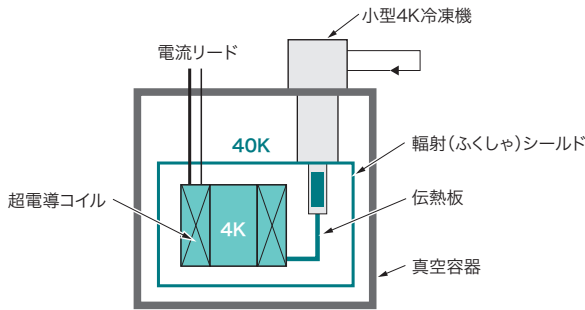


液体ヘリウムを用いない超電導磁石の応用範囲拡大

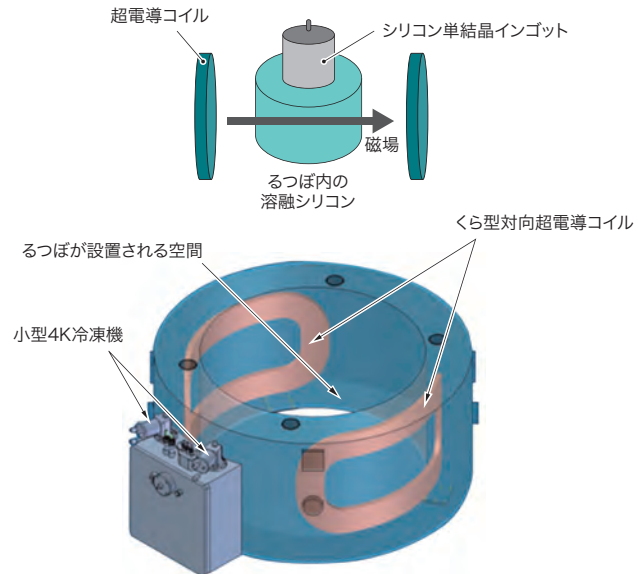
エネルギーシステム 原子力発電・超電導



冷凍機冷却超電導磁石の構成
Configuration of liquid helium-free superconducting magnet using compact 4 K cryocooler



3次元巻き線機で製作した高精度湾曲くら型コイル
High-precision curved, saddle-shaped coil fabricated using three-dimensional winding technology



最新型シリコン単結晶引き上げ装置用超電導磁石
Superconducting magnet for silicon single-crystal pullers

超電導磁石は、超電導線材が絶対温度 5 K (−268 °C) 程度の極低温で電気抵抗がゼロになる特性を利用して、銅線材を用いた常電導磁石では得られない高い磁場を作れるので、様々な分野で応用されている。従来、超電導磁石の冷却には希少資源のヘリウムを 4.2 K の液体の状態を用いてきたが、高価である上に、取り扱いに専門的な知識・技術が必要だった。これに対し、当社は、1980 年代から液体ヘリウムを用いず、取り扱いが容易で運転経費の削減につながる冷凍機冷却超電導磁石の開発を進め、1990 年代に世界に先駆けて製品化して超電導磁石の普及に貢献してきた。

更に、磁場分布や磁場強度などに関するユーザーの様々な要望に応えるため、独自の 3 次元自動巻き線技術も開発した。コイル設計データから巻き線機の数値制御データを自動的に作成し、これまでない複雑な形状のコイルも製作できる。

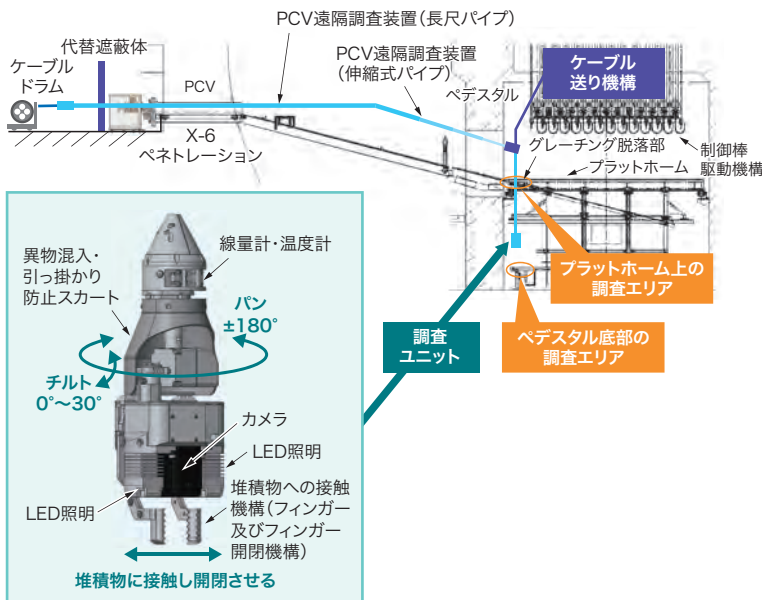
2019 年には、これらの技術を融合した、重粒子線がん治療装置用及びシリコン単結晶引き上げ装置用の革新的な超電導磁石を、国内外に向けて多数出荷した。これらの磁石は、冷凍機のスイッチを入れるだけで使用でき、また、3 次元形状のコイルを、必要な空間を取り囲むように近接して配置しているので、コンパクトで外部への漏れ磁場も少ない。

更に、将来を見据え、より高磁場で省エネを実現できる高温超電導磁石の実用化開発も加速しており、研究レベルを超えた実規模コイルを複数製作し、安定した品質を確認した。また、これまで困難であったクエンチ^(注)時のコイル保護を実現する技術も開発した。

超電導磁石は、今後、その応用範囲をますます広げていくと予想される。当社は、その普及に向けて、取り扱いが容易で環境に優しい超電導磁石の開発を継続していく。

(注) 超電導体が常電導に移る現象。

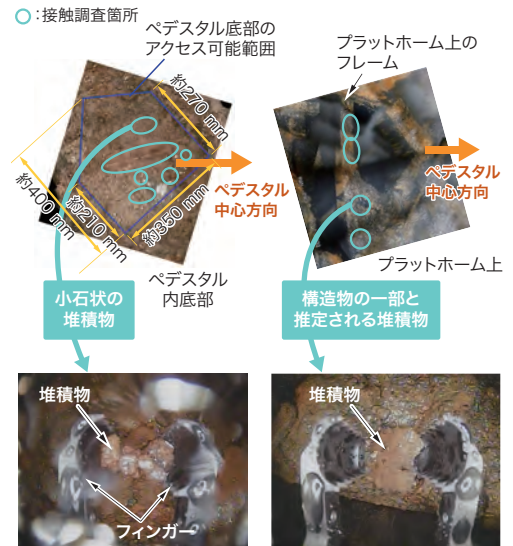
福島第一原子力発電所2号機で燃料デブリの可能性のある堆積物への接触に成功



LED:発光ダイオード

接触調査エリアと調査ユニット

Survey area and observation device for accessing bottom of primary containment vessel (PCV) pedestal of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2



東京電力ホールディングス(株)
「廃炉・汚染水対策チーム会合 第63回事務局会議 資料3-3」を基に作成

ベデスタル底部及びプラットフォーム上の堆積物の接触調査結果

Results of investigation of deposits at bottom of pedestal and on platform

東京電力ホールディングス(株)の福島第一原子力発電所2号機において、原子炉格納容器(PCV)内の堆積物に接触してその性状を確認できるPCV内部遠隔調査装置を開発し、2019年2月に一部の堆積物を動かせることを映像で確認した。

2号機は、先行調査で、PCVのベデスタル^(注1)内底部に堆積物が分布していることが映像で確認されており、事故で溶融した燃料である燃料デブリが存在する可能性がある。したがって、これらの堆積物を動かせるかどうかを確認する接触調査の結果は、燃料デブリの取り出し方法の検討に役立てられる。

ベデスタル内底部へのアクセスは、PCV貫通孔であるX-6ペネトレーションのハッチに設けられた直径約10cmの穿孔(せんこう)貫通部から約10m先のベデスタル内部へ進入させた後、更に約2~3m下の底部まで到達させる必要がある。そこで、先行調査で実績のある、パイプを用いた方法を採用した。また、接触調査そのものを行う調査ユニットは、パイプ内に納めるための小型化と、堆積物と接触するのに十分な可動域の確保を両立させる必要がある。これについては、これまでの調査経験で積み上げた技術を活用し、二つのフィンガーの開閉で堆積物を挟む機構(フィンガー開閉機構)を実現した。

現地では、ベデスタル底部の6か所と、プラットフォーム^(注2)のフレーム上の4か所にアクセスし、接触調査を行った。その結果、小石状の堆積物や構造物の一部と推定される堆積物は、“フィンガーで把持して持ち上げる”動作で持ち上げられることを確認し、燃料デブリ取り出しに資する情報を得た。

(注1) 原子炉圧力容器を支持する円筒状コンクリート製構造物。

(注2) ベデスタル内にある作業用足場。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、6、p.63-66。

■ 増設 SARRY™ II 運用開始



SARRY™ II を構成するろ過フィルターと吸着塔

Two filtration filters and four adsorption towers of SARRY™ II (Simplified Active Water Retrieval and Recovery System II) at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

2011年に東京電力ホールディングス(株)の福島第一原子力発電所に納入した第二セシウム吸着装置 SARRY™ は、最終処理設備である2基の多核種除去設備 MRRS™ とともに、建屋内滞留水100万トンの処理に貢献してきた。廃炉に向けた中長期ロードマップで定められた2020年内の処理完了を目指して作業を加速するために、第三セシウム吸着装置 SARRY™ II を増設し、2019年7月に運用を開始した。

SARRY™ II は、高濃度汚染水(建屋内滞留水)からセシウム及びストロンチウムを除去するための装置である。ろ過フィルター2基と吸着塔4基で構成し、廃棄物発生量の低減を目的として、新規開発した吸着材を導入した。

当社は、今後も更なる技術開発を進め、福島第一原子力発電所の廃炉に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 福島第一原子力発電所3号機の燃料取り出し開始に向けたウエアラブルカメラシステム



燃料取扱機

Fuel handling machine (FHM) installed at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3



ウエアラブルカメラシステムによるクレーンブレーキの確認

Remote visual inspection of crane brake by means of wearable camera system

福島第一原子力発電所3号機の使用済み燃料プールからの燃料取り出し開始に向けて、燃料取り出し設備の据え付けが進められている。現場環境が高線量・高汚染であることから、作業時は全面マスクなどの装備を着用する必要がある。また、管理区域内であることから、入域時間の制限(10時間/日)がある。このため、設計者が現場で確認や調査を行う場合、現場までの移動に時間を要し、結果の報告や必要な処置に関する検討の時間が不足することや、再確認が必要となった場合は入域時間の制限から翌日になることが問題であった。

そこで、設計者が管理区域外である事務所内で現場状況を確認できる、ウエアラブルカメラシステムを採用した。これにより、設計者は、環境の整った事務所で図面類を確認しながら、作業者が装着したウエアラブルカメラを通して現場状況を把握でき、現場への指示をタイムリーに行うことで、後戻り作業の低減が可能となった。

このシステムは、大型クレーンによる燃料取扱機の設置作業で、現場確認用として活躍した。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 東北電力(株)女川原子力発電所2号機での空間管理設計を活用したFCVS現地工事



FCVSの配置シミュレーション

Layout planning of built-in filtered containment venting system (FCVS) in reactor building of Onagawa Nuclear Power Station Unit 2



設置後のFCVS

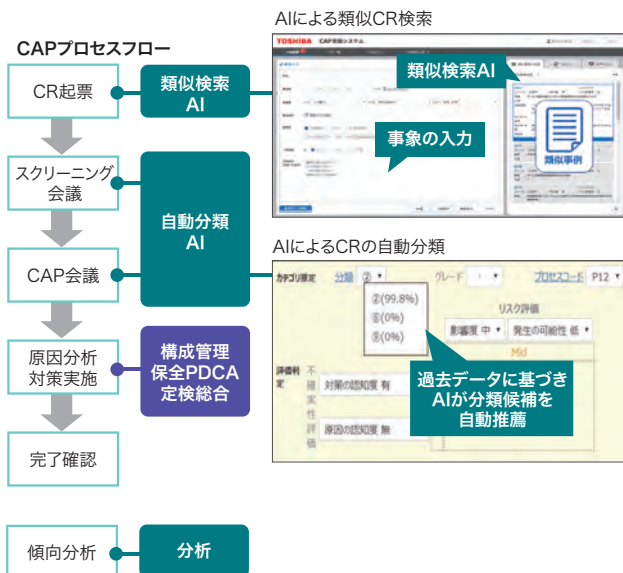
FCVS after installation

原子力発電所の安全対策として、事故時に原子炉格納容器の破損を防ぐ原子炉格納容器フィルターベント(FCVS)系の導入が進められている。女川原子力発電所2号機では、原子炉建屋内に、直径2.6 m、高さ6 mのフィルター装置3基を新規に設置した。設置スペースは狭いため、装置の設置では、周囲と最小で数mmのクリアランスしかなく、周辺機器との干渉防止のために精度の高い作業が必要であった。

そこで、装置の搬入、立て起こし、据え付けの各手順の検討に、3次元CADを用いたシミュレーションを行い、装置の動きと周辺機器とのクリアランスをステップごとにチェックしながら工事手順を確認した。抽出した各課題については、実作業を行う現場工事担当者との調整を繰り返し、最終的に全ての課題を解決した上で作業に臨むことができた。この結果、フィルター装置3基とその架台の設置で、安全で効率的な作業を実現し、工事全体の工程短縮にも大きな役割を果たした。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 原子力事業者の安全性と信頼性に資する情報管理



PDCA: Plan-Do-Check-Act

CAPフローと運用支援

Flow of corrective action program (CAP) processes and operational support system using artificial intelligence (AI)

東日本大震災以降の原子力規制の見直しによって、米国で発展してきた改善処置活動(CAP: Corrective Action Program)への取り組みが我が国でも始まっている。これは、原子力安全に影響を及ぼすおそれのある情報(CR: Condition Report)を幅広く収集・分析し、改善につなげるものである。

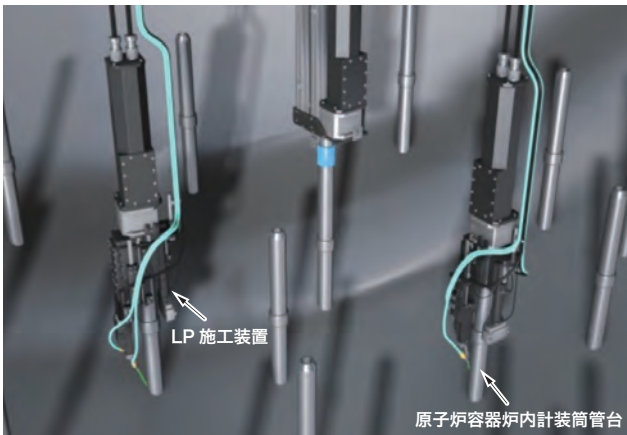
事業者は、収集したCRの内容を確認し、重要度に応じた分類コードを付与して処置内容を検討するが、取り扱うCRが膨大で、CAP運用の負荷増大が問題となっている。そこで、以下のような、AIを活用したCAP運用支援システムを開発した。

- (1) 類似検索AI CRの特徴を解析して類似CRを検索
- (2) 自動分類AI CRに付与する分類コードを推定

これにより、CR情報に対する類似事例の抽出と、分類コードや重要度の自動推定ができ、CAP運用の効率化が図れる。また、検索・分類機能だけでなく、CRの傾向分析や事象発生場所の視覚化機能も備えており、従来にないCAP運用の高度化で、原子力の安全性・信頼性向上に寄与する。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 米国アーカンソー ニュークリアワン原子力発電所1号機でのレーザーピーニングによる炉内保全工事の完遂



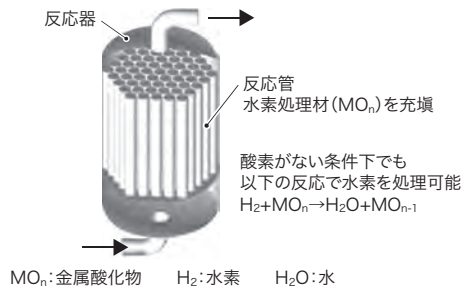
原子炉容器炉内計装管台へのLP施工
Bottom-mounted instrumentation (BMI) nozzles welded into reactor vessel bottom using laser peening (LP) to prevent occurrence and development of stress corrosion cracking (SCC)

レーザーピーニング (LP) は、材料表面に圧縮残留応力を付与することで、引っ張り残留応力が要因の一つとなる応力腐食割れ (SCC) の発生と進展を防止する保全技術であり、ほかのピーニング技術に比べ、狭隘 (きょうあい) 部への施工性に優れるなどの特長がある。当社は、国内の加圧水型軽水炉 (PWR) 及び沸騰水型軽水炉 (BWR) に対し、LPの豊富な施工実績がある。

今回、米国ウェスチングハウス社を元請けとして、原子炉容器炉内計装管台の溶接部に SCC の懸念がある米国エンタジー社のアーカンソー ニュークリアワン原子力発電所1号機に対し、溶接部へのLP施工工事を実施し、2019年10月に完遂した。海外での初施工にあたっては、空輸可能な新しいポータブルLPシステムを開発した。また、開発した装置により、LP装置の複数台運用による同時施工を実現した。その結果、最終的な客先要求工期より前倒しで施工を完了できた。

東芝エネルギーシステムズ (株)

■ 原子力発電所に対する安全性向上技術



水素処理システムの反応器の概要
Outline of hydrogen treatment system

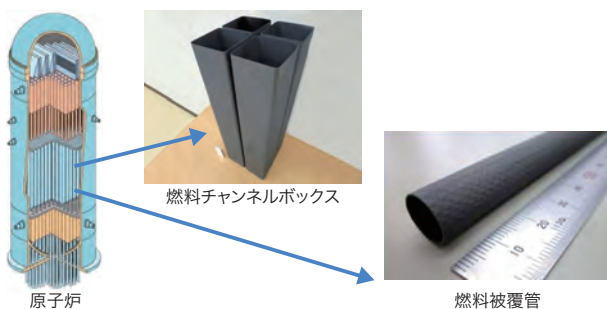
当社は、原子力発電所の更なる安全性向上に寄与する様々な技術を開発している。

水素処理システムは、シビアアクシデント (SA) 時に発生する水素を処理し、ほかの安全システムと併用することで格納容器バント操作を回避できる。従来の水素処理では酸素が必要であったが、開発したシステムでは、水素処理材を使うことで酸素なしで水素を処理する。今回、この水素処理材の強度や水素処理後の粉末化率の確認試験を実施し、水素処理材として適用可能との見込みを得た。今後は、反応評価解析モデルの高度化に取り組み、早期実用化を目指す。

また、炭化ケイ素 (SiC) は、耐酸化・耐熱・中性子吸収特性に優れているため、炉心材料に適用することで、SA時の水素発生抑制に加え、耐震性や経済性の向上が期待できる。2019年度は、燃料棒の製造に必要な基礎技術開発を完了した。今後は、放射線環境下における材料特性データの取得や、実機適用に向けた量産化技術の開発を進めていく。

今後も、安全性向上など社会的要請に応えるための研究開発に取り組んでいく。

東芝エネルギーシステムズ (株)



SiC製炉心材料の試作品
Prototype fuel components fabricated with silicon carbide (SiC) composite ceramics