

# 宇宙開発を推進する高機能樹脂 シロキサン変性ポリイミドシート — 新日鉄化学(株)



新日鉄化学(株)(以下、新日化)の開発した高機能樹脂材料「シロキサン変性ポリイミドシート BSF-30」が、国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」で実施されている(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の宇宙曝露実験の材料に採用され、過酷な宇宙環境に耐え得るスーパーエンジニアリングプラスチックとして注目を集めている。今号では、同社が長年培ってきた高機能樹脂の最先端テクノロジーから生まれた同材料の開発・実用化の道程やJAXAでの採用経緯を紹介する。

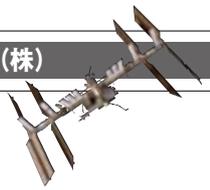
(写真提供: JAXA)

## 宇宙曝露実験試料に採用 ISSで材料固有の特性を検証中

新日化のシロキサン変性ポリイミドシートのサンプルシートを搭載した船外実験装置は、7月16日に打ち上げられたスペースシャトル「エンデバー号」でISSの「きぼう」日本実験棟へ送られ、ISSに長期滞在中の宇宙飛行士・若

田光一氏が操作するロボットアームによって、7月24日に船外実験プラットフォームに設置された。新日化の和田幸裕は次のように喜びを語る。

「現象を的確にとらえ、それを分析・解明したいという研究者としての欲求から、樹脂一筋に研究生活を送ってきました。開発当初から手がけてきたシロキサン変性ポリイミドが、宇宙材料として評価されたことは研究者冥利に尽きます。まさに夢が叶った瞬間でした」



新日鉄化学(株)  
機能材料事業本部  
回路基板材料事業部  
(開発当時 技術研究所)  
主事 和田 幸裕



(独)宇宙航空研究開発機構  
研究開発本部  
電子部品・デバイス・材料グループ  
宇宙材料セクション  
主任開発員 宮崎 英治氏



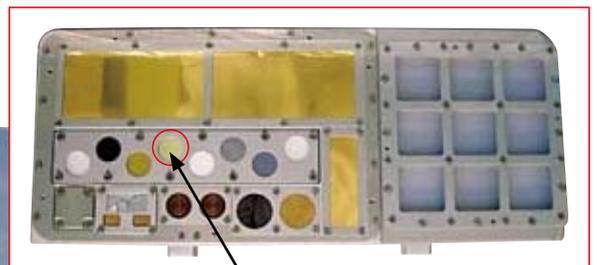
JAXAが実施している微小粒子捕獲実験および材料曝露実験 (JEM/MPAC & SEED) は、7月から来年3月までの約8カ月間にわたり、「きぼう」の船外で実施される宇宙空間での微小粒子の捕獲と、材料の耐宇宙環境性を評価する曝露実験だ。材料曝露実験のサンプルとして、人工衛星本体などを包む高分子膜 (耐熱シート) が搭載されている。この耐熱シートには、一般的にポリイミド樹脂のフィルムが使用されている。しかし、高度数百kmには大気成分が残存しており、そのうち酸素分子は紫外線によって分解され、高い反応性を持つ「原子状酸素」として存在している。この原子状酸素は、通常のポリイミドフィルムに衝突するとシート表面が浸食されることから、その耐久性が課題となっていた。

新日化が開発したシロキサン変性ポリイミドシートは、原子状酸素と衝突すると、フィルムの表面に皮膜が形成され浸食を防ぐことができる。さらにその皮膜が剥離して

も、再度新たな皮膜が形成される自己修復機能も備えている。こうした原子状酸素への優れた耐性が高く評価され、今回の宇宙曝露実験試料への採用につながった。シロキサン変性ポリイミドシート of 材料評価を行ったJAXAの宮崎英治氏は次のように語る。

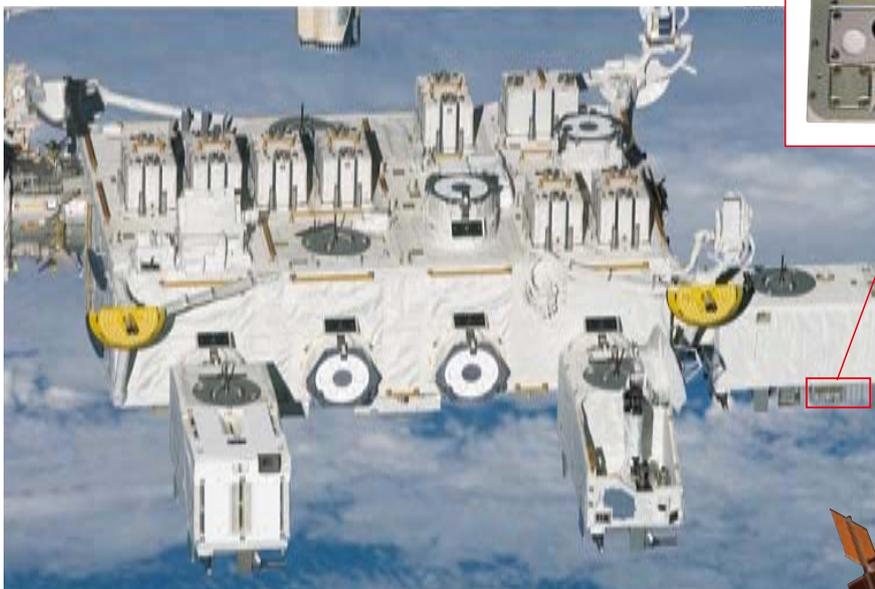
「宇宙用の専門材料を新たに開発することは非常に時間とコストがかかり、各国の宇宙機関は頭を抱えています。一方、シロキサン変性ポリイミドはすでに地上の電子材料として使われており、そのまま宇宙にも活用できるというメリットがあります。私は地上の評価実験で原子状酸素を照射したシロキサン変性ポリイミドシートが、損傷することなくきれいな状態であることに魅せられた一人です。現在、地上で使える材料を宇宙用に使おうという機運が世界的に広がっており、商品化されていて信頼性の高い電子材料で、宇宙材料として求められる特性が得られることが何より素晴らしいと思っています」

微小粒子捕獲実験装置および材料曝露実験装置 (JEM/MPAC & SEED)



シロキサン変性ポリイミドシートは9種類のサンプルの一つとして搭載。サンプルの大きさは直径25mm、厚さ25ミクロン。

船外実験プラットフォーム



(写真提供: JAXA)



国際宇宙ステーション (ISS) 全体

## 開発の経緯

## 電子材料から宇宙材料への新たな展開

## 2層CCL世界市場でトップシェア

新日化がシロキサン変性ポリアミドの研究を開始したのは、1983年にさかのぼる。当時、新日鉄は積極的な多角化による事業拡大を推進しており、グループの中核企業である新日化も新規事業を視野に入れたさまざまな研究テーマに取り組んでいた。こうした中、シロキサン変性ポリアミドは、石炭化学と石油化学を融合した事業展開で培った技術から生まれた。通常の高分子に比べて高い耐熱性と強度を持つ芳香族ポリアミドに、柔軟性があり大きく変形させることができるシロキサン（シリコン）を付与することで、新日化はシロキサン変性ポリアミドの合成技術を確立した。

「開発当初から宇宙材料としての興味はありましたが、商業ベースでの事業化が非常に難しかったため、電子材料としての製品開発を進めました」（和田）。

新日化は独自に開発した低膨張ポリアミドの技術を駆使し、折り曲げ可能な回路基板であるフレキシブルプリント基板（FPC：Flexible Printed Circuit）用の無接着剤銅張積層板（CCL：Copper Clad Laminate）「エスパネックス」（写真1）を開発した。エスパネックスの技術は、従来3層構造であったFPC用CCLを独自技術で2層構造化し、ポリアミ

ド本来の優れた耐熱性や寸法安定性、接着信頼性を実現するとともに、基板の薄型化を可能にした。

一方、同社戸畑技術研究所では、シロキサン変性ポリアミドのさまざまな用途開発で蓄積したノウハウを活かして、短期間でフレキシブルプリント基板の多層化技術開発に成功。携帯電話やビデオカメラなどの回路基板をはじめ、液晶ディスプレイの駆動回路基板など、高機能・高信頼性が求められる分野で、必須の材料として高い評価を得ている。半導体の高密度・高集積化の動きと連動して、さらなる耐熱性や寸法変化率、電気特性、機械特性などへの要求が高度化する中、現在では2層CCLの世界市場でトップシェアを誇っている。

## 宇宙環境での耐性向上を求める

シロキサン変性ポリアミドは、続いて宇宙材料としても注目を集めるようになった。転機は、2002年に刊行された『最新ポリアミド—基礎と応用』（日本ポリアミド研究会編）に、新日化の和田をはじめ3人の研究者が論文を寄稿したことで訪れた。同書編者の一人であるJAXAの横田力男氏は、シロキサン変性ポリアミドとの出会いについて次のように語る。

「高分子プラスチックフィルムの中で、300℃で1,000時間も空気中で使える耐熱性と、宇宙環境で長期にわたり使

写真1 エスパネックスとその加工例

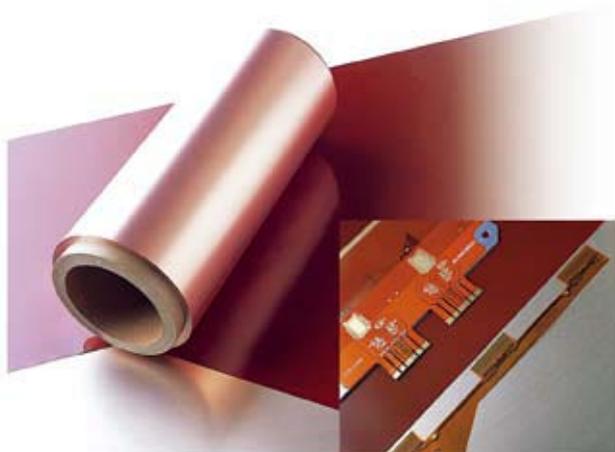


写真2 原子状酸素によるポリアミド熱保護膜の劣化



(写真提供：JAXA)

10カ月間低軌道にあって1996年1月に回収された無人宇宙実験システム・SFUの電気推進実験表面に取り付けられたポリアミド熱保護膜の回収後の姿。



(独)宇宙航空研究開発機構  
宇宙科学研究本部  
宇宙構造・材料工学研究系  
共同研究員 横田 力男氏

用できるフィルムはポリイミドしかありません。しかし、唯一の欠点は、原子状酸素に耐えられないことです。新日化の研究は非常に高いレベルにあり、これを知ったとき、光明が見えたと感じました。シロキサン変性ポリイミドの宇宙材料への適用は未踏領域でしたが、ぜひフィルムを開発してほしいと日本ポリイミド研究会での産官学交流の中で話したことがきっかけとなりました」

ポリイミドは耐熱性・耐放射線性に優れているため、過酷な宇宙環境に露出する形で人工衛星の外部表面に多く用いられているが、原子状酸素の激しい浸食を受けると表面はPC、PETなどと同じように微細なカーペット状の凸凹にえぐられた状態になって、外観は曇ったようになる(写真2)。原子状酸素による材料劣化をどのように防ぐか。ここに新日化が長年培ってきた高機能樹脂の最先端テクノロジーであるシロキサン変性ポリイミドの合成技術が活かされた。新日化は2007年、サンプルシートを戸畑技術研究所で製造し、木更津研究所でフィルム化してJAXAに提供した。

「従来のポリイミドシートは、ISSが周回する宇宙環境と同じ原子状酸素量を照射したところ、原形を留めないほどの状態になってしまいました。これに対して、シロキサン変性ポリイミドシートは、ほとんど質量が減ることがなく、表面の保護層が機能して原子状酸素をブロックしていることがわかりました(図1・2)」(宮崎氏)。

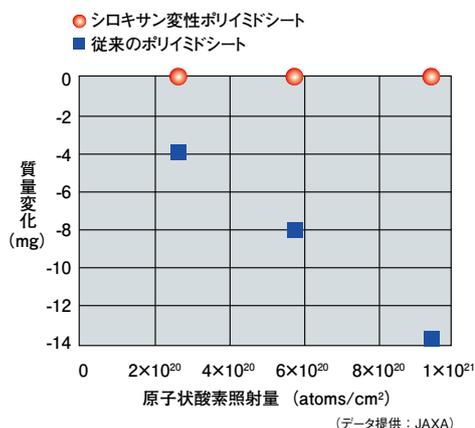
従来のポリイミドシートは、原子状酸素から守るためにコーティングを施している。しかし、コーティングに割れなどの欠陥があると、その欠陥から原子状酸素が侵入し、浸食が広がってしまう。一方、シロキサン変性ポリイミドシートは、ポリイミドにシリコン(Si)を付与しているため、表面が損傷してもシリコンと原子状酸素が化学反応し、原子状酸素に対して耐性のあるシリカ(SiO<sub>2</sub>)を形成。そのシリカが保護層をつくり損傷面を修復する機能を発揮していたことが証明された。こうして、シロキサン変性ポリイミドシートは、ISSきぼう船外実験プラットフォームでのJAXAによる宇宙材料曝露実験試料に採用された。

「今後の課題は二つあります。一つは耐熱性をさらに高めること。もう一つは耐紫外線性の向上で、耐久性をさらに高めたいと考えています。耐宇宙環境性に優れた酸素ラジカルと紫外線に対する機能をあわせ持つような、次のブレイクスルーに期待しています」(横田氏)。

### 自己修復機能を発揮しJAXAで宇宙実証・評価へ

新日化が提供したサンプルシートは、JAXA 筑波宇宙センターの試験装置で材料表面特性評価を受けた。

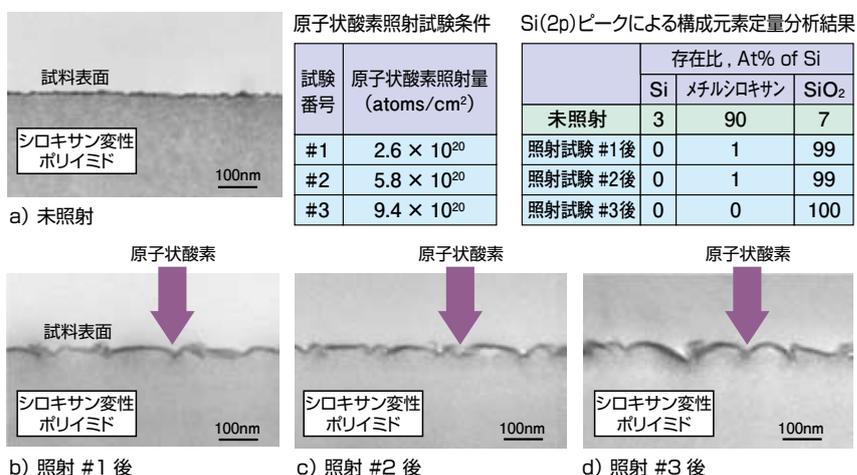
図1 原子状酸素照射によるシロキサン変性ポリイミドと従来のポリイミドの質量減少量比較



シロキサン変性ポリイミドの質量減少は、従来のポリイミドに比べ大幅に少なく、その差は2桁に及んだ。

図2 シロキサン変性ポリイミド表面近傍の断面TEM観察像

(データ提供: JAXA)



シロキサン変性ポリイミドに原子状酸素を照射しても、表面は高さ20~30nm、ピッチ100nm程度の波状に留まっている。未照射時にはSiは主にメチルシロキサンとして存在しているが、照射後はSiO<sub>2</sub>として存在し、表面にSiO<sub>2</sub>層を形成することがわかった。

## 今後の展望

さらなる品質改善で  
宇宙のフロンティアを切り拓く

JAXAはシロキサン変性ポリイミドシートの開発成果を2008年9月29日～10月3日にイギリス・グラスゴーで開かれた第59回国際宇宙会議IAC (International Astronautical Congress)、さらに今年9月15～18日にフランス・マルセイユ近郊で開かれた宇宙用材料の国際シンポジウムISMSE (International Symposium on “Material in Space Environment”) で発表した。

「質疑応答では、どのくらいシリコンが入っているかという技術的な質問のほかに、価格はいくらかと尋ねられ、驚きました。各国宇宙機関の材料研究者や材料評価担当者、宇宙機メーカーの技術者に、使えそうだという認識を持ってもらえたようです。使える見込みのない材料では価格の話題は出ません」(宮崎氏)。

新日鉄化学(株) 取締役常務執行役員  
新事業開発本部長 古本 正史



現在、宇宙曝露実験中のサンプルシートは、来年3月に打ち上げが予定されているスペースシャトル「アトランティス号」で回収され、日本に持ち帰って詳細を分析する計画となっている。

「人工衛星を打ち上げるだけでなく、宇宙を利用して人類の進歩に役立てていく時代が到来しました。現在、世界中で巨大膜を使って建造する宇宙軟構造物による宇宙開発が計画されています。JAXAも来年度には、超薄膜の帆を広げ太陽光圧を受けて進む小型ソーラー電力セイル実証機を打ち上げる計画で、膜面にはポリイミドフィルムが使われます。宇宙用材料としてのポリイミドの高機能化ニーズはますます高まっています。しかし、宇宙材料の開発は、依然として商業ベースに乗らないため、民間企業での事業化が大変難しい状況にあります。その中で、新日化とともに行った材料開発で得られた知見は、JAXAの将来発展に向けて大きな糧となりました」(横田氏)。

新日化は今回の宇宙曝露実験の結果に応じて、材料のさらなる改良や、本格的な事業化に向けた具体的計画を進めていく予定で、今後も長年培ってきた材料技術を活かして、宇宙開発事業の推進に貢献していく。新日化の古本正史は次のように展望を語る。

「当社の開発した材料が、JAXA殿から高い評価をいただき、今まさに宇宙空間での実験に供されていることに、大きく夢が膨らむ思いです。

実験の結果は、来春以降の検証を待つこととなりますが、今回の一連の取り組みを通じて、今後当社に求められる課題が明確になってくるものと思われます。

宇宙事業開発への貢献は、当社が企業理念の中で謳う、地球環境や社会への貢献にもつながるものであり、今後とも、当社の技術力を最大限に発揮し、微力ながら新規宇宙材料開発の一助となっていきたいと考えています」



(写真提供：JAXA)