

東北大学機械系

複合材料研究センターだより

No. 3 (2010. 3 発行)

複合材料研究センターよりのご報告 (折り返し地点を迎えて)

2007年8月1日に発足いたしました東北大学機械系複合材料研究センターも、およそ2年半が経ちました。5年間の期限付きのセンターですので、およそ折り返し地点を過ぎたあたりと思われます。この2年半を振り返ってみますと、激動の期間でありました。リーマンショックに始まる大型不況、米国におけるオバマ大統領の登場、そして日本における政権交代と立て続けに大きな出来事があり、あらゆる意味において転換期であったような気がします。

複合材料の動向に目を向けますと、なかなか飛ばなかった新型旅客機ボーイング787が、やっと試験飛行を終え、複合材料の本格的な利用に道が開かれました。発足時と変わらず環境への関心は今なお強く、9月に発足した民主党政権はCO₂削減への取り組みを国際的に公約しており、軽量先進材料としての複合材料への期待は高まるばかりです。一方で、課題も山積みな状態です。例えば、炭素繊維プラスチックを例に挙げますと、開発されてから年月が浅いせいか、加工や切削といった生産技術のレベルは金属製品には到底及びません。また、近年、成形性の向上を目指してVaRTMに代表されるような新たな成形法が開発されてきていますが、これも従来の手法に取って替わるまでには至っていません。また、依然として炭素繊維の価格は高く、これも利用拡大の大きなネックとなっております。また、炭素繊維プラスチックに取って替わられた合金や軽金属もこのままだまって引き下がるとは思えません。必ず、品質改良を加え、弱点を克服し、再度の適用を虎視眈々と狙っているはずで、今までは、複合材料といえば、限られた先進国だけが扱える高級品でした。しかし、新興国の急激な成長によってその利用範囲が拡大するでしょう。これは需要が拡大する半面、競争が激化することも予想されます。複合材料がこのまま、新たな主要構造材料として確固たる地位を確立し、なおかつ我が

国の国際競争力を維持するためには、国内の産官学が協力し、力を結集することが重要と考えます。(2010年3月に京都にて行われた第1回日本複合材料総合会議はこのような背景に基づいたものです。)つまり、産官学が連携して取り組む本センターの意義はますます高まると考えております。

さて、この1年においても東北大学機械系複合材料研究センターの関係者が非常に多くの賞を受賞しております。簡単にご報告させていただきます。(紙面の関係上受賞名と氏名のみさせていただきます)

内閣総理大臣発明賞	本間 雅登 氏
日本機械学会奨励賞	矢代 茂樹 氏
日本複合材料学会論文賞	岡部 朋永 氏、西川 雅章 氏

本センターの活動が関係各位に認められ、評価された結果と思います。

さて、4月16日に第6回複合材料研究セミナーを実施します。場所はせんだいメディアテークです。このせんだいメディアテークは仙台市教育委員会が管轄する複合スペースで、その建物は伊東豊雄氏による設計で、極めて現代的なものです。現在では「学都仙台」のシンボリック的存在となっております。今回はVaRTMに代表されるような粘性流体にまつわる研究をとお考え、複合材料における流体研究に注目しました。是非、お時間を見つけてご参加ください。

先ほども書きましたが、複合材料の利用範囲拡大は今が正念場と考えます。本センターとしても、今後とも成果を発信し続け、貢献したいと考えております。今後とも、ご支援のほどよろしくお願いいたします。

(センターの活動状況はWebにて随時更新しております。是非、ご覧下さい。

<http://www.plum.mech.tohoku.ac.jp/ccmr/>)

(東北大学 岡部 朋永)

航空機標準材料から自動車標準材料へ

2009年12月15日、小雨のシアトル上空をボーイング社の次期中型旅客機“787”が初飛行し、地元新聞は『プラスチック製航空機時代の幕開け』と報じました。航空機の標準材料は、アルミニウム合金から複合材料となる時代がやってきました。

小学生の集団登校中に、轟音と共に頭上を通り過ぎる航空機を見上げた時、上級生が口にした“ジュラルミン”という鮮烈な言葉が、畏怖の念とともに脳裏に刻まれたことを思い出します。これからの子供は“のりもの凶鑑”を読んで、『飛行機はプラスチックでできている』と覚えるのかと思うと、「複合材料」や「CFRP」よりも印象的な呼び名があったのではと考え込んでしまいます。PAN系の炭素繊維が発明されてから50年。二次構造材から一次構造材へ、試験機から旅客機へと、40年以上に亘る研究・技術者達の「熱い志」が綿々と引き継がれてCFRPは標準材料の地位に就いたと思うからです。

次のターゲットは自動車です。F1を始めスポーツカー分野では20年以上の実績が積み上がりました。機械加工、接合、補修などの周辺技術も進歩していますが、航空機とは比べも



のにならないスピードと量の普及が見込まれます。複合材料研究センターで取り組んでいる「短繊維熱可塑性材料」は、この急拡大に対応できる技術としてさらに深化させる努力が必要であることを自覚すると同時に、適切なネーミングも必要と感じています。

(東レ 複合材料研究所 所長 北野彰彦)

—— 複合材料研究がわかる本 ——

複合材料研究は研究者人口も少なく、初学者には難しいとされているようです。そこで、研究者がどのような本を読んでいるのかを纏めてみました。是非、これから研究をはじめめる学生の皆様などに読んでいただければと思います。



複合材料全般

入門書として最適な1冊は“An Introduction to Composite Materials Second Edition” (D. Hull and T. W. Clyne, the Cambridge University Press)⁽¹⁾である。繊維とマトリックスなど構成素材の話から導入し、力学・強度理論、成形・応用までバランス良く含んだ好著である。和訳として「複合材料入門[改訂版]」(宮入裕夫他共訳、培風館)⁽²⁾が出版されているので、対訳書として使用できる。複合材料全般について概観するためには、「複合材料を知る事典」⁽³⁾、「金属基複合材料を知る事典」⁽⁴⁾、「プラスチック基複合材料を知る事典」⁽⁵⁾、「セラミック系複合材料を知る事典」⁽⁶⁾、「セラミックス系複合材料を知る事典」⁽⁷⁾、(いずれも、日本複合材料学会編、アグネ承風社)がわかりやすく、学生の副読本としてお勧めである。同じく入門書として、“Composite Materials Science and Engineering” (K. K. Chawla, Springer-Verlag)⁽⁸⁾も推薦される。本書は構成素材、各種複合材料の成形と特性、力学と強度の三部構成となっており、基礎から応用までカバーされている。

力学を主とした複合材料の書籍としては、“Introduction to Composite Materials” (S. W. Tsai, H. T. Hahn, Technomic Publishing Co., Inc.)⁽⁹⁾と“Primer on Composite Materials Analysis” (J. C. Halpin, Technomic Publishing Co., Inc.)⁽¹⁰⁾が挙げられる。前者は力学の入門書として最適であり、後者は航空機構造を意識して、積層理論だけでなく、切欠材の強度や構造部材としての解析法が述べられている。我が国では、「入門 複合材料の力学」(日本複合材料学会監修、末益博志編著、培風館)⁽¹¹⁾および「先進複合材料工学」(邊吾一、石川隆司共編著、培風館)⁽¹²⁾が出版されている。前者は材料力学の知識から説き起こして、積層理論および強度理論まで説明した学部レベルの入門教科書である。一方、後者は応用編として各研究分野のレビューがなされており、大学院レベルの教科書である。また「セラミックス基複合材料」(香川豊、八田博志、アグネ承風社)⁽¹³⁾は脆性マトリックス複合材料の破壊理論や高酸化メカニズムの説明が詳しい。

複合材料の試験法を解説した書籍としては“Experimental Characterization of Advanced Composite Materials Third Edition” (D. F. Adams, L. A. Carlsson, R. B. Pipes, CRC Press)⁽¹⁴⁾が定番と言える。層間強度試験を含む各種試験法が力学とともに平易に解説されており、必読書である。本書の対訳本はないが、初版本の和訳本として「高性能複合材料の実験的評価」(福田博、高雄善裕、影山和郎訳、古今書院)⁽¹⁵⁾が出版されており、第3版の内容の大部分をカバーしている。

「複合材料の事典」(宮入裕夫他共著、朝倉書店)⁽¹⁶⁾は、構成素材、理論、成形・加工、特性、応用まで幅広く扱っており、ハンドブックとして、またデータベースとして用いることができる。同様の書として、「複合材料ハンドブック」(日本複合材料学会編、日刊工業新聞社)⁽¹⁷⁾がある。用語辞典としては、「複合材料術語辞典」(複合材料術語辞典編集委員会編、アグネ承風社)⁽¹⁸⁾などがある。また、最新の辞典として、「複合材料活用事典」(日本複合材料学会複合材料活用事典編集

委員会編、産業調査会事典出版センター)⁽¹⁹⁾があり、各種産業分野における応用事例が詳しく述べられている。応用事例をまとめた書籍としては他に「ここにも、あそこにも FRP FRP 用途事例集」(強化プラスチック協会)⁽²⁰⁾があり、写真入りで事例が紹介されている。本書はCD版も出版されている。

その他の書籍として、「電子工学のための複合材料」(森田幹郎、岩本博編著、電子通信学会)⁽²¹⁾は電磁波シールド材など電氣的用途を考える際により参考書となる。さらに、「つくる立場からみた複合材料入門」(大谷杉郎、裳華房)⁽²²⁾はセメント系複合材料やポリマーアロイについて詳しく述べられている。

最後に、上記に挙げた書籍のいくつかは絶版などの理由により入手困難なものがあるかもしれないことを注記しておく。
(愛媛大学 黄木 景二)

参考文献

- (1) D. Hull, and T. W. Clyne, An Introduction to Composite Materials Second Edition (Cambridge Solid State Science Series), (1996), p.344, Cambridge University Press
- (2) D. ハル・T. W. クライン (共著), 宮入裕夫他 (共訳), 複合材料入門 (改訂版), (2003), p. 289, 培風館
- (3) 日本複合材料学会 (編), 複合材料を知る事典, (1982), p. 218, アグネ承風社
- (4) 日本複合材料学会 (編), 金属基複合材料を知る事典, (1984), p. 261, アグネ承風社
- (5) 日本複合材料学会 (編), プラスチック基複合材料を知る事典, (1986), p. 285, アグネ承風社
- (6) 日本複合材料学会 (編), エラストマー系複合材料を知る事典, (1988), p. 315, アグネ承風社
- (7) 日本複合材料学会 (編), セラミックス系複合材料を知る事典, (1990), p. 336, アグネ承風社
- (8) K. K. Chawla, Composite Materials Science and Engineering, (2001), p. 483, Springer
- (9) S. W. Tsai, H. T. Hahn, Introduction to Composite Materials, (1980), p. 457, Technomic Publishing Co., Inc.
- (10) J. C. Halpin, Primer on Composite Materials Analysis, (1992), p. 240, Technomic Publishing Co., Inc.
- (11) 日本複合材料学会 (監修), 末益博志 (編著), 入門 複合材料の力学, (2009), p. 159, 培風館
- (12) 邊吾一, 石川隆司 (共編著), 先進 複合材料工学, (2005), p. 203, 培風館
- (13) 香川豊, 八田博志 (共著), セラミックス基複合材料, (1990), p. 301, アグネ承風社
- (14) D. F. Adams, L. A. Carlsson, R. B. Pipes, Experimental Characterization of Advanced Composite Materials, Third Edition, (2002), p. 256, CRC Press
- (15) L. A. Carlsson, R. B. Pipes (共著), 福田博他 (共訳), 高性能複合材料の実験的評価, (1990), p. 170, 古今書院
- (16) 宮入裕夫他 (共著), 複合材料の事典, (1991), p. 650, 朝倉書店
- (17) 日本複合材料学会 (編), 複合材料ハンドブック, (1989), p. 1265, 日刊工業新聞社
- (18) 複合材料術語辞典編集委員会 (編), 複合材料術語辞典, (1994), p. 395, アグネ承風社
- (19) 日本複合材料学会複合材料活用事典編集委員会 (編), 複合材料活用事典, (2001), p. 903, 産業調査会事典出版センター
- (20) ここにも、あそこにも FRP FRP 用途事例集 CD 版, (社) 強化プラスチック協会
- (21) 森田幹郎, 岩本博 (共編著), 電子工学のための複合材料, (1986), p. 224, 電子通信学会
- (22) 大谷杉郎 (著), つくる立場からみた複合材料入門, (1995), p. 189, 裳華房

力 学

複合材料研究にて必要になる力学は、とりあえずは固体力学と流体力学だろう。固体力学は物の変形を理解するために用いられるし、流体力学は成形の際の樹脂の流動を理解する上で重要である。この2つは非常に似通った性質を持っているため、ひとつに体系化することが可能であり、それを一般に連続体力学という。この連続体力学の代表的な本に「変形と流れの力学」¹⁾がある。この本であれば、固体力学と流体力学を同時に学ぶことが出来、大変お得である。このとき、連続体力学では、テンソルという数学手法を用いる。このテンソルというのが、ほかの工業数学とは一線を画しているため、なかなかの難物である。そこで、この本と一緒に「テンソル—科学技術のために—」²⁾を読んでおくと理解がたやすくなると思う。

より深く、固体の変形を知りたいと思った時には、上記の本だけでは少し足りないと思われるので、解析例の抱負な「弾性力学」³⁾を読むことをお勧めしたい。この本も決して簡単な本ではないが、多くの内容をコンパクトに書いてある点で大変役に立つ。また、古典的な名著に「固体の力学/理論」⁴⁾があり、弾性、塑性、熱力学、動力学などを網羅したこの本が読めれば、今すぐにでも最先端の研究に取り組めるだろう。このとき、理解を確実にするためには剛体の力学の知識(仮想仕事の原理やハミルトニアン等)が必要不可欠である。このため、「力学・解析力学」⁵⁾に目を通しておくことをお勧めする。

流体力学に関しては、私自身も素人に毛が生えた程度であるため、適切であるかわからないが、「流体力学<前編>」⁶⁾は丁寧に書かれた名著で、私も何かあると参考にしている。「流体力学」⁷⁾も名著であるようだが、こちらの方は私はあま

りきちんと読んだことがない。

上記で一般的な力学の知識としては十分だと思うが、近年公刊された「連続体損傷力学」⁸⁾は連続体力学における損傷の取り扱いを理解する上で大変役に立つ名著である。これも是非推薦しておきたい。

最後に、何事も基礎が重要であることは言うまでもないことである。工業力学の基礎は四力学(熱力学、機械力学、材料力学、流体力学)であることは間違いなく、これが出来ないことには工学的な仕事はおぼつかないだろう。もう一度学びなおしたい方には私の恩師が執筆した「機械工学演習」⁹⁾を勧める。

(東北大学 岡部 朋永)

参考文献

- (1) 松信八十男(著), 変形と流れの力学(基礎の物理2), (1981), p. 220, 朝倉書院
- (2) 石原繁(著), テンソル—科学技術のために, (1991), p.202, 裳華房
- (3) 小林繁夫, 近藤恭平(共著), 弾性力学(工学基礎講座), (1987), p. 305, 培風館
- (4) Y. C. ファン(著), 大橋義夫他(共訳), 固体の力学/理論, (1970), p. 524, 培風館
- (5) 阿部龍蔵(著), 力学・解析力学(岩波基礎物理シリーズ1), (1994), p. 208, 岩波書店
- (6) 今井功(著), 流体力学(前編)(物理学選書14), (1973), p. 428, 裳華房
- (7) 今井功(著), 流体力学(物理テキストシリーズ), (1993), p. 254, 岩波書店
- (8) 村上澄男(著), 連続体損傷力学, (2008), p. 344, 森北出版
- (9) 酒井俊道(編), 清水貞佐男他(共著), 詳解機械工学演習, (1986), p. 268, 共立出版

数 値 解 析

近年の計算機性能の飛躍的向上に伴い、一台10万円程度のパソコンでも数値解析が実施可能な時代が到来しております。複合材料分野の数値解析としては、例えば複合材料積層板の構造解析など、有限要素法が用いられるのが一般的です。現在では、有限要素法の市販ソフトも豊富に存在しており、非線形問題や連成問題など、「複雑なモデル」を簡単なユーザーインターフェースで解くことができます。計算機性能が向上した結果、研究者の探究心は、より複雑な問題を解くことに着眼点が行く傾向にあるようです。私自身、数値解析屋として、そのような気持ちになることも多々あります。しかし、複雑なモデルを解こうとすればするほど、解析結果を実際の設計現場にフィードバックすることが容易でなくなるように思います。

そこで私はあえて、若手研究者の一人として、若手の方には一度市販ソフトを捨てて、自作プログラムを一から構築する経験を経ることをお勧めしたいと思います。私自身これまで複合材料研究を進める中で、全てFortranを用いたプログラムで取り組んできました。

ここで、自作プログラムで正しく解析する為には、まず第一に、理論を全て網羅的に知る必要があります。知らない箇所が少しでもあれば、プログラムは虫食い状態になり、役に立ちません。さらに、プログラム自体が完成したとしても、バグ取りから始まり、検証例題を設定して妥当性を評価する作業も必要です。このように話すとも、一見遠回りに見えます。しかし、実際には、市販ソフトを用いた場合でも、理論を理解していなければ正しい問題設定を組むことは難しく、闇雲に数値計算をしているだけとなる危険性があります。「プログラムを一から作らなければならない」という状況に身をおくと、心理的障壁が相当高くなりますから、「簡単なモデル」で真に解析する価値のある問題設定をじっくり考えて取り組もうとできるわけです。数値解析結果が新しい設計アイディ

アを創出するためには、解くべき問題が思考実験による淘汰を経ることが最も大事なことにように思います。

上記の有限要素法プログラミングに対しては、実践的で網羅的なK. J. Bathé著「Finite Element Procedures」(Prentice Hall, 1996)¹⁾(あるいは、菊池文雄訳著「有限要素法の数値計算」²⁾も同様の内容)をお勧めします。通常の静的・動的負荷に対する解法や、板の振動・座屈解析で重要となる固有値解析法までがまとめられています。また衝撃負荷変形を扱う場合など、大変形を伴う非線形解析や接触解析に関して記載された書として、久田俊明・野口裕久著「非線形有限要素法の基礎と応用」(丸善, 1995)³⁾は、私の院生時代からの愛読書で、大変役に立っております。私の最近の研究では、繊維・母材単位の微視材料構造における母材の塑性変形や損傷力学に着目した解析を進めていますが、村上澄男著「連続体損傷力学」(森北出版, 2008)⁴⁾は、塑性力学や損傷力学の熱力学的定式化が明快に記述されており、最近購入した書籍のうちでは最も手放せない本となっております。

これから数値解析を始める方も良い書籍とめぐり会って、ぜひ、複合材料研究に数値解析を真に役立てる「簡単で価値のあるモデル」を創出していただきたいと思います。

(東北大学 西川 雅章)

参考文献

- (1) K. J. Bathé, Finite Element Procedures, (1995), p. 1037, Prentice Hall
- (2) E. L. Wilson(著), 菊池文雄(訳), 有限要素法の数値計算(構造工学シリーズ6), (1985), p. 603, 科学技術出版社
- (3) 久田俊明, 野口裕久(著), 非線形有限要素法の基礎と応用, (1995), p. 428, 丸善
- (4) 村上澄男(著), 連続体損傷力学, (2008), p. 344, 森北出版

Innovation by Chemistry



炭素繊維で、世界の空を軽やかに。

東レの‘炭素繊維’は、その軽量、強靱、耐腐食性能などにより、ボーイング787やエアバスA380等の次世代航空機をはじめ、自動車、船舶、風力発電機などの構造材に採用されています。しかし私たちは、炭素繊維はまだ進化できると信じています。きっと化学が、その答えを目覚めさせるはずだと。東レは世界最大の炭素繊維メーカーとして、航空機、自動車産業等の省エネルギー化に貢献していきます。——私たちは東レ。‘イノベーション・バイ・ケミストリー’をスローガンに、化学を核として、技術革新を追求。新しい価値の創造を通じて社会に貢献します。‘化学’だからつくれる答えを。東レ

‘TORAY’
Innovation by Chemistry