

天田財団 ニュース

2019 Autumn | No.7

- 02 「第3回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」を開催
「第17回 塑性加工助成研究成果発表会」を開催
「INTERMOLD 名古屋/金型展 名古屋」「金属プレス加工技術展 名古屋」に出展

研究室訪問

- 04 大阪産業技術研究所 森之宮センター 物質・材料研究部 渡辺 博行 研究主任
06 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 Yalikun Yaxiaer 准教授
08 京都大学 化学研究所 先端ビームナノ科学センター 橋田 昌樹 准教授
10 慶應義塾大学 理工学部・電子工学科 田邊 孝純 教授
12 大阪大学大学院 工学研究科応用化学専攻 焼山 佑美 准教授
14 近畿大学 理工学部電気電子工学科 津山 美穂 講師

FORUM

- 16 「各種レーザプロセッシングの現状と発展」
20 「塑性加工における素材・金型・潤滑の課題と期待」



「第3回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」を開催

天田財団は4月24日、神奈川県横浜市のパシフィコ横浜で「各種レーザプロセッシングの現状と発展」をテーマに「第3回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」を開催した。

発表会は、4月24日から26日まで同会場で開催された光技術総合展示会「OPIE '19」の併催イベントでもある。天田財団は「OPIE '19」の構成展のひとつである「レーザーEXPO 2019」にも出展。研究助成活動に関するパネル展示や助成研究成果報告書を来場者に配布するなど、普及啓発活動を行った。

発表会の冒頭、主催者の天田財団・佐藤雅志専務理事が天田財団の目的と助成事業での実績などを説明した。

その後の研究成果発表会では、岡山大学・岡本康寛准教授が「銅の微細レーザ溶接における光吸収特性と溶け込み深さの安定化に関する検討」、熊本大学・山崎倫昭教授が「Mg合金表面へのレーザー照射による高耐食MgO皮膜形成」、京都大学・橋田昌樹准教授が「フェムト秒レーザー加工の加工効率向上に関する基礎研究」、

京都工芸繊維大学・飯塚高志准教授が「鋼／アルミニウムの突合せレーザ接合材の接合界面の微小構造と成形性」と題して助成研究の成果について講演が行われた。

研究成果発表会の後には、「各種レーザプロセッシングの現状と発展」をテーマにパネルディスカッションが行われた（パネルディスカッションの内容は16～19ページに掲載）。

コーディネーターは天田財団・片山聖二評議員（大阪大学・名誉教授）、パネリストは岡本准教授、橋田准教授、三菱重工業(株) 総合研究所・石出孝フェローアドバイザー、(株)アマダホールディングス・迫宏上席執行役員（技術研究所所長）の4名で、レーザ溶接やレーザ切断、レーザによる微細加工など、レーザ技術の現状や問題点、これからの産業利用を中心に議論が行われた。

その後は、奨励賞授与が行われ、天田財団・小原實評議員（慶應義塾大学・名誉教授）から講演を行った4名の研究者1人ひとりに表彰状が手渡された。

天田財団では、次回の「第4回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」も「OPIE '20」と併催するとしている。



「第3回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」には企業の設計・開発担当者を中心に、約160名が参加した



天田財団の目的と助成事業での実績などを説明する天田財団・佐藤雅志専務理事

「第17回 塑性加工助成研究成果発表会」を開催

天田財団は6月7日、同志社大学京田辺キャンパス（京都府京田辺市）で「塑性加工における摩擦と潤滑」をテーマに「第17回 塑性加工助成研究成果発表会」を開催した。同発表会は毎年、一般社団法人日本塑性加工学会の春季講演会に合わせて開催されている。

主催者挨拶で天田財団・佐藤雅志専務理事は、今回の発表会開催の趣旨や天田財団の目的、2019年度前期助成について説明を行い、会場に集まった参加者たちに助成への応募などを呼びかけた。

その後は、東京電機大学・柳田明教授が「ホットスタンピ

ングにおける潤滑特性と影響因子の検討」、日本大学・高橋進教授が「プレス成形時の高速成形における摩擦特性計測」、鹿児島大学・上谷俊平教授が「冷間アルミニウム押し出し製品曲がり量とトライボロジカル制御」、岐阜大学・王志剛教授が「塑性加工における摩擦法則の構築」と題して、研究成果を発表した。

また、名古屋工業大学・北村憲彦教授による「厳しい条件の塑性加工における潤滑技術開発」と題した特別講演では、加工法・条件ごとのメカニズム解明の必要性や型・鍛圧機械・工程などの技術とも連携した潤滑システムの創出について説明された。

特別講演の後には、「塑性加工における素材・金型・潤滑の課題と期待」をテーマにしたパネルディスカッションが

行われた(パネルディスカッションの内容は20～23ページに掲載)。コーディネーターは柳田教授、パネリストは北村教授、高橋教授、トーカロ(榊神戸工場製造課・舟本幸大氏、大同化学工業(株)第3研究室・黒田将文室長の4名が務めた。

パネルディスカッションの後には表彰式が行われ、天田財団・中村保理事(静岡大学・客員教授)から研究成果発表を行った研究者に表彰状と副賞が授与された。

発表会終了後は、会場を移動して懇親会が開催された。懇親会会場には、職業訓練法人アマダスクールが毎年開催する「優秀板金製品技能フェア」で日本塑性加工学会会長賞を2年連続で受賞した(株)西野精器製作所(茨城県)の受賞作品2点が展示され、参加者の関心を集めた。



優秀な研究成果として天田財団・中村保理事(中央)から表彰された東京電機大学・柳田明教授(右)、日本大学・高橋進教授(右から2人目)、鹿児島大学・上谷俊平教授(左から2人目)、岐阜大学・王志剛教授(左)



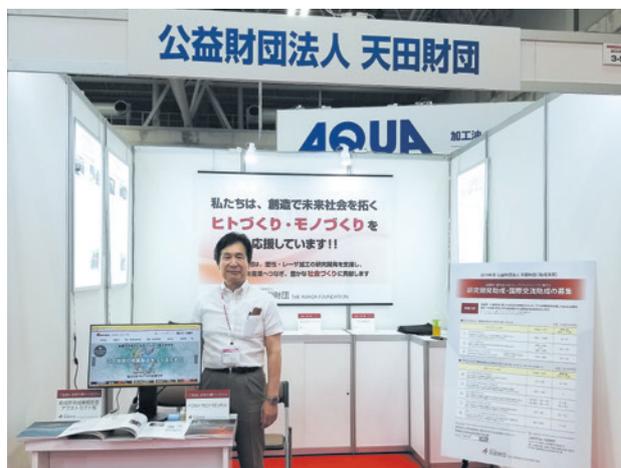
懇親会会場では「優秀板金製品技能フェア」で日本塑性加工学会会長賞を2年連続で受賞した(株)西野精器製作所(茨城県)の受賞作品2点が展示され、参加者の関心を集めた

「INTERMOLD 名古屋／金型展 名古屋」 「金属プレス加工技術展 名古屋」に出展

天田財団は、6月19日から22日まで4日間にわたりポートメッセなごやで開催された「INTERMOLD 名古屋／金型展 名古屋」(主催：一般社団法人日本金型工業会)ならびに「金属プレス加工技術展 名古屋」(主催：一般社団法人日本金属プレス工業協会)に出展した。同展の出展者数は376社・団体。来場者数は4万171人となった。

天田財団のブースでは、塑性加工分野やレーザープロセッシング分野で助成を行った研究の論文集を希望者に配布するなどの普及啓発活動を行った。

「INTERMOLD 名古屋／金型展 名古屋」「金属プレス加工技術展 名古屋」に出展した天田財団のブース



「ハードメタル部材」の創製を目指す

高エントロピー合金で発現する超塑性の 工業的利用を目指す

大阪産業技術研究所 森之宮センター
物質・材料研究部

渡辺 博行 研究主任



渡辺博行研究主任

大阪の多種多様な製造業を支援

天田財団の平成30年度「重点研究開発助成（課題研究）」に塑性加工分野で採択された渡辺博行研究主任は、大阪府立大学を卒業し松下電工㈱に入社。1996年に大阪市立工業研究所（現・大阪産業技術研究所 森之宮センター）に入所してからは超塑性の研究を行うようになり、「超塑性変形に付随した集合組織制御による高信頼性マグネシウム合金の開発」や「高成形性マグネシウム素材開発のためのプロセス設計指針の構築」などの研究を行ってきた。そして、2003年に大阪府立大学工学部で博士号（工学）を取得した。

渡辺研究主任が入所した大阪市立工業研究所（市工研）は2017年、旧・大阪府立産業技術総合研究所（産技研）と統合し、大阪の多種多様な製造業を支援するために大阪府と大阪市が共同設置した公設試験研究機関「大阪産業技術研究所」（以下、大阪技術研）となった。

その背景としては、産業界で技術的な優位性の確保を単に自社だけで完結するのではなく、オープンイノベーションによって達成することが重要視されるようになったことがある。そのため、公設試験研究機関も研究開発から実用化・製品化までの総合的かつ迅速な技術支援に取り組むとともに、産官学連携によるイノベーション創出拠点として機能することが求められるようになってきた。

そこで大阪技術研では、従来からのさまざまな技術支援に取り組むとともに研究開発から製造まで、企業の開発ステージに応じた支援を一貫して行うことを目指している。それぞれの研究所の研究開発力や技術支援力を結集するとともに、「和泉センター」（旧・産技研）が得意分野とする加工や金属、電気・電子などと、「森之宮センター」（旧・市工研）が持つ化学や高分子、バイオ・食品、ナノ材料などの強みを融合し、さまざまな産業の創出につなげるための機能強化に努めている。

マグネシウム合金の超塑性を研究

「森之宮センター」にある物質・材料研究部では、プラスチック材料・金属材料・複合材料を対象とした新素材の開発、ならびに加工技術の高度化を通じて、関連業界の技術支援に取り組んでいる。また、各種製品の強度試験や耐久性試験、材料分析、CAE解析による設計支援などにも広く対応している。

渡辺研究主任が在籍する研究室では、先進加工プロセスを用いたナノスケールの組織制御手法により、鉄鋼・アルミ合金・マグネシウム合金などの構造用金属材料の高性能化に関する研究を行ってきた。

渡辺研究主任の主な研究内容は、マグネシウム合金の実用上の問題点である加工性を改善するために、材料組織を制御して延性向上をはかる方法についての検討であった。たとえば、組織制御の結果、250℃付近の変形温度で数百%以上の大きな引っ張り伸び（超塑性）が、各種マグネシウム合金の押し出し材で得られることを研究で明



マグネシウムなどの軽金属の押し出し加工を行う装置



①高エントロピー合金(左)とマグネシウム合金(右) / ②異周速圧延装置について説明する渡辺研究主任



らかにしている。

また、室温において均一変形後に高い局部伸びが得られるような材料組織についても検討している。

今回、天田財団から助成研究として採択された重点研究課題のテーマは「ハードメタル部材の創製に向けた高エントロピー合金の高速超塑性化」で、大阪技術研や国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS)、神戸大学大学院工学研究科・向井敏司教授の研究室がそれぞれ役割分担しながら研究を行うことになっている。

「大阪技術研の職員という立場では、研究をサポートしてくれるスタッフがいないため、おのずと共同研究にならざるを得ません。とくに向井研究室の修士学生が協力してくれているので、とても助かっています」(渡辺研究主任)。

ハードメタル部材の創製が目標

高エントロピー合金は、高強度と高靱性の両立が可能な構造材料として期待されている。通常は、ほぼ等モル比の5成分以上の元素から構成される合金であり、固体では単相の固溶体を形成しやすい $\text{Co}_{20} \cdot \text{Cr}_{20} \cdot \text{Fe}_{20} \cdot \text{Mn}_{20} \cdot \text{Ni}_{20}$ (以下、 CoCrFeMnNi) という5成分が等量の高エントロピー合金がよく知られており、この合金はfcc単相である。

鍛造で加工された AlCrCoCuFeNi という高エントロピー合金は結晶粒径がミクロンオーダーで、巨大な超塑性伸びを示す。このことは、工業的に高エントロピー合金を超塑性加工するうえで極めて有益である。この AlCrCoCuFeNi 合金は、fcc相とbcc相がほぼ1:1の比率(micro duplex組織)であるため、超塑性変形中に結晶粒成長はほとんど起こらない。しかし、このような相比率では、室温でわずか1%の引っ張り伸び(超塑性変形前)しか得られない。

研究では、輸送機器や過酷環境下で使われるような「ハードメタル部材」の創製を目指しており、高エントロピー合金に対して室温の高強度・高靱性を犠牲にせず、高温での高速超塑性を実現することをテーマとしている。これは、組織をサブミクロンレベルまで微細化し、かつ、結晶粒

成長が抑制できるようにすることで達成できると考えられるので、今回の助成を受けて実証研究を行う。

fcc単相の高エントロピー合金は、室温で高強度と高靱性の両立が可能であるが、微細な結晶粒径につくり込んでも高温での結晶粒成長のために超塑性材料としては最適な組織ではなく、超塑性変形後の室温強度の低下をもたらしてしまう。

そこで研究では、主相となるfcc相の結晶粒径をサブミクロンレベルまで微細化し、かつ粒成長を抑制するためのbcc相が結晶粒界に分散するような組織を得ることを目的とする。

さらに、得られた材料の高温引っ張り特性を評価し、高速超塑性の発現の可否を明らかにすることを通して、高エントロピー合金に対して、「室温での高強度・高靱性」と「高温での高速超塑性」を具備させることを目的としている。

産業界への技術移転を見据える

これまでの高エントロピー合金の研究は、鑄造まま材、あるいは均質化熱処理材を評価対象としてきたが、近年は高圧ねじり(HPT)や放電プラズマ焼結(SPS)による組織微細化やナノ結晶の創出も報告されている。

しかし、これらの手法では小さな円盤状の試料しか作製できない。

本研究では、強歪み加工によるサブミクロンサイズへの結晶粒微細化を試みるが、強歪み加工の手段として溝ロール圧延を採用する。これには、長尺で均質な素材材が得られやすいという工業的なメリットがある。

以上のように、将来の産業界への技術移転を十分に見据えたものとなっている。

そこでこれらの課題を解決し、高エントロピー合金で発現する超塑性を工業的に利用すること(部材創製)を目指し、室温での高強度・高靱性を犠牲にせず、高温で高速超塑性を実現させることに取り組んでいる。実用化に際して検討が不可欠である超塑性加工の試行および超塑性加工後の延性・靱性評価も実施する予定である。

生命科学現象の解明を目指した 挑戦的なエンジニアリング

超薄板ガラス製マイクロ流体デバイスの研究開発

奈良先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科

ヤリクン ヤシャイラ
Yalikusn Yaxiaer 准教授



ヤリクン・ヤシャイラ准教授

出身は中国・^{しんきょう}新疆ウイグル自治区

天田財団の平成30年度「重点研究開発助成（課題研究）」にレーザープロセッシング分野で採択されたヤリクン・ヤシャイラ（Yalikusn Yaxiaer）准教授は、中国・^{しんきょう}新疆ウイグル自治区ウルムチ生まれ。2006年6月、中国・大連理工大学機械工程学院機械工学部を卒業し、2008年4月～2010年3月に、東京農工大学大学院生物システム応用科学府専攻修士課程を修了。2010年4月～2012年3月は、富士ソフト(株)に勤務。2012年4月～2014年3月に、大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程を卒業し、博士（工学）取得。2014年4月～2015年5月に大阪大学特任助教、2015年5月～2017年3月に理化学研究所生命システム研究センター特別研究員を務めた。

その後、2017年4月～2018年3月には理化学研究所生命システム研究センター基礎科学特別研究員を経て、奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科の准教授（2018年5月1日から）と理化学研究所生命機能科学研究センターの客員研究員（2019年4月から）を務めている。

現在は、主に「超短パルスレーザーを用いた超薄板ガラスのナノスケール加工手法の創成及び応用の開拓」や「超短パルスレーザーを用いた生体試料の超高速操作手法の開発」に関する研究に従事している。

新しい医学・生物学に向けた 生体プロセス工学の研究

ヤシャイラ准教授が在籍する奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科生体プロセス工学研究室は、細川陽一郎教授以下、ヤシャイラ准教授、助教1名、特任助教1名、博士研究員1名、研究技術員1名、博士学生6名、修士学生13名（M2が6名、M1が7名）という構成となっている。

研究室では短パルスレーザーや顕微鏡、マイクロ流体チップ技術を駆使して新しい医学・生物学に向けた細胞の操作手法、計測手法、制御手法を開発することを目的に研究が行われている。最先端レーザー技術と顕微鏡技術を駆使した細胞やタンパク質などのバイオ試料の超微細・超高速操作技術の開発と研究を推進する。

とくに、超短パルスレーザー（フェムト秒レーザー）を利用した細胞の操作・加工技術では、クラス1000のクリーンルーム内の実験室に数億円以上もの実験設備が設置されるなど、世界最高レベルの研究施設と研究実績を有している。

研究中のテーマとして、下記の4つに取り組んでいる。

1. 「ハイスループットセルソーターの開発」——マイクロ流体チップにある流路中にフェムト秒レーザーを集光し、流路内を高速に流れる細胞（メートル毎秒）を順次高速に識別・操作するシステムの構築を行い、世界最高スペックのシステムを構築した。
2. 「細胞の接着力評価」——フェムト秒レーザー誘起衝撃力作用時における接着の剥離動態を詳細に解析することで、接着力を分子レベルで評価する手法の確立を目指している。
3. 「機械刺激に対する細胞の生理応答の解明と機能操作」——レーザー照射のパラメータ（パルスエネルギー、周波数、集光点と細胞の距離など）と誘導される生理応答の詳細を明らかにし、細胞機能の時空間制御技術の開発を目指す。
4. 「単一細胞への分子導入」——フェムト秒レーザーを使用し、単一細胞への効率的な高分子導入を試みている。



①超薄型ガラス流体チップ／②マイクロ流路デバイス／③生体プロセス工学研究室のメンバー（前列右が細川陽一郎教授、その左がヤシライラ准教授）

超短パルスレーザーを用いた薄板ガラスの研究

天田財団の「重点研究開発助成」にレーザープロセッシング分野で採択された「超短パルスレーザーを用いた柔軟な薄板ガラスのナノ精度加工とその応用」は、ガラス材料という材料に着目した研究である。ガラスは物理的・化学的・光学的に優れた特性を有し、高耐熱・高純度・高絶縁・高耐圧が求められる製造プロセス用途として、半導体をはじめ幅広い産業で使用されている。とくに極めて薄い板ガラスは、ディスプレイやタッチカバー（高耐久）、指紋センサー（高い誘電率）、カメラモジュールカバー（高い透過率）、ICパッケージ（高帯域での低誘電損失）、薄膜バッテリー（化学的に安定、耐高温）などの応用において極めて高い優位性を示し、今後の需要増加が考えられる。

またガラス材料は上記の半導体精密製造産業以外に、再生医療や創薬をはじめとする生命科学分野にも欠かせない材料である。とくにガラス製マイクロ流路デバイスを利用することで、高いコストパフォーマンスや、高い実験の再現性・安定性・自動化が可能になり、細胞の培養や分離、濃度勾配の作製によく使われている。

さらに、米国国立衛生研究所では、人臓器の模倣や動物試験の代替法として巨額資金が投入され、薬剤のスクリーニングや安全性試験への応用が開始されている。このようなマイクロ流路デバイスに超薄板ガラス（厚み2～15 μm）を導入することによりデバイスの性能（透過率や観察・測定精度向上、デバイスの軽量化・小型化・柔軟化）を飛躍的に向上させ、生命科学分野にもこれまでにない進化をもたらすと考えられる。

しかし、既存手法では超薄板ガラスの高精度把持困難（損傷を避けられない）、加工のマイクロメートル精度限界（薄さによる材料の自然彎曲が原因のレーザー加工の焦点ずれ）、生産効率が低い（一度にシングル構造体しかつけれない）、加工を臨機応変に対応できない（加工の手法は基本貫通加工のみ、通常MEMSの浅掘り・深掘りなどの組み合わせが実現困難）という問題があった。ヤシライラ教授の研究ではこの課題解決をはかり、柔軟な薄板ガラスのナノ精度加工と大量加工方法の開発を目指す。

具体的な研究内容としてはまず、薄板ガラスの表面のたわみを抑止しながら平坦に把持する高精度均一牽引治具の設計と作製。次に細かい歪みを測定し、加工用レーザーのレンズ焦点調整にフィードバックする制御システムを構築する。また、実用化に向けた歩留り改善で、簡便な治具で全プロセスに対応させるため、安定把持・洗浄・後表面処理など工程に使用する治具の共通化を行い、薄板ガラスの損傷リスクを最低限に抑えて加工状態を安定させ、維持できるテフロン治具を設計開発する。

さらに、ビームスプリッターやマイクロレンズアレイなど光学素子を搭載した空気中で数個～数百個の構造体を迅速に薄板ガラスに加工可能な光学システムを構築する。そして、デバイスの応用と工程ごとに必要な浅掘り・深掘り・切断・貫通加工をレーザー加工で実現できるようにして、組み合わせによる臨機応変な加工方法を開発する。最終的には自動ステージと自動フォーカシングシステムを連携した制御システムを構築、自動的に設計から臨機応変な加工を実現するソフトウェアを開発する計画となっている。

生命科学分野にも進化が期待される

マイクロ流路デバイスは、工学・物理学・化学・生化学・ナノテクノロジー・生物工学にまたがる学際的な分野であり、1980年代初頭に出現した比較的若い領域である。この技術分野ではわずか40年の間で生み出した実用的応用がさまざまな分野で重要な役割を果たし、革命を起こしたとまで言われている。

そこでヤシライラ准教授は「超薄板ガラスと短パルスレーザー加工技術を融合した次世代デバイス加工技術は、マイクロ流路デバイス分野をはじめとするさまざまなデバイス技術分野で再度の革命を起こし、生命科学分野にもこれまでにない進化をもたらすことができると確信しています」とレーザーと超薄板ガラスの持つ可能性について力強く語ってくれた。

1300年以上も遡る710年に都となった平城宮跡のある西大寺にも近い奈良先端科学技術大学院大学で、時空を超えた生命科学の研究が行われていることに、歴史の誘いとつながりを感じた。

「太陽電池性能向上を目指した 高品位レーザ加工による 表面構造付与」

国内外にはない共同研究によるユニークな取り組み

京都大学 化学研究所 先端ビームナノ科学センター
レーザ物質科学研究領域

橋田 昌樹 准教授



橋田昌樹准教授

京都大学化学研究所にある高強度レーザ装置

天田財団の平成30年度「重点研究開発助成（課題研究）」にレーザプロセッシング分野で採択された橋田昌樹准教授が所属する京都大学化学研究所先端ビームナノ科学センターレーザ物質科学研究領域には、独自に構築した極短パルスレーザ装置があり、この装置から発振されるレーザビーム（波長：810nm、エネルギー 500mJ/pulse、パルス幅35fs、繰り返し5Hz）を放物面鏡により数 μm のサイズに集光することで、その強度は $10^{20}\text{W}/\text{cm}^2$ に達する。高強度短パルスレーザを固体へ照射することで発生する先端ビーム（短パルス電子ビーム、イオンビーム、THz波など）の高品質化やビームによる新規計測手法の開発を行っている。

また、 $10^{11}\text{-}10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$ の短パルスレーザによる材料の飛散・剥離現象（アブレーション）の研究や高強度THz波と物質の相互作用により形成される表面微細構造の学理解明とその構造物により発現する新機能探索にも取り組んでおり、これまでに基礎研究とその応用に関する多くの研究成果を発信してきた。

研究室は理学研究科物理学・宇宙物理学専攻（物理

学第2分野）の協力講座として大学院生を受け入れ、教員は研究指導に加え、学部教育や全学共通教育にも寄与している。物理学第2分野を志望する大学院生の約30%程度が博士後期課程に進学しており、当該研究室には現在、修士課程4名、博士後期課程1名が在籍している。

極微細形成を可能にする 複合レーザビーム照射

材料の破壊閾値（ここではアブレーション閾値と呼ぶ）より、わずかに高いフルエンスに調整された近赤外域のフェムト秒パルスレーザを金属材料に複数回照射すると、レーザ波長 λ より短い格子間隔の微細周期構造（ $\lambda/3 \sim \lambda/1.2$ ）が形成される。さらに役割の異なる複数のパルスからなる複合レーザパルス照射方式を用いることで、周期的微細構造の大きさを $\lambda/13$ 程度まで微細化することに成功しており、回折限界以下の極微細構造物を形成する技術が開発されている。

これらの成果の一部は橋田准教授が研究代表者として実施したNEDOエネルギー・環境新技術先導プログラム「新機能性材料創成のための高品位レーザ加工技術の開発」の研究により得られたという。

短パルスレーザ加工による材料表面への微細周期構造形成には、レーザとプラズマの相互作用が重要な役割を果たしていることが指摘されはじめた。しかしながら、レーザ照射された表面状態変化（表面プラズマの挙動、とくに電子密度の時間変化）を高速にその場計測する手段がなく、形成機構に関係する相互作用物理を調べる技術基盤は構築されておらず、微細加工の学理解明には至っていないのが実情である。

そこで2018年度より文部科学省の光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）「先端ビームによる微細構造物形成過程解明のためのオペランド計測」の研究代表者として微細加工の学理解明を目指し、その場計測手法の開



①研究室で独自に構築した高強度短パルスレーザー装置を説明する橋田昌樹准教授／②特殊空調により温度・湿度を安定的に制御されたクラス1000に対応した研究室で行われる学部学生の実験風景／③研究室のメンバー。左から橋田准教授、田中陽平さん(M1)、金剛亮太さん(M1)、細川誓さん(M2)、欄外は古川雄規さん(D2)

発を開始している。

最近の成果から照射条件を最適化することで極めて高い周期性(均一な周期性)のナノ周期構造が形成されることも見出されている。これらの微細加工技術を産業応用として利用するためには、表面の幾何学的形状と応用が必要とされる機能の関係を整理することが求められる。

太陽電池性能向上を目指した取り組み

今回、天田財団の「重点研究開発助成」に採択された課題研究のテーマは「太陽電池性能向上を目指した高品位レーザー加工による表面構造付与」。再生可能エネルギーとして期待されているシリコン太陽電池だが、その変換効率は23%程度であり、各パネルメーカーは変換効率を改善するために努力している。シリコン太陽電池の変換効率は約29%が理論的上限と言われており、効率向上に世界のパネルメーカーがしのぎを削り、シリコン太陽電池の表面に1~10 μm サイズのピラミッド構造や反射防止膜などを付加させ、太陽光の反射率を低減(吸収率を向上)させることにより達成させようとしている。

とくにピラミッド構造を付加した太陽電池は鏡面に比して10~15%の変換効率改善が実現され、すでに実用化されている。さらに変換効率を向上させるためには、ピラミッド構造の表面に1 μm 以下の微細構造を形成させ、波長600nm以下の太陽光スペクトル領域における反射率の低減が課題のひとつとなっている。微細構造形成されたシリコンはその結晶性を保持したまま構造形成されなければならない。

そこで、本研究では高品位レーザー加工を比較的広い面積(数 cm^2)に実施。均一な微細構造物を形成するとともに太陽電池パネルとしての発電性能(反射スペクトル計測、顕微鏡分光、ライフタイム計測)を評価する。

微細構造形成には、短波長ナノ秒レーザー照射と橋田准教授らが見出してきた非熱的微細加工を可能にする複合レーザー照射を適用し、太陽電池性能向上の観点から得失を比較し、シリコンに対する高品位レーザー加工のための技術基盤を構築する計画。シリコン太陽電池に適用できる高

品位レーザー加工の知見から、次世代太陽電池として注目されている量子ドット太陽電池、ペロブスカイト太陽電池、有機太陽電池などの開発で重要な表面構造や、界面などを制御する技術としてその有用性が調べられる。

大学や研究機構との共同研究に民間企業も協力

高品位レーザー加工の学理解明と微細構造物の応用に関する研究は大阪産業大学や摂南大学、核融合科学研究所、大阪大学、量子科学技術研究開発機構、パネルメーカーと連携し、推進している。

学理解明に関する研究では、京都大学理学研究科の大学院と那场計測手法を開発しつつ基礎データ収集を行っている。その場計測の結果はPICシミュレーションと対比させ、議論している。

高品位レーザー加工による微細構造物形成に関する研究では、橋田准教授らのグループとドイツの研究者らが世界を牽引している。破壊閾値近傍でできる微細構造物形成やアブレーション抑制(掘れなくなる現象)は、橋田准教授らのグループが世界に先駆けて発表、最も進んでいる状況だ。

本研究でこの手法が大面積加工に適用され、太陽電池の性能向上に有効であることが実証できれば、これまでにない高品位加工を実現することから、次世代非熱的レーザー加工法として、新しい機能性付与のための表面処理技術として進展させることが期待されている。

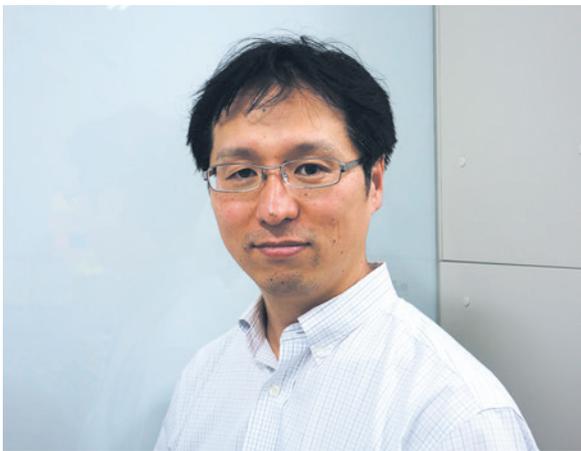
また、微細構造形成で重要と考えられている表面プラズマ密度に関する情報が得られれば、これまでほとんど進んでこなかった形成機構の時間発展が議論でき、相互作用物理の詳細が明らかになると考えられるので、回折限界以下のサイズのナノ微細構造形成を高効率、かつ高精度に制御が可能となり、次世代産業の技術基盤として非熱的レーザー加工技術基盤の構築が期待される。

さらにこの課題研究で対象としなかった材料についても最適な条件の抽出が短時間に行えるとして期待されている。

「非熱的加工用超高速繰り返し フェムト秒パルスレーザーシードの開発」

研究を通して国際化や人的交流を進めていく

慶應義塾大学 理工学部・電子工学科 田邊 孝純 教授



田邊孝純教授

2011年に発足した若い研究室

天田財団の平成30年度「重点研究開発助成（課題研究）」にレーザープロセッシング分野で採択された慶應義塾大学理工学部・電子工学科の田邊孝純教授は1976年生まれ、43歳の新進気鋭の研究者。2000年3月に慶應義塾大学理工学部・電子工学科を卒業後、2001年9月に同大学理工学研究科総合デザイン工学専攻修士課程を修了。2004年3月に同専攻博士課程を修了している。2004年4月には日本電信電話(株)（現・NTT）に入社し、NTT物性科学基礎研究所量子光物性研究部・フォトニックナノ構造研究グループに所属。2009年4月より同研究所の研究主任に就任。2010年4月から慶應義塾大学理工学部・電子工学科専任講師、2012年4月より同准教授、2018年4月からは同教授に就任している。

田邊フォトニック構造研究室は、2011年度に学部4年生が配属された比較的新しい研究室。現在は田邊教授以下、博士学生1名、修士学生9名（M2が3名、M1が6名）、学部学生6名の計17名のスタッフで構成されている。

同研究室では光技術を信号処理に用いることによって、究極的な省エネルギーで動作する光集積回路の実現に向けた研究に取り組んでいる。微細加工技術を利用して光と物質の相互作用を究極的に高めることで、微小なエネ

ギーで動作する光スイッチや、光速を自由に制御可能な光バッファ、光を用いた量子情報処理素子などを実現することを目指している。

現在、電子集積回路における消費電力の増大は深刻な問題になりつつあり、新しい技術による省電力化が求められている。こうした社会的なニーズに対応し、光を使うことで情報処理の超省電力化技術にも挑戦している。

研究室の発足以来、シリカロイド微小光共振器による強い光閉じ込め効果を利用して、強い光が結晶中やガラス中だけでなく気体などの他媒質を伝搬するときに起こる非線形光学効果——光カー（Kerr）を低エネルギーで得られる光双安定に関する研究や、3次非線形光学効果を利用してマイクロチップ上で高繰り返し光コムを発生させる研究、そして結晶材料を用いて従来にない共振器性能の実現を目指した研究などに従事してきた。

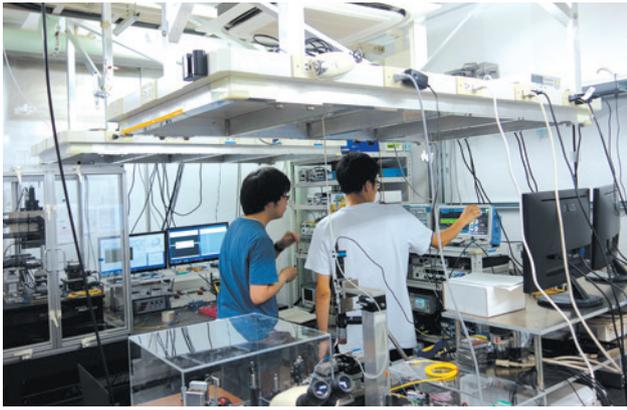
また、低エネルギー光集積回路の実現に貢献すべく、フォトニック結晶中の非線形光学効果とその利用に関する研究などを行った。ほかにも強い光閉じ込め効果を利用することで超高感度センシングが実現できるので、究極的な高感度センサーの実現とその応用に向けた研究も行っている。

高速繰り返しフェムト秒レーザー光源を開発

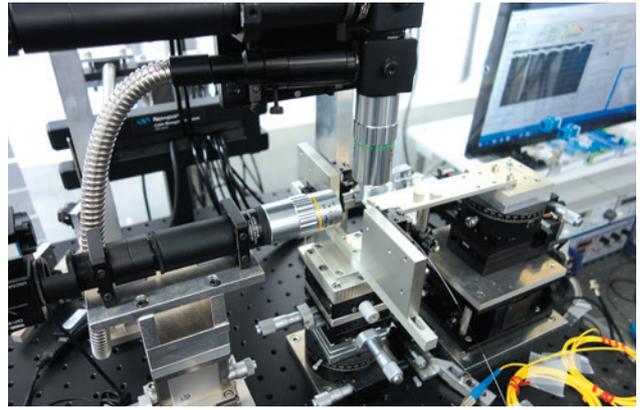
天田財団の平成30年度「重点研究開発助成」に採択された研究は「非熱的加工用超高速繰り返しフェムト秒パルスレーザーシードの開発」。近年、GHzオーダーの高速繰り返しフェムト秒レーザー開発が進むことによって、フェムト秒レーザーパルスによる加工に新たな進展がみられるようになっている。高速繰り返しフェムト秒レーザー光源が開発できれば、以下の2つの課題解決にもなる。

1. アブレーション冷却過程による熱損傷フリー加工に必要なとされるGHz繰り返し光源として活用できる。
2. GHz超の繰り返しレートの光パルスレーザーを加工に用いることで、加工のスループットの劇的な向上が期待できる。

そこで、本研究では10GHzから数THzの超高速繰り返しを実現できるプロセッシング用のシード光源の開発を目指している。高繰り返しを実現させるためには、共振器長が



クラス1000に匹敵する環境の田邊フォトニック構造研究室の様子



フェムト秒パルスレーザー加工の実験装置

極めて短い微小な光共振器を用いる必要があるので、エルビウム (Er) ドープシリカトイド微小光共振器にカーボンナノチューブを可飽和吸収体として結合させてパルス化を実現することを目指している。開発するシード光源は従来素子では実現できない小型化が達成できることに加え、シリコンチップ上に集積することができる。それにより共振器サイズの異なる共振器を多数チップに集積、所望の繰り返し周波数を有する共振器を用いることが可能になる。

研究期間の前半で高濃度Erドープ膜の生成を成功させ、Erドープシリカトイド微小光共振器を開発する。そのうえで、そこでレーザー発振を実現させる。海外の研究グループとも協力しながら、モードロックレーザーを実現するために必要となるマルチモード発振可能なErドープシリカトイド微小光共振器の開発を進める。

その後、モードロックした光パルスが共振器内で高調波を発生させることができることを確認し、光源の高機能化を目指す。共振器の分散を精密に設計すれば、単純な3次高調波発生だけでなく、青色や黄色などさまざまな波長の光が得られることはすでにパッシブな共振器で実証しており、それをErドープ共振器で実証する。

こうして開発される光源を高度化が進むレーザープロセッシングに適用することで、従来の光源を用いたのでは簡単ではない高繰り返し光パルスを採用した際のレーザーアブレーション過程の物理現象の解明だけでなく、従来は困難であった高スループットでの加工の実現に結びつくことが期待できる。

研究を通して国際化や人的交流を進めていく

田邊フォトニック構造研究室では海外の大学との共同研究を開始し、レーザー光源開発に向けた準備を進めている。これまでも複数の博士課程学生が米国（ハーバード大学、ワシントン大学、パデュー大学など）やドイツ（ミュンヘン工科大学、フライブルク大学）などの研

究室に滞在し、共同研究を実施している。

今助成研究でも、ワシントン大学の研究グループに博士課程学生が短期滞在し、研究に必要なSol-gelプロセスを研究、習得しており、すでにレーザー発振を確認している。

このように海外の研究室との共同研究を上手に進めつつ、研究室で持っているカーボンナノチューブによる可飽和吸収の技術を組み合わせることで、世界初の微小光共振器によるモードロックレーザーの開発を進めることができる。

「2011年に第1期生である学部4年生を研究室に迎え入れて以来、博士学生を含む卒業生を社会に送り出すことができるようになりました。まだ若い研究室なので卒業生の数こそ多くありませんが、輩出できることに誇りに思っています」。

「我々が取り組んでいる研究分野では、研究の1つひとつの要素が高専門化してきており、すべての技術要素をひとつの研究室でカバーするのは容易ではありません。今後は国内外の研究者と協力しながら研究を進めることが、ますます重要となってくと感じています。学生も含めたメンバーが研究室に閉じこもることなく、外とつながることができるように今後も国際化や人的交流を進めていきたい」と、田邊教授はこれからの抱負を語っている。



田邊フォトニック構造研究室のメンバー

Nd:YAGレーザーを用いて 生命の起源を探求する

冥王代の地球環境を再現

大阪大学大学院 工学研究科応用化学専攻

やきやま

焼山 佑美 准教授



焼山佑美准教授(左手前)と修士学生のVinsenさん(右奥)

構造有機化学と超分子錯体化学が専門分野

天田財団の平成30年度「奨励研究助成」にレーザープロセッシング分野で採択された焼山佑美准教授は、2005年に大阪大学理学部を卒業し、2007年に大阪大学大学院理学研究科博士前期課程を修了。2008年4月～2010年3月には日本学術振興会特別研究員DC2を務め、2010年には大阪大学大学院理学研究科博士後期課程(理学)を修了、博士号を取得。2010年4月から韓国・浦項工科大学校(POSTECH)の博士研究員、同助教を経て、2015年4月より現職である大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻で准教授(専任)を務めている。

研究内容・専門分野は、構造有機化学や超分子錯体化学、構造有機化学および物理有機化学、無機・錯体化学関連となっている。

研究発表や討議は英語で行う ダイバーシティな研究室

焼山准教授が所属する大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻物質機能化学コース物理有機化学領域の櫻井研究室は、櫻井英博教授以下、焼山准教授、植竹裕太特任助教、博士課程3名(中国人、タイ人、フィリピン人の各1名)、修士課程はM2が6名、M1が7名(うち6名が外国人)、さらに学部4年生4名、秘書や事務方を加えた

総勢25名となっている。

櫻井教授の方針で研究室はダイバーシティ化が進んでいて、うち9名が外国人留学生である。そのため、研究室内の研究発表や討議は英語で行うのが一般的となっている。

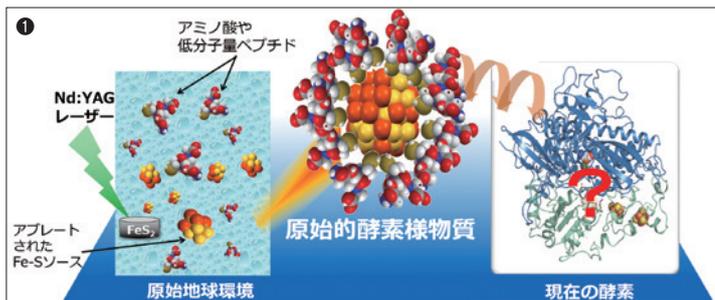
同研究室では、主にバッキーボールと呼ばれるC₆₀などのフラーレンの部分構造を有する分子群の合成と物性に関する研究や、バッキーボールを足がかりとした人工フラーレンやカーボンナノチューブの合成や応用、バッキーボールの集合体構造に関する理論的評価と物性に関する研究に加え、マトリクス保護による種々の高機能金属ナノクラスター触媒の合成や、そのサイズ選択的調製と空気酸化触媒活性評価、金属ナノクラスター触媒を用いた新反応の開発と有機合成反応への応用、金属ナノ粒子のパルスレーザー励起による超高压超高温局所反応場の化学についての研究を行っている。

冥王代の地球環境を再現する

焼山准教授が今回、「奨励研究助成」に採択された研究テーマは「液中レーザーアブレーションを利用した原始的酵素様物質の発生」となっている。

地球上には約870万種の生物がいると推定されており、豊かな生命にあふれた惑星と云われている。しかし、誕生したばかりの冥王代(地球誕生から40億年前までの5億年間を指す)の地球は、温度が1,000℃以上のマグマに覆われ、生命はとて存在できない環境だった。地球の46億年の歴史の中で環境は大きく変化し、その中で生命は種の絶滅と進化を繰り返し、現在までつながってきている。

そのプロセスにおいては膨大なエネルギーが必要だったとされるが、そのエネルギー源として有力な候補のひとつが原始地球地殻中に存在したとされる天然原子炉で発生した放射線である。これが地下水を介して単純な有機物の化学的進化に必要なエネルギーを供給したと考えられている。放射線と同等のエネルギーは800nmレーザー照射でも与えることができるとされている。その一方、液中で貴金属に対してレーザー照射を行うことで貴金属ナノクラスターが得られることが報告されている。



①研究のコンセプトを示す模式図／②液中レーザーアブレーションを行う実験装置
／③溶液専用の核磁気共鳴装置 (NMR)



そこで焼山准教授は、レーザー照射による高エネルギー供与による初期の原始的な酵素様物質の合成、およびそうした原始的酵素を介した触媒反応による低分子量有機物の化学進化過程を明らかにすることを考えた。

原始地球を模倣した反応条件としては、1,064nm Nd:YAGレーザーを用い、30mJ/cm²、10Hzの条件で集光径を1.5～2mmとした液中レーザーアブレーションを利用している。ターゲットには黄鉄鉱や鉄単体を用い、ターゲットを沈める溶液として鉄硫黄含有酵素のタンパク質部分の部分構造となり得る有機物を溶解させた水溶液や、ヘキサデシルトリメチルアンモニウムブロミド (CTAB) などの界面活性剤溶液、メタノール、トルエン、アセトンなどの有機溶媒を用いている。これにより空气中で非常に不安定な鉄硫黄クラスター合成にかかる困難を排し、原始的酵素様物質となりうる低分子量有機物保護鉄硫黄クラスターの発生を目指している。

これまでの研究の結果より、金属イオンへの配位能を有する化合物が溶液中に存在すると、不純物となる酸化鉄の生成が抑制されることがわかっている。

そこで、最近では配位能を有するペプチドの一種であるグルタチオンや、チオリンゴ酸などを含有する水溶液中でのレーザーアブレーションを行っており、質量分析および電子スピン共鳴スペクトルからは鉄-硫黄結合を有するグルタチオン鉄単核錯体の生成を強く指示する結果を得るに至っている。

世界的にも大きなインパクトを期待

これまでの生命の起源を探求する研究は、アミノ酸の発生過程に注目するものがほとんどだった。しかし、単純な有機物質が膨大な化学種へと進化し、非平衡状態の複合体を形成し、生命が誕生するという一連の流れを実験的に示すデータは、未だにほとんどない状況にある。

焼山准教授は、初期分子の複雑化と生命誕生には酵素が大きな役割を担ったと考え、その中でも鉄硫黄クラスターが酸化還元触媒活性をどのようにして獲得したのか、ということに注目した。こうした研究はこれまでにないものの、タンパク質中で鉄硫黄クラスターが果たす役割自体は物理化学的にも有機化学的にも明らかにされつつある。これらの知見を活用し、実験的に鉄硫黄クラスターにおける構造の

複雑化・触媒活性の変化といった「酵素へと至る化学進化」を示すことができれば、世界的に大きなインパクトを与えることができる。

そのためには原始地球環境を再現する必要があるが、そうした環境を忠実に再現することは難しい。原始地球の高エネルギー反応場は水和電子・ラジカルなど、特異的な基質との反応が期待され、化学的にも非常に興味深い。焼山准教授の研究は1,064nm Nd:YAGレーザーを用いることで、原始地球を模倣した環境の創出を可能にするという点で非常に独創的といえる。今後、原始生命誕生のカギを握る重要な知見が得られるだけではなく、放射化学と有機化学とを結びつける新たな学理の形成も可能になることが大いに期待できる。

笑顔絶やさず研究と育児に奮闘

46億年前の地球環境の再現について、目を輝かせて話す焼山准教授は今年3月に出産、7月から育休を終え研究に復帰したばかりだ。

「大阪大学には女性研究者のために学内に保育園があるので、乳児を預けて研究室へ出勤。途中、授乳のために研究を中断して保育園に向かうという忙しい毎日を送っています」(焼山准教授)。

浦項工科大学校在籍中に知り合ったというご主人は、企業在籍の研究者で現在は単身赴任中。そのため、家事・育児・研究・教育と目が回るような日々が続いている。「近くに住む実家の両親が助けてくれるので、とても助かっています」と語る焼山准教授は子育てに追われながら、研究にも意欲を燃やしている。

「日本化学会や錯体化学会、近畿化学協会、高分子学会、有機合成化学協会、基礎有機化学会など、私が所属している学会でも女性研究者の数は決して多くはありません。最近、他の学会などで『女性研究者の会』が発足したという話を耳にし、心強く感じています。ブームの影響か、理系女子も増えてきているので、私も今後はさらにながらばっていきたく」と、明るい笑顔で語ってくれた。

高効率レーザーピーニングの 実現に向けたプロセスを研究

LP処理技術を成熟させ、産業界への発展を目指す

近畿大学 工学部電気電子工学科 津山 美穂 講師



津山美穂講師

学部4年からレーザー研究に取り組む

天田財団の平成28年度「一般研究開発助成」にレーザープロセッシング分野で採択された近畿大学工学部電気電子工学科の津山美穂講師は、同大学工学部・中野人志教授の「レーザー工学研究室」出身。学部4年生から新型レーザーの開発やレーザービームを使った新しい機能性材料の開発、パワー半導体を使った電気エネルギーの効率的な供給、レーザーおよび電気エネルギー制御に関する研究に取り組んできた。

「祖母が突発性難聴のため感音性難聴となり、補聴器を自分の手で作りたかったことや、祖父が研究熱心でモノづくりに夢中だったことも影響し、ためらいなく工学部へ入学。さらにレーザービームエネルギーを使った新しい機能材料を開発したいという思いで、中野先生の『レーザー工学研究室』を志望しました」と、津山講師はレーザー研究をはじめたきっかけについて語っている。

研究室では学部、修士課程、博士課程を通してレーザー装置の開発研究やレーザー応用研究、ならびにレーザー関連周辺技術の開発研究を行った。そして2014年3月、近畿大学大学院総合理工学研究科エレクトロニクス系工学専攻博士後期課程を修了後、「レーザーピーニングによる金属の表面処理に関する研究」という論文で博士号(工学)を取得。同年4月に近畿大学助教に就任、2019年には講

師となり、「レーザーピーニング処理の高効率化」をテーマとした研究を中心に活動している。

LP処理プロセスを系統立てた研究が必要

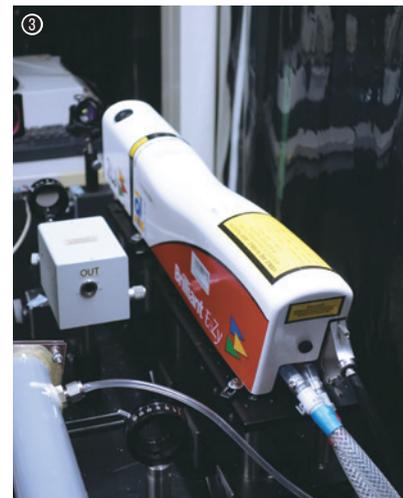
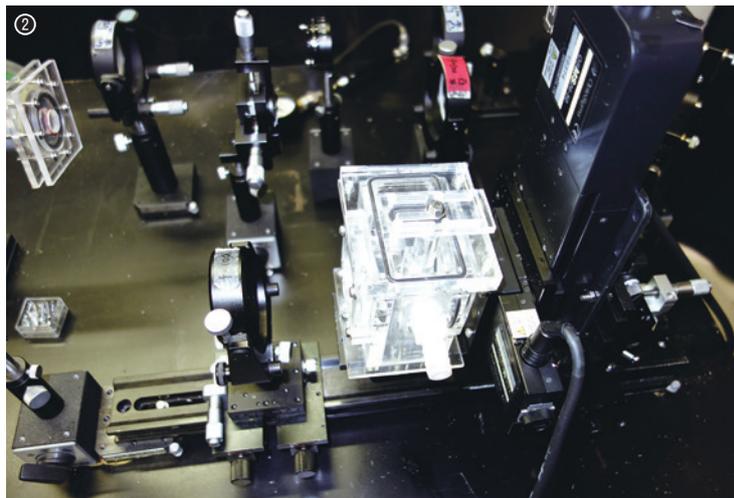
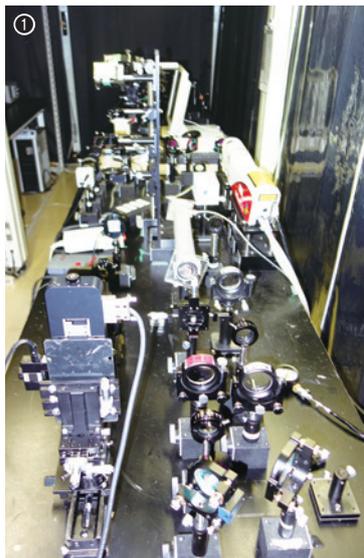
津山講師が今回、「一般研究開発助成」に採択された研究テーマは「高効率深層レーザーピーニング処理技術の実用化に関する研究」。レーザーによる材料加工の最大の特長は、優れた制御性と非接触処理が可能なことにある。レーザーは幅広い分野ですでに利用されているが穴あけや切断、レーザー照射などによって発生する熱を利用した加工が主となっている。

一方、レーザー誘起衝撃波を利用した加工は、「レーザーピーニング」(Laser peening: LP)と呼ばれる表面処理技術を生み出し、熱加工では実現できない金属疲労の改善や応力腐食割れの防止策としても利用されている。LP技術は金属表面処理技術のひとつである。

一般に金属表面処理(メッキ、塗装、熱・機械・化学処理、合金など)は、工業製品の安全性確保・長寿命化を目的とし、部品レベルでの疲労強度・耐摩耗性・耐腐食性を向上させるために実用化されている。LPは、水中レーザーアブレーション応用のひとつであり、1990年代から効果の検証・基礎研究がなされ、現在では産業界での実用化も進んでいる。

ところで今、自動車産業をはじめ多くの産業分野で実用化されているのがショットピーニング(Shot peening)という噴射加工の一種である。ショットと呼ばれる無数の球を高速で材料に衝突させ、表面に無数の圧痕と表面近傍に加工硬化・圧縮残留応力を付与する。ショットの運動エネルギーによる機械的な表面処理技術である。

これに対してLPは、短パルスレーザー照射によって発生する衝撃波を用いてピーニング処理を施す。水中の金属試料に対して短パルスレーザーを集光照射すると、試料表面にアブレーションプラズマが発生する。発生したプラズマは、金属試料の周囲に存在する水の慣性により膨張が抑制されるため、数十GPaにもおよぶ高圧力状態となる。この圧力により発生した衝撃波のエネルギーが試料の降伏限界を超



①レーザーピーニング処理を行うYAGレーザー装置とビーム光路系／②水中の金属試料にパルスレーザーを集光照射する実験装置／③波長1,064nm(近赤外線)、532nm(可視光・緑)、355nm(紫外線)のレーザー光を出力できるQスイッチNd:YAGレーザー

えると、金属試料に塑性変形が生じ、加工硬化とともに塑性拘束によって試料表面層に圧縮残留応力層が形成される。ピーニング効果はレーザービームの直径程度の深さにまで付与可能だと言われている。

しかし現在、世界各国で報告されているLPの研究成果は、LP処理後の材料特性(残留応力、硬度など)を調べたものが主となっており、高エネルギー利用効率や深層処理などに対するパラメータの条件設定はまったくなされていない。レーザーの制御要素を丹念に条件設定し、LPに関わる多種多様なパラメータを制御する系統的な研究が展開されていないのが現状である。産業応用に適用可能な技術として成熟させるには、LP処理プロセスを系統立てた研究が必要となっている。

LPパラメータの最適化を考察

LPはレーザーエネルギーのみで結果が決まるのではなくレーザー波長や偏光方向、パルス幅、幾何学的なレーザー照射配置、プラズマ密度、衝撃圧力の通過時間などの多種多様なパラメータで、その効果が決まると考える津山講師は、LP効果は試料表面での力積の大きさによって決定されることに着目。「レーザーの照射状態」「レーザープラズマの状態」「衝撃波の状態」「材料の状態」「プラズマの閉じ込め層」の5つの要素によって決定されると考えた。

さらにこの5つの要素には、レーザーのピーク強度や金属試料の結晶粒径など、多数のパラメータが含まれていることから、これらのパラメータを「LPパラメータ」と定義し、LPパラメータを制御下においた実験研究を行い、実験データベースの構築とともに、それぞれの最適条件を明らかにすることで高効率LPの条件を確立し、実用的なプロセスとして成熟させることを目指した研究を行っている。

すでに各種パラメータに対し、LPに望ましい条件が存在することを見出しており、今後は多種のレーザー照射条件を制御した実験研究を多数回実施し、それらのパラメータと

LP効果の関係性を調査することでLPに望ましいレーザー照射条件を決定し、実験データベースを構築する。

また既出の研究におけるレーザー光源は、ナノ秒レーザーのみであったため、従来のナノ秒レーザーに加え、フェムト秒レーザーを光源としたLP処理実験を行ってきた。フェムト秒レーザーによる発生プラズマの圧力は、ナノ秒レーザーに比べて極めて高い。ピコ秒レーザーにおけるプラズマとの相互作用に関する情報は極端に少ないため、今後はパルス幅変化に対するピーニング効果、つまりレーザー誘起衝撃波によって生じる塑性変形に起因した加工硬化特性を評価する。

さらに深さ方向についても、レーザー誘起衝撃波との関係性を調査し、深層LPに望ましい条件について明らかにする——としている。

学生生活は心持ち次第で変わる

研究室をお訪ねした日は試験期間中で、津山講師も試験監督をするなど多忙な中でインタビューとなった。

津山講師は「10年前からLPの研究を実施し、学部4年生、大学院生への教育研究指導を通じてLPに関わるさまざまなパラメータを変化させた際の硬度変化、ならびに応力変化に関するさまざまなデータを明らかにしてきました」。

「今後はさらにLP処理技術を成熟した技術とし、産業界へ広く発展させるため、高効率LPの実現に向けたプロセスを系統立てながら研究したい」と研究への熱意を語る。

津山講師は、幼少期からピアノを学び、学生時代は吹奏楽部や軽音楽部で演奏活動も行ってた。今でもピアノに向かうことはあるが、「今は研究室で実験しているときが一番楽しい」という。

最後に「学生生活は心持ち次第でプラスにもマイナスにもなります。何事にも興味を持って楽しみ、さまざまな知識と考える力を身につけ、仲間をつくり、自分にとってプラスとなる笑顔の学生生活を送ってください」と自身の後輩となる学生たちに向けたエールの言葉を述べてくれた。

「第3回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」—— パネルディスカッション

「各種レーザプロセッシングの現状と発展」

天田財団は4月24日にパシフィコ横浜(神奈川県横浜市)で「第3回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」を開催。その中で「各種レーザプロセッシングの現状と発展」をテーマとしたパネルディスカッションを行った。コーディネーターは天田財団・片山聖二評議員(大阪大学・名誉教授)、パネリストは岡山大学・岡本康寛准教授、京都大学・橋田昌樹准教授、三菱重工業(株) 総合研究所・石出孝フェローアドバイザー、(株)アマダホールディングス・迫宏上席執行役員(技術研究所所長)の4人。レーザ溶接やレーザ切断、レーザによる微細加工など、レーザ技術の現状や問題点、これからの産業利用を中心に産学の両面から議論が行われた。

以下、パネルディスカッションの概要を一部紹介する。

「各種レーザプロセッシングの現状と発展」

片山聖二評議員(以下、姓のみ) 今回のパネルディスカッションのテーマは「各種レーザプロセッシングの現状と発展」ということで、パネリストの方々や会場から活発な意見をいただきながら、レーザ加工やレーザプロセッシングを盛り上げ、日本の発展につながっていくような討論を目指して始めさせていただきます。

まずは簡単な自己紹介をさせていただきます。司会をさせていただき私は、3年前に退官するまではレーザ溶接を主に研究しておりました。続いて岡本先生、お願いします。

岡本康寛准教授(以下、姓のみ) 岡山大学の岡本です。私は機械工学研究室で、刃物を使わない加工のひとつとしてレーザ加工を担当しています。放電加工や電解加工など、さまざまな加工法がある中で、レーザ加工の立ち位置も含めて研究しています。はじめのころは微細加工が多かったのですが、今はハイパワーの研究も若干行いながら、切断や溶接、除去加工なども研究しています。

橋田昌樹准教授(以下、姓のみ) 京都大学の橋田です。私は主にレーザと物質の相互作用という観点から研究を進めています。原子のレーザ同位体分離などの原子レベルから、比較的表層のレベルの物理現象についての研究まで

行ってきました。また、一部企業とは短パルスレーザを使った穴あけ加工などの共同研究も行っています。

石出孝フェローアドバイザー(以下、姓のみ) 三菱重工業の石出です。昨年までオープンイノベーション全体を見ていましたが、今年からはレーザとAdditive Manufacturing(以下、AM:積層造形)が中心です。レーザ関係は100kWからフェムト秒まで何でもやるといった感じです。

迫宏上席執行役員(以下、姓のみ) アマダホールディングス技術研究所の迫です。私はもともと金属加工の大学研究室を出たのですが、その後すぐにレーザ研究の世界に飛び込み、レーザ発振器の開発やCO₂レーザやファイバーレーザなどについて、とくに加工の方ではシートメタルの切断を中心に研究してまいりました。

レーザの高パワー化・高機能化について

片山 まず、レーザの現状について知ることから展開していきたいと思います。最初にレーザの高パワー化・高機能化がどこまで進むかということになりますが、実際は頭打ちになりつつある気がしています。2年程前にIPGが120kWのファイバーレーザ発振器をつくり、200kWや300kWも言われればつくるといった話をしていました。

コーディネーター

パネリスト



天田財団・片山聖二評議員
(大阪大学・名誉教授)



岡山大学・岡本康寛准教授



京都大学・橋田昌樹准教授



三菱重工業(株) 総合研究所・
石出孝フェローアドバイザー



(株)アマダホールディングス・迫宏
上席執行役員(技術研究所所長)



100kWのレーザーマシンにはどの程度の能力があるかを調べてみたところ、ステンレスを加工すると2m/分という速度で40mmほど溶け、ひっくり返すと70mmの貫通溶接ができることがわかりました。また低真空中で加工するとスパッタが減り、80mmくらいの溶け込みが可能で、溶け込み深さは2つ合わせると150mmになります。

しかし、なかなか使い道がありません。石出さん、100kWも含めた高パワーのレーザーにはどんな使い道がありますか。

石出 今、産業用で使っている中で最大の出力はおそらく35kW、そのくらいが制御できるちょうど良いところだと思います。私たちが使う100kWはまた別の使用目的があります。防衛関係です。米国やドイツでは航空機に50kW、艦船には100kWオーバーを積んでいます。日本は防衛と聞くといいますが、セキュリティなども含めてそういう分野であればこそ出てくるような技術もあります。

レーザー関連の3つのプロジェクトについて

片山 グリーンやブルーの波長域は以前はパルスレーザーでしかできませんでしたが、今ではどちらの波長域も連続発振(CW発振)でできるというところまで来ています。この辺りの実際に行われているプロジェクトも含めて橋田先生、コメントをお願いします。

橋田 現在は、レーザー関連では3つのプロジェクトが走っています。TRAFAM(技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構)の3Dプリンタープロジェクト「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム」は、実施期間が2014~2018年度で、ブルー関連の光を使った新しいディスクプレーキの開発や3次元造形に関する技術です。

内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)革新的設計生産技術の「次世代レーザーコーティング技術の開発」は、コーティングということで溶かして表面につけるといった技術です。実施期間は今年で終わる予定となっています。

それと並行してNEDOでは、「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」が2016年度から始まっています。このプロジェクトは成功例も複数生まれていて、そのうちのひとつとしてkWクラスのブルーレーザーを開発して世に出しましょうといったことも進められています。

最近のトレンドとして、CWと並行して短パルスレーザーのプロジェクトも始まっています。そのひとつに光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)があります。ここでは短パルスレーザーを使ったAI-CPSレーザー加工、学理解明と応用について研究しています。

それから次期SIPの「光・量子を活用したSociety5.0実現化技術」ではCPSレーザーを使った研究が始まっています。

す。

これらのことを総じて、国プロとしてはブルーレーザーの加工がない状況ですのでおそらく産業界がけん引していく必要があるのかなと思っています。

ビーム可変制御について

片山 同じ溶接条件であってもビームモードを少し変えることによって、良い溶接部をつくれる——そんなことが今、溶接分野では流行っています。これについてはトルンプやコアレイズ、IPG、レーザーライン、古河電気工業、プロフィット、三菱電機など各社で取り組まれています。こういった「ビームモードを変えてより良い加工を」といったことは切断の分野でも言われていますね。

迫 はい。現在、レーザーの切断加工、とくにファイバーレーザーの世界では、切断面品質がCO₂レーザーより劣るため、各社がビームをシェーピングすることを考えています。

当社はまず、CO₂レーザーのように安定して加工できるようにしようと考えました。たとえば3kWの光を3つ束ねてひとつの光を形成するのですが、とくにポイントとしてひとつのフィーディングファイバーからビームカプラーを通して、伝送ファイバーに入る。中心を通った光は中心軸を通っていくのですが、レンズをずらすことによってNA(開口数)が大きくなり、光がリング状になっていく——原理的にいえば非常に簡単な光なのですがこういったものを使い、薄板は高いパワー密度で切り、厚板はリングモードで溶融しやすくしています。

もうひとつは、光を最適にコントロールすることです。光の吸収と入射角の関係でよく言われるのですが、CO₂レーザーは通常わりと細めの光で一番吸収率が高いピークが形成されていたため、何も考えなくてもうまく切断することができました。これに比べてファイバーレーザーは、ビームを太らせる必要があります。そうすることでズーミングのユニットをつくり、最終的に安定した切断ができます。

ただBPP(Beam Parameter Product)を変えただけだと、厚板を切ったときにベベル角が出て問題になりますが、ビームを最適化して太らせることでパワーを注入でき、小さなノズルを使うことでアシストガスを低減、速度を速く、ベベル角を小さくすることができます。

片山 ほかのメーカーでも同様に、ファイバーレーザーの切断面品質が改善されてきていると思って良いのでしょうか。

迫 他社の情報を確認してみると、やっぱりどこも苦労されているようです。日本人は他国に比べて品質を重視する傾向にあります。当社のデータですと、2018年度の日本のファイバー化率は約60%。ところが海外や北米などは90%にもなります。他国が生産性を最重視する中、日本は生産性



「各種レーザープロセッシングの現状と発展」をテーマに行われたパネルディスカッションの様子

と面粗さ、品質のすべてを良くしなければならないという考えがあり、取り残されているところがあります。

片山 ビームモードが改善されて切断面品質も改善している状況ということです。石出さんは穴あけ加工などにレーザーを使われていると思いますが、その辺りいかがでしょうか。

石出 私たちの工場では、2つのプリズムを組み合わせて穴あけに使ったり、自由な形を描いたりといったことにレーザー技術を使用しています。航空機のエンジンの穴あけでは、従来のものに比べ約10倍はやく加工できます。

セラミックと金属の穴あけを同時にしなくてはいけないので、セラミックにショートパルスを使い、その後ファイバーレーザーで穴をあけるといったように同軸で2つの光を通して行きます。そうすることによって、セラミック部分のクラック発生を防止、短パルスレーザーはセラミックのところだけ当てて、ファイバーレーザーで穴をあけるといったことをやっています。どんな形でも加工ができるので、非常にやりやすいです。

AMの現状と日本の状況について

片山 表面改質のクラディングや焼き入れは、一部実用化されましたが、最近一番注目されているのはAMで、高速化や装置の低価格化などを含めて国のプロジェクトも立ち上がっている状況です。

AMについて研究されている石出さん、最近のAMの状況と今後どのように変わっていくか、あるいは世界から見た日本の状況についてコメントをお願いします。

石出 今年、シーメンスがついに38億円をかけてAM工場をつくり上げました。AM工場とは何かというと、要は3Dプリンターだけでモノをつくってしまう工場ということです。工場には50台の3Dプリンターが並んでおり、その脇には機械加工機が並んでいます。なおかつ熱処理などの加工まで工場内で行うことができます。

またこの工場では航空機関連も3Dプリンターを使い、連続繊維のCFRPでつくっています。

現在、航空機関連では「Wing of Tomorrow」というエアバスの次世代高生産翼開発プログラムが走っています。米国の場合、こういったジョブショップのような会社は何十台と3Dプリンターを並べてこういったプログラムを行っているのが現状です。それに比べて日本はあまりAM関連のプロジェクトが走っておらず、遅れているとしか言いようがありません。

ただ、レーザー関係全体を見ると特別遅れているわけではないと思っています。実際にさまざまな取り組みを行っているところもあります。それなのに日本が遅れているように見えるのは、メーカーの人たちがAMの話あまり外に言わないことが理由のひとつだと思います。AMで一番大切なのはAM設計なのですが、それは絶対に外部に出しません。なのでAMを使ってどんなことをやっているかがあまり外部に出てきません。

耐久性が求められる航空機の加工

石出 私がお聞きしたいのは、シミュレーションがどの程度できているか、どういう形にしたらそういった機能が発現するか——それを理解できていないと使う方は困るなどということがあります。それから広域でやらなければいけないということ、耐久性の問題ですよね。

航空機の表面の場合、1年から数年、雨風にさらされるわけですから。氷結防止や蒸気発生器などの電熱線の表面を加工するのも大事ですが、そういったものはすべて耐久性を要求されます。その要求に対してどういったことをやっているかが、使う側としては大変興味があります。

岡本 私の研究室でも撥水性について研究したことがありますが、実験翌日にはもう結果が変わってしまっていました。

他の先生方と、ケミカルな反応と機械的な効果を具体的に分けて評価することできるかといった議論をしましたが、それはなかなか難しいところがあります。ケミカルな効果で言うと、時間がたったときにどれくらい大気にさらされているか、どれくらいの温度・湿度か、それによっても結果が変わってきます。ケミカルな効果を超えたうえで機械的な表面構造の効果がしっかりと出せれば、使っていけるような領域もあるのではないかと思います。

しかし、外でゴミが溜まるというのが一番ややこしい。マイクロ流動みたいなどころですと、混ぜたり流速をちょっと遅くしたり、さっと流したりといった濡れ性を制御して攪拌するところでは洗浄と合わせてセットで使うといった話を聞いていますが、大型の方ではあまり聞いたことがありません。

橋田 大面積に加工する場合、レーザーが安定していないといけません。最近ではフェムト秒レーザーも安定してきていますので、そこはクリアできています。また加工が必要なのはごく



表層だけで1㎡でも何十円というレベルなので、用途によっては応じられるかもしれません。

それから長期間持つかというところですが、流路のような液体が流れるものに関しては、やはり削れてしまうなどの問題があります。一部使ったことがあるのですが、何度も使っているうちに削れ、効果が下がるといったことがありました。ですから、そういう接触面の部分はなかなか難しいところがあると思っています。

櫻井俊光 土木研究所の櫻井です。雪が道路構造物に付いてそれが落雪すると車に被害がおよぶということで、雪がつかないような構造物をつくりたいと当所では考えています。撥水面をレーザーで表面加工することをSUSで行っているのですが、それでもやはり雪がついてしまうという現状です。

あまり知られていませんが航空機に関しては、すでに日本でもやっている研究機関があります。しかし、そこにはレーザー加工は使われていません。

ですが、レーザーで表面加工したものをさらにコーティングすることで撥水性がパワーアップできるということは周知の事実としてありますので、今後は我々もそういった分野にどんどん参入していった方が良くと思います。

自動車部品は摩擦損失・機械損失を どれだけ減らせるかが焦点

片山 最近、自動車関係でフェムト秒レーザーによる加工の実用化といった話が出ていました。キヤノン(株)の井上さん、これについて何かコメントはありますか。

井上晋宏 摺動の摩擦で一番問題になるのが、シリンダーロッドピストンの摺動部分です。とくにピストンスカートが側面にあたるときに摩擦損失が出るということで、そこにフェムト秒レーザーで溝を加工することで摩擦が数十%減らせるという話が出ていました。

今後、自動車はEV(電気自動車)に変わっていくという話もありますが、まだ数十年はエンジンが残ると思います。その中で燃費をどれだけ上げていくかという話題があり、車のプロジェクトでも熱効率40~50%を超えるようなエンジンが出てきています。

ただ、ガソリンの消費量を減らすだけではすでに限界にきていて、摩擦損失や機械損失をどれだけ減らせるかという状況になっています。ピストンリングやピストン、シリンダーボアなど、機械的な摺動面からエンジンベアリングまで摩擦で損失を受けているさまざまな部分があるので、これからはそういった部分でテクスチャリング加工はかなり重要な位置づけになってきます。

ありがたいことに自動車の燃料インジェクターの穴あけが、

フェムト秒レーザーで加工されるようになってきています。これにより昔は1日かけて行っていたような加工が数秒から数十秒でできるようになっています。今、4Wのフェムト秒が、100W、400W、1kWというように周波数が上がって、高速加工ができるようになっていくので、今後はそういう意味で使われる状況は整ってくると思っています。

周期構造とフェムト秒レーザー

片山 周期構造はピコ秒レーザーでも同じようにできると思っています。良いでしょうか。

橋田 すべてのエレメントを調べたわけではありませんが、ピコ秒でできるものとフェムト秒レーザーでできるものがあります。ただフェムト秒レーザーの方が材料に対して広い範囲でできやすいです。プロセスウインドウに関しては、もしどちらのレーザーでもできるということだと、ほぼ変わらないような形になっています。ピコ秒レーザーでできにくいものなどもあります。

片山 岡本先生、ガラスとシリコンの接合といった話もやはりフェムト秒レーザーでないとできないのでしょうか。

岡本 まずは周期構造のところなんですけど、我々のところではだいたい10ピコ秒くらいまではできますが、できる形状がちがいます。周期構造は最初に筋などが入っているとそこに引張られてしまい、狙った方向に加工できません。

これは真上からレーザー加工を打っているんですが、それに対してほぼ垂直の面のフラットができる初期の粗さよりも低い粗さをつくってくれるという実験結果が出ています。しかし、これは完全なる除去加工ではなくて切断のような感じになっています。なので、マイクロクラックのようなものを制御することできれいでフラットな面ができるような気はしていますが、フェムト秒レーザーといってもさまざまなモードがあり、表面処理の粗さの影響を受けたりなど、結構ハードルは高いのではないかと考えています。

橋田 フェムト秒レーザーの場合は、P偏光の場合とS偏光の場合でアブレーションの方法が若干ちがうため、岡本先生がおっしゃったようにミクロンくらいの大きさのものがあると引きずられてしまいます。だからそれは最初に除去する必要があります。たとえばフェムト秒レーザーをコンバインして打つときれいな周期構造ができます。

これを均一につくれるかどうかは、ビームのプロファイルを制御することは迫さんや石出さんの技術を導入することで比較的安定させることができると思います。先程も述べたとおり、フェムト秒レーザーの場合は非線形の効果が入っていて、それがコントロールする深さや表面精度を決めることになると思います。ですから最後はレーザーの安定度がキーになります。

片山 ありがとうございました。

「第17回 塑性加工助成研究成果発表会」——パネルディスカッション 「塑性加工における素材・金型・潤滑の 課題と期待」

天田財団は6月7日、同志社大学の京田辺キャンパス(京都府京田辺市)で「塑性加工における摩擦と潤滑」をテーマに「第17回 塑性加工助成研究成果発表会」を開催。助成研究成果を発表するとともに、「塑性加工における素材・金型・潤滑の課題と期待」をテーマとしたパネルディスカッションを行った。

コーディネーターは東京電機大学・柳田明教授。名古屋工業大学・北村憲彦教授、日本大学・高橋進教授、トーカロ(株)神戸工場製造課・舟本幸大氏、大同化学工業(株)第3研究室・黒田将文室長の4名がパネリストとなり、鍛造板成形の課題や今後への期待などについて途中聴講者からの意見も交えながら活発な討論を行った。

以下、パネルディスカッションの概要を一部紹介する。

「塑性加工における素材・金型・潤滑の課題と期待」

柳田明教授(以下、姓のみ) 今回のパネルディスカッションのテーマは「塑性加工における素材・金型・潤滑の課題と期待」とさせていただきます。「素材」「金型」「潤滑」——この3要素は単独で研究されることが多いです。

しかし、ホットスタンピングを例にとると、「素材」に加熱という要素が入り表面酸化の問題があるのでメッキやコーティングをする、「金型」との相性はコーティングによって変わることがある、「潤滑」をすると焼き入れに必要な熱伝導が上がる——といったようにそれぞれの要素が影響をおよぼしていることがわかります。

そのため、今回のパネルディスカッションでは単独でなく3要素を総合的に考えた議論をしていきたいと思っています。会場からご意見などがありましたら、是非コメントをいただけたらと思います。

まずは鍛造に関する現状の課題についてお話ししたいと思います。北村先生、よろしくお願ひします。

北村憲彦教授(以下、姓のみ) 冷間鍛造の場合、一液潤滑剤またはボンデの性能をあげていくことです。今はだいぶ性能が上がっていて、それぞれの性能に合わせた使い

方もできていますが、ボンデはオールマイティーな使い方ができるのに対して、一液潤滑剤はそこまではできていません。

熱間鍛造の場合、暗い黒鉛から白色に変化し、先程の冷間の場合と同様に性能を従来高性能だと言われるものに近づけたい、超えたいという要望が一番多いと思います。

そして金型に関してはもっと型寿命が長くなってほしい、という要望があります。また表面処理は剥離しないようにといった用途で使われています。

高橋進教授(以下、姓のみ) 成形技術の中でのなるべく摩擦係数を減らして割れなどが起きないようにするには、もちろん適応もあるわけですが、シミュレーションでのデータ入力を見ると、材料特性と摩擦特性は必ず入れなければいけない。材料特性については降伏局面や溶け、さまざまな特性も入れる必要がありますが、大きく分けると材料と金型と素材間の摩擦があります。シミュレーション適応を考えると普通の深絞り用の状況を考えるわけなのですが、そのときに潤滑や面圧の評価が必要になってきます。

とくにハイテン材が適応される場合、金型に対しての負荷も大きくなります。そこでなるべく潤滑を良くし、負荷を軽減することが必要になってきます。ですからハイテン材の深絞

コーディネーター

パネリスト



東京電機大学・柳田明教授



名古屋工業大学・北村憲彦教授



日本大学・高橋進教授



トーカロ(株)神戸工場製造課・舟本幸大氏



大同化学工業(株)第3研究室・黒田将文室長



り加工については、非常に厳しい状況が増えていると言えます。

ホットプレス金型への表面処理は確立できていない

柳田 企業の方々からは現在行っている研究内容についてお話しただけならと思います。

舟本幸大氏（以下、姓のみ） 表面処理の事例を3つ紹介させていただきます。

1つ目は冷間加工の事例で、対象品はパイプ曲げ、機械メーカーの芯金になってます。芯金の耐摩耗性を向上させる目的で、はじめにTD-VCで実験をやらせていただきましたが、1ショット目から異音と皮膜の剥離が発生しました。この現象からVC皮膜は堅さでは優れているが低摩擦特性に劣っていると考え、次のチャレンジでTD処理の上にDLCを載せ、2層構造としました。TD処理の単層に比べたら20ショットと持ちましたが、これもやはりDLCが剥がれてしまいました。そこでDLCの付着力が不足していたと考え、TD処理後に面調整を行いながら、工夫したDLCを行いました。そうした結果、曲げ加工を行うときも無音になり、3,000ショットも可能となったという実績があります。

2つ目も冷間加工の事例となっています。こちらを対象品は補強ブラケットのプレス金型、相手材は引っ張り強さ980MPaで厚みが1.4mmの鋼板です。こちらも耐摩耗性と耐焼き付き性の向上を目指して表面処理を行いました。TD処理とCVDのTIC処理両方やらせていただいたところ、数千ショットで焼き付きが発生。基材を確認してみると基材硬さが若干不足していたことがわかり、基材が座屈して皮膜が剥離、そこに鉄が焼き付いてしまっていました。また、単純に金型の表面が変色していましたので、皮膜の耐熱温度不足と考え、基材硬さを変えつつ、表面に耐熱温度の高いTiAlNを使いますと14万ショット以上、加工することができました。

3つ目は熱間加工の表面処理事例です。こちらは自動車足回り部品の曲げ加工を行っている金型です。相手材がアルミメッキ鋼板、引っ張り強さは1,500MPa、厚みが1.6mmです。こちらは耐摩耗性と耐焼き付き性の向上が目的です。ダイにはラジカル窒化+PVD-CrN+PVD-DLC、パンチにはラジカル窒化+PVD-TiAlN+PVD-DLCを選ばせていただきました。こちらは両方とも1万5,000ショットでアルミの焼き付きが発生して手入れが必要となってしまいます。手入れしている作業員からは「何もしないよりは容易に除去が可能だった」とお話しいただいているのですが、まだまだ満足できるレベルではないと私は思っています。

この辺りがホットプレス金型への表面処理はまだ確立できていないと思うところです。

一液潤滑剤はオールマイティー性に欠けている

黒田将文室長（以下、姓のみ） 一液潤滑剤は化成処理の多岐にわたる工程に代わって、塗って乾かすだけで簡単に加工できるようになるというのですが、これを開発するにあたり、さまざまなラボテストを行っています。

こちらは後方押し出し試験なのですが、面積の拡大が非常に大きくできることが特徴で、加工した後の評価や皮膜の2次性能について評価ができるという特性があるためよく利用しています。

実際、ボンデと比べて当社のアクアルブという一液潤滑剤を使用した場合、当社の設定面積拡大率だと1,712%という完全にかじってしまうような状態に対して、ほぼ焼き付かない加工ができます。この一液潤滑剤でテーパーカップ試験をしますと、ボンデが4つ目で焼き付くのにに対して5つ目まで焼き付かずに加工できます。テーパーの分、加工時の抵抗が大きくなるだろうという考えで実験を行っています。

そのほかにもスパイクテストや前方軸+後方ストレートカップ押し出し試験、2段押し出し試験など、さまざまな実験を行っているのですが、問題があります。実機との相関性という点で、ボンデがオールマイティーなのに対して、一液潤滑剤はなかなか対応できないケースもあり、オールマイティー性に欠けているのかなと思います。

また一液潤滑剤に限らず油性タイプの性能評価がうまくできるようなテストがありません。実際にはリング圧縮試験など、塑性変形の少ない加工しかできていないというのが現状です。

標準化の難しさ

柳田 加工法に対して単純な試験だけではなく、いろいろな試験をしなくていけないということですね。こういうものが標準化できるかどうかが今後の課題になっていく気がします。北村先生はその辺りどのようにお考えですか。

北村 標準化できれば良いのですが、なかなか難しいというのが実状です。摩擦もわかっていませんし、整えられた条件の範囲での比較は良いかもしれませんが、引っ張り試験を1回やってそれで許せる圧縮がこの範囲というようなことだと思います。摩擦は本質的にあるものなので仕方ないと思います。

ただ、今までのやり方のように摩擦試験をするときに、たとえば試験片の直径と高さを変えていって理想的に摩擦がゼロになった場合、どこに行くと推定していくという方法はあります。

高橋 潤滑剤メーカーさんが世界に潤滑剤を売る場合にはどういう評価方法をして特性を上げるのでしょうか。それから標準化という観点からすると、海外の同業他社の方々

はどういった試験方法でお客さまに特性を売っているのでしょうか。

黒田 そこが難しいところだと思います。当社の中でもさまざまな分野の油剤がある中で、たとえば圧延の場合は単純に圧延試験をすればそのままご理解いただけると思うのですが、鍛造などはこれといった試験方法はないので、どうしてもリング圧縮試験など、認知度が高いものになってきます。あとは後方押し出し試験など、目で見てわかりやすいものでインパクトを与えるような工夫をするといったところですね。

高橋 国内標準も同じですが、国際標準とした場合にはいろんな国の方たちにその評価を認めてもらえないといけません。たとえば、リング圧縮試験の標準化について「日本がやります」と手を挙げたとします。それに対して最低5カ国が「一緒にやりましょう」とエキスパートを出してくれるかどうか、それが最初の関門になります。

たとえば日本から海外に潤滑剤を売るときに「国際標準」であることで売りやすくなるのであれば、標準化を提案をしていくことがひとつのアクションになると思います。提案することとはノウハウを持っているということなので、もし海外が標準のデータをつくらうとした場合にも、それまでの蓄積がない国に比べて日本が優位になります。そういったところで産学連携が潤滑分野でできていないということであれば、それを進めていく価値があると思います。

柳田 北村先生が参加されているICFG（国際冷間鍛造グループ）では、そういった動きについてはどんな取り組みをされていますか。

北村 現在、ICFGの中で潤滑グループというサブグループに私と静岡大学・早川邦夫教授が参加しています。



「塑性加工における素材・金型・潤滑の課題と期待」をテーマに開催したパネルディスカッションの様子

従来からの化成処理のボンデに代わる新しい環境対応の潤滑剤をドイツのメーカーも開発してきています。日本はこの分野において他国に比べはるかに先行している状態で20年くらいの差があります。

今はボンデのベンチマークが一通り終わって、それぞれの試験方法でどのくらいの摩擦係数が出るかが、概ね納得できる結果になったところです。ポイントはボンデがどのような場合でも安定して同じように利かせられ、誰がどういう風にやっても決まっているということです。満足できるレベルは標準化する目的や各人によって変わってきます。リング圧縮（据え込み）で満足できる人もいれば、「それでは差もないし大したことない」「摩擦で見たいわけでもない」という意見もあり、標準化させるのは簡単ではありません。

潤滑剤とコーティング

柳田 私も最近潤滑の研究を始めたのですが、学生のスパンによって研究できる期間にムラがあるため、2年くらい経って実験をやりとうとすると潤滑剤の色が変わっている場合もあり、性能が変化しているのではないかと考えています。

黒田 潤滑剤も長いこと使っていると劣化が起こります。劣化の理由としては熱・圧力・混入物（鉄粉・異種油・ゴミ）が入り込むことによって成分の変質や重合が起こります。液の粘度が変化、中身反応物や異物が発生し、その結果、潤滑性能が低下したり、ワークが汚れたり、洗浄不良やフィルター詰まりといったトラブルが発生しやすくなります。

ですから使用するうえで日々の状態監視が非常に重要になります。色や粘度、スラッジの量、性能などをご確認いただき、それと併せてフィルタリングなどによって混入物を取っていただくことによって管理ができる。ただ管理するうえでの基準値を超えてしまうと、タンクの清掃や1年に1~2回の潤滑剤の入れ替え（更液）が必要になってきます。

使用液の潤滑性能は変質やスラッジにより低下します。そのため、使用液の管理は非常に重要になってきます。今後の課題としては、熱や圧力に強く、低価格の添加剤の適用が必要となっています。併せて更正の低価格な酸化防止剤の適用が重要となります。

これは我々の仕事の範疇から超えてしまうのですが、加工の負荷をできるだけ減らすこと、要は潤滑剤のダメージを抑えるには加工の負荷が低い工程設計や最適な金型表面処理による加工負荷軽減などが重要になってきます。そこで全分野が集まって組み合わせることによって、一社だけでは対応できないような加工性能の向上や潤滑剤の寿命延長などが達成できるのではないかと考えています。

柳田 舟本さんのところでは、潤滑とコーティングという部分についてどういったことをされていますか。



舟本 表面処理に求められる特性は6個程ありますが、表面処理で比較的簡単に改善できるのは、耐摩耗性・耐酸化性・寸法精度・熱伝導率の辺りです。これに対して耐焼き付き性と低摩擦性は表面処理では改善が難しい。できないことはないのですが、費用が上がってしまったり開発に時間がかかってしまっただけでは意味がありません。

ここまでの話を聞いていて表面処理と潤滑剤でコラボレーションして焼き付きにくい潤滑剤をご提供いただきつつ、表面処理で形状をつけたりすれば、より相乗効果が出て、より金型寿命が延びるのではないかと思います。

共同研究の必要性和課題

柳田 先程から潤滑と金型を一緒にやった方が良くはないかといった話が出ておるとおり、企業間で協力してそうしたプロジェクトに取り組んでいく必要があると思います。黒田さんはその辺りの共同研究についてどのようにお考えですか。

黒田 部品の素材、金型の形状・材質などがある程度成熟して変動要素が少なくなったときにはそういったこともあり得ると思いますが、定まっていない状況では随時組み合わせの良いものを見つける作業になってしまうため、今のところ確定させるのは難しいでしょうね。

舟本 形が同じようになってくれば同じような性能で、コラボレーションして表面処理や潤滑剤を提案できると思いますが、金型は一品一様で使用方法も変わってきます。その都度新しいものを持っていくとなると長いスパンでの共同研究が必要となるため、なかなか難しいと思います。ただ、必要なことだという認識は持っています。

他のものに左右されない標準的な基準

高橋 業界を盛り立てるため、もしくは業界が日本対海外を考えたときに日本での標準化をした方が良くといったような話は産業界の中でも出ていない状況ですか。

黒田 出ていません。たぶん他社でも出ていないと思います。基本的には潤滑剤メーカー各社で「他よりも良いものを」というような開発の仕方になっているということです。なのでラボテストでも表面処理をせずにあえて焼き付かせるような厳しい条件で実験しています。それで良いものができれば、プラスアルファとして金型の表面処理が加わり、さらに良い結果になるだろうという考えでやっています。

北村 事の本質として、ひとつの標準的な条件や潤滑がどう晒されているか、金型も含めてどうだということに対する統一的な基準が必要だと思います。

たとえば圧延がすごく進んだのは油膜厚さ当量が決まり、どういいう油膜厚さができていたら同じような条件かが相似的

に扱えるようになったからです。

リング圧縮や据え込みくらいでは油膜が薄くならなくて焼き付かないだろうとは思いますが、リング圧縮でも膜厚を変えればそれなりの差がずっと出てきます。リング圧縮や材料ひとつを取っても圧縮特性や摩擦特性に何が効くかをきちっと理解できていないところもありますが、それでも加工ができるのであまり問題になっていません。

たとえば後方押し出し試験が厳しいというのは、圧力が高だけでなく表面積が広がることで間に挟まれた潤滑剤が薄くばされるからなので、それに相当するくらいの薄い潤滑膜を塗って何か別の試験をすればそれで少し統一感が出てきます。

ある状況の温度と潤滑剤の膜厚、圧力などというように割り切れたとしましょう。そうすると計算もできるようになりますし、計算しようという気にもなります。そこを整理して安定して他のものに左右されない標準的な基準をつくり、そこからそれよりも厳しい条件で良いか悪いか言わなければいけない。基準もはっきりしていないのに言ってもなかなか難しいのではないかと思います。

製品の安定性に貢献することが重要

柳田 会場の岐阜大学・王先生から、何かコメントはありますか。

王志剛 基本的にはベースをつくって、それに摩擦係数や個々の加工技術に適用しようとすると、たとえば摩擦法則があつてそこに当然油やボンデ、一液潤滑剤などを挟むと材料物性や、スピード・温度の依存性なども入ってきます。

まず圧力依存性を切り出して、そういったものがあるかないかということをして考えます。たとえば冷間鍛造の場合ですとボンデや一液潤滑剤などがありますが、圧力依存性はないんじゃないかと、そうすると摩擦係数という言葉で物事を制御できるということになります。そうしたら今度は、摩擦係数そのものは何を変えたら変化するか——といったように順番に整理をしていけば、少しずつクリアになっていくのではないかと思います。

最終的に我々がやっていることは「モノづくり」なので、いかに使った製品の安定性に貢献するかが重要となります。何十万ショット打っても劣化しないような金型、あるいは金型が少し劣化してしまったときにそれをカバーできるような潤滑剤を生み出せるようなコラボを是非お願いします。天田財団にサポートしていただきながら、みんなでチームを組んでより良いものを模索していけたら良いなと思っています。

柳田 ありがとうございます。

2019年下期～2020年上期の予定

1. 公共展への参加

Photonix 2019

会期：2019年12月4日～6日
場所：幕張メッセ

Laser Solution 2020

会期：2020年1月20日～22日
場所：仙台国際センター
※レーザー学会学術講演会に併設開催

OPIE'20 (レーザー EXPO)

会期：2020年4月22日～24日
場所：パシフィコ横浜

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

会期：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

第18回 塑性加工助成研究成果発表会

会期：2020年6月12日
場所：名古屋工業大学
※日本塑性加工学会 春季講演会と同時開催

3. 助成事業

技能検定(工場板金)受検手数料助成

募集期間：2019年10月1日～2020年2月29日
助成金額：1,350万円

国際交流助成(後期)

募集期間：2019年10月1日～12月20日
助成金額：1,800万円

役員・評議員一覧

役職	氏名	所属
理事長	岡本 満夫	(株)アマダホールディングス 代表取締役会長 兼 CEO
専務理事	佐藤 雅志	公益財団法人天田財団 専務理事
理事	青山 藤詞郎	慶應義塾 常任理事
	板谷 憲次	(一財)素形材センター 代表理事・副会長・専務理事 元経産省 大臣官房付き
	植田 憲一	ロシア科学アカデミー 外国人会員 電気通信大学 特任教授 大阪大学レーザーエネルギー学研究中心 特任教授
	帯川 利之	東京大学 名誉教授 東京電機大学 特別専任教授
	片山 聖二	大阪大学 名誉教授 元大阪大学接合科学研究所 所長
	千野 俊猛	電気通信大学 特任教授 元日刊工業新聞社 代表取締役社長
	中村 保	静岡大学 客員教授
	吉田 一也	東海大学 特任教授
	石橋 和男	元有限責任監査法人トーマツ 監事
重田 孝哉	(株)アマダホールディングス 常勤監査役	

役職	氏名	所属
評議員	阿部 敦茂	(株)アマダホールディングス 上席執行役員
	石川 孝司	名古屋大学 名誉教授 中部大学工学部 教授
	小原 貴	慶應義塾大学 名誉教授
	阪部 周二	京都大学化学研究所 教授
	篠塚 力	篠塚・野田法律事務所 弁護士
	清水 伸二	日本工業大学工業技術博物館 館長、客員教授
	堤 正臣	東京農工大学 名誉教授
	光石 衛	東京大学 教授、大学執行役・副学長
	吉田 総仁	広島大学 名誉教授 広島大学大学院工学研究科 特任教授
	渡辺 一弘	創価大学理工学部 教授

編集後記

今回の研究室訪問では、より助成者の要望に添った助成プログラムを構築することを念頭において、大型助成4件に加え、2人の女性研究者を訪問した。

天田財団ではこれまで助成事業への要望について助成者に意見をお聞きしながら、費用科目流用制限をなくし、一般研究助成においては助成期間を2年か3年か選択できるようにするとともに、平成29年度からは若手研究者養成の一助となるべく「若手研究者枠」を設定してきた。

訪問前は、女性であるがゆえに劣悪な研究環境下に置かれているなどの意見を想定していたが、実際には2人とも「女性」であることによるネガティブな意見がなく、ひとりの女性研究者に至っては「これまで女性であることの利点を活用して研究に邁進してきました」と話されていた。

私が国立大学に勤務していたときに「女性教員限定採用」について現職教員にヒアリングした際には、女性教員から「女

性限定採用で採用された教員は、一生その負い目が残ると思うので反対だ」との予想外の回答を得たが、今回訪問した女性研究者にはそのような考えがなく、「女性であること」と「研究者であること」の両方に生きがいを持って、研究生活を楽しんでおられると感じた。

また、ほかの訪問先においては助成期間について意見をお聞きした。これは継続助成の考えを念頭にヒアリングをしたわけだが、「ほかの助成団体は助成期間は1年で研究に取りかかるとすぐに報告を求められるのに比べ、天田財団では2年または3年の助成期間があるためありがたい、ましてや継続助成の考えには大いに期待したい」との回答があった。

このように、天田財団は研究者に寄り添った助成団体であることを日頃から目指しているため、研究者のみならず今後もしどしご意見を頂戴したいと思います。

(事務局 萩原)

今回の表紙

①

②

③

①「第3回 レーザプロセッシング助成研究成果発表会」で優秀な研究成果として天田財団・小原貴評議員(慶應義塾大学・名誉教授、写真中央)から表彰された岡山大学・岡本康寛准教授(左)、熊本大学・山崎倫昭教授(左から2人目)、京都大学・橋田昌樹准教授(右から2人目)、京都工芸繊維大学・飯塚高志准教授(右) / ②「各種レーザープロセッシングの現状と発展」をテーマにパネルディスカッションが初開催された / ③会場を移して行われた懇親会の風景