

## Additive Manufacturing を核とした新しいものづくり創出の研究開発

### 1) 開発の取り組み内容

Additive Manufacturing (AM) は、3次元形状を迅速かつ簡易に実体化できる利点があり、多様なニーズ・シーズを反映した小規模生産、カスタマイズによって高い価値が付加できるテーラーメイド製品の大規模生産(マスカスタマイゼーション)を可能として、我が国のものづくりの革新となる。また、AM には迅速性簡便性の他に従来の加工法では決して実体化できない複雑な形状を作ることができるという特長があり、これを生かせば、従来実現できなかった物理の法則を駆使した設計の利用が可能になり、各種機器の格段の小型化、軽量化などの性能向上を実現することができると思えた。

### ■実用化ツールの開発

#### 【技術アイデアの創出】

AM はものづくり革新を起こす潜在力を有する一方で、精度や微細性、加工できる材料の物性、生産性などの製造力において従来の加工法に劣っており、特に大企業では製品の生産手段としての利用は躊躇されていた。一方で、一部の製品の製造販売事業者は、AM の製造力の低さを理解した上でその良さを引きだそうとしていたが、作り込みを行えるほどの知見がなく、AM の良さを生かした製品の商業化は行われていなかった。また、AM の良さを生かそうとすれば複雑な構造や自然物にフィットするような形状データが必要になるが、そのようなデータを作る設計ツールは開発されていなかった。以上を鑑み、本プロジェクトでは、目標として製造力の向上を目指し、より具体的には、自動車、エネルギー、家電、スポーツ・リクリエーションにおいて幅広い応用が期待される高機能樹脂、スーパーエンジニアリングプラスチックを商業的に加工できるプロセスの研究を行うこととした。さらにその過程において AM に関する知見を蓄積することによって、AM の良さを生かす設計手法を確立するとともに、設計の為のツール開発も行い、AM 技術の利用者の利便性を向上する。さらにはアカデミアと製造事業者が協力して、製品製造の事業例を確立して前記イノベーションを実現する。その検証の1つとしてスポーツ義足の開発を行い、東京パラリンピック等の競技スポーツにおいてその成果を世界にアピールし、AM によるものづくり革新を目に見えるようにすることを目標とした。

#### 【研究体制の構築】

東京大学で、新たな素材や造形法に関し実験機を利用し、各ユーザーとの連携を模索していくための拠点作りを目指し、SIP 参加者（東京大学、東京都立産業技術研究センター、製造科学技術センター、エリジオン、アспект）が連携できる体制を構築した。また、SIP 外の企業（材料メーカー、ユーザーメーカー）と、要求仕様の情報共有についても連携した。さらに、東京都立産業技術研究センターを中心に中小企業を含めた地域の企業に対して、試作品を提供し造形物の実効性について検証中である。また、SIP 終了後も継続的に成果を展開できるようにコンソーシアムの構築を予定している。

## 【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

<東京大学>

- ・SIP 公募に提案し採択（H26/9）。

<エリジオン>

- ・経産省 光造形プロジェクト「標準フォーマット開発」、実施年度 H06。（前身のアルモニコス）
- ・経産省 光造形プロジェクト「標準フォーマットの関連ソフトの開発」、実施年度 H07～H09。（前身のアルモニコス）

<アスペクト>

- ・経産省 地域新生コンソーシアム研究開発事業、実施年度 H18～H19
- ・文科省 都市エリア産学官連携促進事業、実施年度 H19～H21
- ・経産省 戦略的基盤技術高度化支援事業、実施年度 H21～H22

<製造科学技術センター>

- ・NEDO 高出力多波長複合レーザー加工基盤技術開発プロジェクト、実施年度 H22～H26

## 【技術開発のマネジメント】

東京大学生産技術研究所が中心となり、装置利用・改良や製造科学技術センターが進めるユーザー連携と合わせ管理・運用を行った。また H28 年度以降は、日本における AM 研究産業連携拠点実現に向け、調査、運用検討、立上げ準備を実施中。

## 【技術開発】

- ・ものづくり革新を実現する製造力の向上

<東京大学、アスペクト>レーザー焼結法を主な研究開発対象とした。商業利用されているポリアミド 12（PA12）は、高付加価値の医療系や航空宇宙系の製品用途としては、強度、耐熱性が不十分な場合が多く、一方、高強度のポリエーテルエーテルケトン（PEEK）は、未固化粉末の再利用が難しく（装置内の熱による変質と推定される）、材料が高価であるという課題があったため、東京大学（研究開発責任者ら）で研究してきた、粉末床の予熱温度を格段に低減する造形法（以下「低温造形法」）の知見も活かし、これらの課題解決を目指した。H28 年度までは、レーザープロセスの科学的解明、それを踏まえたプロセスソフトウェア実装、ビーム実験装置の開発・造形試験を実施した。H29 年度からは、ハイエンドスーパーエンジニアリングプラスチックの加工現象解明、大型部品の造形試行を行う。

- ・ものづくり革新を具現する設計力・製品力の向上

<東京大学、東京都立産業技術研究センター、エリジオン>個別の人体へのフィット感の高い製品の設計手法の研究を行った。具体的には特定のパラリンピックアスリートにフィットする機能的で美しいスポーツ用義足を開発した。H28 年度までは、現義肢装具士の職人的な技能と、臨床的な実地検証に依存しているスポーツ用義足の設計開発状況を調査し、工学的な設計手法に移行するため、複数のデザインモデル製作、形状の心理学的調査と AM による 1 次試作、一次試作義足を実際のユーザーに装着して、性能と他者への心理的な効果を検証すると同時に初期走行試験を実施した。H29 年度以降は、スーパーエンジニアリングプラスチック部品の組み込み構造を研究、AM ならではの複

雑な意匠デザインのモデリング機能を活用したうえで合理的な設計手法を開発した。また、東京都立産業技術研究センターが得られた成果を活用した中小企業向け造形サービスの開始を検討している。

・ AMをものづくり革新につなげる設計・評価ツールの研究開発

＜エリジオン、東京大学、アспект＞従来、職人の経験や勘に頼っていた設計に対して、美しさや、装着感も含めた広い意味での製品の持つべき機能から製品の最適な形状を創生するプロトタイプシステムを作成する。またその具体例として、身体とのフィット性（人体データと義肢装具士のノウハウによる義足形状生成）、運動性能（CAE技術による性能改善）の両立を必要とするスポーツ用義足を採用した。また、装着性に関しては、義肢装具士が設計しアспект社が所有するAM装置で製作した義足ソケットを被験者に試着していただき、編集箇所に対する感想キーワードを収集し、「履き心地ナレッジDB」としてモデル化した。H28年度までは、義足ソケット造形前作業を設計ツール単体で完結できるようにした。H29年度以降は、義足強度向上のための機能の高度化、および義足以外の分野への適用のための機能の汎用化を実施する。

【技術の検証方法の決定】

開発したCAE設計データや造形レーザープロファイル等と、個別の人体へのフィット感を両立させるため、AM装置で製作した義足サンプルを被験者に試着していただき、フィードバックを設計に反映させるプロセスを設けた。

【技術検証】

・ ものづくり革新を実現する製造力の向上

レーザー焼結法の実現の鍵となる、レーザープロセスの科学的解明を東京大学が担当、レーザートップハットプロファイルビーム実験装置の評価結果を、科学的根拠によって検証した。

・ ものづくり革新を具現する設計力・製品力の向上

現義肢装具士の職人的な技能と知見を、既存のスポーツ用義足の形状計測を通じて東京都立産業技術研究センターが実施。並行して、走行状態の計測、力学的推定を東京大学が実施した。

・ AMをものづくり革新につなげる設計・評価ツールの研究開発

装着性に関して、義肢装具士が設計しアспект社が所有するAM装置で製作した義足ソケットを被験者に試着していただき、編集箇所に対する感想キーワードを収集し、「履き心地ナレッジDB」としてモデル化した。

【知的財産の確保】

—

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

＜東京大学＞

- ・ SIP後も、造形装置、AM用設計ソフトウェアを保持し、SIP外部含む企業・大学等からの使用ニーズに対応する。

＜東京都立産業技術研究センター＞

- ・SIP 後も、関連機器の新規導入などを検討しつつ、SIP 外部含む企業・大学等からの使用ニーズに対応する。

<アспект>

- ・SIP 後も、本事業の成果を実用化する。

<エリジョン>

- ・SIP 後も、本事業の成果を実用化する。

<製造科学技術センター>

- ・SIP 終了後も同技術の普及促進、ものづくり、新規研究への展開を実施。

## ■ 出口戦略

### 【ツールの出口戦略の決定（コンソーシアム、ベンチャー設立、販売、オープン利用など）】

現状の AM 技術の現状と課題を分析し、情報交換、共有、研究素地を作成するための素材メーカーグループの結成と素材の実用化検討を行うこととした。様々な実験を行う場の提供を行うとともに、基盤技術の確立を目指し、東京都立産業技術研究センターを介した技術の使用や、装置利用・改良や製造科学技術センターが進めるユーザー連携と合わせ管理・運用を行った。また、実用化・事業化が実現可能な域に達した段階（研究終了時）には、新たな産学連携の場としてのコンソーシアムを設立、当該研究開発成果を実際に利用したい企業、素材の提供を行う企業、装置・設計メーカー等が連携を組める場を構成するとともに、東京都産業技術研究センターを中心とした中小企業への展開を検討中である。

### 【コンソーシアムの運営】

コンソーシアムを中心に本研究成果を利用したい企業等を中心に自社開発、製品展開を行うことに対する利用料、アドバイス料等を徴収し運営を行うことを計画。

### 【ベンチャー設立】

—

### 【ツール販売】

<アспект>

- ・SIP 後も、本成果を実装した装置を販売する。

<エリジョン>

- ・SIP 後、AM を用いたカスタマイズ品を造形するメーカーの設計をサポートする拠点を指す。

### 【ツールオープン利用】

東京大学を中心に設置を予定している、コンソーシアムにおいて、装置利用・改良や製造科学技術センターが進めるユーザー連携と合わせ管理・運用を行う。SIP 後も、日本における AM 研究産業連携拠点となるよう、SIP 期間中に運用検討と立上げ準備を行った。また、当該センターでは、AM 技術・装置の市場要求把握のため、同分野の国際動向把握、日本の得意とする分野を更に延ばし、新市場を

形成するためのビジョン（ロードマップ）も戦略的観点で検討を行う予定である。

### 【技術の PR】

製造科学技術センター、東京都立産業技術研究センター、東京大学が中心となり、AM 広報・普及促進（素材メーカー、ユーザとの連携）のため、国内外の展示会や国内唯一のAMシンポジウム、東京都立産業技術研究センターを中心とした中小企業への技術情報展開を図り、セミナーや展示会出展等を通じて産業用途の拡大を目指した。

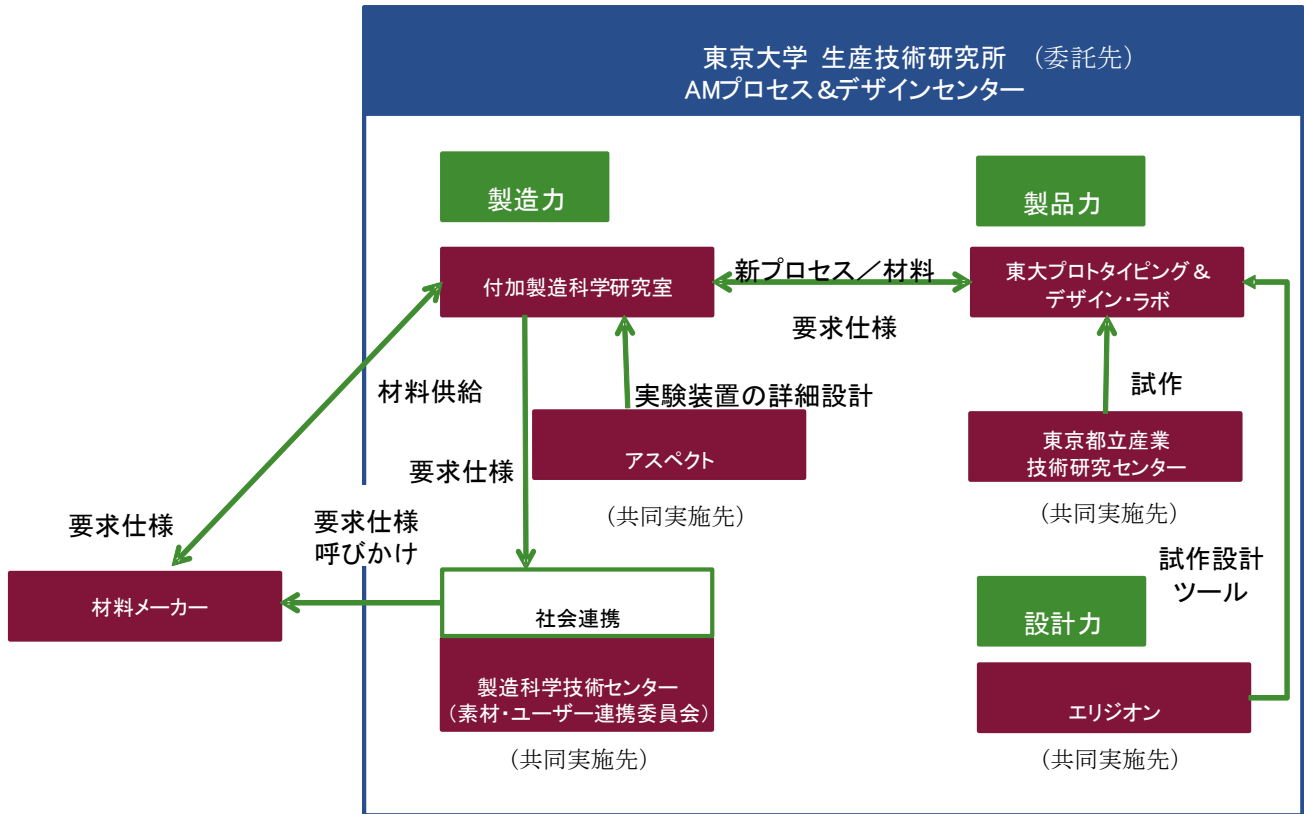
また、AM技術の使われる場（標準化等）を増やし、かつ、様々なトライアルを行うための基盤技術、ノウハウを取得した人材を育てるため、東京大学を中心とした人材教育や東京都立産業技術センターにおける中小企業技術者の育成を中心に展開するあり方の検討も実施した。また、地域活性化に資する AM 技術利用体制の構築のため、樹脂造形でも特に難しいとされる PEEK 材等を中心に、中小企業での活用化促進を手法やニーズを中心調査。具体的に造形を実施することでAM技術の産業活用拡大を目指した。

東京大学においては年に1回、AM シンポジウムを開催し、AM技術関連の研究者、メーカー、ユーザー、潜在的ユーザー等国内外の企業人を集め SIP 事業の成果を発振するとともに、AM の利用を促進するために、講師を国外から招き国内に情報を発信している。また、AM 技術に関する国内最大の展示会設計・製造ソリューション展や 3D printing 展、その他ものづくり関連展示会等においても、ブースを設け成果を一般に公開している。国際的には、2017 年 11 月 AM 技術に関する世界最大の展示会である formnext において制作物の展示を含む本事業の紹介を行い、2018 年は国際的情報発信のさらなる強化を予定している。また、学術的には国内はもとより、国際的にもっとも権威のある講演会 Solid Freeform Fabrication Symposium において毎年講演しており、2016 年には特別セッションにおいて本プロジェクトの紹介を集中的に行った。

### 2) 開発のタイムライン（詳細別紙）

### 3) 開発形態ダイアグラム





#### 4) 成功要因と課題

- ・インプラント、歯科補綴物の急速な樹脂化の進展で、PEEK（樹脂）製のインプラントへの強いニーズがあり、PEEK の部品を安価に加工できる加工方法、加工装置が社会的に期待されており、その期待に対応するよう課題を設定した。
- ・高齢化による義肢装具のニーズ拡大と慢性的技能者不足という背景があった。義肢装具士の義肢製作従事時間の多さが生産性のネックとなっていたため、この時間短縮が義肢装具市場（2000 億円）にインパクトを与える潜在的価値が高まっていた。
- ・AM を用いたカスタマイズ品を造形するメーカーの設計をサポートする拠点としてのエリジオンと連携しつつ、スーパーエンブラの造形において、インプラント用途は材料メーカー等大規模メーカーと連携、それ以外の医療器具等の潜在的なニーズは、東京都等公的拠点を利用して展開を行うなど、装置やソフトウェアについて、十分なニーズとそれに対応できる役割分担を明確に構築したこと。

#### 5) 場・仕組みからの FB

東京大学を中心に設置を予定するコンソーシアムにおいて、装置利用・改良や製造科学技術センターが進めるユーザー連携と合わせ管理・運用の要求項目や運営体制に関して継続検討を行っている。新聞などからの取材、特集等、平成 29 年度で 16 件を行っている。また、潜在的ユーザー調査やアンケート等、各種展示会（DMS、ものづくりマッチング JAPAN、3D printing 展、formnext（ドイツ））出展を行い、PR を行うとともにニーズ調査等を行った。また、毎年開催している AM シンポジウム（1 月下旬）においても、SIP の成果報告及び AM 関連技術のトピック講演、素材メーカーとの連携、ユ

ユーザー意識調査（アンケート）を実施し、適宜、社会実装、実用化、事業化を意識した開発の方向性、内容を検討し、使われるスーパーエンジニアリングプラスチック AM 技術への展開を模索した。





技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）	<p>【東京大学】・SIP後も、AM装置、AM関連設計等ソフトウェアを保持し、SIP外部含む企業・大学等からの使用ニーズに対応する。</p> <p>【東京都立産業技術研究センター】・SIP後も、関連機器の新規導入などを検討しつつ、SIP外部含む企業・大学等からの使用ニーズに対応する。</p> <p>【アスベクト】・SIPの成果をAM装置、AM関連ソフトウェアに組み込み事業化を進める。</p> <p>【エリジオン】・SIP後も、義足やその他の人体フィットプロダクトへの適用研究を継続し、AM設計ソフトウェアの実用化を検討する。</p>			★ プロト機 東大生研	★ 小型装置 東大生研		★ 大型装置 東大生研	SIP成果のツール化 →
ツールの出口戦略の決定（コンソーシアム、ベンチャー設立、販売、オープン利用など）	<p>現状のAM技術の現状と課題を分析し、情報交換、共有、研究基地を作成するための素材メーカーグループの結成と素材の実用化検討を行うこととした。様々な実験を行う場の提供を行うとともに、基礎技術の確立を目指し、研究室あるいは新規拠点の構築検討。装置利用、改良や製造科学技術センターが進めるユーザー連携と合わせ、運用を促す。</p>	★ 出口戦略検討開始					パブリック利用機	→
コンソーシアムの運営	<p>東京大学、製造科学技術センターを中心に、製造力、製品力、設計力向上の各分野の開発進捗報告。また、テーマ間の連携、課題の共有化等を実施するための技術開発会議を開催（1回/月）</p>			センター管理	運営	技術研究会実施	(12回/年)	→
ベンチャー設立	現時点での計画は無し							
ツール販売	<p>【アスベクト】 ・SIP後も、AM装置、AM関連ソフトウェアを保持し、実用化を検討する。</p> <p>【エリジオン】 ・SIP後も、義足やその他の人体フィットプロダクトへの適用研究を継続し、AM設計ソフトウェアの実用化を検討する。</p>							★ AM装置用ツールの販売予定 ★ 設計ツール販売予定
ツールオープン利用	<p>東京大学において、装置利用・改良や製造科学技術センターが進めるユーザー連携と合わせ管理・運用を計画。SIP後、日本におけるAM研究産業連携拠点を構築するため、SIP期間中に運用検討と立上げ準備を行った。また、当該拠点では、AM技術・装置の市場要求把握のため、同分野の国際動向把握、日本の得意とする分野を更に拡大し、新市場を形成するためのビジョン（ロードマップ）も戦略的観点で検討を行った。</p>	→						→
技術のPR	<p>製造科学技術センター、東京都立産業技術研究センター、東京大学が中心となり、AM広報・普及促進（素材メーカー、ユーザーの連携）のため、国内外の展示会や国内唯一のAMシンポジウム、東京都立産業技術研究センターを中心とした中小企業への技術情報展開を回り、セミナー等を通じて産業用途の拡大を目指した。また、AM技術の使われる場（標準化等）を増やし、かつ、様々なトライアルを行うための基礎技術、ノウハウを取得した人材を育てるため、東京大学を中心とした人材教育や東京都立産業技術センターにおける中小企業技術者の育成を中心に展開するあの方の検討も実施した。また、地域活性化に資するAM技術利用体制の構築のため、樹形造形でも特に難しいとされるPEEK材等を中心に、中小企業での活用促進を手法やニーズを中心に調査。具体的に造形を実施することでAM技術の産業活用拡大を目指した。</p> <p>インターネットや年間を通じた各種シンポジウム、講演会等での発表を中心に技術のPRを実施。このほか、DMS、FormNextなどの展示会に出展。SFFS（学会）、AMシンポジウム（毎年1月下旬開催）への講演、発表等を行った。</p>			★ AMシンポジウム ★ 展示会出展(DMS等)	★ AMシンポジウム ★ 展示会出展(DMS等)	★ AMシンポジウム ★ 展示会出展(DMS等)	★ AMシンポジウム ★ 展示会出展(DMS等)	★ AMシンポジウム ★ 展示会出展(DMS等)

