

核融合開発ロードマップと 今後の原型炉開発への展望

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(平成20年度)

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/>
から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 エネルギー理工学研究所
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

核融合エネルギーフォーラム社会と核融合クラスター実用化戦略サブクラスター、ロードマップ検討委員会がクラスター活動の一環として纏めた中間報告(2007年11月)も参考に、文部科学省殿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。

IPCC第4次評価報告書

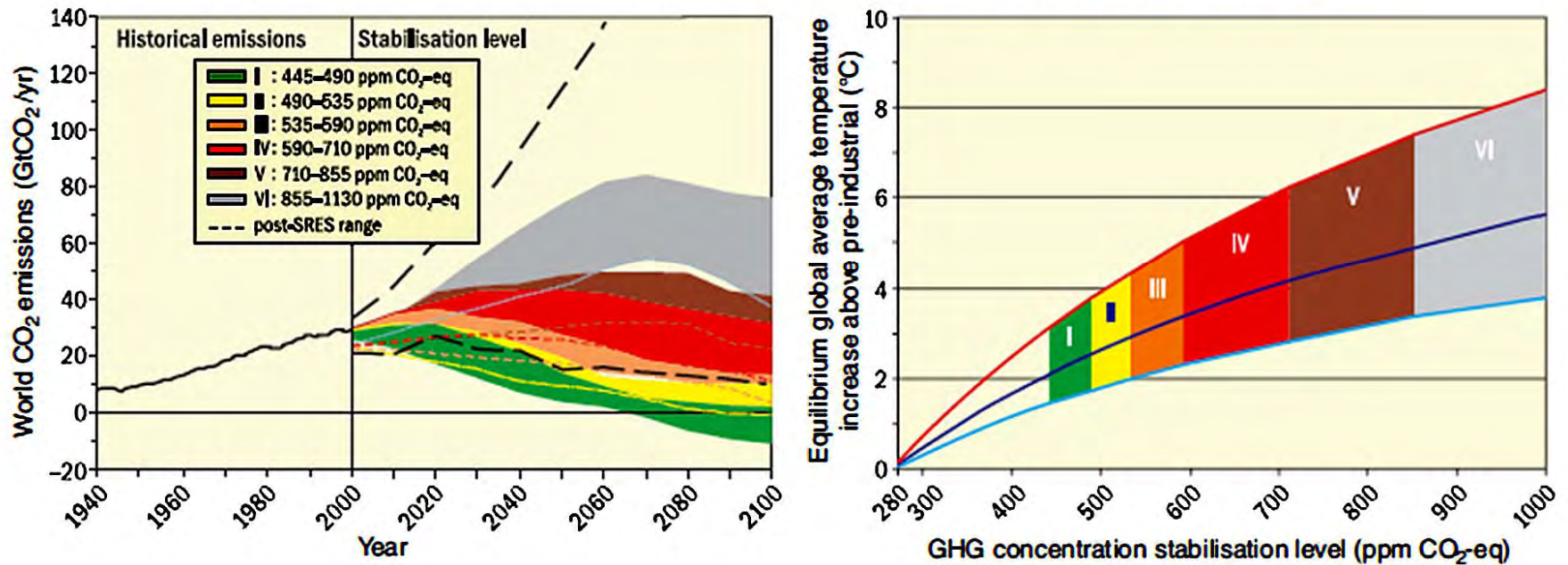
二酸化炭素放出と気候変動にはかなり高い確率(90%以上)で関係がある気候変動リスクに安全圏はなく、550ppm目標より450ppm以下、平均気温で4度以下の上昇であっても大きな損失を被るリスクが想定されている。

核融合の開発意義の最大化

2050年ころからの導入と、世界レベルでのゼロエミッション(下図I,IIの領域)に向けた放出削減への寄与を目標とすることで、その開発意義が明確になる。

そのためには、2030年代の原型炉の運転開始は必須のステップである。

CO₂ emissions and equilibrium temperature increases for a range of stabilisation levels



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、1000項目以上からなるWBSリストを作成。

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。

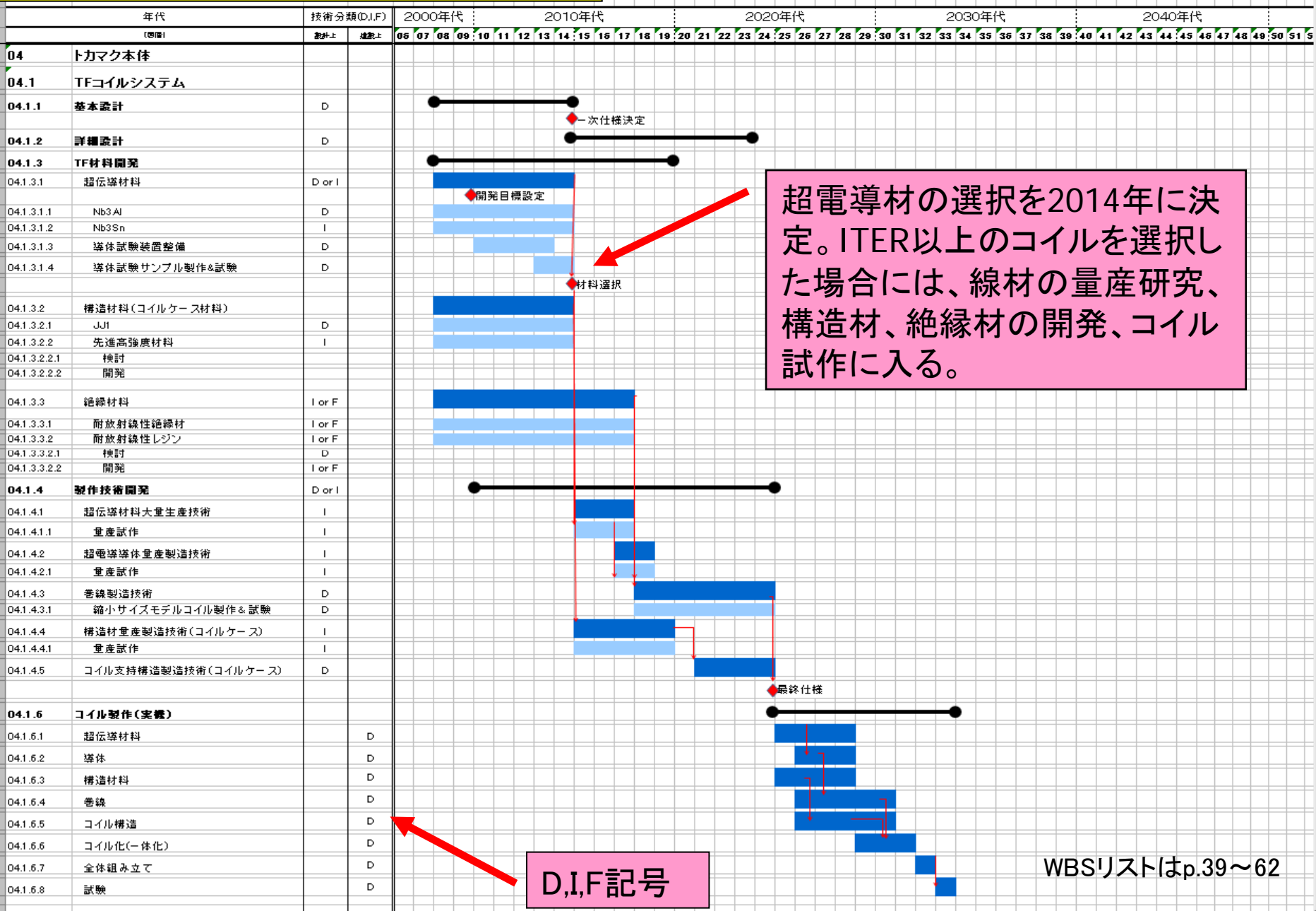
(4) 隠れたR&D項目の洗い出しも行った

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(あるいは予算)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。**

開発戦略の考え方を、誤解を恐れず、かなり単純化していえば、

- 1) 核燃焼はITERで確認 ($Q > 10$ の放電を確認、ただし誘導電流駆動のプラズマ)。
- 2) 定常運転と高性能化の上限はJT-60SAで確認。シミュレーションも重要。
- 3) ダイバータは、シミュレーションと組み合わせて、JT-60SA、ITERで開発。
- 4) 材料については、原子炉照射データをもとに工学設計は開始。IFMIFによって、製造設計後期に80dpaまで、初期ブランケット装荷までには150dpaまでの確認が終了することを期待。
- 5) 原型炉の初期装荷ブランケットは、ITER用日本案TBMにより開発したものがベース。ただし、原型炉においても「原型炉TBM」という考え方を導入し、経済性に優れた先進ブランケットを原型炉運用中に継続的に開発。
- 5) BA期間中はBAを最大に利用。ただし、原型炉に向けて必須ながらBAには含まれない開発項目があり、BA以外の開発枠も必要。BA期間以後は、BAが延長されてもされなくても「工学設計活動」として必要な研究開発は継続。

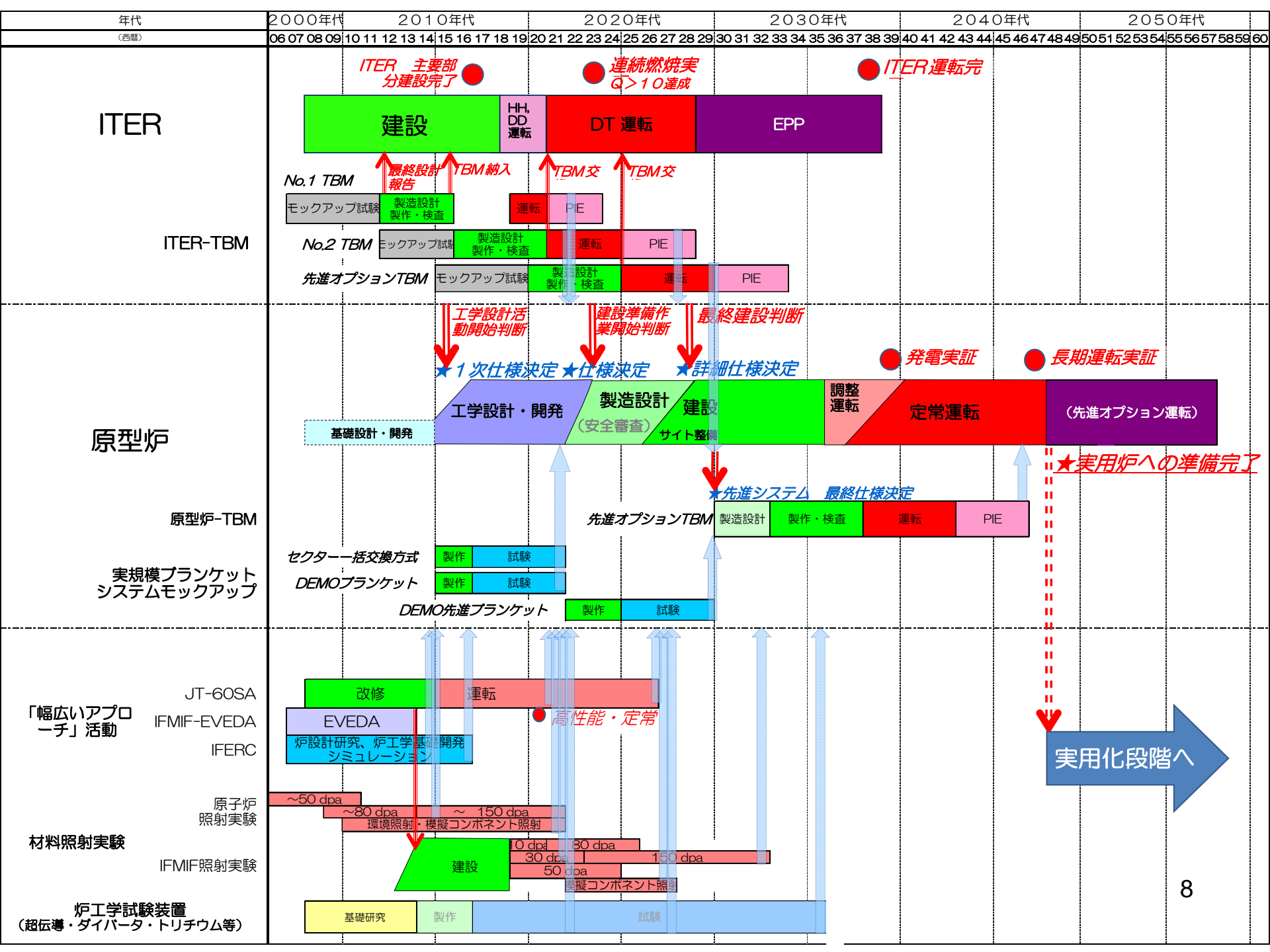
WBS:トカマク本体/TFコイルの一部



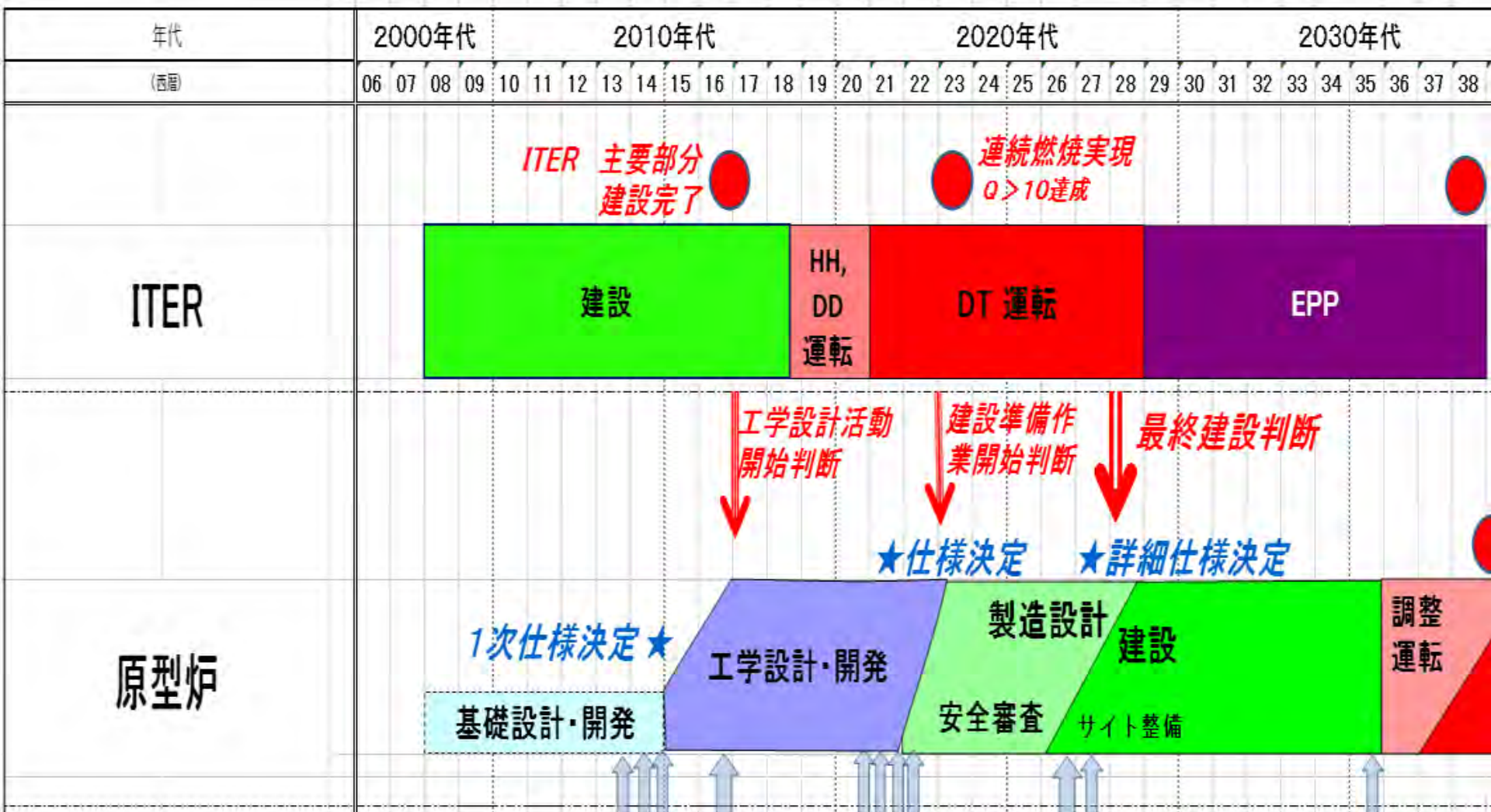
超電導材の選択を2014年に決定。ITER以上のコイルを選択した場合には、線材の量産研究、構造材、絶縁材の開発、コイル試作に入る。

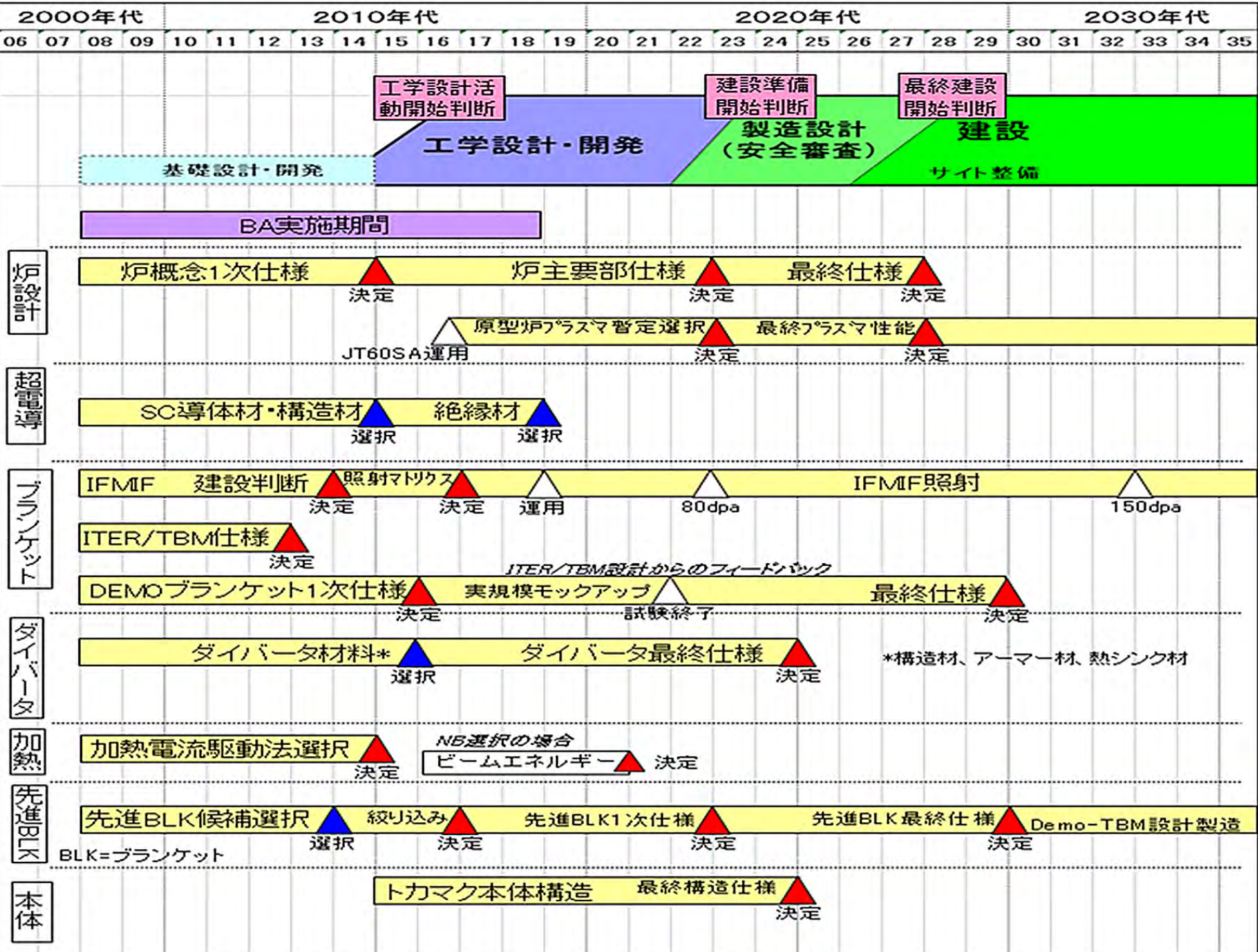
D,I,F記号

WBSリストはp.39~62



昨年夏に設定したロードマップであるため、ITER新シナリオは反映されていないのに注意。
 →Q>10は2026年以後にシフト





●IFERC

原型炉概念設計活動

EUとの共通課題のみの検討を実施。具体的な原型炉が設計できるかは不明。

R&D

トリチウム技術に関する試験研究

ブランケット構造体開発に向けた材料技術の研究開発

先進中性子増倍材料に関する研究開発

先進トリチウム増殖材料に関する研究開発

SiC/SiC 複合材料の研究開発

計算機シミュレーションセンターの設置

●IFMIF-EVEDA

●サテライト・トカマク(JT-60SA)建設と実験

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BAに含まれないR&D項目の主要な例

第2章p.12～14

- ITER-TBMの開発
- ITER用超電導コイルの性能を超える原型炉用コイルの開発（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。
- 原型炉向けダイバータ
- Li-6の濃縮・量産技術
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。
- トリチウム関連技術
初期装荷トリチウムの入手方法の検討。
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。
- 規格基準検討開始
- 環境安全性評価手法の開発
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
- JT-60SAの国内重点化装置としての実験研究(BAに含まれない部分)

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。
- 原型炉建設にむけて極め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、その基礎設計段階での実施のために必要な予算規模も記載した。
- 2050年代に初代炉を投入可能な開発計画を作成した。その実現には、ITER計画、BA計画を着実に進めつつ、上記の追加R&Dを遅滞なく実施することが必要である。
- ただし、このロードマップは時間裕度をすべてつめて前倒したケース。計画にはいくらかの裕度が存在することには注意されたい。

今後に向けた私的意見

- 産官学の連携により、計画が絵にかいた餅にならないように原型炉に向けた活動を具体化することが重要。
- 産業界が核融合開発に継続的に参画するには、社内や株主に核融合の将来展望を説明できること、すなわち、ITER以後の核融合開発計画の継続性が確かなものに見えることが肝要。

具体的には、多少の時間的なずれはありうるとしても、原型炉に向けた開発が、ロードマップに沿って着実に実施されていくことが必要ではないかと思います。

日本型原型炉はどのようなものであるべきかの検討を進める仕組みと予算が必要です。

9項目のR&Dについては、国内での分担を決め、個別でもよいので予算を獲得する作業を進めるべきだと思います。