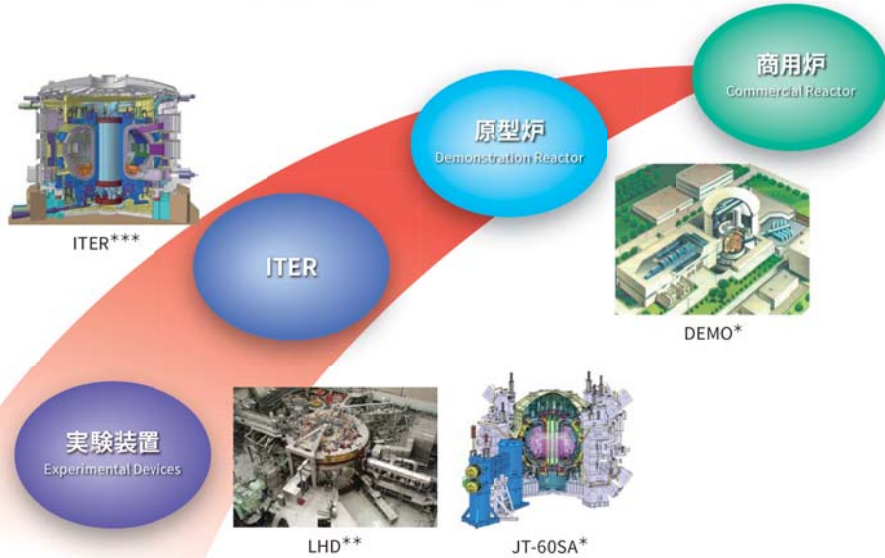


■ 核融合発電への道 Roadmap to Electric Power Generation by Nuclear Fusion



東芝の製品群と保有技術 Toshiba's Products and Technology

● 真空容器	Vacuum Vessel	● 電源	Power Source
● 重力支持脚	Gravity Support	● 発電機	Flywheel Motor Generator
● 超伝導コイル	Superconducting Magnet	● 制御システム	Control System
● プラズマ加熱機器	Plasma Heating Devices	● 冷却システム	Cooling System
● 中性粒子	Neutral Beam	● 中性子計測	Neutron Monitor
● 高周波	Radio Frequency Wave	● 現地組立	Site Assembly
● 遠隔保守	Remote Handling	● 許認可対応	Application for Approval & License
● 増殖ブラケット	Breeding Blanket	● プラント設計・建設	Plant Des. & Const.

写真・資料提供: QST*, NIFS**, ITER Organization***
 Photos and Materials by courtesy of QST*, NIFS**, ©ITER Organization, <http://www.iter.org/>***

TOSHIBA

東芝エネルギーシステムズ株式会社

パワーシステム事業部

〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34

Tel: 044-331-0528

ホームページ <https://www.toshiba-energy.com/nuclearenergy/>

TOSHIBA ENERGY SYSTEM & SOLUTIONS CORPORATION

Power System Division

72-34 Horikawa-cho, Saiwai-ku, Kawasaki 212-8585, Japan

Tel: +81-44-331-0528

Website <https://www.toshiba-energy.com/en/nuclearenergy/>

●資料の内容はお断りなしに変更することがありますのでご了承ください。
 Contents included may be altered without notice.

●本カタログに記載されている製品、数値および表現は2019年11月1日現在のものです。
 Included description and specification is based on the information on Nov. 1, 2019.

2019年11月改訂

2220
 201911ori

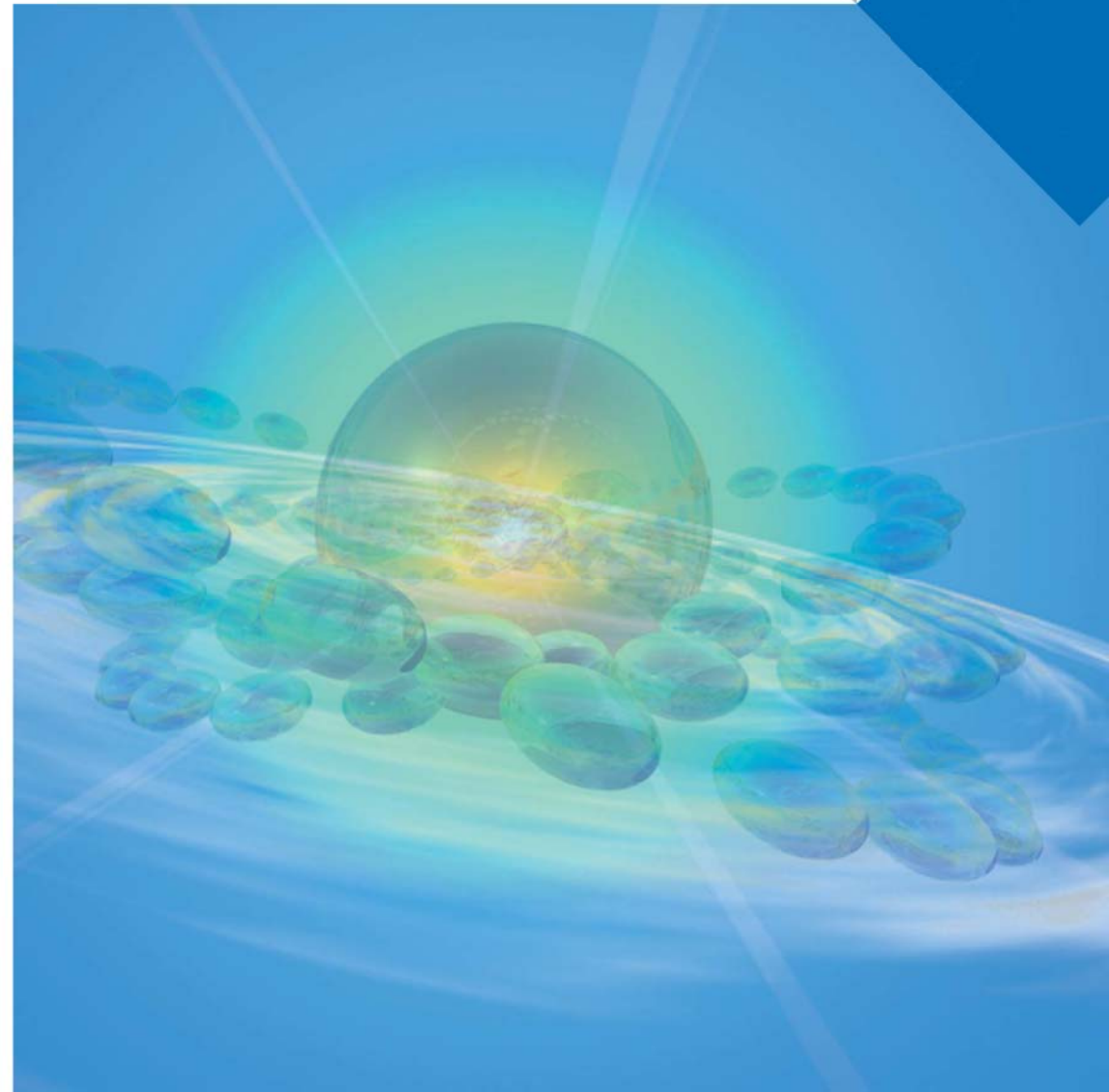
TOSHIBA

技術カタログ

Technology Catalogue

東芝核融合技術

Toshiba Nuclear Fusion Technology



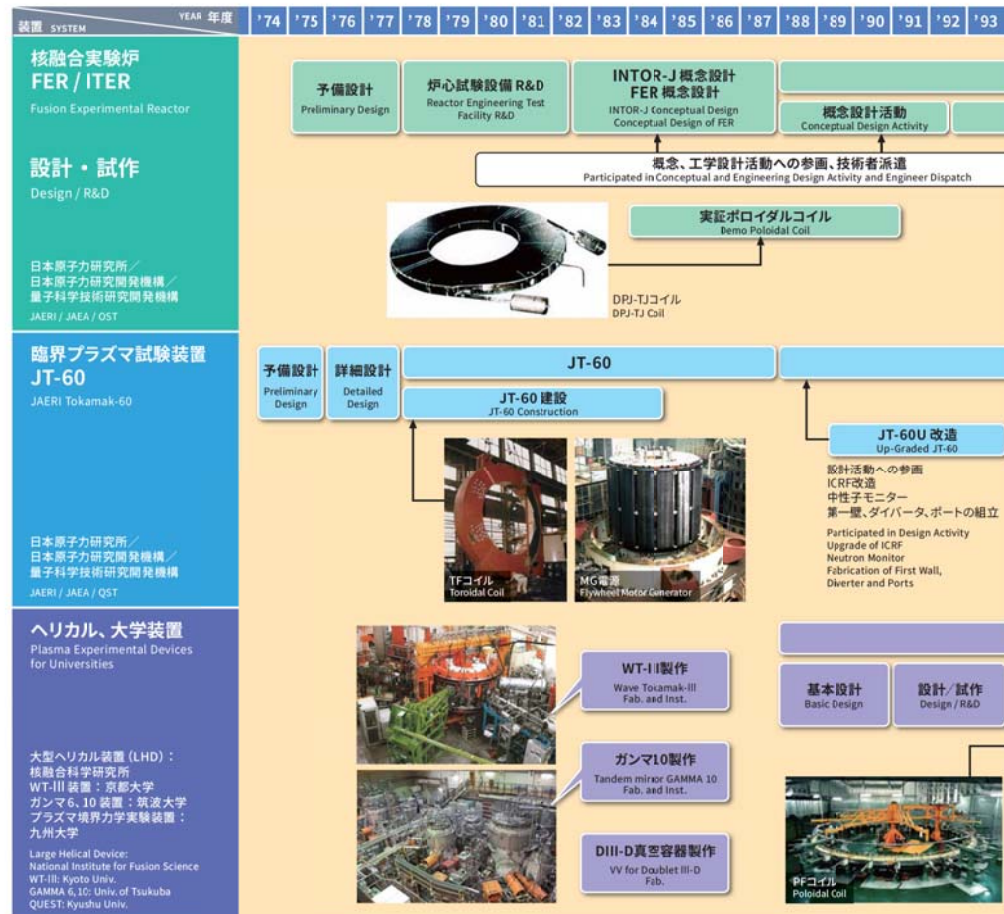
核融合と東芝 Nuclear Fusion and Toshiba's Contribution

核融合では軽い元素の原子核同士を速いスピードで衝突・融合させ、エネルギーを生み出します。核融合の燃料となる重水素や、三重水素の原料となるリチウムは海水中に豊富に存在するため、実用化されれば、半永久的なエネルギー源となる可能性を秘めています。

東芝は核融合研究が開始されて間もない1970年代から関連技術の開発に取り組んできました。原料となる元素を電離した気体(プラズマ)を生成するための真空容器、強力な磁場を作り出す超伝導コイル、プラズマを高温に加熱する高エネルギー粒子や電磁波の発生装置、保守作業ロボットや計測機器など、主要な機器を設計し、製作する技術を有しており、これらを統合して全体システムをつくることができます。日本、EU(ヨーロッパ連合)、米国、ロシア、韓国、中国、イン

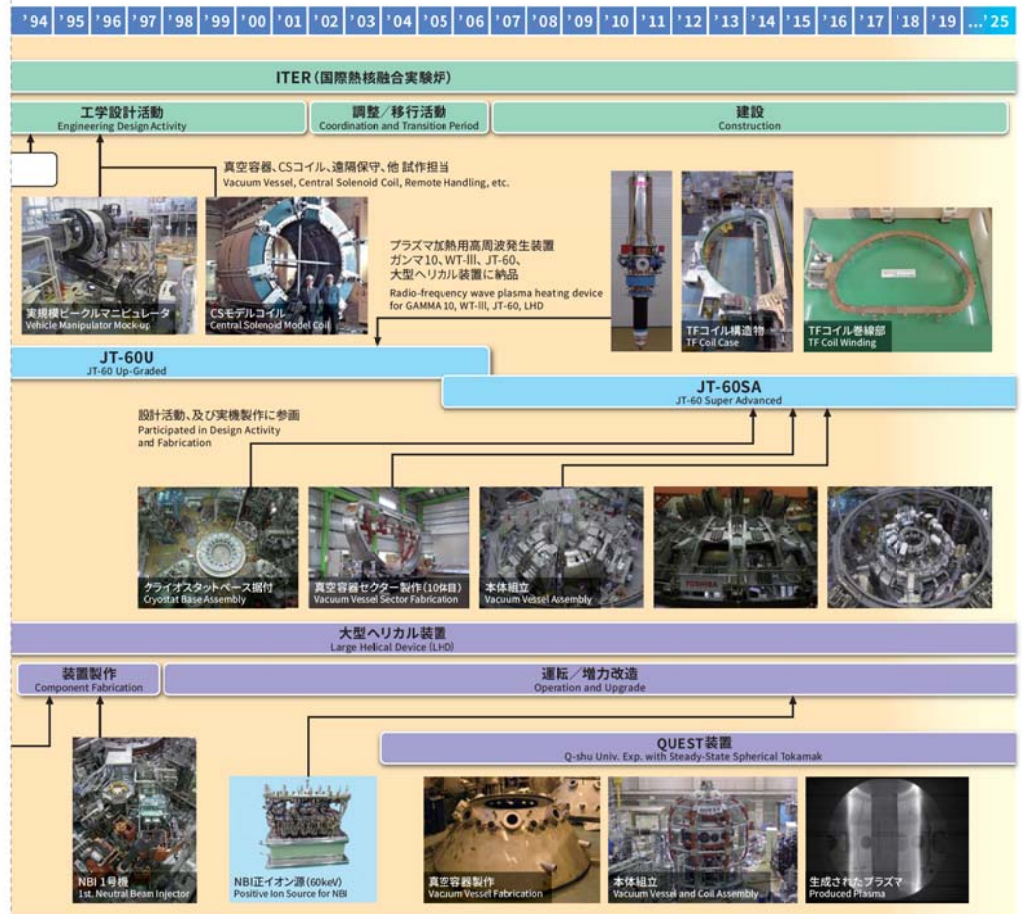
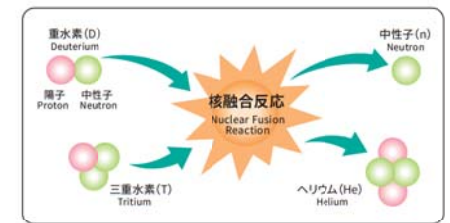
ドの7極の国際協力により進められている国際熱核融合実験炉(ITER)に、東芝は計画段階から積極的に協力してきました。また、国内の三大実験装置であるトカマク装置JT-60、大型ヘリカル装置LHD、ミラー装置GAMMA 10の他、中小のプラズマ実験装置についても、東芝はプロジェクト管理、エンジニアリング、設計・製作、組立、試験・検査、保守・改造を手掛けてきており、豊富な実績を有しています。

核融合の研究開発はITERの建設とその後の運転を経て、いよいよ実際のエネルギー生産を行うプラントの建設計画に進む段階を迎えます。東芝は人類の持続的な繁栄に不可欠なエネルギーの開発に向けて今後も取り組みを続けてゆきます。



In the fusion reaction, light nuclei collides each other in high speed and creates enormous energy. The fuels of the reaction are deuterium and tritium. Tritium is created by lithium through reaction with neutron in the fusion reactor. Since deuterium and lithium are abundant in seawater, nuclear fusion can be the eternal energy source if the reactor is realized. Toshiba has been participating in the fusion development since the 1970's when nuclear fusion research started. Toshiba has the ability not only to provide vacuum vessel, superconducting magnets, plasma heating devices, maintenance robot, plasma diagnostic devices, etc. but also to integrate these components into a harmonized system. Toshiba has been intensively contributing to the ITER project that is the cooperative project carried out by Japan, European Union and other five parties from its early stage. Toshiba also has the experiences such as project management, engineering, design and manufacturing, fabrication, installation, test and inspection, maintenance in the three large devices - JT-60 Tokamak, Large Helical Device, Tandem Mirror GAMMA 10 - and in the middle or small sized plasma experimental devices.

Prior to the ITER construction and its operation, fusion research and development enter the next stage in which the demonstration reactor plant is built and energy is generated by the controlled fusion reaction. Toshiba's intensive contribution continues to sustain the energy source development that is indispensable to the reasonable prosperity of human beings.



ITERではトロイダル磁場コイル(TFコイル)、遠隔保守装置、中性子計測システムの設計と製作を行っています。
Toshiba is in charge of toroidal field coils, blanket remote handling system and neutron measurement system in ITER project.

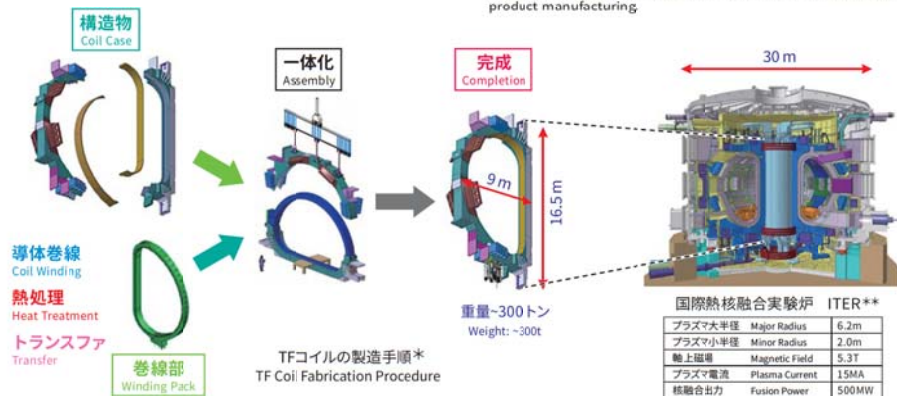
写真・資料提供: QST*, ITER Organization**
Photos and Materials by courtesy of QST*, ©ITER Organization, <http://www.iter.org/>**

TFコイル Toroidal Field Coil

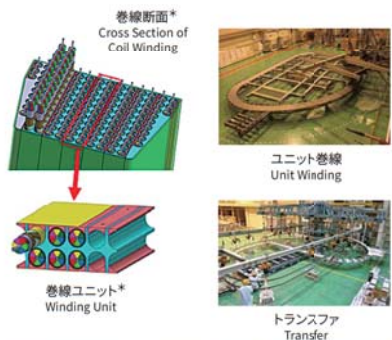
TFコイルはD型に巻線した導体を溝付きの枠にはめ込んで成型したコイルユニットを積層含浸し、補強用の構造物に内蔵した構造をしており、高さ16.5m、幅9m、総重量300トン、最大磁場12Tの世界最大の超伝導コイルです。導体を高精度で巻線して熱処理する技術、レーザー溶接と狭間先TIG溶接を組み合わせた厚板溶接技術、大型構造物の計測技術や機械加工技術などを開発し、製作を進めています。

A toroidal field coil is the largest superconducting magnets in the world so far. Its dimensions are 16.5m in height, 9m in width and about 300 ton in weight. It has the coil windings enclosed in the coil case for reinforcement. The coil windings have the multi-layered structure that consists of coil units in which D-shaped conductor winding is inserted in the grooved plate and cured by resin.

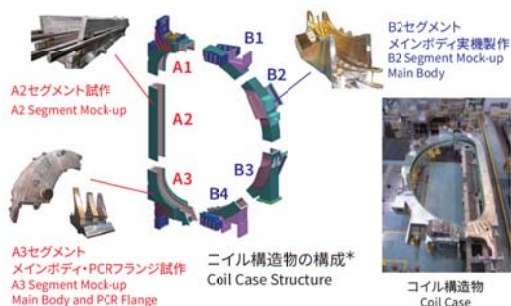
Manufacturing technology such as precise coil winding followed by heat treatment technology, thick plate welding technology in which laser and narrow bevel TIG welding are combined, measuring and machining technology for large-scale object, etc. were developed and applied to product manufacturing.



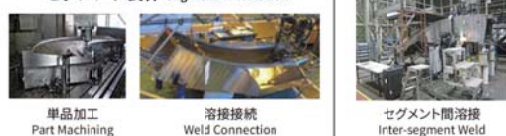
コイル巻線部 Coil Winding



コイル構造物 Coil Case



セグメント製作 Segment Fabrication

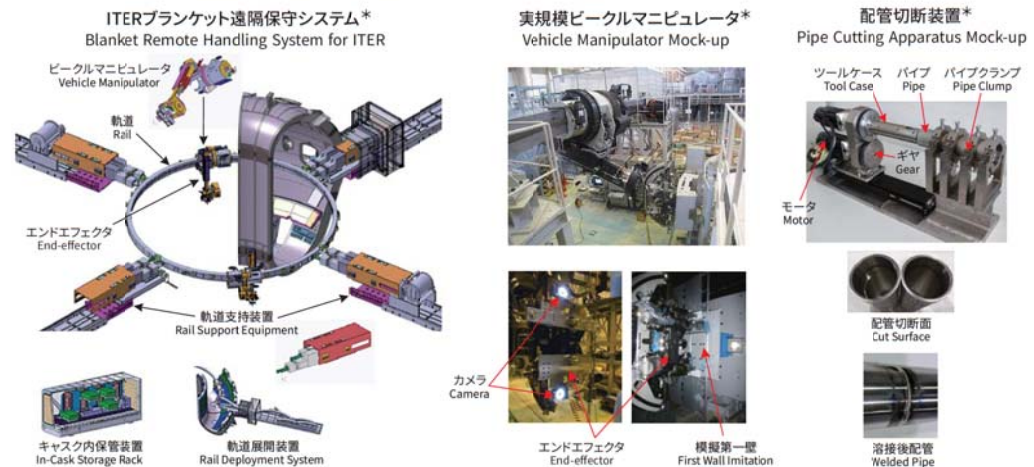


遠隔保守 Remote Handling Maintenance System

遠隔保守装置は放射線環境下でブランケットと呼ばれる真空容器内機器を交換する多軸制御・高精度で動作可能なロボットシステムです。真空容器内に軌道を展開し、台車(ビークル)を走らせてマニピュレータでつかんだブランケットを運搬します。ITERには4.5トンのブランケット交換の一連の作業(配管切断→取り外し→運搬→格納、運搬→取り付け→配管再接)のすべてを遠隔で行う、実用機システムが世界で初めて搭載されます。また、配管切断・再接装置の試作、画像処理による位置決めシステムの開発などにより技術課題の克服に取り組んでいます。

Remote handling maintenance system is the multi spindle controlled and precise robot system in which an in-vessel component called blanket that weighs 4.5 ton in maximum is exchanged by the manipulator. A blanket is carried by a vehicle along the rail that is deployed in the vacuum vessel. In ITER, a remote handling system will be introduced for the first time in the world in which a series of actions included in the blanket exchange are carried out under the radioactive environment.

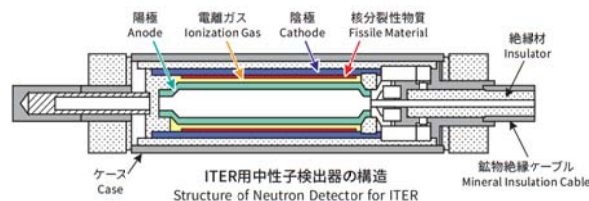
In addition, Toshiba is striving for solving the technical issues through the trial manufacturing of the apparatuses for pipe cutting, re-welding, positioning system by use of image processing and etc.



中性子計測 Fusion Neutron Measurement

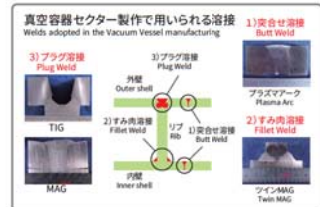
ITER用中性子計測システムの検出器では、核分裂物質と不活性ガスを封入した管内で核分裂片により電離される不活性ガスイオンの個数を測定し、中性子の個数を求めます。この検出器は核融合プラズマの変動により作用する電磁力、高熱負荷・高放射線環境・高真空下において安定して動作する必要があります。また、LHDでは核分裂計数管、¹⁰B検出器、及び³He検出器を用いた中性子計測システムを製作して納入しています。

The number of fusion neutrons is measured by a fission counter in ITER through the inert gas ionization by fission fragments. The counter manufactured by Toshiba operates stably under the circumstances of electromagnetic force produced by fusion plasma fluctuations, high heat flux, radioactivity and low residual gas pressure. As for LHD, neutron measurement system with fission chamber, Boron-10 Helium-3 counters has been developed and installed in the facility.



JT-60SA JT-60 Super Advanced

日欧の協力で進められているJT-60の超伝導化改造(JT-60SA)では真空容器及び重力支持脚の製作を終えて、全体組立を行っています。直径10m、高さ6.6m、総重量150トンのドーナツ状真空容器を、D型断面の二重壁構造を有するセクター単位に10分割して製作しました。溶接変形を抑えられる適切な溶接方法及び施工条件の選定、溶接変形矯正の実施等、製造手順の工夫により要求精度を達成しました。全体組立作業の中では超伝導コイル、熱遮蔽板、炉内機器など全機器の組立手順と組立ツールの設計を行いました。真空容器セクターの現地溶接では、溶接中のセクター変形と変位を3次元レーザ計測システムで監視し、位置を補正しながら接続して精度を確保しました。コイル電源、加熱装置電源の長パルス化改造など、電源・制御系の設計・製造も行っています。



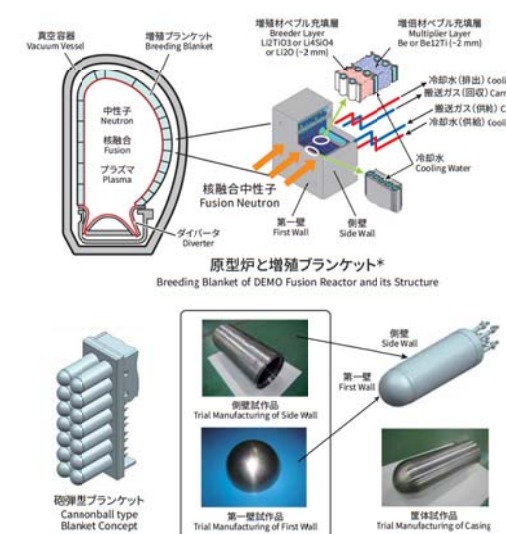
In the project that is carried out as a joint project between Japan and European Union in which transformation of JT-60 to superconductive machine, we have completed the vacuum vessel and its gravity support manufacturing. The whole assembly is underway. A torus vacuum vessel that is 10m in diameter, 6.6m in height and 150ton in weight was divided into double-walled ten sectors and each sector was manufactured in the factory. Appropriate welding methods and their conditions were surveyed to suppress weld distortion. In addition, manufacturing procedure including weld distortion correction was devised to reach the demanded product accuracy. We have designed assembly procedure including jigs and tools of all constituent parts such as superconducting magnets, thermal shields, in-vessel components and etc. As for the vacuum vessel sector assembly, distortion and position shift of each sector welding was monitored by 3D laser measuring system and the position of welded sectors was offset to reach the demanded accuracy.

We have also designed and manufactured the power supply and control system for long pulse operation of magnetic coils and plasma heating device.

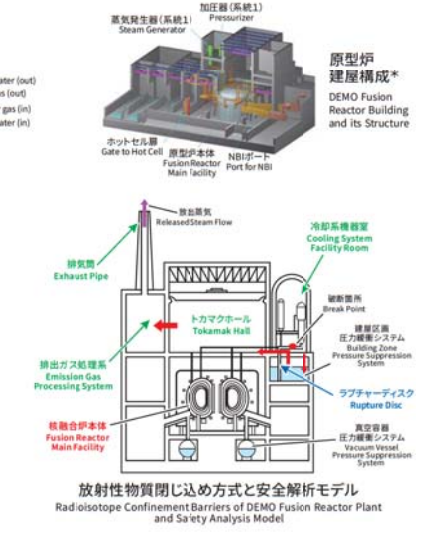
*写真・資料提供: QST Photos and Materials by courtesy of QST

原型炉 Nuclear Fusion Demonstration Reactor

大型プラズマ実験装置、ITERにおけるこれまでの機器製作の実績をもとに、数十万kWを超える定常かつ安定な電気出力の実証を目指す原型炉の実現に貢献します。核融合中性子からのエネルギー取り出しと燃料生産においてキー技術となる増殖ブランケット開発においては、ITERよりも更に高い表面熱負荷、中性子壁負荷の下で、高い燃料増殖性能を有し、製作性に優れたブランケットシステムの構築を行っています。プラント安全システム構築では、各種冷却水喪失事象などの事故を想定し、プラント各部の温度・圧力の推移を求める熱水力挙動シミュレーションをもとにした安全解析により、原型炉を構成する機器に対する設計の制約条件を設定してゆく作業に協力しています。



Based on the expertise obtained through the involvement in the project of large scale plasma experimental devices and ITER, we can contribute to realize nuclear fusion demonstration reactor in which several tens of kilowatts or more steady-state and stable electricity is produced. In the R&D field of breeding blanket by which energy extraction from fusion neutrons and fuel production, we are striving to establish blanket system with high tritium breeding ration and easier productivity under the higher surface heat load and nuclear heating than ITER. In the field of plant safety system establishment, we are cooperating to set constraint conditions of designing constituent facilities based on the temperature and pressure evolution obtained from thermo-hydraulic simulation for several types of accident scenarios.



*資料提供: QST Materials by courtesy of QST

大学関連 Plasma Experimental Devices for Universities

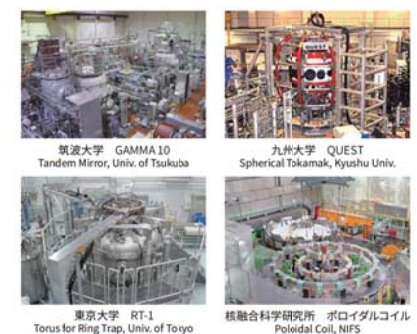
トカマク、ヘリカル、ミラーなど種々の磁場閉じ込め実験装置、加熱機器、電源・制御システムなどの設計、製造、建設を行っています。大型ヘリカル装置は世界最大級のヘリカル型装置です。WT-IIIトカマクでは電磁波による電流駆動の先駆的な実験研究が行われました。ガンマ10は世界最大のタンデムミラー装置です。QUESTはプラズマの超長時間生成とプラズマ-壁相互作用実験を行うための球状トカマク装置です。RT-1は真空容器中に支持構造体無しで磁気浮上させた高温超伝導コイルを有しており、先進プラズマ閉じ込めの研究が行われています。

Toshiba has abundant experiences of design, manufacturing, fabrication and installation of tokamak, helical, mirror or other magnetic confinement machines and related plasma heating devices, power supply, control system, etc. The LHD is the largest dross helical devices in the world. The WT-III is a tokamak in which frontier experiment of current drive by electromagnetic wave was carried out. The GAMMA 10 is the largest tandem mirror machine in the world. The QUEST is a spherical tokamak for plasma wall interaction experiment under the steady-state ultra-long pulse plasma production. The RT-1 has a levitated high temperature superconducting magnet in the vacuum vessel without supports to research advanced plasma confinement mechanism.

核融合実験装置納入実績 Plasma Experimental Devices for Universities

装置名 Device Name	タイプ Type	完成年 Completed Year	納入先 Customer	仕様 (プラズマ) 仕様 Specification			納入機器 Delivered Products
				大半径 Major Radius	小半径 Minor Radius	軸上磁場 Magnetic Field	
RFC-XX	直線 Linear	'976	名古屋大学 Nagoya Univ.	装置長 2m Device Length		0.5T	装置本体 Main Facility
GAMMA 6	直線 Linear	'978	筑波大学 Univ. of Tsukuba	装置長 6m Device Length		0.15T	装置本体 Main Facility
GAMMA 10	直線 Linear	'983	筑波大学 Univ. of Tsukuba	装置長 27m Device Length		0.5T	装置本体、加熱装置、電源・制御装置、 データ処理システム Main Facility, Heating Devices, Power Supply, Control System, Data Processing System
WT-III	トカマク Tokamak	'986	京都大学 Kyoto Univ.	0.65m	0.22m	1.7T	装置本体、加熱装置、電源・制御装置、 データ処理システム Main Facility, Heating Devices, Power Supply, Control System
Heliac	ヘリカル Helical	'988	東北大学 Tohoku Univ.	0.48m	0.06m	0.34T	装置本体 Main Facility
LHD	ヘリカル Helical	'998	核融合科学研究所 NIFS	3.9m	0.6m	3T	超伝導トロイダルコイル、加熱装置、 励起用可変電圧電源 Superconducting Toroidal Coils, Heating Device, Flywheel Motor Generator
RT-1	内部導体 Int. Cond.	'2005	東京大学 Univ. of Tokyo	コイル主半径 0.25m, 250kAT Int. Cond.			装置本体、加熱装置、電源 Main Facility, Heating Devices, Power Supply
QUEST	トカマク Tokamak	'2008	九州大学 Kyushu Univ.	0.68m	0.4m	0.5T	装置本体 Main Facility

写真提供: 筑波大学、九州大学、東京大学、核融合科学研究所



Photos by courtesy of Univ. Tsukuba, Kyushu Univ., Univ. Tokyo, NIFS