

非等方場中にあるプラズマの微細磁場構造の理解 報告書

2022年12月9日 川手朋子
支援年度 2021年度

1. 支援期間終了後の研究展開

支援期間の2021年度は部品調達、組み立てを行い、2022年3月に核融合研にてファーストプラズマを点火した。支援期間後の2022年度は京都大学飛騨天文台にプラズマ発生装置を輸送し、ドームレス太陽望遠鏡焦点面に設置した。飛騨天文台にてプラズマ点火・維持に対する加熱・中性ガス圧条件を調査し、磁場・レーザー光を導入した偏光分光計測を行い、非等方場に対する発光線の偏光信号の応答を確認した。

装置構成を図1に示す。本装置は直径50 mm、6.5巻の高周波アンテナに高周波電流を通電し、真空容器内に誘導結合プラズマ(Inductively Coupled Plasma; ICP)を生成する。生成されたプラズマの発光線をビューポートから分光器内に導入し、偏光分光計測を行う。ビューポートに並行・垂直方向に磁石・半導体レーザーを設置するポート・ステージがあり、分光計測領域に非等方場を印加する。装置全体はリニアガイド上に設置しており、太陽観測にすぐに切り替えができるとともに、ICPの背景に太陽光を導入し、ICPによる吸収線の計測が可能である。太陽プロミネンスとICPの中性ヘリウムからの発光線の比較を図2に示す。図に示すスペクトルは露出時間を共に50 msとして取得しており、検出器および散乱光によるバックグラウンド信号を除去したものの、CMOS検出器で得られたカウント数をそのまま表示している。このことから、太陽プロミネンスと同程度の明るさで計測ができていることがわかる。

真空容器にフェライト磁石を取り付け、磁場を印加した際のヘリウムプラズマからの発光線プロファイルを図3に示す。真空容器内の磁場は予めテスラメータにより計測しており、容器中心で68 Gであった。この磁場強度はHe I 1083 nmのゼーマン効果による磁気副準

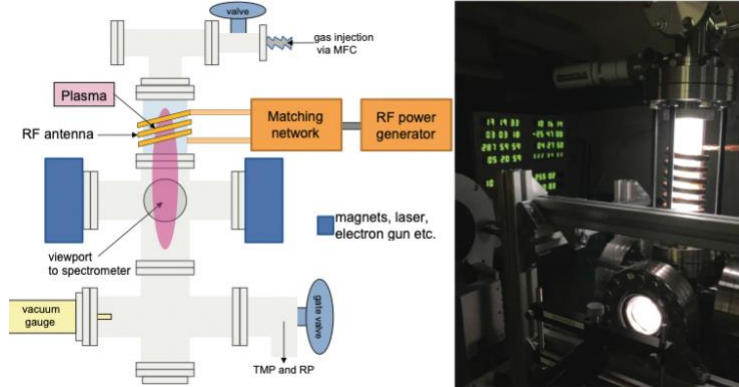


図1 左図: 装置構成図。右図: ドームレス太陽望遠鏡観測室におけるプラズマ点火時の写真。

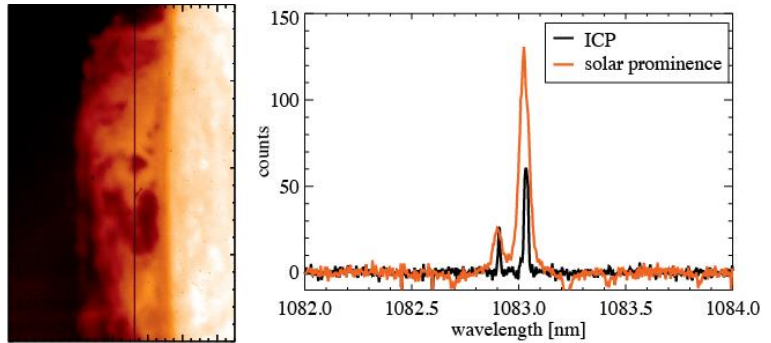


図2 左図: 太陽プロミネンスのH α 撮像。右図: 50 W, 5.0 PaのICP(黒)と太陽プロミネンス(赤)のHe I 1083 nm スペクトル

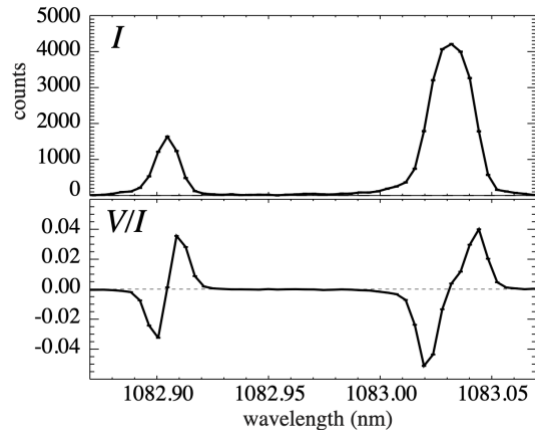


図3 100 W, 5.0 PaのICPプラズマに磁場を印加した際のゼーマン効果による発光線強度(I)とその円偏光成分(V/I)

位の広がり 0.4 pm に対応する。強度分布でこの広がりを検出することは不可能であるが、4%程度の円偏光度として検出できた。

さらにレーザー光を導入し、磁石位置を変化させることにより、弱磁場に対する偏光信号の応答を調査した結果を図 4 に示す。太陽プラズマでの描像として、光球面からの強フラックスの光子が、磁化プラズマにより散乱されている様子を模擬している。レーザー光の中心波長は 1083.03 nm とした。光吸収により 1083.03 nm 発光線に対応する上準位 He I 1s2p ³P(J=2) の占有密度が上昇し、レーザー入射のない場合に比べて発光線強度が上昇していることがわかる。非等方なレーザー光を入射したことにより He I 1s2p ³P(J=2) の縮退している磁気副準位に非一様な分布が現れ、発光線に 10%程度の直線偏光が現れた。さらに弱磁場を印加することにより偏光方向の回転、また 10 G 以上での直線偏光の消失が確認された。これらの結果から、ハンレ効果による 10 G 以下の磁場に対する偏光信号の変化を有意に確認できた。

以上の装置概要と初期成果に関して、2022 年 11 月に開催された Solar Polarization WS および 31st International Toki Conference にて発表を行った。ゼーマン・ハンレ効果のモデルによる磁場推定と計測結果の比較について、2023 年 3 月開催の日本物理学会春季大会にて報告する予定である。またこれらの実験結果について Plasma Fusion Research への投稿論文を準備中である。

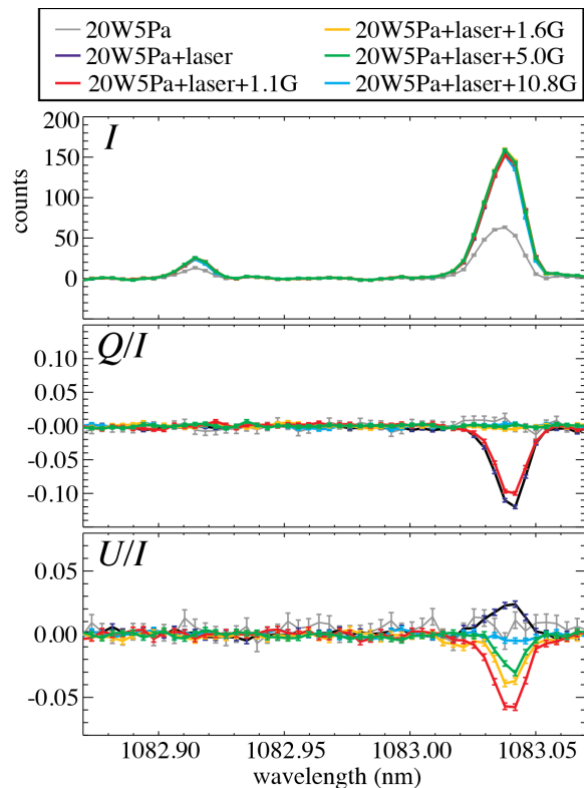


図 4 レーザー光・磁場を同時に導入した際の発光線強度(I)とその直線偏光(Q/I, U/I)成分

2. 成果と成果の発表 (リスト)

成果

- 太陽大気で形成しうる弱磁場を実験室プラズマで模擬し、10 G 以下の磁場に対する偏光信号応答の変化を有意に計測することができた。

成果発表

- 川手ほか「誘導結合プラズマと半導体レーザーを用いた飽和吸収分光と磁場診断」、「レーザープラズマ・磁場閉じ込めプラズマの連携研究の新展開」第一回研究会、2021 年 8 月 20 日(zoom) [若手交流セッション]
- Kawate et al., “A tabletop device for investigating spectropolarimetric responses to anisotropic/magnetized plasmas”, Solar Polarization WS, 6-11 November 2022 (Kyoto&zoom) [Poster]
- Kawate et al., “Spectroscopic Diagnostics of Weakly Ionized Plasmas in Anisotropic Fields”, 31st International Toki Conference, 7-11 November 2022 (zoom) [Poster]

3. 外部資金獲得の実績または見通し

- 2023 年度科学研究費助成事業 挑戦的研究(萌芽)に応募中である。