

 **SIP** 戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program



革新的設計生産技術

新しいものづくり2020計画

イノベーションスタイル

～産学官連携による研究開発の実用化プロセス～





革新的設計生産技術

新しいものづくり2020計画

はじめに

SIP 革新的設計生産技術では、従来から評価の高いわが国ものづくり産業の品質・機能に加えて、高い付加価値をユーザーに提供できるようにするデライトなものづくりに向けた「革新的なものづくり」を確立することを目指して、研究開発を進めてきました。具体的には、Society5.0 時代に要求される、社会的課題と経済的課題の両立を目指した、社会の様々なニーズにきめ細やかに対応可能なものづくりの実現に向けて、革新的な設計や生産のツールや技術の開発を行うとともに、ツールや技術を広く産業界に展開し、高付加価値製品を生み出す仕組みづくりとして、ツールや技術を地域の中小企業が体験できる活用場の構築や、ツール/技術や活用場の情報にワンストップでアクセス可能な Web ポータルからなる SIP ものづくりネットワークの構築を行いました。

さらに本プログラムでは、研究開発の推進方法の新たな仕組みとして「イノベーションスタイルの実証・実践」にも取り組みました。どんなイノベーションの実現にも、ユーザーの参加が欠かせません。そこで本プログラムでは、研究開発成果を実際のものづくりに適用し、成果を使用した企業や個人ユーザーの意見を得て新たな問題点を洗い出し、研究開発に迅速にフィードバックする仕組みとしてイノベーションスタイルを提唱し、各研究テーマで実践しました。「仮説」「試作」「テスト」「評価」「フィードバック」を繰り返し行うことで、開発のブラッシュアップだけでなく、当初気付かなかった高付加価値なニーズの発掘も行えました。

一例としては、基礎的な原理解明などに重点を置く「大学」、消費者や企業ユーザーとのコミュニケーションを重視する「企業」、地域社会を含めて広くユーザーに技術を展開する「公的研究開発機関」などが連携し、技術の完成度向上や新たなニーズの掘り起こしをおこなうなど、さまざまなタイプのイノベーションスタイルがあります。本書は、これらの事例をまとめ、広く公開するものです。技術の実用化をめざす大学等の研究機関や、産学官連携で高付加価値製品開発を目指す際の地方の中堅・中小企業が、研究開発を進める上での道しるべとしてご活用いただけることを期待します。

内閣府 SIP 革新的設計生産技術
プログラムディレクター

佐々木直哉

目次

第1章 SIP 革新的設計生産技術におけるイノベーションスタイル	1
✓ ねらい：SIP 革新的設計生産技術流イノベーション	3
✓ 出口戦略・事業形態別戦略	5
✓ ツール/技術の高付加価値化	7
✓ イノベーション成功の共通要因	8
第2章 各研究テーマのイノベーションスタイル事例	13
✓ 迅速で創造的な製品設計を可能とする トポロジー最適化に基づく超上流設計法の開発	15
✓ ナノ物質の集積複合化技術の確立と戦略的産業利用	21
✓ 超3D造形技術プラットフォームの開発と高付加価値製品の創出	28
✓ イノベーションソサエティを活用した中部発革新的機器製造技術の研究開発	33
✓ 分子接合技術による革新的ものづくり製造技術の研究開発	45
✓ 高付加価値セラミックス造形技術の開発	51
✓ デザインブルゲルの革新的3Dプリンティングシステムによる新分野の進展支援と新市場創出	59
✓ 高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発	65
✓ 市場流通材のスーパーメタル化開発	72
✓ 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	79
✓ Additive Manufacturing を核とした新しいものづくり創出の研究開発	87
✓ リアクティブ3Dプリンタによるテーラーメイドラバー製品の設計生産と	
社会経済的な価値共創に関する研究開発	97

第1章

SIP 革新的設計生産技術における

イノベーションスタイル

✓ ねらい：SIP 革新的設計生産技術流イノベーション

設計生産技術が目指すイノベーションは、3DP が持つ技術的特長やそれらによって創出される製品市場の特性を活かし、地方創生と産業競争力強化を実現することである。図1は、従来の切削加工から金型加工を経て最近の3DPに至る主要な設計生産技術について、イノベーションの性質を分類したものである。縦軸は技術の進歩が漸進的（連続的）か抜本的（不連続的）か、横軸はイノベーションが先行有力企業にとって持続的（対応可能）か破壊的（対応不可）かを示す。漸進的（連続的）イノベーションとは、技術の精度、耐久性、生産量等の指標が連続的に向上することであり、例えば旋盤、フライス盤による造形が、技能習得やNC化等で向上していく切削加工が位置づけられる。これを規準とした場合、金型加工の誕生は切削加工とは全く異なる生産形式の導入であった。従来の職人の技量による造形から、一度造形した金型を用いた機械による同形・同性能製品の大量生産への変化、人から機械への抜本的（不連続）な加工方法の変化であったと捉えることができる。このように、切削加工から金型加工への進歩はイノベーション分類における縦軸の変化に相当するが、同時に、技術水準向上等による新製品開発の際、先行した有力企業が持ち前の体力を活かして人や設備を導入することにより対応可能であるという意味で、いずれの加工方法もイノベーション分類の左側領域に存在している。

3DPは、技術的に切削加工に比べ抜本的（不連続）な変化であることに加え、先行有力企業によって必ずしも対応可能でない点に特徴がある。3DPは顧客にニーズに応じてカスタマイズされ多様な製品をきめ細かく製造することが利点であるが、先行した有力企業は成熟した技術分野において同様の製品を大量生産することで利益を上げる構造を持っており、そのための人員・組織・設備を拡大させている。少量多品種製品を生産すると利幅を失うため、その製品が消費者にとり魅力的とわかっていても進出することができないことが多い。従って3DPは図1の右側に存在する。このように、3DPによるイノベーションとは、抜本的（不連続）かつ破壊的（先行有力企業が対応不可）なイノベーションである。

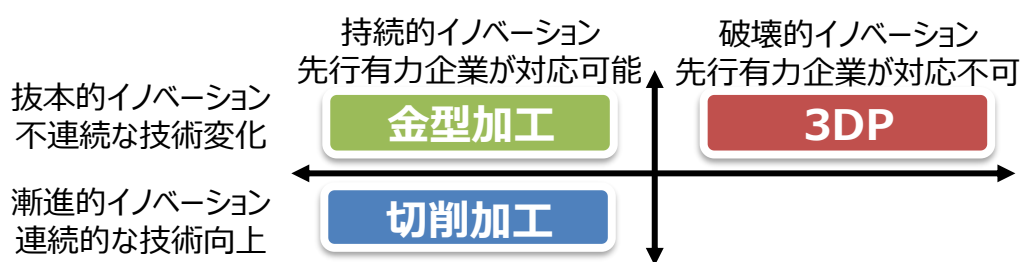


図1 イノベーションの分類※における主要な設計生産技術の位置づけ

※Clayton M Christensen “The Innovator’s Dilemma” (1997)

3DPが持つ特徴を活かし、単なる抜本的イノベーションを超えた、破壊的イノベーションとして、我々が目指したものを図2に示す。横軸は時間、縦軸は製品の性能・付加価値である。切削加工しかなかった頃、製品を受けとる主要顧客の要求は、とにかく切削加工でつくられる入手可能な造形物がほしい、というものである（主要顧客の要求レベル1）。この要求レベル1は、時間とともに精度・耐久性などの連続的な性能・付加価値が次第に増えていくため右肩上がりとなるが、切削加工がある時点で要求レベル1を追い越す技術を獲得するので、それ以降の要求には比較的容易に対応できるようになる。しかしその反

面、あらたな性能・付加価値を見出すのが困難になり、過当競争化して利益が出難くなる。

抜本的イノベーションにより金型加工が誕生すると、顧客の要求も大量・均一、つまり安定した性能でより安価な造形物へ変化する（主要顧客の要求レベル2）。この要求レベル2は元々潜在的に顧客の中にあっただが実現する技術が見当たらないため表に出なかったものが、それを可能とする金型加工技術が現れたことで顕在化した。金型加工技術も進化し、要求レベル2を超えるものが出ており、製造コストや人件費等、技術開発とは異なるものが競争要因となり、切削加工同様、あらたな付加価値を見出せ難くなっている。今後も要求レベル2は連続的に増大し、より大量・均一（安定性能かつ安価）な造形物への要望は絶えないが、それに対応するのは先行した有力企業であり、後発の企業は大きな利益を得ることは難しくなる。

3DPは抜本的かつ破壊的イノベーションである。主要顧客の要求レベル2に対し金型加工ほど安定性能で安価な造形ができない一方、主要顧客の要求がレベル3の段階になると優位性を発揮する。近年、顧客はより个性的かつ多様で、従来不可能だった形状の造形物を求めている。個々人が自分にあうようカスタム化され他の誰とも違う个性的な造形物を入手できることは、大量・均一な製品が溢れた今日の市場に新たな付加価値を導入するものである。必要なものの充足から、その先にある欲しいものへの要望の変化である。もう一つ重要な点は、3DPが先行有力企業の対応できないイノベーションであること、つまり地方や中小・中堅企業等にとってビジネスチャンスを生み出すことである。先行した大企業等は既存組織維持のためビジネスの規模を必要とし、結果として要求レベル3へ容易には進出できないが、地方や中小・中堅企業はその制約は比較的緩やかである。我が国の地方創生と産業競争力強化のためには、地方や中小・中堅企業の振興が重要であり、要求レベル3に応える3DPこそ本プログラムが目指すべきイノベーションである。

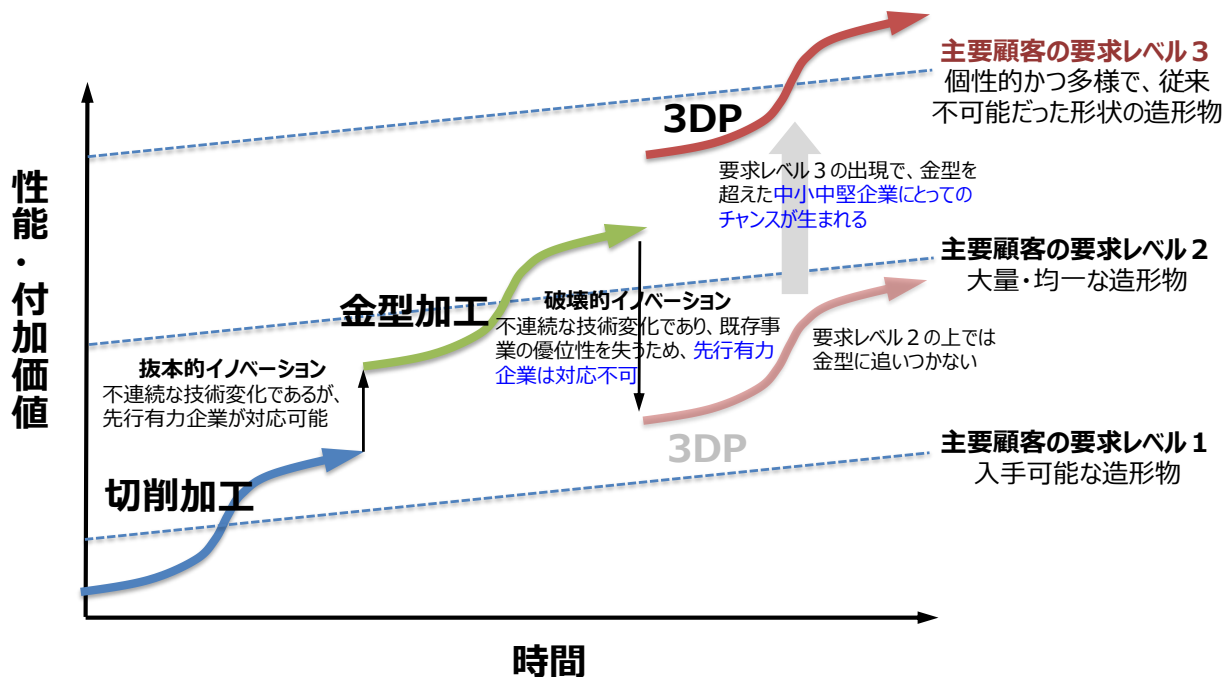


図2 本プログラムのねらうイノベーション

✓ 出口戦略・事業形態別戦略

本プログラムの出口戦略として想定する事業の経済性を分析し成功の可能性を探ったのが図3である。縦軸の業界の競争要因の数とは、競争するための手段の数で、少ないほど単純に勝敗が決まることを意味する。横軸の優位性構築の可能性とは、他社に対して明らかな収益性を高められる可能性のことである。これをもとに本プログラムの代表的な製品・サービスがどの領域に属するかを示した。

カスタム骨（異方性）、歯インプラント、義足（AMものづくり）は、患者ごとに異なる形状や機能を、患者の要望に応じてブラッシュアップしていく必要があるため、それを実現するための競争手段は多種多様である。一方、ひとつの製品はその患者にしか適用できないので、大量生産によって収益性が高まるわけではない。従って図3の左上「分散型事業」に属する。この事業は個人の要望に応えられる反面、規模拡大すると収益悪化する特徴を持ち、代表的なものとして飲食・小売店（一部フランチャイズ除く）や地域に密着した店舗等が該当する。この事業領域においては、規模は拡大せず個人の要望に応えられる多数の競争要因のうち優位性を保てる技術要素をいかに獲得することが重要となり、本プログラムの異方性、AMものづくり等はまさにそれらの技術を取得したものである。

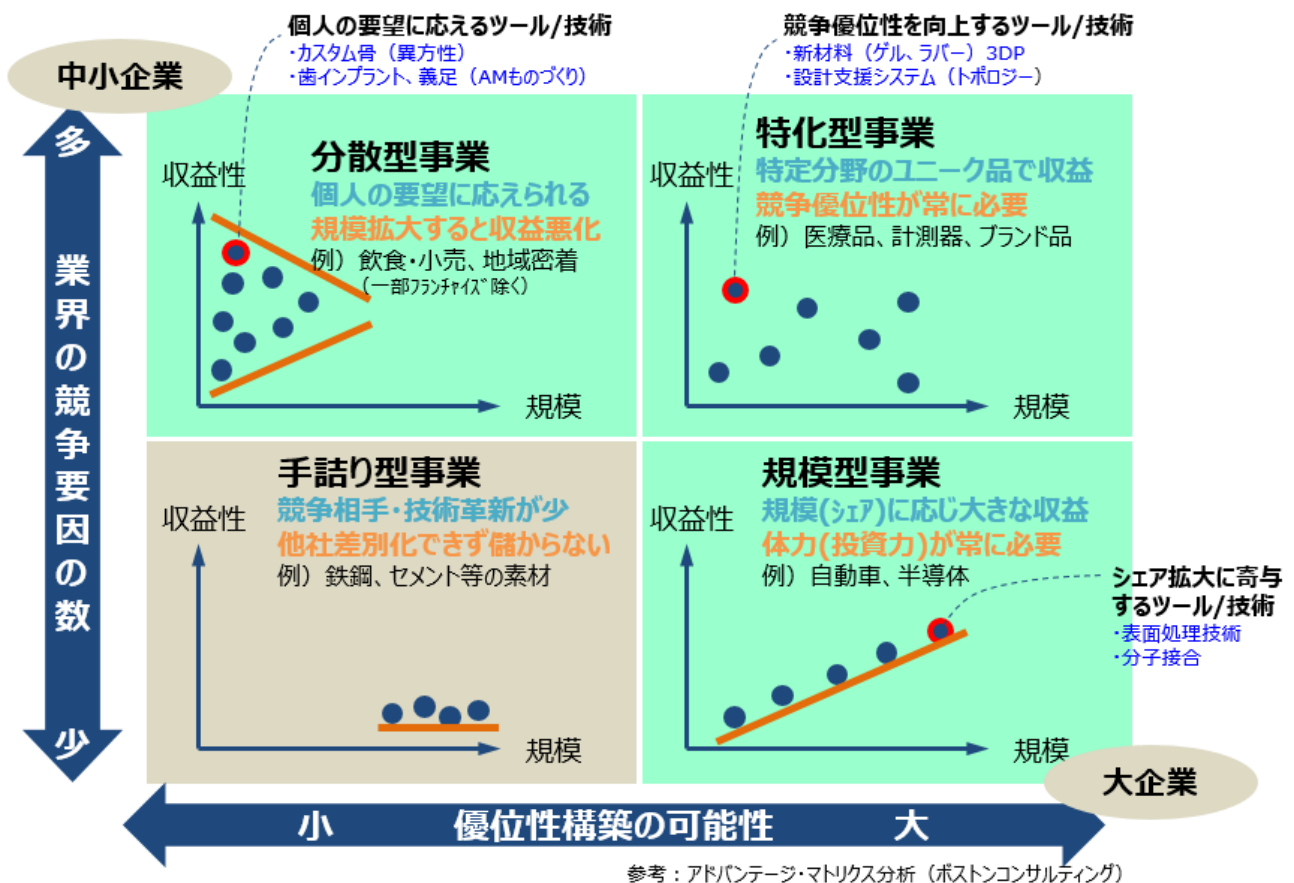


図3 本プログラムで生み出した製品、サービスの事業分野

新材料（ゲル、ラバー）3DP、設計支援システム（トポロジー）は、新しい材料や形状の3DP造形を可能とする技術であり、世界的に見てもユニークな技術のため競争要因を自ら選べる優位性がある。構築した技術は多数の製品に適用できるため収益性も高く、図3の右上「特化型事業」に属する。代表的なものとして医薬品、計測器、ブランド品等が該当する。この領域は他社とは異なるユニーク品に進出すれば大きな収益を上げられるが、そのユニーク性を維持するために常に技術優位性が必要となる。本プログラムでは、世界初のゲル・ラバーを用いた3DPを実現しており、これを用いたユニーク品市場が広がることが期待される。またトポロジー設計支援システムを一般のエンジニアに使ってもらうことで、従来思いつかなかった形状の製品市場が形成されることも期待される。

表面処理技術、分子接合は、強度・生産性等いくつかの基本性能が重要なため競争要因数は多くないが、一旦確立した技術は産業界の非常に広い範囲に適用される可能性を持ち、生産規模拡大による収益のn倍化が可能であることから、図3の右下「規模型事業」に属する。自動車、半導体等がその代表例である。この事業領域は規模（シェア）拡大するほど大きな収益を得ることができる反面、それを維持するために新たな設備等への投資体力が必要となる。本プログラムの表面処理技術（レーザーコーティング、セラミックコーティング、スーパーメタル）と分子接合は、出口として自動車、産業機器、IT機器（スマホ）、家庭用器材等のボリュームゾーンを想定し、業界で主導的な企業と連携しつつ技術開発を進めてきた。このため出口事業での投資体力を維持しつつ大きな市場を狙える。

最後に図3の左下「手詰まり型」は、あらたな技術革新や他社差別化要因を見出すことが困難となっている領域で、鉄鋼、セメント等の素材産業が該当する。本プログラムではいずれの研究出口もこの領域はターゲットとしていない。

以上のように、本プログラムは、出口戦略として想定する事業形態別の収益性とリスクに対応した、高付加価値が見込める製品・サービスを生み出した。

✓ ツール/技術の高付加価値化

価値と技術の両面から、それぞれ地方創生と産業競争力強化に繋がるツール/技術の開発アプローチのイメージを図4に示す。縦軸は付加価値軸、横軸は技術軸であり、既存の製品を左下に置き、目指す最終ターゲットを右上に位置付けることにする。3DP出現前の既存製品の典型的な付加価値は、金型加工で代表される大量生産の特徴である「便利・安い」であり、また典型的な技術的長所は同様に「丈夫・長持ち」と考えることができる。

それらに対し、本プログラムが起こすイノベーションとして、異方性骨インプラント、手術模型等のテーラーメイド、ゲル、ラバー等やわらか材料 3DP の機能材料は、個人の要求に応える造形を可能とし、「便利・安い」から「人にやさしい・自分に合う」への価値的イノベーションを起こす。必要なものから欲しいものへの変化、近年の社会で要求される個性的・多様性という欲求に応えることで、ヘルスケア等で新しい市場を開拓し、それらの技術的水準が実用化レベルを超えた革新的技術に達することで、最終的に地方創生、産業競争力強化へ繋がる。

一方、トポロジー等の設計支援、分子接合、セラミックス、スーパーメタル、レーザーコーティング等の接合・表面処理技術は、共通基盤技術であるため顧客から見た付加価値として表面的に現れ難いが、既存の「丈夫・長持ち」の技術的価値を「誰にも真似できない」レベルまで飛躍的に高めて技術的イノベーションを起こす。一旦確立した技術の適用範囲が非常に広く、先端産業を中心として大きな市場を創出するポテンシャルがあり、やはり最終的に地方創生、産業競争力強化へ繋がる。

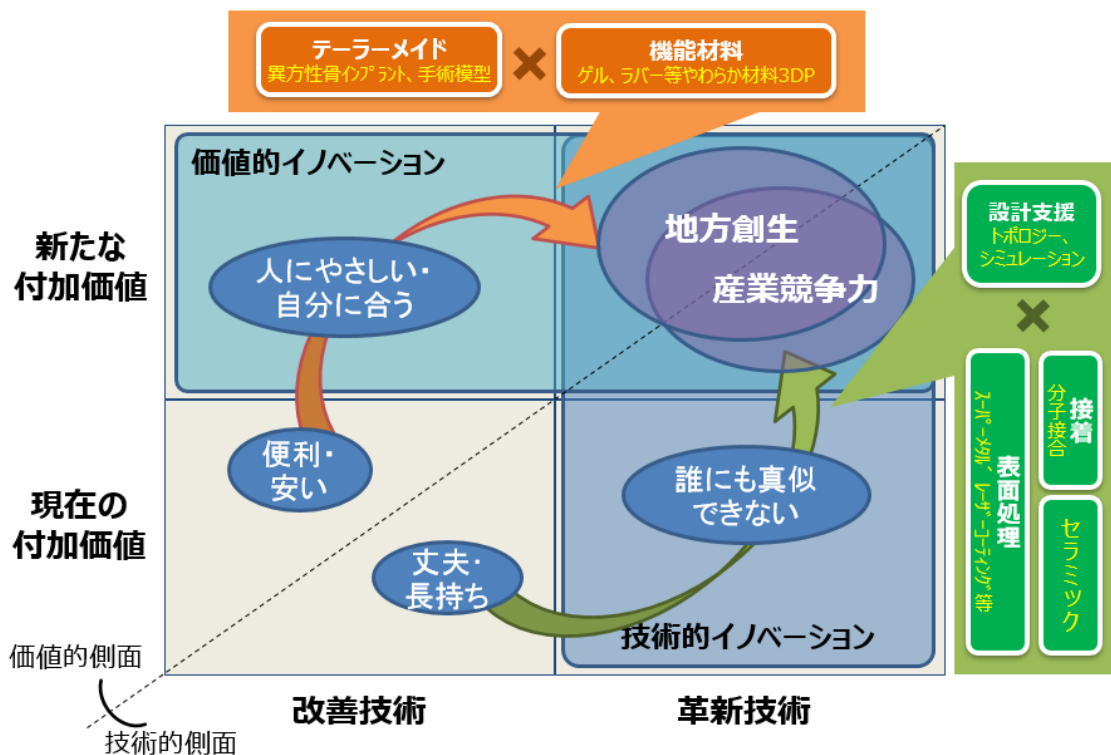


図4 開発ツール/技術による産業競争力強化、地方創生への貢献

✓ イノベーション成功の共通要因

イノベーション成功のために、産学官それぞれの研究機関がどのように繋がりどのような活動したかを図5に纏めた。研究プロジェクトの準備段階から終了後の出口戦略策定に至るそれぞれのフェーズにおいて、全研究テーマの産学官連携事例を蓄積（グレー色の項目）し、そこから成功に導く特に重要な要因を抽出（グレー以外のカラーの項目①～④）したものである。

図の最上段のPJフェーズ（SIP開始前、SIP実施期間、SIP終了後）より、その下の研究フェーズ（研究開発、実用化研究、実用化）を早めにシフトさせているのは、実際の研究でも1年から数年も早い段階でスタートしている事例がほとんどだったためである。PJの次段階へ向けて早く準備するほど一般的に良好な成果が見られる。

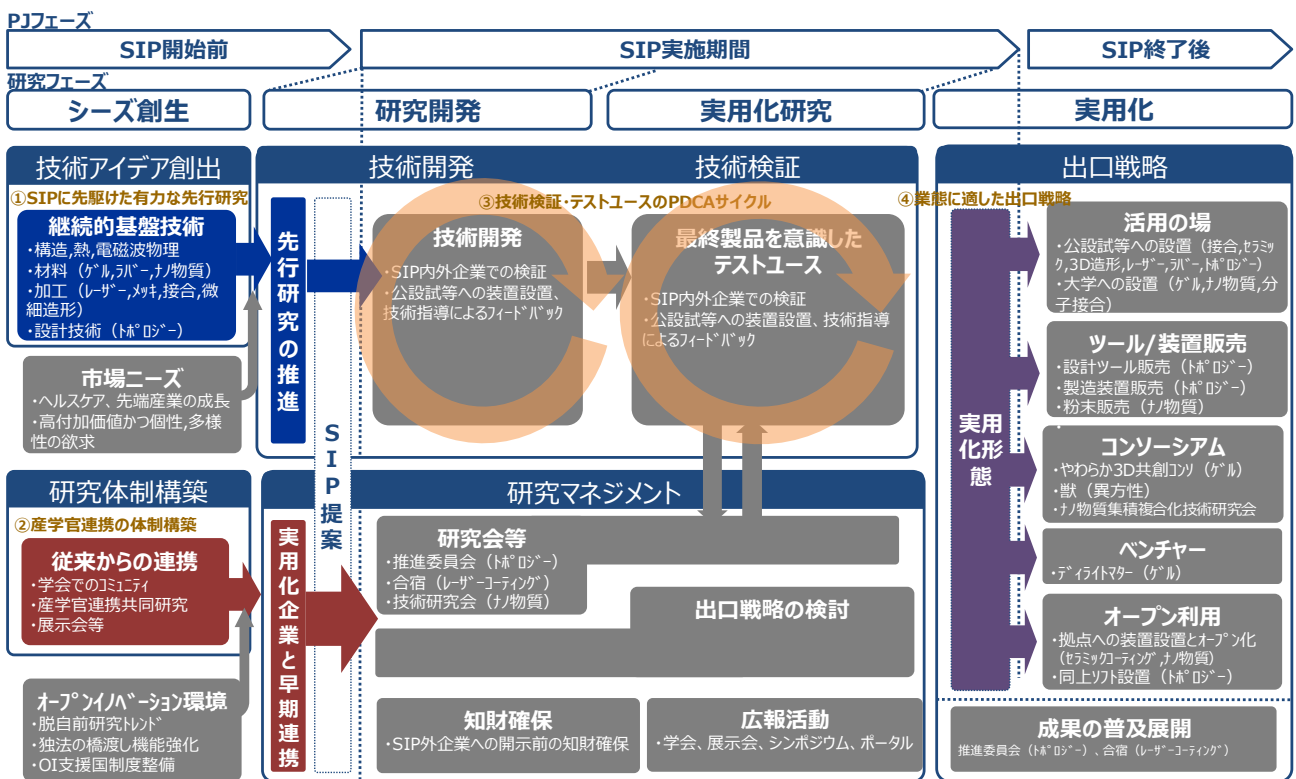


図5 研究開発における共通成功要因

次に、抽出した成功要因①～④について、それぞれ幾つかの具体例を示す。

成功要因：①SIPに先駆けた有力な先行研究

- ・【トポロジー最適化】従来から、構造力学を対象としたトポロジー最適化技術に取組み、CADモデルの作成に関して、くいと社が半自動であるが製品化を行っていた。
- ・【ナノ物質】SIP以前の早い段階からナノ複合材料の基礎検討進め、成果を各種学会・展示会等で紹介していた。PJ開始2年前には技術相談が75社にのぼっていた。
- ・【超3D造形】SIP以前に20年にわたり研究開発を実施。SIP前にレーザー変調と集光スポット制御に

よる加工線幅を制御するアイデアを検討した。

- ・【分子接合】SIPの20年以上前から、岩手大は分子接合剤であるトリアジンチオールのスーパーフайン化の研究を実施。物理現象が解明されず製品適用が進まないという課題に立ち向かってきた。
- ・【セラミックス造形】PJの14年前頃から欧州等においてセラミックス粉末積層造形法やスラリー積層造形法が研究されており、これらを前進させた多様な材質や製品等に対応できるグレークスルーを検討していた。またPJ12年前頃からNEDO-PJ「ナノレベル電子セラミックス材料低温成形・集積化技術」でプラズマ援用AD法技術が培われており、これを前進させることとした。
- ・【デザイナブルゲル】PJ開始13年前にゲル材料が数多く開発されマーケット拡大の期待があったが普及が進まないとの課題意識。PJ開始5年前に技術的解決の見通し。PJ開始3年前に基礎技術（3D造形）開発に成功していた。
- ・【レーザーコーティング】1990年代より電子ビームクラディング研究を遂行。それをベースとし、飛行粉末の均一加熱を可能とするマルチビーム集光方法を考案した。
- ・【スーパーメタル】従来から、長岡地域には世界トップレベルの金属加工メーカーが多く存在していて技術ポテンシャルが高かったが、暗黙知を拠り所として技術のN倍化に課題があった。長岡技科大は30数年間にわたりこれら地域企業と産学連携を推進し、現場に入り込んで暗黙知から科学によってイノベーションを起こす取組を行っていた。
- ・【テラーメイドラバー】神戸が日本におけるラバー工業発祥の地、ケミカルシューズの有数拠点であるが、海外との競争激化で、シューズの新機軸が重要課題となっていたため、神戸大ではラバー素材のソールを持つテラーメイドシューズに早くから着目していた。

成功要因：②産学官連携の体制構築

- ・【ナノ物質】愛知県公益財団法人科学技術交流財団の研究会や共同研究等を通じた大学・企業との連携実態があり、引き続き技医術交流を続けることで、自然と新たな研究会が立ち上がり、連携体制が構築された。
- ・【イノベーションソサエティ】日本機械学会を母体として、学会発イノベーション推進委員会を創設し、ニーズ、シーズおよび関連技術、潜在的関連シーズ等を縦横に結びつける仕組みを構築。これをイノベーションソサエティとした。
- ・【分子接合】SIP前7年前に設立されていた、大学発ベンチャーいおう化学研究所に、社会実装推進を担う立場として参画してもらった。また地域の中堅・中小企業への展開を担う立場として、岩手県公設試である岩手県工業技術センター、アルプス電気等と連携した。
- ・【セラミックス造形】セラミックス産業で世界シェアのほぼ半分を占める森村グループ（TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ）と連携、集中研として森村グループの研究者を派遣する形態とした。
- ・【デザイナブルゲル】光硬化樹脂トップ企業のJSR社、樹脂精密加工装置製造スペシャリストのサンアロー社と従来から繋がりがあり、それをさらに発展させた。
- ・【レーザーコーティング】海外の主要な展示会調査及び主要レーザー加工機メーカーとの交流によるグローバルベンチマークにより、純銅に対するコーティング要求の増大がわかり、青色半導体レーザーの導入にあたり、従来から交流があった日亜化学工業、島津製作所に技術協力いただける体制を構築した。

- ・【異方性カスタマイズ】SIP 開始時点で出口を考慮し、ターゲット製品の事業化を進める企業・団体と、関連技術を有する大学、関連技術を関西中心の中堅・中小企業に展開する拠点としての大阪産業技術研究所、からなる体制をとった。
- ・【AMものづくり】東京大学生産技術研究所が中心となり、製造力、設計/製品力、設計/評価ツール開発のそれぞれについて、アспект、東京都立産業技術研究センター、エリジオンと、ユーザーとの連携を模索できる拠点となれる体制とした。
- ・【テーラーメイドラバー】ラバー工業発祥地の神戸で、神戸大を中心とした地域4社（アシックス、神戸工業試験場、住友ゴム工業、バンドー化学）、地域の公設試（兵庫県立工業技術センター）、産総研中部を結集した産学官連携の体制とした。

成功要因：③技術検証・テストユースのPDCA サイクル

- ・【トポロジー最適化】形状構想設計システムの COMSOL 版を大阪産業技術研究所に設置、企業の試行を実施。CAD モデルは、くいんと社の半自動製品（販売済）のテストケースを用いて技術検証。デバイス構造システムは、アイシン・エイ・ダブリュにて検証実施した。
- ・【ナノ物質】「ナノ物質集積複合化技術研究会」設立し、誰でも作製できるスキル習得を目的とした実習や、自動装置の使用法紹介等を実施した。
- ・【デザインブルゲル】介護福祉品や義肢、再生医療材料等の試作品を D-MEC 社（JSR 社のグループ会社）を通じて、大学研究室、病院等の医療現場、医療機器メーカーで使用してもらい FB を受けた。山形大とかながわサイエンスパークにテストラボ設置、3DP のニーズ発掘と実用化検討を実施した。
- ・【レーザーコーティング】展示会での企業からの FB、また普及のためのプラットフォーム「阪大接合研サイト」と「石川県工試サイト」における SIP 外企業の活用事例を通じて、技術の検証、評価のフィードバックのループを回し、技術や装置の完成度向上に繋げた。
- ・【スーパーメタル】長岡技科大スタッフが、オンサイト・オンタイム開発に関わり、地方企業に大手企業と同様の開発部門機能をもたせ、製造技術向上を図る産学融合ものづくりスタイルを確立した。
- ・【AMものづくり】CAE 設計データや造形レーザープロファイルと、個別人体へのフィット感両立のため、AM 装置製作の義足サンプルを被験者に試着してもらい FB を実施し、技術レベルを向上させた。

成功要因：④業態に適した出口戦略

- ・【トポロジー最適化】形状構想設計システムを、くいんと社がツール販売。トポロジー最適化ソフトを大阪産技研に設置し展開。デバイス構造設計システムの製造法や製造装置をナガセインテグレックス、岐阜多田精機が岐阜や愛知地区の中小企業に展開した。
- ・【ナノ物質】研究会参加企業、技術相談企業、展示・学会での交流企業を対象に、コンソーシアム「ナノ物質集積複合化技術研究会」を設立しセミナー・実習を実施。材料メーカーには特許ライセンス自社生産を可能化。複合粒子作製キットを提供した。
- ・【分子接合】分子接合剤、分子接合技術や接合カタログをノウハウとして蓄積し、いおう化学研究所、岩手県工業技術センターに移管し、企業にコンサルを行い展開。岩手大は分子接合の実証用製造ラインをつくり、開発した技術を企業に移管し企業が製造ラインを実用化した。
- ・【セラミックス造形】森村グループ（TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ）が自社に持ち帰っ

た部材を用いた製品化を決定。産総研がテストユース拠点となり、また JFCC が SIP 終了後に委託研究・依頼試験に装置を解放し、産業界のニーズに対応する。

- ・【**デザインブルゲル**】ディスペンサー方式 3D ゲルプリンタが実用化段階に進んだことから、ベンチャー企業ディライトマター社を体制に追加、SIP 終了後も運営を決定。地場中小企業の普及展開を図る場として、やわらか 3D 共創コンソーシアムを設立。山形大とかながわサイエンスパークのテストラボで SIP 終了後も継続予定。
- ・【**レーザーコーティング**】SIP 開始時点で既に、SIP 終了後に村谷機械からレーザーコーティング装置を製品化する予定とした。また製品化意欲の高いヤマザキマザックに、マルチレーザー加工ヘッドを提供し製品化した。
- ・【**異方性カスタマイズ**】異方性を有する製品や部材の製造方法に関する、技術・ノウハウは阪大 AM 研究開発センターにて維持し、企業からの要求に対しては共同研究などの形で技術移管。カスタム骨インプラントは、「先端獣医療コンソーシアム」を設立、それを通じてツール/技術を含めて普及展開。トポロジー最適化は大阪産業技術研究所に設置し、中堅・中小企業への普及展開活動を京大と連携して進めた。
- ・【**AMものづくり**】SIP 後も、東大が造形装置、設計ソフトウェアを保持、広く企業・大学からのニーズに対応。またアспектとエリジオンが成果を製品化した。
- ・【**テーラーメイドラバー**】兵庫県立工業技術センターに「価値共創プラットフォーム」を開設し、ユーザー、プロデューサ、研究開発者が一堂に会して、共創的に研究開発を進める場を構築。特に加硫ゴム 3DP のテストユースに対応する。

成功要因：その他

最後に、個々の研究テーマの計画立案、進捗管理、出口戦略策定等に加え、もう一つ重要な要因として研究者のリーダーシップがある。産学官に跨る機関をうまく繋げ、連携を推進していくには、研究の先を見通すことや計画外の突発事項へ柔軟に対応しつつ、周囲の協力者を目標に向かって束ねていく等、研究計画書や図には表すことはできない、人としての能力が実は最も重要であることは言うまでもない。

本プロジェクトでは、各テーマのヒアリングや現地視察を通じ、いずれのテーマも優れた研究者とそのリーダーシップに恵まれ、日々のイノベーションが推進されていることがわかった。ものづくりを行う企業が連携する際は、本“イノベーションスタイル”を道しるべとするとともに、優れた人財を発掘する目利きに多くの努力を注ぐことを薦める。

第2章

各研究テーマのイノベーションスタイル事例

迅速で創造的な製品設計を可能とするトポロジー最適化に基づく

超上流設計法の開発

1) 開発の取り組み内容

京都大学では、従来から、これまで無い機能を持つ革新的な製品を開発するための設計手法として、トポロジー最適化の研究に取り組んでいる。主に構造力学問題を対象として、軽くて高剛性な製品形状を導出する技術を開発してきた。一方、自動車などの先端産業では電動化が進んでおり高電圧・大電流に対応した、熱制御、電磁波制御が可能なデバイスの開発が重要となってきた。そこで、本SIPでは、京都大学を中心に下記2つのツール/技術をSIPにて開発し、産業界に展開することとした。

- ①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム
- ②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システム

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム

自動車産業、電機産業などの多くの産業において、CAD (Computer Aided Design)、CAE (Computer Aided Engineering)、CAM (Computer Aided Manufacturing) などのデジタルエンジニアリングは、製品の品質向上、開発期間の大幅短縮に貢献してきた。しかしながらデジタルエンジニアリングの導入だけでは、高機能、あるいは今までに無い機能をもつ革新的な製品設計を導出することは非常に難しい。そこで本研究開発では、製品構造の形状および穴の数など形態の変更をも可能とするもっとも設計自由度の高いトポロジー最適化を中心に、製品の開発段階における構想設計の充実をはかりながら、CAD、CAE、CAM との有機的統合化を行うことにより、高機能、あるいは今までに無い機能をもつ革新的な製品設計を可能とする新しい構想設計法を開発し、構造力学問題を対象にシステム化を図ることが必要と考えた。そこで、軽くて丈夫な最適製品形状を導出するトポロジー最適化ソフトと、得られた最適製品形状を設計者のツールであるCADモデルに変換するCADモデル作成ソフトで構成され、最適なCADモデルを自動生成可能で中小企業の設計者でも容易に最適化を使えるような、構造力学問題を対象とした形状構想設計システムを開発することとした。

②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システム

自動車産業では、燃費効率がよく、環境に優しい燃料電池自動車やハイブリッド車等の開発、高度な自動運転技術の開発が進んでおり、その開発において、高電圧・大電流の制御とそれに伴う効率的な熱制御、電磁波デバイスの多機能化が重要な開発項目となっている。そのため、上記構想設計法の中心となるトポロジー最適化の方法を、高機能デバイスの構想設計法に展開することでデバイスの多機能化が可能と考えた。具体的には、例えばシェルの表面に複雑なテクスチャーパターンを生成するなど、マルチスケール解析に基づくマイクロ・マクロ構造のトポロジー最適化による構想

設計法を開発するとともに、これにより電子デバイスの効率的な冷却機構、効率的な EMC 対策を実現可能な電磁波デバイス等を開発することとした。

【研究体制の構築】

①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム

構造力学を対象としたトポロジー最適化の技術は、京都大学で従来から取り組んでいるものであり、CAD モデルの作成に関しては、くいんと社が半自動であるが製品化を行っていることから、京都大学とくいんと社が設計システムの研究開発を行う。またトポロジー最適化については先行して COMSOL 版の開発を行い、これを試行する場として、研究テーマ「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」と連携し、テーマ担当者である公設試の大阪産業技術研究所にツールを設置、窓口となつていただき試行を進めてもらうことを H28 に決定した。

②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システム

トポロジー最適化の基本技術を京都大学、マルチスケール解析を東北大学で担当する形とした。また京都大学と東北大学で開発した技術を用いて実際のデバイスを設計し将来的に実用化する企業として、豊田中央研究所とアイシン・エイ・ダブリュ、本システムで設計したマイクロ・マクロ構造を高精度に微細造形するための製造技術開発を行う企業として、ナガセインテグレックス、岐阜多田精機に SIP に参画してもらうこととした。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

<京都大学>

- ・ SIP 公募に提案し採択（H26/9）。

【技術開発のマネジメント】

テーマの推進に当たっては、京都大学が中心となり、2ヶ月に一度委員会を開催し情報の共有・連携をしている。

【技術開発】

①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム

H28 年度までに CAD モデル作成ソフトの改良はおおよそ完了した。最適構造からできるだけ多くの解析曲面で表現された CAD モデルを作成することが特徴である。H29 年度と H30 年度は、トポロジー最適化ソフトと CAD モデル作成ソフトを統合しシステム化することを主に推進する。

②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システム

設計システムに関しては、H28 年度までに、熱制御可能なテクスチャーパターンを抽出する技術を開発した。製造技術に関しては、H28 年度までに、熱制御可能なテクスチャーパターンを評価用の部材に造形した試作品を作成できた。H28 年度以降は平行して、電磁波制御に関わる設計、製造法の研究開発を進める。

【技術の検証方法の決定】

①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム

システムを構成する技術のうち、トポロジー最適化については、その有用性に関しては論文等で実証されている。また H28 年度には、COMSOL 版を大阪産業技術研究所に設置し、企業での試行を開始することとした。CAD モデル作成に関しては、くいんと社で半自動の製品についてはすでに販売しており、この製品化で培ったテストケースを用いて、技術の検証を行うこととした。

②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システム

デバイスを将来的に実用化する企業である、アイシン・エイ・ダブリュにて、検証を実施することを決定した。

【技術検証】

①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム

くいんと社での検証を行い、複雑な曲面形状を有する最適構造に対して、解析曲面で構成される CAD モデルを自動認識して作成可能であることを、H29 年度までに確認した。トポロジー最適化については、大阪産技研にて、(株)ATOON のパワーアシストスーツ、(株)シロクマの金属金物（ドアノブ）を対象に実施しているほか、京都大学が京都の中堅・中小企業を中心に進めており、効果を確認できている。

②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システム

アイシン・エイ・ダブリュにて、H28より試作品の検証を実施している。

【知的財産の確保】

トポロジー最適化の基本特許については、京都大学が SIP 開始前に取得済みである。また、アイシン・エイ・ダブリュでは、試作品の検証結果に基づく熱制御デバイスの特許を H28 年に出願している。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

<京都大学>

- ・SIP 後も、トポロジー最適化の拠点として、SIP 外部含む企業・大学等からのニーズに対応する。

<くいんと社>

- ・SIP 後に、本事業の成果である、①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムを実用化する。

<ナガセインテグレックス、岐阜多田精機>

- ・SIP 後に、本事業の成果である、②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システムにおける製造技術を実用化する。

■ 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）】

①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム

SIP 開始時点で、SIP 終了後には、くいんと社が製品化することを検討していた。また H28 年度には、SIP テーマ間の連携打合せを通じて、トポロジー最適化ソフトを大阪産技研に設置し展開す

ることを決定した。さらに H29 年度には、SIP 終了後に京都の公設試や公的研究機関に設置する計画を関係機関と議論を行っている。

②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システム

京都大学は、SIP 開始時点で、SIP 終了後のコンソーシアム化を検討していた。

【コンソーシアムの運営】

<京都大学>

京都大学が中心となり、②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システムの実用化に向けて、H31 年度以降にコンソーシアム運営を検討。

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

<くいと社>

①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムの製品化を予定しており、H30 年度にβ版の開発、H31 年度以降の製品化をめざしている。

<ナガセインテグレックス、岐阜多田精機>

②熱・電磁波制御が可能なデバイスの構造設計システムにおける製造技術について、製造法や製造装置を、主に岐阜や愛知地区の中小企業に展開する予定である。

【ツールオープン利用】

トポロジー最適化を企業が試行する場として、大阪産業技術研究所にツールを H28 に設置。大阪産技研が窓口となり、大阪を中心とした中小企業に、トポロジー最適化技術をテストユースしてもらい展開を進めている。

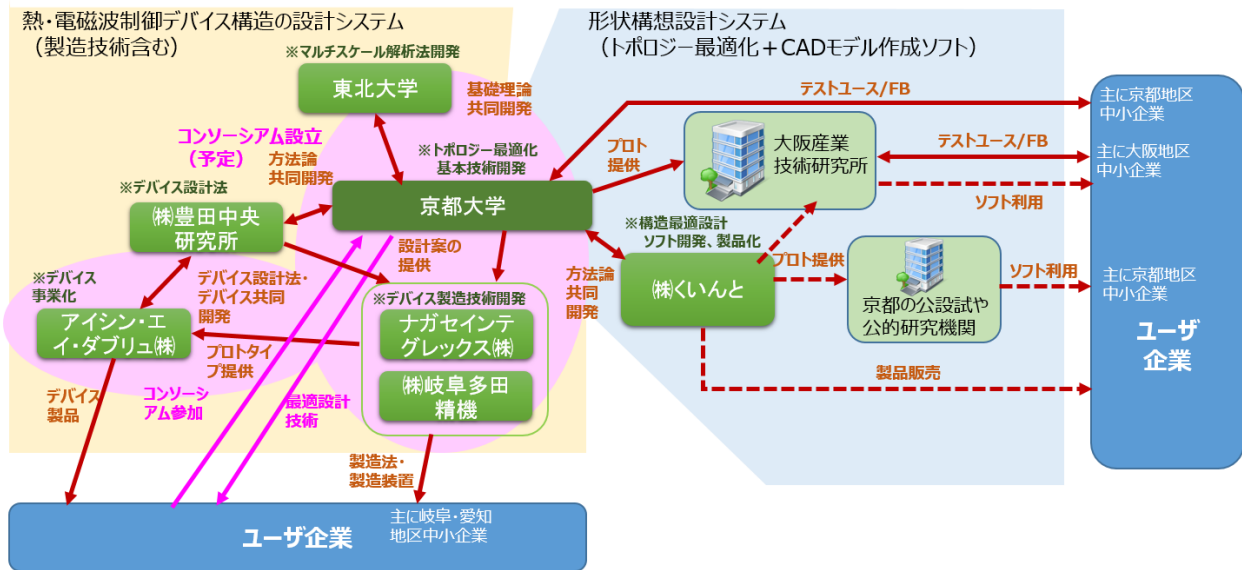
また H30 年度に完成予定の①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムのβ版を、京都の公設試や公的研究機関に設置し、企業がテストユースできる環境を整える予定である。

【技術の PR】

各種学会や名古屋設計製造ソリューション展などの展示会に出展し、技術の PR を実施している。またトポロジー最適化ソフトを設置した大阪産技研や、京都のものづくりに関わる公益財団法人でのセミナーを開催し、技術の普及展開を継続して実施している。

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

- 熱電磁波制御デバイスの構造設計ツールにおいては、設計した製品の実用化を検討する企業をチームに加えることで、技術に対するフィードバックが生まれ、短期間で実用化に近いツールを実現できる見込みである
- 構造力学問題を対象とした形状構想設計システムでは、成果であるツールを製品化する企業にチームに入ってもらうことで、産業界への展開をスムーズに行える見込みである
- 大阪産業技術研究所に、普及展開の場を構築することで、大阪の中小企業への展開が早いスピードで行えたと考える。

5) 場・仕組みからの FB

大阪産業技術研究所にトポロジー最適化ツールを設置し、関西を中心とした中小企業に展開している。

- おおむね良好な結果が得られており、さらに他の部品や製品への適用を検討している企業が多い。
- 条件の与え方によっては、製造要件を満足しない形状が創出されることがあり、条件設定に関して、事前の説明が必要な場合があることもわかった。

役割(アクション)	実施(予定)時期	だれが、いつ (からいつまで)、(だれと)、どのように行った	～H25				H26				H27				H28				H29				H30				H31～(将来の見込)			
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q								
技術アイデアの創出		京都大学では、従来よりトポロジー最適化の研究開発を行ってきた。自動車の電動化に伴い、熱、電磁場の最適化構造設計が必要と考えた。	→																											
研究体制の構築		開発する両ツールの体制をSIP開始前に決定。 ①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム 京都大学、くいと、大阪産技研 ②熱・電磁波制御可能なデバイスの構造設計システム 京都大学、東北大学、豊田中央研究所、アイシン・エイダブリュ、ナガセインテグレックス、岐阜多田精機	★ 技術開発の体制構築																											
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		京都大学が中心となりSIP公募に提案し、採択。(H26/9)	★ SIP認可																											
技術開発のマネジメント		京都大学が中心となり、2ヶ月に一度委員会を開催し情報の共有・連携を行う。	→ 定例開催の委員会によるマネジメント																											
実用化ツールの開発		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムトポロジー最適化：京都大学、CADモデル作成：くいと ②熱・電磁波制御可能なデバイスの構造設計システムトポロジー最適化の基本技術：京都大学、マルチスケール解析：東北大学、デバイス設計：豊田中央研究所、製造技術：ナガセインテグレックス、岐阜多田精機	→ ①トポロジー最適化 (CONSOL版) → ②熱制御デバイス構造設計システム → ①CADモデル作成ソフト → ②電磁波デバイス構造設計システム → ①トポロジー最適化とCADモデル作成ソフトの統合システム																											
技術の検証方法の決定		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム異方向性カスタムのテーマと連携し、大阪産技研にツールを設置し実施。 ②熱・電磁波制御可能なデバイスの構造設計システムデバイスを将来的に実用化する企業である、アイシン・エイダブリュを中心に実施。	★ 検証方法の決定 ★ 大阪産技研への設置決定																											
技術検証		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムH29/2に大阪産技研に設置。大阪産技研が窓口となり大阪の中小企業を中心に、また京都大学が京都の企業を中心にテストユースを実施。 ②熱・電磁波制御可能なデバイスの構造設計システムアイシン・エイダブリュなどで、シミュレーションや実験にて、設計した熱制御デバイスの有効性を確認。	→ ①大阪産技研のテストユース → ②アイシン・エイダブリュなどでの検証 → ①京都大学でのテストユース → ②熱制御デバイス事業化																											
知的財産の確保		【京都大学】SIP開始前にトポロジー最適化の基本特許を取得済み。 【アイシン・エイダブリュ】熱制御デバイスの特許をH28年に出願。	★ 基本特許出願 ★ デバイス特許																											
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムH28年度でCADモデル作成ツールの改良プロト完。 ②熱制御デバイス設計ツールの一次プロト完 (H28)	★ ①CADモデル作成ツールプロト完 ★ ②熱制御デバイス設計ツール一次プロト完 ★ ①統合システムβ版 ★ ②電磁波制御デバイス設計ツール一次プロト完 ★ ①統合システムβ版																											
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)		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムSIP開始時点で、SIP終了後は、くいと社が製品化する。大阪産技研に設置し展開することを検討していた。さらにH29年度には、SIP終了後に京都の公設試や公的研究機関に設置する計画を関係機関と議論中。 ②熱・電磁波制御可能なデバイスの構造設計システム京都大学は、SIP開始時点で、SIP終了後のコンソーシアム化を検討していた。	★ 出口戦略の決定 → ②コンソーシアム化検討 → ②コンソーシアム化準備 ★ 大阪産技研との議論 ★ 京都公的機関との議論																											
コンソーシアムの運営		②熱・電磁波制御可能なデバイスの構造設計システムH31年度以降にコンソーシアム運営を検討	→ ②コンソーシアム運営																											
ベンチャー設立		-																												
ツール販売		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システムくいと社が製品化予定。H30年度にβ版、H31年度以降製品化。	★ ①製品化 (H31～)																											
ツールオープン利用		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム大阪産技研、京都の公的機関に、SIP終了後も当面の間はツールを設置し、企業が活用可能な状態を維持。	→ ①大阪産技研 → ①京都の公的機関																											
技術のPR		①構造力学問題を対象とした形状構想設計システム各種学会や名古屋設計製造ソリューション展などの展示会に出展し、技術のPRを実施している。またトポロジー最適化ソフトを設置した大阪産技研や、京都のものづくりに関わる公益財団法人でのセミナーを開催し、技術の普及展開を継続して実施。	★ SIP設計生産シンポ ★ 名古屋設計製造ソリューション展 ★ 大阪産技研セミナー ★ SIP設計生産シンポ ★ SIP設計生産シンポ ★ 京都公益財団法人セミナー																											

ナノ物質の集積複合化技術の確立と戦略的産業利用

1) 開発の取り組み内容

素材の新規特性付与と高特性化にはナノ物質をマトリックスに添加することで得られる複合材料の開発が有効であり、これまでに多くの試みがなされてきた。しかしながら、従来の粉末冶金的手法では、大きさ、比重、形状が大きく異なる添加物（ナノ物質）と基材となるマトリックス粒子を機械的に混合するために、均質な混合原料粉末を得ることができず、この結果、ナノサイズの添加物を有効に材料内に導入することができなかつた。これまで膨大な研究例があるにも関わらず、任意の微構造を再現性良く導入する製造プロセスが確立されておらず、この分野の閉塞感を招いていた。

本研究実施者は、静電相互作用を用いて、マトリックス粒子表面にナノ添加物を均一、かつ高分散状態で吸着させる技術を提案し、得られた複合粒子を出発原料とすることで、従来の機械混合プロセスを一切用いること無く再現性良く、高機能ナノ複合材料を開発することができることを示し、複合材料開発において世界から注目を集めてきた。しかしながら、当該研究開始前は、複合粒子の作製手順は煩雑で多くの時間を要しており、材料開発に供する為の十分な量を供給することができなかつた。本課題では、世界に先駆けて、複合化プロセスの自動化、連続化に取り組み、迅速で高精度、かつ安価に複合粒子を供給できる量産化プロセスの構築と製造装置の開発に取り組むこととした。

■ 実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

SIP以前のかかなり早い段階から、本研究実施者はナノ複合材料の基礎検討を進め、成果を各種学会・展示会で紹介し、また技術相談にも応じてきた。2012年から、本研究実施者の元への技術相談は75社にのぼっていた。幾つかの展示会（イノベーションジャパン等）への出展においては、ブースへの来訪者が途切れることがないほど、多分野から多大な関心を寄せられていた。特に、充填剤の混合が必須となる樹脂材料メーカーや、多成分系が材料設計の基本となるガラス・セラミックスメーカーにおいては、材料複合化における問題は切実であった。その一方で、かかる企業は最終製品の製造メーカーであるため、原料物質そのものをデザインし、更に複合粒子として製造する技術を持たない。つまり、本研究実施者との共同研究やサンプル提供にて、所望の特性を有する原料物質の創成がラボスケールで確認できても、その原料物質の供給が可能な体制が世の中にないため、パイロットスケールの試験を行うこともままならず、事業化への障壁となっていた。

【研究体制の構築】

本研究実施者は、機動力を最大限発揮できるよう大学単独による研究体制で事業を進めるとした。一方で、創成された研究成果が広く活用されるよう研究会（「ナノ物質集積複合化技術研究会」）を立ち上げた。SIP開始前から、愛知県の公益財団法人科学技術交流財団が支援する研究会（ナノ物質の高度集積化技術による新規機能性微粒子と革新的複合材料の創製）や共同研究等を通じた大学・企業等との連携実態があったため、SIP開始時にはこれら連携先と引き続き技術交流を続けることで、

自然と新たな研究会が立ち上がり、連携体制が構築された。また、SIP開始後は、SIP内での連携も積極的に推進した。具体的には、岩手大学平原グループの分子接合の技術を利用した協調を進めカスタム複合チップの作製を行い、テストユースを行った。また、横浜国立大学丸尾グループをはじめとする3D造形グループとの連携も進め、複合粒子の提供等で協力関係を築いた。その他、材料の新規分野開拓は基礎研究に実績のある大阪大学、ナノ複合膜の形成は産業技術総合研究所と、それぞれ情報交換を進めつつ連携を推進した。加えて、SIP外においては、新たな取り組みとして公設試との連携を進め、東海地区の企業との共同研究を推進できる体制を構築した（粒子設計拠点）。また、研究会参加企業、先行する共同研究企業へは、SIPでの研究成果を展開し、更に発展的な研究開発を促進した。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

ナノ複合粒子を設計する手法の確立と、迅速かつ安価に供給できる量産技術の開発を SIP に提案し、H26 に採択され研究に着手した。

【技術開発のマネジメント】

本研究実施者が提案するナノ物質集積化技術（複合粒子設計）は、粉末の基盤技術となるものであることから、製造装置・方法に関する技術確立に特定の民間企業が関与することを排除し、大学のみで独自確立することを基本方針として定めた。そして、ナノ物質集積化技術の社会実装と汎用化のため、「ナノ物質集積複合化技術研究会」を設立、H29 年度末までに計 10 回の研究会を開催した。この研究会にて、モデル材料であれば誰でも作製できるスキルの習得を目的とした実習や、自動装置の使用方法、先端的な基礎研究のトピック紹介等を実施した。

【技術開発】

・ナノ複合粒子製造装置の開発

H28 年度までは、従前のプロジェクトで開発した反応槽型の複合粒子製造装置（試作機）を改良することで処理能力の向上を目指した。処理量改善を目指し、反応槽の形状、攪拌システムの検討を通して濃厚溶液（20～30vol%）での作製法を確立し、先の試作機との比較において、3～4 倍程度の処理量（300～400g/h）を達成した。さらに反応槽での処理限界を超えるため、「連続型」の複合化装置を提案し、最適化を行った。本装置により、処理量の大幅な改善のみならず、母粒子への子粒子付着量の制御や均質性の向上が可能となることが明らかとなった。H29 年度以降は、連続製造のためのシステム化を進め、最終目的として掲げた傾斜構造、内部構造の 3D 化構造部材開発に繋げる。

・エアロゾルデポジション（AD）用ナノ複合粒子の開発

H28 年度までは、自作の AD 成膜装置（低温厚膜製造装置）の導入と、汎用性の高い典型的なセラミックスであるアルミナを原料とした硬質透明膜の成膜条件の検討を行い、そこから新たな機能を付与した機能性膜の製造手法を確立した。そして、次の段階として、複数種のナノ物質が膜中に取り込まれた多元多機能（マルチファンクション）AD 膜の開発に取り組んだ。（H28 年度で終了）

・付加製造技術の発展に寄与する各種原料の開発

H28 年度までは、炭酸ガスレーザー等で十分に焼結可能なナノ複合粒子を開発するため、焼結助剤との複合化等を検討し、他機関への粉末提供を徐々に開始した。また、グリーン体の複雑造形技術に

資するナノ複合粒子（ポスト焼結）について、企業との連携を進めるべく、特定企業とNDA下での研究交流を進めた。H29年度以降は、H28年度までに予備的検討を終えた、セラミックス直接3D造形用粉末を原料とした焼結実験を平行して実施している。また、特殊用途に向けた傾斜組織材料の開発をいち早く達成するために、組成比を連続的に変化させる製造技術（母材粒子と子粒子との体積比を0～40%程度）を進展させ、傾斜構造を有する板材（傾斜組成範囲：0～100%程度）の開発を行っている。さらに、京都大学、西脇教授らのグループとの連携を進めて、トポロジカルデザインを導入した機能性部材の検討を開始する。最終目的とする、特殊用途に向けた傾斜組織材料（傾斜組成範囲：0～100%）を用いて傾斜構造を有する板材の開発を行う。

【技術の検証方法の決定】

実施者（大学）は、ナノ複合粒子の迅速かつ安価な供給方法を開発、そこで試作したサンプルを、製造メーカー等、量産化を前提とする機関へ提供し、テストユースを実施する方法とした。

【技術検証】

SIP 実施者の開発した連続複合粒子製造装置で作製したサンプルを、製造メーカー等へ提供してテストユースを実施。具体的には、付加製造技術用粒子提供、特定用途の複合材料提供、AD用粉末提供等を実施した。それぞれのフィードバックを活かし、材料の多様性、オンデマンド性を検証した。

【知的財産の確保】

<豊橋技術科学大学> SIP 期間前に、ナノ複合材料と製造方法に関して6件を出願。

さらに SIP 期間中に、複合粒子製造装置の知財化（H29年PCT出願）をはじめ、複合粒子およびその製造方法に関連して合計4件を出願中。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

<豊橋科学技術大学> 複合粒子製造装置開発および複合粒子の設計技術の開発を通じて、迅速かつ安価な製造方法の確立を行い、企業へサンプル提供を行うと共に、企業が自律的に製造できるようにマニュアルを整備する。

<岐阜県セラミックス研究所> 東海地区の企業との共同研究体制を構築し、粒子設計拠点とする。

■ 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）】

ナノ複合粒子の精密な製造手法が確立され、複合粒子量産装置が実用化されると、川下側のユーザへそれらが提供され、ユーザは仕込み成分が予め複合化された状態の原料物質を入手できる。添加物の偏在によってバルク全体の特性を向上させることができないという現状の課題を解決し、添加量に応じた所望の（設計通りの）特性を発現させることができ、自社製品の改良・高機能化を行うことができる。実用化される研究開発成果は、デザインされた原料物質の供給という川上の源流に位置する技術であるため、高分子材料から金属、セラミックス材料に至る幅広い素材メーカーが本技術の活用先になる。

【コンソーシアムの運営】

科学技術交流財団の研究会に参画した企業（約 30 社）、過去に技術相談で来校した企業（約 75 社）、イノベーションジャパン等の展示会・学会にて名刺交換した企業（約 200 社）を対象に、特に関心を持つ企業を選び、H27 年度にコンソーシアム（ナノ物質集積複合化技術研究会）を設立した。これらの企業に対して情報提供の場として研究会（セミナー・実習）を実施した（年 4 回程度）。研究会は、登録機関数 37（民間企業 35、公的機関 2）、登録人数 90 人となり、産業界からの高い関心を集めた。H29 年度以降は、社会実装の実現性の高い企業を選定し個別での共同研究に比重を移している。また、地域創生を加速させるために、研究会メンバー以外にもセミナー・実習への参加を開放し、東海エリアを含めた企業が参加する実習を開催している。最終年度は、研究会の体制も維持しつつ、実用化に向けた個別の対応に更に重きを置き、十分な量の複合粒子を提供することで、社会実装の実現を加速する。

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

1. メーカー自身による製造：共同研究に発展した企業には、基本特許の通常実施権をライセンスし、自社生産による事業化を可能とする。
2. 粒子設計拠点の活用：有料での技術講習を定期開催し、企業による複合粒子作製の基本スキル習得（企業内への浸透と醸成）を図る。ラボスケール、パイロットスケールでの必要量の複合粒子は、拠点に設置する複合粒子製造装置を企業が時間利用することで、試作できるよう整備する。尚、企業が試作から商用的な生産スケールで製造へステップアップする際には、製造装置・方法について通常実施権をライセンスする。
3. その他：ナノ複合粒子の成果として、複数企業との産学連携が創出され、今後の実用化に向けた検討が開始された。

【ツールオープン利用】

<豊橋技術科学大学> 開発したナノ複合粒子の製造方法を全て開示するとともに、定期的に研究会を開催して参加者が自ら複合粒子を作製できるようにするなど、基本的にオープン化の戦略をとり、これをもって SIP 外の機関が広くテストユースできる結果となった。

<岐阜県セラミックス研究所> ツールを設置する。オープン利用を開始（H31 年～）。

【技術の PR】

ナノ複合粒子活用に関する動向調査を本テーマ実施項目の一つとした。本研究実施者は、従来から技術相談を通じて、電器、機械、材料、ヘルスケア、化粧品、食品等々、ナノ物質を含む粉末を扱う全ての業種がナノ物質集積化技術に強い関心を寄せていることを把握していたため、粉を扱う企業が一堂に会する粉体工業展へ出展し、これを最大限に活用して動向調査を進めた。

粉体工業展、更には nanotech への出展は大きな反響を呼び、多数の来訪者から多岐にわたるニーズを収集することができた。更には、粉末について切実な課題を抱える企業とのマッチングが成立し複数の共同研究へと発展した。また、あいち産業科学技術総合センターと協調して、愛知県内外における3Dプリンタを中心としたニーズや動向調査・課題の抽出を進めた。その結果に基づき、材料種の選定を行い、試作品を提案するための検討を行った。

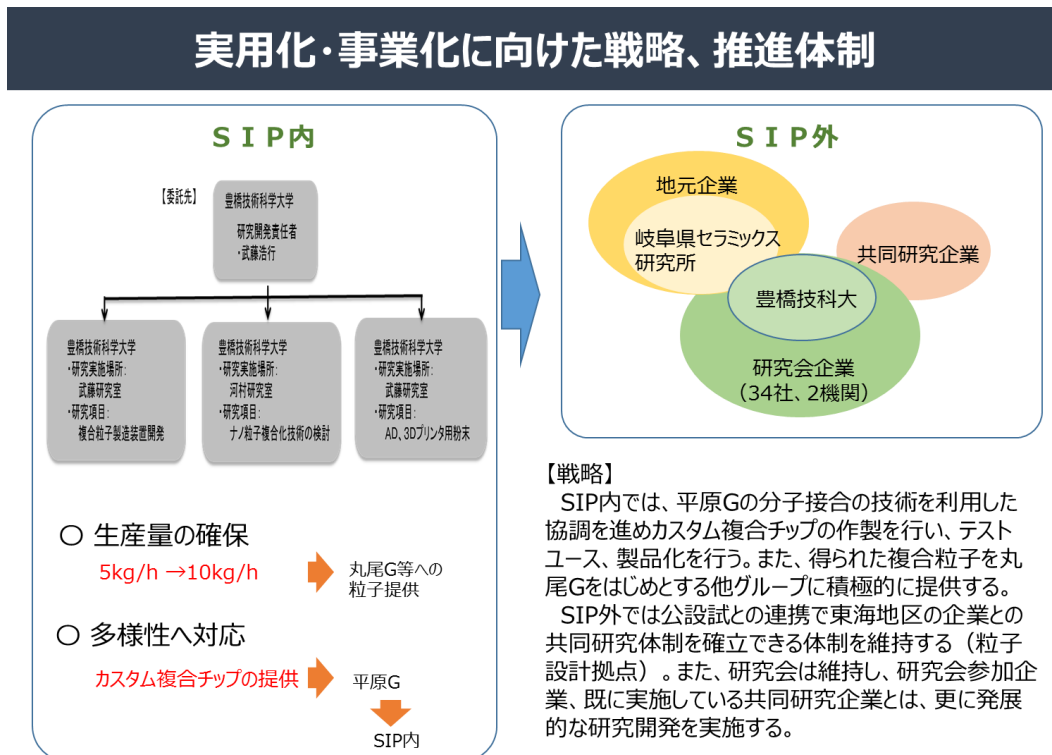
H29年度以降は、新規に開発を進めている傾斜材料製造プロセスに関する情報を、学会、展示会等を利用して積極的に情報発信しながら、活用領域の開拓を進める。必要に応じて、あいち産業科学技術総合センター、岐阜県セラミックス研究所、三重県工業技術センター等の公設試内での広報活動（パネル、試作品の展示）を実施する。特に岐阜県セラミックス研究所では、主催されるセミナーでの講演を予定しており、岐阜県セラミックス研究所を介した周辺企業とのマッチングを試みる。また、費用の問題がクリアされる場合には、各試公研への装置設置の可能性に関して検討を進める。研究開発の実績を踏まえて、実現可能と思われる材料種、組成、微構造の提案を行い、媒体で提供できるように整備する。これに関してもプロジェクト終了以降も、公開可能な範囲で更新できる仕組みを確立し、企業の積極的な利用を促すために展示会等の広報活動を行う。H29/9月、複合粒子製造実習（20名）等実績あり。

主なアウトリーチ活動

- ・招待講演（8回）
- ・企業内講演会（2回）
- ・プレス報道（1回）
- ・展示会（H27年度3回、H28年度2回、H29年度3回）

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

- SIP 以前の早い段階からナノ物質集積化技術の基礎検討を進め、その成果を各種学会・展示会で紹介し、技術相談にも応じてきたこと。このため実用化を目指す樹脂材料メーカーやガラス・セラミックスメーカーの関心があらかじめ高まっており、テストユース先候補をゼロから探索する必要がなかったこと。
- SIP 内の他テーマで、ナノ複合粒子を3D造形に適用できる可能性が広がったこと。また、分子接合技術など、本テーマの流路チップ作成に応用できる技術が見つかったことなど、SIP 内のテーマ間の技術連携を実施したこと。
- 大学起点の研究会を維持し、東海地区企業をはじめとする参加企業や地元公設試と発展的な研究開発を実施できたこと。

5) 場・仕組みからの FB

開発した複合粒子製造装置を、豊橋技科大、岐阜県セラミックス研究所にそれぞれ設置し、企業研究者にテストユースしてもらい、各社自らサンプルを製造し有用性を確認することができる。

役割(アクション)	実施(予定)時期	だが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行った	開発のタイムライン												H31~(将来の発見)								
			~H25			H26			H27			H28				H29			H30				
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
技術アイデアの創出		SIP以前のかなり早い段階から、本研究実施者はナノ複合材料の基礎検討を進め、成果を各種学会・展示会で紹介し、また技術相談にも応じてきた。2012年から、本研究実施者の元へ技術相談が寄せられ、おぼろげに、幾つかの展示会(イノベーションジャパン等)への出席においては、ブースへの来訪者が溢れることがないほど、多分野から多大な関心を寄せられている。特に、充填剤の混合が必要となる樹脂材料メーカーや、多成分系材料設計の基本となるガス・セラミックスメーカーにおいては、材料複合化における問題は切実であった。~以下、本文参照。																					
研究体制の構築		本研究実施者は、機動力を最大限発揮できるように大学単独による研究体制で事業を進めるとして、一方で、創成された研究成果が広く活用されるよう研究会(「ナノ物質集積複合化技術研究会」)を立ち上げた。SIP開始前から、愛知県の公益財団法人科学技術交流財団が支援する研究会(ナノ物質の高集積複合化技術による新規機能性微粒子と革新的複合材料の創製)や共同研究等を通じた大学・企業等との連携実態があったため、SIP開始時にはこれら連携先と引き続き技術交流を続けることで、自然と新たな研究会が立ち上がり、連携体制が構築された。また、SIP開始後は、SIP内での連携も積極的に進化した。~以下、本文参照。																					
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		ナノ複合粒子を設計する手法の確立と、迅速かつ安価に供給できる量産技術の開発をSIPに提案し、H26に採択され研究に着手した。																					
技術開発のマネジメント		本研究実施者が提案するナノ物質集積複合化技術(複合粒子設計)は、粉末の基礎技術となるものであることから、製造装置・方法に関する技術確立に特定の民間企業が関与することを排除し、大学のみで独自進捗することを基本方針として定めた。~以下、本文参照。																					
技術開発		-ナノ複合粒子製造装置の開発 H28年度までは、従前のプロジェクトで開発した反応槽型の複合粒子製造装置(試作機)を改良することで処理能力の向上を目指した。処理量改善を目指し、反応槽の形状、攪拌システムの見直しを通して濃度濃液(20~30vol%)での作製方法を確立し、先の試作機との比較において、3~4倍程度の処理量(300~400g/h)を達成した。さらに反応槽での処理限界を超え、本装置により、処理量の大幅な改善のみならず、母粒子への粒子付着量の制御や均質性の向上が可能となると明らかとなった。~以下、本文参照。																					
技術の検証方法の決定		実施者(大学)は、ナノ複合粒子の迅速かつ安価な供給方法を開発、そこで試作したサンプルを、製造メーカー、量産化を前提とする機関へ提供し、テストユースを実施する方法とした。																					
技術検証		SIP実施者の開発した連続複合粒子製造装置で作成したサンプルを、製造メーカーへ提供してテストユースを実施。具体的には、付加製造技術用粒子提供、特定用途の複合材料提供、A/D用粉末提供等を実施した。それぞれのA/D(バグ)を活かし、材料の多様性、オンデマンド性を検証した。																					
知的財産の確保		<豊橋技術科学大学> SIP期間中に、ナノ複合材料と製造方法に関して6件を出願。さらにSIP期間中に、複合粒子製造装置の知財化(H29年PCT出願)をはじめ、複合粒子およびその製造方法に関連して合計4件を出願中。																					
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)		<豊橋技術科学大学> 複合粒子製造装置開発および複合粒子の設計技術の開発を通じて、迅速かつ安価な製造方法の確立を行い、企業へサンプル提供を行うと共に、企業が自律的に製造できるようにマニュアルを整備する。~以下、本文参照。																					
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)		ナノ複合粒子の精密な製造手法が確立され、複合粒子製造装置が実用化されると、川下創のユーザーがそれら提供され、ユーザーは仕込み成分が予め混合された状態の原料物質を手に入手できる。添加物の存在によってバグ全体の特性を向上させることができ、添加物の種類によってバグ全体の特性を向上させることができる。設計通りの特性を発現させることができ、自社製品の改良・高機能化を行うことができる。実用化される研究開発成果は、デザインされた原料物質の供給といく川上の原料に位置する技術であるため、高分子材料から金属、セラミックス材料に至る幅広い素材メーカーが本技術の活用先となる。																					
コンソーシアムの運営		科学技術交流財団の研究会に参加した企業(約30社)、過去に技術相談で来校した企業(約75社)、イノベーションジャパン等の展示会・学会にて名刺交換した企業(約200社)を対象に、特に関心を持つ企業を選び、H27年度にコンソーシアム(ナノ物質集積複合化技術研究会)を設立した。~以下、本文参照。																					
ベンチャー設立		-																					
ツール販売		1. メーカー自身による製造: 共同研究に発展した企業には、基本特許の通常実施権をライセンスし、自社生産による事業化を可能とする。~以下、本文参照。																					
ツールオープン利用		<豊橋技術科学大学> 開発したナノ複合粒子の製造方法を全て開示するとともに、定期的に研究会を開催して参加者が自ら複合粒子を作製できるようにするなど、基本的にオープン化の戦略をとり、これをもってSIP外の機関が広くテストユースできる結果となった。~以下、本文参照。																					
技術のPR		ナノ複合粒子活用に関する動向調査を本テーマ実施項目の一つとした。本研究実施者は、従来から技術相談を通じて、電器、機械、材料、ヘルスケア、化粧品、食品等々、ナノ物質を含む粉末を扱う全ての業種がナノ物質集積複合化技術に関心を持っていて把握していたため、粉を扱う企業が一堂に会する粉体工業展へ出席し、これを最大限に活用して動向調査を進めた。~以下、本文参照。																					

超 3D 造形技術プラットフォームの開発

1) 開発の取り組み内容

本研究は、これまで横浜国立大学で開発してきた「3次元マイクロ・ナノ光造形技術」と、光造形の応用範囲を飛躍的に拡大できる「3次元セラミックス鋳型技術」の普及と実用化をめざして、従来法の技術的課題を解決し、「超3D造形技術プラットフォーム」を構築することを目的とするものである。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

横浜国立大の丸尾教授は、2光子マイクロ光造形技術について、約20年にわたり研究開発を進めている。市販の光造形装置では加工線幅が約 $10\mu\text{m}$ 以上、ドイツのNanoscribe社が市販しているマイクロ光造形装置は加工線幅が約 $0.2\mu\text{m}$ であり、医療分野等で現状望まれている $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の加工線幅、さらに $0.05\mu\text{m}\sim 1\mu\text{m}$ の加工線幅で造形可能な装置はなかった。横浜国立大では、レーザー光を変調し、集光スポットを制御することで加工線幅を制御するアイデアをすでにH25年頃から検討しており、本SIPではこれらの領域をカバー可能な造形技術及び造形装置を開発することを、一つの目標として設定し、H26年度より研究開発に着手した。

【研究体制の構築】

本研究の成果である現状ニーズに対応した $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の加工線幅を持つ3D造形装置(普及型マイクロ光造形装置)を一般ユーザに広く活用いただくために、オープンイノベーション場として、普及型マイクロ光造形装置を公設試に設置することを考え、神奈川県公設試である神奈川県産業技術センター(現神奈川県立産業技術総合研究所)に、H27年度より共同実施者としてSIPに参画してもらうこととした。

(その背景については出口戦略【ツールの出口戦略の決定】の項目を参照)

【研究テーマ提案(研究資金の獲得)】

<横浜国立大学>

- ・SIP公募に提案し採択(H26/9)。
- ・文部科学省の都市エリア事業「横浜内陸部エリア」(H19~H21)
- ・科学技術振興機構さきがけ(H18~H22)

【技術開発のマネジメント】

横浜国立大学丸尾研究室が中心となり、横浜国立大学大学院に超3D造形技術プラットフォーム研究拠点を形成し、マネジメントを実施。

【技術開発】

横浜国立大では、3Dマイクロ光造形装置の一つである、現状ニーズに対応した $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の加工線幅を持つ3D造形装置（普及型マイクロ光造形装置）を開発した。普及型装置のほか、より微細な加工が可能な超高速3Dナノ造形装置や、造形時の段差やサポートを低減可能な全方位型造形システムなどの装置、更には非樹脂材料、例えばファインセラミックや生体細胞などによる3D構造体を形成するための3D鋳型技術を開発しており、H28年度にはプロトが完成した。H27年度からは開発技術を血管モデルや細胞培養用のバイオセラミックス部品など再生医療デバイスを対象として適用を行い、生体適合性も含めた検証を実施している。H29年度以降は、ナノ造形で得られた知見を活用し、普及型マイクロ光造形装置の高精度化、高分解能化を図る取り組みにも着手している。

また、SIPプロジェクト内での連携として、京都大学 西脇教授が進めているトポロジー最適化と超3D造形の融合をH28年度に進めた。ここでは、トポロジー最適化された複雑で微細なマイクロピンセットを設計し、実際にマイクロピンセットを3D造形にて試作して、駆動の検証までを行った。さらに、山形大学 古川教授が進めているデザイナブル3D造形において、高精度造形を行う際の技術として、3Dマイクロ光造形技術を提供する予定となっている。

【技術検証】

横浜国立大学では、再生医療デバイスを対象としてテストユースを行い、生体適合性も含めた検証を実施している。神奈川県産業技術センター（現神奈川県立産業技術総合研究所）では、企業と連携し3Dナノインプリント鋳型、3Dセラミックス造形などで技術検証を実施している。

【知的財産の確保】

知財に関しては、特徴的な製造方法、製造装置を用いて作成した造形物等の出願を随時行っている。

- ・「光造形装置」 特許 出願日：2016/11/24 出願番号：2016-700007
- ・「樹脂成形体の製造方法」 特許 出願日：2015/12/16 出願番号：2015-245679

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

<横浜国立大学>

- ・SIP成果である複数の3Dマイクロ光造形装置を有する超3D造形技術プラットフォーム拠点として、SIP後も、SIP外部含む企業・大学等からのニーズに対応する。

■ 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）】

本研究で開発する3Dマイクロ光造形装置の一つである、現状ニーズに対応した $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の加工線幅を持つ3D造形装置（普及型マイクロ光造形装置）を、企業で試作や評価に使ってもらうことが、SIPでめざしている高付加価値製品の創出には必要と考えた。なぜなら、平成19～21年度に文部科学省の都市エリア事業「横浜内陸部エリア」において、丸尾教授らは3D造形装置や3D形状計測装置の開発を産学連携で行ったが、当時は一般ユーザが自由に活用できる体制が構築できず、開発した技術

を広く活用していただくまでには至らなかったからである。

そのためのオープンイノベーション場として、普及型マイクロ光造形装置を公設試に設置することを考え、神奈川県公設試である神奈川県産業技術センター（現 神奈川県立産業技術総合研究所）と相談を重ね、SIP 申請時にはプロジェクトへの協力の約束を交わした。さらに、H27 年度より共同実施者として SIP に参画してもらうこととした。また、公設試に設置した装置の企業の活用、実用化ならびに技術の普及展開を目的として、講習会や講演会を実施するサポート体制として超 3D 造形ものづくりネットワークという団体を H27/6 に立ち上げた。また、SIP プロジェクト開始直後の H27 年度から普及型装置を実用化してくれる企業の探索、実用機の仕様策定にも取り組むこととした。

【コンソーシアムの運営】

<横浜国立大学>

公設試に設置した装置の企業の活用、実用化ならびに技術の普及展開を目的として、講習会や講演会を実施するサポート体制として超 3D 造形ものづくりネットワークという団体を H27/6 に立ち上げた。超 3D 造形ものづくりネットワークは、SIP 終了後も継続の方向で検討中である。

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

<横浜国立大学>

具体的な装置販売は検討中の段階であるが、SIP プロジェクト開始直後の H27 年度から普及型装置を実用化してくれる企業の探索、実用機の仕様策定にも取り組み、SIP 終了後にも企業や大学などが広く利用できる体制を維持・継続するための準備を行っている。

【ツールオープン利用】

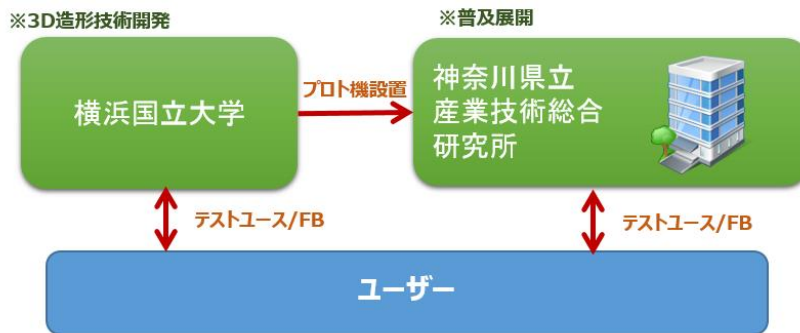
H27/10 に、普及型マイクロ光造形装置の開発が完了し、神奈川県産業技術センターに設置した。ものづくりネットワークに参加している企業でのテストユースとして、3D ナノインプリント鋳型、3D セラミックス造形などが進められている。より高精細な精度が必要な場合には、横浜国立大の装置でテストユースも実施している。また、神奈川県立産業技術総合研究所では、SIP で開発した普及型マイクロ光造形装置を含むもの作り関連の装置を集約して、広く一般に公開利用可能な Fablab の設立を 2016 年度から検討を開始した。普及型マイクロ光造形装置は、SIP 終了後も神奈川県立産業技術総合研究所に開設予定の FabLab に設置し一般公開する予定である。

【技術の PR】

丸尾教授を中心に学会、各種講演会で発表しているほか、横浜国立大学では、H27/7、H28/7、H29/6 に超 3D 造形に関わるシンポジウムを開催、H27、H28 のイノベーションジャパンに出展するなど、技術や超 3D ものづくりネットワークの PR に努めている。

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



超3D造形ものづくりネットワーク



4) 成功要因と課題

普及型の装置を研究の早い段階で開発、神奈川県工業技術センター（公設試）に設置しオープンイノベーションの場を設けること、さらにそれらの普及展開を図るための産学官の連携組織として超3Dものづくりネットワークを設立することで、企業でのテストユースを早い段階から実施することができ、技術や装置の完成度や汎用性を高めることができた。

5) 場・仕組みからのFB

普及型マイクロ光造形装置プロト機を設置した神奈川県工業技術センター（現神奈川県立産業技術総合研究所）を活用の場として運用している。3D ナノインプリント鋳型では、現状設置してある普及型装置では造形が困難な場合も生じており、H29 年度以降の普及型装置の高精度化、高解像度化にフィードバックすることができている。

役割(アクション)	実施(予定)時期	だれが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行った	～H25				H26				H27				H28				H29				H30				H31～(将来の見込)							
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q												
実用化ツールの開発	技術アイデアの創出	横浜国立大学の丸尾教授は、2光子および1光子マイクロ造形技術について、約20年にわたり研究開発を進めている。横浜国立大では、SIP開始前に所望のサイズに加工線幅を制御するアイデアや青色レーザーを用いた造形法をすでに検討していた。	→																															
	研究体制の構築	研究開始時点では、技術開発が中心のため横浜国立大単独。H27年からは技術を展開するためのオープンバージョンの場として、神奈川県産業技術センターが参画。	☆																															
	研究テーマ提案(研究資金の獲得)	横浜国立大学がSIP公募に提案し、採択。(H26/9)	☆																															
	技術開発のマネジメント	横浜国立大学丸尾研究室が中心となり、横浜国立大学大学院に超3D造形技術プラットフォーム研究拠点を形成し、マネジメントを実施。	→																															
	技術開発	横浜国立大にて、技術開発を実施。普及型マイクロ造形装置(～H27/10)、超高速3Dナノ造形装置、全方位型造形システム(～H28年度)などの装置を開発。H29年度からは、ナノ造形で得られた知見を加味しながら、普及型マイクロ造形装置の高精度化、高分解能化を推進しながら、実用化に向けた取り組みも実施。 またSIPプロジェクト内での連携として、京都大学 西脇教授が進めているトポロジー最適化と超3D造形の融合として、マイクロピセットの施策を実施。	→																															
	技術の検証方法の決定	超高速3Dナノ造形装置、全方位型造形システムは、横浜国立大にて、医療応用などでテストユースを実施し、普及型マイクロ造形装置は公設試にて、企業でのテストユースを行うこととした。	☆																															
	技術検証	横浜国立大学では、再生医療デバイスを対象としてテストユースを行い、生体適合性も含めた検証を実施。 神奈川県産業技術センター(現神奈川県産業技術総合研究所)では、企業と連携し3Dナノプリント成型、3Dセラミクス造形などで技術検証を実施。	→																															
	知的財産の確保	特徴的な製造方法、製造装置を用いて作成した造形物などを随時出願。	☆																															
出口戦略	技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)	普及型マイクロ造形装置のプロト機を完成し、神奈川県工業技術センターに設置(H27/10)。 超高速3Dナノ造形の検証装置、全方位型造形システムのプロト機完成(H28/3)。	☆																															
	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)	SIP開始時点で、3D造形技術の周知普及の場及びオープンバージョンの場をつくることを企画していた。 関係組織との調整の結果、前者については超3DものづくりネットワークとしてH27年6月に、後者については神奈川県産業技術センターにテストユースを可能とすべく普及機プロト機を設置することをH26年2月頃に決定した。さらに、H28年度には、SIP終了後の展開策について検討に着手し、神奈川県産業技術総合研究所に設置済装置をSIP終了後もFablabの一部として継続利用可能とすることとした。合わせて、普及機プロトタイプ機をベースに実用機を実現することに向けた検討(仕様策定、体制構築等)をSIPプロジェクト開始直後のH27年度からすすめた。	☆																															
	コンソーシアムの運営	普及展開のための組織として、産学官で構成される超3D造形ものづくりネットワークを設立(H27/6)。ここへの参画企業を中心にテストユースを行い、技術の検証と高付加価値製品の創出を行うこととした。超3D造形ものづくりネットワークは、SIP終了後も継続の方向で検討中。	☆																															
	ベンチャー設立	-																																
	ツール販売	SIPプロジェクト開始直後のH27年度から普及型装置を実用化してれる企業の探索、実用機の仕様策定にも取り組み、SIP終了後も企業や大学などが広く利用できる体制を維持・継続するための準備を行っている。	→																															
	ツールオープン利用	神奈川県産業技術センターに普及型装置を設置(H27/10)。SIP終了後も一般が活用可能な体制を構築。	→																															
	技術のPR	学会、各種講演会で発表しているほか、横浜国立大学では、H27/7、H28/7、H29/6に超3D造形に関するシンポジウムを開催。H27、H28のイノベーションジャパンに出展するなど、技術や超3DものづくりネットワークをPR。	☆																															

イノベーションソサエティを活用した中部発革新的機器製造技術

1) 開発の取り組み内容

3Dプリンタ技術を中心とする製造技術革命は、日本、ヨーロッパ、米国それぞれの立場、技術背景のもと、大きな技術的潮流を形成しつつある。現時点では、通常の機械加工、特殊加工では実現困難な形状から得られる機能を生かした製品開発と、造形された材料の特性向上やバルク材にない機能の付加が試みられている。しかし、これら積層造形、付加加工のより大きな可能性は、発案、設計、加工、組立、調整を経て完成するものづくりの行程の内、特に加工、組立行程を短縮したものづくりが実現する可能性を有することである。しかも、日本のものづくりにおいて、この「加工、組立」行程こそが、これまで最も得意としてきた部分であり、その工程を短縮可能な革新的製造技術を他国が実用化した場合、日本国内の産業（特に機械加工等の町工場）は、急速なものづくりの構造変化に耐えられず壊滅する恐れすらある。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

本研究開発では、このような危機感のもと、中部地域の大学、企業発の革新的製造技術として、マルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化のためのブレークスルー技術の基礎的研究を行うことを目的とした。本研究でのマルチ材料とは、金属材料と高分子材料（ポリマー）を対象とした。マルチスケールではマイクロメートルオーダーからセンチメートルオーダーを対象とする。これら各種金属材料と異種ポリマー材料を、マイクロメートルオーダーからセンチメートルオーダーのスケールで任意に配置、造形可能な要素技術を開発する。

この要素技術をさらに統合、発展させることで、将来的には現在の技術では実現困難な「真の機電一体（リアルメカトロニクス）」製品の創出をも可能となることが予想される。リアルメカトロニクス製品とは、例えば、骨格に相当する機械構造体、筋肉に相当するアクチュエータ、感覚器に相当するセンサ、神経回路に相当する配線、頭脳や脊髄に相当する電子回路、外皮に相当するカバーリングを、メンテナンス性を配慮しつつ、組み立てを最小限とし、シームレスに複合化することで、従来技術では実現困難な高機能、高集積なロボットなどである。

本計画では、限られた期間で中部発革新的機器製造技術の出口イメージを示すため、少量生産、高価格であっても実用化を見込める医療機器の製造技術を最終目標に、マルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化のためのブレークスルー技術の要素技術開発を行う。

具体的には、要素技術開発として、①金属－ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術の研究開発、②異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術の研究開発、③金型フリーハイブリッド板材成形技術の開発を行う。この要素技術を複合化、高度化することで、中部発革新的機器製造技術として、以下の製造技術の基礎を確立することを最終目標とする。1) 超リアル手術シミュレータ実体モデル製造技術を開発し、物理特性が限りなく実物に近い血管および周辺組織モデルや、その駆動や手術状態のモニタ等に用いるセンサを搭載した超精密心臓モデルをパーツごとに試作し、将

来的にリアル手術シミュレータ実体モデル（EVE-2）への搭載を目指す。2）ヘリカルCT等の3Dの診断データをもとに、複雑な骨折箇所を迅速的確に固定するために、Tiの金型フリー板材成形技術による即時オーダメイド体内固定用プレート製造技術を開発する。超リアル手術シミュレータ実体モデル製造技術ではリアルメカトロニクス製品製造技術の基礎的実証を、即時オーダメイド体内固定用プレート製造技術ではマルチスケールの自動化された複合加工技術を実証する。将来的には、これらの技術をさらに融合、複合化し、本研究の目指すマルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化のためのブレイクスルー技術の可能性を提示する。

【研究体制の構築】

このような、加工技術のみならず材料創成から制御技術まで、広範な技術分野を統合した研究開発を行い、速やかに社会実装するためのイノベーションスタイルとして、本計画では日本機械学会が機械工学の観点から本イノベーションを進める母体として中心的な役割を果たすイノベーションソサエティとなり、これを活用する。イノベーションソサエティの概要は、日本機械学会イノベーションセンター内に学会発イノベーション推進委員会を創設し、現実世界に存在する提案時には想定しきれないニーズと、本提案のシーズおよびその関連技術、さらには潜在的な関連シーズまでも、これまでになく太く縦横に結びつける仕組みを構築する。この仕組みにより日本機械学会をイノベーションソサエティとし、戦略的にイノベーションを創造する。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

マルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化のためのブレイクスルー技術の基礎的研究に向け、イノベーションソサエティを活用した中部発革新的機器製造技術をSIPに提案し、H26に採択され研究に着手した。

【技術開発のマネジメント】

イノベーションソサエティの役割・目標は以下の通りである。ここでの新技術、研究開発とは、本提案の中部発革新的機器製造技術の研究開発による新技術を具体例として想定しているが、その仕組みは、他の研究開発による新技術にも適用可能なものである。すなわち、日本機械学会をイノベーションのためのポータルサイトとし、学会発のイノベーションを推進できる組織・システムを実現する。具体的には、以下に詳細を説明するシステムを実現し、SIP終了後も本計画のみならず、他のSIP参加者をはじめ広く利用可能な仕組みを提供する。

1) イノベーションフォーラム

単なる研究会、集会ではなく、社会実装を指向し、幅広いプレーヤーを距離・時間を超えて議論できるシステムを開発する。既存のネット会議システム、情報共有システムを機械学会発行のアカウントで一括管理することで、低コスト、高性能のフォーラムシステムを構築する。

2) 新技術ソーシャルネットワークシステム（SNS）

研究開発の成果の体系化、規格化、標準化を、研究開発とほぼ平行して進められるように、分散型バージョン管理システムなどを参考に開発成果を広く普及させる仕組みを開発・導入する。

3) イノベーションカンファレンス

単なる成果発表の場としてだけではなく、予期しない発見ができる場を提供する。具体的には、ランプセッション、ライトニングトークなど議論、交流の促進を中心とした会議方法とその開催システムを開発する。本システムを用いて、革新的設計製造技術に関する国際会議を開催する。

この日本機械学会の新しい姿であるイノベーションソサエティの仕組みを活用し、地域の強みを生かした革新的製造技術による革新的機器の実現とその社会実装を円滑に進める。

【技術開発】

①金属 - ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術の研究開発

H28年度までは、立体構造に実装可能なセンサおよびその配線を実現するための製造技術として、マイクロからミリメートルオーダーの寸法領域において、金属とポリマーをそれぞれ任意の場所に積層造形可能な技術を開発した。レーザ還元直接描画法を用いて、温度センサを試作し、更に、血管モデルと組み合わせ、絶対温度計測を行った。レーザ還元直接描画法を応用し、Cu とポリマーの 2D 単層造形を積層化することにより、絶対温度センサを手術シミュレーション用血管モデル等立体構造上に作製した。手術シミュレーション用血管モデルは、異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術を用いて作製し、金属や簡易絶縁部分は本実施項目で開発したレーザ還元直接描画法を応用した。

H29年度からは、レーザ還元直接描画法を応用し、迷走電流再現用 Cu 配線を付与した心臓モデルを作製する。手術シミュレーション用心臓モデルの任意箇所に迷走電流再現用 Cu 配線とそれをシールするポリマーを描画形成するための技術を開発し、迷走電流を再現した心臓モデルを作製する。温度センサや迷走電流を再現した心臓モデルを用い、手術シミュレータユーザーへの試用結果をもとに、シミュレータの問題点を明確化し、その改良を行う。

②異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術の研究開発

H28年度までは、生体内に3次元的に配置されている物理特性の異なる組織を再現する異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術を開発した。ディップコーティング方式、インクジェット方式、光造形方式を用いた造形法について検討を行い、成分の配合調整により物理特性の調整および計測機能を付与した材料を3次元的に造形するシステム（造形範囲：50 mm×50 mm×50 mm以上）を用いて、加工性能、適用可能材料、等の評価を行なった。造形対象は、手術シミュレータとして需要のあるカテーテルアブレーション手術を対象として、最大到達温度の履歴を保持可能な腎動脈モデルとした。インクジェット方式のワックス積層造形システムを用いて腎動脈モデルの型を作製し、不可逆性の感温性顔料と混合したシリコン樹脂をディップコーティング法により目的の厚さに積層後、ワックス型を除去することで、最大到達温度の履歴を保持可能な腎動脈モデルを作製した。腎動脈モデルの最大到達温度分布の評価は、感温性顔料の色情報をCCDカメラにより取得し、その色差情報と温度の校正結果に基づいて行う。温度解析のための画像処理方法について検討を行い、計測可能範囲、計測誤差を評価した。結果、60℃から100℃の範囲において、最大誤差+2.4℃/-1.6℃での最大到達温度分布の計測を実現した。また、作製した腎

動脈モデル上にレーザ還元直接描画法により絶対温度センサを作製可能なことを確認した。

H29 年度からは、より実物に近い特性のモデルを実現するため、ハイドロゲル材料としてポリエチレングリコールジアクリレートや、水系ポリウレタン等の多様な材料を用いた造形の検討および評価を行う。心房細胞のカテーテルアブレーション治療のシミュレーションを対象として、ヤング率、熱伝導率、電気インピーダンス等の特性を模擬し計測機能を有する、心臓の部分モデルを作製する。また、金属-ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術との造形技術の複合化を検討する。さらに、企業、大学、公的研究機関との共同研究などを通して、アブレーションカテーテル等の手術器具開発における定量的性能評価など EVE-2 への応用以外の応用分野を開拓する。

③超リアル手術シミュレータ実体モデルパーツの開発

H28 年度までは、血管ならびに心臓モデルの 3 次元加工に使用する形状データを生体の CT/MRI 情報に基づき生成し、医師の評価に基づき、手術シミュレータとして好適な形状を得るべく同形状データの製錬を行った。手術シミュレーションの対象となる疾患（血栓、石灰化狭窄等）についても同じく形状データを複数準備した。心電同期撮影法（CT）により複数のフェーズ（拡張期、収縮期等）で撮影されたデータ等をもとに、心臓の 3 次元動的な動きに関する形状データを取得し、心臓モデルの駆動のための基礎データを準備した。

血管ならびに心臓の物理特性分布をマルチ材料積層造形により再現するべく、その基礎データとして各生体組織（心筋屋大学でのマルチ材料積層造形に使用する基本材料の物性値を併せて計測し、両者を比較することによって、各組織を実現するための基本材料の配合比率等に関する知見を得た。医師の評価に基づき、手術シミュレーションに好適となるように材料物性の調整を行った。医師と共同で、得られたモデルを使用した手術シミュレーション（血管吻合、クリッピング、カテーテル等）を実施し、同目的に好適となるように形状・物性・加工法の修正を行った。本事業により得られる上記の血管ならびに心臓モデルを手術シミュレータ（超精密人体シミュレータ EVE-2）としてシステム化するべく、その筐体構造の設計と試作を実施し、また血管や心臓を相互接続するコネクタ等の補助構造や、環流形成等に必要となるポンプやそれに付随する電気電子回路等についても設計試作を実施した。

上記の試験的実体化により得られた血管モデルを本筐体内に設置し、医師と共同で手術シミュレーションを実施し、同目的に好適となるように総合的に改良を行う。名古屋大学により実現される基盤技術（マルチ材料積層造形技術に基づく絶対温度センサ、ならびに内部温度場計測モデル）ならびに福井大学により実現される基盤技術（金属板のインクリメンタルフォーミング）に基づいて、機能性を有する小型（50 mm 立方程度）の血管モジュールとして統合し、EVE 2 への導入と医療機関等への試験提供に基づくデータ収集を行った。また、小型かつ液密性に優れた流体継手（コネクタ）の実現や、上記絶対温度センサにより得られる電気信号を確実に外部へ伝達するための小型かつ気密性に優れた電气的コネクタを血管モジュールに一体形成するための要素技術を開発し、サンプル作成を通じて外部の医療機関等へ提供しデータ収集と改善を行った。

H29 年度からは、名古屋大学により実現される基盤技術（迷走電流再現モデル、ならびに異種ポリマーからなる高機能モデル）ならびに福井大学により実現される基盤技術（樹脂版およびミニチュアインクリメンタルフォーミング）に基づいて、機能性を有する中型（100 mm 立方程度）の臓器

モジュールを構築・統合し、EVE 2 の中間プロトタイプを試作するとともに、医療機関等への試験提供に基づくデータ収集を行う。名古屋大学ならびに福井大学における基盤技術開発に必要とされる各種のデータ（CT/MR データ等の構造に関するデータや物性・動特性に関するデータなど）を必要に応じて外部機関から収集し、提供する。また医療常用の有用性を向上させるための要望を医療現場（医療機関や医療機器メーカーなど）から収集し、本研究グループ内部に積極的に提供し、有用性向上に貢献する。

④金型フリーハイブリッド板材成形技術の開発

H28 年度までは、まず現有設備を使用し板厚 0.5-0.8 mm の Al 合金、Mg 合金および板厚 0.3 mm の純 Ti のインクリメンタルフォーミング技術を開発した。その後、さらに大きな板厚の板材の成形を行うため、現有設備では出力不足となるため新規に加工機を購入し、Al 合金板および Mg 合金板は板厚 1.0 mm、純 Ti 板は板厚 0.5 mm を加工するインクリメンタルフォーミング技術を開発した。

インクリメンタルフォーミング技術をグループ内におけるサイズ面でもシームレスな技術にするために、20 mm×20 mm×0.2 mm 以下の寸法の純チタン、ステンレスの箔材のインクリメンタルフォーミング技術を開発した。成形精度は 0.1 mm となるような加工技術を開発、本インクリメンタルフォーミングの成形精度は平成 27 年度までの成果で 0.5 mm 以下に抑えることが可能となったが、医療応用や名古屋大学での各要素技術と複合化する際には、まだ不十分であるため、インクリメンタルフォーミング法で成形した後に切削加工により仕上げて成形精度を 0.1 mm 以下とするような複合加工法を開発した。また、新規にデジタル画像相関法を利用したひずみ、形状同時測定機を導入し、3D 形状と面内のひずみ分布を数分で計測する技術を開発した。加工を 1 回で行うのではなく複数回に分けて加工するように変更し、加工終了毎にオンマシンで成形形状及びひずみ分布を測定し、その結果をフィードバックし次回の加工条件に反映させることにより成形精度を向上する技術を開発した。

H29 年度からは、名古屋大学およびファイン・バイオメディカル有限会社が使用している樹脂材料の成形に本インクリメンタルフォーミング技術を適用し、グループ内で使用する材料のシームレスな加工技術の開発を行う。具体的には、超精密人体シミュレータ EVE-2 の血管モデルや心臓モデルの保持部材、やポリマーで実現不能な高剛性周辺組織（骨、気管等）の複雑形状パーツを実現するため、100 mm×100 mm×2 mm 以上の樹脂板の成形を行う。また、引き続きミニチュアインクリメンタルフォーミング技術の開発を行う。10 mm×10 mm×0.2 mm 以下の寸法のステンレスの箔材のインクリメンタルフォーミング技術を開発する。成形精度は 0.1 mm となるような加工技術を開発する。本技術を超精密人体シミュレータ EVE-2 の心臓モデルに実装する複合温度センサ部材（マルチ材料積層造形技術に基づく絶対温度センサ、ならびに内部温度場計測モデル）や血管モデルのコネクタ部材に適用する。また、開発したインクリメンタルフォーミング技術を適用して、ファイン・バイオメディカル有限会社の施術シミュレータ EVE の評価用部品を製作する。

⑤イノベーションソサエティの構築

H28 年度までは、日本機械学会を通じた様々な革新的設計製造技術に関する潜在的なシーズ・ニーズ発掘や、多様なプレーヤーを巻き込むための仕組み、活動方針、研究開発への効果最大化を検討

する学会内組織の立ち上げを実施した。具体的には、日本機械学会イノベーションセンター内に学会発イノベーション推進委員会を創設し、学会発イノベーション推進委員会の規約、メンバー構成、行動計画を作成し、実施した。

イノベーションフォーラムシステムとして、多様なプレーヤーを日本機械学会のもと、距離・時間を超えて議論できるシステムの構築を目指し、Web 会議システム、文字チャット機能、録音録画機能、アプリケーション共有等のシステムを念頭に、日本機械学会への実装を検討し、プロトタイプシステムを完成させ、トライアル範囲を順次拡大し、使いやすさなどの要望を吸い上げ、様々な革新的設計製造技術に関する潜在的なシーズ・ニーズ発掘や、多様なプレーヤーを巻き込むために有用なシステムとして、評価と改良を行った。また、デライトものづくりシステム/プラットフォームにおける開発者（メーカ）とユーザ、興味をもった第三者（新しい開発者やユーザになる可能性を有する者）をつなぐ、ネットワークの基幹となる IT システムの構築を行った。

H29 年度からは、イノベーションフォーラムシステムのプロトタイプのトライアル範囲を、日本機械学会をポータルサイトとして、社会的開放を指向したシステムのグローバル化に着手する。また、内閣府、NEDO からの要請を受けて開発したデライトものづくり SNS を、その後の機能強化や検討を元に、デライトものづくり AI ネットワークプラットフォーム (PLANET AIDeA: PLAtform of NETwork by Artificial Intelligence for Delight Art) として改良するとともに、試験的に一般公開を開始する。

【技術の検証方法の決定】

手術シミュレータなど、生体を対象とした技術開発には必ず医師（藤田保健衛生大学等）や医療機器開発メーカ（J&J 社、メドトロニック社等）の評価を取り入れ、専門家による検証と評価結果にもとづく改善を常に実施した。イノベーションソサエティの各種システム（(PLANET AIDeA 等）の開発においては、プロトタイプをいち早く公開し、試験運用による広い意見聴取を行い、システムの改善に役立てた。

【技術検証】

- ・ [血管ならびに心臓 3 次元形状データ作成]

生体の CT/MRI 情報に基づき作成。医師の評価に基づき、手術シミュレータとして好適な形状を得るべく同形状データの精錬を行った。

- ・ [血管の試験的実体化]

開発した要素技術を血管もモデルに適用し、医師と共同で、得られたモデルを使用した手術シミュレーション（血管吻合、クリッピング、カテーテル等）を実施し、同目的に好適となるように形状・物性・加工法の修正を行った。

- ・ [血管ならびに心臓モデルのための超精密人体シミュレータ EVE-2 の構造試作]

試験的実体化により得られた血管モデルを本筐体内に設置し、医師と共同で手術シミュレーションを実施し、同目的に好適となるように総合的に改良を行う。

- ・ [イノベーションフォーラムシステム]

イノベーションカンファレンス (iJSME) でのバーチャルプレゼンテーション、講演配信を行い、課

題を抽出、システム改善を行う。また、2017年度から日本機械学会 HP で試験公開し、ユーザの声を集め改良を行う。

・ [イノベーションカンファレンスシステム]

イノベーションカンファレンス (iJSME) を通して、システムの機能強化、改良を行い、2017年度からは日本機械学会機械材料・材料加工部門でのテストユースを通してさらなる改良を行う。

・ [デライトものづくり AI ネットワークプラットフォーム (PLANET AIDeA)]

試験的に一般公開を開始し、研究者、開発者（メーカ）と、ユーザ、興味をもった第三者（新しい開発者やユーザになる可能性を有する者）をつなぐ試行を実施した。

【知的財産の確保】

＜日本機械学会＞（該当案件なし）

＜国立大学法人名古屋大学＞SIP 期間中に、金属 - ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術および異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術に関して 3 件を出願。

＜国立大学法人福井大学＞SIP 期間前に、金型フリーハイブリッド板材成形技術に関して 1 件を出願。さらに SIP 期間中に、樹脂材料のインクリメンタルフォーミング法に関して 1 件を出願予定。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

- ・ [金属 - ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術] 革新的機器製造技術として超リアル手術シミュレータ実体モデルである EVE 2 に集約し 2019 年の市販モデル製品化を目指す。
- ・ [異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術] 革新的機器製造技術として超リアル手術シミュレータ実体モデルである EVE 2 に集約し 2019 年の市販モデル製品化を目指す。
- ・ [金型フリーハイブリッド板材成形技術、デジタル画像関連法] 革新的機器製造技術として超リアル手術シミュレータ実体モデルである EVE 2 に集約し 2019 年の市販モデル製品化を目指す。
- ・ [超リアル手術シミュレータ実体モデルパーツ EVE2] 2019 年の市販モデル製品化を目指す。
- ・ [デライトものづくり AI ネットワークプラットフォーム (PLANET AIDeA)] テクノポート株式会社のサーバ内に設置。開発後は、機械学会等のサーバに移植可能とする。SIP での開発分については使用権を永続的に名古屋大学（または機械学会）が所有し、メンテナンスはテクノポート社が無償で行う。独自サーバにて 2017 年より公開中。機械学会での講演会 (iJSME 等) を通して宣伝、普及させる。

■ 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）】

SIP 革新的生産・設計技術で開発した要素技術は、上記超リアル手術シミュレータ実体モデルパーツ EVE 2 に集約し、EVE 2 市販モデル製品化 2 を 2019 年度に計画。デライトものづくり AI ネットワークプラットフォーム (PLANET AIDeA) をはじめとするイノベーションソサエティの各システムは、日本機械学会等のサーバに移植可能としつつ、当面のメンテナンス等をテクノポート株式会社が担当することになっている。

【コンソーシアムの運営】

コンソーシアムではないが、日本機械学会イノベーションセンター内に学会発イノベーション推進委員会を創設し、日本機械学会機械材料・材料加工部門を中心に各部門と連携している。

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

EVE 2 市販モデル製品化を 2019 年度に計画中。

【ツールオープン利用】

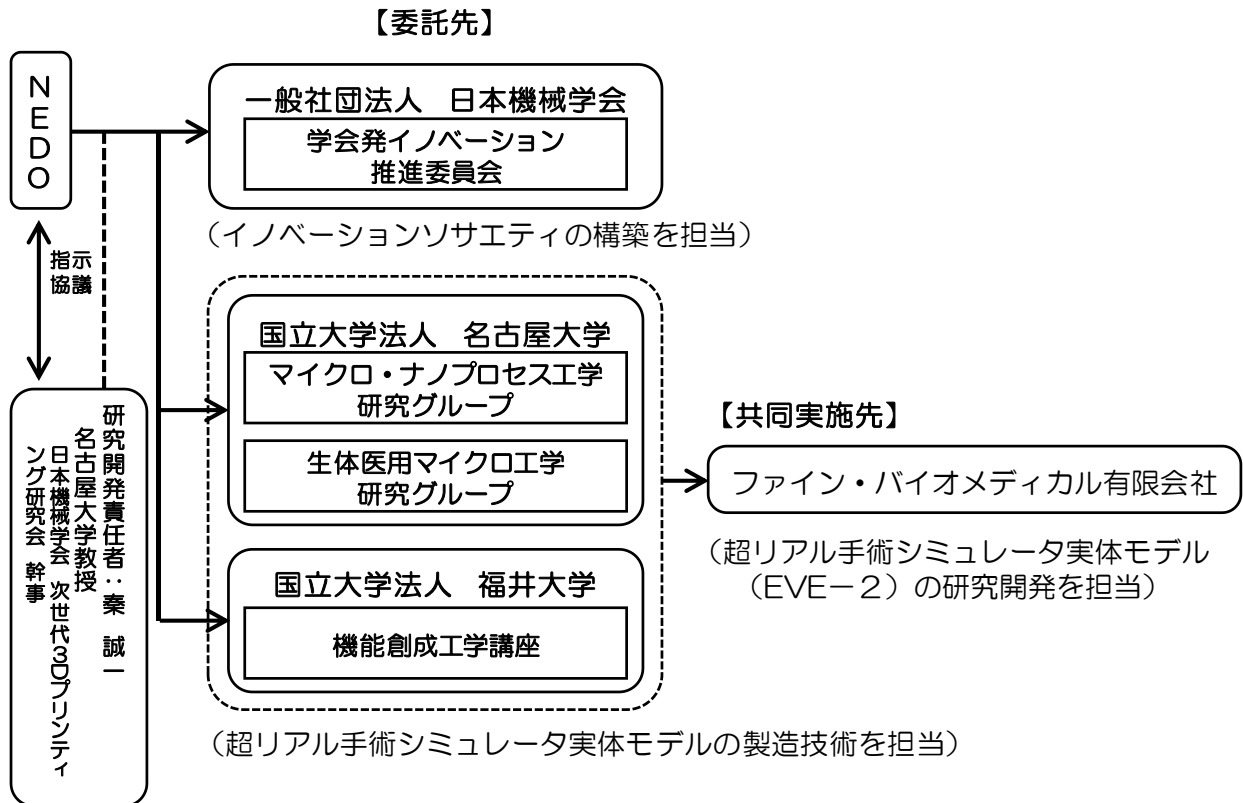
- ・ [金属 - ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術] 手術シミュレーション用心臓モデル等立体構造に絶対温度センサや迷走電流を再現した配線を作製、開発した装置の小形化、廉価化、簡略化等を進め、プロトタイプ装置の製作及び市販化を目指す。
- ・ 異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術] 手術シミュレーション用心臓モデル等に温度場の 3 次元計測センサ (温度測定機能 60~90 °C、精度: ±2 °C) を作製、開発した装置の小形化、廉価化、簡略化等を進め、プロトタイプ装置の製作及び市販化を目指す。
- ・ [金型フリーハイブリッド板材成形技術、デジタル画像関連法] 手術シミュレーション用心臓モデルのステンレス製 X 線不透過マーカー、アクリル製のモデル保持用の心臓ベース板を作製、開発した装置の小形化、廉価化、簡略化等を進め、プロトタイプ装置の製作及び市販化を目指す。
- ・ [超リアル手術シミュレータ実体モデルパーツ EVE2] 2019 年の市販モデル製品化を目指す。
- ・ [イノベーションフォーラムシステム] 2017 年度より機械学会 HP にて試験公開中。2020 年に一部サービスを有料化し、継続的に実施予定。
- ・ [イノベーションカンファレンスシステム] 2017 年度より日本機械学会内で無料試用中、2019 年にインターグループ社から一部を有料化し、継続的に実施予定。
- ・ [デライトものづくり AI ネットワークプラットフォーム (PLANET AIDeA)] テクノポート株式会社のサーバ内に設置。開発後は、機械学会等のサーバに移植可能とする。SIP での開発分については使用権を永続的に名古屋大学 (または機械学会) が所有し、メンテナンスはテクノポート社が無償で行う。独自サーバにて 2017 年より公開中。機械学会での講演会 (iJSME 等) を通して宣伝、普及させる。

【技術の PR】

日本機械学会イノベーション講演会 (iJSME2017、10/7~8 名古屋大学) にて、本 SIP での取り組みや PLANET AIDeA の仕組み、使い方を紹介。PLANET AIDeA については、利用規約が完成次第、プレス発表予定

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

- ・中部地域の大学、企業発の革新的製造技術として、マルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化のためのブレイクスルー技術の基礎的研究を行うことに着目したこと。マルチ材料として、金属材料と高分子材料（ポリマー）の複合を対象と選んだことで、必然的に手術シミュレータ等のライフサイエンス分野がターゲットとなった。このライフサイエンスをターゲットとすることは、SIP 開始後に本革新的設計・生産技術全体が目指す分野の先駆けとなった。
- ・手術シミュレータなど、生体を対象とした技術開発に、必ず医師の評価を取り入れ、専門家による検証と評価結果にもとづく改善を常に実施したこと。各要素技術開発を並行して進め、最終的にリアルな手術シミュレータ実体モデル（EVE2）の製品化という明確な目標を設定したこと。
- ・ツール/技術の開発者、利用者それぞれが、一つの窓口を通じてネットワーク連携するためのネットワークプラットフォーム開発をテーマの一つに選んだこと。さらに、日本機械学会という当該分野のメジャーな学会をその活用場とすることによって、我が国の当該分野の主要研究者の多くを、情報共有の範囲に収めることができたこと。

5) 場・仕組みからの FB

各グループで開発した技術のフィードバックとしては、開発した技術を手術シミュレータ実体モデル（EVE2）の試作品に集約し、共同実施先のファイン・バイオメディカル社を通して、医療機器開発メーカー技術者、医師からのフィードバックを受け、開発技術の改良を行っている。具体的には、フィー

ドバックにより造形範囲の拡大や、接触時の触感、着色による視認度の向上などを行っている。また、より広い応用を目指したフィードバックとしては、PLANET AIDeA を活用し、開発した要素技術を広く一般公開し、研究者、開発者の予測していない応用先を含めてフィードバックする。

役割(アクション)	実施(予定)時期	開発のタイムライン																					
		～H25	H26 (2014)				H27 (2015)				H28 (2016)				H29 (2017)				H30 (2018)				H31～ (将来の見込)
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q		
技術アイデアの創出	本研究代表者らは、H23から日本機械学会機械材料・材料加工部門において、次世代3Dプリンティング研究会など各種会合にて、こひからの3D造形技術では、マルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化のためのブレークスルー技術が重要であるとの認識を深め、それぞれの有する基礎技術、要素技術を検討し、本技術アイデアの創出を行った。 また、マルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化を体現する応用先として、本研究開発グループメンバーの一部が、その創出に係ったフィン・バイオメディカル社の手術シミュレータ実体モデル (EVE) を選定した、さらにこのような材料技術から加工、センシング技術まで多様な技術開発とその応用先について、広く議論、協力できる場として日本機械学会の協力を得た。																						
研究体制の構築	本研究開発のように、加工技術のみならず材料創成から制御技術まで、広範な技術分野を統合した研究開発を行い、速やかに社会実装するためのイノベーションスタイルとして、本計画では日本機械学会が機械工学の観点から本イノベーションを進める母体として中心的な役割を果たすイノベーションソサエティとなり、これを活用する。イノベーションソサエティの概要は、日本機械学会イノベーションセンター内に学会発イノベーション推進委員会を創設し、現実世界に存在する提案時には想定しきれないニーズと、本提案のシーズおよびその関連技術、さらには潜在的な関連シーズまでも、これまでになく太く縦横に結びつける仕組みを構築する。この仕組みにより日本機械学会をイノベーションソサエティとし、戦略的にイノベーションを創造する。																						
研究テーマ提案 (研究資金の獲得)	マルチスケール、マルチ材料でシームレスな複合化のためのブレークスルー技術の基礎的研究に向け、イノベーションソサエティを活用した中部発革新的機器製造技術をSIPに提案し、H26に採択され研究に着手した。																						
技術開発のマネジメント	本研究開発では、日本機械学会をイノベーションのためのポータルサイト (イノベーションソサエティ) とし、学会発のイノベーションを推進できる組織・システムを実現する。この日本機械学会の新しい姿であるイノベーションソサエティの仕組みを活用し、地域の強みを生かした革新的製造技術による革新的機器の実現とその社会実装を円滑に進める。																						
技術開発	(省略)																						
実用化ツールの開発																							
技術の検証方法の決定	手術シミュレータなど、生体を対象とした技術開発には必ず医師 (藤田保健衛生大学等) や医療機器開発メーカー (J&J社、メドトロニック社等) の評価を取り入れ、専門家による検証と評価結果をもとに改善を常に実施した。イノベーションソサエティの各種システム (PLANET AIDeA等) の開発においては、プロトタイプをいち早く公開し、試験運用による広い意見聴取を行い、システムの改善に役立てた。																						
技術検証	・【血管ならびに心臓3次元形状データ作成】 生体のCT/MRI情報に基づき作成。医師の評価に基づき、手術シミュレータとして好適な形状を得るべく同形状データの精練を行った。 ・【血管の試験的実体化】 開発した要素技術を血管モデルに適用し、医師と共同で、得られたモデルを使用した手術シミュレーション (血管吻合、クランプ、カテーテル等) を実施し、同目的に好適となるように形状・物性・加工法の修正を行った。 ・【血管ならびに心臓モデルのための超精密人体シミュレータEVE-2の構築】 試験的実体化により得られた血管モデルを本体内に設置し、医師と共同で手術シミュレーションを実施し、同目的に好適となるように総合的に改良を行う。 ・【イノベーションフォーラムシステム】 イノベーションカンファレンス (JISME) でのバーチャルプレゼンテーション、講演配信を行い、課題を抽出、システム改善を行う。また、2017年度から日本機械学会HPで試験公開し、ユーザーの声を収集改良を行う。 ・【イノベーションカンファレンスシステム】 イノベーションカンファレンス (JISME) を通じて、システムの機能強化、改良を行い、2017年度からは日本機械学会でのテストケースを通してさらなる改良を行う。 ・【デライトものづくりAIネットワークプラットフォーム (PLANET AIDeA)】 試験的に一般公開を開始し、研究者、開発者 (メーカー) と、ユーザー、興味をもった第三者 (新しい開発者やユーザーになる可能性を有する者) をつなぐ試行を実施した。																						

知的財産の確保	<p>【日本機械学会】(該当案件なし)</p> <p>【国立大学法人名古屋大学】SIP期間中に、金属・ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術および異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術に関して3件を出願。</p> <p>【国立大学法人福井大学】SIP期間中に、金型フリーハイブリッド板材成形技術に関して1件を出願。さらにSIP期間中に、樹脂材料のインクジェットフォージング法に関して1件を出願予定。</p>	★ 基本特許 出願(H22)			★ 基本特許 出願(H26)		★ 基本特許 出願(H28)		★ 製造方法特許 出願(H29)		
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)	<p>・【金属・ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術】</p> <p>・【異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術】</p> <p>・【金型フリーハイブリッド板材成形技術、デジタル画像相関法】</p> <p>上記3つ技術は、革新的機器製造技術として超リアル手術シミュレータ実体モデルであるEVE2に集約し2019年の市販モデル製品化を目指す。</p> <p>・【超リアル手術シミュレータ実体モデルバースEVE2】</p> <p>2019年の市販モデル製品化を目指す。</p> <p>・【デイトものづくりAIネットワークプラットフォーム(PLANET AIDeA)】</p> <p>テクノポート株式会社のサーバ内に設置。開発後は、機械学会等のサーバに移植可能とする。SIPでの開発分については使用権を永続的に名古屋大学(または機械学会)が所有し、メンテナンスはテクノポート社が無償で行う。独自サーバにて2017年より公開中。機械学会での講演会(IJSME等)を通して宣伝、普及させる。</p>										
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>SIP革新的生産・設計技術で開発した要素技術は、上記超リアル手術シミュレータ実体モデルバースEVE2に集約し、EVE2市販モデル製品化2を2019年度に計画</p> <p>中。</p> <p>デイトものづくりAIネットワークプラットフォーム(PLANET AIDeA)をはじめとするイノベーションノサエティの各システムは、日本機械学会等のサーバに移植可能としつつ、当面のメンテナンス等テクノポート株式会社が担当することになっている。</p>	★ 出口戦略 検討開始									
コンソーシアムの運営	<p>コンソーシアムではないが、日本機械学会イノベーションセンター内に学会発イノベーション推進委員会を創設し、日本機械学会機械材料・材料加工部門を中心に各部門と連携している。</p>	★ アイデア創出 (H24)		★ 日本機械学会準備 委員会イノベーション 推進委員会創設							
ベンチャー設立	-										
ツール販売	EVE2市販モデル製品化を2019年度に計画							★ サンプル 提供開始	★ 心臓モデル プロトタイプ公開	★ EVE2市販 モデル販売	★ CAMソフト市販
ツールオープン利用	<p>・【金属・ポリマーリアルマルチ材料積層造形技術】手術シミュレーション用心臓モデル等立体構造に絶対温度センサや迷走電流を再現した配線を作製、開発した装置の小形化、廉価化、簡略化を進め、プロトタイプ装置の製作及び市販化を目指す。</p> <p>・【異種ポリマー材料のマルチスケール・マルチ材料積層造形技術】手術シミュレーション用心臓モデル等に温度場の3次元計測センサを作製、開発した装置の小形化、廉価化、簡略化等を進め、プロトタイプ装置の製作及び市販化を目指す。</p> <p>・【金型フリーハイブリッド板材成形技術、デジタル画像相関法】手術シミュレーション用心臓モデルのステンレス製X線不透過マーカー、アクリル製のモデル保持用の心臓ベース板を作製、開発した装置の小形化、廉価化、簡略化等を進め、プロトタイプ装置の製作及び市販化を目指す。</p> <p>・【超リアル手術シミュレータ実体モデルバースEVE2】2019年の市販モデル製品化を目指す。</p> <p>・【イノベーションフォーラムシステム】2017年度より機械学会HPにて試験公開中。2020年に一部サービスを有料化し、継続的に実施予定。</p> <p>・【イノベーションカンファレンスシステム】2017年度より日本機械学会内で無料試行中、2019年にインターグループ社から一部を有料化し販売、継続的に実施予定。</p> <p>・【デイトものづくりAIネットワークプラットフォーム(PLANET AIDeA)】テクノポート株式会社のサーバ内に設置。開発後は、機械学会等のサーバに移植可能とする。SIPでの開発分については使用権を永続的に名古屋大学(または機械学会)が所有し、メンテナンスはテクノポート社が無償で行う。独自サーバにて2017年より公開中。機械学会での講演会(IJSME等)を通して宣伝、普及させる。</p>			★ 装置設置	★ 装置設置	★ 装置設置	★ 装置設置	★ 装置設置	★ 装置設置	★ 装置設置	★ 装置設置
技術のPR	<p>日本機械学会イノベーション講演会(IJSME2017,10/7~8 名古屋大学)にて、本SIPでの取り組みやPLANET AIDeAの仕組み、使い方を紹介。PLANET AIDeAについては、利用規約が完成次第、プレス発表予定。</p>										

「分子接合技術」による革新的ものづくり製造技術

1) 開発の取り組み内容

分子接合技術は、異なる材料どうしても分子レベルでの化学的結合を可能にする画期的な接合技術である。岩手大学では、分子接合剤であるトリアジンチオールのスーパーフアイン化の研究を H5 から継続して行い、機能性トリアジン化合物が重金属除去剤、架橋剤、表面処理剤、分子接合剤および機能性樹脂の原料（モノマー）として有効であることを見出してきた。しかしながら「トリアジンチオール誘導体による分子接合技術」による接合メカニズムについては未解明な部分があったため、企業における技術採用が進まないという現状があった。このためには、分子接合技術の特徴とされる非材料依存性・非接合条件依存性・非環境条件依存性についての実証試験研究を行い、分子接合技術の限界、または活用範囲を解明する必要があった。具体的には種々の材料に分子接合剤を様々な条件で接合させ、得られた接合体の接合強度の測定を行い、同時に界面化学焔仰の有無を膨潤テストから評価する必要があるというアイデアをSIP申請時に持っていた。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

従来から分子接合技術はあったが、詳細な物理現象の解明が行えておらず、製品適用が進まないという課題があった。そこで、現象メカニズムの解明と、新たな材料通しの接合事例創出、製品適用に必要な基礎データのカatalog化が必要と考えた。

【研究体制の構築】

分子接合技術の多分野の製造企業への展開支援を目的として、H19には岩手大学 森邦夫工学部長を中心に、大学発ベンチャーとして株式会社いおう化学研究所を設立しており、特に開発技術の社会実装推進を担う立場としてSIPに共同実施者として参画してもらうこととした。また、地場の中堅・中小企業への展開を担う立場として、岩手県の公設試である岩手県工業技術センター、岩手県に拠点を構える企業での実用化事例創出に向けてアルプス電気株式会社にSIPに参画いただき、技術の検証も行っていただく体制とした。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

＜岩手大学＞SIPに公募し採択(H26/9)

＜いわて産業振興センター＞文科省「地域イノベーション戦略支援プログラム：いわて環境と人にやさしい次世代モビリティ開発拠点」(H25-H26)と連携し高気密コネクタを開発

【技術開発のマネジメント】

プログラムを進めるに当たっては、岩手大学が中心となり、全体定例会を実施。技術の適用先に関する情報共有、進捗確認、課題の共有に努めている。H30/1 現在、分子接合技術の企業への移転を目

的としたコンソーシアムには、数十社にわたる企業が参加しており、継続して PR 活動を実施していく予定である。

【技術開発】

岩手大学、岩手県工業技術センターを中心に研究は進められ、H28 年度までに、接合部位の表面、界面の Na の IR 分析や、異種材料間の接合に関して、新たな材料の組み合わせの接合に取り組んできた。また H29 年度以降は、せん断強度といった製品開発で必要となる情報をまとめた分子接合カタログの作成や、継続した革新的な分子接合剤の開発を行っている。

【技術の検証方法の決定】

岩手大学が中心となり、岩手県工業技術センター、いおう化学研究所、アルプス電気で役割分担、情報共有を行い、相談案件に対応することで、技術検証を行った。

【技術検証】

研究着手時には、まず H27/4 に接合メカニズムの分析に用いる解析装置 (AFM-IR) を導入した。これは、企業での活用を推進するに当たり、接合メカニズムの解明が最重要だと考えたためである。また H27 および H28 に自動車を中心とした先端産業における企業ニーズを把握するために、外部の機関を使って調査も行った。

また、岩手大学が中心となって構築したコンソーシアム等の相談案件への対応として、テストユースによる技術検証を H27 年度から実施。SIP 内外の企業にて、数多くのテストユースを実施しており、企業からのフィードバックを受け技術のブラッシュアップを行っている。

【知的財産の確保】

<岩手大学>めっき処理を中心に H12 年度から随時出願を進めており、SIP 開始前の H24 年には、分子接合による物体の接着方法に関する特許が権利化できていた

【技術のツール化 (装置、ソフト、ノウハウ)】

<岩手大学>分子接合剤、分子接合技術や接合カタログをノウハウとして蓄積し、これをいおう化学研究所、岩手県工業技術センターに移管し、企業に展開。

■ 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)】

<いおう化学研究所、岩手県工業技術センター>岩手大学が開発した技術の移管を受け、コンサルを行い企業に展開

<岩手大学>分子接合の実証用製造ラインを作り、そこで開発した技術を企業に移管し企業が製造ラインを実用化

【コンソーシアムの運営】

H26/11 に技術移転コンソーシアム（事務局 岩手大学研究推進機構 SIP/革新的設計生産担当）を構成し、参画企業との研究交流、ものづくり研修を実施。希望する企業とは実用化研究開発を実施し、SIP で開発した技術を広く産業界に展開している。さらに分子接合の実証用製造ラインを作り、そこで開発した技術を企業に移管し企業が製造ラインを実用化する予定。

【ベンチャー設立】

<いおう化学研究所>分子接合技術の多分野の製造企業への展開支援を目的として、H19 には岩手大学 森邦夫工学部長を中心に、大学発ベンチャーとして株式会社いおう化学研究所を設立

【ツール販売】

—

【ツールオープン利用】

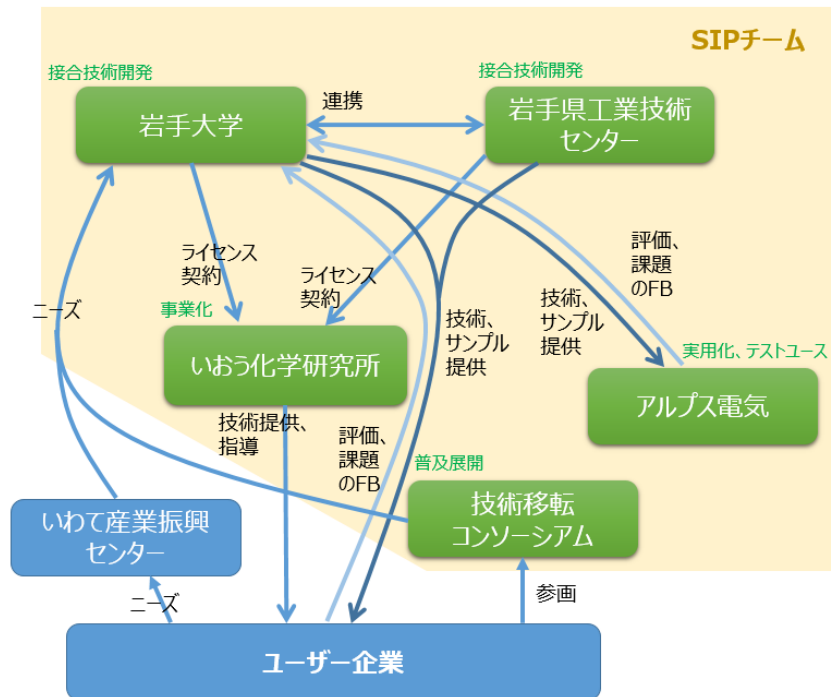
—

【技術の PR】

この間、岩手大学では、イノベーション・ジャパン（H28/8、H29/8）、テクニカルショウヨコハマ（H29/2）などの展示会に出展、平原教授のプレゼンや分子接合技術で結合した部品のサンプルを多数展示するなど技術の展開に努めている。展示会終了後には、興味を持った企業からの問い合わせがあり、NDA を結んで試用、共同研究などに進んでいる。このほか、SIP シンポジウム、学会での発表を通じて、技術の紹介を行った。

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

- ・企業への展開を考えた上で必要となる現象のメカニズム解明に最初に着手したこと。
- ・プログラム開始時に、外部機関に自動車メーカーを中心としたニーズ調査を行ったことで、高気密コネクターといった製品の提案型開発を実施できた。
- ・技術移管コンソーシアムの開設、展示会での技術 PR を実施したことで、技術の認知度が上がり、企業での活用およびその検討につながった。SIP 開始後、100 件を超える個別相談に対応している。
- ・岩手県工業技術センター、いわて産業振興センターと SIP 開始前から強いきずなを築いており、地域のニーズの取得、ニーズシーズのマッチングが効率よく進めることができた。

5) 場・仕組みからの FB

例えば、岩手県工業技術センターが開発した「漆ー金属」「漆ー樹脂」の接着技術においては、企業の求めに応じ漆塗装を施した「ペン管体」「自動車用スマートキー」を試作した。それぞれユーザー企業からは「従来处理より強度が強く、評価する。地域素材や地域固有技術にこだわった商品のため、分子接合処理の導入は開発商品ストーリーに合致（ペン管体）」や、「長期耐久性、密着性にまだ懸念があるので各種規格試験をクリアすべき（スマートキー）」等の反応が寄せられている。

一方、地方創生の観点で、岩手県の産官学交流組織である「岩手ネットワークシステム（INS）」を通じて、岩手県工業技術センターでつながりのある中小企業の紹介もあり、地場の競争力強化のため技術提供、指導も行っている。INS では、必要に応じて公的資金を提案、確保して製品開発、事業化も進めている。この観点では、岩手県の漆を活用したタンブラー（H29/10）、盛岡市を本拠地とするアイカムス・ラボの培養液自動交換システム（H28/12）などのプロト、製品開発を行った。さらに、いわて産業振興センターと連携した提案型の製品開発も進めている。ここでは、文科省の「地域イノベーション戦略プログラム」のファンドも活用し、新しい自動車部品（高気密コネクター）を開発し、

試作品を展示会に出品するなどして、自動車関連メーカーへの売り込み、地域企業への技術移転を図っている（H28/7～）。

SIP 終了後のあるべき姿の実現に向けて、岩手大学では岩手大学次世代技術実証研究ラボ内に、分子接合の実証製造ラインの構築を H30/3 完成を目指して進めている。従来はラボレベルで行っていた試作検証を、本実証ラインを使って実証、解決し、その技術を企業に移管し製造ラインの事業化につなげることを狙いとしている。

役割(アクション)	実施(予定)時期	だれが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行った	～H25				H26				H27				H28				H29				H30				H31～(将来の見込)
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q					
技術アイデアの創出		【若手大学】従来より分子接合技術はあったが、詳細な物理現象の解明が行えておらず、製品適用が進まないという課題があった。そこで、現象メカニズムの解明と、新たな材料通しの接合事例創出、製品適用に必要な基礎データのカタログ化が必要と考えた。					★																	技術アイデア完			
研究体制の構築		【若手大学】開発技術の社会実装推進を担う立場として株式会社いおう化学研究所、地場の中堅・中小企業への展開を担う立場として若手県工業技術センター、実用化学事例創出に向けてアルプス電気株式会社から成るチームを構築。					★																		技術開発の体制構築		
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		【若手大学】SIPに公募し採択(H26/9) 【いわて産業振興センター】文科省「地域イノベーション戦略支援プログラム：いわて環境と人にやさしい次世代モビリティ開発拠点」(H25-H26)と連携し高気密コネクタを開発。									★														SIP認可		
技術開発のマネジメント		【若手大学】若手大学を中心に全体定例会を実施。技術の適用先に関する情報共有、進捗確認、課題の共有を実施。																							若手大学を中心としたマネジメント		
技術開発		【若手大学、若手県工業技術センター】H28年度までに、接合メカニズム分析や新規分子接合技術の開発。H29年度以降は、製品開発が必要となる情報をまとめた分子接合カタログの作成、継革新的な分子接合剤を開発。																							接合部位の分析や、新たな異種材料間の接合		
技術の検証方法の決定		【若手大学】若手大学が中心となり、若手県工業技術センター、いおう化学研究所、アルプス電気と役割分担、情報共有を行い、相談案件に対応することで、技術検証を行うことをSIP開始時点で決定していた。																							技術検証方法の決定		
技術検証		【若手大学、若手県工業技術センター、いおう化学研究所、アルプス電気】若手大学が中心となって構築したコンソーシアムの相談案件への対応として、テストユースによる技術検証をH27年度から実施。																							企業によるテストユースによる技術検証、フィードバック		
知的財産の確保		【若手大学】めっき処理を中心にH12年度から随時出願を進めており、SIP開始前のH24年には、分子接合による物体の接着方法に関する特許が権利化できていた。					★																		基本権利化(H24)		
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)		【若手大学】分子接合剤、分子接合技術や接合カタログをノウハウとして蓄積し、これをいおう化学研究所、若手県工業技術センターに移管し、企業に展開。																							★ 高気密コネクタ		
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)		【いおう化学研究所、若手県工業技術センター】若手大学が開発した技術の移管を受け、コンサルを行い企業に展開。 【若手大学】分子接合の実証用製造ラインを作り、そこで開発した技術を企業に移管し企業が製造ラインを実用化。																							★ 培養液自動交換システム		
コンソーシアムの運営		【若手大学】H26/11に技術移転コンソーシアム(事務局若手大学研究推進機構 SIP/革新的設計生産担当)を構成し、参画企業との研究交流、ものづくり研修を実施。希望する企業とは実用化研究開発を実施し、SIPで開発した技術を広く産業界に展開する。さらに分子接合の実証用製造ラインを作り、そこで開発した技術を企業に移管し企業が製造ラインを実用化する。																							★ 分子接合剤の合成		
ベンチャー設立		【いおう化学研究所】分子接合技術の多分野の製造企業への展開支援を目的として、H19には若手大学 森邦夫工学部長を中心に、大学発ベンチャーとして株式会社いおう化学研究所を設立。					★																		★ 接合カタログ		
ツール販売		-																							★ 技術の出口戦略決定		
ツールオープン利用		-																							★ 技術移転コンソーシアムを構成		
技術のPR		イノベーション・ジャパン(H28/8、H29/8)、テクニカルショウヨコハマ(H29/2)といった展示会でプレゼンやサンプルをたくさん展示した。このほか、SIPシンポジウム、学会での発表を通じて、技術の紹介を行った。																							★ 岩手大学実証用製造ライン		

高付加価値セラミックス造形技術の開発

1) 開発の取り組み内容

日本のセラミックス技術は世界的優位に立っており、製品シェアもほぼ半分を占めるが、近年諸外国の急速な追い上げに直面している。当該産業分野を持続的に発展させるためには、イノベーションの芽となるアイデアを迅速に具現化し、ものづくり技術を革新することが重要であった。従来のセラミックス製造プロセスにおいては、複雑形状、中空形状の部材を作製することや、金属、樹脂基材上への高密着な皮膜を付与することが困難であり、造形上の都合によりセラミックスを採用できる部材が限られていたが、本研究によりこれらの課題を解決することで、セラミックスの本来の優れた特性をより多くの製品に適用できる技術を開発することにした。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

・3D積層造形技術

複雑形状や中空形状の部材作製を可能とするために、2000年頃から欧州等において研究されてきたセラミックスの粉末積層造形法やスラリー積層造形法を前進させ、種々の材質や製品等に対応できる技術とするとともに、3D積層造形技術にとっての大きな課題である焼結プロセスの抜本的見直しによる最適化がブレークスルーの鍵であると考え、成形と焼結の同時実現により後焼結プロセスの省略、焼結炉不要など焼き物の常識を変える直接造形法等の開発を行い、製品形状設計の自由度向上や生産工程短縮に資する造形技術としての基盤を構築することとした。

・ハイブリッドコーティング技術

ハイブリッドコーティング技術として、H14年頃からNEDOナノレベル電子セラミックス材料低温成形・集積化技術において研究されてきたプラズマ援用AD法技術をさらに前進させ、原料粒子の微細化やプラズマ制御により、溶射法では困難な金属、樹脂基材上への高密着な皮膜形成を可能とするハイブリッドAD（エアロゾルデポジション）法や微粒子スラリー溶射法を開発し、3次元表面上への高密着・高機能な複合膜、積層膜のコーティングを実現することで、製品設計の自由度や機能向上を図り、同時に皮膜対象物の大型化につながる生産速度やコスト低減に資する基盤技術を構築することとした。

【研究体制の構築】

我が国セラミックス産業は、世界トップレベルの製造/生産技術を有し、世界シェアのほぼ半分を占める。その代表的企業群である森村グループ（TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ）の積極的な連携により、各社の出口部材を題材に、3D積層造形技術とコーティングの2大課題についてそれぞれ革新的生産技術の基礎を築くこととした。3D積層造形技術では、従来から種々の造形技術の研究を行っていた産総研（中部センター）、スラリー積層造形技術の大阪大学、直接レーザー焼結技術のJFCCと連携し、産総研（中部センター）と大阪大学への集中研として森村グループの研究者

を派遣する形態とした。コーティング技術では、従来からAD法の開発を進めてきた産総研（つくばセンター）、微粒子スラリー溶射の大阪大学と連携し、これも集中研として森村グループの研究者を派遣することとした。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ>

TOTO：衝撃結合効果を利用した窯業プロセスのエネルギー合理化技術に関する研究開発、実施年度 H13～H15。

TOTO：ナノレベル電子セラミックス材料低温成形・集積化技術、実施年度 H14～H18

TOTO：エアロゾルデポジション法を用いた固体酸化物形燃料電池の開発、実施年度 H20～H21

TOTO：革新的省エネセラミックス製造技術開発、実施年度 H21～H25。

・SIP 公募に提案し採択(H26/9)。

<産総研>

・SIP 以前のセラミックス積層造形関連国 PJ 名

・革新的省エネセラミックス製造技術開発、実施年度 H21～H25（産総研 PL）。

・SIP 以前のセラミックスコーティング関連国 PJ 名

・NEDO 衝撃結合効果を利用した窯業プロセスのエネルギー合理化技術に関する研究開発、実施年度 H13～H15（産総研 PL）。

・NEDO ナノレベル電子セラミックス材料低温成形集積化技術、実施年度 H14～H18（産総研 PL）。

・NEDO MEMS—半導体横方向配線技術、実施年度 H18～H20（産総研 SPL）。

・NEDO 高周波低損失高感度電気光学材料の研究開発、実施年度 H18～H22。

・NEDO ナノキャピラリー構造を有する高容量電解コンデンサの研究開発、実施年度 H19～H20。

・NEDO エアロゾルデポジション法を用いた固体酸化物形燃料電池の開発、実施年度 H20～H21。

・NEDO 高性能AD圧電膜とナノチューブラバーを用いたレーザTV用高安定光スキャナーの基盤技術開発、実施年度 H20～H22（産総研 PL）。

・JST 住環境向け色素増感型アンビエント太陽電池の研究開発、実施年度 H23～H25。

・中企庁 微粒子常温スプレー方式による産業用ロールへの硬質アルミナ表面形成技術の開発、実施年度 H23（産総研 PL）。

【技術開発のマネジメント】

実施者を中心とする「イノベーション検討委員会」を発足させ、本事業におけるイノベーションの推進と総括、外部企業のイノベーションを支援するための枠組みの検討等、効果的にイノベーションを誘起するための具体的な方策を総合的に検討した。

【技術開発】

- ・ 3D積層造形技術
 <TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ、産総研>H28年度までは、粉末積層造形に適した粉末作成や造形条件の最適化、スラリー積層造形による複雑構造部材の試作、酸化物セラミックス粒子のレーザー照射プロセス基盤技術開発を実施。H29年度以降は、粉末積層用原料の混合による改良と予熱温度高温化等の条件改善、スラリー積層造形プロセス開発で得られたサポート付与を含む複雑構造技術等の適用、レーザー照射下の温度分布等の物性基礎解明を進め、実部材を想定したモデル部材などの試作技術を構築する。また、トポロジー最適化手法を用いた設計品の試作を実施。
- ・ ハイブリッドコーティング技術
 <産総研、TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ>H28年度までは、ハイブリッドAD法におけるエアロゾル中の微粒子へのプラズマ緩用条件の解析、既存のAD装置に熱プラズマ発生機構等の導入による成膜速度、膜密度、基材密着性向上技術開発、複合粒子の樹脂基材等への密着性向上を実施。H29年度からは、開発したハイブリッドAD法の複合材料粒子最適化を行い、高成膜速度、高被膜性を実現し、ハイブリッドAD法をコアとするプラットフォーム技術を構築。
- ・ 部材化技術
 <TOTO、産総研、大阪大学>28年度までは、半導体製造用セラミックス部材、耐プラズマ部材、移動式トイレ、セラミックフィルター、人工膝関節、骨補填材、セラミックコアについて、部材設計、試作、プロセス技術の構築を実施。H29年度からは、各部材について、模擬形状の試作とその評価を通じた、実形状・実用サイズの試作と評価を実施。

【技術の検証方法の決定】

3D積層造形技術とハイブリッドコーティング技術について、それぞれ産総研（中部センター、つくばセンター）を拠点とする集中研へ、参加企業（TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ）が人員派遣し、参加企業ごとにあらかじめターゲットとなる部材を決め、現場で実用化を前提とした技術を検証することとした。

【技術検証】

- ・ 半導体製造用セラミックス部材：炭化ケイ素系およびアルミナ系部材を開発、造形条件の最適化により、高ヤング率、高曲げ強度をもつ部材を開発。
- ・ 耐プラズマ部材：RFプラズマ緩用技術を導入した製膜技術を開発、製膜粉体・製膜条件を最適化し、膜硬度、耐プラズマ性を目標とする物性まで向上。
- ・ 移動式トイレ：ABS・PP基材へのセラミック製膜サンプルを試作、密着性の課題を解析し、膜硬度・密着強度を向上。
- ・ セラミックフィルター：微粒子スラリー溶射技術およびハイブリッドADコーティング技術を検討。目標とするシール緻密性を有する部材を開発。
- ・ 人工膝関節：大腿骨コンポーネントに、3D積層造形技術とハイブリッドコーティングを適用、耐摩耗性、形状、密度等の最適化条件を決定。
- ・ 骨補填材：造形プロセスに適した粉体・スラリーを開発、造形パターンや造形条件を最適化するとと

もに、造形テストピースを大型化した場合の条件も評価。

- ・セラミックコア：スラリーおよび粉末積層造形方法を開発。脱脂－焼成条件や充填剤等の検討も実施。

【知的財産の確保】

< TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ >

今回の SIP 以前に 3D 積層造形、ハイブリッドコーティングに関する知的財産の取得は無し。

SIP 期間中に部材化技術の研究結果として 8 件の特許を出願。

< 産総研 >

H10 年に、プラズマ援用 AD 法の基本特許を出願。

SIP 期間中にハイブリッド AD 法に関して 4 件、粉末積層造形技術に関して 3 件の特許を出願。

< JFCC >

SIP 期間中にレーザー直接造形の基本特許を含む計 9 件の特許を出願（基本特許 4 件を併合した国際優先権出願 2 件を含む）。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

< TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ >

- ・各部材に最適化されたプロセス条件やノウハウを持ち帰り自社にて活用（有効性の検証中）。

TOTO：半導体製造装置用部材、ノリタケ：セラミックスコア、日本特殊陶業：骨補填材、日本碍子：フィルター、等

< 産総研 >

- ・SIP 後も、粉末積層造形装置を保持し、SIP 外部含む企業・大学等からの使用ニーズに対応する。

SIP 後も、ハイブリッドコーティング装置、コーティング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。

< JFCC >

- ・SIP 後も、レーザー直接造形装置（プロトタイプ）を保持し、受託研究および共同研究を通じて、SIP 外部含む企業等からのニーズに対応する。

■ 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）】

< TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ >

- ・自社に持ち帰った部材を用いた製品化を各社にて決定。

< 産総研 >

- ・事例の創出（専用機の導入）、拠点の自立的運営に向けた取り組み（レンタルソフトの買い取り等）を検討。SIP 外部企業・大学等によるテストユースには、イノベーション検討委員会での審議を行い、各種規程との整合を図る。

< JFCC >

- ・SIP 終了後、企業等からの委託研究・依頼試験に装置を解放し、研究費・試験費を基盤財源として装置を運営し、産業界のニーズに広く対応する。また、企業等との共同研究を通じて開発技術のさらなる高度化を図る。

【コンソーシアムの運営】

<産総研>

- ・先進コーティングアライアンスにおいて民間企業 44 社と運営中。

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ>

- ・開発した粉体、プロセス条件は自社セラミックス製品に活用。

<産総研>

—

<大阪大学>

—

<JFCC>

SIP 内企業 4 社と国際共同出願した基本特許のライセンス供与による装置販売を模索。

【ツールオープン利用】

<産総研、JFCC>

SIP 後も、3D 積層造形装置、ハイブリッドADコーティング装置を拠点に設置し、企業・大学等からの使用ニーズ、共通基盤技術（SIP 参加企業の独自ノウハウに属さない一般のプロセスパラメータ等）への問い合わせに対応し、セラミックス造形技術の普及のための環境を整備。コーティング拠点の利用検討半期で 40 件、利用事例の創出 4 件、拠点技術拡散のための普及モデル（例：先進コーティングアライアンス(www.adcal.org)の活用)の構築。

<JFCC>

直接造形に関する産業界からのニーズは高いが、SIP において蓄積した原料の調整方法や造形条件に関するノウハウの流出を避けるため、開発ツールのオープン化は困難。研究契約等での秘密保持に留意しながら、個別用途に適したツールの開発を進める。技術の成熟（汎用化、標準化）により、将来的にオープンとする可能性はある。

【技術の PR】

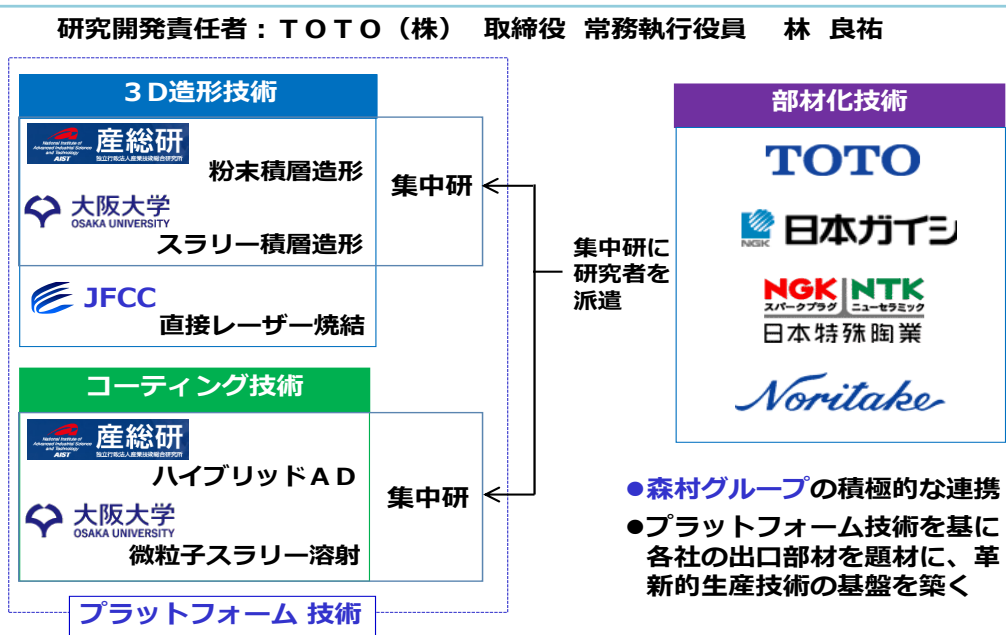
インターネットや年間を通じた各種シンポジウム、講演会等での発表を中心に技術の PR を実施。このほか、高機能セラミックス展、ナノテク展、3D Printing 展、Ceramic Expo などの主要な展示会に出展。日本セラミックス協会や粉体粉末冶金協会、溶射学会などの国内学会に加え、米欧の各種国際学

会での発表を行い、さらには、日本セラミックス協会協会誌の2017年10月号に、本プロジェクトである高付加価値セラミックス造形技術の特集を組んでいただいた。このような活動が、日経新聞、日経BP、日刊工業新聞などの主要なメディアに取り上げていただくことにもつながった。また、拠点利用成果の拡散を強化のため、「歯科部材応用事業」、「吸湿シート応用事業」、「放熱基板応用事業」「キッチン用品」等の拠点利用について、試作品提示、試作性能評価を完了。

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

研究体制



1

4) 成功要因と課題

- ・世界トップレベルの製造/生産技術を有し、世界シェアのほぼ半分を占める我が国セラミックス産業界において、その代表的企業群である森村グループ (TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ) が、当初からプログラムに参加し、明確に出口部材を題材にした技術ターゲット (3D積層造形技術、ハイブリッドコーティング技術) を設定したこと。
- ・参加した企業群が、同業企業であっても個々の利害関係を一旦棚上げし、日本の産業競争力強化を目的に一致団結できたこと。知恵の出し惜しみ・隠し合いや成果の帰属問題などの懸念を、スタート時点で経営レベルにおいて解消・合意したこと。技術会議にて技術的知見を共有。それぞれが担当する部材化技術の開発に活用、もの創りのノウハウとして日本の産業力強化に結び付けたこと。
- ・要素・基盤技術を持つ、産総研、大阪大学が連携し、実用化を担う森村グループの人員を集中研の形態で受け入れ、出口を明確に意識した現場開発を基本とした研究体制。
- ・直接レーザー焼結装置を、早い段階で JFCC が内部に設置し、テストユースを進めユーザからのフ

ードバックを共有できた。

- プロセス技術は企業にとって外部開示し難いことを当初から理解し、ノウハウに関する部分をクロージドイノベーションとして切り分け内部にしっかり保持し、その他共通基礎・基盤技術となる部分をオープンイノベーションとして外部企業にテストユース適用するなどの、技術の切り分けと目利き戦略が優れていたこと。
- 技術の PR として、シンポジウムや講演会での発表を、年間を通じて行った。このような場で会話した方や企業との長く続く関係を構築できる傾向があり有効である。
- 先進コーティングアライアンスの活動に AI 技術などを取り入れることにより、マッチングの確率を上げ、ビジネス創出の機会向上を積極的に狙っていく必要がある。

5) 場・仕組みからの FB

産総研に、3D積層造形装置、ハイブリッドADコーティング装置を設置し、企業・大学等からの使用実績（「歯科部材応用事業」、「吸湿シート応用事業」、「放熱基板応用事業」「キッチン用品」等）について、試作性能評価結果の FB を受け、技術開発に役立てている。また、プロト機を設置した JFCC で、レーザー焼結装置を活用の場として運用している。

(別紙) 開発のタイムライン

高付加価値セラミックス造形技術の開発

役割(アクション)	実施(予定)時期	だが、いつ(からいつまで)、(だと)、どのように行った	～H25												H31～(将来の見込)										
			H26				H27				H28					H29				H30					
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q			
実用化ツールの開発	技術アイデアの創出	・3D積層造形技術 複雑形状や中空形状の部材作製を可能とするために、2000年頃から粉末積層造形法やスラリー積層造形法を前導。成形と焼結の同時実現により後焼結プロセスの省略、焼結炉不要など直接造形法等を開発。製品形状設計の自由度向上や生産工程短縮に資する造形技術としての基礎を構築。 ・ハイブリッドコーティング技術 H14年頃からスズマ援用AD法技術をさらに前導させ、原料粒子の微細化やスズマ制御により、金属、樹脂基材上への高密着な皮膜形成を可能とするハイブリッドA D (エアロゾルデポジション) 法や微粒子スラリー溶射法を開発。製品設計の自由度や機能向上、生産速度やコスト低減に資する基礎技術を構築。	★ 3D積層造形技術 研究開始(H12)	★ 粉末積層 研究開始出(H16)					★ ハイブリッドコーティング技術 研究開始(H10)	★ 基礎技術開発成功(H19)															
	研究体制の構築	我が国セラミックス産業の代表的企業群である森村グループ(TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケ)の連携、各社の出口部材を題材に、3D積層造形技術とコーティングの2大課題についてそれぞれ革新的生産技術の基礎を構築。3D積層造形技術では、産総研(中部センター)、スラリー積層造形技術の大阪大学、直接レーザー焼結技術のJFCCと連携。産総研(中部センター)と大阪大学への集中研として森村グループの研究者を派遣。コーティング技術では、産総研(つくばセンター)、微粒子スラリー溶射の大阪大学と連携、集中研として森村グループの研究者を派遣。		★ 技術開発体制構築					★ 実用化、展開に向けた体制整備																
	研究テーマ提案(研究資金の獲得)	<TOTO> 衝撃結合効果を利用した産業プロセスのエネルギー合理化技術に関する研究開発、実施年度H13～H15。ナノレベル電子セラミックス材料低温成形・集積化技術、実施年度H14～H18。エアロゾルデポジション法を用いた固体酸化物燃料電池の開発、実施年度H20～H21。革新的省エネセラミックス製造技術開発、実施年度H21～H25。SIP公募に提案し採択(H26/9)。 <産総研> SIP以前のセラミックス積層造形関連PJ名。革新的省エネセラミックス製造技術開発、実施年度H21～H25(産総研PL)。SIP以前のセラミックスコーティング関連PJ名。NEDO衝撃結合効果を利用した産業プロセスのエネルギー合理化技術に関する研究開発、実施年度H13～H15(産総研PL)。～以下、本文参照。		★ 革新的省エネセラミックス製造技術(H21～H25)	★ SIP認可																				
	技術開発のマネジメント	実施者を中心とするイノベーション検討委員会を発足させ、本事業におけるイノベーションの推進と総括、外部企業のイノベーションを支援するための枠組みの検討等、効果的にイノベーションを誘起するための具体的な方策を総合的に検討した。																							
	技術開発	・3D積層造形技術 [TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケ、産総研] H28年度までは、粉末積層造形に適した粉末作成や造形条件の最適化、スラリー積層造形による複雑構造部材の試作、酸化物セラミックス粒子のレーザー照射プロセス基礎技術開発を実施。H29年度以降は、粉末積層用原料の混合による改良と予熱温度高温化等の条件改善、スラリー積層造形プロセス開発で得られたサポート付を含む複雑構造技術等の適用。～以下、本文参照。																							
	技術の検証方法の決定	3D積層造形技術とハイブリッドコーティング技術について、それぞれ産総研(中部センター、つくばセンター)を拠点とする集中研へ、参加企業(TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケ)が人員派遣し、参加企業ごとにからかじめターゲットとなる部材を決め、現場で実用化を前提とした技術を検証することとした。		★ 集中研方式の開発体制を決定					★																
	技術検証	・半導体製造用セラミックス部材：炭化ケイ素およびアルミナ系部材を開発。造形条件の最適化により、高ヤング率、高曲げ強度をもつ部材を開発。 ・耐プラズマ部材：RFプラズマ緩衝技術を導入した製膜技術を開発。製膜粉体、製膜条件を最適化。～以下、本文参照。																							
	知的財産の確保	<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケ> 今回のSIP以前に3D積層造形、ハイブリッドコーティングに関しての知的財産の取得は無し。SIP期間中に部材化技術の研究成果として8件の特許を出願。～以下、本文参照。																							
	技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)	<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケ> ・各部材に最適化されたプロセス条件やノウハウを持ち帰り自社にて活用(有効性の検証中)。 TOTO：半導体製造装置用部材、リタケ：セラミックスコア、日本特殊陶業：骨補填材、日本碍子：フィルタ、等～以下、本文参照。																							
	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)	<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケ> ・自社に持ち帰った部材を用いた製品化を各社にて決定。 <産総研> ・事例の創出(専用機の導入)、拠点の自立的運営に向けた取り組み(レンタルソフトの買い取り等)を検討。 SIP外部企業・大学等によるテストケースには、イノベーション検討委員会での審議を行い、各種規程との整合を図る。～以下、本文参照。		★ イノベーション																					
コンソーシアムの運営	-																								
ベンチャー設立	-																								
ツール販売	<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、リタケ> 開発した粉体、プロセス条件は自社セラミックス製品に活用。 <JFCC> SIP内企業4社と国際共同出願した基本特許のライセンス供与による装置販売を模索。																							★ 粉体材料販売(?)	
ツールオープン利用	<産総研、JFCC> SIP後も、3D積層造形装置、ハイブリッドA Dコーティング装置を拠点に設置。～以下、本文参照。		★ (H12)																						
技術のPR	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、高機能セラミックス展、ナノテック展、3D Printing展、Ceramic Expoなどの主要な展示会に出展。～以下、本文参照。																								

デザインブルゲルの革新的 3D プリンティングシステム

1) 開発の取り組み内容

ゲルは、網目状の高分子が溶媒を吸収し膨潤している柔軟物質（ソフトマター）でウェットなことが特長であり、人体組織に近い組成を実現でき、主にヘルスケア分野での貢献が期待できる材料である。ゲルの研究は日本が圧倒的に世界をリードしており、H13年以降高強度なゲルの開発が次々になされたが、実用化が進まないという課題があった。山形大学の古川教授は高強度ゲルの実用化に強い思いを抱いており、過去に行った企業との協業で自由な形に加工できないという点が問題と考えていた。H21年に3D造形によって加工の問題を解決できると考え、H23年に基礎技術の開発に成功した。そしてSIPでは基礎技術の実用化として、3Dゲルプリンティングシステム（ゲル材料、3Dゲルプリンター）の開発を提案し、H26に採択され研究に着手した。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

H13年以降高強度ゲルが数多く開発され、ヘルスケア分野等でのアプリ開発やマーケット拡大が期待されていたが、普及が進まなかった。山形大学の古川教授は高強度ゲルの実用化に強い思いを抱いており、過去に行った企業との協業で自由な形に加工できないという点が問題と考えていた。H21年に3D造形によって加工の問題を解決できると考え、H23年に基礎技術の開発に成功した。そしてSIPでは基礎技術の実用化として、ゲル材料、3Dゲルプリンターの開発にH26より着手した

【研究体制の構築】

ゲル材の先端研究期間である山形大学を中心に、3Dプリンティングシステムで必要となる開発要素として、材料関係では光硬化樹脂のトップ企業であるJSR社、装置関係では樹脂精密加工装置製造のスペシャリストであるサンアロー社で構成される体制をSIP公募時に構築した。なお両社とも従来からつながりがあり、積極的に研究開発に関わってくれる企業であることがわかっていた。また、ディスプレイ方式3Dゲルプリンターが実用化段階に進んだことから、ゲルの実用的デバイス利用による事業創造に向けて設立したベンチャー企業ディライトマター社を体制に追加した。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

<山形大学>SIP公募に提案し、採択。(H26/9)

また、H28/9に採択されたOPERAのソフトマターロボティクス研究が、3Dゲルプリンター技術の応用先として有力になりつつある。

【技術開発のマネジメント】

山形大学が中心となって推進。進捗確認および材料と装置のすりあわせのための定例会議を1回/月実施。合わせて、出口戦略（ベンチャー、地場企業への展開等）に関する議論も実施している。

【技術開発】

H27 年度までは、標準型の普及機として、ディスペンサー方式 3D ゲルプリンター開発を中心に実施。H29 年度以降は、より高精度造形が可能な特殊用途機であるバスタブ方式 3D ゲルプリンターを開発している。バスタブ方式の開発に当たっては、目標精度を上げたため、SIP の他テーマである、横国大丸尾教授の超微細 3D 造形の基本技術を応用し、マイクロ光造形バスタブ方式の装置を開発することを決定した。

【技術の検証方法の決定】

技術の検証として、H27年度下期より、介護福祉品や義肢、再生医療材料等の試作品をD-MEC社（JSR社のグループ会社）を通じて、大学研究室、病院等の医療現場、医療機器メーカーで使用してもらいFBを受けること、またH27年度に、山形大学工学部とかながわサイエンスパークの二箇所にテストラボを設け、3Dプリンティングシステムを設置し、ニーズ発掘と実用化検討を実施することを決定していた。テストラボ設置はH27年度に行い、ニーズ発掘と実用化検討、見学や実機を活用した研究打ち合わせなどを実施している。ベンチャー企業設立後は、ユーザーの要望に応じて打ち合わせの上、デバイスの試作と提供などを行なっている。

【技術検証】

<山形大学、D-MEC 社>H27 年度下期より、介護福祉品や義肢、再生医療材料等の試作を実施し、大学研究室、病院等の医療現場、医療機器メーカーのFBを受けた。ここで、医療の現場でより高精度な造形が必要というFBを受け、バスタブ方式 3D ゲルプリンターの目標精度を再設定した。
<ディライトマター>H29 年度より SIP 外部企業でのテストユースを開始した。

【知的財産の確保】

SIP に先駆け H23 年の基礎技術開発成功時に、基本特許を出願済みである。また SIP 申請に先駆けて山形大学、JSR 社、サンアロー社が H25 年から開発していたマルチマテリアル 3D 造形の特許を H27 年度に出願した。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

H27/9 には、ディスペンサー方式 3D ゲルプリンターのプロトが完成し、これを使って試作した製品を大学研究室、病院等の医療現場、医療機器メーカーに提供し、FBを受けた。ここでは、小さいサイズでもよいのでより精細な造形が必要という意見のFBがあった。高精度版として開発予定であったバスタブ方式で設定していた目標を越える要求精度であったため、目標の再設定が必要となった。H28/3 には企業が活用可能なレベルのディスペンサー方式 3D ゲルプリンターのプロトを完成させ、H28/11 に山形大学工学部、かながわサイエンスパークに設置して、テストラボを開設した。ここでは見学や実機を活用した研究打ち合わせなどを実施し、テストラボで開発した材料や試作したデバイスなどを外に出せるようにして欲しいなどのFBを受けた。このようなFBを実現すべく、さらに、H28/11 には、山形大学発ベンチャーとして、ディライトマター社（DLM）を設立しニュースリリースを実施した。

DLM は、高強度ゲルの 3D プリンティングによる造形サービスを実施するとともに、高強度ゲル活用の方向性として革新的なデバイス開発を進め、企業の製品開発を支援するミッションを負う（DLM は H29 年度より SIP の共同実施者として参画し、実用化および展開に向けた体制を強化）。合わせて H28 年度には、FB の結果得られた高精度化の要求に対する方策の検討も実施した。その結果、SIP 革新的設計生産に参画している横浜国立大学丸尾教授の超微細 3D 造形の基本技術を応用することを考案した。H28/7 に丸尾教授に相談したところ連携の了解が得られたため、H29 年度以降のバスタブ方式 3D ゲルプリンターの開発に取り込み、より高い目標を実現するテーマとしてすすめることとした。これにあわせて開発した従来のバスタブ方式 3D ゲルプリンターは H28 年度に技術実証まで行うようにスケジュールを変更した。高精度版であるマイクロ光造形バスタブ方式 3D ゲルプリンターは、H29 年度に目標精度を達成可能な装置の開発および評価を実施し、H30 年度には企業がテストユース可能なレベルの装置の完成を目指す。

■ 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）】

H27 年度のテストラボの開設準備の時期に、テストラボでテストユースを実施できるベンチャー企業を H28 年度に設立し、SIP 終了以降も運営していくことを決定。大学では、開発した材料を外に出すには MTA(Material Transfer Agreement)が必要になるので、実用化に向けた動きをとりやすいベンチャー設立を選択した。また、新しい材料に関しては、誰かが率先して使い方の方向性を示す必要があり、その役割をベンチャーが果たすと考えた。

また SIP 終了後も、山形大学およびかながわサイエンスパークに設置したテストラボを継続し、地場の企業が 3D ゲルプリンターに触れる場を提供することとした。

SIP 終了後もベンチャーであるディライトマターによる 3D ゲルプリンティングの普及展開に取り組むほか、H29 年度には、地場中小企業の普及展開を図るための場としてコンソーシアム設立を検討し、H30/4 から運営を開始する予定であるほか、将来的には 3D ゲルプリンティングシステムの販売も検討していく。

【コンソーシアムの運営】

<山形大学> 中堅・中小企業が 3D ゲル造形技術を活用できるように、やわらか 3D 共創コンソーシアムを H30/4 に設立予定。

【ベンチャー設立】

<山形大学> 山形大学発ベンチャーとして、ディライトマター社を H28/11 に設立。高強度ゲルの 3D プリンティングによる造形サービスを実施。高強度ゲル活用の方向性として革新的なデバイス開発を進めるとともに、企業の製品開発を支援。

【ツール販売】

<ディライトマター、JSR、サンアロー> 将来的には材料、3D ゲルプリンターの外販も検討。

【ツールオープン利用】

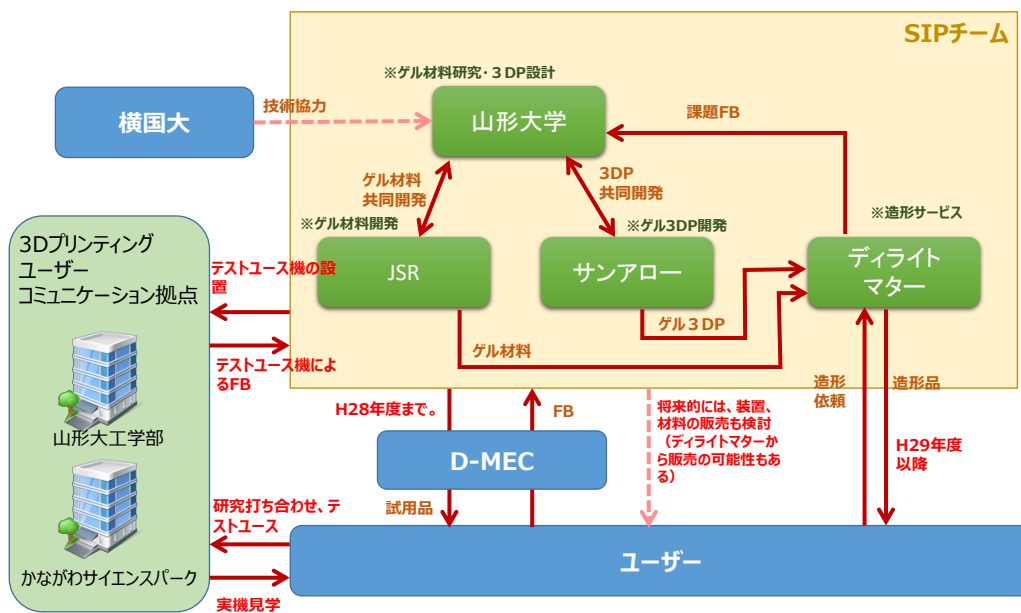
山形大学およびかながわサイエンスパークに設置し、地場の企業が 3D ゲルプリンターをテストユース可能な環境を整えた。設置は H27 のテストラボ開設時で、SIP 終了後もテストラボの活用を継続する予定。

【技術の PR】

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、東北デジタルものづくりフェスタ（H28/10）、イノベーションジャパンなどの展示会に出展。ディライトマター社設立のニュースリリース(H28/11)。技術 PR からトライアルにつながった案件もある。シンポジウムや講演会で会話した方とは以降長く関係を構築できる傾向にあり、できるだけ多くの発表を行うように努めている。

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



D-MEC : 3Dプリンター・3D成形装置、独自開発した材料、卓越した保守サービスまで含めて総合的に提供するJSRグループの企業

4) 成功要因と課題

- 古川先生の、日本の強いゲルを実用化したいという強い思いがあった。古川先生は、実用化が進まない理由として、企業側が要求するような形状を自由に作れないということを考えており、3D 造形によりこれを解決できるというアイデアを創出した。
- ゲルの研究体制に関して、SIP 開始前から研究開発に必要となる材料、装置において、有力かつ積極的に活動してくれる企業とのコネクションを築いていた。

- ・大学では開発した材料を外に出すのが難しいので、動きやすい形として、実用化、普及展開のミッションを担うベンチャー企業を立上げた。ただしベンチャー企業の取組みは途中段階。
- ・SIP 開始時点で技術の検証方法を決定した。開発技術に関して迅速にフィードバックを得ることができた。企業からの高精度化のニーズを研究開発にフィードバックすることもできた。
- ・技術のPRとして、シンポジウムや講演会での発表を、年間を通じて行った。このような場で会話した方や企業との長く続く関係を構築できる傾向があり有効である。
- ・SIP 革新的設計生産の他のテーマとの交流を行った。この結果、他テーマの基本技術を応用することで、当初の目標を越える精度/効率よく、目標を達成可能な装置を開発できる見通しを得ている。
- ・SIP 内でも他テーマと連携する際には、知財の取り扱いなど検討が必要である。
- ・材料系の研究は時間がかかることが多く、特許を出願してから実用化の期間が長いいため、実質的に特許を活用できる期間が短くなる傾向にある。論文がKPIとなっている現状では、開発技術の公開を早い時期から実施する必要があり、研究の評価方法や産学連携の在り方を検討する必要がある。

5) 場・仕組みからのFB

ディライトマター社において、企業でのテストユースを実施しており、当初想定したヘルスケア、医療、ロボットのほか、ゲル材料の特性を活かした製品への適用検討もあがってきている。またスケールアップする際のコスト、製造方法についても検討が必要なことがわかってきている。

役割(アクション)	実施(予定)時期	だが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行った	～H25				H26				H27				H28				H29				H30				H31～(将来の見込)
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q					
技術アイデアの創出		【山形大学】H13年以降高強度ゲルが数多く開発され、ヘルスケア分野等でのアプリ開発やマーケット拡大が期待されていたが、普及が進まなかった。古川教授は高強度ゲルの実用化に強い思いを抱いており、過去に行った企業との協業で自由な形で加工できないという問題と考えていた。H21年に3D造形によって加工の問題を解決できると考え、H23年に基礎技術の開発に成功した。そしてSIPでは基礎技術の実用化として、ゲル材料、3Dゲルプリンターの開発にH26より着手した。	★ アイデア創出 (H21)				★ 基礎技術開発成功 (H23)				実用化技術開発と社会実装 (SIP)																
研究体制の構築		【山形大学、JSR、サンアロー】ゲル材の先端研究期間である山形大学を中心に、3Dプリンティングシステムで必要となる開発要素として、材料関係では光硬化樹脂のトップ企業であるJSR社、装置関係では樹脂精密加工装置製造のスペシャリストであるサンアロー社で構成される体制をSIP公募時に構築した。なお両社とも従来からつながりがあり、積極的に研究開発に関わってくれる企業であることがわかってきた。 【デライトマター社追加】デイスンサー方式3Dゲルプリンターが実用段階に進んだことから、ゲルの実用的デバイス利用による事業創造に向けて設立したベンチャー企業デライトマター社を体制に追加。	★ 技術開発体制構築								★ 実用化、展開に向けた体制拡充																
研究テーマ提案 (研究資金の獲得)		【山形大学】SIP公募に提案し、採択。(H26/9)	★ SIP認可																								
技術開発のマネジメント		【山形大学】山形大学が中心となって推進。進捗確認および材料と装置のすりあわせのための定例会議を1回/月実施。合わせて、出口戦略 (ベンチャー、地場企業への展開等) に関する議論も実施している。	山形大学が中心となり、技術開発および開発技術の出口戦略のマネジメントを実施																								
技術開発		【山形大学、JSR、サンアロー】H27年度までは、標準型の普及機として、デイスンサー方式3Dゲルプリンター開発を中心に実施。H29年度以降は、より高精度造形が可能な特殊用途機であるバスタブ方式3Dゲルプリンターを開発する。バスタブ方式の開発に当たっては、目標精度を上げたため、SIPの他テーマである、横国大丸尾教授の超微細3D造形の基本技術を応用し、マイクロ光造形バスタブ方式の装置を開発することをH28/7に決定した。	デイスンサー型プリンター				バスタブ方式プリンター				★ 横国大の基本技術の応用を決定				マイクロ光造形バスタブ方式プリンター												
技術の検証方法の決定		【山形大学、D-MEC社】SIP提案時に、H27年度下期より、介護福祉品や義肢、再生医療材料等の試作品をD-MECを通じて、大学研究室、病院等の医療現場、医療機器メーカーで使用してもらい、FBを受けることを決定していた。 【山形大学、かながわサイエンスパーク】テストラボ設置をH27年度に行い、ニーズ発掘と実用化検討を実施。	★ 現場での使用をH27/下																								
技術検証		【山形大学、D-MEC社】H27年度下期より、介護福祉品や義肢、再生医療材料等の試作を実施し、大学研究室、病院等の医療現場、医療機器メーカーのFBを受けた。ここで、医療の現場でより高精度な造形が必要というFBを受け、バスタブ方式3Dゲルプリンターの目標精度を再設定した。 【デライトマター】H29年度よりSIP外部企業でのテストユースを開始した。	★ 目標精度向上				デライトマター社でのテストユース																				
知的財産の確保		【山形大、サンアロー】H23年に基礎技術の開発の際に基本特許を出願。さらに3D造形および材料に関して14件、ゲルを使った製品を検討中。	★ 基本特許出願(H23)				★ ゲル材料				★ ゲル3Dプリンター																
技術のツール化 (装置、ソフト、ノウハウ)		【山形大学、JSR、サンアロー】デイスンサー方式はH27年度末に企業が活用できるバージョンが完成。マイクロ光造形バスタブ方式はプロトタイプ機がH29年度末、企業が活用できるバージョンはH30年度に完成予定。	デイスンサー方式プロトタイプ機				デイスンサー方式3Dゲルプリンター				★ バスタブ方式プロトタイプ機				★ マイクロ光造形バスタブ方式プロトタイプ機				★ マイクロ光造形バスタブ方式3Dゲルプリンター								
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)		【山形大学】H27年度のテストラボの開設準備の時期にテストラボでテストユースを実施できる、ベンチャー企業をH28年度に設立し、SIP終了以降も運営していくことを決定。大学では、開発した材料を外に出すにはMTA(Material Transfer Agreement)が必要になるので、実用化に向けた動きをとりやすいベンチャー設立を選択した。また、新しい材料に関しては、誰かが率先して使いの方性を示す必要があり、その役割をベンチャーが果たすと考えた。またH29 には更に中堅・中小企業が3Dゲル造形技術を活用できるように、コンソーシアムの設立を決定。	★ ベンチャー設立を決定								★ コンソーシアム設立を決定																
コンソーシアムの運営		【山形大学】中堅・中小企業が3Dゲル造形技術を活用できるように、やわらか3D共創コンソーシアムをH30/4に設立予定。													★ やわらか3D共創コンソーシアム												
ベンチャー設立		【山形大学】山形大学発ベンチャーとして、デライトマター社をH28/11に設立。高強度ゲルの3Dプリンティングによる造形サービスを実施。高強度ゲル活用の方向性として革新的なデバイス開発を進めるとともに、企業の製品開発を支援。									★ デライトマター社設立				★ 造形サービス												
ツール販売		【デライトマター、JSR、サンアロー】将来的には材料、3Dゲルプリンターの外販も検討。																	★ 材料、3Dゲルプリンター販売 (検討中)								
ツールオープン利用		【山形大学】山形大学およびかながわサイエンスパークに設置し、地場の企業が3Dゲルプリンターをテストユース可能な環境を整えた。					★ 山形大学、かながわサイエンスパークへプロトタイプ機設置																				
技術のPR		【山形大学】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、東北デジタルものづくりフェスタ (H28/10)、イノベーションジャパンなどの展示会に出席。デライトマター社設立のニュースリリース(H28/11)。技術PRからトライアルにつながった案件もあり。	インターネット、各種シンポジウム等での講演				★ 東北デジタルものづくりフェスタ				★ 3D Printing展				★ イノベーションジャパン				★ ニュースリリース/SIPシンポジウム				★ SIPシンポジウム				

高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発

ーマルチレーザー加工ヘッドと青色半導体レーザーコーティング装置ー

1) 開発の取り組み内容

大阪大学接合科学研究所 塚本教授らのチームでは、半導体レーザー、フェムト秒レーザーや超微粒子ビームなどの様々なビームを用いたプロセス開発に関する研究を行っている。このうち、レーザークラディング（肉盛溶接）技術を高度化した精密レーザークラディング（レーザーコーティング）技術に関しては、1990年代より研究開発を進めてきた電子ビームクラディング研究がベースになっている。一方、金属材料の耐摩耗、耐腐食、耐衝撃などを目的として表面改質技術の開発が広く行われている。この従来技術として、金属の熱処理加工、溶射加工、プラズマ粉体肉盛などの技術があったが、それぞれ課題があり、より高品質、高密度、低熱影響なコーティング技術が求められていた。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

塚本教授らのチームは、レーザークラディングにおける飛行粉末の均一加熱を可能とするレーザーのマルチビーム集光方法を考案し、難加工材を対象としたレーザーコーティング技術の開発を、H26年度よりSIP革新的設計生産技術にて進めることとした。

【研究体制の構築】

大阪大学接合科学研究所がこれまでレーザーのプロセス開発で関係をすでに構築していた企業を中心に研究体制を構築した。レーザー基盤技術の開発については、約15年前から共同研究を進めている石川県工業試験場、レーザー光源を担当する古河電気工業、コーティングの材料を担当する山陽特殊製鋼、レーザー溶融凝固強度を再現し加工条件出しを容易化するためのシミュレーションを担当する日本原子力研究開発機構で構成し、出口となる実用化事業化については、大阪大学接合科学研究所に共同研究部門を設置している「大阪富士工業」および石川県工業試験場とともに約10年共同研究を進めている「村谷機械製作所」で担当する体制とした。大阪富士工業では、開発するモルテンプール型のレーザーコーティング技術を使って、施工請負を行い産業界に成果を展開し、村谷機械製作所では開発する非モルテンプール型のレーザーコーティングを行うための加工ヘッド、ならびにそれを搭載した安価なコーティング装置を販売することで、成果を産業界に展開する予定とした。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

<大阪大学>SIP 公募に提案し、採択。(H26/9)

【技術開発のマネジメント】

大阪大学が取り纏めとなり、役割分担を明確にして推進。チーム全体の定例会は1回/月。海外展示会の情報共有等も実施。大阪大学がハブとなり、SIP開始前までつながりがなかった組織間での交流、連携も生まれている。

【技術開発】

マルチビーム式レーザーコーティングは、中心から噴射する原料粉体を複数のレーザー光で加熱し、被膜を加工するもので、熔融池を作らずに被膜を作るため非モルテンプール型とも呼んでいる。SIPを開始してまもないH27/5には150W近赤外線レーザーコーティング装置の試作機を開発した。さらにH27/11には、300W近赤外線レーザーマルチビームユニットを開発し、H28/1には、これを搭載したレーザーコーティング装置の試作機を開発した。

さらなる難加工材のコーティングを目指して、青色半導体レーザーを用いたコーティング装置の開発も進めた。これは海外の主要な展示会調査および主要レーザー加工機メーカーとの技術情報交流によるグローバルベンチマークの結果、当初想定していた以上に、特に純銅に対するコーティング要求期待が増大していたことに基づいている。青色半導体レーザーの導入に当たっては、従来からコネクションを築いていた日亜化学工業、島津製作所に技術協力いただける体制を構築した。世界中で青色半導体レーザー素子を安定して供給できる企業は、日亜化学とドイツの企業1社しかなく、これを事業化できれば大きなアドバンテージを得ることができる。H27/11には60W、H28/1には100Wの青色半導体レーザーコーティング装置を世界で初めて開発し、従来法では困難だった純銅の高品質皮膜を容易に形成可能とした。さらにH29/4には、400Wの青色・近赤外マルチカラーレーザーコーティング装置を開発した。

【技術の検証方法の決定】

SIP開始時点で、H29から県内を中心とした熱意のある中小企業と、技術検証、活用を実施することを決定していた。

【技術検証】

H29年度以降も産業界に価値の高い成果を出せるように、イノベーションスタイルの取組みを継続して行く予定としている。展示会については、H30年度は東京ビッグサイトで開催する国際展示会「国際ウェルディングショー（2018年4月25日～28日）」にて、展示（開発した装置を稼働、デモンストラーション）を行う。具体的には、大阪大学接合科学研究所内に設置した普及のためのプラットフォーム「阪大接合研サイト」と石川県工業試験場内に設置した「石川県工試サイト」におけるSIP外企業の活用事例構築を通じて、技術の検証、評価フィードバックのループを回し、技術や装置の完成度向上につなげる予定である。そして中小企業でも導入可能な安価で高性能な装置を完成させ、H31年度に販売を開始する予定である。

【知的財産の確保】

本研究の基本となるマルチレーザーを用いたレーザー加工装置については、H23に特許出願を行い、H28に権利化している。マルチレーザーに関する特許は、H28およびH30にも特許出願を行った。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

<村谷機械>マルチレーザー技術を搭載した加工ヘッド装置の開発。

■ 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）】

SIP 開始時点で、SIP 終了後に村谷機械からレーザーコーティング装置を製品化する予定としていた。また、イノベーションスタイルを実行していく中で、成果を早く使いたいという声が多数上がり、その中でも製品化の意欲が高いヤマザキマザックに、開発したマルチレーザーの加工ヘッドを提供し、製品化した。また、グローバルベンチマークについて、海外の動向を常に正確にキャッチするために、定期的にフランフォォファ研究所や主要なレーザー加工機メーカーと技術交流および情報交換を行い、また、本研究開発に関係する国際会議および国際展示会にも積極的に参加し最新の情報を収集することで、精度の良い設定を行った。PJ 内の打合せは、1 回/月で開催し、研究の進捗報告だけでなく、グローバルベンチマークについて徹底認識させた。

【コンソーシアムの運営】

—

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

<村谷機械>マルチレーザーヘッドを、ヤマザキマザックに提供(H28)。安価なレーザーコーティング装置を SIP 終了後に製品化 (H31 予定)。

【ツールオープン利用】

イノベーションスタイルとして、研究期間中からでも成果を産業界に出していき（従来の研究 PJ では研究期間終了後に産業界への貢献を検討していた）、自分たちの研究に役立つ情報を引出しフィードバックすることとし、公設試に装置を持って行って見てもらう、展示会や学会で見てもらう、インターネットで動画を用いて紹介するなどの取組みを実施することとした。イノベーションスタイルの実践に当たっては、オプトロニクス社（展示会、情報発信）、東京工科大（動画作成）など、SIP 参画企業外の協力も得る体制とした。

【技術の PR】

研究の途中成果であるマルチレーザーヘッドや青色レーザーによるコーティング装置を、産業界に紹介する活動（イノベーションスタイル）として以下を進めた。

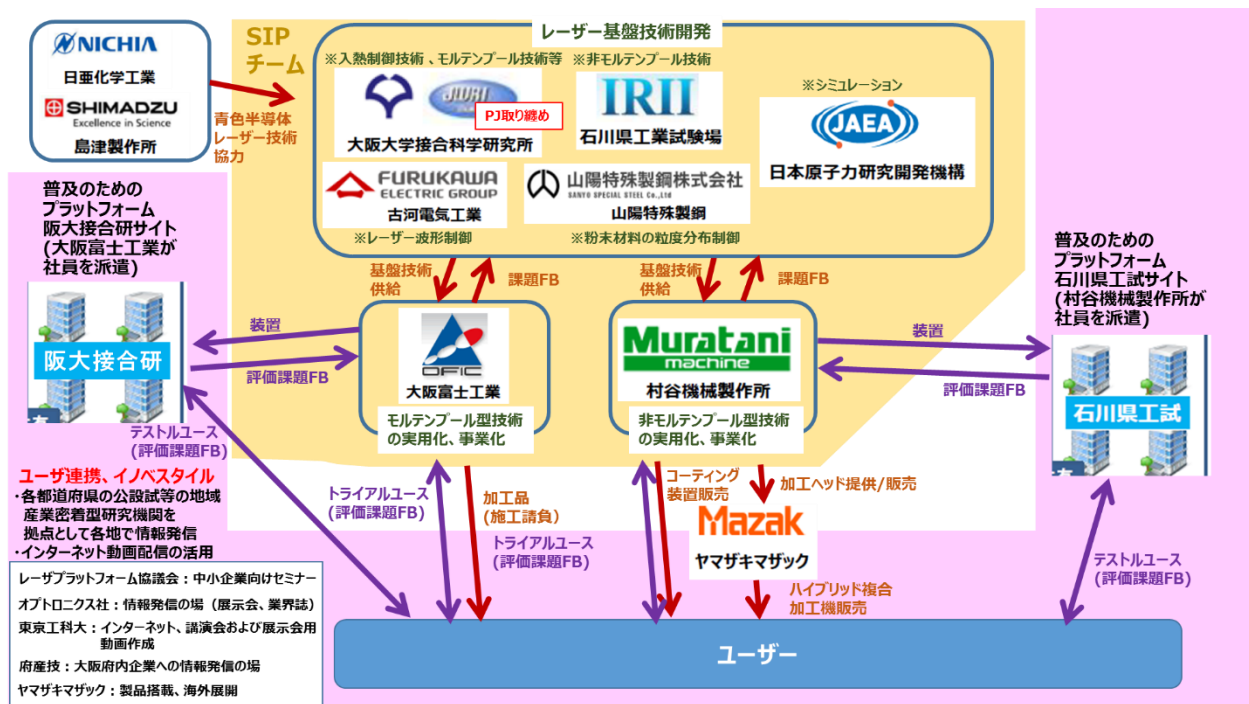
①展示会でのデモ、紹介：国際展示会 OPIE(OPTICS & PHOTONICS International Exhibition)に

- 出展（H27～H29）、JIMTOF2016（H28）、EMO Hanover 2018（ドイツ開催 H29）、国際ウェルディングショー（H30、予定）など。特に OPIE では、青色半導体レーザー、マルチカラー搭載装置など、最新の研究成果を一般に公開した。H30 も国際ウェルディングショーにて同様の展示を行う。
- ②公設試への出張デモ：大阪産業技術研究所（H27/9）、鹿児島工業技術センター（H28/12）に装置を持ち込み、紹介デモを実施。石川県工業試験場には H28 から開発したコーティング装置試作機を設置。SIP 外の企業も使える環境を整えた。
- ③学会発表：「国内」レーザー加工学会、レーザー学会、溶接学会、応用物理学会の講演会、「海外」The International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics(ICALEO)、Lasers in Manufacturing (LiM)、Photonics West 等で発表。
- ④研究会+合宿：塚本教授は年に 1 回の頻度で、研究会+合宿での討論会を開催している。ここでは、最新技術の紹介のほか、本 P J 参画企業のライバル関係にある会社も同席して、レーザーコーティングについて議論を行う。大学の先生が主催しているため、企業も参加しやすい。ターゲットが明確であるため、目的意識のある企業しか集まらない。企業は大体同じようなことで悩んでいることが多く、それが解決できれば価値が高く、そういったニーズの収集も行っている。本活動は、SIP 開始以前から実施しているが、SIP 期間では、H27/2、H28/2、H29/3 に開催した。

このような活動を通じて、1 年目に開発したマルチレーザー加工ヘッドを紹介したところ、「事業化を真剣に考えている、購入したい。プロジェクトに協力するから。」「実際に組み込み装置化したい。製品化を希望。プロジェクトが終わるまで待てません!」といった反応があった。その中でも製品化の意欲が高いヤマザキマザックと、H27 初頭から協議を開始し、開発したマルチレーザーの加工ヘッドを提供することを H27 末に合意した。ヤマザキマザックでは、H28 初頭から評価を開始、十分な性能、信頼性を有していることが確認でき、自社製品への組み込みを H28/3 に決定した。ヤマザキマザックは、JIMTOF2016 でのハイブリッド複合加工機「INTEGREX i-200S AM (M-LMD 仕様)の公開を決定し、直前の H28/11 にニュースリリースを行い、同月に開催された JIMTOF2016 で展示した。また H29/9 にはドイツで開催された国際工作機械見本市 EMO Hannover に出展した。

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

- ・グローバルベンチマークを行い、目指す地点を明確にした。グローバルの展示会や主要レーザー加工機メーカーを訪問して世界の動向調査を実施した。H28年度には、レーザー加工学会主催の「Smart Laser Processing Conference 2016 (SLPC2016)、2016年5月17日-19日、パシフィコ横浜」にてSIPレーザーコーティングPJリーダーの塚本がプログラム委員長を務め、海外の主要なレーザー加工の研究者（企業や研究機関）を招待することで、世界のレーザーコーティングについて議論するとともに、同時開催の展示会「Optics and Photonics International Exhibition 2018 (OPIE2018)、レーザーEXPO、2016年5月18日-20日、パシフィコ横浜」にて「SIPレーザーコーティング」ブースにも来ていただき、開発した装置が動いているところを実際に見ていただいた。様々な意見や情報をいただくことで、国内外の市場まで考えた上で、目標を更新してさらに高みを目指した。また、上述した活動を通じて、フラウンホーファー研究所やトルンプ社等のキーマンとなる技術者、企業の経営者等とのコネクションを作った。H30年4月24日-26日にパシフィコ横浜で開催されるSLPC2018では、SIPレーザーコーティングPJリーダーの塚本が議長を務め、前回同様に主要研究者を招待することになっている。
- ・目的意識のある企業と、従来から関係性を築いておいた。
- ・成果を早めに公開し、産業界に展開した。本気になってやってくれる企業を見つけた。
- ・体制としては、中立機関、本課題では大学がトップで推進した。企業がトップだと、特に競合相手には言えないこともある。どの企業も同じようなことで悩んでいるので、それを解決すれば、日本全体への波及も大きい。
- ・大阪富士工業は大阪大学接合科学研究所に共同研究部門を設置しているので、公的機関でのユーザー連携普及活動が行える。（普及のためのプラットフォーム：阪大接合研サイト）
- ・村谷機械製作所は石川県工業試験場に共同研究実験室を設置しているので、同様に公的機関でのユ

ーザー連携普及活動が行える。(普及のためのプラットフォーム：石川県工試サイト)

- ・普及のためには、装置を複数造っていくつかの公設試に設置するのが有効と考えられるが、その予算確保は課題である。

5) 場・仕組みからの FB

H28 年度からは、大阪大学接合科学研究所に設置した阪大接合研サイトを拠点に、大阪府を中心とした大企業や中堅中小の SIP 外企業による開発した技術・装置活用を開始し、石川県工業試験場に設置した石川県工試サイトでは、石川県を中心とした中堅中小の SIP 外企業での技術・装置活用を開始している。そこで出てくる課題に対しても、H30 年度の研究項目に反映していく予定である。

(別紙) 開発のタイムスケジュール・価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発 - マルチレーザー加工ヘッドと青色半導体レーザーコーティング装置 -

役割(アクション)	実施(予定)時期	だれが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行った	H26				H27				H28				H29				H30				H31~(将来の見込)							
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q								
技術アイデアの創出		レーザーコーティング(肉盛溶接)技術に関しては、~年より研究開発を進めてきた。~に着目し、レーザーコーティング技術を採用、高度化させた難加工材を対象としたレーザーコーティング技術の開発を、H26年度よりSIPにて進めることとした。	難加工材のレーザーコーティングを考えた：チタン、Ni合金、Co合金、Fe合金など → 難加工材のレーザーコーティングを考えた：純銅																											
研究体制の構築		【大阪大学、日本原子力研究所、古河電工、山陽特殊製鋼、大阪富士工業、石川工業試験場、村谷機械製作所】阪大を中心としてつながりがあった企業や機関を中心に体制を構築。 【日亜化学、島津製作所】青色レーザーの採用に当たって、SIP外ではあるが協力企業として活動いただいている 【ヤマザキマザック】一部成果の製品化に当たって協力企業として活動いただいている	研究体制構築 ★ 青色レーザー採用に向けた体制強化 ★ H18~日亜化学工業 ★ H26~島津製作所 ★ 一部成果の製品化に向けた体制強化!																											
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		【大阪大学】SIP公募に提案し、採択。(H26/9)	SIP認可 ★																											
技術開発のマネジメント		【大阪大学】大阪大学が取り纏めとなり、役割分担を明確にして推進。チーム全体の定例会は1回/月、海外展示会の情報共有も実施。大阪大学が1/2となり、SIP開始前までつながりがなかった組織間での交流、連携も生まれている。	大阪大学が取り纏めとなり、全体をマネジメント																											
技術開発		【大阪大学】入熱制御等レーザー基礎技術の研究開発 【日本原子力研究開発機構】シミュレーション技術の研究開発 【石川工業試験場】非モルテンパル型レーザーコーティング基礎技術の研究開発 【村谷機械】開発技術を搭載した装置開発、実用化	時間的入熱制御 → 空間的入熱制御 → 現象解明、最適化 → プロセスの定量的評価 材料粉末供給技術の開発(粒径、粒度分布等) → 高精度、高品質化、高出力化 加工ヘッド開発検証 → 3D-CAM開発 → 高品質化																											
技術の検証方法の決定		【村谷機械、石川工業試験場】SIP開始時点で、H29から県内を中心とした熟意のある中小企業と、技術検証、活用を実施することを決定していた。	検証方法決 ★																											
技術検証		【ヤマザキマザック】自前の装置のオプションとして活用可能かの判断のための技術評価を実施(H27/3~H28/9(性能試験・信頼性試験))。【石川工業試験場】SIP外部企業での活用とフィードバック、石川県の中小・中小企業でのテストユースを開始(H29~)。	性能試験・信頼性試験 ★ H27 第2Qまでは、村谷機械での機能確認、検証を中心に実施 ヤマザキマザックによる検証評価 SIP外の刃物メーカー、金属加工メーカー、レーザーPPF協議会参加メーカーでの試作検証、FB																											
知的財産の確保		【村谷機械、阪大、石川県】マルチレーザーを用いたレーザー加工装置については、H23/12に特許出願を行い、H28/5に権利化。	★ 基本特許出願 → ★ 基本特許権利																											
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)		【村谷機械】マルチレーザー技術を搭載した加工ヘッド装置の開発。	150W近赤外線レーザーコーティング装置 ★ 60W青色半導体レーザーコーティング装置 ★ 300W近赤外線レーザーコーティング装置 ★ 100W青色半導体レーザーコーティング装置 ★ 400W青色近赤外マルチカラーレーザーコーティング装置 ★																											
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)		【村谷機械】SIP開始時点で、SIP終了後に村谷機械からレーザーコーティング装置を製品化する予定としていた。また、イノベーションスタイルを先行していく中で、成果を早く使いたいという声が多数上がり、その中でも製品化の意欲が高いヤマザキマザックに、開発したマルチレーザーの加工ヘッドを提供し、製品化した。	ヤマザキマザックとのAM合宿にて議論 ★ ヤマザキマザックとのAM合宿にて議論 ★ ヤマザキマザック製品化決定 ★ JIMTOF2016にて展示・公開(デモンストラクション) ★																											
コンソーシアムの運営		-																												
ベンチャー設立		-																												
ツール販売		【村谷機械】マルチレーザーヘッドを、ヤマザキマザックに提供(H28)。安価なレーザーコーティング装置をSIP終了後に製品化(H31予定)。【ヤマザキマザック】マルチレーザーヘッドを搭載したハイブリッド複合加工機【INTEGREX i-200S AM (M-LMD 仕様)】をH28/11に製品化。	マルチレーザーヘッドの提供 → ★ INTEGREX i-200S AM (M-LMD 仕様) 製品化：ヤマザキマザック社 ★ レーザーコーティング装置：村谷機械(H31予定)																											
ツールオープン利用		【石川工業試験場】H29年度から装置を設置。地元企業に対して、普及活動を実施しており、条件が合えば活用できる状況。	石川県公設試に設置 →																											
技術のPR		国際展示会OPIE(OPTICS & PHOTONICS International Exhibitionや国際ウェルディングショー)に出展し、プロトタイプ展示やデモを実施。(H27/4、H28/5、H29/4、H30/4：予定)。JIMTOF2016に展示。このほか、公設試での技術や装置の紹介、学会での発表、レーザーコーティングの研究会+宿泊合宿(阪大、ライバル関係にある企業も多数)も実施。合わせて、企業の課題把握も行う。	★ レーザー加工技術展 OPIE16 JIMTOF2017 OPIE17 ★ SIP設計生産シンポジウム ★ エスリース ★ SIPセミナー ★ 出張デモ@鹿児島工業技術センター ★ 出張デモ@長崎県工業技術センター ★ 出張デモ@国際工作機械見本市IMOM Hannover ★ 研究会+合宿 ★ 研究会+合宿 ★ 研究会+合宿 ★ 研究会+合宿																											

市場流通材のスーパーメタル化開発

1) 開発の取り組み内容

本提案機関の所在する長岡地域には、従来から、世界トップレベルの金属加工のプロフェッショナルメーカーが多く存在しており、技術のポテンシャルは相当に高いレベルにあった。しかし、これらプロフェッショナルメーカーは、暗黙知に代表される固有技術やノウハウを抛り所とする場合が多く、優れた技術をN倍化しにくいところから、世界で勝つための突破口を開くに至っていなかった。長岡技術科学大学は、「技術を科学する」を学是とし、三十数年間にわたり産学連携を推進しており、その産学連携スタイルは、単に川上から川下に向かう大学発の技術開発が中心の共同研究ではなく、「実践力」、「技」、「匠」のキーワードで代表されるように企業等との連携を通じた実践を基本としていた。この大学の特性を用いて、暗黙知（技術）を理解（科学）するならば、新たな突破力となり、ものづくり日本の再生に資するところ少なくないと期待されていた。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

以上の背景から、本提案では地域に根付いた世界トップレベルの金属加工技術に着目し、長岡技術科学大学の定量的科学的検討により、現場プラントを起点として、イノベーション創出を狙うことにした。地方のプロフェッショナルメーカーが有する地域資源としての材料・加工技術を、新たな価値を付加する製造技術に高めるためには、市場流通材に革新的金属表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化)を施す必要がある。そこで、本事業ではこの革新的金属表面処理技術の実用化（グローバルトップ技術の獲得）に向け、高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化の基礎技術を確立することを目的とした。

【研究体制の構築】

ものづくりの現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することでドライトな「新たな気付き」を促す新しい産学融合ものづくりスタイルを確立し、市場流通材のスーパーメタル化開発を行うこととした。大学の基礎研究から積み上げる典型的産学連携ではなく、本提案においては「現場の実機装置において、今、現場で何をやる必要があるか」を、大学研究者が企業現場サテライトで実機装置を起点に本質課題を把握・発掘・共有・対策するスタイルを確立することを目指した。地域企業の強みである「経験価値」「実践力」と大学の「科学価値」「創生力」の融合で、市場流通材に新たな価値を付加する革新的表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化)を獲得し、さらに、長岡近郊のプロフェッショナルメーカーなどともコラボすることで、目に見えるものづくりにより、地域活性化を目指した。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

革新的金属表面処理技術の実用化（グローバルトップ技術の獲得）に向け、市場流通材のスーパーメタル化（高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化）をSIPに提案し、H26に採択され研究に着手した。

【技術開発のマネジメント】

ものづくり現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することで「新たな気付き」を促す、新しい産学融合ものづくりスタイル（SIPスタイル）を深化させることとした。

【技術開発】

・高耐摩耗化

H28年度までは、金型材の摩耗試験方法の確立、浸S/浸N厚さ独立制御浸硫窒化法の基礎技術確立、鍛造に適した硫化物層厚さ・窒化厚さとそれらのトライボロジー挙動から表面処理プロセスデザインへのフィードバックを実施。H29年度以降は、ラボレベルでの浸硫窒化をベースとする新規表面処理法の検討を継続し、従来寿命19000ショットの金型を安定的に寿命30000ショットの寿命とする浸硫窒化法を提示するとともに、その社会実装を推進する。

・高耐食化

H28年度までは、企業現場の熱処理炉の熱測定、熱分布シミュレーション解析、試作金属片を用いた電気化学的な耐食性試験、および、フェライト系ステンレスを窒素処理した材料を用いた燃料電池スタックを構築、発電特性評価、連続試験評価を実施。H29年度からは、燃料電池用金属セパレータの製品化へ貢献することを視野に入れ、窒素熱処理技術の構築を目指す。具体的には、窒素熱処理とガス供給流路形成加工を組み合わせ、耐食性を維持したまま機械加工による寸法や変形亀裂の生じない手法を検討しテストユースの可能性を探る。変形亀裂に基づく耐食性の変化を電気化学インピーダンスで検出する手法を検討し評価項目になり得るかを判断する。また、従来品との比較としてステンレス鋼 SUS316L の100倍以上の耐食性(1/100の腐食電流)を有する窒素熱処理 SUS445材の安定な製造条件を明らかにする。最終的には、固体高分子形燃料電池セパレータ用 SUS316L の300倍以上の耐食性(1/300の腐食電流)を有する窒素熱処理 SUS445材を提示して、安定な製造条件を見出す。

・高摺動化

真似されない差別化めっき技術を目指し、摺動性や耐食性に優れ工業的に多用される Niめっきの、1.高硬度化、2.高摺動化、3.Niめっき表面安定化、4.めっきプロセス改善、に取り組む。

1. 高硬度化

H28年度までは、Niめっきアミノ酸共析を検討し、幾つかのアミノ酸の種類と硬度発現の関係を明らかにし、Hv500程度までのめっき試作に成功した。しかしながら、Crめっきの硬さ(Hv>800)には及ばないため、添加アミノ酸の高硬度化錯化メカニズムを明らかにすることで、Crめっき並みの硬さを目指した。H29年度からは、機械部品メーカー内部規定において実用化目標時間とされている連続試験(1000-5000h)を行う。また、高硬度化の効果を発現しやすく熱の影響から形状変化をきたしやすいアルミニウムをめっき母体に使用し高硬度化の評価を進める。

2. 高摺動化

H28年度までは、Ni-Pめっき液中にナノ粒子(カーボンナノチューブ、ナノダイヤモンド)を均一に高分散させる技術の見通しを得、このめっき液を用いて工業的に多用される軸受けやピス

トンリングなどへのめっきを実施、摩擦係数が乾式で 0.2、湿式で 0.05 を実現し、さらに、実験点数は一点であるが一部の機械部品に対し、1000 時間の性能維持を確認している。また、試作品提供によるユーザ評価を繰り返すことで実用化対象を明確にした。H29 年度からは、エアコンや空気圧縮機に使用されるエアエンドや機械装置のチェーン、軸受けなどを対象に B2B セットメーカ評価を繰り返し、ナノダイヤめっき実用化条件としてめっき液の濃度、温度、時間を定量化する。

3. めっき表面処理

H28 年度までは、めっき母材への影響をできるだけ少なくした表面熱処理を行うことで、めっき金属の結晶構造を安定化できる可能性検討に着手した。また、これまでに検討してきた高摺動化技術を自転車用チェーンに応用し、自転車用チェーンの価値モデル構築を行った。H29 年度からは、現状で 10 倍以上あるめっき厚ばらつきを 1.2 倍以下にすることを目標に安定化の評価を進める。また、これらの評価に使用したパラメータを蓄積し、使用することで、経験工学的だっためっき厚さ均一化を経験が浅い技術者でも、その技術取得を早くできるようなる。これは、めっき技術者の人材育成と開発プロセス短縮による低コスト化に資するもので、めっき産業から地方創生に貢献できる。

4. めっきプロセス改善

H28 年度までは、無駄めっき低減のため、一般的めっき対象に含まれるエッジや平面、曲面を有するテストピースを設定し、金属イオンが集中しめっきが厚くなる部位を実験的に明らかにした。さらに、厚くなる周辺に邪魔板を配置することでめっき厚さを制御できることを確認し、ニアネットシェイプめっきの方向性を明らかにした。ここで用いた邪魔板の形状や配置位置は、めっきプロフェッショナルメーカの経験工学に基づくものであり、適正な効果を示した。さらに、無駄めっきに用いる邪魔板の形状や配置位置を計算科学で求める方法を確立し、その計算結果から 3D プリントなどで邪魔板を試作しめっき浴に設置することで、めっき厚を均一化する一連の支援システム構築をめざす。H29 年度からは、めっき厚さ均一化支援システムの実用化に向けた改良を加え、めっきしたい対象の CAD 図からめっき厚さ均一化のための樹脂製邪魔板を造形でき、その適正配置までを表示するシステム装置にする。

【技術の検証方法の決定】

長岡技術科学大学スタッフが、オンサイト・オンタイム開発に関わり、地方企業に大手企業と同様の開発部門機能を持たせることで、地方企業の製造技術向上を図る産学融合ものづくりスタイル(SIP スタイル)を確立し、地方企業の開発力を高めることとした。

【技術検証】

- ・[高耐摩耗化] 金型寿命 30000 ショットを見通せる浸硫窒化技術における硫化層の独立制御を確立。
- ・[高耐食化] 燃料電池セパレータ用材料として SUS316L の 100 倍以上の耐食性 (1/100 の腐食電流) を有する窒素熱処理による SUS445 材を提示。
- ・[高摺動化] ナノダイヤ分散 Ni/P めっきによる摩擦係数、湿式 0.05 以下。
- ・[無駄めっき低減] めっき厚均一化について膜厚ばらつきを 1.2 倍以下。

【知的財産の確保】

＜長岡技術科学大学＞SIP 期間前の該当出願なし。さらに SIP 期間中はクローズ戦略に基づき出願なし。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

- ・[高耐摩耗化] SIP メンバ以外の企業（長岡歯車）との検討を開始。
- ・[高耐食化] SIP メンバ以外の企業で窒素中熱処理に着手。大学での要素試験結果の広い普及を目指す。
- ・[高摺動化] ナノ粒子としてナノダイヤモンドの検討を進めている。同時に、ナノダイヤモンド・ナノグラファイト製造メーカーと共にその応用検討に着手。
- ・[無駄めっき低減] めっき厚さ均一化支援システムの中核機能を使用した無駄めっき低減を検討するシミュレーションツールを準備中。公設試などへ活用方法を展開する。

■ 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）】

革新的生産・製造技術を「ものづくりプラットフォーム」と位置付けて、国内展開することで、新潟県を主体とした製造をバイファクトリーからマルチファクトリーに拡張し、輸出産業への足掛かりとする（海外企業は取引条件としてバイファクトリー以上を求めることが多い）。

【コンソーシアムの運営】

—

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

セットメーカーとの PDCA 開発の中から、特に日本が強い産業インフラ製品である空気圧縮機やポンプ、ファン、あるいは土木・農業機械へ適用して差別化製品とする。適用 B2B 部品としては、軸受けやピストンリングの他に、空気圧縮機用スクロール、チェーンが有望。空気圧縮機やポンプ、ファンでは、特に摺動性が求められる。土木・農業機械では耐食性が求められる。従来の Cr めっき仕様部品から順次本開発 Ni 基めっきに切り替える。

【ツールオープン利用】

めっき厚さ均一化支援ツールの普及による人材育成とめっき産業からの地方創生に貢献するため、SIP 終了後もめっき厚さ均一化支援ツールを継続使用できる地域体制を整えるとともに、公益財団法人燕三条地場産業振興センターなど公設試と協力し、発表会や講演会を開催し企業に対する PR をし

て普及を図る。また、上記活動を通じて、新潟県の地域産業界でのテストユースの実施を目指す。

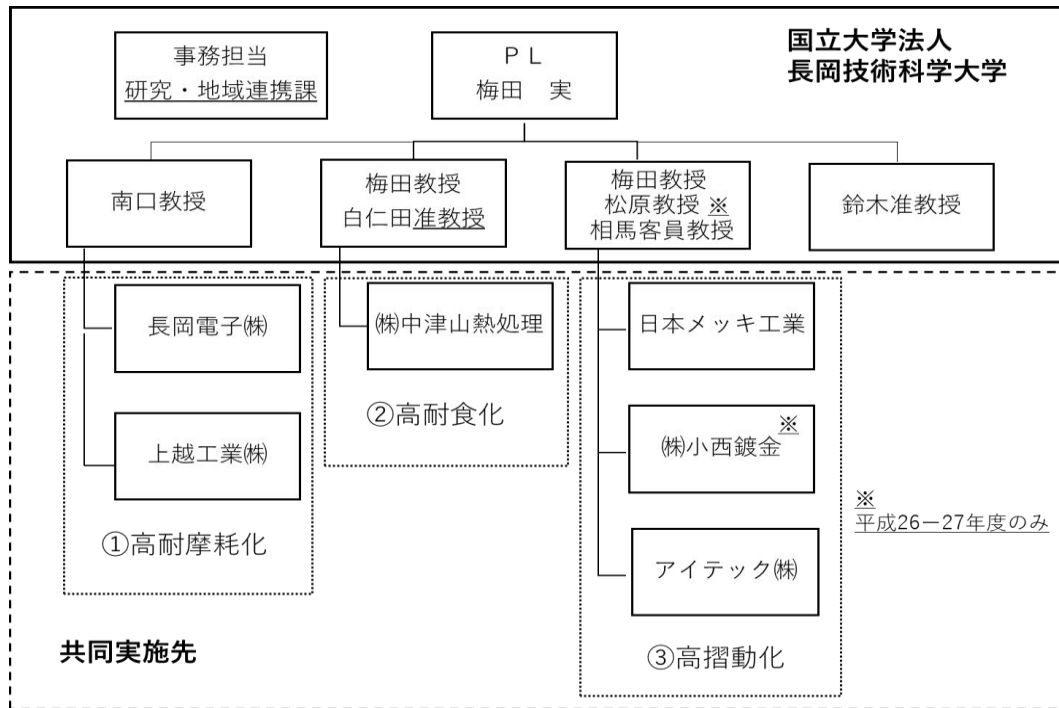
- ・高耐摩耗化 : テストユースを経てサンプルプローブ(上越工業内での実施試験中)
- ・高耐食化 : 窒素中熱処理ステンレスの熱処理メーカーによる量産試作と燃料電池金属セパレータユーザーメーカーへのサンプル提供。
- ・高摺動化 : ナノダイヤモンドめっきの機械部品類への適用開始。
- ・SIPスタイル: 継続してスーパーメタル化技術開発以外の分野でも適用していくため、既存の大学共同研究制度に取込み。
- ・めっき厚さ均一化支援ツール : 企業に対して PR し普及を図るとともに地域産業界でのテストユースの実施を目指す。

【技術の PR】

公開可能な技術を基に高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化に関する革新的金属表面処理技術資料を作成し、公設試を通じて外部公開する。公設試などと協力して、革新的金属表面処理技術資料と新しい産学融合ものづくりスタイルについて企業への PR を図ることによって本プロジェクト成果の継続的な普及・運用方法を確立する。

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

- ・提案機関の地元で、従来から世界トップレベルの金属加工プロフェッショナルメーカーが多く存在し、技術ポテンシャルが高かった。一方、これら金属加工プロフェッショナルメーカーでは、暗黙知に代表される固有技術やノウハウを拠り所としている場合が多く、優れた技術を N 倍化したいニーズが存在した。
- ・長岡技術科学大学は、企業との連携を通じた実践を基本としており、地元企業に張り付き現場で技術課題発掘、科学的解明、改善を行う素地ができていた。金属加工プロフェッショナルメーカーに対し大学の基礎研究から積み上げる典型的産学連携ではなく、大手企業と同様の開発部門機能を持たせるべく本提案において「現場の実機装置において、今、現場で何をする必要があるか」と、大学研究者が企業現場サテライトで実機装置を起点に本質課題を把握・発掘・共有・対策するスタイルを確立した。

5) 場・仕組みからの FB

該当なし

後編(アゾフ)	要綱(予定)期間	だれが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行か	市場流通材のスーパーマテリアル開発																							
			H25			H26			H27			H28			H29			H30			H31~(将来の見込)					
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q		3Q	4Q			
技術アイデアの創出		本提案では地域に根付いた世界トップレベルの金属加工技術に着目し、長岡技術科学大学の定量的科学的検討により、現場プラントを起点とし、イノベーション創出を担うこととした。地方のプロフェッショナルメーカーが有する地域資源としての材料加工技術、新たな価値を付加する製造技術に高めるためには、市場流通材に革新的な金属表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化)を施す必要がある。本事業はこの革新的な金属表面処理技術の実用化(グローバルトップ技術の獲得)に向け、高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化の基礎技術を確立することを目的とした。	<ul style="list-style-type: none"> ・上越工業とはH18から鋼の熱間鍛造に関する共同研究を実施している。 ・長岡電子とは溶融窒化に関する共同研究をH20に実施している。 ・中津山熱処理、新潟電子技術研とは以前から共同研究を行い、電気化学法に共同執筆し、かつ学会発表もしている。 																							
研究体制の構築		ものづくり現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することでデイトンな「新たな気付き」を促す新しい産学融合のづくりスタイルを確立し、市場流通材のスーパーマテリアル開発を行うこととした。大学の基礎研究から積み上げる典型的な産学連携ではなく、本提案においては「現場の実機装置において、今、現場で何を必要とするか」を、大学研究者が企業現場サテライトで実機装置を起点に本質課題を把握・発掘・共有・対策するスタイルを確立することを目標とした。地域企業の強みである「経験価値」「実践力」と大学の「科学価値」「創生力」の融合で、市場流通材に新たな価値を付加する革新的な表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化)を開発し、さらに、長岡近郊のプロフェッショナルメーカーなどにも波及することで、目に見えないものづくり、地域活性化を目指した。	<ul style="list-style-type: none"> ・上越工業は実際の鍛造実験、長岡電子は実用による熱処理実験 																							
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		革新的な金属表面処理技術の実用化(グローバルトップ技術の獲得)に向け、市場流通材のスーパーマテリアル(高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化)をSIPに提案し、H26に採択され研究に着手した。	<ul style="list-style-type: none"> ★SIP採択 																							
技術開発のマナジント		ものづくり現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することでデイトンな「新たな気付き」を促す、新しい産学融合のづくりスタイル(SIPスタイル)を深化させたこととした。	<ul style="list-style-type: none"> ★産学融合のづくりスタイル ★本学が、ものづくり現場(企業)に張り付き、暗黙知、実践知を科学し、新しい気づきを生きた。 																							
技術開発			<ul style="list-style-type: none"> ★高耐摩耗化 アイデア創出 基礎技術 ★高耐食化 アイデア創出 基礎技術 ★高耐酸化 アイデア創出 基礎技術 ★高耐酸化 アイデア創出 基礎技術 																							
技術の検証方法の決定		長岡技術科学大学スタッフが、オンサイト・オンタイム開発に関わり、地方企業に大手企業と同様の開発部門機能を持たせることで、地方企業の製造技術向上を図る産学融合のづくりスタイル(SIPスタイル)を確立し、地方企業の開発力を高めることとした。	<ul style="list-style-type: none"> ★オンサイト、オンタイムスタイルは、SIP開発の新たな取り組みとして着手。 																							
技術検証			<ul style="list-style-type: none"> 【高耐摩耗化】金型寿命3000ショットを見逃せる溶融窒化技術における酸化層の独立制御確立。 【高耐食化】燃料電池セパレーター材料としてSUS316Lの100倍以上の耐食性(1/1000腐食電流)を有する窒素熱処理によるSUS445板材を提示。 【高耐酸化】ナノダイヤ分散Ni/Pめっきによる摩耗係数、浸透0.05以下。 【無駄めっき低減】めっき厚均一化について膜厚ばらつきを1.2倍以下。 																							
知的財産の確保		【長岡技術科学大学】SIP期間中の該当出願なし。さらにSIP期間中はクロス戦略に基づき出願なし。	<ul style="list-style-type: none"> ★クロス戦略に基づき出願なし 																							
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)			<ul style="list-style-type: none"> ★【高耐摩耗化】SIPメンバー以外の企業(長岡造研)との検討を開始。 ★【高耐食化】SIPメンバー以外の企業で窒素中熱処理に着手。大学で実証試験結果の検証と見直しを目標とする。 ★【高耐酸化】ナノダイヤめっきの検証を進めている。同時に、ナノダイヤ・ナノダイヤ製造メーカーと共にその応用検討に着手。 ★【無駄めっき低減】無駄めっき低減を検討するシミュレーションツールを準備中。公設試などへ活用方法を展開予定 																							
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)		革新的な生産・製造技術「ものづくりプラットフォーム」と位置付けて、国内展開することで、新潟県を主体とした製造をバリエーションからマルチファクトリーに拡張し、輸出産業への足掛かりとする(海外企業は取引条件としてバリエーション以上を要求することが多い)。	<ul style="list-style-type: none"> ★出口戦略開始 ★めっき厚ばらつき均一化支援ツールのオープン利用 																							
コンソーシアムの運営																										
ベンチャー設立																										
ツール販売		セッターなどのPCCA開発の中から、特に日本が強い産業インフラ製品である空気圧縮機やポンプ、ファン、あるいは土木・農業機械へ適用して差別化製品とする。適用B2B部品としては、軸受けやピストンリングの他に、空気圧縮機用スワロー、チェーンが有望。空気圧縮機やポンプ、ファンでは、特に動特性が求められる。土木・農業機械では耐食性が求められる。従来のめっき仕様部品から順次開発Nめっきに切り替える。	<ul style="list-style-type: none"> ★空気圧縮機への展開 ★土木・農業機械への展開 ★研究会/講演会実施(5回/年) ★研究会/講演会実施予定(4回/年) 																							
ツールオープン利用		めっき厚ばらつき均一化支援ツールの普及による人材育成とめっき業者からの地方創生に貢献するため、SIP終了後もめっき厚ばらつき均一化支援ツール継続使用できる地域体制を整えたいと志す。公益財団法人第三多地域産業開発センターなど公設試と協力し、発表会や講演会を開催し企業に対するPRをして普及を図る。また、上記活動を通して、新潟県の地域産業界でのテストユースの実施を目指す。	<ul style="list-style-type: none"> ★高耐摩耗化 ★高耐食化 ★高耐酸化 ★無駄めっき低減 ★めっき厚ばらつき均一化支援ツールのオープン利用開始 																							
技術のPR		公開可能な技術を中心に高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化に関する革新的な金属表面処理技術資料を作成し、公設試を通じて外部公開する。公設試など協力して、革新的な金属表面処理技術資料と新しい産学融合のづくりスタイルについて企業へのPRを図ることによって本プロジェクト成果の継続的な普及・活用方法を確立する。	<ul style="list-style-type: none"> ★各種コンショム等での講演 ★ニュースリリース/SIPシンポジウム ★SIPシンポジウム ★Facebookで情報発信 																							

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

1) 開発の取り組み内容

本研究開発は、大阪大学に技術プラットフォーム拠点（異方性カスタム設計・AM 研究開発センター：以降 阪大 AM 研究開発センター）を設置し、デライト最適化上流設計と付加製造技術を両輪に、異方性カスタムによる高付加価値化を特色に材質・形状制御法を確立することで、上流から下流を一貫して行う新しいものづくり手法や技術を体系化して地域実証するものである。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

大阪大学の中野教授らは、結晶学や結晶塑性学などの材料工学をベースに、生体用材料を対象として、材料のナノ組織制御による材料異方性の研究を進めている。さらに近年 3D プリンタによる造形が普及してきており、個人に最適なカスタムなものづくりが実現に近づいてきている。そこで中野教授らは、「異方性」と「カスタム化」を高付加価値化の差別化技術として掲げ、金属 3D プリンタによる材料異方性を有するカスタムものづくりを H26 に研究対象として提案した。ここでは、地域資源活用を念頭に、多彩なプレーヤーが集い、関西の強みである難加工性材料を中心とした研究シーズと企業ニーズが交わる場として、三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点を構築し、個人の多種多様なニーズに応えるものづくりの実現をめざすこととした。具体的には、家電製品、生体福祉製品、航空・エネルギー部材を当初ターゲットとし、さらにこの関西発の新ものづくり手法・技術を日本、さらには世界に向け発信する。

【研究体制の構築】

SIP 開始時点で、開発技術の出口も考慮し、大阪大学を中心として、ターゲット製品の事業化を進める企業・団体と、ターゲット製品の事業化に関連技術を有する大学、および、開発技術を関西を中心とした中堅・中小企業に展開する拠点として、大阪産業技術研究所（当時：大阪府立産業技術総合研究所）からなる研究体制をとった。

大阪大学工学部では、主に 3D プリンタを用いた異方性を有する製品や部材の製造技術を開発する。本技術は、ターゲットである家電製品、生体福祉製品、航空・エネルギー部材の製造で共通的に活用するものである。

家電製品では、冷熱デバイスや照明シェードを対象とし、パナソニック㈱が事業化企業として参画する。

生体福祉製品では、動物用のカスタム骨インプラントを対象とし、実証試験を進める役割として、大阪府立大学、大阪大学医学部、東京大学が参画し、帝人ナカシマメディカル㈱、北須磨動物病院が事業化企業・団体として参画する。なおここで開発するツールや技術は人の骨インプラントへの応用も可能であるが、SIP 期間中に実証試験まで行うのは困難であるので、動物用インプラントをここでは対象とした。

航空・エネルギー部材では、ガスタービンの固定翼を対象とし、川崎重工業㈱が事業化企業として参画する。

また本 SIP で開発した技術の中堅・中小企業への展開は、大阪産業技術研究所が担当するが、これにあわせて京都大学で研究開発を進めているトポロジー最適化についても中堅・中小企業の強い武器になると考え、京都大学と連携して展開を進める体制とした。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

大阪大学が中心となり H26 年に SIP に提案し、H26/9 に採択された。SIP は、大学における基礎研究をさらに産学官連携による実用化までを見据えた研究開発としてブラッシュアップさせ、社会実装を加速する研究開発テーマとして後述の大きな成果を残すことができた。

【技術開発のマネジメント】

大阪大学は、H26/12 に阪大 AM 研究開発センターを設立した。阪大 AM 研究開発センターが中心となり、開発進捗管理、普及展開戦略立案などのマネジメントを実施している。本センターには、正副センター長以外に、事業化総括（パナソニック）、正副研究総括を配置し、課題の着実な推進のための体制を構築している。運用面では、拠点内の全機関が集まって、研究開発の進捗確認と情報共有、研究開発計画の見直し・是正などを実施する「全体会議」を通年開催している。また日常のマネジメントでは、「コア会議」と呼ぶ重要事項を論議・決定する機能を大阪大学内に設定、毎週開催することで意思決定を迅速に行うとともに、報告・連絡・相談等の情報共有を適切に行う制度を備えている。各拠点間の連携では、日常的なメールや Web 会議システム等、ICT の積極的な活用と、不定期ではあるが「課題別検討会」および「拠点巡回」の実施による直接対話により、各機関の研究開発の進捗管理や連携推進、課題や情報の共有など、円滑なマネジメントを図る取り組みを実践しており、有効に機能している。

【技術開発】

・異方性を有する製品や部材の製造技術

H28 年度までに、タービン翼や骨インプラントで要求される異方性を実現可能な 3D プリンタの造形条件パラメータ（走査ビームパターンなど）の導出を行い、タービン翼に対してはインコネルにおける超高耐熱性、骨インプラントに対しては β Ti 合金における特定方向に骨と同様の低ヤング率な機能を発現できる造形が行えることを確認した。H29 年度にはこれらの造形パラメータの知見を応用して、タービン翼模型や骨インプラントの材質・形状同時制御での造形を行い、狙い通りの特性が再現できていることを確認した。H30 年度も継続して材料研究を実施するとともに、造形物の実用化に向けた有効性実証を行う。

・家電製品（冷熱デバイスや照明シェード）

冷熱デバイスに関しては、H28 年度までに異方性を活用した製造の基本プロセスを確立し、目標性能を大きく上回る性能を得ることができた。H29 年度に当初計画の性能向上を達成するとともに、量産化の目処を立てて研究開発を終了し、事業化フェーズに移る。照明シェードに関しては、従来ない商品開発手法の構築をめざし、H27 年度にユーザーの潜在ニーズを抽出する新たな価値分析手

法とユーザーが上流設計に関与する超上流設計と 3D プリンタを中心としたカスタム生産を繋げるシステム構想を起案し研究開発をスタートした。H28 年度には、リードユーザー等の時代を先導する少数派意見に着目し独自に開発した「マイノリティ分析手法」を活用した新たな形状設計提案ツールを考案し、H28 年度末までにテストユースに向け VR 機能を搭載したプロトタイプの開発を終了しており、H29 年度からは SIP 外部企業でのテストユースを開始した。この時期から 3D プリンタ市場の拡大に合わせ、ユーザー参加型の形状設計ツールが世の中に普及してきたため、H29 年度には形状設計ツールの研究開発を完了させ、ユーザーが必要機能を盛り込み、個別開発する方針を決定した。その上で、本研究開発の大きな特徴であるユーザー価値分析処理にフォーカスを当て形状設計ツールから切り出すことで、従来、専門家が手計算で行っていた分析プロセスを見える化、半自動化して、一般の商品企画担当者や設計者が容易に利用でき、手軽にマイノリティの意見を反映した結果を導き出すことが可能な画期的な「マイノリティ分析支援ツール」を開発した。これについても、応用展開として、照明セード以外の商品を対象とした SIP 外部企業でのテストユースを開始している。

・生体福祉製品（動物用の異方性カスタム骨インプラント）

異方性カスタム骨インプラントの有効性と実用性を検証するために、H26 年度にインプラントの設計ツールを開発することを決定し、H27 年度に骨折整復（骨片データを分割して骨折前の位置に戻す）やインプラント設計（骨に沿ったプレート形状を自動生成する）等の必要機能の要素技術開発をスタートさせた。H28 年度にはそれらの機能モジュールを統合し、テストユースに向けてユーザーの声を反映したカスタム骨インプラントの設計ツールを開発し、H29/2 には実際のインプラント設計に適用し、カスタム品の有効性と設計ツールの実用性を確認した。続いて異方性を取り入れたカスタム骨インプラントの製造も H29/11 に完了しており、動物による埋入試験によりその異方性カスタム品の有効性を実証した。さらに H29 年度には異方性カスタム骨インプラントの実用化に向けて、コンソーシアムも設立しており、普及展開に向けた活動を行っていく予定である。

・航空・エネルギー部材（タービン翼）

H28 年度までに構造設計の検討や 3D 造形の精度評価を実施。H29 年度に 3D プリンタを用いて、異方性と等方性組織をそれぞれ必要な箇所配置する高耐熱な模擬翼の材質・形状同時制御による造形に成功した。H30 年度には模擬翼の性能検証を実施する予定である。

【技術の検証方法の決定】

SIP 開始時点から、参画している実用化企業・団体での技術検証を進めることを決定していた。さらに、技術の普及のためには、リードユーザー層をターゲットとした SIP 外部企業でのテストユースが重要であると H28 に考え、H29 年度からテストユースを開始できるよう、MMI（マンマシンインターフェース）を考慮した、設計ツールのプロト開発を前倒して進めた。

【技術検証】

設計および分析ツールに関しては、H29 年度より SIP 外部企業も含めたテストユースを実施して、効果の検証や企業からのフィードバックを受けており、これを通じて完成度向上を図っている。異方性を有する製品や部材の製造技術については、H29 年度より SIP 参画企業・団体でのテストユースに加え、SIP 外部企業からのテストユース要求も多数上がっており、一部並行して進めているところである。特

に動物用骨インプラントに関しては、H29年に動物での実証試験（設計ツール H29/2、製造技術 H29/11）を行い、当初の想定したとおりの効果（挿入手術の負荷軽減、治癒期間の短縮）が見込めることを確認できている。

【知的財産の確保】

3Dプリンタによる製造方法については、大阪大学がメインとなり特許出願を実施している。このうち、基本特許に関しては、H21、H25年度に取得済み。

H26年度：1件、H27年度：4件、H28年度：4件、H29年度：1件。

また、異方性を有する製品や部材については、事業化を進める企業や団体が、特許出願を実施している。

H26年度：0件、H27年度：3件、H28年度：1件、H29年度：1件。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

カスタム骨インプラントや照明シェードの設計ツールに関してテストユース向けのプロトはH28年度におおよそ開発できた。H29年度からはSIP外部企業を含めたテストユースを進めており、テストユースを通じて得られるFBを元にツールの完成度向上を図っている。一方、異方性を有する製品や部材の製造方法はノウハウであり、大阪大学にて保有している。

■ 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）】

- ・異方性を有する製品や部材の製造方法（ノウハウ）

SIP開始時点で阪大AM研究開発センターにて、技術・ノウハウを維持していくことを決定していた。企業からの要求に対しては、大阪大学で共同研究などの形をとって、技術移管していく予定である。

- ・カスタム骨インプラント

設計ツールや製造技術の進歩をもって成果普及の加速を図るため、H29/4にコンソーシアムを形成し、ツールや技術も含めたカスタム骨インプラントの普及展開を図っていくことを決定した。

- ・照明シェードの設計ツール、マイノリティ分析ツール

H29年度の時点では、テストユースを通じ有効性確認を完了した段階であり、パナソニック㈱から商品企画支援サービスとして提供を検討中である。

- ・トポロジー最適化

継続して大阪産業技術研究所に設置し、中堅・中小企業への普及展開活動を京都大学と連携し進める。

【コンソーシアムの運営】

動物用カスタム骨インプラントの普及展開に向けて、先端獣医療コンソーシアムをH29/10に設立した。大阪府立大学が中心となり、26の動物病院、4企業が参加（H29/10時点）。SIPで開発した設

計ツールを駆使してカスタム骨インプラントを設計し、阪大 AM 研究開発センターで 3D プリンタを用いて製造し、大阪府立大学に供給し、試験利用を重ねる。H31 年度までの実用化をめざしている。

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

マイノリティ分析支援ツールに関しては、パナソニック㈱の P B S S (Professional Business Support) 部門から商品企画支援サービスとして提供を検討中である。

【ツールオープン利用】

H29/2 に大阪産業技術研究所に、京都大学で開発を行っているトポロジー最適化ツールを導入し、セミナーを開催したほか、SIP 外部企業である地域の中堅・中小企業でのテストユースを行っている。

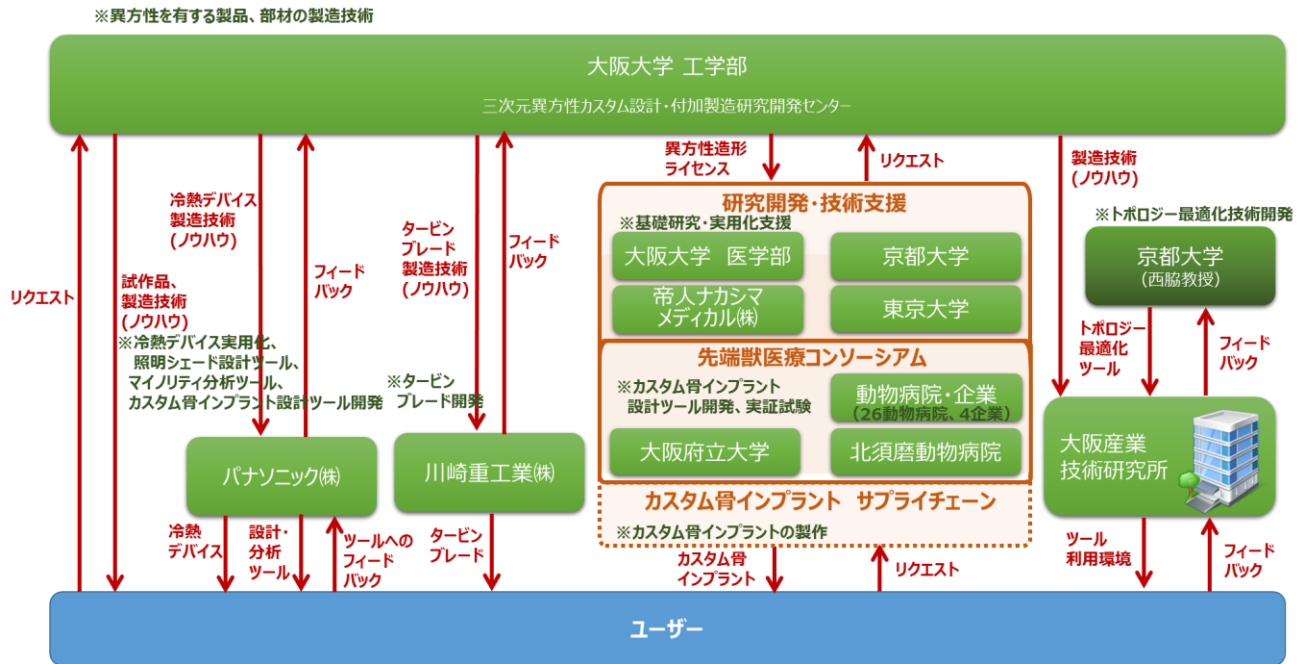
また阪大 AM 研究開発センターでは、2 方式の金属 3D プリンタを H27/3 に設置し、関西の中堅・中小企業へ、異方性技術の前提となる金属 3D プリンタ普及を促進するための、テストユースを数多く実施している。

【技術の PR】

年間を通じて多数の学会や研究会、セミナーでの発表を実施。この他、イノベーションジャパン (H29/8)、関西設計・製造ソリューション展(H29/10)などの展示会に出展し、積極的に成果の PR を行った。また、H29/6 には高耐熱性材料 (複合シリサイド) の開発についてプレスリリースを実施。朝日新聞や日刊工業新聞に掲載された。

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

- ・異方性を有する製品、部材を事業化する企業がプロジェクトに参加し、開発技術の製品適用を早い段階から進めることで、実用化に向けた課題の洗い出しができ、実用化レベルの高い技術にすることができた。
- ・人を対象とした骨インプラントなどの医療部材の実用化には時間がかかるため、伴侶動物を対象として開発を進めた。この結果、SIP 期間内に技術の有効性が確認でき、将来的に人を対象とした医療での適用に向けた道筋を構築できた。
- ・動物用骨インプラント実用化に向けては、コンソーシアムを設立した。26 の動物病院、4 企業が参加しており、迅速な展開が見込める。
- ・当初開発を進めていた設計ツールから抜き出す形で、マイノリティ意見の抽出・反映が可能な分析支援ツールを開発した。SIP 外部企業でのテストユースを通じても有効性が確認できており、成果の出口を広めることができた。
- ・トポロジー最適化ツールを大阪産業技術研究所に設置し、テストユース可能な環境を構築した。大阪産業技術研究所を利用する中堅・中小企業への普及が進んでいる。しかし、より多くの企業への普及を図るためには、処理能力の高速化（設備の改善）や、SIP 終了後の継続に対して、各種保守および運営費用の捻出が課題である。
- ・阪大 AM 研究開発センターでは、異方性技術の前提となる金属の 3D 造形の普及もめざし、セミナーの開催や試作やそれに向けた相談を数多くの企業に向けて実施した。この結果、金属 3D 造形の普及展開が進んでいるが、さらに普及展開を図るためには、試作のための材料などを継続して確保することが必要となっている。

5) 場・仕組みからの FB

動物用骨インプラント普及に向けた先端獣医療コンソーシアムでは、SIP 成果である骨インプラントの実用化に向けた活動を開始している。26 の動物病院が加入しており、実際の手術等でのコメントをフィードバックする形で、インプラントおよびその設計ツールの改善を図っていくこととしている。

役割(アクション)	実施(予定)時期	だれが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行った	～H25				H26				H27				H28				H29				H30				H31～(将来の見込)
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q					
技術アイデアの創出		大阪大学の中西教授らは、生体用材料を対象として、材料のナノ組織制御による材料異方性の研究を進めている。中西教授らは、「異方性」 カスタム化 を高付加価値化の差別化技術として掲げ、金属3Dプリンタによる材料異方性を有するカスタムものづくりをH26に研究対象として提案した。																									
研究体制の構築		SIP開始時点で、開発技術の出口も考慮し、大阪大学を中心として、ターゲット製品の事業化を進める企業・団体と、ターゲット製品の事業化に関連技術を有する大学、および、開発技術の中堅・中小企業に展開する拠点として、大阪産業技術研究所(当時：大阪府立産業技術総合研究所)からなる研究体制をとった。 家電製品、生体福祉製品、航空・エネルギー部材を当初ターゲットとした。																									
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		大阪大学がSIP公募に提案し、採択。(H26/9)																									
技術開発のマネジメント		H26/12に阪大AM研究開発センターを設立。阪大AM研究開発センターが中心となり、開発進捗管理、普及展開戦略立案などのマネジメントを実施している。																									
技術開発		異方性を有する製品や部材の製造技術 ：H28年度までに、異方性を実現可能な3Dプリンタの造形条件パラメータ(走査ビームパターンなど)の導出。H29年度にはタービン模擬翼や骨インプラントの評価造形を行い、有効性を確認。H30年度も継続してテストケース、有効性実証を行う予定。 家電製品 ：冷熱デバイスは、H28年度までに異方性を活用した製造の基本プロセスを確立。H29年度に量産化の目処を立てて研究を終了し、事業化に移る。照明シェードは、形状設計ツールのプロト開発をH28年度に終了。H29年度からSIP外部企業でのテストケースを開始。さらにマイリテ分析機能を切り出しツール化。SIP外部企業でのテストケースを開始。 生体福祉製品 ：動物用カスタム骨インプラントの設計ツールをH28年度に開発し、H29/2にはインプラント設計に適用し、カスタム品の有効性と設計ツールの実用性を実証。さらに異方性を取り入れた骨インプラントの作成をH29/11に完了、その有効性を確認。さらに実用化に向けて、H29/9にコンソーシアム設立、普及展開に向けた活動を実施。 航空・エネルギー部材 ：H28年度までにタービンの構造検討や3D造形の精度評価を実施。H29年度に異方性と等方性が混在(傾斜組織制御)する高耐熱な模擬翼の材質・形状同時制御による一体造形に成功。H30年度には性能検証を予定。																									
技術の検証方法の決定		SIP開始時点から、参画している実用化企業・団体での技術検証を進めることを決定していた。さらに、技術の普及のためにはSIP外部企業でのテストケースが重要であるとH28に考え、H29年度からテストケースを開始できるよう、設計ツールのプロト開発を前倒して進めた。																									
技術検証		照明設計および分析ツールに関しては、H29年度よりSIP外部企業も含めたテストケースを実施して、効果の検証や企業からのフィードバックを受けており、これを通じて完成度向上を図っている。異方性を有する製品や部材の製造技術については、H29年度よりSIP参画企業・団体でのテストケースを中心に進めているが、SIP外部企業からのテストケース要求も多数上がっており、一部平行して進めている。																									
知的財産の確保		3Dプリンタによる製造方法については、大阪大学がメインとなり特許出願を実施。異方性を有する製品や部材については、事業化を進める企業や団体が、特許出願を実施。																									
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)		カスタム骨インプラントや照明シェードの設計ツールのプロトはH28年度におおよそ開発できており、H29年度からはSIP外部企業も含めたテストケースを進めている。一方、異方性を有する製品や部材の製造方法はノウハウであり、阪大AM研究開発センターにて保有している。																									
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)		・異方性を有する製品や部材の製造方法(ノウハウ)：SIP開始時点で阪大AM研究開発センターにて、技術・ノウハウを維持していくことを決定。企業には、共同研究などで技術移管。 ・カスタム骨インプラント：設計ツールと製造技術の連携をもってH29/4にコンソーシアムを形成し、ツールや技術も含めて普及展開することを決定。 ・照明シェードの設計ツール、マイリテ分析ツール：H29年度の時点では、有効性確認を完了した段階であり、パナソニックから商品企画支援サービスとして提供を検討中。 ・トポロジー最適化：SIP終了後も大阪産業技術研究所に設置し、中堅・中小企業へ展開することをSIP開始時点で決定。																									
コンソーシアムの運営		動物用カスタム骨インプラントの普及展開に向けて、先端獣医療コンソーシアムをH29/10に設立した。大阪府立大学が中心となり、26の動物病院、4企業が参加。SIPで開発した設計ツールを駆使してカスタム骨インプラントを設計し、阪大AM研究開発センターで3Dプリンタを用い異方性を付与して製造し、大阪府立大学に供給、試験利用を重ねる。H31年度までの実用化をめざす。																									
ベンチャー設立		-																									
ツール販売		マイリテ分析ツールに関しては、パナソニックから商品企画支援サービスとして提供を検討中である。																									
ツールオープン利用		H29/2に大阪産業技術研究所に、京都大学で開発を行っているトポロジー最適化ツールを導入し、セミナーを開催したほか、地域の中堅・中小企業でのテストケースを行っている。 また阪大AM研究開発センターでは、2方式の金属3DプリンタをH27/3に設置しており、関西の中堅・中小企業への金属3Dプリンタ普及を促進するための、テストケースを数多く実施している。																									
技術のPR		年間を通じたインターネットや学会での発表のほか、大阪産業技術研究所主催の技術セミナーをH27年度より1回/年で開催。そのほか各種展示会、ニュースリリースなど積極的にPRを実施。																									

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考えた。

■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めざす。

【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】

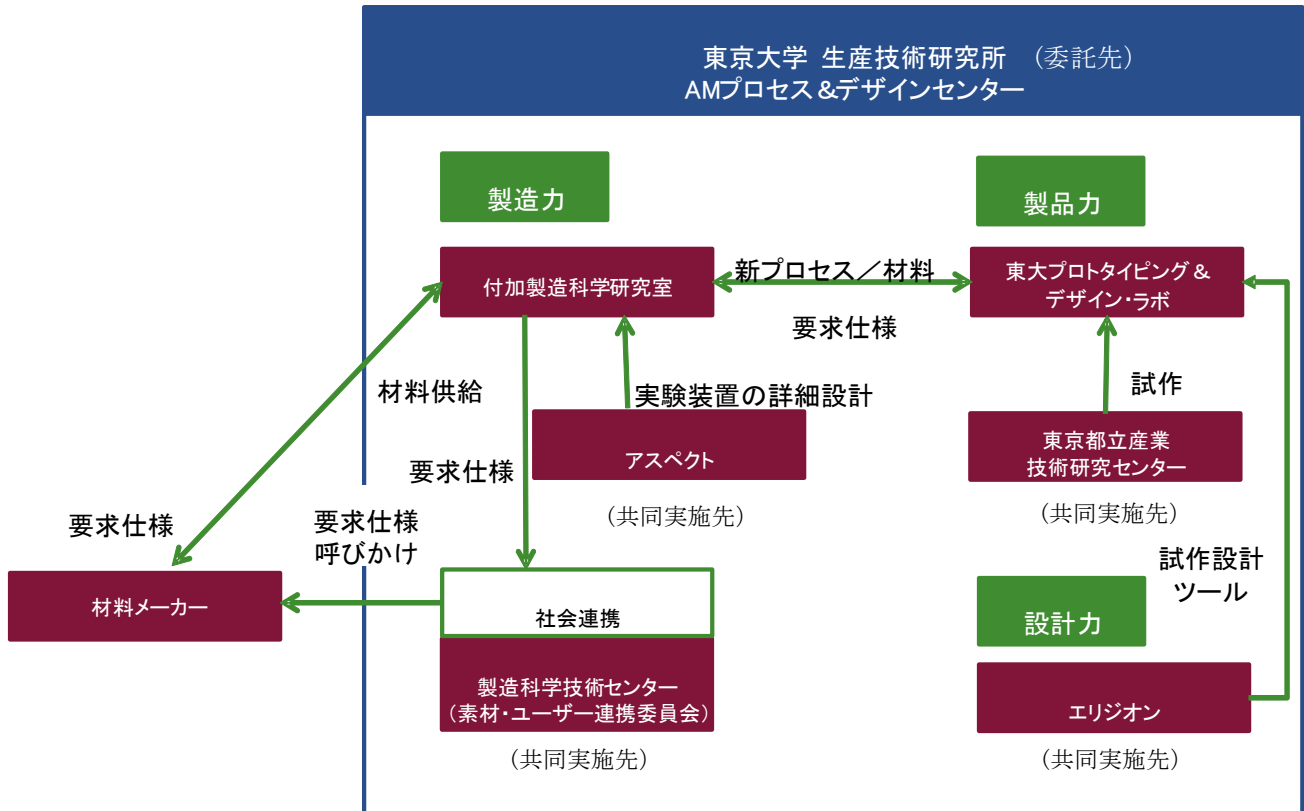
製造科学技術センター、東京都立産業技術研究センター、東京大学が中心となり、AM 広報・普及促進（素材メーカー、ユーザとの連携）のため、国内外の展示会や国内唯一のAMシンポジウム、東京都立産業技術研究センターを中心とした中小企業への技術情報展開を図り、セミナーや展示会出展等を通じて産業用途の拡大を目指した。

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、研究拠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、運用をスタート。</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図り、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取り組みも実施した。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>			★ 展示会出展 (DMS等) ★ AMシンポジウム ★ SFFS (学会)	インターネット、各種シンポジウム等での講演 ★ 展示会出展 (DMS等) ★ AMシンポジウム ★ SFFS (学会)	★ 展示会出展 (DMS等) ★ AMシンポジウム ★ SFFS (学会)	★ 展示会出展 (DMS等) ★ AMシンポジウム ★ SFFS (学会)	★ 展示会出展 (DMS等) ★ AMシンポジウム ★ SFFS (学会)	→

設計ツールを用いたAM関連製品（スポーツ義足等）の開発

役割(アクション)	実施(予定)時期	だれが、いつ（からいつまで）、（どれと）、どのように行った	～H25				H26				H27				H28				H29				H30				H31～（将来の見込）
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q					
実用化ツールを用いた製品開発	製品アイデアの創出	【東京大学・エリジオン】 H26：東京大学とエリジオンで、これまでの知識ベースを元に、AMによる義足造形手法および設計ツールの基礎機能を検討。					基本設計																				
	製品アイデアと技術のマッチング																										
	製品プロトタイプ作成	【東京大学・エリジオン】 H26：エリジオンが自社の既存3D技術をベースに基礎機能のプロトタイプを作成。 H27：公益財団法人鉄道弘済会義肢装具サポートセンターの協力を得て、義肢装具士にヒアリングを行い必要機能を決定、エリジオンが設計ツールのプロトタイプを作成。 H28：エリジオンが前年に市販ツールを使用して行っていた仕上げのための機能を本設計ツールに追加し、単体で義足設計を完成可能とした。 H29：AM義足に日常使用に耐える強度を与えるために、東京大学がH27に研究したAM造形物と市販パーツとの強弱な接続構造を採用、エリジオンが設計ツールに機能追加し、実用的な義足の設計が可能となった。					基礎機能実装				義肢装具士調査・機能実装				仕上げ機能実装				強度向上機能実装								
	製品プロトタイプ評価	【東京大学・エリジオン】 H27：公益財団法人鉄道弘済会義肢装具サポートセンターの協力を得て、義肢装具士が設計ツールを使用して義足ソケットを設計、市販ツールによる仕上げを行い、東京大学のAM装置で造形、被験者に試着頂き、AMによる義足製作が可能であることを確認できた。 H28：公益財団法人鉄道弘済会義肢装具サポートセンターの協力を得て、熟練者から若手まで3名の義肢装具士でAMによる義足造形を試行。被験者も3名に増やし、設計ツールによるAM義足造形が多様な形態に適用できることを確認した。 H29：東京大学が株式会社今仙技術研究所に依頼して、設計ツールで作成したAM造形義足の強度試験を実施、長期試着に十分な強度があることを確認。公益財団法人鉄道弘済会義肢装具サポートセンターの協力を得て、1週間の長期試着トライアルを実施、既存の義足と遜色のない履き心地を確認した。									トライアル				トライアル	トライアル			強度試験	長期試着							
	製品化判断	【エリジオン】 H30～：義足以外の人体フィット分野への適用を試行。市場や効果のリーサーチを行い製品化が適切な分野を検討。																					他分野適用試行				製品化検討
	製品化に係る資金の確保																										
製品PR																											
販売チャンネルの確立																											
製品販売																											

リアクティブ 3Dプリンタによるテーラーメイドラバー製品の設計生産と 社会経済的な価値共創に関する研究開発

1) 開発の取り組み内容

本研究開発は、既存マーケティング手法では発掘できなかったユーザのデライトネスをデジタルヒューマン情報の交信による価値共創ループに基づき設計する社会科学的アプローチと、革新的なリアクティブ 3D プリンタの生産技術という工学的アプローチとを融合した、多くの参加機関による文理融合型・コンソーシアム型の研究開発として計画された。地域資源である神戸のラバー産業およびシューズ産業に着目し、テーラーメイドシューズを先導的モデルとして、革新的なものづくりの実現を目指すものであり、個人に適合したシューズの設計やテーラーメイド生産に対応した設計・生産システム、テーラーメイドラバー製品を製造するためのラバー素材および 3D プリンタを開発し、価値共創を実現することで、ラバー本邦発祥の神戸の各種ラバー産業に貢献するものである。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

神戸は日本におけるラバー工業の発祥地であり、ケミカルシューズ生産の国内有数の拠点である。しかしながら、諸外国との競争激化に伴い、シューズへの新たな基軸が重要課題となっていた。さらに、ラバー素材である靴底への関心は、日本が抱える超高齢社会への対応や 2020 年開催の東京オリンピック、さらに昨今の健康への意識の高まりなどを受け、そのテーラーメイド化が強く望まれる材料である。

そこで神戸大学では、H26 年 1 月に、神戸の地域性も視野に入れながら、ラバー素材のソールを持つテーラーメイドシューズに着目し、これを効率良く設計および生産するシステムの開発を SIP で進めることにした。事前検討を重ねた結果、さまざまなシューズの中でまずはランニングシューズに焦点を絞った理由としては次の 3 点挙げることができる。

- 1) 市場規模：ウォーキングシューズやパンプスのテーラーメイド市場規模推定が各々約 40 億円、インソールが 53 億円であるのに対して、ランニングシューズのテーラーメイド市場規模推定は 400 億円を超えることから、大きな波及効果が望まれること。
- 2) 価格帯：テーラーメイドということでは、汎用品よりも高価格になることが予想される。この際、高価格でも購入意欲が高いユーザが、多く見込まれること。
- 3) データ収集のためのモニター：今のランニングブームを見ても明らかなように、ウォーキングシューズに比較して、ランニングシューズに問題意識の高いユーザの人口が多く、テーラーメイド化に際して、さまざまな評価に際してのモニターの募集が容易であると予想されたこと。

【研究体制の構築】

アカデミアの神戸大学を核として地域の企業 4 社（㈱アシックス、㈱神戸工業試験場、住友ゴム工業

(株)、バンドー化学(株)：再委託先であるシバタ工業(株)、天満サブ化工(株)も含めると 6 社)、地域の公設試験研究機関である兵庫県立工業技術センター、国立研究開発法人である産業技術総合研究所を結集した、産学官連携の研究体制としている。

さらに以下の 3 つのチーム体制をとって緊密に連携をとることで効率よく技術開発を進め、それらの開発成果を統合して全体としてのシステムを完成させる体制とした。

- ・[設計・生産システム研究開発チーム]：個人に適合したシューズの設計やテーラーメイド生産に対応した工場システム開発

神戸大学 システム情報学研究科・経営研究科、(株)アシックス、兵庫県立工業技術センター、産業技術総合研究所

- ・[素材研究開発チーム]：シューズの 3D プリンタに用いるラバー材料開発

神戸大学 工学研究科、バンドー化学(株)、住友ゴム工業(株)、兵庫県立工業技術センター、シバタ工業(株)、天満サブ化工(株)

- ・[マシン研究開発チーム]：ラバー3D プリンタ装置開発

(株)神戸工業試験場、神戸大学 工学研究科、兵庫県立工業技術センター

このうち、(株)アシックスは出口のひとつとなるランニングシューズの作製、兵庫県立工業技術センターは開発成果を地域に展開するための拠点の機能(センター内に成果を一般に公開するための「価値共創プラットフォーム」を開設)も担う。本体制は SIP 開始時には構築していた。

【研究テーマ提案 (研究資金の獲得)】

神戸大学が中心となり H26 年に SIP へ提案を行い、H26 年 9 月に採択された。その他、本研究課題に関連する研究活動のための外部資金として、H29 年度に科研費(挑戦的研究)や JST の未来社会創造事業(ヒューメインなサービスインダストリーの創出)などを獲得しており、本課題は重要な研究開発テーマと認められている。

【技術開発のマネジメント】

神戸大学が中心となり、マネジメントを実施している。技術開発は、[設計・生産システム研究開発チーム]、[素材研究開発チーム]、[マシン研究開発チーム]の 3 つのチームにおいてチームリーダーが中心となり、それぞれ 1 ヶ月から 3 ヶ月に 1 回程度の会議を実施し、進捗及び成果の確認を実施している。なお、素材とマシンの研究開発においては、密接な連携が必要なことから合同での会議も実施している。また年に 3 回程度チームリーダー会議を開催し、テーマ全体を俯瞰した上での年度の目標、進捗、成果の確認を実施している。またプロジェクトに関わる全員が参加する全体推進会議を年に 4 回程度開催し、目標、進捗の共有を行っている。

また、本 SIP に加え神戸大学が関連する SIP テーマでのシナジーを発揮するための仕組みとして、神戸大学内に、3D スマートものづくり研究センターを H27/6 に設置し、産官学連携研究の拡充、成果物のアウトリーチ活動を推進している。

【技術開発】

[設計・生産システム研究開発チーム]

ここでは、個人に適合したシューズのソールを設計するためのソール設計ツールと、それを効率よく生産するためのクラウド型テーラーメイド生産システムの開発を目標としている。

ソール設計ツールに関しては、H27 年度までにスマートフォンの画像を取り込んで、シューズのソール設計に必要な足型や寸法などの情報を取得するツールのプロトを開発した。H28 年度は個人のランニングスタイルを入力可能な機能、別途開発しているデジタルヒューマン DB と連携した個人の足部の形状復元機能を追加し、個人に適合したシューズを選択可能なプロトを開発した。さらに生産シミュレーションとも連携し、スマートフォンからの発注に対して、納期や金額を提示できるストア機能も開発した。H29 年からは多数の被験者での評価実験を行うとともに、H30 年度には評価結果をふまえた設計ツールの改良を行い、価値共創プラットフォームに設置し、一般に公開する予定である。

クラウド型テーラーメイド生産システムに関しては、H28 年度までにスマートファクトリのプロトを開発した。シューズ生産における製造・調達・物流・販売間の CPS(Cyber Physical System)による実仮想融合型シミュレーション環境を構築し、提案手法の有効性の評価を行うとともに、シューズ設計ツールとの連携も行えるようにした。H29 年度以降は、本研究で開発したツール間のデータ接続のための検討や、これをふまえたシステムの仕様作成を行う予定である。

[素材研究開発チーム]

ここでは、ランニングシューズソールの 3D 造形に向けて、インナーソール用に加硫ラバー、ミッドソール用に UV 架橋ラバー、アウターソール用にポリウレタンラバーの材料開発を行う。各ラバー材料とも H27 年度までにプロト材料の開発を完了し、H28 年度からは 3D プリンタでの造形評価を開始し、H29 年度以降に 3D 造形に適切な材料へと改良を図る。

[マシン研究開発チーム]

ここでは、ポリウレタンラバー向けに 2 液混合積層造型、加硫ラバー、UV 架橋ラバー向けにディスクペンサー型といった 2 種類、3 タイプの 3D プリンタの開発を行う。

H27 年度までに 3D プリンタヘッドの仕様検討およびプロト機の開発を完了した。H28 年度には素材開発チームと連携し必要となる装置のスペックを検討した。H29 年度には、検討したスペックの試作機的设计および製作を行い、H30 年度には試作機を完成させ性能評価を行う予定である。

【技術の検証方法の決定】

SIP 開始時点から神戸地場による企業の検証を想定しており、特にファーストターゲットとしているランニングシューズの製作を対象に進めることとしていた。シューズの作製評価を行う企業として、(株)アシックスにプロジェクトに参加してもらうこととしていた。また、地場の中堅・中小企業向けに、開発成果を公設試に設置することを決定していた。

【技術検証】

H27 年度までに各要素技術の評価を終え、H28 年度以降はソール設計ツールとリアクティブ 3D プリンタを応用したシューズ作製に重点を置き、実使用における課題の抽出と改良を行う計画とした。H29 年度には走行実験を計画しており、H29/11 の神戸マラソンでは 4 名のランナーが、ソール設計ツ

ールを使って設計し、3Dプリンタを使って作成したミッドソール、アウトソールを用いたランニングシューズで参加した。

また加硫ラバーの3Dプリンタについては、H29/9に価値共創プラットフォームに設置し、企業が活用できるようにした。ここではシューズ以外の製品へのテストユースも行っている。またソール設計ツールについてもH30年度に価値共創プラットフォームに設置し、企業に公開しテストユースを実施する予定である。

【知的財産の確保】

3Dプリンタによる製造方法およびその材料として、プロジェクト参画企業を中心に特許出願を実施している。このうち、ポリウレタンラバーに関する基本特許に関しては、H29年度に取得済みである。

H26年度：0件、H27年度：3件、H28年度：4件、H29年度：6件。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

3Dプリンタ装置及び材料に関しては、H27年度にそれぞれプロトを完成し、H28年度以降に改良するというスケジュールで進めた。H30年度には試作機およびそこで使用する材料の完成を予定している。ソール設計ツールは、H28年度までに基本機能を完成させH29年度以降は評価実験とそれに基づく改良を中心に行っている。

■ 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）】

SIP開始時点で研究成果物のアウトリーチ活動の推進が必要と考えており、実践の場として「価値共創プラットフォーム」を公設研・ものづくり支援センターに構築し、将来的には全国地域への展開を計画するとした。また本プロジェクトに参加している神戸地域の多数の有力企業により3Dプリンタ装置や材料の販売を検討することとしていた。

【コンソーシアムの運営】

—

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

3Dプリンタ装置については、(株)神戸工業試験場が、SIP終了後の販売を検討。

【ツールオープン利用】

H29/9に兵庫県立工業技術センター内に、価値共創プラットフォームを設置。同時に加硫ラバーの3Dプリンタ装置を一般に公開し、神戸の中堅・中小企業を中心としたテストユースを開始した。H30

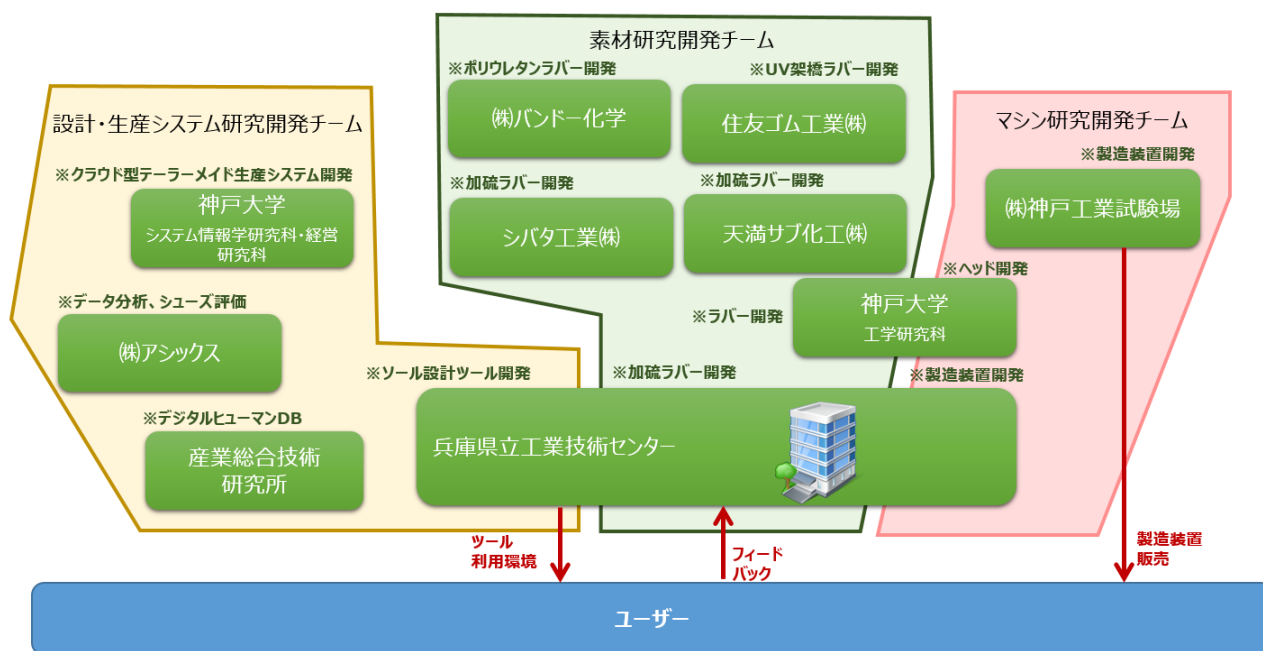
年度には、ソール設計ツールを一般に公開し、テストユースを実施する予定である。価値共創プラットフォームは SIP 終了後も継続する。

【技術の PR】

年間を通じたインターネットや学会での発表のほか、3Dスマートものづくり研究センター主催のセミナーを H27 年度より 1 回/年で開催。そのほか、イノベーションジャパン (H29/8) などの展示会で展示、価値共創プラットフォーム、加硫ラバー3D 造形のニュースリリースや新聞掲載 (H29/7)、SIP 成果であるツールを活用して作成したランニングシューズでの神戸マラソン参加の新聞掲載 (H29/11) など、精力的に PR を実施。

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

- 神戸の地場産業であるラバー製品をターゲットとして、神戸大学に加え地場の製造装置メーカー、材料装置メーカーがプロジェクトに参画したことで、SIP 終了後における成果の実用化、製品化への道筋を明確にできた。
- 兵庫県立工業技術センターがプロジェクトに参画したことで、開発成果の地場の中堅・中小企業への展開への道筋を明確にできた。
- 価値共創プラットフォームを前倒しで開設したことで、中堅・中小企業でのテストユースが進み、3D プリンタの完成度向上につなげることができた。
- プロジェクトの推進では、設計・生産システム、素材、マシンの 3 つのチームに分けて進めており、

情報共有の迅速化、意思決定の早期化につながった。

- ・特に素材とマシンについては H27 年度中にプロトを完成し、H28 年度以降両者を組み合わせて実証評価を行うことで、課題を早期に洗い出すことができ、完成度を向上することができた。

5) 場・仕組みからの FB

加硫ラバー3D プリンタを価値共創プラットフォームに設置して、一般公開している。ここでは、神戸の中堅・中小企業からの要望に応じてラバー製品の試作を行っているが、さらなる高解像度化や造形の安定性向上などの FB があり、継続して改良を行っていく。

役割(アクション)	実施(予定)時期	だが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行った	～H25				H26				H27				H28				H29				H30				H31～(将来の見込)
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q					
技術アイデアの創出		神戸大学では、神戸の代表的地場産業であるラバー産業とシューズ産業の競争力強化に向けて、H26/1にテーラーメイドシューズに着目し、これを効率よく設計および生産するシステムの開発をSIPで進めることにした。																									
研究体制の構築		アカデミアの神戸大学が中心となり、地域の企業4社(㈱アシックス、㈱神戸工業試験場、住友ゴム工業㈱、バンドー化学㈱)；再委託先であるシバタ工業㈱、天満サブ化工㈱も含めると6社)、地域の公設試験研究機関である兵庫県立工業技術センター、国立研究開発法人である産業技術総合研究所を結集した、産学官連携の研究体制としている。 さらに設計・生産システム研究開発チーム、素材研究開発チーム、マシン研究開発チームの3チーム体制で、進めることにした。																									
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		神戸大学がSIP公募に提案し、採択。(H26/9)																									
技術開発のマネジメント		神戸大学が中心となり、マネジメントを実施。チーム単位の会議、チームリーダー会議、全体推進会議を開催。神戸大学内に、3Dスマートものづくり研究センターを設置し、産官学連携研究の拡充、成果物のアウトリーチ活動を推進。																									
技術開発		設計・生産システム研究開発チーム：H28までに評価プロト完。H29から評価実験、改良を実施。 素材研究開発チーム：H27年度までにラバープロト材料の開発を完了し、H28年度からは3Dプリンタでの造形評価を開始し、H29、30年度で3D造形に適切な材料へと改良。 マシン研究開発チーム：H27年度までにプロト機の開発を完了。H28年度には素材開発チームと連携し必要となる装置のスペックを検討。H29年度には、検討したスペックの試作機的设计および製作を行い、H30年度には試作機を完成させ性能評価。																									
技術の検証方法の決定		SIP開始時点から(検証方法の決定時期はいつでしょうか)神戸地場による企業の検証を想定しており、特にファーストターゲットとしている㈱アシックス社でのランニングシューズの製作を対象に進めることとしていた。また、地場の中堅・中小企業向けに、開発成果を公設試に設置することを決定していた。																									
技術検証		H28年度以降はソール設計ツールとリアクティブ3Dプリンタを応用したシューズ作製に重点を置き、実使用における課題の抽出と改良を行う計画とした。 また加硫ラバーの3Dプリンタについては、H29/9に価値共創プラットフォームに設置し、企業が活用できるようにした。ここではシューズ以外の製品へのテストユースも行っている。またソール設計ツールについてもH30年度に価値共創プラットフォームに設置し、企業に公開しテストユースを実施する予定である。																									
知的財産の確保		3Dプリンタによる製造方法およびその材料として、プロジェクト参画企業を中心に特許出願を実施。																									
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)		3Dプリンタ装置及び材料は、H27年度にそれぞれプロトを完成し、H28年度以降に改良、H30年度には試作機およびここで使用する材料の完成を予定。ソール設計ツールは、H28年度までに基本機能を完成させH29年度以降は評価実験とそれに基づく改良を中心に実施。																									
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)		SIP開始時点で研究成果物のアウトリーチ活動の推進が必要と考えており、実践の場として「価値共創プラットフォーム」を公設研・ものづくり支援センターに構築し、将来的には全国地域への展開を計画するとして、また本プロジェクトに参加している神戸地域の多数の有力企業により3Dプリンタ装置や材料の販売を検討することとしていた。																									
コンソーシアムの運営		-																									
ベンチャー設立		-																									
ツール販売		3Dプリンタ装置については、㈱神戸工業試験場が、SIP終了後の販売を検討。																									
ツールオープン利用		H29/9に兵庫県立工業技術センター内に、価値共創プラットフォームを設置。同時に加硫ラバーの3Dプリンタ装置を一般に公開し、テストユースを開始した。H30年度には、ソール設計ツールを一般に公開し、テストユースを実施予定。価値共創プラットフォームはSIP終了後も継続する。																									
技術のPR		年間を通じたインターネットや学会での発表のほか、3Dスマートものづくり研究センター主催のセミナーをH27年度より1回/年で開催。そのほか各種展示会、ニュースリリースなど積極的にPRを実施。																									

 **戦略的イノベーション創造プログラム**
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program



革新的設計生産技術

新しいものづくり2020計画