

✓ 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。

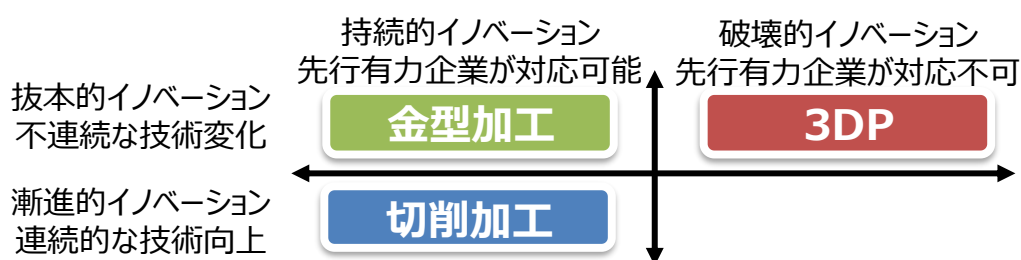


図1 イノベーションの分類※における主要な設計生産技術の位置づけ

※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。

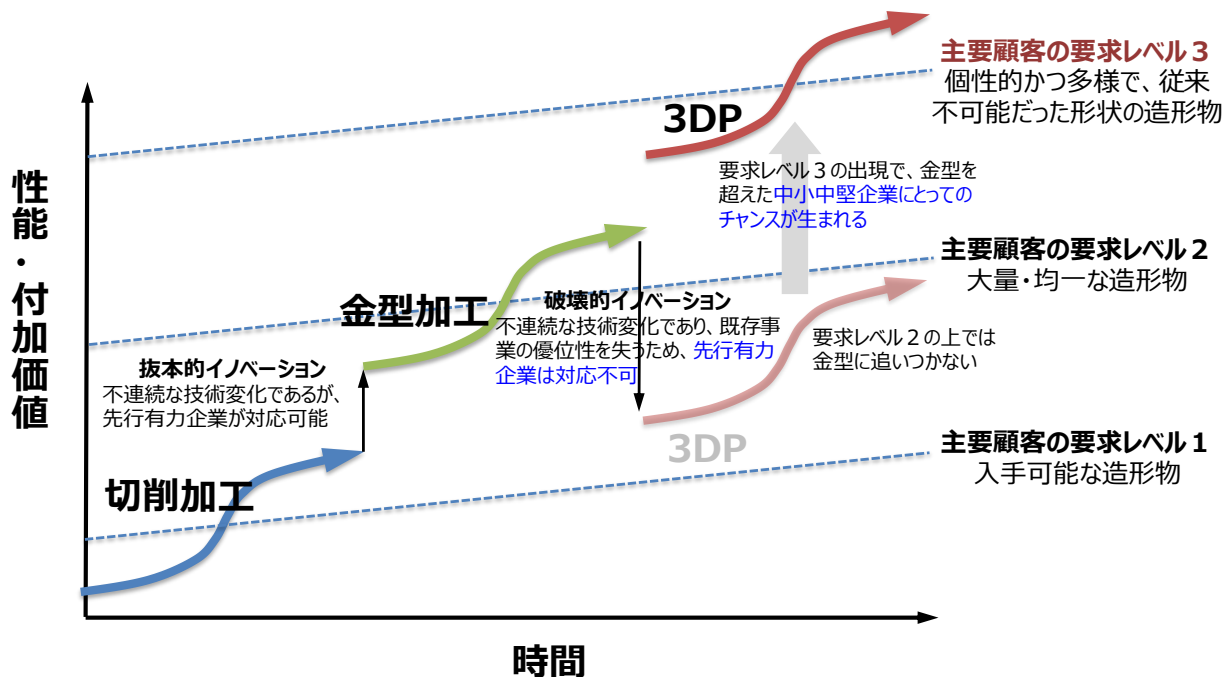


図2 本プログラムのねらうイノベーション

✓ 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。

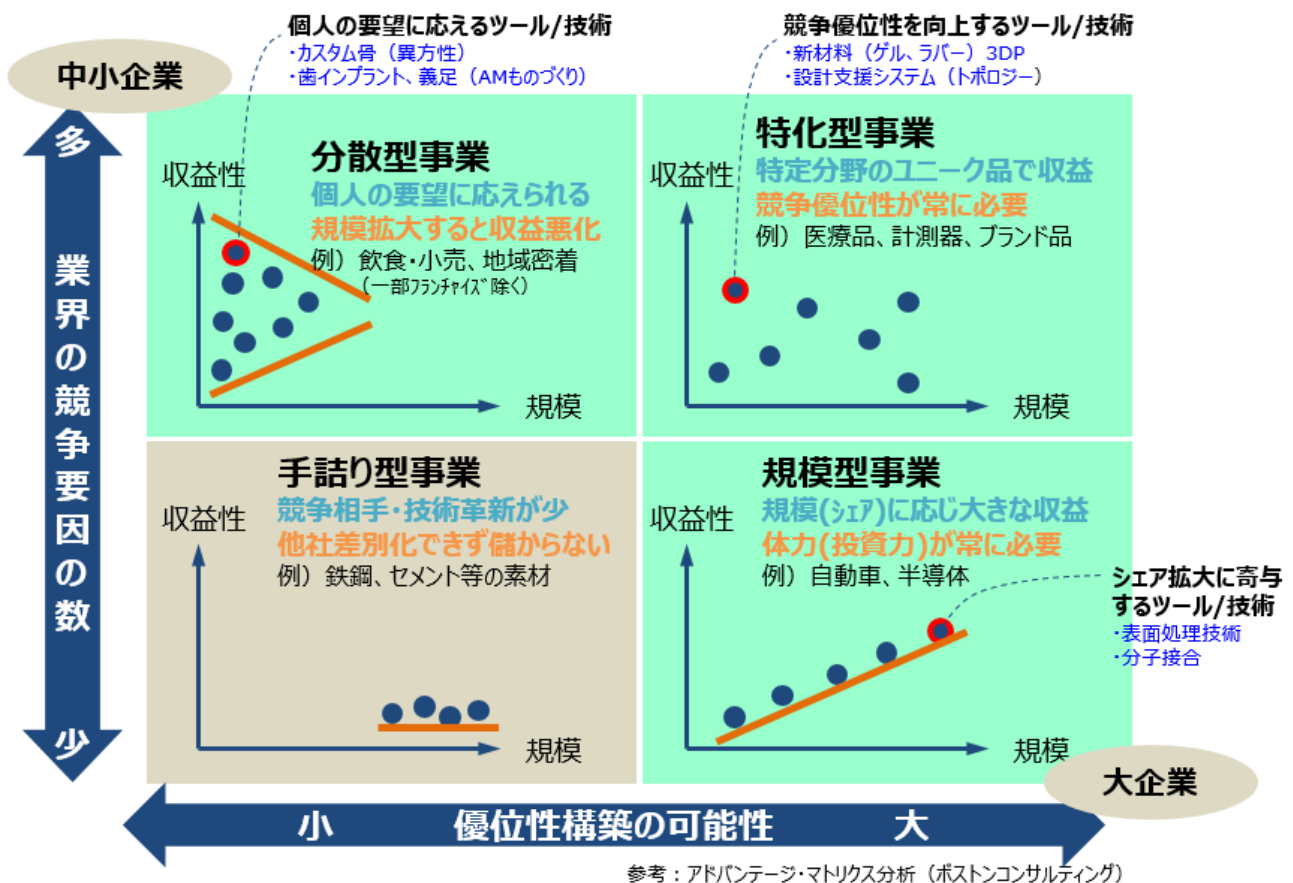


図3 本プログラムで生み出した製品、サービスの事業分野

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。

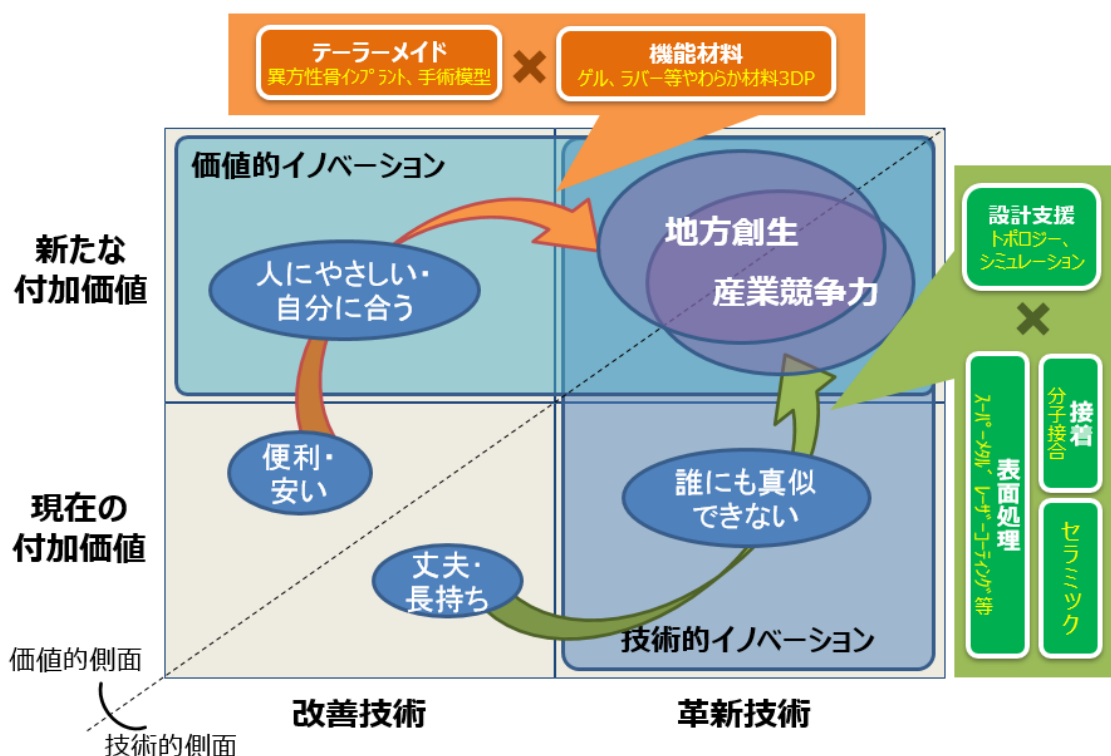


図4 開発ツール/技術による産業競争力強化、地方創生への貢献

✓ 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。

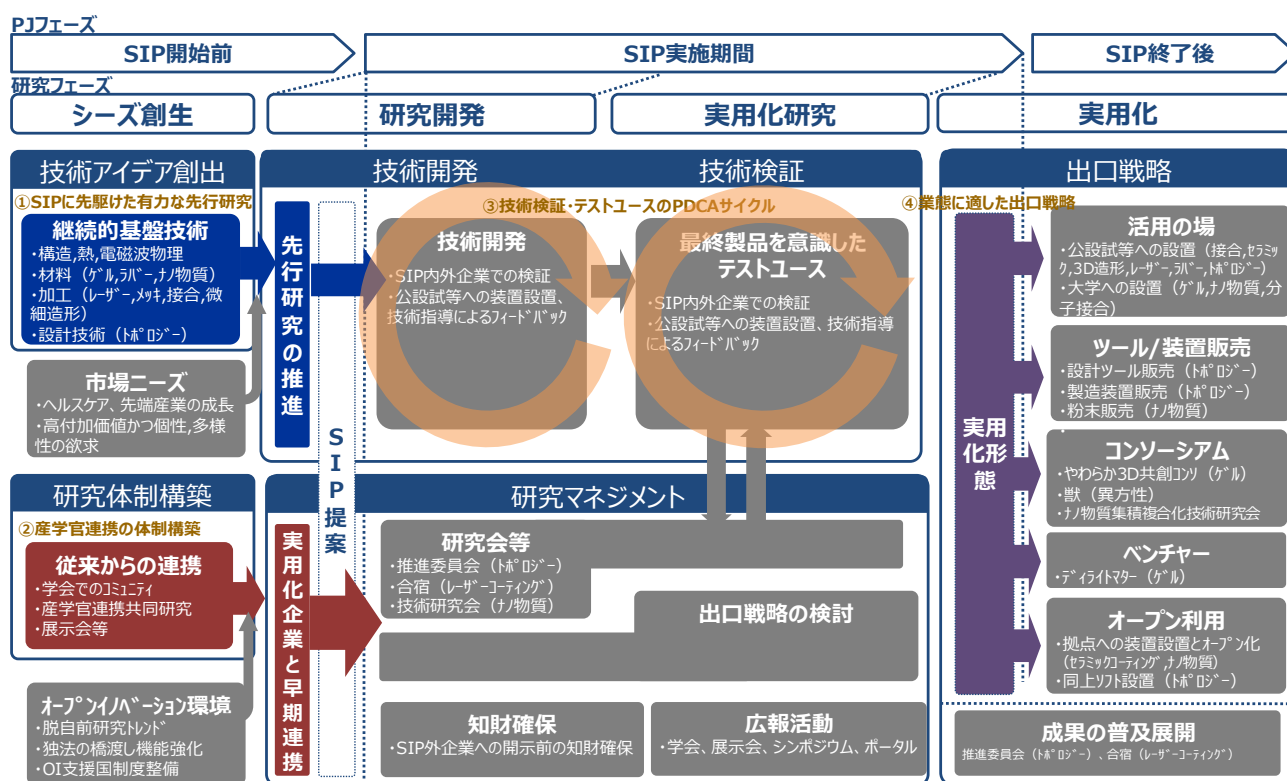


図5 研究開発における共通成功要因

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。