天田財団ニュース

2020 Spring | No.8

02 「2019年度助成式典」を開催

03 「2019年度助成式典」招待講演　東京大学 生産技術研究所　古島 剛 准教授

04 鳥取大学 大学院工学研究科 機械宇宙工学専攻　陳中春 教授

研究室訪問

06 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻　久保木 孝 教授

08 熊本大学 産業ナノマテリアル研究所　外本 和幸 教授

10 国立研究開発法人 物質・材料研究機構（NIMS）構造材料研究拠点
接合・造型分野 耐熱材料設計グループ　御手洗 容子 グループリーダー

12 大阪大学 接合科学研究所 信頼性評価・予測システム学分野　門井 浩太 准教授

14 東京工業大学 工学院機械系　中川 佑貴 助教

16 名古屋工業大学 しくみ領域 物理工学専攻 応用物理分野　宮川 鈴衣奈 助教

18 ●2019年度後期助成先が決定　●2019年度「技能検定（工場板金 後期）受検手数料助成」の助成先が決定
●日本最大級の「光・レーザー技術」の総合展「Photonix 2019」に出展
●レーザー学会学術講演会「第40回年次大会」併設展「Laser Solution 2020」に出展

公益財団法人
天田財団
THE AMADA FOUNDATION

「2019年度助成式典」を開催

技能検定「工場板金」の受検手数料の助成もスタート

公益財団法人天田財団は2019年11月30日、FORUM246ホール（神奈川県伊勢原市）で「2019年度天田財団助成式典」を開催。式典には塑性加工分野・レーザプロセッシング分野の助成対象者73名と関係者を含め、約150名が参加した。

95件・2億5,333万円を助成

天田財団の2019年度前期の助成件数は95件、助成金総額は2億5,333万円だった。このうち、「研究開発助成」の合計は81件・2億4,761万円、「国際交流助成」の合計は14件・572万円だった。これにより、1987年の財団設立から32年間の累計助成件数は1,803件となり、累計助成金額は29億5,240万円となった。

2019年度後期の助成先（国際交流助成のみ）は2月19日に発表。2019年10月からは新たに技能検定「工場板金」の受検手数料の助成も開始した。**（18ページ参照）**

「研究に真に有益な助成」を

式典の冒頭で**天田財団・岡本満夫代表理事理事長**は「金属加工というモノづくりを通じて、継続して世界の人々の豊かな未来を実現することがアマダグループの使命。天田財団は、金属加工の研究への助成を通じて、産業・経済の発展に寄与することを目的としている。しかし、日本の研究者を取り巻く環境はきびしく、人材・資金・環境それぞれの面で変革が望まれる。天田財団は助成の規模だけでなく質の面――『研究に真に有益な助成』『若手研究者の育成の助成』、その中身の向上にも努めていきたい」と挨拶した。

来賓の**経済産業省素形材産業室・松本真太郎室長**は「日本の強みは、技術を現場へ応用する実現力だ。国が行うプロジェクトは『チェック＆レビュー』がきびしく、時にはそれが『現場』を阻害することもある。素形材産業はモノづくりの根幹。行政としても、最先端の研究シーズを産業のニーズのあるところへ提案する産学連携を強化していきたい」と祝辞を述べた。

続いて**㈱アマダホールディングス・磯部任社長**は「アマダグループは、天田財団が末永く幅広い助成を続け、創業者の理念でもある『人々の豊かな未来の実現』に貢献していけるよう、人間中心でビジネスを行う企業として成長していきたい。助成を受ける研究者の方々も『研究成果によって社会に貢献していく』との思いを胸に刻んでいただき、研究に邁進されることを期待する」と述べた。

医療に関連した2つの招待講演を開催

その後、「助成金目録贈呈式」が開催され、**天田財団・青山藤詞郎理事（慶應義塾・常任理事）**の「総評」ののち、岡本代表理事理事長から助成対象者へ助成金目録が贈呈された。

式典の冒頭で挨拶をする天田財団・
岡本満夫代表理事理事長

祝辞を述べる来賓の経済産業省素形材産業室・
松本真太郎室長

祝辞を述べる来賓の㈱アマダホールディングス・
磯部任社長

目録贈呈の後は、**東京大学・古島剛准教授**が「生体吸収性マグネシウム合金の革新的レーザダイレスフォーミングの開発」、**鳥取大学・陳中春教授**が「金属3Dプリンタを駆使した高機能金型やインプラント製品の成形技術の開発」と題して招待講演を行った。

なお、天田財団は4月22日にパシフィコ横浜で「第4回レーザプロセッシング助成研究成果発表会」を、6月12日に名古屋工業大学で「第18回 塑性加工助成研究成果発表会」（2020年度塑性加工春季講演会と同時開催）を開催する予定となっている。

「2019年度助成式典」招待講演

「生体吸収性マグネシウム合金の革新的レーザダイレスフォーミングの開発」

東京大学 生産技術研究所 古島 剛 准教授

マグネシウム合金管の薄肉細管化

本研究は芝浦工業大学の吉原正一郎教授、首都大学東京の清水徹英助教と3名で行ってきた。

2000年代以降、生体内で吸収分解される医療用材料としてマグネシウム合金を利用できないかと注目されている。われわれは、血管狭窄を治癒するためのステントにマグネシウム合金を使えないかという点に注目した。治癒後に取り出す必要がないのもマグネシウム合金のメリットだ。

目標に掲げたのは、ステント用の生体吸収性マグネシウム合金を用いて、血管内に挿入可能な極細かつ薄肉の管材をつくること。課題としては「微細薄肉管の創製の問題」と「機械的性質・腐食特性の制御の問題」の2つが挙げられ、前者が私の担当だった。

成形性が低いマグネシウム合金の微細・薄肉加工は難しい。細管化もそうだが、薄肉化が特に難しい。一般的なマグネシウム合金細管のつくりかたは、鋳造ビレットをつくり、管押出し加工、ダイス引抜き加工をして、熱処理しながら薄肉細管化を目指す。問題は押出し加工で、押出し比の関係でどうしても厚肉化してしまう。ダイス引抜き加工も1パスでの断面減少率は冷間で5%、温間で15%と低い。

われわれは、ダイレス引抜き加工に着目した。原理は簡単で、高周波誘導加熱やレーザを使って素材を局所的に急加熱する。その状態で引っ張ると、加熱した部分にくびれが生じる。引っ張りながら後ろを押していくことで材料径を一様に絞ることができる。

断面の減少率は、押していく速度（V_0）と引張り速度（V_1）の比でコントロールできる。そのため、金型を使うことなく、フレキシブルに断面積の減少率を制御できる。

東京大学生産技術研究所・古島剛准教授

局部加熱を行うとともに、内部にマンドレルを挿入するセミダイレス方式により、内径の減少を抑制しながら、さらに薄肉化できる。

材料はAZ系のマグネシウム合金と、ZM系のマグネシウム合金を使っている。

また、マンドレル径（d_m）と内径（d_0）の比を変えて実験をしている。d_m/d_0が0.7以下だと、引抜きによって減少する内壁とマンドレルが接触しないため、フルのダイレス引抜きと同様の状態となり、断面減少率は1パスで60%くらい。最適なd_m/d_0を選べば1パスで70%もの断面減少率を得られる。

ダイレスフォーミングによる結晶組織制御

ダイレス引抜きは、加熱温度と断面減少率によって結晶組織を制御できるのも大きな特徴。粗大な組織から微細な組織まで造管の過程でつくり込める。

生体吸収性ステントの場合、吸収速度すなわち腐食速度が重要になる。速すぎても遅すぎても問題。腐食速度は表面状態や結晶組織に起因するといわれる。ダイレス引抜きによってマグネシウム合金微細管の創製と同時に、結晶組織制御による生体内吸収特性の制御も可能になることが期待できる。

レーザにより加熱する場合、表面からの入熱となるため、表面の方の特性を変えることも可能になる。

表面処理による腐食特性の制御

このマグネシウム合金に対して、表面処理の面から腐食特性を変えられないか試みた。被膜材料としては、生体適合性にも優れる酸化マグネシウム（MgO）膜に着目した。

生体内におけるマグネシウム合金ステントの腐食は、血液と最初にじかに触れる表面から生じるため、材料内部の結晶組織の改善だけでなく、表面状態の制御も重要になる。

成膜技術としては、低温下で緻密かつ平滑な成膜が実現できるHiPIMS技術に着目した。HiPIMSにおけるターゲットピーク電流値を自動制御する手法を活用し、MgO成膜プロセスの安定化と組成制御をはかった。その結果、HiPIMSプロセスによる成膜パラメーターとして、ピーク電流値およびパルス周波数を適宜制御することによって、MgO膜中の酸素濃度比および結晶構造、結晶性を制御する技術の開発に成功した。

生体吸収性マグネシウム合金ステント

これらの結果を踏まえ、生体吸収性マグネシウム合金ステントの開発を試みた。外径2㎜、肉厚0.2㎜のステントの創製を目指した。

さらなるマグネシウム合金管の薄肉細管化を実現するためにセミダイレス引抜きと冷間ダイス引抜きを複合化させる手法を開発した。セミダイレス引抜きによって大断面減少率を生じさせ薄肉化。その後、断面減少率数％のダイス引抜きを2～3パス行うことで表面性状の平滑化に成功した。

この複合引抜き加工を応用し、ダイレス引抜きと、2回の冷間ダイス引抜きを1サイクルとした複合引抜き加工を3サイクル繰り返すことで、最終的に目指した極薄肉の細管を作製することに成功した。また、これをレーザ切断してステント形状を付与することで、生体吸収性マグネシウム合金ステントの試作を行った。

最近は微細化をさらに進め、直径1㎜のマグネシウム合金の細管の創製にも成功し、レーザ切断により非常に特殊な形状のステントの試作も行っている。可能性としては、血管の吻合や、中空化して治療の後半に有効な薬液を入れるといった用途も考えられる。

※講演の内容から一部抜粋

「2019年度助成式典」招待講演

「金属3Dプリンタを駆使した高機能金型やインプラント製品の成形技術の開発」

鳥取大学 大学院工学研究科 機械宇宙工学専攻 陳中春 教授

複雑な熱処理影響を受ける３D造形

本研究では金属3Dプリンタを用い、マルエージング鋼の緻密な金型の造形、チタン合金の多孔質な人工股関節インプラントの造形を行った。また、積層造形で加工した多孔質体と緻密体との拡散接合、積層造形による多孔質部と緻密体の一体造形を行った。

3D造形は、非常に複雑な熱影響をともなう。原料である金属粉末はその融点を超えて用いられ、造形した上にさらに粉末を敷いて造形する際は、その下層にも熱影響を与えている。また造形後も、溶体化処理や時効処理といった熱処理を行うため、熱の影響を受け続けている。

最終的に求める機械的性質・機能性を実現するためには、形状だけでなく、材質の制御が重要になる。特に加工の各パラメーターの影響を理解することが重要だ。

マルエージング鋼金型の造形

マルエージング鋼の3D造形に使う原料は、粒径20～45μmの球形粉末。造形パラメーターとしては、レーザパワー、走査速度、ピッチ、スポット径などがある。

本研究では造形パラメーターの影響を表すプロセスマップを作成し、最適造形範囲を導き出した。特にレーザパワー300W、走査速度700㎜/sec、ピッチ0.12㎜、スポット径0.2㎜、エネルギー密度71.43J/㎟、オーバーラップ率40%の条件で造形したマルエージング鋼が最も高い相対密度(99.8%)を示し、表面粗さも比較的低い値を示した。

レーザパワーが小さすぎても大きすぎても密度は低くなる。スポット径とピッチの影響を反映したオーバーラップ率の変化によっても造形試料の相対密度は変化する。オーバーラップ率が高くなり、より多くのエネルギーが与えられると、温度が高くなり、かえって密度が低くなる。金属の飛散(スパッタ)やボーリング現象などの異常溶融が生じるためだ。

エネルギー密度が低いと、一部溶解していない粉末も存在し、相対密度は低くなる。エネルギー密度が高くても、多くの球状空孔が形成され、相対密度も比較的低い値を示す。

マルエージング鋼試料の組織変化

原料粉末には、マルテンサイト相のみが存在するが、積層造形した試料にはわずかにオーステナイト相が確認された。時効処理を施すと、マルテンサイトの逆変態により、オーステナイト相の量が増加した。しかし、積層造形の後、時効処理の前に液体化処理を行うことで、残留オーステナイト相の少ない試料を得ることができる。

液体化処理後に時効処理を施すと、硬さが飛躍的に上昇した。また、積層造形後、ただちに時効処理を行った試料に比べ、時効処理の前に液体化処理を導入した方が残留オーステナイト相の低減により高い応力レベルを示した。

本研究では、最適条件で造形したマルエージング鋼材料に対して、液体化処理(820℃×1h)、時効処理(460℃×5h)を施すことで、従来のマルエージング鋼に近い硬さ(617.7HV)、引張り強さ(2006MPa)、ヤング率(189GPa)が得られた。一方、時効時間が10時間を超えると硬さが低下する傾向が見られ、時効温度が550℃を超えると硬さが大きく低下した。

チタン合金のインプラント製品の造形

高齢化の進展により、今後はますます人工関節のインプラントの利用が増加し、高機能化が求められる。

チタン合金の人工股関節の表面には多孔質の付与が必要になる。われわれ人間の骨が多孔質の中に入り込むことで、非常に強固になるためだ。

鳥取大学大学院工学研究科・陳中春教授

本研究では電子ビームの積層造形を利用して多孔質体をつくった。チタン合金(Ti-6Al-4V)の多孔質体と圧延材(緻密体)を930℃で拡散接合した結果、界面で良好な接合を有し、界面近傍でもJIS規格の360HVを超える十分な硬さを示した。

また、積層造形により圧延材(緻密体)と多孔質部の一体造形を行った。多孔質部、緻密体ともに柱状晶組織を形成し、造形体上部の方が組織は細かい。また、造形体の硬さは上部から下部まで470HV程度の高硬度を示した。

3D造形に適したチタン合金の開発

64合金(Ti-6Al-4V)は優れた材料だが、いくつか問題がある。パラジウムの細胞毒性とアルミの神経毒性、パラジウムの使用による材料コストの増加、生体適合性の低下などだ。そのため、64合金の代替となる材料の開発が求められている。

また、現在販売されている人工股関節インプラントは平均骨格形状に基づいて成形されている。しかし患者の体は個人差が大きく、カスタムメイドが必要になる。3D造形技術によって、たとえば患者のCTのデータを使って造形することが可能になる。

こうした背景を踏まえ、3D造形に適した新しいチタン合金の研究開発を進めている。純チタンの中に微量の酸化物粉末を展開し、3D造形の段階で酸化物を分解させ、酸素による侵入固溶強化により、64合金に匹敵する強度と生体適合性を有するというものだ。

※講演の内容から一部抜粋

世界に存在しない加工法や生産方法を考案し、具体化する

「V曲げ加工金型の溝底亀裂および肩部損耗のメカニズム検討と長寿命化に関する研究」

電気通信大学 大学院情報理工学研究科
機械知能システム学専攻 久保木・梶川研究室
久保木 孝 教授

電気通信大学大学院情報理工学研究科・久保木孝教授

「重点研究開発助成」に採択

天田財団の2019年度前期助成で「重点研究開発助成課題研究（塑性加工）」に採択された電気通信大学 大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻の久保木孝教授の研究室を訪ね、助成対象となった研究の内容や教育の現状などについて話を聞いた。

久保木教授は1988年3月に京都大学工学部精密工学科を卒業。同年4月に京都大学大学院工学研究科に入学し、1990年3月に修了。同年4月に住友金属工業株式会社（現：日本製鉄株式会社）に入社、2002年12月までの12年間を研究員として勤務した。

2003年1月、電気通信大学電気通信学部助教授に就任。2007年4月から2010年3月まで同大学の電気通信学部准教授、2010年4月から2013年3月まで同大学大学院情報理工学研究科准教授、2013年4月からは同大学大学院情報理工学研究科教授を歴任してきた。

ユニークな加工法の創造を目指す

久保木・梶川研究室は、塑性力学に基づく新しい加工法を考察し、さらなる向上を目指して、新しくユニークな加工法の創造を目指している。そして、これまでの加工限界や成形能率を超えるように、数値解析と実験を重ね、原理の解明と産業界へ技術をフィードバックする応用研究を行っている。既存の加工法の最適化手法に加え、新しい塑性加工法の開発も行っている。

研究テーマのひとつに「精密冷間引抜き加工」がある。従来、細い伸線をつくるにはさまざまなサイズの穴型ダイスを用いて引抜き加工を行うのが通例だったが、この新しい方法では穴型ダイスを使わずに、2つの凹ロールダイスにらせん運動をさせることで、フリーサイズの伸線加工が行える。ほかにも、ダイスを使って飲料缶のような先が細くなっているものを成形する回転口絞り加工では、ダイスに「逃げ」と呼ばれる空間をつくり、口絞り率を従来の10%から40%にまで向上させた「逃げ有りダイスを用いた回転口絞り加工」などの研究がある。

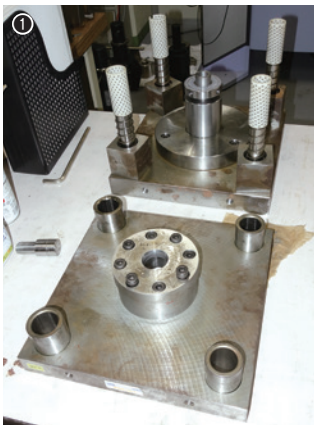
研究室では、これまでにアマダ、日本製鉄、コベルコマテリアル銅管、下村特殊精工、宮﨑機械システム（研究受入代表：梶川助教）、山内エンジニアリング（研究受入代表：梶川助教）などの企業と共同研究を幅広く行い、現場に即した塑性加工の研究を行うことで産業界に貢献している。

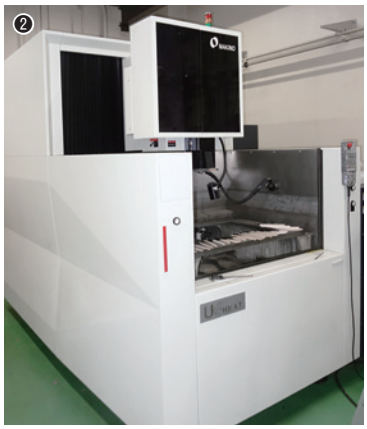
次の展開として、複合材への対応も考えている。複合材はハイテク材料などにも利用されているが、加工が難しく、塑性加工法はいまだに確立されていない。そこで、これまでの経験と知見を活かした研究を進めている。医療関連では医療ロボット用自在鉗子など、微細加工された部品を同研究室の精密な塑性加工法を応用して加工する研究を進め、製造コストを抑え、広く普及させることを計画している。

現在の研究室メンバーは、久保木教授、梶川翔平助教、村田眞特別顧問、秘書の梶正子氏のほかに、博士後期課程2年が1名、博士前期課程2年が3名、博士前期課程1年が5名、学部学生が6名の19名となっている。

「V曲げ加工」の課題

「重点研究開発助成」に採択された「V曲げ加工金型の溝底亀裂および肩部損耗のメカニズム検討と長寿命化





❶損耗のメカニズムを研究するための金型／❷実験で使用する金型などの加工を行うワイヤ放電加工機／❸大学の共同利用設備である工作室には各種工作機械が並ぶ

に関する研究」について、久保木教授は次のように語る。

「V曲げ加工においては、主にダイの溝底で発生する割れが大きな問題となります。現場でダイを継続使用すると割れが進展→ダイが分裂→作業者の事故につながります。塑性変形中にダイに蓄積されるエネルギーは非常に大きく、場合によっては死亡事故につながりかねません」。

「破損事故の確率は曲げ加工によって異なります。曲げ加工では一般的に、エアベンディング<ボトミング加工<コイニング加工の順に、安定した高精度加工が可能です。しかし、同時に加工荷重も大きくなり、通常の曲げ加工ではエアベンディング加工を前提に金型を設計する場合が多いといわれます。高精度加工の要求時はボトミング加工やコイニング加工をします」。

「通常作業で割れの進展が進んでいると、一時的に荷重が大きくなるボトミング加工やコイニング加工によって、金型の破壊が生じる場合があります。したがって、割れの進展を予測し、通常のエアベンディングや緊急のボトミング加工やコイニング加工時における金型破壊の可能性を予測して、破壊する前に金型を取り換えることが重要となります」。

「しかし、通常はさまざまな条件で曲げ加工を行っており、現場で金型寿命を予測するのは難しい。そこで、予測技術に加えて割れが生じないような金型を設計・製作することに意義があると考え、課題の研究を考えました」。

IoT技術で生産現場のデータを収集

V曲げを繰り返すと、不可避的にダイ肩部において摩耗が生じる。そこで、割れと同様に摩耗の発生を予測する方法を確立することを考えた。最近はIoT技術により各種データを収集・蓄積し、分析が容易となっている。そこで、V曲げ加工の場合、金型内にセンサーを埋め込めば、荷重-ストローク線図やAE波形が採取できる。さらに作業者か、入力を代替するサポートシステムを準備すれば、板材の材質、板厚、曲げ線の長さなどの重要な曲げ加工条件に関する情報を蓄積し、ダイの割れや肩部の摩耗状況をより精度良く予測することができる。

そこで、本研究では、金型の溝底部の割れや摩耗に対して①抑制、②予測、③予知を行うための技術開発を目的としている。

研究の特徴

久保木教授は、蓄えられた加工条件の履歴に基づき、蓄積されるダメージを計算し、割れや摩耗を推定することを「予測」、テンポラリーな信号から割れや摩耗を検知することを「予知」と呼んでおり、本研究の特徴は以下のようになっている。

1. ダイ溝底部の割れ抑制

①トポロジー最適化技術によるダイ（空洞）形状最適化によって、人間が発想し得ない適正な形状を計算力学によって得る。

②さらに多目的満足化設計手法（PSD手法）を用いて、割れだけではなくオーバースペック、扱いやすさ、コストなどの点から「すり合わせ」によって最適化する。

③ZAS金型を用い、ダイ最適形状の検証、加速試験を行う。

2. ダイ溝底部の割れ予測と予知

これまでV曲げ加工金型での寿命予測の例は少なく、板曲げの分野ではあまり試されなかった他の分野で実績のあるPedersenの手法やDang Vanの式の適用を試み「予測」と「予知」を行う。

3. ダイ肩部の摩耗の予測

メカニズムの解明までは難しいかもしれないが、現象論的な議論ができるように基礎的なデータを蓄積し、摩耗を評価するための式を提案する。

4. 製造現場とのすり合わせ

研究推進中も㈱アマダの金型関連部門と連携し、製造現場で役立つ研究を推進している。

「加工とは“ものづくり”の基本であり、“ものづくり”こそが、日本を世界第3位の経済大国へと発展させてきました。日本の生産技術は世界の最高水準にあり、そのためにも世界にない新しい加工技術や生産技術の開発が必要です。そうした技術がなければ、将来の日本は存在し得ないでしょう。そのためにも、柔軟な頭でこの世界に存在しない加工法や生産方法を考案し、それらを具体化・工業化していくことをこれからも続けたい」と久保木教授は語っている。

国立大学法人で唯一の総合的爆発実験施設を活用

火薬類を用いたパルスパワーの発生・制御・計測・応用に関する研究を行う

熊本大学 産業ナノマテリアル研究所　外本 和幸 教授

熊本大学産業ナノマテリアル研究所の外本和幸教授（左）と田中茂助教（右）

「重点研究開発助成」に採択

熊本大学産業ナノマテリアル研究所（旧パルスパワー科学研究所）の外本和幸教授は、天田財団の2019年度前期助成で「重点研究開発助成 課題研究（塑性加工）」に採択された。研究テーマは「爆発圧接法を用いた微細多数穴によるチャンネル（ユニポア）構造の創製」である。

外本教授は1987年3月に九州大学大学院工学研究科で博士後期課程単位取得退学、同年4月に熊本大学工学部助手に着任、1988年11月に博士号（工学）を九州大学から取得した。

2020年4月から名称が「産業ナノマテリアル研究所」に改まったが、2013年に発足した「パルスパワー科学研究所」でパルスパワー基盤部門・爆発プロセス分野の教授として田中茂助教とともに、火薬類を用いたパルスパワーの発生・制御・計測・応用に関する研究を行っている。

一貫して爆発加工技術を研究

「熊本大学での爆発加工技術の研究は古く、1971年から工学部附属衝撃エネルギー実験所で実験・研究が行われてきました。1999年からは衝撃・極限環境研究センター、2013年からはパルスパワー科学研究所になりました。時代の要求に応じて名称は変わってきましたが、私が手がけてきた研究は一貫しています」と外本教授は語る。

1990年から約1年間、カリフォルニア大学サンディエゴ校に客員研究員として所属し、帰国した1991年4月に機械工学科講師、1993年7月に助教授に昇任、1999年4月に衝撃・極限環境研究センター助教授（その後准教授）に異動の後、2010年2月に同センター教授に昇任。2013年4月にパルスパワー科学研究所教授、2020年4月からは産業ナノマテリアル研究所の教授となった。

「高性能爆薬でつくる野菜ジュース」が話題に

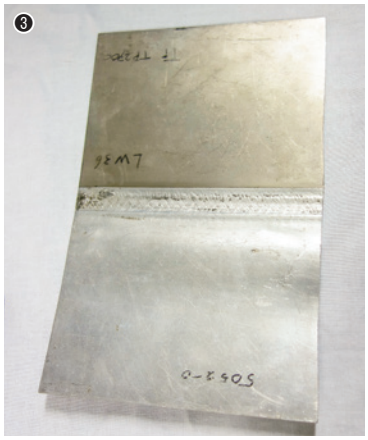
「熊本大学パルスパワー科学研究所には、国立大学法人で唯一の総合的爆発実験施設が整備されており、高速度ビデオカメラを用いた光学計測実験も可能です。光学計測には爆轟ガス（煙）の影響を排除できるレーザ光源を新たに導入する必要があるものの、研究に必要な設備・機器が整えられており、ほかの研究施設では実施が難しい特殊な研究を推進することが可能となっています」。

「2014年に当研究所が全面協力し、前任の伊東繁熊本大学名誉教授（当時は沖縄工業高専校長）と連携して、食品大手のカゴメが制作した動画『高性能爆薬でつくる野菜ジュース』がネット上で話題を呼びました。水中爆発の衝撃波でトマトやキュウリなどの内部だけを破壊し、ジュースにするという動画で、ご覧になった方も多いと思います」。

「爆発加工技術の研究は地道ですが、この工法でしかつくれない製品もあり、これからもしっかりと研究を継続するべき分野だと思います」（外本教授）。

爆発圧接法を用いた微細多数穴によるユニポアの創製

「軽量性や衝撃吸収特性など多くの機能性が知られているポーラス（多孔質）材の中でも、空隙の構造に規則的な断面形状を有した形で方向性を持たせるようにして微細



❶爆発実験施設内の爆発ピットB内部／❷高速材料衝突試験に使われる衝撃銃装置／❸爆発圧接により異種材を接合する

な多数穴構造を実現することができれば、熱交換や冷却などの高機能性の付与が可能になるほか、マイクロリアクター（微小化学反応器）などへの利用も期待できます」。

「私たちは、個別に壁で隔離され、一方向にそろえて作製された多数の穴構造の多孔質材料を、ユニポア（UniPore）材と命名。高速塑性加工・接合法として実績のある爆発圧接法を応用して製造する方法を確立するとともに、各種特性評価を行ってきました。爆発圧接によって得られる材料の接合強度への信頼性は高く、ほかの方法では製造が難しい特殊な構造を容易に実現できます」。

「本研究では、円筒形状のユニポア材を複数の種類の管を用いて作製することに加え、板の一部をエッチングで多数穴構造にして、穴部をフィラーで満たした薄板を多層爆着することで、積層構造の多数穴を有する板形状のユニポア材の創製を試みます。爆発圧接は、爆薬により金属板が加速される方向にのみ速度を持ち、加工される管や板の長手方向にはほとんど伸びを示さず、板厚はほとんど変化しません。そのため、薄い壁面に破断を生じることなく管同士を接合できます」。

「このような変形プロセスの特徴の相違が、従来、難しかった構造の創製に大きく寄与すると考えています。創製された円筒形状の長尺材は、熱交換器等への応用が期待できると考えています。ユニポア材は、これまでの銅管の試作品に対して行ったガス流れの伝熱性能評価では、最大で平滑管流れの8倍の伝熱性能を確認。圧力損失も小さく、各種熱交換器等の大幅な小型化を可能にします」（外本教授）。

研究の目的

外本教授は研究目的について、次のように説明している。

① 成形加工限界の探求

複数の材料の管を用いた円筒型ユニポア材と板状の積層構造からなる微細な穴構造のユニポア材に関して、加工可能なサイズ（穴のサイズ、板厚）について、製造可能な寸法の限界について検討する。

② 高速加工プロセスの解明

レーザ光源を導入して爆薬の爆轟プロセスと金属の高速変形過程を可視化する。さらに、これと併せて実施する汎用の爆発・変形現象を得意とするAUTODYNを用いた数値シミュレーションも実施し、爆薬の爆轟挙動とそれによる金属の衝突速度など、接合に重要なパラメーターを定量的に明らかにする。

③ 得られた材料の特性評価

回収された材料に対する組織観察（接合状況の評価）に加えて、圧縮試験や曲げ試験などを実施して接合状況の影響や異方性の特徴も含めた力学的特性の解明について研究を実施する。

④ 各種複雑構造をもつユニポア材の創製

多数材からなる複合化を新たに試行する。それとともに、らせん構造の穴など、各種の複雑な穴構造からなるユニポア材の創製の可能性についても検討する。従来にないハイブリッドな構造を有する材料の実用化を目指すことは、新しい応用分野を開拓するうえでも有用である。

爆薬の平和利用に特化した研究

研究では、実用化を目指してコスト削減のために低価格の爆薬の利用も検討（例えば、トンネル発破用のエマルション爆薬など。従来利用していたものより高爆速で作用圧力を高められる）。爆薬の平和利用に特化した大学の総合的爆発実験施設は世界的にみても少なく、研究室では、爆薬を利用した各種の材料加工技術――特に爆発圧接技術に関して多くの実績があるだけに成果が期待できる。

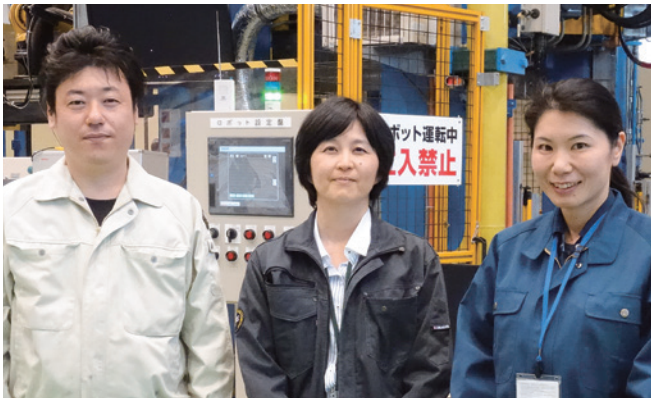
また、単純な一方向多孔質構造を得るだけでなく、材料の配置・形状を工夫することで、複雑・微細な多孔質構造や複数素材からなる多孔質構造を比較的容易に実現できる。研究には異材の接合も含まれており、例えば「流体通路は耐酸性の管で、基材は伝熱性能の高い部材の製造」といった、材料特性を生かした新素材の実現も考えられる。

研究を推進することにより、多様なマイクロチャンネル実用化への広がりが期待されている。

航空機用ジェットエンジンの熱効率向上を目指す

恒温鍛造が可能な1500トン鍛造シミュレータを用いたチタン合金の研究

国立研究開発法人 物質・材料研究機構（NIMS）構造材料研究拠点 接合・造型分野 耐熱材料設計グループ
御手洗（みたらい） 容子 グループリーダー



国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）鍛造シミュレータグループの御手洗容子リーダー（中央）、黒田秀治さん（左）、本郷功会さん（右）

高温構造材料に関する基礎研究で多くの実績

国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）構造材料研究拠点 接合・造型分野 耐熱材料設計グループの御手洗（みたらい）容子グループリーダーは、天田財団の2019年度前期助成で「重点研究開発助成 課題研究（塑性加工）」に採択された。御手洗リーダーは、技術開発・共用部門 材料創製・加工ステーション 鍛造シミュレータグループのグループリーダーも兼任している。

採択を受けた研究テーマは「1500t鍛造シミュレータにより組織制御したTi合金の破壊機構解明と特性バランスを有する鍛造プロセス確立」。御手洗リーダーはかねてより、高温構造材料に関する基礎研究で多くの研究業績を挙げている。イリジウムの超高温域において優れた高温強度を示す高融点超合金、高温で高強度かつ耐酸化特性に優れたチタン合金、白金族金属とチタンを用いた高温形状記憶合金の開発などにおいて多くの特許を取得するなど、その研究業績は国内外で高く評価されている。

その一方で、公益社団法人日本金属学会の「男女共同参画委員会」幹事ならびに委員長を歴任し、加えて科学技術振興調整費による「女性研究者支援モデル育成」事業を男女共同参画チーム長として推進してきた。また、省庁間の枠や旧来の分野を超えたマネジメントにより科学技術イノベーションを実現するために内閣府に設置された国家プロジェクト「戦略的イノベーション創造プログラム」（SIP）では、17機関が参加する研究テーマの研究代表者でもある。

研究者として後進の女性研究者育成にも努力を重ねている。研究を続けながら2人の子育てにも心血を注ぎ、今春には下のお子さんも高校を卒業。「博士号を取得したのが28歳。それから結婚・出産・子育てと、研究や家庭生活に奔走してきました」（御手洗リーダー）という。

日本刀の話に惹かれ、金属工学を学ぶ

御手洗リーダーは文学少女だった。中国の騎馬民族の歴史に興味を持ち、将来はシルクロードを旅してみたいと夢見ていたという。高校に入るとSF小説にはまり、中でも米国のSF作家、ロバート・A・ハインラインの「夏への扉」を読んで、技術屋のかっこよさに目覚めたという。ガンダムなどのロボットにも興味を持ち、機械工学を志望。1985年に東京工業大学を受験し、第2希望の材料工学科に入学した。

大学では、金属工学の先生から日本刀づくりに興味を持っているという話を聞き、興味をそそられて金属工学を専攻した。1994年3月に東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程金属工学専攻を修了、博士（工学）となった。

そして、NIMSの前身である科学技術庁金属材料研究所に入り、耐熱材料の組織と力学特性（高温強度、クリープ）、耐酸化特性、耐熱Ti合金、超高温材料（白金族金属）、高温形状記憶合金、その他1200℃以上で使える種々の超耐熱材料などの研究に関わるようになった。

Ti合金部材の疲労破壊の研究

「1500t鍛造シミュレータにより組織制御したTi合金の破壊機構解明と特性バランスを有する鍛造プロセス確立」の研究目的については、次のように説明する。

「地球温暖化ガス排出量削減、化石燃料消費量削減を実現するために、航空機用ジェットエンジンの熱効率向上が

❶1500トン鍛造シミュレータ／❷1500トン鍛造シミュレータによる加工サンプル。ねじり鍛造した製品（左）、Ti合金φ100×200㎜からφ310×t21㎜まで加工した製品（中央）、Ni合金φ270×t40㎜の加工サンプル（右）

きびしく求められています。エンジンの熱効率を高めるためには、エンジンに使用されている材料の耐熱性向上と軽量化を両立することが必要です。そのため、ジェットエンジン圧縮機にはTi合金が使われていますが、高圧圧縮機の温度は600℃を超えます。Ti合金の耐熱温度は550℃程度のため、550℃以上では、より耐熱性の高いNi基超合金を使う必要がありました。Ni基超合金の比重はTi合金の2倍もあり、エンジン重量の増加により燃費が低下します」。

「現在、圧縮機部材にはTi合金をぎりぎりの軽量化設計で用いていますが、Ti合金部材の疲労破壊が原因とされるエンジントラブルが少なからず発生しています。そこで、安全性・信頼性を飛躍的に向上させ、かつ熱効率を高めるために、Ti合金の耐熱性と安全性を向上させることが喫緊の課題となっていました」。

「本研究では、最も耐熱性の高い耐熱Ti合金であるTIMETAL 834合金に着目、ひずみ速度を制御した恒温鍛造が可能な1500トン鍛造シミュレータを用いて、鍛造・熱処理組織の形成過程を調べます」。

1500トン鍛造シミュレータ

「1500トン鍛造シミュレータは、SIPのプロジェクトでNIMSに導入された設備です。加圧速度0.01-300㎜/s、ひずみ速度0.001-9.99/sの範囲で制御が可能で、最高1100℃まで加熱可能な金型加熱炉が付帯しており、1100℃までの恒温鍛造が可能です。鍛造可能な素材サイズは直径200㎜以内、高さ300㎜以内で、たとえば直径100㎜×高さ300㎜の素材を80%鍛造すると、およそ直径220㎜×60㎜の円盤状鍛造材が得られます。すると、同一部位から組織観察試験片と力学特性試験片を得ることができるため、鍛造条件から組織、特性を結びつけることができます」。

「また、Ti合金の組織は冷却速度により大きく変化しますが、冷却速度は素材の体積と表面積の比に関係し、このサイズの鍛造材を得ることによって製造部材に近い冷却速度を有する試料を創製できることもメリットです」。

「研究ではまず、1500トン鍛造シミュレータを用いて、鍛造・熱処理条件によりTIMETAL 834に生成する組織のちがいと組織形成過程を明らかにします。特に、『microtexture』（Dwell疲労に影響を与える組織、局所的にある特定の方向に組織がそろう領域）が生成する条件を明らかにします」。

「次に、異なる組織を有する試料を用いて疲労、Dwell疲労、クリープの評価を行い、異なる組織がき裂発生と、き裂進展に与える影響について明らかにします。この結果から、疲労とクリープ特性のバランスが取れる組織を明らかにし、この組織を得る（microtextureを抑制する）ための鍛造・熱処理プロセスを確立することを目指します」。

「そしてFEM（有限要素法）を用いた鍛造シミュレーションにより、鍛造中のひずみ・応力・温度分布を明らかにし、組織観察とFEM鍛造シミュレーションを組み合わせ、鍛造組織形成過程を明らかにしたい」（御手洗リーダー）。

共用設備は民間にも開放

すでに、疲労にもクリープにも耐性があるTi合金組織をつくり込むための鍛造プロセス確立を目指した研究が始まっている。現在、御手洗リーダーが客員教授を務める芝浦工業大学から2名の修士学生が研究に来ているほか、技術開発・共用部門 材料創製・加工ステーション 鍛造シミュレータグループの技術スタッフ2名が研究をサポートする。

「ひずみ速度を制御した恒温鍛造が可能な1500トン鍛造シミュレータは、機器使用料金はいただきますが、共用設備として広く大学・研究機関・一般企業にも開放しています。材料や金型の温度、圧縮する際のプレスの速度、冷却速度の条件を精密に制御し、金属材料を鍛造することができるので、ぜひ活用いただきたい」とPRも忘れなかった。

金属積層造形（AM）部品の再現性の確保を目指す

“溶けて割れる”という原点に立ち戻った研究

大阪大学 接合科学研究所
信頼性評価・予測システム学分野　門井 浩太 准教授

大阪大学接合科学研究所・門井浩太准教授

2016年から大阪大接合研の准教授

天田財団の2019年度前期助成で「重点研究開発助成課題研究（レーザプロセッシング）」に採択された大阪大学接合科学研究所 信頼性評価・予測システム学分野の門井浩太准教授。2004年3月に早稲田大学 理工学部 物質開発工学科を卒業し、2006年3月に早稲田大学大学院 理工学研究科 材料理工学専攻 修士課程を修了した。

2007年4月から2009年3月までは早稲田大学 理工学術院で助手として勤務しながら、2009年3月に早稲田大学大学院 理工学研究科 材料理工学専攻 博士課程を修了し、博士（工学）となった。

2009年4月から2016年12月までは広島大学大学院 工学研究院で助教を務めた。そして2016年12月から現在まで、大阪大学 接合科学研究所（接合研）信頼性評価・予測システム学分野の井上研究室で准教授を務めている。

井上研究室は井上裕滋教授を中心に、材料の特性や機能を最大限に活用するため、材料科学的な観点から、溶接・接合部の特性の高精度な評価、支配因子の解明ならびにその制御・予測技術を構築することを目指した教育・研究を行っている。材料の凝固・変態挙動の理解を踏まえた溶接・接合部の組織形成機構の解明や、溶接・接合部の信頼性や寿命の評価・予測を目指し、実験とシミュレーションを用いた研究を推進することで、社会に還元できる新たな溶接・接合技術の創出を目指している。

溶接・接合に関する研究に従事

門井准教授は「広島大学大学院で助教をしていた当時は、その場観察法を用いた溶接凝固現象とその予測方法、レーザ溶接・異材溶接時の溶接高温割れ現象とその制御方法、高能率・高品質溶接技術の開発など、溶接・接合に関する基礎現象の実験および解析による評価や実用化を目的としたプロセス開発に関する研究に従事してきました」。

「大阪大学の接合研に来てからは、溶接・接合部の組織形成機構（凝固・相変態等）や、溶接・接合部の各種特性、割れ等の欠陥形成支配要因の解明、組織制御による溶接部の特性改善・信頼性評価予測技術の開発など、材料科学的な観点から、溶接・接合部特性の高精度な評価、支配因子の解明、ならびにこれらの制御・予測技術を構築することを目指した研究に従事しています」と語る。

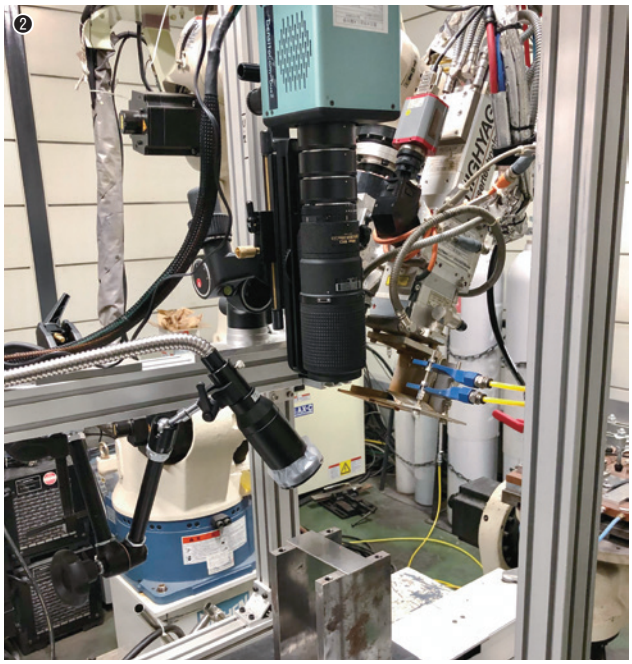
金属積層造形（AM）に着目

「重点研究開発助成」に採択された門井准教授の研究テーマは「金属積層造形における凝固割れ感受性の高精度評価・予測法」である。

「ここ数年話題となってきた、電子ビームまたはレーザにより必要な部分の金属粉末を溶解し、凝固させて金属部品を製作する金属積層造形に着目しました。金属積層造形は『AM（アディティブ・マニュファクチャリング）』あるいは『3Dプリンティング』と呼ばれ、現在は世界各国が競って技術開発に取り組んでいます。日本でも国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が、2019年度から2023年度までの5年間で『積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業』に取り組んでいます」（門井准教授）。

品質の再現性を確保することが難しいAM

「金属積層造形は、付加価値が高い複雑形状・高機能の部品や機能性合金の造形では、品質の再現性を確保す



❶接合研の玄関前の中庭に展示されているモニュメント。1970年に開催された大阪万国博覧会の「お祭り広場」の大屋根のユニットで1978年に解体された際に寄贈された／❷拘束緩和型U型高温割れ試験を行う実験装置。高速度カメラを用いたその場観察法による高精度な計測ができる

ることが難しく、新規開発に多大なコストと時間がかかることが課題となっています。特に造形後にでき上がった製品に割れ（マイクロクラック）の発生が認められるケースがあります。割れは積層条件や製品形状、化学組成に依存した材料学的・力学的な挙動に起因して発生するため、割れの発生防止にはこれらの挙動の理解が必要となります」。

「積層造形中に発生する割れは、溶接時に発生する高温割れ――特に凝固割れに類似した形態を呈する場合があります。積層造形でも、溶接と同様に局所的な加熱・溶融の後、急速冷却下での凝固・収縮を経ることから、同様の割れ現象であると推察されます」。

「私たちはこれまで、レーザ溶接中の凝固割れを定量的かつ高精度に評価可能な試験法、割れ発生予測技術等の開発を行ってきました。積層造形にもこれらの手法が応用可能と考えました。そのためには、金属粉末を溶融させる、レーザ溶接より極めて急峻な加熱・冷却過程となる等の積層造形の特徴を考慮した手法の構築が必要と考えました。また、金属積層造形の重要な課題の一つに適応材料の拡大があります。Ni基合金やステンレス鋼、新規の開発材料等でも割れ発生が問題となる場合が多く、これによって適応可能な材料の化学組成範囲も限定的なのが現状です」（門井准教授）。

研究の目的

研究の目的について門井准教授は次のように説明する。

① 割れ発生に対する積層造形条件や化学組成、組織形態等の影響を実験および数値解析により調査する。これを基に、割れ発生現象やその感受性の支配因子を明らかにし、金属積層造形における割れ発生機構に関する学問の体系化や学理に基づいた割れ発生防止法を確立する。

② レーザを用いた金属3次元積層造形時に発生する割れに着目し、積層造形過程に適した割れ感受性評価法を構築する。

③ レーザ金属積層品の形状に応じて、凝固割れ発生防止、割れ感受性低減のための適正な化学組成や積層条件などの指針を導出し、金属積層造形技術のさらなる適用拡大や高品質化、信頼性向上を目指す。

金属積層造形法による割れの研究は少ない

これまで金属積層造形に関する研究は、主として製造プロセスの条件最適化、造形部の組織形態制御や特性評価などが進められてきた。また、積層造形過程の溶融現象、残留応力や変形、積層造形体の疲労特性などの数値解析も多く行われている。その一方、割れ発生に関する報告はあるものの、割れ感受性評価法や評価指標の導出、割れ発生機構の解明に関する研究は皆無に等しい。

溶接の凝固割れ感受性評価については、古くから多くの報告例があり、計測技術の発展とともに高度化がはかられている。これまでに構築してきたその場観察・測定法は、現時点で最も精度が高く、溶接凝固割れのひずみや温度が測定可能である。この手法を用いた積層造形の割れ発生の評価法の構築ならびに割れ発生防止・予測技術の確立を目指した研究は、国内外においても類のない初の試みであり、本研究によって、積層造形過程での割れ発生現象における支配因子を明確にし、学理を探求することで、積層造形における材料学の学問体系化、普遍的な統一理解にも寄与できる。

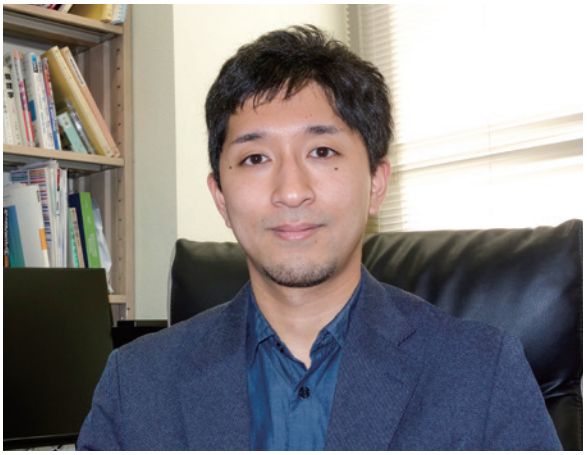
また、高温延性曲線など割れ感受性の定量的な指標は、凝固変態をともなうほかの溶融加工プロセスでの割れ現象の解明やその発生防止への寄与も可能な、従来にない極めて有用な知見となる可能性がある。

「国際的にみても本研究のようなアプローチによって積層造形プロセスで発生する割れなどの研究を行っている類似の研究例はありません。“溶けて割れる”という原点に立ち戻って、成果を挙げ、積層造形部品等の再現性の確保および開発を支援して、産業界での積層造形の普及に貢献したい」。

テーラードCFRP部材の開発を目指す

「3Dプリンティングとレーザー加熱を複合した炭素繊維強化プラスチック部材の製造」

東京工業大学 工学院機械系　中川 佑貴 助教



東京工業大学・中川佑貴助教

若手研究者育成を目的とする「奨励研究助成」に採択

中川佑貴助教は、天田財団の2019年度前期の研究開発助成の中で、若手研究者を対象とする「奨励研究助成（レーザプロセッシング）」に採択された。

中川助教は、2012年3月に苫小牧工業高等専門学校機械工学科を卒業。同年4月に豊橋技術科学大学工学部機械工学科へ編入学、極限成形システム研究室で学部3年から博士後期課程修了までを過ごした。2018年10月から東京工業大学大学院工学院機械系の吉野雅彦教授、山本貴富喜准教授の研究室の助教に就任し、現在に至っている。

学部4年の卒業研究では、炭素繊維強化プラスチック部材の3Dプリンティングを研究した。博士課程では前期・後期とも超高強度鋼部材のホットスタンピングを研究した。東工大の助教就任後は、それまでの研究テーマに加え、微細塑性加工や結晶組織制御技術の研究開発にも取り組むようになった。

所属する研究室は吉野教授、山本准教授、中川助教の3名に加えて、博士課程が3名（2名は中国人留学生）、修士課程のM2が3名、M1が4名、学部が4名の計17名で構成されている。研究テーマは主に結晶組織制御グループ、微細加工グループ、薄切グループ、ナノバイオグループに分かれている。

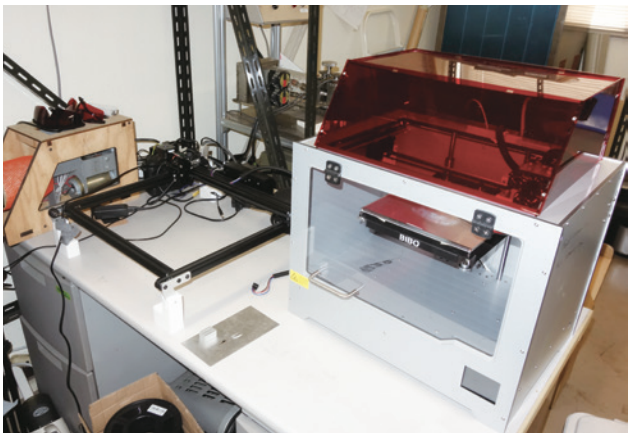
その中で中川助教は、学部生時代から関わり続けてきた炭素繊維強化プラスチック部材の構造研究を継続。今回、「3Dプリンティングとレーザー加熱を複合した炭素繊維強化プラスチック部材の製造」をテーマに、天田財団の若手研究者育成を目的とする「奨励研究助成」に応募し、採択された。

サンドイッチ方式によるCFRP部材の製造方法の研究

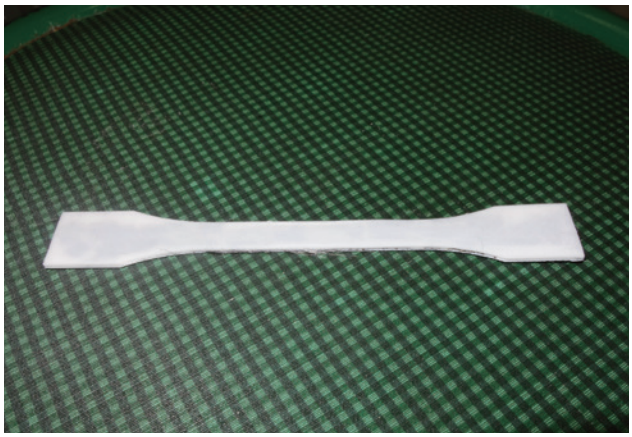
「自動車などの燃費改善を目的に、軽量化に貢献する炭素繊維強化プラスチック（CFRP）部材の適用が拡大しています。これらの部材は主にプレス成形によって成形されますが、炭素繊維は伸びが非常に小さいため成形性が低く、形状自由度が低い。その一方で、形状自由度の高い樹脂成形法として溶融積層造形法による3Dプリンティングがあります。この方法は金型なしで溶けた樹脂を押出し積層することで造形するため、CFRPの成形に適用できれば形状自由度が高くなると考えました」。

「積層した樹脂の上に炭素繊維を配置し、その上に樹脂を積層するサンドイッチ方式によるCFRP部材の製造方法を試みました。この方式では、樹脂と繊維を加熱接着することで部材の強度を向上させることができますが、加熱接着工程には形状の制限があり、また加工時間が長いという課題もあります。そこで炭素繊維をサンドイッチした後、成形された部材をマイクロ波（電子レンジ）で加熱することで加熱接着させることを考えました」。

「この方法では、部材内部の炭素繊維が発熱し、その熱によって樹脂が溶融し、接着します。加熱時間が数十秒と短く、形状に制限はなくなりますが、不均一な加熱が問題となります」。



実験で使用した3Dプリンター



実験で製作した炭素繊維強化プラスチック部材

「そこで、本研究では加熱接着工程に青色半導体レーザを用いることで、均一かつ短時間で形状の制限なしに接着する方法を開発することに着目しました。透明もしくは白色樹脂の透過率はおよそ40%であり、レーザを吸収せず発熱しません。一方、炭素繊維はレーザを吸収し発熱するため、挟み込まれた内部の繊維のみが発熱し、加熱接着できるのではないかと考えました」。

「今回、天田財団の『奨励研究助成』に採択され、助成金をいただくことができたので、実験機材を整え、研究を進めたいと考えています」（中川助教）。

研究スケジュール

研究スケジュールに関して、中川助教は次のように語っている。

「当面の計画では、まず、①積層造形された樹脂と炭素繊維のレーザによる最適接着法の構築を行います。積層された樹脂を透過して、炭素繊維を加熱することで接着しますが、樹脂の透過率は厚さ・色・内部の空隙などに影響されるため、3Dプリンティングにおける成形パラメーターを変化させます。また、樹脂の低い熱伝導率のため、熱が集中し、十分に溶融しないことが考えられます。そこで、レーザの焦点距離、走査させるパスおよび速度が重要なパラメーターとなります。これらの影響を評価するため、試験の効率化を考え、繊維なしで成形した試験片の間に繊維を挟み、その後、レーザで加熱接着し、剥離強度を測定しました。この実験から成形条件に対する最適なレーザ加熱条件を明らかにすることを考えています」。

「次に、②樹脂と炭素繊維の接着強度、残存空隙、各層の配向などを考慮した力学体系の構築を行います。①で得られた結果をもとに、平板試験片を成形し、静的引張および曲げ強度を測定します。炭素繊維の本数、繊維を挟み込む層の数、繊維の方向を条件とし、試験結果および断面形状を基に理論強度と比較します。①の結果とともに、強度におよぼす3Dプリンティングおよびレーザ照射条件の影響を定式化します」。

テーラードCFRP部材の開発を目指す

中川助教はCFRP部材の応用として、航空機の翼のような曲面を持つシェル形状や、自動車のバンパービームやバンパーリーンフォースメントのような中空形状を目標形状として、成形実験を行っていきたいという。

「これらの部材はプレス成形や射出成形による製造が難しい。そこで部材の強度および破壊挙動を観察することで、炭素繊維の配置方向の影響を明らかにし、部材として機能を満足するための形状および炭素繊維の位置を含めた最適な設計指針の構築を目指したい」（中川助教）とし、最終的には「テーラードCFRP部材の開発を目指したい」としている。

「CFRP部材の3Dプリンティング手法は産業界も含めて多く提案されていますが、本研究による手法では炭素繊維の量・配向・強化部分を任意に決めることができることから、テーラードCFRP部材の製造が可能になると考えています」。

「テーラードCFRP部材の製造方法としては、テープ状のプリプレグを貼り付ける方法や、樹脂シートに連続炭素繊維を縫い込む『Tailored Fiber Placement Technology』がありますが、変形挙動が複雑になり、成形が難しい。テーラード技術は設計自由度を向上させるとともに炭素繊維使用量を少なく抑えることができるので、重要な技術と考えています」（中川助教）。

民間企業と連携し、実用化を加速したい

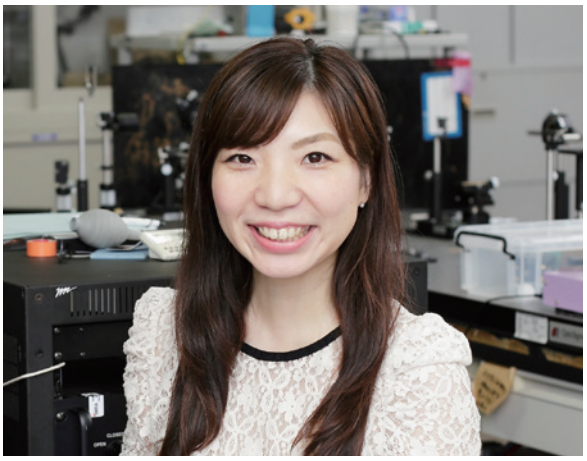
「できれば本研究を民間企業と連携して行うことで、実用化を加速したいと思います。とかく、『研究のための研究』に陥ってしまう傾向があるので、産業用途として本研究に対するニーズがあるかどうかも知りたいと考えています」。

「天田財団の活動の一環として『助成研究成果の産業界への普及啓発』があるともお聞きしています。ぜひ、本研究に対する産業界のニーズがあれば教えていただきたいと思います」と中川助教は語っている。

界面・表面の原子配列制御をキーワードに取り組む

レーザープロセッシング、結晶工学を研究

名古屋工業大学 しくみ領域
物理工学専攻 応用物理分野　宮川 鈴衣奈（れいな） 助教



名古屋工業大学・宮川鈴衣奈助教

名古屋工業大学の助教に就任

名古屋工業大学しくみ領域物理工学専攻応用物理分野の宮川鈴衣奈（れいな）助教は、天田財団の2017年度助成で「奨励研究助成A若手研究者（レーザプロセッシング）」に採択された。

宮川助教は2007年3月に三重大学工学部電気電子工学科を卒業。2012年3月に三重大学大学院工学研究科材料科学専攻博士後期課程を修了し、博士（工学）となった。2012年4月に名古屋工業大学の助教に就任し、現在に至る。原子レベルの表面加工や新機能創成を研究する江龍修教授（副学長）と連携し、学部生・大学院生合わせて12名の学生が在籍する研究室の運営に情熱を注いでいる。

国際会議で出会った海外の研究者から、博士課程への進学をすすめられる

「小さいころから実験や研究が好きで、卒業研究では光デバイス向け半導体の結晶成長の研究に取り組みました。新たな物理現象解明のおもしろさを知り、修士・博士課程への進学を決めました。修士課程の時に参加した国際会議でお会いした各国の教授や先輩研究者から、研究――特に基礎研究を続けていきたいのであれば、博士課程に進学してじっくり研究すべきだとアドバイスをいただいたことは、この道に進む大きなきっかけになりました」。

「博士課程修了後、名古屋工業大学で助教の公募に応募し、現在の私があります。学生時代の研究は結晶から光をつくり出す研究で、中でも界面・表面の原子配列制御をキーワードに取り組んでいました。これからの研究者人生を考えた中で、この界面・表面制御を軸とし、研究の分野を広げていきたいと思いました」。

「名古屋工業大学に来てからフェムト秒レーザーを使える機会をいただき、バックグラウンドである結晶工学に着目しながら、レーザーと物質との相互作用の理解、そして結晶表面のレーザー加工をテーマとして取り組むことにしました」（宮川助教）。

フェムト秒レーザーで可能性を探る

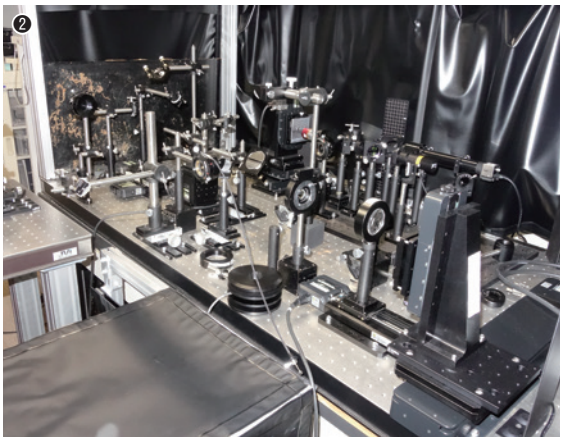
超短パルスのフェムト秒レーザーを使うと、材料への熱的ダメージが極力抑えられること、非線形光学効果が発現することなどから、透明材料へのレーザー加工に応用している。

フェムト秒レーザーを結晶材料に照射すると、レーザーの波長より短い周期の周期構造が形成されることが知られている。その形成機構解明に向けた研究を行うことで、光の波長制限を超えた微細加工技術として期待され、詳細な形成過程をダイナミクスとして理解することで、機能的な応用につなげていく研究を行っている。

フェムト秒レーザー照射による効果

若手研究者育成を目的とした「奨励研究助成」の対象となった研究テーマ「結晶材料へのフェムト秒レーザー照射におけるミクロな状態変化のダイナミクス理解」の研究目的について、宮川助教は次のように述べている。

「フェムト秒レーザー照射による材料への効果をダイナミクスとして理解し、フェムト秒レーザーおよび被加工材料の特徴を活かしたプロセッシングの実現を目的とした研究です。具体的には、レーザー照射による被照射材料への効果を、



❶研究室の集合写真。江瀧修教授（後列右から２番目）、宮川鈴衣奈（後列中央）と在籍する学生たち／❷フェムト秒レーザーを照射して効果を確認するための実験装置／❸研究室の光学顕微鏡

特に結晶状態に着目して調べています。照射により欠陥が形成される場合、その欠陥種（転位・点欠陥・積層欠陥など）や、欠陥の形成とレーザーの偏光方向の関係などを定量的に調べることで、レーザー照射による材料への効果を原子・電子レベルで把握し、さらにはその特異構造形成として自在制御することを目標としています。従来の金属材料の疲労強度改善などのマクロな応用の高制御化に加え、半導体デバイスでの電子の振る舞い制御など、ミクロな分野へも応用を拡げています」。

「フェムト秒レーザーのような超短パルスレーザー照射により形成されるレーザー誘起周期構造の形成ダイナミクス解明に取り組むことで、レーザー光と物質との相互作用のフェムト秒レベルでの理解に努めています。レーザー誘起周期構造は、材料へのレーザー照射のみで形成される周期構造で、レーザーの波長より十分小さい周期を持つことが特徴です。その周期は、被照射材料種やレーザーの照射条件によって変わることが知られており、その現象の理論的解明が進められています。その多くは形成後の構造からのアプローチであるため、より詳細な現象理解のためにダイナミクスとして理解することを目的としています」（宮川助教）。

周期構造の形成ダイナミクスの解明と機能的応用に向けて

レーザー誘起周期構造の形成ダイナミクスを理解する第一歩として、レーザー照射パルスの積重による材料の変化、レーザーの繰り返し周波数変化によるレーザーのパルス間相互作用の有無、被照射材料が構造の周期や結晶性に与える影響を調べている。形状や結晶状態は、SEMやTEM、TOF-SIMS、また高エネルギー放射光を用いて解析している。さらに、この周期構造を表面微細加工やデバイスの特性を制御する微細構造として応用させる取り組みも行っている。

形成ダイナミクスを理解し、所望の周期や結晶状態を制御できるようになれば、デバイス特性の向上や新たな機能付与に有効な構造を自在に作製できる。そのため、構造の周期や結晶状態を決定づける要因を明らかにすることを目標に、研究を行っている。

助成研究成果を取りまとめ中

2017年度の助成なので、2019年度中に助成研究成果を報告する必要がある。研究室をお訪ねした時は、ちょうど3月末に提出する研究成果をまとめている最中だった。

レーザー照射実験には、本助成の申請前からIMRA America社との共同研究により使用しているフェムト秒レーザー発振器（波長1045nm、パルス幅450fs、繰り返し周波数100-1000kHz）を中心に、分子科学研究所の平等拓範教授やTRUMPF社の協力により、ピコ秒～ナノ秒のパルスレーザーを用いて行われた。パルス幅の影響を統計的に調べることで、構造形成における熱・非熱的効果も調べている。

多様性が求められる時代に、ひとりの研究者として

宮川助教は大学でも数少ない女性研究者。多様化が求められ女性活用が推進されている現在、女性という理由が不利に働くことはあまりなく、「むしろ研究・教育活動を奨励される環境があり、恵まれていると感じています。それが故に女性研究者として求められるタスクが多いのも現状ですが、次世代の社会を担う女子学生の選択肢を広げたいと思い、サイエンスカフェや講演などの活動も積極的に取り組んでいます。特に、女性だからという理由で自分の夢を諦めたり、工学は男性の世界というイメージからキャリアの選択肢にあがらなかったりする人に、将来像のひとつとして考えてもらえると嬉しいと思います」と宮川助教は語っている。

2014年には「第7回 資生堂 女性研究者サイエンスグラント」、2019年には名古屋工業大学の「女性が拓く工学の未来賞 優秀賞」なども受賞している。新しい時代の「研究者」の印象だ。

2019年度後期助成先が決定

国際交流が対象――助成総数35件・助成金総額1,188万円

このたび、天田財団の2019年度後期の助成先が決定した。後期の助成は国際交流を対象とし、助成総数は35件、助成金総額は約1,188万円となった。

研究開発助成を含む前期分と合わせた2019年度の助成総数は130件で、助成金総額は2億6,520万円となった。1987年の設立以来、32年間の累計助成件数は1,838件、助成金総額は29億6,428万円となった。

天田財団は毎年、金属をはじめプラスチック、CFRP、セラミックスなどの塑性加工、および高密度エネルギー下での諸特性を利用したレーザ加工に必要な技術、またはそれらの加工に間接的に影響を及ぼすIoT、AI、CPS等の技術の調査・研究に対する研究開発、ならびにそれらの普及啓発に対する国際交流に対し、助成を行っている。

●2019年度後期の「国際交流助成」内訳

助成プログラム名称	分 野	件 数	合 計
国際会議等準備および開催助成	レーザプロセッシング	1 件	50 万円
国際会議等参加助成	塑性加工	21 件	742.6 万円
	レーザプロセッシング	5 件	140 万円
国際会議等参加助成（若手研究者）	塑性加工	6 件	195 万円
	レーザプロセッシング	2 件	60 万円
国際交流助成の総計		**35 件**	**1,187.6 万円**

2019年度「技能検定（工場板金 後期）受検手数料助成」の助成先が決定

149団体・428名へ総額707万円の助成金を支給

天田財団は、2019年度10月より「金属等の加工業に従事する人材の育成と技能の向上に有益な資格の取得に対する助成」を公益目的事業に加え、国家検定である「技能検定」の受検手数料の助成を開始した。

技能検定とは、働く人々の有する技能を一定の基準により検定し、国として証明する国家検定制度で、技能に対する社会一般の評価を高め、働く人々の技能と地位の向上を図ることを目的として、職業能力開発促進法に基づき、1959年度より実施されている。検定に合格すると合格証書が交付され、「技能士」と称することができる。

技能検定には130職種あり、天田財団は助成領域に関係する「工場板金」職種の受検手数料を助成の対象としている。「工場板金」とは、薄い平らな金属を曲げや打出しで加工することで、特級・1級・2級・3級の等級があり、主に各種工業製品に使われる金属薄板の加工・組立に関する知識（学科）と技能（実技）を評価するもので、試験は前期と後期の2回行われる。

2019年度は、後期の技能検定（工場板金）の学科及び実技受検手数料の助成先を募集し、149団体・428名へ総額707万円の助成金の支給を決定した。また、2020年度は、4月1日より「技能検定（工場板金 前期）受検手数料助成」（助成金予算額1,000万円、1法人10名以内）の募集を開始している。

●2019年度「技能検定（工場板金 後期）受検手数料助成」の助成者内訳

工場板金 職種（作業名）	等 級	助成者内訳
工場板金	特級	27 名
機械板金作業	1 級	113 名
	2 級	182 名
数値制御タレットパンチプレス板金作業	1 級	40 名
	2 級	66 名
助成者総計		**428 名**

日本最大級の「光・レーザー技術」の総合展「Photonix 2019」に出展

日本最大級の「光・レーザー技術」の総合展

天田財団は、2019年12月4日から6日までの3日間、幕張メッセで開催された「Photonix 2019」（第19回 光・レーザー技術展）に出展、助成研究成果の普及啓発に努めた。同展は、「レーザー加工」「光学部品・材料」「光計測・分析」の3つの専門展から構成される日本最大級の「光・レーザー技術」の総合展。今回の総合来場者数は、同時開催されている「第29回 液晶・有機EL・センサ技術展」（ファインテックジャパン）や「第10回 高機能素材Week」などと合わせ、5万4,043人だった。

レーザによる材料加工技術は、あらゆる産業分野に導入されている。中でも、自動車製造向けの応用は多岐にわたっており、新しい素材や工法、EVの製造においてレーザ加工技術は欠かせないものとなっている。今回の「Photonix」では、高いエネルギー効率を目指すEV向けの2次電池やモーターの精密加工に対応した短パルスレーザなどの加工技術に来場者の関心が集まっていた。

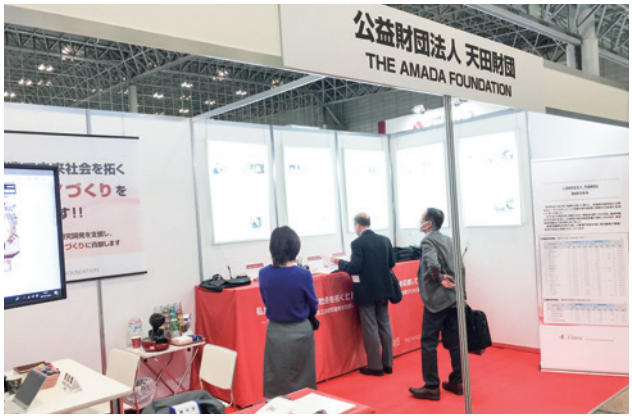
助成研究成果の普及啓発に取り組む

天田財団は、2018年から「Photonix」に出展し、「研究室の技術」をモノづくりの現場に実装することを目的に、特に企業の研究者や開発者を対象に、助成研究成果の普及啓発に取り組んでいる。

同展は主に産業界を対象としているため、天田財団のような公益財団法人が学術・研究成果の普及啓発を目的に参加するのは珍しい。「大学や研究機関の最新の研究成果を無償で得られるのはありがたい」として、昨年ブースに立ち寄った来場者が再訪することも増え、レーザ技術の関係者の間で財団の活動が認知されてきている。

なお、次回の「Photonix 2020」は、2020年12月2日から4日まで幕張メッセで開催される予定で、天田財団も出展を予定している。

「Photonix 2019」の会場



天田財団のブースでは助成研究成果の普及啓発を行った

レーザー学会学術講演会「第40回年次大会」併設展「Laser Solution 2020」に出展

天田財団は、2020年1月20日から22日までの3日間、仙台国際センター（仙台市青葉区）で開催された「Laser Solution 2020」に出展、助成研究成果の普及啓発に努めた。同展は、一般社団法人レーザー学会学術講演会「第40回年次大会」に併設したテーブル形式の展示会として開催され、関連企業・財団など31企業・団体が出展した。

レーザー学会学術講演会は、毎年1月に最新の研究成果の発表と学術の交流を目的に年次大会として開催されて

いる。本年の参加者は800名を超え、14件のシンポジウムと250件を超える口頭講演があった。その年次大会に参加した研究者や企業関係者が「Laser Solution 2020」を訪れ、活発な情報交換をしていた。同じ会場ではポスター講演も開催され、学生も数多く参加した。

天田財団のブースには、過去に助成を受けた研究者、これから助成申請を検討する研究者など多くの参加者が立ち寄り、天田財団の研究開発助成に対する期待の大きさが感じられた。

なお、次回の「第41回年次大会」は2021年1月18日から20日までの3日間、北九州国際会議場（福岡県北九州市）で開催される予定となっており、天田財団も出展を予定している。

天田財団のブース

2020年度の事業予定

1. 公共展への参加

「OPIE'20」（レーザーEXPO）出展

日程：2020年4月22日㈬～24日㈮
場所：パシフィコ横浜
➡開催中止

「Photonix 2020」（第20回 光・レーザー技術展）出展

日程：2020年12月2日㈬～4日㈮
場所：幕張メッセ

2. 助成研究成果発表会

第4回レーザプロセッシング助成研究成果発表会

日程：2020年4月22日㈬
場所：パシフィコ横浜
※OPIE'20の公式併設イベントとして開催
➡開催中止

第18回塑性加工助成研究成果発表会

日程：2020年6月12日㈮
場所：名古屋工業大学
※2020年度塑性加工春季講演会と同時開催

3. 助成事業

技能検定（工場板金 前期）受検手数料助成

募集：2020年4月から開始予定

研究開発・国際交流助成

募集：2020年6月上旬から開始予定

天田財団 令和2年度助成式典

日程：2020年11月28日㈯予定
場所：星稜会館（東京都千代田区）

編集後記

私は「天田財団ニュース」の創刊時から研究室訪問の取材同行と小欄執筆を担当させて頂きました。前職では国立大学の運営に携わっていて先生方の研究室を拝見する機会はありませんでした。平成27年度に天田財団に就職して、翌年から研究室訪問を始めました。研究の現場である研究室等を訪れて様々な助成の課題に気付き、それを助成プログラムに反映し、全国の助成者に喜んで頂けることもあり、大学の一職員では経験できないことでした。

もうひとつ、大学等の事務の方との関わりも楽しい思い出です。

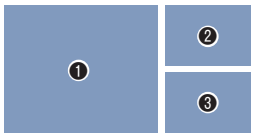
我々助成団体との窓口を担当するのは大学等の係員です。その係員から斬新な発想の質問や要望を受けました。当初は経理出身でない私が大学等の係員に会計のイロハを教えることもあり、係長は係員の教育をしているのかと疑問に思いました。

しかし、そのうち各大学の係員の話を伺うのが面白くもあり勉強にもなりました。例えば某国大係員は「（研究者と弊財団との）“覚書”を請負契約書に変更して」と申し出てきました。そもそも助成金は研究者が研究テーマを設定して、天田財団はそれに寄附するというものです。寄附金制度と請負契約の違いを説明しました。また、ある高専新人係員は「“助成金”は機構本部にオーバーヘッドされるので“補助金”で交付して」と電話してきました。“助成金”と“補助金”の違いを説明しました。

これはおそらく、研究機関等は交付金が減額されているので、外部資金獲得のため担当理事部長等はナショプロや科研費等に注力されており、民間助成団体を担当する係員を指導する余裕がないからだと思います。御陰様で私は若い係員と楽しい会話ができました。

私はこの3月末で天田財団を退職いたします。多くの先生方には本当にお世話になり、心底より感謝いたします。御礼申し上げるとともに、今後とも天田財団をよろしくお願いいたします。

事務局長 萩原寿郁



今回の表紙

❶天田財団・岡本満夫代表理事理事長（右）から助成金目録を贈られた国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）構造材料研究拠点 接合・造型分野 耐熱材料設計グループの御手洗容子グループリーダー（左）／❷2019年11月30日にFORUM246ホール（神奈川県伊勢原市）で開催された「2019年度天田財団助成式典」の会場。助成対象者を含め、塑性加工分野・レーザプロセッシング分野の研究者など約150名が参加した／❸会場を移して行われた懇親会

天田財団ニュース　第8号　2020年4月20日発行　発行所：公益財団法人天田財団　編集：マシニスト出版株式会社　印刷：YAMAGATA株式会社
〒259-1116 神奈川県伊勢原市石田350 FORUM246　TEL：0463-96-3580　FAX：0463-96-3579　https://www.amada-f.or.jp/