参 考 文 献

- 1) 杉田雄二, 風間公一, 米澤孝夫, 斎藤信一, 松田敏紹: 日本特許公報 2609053.
- 2) 斎藤信一, 米澤孝夫, 松田敏紹, 風間公一, 杉田雄二: 日本セラミックス協会第 8 回秋季シンポジウム (1995), p. 407.
- 3) 風間公一, 杉田雄二, 斎藤信一, 米澤孝夫, 松田敏紹: 日本セラミックス協会第 8 回秋季シンポジウム (1995), p. 408.
- 4) 風間公一, 杉田雄二, 伊藤博之, 米澤孝夫, 斎藤信一: 火力原子力発電中部, **277・278** (1997), 42-46.
- 5) 松田敏紹, 斎藤信一, 米澤孝夫, 坂井長治: 日本特許公報 2798701; T. Matsuda, S. Saitoh, T. Yonezawa, C. Sakai & K. Abe: United States Patent No. 5227344 and European Patent Publication No. 0377317.
- 6) 斎藤信一, 南澤正敏, 松田敏紹, 坂井長治: 第 27 回セラミックス基礎科学討論会 (1989), p. 208.
- 7) 斎藤信一, 南澤正敏, 米澤孝夫, 松田敏紹: 日本セラミックス協会第 2 回秋季シンポジウム (1989), pp. 508-509.
- 8) T. Yonezawa, S. Saitoh, M. Minamizawa & T. Matsuda: Proc. 1st SAMPE Symp. & Exhi., 28 Nov.-1 Dec. 1989, Nikkan Kogyo Shimbun, Tokyo (1989), pp. 1131-1136.
- 9) 米澤孝夫: 資源・素材関係学協会合同秋季大会 (1993), pp. 11-14.
- 10) T. Yonezawa, S. Saitoh, M. Minamizawa & T. Matsuda: *Composites Sci. Tech.*, **51** (1994), 265-269.

宇宙向け炭素繊維三軸織物とその複合材料の開発

渡 邊 秋 人

1. 結 言

人工衛星等の宇宙構造材料は, ロケットによる打ち上げ時の衝撃や振動に耐えられること, またその軌道となる宇宙空間においては, 熱的寸法安定性及び高放熱性が重要となる。さらに, 搭載能力の制限により, 高い比剛性が要求される。したがって, 人工衛星には複合材料が多用されているのが現状である。しかし, 繊維強化基材として一方向材や通常の二軸織物では, 強度や剛性, 熱膨張率に異方性が生ずるため, 等方積層する必要がある。そこで, 三軸織物の基本特性に着目し, 人工衛星の構造材料, 特にアンテナリフレクター用として最適な炭素繊維三軸織物の開発を行った。

2. 衛星用アンテナリフレクターへの応用

ロケット打ち上げ時の衝撃や振動に関しては, 三軸織物のベーシック組織に見られる六角形の開孔部が音響振動を緩和し, 単層材のホルダビリティーが衝撃や振動に対して有効に作用する¹⁾。宇宙空間における熱的寸法安定性については, 各種炭素繊維から最適な種類を選択す

れば, 単層で熱膨張率をほぼ 0 に設計することができる。軽量, 高剛性の要求特性に関しては, 三軸織物は単層で疑似等方性を有し, 等方積層の必要がないため, 軽量化がはかれる。また, 高弾性率炭素繊維を用いることにより比剛性の高い複合材料が得られる。この様に, 炭素繊維と三軸織物の特徴を最大限に活用し, 要求特性のバランスを取ることができれば, 従来のアンテナリフレクターの設計を大幅に革新することができる。

3. 製織技術の開発

高い比剛性の三軸織物を得るには, 高弾性率の強化繊維を使い製織する必要がある。しかし, 普通織機と異なり, 使用する繊維に対して損傷を与えやすく, 非常に過酷な製織条件となる従来の三軸織機では, 脆い炭素繊維の製織は事実上不可能であった。そこで, 出来るだけ繊維への損傷を防ぐため, 高精度の繊維張力制御, ガイド類の材質や形状の見直し, 繊維曲率や糸道経路の変更を行った。この様に, 事実上新しく生まれ変わった独自の三軸織機を用い, さらに繊維のサイジング剤の調製や付着率についても最適化を行うことにより, 目標とする高弾性率炭素繊維の製織に世界で初めて成功した。図 1 に三軸織物を示す。

Akihito WATANABE: サカセ・アドテック(株) (910-0363 福井県坂井郡丸岡町下安田 14-10)

図1 高弾性率炭素繊維三軸織物

4. 評価法の開発

アンテナリフレクター用の三軸織物を開発するには、先ず始めに使用する高弾性率炭素繊維の製織適合性を評価するため、屈曲性、集束性、摩擦係数、磨耗寿命等、三軸織物製織モードに合わせた繊維試験法及び、製織後の品質を保証する三軸織物試験法について、独自に確立することが必要となった。次に、アンテナリフレクターの設計に用いる基礎データを取得するため、単層複合材料の引張特性試験法及び折りたたみ特性試験法を確立する必要が生じた。さらに、ベーシック組織の三軸織物は、高周波になるにしたがい、開孔部の影響で電波反射特性が低下することが予想されるため、電波反射率特性の評価法の確立についても重要となった。

5. 単層複合材料の特性

単層複合材料の引張特性について評価した結果、炭素繊維三軸織物を用いた複合材料は積層材に限らず、単層材においても疑似等方性を示すことが確認できた。図2に示す。また、引張弾性率については、繊維のクリンプ状態を考慮した積層理論を用いた計算により、比較的良く実験値を予測することが可能である¹⁾。折りたたみ特性に関しては、三軸織物単層複合材料の曲げ破断歪みは、使用する炭素繊維の引張破断歪みよりもはるかに大きく、大きな曲げ変形にも十分耐え得ることが分かった²⁾。電波反射率特性試験については、ダブルリジッドウェーブガイドホーンアンテナとネットワークアナライ

図2 単層複合材料の引張特性

図3 炭素繊維三軸織物の周波数特性

ザーを用いたタイムドメイン法により、測定を試みた。三軸織物の織密度及び織組織、繊維の密度、繊維度、体積抵抗率を変えることにより、電波反射率の周波数特性を調整できることが確認できた³⁾。また、織物の面抵抗と開孔部の影響を考慮した、複合反射モデルにより、電波反射率の便宜的計算方法を見出すことができた。その結果、三軸織物を最適設計することにより、ミリ波領域においても十分高い電波反射率を得られることが分かった。図3に示す。

6. 結 言

製織技術の開発及び評価法の開発により、高弾性率炭素繊維を用いた三軸織物の製品化に成功し、高品質で信頼性のある材料として認められるに至った。その結果、三軸織物を用いたアンテナリフレクターの実績として

図 4 火星探査機「のぞみ」
(写真提供：文部省宇宙科学研究所)

は、海外の衛星メーカーによって多数採用され、既に人工衛星の軌道上において活躍している。なお、国内では

文部省宇宙科学研究所によって、日本初の火星探査衛星「のぞみ」のアンテナリフレクターに採用されている。図 4 に示す。

なお、現在も国内外において、新型アンテナリフレクターの開発が精力的に進められている。また、炭素繊維を用いた三軸織物強化複合材料は、高い比剛性、熱的寸法安定性、高放熱性といった特徴を活かし、アンテナリフレクター以外の宇宙構造材料にも積極的に採用が検討されている。

最後に、今回の技術賞受賞に際し、関係各位にこの場をお借りして、深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) A. Watanabe, H. Tadokoro & Y. Arai: 43rd International SAMPE Symposium (1998), pp. 1874-1882.
- 2) 柴田博崇, 辻 信之, 渡邊秋人: 第 21 回複合材料シンポジウム講演要旨集, 日本複合材料学会 (1996), pp. 57-58.
- 3) 荒井 貴, 北村隆二, 本郷眞一, 深津 彰, 勝山良彦, 加藤芳秀: 第 41 回宇宙科学技術連合講演会, 日本航空宇宙学会 (1997), 23-7.