

高ピークパワー・小集光スポットのファイバレーザマーカ

Fiber Laser Marker with High-Intensity Sharply-Focused Beam

丸嶋 一夫* ・ 名畑 太*

Kazuo Marushima Futoshi Nabata

ファイバレーザを使用するレーザマーカにおいて、メインアンプを分離してヘッド部に搭載することにより非線形光学効果の誘導ラマン散乱および誘導ブリルアン散乱の影響を減少させ、従来の2倍となる高ピークパワー化と90%となる小集光スポット化によって発色性の高いマーキングや小さい文字のマーキングを実現するとともに、変換効率48%アップによる省エネルギーも実現した。また、励起用半導体レーザの戻り光による損傷も低減でき、信頼性も向上している。

さらに、この高ピークパワー・小集光スポット化の技術は微細溶接加工分野への応用が期待できる。

In laser marker using a fiber laser, the developed fiber laser with a separate main amplifier reduces nonlinear optical effect stimulated Raman scattering and Brillouin scattering and delivers twofold peak power of the previous model combined with a sharper beam of 90%. Therefore, this developed fiber laser enables marking of high color generation as well as small characters. The improved conversion efficiency by 48% also achieves energy conservation. The reduced damage by the returning light of the existing semiconductor laser helps improve the reliability of the device.

In addition, the technology of high peak power and small beam spot can be expected for use in micro-processing applications.

1. ま え が き

1.1 背景

レーザ加工装置は、現在さまざまな分野で応用されている。なかでもレーザマーキング装置（以下、レーザマーカと記す）は、最近10年間で飛躍的に市場が拡大している分野である。現状のレーザマーカで使用されるレーザは、YAGレーザ、CO₂レーザ、ファイバレーザなどさまざまなものがあるが、これらは被加工物体に応じて使い分けされていることが多い。表1に各レーザのエネルギー変換効率を示す。

これらのレーザのなかでも、高効率で高品質なビームが特徴であるファイバレーザが近年注目され、各社がファイバレーザを使用したレーザマーカを製品化している。その利点は、省エネルギーで微細加工ができることである。

しかし、より一層のマーキング文字の視認性向上や微細化を図るにはファイバレーザマーカの集光スポットをさらに小径・高ピークパワー化する必要があるが、それはファイバのもつ非線形光学効果によって実現が困難であった。

そこで筆者らは、メインアンプ分離型のファイバレーザを考案し、小径・高ピークパワーのレーザマーカを実現したので報告する。

表1 レーザ方式とエネルギー変換効率

レーザ方式		エネルギー変換効率
YAG レーザ	ランプ式	2 ～ 4 %
	LD 式	10 ～ 20 %
CO ₂ レーザ		8 ～ 12 %
ファイバレーザ		25 ～ 35 %

2. レーザマーカ

2.1 構成と基本動作

現状のレーザマーカの構成を、図1に示す。

レーザ部から出射された光線は、ビームエキスパンダでその径が拡大される。これは被加工物体面における最小スポット径を小さくするためである。その後、2軸のガルバノスキャナのミラーに順次照射され、コントローラからの文字や図形データに応じて走査される。この走査された光

* パナソニック電工 SUNX（株） Panasonic Electric Works SUNX Co., Ltd.

線が、 $f\theta$ レンズで集光され、最小スポット位置で物体を加工するものである。図2に基本的なレーザマーカの動作を示す。

レーザマーカを構成する主なものとして、次の四つがある。

- ①ガルバノスキャナ
- ②各種光学系（ビームエキスパンダ・ $f\theta$ レンズ）
- ③レーザ部
- ④データ処理部

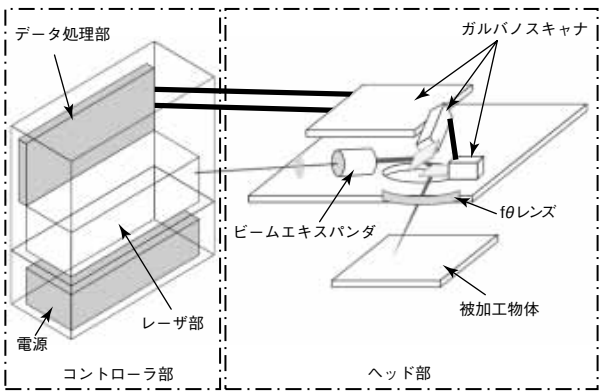


図1 レーザマーカの構成

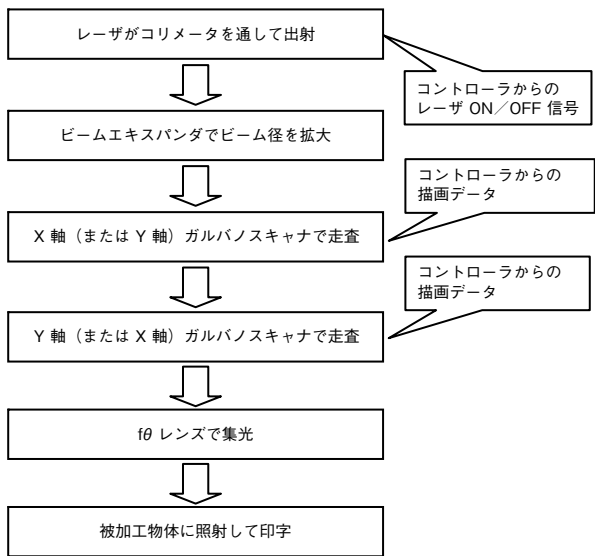


図2 レーザマーカの基本的な動作

2.2 市場の要求と問題点

レーザマーカに対する市場の主な要求は、次のとおりである。

- ①低消費電力であること。
- ②発色印字の視認性が良いこと。
- ③小さい部品にマーキングできること。
- ④設置の自由度が高いこと。
- ⑤速くマーキングできること。

これらに応えるには、①に対してはレーザのエネルギー

変換の高効率化が、②に対しては高ピークパワー化が、③に対しては集光スポットの小径化が、④に対してはコントローラ・ヘッド間のファイバを長くすることが必要である。また、⑤に対してはガルバノスキャナの走査速度を高めることが必要である。

しかし、これらを実現するためには、以下の問題点がある。

- (1) ファイバレーザ自体がすでにきわめて高効率なものであり、これ以上の効率化は現行の方式では困難である。
- (2) ファイバの非線形光学効果により、これ以上の高ピークパワー化は困難である。
- (3) ファイバの非線形光学効果により、集光スポットの小径化は困難である。

このように、現行の方式では市場の要求に応えられるレーザマーカの実現性は低いと考えられる。

そこで、従来と異なった方式のファイバレーザを検討する。

3. ファイバの非線形光学効果

ファイバレーザの高ピークパワー時の問題点として、非線形光学効果がある。表2に主な非線形光学効果の概要を示す。この非線形光学効果のなかでとくに重要なのが、誘導ラマン散乱と誘導ブリルアン散乱である。これらは高ピークパワー化および小スポット化の障害になると同時に、励起用半導体レーザ等の故障の原因にもなる。以下にこれら二つの散乱効果について簡単に説明する。

表2 ファイバの非線形光学効果

非線形光学効果	内容
誘導ラマン散乱	異なった振動数の光が射出される
誘導ブリルアン散乱	入力光が後方に散乱される
非線形屈折	自身の光強度で媒質内に屈折率分布を作る
自己位相屈折	自身の光強度で位相がシフトする

3.1 誘導ラマン散乱

誘導ラマン散乱（SRS：Stimulated Raman Scattering）とは、強度の高い光がファイバに入射された場合、ストークス波と呼ばれる異なる波長をもつ成分が急激に増加し、光の進行方向と同方向に出力される現象である。ファイバレーザマーカにおいては、このストークス波が入射レーザ光と同時に同方向に射出されることになる。

レーザマーカは、最終段階で $f\theta$ レンズでレーザ光が集光されて印字するものであるが、ストークス波が混在すると色収差の影響で異なる波長の光は同一位置に集光されず、結果的にスポット径を小さくするのに限界が生じてしまう。

この誘導ラマン散乱によるストークス波の振動数は、次式で求めることができる。

$$\nu_1 - \nu_2 = \pm 2 \frac{n \times \nu_1}{c} \times \sin(\theta/2) \quad (1)$$

ここで、 n は媒質の屈折率、 c は光速、 θ は位相、 ν_1 、 ν_2 は入射光およびストークス波の振動数を示す。

式 (1) から現状のファイバレーザの $\nu_1 - \nu_2$ を求めると、波長差は 56 nm となる。したがって、1060 ~ 1070 nm の入射レーザ光と同時に 56 nm シフトしたレーザ光が出射され、 $f\theta$ レンズの色収差によってそれぞれの光線の集光点が異なるため、結果的に最小スポット径が大きくなる。

このストークス波が集光性を悪化させるため、スポット径を小さくできない要因となる。

3.2 誘導ブリルアン散乱

誘導ブリルアン散乱 (SBS : Stimulated Brillouin Scattering) とは、ファイバ中に強いコヒーレント光が入射すると音響フォノンが発生し、屈折率が周期的に変動する現象である。その変調によって入射レーザ光がブラッグ反射して入射光と反対側の方向に進み、最悪の場合は励起用半導体レーザ等を破壊してしまう。

誘導ブリルアン散乱の発生する閾値 P は、式 (2) で求めることができる。

$$IP = 2 \frac{A}{g \times \ell} \quad (2)$$

A は有効コア面積、 ℓ は相互作用長、 g はブリルアン利得を示す。

式 (2) から、現状のファイバレーザにおいて誘導ブリルアン散乱が発生する P は、13 kW と計算される。この閾値を越えると誘導ブリルアン散乱が顕著になり、出射パワーが飽和して高ピークパワーを得ることができない。

非線形光学効果において、とくに重要な誘導ラマン散乱と誘導ブリルアン散乱の概念図を図 3 示す。この図から、誘導ラマン散乱により入射レーザ光に対して波長が 56 nm シフトしたレーザ光が出射方向に進み、また誘導ブリルアン散乱によるレーザ光が入射側に進むことが理解できる。

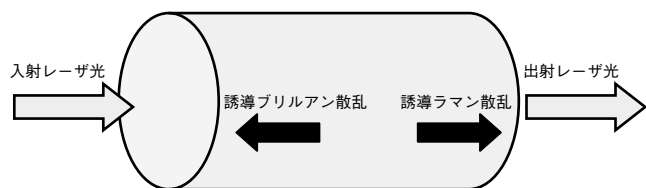


図3 非線形光学効果の概念図

3.3 一般的な解決方法とその問題点

これらの非線形光学効果の対策として、次の方法が提案

され実用化されている。

誘導ラマン散乱に対しては大口径ファイバを使用し、誘導ブリルアン散乱に対してはファイバ長を短くする。

しかし、これらの対策はレーザマーカにおいては実用的ではない。その理由は以下のとおりである。

- (1) 大口径ファイバでは、 $f\theta$ レンズで集光されたとき、仮想的な発光面であるファイバ端面が結像されるため、集光径を小さくできない。すなわちファイバのコア径よりも小さく集光できないことになる。
- (2) ファイバレーザの場合、ファイバ自体がレーザ発振の媒質になるため、ファイバ長を短くすると高ピークパワーのレーザ光ができない。
- (3) ファイバ長を短くするとヘッド部とコントローラ部の間隔が小さくなり、設置の自由度が低下する。

したがって、市場の要求を満たすためには、新たな方式で対策をとる必要がある。

4. メインアンプ分離構造のファイバレーザ

前述の問題に対しては、ファイバレーザマーカのレーザ部の改善がもっとも重要であり、とくに非線形光学効果を軽減する必要がある。

そこで、非線形光学効果がファイバに強度の高い光を入れることで起こることに着目し、従来はメインアンプで増幅された高ピークパワーのレーザ光を伝送ファイバに入力する構成であったが、このメインアンプをヘッド部に搭載する構成を提案する¹⁾(図4)。

これにより、ファイバを伝播するレーザ光の強度を極力下げることで非線形光学効果が軽減でき、ストークス波のきわめて少ないレーザ光をメインアンプで増幅することが可能となることから、省エネルギーでありながら、より高ピークパワー化と小スポット化を同時に実現している。また、伝送ファイバでは比較的小パワーのレーザ光の伝送で済むため、誘導ブリルアン散乱を大幅に減少させることが可能となり、変換効率のアップと励起用半導体レーザの損傷防止も実現している。

その結果、従来品と比べてピークパワーが2倍になるとともに、変換効率は48 %アップしている。

また、スポット径 ϕ の理論値は式 (3) により計算されることから、ビーム品質である集光性 M^2 がそのままスポットサイズに影響を与える。

$$\phi = \frac{4}{\pi} \frac{f \times \lambda}{D} \times M^2 \quad (3)$$

ここで f はレンズ焦点距離、 D は入射ビーム径、 λ は波長を示す。

メインアンプ分離型ファイバレーザでは、 M^2 が2.0 か

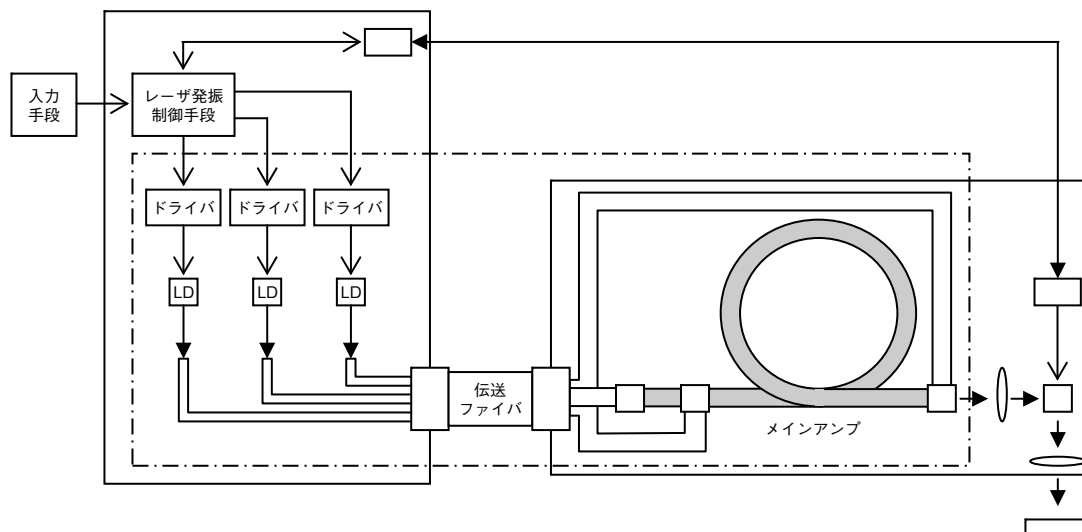


図4 メインアンプ分離構造のファイバレーザの構造

ら1.8に高められることが確認されており、集光レンズ等の光学条件を従来と同一にした場合、式(3)から集光スポット径を計算すると、10%程度小さくできることになる。

ただし、メインアンプ部の増幅ファイバをヘッド部に移動したことから、ヘッドサイズがやや大きくなる欠点も生じる。しかし、高ピークパワーによる発色印字の発色性が向上するなどの利点のほうがはるかに大きい。

図5に実際に発色マーキングを行った例を示す。この図から十分な視認性が得られていることがわかる。

以上のように、メインアンプ分離型のレーザを採用することで高ピークパワーかつ省エネルギーであり、さらに小スポット化も併せて達成したレーザマーカを開発した。また同時に励起用半導体レーザの戻り光による損傷が抑制され、信頼性にも優れるファイバレーザとなっている。



図5 金属発色印字

5. 微小溶接分野への応用

この技術の次の展開として、微細加工の分野における溶接への応用が考えられる。市場からの要望として、部品の小型化に伴ってスポット溶接のナゲット径を従来の150

μmから100μmくらいまで小さくすることがある。

図6にステンレスの重ねスポット溶接を行ったナゲットの写真を示す。材料はSUS304、厚みは上側35μm、下側200μmで、ナゲット径約100μmが達成されている。

また、その断面写真を図7に示す。十分に下側まで溶接痕が届いており、微細スポット溶接にも応用可能であることがわかる。

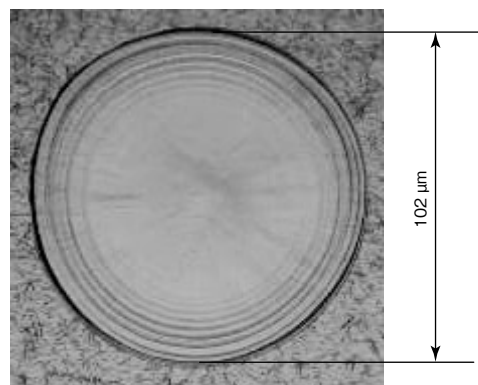


図6 スポット溶接のナゲット



図7 溶接断面写真

6. あとがき

ファイバレーザを使用するレーザマーカにおいて、メイ

ンアンプを分離してヘッド部に搭載することにより非線形光学効果の誘導ラマン散乱および誘導ブリルアン散乱の影響を減少させ、従来の2倍となる高ピークパワー化と90%となる小集光スポット化によって発色性の高いマーキングや小さい文字のマーキングを実現するとともに、変換効率48%アップによる省エネルギーも実現した。また、励起用半導体レーザの戻り光による損傷も低減でき、信頼性も向上した。

さらに、この高ピークパワー・小集光スポット化の技術は微細溶接加工分野への応用が期待できる。

*参考文献

- 1) バンダリ・ラケシュ, 公開特許公報 特開 2005-347338, SUNX 株式会社

◆執筆者紹介



丸嶋 一夫

パナソニック電工 SUNX(株)



名畑 太

パナソニック電工 SUNX(株)