

原型炉研究開発共同研究の進展

6. 先進ブランケット共同研究の進展

Progress of collaborative research on DEMO

6. Progress of collaborative research on advanced blanket systems

田中 照也

Teruya TANAKA

核融合研

NIFS

先進ブランケット研究の位置付け

原型炉では、炉心プラズマに面する壁面に水冷却・固体増殖方式のブランケット・モジュールが約1000体設置され、発電実証が行われる^[1]。一方、原型炉運転後期において、その一部をより高効率の発電が目指せる先進材料・先進方式に基づいたテスト・ブランケット・モジュール（原型炉TBM）に交換し、将来の核融合炉における経済性向上等を見通すための実証データを取得することが提案されている（図1）。

原型炉アクションプランにおける取組項目

図2に原型炉アクションプラン構成表^[2]から先進ブランケットに関する項目を抜粋している。2015年から2035年にかけて、5つの項目が挙げられており、そのうち項目①～③の3つは現時点で具体的な取り組みが必要とされている。（項目番号は本予稿のために記載）。

原型炉TBMのための先進ブランケット概念検討

アクションプラン項目①の先進ブランケット概念検討に対しては、QST原型炉研究開発共同研究として「原型炉における先進ブランケット初期概念の検討」（平成29-令和1年度、代表NIFS田中照也）が立ち上げられた。先進ブランケット概念として、大学を中心に長年に渡り要素技術研究が進められてきている液体金属（LiPb, Li）及び熔融塩（FLiBe, FLiNaBe）をトリチウム増殖材兼冷却材（増殖/冷却材）として用いる自己冷却液体ブランケット概念を取り上げ、また、構造材は低放射化フェライト鋼として原型炉TBM素案の提示を目指した設計検討を開始した。

検討の最初に中性子輸送計算により、原型炉3次元体系に対して、いずれの液体増殖/冷却材についてもトリチウム燃料増殖が見込めることを確認した。次に、特に液体金属冷却材循環におけるMHD圧力損失（電磁ブレーキ効果）の大きさや、その低減技術を検討する際に重要

となる炉内・炉外の磁場分布の解析を進めた。現在、この磁場解析結果と、検討のたたき台として提案したモジュール形状案に対して、LiPb増殖/冷却材循環を想定したMHD圧力損失の評価や第一壁の除熱の見通しに関する数値計算を進めている。また、材料共存性は概念の成立性を左右する再重要課題の一つとの認識から、研究状況についての整理と今後の取組の議論を進めた。モジュール形状や冷却材ダクト経路、構造材における許容温度や熱応力の制限、冷却材の放射化評価等については先行して進められている水冷却・固体増殖ブランケットシステムの設計条件、評価方法に沿うように検討を進める計画である。

先進ブランケット技術に関わる実験研究

項目②の機能・特性試験に関連しては、令和1年度より開始されたNIFS原型炉研究開発共同研究において、3件の課題が実施済み、または実施中である。この共同研究における課題指定型研究の公募課題については、先進概念において必須と考えられる技術や未取得データの中で、研究の早い段階で見通しや課題の有無を検証し、原型炉TBMの設計素案検討や今後の実験研究展開に反映させる必要があるものを優先する方針としている。課題指定型については「液体ブランケット異材接合部の増殖・冷却材との共存研究」（令和1-3年度、代表：東工大・近藤正聡）が、また、課題指定型（若手優先）については「MHD圧力損失低減用機能性被覆の創製と特性評価」（令和1-2年度、静岡大・近田拓未）が実施中である。課題提案型では「熔融塩抽出及び電気化学的手法を用いた液体増殖材中不純物の低減」（令和1年度、京大・八木重郎）が採択され実施済みとなっている。各研究課題の詳細及び成果についてはシンポジウム講演において紹介する。

項目③の統合循環ループ試験については、現在、本共同研究とは別途に核融合研・LHD計画

共同研究において、熱・物質流動ループ装置 (Oroshhi-2^[3]、核融合研)を用いた循環するLiPb増殖/冷却材からの水素同位体連続回収技術、熔融塩冷却材の強磁場下熱流動特性に関する研究が進められており、それらの結果は原型炉TBM検討にも活用されるとともに、今後の本共同研究においても課題の実施が想定される。

研究の展開

原型炉研究開発共同研究において先進ブランケット概念の検討が立ち上げられて3年が経ったところで、設計素案検討に必要なデータであるものの未取得と考えられる条件領域が見いだされている他、概念検討の議論も起点となって新しい材料研究活動が立ち上がる例が出ている。原型炉TBM概念の設計検討と実験課題設定・実施を両輪として進めていく計画である。また、今後、設計検討内容や優先して取り組む実験課題の議論をより広く行える機会を作り、各研究グループにより実施されている要素技術について、ブランケット統合模擬環境における検証を加速するとともに、解決が難しい課題が生じた際にはそのバックアップ技術に関する議論を行っていくこと等が重要になると考えられる。

- [1] 第7回原型炉設計合同特別チーム全体会合資料、「ブランケット概念設計の状況」(2017年12月 QST 染谷洋二)
 [2] 「原型炉開発に向けたアクションプラン」、文部科学省ホームページ(https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/houkoku/1412800.htm)
 [3] A. Sagara et al., Fusion Science and Technology, 68 (2015) 303-307.

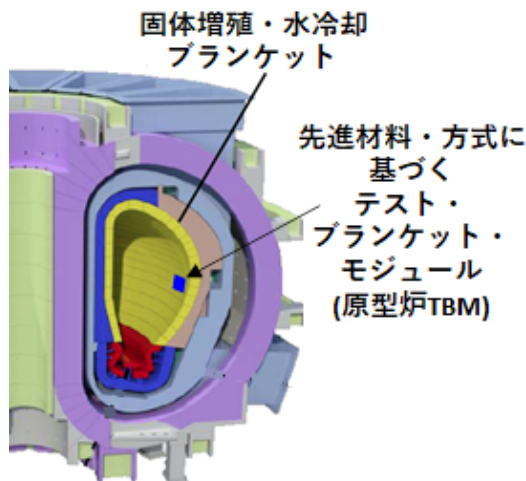


図 1. 原型炉運転後期での設置が計画されている原型炉 TBM のイメージ^[1]。(位置や大きさは未定)

合同特別チームの活動フェーズ

黒: 開始事項
赤: 完了事項

概念設計の基本設計

概念設計

工学設計

	2015	2020頃	2025頃	2035頃
2.ブランケット	原型炉ブランケットシステムの概念基本設計 原型炉ブランケットシステムの概念設計 原型炉ブランケットシステムの工学設計			
	固体増殖・水冷却ブランケット関連基礎・標準データベースの構築			
	ITER-TBM製作実績 ▲ ITER-TBM最終設計報告書 ▲ ITER-TBM1号製造終了 ▲ ITER-TBM2号製造終了 ▲			
	核融合中性子源照射試験			
	TBS・補完試験装置の設計・試験計画、コールド試験データ取得		ITER-TBSによるブランケット設計・製作技術の妥当性実証	
	トリチウム工学試験の計画と設備設計		トリチウム挙動説明・取扱技術確立	
	原型炉TBMのための先進ブランケット概念検討・素案提示		基礎・標準データ拡充	
	先進ブランケットの小型試験体製作・特性試験、システム技術開発		小型モックアップによる総合機能実証	
	固体増殖・水冷却 ブランケット	(15) Q/特: 基礎・標準データベースの構築(35) (15) 特/Q/産: 原型炉ブランケットシステムの概念基本設計→(19) (18) Q: ITER-TBM製作実績(35) (15) Q: 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) (15) Q: トリチウム工学試験の計画と設備設計(21)	-----→ (20) 特/Q/産: 原型炉ブランケットシステムの概念設計→(26) -----→ →(15) Q: 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の取得→(21) →(15) Q: トリチウム工学試験の計画と設備設計→(21) (22) Q: ITER-TBSによる設計、製作技術の妥当性実証(35) (22) Q: トリチウム挙動説明、トリチウム取扱技術の確立(35)	→(15) Q/特: 基礎・標準データベースの構築 →(35) (27) 特/Q/産: 原型炉ブランケットシステムの工学設計→(35) -----→ (18) Q: ITER-TBM製作実績 →(35) (30) Q/大: 核融合中性子源照射試験 →(35) →(22) Q: ITER-TBSによる設計、製作技術の妥当性実証→(35) →(22) Q: トリチウム挙動の説明、トリチウム取扱技術の確立→(35)
		① 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 ④ N/大/特: 先進ブランケットに関する基礎・標準データの拡充		
② N/大: 小型試験体製作・機能・特性試験 ⑤ 特/N/大: 小型モックアップによる総合機能実証				
③ N/大: 実環境相当の統合循環ループ試験				

図 2. 原型炉アクションプラン構成表のブランケット関連項目^[2]。(見やすさのために一部記載方法を変更)