

小型トカマクプラズマの水平位置フィードバック制御システム

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 水野, 保則 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1458

氏名・(本籍)	水 野 保 則 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博乙第 92 号
学位授与の日付	平成 12 年 4 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	小型トカマクプラズマの水平位置フィードバック制御システム

論文審査委員	(委員長)		
	教授	窪 野 隆 能	助教授 犬 塚 博
	教授	渡 邊 健 蔵	教授 染 谷 太 郎
	教授	市 川 朗	

論 文 内 容 の 要 旨

次世代の発電をめざして核融合研究が行われている。核融合エネルギー実現のためには高温・高密度のプラズマを一定時間以上容器内に閉じこめ、十分な熱核融合反応を起こさなければならない。トカマクはプラズマ閉じ込め実験装置の一つである。小型トカマク装置は核融合反応を生じないが、プラズマ制御やプラズマ物理を研究する。小型トカマク装置は小型であるがゆえに装置固有の問題を有する。小半径の小さい小型装置において、トロイダルドリフトによって生成粒子は短時間でトーラス真空容器外壁に到達し消滅する。さらに、生成後もプラズマは磁気圧勾配やプラズマ圧力によって生じる外向きのフープ力によって高速に外向き変位する。本研究のHAMANA-Tは世界的に研究されている小型トカマク装置に比べさらに主半径や小半径が小さい。その上厚肉シェルを持たないので、荷電粒子はより高速に外向き変位する。電子温度・密度などのプラズマパラメータを計測する場合、プラズマはトーラス真空容器中心付近に長時間安定に閉じ込める必要がある。

本研究は、HAMANA-Tの高速に外向き変位するプラズマをトーラス真空容器中心付近に生成し、プラズマ水平位置を検出、フィードバック制御して長時間安定に留めることにある。そのため、初期プラズマの基本垂直磁界印加タイミング制御回路、矩形垂直磁界発生回路、制御垂直磁界発生用デジタルドライブ回路およびプラズマ水平位置フィードバック制御回路を研究・開発することによってシステムを構成する。

本研究によって、プラズマをトーラス真空容器内に生成し、トーラス真空容器中心付近に安定に閉じ込めることに成功した。このことにより、プラズマ電流持続時間が伸長し、後のプラズマパラメー

タの計測および二段ジュール加熱実験に重要な役割を果たしている。

本論文は次の7章および付録で構成されている。

第1章「序論」では核融合研究の現状と小型トカマク装置の意義、HAMANA-Tの研究のねらいを述べている。

第2章は本研究用に組み立てられた実験装置HAMANA-TおよびTIIについて述べる。HAMANA-Tは装置本体・電源系・排気系および計測系から構成されており、トーラス真空容器の大きさはHAMANA-Tの場合、主半径20[cm]・リミタ半径3.5[cm]、TIIの場合主半径23[cm]・リミタ半径4.25[cm]である。

第3章は「初期プラズマの基本垂直磁界印加タイミング制御」について述べている。基本垂直磁界の印加タイミングを制御するプラズマ同期パルスは、プラズマ生成時の微弱な放電発光をフォトマルで検出し、直ちにパルス化することによって得られる。プラズマ同期パルスを基準として、基本垂直磁界がプラズマに印加されれば、変流器一次電圧印加からプラズマ生成までの遅れは100[μ s]から24[μ s]に、ジッタの標準偏差は48[μ s]から7[μ s]に減少する。プラズマ同期パルスにより、基本垂直磁界の所望の効果がプラズマ生成期に得られる。

第4章は「矩形垂直磁界発生回路」について述べている。矩形垂直磁界回路はそれまでのクローバ回路に代わって考案された。矩形垂直磁界回路は複数のコンデンサに充電された電荷を、トランジスタを介して同時に定電流放電する。矩形垂直磁界回路の電流出力波形は、同じ並列コンデンサ容量を持つクローバ回路に比較して、電流上昇率は大きく、電流下降率はほぼ零である。

第5章は「制御垂直磁界発生用デジタルドライブ回路」について述べている。ドライブ回路は、コンデンサ、コンパレータ、トランジスタからなるユニットを正負10ユニット組み合わせて構成される。それぞれのユニットはコンパレータを組み合わせて構成されるリニアレベルセンサの指示にしたがって動作し、出力電流の大きさはデジタル的な階段状に変化する。ドライブ回路がプラズマ水平位置制御回路に組み込まれ動作した結果、プラズマ水平位置をトーラス真空容器中心付近に安定に制御する。このとき、プラズマ電流は2.79[kA]から2.94[kA]に増大し、プラズマ電流持続時間は1.64[ms]から2.26[ms]まで伸長する。

第6章は「プラズマ水平位置フィードバック制御システム」について述べている。プラズマ水平位置を生成初期から制御するプラズマ水平位置フィードバック制御システムは、プラズマ位置を検出する磁気プローブとログスキーコイル、それら演算のための積分回路、水平変位演算回路、プラズマ水平位置設定回路、PID制御回路、ドライブ回路および制御垂直磁界コイルから構成される。この制御システムによって、プラズマ水平変位の変動幅は3.5[cm]から0.5[cm]に縮小し、トーラス真空容器の内側領域においてプラズマ生成初期から水平位置を正確に設定することが可能になる。

第7章「総括」では、各章で得られた結論を総括している。

付録Aは著者らが開発した垂直磁界電源用トリガギャップスイッチを提案している。このトリガギャップスイッチの使用電圧範囲は1.25[kV]から4.0[kV]と低く、しかも自爆放電や不始動が発生しない。

論文審査結果の要旨

制御熱核融合発電の炉心プラズマを実現するトカマク装置は経験則から極めて大型に設計されている。しかしプラズマの輸送現象、閉じ込め、計測および位置制御等は小型トカマク装置においても研究できる。環状プラズマは外向きに変位する傾向を持つので、この変位 ΔH を検出しその復元のために垂直磁界を印加する水平位置フィードバック制御システムが必要である。このシステムは小型装置においては高速動作を強いられ、技術面に困難であるためにあまり成功していない。当研究では、極く小型なトカマク装置用にこの制御システムを開発し、プラズマを中心位置により長い時間にわたって保持できるようにしている。

第1章は緒論であり研究の背景と目的を述べている。

第2章は研究に用いた小型トカマク装置HAMANA-T(改造TII)の説明である。装置は主半径が20(23)[cm]、小半径が5.6(5.4)[cm]であり、変位 ΔH の復元を助ける導電性シェルを備えないので、制御システムへの精度要求は一層厳しい。

第3～5章は垂直磁界の印加タイミング回路、矩形垂直磁界の発生回路および制御用垂直磁界の電流駆動(デジタルドライブ)回路の開発をそれぞれ述べている。タイミング回路はプラズマ生成時の微弱発光を光電子増倍管で捉え、発光に同期して磁界の印加タイミングパルスを発生する。基本垂直磁界はこのパルスによりプラズマ生成から約25[μ s]以内に確実に印加され、その効果を発揮できる。矩形垂直磁界の発生回路は複数の基本ユニットから構成され、各ユニットは充電コンデンサ、入力レベル識別コンパレータ、その出力に応じてコンデンサを放電させる定電流トランジスタおよび保護抵抗からなる。入力レベルに比例する数のコンデンサが同時に放電し、殆ど減衰しない矩形磁界を発生する。この磁界は従来のクローバ回路の減衰形磁界よりもプラズマを中心位置に長く保持できる。デジタルドライブ回路も多数の上記基本ユニットから構成され、入力レベルに応じた数のコンデンサを放電させデジタル(階段状)電流を出力する。この回路は5[ms]の間に約 ± 45 [A](~ 10 [kHz])を出力できる。

第6章は前章までに開発した回路を軸に総合水平位置制御システムを述べている。このシステムは、アナログ回路により磁気プローブ信号から ΔH を演算し、PID制御回路を介してこれを上記デジタルドライブ回路にフィードバックし、諸種の擾乱に対してプラズマを設定位置に保持する。このシステムはプラズマ電流の持続時間を1.6[ms]から2.3[ms]に伸長し、 ΔH の変動幅を3.5[cm]から0.5[cm]に縮小した。

第7章は総括である。付録では垂直磁界のコンデンサ電源回路のために考案した低気圧トリガギャップスイッチを説明している。

当論文の研究は、極く小型なトカマク装置用の垂直磁界の発生と印加のために特徴ある回路を開発して上述のシステムにまとめ上げ、プラズマ位置制御を成功させており、博士(工学)の学位を授けるに値する。