

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。

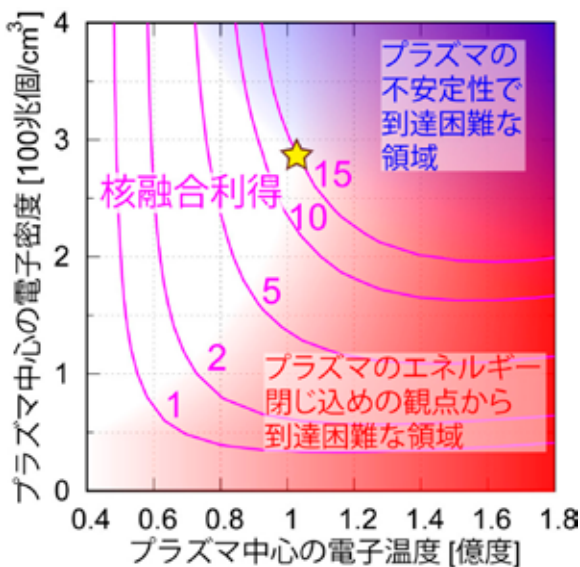


図1 ヘリカル型核融合炉FFHR-c1の運転領域解析の例。桃色の等高線は核融合利得。

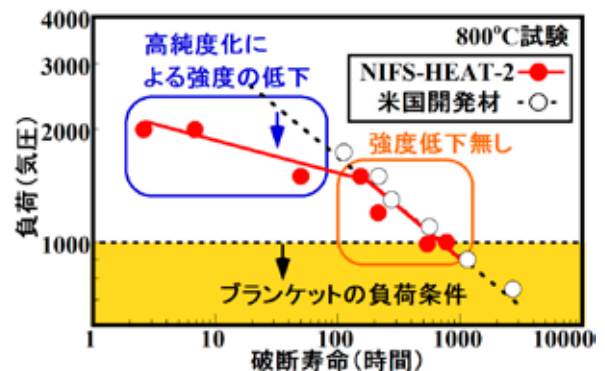


図2 低放射バナジウム合金NIFS-HEAT-2に温度800℃で負荷をかけ続けたとき、伸びて変形し最終的にちぎれて破断するまでの寿命。

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・物質流動ループロッシュ2の熔融塩ルーブでは磁場腐食試験部が稼働し（図3）、600℃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

印加し、材料の腐食挙動を調べています。

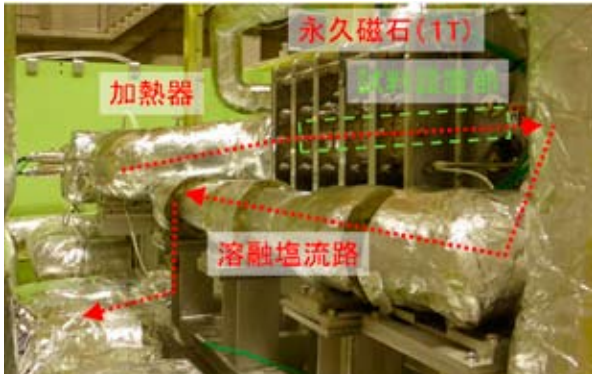


図3 熱・物質流動ループOroshhi-2、溶融塩ループの磁場腐食試験部。

超伝導マグネットの研究では、イットリウム系テープ線材を用いた高温超伝導導体の開発を進めています。線材を単純に積層したSTARS導体は短尺(3m)で10万アンペアの電流を達成しています。この導体構成において非一様な電流分布を強制的に与える模擬実験を行ったところ、導体全体として安定に通電できることが確認できました。今後、長尺導体の試験を超伝導マグネット研究棟の大口径高磁場導体試験装置を用いて実施すべく準備を行っています。

プラズマ対向機器に関する開発研究では、超高熱負荷試験装置ACT2を用いてタングステンと銅合金を接合したダイバータ機器の熱負荷に対する健全性を評価する研究を進めています。また、ブランケット機器の開発研究や冷却水の乱流化促進による除熱性能向上の研究などを国内外の大学や民間企業と連携して進めています。電子ビームの制御系の増設を行い、千分の1秒以下のパルス的な熱負荷を与えられるよう整備し、試験したところ、あらかじめヘリウムを照射したタングステンで表面の微細構造が大きく変化することが明らかになりました(図4)。

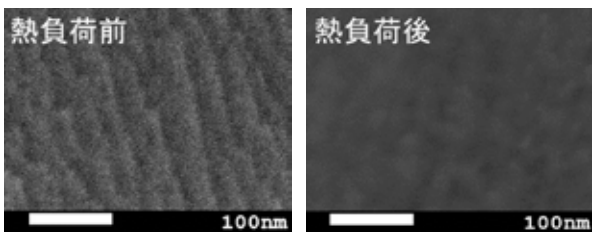


図4 ヘリウム照射を受けたタングステンにパルス的な熱負荷(1㎡あたり50万キロワット、1万分の5秒間)を与えた場合の表面画像の変化。周期的な段差構造が消失して緩やかな凹凸のみが見られるようになります。

ダイバータでは、その冷却部分となるヒートシンク材料の高性能化をめざして、先進的な粉末冶金技術の一つである機械的合金化法(MA法)、および、革新的な自由成形・大型化を見越せる熱間等方加圧法(HIP法)の組み合わせに注目しています。この技術は金属組織内部に微細で熱的に安定な化合物を分散させることで機械的特性を飛躍的に向上させるもので、さらに高性能な銅合金を目指した開発研究を進めています(図5)。



図5 分散強化銅の製造プロセス

タングステンと酸化物分散強化銅を接合する方式について、「先進的ろう付け接合法」を開発しています。小型の試験体において全ての接合箇所において接合界面の接合強度がタングステン素材よりも高いことを確認しました。この結果を踏まえて28枚のタングステン平板を酸化物分散強化銅に同時に接合させる大型のダイバータ試験体の製作を行ったところ、全てを確実に接合させることに成功し、お互いの間隔を0.5mmに一定管理する技術も確立しました(図6)。



図6 タングステンと銅合金をろう付け接合した大型ダイバータ試験体

(核融合工学研究研究総主幹
／核融合システム研究系 教授)