

Materials



&

Mechanics

Materials and Mechanics Division Newsletter

No. 29, September 2005

糸島ば聞いたことない?? ないやつあ、糸島おくりばい! 2005!! 楽会 M&M2005 材料力学カンファレンス!!

M&M2005 実行委員長 村上敬宜(九州大学)
幹事 野口博司(九州大学)

おいさ、オイサ、おいさ、オイサ、おいさ。博多は、山笠真っ盛りばい。みんな祭りば愛しとうけん!! そげな博多で祭りの「材料力学カンファレンス!!」ば11月4日(金)~11月6日(日)にやるつたい!!

九大の“伊都新キャンパス”っちゅうちかっぱ新しかキャンパスであるとたい。近かところに“伊都国”っちゅう国が昔あったちゃん。キャンパス作るうと掘ったら、石器が出たつたい!! たまにはふるかもん見るのもよかけん、見たらよかばい。福岡来たら、博多ラーメンとか明太子食べようと言っとるんっちゃんないと?? もちろん用意しとうけん!! たいがい、食べないかんよ。仕事終わったら、屋台に寄ったらよかばい!! ぱりぱり福岡感じることが出来るけん! 福岡でまっとーばい!!

*伊都国は魏志倭人伝に出てくる倭の国。日本書紀に記載の最初の納税者の古墳もあり。





部門長就任にあたって

第 83 期部門長

北村 隆行

京都大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻

坂真澄前部門長の後を継ぎ、第 83 期の部門長を仰せつかりました。東郷敬一郎副部門長、干強幹事をはじめとしまして、運営委員会の皆様方のご努力に支えられ、材料力学部門のさらなる発展に向けて微力を尽くしたいと存じます。

材料力学は、機械工学の根幹をなす学術・技術のひとつであり、多岐にわたる学際的な機械工学の中の「老舗」といってよいでしょう。ガリレオに始まる研究などのご紹介（ニュースレター No.27）を受ければ、機械工学のみならず科学・技術全般の中の「老舗」と言ってもよいほどです。

さて、私が生まれ育った京都の町には数多くの老舗料亭が点在します。祇園の中村楼や美濃幸、南禅寺の瓢亭、西陣の魚新、木屋町のたん熊・・・名勝の庭、幕末等の歴史などなどを背景に彩られた固有の重みのある風情を湛えています。先日、ふとした機会に、京都のさる老舗料亭の料理長の次のような言葉を聞きました。

日々、食材・調理・飾りつけに工夫をし、料理を発展・変化させている。それでこそ、お客さんは『いつもと変わら^ず、美味しいお料理だね』と言ってくださる。以前と同じものを出すと、『当代になって味が落ちたね』と言われます。

伝統には、天才（あるいは、膨大な試行錯誤）が作り出した絶妙なバランスを狂いなく再現し続けるものと、日々の弛まぬ革新によって価値を創造し続けるもの、の 2

種類があるようです。いずれも、実現のためには究極の努力が必要となり、それが抜きん出た「老舗の質」を生み出します。また、人並み以上のプライドがなければ、その努力を維持できません。京料理の真髄は、ある決まった枠組みはあるとしても、にあるようです。担い手にとっては、昨日までの対象、方法、概念から踏み出すことは、変化によって受けるかもしれない『味が落ちたね』との非難を想定すれば、相当の恐怖を伴うことでしょう。しかし、「伝統を守る」ためには、その恐怖の克服が必要なようです。もちろん、急に京料理にフランス料理等を持ち込むことを期待されているわけではなく、和食・和の空間という（拘束でもあり、強みでもある）様式を意識した変革が必要であることは言を待ちません。

一方、世の中を見回しますと、石油価格高騰、環境問題、高齢化問題などの地鳴りから、時代が材料力学の再評価を求める可燃性ガスの圧力をひしひしと感じます。老舗「材料力学」の伝統の熱を背中に、一步の着実な歩みを目指したいと思います。

11 月 4 - 6 日に九州大学で M&M2005 が開催されます。新キャンパスでの開催に多くの新工夫が盛り込まれています。また、ジャーナルの部門移行に関する議論が進められています。これらは、材料力学の価値再構築のための強力な水掻きです。部門の皆様方のご協力・ご支援をどうか宜しく申し上げます。



材料力学部門を楽しむために

第 83 期副部門長

東郷 敬一郎

静岡大学 工学部 機械工学科

近年、インパクトファクター重視の研究評価や外部資金獲得の圧力で、大学人でさえも国内の学会活動にどうかかわればよいのか漠とした不安を感じるという状況になってきています。学会は人と知恵と情報が集まるどころ、そして会員にとって楽しいところでないといけません。今期の材料力学カンファレンスは楽しい講演会をモットーに企画されていると聞いています。では、楽しい学会とは何でしょうか。私自身のことを振り返って見ますと、学会で楽しいと感じたのは、講演会などで発表の後、「ここはどうなっているの?」「面白い研究だね。」などと同じ分野の方々が興味を示してくれることでした。学会と個人のかかわりは、論文を発表すること、講演会で発表し、face to face で仲間を作って行くことです。論文を読んだだけではわからないことも講演を聴くとわかってきます。さらに、懇親会でお酒を飲みながら話を伺うと、その価値がもっと伝わってきます。講演会では、研究費のことはさておき、純粋に研究の話をするのが、楽しむ秘訣かもしれません。それは、ときにブレイクストーミングになり、その後の研

究活動の糧になるのではないかと思います。

もう一つは論文発表の場としてのかかわりです。発表した論文の価値はその内容で評価されるべきですが、最近はおかしなことに雑誌で評価されるようになってきています。このような状況に鑑みて、JSME Int. J.は 2008 年を目処に部門英文ジャーナルへ移行することになっております。このジャーナルはオンラインジャーナル J-STAGE に搭載され、オープンアクセスとなります。現在、第 2 技術委員会で検討しておりますが、部門英文ジャーナルを世界に発信し、いかに高い評価を受けるかは重要な課題であり、戦略的な取り組みが必要かと思えます。ピアレビューによりジャーナルの質を維持し、高い評価を受けるためには、投稿件数が多くなくてはなりません。海外からの投稿を促し、部門英文 Journal を育てるためには、まず母体である材料力学部門の皆様、特に材料力学部門をリードしてこられた方々が、そっぽを向かず、投稿することが重要だと思えます。



M&M 信州スプリングシンポジウム報告記

荒井 政大

信州大学 工学部 機械システム工学科

本年3月14日、15日の二日間、長野県松本市の浅間温泉みやま荘にて、「信州スプリングシンポジウム」が開催されました。本シンポジウムは、若手研究者の交流・連携強化と部門活動の活性化を目的として、35歳以下の若手研究者による講演会として企画されました。若手研究者の講演会としては、2002年の夏に琵琶湖畔のホテルKKRびわこにて開催されたレイクサイドサマーシンポジウムに続き2回目となる企画であり、3名のシニアの先生方による基調講演をプログラムに加え、座長に部門長、前部門長以下、多くのシニア研究者を迎えて開催されました。

初めて会う方々も多いということで、シンポジウム実行委員長の辻知章先生の発案で、講演に先立って自己紹介と自己PRが行われました。そのためあつてか若手講演の各セッションは適度に緊張が和らぎ、和やかな雰囲気が進められました。惜しむらくは、講演数が予想を上回る33件に達したため、一件あたりの講演時間がやや足りなかった点でしょうか。ともあれ、材料開発、強度・疲労評価、非破壊検査、複合材料、数値解析、最適設計などなど、日頃の講演会では顔を合わせる機会の少ないさまざまな分野の若手研究者が遠慮のない率直な意見交換・情報交換を行える非常によい機会となりました。

また、シニアの小林英男先生、田中正隆先生、野田直剛先生には、若手の頃のエピソードを交えながら、貴重な経験談を披露して頂きました。本シンポジウムは、若手同士の交流はもちろんのこと、中堅以上のシニアの研究者と、今後の部門の活動を担う若手研究者が親睦を深め、今後の部門活動を支える新たなネットワークを築く意味でもよい機会となったと確信しています。

前回のシンポジウムと同様、若手研究者33名の講演について、優秀講演の評価が行われました。昨今の若手研究者のプレゼンテーションはPower Pointを駆使して非常に工夫がこらされており、シニアの研究者にとっては何れも素晴らしい出来栄と映りましたが、若手研究者とシニアの研究者のどちらからも高い評価を得た田中和人氏(京大、現同志社大)と水谷義弘氏(東工大)の両氏に優秀講演賞が贈られることになりました。

次回のシンポジウムの詳細は今のところ未定ではありますが、今回のシンポジウムにて副実行委員長を務めて頂いた阪上隆英先生(大阪大)が中心となって、3年後に関西方面にて開催される予定と聞いております。第1回の琵琶湖、第2回の信州松本に続いて、第3回の若手講演会も、本部門のシニアと若手が活発な議論を展開できる楽しいシンポジウムとなることを期待しております。未筆とはなりましたが、講演の機会が与えられないにも関わらず遠方よりお越し下さり、座長・司会の他、若手講演のサポートを頂いた参加者の皆様方に厚く御礼申し上げます。



M&M 信州スプリングシンポジウムのスナップショット



連載 材力夜話 第4回
熱応力研究の歴史を通じて

野田 直剛
静岡大学 工学部 機械工学科

広報委員長より執筆依頼を受けたとき、数多くのご高名な先輩諸氏が名を連ねる中、私への依頼は何かの間違ひではないかと思った。歴代の執筆者は大きな分野を開拓した先駆者であり、かつ偉大な先輩である。お断りしようと思ったが、偉大な先輩の夜話だけでなく、並みの研究者の夜話も一興であるのではとの友人の進めにより、浅学非才を顧みず引き受けることにした。

2005年3月に開催されたM&M信州スプリングシンポジウムに参加する機会に恵まれた。このシンポジウムは、若手研究者に集いの場を提供する事を目的として開催され、発表者は35歳以下と制限されていた。二日間、若手研究者が真剣に議論しているのを聴き、M&Mの将来の明るさを感じた。しかし、以前から感じていたが、二日間の講演を聴いてさらに強く感じたことがある。井上裕嗣先生(東工大)が同じことを閉会の挨拶で述べられた。その趣旨は「以前であれば、例えば破壊力学の発表が多数を占めていたが、今回は多種多様で、どの分野がメインであるかわからない。」である。この状態が良いのか、悪いのかは議論が分かれるところではあるが、長く続くことは如何なものかと思っている。M&Mの将来を展望するとき、「温故知新」、材料力学の歴史を振り返ることも必要であろう。そこで、私が関係している熱弾性学についての歴史を振り返ってみる。

熱弾性学は弾性学と熱力学の熱伝導論との融合領域である。材料力学から見ても他分野の融合としては最初に属するであろう。Navierが1821年に弾性力は分子間の変化に基づくとして、1個の弾性定数を含む弾性基礎式を求めた。その後1822年に、Cauchyは仮想断面法に基づき弾性基礎式を現在用いられている形で定式化した。

Fourierは1822年に熱流が温度勾配に比例することに基づく熱伝導論を提案した。熱弾性論は、1837年にDuhamelが熱による固体の膨張を考慮した熱伝導論を定式化したことにより始まる。このとき、熱による変形仕事を考慮することにより、温度場と変

形場の連成効果を考慮した基礎式を導いている。連成項を考慮した熱弾性研究の開始が1962年のBoley-Tolins以降であることを考えれば驚異である。また、具体的に中空球の定常熱応力問題をも解析しており、一つの論文に数多くの成果が含まれていることは現在では考えにくいことである。

熱応力の研究が盛んになるのは第二次世界大戦後である。特に1950年代以降、数多くの研究がなされている。特に、研究をリードしたのはウイーン工科大学のMelanとParkusのグループ、ポーランドの科学アカデミー総裁となるNowackiのグループ、アメリカのBoleyのグループである。その後は、Nowackiの弟子であるOlesiak, Hetnarski, Ignaczakと続き、アメリカではTauchertと続く。その成果は、熱応力専門書として続々と出版されていった。最初の熱応力の専門書は1953年に出版されたMelan & ParkusのWärmespannungenである。その後、Gatewood(1959), Parkus(1959), Boley & Weiner(1960), Nowacki(1962)と続き、Hetnarskiは熱応力研究の集大成として5冊シリーズの熱応力の本を編集した。新しい本としてはNoda・Hetnarski・Tanigawa(2003)があり、現在まで、50冊近くの専門書が出版されている。しかし、名著と呼ばれるのは初期の頃に多い。

熱応力の学術誌は1978年にHetnarskiにより発刊された。そのとき、日本人として竹内洋一郎氏が編集委員として参加した。年4回の発刊から、現在毎月発刊されている。熱応力に関する国際会議は第一回目が1995年に私とHetnarskiの主催により浜松で開催された。その後、アメリカ、ヨーロッパ、アジア地区で隔年で開催されている。今年、第6回熱応力に関する国際会議が熱応力の父であるMelan & Parkusの出身大学であるウイーン工科大学で開催された。

熱応力の歴史を振り返ると、熱弾性基礎方程式が確立されて約100年後、戦後の工業化の流れと関係して熱応力の研究が盛んになる。研究が盛んになる

につれ専門書が出版されている。その約 20 年後に、研究者共通の公表の場として熱応力の学術誌が発刊された。その後、17 年後に熱応力に関する国際会議が継続して開催されるようになり、研究者の肘を付き合わせた意見交換の場が確保された。

日本における熱応力研究は 1919 年に栖原豊太郎、1922 年に村松鶴蔵により始められた。戦後、1952 年に村外志夫は動的熱応力問題を、1956 年に牟岐鹿楼は半無限体及び厚板の定常熱応力の研究を行っている。それ以後、熱応力研究を主導したのは竹内洋一郎、渥美光、小泉堯である。竹内洋一郎は 1962 年に発足した日本機械学会関西支部熱応力研究会(主査: 大田友弥)を足場に、1965 年に瞬間線熱源による円板の熱応力を発表した。その後、Nowacki や Hetnarski と交流を深め、日本の熱応力研究を世界に紹介した。渥美光は 1963 年に定常熱流による有孔帯板の熱応力を発表し、また小泉堯は、1962 年に流体により加熱される中空円筒の熱応力を皮切りに、3 次元熱応力問題の研究を数多く公表した。しかし、日本の熱応力研究の質は高いものの、もう数年早ければ各分野の最初の論文となっていたものが多い。例えば、動的熱応力問題の最初の論文は 1950 年の Danilovskaya であり、この問題を取り扱うとき必ず引用される有名な論文である。村外志夫は 1952 年に同様の問題を解析しているが、2 年遅れのためこの論文を知る人は少ない。

1970 年代に入ると、有限要素法や境界要素法等の計算力学の急速な発展のため、弾性力学不要論が聞こえてくるようになる。弾性力学研究に危機を抱いた畑・倉茂・谷川・野田・須見・渡辺を中心として、日本における弾性力学研究の灯を消さないように、弾性力学研究者の忌憚りの無い研究発表の場として、また会員同士の懇親の場として、熱的極限環境下における固体の変形挙動に関する調査研究分科会(主査: 倉茂、幹事: 野田)を 1989 年に立ち上げた。この研究会はその時代に相応しいテーマを掲げ、現在も活動を行っている。この研究会を通じ、小さな分野でもよいが先駆的な研究であること、先駆的な専門書を執筆すること、国際学術誌を発刊すること、継続的な国際会議を開催すること、の重要性を痛感した。成熟期または成熟期を過ぎたといわれる熱応力分野では「継続的な国際会議を開催すること」しか残されていないことに気づき、研究会では国際会議の開催について検討した。我々のみでは継続的な国際会議を開催することは困難であり、

Journal of Thermal Stresses の編集委員長の Hetnarski に相談することにした。その結果、Hetnarski から快諾が得られ、研究会を代表して私と Hetnarski が共同主催者として、第一回熱応力に関する国際会議を 1995 年に浜松で開催した。そのとき、24 ヶ国から約 200 名の参加者があり、その約 40% が外国からの参加者であった。イタリアの Fichera からは今まで参加した国際会議の中で最高の会議であるとの評価を受けた。翌年、奥様から同様の内容を付して、教授が永眠されたとお手紙を頂いた。熱応力国際会議は、2002 年に International Union of Theoretical and Applied Mechanics に加盟(18 機関が加盟)し、名実ともに世界に認知された。

近年の研究では、熱伝導方程式は拡散方程式であるため、熱波は無敵大の速度を持つことになり、この矛盾を解消するため、Kaliski(1965)は熱伝導の波動方程式を、Lord & Shulman(1967)は一般化された熱弾性を発表した。この熱伝導方程式は、Fourier の熱伝導方程式、Duhamel の熱伝導方程式に次ぎ、従来の熱伝導方程式を波動方程式で書き直した画期的なものである。その後、「放射」現象及び超高出力レーザー加工等を量子力学的視点から熱応力解析に組込むこと等、量子力学を連続体力学に組込む研究も進められている。一方、1984 年に日本人により発想された傾斜機能材料は、応用性の期待からその熱応力の研究は増加し、日本人の貢献は非常に大きい。また、スマート材料やスマート構造体の熱応力の研究も新しい展開である。

熱応力研究は成熟期を過ぎたといわれているが、一定の研究者が基礎と応用の両面から、時代の要請に対応しながら研究が展開されている。また、最近の熱応力関連の研究傾向も、分野が多岐にわたっていることは M&M と同じであり、社会に与えるインパクトが少なくなっていることも否めない。しかし、破壊や材料に関連する学会が M&M から誕生・発展し、より専門性の高い学会へと成長したことを振り返ると、本 M&M から新しい研究分野が生まれ、発展することを期待するのも歴史の趨勢ではなからうか。材料力学部門の研究分野が多岐にわたっている現代を新しい学問の孵化期と考えれば、新しい分野を開拓する絶好の機会であろう。そのため、若い研究者が既成の学問分野にとらわれることなく、自由かつ大胆な発想のもと、M&M の新時代を切り開いてくれることを期待してやまない。

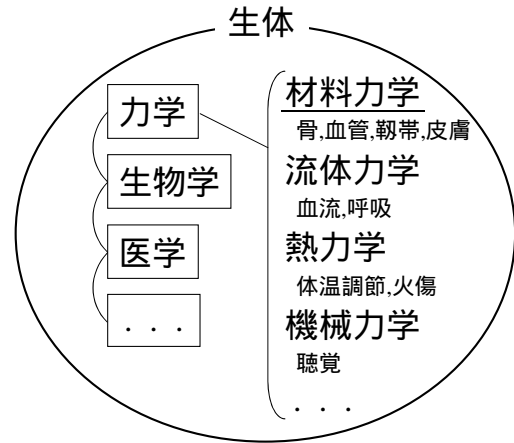


特集 異分野融合研究トピック1
生体と材料力学

坪田 健一
 東北大学 大学院工学研究科 バイオリボティクス専攻

生体(生物の体)では,細胞から組織,器官,そして体全体に至る様々なスケールにおいて,力学的因子と生物学的因子が密接に関連した現象が観察されます(図).例えば,血液の流れは流体力学にしたいがい,体温の調節機能は熱力学的法則の下で発揮されています.また,聴覚における鼓膜の振動は,機械力学的な現象として捉えることができます.このように力学的な観点から生体を捉える研究分野は,生体力学と呼ばれており,生体に固有の構造や機能を理解する際に重要な役割を果たしています.また,この機能の変化や異常が様々な疾患につながることから,医学分野では,生体力学的な視点に基づいた予防方法や治療方法が編み出されてきています.

生体において材料力学は,骨や歯といった硬組織,および血管,靭帯や皮膚といった軟組織の力学を検討する際に広く用いられています.本トピックでは,この分野の気鋭



生体における力学と材料力学

の研究者2名に最新の研究をご紹介します.生体の巧妙な仕組みの一端を感じていただければ幸いです.



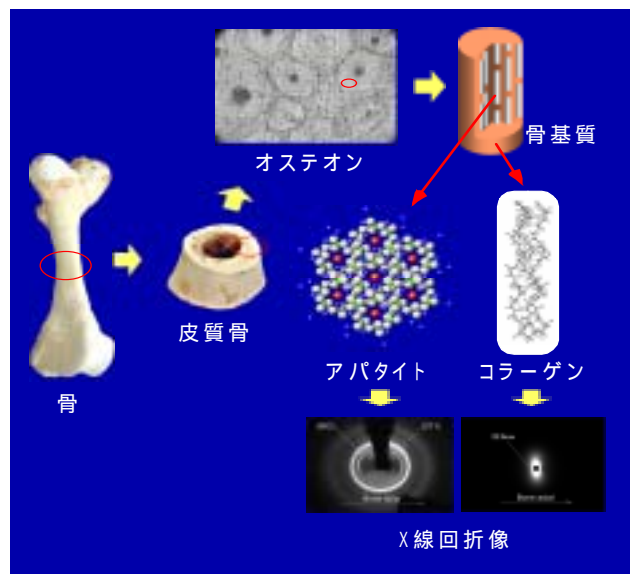
特集 異分野融合研究トピック1 「生体と材料力学」
骨の微視的構造・力学特性に関する実験的研究

東藤 正浩
 北海道大学 大学院工学研究科 人間機械システムデザイン専攻

身体を支える構造材料である骨は力学的特性が最も重要な生体組織である.また周囲の力学的環境に適応し構造を変化させる機能を有するなど,その性質は力学と密接に関わっている.特に近年の高齢化社会の到来に伴い,骨折等の傷害の予防や治療技術の進歩への期待は大きく,加齢や疾病による変性など,骨の材料特性をより詳細に調査する必要性が高まっている.

図に示すように,骨はスケールによって様々な複合構造を有する階層構造であり,全体として最適な材料特性を実現していると考えられる.そこで,骨に関して各々のスケールでの構造・力学特性を調査し,また各スケール間の関係を理解することで骨の材料特性をより詳細に明らかにすることを目的とした研究に取り組んでおり,ここでは骨の微視的構造に着目した研究について紹介する.

巨視的に見た場合,骨は表層にある密な皮質骨と,内部



骨の階層構造とX線回折

にあるスポンジ状の海綿骨から構成されている。また微視的には、層状あるいは円筒状に骨基質が配列している。骨基質は、さらに微視的にはコラーゲン線維とアパタイト結晶から構成されている。これらの微視的な複合材としての力学的特性は、骨の巨視的な力学的特性を決定する重要な要素であるが、未だ明確にされていない。アパタイト結晶の大きさおよびコラーゲン分子配列の周期長はともに数十 nm 程度であり、これらが複合化された状態で各々の力学的挙動を視覚的にとらえることは困難である。結晶・分子構造解析手法として X 線回折がある。そこで、外力に対する結晶・分子構造パラメータの変化を X 線回折により測

定し、骨の微視的な力学的特性を評価する研究を行っている。骨に X 線を照射した場合、アパタイト結晶による広角回折とコラーゲン分子配列の周期長による小角散乱が起こる。十分な強度の X 線を照射することで、それらを検出することが可能となる。本手法を用いて、骨への巨視的な負荷下におけるアパタイト結晶およびコラーゲン線維の力学的挙動を観察した。その結果、それぞれ異なる応力・ひずみ状態を呈し、一定の割合で負荷を分担していることが確認できた。現在は、静的・動的な負荷に対する挙動をもとに骨の微視的構造・力学モデルを構築すると共に、変性した骨の力学モデルへの展開を行っている。

特集 異分野融合研究トピック 1 「生体と材料力学」

骨格筋傷害メカニズム解明への生体力学的アプローチ



山本 創太

名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻

生体を構成する器官の多くは階層的な内部構造を有する。力学負荷により生じる生体組織のマイクロ損傷の発生基準やその発展、損傷蓄積と生体機能、組織全体の強度低下の関係の解明は、傷害メカニズムの検討上、重要である。現在、自動車衝突安全の分野では人体挙動や傷害を予測する解析モデルがいくつか開発されているが、傷害予測精度は十分ではなく、今後は傷害メカニズムを考慮した損傷解析 / 予測モデルの開発が必要とされる。著者の所属研究室では、特に身体挙動を困難にする直接の原因となる骨格筋傷害について、損傷解析モデルの構築を目標とした傷害メカニズムの実験的検討に取り組んでいる。

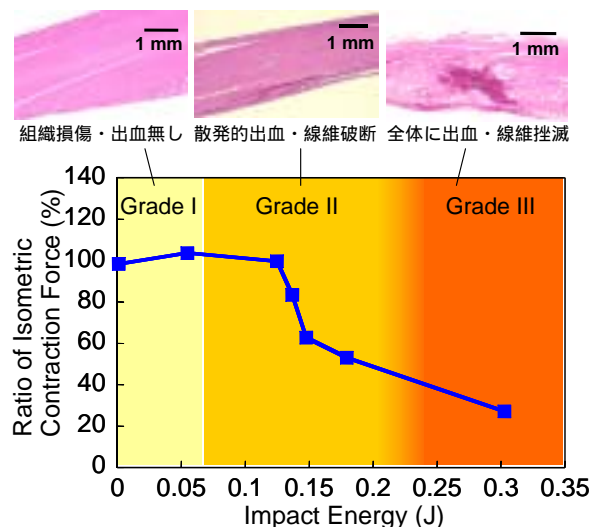
マイクロ損傷が影響すると考えられる骨格筋傷害には、打撲傷と過伸展によるひずみ傷害が挙げられる。打撲傷は筋線維（筋細胞）の長軸方向に対し直交する面内の打撃、ひずみ傷害は筋線維方向の引張負荷による。これまで、筋傷害の病理学的評価、すなわち染色した組織切片の顕微鏡観察による形態変化の観察結果と力学的特性、例えば筋収縮力、剛性や強度の変化との関係は定量的に十分に解明されていなかった。そこで、まず打撲傷とひずみ傷害による組織損傷と力学的特性変化の相関を検討した。

まず、インパクトの衝突により打撲傷を生じた家兎前脛骨筋について、組織切片の顕微鏡観察による病理学的評価と、等尺性収縮試験および引張試験を行った。種々の打撃条件を受けた筋の組織観察の結果、切片中に特に損傷のない例（Grade I）、散発的な出血及び筋線維の破断がある例（Grade II）、出血及び筋線維の挫滅が切片全体にある例（Grade III）の3段階の重症度に分類できた。この重症度は衝突エネルギーと相関があった。一方、ある閾値を超えた

衝突エネルギーにより、等尺性収縮力が傷害発生前より低下する傾向があった。この閾値は重症度 Grade II を生じる大きさに相当した（図）。傷害を受けた筋の破断荷重、破断伸展比は、重症度が高いほど低下した。

また、ひずみ傷害について類似の検討を行った結果、組織観察により3段階の重症度に分類可能であり、組織の重症度、筋収縮能の低下とも、負荷エネルギーと相関があった。

これらの結果を踏まえ、傷害メカニズムのより詳細な検討のため筋のマイクロ構造要素である筋線維束や筋線維の力学特性評価を今後実施しようとしている。さらに、マイクロ構造要素の損傷を考慮した損傷予測モデルの開発に取り組んでいる。



打撲傷における衝突エネルギーと等尺性収縮力の低下および重症度との関係

特集 異分野融合研究トピック2

マイクロマシンと材料力学



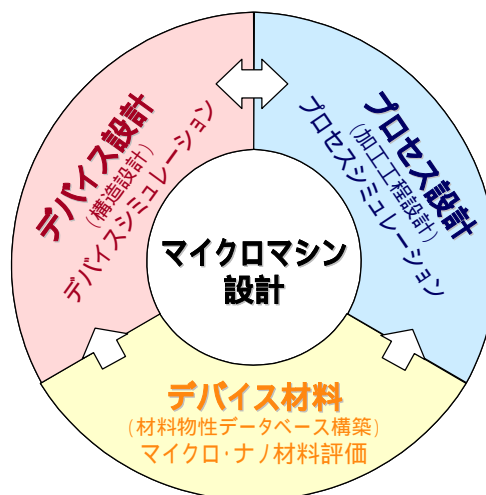
生津 資大

兵庫県立大学 大学院工学研究科 機械系工学専攻

日本でマイクロマシンとして知られている微小電気機械システムは、米国ではMEMS (Micro Electro Mechanical Systems), 欧州ではMST (Micro System Technology) と呼ばれており、半導体加工法を応用したマイクロマシニング技術を駆使して機械的要素と電気的要素とを基板上に集積させた小型デバイスを指しています。例えば、シリコンウェハ上に製作したマイクロギヤ構造や加速度センサ等の可動部を含む小型デバイスがこれに相当し、現在では情報・通信から生体関係まで、多くの分野での応用が期待されています。

実用化を視野に入れた性能・信頼性の高いマイクロマシンを製作するには、構成材料の物理特性を十分把握した上で、最適な設計を行う必要があります(図)。すなわち、マイクロもしくはナノスケールを有するマイクロマシン構成材料の微小使用寸法下での材料特性を実験的に十分調べ、それを如何に設計に反映させるかが重要な課題となります。しかしながら、微小寸法であるが故、従来のマクロな機械材料試験で培われた知識や勘がそのまま通用せず、その評価試験技術は極めて巧妙かつ困難なものとなっています。

材料力学部門では、本年度から「**マイクロ・ナノ材料評価/微小機械部品設計技術に関する調査研究会**」を発足し、マイクロ・ナノ材料試験技術およびマイクロマシンに代表される微小機械部品設計技術についての調査研究を行っています。ここでは、主としてマイクロデバイス開発を扱



マイクロマシン設計の概念図

う電気・機械系企業の技術者と材料物性評価を専門とする大学の研究者とが今後推進すべき技術的課題についての意見・情報交換を行い、微小機械信頼設計技術とそのための材料試験技術における発展支援を目指しています。本研究会にご興味がお有りの方は、namazu@eng.u-hyogo.ac.jpまでご連絡いただければ幸いです。

さて、今回はマイクロマシン材料の機械的物性評価において先鋭的なご研究をされておられるお二方に、最新の研究内容をご紹介します。マイクロマシンと材料力学との密接な係わり合いをお楽しみ下さい。

特集 異分野融合研究トピック2 「マイクロマシンと材料力学」

静電チャック方式の薄膜引張試験



土屋 智由

京都大学 大学院工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻

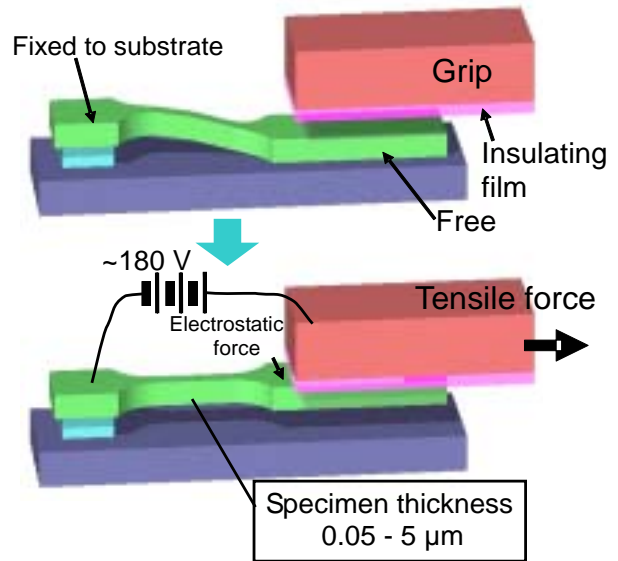
MEMS デバイスに用いられる微細機械構造体の信頼性評価においては、デバイス構造体と同じ寸法かつ同じプロセス履歴を持つ試験片の評価が不可欠です。これは構造材料として半導体材料 (Si, SiO₂, SiN) が一般に用いられるため成膜方法、成膜条件によって微細構造や特性が変化すること、脆性材料が多いため加工法とその

条件が強度に敏感であること、さらに強度への試験片寸法効果などが理由です。このため、デバイスのチップ上に作製した微細構造体を用いて機械的物性を評価する手法の開発が求められ、内部応力、ヤング率、曲げ強度の測定が行われてきました。

われわれは、機械的物性測定の基本となる単軸引張試

験をチップ上微細構造体に対して、特別な加工を施さず
に実施可能な装置を開発しました。この装置においては
一端が基板に固定された片持ち梁型の試験片の自由端
を静電力でチャッキングすることで、微細な試験片を迅速
かつ精度よくしかも容易に試験することができます
(特許：3319257号)。この静電チャック方式は、非常
にシンプルな構造であるので装置への組み込みが容易
です。これまでに大気中だけでなく走査電子顕微鏡
(SEM)の試料チャンバーに装置を製作し、SEM観察
下での真空雰囲気での薄膜の引張試験も実現していま
す。

本手法/装置を用いて、これまでに膜厚 数 μm 以下の
非晶質/多結晶/単結晶シリコン、 SiO_2 、 SiN 、 Al 、 Ni 、
 Ti などの材料について引張試験を行い、ヤング率、引
張強度の測定を通じて、寸法効果、成膜条件依存性、試
験雰囲気の影響などについて検討してきました。現在は
繰返し引張荷重印加による疲労試験、より微小な材料の
機械的物性評価への適用などを研究しています。



静電チャック方式薄膜引張試験の模式図



特集 異分野融合研究トピック2 「マイクロマシンと材料力学」
多結晶シリコン微小構造体の強度

濱田 繁

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 機械システム技術部

マイクロマシン(あるいはMEMS)において、構造体
の材料として多用される微小な多結晶シリコンの強度評
価に関する研究を行っています。製造プロセスに起因する
残留応力や、外部からの熱応力・衝撃あるいは振動に対
して十分な信頼性を有する製品を開発するためです。多結
晶シリコン微小構造体は、単結晶シリコン基板の犠牲層
(酸化シリコン)の上に蒸着し、犠牲層を溶解すること
により形成する、といった半導体プロセスを用いて製造さ
れています。このような製造方法のため、通常材料試験が
可能なcmオーダの試験片を作ることができません。そこ
で、数 μm 厚さの試験片による強度評価手法の構築を行
っています。また、構築した手法による種々の強度評価を行
っています。

強度試験および応力解析の結果、微小構造体特有の現象
を含んだ以下のようなことが明らかとなってきました。

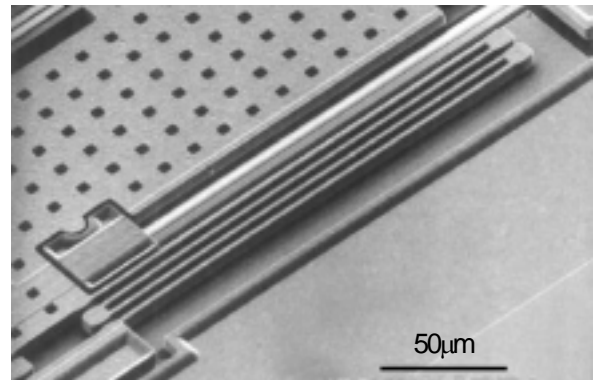
(1) 多結晶シリコンは単結晶シリコンと同じく脆性破
壊を起こす。また静的強度は数GPaであり、ばらつきが
大きい。

(2) 寸法効果が顕著に現れる材料である。そのため、応
力集中部となる構造体角部の強度設計の際には、応力場の
広がりを考慮しなければならない。

(3) 通常寸法の構造体では問題とならない $0.1\mu\text{m}$ 程度の
表面粗さでも応力集中部となり、表面粗さは強度に大きな
影響を及ぼす。

(4) 単結晶シリコンにおいては繰返し負荷による疲労現
象は存在しないとされているが、多結晶シリコンには疲労
現象が存在する。この現象には、表面に形成される非常に
薄い自然酸化膜(SiO_2)の割れが深く関わっている。

今後は、高強度という大きな特長を生かした、従来の常識
を超えた大変形が可能な機械構造体が現れることが期待
されます。



多結晶シリコン微小構造体の電子顕微鏡写真

Materials and Mechanics Division Newsletter No. 29

目次

- | | | | |
|----|--|----------|------------------------------------|
| 1 | M&M2005材料力学カンファレンス in 福岡 ご案内 | | 村上 敬宜, 野口 博司(九州大学) |
| 2 | 部門長就任にあたって | 第83期部門長 | 北村 隆行(京都大学) |
| | 材料力学部門を楽しむために | 第83期副部門長 | 東郷 敬一郎(静岡大学) |
| 3 | M&M信州スプリングシンポジウム報告記 | | 荒井 政大(信州大学) |
| 4 | 連載 材力夜話第4回 熱応力研究の歴史を通じて | | 野田 直剛(静岡大学) |
| 6 | 特集 異分野融合研究トピック1 「生体と材料力学」
骨の微視的構造・力学特性に関する実験的研究
骨格筋傷害メカニズム解明への生体力学的アプローチ | | 坪田 健一(東北大学)
東藤 正浩(北海道大学) |
| 8 | 特集 異分野融合研究トピック2 「マイクロマシンと材料力学」
静電チャック方式の薄膜引張試験
多結晶シリコン微小構造体の強度 | | 山本 創太(名古屋大学)
生津 資大(兵庫県立大学) |
| 10 | Materials and Mechanics Division Newsletter No. 29 目次 | | 土屋 智由(京都大学) |
| | M&M2006材料力学カンファレンス in 静岡 ご案内 | | 濱田 繁(三菱電機㈱) |
| | 編集後記 | 広報委員長 | 野田 直剛, 坂井田 喜久(静岡大学)
高野直樹(立命館大学) |

M&M2006 材料力学カンファレンスにぜひお越し下さい!

2006年8月4日(金)~6日(日)までの3日間にわたり静岡大学において、M&M2006 材料力学カンファレンスを開催致します。ご存知のように、静岡大学は静岡市と浜松市の2つのキャンパスに分かれています。M&M2006は工学部のある浜松キャンパスで行います。現在、オーガナイズドセッションの他に、特別企画やワークショップ、フォーラムなどの企画準備を進めており、会誌12月号でその詳細と講演募集を掲載する予定です。



開催は8月初旬の大変暑い時期ですが、浜松市は遠州灘に面し、遠州のからっ風が吹くため、夏でも清々しい、豊かな自然と温暖な気候に恵まれた所です。多数の皆様のご参加をお待ちしております。なお、真夏の講演会になりますので、リラックスした服装でご参加下さい。

M&M2006 実行委員長 野田 直剛(静岡大学)
幹事 坂井田 喜久(静岡大学)

編集後記

坂前部門長、北村現部門長の暖かいご支援と前向きなサジェスションのお陰で、ニュースレター発刊ができました。もちろん、ホームページを支えて下さっている協委員ほか、広報委員全員のチームワークの賜であることは言うまでもありません。昨年度のニュースレターでは部門シンボルマークのお披露目をし、今回は表紙のタイトルロゴに部門シンボルマークを組み込みました(お気づきですか?)。レイアウトを変えたかわりに、部門長挨拶は2頁目に引っ込んで頂きました。情報が溢れている時代に、ニュースレターが部門の皆様に読まれるよう、また部門登録者とM&M材料力学カンファレンス参加者の増加に貢献できればと願っています。連載の材力夜話を継承しつつ、特集コーナー(今回は大学・企業における材力教育)を設けました。今回の異分野融合研究トピックを、学際やら総合・複合新領域というキーワードと短絡しないで下さい。大学であっても企業であっても、研究費は手段であって目的ではありません。強いモチベーションと研究目的をお持ちの方には、執筆者達にまずはコンタクトを取って頂ければ幸いです。異分野の専門家達の研究チームの中で材料力学の専門家としての実力を発揮すべく、毎回の材力夜話の貴重な言葉を再度噛みしめて頂ければ幸いです。(高野)

(社)日本機械学会材料力学部門ニュースレターNo.29

ニュースレター発行担当広報委員会

高野直樹(立命館大), 酒井高行(電中研), 脇裕之(大阪電通大), 野口博司(九州大)

坪田健一(東北大), 生津資大(兵庫県大), 浅井光輝(立命館大)

発行 2005年9月20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

電話 03-5360-3500 FAX 03-5360-3508 ホームページ <http://www.jsme.or.jp/mmd/>

最新情報はホームページで