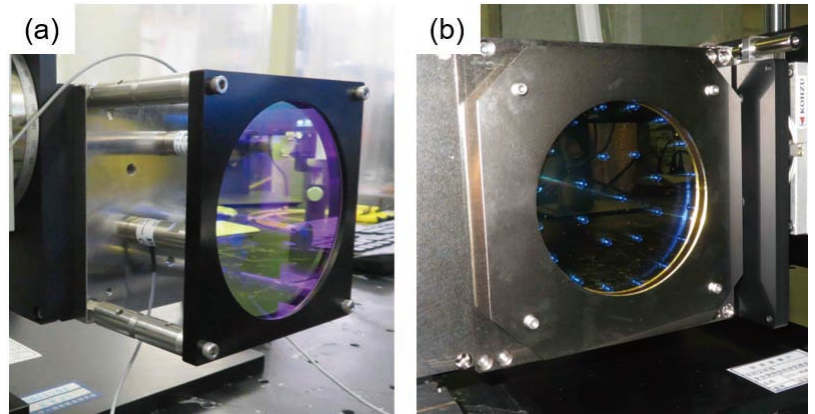


CONTENTS

- 高速・高光耐性可変形鏡の開発
- 韓国訪問記
- 新入研究員



【表紙図】口径100 mmの(a)チップチルト補正鏡、(b)デフォーカス補正鏡の外観

高速・高光耐性可変形鏡の開発

レーザープロセス研究チーム 谷口誠治、コスロービアン ハイク、稲田順史

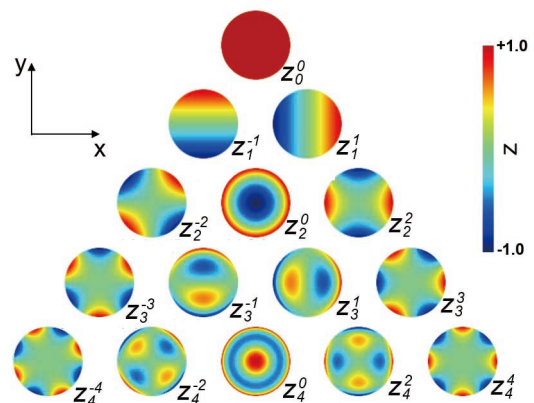
■はじめに

当研究所では、高出力レーザーの大気中遠距離伝送技術を開発するため、要素技術の一つである高速・高光耐性可変形鏡(デフォーマブルミラー)の開発を進めている。可変形鏡とは、薄く柔軟性のある鏡の背面に縦方向に伸縮する駆動素子を複数配置することで、鏡面の形状を変化させることが可能な反射鏡のことを指す。可変形鏡により大気のゆらぎなどに起因するレーザーの波面乱れを補正することにより、高いエネルギー効率でのレーザー伝送が可能となる。これまで本誌では、駆動素子にピエゾアクチュエータ(以下PAと呼ぶ)を用いた口径50 mmの小型可変形鏡の試作を行った結果について報告した(Laser Cross No.401, 2022. May)が、本研究の目標は高出力レーザーへの適用が可能な口径100 mmの大型可変形鏡の開発にある。本稿では、これまで得られた知見をもとに2種の大型可変形鏡を製作し、動作試験による性能評価を行った

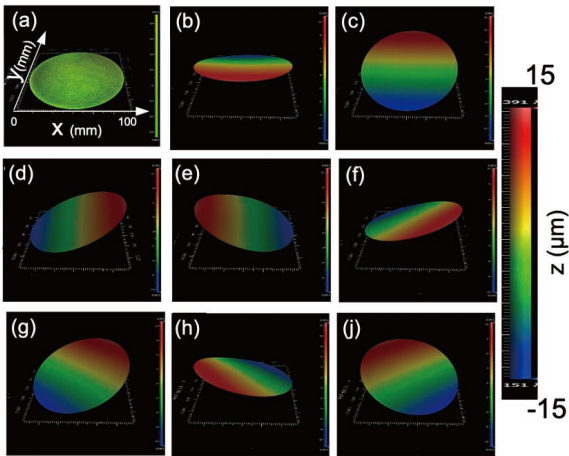
結果について報告する。

■大型可変形鏡の開発

波面乱れの数学的解析によく用いられるのがゼルニケ(Zernike)多項式である。図1に、ゼルニケ多項式の最初の15項を2次元表示したものを示す。色の変化は、単位円内の座標から計算される値(規格化された縦(z



【図1】ゼルニケ多項式の最初の15項(2次元表示)



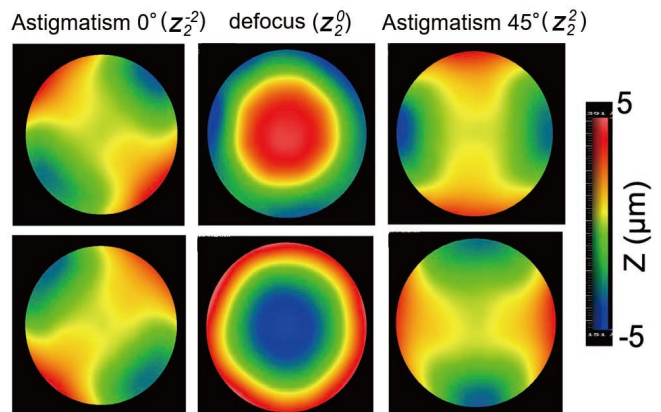
【図2】チップチルト補正鏡の (a)初期状態、レーザー光の (b) -y、(c) y、(d) x、(e) -x、(f) x - (-y)、(g) x - y、(h) (-x) - (-y)、(j) (-x) - y方向への傾きを補正する向きに0.2 mrad傾けた際の表面形状

軸)方向の変位)を示している。多項式はそれぞれ、チップ・チルト (Z_1^1, Z_1^{-1})、デフォーカス (Z_2^0)ほか、アスティグマティズム (非点収差、 Z_2^{-2}, Z_2^2)、コマ収差 (Z_3^{-1}, Z_3^1) などと呼ばれる基本的な波面収差の形状を表しており、任意の波面はこれらの線型結合で表される。大気中レーザー伝送時の波面乱れは、レーザーの進行方向の傾き(ゼルニケ多項式の1次項(チップ・チルト成分))の変化が最も大きく、次いでビームの収束発散(ゼルニケ多項式の2次項(デフォーカス、アスティグマティズム成分))の変化が大きいとされている。本研究では、波面乱れの大きさに合わせ、チップ・チルト成分の乱れを補正する鏡(以下チップチルト補正鏡と呼ぶ)、デフォーカス、アスティグマティズム成分の乱れを補正する鏡(以下デフォーカス補正鏡と呼ぶ)、上記以外の高次項($Z_3^{-3} \sim Z_4^4$)の乱れを補正する鏡(以下高次項補正鏡と呼ぶ)の3種の大型可変形鏡の開発を予定している。表紙図(a)に、今回開発したチップチルト補正鏡の外観写真を示す。正三角形に配置したPA3点で鏡面を支持した。鏡面基板には機械剛性が高い105 mm径、厚さ2 mmのサファイアガラス基板を用い、高出力レーザーに適用するため表面に高反射コートをした。表紙図(b)にデフォーカス補正鏡の外観写真を示す。鏡面基板の外周に16本のPA、内周に8本のPAを配置し、中心部と合わせて計25本で鏡面を支持した。鏡面基板には、高反射コート(反射率99.8%)を施した105 mm径、厚さ1 mmのサファイアガラス基板を使用した。

開発した可変形鏡の性能を評価するため、動作試験を行った。可変形鏡の制御には以下の手法を用いた。まずゼルニケ多項式を用いて波面の各PA位置(x,y)でのz軸方向の変位を計算する。次に各PAの影響関数(Laser Cross No.393,2020 Dec.を参照)を考慮して変位をPAへの印加電圧データに変換したのち、それぞれのPAへ同時に入力し動作させる。鏡面の形状を変化させ、それぞれの表面形状(波面)をフィゾー型干渉計により観測した。PAにはあらかじめオフセット電圧を印加しており、初期状態からマイナス方向への移動も可能とした。図2に、チップチルト補正鏡の (a)初期状態、レーザー光の (b) -y、(c) y、(d) x、(e) -x、(f) x - (-y)、(g) x - y、(h) (-x) - (-y)、(j) (-x) - y方向へのずれを補正する向きにそれぞれ0.2 mradずつ傾斜させた際の波面を3次元表示した図を示す。横軸(x,y軸)の単位はmm、縦(z軸)方向の単位はμmで、z軸方向のみ拡大して表示してある。8つの方向に鏡面が傾いていることが確認できる。それぞれの動作角度の誤差は±5%であったことから、チップチルト補正鏡は±8.5 μradの精度での角度補正が可能であると考えられる。図3に、デフォーカス補正鏡によりデフォーカス(Z_2^0)、2種のアスティグマティズム(Z_2^{-2}, Z_2^2)のそれぞれの成分を補正する波面を作成した際の観測結果(2次元表示)を示す。下の図はそれぞれ上図の逆位相の波面である。波面解析から、実測値と計算値(±4 μm)との変位誤差は10%以内であり、作成した波面が計算値をよく再現していることがわかった。

■まとめと今後

本研究では、高出力レーザー伝送時の大気のゆらぎによる波面の乱れを補償する口径100 mmの大型可変



【図3】ゼルニケ多項式の2次成分を補正する波面を作成した際のデフォーカス補正鏡の表面形状

形鏡の開発を目的に、大気ゆらぎの大きさに合わせた2種の可変形鏡(チップチルト補正鏡、デフォーカス補正鏡)を製作した。干渉計を用いた波面観測によりそれらの性能評価を行い、いずれも高い精度で動作すること明らかにした。これらはキロヘルツ以上の高速動作も可能である。現在、形状がより複雑な高次項を補正できる大型可変形鏡の開発を進めている。この技術は長距離光通信などの産業分野や、レーザーによる宇宙デブリ除去といった宇宙利用など、将来的に発展が

期待される応用にも必要な技術である。今後もこの技術の確立を目指して研究を進めていく。

謝辞

本研究は、防衛装備庁安全保障技術研究推進制度JPJ004596(研究課題「高速移動物体への遠距離・高強度光伝送のための予測的波面制御の研究」)の支援により実施された。ご協力頂いた国立研究開発法人理化学研究所、三菱重工業(株)の関係者各位に謝意を表します。

韓国訪問記

韓国レーザー加工学会から秋季講演会の招待講演の依頼を受け、2022年11月24日～25日、韓国慶州を訪れた。また26日には赤外用レンズを成形・加工しているViewNyx社(光州)を見学し、共同研究の打合せを行った。韓国国内の会議であり講演、議論は当然ハングル。残念ながら議論の詳細は報告できないが、韓国の光学研究や光産業全体の印象についてまとめたい。

●厳しい韓国国内事情

慶州は新羅王朝時代的首都として日本でも知られている地域。日本の京都や奈良を思わせるような多くの仏閣や仏像が大切に維持され、郊外には古墳群も点在している。ちょうど紅葉の時期でもあり、コロナ禍でも多くの国内観光客で賑わっていた。講演会はラハンセレクト慶州(ホテル)のコンベンションホールで開催。旧現代ホテルとして有名なりゾートホテルで、2日間とは言え、費用が気になるところ。関係者に何うと、韓国では学術講演会などには条件をクリアするとサポートがあり、リゾートホテルでも開催ができること。その条件は、海外研究者を招待すること、学生の発表機会を設けることなど。またこういう場所だから企業からの支援、参加者も増えるらしい。

講演会は口頭発表24件、ポスター発表26件があり、参加者数200名程度。口頭発表は主に企業、研究者からの発表で、学生はポスター発表になっている。発表件数の割に参加人数が多いように思う。これは韓国国内の光業界の厳しい状況の結果らしい。レーザー装置メーカーが育っていない。また光学部品メーカーも安価な中国産に負けて撤退するところが多い。そのため、レーザー加工を中心とした応用技術が光産業の主にな

り、その情報が得られる学会も少ないため、聴講だけの参加者が多いらしい。

講演は、①半導体・ディスプレイ産業、②自動車産業、③エネルギー産業、④素材・部品産業に分けられ1セッションで進められる。レーザー

加工だけではないのは、上述した国内事情による。自動車産業では、ハイブリッドランプの開発(韓国光技術院)や、銅材料の接合(レーザーライン社)など青色半導体レーザーの利用も発表された。またエネルギー産業分野では、原子炉解体へのレーザー応用(斗山社：韓国の重工業グループ)など日本と同様の開発が紹介された。

●オリジナル技術で成長する企業も ：ViewNyx社

ViewNyx社は光技術院から独立したベンチャー企業で、赤外用レンズの設計、成形、研磨、コート、そし

レーザー技術開発室 本越伸二



【写真1】韓国レーザー加工学会秋季講演会ポスター(写真(上)が筆者)



【写真2】講演会会場：ラハンセレクト慶州

て検査まで行っている。前回訪韓したときには、まだ光技術院の中でカルコゲナイド材料を真空溶融炉で合成していたと記憶している。コロナ禍で輻射体温計の需要が増え、24時間機械を動かしても製造が追いつかない時期があったと伺った。新しい社屋が完成し、新規成型機、コーティング装置も導入したと聞き今回訪

問した。

彼らの特徴は、特許を取得した真空中での加熱・加圧成型機である。大気または不活性ガス雰囲気で行う従来の装置では、加圧成型時に気泡が残り、金型形状からズレが生じる。そのため、成形後修正加工、光学研磨を行う必要がある。真空中で成形を行うことにより、金型通りの形状が維持され、最終工程は光学研磨のみで大幅な時間短縮が可能になった。また修正加工がないため必要な量の材料だけで成形が可能になりコストも抑えることができている。結果、高品質でありながら中国産レンズと価格においても十分に競争できている。欧米からも問い合わせが来ているとのことで、さらなる成長が見込まれる。もう一つの特長は、検査

用の光学装置を独自で準備したことである。可視域光学素子の検査装置はさまざまなものが市販されているが、赤外域に対応するものは少ない。表面形状は勿論、干渉計、透過率測定、屈折率測定、顕微鏡など。特に、成形前の材料ペレットの内部歪み検査を行うことにより、成形後の品質の安定性を高めている。足りないのは人材であると伺った。需要もある。機械も増やすことができる。しかし、必要な人は育てていけないといけなと語っていた。これは日本も同様である。

●次回の訪韓では

8年ぶりの訪韓だったが、折しもサッカーワールドカップの開催と重なり、毎夜、韓国の研究者らと試合を見ながら懇親を深めることもできた。白熱する試合と裏腹に屋外観戦はさすがに寒かった。次回訪韓の時には、共同研究の具体的な内容についても議論し、日韓双方の光学分野を盛り上げていきたい。



【写真3】ViewNyx社新社屋

新入研究員

レーザー分光研究を経験、ラマンライダー技術開発に従事

まつだ しょうへい

レーザー計測研究チーム 松田晶平

2023年4月1日付でレーザー技術総合研究所へ入所し、レーザー計測研究チームに配属されました、松田晶平と申します。前所属の日本原子力研究開発機構では、fブロック元素錯体の共鳴多光子電荷移動とその元素分離への応用に向けた研究、円偏光ルミネッセンス測定装置開発などを行いました。学生時代には、大気化学や星間化学分野に関連する気相及び凝縮相での化学反応速度論と動力学や光化学の研究を行いました。これらを通じていくつかのレーザー分光法を経験しています。当研究所では、ラマンライダーに関連する技術開発に従事する予定です。また、これまでに私は1都4県(広島、東京、福岡、兵庫、茨城)を移り住んできました。新天地である大阪を探索することと関西圏の低山散策が休日の楽しみです。微力ではございますが、当研究所の発展に貢献できるよう努める所存です。ご指導ご鞭撻のほど、どうぞよろしくお願い申し上げます。

