

課題名： 炉設計

報告日：平成30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
炉概念と建設計画	(15)特：物理・工学ガイドライン	19	※	特	工学分野に関して、各コンポーネントに関する設計ガイドラインの取りまとめに着手。	順調	主要物理課題並びにキーコンポーネントから優先的に実施中。	
	基本概念設計	19	※	特	各主要コンポーネント（BLK、DIV、VV、SC等）の仕様明確化に向け検討中。 トカマク核融合炉設計システムコードTPCの改良。	順調	概ね設計は見えつつある。 炉サイズの決定にはまだ検討の余地がある。	
	燃料サイクル戦略	26		特/TF	特) 初期装荷トリチウム入手手法を検討中。燃料サイクルシステム設計については検討着手。 TF) 本フォローアップにて確認	順調	26年に向けて進展中。	
	統合シミュレータ	26		Q/N/大/特	Q)平衡制御シミュレータMECSの開発を進め、3次元渦電流を考慮するように改良予定。機械学習を用いたPID制御手法を開発中。ダイバータ、ディスラプション関連も開発中。 N、大、特は上記に協力	順調	全体統合へ向けて取り組みが必要	
	コスト評価	31		特/産	特) システムコードレベルのコスト評価モデルを改良。 物量コスト/製作コストの分離、ITERに無い発電所としての機器も含めたモデル構築を実施。 産) プラントモデルの構築に寄与	順調	産業界との連携して進めているが、情報開示の制約のためコスト積算の詳細化には課題有り	
機器設計	SC概念の基本設計	19	※	特/Q	特) ITER方式に基づき、低温構造材の設計耐力の向上を前提とした基本概念を検討中。 Q)特と協力	順調	コスト低減のためITER以外の方式(ラジアルプレートを使わない方式)の概念検討も必要	全体概念を確認するには、産業界からのさらなる参画が必須
	原型炉TBM目標	19	※	特/Q	特) 共同研究にて、先進ブランケットの概念の整理に着手。 Q)特と協力	加速が必要	今ある概念を比べるだけでなくTBM用として判断条件と制約条件が必要	合理的な目標設定のためには、先進ブランケットの技術的成立性の検討も必要 N・大の参画が必要
	BOPを含む機器構成案	19	※	特/産	特/産) 主熱輸送系（1次系、タービン系）、電源系の概念素案を構築。	順調	核融合特有のプラントシステムについてさらに検討を進めるべき	
安全確保指針	安全確保方針案	19	※	特/産	特/産) 2018年度に着手予定。	加速が必要	安全性を担う人材が不足	中長期的な視点に立った人材の確保・育成が必要
物理・工学・材料DB	原型炉物理DB 工学・材料DB	26		Q/大/F/特	Q) 様々なトカマクの物理DBにJT-60SA及びITERのデータを加えることで対応予定。 材料DBについては、300、400、550°Cの疲労データ及び板材衝撃特性の異方性に関するデータを拡充。 今後特性の確率関数を与えうるだけのデータ整備を進める。 大) 共同研究で材料DBに参加 F) とくになし 特) とりまとめを予定	順調	確率分布に基づく構造健全性の確保手法は日本独自のアイデア。 合理的な手法であるため世界標準になる可能性があり、今後に期待できる。	今後大量の照射後試験データ取得が必要なので、そのための予算処置が必要

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要 完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
SC設計	SC概念基本設計	19	※	特/Q/産	特) ITER方式に基づき、低温構造材の設計耐力の向上を前提とした基本概念を検討中。 Q)特と協力	順調	コスト低減のためITER以外の方式(ラジアルプレートを使わない方式)の概念検討も必要	全体概念を確認するには、産業界からのさらなる参画が必須
	超伝導線材検討・主案選定	19	※	特/Q/N/物/ 大	特) Nb3Snを主案に選定。 Q) CSモデルコイルを用いたITER TFコイル導体のインサートコイル試験結果待ち	順調	ITER TFコイル導体の試験結果の評価が必要	
	R&D計画の策定	19	※	特/Q/大/産	超伝導コイルWG内で予備的な検討を実施済み	順調		
超伝導体・コイル試験	超伝導体試験設備検討	19	※	Q/N/特	最大磁場、最大電流などの仕様策定準備	順調	必要磁場、導体の最大経験磁場、絶縁電圧などの基本仕様の作成が必要	
高強度構造材料・耐放射線絶縁材料	高強度構造材料検討	19	※	Q/物/特	物材機構、NIFSの専門家に検討依頼中	順調	HRX-19の機械的特性評価中	
	耐放射線絶縁材検討	19	※	Q/特	KEK、NIFSの専門家に検討依頼を計画中	順調		
関連BOP (冷却系、コイル電源)	冷却系、コイル電源概念基本設計	19	※	特/Q	概念設計を実施中	順調	コイル熱負荷、コイルの最大電流、最大電圧、絶縁電圧などの基本仕様の作成が必要	

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
固体増殖・水冷却ブランケット	基礎・標準データベースの構築	35		Q/特	ITER-TBM冷却水中のトリチウムと放射化腐食生成物濃度の評価報告書をITER機構に提出。構造材、機能材のデータベース作業実施中。	順調	データベース作業は着実に進んでいる。	不足するデータについて、新たに取得するための措置が必要である。
	原型炉ブランケットシステムの概念基本設計	19	※	特/Q/産	箱形リブ付きBLKと円筒型BLKを平行して検討中。耐圧性に有利な円筒形状を採用した筐体について遮蔽性性能、トリチウム増殖性能の評価に着手。	加速が必要	トリチウム増殖性能から求められる増殖増倍材料のスペックを早期に明確化する必要がある。	概念基本設計をC&Rまでに終了させるためには、加速が必要である。
	ITER-TBM製作実績	35		Q	(18スタート)		-	-
	TBSと補完試験装置の設計と試験計画、及びコールド試験施設によるデータ取得	21		Q	熱負荷試験装置、高温高圧水噴出試験装置の概念設計に着手。	加速が必要	実施計画は国内の専門家で構成されるQSTの諮問委員会において承認されるものの、計画を加速する必要性が指摘された。	施設整備の加速が必要。
	トリチウム工学試験の計画と設備設計	21		Q	ITER-トリチウム除去系(DS:安全系)の設計は、ITER機構と実施中。トリチウム工学試験計画は未着手。	加速が必要	ITERのトリチウム除去系の設計は順調であるが、トリチウム工学試験計画の策定は加速する必要がある。	国内とITERにおけるトリチウム工学試験の役割を詳細化する必要がある。
先進ブランケット	特/N/大:原型炉TBMのための先進ブランケット概念検討と素案提示	26		特/N/大	共同研究にて、先進ブランケットの概念の整理/詳細化に着手。	加速が必要	先進ブランケットの各概念の課題については整理を進めているが、原型炉条件を模擬した磁場下熱流動、構造解析等の数値計算、定量評価には至っていない。	磁場下熱流動数値計算の早急な立ち上げ。
	小型試験体製作、機能・特性試験	26		N/大	未着手	加速が必要	未着手	ブランケット概念検討活動でのある程度の概念選択の方向性決定、及び、統合循環ループ試験で試験体検討に必要な基礎データ取得が必要。2年程度はかかるかと予想。
	実環境相当の統合循環ループ試験	31		N/大	中性子以外の環境を模擬する液体金属/熔融塩統合循環ループ装置Oroshhi-2を用い、磁場下熱流動試験、腐食試験(磁場印加可能)、水素同位体回収・透過抑制試験を立ち上げ、もしくは、立ち上げ準備中。	加速が必要	試験実施項目が増えつつあるが、ブランケット概念検討に必要な冷却材の磁場下熱流動特性に関するデータ取得を急ぐ必要がある。	加速の観点からは、装置稼働に携わる研究・技術職員の増員努力。

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
ダイバータ開発目標の整合性確認と炉設計への適用	W水冷却ダイバータ機器の原型炉適用性の判断	18-26		特/Q/N/大	(特) ITERベースによるダイバータ概念の構築を 実施中 (Q)実施中	順調	W/銅合金が使用可能ならば、ITERと同等な技術で対応可能である。ただし、W/銅合金が使用できない場合は、根本的な再検討が必要となる。	ITERダイバータの妥当性を実機で確認する。
	先進ダイバータの評価と開発推進の判断	15-19		特/Q/N/大	(特) 先進磁場構造に関する検討は完了。 (大/N) 日米科学技術協力事業核融合分野プロジェクト研究PHENIX計画のもと、ジョージア工科大学の高温高圧Heループを用いた熱伝達試験を行い、Heガス衝突噴流冷却による熱伝達メカニズムと課題を明らかにした。	順調	時点では、W水冷却ダイバータ機器の許容熱負荷に合わせてプラズマにおける放射割合を決めている状況。DEMOの初期ダイバータ以降のためには、先進ダイバータの継続的な検討が必要。	DEMOの初期ダイバータ以降のためには、先進ダイバータの検討を継続する。
	中性子照射材料・機器の熱負荷試験装置の開発とコールド試験	16-26		Q/N/大/特	(Q)未着手 (大)日米共同研究で中性子照射W中のT挙動を評価。高温中性子照射についても進捗中	加速が必要	ホットラボにおける熱負荷装置の必要性の指摘はなされているが、まだ計画の段階にも無い。	早急に、ホットラボへの熱負荷試験装置の設置の検討をする実施者を定める必要がある。
プラズマ運転シナリオ	ダイバータプラズマシミュレーション開発	16-26		Q/特/N/大	(Q/特)特別チーム理論シミュレーションWGにて、詳細開発計画を策定中。定常運転時のダイバータモデリングを実施中。SONICを多種不純物化し、JT-60SAで検証予定。 (大)ディスラプション等の非定常熱負荷印加時の蒸気遮蔽効果について、PICシミュレーションの開発と、SONICとの結合を実施中	加速が必要	シミュレーションコードの開発は進められているが、その妥当性の検証は不十分。精度の高い予測のためには実験による検証が必要である。	実験結果でのシミュレーションモデルの検証を行い、シミュレーションコード開発に反映する。また、これらを行う人的措置が必要。
	ダイバータ級定常高密度プラズマ実験装置の開発と実験	16-26		Q/N/大/C3	(特)ダイバータWGにて議論中 (C3)原型炉ダイバータ級定常高密度プラズマ装置の実現に向けて必要となる外挿性の高いデータベースを得ることを目標として、新たな装置(パイロット装置:Pilot GAMMA PDX-SC [仮称])の建設に向けた準備を進めている。 (C3) GAMMA10/PDXの開放端磁場配位を活用したダイバータ模擬実験において、高温プラズマを用いた非接触プラズマ生成・制御実験とモデル(LINDA, B2-EIRENE, 中性粒子輸送)検証・開発を進めることにより、パイロット装置設計に資するプラズマ加熱手法や高密度プラズマ生成に関わる予備的な実験を行っている。 (大)NIFS共同研究として東北大金研にCDPS装置を開発し、設置。データが得られつつある。中性子照射材での実験も開始した。	加速が必要	パイロット装置建設に関しては、年次計画に基づき準備が進められているが、ダイバータ級定常高密度装置については、開発主体や予算措置が決まっておらず、必要とするプラズマのパラメータ等は検討されているものの、具体的な設計・建設計画は進んでいない。	ダイバータ級定常高密度プラズマ実験装置の開発主体の組織とそれに対する人的予算的措置が必要。
	デタッチメントプラズマの実時間制御法の開発	16-26		Q/N/大	(Q)デタッチメントモデルを開発中。JT-60SAで検証予定。	加速が必要	W/銅合金ダイバータを選択するのならば、デタッチメントプラズマの実時間制御は不可欠な要素であり、現状のままでは不十分である。	JT-60SAの実験開始を待たず、他の実験装置やシミュレーションを通して、早急の実施する必要がある。

材料・機器開発	ダイバータ機器構成材料の中性子照射影響	15-35		Q/N/大	(Q)300、400、550℃の疲労データ及び板材衝撃特性の異方性に関するデータを拡充。今後特性の確率関数を与えうるだけのデータ整備を進める。 (大/N)日米科学技術協力事業核融合分野プロジェクト研究PHENIX計画のもと、米国研究炉HFIRを用いたタングステンおよびタングステン合金の大規模な中性子照射(500、800、1100℃、1 dpa、熱中性子遮蔽)を完了し、照射後試験を開始した。今後、熱伝導度、耐熱負荷特性、機械的特性、微細組織、水素同位体蓄積などに関するデータベースを取得する。 (大/N)東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター共同研究および核融合科学研究所ネットワーク型共同研究により、ベルギーの研究炉BR2炉を用いてタングステンおよびタングステン合金の中性子照射を行い、照射後の重水素の拡散および捕獲を実験的に明らかにするとともに、水素同位体挙動を予測するモデルの精度向上をはかった。 (大)低放射化フェライト鋼、CuCrZr合金、酸化物分散強化Cu合金について重イオン照射試験を行い、水素同位体捕獲に及ぼす照射欠陥の影響を系統的に明らかにした。 (大)日米共同研究、東北大共同研究で実施中。米国HFIRやベルギーBR2炉で中性子照射を実施中。	加速が必要	国内の照射場が稼働していない状況下で、米国HFIRやベルギーBR2を用いて、着実に研究が進められている。引き続き、データベース拡充を加速する必要がある。	国内の照射場の確保をし、着実にデータベースの拡充をする必要がある。
	ダイバータ機器の保全や補修技術の評価と開発	16-26		特/Q/大/産	(Q)ダイバータの遠隔保守方式や、それを考慮したカセット構造を検討中 (大)レーザー誘起超音波による表面損傷のその場観察法を開発中	加速が必要	定期的な保守のみならず、様々なイベント時を想定した補修技術の検討が不十分。	早急に実施責任者を決めて、検討を進める必要がある。
粒子制御	炉内粒子挙動シミュレーションコード	16-35		Q/N/大/特	(Q)共同研究で炉内粒子挙動の研究を実施中。シミュレーションは長期目標であり当面実施の計画はない。	加速が必要	粒子バランスは、燃焼制御のみならず、デタッチメントプラズマの制御にも依存するため、現時点で詳細な検討を進めるのは難しいが、その重要性を鑑みて継続的な見当が必要。	実施責任者を決めて、検討を進める必要がある。
	原型炉で使用可能な排気システムの検討	16-26		特/Q/N/産	未着手	加速が必要	ダイバータにおける粒子排気は最も重要な機能であるが、その検討は不十分である。	早急に実施責任者を決めて、検討を進める必要がある。

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要 完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
技術仕様の決定	ECH/NBI技術仕様の決定	26		特/Q	NBIの仕様案を作成。ECHについては電流駆動効率の改善と共に仕様の検討に着手。	順調	物理設計に基づく要求仕様の検討が進んでいる。	今後は、炉工学的観点からの技術仕様の検討が必要。
高出力・定常化	ITER用ECHシステムにおける高出力化・長パルス化	26		Q	ITER用ジャイロトロン実機1, 2号機にて、ITER要求の1MW出力を達成。ITER用ジャイロトロン実機1号機にて1MW/10秒、2号機にて0.3MW/300秒運転に成功した。引き続き1MW100秒以上の運転を目指しコンディショニングを進める。	順調	ITER, JT-60SAに向けた開発計画の中で比較的計画通り進捗している。	ITERジャイロトロン8機を順次製作、試験を進めるために、試験装置や計測機器の更新や保守、運転保守のための継続的な人材確保が必要。
	ITER用NBIシステムにおける高出力化・長パルス化	26		Q	ITER NB試験施設(NBTF)用1MV高電圧電源は据付を完了し、来年度統合試験を開始予定。1MeV負イオン加速器開発については、QST MeV級イオン源試験装置で定格電流より低い値にて0.5 MeV、100秒のビームを繰り返し実証。継続して、1 MeV、100秒級での運転実証を目指す。	順調	ITER, JT-60SAに向けた開発計画の中で比較的計画通り進捗している。	ITER実機調達に向けたNBTFで行われるR&D試験への参加とQST試験装置での原理実証試験、及びITERで新たに求められる安全・耐震性能に関わる設計確立、ITER NBIの運転に貢献する60NBIの運転立上げ、のための人員確保が必要。
高信頼性	高信頼性ECHの概念設計（ミラーレス、周波数高速可変、保守）	26		Q/N	未着手	加速が必要	予算の措置がなく未着手。	RF全般に関わる共通課題を進める枠組みと人員確保が必要。
	高信頼性NBIの概念設計（メンテナンスレス負イオン源、遠隔保守）	26		Q/N/大	メンテナンスレス負イオン源については、IPPガルヒンクでRF電源を半導体化した結果、プラズマとのマッチングが改善し高パワー運転を実証したがITERの目標電流未達成。 国内では、NIFS共同研究の負イオン研究会で情報交換を実施。 遠隔保守については、ITER用遠隔保守についてITER機構で設計中。	加速が必要	ITER調達枠の下、RF負イオン源の開発は欧州が担っているが、ITERの要求性能を未達成。	NBI全般に関わる共通課題を進める国内の枠組みと人員確保が必要。

高効率化	第1回C&R後のアクション： NBI高効率化概念設計	26		Q/N/大	<p>第1回C&R後のアクションであるが、進捗状況を報告する。</p> <p>光中性化セルについては、国際会議で複数の発表があり、それらの情報収集を行い来年度も継続。</p> <p>DT混合ビームについては、炉設計関係者の意見を聞いて検討を実施。</p> <p>コンパクト化技術については、NBTFからITER実機への設計にあたり、コンパクト化要因があるか洗い出しを実施。</p>	順調	一部の項目について概念設計が進捗。	
------	-------------------------------	----	--	-------	--	----	-------------------	--

アクションプラン進捗状況報告書 (第1回チェック・アンド・レビューに向けて)

課題名: **炉心プラズマ**

報告日: 平成30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
プラズマ設計	物理設計と炉心プラズマパラメータ設定	19	※	特	検討中	順調	特別チームでプラズマパラメータの最適化を実施中であり、現行BA活動が終了する19年度までの完了が見込まれる。	特別チームへの国内炉心プラズマ研究者の参画促進。
	プラズマ設計DB構築	19	※	特	検討中	順調	プラズマパラメータ設定の基となるDBについても、現行BA活動が終了する19年度までの完了が見込まれる。	特別チームへの国内炉心プラズマ研究者の参画促進。
ITER	ITER研究計画の改定	24		Q/N/大/U	2025年FP、2035年DTに基づいて運転計画の詳細化検討中。	順調	国際的な議論にQST及び大学等から専門家が参加。	全日本で議論する体制の構築。
JT-60SA	JT-60SA研究計画の改定	19	※	Q/N/大	2018年にJT-60SAリサーチプランVer.4.0が完成予定。(現在Ver.3.3)	極めて順調	全日本で議論する体制が構築されており、最近の研究成果を踏まえて検討中。	
	ファーストプラズマ	20	※	Q/N/大	2020年より開始			
	プラズマ制御手法確立	21		Q/N/大	2020年より開始			
LHD、ヘリオトロンJ	トラス系物理の理解	25		N/C2	(N)ヘリカルプラズマ用に開発された3次元解析ツールを用いて、トカマクプラズマの3次元磁場効果の物理機構解明に寄与。 (C2)粒子補給制御による高密度プラズマ生成と閉じ込め改善、電子輸送障壁形成、乱流輸送特性と同位体効果、高速イオン駆動MHDモード特性などの研究を通して、トラス系プラズマの3次元磁場構造の役割について理解が進展。	順調	最近トカマクで注目されている3次元磁場効果の理解について、ヘリカルの知見や解析ツールが活かされており、順調に進展している。	共同研究等によるトカマクとヘリカルの研究者間における連携強化。
	重水素実験	25		N	重水素実験が開始され、水素放電と比較してプラズマパラメータの改善が観測された。同位体効果の観点から解析が進展中。	順調	LHDにおける重水素実験は順調に進展。	
	粒子制御技術(D,He,不純物)の実証	19	※	N	水素プラズマへ固体水素ペレットやNBIで重水素を注入して、バルクのCX計測によって同位体の分布変化を調べる研究が開始された。	順調	LHDにおける重水素実験は順調に進展。	
プラズマ壁相互作用研究	W材のPWI基礎データの獲得	26		大/C3/C4	(阪大)水素同位体と不純物(ヘリウム、窒素、希ガス等)同時照射時のW中の水素同位体挙動、非定常熱負荷による溶融W層挙動の研究について実施中。 (名大)中性子照射損傷W材料の水素同位体吸蔵特性の基礎データ、W材の水素同位体保持の時間特性データ、熱パルス印加時のW材料の損耗データについて取得中。 (C3) GAMMA10/PDXダイバータ模擬実験におけるW-V字ターゲットを用いた非接触プラズマ生成に関する研究が進展中。W-V字ターゲット板を温度制御して高温化し、W表面温度の水素リサイクリングへの影響について評価中。小型PWI模擬実験装置APSEDASにおいて照射損傷Wの水素同位体吸蔵特性について評価中。 (C4) W母材の表面にWの再堆積層を形成して、水素同位体吸蔵特性を京都大学の核反応法により計測中。W再堆積層とW母材の水素吸蔵能の違いを基礎実験で明らかにすることが目的。	順調	九州大学応用力学研究所や大阪大学、名古屋大学等における基礎実験や基礎データ取得、並びに筑波大学プラズマ研究センターにおけるGAMMA10/PDXダイバータ模擬実験は順調に進展し、PWIに関するデータが蓄積されている。	各大学で得られたデータの統合に向けた大学間の連携強化。

	W材ダイバータ長時間特性での課題の明確化	26		大/C3/C4	(阪大)水素同位体/不純物同時照射時の水素蓄積・透過挙動のモデリングと評価について実施中。 (名大)ヘリウムプラズマ照射によるW表面のナノ構造化条件の明確化、Wのナノ構造化に伴う水素吸蔵特性変化に関するデータ取得、ナノ構造W状のアーキング現象に伴うW損耗評価、不純物ガス(ヘリウム以外)によるW表面構造化に関する研究が進展中。 (G4)金属プラズマ対向壁に形成された再堆積層による水素吸蔵と放出特性をQUEST実機で計測し、据え置き試料で観測した水素吸蔵特性の比較を行い、全金属プラズマ対向壁装置でも、再堆積層による水素吸蔵の効果が見られることが確認された。高温壁による壁温変化により水素吸蔵能やリサイクリングが変化することが確認された。	順調	大阪大学や名古屋大学等における基礎実験やモデリング、基礎データ取得は順調に進展。九州大学応用力学研究所のQUEST装置では、高温壁の冷却能力を向上させて、長時間放電中に水素リサイクリングを制御できるかを確認。また、ダイバータ部で起こる水素吸蔵の特性を調査するとともに、ダイバータアクションに対する影響を調べることであり、順調に進展。	基礎実験・モデリング研究と実機実験との連携強化。
モデリング/シミュレーション研究	物理モデル構築と性能予測コード高度化	19	※	Q/N/大	(Q)新古典トロイダル粘性評価機能開発、ダイバータコードの多種不純物化、ロケットモードシミュレーションコード開発が実施されるとともに、炉心粒子輸送モデルの開発が進展。デイスラプション、MHD安定性、高エネルギー粒子挙動のコードについて開発中。 (N/大)高エネルギー粒子・MHDハイブリッドシミュレーションコードが開発され、トカマクおよびヘリカルプラズマにおける高エネルギー粒子駆動MHD不安定性に対する妥当性検証について実施中。	順調	様々な現象に対するモデリング/シミュレーション研究は順調に進展。	モデリング/シミュレーションの統合化。

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
燃料循環システム設計	燃料供給シナリオの策定	18	※	特/Q/大	(特/Q)数年前のSlimCSの研究はあるが、現在の原型炉設計条件ではシナリオ未検討。 (京大)一般化DEMO炉燃料系の動特性モデルを作成、動特性の解析に着手。	加速が必要	現在の原型炉設計条件で未実施であり、加速が必要。プラズマ運転側で燃料供給に必要なデータ、特にコミッショニングやクリーニングなどの実用的運転プラン策定が必要。	特別チームへの国内研究者の参画促進によるプラズマと炉設計、燃料システムの合同検討体制の確立。
	燃料インベントリーの評価	18	※	特/Q/大	(特/Q)炉心のトリチウムインベントリ評価に必要な材料中トリチウム挙動データを実験にて取得する計画について立案(大学との協力)。 (京大)一般化DEMO炉燃料系の動特性モデルを作成、動特性の解析に着手。	順調	特別チームと大学の協力で計画が立案されており、順調に進展。	特別チームと大学との連携強化。燃料システムの研究設備が必要。
	燃料循環システム仕様様の決定	19	※	特/Q/大	2018年より開始			
燃料循環システム技術開発	燃料循環システム要素技術(不純物除去、同位体分離など)の開発	26		Q/C5/大	(Q)日米協力による要素試験は実施済み。 (C5)100Ciトリチウム取扱システムの開発等を通して、要素技術は開発済。 (九大)科研費特定領域(H19-H23)での研究後、各大学で基礎実験について継続実施。統合的燃料循環システム技術の確立のための対応について計画中。 (静岡大)LHD重水素実験のために膜分離を用いたシステムについてNIFSと共同で開発中。	加速が必要	要素技術の開発は進んでいるが、スケールアップ等が必要。	ITERでの設計や運転情報の有効活用が必須であり、ITERのトリチウムプラント調達スケジュールを踏まえたデータ入手戦略の見直しが必要。TBMやBAPhaseIIを介したこれまで得られた技術知見の継承。要素技術のスケールアップや、燃料循環システム中のトリチウムインベントリーの低減に向けた検討が必要。また、同位体分離については、国内大学でほとんど研究が行われておらず、研究体制の構築が必要不可欠。
	T除去系、計量管理の確証試験	24		Q/C5/大	(Q)ITER-DSの共同調達で、設計情報などについて整備。計測関係はBA活動で実施した成果はBA-DEMO-R&Dの最終報告書として纏められた(2017)。 (C5)高感度熱量計を設計・整備済。 β 線誘起X線計測法、液体シンチレーションカウンター法の高度化が進められている。 (九大)大学RI実験室・T取扱施設で物理化学生物工学等の分野ごとにT基礎実験、計量管理試験が実施されている。 (静岡大)BA、NIFS共同研究にて実施されている。 (京大)ブランケットでの生成量の実験的評価法が開発され、DD中性子による実験開始。	順調	ITERトリチウム除去系の調達やBA活動を中心に研究が進展。富山大学水素同位体科学研究センターでも計測装置の高度化等が進められており、順調に進展。	ITER調達やBA活動に関する大学の関与を拡大し、そこでの成果を炉設計へ反映する体制の構築。

T安全取扱技術・機器開発	Tと材料の相互作用など基礎データ取得	19	※	Q/C5/大	<p>(Q)BA活動において、大学との共同研究を含め、データが蓄積されている。成果はBA-DEMO-R&Dの最終報告書として纏められた(2017)。JET-ILWのタイトルダストについては日欧で分析しデータ蓄積中。</p> <p>(C5)タングステン及びその合金、低放射化フェライト鋼、Cu合金中のトリチウムを含む水素同位体の溶解・拡散・捕獲挙動及び同位体効果に関するデータについて蓄積中。また、JET-ILWタイトル中のトリチウム分布に関して系統的なデータについて取得。</p> <p>(九大)プラズマ対向壁、特にWへのT保持インベントリ研究の多様化により研究進展が見られ、固体・液体各増殖材料についても大学での基礎研究が精力的に実施されている。</p> <p>(静岡大)日米共同研究、BA共同研究、NIFS共同研究などでデータが蓄積されている。中性子照射WIについても基礎的な知見が得られつつある。</p> <p>(茨城大)BA共同研究及びDEMO共同研究において、核融合炉材料の基礎物性(溶解度・拡散係数)と運転条件下における動的な炉内蓄積と除染に関する研究が行われており、DEMOの設計に貢献。</p> <p>(京大)SiC系材料のトリチウム透過拡散データについて取得。</p>	順調	順調にデータ取得が進展。	各大学・QSTで得られたデータの統合に向けた連携強化。
Li確保	⁶ Liの確保方策の検討	17	※	Q	イオン伝導体膜による海水からのLi回収、 ⁶ Li濃縮技術開発の基礎研究が進められ、特許について取得。多くの産業界及び公的機関との連携が進展中。	極めて順調	特許を取得するなど順調に進展。	産業界との連携によるスケールアップ。
	パイロットプラント規模でのLi確保技術確立	26		Q/産	2018年より開始			
	⁶ Li濃縮基盤技術開発	26			Q	2018年より開始		
初期装荷T	T製造プロセスの検討	19	※	特/大	<p>(Q)BA共同研究にて初期装荷入手方法について検討中。</p> <p>(京大)DEMO炉における運転計画について検討。想定されるコミッショニング過程で運転に必要なトリチウムはほとんど外部供給不要である可能性が示された。</p> <p>(九大)高温ガス炉での製造技術に見通し。</p>	順調	BA活動や大学の活動にて順調に進展。	国際的な枠組みでの検討が必要。

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
低放射化フェライト鋼	原型炉に要求される材料スペックの明確化、技術仕様の提示	26		Q/特/大	これまでの低放射化フェライト鋼F82Hの板材製作実績を整理し、現状での許容値及び熱処理条件を設定。今後管材・鍛造材等の他形状の技術仕様の明確化を進める。	順調	板材を中心に順調に進捗している。	原型炉に用いられる形状を設計活動において明確化していく必要がある。
	大量製造技術の確立	26		Q/産	欠陥除去のための再溶解工程における組成制御性の課題を検討した。20t級溶解を実施し、適用製造技術の確立を進める。	極めて順調	BA活動等を通した大きな成果である。	原型炉に要求されるスペックを参照しつつ適用製造技術の確立を進める。
	Q/産:ブランケット構造体製作技術の確立	26		Q/産	HIP接合及び鍛造によるブランケット構造製作技術の適用可能性を検討した。ブランケット設計検討と連動して、製作技術の確立を進める。F82Hを用いたTBM構造部材の試作を実施。	順調	順調であるがHIP接合体の評価については方針を定める必要がある。	HIP接合体の健全性評価法の確立を進める
	微小試験片技術の信頼性評価・規格化	26		Q/産/学	主要な微小試験片技術についてQST/大学の共同研究で信頼性評価を進めるとともに、微小試験片技術に関するIAEA-CRP活動に参加してガイドライン整備活動を開始。今後さらに日欧、日米協力を通して規格化を進める。	順調	国内外の枠組みによって広く進められている。	国内外における規格化に向けてステークホルダーとの継続的な関与が重要である。
	コールド試験による接合被覆部・環境影響データ取得	22		Q	溶加材を用いたレーザー接合技術の適合性検討を実施。強度特性も含めた技術適合性を検討する。また、高温高圧水腐食に関するデータ蓄積を進め、水化学管理指針の検討に着手。	加速が必要	大学等との協力により接合技術の進展が見られる。一方、環境影響については材料側、プラント設計両者からの水化学管理指針の検討が必要。	水化学管理指針の検討を設計チームとともに進める。
	原子炉による80dpa照射データの取得	19	※	Q	70~80dpa/300~350°Cの引張・靱性評価を実施した。今後は微細組織の評価を進めるとともに、より信頼度の高い80dpa/300~500°Cデータ取得を目標とする照射実験を進める。	順調	機械的特性評価の結果が得られており順調であるが、照射条件の影響について精査が必要である。	機械的特性データを有効に活用するためにも、微細組織評価を進めることが必要。信頼性の高いデータ取得も必要である。
	接合被覆部・環境影響に関する照射データ取得	31		Q	TIB、EB接合部に対する20dpaまでの照射を終了した。今後データ取得を進めるとともに、設計に対応したデータ取得及び照射環境下腐食試験を進める。	順調	原子炉照射実験は順調に進んでいるが、想定される接合被覆部の照射全てをカバーしているわけではない。	照射環境下腐食試験については、要件を精査して進める必要がある。
	He影響の理解の進展、核融合中性子照射影響の解明、照射劣化モデルの構築	35		Q/N/大	照射材料劣化因子であるHeキャビティの形成動モデルを構築し、形成挙動の照射場影響評価に着手。	加速が必要	モデル構築については順調に進んでいるものの、モデルの妥当性、外挿性等を含めてどこまで利用可能なのかという考え方を確立する必要がある。	大学等の共同研究者をより巻き込んでいく必要がある。
照射効果を踏まえた構造設計基準の在り方を提示	26		Q/産/学	確率論設計による炉内構造機器の構造設計基準の検討を開始。今後日欧協力での設計基準の検討、日米協力でのこれに対応したDB整備を進める。	加速が必要	重要な取り組みであり、基本的な考え方については提示されている。	具体的に構造設計基準として落とし込んでいくための統合的な戦略を明確化する必要がある。	

	材料規格化に向けた学協会活動	35		Q/産/学	米国ASTM-A01(鉄鋼材料)会合に参加しF82Hについての説明を実施した。国内外の規格での活動を順次進めていく。	加速が必要	規格化に向けた学協会活動が開始された。	継続的な関与が必要である。
先進ブランケット材料	特/Q/N/大: 先進材料の利用方法を明確化	26		特/Q/N/大	先進ブランケットに関して、共同研究の枠内にて検討開始。SiC材料の液体増殖ブランケット流路インサート応用に係る主要な機能データの取得を進め、特に電気特性の照射効果、水素透過、リチウム鉛腐食に関する挙動理解が進展。バナジウム合金については液体リチウム増殖ブランケットへの適用が明確化されている。耐環境性、耐照射性向上が期待される酸化物分散強化(ODS)鋼の利用可能性について調査を開始。	加速が必要	先進材料の利用方法を、先進ブランケット概念の検討等とともに開始したところである。	先進ブランケット設計や関連する要素技術と併せて開発を促進するとともに、設計案の絞り込みに向けて先進材料の利用方法を明確化するための枠組みを構築する必要がある。
	先進材料のデータベースの充実	35		Q/N/大	SiC/SiC複合材料の機械的・物理的・化学的データの蓄積とともに、複合材料特性ハンドブックの整備に着手。バナジウム合金については、接合法、低放射化性の向上、高温強度特性データの充実が進められている。酸化物分散強化(ODS)鋼については、先進原子カシステムや事故耐性燃料開発のデータを参照している。	加速が必要	現状の枠組みにおいては最大限の努力が払われているが、アクションプランで想定されている先進ブランケットの位置付けに対応可能なデータベースとはなっていない。	先進材料に関するデータベースをまとめるハンドブックの方針を決定する必要がある。

アクションプラン進捗状況報告書 (第1回チェック・アンド・レビューに向けて)

課題名:核融合炉材料と規格・基準(2)その他の材料

報告日:平成30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
増殖機能材料(中性子増倍材料及びトリウム増殖材料)	増殖機能材料の製造及び再使用技術の最適化	22		Q	BAにおいて増殖機能材料の製造及び再使用技術の開発を進め、実施した成果をBA-DEMO-R&Dの最終報告書として纏めた(2017)。材料ハンドブックの整理に向け、継続中。	順調	BAの具体的成果として特筆される。	材料ハンドブックの整理に向けた活動を推進すべきである。
	増殖機能材料充填体の機械特性評価/製作技術確立	30		Q	(18スタート)		-	-
	Li確保技術開発	35		Q	(18スタート)		-	-
ダイバータ材料	原子炉照射影響評価	26		特/Q/N/大	ITERグレードに準拠したCuCrZr合金の板材を製作し、ITER実規模プロトタイプ冷却管用CuCrZrと共に諸特性評価を実施。微小引張試験片の製作が完了し、HFIR炉を用いた照射試験を開始する予定。摩擦撹拌強化(FSP強化)溶射Wの繰返し熱負荷試験後の欠陥評価を実施。今後は耐酸化性を含めた高性能化を進める。	加速が必要	CuCrZr合金の照射試験の準備は引張試験を中心に進んでいるが、原型炉環境でのコンポーネントとしての照射影響については多角的な検討が必要。	健全性評価に関連する特性評価を進めるための照射試験計画の策定
	耐照射性材料開発と評価	35		Q/N/大	ヒートシンク材料については、大学、NIFSを中心にODS-Cuの開発に着手も基礎的検討段階である。WIについても、大学、NIFSを中心に開発が進められているものの素材研究段階である。	加速が必要	基礎研究に留まる。	設計の進展とともに、必要スペックの詳細化を進め、材料開発に反映させることが必要。
計測・制御機器材料	照射劣化データベースの整理	19	※	Q/特	未着手。NIFS研究会で整理したものが報告書になっている。それ以上の整理は、原型炉工学フェーズと考える。	加速が必要	現状では、NIFS研究会報告書以上のものは得られない状況である。	NIFS研究会報告書を元に、照射劣化データベースとして整理し、原型炉環境で用いられる計測・制御機器材料が同定された後に、必要に応じて照射試験、代替材料の開発などを進める。
その他	Q/N/大:核融合材料ハンドブックの策定	19	※	Q/N/大	低放射化フェライト鋼 の物理特性・引張特性を中心としたハンドブックを整備。今後は靱性・疲労・クリープ等の特性について順次策定を進める。また、他の材料についても整備に着手する。	加速が必要	構造材料については、低放射化フェライト鋼以外の材料については未着手である。	関係各所の協力を求める。

アクションプラン進捗状況報告書 (第1回チェック・アンド・レビューに向けて)

課題名: 核融合炉材料と規格・基準 (3) 核融合中性子源

報告日: 平成30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
核融合中性子源	核融合中性子源の設計・建設	30		Q	2025年頃の建設を目標に中性子源設計活動を進めている。本年度は中性子源用リチウムターゲットの機器検討、材料片照射用のテストモジュール設計並びにターゲットアッセンブリー交換に係る遠隔設計実施し、それらの設計仕様要求を明確にした。また、設計に関連するリチウムターゲット機器の分解並びにニュートロニクス実験を実施した。今後も引き続き試験施設内の機器設計を中心に中性子源の全体設計のための要求仕様検討を進める。	順調	要素設計検討は順調に進んでいる。統合化のための方針を明確化する必要がある。	核融合中性子源の必要性を広く認識されることと、中性子源ニーズの拡大のために多様なコミュニティとの対話活動を推進する必要がある。

アクションプラン進捗状況報告書 (第1回チェック・アンド・レビューに向けて)

課題名：安全性

報告日：平成30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
安全法令規制	(15)原型炉プラントの安全上の特徴整理 [既存コードでの評価]	16	※	特/産	B A 活動の一環として一部実施した。	順調		
	(17)原型炉プラントの安全上の特徴整理 [安全確保方針案策定]	19	※	特/産	機器の安全重要度分類を検討中。	順調	18年度からの安全確保方針検討に展開されていく予定。	
	(20)原型炉プラントの安全上の特徴整理 [方針に基づく解析評価]	26		特/産	- (20年度より開始予定)			
	(20)TF/特：安全規制法令予備検討	26		T F / 特	- (20年度より開始予定)			
	(27)安全規制法令 法規制方針策定→(31)	31		学	- (27年度より開始予定)			
工学安全課題の整理	(15)機器故障のシナリオ確立	26		特/Q/I j /N/大/産	特別チーム/Q S Tにて機器故障のシナリオ検討に着手した。	順調	長期的な取り組みであり、現時点では計画通りと考えられる。	特になし
安全性解析・評価	(15)特/Q/産：安全性評価コードの開発(31)	31		特	特) 特別チームは、トリチウム、ダストの環境挙動、熱水力学解析など基本的なコードを整備済み。 Q) ITERの安全要件を満足する必要があるTBMは、特別チームと独立して実施中。初期的な安全解析はTRACコードで実施。MELCORコード (ITER指定バージョン) を入手中。	順調	長期的な取り組みであり、現時点では計画通りと考えられる。	核融合炉の安全を担う人材が研究機関、産業界とも不足しているため、若手の確保が急務。
	(20)V&V実験 [化学反応、ダスト挙動評価等]	26		Q/大/特	- (20年度より開始予定)			
	(27)V&V実験 [安全評価への反映]	31		Q/大/特	- (27年度より開始予定)			
	(20)原型炉プラントの安全性評価	31		特/産	- (20年度より開始予定)			
	(20)安全性確保の方針と整合する設計条件の策定 [概念設計]	26		特/産	- (20年度より開始予定)			
	(27)安全性確保の方針と整合する設計条件の策定 [工学設計]	31		特/産	- (27年度より開始予定)			
環境トリチウムの挙動評価	(15)環境トリチウムの規制目標の調査・検討	19	※	特/Q/N/大	国内学会に調査依頼したが、国内に経験が無く、対応不可との回答が得られた。EUから入手した重水炉での環境トリチウム管理に関する関連資料をもとに分析していく予定。	順調	規制という不確定要素を含む課題であるので、早期に検討に着手し、全体の作業量を把握する必要がある。	
	(20)定常・異常時の環境への放出量評価と制御	34		特/大/N/産	- (20年度より開始予定)			

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
理論、既存・海外実験による予測、実験による検証	(15) 安定限界の理論特性の理解→(19)	19	※	Q/大/特	(Q)トロイダル回転と高エネルギー粒子を考慮したRWM理論構築・コード開発、ロケットモード解析コード開発を実施。コードを利用した限界評価を実施。RWM安定化の方策も含め、今後詳細に検討する。 (大)特に無し	順調	主要な不安定性の解析コードの開発が進んでおり、2019年に向けて順調に進んでいると考えられる。	今後、コード開発を終えた後、コードの妥当性を検証すると共に、限界評価を進め、理論特性の理解を図ることが望まれる。コードの検証については、JT-60Uのデータを利用するほか、必要に応じて共同研究による海外装置の利用も挙げられる。
	(15) 被制御量の検討→(19)	19	※	Q/N/大/特	(Q)CS磁束低減のための電子温度分布制御を検討した。 (Q/N/大)核融合研共同研究「環状核融合原型炉運転のため計装制御システム検討評価」(2012-2013年、代表者: 松田慎三郎)にて、トカマク及びヘリカルそれぞれで測定すべきプラズマ諸量が定性的な観点から検討がなされ、報告書(NIFS-memo68)にまとめられた。	順調	被制御量の定性的な検討が実施され、報告書としてまとめられており、よく進展していると言える。	今後は特別チームが中心となり、関係者と共に検討会を開催し、報告書でまとめられた検討結果を参考にしながら、設計中の原型炉での運転シナリオとの整合性を検討し、2019年の期限に向けて被制御量を確定させることが必要。
	(17) 遠隔位置磁気計測での平衡精度のシミュレーション→(19)	19	※	Q/大	(Q)ITERを対象として実施済み。現在、JT-60SAを対象として実施中。 (Q/大)東京大学江尻准教授より、平成30年度核融合科学研究所共同研究(研究会)「平衡再構成のための計測技術と解析手法」が提案され、29名の研究協力者と申請中である。本研究会は国内の大学・量研機構・核融合研の磁気計測関係者を広く集め、平衡再構成の課題について情報交換し議論することを目的としている。これにより、新しいアイデアの創出、今後の開発研究の指針の決定、全日本の研究組織の構築をねらっている。 (大)東工大筒井研では、真空容器内磁性体・鉄心を考慮したフィラメント法の開発中	順調	ITERやJT-60SAでシミュレーションが実施され、全日本的な議論を行う研究会も組織されており、よく進捗していると言える。	シミュレーション結果の妥当性の検証を行うと共に、研究会を利用した議論と、必要に応じて大学との共同研究を実施し、遠隔位置磁気計測でも十分な平衡制御ができるための方策を明らかにする必要がある。
	安定限界、被制御量の検証	26		Q/N/大/ij/特	2020年より開始			
	ITER/JT-60SA等での制御実績(手法、成功率等)と応答時間のDB構築	35		Q/大/ij/特	2020年より開始			
	遠隔位置磁気計測での平衡精度の検証	26		Q/大	2020年より開始			
	ITER/JT-60SA等における計測運用保守実績DB構築	35		Q/大/ij/特	2027年より開始			
	ITER/JT-60SA等における計測運用保守実績DB構築	35		Q/大/ij/特	2027年より開始			

計測開発	(15) 炉設計と整合した候補計測分類と選定→(19)	19	※	Q/N/大/特	(Q)未実施。 (Q/N/大)NIFS共同研究(発電実証原型炉の運転制御のためのシステムの検討)(2014-2016年、代表者:松田慎三郎)にて、特別チームによる現在の原型炉設計で計測器に許容される面積、及び各計測器が必要とする面積・体積を考慮して、必須となる計測器が設置できるかの検討を行っている。 (特)	加速が必要	研究会には大学、NIFS、QST、特別チームから参加され、候補計測器の選定がされ、許容される占有面積に収まるかなどの検討がなされ、進展がある。更に立ち上げ・立ち下げも含めて、現在特別チームで検討されている運転シナリオと整合するか等、踏み込んだ検討が期待される。 また、研究会では対象外であった、装置保護に関連した計測(表面温度計測、真空度、損耗モニター等)についても検討を開始すべき。	特別チームを中心に、必要に応じて大学やNIFSからの参加者を含めて検討会等を開催し、より現在の原型炉設計と整合した計測器の検討を進め、2020年からの候補計測器決定のため基盤を早急にするべきである。
	(16) 照射試験も含む計測開発体制の構築→(19)	19	※	Q/N/大/TF	(Q)計測機器の対放射線性に関する照射計画の検討を始められた。 (Q/N/大/TF)大阪大学のオクタビアンで14 MeV中性子照射 (3×10^{12} n/sec) が可能であり、ITERやLHD等の機器の照射試験が実施されている。計測開発の体制はまだ組織されるに至っていない。	加速が必要	現在は比較的個人ベース、一機関での照射試験や照射装置の維持となっている。また、計測器開発の課題も上記NIFS共同研究会報告書から更に精査すべきである。何をどのような照射試験を実施するか、計測器開発の検討を実施するための開発体制が必要であるが、まだ全日本的な協力体制には至っていない。 原型炉、及びITER用機器の中性子照射試験では、オクタビアンよりも大面積での照射が必要な場合があるため、海外の原子炉等の利用が考えられる。効率的な照射試験のためには組織的な取り込みが必要と考えられ、現在開始された検討を中心に、2019年に向け早急に体制を構築が成されるべきである。	上記課題の検討会等、組織的に検討する体制を早急に構築するべき。特別チームが中心となることが望ましい。
	候補計測器の決定と開発	26		Q/N/大/産/特	2020年より開始			
	計測器のプラズマ試験、照射試験、寿命評価	35		Q/N/大/産/特	2020年より開始			
	候補計測器の開発と評価	35		Q/N/大/産/特	2027年より開始			
	計測器の仕様策定	35		Q/N/大/産/特	2030年より開始			
	計測保守の開発、試行	35		Q/N/大/産/特	2030年より開始			
運転点と裕度評価	(16) 運転基準点・運転許容範囲の仮設定	19	※	Q/N/大/特	(Q)コードを利用した運転点評価を実施。 (Q/N/大)NIFS共同研究(発電実証原型炉の運転制御のためのシステムの検討)(2014-2016年、代表者:松田慎三郎)にて、POPCON図上で想定される運転点と熱的不安定性やMHD安定性解析の初期的な結果が示された。	順調	仮設定という目標に対しては、順調な進展と考えられる。	NIFS研究会は終了しており、必要に応じて大学・NIFSと共同しながら、今後QST、及び特別チームを中心に検討を進めてゆくことが期待される。
	運転基準点・運転許容範囲の評価	26		Q/N/大/特	2020年より開始			
	運転基準点・運転許容範囲の決定	35		J/N/大/特	2027年より開始			

オフライン予測	(16) プラズマ運転制御シミュレータの開発→(19)	19	※	Q/大	(Q)TOPICSに導入する粒子輸送モデルを開発中で、JT-60SAで検証予定。「トカマクプラントシミュレータ」をF4Eが提案済み。今後、QSTも協力して、長期計画で開発予定。特別チーム理論シミュレーションWGにて中長期計画を立案予定。 (大)特になし	加速が必要	開発計画、及び国際協力も立ち上がって進捗があるが、2019年に向けて実際の開発を加速すべき。	検討した中長期計画に基づき、必要な日本全国のシミュレーション・計測・制御の関係者と協力し、特別チームが中心とした開発体制、もしくは議論や情報交換を行う検討会を組織し、運転制御シミュレーションの概念設計、開発を進めるべき。
	プラズマ運転制御シミュレータの検証	26		Q/大/特	2020年より開始			
	プラズマ運転制御シミュレータの高度化	*		Q/大/産/特	2027年より開始			
実時間制御システムの開発	(16) JT-60SA用実時間制御開発	19	※	Q/大	(Q)実時間の平衡制御、電子密度帰還制御を開発中。計測ノイズ、電源定格応答を考慮したMHD平衡制御シミュレータ(MECS)を開発。 (大)東京大学江尻准教授より、平成30年度核融合科学研究所共同研究(研究会)「平衡再構成のための計測技術と解析手法」が開始予定であり、開発への参画、知見の提供が可能である。東京大学小川研では、ITER/原型炉への現代制御理論を適用中。	順調	開発は順調に進んでいる。	このまま開発を進めればよいと思われる。大学からの参画も期待される。JT-60SAではデタッチメント実験は初期実験フェーズでは実施されないが、デタッチメントの実時間制御も考慮も望まれる。
	実時間制御の運用	35		Q/大	2020年より開始 (Q)CCS法のKSTARへの適用、JT-60SAでのCCS法適用時の誤差を評価 (大)QUESTではプラズマ発光によるガス供給制御・位置同定、FPGAの使用、実時間密度測定制御が進められ、東大井研は多数の装置へのCCS法を適用中。		大学でツール開発等が可能な分野であり、共同研究によって大型装置へ適用するなど、更なる進展が期待される。	
	第一原理計算、シミュレータ、実時間制御の相互検証と高度化	26		Q/N/大/特	2020年より開始			
	学習・推定ツールの開発	26		Q/N/大/特	2020年より開始 (大)東大小川研にてJT-60UIにおけるディスラプションへの機械学習を適用中		大学で先行研究がなされ、今後も共同研究等を通してJT-60SAや他の大型装置での検証、ITER用推定ツールの開発に進展することが期待される。	
	実時間制御の運用	35		Q/大	2020年より開始			
	統合コード、シミュレータ、実時間制御の性能(精度、成功率等)評価	35		Q/大/特	2020年より開始			
	実時間制御の仕様作成	35		Q/大/特	2030年より開始			

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
アウトリーチ活動 ヘッドクォーター (HQ)設置による活動の推進	核融合OR活動HQの在り方の検討	19	※	TF/特/Q/N/F/学	関係機関とHQの役割について議論を開始。	加速が必要	アウトリーチHQの体制について意見交換が進められている。	アウトリーチHQのミッションの確定と、必要な措置について早急にまとめて提案する必要がある。
	核融合アウトリーチ活動HQの設置	20	※	TF/特/Q/N/F/学	(20年に設置を目標)			
	核融合アウトリーチ活動推進計画の立案	20	※	TF/特/J/N/F/学	JAXA、JAMSTEC等のアウトリーチ状況調査を実施し、アウトリーチ活動強化を検討中。			
アウトリーチ人材育成	アウトリーチ教育体制及びプログラムの検討	19	※	TF/特/Q/N/F/学	TFメンバーによる調査が一部はしまっているものの、具体的なアクションは未着手	加速が必要	科学全般のアウトリーチ人材の教育に関する調査は進められたものの、アウトリーチHQの体制についての意見交換に留まっている。	アウトリーチHQの体制を構築して、早急に具体的な検討に移ることが必要
社会連携活動	核融合エネルギー開発ロードマップ/原型炉設計活動に関する社会連携活動の実施	19	※	TF/特	未着手	加速が必要	社会連携活動の加速の必要性の認識は各所で高まっているものの、具体的なアクションに繋がっていない。	アウトリーチHQの体制を構築して、早急に具体的なアクションに移ることが必要

アクションプラン進捗状況報告書
(第1回チェック・アンド・レビューに向けて)

課題名: 13. ヘリカル方式

報告日: 平成30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
ヘリカルプラズマ	ダイバータ部の熱負荷低減と粒子制御	15-25		N/大	不純物ガスパフや共鳴磁場を用いたデタッチメント放電に関する研究を実施し、デタッチメントプラズマの特性評価を行っている。	順調	LHDを用いたダイバータ熱負荷低減運転に関する実験が進められている。	原型炉ダイバータへの寄与の観点からは、ヘリカルとトカマクのダイバータ磁力線構造の違いに着目した分析が必要である。
	輸送特性と高エネルギー粒子の閉じ込め特性	15-25		N/大	NBIの損失イオン計測や、重水素放電に伴い発生する高エネルギー粒子の計測により、高エネルギー粒子の閉じ込め特性を研究している。	順調	LHDを用いた重水素実験が開始され、高エネルギー粒子研究が順調に進展している。	LHD実験を環状プラズマの体系化に発展させ、原型炉プラズマの予測に寄与することが必要である。
炉工学・炉設計	3次元解析によるヘリカル炉の成立性	15-19		N/大	小型強磁場化による早期実現炉概念の設計解析を進め、正味電力出力の見通しを得た。自己点火条件までの到達のため磁場配位の最適化も検討。	順調	LHDのグローバルな閉じ込め特性の相似性に基づいた概念設計が進展している。	LHD実験で得られた物理的知見を取り入れた詳細な分析が必要である。
	大型高磁場超伝導ヘリカルマグネットの成立性	15-25		N/大	高温超伝導体を用いた接続方式ヘリカルコイル巻線の検討と要素開発が進展。大口径高磁場導体試験装置を用いた大電流導体試験を遂行。	順調	連続巻き大型コイルの成立性に関して、先進的な概念研究は進んでいるが、R&Dを通した実行可能性に関する検討も必要。	関連するR&Dを行うことにより、成立性を示す必要がある。
	長寿命液体ブランケットの成立性	15-25		N/大	溶融塩ブランケットの設計検討と熱・物質流動試験装置を用いた高温磁場腐食試験の実施。同装置を用いた液体リチウム鉛のMHD圧力損失の特性試験。	順調	熱・物質流動試験装置を用いて、新概念を含む様々な実験が進んでいる。	研究の進展を装置設計に反映し、その成果を開発研究にフィードバックさせる必要がある。
	低放射化構造材料開発研究	15-25		N/大	低放射化バナジウム合金を高純度化することにより、高温強度を維持しつつ接合性、加工性が格段に向上することを実証。	順調	RAFM鋼の代替案となる低放射化構造材料の研究が進展している。	研究成果を装置設計に反映し、先進材料の利用方法を明確化することが必要である。
	高熱流プラズマ対向機器・材料開発研究	15-25		N/大	機械的合金化法と高温静水圧ブレ法の組み合わせでナノ粒子分散ダイバータ用銅合金の試作に成功。電子ビーム熱負荷試験。液体ダイバータの流動基礎実験。	順調	原型炉の初期ダイバータを想定した銅合金の開発研究が進展している。さらなる進展のためには、中性子照射特性を調べる必要がある。	研究成果を装置設計に反映し、銅合金に求められている性能を明確化することが必要である。
	ヘリカル炉概念設計	15-26		N/大	先進ダイバータ及びブランケット概念を用いた新たな遠隔保守交換のシナリオを検討。	順調	新たなアイデアに基づく概念研究が進んでいるが、R&Dを通した実行可能性に関する検討も必要。	関連するR&Dを行うことにより、成立性を示す必要がある。

数値実験炉	物理素過程のシミュレーション	15-26		N/大	プラズマシミュレータ(スーパーコンピュータシステム)を有効活用して、LHD等ヘリカル系装置のコアプラズマから周辺プラズマ・プラズマ対向壁までを含む領域における平衡・安定性・輸送・加熱等の物理過程を扱うシミュレーションコード群や使用する物理モデル群の整備・拡張が進められ、シミュレーション結果とLHD等の実験装置の結果との比較によるモデルやコードの検証が行われている。	順調	様々な現象に対するモデリング/シミュレーション研究が順調に進展している。	理論シミュレーション研究と実験研究とのより一層の連携強化が必要。
	複合物理結合・階層間結合シミュレーション	15-26		N/大	MHD・高エネルギー粒子シミュレーションコードが開発され、LHDやトカマクの高エネルギー粒子駆動不安定性の解析に応用されている。ヘリカル系プラズマの統合輸送コード(task3D)の開発が進められ、LHD実験の輸送解析や輸送モデルの検証に用いられている。統合輸送コードに組み込むため、ジャイロ運動論的シミュレーション結果に基づく乱流輸送モデルの開発が進められている。	順調	様々な現象に対するモデリング/シミュレーション研究が順調に進展している。	理論シミュレーション研究と実験研究とのより一層の連携強化が必要。

アクションプラン進捗状況報告書 (第1回チェック・アンド・レビューに向けて)

課題名: **14. レーザー方式**

報告日: 30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
物質・プラズマ相互作用の総合的理解	プラズマによる物体損耗の数値モデル化	27		C1/大/N	C1:大阪大学レーザー科学研究所において、既存のシミュレーションコードを用いたベンチマーク準備を行っている。下記項目(モデル実験)を基に、MW/m ² 級の熱負荷を模擬する条件での計算条件の調査を開始した。	順調	下記モデル実験の環境整備とともに、準備段階となる項目の整理はほぼ終了していることは評価できる。今後はより具体的な条件下での計算(コード開発も含む)の実施を開始し、期限までに下記実験との連携を通じた数値モデル化を完結する見込みである。	ダイバータ材料の高温条件下での挙動に関しては、固相・液相・気相が混合した複雑な条件であることが予想され、今後は分子動力学シミュレーションの導入など、幅広い展開が求められる。
	プラズマによる物体損耗のモデル実験	27		C1/大/N	C1:大阪大学レーザー科学研究所において、ディスラプションを模擬するための材料試験装置のとして、サブミリ秒パルス幅をもつレーザー装置の整備を開始した。約MW/m ² の熱負荷に相当する金属試料の照射試験を行い、ディスラプション時にダイバータが経験する熱負荷条件を達成できることを確認した。	順調	既存レーザー装置の整備により、シングルショット・低繰り返し条件下におけるサンプル回収を主とした実験スキームは確立したことは評価できる。今後はポンプ・プローブ計測系の構築により、期限内に目標を達成させるべく計画をすすめている。	物体摩耗の模擬実験を行う試験装置としては、より高周波で熱負荷を加えること、および多くのサンプルで多種多様な条件下でデータを取得することが必須であり、このための高繰り返し・高出力(100~200 kW級)レーザーによる材料試験装置の提供が強く望まれる。
	材料試験装置部詳細設計	20		C1/大/N	C1:大阪大学レーザー科学研究所において、熱負荷試験を主眼においた装置設計を行っている。現状の熱負荷試験装置(サブミリ秒パルスガラスレーザー)をベースに、より高繰り返し・高出力の材料試験装置を想定した設計を実施している。	順調	既存の装置をベンチマークとした材料試験装置(レーザー装置)の設計へと移行したことは評価できる。より高繰り返し、高熱負荷の条件が達成可能な100~200 kW級のパルスレーザーの設計を実施しており、期限内に達成できる見込みである。	本試験装置は核融合炉壁の材料試験装置のみならず、パルス熱源・パルス圧力源として一般化した標準装置として広い応用領域が見込まれる。想定される応用領域の関係者を含めた開発が期待される。
液体金属壁開発	液体金属壁基礎実験装置詳細設計	20		C1/大/N	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。		金属蒸気が核融合プラズマにどのように影響するかきちんと評価してから詳細設計に移るべき。	重元素の磁場中での挙動評価。核融合プラズマ絵の影響評価
ペレット製造・入射技術	ペレット製造法の詳細設計	19		C1/N/大/産	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。		磁場核融合用ペレット入射技術は基本的には存在すると考えられる。実際に必要とする者がメーカーと協力して進める段階にある。	DTを用いた実験
	ペレット入射装置の詳細設計	19		C1/N/大/産	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。		同上	
トリチウムの貯蔵・ハンドリング技術	トリチウム貯蔵/供給系の詳細設計	18		C1/C5/N/大/Q	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。			
	トリチウム回収系の概念設計	18		C1/C5/N/大/Q	C1:大阪大学レーザー科学研究所において、熱交換器におけるトリチウムの拡散漏洩に関する評価が行われた。	加速が必要	トリチウム拡散の数値評価を行ったことは評価できる。今後は熱サイクルに水以外の物質も検討する必要がある。	今後は拡散トリチウムの化学形態の評価が必要であり、そのための人的・予算的措置が必要である。
	トリチウム回収系の詳細設計	22		C1/N/大/Q	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。			
過酷環境下における計測技術	レーザー生成過酷環境の特性評価	18		C1/C5/N/大	C1:大阪大学レーザー科学研究所において同所の超短パルス超高強度LFEXレーザーによる2kJレベルでのターゲット照射時に発生する中性子・γ線過酷環境を実現し、核融合科学研究所との協力により実験とシミュレーションにおいてそれぞれの強度と特性を評価している。DT中性子発生ターゲットとしては富山大学との協力によりトリチウムの導入準備を進めている。さらに、生成した過酷環境下で動作可能な計測器群を開発し、プラズマデータ取得の手法を確立しつつある。なお、マシンタイムは不足している。	順調	現有のレーザー装置を活用して既に一定の成果を得ていることは評価出来る。トリチウムの導入、コンパクトな計測機器の開発は先進的であり、さらに強化が期待される。	現状での研究開発においても十分なショット数を確保するための予算措置が望まれる。炉工研究者との連携協力が望まれる。

レーザー生成過酷環境の提供	35		C1/N/大	C1:上記により現状レベルでの中性子・ γ 線過酷環境を実現している。レーザーおよびターゲット照射条件により多様な過酷環境の生成を検討し、発生条件と特性をサーベイしている。10kJレベルでの過酷環境生成手法を評価している。	順調	既に成果が上がりつつあり、次ステップへの発展が期待される。	原型炉レベルでの過酷環境試験装置として大出力エネルギーかつ高繰り返しレーザーを建設するには、予算措置が必要である。
---------------	----	--	--------	--	----	-------------------------------	---

アクションプラン進捗状況報告書
(第1回チェック・アンド・レビューに向けて)

課題名: 参考 レーザー炉特有の研究開発項目

報告日: 30年3月28日

小課題名	アクション	期限	第1回C&Rまでの要完了事項	実施期待機関	進捗状況	進捗度	進捗状況の評価	課題達成のために必要な措置
炉心プラズマ	炉心プラズマ基礎実験	17		C1/大/N	C1/N: 大阪大学レーザー科学研究所と核融合科学研究所の連携に数大学の研究者を加えて、高速点火方式による点火温度5 keVの高速燃料プラズマ加熱を実証することを目的としたFIREX-1プロジェクトを遂行している。加熱媒体となるレーザー照射生成電子スペクトルの制御およびレーザー生成外部磁場の導入による電子流集束制御により2 keVまでの加熱を達成した。加熱電子流の輸送過程を実験及びシミュレーションにより評価し、物理機構のモデル化および加熱比例則の確立を図っている。	順調	目標の5 keVについては未だ達成されていないが、加熱の基礎物理の理解・モデル化と加熱過程の制御に関する見通しを得つつあることは高く評価される。	現状の実験装置での十分なデータ取得ショット数を得るためには、マシンタイム確保のための予算措置が必要である。また、現有実験装置自体の改良も望まれる。
	国際連携検討	18		C1/N/大	C1: 2017年度、米国との連携強化を目的にローレンスリバモア国立研究所内に大阪大学レーザー科学研究所連携オフィスを設置するとともに在外研究員を現地に1年派遣した。2017年度、現地で関連するワークショップを開催するなどより具体的な連携が検討された。	極めて順調	連携オフィスを設置したことで議論が加速できたことは高く評価できる	連携オフィスは有効に機能しているが、現地滞在者や現地スタッフの経費が今後課題となり措置が必要である。
	国際連携準備	22		C1/N/大	C1: 2017年度大阪大学と米国ローレンスリバモア国立研究所と大学間協定が結ばれた。さらにレーザーによる高エネルギー密度科学などに関して全日本一全米での連携に関する議論が進むとともに文科省-米国DOEとの連携に向けた議論も開始され、今後正式な協議へ向けた検討が始まっている。	極めて順調	阪大-リバモアから全日本-全米での連携へ向けた取り組みが開始されようとしていることは高く評価できる。	米国との具体的な取り組みを進めるうえで研究者レベルの連携に加え、政府間レベルの協議が必要不可欠である。
	自己点火炉心プラズマ数値設計	21		C1/N/大	C1: 上記FIREX-1プロジェクトにおいて得られた燃料プラズマ加熱と基礎過程の理解に基づき、実験でベンチマークされた多階層シミュレーションコードを用いて、点火燃焼ターゲットの設計を行っている。ターゲット設計条件による点火燃焼過程及び核融合出力に関する知見をもとに、自己点火と高利得への外挿性を評価しつつある。	順調	実験と理論シミュレーションを常に比較検討しながら研究開発を進めている点は優れた手法であり、評価出来る。高速加熱には非線形現象を多く伴うので、物理過程の精緻なモデル化を期待する。	コードのベンチマークのための十分な実験データを得る必要があり、現行実験に対してもマシンタイム確保のための予算措置が必要である。高性能計算機の強化が必要である。

繰り返し炉工試験装置	繰り返し炉工試験装置概念設計	18		C1/N/大/産	C1/N/大/産:IFEフォーラムレーザー核融合技術振興会の支援で大阪大学レーザー科学研究所、核融合科学研究所、光産業創成大学院大学、茨城大学、岐阜大学等共同で概念設計が行われた。	順調	システムを構成する要素技術については技術的見通しがつき、それにより概念設計が行われたことは評価できる。残された課題は投入ターゲットの傾きの抑制等である。	概念設計の技術的裏付けを取るためには試験装置の加工、組み立て精度の向上などが必要であり、適正な投資が必要である。
	20 kJ/10 Hzレーザー詳細設計	19		C1/大/産/QW/N	C1/産:大阪大学レーザー科学研究所、浜松ホトニクス等で詳細設計が進められている。	順調	段階的に試作を重ね、冷却能力、信頼性、耐久性の試算を行っていることが評価できる。今後も実機スペックでの評価を重ねる必要がある。	繰り返し熱歪み応力による疲労、熱による発振波長のシフト等。建設資金の確保が課題。
	大量ペレット製造法の詳細設計	19		C1/N/大/産	C1:大阪大学レーザー科学研究所で実験室レベルの要素技術、概念設計を行った。	加速が必要	ペレット製造法の基礎技術を確立したことは評価できる。今後は利得を担保できるターゲット設計を早急に行う必要がある。	開発資金の確保、加熱効率の向上。および詳細設計に移行するための人的・財政的支援が必要。
	ペレット入射装置の詳細設計	19		C1/N/大/産	C1:大阪大学レーザー科学研究所で単ショットベースの入射装置で技術的課題を検証している。	加速が必要	単ショットベースの基礎装置が完成したことは評価できる。今後はターゲット設計が完成した時点でそれに対応できる装置の設計を進める。	円柱対象系のターゲットにおける入射時の対称軸の傾き抑制。および詳細設計に移行するための人的・財政的支援が必要。
	ペレット追尾装置の詳細設計	22		C1/N/大/産	大:茨城大学で原理検証実験は行われ、それに基づく概念設計が行われた。	加速が必要	概念設計と基本技術を確立したことは評価できる。今後は、ターゲット設計が完成した段階でそれに応じた詳細設計を行う。	観測系への放射線の影響評価。および詳細設計に移行するための人的・財政的支援が必要。
炉工学技術	壁/プラズマ相互作用の総合的理解	27		C1/大/N	C1:大阪大学レーザー科学研究所、レーザー技術総合総合研究所等で液体壁商用炉を念頭に置いたシミュレーション研究を中心に行っている。これまでのところ、一時期問題視されたエアロゾルの形成は放電を用いた α 粒子によるアブレーション模擬実験などでほぼ問題ないのではないかと理解に至っている。	順調	シミュレーションにより壁/プラズマ相互作用の理解が進んだことは評価できる。レーザー核融合炉はプラントの位置づけ(実験炉、デモ炉、商用炉)に応じて設計可能であり、プラズマ、壁相互作用はそれほど重要な課題ではない。最終結論は実験炉のPhaseIII程度まで行う必要がある。	単ショットベースの点火燃焼、連続照射技術の証明、国策としての開発の促進。
	液体金属壁基礎実験装置詳細設計	20		C1/N/大/産	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。		単ショットベースの点火燃焼が実証された段階でスタートしても対応可能と考える。	単ショットベースの点火燃焼、連続照射技術の証明、国策としての開発の促進。
	材料試験装置部詳細設計	20		C1/N/大	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。		実験炉自体が材料試験装置であり、連続運転により磁場核融合で言うデモ炉までの機能を持たせることができる。	単ショットベースの点火燃焼、連続照射技術の証明、国策としての開発の促進。

トリチウム回収系の詳細設計	22		C1/N/大/産	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。		単ショットベースの点火燃焼が実証された段階でスタートしても対応可能と考える。	単ショットベースの点火燃焼、連続照射技術の証明、国策としての開発の促進。
トリチウム貯蔵/供給系の製造	21		C1/N/大/産	大阪大学レーザー科学研究所では特になし。		立ち上げ時にはいろいろな供給ルートを確認する必要があるが、それ以降は自給自足可能。	単ショットベースの点火燃焼、連続照射技術の証明、国策としての開発の促進。