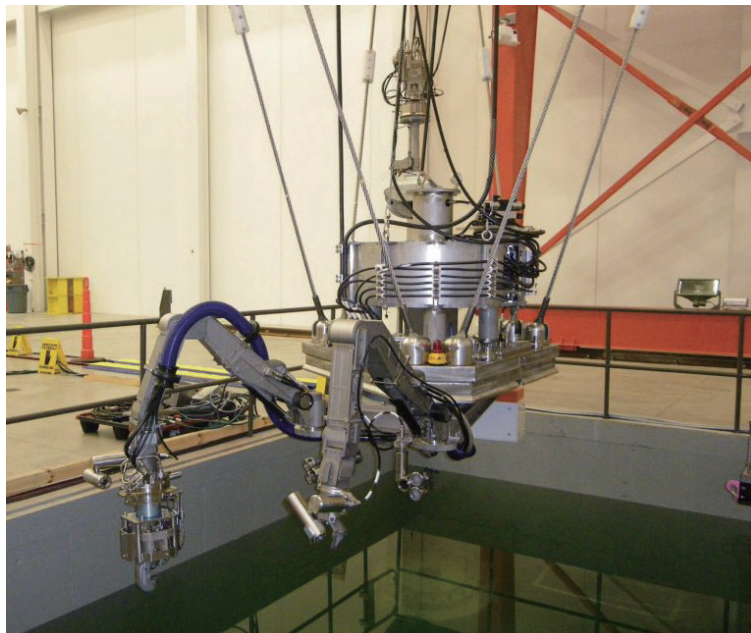


福島第一原子力発電所3号機の原子炉建屋内使用済み燃料プールからの燃料取り出しを完遂



燃料取扱機のテンシルトラスとマニピュレーター
Tensile truss and manipulators of fuel handling machine installed at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3



ハンドルが変形した燃料の取り出しの様子
Scene of removal of fuel with deformed handle

福島第一原子力発電所3号機では、東日本大震災に伴う水素爆発の発生により、原子炉建屋の天井や燃料交換機などが使用済み燃料プール内に落下した。震災当時の使用済み燃料プール内には、566本の燃料が貯蔵されており、より安全な建屋へ早急に輸送することが求められていた。

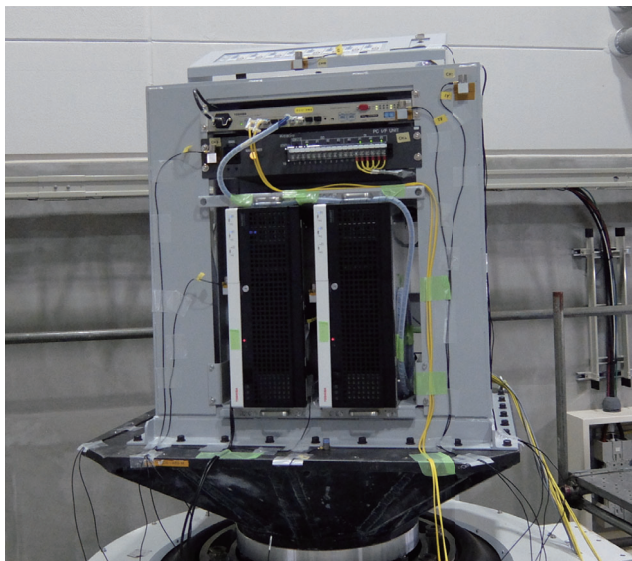
このため当社は、使用済み燃料プール内の瓦礫（がれき）を撤去し、燃料を取り出すためのシステムの設計を、2011年に開始した。3号機の使用済み燃料プールからの燃料取り出しは、作業者の被ばく線量を低減するために、燃料取扱機と取り出した燃料の輸送容器を移送するクレーンなどを遠隔で操作できるようにした。また、瓦礫を撤去するために水平方向の荷重に強いテンシルトラスとマニピュレーターを燃料取扱機に備え付けた。これらの設備を組み合わせ、2019年に燃料取り出し移送システムを構築し、プール燃料の取り出しが開始された。

プール燃料の取り出し開始後に、燃料ハンドルが変形した燃料が18体確認された。18体中4体の燃料ハンドルは、変形量が大きいため既存の燃料つかみ具では把持できない状況であった。このため、変形した燃料ハンドルを把持可能なハンドル変形燃料用のつかみ具を、新たに開発した。変形した4体の燃料ハンドルは、それぞれ変形状態が異なっており、フックで把持できる範囲が狭くなっていた。そこで、狭い範囲でもフックで把持できるように、つかみ具を小型化した。また、小型化したフックは高強度の材料を採用し、十分な強度が得られるようにした。

瓦礫が堆積した使用済み燃料プールからの燃料取り出し移送システムは、初めて設計・製作する設備であったが、これまで当社が培ってきた運転プラントでの経験と海外メーカーの新しい技術を取り入れ、2021年2月に566体全てのプール燃料を安全に取り出すことができた。燃料取り出し移送システムには様々な不具合も発生したが、不具合の原因究明や、解決、対策などの経験を、今後計画されている福島第一原子力発電所2号機の使用済み燃料プールからの燃料取り出しなどへ生かしていく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 耐震性を向上させた再処理工場向けデジタル監視制御システム



加振試験中のCIEMAC™-DS/nv
Earthquake-resistant CIEMAC™-DS/nv digital control system undergoing vibration test

日本原燃（株）六ヶ所再処理工場の新規制対策工事において、新基準地震動への耐震性能を有する監視制御システムが必要となった。従来、再処理工場において、耐震性能が要求される安全系の監視制御システムは、基本的にハードワイヤードの計器やリレーなどで構築されている。一方、今回耐震性能が要求される監視制御システムに、多重伝送機能を持ったデジタル監視制御装置を採用できれば、信号ケーブル敷設などに伴う電気工事を大幅に削減できる。

当社は、再処理工場向けにカスタマイズした分散型制御システム（DCS：Distributed Control System）であるCIEMAC™-DS/nvを、常用系（生産系）の制御システムとして納入した実績はあるが、一般産業品を超える耐震性能は有していない。そこで、強度不足が懸念される部分を特定し、従来のCIEMAC™-DS/nvに改良を施した。改良した耐震型CIEMAC™-DS/nvに対して加振試験を行った結果、水平方向5 G、垂直方向3 Gの加速度に耐え得ることを確認した。これにより、耐震型デジタル監視制御システムを提供できるめどが得られた。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 大容量STG設備を備えたバラカ原子力発電所1号機が営業運転を開始



バラカ原子力発電所
Barakah Nuclear Energy Plant, UAE

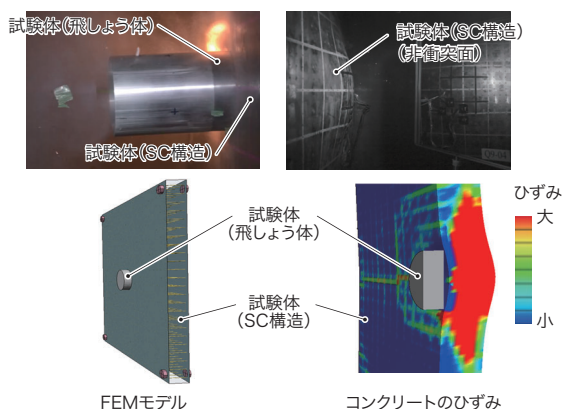
当社は、韓国電力公社が手掛けているアラブ首長国連邦（UAE）で初の原子力発電所となるバラカ原子力発電所（1,400 MW級の韓国製 加圧水型原子炉APR1400を4基）において、蒸気タービン・発電機（STG）設備を韓国の斗山重工業社経由で納入した。この発電所の1号機は、出力試験を終え、2021年4月に営業運転を開始した。

担当したSTG設備は、原子炉システムで発生する蒸気を変換する重要機器で、当社のこれまでの豊富な知見・実績に基づいて設計・製造を行った。蒸気タービンには、低圧タービン最終段翼に52インチ（131 cm）翼を採用するなど優れた性能向上策を適用しており、現地試験で仕様を達成していることを確認した。

また2号機は、現在試験運転を実施中であり、数か月以内に営業運転を開始する予定である。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 大型航空機の衝突に対する原子炉建屋の頑健化技術



SC構造の高速衝突試験及び解析評価

Examples of high-speed impact tests and impact resistance analyses of steel-plate reinforced concrete (SC) structures



大型航空機の衝突に対する原子炉建屋構造の解析評価

Example of impact resistance analyses of reactor building structures in case of large-aircraft impact

国内の原子力発電所は、原子炉建屋への悪意を持った大型航空機の衝突やそのほかテロによる重大事故などへの対処に必要な機能が損なわれないことが要求される。

当社は、より安全な原子力プラントを提供するため、大型航空機の衝突に対して原子炉建屋そのものの頑健性を向上させる技術を開発した。原子炉建屋は、その外殻を構成する鉄筋コンクリート構造 (RC 構造) の厚さを増すことで頑健性は向上するが、全体の重量や壁の厚さのバランスが崩れると耐震性は悪化する。そこで、耐衝撃性に優れる鋼板コンクリート構造 (SC 構造) の基本仕様を実験及び解析により求め、原子炉建屋の一部にその SC 構造を適用した 3 次元 FEM (Finite Element Method : 有限要素法) モデルに基づいて、高速で変形する建屋構造のひずみ状態を評価した。ひずみ状態に応じた最適な建屋構造とすることで、RC 構造で必要となる厚さに対して 50 % 以下の厚さでも、原子炉建屋を頑健化できる見通しが得られた。

今後も原子力プラントの安全性や信頼性の向上を通じ、エネルギーソリューションの価値向上に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ (株)

■ 原子力発電所の運営支援に貢献するワイヤレス伝送技術



無線端末を使ったデータ伝送のフィールド試験

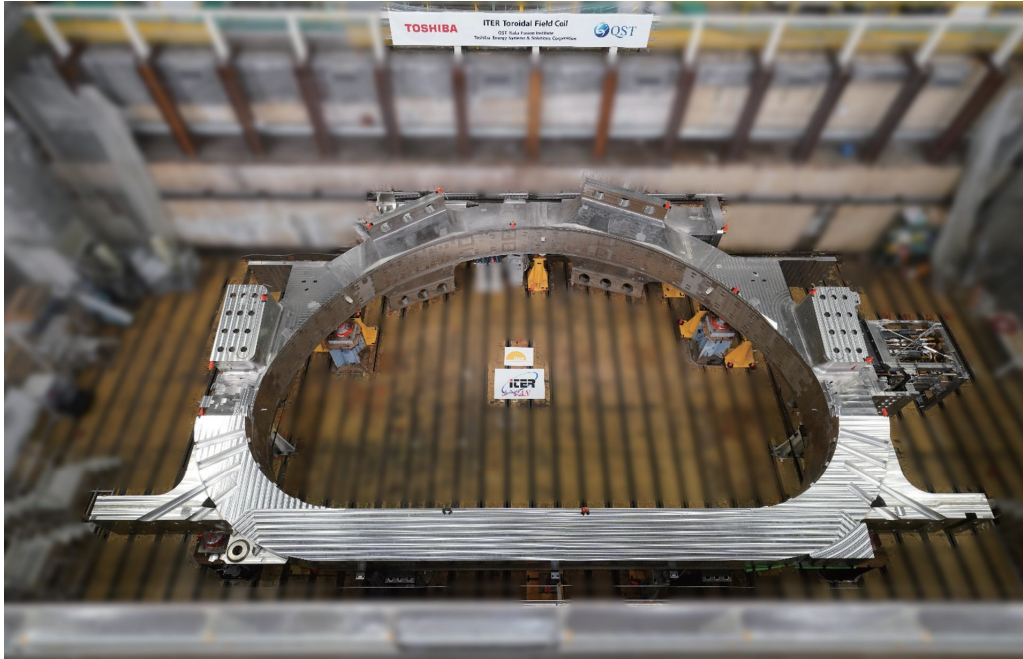
Scene of data transmission field tests using tablet

原子力プラントに無線通信技術を導入することで、無線端末による現場作業の効率向上、ワイヤレス IoT (Internet of Things) センサーの追加による診断の高精度化、及び新規設備のケーブルレス化によるコスト削減・工期短縮が期待できる。しかし、発電設備への電磁ノイズ干渉対策と無線通信における情報漏洩 (ろうえい) 対策が、課題になる。

そこで当社は、無線の到達範囲から通信領域をあらかじめ設定し、高セキュリティ通信を行う技術を開発した。無線には特定機器へ電波を到達させないようにして電磁ノイズ干渉を防止し、通信には暗号化・改ざん検知・機器認証技術を採用した。運転中のバイオマス発電所でフィールド実証試験を行い、電磁ノイズ干渉のしきい値以下の電波強度で定期検査時の点検シート (容量 10 M バイト) を約 20 秒で伝送できること、及び計器模擬データ (容量 1 k バイト) を 1 秒周期で送信し機器保守データが伝送できることを確認した。伝送データは、保守管理システムなどで一元管理され、プラントライフの設備管理に活用できる。今後、通信速度の高速化を図り、適用範囲の拡大を進める。

東芝エネルギーシステムズ (株)

ITER TFコイルの完成



完成したTFコイル
Completed toroidal field (TF) coil for ITER thermonuclear experimental reactor

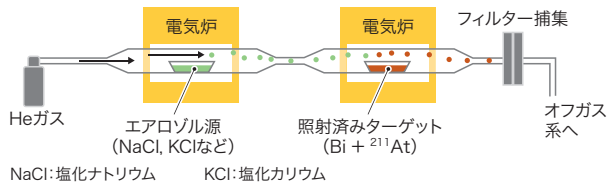
核融合は、地球温暖化の原因となる二酸化炭素（CO₂）濃度の上昇を抑制するカーボンニュートラルへの貢献が期待される発電の一つである。現在、日本や欧州連合など世界7極が連携した国際プロジェクトITER（核融合実験炉）の建設が、フランスで進められている。

当社は、核融合反応を起こす高温・高密度のプラズマを閉じ込めるための強磁場を発生させる重要機器であるトロイダル磁場（TF）コイルを、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構から2013年に受注し、製造を進めてきた。そして当社で製造する4機のTFコイルのうちの初号機が完成し、2021年7月に出荷した。TFコイルは縦17m、横9m、質量320tの世界最大級の超伝導コイルで、超伝導導体を巻き線化して絶縁を施した巻線部（WP）と、WPを格納するコイル容器で構成される。それらを組み立てる一体化作業では、WP断面の電流中心線に要求される位置精度を確保するために、1mm未満の誤差でWPをコイル容器内に設置するWP挿入作業、コイル容器を封止する封止溶接作業、WPとコイル容器の隙間を埋める含浸作業、及び形状成形のための機械加工作業を行う。一体化作業の各工程での組立誤差と溶接入熱や自重による変形量を、3次元計測器を駆使した高精度測定により経過を把握するとともに、含浸作業前にWP自重変形の矯正を行うことで、WP電流中心線の位置を修正する寸法管理手法を確立して製造を進めた。このような大型超伝導コイルで、かつ高精度の組立精度が求められるTFコイル製造は、これまでに経験したことのない作業の連続であったが、製造要領の徹底をはじめとした厳密な品質管理の下で作業を着実に進め、TFコイルを完成させることができた。

今回の成果によって、超伝導コイル製造における当社の技術力を示すことができ、脱炭素化のエネルギー技術によりカーボンニュートラル実現に向けた第一歩に貢献できた。2025年のITER初プラズマ（模擬燃料による運転開始）に向け、初号機の経験を生かして残り3機のTFコイルの製造を着実に進めていく。

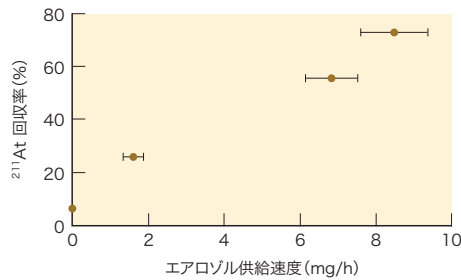
東芝エネルギーシステムズ（株）

■ がん治療に有効な α 線核種の分離回収技術



エアロゾル法による分離回収システムの概要

Outline of aerosol-based astatine-211 (^{211}At) recovery system



エアロゾル供給速度と ^{211}At 回収率の関係

Relationship between aerosol supply rate and ^{211}At recovery rate

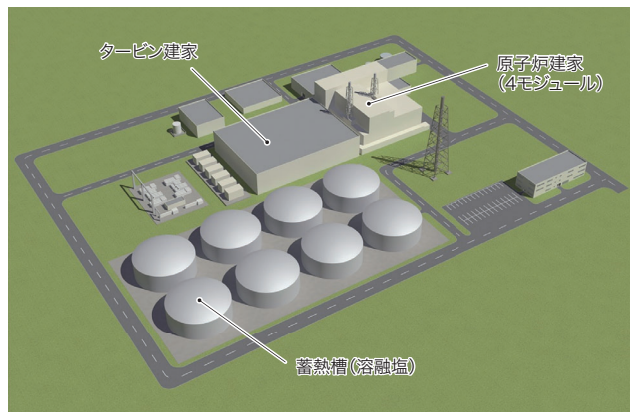
現在、種々の放射性核種によるがん治療薬の開発が進められており、 α 線核種であるアスタチン211 (^{211}At) は有力な候補核種である。 ^{211}At は自然界に存在せず、加速器により高エネルギー化したヘリウム (He) 原子をビスマス (Bi) に照射し、Biを核変換することで得られる。その ^{211}At を薬剤として利用するためには、Bi中に生成された ^{211}At を分離・回収する必要がある。

当社は、 ^{211}At を含むBiターゲットを加熱し、2物質の沸点差を用いて ^{211}At だけを気化させた状態でエアロゾルを導入し、 ^{211}At をエアロゾル粒子に付着させてフィルターで捕集する“エアロゾル法”による ^{211}At 分離回収システムの開発を行っている。2021年は、開発したシステムの原理検証のため、実際に ^{211}At を生成して分離回収の試験を行い、システムの有効性を確認することができた。

今後、 ^{211}At とエアロゾルの相互作用モデルを確立し、治験に対応できる ^{211}At 分離回収装置の設計を行っていく。

東芝エネルギーシステムズ (株)

■ 固有安全性を持った小型モジュール高温ガス炉



小型モジュール高温ガス炉のプラント鳥かん図

Bird's-eye view of small modular high-temperature gas-cooled reactor power plant

高温ガス炉は、固有安全性 (放射性物質の閉じ込め性能、事故時の自然冷却、受動的な原子炉停止) を持ち、高い社会的受容性を備えた原子炉である。

当社が富士電機 (株) と共同開発中の小型モジュール高温ガス炉は、固有安全性を活用して原子炉格納設備を簡素化するとともに、1モジュール当たりの熱出力600 MWの原子炉を4モジュール設置することで、大型軽水炉並みの電気出力を得るとともに経済性の向上を図った。また、早期実用化に向けて、成熟技術である蒸気タービンを採用した。更に、700℃を超える熱供給が可能なることから、オプションとして蓄熱設備との接続により、再生可能エネルギー由来の電力の変動吸収も検討している。固体酸化物型水電解による水を原料とする水素製造や化学プラントなどへの高温蒸気供給が可能であり、多様な熱利用でゼロエミッションに貢献できる。

この成果の一部は、経済産業省の「社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」に係る補助事業で得られたものである。

東芝エネルギーシステムズ (株)