



ITERプロジェクトと国際協力の歩み

下村 安夫

1. ITER 以前 (1979-1985) INTOR 森

日米欧ソの4チームが母国での作業結果に基づき
2週間程度の合同作業会を年に数度IAEA本部にて開催

◎ 成果

実験炉開発に向けての物理・技術開発の方向付け。
(データ不足のため定量的には正しい設計パラメーターは
獲られていない)

◎ なぜ方向づけができたか？

トカマク実験炉に関する共通の概念ができたため：
オープン・ポロイダル・ダイバーターを有する縦長断面トカマク

1979年の日本チームの提案（下村・迫・新谷）

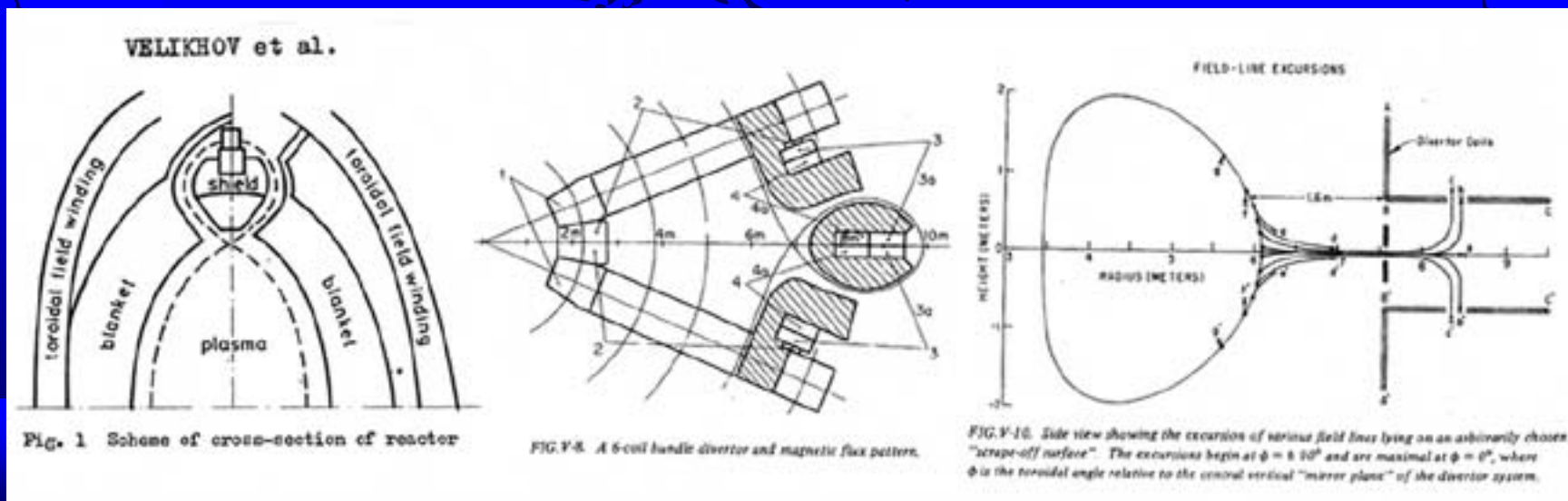
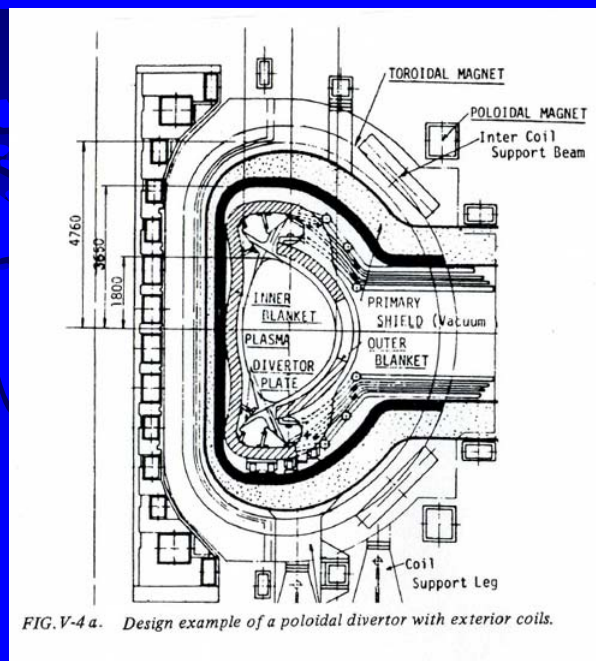
- すべてのポロイダル・コイルをトロイダル・コイルの外に配置する。
- 非円形度を高くしポロイダル・ダイバーターを付ける。
- 浅いダイバーターでもその機能を果たしうる。

他極の提案

旧ポロイダル

バンドル

ハイブリッド



2. ITER 前期 (1985-1990)

1985 ゴルバチョフがベリコフの実験炉国際建設の案を
取り上げ、レーガンに提案

1986—Terms of Reference の作業会 苫米地議長

1998-1990 ITER概念設計活動 苫米地

各極から参加したメンバーで単独の混成チーム。
年2回数ヶ月単位で集中作業を行った。

◎成果

核融合出力百万キロワットの実験炉の概念設計 (H-modeプラズマ)
共同建設の現実性を印象付けた

「国際混成チームが機能すること」

「異質の考えや意見をぶつけることによってより良い設計が可能」

「科学技術者間の信頼関係が深まった」

「建設に必要な工学及び物理の研究開発計画の具体案」

(工学設計活動の主要なR&Dは、この期間に立案されたもの)

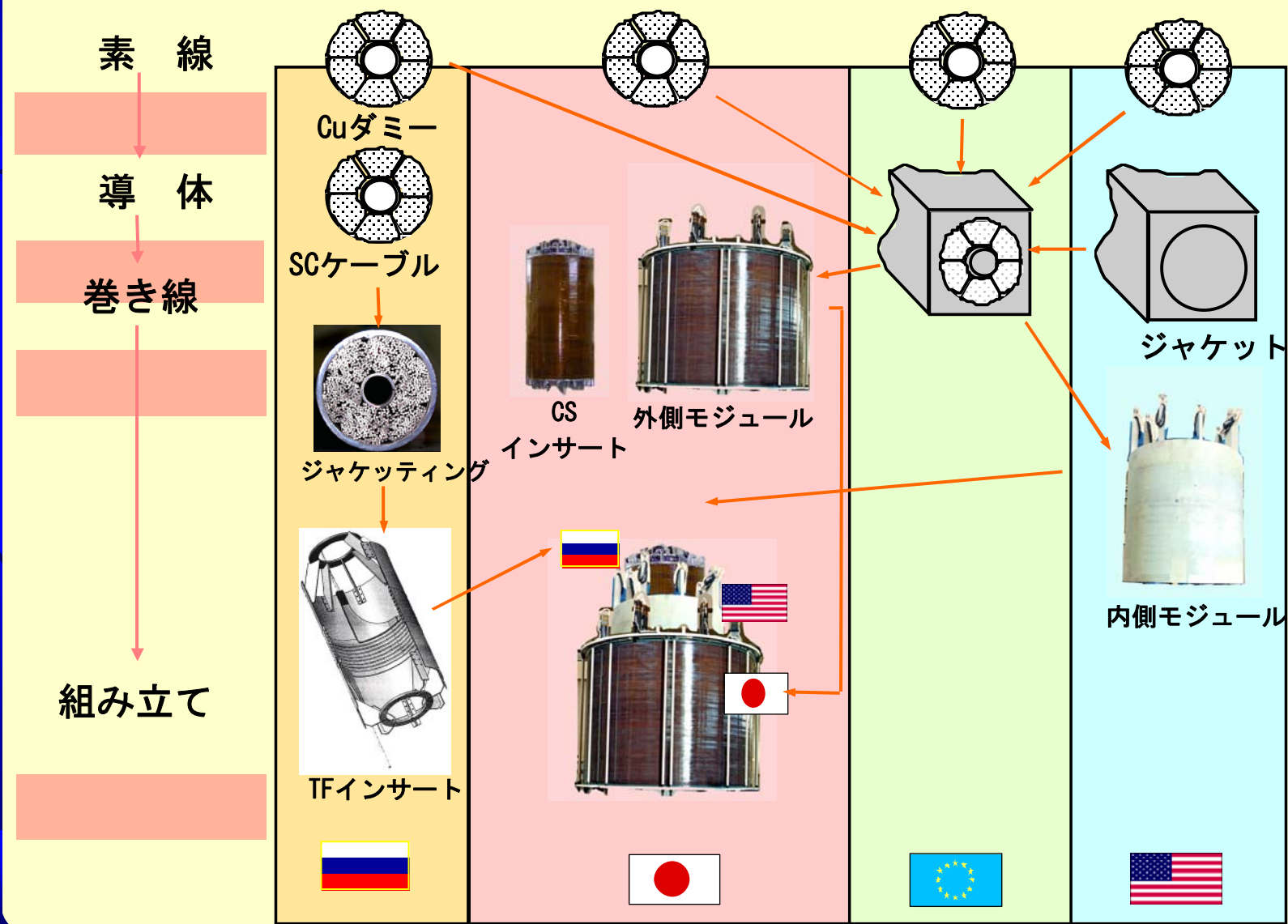
3. ITER工学設計活動および暫定活動 (1992-2005)

国際・国内実験炉の建設決定に必要な科学技術・製作技術の確立を目的とした国際協定に基づく工学設計活動とITER機構長就任までの暫定活動

- ・ 中央チーム：最大160名（日本人45名、内25名強は産業界）
+90名の支援要員
- ・ 4-3ホーム・チーム
（日本のホーム・チーム・リーダー：松田、常松）
- ・ 700億円規模の工学R&D
- ・ 研究者の幅広い参加によるプラズマ物理のR&D

例：中心ソレノイ・コイルの開発

島本・辻らが実施
ITER 国際建設の準備



中心ソレノイド・モデル・コイル



主要諸元

外径 : 3.6 m

高さ : 2.8 m

重量 : 110 トン

磁場強度 : 13 T

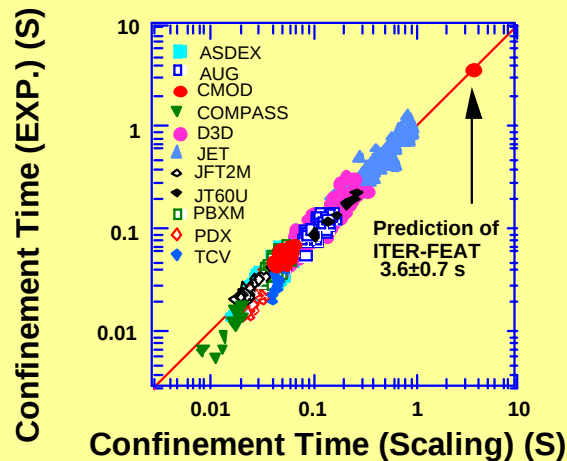
線材 : Nb₃Sn

パルス運転 : 0.6 T/s

総額 約80億円

● Tokamak Physics activities

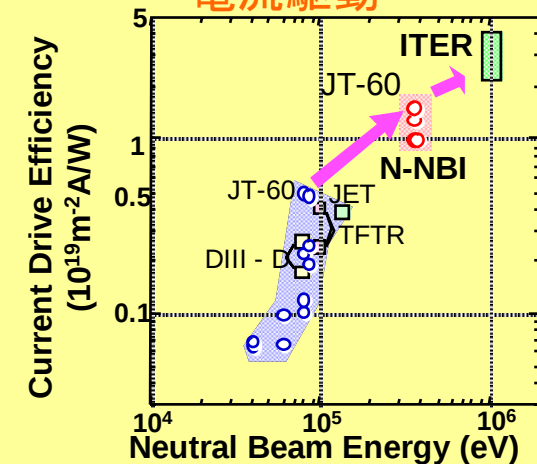
エネルギー閉じ込めスケーリング



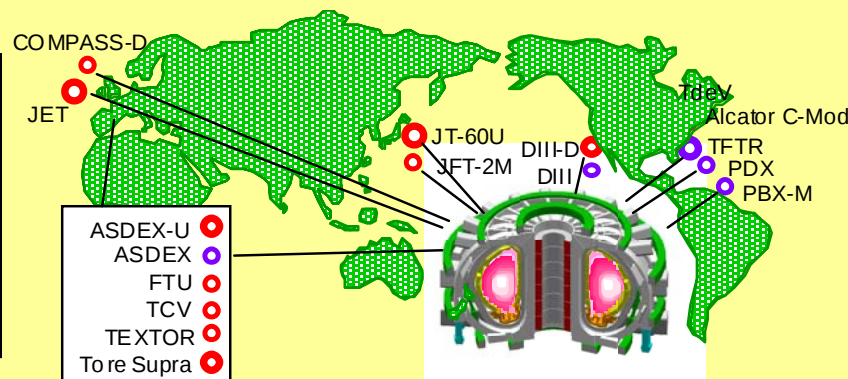
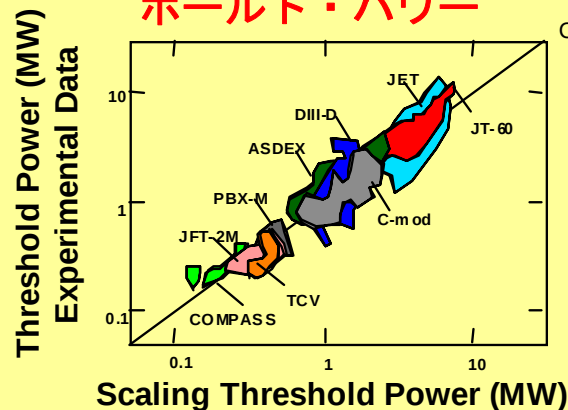
Seven Physics Groups

- Confinement, Database and Modeling
- Transport and Internal Barrier Physics (若谷)
- Edge and Pedestal Physics
- Scrape-off-layer and Divertor Physics
- Energetic Particles, Heating and Steady State Operation
- MHD, Disruption and Control
- Diagnostics

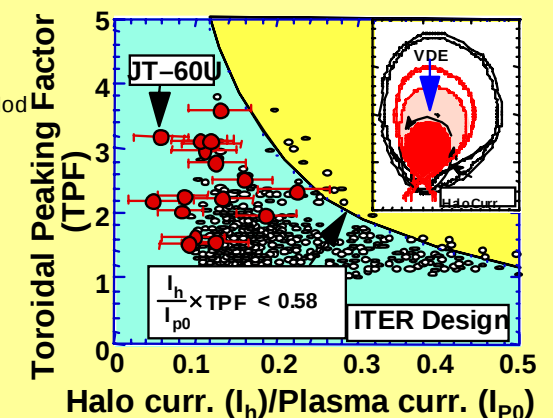
電流駆動



Hモード・シュレッシュ ホールド・パワー



ハロー電流



国内計画との関係

- 1990年初期までは、欧州のNETや日本のFERのような国内実験炉の検討が行われていた。
- その成果を持ち寄ってINTORや初期のITERの作業が行われた。
- 1990年中期から。日欧口は国際実験炉の実現に取り組み始めた。
- 日本は、1996年にITERを国内実験炉相当とした。

ロシアの経済危機、米国の撤退、また日・欧の研究者の議論も進まず、早期実現が難しくなった。

ITER設計変更

- 当初定められた工学設計活動は 1992－1998

最終報告書は1998に提出

- 規模の縮小と最新の成果の反映が提案された。

1996 岸本の非公式提案

岸本/ピンカウ＋ 欧/日/露/米の代表による技術目標の見直し作業

- 経費の半減を目標に設計方針の見直し作業会

下村＋欧・日・露の代表

- 3年間の延長

コンパクトITERの最終設計報告書を2001に提出

1992—1994 レビュー

- ・ 強力な中央チームの構築
- ・ 多極の共同開発体制——国際協力による建設の準備
- ・ プラズマ物理のR&Dのために幅広い研究者の活動を立ち上げ
特にダイバーター・プラズマの研究の方向を示す

1995—2002 エマール 工学設計の完成

建設を決定するに十分な基盤の確立

2003—2005 下村

- ・ 建設に向けたサイト固有設計・設計改良
- ・ プロジェクト管理手段の開発と運用
- ・ ITER交渉の技術的サポート

サイトの技術評価、ブローダー・アプローチの取りまとめ、調達分担 - - -

4. ITER建設に向けた政府間協議 国内誘致をめぐる

- ・ 日本は、将来のITER誘致の足がかりを確保するためにITER工学設計活動の拠点を那珂に置いた(松田、常松らの提案)9年間にわたり約80名の外国人研究者、CADデザイナー及びその家族が那珂市などに滞在した。この間、国際学校の分校の運営、地域住民との親睦や地域との協力も含めて、国際共同作業遂行の実績を築いた。
- ・ 人材面、技術開発、およびコンパクト化で示した指導力でITERを中心的に推進してた。

実績から

- ・ 日本はITERを設置できる能力のある国として評価された。
- ・ 欧州は日本にITERを建設し、欧州がビッグ・パートナーの役割を担う構想を現実感を持って検討していた。

原子力委員会ITER計画懇談会（1997-）

2001年5月

我が国がITER計画に主体的に参加するだけでなく、設置国になる意義は大きい

2002年5月

我が国は、ITER計画が国家的に重要な研究開発であることに鑑み、政府全体でこれを推進するとともに、国内誘致を視野に、政府において最適なサイト候補地を選定し、ITER政府間協議に臨むことが適当である。その際、参加極の経費分担については、全ての参加極が一定規模以上の貢献を行う中で、経済規模を反映したものとすべきである。なお、参加極間で費用負担と得られる成果のバランスが取れるような枠組みの形成に努めることとする。――

閣議

我が国は国際協力によってITER計画を推進することを基本方針とし、国内誘致を視野に入れ、協議の為に青森県六ヶ所村を国内候補地として提示し政府間協議に臨むこと。

6月の第4回ITER政府間協議での日本の基本方針

貢献は経済規模を反映する、費用分担と得られる成果をバランスさせる、
青森・六ヶ所村を提案

中国の参加、米国の復帰を期に交渉が本格化

- ・ 2003年11月までは、欧州内はスペインとフランスが誘致をめぐっての駆け引き、ITER誘致に消極的な国もあり、まとまりを欠いていた。

- ・ この時点で「日本が積極的な提案をすれば、建設が決定できる」と考えていた協議メンバーは多くいた。

米国、ロシア、中国、韓国はそれぞれ10%、合計40%分担することを表明。

25%は建物や現地作業の費用であり当然誘致極の負担。

35%を兄貴分の日本と欧州が17.5%ずつ分担することが期待されていた。

日本が25%+17.5%の42.5%出すことを提案していれば、他極の支持は比較的容易に得られただろう。

(ITER誘致が各極内で極端に政治問題化するのとは、欧が仏に誘致を決定した2003年11月以降である。)

経済規模が欧の約半分の日は、35%のうち日が12%、欧が23%分担すべきとし、日本に設置する場合でも25%+12%の37%と提案していた。

「日本は最終的には誘致する意思はないのだろう」との印象を与えた。

このチャンスを逃したのは、国内から見れば

「欧州とくにフランスがまだ本気ではないのに日本だけが突出できない」という日本の悪い常識「周りを見てから動く」の結果であったと思われる。また国内の核融合プラズマ研究者の意見がまとまっていなかったのも大きな原因であっただろう。

その後値上げ競争に入り、

「50%負担、内10%を相手国に発注」との提案

2005年6月28日の閣僚級会議合意

- サイトはフランスのカダラッシュ
- 建設費の分担比は欧50%、日・米・露・中・韓は10%*
- 日本は本部職員の20%の派遣枠と全調達額の20%の受注を得る。
- 欧州は日本からの適切な候補者を最初のITER国際機構長に推す。
- 関連研究開発施設を日本に設置する。資源分担は、欧州、日本それぞれ460億円とする。

材料試験用強力中性子源の開発・建設、
核融合科学シミュレーション・センター、ITER遠隔実験センター、
ITERを支援する大型炉心プラズマ実験装置、
核融合炉工学および設計センター

* 2006年にインドが参加

幅広いアプローチ活動のプロジェクト概要

国際核融合材料照射施設の 工学実証・工学設計活動 (附属書Ⅰ)

【目的】

国際核融合材料照射施設 (IFMIF) の十分に統合された工学設計並びにIFMIFの建設、運転、利用、及び廃止に係る将来の決定に必要なすべての資料を作成し、IFMIFを構成する各設備の継続的かつ安定的な運転を実証するため、工学実証及び工学設計活 (EVEDA) を実施する。

作業場: 青森県六ヶ所村
実施期間: 6年

IFMIFの主要設備

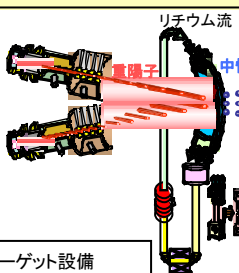
重陽子ビーム発生設備

長時間安定に10MWの連続重陽子ビームを生成

工学実証では主に1/4規模のプロトタイプを建設

液体Liターゲット設備

1GW/m²のビーム入熱に耐えて大量の核融合中性子を発生



照射試験設備

核融合炉照射条件下の材料性能の工学実証データを取得

工学実証では主に照射リグ/アセンブリ・モックアップを製作

微小試験片技術
・通常サイズの1/4
・温度制御±10℃

工学実証では主に1/3規模のLi試験ループを建設

国際核融合エネルギー研究センター (附属書Ⅱ)

【目的】

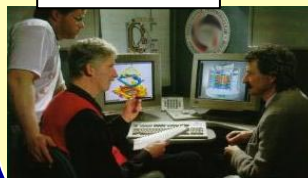
ITER事業へ貢献すること及び将来の動力用原型炉 (DEMO) の早期の実現を促進することを目的として、IFERCにおいて研究開発の活動を実施する。

作業場: 青森県六ヶ所村
実施期間: 10年

原型炉設計研究開発調整



ITER遠隔実験



核融合シミュレーション



サテライトトカマク装置 (附属書Ⅲ)

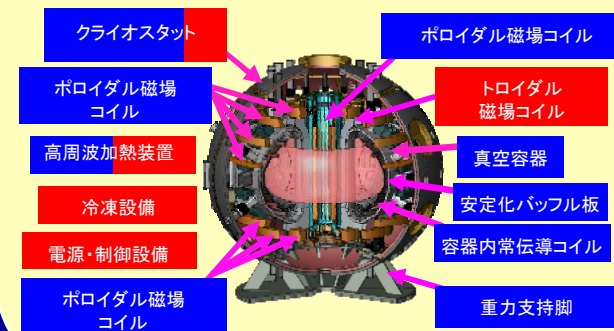
【目的】

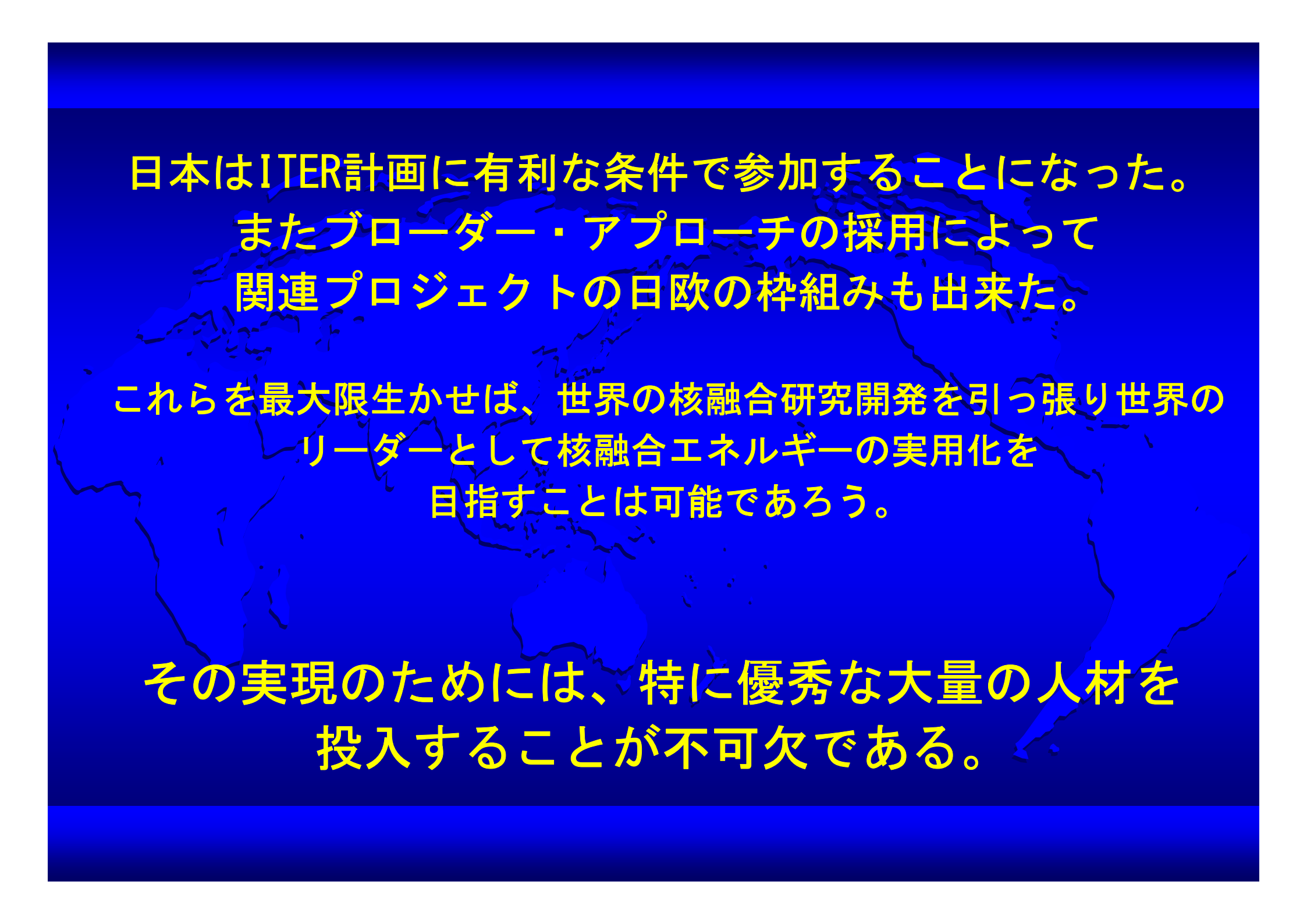
次の事項を含む計画を実施する。

- 日本の実施機関が所有するトカマク実験装置の先進超伝導トカマク改良への参加。
- ITER及びDEMOの重要な物理的問題に取り組むことにより研究を支援する先進超伝導トカマク利用への参加。
- 先進超伝導トカマクの建設及び利用は、サテライト・トカマク計画及び日本国内の計画に基づいて実施し、利用機会は均等に分配する。

作業場: 茨城県那珂市
実施期間: 10年 (運転のための3年を含む)

日 欧





日本はITER計画に有利な条件で参加することになった。
またブローダー・アプローチの採用によって
関連プロジェクトの日欧の枠組みも出来た。

これらを最大限生かせば、世界の核融合研究開発を引っ張り世界の
リーダーとして核融合エネルギーの実用化を
目指すことは可能であろう。

その実現のためには、特に優秀な大量の人材を
投入することが不可欠である。

長期海外で仕事をする研究/技術/事務管理職の希望者の減少

海外で長期仕事をする魅力と問題

・薄らいだ魅力

良い研究施設

良い収入

国際的な活躍の場

(ITの進展および交流が頻繁になり、海外に長期出なくとも国際的な活躍の場が広がった)

・今でもある魅力

多彩な人との切磋琢磨・実力主義・それを乗り越えて方向を見つけるスリル

ITERのような巨大プロジェクトへの直接参加

異文化の中での生活

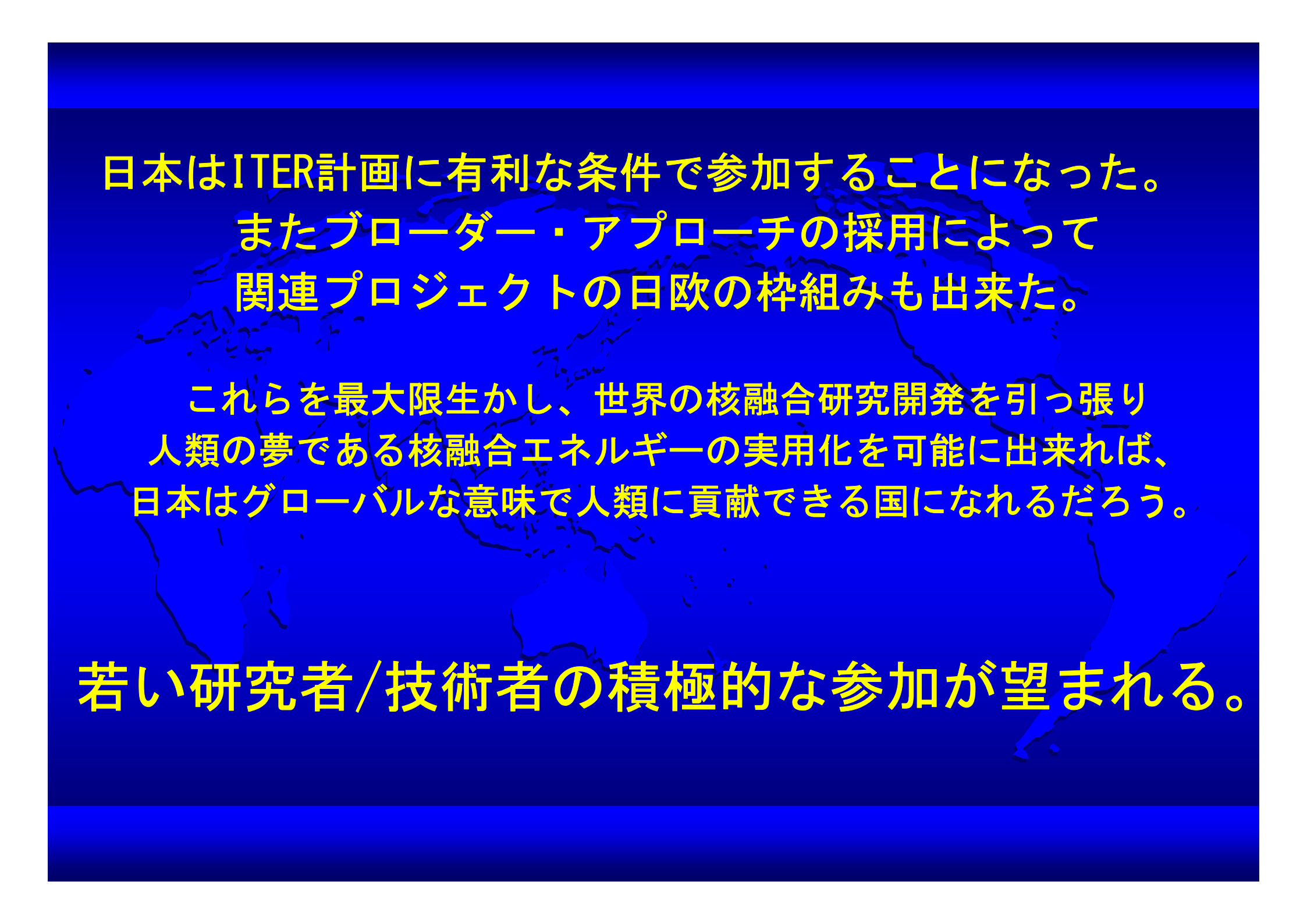
・新たな魅力

日本の実績により活躍しやすい環境

・長期的に海外で仕事できる環境作り

長期的不安定の解消 --- 国内研究機関の流動性の拡大

子弟教育問題の解消 ---- 教育システムの多様化



日本はITER計画に有利な条件で参加することになった。
またブローダー・アプローチの採用によって
関連プロジェクトの日欧の枠組みも出来た。

これらを最大限生かし、世界の核融合研究開発を引っ張り
人類の夢である核融合エネルギーの実用化を可能に出来れば、
日本はグローバルな意味で人類に貢献できる国になれるだろう。

若い研究者/技術者の積極的な参加が望まれる。

最新の物理・工学のデータ・ベースの活用と コスト削減

- 1) 誘導電流による運転で $Q > 10$ 、 > 400 s、非誘導 $Q > 5$ 、
ハイブリッドによる1000秒運転（加熱・電流駆動の進展等）
- 2) プラズマ密度限界—小さい大半径、強磁場、高非円形
- 3) Nb₃Sn大型コイル開発の進展—中心ソレノイドの分割—高非円形断面
- 4) 14MeV中性子フリューエンスを 0.3 MWa/m^2 に減
- 5) 定量評価が進み適切な設計裕度の設定
過剰な遮蔽厚の削減——