

# 博士学位論文審査要旨

2017年2月17日

論文題目：低環境負荷型セル生産システムに向けた半導体レーザー焼入れ法に関する研究

学位申請者：織田 良輔

審査委員：

主 査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 廣垣 俊樹  
副 査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 青山 栄一  
副 査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 宮本 博之

要 旨：

次世代の生産システムの構築に向けては、セル生産システムの発展のために一層の工程集約化を具現化する多機能工作機械の開発、特に熱処理工程の工程集約のニーズが高いこと、さらにサステナブル生産システムの発展のために生産財であるマザーマシンにも環境負荷の低減に関する研究開発が求められてきている。そこで本論文では、小型薄板部品を対象としてダウンサイジング化された工作機械でセル生産システムにおける熱処理の工程集約化を目指し、さらにサステナブル生産システムに向けたその工程の環境負荷の評価も加えた考察を遂行している。特に多機能工作機械に熱処理工程を集約化するため、半導体レーザーをその熱源として提案してその有効性を検討している。

本論文は全6章で構成され、第1章において本研究の背景および目的とその意義について述べている。第2章では小型薄板製品の製造における生産財の環境負荷の定量化の手法としてライフサイクルアセスメント Life Cycle Assessment (LCA) を用いた基本モデルを検討している。第3章では小型半導体レーザーを導入した小型薄板製品の全体全厚焼入れを遂行する工程集約型のセル生産システムと工程分割型の従来のライン方式の環境負荷の比較検討をしている。第4章では対象とした薄板部品の熱処理の品質として組織の変化に着目して考察を加え、プロセス中の面内の温度分布との関係を検討している。第5章では小型薄板製品の新たなセル生産システムの構築を目指し、面外変形の制御に基づくレーザーフォーミングと入熱量の制御に基づく焼入れのハイブリッドプロセスであるレーザー焼入れフォーミング法を提案している。第6章では得られた結果とその要点および結論を総括し、今後の展望について述べている。これらの成果は、生産財である工作機械の多機能化において、小出力な半導体レーザーを熱源とすることで小型薄板部品を対象として、環境負荷の低いサステナブル生産システムを達成すると共に、次世代のセル生産システムに向けた高度な工程集約の技術を構築できることを示しており、ものづくり技術の現場のイノベーションに寄与する価値あるものと評価できる。よって、本論文は、博士(工学)(同志社大学)の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

## 総合試験結果の要旨

2017年2月17日

論文題目：低環境負荷型セル生産システムに向けた半導体レーザー焼入れ法に関する研究

学位申請者：織田 良輔

審査委員：

主 査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 廣垣 俊樹

副 査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 青山 栄一

副 査：同志社大学大学院理工学研究科 教授 宮本 博之

要 旨：

本論文の提出者は、2014年4月に本大学院理工学研究科機械工学専攻博士課程（後期課程）に入学し、現在在籍中である。

本論文の主たる内容は、Key Engineering Materials, Vols.523-524, pp.232-237, Advanced Materials Research, Vol.1017, pp.636-641, Advanced Materials Research, Vol.1136, pp.423-429, ハリス理化学研究報告, 57巻, 3号, pp.198~203, に掲載され、すでに十分な評価を受けている。

2017年1月21日午前10時より約2時間にわたり、提出論文に関する博士論文公聴会が開かれ、種々の質疑応答が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。さらに公聴会終了後、審査委員より、論文に関する諸問題につき口頭試問を実施した結果、本人の十分な学力を確認することができた。なお、語学に関しては英語の語学試験に合格しており、十分な語学力を有しているものと認められる。以上より、本論文提出者の専門分野に関する学力および語学力は十分であることが確認できた。よって総合試験の結果は合格であると認める。

# 博士學位論文要旨

論文題目： 低環境負荷型セル生産システムに向けた半導体レーザ焼入れ法に関する研究

氏名： 織田 良輔

## 要旨：

21世紀に入り、消費者ニーズの多様化、製品ライフサイクルの短命化、グローバル市場の発展などにより、多品種少量でも少品種大量でも市場のニーズに適応してその生産能力を発揮できる、高度な変種変量生産システムの構築が求められてきている。すなわち製造する製品の種類の变化にも、また生産量の変化にも柔軟に対応可能なフレキシブルな生産システムである。そのためには、1900年代初頭の第二次産業革命におけるフォード生産システムから続く生産ラインの概念を払拭する、ラインレスで製品の種類の变化にも生産量の変化にも対応可能な、ひとつの製品を1台の機械または1人の作業者がつくる自己完結型のセル生産システムの構築が求められてきている。

セル生産システムは、各セルが一貫生産に必要な能力を有し、製品の種類の变化にはセルにおけるタスクの変化で対応し、製品の生産量の変化には対応するセルの数で対応する手法である。いわゆる生産ラインの構築は、生産に必要な工程を分割して、各工程における作業を単純化・専門化・単能化する工程分割を基本とする。セル生産システムでは、各セルに逆に工程集約する必要性があり、作業の複雑化・多能化が技術開発のポイントとなっている。近年のマシニングセンタやターニングセンタ（複合加工機）は、機械加工における穴あけ、フライス、旋削等の工程を1台に集約する工作機械であり、最近では研削や研磨の工程も集約されつつある。したがって、これらの工作機械における作業は複雑化してきており、工作機械の知能化などの研究が進められてきている。しかしながら、機械加工工程の前後に配置される調質や焼入れ焼戻しなどの熱処理工程の集約化は進んでいない問題が近年は顕在化してきている。

その一方で近年、グローバル化と並行して地球環境の問題も顕在化してきており、製品となる消費財にはコストと性能の2軸だけでなく、さらに環境負荷や持続可能に対する能力の軸も加えたものづくり技術も求められてきている。しかしながら消費財を生産するための機械、すなわち生産財であるマザーマシンも考慮した環境負荷に関する研究の例は極めて少ない。本来、持続可能な循環型の社会を形成するためには、グリーン製品はグリーンな加工プロセスで製造され、かつその生産財もグリーン工作機械であり、かつそれらの動力もグリーンパワーであることが必要と考えられ、それによりサステナブル生産システムが成立するものと考えられるが、その研究報告の例はほとんどない。

以上、次世代の生産システムの構築に向けては、セル生産システムの発展のために一層の工程集約化を具現化する多機能工作機械の開発、特に熱処理工程の工程集約のニーズが高いこと、サステナブル生産システムの発展のために生産財であるマザーマシンの環境負荷の低減に関する研究開発が急務である。

そこで本研究では、小型薄板部品を対象としてダウンサイジング化された工作機械でセル生産システムにおける熱処理の工程集約化を目指し、さらにサステナブル生産システムに向けたその工程の環境負荷の評価も加えた考察を遂行する。多機能工作機械に熱処理工程を集約化するため、半導体レーザをその熱源として提案してその有効性を検討する。

本論文は、以下のように全6章で構成している。

第1章では、本研究の目的と概要を述べている。

第2章では、小型薄板製品の製造における生産財の環境負荷の定量化の手法としてライフサイクルアセスメント Life Cycle Assessment (LCA) を用いた基本モデルを検討している。さらに小型半導体レーザを用いた機上での熱処理の工程集約を具現化するためのレーザ照射方法の提案とその処理において LCA モデルに基づく環境負荷の評価を遂行している。その結果、小出力な半導体レーザを全体表面の焼き入れ熱源に用いて工程集約する手法は、従来の電気炉を用いた焼き入れ工程分割型のシステムに対して、低環境負荷なセル生産システムの構築に有効であることを示している。

第3章では、小型半導体レーザを導入した小型薄板製品の全体全厚焼き入れを遂行する工程集約型のセル生産システムと工程分割型の従来のライン方式の環境負荷を比較検討している。さらに提案する手法において薄板部品の熱処理時に生じる品質として面外変形に着目してその制御方法の検討と、プロセス中の面内の温度分布との関係も考察している。その結果、片面からのレーザ焼き入れと表裏面からのレーザ焼き入れの省電力性および品質の特性を解明し、特に裏表面からのレーザ照射を選択することで品質の制御が容易になることを示している。

第4章では、対象とした薄板部品の熱処理の品質として組織の変化に着目して考察を加え、プロセス中の面内の温度分布との関係を検討している。さらに部品各部の熱容量を考慮して、省電力化を目指したレーザ照射の制御方法の提案とその効果について考察している。その結果、面内方向の熱容量を考慮してレーザ照射の出力制御を遂行することで、省電力かつ高い品質のレーザ焼き入れが可能となることを示している。

第5章では、小型薄板製品の新たなセル生産システムの構築を目指し、面外変形の制御に基づくレーザフォーミングと入熱量の制御に基づく焼き入れのハイブリッドプロセスであるレーザ焼き入れフォーミング法を提案している。さらにそのプロセス中の面外変形のモニタリングを試み、面外の温度分布との関係を考察して影響する因子を考察している。その結果、提案プロセスの現象の解明に基づき裏表面からのレーザ照射条件の組み合わせの指針を示すと共に、面外変形の制御を阻害する要因を明確化している。さらにレーザ焼き入れフォーミングの適用を試み、金型レスな工程集約の技術としての有効性も示している。

第6章は、以上をまとめた本研究の結論を示している。

以上より、生産財である工作機械の多機能化において、小出力な半導体レーザを熱源とすることで小型薄板部品の対象として、環境負荷の低いサステナブル生産システムを達成すると共に、次世代のセル生産システムに向けた高度な工程集約の技術を構築できることを示した。すなわち、ものづくり技術の現場のイノベーションに寄与する研究開発が遂行できたことを示すことができた。