

成果報告：数値実験炉研究プロジェクト

洲 鎌 英 雄

数値実験炉研究プロジェクトでは、大型ヘリカル装置(LHD)計画プロジェクトや核融合工学研究プロジェクトと連携しながら、超高温プラズマで起こる様々な物理現象の理解を深め、それらを予測し、将来の核融合発電炉の設計に役立てるため、先端的な理論モデルとスーパーコンピュータを駆使した大規模なシミュレーション研究を行っています。以下では、最近の研究成果を2件ご紹介します。

LHDの実験では、プラズマの巨視的な流れが精力的に計測されています。この場合、楕円形をしたプラズマ断面において横長直線方向の一次元的な流れの速度が計測されます。したがって、これ以外の領域での巨視的な流れは、直接得ることはできません。そこで本研究では、電磁流体力学とよばれる理論モデルに基づいて、この計測データに対応する平衡の数値シミュレーションを行い、プラズマ中のすべての領域でのプラズマの速度を再現する手法を新たに確立しました。その結果、一次元的に得られていた計測データから、図1に示すような三次元分布が得られるようになりました。このようなプラズマの巨視的な流れは、プラ

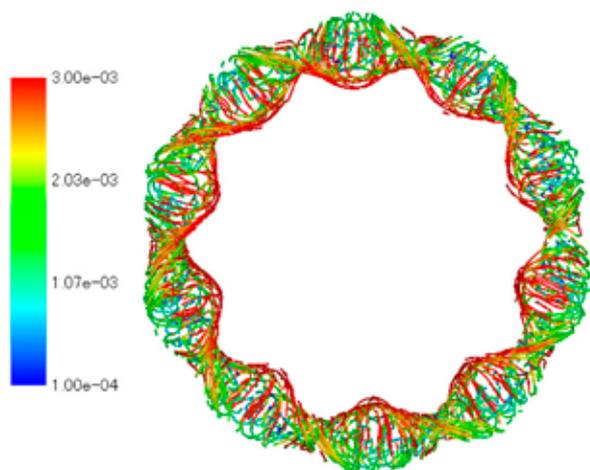


図1 LHD実験で得られた一次元プラズマ流れのデータを基に、三次元平衡シミュレーションを用いて計算したプラズマ全体での流れの様子を示しています。表示した線に沿ってプラズマが流れており、速度の大きさが青から赤へ色の变化で示しています。実験で計測されているトラスの外側よりも計測されていない内側の方が流れが大きいこともわかりました。

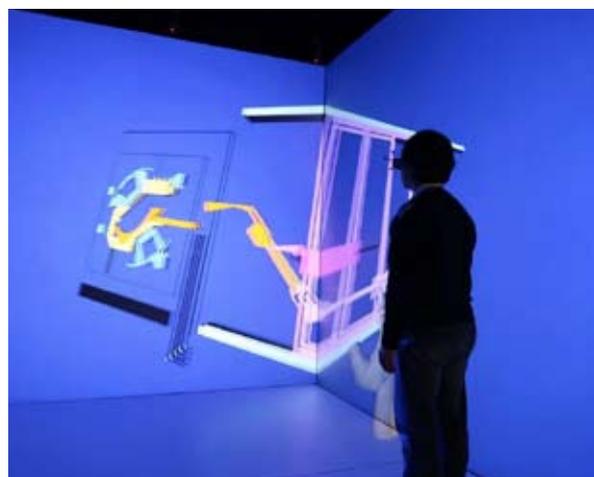


図2 ヘリカル型核融合エネルギー炉FFHR-d1の設計データをバーチャルリアリティ装置Complexcopeに投影して、ロボットアームによる炉内機器の取り外しを確認している様子。

ズマの安定性に大きく影響を与えると考えられています。特に、この流れによるプラズマ回転が止まるとプラズマが不安定になりやすいことがLHD実験で確認されています。現在、この開発した手法を用いることにより、このプラズマの流れと安定性との関連に対する詳細なシミュレーション研究を推進しています。

数値実験炉研究プロジェクトでは、没入型バーチャルリアリティ装置Complexcopeを使って、ロボットアームを含めた核融合炉の設計データをバーチャルリアリティ空間に投影して、炉内機器の位置関係やロボットアームの動きを、正確に三次元で確認できるシステムを構築しました。没入型バーチャルリアリティ装置は、仮想空間の中に自分自身が入って、あたかも目の前にモノが存在しているかのように感じることができる装置です。また、自分自身が動いたり、コントローラーを操作したりすることによって、視点をいろいろと変えることもできます。図2に示すように、今回開発したシステムを使うことで、自分自身が核融合炉の中や傍らに立って、機器の取り付けや取り外し、ロボットアームの動きを、あらゆる方向から確認することができます。あるいは自分自身の「手」を仮想空間に投影することで、機器をつかんで動かしたりすることもできます。これにより、炉内

機器の位置関係やロボットアームの動きを正確に把握し、部品同士がぶつからないかどうか、ロボットアームの動きやメンテナンス手順が適切かど

うか等を、効率よく検討できるようになりました。
(数値実験炉研究研究総主幹/
核融合理論シミュレーション研究系 教授)

成果報告：核融合工学研究プロジェクト

室 賀 健 夫

核融合工学研究プロジェクトでは、将来のヘリカル型核融合炉を想定した概念設計と各機器の開発に必要な要素工学研究を、国内外の共同研究・連携研究と併せて進めています。以下に2017年度の主な成果を紹介します。

ヘリカル型核融合炉の概念設計では、これまでのFFHR-d1から、より小型化・強磁場化することでコスト低減を図るFFHR-c1に検討の重点を移しつつあります。物理計算を組み合わせた炉心プラズマ解析が進展し、核融合利得（核融合炉で発生するエネルギーと投入したエネルギーの比）として15を達成できる見通しが得られました（図1）。物理研究の進展や運転条件・装置形状の最適化によってさらに高い核融合利得の実現も見込まれています。併せて、強大な電磁力を支持する3次元構造物の電磁力解析も進展しています。

核融合反応によって発生するエネルギーを熱に変換するとともに燃料を製造するブランケットについては、その構造材料として低放射合金の開発を進めています。バナジウム合金NIFS-HEAT-2では、製法の最適化による高純度化によって延性（力がかかると引き延ばされることで割れを防ぐ性質）が格段に向上し、不純物の多い米国開発材で問題となっていた加工・溶接時の割れの発生を克服することができています。一方、不純物には合金を強化する働きもあるため、高純度化による強度低下の懸念がありましたが、核融合炉で想定される負荷条件では強度は米国開発材と変わらないことを確認しました（図2）。これにより、長時間運転が可能なブランケットの製作見通しを世界で初めて得ることができました。

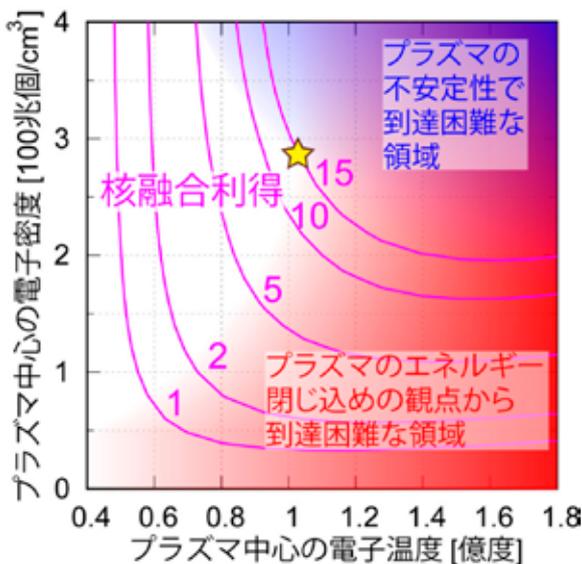


図1 ヘリカル型核融合炉FFHR-c1の運転領域解析の例。桃色の等高線は核融合利得。

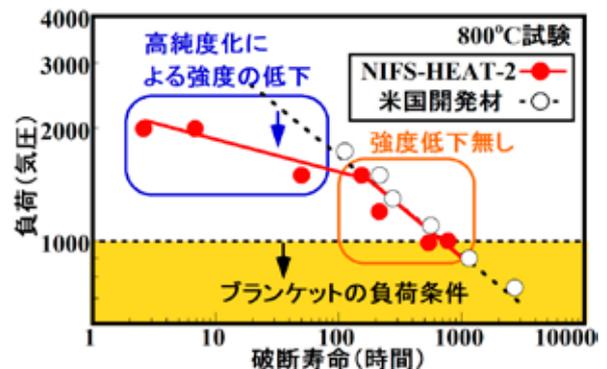


図2 低放射バナジウム合金NIFS-HEAT-2に温度800°Cで負荷をかけ続けたとき、伸びて変形し最終的にちぎれて破断するまでの寿命。

ブランケットの内部で循環させる高温液体に関する研究も行っています。総合工学実験棟の熱・物質流動ループロShi-2の熔融塩ルーブでは磁場腐食試験部が稼働し（図3）、600°Cを超える高温で流れる熔融塩に垂直方向に1テスラの磁場を