

激光 XII 号ガラスレーザー装置の発振器部光量調整の改善

漆原新治、鈴木和浩、山田研二、奥浩行

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター

1. はじめに

激光 XII 号ガラスレーザー[1]は、波長 $1.053\mu\text{m}$ 、12 ビームでピークパワー55TW 及び出力エネルギー30kJ の性能を有する装置で、多くのコンポーネントから構成されている。発振器部には 100ps から 10ns のレーザーパルスが発生する 2 台の発振器と 2 種類の広帯域レーザー発生部が配置されている。このレーザー光は、4 台のロッド増幅器、3 台の光シャッター及び 3 台のスペーシャルフィルターから構成されている前置増幅器列で増幅される。また主増幅器列には、レーザー光を増幅するロッド増幅器が 24 台とディスク増幅器が 60 台、増幅器間の寄生発振を防止する光シャッターが 12 台、ターゲットからの反射光を排除するファラデー回転子が 24 台及びビームパターンの高周波成分除去、ビーム径の拡大、寄生発振防止と像転送の機能を有するスペーシャルフィルターが 36 台配置され、強力なレーザー光にしてターゲットチェンバーに伝送される。図 1 に激光 XII 号ガラスレーザーのシステム構成を示す。この大型ガラスレーザー装置を使った研究が広範囲に渡って行われている。これらの研究では要求されるレーザー照射条件が異なり、容易に変更や設定ができるシステムであることが極めて重要な課題となっている。その中の一つの要素に照射エネルギーがパラメータとして存在する。ここでは出力エネルギーを制御するための光量調整器[2]を発振器部に配置し、改善を行ったので報告する。

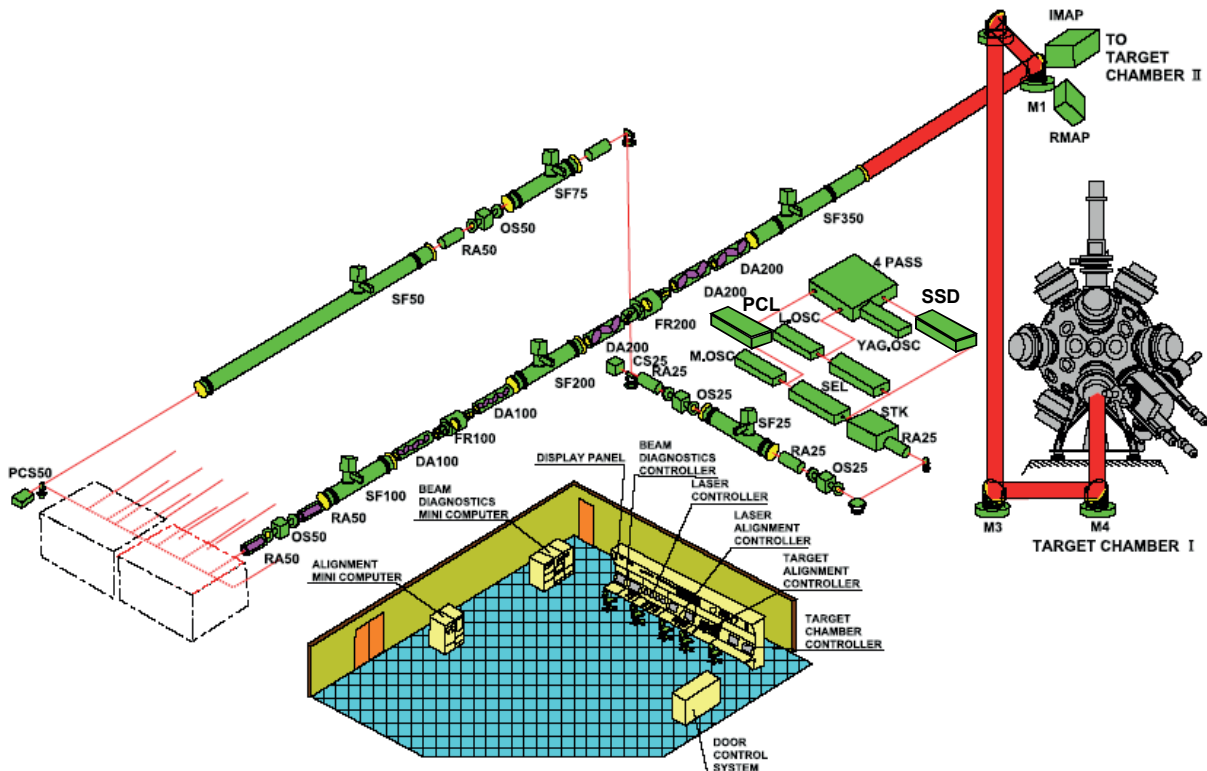


図 1 激光 XII 号のシステム構成

2. レーザー出力エネルギーの制御

激光 XII 号ガラスレーザーシステムは、4 つのベンチ (A、B、C 及び D ベンチ) から成る前置増幅器列、3 つのトラス (E、F 及び G トラス) から成る主増幅器列で構成されている。発振器の出力エネルギー $10\mu\text{J}$ を前置増幅器列 B ベン

チのロッド増幅器 (RA25BX 及び RA25BY) により最大 10mJ まで、C ベンチのロッド増幅器 (RA25CX 及び RA25CY) により最大 1J まで増幅できる。このレーザー光を 12 分割し、主増幅器列で 2 台のロッド増幅器 (RA50XY)、5 台のディスク増幅器 (DA100XY、DA200XYZ) により最大 2kJ まで増幅可能となっている。ロッド増幅器及びディスク増幅器は筐体内に組み込まれているフラッシュランプを放電することでレーザー光を増幅することができる。その利得はポンピングエネルギーで決定され、充電電圧で制御することが可能になっている。ロッド増幅器の充電電圧は 12kV~16kV 間で設定し、ディスク増幅器は 25kV 固定にし、台数で出力エネルギーに応じて選択している。出力エネルギーは、発振器部、B ベンチ、C ベンチ及び各トラス列の最終折り曲げミラー後方にエネルギーモニタが設置され、計測できるようになっている。各ビーム間のエネルギーバランスは、各トラスのロッド増幅器 (RA50XY) で調整し、全体の出力エネルギーは B 及び C ベンチの 4 台のロッド増幅器 (RA25BXY 及び RA25CXY) で制御している。出力エネルギーが高く出すと光学素子に損傷を与えることになるので、前置増幅器列の出力エネルギーを制限する場合には ND フィルターを設置し光量調整している。出力エネルギーの調整は基準の充電電圧 (V=12kV) の利得を 1 とし各充電電圧に対する利得との比率を測定し、GXII 号電源部の充電電圧設定性能が 100V 単位であることから 100V 毎の利得比率を計算し利用している。実際のショットを行うときは、当日の最初にあらかじめロッド増幅器 (全数 V=12kV に設定) のみのショットを行い、基準の出力エネルギーを取得しておき、要求された出力エネルギーに合わせて増幅器の台数と充電電圧を設定することになっている。図 2 にロッド増幅器の充電電圧に対する利得と基準電圧に対する利得比率及びディスク増幅器の利得を示す。

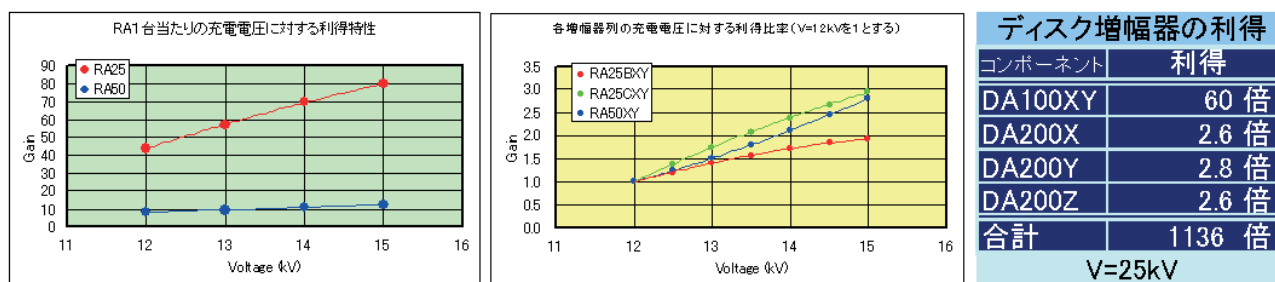


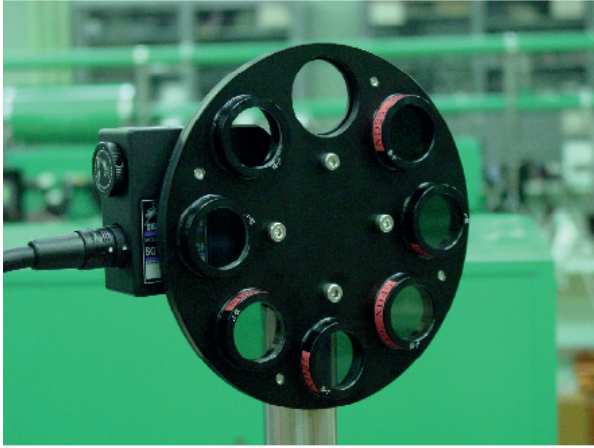
図 2 ロッド増幅器及びディスク増幅器の利得特性

図 2 の充電電圧に対する利得比率から、100V の設定に対して利得は約 3% 変化することが分かる。また、これらの比率は、光路やロッド増幅器の使用年数で変化することがあるため、定期的にデータを取得する必要がある。出力エネルギーの調整時には最適な充電電圧を選択しなければならない手間も発生する。これらを解消するために発振器部の光量を調整できる装置を配置することがシステムを運用するうえでの一つの重要な機能と考えられた。

3. 発振器部の光量調整器の構成

発振器部に設置する光量調整器として GXII 号システム構成を考慮し、粗調整用と微調整用の 2 種類の光量調整器を製作した。粗調整用には ND フィルターを利用した減光方式で、円板に 8 種類の透過率を設定できる構造とした。最小の透過率 1.7% から約 2 倍ずつ 100% まで可変できるように ND フィルターを組み合わせた。またレーザー光を出力しないモードを想定してそのうちの一つに遮光板を取り付けた。透過率の高い ND フィルターにはレーザー光を入射すると干渉縞が現れるためビーム品質が低下する。それを防ぐため反射防止膜としてゾルゲルコートをした。微調整用にはポラライザと波長板を組み合わせる減光方式で、回転角の設定で透過率を無段階 (1% 単位) に変化させることができるものとした。これらの光学素子を含めた機構部は回転ステージに取り付け、外部から制御できるように構成した。回転ステージとそのコントローラは機能と精度の面から、シグマ光機製の自動回転ステージ (SGSP-60YAW) と 2 軸ステージコントローラ (MARK-102) を採用した。図 3 に 2 種類の光量調整器を示す。

ND Filter型光量調整器



Wave Plate型光量調整器

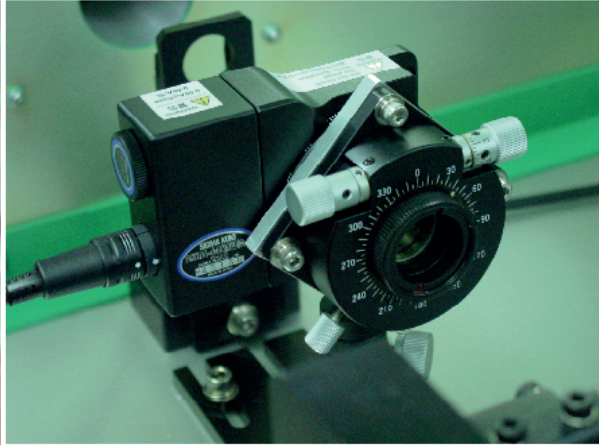


図3 発振器部に設置した2種類の光量調整器

GXII号の発振器は2台配置されており、ND Filter型光量調整器は共通の光路上に、Wave Plate型光量調整器は各発振器の直後に設置し、両方の光路に対応できる構成とした。ND Filter型光量調整器の各ホルダーに取り付けるNDフィルターの透過率は、GXII号の発振器光(エネルギー $10\mu\text{J}$ 、安定性 $\pm 2\%$)とエネルギーメータ(laser precision製、Probe:RjP-765、Readout:Rj-7100)を使って測定した値を採用した。このエネルギーメータは、1回、10回及び100回の平均値を示すことができるので高精度に測定できる信頼性の高い計測器である。Wave Plate型光量調整器の透過率特性も同様の測定系でデータを取得した。広範囲に渡って特性を測定する必要があるため、計測器の性能を測定した。NDフィルターを用いて減光し、約3桁の範囲について線形性を確認して数%の誤差で測定できる性能を有していることが確認できた。次に回転角に対する透過率特性を測定した。回転角と自動回転ステージのカウンタXとの関係を確認し、1度に角度に対するカウンタを設定し、それに対する透過率Tを測定した。両者の関係式として、 $T=(\cos((X+0.298)/45*\pi)+1)/2$ を得た。図4に自動回転ステージのカウンタに対する透過率を示す。この関係式を使って透過率を設定すれば、自動回転ステージが駆動されるプログラムを作成し、設定透過率に対する測定した透過率を確認した。設定透過率20%以上の領域では1%以下、それ以下の領域では3%程度で十分な精度が得られていることが分かった。設定透過率の低いところでは測定データと関係式的一致精度が悪く思われる。図5に設定値に対する透過率の誤差を示す。

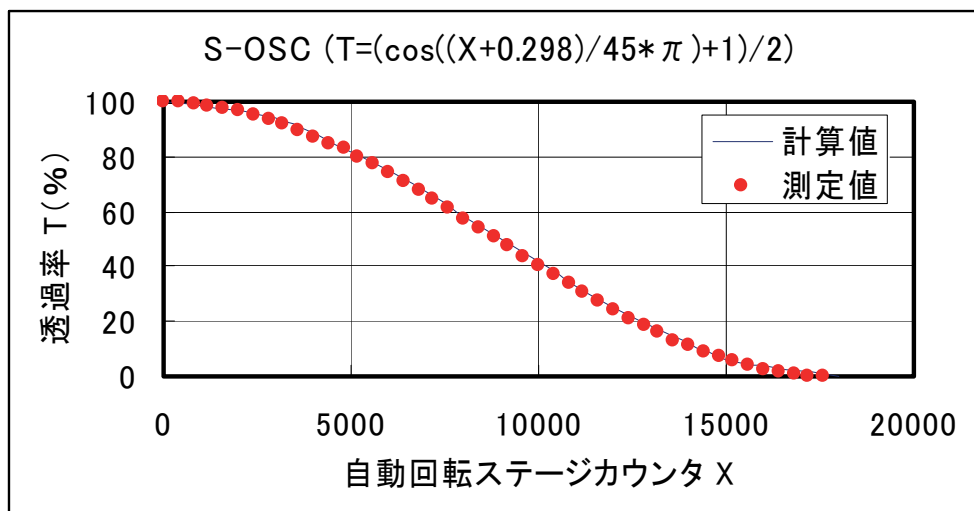


図4 自動回転ステージのカウンタに対する透過率

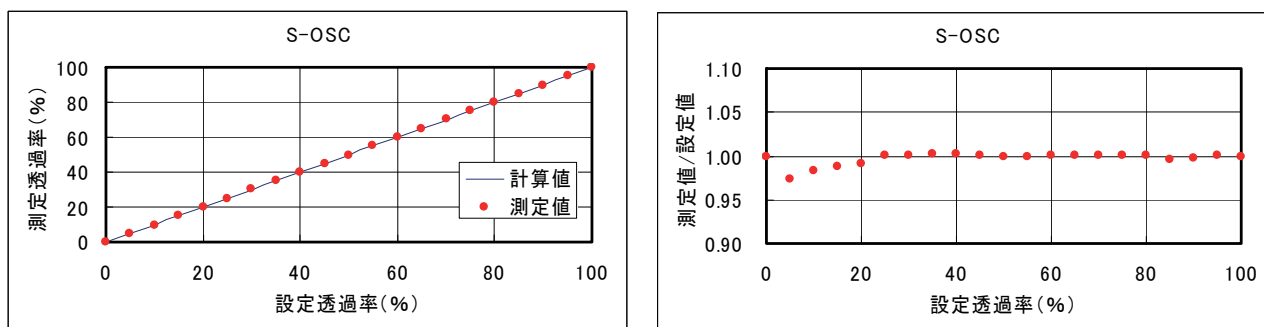


図5 Wa ve Plate 型光量調整器の設定値に対する透過率精度

4. レーザー出力エネルギー制御方法の比較

製作、設置した各光量調整器の性能をレーザーショットで確認した。ND Filter 型光量調整器では出力エネルギーを一定にし、各ホルダーに設定した時のエネルギーを計測し、透過率を算出した。GXII 号システムの出力量安定性は、発振器、光シャッター及び増幅器のフラッシュランプ発光特性に依存し、5%程度が限界と考えられる。また、測定に使用した計測装置の性能にも依存し、5%以上の透過率を有する ND フィルターについて得られたデータはそれ以下であったが、5%以下の透過率を有する ND フィルターは測定精度により 5%前後の精度となった。これらを考慮すれば、単体で測定した透過率とよく一致していると言える。Wave Plate 型光量調整器では従来採用していたロッド増幅器の充電電圧を可変する調整方法と比較した。設定値を 2 倍及び 3 倍に変更したときの出力エネルギーを計測し、精度を確認した。従来方式の 10%に比べて 2%に向上していることが分かった。ロッド増幅器の充電電圧を可変する調整方法では、利得の経年変化により、取得したデータから時間経過とともに比率がずれていくものと考えられる。光量調整器の有効性が示された。図 6 に設定値に対する両方式の精度を示す。

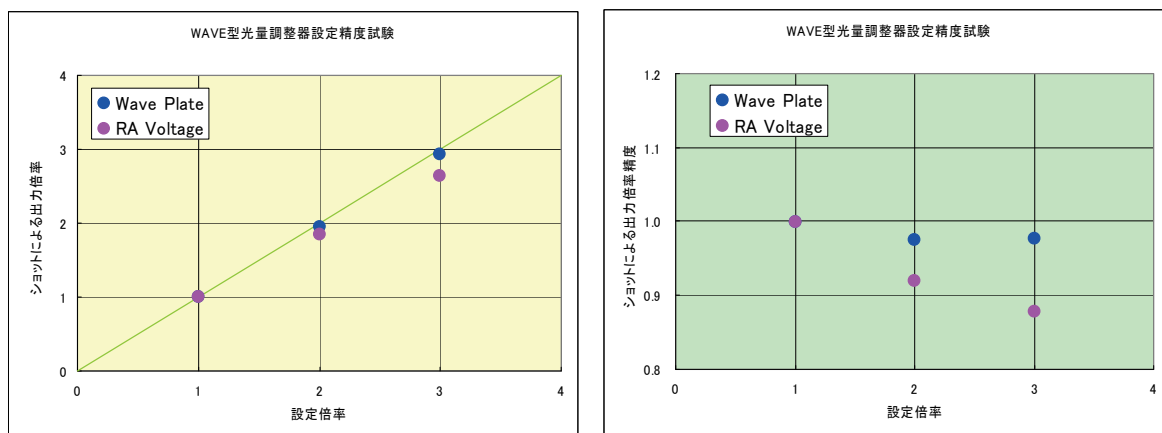


図6 設定値に対する精度の比較

5. まとめ

出力エネルギーを調整する方法として、ND フィルター、波長板とポラライザーの組み合わせを用いた光量調整器を製作し、有効に機能することが分かった。従来の充電電圧を可変する調整に比べて精度が高く、設定が容易であることが分かった。また、ネットワーク接続されたコンピュータによる制御方式を採用しているため、設定状態の監視や別の場所からの設定が可能となっている。

6. 参考文献

- [1] 山中千代衛, “レーザー研究” Vol.11, No.8, (1983), P586
- [2] S. Urushihara, et al, “Annual Progress Report 2004” ILE, P135