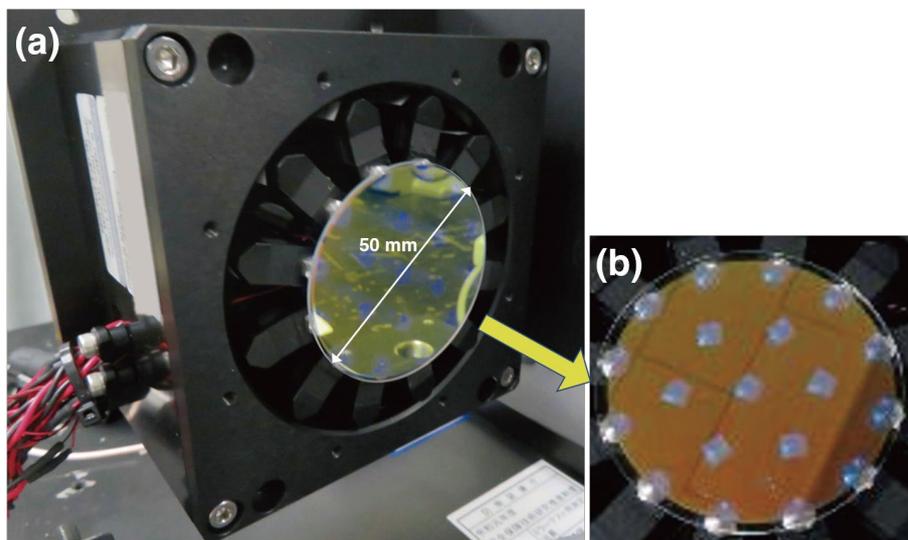


## CONTENTS

- 高速・高光耐性可変形鏡の開発
- 誘導ブリルアン散乱を利用した光パルス圧縮の研究
- レーザー総研オープンセミナー「レーザー加工からインフラ診断まで」
- ILT2022令和3年度研究成果報告会開催のご案内



【表紙図】可変形鏡(口径50 mm)の(a)外観、(b)鏡面の写真

## 高速・高光耐性可変形鏡の開発

レーザー計測研究チーム 谷口誠治

レーザープロセス研究チーム ハイク コスロービアン

### ■はじめに

当研究所では、高出力レーザーの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(デフォーダブルミラー)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。大気ゆらぎなどに起因するレーザーの波面乱れを可変形鏡で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。本稿では、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の可変形鏡を試作し、波面作成試験を行った結果について報告する。

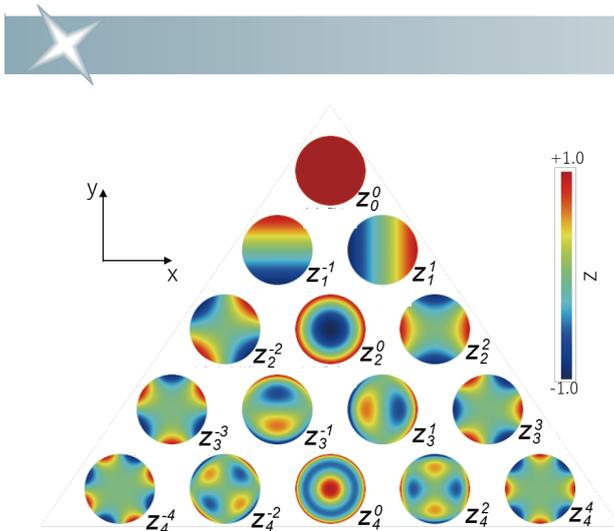
### ■可変形鏡の試作

表紙図に試作した小型可変形鏡の外観と鏡面の写真を示す。鏡面基板の中心点と、内周部(中心から12

mm)に6本のPAを60°間隔に配置した。外周部(中心から24 mm)には30°間隔で12本のPAを配置し、計19点で鏡面基板を支持した。鏡面基板には高反射コーティングを施した厚さ1 mmの合成石英基板を使用し、PAに接着した。

### ■可変形鏡による波面作成試験

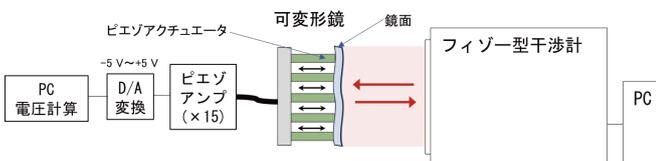
波面乱れの数学的解析に用いられるのがゼルニケ(Zernike)多項式である。図1に、ゼルニケ多項式の最初の15項を2次元で表示したもの示す。色の変化は、単位円内の座標から計算される値(規格化された縦(z軸)方向の変位)を示している。多項式はそれぞれ、チップ・チルト( $Z_1^1, Z_1^{-1}$ )、デフォーカス( $Z_2^0$ )ほか、一般に非点収差( $Z_2^{-2}, Z_2^2$ )、コマ収差( $Z_3^{-1}, Z_3^1$ )などと呼ばれる基本的な波面収差の形状を表しており、任意の波面はこれらの線型結合で表すことができる。このことから、それぞれの項の波面を可変形鏡により再



【図1】ゼルニケ多項式の最初の15項(2次元表示)

現できれば、その組み合わせとなる波面乱れの補正も可能と考えられる。

図2に試験配置図を示す。可変形鏡の制御には以下の手法を用いた。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し、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する。電圧データをD/A変換し、増幅したのち19個のPAへ同時に入力し動作させる。動作試験ではゼルニケ多項式の最初の15項の波面を作成し、それぞれの波面をフィゾー型干渉計により観測した。例として、図3に作成した15項のうち8項( $Z_1^{-1}, Z_2^{-2}, Z_2^0, Z_3^{-1}, Z_3^3, Z_4^{-2}, Z_4^0, Z_4^4$ )の波面観測結果を示す。x軸、y軸の単位はcm、z軸の単位は $\mu\text{m}$ で、z軸は拡大して示してある。それぞれの観測結果を理論値(図1)と比較すると、1次から3次までの波面( $Z_1^{-1} \sim Z_3^3$ )についてはいずれも理論値とほぼ同じ形状であり、高い再現性が見られた。一方4次の波面( $Z_4^{-2}, Z_4^0, Z_4^4$ )に関しては、波面の再現はある程度可能であるが、特に鏡面の外周部において理論値との不一致が見られた。これは鏡面の大きさ(口径)に対してPAの支持数が少ないことに起因する。形状がより複雑な高次項波面を高精度で再現するにはPAの支持数を増加させることが望ましい。今後、この研究で得られた知見を元にPAの間隔や配置、鏡面基板の素材や厚みな



【図2】可変形鏡波面作成試験配置図

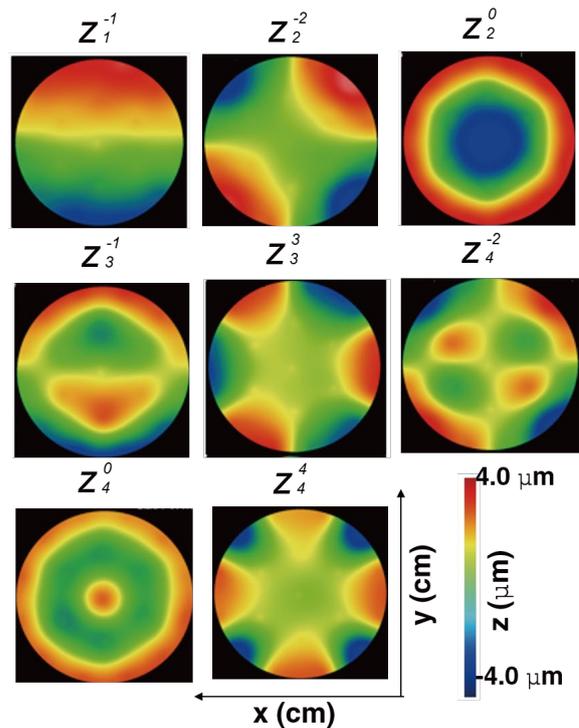
どを最適化し、可変形鏡の大型化(口径 100 mm)を進める予定である。

■まとめと今後

本研究では、大気ゆらぎによる波面の乱れを補償する高速・高光耐性の可変形鏡の開発を目指し、テストケースとして口径50 mmの可変形鏡を試作して波面作成試験を行った。その結果、ゼルニケ多項式の3次までの波面作成が可能であることがわかった。形状がより複雑な4次の波面についても波面形成は可能であるが、より高い精度の波面作成にはPAの支持数を増加させる必要がある。今後は今回の試験で得られた知見を元に可変形鏡の大型化(口径 100 mm)を進める。この技術は、長距離光通信やなどの産業分野だけでなく、高精度天体観測や地上レーザーによる宇宙デブリ除去といった宇宙利用など、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。



【図3】可変形鏡により作成した波面(2次元表示)

# 誘導ブリルアン散乱を利用した光パルス圧縮の研究

レーザープロセス研究チーム ハイク コスロービアン

レーザー計測研究チーム 染川智弘

## ◆はじめに

レーザーパルスの時間幅を狭くする光パルス圧縮技術は、ピークパワーの大幅な増大やレーザー計測の分解能の向上を可能にすることからこれまで多くの手法が提案されてきた。数ns (ns =  $10^{-9}$ 秒) からサブnsまでのパルスの圧縮法として知られるのが、液体や光ファイバーなどの媒質中でレーザーを集光することにより発生する、誘導ブリルアン散乱 (Stimulated Brillouin Scattering: SBS) と呼ばれる非線形光学現象を利用する手法<sup>1)</sup>である。液体をSBS媒質に用いたSBSパルス圧縮法は古くから研究されており<sup>2)</sup>、SBSが強く発生する液体の探索や、液体を封入する光学セルの構造 (シングルセル、ダブルセル (SBS発生セルとSBS増幅セルの組み合わせ))、逆伝播パルスの利用などさまざまな方式が検討されてきた<sup>3)</sup>。

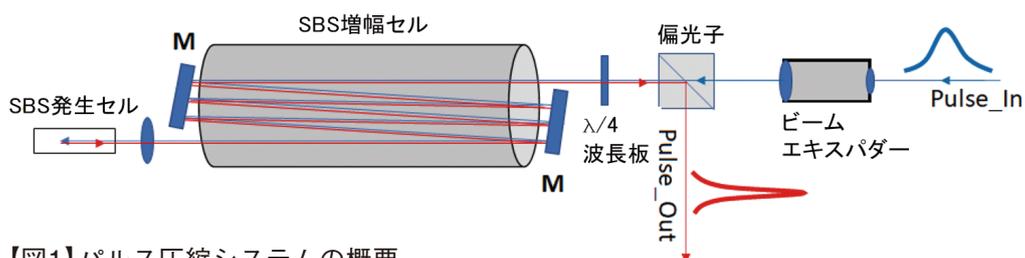
当研究所では、大気中の有害微量物質を数10 m以上離れた位置から遠隔計測することを目標に、共鳴ラマン効果を利用した共鳴ラマンライダーの開発を進めてきた。共鳴ラマンライダーの光源には、対象物質の電子遷移エネルギーと一致させるためレーザー波長を (近赤外～深紫外領域で) 厳密に調整可能であること、遠隔計測の感度や距離分解能を向上させるため、高エネルギー (高ピークパワー) でパルス時間幅が狭くかつ狭帯域のパルスレーザーを用いることが重要である。われわれはこれまで、励起光源にゲインスイッチング方式の波長可変チタン-サファイア (Ti:S) レーザーシステム<sup>4)</sup>を用いて共鳴ラマンライダーへの適合性について評価してきた。このシステムは、第2～第4高調波の利用により1000 nm～210 nmの幅広い波長領域をカバーし、深紫外領域 (第4高調波) においても1/10 mJクラスの出力が可能である。しかしながら出力パルスの時間幅は約15

～30 ns (出力波長に依存) と比較的広い。距離数10 mの遠隔計測において十分な距離分解能を得るには、時間幅を数ns～サブnsにまで圧縮することが望ましい。またパルス圧縮により基本波のピークパワーが増大すれば、高調波の出力および計測感度の向上にも期待できる。

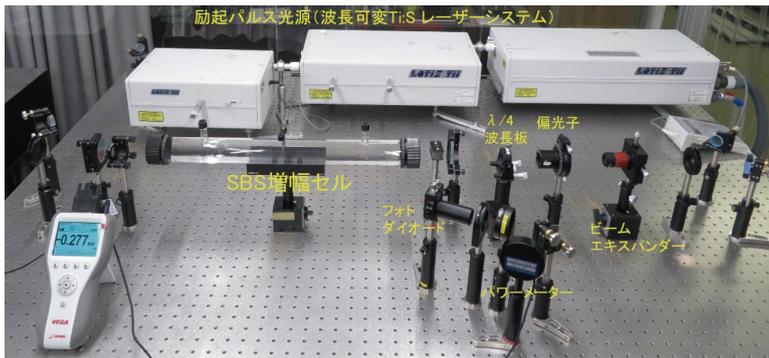
本研究では、波長可変レーザーへの適用を目的に、SBSを利用したパルス圧縮法について検討した。コンパクトで光路長の調整が可能なSBS増幅セルを新たに構築し、Ti:Sレーザーのパルス圧縮実験を行った。以下にその結果について述べる。

## ◆SBSを利用したパルス圧縮実験

図1にSBSパルス圧縮システムの概要を示す。直線偏光の励起パルス (青線) は、偏光子、 $\lambda/4$ 波長板、SBS増幅セルを通過しSBS発生用セルに集光される。発生したSBSパルス (赤線) は逆方向に伝播し、SBS増幅セルにより増幅されたのち偏光子によって取り出される。本システムの特徴は、増幅セル前後の二つのミラー (M) を用いて増幅セルの光路長 (パス数) を調整することで、増幅に必要なSBSパルス-励起パルス間の時間的なオーバーラップを最適化できる点にある。図2に実験時の写真を示す。励起光源には、波長可変Ti:Sレーザーの基本波 (繰り返し15 Hz、出力10～30 mJ/pulse、パルス幅15～30 ns、波長680～1000 nm) を使用した。SBS媒質にはフロリナート (FC-72) を使用した。圧縮前後のパルスの出力および時間幅をそれぞれパワーメータ、フォトダイオードにより計測し、パルスの圧縮率とエネルギー変換効率を求めた。



【図1】パルス圧縮システムの概要



【図2】パルス圧縮実験配置

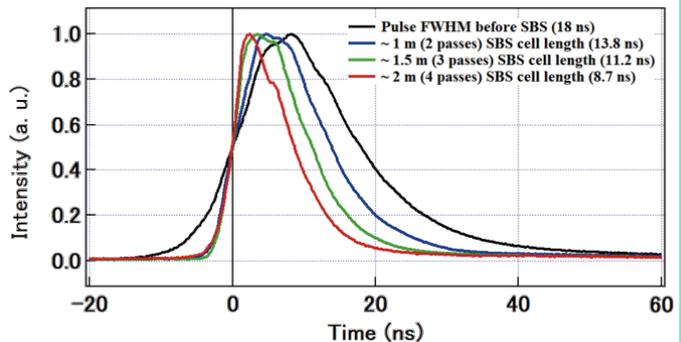
図3に、圧縮前(励起パルス)および増幅セルの光路長を変え圧縮した後のパルスの時間幅を計測した結果を示す。励起パルスの波長は800 nm、時間幅(FWHM)は約18 nsである。SBSセルの光路長が約1 m(1パス)のとき時間幅は13.8 nsに圧縮された。エネルギー変換効率は約55%であった。増幅セルの光路長が約1.5m(3パス)の場合、時間幅は11.2 ns、効率は約42%であった。光路長が約2 m(4パス)では、時間幅は8.7 nsとなりさらに狭くなった。効率は約30%であった。また励起パルスの波長を780 nmと820 nmに変更した際にも同様の挙動が観測された。

実験の結果、本システムを用いたパルス圧縮が可能であり、増幅セルの光路長を長くすることで圧縮率も増加することがわかった。一方、光路長の増加に伴いエネルギー変換効率は低下することも明らかとなった。主要要因の一つとして、励起レーザーのコヒーレンス長の問題が挙げられる。励起に用いたTi:Sレーザーはゲインスイッチング方式で動作しており、パルスの線幅(スペクトル幅)は約15~20 GHz、コヒーレンス長に換算すると1~2 cmに相当する。SBSの変換効率を上げるためには、励起光源としてより長いコヒーレンス長のパルスを使用する必要がある。今後、エタロンの使用などにより励起パルスを狭帯域化し、コヒーレンス長を増大させることによるエネルギー変換効率およびパルス圧縮率の向上に取り組む予定である。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金(課題番号: 21K04934)の助成を受け実施された。

参考文献：

- 1) T. Omatsu et al., Laser and Particle Beams 30 (2012) 117 – 174.
- 2) Z. Bai et al., Optical materials 75 (2018) 626 – 645.
- 3) S. Schieman et al., IEEE Journal of Quantum Electronics 33 (1997) 358 – 366.
- 4) [https://www.rp-photonics.com/gain\\_switching.html](https://www.rp-photonics.com/gain_switching.html)



【図3】SBS圧縮前後のレーザーパルス時間幅の比較(黒線：圧縮前、青線：増幅セル光路長1 m、緑線：1.5 m、赤線：2 m)

INFORMATION

## 「レーザー加工からインフラ診断まで」

レーザー総研オープンセミナー ~ILT2022 令和3年度研究成果報告会~

令和3年度の研究成果報告会 ILT2022を下記により開催いたします。当研究所の研究成果をわかりやすく報告しますので、ご興味のある方は是非ご参加ください。

◇日時 : 2022年7月20日(水)11:00~17:00  
 ◇場所 : マイドームおおさか 8F 第3会議室  
<https://www.mydome.jp/mydomeosaka/>  
 ◇受講料 : 無料(定員(50名)になり次第締切)

◇参加申し込み: 事前登録制(次のサイトをご覧ください)  
<https://www.opt-seminar.jp/ilt2022/>  
 ◇お問い合わせ: 公益財団法人レーザー技術総合研究所  
 E-mail : seika@ilt.or.jp