

原子力委員会 核融合専門部会
2008年7月16日

核融合エネルギー実用化に向けた ロードマップと技術戦略

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）

本報告書は、核融合エネルギーフォーラムのWebサイト
<http://www.naka.jaea.go.jp/fusion-energy-forum/>
に7月10日より掲載が開始され、ダウンロードできます。

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ワーキンググループ

岡野邦彦 (座長)	電力中央研究所
今川 信作	核融合科学研究所
小川 雄一	東京大学大学院
小西 哲之	京都大学 エネルギー工学研究所
谷川 博康	日本原子力研究開発機構
飛田 健次	日本原子力研究開発機構
長谷川 満	原子力産業協会 ITER・BA対応検討会 委員
堀池 寛	大阪大学大学院
森 清治 (08.3.31まで)	原子力産業協会 ITER・BA対応検討会 委員

2007年11月より16回の会合を実施

文部科学省から核融合エネルギーフォーラムへの依頼事項（2007年10月18日）のうち
の3つの項目を検討した。
報告書の付録1

- 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。

本ロードマップの特徴-1

(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。

WBSは18分野・1000項目以上から成る。

第4章p.39～

- 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。

1	原型炉関連法規・基準
2	炉システム設計作業
3	トカマク本体
4	ブランケット開発
5	トカマク周辺機器
6	流体制御
7	メンテナンス
8	プラズマ
9	加熱電流駆動

10	計装制御
11	トリチウム
12	バックエンド技術開発
13	電源制御
14	発電システム
15	サイト・建物
16	安全環境
17	プラントエンジニアリング
18	プロジェクト管理

本ロードマップの特徴-2

(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。

→実現する原型炉のパラメータは今後の開発で若干変わるが、「2040年までには原型炉の運転を開始し発電を実証する」という目的に対するクリティカル・パスは最小になる。

なお、原型炉の設計パラメータ概要の決定は2014年までに行う計画である。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」の記述に沿えば、ITER程度の炉心寸法になると考えている。

(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。 第2章p.12~14

本ロードマップの特徴-3

(5) 技術戦略上の分類も明記

WBS上の技術に、国内に必ず保持すべき技術(D、D*)、国際協力で開発することが可能な技術(I)、必要な時に海外から導入できると考えられる技術(F)の分類を示した。

第3章p.29

(6) WBSに沿った項目別計画に基づき全体ロードマップを描く

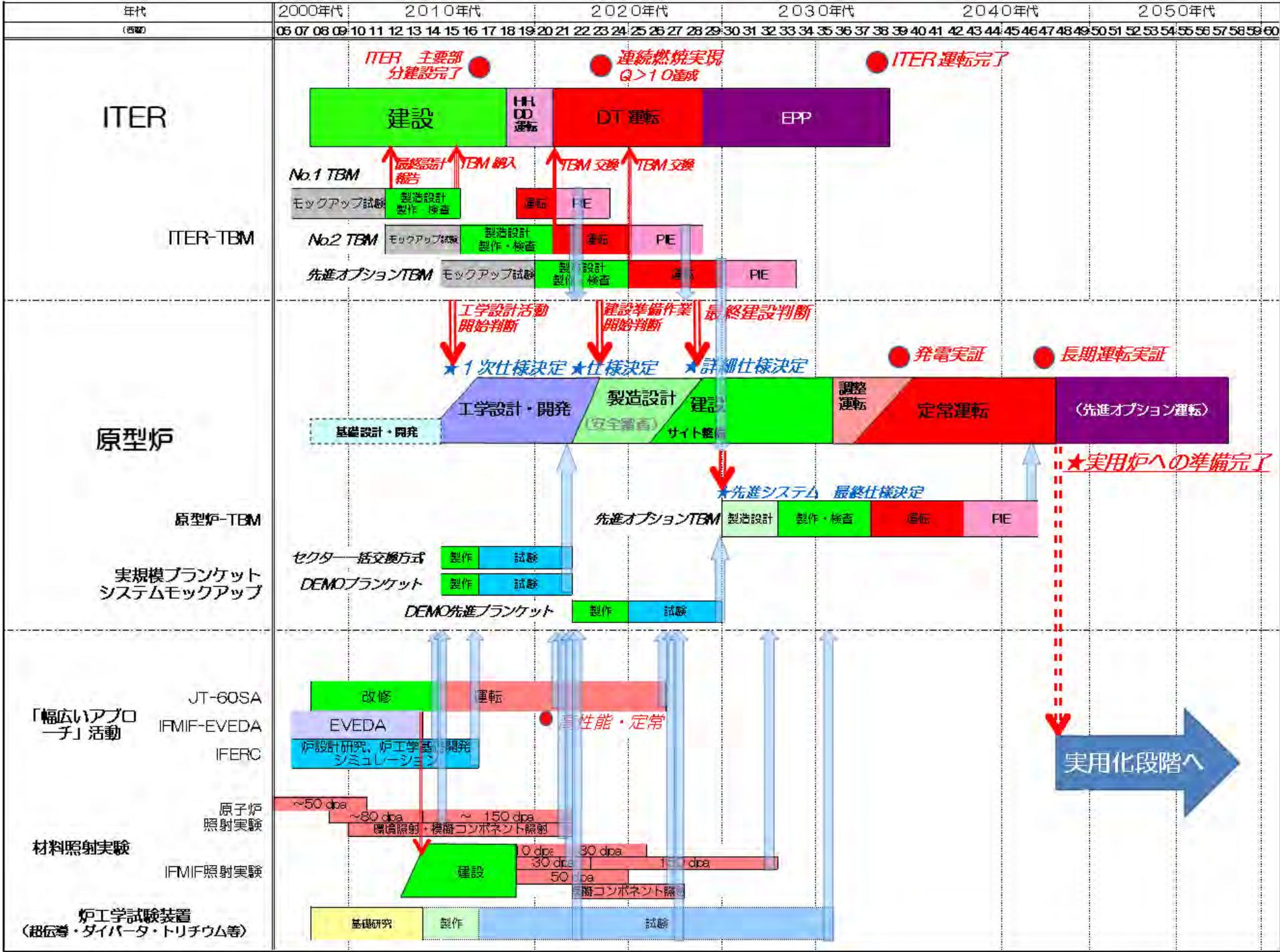
R&D計画は、急ぐべきものを優先し、後送り可能なものは遅らせることで、限られた時間とリソースの中で、計画の進行をできる限り前倒しにすべく構成した。

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)



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技術(例)

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) 安全確保とその評価のための方法論とデータベース
 - 2) 総合的トリチウム安全
 - 3) 社会受容性を考慮した放射性廃棄物の管理・処理・処分法など

ロードマップ検討まとめ

- 原型炉建設に向けて必要なR&Dについて、1000を超える項目からなる技術マップ(WBS)リストを作成した。
- このWBSリストを用いて、各々のスケジュールを検討。また、多くの技術選択の**決断時期**を明記した。
- 上記の作業を元に全体ロードマップを描いた。
- 2050年代に初代炉を投入可能な開発計画を作成。ITERの成功を前提に原型炉の概念を絞り込み工学設計を進めておく必要がある。
- 原型炉建設にむけて重要にもかかわらず、現時点で開発計画がないか、不十分な技術項目を同定し、その推進もロードマップに含めた。

人材計画・役割分担

トカマク型原型炉に向けた開発実施のための
人材計画に関する検討報告書

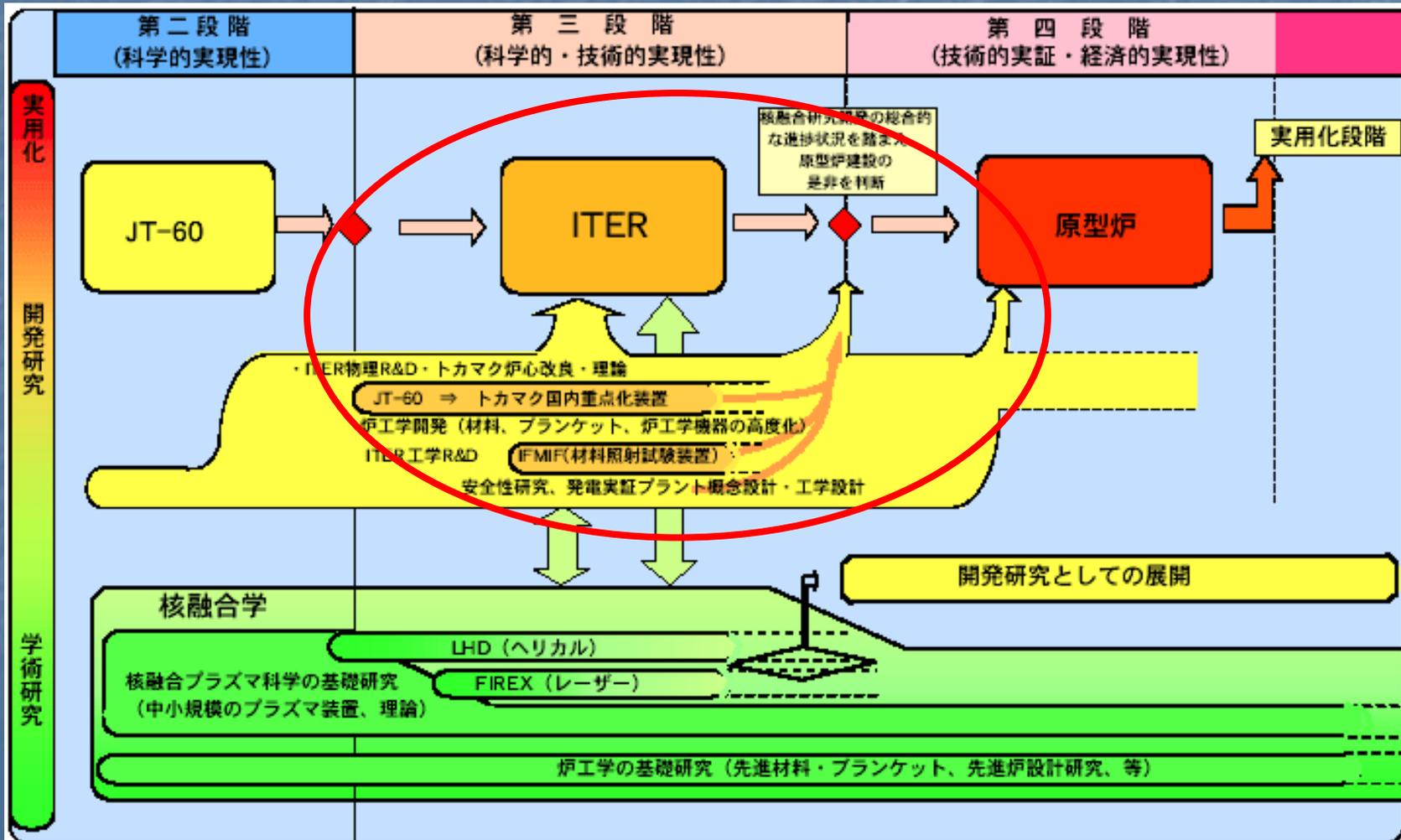
および

報告書:「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」
第3章 「産業界を含めた日本の技術戦略、枠組み、役割分担」

本報告書は、核融合エネルギーフォーラムのWebサイト
<http://www.naka.jaea.go.jp/fusion-energy-forum/>
に7月10日より掲載が開始され、ダウンロードできます。

領域と期間からみた本人材検討の範囲

原子力委員会 核融合専門部会
 「今後の核融合研究開発の推進方策について」
 平成17年10月26日



人材計画作成の考え方

◎WBSリストの項目別に必要人材を検討。

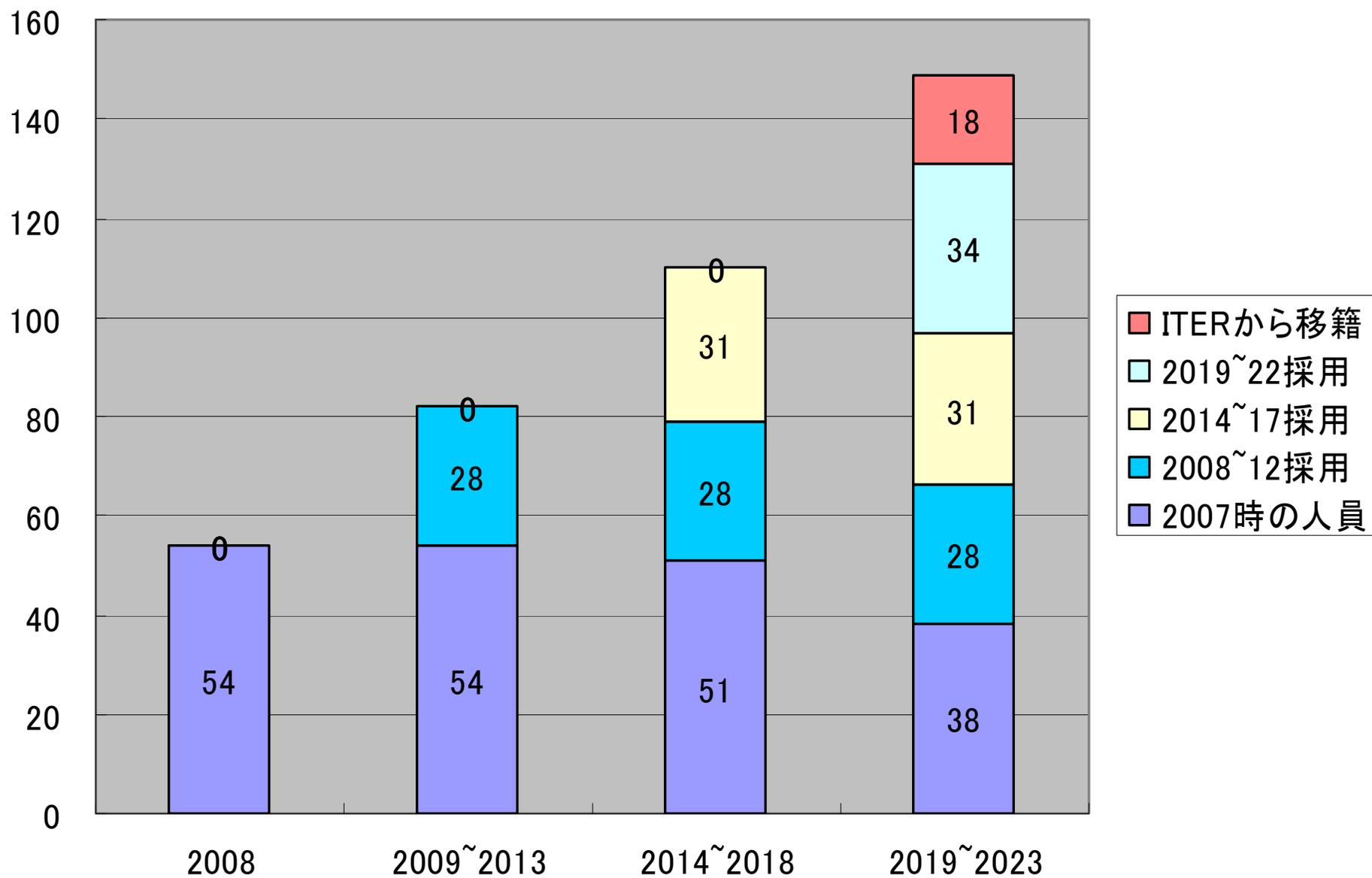
原型炉建設判断(2023年)までの人材を検討した。

◎現状から5年ごとの年齢構成を示し、原型炉建設判断を行う2023年までに年齢構成を、OJTの視点からも望ましい姿（=後継者が育つ意味で、50歳以下はフラットに）を目指し、必要人員に到達するには、5年ごとに、どの年齢層を、何名 獲得すればよいかを示す。

5年で5名増なら、平均して年ごとに1名増程度。

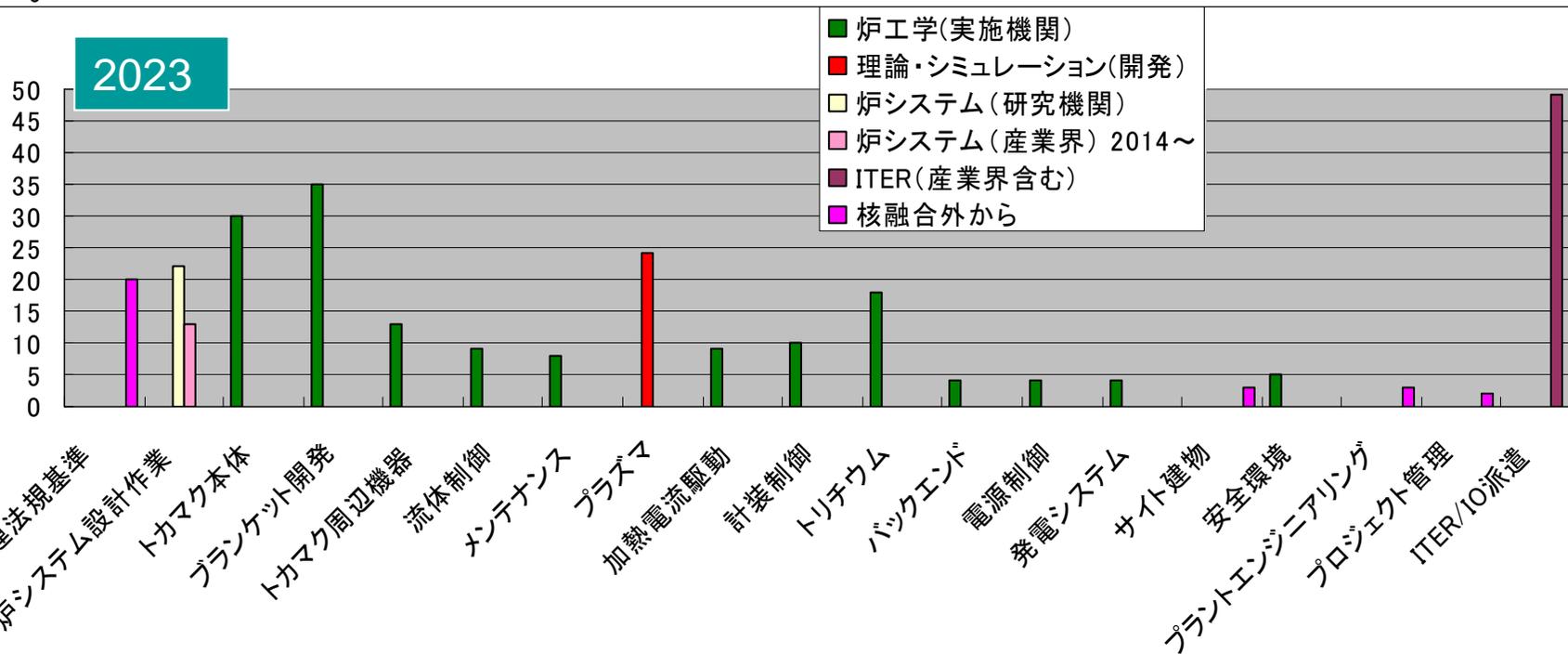
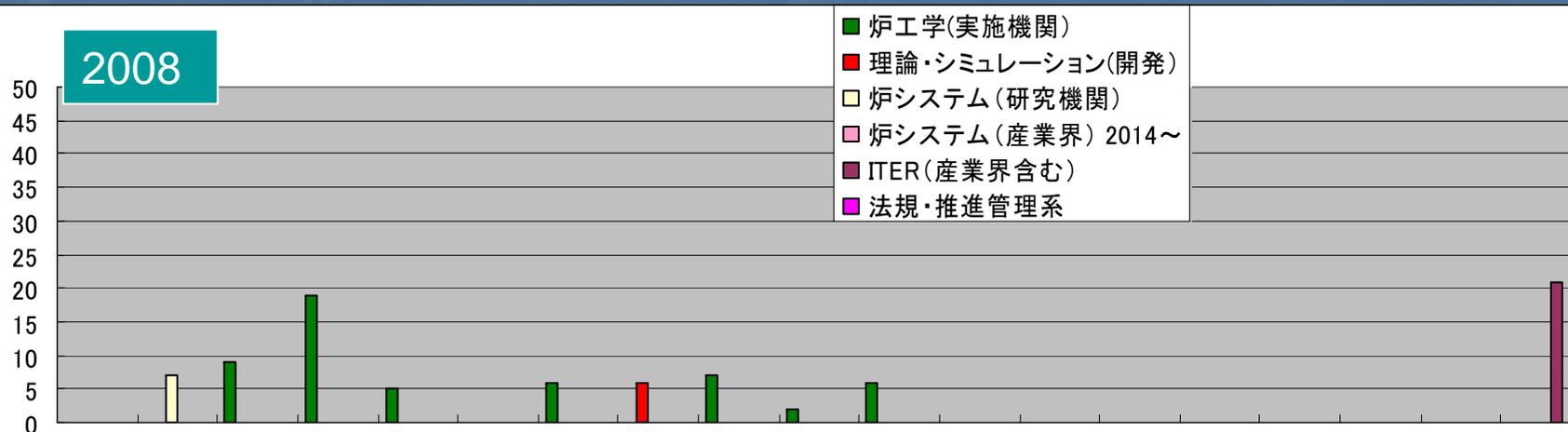
ある年度間のみ採用が集中しないよう分配した。

例として炉工学開発系の年度展開を示す

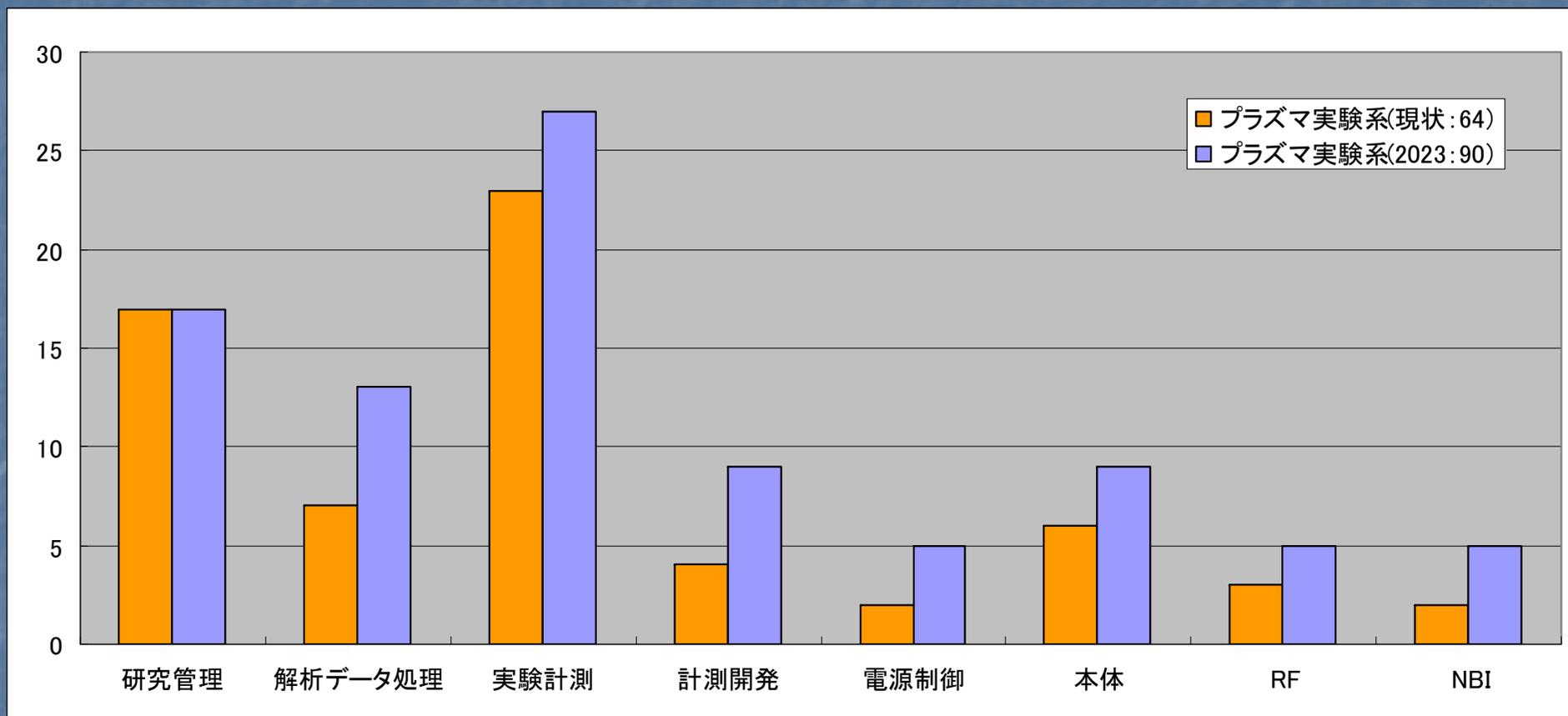


項目別の全体人材配置(現状と2023目標)

プラズマ実験系を除く



項目別の全体人材配置(現状と2023目標) プラズマ実験系のみ



事務系と運転技術系は人材育成になじまないので含まない。
大学などとの共同研究による参加人数は含まれない。

●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）
1) 炉工学開発系	40%	37%
2) プラズマ実験系	24%	44%
3) 理論・シミュレーション系	6%	4%
4) 炉システム設計系	9%	5%
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%
6) 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

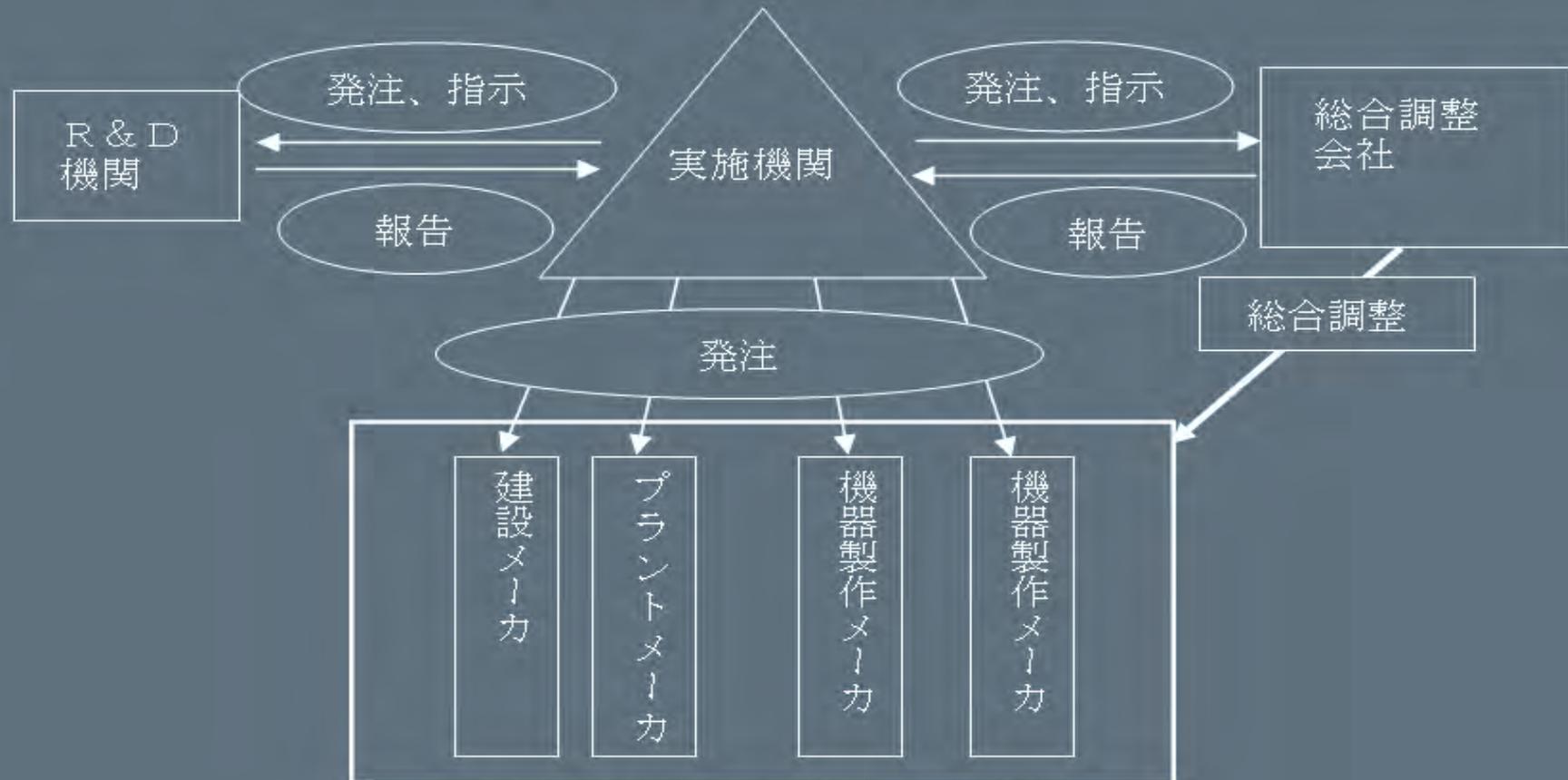


図3 各組織の役割(イメージ図)

人材計画・役割分担まとめ

- トカマク型原型炉の建設判断(2023年)までの開発においてコアとなる実施機関を中心とした人材計画をWBSタスクに沿って作成した。 トカマク型原型炉に向けた開発実施のための人材計画に関する検討報告書
- 産業界での人材育成にも配慮した原型炉建設体制を提案した。 ロードマップ第3章p.29～31
- 産業界の人材数については、人数で示すのではなく、ロードマップ報告書の第3章にプロジェクト規模の形で記載しているので参照されたい。 ロードマップ第3章p.32～36