

# 宇宙ソーラーセル用カバーガラス

ピー・ジェイ・エル リミテッド

青木 勇二

## Coverglasses for space solar cells

Yuji Aoki

PJL Limited

### 1. はじめに

宇宙開発事業団が設立されて今年で30年になります。この間に事業団によって打ち上げたロケットの機数は110と聞いています。すばらしい業績だと思います。昔、人工衛星とロケットという二つの言葉が宇宙開発の代名詞のような時代がありました。しかし、宇宙開発は、技術の進歩と需要の多様化によってあらゆる分野へ拡大し、新しい複合技術へと発展しました。地球探査から惑星探査へ、人工衛星のトラッキングシステムが逆に放送システムとして広域利用され、民間通信システムへと変遷しました。さらに、インターネットやデジタルメディアによって、衛星利用の社会需要が広がりました。すでに、ハイビジョンの試験放送によって鮮明な映像と音質が家庭まで届けられています。また、デジタルメディアは、宇宙衛星を利用して驚異的な情報量进行处理しようとしています。このため、通信サービスを専門とする民間会社によって通信衛星の利用がさらに普及しようとしています。

こうした需要の増加に対応するために、人工衛星の大型化、ロケットの静止軌道への打ち上

げ能力向上が急務になっています。しかし、こうした無限の宇宙開発プロジェクトは、膨大な資金と時間を必要としています。アメリカの好景気下でも、宇宙ステーションをはじめ多くの宇宙開発計画が、長期的な視野に立って見直されています。このように宇宙開発は、限られた条件の下で新しい技術の選択に直面しています。例えば、探査衛星か査察衛星か、通信衛星か情報衛星か、宇宙ステーションか宇宙輸送か、また、電源となる宇宙ソーラーセルの開発では、高い変換効率が追求されるのか、それとも、大型ソーラーセルパネルによってコストダウンが追求されるのか、その技術は、二極分化の中でますます複雑になり、そのコスト競争も激しくなっています。

### 2. カバーガラス材料

宇宙ソーラーセルのカバーガラスの場合、長年に涉って熔融シリカが使用されてきました。超純度の熔融シリカは太陽スペクトラムの広い範囲にわたって高い透過率特性をもっています。しかし、その反面、カバーガラス材料の利用を制限する欠点を持っています。例えば、スペクトラムの遠紫外域でも透過率が高いので、接着剤の放射線黒化を保護する紫外線反射コーティングが必要です。また、超高温製造のた

〒104-0061 中央区銀座 8-11-1

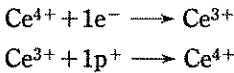
TEL 03-3573-5381

FAX 03-3574-0845

E-mail: pjlaoki@ma.kcom.ne.jp

め、ブロックを造り、それをスライスし、要求される厚みまで研磨されています。これは、マイクロシートカバーガラスと比べてコストが非常に高くなります。マイクロシートは、連続溶解窯からダウンドロー方式で製板されるのが普通です。

ガラスの場合、セリアドープマイクロシートがカバーガラス材料として広く使用されています。添加物の酸化セリウムは、金属イオンの酸化還元反応で放射線のイオンを吸収します。また、そのカバーガラスは、放射線のイオンを吸収することによってソーラーセルを保護しています。



特に、ガラスの下に塗布される接着剤を紫外線による黒化から保護しています。ガラス材料の酸化セリウムの割合が多ければ多いほど放射安定性が増加します。しかし、その割合が大きすぎると、その吸収が可視光線の領域まで広がりソーラーセルに有効な透過率を減少させます。したがって、適度の含有量が大切です<sup>1)</sup>。

宇宙開発において、放射線に対しより安定したガラス、そして同時にソーラーセルの特性をより向上するガラスが常に要求されています。放射線を安定に吸収し、一方では、太陽光線の透過を最大限にするバランスは、ガラス組成の開発に重要なファクターとなります。このことは、硼酸系のマイクロシート CMX、シリコンの膨張係数に近い膨張係数を持つマイクロシート CMZ、さらに、ガリウムアセナイド GaAs

系のソーラーセルに相応しいマイクロシート CMG の場合も同じです。

ソーダライムマイクロシート CMS に続いて開発された硼酸系のマイクロシート CMX は、化学的にアウトターガスを減少し、物理的強度も向上しました。CMX は、80 年代から宇宙用カバーガラスとして多くに採用されました。CMX は、5%の酸化セリウムを含有しています。そのセリアは、電子および陽子の照射下において色中心を形成しガラスを安定にしています。CMZ は、非常にユニークな特許製品であり、宇宙仕様の温度域でシリコンの熱膨張係数にマッチしています。熱膨張の一致は、インターフェースの内部応力を緩和し、カバーガラスの大型化に貢献しています。CMG もユニークな特許製品であり、GaAs の熱膨張係数にマッチしています。熱膨張の一致は、GaAs およびゲルマニウムのセルの破損を考慮しながらソーラーセルの大型化に貢献しています。

これらの開発に続いて、バリウム系のマイクロシートが開発されました。その製造条件を最適化するために、51 種類のガラス組成が繰り返し試験され、その中から 27 種類が選択され

表 1 カバーガラスの代表的な物理特性<sup>1)</sup>

物理特性	CMX	CMZ	CMG
比重 g/cm <sup>3</sup>	2.615	2.365	2.554
屈折率	1.527	1.49	1.516
ヤング率 GN/m <sup>2</sup>	76.0	69.5	78.7
ポアソン比 GN/m <sup>2</sup>	0.20	0.18	0.175

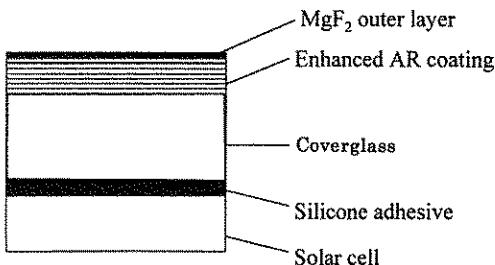


図 1 ソーラーセルの代表的な構成

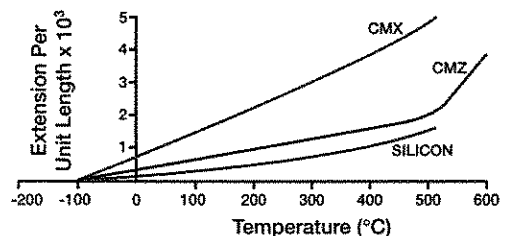


図 2 CMZ の熱膨張係数<sup>3)</sup>

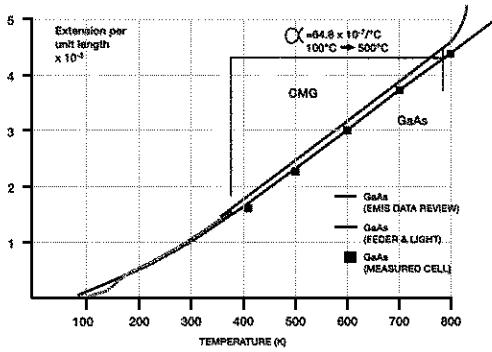


図3 CMGの熱膨張係数<sup>3)</sup>

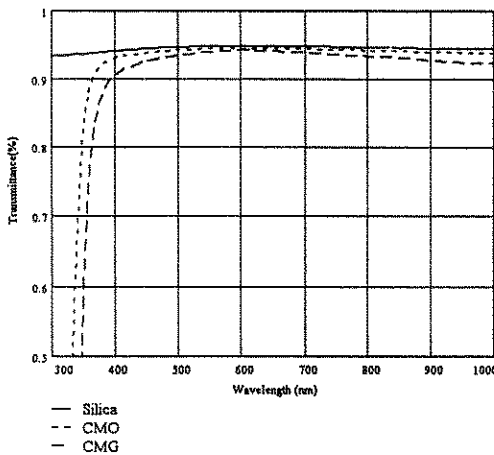


図4 反射防止コートされた熔融シリカとCMGマイクロシートおよび低吸収CMOマイクロシートの比較<sup>1)</sup>

ました。そして、 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-BaO-K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$ マトリックスをより改善することに集中されました。さらに、14種類の熔融からなる第二回目の反復試験で、放射安定性のための $\text{CeO}_2$ および $\text{TiO}_2$ の含有量を最適化することに集中され、そして、最後の反復試験で、ガラス溶解工程に必要な清澄剤が検討されました。

この最適な組成は、CMOマイクロシートと定義されました。この組成は、要求された放射安定性をそのままに、CMXおよびCMGのような従来のマイクロシート組成と比較して透過率特性が改善されました。図4では、従来の

表2 光学特性とカバーガラス材料コスト<sup>1)</sup>  
(カバーガラスの厚みは100ミクロン)

Coverglass	50% Cut-off	$\epsilon_n$	$\alpha_s$	関連コスト比
Silica	280 nm	0.80	0.020	1
CMG	345 nm	0.84	0.043	0.3
CMO	326 nm	0.85	0.030	0.315

$\text{MgF}_2$ 単層反射防止コーティング、ガラス厚さ100ミクロンの従来のCMG、CMOおよび熔融シリカの透過率が示されています。この数字から次のようなことが伺えます。CMOは、従来のセリアドープしたCMGと比較して透過率1%が広帯域において改善されています。熔融シリカの遠紫外線領域での高い透過率は、接着剤を保護するため紫外線遮蔽コーティングの追加が必要であることを示しています。表2は、光学特性とカバーガラス関連材料のコストを比較したものです。

### 3. カバーガラスの接着技術

宇宙ソーラーセルの変換効率を向上するため、その照射効率を向上できるカバーガラスが必要となります。そして、それを貼り合わせる技術が必要となります。一般に、カバーガラスとソーラーセルの張り合わせには、双方の熱膨張係数の違いを補償する高弾性シリコン接着剤DC-93500あるいはS691が使われています。しかし、接着剤の粘性が低いために、薄いカバーガラスを張り合わせる技術は難しく、大変時間のかかる作業になっています。

熔融シリカに代替するカバーガラスの歴史は、ソーダライムのマイクロシートによって始まりました。当時、研磨を必要とする熔融シリカは、薄いものでも250ミクロンの厚みがあり、重量を軽減するためにその薄型化が強く要求されました。ソーダライムのマイクロシートは、すでに、200ミクロ以下が可能であり、50ミクロン厚みのカバーガラスまで検討され

ました。しかし、ソーラーセルとの張り合わせ作業に問題があり、ソーラーセルの厚みに関する限り、現在も150ミクロンから80ミクロンのものが標準になっています。

1980年代になって、先ず、シリコンの熱膨張係数に近似したマイクロシートの開発が進みました。これは、カバーガラスを静電気によってシリコンソーラーセルに直接貼り付ける技術としてピルキントン社とテレフンケンシステムテクニク社の間で開発が進められました。これは、接着剤を使わない方法として注目されました。

- CMZのマイクロシートの開発
- カバーガラスとセルの境界面の定義
- 寸法別張り合わせ条件の開発
- 張り合わせ機械の開発
- 張り合わせ条件の設定
- 品質標準の定義
- 宇宙仕様環境試験（照射、熱サイクル）

この結果は、90年5月に報告されました<sup>2)</sup>。

1990年代になって再び注目されたのが、テフロンフィルムを接着剤として接合する技術でした。これは、70年から80年初期にかけて多くの企業で試みられましたが、カバーガラスとセルの熱膨張係数のミスマッチによって多くの問題を残し断念された経緯がありました。ピルキントンCMZはシリコンの熱膨張係数に、ピルキントンCMGはGaAsの係数にマッチするように設計されたマイクロシートであり、テフロンフィルムを利用する接合技術開発において優位でした。しかし、中間フィルムの特性改善がさらに期待されました。

カバーガラスにインターコネクターを付ける場合があります。インターコネクター付きのカバーガラスは、静電気の瞬間放電による宇宙空間での電源トラブルを改善する一つの技術です。宇宙粒子がソーラーセルパネルに衝突した際に発生する大容量の静電気放電が電気系を破壊する危険があるからです。この改善にインターコネクター付き透明伝導膜が利用されます。

しかし、その透明伝導膜の光学特性と相反するカバーガラスの光学特性の融合がこれからのテーマになっています。

#### 4. ま と め

最近、極端に大きい寸法のカバーガラスが要求されています。その目的は、総体コストの低減です。大型化することでコストを少しでも低減しようという試みです。しかし、作業性が低く、逆に、総体コストが高くなることが分かっています。その為、この提案は、時期尚早とされています。現状、経済的な最大寸法は、70-80ミリとされています。張り合わせの作業性から、0.4ミリの平面度が要求目標となっています。強度を向上するための化学強化技術も完成しています。結局、大型化は、張り合わせ技術と総体コストの理由から保留されています。

カバーガラスの寸法は、ソーラーセルの寸法に基づいているので、ソーラーセルが大きくなればその要求も大きくなります。一方、ソーラーセルの変換効率の開発は、国際間で激しい競争になっています。従って、その改善が優先され、強いては、シリコンセルとGaAsセル等の開発競争になっています。

米国の月面着陸から35年、初のスペースシャトルの成功から20年。単純な比較はできませんが、米国の宇宙技術が凡そ20年進んでいることを示しています。このことを日本の技術者全員が謙虚に反省する必要があります。宇宙開発には、これまで誰もが経験したことのない巨大な力が必要です。無限に近い予算を必要とします。したがって、個々の意見などまったく問題にならないテクニカルパワーを必要としています。これからの宇宙開発は、個々の企業の問題ではなく、あらゆる努力で大きな開発チームを結集しなければなりません。後向きに小さなスケールにしてはならないのです。個々の企業の枠を越えたチームが要求されているということは、現在の大企業が宇宙開発の前では小さ

なチームであることを意味しています。すでに、宇宙産業は、利益のない競争に突入しています。我々が今要求されていることは、21世紀への基礎技術を再確認することです。その観点から、シリコンソーラーセルの開発に平行して、変換効率のより高いソーラーセルの開発が急務になっています。その結果、その新しいソーラーセルの為に相応しいカバーガラスと接着技術が開発されてくるものと信じています。

#### 参考文献

- 1) C. A. Kitchen, D. Wernham, G. M. Jones, M. R. Price, High Performance Coverglasses for Multi-junction Solar Cell.
- 2) P. A. White, J. W. Koch, Direct Glassing of Silicon Space Solar Cells Approach and Manufacturing Experiences.
- 3) Pilkington Leaflets.