

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04435

研究課題名（和文）加工用レーザーの熱レンズ効果を可視化するリアルタイム3Dビームプロファイラ

研究課題名（英文）Real-time 3D beam profiler for visualization of thermal lens effect of processing lasers

研究代表者

沼田 孝之（Numata, Takayuki）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員

研究者番号：60420288

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：レーザービームウエスト付近の3次元ビームプロファイルを計測する技術を提案し開発に取り組んだ。開発した手法を既存のCCDカメラ型ビームプロファイラによる測定結果と比較し妥当性を検証した。これらの実験を通じ、ビーム断面方向に加えて光軸方向のビーム形状もリアルタイムに計測できる新たなビームプロファイル計測技術を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

加工用高出力レーザーのビームウエスト形状をリアルタイムに評価可能な計測技術の開発に取り組んだ。既存の計測技術では困難であった高耐力、3D、リアルタイムなどの課題に、独自性が高く世界的にも前例がないアイデアで挑戦し、課題解決に目途をつけた。高出力レーザーを用いた加工技術の普及は、モノづくり技術の革新に不可欠な基盤技術として世界規模の潮流である。加工用レーザーに適用可能な今までにない新しい計測技術を実現した本研究成果は、学術的のみならず産業的、社会的に非常に有意義なものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：A three-dimensional beam profile measurement technique has been proposed. The technique was developed and verified by comparing it with the measurement results obtained using a conventional CCD camera-type beam profiler. Through the experiment, the measurement technique which can measure the beam profile in the optical axis direction in addition to the beam cross-sectional direction in real time was demonstrated.

研究分野：レーザー放射計測

キーワード：レーザー ビームプロファイル 三次元 計測 リアルタイム

1. 研究開始当初の背景

今日、高出力レーザを用いた加工技術は、鋼板の切断や3Dプリンタにおける金属粉末の焼結造形など、従来の機械加工では困難とされる高度な加工を可能とし、わが国のものづくりを支える基盤技術の一つとなっている。レーザ加工では、レーザ光が加工物に対する「工具」として機能するため、いわばエンドミルの刃先形状に相当する集光スポットの形状「ビームプロファイル」が、加工結果に本質的な影響を与える。そのため、CCDカメラやスリットを使ったビームプロファイル測定装置が商品化され広く普及している。ところが、こうした従来の測定法では解決困難な課題が、レーザ加工の現場で顕在化しつつあった。

キロワットレベルを出力するレーザ加工装置が普及して久しいが、こうした装置では、発振器本体や伝送・集光光学系の熱特性「熱レンズ効果」により、レーザの発振直後からシステムが熱平衡に至るまでの間、ビーム形状が大きく変化することが分かってきた。こうした変化は加工の品質や歩留まりの低下に直結することから、加工現場では、集光スポットの時間・空間的な揺らぎを正確に評価し対策を講じる必要が生じている。

しかし、既存のビームプロファイル測定装置は、いずれもこうした「高い光強度」を持つ「動的な集光ビーム」を測定するようには作られていなかった。たとえば、CCD等を用いた測定法では、前段に光減衰素子の設置が不可欠である。しかし光路内への光減衰素子の設置は、熱レンズ効果の発生源を増やすことに他ならないうえ、屈折等により測定対象ビームに擾乱を与えることが避けられず、測定の信頼性担保が困難である。さらにCCDに光を吸収させ光電変換を行う原理のため、測定することによってビームが遮られ、測定面よりも下流側のビームプロファイルを同時に測定することはできない。また光学スリットを機械的に走査する手法は、計測精度の面で優れる一方で、元来静止したビームの精密な測定を目指した原理であるため、3次元空間を時々刻々と移動する動的なビームプロファイルをリアルタイムに追従する、といった測定は想定していない。さらに前述のCCD型と同様に、光軸方向の特定の測定面以外におけるビームプロファイルの評価するには、装置自体を光軸方向にステージ等により移動させる以外に方法が無く、ビームウエストの揺動をリアルタイムに計測することは現実的とは言い難い。

すなわち、レーザ加工の現場では、既存の原理から脱却した、高レーザ耐力で、高速・リアルタイムで、光軸方向にも解像度を持った、新たなビームプロファイル測定方法が求められている。

2. 研究の目的

加工用高出力レーザの3次元的なレーザビーム形状をリアルタイムで計測する技術を開発する。

3. 研究の方法

既存の手法によりビーム形状を把握した評価用レーザ光学系を構築し、これを基準として比較評価することで、本研究で提案する手法の有効性・妥当性を検証する(図1)。

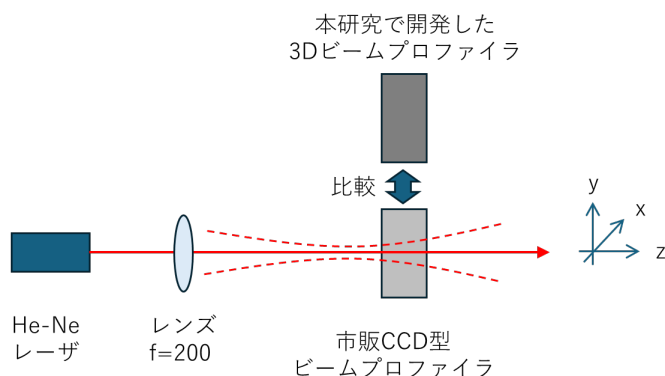


図1 研究の方法の概略

評価用レーザ光学系の光源にはHe-Neレーザを用い、焦点距離200mmのレンズで集光してビームウエストを形成させる。集光点の前後におけるビーム径(1/e²)を、市販のCCD型ビームプロファイラを光軸に沿って5ないしは10mmずつ移動させながらビーム径を測定し、光学系の3次元的なビーム形状を把握した。その結果、焦点におけるビーム径は約46μmであることが分かった。焦点前後±9cmの範囲で測定したビーム径の測定結果と理論曲線は良好に整合しており、焦点前後±6cmでのビーム径はいずれも約1mmであった。この評価用レーザ光学系に、本

研究で開発するビームプロファイル計測法を適用し、ビーム径の測定結果を比較する。

4. 研究成果

事前に CCD 型プロファイラでビーム形状を把握した評価用レーザ光学系との比較を通じて、本研究で開発した手法の精度の検証を行った。結果を図 2 に示す。グラフの横軸は光軸方向の位置、縦軸はビーム半径 ($1/e^2$) で、曲線は CCD 型プロファイラによる評価により導出したビーム径の分布、プロットは本研究で開発した手法により計測したビーム径、エラーバーは、測定値の標準偏差を表す。ビームウエスト前後において既存の計測器と整合する結果が得られていることが分かる。

この結果は、ビーム断面方向に加えて光軸方向にも空間分解能を持つ、新しいビームプロファイル計測技術としての本提案手法の有効性・妥当性を実証するものである。

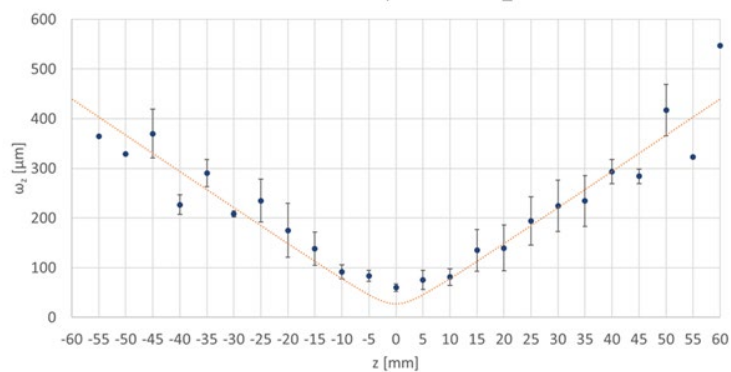


図 2 既存技術と本研究で開発した技術によるビーム径測定結果の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------