

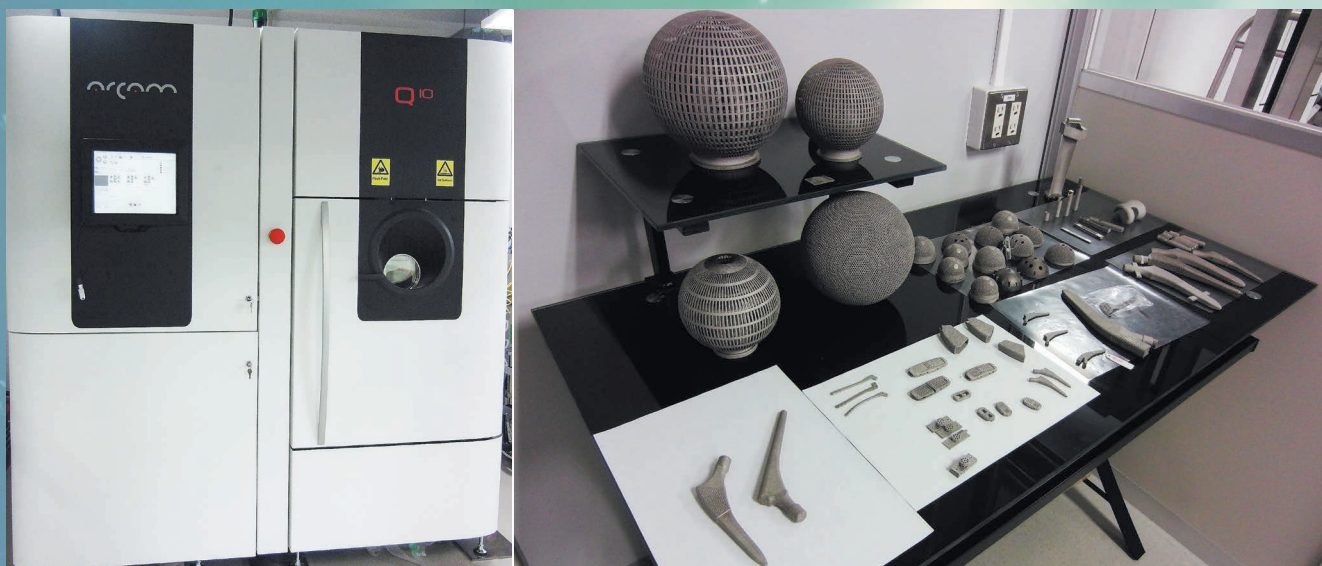


図 1 電子ビームによる金属 AM 装置と造形物

Gravure & Interview 精密工学の最前線

金属材料のサイエンスを駆使した カスタム Additive Manufacturing

大阪大学 異方性カスタム設計・AM 研究開発センター

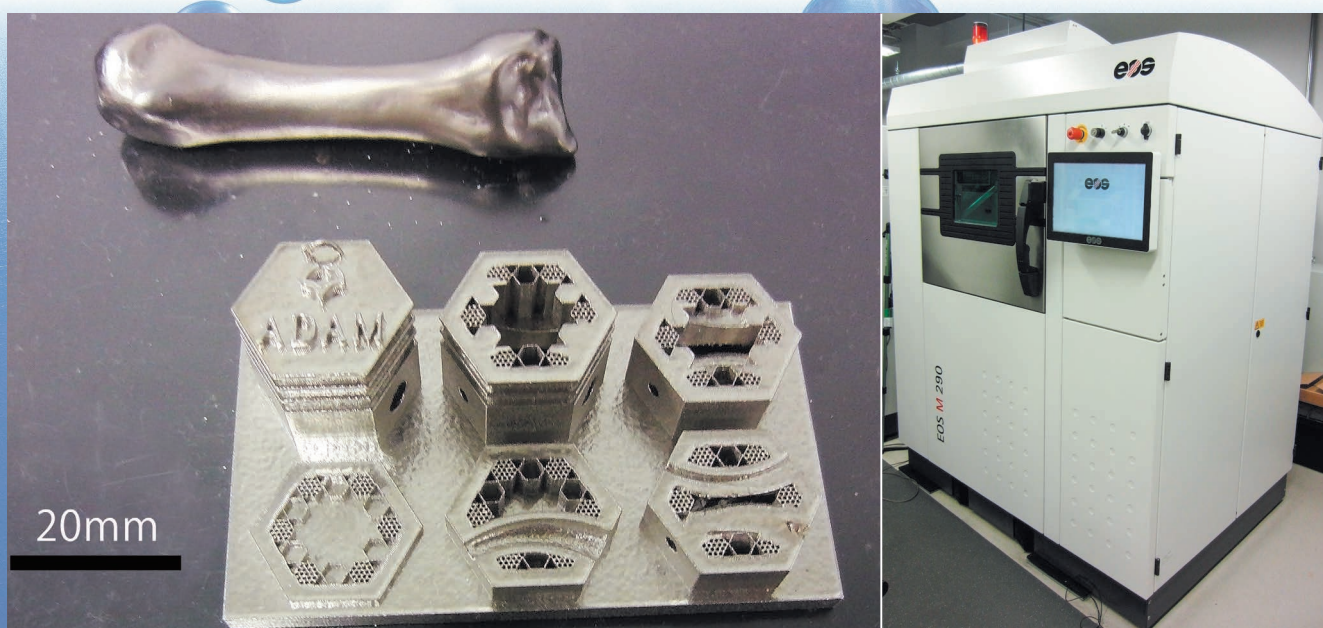


図 2 レーザービームによる金属 AM 装置と造形物

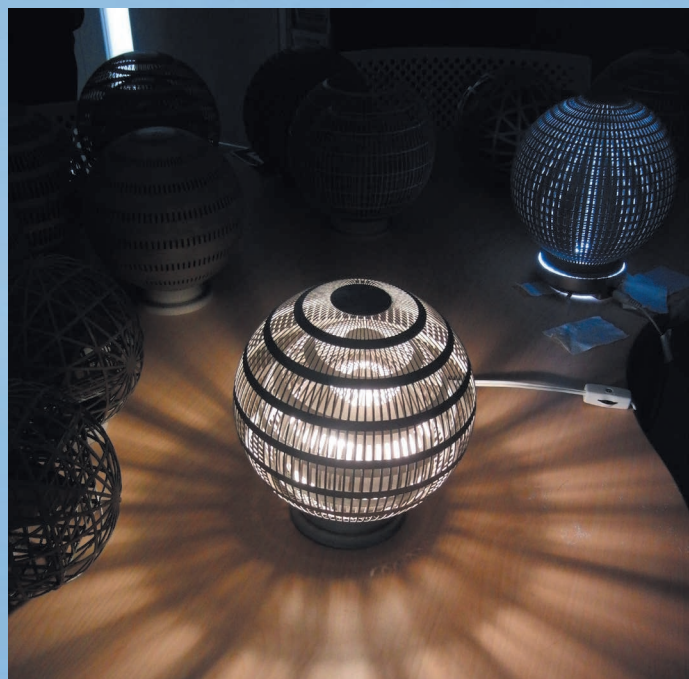


図3 AMによるカスタム設計シェード



図4 AMによる単結晶タービン翼

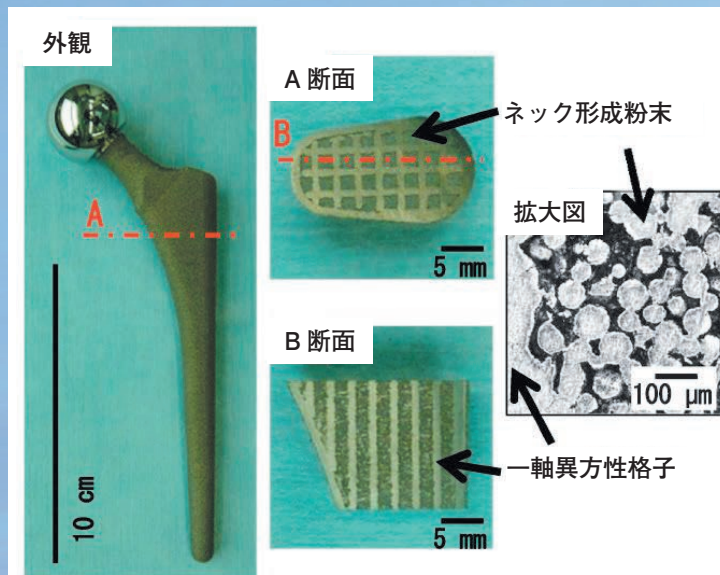


図5 AM+熱処理による一軸異方性・低弾性・高衝撃吸収性人工股関節

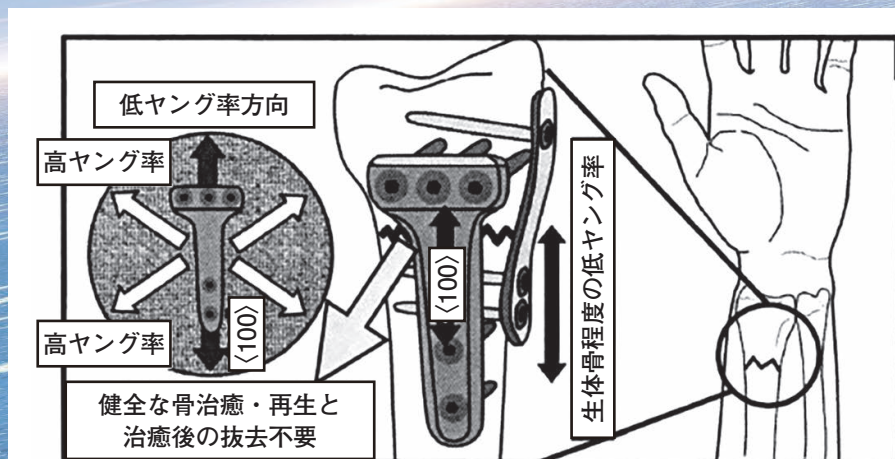
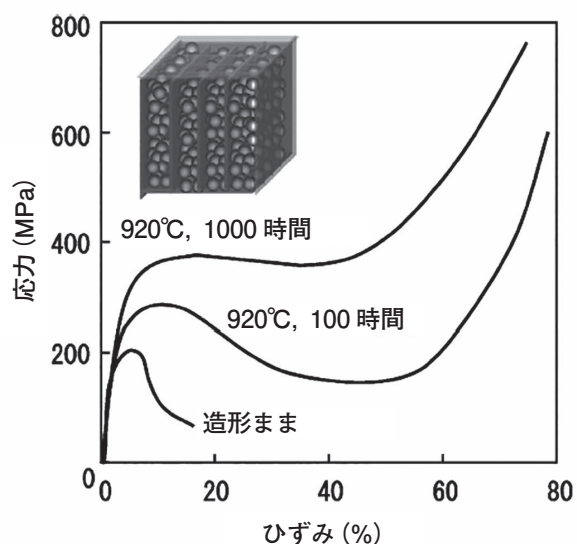
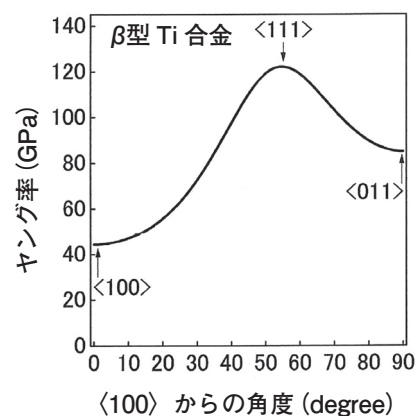


図6 AM+単結晶育成による低弾性異方性制御ボーンプレート



Q1 センターの概要と設立の経緯をお聞かせください。

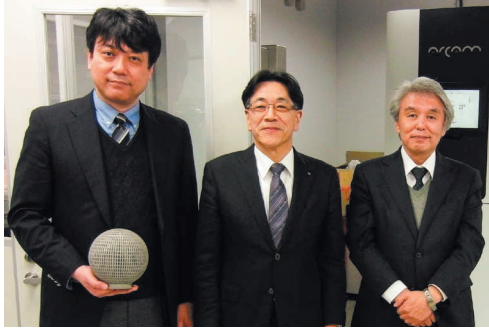
当プロジェクトは、SIP/革新的設計生産技術の一環である「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」のため、平成26～30(2014～2018)年度にかけて、関西発の経済活性化のために、産学官連携で採択された大型の国家プロジェクトです。その目的は、大阪大学に技術プラットフォーム拠点(当センター)を設置し、デライト最適化上流設計とAMをはじめとする各種製造技術を両輪にして、異方性カスタムによる高付加価値化を目指した材質・形状制御法を確立することです。その特徴として、上流から下流を一貫して行う新ものづくり体制を構築することが挙げられます。少し詳しく述べますと、デライトアセスメントによるユーザーニーズの満足度等の調査を最適化上流設計に反映させ、本事業の骨格となる生体福祉、カスタム個電、航空エネルギー部品の異方性カスタム製品を牽引企業が先導的に研究開発・実証します。その過程で大・中小企業・官学と連携を図り、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図り、拠点として関西発経済活性化を図ることとします。その結果として、顧客起点に立った設計・生産製造の一貫通貫モデルの実践を行うことになります。

Q2 センターと産官学との連携はどのように進められているのでしょうか。また、今後の展望についてお聞かせください。

当初は、大阪大(工・医)、大阪府立大(獣医)、京都大(工)、東京大(医)、パナソニック(株)、帝人ナカシマメディカル(株)、川崎重工業(株)、北須磨動物病院において具体的なテーマに基づいてカスタム新市場の創生を牽引しますが、規模を問わない新たな企業等の参画を促し、新たなイノベーションを誘起するための柔軟な体制となっています。また、カスタム新市場をターゲッ

金属材料のサイエンスを駆使した カスタムAdditive Manufacturing

大阪大学 異方性カスタム設計・AM 研究開発センター



研究開発責任者
掛下 知行 教授 (中)
(前 工学部長・工学研究科長)

センター長
田中 敏宏 教授 (右)
(工学部長・工学研究科長)

副センター長
中野 貴由 教授 (左)

インタビュー/
関西大学 **古城 直道**
理化学研究所 **山澤 建二**

口絵グラビア参照

トとして、「異方性」をキーワードに、必要とする機能を最大限発揮できる高付加価値製品を異方性カスタム最適設計によって設計し、AMを中心とした「材質・形状制御」を行うことで、製造のリードタイムの短縮を図ります。

SIP プロジェクトは平成30年度で終了ですが、センターはその後にも継続的に関西のAM拠点として中核的役割を担いたいと思っています。

Q3 センターで作製することができる造形物の特徴や活用分野についてお聞かせください。

金属材料をはじめとして、セラミックス、高分子を含むAMが可能です。センターには、電子ビームによるAM装置(図1)とレーザービームによるAM装置(図2)があります。電子ビームの方がレーザービームよりも出力が高いため、高融点合金にも適用可能です。また、スキャンスピードも電子ビームの方が速く(最大8000m/s)、予加熱が可能です。一方、レーザービームでは予加熱を行わないため、残留ひずみが多いものの、表面粗さおよび形状精度に優れます。電子ビームは高真空環境、レーザービームは不活性ガス置換によって、チタン合金などの反応性が高い材料でも溶融造形中の酸化を防ぐことができます。

センターでは特に形状制御と材質制御の同時制御を試みており、特に自然

界に学ぶような異方性の形状・構造による高付加価値材料の創成を行っています。

Q4 異方性カスタム設計の工業製品への応用についてお聞かせください。

自分設計によるカスタム照明(図3)や異方性制御したペルチェデバイスによる光通信、高温耐熱材料としてのタービンプレード(図4)、生体にフィットした低弾性(応力遮蔽抑制)のための金属インプラント(図5)などへの応用です。

これらのカスタム照明シェードは、Ti-6Al-4V合金を用いて電子ビームによって造形しており、ラティス構造のような従来の工法では実現不可能な多孔質構造や多重構造も形成することができます。構造だけではなく、金属材料そのものの材質(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)など)を制御することで、よりユーザのニーズや使用環境に合わせることができると考えています。

Q5 作製された金属製インプラントの特徴についてお聞かせください。

電子ビームAMでは、ほとんど酸素の混入なしに、患者の形状にフィットした人工関節システムとして応用することができます。さらに、内部構造や

組織を制御することにより応力遮蔽を低減し、骨溶解や骨質低下の発生しないカスタムインプラントが作製可能です。これは日本の特徴である小型の伴侶動物や人への応用も可能となります。

AM によるインプラントは、鋳造品と比較した場合、同等以上の性能を有します。しかし、チタン製インプラントを人工股関節として使用する場合、骨のヤング率 (10~30 GPa) に比べて Ti-6Al-4V 合金のヤング率は 110 GPa と非常に高いため、インプラント側で応力を遮ってしまい、周囲の骨に負荷がかからなくなります。すると、周囲の皮質骨が多孔化するとともに配向性が低下し、硬さが有意に低下します。このような力学機能の劣化は、最終的には骨折リスクの増加につながります。そのため、あらかじめインプラント表面に歩行時に加わる主応力方向の溝を作製することで、応力伝達を行う骨形成を促し、インプラントと周囲の骨を連結する部位の健全化を達成しています。

インプラント内部の異方性については、構造をパウダー／ソリッド複合体とすることで実現しています。異方性は、内部のソリッド部（一軸異方性格子）で担います。また、通常、AM では造形後に不要な粉末を取り除く必要がありますが、この残留粉末は適切な熱処理を加えることで、粉末間にネックを形成します。このネック形成によってインプラントに衝撃吸収性を付与しています（図 5）。

Q6 作製された金属製ボーンプレートの特徴についてお聞かせください。

β 型チタン合金は結晶方位異方性が強いですが、最も低弾性率の <100> 方位に結晶方位をそろえて低弾性率化を行うことに成功しています。 β 型チタン合金は Ti-6Al-4V 合金よりも低ヤング率 (80 GPa 程度) ですが、これを <100> 方位に単結晶化することで、40 GPa 程度 (生体骨と同程度) となります（図 6）。前腕橈骨（とうこつ）骨折

が非常に多い中、こうした部位で取り外し不要（応力遮蔽しない）骨類似のボーンプレートを作製することが可能になります。

Q7 金属 AM の今後の課題および展望について、お考えをお聞かせください。

金属材料全般において既に形状の制御はかなり高精度に出来上がるようになってきました。組織制御には多くの課題があり、組織の三次元化や配向化（単結晶化）、さらには等軸化など研究開発すべき点は多いです。特に熔融池の温度分布に基づくシミュレーションは不可欠で、組織予測の後に AM を行うという手順を最終的には目標にしています。熔融池の液固界面の制御をシミュレーションで高精度に予測することができれば、金属 AM は普及すると思っています。試行錯誤で行っているうちはなかなか普及が難しいです。

課題としては、装置の普及が一番大きいと思います。現状の高性能な装置は 1 億円以上しますし、その維持費にも費用がかかります。今後、多く普及して装置、さらには原料粉末の価格が低下するとともに、最適な条件を導くためのサイエンスの構築が不可欠になると思います。

ヨーロッパでは、装置メーカーと粉末メーカーとの連携が広く行われています。また、電子ビームによる AM 装置を唯一製造するスウェーデンの Arcam 社がアメリカ GE 社の傘下に入りました。このことが装置の普及につながるかもしれません。また、今後は日本でも高度な電子線の制御技術と、高品質な粉末の開発が連携して進むことが望まれます。

一方、AM で作製された部品の評価は三次元で行う必要があります。マスコプロダクト製品ではないものをターゲットにしているので、これまでの品質管理の方法とは異なってきます。同じものを二つ作っても内部のポアなどの欠陥などがまったく同じ保証はできませんので、非破壊検査が必須になります。CT などがその一例ですが、品質

保証についても考える必要がありますし、将来はマスカスタマイゼーションの品質管理にも対応していく必要があります。組織制御も含めて考えますと、設計段階から構造・形状だけではなく組織を部位ごとに最適化する、あるいは傾斜化する必要があります。現在の AM では、こうした組織制御を実現する CAM がないことも課題です。

Q8 材料工学分野の研究者は、金属 AM に関してこういった課題に取り組んでおられるのでしょうか。

装置が非常に高価であるため限定的ではありますが、材料工学分野での研究熱が高まっています。大学では金属材料の特性が大きく変化する組織制御にターゲットを絞った研究が多く、会社では形状制御を目指した研究が多いと思われます。デザインを含む形状設計やシミュレーション技術も重要です。IoT と結びつけて考える必要がありますので、材料工学分野だけではなく、機械系、情報系、医歯薬系など他分野との連携で進めていくべき分野であると思います。

また、金属材料といってもさまざまですので、造形を成功させるべきパラメータの探索や形状のみならず材質まで制御することは並大抵の努力ではできない部分もあります。こうした部分を経験にだけ頼るのではなく、サイエンスとして構築することが苦勞する点であり、今後もその実現のために邁進します。

Q9 精密工学会および AM 技術の開発や改良に取り組む会員へのコメントや要望があればお聞かせください。

材料工学研究者とも連携を取り合っ、サイエンスの構築と応用の両面から日本の AM の地位向上を目指していければと思います。こうした中でぜひ AM センターを活用してほしいと思います。