

博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第24号

2020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、2019年9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 43 号	博士(光産業創成)	酒井浩一	レーザー穿孔を用いた構造用合板の透湿性向上とその課題探索におけるエフェクチュアルな意思決定に関する考察	3
乙第 44 号	博士(光産業創成)	坂井光藏	経営課題の解決に向けた自動車整備業の事例研究－産学連携によるイノベーション創出活動の「失敗」からの学び－	7
乙第 45 号	博士(光産業創成)	近藤治靖	ガスシンチレーション方式高空間分解能中性子イメージング装置の開発と新市場開拓	10

氏名	酒井浩一
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第43号
学位授与年月日	令和2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	レーザー穿孔を用いた構造用合板の透湿性向上とその課題探索におけるエフェクチュアルな意思決定に関する考察
論文審査委員	主査 教授 石井勝弘
	教授 増田靖
	准教授 沖原伸一郎
	教授 藤田和久

論文の概要

本論文は、申請者が起業実践を進める中、木材産業における構造用合板の透湿性向上をレーザー穿孔により試みた自然科学的な研究と、その課題獲得における重要な意思決定に対してエフェクチュエーション論の有用性検証を試みた社会科学的研究について論じたものである。

第1章では、本研究の背景と動機、及び目的が述べられている。申請者は静岡県浜松地域にて、15年に渡って光技術の研究開発に携わった経験と、伝統的な地場産業のひとつである林業・木材産業にボランティア活動として関った経験から、光技術を用いて林業・木材産業を成長産業化させることをビジョンとして本研究に取り組むことを決意する。そのビジョンの下、具体的な課題探索を実施し、構造用合板の透湿性に課題があることを見出し、その解決をレーザー技術により試みる研究課題を立案した。加えて、1年9か月を要したその課題探索の試行錯誤から、その活動自体を研究対象とし、上記の課題獲得に至る意思決定について、起業家の行動様式の観点から分析し、課題探索の行動指針を得ることをもうひとつの研究課題とした。以上の2つの研究課題の目的と本論文の構成について述べられている。

第2章では、レーザー穿孔を用いた構造用合板の透湿性向上について述べられている。一戸建て新築着工戸数の木造率が88%と高く、かつ、地震の多い日本においては、1995年の兵庫県南部地震以降、従来の筋交いに置き換わって普及してきた面で支える構造用合板が多く使われるようになり、その市場はこの20年で4倍に拡大している。その構造用合板の課題は、筋交いと異なる低い透湿性であり、それに伴って生じる結露によるカビの発生や腐敗菌の増加と、それによる住宅寿命への影響である。透湿性向上についてはこれまで、機械加工による穿孔、火山性ガラス質複層板といった透湿性の高い材料の使用、レーザー加工による穿孔などによる効果を示した研究や取組がある。本研究では、高い生産性を確保できる可能性がある、高速加工が可能で近年の発展が著しいレーザー加工技術に着目し

た。加工対象である木材に適し装置価格も抑えられる可能性のある炭酸ガスレーザーの使用を提案している。

これまでのレーザー穿孔による透湿性向上の研究では、穴面積率による透湿抵抗の制御性が実験的に示されているものの、その穿孔内部の形状依存性や、透湿性向上の定量的な機序解明はなされていない。本研究では、レーザー穿孔特有の樽型の内部構造による透湿性への影響に注目し、穿孔による透湿性向上の機序として考えられる水蒸気分圧差を駆動源とした拡散もしくは水蒸気を含んだ空気の移動現象である空気移流の2つの候補に対し、実験及びモデルによる検証を行った。

まず、壁材としてよく用いられる9 mm厚の構造用合板で、人工林利用促進を想定したスギが用いられている3プライ（表裏がホクヨウカラマツ、内部がスギ）製品を対象とし、炭酸ガスレーザーによるトレパニング穿孔や通常のドリル穿孔を行ったサンプルに対し、JIS A 1324 建築材料の透湿性測定方法に即して透湿抵抗を測定した。表面の穴径に基づいた穴面積率は先行文献の0.45%付近に揃えた。 $\phi 1$ mmのレーザー穿孔サンプルは、同径のドリル穿孔のそれより、37%低い透湿抵抗を示した。穿孔の内部形状を比較したところ、レーザー穿孔のそれは樽形状を呈していたのに対し、ドリル穿孔は円筒形状であった。両者の違いはレーザー照射による焦げの有無もあるが、 $\phi 5$ mmのほぼ形状が等しいレーザー及びドリル穿孔の透湿抵抗の違いが見られなかったことから、焦げよりも内部形状による透湿抵抗への影響が大きく、樽形状が透湿性向上に寄与することがわかったとしている。

次に、透湿抵抗低減の機序解明のために、穿孔部を通る水蒸気の様子を観察している。高湿度空気に可視化のための煙を混合させ、穿孔がある合板を挟んだ低湿度側への高湿度空気の流入を観測したところ、穿孔部からほぼ一定の速度を持った流れを形成しながら流入する様子が観察された。両側の湿度差に応じた速度の違いが見られ、水蒸気圧差を駆動源とする空気移流による水蒸気移動が支配的であることを実験的に示し、拡散による効果は計算上1桁から2桁小さいことも評価し、空気移流が水蒸気移動の支配的現象であることを明らかにした。

以上の結果をもとに、モデル計算による実験値の再現を試みている。樽形状もしくは円筒形状を考慮した穿孔内の全圧変化を仮定し、空気移流の粘性応力と湿度差によって生じる圧力勾配のつり合いから流束を求めている。 $\phi 1$ mmもしくは $\phi 5$ mm、及び、レーザーもしくはドリル穿孔の4つの組合せ条件に対し、いずれも実験結果とよく一致しており、透湿抵抗は穿孔形状に依存することを初めて明らかにした。

第3章では、2つ目の研究課題である事業課題獲得に至る起業家の意思決定について述べられている。まず、起業家の行動特性、資質、理念に関する先行研究調査の結果から、起業家の行動特性と意思決定に関する理論であるエフェクチュエーション論を、分析のための概念枠組みに選定した。次に、筆者自身の起業実践における事業課題獲得に至った意思決定の過程を、セルフエスノグラフィーで記述し、エフェクチュエーション論の概念枠組みによる分析を行った。

分析の結果から、筆者が起業する以前の大学入学当初からエフェクチュアルな意思決定を行っていることが明らかとなった。例えば、エフェクチュアルな行動と意思決定により、第 2 章で論じた構造用合板の透湿性向上を実現したドリルに代わるレーザーという「新しい手段」と、それをを用いた構造用合板事業の推進という「新しい目的」を手に入れることができた。最後に、起業家の行動特性と意思決定に関する理論として定評のあるエフェクチュエーション論の有用性を、筆者のセルフエスノグラフィ調査で検証したことを学術的貢献として挙げている。

第 4 章では結論として本研究をまとめている。レーザー穿孔に特徴的な樽形状が構造用合板の透湿抵抗低減に与える影響を実験とモデル計算により明らかにし、エフェクチュアルな意思決定によって事業課題を見つけることが可能であることを示唆した。本研究は 1 mm 径という小さい口径で構造用合板の透湿性向上を実現しており、レーザーによる高速な穿孔が可能であることから、光技術を用いた林業・木材産業の成長産業化において、産業用途としての可能性も新たに拓くことができた。この点において光産業創成に貢献するものとしている。

審査結果の要旨

本論文は、申請者が起業実践を進める中、木材産業における構造用合板の透湿性向上をレーザー穿孔により試みた自然科学的な研究と、その課題獲得における重要な意思決定に対してエフェクチュエーション論の有用性検証を試みた社会科学的研究について論じたものである。

本研究の新規性は、構造用合板におけるレーザー穿孔を用いた透湿性向上において、樽形状の穿孔内部構造を利用した透湿性促進手法の提案、その効果の実験的検証、及びモデル計算による定量評価、これらを通じた透湿性向上の機序解明である。

構造用合板の透湿性向上については、穿孔による通気性の確保を利用した先行研究がある中、産業利用の要となる高速穿孔の可能性があるレーザー加工技術を手段として選択した点と、穿孔の内部形状に注目した点が新たな着眼点である。具体的には、木材に対する穿孔において、樽状の内部形状になる場合があるという既存の知見との組合せを着想したところに独創性が見られる。

その実験的検証は標準手法である透湿性試験により実施され、今回の樽形状による効果は 37%の透湿抵抗の低減という形で示された。比較対象はドリル穿孔で、内面に炭化が認められない円筒形状の孔であるが、炭化による寄与が支配的でないことを別の穿孔径のデータ比較により示し、透湿抵抗の低減には樽形状が支配的であることを示している。合板表面上の穿孔径が同じであっても、穿孔の内部形状が異なれば透湿性が異なることを初めて実験的に示した点は学術的に新しく、評価できる。

これらの実験的検証に加え、モデル計算によりその機序の解明を試みている。合板の表

裏側それぞれにおける湿度の違いにより生じる水蒸気分圧差を駆動源とし、その差を縮め
るべく水蒸気移動がおこる現象として、拡散もしくは穿孔部を通した高湿度空気そのもの
の移流の2つを候補として挙げ、流体力学の知見を用いてそれぞれの定量評価を実施した。
穿孔内部の壁面との作用による粘性抵抗を考慮した丁寧な取扱により、拡散よりも移流が
支配的であることをつきとめ、実験結果との整合性を得たことは、上記の実験的検証に加
えて機序解明として学術的な価値が高いものと考えられる。どのような径・形状におい
ても予測可能なモデル計算を実現したことにより、今後、より多くの実験データを用いたモ
デルの妥当性の精度を上げた検証も期待するところである。

以上の学術的価値に加え、1 mm 径という小さい口径で実現している点は重要であると考
えられる。レーザー加工は一般に mm 以下の小さい領域にレーザー光を集光照射して得ら
れる熱源による加工であるため、それより大きい構造を形成するための加工には時間を要
することが一般的である。今回はトレパニングによる集光点の走査による加工で学術的な
実験を実施しているが、論文中に提案があるようにワンショットで穿孔する工夫を追加す
ることで、現実的な生産性を確保できる可能性がある。よって、高速加工技術の導入可能
性の観点から、産業用途としての可能性のある技術としても新たな提案であると考えられ、
光産業としての価値も与えている。

さらに、エフェクチュアルな行動と意思決定によって新たな事業課題が発見しやすくな
ることを示したことは、新産業創成の初期段階における重要な行動規範を示唆するもので、
評価に値する。これが筆者の行動と意思決定の分析から確かめられたことは、光産業創成
のための実践的教育の効果を示すものでもあり、光産業創成に貢献するものと考えられる。

公聴会において申請者は、申請論文の内容を適切に発表し、技術面及び経営面に関する
多様な質疑への対応も明瞭かつ的確であった。構造用合板の透湿性向上については、木材
工業に査読付論文として採択されている。

以上により、本論文は光産業創成に貢献する研究であると評価し、本学の学位規則及び
関連する内規等の基準を満たしていることを確認し、審査委員全員一致をもって博士（光
産業創成）の学位を授与するに値すると判定した。

氏名	坂井光藏
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	乙第44号
学位授与年月日	令和2年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	経営課題の解決に向けた自動車整備業の事例研究－産学連携による イノベーション創出活動の「失敗」からの学び－
論文審査委員	主査 教授 坪井昭彦 教授 江田英雄 准教授 花山良平 准教授 姜理恵

論文の概要

本論文は、自動車整備業を営む中小企業（以下、「A社」）の経営者（以下、「S氏」）が、自社の抱える経営課題の解決の為に、浜松市にある光産業創成大学院大学（以下、「光産創大」）に入学し、大学の持つリソースを活用して経営課題解決に臨もうと実験・研究を行ったが、いくつかの問題に突き当たりその研究が行き詰ったことから記述が始まっている。

多くの企業が、自社の成長に向けて会社が抱える経営課題の解決に取り組む。業務改善のために新たな経営手法を取り込んだり、新技術や新製品開発などの事業活動を行うが、それらの全ての取り組みが成功する訳ではない。

本論文では、行き詰まった自らの研究を分析対象とし、事例研究の手法に基づき「産学連携活動によるイノベーション創出活動を成功させるためには何が必要か」検討し、「なぜ産学連携活動は失敗したのか」その原因を明らかにしている。

本論文は、6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景と研究の目的を述べている。更に、先行研究と比較した本論文の位置づけについても記述している。

第2章では、自動車整備業界を取り巻く環境変化と、本研究の考察対象である自動車整備業を営むA社の70年に及ぶ足跡を辿り、A社が抱える経営課題を5つ示している。それは、①人口の減少と少子化・高齢化がもたらす影響への対応、②整備要員の高齢化と人材不足、新技術への対応、③整備市場の縮小と先進自動車の増加への対応、④事故車修理の減少と整備単価の低下への対応、⑤ビジネスモデルの転換と人材育成への対応、である。

第3章では、まず、レーザー技術を钣金修理に活用する為に検討しなければならない三点を挙げている。第一に、レーザーでの钣金補修用パテ剤の研削が可能かどうかを調べる点である。ここでは、レーザーの種類や波長、出力、繰返し周波数や走査速度などの条件情報の収集と熱影響の有無などの確認をしている。第二に、ボディの補修箇所塗布されたパテ剤と元のボディの高さとの差分をどの程度まで研削する必要があるのかについて調

べる点である。これによって人による作業の関与度合いが変わってくる。第三に、ボディの計測データの取得と計測データに倣ってレーザーを3次元走査させる点である。これらを踏まえ、本研究の初期目標である、レーザーによる钣金補修用パテ剤の研削実験を行った。パテ剤をレーザーで研削できるのか検証を試みた結果、レーザーによる钣金補修用パテ剤の研削が可能であることを明らかにした。それと同時に、レーザーによる研削には時間が掛かることも明らかとなった。加えて、実用化に向けた更なる研究には多額の費用がかかるなど、事業化に向けたいくつかの課題が浮き彫りとなった。

第4章では、事業化に行き詰った第3章の内容を受け、産学連携による光技術を活用したイノベーション創出には何が必要かを明らかにしようと試みている。

本研究では、まず初めに、Schumpeter (1934) が指摘する「新結合」の概念の具体的な定義を5つ示している。そして、それらの定義を、光技術を活用した钣金補修用の装置開発とイノベーションの創出、並びに、解決が期待される経営課題と紐づけることで、経営課題の解決に向けたイノベーション創出のフレームワークを示した。更に、中小企業の企業価値創出の主要活動すべてに関わる経営者の声を、製品開発サイドにフィードバックすることを「マネジメント・イン」と名付け、研究開発が技術思考に偏らない為には、「マネジメント・イン」の視点が欠かせないことを明らかにした。

第5章では、先ず、第3章の研究がなぜ行き詰ったのかを明らかにする為、S氏が光産創大に入学した背景、入学後のレーザーによる钣金補修用パテ剤の研削実験開始から実験がストップし、事業化で行き詰る（本論文では、事業化に行き詰ったことを、経営者として「失敗」とみなしている。）までを、詳細に「記述」し、失敗を「分類・分析」することで「知識化」した。そのうえで、研究者（教員）と経営者（学生）とのスタンスの違いを明らかにすると共に、両者の間に生ずる「取引コスト」を意識したコミュニケーションをとることが重要であることを指摘した。

第6章では、第1章から第5章まで述べられた各章の概略の記述、本研究の目的とその結果の総括、そして、本研究の意義に言及している。更に、ビジネスプラン（事業実践）の新たな展開に触れ、最後に、引き続き取り組むべき研究課題と本研究の光産業創成への貢献、並びに、産学連携の発展に向けた光産創大の役割を述べて本論文の纏めとしている。

審査結果の要旨

政府が、「未来投資戦略2017－Society5.0の実現に向けた改革－」の中で、「中堅・中小規模事業者、サービス産業の付加価値生産性を抜本的に向上させる投資・イノベーション等促進」の具体的施策を示しているとおり、中堅・中小企業のイノベーション創出の重要性については論を待たない。そして、「人」「物」「金」「情報」といった経営資源が限られる中小・零細企業は、イノベーション創出を実現するために、専門分野に精通した人的資源を多数有する大学との産学連携に積極的に取り組んでいる。

しかし、それらの取り組みが全て成功しているわけではない。むしろ、その目的を達成できずに「失敗」で終わるケースが散見されるが、その「失敗」の原因を検証する研究は極めて限定的である。

本研究は、浜松に拠点のある自動車整備業を営む中小企業（以下、「A社」）の経営者が、自社の抱える経営課題の解決の為に自ら大学に入学し、大学の持つリソースを活用して経営課題解決に臨もうと実験・研究を行ったが、いくつかの問題に突き当たり事業化に行き詰まった事実を「失敗」とみなし、その失敗の原因を明らかにしようと試みた意欲的な研究である。

一連の考察により得られた本論文の功績は次の三点である。

第一に、本研究の学術的貢献について述べる。第4章に記述した「経営視点からのイノベーション創出プロセスの検討」の事例研究では、経営者の視点から钣金補修プロセスとレーザー加工技術の応用によるイノベーション創出と経営課題のフレームワークを具体的に示し、更に、中小企業のイノベーション創出を成功に結び付けるためには、研究開発段階から技術志向に偏らないよう、経営者の視点、すなわち「マネジメント・イン」の視点がまず先に求められることを明らかにしている。これは、学会（学術面）だけでなく、実務面での実践へも貢献できるものとして高く評価している点である。

第二に、本研究の独自性は次の二点である。レーザー技術の钣金修理への応用可能性を示すために一連の実験を行い、実用化にあたって幾つかの課題があるという結論に至ったこと（第3章）は「自然科学」における実験であるが、そこで生じた事象を「社会科学」の研究手法（事例研究と理論的解釈）により考察している点は、既存の自動車整備業に関する先行研究とは明らかに異なる。また、第5章に関しては、A社の事例における実用化への行き詰まりを「失敗」と捉え、「失敗学」と「取引コスト」の観点から本事象を理論的に解釈し、研究者（教員）と経営者（学生）のスタンスの違いを明らかにしたうえで、産学連携によるイノベーション創出を成功させるための注意点を示したことである。

そして、本論文の光産業創成に対する貢献は、今後、新たに光産業を創成しようとするものに実践的な示唆を提供していることである。その示唆とは次の二つである。一つは、自社の経営課題の解決に向けたイノベーション創出に結びつくフレームワークを具体的に示したことであり（第4章）、もう一つは、中小・零細企業が産学連携に取り組む前の大前提として認識すべき注意点を明示したことである（第5章）。

本論文の学術研究成果としては、日本経営実務研究会査読付き論文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。以上のことにより、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	近藤治靖
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	乙第45号
学位授与年月日	令和2年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	ガスシンチレーション方式高空間分解能中性子イメージング装置の開発と新市場開拓
論文審査委員	主査 准教授 内藤康秀 東北大学 准教授 黒澤俊介 教授 増田靖 准教授 森芳孝 准教授 花山良平

論文の概要

本論文は、高い空間分解能を特長としたガスシンチレーション方式中性子イメージングシステムの開発と、開発した検出器の市場投入を目指した初期の市場開拓の実践例報告について述べている。開発した検出器を用いて中性子二次元像取得を行い、明瞭な中性子二次元画像の取得に成功している。空間分解能は $76 \mu\text{m}$ であり、これは従来知られた同様の検出器を上回る。一方、中性子線の産業応用は、中性子の特徴である高い透過性や、軽元素との反応断面積が大きい性質などから、今後の利用拡大が期待されているものの、市場としてその期待通りに発展しているとは言い難い状況にある。これに対し、開発した検出器の市場への投入を目指し、市場分析と参入方法の検討について述べ、さらにその初期の実践活動についても記述している。

1章は中性子線利用の現状と課題について述べている。中性子透過画像（中性子ラジオグラフィ）を撮影可能な中性子源施設は現在、国内に数か所しか存在せず、産業用途での利用の機会は非常に限定的である現状を述べている。併せて、中性子二次元検出器の先行研究についてまとめている。そして、空間分解能 $100 \mu\text{m}$ 以下である中性子二次元検出器の開発の必要性について述べるとともに、本研究の目的を示している。

2章は開発するガスシンチレーション方式中性子イメージングシステムの背景技術として、中性子を荷電粒子に変換する中性子コンバーターの選択と、高感度と高い空間分解能を実現する放射線検出器であるキャピラリープレートガス電子増幅型検出器（Capillary Plate Gas Detector: CPGD）について先行研究を中心に述べている。中性子は電荷を持たないことから物質との相互作用が小さいので、透過性が非常に高い反面、検出が困難である。したがって中性子を検出するには、一般にはまず、中性子コンバーターを用いて荷電粒子に変換される。次に、コンバーターから放出される荷電粒子の二次元分布を計測することで、結果的に中性子の二次元分布が得られる。コンバーターの選択として、非破壊検

査に用いられる熱中性子との反応断面積を元に、 ^{10}B が選択された。荷電粒子を高空間分解能で検出する手法である CPGD は、細いガラス管を高密度に並べたキャピラリープレート (Capillary Plate: CP) とガス電子増幅作用をもたらすガスからなり、位置敏感型比例ガス計数管検出器である。これらを組み合わせることで中性子の二次元分布を光学像に変換する機能が実現できる。さらに、この検出器は γ 線に低感度であり、材料に中性子耐性もあることから中性子検出器として適している。

3 章は中性子検出用 CPGD (n-CPGD) とカメラからなる中性子イメージングシステムの構築と、中性子源施設にて中性子二次元画像を取得した結果について述べている。中性子イメージングシステム (n-GSI) は、n-CPGD、イメージンシファイアー、s-CMOS カメラからなる。開発した n-GSI を用いて、京都大学小型加速器型中性子線源にて中性子二次元画像の取得を試みたところ、中性子像の取得に成功したものの、目的の空間分解能を達成することはできなかった。原因を調査したところ、コンバーターと CP の間のわずかな間隙を荷電粒子がほぼ水平方向に飛び、その飛跡が観測されることにより空間分解能が悪化していることが判った。この間隙は $300\ \mu\text{m}$ であったが、コンピュータシミュレーションにより、これを $30\ \mu\text{m}$ 以下とする必要があることを見出した。そして、構造の改良により間隙を $20\ \mu\text{m}$ 以下とすることに成功した。この改良型 n-GSI を用いて、京都大学研究炉中性子線源にて明瞭な中性子二次元画像の取得に成功し、空間分解能 $76\ \mu\text{m}$ を達成した。改良型 n-GSI を用いて、金属ボルトとナットの嵌合部のわずかな間隙の可視化など、実用的な対象の中性子透過像の取得にも成功した。なお、3 章に述べられている内容は、本論文の主たる学術研究成果であり、2 編の査読付き論文として学術雑誌に掲載されている。

4 章は開発した検出器の市場投入を目指し、導入期の未成熟な市場への参入方法について考察し、それに基づく市場開拓活動について記述している。中性子検出器市場は、大きな成長が見込まれているものの、市場ライフサイクルモデルの初期段階である導入期を脱していないことを分析により確認した。そこで、競争戦略論とマーケティング論に基づいて導入期に実践すべき活動内容をまとめ、それらを実践した。導入期とはメーカーとユーザーの共通の評価基準が確立されていない時期であり、それを確立することが急務であり、メーカーとユーザーが共に試行錯誤ができる環境を構築することが重要であることを指摘している。そのためにメーカーとしては独自価値のある製品を市場に投げかけるとともに、イノベーターへアクセスし、フィードバックループを確立する必要がある。この指針に基づき開発した製品を市場に提示する活動を行ったところ、複数の第一顧客候補にアクセスすることに成功し、実機評価を含む試行錯誤を行う環境構築の緒に就き、活動を継続している。

5 章は結論を述べており、各章の主要な結論を総括しているとともに、中性子検出器市場の形成と成長に向けた展望を示している。

このように、この論文は高い空間分解能を特長とする中性子二次元検出器の開発について述べており、明瞭な中性子透過像を取得可能な装置の実現に成功している。この装置で立

証された空間分解能は 76 μm であり、既存の中性子二次元検出器を上回る性能を達成している。その市場投入を目指した実践活動において、未成熟な導入期にある市場においてはイノベーターとなるユーザーとの緊密な関係構築の重要性を指摘し、それに向けた取り組みが進んでいることを記述している。

審査結果の要旨

中性子の産業利用は工業製品の非破壊検査、鉄鋼材料の結晶粒レベルでの検査、あるいは輸出入品の検査など多くの産業領域で開始され、さらに中性子を利用したがん治療の治療が開始されるなど、幅広い分野への利用拡大が期待されている。その一方で、実際的な中性子源は大学や国立研究所等の一部に存在するのみであり、一般企業等が産業用途に中性子を利用する機会は非常に限定されているなど、現実には中性子の産業利用拡大は遅々として進んでいない。本論文では、このような環境の市場への新規参入を目指した技術開発が述べられている。さらに、開発した技術を用いた市場参入の試みが記述されている。

近年、鉄鋼材料の結晶粒のような微細な構造に対しても中性子透過像の撮影の需要が高まってきており、空間分解能の向上が求められている。この論文では先行研究の調査結果に基づいて、中性子の高解像度二次元検出法としてガラスキャピラリープレート型ガス電子増幅検出器が最適であると結論付けている。この手法は高感度と高解像度を両立できることに加えて、非常に単純な構造を有していることから微細化・高密度化の障壁が低いので、この手法を採用した装置開発は妥当であると評価できる。

本研究は中性子二次元画像取得装置を実際に製作し、中性子二次元画像の取得に成功している。検出器の構築においては、キャピラリープレートと中性子コンバーターの平坦度不足に起因して生じる、微小な間隙からの荷電粒子の漏出が課題であることを見出し、モンテカルロ法による粒子輸送シミュレーションや、三次元形状計測技術等による検討を経て、構造や製作方法の見直しを行い、課題解決を成功裡に遂行している。結果として、非常に明瞭な中性子二次元透過画像の取得に成功し、解像度チャート等による評価実験から空間分解能を 76 μm と評価している。銀塩写真のように、現像などのオフライン処理が必要な計測方法には、より高い空間解像度を実現し得る方法も存在するが、装置を取り外すことなくインライン処理可能な計測方法としては本研究を上回る空間分解能の報告例はない。また、空間分解能と中性子線量の相関を調査しており、この情報は必要とする空間分解能と線源から出力し得る線量が決まった時に、撮像時間を決定する目安となるので、中性子二次元検出の普及のためには貴重な知見であるとともに、中性子二次元検出器の性能評価方法に示唆を与える結果であるといえる。さらに、応用例を想定した金属部品嵌合部透視像の撮影に成功しており、実用化にも目処を得ている。

本研究に関する事業実践としては、有識者アンケートに基づいて中性子検出器市場の分析を行い、市場は導入期にあると評価して参入方法を導き出し、その方針に沿ってイノベ

ーターとなる顧客候補との関係構築などを着実に実践している。

この論文の光産業創成に対する貢献は、微弱光検出の重要な応用領域である放射線計測について、高い解像度を特長とする中性子二次元検出器の開発に成功し、光精密計測の可能性を拡大したこと（第3章）と、未成熟で予測困難な新規市場への参入を目指す際の指針としての実際的な示唆を提供していること（第4章）である。また、この論文の内容における学術的独自性・新規性は、中性子検出用ガラスキャピラリープレート型ガス電子増幅検出器に関する独自の解析と技術開発により、インライン計測で空間分解能 76 μm を達成する中性子イメージングシステムを世界に先駆けて実現したことであり、その学術的意義はきわめて高いと言える。学術研究成果として、査読付き論文2編（Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 誌、Plasma and Fusion Research 誌、各1編）が出版され、国際学会で1件の発表が行われている。また、本研究に関連し特許出願が1件ある。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た。

以上のことにより、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。