

## 審査の結果の要旨

氏名 今澤 良太

本論文は「**Start-up Experiments of High Beta Spherical Tokamaks Using Double Null Points and Merging**」と題し、東京大学で考案されたダブルヌル(DNM)法、即ち2組のコイルの中間に形成した2つの磁気中性点で2つの球状トカマク(ST)を形成し、合体・加熱する新手法をはじめて実験的に実証し、実用炉でも合体法が利用できることを建設中のUTST(University of Tokyo Spherical Tokamak)装置を用いて明らかにした。ST炉はベータ値が通常のトカマク配位よりも高く、経済的な核融合炉となる反面、トーラス内側のスペースが狭い。合体法は、センターソレノイド(CS)や内部コイルに頼らない外部コイルでSTを生成しつつ、合体の磁気リコネクション加熱で高ベータ化を経済的に達成する意義がある。さらに、合体加熱の大型炉での実証として、電源拡充が進行中で加熱パワーが十分でないUTSTから、STとして世界最大の規模を有するMAST装置に実験対象を移し、合体によるリコネクション加熱によるイオン温度の急上昇やリコネクション点付近の強い電子加熱を初めて明らかにし、合体加熱が通常のCSコイルによる立ち上げに比べ遙かに速いプラズマ加熱が可能であることを実証した。

**Chapter 1** は、**Introduction**であり、研究の背景となったSTの歴史と高ベータ閉じ込め配位として50%を超える高ベータ化の可能性を秘めたSTの可能性を合体法によって引き出せることや、真空容器外の2組のコイルを用いたダブルヌル法により、離れた距離でのST生成と合体を新装置UTSTによって可能にする本研究の目的が述べられる。また、合体による加熱の物理や大型装置による合体加熱実験の意義が述べられている。

**Chapter 2** は、**Spherical Tokamak Device: UTST**と題し、新装置UTST実験装置の詳細が述べられており、ダブルヌル法によるST生成の詳細と従来の内部コイルによる生成の比較、鍵となる予備電離装置としてのワッシャーガンをはじめ、本体、計測装置まで詳細が記述されている。

**Chapter 3** は、**Eddy Current Analysis**と題し、真空容器外コイルによってSTを生成する際に問題となるUTST真空容器の渦電流に関する計算解析結果と実験の比較が述べられ、真空容器壁の最適化により60-70%程度のコイル磁束が真空容器内で有効利用されていることや心配された真空容器リブ部分の影響が小さいことが述べられている。

**Chapter 4** は、**Breakdown Condition on Torus Discharge**と題し、UTST実験装置で形成したダブルヌル配位でSTを生成するための条件をタウンゼント理論などを組み合わせて導き、実験と比較した上で、ダブルヌル生成への見通しを述べている。

**Chapter 5** は、**Optimization of Preionization Using Washer Guns**と題し、ダブルヌル配位でSTを生成するための鍵となるワッシャーガン型プラズマ源の改良とその設置場所によってST生成効率が大きく異なることや、生成効率の最適化について述べられている。

**Chapter 6** は、**DNM Experiments on UTST**と題し、真空容器外コイルが形成するダブルヌル配位で2つのSTを生成し、合体させることに成功した実験の詳細が述べられている。UTSTは未だ電源容量が少な

い状態ながら、真空容器外コイルのみによる生成・合体に加え、合体によるリコネクション加熱により1.5MWという極めて大きい加熱パワーが得られている。

**Chapter 7** は、**Merging Experiments on MAST**と題し、最大のST装置MASTに合体加熱のアイデアを持ち込み、1keVに達する大きなイオン加熱とヌル点に局在化した0.8keVに達する電子加熱を実現し、CSコイルによる立ち上げとの比較によって合体法の優れた加熱効率を実証した他、初めて電子加熱のプロファイルを検証した実験が述べられている。

**Chapter 8** は、**Conclusions**であり、2つの実験を有機的に結合し、外部コイルによる非接触のダブルヌル立ち上げと合体、合体による加熱の大型装置での立証をまとめている。

以上要するに、外部コイルによるSTプラズマのダブルヌル生成・合体が実用炉へ適用可能であることに加え、世界最大のST実験装置でも合体法が通常のCS法に比べ高速で効率の良いイオン・電子加熱が可能であることを実証したものであり、STの合体法の工学的実証や磁気リコネクション加熱に代表される新しい加熱手法の確立を通じたプラズマ理工学、核融合工学、電気電子工学への貢献は大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。