



Title	粒子ビームによる不安定性励起とプラズマ加熱に関する研究
Author(s)	八束, 充保
Citation	大阪大学, 1984, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/1912">https://hdl.handle.net/11094/1912</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・（本籍）	や 八	づ 束	み 充	や 保
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	6 5 1 5	号	
学位授与の日付	昭和 59 年 5 月 1 日			
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当			
学位論文題目	粒子ビームによる不安定性励起とプラズマ加熱に関する研究 （主査） 教授 横山 昌弘			
	教授 木下 仁志	教授 藤井 克彦	教授 山中千代衛	
	教授 犬石 嘉雄	教授 鈴木 胖	教授 中井 貞雄	
	教授 黒田 英三	教授 加藤 義章	教授 石村 勉	

## 論文内容の要旨

本論文は著者が姫路工業大学並びに共同研究として大阪大学基礎工学部および名古屋大学プラズマ研究所において約 13 年にわたって行なった荷電粒子ビームとプラズマの相互作用によるローワーハイブリッドおよびイオンサイクロトロン周波数領域の不安定性励起と励起波動によるプラズマ加熱に関する研究成果をまとめたもので本文 7 章から構成されている。

第 1 章は緒論でビーム・プラズマの集団的相互作用を利用するプラズマ加熱方法の有用性と加熱機構解明の必要性を述べ本研究の目的と意義を明らかにしている。

第 2 章は対向電子ビームによるクロスフィールド不安定性とプラズマ加熱について述べている。相対向する電子ビームを磁場と平行に入射することによってビームの余剰空間電荷による半径方向の直流電場  $E_r$  を生成し、 $E_r \times B_0$  ドリフトによってクロスフィールド電流が発生できること、この電流によってローワーハイブリッドおよび電子の温度が著るしく増大することを示している。この急速なイオン加熱は主としてローワーハイブリッド波による乱流波動加熱であることを明らかにしている。

第 3 章はらせん荷電粒子ビームによる静電不安定性とプラズマ加熱について述べている。電子ビームをカusp 磁場中に走行させることによってらせん電子ビーム（すなわちクロスフィールド電流）を発生させ、これによりローワーハイブリッドおよびイオンサイクロトロン不安定性の励起とこれに伴うプラズマ加熱が起ることを明らかにしている。またイオンビームを磁場と斜めに入射することによってらせんイオンビームを作り、ローワーハイブリッド不安定性を励起している。

第 4 章は不均一プラズマ中の高周波ドリフト不安定性とプラズマ加熱について述べている。TP-D 型の高密度プラズマを使ってドリフトイオン音波とイオンサイクロトロンドリフト波を励起し、高周波ド

ドリフト波の性質を明らかにすると共に、高周波ドリフト不安定性によってイオン加熱が行われることを示している。

第5章は電子ビームによるローワーハイブリッドドリフト2流体不安定性の励起について述べている。磁場と平行に入射した電子ビームに半径方向の密度勾配が存在するとローワーハイブリッド2流体不安定性が励起されることを示すと共に、ドリフト2流体不安定性の性質を明らかにしている。

第6章では変調REBによるプラズマ加熱について述べている。相対論的電子ビーム(REB)の電流変調を行い、変調REBより無変調時に比べて約2~3倍程度のプラズマ加熱が起ることを見出し、このプラズマ加熱はローワーハイブリッドパラメトリック不安定性に起因することを明らかにしている。

第7章では変調イオンビームによるパラメトリック不安定性とプラズマ加熱について述べている。ローワーハイブリッド周波数近くで変調したイオンビームを磁場と平行に標的プラズマに入射することによって電極を用いることなく高周波エネルギーをプラズマ内部に伝送し、ドリフト波とローワーハイブリッド波から成るパラメトリック不安定性が励起できること、および波動の励起に伴ってプラズマ加熱が起ることを初めて見出したことを述べ、さらにイオン加熱率の検討からこのイオン加熱はパラメトリック励起されたドリフト波によるパラメトリック波動加熱であることを明らかにしている。

第8章は変調電子ビームによるローワーハイブリッドパラメトリック不安定性とプラズマ加熱について述べている。ローワーハイブリッド周波数近くで変調した電子ビームをプラズマに入射することによってローワーハイブリッド波とイオンサイクロトロン波から成るパラメトリック不安定性が励起されること、および波動の励起に伴って著しいプラズマ加熱が起ることを見出したことを述べ、イオン加熱率の検討から、このイオン加熱は主としてローワーハイブリッド波によるパラメトリック波動加熱であることを明らかにしている。

第9章は結論であり、本研究で得られた第2章から第8章までの結果を総括し、本論文の結論としている。

## 論文の審査結果の要旨

プラズマ物理の基礎的見地から或いは核融合工学の応用的立場からみてプラズマ加熱の研究はこの方面の分野で最も中心的な課題の1つである。プラズマを加熱するためには、ビームや電磁波あるいは磁場などの外的エネルギーを熱エネルギーとしてプラズマに吸収させる必要がある。プラズマ加熱の具体的な方法は種々考案されて多くの成果が得られているが、そのなかでも電子やイオンビームをプラズマに入射する方法はビームとプラズマの集団的相互作用を介してビームの運動エネルギーを波のエネルギーに変換し、さらに波と粒子の相互作用によりイオンの熱エネルギーに変換しようとするものであり、大電力のビーム加速装置が比較的容易に得られることによって近年大いに注目をあつめてきている。

本論文はこのような見地から電子又はイオンビームによる不安定性の励起と波によるプラズマの加熱過程を解明することを研究の主眼とし、励起する波動としてはイオンが直接関与するローワーハイブリ

ッドからイオンサイクロトロン周波数帯域の不安定性に着目して実験をおこない、その結果に考察を加えたもので多くの新知見を含んでいるが要約すると、

- (1) 磁場と垂直方向に電子とイオンの相対速度すなわちクロスフィールド電流が存在するとローワーハイブリッドおよびイオンサイクロトロン周波数近傍にクロスフィールド不安定性が励起される。強いクロスフィールド電流を生成するために対向電子ビームをプラズマ内に入射し、ビームの負空間電荷を利用して半径方向の電場を発生する方法を考案している。このクロスフィールド電流によってローワーハイブリッドイオンサイクロトロン高調波および変形イオンサイクロトロン不安定性が励起され、ローワーハイブリッド波の乱流波動加熱によってイオン加熱が起こることを見出している。
- (2) 電子ビームをカusp磁場中に走行させることにより、らせん電子ビームを生成し、これをプラズマに入射して、ローワーハイブリッドおよびイオンサイクロトロン高調波不安定性を励起し、これらの不安定性による乱流イオン加熱が起こる事を見出している。
- (3) イオンビームを磁場に斜めに入射することによってらせんイオンビームを発生させ、ビームプラズマ相互作用によるローワーハイブリッド不安定性の励起を確認している。
- (4) 高密度・低磁場プラズマでは電子の反磁性電流によるイオンサイクロトロンドリフト波およびドリフトイオン音波が励起され、これらの高周波ドリフト波によってイオン温度の増大が起こることを見出している。
- (5) 磁場と直角な方向に密度勾配の大きな電子ビームを磁場と平行に入射することによってローワーハイブリッド2流体不安定性の励起を確認している。
- (6) 電流変調した相対論的電子ビームをプラズマに入射することによって無変調時に比べて約2～3倍程度のプラズマ加熱が起こることを見出している。このプラズマ加熱はローワーハイブリッドパラメトリック不安定性に起因することを明らかにしている。
- (7) 磁場に平行に入射したイオンビームをローワーハイブリッド周波数近くで変調することによってドリフト波とローワーハイブリット波からなるパラメトリック不安定性を励起し、パラメトリック励起されたドリフト波によりイオン加熱が起こることを初めて確認している。
- (8) ローワーハイブリッド周波数近傍で変調した電子ビームをプラズマ中に入射することによってローワーハイブリッド波と静電イオンサイクロトロン波からなるパラメトリック不安定性が励起され、同時にプラズマ加熱が起こることを見出している。このイオン加熱は主としてローワーハイブリッドサイドバンド波に起因することを明らかにしている。

以上述べたように本論文は、プラズマ物理、核融合工学上重要な多くの新知見を含み、電気工学に寄与する所が大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。