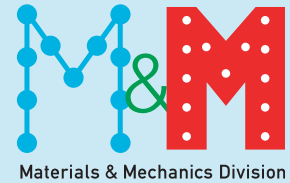


Materials

&

Mechanics



Newsletter, Materials and Mechanics Division, JSME, No. 31, September, 2007



平成 19 年度のスローガン：『発信，材料力学！』

～ 部門長就任にあたって～

第 85 期部門長

岡崎 正和

長岡技術科学大学 工学部 機械系

このたび、歴史のある材料力学部門委員会の部門長に就任致しました岡崎正和（長岡技術科学大学）です。

中曽根祐司（東京理科大学）副部門長、秋庭義明（名古屋大学）幹事始め、運営委員ならびに各種委員会委員のご協力を得まして、部門のさらなる発展に努めて参りたいと思います。今から数年の間、(i) M&M 材料力学カンファレンスの充実を通じ、部門と文論文集、および英文論文集：Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering (JSMME) の充実、(ii) 「応用実験力学国際会議 (ATEM)」、「材料の強度と破壊 (APCFS: 2009 年より APCMM に変更)」、「マイクロ、ナノおよび電子システムの実装に関する環太平洋会議 (InterPACK)」等の国際会議の主催や共催、(iii) 地域産業と部門の交流会、(iv) 講習会の開催等を通じた関連研究分野の普及、啓蒙、(v) 学生・若手技術者向けシンポジウム開催を通じた若手研究者の育成、(vi) 本学会規格委員会や他部門とも連携し日本機械学会規格策定等を通じた社会貢献など、を本部門の重要項目として推進して参りたいと思います。どうか、皆様のご指導・ご鞭撻をお願い申し上げます。

本部門は、機械工学・工業の基盤をなし、工業界、ひいては人類の幸福・発展に寄与することを目的として活動して参りました。研究面では、他の部門と協力関係を保ちつつ、MEMS、バイオ材料を含めた多種・多様な分野の力学的特性評価に関する学問的体系を築いて参りました。また、機械学会運営の面でも中核的部門として、会長、理事等の人材を輩出して、学会の屋台骨を支えてきました。

さて、昨年度、2003 年度に提出したポリシーステートメントに則したここ 4 年間の活動がどのようであったかに対する自己評価書を提出し、部門評価を受けました。自己評価書では、(i) 活動概要、(ii) 学術普及・発展活動、(iii) 国際会議等の

対外的部門活動、(iv) 会員へのサービスなど部門活性化活動、(v) 部門固有の活動 などの活動状況を A4 用紙にして約 15 ページの報告書として提出致しました。詳細は部門運営委員会にて公表しております。このたび、この自己評価書に対する学会からの評価結果を受け取りました（詳細は、2007 年 9 月号の機械学会誌に掲載予定）。その結果、本部門は、全ての評価項目に対し「ランク A:活動が活発であり特に問題は無い」の評価を受けました。全ての項目でランク A の評価を受けたのは、本部門を含め 20 部門中 5 部門だけでした。すばらしい活動結果です。この場を借りて、歴代の部門長の指導力と部門の皆様のご尽力にお礼を申し上げます。

さて、しかし... このような本部門の活動実績は、真に今の「力」でしょうか？「モーメント」というこれまでの「かけ算」による指標ではないでしょうか？言うまでもなく、「モーメント」=「力」×「腕の長さ」ですが、本部門では往々にして「腕の長さ」=「部門の歴史=遺産」になっており、『遺産』に支えられていませんか？

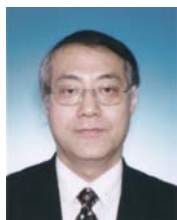
具体例をあげます。下記の見出しは、「本部門が日本の中心」として自負してきた分野に関連した新聞記事の見出しです。「ジェットコースター脱輪、車軸疲労破損か」(平成 19 年 5 月)、「設計・施工ミスか」(平成 18 年 7 月)、「気流や振動に予想外の影響」(平成 18 年 7 月)、「エンジン製造ミスか」(平成 17 年 12 月)、「高熱でエンジン浸食」(平成 17 年 11 月)、「心臓部の破損、同じ場所」(平成 16 年 1 月)、「減肉による延性割れ」(平成 16 年 5 月)、「冷却水漏れ、配管の熱疲労」(平成 15 年 10 月)、「未聞の事故、究明手探り」(平成 13 年 12 月) 等々。これらのたびに、本部門の歴代の部門長を始めとする先生方が登場され、的確なコメントをされました。ありがたいことです。しかし、皆さん、反省下さい(私自身も反省します)。どの分野

も、現役の我々が意見を発信しましたか？（現役自負の歴代の偉い先生方へ：「ごめんなさい。お叱りは受けます」）えてして本部門を second として活動されている方々に乗っ取られていませんか？ これでは、遺産を「引き継ぐ」どころか、単に「安住している」だけです。

上述の本部門がおかれている課題と現状を再認識し、どのように社会貢献して行くべきかを、もう一度考えてみませんか。M&M 2007 材料力学カンファレンス（2007 年 10 月 24-27 日、東京大学生産技術研究所）でもその機会を持ち、皆様と考えてみたいと思います。それを糧に、再スタートしましょう。

平成19年度のスローガン：『発信，材料力学！』

- * M&M 2007 社会貢献フォーラム：「材料力学研究者の社会貢献と企画化・標準化」
講師：小林英男先生（初代部門長）ほか 3 名の世名講師。
... 叱咤を甘受しながら考えましょう！
 - * M&M 2007 部門討論会：「これで良いのか材料力学 ？！」
... 熱く議論しましょう！
- M&M2007 ホームページ <http://jsme.kir.jp/Kouenkai/mmdconf07/>



産業界からの積極的なご参加をお願いします

第 85 期副部門長
中曾根 祐司
東京理科大学 工学部 機械工学科

このたびは、伝統ある材料力学部門の副部門長を拝命して大変光栄に思うと同時に、その重責に身の引き締まる思いがしています。

これから 1 年間、微力ながら材料力学部門の運営に力を尽くさせていただきたいと思っております。

ご指導、ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

さて、材料力学部門における副部門長の使命は、第一に部門長の補佐、第二に材料力学部門の将来の方向性の検討と認識しています。

第一の使命である部門長の補佐は、現行の問題への対処が中心となっており、現部門長の岡崎正和先生のご方針に従って、どれだけご迷惑をお掛けせずに、この 1 年間の業務を全うするかにかかっていると思います。現在のところ、メール会議と運営委員会での対応が主となっておりますが、少しでも岡崎先生のお役に立てれば幸いと思っています。

第二の将来の方向性の検討は、材料力学部門にとって非常に大きな問題です。この問題は、運営委員会でも最も力を入れている問題の 1 つであると思います。部門の将来問題は、代々、第 2 技術委員会で検討されていますが、この委員会での検討は、邦文・英文論文集の改善、若手チュートリアルや M&M 若手研究者による国際シンポジウムの創設、ロードマップの作成、産業界のメンバーに魅力ある部門の再構築等々、現在動いている多くの新規事業や企画の数々が提案・実行されてきています。

その中でも継続的に検討され、最も重要な解決の難しい問題は、産業界のメンバーの学会活動への積極的な参加を如何に促進するかという問題だと思っています。材料力学は、ものづくりには必要不可欠な学問であり、その必要性は、約 6,000 名という、20 ある部門の中でも最大級の部門登録者数にも示されていると思います。この登録者の多くは産業界のメンバーで

占められていますが、部門講演会における産業界からの参加者の数は、高々数 % に過ぎません。この傾向はなにも材料力学部門だけの問題ではなく、いわゆる、業界団体ではない日本機械学会全体が抱える宿命であるとも思いますが、産業界のメンバーにとって魅力ある部門活動とは何か、材料力学部門では、以前から知恵を絞り、色々な方策を講じてきました。例えば、ロードマップ作り、部門講演会における産学連携ポスターセッション、論文集におけるノート欄の創設等々といった企画です。

今年 10 月 24 日～26 日、東京大学生産技術研究所で開催される M&M2007 においても、実行委員長の酒井信介先生、運営委員長の吉川暢宏先生らのご尽力で、産業界のメンバーの方々にとって魅力あると思われる企画を多数準備して頂きました。お陰様で、現時点で M&M2007 の産業界からのご講演者の割合は約 10% となっており、少しは改善の兆しが見えてきたと思いますが、もっと増えて欲しいものと希望しています。

近年増加の傾向を見せているリコール問題や強度関連の事故を見聞きしますと、産学の緊密な連携による、材料力学を生業とする、有意な若い技術者を多数育成することが急務のように思います。

どうか、産業界のメンバーの方々からも材料力学部門の活動に多数のご参加を賜り、忌憚りの無いご意見・ご批判を頂戴したいと思います。大学や研究機関のメンバー中心で進められてきたこれまでの材料力学部門の活動に産業界からの視点を取り入れ、材料力学の学としての基礎造りを固めつつ、産業応用に役立つ技術の創出、ならびに若い技術者の育成に中心的な役割を担う部門活動を実現するよう、ご協力のほどよろしくお願い申し上げます。



M&M2007 材料力学カンファレンス

- これからの進むべき途 -

吉川 暢宏
東京大学 生産技術研究所

1. 問題意識と目指すべき形

「材料力学は機械設計の根幹となる学問であり、製造業の現場で最も役に立つ学問である」にもかかわらず、「大学内や機械学会内ですら、たそがれを迎えた分野である」と見られているのが、材料力学を取り巻く昨今の状況であろうと思われます。M&M2007 材料力学カンファレンス実行委員会では「この状況を打破するために何をなすべきか」を第一命題として、企画を進めてきました。

製造業に多大な貢献をなしていると自負している割には、近年の材料力学部門講演会に対する、企業研究者の関心の低さには、目を覆いたくなるものがありました。社会で必要とされている情報を提供し、大学、企業、公的研究機関など、さまざまな組織に属する研究者の協働体制の形成を促進することが、講演会の基本的役割であると思います。その役割を果たすため、大学研究者だけでなく、企業研究者も聴講したくなるような、魅力ある企画作りに努めました。その概要を紹介します。

2. 緊急フォーラム

「新潟県中越沖地震 - 柏崎刈羽原発で何が起こったのか -」

地震による被害状況を、東京電力殿から直接お話いただける機会を設け、材料力学の専門家集団として、様々な観点から検討を行うための契機とします。

3. 特別企画

- (1) RBM ワークショップ：成熟期を迎えた社会が継続的に発展していくためには、高経年設備の健全性をいかに維持していくが重要な課題であり、材料劣化に対する技術対応の点で、材料力学分野への期待が非常に高い課題であります。それらの課題を、リスクマネジメント、損傷メカニズム、寿命予測、設計、検査、評価、維持規格等々の分野に分け、設備管理のPDCA 全ての面から総括的な議論を行ないます。

- (2) 社会貢献フォーラム：材料力学研究者の業績は、論文だけで評価されるものではなく、成果を規格や基準を通じて社会に還元することも重要な使命であると考えます。国際・国内規格策定を通じて、材料力学部門としてどのように継続的に社会貢献していくべきかについて、本学会標準・企画センターとの連携を交えて、話題提供と総合討論を行ないます。
- (3) CAE フォーラム：応力解析だけでは設計はできません。応力解析結果と損傷や疲労破壊といった実現象が結び付けられてこそ、設計に有用な知識を提供できます。製品設計現場での CAE 活用に関して、現実や現物を直視することの重要性、失敗例、成功例に関する話題提供と、材料力学に関する研究の目指すべき方向性についての議論を行ないます。
- (4) 産学連携ポスターセッション：大学シーズと企業ニーズのマッチングを行なう場を恒常的に提供することを目指して、今回は大学研究室のシーズ紹介をポスター発表で行ないます。次回の講演会では、企業ニーズを提示するポスターセッションを企画します。
- (5) パネルディスカッション “材料力学はこれでいいのか？”：材料力学部門の進むべき途を、部門全体として議論する場を設けました。一過性のもので終わることなく、継続的な課題設定と達成度の確認が行なわれるよう、議論の内容を議事録として公開し、次回講演会以降も議論を継続させます。

4. 定番行事

上記の特別企画に加えて、一般講演、日本機械学会フェロー賞の表彰対象となる学生員および准員を一堂に会したポスター発表、若手チュートリアル、部門表彰式、懇親会も実施いたします。

M&M2007 材料力学カンファレンス

開催日：2007年10月24日(水)～26日(金)
会場：東京大学生産技術研究所

※詳細は以下のホームページをご覧ください。
<http://jsme.kir.jp/Kouenkai/mmdconf07/>





第7回熱応力国際会議 (Thermal Stresses 2007) 参加報告記

河村 隆介
大阪府立大学 大学院工学研究科 機械系専攻

今回で第7回目を迎えた熱応力国際会議 (International Congress on Thermal Stresses : ICTS) が2007年6月4日から7日に亘る4日間, National Taiwan University of Science and Technology (NTUST) の Ching-Kong Chao 教授が実行委員長として, 台北 (台湾) の同大学で開催された。熱応力国際会議 ICTS は熱応力や関連分野に携わる世界中の研究者や技術者に最新の研究の発表や討論の場を提供するもので, 1995年に静岡大学の野田直剛教授が実行委員長として, 『第1回熱応力と関連する話題に関するシンポジウム』を浜松 (日本) で開催されたのが始まりである。その後, 1997年に Journal of Thermal Stresses の編集委員長である Richard B. Hetnarski 教授により Rochester (米国), 1999年に Jacek Skrzypek 教授により Cracow (ポーランド), 2001年に谷川義信教授により大阪 (日本), 2003年に故 Liviu Librescu 教授により Blacksburg (米国), 2005年に Rudolf Heuer 教授と Franz Ziegler 教授により Vienna (オーストリア) で2年毎に開催されてきている。また, ICTS は現在では International Union of Theoretical and Applied Mechanics : IUTAM に加盟する17組織の内の一つとして世界に認知されるに至っている。

第7回の ICTS (Thermal Stresses 2007) は, NTUST の研究者と大学院生から構成された現地のスタッフが主となって効率的に運営され, 特に学生たちが使命感を持って各々の役割を担うとともに, 会議の参加者への彼らのホスピタリティが非常に印象的であった。そして, 今回の ICTS では20カ国を超える国から180件もの論文が発表され, とりわけ6件の基調講演で, 傾斜機能材料の熱衝撃挙動, 熱弾性変位の制御のための圧電複合板の最適設計, ランダム複合材料の熱弾性におけるスケール効果, サンドウィッチ構造の熱誘起振動, 圧電共振子の周波数-温度挙動に及ぼす熱応力の影響に関する数値解析等, 最近の研究成果が第一線の研究者や技術者によって次々と発表され, 熱応力と関連する広範囲の分野に及ぶ世界の研究動向を知ることができた。

そして, 今回の ICTS で特筆すべきことの一つは, 2007年4月16日に米国 Virginia Tech で起こった武装犯人による銃撃事件の中で, 生徒たちの命を救うために犠牲者となった故 Liviu Librescu 教授に捧げる特別セッションが設けられたことである。故 Librescu 教授は世界的に名高い構造力学および航空工学のエキスパートの一人であるが, 2003年に米国 Blacksburg で行われた第5回 ICTS の組織委員長を務め, 今回の ICTS で教授の基調講演が予定されていた。この基調講演が急遽再編成され設けられた特別セッションでは, James R. Barber 教授が座長を務め, 故 Librescu 教授の友人や研究仲間によるスピーチが行われ, 故教授のお人柄, 人生や研究活動等が紹介された。さらに, 教授の門下生の一人による短い講演発表が行われた後, セッション参加者全員で黙祷を捧げた。

さらに, 今回の ICTS ではポーランド科学アカデミーの Jozef Ignaczak 教授の線形動弾性および動的連成熱弾性に関する研究の発展に多大な貢献をされてきた功績を称えて, 70歳の誕生日を祝う特別セッションが設けられ, 15件もの招待講演が行われた。また, パンケットでは ICTS の委員長 Richard B. Hetnarski 教授から大阪府立大学の谷川義信名誉教授とウィーン工科大学の Franz Ziegler 教授へ熱応力分野における業績と ICTS への多年の功績が認められ, 表彰状が授与された。

今回のこの国際会議には, 日本から30名を超える参加者があり, 日本は外国人として最も参加者の多い国であった。その中には, 退職後も研究活動を精力的に継続されておられる畑俊明教授や土田栄一郎教授をはじめ, ベテランの指導者や研究者, 若手の研究者や将来を担う大学院生達が参加した。このように幅広い世代に亘る研究者や技術者が世界中から集い, 研究発表を通じて情報交換が行われる国際会議が継続的に開催されることは大変意義深いことである。

最後に, 次回の第8回 ICTS は2009年6月1日~4日に米国のイリノイ大学 (University of Illinois at Urbana Champaign) で開催されることが予定されている。





“ACMFMS 2008 in Matsue”のご案内

芦田 文博

島根大学 総合理工学部 電子制御システム工学科

このたび、材料力学部門ニュースレターにて、私共が企画した国際会議をご紹介する機会を戴きました。多くの研究者の方にご参加戴きたくご案内申し上げます。

会議名：Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (ACMFMS)

開催日：2008年10月31日(金)～11月3日(月)

開催地：島根県松江市

講演申込締切日：2008年4月30日

URL：<http://www.acmfms.shimane-u.ac.jp/>

問合せ先：ashida@ecs.shimane-u.ac.jp

最近、固体力学に関する研究分野において中国やインドの研究者の躍進が目覚しく、国際学術雑誌に多数の論文が掲載されています。このような状況から、材料力学部門下の「弾性数理解析の発展と普及、利用に関する調査研究会」の若手研究者が中心となり、「東・南アジア地域の若手研究者が集い、最新の研究成果を発表し、互いに交流を助け深められるような機会

を設け、我々の研究分野のさらなる発展を期そう」という趣旨で、ACMFMSを企画しました。ACMFMSは島根大学の主催・開催ですが、日本機械学会にも協賛戴きます。募集する主な研究題目は、機能性及び知的材料や構造物の力学、弾性力学(弾性理論、熱弾性、電気弾性など)、塑性力学(塑性理論、マルチスケール解析、熱塑性など)、破壊及び損傷力学、衝撃力学及び動的材料挙動、接触力学です。会議案内とポスターは9月から配布する予定ですが、芦田までご請求戴ければ喜んで郵送致します。なお、本国際会議論文集の中から選ばれ、審査を通った論文はACTA MECHANICAに掲載される予定です。

松江市の西には出雲大社や世界遺産に登録された石見銀山遺跡、また東には足立美術館(横山大観の作品が多く、庭園が有名)、松江市内には松江城(天守閣が現存)、宍道湖(夕日が素晴らしい)、宍道湖温泉(何と市役所の西隣)や玉造温泉があり、さらに出雲蕎麦、地酒や和菓子も有名です。決して観光案内ではありませんが、ご家族連れでお楽しみになれますので、この機会に「神在月の国」へお出で下さい。

“M&M 若手研究者による国際シンポジウム”のご案内



阪上 隆英

大阪大学 大学院 工学研究科



田中 和人

同志社大学 工学部 機械系学科

会議名：M&M 若手研究者による国際シンポジウム

開催日：2008年3月9日(日)～10日(月)

会場：和歌山県白浜温泉 ホテル古賀の井

開催地：和歌山県西牟婁郡白浜町 3753

講演申込締切日：2008年8月31日(金)

講演原稿提出締切：2008年11月1日(木)

URL：<http://tkatayam.doshisha.ac.jp/mmyoung2008/>

問合せ先：大阪大学 阪上 隆英

sakagami@mech.eng.osaka-u.ac.jp

同志社大学 田中 和人

ktanaka@mail.doshisha.ac.jp

若い世代の研究者にとって、狭い意味での研究分野における縦の繋がりがだけでなく、分野を超えた世代毎の横の繋がりを持つことが、研究の幅を広げ、より良い成果を生むためにも重要です。材料力学部門では、このような趣旨のもとに、M&M レイクサイドサマーシンポジウム(2002年8月、大津市)、M&M 信州スプリングシンポジウム(2005年3月、松本市)と、2回の若手研究者によるシンポジウムを開催してきました。

第3回目となる今回は、国際的に視野を広げた若手シンポ

ジウムとして開催します。若手研究者が国際会議での研究発表を行う機会は以前と比べて増えたものの、若手研究者相互の国際的研究交流の機会は必ずしも十分ではありません。今回のシンポジウムでは、諸外国で活躍されている若手研究者に参加を呼びかけ、若手研究者が国際的に研究交流できる機会を提供します。同時に、国際的に著名な研究者を基調講演者として招聘し、若手研究者が研究の幅を広げられるとともに、自身の研究をアピールする機会を提供します。

本シンポジウムへの発表論文に対しては、審査委員会委員による査読がなされるとともに、論文集掲載論文の中から特に優秀な研究論文が選考され、日本機械学会英文ジャーナル“Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering (JSMME)”の特集号“Special Issue: Outstanding Researches by Promising Young Researchers in Mechanics and Materials Division (from outstanding papers in 2008 M&M young researchers' international symposium)”への掲載を計画しています。

このたび、材料力学部門ニュースレターにて、私共が企画した国際会議をご紹介する機会を戴きました。多くの研究者の方にご参加戴きたくご案内申し上げます。

遮熱コーティング超合金の高温強度評価技術

脇 裕之

大阪電気通信大学 工学部 機械工学科

国内の CO₂ 排出量の約 30% は発電所等のエネルギー転換時の排出によるものである。そのほとんどは化石燃料を燃焼させる火力発電が占めるが、火力発電は今後も重要な電力源として位置づけられている。その高効率化はタービン入口温度の高温化に大きく依存し、鋭意開発が進められ現在では 1500°C 級ガスタービンが登場している。これに

伴って材料へ課せられた耐久性と信頼性の要求も一段と厳しくなっている。本トピックでは、超高温ガスタービンの高効率化を支える遮熱コーティング超合金の高温強度評価技術の特集することとした。遮熱コーティング超合金の開発動向ならびに応力評価技術に関する最新のトピックを二組の気鋭な研究グループにご紹介頂く。

ガスタービン用遮熱コーティング部材の組織制御と強度設計に向けて



岡崎 正和

長岡技術科学大学 工学部



阪口 基己

長岡技術科学大学 工学部

近年の超高温ガスタービン開発における技術的課題のほとんどは、タービン入口近傍の耐熱構造材料技術とそれを燃焼ガスから保護する遮熱・耐食コーティング技術にある。一般に、遮熱コーティング部材（以下、TBCs と表記）は、高温強度に優れる Ni 基超合金基材に、MCrAlY 合金によるボンドコート層を介し、低熱伝導率のセラミックス（多くの場合、Y₂O₃ 部分安定化 ZrO₂[YSZ; Yttria Stabilized Zirconia]）のトップコートをオーバーレイコートした 3 層構造で構成される。実機稼働中、これら TBCs には、酸化・腐食、クリープ、疲労、熱疲労等、多岐多様な負荷が加わるが、その結果として生じる破損は、この部材が多層構造を持つことによる材料力学的な不均一性と材料組織的な不均質性とが重畳した極めて複雑なものとなる。この種の破損現象を正確に捉えるには、TBCs 全体の健全性に対するマクロ的なアプローチは当然ながら、基材、ボンドコート、トップコート各層それぞれの強度、組織、あるいはそれらの連成問題に対する系統的な評価が必要となる。本稿では、TBCs の組織と強度に関する近年のトピックスを紹介しながら、今後の課題と方向性について簡単に記述する。

動翼用超合金基材には、精密鍛造により結晶制御した単結晶超合金が用いられ始めている。この材料の特徴は、母相と析出相からなる独特な複合組織とそのミクロ構造からくる優れた高温強度にあるが、高温での負荷形態に依存して組織がさまざまな形態に変化し、それにより材料強度が左右されるという特性も有する。負荷依存型の組織形態変化としてはクリープ過程中的ラフティング現象がよく知られているが（図 1 参照）、静的な引張・圧縮・ねじり、あるいは、疲労や熱疲労によっても負荷の方向・大きさ・履歴に依存した形態変化が生じるこ

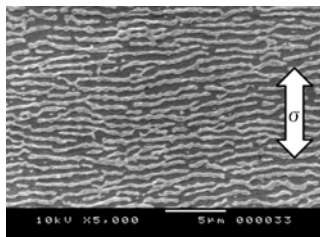


図 1: 室温で引張塑性変形を受け、その後熱処理を加えられた単結晶 Ni 基超合金の γ/γ' 組織。負荷軸に対して垂直な方向へ組織が一樣に伸張している。

とも明らかになってきている。組織形態変化により、場合によっては材料強度が向上する場合もあるため、最近では意図的に形態を変化させて強度向上を狙った超合金設計も進められている。しかし、この問題は組織形態変化という金属組織学的な現象と各種高温強度、さらには材料のおかれる力学場が相互干渉する連成問題であり、合理的な見解を得るには広範なデータベースとそれを説明する統一理論の構築が不可欠と思われる。

耐食・耐環境を担うボンドコート層には、MCrAlY を基本組成とする合金粉末を大気プラズマ溶射、あるいは減圧プラズマ溶射法により成膜する手法が広く用いられている。この層は基材超合金/トップコート層間の熱膨張係数差を緩和する役割を担うが、近年では、基材/ボンドコート間の熱力学的平衡条件を加味し、両層での相互拡散を抑制する働きを持たせたボンドコート材、トップコートとの界面に拡散防止バリア層としての役割を持たせたもの、あるいは、基材に加わる実機稼働損傷を材料力学的に緩和する効果を持たせたものなど、新しい機能の付加も試みられている。今後は、ボンドコート材の材質最適化、あるいは強度設計について集中的に研究が進められると思われる。

TBCs トップコートの施工にはこれまでプラズマ溶射法が用いられてきたが、超高温下での接合強度や内部組織のばらつきに問題があるとされ、近年では、高出力電子ビームを用いた PVD(EB-PVD) 方による技術が注目されつつある（図 2）。原理は通常の真空蒸着と同じであるが、3000K 以上の融点を有するセラミックスを電子銃で蒸発させ、堆積させることを特徴としており、ナノ構造を有した柱状結晶の成長を可能にしている。この手法は既に航空機エンジンの TBCs には適用されているが、産業用の発電ガスタービンへの適用にはコストや大面

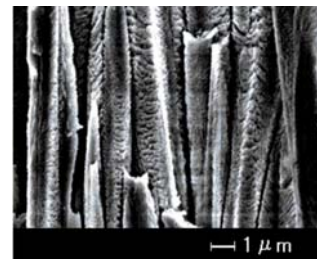


図 2: EB-PVD 法により成膜されたトップコート層の柱状晶構造

積化に難点があるとの考えが一般的である。一方、最近では従来の溶射装置に工夫を凝らし、真空容器内の雰囲気と圧力を制御しながら、プラズマ空間を制御する種々の試み、例えば、イオンプレーティング的な展開、指向性を意図した Jet-PVD 的な展開、高速化を意図した Jet-CVD 的な展開、プラズマトーチの数を多くしてコンポジット化する展開などが図られている。ごく最近ではこれらのプロセス制御により、成膜中の自己組織化を実現させ、EB-PVD-like な columnar 構造あるいは CVD-like な微構造を持ち、かつ、工業的にも十分な速度で TBC 皮膜がつくれることが示されている。

以上、本コラムでは遮熱コーティング部材の強度設計における組織制御の重要性について、近年のトピックスと課題を簡単に紹介した。しかしその一方で、組織制御の際に不可欠となる評価手法、例えば、(i) 組織の解析手法、(ii) 皮膜密度の測定手法、(iii) 空隙率等の測定手法、(iv) 皮膜におけるナノレベルでの空隙の役割と測定手法など、どの項目をとっても不完全なものばかりである。これらの課題の多くは材料力学分野にとどまるものではなく、今後、さまざまな分野の研究者が集い、システムチックなアプローチがすすめられることを期待したい。



放射光による遮熱コーティングの応力評価

鈴木 賢治

新潟大学 人文社会 教育科学系

詳細を述べて重箱の隅を突くよりも、遮熱コーティングの応力評価をめぐる浅学非才な小生の紆余曲折を述べる方が、読者諸氏に興味をもっていただけたらと思ひ筆を取る次第です。

セラミックスで残留応力が問題になるテーマとして異種材料かつ表面改質が重要なことから、プラズマ溶射遮熱コーティングを次の研究テーマの候補に挙げました。しかし、プラズマ溶射膜は歴史もあり、既にいくつかの X 線応力測定の研究がありました。これから研究をしても時すでに遅しと思いましたが、既往の研究を調べると X 線弾性定数や表面応力を測定していますが、ほとんど良い結果が得られず中断していました。プラズマ溶射膜は複雑な膜ゆえに敬遠されていても、今後の高温強度において遮熱コーティングは重要であることからあえて着手することにしました。

はじめは既往の研究と同じように、遮熱コーティング試験片を複合はりとして扱い、コーティング表面にひずみゲージを貼り付け、コーティングの機械的および X 線の弾性定数を測定し、表面の残留応力を求めようと思いました。しかし、コーティングの曲げ剛性は基材に対して非常に小さく、弾性定数測定は困難でした。大気と減圧プラズマ溶射で値も大きく異なり、従来の研究と同じ壁に立たされました。コーティング単体の試験片を製作しましたが、試験片の引張、曲げの変形モード、負荷荷重の測定方法により測定値が変化して、整理が困難となりました。行き詰まったように見えたが、気孔、き裂および溶射ラメラ組織のすべりを含む機械的ひずみと結晶の弾性ひずみから得られる X 線的ひずみとを区別し、実験を繰り返す中で、負荷を受け持つ X 線的ひずみから残留応力を評価することがわかり、うまく整理することができました。

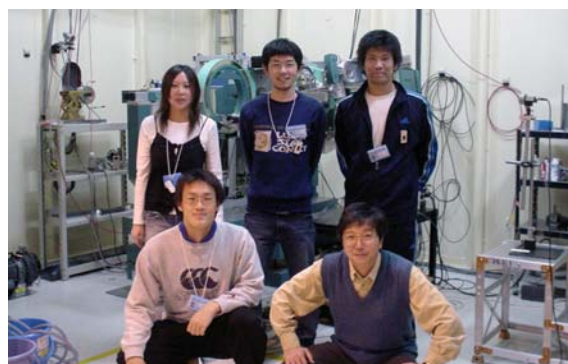
結局、コーティングの残留応力評価につながる弾性定数を求めて論文になるまで 5 年を要しました。もし、これを博士論文のテーマにしていたら学位を取得できず、指導能力を問われたことでしょう。しかし、雑多な研究分野が混じり合った文系学部では、私の研究を理解されることもない反面、日の目を見ない研究をできる長所もあり、それが功を奏しました。大学評価が強まる昨今を考えると、地道な研究が困難になることに懸念を抱きます。

遮熱コーティングの表面から内部への残留応力分布がわかるようになると、はく離が問題になる界面付近の残留応力の様子やボンドコーティングの残留応力などに興味をわいてきました。その頃、SPring-8 の共用利用も開始され、他の実験を手伝う中で、遮熱コーティングの残留応力評価に放射光が使える確信を持ちました。特に、高エネルギー放射光 X 線の持つ大きな透過力に魅せられました。また、貧困な研究室設備を逆手にとって科学施設を利用することも一案と思いました。しかし、その応力測定手法は未知の部分が多く手探り状態でした。は

じめは、研究室 X 線と同じ $\sin^2 \psi$ 法を利用しながら研究を進めましたが、欧州の放射光ワークショップに出席し、欧米ではひずみスキャン法が主流であり、ショックを受けました。早速、ひずみスキャン法を試し、表面効果の補正のためにアナライザ利用を真似てみました。しかし、まったく測定ができずに実験が終わり、他人の論文と同じ実験をしても、結局は一つひとつのハードルを越えなければならないことを痛感しました。失敗例は論文にはならず、それは研究者の中にあるものでした。高輝度 X 線を出せるウィグラやアンジュレータのビームラインを持つ欧米と異なり、SPring-8 では偏向電磁石の輝度の低いビームラインの実験であることをようやく理解できました。偏向電磁石のビームラインを利用した応力測定法は現在も開発が続き、新しい発見があります。

研究室 X 線と高エネルギー放射光を利用することで、遮熱コーティングの界面付近の残留応力が明らかになり、いろいろな現象に新しい知見を与えています。コーティングの研究において、放射光は不可欠な手法であることは間違いありません。放射光による応力評価についての実験と研究に強い目的意識を持ちながら実験を進めれば、今まで気付かない材料挙動に巡り会えると思います。

紆余曲折を経ながらも研究を進めることができたのは、多くの方からの支援があつてのことです。孤立することなく、研究のグループから刺激を受けることも大切です。アルフィ・コーンは「競争社会をこえて」の著書に対して、1987 年アメリカ心理学会賞を授与されました。その中で、あらゆる実験の場において、またあらゆる年齢集団において、協力が競争にまさっていることを指摘していることは、たいへん興味深い限りです。競争の時代にあつても、本部門や研究会が協力の輪を広げることに期待します。



SPring-8 の実験ハッチにて

ポリマーおよびポリマー系複合材料のスマート化

真田 和昭

富山県立大学 工学部 機械システム工学科

近年、物性・機能を主体とする材料の研究開発に加えて、材料に知能を付与しようとするスマート化に関する研究が活発に行われ、保守点検が困難な構造物の健全性を長期間維持するための技術開発が進められています。特に、ポリマーおよびポリマー系複合材料のスマート化は、比強度、比剛性、耐食性等の優れた特性に注目し、これらの経時的な変化を自らモニタリングし、修復させる機能を付与しようとするもので、過酷な環境下で使用される航空・宇宙構造物、化学プラント等の高機能化と安全性維持において重要な技術となっています。スマー

ト材料の実現には、自らが検知し（センサ機能）、自らが判断し（プロセッサ機能）、自らが指令または行動する機能（エフェクタまたはアクチュエータ機能）を付与する材料システム設計が必要であり、現在光ファイバー、形状記憶合金、圧電セラミックス等を用いた様々な手法が提案されています。そこで本特集では、ポリマーおよびポリマー系複合材料のスマート化に関して先駆的な研究を行っておられる先生方に、ご自身の研究内容をご紹介します。



形状記憶合金 TiNi ファイバー強化スマート複合材料

島本 聡

埼玉工業大学 先端科学研究所

次世代の宇宙ステーション、航空機、機械構造システムなどに形状記憶合金 (SMA: Shape Memory Alloy) の特性を生かして高機能性を実現するためには、破壊力学・安全率などに基づく現在の材料・構造設計における受動的・対症的設計概念を超えた自己強化や損傷修復機能などの能動・環境応答特性を有する知的材料・構造システム、および地震や自然災害時に高層ビルや橋梁などの構造物の破壊を防ぎ、より安全な構造物を作ることが望ましい。SMA は温度や応力変化によって結晶相変態を起こし、その際に材料特性は大きく変化する。この SMA の有する材料機能特性を生かしたスマート複合材料の高温領域での機械的性質の特性改善が特に望まれる。そこで形状記憶合金 TiNi ファイバー強化エポキシ樹脂およびポリカーボネート複合材料 (SMA-FEC および SMA-FPC) を開発し、TiNi ファイバーに通電加熱することにより温度を変化させ、形状記憶合金の逆変態 (A_f) によって形状回復を起こさせ母材中に圧縮力を発生させることにより、形状回復力を早い応答速度で効果的に利用するためには、異常負荷が複合材料に加わったときのひずみを検知し、SMA への通電過熱をフィードバックすることが必要である。そこで、スマート複合材料に応力を負荷したときの自己検出信号を検出し、通電過熱による形状回復力の制御システムを構築し、疲労き裂進展速度の抑制および橋梁床板モデルの減衰効果を調べた。

検出機能を確認するために中央部片側に予き裂を有するスマート複合材料を常温にて破壊に至るまで引張試験を行い、アクティブゲージ

の output 電圧変化を測定した結果を図 1 に示す。予き裂先端部よりき裂が発生・進展し途中で扇状に枝分かれした後、破壊に至る。

ストレインセンサの機能は検出信号とノイズレベルとの比較から、3~6MPa の応力変化を十分な余裕をもって検出する能力を有し、早期段階からひずみの検出能力がある事がわかる。

図 2 は、引張予ひずみ 0, 1, 3% の切欠き部を含む並行部に負荷する公称応力振幅 σ_{max} が 5.4MPa, σ_{min} が 0 ($R=0$) の場合について、き裂長さ (切欠き部長さを含む) a と繰返し数 N の関係は、予ひずみ 0, 1, 3% の場合、実験開始時にはわずかなき裂進展しか認められず、繰返し数 N が増加するにしたがってき裂進展が増加し始め、各々 9.4×10^4 , 2.4×10^5 , 5.3×10^5 cycle に達すると急激にき裂が進展することがわかる。

そこで、恒温槽内雰囲気温度を室温 (20°C) から高温側 80°C ($>A_f$) まで急変させたところ、予ひずみ 0% の場合、き裂進展速度はわずかに停留したのに比し、1, 3% の場合は大幅に停留し、ほとんど停止状態となった。そこで更に、き裂を進展させるために、疲労応力振幅を予ひずみ 1, 3% の場合、各々 15, 20% 増加させたところ、き裂進展は室温から 80°C に上昇させた時の速度変化幅を 1 としたときに比し各々 12, 14 倍以上のき裂進展が低下し、き裂抑制効果が確かめられた。また、橋梁床板モデルに通電量 3.5A で加熱した場合予ひずみの増加により減衰効果が増し、予ひずみ 0% に比し 5% では、約 42% の振幅が減衰し、地震入力波に対する橋梁などの構造物の剛性制御によ

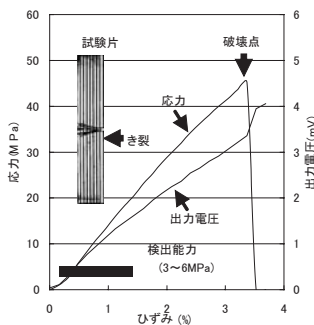


図 1 複合材料の応力と出力電圧の関係

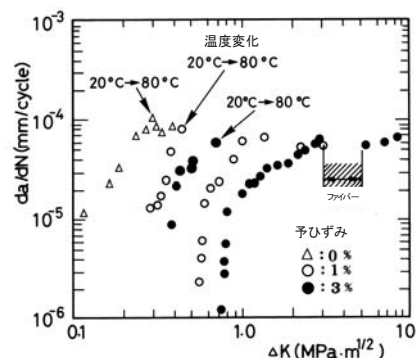


図 2 疲労き裂の進展速度と ΔK の関係

る制振効果が確かめられた。列車走行時のたわみの緩和は引張予ひずみ 0%(通電加熱前) に比し、5% の場合 52% の床板下側引張ひずみ (たわみ) が緩和され、災害時における橋梁などの

破壊防止の可能性が確認でき、知的構造システムを構築するための基礎数値が得られ、最も適したスマート複合材料である。

自己修復機能を有するスマート耐食材料



久保内 昌敏
東京工業大学大学院 理工学研究科
化学工学専攻



後藤 誠裕
東京工業大学大学院 理工学研究科
化学工学専攻

化学プラント等では、酸やアルカリに対して耐性のある有機複合材料が開発され、一部では金属に替わって用いられるようになってきたが、これらの材料も環境によっては加水分解などの劣化を起こしてしまう^{1,2)}。有機複合材料は金属材料と比べて歴史が浅く劣化挙動に関する知見が少ないために、装置の劣化状態を正確に把握するためには定期的に操業を停止して詳細な分析検査を行う必要がある。装置の停止には、その期間ばかりでなくメンテナンス後定常状態までも長時間を必要とするため、装置を停止させることなく非破壊検査が望まれている。作業者が装置等に入ることがなくなるので、事故の危険性を低減させる効果も期待できる。また、通常これら装置は安全性を考慮して材料寿命よりもはるか手前で交換されるが、劣化を常時監視でよりの確に把握できれば、寿命ぎりぎりまで信頼性を持たせることが可能となるので装置の長寿命化も期待できる。

一方、近年航空宇宙工学や土木工学などの分野では、歪みを測定する光ファイバーを埋め込んだ FRP やコンクリートの研究や開発が盛んに行われている。例えば、光ファイバーに回折格子を焼付け、ファイバーの変形を、反射光の波長変化として計測する FBG 光ファイバーが各種構造物の健全性モニタリングに検討されている³⁾。これは、センサーの他、圧電素子等のアクチュエータと呼ばれる機能部材を組み込んで、非破壊で機械的劣化の検知だけでなく自己修復性が行えるようにした「スマート構造 (材料)」に関する研究と位置づけられることがある。この自己修復の例としては、座古⁴⁾が FRP の層間に熱可塑性樹脂の粒子を混入し、亀裂が発生したら加熱溶融させて修復を行うという方法を提案している。

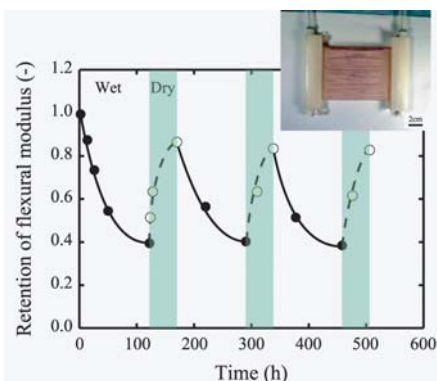
このスマート構造の概念を化学装置における腐食劣化に対しても適用することができれば、非破壊での劣化の検知や連続操作中での修復作業が行えるようになるだろう。このような考え方の下、当研究室では材料中への環境液浸入を検知するセンサーについて研究を行い、pH 指示薬と光ファイバーを組み合わせることでリアルタイムモニタリングが実現できることを示した⁵⁾。

化学的な反応により劣化した樹脂の自己修復はなかなか難しいが、

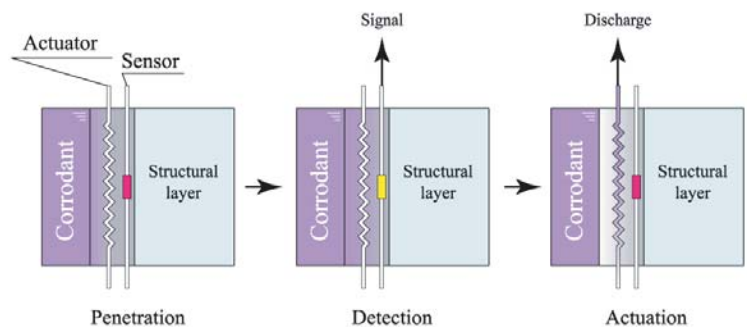
武田ら⁶⁾が行った研究は本質的な化学的修復として興味深い。光や応力といった刺激により高分子主鎖が切断されて発生するラジカルを水素添加により安定化させ、さらに触媒反応により再結合して修復させている。このような材料を全くもとの状態に戻すことは難しいが、我々は樹脂中に埋設した中空糸を用いて環境液を除去することによる自己修復を試みている⁷⁾。

我々は有機材料の劣化を 3 つの形態で整理できることを提案している⁷⁾が、はじめに環境液が材料中に素早く浸入し、その後十分な時間が経過してから材料全体で反応を起こす全面浸入型腐食については、反応が起きるよりも前に浸入した環境液を除去することが出来れば材料を初期状態へ戻すことが出来ると予想される。そこで不飽和ポリエステル-メタノールの組み合わせを選択し、樹脂をメタノール中に浸せき試験後中空糸内部に送風して浸入したメタノールを除去する実験を行った。浸せきにより初期値の 3 割程度にまで低下した曲げ弾性率を、メタノールの除去により 8 割程度にまで回復させることに成功した。これと前述の光ファイバセンサを組み合わせることで、自己診断・自己修復機能を有するスマート耐食材料が実現できるものと期待している。

- 1) 曽根正人, 市原祥次: 高分子の寿命予測と長寿命化技術 (監修 大澤善次郎, 成澤郁夫), 株式会社エヌ・ティー・エス, 209 (2002).
- 2) 山崎昇: 材料, 48, 11, 1219-1227 (1999).
- 3) S. Komatsuzaki, S. Kojima, A. Hongo, N. Takeda and T. Sakurai: Proc. of 16th Int. Conf. on Composite Materials, ICCM-16, TuBM1-02ge_komatsuzakis2214.pdf (CD-ROM).
- 4) 座古勝: 繊維と工業, 57(2), 61-64 (2001).
- 5) 富山慎仁, 仙北谷英貴, 久保内昌敏, 津田健: マテリアルライフ学会誌, 15, 3, 77-81 (2003).
- 6) 武田邦彦, 今泉公夫: コンバーテック, 29(1), 14-18 (2001).
- 7) 後藤誠裕, 酒井哲也, 久保内昌敏, 津田健: 材料の科学と工学, 42(6), 321-326 (2005).



中空糸膜ユニット埋設試験片の繰り返し乾燥試験結果



自己診断・自己修復材料のコンセプト

Materials and Mechanics Division Newsletter No. 31

目次

- | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------------------|
| 1. 部門長就任にあたって | 第 85 期部門長 | 岡崎 正和 (長岡技術科学大学) |
| 2. 産業界からの積極的な支援をお願いします | 第 85 期副部門長 | 中曽根 祐司 (東京理科大学) |
| 3. M&M2007 材料力学カンファレンス | | 吉川 暢宏 (東京大学) |
| 4. 第 7 回熱応力国際会議参加報告記 | | 河村 隆介 (大阪府立大学) |
| 6. ACMFMS2008 in Matsue のご案内 | | 芦田 文博 (島根大学) |
| 7. M&M 若手研究者による国際シンポジウム | | 阪上 隆英 (大阪大学), 田中 和人 (同志社大学) |
| 8. 特集 最先端材料力学研究トピック 1 | | |
| ガスタービン用遮熱コーティング部材の組織制御と強度設計に向けて | | 岡崎 正和, 阪口 基己 (長岡科学技術大学) |
| 放射光による遮熱コーティングの応力評価 | | 鈴木 賢治 (新潟大学) |
| 9. 特集 最先端材料力学研究トピック 2 | | |
| 形状記憶合金 TiNi ファイバー強化スマート複合材料 | | 島本 聡 (埼玉工業大学) |
| 自己修復機能を有するスマート耐食材料 | | 久保内 昌敏, 後藤 誠裕 (東京工業大学) |
| 10. ニュースレター目次 | | |
| 11. M&M2008 材料力学カンファレンスへのお誘い | | 高野 直樹 (立命館大学) |
| 編集後記 | 広報委員長 | 荒井 政大 (信州大学) |

M&M2008 材料力学カンファレンスへのお誘い

立命館大学 -びわこ・草津キャンパス-

2008 年度の材料力学カンファレンスは立命館大学びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市野路東 1-1-1) にて開催されます。まだ開催日程は確定されていませんが、2008 年 9 月中下旬の開催を予定しています。

M&M2007 では、吉川暢宏運営委員長が精力的に新しいカンファレンス形態を提案されていますので、発展的に定着させることが我々の役割かと思っています。同時に、本学ならではの運営、元気をアピールできればと思っています。

びわこ・くさつキャンパスは 1994 年に開設され、京都の金閣寺の近くの衣笠キャンパスから理工学部が移転し、ついで 1998 年には経済学部と経営学部も移転し、文理融合型のキャンパスとして発展してきました。JR 琵琶湖線南草津駅で下車されると、電車の到着にあわせてバスが待っています。キャンパスの正門を通ると、写真のようなグラウンドがまず目に飛び込んで来ます。本キャンパスはアメフトチーム Panthers の本拠地でもあります。

カンファレンスでは、機械工学科、マイクロ機械システム工学科のスタッフ一同と関西地区の各大学が一丸となって皆様をお待ちしております。



立命館大学 理工学部
 機械工学科 坂根 政男(委員長)
 機械工学科 日下 隆之
 マイクロシステム工学科 高野 直樹

編集後記

7 月の新潟県中越沖地震、5 月に吹田市で起きたジェットコースター事故など、このところ大きな事故が相次いでいます。これらの大惨事が起きる毎に、材料力学の研究に携わる“はしくれ”として事故の責任の一旦を感じつつ、なんとかこれらの悲劇的な事故を防ぐ手立ては無かったのかと自問自答しています。10 月の材料力学カンファレンスでは、新潟県中越沖地震の緊急フォーラムが設けられるとのこと。災害や大事故と材料力学の関わりを見つめ直し、材料力学を社会に役立てる手立てを改めて考える機会にしたいと思っています。(荒井@信州大)

(社) 日本機械学会ニュースレター No. 30

ニュースレター発行担当広報委員会

荒井政大 (信州大), 真田和昭 (富山県立大), 高橋宏治 (横浜国立大), 脇 裕之 (大阪電通大), 島村佳伸 (静岡大), 清水理能 (富山大)

発行 2007 年 9 月 1 日

発行者 (社) 日本機械学会材料力学部門 東京都新宿区信濃町 35 番地 信濃町煉瓦館 5F

TEL:03-5360-3500, FAX:03-5360-3508, <http://www.jsme.or.jp/mmd/>