

機械系 教科書シリーズ 6

---

# 材 料 学 (改訂版)

久保井 徳洋 共著  
博士(工学) 榎原 恵藏

コ ロ ナ 社

## 機械系 教科書シリーズ編集委員会

編集委員長 木本 恭司（元大阪府立工業高等専門学校・工学博士）  
幹 事 平井 三友（大阪府立工業高等専門学校・博士（工学））  
編集委員 青木 繁（東京都立産業技術高等専門学校・工学博士）  
（五十音順） 阪部 俊也（奈良工業高等専門学校・工学博士）  
丸茂 榮佑（明石工業高等専門学校・工学博士）

（2007年3月現在）

## 刊行のことは

大学・高専の機械系のカリキュラムは、時代の変化に伴い以前とはずいぶん変わってきました。

一番大きな理由は、機械工学がその裾野を他分野に広げていく中で境界領域に属する学問分野が急速に進展してきたという事情にあります。例えば、電子技術、情報技術、各種センサ類を組み込んだ自動工作機械、ロボットなど、この間のめざましい発展が現在の機械工学の基盤の一つになっています。また、エネルギー・資源の開発とともに、省エネルギーの徹底化が緊急の課題となっています。最近では新たに地球環境保全の問題が大きくクローズアップされ、機械工学もこれを従来にも増して精神的支柱にしなければならない時代になってきました。

このように学ぶべき内容が増えているにもかかわらず、他方では「ゆとりある教育」が叫ばれ、高専のみならず大学においても卒業までに修得すべき単位数が減ってきているのが現状です。

私は1968年に高専に赴任し、現在まで三十数年間教育現場に携わってまいりました。当初に比べて最近では機械工学を専攻しようとする学生の目的意識と力がじつにさまざまであることを痛感しております。こうした事情は、大学をはじめとする高等教育機関においても共通するのではないかと思います。

修得すべき内容が増える一方で単位数の削減と多様化する学生に対応できるように、「機械系教科書シリーズ」を以下の編集方針のもとで発刊することに致しました。

1. 機械工学の現分野を広く網羅し、シリーズの書目を現行のカリキュラムに則った構成にする。
2. 各書目においては基礎的な事項を精選し、図・表などを多用し、わかり

ii 刊 行 の こ と ば

やすい教科書作りを心がける。

3. 執筆者は現場の先生方を中心とし、演習問題には詳しい解答を付け自習も可能なように配慮する。

現場の先生方を中心とした手作りの教科書として、本シリーズを高専はもとより、大学、短大、専門学校などで機械工学を志す方々に広くご活用いただけることを願っています。

最後になりましたが、本シリーズの企画段階からご協力いただいた、平井三友幹事、阪部俊也、丸茂榮佑、青木繁の各委員および執筆を快く引き受けていただいた各執筆者の方々に心から感謝の意を表します。

2000年1月

編集委員長 木本 恭司

# まえがき

工学の基礎になる機械工学科で、設計、工作の分野にも深くかかわる材料学について学ぶとき、金属材料、高分子材料、無機材料、複合材料など非常に多岐多様な材料を満遍なくこなすと、材料の羅列ではないかと批判されそうである。専門的に深く研究している内容について述べていくと、講義時間の制約から材料のごく一部分だけしか扱うことができない。これにはもちろん講義する者の能力にもよるわけである。

本書は、機械工学科学生に対して行ってきた材料学の講義ノートをもとに加筆・編纂しなおしたものであり、材料学の教科書として利用されることを主たる目的に執筆しているが、ときに際しそれぞれの分野での材料選定のために役立つことができれば幸いである。浅学の者であればこそ、このような広範囲にわたる内容について扱うことができたものと思う。内容については多くの文献で確認をしつつまとめたつもりであるが、不備、不適切な箇所についてのご指摘をお願いする次第である。

卒業後、企業で開発設計部門、生産技術部門のいずれについて仕事をする場合でも、必要とされるものは競合材料、代替材料について金属・非金属のバリエーションの知識である。また、より深く研究するために進学する者については、理論的な展開の強い材料強度学や結晶学、金属物理学、高分子化学、無機化学などを学ぶことを薦める。

本書のあらゆる箇所で、多大な数の専門書、教科書、雑誌、企業カタログ等を参考にさせて頂いた。ここに記して深く謝意を表したい。

2000年3月

著者

## 改訂版の出版にあたって

『材料学』（機械系教科書シリーズ6）が発刊されてから20年以上が経過し、この間、日本産業規格（JIS）の規格は大きく様変わりした。今回の改訂では主にJISの規格を更新した。機械技術者として習得すべき基礎知識は今も昔もほとんど変わらない。これからも本書を用いて機械材料の基礎知識を学び、JIS規格を参照しながら用途に応じた適切な材料選定ができるようになることを願っている。

2023年3月

著 者

# 目 次

## 1. 総 論

1.1	機械材料の分類と規格	1
1.2	設計と材料選定	2
1.3	材料の試験および検査法	4
1.3.1	硬 さ 試 験	5
1.3.2	引 張 試 験	5
1.3.3	衝 撃 試 験	7
1.3.4	疲 勞 試 験	8
1.3.5	ク リ ー プ 試 験	9
1.3.6	加 工 性 試 験	10
1.3.7	非 破 壊 検 査	10
1.3.8	金 属 組 織 観 察	11
1.3.9	成 分 分 析	12
	演 習 問 題	13

## 2. 金 属 材 料

2.1	金属の結晶構造とその性質	14
2.1.1	金属材料とは	15
2.1.2	結 晶 構 造	15
2.1.3	結晶面および結晶方向の表示法	20
2.1.4	固溶体および金属間化合物	23
2.1.5	結晶構造の欠陥	25
2.1.6	金属のすべりと変形双晶	28
2.1.7	回復および再結晶	32

2.2	平衡状態図	35
2.2.1	金属の融解と凝固	36
2.2.2	結晶粒の生成と成長	36
2.2.3	基本状態図	37
2.2.4	Fe-C系状態図と組織	43
2.3	熱処理	48
2.3.1	鋼の変態	48
2.3.2	鋼の熱処理方法	51
2.3.3	その他の表面硬化処理	56
2.3.4	非鉄金属材料の熱処理	57
2.4	構造用金属材料	60
2.4.1	分類	61
2.4.2	一般構造用圧延鋼材	62
2.4.3	溶接構造用圧延鋼材	63
2.4.4	高張力鋼	64
2.4.5	機械構造用炭素鋼	65
2.4.6	機械構造用合金鋼	66
2.4.7	快削鋼	67
2.4.8	ばね鋼	68
2.4.9	展伸用銅合金	69
2.4.10	展伸用アルミニウム合金	71
2.4.11	チタン合金	75
2.5	鑄造用金属材料	78
2.5.1	鑄鉄	78
2.5.2	鑄鋼品	83
2.5.3	鑄造用Cu合金	83
2.5.4	鑄造用Al合金	85
2.5.5	ダイカスト	86
2.6	工具用金属材料	88
2.6.1	工具鋼	88
2.6.2	焼結超硬工具	95
2.7	耐食材料	96



2.7.1	ステンレス鋼	97
2.7.2	表面処理鋼板	105
2.7.3	防食設計	107
2.8	耐熱金属材料	108
2.8.1	高温酸化	109
2.8.2	クリーブ現象	110
2.8.3	拡散速度	111
2.8.4	耐熱鋼	112
2.9	特殊機能金属材料	116
2.9.1	易融合金	116
2.9.2	磁性金属材料	118
2.9.3	形状記憶合金	120
2.9.4	アモルファス合金	121
	演習問題	123

### 3. 高分子材料

3.1	プラスチック材料	128
3.1.1	プラスチックの分類	128
3.1.2	プラスチックの通性	129
3.1.3	性能への影響因子	132
3.1.4	プラスチックの成形加工	132
3.1.5	プラスチックの機械加工	135
3.2	エラストマー材料	136
3.2.1	ゴムの分類	137
3.2.2	ゴムの基本的な特性	137
3.2.3	汎用ゴム	139
3.2.4	特殊ゴム	139
3.2.5	熱可塑性エラストマー	141
3.3	接着剤	142
3.3.1	接着・接合のメカニズムとその機能	142
3.3.2	接着剤の分類	143

演習問題	149
------	-----

## 4. セラミックス材料

4.1 セラミックスの分類	153
4.1.1 セラミックスの分類法	153
4.1.2 酸化物系セラミックス	153
4.1.3 炭化物系セラミックス	154
4.1.4 窒化物系セラミックス	154
4.2 セラミックスの製造プロセス	155
4.2.1 原料粉体の製造・調整	155
4.2.2 成形品の製造	156
4.2.3 焼成品の製造	156
4.2.4 機械加工	157
4.3 機械材料としてのセラミックス	158
4.3.1 アルミナ	159
4.3.2 窒化ケイ素	159
4.3.3 ジルコニア	160
4.3.4 窒化アルミニウム	161
4.3.5 炭化ケイ素	162
4.4 光学材料としてのセラミックス	163
4.4.1 強化ガラス	164
4.4.2 耐熱性ガラス	165
4.4.3 光ファイバ	167
4.4.4 フォトクロミックガラス	168
4.5 耐熱材料としてのセラミックス	169
4.5.1 耐火物	169
4.5.2 断熱材	174
4.5.3 各種材料の熱的物性	174
演習問題	175

## 5. 複 合 材 料

5.1	プラスチック基複合材料	176
5.1.1	FRP の 製 造	178
5.1.2	異方性と積層	180
5.2	金属基複合材料	184
5.2.1	繊維強化合金の製造方法と特性	184
5.2.2	粒子分散強化合金の製造方法と特性	186
5.2.3	一方向凝固共晶合金の製造方法と特性	186
5.2.4	クラッド材	187
5.3	セラミックス基複合材料	188
5.3.1	繊維強化セラミックス	189
5.3.2	粒子分散強化セラミックス	189
	演習問題	190
	引用・参考文献	191
	演習問題解答	194
	索 引	199

# 総論

## 1.1 機械材料の分類と規格

機械材料は用途の面から、機械構造物に使用する材料、機械部品に使用される材料、機械工作のための工具材料などと定義することもできる。

また、材料の化学的な成分の面から、金属材料、有機材料（高分子材料）、無機材料（セラミックス）に分類されることもある。最近の技術の向上によって、これらの境界を越えた複合材料の分野での新素材、新材料が開発されている。

分類の系統の細分では、つぎの表 1.1～表 1.3 のようになっている。材料の規格については、本書では JIS を基本とした。

表 1.1 工業材料の分類（金属材料）

金属材料	鉄鋼材料	普通鋼	一般構造用，機械構造用
		合金鋼	溶接構造用，耐候性鋼，高張力鋼， 工具鋼，ステンレス鋼，耐熱鋼， ばね鋼，軸受鋼，快削鋼
	非鉄金属材料	Al 合金	Al 合金展伸材，鋳物用 Al 合金
		Cu 合金	Cu 合金展伸材，鋳物用 Cu 合金
		Ni 合金	耐熱材料，耐食材料，電気材料，磁性材料
		Ti 合金	耐食性合金，耐熱合金

表 1.2 工業材料の分類（非金属材料）

非金属材料	高分子材料	プラスチック	熱硬化性樹脂，熱可塑性樹脂，汎用エンブレ，スーパーエンブレ
		ゴム	天然ゴム，汎用合成ゴム，特殊合成ゴム
		接着剤	瞬間接着剤，嫌気性接着剤，ホットメルト，溶剤形接着剤，水性形接着剤，感圧形接着剤，二液混合形接着剤
	無機材料	ガラス	光ファイバ，強化ガラス，結晶化ガラス，フォトクロミックガラス
		耐火物	れんが，耐火断熱材，保温材
		セラミックス	エンジニアリングセラミックス，エレクトロニックセラミックス，オプトセラミックス，バイオセラミックス

表 1.3 工業材料の分類（複合材料）

複合材料	金属基複合材料	粒子分散強化金属（サーメットを含む），繊維強化金属（FRM），クラッド材料，一方向凝固共晶合金，多孔質金属
	プラスチック基複合材料	繊維強化プラスチック（GFRP，CFRP，AFRP） ゴム系複合材（タイヤ）
	セラミックス基複合材料	繊維強化セラミックス（FRCe）， 粒子分散強化セラミックス，ウイスキー強化セラミックス

## 1.2 設計と材料選定

構造物や装置の設計をする際に、金属、ポリマー、セラミックス、複合材料などから選定するには、これらの材料特性と使用環境を十分に把握しておかなければならない。

設計において、ベースとなる構造物の部材や機械装置の部品は構造用炭素鋼を用いる。特定の部材や部品では、ステンレス鋼やアルミ合金、銅合金、ニッケル合金、チタン合金などが用いられる。このとき、異種金属を組み合わせる場合には、電池作用による腐食の可能性を考えておかなければならない。場合によっては絶縁材料を間に挟まなければならないこともある。このために、設

計を一部手直ししなければならないことにもなる。

設計の決め手となる材料特性についての重要なデータも、使用される状態で試験されたものではないことに留意すべきである。金属材料の成分組成にしても、溶湯の成分組成であって部材や部品そのものの成分組成ではない。また、標準試験片での熱処理の効果は、実際の部材や部品になると形状およびサイズによって大きく異なってくる。部材の強度については材料力学に基づいて行われているが、その対象物である材料には完全なものはないという意識を持たねばならない。材料試験でのテストピースと、部材や部品との形状およびサイズの違いによる効果は、単に応力に断面積を乗じた値を強度として計算できるものではない。寸法効果や亀裂の存在をパラメータとして取り入れていなければ、事故を避けることは不可能となる。材料強度学（破壊力学）に基づき、切り欠きのない部材が破壊する前に降伏するかどうか、破壊が脆性破壊かまたは延性破壊かを検討しておくべきである。

構造物に亀裂が発生し、これが成長して破壊に至る箇所として、材料の組織変化の著しい箇所や不均一な応力の作用する接合部などがある。このような特異点をなくすような設計をしなければならない。

一般的な材料では、安全率という考え方を取り入れることで、静的荷重下における設計が行われている。しかし動的荷重による疲労では、引張強さよりはるかに低い作用応力で破壊することが多い。また、衝撃荷重による破壊も予測しがたいものである。腐食環境が重なると、さらに破壊は予想外の速さで起こる。特に応力腐食割れの危険を知らなければならない。

最近では、成形加工や組立加工などの製造コストを大幅に低減することができるために、金属からプラスチックへの代替が多くなってきた。軽量で耐食性に優れている点で、ステンレス鋼やアルミ合金の競合材料として十分な価値がある。しかし、プラスチックによる設計では、金属やセラミックスに比べて耐熱性が低い点が難点である。そこで剛性と強度と靱性が高い繊維強化プラスチック（FRP）の製造によって、プラスチックの強度の向上を図った。複合材料の部材はオーダーメイドであるので、設計には十分な応力解析を行って

なければならない。

セラミックスは耐熱性，耐食性，耐摩耗性，高硬度という優れた特性を持った材料である。これを構造用材料として取り入れる場合は，内部に気泡や欠陥を含み，つねに強度の大きなばらつきがある脆性材料であることを考えて扱わなければならない。単なる金属の代替品として設計に取り入れるのではなく，安全を確保するには統計的手法を使用しなければならない。

特性に対する信頼性に欠ける点と，耐久性に関するデータの不足のために，新材料を積極的に設計に取り入れる例は少ない。新材料・新素材の採用によって製造コストが高くなることもありうるので，コストパフォーマンスは非常に重要である。製品のコストは，材料コストと製造コストに左右される。これまでにない機構の設計や，製造方法と組立方法の選定によって，コストパフォーマンスを上げることを選ぶべき場合もある。

### 1.3 材料の試験および検査法

材料を大きく分けると金属材料，非金属材料，複合材料の3種類になるが，その金属も鉄鋼材料と非鉄金属材料とに分けられる。また，非金属材料は高分子材料と無機材料とに分けられる。機械や構造物を設計し製造する場合，これらの種類の材料から最適な材料を選び出さねばならない。その際，規格によって分類された材料の中から選択できれば非常に便利になる。

それらの材料を構造物や機械部品として使うときに，材料の機械的性質と呼ばれる材料の強さ，硬さ，ねばり強さなどのデータが必要となる。このデータを得るために，試験片を用いて行われるのが材料試験である。分類された材料によって試験片の形状寸法，試験機の種類や，試験の方法も異なってくる。

広く行われている試験としては引張試験，曲げ試験，硬さ試験，衝撃試験，加工性試験などがあり，それらの試験方法は，JISなどの規格によって規定されている。

この節では，金属材料に関する試験方法を取り上げて，それによって知り得

る材料特性について理解を深めることを目標とする。

### 1.3.1 硬 さ 試 験

硬さは、最も硬い物質であるダイヤモンドを基準にして比較する。

金属材料の場合、硬い基準のもの（圧子という）として焼入れ硬化した鋼球を用い、これを試験片に力を加えて押しつけると試験片表面に凹み（圧痕）ができる。その圧痕の深さ、または直径を計ることで材料の硬さを表すことができる。軟らかい材料の圧痕は深く、また圧痕の直径は大きくなる。非常に硬い材料の場合、鋼球の圧子では圧痕がほとんどつかない。圧子の材料を最も硬いダイヤモンドにし、圧子の形状を円錐型またはピラミッド型のものに変えれば圧痕が深くなる。ロックウェル硬さ試験機、ビッカース硬さ試験機、ブリネル硬さ試験機などはこのタイプの試験機である。

ここで使われる試験片は、平行平面に切り出された小さいものである。これらの試験機は、除振台の上に置かれて持ち運びはできない。もっとコンパクトにして現場で使えるものが必要な場合がある。また、平行平面に切り出さなくとも製品のままの形で測定できればより便利になる。そのような場合には、鋼球の自然落下による跳ね返りを利用する。反発係数が大きい硬い材料だと、鋼球がよく跳ね上がる。跳ね上がった高さで硬さを表すのをショア硬さ試験機という。

### 1.3.2 引 張 試 験

材料に引張力を加えると、材料は伸び変形をし終りには破断してしまう。引張荷重と伸びとの関係を示すグラフが**荷重-伸び線図**と呼ばれるものである。このグラフのピーク値を試験片の断面積で割った値が**引張強さ**と呼ばれるものである。破断するときの力の大きさをその断面積で割った値は**破断強さ**と呼ばれる。試験片が伸びるにつれて、一部分が細くくびれてくる場合がある。このような材料では、破断時の荷重はピーク値よりも低下しているのが普通である。硬い材料の場合にはくびれがほとんどなく、破断強さがピーク値となる。ど



# 索引

<b>【あ】</b>	エステル系 TPE	142	拡散焼なまし	53	
アウレニウスの法則	109	エネルギー弾性	138	核生成	36
亜共晶合金	42	エマルジョン	144	核の芽	36
亜共析鋼	47	エラストマー	136	加工硬化	32
アコースティック エミッション	11	エレクトロクロミック	169	荷重-伸び線図	5
圧縮成形法	133	塩基性酸化物	170	加速クリープ	111
アドバンスドセラミックス	152	遠心成形法	180	加速酸化	109
アノード防食	108	遠心鑄造法	78	カソード防食	108
アミド系 TPE	142	エントロピー弾性	138	金型鑄造法	86
網目状セメントタイト	49	エンブラ	128	下部降伏点	6
アモルファス	37	<b>【お】</b>		下部ベイナイト	51
アモルファス合金	121	オイルテンパー線	69	加硫	138
アルクラッド	71	オイルテンパーリング	69	カレンダー成形法	134
アルニコ磁石	118	応力に関する複合則	181	カロダイジング	106
アルミニウム青銅	69, 85	応力腐食割れ	69, 104	感圧型接着剤	148
安定化ジルコニア	161	押し出し成形法	134	含浸れんが	170
<b>【い】</b>		オーステナイト	46, 97	完全焼なまし	53
イオン交換による強化法	165	オーステナイト系 ステンレス鋼	100	<b>【き】</b>	
一方向凝固法	186	オーステナイト系耐熱鋼	114	機械構造用合金鋼	66
一般構造用圧延鋼材	62	オーステンパー処理	50	機械構造用炭素鋼	65
異方性材料	176	オレフィン系 TPE	141	機能性材料	116
インフレーション成形法	134	<b>【か】</b>		吸収エネルギー	8
<b>【う】</b>		快削黄銅	69	球状化焼なまし	54
ウレタン系 TPE	141	快削鋼	68	球状黒鉛鑄鉄	81
<b>【え】</b>		回復	32	球状セメントタイト	54, 90
永久磁石用材料	118	化学気相法	168	球状パーライト	54
液相線	38	過共晶合金	42	凝固	24
		過共析鋼	47	凝固点	36
		拡散結合法	185	共晶型状態図	40
		拡散現象	111	共晶合金	41
		拡散の活性化エネルギー	111	共晶点	40
				共晶反応線	40
				共析鋼	47
				共析反応	44

共析変態	49	黒鉛	80	初析セメンタイト	49
強力ステンレス鋼	103	黒心可鍛鑄鉄	82	初析フェライト	49
キルド鋼塊	65	固相線	38	シリコナイジング	106
金属間化合物	24, 42	ゴム	136	シルジン青銅	85
金属基複合材料	184	ゴム系接着剤	144	シルミン	84
		ゴム磁石	118	靱性鑄鉄	82
<b>【く】</b>		ゴム状プラスチック	138	浸炭鋼	67
クリープ	9, 110	ゴム弾性	138	浸炭処理	56
——の活性化エネルギー	111	固溶体	24	浸透探傷法	11
クリープ曲線	110	コールドチャンバ	86	侵入型固溶体	24
クリープ破断試験	9	混合接着剤	144		
クリープ破断強さ	111			<b>【す】</b>	
クロマイジング	106	<b>【さ】</b>		水溶性接着剤	144
クロール法	75	再結晶	32	スチレン系 TPE	141
		再結晶粒	33	ステンレス鋼	96
<b>【け】</b>		サブゼロ処理	56	スーパーオーステナイト	
形状記憶効果	120	サーメット	96, 116	ステンレス鋼	105
形状記憶合金	120	酸性耐火物	170	スーパーステンレス鋼	105
結晶	15	残留オーステナイト組織	56	スーパーフェライト	
結晶化ガラス	166			ステンレス鋼	105
結晶格子	15	<b>【し】</b>		スプレーアップ法	178
結晶粒	15	シアノアクリレート系		スポンジチタン	75
結晶粒界	15, 36	接着剤	147	スラッシュ成形	134
ケルメット	117	シエラダイジング	106		
嫌気性接着剤	146	軸受用合金	117	<b>【せ】</b>	
		軸比	19	成形材料	133
<b>【こ】</b>		時効硬化	57	青銅	85
高温焼戻し	56	時効処理	48, 98	析出硬化	57, 98
合金	23, 35	自己焼なまし	85	析出硬化型ステンレス鋼	
合金工具鋼	88	指数則クリープ	110		103
高 Cr フェライト系耐熱鋼	113	質量効果	54, 65	積層欠陥	27
		磁粉探傷法	11	積層材	183
格子間原子	25	射出成形法	133	積層成形法	134
格子欠陥	25	重力鑄造法	78	ゼーゲルコーン	173
格子定数	16	樹枝状晶	36	接着強さ	143
孔食	104	シュミット因子	29	接着力	143
構造用鋼	61	ジュラルミン	71	セメンタイト	43, 79
構造用接着剤	146	純チタン	75	セメンテーション	106
高速工具鋼	88, 92	焼結	95	遷移温度	8
高透磁率材料	119	晶出	37	繊維強化合金	184
降伏応力	6	焼成れんが	170	繊維強化プラスチック	177
降伏点伸び	6	上部降伏点	6	遷移クリープ	110
		上部ベイナイト	51	線欠陥	25

全率固溶型状態図	38	超合金	114	熱硬化性樹脂	177
<b>【そ】</b>		超硬合金工具	95	熱硬化性樹脂系接着剤	143
相	35	超高速工具鋼	93	熱硬化性プラスチック	128
相互侵入網状構造	141	調質	71	熱衝撃抵抗性	171
双晶方向	31	調質処理	65	熱弾性型	120
双晶面	31	超塑性合金	7	熱的スポーリング	171
<b>【た】</b>		長大分子	127	ネーバル黄銅	69
ダイカスト法	78, 86	超弾性	120	粘弾性体	138
耐火度	173	超々ジュラルミン	71	<b>【は】</b>	
耐火物	169	<b>【つ】</b>		ハイテン鋼	64
対称積層	184	疲れ限度	9	白心可鍛鑄鉄	82
体心立方格子	16	強さの複合則	183	白 鉄	82
ダイス鋼	95	<b>【て】</b>		白鑄鉄	78, 82
耐スポーリング性	171	低温焼戻し	56	箔冶金法	186
第二世代変性アクリル系		定常クリープ	110	刃状転位	25
接着剤	147	低熱膨張ガラス	166	はだ焼鋼	66
体積含有率	181	定融点合金	40	破断強さ	5
耐熱ガラス	165	転位	25	発泡成形法	135
耐熱セラミックス	169	電気めっきブリキ板	106	パテンティング処理	69
耐摩不変形鋼	95	点欠陥	25	バナジウムアタック	110
耐 力	6	テンパーカーボン	82	ばね鋼材	68
多結晶	15, 36	<b>【と】</b>		バビットメタル	117
脱亜鉛腐食	71	トタン板	106	パーマロイ	119
タフピッチ銅	69	トランスファ成形法	133	パーライト	46
ターボチャージャロータ	160	<b>【に】</b>		パーライト可鍛鑄鉄	82
単結晶	36	二次硬化	92	パーライト変態	49
ターンシート	106	二次再結晶	34	はんだ	116
単 層	183	二相ステンレス鋼	98	ハンドレイアップ法	178
炭素鋼	62	ニトリルゴム系接着剤	147	反応型接着剤	148
炭素工具鋼	88	ニューセラミックス	153	反応射出成形	138
<b>【ち】</b>		<b>【ね】</b>		<b>【ひ】</b>	
置換型固溶体	24	ねずみ鑄鉄	78	ピアノ線材	69
窒化处理	57	熱影響部	64	光硬化性樹脂	147
窒化用鋼	67	熱可塑性エラストマー	141	光ファイバ	167
中間焼なまし	53	熱可塑性樹脂	178	非晶質	37
注型法	135	熱可塑性樹脂系接着剤	143	ひずみ取り焼なまし	53
中性耐火物	170	熱可塑性プラスチック	128	引張強さ	5
稠密六方格子	19	熱間加工	32	ヒートチェック	95
超音波探傷法	11			非破壊検査	10
				疲労破壊	8

<b>【ふ】</b>		母材	176	融点	36
ファインセラミックス	153	ホットチャンバ	86	<b>【よ】</b>	
フィックの拡散第一法則	111	ホットメルト接着剤	145	溶剤溶液型接着剤	144
フィラメント		ポリゴニゼーション	33	溶接構造用圧延鋼材	63
ワインディング法	180	ホワイトメタル	117	溶接構造用耐候性熱間	
フィルム型接着剤	145	ボンド部	64	圧延鋼材	63
風冷による強化法	164	<b>【ま】</b>		溶融亜鉛めつき鋼板	106
フェライト	45, 97	マッチドダイ成形法	180	溶融浸透法	185
フェライト系ステンレス鋼	98	マルテンサイト系		溶融鉛めつき鋼板	106
ステンレス鋼	98	ステンレス鋼	98	<b>【ら】</b>	
フェライト系耐熱鋼	112	マルテンサイト系耐熱鋼	113	ラウタル	85
フェライト磁石	118			らせん転位	26
フォトクロミックガラス	168	マルテンサイト組織	51	ラテックス	144
吹込み成形法	134	マルテンサイト変態	51	<b>【り】</b>	
複合	176	<b>【み】</b>		粒界腐食	104
複合材料	176	ミラー指数	20	硫化腐食	110
不焼成れんが	170	ミラー-ブラヴェ指数	20	粒子分散強化合金	186
普通焼入れ	55	<b>【む】</b>		臨界硬さ	55
不動態化	97	無機接着剤	147	臨界せん断応力	29
部分安定化ジルコニア	161	無酸素銅	69	臨界直径	55
ブルズアイ	80	無溶剤型接着剤	145	リン脱酸銅	69
粉末冶金法	185	<b>【め】</b>		<b>【れ】</b>	
<b>【へ】</b>		面欠陥	25	冷間加工	32
平衡状態図	35	面心立方格子	17	レイリー散乱	167
ベークライト	130	<b>【や】</b>		レデブライト	46, 79
ペースト成形法	134	焼入れ	48, 54	れんが	170
変形	28	焼入れ性	93	連続引抜き成形法	180
変形双晶	28, 31	焼なまし	32, 48, 52	<b>【ろ】</b>	
変形帯	30	焼ならし	48, 52	ろう付け合金	116
<b>【ほ】</b>		焼戻し	48, 56	ローエックス	85
方位	20	<b>【ゆ】</b>			
砲金	85	融体	46		
方向性ケイ素鋼板	119				
放射線探傷法	11				
ホウロウ	106				
<b>【c】</b>		CPチタン	75	<b>【F】</b>	
CFRP	135	cross elasticity effect	183	Fe <sub>3</sub> C	43, 79
coupling effect	184			Four-One	95

<p><b>【G】</b></p> <p>GFRP 135</p> <p>GP ゾーン I 58</p> <p>GP ゾーン II 59</p> <p>griffith flaw 164</p> <p><b>【H】</b></p> <p>H 鋼 66</p> <p><b>【I】</b></p> <p>in-situ composite 186</p> <p><b>【L】</b></p> <p>L 方向の弾性率に関する 複合則 181</p>	<p><b>【M】</b></p> <p><math>M_f</math> 点 55</p> <p><math>M_s</math> 点 55</p> <p><b>【S】</b></p> <p>SK 値 173</p> <p>S-N 曲線 9</p> <p><b>【T】</b></p> <p>TTT 曲線 49</p> <p>TTT 曲線のノーズ 50</p> <p>T 方向の弾性率に関する 複合則 182</p>	<p><b>【U】</b></p> <p>UV 硬化性接着剤 147</p> <p><b>【Y】</b></p> <p>Y 合金 85</p> <p><b>【Z】</b></p> <p>zone melting 187</p> <p>~~~~~</p> <p>475°C 脆化 104</p> <p><math>\alpha</math> 合金 76</p> <p><math>\alpha + \beta</math> 合金 76</p> <p><math>\beta</math> 合金 76</p> <p><math>\sigma</math> 相脆化 104</p>
--	---	---

**久保井 徳洋** (くほい のりひろ)  
1968年 東京理科大学理学部物理学科卒業  
1968年 和歌山県立大成高等学校教諭  
1969年 和歌山工業高等専門学校助手  
1981年 和歌山工業高等専門学校助教授  
2007年 和歌山工業高等専門学校退職

**樫原 恵藏** (かしはら けいぞう)  
1989年 徳島大学工学部精密機械工学科卒業  
1991年 徳島大学大学院修士課程修了  
(精密機械工学専攻)  
1991年 和歌山工業高等専門学校助手  
1996年 博士(工学)(徳島大学)  
2006年 和歌山工業高等専門学校助教授  
2007年 和歌山工業高等専門学校准教授  
2012年 和歌山工業高等専門学校教授  
現在に至る

## 材 料 学 (改訂版)

Introduction to Engineering Materials (Revised Edition)

© Norihiro Kuboi, Keizo Kashihara 2000, 2023

2000年4月28日 初版第1刷発行

2023年4月28日 初版第19刷発行 (改訂版)

検印省略

著 者 久保井 徳洋  
樫原 恵藏  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 新日本印刷株式会社  
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.  
Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04486-7 C3353 Printed in Japan

(鈴木)



**ICOPY** <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。