

# 広領域レーザー微細加工装置の基礎研究

新潟大学自然科学系（工学部）

教授 新田 勇

（平成19年度一般研究開発助成 AF-2007202）

キーワード：シュリンクフィッタ，光学レンズ，高精度

## 1. はじめに

レーザー加工は，主にレンズ等により加工点でレーザー光を集光することで行う加工法である．現在では，穴開けや切断，溶接および半導体の微細加工などに幅広く利用されている．近年のレーザー加工の加工精度は目覚ましく進歩しているが，より高い精度と加工速度が要求されてきている．レーザーの走査方式からレーザー加工機を大別するとステータタイプ，ロボットアームタイプおよびスキャニングタイプの3つに分けられる．しかしどのタイプのレーザー加工機においても広範囲にわたり高速，高精度な微細加工を同時に実現させるのは難しい．

本研究では，両者を同時に実現させる方法として，高速加工が可能であるスキャニングタイプに着目し，この方法では実現の難しかった広範囲にわたり高精度な加工を実現するため，走査用f $\theta$ レンズの組込みにシュリンクフィッタ法<sup>(1)-(3)</sup>を用いた．しかし，走査用f $\theta$ レンズには特性上，光学収差の1つである歪曲収差があり，結像面において走査ビームスポットの軌跡に歪みが生じ，高精度な加工を阻む要因となっている．したがって，高精度な加工を行うためにはソフトウェア等によりビーム走査位置の補正を行う必要がある．これまで行ってきた歪曲収差補正方法<sup>(4)</sup>は，補正時には適切な位置補正が行われているように見えても(図1)，実際に加工すると加工点の位置精度は設計仕様を満足するものではなかった(図2)．

そこで本研究では，新たな歪曲収差の補正方法を考案し，実験により補正方法の妥当性の評価を行った．また，加工装置の長期的な時間変化に対する加工精度の変遷についても評価した．

## 2. 広領域レーザー微細加工機概要

本研究で開発しているレーザー加工機の外観を図3に示す．本装置には2種類のレーザーが備えられてい

表1 レーザー微細加工装置の設計仕様

レーザー波長	YVO <sub>4</sub> Laser (1064nm)
レーザー走査方式	ガルバノミラー、 $\theta$ レンズ
加工領域	100mm × 100mm
スポット位置精度	±10 $\mu$ m
スポット径	Φ30 $\mu$ m

る，一つは装置の光軸を調整するための補正用レーザーであり，もう一つは加工に使用する加工用レーザーである．どちらの場合もレーザー発振器より射出されたレーザーは2枚の固定ミラーにより光路を変更され，ビームエキスパンダにより拡大し平行光になる．そして2枚のガルバノミラーによってX，Y方向に走査された後，f $\theta$ レンズで集光されて結像面に照射される．また，f $\theta$ レンズの真下にはXYステージとZステージが取り付けられているが，これは歪曲収差の補正と後の加工精度の測定に用いるものである．本装置の設計仕様を表1に示す．

**2・1 レーザー発振器** 本装置では加工用レーザーとして最大出力10WのNd-YVO<sub>4</sub>レーザー(ミヤチテクノス社製，ML-7110B)を使用し，歪曲収差補正やスポット径の測定用レーザーとして最大出力200mWのNd-YAGレーザー(Elforlight社製，I4-200-1064)を使用した．Nd-YVO<sub>4</sub>レーザーは発振器本体とコントローラ，および条件設定用PCで構成される．このレーザーは励起用LDの電流値を変化させることにより出力を可変することができる．条件設定用PCからはこの電流値や繰返し周波数，シャッターの開閉時間等を設定し，レーザー加工装置の制御用PCからデジタル入出力ボード(Interface社製，PCI-2725L)により照射・

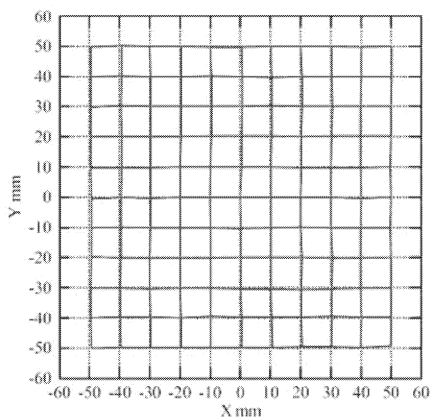


図1 過去のNd:YAGレーザーを用いた位置決め精度 (誤差を100倍に拡大して表示)

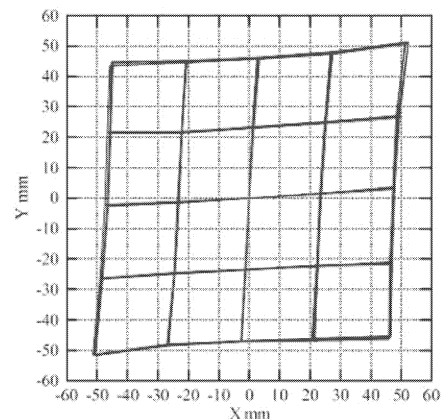


図2 調整後Nd:YVO<sub>4</sub>レーザーにより加工した加工痕の位置精度 (誤差を100倍に拡大して表示)

停止制御を行っている。

**2・2 ビームエキスパンダ** ビームエキスパンダは凹レンズと凸レンズの組合せで構成され、レーザ光を拡大し、平行光にするために用いる。ここで、 $f\theta$ レンズの焦点距離を $f$ 、レーザの波長を $\lambda$ 、 $f\theta$ レンズへの入射ビーム径を $D$ とする時の結像面における理論ビームスポット径 $d$ は式(1)で表される。この式よりビームの理論集光径は集光レンズに入射するビームの径に反比例するため、 $f\theta$ レンズの手前でビームを拡大することにより理想的なスポット径を得ることができる。

$$d = 1.64 \frac{f\lambda}{D} \quad (1)$$

**2・3 ガルバノミラー** XY方向の二次元走査を可能とするために、2個のガルバノミラーを使用している。このミラーは、ミラー本体(GSI Lumonics社製、M2ST・M3ST)とサーボドライバ(同、MiniSAX)、スキャンコントローラ(同、SC2000)により構成される。また、スキャンコントローラによる走査分解能は約 $0.001^\circ$ であり、このとき $f\theta$ レンズの焦点距離から計算した結像面におけるビームスポットの位置決め分解能は約 $2.7\mu\text{m}$ となり、設計精度の $\pm 10\mu\text{m}$ を満たすと考えられる。

**2・4  $f\theta$ レンズ**  $f\theta$ レンズはガルバノミラーにより走査されたレーザを微細に集光させるためのレンズである。本装置の $f\theta$ レンズは外径が120~180mmの5枚のレンズからなり、シュリンクフィット法により組み込まれている。そのため、ガルバノミラーによって走査されたレーザ光を全走査領域において、微細に集光させることを可能としている。 $f\theta$ レンズの設計仕様は焦点距離 $f=166.8\text{mm}$ 、走査範囲 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 、レーザの入射直径15mm時のスポット径 $20\mu\text{m}$ となっている。

**2・5 歪曲収差補正方法** 次に歪曲収差の補正方法を示す。測定用レーザであるNd-YAGレーザ発振器を用いて、レーザ光を所定の位置にガルバノミラーで走査し、そのときの結像面におけるビームスポットの座標位置をXYステージ(Feinmess社製、KDT180-100-LM)上に設置した50倍の顕微鏡対物レンズ付きCCDカメラで測定する。以上によりガルバノミラーの回転角とビームスポットの位置座標の関係を最小二乗法により求め、それを歪曲収差の補正式とした。以下にXミラーに対する7次多項式を示す。

$$\begin{aligned} \theta_x = & a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4XY + a_5Y^2 + a_6X^3 + a_7X^2Y + a_8XY^2 + a_9Y^3 \\ & + a_{10}X^4 + a_{11}X^3Y + a_{12}X^2Y^2 + a_{13}XY^3 + a_{14}Y^4 + a_{15}X^5 + a_{16}X^4Y + a_{17}X^3Y^2 \\ & + a_{18}X^2Y^3 + a_{19}XY^4 + a_{20}Y^5 + a_{21}X^6 + a_{22}X^5Y + a_{23}X^4Y^2 + a_{24}X^3Y^3 + a_{25}X^2Y^4 \\ & + a_{26}XY^5 + a_{27}Y^6 + a_{28}X^7 + a_{29}X^6Y + a_{30}X^5Y^2 + a_{31}X^4Y^3 + a_{32}X^3Y^4 + a_{33}X^2Y^5 \\ & + a_{34}XY^6 + a_{35}Y^7 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\theta_x$ : X軸ミラーの回転角、 $a$ : 補正係数、

$X, Y$ : ビーム目標座標である。

Y軸方向ミラーについても同様な補正式を求める。式(2)にビームを照射させたい位置の座標を代入することにより、必要なミラーの回転角を得ること

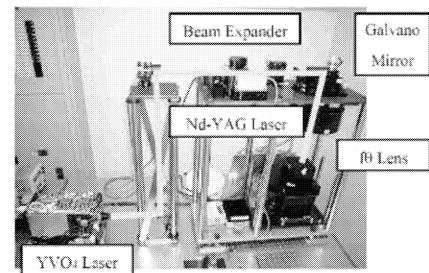
ができる。これまでの研究<sup>(4)</sup>により設計仕様である $\pm 10\mu\text{m}$ の位置決め精度を実現すると同時に、最も効率よく歪曲収差を補正するには、加工領域全体で最低121点においてビームスポットの座標を測定し、7次の多項式において補正を行う必要があることが分かっている。

### 3. 実験方法と結果

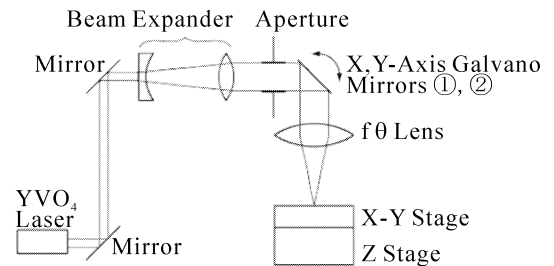
**3・1 新たな歪曲収差補正方法** 従来の歪曲収差補正方法で使用していた測定用レーザであるNd-YAGレーザから、加工用レーザであるNd-YVO<sub>4</sub>レーザに切り替え、新たにNd-YVO<sub>4</sub>レーザを用いた以下の3種類の歪曲収差補正方法を考案した。考案した歪曲収差補正方法で求めた補正式が適切であるかを確認するため、加工試験を行い、加工痕の位置を測定した。

**3・1・1 低出力による補正方法** 従来の歪曲収差補正方法に、加工用レーザであるNd-YVO<sub>4</sub>レーザを使用した低出力による歪曲収差補正方法を検討した。しかし、Nd-YVO<sub>4</sub>レーザでは出力が高く、XY軸ステージに取り付けたCCDカメラを破壊する恐れがある。そのため、Nd-YVO<sub>4</sub>レーザの出力を下げ、Nd-YAGレーザと同じになるよう出力を調整した。供給電流値をレーザが出力される下限値の11.6Aに設定し、さらに図4に示すようにNd-YVO<sub>4</sub>レーザの光軸上に透過率Nd-10%のNDフィルター1枚と透過率5%のNDフィルター2枚を設置した。その結果、Nd-YAGレーザと同じ出力になった。補正式の求め方は、従来の方法と同じである。

**3・1・2 ガラス板を用いた補正方法** ガラス板を用いた歪曲収差補正方法を検討した。縦127mm、横127mm、厚さ2mmのガラス板の表面にスプレー式黒色塗料を塗布した。作製した試験片を図4に示すようにマウントプレートの上に置き、従



(a) 加工装置の外観図



(b) レーザ光路図

図3 開発した広領域微細レーザ加工機

来の歪曲収差の補正同様に，加工領域である100mm×100mmを10mmの等間隔に分割した交点121点に対して，加工用レーザを供給電流値13.4A，繰り返し周波数99kHz，シャッターの開時間20nsで照射し，黒色塗料を気化させた．そして，XY軸ステージ上に設置した50倍の顕微鏡対物レンズを取り付けたCCDカメラにより，気化した位置を測定した．測定された座標位置とその時のガルバノミラーの回転角から最小二乗法により，歪曲収差の補正式を求めた．この方法は，実際に加工を行う条件に近い状態で測定を行うことが可能である．ガラスという透明体を用いることで，加工痕の位置を動かさないでその位置を測定することが可能である．

**3・1・3 金属板を用いた補正方法** 金属板を用いた歪曲収差補正方法を検討した，金属板には加工試験時に用いるのと同じ寸法の，縦150mm，横150mm，厚さ1mmのSUS304の試験片を使用した．従来の歪曲収差補正と同様に，加工領域である100mm×100mmを10mmの等間隔に分割した交点121点に対して加工を行った．加工条件は，レーザ供給電流値29A，繰り返し周波数99kHz，シャッターの開時間20nsである．加工した試験片は，図5に示すようにマウントプレートに取り付け，XY軸ステージ上に50倍の顕微鏡対物レンズ付きCCDカメラで加工痕座標を測定した．またその際，設置時のずれを取り除くために式(3)のような座標変換を行っている．測定した加工痕座標とその時のガルバノミラーの回転角から最小二乗法により，歪曲収差の補正式を求めた．この方法は，加工時と同じ加工条件で実験を行い，その時の加工痕位置から補正式を求める方法である．

**3・1・4 加工精度評価法** それぞれの方法で求めた歪曲収差の補正式が本研究のレーザ加工機に求められる加工精度を満足しているか調べるために加工試験を行った．加工には加工用レーザであるNd-YVO<sub>4</sub>レーザを用い，加工条件はLD電流値29A，繰り返し周波数99kHz，シャッターの開時間20nsと

した．試験片には150mm×150mm，厚さ1mmのSUS304の薄板を用いた．試験片の表面は2B仕上げされている．また，加工精度を評価するため，加工領域である100mm×100mmを10mmの等間隔に分割した交点121点の評価パターンを作成した．加工後の試験片は歪曲収差補正時と同様，XYステージ上に取り付けられたCCDカメラにより各加工痕の位置座標を測定した．なお，加工と測定はそれぞれ4回ずつ行い，繰り返し精度についても検討した．なお，試験片の取り付けずれによる測定誤差を排除するため，式(3)に基づき座標変換を行った．

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで， $x, y$ ：格子点の本来の座標  
 $X, Y$ ：ステージにより測定した座標  
 $\theta$ ：回転角  
 $x_0, y_0$ ：平行移動量

## 4. 実験結果

**4・1 各補正方法による実験結果** 低出力による方法から求めた補正式の加工痕測定結果を図6に，ガラス板による方法から求めた補正式の加工痕測定結果を図7に，金属板による方法から求めた補正式の加工痕測定結果を図8に示す．それぞれ加工，測定を4回ずつ行った結果を1つのグラフに重ねてプロットした．目標値からのずれは100倍に拡大して表示した．また各方法による加工精度評価結果を表2に示す．3つの方法から求めた補正式の加工痕測定結果は，どちらもX軸，Y軸方向への加工痕のバラつきは少なく，よく重なっており再現性が良いことが分かる．今回行った補正方法では，どの方法でも点対称の大きな歪みは見られなかった．これは補正時にも加工用レーザであるNd-YVO<sub>4</sub>レーザを使用したことにより，加工時でも歪曲収差が適切に補正されたと考えられる．しかし，位置座標の最大ずれは，低出力による補正方法とガラス板による補正方法共に，従来の方法と変わらず，位置精度があまり改善されなかった．これに対し，金属板による加工痕測定結果では，X軸方向19 $\mu$ m，Y軸方向13.8 $\mu$ mとなり，従来の補正方法や低出力による方法，ガラス板による方法に比べ，位置精度が大きく改善された．

本f $\theta$ レンズは走査領域の全域でほぼテレセントリック性を持っているが，周辺部においては僅かにテレセントリック性が崩れている．そのため，CCDカメラでビームスポットを直接測定した際，走査域周辺部ではレーザビームが垂直線から僅かに傾斜しているために，所定の位置から僅かにずれた位置が測定されてしまったと考えられる．

ガラス板を用いた補正方法においては，ガラス板に黒色塗料を塗布する際，塗装膜に少しムラが生じてしまい加工痕が綺麗な円ではなく，楕円となる箇所もあった．そのため，加工痕の中心座標を画像処理で求める際に誤差が含まれたのではないかと考えられる．

金属板を用いた歪曲収差補正方法においては，実際に試験片へ加工を行い，その加工痕の位置から

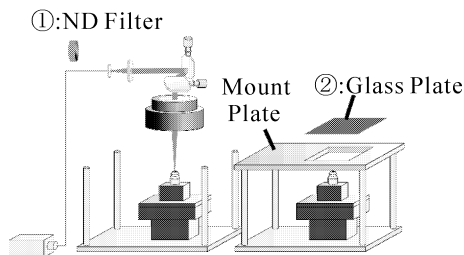


図4 NDフィルター法とガラスプレート法

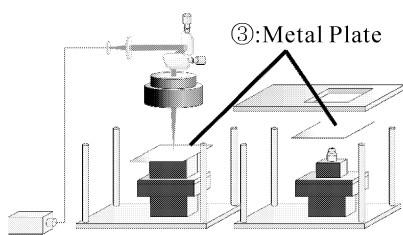


図5 金属プレート法，金属板に微細加工を施した後，裏返して加工痕位置を測定

表2 種々の方法による補正の評価結果

	NDフィルター法	ガラス板法	金属板法
繰り返し精度	$3\sigma_x=5.2\mu\text{m}$	$3\sigma_x=6.8\mu\text{m}$	$3\sigma_x=6.9\mu\text{m}$
	$3\sigma_y=9.7\mu\text{m}$	$3\sigma_y=7.5\mu\text{m}$	$3\sigma_y=5.6\mu\text{m}$
最大誤差	X:69 $\mu\text{m}$	X:53 $\mu\text{m}$	X:19 $\mu\text{m}$
	Y:44 $\mu\text{m}$	Y:48 $\mu\text{m}$	Y:13.8 $\mu\text{m}$

補正式を求めている。そのため、測定や加工にミスがなければ、位置座標の最大ずれは $\pm 10\text{mm}$ 以内に収まると思われる。

**4・2 長期的な加工特性評価** f0レンズには歪曲収差と呼ばれる光学収差があり、高精度な加工を行うためには、歪曲収差を補正する必要がある。前節において新しい歪曲収差補正方法を考案、検討した。その結果、金属板を用いた補正方法を用いることによって、従来法に比べ歪曲収差は改善され、高精度な加工を行うことが可能となった。

さて、スキャニングタイプの加工機を用いて、装置の加工特性を評価した例はいくつか見つけることができる<sup>(6)・(7)</sup>。しかし、長期的な時間変化に対する加工精度の変化を調べた報告は、筆者の知る限り見られない。理由として、f0レンズはすきまばめにより鏡筒に締結されており、温度変化や衝撃に対して各レンズの心がずれ、またレンズが持つ光学収差等による影響により、f0レンズの特性は安定しないという考えがある。そのため、長期的な加工特性の安定性は時間変化するのが当然であり、調査しようとする自体が無意味と考えられたせいではないかと推察した。しかし、本研究ではf0レンズの締結法にシュリンクフィッタ法を用いている。温度変化や衝撃に対して、各レンズの心が一致し、f0レンズの時間的な不安定要素がなくなり、従来の締結法を用いたレーザ加工機よりも、装置の長期的な加工特性を評価する意味が出てきたと考えられる。そこで、新たな補正方法と安定したf0レンズを用いて、装置の長期的な時間変化に対する加工特性を評価した。

**4・2・1 加工特性評価法** 装置の長期的な時間変化に対する加工特性を評価するため、加工試験を1ヶ月毎に1度、合計6回行った。なお、歪曲収差の補正は、1回目の加工試験前に行い、それ以降は行わなかった。また、室温、湿度は実験を行う2時間前から22℃、30%と一定に保ち、その中で加工

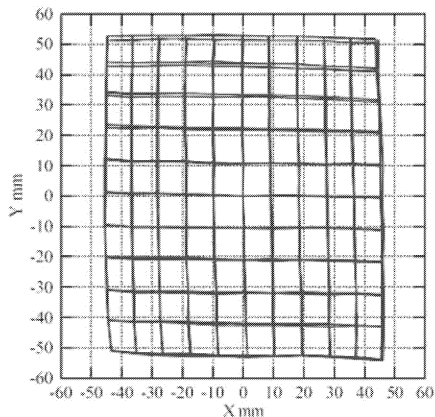


図6 Ndフィルター法を用いた校正方法の誤差表示 (誤差を100倍に拡大して表示)

試験を行った。期間は6月から12月の間であり、その間の新潟県の最大気温は34.8℃、最低気温は-1.9℃であった。また加工試験方法は従来と同様に行った。

**4・2・2 実験結果** 初日の加工試験結果を図9に示す。目標値からのずれは100倍で表示した。歪曲収差補正直後の加工試験結果は、歪みもなく、きれいな格子状となっていることが確認できる。また、最大ずれはX軸方向16.6 $\mu\text{m}$ 、Y軸方向15.5 $\mu\text{m}$ となった。次に6回の加工試験結果をX軸、Y軸方向のビームスポットの最大ずれにより比較した。比較結果を図10に示す。加工試験初日1回目と1ヶ月後の2回目でのビームスポットの位置決め精度はX軸、Y軸軸方向ともにあまり変化がなく、安定して高精度な加工を行うことができています。しかし加工試験2ヶ月後の3回目以降では1ヶ月後の2回目と比べてX軸、Y軸方向ともに変化が見られた。

図11に時間の経過に対する加工試験結果を示す。5ヶ月にわたる6回の加工試験結果を1つのグラフに重ねてプロットした。走査領域中央ではバラつきは少ないが周辺部にいくにつれバラついているのがわかる。またバラつく方向も2ヵ月後以降では、反時計回りに回転し、ひし形にゆがむ傾向を示した。

5ヶ月間に渡り、加工試験を行った結果、最大ずれは初日と5ヵ月後では変化が見られた。また、2ヶ月後以降の結果が回転とひし形を持つ点対称のゆが

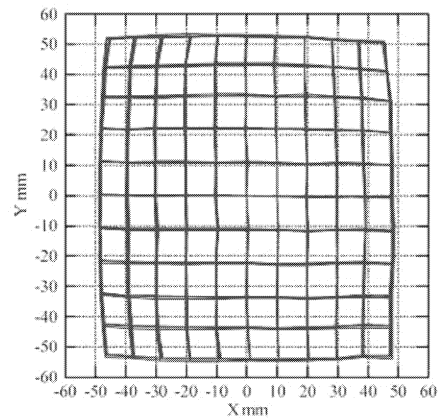


図7 ガラス板を用いた補正方法の誤差表示 (誤差を100倍に拡大して表示)

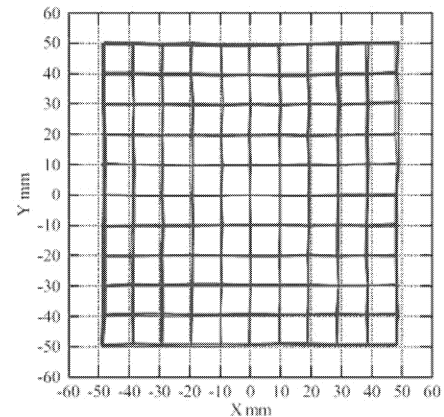


図8 金属板を用いた補正方法の評価結果 (誤差を100倍に拡大して表示)

表3-1 平行移動による影響係数

		影響係数		回転角
		X	Y	
Mirror①	Z	0.128	0.144	0.006
Mirror②	Z	0.129	0.144	-0.001
Beam Expander①	X	1.097	0.108	0
Beam Expander①	Y	0.02	1.095	0
Beam Expander①	Z	0.034	0.044	-0.001
Beam Expander②	X	1.11	0.12	0
Beam Expander②	Y	0.014	1.11	0
Beam Expander②	Z	0.03	0.039	0
Galvano Mirror①	X	0.023	0.001	-0.001
Galvano Mirror①	Z	0.017	0.001	-0.001
Galvano Mirror②	Y	0.005	0.016	-0.004
Galvano Mirror②	Z	0.005	0.015	-0.009
fθ lens	X	0.012	0.001	0.002
fθ lens	Y	0.002	0.015	0.001
fθ lens	Z	0.005	0.005	0

みを持つことがわかった。よって、1ヶ月に1度、補正を行えば、図9に示すような高精度な加工が得られると考えられる。しかし本装置は長期的に安定して高精度な加工を目指している。可能ならば、1度補正を行えば、装置を動かさない限り、安定して高精度な加工を行うようにしたい。そこで、2ヶ月後以降から現れた回転とひし形を持つ点対称のゆがみの原因を検討した。

## 5. 考 察

**5・1 装置各部の位置ずれと位置決め精度の関係** 装置各部の位置ずれが加工精度に影響を及ぼし、結像面上で回転とひし形を持つ点対称のゆがみになるのではないかと考えた。そこで、光学設計・解析ソフトにCodeV9.80 (Optical Research Associate社製)を用いて光学解析を行った。すなわち、装置各部の位置を任意にずらし、ビームスポットの位置決め精度がどの程度影響を受けるかを調べた。解析モデルを図12に示す。解析では固定ミラー、ビームエキスパンダ、ガルバノミラー、fθレンズにそれぞれ並進および角度の変化を与えた。図12にはCodeVにおけるビームエキスパンダの座標系も示す。実験と同様に100mm四方の結像面を25mmの等間隔に分割し、交点の25点におけるビームスポットの理想的な位置からのずれ量を求め、5ヶ月後の加工試験結果と比較した。

### 5・2 解析結果と加工試験結果比較 表3-1,

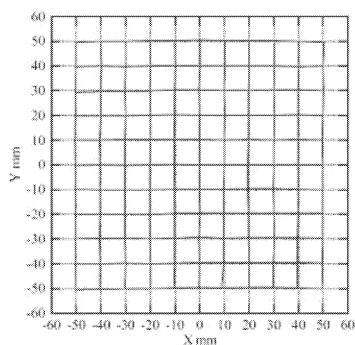


図9 長期実験，初回の加工実験の位置決め精度 (誤差を100倍に拡大して表示)

表3-2 回転移動による影響係数

		影響係数		回転角
		X	Y	
Mirror①	$\alpha$	4.466	5.184	0
Mirror①	$\beta$	3.17	2.175	-0.012
Mirror②	$\alpha$	1.415	2.049	0
Mirror②	$\beta$	1.098	0.606	-0.012
Beam Expander①	$\alpha$	0.006	0.019	-0.001
Beam Expander①	$\beta$	0.013	0.002	0
Beam Expander②	$\alpha$	0.017	0.032	0.003
Beam Expander②	$\beta$	0.014	0.006	-0.007
Galvano Mirror①	$\alpha$	0.069	3.776	-0.015
Galvano Mirror①	$\beta$	7.361	0.867	0
Galvano Mirror②	$\alpha$	4.244	6.146	-0.002
Galvano Mirror②	$\beta$	4.672	1.476	-0.021
fθ lens	$\alpha$	0.047	2.891	0
fθ lens	$\beta$	2.891	0.047	0

3-2に並進、角度の基本単位を与えた場合の加工点の理想的な位置からの移動量を影響係数として示す。実験と同様に、解析の結果得られた結像面上の加工点を座標変換式(3)を用いて補正した。その際に求めた回転角も示す。装置各部の並進による影響が大きいのは、ビームエキスパンダ①、②のX方向、Y方向であった。装置各部の角度による影響が大きいのは、ビームエキスパンダ以外であり、中でもガルバノミラー①、②が比較的大きな値を示した。また、ガルバノミラー①の $\alpha$ 方向とガルバノミラー②の $\beta$ 方向では、回転角も比較的大きな値となり、ビームスポットへ影響を与えることがわかった。特に、ガルバノミラー①の $\alpha$ 方向とガルバノミラー②の $\beta$ 方向へ同時に行った解析結果に対して、加工試験結果と似ている回転とひし形を持つ点対象のゆがみも見られた(図13)。ガルバノミラー①の $\alpha$ 方向、ガルバノミラー②の $\beta$ 方向は、それぞれレーザを走査する振り角である。すなわち、振り角の変化によって、加工試験結果と同じゆがみがみられたことになる。そこで、解析結果を基に原点位置からずれたと推測されるガルバノミラーの振り角のずれ量だけでもどし、再び加工試験を行い、5ヶ月後の加工試験結果と比較した。ガルバノミラーにずれ量を与えた加工試験結果と5ヶ月後の加工試験結果を図14に示す。全体的にY方向へ少し伸びているが、これまでの加工試験結果と同じひし形となる点対称のゆがみは解消されなかった。今回は残念ながら、解析結果と実験結果が違う原因について完全に解明することができなかった。今後は、長期的な加工特性に与

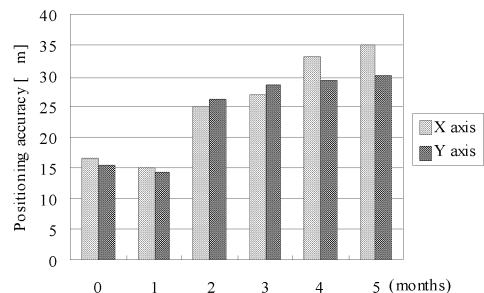


図10 位置決め精度の月ごとの変遷

える影響の原因と、解析結果と実験結果が違う原因について再検討する必要がある。

## 6. おわりに

本研究では広範囲の走査領域において高速・高精度なレーザ加工機の開発を目的としている。今回は、新しい歪曲収差補正方法を考案、検討し、適切に補正されているか確認するため、加工試験を行い、加工痕の位置を測定した。また本装置の長期的な加工特性を評価するため、5ヶ月間にわたり加工試験を行った。その結果以下の結論を得た。

(1) 金属板を用いた歪曲収差補正方法を考案し、評価を行った結果、位置座標の最大ずれはX軸方向19 $\mu\text{m}$ 、Y軸方向13.8 $\mu\text{m}$ となり、従来の補正方法に比べ、位置精度が大きく改善された。また、繰返し精度はXYともに3 $\sigma$ で10 $\mu\text{m}$ 以下となっており、良好な精度であることが確認できた。

(2) 5ヶ月間にわたり加工試験を行った結果、1ヶ月目までの位置座標の最大ずれはX軸方向15.1 $\mu\text{m}$ 、Y軸方向14.4 $\mu\text{m}$ と安定し、初日と変わらず綺麗な格子状となっていた。しかし2ヶ月目以降の位置座標の最大ずれはX軸、Y軸方向共に増加し、5ヶ月目の位置座標の最大ずれはX軸方向35.1 $\mu\text{m}$ 、Y軸方向30.1 $\mu\text{m}$ と初日に比べ2倍以上も増加した。また2ヶ月目以降ではひし形となる点対称のゆがみを持つことがわかった。

## 謝辞

今回の研究を遂行する機会を与えて頂いた、天田金属加工機械技術振興財団に対しまして感謝申し上げます。

## 文献

- (1)新田勇,菅野明宏,刈田伸樹,小俣公夫,白井健司, シュリンクフィッタを用いた光学レンズの超精密接合,精密工学会誌, 67巻10号(2001) pp.1615-1620.
- (2)新田勇,菅野明宏,光学レンズの組込み法=高視野・高解像度レーザーキャナーの開発=,光アライアンス,13巻4号(2002),pp.32-36.
- (3)新田勇,菅野明宏,保坂智就,岡本倫哉,小俣公夫, シュリンクフィッタの応力緩和がレンズ系の光学性能に及ぼす影響,日本機械学会年次大会講演論文集 III(01-1)(2001)pp.79-80.
- (4)新田勇,芳賀亮介,菅野明宏,シュリンクフィッタ

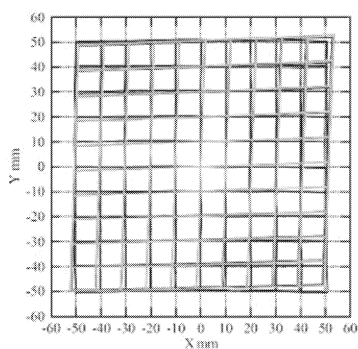


図11 5ヶ月にわたる位置決め精度の変遷 (誤差を100倍に拡大して表示)

技術を用いた広領域レーザ微細加工装置の開発,日本機械学会論文集,C編73,734,(2007)pp.2841-2847.

- (5)Ming-Fei, C., Yu-pin, C., Wen-tse, H., Correction of Field Distortion of Laser marking systems Using Surface Compensation Function, Optics and Lasers in Engineering, Vol.47, No.(2009) pp84-89.
- (6)新藤崇,内野々良幸,鈴木俊之,ダイナミックフォーカス制御によるレーザパターンニング法,松下電工技法, Vol.53, No.2(2005)pp.31-36.
- (7)池田直昭,赤羽崇,井上典亮,高橋慎治,野田修,微細加工用全固体紫外レーザ加工機Meister1000DF,三菱重工技法, Vol.39, No.6(2002)pp. 344-347.

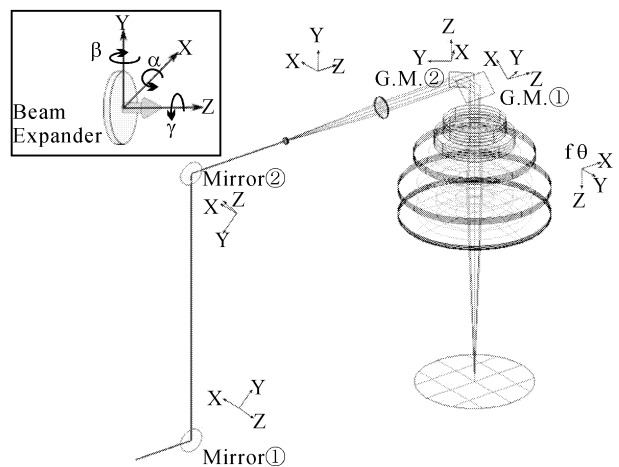


図12 光学解析のモデル

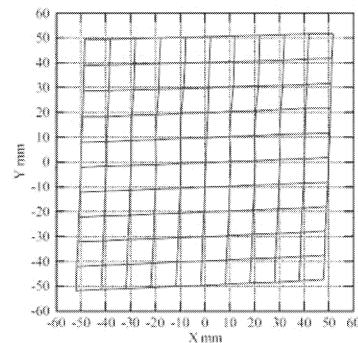


図13 光学解析による実験結果の再現 (誤差を100倍に拡大して表示)

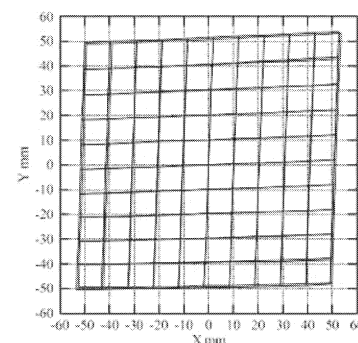


図14 長期実験の歪曲収差の実験結果と解析結果比較 (誤差を100倍に拡大して表示)