

2019年度成果報告：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2019年度の主な研究成果を紹介します。

ヘリカル型核融合炉の概念設計では、ヘリカル型核融合炉の実現性をより高めるため、複数の装置を建設することで核融合出力と装置サイズを徐々に増大させ、開発リスクを低減しつつ重要設計課題の解決を図る段階的開発戦略の検討をさらに進めました。また、磁場配位の最適化についてさらに検討を進め、これまで大型ヘリカル装置(LHD)と同じねじれ具合を想定していたヘリカルコイルの巻線形状を僅かに変化させる(図1)ことでより高温・高密度での運転ができ、経済的な炉にできる可能性が明確になりました。



図1 ヘリカル核融合炉のヘリカルコイル巻線形状の比較。青色点線がLHDと同じねじり方に基づく形状、橙色で描かれたものが変更後の形状。

核融合炉の超伝導マグネットには1メートル当たり1万トン以上に相当する強大な電磁力が発生します。そのため、マグネットは十分な強度を持った構造物で囲まなければなりません。これまでの設計では、マグネットとそれを支える構造物を合わせた総重量は1万トンを超えていました。今回、構造の強さに影響がない部分に新たな穴を空けるなど「トポロジー」を変化させて最適な形状を探るという手法をヘリカル型核融合炉に適用したところ(図2)、構造物の総重量を約2千トン以

上減少できることが分かりました。最適化されたモデルの強度解析も行い、問題なく電磁力を支えられることが確認されました。

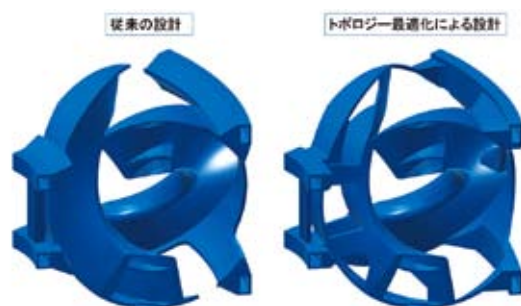


図2 コイル支持構造物の形状の従来設計(左)とトポロジー最適化を適用した設計(右)。

また、ヘリカル型核融合炉設計を進めるうえで明確になった22の重要課題と核融合工学研究プロジェクトで進められている各研究テーマの関係性を可視化する作業も実施しました。これにより研究分野の広がりや機器整備の状況も含めた研究の進展状況も明確となり、今後共同研究等を通じた研究開発の進展や、新しい研究分野の創成につながることを期待されます。

ブランケットの低放射化構造材料として核融合科学研究所が世界をリードしているバナジウム合金では、ブランケットと炉外機器との接続に必要な異材接合技術の開発を進めています。低放射化バナジウム合金NIFS-HEAT-2とニッケル合金ハステロイXの直接溶接はこれまで不可能とされてきましたが、熊本大学、齊魯工業大学(中国)等との共同研究により、「爆発圧接」を用いることで金属間化合物の析出と割れを無くすことに成功しました。材料の混合領域では高強度で耐放射線照射特性にも優れると最近注目されている高エントロピー固溶体が生成していると考えられ、今後は高温で長時間使用してもその固溶状態を維持できるのかどうかを調査する予定です。

長寿命液体ブランケットの開発研究を熱・物質流動ループ試験装置Oroshhi-2を用いて進めています。同装置では3テスラの磁場を利用して、強磁場下における熔融塩の除熱特性の評価を行う世界初の試験を東北大学との共同研究で進めていま

す。また、液体金属から水素燃料を連続回収する試験装置の設置を京都大学との共同研究で進めており（図3）、世界初の高効率・連続回収技術の実証を目指しています。



図3 液体金属（リチウム鉛）からの高効率・水素燃料連続回収装置（京都大学との共同研究）。

プラズマ対向材料として有望なタングステン材料について、酸化物分散強化法を用いて高性能化する研究を行っています。これまで、機械的合金化法と熱間等方加圧法を組み合わせる方法を用いて、金属組織内部に微細で熱的に安定な化合物を分散させて、材料の機械的特性を飛躍的に向上させてきました。2019年度は、この方法を発展させ、ナノチタン酸化物を分散させることで、材料の硬さの低下が抑制されることを確認しました。

酸化物分散強化銅とタングステンとの接合法と

して開発した「先進的ろう付接合法」を、酸化物分散強化銅とステンレス鋼、あるいは、酸化物分散強化銅同士を接合するために高度化し、流体漏れの無い完全リークタイトな接合接手の生成を可能とする技術開発に成功しました。この技術を用いて、矩形の冷却流路と冷却流路壁面に熱伝達率を促進させるV型スタッガードリブ構造と呼ばれる突起構造を有する世界最高性能のダイバータ受熱機器試験体の開発に成功しました（図4）。今後、この試験体をLHDに実際に取り付けた試験を進める計画です。



図4 タングステン、酸化物分散強化銅、ステンレス鋼を先進的ろう付接合法で接合したダイバータ受熱機器試験体。

超伝導マグネットの研究では、次世代のヘリカル型装置への適用を目指して、高温超伝導導体の開発研究を進めています。希土類系高温超伝導線材（REBCO）を組み合わせ、STARS、FAIR、WISEと名付けた3種類の導体を設計し、それぞれにサンプル試作と評価試験を進めています（図5）。液体窒素で冷却して通電することによって超伝導として流すことのできる最大電流（臨界電流）を測定し、予測された値との比較を行うことで、劣化が認められた場合には製作法の改善を図っています。

（核融合工学研究プロジェクト 研究総主幹／核融合システム研究系 教授）



図5 次世代ヘリカル装置への適用を目指して開発されている3種類の高温超伝導導体サンプル。左上：STARS導体（端部断面とサンプル全体）、左下：FAIR導体（端部断面とサンプル全体）、右：WISE導体（小型コイル巻線の様子と直線形状短尺導体端部）。