

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13151 号
------	---------------

氏 名 坂井 亮介

論 文 題 目

トカマク型核融合中性子源及び原型炉の設計最適化に関する研究

(Study on design optimization of tokamak fusion neutron source and demonstration power plant)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	藤田 隆明
委員	名古屋大学	客員教授	久保 伸
委員	核融合科学研究所	教授	宮澤 順一
委員	名古屋大学	准教授	岡本 敦

論文審査の結果の要旨

坂井亮介君提出の論文「トカマク型核融合中性子源及び原型炉の設計最適化に関する研究」は、トカマク型磁場閉じ込め方式による核融合発電炉の実現可能性向上を目的として、(1)小型中性子源の経済性評価及び最適化、(2)設計に適したブートストラップ電流割合評価式の作成、(3)原型炉における電子密度分布形状の最適化、について実施した研究の成果をまとめたものである。本論文は全5章で構成されている。

第1章では、核融合発電炉実現シナリオ、そのシナリオと小型中性子源の関係、解決が必要な課題、本研究の目的が述べられている。

第2章では、超ウラン元素の核種変換を目的としたトカマク型小型中性子源の経済性が評価されている。先行研究に超伝導装置及び常伝導装置それぞれの設計例があるが、定量的な比較がなされていなかった。常伝導装置(NCC)及び超伝導装置(SCC)に対して核融合炉システムコードを用いてプラズマアスペクト比(A)に重点を置いたパラメータスキャンがなされた。新たに導入した核融合中性子量あたりのコストcost of neutron (CON)を指標として経済性を評価している。NCCでは、常伝導コイルの消費電力及び建設コストのA依存性のため、経済的に最適なA(～2)が存在する一方、SCCでは超伝導コイルの消費電力及び建設コストのA依存性が弱いため、経済性はほとんどAに依存しないことが示されている。稼働率スキャンをもとに比較した結果、本研究で仮定した条件においては、NCCに対するSCCの稼働率の低さが0.15-0.25以下の場合、SCCがより経済的設計となる可能性が示されている。その他各種物理・工学パラメータの経済性に対する影響の強弱及びその原因を詳細に明らかにするなど、経済性の観点から中性子源の物理設計及び工学設計を行うにあたって重要な結果を得ている。

第3章では、電流駆動解析コードを用いて、核融合プラントの所内電力を決定する因子の一つであるブートストラップ電流割合(f_{BS})評価式の作成及び評価を行っている。パラメータスキャンにより、12,150のデータ点から成るフィッティングデータベース(FDB)を構築した。FDBに対して重回帰分析を行い、 f_{BS} 評価式を6式作成した。FDBとプラズマサイズ、電流密度分布が異なる3種類のデータセット(DS)に対する f_{BS} 予測精度を平均二乗誤差(RMSE)で評価した。FDBに対して最高精度(予測値0-1に対してRMSE = 0.025)の式は3種のDSに対してRMSE = 0.069, 0.179, 0.076を示し、比較的広い装置条件に対して適用できる精度を有することを示した。作成した評価式は比較的簡素で、今後の核融合炉システムコードによる経済性評価及び装置設計最適化に対して有用である。

第4章では、統合輸送コードを用いて、燃料粒子供給による核融合出力帰還制御とダイバータ熱負荷低減のためのアルゴン(Ar)入射の下で、電子密度分布形状変化が運転密度等のプラズマパラメータに与える影響を検討している。先行のシミュレーション研究によりダイバータ熱負荷を許容値以下に抑えることが示されている境界層プラズマの電子密度、電子温度、イオン温度、及びAr濃度(電子密度に対するAr密度の割合)を境界条件に用い、乱流による燃料イオンのピンチを導入することで電子密度分布をスキャンした。その結果、電子密度分布のピーキングファクター(体積平均電子密度に対するプラズマ中心電子密度の比)が1.6のとき、体積平均電子密度が最小となることを示している。このときのピーキングファクター、線平均電子密度、ペDESTAL部電子密度は実験で実証された設計値範囲内である。また、Hモード遷移閾パワーの条件を満たしているため高閉じ込め状態維持も期待できる。この研究により密度限界の観点における最適な電子密度分布形状の存在を示し、今後の原型炉の炉心プラズマ設計の指針を与えた。

第5章では、総括として、まとめと今後の課題を述べている。

以上のように、本研究は、小型中性子源の経済的に最適な設計パラメータを決定し、中性子源及び原型炉の設計に適したブートストラップ電流割合評価式を作成するとともに、ダイバータ熱負荷低減と密度限界の観点からの原型炉における最適な電子密度分布形状の存在を示している。これらの成果は核融合小型中性子源及び原型炉の物理設計及び工学設計の最適化に新たな知見を与え、トカマク型発電炉の実現可能性向上のために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文の提出者である坂井亮介君は、博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。