

# Materials



Materials &amp; Mechanics Division

&amp;

# Mechanics

Newsletter, Materials and Mechanics Division, JSME, No. 50, April, 2021

特集：令和2年度 日本機械学会 材料力学部門賞 受賞者の言葉

(所属機関は、受賞当時のものです)



## 業績賞：固体力学に基づく材料の微視的変形挙動と損傷評価に関する先駆的研究

多田 直哉  
岡山大学

この度は、日本機械学会材料力学部門業績賞という名誉ある賞を賜り、光栄に存じます。また、本賞に推薦して頂いた方を始め、選考等では多数の方々にお世話になったことと推察します。関係の皆様には厚く御礼申し上げます。この場では、これまでの研究の流れについて簡単に振り返ってみたいと思います。

材料の研究に入りましたのは、京都大学在学時に大谷隆一教授の研究室に配属されたときでした。そのときのスタッフは、大谷隆一教授の他、田中啓介助教授（後に名古屋大学教授、名城大学教授）、北村隆行助手（後に京都大学教授）であり、

今では震え上がるような著名な先生方で構成される研究室でした。その上、大学院生には秋庭義明様（現 横浜国立大学教授）が、さらに、後輩にはなりますが、植松美彦様（現 岐阜大学教授）も同じ研究室に在籍していました。他にも大学等で関連の研究をされている方がたくさんいるのですが、紙面の関係で名前を上げることは控えさせていただきます。いきなりこのような強力なメンバーの研究室に入って研究を開始したわけですが、具体的な研究に入る前に、この研究室でも学生同士が自主的に勉強するゼミがありました。当時のゼミは破壊力学でした。岡村弘之先生が執筆され

た「線形破壊力学入門」を割当にしたがって予習し、他の学生に説明するという輪読でした。その内容に、Green 関数、ポテンシャルエネルギー、経路独立積分、Airy や Goursat の応力関数等が出てきて、材料力学や破壊力学を学ぶには、まず、物理や数学が必要であることを思い知った次第です。破壊力学の次に勉強したのは高温強度論です。平修二先生と大谷隆一先生が執筆された「材料の高温強度論」です。当時の高温強度に関する最先端の情報を盛り込んだ本であったため、教科書というよりは、専門の先生方のレビューを少しわかりやすくしたようなもので、理解するのに苦労しました。このように、主に破壊力学と高温強度論を学ぶことによって始まった私の研究人生ですが、これらの内容や研究におけるセンスは今でも非常に役立っています。

さて、実際に行った研究ですが、学部生の頃は、変動温度下の高温疲労き裂伝ばに関する研究を行い、大学院に進学してからは、高温疲労条件下で発生する多数の微小き裂に関して実験とシミュレーションを実施しました。いわゆる材料の高温損傷に関する研究ですが、これらの研究によって学位を取得することが出来ました。また、博士後期課程に在学中には、スウェーデンの王立工科大学にも留学することが出来、Rolf Sandstrom 教授の下で約1年間の北欧生活を楽しませてもらいました。

その後、しばらくの間、京都大学で高温強度に関する研究を実施してきましたが、ご縁があり、岡山大学に来ることとなり、阿部武治教授の下で研究を開始しました。阿部先生は、当時、表面あれの大家であり、多結晶金属材料を塑性加工した際に表面がどのようにあれていくかについて実験と解析を行っていました。着任当時は、表面あれというものにそれほど興味があった訳ではありませんでしたが、同材料の塑性変形や破壊を微視的に見ていく過程で、表面あれという現象がそれらの発端になっていることを再認識し、現在では、その塑性変形に至る前の段階である弾性変形

における非常に小さな表面凹凸に着目して研究を行っております。岡山大学に来てからは、清水一郎准教授(現 岡山理科大学教授)、内田真助教授(現 大阪市立大学准教授)のお二方と研究を共に行い、実験や数値解析、画像処理、高分子材料に関することを色々と学ばせてもらいました。今は、上森武准教授と坂本惇司助教とともに様々な材料の変形と強度、破壊について研究を行っております。この度の材料の微視的変形挙動と損傷評価に関する授賞も岡山大学に来て、関連の研究に出会うことが出来、さらにまわりのスタッフや学生にも恵まれたからであり、研究にも出会いが大切であると感じております。

機械工学分野の材料研究というものは、世の中の様々な機械の性能を向上させるべく材料の分野から支援するために存在すると考えております。その関係で、これまで様々なものを研究対象にしてきました。自動車用エンジンマウントラバー、船用ディーゼルエンジンのシリンダブロック、積層セラミックコンデンサー、微小はんだ接合、油圧配管のフランジ溶接、自動車のポール側面衝突、鍛造用金型等、大きさも用途も分野も材料も様々です。ただ、すべてが材料の微視的変形挙動と損傷評価に関連しています。研究対象がどのようなものであってもそこに学術的な面白さを見出し、論文や学会等で発表することにより、少しは材料力学という重要な分野を盛り上げることに役立ってきたのではないかと考えています。

以上、これまでの研究の流れをご紹介してきましたが、どの研究を行うにしてもベースが必要だと思っています。私の場合、それが破壊力学であり高温強度論でした。例えば材料破壊や耐熱材料に関する研究でなくても、それらから得た知識や方法、直感、センスを活用することで何らかのオリジナリティを生み出すことが出来ます。これからも色々なものに興味を持ち、また、皆様方から賜ったご協力への感謝を忘れず、研究を進めたいと思います。引き続きご支援の程、よろしく願います。



## 業績賞：環境強度及びマイクロマテリアルの破壊機構解明と信頼性向上に関する先駆的研究

箕島 弘二  
大阪大学

この度は、栄えある日本機械学会材料力学部門賞業績賞を賜り、光栄に存じます。恩師の京都大学・遠藤吉郎先生、駒井謙治郎先生をはじめとする先生方、大阪大学に異動した後では研究室スタッフとして共同研究に携わった先生方、京都大学、大阪大学の研究室の学生をはじめ多くの方々のおかげであり、深く感謝申し上げます。

材料力学に関する研究は、卒業研究実施のために京都大学工学部機械工学教室の遠藤研究室に配属された時に始まりました。卒業研究の課題は、「高強度 Al 合金の応力腐食割れ (SCC) き裂進展に及ぼす微小振動応力効果」でした。配属後に、Markus O. Speidel の Al 合金の SCC に関する総説を読んで研究会で発表、10 月に入って研究を本格的に開始したので、学部卒業時までにはほとんどデータは出ませんでした。修士課程に入学当初も、微小振動応力を負荷してもき裂は進展するものの直ぐに停留の繰返しでしたが、疲労予き裂と腐食環境中の微小振動応力下のき裂前縁形状が異なることから、予き裂後に微小振動応力を負荷してき裂を進展させた後に実験を始めることで、データを着実に得ることができました。その過程で、力学・環境条件をほんの少し変えるだけで挙動が大きく変わることに驚くとともに、その機構解明に魅了され、修士課程を修了した後に博士課程に進学、続いて京都大学工学部機械工学教室駒井研究室の助手に採用いただいて、材料強度学を専門とすることになりました。

大学院では、SCC/HE (水素ぜい化) に及ぼす

微小振動応力効果の研究から始めて、低サイクルの大変動応力下の SCC/HE き裂進展や破壊に関する研究に、修了後には腐食疲労き裂進展やき裂発生力学条件解明に関する研究にも従事しました。破壊機構の解明には破面解析が重要ですが、遠藤研究室には最先端の電界放出型走査電子顕微鏡 (FESEM, 日立製作所 HFS-2; IEEE のマイルストーンに認定の世界初の FESEM) があり、高分解能で鮮明な画像を得られたことは研究を進める上で威力になりました。また、破面を粒界割れ、粒内延性・ぜい性割れ等に分類して破壊機構を考察しましたが、人力による分類では労力と時間を必要とすることから、画像処理技術を用いた破面解析の研究も行いました。当時は、FESEM 画像のブローニーフィルムを大型計算機センターのドラムスキャナーでデジタル化した後に磁気テープを介して大型計算機センターのディスクに取り込み、FORTRAN プログラムをセンター附属のメインフレームやベクトル計算機で走らせて、画像処理、特徴量抽出を行いました。

博士課程に在学していた頃に、Binnig と Rohrer による走査型トンネル顕微鏡の論文、さらに Quate らとの共著による原子間力顕微鏡の論文が発表されて、走査型プローブ顕微鏡 (SPM) の基礎が確立され、1990 年代初めには市販品も登場しました。丁度その頃に SPM を用いた破面解析、さらに大気中や水溶液中でも原子オーダーの 3 次元解析ができる特徴を利用して、荷重負荷条件下の破壊のその場 SPM 観察・解析へと発展しました。

nm オーダーの画像によって、今までにないインパクトで新たな知見を得ることができました。

ベルリンの壁が崩壊した頃に、Alexander von Humboldt Stiftung の研究奨学生として DLR (ドイツ航空宇宙研究所) の材料研究所で研究する機会を得て、金属基複合材料の破壊と疲労に関する研究に従事しました。滞在中に Airbus をはじめとする企業、大学・研究所の研究に接することができ、その後の複合材料、Si 微小素子や金属薄膜などの MEMS 用微小材料に関する研究につながりました。

帰国後は、金属材料に加えて、金属基複合材料や炭素繊維やアラミド繊維強化樹脂基複合材料の破壊、疲労、衝撃強度やそれらに及ぼす環境効果に関する研究に従事しました。当初は、バルクの複合材料の強度特性に着目していましたが、 $gAl_2O_3$  繊維強化 Al の真空中の引張強さは大気中より大きくなる結果を得てから、繊維そのものの特性にも着目して、直径 12~17 mm の強化繊維単体の引張強さ、疲労強度、さらに樹脂基複合材料の界面強度の支配因子解明のための単繊維引き抜きに関する研究につながりました。

この微小材料試験と前後して、MEMS 用 Si 単結晶微小素子の強度に関する研究を始めました。当時はバルクの機械材料の強度特性を対象とする研究がほとんどで、mm オーダーの微小試験体用の試験機は市販されていなかったため、粉体用の圧縮試験機を改造して 3 点曲げ、片持ちはりの曲げ試験を行って、寸法が小さくなるほど強度が上昇すること、バルク材では水環境の影響を受けず、しかも疲労を生じない Si においても、寸法が小さくなると水環境の影響を受けて疲労荷重下で nm オーダーの表面損傷を生じて破壊することを見いだしました。寸法が小さくなる、すなわち体積に対する表面の割合が大きくなる構造的特徴によって、バルク材とは全く異なる現象が生じることは、この後の金属薄膜に関する研究の発想につながりました。

大阪大学に異動後は、金属材料の環境強度に関

する研究に加えて MEMS 用金属薄膜の強度に関する研究を開始しました。学生時代から用いていた電気化学的手法では、拡散性水素溶解量を測定できますが、この頃になると昇温脱離する水素を四重極質量分析計やガスクロマトグラフィを用いて測定すること(昇温脱離水素分析法)により、材料内部にトラップされた非拡散性水素も定量分析できるようになり、材料中の水素存在状態と関連づけて HE の理解が深まり、例えば一定持続荷重下の HE には非拡散性水素は関与しないことなどが報告されていました。そこで、非拡散性水素のみを吸蔵させた伸線強加工高強度鋼の疲労強度と疲労き裂進展特性に着目して、非拡散性水素のみでも疲労強度が低下してき裂進展速度が加速すること、さらに水素マイクロプリント法により非拡散性水素が脱離する様子を可視化することで、トラップされた非拡散性水素が動的応力により脱離して HE による劣化を生じさせていることを明らかにでき、学生時代の研究で明らかにした SCC/HE に対する動的応力による加速・劣化をもたらす一つの機構の証拠を得られました。

前述の表面/体積の構造的特徴は、金属材料では転位運動にも関わることから金属薄膜の強度に関する研究を始めました。まず、mm オーダーの面内寸法を有しながらも厚さが 100 nm 前後の自立した試験片を作製する技術を開発することにより、薄膜でも精度のある試験を可能にし、さらに微小荷重を試験片に精度良く負荷でき、しかも FESEM の鏡筒内でも力学試験が可能な各種力学試験機と試験法を開発した上で、金属薄膜の破壊じん性は膜厚が小さくなるほど小さくなること、膜厚が小さいほど拡散クリープを生じやすくなり、クリープ速度には膜厚依存性を生じること、疲労き裂進展では、バルク金属材料ではき裂発生をもたらす面外損傷である突き出し、入込み状損傷を介してき裂が進展することなど、バルク金属材料とは異なる機構が支配して強度を決定していることを明らかにできました。さらに、表面酸化皮膜が転位運動、ひいては変形・破壊挙動に影

響を及ぼして、例えば厚さ 2 nm の表面酸化皮膜が膜厚 500 nm の Cu 薄膜の破壊じん性を低下させていることなどを明らかにしました。

金属材料の環境強度研究を始めて以来、金属基複合材料や樹脂基複合材料、さらに金属薄膜の強度に関する研究に従事してきましたが、それらの研究では恩師の「世界初の手法を開発あるいは適用することにより道は拓かれる。」のお言葉に加え、「重箱の隅をつつくような研究をする勿れ。」を肝に銘じてきました。環境強度は、材料力学、材料学、さらに電気化学を基礎とする腐食防食工学の学際領域に位置しています。材料力学や材料学の先生はもとより、腐食・防食については、学

生時代の環境強度に関連する研究室（工業化学教室の吉澤（四郎）研究室、冶金・金属加工学教室の村上（陽太郎）研究室・足立（正雄）研究室と機械工学教室の遠藤研究室）からなる共同研究組織の先生、さらにこれを端緒として学会活動等を通して材料力学とは直接には関係しない他大学・企業の研究者・技術者の方々の知己を得て、指導を受け、議論できたことは、金属薄膜の強度に関する研究に至るまで研究推進の力になったと思います。今後も材料力学分野に貢献できるように精進する所存です。最後に材料力学部門賞に推薦いただいた諸先生方に深く感謝申しあげて、筆を擱きます

## 材料力学部門・イベント情報

<https://www.jsme.or.jp/mmd/event.html>

M&M2021 材料力学カンファレンスのご案内

実行委員長 荒井 政大（名古屋大学）

M&M2021 材料力学カンファレンスは、2021 年 9 月 15 日（水）から 17 日（金）の日程で、名古屋大学東山キャンパス（愛知県名古屋市千種区不老町）にて開催されます。昨年の部門講演会は新型コロナウイルスの影響により開催を中止せざるを得ない状況となりましたので、今回の M&M2021 材料力学カンファレンスは 2 年ぶりの部門講演会となります。活発なご議論を通して実り多き講演会を実現したいと考えておりますので、学会員・部門員の皆様からの多数のお申し込みをお待ちしております。

### 【講演会 web サイト】

日本機械学会 M&M2021 材料力学カンファレンス  
<https://www.jsme.or.jp/conference/mmdconf21/index.html>

### 【講演申し込みサイト】

<https://www.sasj2.net/MAS/jsmemm/welcome>

### 【オーガナイズドセッション】

- OS-1: 先進複合材料の特性評価と最適設計
- OS-2: 実験力学と計測技術
- OS-3: 結晶性材料の変形に関する固体力学と材料科学
- OS-4: バイオメカニクスとその周辺技術—基礎理論から応用まで—
- OS-5: 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-6: ゴムの材料力学
- OS-7: 非破壊評価と構造モニタリング
- OS-8: 材料の疲労挙動と損傷評価
- OS-9: ソフトマテリアルの力学・物理・化学
- OS-10: 成長とかたちの材料力学
- OS-11: 界面、接合、接着の力学
- OS-12: 全固体電気化学デバイス開発における材料力学
- OS-13: 植物形態に学ぶ材料力学

- OS-14: 形状記憶材料の高機能化と応用  
OS-15: ナノ力学 –ナノの視点で次世代の材料力学を創成–  
OS-16: 溶接力学とその関連技術–溶接学会・溶接構造研究会 共催–  
OS-17: カーボンニュートラルを実現するための材料強度学  
OS-18: 微小サンプル試験法による材料強度・損傷評価  
OS-19: 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(日本機械学会横断テーマ連携セッション)  
GS: 一般セッション

M&M2021 材料力学カンファレンス実行委員会

E-mail: [mm2021nagoya@mae.nagoya-u.ac.jp](mailto:mm2021nagoya@mae.nagoya-u.ac.jp)



名古屋大学 豊田講堂

#### 【主な日程】

講演申込締切：2021年5月28日（金）

講演採択通知：2021年6月中旬

原稿提出締切：2021年7月16日（金）

カンファレンス：

2021年9月15日(水)～17日(金)

なお、新型コロナウイルス感染拡大に伴う当学会の方針決定に従い、M&M2021 材料力学カンファレンスにつきましても、原則として Zoom, WebEx 等を利用した Web 会議システムによる開催とさせていただきます。一部行事のオンサイト開催については引き続き部門ならびに実行委員会で議論してまいります。



名古屋大学 IB 電子情報館  
(名古屋大学広報室提供)

1. 特集: 令和2年度 日本機械学会 材料力学部門賞 受賞者の言葉

【業績賞】環境強度及びマイクロマテリアルの破壊機構解明と信頼性向上に関する先駆的研究

箕島 弘二 (大阪大学)

【業績賞】固体力学に基づく材料の微視的変形挙動と損傷評価に関する先駆的研究

多田 直哉 (岡山大学)

2. 材料力学部門・イベント情報

M&M2021 材料力学カンファレンスのご案内

実行委員長 荒井 政大 (名古屋大学)

編集後記

ニュースレター50号をお届けします。今号では令和2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させていただきました。例年であれば、部門講演会で授賞式を執り行い、皆様にお知らせするところですが、残念ながら2020年の講演会はコロナ禍のために中止となりましたので、本ニュースレターが皆様にお知らせする大事な機会にもかかわらず発行が遅れましたこととお詫び申し上げます。また、もう一人の受賞者である北村隆行先生(京都大学)のお声はあらためて別の機会に掲載させていただく予定です。

コロナ禍で、不自由の多い日々を過ごしておられるかと思います。これまでの生活・当たり前だと思っていたことが大きく変わってきました。今号に掲載させていただいたお言葉を拝見すると、今日の業績が一朝一夕には為し得ないこと、そして材料力学の研究が多くの人とのつながりによって為されてきたことが改めてわかります。コロナ禍という未曾有の事態により私たちも考え方、生活をなかば強制的に変えざるをえない場面が多くあります。そんな時にこうして先人たちのご活躍をゆっくりと振り返る機会は、新しい生活を獲得する上でのヒントとなるのではないかと考えております。お忙しい時期にも関わらず素晴らしい原稿をご準備いただいたことにお礼申し上げます。ありがとうございました。

広報副委員長 市川 裕士 (東北大学)