

博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第 26 号

2022 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、2022 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 49 号	博士(光産業創成)	鈴木那津輝	定量位相顕微鏡の事業化に向けた 技術開発とビジネス戦略	3
甲第 50 号	博士(光産業創成)	長谷川正仁	光技術を基盤としたバイオサイエ ンスシステムおよびスポーツ科学 システムの開発と経営デザインを 踏まえた起業実践	6
甲第 51 号	博士(光産業創成)	安田浩一郎	レーザーによる微細複雑形状加工に おけるパルス挙動の定量可視化 と加工能率向上および産学連携を 成功に導く実践共同体の事例研究	10

氏名	鈴木那津輝
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第 49 号
学位授与年月日	令和4年3月23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	定量位相顕微鏡の事業化に向けた技術開発とビジネス戦略
論文審査委員	主査 講師 平野美奈子 准教授 姜理恵 教授 石井勝弘

論文の概要

本論文は、定量位相顕微鏡(Quantitative Phase Microscopy、以下 QPM)の事業化に向けて行った技術開発とビジネス戦略をまとめたものである。QPM とは、光干渉計測技術を用いた顕微鏡であり、測定サンプルの光学厚さをナノメートルオーダーで取得することができる技術である。

申請者の事業実践の目標は、所属企業の研究所で開発された QPM 技術を申請者が所属する事業部の事業として立ち上げることである。はじめに、試作機開発と市場調査を開始したところ、「光学調整や操作に熟練した技術が必要なため、広く普及させることが難しい」、「所属企業が目指すべき明確な市場のニーズが把握できていない」、「競合他社が数多く存在する」という事業化に向けた3つの課題が明らかになった。博士論文の目的は、これら3つの課題を解決することであり、「装置の使いやすさと安定性を向上させるための自動化技術の開発」、「所属企業が目指すべき市場ニーズを明らかにし、そのニーズに適合した QPM の開発」、「QPM 事業の競争優位性を高めるためのビジネス戦略の立案」である。

第2章では、QPM の基礎である光干渉計測技術について詳しく述べた後、所属企業の研究所での QPM の研究開発内容と QPM の課題を説明している。

第3章は、QPM の使いやすさと安定性を向上させるための自動化技術開発について述べている。QPM の光学系に焦点可変レンズ(Focus Tunable Lens、以下 FTL)を導入することで、コヒーレンスゲートと幾何学的フォーカス位置を分離する新たな手法を提案し、フォーカス移動しても常に干渉縞が得られるようにした。これにより、従来はフォーカス調整のたびに必要であった物体光路の光路長の再調整が不要となり、FTL による自由なフォーカス位置の変更を可能として、装置の使いやすさを大幅に向上させた。FTL によるフォーカススキャン範囲は、 $-200 \sim +300 \mu\text{m}$ であり、応答速度は 10 ms 程度である。さらに QPM システムの保持機構に両持ち構造を適用することで、振動ノイズを低減し、除振台なしの環境で高品質な位相画像の安定した計測を実現している。開発した QPM を用いて、水中に浮遊するポリスチレンビーズおよびヒト乳がん細胞の位相画像取得を行い、性能の確認も行っている。

第4章では、工業向け QPM の開発について述べている。QPM 開発は主にバイオ向けとして進められていたが、バイオ向けアプリケーションの早期事業化が難しいと判断し、所属企業の事業部がつながりをもつ半導体向けの検査応用を検討した。まず、目指すべき市場ニーズを明らか

にし、そのニーズに適合した QPM を開発するため、QPM の要求仕様について半導体外観検査装置メーカーにヒアリングを実施した。その結果、「顕微鏡鏡筒と QPM 光学系の分離」、「カメラの最大フレームレートでの高速撮像」、「撮像した画像のリアルタイム処理」、「光学調整機構の電動化」の 4 つの要求が示された。1 つ目の要求に対しては、干渉計のみを分離した QPM ユニットを開発した。2 つ目の要求に関しては、 piezoアクチュエーターによる位相シフトの高速化手法を開発し、1 秒間に 160 回の高速な位相シフトを達成した。3 つ目の要求に対しては、画像処理プログラムをマルチスレッド化し、撮像に対してリアルタイムで画像処理を可能とした。最後の要求に対しては、自動化技術の開発として、光学系の調整機構をステッピングモーターによって電動化し、高画質な位相画像の取得に必要不可欠である干渉縞コントラストの最適化が容易に実施できるようにした。これらにより顧客の要求にあう QPM ユニットを開発し、現在は製品化を進めている。さらに、QPM ユニットの半導体デバイス・ウエハーの適用性についても評価している。

第 5 章では、事業の競争優位性を高めるためのビジネス戦略の立案を目的に、ハーマン・サイモン氏が提唱した「隠れたチャンピオン」の基本戦略に基づき、ターゲット市場の絞り込み、ポジショニング分析、バリューチェーン分析を行い、それらの結果を集約して QPM のビジネスモデルを作成した。ビジネスモデルの内容は、干渉計のコア部である QPM ユニットをパートナー企業である半導体外観検査装置メーカーに販売し、パートナー企業から QPM ユニットを搭載した検査システムをエンドユーザーに販売するというものである。このビジネスモデルにおける価値提案は、半導体ウエハー・チップに対するナノメートルオーダーの欠陥・キズ検査の低コスト化である。そして、QPM ユニットの独自の強みは、コア技術である QPM の製品設計技術と製造技術に注力することで製品品質を高めていくことである。

第 6 章では、本論文の総括を行い、今後の展望を述べている。3 つの研究目的の達成によって、QPM 事業の立ち上げに対しての第一歩を踏み出すことができた結論付けた。

審査結果の要旨

本博士論文の大きな目的は、定量位相顕微鏡(Quantitative Phase Microscopy、以下 QPM)の事業を立ち上げることにある。つまり、そのための事業実践活動が主要なテーマである。さらに、QPM 開発において、干渉計のコヒーレンスゲートと幾何学的フォーカス位置を分離する新たな光学的手法の提案、開発、実証を行っており、学術的にも重要な成果を上げている。

新規事業を立ち上げ、事業を多角化することによって新たな収益源を生み出し長期的な成長をもたらすという所属企業の事業部の喫緊の課題があった。それに対して、申請者は新規事業候補の探索から始めている。事業部の SWOT 分析を行い、所属企業の研究所で行われている研究・開発テーマから事業部と親和性が高い技術として、QPM 技術を選択した。次に、初期の試作機開発と、担当研究者へのヒアリングから事業化に向けた問題点の抽出を行い、事業化に向けて取り組むべき課題、「装置の使いやすさと安定性を向上させるための自動化技術の開発」、「所属企業が目指すべき市場ニーズを明らかにし、そのニーズに適合した QPM の開発」、「QPM 事業の競争優位性を高めるためのビジネス戦略の立案」を明らかにしている。これらの初期の活動も事業実践活

動として評価に値する。

バイオ向け QPM の開発においては、「装置の使いやすさと安定性を向上させるための自動化技術の開発」の課題に対して、QPM の調整が難しく高度な光干渉計の知識を必要とすることが事業化への大きな障壁であり、それを解決する手段としては干渉計のコヒーレンスゲートと幾何学的フォーカス位置を分離することが有効と考え、焦点可変レンズ(Focus Tunable Lens、以下 FTL)を用いる新たな干渉光学系を提案している。この方法は、採用しているリニク干渉計では、初めて実現された光学系であり、光学的な新規性は高い。かつ、従来はフォーカス調整のたびに必要であった物体光路の光路長の再調整を不要とし、FTL による自由なフォーカス位置の変更が可能となった。フォーカス調整は通常の顕微鏡と同様に行うことができ、装置の使いやすさが大幅に向上している。これは、事業化に向けて大きな前進である。また、この光学系は後述する工業向け QPM の自動化技術にも貢献する。さらに、QPM の保持機構に両持ち構造を適用することで、同時に安定化の向上も達成している。これらの技術成果は査読論文として出版されている。

一方、バイオ向け QPM は早期の事業化が難しいと判断し、所属企業の事業部がつながりをもつ半導体向けの検査応用を検討し、工業向け QPM の開発も進めた。これは、市場を意識した的確な判断だと言える。また、工業向け QPM の開発を始めるにあたり、半導体外観検査装置メーカーにヒアリングを実施し、要求仕様を明らかにしてから、共同で開発を進めたことも、ニーズを意識した事業実践として評価できる。「顕微鏡鏡筒と QPM 光学系の分離」、「カメラの最大フレームレートでの高速撮像」、「撮像した画像のリアルタイム処理」、「光学調整機構の電動化」の 4 つの要求事項を満たす QPM ユニットの開発に成功し、現在、製品化を進めていることは、大きな事業実践の成果であり、「所属企業が目指すべき市場ニーズを明らかにし、そのニーズに適合した QPM の開発」の課題を解決している。また、この QPM ユニットでは、自動化技術の開発にも成功している。

さらに、3 つ目の課題に対して、「QPM 事業の競争優位性を高めるためのビジネス戦略」を立案した。申請者は、所属企業が「隠れたチャンピオン企業」(ハーマン・サイモン：2009)に選定されていることに着目し、その基本戦略に基づいて企業がとるべき戦略構築を試みた。隠れたチャンピオン企業は、独自の技術力を持ち、その技術力を活かして各産業分野における製品・サービスで高い世界シェアを維持する企業を指す。一般的に、これらの企業は、自社の事業に集中するため、無名なままで思慮深い戦略をとり、必要以上に表にでてこない。所属企業がこの事実を認識しているか否かに関わらず、申請者は本研究をとおして、改めてこの事実を正視し、隠れたチャンピオン企業の基本戦略を再考することで、QPM 事業が目指すべき方向性を示した。具体的には、ターゲット市場の絞り込み、ポジショニング分析、バリューチェーン分析を行い、それらの結果を集約し、QPM 事業のビジネスモデルとして纏めた。経営学の基本的フレームワークを活用したこれらの研究結果は、経営的視座に基づく事業実践という面からも大いに評価できる。

公聴会においては、博士論文の成果を明確に説明し、質問に対しても明瞭かつ的確に応答がなされた。

以上により、審査委員会は、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	長谷川正仁
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第 50 号
学位授与年月日	令4年3月23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	光技術を基盤としたバイオサイエンスシステムおよびスポーツ科学システムの開発と経営デザインを踏まえた起業実践
論文審査委員	主査 教授 石井勝弘 教授 江田英雄 講師 平野美奈子 准教授 横田浩章

論文の概要

本論文は申請者が起業した会社で行ったバイオサイエンスシステムおよびスポーツ科学システムの開発と起業実践について論じている。

第 1 章では、研究の背景、研究目的、本論文の構成が述べられている。研究の背景として、申請者と「光技術」とのかかわり、セカンドキャリアとしての起業実践、「光技術」を基盤とした株式会社の起業と製品開発の 2 つの方向性、本研究で開発した製品を取り巻く状況が述べられている。申請者は工作機械制御ソフトやマシンビジョンシステムの開発を経て、光記録メディアが今後大きくシェアを伸ばすであろうことを想定し、1997 年に光ディスクの検査装置を製造する会社を起業した。そして、還暦を前に本学に入学し光技術を学び直しながら、セカンドキャリアとして「光技術」を基盤とした株式会社を 2017 年に起業した。起業した会社の製品開発に関して、申請者のコア・コンピタンスを活かした自社製品開発および、独自の工夫や最新の技術を加えることで拡販が期待できる受託開発の 2 つの方向性を打ち出した。

そして、10 年後に約 2 倍の市場規模の拡大が想定されているバイオ医療関連の市場領域に着目し、バイオサイエンスシステムの自社開発製品として、バイオ医療関連の基盤技術として用いられている顕微鏡下で生体組織片の指定した微小部分をレーザーで切り出せるレーザーマイクロダイセクション (LMD) 装置を位置づけた。従来の LMD 装置は高速にレーザー光を偏向することができず、レーザー照射によって発生した熱の標本に与える悪影響が懸念されていた。

また、アスリートのみならず障害を持つ人や高齢者の運動能力を客観的な数字で把握するニーズの高まりをうけ、スポーツ科学システムとして受託開発から派生した製品として運動能力計測機器を位置づけた。従来の運動能力計測装置はデジタルに対応しておらず高時間分解能測定が不可能であった。

本論文では起業した会社を発展させるため、以下の 3 つを研究目的として設定している。

- ①起業した会社の経営戦略の策定
- ②LMD 装置の開発
- ③運動能力計測装置の開発と製品化

第2章では、1番目の目的に対応して、未来志向型の「経営デザインシート」を活用して申請者が2017年に起業した会社の経営戦略を策定したことが述べられている。LMD装置と運動能力計測装置の事業構想について、これまでの価値を、生み出す資源、ビジネスプラン、価値から整理した上で、未来における価値を生み出す仕組みを作り上げた。そして、LMD装置と運動能力計測装置について、安心感、達成感、満足感、快適性の4つの感性に訴求する戦略を策定し、従来のフレームワークでは見出すことができなかった今から行うべき移行戦略が明確となったことが記述されている。

第3章は、2番目の目的に関して、高速にレーザー光を偏向することができるマイクロエレクトロメカニカルシステムズ(MEMS)ミラーを組み込んだ新規LMD装置の開発が詳述されている。LMD装置は、レーザー光学系、標本回収装置、コントローラの3つのブロックからなる。これら3つのブロックに対して、本論文ではLMD装置の開発目標が以下のように設定されている。

- ①レーザー走査の高速化
- ②光学設計の簡素化
- ③多標本連続回収性能

1つ目のレーザー走査に関しては、レーザー走査をMEMSミラーで行う機構を採用し、従来品の数10倍のレーザー走査速度を実現した。2つ目の光学設計に関しては、ビームエキスパンダーとリレーレンズからなるシンプルな光学系を実装した。3つ目の切り出した標本の回収に対しては、回収用のチューブを一度に12個セットできるタレットを開発した。そして、この開発したLMD装置を用いて豚心筋から準備した組織標本切片の切り出しを実証するとともに、達成した高速のレーザー走査により切り出し標本に与える熱の影響の低減が可能となったことが述べられている。

第4章は、3番目の目的に関する運動能力計測装置の開発について述べられている。高速応答可能で高感度な光センサと発光素子を含んだハードウェア、投光側・受光側モジュール用ファームウェア、PCで動作するアプリケーションの開発について説明されている。開発した装置は、デジタルに対応し高時間分解能測定が可能で、時間分解能1ms・空間分解能1cmでリアルタイムにヒトの動作を計測できることが述べられている。

第5章では、本論文のまとめ、結論、今後の展開が記述されている。付録は、申請者が2017年の起業の際に行った手続きの経験をもとに作成した新しく会社を起こすときの覚書である。

審査結果の要旨

申請者は一般企業にて技術畑を歩んだ後、1997年に光ディスクの検査装置を製造する会社を起業した。その後、年齢を重ねるにつれその会社での仕事の中心が管理業務となり、製品開発に対する自身の存在感が希薄になっていくのを実感するようになった。そこで、申請者のセカンドキャリアとしての起業を目論んで本学に入学し光技術のリカレント教育を受け、実際に「光技術」を基盤とした株式会社を2017年に起業した。

本論文では、申請者が2017年に起業した会社にて行ったバイオサイエンスシステム（レーザーマイクロダイセクション（LMD）装置）およびスポーツ科学システム（運動能力計測装置）の開発と起業実践について論じている。

申請者は、起業した会社のこれら2つのシステムの開発を含む事業構想を構築するためのフレームワークとして、内閣府知的財産戦略推進事務局が推奨している「経営デザインシート」を活用し、そこで得られた成果を個別の商品へ反映させて価値を生み出すことを試みた。そして、LMD装置に対しては安定した標本回収の機会を提供することを目的として、安心感、達成感、満足感、快適性の4つの感性に訴求する戦略を策定した。また、運動能力計測装置に対しては上質な体験を顧客に提供することを目的として、安心感、達成感、満足感、共感の4つの感性に訴求する戦略を策定した。本取り組みは、本学では使われてこなかった未来の「価値」からビジネスモデルを見直し何をすべきかバックキャストして構想する経営デザインシートを用いた取り組みとして評価できる。

LMD装置の開発に関しては、従来の装置では、レーザー偏向部の慣性モーメントが大きいため、高速にレーザー光を偏向することができずレーザー照射によって発生した熱が標本に与える悪影響が懸念されてきた。そこで申請者は、高速なレーザー偏向が可能なマイクロエレクトロメカニカルシステムズ（MEMS）ミラー型LMD装置を新規に開発した。そして従来品の数10倍の速度のレーザー走査を実現し、従来の装置で懸念されてきた切り出し標本に与える熱の影響の低減を可能とした。本研究によって初めて開発されたMEMSミラー型LMD装置によって実現可能な標本に与える熱の影響の低減は、高い独自性と学術的な新規性を有しており、その成果を査読論文として出版した。さらに、開発したLMD装置は、コンパクトで簡易な構造、ユニット化特性、光学顕微鏡との高い親和性、コスト優位性、多標本連続回収性能を特徴としていることから、次世代シーケンシング技術の急速な進展や、核酸（DNA、RNA）やタンパク質などの生体分子をターゲットとする様々なオミックス解析（ゲノミクス、トランスクリプトミクス、プロテオミクス解析など）による高次生命現象の網羅的解析がますます普及していく中、従来の市販LMD装置に代わる魅力的なLMD装置であるといえる。

運動能力計測装置に関しては、アスリートのみならず、障害を持つ人や高齢者の運動能力を客観的な数字で把握するニーズがますます高まっている中、従来の装置では、高時間分解能測定が不可能かつデジタル非対応である点が問題であった。そこで申請者は光技術とデジタル技術を応用し、空間分解能1 cm、時間分解能1 msで非接触に運動能力（立ち幅跳び、垂直跳び、ステップングなど）をリアルタイムで計測するシステムを開発し、製品化するめどをたてた。この性能をもってすればトップアスリートの運動能力も計測可能である。光技術を基盤とした高性能の本運動能力計測装置の開発をやり遂げたことは高く評価できる。

以上、本論文で開発したLMD装置は学術的に価値があるばかりでなく、バイオサイエンスの市場での更なるビジネス拡大に貢献するものと考えられる。同様に本論文で開発した運動能力計測装置についてもスポーツ科学の市場での拡販が期待できる。また、本論文は未来志向の経営デザインシートを用いた経営戦略に取り組んだ点においても価値を有する。様々な製品への幅広い応用が可能であろう。

本論文に関する公聴会においては、いずれの質疑に対しても的確な応答がなされた。申請者の起業が働きがいや生きがいにあふれたセカンドキャリアのロールモデルとなり、若い光技術の起業家の輩出につなげたいとの夢も語られた。40年にわたる起業、経営、製品開発の経験を活かして、広い視野と高い関心を持って今後の研究と事業の実践に取り組もうとする姿勢がみられ、大いに期待できるところである。

本研究の成果としては、生体医工学誌の査読付論文1件がある。

以上により、審査委員会は、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	安田浩一郎
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第 51 号
学位授与年月日	令和4年3月23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	レーザーによる微細複雑形状加工におけるプルーム挙動の定量可視化と加工能率向上および産学連携を成功に導く実践共同体の事例研究
論文審査委員	主査 准教授 沖原伸一郎
	教授 石井勝弘
	教授 増田靖
	教授 藤田和久

論文の概要

本論文は、超短パルスレーザー加工の高精度化に関する計測技術の確立、加工能率の向上、およびそれらの活動の分析から産学連携を成功に近づける方策について論じている。

気候変動への対応から、排気ガスのクリーン化や燃費向上といった課題の重要性が増している自動車部品業界においては、微細孔や微細溝などの微細加工における低コスト化要求がますます厳しくなっている。非熱過程による微細加工が得意なレーザー加工技術は、超短パルスレーザーの実用化により近年急速に適用されている有望な技術である。

しかしながら、低コスト化に向けたさらなる加工能率向上に向けては、パルス照射の高繰り返し化の流れの中、パルス間の干渉が課題としてクローズアップされるようになってきている。パルス照射時の加工除去物であるプルームと後続レーザーパルスの干渉の影響については、プルームの屈折率や吸収係数の時空間分布の定量把握が望まれるものの、シュリーレン法などの定性的で低い解像度の可視化手法しか従来はなかった。そこで本研究では、プルームの屈折率と吸収係数の空間分布の時間変化を定量的に評価する手法の構築を新たに行っている。加えて、この計測による加工能率向上の指針獲得を目指している。

本研究においては、0.1 mm 級のプルームを対象とし、その屈折率と吸収係数の空間二次元分布の時間分解データの取得を目指している。そのために、位相シフト干渉法を基とした高速計測が可能な偏光高速度干渉法を活用し、直径 1.5 mm の空間に対しプルームの屈折率と吸収係数を時間分解能 1 μ s で可視化する計測システムを具現化した。光源も含めた光学系と同期計測の最適化により実現されている。これにより、発生、成長、及び離散していくプルームの時間的挙動について、中心部の高屈折率領域から周辺雰囲気との境界部の低屈折率領域まで、当研究において初めて、鮮明にその時間発展を捉えている。プルームは後続パルスの到来時刻となる第一のパルス照射の 20 μ s 後にも残存していることがわかり、次のパルス照射と干渉していることも改めて鮮明に捉えている。狭隘な箇所においてはプルーム滞留の影響がより大きくなることも明らかにしている。

これらの計測結果も踏まえた加工能率の向上策として、加工面に垂直な方向へ成長するプルー

ムの特性を考慮し、加工能率のレーザ入射角度依存性について実験的に検証している。その結果、大半のブルーム回避が可能となる概ね 25 度以上の入射角により、垂直入射時の 1.28 倍の加工能率向上を達成することを示している。

以上の研究開発活動は、筆者が企業に属しながら光産業創成大学院大学に入学し、且つ産学連携により実施され、論文化のみならず実用化も果たしている。そこで、本研究では本事例を調査分析することにより、産学連携を成功に導く仕組みやその特徴を明らかにし、産学連携による継続的なイノベーションの成功要因の抽出が試みられている。

まず、筆者＝研究者 X の研究行為に関し、内部観測法に基づいたセルフエスノグラフィにより記述している。そして関係者のインタビュー内容も合わせ、実践共同体論の枠組みで考察している。その結果、研究者 X は研究中に生起する不測の課題に対し、必要な知識や技術を抽出しそれらの習得に師事する熟達者を柔軟に入れ替え、新しい実践共同体を産み出すことで、産学連携を成功に導いている構図を明らかにした。加えて、研究の「場」である光産業創成大学院大学の風土も重要であることも明示している。大学一体となった学生第一の風土があり、実践共同体の柔軟な変容や創出が容易な環境にあることを明らかにしている。大学の目的や授与学位の定義・意義に関する不断の議論が理由の一つであるとしている。

本研究では以上のように、有望なレーザ加工技術のプロセスにおける、ブルームの高速可視化技術及び加工能率向上手段と産学連携の方法論を示している。プロセス理解の深化による研究開発の加速、生産性向上によるレーザ加工の産業利用の拡大、さらに産学連携推進の円滑化による継続的なイノベーションの実現により、光産業の更なる発展につながるものと結んでいる。

審査結果の要旨

本研究テーマの 1 つは、超短パルスレーザを用いた部品の微細複雑形状加工の高精度化、生産性向上を実現させるものである。この背景には、自動車部品業界における排気ガスのクリーン化及び燃費の向上の要求がある。この要求に応えるために微細孔や微細溝などの微細形状を低コストに加工する生産技術が要求されており、その中の有望な技術として超短パルスレーザを用いた加工技術がある。この加工技術レベルの向上には、その高速現象である物質蒸散やブルームと呼ばれる加工除去物の生成・拡散などのレーザ加工プロセスを理解・制御する必要がある。低コスト化に向けたさらなる加工能率向上においては、レーザパルス照射の高繰り返し化の流れの中、パルス照射時の加工除去物であるブルームと後続レーザパルスの干渉の影響を解明する必要がある。但し、ブルームの屈折率や吸収係数の時空間分布の定量把握が望まれるものの、従来のシュリーレン法などの定性的で低い解像度の可視化手法のみであった。この様な中で、筆者はブルームの屈折率と吸収係数の空間分布の時間変化を定量的に評価する手法の構築を新たに行い、この計測による加工能率向上を実証するまでに至っている。筆者らが構築した評価手法とその成果は、従来からある偏光高速度干渉法を業界でも初めて超高速現象でもある超短パルスレーザによる加工プロセスの観測に用いた事例でもあり、計測技術レベルや現象分析等の学術性についても高く評価できる。これらは査読論文として Journal of Laser Micro Nanoengineering 誌にて掲載された。

また、計測結果を踏まえて加工能率の向上策を検討し実際に1.28倍の加工能率向上を達成したこと、この加工方法の製造現場への導入を進めていることは、事業実践の観点から大きな成果であると言える。

もう1つの研究テーマは、筆者が上記の研究開発活動を産学連携により進めた事例を基に、産学連携を成功に導く仕組みやその特徴を明らかにし、産学連携による継続的なイノベーションの成功要因を抽出する試みである。研究の推進プロセスに関して、企業単独での技術開発に限界を迎えた現在では、企業の枠にとらわれず外部の技術者や組織と共創することが求められるようになったが、未だ確実に成功に導く手段は確立されていない。筆者は自身の研究行為に関し、内部観測法に基づいたセルフエスノグラフィと関係者のインタビュー内容を合わせて、実践共同体論の枠組みで考察している。その結果、新しい実践共同体を産みだしながら産学連携を成功に導いている構図を明示した。これにより、「産」に所属する研究者自身の行動や研究の場についての実践的含意を獲得することができた。特に、研究中に生起する不測の課題に対し、常に産業への出口を意識すると同時に課題解決に必要な知識や技術を考え、既存の関係に捉われず時には柔軟に師事する熟達者を入れ替えながら推進することが重要であることを明らかにした。これらのことは、外部の技術者との共創が不可欠な光産業において、本研究の事例や実践的含意を用いれば外部との共創の確度が高まり、新技術が開発でき光産業の発展に繋がることを示唆している。このような意味で、本研究は光産業創成に貢献するものであり評価に値する。

公開審査会においては、いずれの質問に対しても適切な回答がなされた。

以上により、審査委員会は、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。