

## 論文の内容の要旨

論文題目 高出力LD励起固体レーザーに関する研究

氏名 今野 進

固体レーザーの励起源がランプから半導体レーザー（レーザーダイオード：LD）に代替されることによって固体レーザーの性能は大きく向上した。LD を励起源に採用すると固体活性媒質の吸収波長を選択的に励起できるため、電気効率が向上するとともに固体結晶の熱負荷が低減する。すなわち、熱レンズ、熱複屈折といった固体レーザー装置の高出力化、高ビーム品質化を阻む要因が大きく緩和されるとともに装置全体が小型化する。また、励起源であるLD自体がランプに比べて長寿命、安定な光源であるため、固体レーザー装置の安定性、寿命も向上する。

1990年代初頭より高出力LDの性能向上に伴い本格的なLD励起固体レーザー開発が始まり、溶接、切断に使用される高出力固体レーザーや電子部品加工機光源に用いられる波長変換紫外レーザー、可視レーザーが生産ラインへ導入されつつある。本論文はLD励起固体レーザー（及び波長変換レーザー）装置の性能向上のために筆者が行った研究をまとめたものである。

本論文は4章から構成され、第1章においては本論文の2章以降の内容の理論的、技術的背景を概説する。第2章においてはTEM<sub>00</sub>モード赤外レーザーの高出力化について述べる。連続発振（CW）TEM<sub>00</sub>モード赤外レーザーは、固体レーザーの高ビーム品質化、高出力化の極限であり、各種計測、重力波干渉計等の科学研究に用いられる。産業用途では金属材料の精密加工のほか、可視光、紫外光による微細レーザー加工機の波長変換用基本波光源として有用である。近年のLD励起固体レーザー装置（またはファイバーレーザー装置）による回折限界近いビーム品質を持つ赤外光発生報告例を図1に示す。本論文の研究開発結果は図1中に黒丸で示されている。筆者らは1995年からTEM<sub>00</sub>モード赤外光高出力化に関する研究を開始し、拡散集光器を用いた励

起構成と複レンズ解消共振器構成に独自の共振器構成を採用し、1996年に80WのTEM<sub>00</sub>モード赤外光（電気・光効率8.1%）を[1]、2000年にはランダム偏光発振において153W（電気効率10.9%）、直線偏光発振において105W（電気効率8.6%）まで高出力化を進めた。また、2001年には発振器(Power Oscillator)+増幅器 (Power Amplifier) 構成により206Wの連続発振赤外光をビーム品質M<sup>2</sup>=1.34においての発生した。これらはロッド型LD励起固体レーザ装置を用いた連続発振TEM<sub>00</sub>モード赤外光出力の世界記録である[2]。

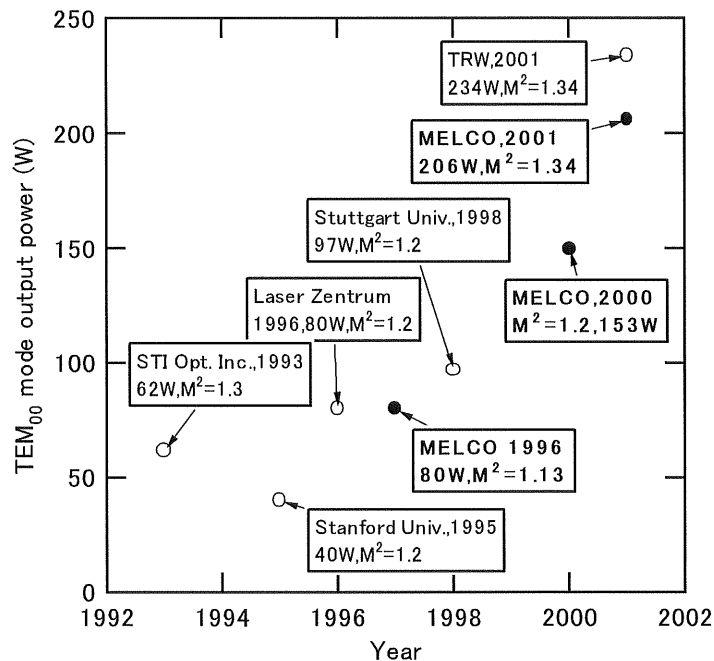


図1 LD励起固体レーザによるTEM<sub>00</sub>モードビーム発生報告例。

第3章では、カスケード型ロッドレーザ装置の出力ビーム安定化構成の提案について述べる。複数のロッド型レーザ結晶を等間隔に配置し、同じ強度で励起するカスケード構成は、高出力、高ビーム品質のレーザビームを、広い励起強度（出力）範囲において取り出すことができるため、金属溶接、切断用のkWクラスのレーザ装置から微細加工用の出力数Wの波長変換レーザ装置まで幅広く使用されている。一方、固体レーザ結晶を用いたレーザ装置においては、励起強度（出力）に依存してレーザ結晶の熱レンズ焦点距離が変化し、それに伴ってレーザ発振器（増幅器）からの出力レーザビームのビーム径、ビーム曲率に変化する。このビームパラメータ変化は、加工、光ファイバー導光、波長変換などの応用に際して、加工点、光ファイバー導光点、波長変換結晶位置のビーム径、ビーム曲率の変化を引き起こすため、出力ビームの安定化（一定化）が求められていた。また、従来報告されてきた固体レーザ装置の出力ビーム安定化（一定化）構成は、曲率可変ミラーや特別な材料を用いた熱レンズ補償素子を使用したり、光学素子を可動とすることにより実施されていた。本論文において筆者はロッド型固体レーザ結晶を用いたカスケード構成において、出射ビームの曲率、ビーム径の変化を低減する新しい構成を提案し、実験においてその基本的な機能を実証した。

第4章では内部波長変換型第2高調波レーザについて述べる。Nd:YAGレーザの第2高調波レ

ーザ（波長 532 nm）は、加工（金属微細加工、アニール等）、ガイドスター光源、高出力 fs レーザ励起用光源、第 4 高調波発生用光源等幅広い応用がある。著者らは 1994 年より内部波長変換型 Q スイッチグリーンレーザの開発を開始し、1995 年に 20W [3]、1997 年には 68W [4] のグリーン光発生を当時の世界最高効率で実現した。また、従来、計算を行うことができなかった Q スイッチ内部波長変換型第 2 高調波レーザに繰り返し型レート方程式計算コードを開発し、広い動作パラメータ範囲において実験結果と比較することによって有用性を実証した。

Q スイッチグリーンレーザの出力とビーム品質報告例を図 2 にまとめて示す。本論文の研究開発結果は図 2 中に黒丸で示されている。図 2 からわかるように従来の高出力グリーンレーザはビーム品質が低く、実用上輝度が十分ではなかった。筆者らは 1999 年に拡散集光器型構成と複レンズ解消共振器構成に独自の共振器構成を採用することによって、グリーン光 138W を  $M^2 = 10.6$  で得ることに成功し内部波長変換型グリーンレーザの世界最高輝度を達成した [5]。図 3 は内部 SHG 型グリーンレーザのパルスエネルギー報告例を示したものである。本論文の研究開発結果は図 3 中に黒丸で示されている。図 3 からわかるように従来の内部波長変換型グリーンレーザはパルスエネルギーが  $< 20\text{mJ}$  に限られていた。著者らは Q-cw 励起方式と損傷を回避する独自の共振器構成を採用し構成とすることにより電気-光効率 6% において、内部波長変換型グリーンレーザの世界最高パルスエネルギー  $53\text{mJ}$  を達成した [6]。

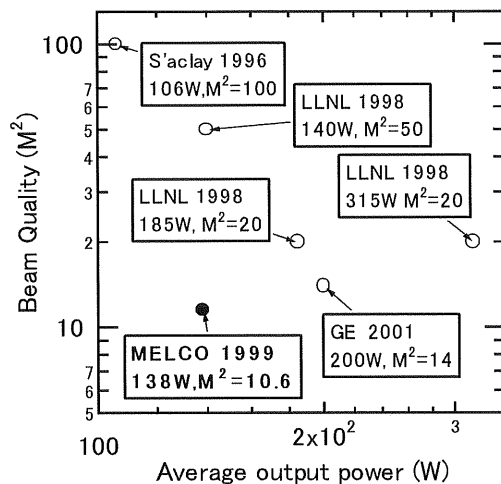


図 2 内部波長変換型グリーンレーザの出力とビーム品質報告例。

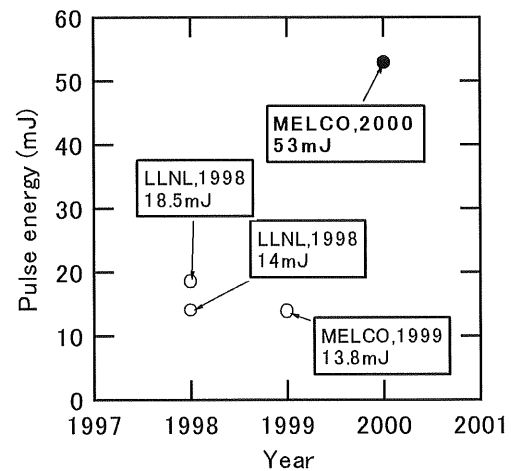


図 3 内部波長変換型グリーンレーザのパルスエネルギー報告例。

#### 参考文献

- [1] S.Konno, S.Fujikawa, and K.Yasui, Appl.Phys.Lett.70,2650 (1997).
- [2] S.Konno, S.Fujikawa, and K.Yasui, Appl.Phys.Lett.79,2696(2001).
- [3] S.Konno, and K.Yasui,Appl. Opt.37,551(1998)
- [4] S.Konno, S.Fujikawa, and K.Yasui, Appl. Opt.37,6401(1998)
- [5] S.Konno, T.Kojima, S.Fujikawa, and K.Yasui, Opt.Lett.25,105(2000)
- [6] S.Konno, Y.Inoue, T.Kojima, S.Fujikawa, and K.Yasui, Appl. Opt.40,4341 (2001),