展 望

エキゾチックファイバー を利用した複合材料

異質の材料を組み合わせ、単体では持合せなかった特性を有する材料を複合材料と呼んでいる。エキゾチックファイバーは、核兵器や航空宇宙技術の開発を背景に、より軽くて強く、高温に耐える複合材料に対する追求から、必然的に生み出されたものである。すなわち、強化プラスチックの強化材として、ガラス繊維以降、ボロン繊維、炭素繊維、ウiskerなどが登場し、さらに金属を補強する方向へ発展しつつある。これらの繊維で強化した複合材料は、比強度、比剛性、耐熱性の面できわめてすぐれた特性を有しており、航空宇宙関係で従来不可能とされていたかような環境での用途を拡大している。

嵯 峨 根 康 生*

1. は し が き

戦後アメリカで国家や軍の支援の下に、航空、宇宙開発、軍関係の用途に対し、ガラス繊維を補強材とした軽量で高性能の強化プラスチック (GRP) の開発が強力に進められた。1950年代にはフィラメントワインディング (FW) 法が確立し、ミニットマンやボラリスのモーターケース、宇宙船ノーズコーン、圧力容器など、大型のFW製品がかなり大量に用いられた。

しかし、これらの分野では、より軽量で剛性と耐熱性のすぐれた材料に対する要求が強く、さらに強力で弾性率の高い繊維と、高温に耐える樹脂の開発が望まれた。またこれらの GRP の思想は、マトリックスとして樹脂

のみに限定せず、強力な繊維を使用して金属を強化し、よりかような条件に耐える新しい耐熱材料の開発へと指向した。1960年代に入り、要望に答え、次々と新しい繊維が登場した。これらの繊維は従来のガラス繊維と区別しエキゾチックファイバーと呼ばれている。

2. 複合材料に使用される繊維

ガラス繊維は、引張り強さがすぐれている割には弾性率が伴わず、その値はほぼアルミニウムに等しい。GRP になると樹脂で薄められるので、繊維を一方向に引きそるえて積層した場合でも、弾性率はアルミニウムに及ばない。しかし第1表¹⁾に示したように、GRP は金属より密度が低いので、比重を加味したメリットを比較すると、

第1表 各種材料の強度特性¹⁾

材 料	比 重 (ρ)	引張り強さ σ (kg/mm ²)	σ/ρ	引張り弾性率 E (kg/mm ²)	E/ρ
高張力鋼	7.9	200	25.6	21,000	2,660
クロム-モリブデン鋼	7.8	90	11.5	21,000	2,700
アルミニウム合金 (24S-T 3)	2.8	45	16.1	7,400	2,640
ガラス繊維-エポキシ (FW $V_f=70\%$)	2.1	136	64.8	6,130	2,920
炭素繊維-エポキシ (高強度品 一方向 $V_f=60\%$)	1.5	130~150	86.7~100	14,000	9,350
ボロン繊維-エポキシ (一方向 $V_f=70\%$)	2.17	196	90.2	29,400	13,540
ボロン繊維-アルミニウム (一方向)	2.66	211	79.5	31,600	11,900

* Yasuo SAGANE 大日本硝子工業株式会社 (229 相模原市宮下 1-2-27) 開発センター所長代理
Composite Materials Using Exotic Fibers

第2表 複合材料用繊維強化材の特性⁽¹⁾

繊維の種類	繊維の材料	融点または軟化点 (°C)	密度 (g/cm ³)	引張り強さ (kg/mm ²)	比強さ (cm × 10 ⁶)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	比弾性係数 (cm × 10 ⁶)	直径 (μ)	実用性
連続繊維									
(広義)	E グラス ^(ロ)	700	2.55	350	14	7,400	290	10	商品
	S グラス ^(ハ)	840	2.49	460	18	8,800	350	10	商品
	4H-1 ^(ニ)	900	2.66	510	19	10,200	380	—	試作品
	熔融石英 (SiO ₂)	1,660	2.19	600	27	7,400	340	35	試作品
多結晶質 繊維	アルミナ (Al ₂ O ₃)	2,040	3.16	210	6.6	17,600	560	—	試作品
	ジルコニヤ (ZrO ₂)	2,650	4.84	210	4.3	35,100	730	—	試作品
	炭素 ^(a)	3,650	1.58	180	11	28,100	1,780	7~10	商品
	炭素 ^(b)	3,650	1.91	220	12	43,600	2,280	8~10	商品
	窒化ホウ素	2,980	1.91	140	7	9,100	480	7	商品
複合繊維	ホウ素/タングステン	2,300	2.63	280	11	38,600	1,470	102	商品
	ホウ素/熔融石英	2,300	2.35	230	10	37,300	1,590	102	試作品
	炭化ホウ素/ホウ素/タング ステン	2,450	2.35	270	12	43,600	1,850	—	試作品
	炭化ケイ素/タングステン	2,690	3.46	210	6.1	47,100	1,360	102	商品
	ホウ化チタン	2,980	—	11	—	4,900	—	—	試作品
金属繊維	タングステン	3,400	19.3	410	2.0	41,500	220	13	商品
	モリブデン	2,620	10.2	220	2.3	36,600	360	25	商品
	Rene 41 ^(ホ)	1,350	8.25	200	2.5	16,900	210	25	試作品
	鋼	1,400	7.75	420	5.3	20,400	260	13	商品
	ベリリウム	1,280	1.83	130	7	24,600	1,350	127	商品
ウイスキー									
セラミック ウイスキー	アルミナ (Al ₂ O ₃)	2,040	3.96	2,110	53	43,600	1,100	3~10	商品
	酸化ベリリウム (BeO)	2,570	2.85	1,340 ^(c)	47	35,200	1,230	10~30	試作品
	炭化ホウ素 (B ₄ C)	2,450	2.52	1,410	56	49,200	1,950	—	試作品
	炭化ケイ素 (SiC)	2,690	3.21	2,110	66	49,200	1,540	<1~3	商品
	窒化ケイ素 (Si ₃ N ₄)	1,900	3.18	1,410	44	38,700	1,210	—	商品
	黒鉛	3,650	1.66	2,000	120	71,700	4,320	—	試作品
金属 ウイスキー	クロム	1,890	7.20	910	13	24,600	340	—	試作品
	銅	1,080	8.91	330	3.7	12,700	140	—	試作品
	鉄	1,540	7.83	1,340	17	20,400	260	—	試作品
	ニッケル	1,450	8.97	390	4.3	21,800	240	—	試作品

注 (a) アメリカ製品, (b) イギリス製品, (c) 曲げ強さ。(イ)表の数値は単位換算に基づく若干の誤差を含む。(ロ) 電気絶縁ならびに一般 FRP 用ガラス。(ハ) 高引張り強さのガラス (Owens-Corning Fiberglass社)。(ニ) アルミナケイ酸ガラスの一種 (Aerojet-General社)。(ホ) 超耐熱ニッケル合金。

金属材料に対する優位性が認められる。その場合でも比強度に比べると剛性のメリットは少ない。このように GRP は、弾性率が小さいために、構造材として使用するとき、肉厚を増加せざるをえず、軽量という特徴が減削される。この点が高弾性の繊維の出現が望まれる理由である。

複合材料に使用される繊維には、次の特性が要求される²⁾。

- (1) 強い強度と高い弾性係数
- (2) 高い比強度と比剛性
- (3) マトリックス材より十分大きい弾性係数
- (4) マトリックス材との接着が良好であること
- (5) マトリックス材と化合物や合金を作らないこと

(6) 耐熱、耐摩耗、耐風化性がすぐれていること

(7) 強度のバラツキが少ないこと

第2表²⁾は現在強化材として利用され、または将来利用される可能性のある繊維を示したもので、第1図は各種複合材料の比強度、比剛性を従来の材料と比較したものである。今回はその中で代表的なものについて紹介する。

3. 炭素繊維と複合材料

炭素繊維はエキゾチックファイバーの中で、最も魅力があり、早期の実用化が期待されているものである。炭素繊維は、セルロース、ポリアクリロニトリル (PAN) などの繊維を数段階の温度で焼成して製造するが^{4),5)}、焼成温度と工程中に加えられる張力によって、製品は低弾

第3表 市販炭素繊維の物性

国 名	メーカ	商 品 名	比 重	引張り強さ (kg/mm ²)	弾 性 率 (kg/mm ²)	直 径 (μ)	原 材 料
アメリカ	ユニオンカーバイド (UCC)	Thornel 25	1.43	120	17,500	—	セルロース系
		40	1.56	170	28,000	6.9	
		50	1.63	200	35,000	6.6	
イギリス	Morganite	Modmor Type I	1.95	140~210	39,000~46,000	7.5	PAN 系
		〃 II	1.80	240~320	25,000~30,000	8.0	
	Courtaulds	Type HM	1.94	175~210	35,000~42,000	7.0~7.5	PAN 系
		〃 HT	1.84	158~263	24,000~28,000	7.5	
日 本	東海電極	サーモロン S-M ₁	1.80	181	42,000	6~13	PAN 系
		S-T ₁	2.00	315	27,000		
	日本カーボン	カーボン Z-1	1.85	220	45,400	6.2	PAN 系
		Z-1	1.75	300	28,000	6.5	
	東 〃	トレカ 高強度	1.77	250~300	26,000~28,000	~8.5	PAN 系
		高弾性	1.95	200~250	35,000~38,000	~8.0	
	呉羽化学	KHF 30	1.71	160	21,000	9.0	ピッチ系
		KHF 65	1.89	350	46,000	6.1	
	日本化薬	黒鉛質	1.80	120	—	12~14	リグニン

性、高強度、高弾性に大別される。熱処理条件は原料によってそれぞれ異なるが、500~1500°C程度で処理したものを狭義に炭素繊維（カーボンファイバー）と呼び、2000°C以上で処理したものを黒鉛繊維（グラファイトファイバー）と称している。複合材料の強化用に使用されるのは、高強度と高弾性繊維で後者に属す。PAN系の繊維は、セルロース系に比べ、同じ弾性率でも強度の強いものが得られることが明らかとなり、大勢はPAN系に傾きつつある。このほかわが国では、原油の高温分解の際生ずるレジナスピッチ⁶⁾やリグニンを原料とした繊維を独自に開発している。第3表に現在市販されている代表的な炭素繊維を示した。これらの繊維を使用し、エポキシ樹脂を強化した複合材料（CFRP）の物性については、多くの報告がなされているが、代表的な例を第1表および第4表⁷⁾に示した。表より明らかとなり、比剛性はGRPや鋼材に比べ3倍以上の値を有しており、構造材料としてきわめて魅力のある材料であることを示している。また疲労特性は、10⁷回のくり返し引張り応力に対し70%以上の保持率を有しており⁸⁾、GRPの場合が30%程度に低下することと比較すると、きわめてすぐれているといえることができる。

CFRPは、このように従来の構造材料にない、すぐれた特性をもっているが、層間せん断強さに関しては、現時点では解決すべき問題を残している。せん断強さは、繊維の表面と樹脂との接着性が影響することが明らかで、ガラス繊維の場合は、カップリング剤で表面処理を

第1図 各種材料の比強度と比剛性

第4表 市販炭素繊維（高弾性品）の特性と複合材料の機械的性質⁷⁾

		2 T X ^{*1}	3 T	4 T	5 T	6 T
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
繊維	弾性率 (kg/mm ²)	12,300±4.9	22,000±4.2	25,500±2.5	33,900±3.5	40,900±4.1
	引張り強さ 長さ 1' (kg/mm ²)	110±10	210±14	242±2.4	276±7.5	289±5.6
	長さ 0.05' (ク)	169±3.7	282±9.4	303±16	345±9.5	345±5.3
密度 (g/cc)		1.80±0.23	1.77±0.2	1.77±0.3	1.83±0.3	1.93±0.4
複合材料 ^{*2}	曲げ強さ (kg/mm ²)	89.5±2.4	148±5.0	141±4.3	147±3.0	130±5.2
	曲げ弾性率 (ク)	7,180±3.9	12,730±2.0	13,700±2.0	17,600±1.5	20,800±2.8
	せん断強さ (ク)	9.3±6.3	11.9±2.0	11.7±6.4	9.7±8.0	7.8±8.3

*1 無処理。他は表面処理, *2 $V_f=60\%$, エポキシ ERLA 4617/MDA。

行なうのが常識となっている。炭素繊維の表面処理についての¹¹⁾は、種々方法があるが、一般には硝酸などで表面を酸化する方法が行なわれている。第4表⁷⁾に CFRP のせん断強さの一例を示した。この値は従来の例に比べると、かなり改良されているが、引張り強さや弾性率に比較すると十分とはいえない。また高弾性の繊維を使用するほどせん断強さが低下するのも、好ましい傾向ではない。耐衝撃性については、表面処理によって、むしろ極端に低下する⁷⁾。この場合も繊維の弾性率の向上に反して、衝撃強さは低下する傾向があり、鳥の飛込みによる損傷が原因で、Rolls Royce 社のジェットエンジンのファンブレードの開発が遅延していることと思われ、今後早急に解決が望まれる。

これらの問題点を有しているにもかかわらず、CFRP が魅力のある材料に変わりはない。これは炭素繊維が、グラファイト特有の性質を有しているからである。たとえばグラファイトは摩擦係数を低下させるための添加剤として使用されてきたが、CFRP の場合も例外ではない。

炭素繊維を各種樹脂に 25~30% 添加することにより、摩擦係数は低下し、摩擦に対しても 1/100 に低下した¹²⁾。その他炭素繊維の特異な性質として、負の膨張係数を有している点があげられる。このことは、複合材料の加熱成形に際し、寸法安定性がよく、また温度変化に対して寸法が変化しない構造物をつくることのできる点に興味がある。

低弾性炭素繊維は、機械的性質の面からみればガラス繊維に劣っており、強化材としての魅力はない。しかし炭素繊維は耐薬品性がきわめてすぐれており、低弾性繊維でもクロム酸と濃硫酸を除き、他のほとんどの薬品に侵されない¹³⁾。このことは GRP の耐食容器の表面層に、ガラス繊維のサーフェーシングマツトを使用するように同種の炭素繊維基材でカバーすれば、より改良された耐食層を形成させることができることを意味している。

現在市販されている炭素繊維基材の中で、フィラメントを 5,000~10,000 本束ねたトウ (tow) が最も一般的

である。これはガラスロービングに形態が似ているが、けば立ちやすくもろいので、取扱に注意が必要である。この点エポキシ樹脂を含浸したプリプレグは取り扱いやすい。そのほかヤーン、クロス、フェルトも市販されている。

CFRP の成形については、GRP の手法がそのまま応用できる。すなわち乾湿両法による FW 成形法、加熱金型による加圧成形などである。Rolls Royce 社のファンブレードはプリプレグシートを加熱した金型中に、軸方向および 45° 方向に交互に積み重ね、加圧成形して製造する⁹⁾。最近市販された新製品に炭素繊維のリボンがある¹⁴⁾。これは高弾性のトウを、ガラス繊維に編み込んだもので、たとえば GRP のボートなどの内面などに、ハンドレイアップ法で格子状に積層し、剛性の向上と肉厚および重量の低減を計ったものである。

4. 複合繊維と複合材料

複合繊維にはタングステン繊維に、ボロンや炭化ケイ素を化学的に蒸着したものがある^{15),16)}。ボロン繊維は 1960 年ごろからアメリカで研究が開始され、1966 年には連続繊維を使用した複合材料が航空宇宙関係の構造材として用いられた。Texaco 社の製品 Borofil は直径 0.5 mil の連続したタングステン線の表面に、ボロンを蒸着させて 0.1 mm の連続繊維としたものである。繊維の特性は第2表に示したように、密度は 2.63、弾性率は 38,600 kg/mm² で、ガラス繊維の約 5 倍の比弾性係数を有している。ボロン繊維で強化したエポキシ樹脂 ($V_f=70\%$) の機械的性質は引張り強さ 196 kg/mm²、弾性率は 29,400 kg/mm²、比強度、比剛性はそれぞれ 90.2 および 13,540 を示している¹⁾。

ボロン繊維は堅くて折れやすいので、複雑な形状の成形に使用するのは適当でない。そのためエポキシ樹脂によるテープ状のプリプレグとして使用することが多い¹⁷⁾。成形法としてはプリプレグテープを金型に積み重ね、注意深く圧力と温度をかけて硬化させるか、あるいは

は FW 法による。

ボロン繊維で金属を強化するときの技術的な問題点は高温にさらされると、金属と反応して繊維の品質が劣化することである。そのためボロン繊維の表面をさらに、炭化ケイ素で被覆する方法が見いだされた¹⁸⁾。金属をマトリックスとした複合材料の製造方法には拡散結合法、プラズマスプレー法などがある。Hamilton 社では、炭化ケイ素で被覆したボロン繊維を、アルミはくを背紙にして一方向に引きそろえ、その上にアルミをプラズマスプレーしたテープを市販している。これを希望する方向に積み重ね、加熱圧縮し一体化する。ボロン繊維強化アルミニウムの機械的性質の一例を示すと、比重2.66、引張り強さ 211 kg/mm²、弾性率 31,600 kg/mm²である¹⁹⁾。

炭化ケイ素繊維についても研究が行なわれた結果、アルミニウム中での劣化はきわめて少ないことがわかった。しかし炭化ケイ素の密度が高いために、複合材料の比強度はボロンの場合より劣っている。

アルミニウム以外の金属に対する強化の研究が進められているが、まだ実用化の域に達していない。

5. ウィスカーと複合材料

ウィスカーは“ひげ結晶”ともいわれ、その機械的性質がほぼ理論値に近いことが発見されてから、世の中の注目を浴びる存在となった。セラミックウィスカーの代表的なものとしては、アルミナ、炭化ケイ素がある。

これらのウィスカーは金属強化に適したいくつかの特徴を有している。すなわち第2表に見られるように、引張り強さはきわめて高く、弾性率はボロン繊維と同等、もしくはそれ以上で、すぐれた耐熱性を有し、高温において金属マトリックスに対して比較的不活性であることである。現在研究が進んでいるのは、アルミナや炭化ケイ素ウィスカーによる、アルミニウムおよびニッケルの強化である。問題点は繊維が不連続で、短いことと、繊維をマトリックス中に配列させることがむずかしいために、補強効果が低下することである。

6. 応 用

エキゾチックファイバーは宇宙開発や航空技術の極限を窮めるため、膨大な国家予算を裏づけに開発されたものであるため、現時点ではきわめて高価で用途はほとんどこの方向の分野に限られている。

アメリカにおいては、ボロン繊維の実用化は炭素繊維より少なくとも数年間は先行しており、年間消費量は1971年に20,000 lb、1974年には30,000 lbに達するものと予想されている¹⁹⁾。現在使用中または試験中のボロン複合材料には、グラマン F-14 の垂直尾翼、ヘリコプター翼、ロッキード C-141 輸送機の主翼の前縁部などがある²⁰⁾。黒鉛繊維は設計データとテストが不足して

おり、使用量は現在まだ数百 lb にすぎない。しかし基礎技術の確立に従って使用量は増加するものと予想されている。現在ノースロップ F-5A 機の前縁部や、スピードブレーキの構造の一部に使用され試験中であり、段階的に採用が計画されている⁵⁾。その他人工衛星構造体の一部にも用いられている²¹⁾。

ボロン繊維および黒鉛繊維は、現在 200~300 \$/lb で販売されているが、原料面で安価な黒鉛繊維の方が、将来コスト面で有利で、25~50 \$/lb になるだろうといわれている¹⁹⁾。

ウィスカーによる金属強化複合材料については、活発に研究が進められているが、まだ実用面で採用される段階には至っていない。しかし1970年代後半には、エンジンの耐熱構造部分に採用され、重要な役割を果たすことになるであろう。

イギリスにおける炭素繊維およびその複合材料は、国家的な組織の下に開発が行なわれており、基礎および応用面では現在世界で最も進んでいる。CFRP の応用面で注目されるものに Rolls Royce 社で開発中の R-B-211 エンジンのファンブレードがある。鳥の衝突による問題点の解決のため、開発が遅れているが、ロッキードのエアバス L-1011 機や超音速機コンコルドに使用が予定されている。その他ゴルフシャフト、ホッケーのストック、クリケットのバット、ボートやカヤックの船殻の補強、など民需用にも力を入れている。イギリス科学技術選考委員会の発表によれば、1970年に年間450 tの工場が建設され、12 \$/lb かそれよりも安い高弾性繊維が生産されるであろうといわれている²²⁾。

わが国における炭素繊維は、1961年に大阪工業試験所、進藤らによって PAN を原料とする研究が始められ、さらに群馬大、大谷らによって、リグニンとビッチを原料とする方法が開発された。これらの研究をもとに、国内数社が企業化しており、基礎的な面では、さほど米英に遅れてはいない。また品質もすぐれたものを供給できる体制にある。しかし航空宇宙関係の背景をもたないわが国では、黒鉛繊維よりも一般的な用途として、耐熱性のパッキング材など低弾性品に主力を置かざるをえなかった。

最近になり、将来の核燃料の不足に対応するため、ウラン濃縮法の確立が国家的な緊急問題となっているが、遠心分離法がガス拡散法より経済的に有利とされ、超高速回転胴体（周速 400 m/sec 以上）に耐える材料として CFRP を使用する計画が進められている²³⁾。これが成功すればわが国の CFRP も飛躍的な発展を遂げることになるであろう。

7. あとがき

以上エキゾチックファイバーによる複合材料について

て、現在実用化され、あるいは実用化に近いものについて、その一端を紹介した。このほかにも実際に使用されているものに、アスベスト、セラミックファイバー、石英ガラスなどがあり、書き足りない面が多々あるが、限られた紙面と拙文のため、十分にまとめられなかったのが残念である。この点深くおわびする次第である。

文 献

- 1) 林 毅：第2回復合材料セミナー [I], 6 (1971)
- 2) 瀬川浄一郎：日本機械学会誌, **71**, [593], 38 (1968)
- 3) H. W. Rauch: *Material Engng.*, **66**, [4], 74 (1967)
- 4) 大谷杉郎：炭素, [50], 32
- 5) W. T. Gunston: *Science Journal*, **39**(Feb., 1969)
- 6) 五味真平：化学工業, [9], 36 (1969)
- 7) R. Prescott: 27 th, SPI, 13-C (1972)
- 8) M. J. Owen, S. Morris: 25 th, SPI, 8-C (1970)
- 9) J. W. Herrick: 23 th, SPI, 16-A (1968)
- 10) R. A. Simon, S. P. Prosen: 23 th, SPI, 16-B (1968)
- 11) D. A. Scola, C. S. Brooks: 25 th, SPI, 13-F (1970)
- 12) J. K. Lancaster: *Brit. J. Appl. Phys*, **2**, [1], 549 (1968)
- 13) 奥田謙介：プラスチック, **23**, [8], 97 (1972)
- 14) *Reinforced Plastics*, 71 (Mar., 1972)
- 15) 河嶋千尋：セラミックス, **23**, [8], 97 (1972)
- 16) F. E. Wawner: *Modern Composite Materials*, 244
- 17) P. W. Janeau: 22 th, SPI, 20-E (1967)
- 18) 森田幹郎：第2回復合材料セミナー テキスト [I], 135 (1971)
- 19) William M. Powers: 26 th, SPI, 8-G (1971)
- 20) 古田敏康：プラスチック, **23**, [8], 17 (1972)
- 21) M. W. Jones: *Canadian Aeronautics Space Journal*, 213 (Jun., 1969)
- 22) アメリカの新しいコンポジット：化学工業調査会編, 4
- 23) 植村益次：機械の研究, **23**, [1], 24 (1971)

高分子学会の図書

高 分 子 材 料 便 覧

今日一般にプラスチックという名で知られている合成高分子物質は、すぐれた数々の特徴によってもてはやされ、近年目ざましい発展を遂げたのは周知のとおりである。いまやこれなくしては、生産活動も日常生活も大いに制約を受けるであろうといわれるほどに多量に製造され、利用されている。そして一見似通っていてもそれぞれ性質を異にし、中には部分的に金属に匹敵する強さを有するものや耐熱性の著しい向上など、物性の改善は目を見張るばかりで、宇宙ロケットに使用されたものがあるほどである。

一方、こうした多くの特長を有する高分子材料も、ひとたび用法を誤れば、その抜群の耐久性、非腐食性のゆえに廃棄物の処理に手を焼き、いわゆるプラスチック公害に悩まされることにもなろう。

すなわちこれを生かすも殺すも使い方しだいである。そのためにはなによりもまず各種樹脂の特性を的確に掌

握しなければならない。

本便覧はこうした社会的要請にこたえて、基礎的事項や実験データを提供し、あわせて製法・用途を解説して選択の際の参考となるように編集されたものである。

記述に際しては原理や数式は最小限にとどめ、実態に即したデータや用例をなるべく多く掲げるように努めた。このため図版・表・構造式などを多数挿入し、学生生徒諸君にもわかりやすく記述する一方、広範に精選された文献・参考書目のリストは、技術者・研究家が望むなら原典にさかのぼることも可能ならしめている。そのほか、索引にはできる限り相当する英語を付して、これのみで和英高分子用語辞典としても役立つように工夫されているのも特徴の一つである。したがって、本書は基礎・応用・製造の各化学分野だけにとどまらず、機械・電気・建築土木・医薬品から印刷塗装に至る広い方面で十二分に活用が可能のように配慮されている。

A 5 判・1370 頁・定価 12,000 円 会員割引価 10,800 円 コロナ社発行

<購入希望される方は直接本会宛お申込み下さい>

購入詳細は A 38 頁をご参照下さい