



レーザ加工用 $f\theta$ レンズの透過波面測定法の確立

平井隆之*・原田禎久・荒木高志
京谷達也

Transmission Wavefront Measurement of F-Theta Lenses for Laser Processing — by Takayuki Hirai, Yoshihisa Harada, Takashi Araki and Tatsuya Kyotani — Laser technology is now indispensable for today's industry, introduced to various fields such as steel, automobiles and electronics. Above all, laser drilling is widely used for drilling minute holes in circuit boards, which enables the size and weight reduction and functional advancement of electronic devices. The result of laser processing greatly relies on the quality of the laser and optics, especially a f-theta lens, which is a multi-element lens having diffraction limited performance over the flat scan field. Therefore, the quantitative evaluation of the f-theta lens is inevitable. In this report, the author describes the principle and the result of transmission wavefront measurement, which is a newly established method to evaluate the quality of the f-theta lenses.

Keywords: f-theta lens, transmission wavefront, CO₂ laser

1. 緒言

C.K.N.Patelの発明（1964年）によるCO₂レーザの登場以来、レーザの光エネルギーを利用した切断、溶接等のレーザ熱加工技術は鉄鋼、自動車、電機をはじめとした様々な産業分野での適用が拡大し、今日では成熟した基幹技術となっている。

また、携帯電話・パソコン等の電子部品に用いられるLSIの小型化とこれを搭載するプリント基板の高密度化、多層化への要求を満たすため、従来のマイクロドリルから $f\theta$ レンズを用いたレーザ微細穴加工が進展しており、加工速度の速さ、メンテナンスのし易さ等の観点からレーザを用いた穴あけ加工機が主流となっている^{(1)~(3)}。図1に $f\theta$

レンズを用いたプリント基板へのレーザ穴あけ加工の概要を示す。発振器からのレーザビームの向きを2軸のガルバノスキャナで制御されたスキャンミラーを高速で振り、プリント基板上の目標の位置へ $f\theta$ レンズで集光することにより加工を行うものである⁽⁴⁾。

このプリント基板の高密度化、多層化要求は、加工穴径の小径化、穴径・穴位置精度の高精度化につながっており、レンズ性能の定量的な評価が非常に重要となっている。

しかし、実際のレーザ加工による実装評価では、(1) 大掛かりなレーザ加工装置が必要である、(2) レーザや被加工物の特性などの影響があるため、 $f\theta$ レンズのみ特性を切り分けて評価することが困難である、等の問題がある。

そこで、 $f\theta$ レンズそのものの光学特性を評価する指標として図2に示す波面収差（光学的な歪み）に着目し、透過波面を計測する手法を確立した。本報告では、 $f\theta$ レンズの評価手法として開発した透過波面測定法について報告する。

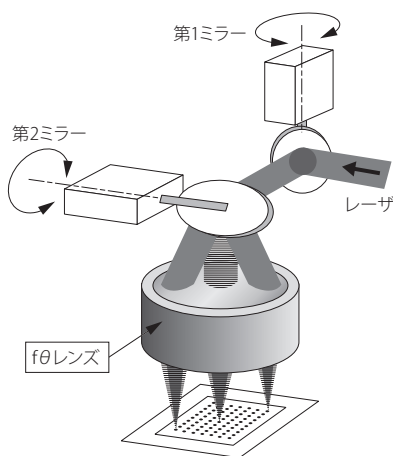


図1 $f\theta$ レンズを用いた穴あけ加工の概要

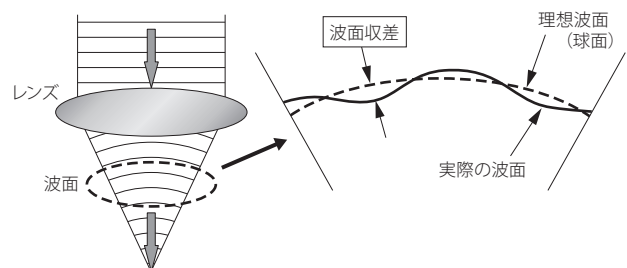


図2 波面収差の概要

2. $f\theta$ レンズの原理

図3 (a) に一般的な単レンズにおけるレーザ集光の様子を示す。レンズに垂直に入射したレーザ光をレンズから一定距離離れた加工面上に微小なスポットで集光することができる。しかし、レンズに対してレーザ光が傾入射した場合、集光するスポットのサイズが大きくなるばかりではなく、集光する位置が垂直入射時に比較してレンズ側へシフトしてしまう。これに対し、図3 (b) に示すように $f\theta$ レンズはレンズに対して斜入射した場合においても垂直入射の場合と同一面上でかつ同様に微小なスポットサイズに集光することができる。この特性を利用し、レーザ光を高速にスキャンすることで、レンズを移動させることなく、同一面上に微小スポットでの高速加工を実施することが可能である。

このような単レンズにはない性能を要求されるため、通常 $f\theta$ レンズは複数のレンズによって構成される組レンズとなり、さらにレーザ光を極限まで微小に集光するために各レンズは取差を抑えることを目的に非球面形状を有することが多い。

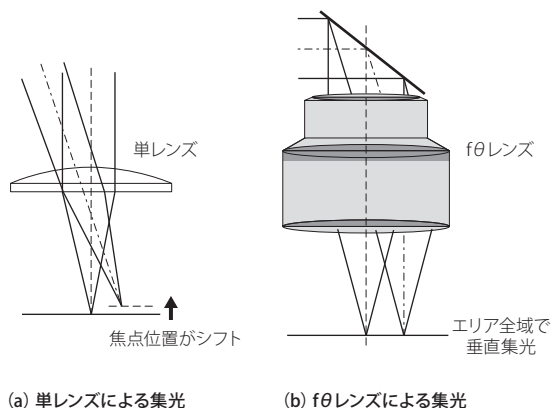


図3 レンズによるレーザ集光の様子

3. $f\theta$ レンズの製造

$f\theta$ レンズを構成する各レンズの製造フローを図4に示す。CO₂レーザ用 $f\theta$ レンズを構成するレンズは、CO₂レーザ帯域での透過性に優れたセレン化亜鉛 (ZnSe) やゲルマニウム (Ge) を用いた。プリント基板への加工穴径・穴位置精度を高精度化するためには、レンズ全体として極限まで取差を抑制することが要求される。そのためには、大径でかつ非球面を多用したレンズ構成が必要となることが多い。これらの要求精度を満足するための加工方法として、NC制御の位置分解能0.03nm、エアースピンドル、油静圧スライドなどで構成された超精密旋盤による超精密切削加工技術 (Single Point Diamond Turning : SPDT) を用いた^{(5),(6)}。

レンズは、図5に示すようにレンズ素材を主軸に取り付

けて回転させ、バイト刃先が目的とするレンズ形状 (球面・非球面など) の軌跡を描くように2軸同時にNC制御しながら旋削加工される。 $f\theta$ レンズを構成する高精度レンズを得るためには、機械の運動精度が高いのはもちろん、加工環境 (加工時の温度制御、床振動等) の変動抑制、加工する材質に適した加工条件 (切り込み量、送り速度、切削速度、バイト刃先形状) の最適化、エアースピンドルの高剛性化が必要である。

図6にSPDT加工を行ったレンズの非球面形状測定結果の代表例を示す。本加工において設計非球面からのずれを示す形状精度は0.076 μ mと非常に高精度である。

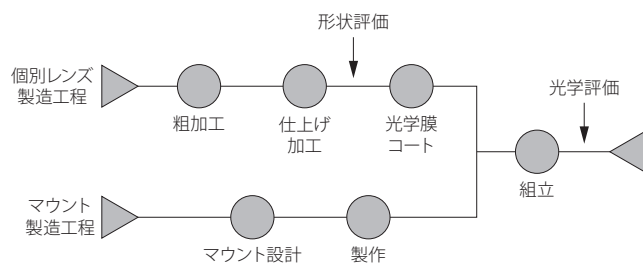


図4 $f\theta$ レンズ製造フロー

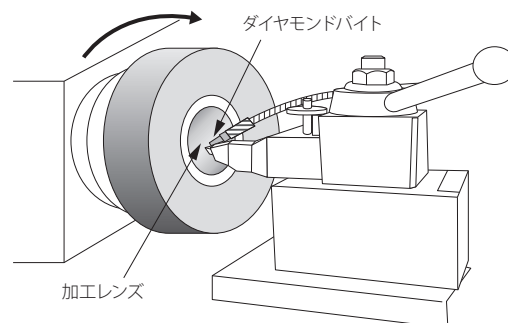


図5 超精密旋盤によるレンズ加工

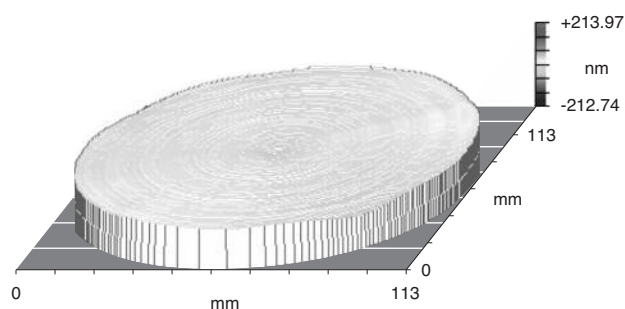


図6 SPDTによる加工結果

4. 透過波面測定法

4-1 透過波面測定法の原理 図7に透過波面測定法の原理を示す。本光学系はフィゾー式干渉計に用いられる光学系を用いたものである。光源より出射されたレーザー光は発散レンズ・コリメータレンズを用いて拡大、コリメートされる。コリメートされたレーザー光は、設置された基準板により一部が反射され、一部が透過される。透過したレーザー光は被検対象となるサンプルレンズにより集光された後参照球面原器によって反射され、基準板によって反射されたレーザー光との干渉によって干渉縞が生じる。サンプルレンズによる集光点が完全に一点に集光された場合、球面原器位置では理想的な球面波が形成されており、基準板からの反射光との干渉によって形成される干渉縞はまったく歪みのないものとなる。つまり、形成された干渉縞の歪み量を計測することにより、サンプルレンズの光学性能（サンプルレンズの持つ取差量）を解析することが可能となる。図7に示した光学系によって構成される測定系における測定の繰り返し再現性は、 2σ 値にて1.27nmと非常に高精度を実現しており、光学部品に求められる取差レベルよりも十分に低いレベルを満たしている。

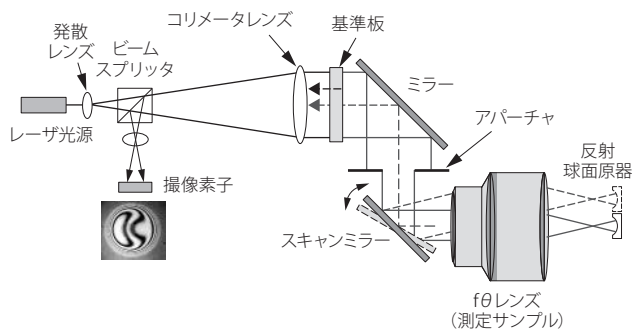


図8 fθレンズ透過波面測定の概要

表1 fθレンズの設計仕様

設計項目	レンズA	レンズB
波長	9.4um	←
焦点距離	100mm	←
スキャンミラー角度	0~10deg	←
アパーチャ径	ø20mm	←

て透過波面測定を実施した2種のfθレンズの基本的な特性を示す。本測定に用いた2種のfθレンズは、光学的特性がほぼ一致したものである。図9に透過波面值測定結果を示す。

本測定においては、設計結果との相関を確認するため、極めて高精度に加工されたレンズを用いた検証を行った。図9に示した結果から特にスキャンミラー角度が大きい範囲においていずれのレンズでも測定結果と設計結果がよく一致していることが確認できる。

さらに、表1に示したAレンズにおいて、構成されるレンズの加工面精度による透過波面值への影響を検証するために、図10に示すような加工面精度のfθレンズを製作し、透過波面計測法における比較測定を実施した。

図11に測定結果を示す。構成レンズの加工面精度の低

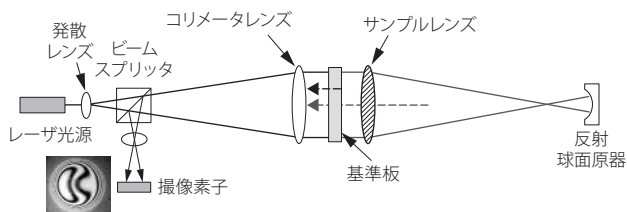


図7 透過波面測定法の原理

4-2 透過波面測定法のfθレンズ評価への応用 fθレンズは先に述べた通り、複数のレンズにより構成される組レンズである。従って、fθレンズの性能は、構成される各レンズの加工形状精度、各レンズのマウントへの組立時に発生するディセクター・ティルトのような組立精度など複数の要因が組み合わさっており、定量的な特性を解析的に導出することは困難である。

当社では、前述の透過波面測定法を応用した図8に示す光学系を用い、従来定量的な評価が困難であったfθレンズの光学特性の評価を実施した。

fθレンズ前側に配置されたスキャンミラーによってレンズへ入射するビームの角度を変化させ、それぞれの角度における取差量の計測を実施する。また、各fθレンズの設計前提となる入射瞳径を形成するために、アパーチャによってビーム径をコントロールしている。表1に本手法を用い

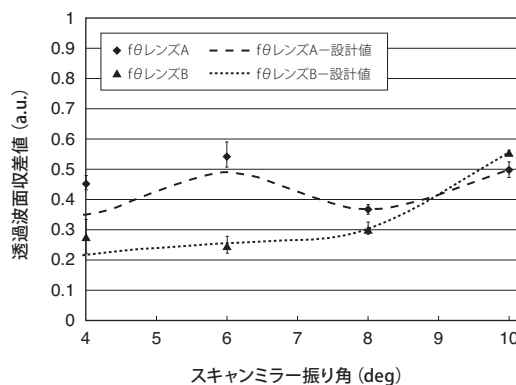


図9 fθレンズ透過波面測定結果

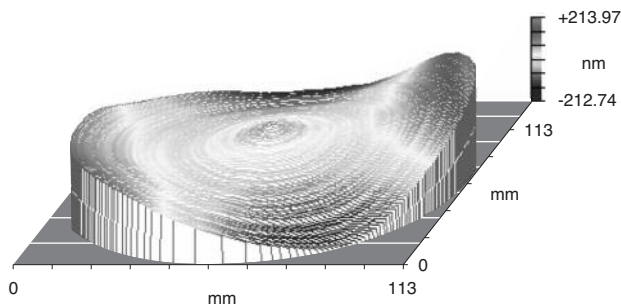


図10 加工面精度不良品の一例

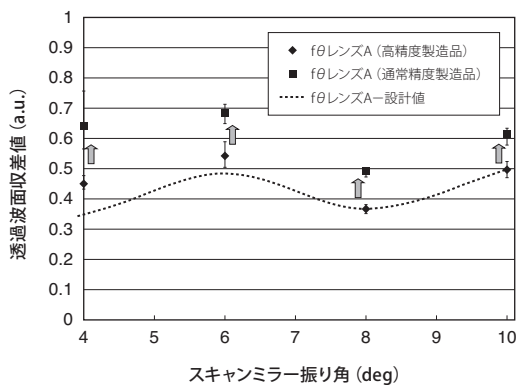


図11 fθレンズ透過波面測定結果 (製造精度の影響検証)

下によりfθレンズの透過波面収差が大きくなっていることが確認できる。本結果からも透過波面計測法がfθレンズの優劣判定に有効であることが確認できる。

4-3 透過波面測定法の応用展開 透過波面測定法を用いて、以下に示すさまざまな用途への応用展開が可能である。

① UVレーザー用fθレンズ透過波面測定

UVレーザー用fθレンズは、CO₂レーザーに対して約1/30と非常に短い波長(355nm)のUVレーザー光を用いることにより小径の穴あけ加工を実施するものであり、近年の加工穴小径化の要求に対応するため急速に普及している。測定には図8に示した光学系を用いるが、合成石英などUVレーザー用fθレンズの内部光学系として用いられる光学材料は、CO₂レーザーを吸収する性質があり、同一のセッティングでの測定はできない。そこで、測定に用いるレーザー光源として可視レーザーであるヘリウムネオン(He-Ne)レーザーを用いる⁽⁷⁾。

② 集光レンズ透過波面測定

自動車・鉄鋼産業などで切断・溶接等に使用される集光レンズについて、図7に示した光学系を用いて同様の透過波面収差を測定することで、レンズ両面の加工精度・レン

ズに使用している素材自身の品質を評価することが可能である。

③ 光学部品用素材の検査

光学部品を製造するための素材(ZnSe, Ge, 合成石英等)を通過させたビームの収差値を測定することにより、素材の内部歪み(ホモジニティ)・欠陥等の検査が可能である。

5. 結 言

進展が著しいエレクトロニクス分野でさらなる高精度要求に対応するために不可欠となるfθレンズにおいて、従来測定が困難であった光学特性を定量的に測定することを目的に透過波面測定法を確立し、設計・解析結果との相関を確認した。今後、レーザー実装評価によって加工性能との相関を評価することが課題である。また、評価結果の設計へのフィードバックを実施することによる光学部品を高精度化し、レーザー加工分野の発展に寄与したい。

参 考 文 献

- (1) 福島司ほか、「高ピーク短パルスCO₂レーザーとその応用」、電子材料、10月、p.123-127 (1995)
- (2) 中井出ほか、「プリント配線板のレーザー高速穴あけ装置」、第35回レーザー熱加工研究会誌、vol.2、No.2、p.199-206 (1995)
- (3) 北泰彦ほか、「CO₂レーザー銅ダイレクト加工の技術動向」、エレクトロニクス実装学会 (2009)
- (4) 荒木高志ほか、「レーザー穴あけ加工用fθレンズの開発」、SEIテクニカルレビュー、第154号、p.89-95 (1999)
- (5) 京谷達也ほか、「CO₂レーザー用Moコート放物面鏡」、住友電気、第138号、p.162-167 (1991)
- (6) 平井隆之ほか、「高出力ファイバーレーザー用放物面鏡加工ヘッドの開発」、第71回レーザー加工学会講演会 (2008)
- (7) 荒木高志ほか、「UVレーザー用fθレンズの開発」、SEIテクニカルレビュー、第175号、p.62-67 (2009)

執 筆 者

平井 隆之* : 住友電気ハードメタル(株)
光学部品開発部 主査
レーザー加工用光学部品の開発に従事



原田 禎久 : 住友電気ハードメタル(株)
光学部品開発部 エキスパート

荒木 高志 : シニアスペシャリスト
住友電気ハードメタル(株)
光学部品開発部 主幹

京谷 達也 : 住友電気ハードメタル(株)
光学部品開発部 部長

*主執筆