

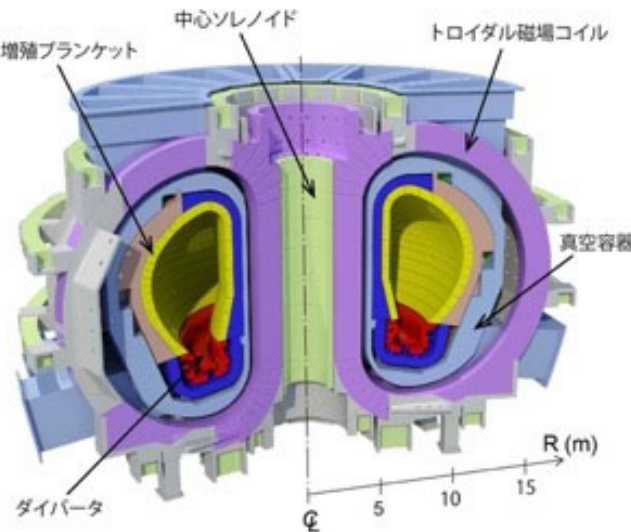
核融合発電の実施時期の前倒し の検討について

原型炉開発総合戦略タスクフォース

JA-DEMO（設計概念設計の基本設計が終了）

核融合科学技術委員会のいう原型炉の目標（①数十万kWの電気出力、②実用に供し得る稼働率、③燃料の自己充足性）に見通しを得る基本概念で構築

基本パラメータ



主半径：8.5m
 小半径：2.42m
 核融合出力：1.5GW
 発電端出力：0.64GW
 中心トロイダル磁場：6T
 プラズマ電流：12.3MA
 加熱入力：< 100MW
 規格化ベータ値：3.4
 規格化密度： $n_e/n_{GW}=1.2$
 閉じ込め改善度：1.3
 冷却水：PWR条件
 稼働率：～70%
 運転方式：定常運転
 三重水素増殖率：1.05

概念の特徴

- 誘導電流駆動による I_p 立ち上げ： $R_p=8.5m$
- ダイバータ熱負荷低減： $P_{fus}=1.5GW$
- 運転柔軟性：定常運転 & パルス運転
 - ✓ 高密度・非接触プラズマとの整合性の観点から、定格の I_p でパルス運転
→十分なCS磁束を確保
 - ✓ プラズマ性能要求（ベータ値、閉じ込め改善度）を緩和したパルス運転
→初期の調整運転
→早期の発電実証

2015 2020頃 2025頃 2030 2035頃

ロードマップ 概念設計の基本設計 概念設計 工学設計・実規模技術開発 製造設計・建設

特別チーム設置

第1回中間C&R

第2回中間C&R

原型炉段階への移行判断

→原型炉開発に向けたアクションプラン、原型炉研究開発ロードマップに従って、着実に進捗している。

原型炉による発電時期の前倒しの検討に向けて

- 核融合発電は、発電の過程で二酸化炭素を排出せず（カーボンニュートラル）、暴走といった連鎖的な反応を生じず（固有の安全性）、かつ、高レベルの放射性廃棄物を発生しない（環境保全性）という従来の発電方法にない利点を多く有し、わが国の経済安全保障に貢献できるもの。
- 核融合発電の利点を踏まえ、これまで核融合研究開発を推進してきた米国・英国などは、核融合による発電時期を早期に（2040年代）実現する構想を相次いで公表。
- そこで、第1回中間チェック・アンド・レビューでの指摘『**核融合発電の実現時期の前倒しが可能か検討を深めること**』を受け、原型炉開発総合戦略タスクフォースは、技術的な観点から「原型炉開発に向けたアクションプラン」に沿った検討を行うもの。
- この検討では、原型炉による発電時期を前倒すために、段階的に原型炉の性能を上げる（運転領域を広げていく）ことを想定し、前倒しする発電開始時期までに揃えられる許認可に必要なデータや開発できる技術を検証。
- 原型炉による発電時期を前倒すことは、核融合エネルギーの早期実現のみならず、スタートアップ企業を含む、わが国産業界の取組みを後押し、原型炉の建設に必要な高い技術力とその幅広い産業分野の関わりを通して、わが国の技術的優位性に繋がるものと期待し、原型炉開発総合戦略タスクフォースは本検討を進める。

核融合発電の実施時期の前倒しの考え方（１）

- 第１回中間チェック・アンド・レビュー（CR1）での指摘：

『核融合発電の実現時期の前倒しが可能か検討を深めること。前倒しを行う場合、CR2時点での達成目標や、原型炉研究開発の優先順位を再検討すること。』

- アクションプランに沿ったJT-60SA及びITERから原型炉への統合戦略を基に、原型炉による発電の実施時期の前倒しを検討。

- 段階的に原型炉の性能を上げる（運転領域を広げていく）として、第１期（発電実証）と第２期（定格発電実証）を定める。
- 第１期は、第２期目標を速やかに達成できるようにしつつ、増殖ブランケット（BLK）による発電を早期に実証する「マイルストーン」として設定。

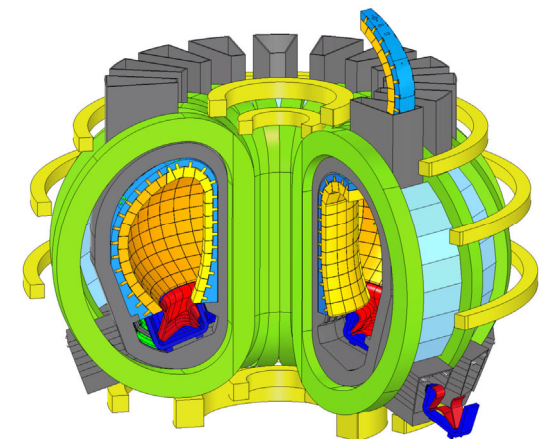
	第１期目標	第２期目標
概要	ITERからの技術ギャップが小さい『低出力＆パルス運転』による早期発電実証（BLK発電の早期実証）	商用炉段階に向けた『定格出力＆連続運転』による発電実証
電気出力	- パルス運転（電子サイクロトロン共鳴加熱ECHが主加熱） - 正味（パルス中）の電気出力の実証	- 連続運転（中性粒子入射加熱NBによる電流駆動＆高自発電流割合） - 数十万キロワットの安定した電気出力
稼働率	保守シナリオの実証	実用に供し得る稼働率
TBR	三重水素自己充足性（$TBR \geq 1$）の確認	三重水素自己充足性（$TBR \geq 1$）の実証

第1期及び第2期で目指す装置性能

Size & Configuration		
Para.	Steady state / Pulse (2hr)	Ref. ITER
R_p (m)	8.5	6.35
a_p (m)	2.42	1.85
A	3.5	3.43
κ_{95}	1.65	1.85
δ_{95}	0.33	0.4
q_{95}	4.1	5.3
V_p (m ³)	1647	831
I_p (MA)	12.3	9.0
B_T (T)	5.94	5.18
$B_T^{\max}$ (T)	12.1	11.8

Absolute Performance			
Para.	Steady state	Pulse (2hr)	Ref. ITER
P_{fus} (MW)	1462	1085	356
P_{net} (MWe)	303	185	-
Q	17.5	13	6
P_{alp} (MW)	293	217	71.2
P_{ADD} (MW)	83.7	83.5	59
T_e (keV)	16	12.9	12.3
n_e (10 ¹⁹ m ⁻³)	6.6	6.5	6.7
W_{th} (MJ)	786	630	287
τ_E (s)	2.67	2.66	3.1
NWL (MW/m ²)	1.0	0.74	0.35

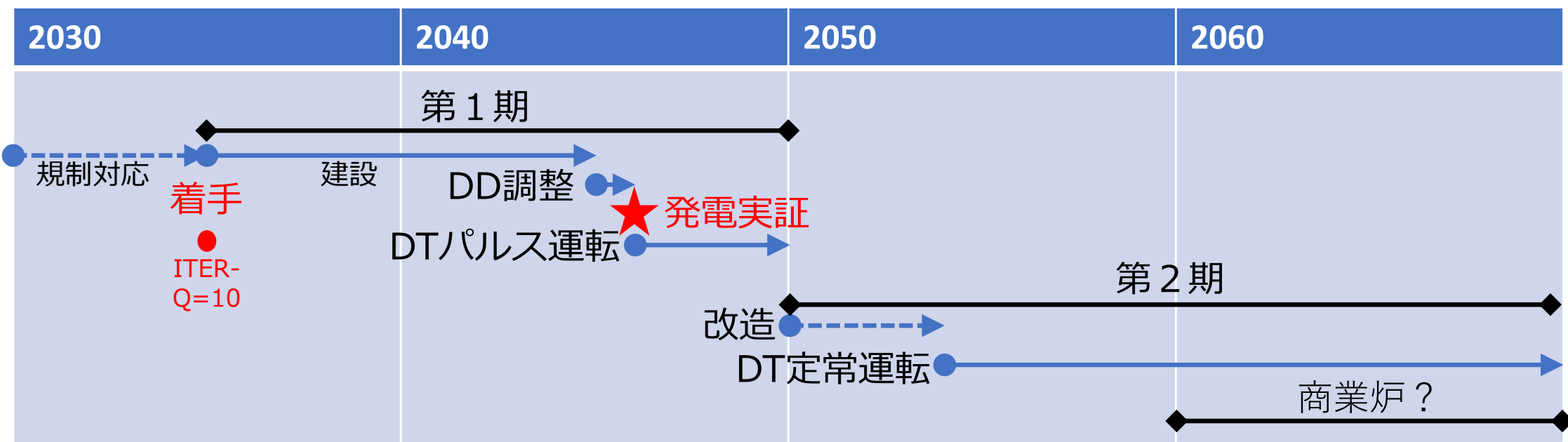
Normalized Performance			
Para.	Steady state	Pulse (2hr)	Ref. ITER
HH_{98y2}	1.31	1.13	1.57
β_N	3.4	2.6	2.95
f_{BS}	0.61	0.46	0.48
f_{CD}	0.39	0.32	0.52
n_e/n_{GW}	1.2	1.2	0.82
f_{He}	0.07	0.07	0.04



第1期目標：表中の「Pulse (2hr)」
第2期目標：表中の「Steady state」

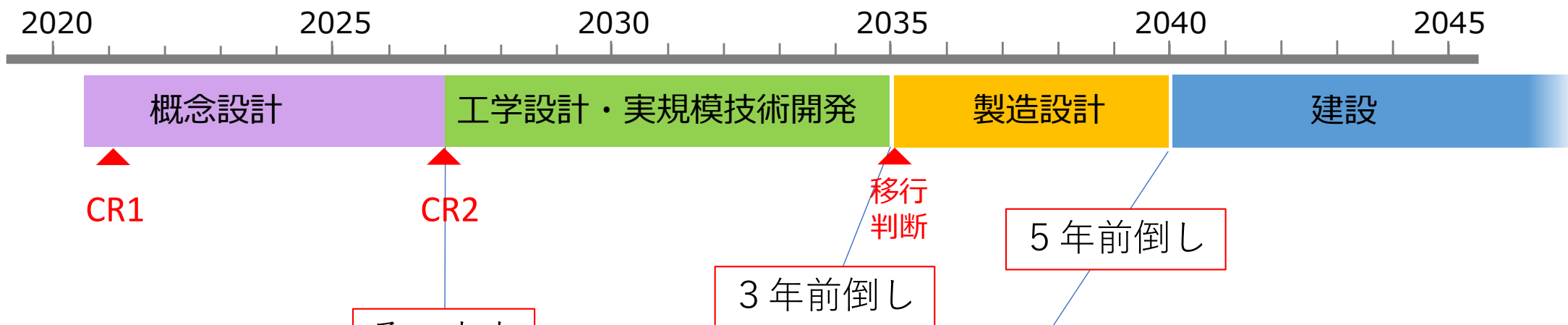
核融合発電の実施時期の前倒しの考え方（2）

- 『低出力&パルス運転』に必要な技術開発を加速・重点化。
- 2035年のITER燃烧実験の直後から、原型炉建設に着手、10年後に原型炉発電実証を目指すことで、現在の計画から5年程度の前倒し。

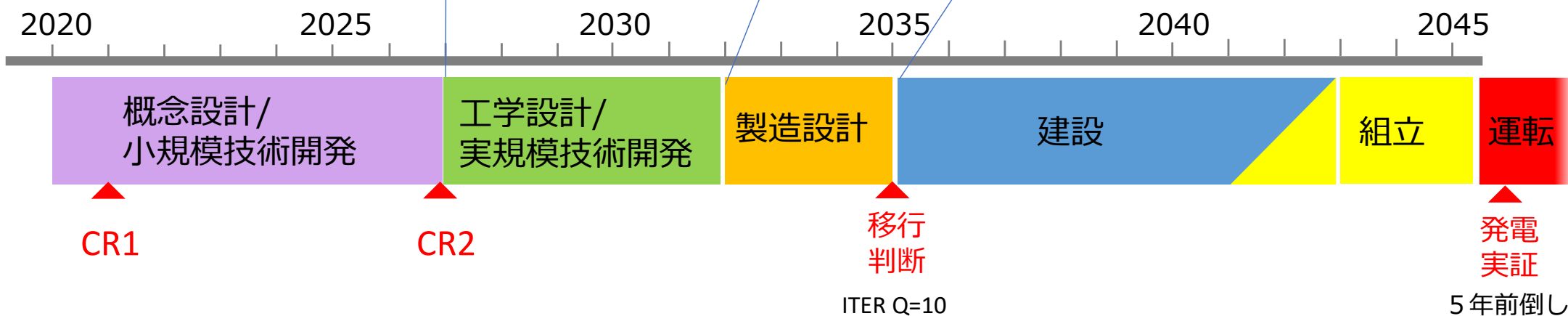


第1期の運転開始までのスケジュール

従来スケジュール



前倒しスケジュール (Accelerated Schedule)



核融合発電の実施時期の前倒しにおける段階的R&D

早期発電実証に必要な
R&Dに重点化

第2期に向けた
R&D

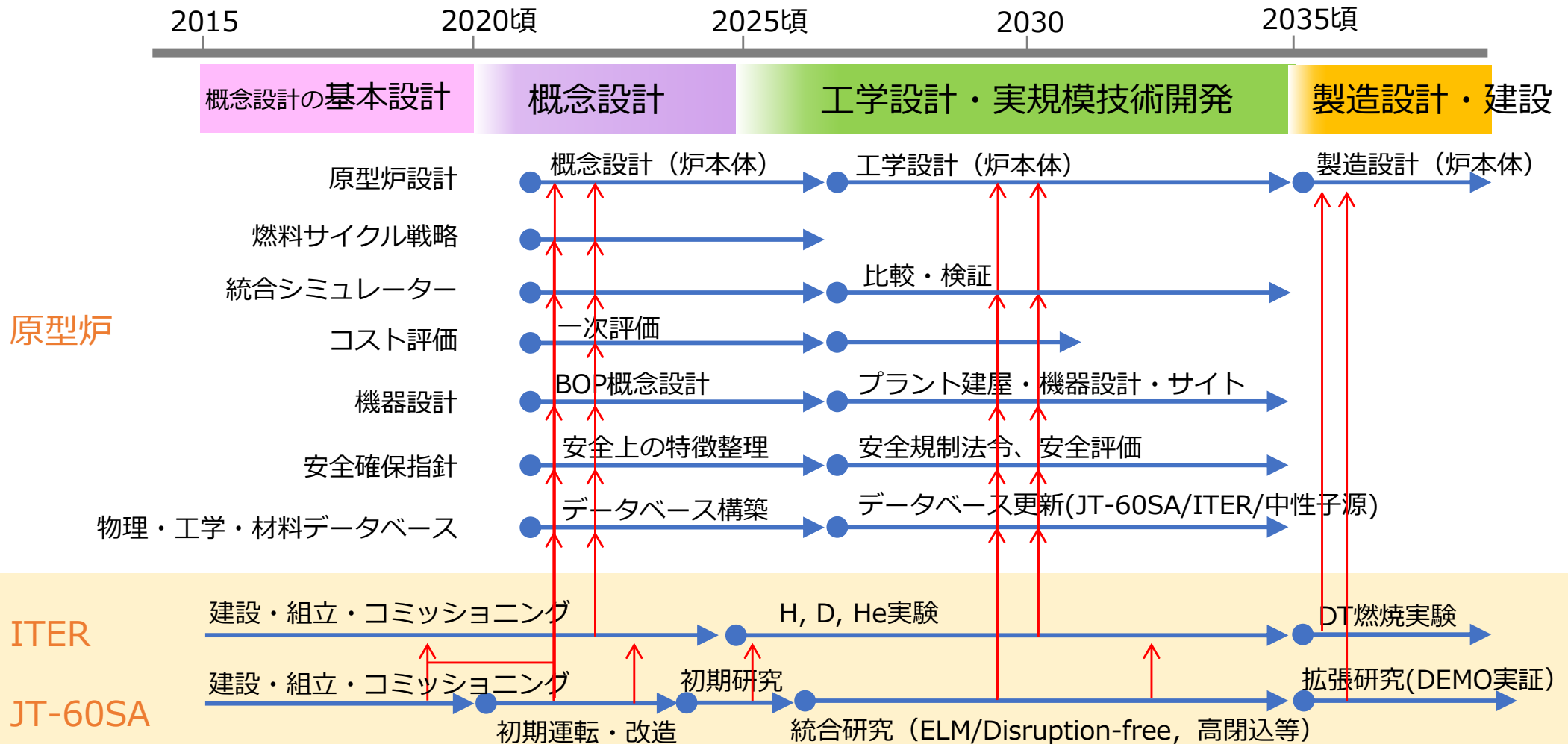
AP項目	CR2までに必要な技術 @2027	移行判断までに解決が必要 な技術@2035	第1期に実装が必要な技術 @~2045	第2期に実装が必要な技術 @~2055
炉設計	概念設計	炉本体機器 プラント機器	蓄熱（蓄電）機器 ←パルス運転対応	
超伝導	高強度低温鋼	導体・コイル開発		
ブランケット	(ITER-TBS)	接合・製作技術	初期ブランケット（低dpa）	改良ブランケット（高dpa）
ダイバータ	冷却ユニット、熱負荷試験		初期ダイバータ （低dpa）	改良ダイバータ （高dpa）
加熱・電流駆動	(ITER)		~200GHzジャイロトン EC入射系	定常NBI (1.5MeV) 光中性化セル
理論		統合コード検証		
炉心プラズマ	(JT-60SA、ITER)	ELM制御、Disrup制御、 運転シナリオ (Q=10実証@ITER)		定常運転
燃料システム	(ITER)	T取扱技術 Tシミュレーター	ペレット入射装置 初期装荷T調達	DT混合ペレット ダイレクトリサイクル
材料	予備検討	規格・基準策定（構造）		材料照射データ@20dpa
安全性	段階的な規制の考え方	V&V実験、安全規制法令、 安全審査		
保守	要素試験	遠隔保守・保全技術の検証		
計装制御	(ITER)	運転制御シミュレーター	計測器、統合制御システム	

核融合発電の実施時期の前倒しによるアクションプラン（AP）項目の変更点の確認

- 核融合発電の実施時期の前倒しに伴う目標や実施時期に対し、現行のAPの課題ごとに議論・検討を実施。
- 今回（第26回）は、原型炉のシナリオを定める「0.炉設計」を取り扱う。
- 次回（第27回）は、1.超伝導、2.ブランケット、3.ダイバータ、4.加熱・電流駆動、5.理論・シミュレーション、6.炉心プラズマ、7.燃料システム、8.核融合材料と規格基準、9.安全性、10.稼働率と保守、11.計測・制御、12.社会連携、13.ヘリカル、14.レーザー方式、加えて必要であれば、新たに追加すべき課題を取り扱う。
- 次々回（第28回）は、それまでの議論を受け、第2回中間チェックアンドレビュー及びアクションプランの見直しを行い、加えて必要であれば、原型炉研究開発ロードマップの更新について議論を行う。

統合技術開発戦略「0.炉設計」

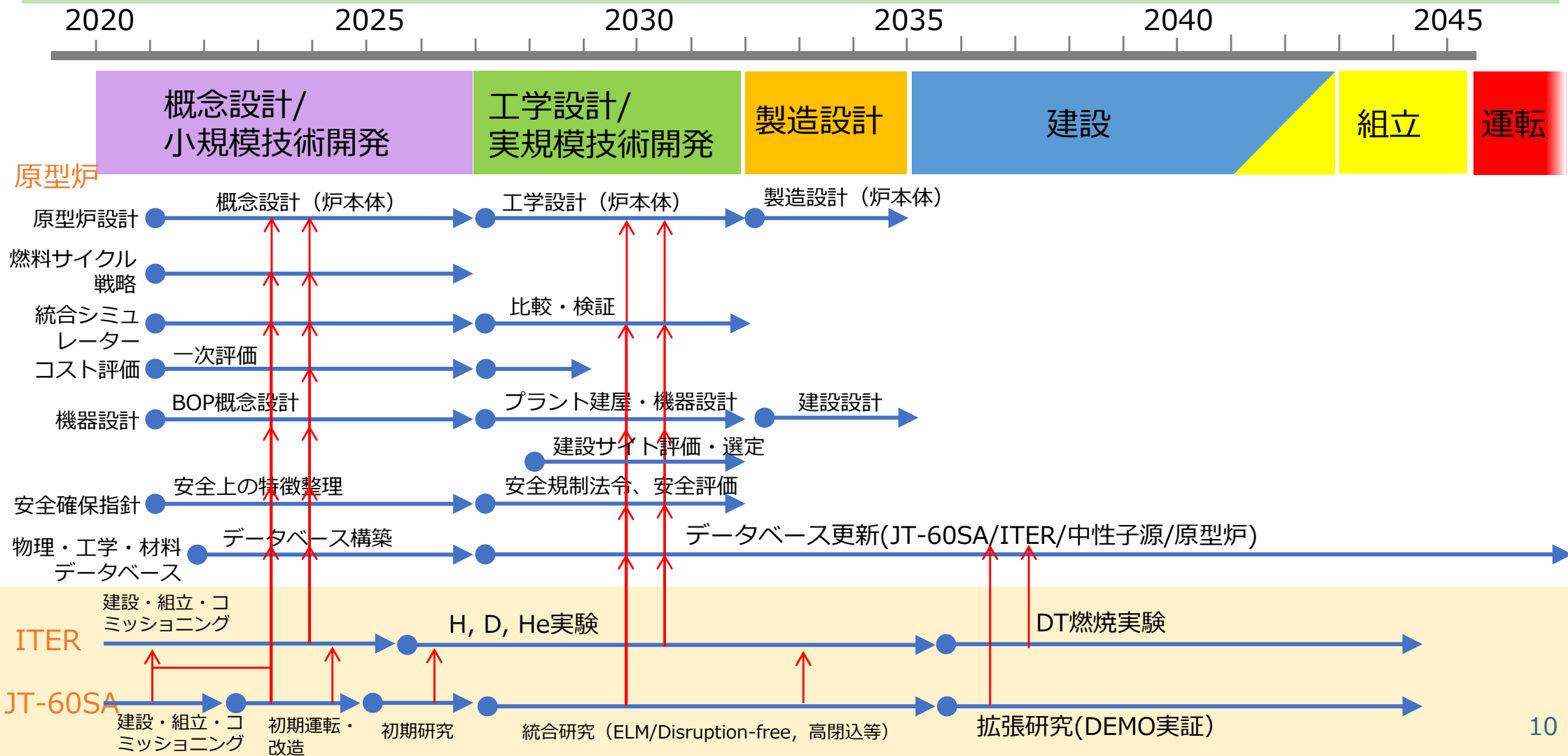
- JT-60SAやITER用に開発された技術基盤の延長に概念を構築。それぞれの機器の運転を通して検証し、原型炉設計に資する。炉心プラズマについては、JT-60SA及びITERの想定成果に基づいた概念を構築。
- 原型炉のための発電プラントや遠隔保守については、産業界の技術基盤及び運転経験を取り入れた概念を構築し、社会受容性と実用化段階における経済性を見通しを得て、炉心・炉工学技術の開発と整合をとった原型炉設計を実施する。



「0.炉設計」 前倒し案

前倒し案のポイント：

- ・ 移行判断までに製造設計を完了するため、炉本体設計を3年短縮。←ITER技術ベースにCDA段階で高水準まで進める
- ・ コスト評価、候補地選定、建設サイト評価・選定を2-3年前倒し。←製造設計の開始前に完了
- ・ 安全規制法令及び安全評価についても3年前倒し。←サイト評価に必要なため
- ・ 第1期（パルス運転）にデータベース更新を継続。←運転しながら中性子照射データを取得



チェック・アンド・レビュー項目

項目	第1回中間C&Rまでの達成目標	第2回中間C&Rまでの達成目標	原型炉段階への移行判断
① ITERによる自己加熱領域での燃焼制御の実証	・ITERの技術目標達成計画の作成。	・ITER支援研究のITER技術目標達成計画への反映。	・ITERによるQ=10程度以上の(数100秒程度以上)維持と燃焼制御の実証。
② 原型炉を見据えた高ベータ定常プラズマ運転技術の確立	・ITER支援研究と定常高ベータ化準備研究の遂行とJT-60SAによる研究の開始。	・JT-60SAによる高ベータ非誘導電流駆動運転の達成。 ・ダイバータを含む統合シミュレーションのJT-60SA等による検証。 ・JT-60SAによる原型炉プラズマ対向壁と整合したダイバータ研究計画の作成。	・ITERによる非誘導電流駆動プラズマの実現、及びITER燃焼制御の知見を踏まえた統合シミュレーションにより、非誘導定常運転の見通しを得る。 ・JT-60SAによる原型炉プラズマ対向壁と整合した無衝突領域での安定な高ベータ($\beta_N = 3.5$ 以上)定常運転領域の実証。
③ ITERによる統合化技術の確立	・ITER超伝導コイルなど主要機器の製作技術の確立とJT-60SAの建設による統合化技術基盤の確立。	・ITERの運転開始。 ・ITERの機器製作・据付・調整に関わる統合化技術の取得。	・ITERの運転・保守を通じた統合化技術の確立。安全技術の確認。
④ 原型炉に関わる材料開発	・低放射化フェライト鋼の原子炉照射データを80dpaレベルまで取得し、核融合と類似の中性子照射環境における試験に供する材料を確定。 ・核融合中性子源の概念設計の完了。	・原子炉照射による80dpaまでの低放射化フェライト鋼の重照射データの検証を完了。 ・原子炉照射によるブランケット及びダイバータ機能材料の初期照射挙動の評価、及びリチウム確保技術の原理実証。 ・核融合中性子源の建設開始、及び材料照射データ取得計画の作成。	・構造設計基準策定 ・パイロットプラント規模でのリチウム確保技術の確立。 ・核融合中性子源による低放射化フェライト鋼、並びに、ブランケット及びダイバータ機能材料の初期照射データを取得。
⑤ 原型炉に関わる炉工学技術開発	・ダイバータ開発指針の作成。 ・超伝導コイル要素技術等、原型炉に向けて早期着手を必要とする炉工学開発計画の作成。 ・コールド試験施設によるブランケット設計に必要なデータの取得。	・JT-60SA、LHD等によるプラズマ対向材特性を含むダイバータ関連データの取得。 ・超伝導コイル、ダイバータ、遠隔保守、加熱・電流駆動、燃料システム、計測・制御等の中規模またはプラント規模の炉工学開発計画の作成、並びに、これらの開発試験施設の概念設計の完了。 ・発電ブランケットの基盤技術整備、並びにITER-TBM 1号機製作と実機での安全性検証試験の完了。	・開発試験施設での成果およびITER、JT-60SA等の実績を踏まえた、超伝導コイル、ダイバータ、遠隔保守、加熱・電流駆動、燃料システム、計測・制御等の原型炉工学設計を裏付ける炉工学技術の確立。 ・ITERによるトリチウム回収及び核融合中性子源によるトリチウム挙動評価技術の検証。
⑥ 原型炉設計	・原型炉の全体目標の策定。 ・原型炉概念設計の基本設計。 ・炉心、炉工学への開発要請の提示。	・炉心、炉工学技術の開発と整合をとり、高い安全性を確保し経済性を見通しにも配慮した原型炉概念設計の完了。 ・工学設計の技術基盤確立に向けた炉心、炉工学開発課題の確定と開発計画の作成。	・社会受容性と実用化段階における経済性を見通しを得て、炉心・炉工学技術の開発と整合をとった原型炉工学設計の完了。 ・安全規制・法令規制の方針策定。
⑦ 社会連携	・アウトリーチヘッドクォータの設置。 ・アウトリーチ活動推進計画の立案	・アウトリーチ活動の推進と社会連携活動の実施。	・原型炉建設・運転に向けた社会連携活動の実施。