

飛行時間差を利用した2次元トムソン散乱計測システムの 開発研究

56221 山下 恒平

(指導教員 小野 靖 教授)

Key words: Thomson scattering, two dimensions, Time-of-flight, Raman scattering

1. はじめに

本研究室では、プラズマ合体装置 TS-4 を用いてプラズマ合体時の磁気リコネクション現象に伴うプラズマ加熱効果を利用した高 β ST プラズマの生成実験を行っている。プラズマ合体によって ST を高 β 化させるためには、この磁気リコネクション現象によるプラズマ加熱効果を検証する必要がある。磁気リコネクションにより電子は電流シート付近、イオンはアウトフロー領域など空間的に偏って加熱されると考えられている。したがって、加熱効果検証のためには電子・イオン温度の2次元空間分布計測が必要である。また、合体により生成された ST が実際に高い熱圧力を持つのか確かめるためには、プラズマ電子温度・密度の2次元空間分布を計測しなければならない。そこで本研究では、トムソン散乱計測を用いてプラズマ電子温度・密度の2次元空間分布を計測するシステムを TS-4 装置に構築することを目標としている。

実際の研究では、本研究に先行して設計された集光レンズ系を用いて構築したシステム(システム I)とそのシステムでの計測結果に基づいて新たに設計・改良したシステム(システム II)の2つを比較して実験し、開発を行った。

2. 飛行時間差を利用した新しい2次元化の手法

本研究におけるトムソン散乱計測システムは、一般的なトムソン散乱計測システムに2つの工夫を施すことにより2次元化するにあたって大幅な設備の縮小とコストの低減を図っている。その工夫とは、

レーザーを複数回ミラーで反射させて繰り返し真空容器内を通過させる

計測点間をレーザーが飛行する時間差を利用して計測地点を区別する

ことである。 により1台のレーザーでプラズマの断面(2次元)をカバーすることができ、 により同 z 方向上の複数計測点を同一のポリクロメータ(分光装置)で検出す

ることができる。

3. 飛行時間差実証のための初期システム

システムIで用いた集光レンズ系は、それぞれの計測点に対して独立した集光レンズが設けられており、その数は6計測点分である。そのため、観測用窓の大きさの制限から、それぞれのレンズ径が小さく($\phi 2.4[\text{cm}]$)、その集光立体角も $0.9[\text{msr}]$ と小さい。計算による見積りから、システムIでの集光レンズ系では十分なトムソン散乱光が得られないことが分かった。そこでシステムIでは、散乱出力が大きい大気圧付近での空気のレイリー散乱光を用いて、飛行時間差計測の実証実験、電子密度算出時に必要な装置の効率(装置関数)を求める為のレイリー散乱光ガス圧力依存性計測を行った。尚、本システムの光源にはNd:YAGレーザー(Quantel: YG982E, 2.4J/pulse , $1064[\text{nm}]$)を、光検出素子にはアバランシェ・フォトダイオード(APD)を用いている。

飛行時間差計測の実証実験では、TS-4装置内で、2計測点からのレイリー散乱光信号を同一のAPDで検出することに成功し、本計測法の原理の確認が行えた。レイリー散乱光ガス圧力依存性計測では、レイリー散乱光のガス圧力依存性は観測できたものの、迷光出力の影響が大きいことが確認され、レイリー散乱光の代わりにラマン散乱光で装置関数を求めることが示唆された。

4. 飛行時間差を利用した1次元ラマン散乱及びトムソン散乱計測

システムIでの実験結果を受けて新たに製作した集光レンズ系を用いたシステムIIにおいて、ラマン散乱及びトムソン散乱計測を行った。

4-1 新集光レンズ系を用いたシステム(システムII)

システムIの集光レンズ系と新集光レンズ系の最も異なる点は、その集光立体角と最終的に検出される光量の大きさである。新集光レンズ系では、同一

のポリクロメータで検出する計測点を同一のレンズで集光することでレンズ径を大きくでき($\phi 8.0[\text{cm}]$)、その集光立体角は $19.4[\text{msr}]$ である。そして、集光された光はバンドルファイバによりポリクロメータに伝送され、最終的に検出される光量はシステムIの時の約17倍となっている。また、システムIIではポリクロメータも製作した。図1にそれら概要図を示す。

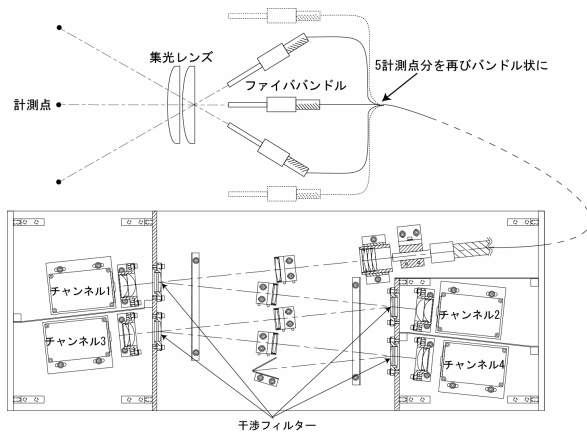


図1 集光システム系とポリクロメータの概要図

4-2 飛行時間差を利用した1次元ラマン散乱計測

システムIIにおいて、実際にポリクロメータを使用して大気圧下での3計測点からのラマン散乱信号を同一のポリクロメータで検出する実験を行った。図2が飛行時間差を利用して同一のポリクロメータで検出されたラマン散乱信号である。3計測点からのラマン散乱信号が飛行時間差できちんと区別できているのが分かる。

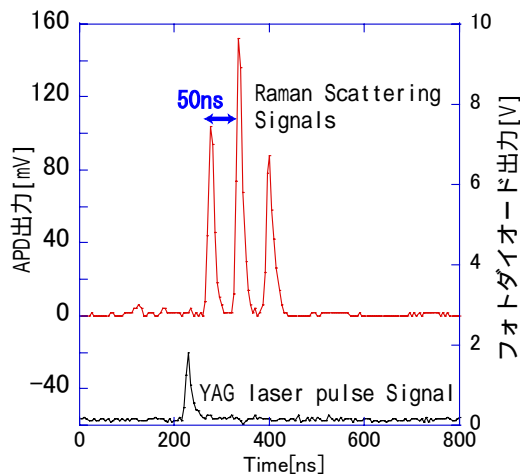


図2 3計測点からのラマン散乱信号

4-3 ラマン散乱光圧力依存性計測

システムIIでは装置関数を求めるためにラマン散乱光圧力依存性計測を行った。図3に、計測により得られたラマン散乱光のガス圧力依存性を示す。ラマン散乱光強度がガス圧力に比例しており、ラマン

散乱光の計測が行えているのが分かる。またその強度に比べて迷光強度(ガス圧力が0[torr]の時のAPD出力)は非常に小さく抑えられており、ラマン散乱光により装置関数が求められることが確認できた。

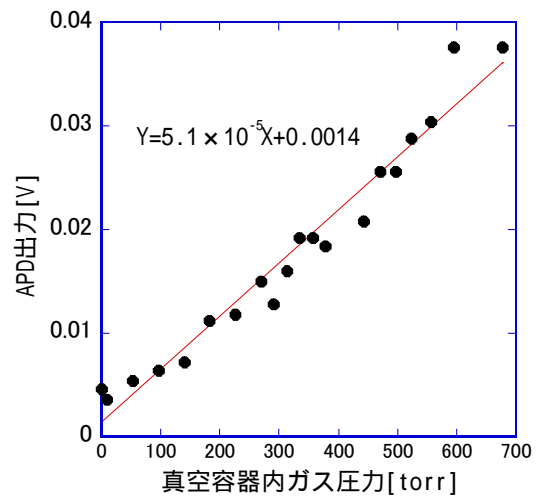


図3 ラマン散乱光のガス圧力依存性

4-4 トムソン散乱光計測

実際にプラズマ合体実験を行い、合体直後のトムソン散乱光計測を行ったが、未だトムソン散乱光は観測できていない。その理由は、集光光学系及び光検出系の効率が計算による見積りの約6%しか機能していないためである。6%しか機能していない原因を探るために各光学系の効率、APDの感度を実測により確かめた。しかし高周波側のAPDの感度がまだ確かめられておらず、原因は未だ解明されていない。

4-4 プラズマ背景光の影響

トムソン散乱光計測時に $30[\text{mV}]$ 程度のプラズマ背景光が観測された。この光はトムソン散乱光波長領域の背景光ではないかと現在考えている。プラズマ背景光出力は集光する視野に比例して大きくなるので今後計測点を増やすと更なる問題となってくる可能性がある。

5. まとめ

本研究により得られた成果を以下にまとめる。

- ・ 飛行時間差を用いた1次元ラマン散乱光計測の実証
- ・ ラマン散乱光による電子密度絶対較正法の確立
- ・ プラズマ背景光の影響を調査

以上、本研究により飛行時間差を利用した1次元トムソン散乱光計測システムの体制は整ったと言える。しかし、トムソン散乱光を観測するためにはシステム全体での検出効率が低い原因を解明することが必要である。