機械系 教科書シリーズ 26

材 料 強 度 学

工学博士 境田 彰芳 編著
工学博士 上野 明
工学博士 磯西 和夫
工学博士 西野 精一
博士(工学) 堀川 教世
共著

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）

刊行のことば

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

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

材料強度学は機械・構造物やそれらを構成する材料に外力が加わった際に生じる変形や破壊を扱う学問であり，「機械系 教科書シリーズ」で既刊の「材料力学」や「材料学」とも密接に関係している。

材料内部に欠陥やき裂が存在しない弾性体に外力が作用した状態での変形や応力分布を取り扱う「材料力学」のみならず，さらにこれらの現象を解析的に厳密に取り扱う「弾性力学」，実際に使用される材料の内部には種々の欠陥が存在し，破壊はそれらの欠陥からき裂の発生・進展過程を経て生じることから，き裂あるいはき裂状欠陥を扱うためには「破壊力学」的取扱いも材料強度学では必要であるとともに，現象によっては「塑性力学」にも関係する。

機械・構造物の使用環境も多岐にわたっており，適切な材料選択が必要であるとともに，機械・構造物を構成する材料の強度は構造敏感な性質をもっていることから，材料の微視的な構造や特性が材料の変形や強度とどのように関連しているかを知る必要があり，「材料学」や「金属工学」の知識も必要である。

材料強度学は上に示した領域以外にも，例えば，確率・統計的な取扱いが必要であり幅広い分野の知識が必要であるが，本書は材料強度学の基本的な考え方や取扱い手法をわかりやすく解説したものである。紙面の都合で省略している項目もあり，詳細については巻末の引用・参考文献で発展的に学習してほしい。

執筆にあたってはこれまでに刊行されている多くの専門書,教科書,論文などを参考にさせていただいたことに深く感謝するとともに，いずれも内容が精選され適切な記述がなされていることに改めて感心し,執筆の難しさを痛感した。

各章の執筆担当は以下のとおりである。

1，6章	境田　彰芳	（明石工業高等専門学校）
2章	磯西　和夫	（滋賀大学）
3章	堀川　教世	（富山県立大学）
4章	上野　　明	（立命館大学）
5章	西野　精一	（阿南工業高等専門学校）

（所属は2011年3月現在）

最後に，著者の一人が本シリーズの執筆機会を与えられてからかなりの年月が経過してしまい，編集委員会やコロナ社の方々には多大なご迷惑をおかけしたことをお詫びいたしますとともに，暖かく見守っていただいたことに心から感謝申し上げます。

2011年3月

著　　者

目　　次

1.　は じ め に

1.1　材料強度学について……1
1.2　本 書 の 構 成……3

2.　静的荷重下での変形と強度，破壊

2.1　静 的 強 度 と は……4
2.2　静的試験における変形挙動 応力-ひずみ線図……7
2.2.1　弾性変形とフックの法則……7
2.2.2　降　　伏……9
2.2.3　加 工 硬 化……10
2.3　すべりと塑性変形……12
2.3.1　金属のすべり変形……14
2.3.2　単結晶の単軸負荷時のせん断応力……16
2.3.3　理 想 強 度……17
2.3.4　すべり変形と転位……20
2.4　材料の強さの制御……25
2.4.1　加 工 硬 化……25
2.4.2　結晶粒微細化による強化……27
2.4.3　固 溶 強 化……29
2.4.4　析出強化および分散強化……31
2.5　延性，じん性，ぜい性……34
2.6　破　　壊……36
2.6.1　延 性 破 壊……37

2.6.2 ぜ い 性 破 壊 …… 38
演 習 問 題 …… 39

3. 破壊力学概説

3.1 応力またはひずみを用いた破壊基準 …… 41
3.2 弾性力学の基礎 …… 42
3.2.1 力のつりあいと応力の平衡方程式 …… 42
3.2.2 変位とひずみの関係 …… 44
3.2.3 応力とひずみの関係 …… 46
3.3 き裂先端の応力場と応力拡大係数 …… 49
3.4 き裂先端の塑性域 …… 56
3.4.1 アーウィンの補正 …… 56
3.4.2 ダグデールの補正 …… 59
3.4.3 き裂先端の塑性域の形状 …… 61
3.5 エネルギー解放率 …… 63
3.6 平面ひずみ破壊じん性試験 …… 72
演 習 問 題 …… 75

4. 疲 労 強 度

4.1 疲労に関する研究の歴史 …… 76
4.1.1 J. Albert の仕事 …… 76
4.1.2 J. Wöhler の仕事 …… 77
4.2 歴史的に有名な疲労事故の例 …… 78
4.2.1 コメット機の墜落事故 …… 78
4.2.2 日本航空 B747SR 型機の墜落事故 …… 79
4.2.3 アロハ航空 B737 型機の事故 …… 79
4.2.4 ドイツ新幹線 ICE の脱線事故 …… 80
4.3 疲 労 の 基 礎 …… 81
4.3.1 疲労が生じる条件 …… 81

4.3.2　材料中でなにが生じているか……86
4.3.3　疲労現象を調べる方法……88
4.4　疲労き裂成長……96
演習問題……104

5.　高温強度

5.1　クリープ変形とクリープ破壊……107
5.2　クリープ変形の温度・応力依存性……109
5.3　クリープ変形機構……112
5.4　クリープ破壊……114
5.5　クリープを考慮した設計……116
5.6　クリープ破断時間の推定……117
5.7　高温疲労……119
5.8　高温低サイクル疲労……121
5.9　クリープ・疲労寿命評価……123
5.9.1　線形損傷則……123
5.9.2　ひずみ範囲分割法……124
演習問題……127

6.　材料強度の統計的性質

6.1　確率変数，確率密度関数，分布関数……129
6.2　信頼度，故障率……131
6.3　直列系と並列系の信頼度……134
6.4　平均，分散，標準偏差，変動係数……135
6.5　正規分布……137
6.6　対数正規分布……141
6.7　ワイブル分布……143
6.8　確率紙……148

6.8.1 ラ ン ク 法 …… 148
6.8.2 正 規 確 率 紙 …… 150
6.8.3 ワイブル確率紙 …… 152
6.9 分布の適合度の検定 …… 153
6.10 材料強度の統計的性質 …… 156
6.10.1 静的強度の統計的性質 …… 156
6.10.2 疲労強度の統計的性質 …… 159
演 習 問 題 …… 163

付 録 …… 164

引用・参考文献 …… 170

演 習 問 題 解 答 …… 174

索 引 …… 186

1

はじめに

本章では材料強度学の基本的な考え方や扱う内容，材料強度学を学ぶうえで必要となる材料学，材料力学，破壊力学および信頼性工学などとの関連を簡単に述べるとともに，*2* 章以降で取り扱う内容の概略を簡潔に紹介する。

1.1 材料強度学について

材料強度学（strength and fracture of materials）は機械・構造物に外力が加わった際に材料内部に生じる変形や応力分布を扱う**材料力学**（strength of materials）と同様，材料に力が加わった際に生じる変形や破壊を扱う学問であり，これまでに多くのすぐれた著書が刊行されている[1)～8)†]。

材料の密度や弾性定数，熱膨張率，金属材料の電気抵抗などは材料内部の欠陥に比較的影響を受けない**構造鈍感**（structure-insensitive）な性質であるが，硬さや伸びなどの**機械的性質**（mechanical properties）および破壊現象は転位の挙動など材料内部の欠陥によって敏感に変化する**構造敏感**（structure-sensitive）な性質をもっていることが知られている。このため，材料の微視的な構造や特性が材料の変形や強度とどのように関連しているかを知る必要があり，金属工学や材料学の知識が必要である。

破壊の様式も荷重形式や温度・雰囲気など環境の影響を受けてさまざまな形態が存在する。微視的には，結晶粒を横切って破壊が生じる**粒内破壊**（transgranular fracture）と結晶粒界に沿って破壊する**粒界破壊**（intergranular frac-

† 肩付数字は，巻末の引用・参考文献の番号を表す。

ture）に大別され，これらはさらに，塑性変形を生じた後に破壊する**延性破壊**（ductile fracture），塑性変形をほとんど含まない**ぜい性破壊**（brittle fracture），繰返し応力下でき裂が進展して破壊する**疲労破壊**（fatigue fracture）などに分けることができる．それぞれの破壊には特徴的な様相を破面上で観察することができ，電子顕微鏡を用いて破壊発生源の同定や破壊の形態を調べることが行われ，このような破面解析は**フラクトグラフィ**（fractography）と呼ばれている。

また，材料強度の力学的取扱いにおいては材料力学的アプローチをはじめ，**破壊力学**（fracture mechanics）や**連続体力学**（continuous mechanics）的な手法など種々のアプローチが用いられる。特に破壊力学は，ガラスなどのぜい性材料に対するグリフィス（Griffith）の破壊理論（1920 年）から始まり，その後，オロワン（Orowan）やアーウィン（Irwin）によって金属材料への適用が試みられ，第 2 次世界大戦中に生じた溶接船の破壊事故を契機として急速に発展し，体系化され，なんの前触れもなく突然破壊するぜい性破壊のみならず，き裂の発生・進展を経て破壊に至る疲労破壊にも適用され，その有用性が確認されている。

機械・構造物の破壊事故の多くは疲労が関係していることが広く知られており，特に，降伏応力以下の静的には破壊が生じない小さな応力であっても，応力を繰り返すことによって強度が低下する高サイクル疲労は実際の機械・構造物の破壊において重要である。

疲労を含む各種の材料強度は環境などの各種の外部因子の影響を受けてその特性が変化するとともに，使用環境によって考慮すべき点は多岐にわたる。さらに，機械・構造物の強度は用いられている材料自体が有するばらつきによっても変動することから，強度は決定論的に決まるものではなく，確率・統計的な側面も有しており，信頼性工学的な取扱いも必要である。

以上のように，材料強度学は幅広い分野の学際的な領域を対象とし，取り扱うべき分野も多いが，近年，ますます機械・構造物の使用環境が過酷になっていることから，材料強度学の基本的な知識を正しく理解することが重要である。

1.2 本 書 の 構 成

機械・構造用材料は金属材料のみならず種々の材料が用いられているが，本書では主として金属材料を対象とする。

2 章では静的荷重下での変形と強度，破壊を巨視的および微視的な見地から説明するとともに，代表的な高強度化メカニズムについても説明する。

3 章では破壊力学を学ぶうえでの基礎として，弾性力学の基礎式や円孔の応力集中について説明するとともに，破壊力学で取り扱うき裂の形態や応力拡大係数，さらに破壊じん性について説明する。

4 章では疲労について，疲労が重要視されるようになった歴史的背景や，疲労破壊の例を紹介するとともに，疲労の発生メカニズム，疲労試験方法と S–N 線図の求め方を説明するとともに各種金属材料の S–N 特性の例を紹介する。さらに，疲労限度の推定方法についても説明する。

5 章では高温強度について，クリープ変形とクリープ破壊について説明する。

6 章では材料強度の統計的性質について，材料強度で用いられる確率分布や信頼性工学的取扱いに関する基礎的事項を説明するとともに，材料強度データベースを用いた大標本の解析例について紹介する。

2

静的荷重下での変形と強度，破壊

材料の機械的性質は，機械・構造物を構成する部品をつくる構造用材料においてきわめて重要である。そこで本章では，金属材料を中心として，外部から静的な負荷を受けた金属材料の変形と強度および破壊について説明する。この材料特性を明らかにするためにさまざまな種類の材料試験が行われるが，その試験条件として温度は重要なパラメータである。本章では，主に「室温」における材料の特性について考えることにする。特殊な環境下で機械などを使う場合を除いて，われわれは主に室温付近の温度で金属材料を使用している。しかし，本文に述べるように，この「室温」という言葉は，材料特性においてきわめて曖昧（あいまい）な意味しかもたないことに注意する必要がある。

以下，変形と強度，および破壊について，巨視的および微視的な見地から述べる。

2.1 静的強度とは

材料の強度，強さとはなにか？

材料の強度には，その見方によってさまざまな側面がある。基準や観点が変わると，材料の強度として注目する材料特性が異なってくる。

材料に作用する外力は**図 *2.1*** に示すように**引張り**（tension），**圧縮**（compression），**せん断**（shear），**曲げ**（bending），**ねじり**（torsion）に大別される。さらに，例えば車軸はねじりと曲げを同時に受けているなど，機械部品や構造物では複数の種類の外力が同時に作用する場合があることに注意すべきである。

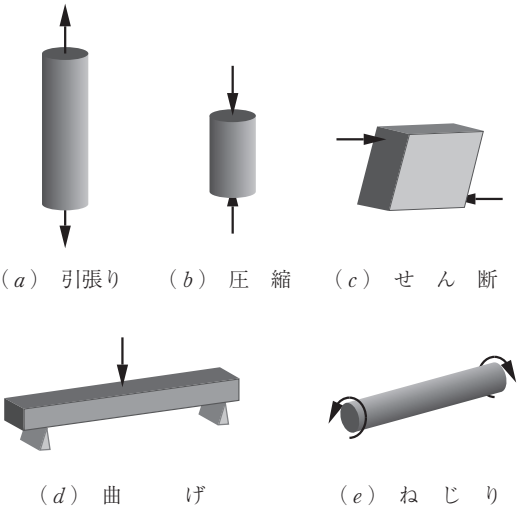

図 2.1 外力の種類

実際に金属材料を用いて機械などをつくる場合において，各部品が設計どおりの役割，すなわち隣接する部品との相対運動を円滑に行わなくてはならない。そのためには，各部品がさまざまな負荷を受けた結果生ずる変形量が，設計で許容された範囲に収まるかどうかが大きな関心事となる。この場合は，材料がどのくらいの負荷に耐えられるかという「強さ」だけではなく，「変形」も重要となる。

材料に応力を加えると，弾性変形を経て塑性変形領域に入る。応力を増加させると，変形量（塑性変形量）がさらに増加し，材料が耐えうる最大の強さを示した後に破壊に至る。このように，材料強度として「破壊」が関心の対象となる場合がある。

また，材料を使用するときばかりではなく，材料の加工の難易にも材料の強度は大きな影響をもたらす。

材料の変形に影響を与える因子として，材料工学的な要因（組織）の他に，温度，変形速度が重要である。また，結晶粒径と部材の厚さや幅の相対的な大きさにも注意することが必要である。結晶粒径が試験片の幅や厚さに近くなる

索　　引

【あ～え】

アイテム 131
圧　縮 4
圧力隔壁 79
亜粒界 115
位置母数 144
入込み 86
ウィスカー 24
上側確率 131
永久ひずみ 11
エネルギー解放率 69
延　性 7,34
延性材料 7
延性–ぜい性遷移 34
延性–ぜい性遷移温度 35
延性破壊 2,36

【お】

応力拡大係数 41,53,96
応力拡大係数範囲 97
応力集中 27
応力集中係数 51
応力振幅 86,121
応力の平衡方程式 44
応力範囲 121
応力比 86
応力–ひずみ線図 7
オロワン機構 32
オロワンの応力 32

【か】

開口型 96
　――のき裂 49
拡　散 20
拡散クリープ 112
確率S–N 特性 91
確率紙 148
確率変数 130
確率密度関数 130
下限界応力拡大係数範囲 99
加工硬化 10
加工硬化係数 10
仮説検定 155
加速クリープ 108
カップアンドコーン型破壊 37
下部しきいエネルギー 35
上降伏点 9

【き】

機械的性質 1
ギガサイクル疲労 86
危険率 155
期待値 136
気体定数 110
キャビティ 115
吸収エネルギー 34
共通勾配法 122
共　役 44
局部伸び 11
切欠ぜい性 35
き裂進展 96
き裂成長 96
き裂伝ぱ 96
き裂長さ 96
き裂閉口 102

【く】

空　孔 20
空　洞 115
偶発故障 133
区間推定 138
くさび型空洞 115
くびれ 11
クリープ曲線 108
クリープ試験 107
クリープ損傷 123
クリープの活性化エネルギー 110
クリープ破壊 107
クリープ破断曲線 114
クリープ破断時間 114
クリープ破断試験 114
クリープ・疲労相互作用 120
クリープ変形 107

【け，こ】

傾斜部 89
形状母数 144
原子寸法効果 30
高温指数則クリープ 112
高温べき乗則クリープ 112
高温変形 6
高サイクル疲労 86,120
格子拡散 112
格子拡散クリープ 113
格子欠陥 20,109
公称応力 7
公称ひずみ 7
剛　性 8
構造鈍感 1
構造敏感 1
降伏応力 9
故障分布関数 132
故障率 132
コットレル雰囲気 25
コメット機 78
固溶強化 29
固溶軟化 30
コルモゴロフ・スミルノフの検定法 150
混合モード 49
コンパクト試験片 72

【さ】

再結晶温度 6
最弱リンクモデル 140,147
最大主応力説 42
最大せん断応力説 42
最頻値 137
最密六方格子 13
材料強度学 1
材料力学 1

【し】

時間強度領域 89
時　効 31
指数則クリープ 109
下側確率 131

絞　り　12,122
下降伏点　9
尺度母数　144
シャルピー衝撃試験　34
シャルピー衝撃値　34
修正グッドマン線図　104
自由度　154
主すべり系　17
シュミット因子　17
順序統計量　149
小規模降伏　59
条件付確率　132
冗長系　135
上部しきいエネルギー　35
除荷弾性コンプライアンス法　105
初期故障　133
試料累積分布法　149
じん性　34
侵入型固溶体　24
真破断ひずみ　122
信頼性　131
信頼度　131
信頼度関数　132

【す】

垂直応力　43
推定値　138
ステアケース法　92
ストライエーション　87
すべり系　14
すべり線　15
すべり変形　13
すべり方向　14
すべり面　14

【せ】

正規確率紙　150
正規分布　137
ぜい性　34
ぜい性材料　10
ぜい性破壊　2,36,64
静的試験　6
析出強化　32
セル組織　26
遷移クリープ　108
繊維束モデル　140
遷移疲労寿命　121
線形損傷則　123
線欠陥　20
せん断　4
せん断応力　43
せん断ひずみエネルギー説　42
全ひずみ範囲　121

【そ】

相関係数法　153
双　晶　13
双晶変形　13
双晶面　13
塑性域　56
塑性域寸法　57
塑性域寸法補正　57
塑性ひずみ範囲　121
塑性変形　9
損傷許容設計　79,100

【た】

第１期クリープ　108
第２期クリープ　108
第３期クリープ　108
対称試料累積分布法　149
体心立方格子　13
対数正規分布　141
多結晶体　7
多重すべり　17
縦弾性係数　8
弾性限度　9
弾性的相互作用　30
弾性ひずみ範囲　121
弾性変形　7

【ち～と】

中央 S-N 線図　91
中央き裂付引張り試験片　104
中央値　137
超塑性変形　28
直列系　134
突出し　86
低応力クリープ　109
低温指数則クリープ　112
低温ぜい性　34
低温べき乗則クリープ　112
低サイクル疲労　86,120
定常クリープ　108
ディンプル　38
適合度の検定　154
転　位　20,109
　――の上昇運動　112
転位クリープ　112
転位芯拡散　112
転位すべり　112
転位線　20
転位密度　23
点欠陥　20
点状破壊　37
点推定　138
特異性　53

【な行】

二重すべり　17
ねじり　4
ネッキング　11
伸　び　12

【は】

パイエルス力　23
破壊基準　41
破壊じん性　41
破壊じん性試験　72
破壊力学　2
バーガースベクトル　21
刃状転位　20
バスタブ曲線　133
パーセント点　131
破断応力　11
破断ひずみ　12
パリス則　98

【ひ】

非金属介在物　37
ひげ結晶　24
ヒステリシスループ　121
ひずみエネルギー　63
ひずみ硬化　10
ひずみ硬化指数　10
ひずみ速度　108
ひずみの適合条件　45
ひずみ範囲分割法　123
引張り　4
引張強さ　11
標準化変数　138
標準正規分布　138
標準正規分布関数　138
標準偏差　137

標本寸法 135
標本標準偏差 135
標本不偏分散 135
標本分散 135
標本平均 135
表面エネルギー 64
比例限度 9
疲　労 77,81
疲労き裂 41
疲労き裂成長寿命 99
疲労き裂成長速度 97
疲労き裂発生寿命 99
疲労限度 90
疲労限度線図 103
疲労寿命 99
疲労損傷 123
疲労破壊 2

【ふ】

ファセット 38
副結晶粒界 115
不信頼度関数 132
フックの法則 8
物体力 43
フラクトグラフィ 2,88
フランク・リード源 23
分解せん断応力 16
分　散 136
分散強化 33
分布関数 130

【へ】

平均応力 86
平均値 136
平均ランク法 149
平面応力状態 46
平面ひずみ状態 47
並列系 134
へき開破壊 38
へき開面 38
変形機構領域図 113
変動係数 137

【ほ】

ポアソン比 8
母集団 135
母数推定法 153
補正係数 54
ポップイン 73
ポテンシャルエネルギー 68
ホール・ペッチの関係 28

【ま行】

マイナー則 104
曲　げ 4
摩耗故障 133
マルチサイトクラック 80
メジアンランク法 149
面外せん断型のき裂 49
面心立方格子 13
面内せん断型のき裂 49
モードⅠ型 49,61,96
モードⅡ型 49,54
モードⅢ型 49,54
モードランク法 149

【や行】

焼戻しぜい性 36
ヤング率 8
有効応力拡大係数範囲 102
有効き裂長さ 58
溶体化処理 31

【ら行】

らせん転位 20
ラーソン・ミラーパラメータ 118
ランク法 149
離散分布 131
粒界拡散クリープ 113
粒界破壊 1,36,115
粒内破壊 1,36,115
リューダース帯 9
領域A 98
領域B 98
領域C 98
臨界分解せん断応力 17
累積確率 131
$\sqrt{area}$ パラメータ法 94
連続体力学 2
連続分布 131

【わ】

ワイブル確率紙 152
ワイブル係数 144

【B～F】

bcc 13
CCT 試験片 104
CRSS 17
CT 試験片 72
DBTT 35
fcc 13

【H～S】

hcp 13
J. Albert 76
J. Wöhler 77
P-S-N 特性 91
S-N 曲線（S-N 線図） 89

【数字・ギリシャ文字】

0.2%耐力 10
10^7 サイクル時間強度 92
14-S-N 試験法 92
2 次すべり系 17
2 母数ワイブル分布 144
3 点曲げ試験片 72
3 母数ワイブル分布 144
ΔK-da/dN 線図 98
χ^2 検定 150,154

―― 編著者・著者略歴 ――

境田　彰芳（さかいだ　あきよし）
1981 年　立命館大学理工学部機械工学科卒業
1983 年　立命館大学大学院博士課程前期課程修了（機械工学専攻）
1986 年　立命館大学大学院博士課程後期課程単位取得退学（機械工学専攻）
1988 年　工学博士（立命館大学）
1990 年　明石工業高等専門学校助教授
2002 年　明石工業高等専門学校教授
現在に至る

磯西　和夫（いそにし　かずお）
1981 年　立命館大学理工学部機械工学科卒業
1983 年　立命館大学大学院博士課程前期課程修了（機械工学専攻）
1986 年　立命館大学大学院博士課程後期課程単位取得退学（機械工学専攻）
1987 年　工学博士（立命館大学）
1987 年
～90 年　日鐵溶接工業株式会社勤務
1990 年　茨城大学助教授
1996 年　滋賀大学助教授
2006 年　滋賀大学教授
現在に至る

堀川　教世（ほりかわ　のりよ）
1993 年　立命館大学理工学部機械工学科卒業
1995 年　立命館大学大学院博士課程前期課程修了（機械工学専攻）
1998 年　立命館大学大学院博士課程後期課程単位取得退学（機械工学専攻）
1999 年　博士（工学）（立命館大学）
2000 年　立命館大学助手
2000 年　新エネルギー・産業技術総合開発機構産業技術養成技術者
2003 年　富山県立大学講師
2009 年　富山県立大学准教授
現在に至る

上野　明（うえの　あきら）
1981 年　立命館大学理工学部機械工学科卒業
1983 年　立命館大学大学院博士課程前期課程修了（機械工学専攻）
1983 年　豊田工業大学助手
1990 年　工学博士（立命館大学）
1991 年　豊田工業大学講師
1993 年　豊田工業大学助教授
2007 年　豊田工業大学准教授
2009 年　立命館大学教授
現在に至る

西野　精一（にしの　せいいち）
1982 年　立命館大学理工学部機械工学科卒業
1984 年　立命館大学大学院博士課程前期課程修了（機械工学専攻）
1987 年　立命館大学大学院博士課程後期課程単位取得退学（機械工学専攻）
1987 年　工学博士（立命館大学）
1987 年
～89 年　バブコック日立株式会社勤務
1989 年　富山大学助手
1991 年　富山大学講師
2001 年　富山大学助教授
2006 年　阿南工業高等専門学校教授
現在に至る