

旭硝子株式会社 硝子・建材事業本部 硝子製造部

技術課長 木村 暁夫

## 1 カバーガラスとは

宇宙関連のガラスといえば、無重力下でのガラス製造といった実験面に注目されがちである。しかし実際の人工衛星で、現在ガラスが重要な役割をはたしていることは、あまり知られていない。

人工衛星のエネルギー供給源である太陽電池は宇宙空間では高エネルギーのプロトンや電子といった粒子放射線により、性能が劣化してしまい、そのままでは30日もすると発電能力を失ってしまう。この粒子放射線を遮へいしてやれば、宇宙空間でも太陽電池の寿命を延ばすことができる。放射線を遮へいすると同時に太陽光は透過させる必要があり、このためガラスが用いられる。これがカバーガラスである。

カバーガラスを付けた太陽電池は、宇宙空間で5～6年の使用に耐えられるようになる。カバーガラスを用いることにより、太陽電池すなわち人工衛星の寿命を約60～90倍に延ばすことが可能となる。人工衛星とその打上げの費用が巨額なことを考えれば、カバーガラスがいかに重要であるか理解していただけるものと思う。

旭硝子では、宇宙開発事業団(NASDA)とこのカバーガラスの国産化を狙い、共同開発を3年にわたって進めてきたが、1986年3月に終了し、信頼性管理の評価の後、同年10月NASDAの共通部品として認定を受けた。

## 2 カバーガラスの必要機能

カバーガラスを太陽電池に接着させるため、シリコン系の接着剤が用いられる。このため、カバー

ガラスには本来の放射線遮へい機能だけでなくいくつかの機能が要求される。以下にこのうちの重要な機能について項目とその目的を説明する。

### a 放射線遮へい

宇宙空間でのプロトンや電子といった粒子放射線を遮へいして、太陽電池の放射線による劣化を抑止する。

放射線の遮へいは質量効果で単に決まるので、ガラスの比重や板厚を増すと効果は高くなる。ガラスの比重はあまり変えられないので、人工衛星の軌道や設計寿命により、カバーガラスの板厚が選定される。

### b 紫外線遮断

シリコン系の接着剤は、紫外線により白濁してしまい、透過率を低減させ太陽電池の出力低下となる。これを防止するためカバーガラスに紫外線遮断機能が必要となる。

### c 高透過率

太陽電池に最大限の太陽光を入射させる必要があるため、ガラスは高透過率のものでなければならない。高透過率を得るため、カバーガラスの全面には無反射コートがなされる。

### d 耐放射線性

宇宙空間でのきびしい放射線や紫外線環境で、

ガラスそのものが劣化したり、透過率が低下したりしてはならない。

#### e 軽量

ロケットの打上げ負荷を軽減するためカバーガラスも軽量でなければならない。このため板厚は、50~200 $\mu\text{m}$ の範囲となる。

### 3 カバーガラス開発のキーポイント

三年間の開発で、キーポイントとなったものは次の四つの技術である。

#### a 組成開発

高透過率、紫外線遮断といった相反する性能を満足させ、同時に耐放射線性を持ち、ガラス製造での溶融性、成型性の良い組成の開発に約半年を要した。

結局はソーダライム・ガラスに酸化セリウムを添加した組成となった。酸化セリウムの含有量と紫外線遮断波長の関係についても、実験と理論から解明した。

#### b 溶融、成型技術

ソーダライム・ガラスへの酸化セリウム添加量が増加すると、ガラス製造で問題となる失透温度が高くなり、生産効率の低下をきたす。これの解決と需要量を考慮し、溶融槽はガスと電気を併用した小型で特殊なものとした。また成型は板厚が50~1000 $\mu\text{m}$ まで直接得られ、表面性状としては、成型されたままでカバーガラスに使えるものを考え、ダウンドロー方式を採用した。

原料については、少しでも不純物が混入するとガラスの透過率が低下し目標値以下となるので細心の注意が必要となる。

これらの技術により、酸化セリウムで8%含有までの組成について、目標とした板厚を生産する



写真1 板厚50 $\mu\text{m}$ の基板

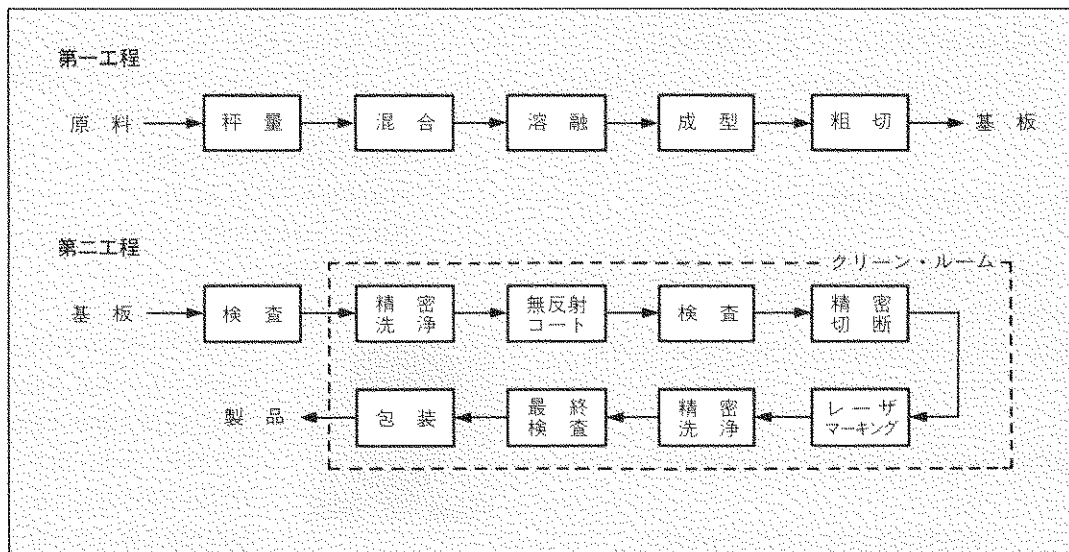


図1 カバーガラス製造工程

ことが可能になった。

### c 切断技術

従来のガラス切断は、ガラス表面にカッターで切線を入れ、次にそれを折るという方法である。この方法だと切断面（エッジ）の仕上がりが粗く、切断寸法の精度も±80μmが限度である。カバーガラスの場合、ガラスの強度を上げるためエッジ仕上げを精密にし、切断寸法の精度は仕様により±20μm以内とされている。これを満足させるためには、従来の切断方法では困難なので、ダイシングソーによる超薄板の切断技術を開発した。この技術により、カバーガラスの海外先行2社の製品よりも優れた切断性状を持つ製品の開発ができた。

### d 性能評価技術

カバーガラスは、地上ならびに宇宙での耐久性が必要とされる。特に宇宙空間での耐久性が重要であり試験項目としては、耐放射線性、耐紫外線性、耐真空性、熱サイクルがあげられる。耐放射線性としては、プロトン、電子の照射試験、耐紫外線性については宇宙空間での紫外線エネルギーの10倍の照射試験を行なった。これらの

いずれの試験でもカバーガラスは破損してはならず、透過率は規定値より劣化してはならない。カバーガラスの開発で特に腐心したのが、これらの照射試験であった。照射試験の設備の調査から始めて設定条件の決定、実際の照射試験まで、期間と人員の投入は予想以上のものであった。

熱サイクルは-196℃～170℃で1000サイクル、また耐真空性のテストは $1 \times 10^{-6}$ Torr以下の真空中に168時間保持し、破損してはならずまた性能劣化が認められてはならない。

旭硝子のカバーガラスはこれらの厳しいテストにおいても、他社製品よりも優れた性能を得ることができた。

## 4 カバーガラスの製造工程

旭硝子でのカバーガラスの製造工程は図1で示すもので、第一、第二の工程よりなっている。

第一工程はカバーガラスの基板を製造する工程で、ここで50～200μmまでのガラスが作られる。基板は10～15cm角のものでストックされる。第二工程は基板に無反射コートをして、所定の寸法に切断し、最終製品を作る工程である。

レーザーマーキングとは、無反射コート面を識別できるようにコート面にレーザーでマークを付けるこ

とを意味する。これらの工程はNASDAで規定された信頼性管理プログラムに従って運営される。

写真1は50 $\mu\text{m}$ の基板を示したもので、これ位の板厚になるとガラスも大きな可撓性を持つ。

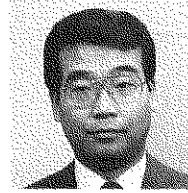
## 5 カバーガラスの性能

旭硝子の開発したカバーガラスの種類ならびに性能を以下に示す。

種類 板厚 50~200 $\mu\text{m}$ まで50 $\mu\text{m}$ 間隔で4種類  
寸法 2×2、2×4、2×6 $\text{cm}^2$

諸特性 透過率 450~1100 $\text{nm}$ の波長域で92.5%以上  
紫外線遮断波長 345 $\pm$ 2 $\text{nm}$ 以上  
プロトン耐性 エネルギー 2 $\text{MeV}$   
1 $\times 10^{15}\text{P}/\text{cm}^2$ のプロトン照射後でも

透過率低下が0.5%以下  
電子耐性 エネルギー 1 $\text{MeV}$   
5 $\times 10^{15}\text{e}/\text{cm}^2$ の電子照射後  
でも透過率低下が0.5%以下  
体積抵抗率 8.0 $\times 10^{11}\Omega\text{cm}$   
表面抵抗率 2.5 $\times 10^{16}\Omega$   
誘電率  $\tan\delta=0.005$   
放射率 0.88



木村暁夫(きむらあきお)  
1967年3月 東京工業大学大学院修士課程(機械工学専攻)卒業、同年4月旭硝子株式会社入社、現在旭硝子株式会社硝子・建材事業本部 硝子製造部 技術課長