

博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第1号

2008年5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、2008年3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 1 号	博士(光産業創成)	吉門 章	パルスレーザー照射による金属表面 の微小変形と回復及びその産業応用	4
甲第 2 号	博士(光産業創成)	加藤貴行	フェムト秒レーザーを使用した摩擦低減 部品加工装置の開発	6
甲第 3 号	博士(光産業創成)	栗原 一	小型極短パルス X 線源を用いた遠隔 透視技術の開発と事業化	9
甲第 4 号	博士(光産業創成)	太田浩一	光源技術を用いた起業実践研究	12
甲第 5 号	博士(光産業創成)	服部悦子	光技術を用いたバイオマス生産性評価 技術の開発及び事業化に向けての考察	15
甲第 6 号	博士(光産業創成)	竹下照雄	Wavenics 計測による光産業創成	18

氏名	吉門章
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第1号
学位授与年月日	平成20年3月25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	パルスレーザー照射による金属表面の微小変形と回復及びその産業応用
論文審査委員	主査 教授 山中正宣 教授 加藤義章 助教 沖原伸一郎 (財)レーザー技術総合研究所主任研究員 藤田雅之

論文の概要

本研究の目的は、従来、化学薬品を用いたエッチング工程により処理されてきた金属・透明導電膜(ITO 膜)等の微細加工を、レーザーによりドライプロセス化し、省エネルギー・生産性向上・環境負荷低減を同時に実現することである。

ナノ秒級のパルスレーザーを金属表面に照射すると、強度が充分強い場合、金属表面はアブレーションされるが、強度がその金属のアブレーション閾値よりも低く、およそ $0.1\text{GW}/\text{cm}^2$ 程度の場合には金属表面は瞬間的に変形し、更に元に回復する。したがって、この反応の前後では金属表面には何らの変化も認められない。

この変形は、超音波ではなく、パルスレーザー照射後1マイクロ秒程度の時間で立ち上がり消えていく微小変形である。この微小変形は高速現象であり、金属表面に付着している膜状物質やパーティクルをも加速する。加速度が、表面に対するこれらの物質の付着力よりも大きければ、付着物質は金属表面から離脱し、剥離する。

本研究ではまず、プリント基板の製造におけるフォトリソグラフィープロセスでのレジスト剥離を対象として、その基礎技術確立のための研究を行っている。具体的には下地となる金属は銅であり、その表面に付着されるレジストはドライフィルムレジストである。

他方、銅以外の金属とレジスト以外の膜状物質の剥離に関してもこの技術は有用である。その結果、レジスト剥離についても、それ以外の蒸着膜の剥離特性についても、ニッケルや鉄を含む合金の方が良好なレーザー剥離特性を示すことが明らかになり、実際の製造プロセスに採用されている。特に、ニッケル、鉄、コバルトなどを含む低熱膨張合金(インバー)の剥離特性は著しく良好で、剥離のみならずこの低熱膨張合金をドナーとした転写プロセスが検討されるに至っている。

本研究において開発された新しいレジスト剥離技術は、高価で有毒な化学物質を使用しない画期的な環境負荷を低減させる方法である。

本研究により、新たな産業を創成させる上でのブレイクスルーをもたらす技術開発、事

業展開を進めることができている。

審査結果の要旨

本研究では、パルスレーザーとそれが照射されたときの金属表面の挙動という、純物理的な研究に端を発し、剥離現象の解明を柱としたその応用研究が行われている。更には、この技術の事業化の実施主体となって、事業推進、開発、営業、製造、販売に至るまでの各ステージでの多くのことを経験し、新しい知見を得ている。

今後の事業展開は新しい知見をもとに、質の高い事業を構築していける見通しを得ている。

①新見度

レーザーによるレジスト剥離現象を世界で初めて発見し(特許・論文報告)、この技術を実用化に結び付けている。

②社会貢献度 (会社活動、エンドユーザの満足度、外部評価等)

設立した会社において、環境保全(水質汚染防止)に貢献可能な、ドライプロセスによるレジスト剥離技術を実用化し、社会に貢献しようとしている。また、当該会社の有するレジスト剥離技術は、FPD分野等の市場の大きな分野に参入している大手メーカーから高く評価されており、この技術を用いた装置を納入している。このため、今後の展開により、貢献度が大きくなる可能性が高い。

③経営実績(ビジネスプラン、法人設立、事業推進(市場開拓、上場、増資、業績等))

ゼータフォトン株式会社を立ち上げ、ビジネスプランを立て、事業を推進してきた。特に、オリジナリティのある独自の技術を、特許取得による権利化、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)からの委託業務である即効型地域新生コンソーシアム研究開発制度を利用した国家プロジェクトによる装置化の促進等の事業化活動を以前より行ってきた。

経営実績として、これまでに培った技術的な実績、信頼、ネットワークによって、市場に関する情報が自動的に流入してくる体制を築き、FPD分野という大きな市場を開拓した。また、この動きに連動して、エンジェルからの増資によって、会社体制(規模)を整え、現段階で数千万円規模の売り上げにつなげている。また、上場を見込んだ展望も構築している。

④学術

本研究のパルスレーザーの照射による金属表面の微小変形とその作用は、剥離への応用のみならず、これを利用しての膜やパーティクルのトランスファー技術としても注目されており、この方面の普及にも注力していく予定である。更には低価格、高繰り返し、より短パルス(100 ps程度)のレーザーを開発し、いまだ現実に採用されていない銅とレジストの組み合わせに対するレーザーレジスト剥離を完全なものにして産業に貢献できる見通しが得られている。

⑤技術業績

レーザーレジスト剥離に関する単名の原著論文を公表し、更に複数の共著論文を公表している。また、レーザーレジスト剥離に関する基本特許を取得している。

以上の結果、本論文は博士論文として価値あるものと判定した。

氏名	加藤 貴行
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第2号
学位授与年月日	平成20年3月25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	フェムト秒レーザを使用した摩擦低減部品加工装置の開発
論文審査委員	主査 教授 山中正宣 教授 瀧口義浩 教授 加藤義章 大阪大学総合科学研究所准教授 阿部信行

論文の概要

ナノスケールの微細構造形成手段として加工閾値付近のフルーエンスで直線偏光のフェムト秒レーザ光を照射すると、回折格子状の微細周期構造が形成される。この技術を活用することで、一般産業向けの低摺動面加工が可能である。しかし、加工方法や生産性の問題等から産業用途に用いるには困難があった。本研究ではその技術に関し、ナノスケールの微細周期構造の加工フルーエンスの許容範囲、及び摩擦低減効果を検討し、産業用途に適用可能なレーザ加工システムの開発を行っている。フェムト秒パルスレーザシステムを用いて、周期構造を金属表面に生成させ、低摩擦の金属部品を製作可能なシステムを開発している。開発したシステムは、フェムト秒(150 fs)レーザ、光学的ビーム整形器と、種々の機械部品の表面に生成する周期構造の方向を制御できる5軸機械ステージより構成されている。このシステムを用いて、周期構造をボールベアリングの湾曲した表面や、エンジンシリンダーの内側にも形成可能となっている。ナノ構造周期のレーザーパワー依存性と、金属表面のレーザ走査速度依存性を詳しく測定した結果、 $0.3\sim 0.8 \text{ J/cm}^2$ のフルーエンスの近傍において、広い面積に亘り微細な周期構造をえることが明らかとなっている。このことによって、段差がある金属表面でも連続的に周期構造が生成可能であり、周期構造の生産性の向上に寄与できることが明らかになっている。生成された周期構造に関し、摩擦係数を実測したところ、25%の摩擦係数の低減が実現している。さらに、周期構造を反射型回折格子として用い、可視レーザ光の反射回折光の回折方向より、周期構造の生成の状態を計測できる簡易モニターを提案し、実験的にその有用性を示している。この簡易モニターにより、生成された周期構造の検査が容易に行えるようになっている。以上のように、フェムト秒レーザを使用した微細周期構造加工による摩擦係数低減効果を測定し、以下の結果を得ることができ、次に産業応用を考慮したシステムの開発を行っている。

- 1) 周期構造加工には、フルーエンスの許容範囲があり、例えば、加工速度 4 mm/sec では、フルーエンスが $0.3\sim 0.8 \text{ J/cm}^2$ の間で変化しても、周期構造の形態にあまり変化が見られなかった。このフルーエンスの許容範囲は生産性の面で有利な点となっている。

- 2) 微細な周期構造を摺動部に加工することで、摩擦係数の約 25 %低減と、摩擦の安定性の改善が確認されている。
- 3) 5 軸の本システムを使用することで、様々な平表面、曲表面、円筒内面に、周期構造を色々なパターンで加工でき、様々な摺動部品に対して摩擦低減効果を図ることが可能となっている。

本研究の「フェムト秒レーザーを使用した摩擦低減部品加工装置」の事業化について次のようにまとめている。本研究の低摺動面部品加工技術をガソリンエンジン部品に適用した場合の経済効果を調査した結果、全体の燃費の 3~4 %を改善する効果があることが分かった。しかし、産業用システムとして事業展開するためには、顧客の要求に応じたシステムを供給する必要がある。そのために、高効率な加工を行うための装置開発、メンテナンス性の向上、多様な部材に対するナノ周期構造加工のデータベース蓄積等を検討した。このような検討結果をふまえ、事業展開として 5 年間の計画を立てられており、今後 2~3 年は本研究で開発したシステムを用いて受託加工を行いながら、これによりユーザーからの仕様に対する要求を満たし、加工システムとしての完成度を高め、4 年後以降加工システム販売を開始するとしている。

審査結果の要旨

本研究では省エネルギー化実現への取組みとして、物体間の摩擦の低減効果をもたらすための加工方法、及び加工装置の研究開発を行っている。フェムト秒レーザーを使用し摺動部へナノサイズの微細な凹凸を作成することで摩擦係数の低減効果を付加することを可能であるとしている。

①新知見度

本研究で得られたナノ周期構造にある摩擦低減効果を活用する技術を事業化させるために必要な新たな知見(：ナノ周期構造表面処理を安定して行うためのレーザーパラメーター、照射光学系構築、装置化のための条件)を蓄積し、産業創成の可能性を提案している。

- (1) 加工システムはフェムト秒レーザー発振器を搭載した、直線 3 軸、回転 2 軸の多軸加工システムで、円筒内面加工に特徴をもち、内面に対して一様な方向をもったナノ周期構造を加工することが可能である。また、ナノ周期構造加工を行った後の、ナノ周期構造の加工状態のモニタリングシステムを考案している。その計測器は非常に安価なシステムで、産業用としてラインなどに組み込むことが可能である。また同加工機にて、位相板によるビーム整形により、ナノ周期構造加工の効率アップを可能にしている。
- (2) フェムト秒レーザーによるナノ周期構造は 3 つの領域区分に分けられる。周期構造が未発達の領域(Ⅰ)、レーザーの偏光方向に対して垂直方向に微細な周期溝が形成される領域(Ⅱ)、偏光方向と同じ方向に大きな溝が形成される領域(Ⅲ)である。ナノ周期構造だけが形成される(Ⅱ)の領域は、加工後のワーク形状の変化も小さく、摩擦低減に利用するためにはこの領域での加工が最適と考えられる。(Ⅱ)の領域はフルエンス許容範囲が大きく、ナノ周期構造は比較的加工しやすいものであることが示されている。

- (3) ナノ周期構造を付加させて3種類の摩擦試験を行っている。つまり球面と平面による回転動摩擦、平面と平面による回転動摩擦、球面と平面による往復動摩擦である。いずれも摩擦係数の低減と摩擦係数の変動値が少なくなる傾向がみられている。また上記3種類の摩擦試験にてナノ周期構造を付加することで、摩擦時の負荷変動が小さくなり、安定することが分かっている。

②社会貢献度（会社活動、エンドユーザの満足度、外部評価等）

派遣元企業の事業部と連動して、輸送機器の動力部の摩擦の低減による省エネルギー化実現させ、地球温暖化抑止対策に取り組んでいる。この技術と加工システム開発は平成17年度地域新生コンソーシアム研究開発事業制度(経済産業省)に申請し、承認された実績が示すように、社会貢献としての意義が認められ、評価されている。現段階は、事業において製作した試作機を用い、大手企業と組み、処理能力の外部評価を受けている段階である。

③経営実績(ビジネスプラン、法人設立、事業推進(市場開拓、上場、増資、業績等))

本論文にも示しているように、事業化のための計画を立案している。法人設立に対応する動向としては、派遣元で所属している事業部の規模を拡大し、事業推進を行う計画を立てていることが挙げられる。市場開拓については、製作した試作機で処理したサンプルを用い、数回に渡る都心で開催される大規模なイベントへの出展、学会・研究会での口頭発表等による、技術宣伝活動を展開し、既存の市場動向や顧客を掴み、新たな市場を作り出す活動をしている。

④学術

- ①(1)～(3)において上述。

⑤技術業績

なお、本研究で得られた新しい研究成果は原著論文として公表している。また、本システムに関連した加工処理表面のモニタリング技術を開発し、特許申請を行っている。上述の結果、本論文は、博士論文として価値あるものと判定した。

氏名	栞原 一
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第3号
学位授与年月日	平成20年3月25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	小型極短パルス X 線源を用いた遠隔透視技術の開発と事業化
論文審査委員	主査 教授 北川米喜 教授 松田浄史 教授 瀧口義浩

論文の概要

本論文は、超高強度レーザーで発生させる超短パルス X 線を実用に供するにあたっての有用性を、世界で始めて実証したことを記述する。X 線の遠隔透視には、線源と検出器が対象物に対して同じ位置に有ることが必須条件であるにもかかわらず、今までその技術的可能性に挑戦したものがなかった。自然放射線に抗して検出可能な強度の線源が実用化していないとされていたからである。本論文は、その極短パルス性を利用し、入射光と同時計測することにより、自然放射能に比べ遥かに微弱な散乱光で計測できることを実験的に示し、後方散乱での遠隔透視の技術的可能性を実証している。

各章を追って概要を辿ると、

第2章では、各種 X 線源の性能コスト比較、高輝度 X 線利用の動向調査、ニーズ調査開拓を行った結果を述べている。著者が従来開発対象で有り且つシーズ技術として来た逆コンプトン散乱 X 線源を柱としてニーズ調査を行い、その結果、その特徴を最もよく利用できるものとして X 線遠隔透視技術のアイデアを創出した。これは災害時捜索、及びセキュリティ分野での遠隔非破壊検査に広範にニーズが存在することが示される。

第3章は、X 線後方散乱遠隔透視技術に関する詳細な理論解析に充てられる。先ず遠隔対象物からの後方散乱光の収量見積りと自然放射線量の見積り比較が行われている。後方散乱計測の効率を上げるために極短パルス X 線による断層撮影法を創出した。

次に逆コンプトン散乱 X 線源の有用性を述べ、将来の後方散乱の画像計測に当たって、そのコントラスト向上に有効であることを論じている。最後に実際 X 線遠隔透視を野外で行うときに問題となるのが、雨、霧による X 線の減衰影響である。このことに世界でも初めて言及し、詳細にその影響を解析した。

第4章では、3章の始めに述べた遠隔透視技術の可能性を実証する実験結果に就いて述べている。波長 800 nm, 出力 1TW のテーブルトップチタンサファイヤレーザーをアルミ板に照射し、そこから発生する 10 keV~100keV 程度の制動輻射 X 線を照射容器の外に導き出し、5mm 幅の鉛ブロックのアパチャーを通して対象物体にあて、入射方向に対して 135 度方向のプラスチックシンチレーターで散乱光を検出したものである。その結果、対象物体としてアクリルと鉛の構造体を用いて、散乱像からその構造を再現することに成功した。また、散乱物体からの散乱光のスペクトルシフトも観測して、2次元的に透視することができることを実証した。

第5章では、本論文で明らかにした X 線後方散乱遠隔透視技術の技術的可能性、事業成立性の両面からの事業化計画を検討し、ロードマップを掲げた。結論として公共資金、競争資金の導入とユーザー企業の参画を必須としている。

第6章以下、論文纏め、論文業績リスト、取得特許のリストである。

審査結果の要旨

(1) 新知見度

本論文は、超高強度レーザーで発生させる超短パルス X 線を実用に供するにあたっての有用性を、世界で始めて実証したものである。X 線の遠隔透視には、線源と検出器が対象物に対して同じ位置に有ることが必須条件であるにもかかわらず、今までその技術的可能性に挑戦したものがなかった。自然放射線に抗して検出可能な強度の線源が実用化していないとされていたからである。本論文は、その極短パルス性を利用し、入射光と同時計測することにより、自然放射能に比べ遥かに微弱な散乱光で計測できることを実験的に示し、後方散乱での遠隔透視の技術的可能性という新知見を実証した。

更には自然放射能レベル以下で検査が可能であるというのは、環境問題としたとき画期的知見度との評価もできる。

また、X 線の遠隔透視を野外で実用化するとき、必ず問題となる雨や霧による減衰の影響を世界で初めて解析評価した。

(2) 社会貢献度について

申請人（著者）が従来派遣元企業での開発対象で有り且つシーズ技術として来た逆コンプトン散乱X線源を柱としてニーズ調査を行い、その結果、その特徴を最もよく利用できるものとしてX線遠隔透視技術のアイデアを創出した。これは災害時捜索、及びセキュリティ分野での遠隔非破壊検査に広範にニーズが存在することが示される。一つの市場調査方法のポジティブな成果と言える。

(3) 経営実績、ビジネスプランについて

法人設立はないが、市場開拓のための展示会でのニーズ調査の結果が、本研究開発、事業化の主方向を決めシーズ技術がニーズ技術に繋がるメカニズムがうまく作動した好例、典型例である。それが本論文の新知見に繋がったと判定する。

新知見をもとに事業化のロードマップをかかげ、市場規模が100億円との予想を出している。

(4) 学術・技術業績

(4)-1. 入学以降の著書または査読付き学術論文は英文、和文それぞれ一編ある。入学以前も、イオン源という密接な関連のある学術論文が2編数えられる。

(4)-2. 入学以降の査定済み特許はないが、本論文に密接に関連した入学以前のイオン源の特許は、単独特許が11件、全部で16件を数える。学術、特許の取得状況も問題ない。

以上の4項目に就いて博士（光産業創成）の学位に値すると判定した。

氏名	太田浩一
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第4号
学位授与年月日	平成20年3月25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	光源技術を用いた起業実践研究
論文審査委員	主査 准教授 藤田和久 教授 後藤俊夫 准教授 太田万理 静岡県立大学食品栄養科学部教授 渡辺達夫

論文の概要

本論文で申請者は、光技術シーズを持つ立場から光技術の展開分野を探索し、会社設立・運営・研究開発を通じて、光源技術のバイオ分野へのビジネス化を試みた仮説・検証成果について述べている。

第1章では、本研究の動機及び着眼点が示され本論文を概観している。これまで申請者が研究開発を行ってきた高出力半導体レーザーは、そのエネルギー効率の高さにも関わらず普及が進んでいない現状から、用途開発により人類に貢献したいという申請者の動機が示されている。本学開学の機に面し、それを実行すべく本研究が開始されたことを述べている。本論文では、保有する技術シーズから適用可能な社会ニーズを探索する研究手法を選択し、その成果は技術立国日本が新たな市場を開拓する際の指針にもなり得ると指摘している。

第2章では、高出力半導体レーザーの応用分野探索を目的として、光のパワー密度を指標に分析を行い、適用分野選択の指針と具体的分野を示している。高出力半導体レーザーの特徴及び使用環境条件から、バイオ分野が適当であるとの結論を得ている。各種生物反応に必要な光量を調査した結果、最も光量を必要とする植物育成用には高出力半導体レーザー以外の選択肢がないことを明らかにしている。ターゲットとする光生物反応の種類によってLEDや蛍光灯などの選択が妥当であることも示されている。

第3章では、申請者自身の起業実践活動を踏まえて、顧客ニーズを絞り込み、将来の事業拡大と社会貢献に結び付ける展望が明確にされている。すなわち、第2章の検討結果に基づいて植物育成用光源事業の検討を行い、植物育成用光源事業よりも市場ニーズがはるかに大きく、またコスト競争力もある青果物光照射鮮度保持に関する事業化仮説が立てられた。その検討により、社会問題である食品廃棄物の大幅削減提案に至り、千億円規模の推定市場の存在と事業化の可能性を見出している。このように、申請者が入学する以前から自らに課していた課題である市場ニーズと技術シーズの融合に対し、試行錯誤を経て到達した結論を述べると共に、それに至る経過が体系化されている。

第4章では、第3章での応用技術開発の成果として、収穫後スイートコーンの低温弱光照射による品質保持及び旨み成分増強効果について述べられている。糖度の減少抑制と旨み成分の増加効果を光照射によってもたらすことができる制御性を発見している。

第5章では、起業実践の全プロセスを通じて認識していた大きな課題であるシーズ技術から事業展開するアプローチ方法に関し、先行研究の知見を更に掘り下げている。その結果、潜在ユーザーとの接触を通じた相互刺激並びに協力関係構築を含む実践的手法を見出している。また、シーズ側とニーズ側の情報交換メカニズムについて検討し、弱者であるベンチャー企業が優位性を保ちつつ事業展開を進めるための情報制御方法を情報粘着性の観点から提案している。

第6章では論文をまとめ、見出した新知見と事業構想が社会貢献に至ることを結語としている。

審査結果の要旨

本論文では、光技術シーズを持つ立場からその適用分野を探索し、会社設立・運営・研究開発を通じて、光源技術のバイオ分野へのビジネス化を試みた仮説・検証成果について記述されている。

探索された適用分野における具体的な技術として、青色光の低温弱光照射により収穫後トウモロコシの糖度保持、及び旨み成分であるアミノ酸増加を明らかにしたことが挙げられる。低温弱光照射により旨みを向上させる技術について他の報告はなく、新しい知見を得ていると認められる。当該植物のみならず他の青果物に対する同様効果の可能性を示唆している点は、3章で千億円以上の推定市場があると指摘している食品廃棄物低減事業の可能性をも引き出しており、本新知見の意義は大きい。

加えて申請者は産業創成をめざし起業を実践する自らの主体的活動を客体化する一貫的な姿勢で論述しており、その実践的アプローチの結果として、シーズ技術と市場ニーズの融合並びに情報粘着性に着目した競合優位性の実現に関して、従来見られなかった実践的知見を提示している点も評価に値する。

申請者が会社の設立並びに運営を通じて広範な市場ニーズとの接触を図り、今後の大きな発展が見込まれる新産業創成に向けた展望を明らかにした点は新しくかつ社会貢献に値する。申請者が開発した青色光の低温弱光照射による保蔵・旨み増加技術は、青果物の保蔵・運搬などの流通に応用可能であり、小売店などの廃棄損低減による利益向上が見込まれる。さらに重要なのは、21世紀の重要課題であるエコ社会実現に直結する廃棄物削減に大きく寄与する可能性である。本課題は農林水産省を先頭に国家レベルで取り組もうとしているが、現時点では光技術の応用は想定されていない。申請者が開発した青果物光照射鮮度保持の応用は社会全体の資源の有効活用を促進する新規性がある。その新規性により、一刻も早い新産業創成による社会貢献が期待される。

申請者がラムダシード株式会社を設立し、光源システムの受託開発を売上の柱としつつ

増資を複数回行い、新規事業開発の推進によりその展望すなわち上記の新規性を示すに至ったことは経営実績として評価に値する。自社の持つ技術的な強みを客観的に分析し、適用分野を絞り込んで仮説・検証作業を繰り返したことによりもたらされた成果である。公開審査会にて指摘された経営実績の明示、その研究開発との関係の明確化、及び将来への見通しに関する記述の追加、それぞれへの対応は適切である。

学術業績は、低温弱光照射によるトウモロコシ品質の保持・増強に関する成果の論文一報である。本成果は日本生物環境工学会誌に投稿・受理（2007年12月）されている。内容に関しては新知見での記述に準じる。

以上の評価を基に申請論文を総合的に評価した結果、本論文は博士（光産業創成）の授与に値するものと判定した。

氏名	服部悦子
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第5号
学位授与年月日	平成20年3月25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	光技術を用いたバイオマス生産性評価技術の開発及び事業化 に向けての考察
論文審査委員	主査 教授 鈴木鐵也 准教授 太田万理 准教授 天野雅貴 京都大学名誉教授 浅田浩二

論文の概要

申請者は、本論文で今後の持続可能な循環型社会の形成に向けて必須となってきたバイオマスの利用に着目し、これを実現するために必要なバイオ燃料を安価に、安定に供給する上で、バイオマスの生産性向上が不可欠であることを明らかにしている。

バイオマスの生産性は、植物の光合成能力（ソース能）及び貯蔵能力（シンク能）が関与すると考えられ、これまでソース能やシンク能の向上のみを考慮して生産性の高い植物の品種選抜が進められてきた。しかし、申請者はバイオマス生産性向上にとってソース能とシンク能のみならず、両者をつなぐ転流も重要であると考え、ソースーシンク関係を示す転流を測定できれば、より効率的な品種選抜が可能となると考えた。

そこで申請者は、転流の解析に光技術を用いることを考え、近赤外光、テラヘルツ波の応用を試みたが、感度の問題などのため測定できなかった。そこで、 ^{18}F -デオキシグルコース (^{18}F]FDG) を転流の糖のトレーサーとして用い、その消滅ガンマー線をプラナーポジトロンイメージングシステム(PPIS)によって計測するのが最適であると判断し、一連の実験を光合成能やシンク能力の高いC4植物のソルガムを用いて行った。ここで開発した植物PPISは、植物体内での光合成産物の転流をリアルタイムにイメージングできる現時点では、唯一の評価手法である。申請者は、植物体への ^{18}F]FDGの取り込みを確認し、時系列的に標識化合物の挙動を明らかにし、転流メカニズムすなわちソースーシンク関係を把握する上で重要な知見を得ている。申請者は、今回得られた知見をもとに、ソースーシンク関係とバイオマス生産性との相関

を調べ、光技術を用いたバイオマス生産性評価技術の開発につなげる事業提案を行っている。

本研究は、企業における光産業創成という位置付けで、バイオ燃料事業化に向けての技術開発の一環として行ったものである。本論文では、今後の展望として本研究により応用可能なビジネス領域の分析やバイオ燃料関連事業の世界的動向をふまえ、植物育種開発センター構想事業計画が提案されており、その普遍的産業貢献を目指す論文構成となっている。

審査結果の要旨

服部悦子氏から申請された学位取得請求に対し、提出された学位論文並びに1月24日に開催された公開公聴会での発表、教員による判定内容を基に審査委員会による審査を行った。

本論文で申請者は Planar positron imaging system :PPIS を使い、 ^{18}F FDG のソルガムの葉への取り込み、転流、他の器官への二次元分布を、リアルタイムで、測定できることを明らかにした。この方法による転流の解析は世界で初めての成果であり、この内容についての論文は国際誌 *Planta* に投稿、大きなコメントもなく受理されている(電子版2月14日)。 ^{18}F FDG の半減期(110分間)からみて、数時間にわたる転流測定が可能であり、今後、植物の基礎、応用の研究者によって申請者が開発したこの方法は広く利用され、植物での転流の機構解明に大きく寄与すると考えられる。PPIS により得られたソルガムの ^{18}F FDG 動態データをバイオマス増産へ活用するためには、今後さらに ^{18}F FDG 動態とバイオマスに関連するデータが必要であるが、新しい解析技術を開発し、新しい知見を得ている事実は、評価に値すると認められた。

公開公聴会において、本論文目標の明確化及び事業計画提案の掘り下げが必要との指摘があり、申請者は指摘に沿った本論文の改訂を行った後、最終論文を提出した。

最終論文を本審査委員会において評価した結果、提出された学位論文の内容が新知見を有し、その成果が新産業創成への道を拓く第一歩となる内容であると認められた。

申請者が起業していないことから経営実績は実質的には評価できないため、提示されたビジネスプランのみを評価の対象とした。また、申請者の研究成果、及び研究成果を基に提案された事業計画内容から、今後の事業展開にメリットがあり社会的貢献が期待できると判定した。

学位論文の新知見度、並びに公開審査会でのコメントに対応して改訂され、より充実化された事業計画内容などから総合的に判断して、審査委員会構成

員一同は、学位申請者服部悦子氏が、光産業創成大学院大学が授与する博士号学位、博士（光産業創成）受領に相応しい学識・能力・意欲を有し、今後の光産業創成に十分寄与出来ると判定した。

氏名	竹下照雄
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第6号
学位授与年月日	平成20年3月25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	Wavenics 計測による光産業創成
論文審査委員	主査 教授 瀧口義浩 教授 山中正宣 教授 松田浄史 静岡大学工学部教授 川田善正

論文の概要

本論文は、“Wavenics”という新たなビジネス概念を構築し、光工学・音響工学・電子工学における波動性あるいは交流変調性を相補的に用いた光計測技術による新しい産業創成を論ずる。Wavenics の活用される可能性を有する市場は、半導体産業を含む工業計測応用のみに留まらず、建築・土木の領域、エネルギー機器応用、医療応用などの広範な応用領域を網羅しており、本論文では、まずは半導体産業における非破壊計測分野に特化したビジネス展開・技術課題克服を迫及する過程と現状を、技術と企業活動の両面から解析しまとめている。

より具体的には、被観測試料に破壊閾値以下のパルスレーザー光を照射し、その表面で発生する音響波を用いた試料内部の構造の非破壊計測を目指したユニークな「単一レーザー励起超音波画像化法」を提案し、特許化を行いながらその産業化への可能性を世界に先駆けて科学技術面で実証し、その新たな知見を以ってビジネス展望を構築し、産業化の第1フェーズを終了した。その過程において、(株)ジーワン・ラボを起業し、日常の会社運營業務と、上記、新産業開拓を両輪として、多くの事業知見を得たことを論ずる。

本論文の概要をまとめると、第1章における Wavenics 技術及びビジネスの概要を述べ、第2章ではレーザー励起超音波検査のビジネスプランに言及し、市場のニーズを解析した。その結果に基づき、超高速光計測技術を用いた新規技術手法を提案・特許化し、3つの開発フェーズを提起し、本論文の目的が、その第1フェーズの技術的可能性証明と起業であることを記載している。第3章では、レーザー励起による超音波の発生技術の確立過程を示し、そのために必要となる新規装置開発を行った結果得られた優れたノウハウの開示を行っている。第4章では、第3章において発生した超音波を可視化するために開発した計測手法に関してまとめ、技術の詳細を探求することによって得られた信頼性の高い装置の特性を議論した。第5章では、これらのレーザー励起によって得られた超音波と可視化システムを用いた模擬計測を実行し、超音波の伝播プロセスを、ピコ秒からナノ秒の高時間分解

能で単一計測を行い、高い計測精度と産業化のための高いスループットの可能性を明示し、世界的に優れた産業装置開発がなされたことを示した。第6章では、技術の総括を行うことで、第2フェーズ以降の課題を明確に議論している。第7章以降は、この **Wavenics** をビジネス展開するための起業過程と、そこで得られた産業創成の知見を自分の言葉としてまとめている。第7章では、起業に当たり何をめざす会社を設立したのかを議論し、第8章では会社経営の重要な信頼確保と顧客へのアピールの方法に関して過程を開示した。第9章では起業実践において体験した教訓を体系化し、立ち上げ期に起こる起業家としてのメンタルな環境にも言及した。さらには、ネットワーク環境としてのホームページの重要性を統計的に解析し、新たな知見を得た。第10章では、起業および経営に関して得られた知恵をまとめ、第11章では、新しい **Wavenics** による産業創成に関する私見をまとめ、本論文の締めくくりとした。巻末には、引用した文献リストと、本論文の図と表のリスト、および謝辞と業績リストを添付し、本論文への付加情報とした。

審査結果の要旨

(1) 新知見度

本論文は、“**Wavenics**”という新ビジネス概念を構築し、光工学・音響工学・電子工学における波動性あるいは交流変調性を相補的に用いた光計測技術による新産業創成を論じたものである。より具体的には、被観測試料に破壊閾値以下のパルスレーザー光を照射し超音波を発生させて、試料内部の構造の非破壊計測を目指したユニークな「単一レーザー励起超音波画像化法」を提案し、特許化を行いながら世界に先駆けて科学技術面で実証し、新知見を得ることに成功した。その過程において(株)ジーワン・ラボを起業し、日常の会社運営業務と新産業開拓を両輪として、多くの事業新知見を得て、**Wavenics** の新産業化への可能性を明らかとした点で新規性が高い。

(2) 社会貢献度について

Wavenics の活用される可能性を有する市場は、半導体産業を含む工業計測応用のみに留まらず、建築・土木の領域、エネルギー機器応用、医療応用などの広範な領域を網羅しており、本論文では、まずは半導体産業における非破壊計測分野に特化したビジネス展開・技術課題克服を追及する過程と現状を、技術と企業活動の両面から解析しまとめている。**Wavenics** の確立は、社会的にも新しい計測技術を提供でき、社会の発展に貢献できる。

(3) 経営実績、ビジネスプランについて

本論文は、**Wavenics** 計測による産業創成をテーマとし、ビジネスと技術研究をした。またこの活動を行うために株式会社ジーワン・ラボを設立した。**Wavenics** 計測は、さまざまな応用に対処する者であるが、本論文では着目したレーザー励起超音波による非破壊検査について主に述べている。従来技術では満たされないニーズとして半導体の内部欠陥検出

を挙げ、Wavenics 計測であるレーザ励起超音波探傷技術で解決することをビジネスプランの目標に設定したことに関して議論した。更には、レーザ励起超音波探傷技術の優位性や重点顧客、市場規模の予想、市場環境及び製品開発のロードマップを用いて本事業の新規性を述べた。

(4) 学術 ・ 技術業績

本論文は、レーザ励起による超音波の発生技術の確立過程を示し、発生した超音波を可視化するために開発した計測手法に関してまとめ、技術の詳細を探求することによって得られた信頼性の高い装置の特性を議論している。これらのレーザ励起超音波と可視化システムを用いた模擬計測を実行し、超音波の伝播プロセスを、ピコ秒からナノ秒の高時間分解能で単一計測を行い、高い計測精度と産業化のための高いスループットの可能性を明示し、世界的に優れた産業装置開発がなされたことを示した。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものとして、審査員 1 名を除いた大多数の賛成をもって判定した。