



【本件リリース先】

月 日 15:00

(資料配付)

文部科学記者会、科学記者会、

原子力規制庁記者会(仮称)、

茨城県政記者クラブ、

青森県政記者会、三沢記者会

平成 27 年 月 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

イーター・中心ソレノイド・コイル用導体の高い超伝導性能を実証

—イーターの成功へ向け、大きく貢献—

【発表のポイント】

- イーター計画で、中心ソレノイド・コイル用に日本が製作している超伝導導体の性能試験を、世界で唯一イーターと同じ運転条件下で試験が可能な那珂核融合研究所の試験装置を用いて実施し、その高い超伝導性能を実証。
- イーター運転と同じ磁場強度及び歪み状態を中心ソレノイド・コイル用超伝導導体に与え、超伝導状態を維持できる上限温度を精密に評価。電磁力によるコイル変形が上限温度に与える影響を評価し、イーター運転における上限温度を正確に予測可能としたことは、イーターの安定な運転に大きく貢献する成果。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(理事長 児玉敏雄、以下、「原子力機構」という)は、南フランスのサン・ポール・レ・デュランスに建設中の国際熱核融合実験炉イーター¹⁾(以下、「イーター」という。)の主要機器の一つである中心ソレノイド・コイル²⁾(以下、「CS コイル」という。)用に製作している超伝導導体³⁾(以下、「CS 導体」という。)の性能試験を、CS コイルの調達取決めに基づき、イーターと同じ運転条件下で実施し、その高い超伝導性能を実証しました。また、今まで予測できなかった電磁力によるコイル変形が、超伝導状態を維持できる温度(以下、「上限温度」という。)に与える影響を試験し、イーター運転における上限温度を正確に予測可能にしたことは、イーターの安定な運転へ向け大きく貢献する成果です。

CS コイルは、イーターのプラズマ中に電流を流してプラズマ閉じ込め磁場を作る超伝導磁石です。イーターでは、日本がすべての CS 導体を製作し、それを用いて米国が CS コイルを製作する分担です。日本は CS 導体の製作を平成 24 年から開始し、その完成品を米国に逐次発送(第 1 回目を平成 26 年 6 月にプレス発表)しています。CS 導体では、上限温度が高い方がコイルのより安定した動作が期待できます。これまでは、スイスにある試験装置を用いて、一部を模擬した条件下で上限温度が設計条件を満足することを確認しました(以下、「模擬試験結果」という。)。イーターの運転条件では、模擬試験結果から予測される上限温度より更に上昇することは分かっていたましたが、どの程度まで上昇するかは正確には分かっていませんでした。

このたび、那珂核融合研究所にあるイーターの運転条件下で試験できる世界で唯一の装置を用いて、上限温度を精密に評価しました。その結果、イーターの運転条件下での CS 導体の上限温度は模擬試験結果より更に約 0.5 度高いことを明らかにし、十分な性能を有することを実証しました。また、今回の結果は、プラズマ電流を流すために不可欠な CS コイルの安定な動作を通じて、イーターの安定な運転に大きく貢献する成果であり、イーターの成功が期待されます。本成果は、超伝導応用分野で最大級の会議である国際磁石会議(10 月に韓国で開催)で報告されます。

【本件に関する問い合わせ先】

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

(内容について)

核融合研究開発部門 那珂核融合研究所 ITERプロジェクト部

超伝導コイル試験グループ グループリーダー 磯野 高明

TEL:029-270-7332, FAX:029-270-7579

(報道対応)

広報部 報道課長 中野 裕範

TEL:03-3592-2346, FAX:03-5157-1950

【研究開発の背景と目的】

イーター参加極間で国際合意されたイーター用機器の製作分担に基づき、日本は全 49 本の CS 導体の製作を行い、米国はこれらを用いてコイルを製作します。CS コイルは、イーターのプラズマ中に電流を流してプラズマ閉じ込め磁場を作るための超伝導磁石で、高磁場(13テスラ)中で大電流(40 キロアンペア)の運転を行う大型で高性能な超伝導磁石です(図 1)。CS 導体は、576 本のニオブ 3 スズ(Nb₃Sn)超伝導線と 288 本の銅線からなる撚線が、ジャケットと呼ばれる 49mm 角の角形ステンレス鋼管に挿入された構成で、平成 24 年から製作を開始しており、逐次完成品を米国へ発送しています。ニオブ 3 スズ超伝導導体が超伝導状態を維持できる上限温度が、磁場、電流及び歪み状態により変化することから、製作にあたっては、スイスにある試験装置を用いて、一部の条件を模擬した磁場、電流及び歪みを印加し、上限温度が設計条件を満足することを確認しました。

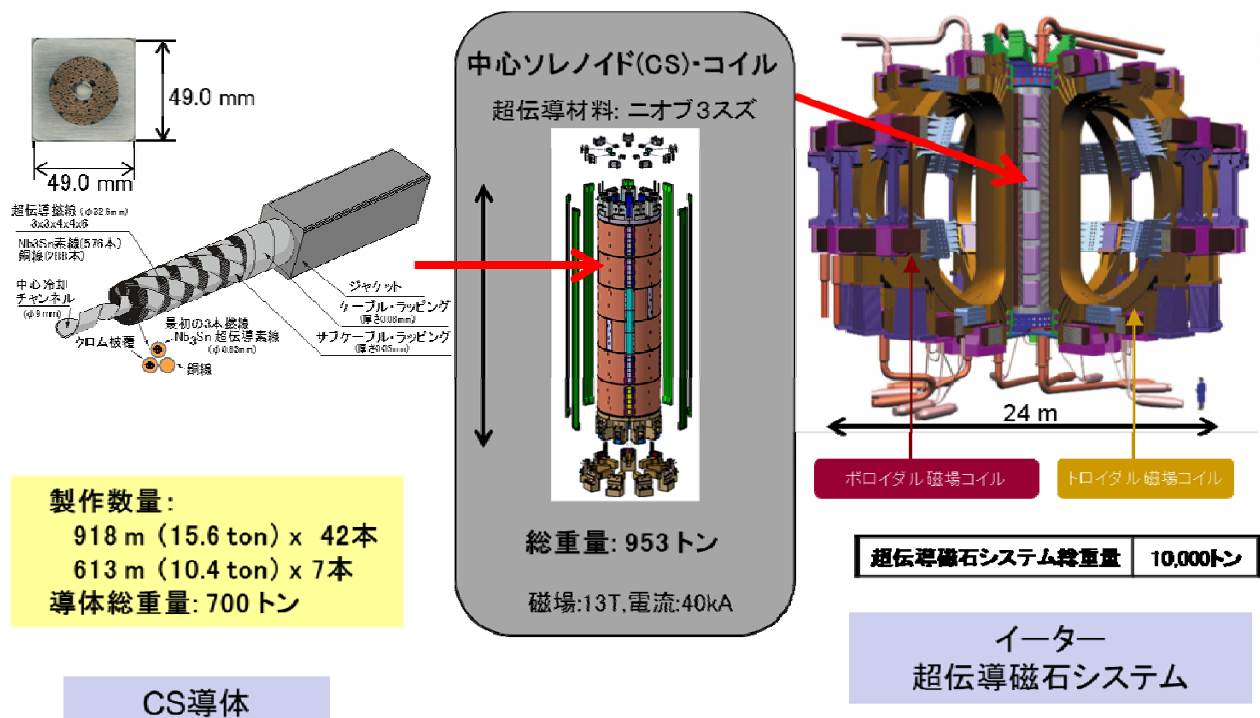


図 1 イーター超伝導磁石システムと中心ソレノイド(CS)・コイル

CS 導体に用いられる超伝導体(ニオブ 3 スズ)の性能(超伝導状態を維持できる上限温度)は、磁場、電流及び歪みにより変化することが知られています。CS 導体を極低温へ冷却すると、ジャケットの熱収縮のため、超伝導体は圧縮歪みを受け、圧縮歪みを受けない場合と比較すると上限温度は低下しています。一方、CS コイルの運転においては、電磁力により導体を長手方向に引っ張る歪みが発生し、これは熱収縮による圧縮歪みを緩和し、上限温度を上昇させます。模擬試験では、サンプル形状から導体長手方向の歪みが発生せず、イーターの運転条件と異なっており、イーターの運転条件下では、模擬試験結果から予測される上限温度より更に上昇することは分かっていたが、どの程度まで上昇するかは正確には分かかっていませんでした。このたび、那珂核融合研究所にあるイーターの運転条件下で試験できる世界で唯一の装置を用いて、上限温度を精密に評価しました。

【研究の手法】

那珂核融合研究所が所有するCSモデル・コイル試験装置は、平成4年から平成13年まで実施されたイーター工学設計活動において開発され、イーターの運転条件下で試験できる世界で唯一の装置です。試験装置の一部である超伝導コイル(CSモデル・コイル)は、直径約1.6mの空間に高磁場(最大13テスラ)を発生します。この試験装置に合わせて、CS導体を用いたCS試験コイル(CSインサート)を製作しました。CS試験コイルは、長さ約40mのCS導体を、直径約1.5mで1層9ターンに巻き、コイル化したものです。これをCSモデル・コイル試験装置に組み込み、今年2月末に極低温への冷却を開始し、7月末に試験を完了しました。CS試験コイルとCSモデル・コイル試験装置の概要を図2に示します。また、模擬試験装置とCSモデル・コイル試験装置の違いを図3に示します。

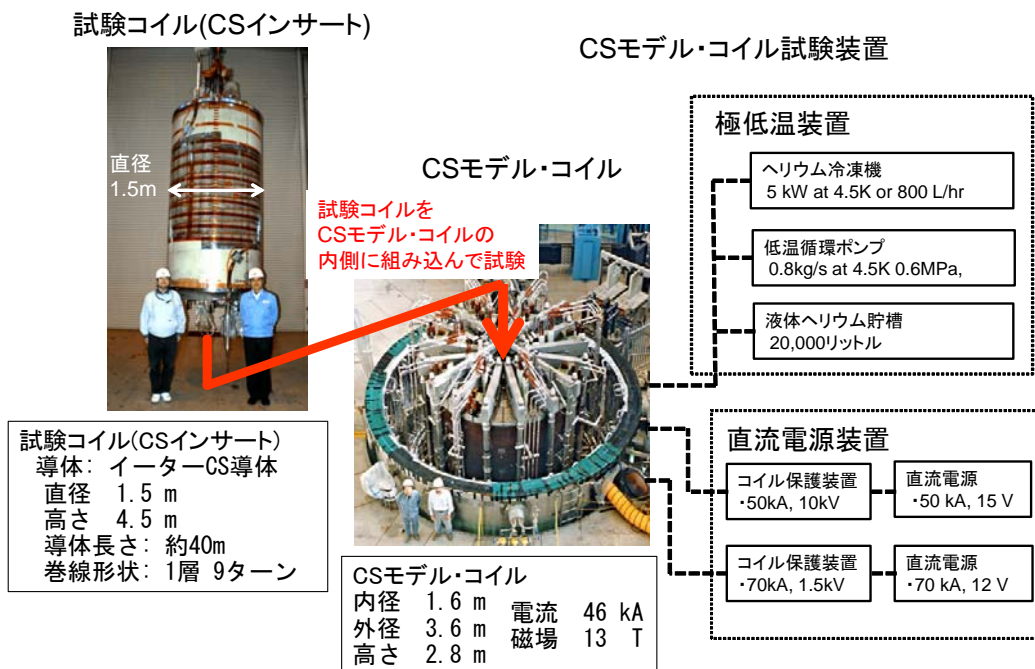


図2 CS試験コイルとCSモデル・コイル試験装置

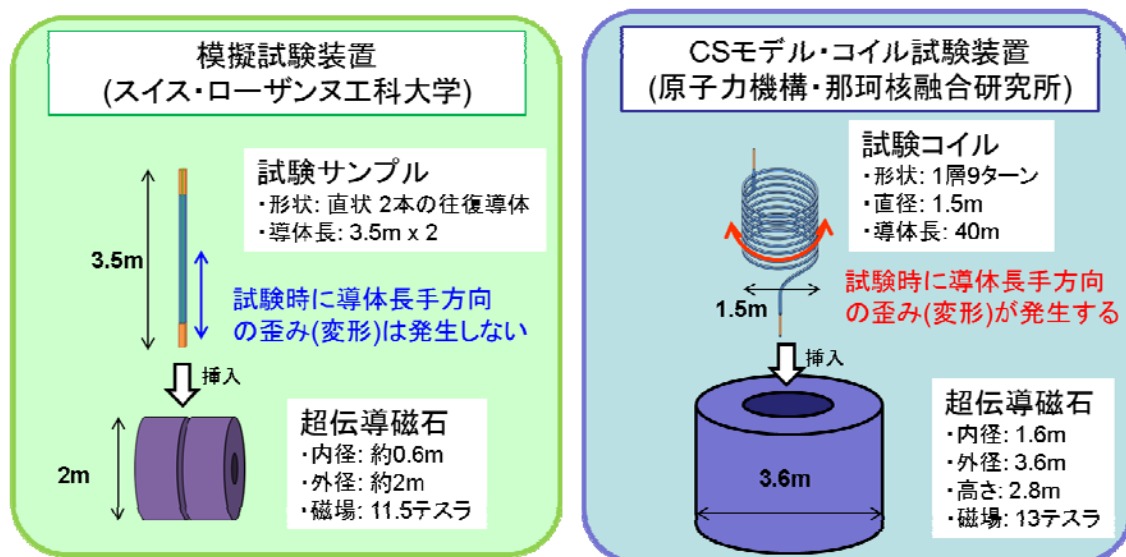


図3 模擬試験装置とCSモデル・コイル試験装置

【得られた成果】

イーター運転条件(磁場 13 テスラ、電流 40 キロアンペア)において導体性能(上限温度)を測定し、その性能は零下約 266.5°C(6.7 ケルビン)で、設計条件である零下約 268°C(5.2 ケルビン)に対して 1.5 度高い温度まで超伝導状態を維持できることを明らかにし、これまで再現が難しかった歪み状態を含めたイーターの運転条件下において CS 導体が十分な性能を有することを実証しました。模擬試験結果から推定される性能より更に約 0.5 度高いことを明らかにしました(図 4)。

超伝導線における上限温度と磁場、電流及び歪みの関係式はありましたが、導体の長手方向の変形と燃線中の超伝導体の歪みの関係を示す試験結果がありませんでした。今回、電磁力によって導体長手方向に発生する変形が上限温度に与える影響を試験することで、導体長手方向の変形と超伝導体の歪みの関係が判明し、これによりイーターの運転における CS 導体の上限温度を正確に予測できるようになりました。今回の結果は、プラズマ電流を流すために不可欠な CS コイルの安定な動作を通じて、イーターの安定な運転に大きく貢献する成果であり、イーターの成功が期待されます。

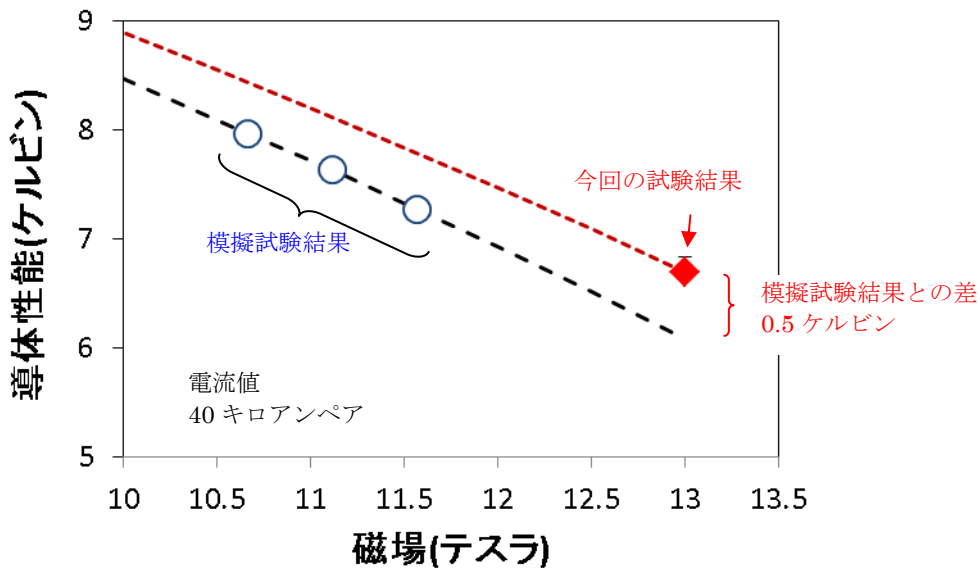


図 4 CS 導体の性能

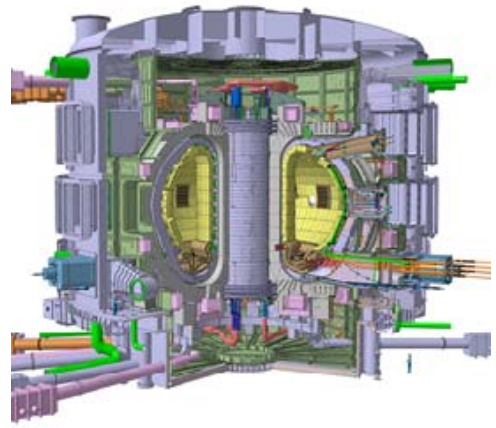
【今後の予定】

本成果は、10 月に韓国で開催される超伝導応用分野で最大級の会議である国際磁石会議で報告されます。また、イーター機構及び米国と協力しつつ、得られたデータの詳細な解析を行い、コイルの運転に役立てていく予定です。

【用語説明】

1) イーター(国際熱核融合実験炉:ITER)

制御された核融合プラズマの維持と長時間燃焼によって核融合の科学的及び技術的実現性を実証することを目指したトカマク型(超高温プラズマの磁場閉じ込め方式の一つ)の核融合実験炉です。イーター計画は、1985年にジュネーブで行われたレーガン大統領とゴルバチョフ書記長の米ソ首脳会談での合意に始まります。そして1988年に日本・欧州・ロシア・米国が共同設計を開始し、2005年に南フランスのサン・ポール・レ・デュラン



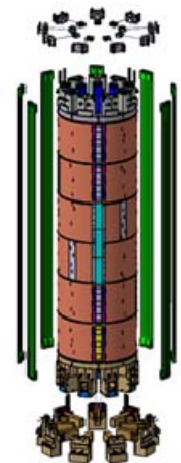
に建設することが決定しました。2007年に国際協定が発効され、国際機関「イーター国際核融合エネルギー機構(イーター機構)」が発足し、日本、欧州連合、米国、ロシア、中国、韓国、インドの7極が参加しています。イーター計画は、各国が機器を調達・製造して持ち寄り、イーター機構が全体を組み立てる仕組みです。現在、イーターが格納される建屋の建設が進められており、また、各極が調達する、イーターを構成する様々な機器の調達取決めが締結されて、各極で機器の製作が進められています。各国の貢献(必要な機器の調達や人員派遣等)は、国内機関を指定して実施するものとされ、日本においては、文部科学省に指定された原子力機構が行っております。イーター計画は、2020年頃からのプラズマ実験の開始を目指しています。イーターでは、重水素と三重水素を燃料とする本格的な核融合による燃焼が行われ、核融合出力500MW、エネルギー増倍率10を目標としています。

イーター計画に関するホームページ <http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/index.php> (日本語)

イーター機構のホームページ <http://www.iter.org/> (英語)

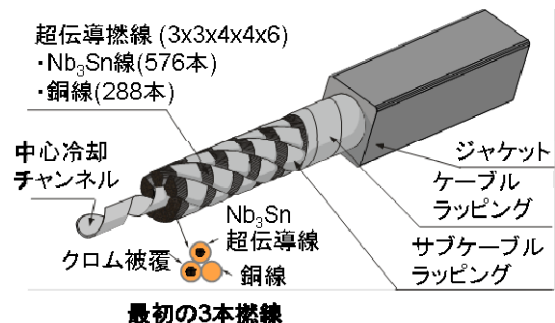
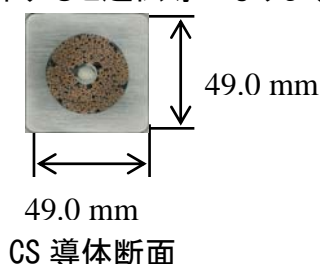
2) 中心ソレノイド(CS)・コイル

イーターの主要機器の1つであり、イーターの中心に据え付けられて、プラズマ中に電流(プラズマ電流)を誘起して、プラズマ閉じ込め磁場を形成するソレノイド型の超伝導電磁石。直径は約4.3m、高さは約16mあり、最大で13テスラの磁場を発生することができます。国際合意されたイーターの調達分担に基づき、日本が全49本の超伝導導体を製作します。米国は、コイルケースや支持構造物を製作し、日本が製作した超伝導導体を用いてCSコイルを製作し、フランスのイーター建設地に輸送します。



3) 超伝導導体(CS導体)

超伝導とは、特定の物質(超伝導物質)を極低温に冷却すると電気抵抗がゼロとなる現象のことです。この現象を利用して、超伝導物質に大電流を流し、超伝導導体として用いることで、非常に強力な電磁石が実用化されています。CSコイルに用いる超伝導導体は0.83mmの超伝導素線576本と銅線288本を撚り合わせて撚線とし、ジャケットと呼ばれるステンレス鋼管に挿入したものです。超伝導物質としてニオブ3スズ(Nb₃Sn)を用いており、約18ケルビン(零下255°C)以下の温度に冷却すると超伝導になります。



CS 導体の構成