

# 異方性カスタム設計・AM(3Dプリンター)研究開発センターの概要と展望 - SIP 革新的設計生産技術「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」 -

田中敏宏、中野貴由、中本将嗣、井手拓哉、掛下知行

## 1. はじめに

2014年10月より最長5年間の計画で、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術（佐々木直哉プログラムディレクター）／「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証（研究開発代表者 掛下知行大阪大学大学院工学研究科教授）」が、採択された。本プロジェクトは、国立大学法人大阪大学、パナソニック株式会社、地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所（産技研）を中核メンバーとして採択された<sup>1)</sup>。共同参画機関は、大阪大学、パナソニック、産技研の中核メンバーに加え、大阪大学工学研究科からの再委託先として、帝人ナカシマメディカル株式会社、川崎重工業株式会社、有限会社北須磨動物病院、大阪府立大学（獣医学専攻）、京都大学（工学研究科・再生医科学研究所）、東京大学（整形外科）が拠点形成の牽引的な役割を担う。本採択拠点は、「革新的な技術研究開発をつなぐ異方性カスタム拠点を形成し新たなものづくりスタイルを構築する」をモットーに金属 Additive Manufacturing (AM) を含む超上流でのものづくりのイノベーションを探索するための活動をスタートしている。本報では、本拠点全体の研究開発概要とともに、拠点の司令塔および技術プラットフォームとしての役割を果たす異方性カスタム設計・AM (3Dプリンター) 研究開発センター（大阪大学大学院工学研究科に2014年12月1日に新設、以下AMセンターと呼ぶ）を紹介する。加えて、AMセンターを中核として進めている異方性カスタム材質・形状制御、異方性エンジン開発のためのコンセプトを紹介する。

## 2. 「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」 拠点の概要

SIPは、第107回総合科学技術会議（2013年3月1日）での安倍晋三内閣総理大臣の「世界を目指すためのイノベーションの必要性」の発言をきっかけに、日本再興戦略の閣議決定（2013年6月14日）に基づき、

総合科学技術・イノベーション会議の司令塔機能が強化された結果、創設された<sup>2)</sup>。SIPは、府省を超えたプログラムとして、社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力にとって重要な10テーマが選択され、来年度から新たに1テーマが加わる。それぞれにPD（プログラムディレクター）が公募で選ばれその強いリーダーシップのもとで各SIPプログラムが遂行されることになっている。その中の一つとして、革新的設計生産技術が創設され、内閣府の主導のもと、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）からの委託のもと、本事業が推進される。

SIP/革新的設計生産技術は、「デライトなものづくり」をキーワードに地域の企業や個人のアイデアやノウハウを活かし、時間的・地理的制約を打破する新たなものづくりスタイルを確立すること、さらに企業・個人ユーザーニーズに迅速に応える高付加価値な製品設計・製造を可能とし、産業・地域の競争力を強化することを目指している。こうしたミッションのもと、当拠点は、「異方性」、「カスタム化」を超上流概念とし、デライト最適化上流設計と最先端ものづくり技術を両輪に、高付加価値化のための材質・形状制御の確立、顧客起点の一気通貫による新ものづくり体制を地域実証することを目的にしている<sup>1)</sup>。

事業の骨格として、家電・生体・医療・福祉機器<sup>3,4)</sup>、冷熱デバイス<sup>5)</sup>、航空・エネルギー部品<sup>6)</sup>などの異方性カスタム化を牽引企業が先導的に研究開発するとともに地域実証を行う。さらに、その過程で大・中小企業、官学を織り交ぜた新市場獲得のための手法づくりと明確な出口事業の具現化を行い、金属を中心とした難加工性異方性カスタム新市場の構築に向け産学官を織り交ぜた取り組みを行っている（図1）。世界に対抗しうるものづくり体制は、基本性能の期待値越えはもとより、感性としてのデライト品質を向上させることが、これまでにない高付加価値製品を生み出すことになる。こうした価値品質は、「カスタム化設計」、「材質・形状の最適化設計・制御」により生み出され、「異

方性（特定の方向に非常に優れた機能を発現する性質）」の最適化が一つの出口機能の向上につながる可能性がある。

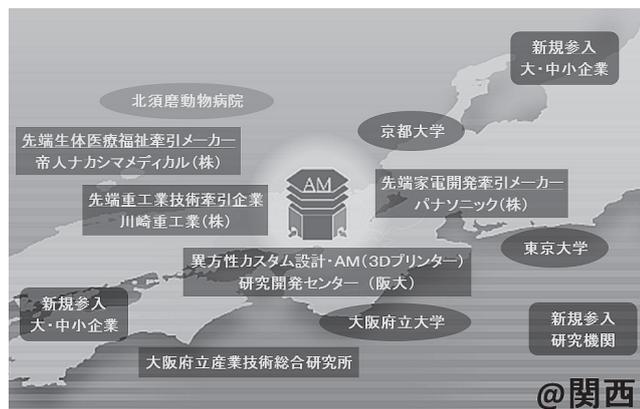


図1 本事業を牽引する関西地域を中心とした参画機関

### 3. 「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」 拠点における研究開発の概要

本拠点は関西地区における金属をはじめとする難加工材のものづくりの地域資源を活用し、世界に先駆けた異方性カスタム市場の開拓を行い、関西発の新ものづくり技術を日本、さらには世界に発信することを目標とする<sup>7)</sup>。こうした目標の達成に向け、研究・開発の優位性を持つ関西の参画機関による有機的な連携体制を基軸とし、①異方性カスタム最適化設計、②異方性カスタム材質形状制御、③異方性カスタム個電研究・開発、④異方性カスタム製品のデライトアセスメント、⑤異方性カスタム新市場の創成・新規参入支援、⑥イノベーションスタイル構築に向けた6つの取り組みを軸に革新的な技術開発と産官学体制の相乗効果により関西初のイノベーションスタイルの検証と進化し続けるものづくりスタイルの構築を図る（図2）。

大阪大学（工学研究科）は司令塔としてAMセンターが中核となり、各機関を密接につなぐ異方性カスタムものづくり拠点を実現する。

これまでのものづくり、とりわけ企業でのBtoCでの製品化は、企業設計者の価値判断に基づき、顧客の感じる製品価値が最大となるように予測・設計してきた。その結果、少品種・大量生産の下での製品化が進み、商品のコモディティー化が顕在化し、国際競争力を失ったものと分析している。一方で、顧客のニーズを顧客自らの設計により100%反映した製品は、“only one”製品であっても最終的な顧客の要求価値水準を満足しない。そのため本拠点では、顧客の持つ期待値が最大となるように、企業設計者の価値基準と顧客自

身の価値基準を最適化する協奏作業を行うことで、製品群に依存した最大のデライト価値を生み出す。顧客起点の価値観を、企業設計者がデライト価値を基に推測し、設計テンプレートに基づき、顧客の自分設計を実現する。図3にはこうして生み出されたカスタム家電の例を示す。

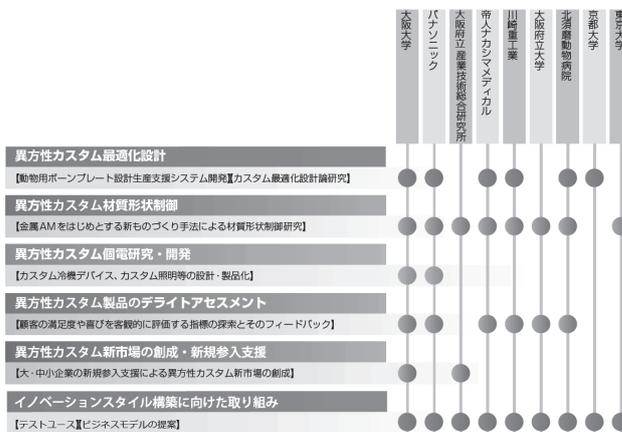


図2 実施項目と各機関の役割

加えて、デライトアセスメント<sup>®8,9,10)</sup>は、人間工学や感性工学の事例から、これまで困難であったデライトアセスメント<sup>®</sup>の客観化・定量化の実現により顧客のデライト度の向上とマスカスタマイゼーションの具現化を目指す。その結果として、上流での形状・材質まで考慮したものづくり設計図の実現が可能となり、最先端加工技術に加え、付加製造技術（Additive Manufacturing）がその一躍を担うものと期待している。

具体的なデライトアセスメント<sup>®</sup>としては、グランフロント大阪（パナソニックセンター）での異方性カスタム家電や北須磨動物病院での伴侶動物でのカスタム異方性インプラントの実証・追跡調査をはじめとするテストユースなどにより、デライトアセスメント<sup>®</sup>を実施し、製品デザインそのものともものづくりシステムの両者を進化させる。

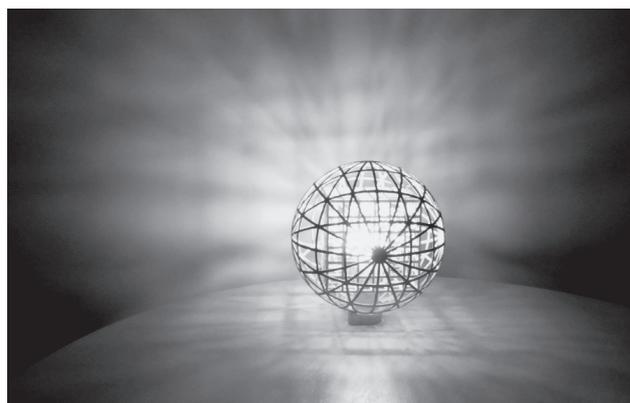


図3 デザインしたセードを使用したカスタム照明

進化するイノベーションを実現するには、多様な企業群の拠点への結集と本拠点の啓蒙活動が不可欠である。そのためには、大阪府立産業技術総合研究所が主導となり、AMセンターと連携しつつ、各種大・中小企業ならびに公的機関のカスタム市場参画支援<sup>11)</sup>、技術啓蒙、広報活動を行う。これにより新たなプレイヤーの参画、プレイヤー間の結合を促進することで、新たな価値創造のための異方性カスタム製品を次々と創発する、進化するプラットフォームの構築、さらには異方性カスタム新市場の創成を実現する。最終的には参画する企業群が有機的にクラスタ化し、進化するイノベーションスタイルの好例となることで、出口を見据えた一気通貫モデルによる淀みないものづくりスタイルを現実のものとする。

#### 4. 異方性カスタム設計・AM (3D プリンター) 研究開発センター

AMセンター<sup>12)</sup>は、三次元異方性製品のカスタム製造、ソフト・ハード一体化付加製造システム開発、人材交流、人材育成／教育を実践している。AMセンターは関西地域の産業的な強み（難加工材製造・加工産業、家電産業、生体医療福祉産業）を活かし、この領域における「知の交流拠点」としての役割を果たす。AMセンターが設置されている大阪大学吹田キャンパス内フロンティア研究棟2号館（図4）には、構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点センター（センター長 藤本慎司 大阪大学大学院工学研究科教授）が2008年に設置されており、国際的教育拠点の場として活動を行っている。加えて、同研究棟は産学連携の場としても活用されており、“Industry on Campus”を掲げ企業研究者が大学研究者とともに研究室を運営する共同研究講座が居を構えており、多様なバックグラウンドをもった研究者の交流が盛んに行われている。産官学連携による関西ものづくりの中核として、関西発の高付加価値ものづくり拠点形成を目指すプロジェクトの活動の場としては、最も相応しい立地条件であると考えている。このような環境を最大限利用し、当初からプロジェクトに参画する産官学合わせて9つの研究開発機関、さらにはプロジェクトへの新規参入企業のハブとしての機能を本AMセンターが担う。



図4 フロンティア研究棟2号館(F2棟)。2階に異方性カスタム設計・AM研究開発センターが設置。

AMセンターは、田中敏宏（センター長、同教授、同工学研究科長）、中野貴由（副センター長、同教授）、寺西正俊（招聘研究員、パナソニック株式会社生産技術本部生産技術開発センター生産技術研究所）、玉岡秀房（研究総括、特任研究員）、井手拓哉（副研究総括、特任研究員）、中本将嗣（特任助教）らが中心となり、招聘教員・研究員も含め総勢50名を超えるメンバーから構成されている。関西経済の活性化を目指すものとして、大阪大学大学院工学研究科からの全面的な支援を受けており、センターの敷地（延べ面積約270㎡）は同研究科からの無償提供によるものである。超上流設計思想と最適化設計技術を即座に具現化できる粉末床溶融（powder bed fusion）法による最先端の金属積層造形装置2台を備えており、電子ビームを熱源とした積層造形装置Q10（ARCAM社）、レーザー積層造形装置EOS M290（EOS社）を導入している（図5）。金属積層造形装置以外にもインクジェット方式のAGILISTA-3100（KEYENCE社）、熱溶解方式のCreatr XL（Leapfrog社）の2種類の樹脂積層造形装置のほか、各種加工装置とともに、設計、応力・熱解析、3次元データ処理等のソフトウェアを導入している。製造装置と同じ空間内に設計スペースを設けており、最適化設計・デライトアセスメント・製造の一体化ルームとして、顧客起点の一気通貫モデルの具現化のための検証室としての役割を果たす場も提供する。今年度は造形物の3次元解析を可能とする集束イオンビーム・走査電子顕微鏡加工観察装置（FIB-SEM）を新たに導入予定であり、造形物の3次元品質管理を目的とする。以上のようにものづくりを構成する設計－解析－製造－品質管理を備えたAMセンターはハード・ソフト両面から技術プラットフォーム

拠点として相応しいものとなっている。

AMセンターはプロジェクトの成果発信の場としても活用され、内閣府より公表された基本的取組方針「国民との科学・技術対話」の積極的実施に基づき、一般の方も参加できる双方向コミュニケーション活動による発信を積極的に行っている。今後も顔の見える形での成果の発信方法を模索しながら、関西のみならず、日本、さらには世界への情報発信の中心として活動を行っていく予定である。こうしたセンターの取り組み等、また、上記拠点の概要等はパンフレットとともにAMセンターが運営しているホームページ<sup>13)</sup>を通じて継続的に発信している。

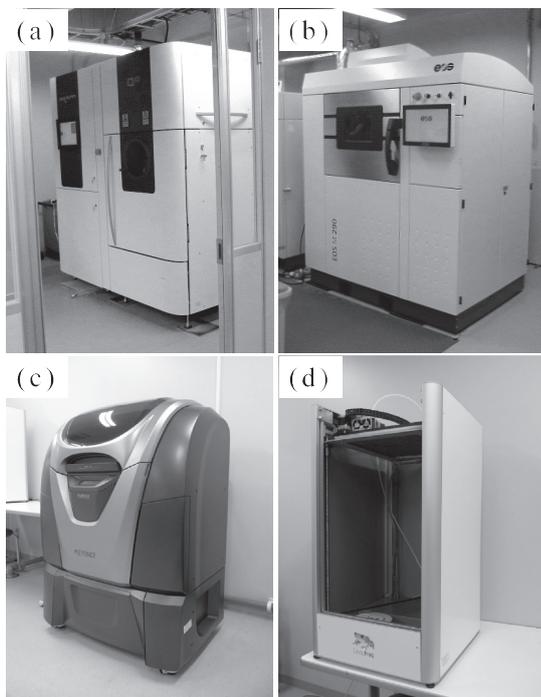


図5 金属粉末積層造形装置 (a) Q-10(ARCAM社), (b) EOS M290 (EOS社) と樹脂積層造形装置 (c) AGILISTA -3100 (KEYENCE社), (d) Creatr XL (Leapfrog社)

## 5. 異方性カスタム材質・形状制御

産業基盤である金属材料を中心とした難加工材の開発はものづくり革命の起爆剤となりうる。金属材料での高機能性発現は、新素材の創製やその組織制御によって達成されてきた。一般に、世の中に広く普及している材料は、多くの製品群ではできるだけ等方的な設計がなされているが、我々は、従来型の等方性ものづくりから脱却し、特定の方向に極めて優れた機能性を発現するような最適な「異方性」の追求が超上流での材料設計の一つの解となる可能性を仮説・検証しようとしている<sup>14)</sup>。

ものづくりに重要なリードタイム短縮や顧客起点の

一気通貫モデルの実現には、材質パラメータと形状パラメータの同時制御、すなわち内外形状と金属特有の組織由来の材質を上流で最適化し、下流まで淀みなく生産・製造することが必要とされる。通常、材質制御と形状制御は独立したプロセスであるため、それらの同時制御の実現には、最先端の生産・製造技術と材料科学とを融合させた新たなものづくりテクノロジーが必要である。図6に示すように、材質パラメータとしては、結晶構造、原子配列の規則性、結晶粒形状、結晶集合組織、結晶粒界の有無（単結晶・柱状晶・多結晶）、溶質濃度勾配、析出相分布などが挙げられる。とりわけ本拠点では、初期ターゲットとして設定した4つの異方性カスタム化製品群（カスタム冷熱デバイス製品、カスタム家電、伴侶動物用カスタムインプラント、材質・形状制御タービンブレード）への適用を視野に入れ、積層造形法を中心とした革新的設計生産技術の基礎から応用展開までの研究開発を推進している。加えて積層造形法や最先端の加工法は形状制御を可能とする。ここで、我々はデライト品質を突き詰めた際の究極の選択肢として、異方性のカスタム化に注目している。ペルチェ素子の熱電変換効率、カスタム家電における使い心地の良さ、ボンプレートの応力遮蔽の抑制と再骨折防止、タービンブレードの耐熱性向上など、感性から性能に至るまでの最適化設計・生産では、異方性の最適化が一つのデライトを導く解になる可能性を有している。

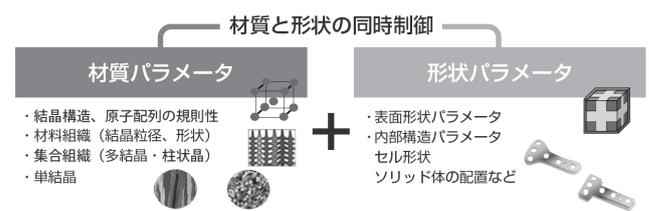


図6 材質と形状の同時制御による異方性カスタム化

近年急速な普及が進んでいる本拠点の目玉の一つである積層造形技術<sup>15)</sup>は、自由形状付加製造法の一つで、電子ビームやレーザービームを熱源に走査により金属粉末を選択的に溶融、凝固させ、それを積層することで、3次元構造体を作製する新技術である。従来の加工法では困難であった複雑形状の3次元構造体や多孔質体あるいは傾斜構造体がニアネットシェープもしくはネットシェープで作製可能となる。つまり、外形状や内部構造の異方化を誘導し、形状パラメータの最適

設計を可能とする。加えて、難加工性・高温活性の材料に対しても成形体を作製可能とすることから、従来の製品製造では利用できなかった金属、合金の製品製造手法として期待される。さらに、粉末床溶融法は形状だけでなく、熱エネルギー投入の方向性や熱勾配、熱流束の制御により材質を独立に制御することができることから、従来の加工法では困難とされてきた材質・形状の同時制御の具現化とともに異方性の任意付与も可能とする。すなわち、ユーザのニーズ、使用環境に適合させてカスタム化された材質・形状は、究極には最適な異方性設計にもなる可能性を秘め、完全等方では得られない異方性カスタム新市場の創成を導きうる。

デライト品質を追求する超上流設計思想として異方性機能化デザインに注目するには理由が有る。既存製品（人工物）のほとんどが、等方的な機能を発揮するように設計されてきたのに対し、自然界の創成物、例えば骨などの生体組織や植物などは極めて理にかなった異方性階層構造と、その結果としての異方性機能を発揮する 경우가ほとんどである。すなわち、等方性製品を上回るデライト品質を具備した高付加価値製品の創製には、自然界の創成物に学ぶべき生体模倣的な概念が重要になるものと期待され、ニーズに合わせてカスタム化された異方性度合の最適化がデライト品質獲得への鍵となりうる。

## 6. 異方性エンジン

本拠点は、超上流でのものづくりにおける最適化材料設計のためのマテリアルズ・インフォマティクスを含む「異方性エンジン」（図7）の開発に基づき、デライトな感性を引き出す「デライトエンジン」<sup>16)</sup>との協調によりデライトな異方性カスタム製品を具現化するという超上流設計思想を特徴とする。材質・形状同時制御は異方性カスタム化を最適解とし、初期ターゲットとして設定した4つの製品群にとどまらず、分野や用途を問わない「異方性エンジン」としての共通基盤化を目指している。積層造形法の一つである粉末床溶融法ではビームパワー、スキャンスピードなどのプロセスパラメータにより、結晶構造、材料組織、集合組織などのマイクロ組織、緻密さ、ポアの有無などのマクロ組織が形成され、造形体の特性が決定される。実際の造形では試行錯誤的に造形パラメータを選択し、期待する特性（材質、形状）を有する造形体を得

ているのが現状である。

「異方性エンジン」は、「デライトエンジン」とともに構想設計段階に組み込まれ、「デライトエンジン」により導き出されたデライトが発現される設計要素を満足する材質、形状を異方性も考慮して機能シミュレーションにより最適化する。加えて、その形状、組織を造り込むための造形パラメータ（製造レシピ）を造形パラメータ⇔材質シミュレーションにより導き出し、積層造形装置のCAMにフィードフォワードする機能を有する。上流設計段階で新しい価値創出のための処理ブロックを構成要素として加えることで、後戻りのない一気通貫の設計生産の革新的要素を生み出す。

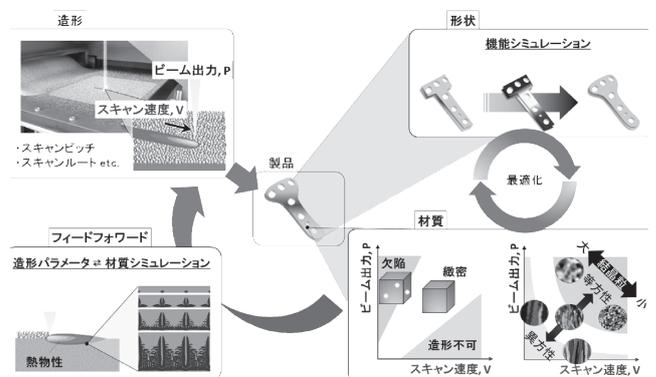


図7 異方性エンジンのコンセプト

## 7. おわりに

AMセンターは、本拠点において、今後もハード・ソフト両面から、産学官連携による研究開発推進のための仕組みづくりを模索し、参画機関が連携融合し、革新的設計と生産技術が一体化したものづくりシステムを構築するためのプラットフォームとして有効に機能することを目指している。拠点では持続的にイノベーションを生み出すシステム（進化するイノベーション<sup>17)</sup>）の構築を掲げており、そのプラットフォームそのものも日々進化させていく必要がある。そのため多様な技術を持つ大・中小企業や研究機関の新たな参画によるデライトな価値創造を実現すべく努力をしている。

## 謝辞

本稿で紹介したプロジェクトは、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「革新的設計生産技術」（管理法人：NEDO）により実施している。

<参考文献>

- 1) 掛下知行、田中敏宏、中野貴由、荒木秀樹、古寺雅晴、山口勝己、西田一人、寺西正俊：まてりあ，**54** (2015), 491-492.
- 2) 内閣府 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP：エスアイピー)，<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>.
- 3) 中島義雄、小泉諒太郎、井上貴之：まてりあ，**54** (2015), 507-508.
- 4) 笹井和美、大橋文人、佐々井浩志、谷浩行、秋吉秀保、古家優、林聡恵：まてりあ，**54** (2015), 509-510.
- 5) 前嶋聡、寺西正俊：まてりあ，**54** (2015), 505-506.
- 6) 野村嘉道、井頭賢一郎：まてりあ，**54** (2015), 511-512.
- 7) 掛下知行、田中敏宏、中野貴由：まてりあ，**54** (2015), 496-497.
- 8) 「デライトアセスメント」文字商標登録：商標第5777527号，2015年7月10日；ロゴ商標登録：商願2015-46048，2015年5月15日（登録査定2015年9月15日）.
- 9) 川口亜紀、小川哲史、水谷美香、寺西正俊：まてりあ，**54** (2015), 513-514.
- 10) 阿部真悟、村瀬剛、坂井孝司、石本卓也、中野貴由、吉川秀樹：まてりあ，**54** (2015), 515-516.
- 11) 古寺雅晴、山口勝己、南久、中本貴之：まてりあ，**54** (2015), 517-518.
- 12) 田中敏宏、中野貴由、中本将嗣、井手拓哉：まてりあ，**54** (2015), 498-499.
- 13) 「SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術」「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」～異方性カスタム設計・AM研究開発センター～，<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipk/>.
- 14) 中野貴由、石本卓也、萩原幸司、井手拓哉、中本将嗣、蘇垂拉図、孫世海、荒木秀樹、玉岡秀房：まてりあ，**54** (2015), 502-504.
- 15) 松下隆：まてりあ，**54** (2015), 493-495.
- 16) 荒井栄司、鈴木秀生、寺西正俊：まてりあ，**54** (2015), 500-501.
- 17) 荒木秀樹、中野貴由、石本卓也、萩原幸司、井手拓哉、中本将嗣、玉岡秀房：まてりあ，**54** (2015), 519-521.