

## ファジイ推論と独自アルゴリズムによる光軸調整 — DUV レーザーへの応用 —

○ 奥野雅史 次田浩 渡部明 (株式会社光フィジクス研究所)  
佐久間純 住吉哲実 関田仁志 (サイバーレーザー株式会社)

An Optical Axis Tracking Algorithm Based on the Fuzzy Inferencing  
- Application for the DUV laser -

\* T. Okuno, H. Tsugita, A. Watanabe (Photo-Physics Laboratory Inc.),  
J. Sakuma, T. Sumiyoshi, H. Sekita (Cyber Laser Inc.)

### 1. 緒言

レーザーの光軸調整は、自動化が進みにくい分野の一つである。その理由は、レスポンスの非線型性と複雑性にある。本発表では、波長変換を行う非線形光学結晶を用いた紫外線レーザーへ、ファジイ推論と独自のアルゴリズムを組み合わせたソフトウェアによって、光軸調整を自動化できたことを示す。

### 2. 光軸調整の手法の一般化

さて、レーザー光軸調整を熟練者が行うときの動作を分析する。我々はこの熟練者の光軸調整の動作を「一般化」したアルゴリズムを用いて、深紫外線 (DUV) 固体レーザーの光

軸調整を自動化した。我々はこのアルゴリズムを「職人技的アルゴリズム」と名づけた。<sup>1)</sup>

レーザーの光軸調整は、その構成要素であるミラーやレンズの位置および角度をマイクロメーターなどの微動ノブを回転させることで、レーザー出射強度が最も高くなるように行う。この微動ノブの数は通常 10 本以上の調整が必要である。しかし、熟練者は、決してこれら微動ノブとレーザー強度との関係について解析的な応答関数を認識しているわけではない。また、レーザーの光軸調整の場合、微動装置の微動ノブの回転量とレーザー強度との間には比例的な関係はない。このような場合、PID 制御では光軸調整は非常に難しくなる。

表 1 職人技的アルゴリズムと PID 制御との比較表

| 比較項目 \ 制御         | PID 制御 | 職人技的アルゴリズム<br>(+ファジイ推論) |
|-------------------|--------|-------------------------|
| 実績                | なし     | 固体 UV レーザー光軸調整          |
| 線形制御システム          | ○      | ○                       |
| 非線形制御システム         | △      | ◎                       |
| レスポンス             | ◎      | △                       |
| 多軸制御              | △      | ◎                       |
| パラメーターの設定の容易さ     | ×      | ◎                       |
| 入力と出力が 1 対 1 対応の系 | ◎      | ○                       |
| 入力と出力が 1 対多対応の系   | ×      | ◎                       |

さらに、ミラーなどの角度が明確に測定できなくとも、レーザーの光軸調整の熟練者は、レーザー強度をパワーメーターで測定しながら、その強度が最大となるように 4 つ以上の微動ノブを回転し、調整している。つまり、1 入力に対して 4 出力以上の関係である。このような系に対する制御は PID 制御では不可能である。以上の比較を表 1 にまとめて示す。

アルゴリズムの概略は簡単である。あるノブ(軸)に注目し、まずは、少し回転してみる。その結果、強度が増大するのか減少するのか分かり、増大すれば、同じ方向へさらに回転、減少すれば反対方向へ回転することを決める。次に回転量は、目標の強度からの差や変化率の大きさなどを元にファジイ推論を行い決定している。これを繰り返し、変化しなくなれば次のノブ(軸)へ移り同じことを繰り返す。さらに、これらを繰り返していくことで、光軸調整が行われる。

### 3. 応用事例

サイバーレーザー株式会社の DUV レーザーアルタイル 266 に「職人技的アルゴリズム」による自動光軸調整システムが組み込まれて

いる(図 1 参照)。

これは、532nm レーザー光を共振器内の非線形光学結晶により、高出力の DUV (266nm) レーザー光を作り出すもので、266nm の光強度を光検出器で受け、その光検出器の出力を元に、職人技的アルゴリズムによって光軸調整素子 R1、R2 のモーターの回転量を決定する。いままで、サービスエンジニアが行っていた作業をこのシステムで自動化できた。

### 4. 展開

本アルゴリズムは非常にコンパクトなプログラム容量で実現できるため、今年度中に 1 ボードマイコン上で動作するシステムを開発予定である。さらにレーザーの光軸調整以外の分野へも展開する計画である。

### 参考文献

- 1) 奥野、渡部:特願 2004-30236、波長変換装置

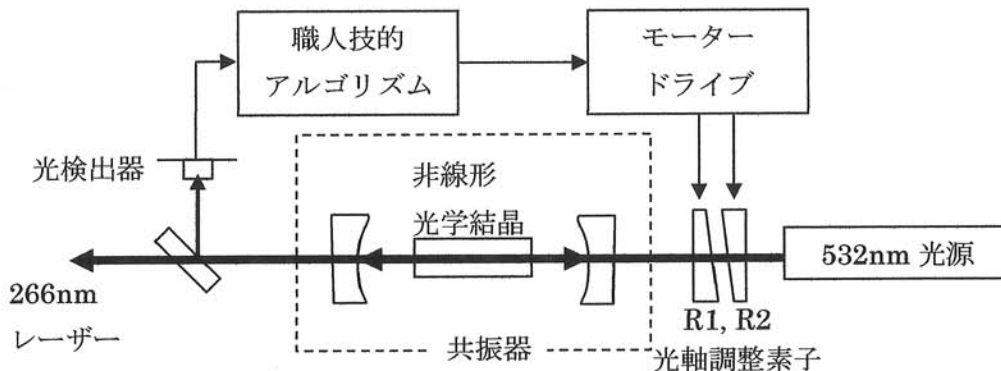


図 1 深紫外線(DUV)固体レーザー構成概略図