

Materials

&

Mechanics



Newsletter, Materials and Mechanics Division, JSME, No. 53, May, 2022

特集：令和3年度 日本機械学会 材料力学部門賞 受賞者の言葉



功績賞：破壊力学および複合材料工学分野における研究
とこれらの分野の発展に関する一連の功績

東郷 敬一郎
静岡大学

この度は、日本機械学会材料力学部門の伝統ある功績賞を賜り、光栄に存じます。ご推薦いただいた方々、審査いただいた方々をはじめ関係者に深く感謝申し上げます。

私は昨年（令和3年）3月に静岡大学を退職しました。熊本大学の卒業研究（昭和51年）から退職までの45年間、材料力学の教育／研究に携わってきました。ここでは、私のこれまでの研究を振り返ることにより、感謝の言葉とさせていただきます。

材料力学との出会いは熊本大学での卒業研究で指導教員は竹園茂男先生でした。卒業研究のテーマは、「薄板のバルジ加工における大変形破壊」だったと思います。当時、研究室に共同研究者と

しておられた仲町英治先生（当時八代高専）の指導の下での卒業研究でした。薄板のバルジ加工における弾塑性大変形解析を埋め込み座標系に基づくテンソル解析により行い、変形中の塑性仕事の累積値が破壊の限界値に達すると破壊が起こると仮定して薄板の大変形破壊を論ずるものでした。振り返ると、仮定した破壊の基準はあまりにも安易な破壊基準でしたが、材料の変形に加えて破壊を考える最初の機会でした。

昭和52年4月東京大学大学院に進み、修士・博士課程の5年間を過ごすこととなります。東京大学大学院では北川英夫先生、結城良治先生の下で破壊力学、材料強度学を学び、応力拡大係数、J積分、エネルギー解放率などの破壊力学パラメ

一タの物理的意味や「なぜき裂挙動を整理できるのか」などに思いを巡らせました。修士・博士課程の研究では、多軸応力下の疲労き裂進展挙動、具体的にはモードI疲労き裂進展に及ぼすき裂に平行な応力（K 特異場に影響を及ぼさないが、き裂先端の塑性変形挙動には影響を及ぼす）の影響と混合モード下の疲労き裂進展挙動に関して研究を行い、学位を取得しました。

博士課程修了後の昭和 57 年 4 月に、名古屋大学工学部鉄鋼工学科の大塚昭夫先生、宮田隆司先生、森要先生の研究室に助手として赴任しました。研究室ではアルミニウム合金のモードII疲労き裂進展、鉄鋼材料の延性破壊、破壊靱性の研究が精力的に行われていました。私の経験では、モードIIあるいは混合モードき裂からは疲労き裂はき裂先端の最大主応力が作用する方向に屈曲して進展（引張型進展）すると思っていたので、モードII下で安定的に直進するモードIIき裂進展（せん断型進展）は驚きでした。モードIIき裂進展は一部のアルミニウム合金（2017 系、7075 系の高 ΔK_{II} 域など）にみられる現象で、一般的にみられる引張型進展に対して、これらの材料ではどうしてモードIIき裂進展が起こるのかは不明でした。そこで、モードIIき裂先端の力学的状況の解析、き裂進展中の繰返し負荷 1 サイクルにおけるき裂先端変形の観察、マッチング破面観察など行いました。モードIIき裂進展はき裂前方の大きな塑性変形の結果としてき裂先端に起こるせん断滑りの繰返しにより起こっており、き裂が前方に進展することにより引張型進展への移行が妨げられているということがわかりましたが、材料による違いはわからずじまいでした。この研究は、モード I、II、III の混合モードき裂からの引張型、せん断型き裂進展のクライテリオンの提案と三次元混合モードき裂の疲労き裂進展の研究へと展開しました。

鉄鋼材料の延性破壊は介在物や第二相粒子の割れやはく離により発生したマイクロボイドの成長、合体により起こり、延性破壊（延性き裂発生）

の条件は応力三軸度の影響を強く受けることが明らかにされていきました。丁度、その頃、多孔質体に対する Gurson の降伏関数に出会い、この降伏関数に基づく変形およびボイド体積率の解析は延性破壊過程と破壊条件を記述できることを示しました。き裂先端での延性破壊機構を追求すれば、破壊力学でブラックボックスとして扱っているき裂先端のプロセスゾーン（損傷域）にアプローチできるのではと考え、Gurson の降伏関数に基づく大変形有限要素法を開発し、モードIき裂、混合モードき裂の解析を行いました。鉄鋼材料におけるモードIき裂、混合モードき裂からの延性き裂発生挙動に対して、き裂先端近傍の応力三軸度、相当塑性ひずみ、ボイド体積率の観点から議論し、その挙動を明らかにしました。この研究は、混合モードき裂の弾塑性特異場（HRR 特異場）、曲げとせん断を受ける混合モード片側き裂試験片の J 積分簡便評価法および混合モード弾塑性破壊靱性試験法へと展開しました。

平成元年に石井仁先生のお誘いを受け静岡大学工学部機械工学科に転任し、これまでの研究に加えて新たに複合材料工学分野の研究を始めました。複合材料では、最終破壊に至る前に素材の割れや素材間の界面はく離などの損傷が生じますが、私はこの損傷の影響に注目して研究を進めました。延性マトリックスに硬質粒子を分散させた分散形複合材料に対しては、延性マトリックスの塑性変形に加えて、強化材による強化の効果と損傷による弱化的効果を考慮できるモデル（増分形損傷理論）をマイクロメカニクス的手法に基づいて開発し、さらに、このモデルに基づく有限要素法を開発しました。複合材料の応力-ひずみ関係さらにはき裂先端場に及ぼす強化材の影響、損傷の影響を明らかにし、粒子分散複合材料の平滑材強度（引張強さや疲労強度）およびき裂材強度（破壊靱性や疲労き裂進展特性）に及ぼす強化材の影響、損傷の影響について議論しました。この研究で開発したモデルは、一方向連続繊維強化複合材料およびその積層板の非線形変形解析、粒子

分散形傾斜機能材料の変形解析のためのモデルへと展開し、複合材料、傾斜機能材料の変形・破壊に関する実験結果の考察に役立つツールとなりました。

これまで、金属材料の応力腐食割れに関しては、平滑表面における微小分布き裂発生に関する研究と大きき裂のき裂成長に関する破壊力学的研究が行われています。(株)IHI の中山元氏より、これらの両研究の知見を統合して、き裂発生から大きき裂形成に至る過程を予測できる手法はないかと相談を受け、モンテカルロ・シミュレーションを開発することになりました。本シミュレーションは、平滑表面における結晶粒オーダーの微小き裂の発生に対しては実験・観察により得られる確率分布に基づく確率論的過程、き裂の合体、成長に対しては破壊力学に基づく確定論的過程により支配されるものと仮定し、き裂の合体、成長に対して表面き裂の効果を導入しました。貫通き裂はき裂の合体・成長とともに K 値が増大するのに対し、表面き裂では、表面き裂の板表面での K 値はアスペクト比の影響を受け、き裂の表面長さが大きくなっても必ずしも K 値は大きくならない。この表面き裂の効果を導入することにより、平滑表面における微小き裂の発生、分布き裂の様子から

大きき裂形成に渡って実時間で予測でき、実機における SCC 挙動の予測に適用できるものとなりました。この研究では、本シミュレーションの精度向上に向けて、粒界き裂発生における結晶学的粒界特性および粒界に作用する微視的応力成分の影響に関する研究、大規模降伏下での SCC き裂進展特性に関する研究へと展開しました。

以上、これまでの研究を振り返って紹介しましたが、ずっと、き裂先端で起こる現象に注目し、これらの現象を如何にモデル化するかということに集中してきたように思います。また、既に行われている研究でも目の付け所とバックグラウンドの異なる研究者が取り組めば新たな展開が生まれると信じて研究を行ってきました。これまでご指導いただいた先生方、その他材料力学部門の多くの方々のご指導、ご協力、そして研究室の学生たちの努力により、このような立派な賞を頂くことができたと思っております。感謝申し上げます。退職して研究から一線を退いた立場ではありますが、可能な限り材料力学部門に貢献していきたいと思っています。

最後に、静岡大学で研究室を支えていただいた島村佳伸先生、藤井朋之先生に、深く感謝申し上げます。



業績賞：電子デバイスを高信頼化させる原子レベル材料設計に関する先駆的研究

岩崎 富生
株式会社日立製作所

この度は、日本機械学会材料力学部門業績賞というたいへん名誉ある賞を賜り、とても光栄に思っています。ご推薦いただいた方々やご選考に関わられた方々にたいへん感謝申し上げます。本稿では、これまでの研究内容を振り返らせていただき

たいと存じます。

小生は、1982年に筑波大学の自然学類に入学し、4年生の時に理論物理を専攻して、そのまま1986年に同大学の大学院物理学研究科へ進みました。大学院では、固体ヘリウム磁気秩序について研

究し、通常の反強磁性構造（スピンの up-down 秩序構造）に加え、ヘリウム原子が量子トンネル効果で運動することによって引き起こされる up-up-down-down という変わった秩序構造が示す磁気特性などを理論的に予測する研究を進めました。当時は、現在のような計算機シミュレーションではなく、紙とエンピツによる手計算でしたので、結晶構造や秩序構造のイメージは、つまようじと粘土のボールで作成して3次元的なプロファイルを把握するようにしておりました。今に至る原子配列の秩序構造への興味は、この頃に形成されたものと思います。

1990年に博士課程を修了するタイミングで、とてもありがたいことに、日立製作所の千葉矩正様（当時研究室長）、佐々木直哉様（当時研究員、現技師長、第96期日本機械学会会長）から、当時は希少であった原子スケールの研究を推進する計画について興味深いお話をいただき、日立に入社いたしました。会社での仕事は、金属材料の破壊に関する分子動力学シミュレーションからスタートいたしました。シミュレーションプログラムを開発して金属破壊の解析をおこない、理論物理のバックグラウンドを活かして、bcc構造（体心立方構造）では延性-脆性遷移を起こしやすく、fcc構造（面心立方構造）ではこの遷移が起こりにくい理由などを、シミュレーションと平均場理論から解明する研究を進めました。

1990年代は半導体分野が拡大傾向にあって、ULSIの微細化や高性能・高機能化を推進する課題にも恵まれたため、前記の金属破壊の解析は、破壊しにくい薄膜配線の材料設計に役立てました。その一つ目は、配線形成時の熱処理工程での粒界断線を防止する添加元素の設計でした。分子動力学シミュレーションの結果などから、配線母材よりも原子半径が小さく、結合エネルギーが母材に近い添加元素が断線防止に有効であるとの指針が得られました。数多くの設計パラメータの中から、原子半径と結合エネルギーが支配パラメータであることを見出し、これに着目して設計す

ればよいことを明らかにいたしました。この考え方は、現在流行しているマテリアルズ・インフォマティクス（いわゆるMI）に通じるものです。当時はMIとは呼んでおりませんでした。目的特性（粒界断線に至るまでの寿命）が、いろいろな設計パラメータの変化に対してどのように応答するかを、シミュレーションデータから分析し、支配的なパラメータを見出した後、目的特性を支配パラメータの関数として表すことで最大値問題に帰着して最適解を見つけ出すという、まさにMI最適設計を先駆けて進めることができました。

半導体の薄膜配線設計の事例のもう一つは、拡散防止用バリア膜（下地膜）の設計でした。薄膜配線とバリア膜の界面で剥離を起こさないように、密着強度の高い界面を設計する指針として、配線材料との格子不整合が小さなバリア材料を選定することが有効であることを見出しました。これも、シミュレーションデータを分析することで、種々の設計パラメータの中から、界面密着強度の支配パラメータとして格子定数を導き出すというMI設計の先駆的な事例となりました。この時期は、ちょうどデバイスの高性能化のために、薄膜配線としてアルミよりも電気抵抗の低い銅が導入されるタイミングでしたので、銅配線の下地膜材料や、2層の銅配線（横配線）をつなぐビア電極（縦配線）の材料としてルテニウムを選定するといった成果に結び付けることができました。これとほぼ同時期には、High-kと呼ばれる高誘電率酸化物をゲート絶縁膜として導入する課題もありましたので、シリコン基板とHigh-k材料の界面を安定化するという設計もおこないました。これらの半導体への適用事例は、1993年～2001年頃に実施したもので、当時ご指導いただきました林眞琴様（当時研究部長、第89期材料力学部門長）、北野誠様（当時研究室長）、三浦英生先生（当時の直属上長、現東北大学教授）に感謝申し上げます。

この後、2002年～2007年頃にかけては、磁気記録膜と下地シード層の界面強度を高める設計を

おこない、磁気ディスクが磁気ヘッドにこすられても不具合の起こらない信頼性を実現いたしました。金属同士の界面強度という意味では、半導体の薄膜配線に対する下地バリア膜を設計するのと同じような設計指針に帰着することができましたので、ここでも課題に恵まれていたと思います。

この後、2008年頃から、それまでに携わったことのない有機材料（樹脂材料）の界面安定化の課題に取り組みました。金属や無機材料の界面設計がひと段落していたところでしたので、ちょうど良いタイミングで新たな課題が入ってきたのは、運にも恵まれていたといえます。こちらも電子デバイスの分野ではありますが、前述した ULSI チップの配線・電極ではなく、これを実装するパッケージ構造における金属（配線・電極）と樹脂（封止材・実装基板）の界面密着強度の課題です。はじめて有機材料の分子シミュレーションをおこないましたので、同じ温度で比較しても、金属材料や半導体材料より動きやすく、原子の並びに秩序が見られにくいことを実感いたしました。動きやすさから推定して、格子定数・格子整合性のような結晶構造（秩序構造）の因子が支配因子となる金属同士の界面強度とは異なって、まったく別の因子が支配し、秩序構造は無関係と考えておりました。しかし、実際に解析してみますと、密着強度の高い界面においては、柔らかく運動性の高

い樹脂の原子配列も秩序構造を有しており、相手方の金属材料と幾何学的によく似た格子構造が実現していることを見出しました。この結果に基づいて、樹脂には通常定義されていない格子定数を独自に定義することで、金属との格子不整合も定義し、これを小さくする界面を設計することによって剥がれにくい界面を実現することができました。

2012年以降は、樹脂材料に加えて DNA シーケンサや DNA デバイス向けに DNA 分子を扱ったり、環境適合性や生体適合性を有するコーティング材としてペプチド分子を扱ったりするなど、生体分子の界面設計もおこないました。そして、これについても被着体との格子整合性を高めることで、高密着界面を形成でき、かなり一般性のある設計指針であることがわかりました。バイオ由来の材料は、焼却しても CO₂ 排出量を増やさない、カーボンニュートラルの実現に貢献できる材料ですので、今後は植物由来の樹脂なども含めて、環境保全に貢献できる材料研究を進めてまいりたいと思っております。引き続き、みなさまからご指導いただければ幸いです。

最後に、これまでの一連の研究において、共同研究などを通してご指導・ご助言いただきました京都大学の北村隆行先生、澄川貴志先生、東京大学の泉聡志先生、梅野宜崇先生に感謝申し上げます。

M&M2021 材料力学カンファレンス開催報告

<https://www.jsme.or.jp/conference/mmdconf21/index.html>

実行委員長 荒井政大（名古屋大学）

2021年9月15日、16日の二日間の日程で、M&M2021 材料力学カンファレンスが名古屋市（名古屋大学東山キャンパス）において開催されました。今現在も猛威を振るっている新型コロナウイルスの影響を考慮して、今回のカンファレンス

は昨年に名古屋で行われた年次大会の開催方法を踏襲する形で、インターネット上の会議システムである Zoom を用いた、いわゆる"インターネット講演会"とさせて頂きました。

ご存じのように広島にて予定されていた

M&M2020 材料力学ファンレンスが、新型コロナの影響により中止を余儀なくされました。そのため、本部門の講演会は2年ぶりの開催となりました。多くの方々が対面での開催を望まれていたなかで急遽直前にインターネットのみによる開催に切り替えた経緯もあり、参加頂く方が減ることを運営委員会一同たいへん心配しておりましたが、結果的には19のオーガナイズドセッションと3件のフォーラムが生まれ、参加者571名、講演件数364と例年以上の規模のたいへん活気のある講演会となりました。ご発表頂いた方々も、既にZoomやWebEXといったインターネットツールに慣れておられて、ご講演やディスカッションもたいへんスムーズに進んでいたようです。

また、名古屋大学情報学研究科教授の畔上秀幸氏より、特別講演として「材料力学と数学(J積分の解釈を起点として)」と題するご講演を頂きました。き裂の進展パラメータであるJ積分について過去のさまざまな研究成果をご紹介頂くとともに、数学的な見地からの考察を頂きました。材料力学・破壊力学を中心とした若手研究者のみならず、我々ベテランの研究者にとってもたいへん興味深い貴重なご講演でした。この場を借りまして畔上先生に改めて御礼を申し上げたいと存じます。

二日目の夕刻には部門表彰式が開催されまし



名古屋大学東山キャンパス

た。今年度は、静岡大学の東郷敬一郎氏に功績賞が、株式会社日立製作所の岩崎富生氏に業績賞が授与されています。東郷先生は第84期において当部門の部門長を務められ、長きにわたって材料力学・破壊力学の分野において多大なご貢献をされ、多くの業績を残されました。岩崎氏は材料開発、材料設計、特に異種材料の接合とマテリアルズ・インフォマティクスの分野でのご業績において国内外で高く評価されています。東郷先生、岩崎様あらためて部門賞の受賞おめでとうございます。

講演発表や特別講演、授賞式もすべてネット上での開催となりましたが、運営委員ならびにご協力頂いた名古屋大学の学生諸君、参加頂いた皆様のご協力により、特に大きな障害も無く、成功裏にカンファレンスを終えることができました。発表頂いた方々、座長や特別講演など本会の運営にご協力頂いた方々、本講演会にご協力頂いたすべての方々に心より感謝を申し上げます。

次のカンファレンスは2022年9月26日より3日間の日程で弘前市(弘前大学)にて開催されます。9月には新型コロナウイルスの状況も好転し、対面での学会開催が実現して、学会員・部門員の皆さまと弘前にてお会いできることを楽しみにしております。



講演会オペレーション室の様子

材料力学部門主催イベントのご案内

(詳細・申し込み方法などについては機械学会ホームページをご確認ください)

M&M2022 材料力学カンファレンス

開催日 2022年9月26日(月)～28日(水)

開催形態 国立大学法人弘前大学(文京町キャンパス, 青森県弘前市)

※現時点では対面での開催を予定しております。

ウェブサイト <https://www.jsme.or.jp/conference/mmdconf22/>

講演申込み締切日 2022年5月27日(金) 予定

申込み方法 当カンファレンスのホームページからお申し込み下さい。

採択通知 2022年6月中に電子メールで通知いたします。

原稿提出締切日 2022年7月22日(金) 予定

懇親会 実施する場合, 事前登録をお願いすることがございます。

実行委員長 笹川和彦(弘前大学)



ご挨拶

日本機械学会 M&M2022 材料力学カンファレンスを, 2022年9月26日(月), 27日(火), 28日(水)の三日間の日程で, 弘前大学文京町地区キャンパスで開催いたします。コロナ禍の折, この先不透明ではございますが, 本州最北端の津軽の地, 弘前におきまして3年ぶりの現地開催を予定しております。歴史ある材料力学カンファレンスを弘前大学で開催させていただけますこと大変光栄です。東北大学の三浦先生はじめ東北地方全県から実行委員に加わっていただいた材力研究者の皆様とともに, 材料力学の熱い議論の場を提供させていただきたいと思っております。多くの学会員・部門員の皆様にご参加頂き, 対面でのディスカッションや懇親会など現地開催の醍醐味をご堪能いただきながら, 有意義な講演会となりますよう, ご協力, ご支援の程どうか宜しくお願いいたします。

なお, 本講演会では26歳未満の大学院生あるいは研究者, 技術者を対象とした若手優秀講演フェロー賞セッションや, 若手研究者向けの材料力学部門優秀講演表彰もございます。皆様の積極的なご応募をお願いいたします。(詳細は下記参照)

実行委員長 笹川 和彦

開催趣旨

日本機械学会 M&M2022 材料力学カンファレンスでは, 機械工学, 特に材料力学に関係する広い分野の研究者・技術者が一堂に会して議論し, 機械工学の更なる発展を期したいと考えております。そこで本講演会を, 材料力学に関連する知識や技術の共有, 議論の場として, また情報交換の場としてより機能させるべく見直したいと思います。新規な分野の学術講演に加え, 関心の高い分野のレビュー講演や企業等からの技術紹介講演を実施し, 産官学の特に関心が高い研究者, 技術者の学び, 交流, 出会いの場として活用していただけるようプログラム構成を工夫する予定です。材料力学に興味のある方, 材料力学に触れてみたい方, 材料力学を知りたい方, はどなたでも奮ってご応募・ご参加ください。

予定しているセッション

1) エネルギーベストミックスと力学

OS-1 供用エネルギー及び化学プラント機器の経年変化と健全性評価

OS-2 全固体電気化学デバイス開発における材料力学

2) 材料強度と損傷評価

OS-3 材料の疲労挙動と損傷評価

OS-4 微小サンプル試験法による材料強度・損傷評価

OS-5 実験力学と計測技術

3) 機能性材料と力学

OS-6 結晶性材料の変形に関する固体力学と材料科学

OS-7 形状記憶材料の特性向上と実用化

OS-8 持続可能社会に向けた機能材料と構造の力学の展開

4) ソフト材料と力学

OS-9 バイオメカニクスとその周辺技術ー基礎理論から応用までー

OS-10 ゴムの材料力学

OS-11 ソフトマテリアルの力学・物理・化学

OS-12 植物形態に学ぶ材料力学

5) ナノ・複合材料と力学

OS-13 ナノ力学 ーナノの視点で次世代の材料力学を創成ー

OS-14 界面、接合、接着の力学

OS-15 炭素ナノ材料複合材料のマルチスケールメカニクス

OS-16 先進複合材料の特性評価と最適設計

6) 新分野開拓

OS-17 異分野の研究に耳を傾けよう! 材料力学における融合セッション

OS-18 産学連携と社会実装 (先進技術紹介セッション)

その他:

GS 一般セッション

SS 若手優秀講演フェロー賞セッション (詳細は下記参照)

若手表彰に関して

本講演会では日本機械学会の若手会員を対象とした以下の表彰がございます。

*若手優秀講演フェロー賞へ応募される方は「SS:若手優秀講演フェロー賞セッション」への講演申し込みをお願いいたします。

1) 日本機械学会若手優秀講演フェロー賞

「SS：若手優秀講演フェロー賞セッション」内での講演とし、令和5年4月1日時点で26歳未満の大学院生あるいは研究者、技術者が対象

2) 材料力学部門優秀講演表彰

「オーガナイズドセッション (OS), 一般講演セッション (GS)」に採択された講演とし、令和5年4月1日時点で26歳以上36歳未満の大学院生あるいは研究者、技術者が対象

Newsletter, Materials and Mechanics Division, JSME, No. 53

目次

1. 特集: 令和3年度 日本機械学会 材料力学部門賞受賞者の言葉

【功績賞】破壊力学および複合材料工学分野における研究とこれらの分野の発展に関する一連の功績
東郷 敬一郎 (静岡大学)

【業績賞】電子デバイスを高信頼化させる原子レベル材料設計に関する先駆的研究

岩崎 富生 (株式会社日立製作所)

2. M&M2021 材料力学カンファレンス開催報告

実行委員長 荒井 政大 (名古屋大学)

3. 材料力学部門主催イベントのご案内

・M&M2022 材料力学カンファレンス

編集後記

ニュースレター53号をお届けします。今号では、令和3年度日本機械学会材料力学部門賞受賞者の皆様からのお言葉の特集、ならびにM&M2021の開催報告を中心にお届けしております。ご多用のところ、ご寄稿いただきました皆様方には、心より御礼申し上げます。また、今号の発行が遅れましたこと、この場を借りてお詫び申し上げます。次号以降、会員の皆様にできるだけタイムリーな情報をお届けしたいと考えております。

広報委員長 伊藤 潔洋 (公立諏訪東京理科大学)

一般社団法人日本機械学会 材料力学部門ニュースレター No. 53

発行: 2022年5月20日

発行者: 一般社団法人日本機械学会 材料力学部門 東京都新宿区新小川町4番1号 KDX 飯田橋スクエア 2階

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

ニュースレター発行担当:

広報委員会 伊藤潔洋 (諏訪東京理科大学), 藤井朋之 (静岡大学)