

各務記念材料技術研究所における研究をとりまく環境について

早稲田大学各務記念材料技術研究所 所長 勝藤拓郎

2022年9月より早稲田大学各務記念材料技術研究所（以下、材研）の所長を拝命しました勝藤拓郎と申します。2020年9月からの2年間に続いての職務となりますが、これまで以上に材研のために務めていく所存ですので、引き続き皆様方のご指導を賜れば幸いです。

この2年間は、コロナの影響により、材研における様々な公開行事もほぼオンラインで行われてきました。そうした中で、共同利用・共同研究拠点（以下、共共拠点）の事業の一環として「計算材料科学連続セミナー」を2021年度よりオンラインで開始するなど、材研として新しい試みを進めてきました。また、共同利用の実験装置のリモート化に向けての取り組みも始まっています。コロナ下においても、新しいことにチャレンジする材研であったのではないかと自負しているところです。

また、研究所で最も重要なのは言うまでもなく研究者です。材研の研究の中核を担うポジションとして「研究拠点教員」がありますが、2023年度より新たに複数名の学内の先生方を研究拠点教員としてお迎えすることになりました。いずれの先生も各分野で飛び抜けた業績をお持ちの方であり、材研の研究力がさらにアップし、材研のプレゼンスも高まるであろうと、所長としても期待に胸を膨らませているところです。

もちろん、材研における既存の研究者の研究も着実に進展しています。詳細については、ぜひ材研のホームページから（「早稲田、材研」で検索すれば出てきます）、ニュース、ZAIKEN TODAY（本ニュースレター）、材研報告等をご覧くださいと思います。材研のTwitterやFacebookもあります。近年のペーパーレス化の流れを受けて材研報告も印刷版が廃止されてオンライン版のみになるなど、広報のあり方も大きく変わっています。私のような頭の古い人間にはなかなかついていけない部分であり、よりよい広報のあり方について皆様のご意見を頂ければありがたいと思う次第です。

さて、材研は文科省の共共拠点の1つとして、学外に開かれた研究活動を行っています。共共拠点とは、「共同研究の公募、学外者を含む審査による採択、共同研究の成果の公開」を3つの柱として共同研究や共同利用を行うスキームです。2022年10月現在、早稲田の中で文科省から共共拠点として認定されているのは、材研と演劇博物館のみであり、早稲田の研究所の中でも特異な位置づけにあります。今後、大学の枠を超えた、国内外との共同研究の必要性は益々高まると考えられ、材研の共共拠点としての活動の重要性もどんどんと高まっていくと思われれます。

一方、材研には早稲田の研究を担う研究所という位置づけもあります。現在、日本では大学単位で行うプロジェクトが増加する傾向にあり、材研も早稲田の研究所の1つとして、そのようなプロジェクトに参加していたり、参加を促されたりしています。また、材研は早稲田の理工学術院の研究所であり、理工学術院総合研究所（理工総研）とともに理工学術院の研究戦略を担う役目もあります。そうすると、「材研の研究」といっても、それは(1)個々の研究員の研究というだけでなく、(2)早稲田の理工学術院における研究という側面、(3)早稲田大学における研究という側面、さらに(4)共共拠点における研究という側面があることになります。

所長として務めたこの2年間でようやくこのような景色が見えてきましたが、研究におけるそのような重層構造は無駄ではないかと思わなくもありません。研究とは研究者個人が主体となって（さらには他の研究者や企業等と組んで）行うのが基本であり、上記の中では(1)の観点が最も重視されるべきです。また、(4)の共共拠点は材研として主体的に取り組んでいるものであり、(1)に次いで重視されるべきでしょう。それ以外も軽視すべきではありませんが、あくまで個々の研究者にとって益となる範囲に関わるべきではないかと考えます。研究者が研究に関する学内の雑事に追われて、研究そのものの時間を割かれるようでは、本末転倒も極まりないというものです。早稲田としての、あるいは早稲田の理工としてのプロジェクトに関わることによって、個々の研究者の研究が多いに進展することが、上記の(2)(3)においては最も重要な観点かと思えます。材研としてこの辺の見極めをしっかりと行い、「材研に関わったおかげで研究時間が減ってしまった」などと間違っても言われないようにしていきたいと考えています。



破壊から治癒、さらに接合という流れの中で 原子の適切な制御と根本原理の解明に挑む

構造材料や機能性材料の長期信頼性を確立することを目的として、ナノレベルからマクロスケールまで、材料強度特性や破壊現象を評価する細井研究室。新進気鋭の若手教授の話聞いた。

早稲田大学 理工学術院教授

細井厚志

Atsushi Hosoi

■profile■

2003年早稲田大学理工学部機械工学科卒業、2005年同大学院理工学研究科修士課程修了、同大学院理工学研究科客員研究助手、2007年日本学術振興会特別研究員(DC2)、2008年同大学院理工学研究科博士課程修了、日本学術振興会特別研究員(PD)、2008年名古屋大学大学院工学研究科助教、2011年豪国The University of Sydney訪問学者、2014年早稲田大学理工学術院講師、2016年同准教授、2021年同教授、現在に至る。2017年4月「構造材料の疲労損傷評価及びき裂治癒技術の開発に関する研究」で文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。

パルス電流によって金属亀裂を治癒する

——細井研究室の大きなテーマの1つである金属材料の疲労亀裂治癒技術に関して、どのような経緯で取り組むようになったのでしょうか。

私は学部・大学院時代を通じて、川田宏之教授の下で主にCFRPの破壊に関する研究をしていました。亀裂による疲労のメカニズムを理解することで、壊れないための設計や材料開発に取り組んでいたのです。しかし、博士課程修了後、着任した名古屋大学で巨陽(JU Yang)教授から、今度は“壊す”ではなく“治癒する”方法を研究してみないかといわれ、それがきっかけになりました。亀裂治癒の技術は、高分子やコンクリート、セラミックだと事例はありますが、金属の場合はこれまでにあまりありません。

——疲労亀裂治癒技術をごく簡単に説明してください。

主に、高密度パルス電流という瞬間的な高い電流を流す方法を用いています。亀裂を跨ぐように電極を付けて印加すると、電気は抵抗の低い亀裂の先端に集中します。そして、発熱した熱応力によって架橋したり融け出したりして亀裂が閉じていきます。1回のパルスで300マイクロンほど閉じ、これを数度続けることで、ファスナーが閉じるように閉口していきます。もっとも、亀裂表面には酸化膜ができていますのでしっかりと閉じません。そこで、酸化膜を還元するのか、あるいは酸化膜を除去するような工夫をするのか、などの試行錯誤を重ねている段階です。

電流を流す方法のいいところは、電極さえ設置できれば、建造物や精密機械、重機など、物の大きさを問わずその場で修復できるという点です。実は、亀裂治癒技術のもう1つに、熱を加えて原子を拡散させる方法があります。真空の熱処理によって亀裂面の酸化膜が還元されて真性面が露出し、これに圧縮の残留応力が加わって治癒するという仕組みです。ただ、熱処理の場合は炉に入れなければならないこと、厚い部材には有効ではないことからあまり実用には向かず、現在のところ、当研究室では熱処理のアプローチは行っていません。

——この技術は、どんな分野に生かされるのでしょうか。



強度はまだ全然足りないのですが、老朽化したインフラ構造物の修繕に役立てられると考えています。さらに将来的には、宇宙構造物の修繕に役立つかもしれません。材料をわざわざ地球から持っていくのは大変ですし、宇宙だと酸化しにくいでしょうから。

もっとも、最近では、亀裂になる前の、損傷が蓄積した段階で、損傷がなくなせないかに積極的に取り組んでいます。そもそも疲労亀裂というのは、原子配列の乱れからきます。繰り返し負荷がかかったときに、材料内部で転位が起り、その欠陥部分が表面に抜けて凹凸をつくります。ここが応力集中源となって亀裂が生じるのです。そこで、原子配列が乱れた箇所に高密度電流を流すと、電子風力が作用して転位が移動または消滅することが明らかになっています。ただし、どんな材料でもできたときから原子配列の乱れは起きており、定期的に電流を流せば遅延できるのですが、どこかでそのしわ寄せが発生していることになります。本当はその根本原理を知りたいのです。

——もう1つの研究テーマであるCFRPの長期信頼性評価とはどのような内容でしょうか。

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は軽量かつ強度や剛性に優れており、航空機のジェットエンジンのファンブレードや風車のブレードなど回転部材に使われています。しかし、使い続けていくと、母材にクラックが生じたり、積層構造の間に層間剥離が生じるなど、複雑な損傷が発生します。それに対して、損傷が進展して最終的に壊れるまでの寿命を予測します。最近手掛けているのはCFRPのギガサイクル疲労です。従来の疲労試験では10の7乗サイクルオーダーまでだったのですが、超音波を使うことでその100倍の10の9乗サイクルで寿命特性を見えています。そもそもCFRPはなぜ疲労するのか、どうやって疲労を防げるのかというマルチスケールでも研究しています。疲労とは、負荷がかかり続けていって徐々に損傷が発達していく現象といえますが、1サイクルで不可逆な変化が起これば、いずれ壊れます。不可逆な変化とは、金属であれば転位の移動や蓄積に当たりますが、CFRPのような高分子ではどのような変化が起こっているのか、よくわかっていないのです。



材料試験サンプル

—こちらの研究も、カーボンニュートラルが世界的な課題になる中で、実用面の期待が大きいです。

輸送機器の電動化に伴う車体の軽量化は、CO₂削減に大きく寄与すると考えられています。ただし、CFRPは高価なので、車体の材料は金属と接合させたマルチマテリアルになります。

ところで、CFRPは大きく2種類に分かれます。1つは熱硬化性樹脂を母材にしたもので、もう1つはCFRTPと呼ばれる熱可塑性樹脂を母材にしたものです。熱硬化性樹脂は現在のCFRP材料の主流になっており、加熱して固まり、一度硬化したら元に戻らなくなります。エポキシ樹脂を母材にしたものが多く用いられており接合しやすいのですが、リサイクルに向きです。一方、CFRTPは加熱すれば柔らかくなり冷やすと固まるためリサイクルが可能で、また、スタンピング成形ができるため生産性が高くなります。ただし、一般には化学的に不活性で接着強度が低いという問題点があります。

このCFRTPをいかにして金属と接合するかが、私たちの研究室の3つめのテーマとなります。ここでは2つの技術を組み合わせています。まず、金属表面にナノ構造を創製してアンカー効果によって接合させ、さらに接合強度を上げるために、ナノ構造の表面に化学修飾剤を塗布する方法を合わせます。通常、強度を高めた結合は脆性が低かったりしますが、この方法だと強度と靱性の両方を強くすることができます。

人との出会いを大切にしたら今がある

—次に、細井先生ご自身についてですが、博士課程修了後、名古屋大で助教となり、その後、早稲田に戻って講師、准教授、教授と、順調に歩んでこられたように見えます。2017年には文部科学大臣表彰若手科学者賞も受賞されています。

若手科学者賞の受賞者は多く、ある程度実績があれば受賞できると思いますが、私の経歴についてはたしかにラッキーだったと思います。前述した名古屋大の巨陽先生からは、テーマが与えられるとともに、たまたま助教のポストが空いたということで、お誘いいただいたのです。実は、博士課程3年のときに、日本学術振興会の特別研究員に採択され、ドクター卒業後も1年間はポスドクできる権利を持っていました。助教の採用は5月からだったので、その前の4月1カ月だけ特別研究員をしていました。

—修士修了の際、就職かドクターかは迷わなかったのでしょうか。

M2の最初の頃、ほんの少しだけ就職活動をしましたが、やがて、企業に行くのは自分には向いていないと感じました。その代わりに、JICAを考えたことはあります。でも、これもたまたまですが、ある年配のOBと話すことがあって「小さいことを考えるな」と諭され、ドクターに進む決心をしました。

—「運がよかった」だけではないと思いますが。

強いて言えば「人との出会いを大切に」したからだだと思います。これは、私が学部生や修士生が卒業するときに贈る言葉にしているのですが、私の場合、それぞれのターニングポイントで、川田先生がいて、ドクター進学を勧めてくれたOBがいて、巨陽先生がいました。当時はわからなくても、後で振り返って「あのときの言葉」が効いていたことがわかるのです。

卒業生に贈る言葉にはもう1つあって「第一歩を踏み出す勇氣」です。他人と違うことをするときには勇氣がいきます。しかし、一歩さえ踏み出せばスムーズにいくものです。ドクター進学では勇氣がいきますが、何とかなるものです。

近視眼的な実用性より根本原理をつき詰めたい

—名古屋大に6年いたとこのことで、早稲田との違い、あるいは早稲田のいいところとは何でしょうか。

名古屋大は旧帝大ながらの総合的な広がりを感じます。国から支援を受けているケースを随所に感じることもあります。また、事務については「お役所仕事」的なところがあって、当初は少なからずカルチャーショックを受けました。書類の提出で期限が1日でも遅れたら受け取ってもらえないのです。その点、早稲田だと寛容な雰囲気がありますね。

早稲田のいいところは、非常に自由だということ。私も若いうちから、誰からも細かく指示されずに、のびのびと自分の裁量でやらせてもらえました。あとは先生方に愛校心が強いことです。たとえば、私が名古屋大で所属していた箇所では完全に実力で教授らが採用されます。非常にフェアでクリアですが、優秀な人材が全国から集まりますので、母校出身者が少なくなってしまう。一方、早稲田の教員は良くも悪くもOB・OGが多いので、大学や学生に対する愛情が深くなる。特に、機械科学・航空宇宙学科(旧機械工学科)は100年の伝統があるので、代々受け継がれてきたやり方や講義ノートがあって授業や研究室の運営などがしっかりしています。最近は色々なバックグラウンドを持つ先生方も増えてきて、良い意味で活性化されていると感じます。

—大きな方向性という意味で、今後やってみたいことはありますか。

事の本質をつき詰めたいと思うことがあります。壊れたり、くっつけたり、治癒したり、というのは結局、原子が離れたり、くっついたり、すべったり、することなのです。この根本原理がわかれば、新しい応用が見えてくるのではないのでしょうか。私は工学から入ったのですが、基礎物理の先生のように、根本からボトムアップしていくアプローチも面白いと思います。

材料の先生と話していて、機械と材料の違いに気づきます。機械の先生は、それがどういうことに役立つかという話になり、材料の先生は、それが役立つかどうかはあまり気にならず、現象の解明が重要だと考えているように思えます。私も「役立つか役立つかないか」より、自分の興味の向くままにやってみたいと思うことがあります。それが研究の本質のような気がします。

【研究員】

一般社団法人環境資源工学会 2021 年度 論文賞	所 千晴 (教授)
ターボ機械協会 技術賞	宮川 和芳 (教授)
ターボ機械協会 論文賞	宮川 和芳 (教授)
日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2021 v_BASE フォーラムベストオーディエンス賞	宮川 和芳 (教授)
環境省 環境大臣表彰 (廃棄物・浄化槽研究開発功労者)	大和田 秀二 (教授)
Wiley Top Cited Article (IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering)	大木 義路 (特任研究教授)
公益社団法人化学工学会 2021 年度優秀論文賞	所 千晴 (教授)
軽金属学会 関東支部 功労賞	鈴木 進補 (教授)

【学生】

日本機械学会 若手優秀講演賞	入江 達也 (宮川研究室・D1)
ターボ機械協会 技術賞	入江 達也 (宮川研究室・D1)
自動車技術会 第2回学生ポスターセッション 優秀賞	會澤 諒 (細井研究室・M2)
日本液晶学会 若葉賞	上野 陽平 (多辺研究室・M2)
日本液晶学会 若葉賞	藤岡 光希 (多辺研究室・M2)
日本液晶学会 虹彩賞	徳永 陽奈 (多辺研究室・B4)
資源・素材学会 若手ポスター発表賞	稲玉 侑里子 (山口研究室・M2)
日本マイクログラビティ応用学会 第33回学術講演会 (JASMAC-33) 奨励賞	山中 亜里紗 (鈴木研究室・B4)
日本マイクログラビティ応用学会 第33回学術講演会 (JASMAC-33) 敢闘賞	馬淵 勇司 (鈴木研究室・B4)
日本マイクログラビティ応用学会 第33回学術講演会 (JASMAC-33) 奨励賞	花田 知優 (鈴木研究室・B4)

【学生】

日本マイクログラビティ応用学会 第33回学術講演会 (JASMAC-33) 優秀賞	青木 祐和 (鈴木研究室・M1)
INTERFINISH2020 Student Award	Zhengke TU (本間・福永研究室・D1)
日本マイクログラビティ応用学会 研究奨励賞	椎木 政人 (鈴木研究室・D3)
日本ゾルーゲル学会 第19回討論会 ベストポスター賞	服部 哲也 (下嶋研究室・M1)
日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム 学生優秀講演賞	鈴木 舞 (下嶋研究室・M1)
軽金属学会 第141回秋期大会 優秀英語ポスター発表賞	譚 顕ハン (鈴木研究室・M2)
第33回 日本マイクログラビティ応用学会 学術講演会 (JASMAC-33) 学生口頭発表 最優秀賞	小林 由央 (鈴木研究室・M2)
強化プラスチック協会 65th FRP CON-EX2021 論文賞	島 桃花 (細井研究室・M1)
2021MRS Fall Meeting & Exhibit Best Student Oral Presentation Award	佐藤 弘隆 (川原田研究室・M1)
第37回ゼオライト研究発表会若手優秀講演賞	高岡 晃平 (下嶋研究室・M1)
2021Virtual MRS Fall Meeting & Exhibit Best Student Oral Presentation Award	早坂 京祐 (川原田研究室・M1)
一般社団法人日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞	阪井 健人 (宮川研究室・M1)
一般社団法人日本航空宇宙学会 優秀発表賞	阪井 健人 (宮川研究室・M1)
電気学会 基礎・材料・共通部門 令和3年 優秀論文発表賞 (基礎・材料・共通部門表彰)	関 智文 (大木研究室・M2)
第13回 日本複合材料会議 (JCCM-13) 優秀講演賞 (学生)	青木 喬寛 (川田研究室・M2)
第13回 日本複合材料会議 (JCCM-13) 優秀講演賞 (学生)	遠藤 翔太 (川田研究室・M2)
計測自動制御学会 SICE 優秀学生賞	田畑 千尋 (鈴木研究室・M2)
日本機械学会 三浦賞	小林 由央 (鈴木研究室・M2)

※表題年度の受賞者を掲載しておりますが、一部その前年度の受賞者を含む場合があります。
 ※受賞者の情報は、表題年度の情報で記載しております。(一部除く)