

長期的視点に立った 技術戦略と施策

考え方の背景と提案

核融合エネルギーフォーラム

ITER・BA技術推進委員会

ロードマップ等検討WG 座長

岡野 邦彦 (電力中央研究所 & 東京大学)

核融合炉の投入速度の予測

最大限、どれくらいの速度で投入できるのか？

核融合炉は実用化と同時に大量に建設できるわけではない。

IICケース(初期はTBRが制約)

- 初期装荷トリチウムの制約
TBR=1.08で核分裂の歴史と同程度の増設速度が可能(右図)

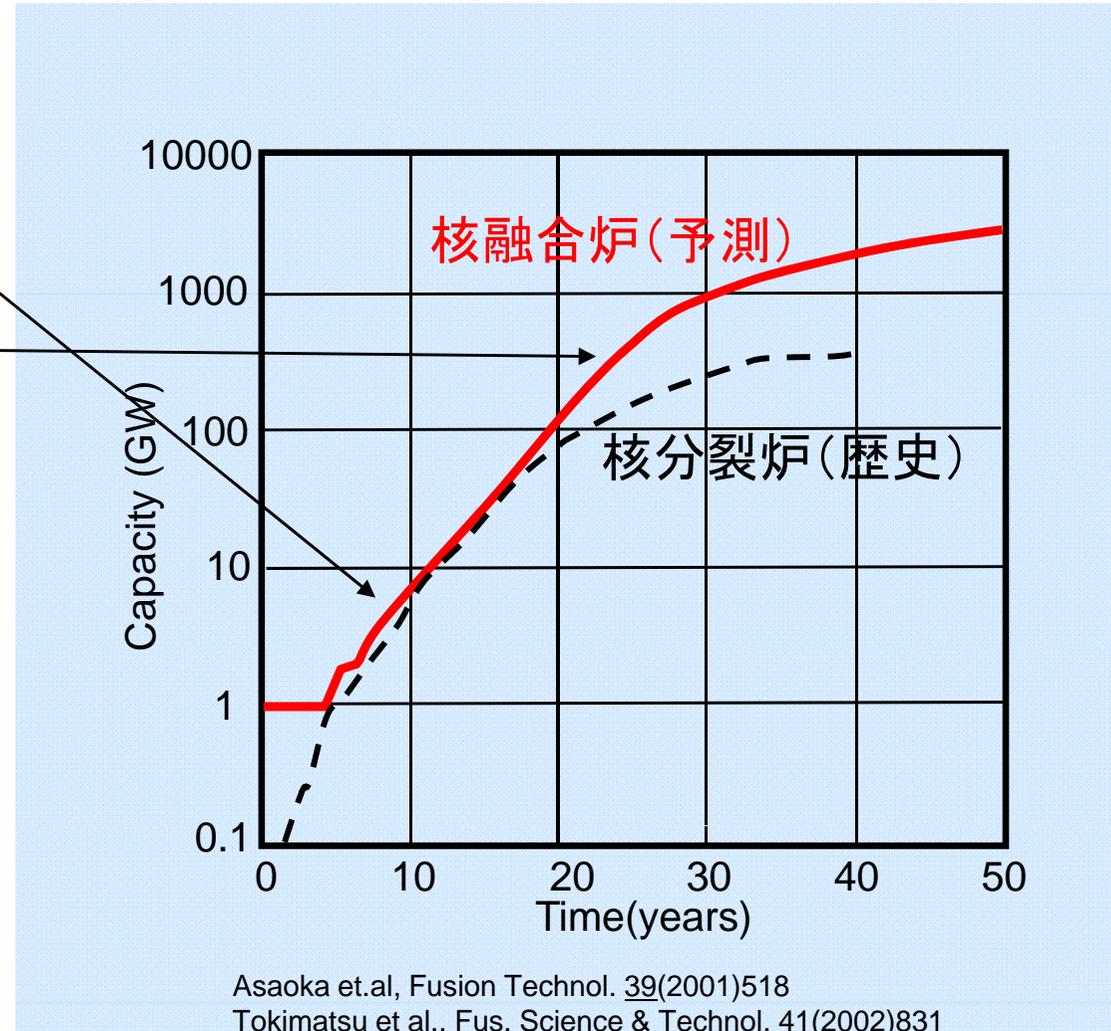
- 建設工事容量の制約
例えば100GW/y
=軽水炉ピーク時の数倍

現実的上限

MCSケース(建設速度のみが制約)

初期装荷トリチウムなし立上げも可能(NBI:100MW, 3ヶ月で起動)。この場合は、トリチウム増倍を待たずに次の炉を建造可能で、建設工事容量のみが制約。

技術上可能だが楽観的前提



2100年までの導入量予測(例-1)

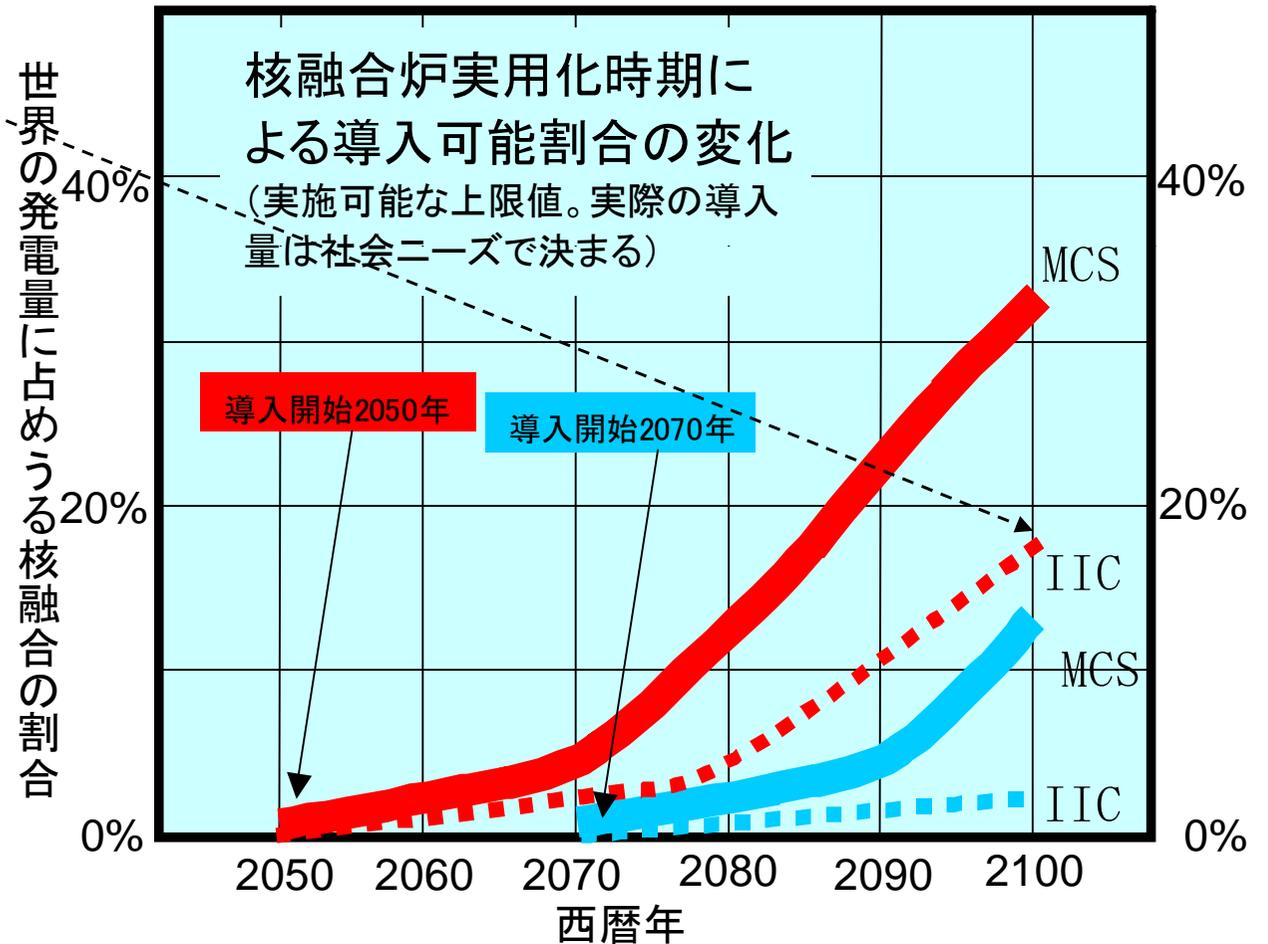
仮に競合可能な核融合炉ができたとして、初代炉投入時期による変化

**2050年導入IICケースで、
2100年に17%程度**

2050年導入と2070年導入の効用の差は大きい。MCSケースでさえ、20年遅れれば急速に効用は低減。IICケースでは2070年導入では2100年の寄与は数%になる。

これは世界規模であるが、JAEAがH20.10.16に公開した「2100原子カビジョン」の国内での想定とも割合はおおむね一致

建設台数と共にコストが低下することを考慮して、他電源と競合しながら導入される場合の導入可能量試算結果



時松, 他, Fusion Science & Technology (2002)p.831をもとに作成

2100年までの導入量予測(例-2)

日本原子力研究開発機構「2100年原子力ビジョン」に示された例

2055年核融合炉1号機投入で、2100年に発電量の14%を供給

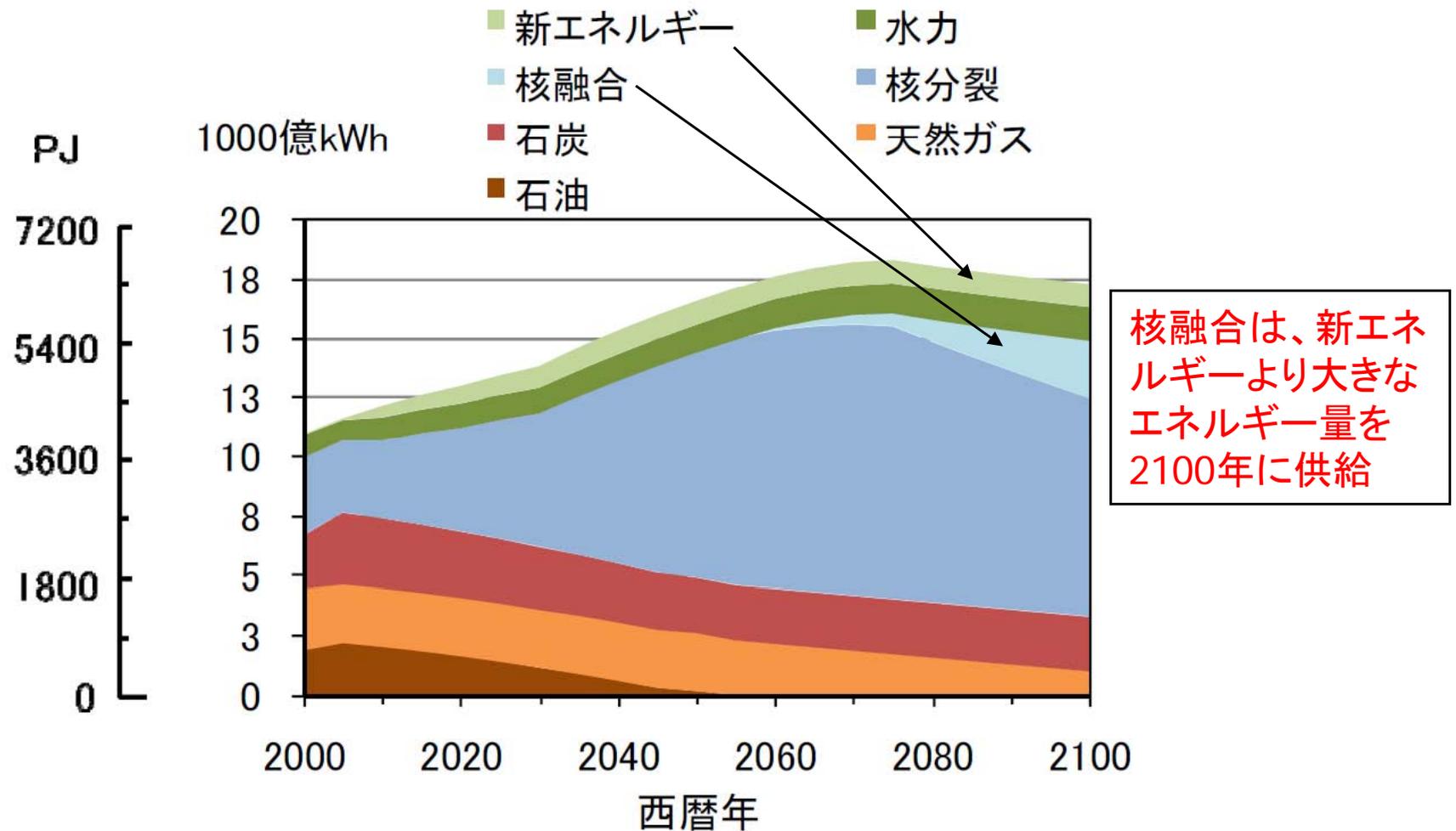


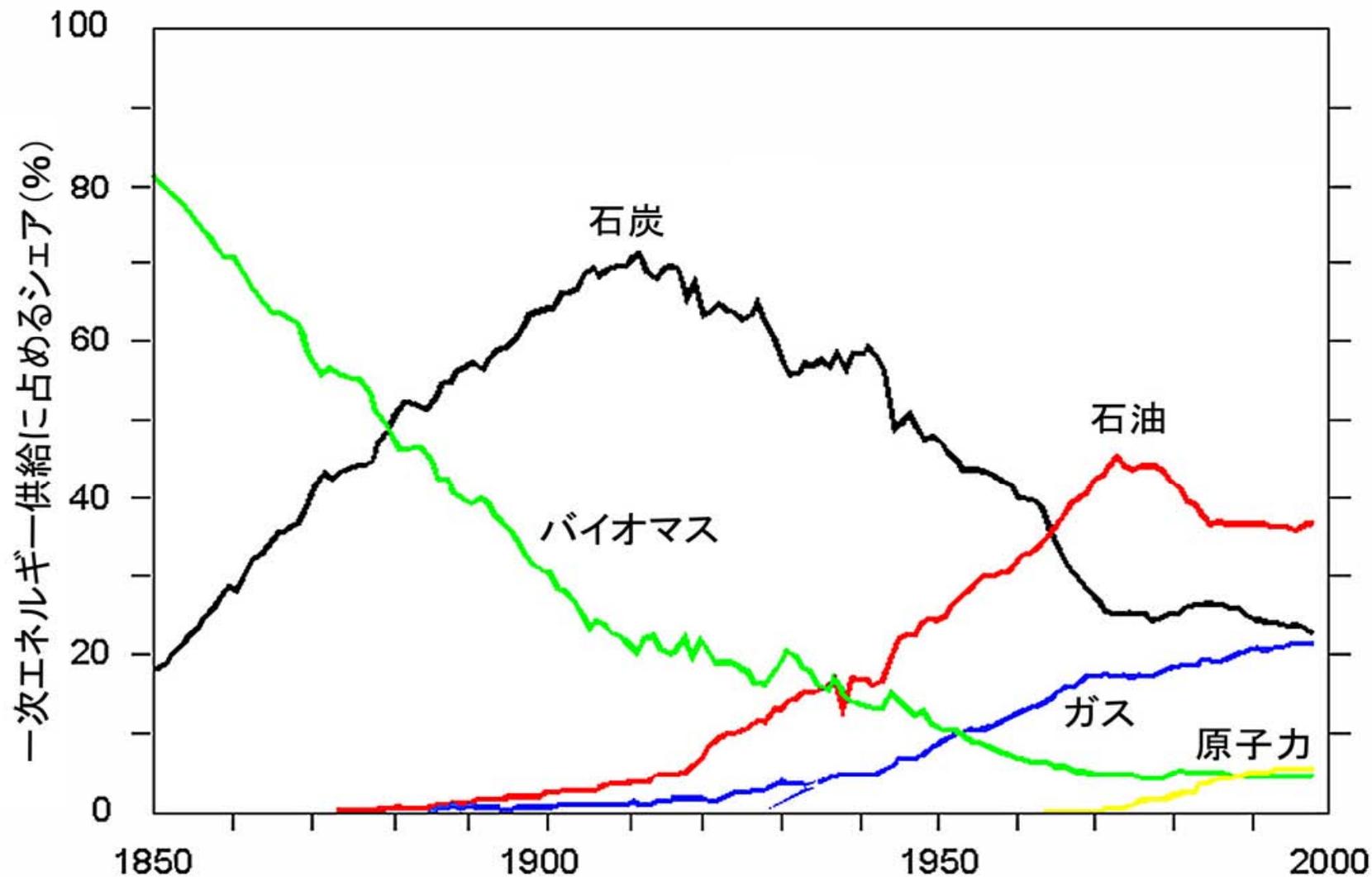
図3 電源別発電電力量の推移

注：kWh；キロワットアワー（1kWh=3,600,000J）

www.jaea.go.jp/02/press2008/p08101601/be2.pdf

参考

歴史に学べば核融合の導入速度が格別に遅いわけではない。
主要たるエネルギー源の交代には50~70年の年月がかかっている。



核融合炉が2050年までに実用化できる開発シナリオは描けるのか？

核融合エネルギーフォーラム・ロードマップ等検討ワーキンググループによる開発ロードマップ

- ①21世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目途を得るためのロードマップ作成
- ②産業界を含めた日本の技術戦略、枠組み、役割分担の検討
- ③人材育成や確保の分析、計画の提案

トカマクで実現する場合を想定したケーススタディーとして実施。
特に①については、原子力委員会核融合専門部会報告書
「今後の核融合研究開発の推進方策について」(2005年10月26日)
を基に、目標実現のためのロードマップを具体化した。

③は、ITER、BA、トカマク原型炉を進めるためのコアとなる人材を検討した。

結論: 計画的に進めれば可能であるが、時間的にもはや余裕はない。

ロードマップの概要

(1) 21世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目途

→2040年までに原型炉の運転を開始して発電を10年間程度実証し、2050年代での初代炉投入を可能とするロードマップを目指した。

(2) Work Breakdown Structureの作成から開始

原型炉建設に必要なR&D事項をすべてにわたり検討し、WBSリストを作成。

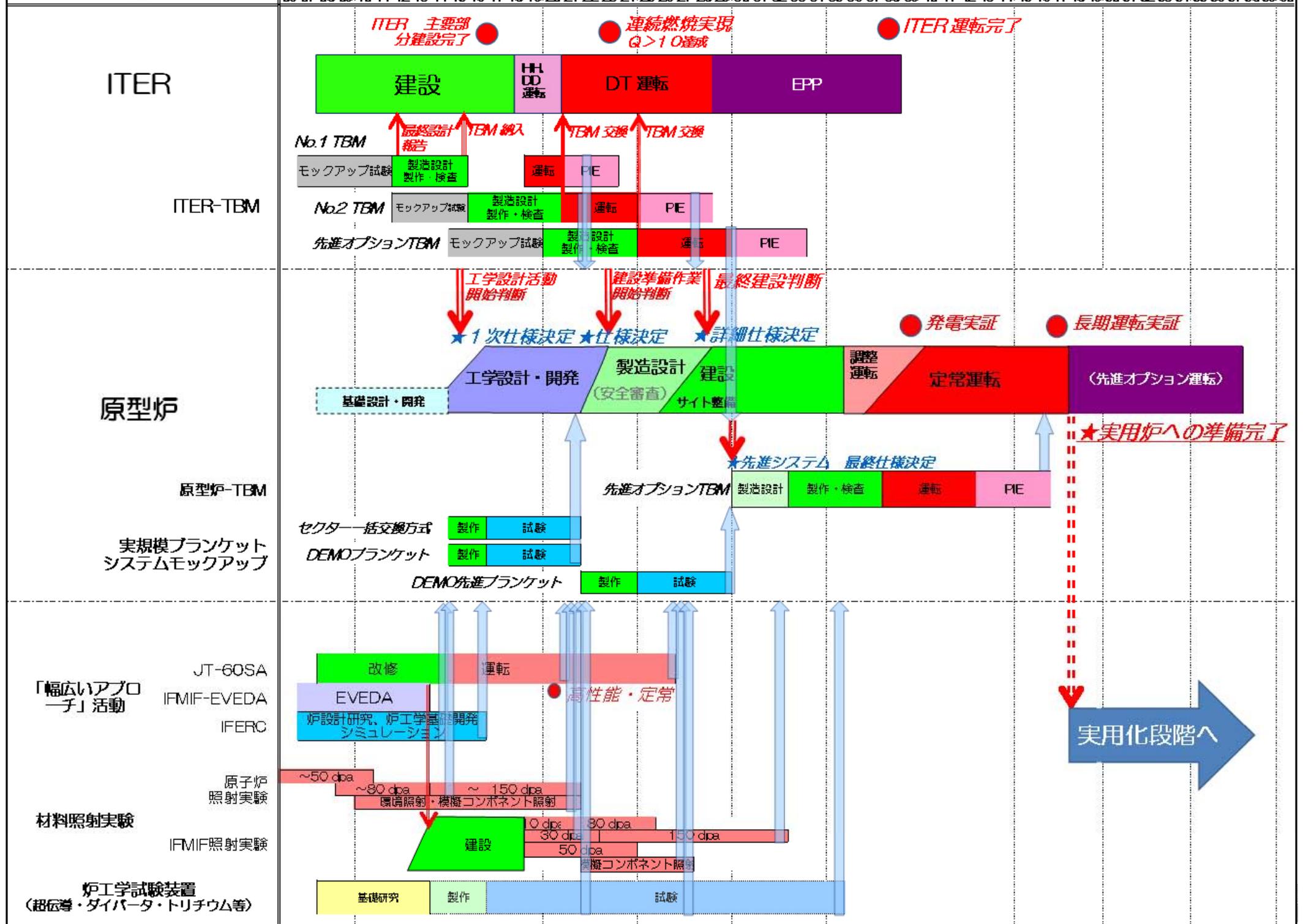
- ITER建設で開発されるとわかっている項目は含めない。
- ITER技術からの改良が必要な場合はその改良R&Dを含める。

第4章p.39～

(3) 原型炉の設計パラメータ(上限値)を現時点では絞り込まない。ただし開発中の各技術の原型炉への「採用可否の判断時期」、複数オプションがあるなら「その選択時期」をWBSリスト上に明示。

(4) 隠れたR&D項目の洗い出しも行った

WBS項目探査では、原型炉建設に重要であるが、現在研究計画が不十分、または存在もしないものがないかについても十分な検討を行い、緊急を要する9項目のR&Dを提言した。



BA期間中に、我が国独自に技術開発を開始することが望まれると判断された主要R&D

第2章p.12~14

- ITER用SCの性能を超える原型炉用SCコイルの開発（強磁場化、高電流密度化）
超電導線材は原型炉建設時にのみ大量に必要という点にも注意を要する。
 - Li-6の濃縮・量産技術、ならびに初期装荷トリチウムの入手方法の検討
年間100トンレベルのLi-6製造容量をもった工場は現状ではない。
 - 冷却系のトリチウム管理技術
冷却系配管のトリチウム透過低減皮膜の開発と冷却水の水質管理技術の確立。
 - メンテナンス手法開発
原型炉の概念設計を確定するためには、保守・分解法を決定する必要がある。
 - 環境安全性評価手法の開発
1) 評価のための方法論とデータベース、総合的トリチウム安全、廃棄物の管理法など
- その他、●原型炉向けダイバータアーマ、●規格基準検討開始、●JT-60SAの国内重点化装置としての実験研究、が上がっている。

技術選択点と最終仕様決定点の主要な例

2014

2023

	基礎設計段階	工学設計段階・前半	工学設計段階・後半	建設設計段階
原型炉関連法規・基準	高温構造設計基準(2014)		構造設計基準案(2020)	構造設計基準(2027)
炉システム設計	炉概念1次仕様決定(2014)		主要部仕様決定(2022)	最終仕様決定(2027)
トカマク本体 超電導コイル系	開発目標決定(2009) 導体&構造材選択(2014)	絶縁材選択(2018)	最終仕様(2024)	
トカマク本体 コイル支持、真空容器 安定化コイル、遮蔽		遮蔽冷却法(2020)	コイル間支持構造仕様(2024) 真空容器構造(2022) 安定化コイル仕様(2024)	
トカマク本体 ダイバータ	ダイバータ試験設備仕様(2014)	ダイバータ材料選択(2015) 構造材、アーマー材、 熱シンク材	ダイバータ最終仕様(2024)	
ブランケット 構造・解析手法	ITER/TBM最終設計報告(2012) IFMIF建設判断(2013) 構造材料~70dpaデータ(2014)	Demo用BLK1次仕様(2015) IFMIFマトリクス決定(2015-17)	BLK解析手法 仕様策定(2024)	ブランケット最終仕様(2029)
ブランケット T-増殖・中性子増倍材	改良型Li ₂ TiO ₃ 開発(~2013) 6Li濃縮手法決断(2014)	先進増殖材開発(~2021) 増殖材・増倍材決定(2022)		
ブランケット トリチウム透過防止膜 導体シェル		防止膜採用可否判断(2015) 導体シェル材料選択(2015)		
ブランケット 先進高温システム	先進システム候補選択(2013)	先進システム絞り込み(2016)	先進システム1次仕様(2022)	先進系最終仕様(2029) ただし、先進BLKはDemo-TBM用
メンテナンス方式		保守方式選定(2016)		
プラズマ			プラズマ形状決定(2022) 運転限界点の暫定選択(2022)	運転限界点の最終選択(2027)
加熱電流駆動	駆動法選択・決定(2014)		NBIの場合エネルギー決定(2020)	
トリチウム	初期インベントリ入手法決断 (2014)		排ガス処理、分離、貯蔵、空気浄化 など最終仕様(2022)	水処理系コールド試験開始 (2031)

産業界の人材は、各期間のプロジェクト規模と技術戦略上の技術分類 (WBS上に示したD,D*,I,F)が明らかになっておれば概算可能と考えた。

単位:億円

技術領域 (WBS大項目)	基礎設計段階 (~2014)	工学設計段階 (2015~2023)	建設段階 (2023~2035)
原型炉関連法規・基準	2	20	20
炉システム設計作業	10	300	各機器に含む
トカマク本体	30	450	2330
ブランケット	90	400	1700
トカマク周辺機器	10	30	390
流体制御	-	90	320
メンテナンス	(炉システム設計作業に含む)	40	150
プラズマ	10	105	80
加熱電流駆動	-	320	250
計装制御	-	20	360
トリチウム	12	130	400
バックエンド	-	ITER/TBM用ホットセ分に含む	廃棄物保管場所は建屋に含む
電源制御	-	20	500
発電システム	0-	10	1000
サイト・建物	-	10 / -	1300
安全環境	トリチウムに含む	トリチウムに含む	許認可外トリチウムに含む
プラントエンジニアリング	-	50	800
プロジェクト管理	-	10	400
合計	174	1855	7740 (本体のみ)
			2260 (付帯設備・管理費など)*

ロードマップ検討で新規に必要と判断した開発分のみの合計。
 既存計画 (ITER、BA、JT-60SA国内分)、大学等での研究開発はここに含まない。

ITER程度の炉心規模の例として概算

●トカマク型原型炉の建設判断までの開発においてコアとなる実施機関を中心に必要となる人材数

2023年に確保すべきポストは約400名（現状との比では200余名増）
そのためには15年間で平均して25名/年程度の採用が必要

	原型炉移行決定時直前	現状（2007年度）
炉工学開発系	40%	37%
プラズマ実験系	24%	44%
理論・シミュレーション系	6%	4%
炉システム設計系	9%	5%
工学設計段階からの法規・基準対応、プロジェクト推進管理	8%	0%
ITER機構への派遣人数	13%	10%

各組織の役割分担

	プロジェクト管理	基本設計	詳細設計	発注	R & D	製作設計	製作設計確認	製作	受入検査	建設	建設管理	総合試験(試運転)	検収	本格運転	商用炉建設会社
実施機関	○	○		○								○	○	○	
総合調整会社	○		○				○		○		○	○			○
R&D機関					○							○		○	
メーカー等						○		○		○		○			

研究開発および建設体制

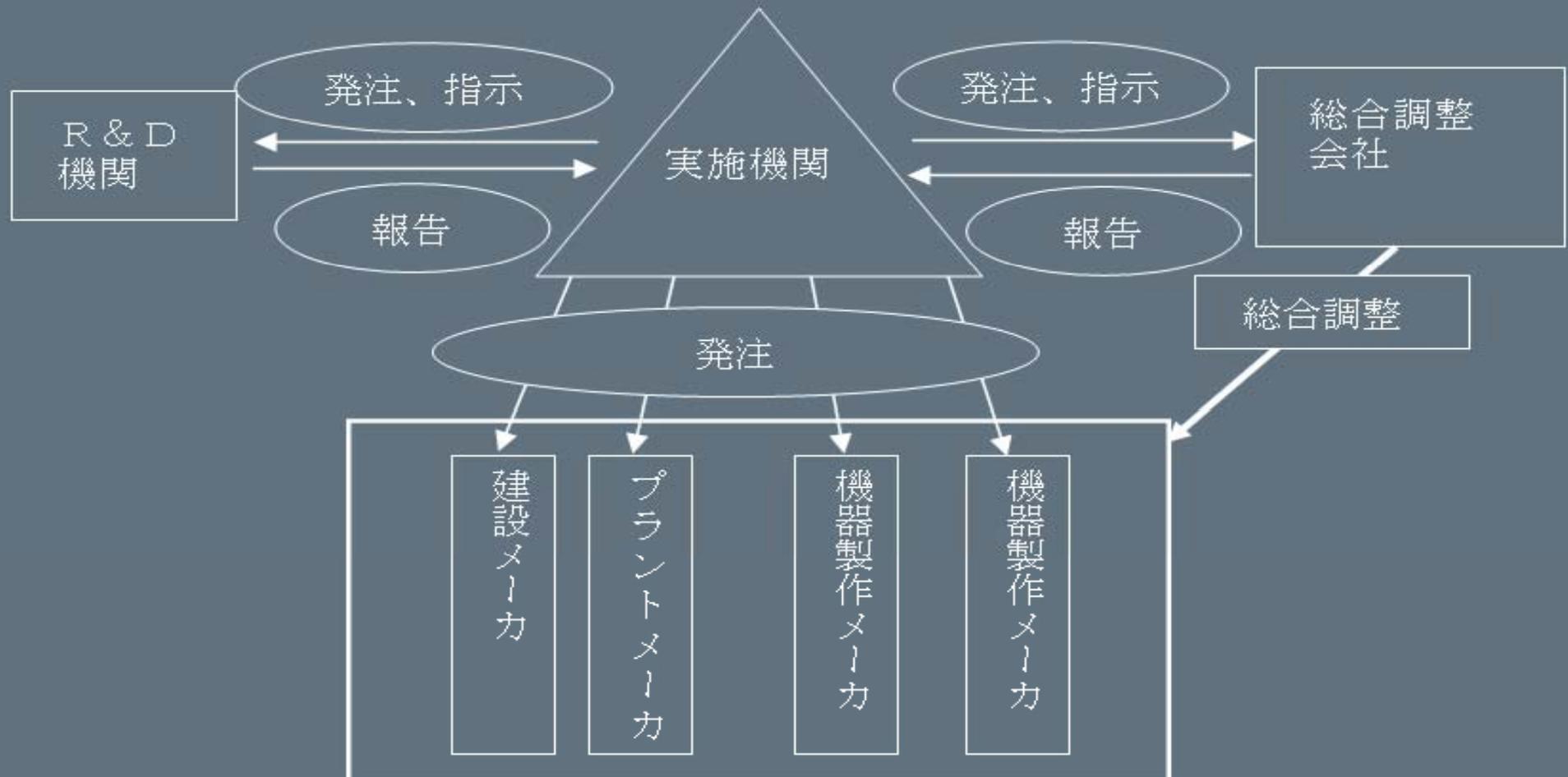


図3 各組織の役割(イメージ図)

核融合開発が今後描くべきシナリオ

ロードマップによって、2050年に核融合炉を投入可能とするためのシナリオは示された。そのシナリオからみて、今後10年間程度の開発は極めて重要であり、

- ITER・BAだけでは不足なR&D項目があること
- この10年を座待して過ごせば、2050年投入は困難になること

が示された。

核融合は、2050年に投入できた場合で、2100年の寄与は新エネルギーと同程度以上が期待可能。

2100年以後の増加に対する将来性では、核融合は新エネルギーよりは期待できる。しかし、そうであっても、2100年に新エネルギーと同程度以上の寄与ができる核融合開発シナリオを現時点で描いておくべきである。

しかるに、2070年投入となれば、2100年の寄与はわずか数%であり、新エネルギーの寄与にも及ばないと説明しなければならなくなる。

実用化を目指して開発をすすめる以上、「2070年投入」では、国民の理解を得られないのではないか。

具体的提案

● 長期的展望にたった技術開発ロードマップを、核融合フォーラムにおいて策定した。原型炉建設段階への移行決定に必要なR&Dを実施するためのプロジェクト規模と実施機関での人員を算定した。

これらの計画のうち、少なくとも2014年までの基礎設計段階については、国としての計画に取り込み、すぐに実施すべきである。

@「原型炉にむけた一層の取り組み」を開始するためには、BAに~~なく~~追加が必要とロードマップ等WGが指摘したR&DをITER・BAとは別の枠組みで実施すべきである。

@その2年後の予算化を目指し、R&Dの詳細と年度予算を2009年初頭までに検討すべきである。

@その予算をR&D機関等に適切に(たとえば公募によって)配分する体制を、国によるオーソライズのもとで組織化することを提案する。

上記を実施できなければ、2050年代の1号炉投入は必然的に間に合わなくなり、21世紀中の核融合の寄与は風力などの新エネルギー以下との評価にいたる可能性もある。

● 人材育成の強化は必要であるが、それより先に、まず原型炉に向けた研究のための人材採用を開始し、基礎設計段階に必要とされたR&Dを開始すべきではないか。

@採用先の見通しが無いまま、新人材を育成すれば、行先に困るだけではないか。

@ポストクは緊急避難であって解決にはならないのではないか。

@学会活動などにおいても原型炉を担う若手の起用を積極化すべきである。