

1. 緒言 構造用金属材料の力学的特性の性能向上には著しいものがあり、将来ともこれに対する努力がなされて行くものとする。この力学特性の向上は、転位論にもとづいた解析によって行なわれているのが現状であろう。しかし一方でこの転位論に比べて非常に単純な強化機構（複合則）にもとづくガラス繊維で強化したプラスチック(GFRP)が、約30年かかって現在年間25万トン以上生産され、工業用材料としての地位を確立している。

このGFRPの発展に刺激されて、強化用としての新しい繊維が開発され、FRMの研究も1960年代には行なわれるようになっていた。しかしながら、このFRMを実用材料としての面から見ると、宇宙・航空という限られた特殊な分野での使用が試みられているものの、FRPより開発がはるかに遅れており、現在FRMが先端材料の1つとして、世界的にその開発が競われている現状にある。わが国でも次世代産業基盤技術研究開発テーマの1つとして「複合材料の研究開発」が昭和56年度よりスタートしており、新材料としての出現に期待と成果が目まぐるしく進んでいる。ここではFRMの開発の現状と問題点を中心として述べる。

2. FRMの製法の現状と今後

2.1 強化用繊維 (Table 1¹⁾)

強化用繊維はどれも強さ、剛性が著しく高く、しかも低密度であるので、比強度 (σ/ρ)、比弾性率 (E/ρ) が高く、強化用としての役割を十分にはたし得る。炭素繊維については、我国ではPAN系が作られているが、現在ピッチ系の繊維の開発を多くのメーカーが競って行なっている。

Table 1. Mechanical properties of reinforcements for FRM.

Fiber (Maker)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Young's modulus (10 ³ kgf/mm ²)	Density (g/cm ³)	Diameter (μm)	Remark
B (CVD)					
B on W (AVCO, CTI)	350	40	2.46	100, 140, 200	monofilament
B on C (AVCO)	330	37	2.23	100, 140	"
Borsic (SiC coated B/W) (CTI)	300	40	2.58	100, 145	"
B ₄ C coated B/W (AVCO)	400	37	2.27	145	"
SiC					
SiC on W(CVD) (AVCO, SNPE)	315	43	3.16	100, 140	monofilament
SiC on C (") (AVCO)	330	40	3.07	100	"
SiC(Precursor) (Nippon Carbon)	250	18	2.55	10~15	multifilament
CF					
PAN HS* (U.C.C.)	290~330	24~27	1.70~1.77	7~9	multifilament
HM* (U.C.C.)	230~260	35~40	1.82~1.87	7~9	"
Pitch P55 (U.C.C.)	210	39	2.02	5~10	"
P75 (U.C.C.)	210	53	2.06	5~10	"
P100 (U.C.C.)	210	70	2.10	11	"
Al₂O₃					
Fiber FP (Du Pont)	150	39	3.90	20	multifilament
γ-Al ₂ O ₃ (Sumitomo Chem.)	260	25	3.20	9	"

* Toray, Nippon Carbon, Toho Beslon, Mitsubishi Rayon

2.2 成形法 (Fig. 1)

a) 成形上の基本的事項

- イ) 成形過程における繊維の損傷、反応劣化
- ロ) 稠密で欠陥のない成形法
- ハ) 繊維の分散・配向の制御
- ニ) 品質の安定性が高く、しかも生産性の高い成形法

b) 成形法の選択

- 固相法
- 熱間プレス法
 - 熱間ロール法
 - 粉末冶金法(HIP法を含む)
 - 高温押し出し・引抜き法

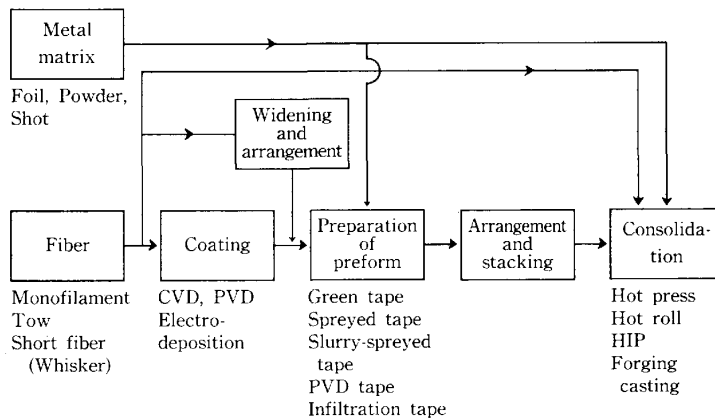


Fig.1. Fabrication process of FRM.

- 液相法
 - 溶浸法
 - 加圧鋳造法
 - 真空鋳造法
 - ダイキャスト法

c) 中間複合素材

- プリシート
 - グリーンテープ CVD, 前駆体繊維 — Al, Ti, Mg
 - 溶射シート CVD, 前駆体繊維 — Al
 - PVDテープ 前駆体繊維 — Al, Ti, Mg
 - スラリースプレシート CVD, 前駆体繊維 — Al, Ti, Mg
- プリワイヤー
 - 溶浸ワイヤー CVD, 前駆体繊維 — Al, Mg (Table 2²⁾, Fig. 2²⁾)
 - スラリーワイヤー 前駆体繊維 — Al
 - 電析ワイヤー 前駆体繊維 — Ni, Cu

Table 2. Tensile strength in wire preform of M40/6061 Al composite.

Fiber contents (V_f %)			Tensile strength (kgf/mm ²)		
n	\bar{X}	σ	n	\bar{X}	σ
8	50	1.3	8	142	4.6

Note: V_f % value is for a 26cm sample

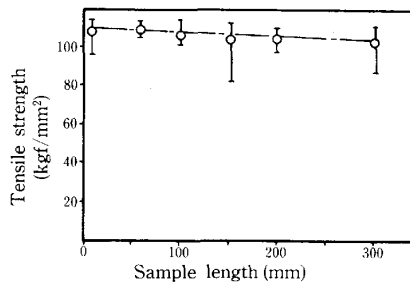


Fig. 2. Relation between tensile strength and sample length in SiC_{p.c} / Al wire preform.

Table 3. Mechanical properties of some FRMs.

Fiber	Matrix	Fiber contents (Vol%)	Density (g/cm ³)	Tensile strength $\theta = 0^\circ$ (kgf/mm ²)	Young's modulus $\theta = 0^\circ$ (kgf/mm ²)	Tensile strength $\theta = 90^\circ$ (kgf/mm ²)	Young's modulus $\theta = 90^\circ$ (kgf/mm ²)	Data source
CF T50	201Al	30	2.38	63.3	16.9×10^3	4.9	3.5×10^3	Aerospace
CF T300	201Al	40	2.32	105~110	14.8×10^3			FMI
CF HM Pitch	6061Al	41	2.44	63.3	33.0×10^3	(10.5)	(4.9×10^3)	Aerospace
CF HM Pitch	AZ31Mg	38	1.83	52	30.1×10^3			Lockheed
CF HT	5056Al	35	2.34	80	12×10^3	7~8	$4 \sim 5 \times 10^3$	Toho Beslon
CF HM	5056Al	35	2.38	60	17×10^3			Toho Beslon
BF Bon W (140M)	6061Al	50	2.49	140	23.9×10^3	14.1	16.2×10^3	GD Convair
BF Borsic	Ti(6-4)	45	3.68	130	22.8×10^3	47.1	20.0×10^3	TRW
BF B, Con B	Ti(6-4)	38	3.74	151	23.2×10^3	>35.1	> 14.1×10^3	DWA Composites
FP Al ₂ O ₃	201Al	50	3.60	120	21.8×10^3	(14.1)	14.1×10^3	Du Pont
γ -Al ₂ O ₃	Al	40	2.9	>75*	13×10^3			Sumitomo Chem.
SiC on W	6061Al	50	2.93	151	23.2×10^3	(14.1)	14.1×10^3	DWA Composites
SiC on W	Ti(6-4)	35	3.93	123	26.7×10^3	52.7	21.1×10^3	DWA Composites
SiC (from polymer)	6061Al	35	2.6	80~90	$10.5 \sim 11.5 \times 10^3$	9		Nippon Carbon
SiC (whisker)	Ti(6-4)	38	2.80	35	10.5×10^3	35.1	10.5×10^3	DWA Composites

Note: value in () : estimated by R.O.M.
* in the case of 160 kgf/mm² Al₂O₃ reinforcement

参考文献： 1) 革新航空機技術開発に関する調査；No.502 (1981), 日本航空宇宙工業会
2) 第2回次世代産業基盤技術シンポジウム—金属・複合材料—予稿集, (1984)

3. FRMの力学特性 (Table 3¹⁾)

複合系が同じであっても製法によって得られる力学特性が異なる場合が多い。何れにしても、現在は一応複合則に対する到達割合を目安にして、複合材料の健全性や製造方法に対する最適化の目途にしている。

これ迄の所 CVD 繊維強化の複合材料では、140~150 kgf/mm² と高強度で、比較的複合則に近い値のものが得られ易い。しかし、前駆体繊維強化の場合には、100kgf/mm² を越えるものが殆んど得られていなかったが、我国では最近、中間複合素材で示したように、高性能なワイヤーが得られるようになってきているので100kgf/mm² 以上の強度をもつ成形体が得られるのも時間の問題であろう。

4. FRM 研究の今後の課題

- 1) 力学特性の向上と品質の安定化
- 2) 基材金属との適合性
- 3) 動的、耐環境特性
- 4) 大形状、特殊形状の製造技術
- 5) 部分複合化、ハイブリッド化技術
- 6) 二次成形加工、接合
- 7) 品質評価方法の確立