

# 博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第 33 号

2026 年 3 月

光産業創成大学院大学

はしがき

本編は学位規則(昭和 28 年 4 月 1 日 文部省令第 9 号)第 8 条による公表を目的として、2026 年 3 月に本学において学位を授与した者の論文内容の概要及び論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は学位規則第 4 条第 1 項(いわゆる課程博士)によるものであり、乙は学位規則第 4 条第 2 項(いわゆる論文博士)によるものであることを示す。

## 目 次

学位番号	学位の種類	氏名	論文題目	頁
甲第 62 号	博士(工学)	池田貴将	Technology Development of a Transfer Plate for Mass Spectrometry Imaging Based on a Platinum-Coated Glass Bead Porous Structure and Multi-Perspective Internal Observation of the Product Development Project Team (質量分析イメージング用途のPt薄膜-ガラスビーズ多孔体=転写プレートの技術開拓およびその製品開発プロジェクトチームの多角的内部観測)	3
甲第 63 号	博士(光産業創成)	柳原悠人	マイクロチャンネルプレートの走査電子顕微鏡への応用と事業化に向けた検討	8
甲第 64 号	博士(光産業創成)	松井克宜	組織内研究者による研究成果の社会実装のための実践的方法論-位置検出に特化したプロファイルセンサを用いたPS モジュールの応用開拓に関する事例研究-	11

氏名	池田貴将
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第 62 号
学位授与年月日	令和8年3月24日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Technology Development of a Transfer Plate for Mass Spectrometry Imaging Based on a Platinum-Coated Glass Bead Porous Structure and Multi-Perspective Internal Observation of the Product Development Project Team (質量分析イメージング用途の Pt 薄膜-ガラスビーズ多孔体=転写プレートの技術開拓およびその製品開発プロジェクトチームの多角的内部観測)
論文審査委員	主査 教授 石井勝弘 教授 増田靖 准教授 横田浩章 准教授 内藤康秀

### 論文の概要

本論文は、質量分析イメージング (mass spectrometry imaging, MSI) の試料前処理を簡略化して MSI を簡便に実施できるようにする前処理用媒体である「転写プレート」に関する技術研究と、転写プレートの製品開発・事業化プロジェクトにおけるチームマネジメントの「多角的内部観測」による分析についてまとめたものである。本論文は、序論 (第 1 章)、新規な転写プレートとなる白金被覆ガラスビーズ多孔体の基礎的検証 (第 2 章)、新規転写プレートを用いた MSI の感度向上に向けた応用技法の検討 (第 3 章)、プロジェクトチームの多角的内部観測 (第 4 章)、結論 (第 5 章) から構成されている。

第 1 章では本研究の背景と目的が述べられている。MSI は質量分析法の高感度特性を活かしながら、異なる分子種の局在を一度に得られるイメージング技術であり、バイオマーカーの特定や薬理作用の解明など医薬分野を中心に多くの成果をもたらしていることが解説されている。現在の代表的な MSI 技法であるマトリックス支援レーザー脱離イオン化 (matrix-assisted laser desorption/ionization, MALDI) -MSI には、試料前処理として薄切とマトリックス塗布が必要であり、それらの作業は難度が高く、特に薄切の適用の可否は測定可能なサンプルを強く制限していることが、MALDI-MSI の課題として述べられている。さらに、MALDI-MSI の試料前処理で薄切に代わるアプローチとなる転写手法に使用する前処理用媒体に関する先行研究が整理されている。また、本研究の着手に至るまでの経緯として、試料前処理でのマトリックス塗布が不要な MSI 技法である表面支援レーザー脱離イオン化 (surface-assisted laser desorption/ionization, SALDI) -MSI を薄切試料について実現した MSI 用媒体である「DIUTHAME」を申請者の所属企業が製品化し、ユーザーからの要望を受けて転写手法による薄切の代替を試みたが、強度不足により転写に適用できなかったため、申請者が中心となって転写専用の媒体「転写プレート」の製品開発と事業化を目指したことが述べられている。この研究背景を踏

まえて、研究目的を

- ・新規転写プレートの原理実証とその応用技法の開発（技術研究の目的）
- ・製品開発における実践知や動機づけの変遷の分析（経営研究の目的）

に設定している。

第2章では新規転写プレートとして開発した最表面を白金薄膜で被覆したガラスビーズ多孔体の基礎的な検証について述べている。実用的な転写専用媒体であるためには、転写時の機械的作用に耐える強度を持つことに加え、MALDI-MSI で一般的な飛行時間型質量分析計（time-of-flight mass spectrometer, TOFMS）にも適合する必要がある。ガラスビーズ多孔体の堅牢性および吸水性などの諸特性は様々なサンプルの転写を可能にし、また、白金薄膜は転写プレートに TOFMS で求められる導電性とマトリックス塗布が不要な SALDI 機能を同時に付与するということが、新規転写プレートのコンセプトとして述べられている。すなわち、MALDI-MSI における薄切とマトリックス塗布という前処理が、新規転写プレートを用いた SALDI-MSI では転写のみに集約できると予測している。その検証において、ポリエチレンテレフタレート（polyethylene terephthalate, PET）フィルム上に形成した添加剤のシミを乾燥サンプル、イチゴ割断面を湿潤サンプルとして選定し、異なるサンプル特性に対する新規転写プレートの実用性を評価したことが述べられている。その結果、乾燥サンプルの添加剤成分および湿潤サンプルのイチゴ代謝物成分のいずれの局在情報も、空間分解能 200  $\mu\text{m}$  の MSI 画像として明瞭に得ることに成功し、新規転写プレートはサンプルの乾湿状態を問わず有効に適用できることが実証されている。

第3章では、新規転写プレートとマトリックス塗布を組み合わせた応用技法の検討が述べられている。第2章で原理実証した新規転写プレートは断片化しやすい分子を検出対象にした場合に MSI の感度が不十分になるため、第3章ではそれを解決すべき課題としている。MALDI-MSI は断片化しやすい分子も検出できるので、MALDI-MSI で確立されているマトリックス塗布技術を新規転写プレートと組み合わせることにより、薄切不要の MSI 技法として提案できると考えて、新規転写プレートの応用技法として検討している。イチゴ割断面の代謝物成分を検出対象にした MSI で新規転写プレートとマトリックス塗布を併用し、その結果として、新規転写プレートのみでは検出されなかったアントシアニン配糖体の分子が断片化することなく検出され、そのときの空間分解能に有意な変化は生じなかったことが示されており、新規転写プレートとマトリックス塗布を組み合わせた応用技法は薄切不要の MSI 技法として有効であることが実証されている。

第4章では「多角的内部観測」という新たな観測手法により、製品開発プロジェクトで生じた実践知や動機づけの変遷を経営学的に分析した結果が述べられている。多角的内部観測とは、チームメンバーによる所属チームの内部観測を意味し、グループディスカッションをベースとした分析手法である。この手法を、申請者を含むプロジェクトチームに適用し、製品開発に不可欠な実践知（コミュニケーション、試行サイクルの加速）を獲得しチームが変遷する過程が見出されている。また、この観測行為自体が、チーム全員を動機づけるマネジメント手法として機能したことも同時に示されている。本研究で提案する多角的内部観測とその具体的なアプローチは、本プロジェクトのみならず様々なチーム活動の質的研究に応用可能であると主張している。

第5章では本論文の結論が述べられており、技術研究目的に対応した新規転写プレートの技術開発

については、レーザーを用いた質量分析技術に新たな応用を提示するもので、光技術のさらなる発展と社会貢献を企図していると結論付けている。また、経営研究目的に対応した多角的内部観測による実践知の抽出過程および動機づけ作用については、様々な製品開発現場に応用できる経営学的な質的研究モデルを新たに提示するものであると結論付けている。加えて、新規転写プレートの技術を製品化してビジネスを開始する過程は新事業創成を目指した実践そのものであると述べている。

### 審査結果の要旨

本論文が工学における研究対象としている質量分析イメージング (MSI) は、バイオマーカーの特定や薬理作用の解明など医薬分野を中心に多くの成果をもたらしている重要なイメージング技術である反面、その代表的技法であるマトリックス支援レーザー脱離イオン化 (MALDI) -MSI には、薄切やマトリックス塗布といった高難度の試料前処理が要求される。したがって、MSI の試料前処理を簡略化して MSI を簡便に実施できるようにする本研究の取組みには十分な工学的意義がある。本研究では薄切の代替となる転写専用の前処理用媒体である「転写プレート」に関する技術研究が行われている。また、この転写プレートはマトリックス塗布も不要にできる表面支援レーザー脱離イオン化 (SALDI) の機能を備えている。

薄切の代替法としての転写は新しい手法ではなく、MALDI-MSI の試料前処理における転写は以前から行われている。しかし、凍結試料の薄切とマトリックス塗布が試料前処理のデファクトスタンダードとなっている MALDI-MSI では、転写手法について検出対象成分の範囲や測定の実現性に関して懐疑的な見方が主流であった。転写は標準的な試料前処理の適用を免れるための妥協的手段であるという従来の認識から、転写専用媒体の研究開発は見過ごされてきた感がある。その一方で、近年の MSI の用途の拡がりを受けて、水分を多く含むため凍結させると氷晶により組織が破壊される植物サンプルなど、標準的な試料前処理が適用できない性状や形態のサンプルを扱う MSI において転写の意義が高まりつつある。このような研究動向の中で、本研究は初めて工業製品化が可能な転写専用媒体を本格的に研究開発する取組みとして位置づけられる。

また、SALDI 用媒体上で MSI を実施するためにサンプルを SALDI 用媒体に転写する試みも以前から行われているが、申請者の所属企業における「DIUTHAME」の事例がまさにそうであるように、SALDI 機能を重視して設計された試料前処理用媒体は転写の適用を設計当初から考慮していないため、転写との相性に優れた SALDI 用媒体は未だ登場していない。本研究における転写プレートは、転写の適用を前提として開発された SALDI 用媒体であることが他に類を見ない際立った特色となっている。一方、マトリックスを必要としない SALDI の有用性として、前処理を簡略化するだけでなく、マトリックス由来イオンの干渉を受ける低質量領域の検出対象成分を MALDI よりも明瞭に検出できることが重要視されつつあり、近年、SALDI の研究開発が再び活発になっている。SALDI による検出が有利となるような低分子を関心の対象とする MSI の用途にはサンプルの薄切が困難な場合も多く、その点でも SALDI-MSI で薄切を不要にできる本研究の意義は極めて高い。

第 2 章で述べられている白金被覆ガラスビーズ多孔体は、SALDI 機能を備えた転写専用媒体として申請者が独自に開発した転写プレートである。この転写プレートについてまずは、試料前処理のデファクトスタンダードから外れた手法という転写に対する MSI 研究コミュニティの低い評価を覆す必要

があった。そのため、第 2 章で述べられている転写プレートの基礎的検証では、転写プレートの実用性に加えて信頼性の証明に重点が置かれている。実際の利用場面を想定した乾湿の典型的サンプルについて、転写プレートを用いた簡便な前処理で、主要な関心対象成分の局在情報を含む SALDI-MSI 画像データが十分な再現性を伴って得られることを実証し、転写プレートが信頼に足る技術であることを科学的に証明している。なお、第 2 章と続く第 3 章で述べられている一連の検証実験は申請者が主体的に実施したものであり、転写プレートの開発と基礎的検証が第 2 章から見出される申請者自身の工学分野における学術的貢献である。第 2 章の内容は英文の査読付き投稿論文として国際的な質量分析専門誌 (Rapid Communications in Mass Spectrometry) に採択・掲載されており、転写プレートの社会的証明として事業化の推進に寄与している。

第 3 章で述べられている転写プレートとマトリックス塗布の組み合わせは、おそらく大学などのアカデミアでは着眼に至らないであろう、産業界の研究者ならではの実利的な発想といえる。断片化しやすい分子を壊さずにイオン化できるソフトイオン化は、SALDI 研究でも常に追求されてきたテーマである。正統的な SALDI 研究の考えに従えば、断片化しやすい分子を検出対象にした場合の MSI の感度向上は、転写プレートの SALDI 機能の改良によって目指すことになる。しかし、申請者はユーザーと直接対話しながら転写プレートの事業化を推進してきた経験の中で、MSI ユーザーにとってソフトイオン化の要望と同時にマトリックス塗布よりも薄切が前処理における決定的な障壁となっている実態を見出し、転写プレートを用いた MALDI-MSI を現実的な解決策として捉えることができた。それでも、転写プレートとマトリックス塗布を組み合わせると MALDI-MSI を実現できることは自明ではない。第一に、転写プレート表面でマトリックス溶液の拡散とともに検出対象成分も拡散し、空間分解能が低下するおそれがある。第二に、検出対象成分と共晶化するマトリックスの微結晶形成が転写プレート表面構造により阻害され、イオン化効率が低下するおそれがある。したがって、転写プレートを用いた MALDI-MSI の有効性を実験で実証する必要がある。実証実験の結果は、転写プレートを用いた MALDI-MSI では断片化しやすい分子が感度良く検出されており、加えて SALDI-MSI と同等の空間分解能と再現性が達成されていた。これは工学分野における学術的新知見である。第 3 章の内容は英文の査読付き投稿論文として国際的な質量分析専門誌 (Journal of Mass Spectrometry) に採択・掲載されている。また、この有効性が実証された薄切不要の MSI 技法は、転写プレートの用途を飛躍的に拡大し、事業化の推進に大きく寄与している。

第 4 章で述べられている「多角的内部観測」は申請者が独自に定義し方法論化した組織分析の手法であり、この分析手法自体と、申請者自身がリーダーとして遂行した製品開発プロジェクトのチームマネジメントを分析したケーススタディ、およびこの手法がメンバー全員を動機づけるチームマネジメントの効果を持っていたことの発見、そのいずれも経営学的研究成果として評価できる。第 4 章の内容の一部は経営情報学会東海支部の研究会で発表されており、優秀賞に表彰されている。また、第 4 章の内容と第 5 章の事業実践の項から読み取れる事業実践活動の内実は、申請者が本学の博士号授与者として相応しいことを表している。

第 5 章の記述内容からは、本研究で目的に対応した結論が得られていること、および本研究が光産業の創成に寄与するものであることを確認できる。

国際的な質量分析専門誌に掲載された上記 2 報の、申請者が筆頭著者あるいは単著である査読付き投稿論文（英文）は、内容が独立しており、それぞれが工学分野における十分な学術的意義を有している。また、本研究に関連して国際学会で 5 件の発表を行っており、国内学会発表は多数あるほか、申請者を発明者として 11 件の特許出願が公開されている。

本論文の公聴会においては、すべての質疑に対して明瞭かつ的確な応答がなされている。また、本論文は英語で書かれているが、審査コメントで指摘された点について修正がなされていることを確認している。

以上により、本論文が本学の学位規則および関連する内規等の基準を満たしていることを確認するとともに、全員一致で博士（工学）の学位授与に値すると判定した。

氏名	柳原悠人
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第 63 号
学位授与年月日	令和8年3月24日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	マイクロチャネルプレート の走査電子顕微鏡への応用と 事業化に向けた検討
論文審査委員	主査 准教授 内藤康秀 准教授 沖原伸一郎 教授 石井勝弘 筑波大学数理物質系特任教授 関口隆史

### 論文の概要

本学位論文の目的は、マイクロチャネルプレート (MCP) 事業の売上拡大と事業基盤の強化を図ることである。そのために、MCP を走査電子顕微鏡 (SEM) に応用し、低加速条件下における新たな検出手法を実証するとともに、その事業化可能性を技術面・市場面の両側面から検討した。

MCP は、暗視装置、質量分析装置、X線光電子分光装置 (XPS) などに広く用いられている代表的な電子増倍素子であり、電子や光の微弱信号を高感度で検出できる特長を有する。一方で、SEM 分野における MCP の採用例は限定的であり、SEM の装置市場規模に比して MCP 事業の未開拓領域が大きい。本研究では、特に 1~3 kV の低加速 SEM に着目した。低加速条件では、50 eV~1 keV 程度の低エネルギー反射電子 (BSE) を検出したときの信号が観察対象の形状情報と材料情報を多く含んでいるが、BSE 検出器として従来広く用いられているシリコンフォトダイオード (Si-PD) はこのエネルギー帯に対する感度が低く、十分な信号取得が困難である。この低エネルギーBSE 検出の課題は MCP によって解決し得ると考えた。

第 1 段階として、検出面を下向きにして既存の電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) に実装可能な「倒立型 MCP 検出器」を設計・試作した。前段にバイアスグリッドを配置し、その電位を段階的に変化させることで、同一視野・同一ビーム条件のまま、二次電子 (SE)、低エネルギーBSE、高エネルギーBSE の成分を分離取得できる構成にした。1 kV 低加速条件下での比較実験では、Si-PD がほとんど感度を示さない条件でも、MCP は十分な信号を検出できることを確認した。また、Al/Si ウォーターマーク試料の観察により、低エネルギーBSE 像において薄膜下構造が明瞭に可視化されることを示し、低加速 SEM における新たな情報抽出の可能性を実証した。

第 2 段階として、電子の放出方向が像コントラストに与える影響を評価するため、複数の MCP を正十二面体状フレームに配置した角度分解検出系を設計・試作した。異なる放出方向の SE と BSE の信号を個別に取得することで、形状コントラスト、組成コントラスト、三次元形状情報が放出方向に依存して変化することを示した。これにより、従来一体的に扱われてきた信号成分を、エネルギーおよび角度の観点から分解評価できる可能性を示した。

さらに、装置メーカーへのヒアリングおよび市場調査を通じて、SEM 向け MCP 検出モジュールの

事業化条件を整理した。主な課題は、寿命、メンテナンス性、高電圧電源およびアンプを含む一体モジュールとしての扱いやすさである。これに対し、高電圧電源とアンプを含む「共通コアモジュール」を各社 SEM に治具で適合させる構成を提案し、導入台数とオプション付加率を仮定した売上シナリオを提示した。これにより、技術的成立性だけでなく、事業ポートフォリオ上で意味を持つための導入規模の指標を明確化した。

以上より、MCP 事業の売上拡大と事業基盤の強化を、技術面と事業面の両方から進めた。技術面の成果としては、MCP を用いた SEM 検出系が低エネルギー反射電子および放出方向情報を実機レベルで取得可能であることを示した。事業面の成果としては、装置メーカーへのヒアリングと市場分析を通じて、SEM 向け MCP 検出モジュールの技術要件（寿命・一体化設計）と事業成立条件を整理し、共通コアモジュール構想と売上シナリオを提示した。

### 審査結果の要旨

本論文は、マイクロチャネルプレート（MCP）を走査電子顕微鏡（SEM）に応用し、低加速条件下における新たな電子検出手法を実証するとともに、その事業化可能性を技術面および市場面の両側面から検討したものである。

低加速（1～3 kV）SEM では、50 eV～1 keV 程度の低エネルギー反射電子（BSE）が観察対象の形状や材料に関して情報量に富んだ信号を与えることが知られているが、BSE 検出器として従来主流であるシリコンフォトダイオード（Si-PD）はこのエネルギー帯域に対する感度が低く、十分な信号取得が困難であるという課題があった。申請者は、MCP の高い電子増倍特性に着目し、既存の電界放出型 SEM に実装可能な倒立型 MCP 検出器を設計・試作した。検出面の前段にバイアスグリッドを配置し、その電位を制御することで、同一視野かつ同一の一次電子ビーム条件下において二次電子（SE）、低エネルギー-BSE、高エネルギー-BSE の成分を分離取得できる構成を実現している。これまで十分に活用されてこなかった低エネルギー-BSE を実機レベルで取得可能とした点は重要な技術的成果であり、さらに単一検出器でエネルギースペクトルの全領域にわたる分光電子像を取得できるようにしたことも特筆すべき技術的成果である。

申請者は実機による比較実験を実施し、Si-PD では検出困難な 1 keV 低加速条件においても MCP が十分な信号を取得できることを示した。その内容は申請者を第 1 著者とする査読付き短報論文として日本顕微鏡学会の英文誌（Microscopy）に採択・掲載されている。さらに Al/Si ウォーターマーク試料の観察により、低エネルギー-BSE 像が薄膜下構造の可視化に有効であることを実証した。本研究により、低加速 SEM における新たな情報抽出手法として、倒立型 MCP 検出器を用いた低エネルギー-BSE 検出の有効性が明確に示された。

さらに申請者は、電子放出方向が像コントラストに与える影響を評価するため、複数の MCP を正十二面体状に配置した角度分解検出系を設計・試作した。放出方向が異なる SE や BSE の信号を個別に取得することで、形状コントラストや組成コントラストが放出方向に依存して変化する観察結果を得た。この角度分解検出は、現時点ではまだ低加速条件での電子信号による有効な像取得には至っていないが、従来一体的に扱われてきた電子信号をエネルギーおよび角度の観点から分解して評価することの重要性を提示している。この成果は、SEM 検出技術に対する新たな視点を与えるものとして学術

的にも意義があり、申請者を第1著者とする査読付き論文として日本顕微鏡学会の英文誌(Microscopy)に採択・掲載されている。

事業化可能性の検討においては、装置メーカーへのヒアリングおよび市場分析を通じて、SEM向けMCP検出モジュールの事業成立条件を整理している。寿命、メンテナンス性、高電圧電源・アンプを含む一体モジュール設計といった技術課題を明確化し、共通コアモジュール構想および導入台数と付加率に基づく売上シナリオを提示している点は、研究成果を社会実装へ接続する具体的提案として高く評価できる。

以上により、本論文が本学の学位規則および関連する内規等の基準を満たしていることを確認するとともに、全員一致で博士(光産業創成)の学位授与に値すると判定した。

氏名	松井克宜
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第 64 号
学位授与年月日	令和8年3月24日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	組織内研究者による研究成果の社会実装のための実践的方法論-位置検出に特化したプロファイルセンサを用いた PS モジュールの応用開拓に関する事例研究-
論文審査委員	主査 教授 藤田和久 教授 石井勝弘 助 教 林寧生 教 授 増田靖

### 論文の概要

本論文は、組織内研究者（以下、「研究者」という）である申請者が自ら手掛けた研究開発成果の社会実装を目指した実践と、その実践に関する研究について論じたものである。

申請者は、所属する企業内研究所で長年光技術の研究開発に携わり、自ら手掛けた研究開発成果を社会実装し、人類社会の平和と発展に貢献することが大きな夢であると同時に義務でもあると感じている。しかし現実的に研究開発成果が社会実装される例は非常に少ない。その原因の 1 つに、研究者の「社会実装に対する意識の低さ」があると言われている。これは大きな要因と考えられるが、一方で「社会実装の実践の具体的な方法論やメカニズム」といったものは示されておらず、また「社会実装を実践する研究者が持つべき具体的な意識や取るべき具体的な行動」も明らかにされていない。

そこで、申請者は、自ら手掛けた研究開発成果の社会実装を実践するために、「研究者がどのような意識を持ち、どのような行動を起こす必要があるのか、および、その意識を持ち行動を起こすためには何が必要なのかを明らかにすることで、社会実装の実践の方法論とメカニズムを見出すこと」を研究目的とした。そして、その目的を達成するために、社会実装を実践する実務者自身がその実践を研究するという「実務者＝研究者」の視座に立つ内部観測法を採用している。

本論文は、10 章で構成されている。

第 1 章では、研究の背景として、日本における社会実装の現状と、社会実装という用語は日本で造語されたものであることを論じている。次に、上記の研究目的を述べたあと、研究方法について、実践事例の観測と記述および分析と考察の観点から概要を記述している。

第 2 章では、まず研究成果の社会実装に関する海外と日本の先行研究を概観した結果、本論文で解明を目指す社会実装の方法論やメカニズム、あるいは研究者に求められる意識や行動などについて十分に研究されていないことを指摘し、そして、先行研究における定義を踏まえ、「社会実装」を「研究開発成果を適用可能な社会課題の解決に展開することで社会貢献すること」と定義している。次に、本論文で社会実装の実践における主要構成要素と仮定する、「実践共同体」と「語り」行為の基本概念を整理している。これらは、分析の概念枠組みとして用いられている。さらに、実務者＝研究者に関する

先行研究も紹介している。

第3章では、申請者が派遣元企業で行った研究開発の成果である「プロファイルセンサモジュール（以下、「PSモジュール」という）について、核となるプロファイルセンサの技術的背景や特性から、PSモジュールの構造と性能まで詳述している。

第4章では、申請者の実践の中で、PSモジュールの応用可能性が見出された3つの事業領域（眼圧計、レーザ加工機、レーザ核融合）における事業化の価値を判断するために、それぞれの市場規模を予測している。

第5章では、研究方法について述べている。まず、調査対象である、Z社の中央研究所、光産業創成大学院大学（以下、「光産創大」という）、そして主要な調査対象者とその実践共同体について概要を記している。次に、現場調査手法として、内部観測法（観測）とセルフエスノグラフィ（記述）を用いることを述べている。さらに、分析の概念枠組みとして、先に挙げた「実践共同体」と「語り」行為のほかに、「エフェクチュエーション」と「ACDP (Action, Communication, Dialogue, Practice)」サイクルについて詳述している。

第6章では、申請者が2023年3月（光産創大入学前）から2024年8月までのおよそ1年6か月に亘り、研究開発成果の社会実装を目指した実践における出来事を時系列で記述している。

第7章では、「どのような行動を起こしたのか」という観点から、第一の実践事例分析を行っている。ここでは、眼圧計の事例、レーザ加工機の実例、プロジェクトAの実例それぞれに対して、「エフェクチュエーション」と「ACDP」サイクルの概念枠組みを用いて分析している。その結果、エフェクチュエーションの5つの原則に即した、自ら考え自ら行動を起こす「起業家的行動」が必要であることを明らかにしている。

第8章では、「どのような意識に変容したのか」という観点から、第二の実践事例分析を行っている。ここでは、プロジェクトAの実例に対して、「実践共同体」と「語り」行為の概念枠組みを用いて詳細に分析している。その結果、研究者は「研究開発した技術は社会実装すべき技術である」という社会への貢献意識を持ち、その思いについて「語り始める」ことが必要であることを明らかにしている。また、研究目的における2つ目の「その意識を持ち行動を起こすためには何が必要なのか」という観点から、研究者は自身が所属する実践共同体において所持しない機能をもつ別の実践共同体に新たに正統的周辺参加し、その実践共同体においては研究者に寄り添い共に伴走するメンターがいる必要があることを明らかにしている。さらに、第9章で、社会実装の実践の方法論として、まとめられる8つの理論的かつ実践的含意を見出している。

第9章では、第7章と第8章に対する考察を行い、以下に示す「社会実装の実践の方法論」と「メカニズム」を明らかにしている。

・社会実装の実践の方法論

- ① 「語り合い」のモードに陥った実践共同体からは、社会実装は生まれてこない。
- ② 新しい実践共同体への参加は、意識と行動が変容する契機となる。
- ③ 社会実装の第一歩は、「研究開発した技術は社会実装すべき技術である」という社会への貢献意識を持ち、その思いを「語り始める」ことである。
- ④ 社会実装の初心者には、共に伴走するベテランのメンターが必要である。

- ⑤ 「(語られる)もの」を媒介させつつ、相互応答性のある「語り」行為である「語り合せ」を行うことが重要である。
- ⑥ 「語り合せ」に代表される「語り」行為を続けていくことで意識と意味は変容連鎖し、その『(語られる)もの』(=研究開発された技術)が持つタイミングで、研究開発された技術の社会実装が「語り作られる」。
- ⑦ その新たな具体的な未来を生み出す「語り作り」が、その未来を実現する実践共同体を生成する。
- ⑧ 社会実装は、社会実装への思いを「語り始め」ない限り実現しない。

・社会実装の実践のメカニズム

「まず、研究者が思いを「語り始め」、関係者と「語り合せ」を行い、新しい実践を「語り作る」という一連の「語り」行為から、新たな「実践共同体」が生成され、その実践から「社会実装」が実現する」さらに、第8章で見出された「語り始め」という新しい「語り」の複合的モード(現在から未来へ)を明確に概念規定することで、「語り」論の概念枠組みを理論的に拡張している。最後に、申請者とその所属機関である企業研究所がともに「社会実装を実践できる組織」へと生まれ変わっていくために必要な実践的含意を提示している。

第10章では、各章のまとめのあと、研究目的に対する結果を総括している。研究目的に掲げた対象は、いずれも明確に見出され、特に8つの理論的かつ実践的含意から構成される「社会実装の実践の方法論」と「メカニズム」を見出したことについて学術的意義を述べている。最後に、今後の課題と、光産業への貢献と展望を論じている。

### 審査結果の要旨

日本では、公的・民間を問わず、研究開発機関における研究開発成果が円滑に社会実装されないことは、これまで多く指摘されている。研究開発成果の社会実装が進まないのには、さまざまな原因があるであろうが、大きな原因の1つとして、研究者の「社会実装に対する意識の低さ」が指摘されている。経営学において理論と実践の乖離問題があるように、研究開発における研究と社会実装の乖離問題があるということである。「研究のための研究」となってしまう、その成果を社会課題の解決につなげようという意識になっていないということであろう。この問題は、科学技術研究開発の研究者だけでなく、経営実践や社会実装を研究する研究者にも言える。実際、「研究者がもっと社会実装を意識すべきである」と主張する研究はあっても、「社会実装を実践する研究者が持つべき具体的な意識や取るべき行動」、あるいは「社会実装の実践の具体的な方法論やメカニズム」を提示している研究はほとんど行われていないのが現状である。

そうした状況の中で、申請者は、自ら手掛けた研究開発成果の社会実装を実践するために、派遣元企業から、本学へ派遣された。そこで、申請者は「研究者がどのような意識を持ち、どのような行動を起こす必要があるのか、および、その意識を持ち行動を起こすためには何が必要なのかを明らかにすることで、社会実装の実践の方法論とメカニズムを見出すこと」を研究目的として、社会実装を実践する実務者自身がその実践を研究するという「実務者=研究者」の視座に立つ内部観測法による実践的現場研究を行った。その結果、「論文概要」で述べた成果を上げている。

本論文の功績は、次の通りである。

第一に、「どのように行動したのか」の観点からの現場研究から、社会実装を目指す研究者は、エフェクチュエーションの5つの原則に即した、自ら考え自ら行動を起こす「起業家的行動」が必要であることを提示した。これは、何をやればいいのかわからないでいる研究者に有益な指針を与えるものである。これは、本論文の実務的貢献といえる。

第二に、「どのような意識に変容したのか」という観点から、社会実装を目指す研究者は、「研究開発した技術は社会実装するべき技術である」という社会への貢献意識を持ち、その思いについて「語り始める」ことが必要であることを提示した。これは、日常研究者仲間で研究開発成果について既に了解済みの技術的な内容を「語り合っ」ている研究者に対して、意識変革の契機を提供するものである。これも、本論文の実務的貢献である。

第三に「その意識を持ち行動を起こすためには何が必要なのか」という観点から、研究者は自身が所属する実践共同体において所持しない機能をもつ別の実践共同体に新たに正統的周辺参加し、その実践共同体においては研究者に寄り添い共に伴走するメンターがいる必要があることを導き出した。特に、社会実装の実践に精通したメンターが必要であるとの指摘は、本論文が提唱する社会実装の実践の実効性を高めるものであり、この知見も実務的貢献といえる。

第四に、総合的考察から、「社会実装の実践の方法論とメカニズム」を明らかにした。論文概要で記したため、ここでは再度記載しないが、現場研究から見出された「社会実装の実践の方法論」を構成する、8つの理論的かつ実践的含意は、いずれも具体的かつ実践的であり、なにをやっているかわからない研究者に、自らの研究開発成果の社会実装の道へと一歩踏み出す勇気を与える指針となっている。大きな実務的貢献である。また、「社会実装の実践のメカニズム」は、語り（言葉・概念）が行動を生み、行動が語り（言葉・概念）を生む現象が生成されながら、つまり、語り（言葉・概念）と行動がもつれながら、実践共同体が生成され、その先に社会実装が現象するという現実を端的に表現している。これも実務的貢献である。この「社会実装の実践の方法論」の構築と「社会実装の実践のメカニズム」の解明は、先行研究である社会実装論、実践共同体論、そして「語り」論をそれぞれ理論的に拡張したことを含意する。これは、本論文の大きな学術的貢献である。

第五に、研究者による社会実装への思いを「語り始める」ことの重要性を指摘する際に、「語り始め」という「語り」のモードを導出した。「語り始め」という「語り」のモードは、新しい「語り」の複合的モード（現在から未来へ）であり、「自らの意識に基づきその思いを語ることで、新たな未来へと進み始める契機となる『語り』のモード」である。これにより、本論文は、「語り」論の概念枠組みを理論的に拡張している。このことも、本論文の学術的貢献である。

第六に、申請者と派遣元の企業内研究所がともに「社会実装を実践できる組織」へと生まれ変わっていくために必要な実践的含意を提示した。まず申請者が本学において、研究開発成果の社会実装の実践の方法論とメカニズムを言語化および体系化し、「ブローカー」としてその経験を企業内研究所へ持ち帰る。そして、企業内研究所において、申請者自身が新たな「メンター」となり、後進たちのきめ細やかなサポートを行う。そうすることで、企業内研究所をこれまでとは異なる新たな実践共同体に変容させる可能性を提示している。この提言も、本論文の大きな実務的貢献である。

以上の学術的・実務的功績のほかに、申請者は自ら手掛けた研究開発成果の社会実装を目指した実践の中で、3つの事業領域（眼圧計、レーザ加工機、レーザ核融合）において、PSモジュールの応用

可能性を見出し、それぞれの市場規模を予測することで、それぞれの事業化の価値を提示している。さらに、2つの領域では、共同研究を開始し、1つの領域では、協働に向けた協議を継続している。それらが将来実際に社会実装に至ったなら、その成果は派遣元企業の発展に大きく寄与するものであろう。本論文で述べられた申請者の実践は、本学の建学の精神に則ったものであり、高く評価に値するものである。

本論文の学術研究成果としては、The Journal of Organization and Discourse 査読付き論文1編がある。また本論文の公聴会においてはすべての質疑に対して明瞭かつ的確な応答がなされた。以上により、本論文が本学の学位規則および関連する内規等の基準を満たしていることを確認するとともに、全員一致で博士（光産業創成）の学位授与に値すると判定した。