

S2-8

## ポリイミド薄膜を用いた一片 15m の角型ソーラセールの開発 世界初の熱可塑性ソーラセール膜材開発

Development of heat resistant thermoplastic polyimides having excellent space environmental stability - a heat sealable very thin polyimide film for solar sail 'IKAROS' membrane

宇宙機構宇宙研 横田力男  
JAXA/ISAS Rikio YOKOTA

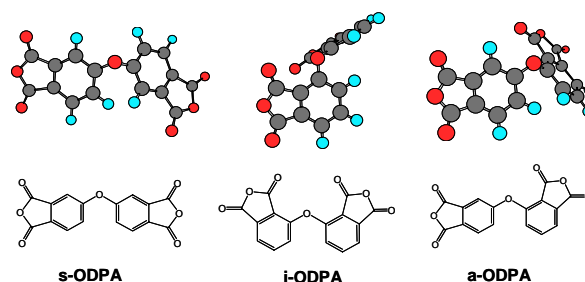
Heat resistant, thermoplastic polyimides having excellent space environmental stability have been developed. The sterically bent/distorted but rotation-restricted structure introduced by aromatic dianhydrides isomers give a new concept, which can be applied to the novel processable high-Tg polyimides (PI) materials. According to this concept, heat sealable, very thin polyimide film was developed for first solar sail 'IKAROS' membrane.

### 1. はじめに

抜群の耐熱・耐環境性高分子材料として知られる芳香族ポリイミド (PI) は宇宙航空分野を超えて電子材料や機能材料としても重要な高分子素材となっている<sup>1)</sup>。一方、分子鎖が屈曲し捩れ、非平面となる非対称 PI の研究から対称芳香族 PI では難しいと考えられていたフィルム形状以外の成形体を可能とする高耐熱・高靱性 PI 材料が見出された<sup>2-4)</sup>。更に非対称構造の特異な溶融物性を利用し長期宇宙環境耐久性をもつ耐熱熱可塑性 PI の材料化が可能と成った<sup>5・6)</sup>。本論は、耐熱ポリイミド材料の大きな課題であったフィルムから成形樹脂への展開を世界で初めて実現させた非対称構造 PI 研究に基づく世界初のソーラセール宇宙実証機開発に焦点をあて紹介する。

### 2. 航空宇宙環境と高分子

地上の数百倍の紫外線や放射線に曝される宇宙は有機材料にとって極めて過酷な世界で PI (PMDA/4,4'-ODA: デュポン KAPTON-H に代表される PI が 50Mgy (10 年相当) の放射線に耐えるほぼ唯一の高分子膜材料で熱制御膜や太陽光発電パドルに欠くことのできない素材である<sup>1)</sup>。しかし大規模膜製造には接着剤が必要で宇宙環境耐久性のある熱融着性高分子膜の開発が必要である<sup>6)</sup>。

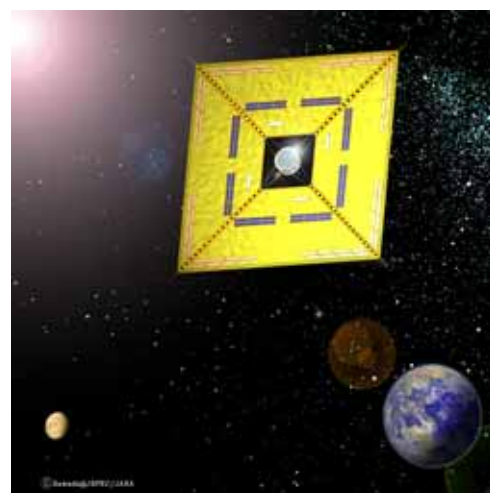


Asymmetric ODPA structures

### 3. 小型ソーラ電力セール実証機 IKAROS<sup>5)</sup>

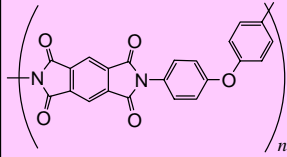
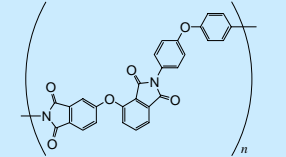
ソーラセールとは宇宙空間の強烈な太陽光を大面積の金属蒸着高分子薄膜 (5-8 $\mu$ m) に受け、光子の運動量により反力を得て宇宙を航行する宇宙軟構造物である。しかしこれまでソーラセールの宇宙実証例はない。その要因の一つには大規模な膜製造が容易で宇宙環境長期耐久性も併せもつ高分子膜材料が見当たらないことが推定される<sup>1,6)</sup>。

図は宇宙機構が進める小型ソーラ電力セール実証機 IKAROS の想像図で来年 5 月打ち上げが予定されている。中心部展開システムと探査機バス部、それを取り巻く厚さ 7 $\mu$ m の一片 14m の PI 製角型セールで構成される。展開システムに折りたたみ巻きつけられたセールは打ち上げ分離後、スピニングされ、遠心力で伸展展開され太陽光を受けて宇宙航行する。セール膜材は新規材料設計された表 1 の非対称 a-ODPA



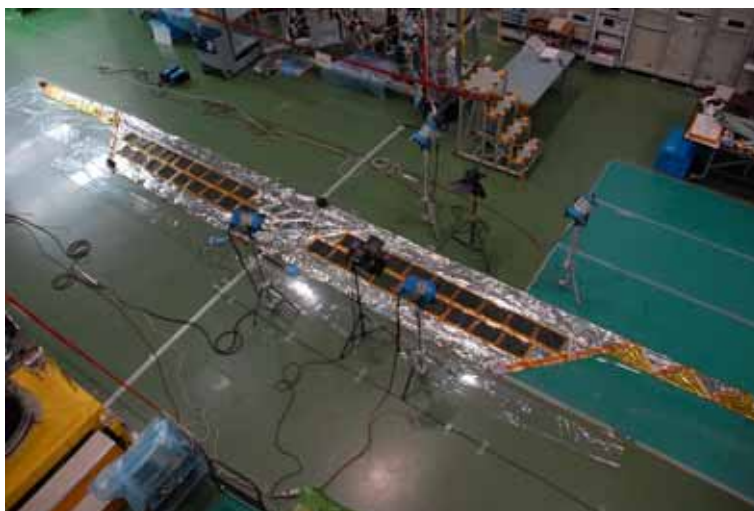
4.4 -ODA(a-ODPA-PI) 熱融着性PIと  
PMDA/4,4'-ODA (Apical AH 7.5 μm、カネカ)で構成される。

4、セール膜・熱融着性PI薄膜  
全芳香族PI：Apical AHは宇宙で長期に使用できるが表から明らかなよう非可塑で膜製造には接着が必要である。一方唯一の熱融着性PI(市販ポリイミド(ULTEM,GE))は宇宙環境耐久性がなく数ヶ月で劣化する。表1の非対称a-ODPA-PIはs-ODPA-PI(Tg = 266)に比べ高耐熱Tg = 280となりフィルムは340、10秒で熱融着する。ソーラセール膜材の耐熱性は片面Al蒸着PIでは200と見積もられる。a-ODPA/1,3,4-APB(Tg = 225)も検討されたが、物性に余裕のあるODAが選定されている。表はPIソーラセール膜a-ODPA-PIとApical AHの特性である。20%DMAc溶液PIから基盤フィルム上に塗工して得られた厚さ7 μmフィルムは50MGyプロトン照射にも安定である<sup>5,6)</sup>。

	Membrane1 PMDA/4,4'-ODA	Membrane2 a-ODPA/4,4'-ODA
material	Kaneka APICAL-AH(7.5 μm) Polyimide film/Al	ISAS-TPI thermo-plastic Polyimide film(7-8 μm)
Chemical structure		
properties	modulus:3.0GPa, elong.n:80% Tg:420, heat sealing: x	modulus:2.8GPa, elongn.:92% Tg:280, heat sealing:
Area (173.63 m <sup>2</sup> )	154.28(88.9%)	19.35(11.1%)
thickness(μm)	7.5	7.5-8.0
Sail wt. (1.849 kg)	1.643	0.206
metal	aluminum	aluminum
thickness(nm)	80	80

#### 5、おわりに

苛酷な宇宙環境に長期間使用可能な高分子材料は今のところ芳香族PIの他にない。しかし芳香族PIは剛直で分子間秩序を形成するため不溶、不融で薄膜製造や熱融着によるは張り合わせ、あるいは、成形材料への展開が難しかった。ところが最近の芳香環非対称構造の研究から非対称PIが特異な耐熱、溶融物性を有することが明らかになり新たな材料設計に道が拓かれた。右の写真はIKAROSソーラセール実証機膜のクリーンルームにおける部分展開・太陽電池評価のカットである。来年5月打ち上げられるIKAROSが宇宙で大きく展開し、太陽光をいっぱいを受けて宇宙帆走に成功するとき、新たな宇宙膜構造物開発時代の幕開けとなる。



#### 謝辞

IKAROS 膜開発に関する非対称芳香族高分子の研究開発は原料モノマー入手から材料化に至るまで多くの研究者、機関、企業の全面的な協力のもとに行われていることを報告し関係各位に深く感謝いたします<sup>5,6)</sup>。

文献：1,ポリイミド 基礎と応用、今井淑雄、横田力男編、日本ポリイミド研究会、NTS出版、2002年、2, M.Hasegawa,R.Yokota et al,Macromolecules, **32** 387, (1999)  
3,C.Chen, R.Yokota et al., High Perform. Polymer, **17**, No.3, p317 (2005)  
4,M.Kochi, R.Yokota et al, High Perform. Polymer, **17**, No.3, p335 (2005)  
5,第8回宇宙科学シンポジウム講演集、宇宙機構宇宙研, (2008)  
6,横田、高分子学会誌、57巻9号 p747(2008)