

# 博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第9号

2012年10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、2012 年 9 月に本学において博士の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
乙第 17 号	博士（光産業創成）	高塚信行	レーザ溶接トラッキングシステムの開発 と事業展開ー複雑形状自動溶接への画像 処理技術によるアプローチ・・・	3
甲第 18 号	博士（光産業創成）	志田純章	高耐力オプティクスに関する開発と新事 業展開・・・・・・・・・・・・・・・・	6

氏名	高塚信行
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	乙第17号
学位授与年月日	平成24年9月28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	レーザー溶接トラッキングシステムの開発と事業展開—複雑形状自動溶接への画像処理技術によるアプローチ—
論文審査委員	主査 准教授 石井勝弘 教授 北原 正 教授 江田英雄

### 論文の概要

今後の生産方式は、同じ製品を大量に生産する大量少品種ではなく、少しずつ多くの種類の製品を生産する少量多品種へ移行することと、少量多品種の生産に対してレーザー溶接は現在主流であるアーク溶接に比べて優れた点が多いことから、本論文は、ロボットを使った少量多品種に対応できるレーザー自動溶接市場を生み出すことを目標としている。

本論文では、優れた利点を有するレーザー溶接があまり普及していない原因は、自動溶接に適したトラッキングシステムがないことであると考え、①レーザー溶接に求められる位置精度でトラッキングが可能、②レーザー溶接の高速加工に追従できる処理速度、③レーザー加工機のオプション機器として見合う価格、④プルム光をはじめとする外乱光の影響を受けにくい⑤ユーザが使用しやすいインターフェース、の5つを満足するトラッキングシステムが必要であると考えた。

そこで本論文では、トラッキングシステムの試作を行い①から③の条件を満たすトラッキングシステムの試作によりそれが実現可能であること実証し、④を満たすための外乱光に影響を受けにくい新しい計測手法の提案と実証を行い、少量多品種の生産に適したレーザー自動溶接用のトラッキングシステムの製品化への目処を立てた。さらに、⑤を満たすために、筆者が所属する企業のレーザー加工機に提案しているレーザートラッキングシステムを搭載することを考え、その事業戦略と事業計画の作成を行った。これらによってロボットを使った少量多品種に対応できるレーザー自動溶接市場について、その技術的課題を克服し、事業化へむけて前進させている。

論文の構成としては以下のとおりである。

第1章では、研究の背景として、レーザー溶接と自動溶接それぞれのメリットと市場の成長について述べ、これらを組み合わせることによってさらに大きな市場が生まれる可能性があること、そのようなメリットにも関わらずレーザー溶接があまり普及していないことについて説明し、本論文の目的を述べている。

第2章では、レーザー溶接を普及するにはトラッキングシステムが有効であるが、既存の

トラッキングシステムがあまり普及していない理由を考え、開発するトラッキングシステムの5つの方向性を挙げている。

第3章では、トラッキングシステムの価格を抑えることが可能な、汎用部品を用いたトラッキングシステムの自社開発に関する提案を行い、汎用部品を使用した簡易ビジョンシステムについて述べ、その動作と性能を確認した。

第4章ではブルーム光の影響に強い新しい画像差分法を用いた光切断法によるレーザー溶接トラッキング法の提案を行い、基礎実験によりその実現性を確認した。

第5章ではレーザー溶接トラッキングシステムの事業戦略と事業計画について述べ、事業計画として新市場が形成するまでの6段階の計画を示している。

### 審査結果の要旨

本論文は、ロボットを使った少量多品種に対応できるレーザー自動溶接市場を生み出すことを目標に研究を進めている。はじめに、レーザー溶接があまり普及していない原因を分析し、そこから、新しいトラッキングシステムの必要性とそれが満たすべき条件を導き出している。次に、それらの条件を満たすトラッキングシステムが実現可能であることを、トラッキングシステムの試作と新しい光計測手法の提案と実証によって示している。最後に、レーザー溶接トラッキングシステムの事業戦略と事業計画について述べ、事業計画として新市場が形成するまでの6段階の計画を示している。

技術的観点では、トラッキングシステム全体の設計を行い、イメージセンサとFPGAを用いた簡易なシステムの試作を行っている。汎用部品を用いた安価なトラッキングシステムによって、必要な精度と応答速度をもつ形状計測センサーが製作可能であることを示し、必要な条件を満たすトラッキングシステムが開発可能であることを実証している。

また、実際のトラッキングシステムで問題となるブルーム光の対策として、画像差分法を用いた光切断法による計測の提案を行い、レーザー加工機を用いて、提案手法の有効性の確認を行っている。提案手法は、申請者の独自の技術であり、簡易な画像差分処理により安価なシステムにて実時間処理を可能とし、かつ、高いブルーム光除去性能を持つ実用的な方法であり、優れた成果であると認められる。

経営的観点では、少量多品種の生産の視点からレーザー溶接に着目して自動溶接市場を分析することで、レーザー溶接が優れた利点を多く有するにも関わらずあまり普及していない現状から、今後普及が期待されるその市場に参入するためにはトラッキングシステムが鍵となることと、トラッキングシステムに必要な要件を導き出したことは1つの成果といえるであろう。また、レーザー溶接トラッキングシステムを申請者の所属する企業で事業化するための事業戦略と事業計画を立てていることは、事業戦略と事業計画の中身は今後も充実させていく必要はあるものの、ある程度の成果として認めることはできる。イノベーションの視点からは、今後の事業化推進にあたってロボット技術との連携の重要性を指摘し、その時期での再度の検討の必要を指摘したことは注目に値する。また、その連携までの研

究を破壊的イノベーション，連会でのコメントに対しても適切に修正されており、かつ、博士論文として十分な内容を有すると認められる。以上の結果、博士（光産業創成）の学位を授与するに値すると審査委員全員の一致で判定された。

氏名	志田純章
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第18号
学位授与年月日	平成24年9月28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	高耐力オプティクスに関する開発と新事業展開
論文審査委員	主査 教授 井出 徹 教授 江田英雄 教授 北原 正 准教授 藤田和久

### 論文の概要

高出力レーザー及び超短パルスレーザーなどの高強度レーザーの開発が進展して、多方面の産業界に使われるようになってきた。将来、更に高強度のレーザーが使われるようになると考えられる。しかしながら、高強度レーザー光に十分に耐える反射ミラー、光学フィルターなどの光学薄膜を有する光学部品(高耐力オプティクス)が開発できていないために、光産業全体が進展を阻まれているのが現状である。

本論文は、このような現状を打開する高度な高耐力オプティクス開発のために必須である、高耐力オプティクス検査と光学薄膜断面の観察に関する技術研究、及び市場解析などをおこなってまとめあげた新たな高耐力オプティクス産業の将来モデルについてまとめたものである。本研究により開発された検査と観察に関する装置は、高強度レーザー光に耐える高耐力オプティクス研究開発に適用可能であり、それによって、これまでにない高度の高耐力オプティクスが開発されることが期待できる。

本論文は全6章で構成されており、第1章の序論と第6章のまとめを除く4章には、上記の研究について、詳しい記述がなされている。

第2章には、光学薄膜素子の評価試験を自律的に実施することが可能な耐力評価システムの試作機を開発したことについて述べられている。この装置は、国外評価機関と同様の原理で動作するものであり、国外評価機関で得られているデータとの比較が較正により可能なものであることが示されている。

第3章には、光学薄膜にパルスレーザー光を集光照射して、光学的損傷を与えた(レーザーブレーション)試料をFIB-SEM(※)を用いて加工・観察することにより、損傷試料の複雑な光学的損傷の立体的構造を明瞭に観測できることが示されている。このことは、本学位論文の最も新規性のある点である。この加工・観測方法を用いれば、損傷原因がレーザー光の時間的・空間的形狀にあるのか、膜の素材・成膜条件によるのかなどのレーザー損傷の原因を突き止めることに役立ち、高耐力オプティクスの開発につながるものである。

(※FIB-SEM: 集束イオンビーム(FIB)により加工した後、試料を大気にさらすことなく

走査型電子顕微鏡(SEM)で観察することが可能なFIBとSEMを一体にした装置)

第4章には、光学薄膜の損傷開始から終了までの動的状況を観察するために、集光パルスレーザー光照射時の薄膜の状態変化をシャドウグラフ法によって観察(フレーミング・ストリークカメラ使用)した結果、薄膜が損傷を受けるまでは衝撃波が生じず、薄膜が損傷を受けた後衝撃波が生じることを見出したことが述べられている。この観察は、上記の耐力評価システムにシャドウグラフ法による衝撃波観察光学系を取り付けて行うことができる。開発した装置はこのような研究にも使用可能である。

第5章には、市場状況や業界のニーズ・シーズ分析、3C分析による製品比較を行った結果、耐力評価システムの改良等を行い、データベースを活用することで開発した高耐力オプティクスビジネス展開が大きく広がる可能性があることが示されている。また、ビジネスモデルキャンバスを利用して本ビジネスの価値提案やマーケティングや販売における能動的な流れを検討して、本論文に示した耐力評価システムが高耐力オプティクスを事業展開するために必要不可欠であるという観点が示されている。

#### 審査結果の要旨

学位申請者の本研究における具体的な成果としては、以下の点が認められる。

現状では、光学薄膜素子の耐力評価試験は、海外の唯一の評価機関に頼っており、高耐力オプティクス開発の効率を下げる原因となっている。本研究では、耐力評価システムの試作機を開発し、光学薄膜素子の評価試験を自律的に実施することを可能とした。これにより、開発効率を高め、将来の高度な高耐力オプティクス開発への道を拓いたと出ることが出来る。また、このシステムにより上記の海外評価機関と等価な評価結果が得られており、本論文は、国際標準的に使われてきた評価方法の妥当性を担保することが出来たという点でも評価に値する。本論文に於いて開発された評価法は、標準的評価法と互換性を持つという点でも有用性が高いものである。

また、FIB-SEMを用いて加工・観察する手法は、半導体素子の構造などの観察に最近用いられているものであるが、試料の光学的損傷部位の複雑な立体的構造を明瞭に観測できることを初めて示した。これは、本学位論文の最も新規性のある点であり、査読付き論文誌に掲載された。この方法は、損傷原因がレーザー光の時間的・空間的形状にあるのか、膜の素材・成膜条件によるのかなどのレーザー損傷の原因を突き止めることに役立つので、これまでになく高度な高耐力オプティクスの開発につながるものと期待される。これらの技術的成果は、光産業創成に貢献しうる十分な成果であるとともに、新規の知見であると判断する。

また、高耐力オプティクスの事業展開の検討にあたってイノベーションの視点からの検討を明確にした。クリステンセンの最新刊「イノベーションのDNA」を参照して、製品イノベータとなるにはどうするかを考察した。そこで派遣元企業の創業時からのカタログを入手できる限り総点検し、カタログの記載と世間の動向、会社の戦略に関して調査した。その結果ユーザからの問い合わせに対してきちんと答えていく体制をとるようになってか



ら、カタログの効果が顕著になったことに着目し、製品主導の流れからユーザ志向、価値主導という流れにそって企業が成長してきたことを明らかにした。さらにこの点はコトラが最新刊マーケティング 3.0 で指摘した流れと同じである点を指摘した。次いで様々な資料を読み取り、光産業市場の分析を行った。自らの研究の技術的な成果をどのように発展させるべきかの方向性を示した後に、ビジネスモデルキャンバスを用いて、企業の現状把握、高耐久オプティクスの方角性、それらに基づいた今後のビジネスモデルなどの分析結果をモデル化した。最終的に、高耐久オプティクス事業のビジネス戦略をロードマップにして示した。以上の検討結果、光産業創成に向けたビジネス展開の検討として有意義なものであると判断できる。

また、本論文は公開審査会でのコメントに対しても適切に修正されている。

以上より、本論文は博士論文として十分な内容を有し、本学の学位規則、学位審査取扱細則及び学位審査取扱に関する内規の基準を満たしているものと判断した。

これにより、博士(光産業創成)の学位を授与するに値するものと判定した。