



臨界プラズマ試験装置 JT-60 チェック・アンド・レビュー資料

科学技術・学術審議会 核融合研究作業部会
重点化に関するタスクフォース
平成18年8月21日

日本原子力研究開発機構
核融合研究開発部門

1. はじめに
 - 1.1 JT-60の位置づけ
 - 1.2 JT-60の到達点
 - 1.3 世界最大規模のJT-60施設
2. 重点化後の研究の進展
 - 2.1 重点化前後の研究課題の変化
 - [1] ITER相当高性能プラズマを28秒維持
 - [2] 原型炉に必要な高自発電流を8秒間維持
 - [3] 定常化に向けたダイバータ研究
 - 2.2 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)
 - [1] 必要性：JT-60のみに重点化
 - [2] 原型炉では出力密度を上げる
 - [3] 核融合研究WG報告に到る経緯
 - [4] 重点化装置に関わる共同企画の枠組み
 - [5] 国内核融合コミュニティとの共同企画
 - [6] JT-60改修計画の国内合意に到る討議
 - [7] 国内で合意された装置設計パラメータ
 - [8] ITER形状模擬
 - [9] 原型炉の最適化
 - [10] ~8時間連続運転
 - 2.3 日欧サテライトトカマク計画(JT-60SA)
 - [1] 共同計画化
 - [2] サテライトトカマクWG
 - [3] 装置パラメータの変更
 - [4] 豊富な制御ツール
3. 共同企画・共同研究の強化
 - 3.1 共同企画・共同研究体制の構築
 - [1] 実験テーマ制
 - [2] トーラス実験専門部会
 - 3.2 共同研究の進展
 - [1] 研究課題数、研究協力者数
 - [2] 参加する研究機関
 - [3] 遠隔実験システム
 - [4] 研究協力分野の変遷
 - [5] 環境整備（コード群）
 - [6] 研究発表件数
 - [7] 論文発表（インパクト係数）
 - [8] IAEA国際会議発表件数
 - 3.3 共同研究の主な成果
 - (1) 中心ソレノイド無し運転
 - (2) 高周波で乱れ制御
 - (3) プラズマ壁相互作用
 - (4) 魔法の鏡—阪大レーザー研
 - (5) トカマクとヘリカルNIFSとの連携
 - 3.4 研究資源の有効利用の方策
 - 3.4.1 人的資源の有効活用
 - [1] プラズマ壁相互作用
 - [2] 計測に関する連携研究
 - [3] JFT-2M機器の譲渡
 - 3.4.2 物的資源の有効活用
 - [1] プラズマ壁相互作用
 - [2] 計測に関する連携研究
 - [3] JFT-2M機器の譲渡
 - 3.4.3 知的資源の有効活用 NEXT計画
4. 重点化後の人材育成
 - 4.1 優秀な若手研究者を最先端の研究の場に
 - 4.2 中核的機関として必要な人材育成
 - 4.3 研究者の交流・流動化が可能な組織・制度
 - 4.4 大学等との連携・協力の下での人材育成
 - 4.5 研究が最適化されるような適正な競争的環境
5. 国際的視点からの寄与
 - 5.1 JT-60の独自性、補完性
 - 5.2 JT-60SAの国際的寄与(独自性、補完性)
 - 5.3 JT-60 世界で唯一のN-NBI装置付きトカマクでITER貢献
 - 5.4 IAEA主催核融合エネルギー会議に最大の寄与
 - 5.5 国際トカマク物理活動(ITPA)の役割と位置づけ
 - 5.6 ITERのための国際共同実験を決めるIEA/ITPAワークショップ
 - 5.7 世界のCOE那珂核融合研究所で開催するITPA会議
 - 5.8 国際トカマク物理活動体制をリードするJAEA研究者
 - 5.9 国際トカマク物理活動に不可欠なJT-60の貢
 - 5.10 ASDEX, DIII-D, JETとの協力
 - 5.11 建設中の韓国超伝導トカマク(KSTAR)と協力
 - 5.12 日中協力の推進
 - 5.13 国際人員交流の状況
6. 社会的視野からの寄与
 - 6.1 社会への説明責任
 - 6.2 将来の核融合エネルギー実現へと繋がる活動
 - 6.3 研究成果の波及効果
 - 6.4 社会的視点の寄与のまとめ



1. はじめに

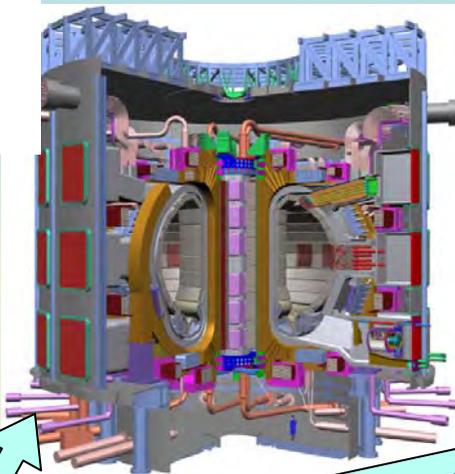


1.1 JT-60の位置付け

- ・ 第三段階核融合研究開発基本計画（原子力委員会）：JT-60を用いて高ベータ定常運転法の開発、ITER支援研究の準備研究を進めるとともに、JT-60をトカマク国内重点化装置へ転換して核融合エネルギーの早期実現に貢献
- ・ 文部科学省科学技術・学術審議会：ITER計画への寄与の明確化と国際的競争力の強化。共同研究重点化装置の導入。
 - 原子力機構はトカマク炉心プラズマ開発を我が国の中核的な機関として推進。
 - JT-60をわが国のトカマク国内共同研究の中核を担う装置と位置付けて、トカマク国内重点化装置の建設開始まで運転を継続し共同研究を推進するとともに、ITERの動向を踏まえつつトカマク国内重点化装置への転換を図る。

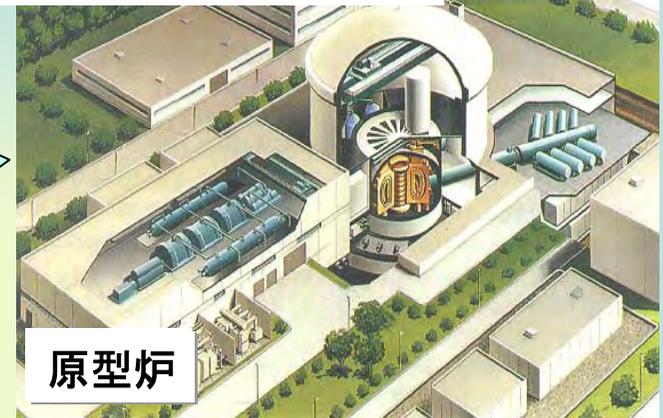
- ・ 核融合燃焼の実証
- ・ 核融合燃焼プラズマの定常運転
- ・ 核融合エネルギー取り出しの試験

ITER



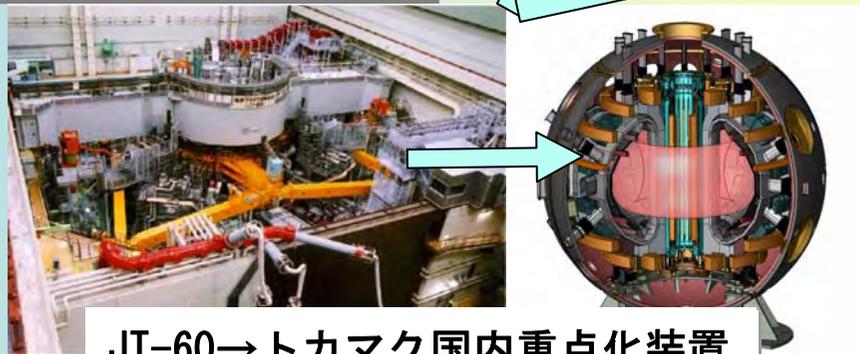
- ・ プラント規模での発電実証
- ・ 高出力化による経済性見通し

実用化



原型炉

ITERを支援する研究：
新技術を実験炉に
先立ち確認・実証



JT-60→トカマク国内重点化装置

・ ITERを補完的研究：
実験炉だけでは十分解明できない課題を解決（経済性改善等）

1.2 JT-60の到達点

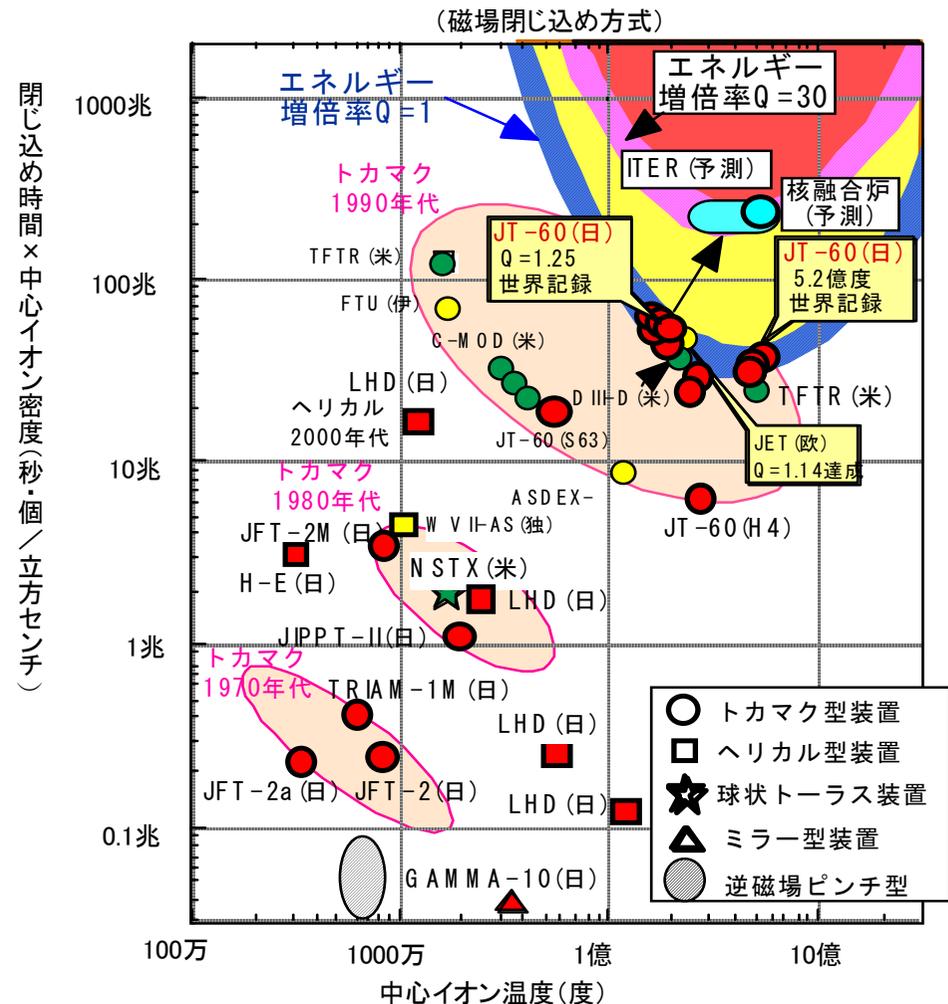
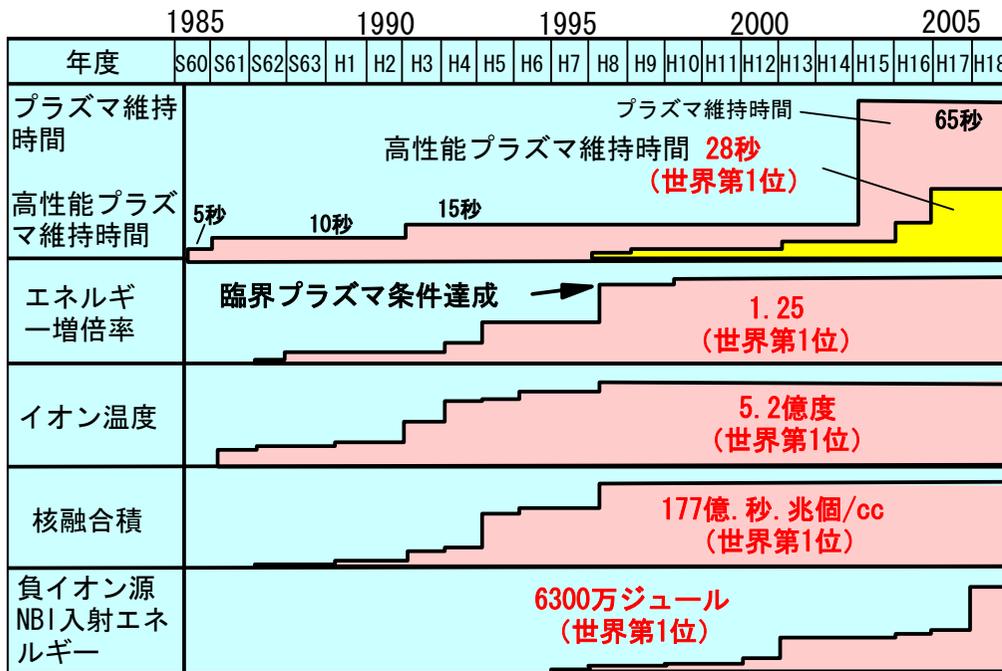
世界最高の性能を達成

平成 8年：臨界プラズマ条件達成、イオン温度5.2億度

平成10年：エネルギー増倍率1.25

平成18年：ITER相当の高性能プラズマの長時間維持（28秒間）

負イオン源NBI入射エネルギー
6300万ジュール（3.2MW, 19.7秒）





1.3 世界最大規模のJT-60施設

世界最大の入射パワー（40MW）
の正イオンNBと世界最高ビーム
エネルギーの負イオンNB

3つの周波数帯（C:120MHz,
LH:2GHz, EC:110GHz）を入
射する世界最大級の高周波加
熱装置

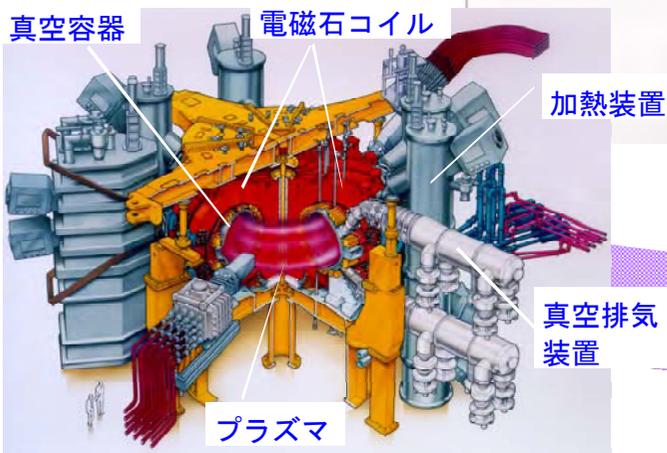
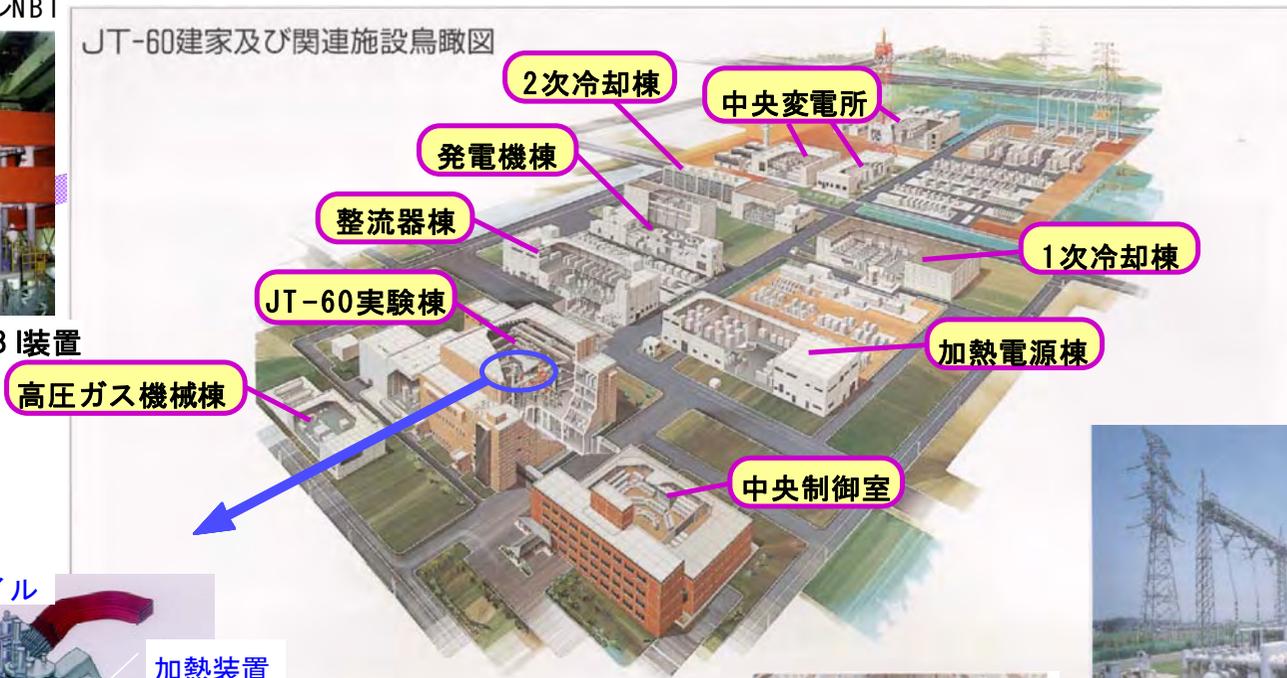


高周波加熱装置



負イオンNB装置

JT-60建家及び関連施設鳥瞰図



4 Tの磁場を発生する世界最大規模の
トカマク型実験装置



トランスヤード
最大130万kWの電力を扱う
電源設備



電動発電機
総発電量110万kWの世界最大級
の電動発電機



中央変電所
275kV系統の受電設備
現在：最大パルス負荷16万kW
平均受電電力4万kW
拡張可能性：
最大パルス負荷50万kW
定常受電電力12万kW

2. 重点化後の研究の進展



2.1 重点化前後の研究内容の変化

重点化前

- ・JT-60の性能向上
(臨界プラズマ条件の達成、世界最高温度等)
世界のトカマク研究に追いつき追い越した時代
- ・定常トカマク炉を目指した研究開発
(自発電流割合80%の非誘導運転(<3秒)等)
原研の構想に基づく先進的な研究:世界が後追い
- ・ITER物理R&D
(He排気の実証、ディスラプション緩和等)
世界と同等の有為な貢献
- ・JT-60の超伝導化検討

重点化後

- ・高ベータ定常化研究(JT-60)
 - ITER相当プラズマを28秒間維持(世界記録)
改修の開始まで一層高いプラズマ圧力の維持を目指す。
 - 原型炉用高自発電流割合80%運転の伸張(8秒)
改修の開始まで長時間化を目指す。
- ・トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)
 - 原型炉で必要となる高出力密度連続運転法の開発
 - ITERではカバーできない特徴を持つ超伝導装置
 - 国内トカマク装置の重点化を踏まえ国内共同企画
 - 日欧の幅広い計画を踏まえ日欧共同製作



2.2 高ベータ定常化研究 (JT-60)

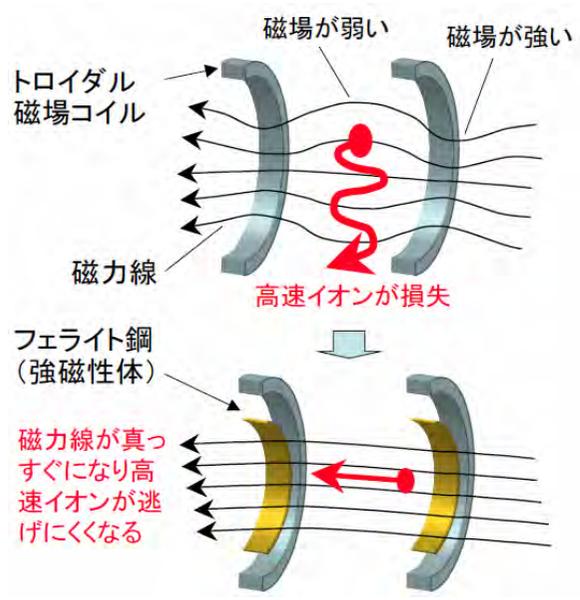
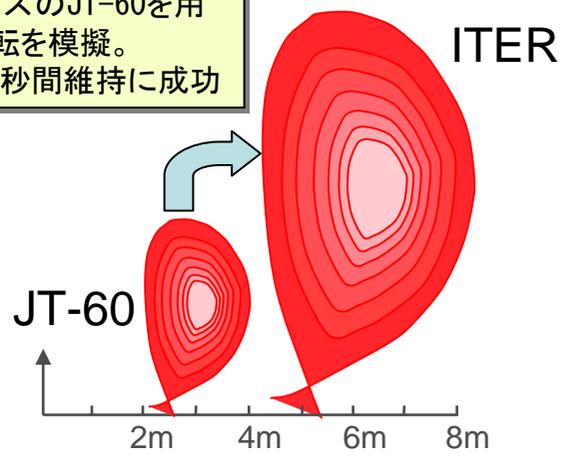
[1] ITER相当高性能プラズマを28秒間維持

読売新聞1面 2006.5.10

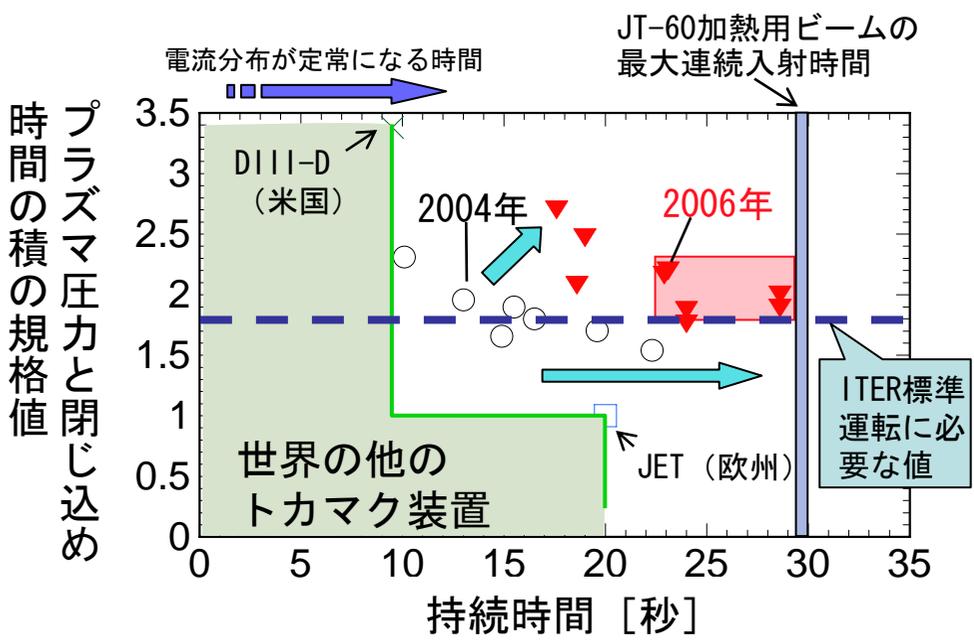
NHKニュース 2006.5.10



概ね1/2のサイズのJT-60を用いてITERの運転を模擬。
⇒ 世界最長28秒間維持に成功



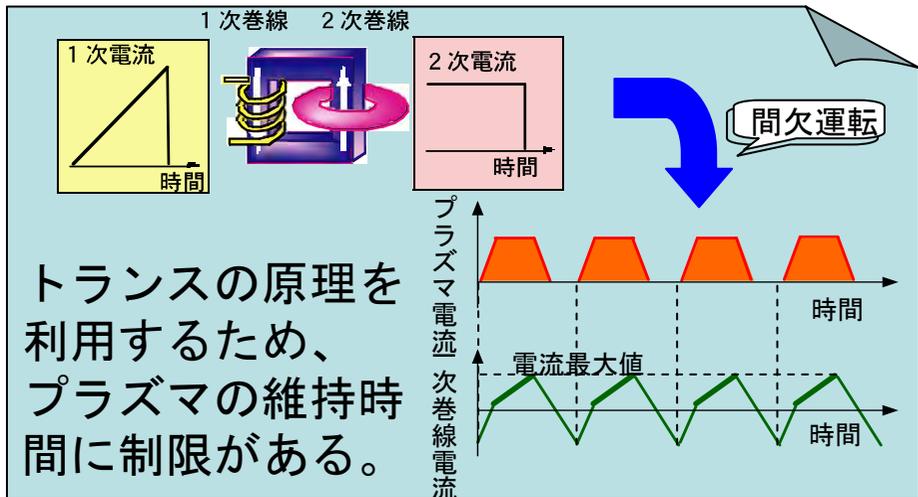
強磁性体であるフェライト鋼をJT-60真空容器内に設置し、磁場形状を改良



2.2 高ベータ定常化研究開発 (JT-60)

[2] 原型炉に必要な高自発電流プラズマを8秒間維持

■ 電磁誘導運転法 (間欠運転)

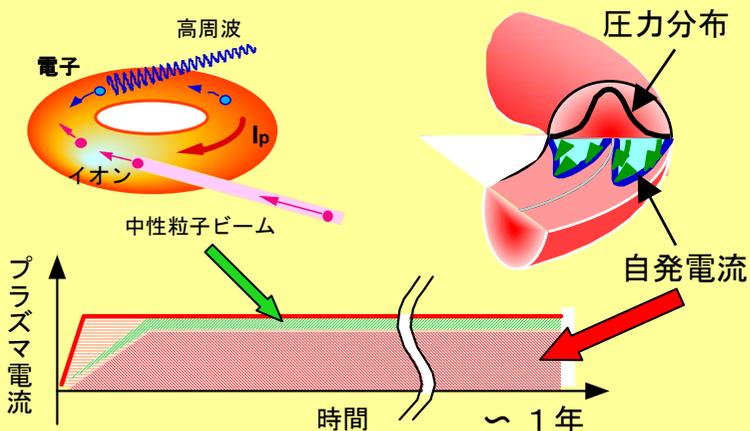


自発電流がプラズマ電流の75%を占めるプラズマを世界最長の8秒間維持し、自発電流の分布がほぼ一定に落ち着くことを世界で初めて明らかにした。

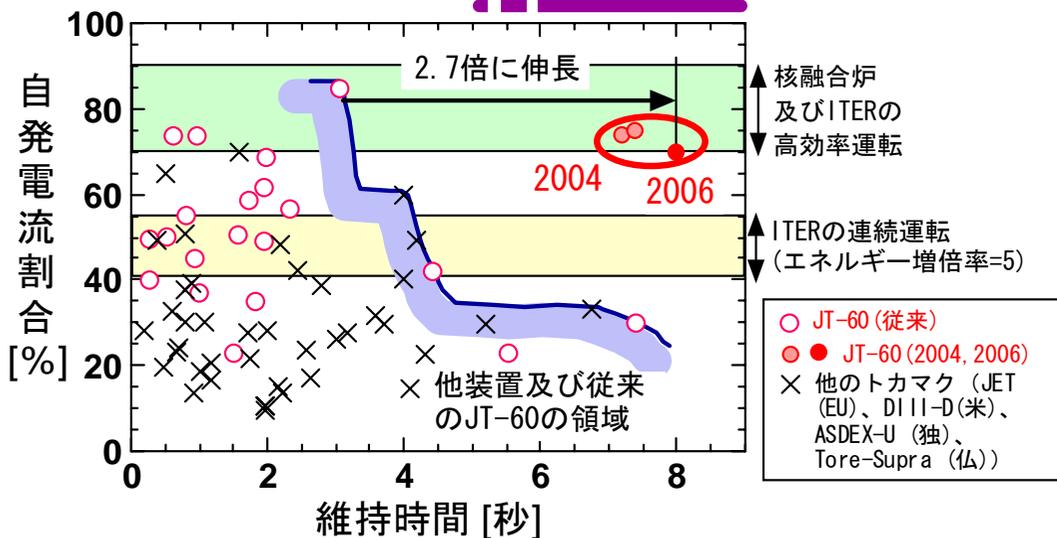
⇒ プラズマ電流の大部分を自発電流で維持する高効率な運転の技術的可能性を世界で初めて示した。

■ 非電磁誘導運転 (連続運転)

プラズマ中の圧力分布に応じて流れる自発電流を利用する。



プラズマ中の電流分布が一定になるのに必要な時間

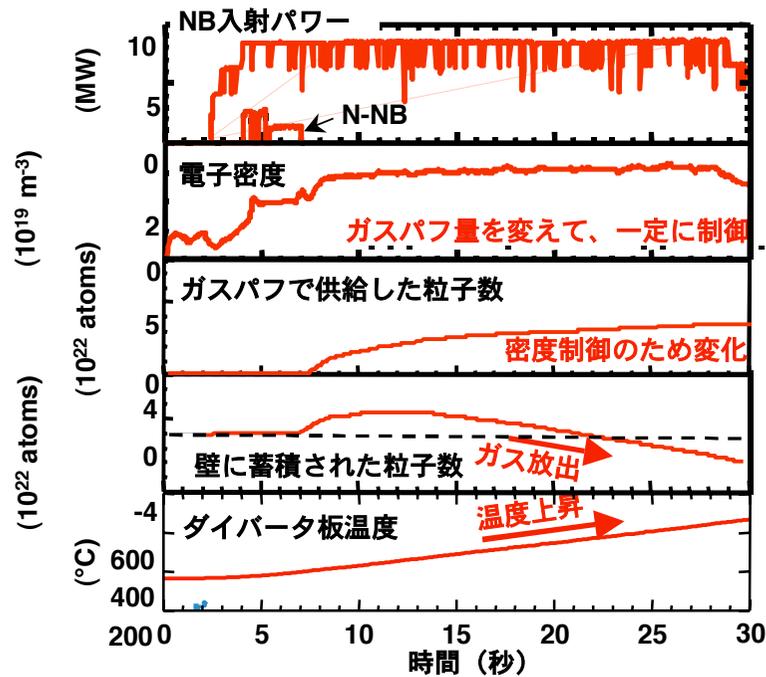


2.2 高ベータ定常化研究開発 (JT-60)

[3] 定常化に向けたダイバータ研究の進展

長時間放電での粒子制御の実証

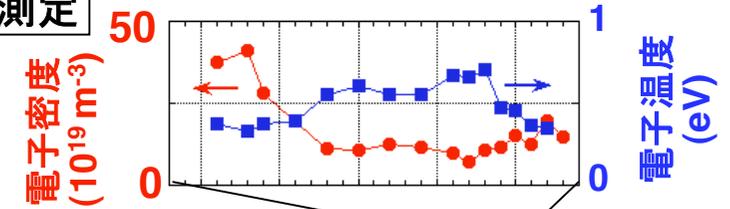
高加熱入力の長時間放電では、温度が上がったダイバータ板からガス放出が生じるが、ダイバータ排気とガス供給を用いてプラズマ密度を制御できることを実証



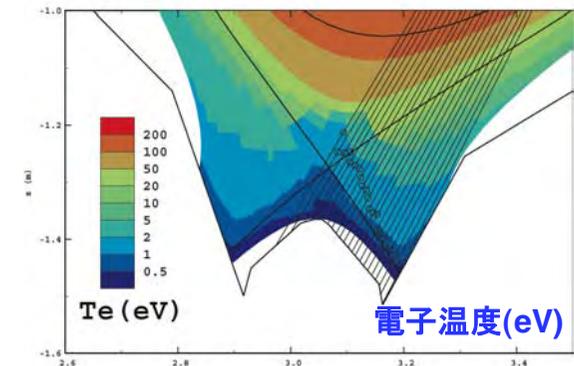
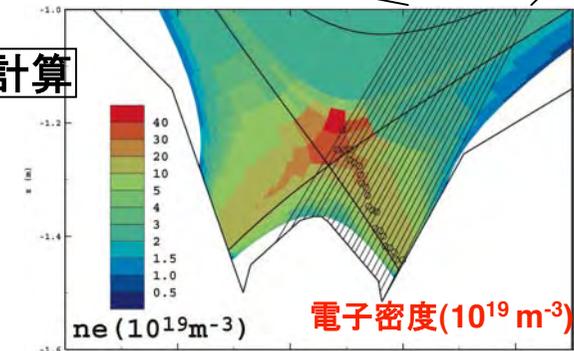
非接触ダイバータプラズマの研究

ダイバータ板の熱負荷低減に有効な非接触ダイバータプラズマの実験測定と理論計算

分光測定



理論計算





2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)

[1] 必要性:他極が複数のトカマクを保有する中でJT-60のみに重点化

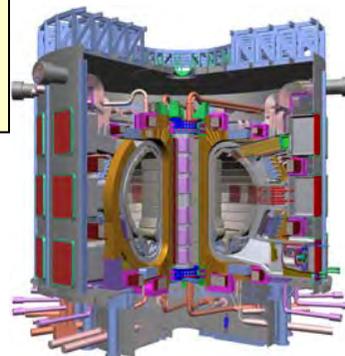
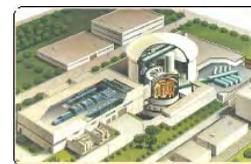
ITERと有機的に連携した国際競争力のある国内体制の構築

- ① 経済性/環境適合性改善に向けた研究開発
- ② ITERへの科学的知見の提供(国際トカマク物理活動)
- ③ ITERでの研究をリードする人材の育成

ITER

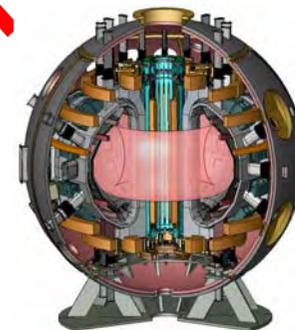
燃焼制御の実証

核融合エネルギーの早期実現
(出力200-300万kW)

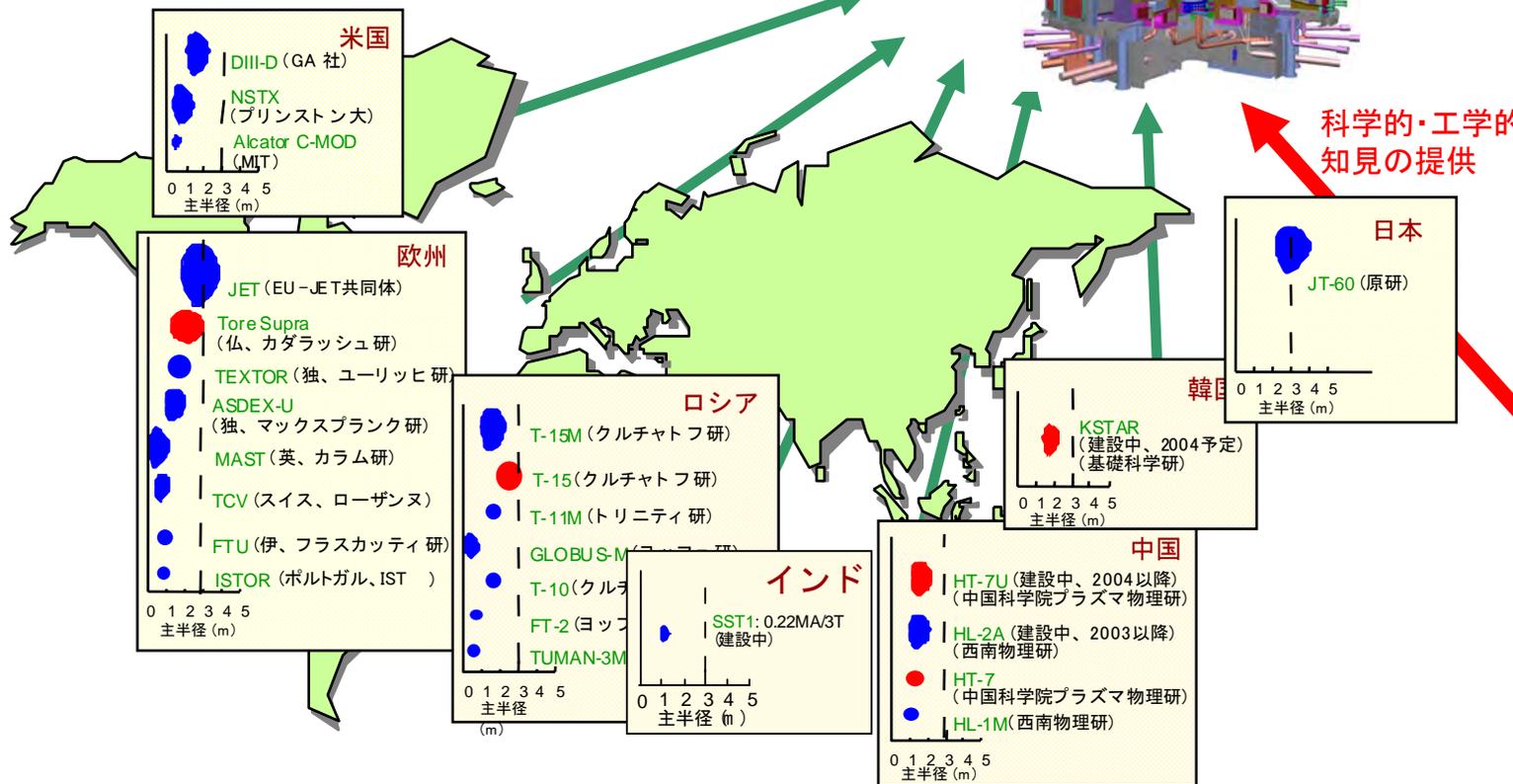


科学的・工学的
知見の提供

経済性
改善



トカマク国内重点化装置

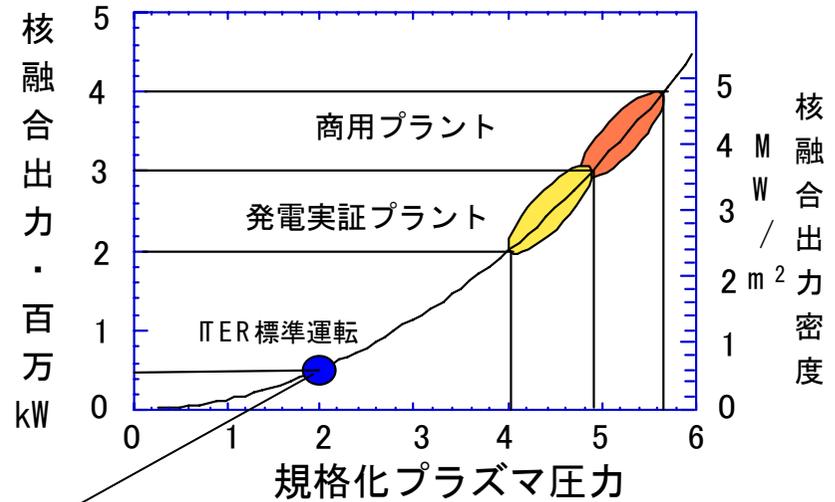
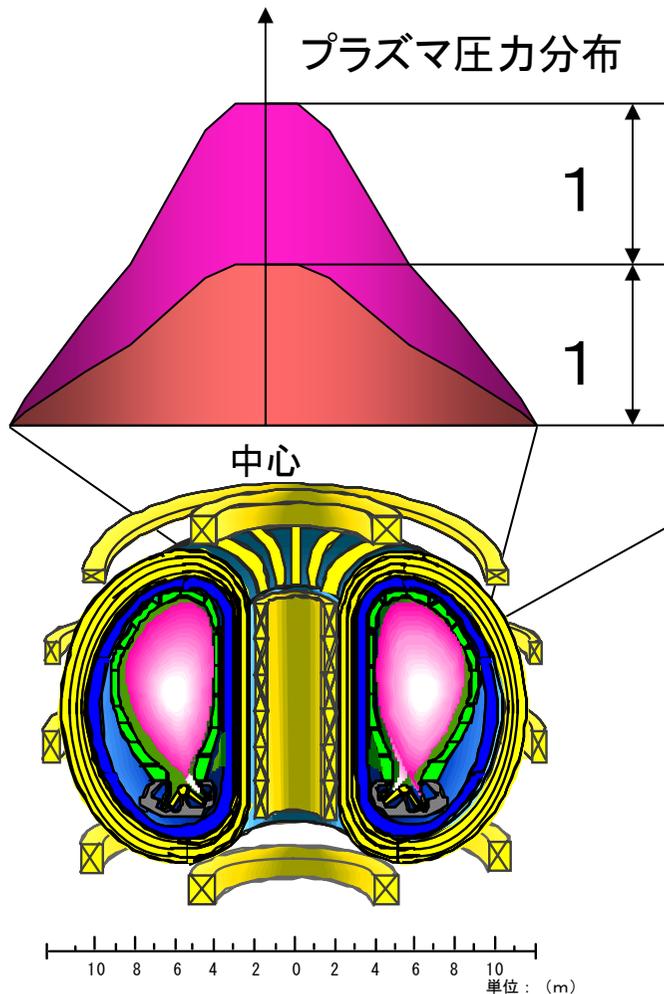




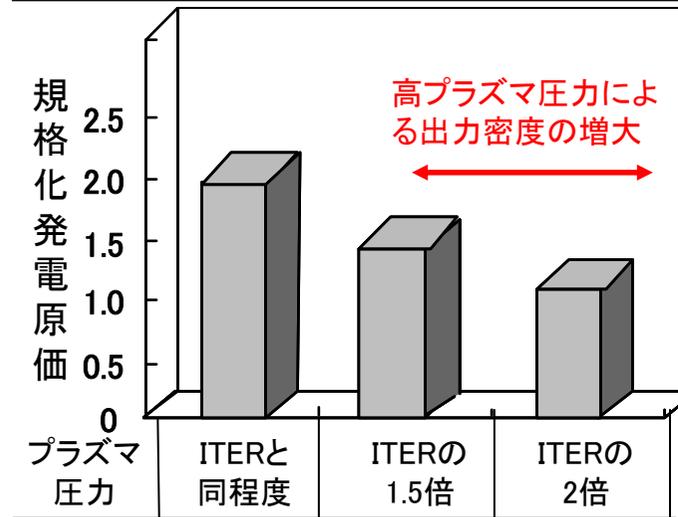
2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)

[2] 原型炉では出力密度を上げなければならない

核融合出力密度 \sim (プラズマ圧力)²
=> 圧力を2倍にすれば出力は4倍。



圧力を増やせば、発電単価は下がる





2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)

[3] 核融合研究ワーキング報告に到る経緯

H12年度：科学技術庁原子力局JT-60改修計画検討委員会(高村委員長)

JT-60改修の位置づけを策定

「第三段階核融合研究開発基本計画に定められた実験炉以外のトカマクとして、**先進的・基盤的課題**に対して、**大学等との連携協力**により取り組むこと」

H13年度：那珂研究所JT-60改修に関する技術検討会(谷津座長)

ITERの次に想定されるトカマク型原型炉を念頭に物理課題・工学課題を検討

- ・ JT-60改修設計の主要事項
- ・ 大学等と原研との協力の具体化

- 定常高ベータプラズマの制御
- 先進材料の適合性試験

H14年度：文科省核融合研究ワーキンググループ(末松座長)

- ・ 研究計画の重点化
- ・ 共同利用・共同研究の強化
- ・ 重点化後の人材育成

新規プロジェクト部会
(谷津主査)

- 機動性と自由度の確保
(アスペクト比、断面形状制御性、
帰還制御性)

諮問 ↓ ↑ 答申

H14年度：那珂研究所トカマク国内重点化装置検討会(若谷座長)

同装置の基本路線に関して検討し、指針を示した。

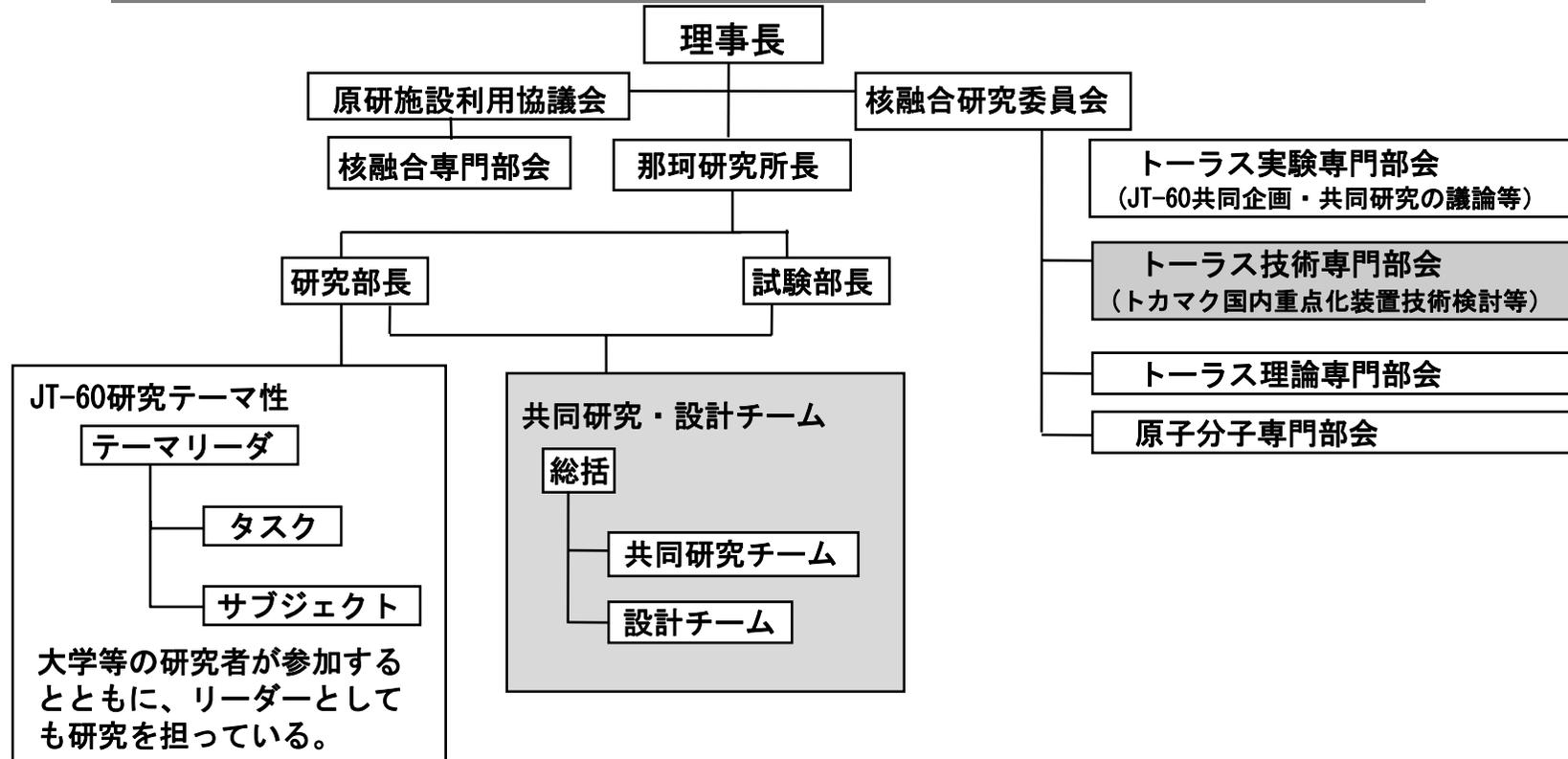
- ・ 意義
- ・ 主要パラメータ
- ・ 共同企画/共同研究の在り方
- ・ ITERとの関わり

- 高磁場運転と低アスペクト比
運転のそれぞれを重視した
装置設計を提案



2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA) [4]重点化装置に関する共同企画・共同研究の枠組

平成14年度：原研 核融合研究委員会（高村委員長）
核融合研究委員会を共同企画・共同研究の母体とすることを自ら提言



平成15年度：原研 核融合研究委員会（後藤委員長）
共同企画・共同研究の母体としてJT-60改修計画を共同企画

平成16年度：原研 核融合研究委員会（犬竹委員長）
トーラス技術専門部会の報告を受けJT-60改修の装置パラメータを了解。



2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA) [5] 国内核融合コミュニティーとの共同企画

H15～H16年度：トーラス技術専門部会(吉田部会長)

- ・核融合研究WG報告書に盛り込まれた装置性能に基づき、装置設計案を物理的及び工学的観点から総合的にレビューし、装置パラメータを取りまとめた。

大学等の研究者を始めトカマク研究の専門家が一堂に会して、JT60SAの研究戦略、プラズマ性能、装置設計について討論

H15年度 トーラス技術専門部会における、重点化装置のレビューに関する討論風景



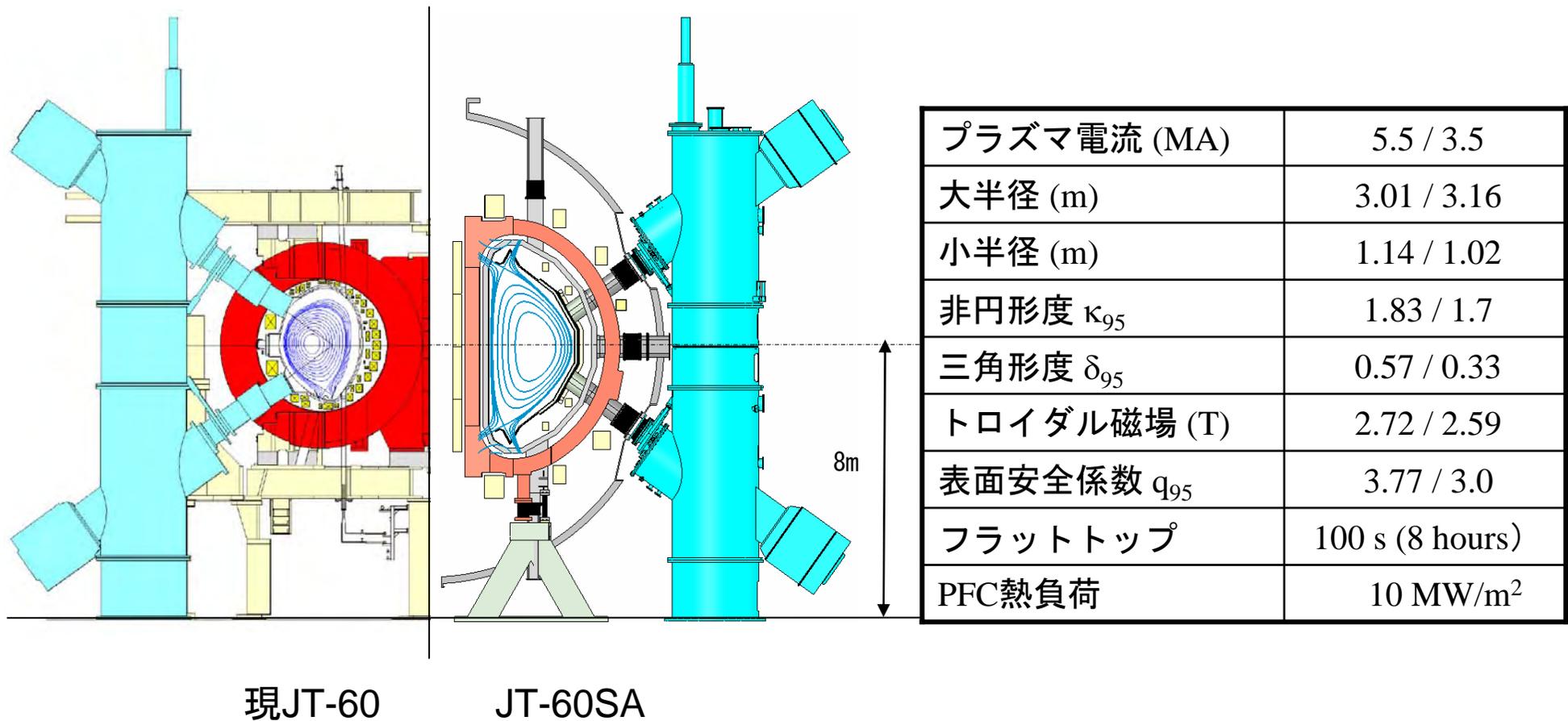


2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)

[6] JT-60改修計画の国内合意に到る討議

大学等	大学等	原子力機構	合計
平成12年科技庁原子力局JT-60改修計画検討委員会 (高村委員長)	35人日	5人日	40人日
平成13年那珂研究所JT-60改修に関する技術検討会 (谷津座長)	168人日	162人日	330人日
平成14年文科省核融合研究ワーキンググループ(末 松座長)新規プロジェクト部会(谷津主査)	122人日	32人日	154人日
同上共同利用・共同研究体制部会(吉田主査)	205人日	50人日	255人日
平成14年那珂研究所トカマク国内重点化装置検討会 (若谷座長)原研核融合研究委員会(高村委員長)	53人日	46人日	99人日
平成15年原研核融合研究委員会(後藤委員長)トー ラス技術専門部会(吉田部会長)	37人日	33人日	70人日
平成16年原研核融合研究委員会(犬竹委員長)トー ラス技術専門部会(吉田部会長)	61人日	44人日	105人日
平成17年原研核融合研究委員会(犬竹委員長)、トカマク 国内重点化装置研究会	48人日	29人日	50人日
合計	729人日	401人日	1130人日

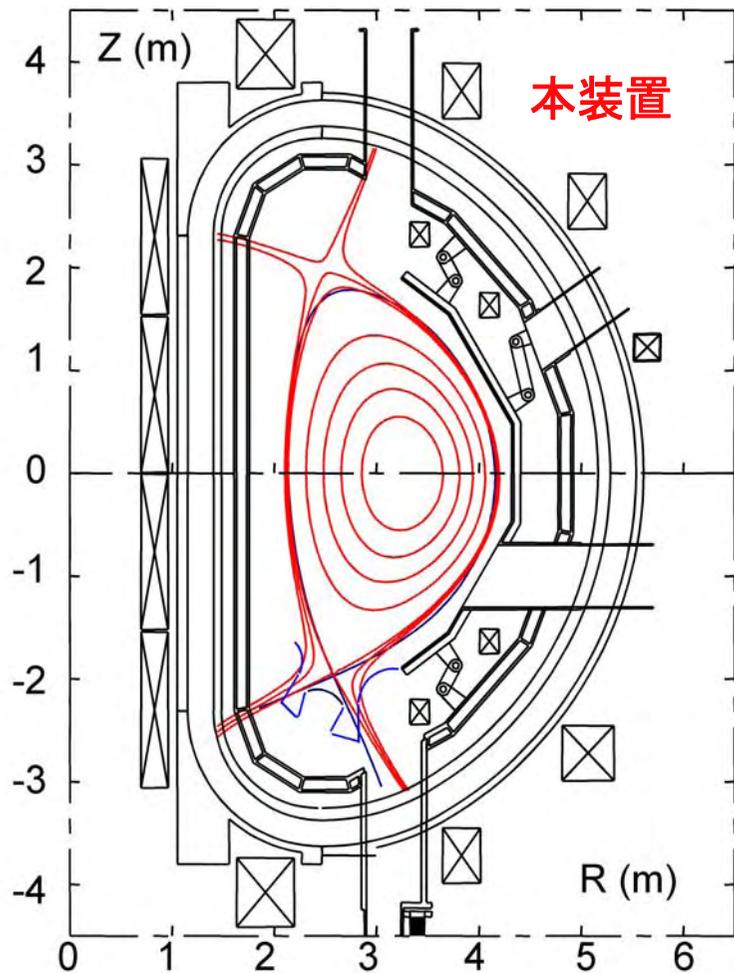
高いプラズマ形状の可変性をもつ低アスペクト比トカマク装置



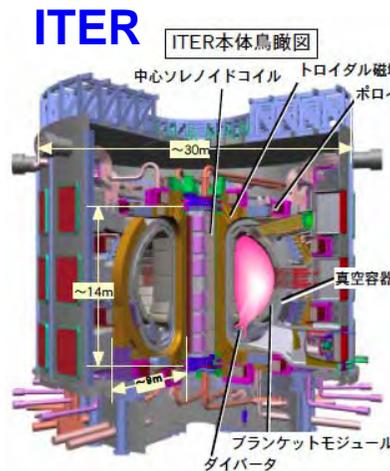


2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)

[8] ITER形状模擬でITERへの科学的技術的な寄与を最大化



ITERと同形状での実験を $I_p \leq 3.5\text{MA}$ で実施、長時間(100秒程度以上)の放電の閉じ込め、安定性、非誘導電流駆動、ダイバータ熱粒子制御の研究とその成果をITERへ反映

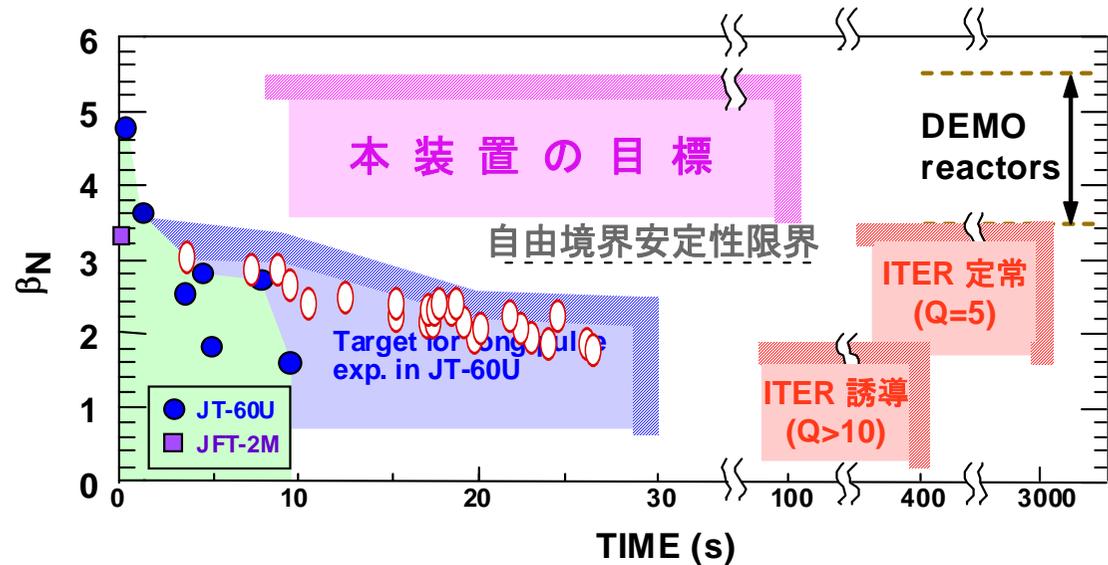
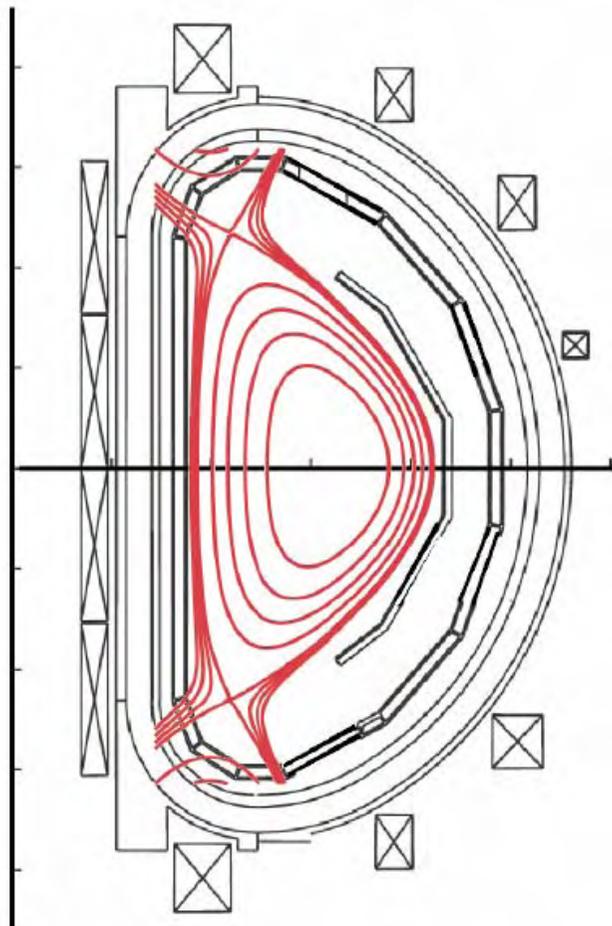


	ITER	本装置
R (m)	6.2	3.16
a (m)	2.0	1.02
A	3.1	←
κ_{95}	1.7	←
δ_{95}	0.33	←
B_T (T)	5.3	2.59
I_p (MA)	15	3.5
q_{95}	3.0	←
n_{GW} (m^{-3})	1.2×10^{20}	1.1×10^{20}



2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)

[9] 原型炉の最適化を目指しITERより幅広いプラズマ形状制御性



I_p (MA) / B_T (T)	5.5 / 2.76
R / a (m)	2.97 / 1.13
κ_{95} / δ_{95}	1.82 / 0.58
A / q_{95}	2.62 / 4.15

原型炉の定常高ベータ運転法の確立を目指し、DEMO-05(原子力機構の原型炉設計)で想定している低アスペクト比(A=2.6)プラズマにおいて、閉じ込め、安定性、非誘導電流駆動、ダイバータ熱粒子制御の研究を行う。

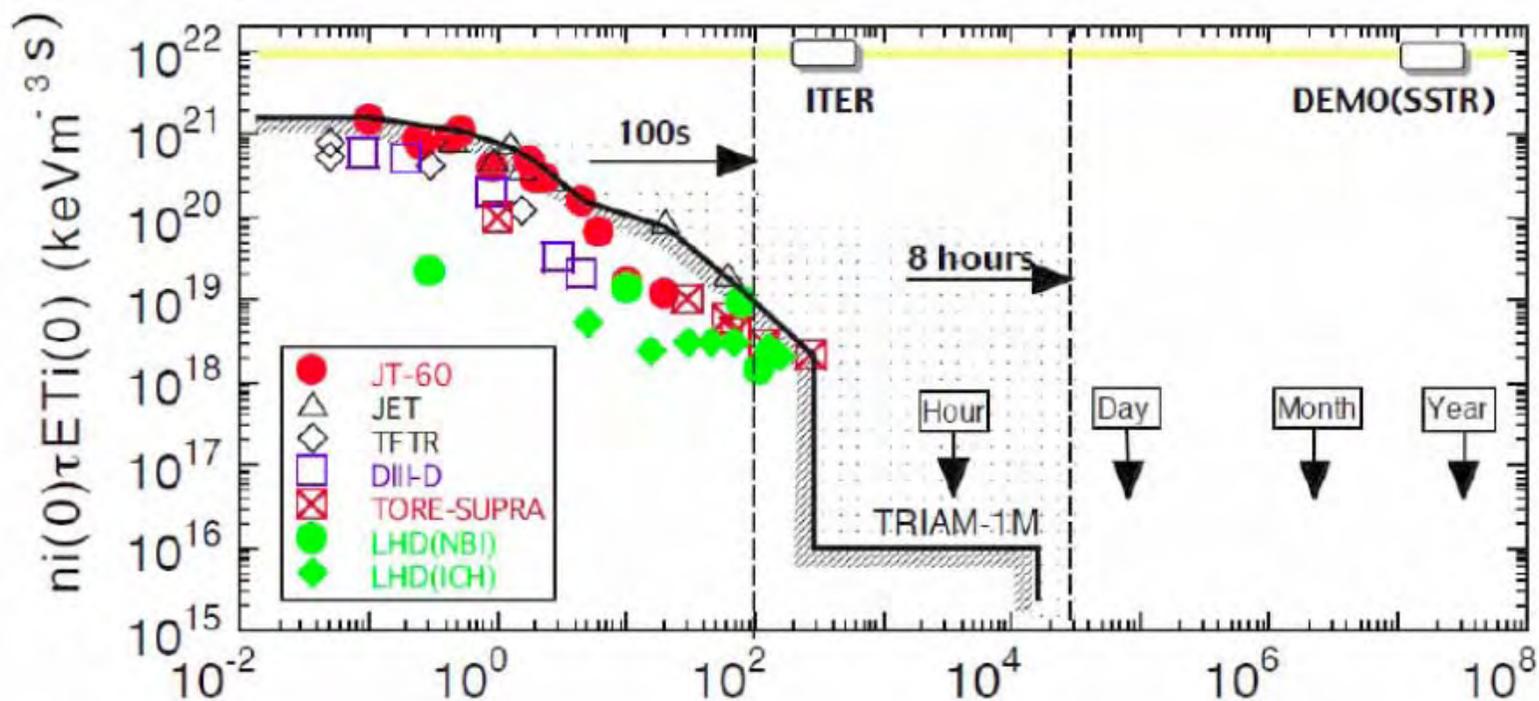
2.3 トカマク国内重点化装置計画(JT-60SA)

[10] 原型炉に向けた〜8時間連続運転(長期オプション)

原型炉に向けた重要課題

長時間プラズマ制御手法(特に粒子・熱制御)の確立

原型炉に向けたプラズマ対向材料試験





2.4 日欧サテライトトカマク計画(JT-60SA)

[1] トカマク国内重点化装置とサテライトトカマク計画の共同計画化

H17年度：ITER計画推進検討会(有馬座長)

委員(高村教授、田中教授、本島教授、松田理事)

・核融合の実現のためにITERと平行して補完的に取り組むべき研究開発プロジェクト(幅広いアプローチ)の中のサテライトトカマクとして位置づけ、EUと共同で進めることが定められた。

H17年度：日・EUサテライトトカマクワーキンググループ(松田座長)

委任事項

- (1) BA活動の一環としてのITERのサテライトトカマクとしてJT-60を用いた改造の適切さを評価するために、日本提案の技術提案と評価コストをレビューする。
- (2) 改造の調達品に対してEUが貢献可能な領域を同定するとともに、それに続く装置を使った研究期間でのEUの可能な貢献を明らかにする。
- (3) EUの役割を含んだ改造後のJT-60を用いた研究の組織の在り方を構想する。
- (4) BA活動の一環として共通の研究開発計画の要素を明らかにする。



2.4 日欧サテライトトカマク計画(JT-60SA)

[2] サテライト・トカマクワーキンググループ

座長：松田慎三郎執行役

EU委員：F. Romanelli(CP), J. Pamela, D.Campbell, S.C. Lorenzo, C. Sborchia, J.J. Cordier

JA委員：菊池満(CP), 高瀬雄一(東大)、三浦幸俊、松川誠、桜井真治



第1回SA-WG (那珂)：平成17年10月5-6日



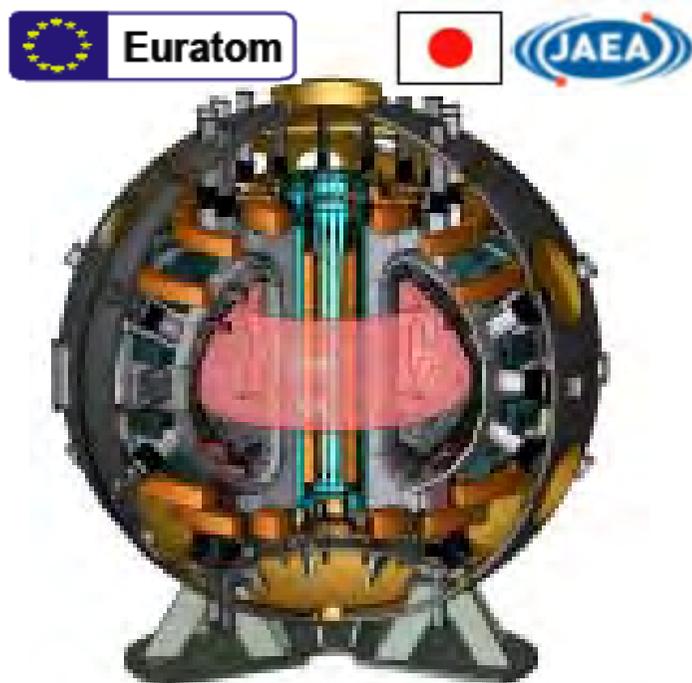
第2回SA-WG (ガルピン)：平成17年11月3-5日



2.4 日欧サテライトトカマク計画(JT-60SA)

[3] 日欧サテライトトカマクWGの協議に基づく装置パラメータの変更

1. 加熱入力が増強
2. 中性子発生量の増加
3. 遠隔保守装置の追加
4. ダイバータ除熱の強化



プラズマ電流 (MA)	5.5 / 3.5
大半径 (m)	3.01 / 3.16
小半径 (m)	1.14 / 1.02
非円形度 κ_{95}	1.83 / 1.7
三角形度 δ_{95}	0.57 / 0.33
トロイダル磁場 (T)	2.72 / 2.59
表面安全係数 q_{95}	3.77 / 3.0
フラットトップ	100 s (8 hours)
加熱電流駆動パワー	41 MW x 100 s
垂直 NBI	16 MW
接線 Co NBI	4 MW
接線 CTR NBI	4 MW
負イオン NBI	10 MW
ECRH	7 MW
PFC熱負荷	10 MW/m ²
中性子発生量 (年間)	4 x 10²¹

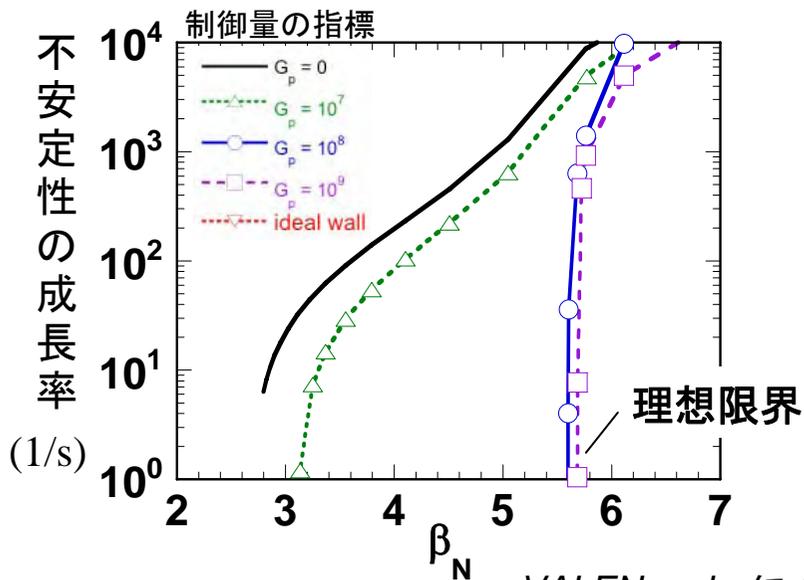
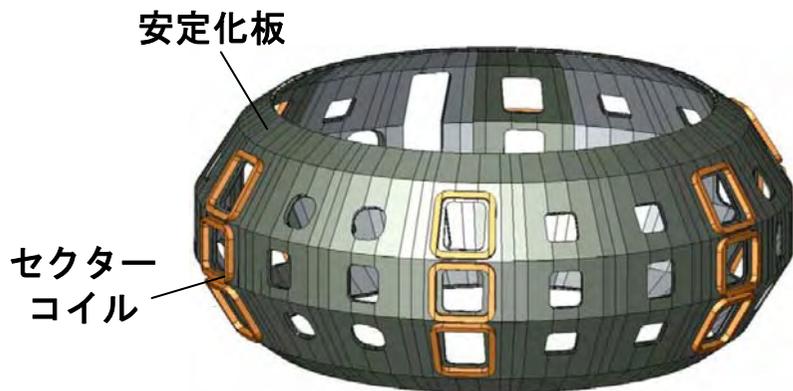


2.4 日欧サテライトトカマク計画(JT-60SA)

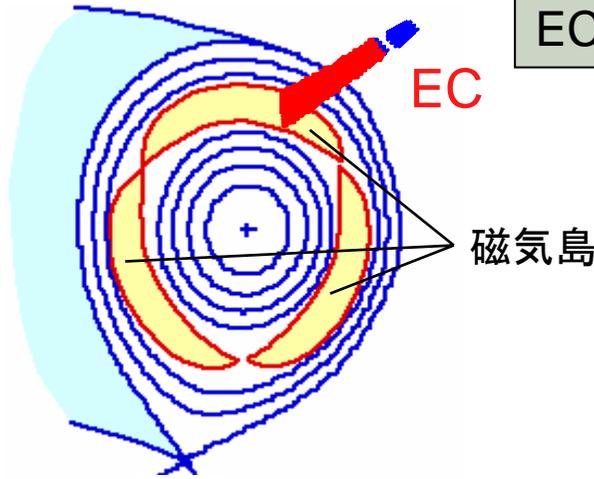
[4] 欧州の出資により豊富な制御ツールの整備が可能となった

高ベータプラズマの制御

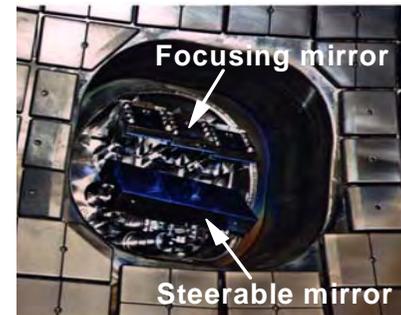
セクターコイルの設計と制御性の評価



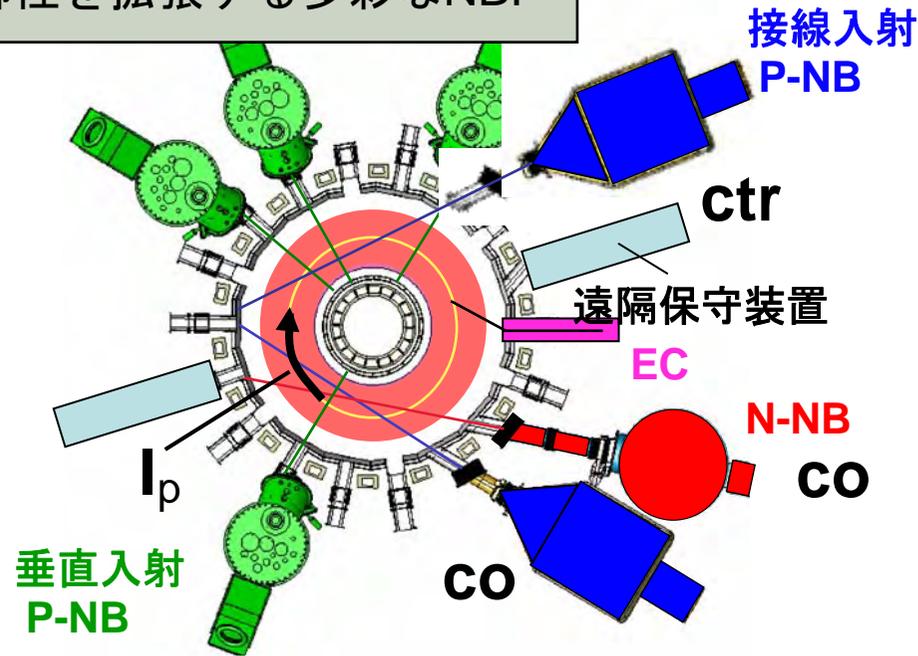
VALEN code による解析例



ECによる安定化制御



分布制御性を拡張する多彩なNBI





3. 共同企画・共同研究の強化



3.1 共同企画・共同研究の運営体制の構築

平成15年3月平成14年度第1回核融合研究委員会(委員長 高村秀一教授)

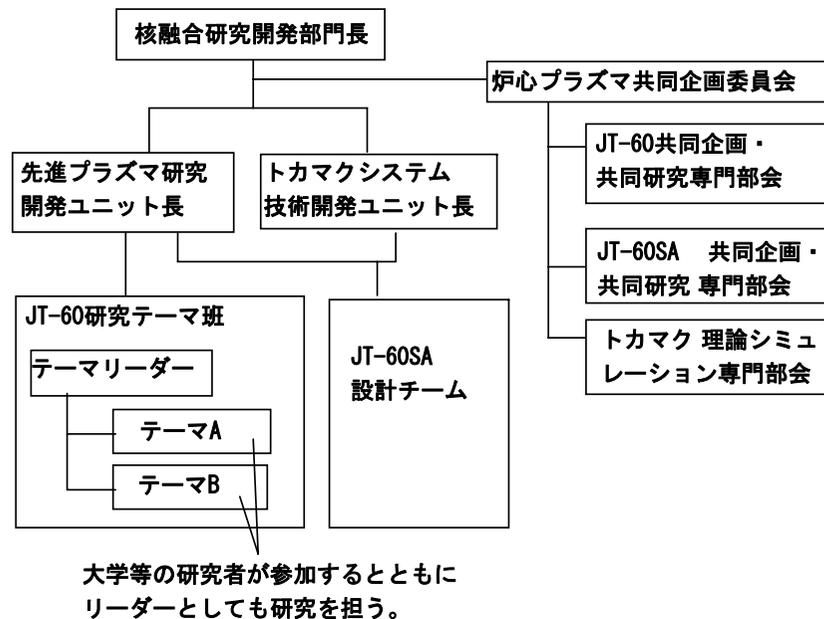
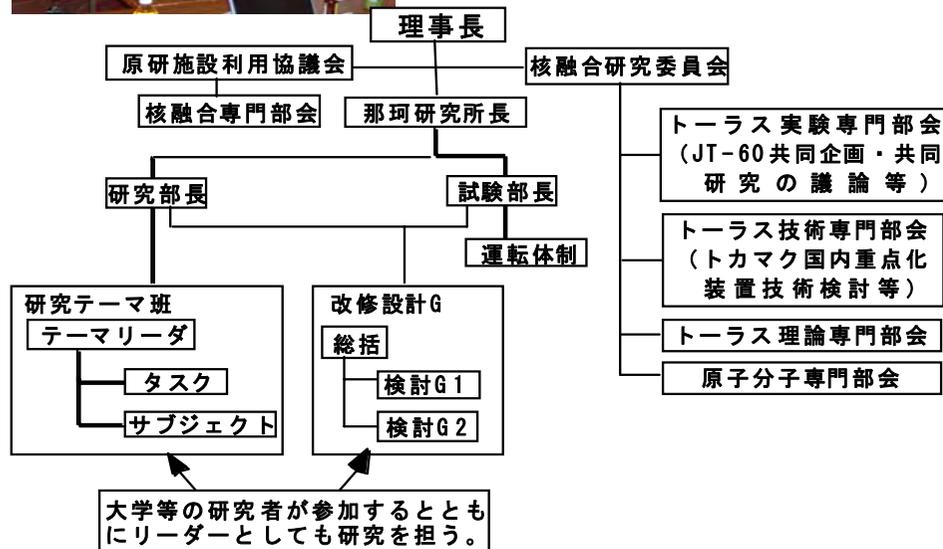
平成15年6月 平成15年度第1回核融合研究委員会(委員長 後藤誠一教授)

○核融合研究委員会を「原研と核融合コミュニティーの炉心プラズマ研究に関する戦略的共同企画・共同研究の運用母体」と位置付ける



「共同企画」の一層の強化

H18年現在の体制

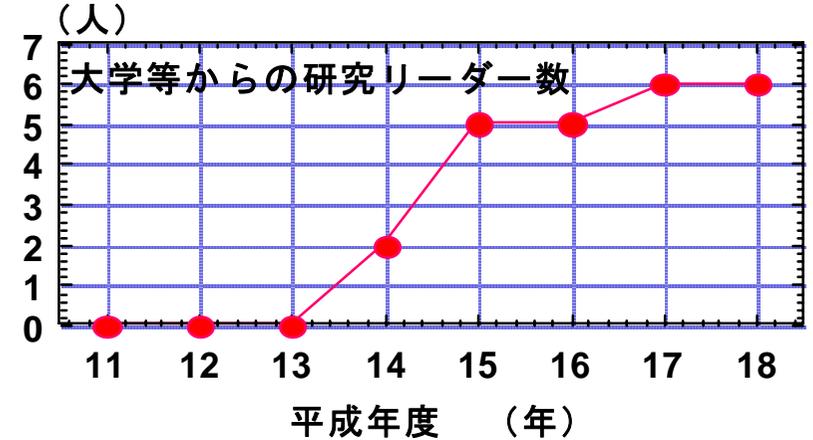




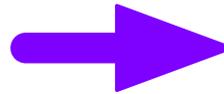
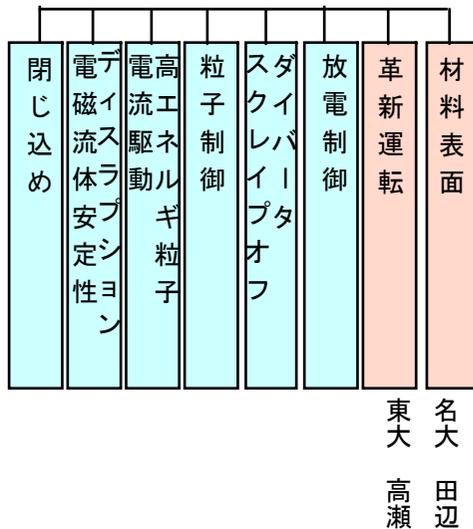
3.1 共同企画・共同研究の運営体制の構築

[1] JT-60実験テーマ制における共同企画・運営の進展

平成17年度より、各研究テーマのリーダーを原研職員と大学教授同数で構成し、全ての研究領域を共同運営。
テーマ名は、国際トカマク物理活動と概ね一致。



平成14年度 2領域のリーダーが
大学研究者



全ての領域を
共同運営

平成17-18年度



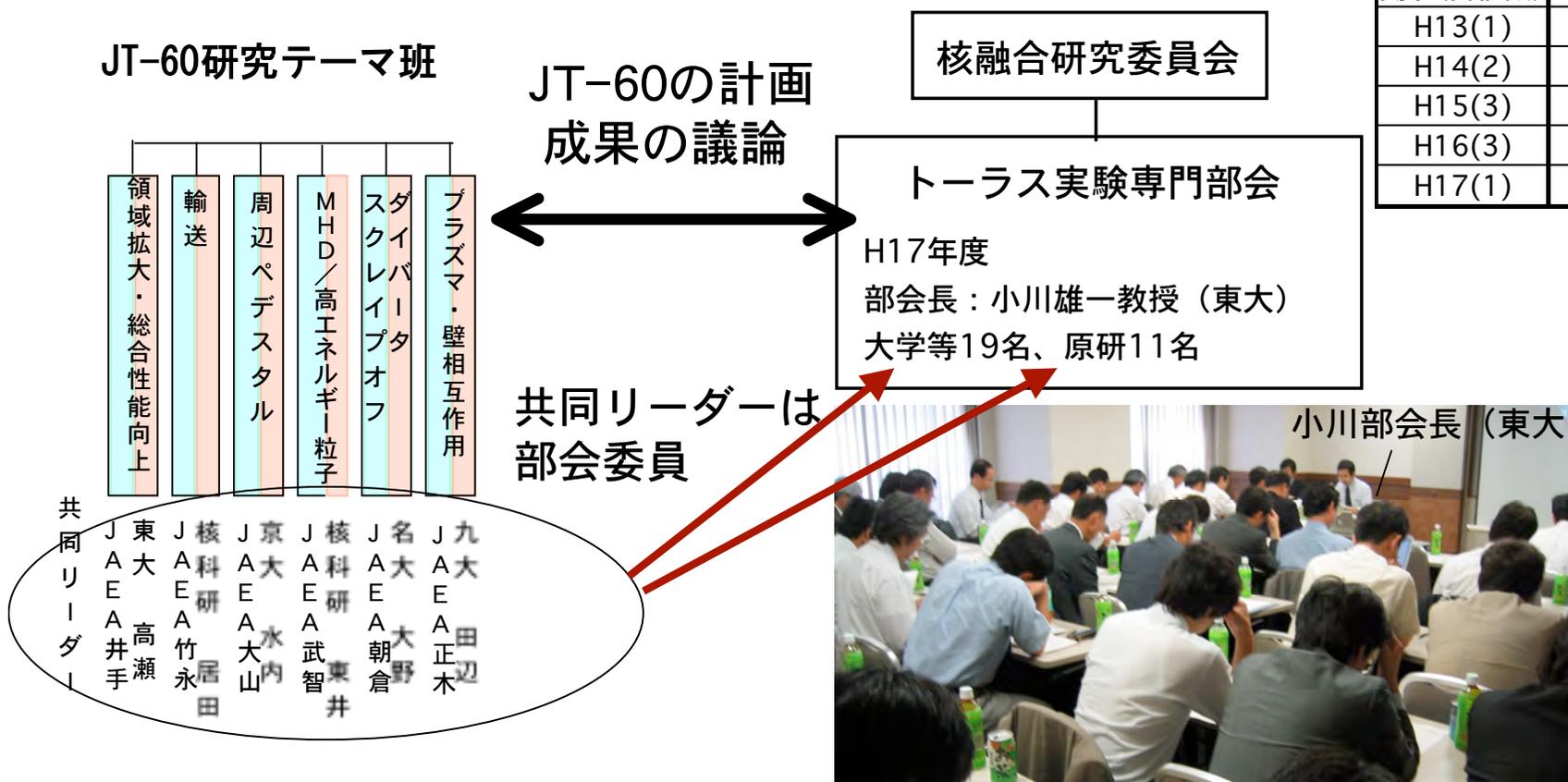


3.1 共同企画・共同研究の運営体制の構築

[2] トーラス実験専門部会

戦略的共同企画・共同研究の具体化の検討を行い、核融合研究委員会に提案する。
 具体的には、JT-60及びそれに続くトカマク国内重点化装置を用いた
 共同企画・共同研究、双方向的共同研究、及び連携研究の進め方と
 形態の検討、共同研究促進措置の具体的検討、人材育成の進め方の検討を行う。

年度（開催数）	大学等	原研	合計
H13(1)	11	8	19
H14(2)	23	20	43
H15(3)	39	42	81
H16(3)	53	60	113
H17(1)	16	12	28
全合計			284



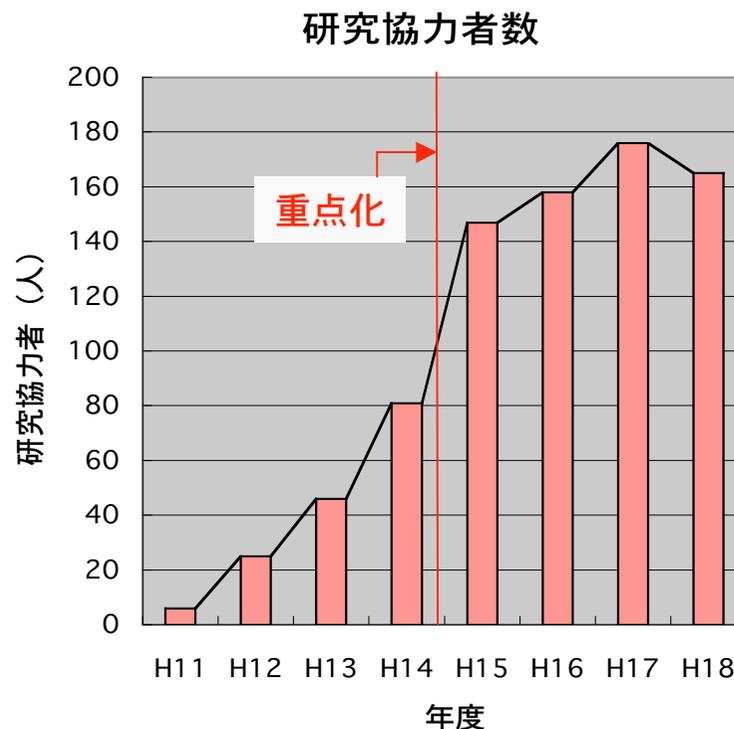
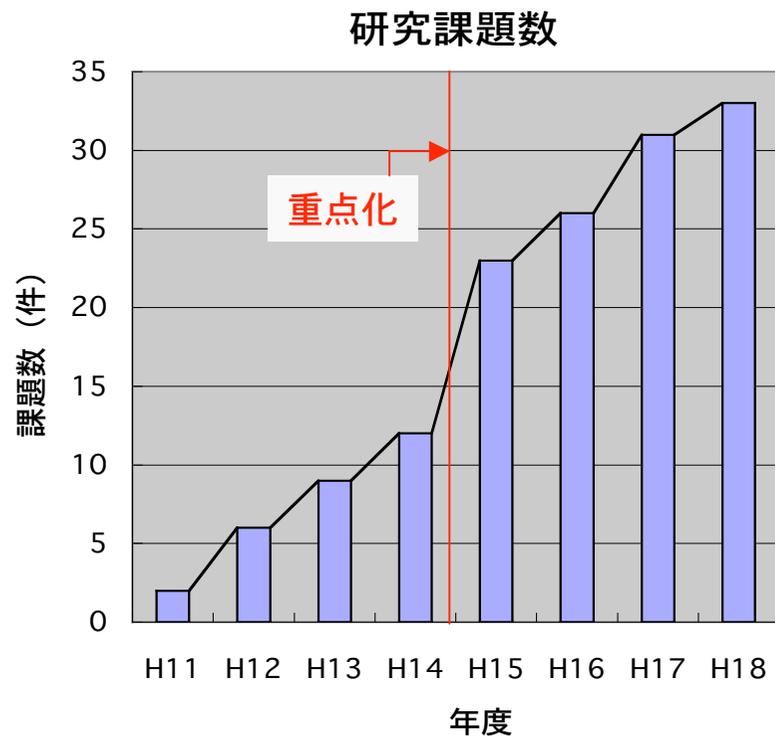
3.2 共同研究の進展

JT-60公募型研究協力の運営は原研施設利用協議会の下での核融合専門部会 (H17年度下期は核融合研究開発部門に設置した核融合研究協力委員会) により行った。

→ H18年度からは炉心プラズマ共同企画委員会の下で一体的に行う。

(1) 研究課題数、研究協力者数

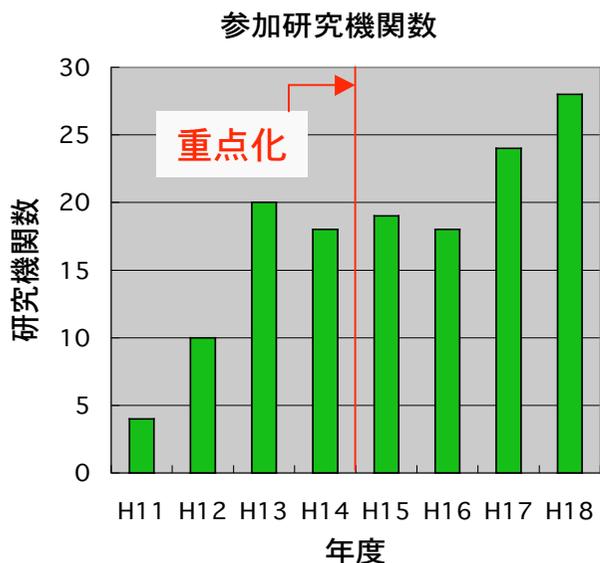
- JT-60公募型研究協力の研究課題数、研究協力者数は平成15年度以降顕著に増加し、平成18年度はそれぞれ33件、165名に上っている。



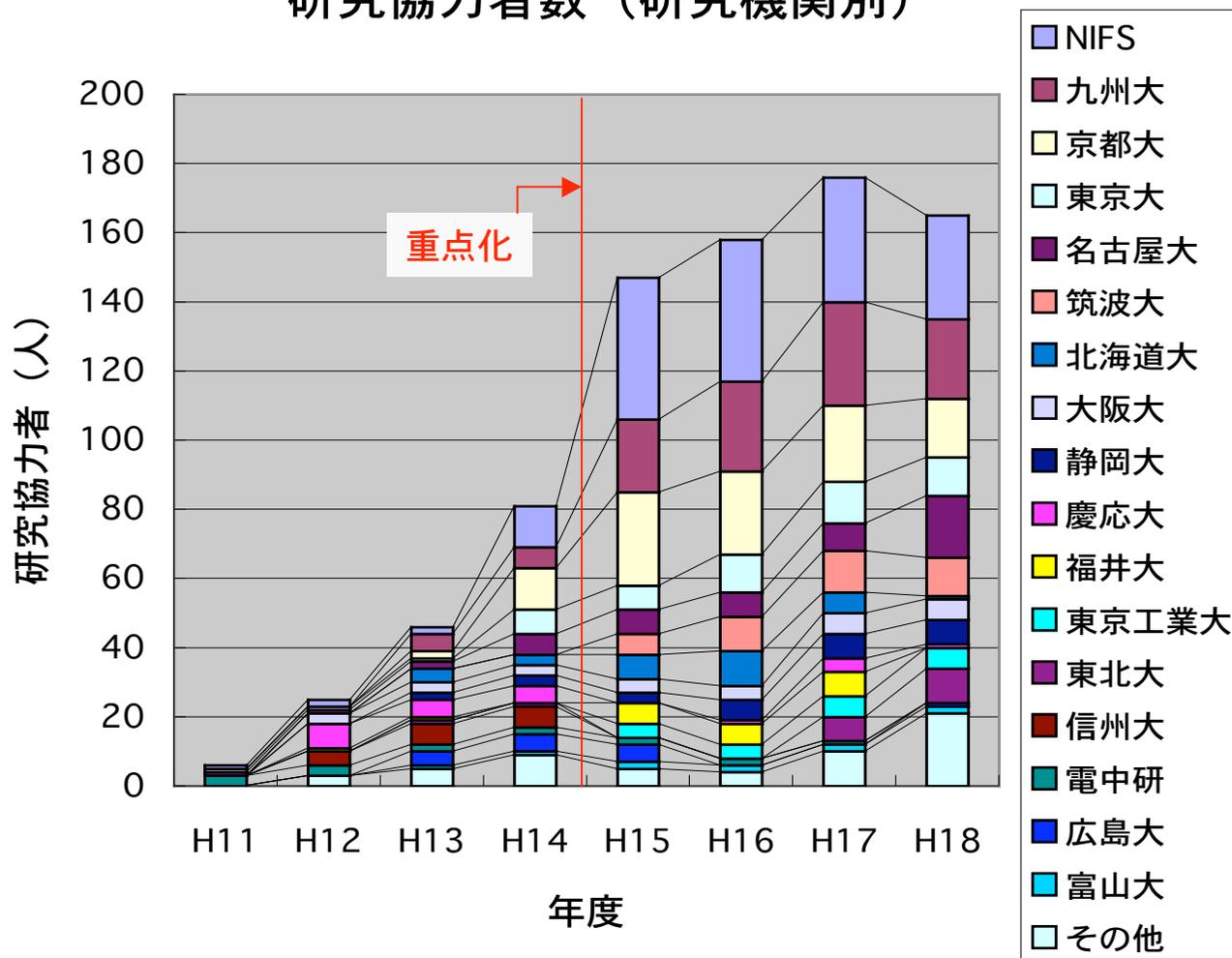
3.2 共同研究の進展(続)

(2) 参加する研究機関

- 参加する研究機関は核融合科学研、九州大、京都大、東京大、名古屋大、筑波大、北海道大をはじめ、全部で28機関に及ぶ（H18年度）。



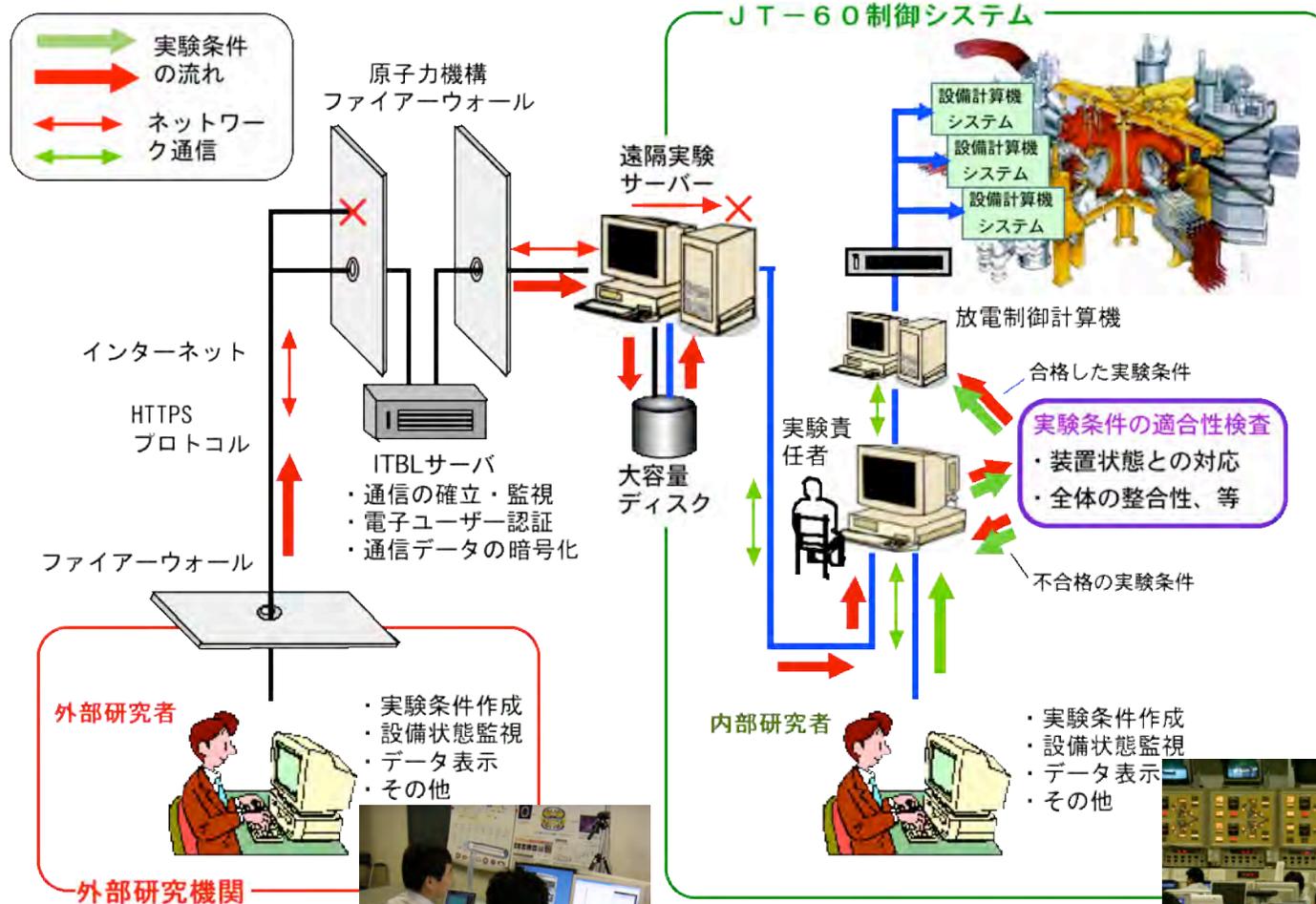
研究協力者数（研究機関別）



3.2 共同研究の進展（続）

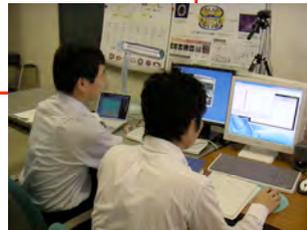
(3) 遠隔実験システム

共同研究者によるJT-60への遠隔実験システムを高いセキュリティー技術を用いて構築



遠隔地からJT-60
実験条件の設定や
実験状況の監視及
び実験結果データ
の閲覧を可能とし
たシステムを開発。
高いセキュリティー
技術を用いて安全
な遠隔実験を初め
て実現。

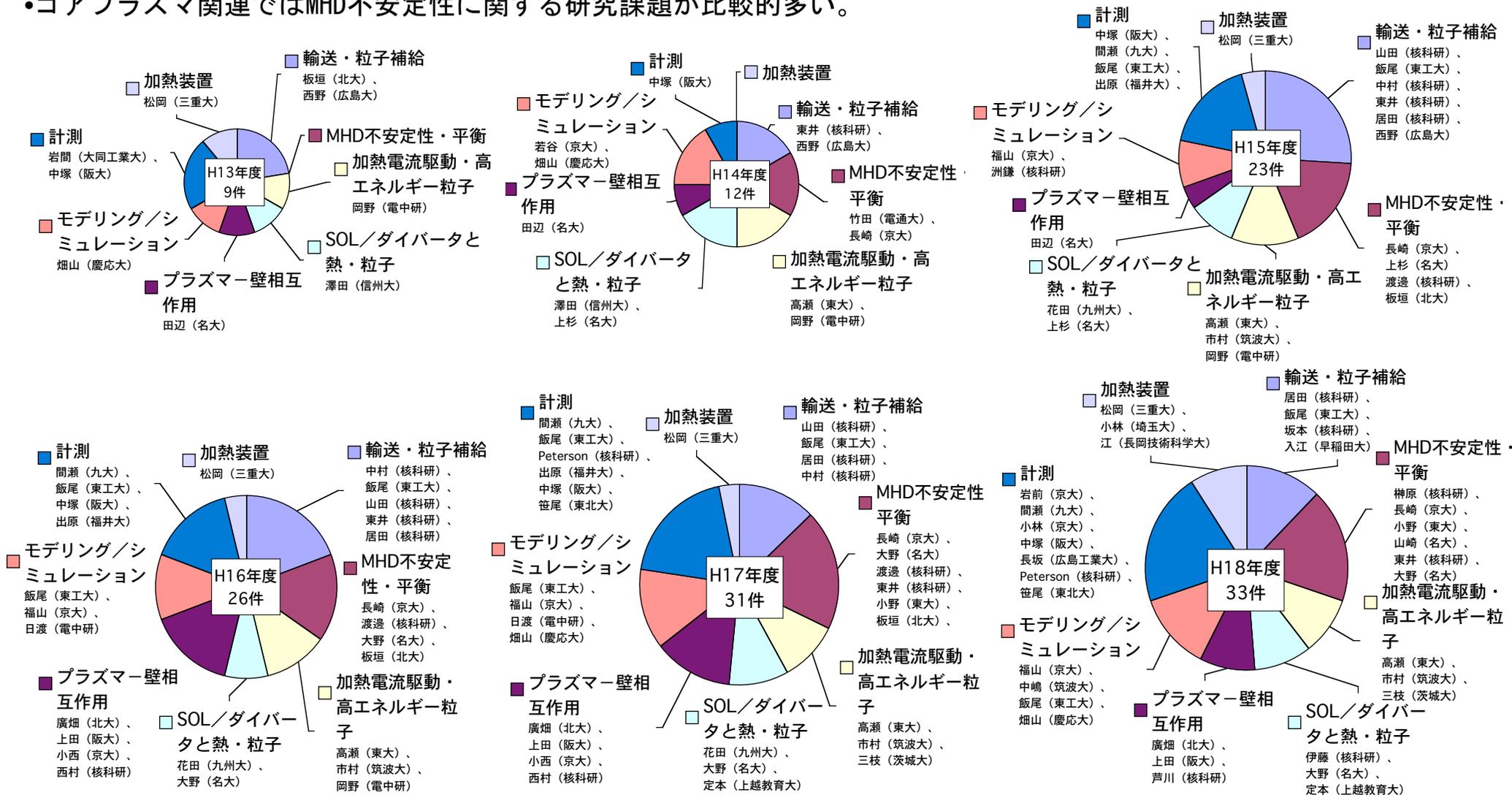
平成18年6月京都大
より遠隔実験に成功。



3.2 共同研究の進展(続)

(4) 研究協力の分野の変遷

- 最近の傾向としてコアプラズマ関連の研究課題が相対的に減り、プラズマ計測・加熱装置関連の研究課題が増えている。
- コアプラズマ関連ではMHD不安定性に関する研究課題が比較的多い。



3.2 共同研究の進展 (続)

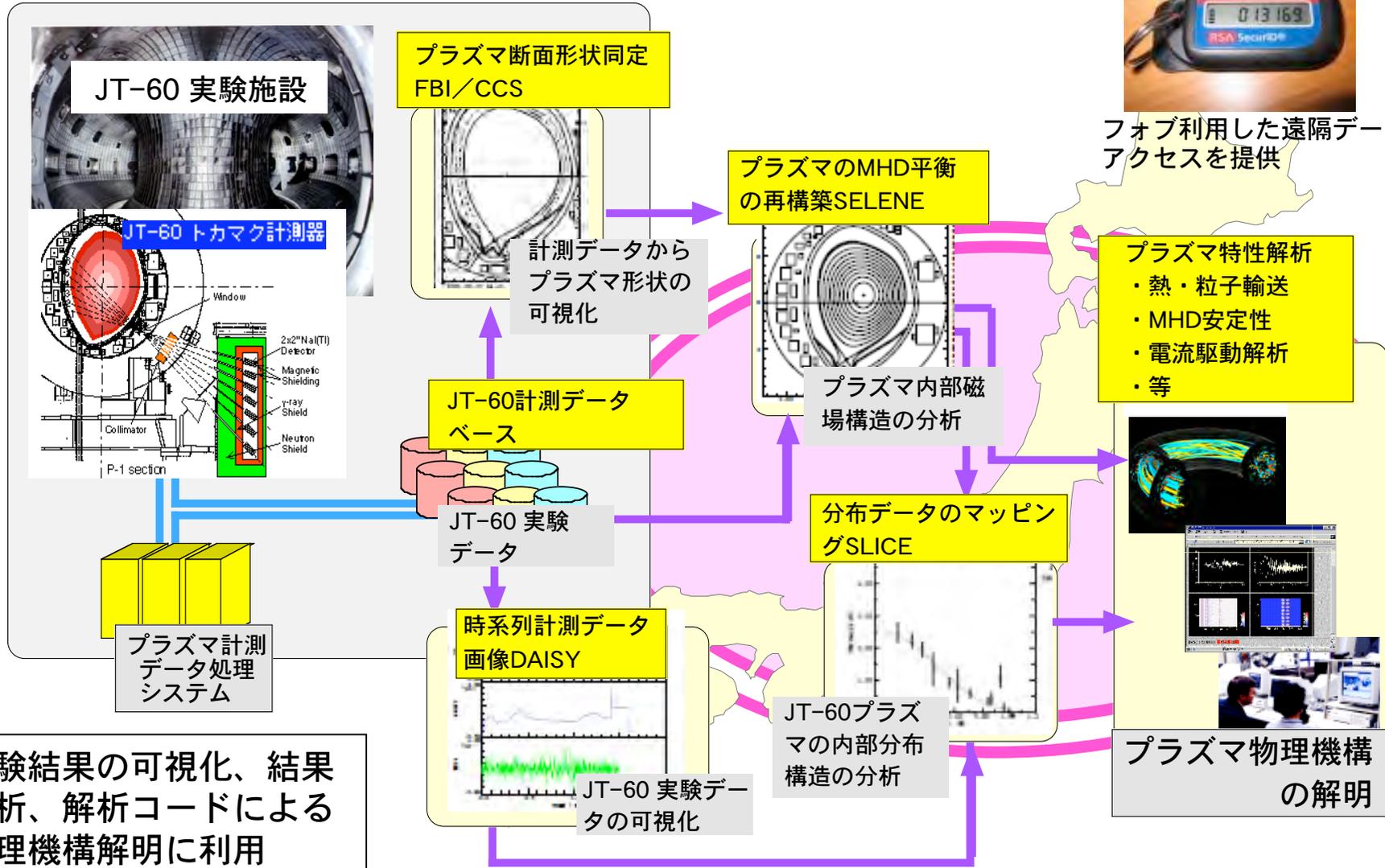
(5) 研究環境の整備

JT-60実験データの解析コード群を共同研究に提供

ネットワークを通して
全国の大学からも利用



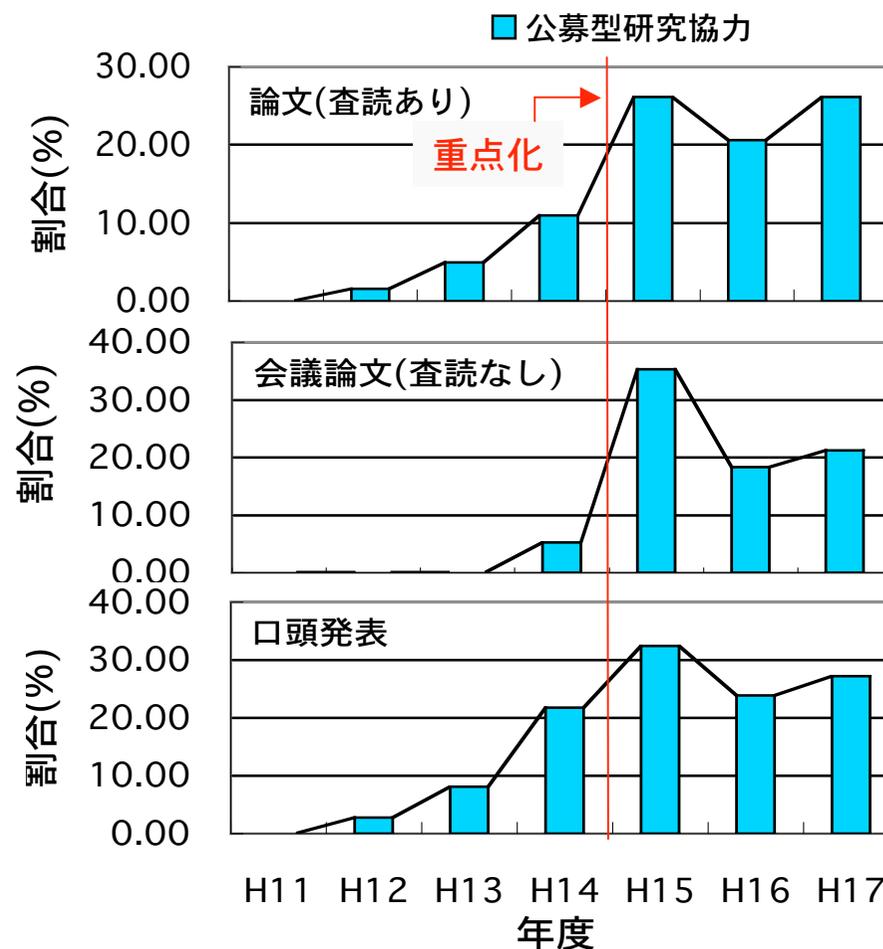
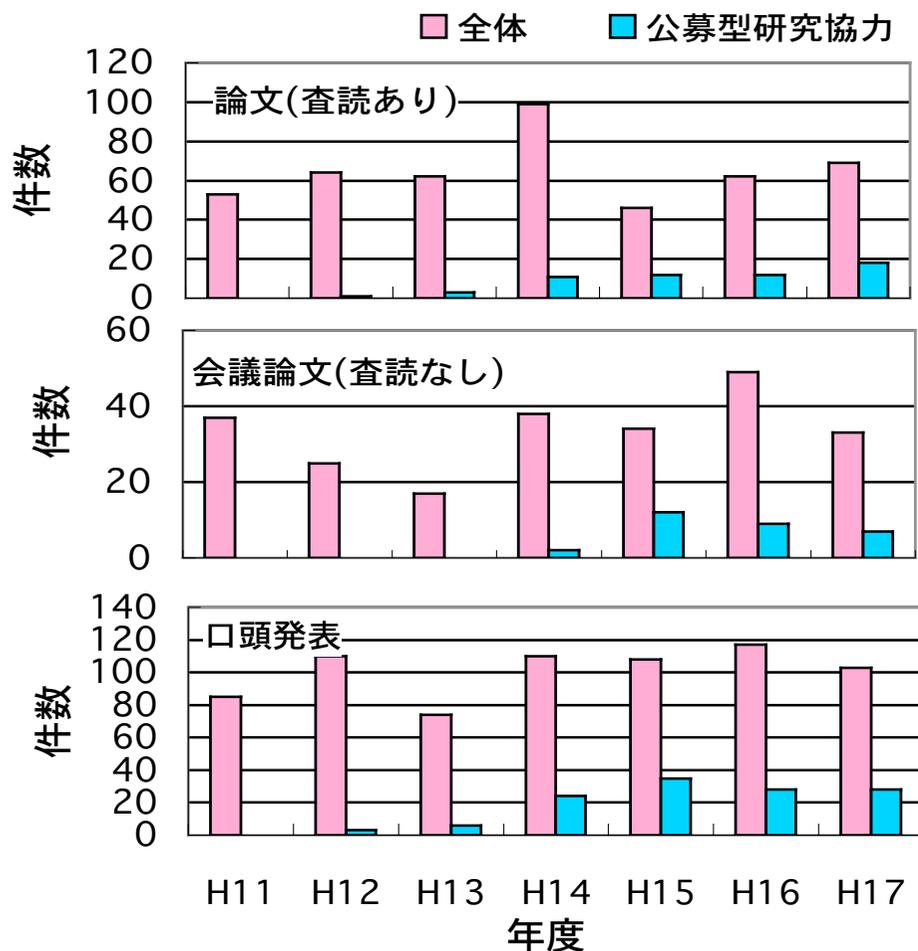
フォブ利用した遠隔データ
アクセスを提供



3.2 共同研究の進展(続)

(6) 研究発表件数

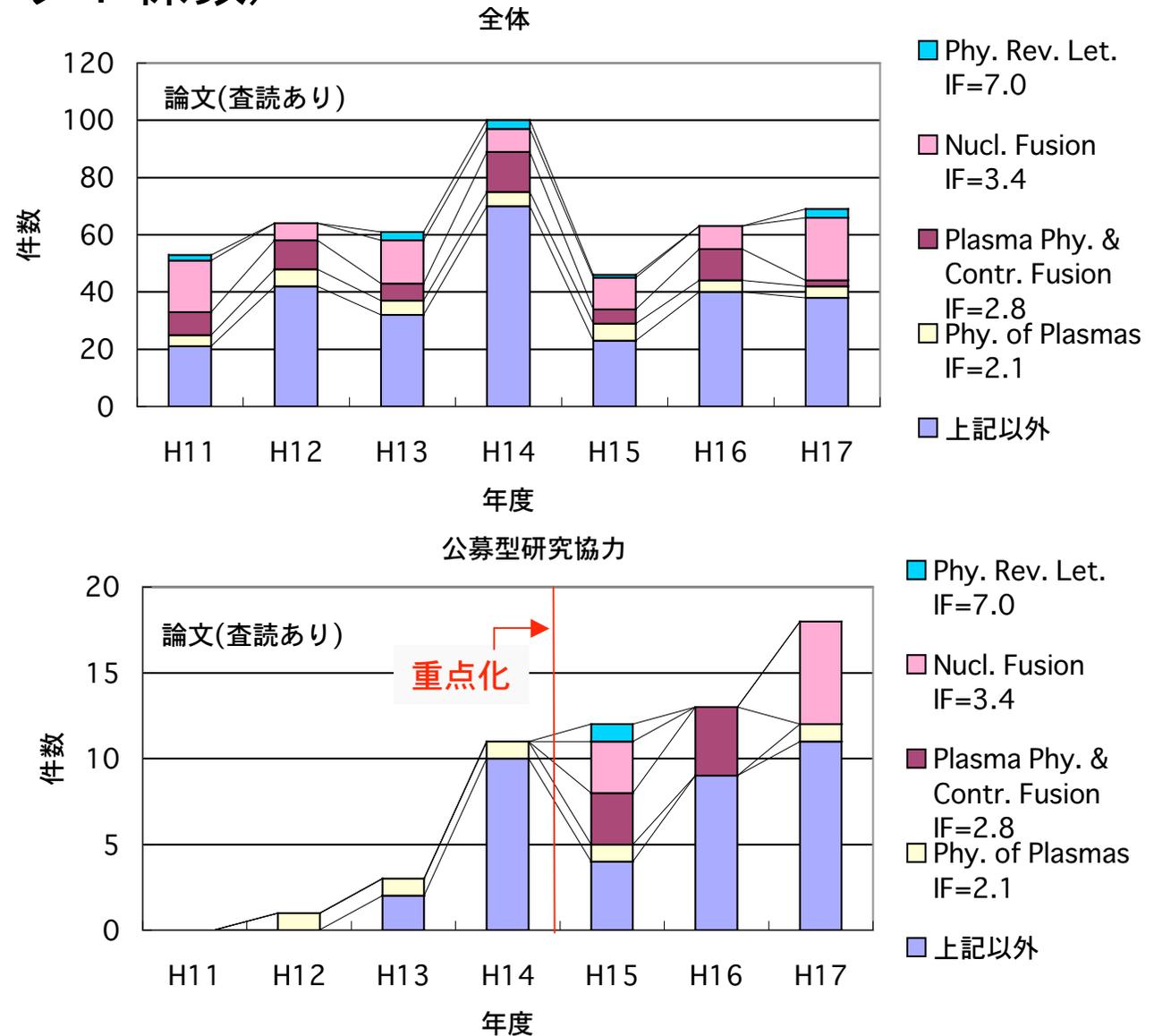
- 重点化後、学術誌論文（査読あり）、会議論文（査読なし）、口頭発表に占める公募型研究協力の成果は増加し、それぞれ全体の 20-30%を占める。



3.2 共同研究の進展(続)

(7) 論文発表(インパクト係数)

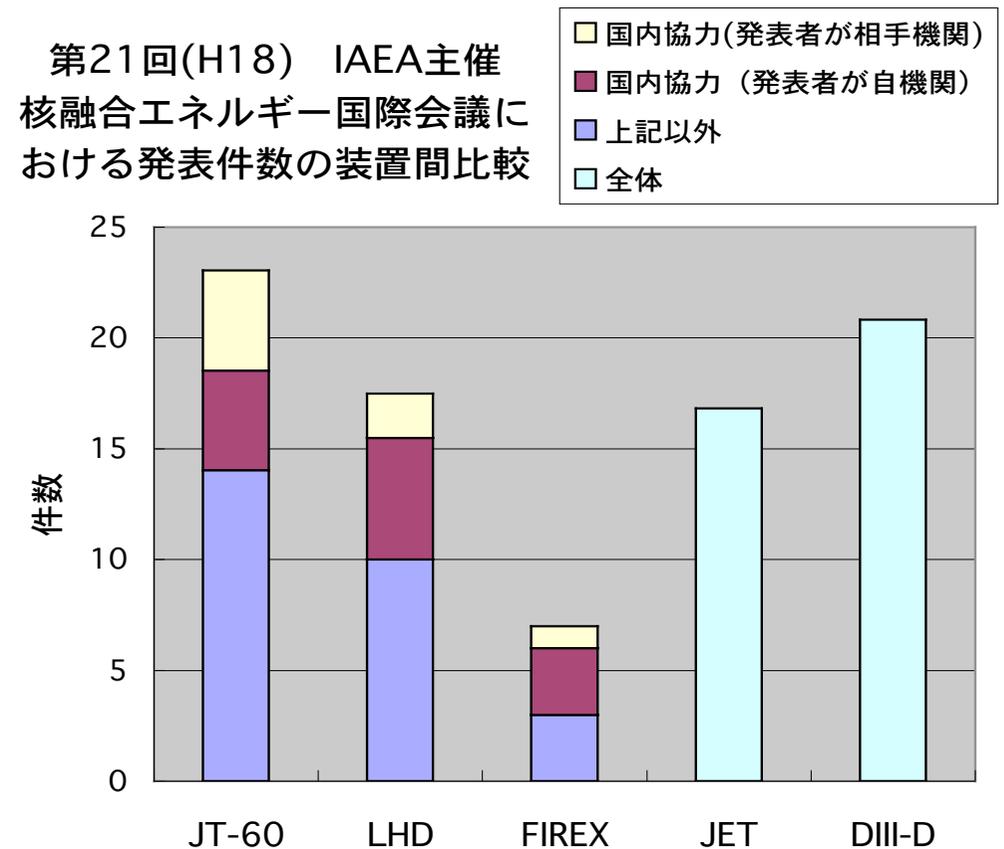
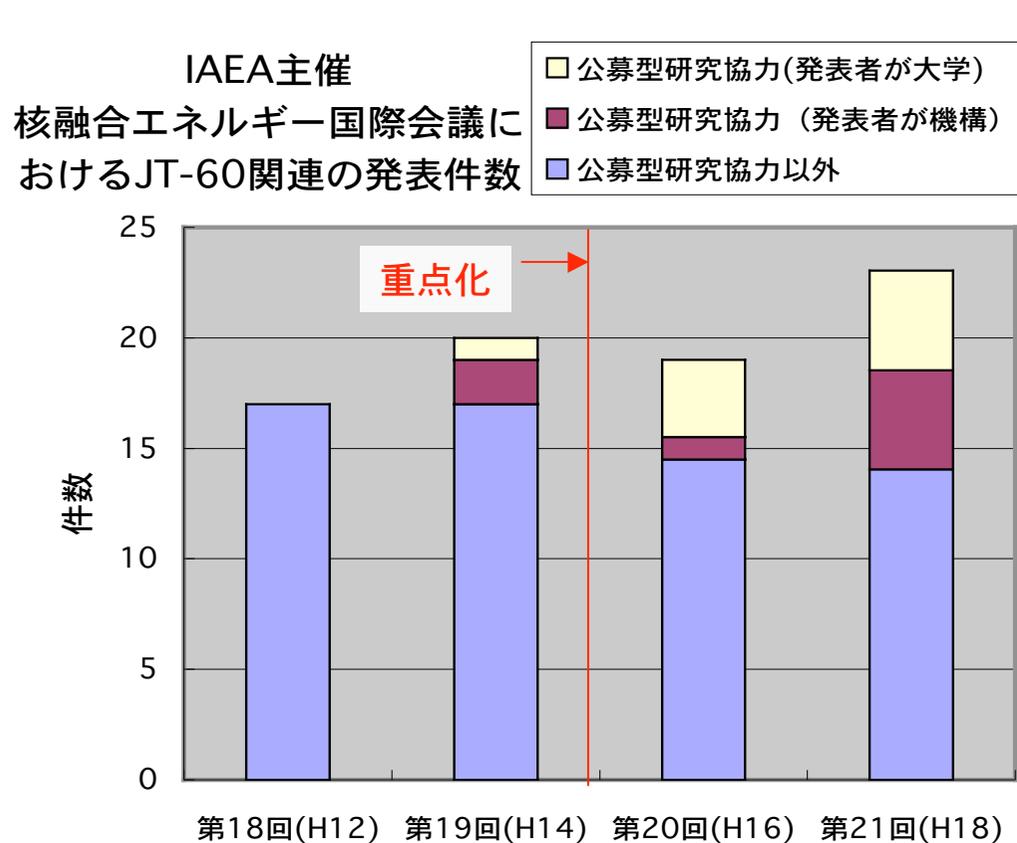
- JT-60全体としてインパクト係数(IF)の高い論文誌に数多く発表している。
- 重点化後、公募型研究協力に係る論文発表に於いて、インパクト係数の高い論文誌の占める割合が急増している。



3.2 共同研究の進展(続)

(8) IAEA核融合エネルギー国際会議発表件数

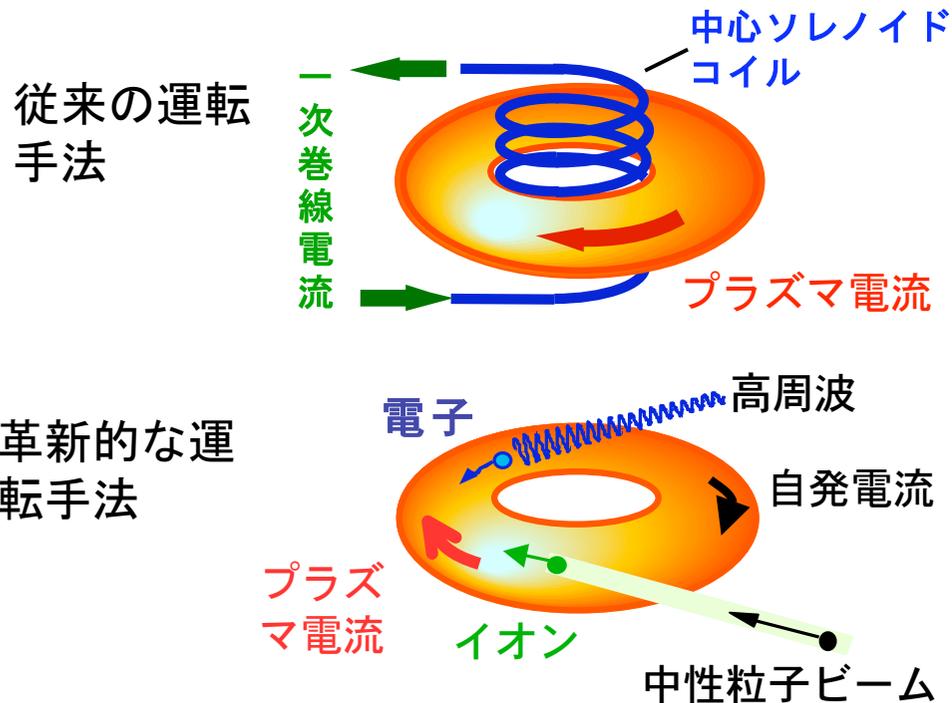
- 重点化後、公募型研究協力の成果に関する発表件数は顕著に増加している。
- 発表を相手機関の研究者が行う件数がLHD、FIREXに比べて多い。



3.3 共同研究の主な成果

(1) 中心ソレノイドなし運転の開発

- トカマク型装置に従来必要と考えられていた中心ソレノイドコイルを用いずに、プラズマ電流を生成し、高いエネルギー閉じ込め性能のプラズマを効率的に生成・維持する、革新的な運転手法を世界で初めて実証（平成14年7月プレス発表）。
- 東京大学、京都大学、九州大学、九州東海大学、原研の実験グループ（リーダー 東京大学教授 高瀬雄一）による本格的な連携協力のもとに達成。
- 中心ソレノイドコイルを省略できれば、トカマク型核融合炉において大幅な機器の簡素化が期待でき、小型化・高出力密度化による経済性の向上につながる



革新運転研究グループ
（リーダー高瀬東大教授）

S. Shiraiwa et al., Physical Review Letters, 2004, "Formation of advanced tokamak plasmas without the use of an ohmic-heating solenoid".

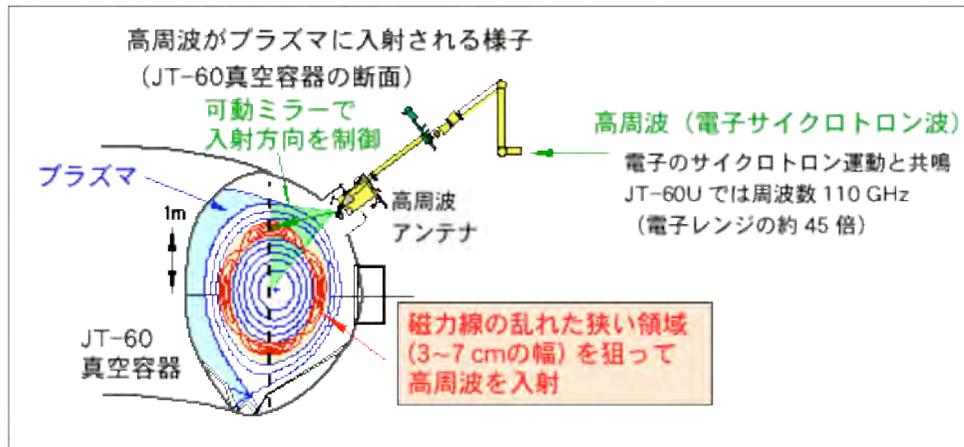
京都大学との共同研究（代表：長崎百伸助教授）

大学と原子力機構の共同研究による成果の相乗効果

プラズマ中に乱れが発生すると圧力が低下
 →乱れの抑制手法を確立することが重要

- ・ 実時間で乱れの発生場所を検知して高周波を入射
- ・ 実時間でのミラー駆動方式による抑制：世界初

長崎論文： Nuclear Fusion誌ダウンロード数第4位。



共著論文・発表



共著論文

1. K. Nagasaki, A. Isayama, S. Ide and JT-60 team, "Stabilization effect of early ECCD on a neoclassical tearing mode in the JT-60U tokamak", Nucl. Fusion 43 (2003) L7-L10
2. A. Isayama, et al., "Achievement of high fusion triple product, steady-state sustainment and real-time NTM stabilization in high-βp ELMy H-mode discharges in JT-60U" Nucl. Fusion 43 (2003) 1272-1278
3. N. Hayashi, A. Isayama, K. Nagasaki and T. Ozeki, "Numerical Analysis of Neoclassical Tearing Mode Stabilization by Electron Cyclotron Current Drive" J. Plasma and Fusion Research, Vol.80 (2004) 605
4. A. Isayama and the JT-60 team, "Steady-state sustainment of high-β plasmas through stability control in Japan Atomic Energy Research Institute Tokamak-60 Upgrade" Phys. Plasmas 12, 056117 (2005).
5. K. Nagasaki, A. Isayama, N. Hayashi, T. Ozeki, M. Takechi, N. Oyama, S. Ide, S. Yamamoto and JT-60 Team, "Stabilization of on JT-60U Tokamak", submi

発表

1. 長崎百伸、諫山明彦、井手俊介「EC早期入射の安定化効果」、日
2. K. Nagasaki, A. Isayama, S. I before Emergence of the Mo
3. A. Isayama, K. Nagasaki, S. I team, "Stabilization of Neocl 60U", 15th Topical Conf. on USA
4. K. Nagasaki, A. Isayama, N. Hayashi, et al., 20th IAEA Fusion
5. K. Nagasaki, A. Isayama, N. Hayashi, et al., ITPA, Nov. 8-10, 20
6. 長崎百伸、諫山明彦、林伸彦、武智学、大山直幸、小関隆久、井手俊 EC入射による新古典ティアリングモードの安定化", 第21回プラズマ

諫山(原研)が
 文部科学大臣
 表彰若手科学
 者賞を受賞



- ・ 乱れ発生前の高周波入射がより効果的であることを実証
- ・ 予防的手法による乱れの発生の抑制：世界初

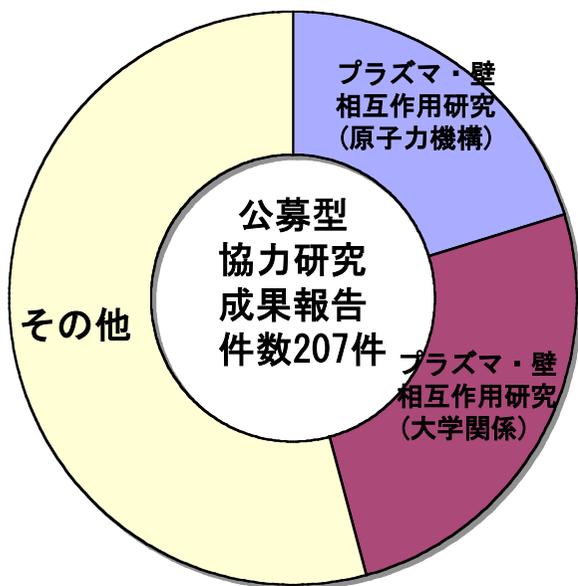
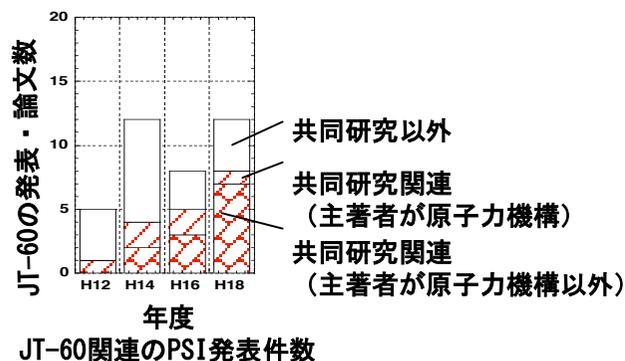


3.3 共同研究の主な成果

(3) プラズマ・壁相互作用研究 (STL: 田辺哲朗 名大/九大教授)

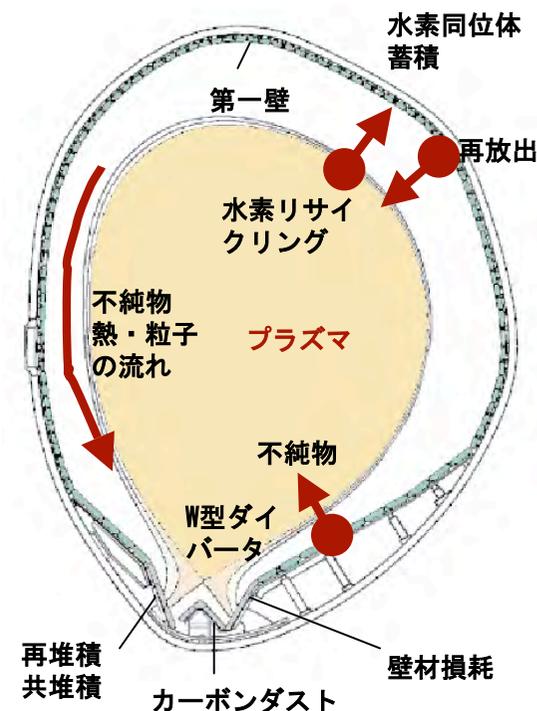
- ・ トリチウムを分析できる国内唯一の核融合プラズマ実験装置 JT-60を利用し、多くの国内研究者が、その得意とする分析技術、分析装置（イメージングプレート、TDS等）を持ち込んでプラズマ壁相互作用の研究を総合的に実施
- ・ 原子力機構はRIを含むサンプルが分析可能な設備を提供

原子力学会論文賞
「JT-60U第一壁におけるトリチウム分布」
・ 正木圭（原研）
・ 杉山一慶（名大院生）
・ 後藤純孝（原研）



(研究成果)

- ・ これまでの研究成果報告数： 95件
内、大学関係者発表数： 53件
[共同研究の成果報告の46%は本テーマ]
(IAEA, PSI/J. N. M., ICFRM/ J. N. M., Tritium国際会議、プラ核学会誌、SOFT、I. Vacuum. Congress、原子力学会誌等)
- ・ IAEA核融合エネルギー会議：
02年、04年：田辺教授発表
- ・ 協力研究提案の国際協力： INEEL, IPP



JT-60でのプラズマ壁相互作用研究

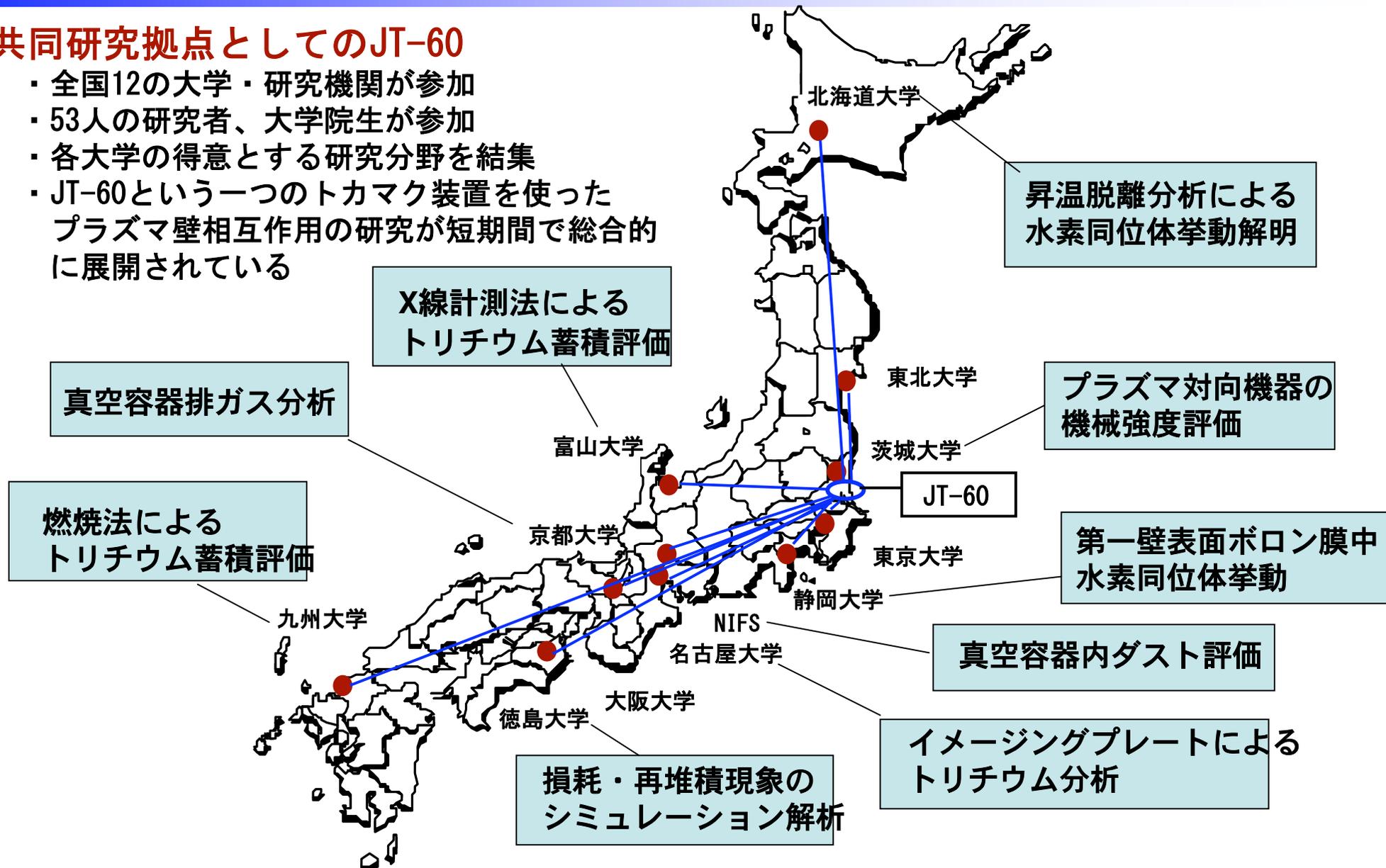


3.3 共同研究の主な成果

(3) プラズマ・壁相互作用研究 (STL: 田辺哲朗 名大/九大教授) (続)

共同研究拠点としてのJT-60

- ・ 全国12の大学・研究機関が参加
- ・ 53人の研究者、大学院生が参加
- ・ 各大学の得意とする研究分野を結集
- ・ JT-60という一つのトカマク装置を使ったプラズマ壁相互作用の研究が短期間で総合的に展開されている



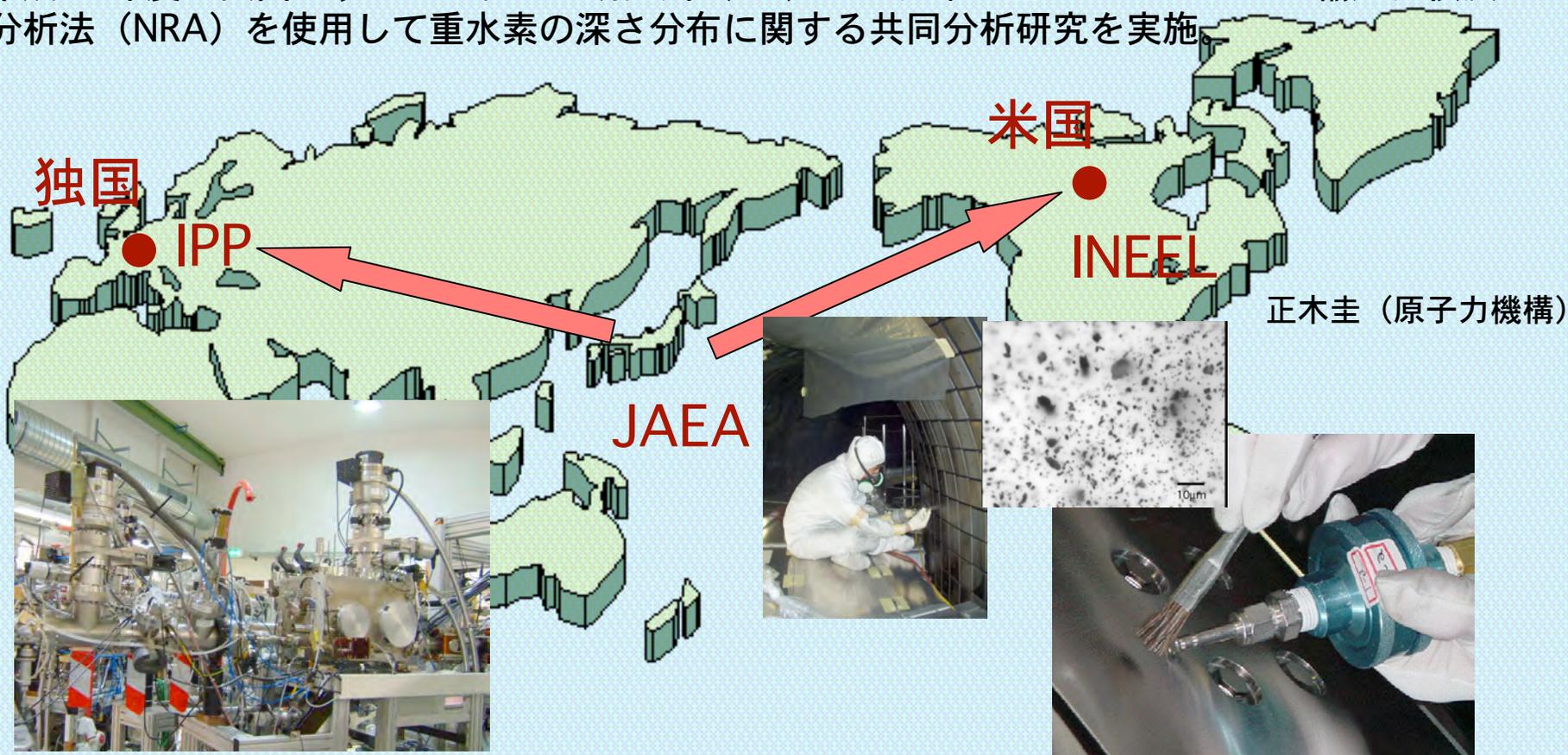


3.3 共同研究の主な成果

(3) プラズマ・壁相互作用研究 (STL: 田辺哲朗 名大/九大教授) (続)

田辺STLの提案により実施した国際協力

- ・平成15年度：米国立技術環境研究所 (INEEL) にて、JT-60真空容器内から採取したダストの共同分析作業を実施し、真空容器内粒径分布等を明らかにした。
- ・平成17年度：独国マックスプランク研究所 (IPP) にて、第一壁サンプルをIPPへ輸送、核反応分析法 (NRA) を使用して重水素の深さ分布に関する共同分析研究を実施



正木圭 (原子力機構)

IPPの重水素密度測定用 ^3He (800keV)の核反応分析法ビームライン 杉山一慶 (九大学振研究員)、林孝夫 (原子力機構)

JT-60真空容器内でのダスト捕集作業

3.3 共同研究の主な成果

(4) 魔法の鏡が拓くプラズマ計測の最前線—阪大レーザー研との協力—



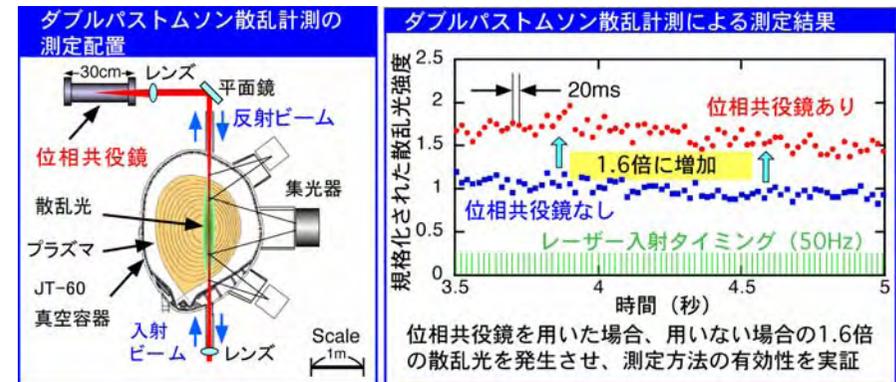
- **トムソン散乱**はレーザーによる電子の散乱光を分光分析することにより、プラズマの電子温度・密度を測定する手法
- 測定性能のさらなる改善を図るためには、新しいテクノロジーの導入が必要
- 世界の最先端を行く阪大の**位相共役鏡**を、JT-60のトムソン散乱計測に世界で初めて応用

- レーザービームを位相共役鏡で折り返し、約2倍の散乱光を発生させる**ダブルパストムソン散乱計測法**を考案し、JT-60においてその有効性を世界で初めて実証
- 一对の位相共役鏡の間にレーザー光を閉じ込め、測定性能をさらに向上させる**マルチパストムソン散乱計測法**を考案し、特許を取得(日本国特許第3699682号)

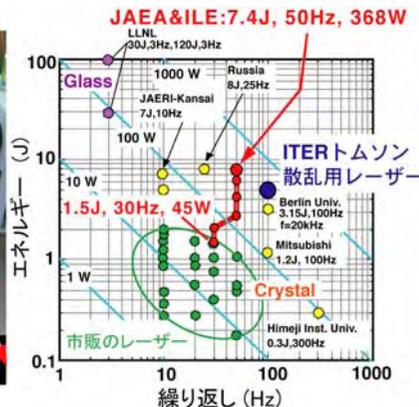
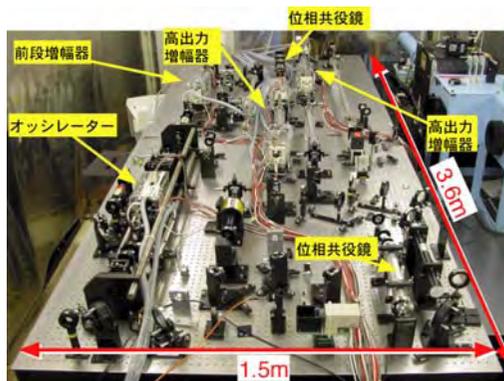


トムソン散乱計測の測定性能の改善

- 既存のレーザーシステムに位相共役鏡を組み込み最適化を行った結果、高出力レーザー増幅器で誘起される**波面の乱れを完全に補正し、当初の8倍を超える出力**を得た
- 世界最高レベルのレーザー性能を達成し、トムソン散乱測定精度を改善



平成17年11月30日、プラズマ・核融合学会賞「第10回技術進歩賞」を受賞。



- この受賞は、原子力機構と大阪大学との協力研究の成果が結実したものであり、位相共役鏡を世界で初めてトムソン散乱計測に応用した成果が評価された。



吉田(阪大) 波多江(原子力機構) 中塚(阪大)

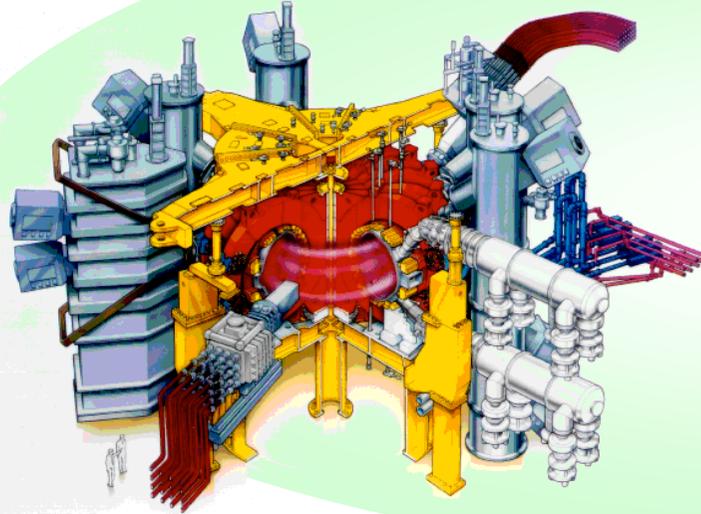


3.3 共同研究の主な成果

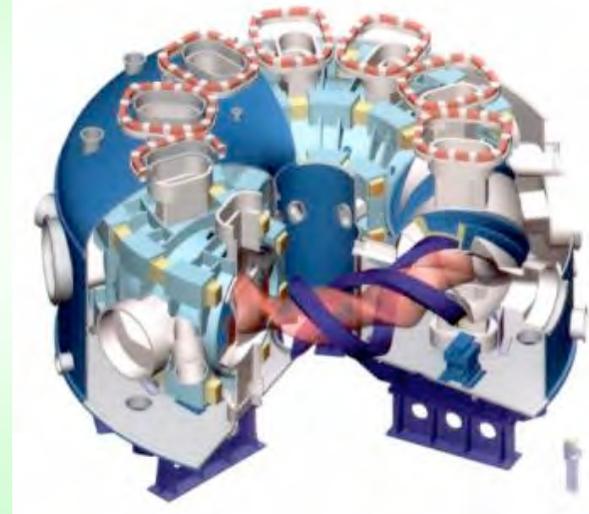
(5) トカマクとヘリカルと比較研究－ NIFSとの連携－

原子力機構
トカマク：JT-60

核融合科学研究所
ヘリカル：LHD



相互共同研究



【目的】

- トロイダル系共通物理及び両装置における固有物理の理解に向けた相補的な研究

【主な成果】

JT-60とLHDでの同じ実験・解析手法を用いた

- 過渡的な熱輸送の特性比較
稲垣（核融合研）、他 20th IAEA Fusion Energy Conference
- 輸送低減領域でのダイナミックな熱輸送特性変化の比較
居田（核融合研）、他 21st IAEA Fusion Energy Conference



3.4 研究資源の有効利用の方策

- 人的、物的、知的資源を有効利用する方策

	大学等→機構			機構→大学等					
	研究協力	人事制度		その他	研究協力	人事制度		その他	
	公募型／公募以外	客員研究員	研究嘱託	委員会参加	共同研究／双方向研究	客員教官(含連携大学院)	非常勤講師	委員会参加	重点化に伴う機器の譲渡(JFT-2M)
人的資源		○	○	○		○	○	○	
物的資源	○				○				○
知的資源		○	○	○		○	○	○	

平成17年度 実績

大学等→機構

公募型研究協力：31件

公募以外の研究研究：18件

客員研究員：2名

研究嘱託：22名

機構→大学等

NIFS共同研究：10件

客員教官：4名

非常勤講師：4名

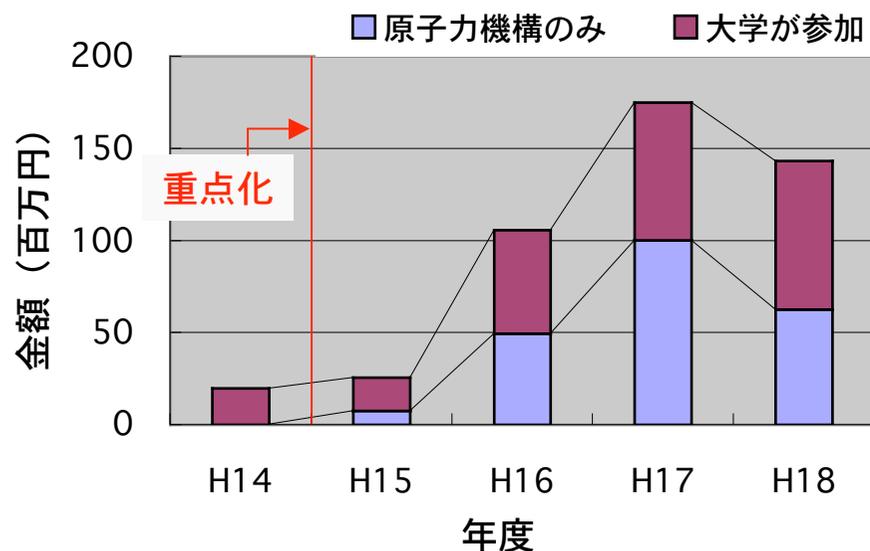
科研費：35件

原子力機構のみ：19件

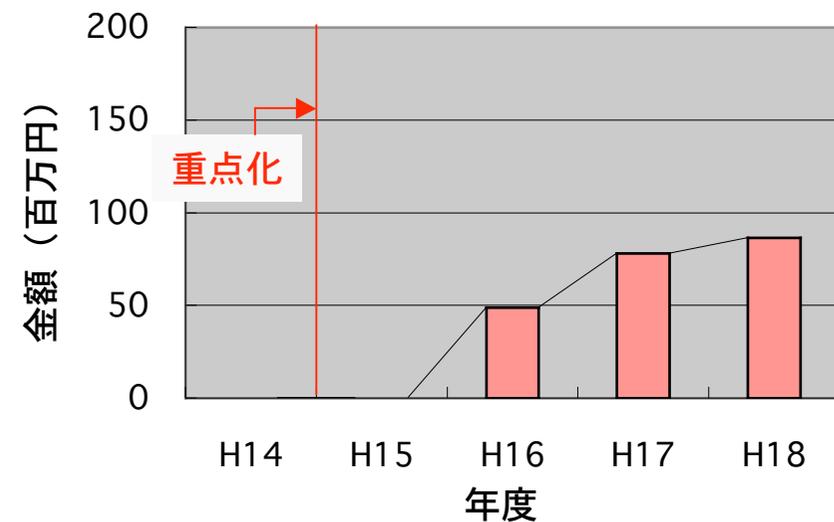
大学等との連携：16件

- 科研費；連携による獲得額の増大

科研費獲得金額（機構が代表者）



科研費獲得金額（機構が分担者）



JT-60によるトカマクプラズマ研究で
 培われた人的資源により、九州大学球
 状トカマクでのプラズマ設計・検討に
 貢献

客員教授
 朝倉研究主幹(H14,15年度)
 安積元部長(H16,17年度)
 非常勤講師
 西尾研究主幹(H17年度)

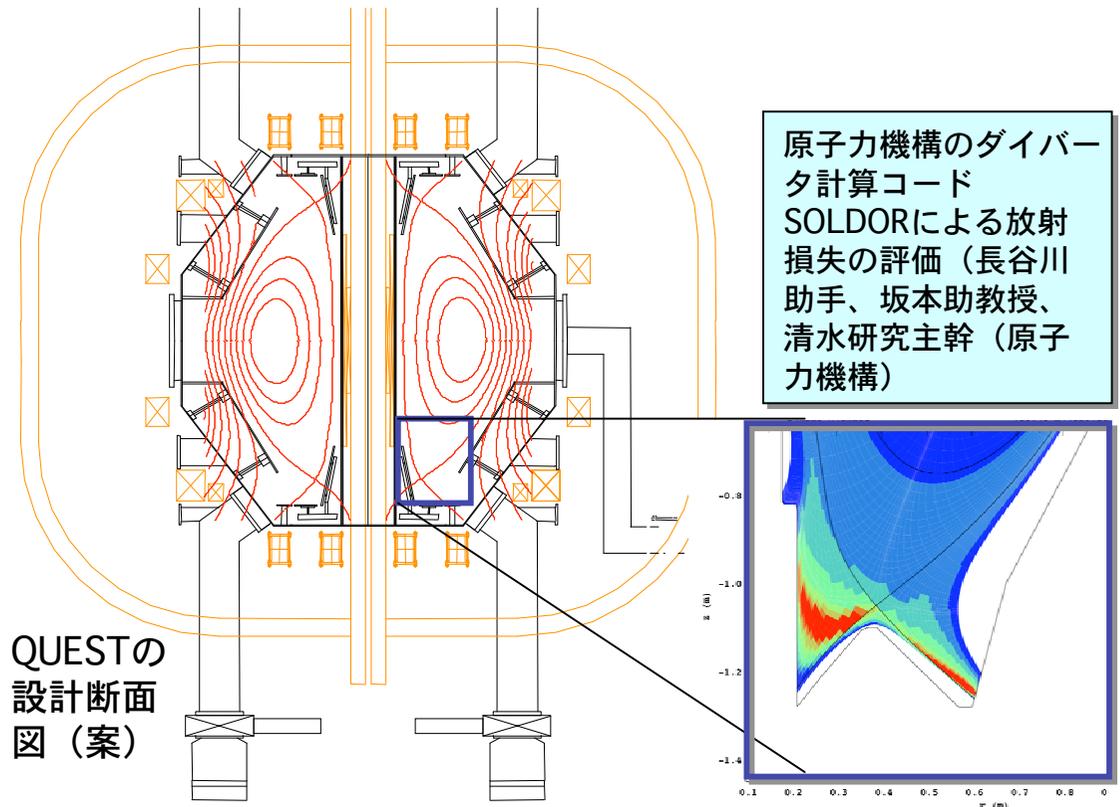


九州大学応用力学研究所の計画
 「プラズマ境界力学実験装置」
 QUESTの検討へ貢献

- ・プラズマ位置形状制御
- ・ダイバータおよび第一壁
 による熱・粒子制御
- ・超長時間放電の改善
- ・プラズマ対向材の提案

核融合科学研究所双方向型共同研究

- ・九州大学プラズマ境界力学実験装置検討会
 (座長：岸本京大教授/原子力機構) 松川研究主幹、朝倉研究主幹等
- ・全日本ST研究グループ (代表高瀬東大教授)
 松川研究主幹、朝倉研究主幹、西尾研究主幹、栗原GL等
- ・双方向性共同研究「九大におけるプラズマ境界力学実験装置の建設
 と長時間ST研究の推進」(代表：佐藤浩之助九大教授)：朝倉研究
 主幹、松川研究主幹、清水研究主幹、西尾研究主幹





3.4.2 物的資源の有効活用

(1) プラズマ・壁相互作用に関する研究協力

(原子力機構が提供した設備)

- ・ 第一壁協力研究参加大学への分析用第一壁タイルの提供（九大、名大、静大）
- ・ トリチウム等の放射性同位元素（RI）を含む第一壁試料の表面分析においては管理区域内にあるRI使用室内での分析装置が必要となる。
- ・ 那珂核融合研究所では、平成13年度より分析専用のRI使用室を設置し、以下の分析装置を提供してきている。

二次イオン質量分析器(SIMS)
光電子分光装置 (XPS)
走査電子顕微鏡 (SEM)
液体シンチレーションシステム
昇温脱離装置(TDS)
レーザーフラッシュ装置、他

- ・ 特に放射化したサンプルが扱えるSIMS,XPSが設置された研究機関は国内でも那珂核融合研究所のみである。



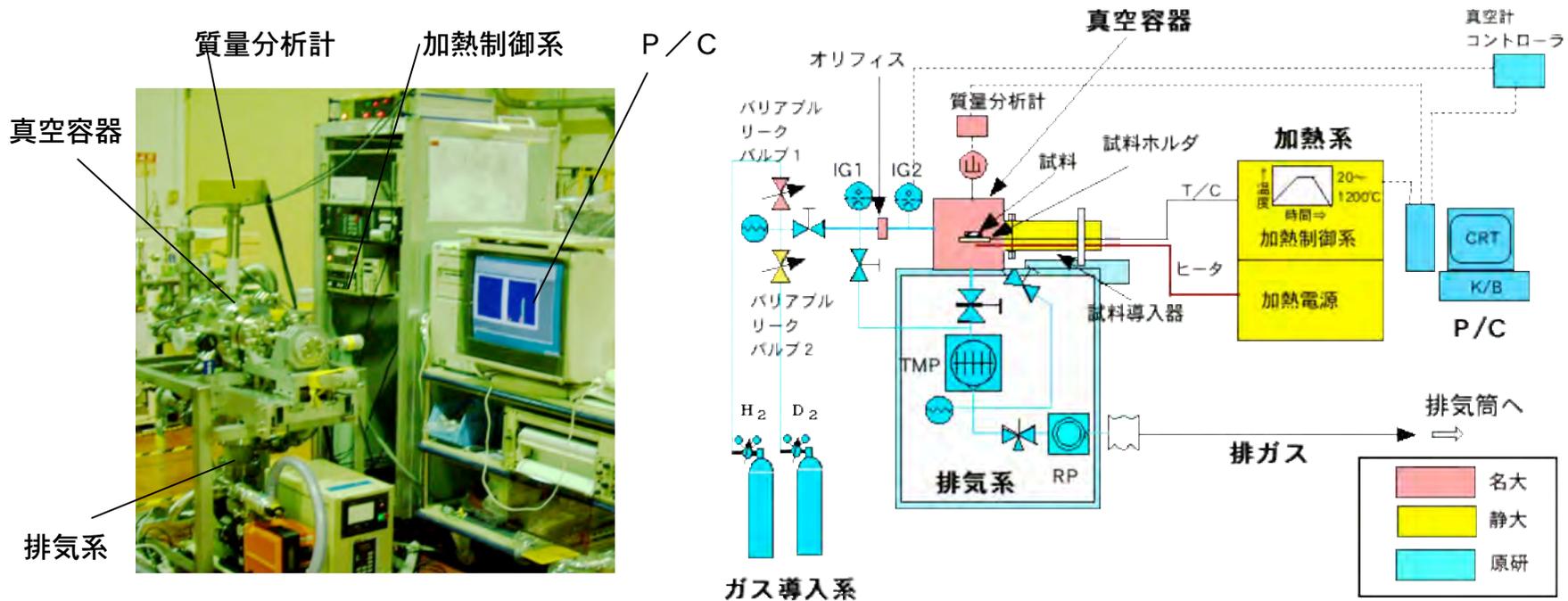
分析室内に設置されたSIMS

3.4.2 物的資源の有効活用

(1) プラズマ・壁相互作用に関する研究協力（続）

(大学からJT-60に持ち込んだ研究機器)

- ・ JT-60第一壁の表面トリチウム分布について、那珂核融合研究所で行った第一壁サンプルの燃焼法によるトリチウム蓄積結果と比較するため、広範囲のトリチウムを短時間で測定できるイメージングプレートを名古屋大学、及び九州大学から持ち込んで測定した。
- ・ 協力研究参加各大学（名大、静大他）が部品を持ち寄って第一壁中水素同位体分析用昇温脱離装置(TDS)を製作し、共同で実験を行った。



分析室内に設置されたTDS

TDSにおける各大学の分担

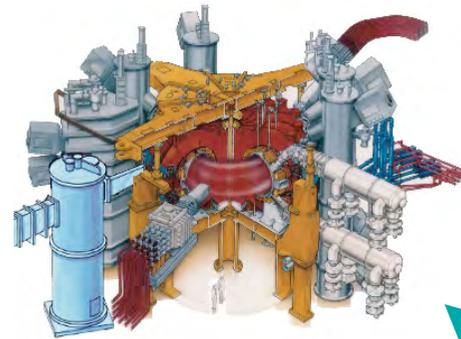
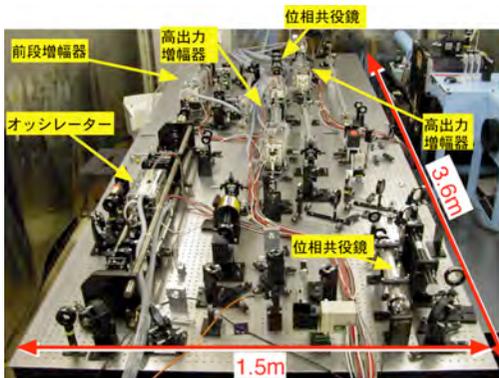
3.4.2 物的資源の有効活用

(2) 計測に関する連携研究

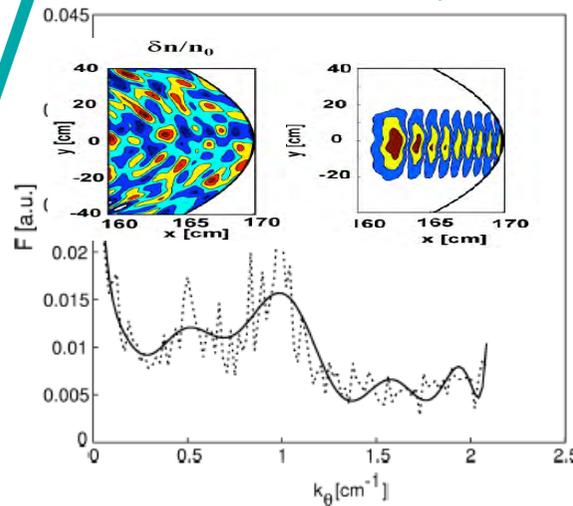
LHDで開発されたモジュレーション荷電交換分光をJT-60へ



世界最高レベルのレーザー性能を達成し、トムソン散乱測定精度を改善 (阪大)



JT-60
R/a=3.4/1 (m/m)



反射計の信号から周波数スペクトル、ポロイダル方向波数、揺動レベル等を再構成する手法 (九大) をJT-60に適用

JT-60用長時間極低ドリフト積分器を用いたLHD電流計測



LHDで開発されたイメージングボロメータをJT-60へ





3.4.2 物的資源の有効活用

(3) JFT-2Mで使用した機器の譲渡

JFT-2M 装置が平成16年3月末に実験を終了したことに伴って、以下の主要機器を大学、研究機関へ譲渡した。



直流電動発電機 (東京大学物性研)
出力51.3MW、電圧2700V、電流19kA



速波電流駆動装置 (東京大学)
出力0.8MW 200MHz



飛行時間型中性粒子測定装置
(東北大学)
中性粒子 (10eV~1000eVの水素粒子)
のエネルギー分布測定。
構成機器：
検出部、真空排気部、中性粒子チョッパー
部、制御盤、信号処理系



電子サイクロトロン加熱装置 (ECH)
用電源 (筑波大学)
・パルス変調器：出力電圧；-20kV -85kV
・高電圧整流変圧器：入力電圧；3相3.3kV
出力電圧；DC-90kV、電源容量；5.2MVA



コンパクト・トロイド入射装置用電源
(兵庫県立大学)
加速電源；電流400kA、電圧40kV
生成電源；電流350kA、電圧20kV



3.4.2 物的資源の有効活用

(3) JFT-2Mで使用した機器の譲渡（続）

JFT-2M 装置が平成16年3月末に実験を終了したことに伴って、電源及び計測機器等の有効利用を図るため、下記の大学に譲渡した。

利 用 先	有効利用物品名	利 用 目 的
九州大学 応用力学研究所	<ul style="list-style-type: none">●ベーキング及びグロー放電洗浄用電源●クライオポンプ等の真空機器●回転プローブ測定機器●電子機器類（アンプ、CAMACモジュール）	●応用力学研究所で計画されている「高ベータ・定常研究」のための新球状トカマク装置において各種設備の電源及び周辺プラズマ診断等に利用する。
東京大学 大学院新領域創成科学研究科	<ul style="list-style-type: none">●高速X線空間分布測定装置●ボロメータ測定器●高速可動静電プローブ	●球状トカマク装置において、軟X線発光分布測定や放射損失分布測定等のプラズマ診断に利用する。
兵庫県立大学 大学院工学研究科	<ul style="list-style-type: none">●ターボ分子ポンプ等の真空機器●CTプラズマ計測用He-Neレーザー●CT用電流波形モニター等の測定機器	●球状トカマク装置においてCT入射に関する研究を継続させ、プラズマ中心部への燃料注入法の確立を図るために利用する。
核融合科学研究所	<ul style="list-style-type: none">●重イオンビームプローブ計測用高電圧増幅器●メッシュ・プローブ駆動機構	●核融合科学研究所において重イオンビームプローブによるプラズマ閉じ込め機構の解明の研究を継続するために利用する。
北海道大学 大学院工学研究科	<ul style="list-style-type: none">●フェライト鋼板	●プラズマ照射後のフェライト鋼の特性を調べ、原型炉へ適用するための基礎データを取得する。



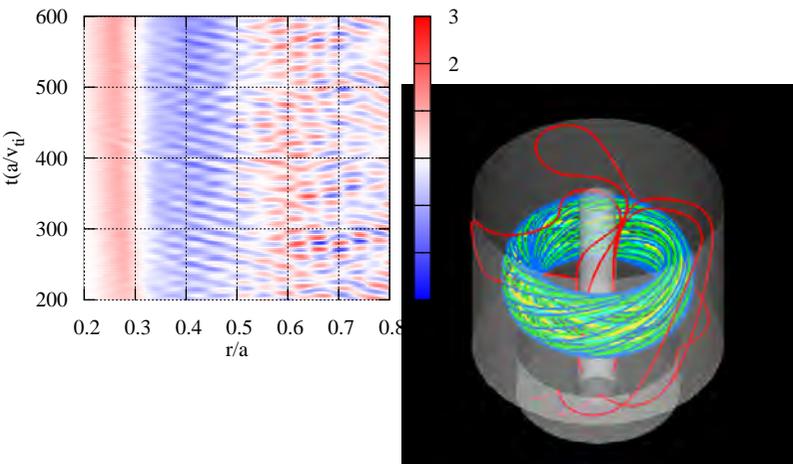
3.4.3 知的資源の有効活用 -NEXT計画-

数値トカマク実験計画(Numerical EXperiment of Tokamak)では、国内外の大学・研究機関とのシミュレーションコードの提供・導入を通じて、研究開発や人的資源の効率的な活用を目指している。

国内の大学・研究機関との連携

山口大学工学部よりGYRO3Dコードを導入

原子力機構における大規模な計算機資源を用いて、トカマクプラズマの巨視的な運動をプラズマ粒子の運動論レベルから再現。



Intel Paragon System

SGI Origin 3800



Altix3700Bx2

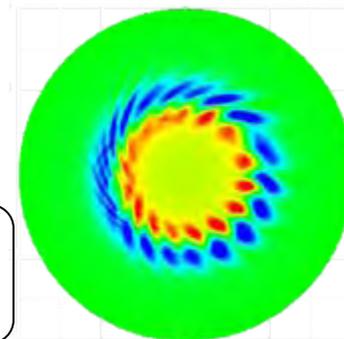
京都大学エネルギー科学研究科へMHFDSPコード、R5Fコードを提供

MHFDSPコードでは球状トカマクプラズマの非線形MHD現象、R5Fコードではトカマクプラズマの乱流輸送と輸送障壁形成に関する共同研究を通じて、核融合プラズマの理論・シミュレーション研究に携わる人材の育成を行っている。

国外の大学・研究機関との連携

ローザンヌ連邦工科大学プラズマ物理研究センターへのGT3Dコードの提供

ジャイロ運動論に基づくプラズマ乱流研究のために、ローザンヌ連邦工科大学が3次元粒子コードを開発する際のベンチマークコードとしてGT3Dを提供し、共同研究を推進している。





4.重点化後の人材育成



重点化後の人材育成

- 若手研究者に機会を付与
 - 実力のある若手研究者を研究班リーダーに
 - IAEA会議でのJT-60オーバービュー論文の発表機会の付与
 - ITERを見据え、ITPA委員に若手を登用
- 研究を最適化する適切な競争的環境
 - 原子力機構、国内外共同研究者からの実験提案を、平等に、新規性、重要性、国際的位置付け等を考慮して、評価する。
 - 改善、共同化、合理化を行い、実験を遂行する。
 - 結果を評価しつつ、限られた放電数で最大の成果を目指す。
- 交流・流動化のための組織・制度
 - 重点化後、博士研究員の採用数が増加傾向。H17年度から任期付研究員(1名)を採用
- 大学等との連携・協力の下での人材育成
 - 重点化後のJT-60公募型研究協力の進展に伴い、参加する大学院生の人数も増加。平成17-18年度は約60名。博士課程と修士課程の比率は同程度。
- 人材育成の問題点
 - JT-60実験研究者：新規採用職員数が決定的に不足
 - ITERで中核となる年齢層の長期的視点に立った育成が困難



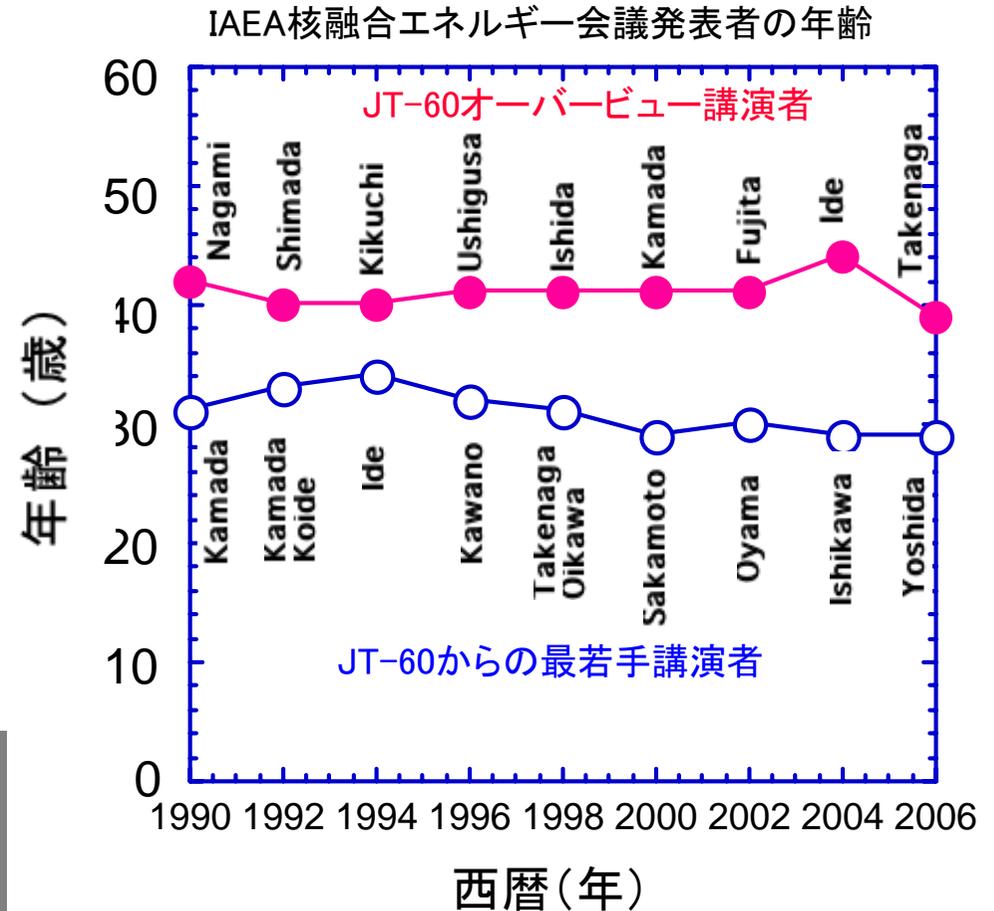
4.1 優秀な若手研究者が最先端の研究の場に 若手研究者に機会を付与

○ IAEA会議でのJT-60オーバービュー講演者(当該時期のテーマリーダー)は40歳前後。毎回交代し、多くの人材に機会を付与。

○ 成果次第で、博士研究員であってもIAEA会議で発表(第20回(2004)、第21回(2006))

○ ITERを見据え、ITPA委員に若手を登用
仲野友英(33歳)、浦野創(32歳)

○ 実力のある若手研究者を研究班リーダーに
例: H17-18年度JT60研究テーマ班(就任時)
周辺ペデスタル班 大山直幸 33歳
プラズマ壁相互作用班 正木 圭 34歳

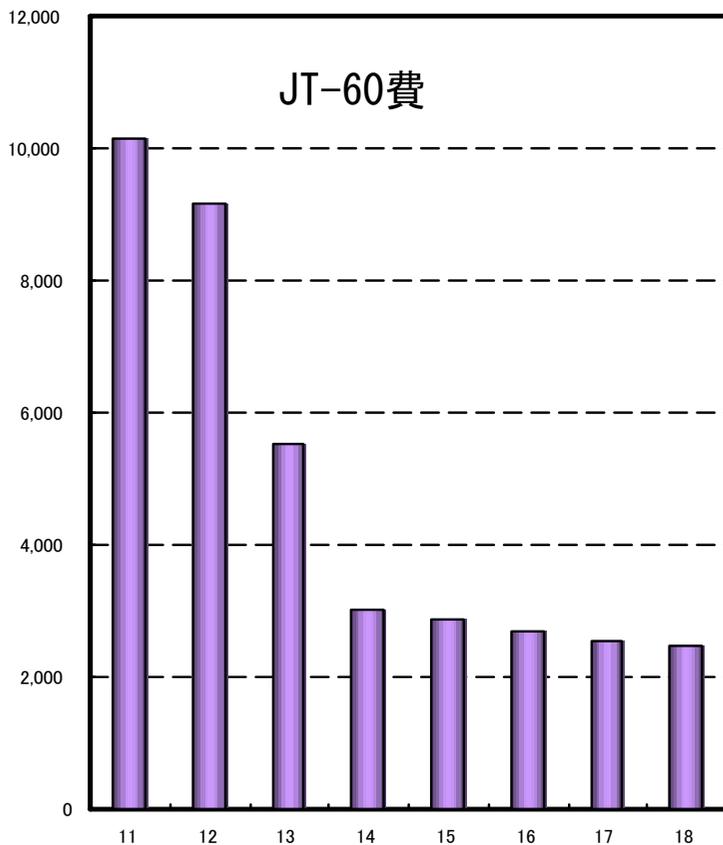




4.2 中核的機関として必要な人材育成

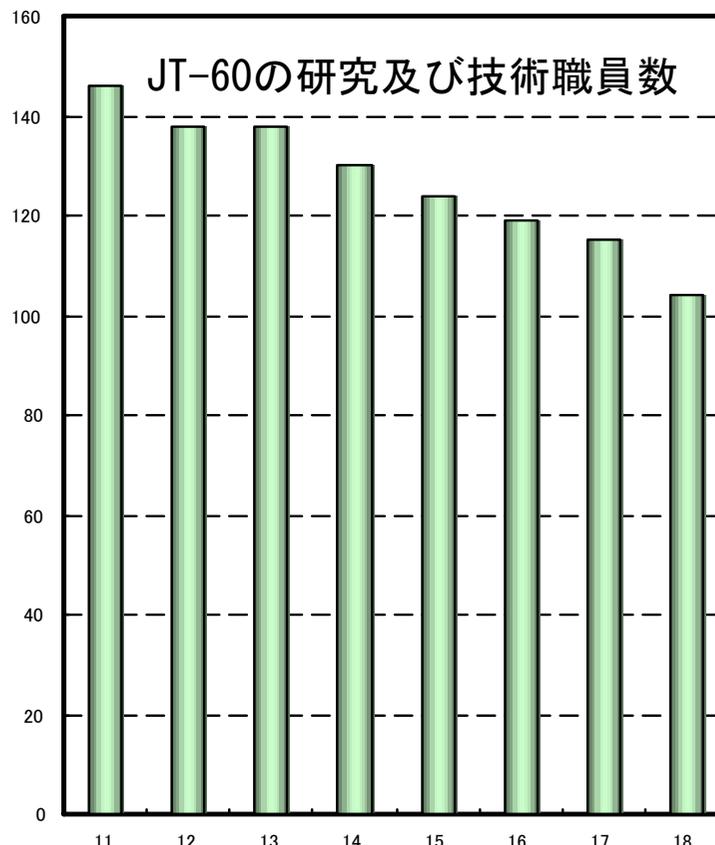
独法共通の人員削減方針の影響の下、ITER実験期に中核となる年齢層の人材を確保し、世界に通用する実験研究者に育成することが困難になりつつある。(JT-60実験研究者の新規採用職員数状況 H15:2名、H16:0名、H17:0名、H18:0名)

(百万円)



平成年度

(人)



平成年度

● 原子力機構の人事制度の活用

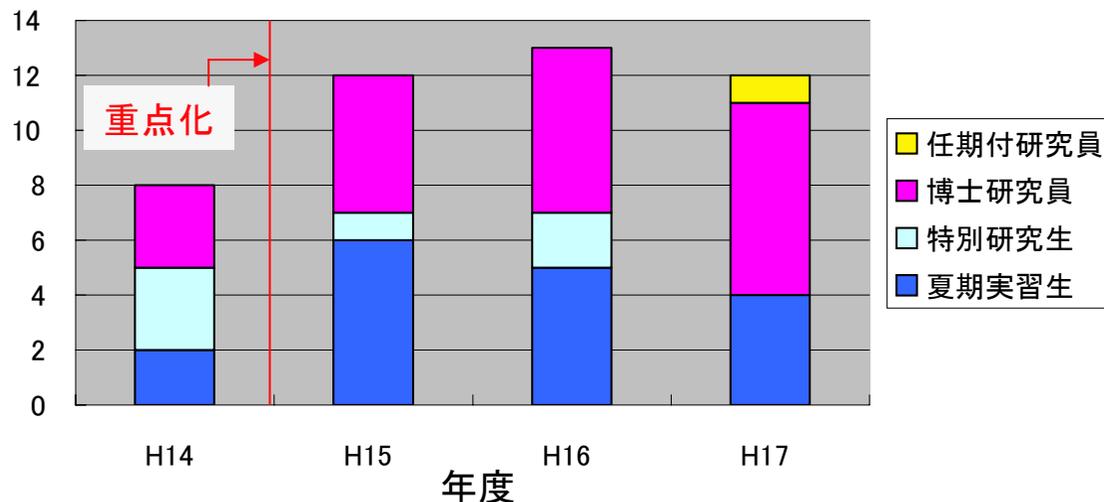
若手研究者の採用

- 任期付研究員
- 博士研究員

学生の受け入れ

- 特別研究生
- 夏期実習生

若手研究者の採用・学生の受け入れ実績



重点化後、博士研究員の数が増加傾向。H17年度から任期付研究員（1名）を採用
今後、博士研究員、任期付研究員を増やす必要がある。



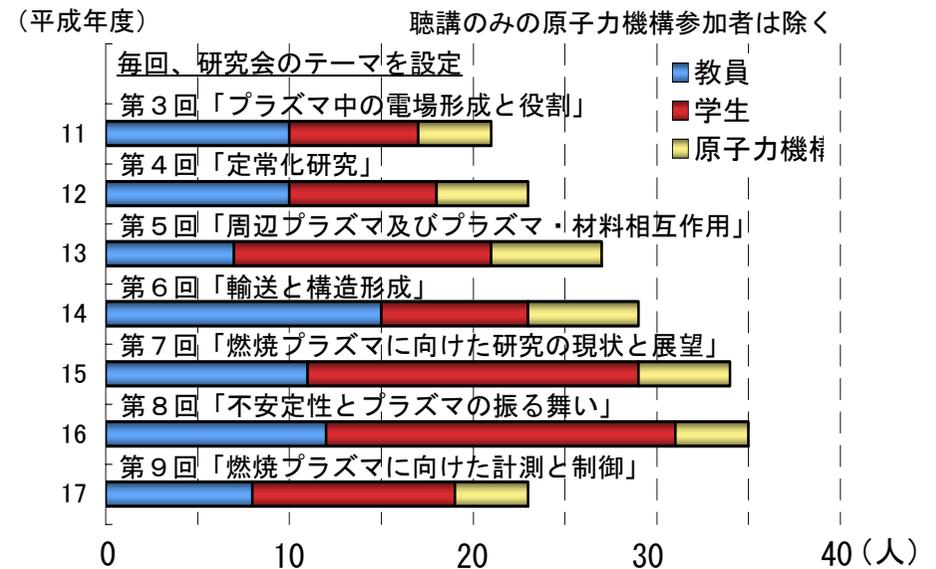
4.3 研究者の交流・流動化が可能な組織・制度

[2] 若手科学者によるプラズマ研究会

将来の核融合研究開発を担う国内の若手研究者の連携・交流を深めるために、「若手科学者によるプラズマ研究会」を毎年主催している。



研究会参加人数



平成17年度（第9回）
研究会に参加した大学・研究機関：
北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、
日本大学、総合研究大学院大学、大阪大学、
宇宙航空研究開発機構、電力中央研究所、
核融合科学研究所、日本原子力研究開発機構



4.3 研究者の交流・流動化が可能な組織・制度

[3] NEXT研究会

核融合研究開発部門ではNEXT (Numerical EXperiment of Tokamak) 計画を推進するとともに、国内外の大学・研究機関からの参加の下で「NEXT研究会」を開催している。

NEXT研究会では、スーパーコンピュータを用いた運動論的トカマクプラズマシミュレーションや、最新のプラズマ理論研究に関する発表を行っている。

近年、ポスター発表の機会を設けることにより、大学院生等の参加を可能とし、最新の研究テーマに触れる機会を提供している。

H17年度NEXT研究会に参加した大学・研究機関

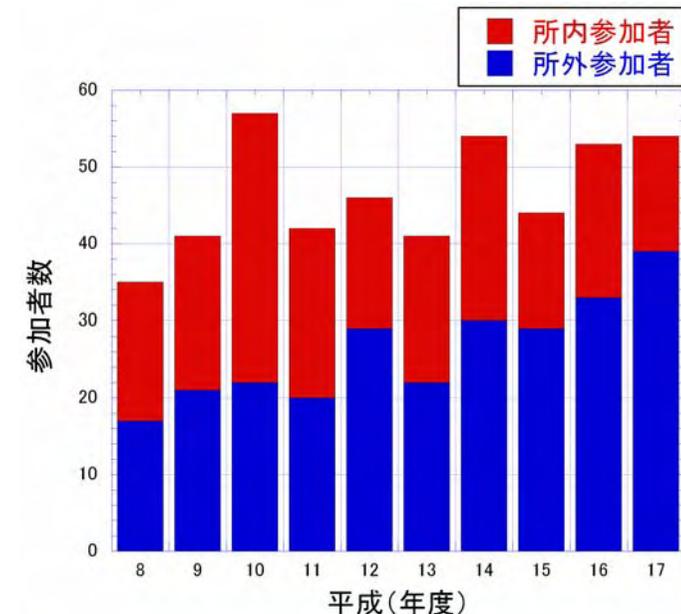
● 国内

大阪大学、九州大学、京都大学、
東京大学、新潟大学、広島大学、
山口大学、山口東京理科大学、
海上保安大学校、産業技術総合研究所、
日本原子力研究開発機構

● 国外

西南物理研究院(中国)、大連工科大学(中国)、
韓国基礎科学研究所(韓国)

NEXT研究会参加者



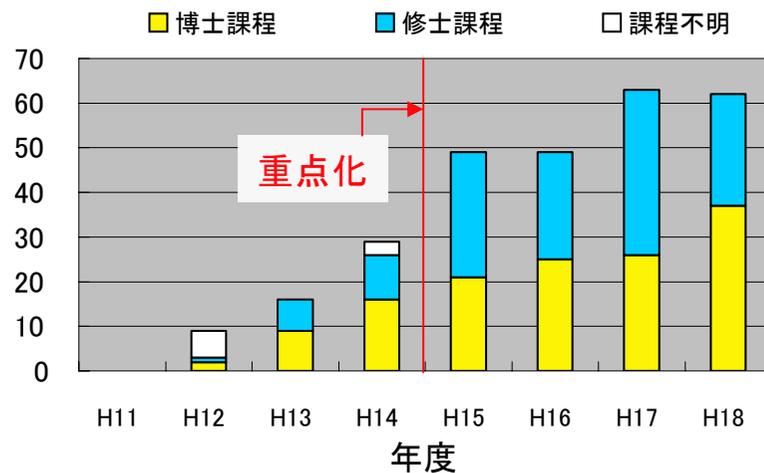
H17年度NEXT研究会の風景



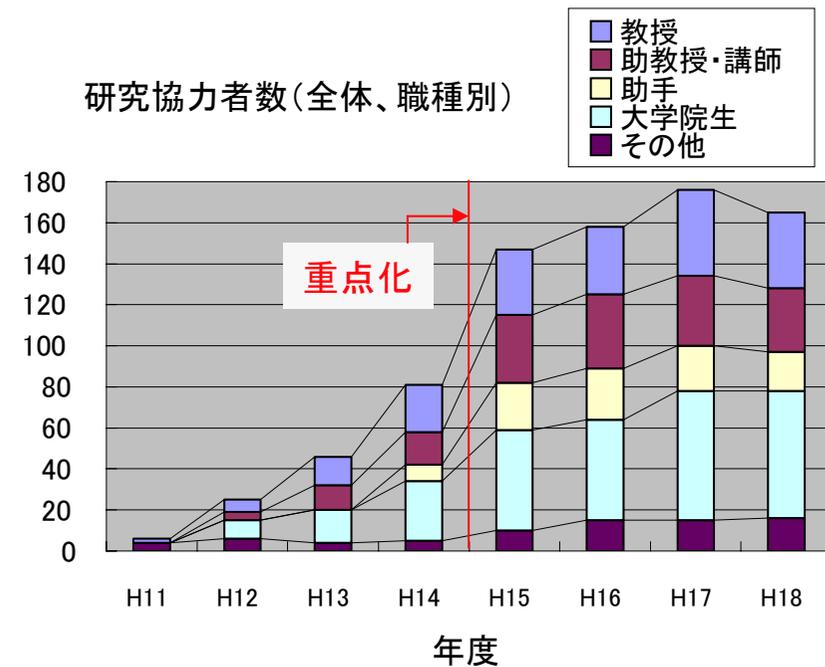
4. 4大学等との連携・協力の下での人材育成の枠組 公募型研究協力への大学院生の参加

- 重点化後のJT-60公募型研究協力の進展に伴い、参加する大学院生の人数も増加。平成17-18年度は約60名。博士課程と修士課程の比率は同程度。

研究協力に参加する大学院生の数



研究協力者数(全体、職種別)



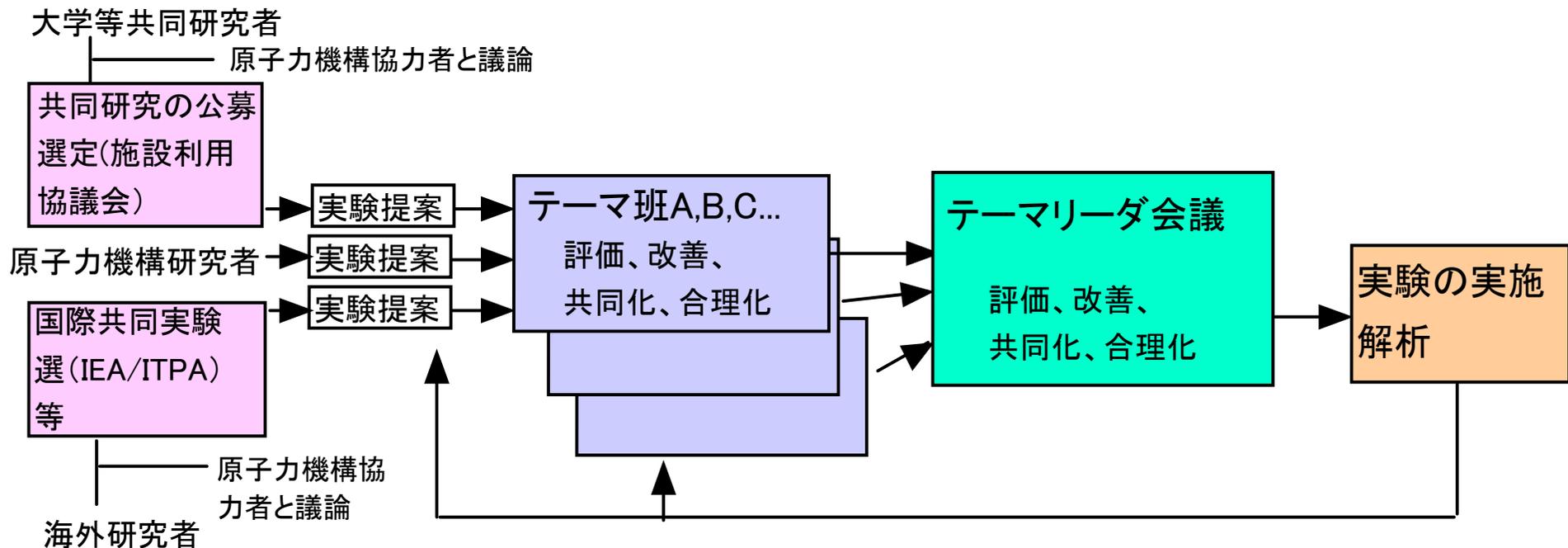


4.5 研究が最適化されるような適正な競争的環境 実験テーマ選定の公正な手続き

原子力機構、国内外共同研究者からの実験提案を、平等に、新規性、重要性、国際的位置付け等を考慮して評価。改善、共同化、合理化を行ない、実験を遂行する。結果を評価しつつ、限られた放電数で最大の成果を目指す。

成果発表者は、実験の企画・実施・解析における主導性で決定する。

原子力機構研究者は、共同研究者の実験実施・解析へ最大限の協力を行なう。

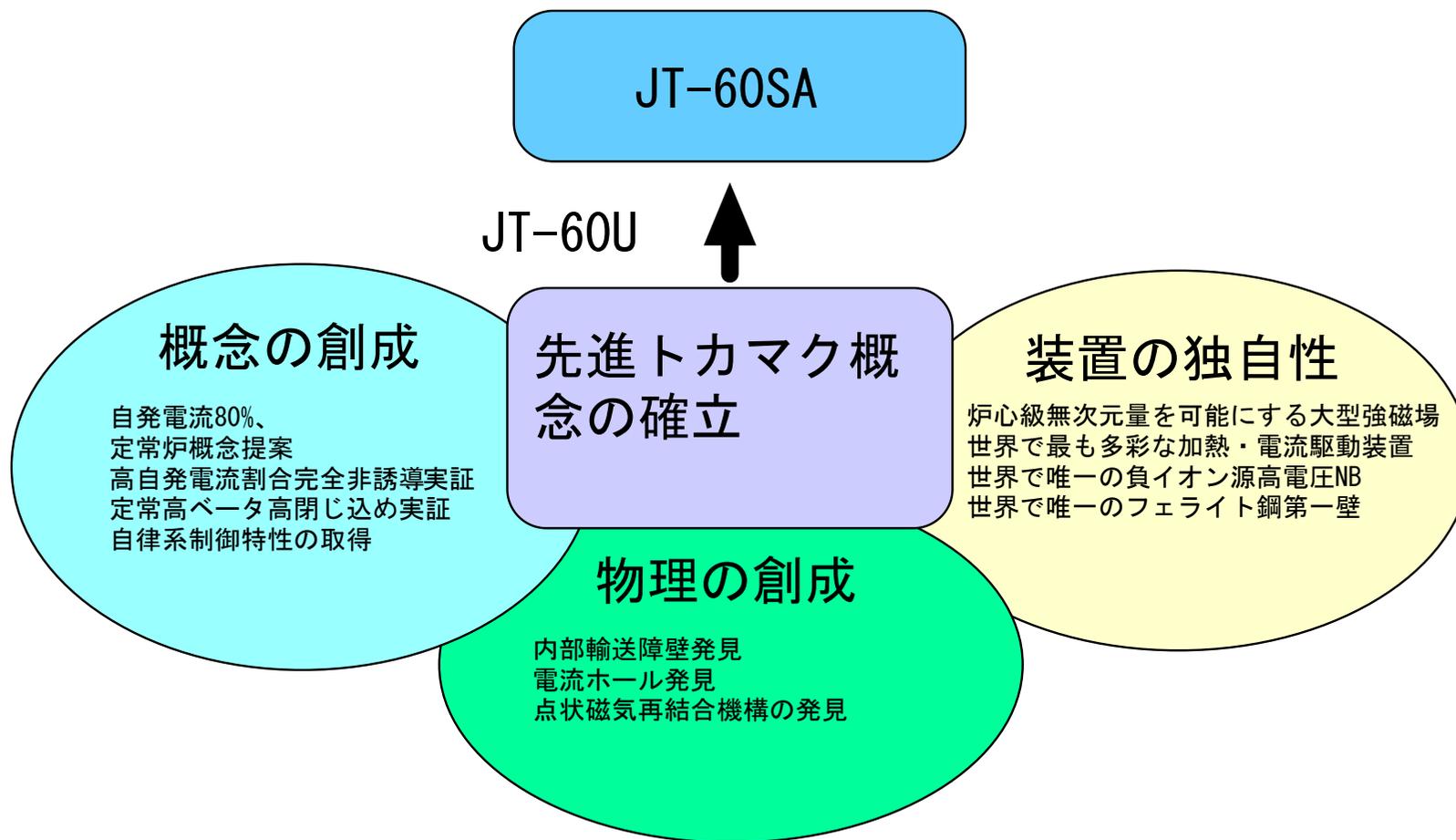




5. 国際的視点からの寄与

5.1 JT-60の独自性・補完性

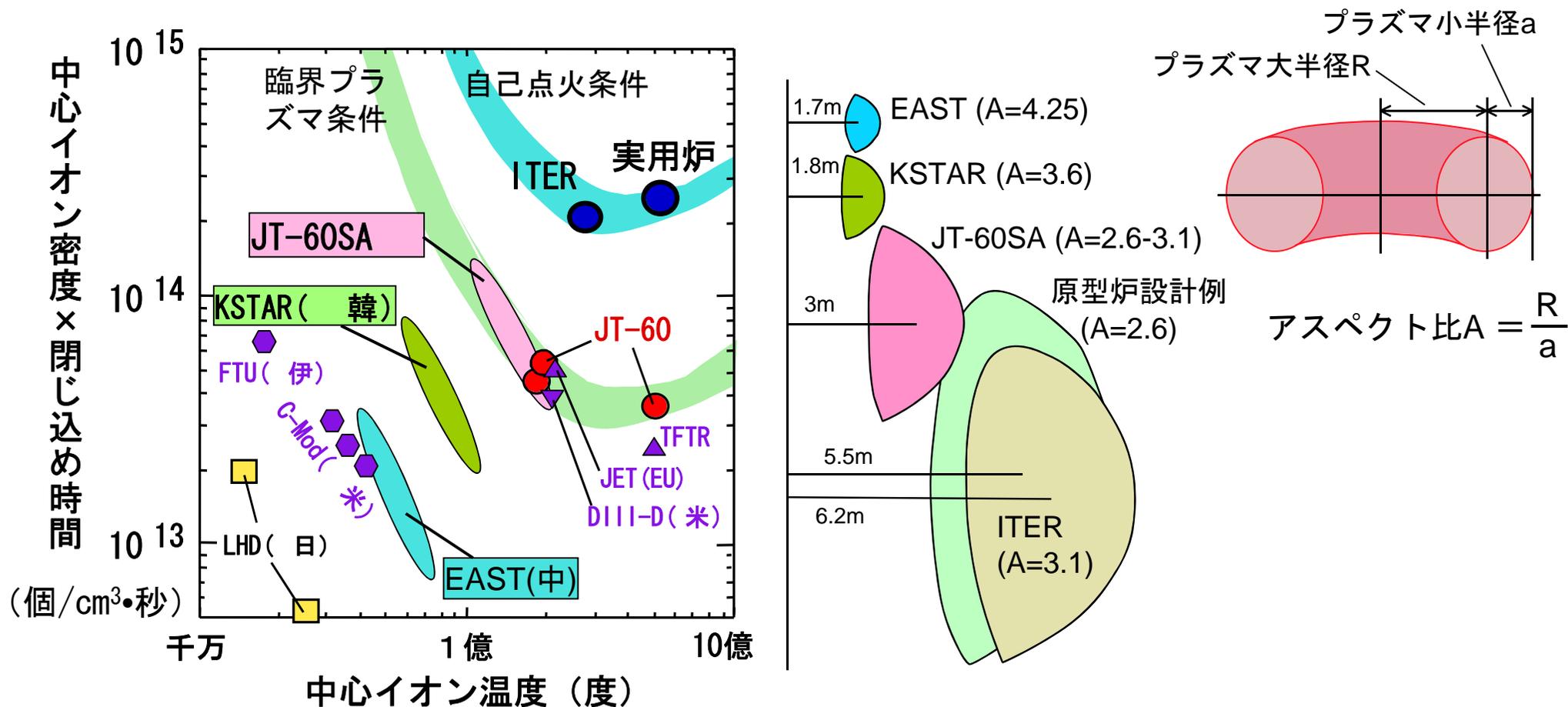
- ・定常核融合炉の経済性と環境適合性の向上を目的とする先進プラズマ研究開発を、概念の創成、物理の創成、及び装置の独自性によって主導。
- ・ITERに必要な炉心プラズマ研究を総合的に推進可能な大型強磁場装置



5.2 JT-60SAの国際的寄与(独自性、補完性)

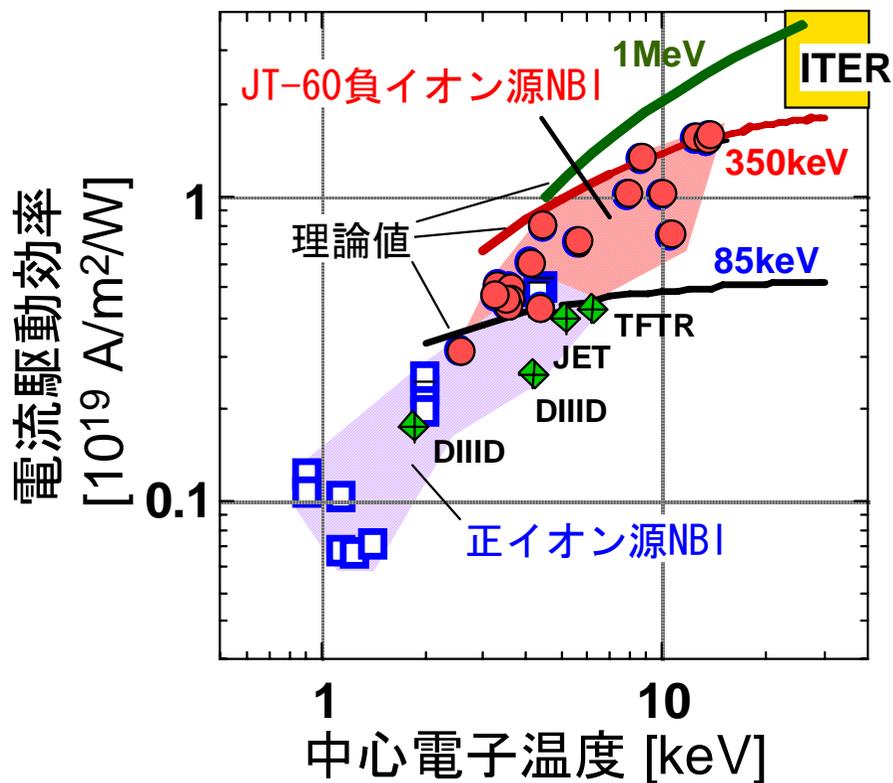
ITER支援研究：JT-60SAは、ITERを除く世界の他の超伝導トカマク装置より高いプラズマ性能を有し、ITERに対して最も大きな貢献が可能。

ITER補完研究：JT-60SAは、原子力機構提案の原型炉設計に最も近いプラズマ形状(アスペクト比)の超伝導トカマク装置で、それに対して最も大きな貢献が可能。

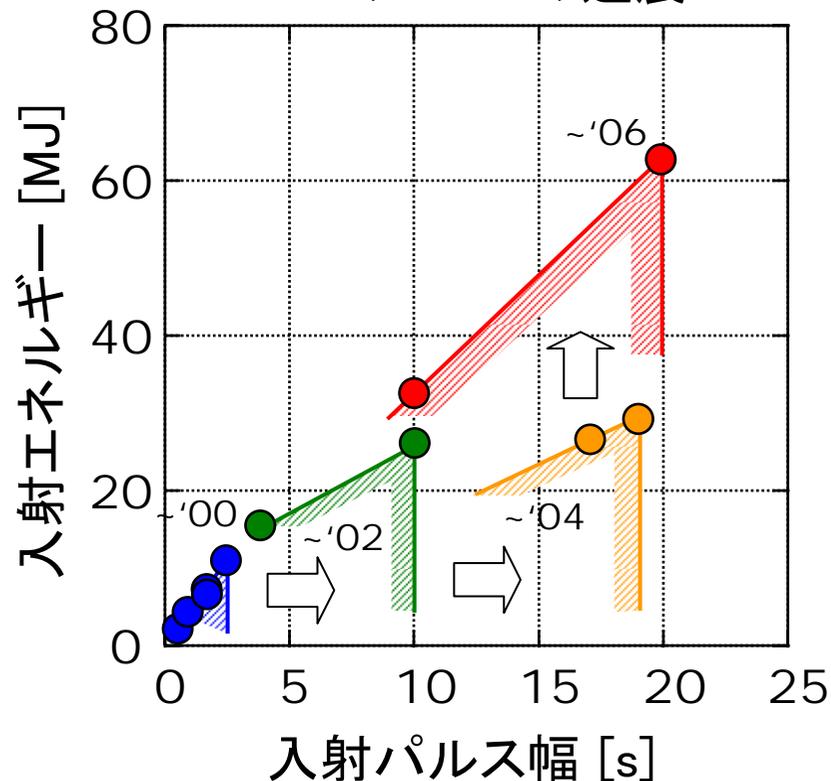


JT-60では350keVレベルの負イオン中性粒子ビーム入射(N-NBI)装置によって、世界最高の電流駆動効率を得ている(左図)。さらに、最近、入射パルス幅の大幅な伸長に成功し、世界最高の入射エネルギーを達成した(右図)。
=> ITERにおけるN-NBI(1MeV)による高效率電流駆動研究へ貢献。

NBIによる電流駆動効率



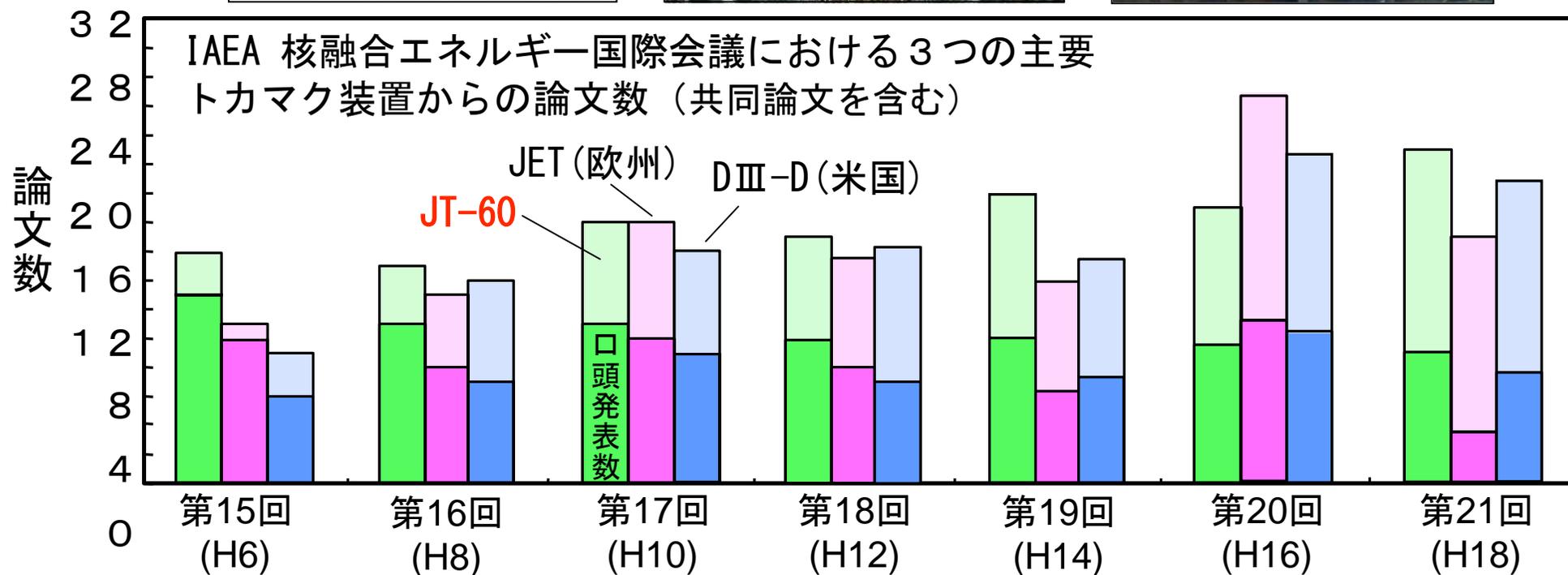
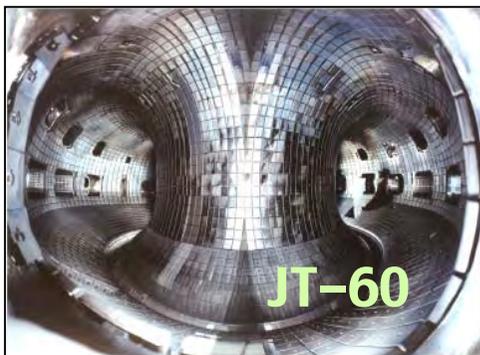
JT-60のN-NBIの進展





5.4 IAEA主催核融合エネルギー会議に最大の寄与をするJT-60

2年に1度世界中の核融合研究者が集まるIAEA核融合エネルギー会議（核融合オリンピック）で、ここ14年間で開催された7回の会議中6回で論文数最大（特に、重要で注目度の高い口頭発表件数が多い）。

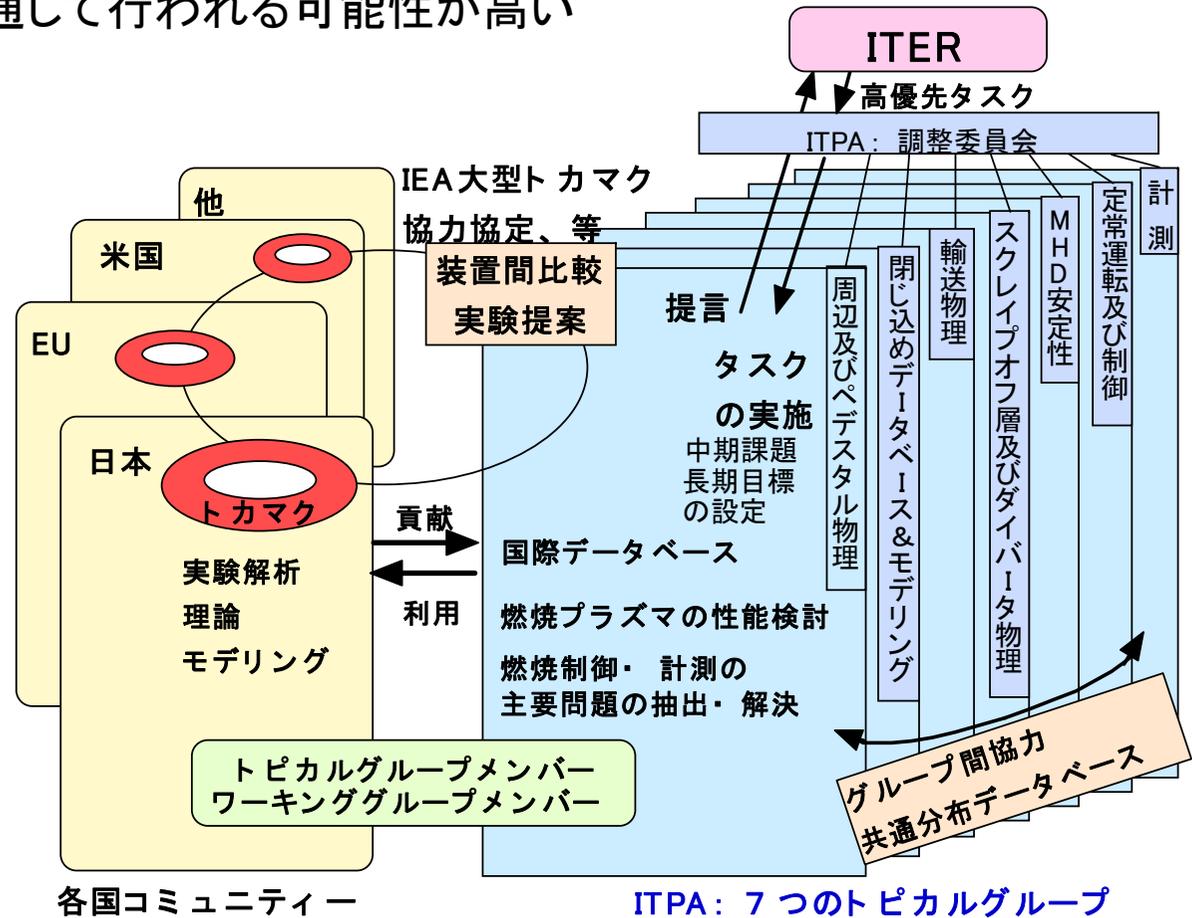




5.5 国際トカマク物理活動 (ITPA) の役割と位置づけ

- ・トカマク物理研究における最大の国際活動
- ・ITER物理R&D活動を継承し、IAEA国際核融合研究委員会(IFRC)の支持の下、日、米、欧、露、中、韓、印、ITER国際チームが参加。
- ・調整委員会と7つのトピカル物理グループで構成、専門家委員総数248名
- ・ITER実験の立案、評価等も本活動を通じて行われる可能性が高い

- ITERのための「最優先タスク」の実施
- 実験データベースの収集、評価
- 国際装置間比較実験の立案と実施
- 実験解析結果の収集、評価
- データベースの整備、管理、及び更新
- 理論モデルの構築、シミュレーション計算
- ITER等の核燃焼プラズマの性能検討
- ITER等の核燃焼実験におけるプラズマ制御及び解析に伴う、計測関連の主要問題の抽出及び解決



各国コミュニティー

ITPA: 7つのトピカルグループ



5.6 ITERのための国際共同実験を決めるIEA/ITPA ワークショップ

世界の主要トカマク装置のリーダーが一同に会し、ITERのための共同比較実験の内容を決定する。

第2回ワークショップ
(2003年、那珂)



第3回ワークショップ
(2004年、オックスフォード)



5.7 世界のCOE那珂核融合研究所で開催するITPA会議

これまでの各トピカルグループ会合全63回中、11回を開催(最多)。

2002年

第1回定常運転及び制御グループ会合

第1回MHD安定性グループ会合

2003年

第4回周辺及びペDESTAL物理グループ会合

第4回スクレイプオフ層及びダイバータ物理グループ会合

2004年

第5回定常運転及び制御グループ会合

第6回輸送物理グループ会合

第6回閉じ込めデータベース&モデリンググループ会合

第6回計測グループ会合

第4回MHD安定性グループ会合

2006年

第9回定常運転及び制御グループ会合

第7回MHD安定性グループ会合





5.8 国際トカマク物理活動体制をリードするJAEA研究者

ITPA: 調整委員会と7トピカルグループの委員総数247名

日:39、米:40、欧:32、露:28、中:37、韓:31、印:28、ITER:12

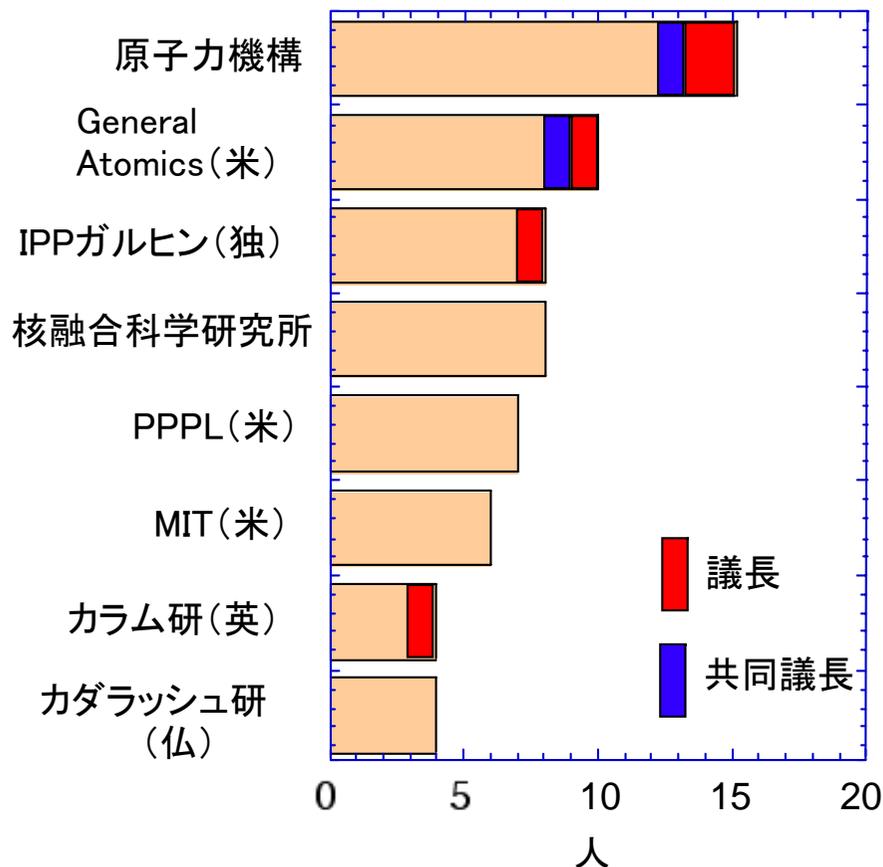
議長: 日:2、米:3、欧:3、共同議長: 日:1、米:2、欧:0、ITER:5

活動の主体である日、米、欧委員の内、JAEA研究者が最多数。

議長2名、共同議長1名も最多数。

全ての研究領域に亘って国際活動の企画、推進、評価に積極的かつ主導的に貢献

日米欧の研究機関毎のITPA委員数
(委員数4人以上のみ記載)



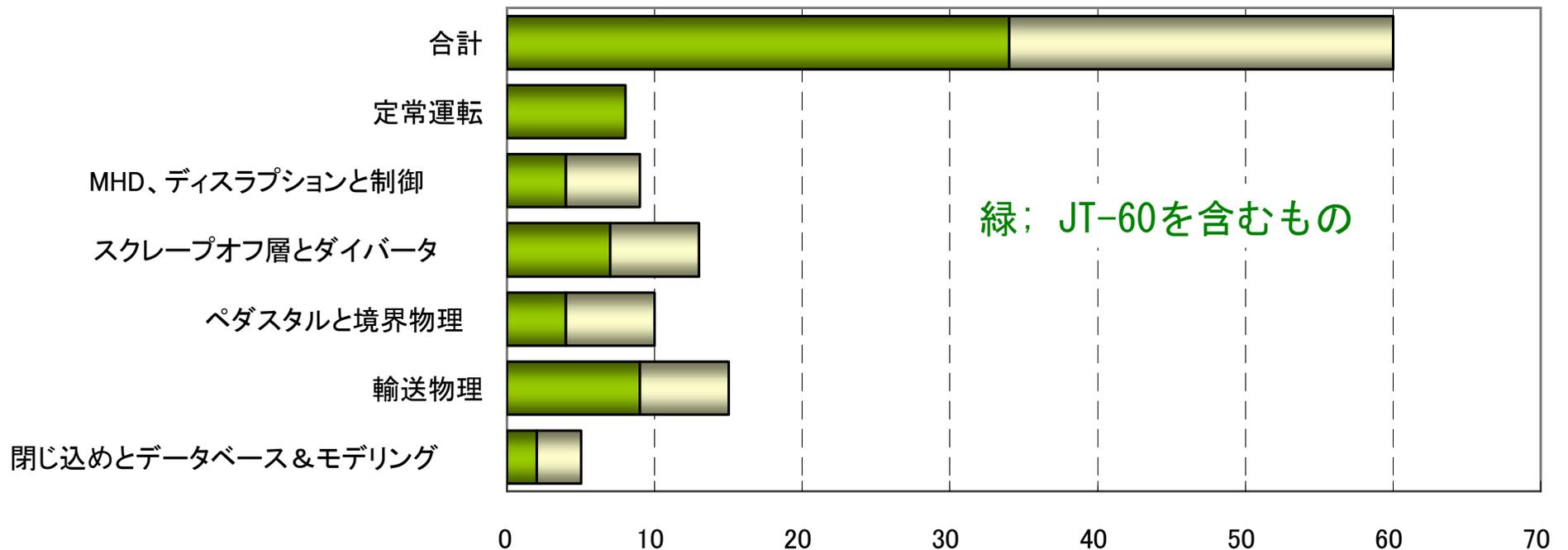
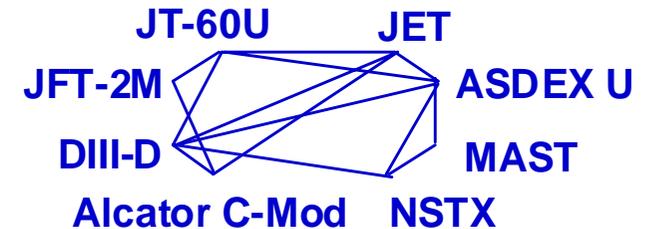


5.9 国際トカマク物理活動に不可欠なJT-60の貢献

国際装置間比較実験60件中、JT-60を必要とするもの34件。
全ての研究分野に貢献。

国際データベースへのデータ提供
各国モデリング研究者との協力

装置間比較実験：ペダスタルGr例





国際トカマク物理活動を先導

5.10 ASDEX, DIII-D, JETとの協力

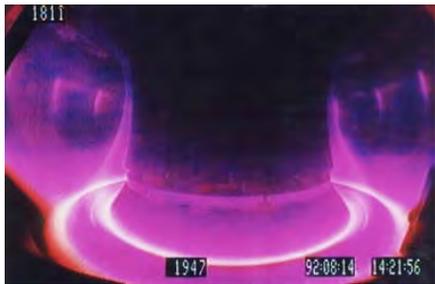
装置の特長を活かした比較実験を展開し、
依存性・一般性を解明しITERへ外挿

JT-60



同形状でのサイズ依存性

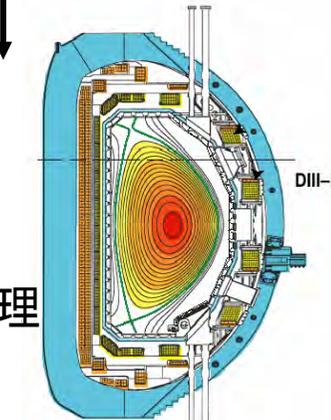
H-モード
ダイバータ物理
MHD安定性



ASDEX-U(独)

形状、
回転依存性比較

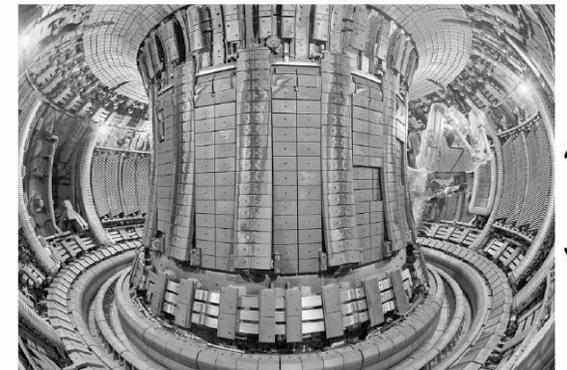
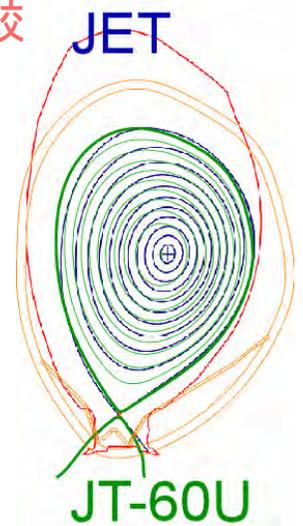
H-モード
ダイバータ物理
MHD安定性
先進運転



DIII-D(米)

同一プラズマ条件での比較
炉心級条件での比較
第一壁条件比較

H-モード
ダイバータ物理
MHD安定性
先進運転
プラズマ壁相互作用



JET(欧)



5.11 建設中の韓国超伝導トカマク (KSTAR) と協力 —長時間運転技術の確立に向けて—

経緯

- 平成16年11月
文部科学省と韓国技術部との間で研究協力に関する実施協定を締結。
- 平成17年4月
原子力機構(旧原研)とKSTAR計画を担当する韓国基礎科学研究所(KBSI)との間で研究協力に関する取決めを締結。
- 平成17年5月
プラズマ加熱・電流駆動装置の協力計画についての上記取決めの附属書を締結。

協力協定の署名式 (平成17年4月8日)



Lee理事長(左側)と岡崎理事長(右側)

主な成果

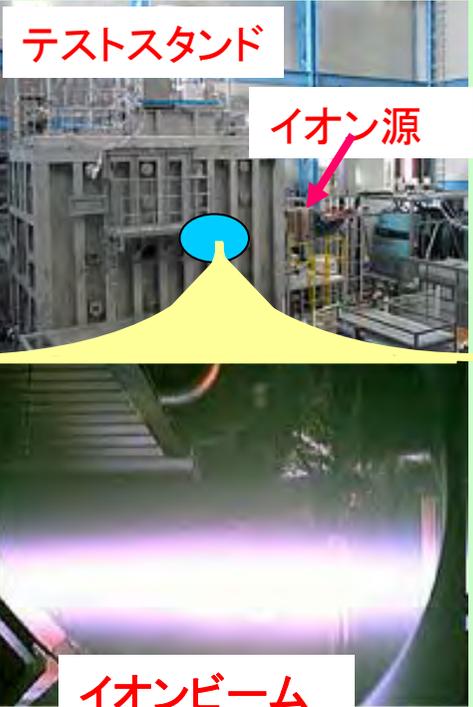
- ◆JT-60イオン源の長時間共同実験をKSTAR用NBのテストスタンドにおいて実施。
- ◆60keV, 18A, 200秒間の水素イオンビーム引出しを実証(従来は30秒)。
- ▶ JT-60SAの長時間運転技術の向上に資する。

韓国科学技術部より新聞発表
2005. 11. 10

국내 핵융합기술로 선진국 핵융합로 기술 검증

한국원자력연구소는 자체 개발한 2MW 중성입자빔 특성 시험 시설을 이용하여, 일본의 국가핵융합연구소에 사용될 토카막용 대전류 이온원의 성능 검증을 일본원자력연구소의 연구원들과 함께 2005년 9월 5일부터 10월 21일까지 수행하였다. 이번의 공동실험을 통해 중성입자빔 가열 장치의 200 초 이상 운전 가능성을 세계 최초로 검증하였다.

(和訳) この程の共同実験を通して、200秒以上の運転の可能性を世界最初に検証し、核融合への連続運転の可能性を示した。



主な研究協力項目

- プラズマ加熱・電流駆動装置及び計測装置におけるKSTARを利用した長時間運転技術の開発
 - 中性粒子入射I装置、電子サイクロトロン装置及びトムソン散乱用レーザー装置の開発・試験
- ▶ JT-60SAにおける高性能プラズマの長時間維持研究に貢献

5.12 日中協力の推進

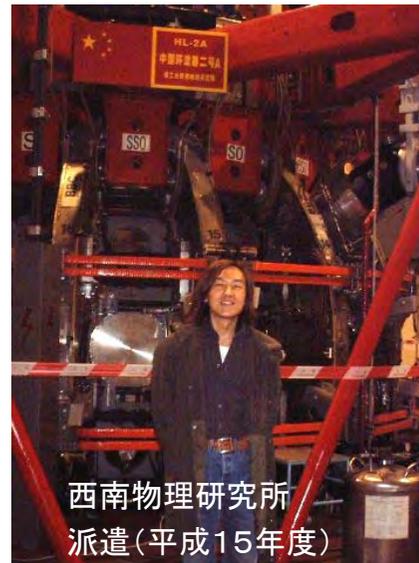
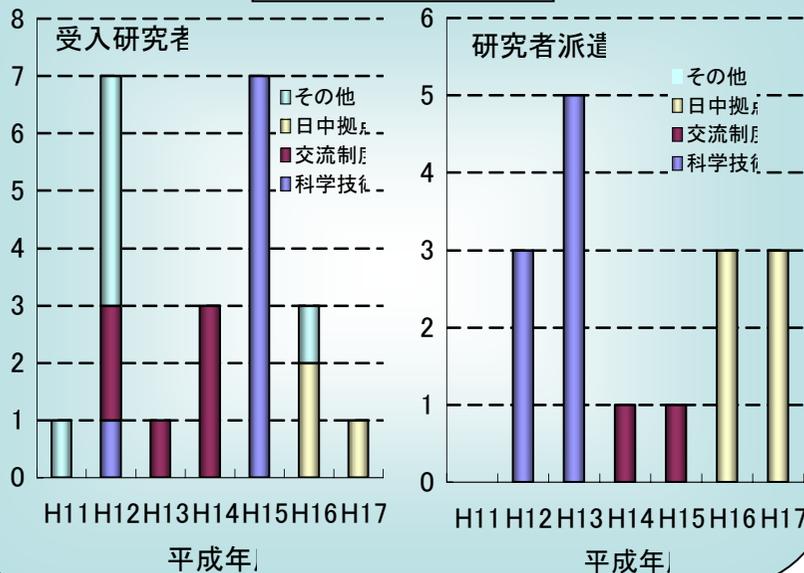
■ 中国の核融合研究開発の支援を継続

- 日中科学技術協力協定
日中ワークショップの開催など
- 原子力研究交流制度
研究者受入・派遣、計算コードの提供など
- 日中拠点大学交流事業
研究者受入・派遣、実験参加など



平成15年度 第5回日中ワークショップの集合写真(那珂)

研究者の交流



JT-60で開発された計算コードを適用

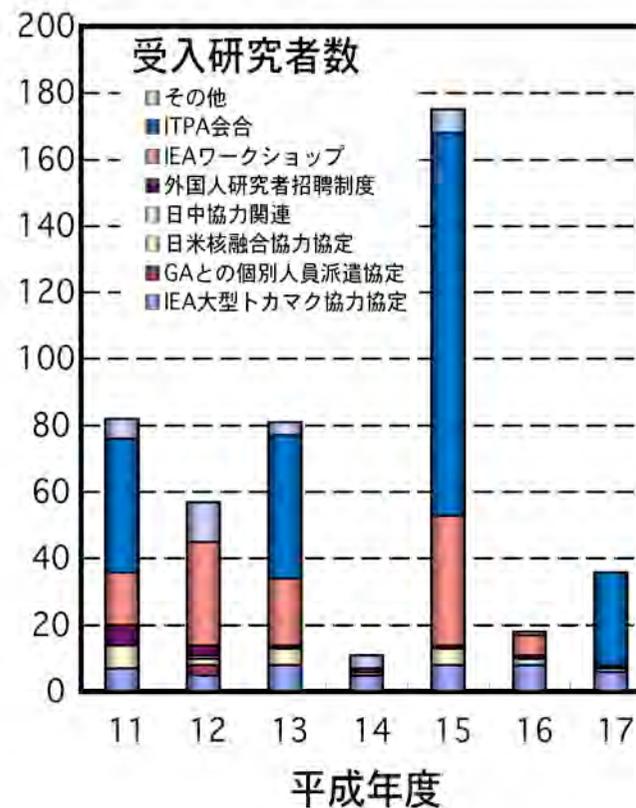
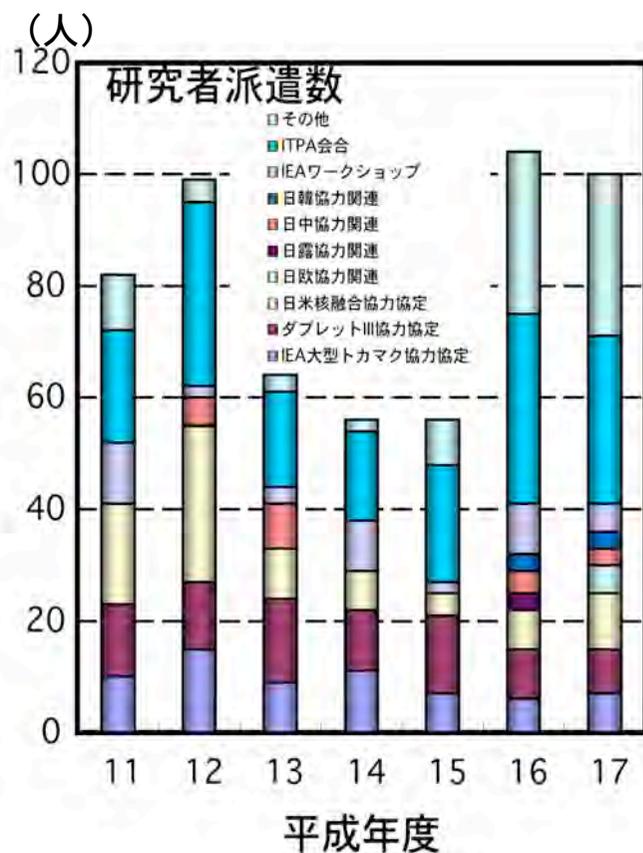
プラズマ形状同定コード
(西南物理研究所: HL-2A)

ダイバータプラズマ・シミュレーションコード
(等離子体物理研究所: EAST等)

電流駆動解析コード
(等離子体物理研究所: EAST等)

5.13 国際人員交流の状況

研究者派遣数は重点化後も、60～100人の間で推移している。一方、受入研究者数は重点化後、減少しており、今後増やして行く必要がある。

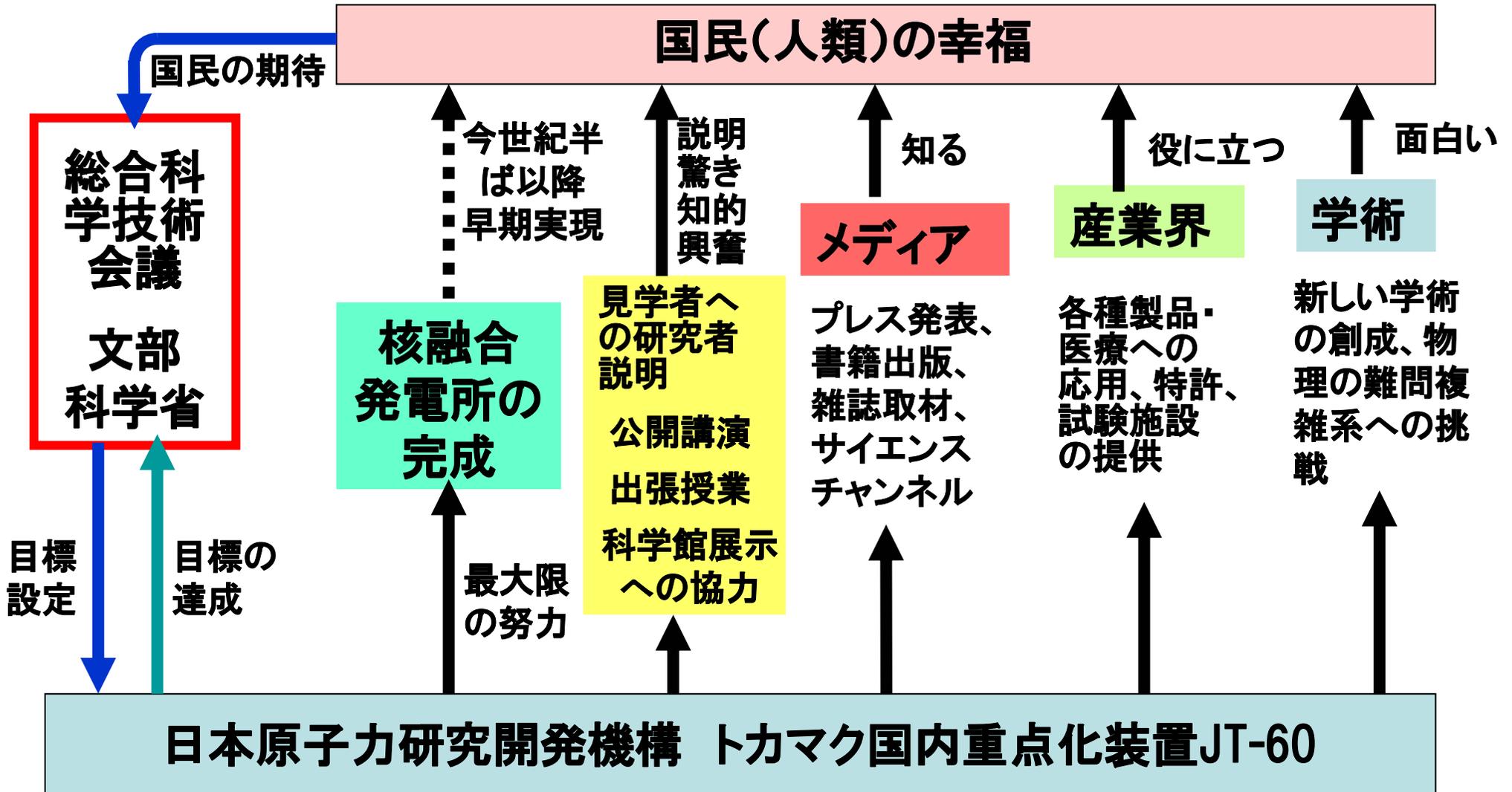


6.社会的視点からの寄与



社会的視点からの寄与

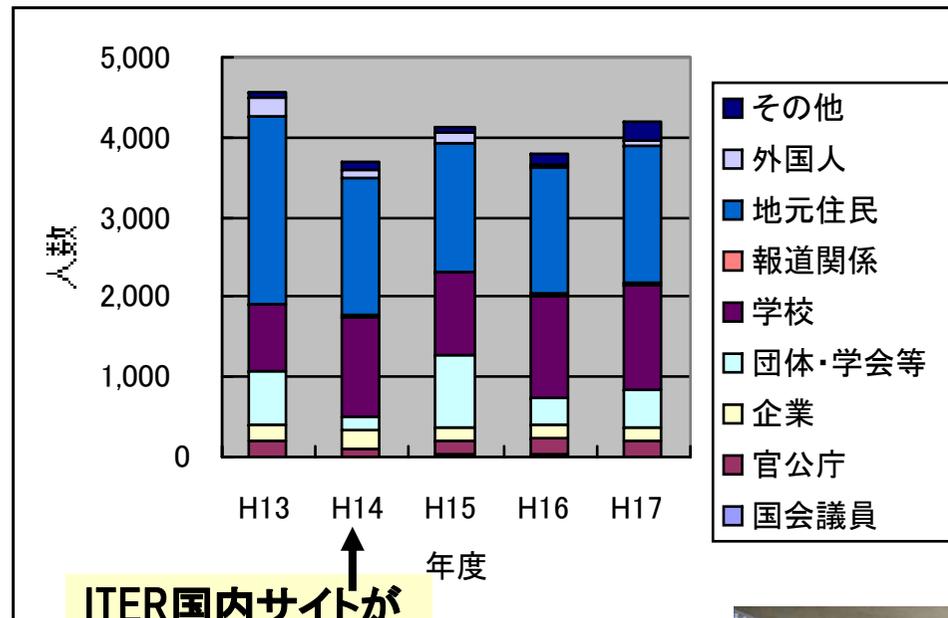
JT-60は、トカマク国内重点化装置として核融合研究を強力推進。



6.1 社会への説明責任を果たす形態と実績(1) —JT-60施設への見学者受入れ—

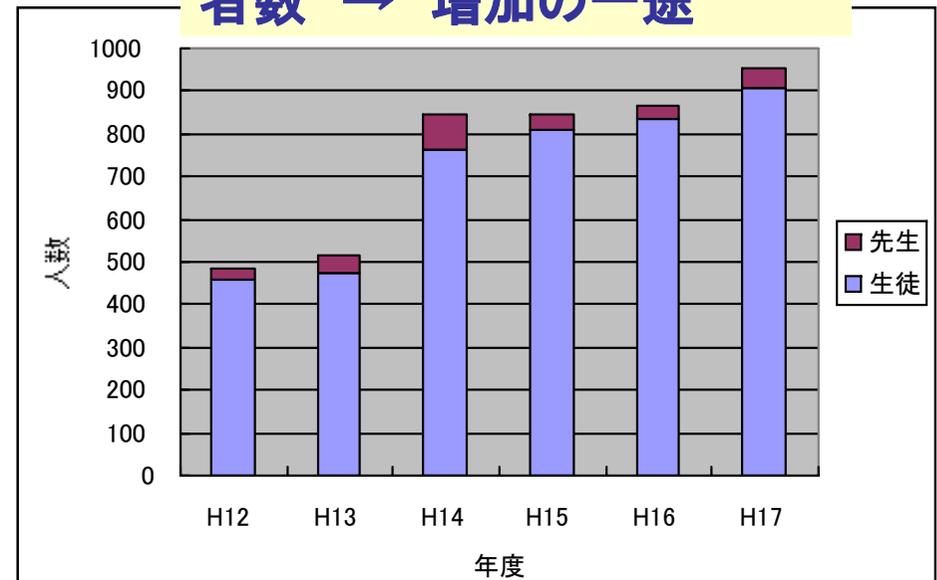
JT-60の見学者へ現場の研究者が最新説明。社会への説明の一環。

見学者総数の推移→堅調



↑
ITER国内サイトが
六ヶ所村となり
地元見学者減少

小中高の生徒と先生の見学者数 → 増加の一途



**施設の安全を確保して、
土日の見学者も積極的に
受け入れ。**



研究者による中学生への説明



6.1 社会への説明責任を果たす形態と実績(2) —JT-60施設からの発信 その1—

JT-60から科学情報、知的面白さ、驚き、興奮を社会に向け発信

- ・プレス発表:
H10-H17まで合計16件
- ・ジャーナリスト関係者の方々の取材対応:
H13以降毎年10人程度
- ・NHK教育放送出演(H16)
高校化学「炭素」
- ・サイエンスチャンネルTV番組制作:
H10-H18まで、合計10タイトル番組に出演等
- ・科学未来館、科学技術館への展示への協力
未来館企画展示「65億人のサバイバル」において、人類が未来に生き伸びるためのエネルギー源開発の一つとしてJT-60が紹介される予定(H18秋)
- ・雑誌取材対応:原子力eye、エネルギーフォーラム、ニュートン
- ・スーパーサイエンスハイスクール校への出前講演(H15)



立花隆氏による現場取材風景

日本科学未来館企画展示ポスター



核融合特集(H15年6月)

6.1 社会への説明責任を果たす形態と実績(3) —JT-60施設からの発信 その2—

JT-60から科学情報、知的面白さ、驚き、興奮を社会に向け発信

・公開講演への積極参加

- ・H18核融合連合講演会にて公開で「ミニ太陽の夢に近づく」と題する講演。(富山:高校生200名超。聴衆合計600名)
- ・H17世界物理年公式イベント(春、夏2回)へのサイエンストークショー参加(東京:小中高生とその親の80名x2回)
- ・H17国際核融合炉工学シンポジウムにおける一般展示とパブリックレクチャーを企画(東京:高校生数10名)などがこの2年間に参加した大きな公開講演会。



世界物理年春のイベントポスター



富山の皆様に核融合を紹介



プラズマ体験装置「ピカット君」(機構特製)に興味を示す高校生



高校生によるパネル討論企画



6.1 社会への説明責任を果たす形態と実績(4) —JT-60施設からの発信 その3—

JT-60から科学情報、知的面白さ、驚き、興奮を社会に向け発信

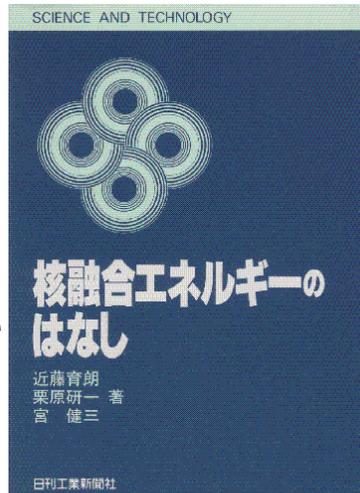
書籍出版

核融合の進展の現状をじっくり詳しく全国に発信するために、書籍の執筆と出版にも機会を捉えて参画。

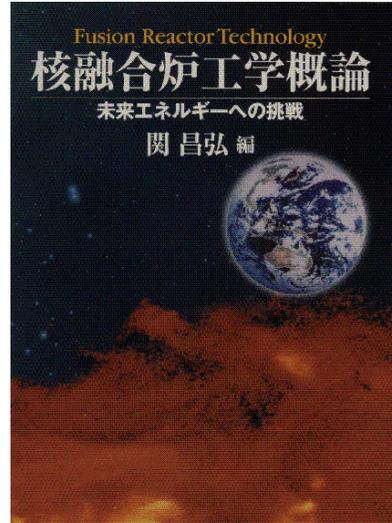
→大手進学塾での将来の進路選びのマニュアルでも推奨。

関連書籍出版への積極的協力

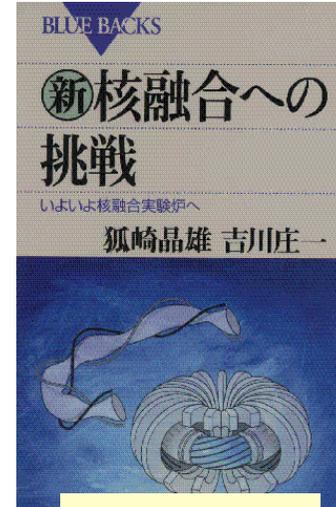
核融合を扱った出版企画について、執筆者の要請に応じて内容の科学的事実確認を始め、図や写真を提供します。



日刊工業新聞社
はなしシリーズ(H8)



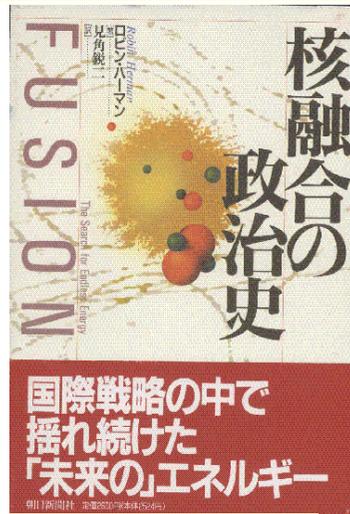
日刊工業新聞社単行本(H13)



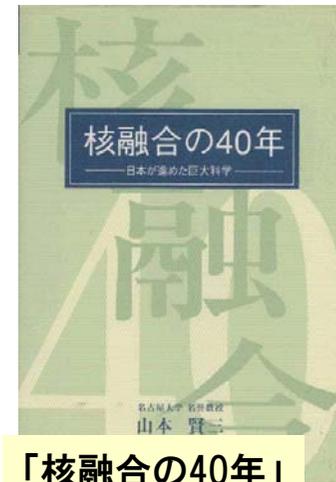
講談社ブルー
ボックス(H15)



日刊工業新聞社トコトン
やさしいシリーズ(H17)



朝日新聞社(H8)



「核融合の40年」
ERC出版(H9)



「飛躍の軌跡・核融合」
ERC出版(H18)



6.1 社会への説明責任を果たす形態と実績(5) —JT-60施設からの発信 その4—

JT-60や核融合について、アーカイブから最新の実験結果まで、
また入門から専門的なことまで、充実したホームページで情報公開

炉心プラズマ研究
日本原子力研究開発機構 那珂核融合研究所 核融合研究開発部門

JT-60計画
 JT-60計画
 国際トカマク物理活動(ITPA)
 ITPA & Workshop
 研究会
 大型トカマクセミナー

新着情報
 7.5 I E A大型トカマク...
 6.20 大型トカマクセミナー 22回 Comparison Study of 2-D Images of Temperature Fluctuations during the Sawtooth Oscillation with Theoretical Models (7月4日)
 5.24 大型トカマクセミナー: 第1回 ITER and Plasma Surface Interaction Issues in a Fusion Reactor (5月14日)

イベント
 国際トカマク物理活動(ITPA)
 ITPA & Workshop
 研究会
 大型トカマクセミナー

理論・シミュレーション
 理論・シミュレーション研究

研究報告
 学会・論文発表

サイトマップ
 サイトマップ

インフォメーション
 プレス発表
 ビデオライブ
 採用情報
 アクセス案内

研究協力
 I E A大型トカマク協力 New!
 研究協力の公募
 訪問者の声

原子分子データ
 原子分子データ

核融合入門
 核融合入門
 用語解説

よくある質問
 よくある質問

リンク
 リンク

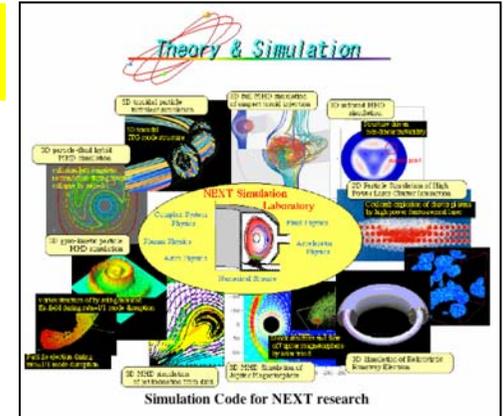
所内限定
 所内限定

ホームぺージ累積アクセス件数の推移

年	累積アクセス件数
2005	350,000
2004	300,000
2003	250,000
2002	200,000
2001	150,000

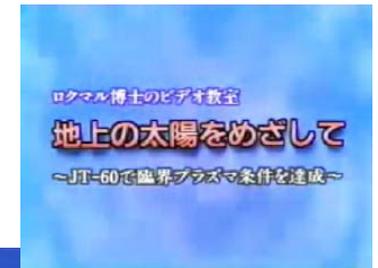
専門家向けページ

- ・JT-60計画、実験状況
- ・理論・シミュレーション
- ・JT-60改修計画
- ・原子・分子
- ・炉設計



一般向けページ

- ・核融合入門
- ・用語解説
- ・よくある質問
- ・ビデオ



核融合発電所の完成へのシナリオを電力中央研究所や大学と検討

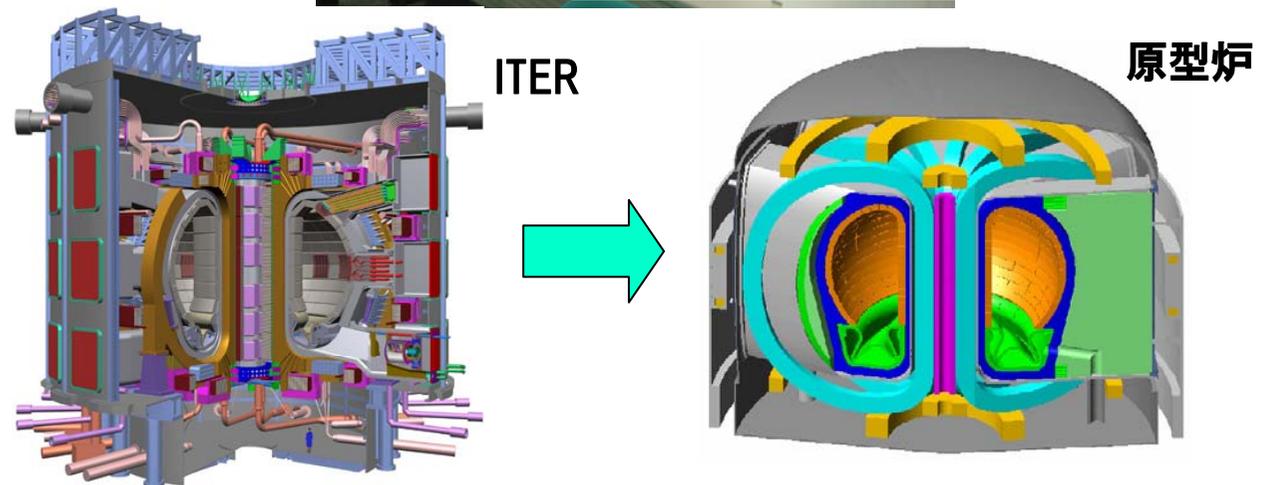
核融合エネルギー開発の意義

- 社会経済性検討
- 市場導入量の超長期予測
- 環境影響評価



技術的検討

- 核融合技術動向の分析
- 早期実用化方策の検討
- 原型炉の概念検討



核融合を広い視野で捉え、魅力ある革新エネルギー技術としての優位性を示す

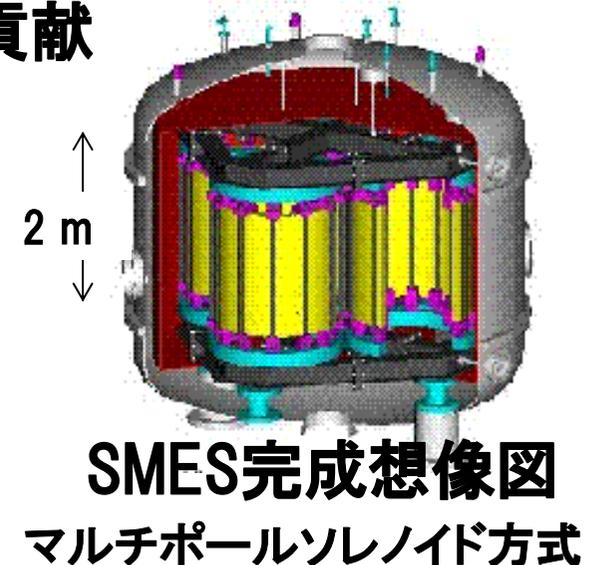
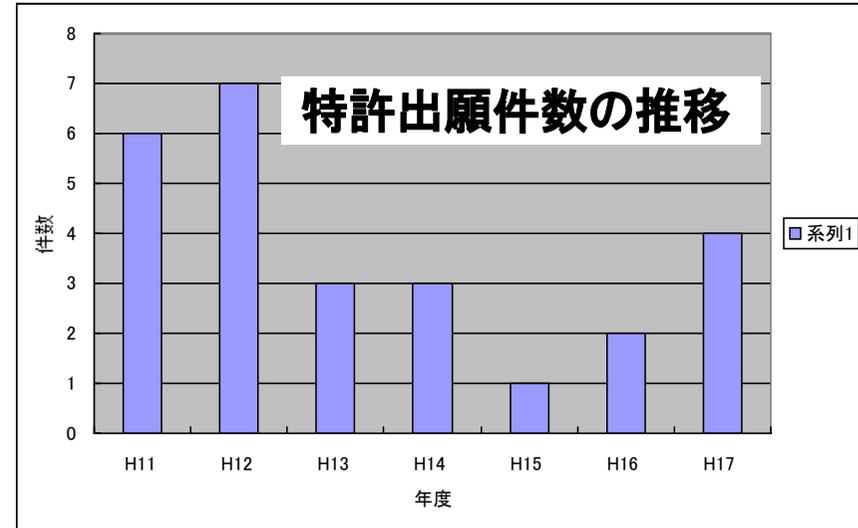
6.3 研究成果の波及効果(1) —核融合以外で何かの役に立つ技術を発信—

核融合技術や施設を産業界などで役に立ててもらい社会貢献を実施

- ・特許申請を行う。
- ・産業界との交流活動に参加
 - 地元の商工会主催の産業促進交流会、産業技術研究会
 - 地域の産業作りの会合
 - 新技術紹介の展示会への出品
- ・機構が持つ産学官連携の技術応用部門への人的貢献
- ・大型試験の実施場所と技術の提供

(例)超電導電力貯蔵システム(SMES)*のためにJT-60の大容量電源を使用して超電導磁石への通電試験を実施した(H8)。

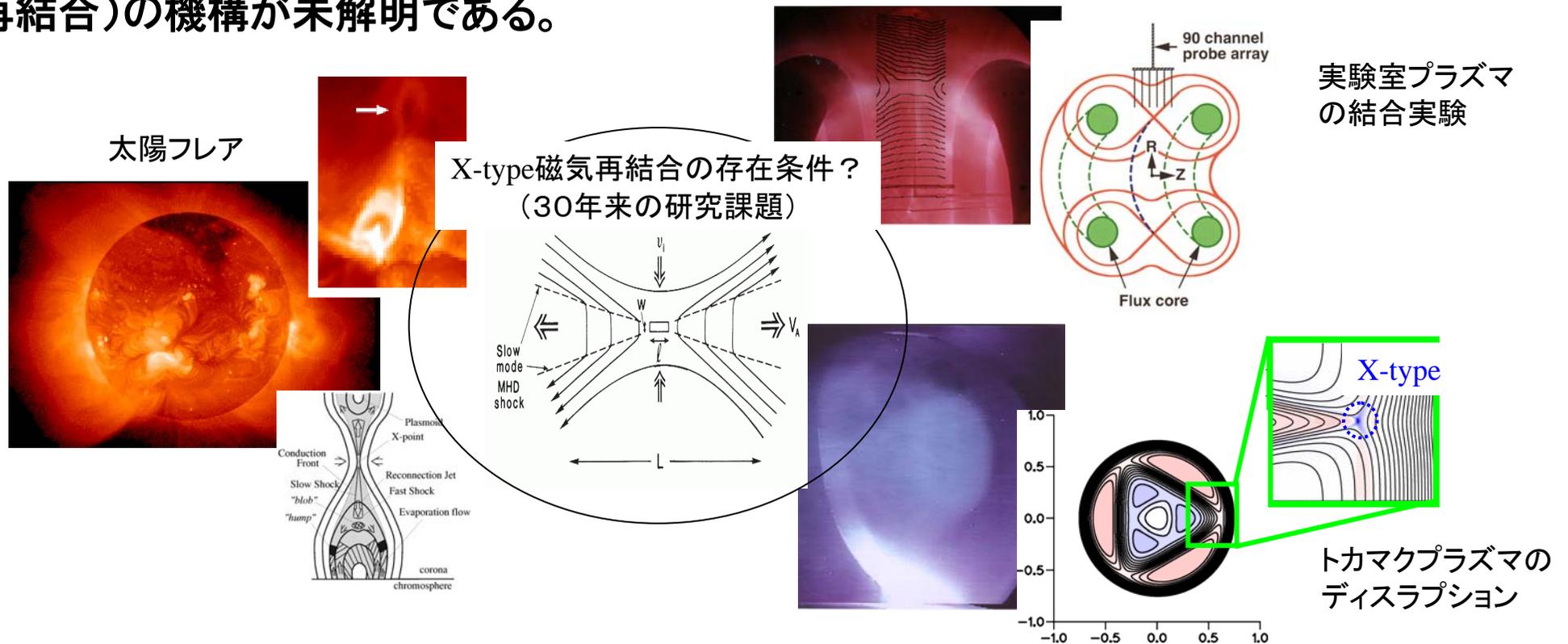
*:新エネルギー産業技術総合開発機構
(経済産業省下のJNEDO)



6.3 研究成果の波及効果(2) —核融合以外の学術領域に方法論やコードを発信—

核融合研究での磁気現象解析を天体物理の爆発現象の解析に応用

・プラズマ物理学の研究分野では、爆発現象を引き起こす磁場のトポロジー変化(磁気再結合)の機構が未解明である。



トカマクプラズマで顕著となる時定数に着目することにより、基礎的な物理階層において、X-type磁気再結合機構が存在し、それにより爆発現象が引き起こされることを数値シミュレーションにより世界で初めて示した。

6.3 研究成果の波及効果(3) 一核融合研究で必要な高速計算機技術は汎用性高い一

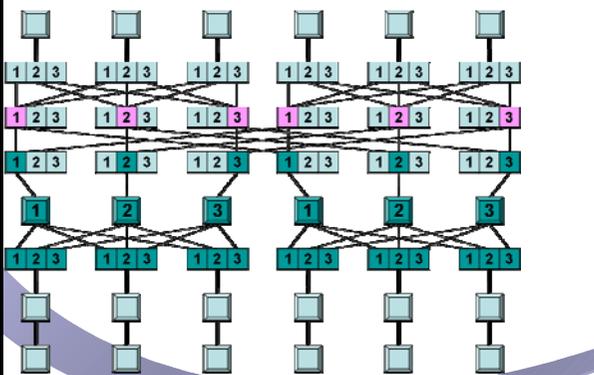
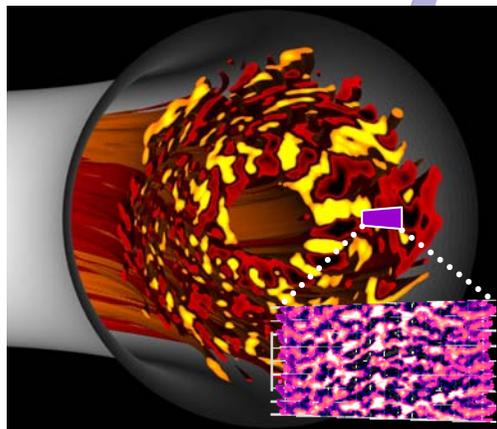
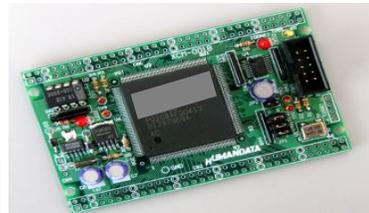
核融合研究は超高速計算を要するため先進計算機技術を創成する。



ストレージグリッドの開発

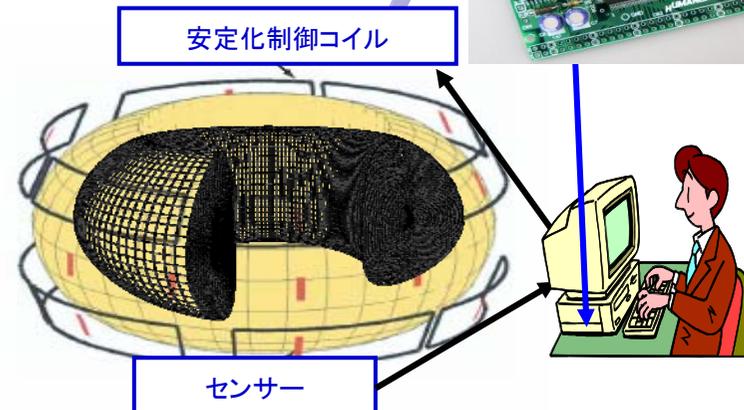
- 大規模計算に必要な先進的スーパーコンピューティング環境

FPGA による専用計算エンジン (Field Programmable Gate Array)



5次元トカマク乱流シミュレーションの開発

- ペタフロップス級計算機を必要とする超並列アプリケーション



核融合炉の実時間制御専用計算機の開発

- 汎用FPGA技術の科学技術計算への先端的応用



- JT-60では、見学者へ説明を研究者の社会への説明の一環として捉え推進しています。
- 生徒の科学に対する芽を育てるための活動を推進しており、結果として小中高生の見学者の数は増加の一途です。
- JT-60から科学情報、知的面白さ、興奮等を社会に向けプレス発表、講演、出版活動を通じて積極的に発信し続けています。
- 核融合発電所の完成へのシナリオを大学や他研究機関と協力して検討作成しています。
- 核融合技術や施設を産業界などで役に立ててもらい社会貢献を実施する努力を続けています。
- 核融合研究での解析コードが他分野の解析に応用されるなど、学術的な波及効果が既にあり、今後も期待出来ます。また超高速計算の追求は、先進計算機技術を創成しています。

重点化装置として位置付けられたJT-60の社会的責任の重さを認識し、社会的視点での貢献を一層強力に推進しています。