

複合材料を知る事典

日本複合材料学会編

アグネ



複合材料を知る事典

日本複合材料学会 編

アグネ

複合材料を知る事典

定価 1300円

1982年4月20日 第1版第1刷発行

編者 日本複合材料学会出版委員会

赤坂 隆

渡辺 治

森田幹郎

発行者 石田 進

発行所 株式会社 アグネ

〒150 東京都渋谷区渋谷 3-3-10-409

電話 (03)406-3651 振替東京 6-98975

印刷・製本 亜細亜印刷株式会社

落丁・乱丁のあるものはお取替いたします

3550-04163-0030

はじめに

複合材料は次世代材料あるいは21世紀の材料として、ゆるぎない地位を確保しつつある。そして、ほとんどあらゆる分野の材料と関連し、またその基礎理論、応用もきわめて幅広いものとなっている。

最先端の科学・技術が報道されるとき、あるいは職場で新製品・新材料が話題にされるとき、複合材料は必ずといってよいほどそれらに関連している。

読者が本書によって複合材料構成のおもしろさ、巧みさを知り、手軽に全体像をつかむことができるようにと願って、この本は複合材料学会の会員有志によって書かれた。

こんなにも広範囲にわたる分野をわかりやすく書きこなし、紹介することができるのは、学会のような組織でないとできにくいことである。

この本の刊行は昭和53年に日本複合材料学会の活動の一環として当時の出版委員長であった植村益次教授によって発案されたものでその後、後任委員長赤坂隆教授および渡辺治、森田幹郎両委員の手によって具体化され、3年間にわたる大変な労苦の末、ようやくここに出版の運びとなったものである。

また、この企画に当っては複合材料学会前会長の河田幸三教授の絶えざるご激励とご指導があったこともぜひつけ加えさせていただきたいことがらである。

昭和57年1月吉日

日本複合材料学会 会長 三浦 維 四

刊行に当って

機械，電気，建築，土木および化学などの諸工業の発展の歴史はある意味では，それに使われる材料の開発史であるとも言える。

どんなに優れた発想でも，それに必要な材料特性，すなわち，強度，剛性，軽量性，耐熱性，その他の諸特性を備えた材料が実在しなければ実現できないからである。

その昔ジュラルミンという軽金属の発明があったればこそ，今日のような高性能の大型旅客機が早期に出現したのであり，またプラスチックのような高分子材料の発明があったればこそ，今日われわれの身のまわりが色彩豊かな，そして便利な生活環境に恵まれるようになったのである。

このように，材料というものは文化の発展を支えてきた裏方であった。

現在はさらに異種材料を“複合”することによって，単一材料では出せないような特異な性質をもつ材料を，ニーズに合わせて自在に作りだす方向に進んでいる。ガラス繊維やカーボン繊維でプラスチックを強化した複合材料は，航空機，舟艇や建築物の構造用材料としてすでに広汎に用いられており，その軽量で強く，しかも腐食しない性質によって現代の材料革命の旗手となっていることは周知の事実である。

将来はさらに優れた複合材料が出現し，未来の文明を担うことは疑いのないところである。このような意味から，現在複合材料の開発はわが国の5大プロジェクトの1つに数えられている。

そこで，複合材料とはいったいどんなものか，どのように作られ，どのように使われているのか，そして今後どのように発展して

ゆくのか、といったあら筋について、広くわが国の知識人に知っていただきたい。そんな願いをこめてこの小冊子が作られた。

したがって、この本は専門外の技術者、学生のみならず、一般の社会人の方々にも手軽に読めるように平易に書かれ、各項目ごとに独立した読み切りの構成にしてある。また、本としての構成を整える意味で、最初の項“自然のたくみと人間の知恵”と最後の項“夢は宇宙を駆けめぐる”はそれぞれ“はしがき”と“むすび”に対応する内容になっている。さらに、各項目に関連した小トピックス記事を適所に配し、“もっと勉強したい人のために”参考書の案内もしておいた。

本書の出版に当っては、術語や単位の統一および表現の平易化など編集作業上の問題点についてアグネ社の小林文武氏からかすかすの有益な助言をいただいた。ここに同氏に深甚なる謝意を表する次第である。

昭和57年3月

日本複合材料学会 出版委員会

赤 坂 隆

渡 辺 治

森 田 幹 郎

複合材料を知る事典 目次

はじめに.....	iii
刊行に当って	iv

〔Ⅰ〕

自然のたくみと人間の知恵

複合材料の歴史とメリット	11
--------------------	----

〔Ⅱ〕

ガラスを糸にする——ガラス繊維	31
-----------------------	----

黒鉛を糸にする——カーボン繊維	39
-----------------------	----

はじめての高強度高弾性ポリマー繊維

——アラミド繊維	48
----------------	----

猫のひげ——ウイスキー	55
-------------------	----

降りつもる原子——ボロン繊維の誕生	59
-------------------------	----

メタルに筋金を入れる——FRM用繊維	63
--------------------------	----

自動車を吊るす見えない力——接着剤	72
-------------------------	----

ゴムを強くする——カーボンブラック	77
-------------------------	----

コンクリートを強くする

——鋼繊維補強コンクリート	83
---------------------	----

舟を軽くする——FRP船	87
--------------------	----

空気は熱を通さない——フォーム材、断熱材	96
----------------------------	----

原子よ眠れ——超電導材料……………	105
高温に耐える——耐熱複合材料……………	109
過酷な環境への挑戦——耐食FRP……………	118
圧力に耐える——軽量圧力容器……………	127
電波もスイスイ，X線もスイスイ ——レドームなどの機能材料……………	133
スポーツを勝つ——ブラックシャフト， 釣りざお，テニスラケット，スキー板……………	138
エネルギーを出し入れする ——フライホイール，風車……………	146
炭だらけの飛行機——炭素繊維の応用……………	154
走る複合材料——タイヤ……………	162
空気の建物——テント構造……………	171
貼り合わせの効用——クラッド鋼板……………	178
人間を修理する——人工臓器，義肢，人工関節， プラスチックレンズ，義歯，義歯床……………	186
〔Ⅲ〕	
夢は宇宙を駆けめぐる 私たちの生活はこんなに変わる……………	198

[豆知識]

拡散接合	30
擬似等方性	47
三軸織物と三次元織物	54
繊維の呼び方	57
ハイブリッド・コンポジット	62
スペースシャトルの複合材料	71
ねばりが欲しい	76
細い糸ほど強くなる？	86
石の船が浮く——コンクリート船	95
FRTP	126
サンドイッチ構造	131
沈黙の世界を目ざして	137
ヨットレース	152
FRPグライダー	160
繊維の単位	185
プラスチックにも電気が流れたら	197
イラスト：身のまわりの複合材料	206・207
FRTP等の消費・需要量	208
コストパフォーマンス	209
この本にでてくる複合材料の種類と応用例	210・211
もっと勉強したい人のために——文献あんない	212
もう1つの目次——さくいん	215

執筆 者 一 覧 (執筆順, 1982年 3 月現在)

林	毅	中央大学理工学部教授 東京大学名誉教授
瀬 川	浄一郎	旭ガラス㈱車両部品推進部
森 田	健 一	東レ㈱技術情報室
渡 辺	治	金属材料技術研究所研究室長
森 田	幹 郎	東京芝浦電気㈱総合研究所研究主幹
神 田	拓 馬	東レ㈱繊維研究所
梅 川	荘 吉	東京工業大学精密工学研究所教授
古 田	敏 康	航空宇宙技術研究所
酒 谷	芳 秋	三菱重工業㈱名古屋航空機製作所
藤 本	邦 彦	芝浦工業大学機械工学科教授
小 林	一 輔	東京大学生産技術研究所教授
竹 鼻	三 雄	東京大学船舶工学科教授
吉 岡	浩	東京芝浦電気㈱原子力事業本部
木 野	寿 一	東芝モノフラックス㈱
北 條	英 光	東京工業大学化学工学科助教授
植 村	益 次	東京大学工学部教授
小 塚	興 治	東レ㈱開発研究所
島 村	昭 治	機械技術研究所材料工学部長
赤 坂	隆	中央大学理工学部教授
関 野	昌 蔵	新日本製鉄㈱基礎研究所
宮 入	裕 夫	東京医科歯科大学医用器材研究所助教授
福 多	健 二	繊維高分子材料研究所
荒 井	貞 夫	東洋プラスチック精工㈱
百 島	祐 忠	コンポジットシステム研究所

複合材料を知る事典

自然のたくみと人間の知恵

複合材料の歴史とメリット

1. 複合材料の生い立ちと将来性

現在われわれをとりまく環境を眺めてみると、有機材料から無機材料にわたって、実にさまざまな材料が使われていることがわかる。なぜこのようにいろいろな材料が使われるのか。それは、それぞれの材料のもつ個性が衣食住や社会活動上の要求に適応して、生活や活動を快適に、便利に、より豊かにしてくれるからである。

古来われわれは種々の材料のもつ特性をしらべ、比較し、巧みに利用してきた。そこには木材、動植物繊維、粘土、石材などの自然の材料もあれば、鉄鋼、アルミニウム、プラスチック、セラミックス、半導体材料のような人手をかけた人工の材料もある。材料の開発・発展の経過とは、まさに材料のもつ特性を掘りおこし、それらのうまい使い方と、より優れた特性をもつ材料の探究との歴史とっていいだろう。

今でこそ、“複合材料”とわれわれは呼んでいるが、その名称や歴史は新しい。1942年にはじめて世に出た繊維強化プラスチック (Fiber reinforced plastics; FRP と略称) をはじめ、それについて急速に開発されてきた複合材料 (Composite materials, または単に Composites; CM またはコンポジットと略称) は、ここ四半世紀の間に時勢のニーズに適応し発展してきている“世紀の材料”な

のである。

しかし、実はこの“複合”(Composition)という思想は、考えてみると、質的な違いこそあれ、有史以来のものとも言うことができる。飲物でも食物でも、カクテルにすると単味のときより“味”がよくなる。この、まぜあわせる、または組み合わせるという知恵こそ古来われわれの先人が、自然の優れた啓示を手本にしながら工夫し知恵をしぼってきた“味のよい材料”の製造法に違いない。

その知恵の好例の1つに、伝承の和風家屋の“土壁”がある。これは、粘土に短く切った藁(わら)をたくさん入れてよくまぜ合わせたものを、さいた竹で荒目に編んで作った“あみたけ”の両側へべたべたと左官ごてで塗りつけてできあがる。まさに、わら繊維による強化粘土(Fiber reinforced soil; FRS)であり、FRPの前身である。素材が安い割りには、耐火、断熱、遮音性が抜群であり、今の省資源、省エネ時代に依然有用なのに驚かされる。「末世にも大火にも生残れるは土蔵なり」である。

また1888年に英国のDunlopによって発明された空気入りタイヤは、今ではさらに発展して、ゴム中にカーボンブラック(粒子)を分散させて力学特性を改善、さらにコードを入れて強化したものとなっている。これは粒子分散と繊維強化のゴムであり、母材がゴムという軟らかい複合材料の代表例で、その着想はすばらしいものであった。

以上のように、一般にいくつかの素材を組み合わせる“味のよい材料”を作る操作を、広い意味の“複合”と呼び、作られる材料を“複合材料”という。複合の目的は、素材が単体のときの特性より優れるか、または変わった有用な特性をもつものを作り出すことである。

ある素材の特性を改良するか変えるために、その中に微小形素材をたくさん分散させる場合、前者を母材または地材(マトリック

表1 複合材料の素材と種類

素 材	マトリックスの種類と分散材の形態	複合材料の種類, 呼称, 記号, 例
マトリックス	1. ゴム (エラストマー) 2. プラスチックス 3. メ タ ル 4. セラミックス 5. コンクリート 6. アスファルト等	PDR, PRR, FRR PDP, FRTP, FRP PDM, FRM FRCer. FRCon. FRA
分散材, 強化材	1. 粉 体 2. 粒子, マイクロバルーン 3. チョップドストランド 4. 短 繊 維 5. 長 繊 維 連続繊維 6. フ レ ー ク 7. テ ー プ 8. 織 布	混成 (Hybrid) 複合 共晶合金 例: タイヤ, GF/Nylon GFRP, GF/Polyester GF/Epoxy CFRP, CF/Epoxy GF-CF/Epoxy BFRP, BF/Epoxy KFRP, Kevlar/Epoxy B ₄ C/Al, SiC/Al Al ₂ O ₃ /Al, ウィスカー/Al, Steel/Concrete

ス, Matrix) といい, 後者を分散材 (Dispersed material) という (表1)。

強化に使われる素材は, 当初は粗大なものだったが, 次第に微細なものになっていった。なかでもはじめ断熱用に作られたガラスファイバー (Glass fiber; GF と略称) は, 細いほど, 引張強さが大きいことが経験的に知られていた。繊維直径が細いほど, 分子配列もよくなり, きずも少なくなるためである。現在は, ガラス繊維は強さが大きく, 製作上やとり扱い上の都合から, 直径がおおよそ 10 ミクロン (μm) のものが多用されている。1942年に米国 Pitts-

表2 複合材料の発展経過

期 年 次	主 要 事 項
↑ 1942 ~1955 I (開花期)	GF強化ポリエステル (FRP) 米国で誕生 米国で GFRP の工業化 1955 日本 GFRP 工業発足, 米国から技術導入 〃 強化プラスチック技術協会創設 〃 GFRP グライダー (東大 LBS-Ⅲ, 林設計) 世界初試作, 実飛行
↓ 1958 ↑ 1960	日本最初の GFRP レドーム製作 (林設計) 鳥島に設置 米国 General Electric 社, Al_2O_3 ウィスカー最長 70 mm 開発成功. 米国 HS 社 (ハミルトンスタンダード社) で Boron 繊維開発 (径 0.1 mm, W線にBを蒸着)
↑ '60~'67 II (開発期)	英国 RAE で炭素繊維開発 '65~'67 各国で CM 研究ようやく盛んになる. 工業化進捗 FRR, FRP, FRM, FRC にわたり広汎化 FRP 各種成形品製作
↓ 1967 ↑ 1970 ~1975	複合材料研究会設立 (東京), 第1回 CM シンポジウム 複合材料力学の進歩, 設計法, 試験法, 成形法の進歩 FRP 製釣りざお, パスユニット, 建材, 波板ボード, 工業化炭素繊維 (CF) の国内開発, 生産開始 SMC 技術, 工業化 (日本) CF/Epoxy, GF/Epoxyの航空機, ロケットの主要強度部材へ使用
↓ 1971 ↑ 1972 III (発展期)	米国 Tyco (タイコ) 社でタイコファイバー (Al_2O_3) 開発 米国 DuPont 社, アラミド繊維 Kevlar-49 開発 日本の矢島 SiC 紡糸成功 第1次石油ショック
↓ 1973 ↑ 1975 ↓ 1976	日本複合材料学会創設 (JSCM) 第1回国際複合材料会議 (ICCM-1) 開催 (Geneve Boston) 以後 '78 第2回 (Toronto), '80第3回 (Paris) '82 第4回 (東京)
↓ 1977 ↑ 1978	第1回日ソ複合材料シンポジウム (モスクワ), '79 第2回 (東京) 米国 DuPont 社, Al_2O_3 ファイバー連続繊維成功