

2024年 9月 11日

15:20 ~ 工学研究科からの発表

3D プリンティングの革新&拠点化で「近未来型超カスタム社会」を実現へ

-医療デバイス、培養肉、航空宇宙材料、洋上風車など 3DP 研究の最前線-

大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻（工学研究科未来戦略室長）中野貴由 教授
（専門領域: 金属 AM 材料学, 構造・機能材料, 生体物性, 生体材料など）



「大阪大=3DP」のブランド化

大阪大では工学研究科を中心に、国際的に卓越した独自の3D プリンティング技術のブランド化推進。

世界的にも阪大でもホットな分野

阪大工の TOP10%論文の多くが 3DP 分野。3DP ならではのサイエンス・テクノロジーに注目。

多彩な可能性！既に社会実装も。

骨質医療対応デバイスの臨床応用や培養肉の万博出展。航空宇宙材料や機能性触媒など研究が進む。

工学研究科では、国際的に卓越した「3DP (3D プリンティング) 技術」を数多く保有しています。さらに2024年4月からは、大阪大学の取り組みとして、工学研究科がヘッドクォーターとなり、「大阪大=3DP」と誰もが認めるブランドへとさらに発展させるための 3DPTec 統合拠点の構築にむけた事業をスタートしました。

今回の発表では、産業科学研究所、接合科学研究所、医学部附属病院などと連携した 3DPTec 統合拠点への取組とともに、3DP による骨医療デバイスへの応用や培養肉、航空・宇宙材料、洋上風車などの社会実装に向けた活動、さらには金属 3DP でしかできない未発表の研究開発動向を含む、最新の成果をご紹介します。

工学研究科を中心とした3DP 研究の拠点化は、「欲しいモノ」を瞬時に手に入れられる『近未来型超カスタム社会』の実現をめざすための事業です。「超カスタム」とは、単なるプロダクトのカスタム化を指すのではなく、空間を超えた『ゼロ距離』で、『欲しいモノ』を即座に入手可能な『夢の社会の実現』であり、3DP 技術が集積する大阪大学だからこそその最先端事業です。

工学研究科は、「医療用デバイス」、「未来食・人工臓器」、「航空・宇宙部品」、「大型洋上風車」、「機能性触媒」など、「原子・分子」のナノの世界から「大型構造物」などのマクロの世界まで、多彩な 3DP 技術の可能性をひらき、高付加価値化研究・開発で世界を牽引していきます。

今回公表するトピックスとして、(1)世界初・日本発の骨質医療に基づく 3DP 製高強度配向化骨誘導脊椎スパーサーの臨床応用と動作機構の解明、(2)金属 3DP による人工界面を含む多階層の界面導入による航空・宇宙材料の最先端開発と高強度化、(3)バイオ 3DP による霜降りステーキの最新製造技術、(4)オールジャパン体制で 3DP の学術・技術の構築を行い、日本の製造業強化を図ることを目的とした組織として、(一社)日本 AM 学会設立※1に向けた準備状況と基本コンセプトの公表、を中心に最新情報を紹介いたします。

今回の発表を経て、報道機関のみならず、今後も大きな発展、社会へのインパクトが見込める 3DP に関する取組に興味・関心を寄せていただくきっかけ、『大阪大=3DP』としてこれからの工学研究科にご期待いただくきっかけにさせていただきたく幸いです。

※1 2022年4月より、AM 研究会として活動。企業 130 社以上、大学・研究所・官 50 機関以上が参画しており、2025年4月から未来型学会として、(一社)日本 AM 学会として生まれ変わる。AM は Additive Manufacturing を意味し、3DP と同義。

本日の説明資料（初公表の部分）

(0)「大阪大学の取り組みとして、工学研究科がヘッドクォーターとなり、「大阪大＝3DP」と誰もが認めるブランドへとさらに発展させるための3DPTec 統合拠点の構築にむけた事業 のスタート」について

(A)大阪大学大学院工学研究科は、今年度より 4 年間の計画で、「OUマスタープラン実現加速事業」として大政健史工学研究科長の下、中野貴由工学研究科未来戦略室長の指揮で“近未来型超カスタム社会の実現に向けた阪大 3DPTec 統合拠点を構築”することになりました。

★本年度より、2027年度を目指して、工学研究科を中心に、本学が国内外で『欲しいモノを欲しい時に欲しい場所』で入手可能な近未来型のゼロ距離社会の実現を牽引可能な体制を築きます。

★「大阪大学＝3DP」と言われる、ブランディングを行います。

(1)近未来における生きがいを育む豊かな社会を創造するためには、多様化した個々の価値観に対応する近未来型社会の創成が不可欠です。

(2)工学研究科は、幾つかの国際的に卓越した「3DP(3D プリンティング)技術」を保有するとともに、3DP 技術との融合により無限大に広がる可能性を秘めた独自シーズが数多く存在します。

(3)3DP を束ねるヘッドクォーターは、工学研究科が中心となり、「阪大 3DPTec(3DP テクノロジー)統合センター(新設:仮称)」が担うことで、国際的に卓越した 3DP 研究開発のためのハブ機能と国際ネットワーク機能を果たします。

(4)「大阪大学といえば3DP」とブランド化するために、大阪大学における 3DP 協調領域に横串を通すために、工学研究科全体の専攻、産業科学研究所、接合科学研究所、医学部附属病院などのほか、文系部局との文理融合、さらには国際的なオープンイノベーション体制を築きます。

(4)2027年度後半を目途に、「欲しいモノ」を瞬時に手に入れられる『近未来型カスタム社会』の実現に関わるほとんどの研究開発を本学が国内外で牽引可能とする体制を築きます。

(5)工学研究科は、ナノの世界である「原子・分子」からマクロの世界での「大型構造物」まで、多彩な 3DP 技術の可能性を持つ「医療用デバイス」、「未来食・人工臓器」、「航空・宇宙部品」、「大型洋上風車」など、3DPTec 革命のための世界的シーズを保有しています。

(6)「外見」だけの 3DP プロダクト製造ではなく、機能発現のために「中身まで本物」となる高付加価値化研究・開発で世界を牽引しています。

(7)最先端 3DPTec による骨 3D デバイス、培養肉などは、本研究科で一部実用化しており、一方、低炭素社会実現に向けた「低炭素化航空部品、機能性触媒、洋上風車」などは今後の重点研究分野として位置づけます。

(8)大阪大学内のシーズの結集と部局を超えた連携・国際化により、本事業終了時には、3DP カスタム社会実現に向けた世界トップレベル研究拠点へと発展させ、社会的インパクトを生み出すと同時に、本学内での自立化システムが完成します。

(9)新学問として、卓越 3DPTec 学(3DP サイエンス・3DP テクノロジー・3DP ビジネス)創成を通じて、研究力強化、国際情報発信、産学官連携推進による早期社会実装、知的財産獲得・ライセンス化など、知・人材・資金の好循環を生み出す『OU(Osaka University)エコシステムサイクル』を構築します。

(10)具体的には、2024 年度中に 5 つ(①~⑤)のプロジェクトの立ち上げと 2025 年度(⑥)から順次プロジェクトの追加を行います。

(①)【3DP 医療分野】3DP 骨質医療対応デバイス開発プロジェクト

(②)【3DP 未来食分野】3DP 未来食プロジェクト

(③)【3DP 航空・宇宙分野】3DP 低炭素化航空エンジンプロジェクト

(④)【3DP 機能性触媒分野】3DP 機能性触媒開発プロジェクト

(⑤)【3DP オンサイトファブリケーション分野】3DP ゼロ距離水上エコ発電プロジェクト

(⑥)【文理融合分野(2025 年度開始予定)】3DP×アートプロジェクト

(11)阪大 3DPTec 統合センターは 3DP に関する国際ネットワーク・連携を推進する司令塔として、ヨーロッパ、アメリカ、アジアなどと国際共同研究・国際交流を推進します。

(12)2024 年 9 月 3 日に、ヨーロッパの 3DP 拠点である、ミュンヘン工科大学、デンマーク工科大学の3DP 関連センターと今年度内に国際研究協定(MOU)を締結することをデンマークにて合意しました。

(13)2025 年度には、吹田キャンパス工学研究科内に阪大 3DPTec 統合センターの建物を増築する計画が進んでいます(合計約600m²)。

本事業が切り開く近未来型超カスタム社会



(1)「世界初・日本発の骨質医療に基づく 3DP 製高強度配向化骨誘導脊椎スペーサーの臨床応用と動作機構の解明」

★3DP を駆使して、自家骨を必要としない骨基質配向性(コラーゲンとアパタイトの特定方向への優先的な配列とその配列度合い)を健全化する世界初・日本発の新規椎間スペーサーを開発
★2024年8月末時点で、3500個を超える新規椎間スペーサーが患者さんに埋入され、TBM (Trabecular Bone Modeling: 海綿骨造成)による強固な骨結合が認められています。

(1)脊椎疾患は難疾病の一つであり脊髄や神経に由来する疼痛や麻痺が多発し、受傷後は寝たきり状態になる場合も多い病気です。

(2)従来の椎間固定術は、スペーサー内部に自家骨を充填・移植する自家骨移植に頼った骨癒合であり、椎間スペーサー／骨間の固定が不十分な場合には、スペーサー移動・脱転することによる脊椎軸異常や神経圧迫が深刻な臨床課題となっています。

(3)現状の課題を克服するため、早期離床と QOL(生活の質)向上を可能とする新規椎間スペーサーの開発が臨床現場から求められていました。

(4)本開発では、自家骨を必要とせず骨基質配向性(骨質指標の一つ)を健全化する世界初・日本発新規 3DP 製椎間スペーサーの開発に成功・臨床応用し、TBM(Trabecular Bone Modeling: 海綿骨造成)による強固な骨結合をこの度認めました。

(5)本製品開発は、中野貴由教授が培ってきた原子・分子レベルでの骨基質配向性に関する系統的研究と3DP 技術をもとに、帝人ナカシマメディカル株式会社の持つ3DP 製品の生産・品質保証技術による産学連携によるものです。

(6)骨基質配向性は、骨の主成分であるコラーゲン線維とアパタイト結晶の 3次元優先配向方位とその配向度合いです。

(7)中野教授は、材料科学的手法を駆使し、世界に先駆けて骨基質配向性が骨部位に強く依存することを見出すとともに、骨再生部の骨強度は、既存の骨密度指標よりも骨基質配向性によって強く支配されることを発見しました。

(8)最先端の骨再生手法を駆使しても、骨基質配向性の回復は、オステオサイト(応力感受細胞)の応力感受が正しく行われなため、骨密度の回復に対し著しく遅れ、健全な骨基質再生には、長期間が必要となります。

(9)新規の椎間スペーサーは、健全な椎体では頭尾軸に沿って骨基質配向性を示し、その機能を模倣するために、(A)非荷重下での骨形成細胞(骨芽細胞)の配列化、(B)コラーゲンをトラップする接着斑の局在化、(C)コラーゲン線維へのアパタイト結晶の自己組織化による骨基質の配向化、これらの発現を促すための階層型一方向配向溝構造として、“Honeycomb Tree Structure® (HTS)”を考案しました。

(10)HTS は、埋入初期には非荷重下でさえも、骨芽細胞を伸展・配向化誘導し、かつ、骨髓液の流動性を制御することによって、骨再生中長期においては健全な骨質維持が可能となる骨基質配向化を促進する仕組みを持ちます。

(11)本新規スペーサーの特長は、(A)自家骨の採取充填が不要（自家骨吸収期間、無配向骨基質の形成・吸収期間を省略可能）、(B)金属積層造形法を駆使したチタン合金による日本初の3DPによる一体造形製品、です。

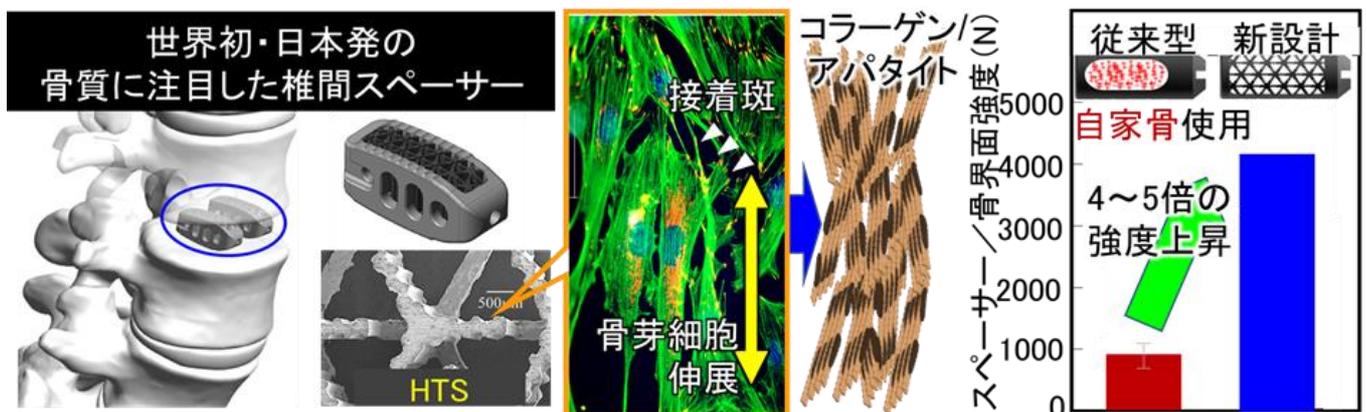
(12)こうした健全な骨配向性に対応した、配向化骨基質を誘導可能とする新たなデバイスのデザインコンセプトと HTS の機能特性が実証され、世界初の骨質治療用椎間スペーサーの原理が構築されました。

(13)2021年4月に薬事承認を取得し、2021年7月より5拠点病院において初期臨床を実施、良好な骨癒合性を確認し、2022年9月より大規模臨床応用を開始し、日本発の骨基質配向性の早期健全化を可能とする世界初の臨床応用デバイスとなり、既に3500個以上の椎間スペーサーが患者さんへ埋入されています。

(14)レントゲン撮影やCT画像により、早い患者さんでは術後1か月付近から強固な骨結合の証拠として考えられるTBM(Trabecular Bone Modeling: 海綿骨造成)が認められ、これまで大きな不具合は認められておらず、良好な治療成績が認められています。

(15)従来の自家骨埋入型の脊椎ケージに比べて、骨基質配向性(一つの骨質指標)の再生期間が3分の1程度に短縮されることが期待されます。

(16)これまでの骨密度・骨量を中心とした骨医療(骨密度・骨量医療)は、本新規スペーサーの開発により、骨基質配向性を含む骨質医療へと大変革される可能性が期待されます。



HTS の配向化溝に沿って、無負荷状態にて骨芽細胞を伸展し、接着斑でコラーゲンを一軸配向化制御、さらにはアパタイト c 軸(強固な方向)を同一方向に配列させ、健全な椎体骨と類似の骨基質配向性を導く結果、従来型椎間スペーサーに比べ自家骨無しで、4~5 倍の強化と早期骨癒合を達成することができます。

(2)「金属 3DP による人工界面を含む多階層の界面導入による航空・宇宙材料の最先端開発と高強度化」

★金属3DP により、力学特性をナノ～マクロまで人為的にカスタム化することで、使用する熱源（レーザでは $100\mu\text{m}\phi$ ）よりも大きいサイズの空間による界面である“3DP 人工界面”と小さいサイズの“3DP 自己組織化界面”を形成することに成功しました。

★航空宇宙材料として期待されるニッケル基超合金において、3DP 界面の階層的な組み合わせを人為的に制御することで高強度化を達成しました。

(1) 航空宇宙材料の耐熱温度・高温強度の増大は、低炭素社会の実現に向けて、3DP 分野が取り組むべき最重要課題の 1 つであり、革新的な耐熱材料の創製には、従来の延長線上にない新たな概念に基づいた革新的な材料創出が求められます。

(2) 自然界の創成物が発揮する高度な力学機能は、ナノ～メソ～マクロにわたる異方的階層構造とその界面によって支配されます。

(3) 階層的な 3D 界面により、大阪大学工学研究科3DP センター（異方性カスタム設計・AM 研究開発センター）は、強度に対する「界面」の寄与の重要性を顕示しています。今回、特殊な3DP 界面（3DP 人工界面と 3DP 自己組織化界面）を、金属3DP 手法を駆使することで、航空宇宙材料として期待されるニッケル基超合金の高強度化に成功しました。

(4) これまで金属 3D プリンティングは、複雑な外・内部形状を与えることを特長とした最先端プロセスであるものの、熱源サイズが 0.1 mm 程度と大きいことから、原子レベルでの材質制御は不可能とされてきました。

(5) 3DP センターでは、その常識を覆し、3D プリンティングによりニッケル基超合金の力学機能化を、熱源サイズをはるかに下回るナノレベルで達成しました。

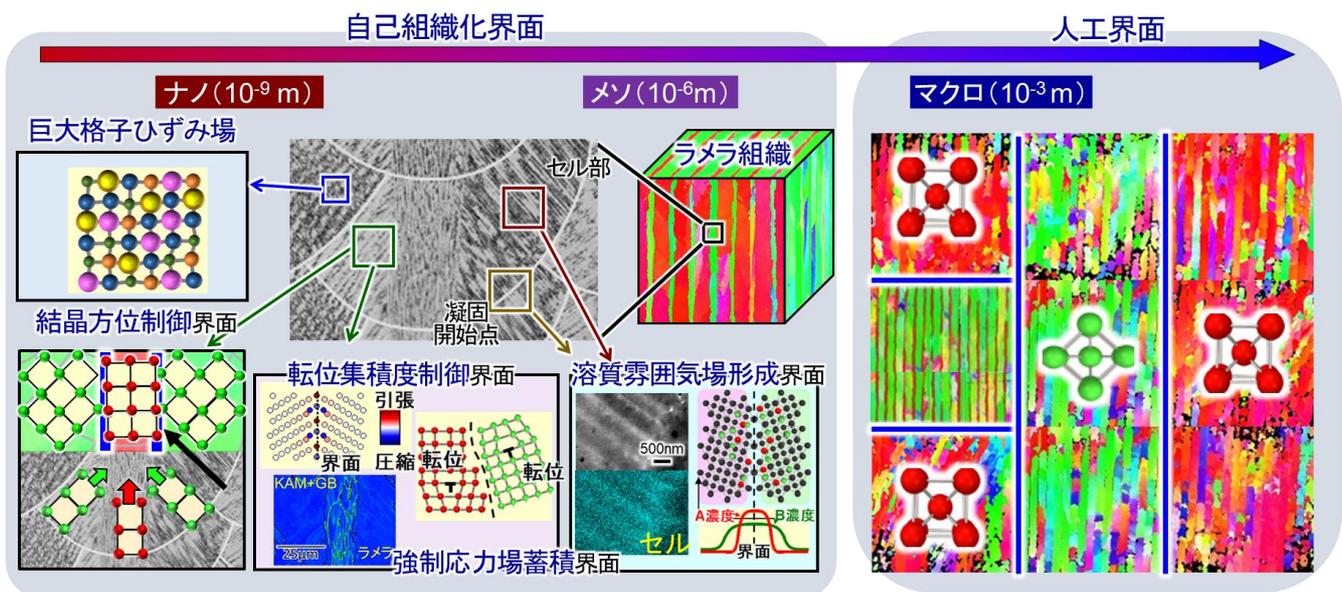
(6) 具体的には、レーザ熱源の scan strategy（熱源走査戦略）制御により、温度分布を変化させることで、3DP 自己組織化界面の創製に成功し、3DP 界面における強度を決定する変形挙動を変化させることに成功しました。

(7) 引張荷重方位に依存した顕著な強度異方性を発現させることで、結果として 10% を超える破断伸びを維持しつつ最大応力 $1,300\text{ MPa}$ に迫る高強度を示すことを見出しました。

(8) 特異な高強度の原因は、レーザを熱源とする 3DP 特有の $\sim 10^7\text{ }^\circ\text{C/s}$ の超急凝固に由来するものと考えられます。

(9) 今後も局所溶融／凝固特有の3DP 特異界面での変形媒体（転位や双晶など）の作用機序を解明することで、「3DP 界面」に力学機能化の直接的な「支配因子」としての価値を与え、力学機能をカスタムするという、革新的な材料設計指針を確立することを目指しています。

3DP特異界面



(3)「霜降り培養肉の量産化に向けたバイオ 3DP 自動生産装置の開発」

★大阪大学が中心となって設立された「培養肉未来創造コンソーシアム」では、阪大オリジナルの3D プリント金太郎あめ技術によるテーラーメイド霜降り培養肉の社会実装を目的として、完全オリジナルのバイオ3DP 自動生産装置のプロトタイプを開発しました。

★本装置は、96本の筋または脂肪前駆ファイバーを4分半で作製することが可能です。約2時間で5cm四方の培養肉に必要なファイバーを作製することができます。

★別ユニットとして開発した「自動灌流培養装置」、現在開発中の「自動成形装置」と本3DPを組み合わせることで、半自動的な培養肉の生産が期待されます。

(1)近年の人口増加や環境汚染により、動物性タンパク質が近い将来足りなくなる「タンパク質クライシス」が起こると予想されています。しかし、畜産を増やすことは、森林伐採やメタンガス排出増加など昨今のSDGsの観点から望ましくないのが現状です。

(2)そのため、畜産によらない肉の新しい作製方法として、動物の細胞を培養して肉組織を作製する培養肉が世界的に注目されています。

(3)これまで報告されている培養肉のほとんどは筋線維のみで構成されるミンチ様の肉であり、肉の複雑な組織構造を再現することは困難でした。

(4)また、現在シンガポールで販売されている培養肉は、植物性の代替肉に筋肉や脂肪細胞ではない線維芽細胞の溶解液を混ぜているだけで、筋肉や脂肪の組織構造は再現されていません。

(5)松崎教授らの研究グループは、筋、脂肪、血管という異なる線維組織を3Dプリントで作製し、

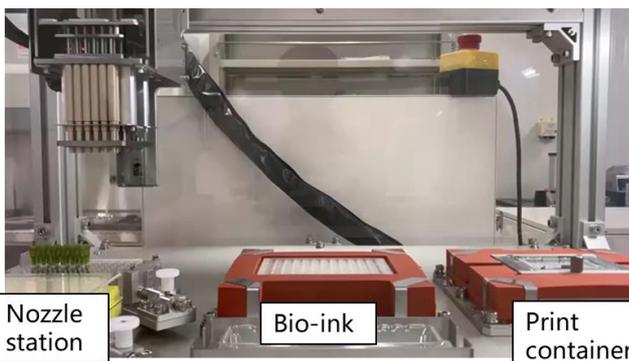
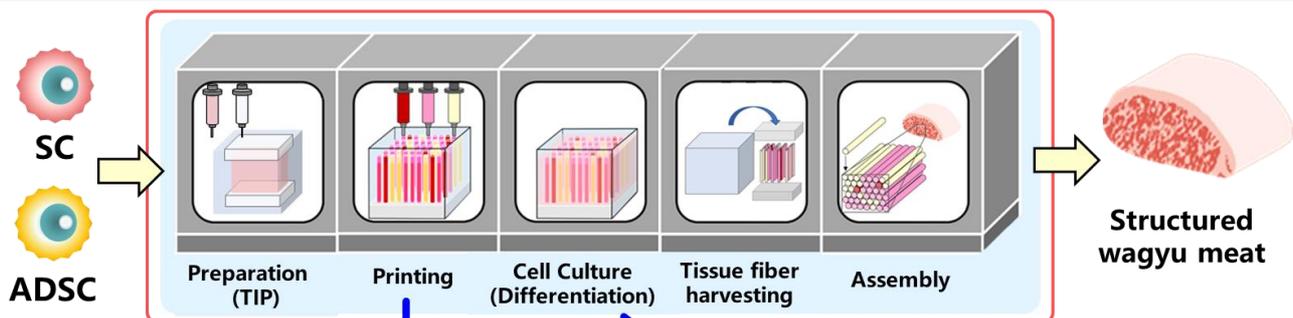
それを金太郎あめのように統合して肉の複雑な構造を再現する「3Dプリント金太郎あめ技術」を開発しました。これにより、肉の複雑な組織構造をテーラーメイドで構築できるようになりました。

(6)本技術の社会実装を目指して、大阪大学が中心となり、伊藤ハム米久、TOPPAN、島津製作所、シグマクシスで培養肉未来創造コンソーシアムを2023年3月29日に設立しました。現在は細胞の大量培養技術を有する藤森工業が参画し、さらに他の企業も参画することで合計14社のコンソーシアムとなりました。

(7)本コンソーシアムでは、3Dプリント金太郎あめ技術によるテーラーメイド霜降り培養肉の大量生産を目的として、完全オリジナルのバイオ3DP自動生産装置のプロトタイプを開発しました。本装置は、約2時間で5cm四方の培養肉に必要な2500本のファイバーを作製することができます。

(8)さらに、別ユニットとして開発した「自動灌流培養装置」、現在開発中の「自動成形装置」と本3DPを組み合わせた「培養肉自動生産装置:ミートメーカー」を完成できれば、半自動的な培養肉の生産が期待されます。

自動製造装置：ミートメーカー！



Prototype of printing machine

12 nozzles print fibers within 10 minutes for 96 fibers



Prototype of Flow system for fibers differentiation and maturation

(4) オールジャパン体制の3DP 組織としての、(一社)日本 AM 学会設立に向けた準備状況と基本コンセプトの公表

★大阪大学を中心に 2022 年 4 月に AM 研究会を設立・活動をベースに、2025 年 4 月よりオールジャパン体制で、(一社)日本 AM 学会を設立。

★参加企業約 130 社超(賛助企業会員 50 社を含む)、大学・研究所・官 50 機関以上が参画し、約 700 名の会員で発足予定。

★最先端の学術情報交換の場である講演大会、WEB 教育講演、委員会セミナーの実施、政策提言等の取りまとめ等により、産学官・学協会の枠組みを超えて、3DP(AM)の学術・技術を構築・普及させ、オールジャパンで日本の製造業強化を図る。

(1)3DP(Additive Manufacturing: AM)は近年、モノづくりの仕組みを変革するテクノロジーとして、学術界・産業界の双方で大きな関心を集めています。

(2)3DP の基本概念そのものは日本で考案されたものの、世界規模でのデジタル化の波の中で、日本はその研究／予算規模や成果報告数において欧米・中国の後塵を拝しています。

(3)日本が3DP 分野において再び主導権を握り、ひいては、3DP(AM)を通じて世界の材料(金属・セラミックス・樹脂・細胞など)科学を牽引し、本邦の製造業を活性化するためには、基礎研究から研究成果の社会実装までをシームレスに、そして産・学・官の分け隔てなく議論するための「場」が不可欠です。

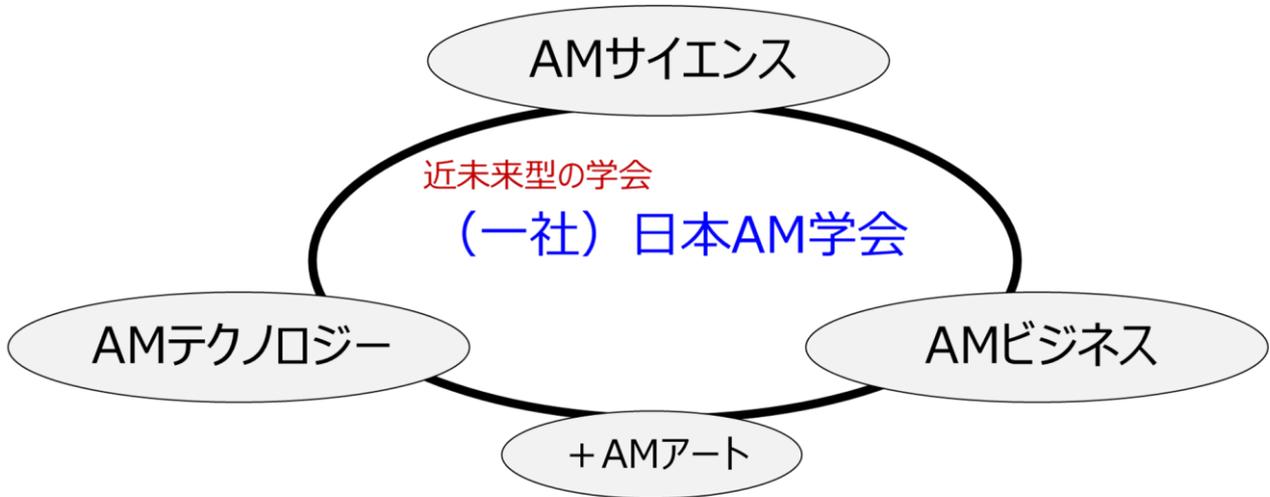
(4)3DP(AM)は単に複雑形状の部品を得るための手法にとどまらず、素材の機能性に直結する材質の自在な制御をも可能とするキーテクノロジーとなっており、従来法の範疇を超える材料特性・機能性の制御が実現されつつあります。

(5)3DP(AM)は、材料工学、結晶学、計算機材料学、溶接工学、機械工学、化学工学、情報工学、土木・建築工学、医学といった多くの分野にまたがる横断的・融合的分野であるといえ、それらの協奏によりデジタルツイン技術の発展にも貢献するものと期待されます。

(6)日本発の優れた学術的研究成果の創出や高付加価値製品の実用化、今後の日本の3DP 分野の取り組みの方向性の議論・決定のため、産・学・官そして多分野の有機的連携を促進するために 2022 年 4 月に設立した AM 研究会(委員長:中野貴由(大阪大教授、副委員長:前川篤(元三菱重工業副社長・現シグマクス(株)シニア顧問)))から、2025 年 4 月より、(一社)日本 AM 学会を設立します。

(7)(一社)日本 AM 学会は近未来型の学会として、3DP サイエンス、3DP テクノロジー、3DP ビジネスを 3 本柱とし、さらに3DP アートも取り入れていきます。

(一社)日本AM学会の3+αの柱



★本件のお問合せ先

大阪大学工学研究科 総務課 評価・広報係

TEL:06 6879 7231

kouhou-eng@ml.office.osaka-u.ac.jp

大阪大学大学院工学研究科未来戦略室長・教授 中野貴由

TEL:06 6879 7505

nakano@mat.eng.osaka-u.ac.jp

大阪大学大学院工学研究科教授 松崎典弥

TEL:06 6879 7356

m-matsus@chem.eng.osaka-u.ac.jp