

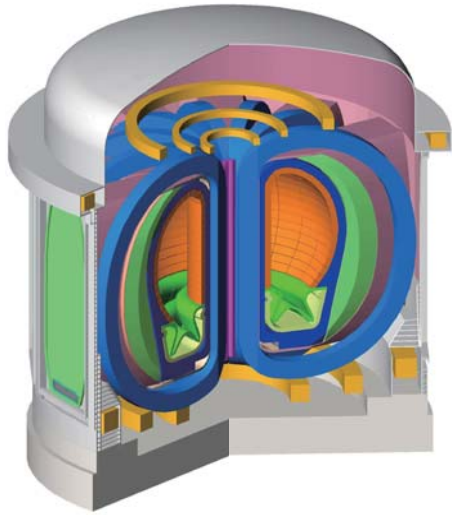
# 原型炉ブランケット設計 における対向壁の課題

日本原子力研究開発機構  
核融合炉システム研究グループ  
染谷 洋二、宇藤 裕康

平成23年3月7～9日 那珂核融合研究所  
第14回若手科学者によるプラズマ研究会

# ～ 導入 ～

## 原型炉SlimCS



主半径 $R_p$	5.5 m
小半径 $a_p$	2.1 m
アスペクト比 $A$	2.6
最大磁場 $B_{max}$	16.4 T
核融合炉出力 $P_{fus}$	2.95 GW
正味の電気出力 $P_e$	1 GWe

## 核融合原型炉ブランケット

- 主要構造材
  - 低放射化フェライト鋼 (F82H)
- ブランケット構造
  - シンプル構造
  - プラズマ近傍での溶接個所の減少
- 冷却水条件
  - PWR条件

# 研究背景 (SlimCS積層構造ブランケット)

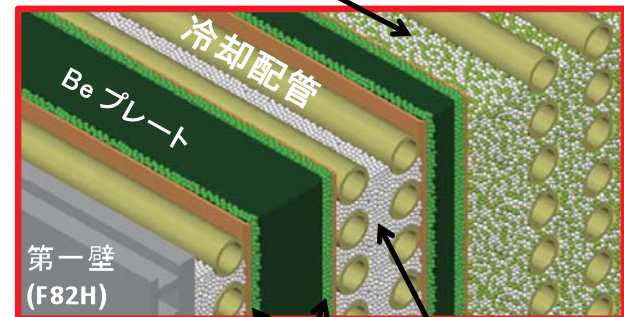
- 積層構造ブランケットの問題点

- プラズマ近傍に冷却配管の溶接点が存在し高中性子照射下での溶接個所の強度低下が懸念される。
- ブランケット内の構造が複雑になる。



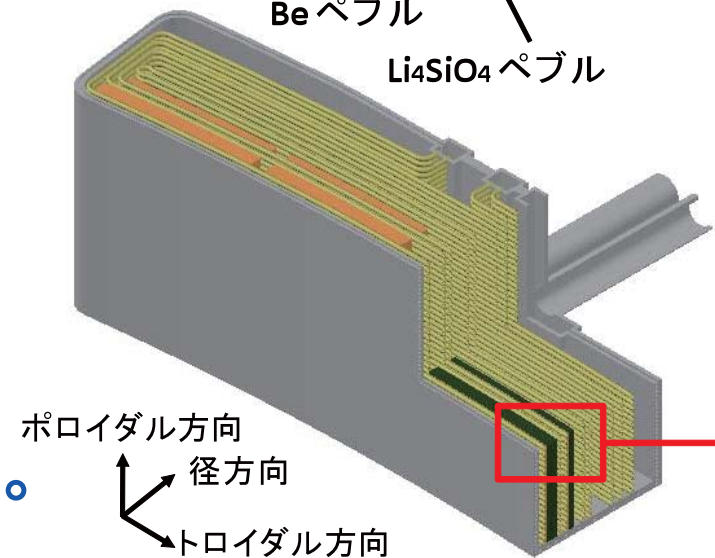
- ▶ プラズマ近傍に冷却配管の溶接点がなく、製造が容易な構造を持つブランケット概念を提案する。

混合ペブル領域:  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  及び  $\text{Be}_{12}\text{Ti}$

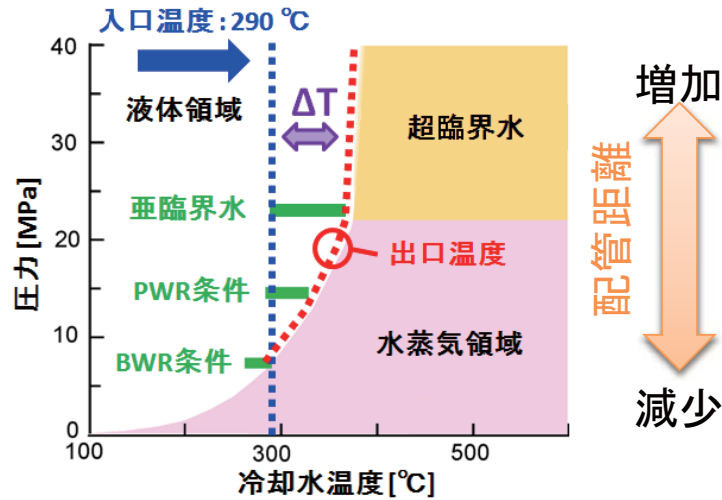


Be ペブル

$\text{Li}_4\text{SiO}_4$  ペブル



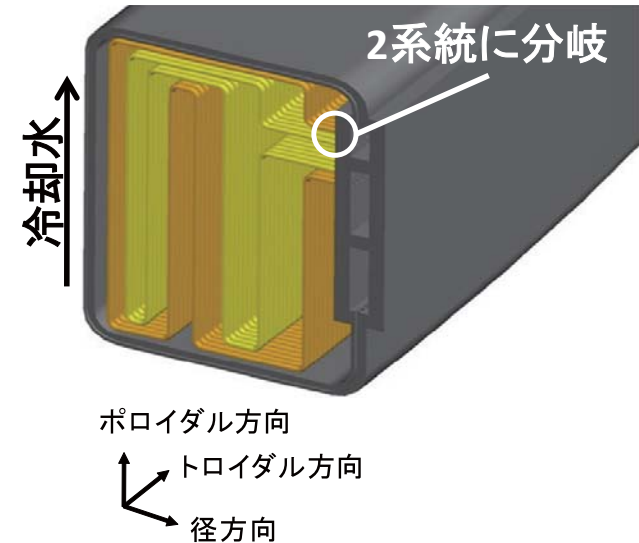
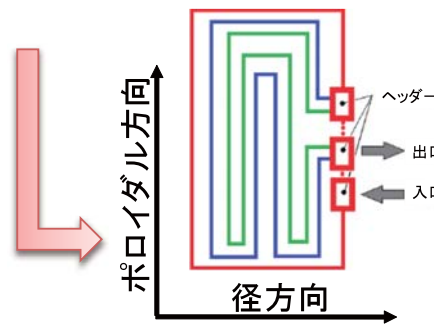
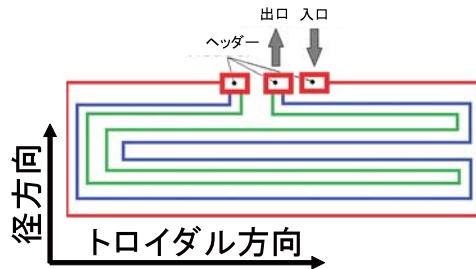
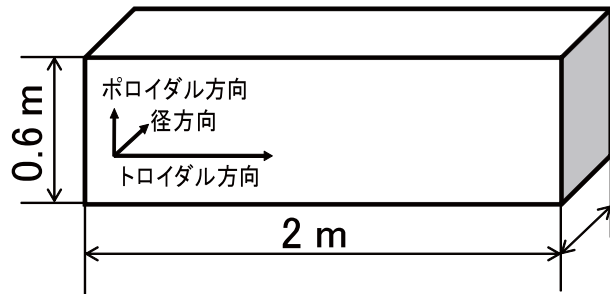
# 冷却水条件



- PWR冷却水条件の採用  
⇒ 軽水炉からの経験
- 入口温度を290°Cに選定  
⇒ 生成される過酸化水素の分解
- 全冷却配管距離の減少  
⇒ 冷却水の入口及び出口温度差の減少

## ブランケットモジュール

- ブランケットモジュール形状  
⇒ 電磁力および導体シエルの配置位置に依存する。



# 新しいブランケット概念

## <混合ペブルブランケット>

- ・ブランケット構造の簡略化

⇒化学的に安定な $\text{Be}_{12}\text{Ti}$ と $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  ( $\text{Li}_2\text{O}$ )を混合させてブランケット内に充填する。

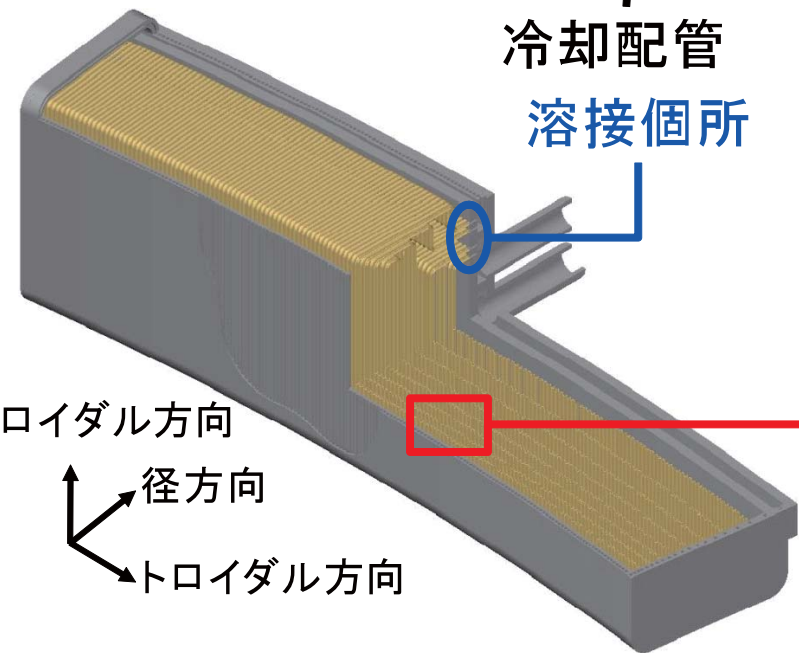
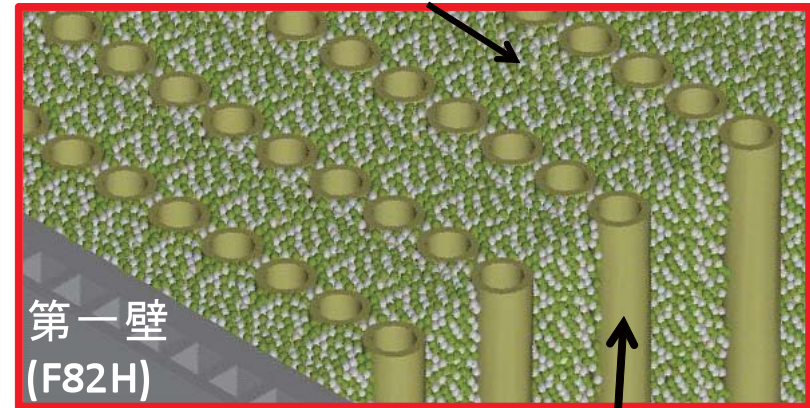
- ・高中性子環境下の緩和

⇒冷却配管の溶接部はブランケット後方に集約する。

- ・PWR冷却水条件の適用

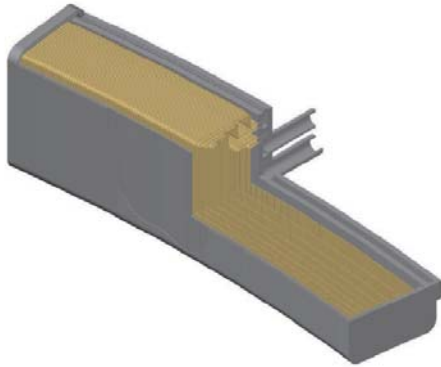
⇒ブランケットモジュール内の冷却配管システムをポロイダル方向に流し、冷却配管距離を短くする。

混合ペブル領域:  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) 及び  $\text{Be}_{12}\text{Ti}$



# ブランケット厚さ

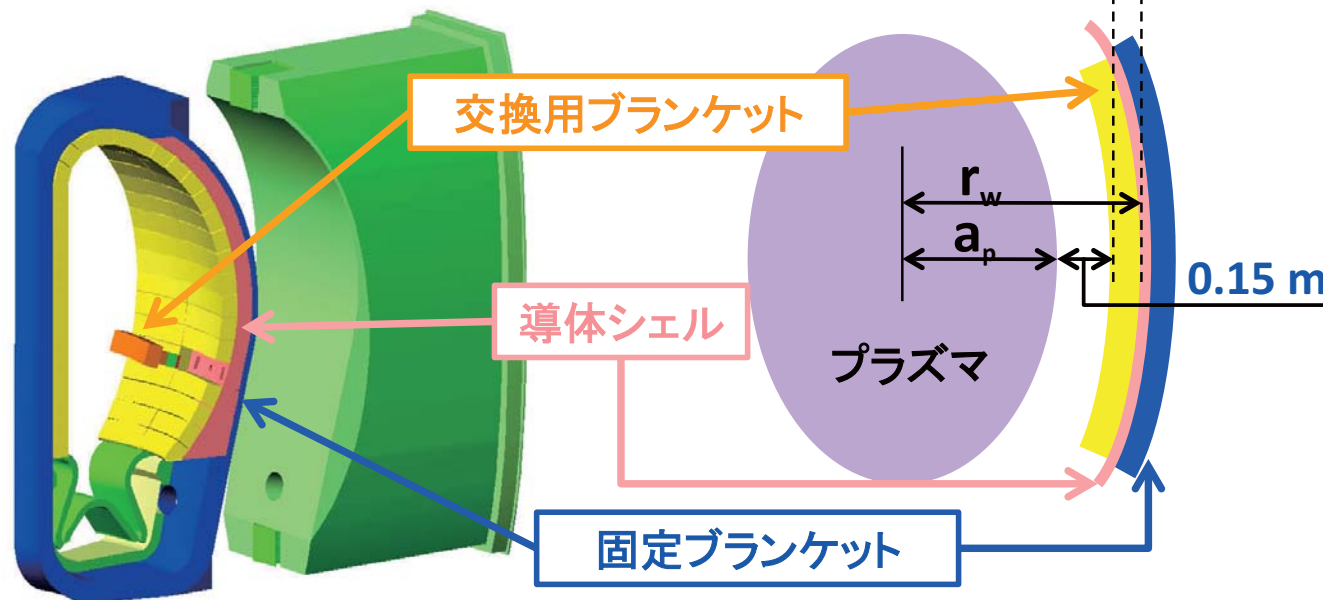
交換用ブランケットモジュール



- プラズマの位置制御および高 $\beta$ プラズマを達成のための導体シェル条件

$$r_w/a_p \leq 1.35$$

ブランケット厚さ  $\leq 0.5$  m





# 計算方法

## • 計算目的

トカマク炉はポロイダル方向に中性子壁負荷は分布を持っている。

- ⇒ モジュール毎に出口温度の統一
- ⇒ Net TBRの評価

## • 構造材温度

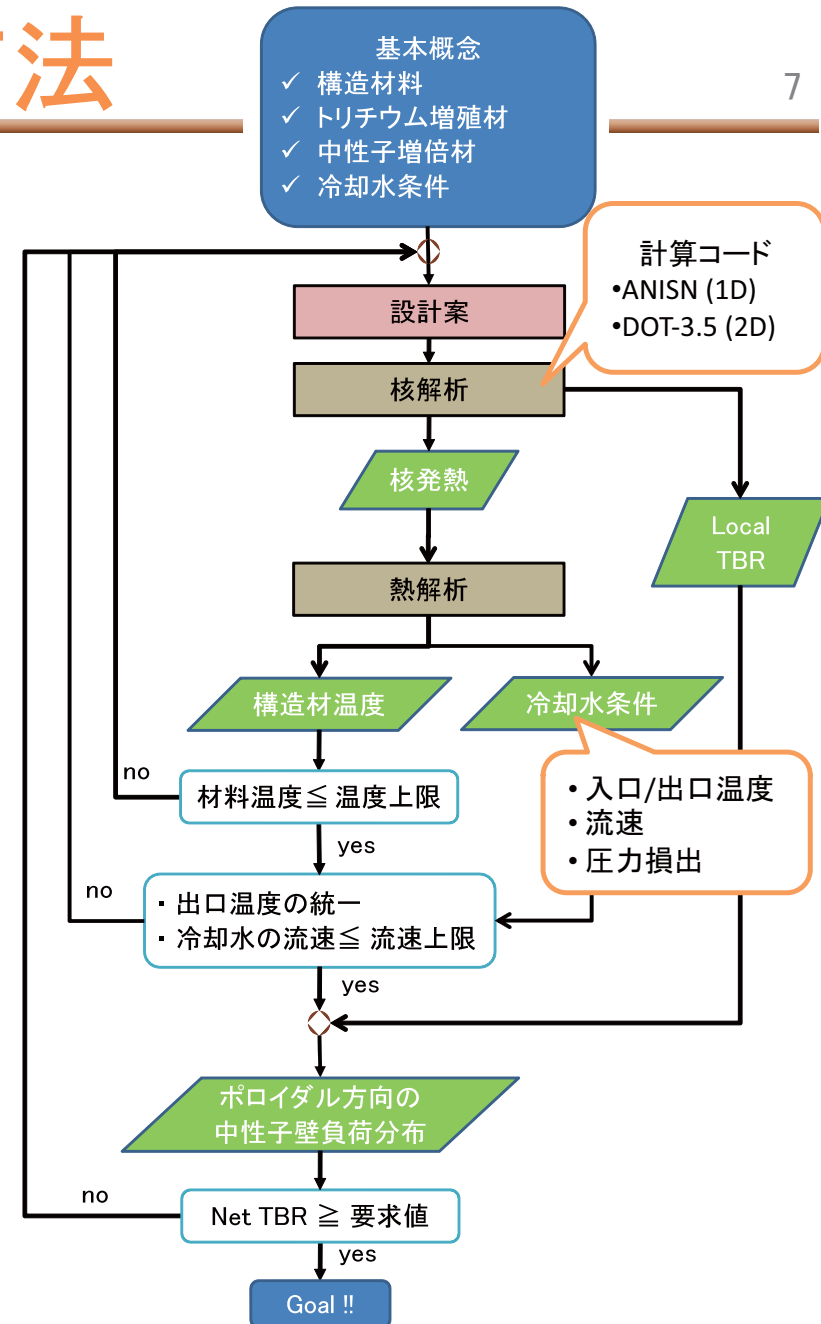
- ✓ F82H  $\leq 550^{\circ}\text{C}$
- ✓  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  and  $\text{Be}_{12}\text{Ti}$   $\leq 900^{\circ}\text{C}$
- ✓  $\text{Li}_2\text{O}$   $\leq 700^{\circ}\text{C}$

## • 冷却水条件

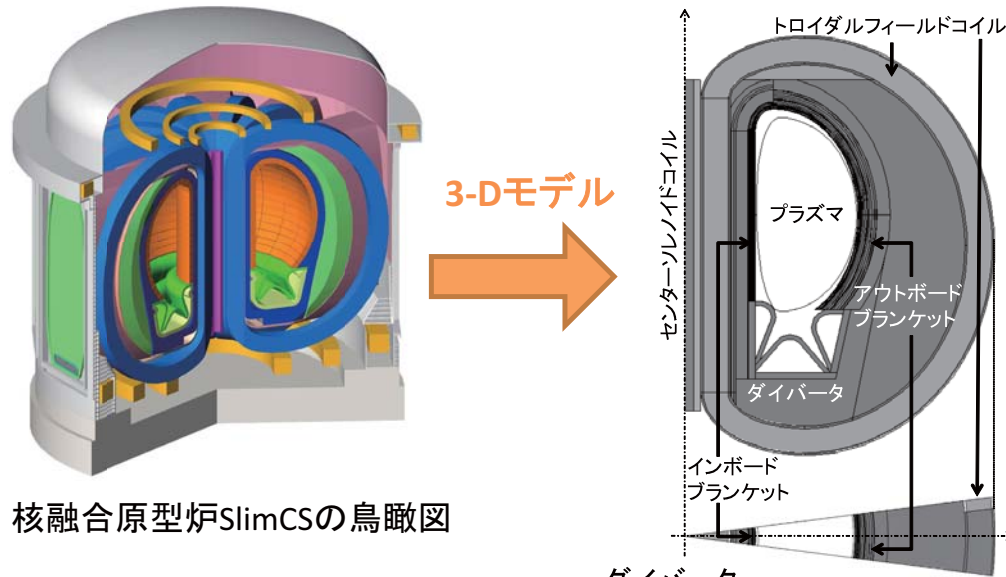
- ✓ 入口/出口温度 =  $290\sim 330^{\circ}\text{C}$

## • 設計目標

- ✓ Net TBR  $\geq 1.05$   
(Local TBR = 1.38)
- ✓ ブランケット厚さ  $\leq 0.5\text{ m}$

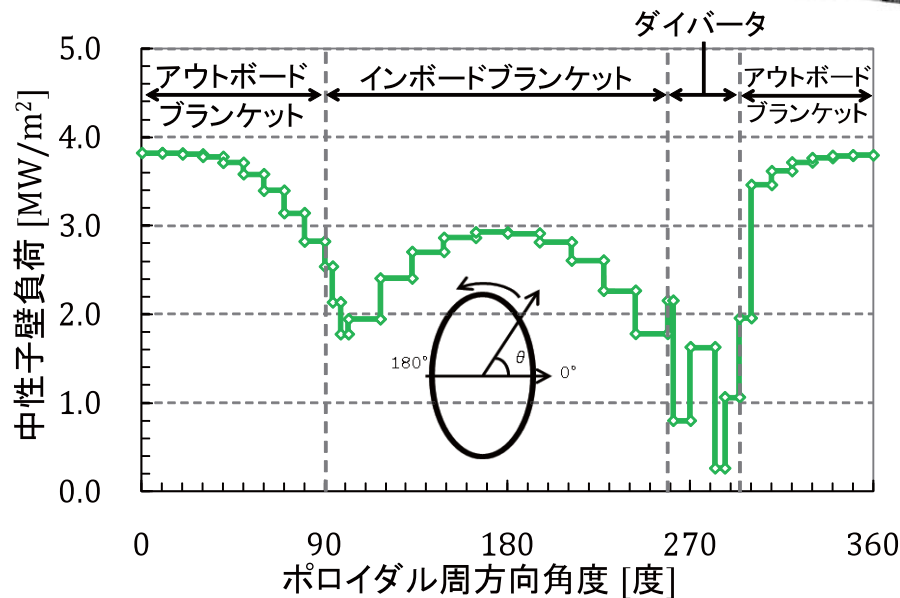


# 中性子壁負荷分布



核融合原型炉SlimCSの鳥瞰図

- 3-D計算コード及び 核データ
  - ✓ MCNP-5 with ENDF/B-VII
- 線源条件
  - ✓ 14.06 MeV単色の体積線源
- 計算体系
  - ✓ 15°セクターモデル
  - ✓ 反射境界を採用

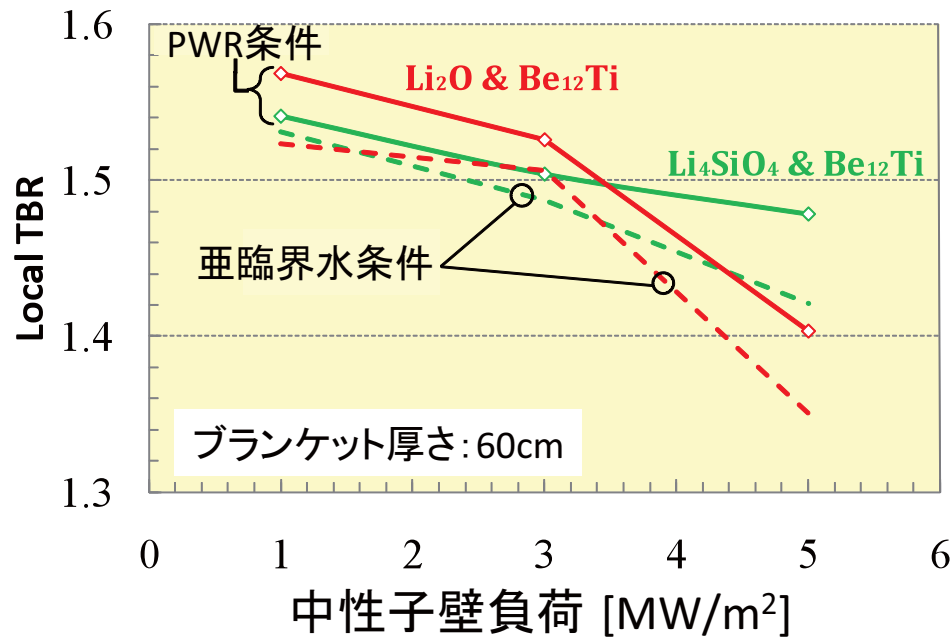


中性子壁負荷	インボード ブランケット	アウトボード ブランケット
最大値 [MW/m <sup>2</sup> ]	2.93	3.82
平均値 [MW/m <sup>2</sup> ]	2.44	3.50

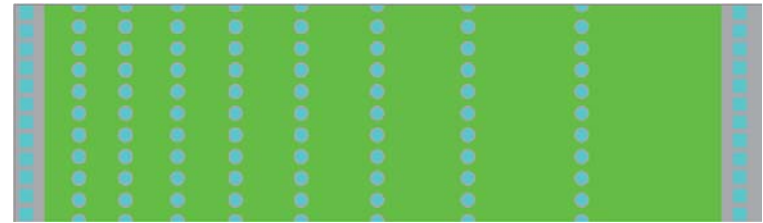


# 中性子壁負荷変化時のlocal TBR

9



ブランケット断面図 (Pn = 5 MW/m<sup>2</sup>)



Pn = 1 MW/m<sup>2</sup>

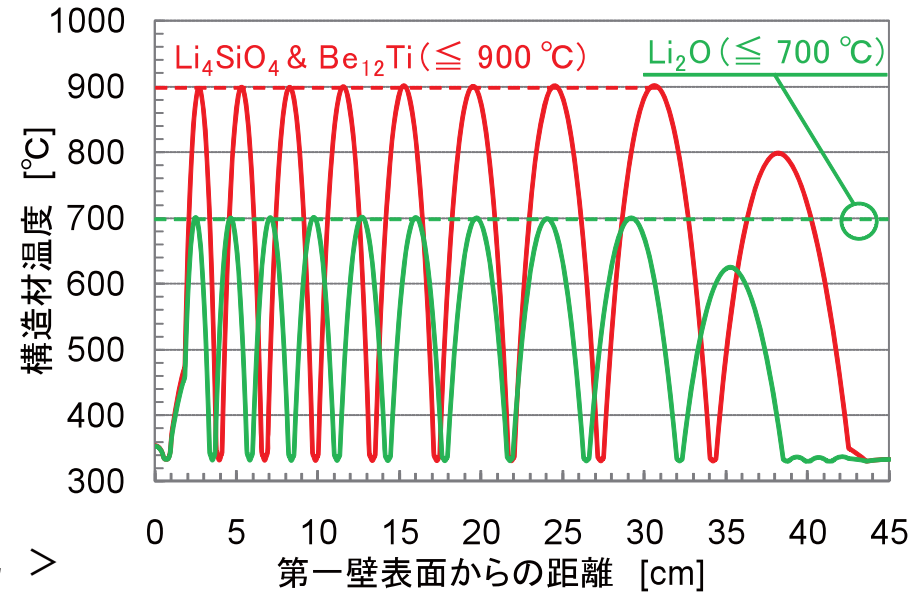


## Local TBR の改善

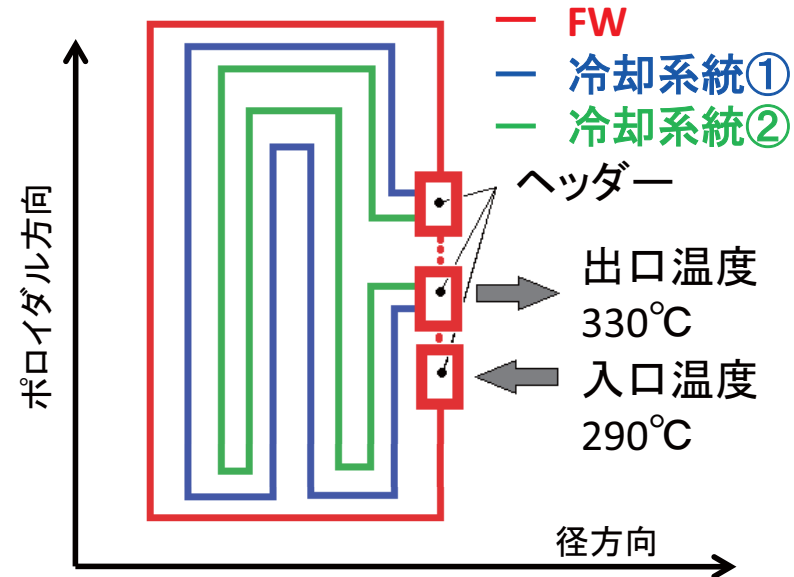
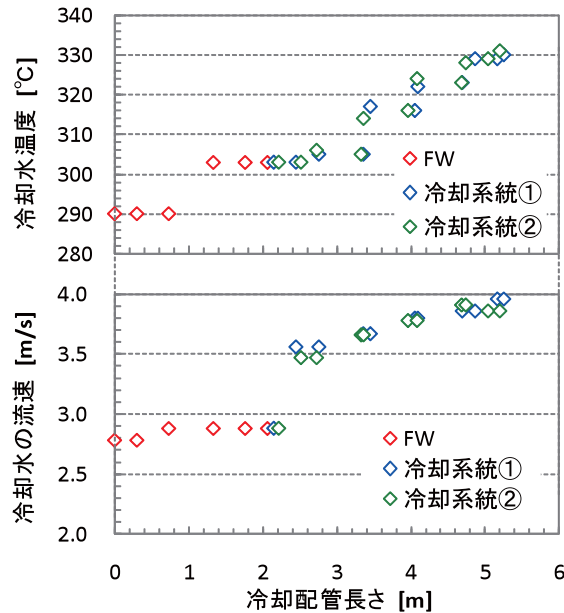
- 中性子壁負荷の低下 (5 から 1 MW/m<sup>2</sup>)
  - ブランケット内の冷却配管数の減少
- 冷却水条件: 亜臨界水条件からPWR 条件に変化した場合
  - 冷却配管の肉厚低下に伴う構造材の減少

# 運転温度の評価および出口温度評価

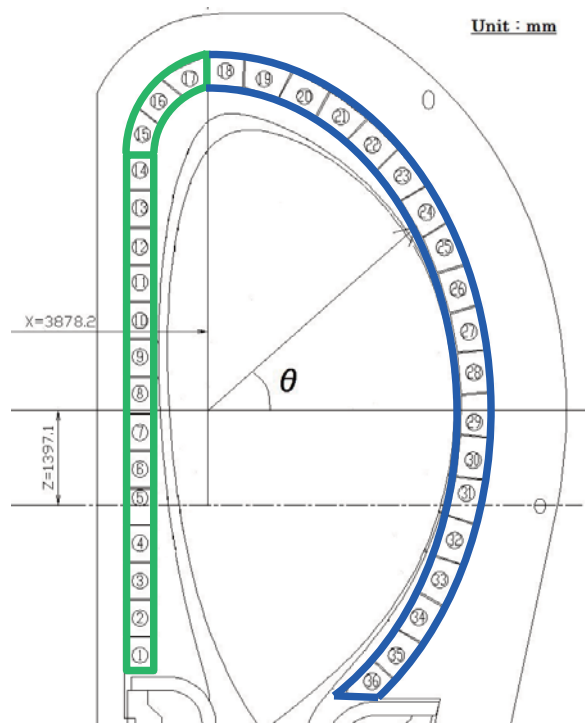
冷却水条件	PWR条件
中性子壁負荷	3 MW/m <sup>2</sup>
熱負荷	0.5 MW/m <sup>2</sup>
トリチウム増殖材	Li <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>
中性子増倍材	Be <sub>12</sub> Ti
充填率	80 %
ブランケット厚さ	45 cm
冷却系統の方向	ポロイダル
入口/出口温度	290/330 °C
圧力損出	0.14 MPa



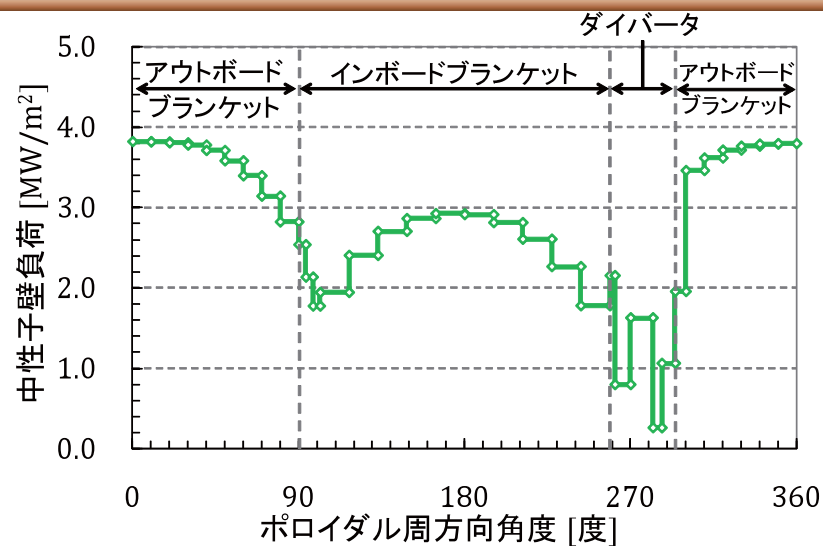
< 冷却配管に沿った冷却水の温度および流速の変化 >



# ブランケットモジュールの配置図



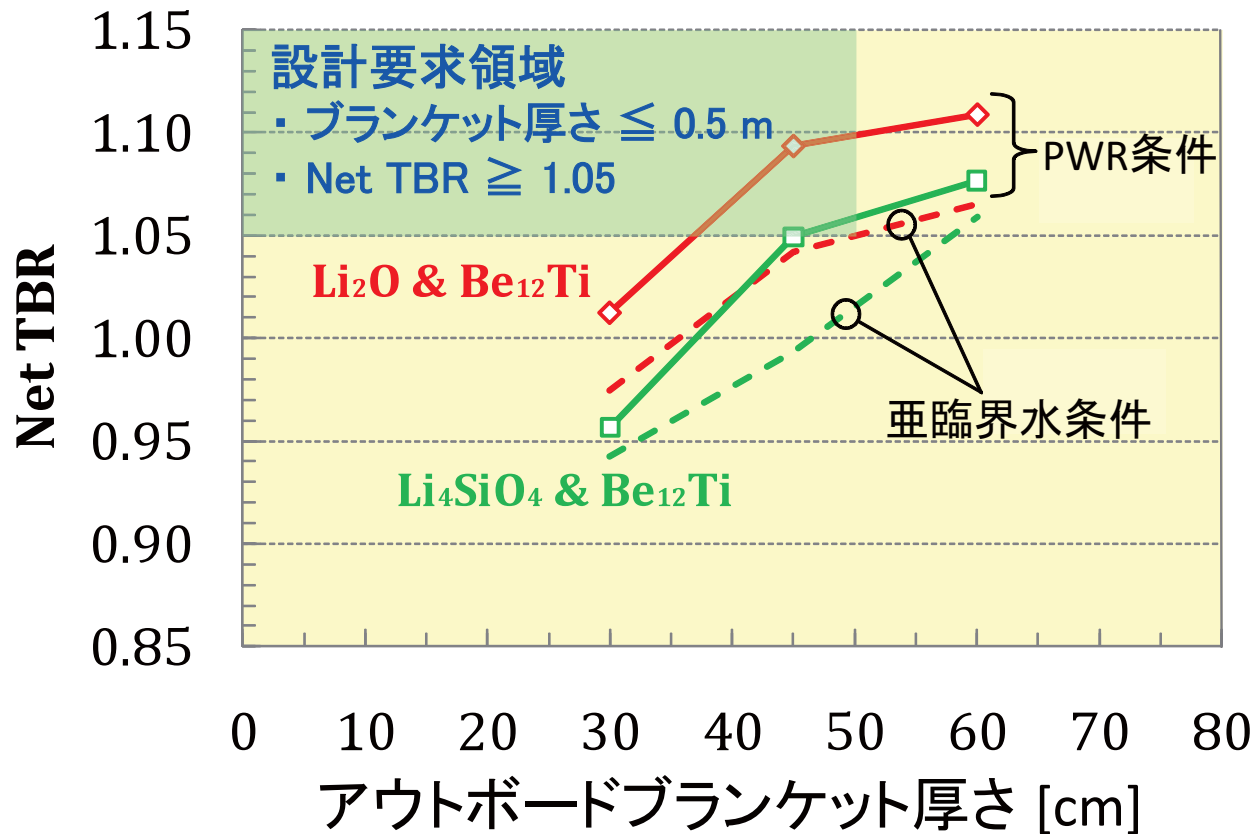
インボードブランケット厚さは、内部の遮蔽領域を考え0.3 mに固定する。



	インボード ブランケット	アウトボード ブランケット	ダイバータ
表面積 [m <sup>2</sup> ]	179	489	326
径方向厚さ [m]	0.3(固定)	0.3 ~ 0.6	-
カバレッジ [%]	20.3	55.6	11.8

(12.3 % : ブランケットのギャップ、リブ、側壁およびポート)

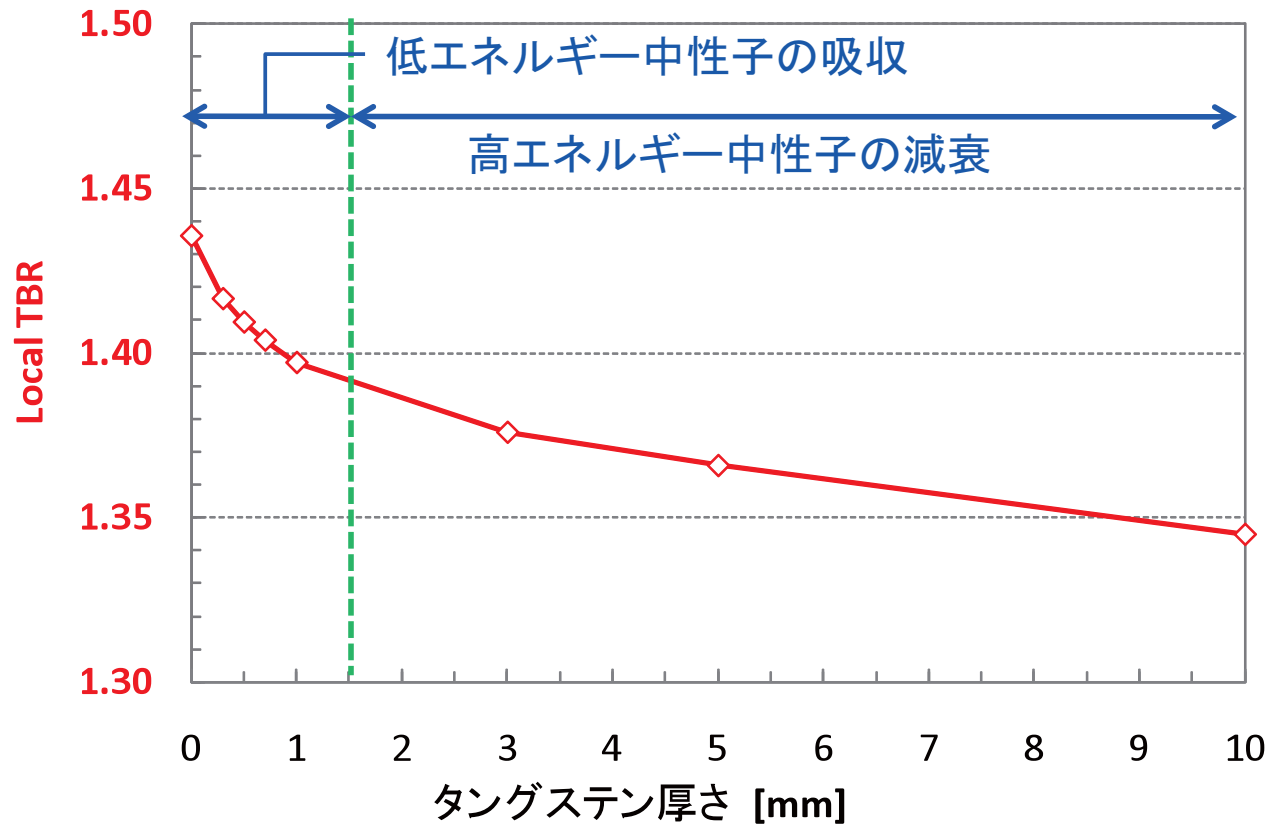
# ポロイダル分布を考慮した場合のnet TBR評価



## 設計要求を充たす条件

- Li<sub>2</sub>O&Be<sub>12</sub>Ti : 35 cm ≤ ブランケット厚さ ≤ 50 cm
- Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>&Be<sub>12</sub>Ti : 45 cm ≤ ブランケット厚さ ≤ 50 cm

# 第一壁保護材(W)厚さ変化時でのTBR変化

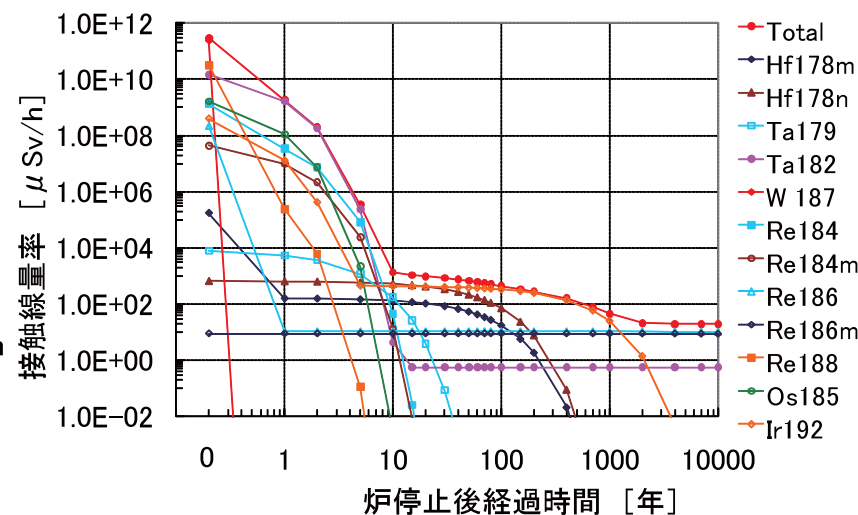
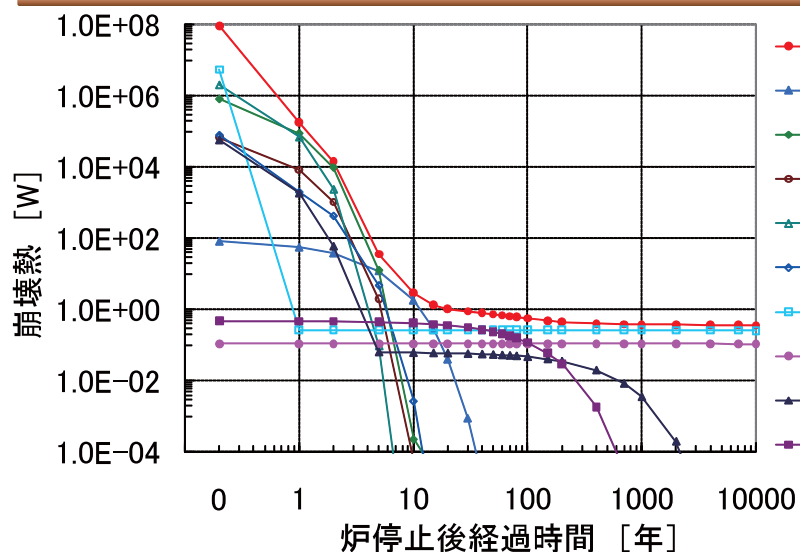


## • タングステン許容厚さ

➤  $\text{Li}_2\text{O}\&\text{Be}_{12}\text{Ti}$  : W 厚さ  $\leq 1$  mm

➤  $\text{Li}_4\text{SiO}_4\&\text{Be}_{12}\text{Ti}$  : W 厚さ  $\leq 0.2$  mm

# タングステンの放射化



厚さ: 200μmのWで、2年間運転後の値; 中性子発生量 ⇒  $8.18 \times 10^{20}$  [n/s]

炉停止後の崩壊熱および線量率が大きい

- ⇒ メンテナンス時においてもブランケットでの冷却が必要
- ⇒ メンテナンス機器の健全性が懸念される。

- ✓ 炉停止後10年で接触線量率が1mSv/h程度まで減少する。
- ✓ Re186mおよびIr192が埋設濃度上限値を上回り、高βγ廃棄物に分類される。



～ 核融合原型炉におけるブランケットの検討 ～  
工学的成立性の高いブランケットとして混合ペブルブランケット  
を提案し、同概念において核熱解析を行った。

- ✓ ポロイダル方向に変化する中性子壁負荷に適用する用にブランケットモジュールを配置し、出口温度を統一する必要がある。
- ✓ 導体シェル位置条件 ( $r_w/a_p \leq 1.35$ ) を充たし、且つ、目標のnet TBRに達する。
- ✓ 原型炉のFW保護材にはWは必要であるが、TBRの観点から200 $\mu\text{m}$ 程度の厚さが限界
- ✓ 炉停止後のタングステン崩壊熱および線量が高い事からブランケットのメンテナンスが困難である。