

氏 名	松 田 慎 三 郎 まつ だ しん ざぶ ろう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1027 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 1 月 23 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	Influence of error fields on the plasma confining field and the plasma confinement in tokamak (トカマク装置の乱れ磁場が、プラズマ閉込め磁場およびプラズマ 閉込めに及ぼす影響)
論文調査委員	(主査) 教 授 宇 尾 光 治 教 授 飯 吉 厚 夫 教 授 秋 宗 秀 夫

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、高温プラズマの発生とその閉じ込めに用いられるトカマク装置における不整磁界の発生要因、および不整磁界が磁界配位およびプラズマの閉じ込めに与える影響を、日本原子力研究所のトカマク装置 (JFT-2) を対象として考察した一連の研究成果をまとめたもので、9章より成っている。

第1章は序論でこの研究に関連する歴史的背景と研究の意義、目的を述べ、この研究の内容の概要を示している。

第2章では、ジュール電流によりプラズマが生成される初期において、外部磁界を作るコイル (トロイダル・コイル) の配列の不整によって生ずる非軸対称の不整磁界の影響を考察し、とくに放電管の子午面または赤道面に対し傾きをもつトロイダル・コイルがある場合の不整磁界が磁界配位に悪影響をおよぼすことを示し、この不整磁界の強さのトロイダル磁界の強さに対する比の許容値を与えている。

第3章では、プラズマ中を流れるジュール電流が増加し、この電流とトロイダル磁界との合成で作られる磁気面の形成過程における不整磁界の影響を述べている。軸対称な不整磁界は磁気面に円からの変形を与えるのみであることを示し、プラズマの変位の原因となるトロイダル・コイルの配列の不整にもとづく非軸対称不整磁界の強さを見積り、JFT-2 ではこの値は十分小さくなり得ることを示している。さらにプラズマの安定化に用いる導体壁 (導体シェル) の間隙による不整磁界の影響を検討し、この間隙によるプラズマの変形は小さいことを示し、さらにこの間隙に起因するプラズマの外方への変位を算出して、この変位は外部より加える縦磁界によって補償し得ることを示している。

第4章では、ジュール加熱のための変流器の鉄心からの漏洩磁界の影響をしらべるために、小型の変流器による実験によって JFT-2 における 漏洩磁界を推定し、この磁界強度はジュール電流の作る磁界強度に較べて十分小さく、さらにトーラスに沿う方向に一樣であるためにプラズマの平衡に悪影響を与えないとの結論を述べている。また、ジュール電流の作る磁界中で、これに較べてはるかに小さな漏洩磁界を測定するために考えられた方法についても述べている。

第5章では、導体シェルおよびその間隙が、それらの外部に設けられたコイルによって作られる時間と共に変化するプラズマ制御用垂直磁界に与える影響について述べ、JFT-2装置について実験的に求めた間隙部の磁界分布は理論的に求めた磁界分布とよい一致を示し、さらに間隙によるトーラスに沿う方向の磁界の非一様性は、JFT-2の場合変流器鉄心からの漏洩磁界によって殆んど補償されていることを述べている。

第6章では、導体シェルの内側に設けられたコイルによってパルス型のプラズマ制御用垂直磁界が加えられた場合の導体シェルの影響について述べ、パルスの初期においてはトーラスに沿う方向の垂直磁界の一様性は比較的よいが、時間の経過に伴って非一様性が強くなることを述べ、この現象は導体シェルに誘起する影像電流のループが導体シェルの電気抵抗によって同シェルの中心へと拡散するというモデルで説明出来ることを示している。

第7章では、トーラスに沿う方向に一樣でない不整磁界がある場合、一部の磁気面の破壊を意味する磁気面の島が形成されることについて論じており、従来の解析法よりもはるかに容易な解析法を提案し、具体例として多極型不整磁界の存在する場合について計算機結果と対比してきわめてよい一致が見られることを示している。

第8章では、磁気面の島の形成に対して、トーラスに沿う方向の不整磁界の周期性が重要な役割を演じることを論じ、 p をトーラスに沿う方向の周期の数、 q をプラズマの安全係数、 l を多極型不整磁界の極数、 z を整数とすると、 $p \cdot q = l/z$ の場合に磁気面の島が形成されることを示している。さらに装置設計の一つの指針として、トーラスに沿う方向の不整磁界の周期性が正確でありかつその周期数の多い程、磁気面の島の幅が小さくなるとの結論を示している。

第9章は結論で、本研究の成果を要約したものである。

論文審査の結果の要旨

核融合エネルギーは将来のエネルギー源として重要な役割を占めるものと考えられ、その実用化への早急な開発が要請されているが、核融合炉の開発には、未だ種々の物理学的ならびに工学的研究が必要である。本論文は高温プラズマの磁界による閉じ込め方式として知られるトカマク型装置において、装置製作上問題となる不整磁界の発生原因の分析、およびそれがプラズマの閉じ込めに与える影響について、日本原子力研究所のJFT-2装置を対象として行なった一連の研究をまとめたもので、その主な成果は次のとおりである。

1. 放電開始の初期においては、トーラスの主半径方向の不整磁界がプラズマの生成に悪影響をおよぼすことを示し、装置製作上からはトロイダル・コイルの配列の不整がその主な発生原因であるとし、さらに不整磁界の強さの許容値をトロイダル磁界の強さに対する比で与えた。
2. プラズマ中のジュール加熱電流が十分大きくなった場合には、プラズマ安定化用導体壁（導体シェル）に設けられる間隙が不整磁界発生の原因となることを示し、この間隙によるプラズマの変形を求め、さらに間隙の大きさとプラズマ全体の変位の関係を明らかにしている。
3. プラズマにジュール加熱電流を流すための変流器鉄心からの漏洩磁界が、閉じ込め磁界の配位

に与える影響をしらべ、漏洩磁界がトーラスに沿う方向に一樣な場合には悪影響を与えないことを示し、さらに小型モデル装置による実験によって、変流器の一次巻線がトーラスの軸に関して軸対称に巻かれる場合は漏洩磁界の一樣性がよいとの結論を得ている。

4. 鉄心、および導体シェルが設けられた場合、時間と共に変化するプラズマ制御用垂直磁界の分布におよぼす導体シェルの間隙の影響を解析し、理論的に求めた磁界分布は JFT-2 装置について実験的に得られた分布とよい一致を示し、さらに導体シェルの間隙にもとづく非軸対称の不整磁界は、JFT-2 の場合変流器鉄心からの漏洩磁界によって殆んど補償されているとの結論を得ている。

5. 導体シェルの内側に設けられたコイルによってパルス型のプラズマ制御用垂直磁界が加えられた場合の導体シェルの影響についてしらべ、パルスの初期においてはトーラスに沿う方向の垂直磁界の一樣性は比較的よいが時間の経過に伴って非一樣性が強くなること、この現象は導体シェルの誘起する影像電流のループが導体シェルの電気抵抗によって同シェルの中心へ拡散するというモデルで説明出来ること、を見出している。

6. トカマク型磁界配位に、トーラスに沿う方向に一樣でない不整磁界が重畳されると、磁気面の一部の破壊を意味する磁気面の島が形成される。この解析には従来複雑な計算を必要としたが、本論文で従来の手法よりはるかに簡単な新しい方法を提案し、計算機によって求められた結果と比較してこの方法が優れていることを示し、具体例について磁気面の島の位置・形状が容易に与えられることを示した。

7. 上に述べられた新しい解析の方法によって、トカマク装置における不整磁界のトーラスに沿う方向の周期性が磁気面の島の形成に密接に関連することを示し、磁気面の島の形成条件を与えている。さらに装置設計の際の一つの指針として、トーラスに沿って一樣でない不整磁界の発生原因となる導体シェルの間隙など軸対称性を破る構造がある場合には、そのトーラス方向周期性が正確であり、かつその周期数が多いような装置構造が磁気面の島の幅を小さくする効果があることを指摘した。

以上要するに、本論文の研究は、プラズマの閉じ込めを悪化させる原因となる不整磁界の発生機構の考察と、それがプラズマに与える影響を明らかにし、装置設計の際の基礎となる重要な指針を与えたものであり、不整磁界がプラズマ閉じ込め磁界の配位に与える効果についての新しい解析法を開発したという成果と相まって、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

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。