

2011年3月11日の東日本大震災から1年が経過しました。大震災により抱えることになった様々な課題の解決は緊急を要し、わが国の総力を挙げた活動が進められています。電力システム社は発電分野を中心に、政府や電力会社と歩調を合せて復興に最大限の努力で取り組んでいます。世界に目を向けると、新興国の電力需要の伸びは衰えず、化石燃料を使用する火力発電所、水力や、地熱、太陽光・熱、風力といった再生可能エネルギー発電所などの建設が積極的に進められています。当社はグローバルトップへの躍進を目指して広範囲の研究・開発に取り組んでいます。

2011年の主な成果として、国内では、東京電力福島第一原子力発電所の早期安定化^(注)、過酷な環境で活動する高機動性作業ロボットの開発、火力発電所での大震災への対応として緊急復旧と新規発電設備の建設^(注)、火力・水力発電所の性能向上や機器更新、家庭用燃料電池の新モデル開発などがあります。海外では、高度な耐震性を持つ加圧水型原子炉 (PWR) AP1000TMの開発、高効率石炭火力発電所や高性能大型水力発電所の運転開始^(注)、地熱発電設備の受注などがあります。また、新技術分野では、重粒子線がん治療装置に関連する超電導製品の小型・高性能化に寄与する高温超電導線材の3次元形状コイル開発や、多種粒子測定用超電導電磁石の開発などが挙げられます。更に、インドに大容量蒸気タービン・発電機 (STG) の一貫製造工場を竣工しました。当社の技術でわが国そして世界の未来の創出に貢献していきます。

(注) ハイライト編のp.16-19に関連記事掲載。

統括技師長 前川 治

1 原子力発電

● AP1000TM 米国で大きな許認可進展、中国で着実な建設推進

ウェスチングハウス社が実用化した革新的なPWR “AP1000TM” は現在、中国で先行して建設中である。2011年3月に発生した福島第一原子力発電所事故後も、4基とも全て着実に工事が進んでいる。

米国では原子力規制委員会 (NRC) によるAP1000TM の設計認証を2011年12月に再取得し、更に米国電力会社がAP1000TM 建設のため、NRCに申請した建設運転一括許可 (COL) が2012年2月に認可された。これはスリーマイル島事故以後初の新規プラントの建設許可に当たり、建設現場では本格的な工事が開始されている。AP1000TM のタービン・発電機類を供給するなかで、米国初号機用の復水器を2011年12月出荷した。

関係論文：東芝レビュー、65、12、2010、p.20-23.



(a) 中国 三門発電所 1号機の建設現場



(b) ボーグル3、4号機の建設準備工事

写真提供：サザン電力



(c) NRCによるAP1000TM設計認証

中国及び米国の建設現場とNRCによるAP1000TM設計認証

Construction of AP1000TM pressurized water reactor (PWR) plants in China and U.S., and design certification approved by Nuclear Regulatory Commission (NRC)

● AP1000_{TM}の耐震性向上



高耐震型 AP1000_{TM} プラントの鳥観図

Bird's-eye view of enhanced seismic-design AP1000_{TM} PWR plant

AP1000_{TM}は、重力や圧縮ガスの圧力、水の蒸発や蒸気の凝縮、水や空気の密度差に伴う自然循環力などを利用した静的安全概念を特徴とした最新鋭のPWRである。非常時に冷却用海水ポンプやディーゼル発電機などの動的機器がなくても原子炉は安全な停止状態へと収束できる。

中国では既に4基が建設中で、米国でも4基が建設準備の工事中である。

このAP1000_{TM}を高地震国・地域へ展開するために、静的安全概念の特徴を踏襲しつつ、わが国での経験に基づき、原子炉建屋の基礎拡張及び壁厚増加、機器の制振システムの開発などにより、大幅に耐震性を向上させたAP1000_{TM}を開発している。

● 高機動性作業ロボット



高機動性作業ロボット

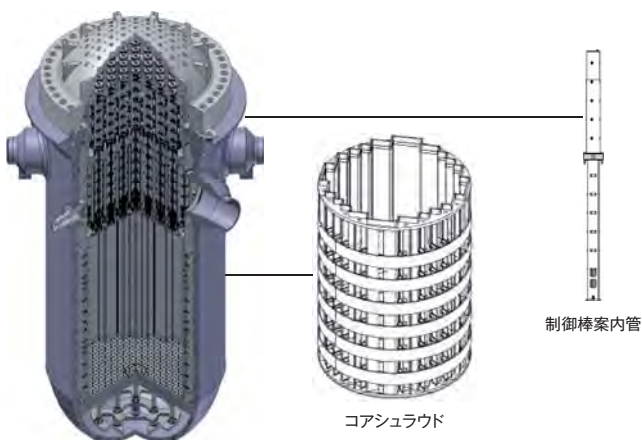
Super-mobility robot for application to nuclear power plants

人が接近困難な環境での作業を想定して、人に代わって障害物空間を移動し、作業を行う高機動性作業ロボットを開発した。

このロボットは歩行機構とマニピュレータを備え、幅500 mm程度の空間の通行や、高さ500 mm程度の段差乗越え、はしごの昇降、配管またぎといった障害物空間を移動して目視観察や放射線計測などの各種モニタリング及び、弁操作や配管穴あけなどの各種作業を行うことができる。

2012年度から福島第一原子力発電所内での作業に適用を計画している。今後、プラント設備保守や、防災、施設警備など幅広い市場への適用が期待できる。

● AP1000_{TM} 炉内機器の製造技術確立



AP1000_{TM} 炉内機器の断面

Cross-sectional structure of AP1000_{TM} reactor vessel internals

AP1000_{TM}の炉内機器を新たに供給するにあたり、実寸大試作体を製作して、製造技術を検証し確立した。

炉内機器製造の経験から検証が必要な機器として、製造性難易度を評価し複雑な溶接構造をとるコアシュラウド及び制御棒案内管を抽出して、試作体を製造した。各製造工程での寸法測定結果を分析し、溶接方法や、組立手順、拘束ジグを改良し、寸法及び機能仕様を満足する製造技術を確立した。また製造工程を分析し、その改善を図ることで更なる工期短縮の見通しを得た。

中国と米国で建設が進むAP1000_{TM}の炉内機器製造を足がかりに、今後更なる適用拡大を目指す。

2 火力発電

● ブルガリア マリツァイーストⅡ発電所8号機の営業運転開始

ブルガリア マリツァイーストⅡ発電所 総合リハビリテーション契約の最終号機である8号機が営業運転を開始した。

今回8号機に対し、225 MWへの出力向上 (10 MWの増加) と約2%の熱消費率改善を目的として、6号機と同様に、他社製蒸気タービンの内部構造物を当社設計品に更新した。このリハビリテーションは当初5号機で実施予定であったが、発電所の要請により8号機で実施した。

良好な性能を試運転時に確認するとともに、計画より約1か月短縮して工事を完了したことから、顧客から高い評価を受けている。

関係論文：東芝レビュー. 65, 8, 2010, p.24-26.



マリツァイーストⅡ発電所6, 8号機向け 低圧タービンロータ

Low-pressure turbine rotor for Maritza East II Thermal Power Plant Units No. 6 and 8, Bulgaria

● インド STG 製造工場 (東芝ジェイエスダブリュータービン・発電機社) の稼働開始

経済成長の著しいインドでは電力不足が深刻で、膨大な発電所建設の需要が潜在するなか、当社は、ジンダルサウス ウェスト社とともに、インドのチェンナイに蒸気タービン・発電機 (STG) の製造、販売、サービスを行う会社を設立した。

年間300万kW相当の発電設備を供給でき、超臨界圧技術を導入した高効率火力発電向けの最新鋭機器をインド市場に供給していく。また、インド国内で材料調達から加工、組立、出荷までをインド人が一貫して行い、インドの発展に貢献していく。2011年1月から部分的に工場の稼働を始め、7月に米国向けのタービン機器の出荷式典を行った。12月には大型工作機械を含め本格的に稼働した。



工場と本社ビル (東芝ジェイエスダブリュータービン・発電機社)

Manufacturing plant and headquarters building of Toshiba JSW Turbine & Generator Pvt. Ltd., India

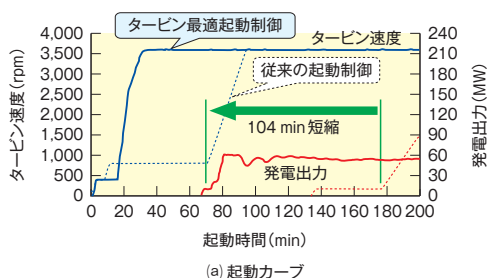
● 米国火力発電所でタービン最適起動により起動時間を大幅に短縮

米国の複合火力発電所において、新たに開発したタービン最適起動制御を蒸気タービン制御装置に導入したユニットの実運用が開始された。

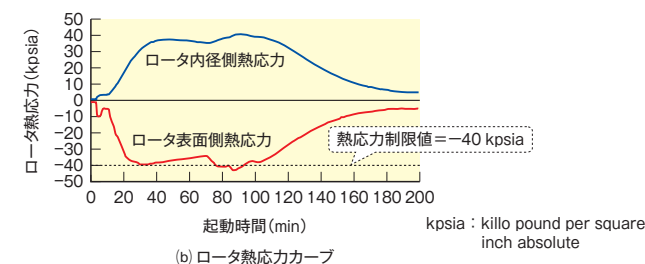
この技術を火力発電タービンの起動制御に適用することで、タービンの寿命消費率を従来相当に維持しながら、従来173 minであった起動時間が同等の起動条件で69 minになり、104 minの大幅な短縮を実現し、顧客から高い評価を受けている。

タービン起動時間の短縮により起動時の二酸化炭素 (CO₂) 排出量及び燃料消費量の削減や電力需要変動への即応性の向上など火力発電プラントとして様々なメリットが得られることが評価され、2011年11月に (財) 電気科学技術奨励会から「文部科学大臣奨励賞」及び「電気科学技術奨励賞」を受賞した。

関係論文：東芝レビュー. 65, 4, 2010, p.64-67.



(a) 起動カーブ



(b) ロータ熱応力カーブ

米国複合火力発電プラントでのタービン最適起動による実機起動実績
Actual data of steam turbine optimal startup control of combined-cycle power plant in U.S.

● 中国 沙角B石炭火力発電所 監視制御システムの総合運転開始



中央監視制御室のDCSオペレーターステーション

Distributed control system (DCS) operator stations in central control room of Shajiao B Power Plant, China

1987年に運転開始した350 MW×2ユニットと共通設備から成る中国 沙角B石炭火力発電所の監視制御システムのDCS (分散監視制御システム) 化更新を2011年3月に完了した。

このDCS化更新プロジェクトは、中国東芝興儀控制系统 (西安) 有限公司と当社とが協調して取り組んだ。1号機と共通設備の更新に続き、2号機の当社製の計算機、D-EHC (タービン制御装置)、TSI (タービン監視装置)、及びAVR (発電機励磁制御装置) に加えて、他社製のボイラ制御を含む全制御装置をTOSMAP-DSTMを適用して更新した。

海外では例の少ないプラント起動・停止運転操作の自動化機能も実現しており、顧客から好評を得ている。

● ベトナム向け 大容量タービン・発電機設備の出荷



1号機発電機のスータオンベース

Installation of generator stator on base at Vung Ang Thermal Power Plant Unit No. 1, Vietnam

ベトナム プンアン1 石炭火力発電所の1号機STG設備を2011年6月に、2号機STG設備を2011年12月にそれぞれ契約納期どおり出荷した。

このプロジェクトは、国営石油ガスグループ ペトロベトナムが投資主体となってベトナム中北部ハティン省で進めている総出力1,200 MWの石炭火力発電所であり、EPC (設計、調達、建設) 業者であるLilama Corporationから、当社で初めてのベトナム向け火力案件として2基のSTG設備を2009年7月に受注したものである。

蒸気タービンの定格出力は600 MW、発電機の容量は740 MVAである。

● 北陸電力(株) 富山火力発電所4号機蒸気タービンの効率向上工事完了



効率向上技術を用いた高中圧タービンロータ

Steam turbine high- and intermediate-pressure (HIP) rotor applying efficiency improvement technology

北陸電力(株) 富山火力発電所4号機 250 MW 蒸気タービン高中圧部のロータ及び内部車室の経年劣化更新に合わせて効率向上工事を実施した。

その施策として、動翼及びノズルに高性能3次元翼列を採用するとともに、外周部カバーと羽根を一体削出した構造のスナッパ翼、フィン枚数増加により蒸気漏えい量を低減するマルチチップフィン、及びパッキンセグメント間にコイルバネを設置する構造のセンシタイズトパッキンを採用した。更に、高圧部と中圧部の段落数を増加して高性能化を図った結果、保証値を十分満足する効率を達成した。

● 中部電力(株)川越火力発電所2号機の計算機及び制御装置の更新完了

中部電力(株)川越火力発電所2号機(出力:700 MW)は、1990年に運用開始して20年が経過し計算機及び制御装置の経年劣化が進んでいることから、信頼性と保守性の維持、向上を目的に監視制御システム更新工事を行い、2011年7月に完了した。

このシステムは、2010年7月に更新を完了している1号機の実績を有効活用した。1、2号機の既設仕様の差とパラメータの変更点を明確にしてその反映を確実に行う手法をエンジニアリングや設計、工場試験に取り入れることで品質を確保した。また1号機からの改善要望を反映することで顧客満足を向上させた。



川越火力発電所向け オペレーターステーション

Operator stations for Kawagoe Thermal Power Station of Chubu Electric Power Co., Inc.

● ケニア オルカリア地熱プラント受注

2011年11月、ケニア共和国ケニア電力公社オルカリア第1発電所の増設4、5号機及び新設第4発電所1、2号機の地熱タービン・発電機合計4ユニットを受注した。これらは韓国大手エンジニアリング会社と国内大手商社との協力体制下で獲得したもので、当社としてはアフリカで初の地熱プラントとなる。

この発電所は首都ナイロビから北西約100 kmに位置し、150℃の地熱蒸気を利用した復水タービン・発電機で計画しており、完成後は合計28万kWの電力を供給する。これはケニアの現総発電設備容量の約25%に相当する。



オルカリア第1発電所の増設予定地

Planned site of additional Olkaria Geothermal Power Plant, Kenya

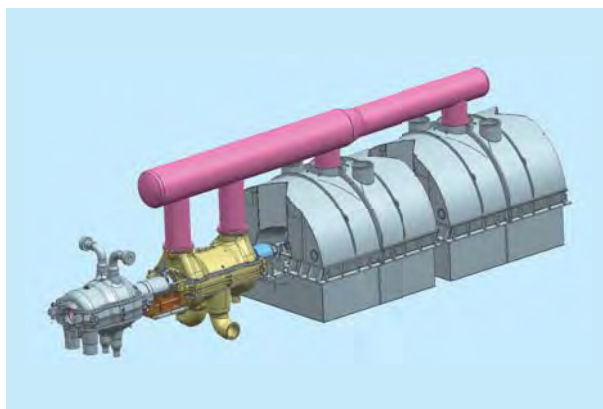
● 韓国 三陟石炭火力発電所 1,000 MW STGを受注

2011年6月、韓国南部電力向け 三陟グリーンパワープラント1、2号機の石炭焚(だ)き超々臨界方式のSTG設備を受注した。

蒸気タービンは、出力1,000 MW、主蒸気及び再熱蒸気温度はともに600℃で、60 Hz機のタンデムコンパウンド型である。最終段に高性能チタン製48インチ翼が採用されており、また、最新の性能向上技術が盛り込まれている。発電機は、固定子コイル水冷却方式で、容量は1,230 MVAであり、60 Hz機では当社最大容量である。

営業運転の開始は2015年6月に予定されており、韓国初の1,000 MW機となる見込み^(注)である。

(注) 2011年12月現在、当社調べ。



三陟グリーンパワープラント1、2号機用 蒸気タービン

Steam turbine for Samcheok Green Power Plant Units No. 1 and 2, Korea

3 水力発電

● コロンビア ポルセⅢ水力発電所の営業運転開始



発電機全景 (左)とスラスト軸受組立 (右)

Generator (left) and thrust bearing assembly (right) for Porce III Hydroelectric Power Plant, Colombia

コロンビア メデジン公益公社のポルセⅢ水力発電所が、発電所総出力720 MWの営業運転を2011年9月2日に開始した。

当社は、高効率でコンパクトに設計した高速大容量機の発電機を納入した。顧客施工の現地工事に対する据付指導員には、当社で技術訓練をしたコロンビア人技術者を起用し、当社のベテラン技術者による遠隔地からの技術支援を通じて現地据付を完了させた。この発電機は、コロンビアで単機容量としては最大容量機^(注)となり、伸張する電力需要への供給力として活躍している。

発電機の定格は、次のとおりである。

- 発電機：218 MVA-13.8 kV-360 min⁻¹-60 Hz, 4台

(注) 2011年9月現在、当社調べ。

● 中国 功果橋発電所及び江辺発電所の営業運転開始



功果橋発電所 現地溶接組立ランナ

On-site-welded turbine runner for Gongguoqiao Hydropower Station, China

当社の海外製造拠点である東芝水電設備(杭州)有限公司 (THPC) が水車及び発電機を納入した、功果橋発電所と江辺発電所が、それぞれ営業運転を開始した。

- (1) 功果橋発電所 輸送上の制約からランナ製造工場を現地に建設してランナを製作し、発電機回転子スプークも現地で溶接組立を行った。
 - 水車：230 MW-66 m-94 min⁻¹, 4台
 - 発電機：250 MVA-15.75 kV-94 min⁻¹-50 Hz, 4台
- (2) 江辺発電所 長翼と短翼を交互に配置したスプリットランナを適用し、部分負荷の性能向上と水圧脈動の低減を実現した。
 - 水車：112.5 MW-272 m-333 min⁻¹, 3台
 - 発電機：122.2 MVA-13.8 kV-333 min⁻¹-50 Hz, 3台

● 北海道電力(株) 京極発電所 ポンプ水車部品の出荷開始



北海道電力(株) 京極発電所 1号機ケーシング

Spiral casing for Kyogoku Hydroelectric Power Station Unit No. 1 of Hokkaido Electric Power Co., Inc.

北海道電力(株) 京極発電所 1号可変速ポンプ水車の吸出管及びケーシングを、THPCで製作し、現地に向けて出荷した。

当社は、ポンプ水車のほか、発電電動機、主要変圧器、サイリスタ始動装置、運転制御装置など主要機器を担当しており、設計と製造を進めている。

この発電所は総落差約400 mを利用した最大出力60万kW (20万kW×3台) の純揚水発電所で、可変速揚水発電システムを適用している。このシステムは、回転数を高速に変化させることで入出力を変えられるため、電力系統の変動抑制への寄与が期待されている。

1号機の運転開始は2014年10月の予定である。

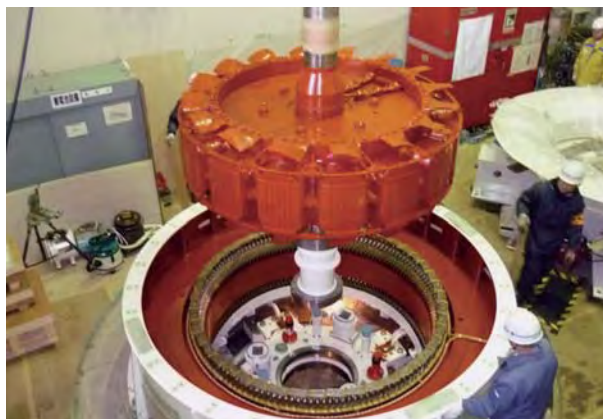
- ポンプ水車：208/230 MW-369/436.5 m-500 min⁻¹±5 %
- 発電電動機：230 MW/230 MVA-16.5 kV-500 min⁻¹±5 %

● 国内 中小容量水力発電所が次々と営業運転開始

再生可能エネルギー特別措置法案を背景に、中小容量水力発電所の更新と新設が活発化してきている。

2011年には、当社が主要機器を納入した東京発電(株)中里発電所(一括更新0.85 MW)と北陸電力(株)尾口発電所(一括更新5.8 MW×2)及び東勝原発電所(一括更新2.8 MW)が3月に、鳥取県企業局 袋川発電所(新設1.1 MW)が6月にいずれも営業運転を開始した。今後も、九州電力(株)川上川第二発電所3号機(一括更新0.6 MW)と、岩手県企業局 胆沢第三発電所(新設1.5 MW)及び胆沢第四発電所(新設0.14 MW)他へ納入予定である。

更に、需要拡大が見込まれる中小容量水力発電市場に対して、発生電力量を最大化する高性能機器や設備簡素化などの最新技術を提供していく。



北陸電力(株) 東勝原発電所 発電機回転子のつり込み風景

Generator rotor assembly for Higashikadohara Hydroelectric Power Plant of Hokuriku Electric Power Co., Inc.

● 電源開発(株) 船明発電所のランナ更新完了

電源開発(株) 船明発電所が2011年4月18日に営業運転を開始した。

当社は、他社製の既設水車ランナ及びガイドベーンの更新を行った。ランナベーン操作機構部やガイドベーン操作機構部などを含め、ランナ及びガイドベーン以外は全て既設機器を流用するといった制約のなか、最新の解析技術を駆使して設計を行い、低落差・低流量領域の運転範囲拡大を実現した。また、既設と比較して低騒音かつ低振動であることを実機で確認した。

水車の定格は、次のとおりである。

- ・カプラン水車：34 MW-14.5 m-90 min⁻¹



電源開発(株) 船明発電所の水車組立風景

Runner for Funagira Power Station of Electric Power Development Co., Ltd.

● 水車水潤滑軸受の実用化

河川への油流出防止といった環境保全の観点から、潤滑油に代えて水を使用した水車軸受のニーズが高まっている。

当社では自蔵式水潤滑軸受の開発と工場検証試験を完了し、このほど立軸4射ペルトン水車に適用した。

立軸4射ペルトン水車は、部分負荷時には1射運転を行うため、特定の軸受片に高荷重が発生する特徴があるが、軸受温度や軸振れなども良好で安定して運転できることを現地試験で確認した。

水車定格及び試験時のデータは、以下のとおりである。

- ・立軸4射ペルトン水車：297 m-8,900 kW-600 min⁻¹
- ・1射運転、出力1,500 kW時：軸受温度12.5℃



水車軸受の現地組立状況

Site assembly of turbine bearing

4 新規事業

● 普及が加速する家庭用燃料電池システム エネファーム



家庭用1 kW級燃料電池システム エネファームの新モデル
New model of ENE-FARM 1 kW-class residential fuel cell system

1 kW級燃料電池コージェネレーションシステム“エネファーム”は、2009年にリリースして以来、都市ガス（13Aガス）、国産天然ガス、及びLP（液化石油）ガスを原燃料とした“家庭のミニ発電所”として導入が進んでいる。特に東日本大震災以降、エネルギー源の多様化と分散化への関心が高まるにつれ、普及が加速している。

今回、商品性を大幅に向上させた新モデルを開発した。新モデルでは、世界最高レベルの総合効率94%を実現することにより省エネ性を高めると同時に、従来品に比べ小型・軽量化して設置性の改善と低コスト化を図った。また、停電時に自立運転に切り替わる当社独自の機能をオプションとして搭載可能にした。

2012年3月から出荷を開始し、今後もラインアップ拡充を進めていく。

● イットリウム系線材を用いた3次元形状コイル



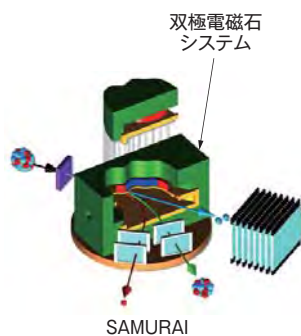
3次元形状のY系超電導コイル
Three-dimensional (3D)-shaped yttrium barium copper oxide (YBCO) coil

重粒子線加速器の主リング電磁石に高温超電導線材を適用して高磁場化することで、装置の小型化が期待できる。

今回、加速器で必要とされる精密な磁場分布を発生させるため、巻線時に局所的に発生するひずみを低減させることができる巻線機を用いて、イットリウム（Y）系線材を複雑な3次元形状に巻いたコイルを試作した。その結果、臨界電流値の計算値に対して98.7%（目標95%以上）に達する高い超電導特性を実現した。今後、この成果を加速器のほか風力発電機やMRI（磁気共鳴イメージング）装置などの機器に広く適用していく。

この研究は、独立行政法人 科学技術振興機構の研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム（S-イノベ）」の一環として実施したものである。

● SAMURAI用 超伝導双極電磁石システム



資料提供：理化学研究所

SAMURAIと超伝導双極電磁石システム
SAMURAI superconducting analyzer for multiparticles from radioisotope beam and superconducting dipole magnet system

独立行政法人 理化学研究所に建設中の“RI（放射性同位元素）ビームファクトリー”で、基幹実験設備の多種粒子測定装置（SAMURAI）用として世界最大級の小型冷凍機搭載型超伝導電磁石を完成させた。

質量600 tの鉄心（青色部）間に上下一対の超伝導磁石、磁石間に設置した真空ダクト、及びこれらを搭載して回転可能な架台から成る多種粒子測定用スペクトロメータである。主な特長は、650 tの電磁力（荷重）を支えつつ熱の侵入を抑える極低温断熱技術、及び伝導冷却技術の適用により、熱侵入を当初計画の1/25に低減した点である。これにより、この規模では例のない小型冷凍機を用いた冷却が可能になった。従来の大規模冷凍設備が不要になったことで、運転や保守を含む装置全般にわたり大幅な簡素化が実現できた。