

サテライトトカマク (JT-60改修計画)

文部科学省研究開発局 第2回ITER計画推進検討会

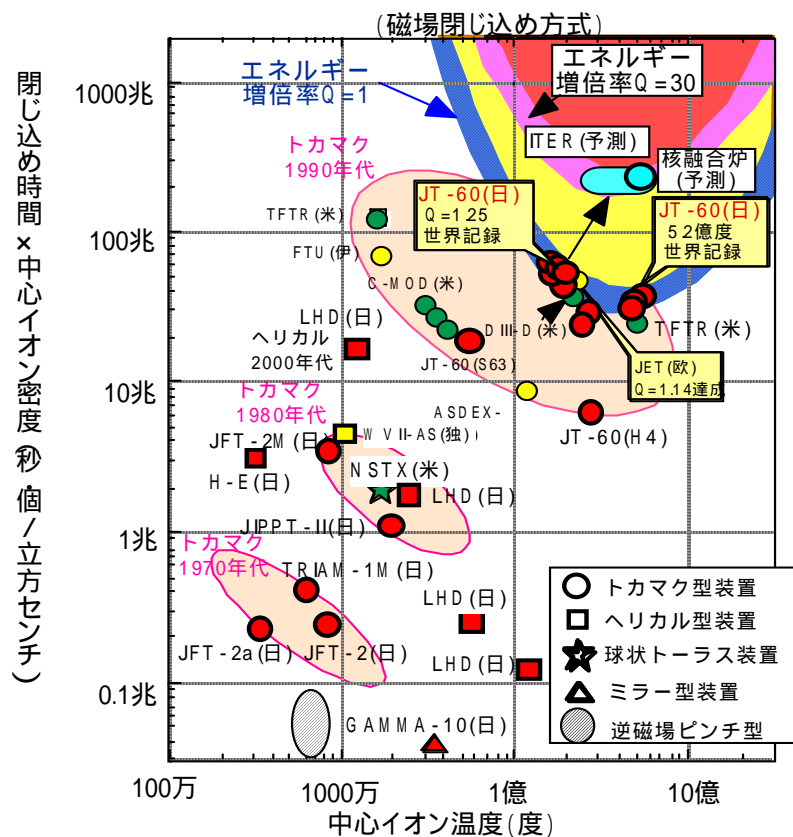
平成 17年 9月1日

日本原子力研究所・那珂研究所

JT-60 (JAERI-Tokamak 60)

原子力委員会が定めた第2段階核融合研究開発基本計画の中核装置として1976年建設開始。

1985年に運転開始後、核融合プラズマ閉じ込めに関わる数々の世界記録(温度、エネルギー増倍率等)を達成、特に定常化研究/先進トカマク研究で世界をリードしている。



年度	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	
主な改造	当初編成 (S60~)	配位変更 (S63~)	大電流化改造 (H3~)	排気ダイバータ設置 (H9~)				65秒											
エネルギー増倍率	臨界プラズマ条件達成												1.25 (世界第1位)						
イオン温度													5.2億度 (世界第1位)						
電子温度													3億度 (世界第1位)						
核融合積													177 億・秒・兆個/cc (世界第1位)						
定常運転手法での核融合積													35億度・秒・兆個/cc (世界第1位)						
自発電流割合	80%												定常運転条件下 90%						
準定常状態でのプラズマ圧力指数													規格化ベータ値 3.05						
負イオン源中性粒子ビーム入射パワー	5.8MW (重水素) (>300keV)												(世界第1位)						
高周波入射パワー	3MW (世界第1位) (110GHz: 電子サイクロトロン周波数帯)																		

1. 「サテライトトカマク」の幅広いアプローチにおける意義 (2004年4月の日欧専門家会合報告より)

ITER建設中及び運転中においてITERを支援もしくはDEMO（原型炉）に向かってITERを補完することのできる強力な物理計画が必要。

ITER支援研究：

- ITER建設中：ITER運転シナリオの最適化、遅い時期に製作するITER附属機器の最適化、研究者、技術者の育成
- ITER運転期：ITER運転シナリオの一層の最適化と物理課題の理解、ITERであり得る改造計画の事前試験。

DEMOに向かってITERを補完する研究：

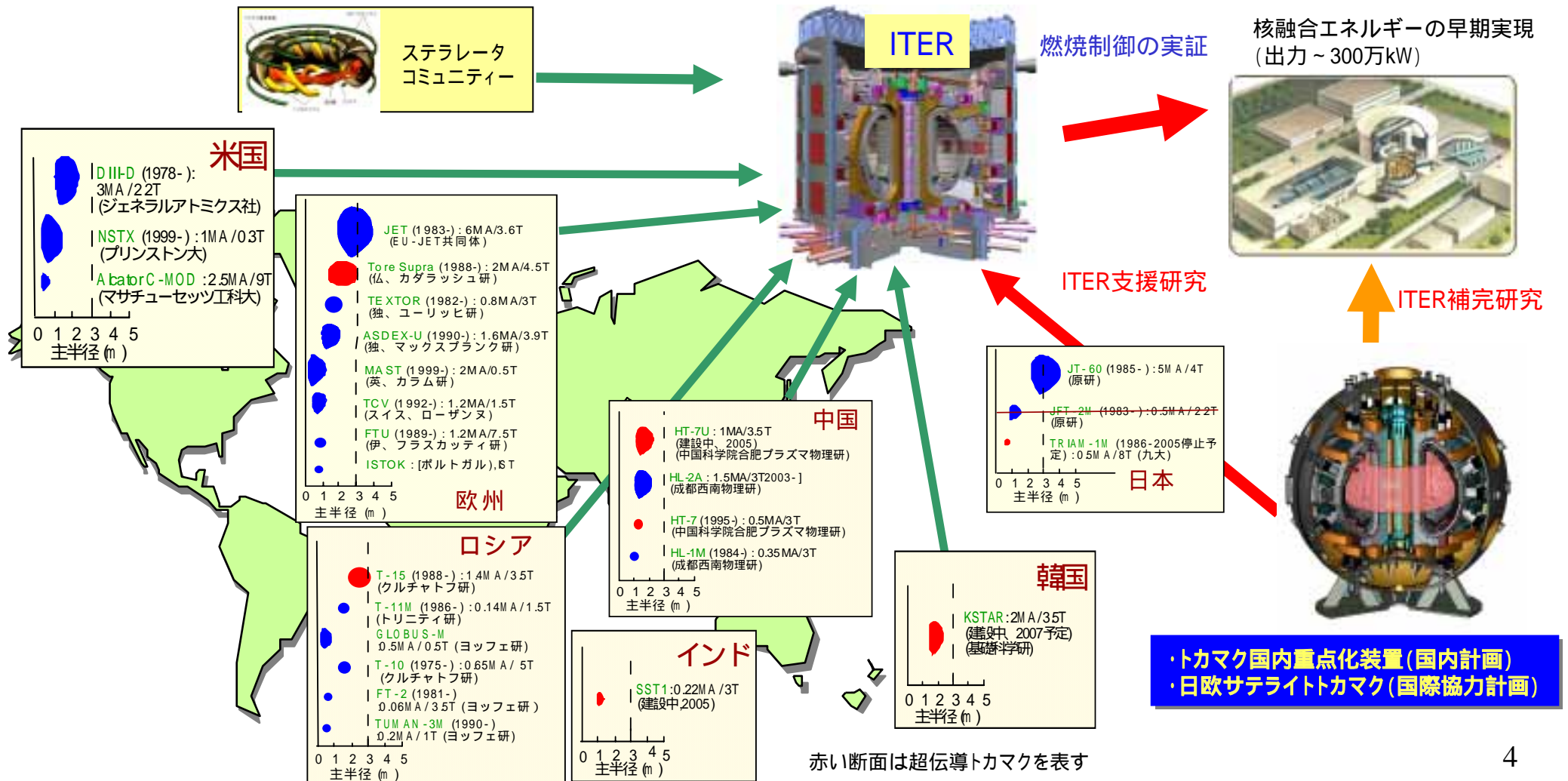
- 定常運転
- 先進プラズマ領域（高い規格化圧力）
- 壁への熱流束制御

注：日欧専門家会合参加者

日：松田理事（原研）、関所長（原研）、本島理事・所長（核融合研）、岡子教授（九大）、高瀬教授（東大）、大竹室長
欧：アルハルドレ教授（スペイン）、ラックナー教授（独）、パメラ博士（EFDA-JET）、ロスターニ教授（伊）、プリスコ博士（英）、フィンチ博士（EC）、ドリュウ氏（EC）

ITERを支えITERを補完する世界の物理研究体制

- ・我が国のトカマク研究は臨界プラズマクラスのJT-60に重点化
- ・欧州には数多くのサテライト装置が存在するが、最大の貢献はJET
- ・中国、韓国、インドは超伝導トカマクを建設中
- ・原型炉に向けて、JT-60/JETクラスの超伝導トカマクは皆無



科学技術・学術審議会学術分科会核融合研究ワーキンググループ報告 (平成15年1月8日：末松安晴座長)

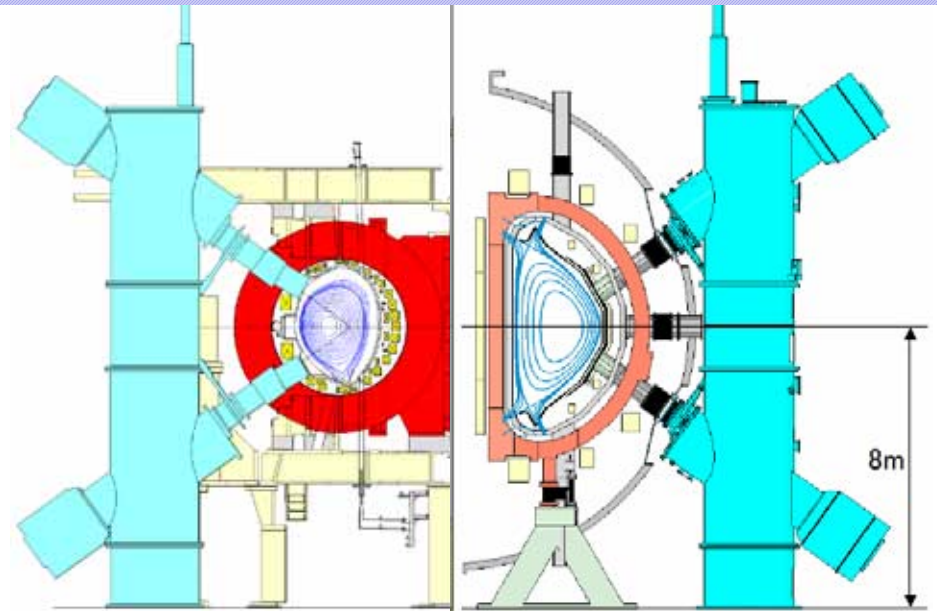
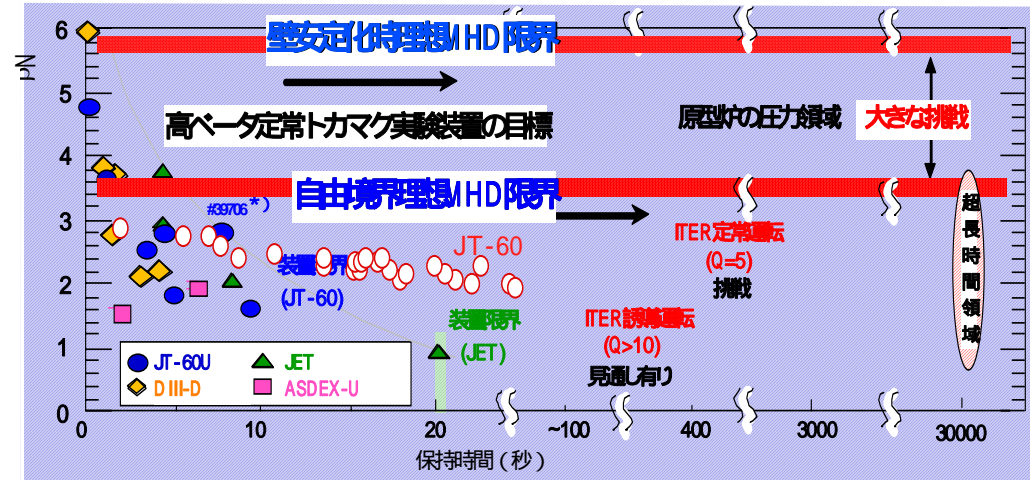
トカマク国内重点化装置計画

計画の必要性：

核融合エネルギーの早期実現に向けて、トカマク方式の改良（高ベータ定常運転の実現による経済性向上等）を我が国独自に進めるとともに、ITER計画での主導権の確保と、数百名規模での人材養成によるITER計画との有機的連携を図るために、国内のトカマク装置を重点化することが必要である。

装置の概要：

本装置は、臨界プラズマクラスのプラズマ性能をもった超伝導装置とし、プラズマアスペクト比、断面形状制御性、帰還制御性において、機動性と自由度を最大限確保できるものとし、原型炉で必要な高ベータ（ $\beta_N=3.5-5.5$ ）非誘導電流駆動プラズマを、100秒程度以上保持することを目指すものである。



現JT-60

トカマク国内重点化装置

装置の設計概念

核融合研究WG報告を踏まえ、大学等と装置設計概念を共同企画したもの（部会長：吉田直亮九大教授）

[1] 臨界プラズマクラスのプラズマ性能をもった世界で唯一の超伝導装置(除くITER)。

(計画の後半では、ITER計画を上回る8時間程度の連続運転想定：九州大学TRIAM-1M成果を反映)

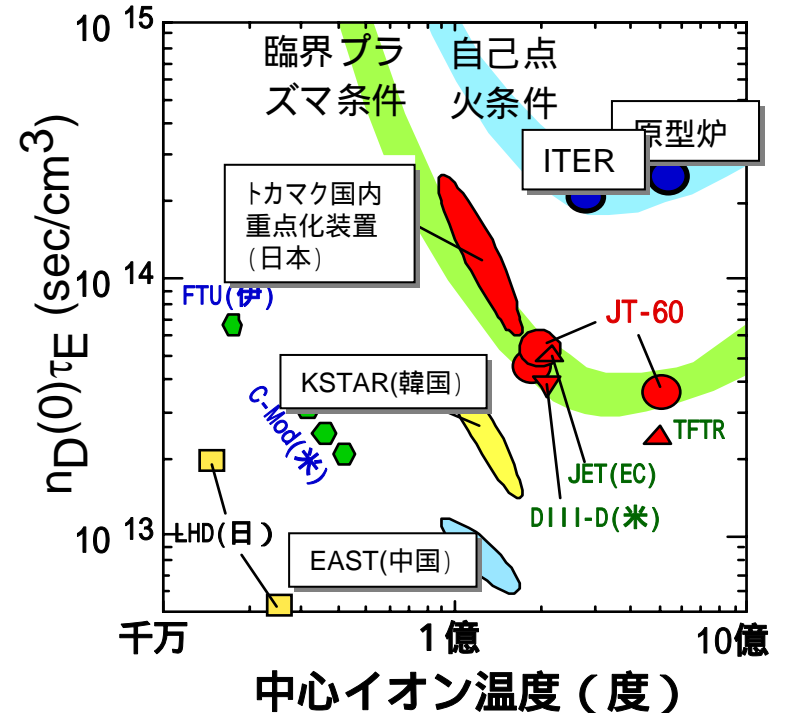
[2] "一定の経済性"を持った原型炉を実現するために望まれる高い出力密度(約4MW/m³以上)の実現に向けて高ベータ($\beta_N=3.5-5.5$)非誘導電流駆動プラズマを実現。

[3] DD装置として高い機動性と自由度の確保

- ・低アスペクト比(A=2.6：ITERは3.1以上)
- ・高い形状因子(S=7：ITERは5以下)
- ・帰還制御性(容器内制御コイル：ITERでも考慮中)
- ・多様な分布制御性(NNBI周辺CDによる負磁気シア)
：ITERの機器整備計画への反映

[4] 原型炉にむけた対向機器の試験

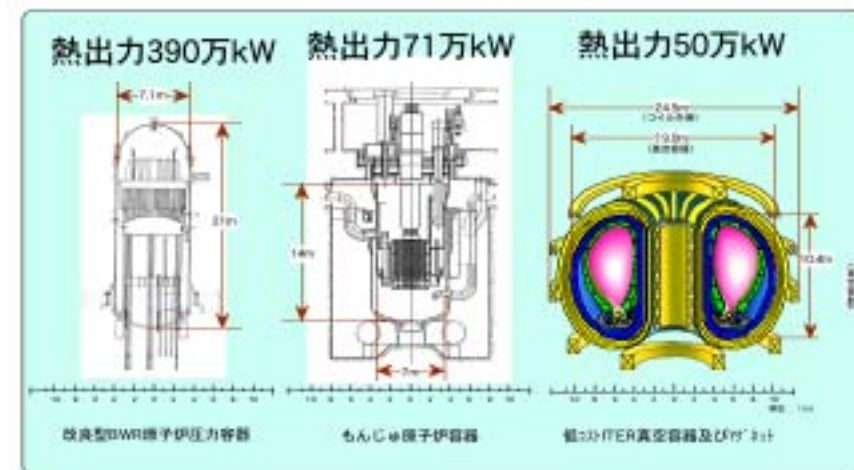
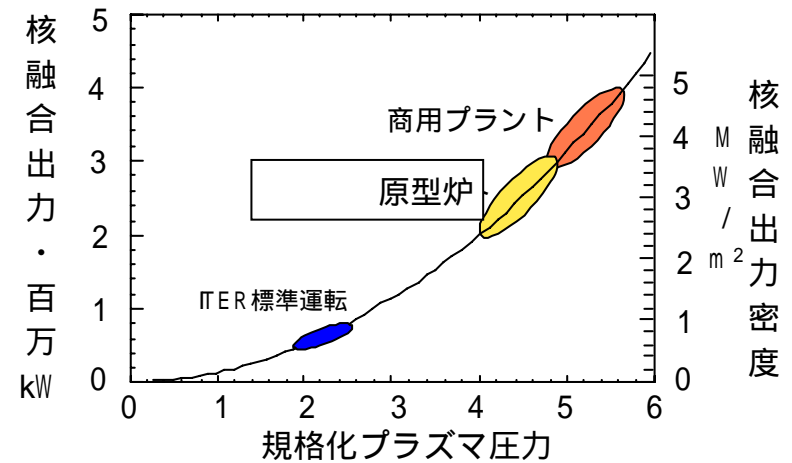
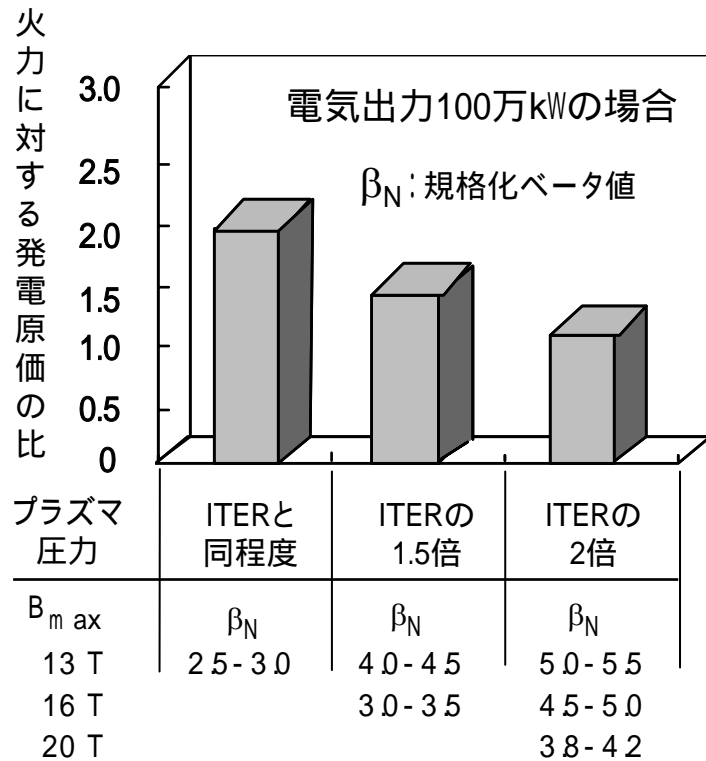
- ・フェライト鋼第一壁のプラズマ適合性試験
- ・原型炉用候補ダイバータの先行試験
- ・試料導入装置(材料プラズマ試験)



パラメータ	JT-60(現在)	トカマク国内重点化装置
方ズ電流	3MA	5.5MA
トロイダ磁場	4T	2.76T
方ズ主半径	3.4m	2.97m
方ズ小半径	0.9m	1.13m
電流維持時間	15秒(4T)	約100秒
	65秒(2.7T)	(8時間)
加熱入力	40MW(10秒)	25MW(100秒)

1. 核融合エネルギーの経済性改善に向けた研究開発

原子力委員会核融合研究開発基本問題検討会：一定の経済性を持つ原型炉 / ITER程度の炉心で出力を300万kW程度
 日欧専門家会議：原型炉に向けた研究課題は定常運転、先進プラズマ領域（高規格化プラズマ圧力）、壁への熱制御

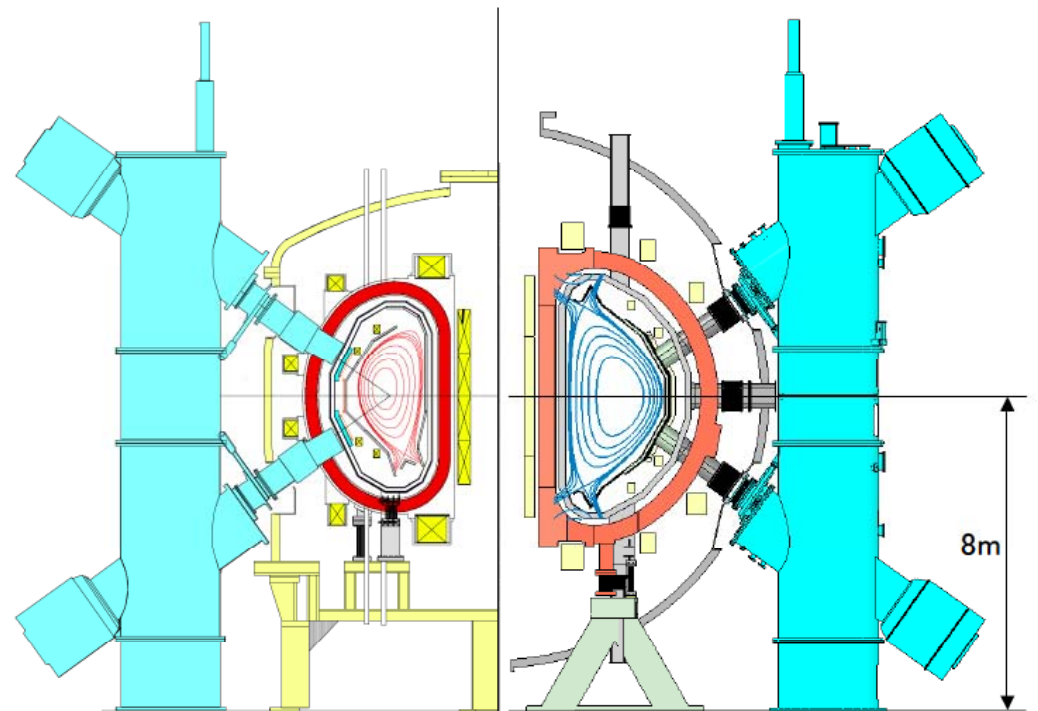
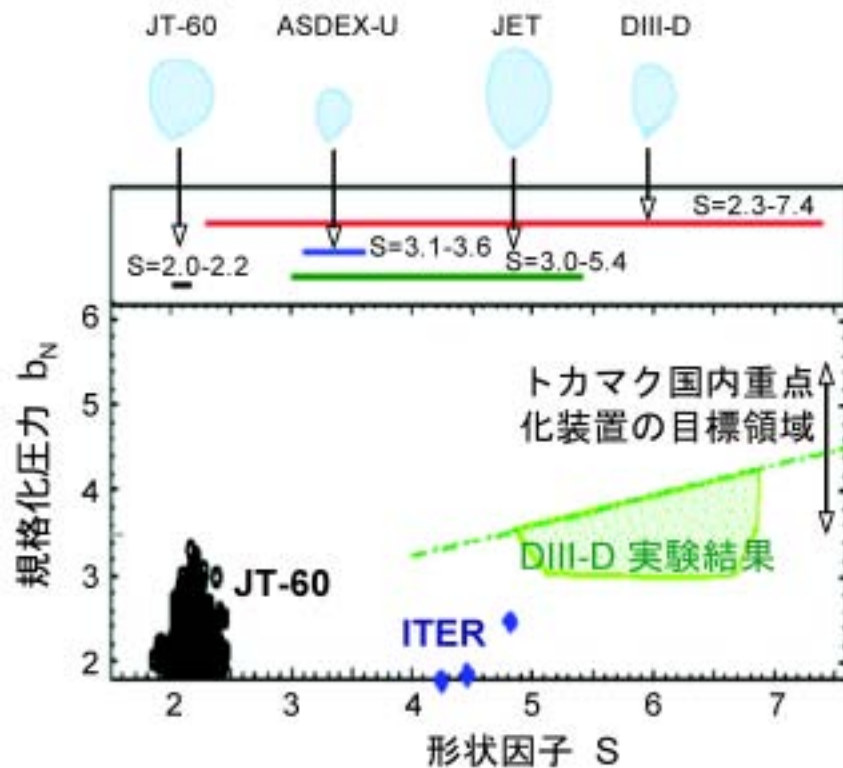


(高ベータ定常運転法の確立)
 出力密度 \sim (圧力) $^2 \sim \beta_N^2$

2 アスペクト比、断面形状(縦長、三角度)の制御と最適化

核融合研究ワーキンググループの指針に従い、高瀬雄一東大教授等を中心とする大学のトカマク研究者の意見を取り入れWG当初提案(S~4)より形状制御性を高めた設計(S~7)を取りまとめた。

$$S \equiv \frac{I_p}{aB_T} q_{95} \quad A^{-1}\{1+\kappa^2(1+2\delta^2)\}$$

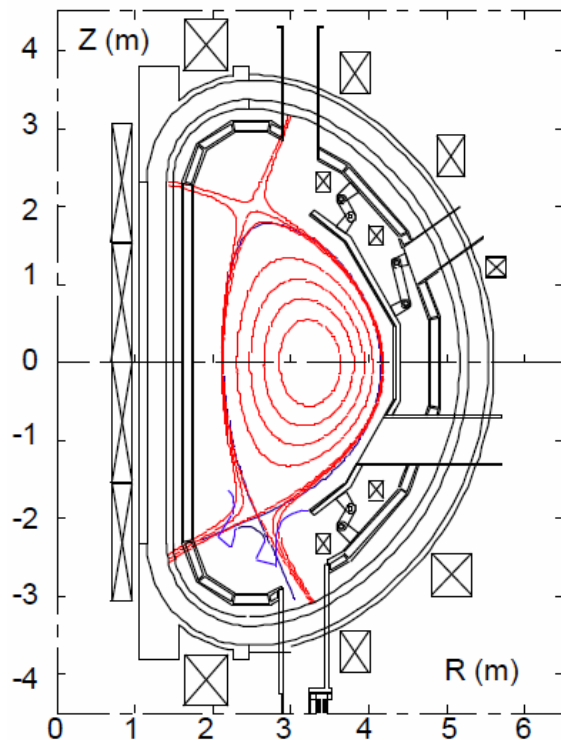


当初設計

最終設計案

3. ITER配位によるITER支援研究の推進

ITER模擬プラズマ配位



$I_p=3.3\text{MA}$
 $B_t=2.57\text{T}$
 $R_p=3.15\text{m}$
 $A=3.1$

ITER運転開始前に運転を開始(2012年頃)し、ITER相似形状での運転によってITER支援研究を進める。

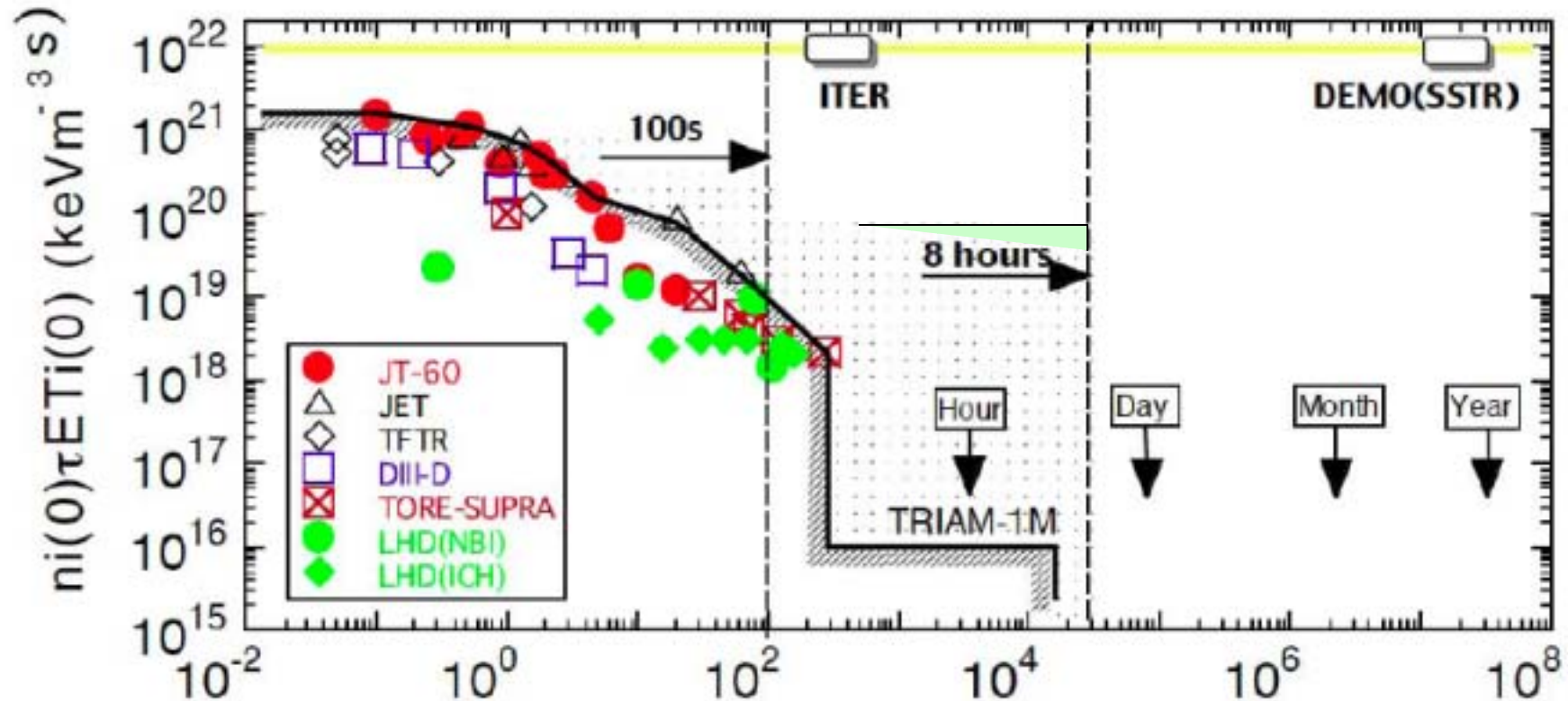
- ITER建設中：ITER運転シナリオの最適化、遅い時期に製作するITER付属機器の最適化、研究者、技術者の育成
- ITER運転期：ITER運転シナリオの一層の最適化と物理課題の理解、ITERであり得る改造計画の事前試験。

FY	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
ITER 計画	建設	基本性能段階	拡張性能段階	解体			

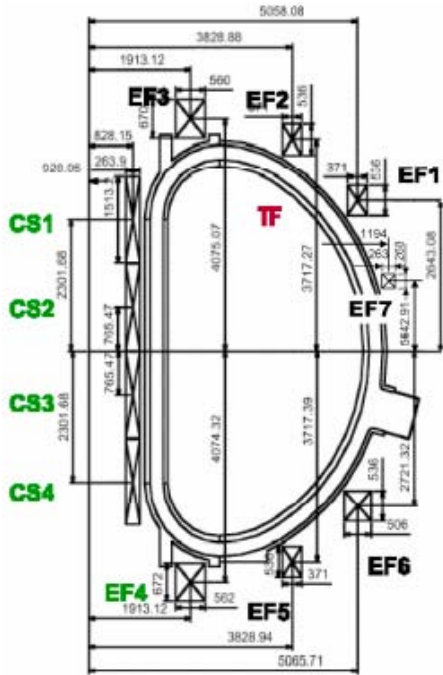
4. 長期的課題（原型炉に向けた長時間運転：約8時間）

九州大学TRIAM-1Mの成果を取り入れた計画

1. 原型炉に向けた長時間粒子排気、対向機器開発
2. ディスラプション確率の低減、高信頼性運転法の確立



超伝導コイル系、ポート、真空容器、加熱装置、計測装置



超伝導コイル :
 TFコイル : Nb3Al/Nb3Sn,
 CS1-4, EF4コイル : Nb3Sn,
 EF1-3,5-7 : NbTi

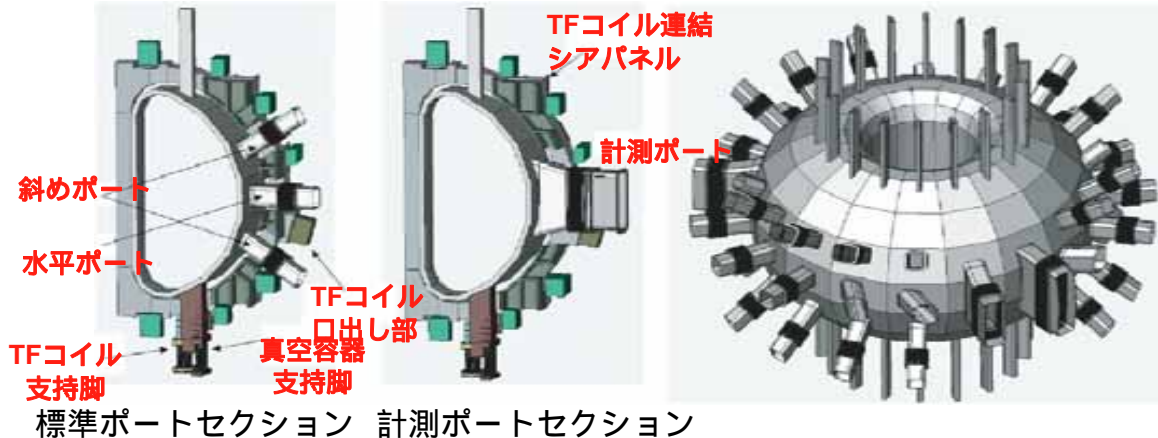
真空容器 :
 低Co ステンレス鋼 (SS316L)

加熱装置 (既存設備を改造)
 粒子ビーム装置(100秒)
 ・正イオン入射ビーム 85keV, 22 MW
 ・負イオン接線入射ビーム 400 keV, 3MW
 高周波装置(100秒)
 ・電子サイクロトロン波 80-90GHz, ~2.5MW

計測装置 (既存設備を改造)

ポート構造概要

真空容器鳥瞰図



装置保護と運転に必要な基本計測

電磁気計測
 可視TVモニタ
 赤外テレビ
 中性子モニター
 固定ダイバータプローブ
 ベンチングゲージ
 D 測定器

物理解明計測

電子サイクロトロン放射 (HR) 測定装置
 マイクロ波反射計
 中性子揺動測定装置
 荷電交換分光装置
 高速荷電交換分光装置
 高速中性粒子エネルギー分析装置
 ボロメータ (ゲルマニウム)
 2次元ゲルマニウム可視分光
 可動静電プローブ
 X点可動静電プローブ
 中性粒子圧力 (ゲルマニウム)
 高速TV (ヘルツカメラ)
 リップル損失赤外TV
 ダイバタミドリ波干渉計
 中性子分布 (14MeV)
 硬X線高分辨測定装置
 軟X線測定装置
 線測定装置
 ダイバタ斜入射分光器
 ダイバタ真空紫外TV
 絶対測光斜入射分光器
 中性粒子分析器
 結晶分光器
 軽元素ドップラー用直入射分光器
 電磁波散乱測定装置

JT-60計測装置

多種類の最先端計測装置を設置

注: 能動計測装置
 黒: 受動計測装置
 白: 真空容器内設置

<http://www.naka.jaeri.go.jp>

主要パラメータ計測

ルビレーザートムソン散乱
 YAGレーザートムソン散乱
 炭酸ガスレーザー干渉計
 FIRレーザー干渉計
 電子サイクロトロン放射
 荷電交換分光 (トROIDAL)
 ボロメータ (主プラズマ)
 斜入射分光器
 モンゴウ効果偏光計 (電流分布)
 中性子分布測定装置
 Zeff測定器 (分布)

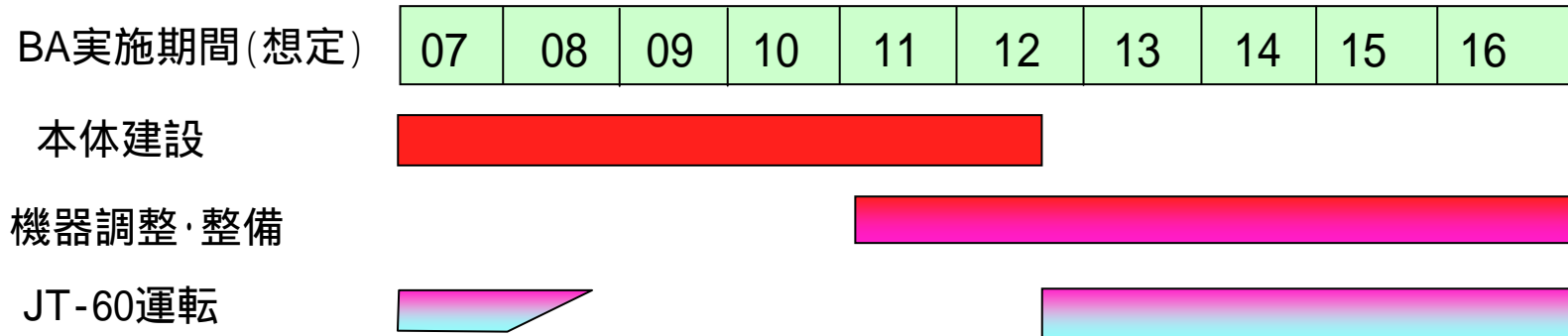
次期装置のための計測装置の開発

炭酸ガスレーザー協同トムソン散乱測定装置
 炭酸ガスレーザー偏光計
 中性子スペクトル測定装置 (飛行時間計測法)
 コンポーネント (真空窓等) の開発
 計測原理の開発 (協同トムソンによる不純物計測)

JT-60の既存施設（建家、中央変電所、電源制御設備、冷却系、等）を有効活用



年次展開



[1] 本体建設 (6年)

1. 超伝導コイル系 (トロイダル、ポロイダルコイル、冷凍機)
2. 真空容器、下側ダイバータ
3. クライオスタット
4. 本体据付け費
5. 電源・制御・初期計測

[2] 機器調整・整備 (6年)

1. 加熱据付け・改良
2. 計測据付け・改良
3. 定常・高ベータ実験機器

[3] 改修後の運転