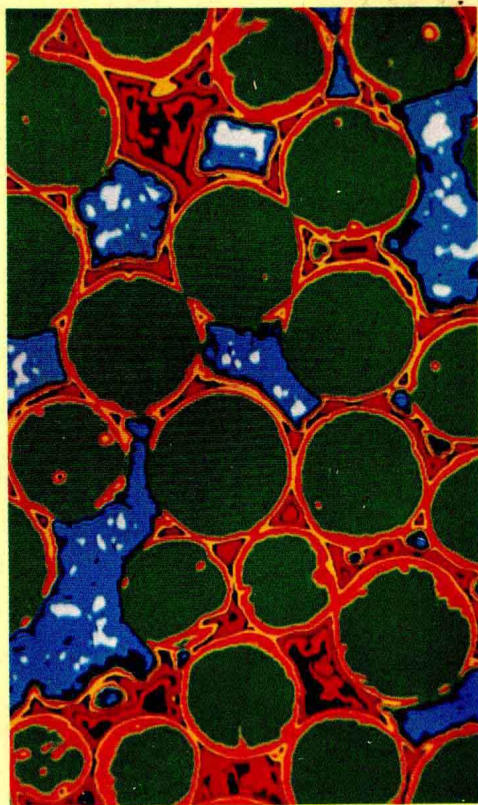


複合材料のはなし

島村 昭治 著



しまむら しょうじ
島村 昭 治

1929年東京に生まれる。1948年東京工業大学専門部機械科卒業。現在、工業技術院機械技術研究所材料工学部長、東京工業大学客員教授。工学博士

著書：フィラメントワインディング（共著，日刊工業新聞社），サンドイッチ構造（共著，同），図解プラスチック用語辞典（共編著，同），複合材料技術集成（共編著，産業技術センター），機械材料学（共編著，共立出版），未来を拓く先端材料（編著，工業調査会）

複合材料のはなし

定価 1400 円

昭和 57 年 11 月 30 日 初 版

検 印
省 略

著 者 島 村 昭 治

発 行 者 森 田 勝 久

発 行 所 産 業 図 書 株 式 会 社

東 京 都 千 代 田 区 飯 田 橋 2-11-3

郵 便 番 号 102

電 話 東 京 (261) 7821 (代)

振 替 口 座 東 京 2-27724 番

© Shoji Shimamura 1982

新日本印刷・昇栄社製本

目次

まえがき

第一章 まず歴史から

古くて新しい複合の思想	2
縄文人と複合	4
古代エジプト人と複合	5
佛像にも複合材料が	7
ジンギス汗と複合	9
その後の複合の歴史	11
木の複合の前史／ゴムの複合の前史／プラスチックの複合の前史／コンクリートの複合の前史	

第二章 なぜ、今、複合材料なのか

材料について間直してみる.....22

材料の世代.....23

複合材料とは何か.....29

複合材料の特長.....31

軽くて強い／似ぬ者夫婦／矛盾の両立／強さが選べる

第三章 複合のしくみを考える

複合効果の分類.....42

強化複合の鍵——強化繊維.....43

ガラス繊維(GF)／カーボン繊維(CF)／ポロン繊維(BF)／
シリコンカーバイド繊維(SCF)／アラミド繊維(AF)／ウイ
スカ

合体の見えない役割——界面.....50

強化複合のしくみ.....52

長繊維強化／短繊維強化／粒子充てん強化／粒子分散強化

機能複合のしくみ.....58

力を弱める／力↓光／力↓電気／熱↓電気／多機能化

第四章 複合材料をどう作るか

合体と生成.....64

合体複合.....67

乾式積層（貼合せ）.....68

湿式積層（濡れ重ね）.....70

混合（混ぜ）.....73

熱硬化性プラスチックの場合／熱可塑性プラスチックの場合／
シタクチックフォーム

含浸（浸ませ）.....76

被覆（かぶせ）.....77

発泡（泡立て）.....78

生成複合.....79

組織制御／生長複合

第五章 複合材料のファミリー

はじめに.....82

第六章 木を複合する

マトリックスと分散質	82
構成素材とその組合せ	83
マトリックスによる分類	85
分散質の形態	86
粉末／粒子／フレーク／線状／層状／立体組織	
分散質による分類	90
分散質の形態による分類／分散質の材質による分類	
その他の分類	92
木を複合する	
もっとも長い複合の歴史	96
天然を複合する	97
木質系複合材料の種類	99
合板	100
その歴史／その種類／その特性／その作り方／特殊合板	
集成材	105
その種類／その作り方	

ファイバーボード.....	107
---------------	-----

その種類と特性／その作り方

パーティクルボード.....	109
----------------	-----

その種類／その作り方

WPC.....	112
----------	-----

その特性／その作り方

木質系複合材の魅力と課題.....	114
-------------------	-----

第七章 ゴムを複合する

複合の複合.....	118
------------	-----

ゴムの種類.....	119
------------	-----

カーボンブラックとその効果.....	122
--------------------	-----

ゴム系複合材料の作り方.....	123
------------------	-----

タイヤはどう作るか.....	125
----------------	-----

その構造／その成形

繊維強化ゴム(FRR)のいろいろな使われ方.....	130
----------------------------	-----

ホース／ベルト／補強膜

機能複合材料	132
--------	-----

第八章 プラスチックを複合する

現在の複合材料のリーダー	136
せんべいとキャラメル	137
なぜ複合するのか	139
より強く、より剛く／形くずれしにくく／幾つかの性能をまとめる	

空の果てから海の極みまで	143
--------------	-----

宇宙／航空機／自動車／工作機械／舟艇／海洋開発／カメラ

その分類	149
その作り方	151
FRPの特性	154
ラミネートフィルム	155

第九章 金属を複合する

おくれてきた複合の時代	160
はじめての実用例——スペースシャトル	161

その種類.....162

繊維強化(FRM).....163

そのむずかしい所／その作り方／いろいろなFRMの強さ

貼合せ.....168

被覆.....169

粒子充てん強化.....171

粒子分散強化.....171

表面酸化法／共沈析法／メカニカルアロイ

粒子強化.....173

一方向凝固.....174

機能複合.....176

吸振フェライト板／耐摩耗合金／集電子材料

第十章 コンクリートを複合する

(付・セラミックの複合)

その種類.....180

鋼繊維強化コンクリート(SFRC).....182

鋼繊維／その施工／その特性

ガラス繊維強化セメント（GRC）.....185

GRC用繊維／その作り方／その特性／その用途

プラスチックコンクリート.....191

ポリマーセメントモルタル／レジンコンクリート／ポリマー含

浸コンクリート

付・セラミックとその複合.....196

第十一章 天然材料にまなぶ複合効果

はじめに.....200

竹にまなぶ.....201

木にまなぶ.....206

骨にまなぶ.....210

繊維強化構造／骨頭部の構造／自分で作り自分で直す

天然材料から何をまなぶか.....215

第十二章 これからについて考える

はじめに.....218

材料第五世代と複合材料	219
たこのできる材料／硬くも柔らかくもなる材料／異常を告げる	
材料／知能材料	
複合材料のサイクル	224
世界の研究開発プロジェクト	230
日本／イギリス／フランス／アメリカ	
参考文献	235

第一章　まず歴史から

人間の智慧はすばらしい。複合材料の源流をさかのぼってゆくと、われわれの祖先縄文人や古代エジプト人にとどりついてしまう。彼らはすでに物を混ぜて丈夫に作ったり、貼り合わせて美しく見せることを知っていた。このような複合材料の川上の物語りは、なぜ複合化したのかという疑問に答えてくれる。それらの技術は皆古くさく見える。しかし、初心忘れるべからずなのである。

古くて新しい複合の思想

複合材料というと大変新しく、そして十分勉強しなければ分からない材料のように思うかも知れない。しかし、この材料は何もコンピューターエージの申し子ではない。そろばんもなかった時代から複合して材料を丈夫にするという考えは芽生えていたのである。

複合材料の定義についてはいずれ説明するので、ここでは単純に『二つ以上の素材を混ぜて固めて作るもの』ぐらいに考えていてほしい。ただ、一言つけ加えておこう。混ぜ合わせるのであるが、混ぜて固めたあとで、もとの素材が区別できなければまずい。少し例は良くないが、米の粉と塩を水で練って作るふつうのせんべいは、複合材料とはいいいにくい、けれどもごまを混ぜたごませんべいは形の上からは立派な複合材料である。このせんべいの話はあとでプラスチックを複合するくだりでまた登場する。

残念ながら、もう東京ではほとんど見られなくなってしまったが、今でも郊外の農家の土蔵などで見かけることができるように、昔の日本の家は土の壁であった。ふつうの家は壁土と呼ばれる粘土の一種を用い、土蔵には粘土に消石灰を加えて強くした「しっくい」を用いるのだが、土であることにはちがいない。しかし、土だけでは弱い。そこで昔の人は幾つかのくふうをした。

もし土壁の家を見たら近づいてのぞいてみよう。壁の傷んだ所を良く見ると、奥の方に竹を細く

割ったものが格子状に編んであるのが見える。これは木舞こまいと呼ばれるもので、壁の下地となっており、これに練った土を塗り込めて土の壁が作られる。さてもう少し良く見ると、壁土の中にわらの刻んだものが混ぜられていることに気づくであろう。土蔵のしっくいの場合、切りわらの代りに糸屑が用いられているが、役割りは同じであって、固まった時に、わらや糸によって土の層を強めているのである。

実はこれはあとで詳しくのべる繊維強化というしくみそのものであって、この土壁は今日の花形の一つである繊維強化複合材料の仲間なのである。

奈良の新薬師寺から春日大社の裏に抜ける辺りは、高畑という部落で、古くは飛火野とひのと呼ばれていたらしいが、今でも古いこわれた築土塀つちへいが残っており、古い奈良のたたずまいをただよわしている。このこわれた築土塀を見ると、ほぼ前にのべた土壁と同じ構造をしている。ただ細く裂いた竹の代りに、細い丸竹や木の小枝が用いられていたりするが、繊維強化であることには変りない。

この築土塀が『青丹あおによし奈良の都の……』の時代までさかのぼれるものかどうかは分からないが、かなり古いものであることは間違いない。このように、複合して物を丈夫に作るという思想は、少しも新しいものではなく、人間が古くから育んできた智慧なのである。

縄文人と複合

文明史と材料との係わりについては、第二章でのべるが、人間が天然材料そのものを、ただ形を変えて使っていた時代をすぎて、天然の資源から必要な部分を抽出して成形し、彼らにとって有用な品物を作った第一歩はやきものである。したがって（人間の）材料史はやきものから始めるのがふつうである。焼物の歴史は古いが、そのもっとも古いものは、現在のところわれわれの祖先が作った縄文土器で、そのもっとも古いものは今から約九〇〇〇年前にさかのぼるといわれている。縄文土器はその特異な形状（第1図）で知られているが、要は粘土を固めて成形し、それを九〇〇度C前後の温度で焼成したものである。



第1図 縄文土器
（長野県藤内遺跡出土（藤内Ⅱ式）
富士見町井戸尻考古館蔵）

この土器を少し気をつけて眺めてみると、すでにその中に複合の思想が芽生えているのが分かる。粘土の中に砂や雲母を意識的に混合しているのである。縄文時代は現在のように遠方から陶土を運んでくることはしないで、おそらく集落の近くから採取して用いたので、たまたまその粘土が砂混じりや雲母混じりであったと考えられないこともないが、今残っている多くの縄文土器を見ると、やはり意識的に砂や雲母が混合さ

れているといわざるをえない。というのは、これらの砂や雲母などの混合は①成形性を良くし、②焼成時のひずみやき裂の発生を防止し、かつ③製品の強度を高めるのに効果的なことが知られているからである。

現在の複合材料でも、細かい粒子を粘い材料と混ぜて、前述の②や③の効果を与えることは良く行なわれている。たとえば、金属系複合材料では、微細な金属酸化物を金属の下地の中に分散させたり、プラスチック系複合材料では、炭酸カルシウムの微粉を樹脂ベースの中に混合したりしている。

これらはいずれも今日的表現でいうと、粒子分散（あるいは充てん）強化というのであるが、この考えも決して新しいものではなく、すでにその萌芽を縄文人に見出すことができるのである。

古代エジプト人と複合

縄文人の家については良く知らない。あるいはその末期には、土壁における繊維強化の思想が芽生えていたのかも知れないが、ここでは目を海外に向けて、人類文明史のはじめに登場してくる古代エジプト人の生活、とくにその家に注目してみよう。

エジプトを象徴するのはピラミッドで、われわれはその壮大さにおどろくが、材料は石であり、それは単に天然の岩石の形を変えたにすぎず、材料技術史的にはやきものより一世代前のものでお

どろくには当らない。それでは家の壁は何で作られていたのだろうか。

古代エジプトの家の壁は、ナイル川の泥（粘土）を固めて日に干した日干しれんがで作られていた。しかし、泥を固めて日に干しただけでは強さが不足する。そこで古代エジプト人が考えついたのは、泥の中に切りわらあるいは麻などの天然繊維の層を混ぜ、なるべく高い圧力で固めることである。これにより、壁材料としてほぼ満足すべきれんがをえることができた。

この方法は、すでに土壁の例で示した繊維強化にはかならない。古代エジプトの頃（紀元前二〇〇〇年当り）からすでに繊維強化の思想はあったのである。

古代エジプトでピラミッド（あるいはそれに並ぶスフィンクス）に次いで有名なのはツタンカーメン（紀元前一三〇〇年頃）である。この若くして死んだ王は、その治世でよりも、墓が今世紀のはじめにアメリカ人カーターによって発掘されるまでほとんど盗掘されていなかったという幸運により有名なのであるが、その目をうばうばかりの数々の副葬品の中にすでに複合材料がある。たとえば、王あるいは王妃が日常の小物を入れていたと思われる小箱がある。それは外から見る限り黒檀であるが、良く見ると黒檀の一枚板ではなく、黒檀と杉の合せ板で作られている。

われわれが今日（ことの善し悪しは別として）木目通しの天井板の下で、神代杉模様の座卓の上で食事できるのも、卓越した積層板製造技術によるもので、木目通しの天井板も神代杉模様もみなプリント合板であり、これらはいずれも現代の複合材料の有力な一群である。しかし、このような積層複合の思想は、すでに古代エジプトにその萌芽を見出すことができるのである。