

温度可変低温設備の導入による超伝導コイル開発の新展開

濱 口 真 司

大学共同利用機関である核融合科学研究所の重要な使命の一つとして、共同研究に供される研究基盤設備の整備が挙げられます。今回は、「核融合炉実現を目指す革新的エネルギー循環工学研究設備[1]」の一つとして整備された「温度可変低温設備」について紹介したいと思います。

核融合炉には広い空間に強い定常磁場を発生させることができる超伝導コイルは欠かせないものです。これまで低温超伝導体と呼ばれる金属系の超伝導体を用いた超伝導コイルが主流でしたが、1980年代に発見された高温超伝導体やその後に日本で発見されたニホウ化マグネシウムと鉄系超伝導体の登場により、これまでより高い温度で使用される超伝導コイルの開発に大きな期待が寄せられるようになりました（図1）。このような先進的な超伝導体を用いた超伝導コイルの開発には、それらが使用されるのと同様の環境で試験することができる設備が必要となります。これまで超伝導コイルの開発に用いられてきた設備は、低温超伝導体を用いた超伝導コイルが使用される温度の液体ヘリウム温度（-269℃）で試験を行う設備ばかりでした。そこで核融合科学研究所では、先進的な超伝導体を用いた超伝導コイルの開発に向けて任意の温度で超伝導コイルを試験できる設備「温度可変低温設備」を導入しました。



図2 温度可変ヘリウム液化冷凍機

温度可変低温設備の最大の特長は常温から液体ヘリウム温度までの任意の温度のヘリウムを超伝導コイルの試験サンプルに供給し、試験できることです。これを可能としたのが、特殊仕様で設計製作された温度可変ヘリウム液化冷凍機です（図2）。この温度可変ヘリウム液化冷凍機は、1時間当たり約280Lのヘリウム液化能力と液体ヘリウム温度で600Wの冷凍能力を有する中堅クラスのヘリウム液化冷凍機ですが、特殊仕様としてヘリウム液化冷凍機内で任意の温度のヘリウムを作って供給する機能を有しています。そのイメージを図3に示します。ヘリウム液化冷凍機は常温のヘリウムを複数の熱交換器等で段階的に冷やし、最終的に液体ヘリウム温度にするのですが、温度可変ヘリウム液化冷凍機では、その途中の段階の様々な温度のヘリウムを取り出して混ぜ、任意の温度のヘリウムを作って試験サンプルに供給しています。

温度可変ヘリウム液化冷凍機の完成後、この機能が設計通りに働くか詳細に確認しました。その一例を図4に示します。図4は、温度可変ヘリウム液化冷凍機から-253℃のヘリウムを供給し、そのヘリウムに仕様値を超える1.25kWの一定の熱を加えて戻した際の供給温度と戻り温度の時間

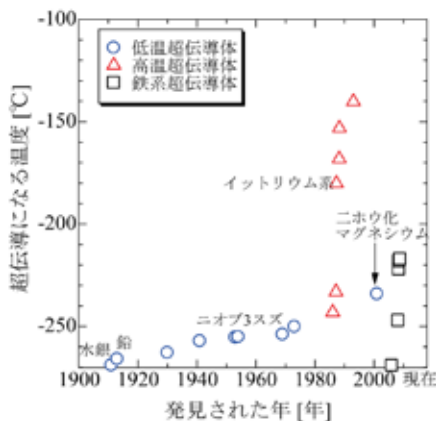


図1 超伝導体の発見の歴史。1911年に世界で初めて水銀で超伝導現象が発見されました。1986年の高温超伝導体の発見で超伝導になる温度は飛躍的に上昇しています。

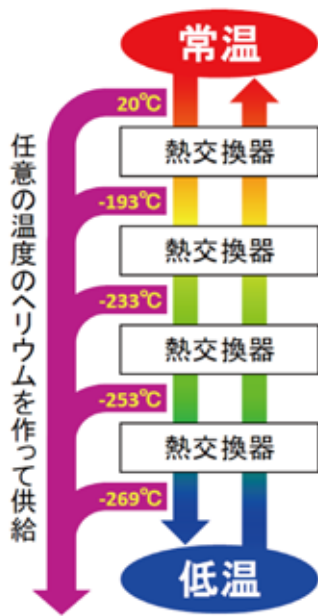


図3 温度可変ヘリウム液化冷凍機内で様々な温度のヘリウムを混ぜて任意の温度のヘリウムが作られています。

変化を表しています。供給されるヘリウムは温度可変ヘリウム液化冷凍機内で自動的に温度調整されますが、図4からこの機能がうまく働いていることが分かります。また、このとき戻り温度が -244°C で安定していることから、試験サンプルにおいて 1.25kW の発熱があっても安定に冷却して試験を行うことが可能であることが分かりました。この他に、 -233°C や -269°C のヘリウムを安定に供給できることの確認とそれぞれの場合における試験サンプルを冷却する能力の確認を行い、設計仕様を満たしていることを確認しました。

この温度可変低温設備の導入後、フランスに建設中の国際熱核融合実験炉ITERで使用されるトコ

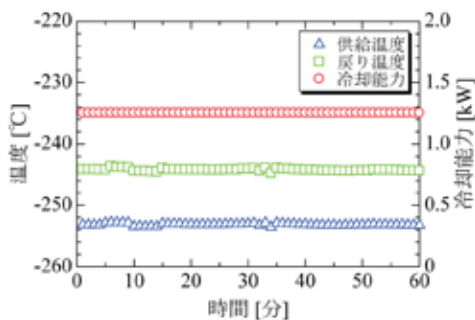


図4 温度可変ヘリウム液化冷凍機の確認試験の一例。 -253°C のヘリウムを安定に供給できていることが分かります。このとき試験サンプルから仕様値を超える 1.25kW の熱を奪う能力があることを同時に確認できました。

イダル磁場コイルの接続部の試験や茨城県に建設中のトカマク型核融合プラズマ実験装置JT-60SAに実際に用いられる中心ソレノイドコイルの試験を行ってきています。さらに今年は、同じく「核融合炉実現を目指す革新的エネルギー循環工学研究設備」として導入された「大口径高磁場導体試験装置」を用いた試験がいよいよ開始されます。大口径高磁場導体試験装置は、核融合炉などに用いられる大規模な超伝導コイルの試験サンプルを強磁場下で大電流を流して試験することが可能な画期的な装置です。これを併せて用いれば、それらの超伝導コイルが使用される環境と同様の温度と磁場の下で試験サンプルを試験することが可能となり、その開発が加速することが期待されます。既に、米国のマサチューセッツ工科大学との共同研究で行う積層撚線型大電流高温超伝導導体の試験や核融合科学研究所で強力に推し進められているヘリカル型核融合炉設計活動で提案されている単純積層型大電流高温超伝導導体[2] (図5)の試験を行うことが決まっています。今後も大学共同利用機関として、国内はもちろんのこと、国際協力・産学連携を含めた共同研究に積極的に活用していきたいと考えています。

[1] NIFS News No.223 (2015年4月・5月号) p.10 TOPICS「核融合炉実現を目指す革新的エネルギー循環工学研究設備完成披露見学会を開催」

[2] NIFS News No.212 (2013年6月・7月号) p.4-5 研究最前線「ヘリカル型核融合炉用超伝導コイルの革新的製作方法 -高温超伝導導体とその接続部の開発-」

(装置工学・応用物理研究系 准教授)

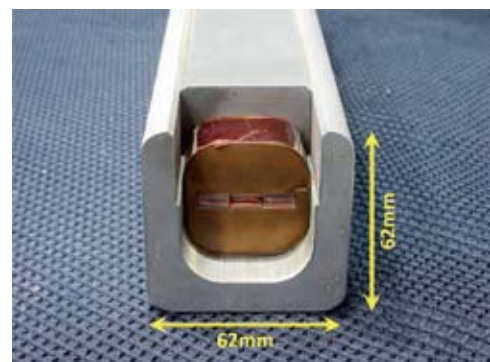


図5 ヘリカル型核融合炉用超伝導コイルに向けて開発中の単純積層型大電流高温超伝導導体