

氏名	佐藤元泰
	さとうもとやす
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第472号
学位授与の日付	昭和51年9月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電気工学第二専攻
学位論文題目	変形イオンサイクロトロン波によるヘリオトロンDプラズマの加熱に関する研究
論文調査委員	(主査) 教授 宇尾光治 教授 飯吉厚夫 教授 板谷良平

## 論文内容の要旨

プラズマ温度を熱核融合反応のおこる1億度程度まで高めるためには、従来よく用いられてきたジュール加熱につづく追加熱を行う必要がある。

本論文はその一つとして提案されている高周波加熱法の中のイオンサイクロトロン共鳴加熱法をヘリオトロンD装置を用いて行ったものであり6章から構成されている。

まず第2章において、ヘリオトロンD装置の説明と、加熱に用いたヘリオトロン磁場の性質が述べられている。第3章においてイオンサイクロトロン波の理論解析を行っている。すなわち、著者はよく知られたイオンサイクロトロン波の分散式を拡張して“熱い”プラズマに対する分散式を導き、電子の熱速度が波の位相速度よりも十分に速い条件下ではイオンサイクロトロン波がある密度領域(“冷い”プラズマの分散式で  $k^2 \rightarrow \infty$ ,  $k$ は磁力線に垂直方向の波数)でモード変換を起し、従来あまり知られていなかった新しいモードの波に変換し得ること、その波は従来のイオンサイクロトロン波の伝播不可能な高い密度領域でも伝播可能であること、更にはその波はイオンサイクロトロン減衰によってイオンを、ランダウ減衰によって電子を加熱し得ることを示している。この新しいモードは準静電的性質をもつ波であって著者は加熱の機構まで含めた解析を行っている。加熱の解析結果は、イオンと電子の加熱の割合がプラズマ諸量特にプラズマ密度に依存し密度が高くなる程電子の加熱の割合が増加することが結論されている。以上の理論解析は無限領域のプラズマについて検討されたものであるがこれを有限なトーラスプラズマに拡張した場合の問題点について最後に簡単に説明されている。

第4章では加熱実験の方法と測定法について説明がなされている。即ち、波の励起に用いられた半ターンコイルのアンテナ系の特性と、イオン温度の測定法として採用したドップラ幅の拡がりによる測定、更に電子温度の測定に用いられたレーザー散乱法等についての説明が行われている。

第5章において、一連の加熱実験結果が示され変形イオンサイクロトロン波の存在とその加熱の有効性が示されている。先ず磁気プローブによる磁力線に垂直方向の波長および磁力線に垂直方向の波の振幅が

測定した結果、変形イオンサイクロトロン波の分散式とよく一致することを示した。又励起コイルの負荷とプラズマ密度の依存性を調べ、通常のイオンサイクロトロン波の伝播不可能な密度領域に於いても結合が強いことを示し、変形イオンサイクロトロン波の存在を裏づける結果を導いている。

次にプラズマの加熱の様子を実験的に考察し、理論的に予測される様に密度の低い領域では主としてイオンが加熱されること、そして密度が高くなるに従って電子の加熱されること、そして密度が高くなるに従って電子の加熱される割合が増えることを示した。具体的には高周波発振器の出力レベル 140 kw に於いて、プラズマ密度  $1.1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$  の場合には約 200 l のプラズマの電子が 50 eV から 100 eV、イオンが 20 eV から 25 eV に加熱されるのに対して、プラズマ密度  $4 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$  ではイオンのみが 20 eV から 60 eV に加熱され電子の加熱は殆んど認められないことを観測している。本実験の条件下での加熱効率は30~60%であることも示している。以上の変形イオンサイクロトロン波の存在の検証と加熱の有効性の実験は著者が初めて行ったものである。最後に第6章において本研究のまとめが述べられており、更に変形イオンサイクロトロン波の加熱法を将来の大型トーラスプラズマ閉じ込め装置に用いる場合の有効性の検討が行われている。

### 論文審査の結果の要旨

トロイダル・プラズマはジュール加熱によって約2~3千万度まで加熱できるとされているが、核融合反応の温度である1億度まで加熱するためには、ジュール加熱以外の方法で追加熱を行わねばならず、その追加熱の方法は熱核融合実現のための主要な研究テーマの一つとなっている。

本論文はプラズマ加熱法の一つとして提案されている高周波加熱法の一つであるイオンサイクロトロン共鳴加熱法をヘリオトロンD装置のプラズマに適用して行われた一連の実験結果をまとめたものである。

著者は従来良く知られているイオンサイクロトロン共鳴加熱法をヘリオトロンD装置のトロイダルプラズマに適用したところ、通常のイオンサイクロトロン波が伝播し得ない筈の高いプラズマ密度領域でのイオン及び電子加熱を観測した。この説明として、プラズマ中の電子が“熱い条件”すなわち電子の熱速度が波の位相速度より大きい条件では著者が変形イオンサイクロトロン波と名付ける新しい準静電的モードの波が存在し得ること、その波がイオンサイクロトロン減衰並びに電子のランダウ減衰によってイオン並びに電子を加熱する事を説明し、これを実験的に検証した。この新しいモードの存在は近年 Perkins によって理論的に見いだされたものであるが、著者はその存在の実験的検証、およびイオンならびに電子加熱の理論的解析を行ったものである。

得られた具体的な成果は次の通りである。

1. Perkins により示された変形イオンサイクロトロン波の分散式を、イオンサイクロトロン減衰および電子のランダウ減衰を含めた詳しい形に発展させ、波の減衰即ちイオンおよび電子の加熱の割合を求めている。
2. 変形イオンサイクロトロン波の存在を検証するために波の波長および波の振幅とプラズマ諸量の関係を実験的に求め、理論とのよい一致をみた。
3. 変形イオンサイクロトロン波による加熱ではプラズマ密度が高い程、電子の加熱される割合がイオ

ンの加熱される割合よりも大きくなることが著者の理論解析結果から予測されるが、それを実験的に確かめた。

即ち本実験では約 140 kw の発振器を用いて実験が行われ、密度  $6 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$  のプラズマの場合には、20 eV のイオンが 60 eV まで加熱され、密度  $1.1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$  の場合には、電子が 50 eV から 100 eV まで加熱される結果を得ており、加熱効率は前者の場合約 50%であることを示した。

4. イオンサイクロトロン波および変形イオンサイクロトロン波による加熱効率はプラズマパラメータから算定される G ファクターによって一義的に決まることを理論的、かつ実験的に示した。これによって将来の大型トーラス装置の加熱法に重要な指針を与えた。

以上要するに本論文は、新しい高周波加熱法として変形イオンサイクロトロン波によるプラズマ加熱を実験的に初めて検証し、その有効性を実証したものであり、学術上、實際上、寄与するところが大きい。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。