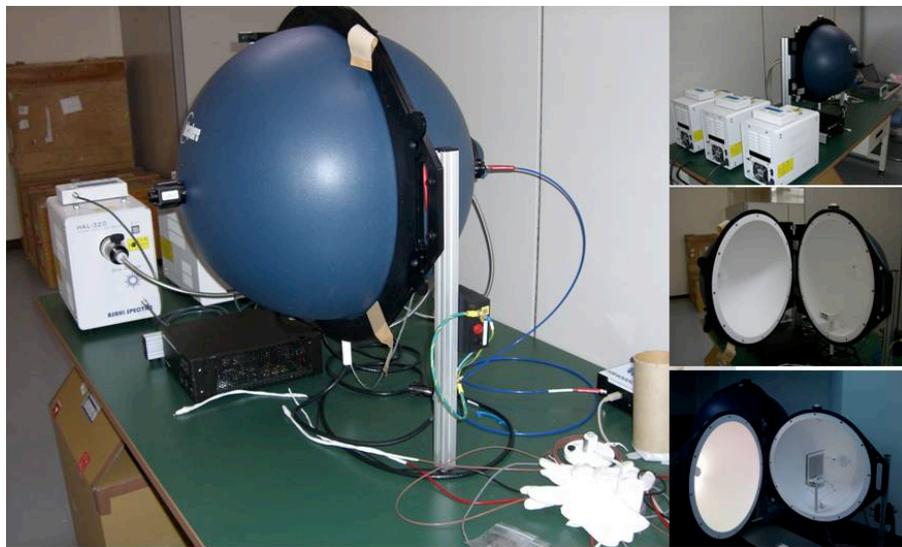


図 20 20 インチ積分球

試作した球状太陽電池スフェラー®モジュールを測定・評価した。測定には、球状太陽電池の特性にあわせてカスタムした太陽発電モジュールテスターを使用した。



図 21 太陽電池モジュールテスター

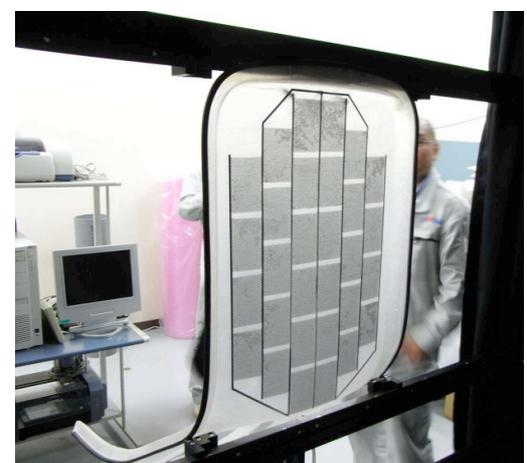


図 22 試作品計測風景

温度特性

サーモグラフィを用いて、試験片に疑似太陽光を照射し温度上昇を測定した。グラフから 55°C 近辺で飽和している。つまり、有る程度の温度以上は、温度が上がらない予測が出来る。

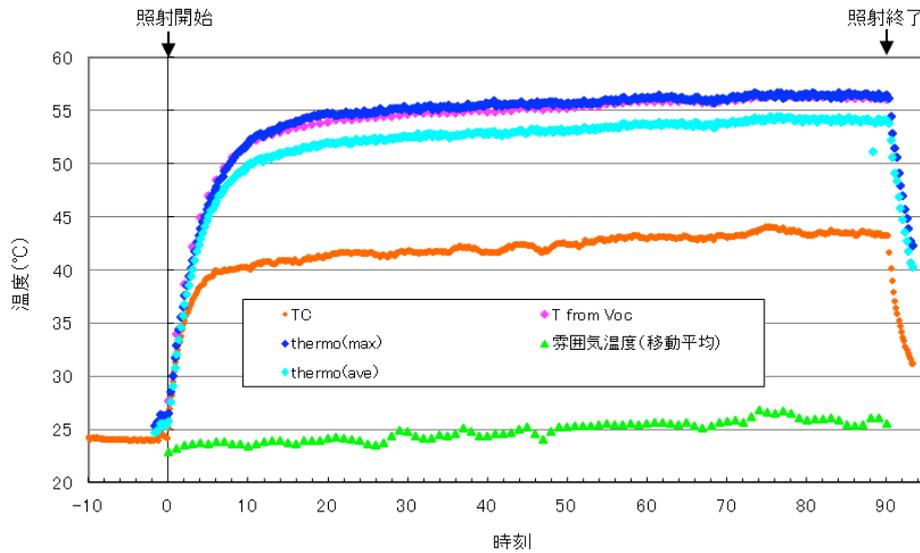


図 23 温度グラフ

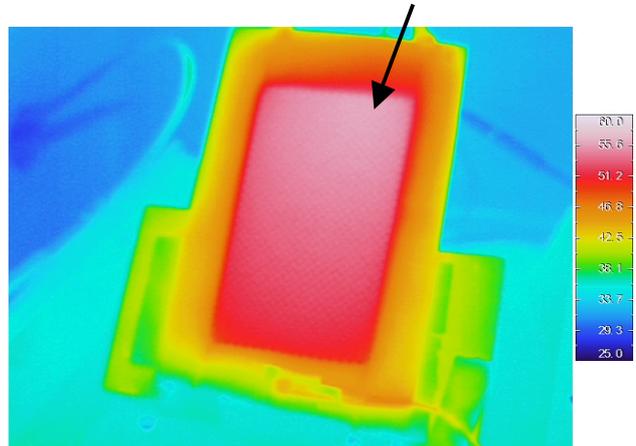


図 24 サーモグラフィ計測状況

信頼性試験

試験片を用いて、信頼性試験の予備実験を行った。FRP の信頼性試験は、次年度から本格的に実施を予定している。温度サイクル (-40~85°C) 試験は、202 サイクル、高温高湿試験 (85°C/湿度 85%) では、113 時間まで問題無い事が確認出来た。

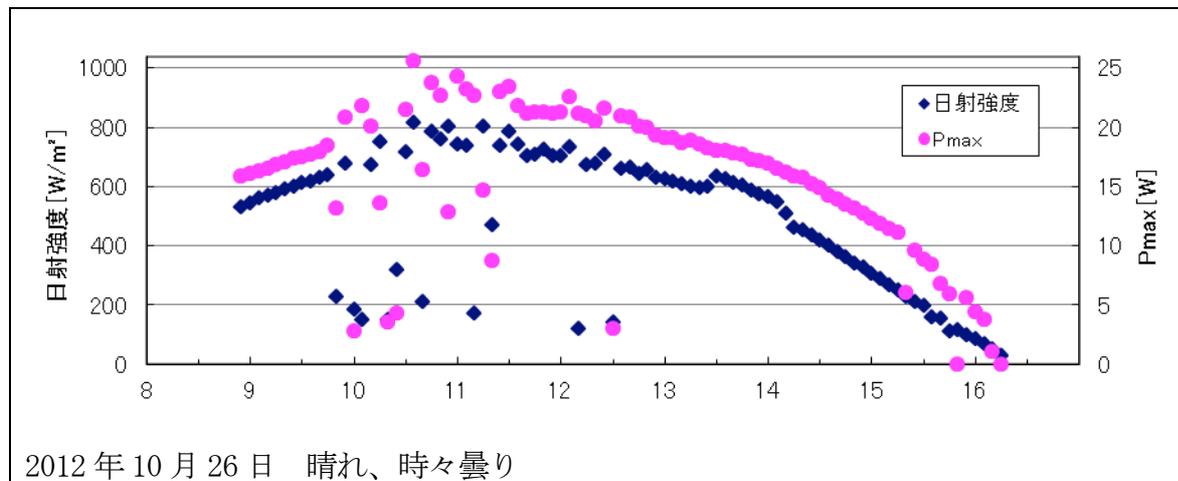
実車を使用したフィールド試験

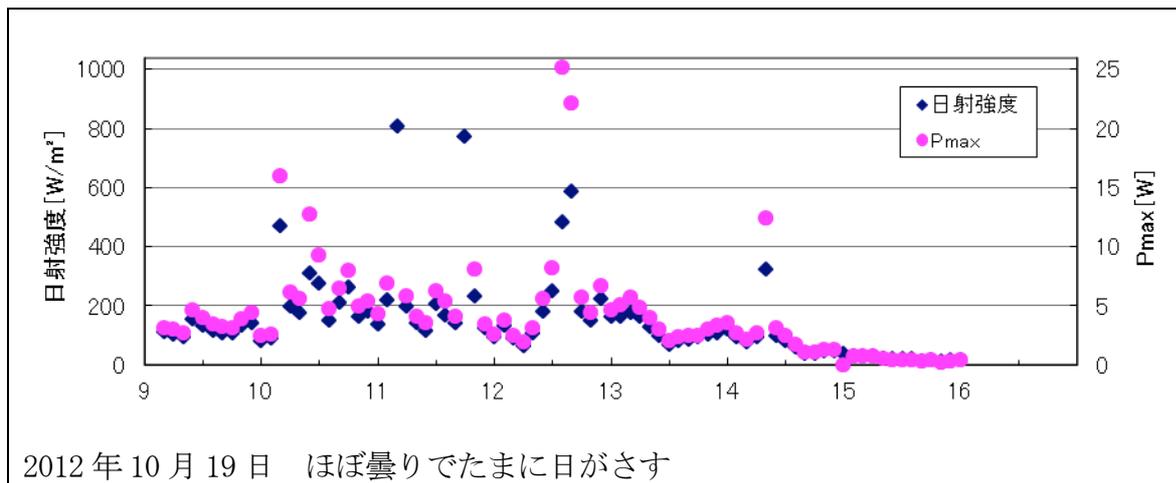


継時的な変化から見ても興味深いデータが採れた。球状太陽電池スフェラー®モジュールは、車体のボンネット、ルーフ、側面、リアウィンドウと方向がまちまちであるのにもかかわらず、日射強度に即して発電量が上下していることが確認できた。

晴れの日と曇りの日の二つの例を挙げておく

表2 日射強度と Pmax の継時変化 (晴れの日と曇りの日)





立体的な形状の太陽電池についての評価方法がまだ一般化されていないことを考えると、今回の測定データは貴重である。3次元受光のメリットを十分に説明できるよう、測定方法を標準化できるような取り組みが今後必要になってくる。

また、発電量についても、前年度に想定した使い方をクリアできそうであることがわかった。例えば10WのLEDヘッドライト（レクサス搭載と同等）であれば、もっとも発電量が低かった曇りの日でも3時間以上の点灯が可能となる。ヘッドライトやウィンカー、ワイパー等のサブ電源として活用することで、走行距離アップに貢献できる。

【課題】

走行中の発電性能も評価する予定であったが、停車時には十分に測定できたI-Vチェッカーがうまく対応できないことが判明した。すなわち、I-Vカーブを採る間の数十秒から1分の間、自動車が静止して、露光状態を安定させる必要があるとわかった。

他の測定方法も検討した。バッテリーへの充電をトレースする方法が候補として上がったが、この方法では継時的に正確な数値をとるのが難しい。また、移動時の測定をおこなうための計測装置があることもわかったが、これはモジュールの出力にあわせてカスタムで製造する測定器であり、汎用的には使用できない。したがって導入をあきらめざるを得なかった。

走行時の測定については、本事業が終了後も引き続き、測定方法を検討する予定である。特に下記のようなデータを採れるように工夫し、データ蓄積に努めたい。

- 天候（晴天・曇・雨・雪等）による発電量及び表面温度変化。
- 自然環境（街中・海岸沿い・山中等）下の発電量及び表面温度変化。
- 走行時及び停車時の発電量及び表面温度変化。

最3章 全体総括

3-1 本研究開発で得られた成果

本研究では、球状太陽電池スフェラー®モジュールを FRP で成型する技術確立し、薄肉化・軽量化・3 次元的成型を実現させる。従来技術では不可能であった太陽電池内包製品を、結線技術の改良と最適な FRP 成型技術の確立によって実現することを目的に、3 つのサブテーマ「①球状太陽電池セル量産技術の確立」、「②曲面モジュールに適した結線技術の改良」、「③太陽電池内包型 FRP 成型技術開発」を実施した。

①については、従来技術から、量産性・コスト・リペア性を重視し、接続ハンダ材を採用できる、球状太陽電池スフェラー®の電極材料をハンダぬれ性が良い電極材料、かつ目標引張強度も達成する材料を選択できた。同時に、自動化用治具の検討もおこない2倍の効率化も確認できた。

②については、従来技術の太陽電池モジュール作製方法にとらわれず、球状であることの利点を活かし、球状太陽電池スフェラー®を網の目状に対置して、直並列を同時に結線する。これをスフェラーメッシュと呼び、この構造によりモジュールの3次元曲面对応が可能であることが確認できた。

③については、複数ある成型方法の中から、球状太陽電池のメッシュ構造の内包に適した方法を検討し、ハンドレイアップ法で小型の試験片を製作した後、小型電気自動車のボディを実際に試作し、軽量化・薄肉化も確認できた。

この小型電気自動車ボディでフィールド試験を実施したが、課題も見つかった。太陽電池の計測器で、I-V カーブを採取する数十秒～1 分の間、自動車が静止して、露光状態を安定させる必要があるとわかった。他の測定方法（バッテリーへの充電をトレースするなど）も検討したが、継時的に正確な数値をとるのが難しいことが判り断念した。今後、補完研究で引き続き、（走行時の測定を含めた）測定を実施し、データ蓄積を務めたい。

他方、この強度アップ・軽量化・薄肉化の検討過程で、カーボンクロスを使った成型（CFRP）を採用することで製品特性の向上が期待できることが確認できた。更に、意匠上の付加価値がプラスされることが確認できた。

3-2 事業化への取組み

本研究によって得られた成果は、主として実施した自動車産業への応用と、自動車産業以外でも様々な分野への応用が期待出来る。特に、サブテーマで派生し試作した「ヘルメット」「アタッシュケース」などは、飛行機にも採用されているカーボンファイバー（炭素繊維）によるクロスを使った成型（CFRP）は、先端材料を組み合わせることによって、広範囲なアプリケーションに適用可能である。

上記の2分野を見据えながら、2013年度は具体的な顧客向けのサンプル試作を継続して行った後、2014年度以降の事業化を目標に進めていく。現在、分野毎に個別顧客との商談をスタートさせている状況にある。