



Title	EFFECTS OF TOROIDAL FIELD RIPPLE ON PLASMA ION CONFINEMENT IN A TOKAMAK
Author(s)	谷, 啓二
Citation	大阪大学, 1984, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1117
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）	谷	啓	二
学位の種類	工	学	博 士
学位記番号	第	6 5 7 3	号
学位授与の日付	昭和 59 年 7 月 27 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	トカマクのプラズマ・イオン閉じ込めに及ぼすトロイダル磁場リップル効果		
論文審査委員	(主査) 教授 渡辺 健二		
	教授 関谷 全	教授 住田 健二	

論 文 内 容 の 要 旨

磁場閉じ込め型核融合研究の一つの重要な工学的課題は、有限個数のトロイダル磁場コイルを使用することにより生ずる効果を考察することである。本論文は、トカマク型核融合装置におけるトロイダル磁場リップル効果のプラズマ・イオン閉じ込めに及ぼす効果について、新しく開発された軌道追跡モンテカルロシミュレーションコードを用いて検討した結果をまとめたものである。

第 1 章では、本論文課題の歴史的経緯と従来の理論解析的手法による考察の問題点について述べ、本論文の目的と意義を明らかにしている。

第 2 章では、軌道追跡モンテカルロコードの基本となる、モデル磁場、荷電粒子の案内中心軌道方程式、クーロン散乱モデルについて述べている。

第 3 章では、高速イオンのリップル磁場中での無衝突挙動を考察している。従来、荷電粒子はクーロン散乱によりリップルに捕捉されたり、リップルから離脱するものと考えられてきたが、さらに加えて、無衝突的にリップルに捕捉されたり離脱する過程の存在することを見出し、この過程が高エネルギーイオンの閉じ込めに非常に重要であることを指摘している。また、リップルに捕捉されない粒子も、リップルの影響で無衝突的に磁場を横切って移動するリップル励起バナナドリフト過程の存在することも明らかにしている。

第 4 章では、上記無衝突過程に加えて、衝突過程が存在する場合のイオン閉じ込めに及ぼすリップルの効果を検討し、従来考えられていたものよりも大きい速度空間上の損失領域の存在することを示している。

第 5 章では、大型トカマク装置における準垂直中性粒子入射加熱で発生する高速イオンの減速過程でのリップル損失の検討を行い、核融合炉の中性粒子入射ビームの入射角、許容リップル率などの評価を

行っている。

第6章では、核融合反応で発生する α 粒子の低衝突周波数を仮定した理論的検討から、核融合炉においては非常に小さいリップル率（0.3%以下）のみ許容されると考えられてきたのに対し、衝突効果を適切に考慮した場合には1%程度のリップル率が許容されることを明らかにしている。

第7章では、マックスウエル分布をしたプラズマ・イオンの熱伝導係数に対するリップル効果の検討を行っている。数值的に導出されたリップル励起熱伝導係数は、理論解に比較し、特に低周波数領域で非常に小さい値をとることを示している。これは、熱伝導を荷う高エネルギー粒子の存在のためドリフト周波数が実効的に高くなること、イオンの運動周期が無限大となる特異軌道の存在すること等、従来の理論解で考慮されていなかった効果によることを指摘している。

第8章では、本論文の要約及び結論を記している。

論文の審査結果の要旨

磁場閉じ込め型核融合の研究領域で主導的役割を演じているトカマク装置が、プラズマ閉じ込め性能上優れている大きな理由として、その磁場配位が原理的に軸対称であることが挙げられる。しかし、現実の装置では、有限個数のコイルを用いるためトロイダル磁場リップルと呼ばれる非軸対称成分が存在し、プラズマ閉じ込めを劣化させる原因となっている。この要因は、核融合装置の大型化に伴い、核融合装置工学の最大の問題として、近年理論的考察が精力的に行われているとともに実験的検討も進められている。本論文は、このリップルのプラズマ・イオン閉じ込めに及ぼす影響について、新しく開発された粒子軌道追跡モンテカルロシミュレーションコードを用いて研究した結果をまとめたものである。従来の解析的手法では得られなかった、リップルによるイオンの基本的損失過程をはじめて見出したこと、現実的配位において、プラズマ・イオン閉じ込めに対するリップル効果の評価を行ったこと等がその内容であるが、主要な成果を要約すれば次のとおりである。

- (1) 衝突リップル捕捉・離脱等の古典的概念に加えて、無衝突リップル捕捉、離脱、リップル励起バナナドリフト等の無衝突過程の存在を見出し、高速イオンのリップル損失過程におけるその重要性を指摘している。
- (2) リップルによるロスコーンは、直接リップル捕捉領域のみと考えられてきたが、リップル・ウェルの存在する領域内に粒子の全軌道が内包されるような速度空間が実効的ロスコーンを形成することを見出している。
- (3) 核融合炉規模の大型装置では、準垂直中性粒子入射加熱で発生する高速イオンの損失は、リップル損失が支配的となり、損失を全入射パワーの10%以下に抑えるには最大リップル率 $\delta_0 < 0.5\%$ 、入射角条件 $|90 - \theta_{inj}| > 20^\circ$ を満たすことが必要であることを示している。
- (4) リップル捕捉損失粒子は真空容器第1壁上の限定された領域に流入するため局所的な熱負荷を与え、実炉規模の装置では $1 \text{ MW}/\text{m}^2$ に達すると指摘している。

(5) 核融合反応生成の粒子の閉じ込めについては、従来の理論的検討から、装置の最大許容リップル率が 0.3 % 程度であると考えられてきたが、本研究の結果、1 % 程度のリップルが許容されることを示している。これは核融合炉のトロイダル磁場コイル系の設計条件を大巾に緩和したことになる。

以上のように、本論文は大型トカマク装置におけるトロイダル磁場リップルのプラズマ・イオン閉じ込めに関し、軌道追跡モンテカルロシミュレーションコードを用いて考察を行い、これまで検討不十分であった磁界リップル効果を解明し、核融合装置・炉設計に不可欠の重要な知見を得ており、核融合装置工学、及び核融合炉工学に寄与するところ大である。よって博士論文として価値あるものと認める。