

< 1 - 1 > LDを用いた高強度フェムト秒レーザーの開発

サブテーマ名：<1-1-c>高性能化の研究

小テーマ名： 金属鏡の開発と応用 (フェーズI,)

サブテーマリーダー：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 岡田康光

研究従事者：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 瀧口義浩、杉山 昭、
神田日佐幸、稲田晴彦

研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

本研究テーマにおけるフェムト秒レーザーシステムは、光学的なシステムであると同時に、熱的、機械的あるいは電気的、さらには人間工学的な知識を集大成した装置になることが考えられる。他のサブテーマである「YAGレーザーの開発」「フェムト秒レーザー」における主眼がレーザーの光学的な性能のLD励起化を通しての向上にあるので、本テーマでは、それらの光学装置の光学的あるいは熱的、機械的な機能の向上を通して、より産業に適応したシステムに仕立て上げることを目指す。LDの冷却やレーザーロッドの冷却のために銅の光導波路型の冷却構造を検討し、一方レーザーを用いた高精度加工の周辺技術としてのロボットによるレーザー加工アシストシステムの検討も進めた。

研究の独自性・新規性

金属平面あるいは曲面の金属鏡研磨技術を、LD 励起レーザー構造に導入し、機械的にも強固で冷却性能に優れた構造を目指す試みは世界的にも珍しい。特に、円錐状の金属内部を円錐状に切り出し、先端部を 1mm 以下の出射構造とし、その内面の先端部までを鏡面仕上げする手法はいまだに確立されていない。

研究の目標

フェーズI：10cm角の銅平板全面を研磨できる技術を導入し、導入後その研磨後の平坦性を100nm (rms) 以下を目指す。さらに円錐状の曲面の金属鏡を目指し、その研磨技術を立ち上げる。

同時に、加工精度向上のため、加工部の平坦性評価が不可欠で、その計測法の確立も進めた。

フェーズII：研磨精度を大型平面全面に対して、光の波長の少なくとも1/8程度の平坦さにすることによって、光の散乱損失を低減した集光と導光が可能とする。さら曲面に対して鏡面研磨を施すことを可能とし、局所的には、50nm以下の研磨精度を達成し、スムーズな集光、導光を可能とする。さらには、それらの研磨鏡を用いた光集光系を用いたレーザー加工応用などの実験も行う。また、ロボットと光学系の接続を検討し、YAGレーザーやフェムト秒レーザーによるレーザー加工のための新たな加工ツールを提供したい。

研究の進め方及び進捗状況

1. はじめに

フェーズIとフェーズIIを通じて、冷却機構あるいはアシストガスの導入機構を有する銅製で金のメッキを施した金属鏡を開発することが本テーマの目的である。それは、ロボットに取り付けて高輝度レーザーを集光するレーザー加工ヘッドとなる。その鏡面により高輝度レーザー光を反射させながら、ミラー面を温度破壊から保護し、さらに、レーザー加工部の酸化を防止するといった多機能の光学素子を構築することが必要となる。この目的を達成するために、本テーマでは、フェーズIでは銅の平坦面を金属研磨する技術を構築し、半導体レーザーの反射集光を目指した。フェーズIIでは、円錐曲面内部を鏡面研磨することでレーザー加工ヘッドの開発を進めた。

2. 平面研磨

始めに、銅の平面基板を金属研磨することを目指して、ラッピング・パフ研磨装置を協力企業である小沢精密工業に設置し、平面研磨に取り組んだ。まずは、機械加工によって、大型の銅板より10cm角厚さ1cmのものを切り出した。この状態では、銅表面は酸化しており、その平坦性も悪く、鏡面としての機能は皆無であった。これに同研磨装置を用いて鏡面研磨を行なった。

3. 研磨面の評価

研磨面の加工精度を評価するために、3次元形状計測装置を同じく小沢精密工業内に導入・設置し、研磨した銅鏡面の機械的な加工精度を評価した。さらに、得られた鏡面を用いて、LDの集光実験を行い、多重反射に伴う反射の損失やビーム品質の変化を評価した。この結果、機械加工精度としては、表面の研磨精度として20mm角の範囲での平均粗さとして20nm以下となった。光学特性としては、2枚の10cm角銅金属鏡を内側にしてくさび状に配置し、その対向角を変えながら、LDの集光効率や集光ビームパターンを計測したところ、銅の反射率を基準とした理論推測値に対して、角度の最適化によって、80%以上の集光効率を達成した。

4. 曲面研磨

次に、さまざまな曲面研磨加工を検討した。円錐金属面加工、円錐の内部の鏡面化の検討を、光学的な評価を行ないながら進めた。円錐加工として円錐頂点の開口が1mmで、高さが100mm、底面の開口が10mmの高精度円錐加工が達成できており、さらに、この高さを200mm程度に延ばすべ

く試みを続け、高精度の鏡面研磨面を達成した。さらに、LD への応用には、800nm 波長帯域で十分反射率の高い銅で鏡面を作ればよかったが、本事業における異なる応用である YAG レーザーに用いるためには、銀をメッキした鏡面が必要である。そこで、円錐内面に銀メッキを施した小沢精密の試作品を共同で評価した。波長 800nm と 532nm の光の集光実験を展開し、さまざまな空間モードの集光を確認し、集光レンズを併用したレーザー加工ヘッド構造では、90%以上の高い集光性能を確認した。

5. ロボットアームへの取り付け

さらに、ロボットによるレーザー加工アシストシステムは、光ファイバーにて導かれた加工用のレーザーを本研究で作製した円錐状金属レーザー加工ヘッドを用いて集光し、ロボットアームの6軸駆動により、3次元構造の加工を可能とする。ロボットアームは、操作が容易な言語と位置指定を行うことで、高度の操作が可能となった。

主な成果

具体的な成果内容

パフ研磨装置を導入したことで、大型の平面研磨が可能となった。また、平坦性を評価するために、接触型面精度計測装置を導入し、両者を併用して10cm角の銅板の平坦性の計測を可能とした。多数の鏡面研磨を実施し、その全面に渡って50nm程度の平坦性を達成した。これは、当初予定に対して1/10波長程度と、より精度の高い研磨を達成できたことになる。さらに円錐状の銅構造の内部の鏡面研磨に成功し、グリーンレーザーの集光およびアシストガスの導入を達成した。この円錐状レーザーヘッドは、6軸駆動ロボットに取り付け、レーザー加工のための基本動作を確認した。本研磨技術は、金属研磨面とヒートパイプを組み合わせることで、金属研磨面に接続した熱源から効率良く熱を奪い取ることができるように応用展開を進めることができた。

特許件数： 0 論文数： 0 口頭発表件数： 0

研究成果に関する評価

1 国内外における水準との対比

国内においては、装飾用の研磨技術はすでに立ち上げられているが、光学部品への応用としての研磨は数少なく、この地域における光技術の活性化のためには、本技術のこの地域における確立は不可欠である。その状況の中で、高い研磨精度を達成できたことは重要である。

2 実用化に向けた波及効果

金属鏡面研磨技術そのものは、光学的な特性のためのみではなく、さまざまな摩擦現象の低減などをもたらすために、多くの機械加工応用の基本技術として用いられることになる。この地域は、光技術とともに楽器産業や自動車産業が活発であり、楽器の装飾のための研磨への応用、自動車燃焼装置への応用などへの発展が期待される。この研磨技術を用いたレーザーヘッドによるレーザー加工は、これらの楽器あるいは自動車産業への展開へと飛躍的な技術を与えることになる。

残された課題と対応方針について

本テーマによって得られた金属研磨技術を、実際のテラワットレーザーへ導入することが重要であるが、まったく新規な技術であるため、開発中のテラワットレーザーに導入するに至らなかった。今後は、金属鏡を用いた半導体レーザーの集光、あるいは、テラワットレーザーの集光による新規レーザー加工への応用を行なうこととしたい。さらに、金属研磨面を用いた熱伝導性の向上を確認し、レーザーの熱除去性能を高めるための冷却応用への展開を行なう。

	J S T 負担分 (千円)							地域負担分 (千円)							合計
	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	
人件費	100	503	565	442	610	0	2,220	100	503	565	277	273	0	1,718	3,938
設備費	2,575	17,019	664	0	0	0	20,258	0	0	0	0	0	0	0	20,258
その他研究費 (消耗品費、材料費等)	18,159	3,417	1,436	1,545	1,273	0	25,830	0	0	0	0	0	0	0	25,830
旅費	0	18	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	18
その他	53	146	365	287	377	0	1,228	0	0	0	0	0	0	0	1,228
小 計	20,887	21,103	3,030	2,274	2,260	0	49,554	100	503	565	277	273	0	1,718	51,272

代表的な設備名と仕様 [既存 (事業開始前) の設備含む]

J S T 負担による設備：フレキシブルゲージ、CNC画像測定装置、6軸多関節ロボットアーム
地域負担による設備：ラッピング・パフ研磨装置