

| | |
|--------------|---|
| Title | 研究成果の普及を推進するイノベーションの相互作用を生み出す研究体制 |
| Author(s) | 入谷, 京; 江藤, 学; 三沢, 和彦 |
| Citation | 年次学術大会講演要旨集, 39: 345-350 |
| Issue Date | 2024-10-26 |
| Type | Conference Paper |
| Text version | publisher |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/19672 |
| Rights | 本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management. |
| Description | 一般講演要旨 |

研究成果の普及を推進するイノベーションの相互作用を生み出す研究体制

○入谷 京（東京農工大学）、江藤 学（一橋大学）、三沢 和彦（東京農工大学）

1. 問題意識と目的

産学連携の大型化の取り組みの1つに、大学と複数の企業・研究機関と連携し具体的な産業化を目指す研究開発コンソーシアムの形成があげられる。研究開発を行うコンソーシアムの設計においては、通常全体の目標に対し産学で関係する研究開発要素を集めて役割分担を行い、各要素は分担された個々目標の達成を目指す。個々の研究開発成果の取得と、コンソーシアム内での情報交換を行う体制が用意される中で、学術研究レベルであっても、研究開発要素間において新たなイノベーションの誘発につながる協業が進むような仕組みを取り入れることは、企業との共同研究による守秘義務の関係などから容易ではない。

東京農工大学が拠点・エコシステム構築型の国プロジェクトである「研究成果展開事業 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (OPERA)」[1]において実施した「命をつなぐコンソーシアム」[2]（以下、「農工大 OPERA」とする。）では、生命科学・獣医学・農学分野に設定した各テクノロジーのイノベーションを企業との共同研究で進めていくのと並行して、研究分野においては光科学の最先端技術を主骨格とし、各テクノロジーと領域横断的に組み合わせる学術的なインターフェース領域を設定した。主骨格とした「光科学の最先端技術」は、生体細胞内における生体関連分子の分布と動態を対象に、その場で分子構造を同定しながら画像化する技術を実用化した「コヒーレントラマン顕微鏡」（以下「ラマン顕微鏡」という。）である。

農工大 OPERA では、インターフェース領域においてラマン顕微鏡を開発している光検出技術の研究側と利用する応用分野の研究側において、可視化するターゲット分子の検討や実際の測定を行い事例の収集を試みた。その結果、ラマン顕微鏡の研究開発に明確なロードマップを作成できたことに加え、顕微鏡の利用分野を拡大する上で本質的に重要な可視化ターゲット分子の検出限界を2桁向上する技術開発につながった。また、応用研究側にとっては、新たな生体情報を得ることになった。これは、異なる最終ゴールを持つ複数のイノベーションが、一つのコア技術をリサーチツールとして活用するという構造をとり予算が投入されることで、複数のイノベーションがコア技術に向き合い、社会科学的研究がその技術間をつなぐ活動をすることで相互に歩み寄りが進み、互いの研究を補完する情報を与えることになったためと考える。

本研究では、具体的にこのラマン顕微鏡のイノベーションと他分野のイノベーションとの間の相互作用とはどのように働き、相手側にどのような影響を与えたかを主題として、農工大 OPERA において複数のイノベーション間に相互作用が生まれたプロセスを分析し、そのメカニズムを Kline の連鎖モデル [3]を拡張することにより説明した。異なるテクノロジー間で研究を補完的に進捗するイノベーションの相互作用によって、計測技術である主骨格テクノロジーの普及に効果を与えるプロセスをイノベーションモデルで明確にし、農工大 OPERA のコンソーシアム構成は研究成果の普及を推進する新たな研究体制として有効であることを確かめた。

2. 先行研究

産官学の参加するコンソーシアムについて、コンソーシアムが有する構造と機能について、知的財産マネジメントから参加組織の利害への影響を調べたもの[4]、NEDO が実施したプロジェクト評価のための企業への追跡調査を利用して、コンソーシアム型の国家プロジェクトを有効に機能させる研究開発体制と参加企業のプロジェクト成果を考察した報告において、産学連携の場合はプロジェクト終了後も継続される傾向はあるが、公的支援がないと連携が滞る傾向があり、国の積極的支援が必要だとしている[5]。大学が取り組むコンソーシアム型産学連携においては、企業アンケートによる非競争領域と競争領域の明確化と組織レベルのマネジメント体制・制度の整備が必要、とする報告がある[6][7]。コンソーシアムを通じた大型の研究プロジェクトでは、大学が企業との共創の場を構築するための知財マネジメントを中心とする報告が多い中、コンソーシアム内の非競争領域にあたる大学内の異なる研究活動に生じた作用に着目した研究は見られない。

本研究は、基礎研究から実用化までシームレスにつながり研究活動が求められてきている大学の研究現場に、異分野との研究補完により研究成果の普及を推進するメカニズムを明らかにする新しい視点の取り組みといえる。

3. 本研究の方法

本研究では、最初に農工大 OPERA の仕組みと取り組まれていた内容を整理し、プロジェクト期間中に行われた内容とそのプロセスを抽出する。そしてその内容をモデルに当てはめてイノベーションの進捗過程を調べた。

イノベーションモデルについては、単一の製品（イノベーション）に注目し、その製品の市場ニーズの把握から製品構想、設計、試作、市場投入のサイクルに並行した知識蓄積と研究開発が実施されるといふ Kline の連鎖モデル[3]を中心に、検討するイノベーションに新たな要素を加えたり、視点を変えた発展系の提案が行われてきた。例えば、既存の文献調査から国レベルのイノベーションのモデルを検討した報告[8]や開発プロセスに試作や関連技術の開発を盛り込んだモデルの報告[9]がある。

本研究では大学内で進めている複数のイノベーション間に起きた作用を評価するために、多くの研究で基本モデルとして参照されている Kline の連鎖モデルを拡張して農工大 OPERA で行われたプロセスを表現した。

4. 農工大 OPERA の取り組み

4.1 農工大 OPERA のコンソーシアムの設計

図1に農工大 OPERA の概念図を示す。早期診断・予防に直結する生命科学・農学・獣医学分野の6つのキーテクノロジーを学内から集結し、主骨格となるキーテクノロジーには、異分野との親和性が極めて高い光科学分野における先端的技術を位置づけた。主骨格の技術は、生体細胞内における生体関連分子の分布と動態を対象に、その場で分子構造を同定しながら画像化する技術を実用化した「ラマン顕微鏡」である。

光が分子と衝突したときに、入射光と異なる波長で散乱するラマン散乱光には分子固有の情報が含まれるため、細胞の機能や分化・増殖を制御する信号分子の局在・動態・相互作用を無標識・非侵襲で調べることができる。しかしながら、この信号は微弱であり、検出感度の問題から、顕微鏡から見て応用分野となる生命科学・獣医学・農学分野（以下「応用分野」という。）の研究において、ラマン顕微鏡の利用は限定的となっている。農工大 OPERA では、応用分野にあたる各キーテクノロジーの研究者が、ラマン顕微鏡による分子動態の無標識可視化という新しい研究手法に触れ、自身の分野ではどのようなターゲット物質が可視化対象となるかを研究するインターフェース領域を設定した。図1においては、インターフェース領域は、無標識検出技術を中心とする同心円（オープン領域と呼ぶ）と、無標識検出技術を取り囲む6つキーテクノロジー（クローズ領域と呼ぶ）と接触し交わる領域で表される。応用分野の研究では、国のプロジェクトの研究課題として行うことで、新しいリサーチツールを使用するチャレンジに取り組みやすくなる。また、ラマン顕微鏡の研究者にとっては利用頻度を増やし多くの事例を得る機会となった。

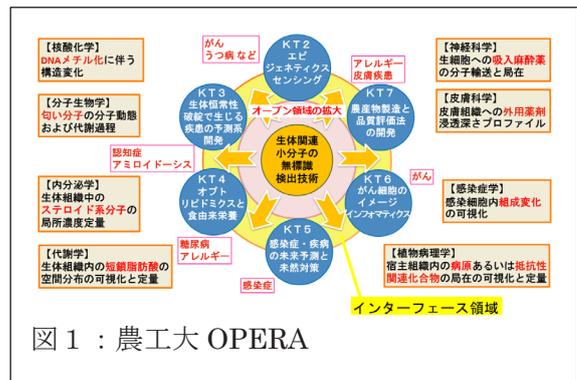


図1：農工大 OPERA

4.2 テクノロジー間をつなぐ活動

OPERA では大学等の経済学、社会学、心理学、倫理学等、人文・社会科学に係わる研究者が参画することが要件となっており、農工大 OPERA では研究開発段階からキーテクノロジーの国際標準化を目指した戦略を確立するための社会科学研究を研究課題の1つとして組み入れた。この研究課題では、早期診断・予防技術の研究において、ラマン顕微鏡を用いて研究成果を確認することが、研究上の「標準手法」となることを目標に、この技術を普及する戦略を策定する。そこでラマン顕微鏡への期待や、研究分野においてどのような成果の公表が望ましいかを応用分野となる各テク

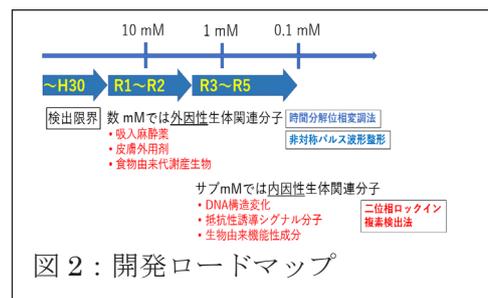


図2：開発ロードマップ

ノロジーの担当者にインタビュー調査を行った。

その結果、生体関連小分子の生体内の濃度局在を可視化する動態イメージ画像は各応用分野にあたる個別テクノロジーの分野では例がなく、画像を取得しその成果を公表することは、新たな知見として動態イメージ画像の需要が高まり、技術の普及につながると考える研究者が多いことが分かった。

また、ラマン顕微鏡の測定限界濃度について検出性能向上のロードマップが完成し、性能段階における具体的な測定対象（ニーズ）の特定ができた（図 2）。この目標に従ってラマン顕微鏡の研究が進み、OPREA 事業開始時から最小検出限界濃度を 2 桁下げることができ、市場化に向けた開発が進んだ。さらに、インタビューにおいて検出ターゲットに関するディスカッションを行うことで、応用分野側にターゲット物質候補の検討を促し、具体的にラマン顕微鏡を使って生体サンプルの測定を試し、得られたイメージ画像またはラマンスペクトルの変動から対象分子の動態を示す事例を増やしていった。

このように、農工大 OPERA ではシナジー効果を最大に発揮する仕組みとして分野を横断するインターフェース領域を設計し、かつ社会科学的研究がインターフェース領域でラマン顕微鏡の研究開発と応用研究をつなぐ活動することで、異なるテクノロジー間の研究に補完的な情報を与えることになった。

5. 連鎖モデルを使った解析

5.1 Kline の連鎖モデルの多重化とイノベーションの歩み寄り

4. で示したように、農工大 OPERA では、異なるテクノロジー間で研究を補完的に進捗するイノベーションの相互作用が生まれた。そして特に主骨格テクノロジーであるラマン顕微鏡の普及に効果があった。このプロセスを連鎖モデルを拡張して説明する。連鎖モデルは実用化プロセスが市場発見から市場投入までの過程をたどる中で、必要に応じ既存知識を求め、それが不足する場合に研究開発を実施して新たな知識を獲得するというプロセスを辿ることを示している（図 3）。

農工大 OPERA に参加したキーテクノロジーにかかる研究は、それぞれが別のイノベーションのゴールを持つ「研究」の役割を担っている（図 4）。複数のイノベーションの「研究」は、農工大 OPERA で設計されたインターフェース領域において、ラマン顕微鏡をリサーチツールとして活用することを検討する。ここで、「ラマン顕微鏡」の研究開発を行うイノベーションの「研究」と、応用分野のイノベーションの「研究」が向きあう構造が発生する（図 5(a)）。前述の通り、インターフェース領域は、無標識検出技術とそれを取り囲む 6 つキーテクノロジーとが接触し交わる領域だからである。しかし、向き合う当初は何ができるか不明のため、双方には距離がある。応用研究の研究者へのインタビューでも、自身の研究分野でラマン顕微鏡を測定・評価手法として適用した例がない、または名前を聞いたことがあっても、ラマン顕微鏡の検出濃度が自身の研究対象と比較して 1~3 桁異なるため、評価手法として検討していなかったとの答えが多かった。

2つのイノベーションにおける「研究」において、顕微鏡側はこの技術の有用性をより多くの研究現場に知ってもらうために、利用拡大し得られた結果を収集し公表につなげる機会を欲している。一方、応用分野側は、主に使用する機器は電子顕微鏡や質量分析といった、破壊または状態が静止している試料での検証を主としており、非侵襲で生体内の分子の局在や動態を直接観察できる機器がないため、学術的興味があっても手を出せないでいた。農工大 OPERA はラマン顕微鏡技術の開発を主要研究課題として取り上げており、さらに各研究課題に個別の研究費の配分が行われていた。応用分野の研究者は配分された研究費で自身の研究環境を整えることができるのに加え、国プロに参加していることから、自身の研究にラマン顕微鏡を使った成果の創出に貢献したいという責任感が生まれていた。

顕微鏡研究においては、課題とされた性能向上と応用研究の事例を受け入れるためにラマン顕微鏡の増設や対応人員の確保などの環境が整備された。そして、社会科学的研究による応用分野の研究者へインタビューでは、機器に求める検出濃度に対する要求や検出対象分子についての調査を行い、開発ロードマップを策定することで、ラマン顕微鏡の市場化に対する明確な目標と指針を与えることになった。

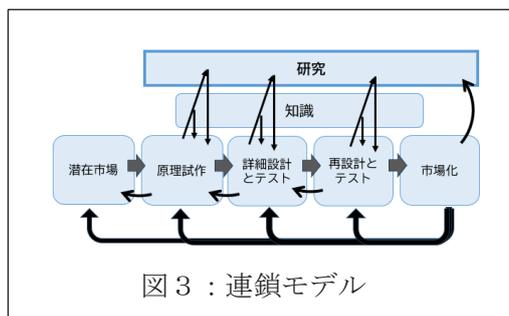


図 3：連鎖モデル

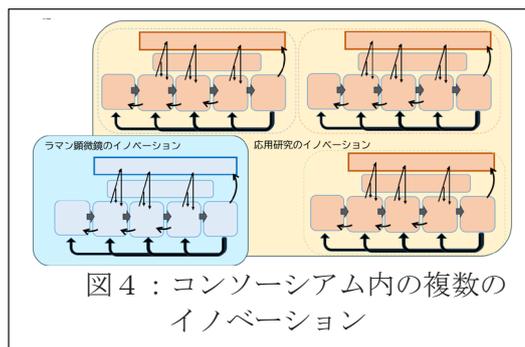


図 4：コンソーシアム内の複数のイノベーション

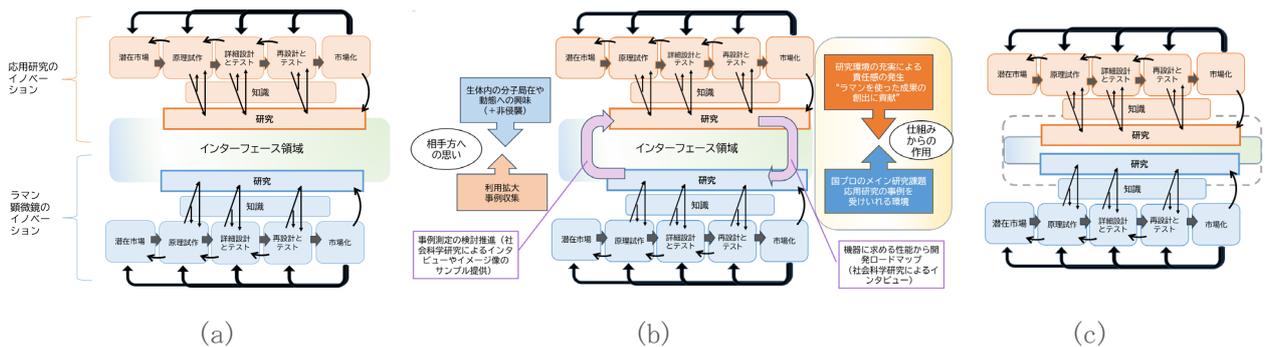


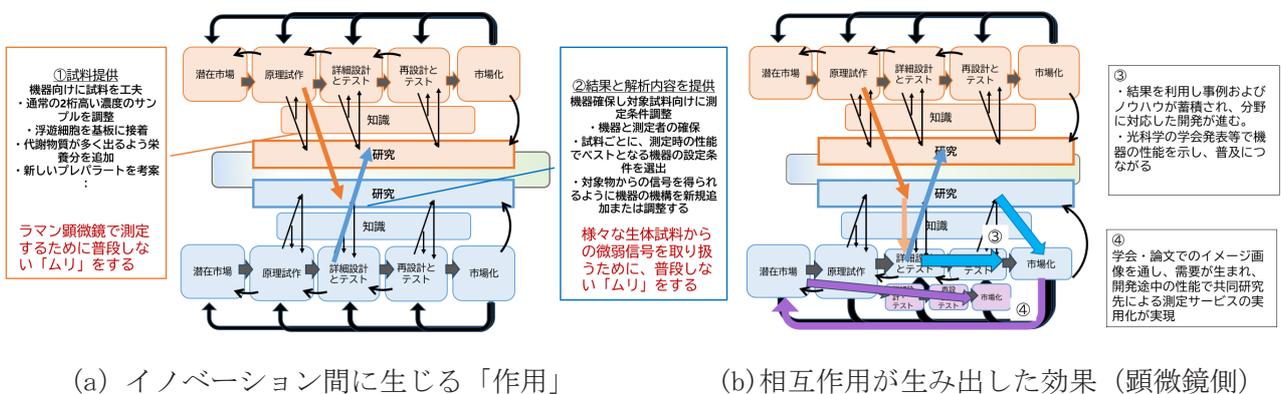
図5 インターフェース領域でのイノベーションの歩み寄り

また、応用分野の研究者のラマン顕微鏡の試用について何が候補となるかを、それまでに得られたイメージ画像を交え議論し、双方の研究連携を促すことを行った（図5（b））。これらのアクションにより、インターフェース領域で2つのイノベーションが「研究」を通し歩み寄って距離を縮めていった（図5（c））。農工大 OPERA では1つの研究と複数の応用研究が向き合うため、実際の構成は多重化したものと考えられる。

5.2 イノベーション間の相互作用

イノベーションモデルを使って、イノベーションの歩み寄りから異分野テクノロジーに対し相互に支援が働く仕組みを、具体的な実行内容から検討する。

応用研究側は、研究対象の試料を機器を使って分析する場合、プレパラートを機器向けに調整をしている。しかしながらラマン顕微鏡の検出感度は、応用分野の研究者が扱う試料の濃度と比較して2-3桁落ちる。そこで、顕微鏡研究側で得られていた低分子薬剤が生体内に浸透するイメージ像の情報や、局所的に濃度の高い部分を狙うことができれば可能性はあると考えて生体試料内でラマン信号を検出しやすい物質を選定し、対象とする分子の濃度を通常よりも1-2桁濃い状態に調整を行うことや、より多くの代謝物が出せるように栄養分の過剰投与、全く新しいプレパラート形状を考案するなど、通常は行わない対応に取り組んだ。これはある意味相手側の要望に応えるために「ムリ（無理）」をしている。顕微鏡側では、開発途中の性能において提供されたプレパラートでラマン信号をより強く検出するためのベストな条件となるよう、試料個々に顕微鏡の光学系および測定パラメータの調整を行い、都度軽微な機能改善を実施し、結果を応用研究の研究者に提供した。これも性能限界ギリギリの微弱信号を何とか検出しようとする、普段では行わない「ムリ（無理）」をしている（図6(a)）。図中の橙矢印は応用研究側が顕微鏡側に起こした内容であり、青矢印は顕微鏡研究側からの測定結果の提供を示す。



(a) イノベーション間に生じる「作用」 (b) 相互作用が生み出した効果（顕微鏡側）

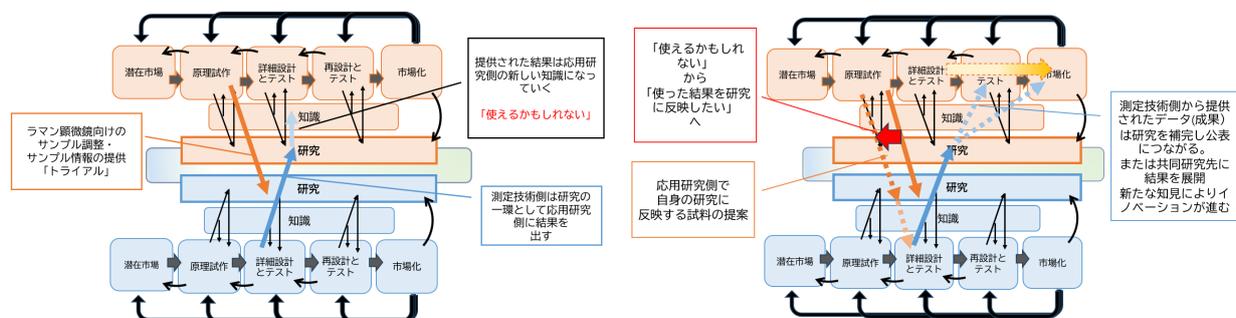
図6 イノベーションの相互作用1

顕微鏡研究側では、応用研究側との協業により、当初期待していた様々な生体試料に対する事例および測定ノウハウが蓄積され、OPERA 事業終了までに検出限界を2桁下げる性能向上を行えた。また、測定結果を自身の学会で紹介する成果の公表につながり、ラマン顕微鏡の普及に向けた開発が大きく

前進した (図 6(b)③)。さらに、ラマン顕微鏡側においては、学会・論文でのイメージ画像を通し、化粧品分野において低濃度薬剤の皮膚浸透試験の需要が生まれ、開発途中の仕様で共同研究先による測定サービスの実用化が実現した。このように、公表から新たな需要を元に開発途中の仕様でサービスの実用化につながったプロセスを図 6 (b) 中の紫矢印で示す。(図 6(b)④)。

応用研究側においては、まずはラマン顕微鏡を使うと何ができるのか、トライアルとして本来の研究からは少し離れた視点で試料の提供を行っている。ラマン顕微鏡側が「ムリ」しながら測定した生体内の薬剤や物質の分布を示すイメージ画像や、ラマンスペクトルの時間経過を追った変動の情報、応用研究分野の研究者にとってこれまでに得られることの無かった新しい情報・知見になり、自身の研究への適用が検討されている。開発途中の仕様であっても、「使えるかもしれない」との考えになってきている (図 7(a))。

農工大 OPERA のプロジェクト終了時までにはラマン顕微鏡の性能は 2 桁向上し、応用分野で求められていた性能に近づき対象とできる分子等は広がってきている。実際に応用分野における成果公表には至っていないが、応用研究側でもより具体的に自分たちの研究に反映させる検討が進んでいる。今後はトライアルでは無く、ラマン顕微鏡を使った結果を得たい試料を用いて測定を行い、その結果を論文等への掲載または共同研究先への結果の展開が期待される。応用研究側の需要がある限り、このパスは公的支援終了後も消えることは無いと考えられる。そしてこの時に得られた結果により応用研究の個々のイノベーションが推進し、新たな付加価値もつ研究成果の市場への提供につながることが期待される (図 7(b))。



(a) 相互作用が生み出した効果 (応用研究側) (b) 今後期待される効果 (仮説) (応用研究側)
図 7 イノベーションの相互作用 2

6. まとめ

農工大 OPERA では、光科学の最先端テクノロジーを主骨格とし、生命科学・獣医学・農学分野に設定した 6 つのテクノロジーと領域横断的に組み合わせる設計を行ったことで、異なるテクノロジー間で研究を補完的に進捗するイノベーションの相互作用が生まれ、特に主骨格テクノロジーの普及に効果があった。この相互作用は、異なる最終ゴールを持つ複数のプロジェクトが、一つのコア技術をリサーチツールとして活用するという構造に予算が投入されたため、複数のイノベーションモデルが相互に歩み寄り、通常の研究活動では行わない、それぞれの範疇を超えた「ムリ」をしてでも相手方の成果に貢献しようとする姿勢から生まれたものである。革新的イノベーションには「ムリ・ムダ・ムラ」が必要[10]といわれる意見は大学の研究現場にも通じる内容だといえる。このようなコンソーシアムの設計は研究成果の普及を推進する新たな研究体制として有効であると考えられる。

7. 今後の展望

本報告では主骨格テクノロジーであるラマン顕微鏡への効果についてイノベーションモデルを使って明確にできているが、今後応用分野のテクノロジーへの効果が、機器機能の改善を踏まえて予測したとおりに進むのか、および応用分野間の波及効果について調査を進めることにしている。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (JST、OPERA、JPMJOP1833) の支援を受けて実施しました。

参考文献等

- [1] 科学技術振興機構、産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム、<https://www.jst.go.jp/opera/> 2024年9月13日アクセス
- [2] 東京農工大学、“見える”が拓くミライ 命をつなぐ技術コンソーシアム、<https://sp.opera.tuat.ac.jp/> 2024年9月13日アクセス
- [3] S. J. Kline and N. Rosenberg, AN OVERVIEW OF INNOVATION, The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth (1986)
- [4] 渡部 俊也、戦略的アライアンスとしてみた研究開発コンソシアムにおける組織間関係、日本知財学会誌 Vol. 7 No. 2—2010 : 35-44
- [5] 加藤 知彦他、コンソーシアム型研究開発プロジェクトの政策評価 : NEDO 追跡調査の事例分析、研究 技術 計画 Vol. 29, No. 4, 2015
- [6] 新村 和久、オープンイノベーションの Horizon (前編) —コンソーシアム型オープンイノベーションに対する大学の取組—、STI Horizon, Vol. 2, No. 4
- [7] 新村 和久、オープンイノベーションの Horizon (後編) —戦略的提携型オープンイノベーションに対する大学の取組—、STI Horizon, Vol. 3, No. 1
- [8] 原 陽一郎他、イノベーション・モデルに関する考察とその展開、1999年研究・技術計画学会 年次学術大会講演要旨集, 14: 249-254
- [9] 能見 利彦、新たなイノベーション・モデルに基づく産学連携、2006年研究・イノベーション学会 年次学術大会講演要旨集 21: 534-537
- [10] ひらめき」を生む! 『リ・デザイン思考法』がイノベーションを加速する, 立命館大学 ShiRUto 2022年6月17日 <https://shiruto.jp/business/4108/> 2024年9月18日アクセス