

分野：自然科学系

キーワード：レーザー、ビーム整形、空間光変調器、4f光学系、フーリエ光学系、フラットトップ矩形ビーム

ビーム整形精度の極限へ！

バーチャル位相グレーティングの最適化、コスト増無し
—あらゆるレーザーのポテンシャルを引き出す新技術—

【研究成果のポイント】

- ◆ 紫外から近赤外域のレーザー光に適用できるユニバーサルかつ高精度なビーム整形^{*1} 技術を開発しました。
- ◆ 空間光変調器 (SLM)^{*2} に表示したバーチャルな位相グレーティング^{*3} を整形前ビームに重畳し、抽出(利用)成分と除去成分を分離しフィルタリングを行うビーム整形技術です。
- ◆ 最適化されていない従来法からの飛躍的な精度の向上をコスト増無しで実現しました。
- ◆ ビーム形状は全てのレーザーのポテンシャルを最大限引き出す鍵であり、基礎研究から製造技術、光・電子部品、医療など多彩な応用が期待されます。

❖ 概要

大阪大学レーザー科学研究所の中田芳樹准教授らの研究グループは、空間光変調器 (SLM) に表示したバーチャルな位相グレーティングとフィルタリングを用いたビーム整形において、除去成分と抽出成分の空間分布を最適化し完全分離するスキームを開発し、これによってフラットトップ矩形ビーム形状のエッジ立ち上がり 20 μm (最適化前の 1/5、パッシブな回折光学素子の数十分の 1) を達成し、さらにリップルの無い均一な強度分布を実現しました。

これまでのビーム整形は精度が低く、また波面が無秩序になる問題点がありました。

今回、中田准教授らの研究グループは、SLM に表示したバーチャルな位相グレーティングの形状を最適化することにより抽出(利用)成分と除去成分の空間分布を完全分離するスキームを開発し、抽出成分の全空間周波数成分を利用することにより高精度かつ波面制御が可能なビーム整形を実現しました。これにより、レーザーのビーム形状を高精度に最適化することが可能となり、**全てのレーザー応用(基礎研究、製造技術、医療応用、加速器など)に貢献することが期待されます。**

本研究成果は、Springer Nature 社が発行するオープンアクセスジャーナル「Scientific Reports」誌(オンライン)に 3月15日 19時(日本時間)に公開されます。

❖ 研究の背景・詳細

ビーム形状はレーザーの潜在能力を発揮するためにキーとなるパラメーターです。中でも高品質なフラットトップ矩形ビームは均質なレーザー加工、医療(スキンセラピー)、超高強度レーザー応用(加速器、核融合)など広範な領域においてニーズが存在します。ビーム整形法は静的な手法と動的(アダプティブ)な手法に分けられます。前者は屈折率分布を用いる手法、マイクロレンズアレー、DOE^{*5} などがあり、入力ビームを所望するビーム形状に分配する手法で

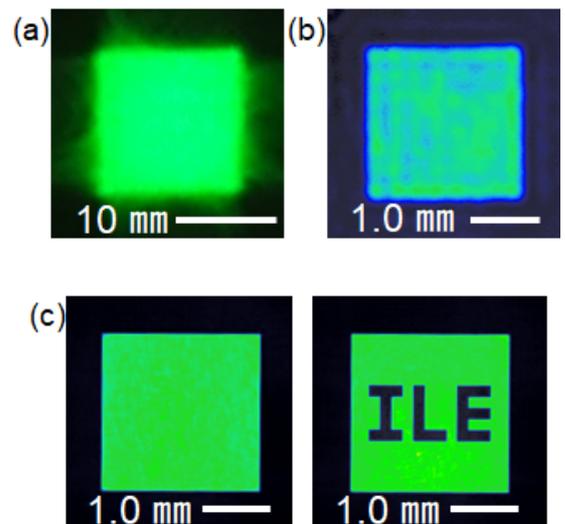


図 1

ビーム整形の例：(a)従来法(DOE)、(b)最適化前の従来法、(c)本研究の手法

Press Release

す。これらはビーム整形精度に難があり、さらに整形後の波面が無秩序になる問題がありました。一方動的な手法として、空間光変調器(SLM)による位相グレーティングと $4f$ 光学系^{※6}におけるフーリエ面^{※7}での空間周波数領域フィルタリングと像再生を行う手法が開発されました(図 2(a))。これは、位相グレーティングの回折効率を空間的に制御することで矩形フラットトップビームに整形する方法であり、さらに波面を乱さず制御も可能という特徴があります。位相グレーティングが重畳したビームはレンズ L1 によってフーリエ変換され、回折光である除去成分はフーリエ面においてカットされます。しかし、従来法ではグレーティングベクトル k_g ^{※8}と矩形フラットトップビームの辺ベクトル k_x k_y ^{※8}が平行であるために抽出成分のフーリエ変換像と除去成分が重複し、抽出成分の高周波成分(中心から遠い成分)をカットせざるを得ず、そのためビーム整形精度の悪化が避けられませんでした。

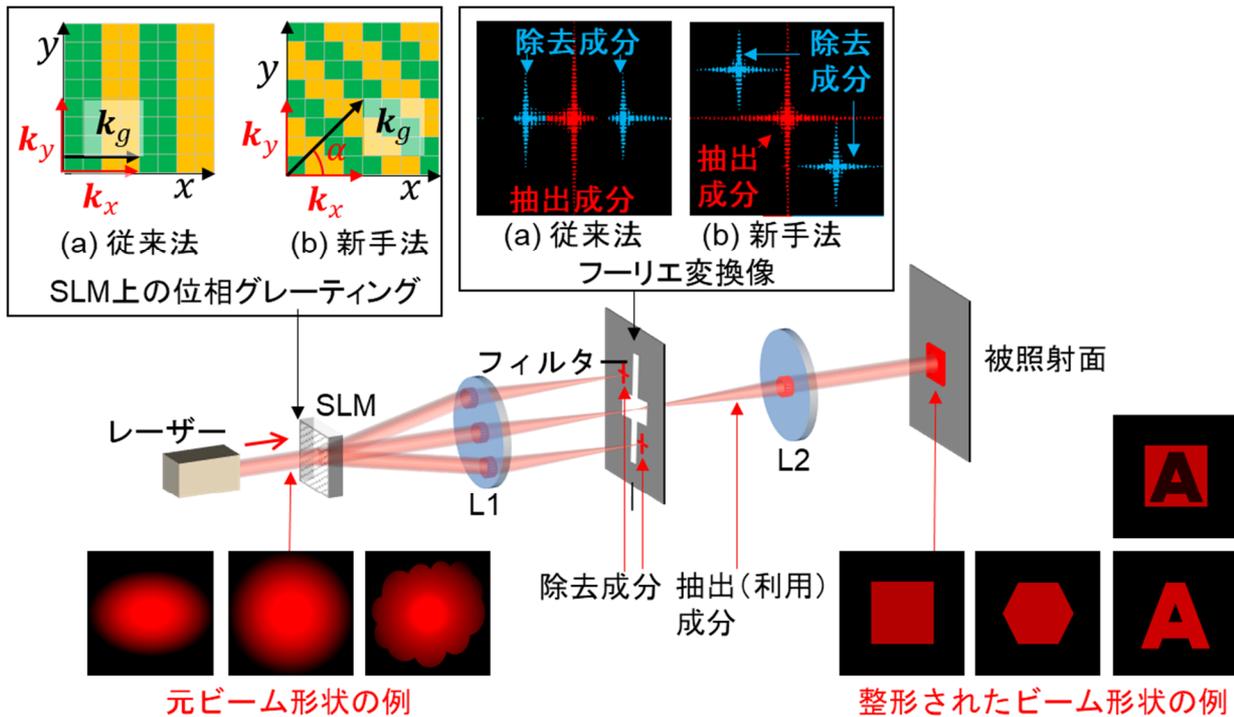


図 2 位相グレーティングとフィルタリングを用いたビーム整形の概略図(a)従来法、(b)新手法

中田芳樹教授らの研究グループは、バーチャルな斜め位相グレーティングを用い(図 2(b))、グレーティングベクトル k_g と矩形フラットトップビームの辺ベクトル k_x k_y を非平行にすることで、抽出成分と除去成分をフーリエ面において空間的に完全分離しました。これにより、高周波成分を含んだ抽出成分のみを効率的に取り出すことで高精度なビーム整形を可能としました。実際に、リップルの無い均一な強度分布を持つフラットトップ矩形ビームへの整形に成功しました。ビーム形状のエッジ立ち上がり $20\mu\text{m}$ (改善前の $1/5$ 、パッシブな回折光学素子の数十分の 1)を達成し、あらゆる従来法を越えたビーム整形精度と波面精度を両立することに成功しました(図 1)。

❖ 本研究成果が社会に与える影響 (本研究成果の意義)

ビーム形状はレーザーの潜在能力を発揮するためにキーとなるパラメーターです。本研究成果によってビーム形状を高精度に最適化することが可能となり、レーザーを用いる基礎研究や製造技術、医療(スキンセラピー)、超高強度レーザー応用(加速器、核融合)など広範な領域に貢献することが期待されます。また、既に同種のビーム整形を利用している装置においては、SLM に表示する位相グレーティングとフィルターを変更するだけで追加コスト無しでビーム整形精度を格段にアップデート出来ます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2019年3月15日(金)19時(日本時間)に Springer Nature 社が発行するオープンアクセスジ

Press Release

ジャーナル「Scientific Reports」誌(オンライン)に掲載されます。

タイトル: “Utilization of the high spatial-frequency component in adaptive beam shaping by using a virtual diagonal phase grating” (「バーチャルな斜め位相グレーティングを用いたアダプティブビーム整形における高空間周波数成分の利用」)

著者名: Yoshiki Nakata^{1*}, Kazuhito Osawa¹ and Noriaki Miyanaga^{1,2} (*責任著者)

1.大阪大学 レーザー科学研究所

2.レーザー技術総合研究所

本研究の一部は、科学研究費補助金(16H038850)の支援にて実施されました。

❖ 用語説明

※1 ビーム整形

ビームの空間形状と波面はレーザー毎に異なる。これを、用途に応じた理想的な形状に変形すること。

※2 空間光変調器(SLM: Spatial-Light-Modulator)

ビームの空間的な位相や偏光を電氣的に制御する素子。一般的にはコンピューターで生成される画像信号で制御される。本技術では位相のみを制御する素子を用いる。

※3 位相グレーティング

周期的な位相分布を持つグレーティング(回折格子)。本技術では、SLM 上に周期的な位相分布を表示することで、仮想的なグレーティングを形成する。

※4 空間周波数

画像が持つ空間的な周波数。後述の $4f$ 光学系においては、フーリエ面に入力光の空間周波数分布が現れる。中心が空間周波数 0 に相当し、そこから遠いほど空間周波数が高い。

※5 DOE(Diffractive Optical Element)

回折光学素子。入力ビームを所望するビーム形状に分配することでビーム整形を行う。

※6 $4f$ 光学系

1 枚目のレンズの後側焦点面と 2 枚目のレンズの前側焦点面を一致させ、前者の前側焦点面と後者の後側焦点面を像転送する光学系。像の拡大縮小や、空間周波数フィルタリングなどに用いられる。

※7 フーリエ面

1 枚目のレンズの後側焦点面。前側焦点面の像が 2 次元フーリエ変換された結果がフーリエ面に現れる。

※8 グレーティングベクトル k_g 、辺ベクトル k_x k_y

それぞれグレーティングの格子、矩形フラットトップビームの辺に直交するベクトル。

❖ 本件に関する問い合わせ先

大阪大学 レーザー科学研究所 准教授 中田芳樹(なかつたよしき)

TEL: 06-6879-8729 FAX: 06-6879-8729

E-mail: nakata-y@ile.osaka-u.ac.jp

Press Release

【研究者のコメント】

レーザーを直接・間接的に用いる民生品は日常に溢れており、さらにレーザーを用いた研究が毎年のようにノーベル賞を受賞するなど、レーザーは現代科学におけるキーデバイスと言えます。本技術を用いることで、既存のあらゆるレーザーをアップグレードすることが可能あり、現在から未来の科学全てに貢献することが可能となります。