



原型炉設計合同特別チームの H28年度事業報告・H29年度事業計画

原型炉設計合同特別チーム

飛田 健次

特別チーム設置の経緯

- 核融合原型炉開発の拠り所

「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）

「原子力政策大綱等に示している核融合研究開発に関する取組の基本的考え方の評価について」（平成21年1月）

「核融合原型炉開発のための技術基盤構築の進め方について」（平成25年1月）

- 第37回原子力科学技術委員会核融合研究作業部会（平成25年7月）

（統合的視座をもって原型炉開発の在り方を検討するため）大型プロジェクトの実施主体である原子力機構と核融合研が中心となり、原型炉開発の技術基盤構築の中核的役割を担うチームの構築を求める → 「**合同コアチーム**」発足（平成25年7月）

- 合同コアチーム報告書（平成26年7月、平成26年9月改訂）

✓ 複合的な視点を持った多彩な人材からなる設計チームの強化が必要

✓ 炉設計活動に相当規模の資源を投入して体制を拡充し、早急に強化

- 合同コアチームの報告を受け、第42回核融合研究作業部会（平成26年8月）、第43回核融合研究作業部会（平成27年1月）の審議に基づき、

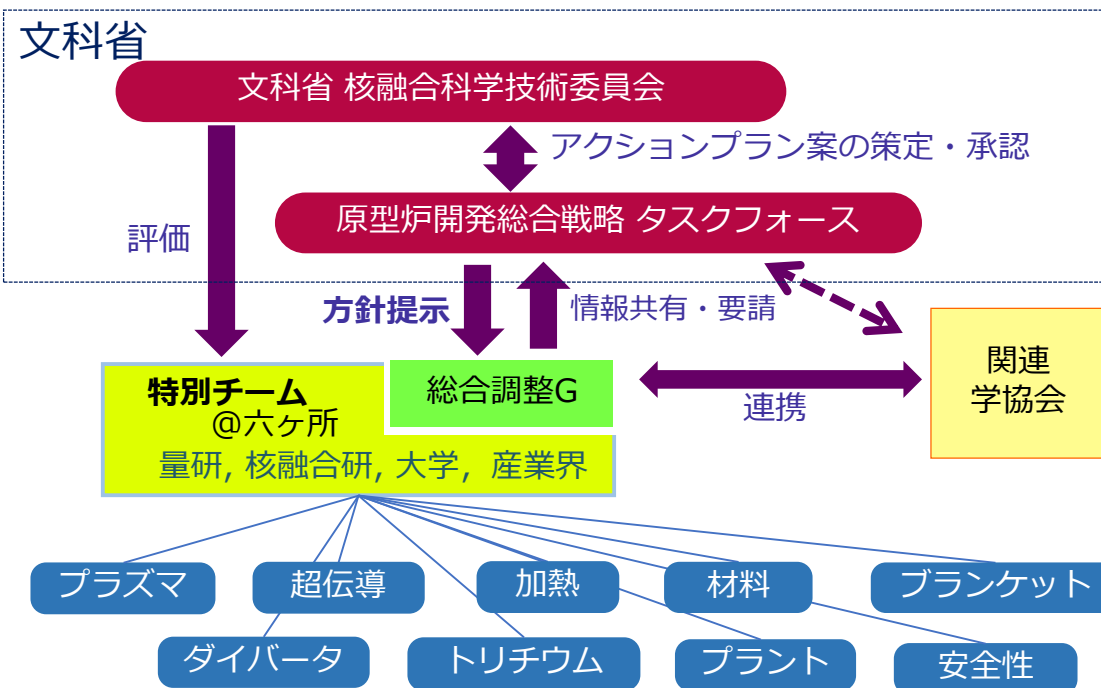
核融合原型炉設計活動に早急に取り組むために産業界・核融合研・大学等の参画を得て、平成27年6月、原型炉設計合同特別チームを量研 六ヶ所核融合研究所に設置

特別チームの枠組と構成

TFの方針提示に基づき、原型炉設計開発活動を実施

- オールジャパン体制で
- 研究機関、大学、産業界が問題意識と戦略を共有し、一体となって課題解決

➡ 現在、産学を含む82名のオールジャパン体制
 量研 25, 核融合研 3, 大学 25, 物材機構 2, 産業界 27



TFの方針提示（アクションプラン）に基づき、原型炉設計開発活動を展開

第1回中間C & Rに向けた取組

研究機関、大学、産業界が問題意識と戦略を共有し、
一体となって課題解決に向けた研究開発を推進

- ✓ 原型炉の運転計画
- ✓ 原型炉の基本概念、概略パラメータ
- ✓ 原型炉システムを構成する機器・設備とそれらの技術仕様
- ✓ コスト概算（一次評価、合理化は中間C & R以降）
- ✓ 安全設計指針
- ✓ 放射性廃棄物の管理処分シナリオ
- ✓ 原型炉概念確定のため早期に実施すべきR&D課題の抽出
- ✓ トリチウムを含む資源調達戦略
- ✓ 原型炉材料等のデータベース拡充

H28年度の活動概要

- 平成28年度は技術会合を30回以上開催（延べ400名出席）、産学共創の場の拡大に注力
- 設計ガイドラインの合意形成、TFアクションプランの具体化のため、チーム外の専門家を含むワーキンググループを設置
 - ✓ 超伝導コイルWG - 超伝導コイルの設計方針
 - ✓ 運転計画WG - 運転計画から設計要求
 - ✓ ブランケットWG - ITER-TBM計画と原型炉の連続性
 - ✓ ダイバータ物理検討WG - アクションプラン具体化
 - ✓ 理論シミュレーションWG - アクションプラン具体化
- 原型炉の基本概念設計、機器設計、材料DB拡充など、アクションプランに沿った設計作業・R&Dを実施
- 大学等の参画拡大のため、共同研究提案を公募。応募案件を審査し、平成29年度実施を準備
- 始動した特別チーム活動のRPのため、国際会議等で講演



理論シミュレーションWG（平成28年12月）



IAEA ワークショップで基調講演
（2016年11月、ドイツ）

主な会合

2015						2016						2017									
6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3

● 全体会合# 1 ● 全体会合# 2 ● 全体会合# 3 ● 全体会合# 4 ● 全体会合# 5

BA設計レビュー会合

原型炉設計情報の共有

WG活動

設計方針・ガイドライン

メーカー報告会



年次報告書 pp.90

2015年次報告書

★ 全体会合# 5



第5回全体会合（2017年3月）

超伝導WG

報告書作成

ブランケットWG

運転計画WG（第1期）

報告書作成

ダイバータ物理WG

シミュレーションWG



第1回全体会合、2015年6月



第1回ダイバータ物理検討WG、2016年12月

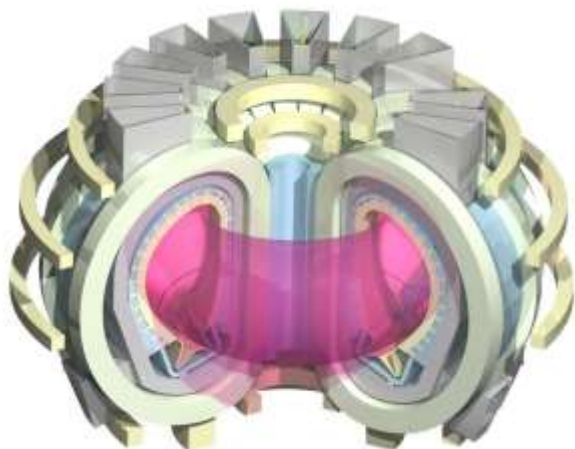
WGの主な活動内容

超伝導コイルWG	<p>ITER用超伝導コイルの製作経験を踏まえ、原型炉に向けた超伝導コイルの設計ガイドラインを決定 → 終了</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コイル製作公差緩和（技術的困難の回避、コスト抑制） ・Nb₃Sn主案とすることを推奨 ・高耐力（～ 1,200 MPa）低温鋼開発を推奨
運転計画WG	<p>原型炉運転中に実証すべき技術・取得データを時系列で展開した運転計画素案を策定 → 第1期終了</p> <ul style="list-style-type: none"> ・起動～定格運転までの初期試験項目多く、最短でも3年越 ・トリチウム調達計画が初期運転スケジュールに大きな影響 ・ダイバータ熱集中回避のため、低出力の段階から高密度運転
ブランケットWG	<p>原型炉ブランケット設計の基本方針を議論</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ITER-TBMと同様、冷却管破断時の過圧に耐える筐体を要求 ・局所熱集中を含めた表面熱負荷評価の重要性を確認
ダイバータ物理検討WG	<p>第1回会合を開催。今後の作業項目、スケジュール、役割分担を協議</p>
理論シミュレーションWG	

原型炉概念設計の作業方針

出発点

BA原型炉設計 JA Model 2014



主半径 8m級、核融合出力~1.5 GW

主半径/小半径	8.5 m / 2.4 m
楕円度 / アスペクト比	1.65 / 3.5
核融合出力	1.4 GW
プラズマ電流	12.3 MA
中心トロイダル磁場	5.9 T
最大トロイダル磁場	12.1 T
平均中性子壁負荷	1 MW/m ²

→ 第1段階：
「システムとしての整合性」に重点

APIに沿った炉概念検討

炉概念、機器の概略仕様、運転計画、R&D課題

工学的成立性

システム整合性（高パワー、燃料生産、稼働率）

核融合の長期戦略

社会受容性（温暖化抑制に貢献、コスト、資源）

原型炉の全体計画

アクションプランの実施状況（1）

課題名	AP項目：【特】が実施主体のもの	実施状況
0. 炉設計	物理・工学ガイドライン(15-19) 基本概念設計 (15-19) 燃料サイクル戦略 (16-26) コスト評価 (18-31) 原型炉TBM目標 (15-19) 安全確保指針 (16-19)	WGにより、超伝導コイルのガイドラインを策定 継続中（BA 2014年モデルをベースに作業） 初期運転用トリチウムの調達法を評価中 コスト概算モデルを改良中 未着手 。H29年度共同研究を活用し着手 仮想事故に対する安全解析を継続
1. 超伝導コイル	SC概念基本設計 (15-19) 超伝導線材検討 (15-19) 冷却系概念基本設計 (15-19)	ITER方式（RP方式）、代替方式を並行して検討 主案は Nb ₃ Snと判断。代替案も予備的に検討 未着手 。H29年度以降、検討予定
2. ブランケット	ブランケットシステム概念 (15-26) 先進ブランケット概念検討 (15-26)	予備検討を実施済。H29年度から重点的に取り組む 未着手 。H29年度共同研究を活用し着手
3. ダイバータ	中性子照射材のダイバータ試験計画 (16-26) 排気装置の検討 (16-26)	未着手 。（フォーラムダイバータWG活動マター？） 初期検討を実施（排気ポート、排気系の配置案）
4. 理論シミュレーション	工学基礎コード群の開発・利用 (15-19) プラズマ応答特性 (15-19)	開発中（表面熱負荷、損耗）設計用コードを開発 燃料ペレット評価に活用

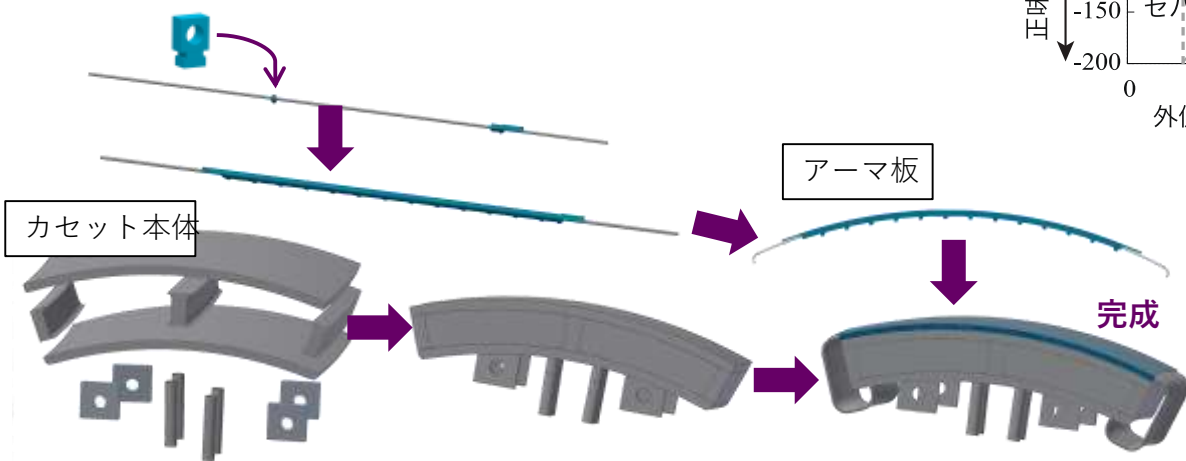
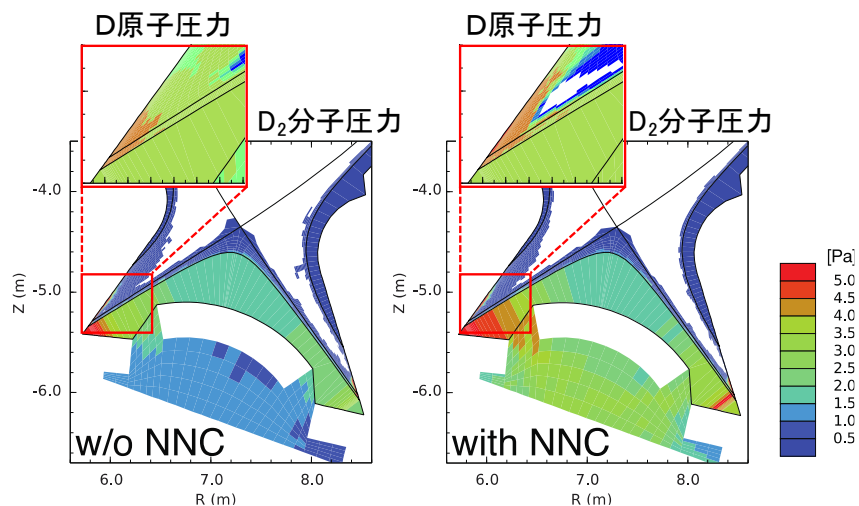
アクションプランの実施状況（2）

課題名	API項目：【特】が実施主体のもの	実施状況
5. プラズマ設計	物理設計と炉心パラメータ設定 (15-19)	ダイバータを除くと部分的に実施。今後、強化予定
6. 燃料システム	燃料供給シナリオ (15-18) 燃料インベントリー評価 (15-18)	プラズマへの供給を評価済 未着手 。H29年度共同研究を活用し着手
7. 核融合材料	先進材料の利用方法を明確化(15-26)	未着手 。H29年度共同研究を活用し着手
8. 安全性	安全上の特徴整理 (15-16) 機器故障のシナリオ確立 (15-26) 安全性評価コードの開発 (15-31) トリチウム規制目標調査・検討 (15-19)	大規模事故と単純な影響緩和系について評価済 未実施。プラント機器概念の具体化後に実施予定 基本設計段階の評価に有用なコードは整備済 未着手 。H29年度以降に検討
9. 稼働率と保守	保守方式暫定 (15-17) 炉構造・パラメータ決定 (15-17)	主案はバナナ方式。遠隔保守の機器概念を検討中 機器概念の成果を踏まえ、H29年に炉構造を改訂

ダイバータ

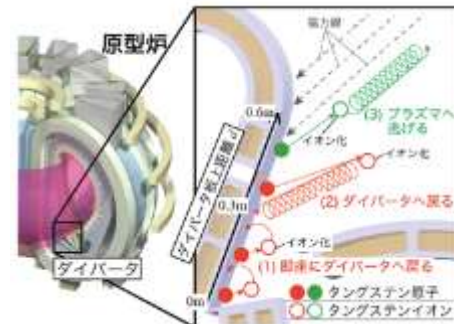
中性粒子間衝突モデルの構築

中性粒子間衝突効果によりサブダイバータ領域の分子圧力が上昇 (3倍弱)、非接触の様相に変化

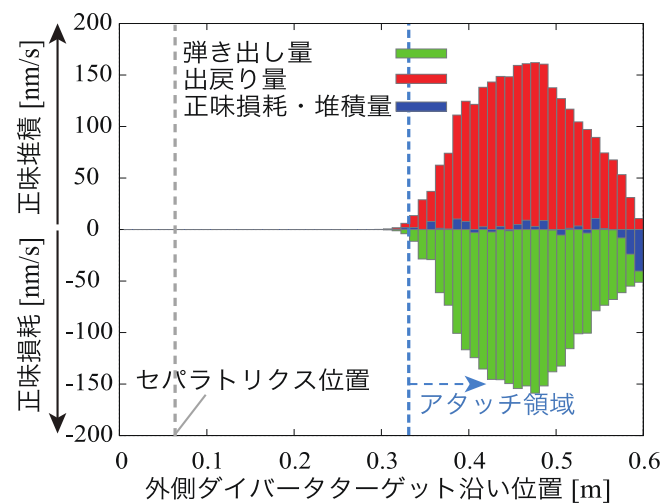


ダイバータ対向材の損耗評価

弾き出されたタングステンのほとんどが (ポロイダル投影断面で) 元の位置に再堆積、損耗が大幅に抑制される可能性



弾き出された
タングステンの挙動



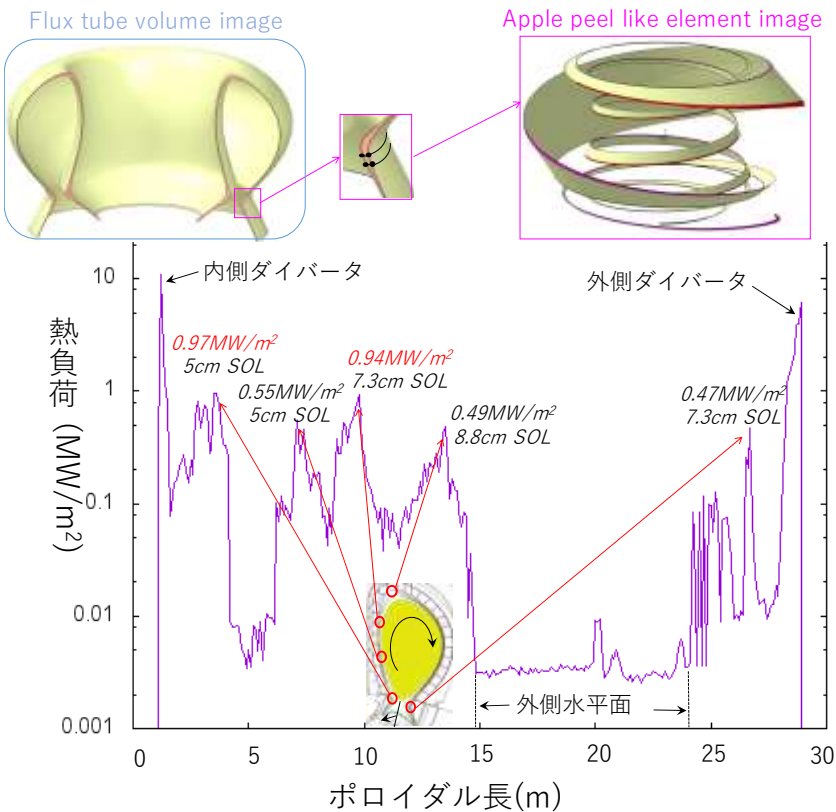
ダイバータ組立手順

部品の接合箇所・接合法を考慮して組立手順を検討

増殖ブランケット

表面熱負荷解析コードを開発

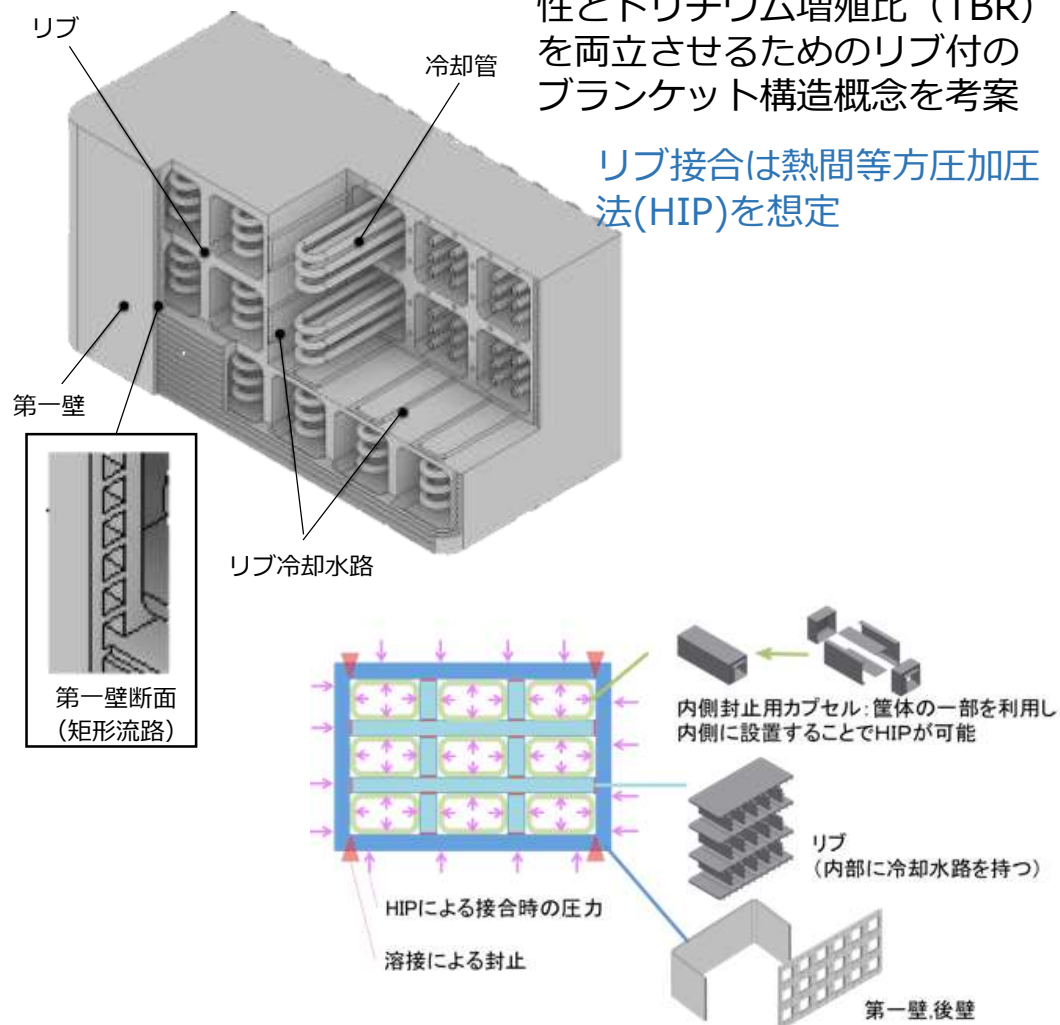
スクレイプオフ層(SOL)の磁力線に沿ったプラズマ熱流解析モデルを考案、表面熱負荷評価コードを開発



ブランケット筐体組立方法

冷却配管の破断に対する耐圧性とトリチウム増殖比 (TBR) を両立させるためのリブ付のブランケット構造概念を考案

リブ接合は熱間等方圧加圧法(HIP)を想定



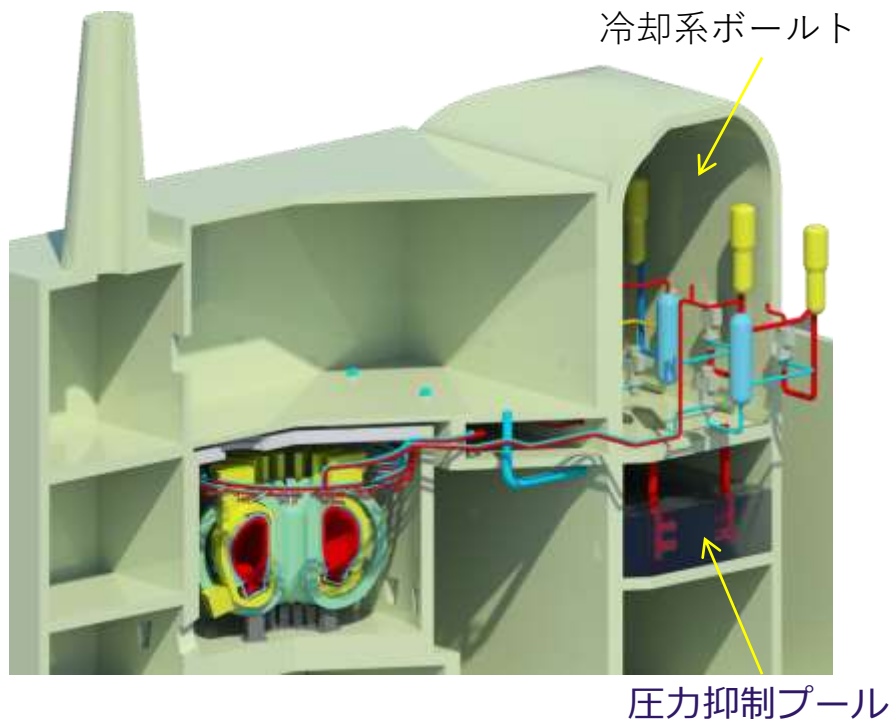
安全確保方策

仮想事故評価に基づく閉じ込め方策

- 建屋に対する圧力抑制系を採用
- 閉じ込め方式 (格納容器なし)

緊急退避不要となる条件を満足

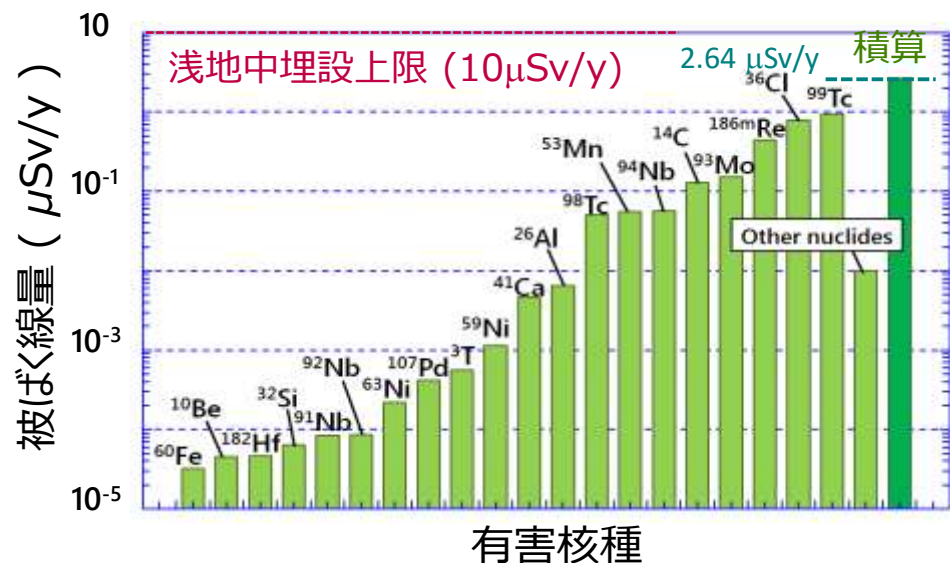
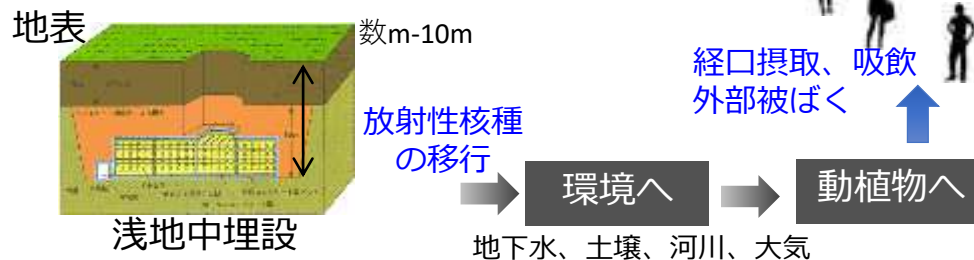
早期被ばく 100 mSv (IAEA推奨値) より十分小



放射性廃棄物区分と処分

すべての廃棄物はLLW、浅地中埋設条件を満足

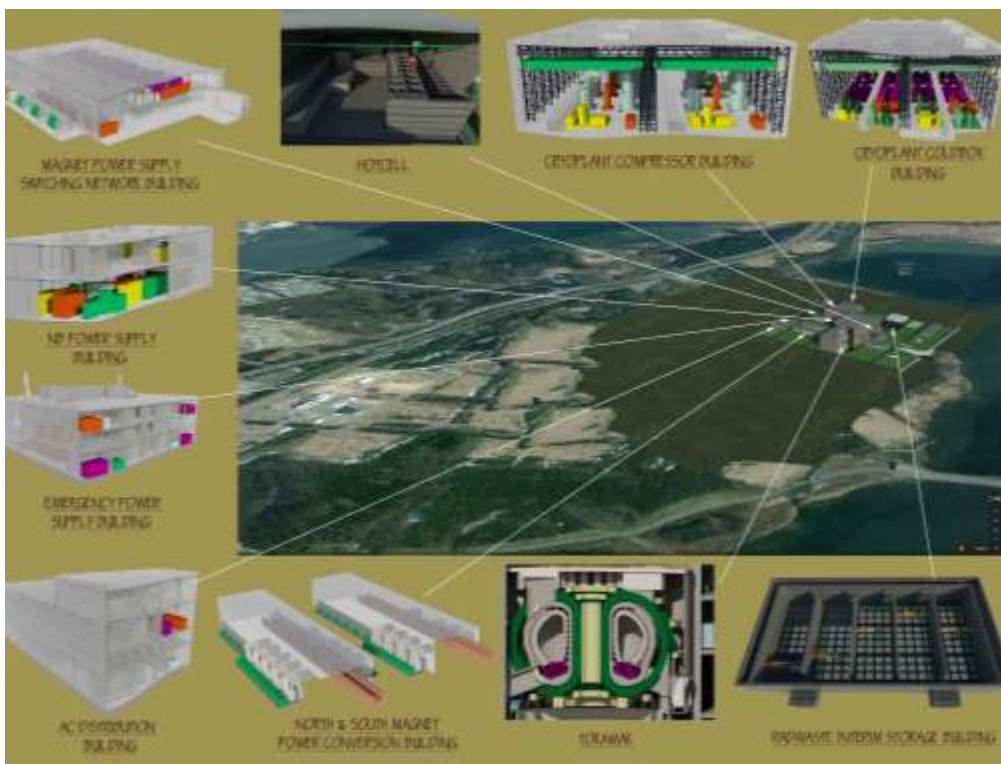
- 生成約1200核種から有害核種を分析
- 有害核種の浅地中移行解析



H28年度の成果（4）

プラント配置図

原型炉プラントの全体像を把握するため、冷却系・発電系、電源系、ホットセル、廃棄物関連施設などの検討に着手、初期結果に基づいてプラント設備を再配置



2015年版

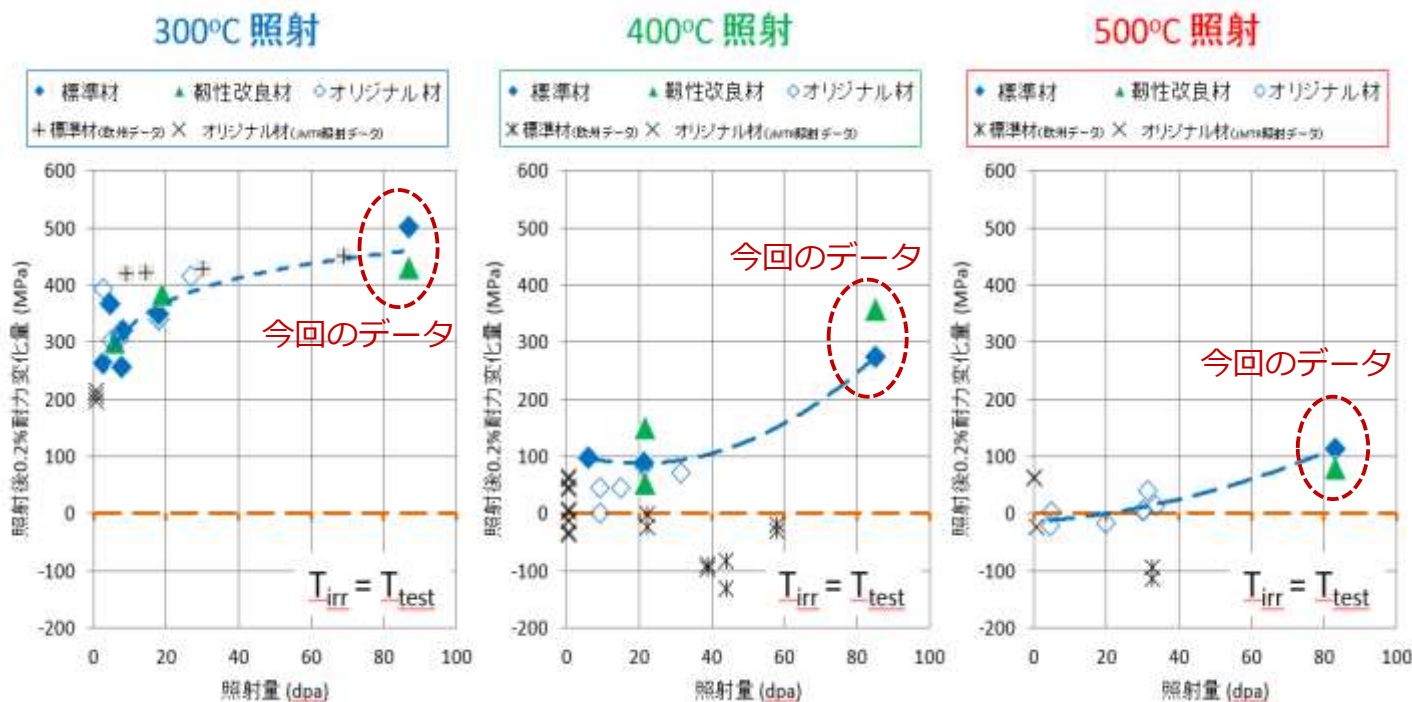


2016年版

H28年度の成果（5）

中性子重照射による低放射化フェライト鋼の特性変化を評価

- 米国ORNLと協力、HFIR炉での中性子重照射試験を継続
- 低放射化フェライト鋼F82Hの80 dpa照射データ（300, 400, 500°C）を取得
 - ✓ 低温（300°C）で80dpaまで照射されたF82Hは、低照射量（20dpa）と比べてさらなる硬化、改良材（MOD3, Ta: 0.047→0.1wt%）で劣化が抑制される傾向
 - ✓ 世界で初めて取得された高温（400、500°C）照射データは、高温においても若干の硬化

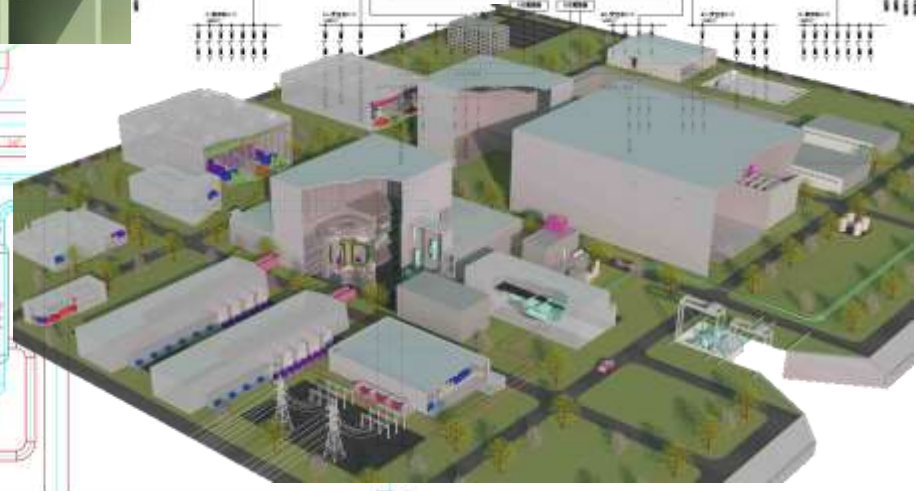
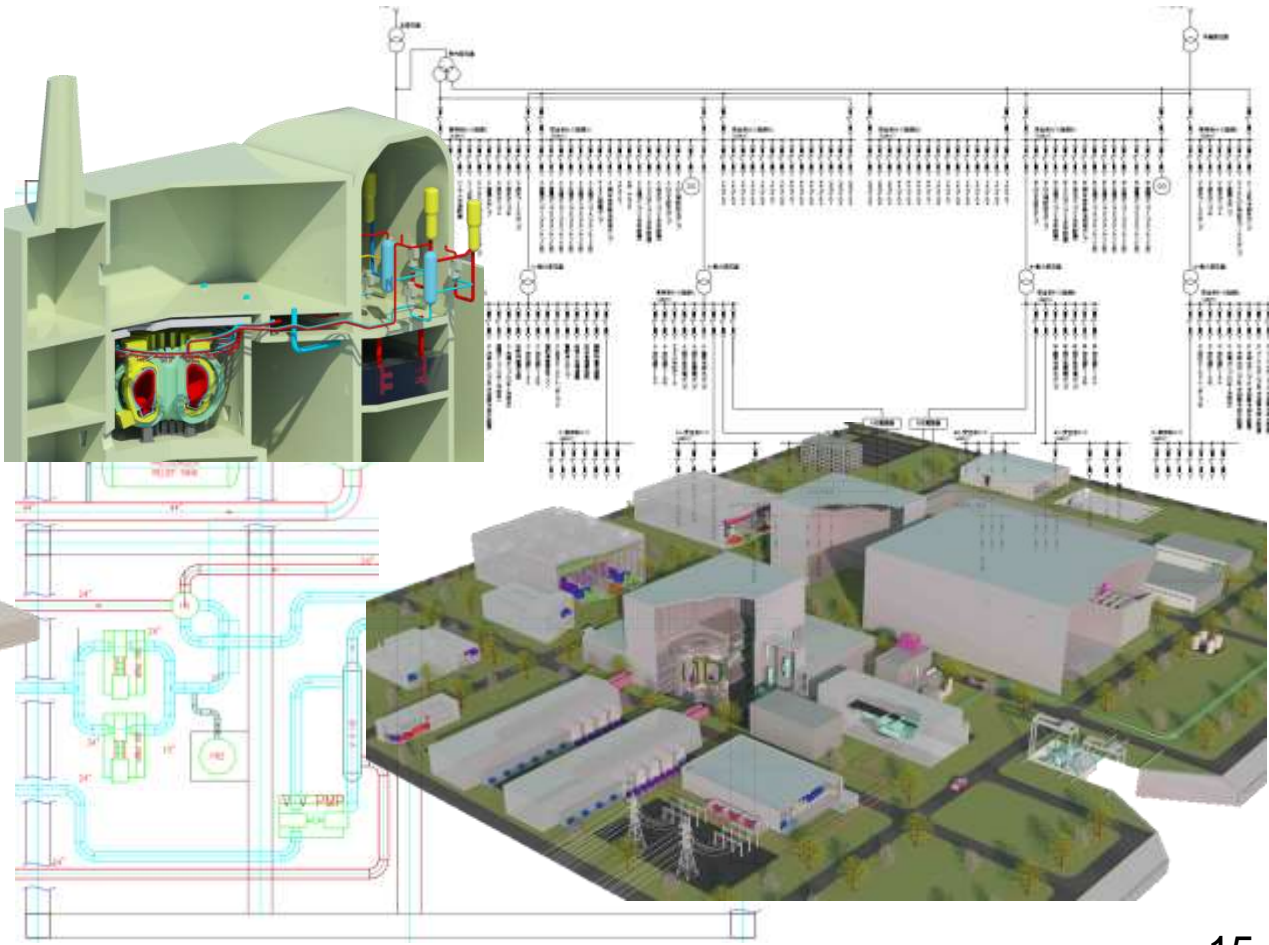
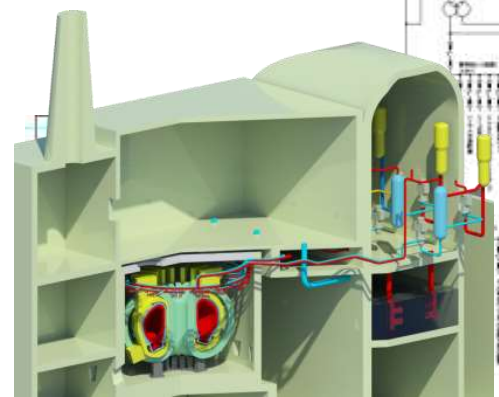
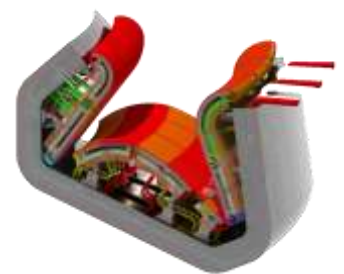
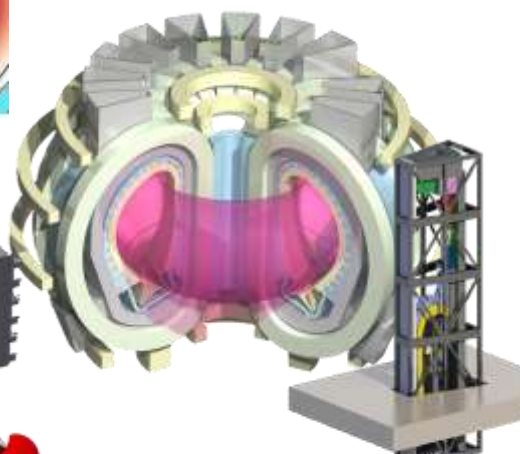
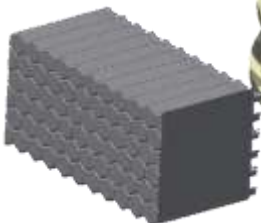
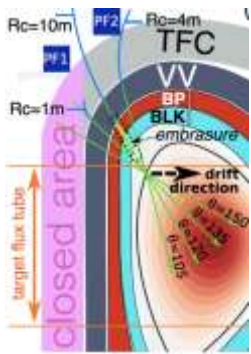


作業の重点

1次統合による整合性確認



- 機器・設備間の不整合
- 検討の遅れている機器・技術の検討加速
- 概念修正の方向性



TFアクションプランに沿って設計活動等を実施する。特に、以下の課題を重点的に実施。

炉概念	<ul style="list-style-type: none"> ● 機器間の整合性確認のための1次設計統合
機器設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 炉構造と整合する増殖ブランケット概念（トリチウム充足性と耐圧性の両立）
プラズマ物理設計	<ul style="list-style-type: none"> ● プラズマ分布・電流駆動解析に基づく運転シナリオ案 ● 非接触プラズマのパラメータ依存性（形状、不純物、密度など）
プラント設備	<ul style="list-style-type: none"> ● 建屋区画・機器配置概念の構築
安全設計指針	<ul style="list-style-type: none"> ● 仮想事象に対する事故防止・影響緩和方策の検討を継続 ● 安全機能を有する構築物、系統、機器の重要度分類
放射性廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射性廃棄物取扱い設備の機能分析に基づく、施設概念の具体化 ● 放射性廃棄物の減容化に向けたシナリオ
社会受容性	<ul style="list-style-type: none"> ● パリ協定を想定した世界エネルギーシナリオにおける核融合の役割の分析

特別チームによる共同研究（公募型）

- 目的

幅広い課題を含む原型炉開発に向けたアクションプランを大学・研究機関等の自発的な参画・責任分担のもとで実施するため

- 経緯

原型炉開発総合戦略タスクフォース（第11回、平成29年1月）において報告「原型炉設計合同特別チームに係る共同研究公募について」

- 応募受付：平成28年12月26日開始、平成29年1月16日締切
（量研 六ヶ所核融合研ウェブサイトに掲載、受付）
- 公募テーマ：原型炉設計・核融合炉構造材料・理論シミュレーションに関する10課題
- 選考：量研 核融合炉工学研究委員会原型炉設計・工学R&D専門部会（平成29年1月30日）

- 採択結果

原型炉設計 9件、核融合炉構造材料 4件、理論シミュレーション 2件

H29年度共同研究の採択案件

#	区分	研究テーマ名	相手先
1	共同研究	原型炉タングステンダイバータの非定常熱負荷による溶融挙動と蒸気遮蔽効果	大阪大、レーザー総研
2	共同研究	原型炉における熱・粒子制御に関する物理課題の検討とモデル化	名古屋大、核融合研、信州大、慶應大、筑波大、九州大、岐阜高専
3	共同研究	原型炉の炉心プラズマの性能評価	名古屋大
4	共同研究	原型炉における電子サイクロトロン電流駆動効率の改善と入射システムの検討	京都大、九州大
5	共同研究	原型炉における先進ブランケット初期概念の検討	核融合研、京都大、東北大、東工大、九州大
6	共同研究	核融合原型炉で発生する放射性廃棄物の管理シナリオに係る検討	福井大、近畿大
7	共同研究	原型炉におけるトリチウム蓄積量の予測および実時間トリチウム除染法の検討	核融合研、富山大、静岡大、九州大、大阪大、茨城大
8	共同研究	表面制御による核融合炉材料中のトリチウム透過低減技術開発	静岡大
9	共同研究	高温高圧水と金属との界面における水素輸送モデルの構築と検証	近畿大、九州大
10	共同研究	微小引張試験片の破壊の支配因子解明に関する検討	岡山大
11	共同研究	中性子照射試験に向けた微小試験片による疲労試験技術の開発	東北大
12	共同研究	微小試験片による破壊靱性の評価および試験指針の検討	大阪大
13	共同研究	低放射化フェライト網のクリープ特性に及ぼす試験片寸法の影響	核融合研
14	共同研究	原型炉における不純物制御に向けた統合輸送シミュレーションスキームの開発	九州大、京都大
15	共同研究	内部輸送障壁形成に関する大域的ジャイロ運動論シミュレーション	京都大

(1件あたりの配分額：研究内容・グループの規模に応じて、30万円～220万円)

このほか、委託研究として以下を計画中

- ・極低温用構造材料の高強度化に関する基礎データ取得
- ・パリ協定を想定した世界エネルギーシナリオにおける核融合の導入ポテンシャルと役割
- ・核融合原型炉用超伝導コイルに関する技術調査



予算状況 (H28年度実施及びH29年度計画)

- 原型炉設計活動は、幅広いアプローチ活動（BA活動）の原型炉設計R&D活動（日欧合意の課題を実施）とそれを補う特別チームの活動によって全体が網羅される
- 今後は、取りまとめ段階にあるBA原型炉設計R&D活動の成果を継承しつつ、大学等との委託・共同研究、企業参画による技術検討を活用しながら、オールジャパン体制でアクションプランに沿った原型炉設計活動を実施

予算額[百万円]

