

資料 第1-5号
平成9年2月10日
ITER計画懇談会
第1回会合

ITER計画の概要

日本原子力研究所
吉川 允二

目 次

- 1. 核融合の特徴 1
- 2. ITER計画 7
- 3. まとめ 16

核融合の特徴

1. 核融合は太陽や星のエネルギー

- ・ 炉心は 2 億度のガス体（プラズマ）

2. 核融合は地上のエネルギーとして適性が高い

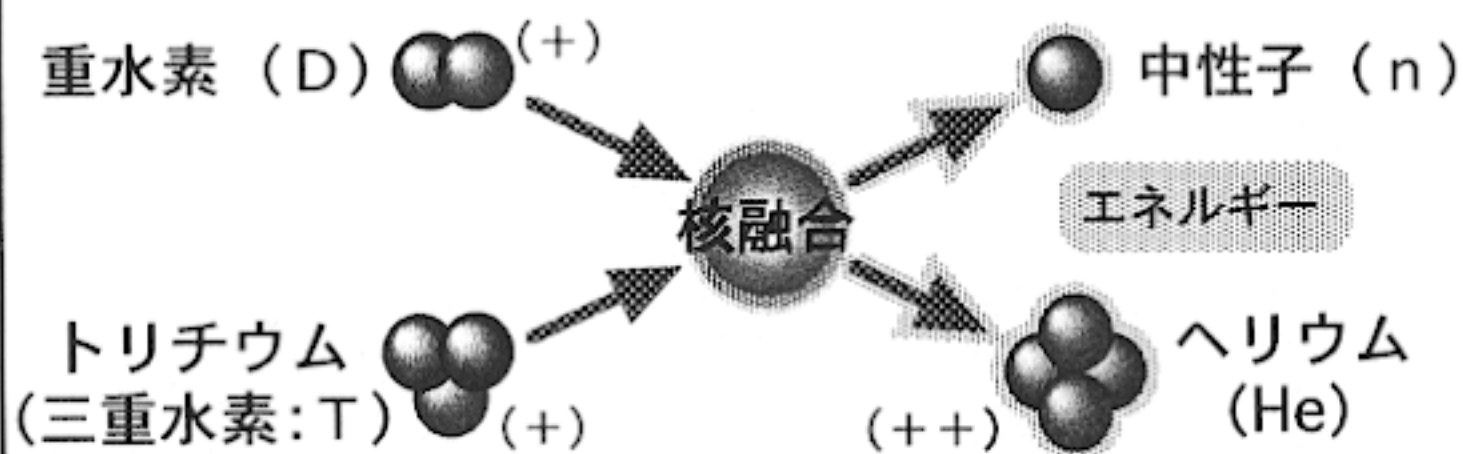
- ・ 安全性、環境保全性に優れ、燃料は豊富
- ・ 炉構造は複雑、しかし、燃料サイクルは簡素

3. 核融合の実現には、先端技術の開発が必要

- ・ 長期、大規模な開発
- ・ 計画的な段階的推進が不可欠

核融合反応

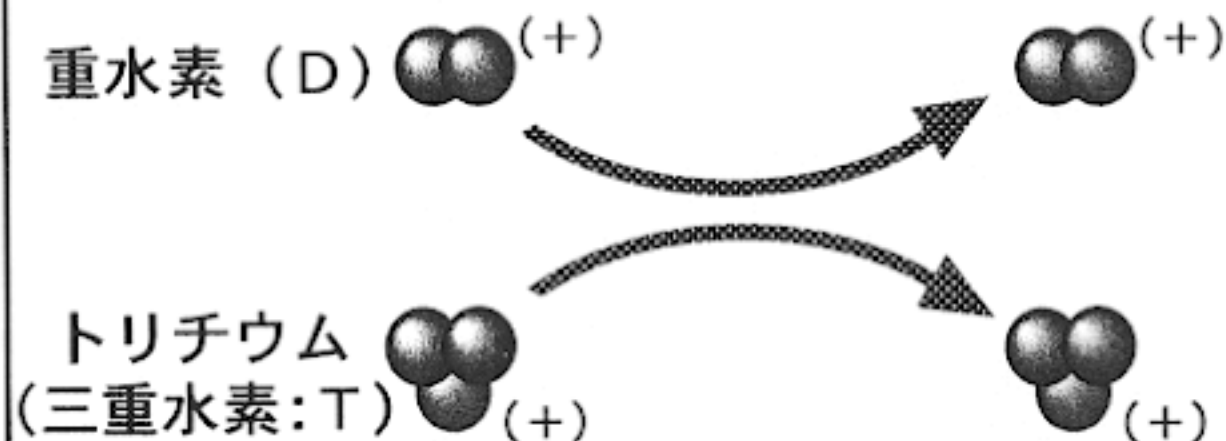
核融合反応は、軽い原子核同士が融合して重い原子核が作られる核反応であり、この時、大きなエネルギーが放出される。



最も起こりやすい核融合反応は重水素 (D) とトリチウム (T) の反応。

1 グラムの D T 燃料からタンクローリー 1 台分の石油 (約 8 トン) に相当するエネルギー。

核融合反応を起こさせるためには燃料を高温にする必要がある。



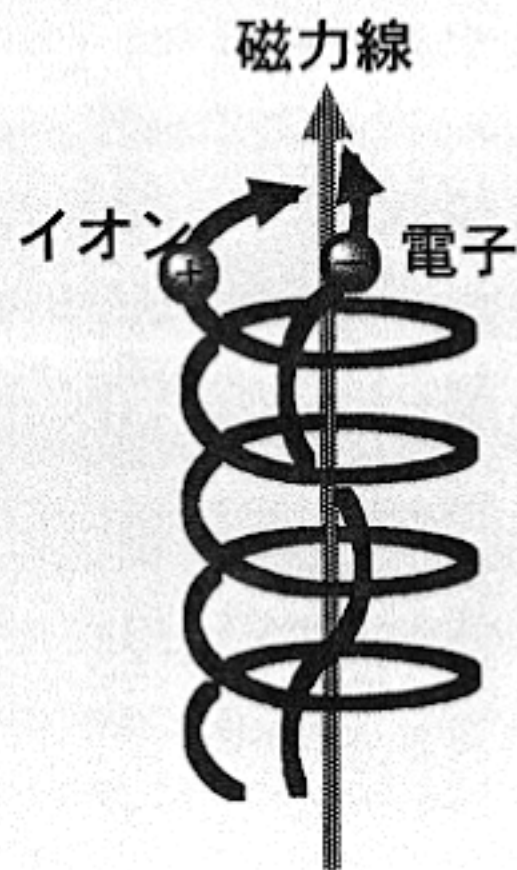
原子核は正の電気を帯びているため、互いの反発力に打ち勝ってぶつかりあう必要があり、1 億度以上の超高温に加熱することが必要。

(温度が低いと電氣的反発力によってぶつからない)

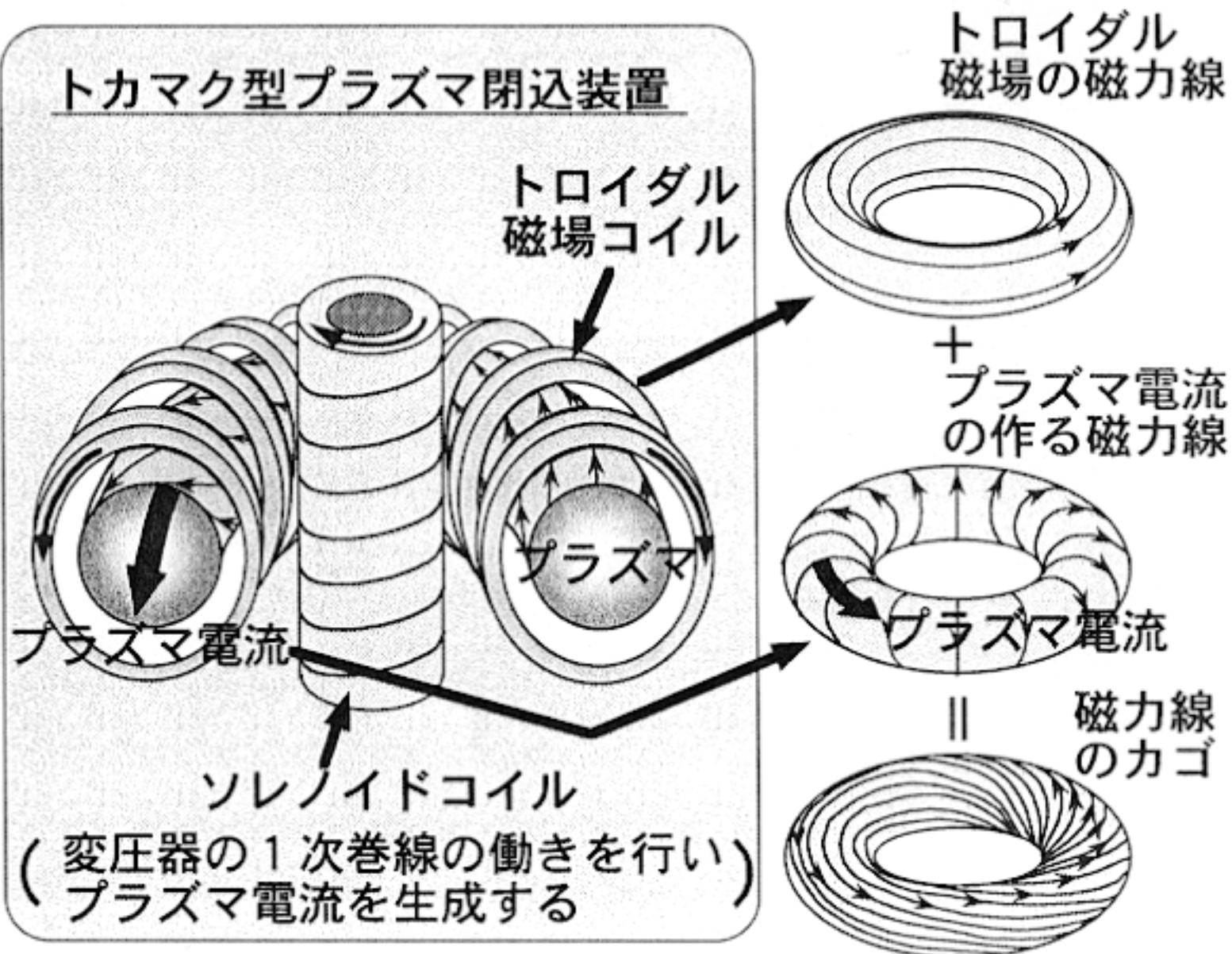
プラズマの磁気閉じ込めの原理

磁力線のカゴを作ることによって高温のプラズマを閉じ込める。

プラズマを構成するイオンと電子は共に電荷をもち、磁力線に巻きつく。



トカマク型プラズマ閉込装置



核融合炉の安全性と環境保全性

核融合炉は原理的に安全性と環境保全性が高く、

(1) 核融合炉では核融合反応が制御不能になることはない。

- ・ 閉じ込め性能の限界によって停止する。また、電流や燃料の供給を止めれば、核融合反応は止まる。

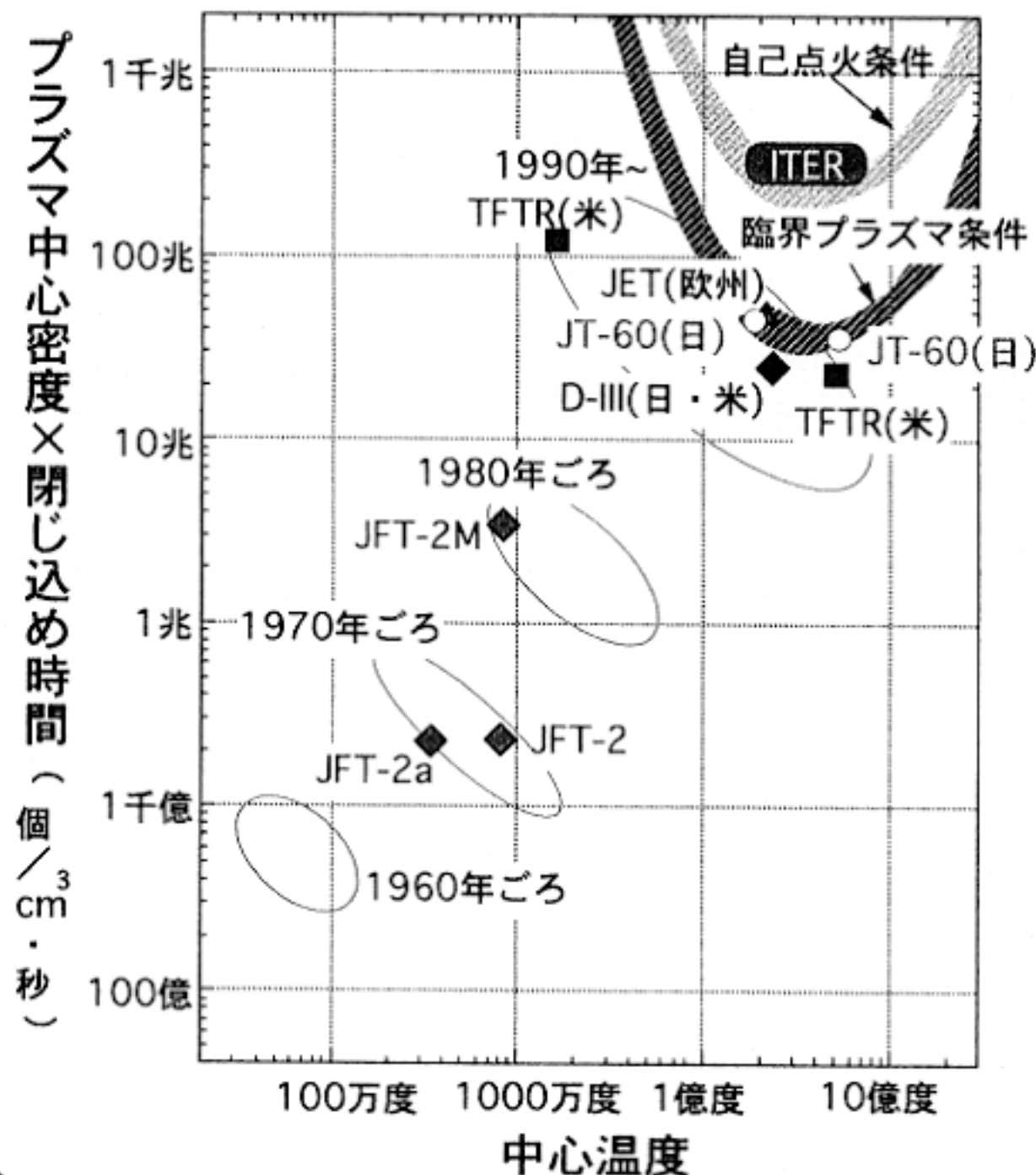
(2) 放射化した構造材の発熱（崩壊熱）により炉が溶融することはない。

- ・ 崩壊熱密度が低い（原子炉の1 / 10程度）ため冷却が容易である。

(3) 高レベルの放射性廃棄物（核分裂生成物）がない。

- ・ 重水素－トリチウム核融合反応の結果生成する廃棄物は、中性子による放射化物とヘリウムであり、高レベルの核分裂生成物は発生しない。

核融合研究開発の進展



核融合の研究開発は着実に進展し、96年10月にJT-60で臨界プラズマ条件を達成した。

臨界プラズマ条件：

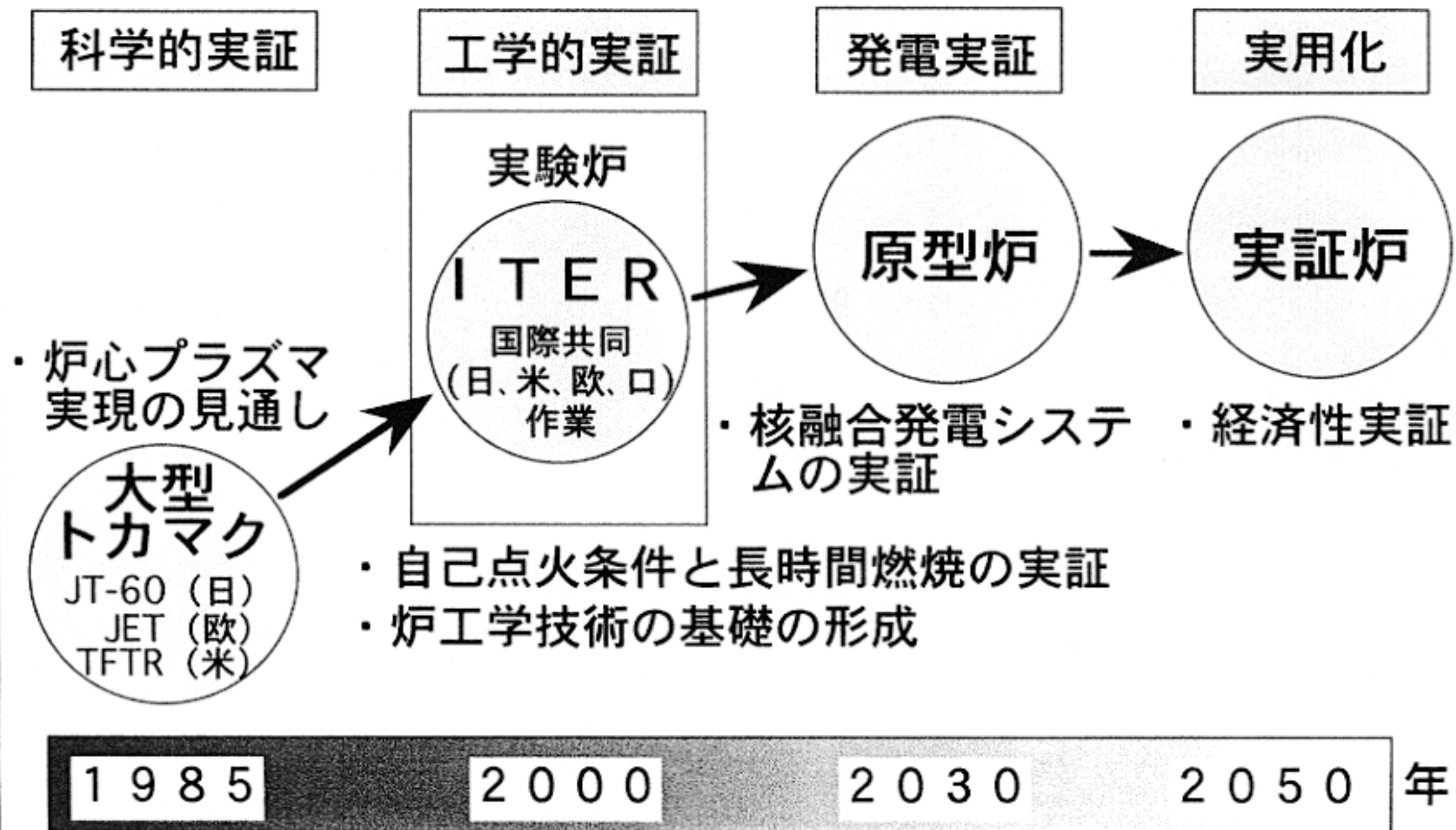
外部加熱入力と核融合反応出力が等しくなる条件

ITERでは、自己点火条件下で炉工学技術の実証を行う。

自己点火条件：

外部加熱入力なしで核融合反応が持続する条件

核融合エネルギーを目指して



国際熱核融合実験炉（ITER）計画

1. 核融合炉の工学的実証が目的

- ・ 実際の核融合燃料（重水素とトリチウム）を用いた自己点火と長時間燃焼の実証。
- ・ 核融合炉に必要な工学技術の開発と総合試験を通しての炉工学技術の基礎の形成。

2. 核融合先進4極による国際的な共同事業

3. 現在、工学設計活動（EDA）を実施中

4. 1996年7月にITERの建設に関する準備協議を開始

I T E R 計画と国際協力

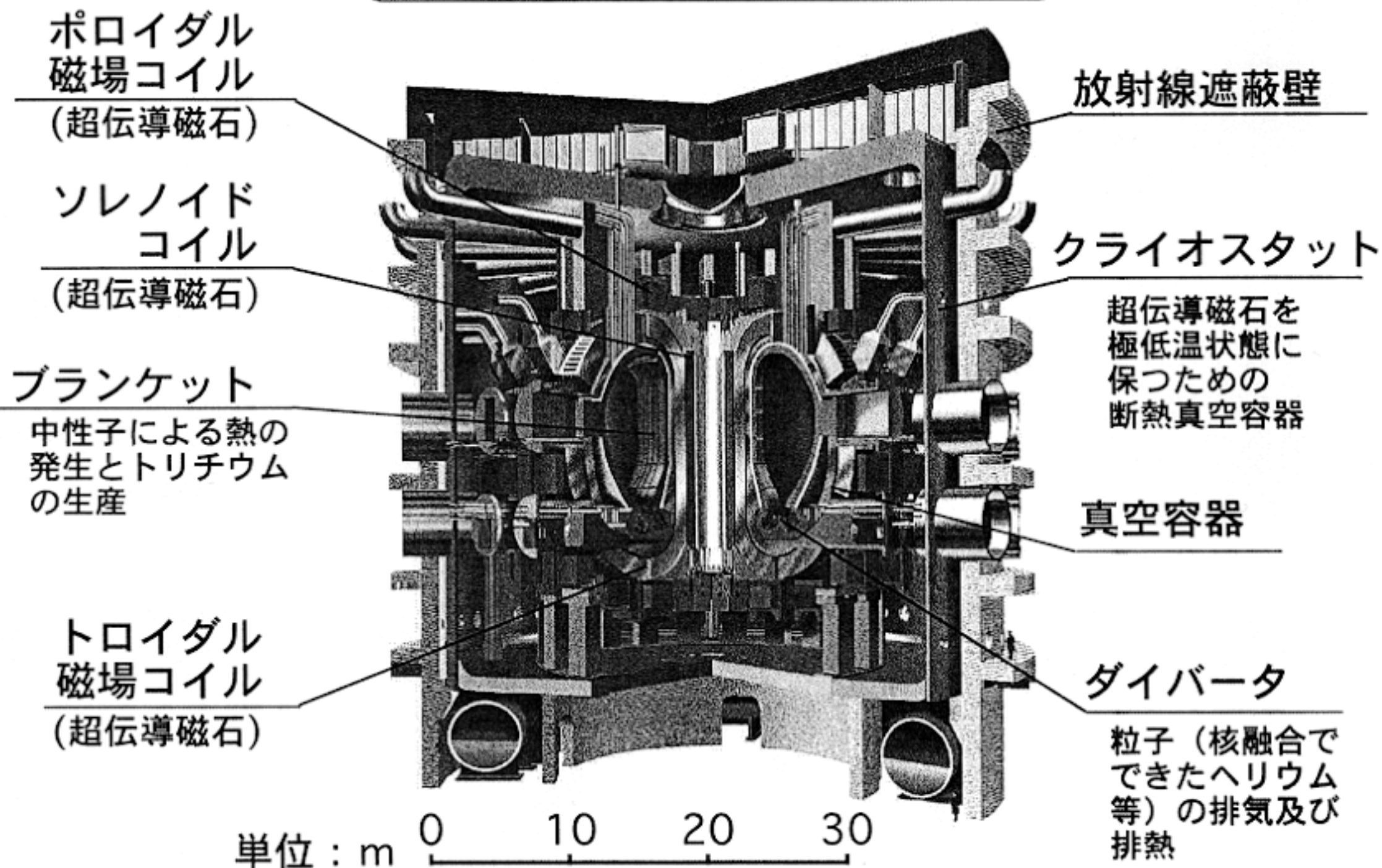
意義

1. 研究開発の効率的促進
世界の英知の結集、資源の分担
2. 人類への貢献
未来の共通目標ために総力を結集

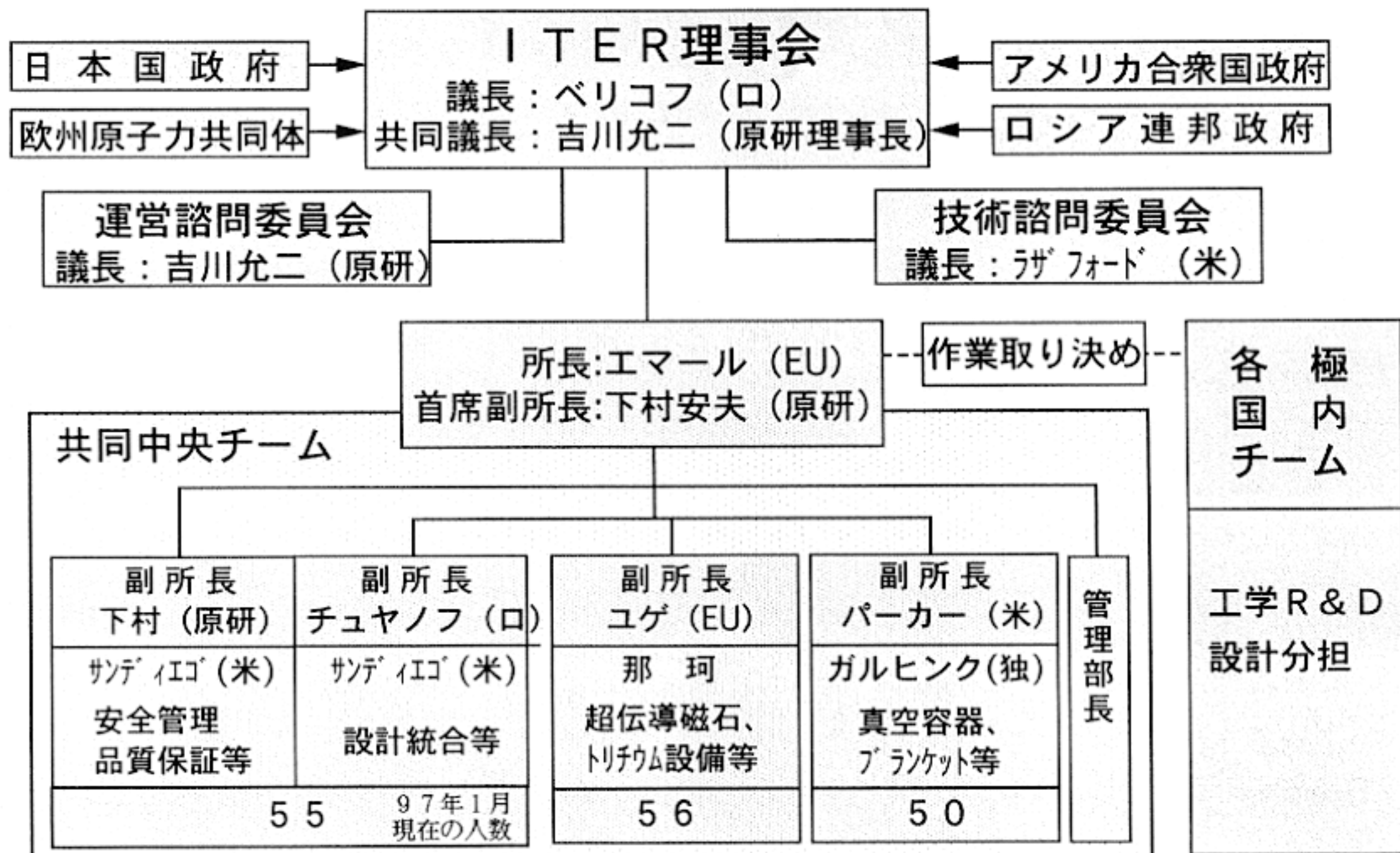
経緯

- ・ 1950年代に核融合の研究開発を世界各地で開始。
- ・ 1970年代に各国独自に核融合実験炉の検討開始。
- ・ 1978～87年に国際原子力機関（IAEA）の下で日米欧ソの4極国際協力による核融合実験炉の設計研究を実施（INTOR計画）。
- ・ 1985年のレーガン・ゴルバチョフ会談を契機にI T E R 計画が発足。

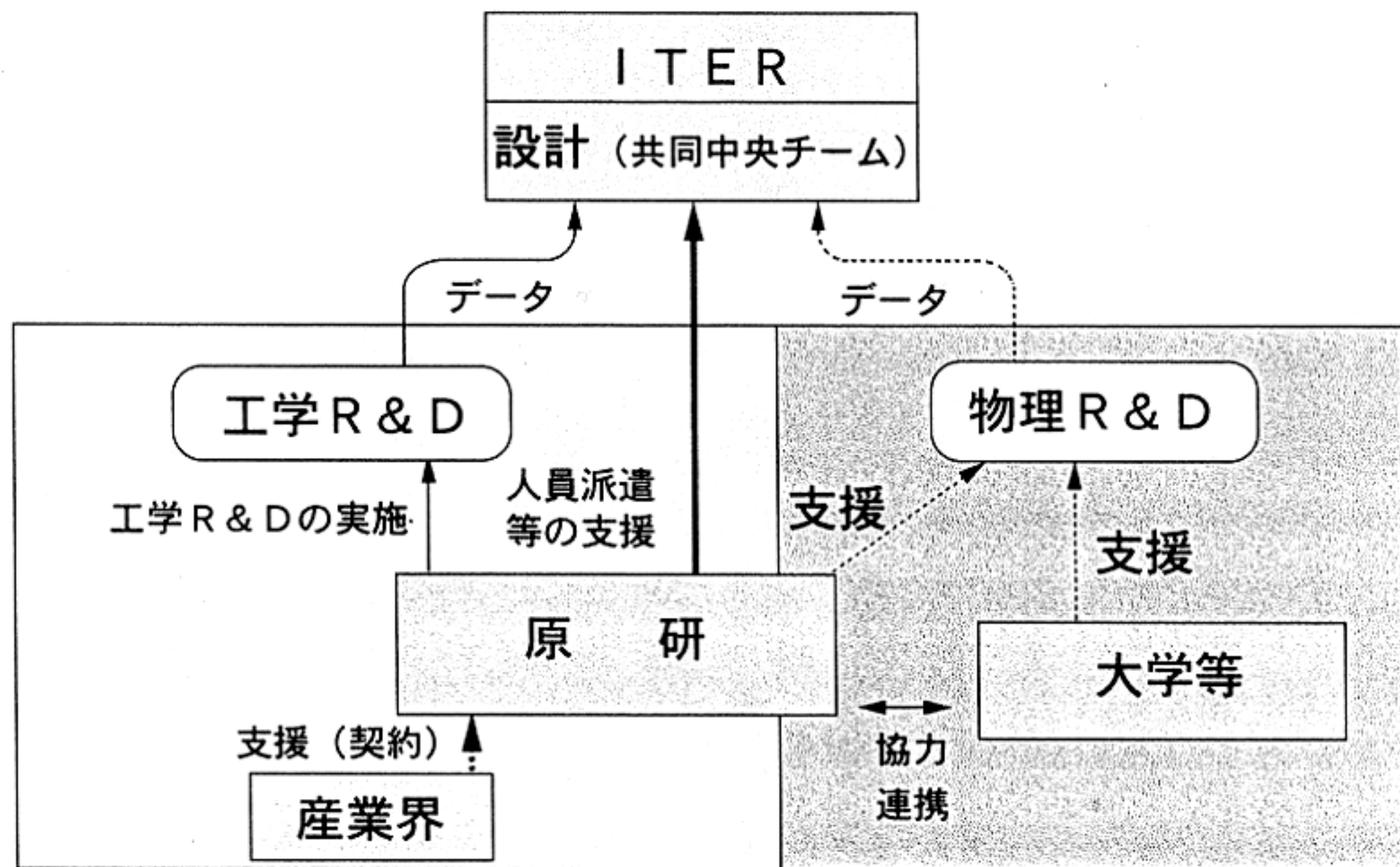
I T E R 本体鳥瞰図



ITER/EDAの実施体制



わが国の I T E R 工学設計段階実施体制



ITER 建設費、サイト要件

(中間設計報告書より)

・装置の建設費用等

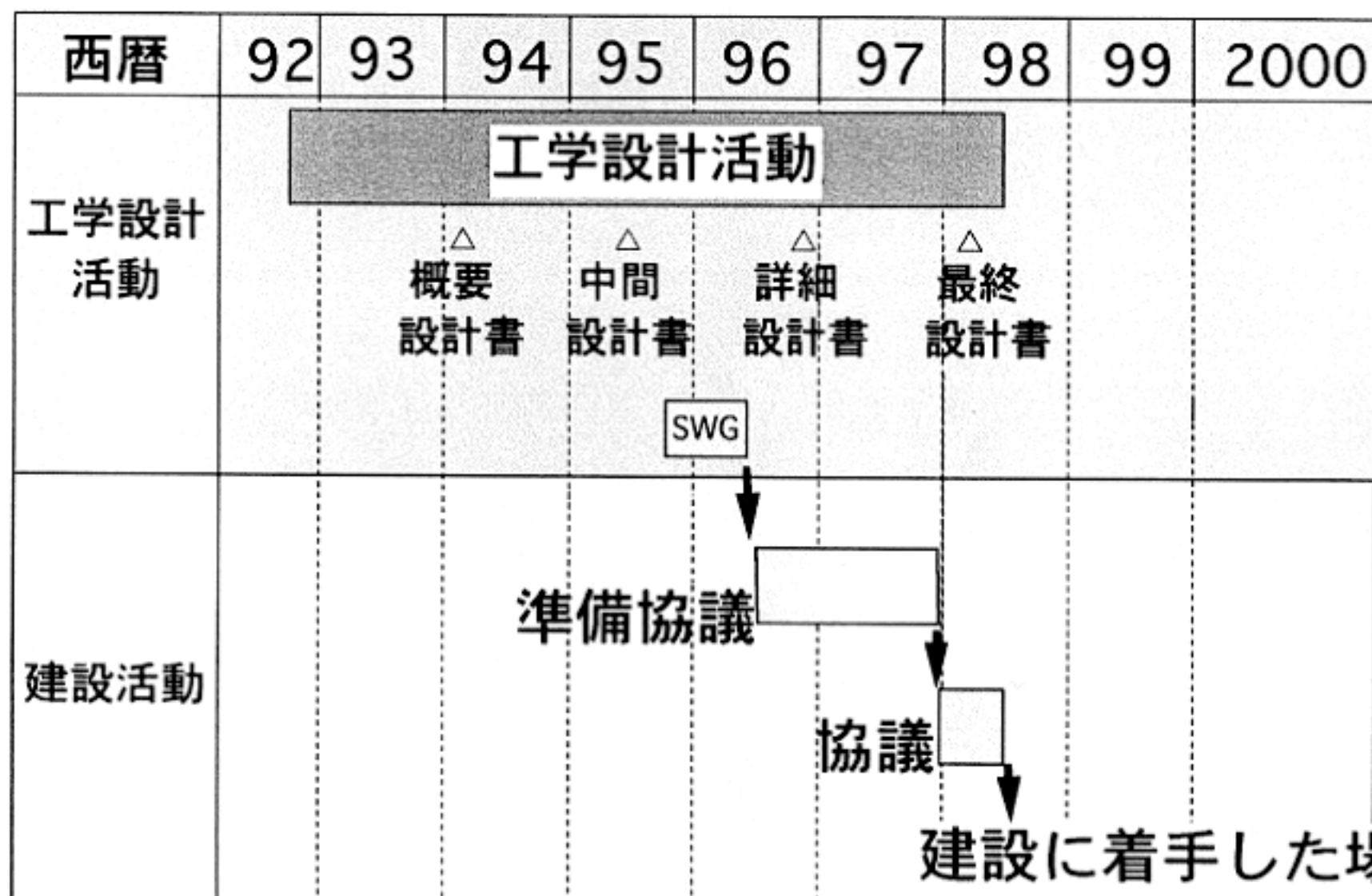
- ー 本体建設費 5,850 ± 約800 kIUA (約8,400億円)
- ー 運転費 400 kIUA/年 (約600億円/年)

(1 kIUAは1989年の100万米ドルに相当する。)

・主な建設サイト要件

- ー 用地面積 70ha (+ 追加用地60ha)
- ー 地質 本体建屋耐荷重80トン/m²
- ー 除熱 平均電力130万キロワットの冷却
- ー 電力 定常電力23万キロワット
 パルス電力50～60万キロワット
- ー 社会インフラの整備
 ピーク時1500人のITER人員に対応

ITER計画スケジュール（想定）



建設に着手した場合、建設約10年、運転20年

ITER 建設に必要な技術開発

トロイダル磁場コイル
(定常磁場を発生するコイル)
大型の超伝導コイル。強い電磁力に耐え、また極めて高い信頼性が必要

ITERでの要求
磁場: 13 T
導体: Nb₃Sn, 60 kA
形状: 縦18 m×横12 m

大型化、製作性

EDA R&Dで達成
実機導体を用いたコイル試験
磁場: 9 T
導体: Nb₃Sn, 80 kA
形状: 縦3 m×横4 m

導体の開発

EDA 以前の状況
磁場: 9 T
導体: NbTi, 11 kA
形状: 縦3.5 m×横2.5 m

ポロイダル磁場コイル
(変動磁場を発生するコイル)
プラズマの長時間燃焼・制御の為に強力な磁場と大きな磁場変化が必要

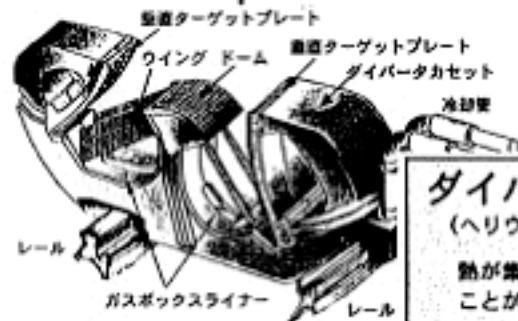
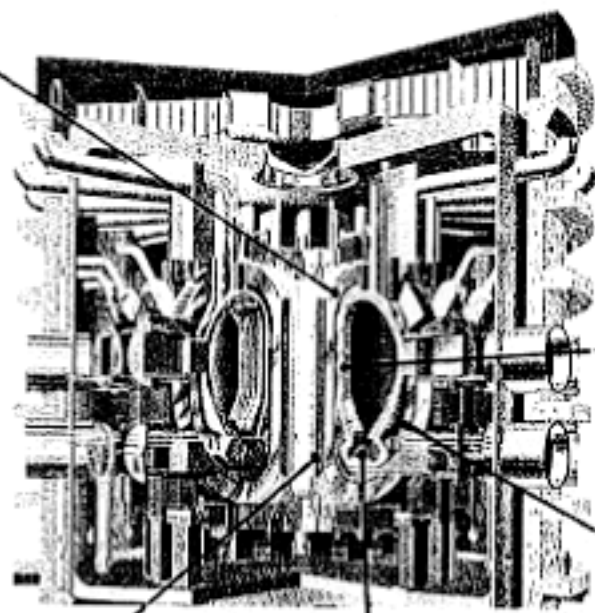
ITERでの要求
磁場: 13 T, 1 T/秒
導体: Nb₃Sn, 40 kA
形状: 直径2 m×高さ12 m

大型化、製作性

EDA R&Dで達成
実機導体を用いたコイル試験
磁場: 13 T, 1 T/秒
導体: Nb₃Sn, 40 kA
形状: 直径1.8 m×高さ1.8 m, 約0.6 GJ

導体の開発 総合試験を実施

EDA 以前の状況
磁場: 7 T, 14 T/秒
導体: Nb₃Sn, 17 kA
形状: 直径1 m×高さ0.9 m, 約0.02 GJ



遠隔保守機器
炉内機器の交換・保守では重量物を精度良く扱う遠隔操作が必要。

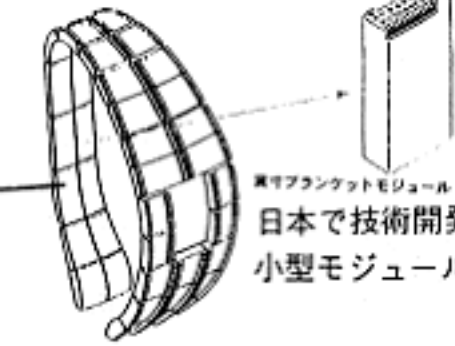
ITERでの要求
5~25トンの炉内機器の交換作業

信頼性

EDA R&Dで達成
5~25ton規模 (実機大) の部分模型試験

日本で研究開発を実施

EDA 以前の状況
30 kg規模の部分模型試験



ITERブランケット実機
接合技術開発、小型モジュール製作等を我が国で実施

ブランケット
(中性子を遮断しエネルギーを取り出す箱)
中性子を遮断するための厚み、熱負荷を除去するための冷却構造、電磁力に耐える強度が必要

ITERでの要求
耐熱負荷: 0.5 MW/m²
寸法、重量: 1 m×2 m×0.5 m, 4 トン
総個数: 740 個

製作性

EDA R&Dで達成
1モジュール分
実寸モデル製作、試験

技術開発

EDA 以前の状況
要素技術開発段階

真空容器
(プラズマ及びブランケット、ダイバータ等を容れる超高真空の容器)
ブランケット、ダイバータ等の支持、耐高温(200℃)、耐電磁力、超高真空が必要

ITERでの要求
寸法: 高さ 15 m
重量: 7900 トン

一周化

EDA R&Dで達成
実寸法、周方向1/20モデル製作、重量 300 トン

大型化、製作技術開発

EDA 以前の状況
JT-60U真空容器 (半径3 m、重量37 トン)



モデルの主要部分を製作

ダイバータ
(ヘリウムや不純物の粒子の排気および排熱)
熱が集中するために高い熱負荷に耐えることが必要

ITERでの要求
耐熱負荷: 5~20 MW/m²
寸法、重量: 2 m×5 m, 25 トン
総個数: 60 個

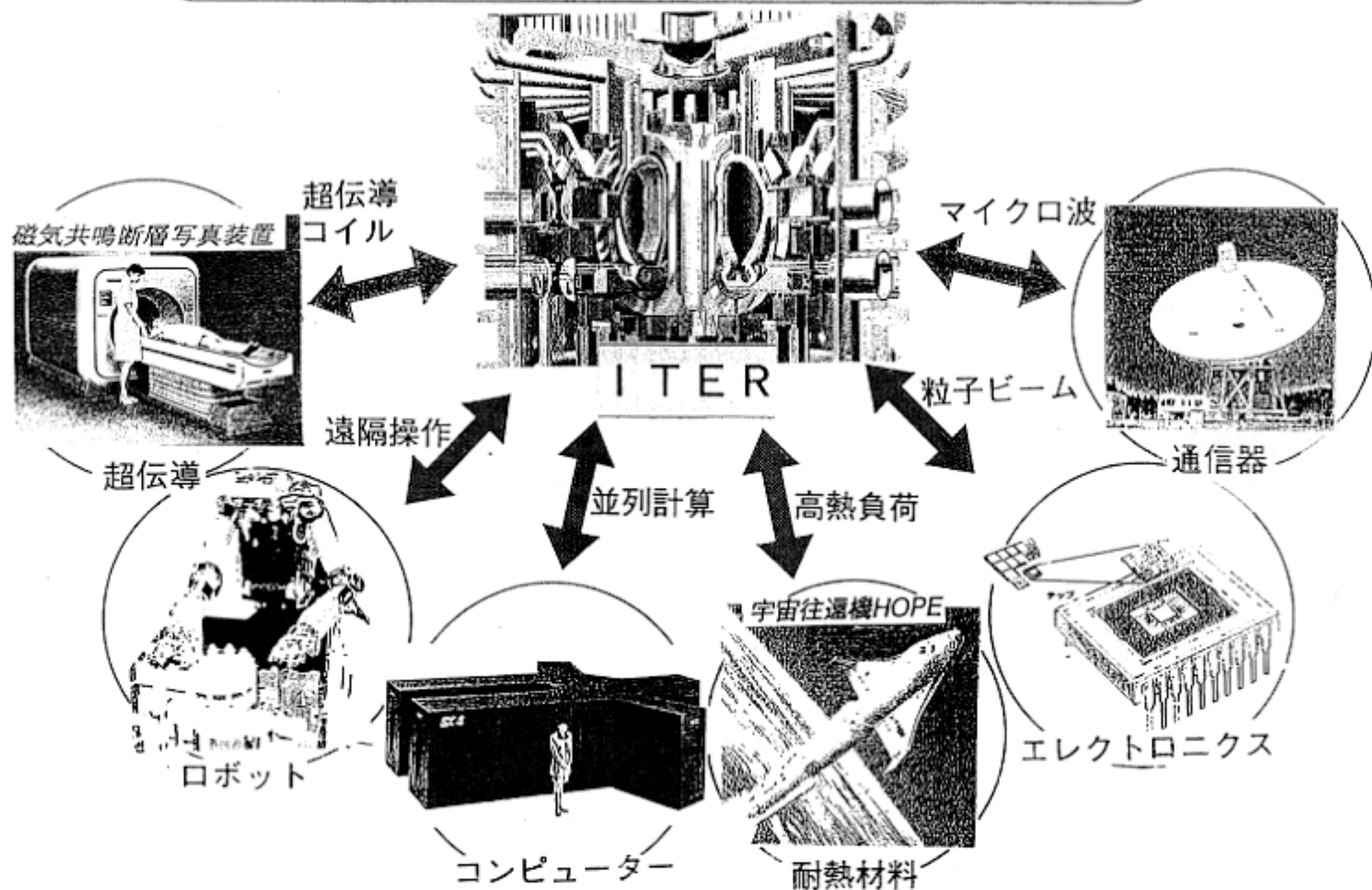
製作性

EDA R&Dで達成
1モジュール分 (全体の1/60)
実寸モデル製作、試験

日本で耐熱板の開発を実施
機器開発、大型化

EDA 以前の状況
要素技術開発段階

先端科学技術を促進するITER研究開発



まとめ

1. 核融合は、長期的基幹エネルギー源として優れた特質を持っている。将来の人類社会における利用を目標に、国際協力を積極的に進めている。
2. ITER計画は、核融合炉の工学的実証という先進4極共通の目標を担う計画である。約10年にわたる国際共同事業として進められている。
3. EDA（工学設計活動）は1998年完了の予定であり、建設に関する準備協議を1996年7月に開始した。