

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力分野の研究開発に関する委員会
核融合研究作業部会（第4回）

ブランケットに関する 最近の状況について

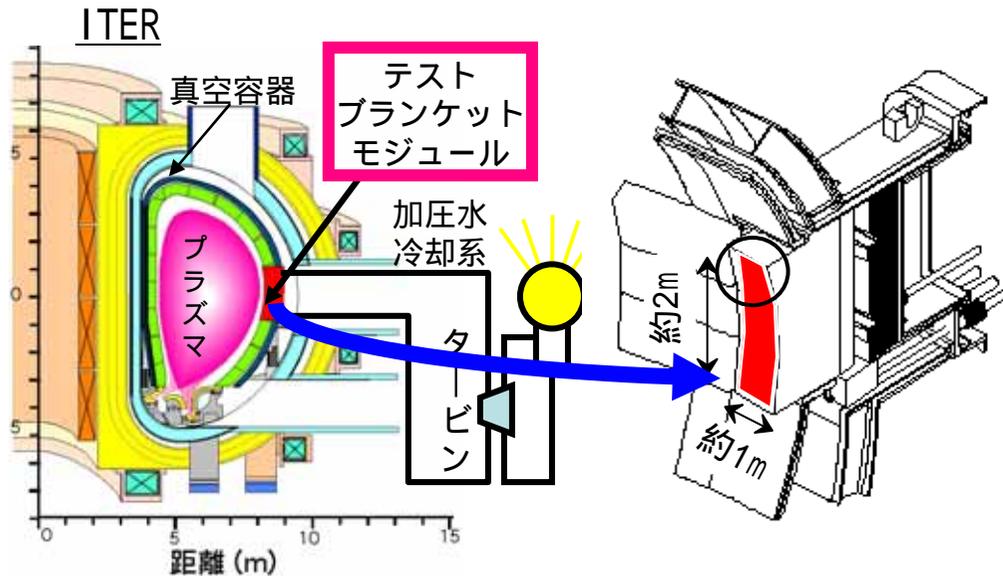
平成18年10月25日

日本原子力研究開発機構
高津 英幸

テストブランケット・モジュール(TBM)を用いた 総合試験はITERの最も重要なミッションの一つ

Fusion Technology

- TBM計画は、工学面では、最も重要なITER利用計画。ここで主導的な役割を果たすことは、原型炉の根幹となる技術で世界をリードする絶好の機会。
 - ◆ ITERは各極ブランケット概念の国際コンテストの場
 - ◆ 最も優れたブランケットが原型炉以降の世界標準になる可能性



開発スケジュール

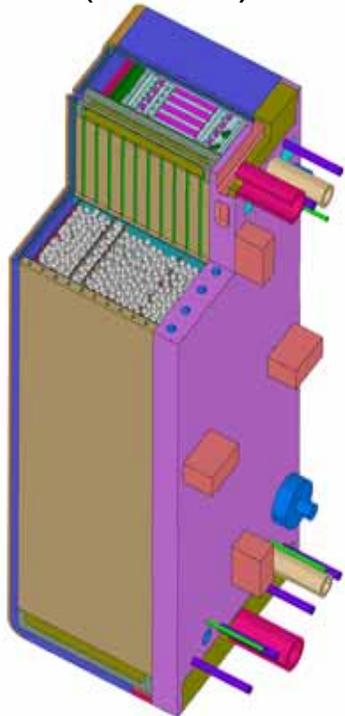
年度	H19	H22	H28
ITER	建設		★ 運転開始
テストブランケット モジュール開発	技術開発	TBM製作・据付	

- ITERを利用したTBM試験はわが国の方針
 - ◆ 「核融合炉ブランケットの研究開発の進め方」(平成12年8月、核融合会議)
 - 原型炉の前段階である実験炉にブランケットのモジュール試験体を設置し、…試験を行うことが不可欠である。

TBMに提案されている主なブランケット概念

□ 固体増殖方式

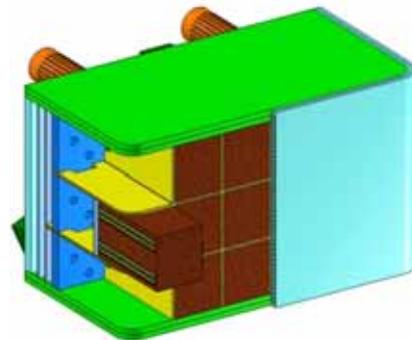
固体増殖/水冷却方式(WCSB)



- ▶ 構造材: 低放射化鋼
- ▶ 増倍材: Be
- ▶ 増殖材: Li_2TiO_3
- ▶ 冷却材: 加圧軽水
圧力: 15MPa
温度:

280/325° C

固体増殖/He冷却方式(HCSB)

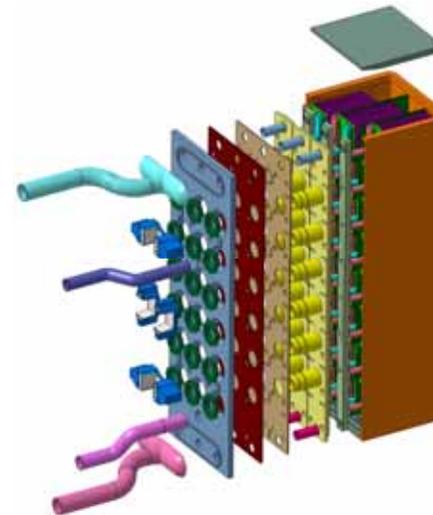


- ▶ 構造材: 低放射化鋼
- ▶ 増倍材: Be
- ▶ 増殖材:
 Li_4SiO_4 or Li_2TiO_3
- ▶ 冷却材: He
圧力: 8MPa
温度:

300/500° C

□ 液体増殖方式

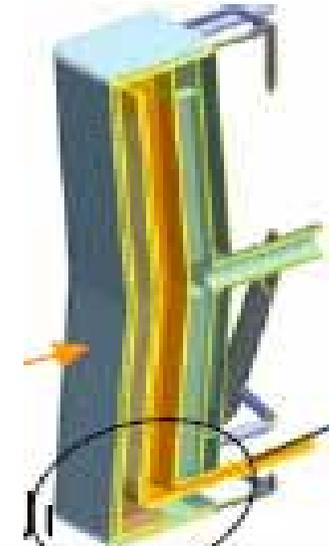
LiPb増殖/He冷却方式(HCLL)



- ▶ 構造材: 低放射化鋼
- ▶ 増殖材: LiPb
- ▶ 冷却材: He
圧力: 8MPa
温度:
300/500° C

▶ LiPb速度: <1mm/s

LiPb増殖/2流体(He, LiPb)冷却方式(DCLL)



- ▶ 構造材: 低放射化鋼
- ▶ 増殖材: LiPb
- ▶ 冷却材1: He
圧力: 8MPa
温度:
300/500° C
- ▶ 冷却材2: LiPb
温度:

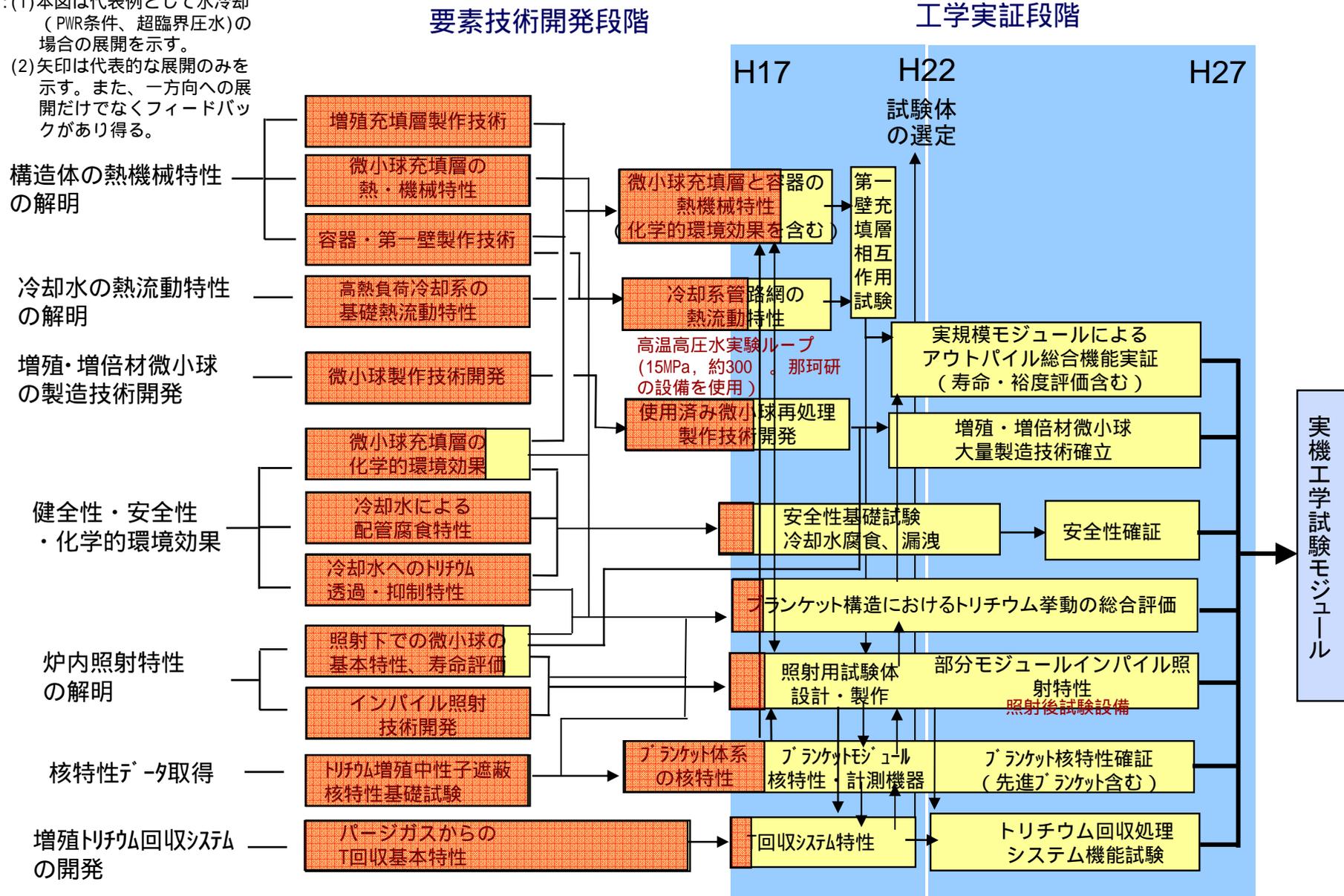
460/700° C

テストブランケットの開発課題とR&Dの展開

Fusion Technology

注: (1)本図は代表例として水冷却 (PWR条件、超臨界圧水)の場合の展開を示す。

(2)矢印は代表的な展開のみを示す。また、一方向への展開だけでなくフィードバックがあり得る。

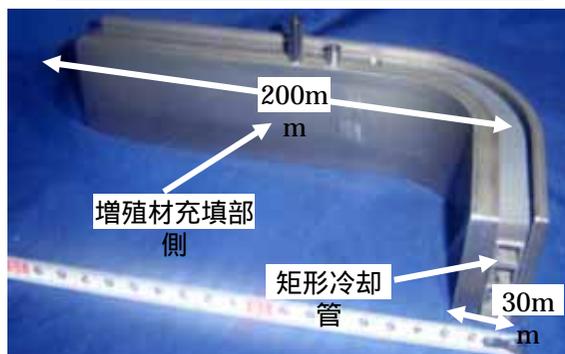


ブランケットの要素技術開発はほぼ完了

—製作技術に見通しが得られ、設計基礎データも取得完了—

Fusion Technology

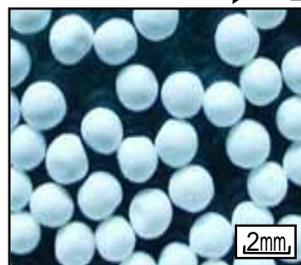
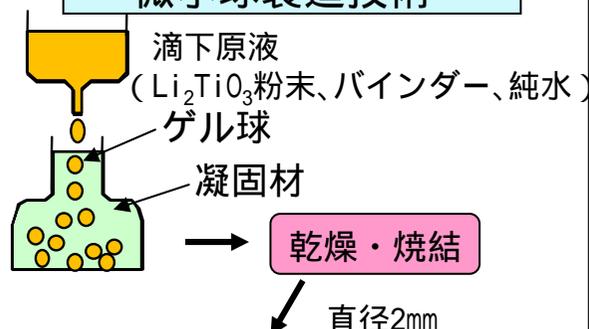
第一壁パネル製造技術



世界で初めて高温等方圧加圧接合法(HIP接合法)を用いて試作した低放射化フェライト鋼第一壁パネル

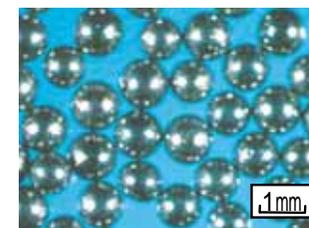
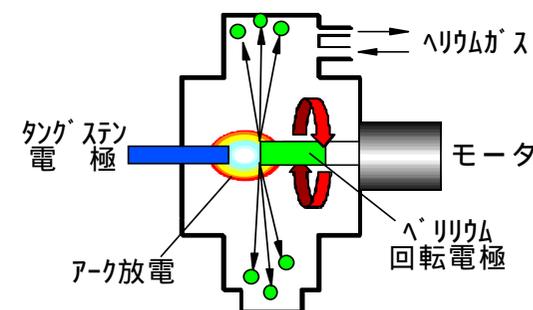
- ・HIP条件を選定
(約1100°C、1500気圧)
- ・材料疲労強度と同程度の疲労強度
(1MW/m²、400秒、5000回以上)

トリチウム増殖材 微小球製造技術



増殖材(Li₂TiO₃)微小球の製造技術(湿式造粒法)と微小球の外観

中性子増倍材 微小球製造技術



・回転電極法を用いてベリリウム微小球製造に成功

- 原子力機構は、世界に先駆けて、第一壁パネル製造技術、トリチウム増殖材微小球製造技術、ベリリウム中性子増倍材微小球製造技術、低放射化フェライト鋼製造技術を開発。次のステップは実機に近い試験体による組合試験。

テストブランケット・モジュール試験計画を国際的に調整するテストブランケット作業グループ(TBWG)

Fusion Technology

- TBWGは、平成6年12月の第7回ITER理事会(IC-7)において、ITERを用いて各極が試験を実施するテストブランケット・モジュールの開発試験計画を技術的な観点から国際的に調整・統合するために設置された組織
- 現在は、日、欧、米、露、中国、韓国、インドの7極とITER国際チームで構成。
- 日本の委員は、秋場(原子力機構)、田中教授(東大)、榎枝(原子力機構)。
- 専門家として、清水教授(九大)、長谷川助教授(東北大)、香山教授(京大)、小西教授(京大)、木村教授(京大)、松井教授(東北大)、室賀教授(核科研)、相良教授(核科研)、寺井教授(東大)が活動に参加。
- これまでに17回の会合を開催。主な経緯は以下の通り:
 - ◆ 2001.05 EDA期間の成果を最終報告書にまとめる。(日、欧、露の3極)
 - ◆ 2003.10 6極で活動を再開。(その後、インドが加わり7極となる)
 - ◆ 2005.11 これまでの成果を報告書にまとめるとともに、テストブランケット・モジュール(TBM)に関する安全評価報告書作成作業を開始
 - ◆ 2006.04 TBM取り付け場所の調整等を行うためにより高度な判断を行えるグループをつくり作業を進めることを提案

テストブランケット作業グループ(TBWG)の 現在の状況

Fusion Technology

- 2001年TBWG最終報告書の内容を確認
 - ◆ TBM試験用ポートは3本、設置可能な試験体(TBM)は2体/ポート、合計6体の試験体が同時に設置可能。
 - ◆ TBMの取りつけ、交換等はITER試験計画への影響を最小限とすること。
- これまでの議論に基づき、以下の課題を明らかにした。
 - ◆ ITER参加7極はいずれも、ITER運転開始当初から、各々2種類程度のTBM設置を希望。各極の希望が空間的に収まらない。
 - ◆ 従って、参加7極は、何らかの国際協力が不可欠な状況と認識。
 - ◆ このためには、各極の技術開発状況だけでなく、予算状況や国際協力の枠組みなどの視点を含めた検討が必要であることを、TBWGからITER設立準備委員会(IPC)に報告。

ITER試験ブランケット・モジュール計画に関する アドホック・グループ(AHG/TBM)の活動

Fusion Technology

- この状況を受け、ITER設立準備委員会は、「TBWGが検討を行っている試験計画をレビューすると共に、各極の関与の仕方、国際協力やシェアリングの在り方等を議論する」ことを目的とする「ITER試験ブランケット・モジュール計画に関するアドホック・グループ(AHG/TBM)」を設立。
- 2006年7月から活動を開始して、これまでに会合を2回開催。

所属	委員及び専門家
ITER国際チーム	Chuyanov副機構長候補(会合議長)、多田、How(会合秘書)
TBWG	議長: Giancarli
中国	委員: Huo、専門家: Pan、Wu、Feng
欧州	委員: Gasparotto、専門家: Paidassi、Poitevin、Hick
インド	委員: John、専門家: Deshpande、Kumar
日本	委員: 森、専門家: 小西、高津
韓国	委員: Lee、専門家: Cho
ロシア	委員: Belyakov、専門家: Strebkov
米国	委員: Nardella、専門家: Abdou、Sauthoff

アドホック・グループにおける主な議論

Fusion Technology

- TBM計画への参加形態に関しては、ITER国際チームの下記提案を各極が支持。
 - ◆ ポート・マスター(同一ポートの2体のTBMの統合責任極)
 - ◆ TBMリード極(TBMの開発・製作・試験責任極)
 - ◆ パートナー(TBM試験計画への参加極)
- 日本の立場:
 - ◆ 日本は、固体増殖／水冷却TBMのリード極となると共に、当該ポートのポートマスターになることを提案。
 - ◆ その他のTBM概念(固体増殖/He冷却、LiPb/He冷却、Li/V)については、他極のパートナーになることを希望。
 - ◆ 熔融塩TBMについては、ITER運転後半に持ち込むことを計画。
- 各極が示した参加の立場は以下の通り。

極	ポート・マスター	TBMリード極	パートナー
日本	○	WCSB ¹⁾	HCSB ²⁾ 、DCLL ⁵⁾ 、Li/V ⁴⁾
欧州	○	HCSB ²⁾ 、HCLL ³⁾	限定的ながらWCSBに関心
中国	○	HCSB ²⁾ 、DFLL ⁵⁾	WCSB ¹⁾
米国	-	DCLL ⁵⁾	HCSB ²⁾
韓国	△	HCSB ²⁾ かHCML ⁶⁾	リード極にならない他方の概念
ロシア	-	HCML ⁶⁾ (韓国と共同リードを提案)	HCSB ²⁾
インド	-	LLCB ⁷⁾	WCSB ¹⁾ 、他の液体・固体概念

1) WCSB:固体増殖/水冷却方式、2) HCSB:固体増殖/He冷却方式、3) HCLL:液体LiPb増殖/He冷却方式、4) Li/V:液体Li増殖/Li冷却方式、5) DFLL又はDCLL:液体LiPb増殖/2流体冷却方式、6) HCML:液体Li増殖/He冷却方式、7) LLCB:液体LiPb・固体増殖/He冷却方式

最適化されたTBM試験計画の例

Fusion Technology

- 各ポートへのTBMの配置やリード極に関しては、各極から「ITER運転期間のコスト分担がベースになるべき」「7極の合意に基づくべき」「Best conceptsに基づくべき」等々の見解が出され、合意に至っていない状況。
- 配置案の例として、下記2つの例を会合記録に残すに留まり、引き続き協議を継続中。

ポート#	オプション1	オプション2
1	固体増殖(He冷却)	リチウム鉛(He冷却)
	固体増殖(He冷却)	同左
2	固体増殖(水冷却)	同左
	リチウム鉛(He冷却)	TBD
3	リチウム鉛(リチウム鉛・He冷却)	同左
	液体リチウム概念のTBM	TBD

幅広いアプローチ計画における炉工学研究

- TBM開発と連携した原型炉用工学R&Dの展開 -

Fusion Technology

- 原型炉に向けた長期的、かつ generic な課題の R&D を実施することで日欧が合意
 - ◆ 構造材料（低放射化フェライト鋼、SiC_f / SiC 複合材）
 - ◆ 先進トリチウム増殖材・中性子増倍材
 - ◆ トリチウム技術
- 以下の実施内容を検討中であり、国内専門家及び EU と調整中
 - ◆ 低放射化フェライト鋼：製造・接合技術、高温構造設計基準の基盤整備、微小試験片技術等
 - ◆ SiC_f / SiC 複合材：特性評価、モデル化、照射試験・PIE、大型構造物製造手法等
 - ◆ 先進トリチウム増殖材：候補材の特性評価・特性改善、微小球製造技術、再処理技術等
 - ◆ 先進中性子増倍材：ベリリウム金属間化合物微小球の製造技術開発、特性評価等
 - ◆ トリチウム技術：計測・計量技術開発、トリチウム挙動データベースの構築等
 - ◆ 各種試験装置の設置を検討

- TBM 開発と有機的にリンクすることにより、TBM 開発を加速
- 原型炉設計などとの連携により、材料開発等を効率的・効果的に遂行

まとめ

- TBM試験計画は、いわゆる「ITER建設計画(=調達計画)」の外枠であり、今後、TBMの実現に向けた工学規模の試験を展開し、さらに、TBM製作に進むためには、適切な予算措置、予算枠の確保が不可欠。
- 我が国が国際的にも主導的な立場でTBM計画に参画し、国際的な責任を果たすためにも、TBMの開発・製作にはついては、ITER利用計画において主導的な立場を取り、最大限の利益を得るとことを目指す。このために大学、産業界を含む全日本的な推進体制の構築が必要。
- 材料開発や固体増殖方式を中心とした要素技術開発等の成果によりTBM試験計画でも世界をリードする主導的な役割が期待されている。知的財産の取り扱いに配慮しつつ新たな状況に対応した国際協力の見直しが必要な状況。