

原型炉概念の構築と設計作業 (トカマク型)

飛田 健次
原子力機構

「一定の経済性」に関する考え方

COEの定義

$$COE = \frac{C_C F_{CR} + C_{OM} + C_{SR} + C_F}{P_e \cdot 8760 \cdot f_{av}}$$

(円/kWh)

年割資本費 (C_CF_{CR})、保守費 (C_{OM})、定期交換費 (C_{SR})、燃料費 (C_F)、電気出力 (P_e)、設備利用率 (f_{av})

●設備利用率

保守所要期間	効率の良い保守方式 →例: セクター保守方式
定格運転の割合	定常運転が望ましい

◆ 運用後期に所定の設備利用率を達成する

COE スケール則(電中研)

$$COE \propto \frac{1}{\beta_N^{0.9} \cdot B_{max}^{0.63} \cdot \eta_{th} \cdot f_{av}}$$

ベータ値 (圧力) (β_N^{0.9})、磁場強度 (B_{max}^{0.63})、熱効率 (η_{th})、設備利用率 (f_{av})

●ベータ値

高ベータ(圧力)運転

所定の設備利用率を確保できるよう
安定な運転領域とする

●磁場強度

高磁場コイルの採用

●熱効率

冷却材出口温度を高める

加圧水冷却: ~33%、
ヘリウムガス冷却: 40-50%超

◆ 高ベータ運転の信頼性確保

◆ 熱効率向上のための技術開発(先進ブランケット)

エネルギー利用の多様性への対応

議論の背景

- ◆ エネルギーの利用形態の幅はブランケット概念(冷却材の出口温度)で決まる

❖ 原型炉で最有力なブランケットの構成

構造材	低放射化フェライト鋼
増殖・増倍材	固体ペブルベッド
冷却材	加圧水 ~330°C

蒸気タービンによる発電

- 製造法、基礎データの充実
- 既存の発電プラント技術

❖ 多目的利用が可能なブランケットの構成例

構造材	SiC複合材
増殖・増倍材	液体増殖材(リチウム鉛)
冷却材	ヘリウムガス ~1,100°C

水素製造、石炭ガス化・液化、
ガスタービン発電、...

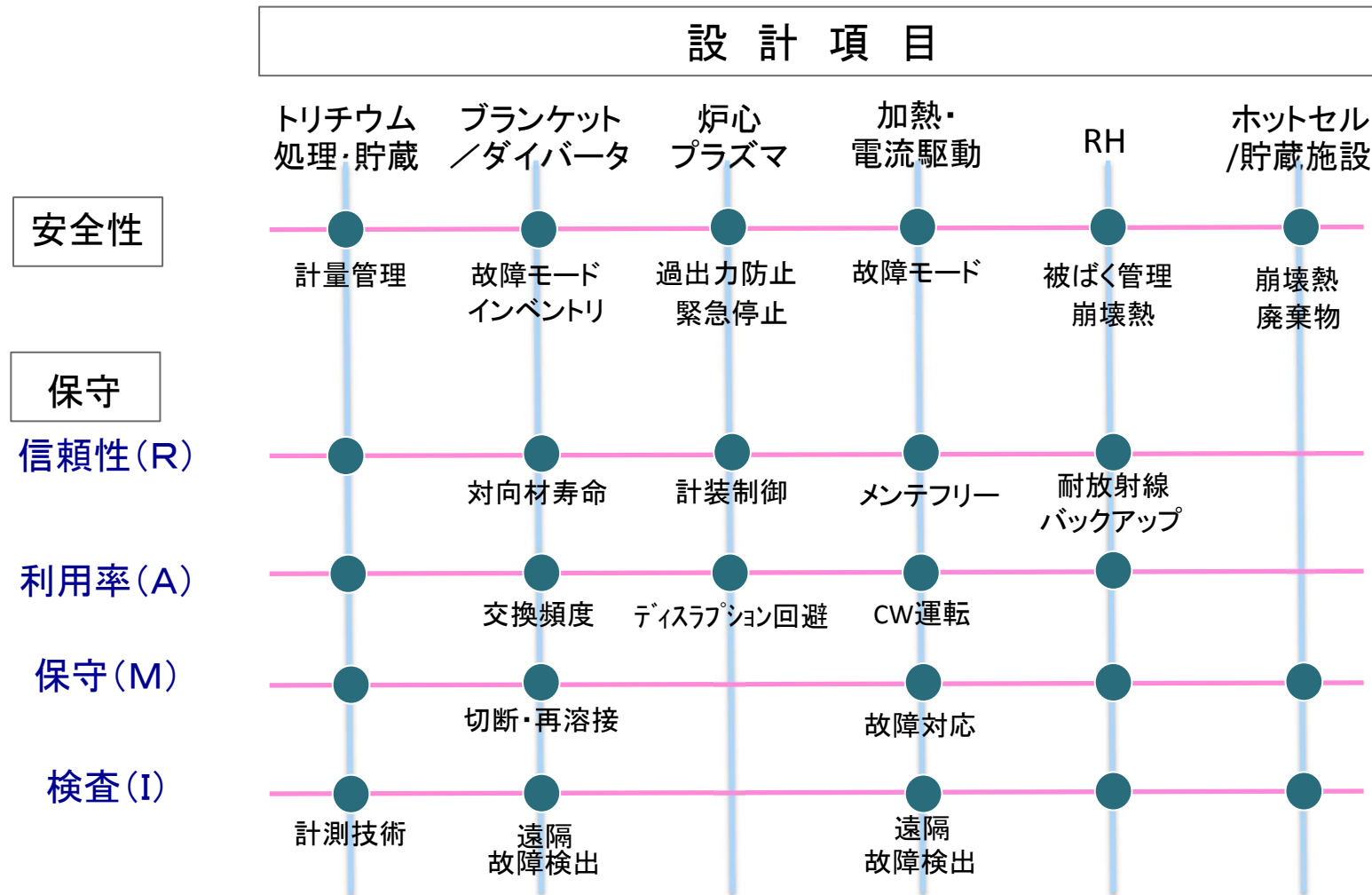
- 材料、ブランケット技術が未成熟

確実な技術による早期実証(発電)と
将来的なエネルギー変革に柔軟に対応する方策の例

→ ITER-TBMに倣い、「DEMO-TBM」による先進ブランケット技術開発

(多目的エネルギープラントが小規模 → 運用期間中の系統切り替えが容易)

安全と保守への配慮



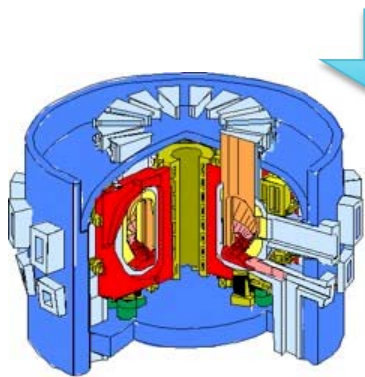
- ◆ 連続運転、定期交換、アクセスの制約のため、「安全・保守」は設計上の重要因子
- ◆ 設計初期段階から、「安全・保守」基準に精通したメーカーの参画は不可欠

既存の原型炉概念とBA活動原型炉設計

既存の原型炉概念

「今後の核融合研究開発の推進方策について」
 基本的考え方 (原子力委、H17年)

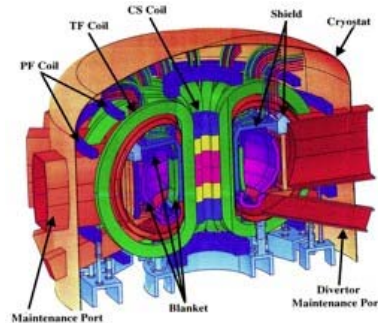
- ITER程度の炉心寸法
- 百万kWレベルの発電能力
- 1年程度の連続運転
- トリチウム燃料自給



SSTR (旧原研)

$R_p = 7.0 \text{ m}, \beta_N = 3.5$

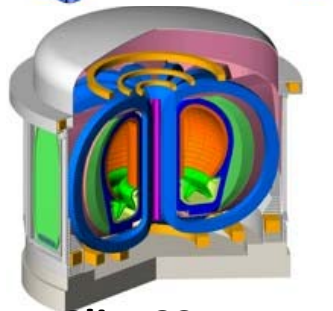
雑形



Demo-CREST (電中研)

$R_p = 7.3 \text{ m}, \beta_N = 1.9-4.0$

ITERの成果を踏まえ段階的に性能向上



SlimCS (JAEA)

$R_p = 5.5 \text{ m}, \beta_N = 4.3$

経済性改善

BA活動原型炉設計

「原型炉概念」

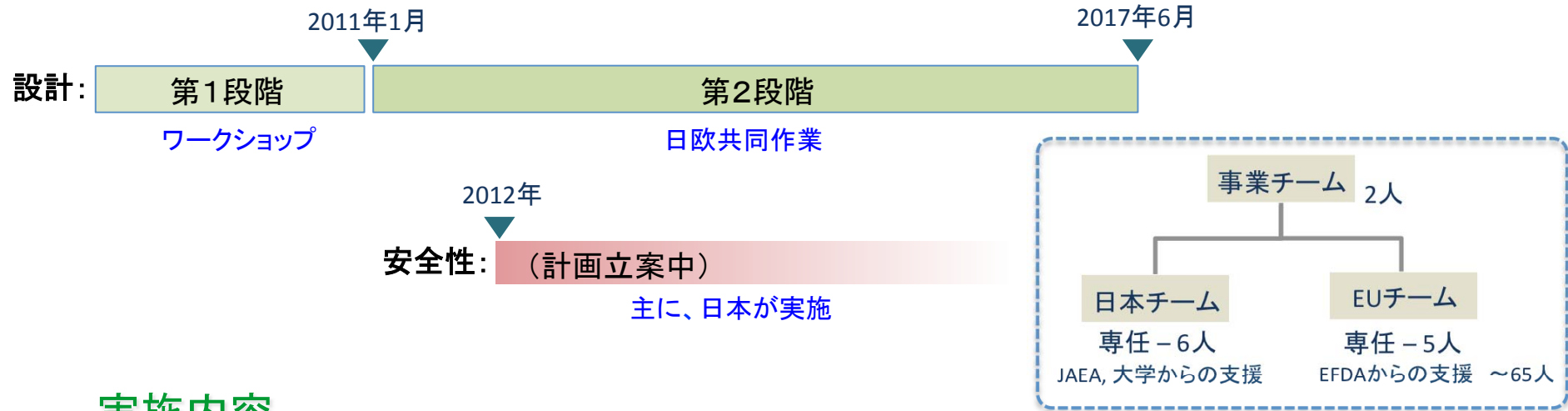
- ボトムアップで構想可能な原型炉概念
- 試験運転(パルス)→定格定常へ移行

BA後の工学R&Dによる
 技術の伸びしろを評価

「技術基盤」



BA活動原型炉設計



実施内容

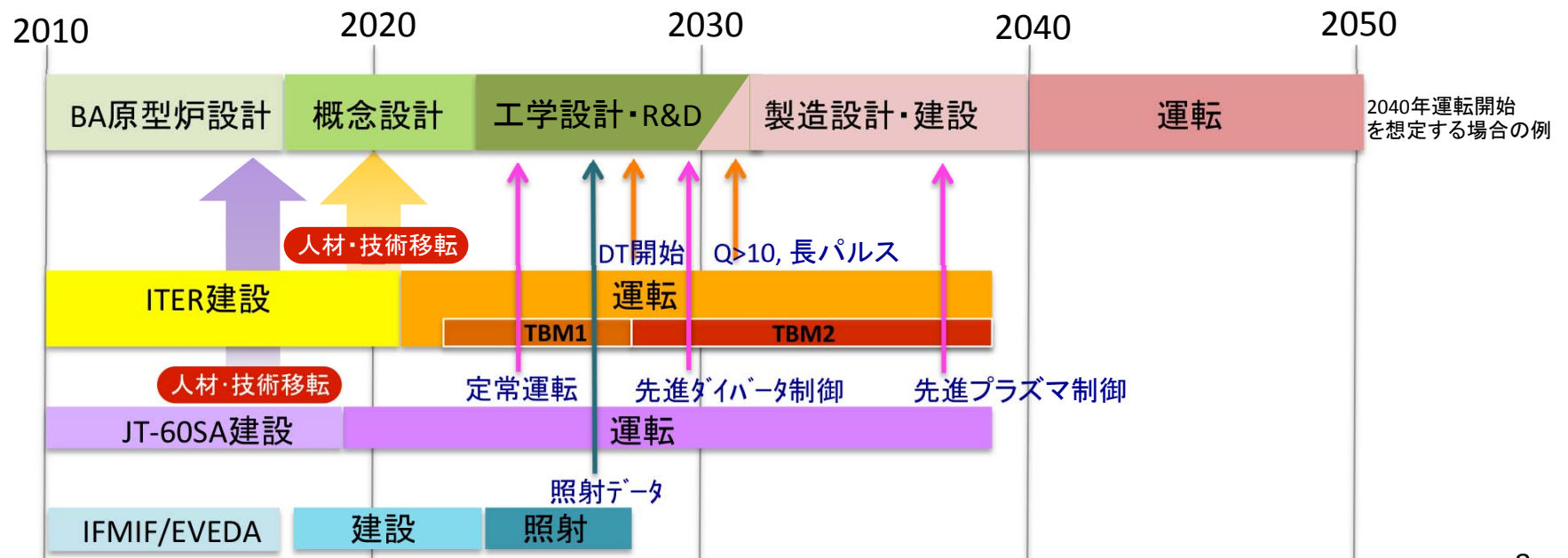
主要課題	進捗状況 (2012年5月現在)	今後の課題	最終目標
システムコード	<ul style="list-style-type: none"> 日欧コードのベンチマーク完了 	<ul style="list-style-type: none"> Scoping study <ul style="list-style-type: none"> 定常炉 (日本) パルス炉 (EU) 	
重要技術課題 <ul style="list-style-type: none"> ダイバータ 遠隔保守 燃料増殖 超伝導コイル 	<ul style="list-style-type: none"> 様々な技術オプションを比較・評価 	<ul style="list-style-type: none"> オプションの絞り込み 	<ul style="list-style-type: none"> 原型炉概念案 (複数) 次段階で実施すべきR&D明確化
設計DB、指針	<ul style="list-style-type: none"> 予備検討 	<ul style="list-style-type: none"> 材料DB 物理設計ガイドライン 	<ul style="list-style-type: none"> 設計基盤の確立

炉概念構築のため、早期に求められる技術情報

項目	早期に求められる課題	留意点
超伝導コイル	当面、既存の基礎データ(線材、低温鋼など)で対応	材料確定のため実規模での開発・実証
ブランケット	構成材料の基礎データの拡充 — 物理、化学、機械特性、照射影響、共存性	ITER-TBMではカバーできない広範または詳細なデータ取得のため、原型炉模擬環境でのモックアップ試験
ダイバータ	先進ダイバータ概念 ITERのダイバータの改良・拡張	先進概念を開発・試験する施設・設備 シミュレーションで外挿するにしてもV&V設備を考慮
理論・シミュレーション	(設計に直結するコード開発とV&V)	人材・予算とも著しく不足. 組織化・規模拡大
炉心プラズマ	物理設計ガイドライン 原型炉環境での計装制御	ITPA(国際トカマク物理活動)と連携
燃料システム・安全性	トリチウムインベントリ分布	ブランケットからのトリチウム回収を含む燃料サイクルの実証試験
材料開発と規格・基準	プラズマ対向材	原型炉相当のイオン/中性子同時重照射試験の計画・設備(IFMIF活用?)
加熱・電流駆動	CW運転、信頼性、メンテフリーの見通し	計装制御の考え方と絡めて、EC/NBIの役割を確定

原型炉設計の展開

設計フェーズ	主な作業、留意点
BA原型炉設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 概念設計フェーズを見越した原型炉概念案を構築、あわせて人材育成・確保 ● メーカーの参画開始、参画規模の拡大 ● JT-60SA建設進展に合わせ、原型炉設計への積極的な人材・技術移転
概念設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本の原型炉主案を確定、機器仕様・概念設計を実施 ● メーカーの本格的な参画開始 ● ITER建設進展に合わせ、原型炉設計への積極的な人材・技術移転
工学設計・R&D	<ul style="list-style-type: none"> ● 超伝導コイル、遠隔保守、ダイバータ、ブランケット、炉心プラズマ等開発・試験 ● 規格、基準、安全性評価 ● 建設、プラント、機器など、幅広いメーカーが本格的に参画



BA後を見据えた組織体制、人材

実験炉設計活動の事例 (INTOR~ITER)

		'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	-	'97	
INTOR		ZERO 60人年	ONE 120人年	TWO-A 520人年														
ITER											概念設計 400人年				工学設計 1350人年			
専任スタッフ数(年平均)		60	80	80							133				225			
日本 チーム	専任スタッフ数	12	12 原研のみ				19 原研 7, メーカー 12			33 原研 21, メーカー 12								
	パートタイム	100	64 原研 23, メーカー 41				99 原研 50, メーカー 49			> 100								

- ◆ BA原型炉設計は ITERの前段階 INTOR TWO-Aに相当。

しかし、現在の体制ではメーカー、研究者の参画が限定的で、概念設計段階への移行は困難

組織体制の課題

- ◆ 中長期: 研究開発サイドから炉設計への人材のフロー

民間に核融合炉の設計・取りまとめ技術を継承しながら建設を進める体制

→ 総合調整会社(フォーラム:ロードマップ等検討WG報告)

- ◆ 短中期: 様々な専門性を有する国内研究者とメーカーが連携し、

原型炉へ向けた問題意識の共有、共同作業、人材育成を実施できる仕組み

→ 例. 共同設計オフィス