

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289341

研究課題名(和文) トムソン散乱装置のための完全同軸マルチレーザーシステムの開発

研究課題名(英文) Development of the Coaxial Multilaser System for Thomson Scattering Diagnostic

研究代表者

山田 一博 (Yamada, Ichihiro)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：80222371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：大型ヘリカル装置(LHD)トムソン散乱装置を含め複数台のYAGレーザーを用いるマルチレーザートムソン散乱装置は、運転方式を柔軟に広げられるというメリットがあると同時に、これまでのビームパッキング法では、各ビーム光路が完全には一致しておらず、完全に最適化されていないため、測定誤差の増大などのデメリットもありました。

本申請課題では偏光制御技術を用い、複数のレーザーを完全同軸化することでデメリットを解消し、マルチレーザートムソン散乱装置において一つの革新的な技術を確立することを目的とした研究を行いました。研究期間内に現有3台のレーザーからのレーザービームを完全に同軸化するシステムを構築しました。

研究成果の概要(英文)：In multilaser Thomson scattering systems, including the Large Helical Device (LHD) Thomson scattering system, flexible operations are possible. The beam packing method in which we have used previously, has some disadvantages because there are some differences among the laser beam paths. For example, unexpected experimental error is induced due to the beam path difference.

Therefore, we have developed a new coaxial beam merging system using a polarization control technique for the LHD Thomson scattering system, and successfully applied to our three laser system

研究分野：核融合科学・プラズマ計測学

キーワード：プラズマ計測 トムソン散乱計測 マルチレーザーシステム

1. 研究開始当初の背景

大型ヘリカル装置(LHD)のトムソン散乱装置の特徴の一つに、3台のYAGレーザー装置を用いるマルチレーザー方式を採用していることがあります。この3台のレーザーの発射のタイミングを組み合わせることで、実験目的に応じた柔軟なレーザー運転が可能になります。LHDトムソン散乱装置では複数のレーザー装置からのレーザービームを、Doublet III-D (DIII-D)トカマク装置のトムソングループが開発したビームパッキング法によって一つの束とし、プラズマへ入射する手法を採用してきました。これは図1のようなビームパッキングミラーを用いるものです。このようなパッキング法ではビームは全体として一つの束となりますが、各々のレーザービームを完全に一致しているわけではないため、レーザー経路の差が実験誤差を生じさせ、精密な電子温度・密度分布計測において避けがたい障害となっていました。

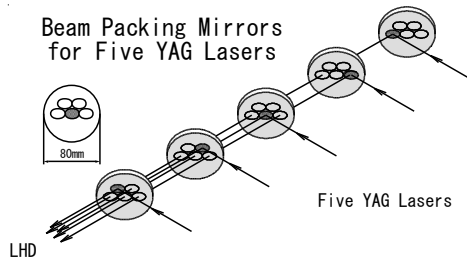


図1. これまでのビームパッキング法

2. 研究の目的

そこで、本申請課題ではLHDトムソン散乱装置の計測精度の向上を目的とし、これまでのビームパッキング法に代わり、偏光制御技術を用いて複数のレーザービームを完全に同軸化(一本化)したマルチレーザーシステムの構築する研究開発を行いました。偏光技術を用いたビーム同軸化システムを用いれば、これまでのビームパッキング法のデメリットを完全に解消する一つのマイルストーンとなる技術を確立できることとなります。

レーザービームを完全に同軸化することにより、観測位置の相対誤差が現在の4cmから理想的には0にできます。また、個々のレーザービーム経路の差に起因した電子密度の測定精度は、現在は相対的に10%程度の誤差がありますが、これも理想的には数%以下に低減できることが期待できます。

3. 研究の方法

本申請課題では次のステップで研究開発を進めました

- (1) 本申請課題を最も効果的に進めるために現有レーザー装置の一部を改良しました。

- (2) 予備実験で構築した2本のレーザーに対する同軸化システムを構築し、種々の試験を行いました。
- (3) 現有3台のレーザーに対してレーザーの保護系を含めて同軸化システムを構築しました。
- (4) 同軸マルチレーザーシステムを実際のプラズマ計測で応用し、その性能を検証しました。

4. 研究成果

図2に今回開発したレーザービーム同軸化の原理を示します。レーザー#1と#2からのレーザーパルスの偏光方向は両矢印で示すように水平です。レーザー#1からのパルスはミラーで反射させた後、その偏光を1/2波長板($\lambda/2$ waveplate)を用いて垂直偏光へ回転させます。垂直偏光に変換された後のパルスは次の偏光子(Polarizer)をそのまま通過します。一方、レーザー#2のパルスは水平偏光のまま偏光子に入射し、偏光子によって90度方向に反射されます。このようにして、偏光子を用いて垂直偏光のパルスと水平偏光のパルスを一つにまとめることができます。レーザー#1のビーム進行方向はミラーの傾きによって、レーザー#2のそれは偏光子の傾きによって調整します。

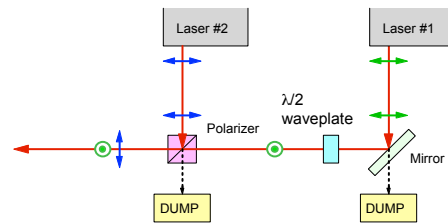


図2.2 レーザー同軸化の原理

実際のレーザー装置では出射光の偏光は100%水平偏光とはなっており、数%~30%程度垂直成分が混入していることがわかりました。先ず第一に、できるだけ偏光純度を高めるためにレーザー装置内部の光学部品の調整を丁寧に行いました。その後、まだ残っているこの垂直成分を完全に除去するため、図3に示すようにレーザー#1、#2各々に対し偏光子#1、#2を挿入することにしました。レーザー装置から出射後に混入している垂直偏光成分はこれらの偏光子によって除去され、ダンパー(DUMP)で吸収されます。

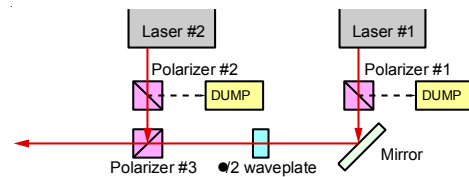


図3.2 レーザー同軸化システム

次に図4に3本以上のレーザーを同軸化するためのシステムを示します。レーザー#1からのパルスの偏光は1/2波長板によって垂直偏光に回転されます。その後、垂直偏光のまま偏光子#1と#2を通過します。レーザー#1のビーム伝送方向はミラーの傾きによって調整します。次に、レーザー#2からのパルスは水平偏光のまま偏光子#1に入射し、90度方向に反射します。この直後、レーザーパルスに同期した高圧電圧をポッケルスセルに印加することで、偏光方向を水平から垂直へ回転させます。このようにして垂直偏光に変化したパルス#2は偏光子#2を通過できるようになります。レーザー#2のビーム伝送方向は偏光子#1の傾きによって調整します。レーザー#3からのパルスは水平方向のまま偏光子#2によって進路を90度変えます。レーザー#2のビーム伝送方向は偏光子#2の傾きによって調整します。この後、レーザー#1と#2からのパルスは垂直偏光の状態で伝送されます。レーザー#3からのパルスは水平偏光の状態で伝送されます。LHDトムソン散乱装置は散乱角約167度の後方散乱配置を採用しており、入射レーザー光の偏光の向きは計測に大きな影響を及ぼさないことがわかっているため、垂直偏光と水平偏光が混在していても問題となりません。レーザー#3からのパルスの偏光も垂直に揃える場合は、レーザー#2の偏光を回転させるために設けたポッケルスセルのユニットをレーザー#3にも追加します。図5に今回の同軸化システムの写真を示します。

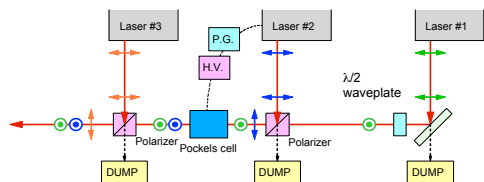


図 4. 偏光制御技術を用いたレーザー同軸化システム

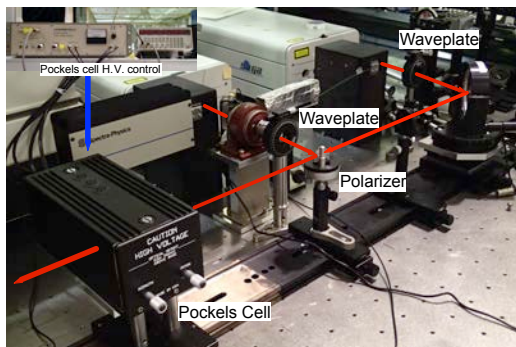


図 5. 偏光制御技術を用いたレーザー同軸化システム

以上のように今回の研究開発により、LHDトムソン散乱装置で用いている合計3本のレーザービームの、これまでビームの伝送経路

がずれていたビームパッキングミラー方式から、完全に同軸なシステムへ大きく改良することができました。

残念ながら最終年度はLHDのマシントイムが全て中止となり、プラズマ実験において3本全てのレーザーの同軸化の成果を例示するデータの取得はできませんでしたが、平成26年度までに2本の同軸化は完成しており、その成果から、レーザー同軸システムとして十分実用に耐えるものであることが確認できておりますので、今後更に発展した研究開発を続ける予定です。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① “RECENT IMPROVEMENT OF THE LHD THOMSON SCATTERING SYSTEM”, I. Yamada, H. Funaba, R. Yasuhara and H. Hayashi, Proc. Sci., 167-1-167-6 (2015). (査読有) (http://pos.sissa.it/archive/conferences/240/167/ECPD2015_167.pdf)
- ② “Electron temperature measurements using the LHD Thomson scattering system having four scattering configurations”, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, K. Narihara, H. Hayashi, E. Yatsuka, T. Hatae, H. Tojo, M. Yoshikawa, and T. Minami, Europhys. Conf. abst., Vol. 38D, P2. 153-1-4 (2015). (査読無) (<http://ocs.ciemat.es/EPS2015PAP/pdf/P5.153.pdf>)
- ③ “First results of electron temperature measurements by the use of multi-pass Thomson scattering system in GAMMA10”, M. Yoshikawa, R. Yasuhara, K. Nagasu, Y. Shimamura, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T. Imai, M. Ichimura, I. Yamada, H. Funaba, K. Kawahata, and T. Minami, Review of Scientific Instruments, 85, 11D801 (2014). (査読有)

[学会発表] (計 19 件)

- ① “Coaxial Laser Beam Merging System for the LHD Thomson Scattering System”, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, H. Hayashi, M. Yoshikawa, and J. H. Lee, 17th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics, 2015.9.27-10.1, Sapporo, Japan.
- ② “Progress of the multi-pass Thomson scattering system in LHD”, R. Yasuhara, I. Yamada, E. Yatsuka, M. Yoshikawa, H. Funaba, H. Tojo, H.

- Hayashi, and T. Hatae, 17th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics, 2015. 9. 27-10. 1, Sapporo, Japan.
- ③ “Experimental possibility for the three electron temperature components on the LHD Thomson scattering system”, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, K. Narihara, H. Hayashi, E. Yatsuka, T. Hatae, H. Tojo, M. Yoshikawa, and T. Minami, 41th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 2014. 6. 23-27, Berlin, Germany.
- ④ “Short interval multi-laser Thomson scattering measurement for the hydrogen pellet ablation in LHD”, R. Yasuhara, R. Sakamoto, I. Yamada, G. Motojima, and H. Hayashi, 20th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostic, 2014. 6. 1-5, Atlanta, USA.
- ⑤ “First results of electron temperature measurements by using the multi-pass Thomson scattering system in GAMMA 10”, M. Yoshikawa, R. Yasuhara, K. Nagasu, Y. Shimamura, Y. Shima, J. Kohaguro, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T. Imai, M. Ichimura, I. Yamada, H. Funaba, K. Kawahata, and T. Minami, 20th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostic, 2014. 6. 1-5, Atlanta, USA.
- ⑥ “Backward and forward scattering configurations in LHD Thomson scattering system”, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, K. Narihara, H. Hayashi, E. Yatsuka, T. Hatae, H. Tojo, M. Yoshikawa, and T. Minami, 40th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 2013. 7. 1-4, Espoo, Finland.
- ⑦ “Optimization of polychromators of the LHD Thomson scattering system for backward and forward scattering measurements”, I. Yamada, R. Yasuhara, H. Funaba, K. Narihara, H. Hayashi, E. Yatsuka, H. Tojo, M. Yoshikawa, and T. Minami, 16th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostic, 2013. 9. 22-26, Wisconsin, USA.
- ⑧ “Design and demonstration of the double pass Thomson scattering measurement in LHD”, R. Yasuhara, I. Yamada, E. Yatsuka, M. Yoshikawa, H. Funaba, H. Hayashi, H. Tojo, and T. Hatae, 16th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostic, 2013. 9. 22-26, Wisconsin, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 一博 (YAMADA, Ichihiro)
核融合研・ヘリカル研究部・准教授
研究者番号：80222371

(2) 研究分担者

安原 亮 (YASUHARA, Ryo)
核融合研・ヘリカル研究部・助教
研究者番号：30394290

(3) 連携研究者

舟場 久芳 (FUNABA, Hisamichi)
核融合研・ヘリカル研究部・助教
研究者番号：40300727

南 貴司 (Minami, Takashi)

京都大学・エネルギー理工学研究所・准教授
研究者番号：40260046

吉川 正志 (YOSHIKAWA, Masayuki)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・准教授
研究者番号：00272138

吉田 英次 (YOSHIDA, Hidetsugu)

大阪大学・レーザーエネルギー学研究センター・技術専門職員
研究者番号：30397781