The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | 磁場反転配位(FRC)プラズマの運動特性と再熱化に関する研究 |
| Author(s) | 比村, 治彦 |
| Citation | 大阪大学, 1997, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.11501/3129033 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

【42】

| | |
|---|---|
| 氏　　名 | 比村治彦（ひむらはるひこ） |
| 博士の専攻分野の名称 | 博　士（工　学） |
| 学位記番号 | 第　13134　号 |
| 学位授与年月日 | 平成9年3月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当<br>工学研究科応用物理学専攻 |
| 学位論文名 | **磁場反転配位（FRC）プラズマの運動特性と再熱化に関する研究** |
| 論文審査委員 | （主査）<br>教授　後藤　誠一<br>教授　増原　宏　　教授　志水　隆一　　教授　河田　聡<br>教授　中島　信一　　教授　興地　斐男　　教授　樹下　行三<br>教授　伊東　一良　　教授　八木　厚志　　教授　石井　博昭<br>教授　岩崎　裕　　教授　豊田　順一　　教授　一岡　芳樹<br>教授　川上　則雄　　教授　萩行　正憲 |

## 論文内容の要旨

本論文は，磁場反転配位（FRC）プラズマの移送過程に関するもので，移送運動を行っているFRCプラズマの動特性，並びに移送中に観察される再熱化現象の物理機構について，実験的に明らかにしている。本論文は，緒論，本論7章，総括により構成されている。

緒論では，本研究の背景と研究目的について述べている。

第1章では，研究対象であるFRCプラズマについて，その2次元平衡解と共に概説している。

第2章では，実験装置FIXを説明し，実験に用いたプラズマ診断法及び計測器について詳述している。また，FIX装置で生成されるFRCプラズマの初期プラズマパラメータの値を示している。

第3章では，移送運動に伴うFRCプラズマのダイナミクスを系統的に，かつ詳細に検証しており，FRCプラズマの移送速度がアルフベン速度を超えること，移送に伴うプラズマの膨張過程が断熱式では記述できないこと，移送運動中のFRCプラズマからの粒子損失は極めて少ないという新たな知見を示している。また，移送後のFRCプラズマの閉じ込め特性についても詳細に調べており，その閉じ込め時間が，スケーリング則から期待される値の5倍に達していることを示し，その良好な閉じ込め特性をもらたしている機構について議論している。

第4章では，FRCプラズマの移送運動中に見られるプラズマ温度の再上昇（再熱化現象）は，プラズマの移送速度が超音速の場合に限り，プラズマが磁気ミラーへと突入して反射した後に生じることを初めて見いだし，この再熱化過程に衝撃波が介在しているという知見について述べている。さらに，この再熱化が生じたとき，散逸運動エネルギーの全てがプラズマ熱エネルギーへと再変換されないことも明らかにしており，エネルギー損失機構について議論している。

第5章では，電磁衝撃波について概説し，本研究で扱ったプラズマに関するランキン・ユゴニオ式を導いている。そして，再熱化が生じている磁気ミラー反射面近傍での密度と温度の値を，ランキン・ユゴニオ式からの計算値と比較し，それらの値が確かにジャンプしていることを示している。また，その反射面近傍でのイオン平均自由行程が，温度上昇の生じている遷移幅よりも遙かに長くなっていることを示し，この時の衝撃波が，無衝突衝撃波となっていることを指摘している。

第6章では，再熱化後の，閉じ込め容器内で反射運動を行っているFRCプラズマについて詳細な計測を行い，プラズマイオンのドップラープロファイルと，磁力線に垂直方向の圧力平衡温度の時間変化から，この時の無衝突衝撃

波が，散逸性無衝突衝撃波の特性に近いものであることを明らかにしている。さらには，再熱化が生じた後のプラズマ温度と粒子数の詳細な空間・時間変化を検証しており，その結果，プラズマ温度上昇に伴い粒子数が減少するという新たな知見について述べている。

第7章では，湾曲した外部バイアス磁場中へ移送されたFRCプラズマが，その湾曲磁場領域中で2つに分裂して，その後，バルクのFRCプラズマ塊は，その湾曲磁場を横切る方向へと大きく逆偏向し，一方のプラズマ流は，磁力線に沿う方向へと運動するという現象を初めて見いだしている。さらには，外部垂直磁場のFRCプラズマ塊内部への浸透距離が，プラズマ流の場合のそれと比較して著しく浅いという新たな知見をも得ており，これらの結果をもとに，FRCプラズマの逆偏向の機構として，FRCプラズマの内部に生じた分極電場と，FRCプラズマ自身が有しているポロイダル磁場によるE×Bドリフト自己偏向仮説を提案している。

総括では，以上の研究で得られた結果をまとめ，今後の研究課題を示している。

## 論文審査の結果の要旨

核融合燃料に月面資源であるヘリウム3を採用することにより，トリチウムをベースとした核融合炉の実用化に立ちはだかる苛酷な技術課題を回避するシナリオが提案されている。また，それと同時に，そのシナリオの中心的役割を担うFRCプラズマの物理的研究の成否が，新しい筋道の開拓に対するキーポイントであることが示されている。このような背景のもと，本研究は，そのシナリオを構成する素過程の1つであるFRCプラズマの移送過程及び移送制御技術の，核融合パラメータ領域における成功の可否に対する展望を得ることを目的として行われたものである。具体的には，FRCプラズマの移送過程を系統的に検証すると共に，その移送運動特性に対する外部バイアス磁場の影響や，移送運動中に観察される再熱化現象（プラズマ温度の再上昇）の物理機構について，初めて実験的に解明している。その重要な成果を要約すると以下のようになる。

(1) 詳細に検証した移送FRCプラズマのダイナミクスより，移送速度がアルフベン速度を超えること，移送に伴うプラズマ膨張の過程が断熱変化とはなっていないこと，さらには，低密度FRCプラズマの閉じ込め特性が，これまでの高密度FRCプラズマから得られたスケーリング則では記述できないことを明らかにしている。

(2) 移送FRCプラズマの再熱化現象，すなわち，プラズマ塊の運動エネルギーが，プラズマ内部熱エネルギーへと変換する機構として，衝撃波が介在していることを初めて明らかにしている。さらに，この衝撃波が無衝撃突撃波になっていることを明らかにし，核融合パラメータ領域でも再熱化現象が期待されることを見いだしている。

(3) 再熱化現象に関し，プラズマ運動エネルギーから熱エネルギーへの変換効率の値を実験的に算出し，このエネルギー変換過程にエネルギーの損失チャンネルが存在していることを明らかにしている。

(4) 移送FRCプラズマが，カーブしている外部バイアス磁場を横切る方向へと逆偏向するという現象を初めて見いだしており，FRCプラズマの移送運動制御法の端緒を開いている。また，この逆偏向が，FRCプラズマのセパラトリックス内部の分極電場とポロイダル磁場とに直交するドリフトとする自己偏向仮説を提案し，実験的にその妥当性を明らかしている。

(5) 閉じた磁気配位を持つプラズマ塊への垂直磁場の侵入距離が，従来のプラズマ流のそれに比して，著しく浅くなるという知見を得ており，プラズマ中への磁場拡散機構に，磁気配位の開閉形状が関係していることを初めて明らかにしている。

以上のように，本論文は，移送FRCプラズマの運動特性及び再熱化現象に関する知見を初めて系統的に明らかにすると共に，それらに内在する物理機構を実験的に解明しており，応用物理学，特にプラズマ理工学の分野に寄与するところが大きい。よって，本論文は博士論文として価値あるものと認める。