

平成25年度
第1回プラズマ物理クラスター・スクレープオフ層とダイバータサブクラスター会合
第3回炉工学クラスター・ブランケットサブクラスター会合
第1回炉工学クラスター・ダイバータサブクラスター会合
筑波大学プラズマ研究センターシンポジウム
双方向型共同研究「磁化プラズマ中の壁不純物粒子挙動とプラズマ特性への影響」会合

ITERダイバータ製作と試験の進展

原子力機構 ITERトカマク本体開発
鈴木 哲

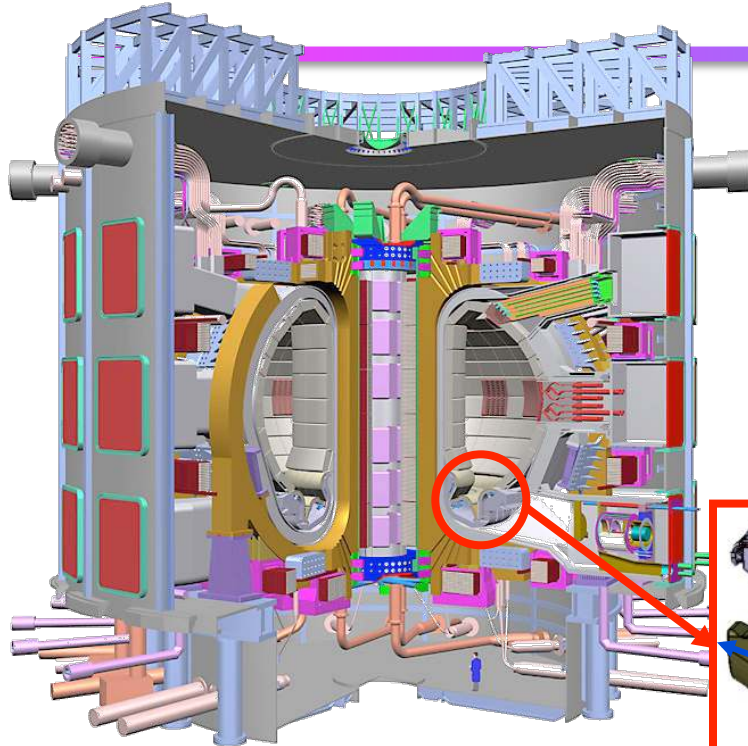
JAEAにおける ITERダイバータの製作状況

- 現行の調達取り決めに基づく外側ターゲットの調達については、Stage 1（実規模プロトタイプ製作）の段階にある。
 - 実規模プロトタイプ用プラズマ対向ユニット1号機（PFU#1）の高熱負荷試験をエフレモフ研究所にて2012年秋に実施した。
 - 上記に並行してプラズマ対向ユニット2号機（PFU#2）及びステンレス製支持構造体（SSS）の製作を行っている。
- 2011年10月に開催されたITERの諮問委員会（科学技術諮問委員会（STAC）、運営諮問委員会（MAC））において、ITER機構から運転当初から原型炉を指向したタングステンダイバータを装荷することが提案され、ITER理事会（IC）において、今後2年間を目処にタングステンダイバータ開発を集中的に実施し、ダイバータアーマ材の最終的な選定を実施することとなった。
 - 上記のアーマ材の選定に向け、2012年12月にJAEAはITER機構とタングステンダイバータに関するR&Dタスクを締結し、小型試験体の開発に着手した。

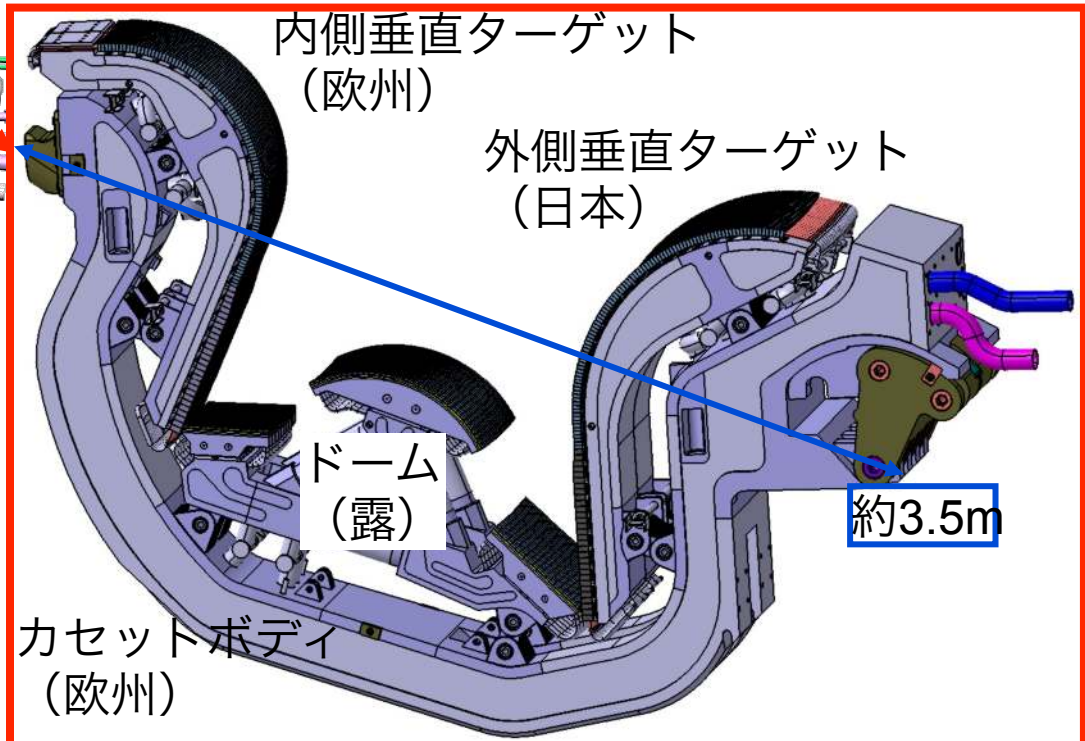
アウトライン

- ITERダイバータ製作（調達）の状況
 - 外側ターゲット実規模プロトタイプの製作
- フルタングステンダイバータについて
 - ITER機構における設計の進展
 - 原子力機構におけるR&Dの状況

ITERダイバータ (現設計)



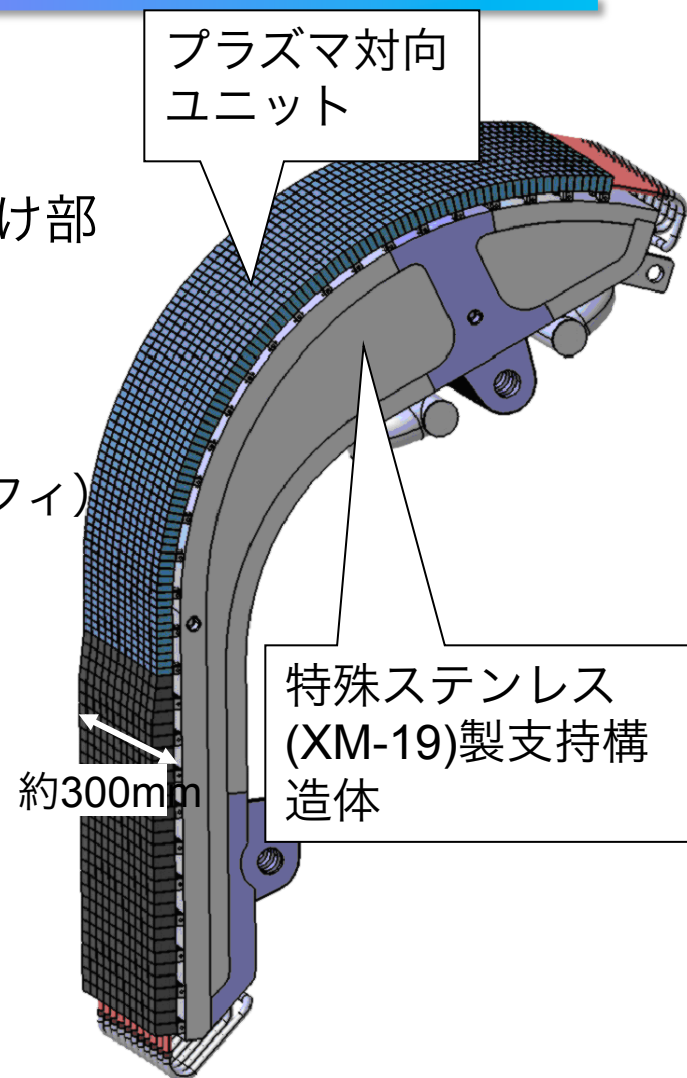
- 除熱構造
 - ターゲット：炭素繊維複合材 (CFC)
 - バッフル、ドーム：タングステン (W)
 - 冷却管：銅合金
- 支持構造：ステンレス鋼
- カセット数：54個



調達スケジュール（1stセット）

- 段階的な調達（4つのStage）
 - Stage 1：実規模プロトタイプ製作
 - クオリフィケーション（溶接部、ロウ付け部の強度試験等）
 - プラズマ対向ユニット/支持構造体製作
 - 試験検査
 - 非破壊検査（UT、RT、赤外サーモグラフィ）
 - 高熱負荷試験（エフレモフ研@ロシア）
 - 最終受入検査（JADA/欧州サイト）
 - 実施期間：～2014年度
 - ↓ITER機構による承認
 - Stage 2：実機ターゲット6カセット分
 - Stage 3：実機ターゲット18カセット分
 - Stage 4：実機ターゲット36カセット分
- ※Stage 2～4の実施期間：

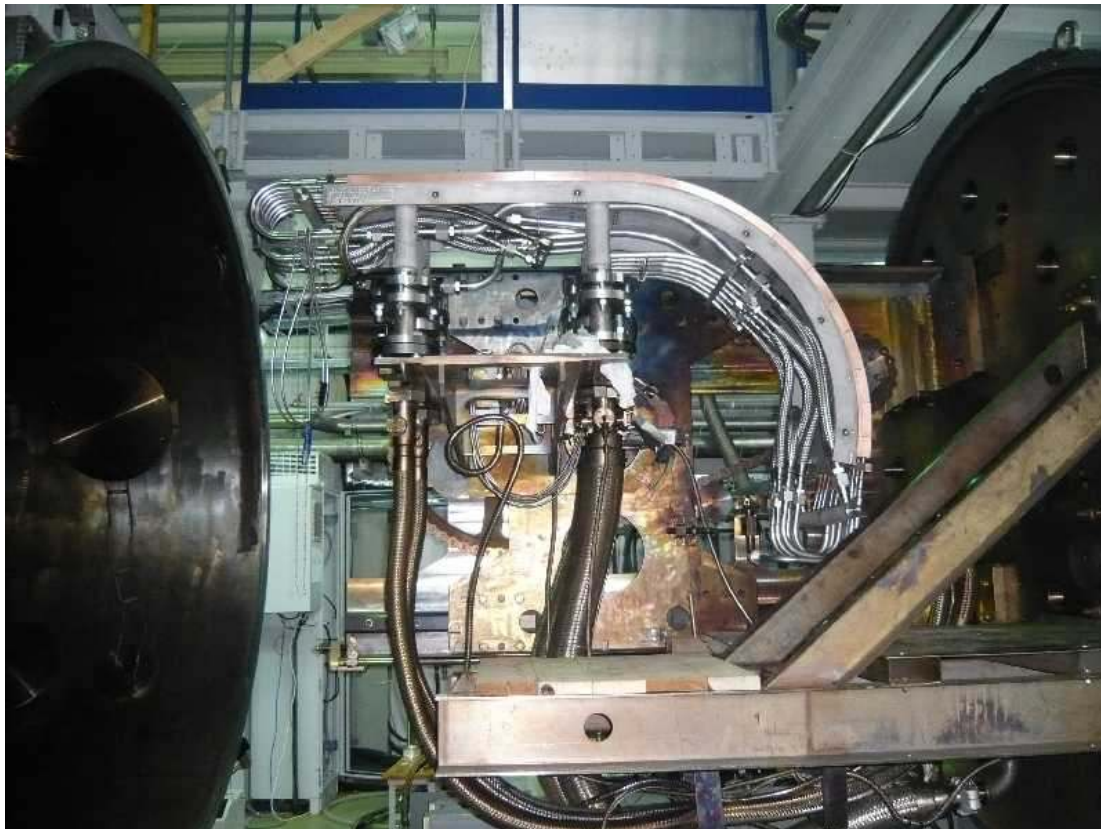
2014年度～2021年6月



外側ターゲット実規模プロトタイプ
(0.5カセット分に相当：11流路)

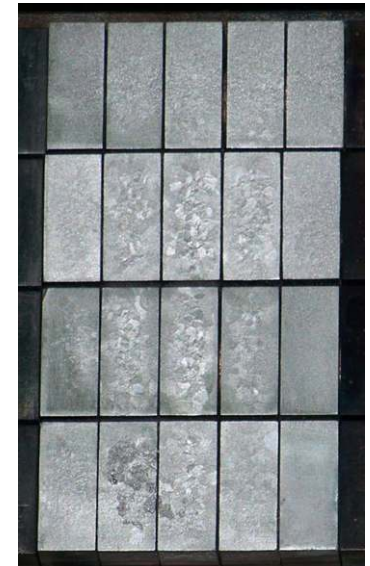
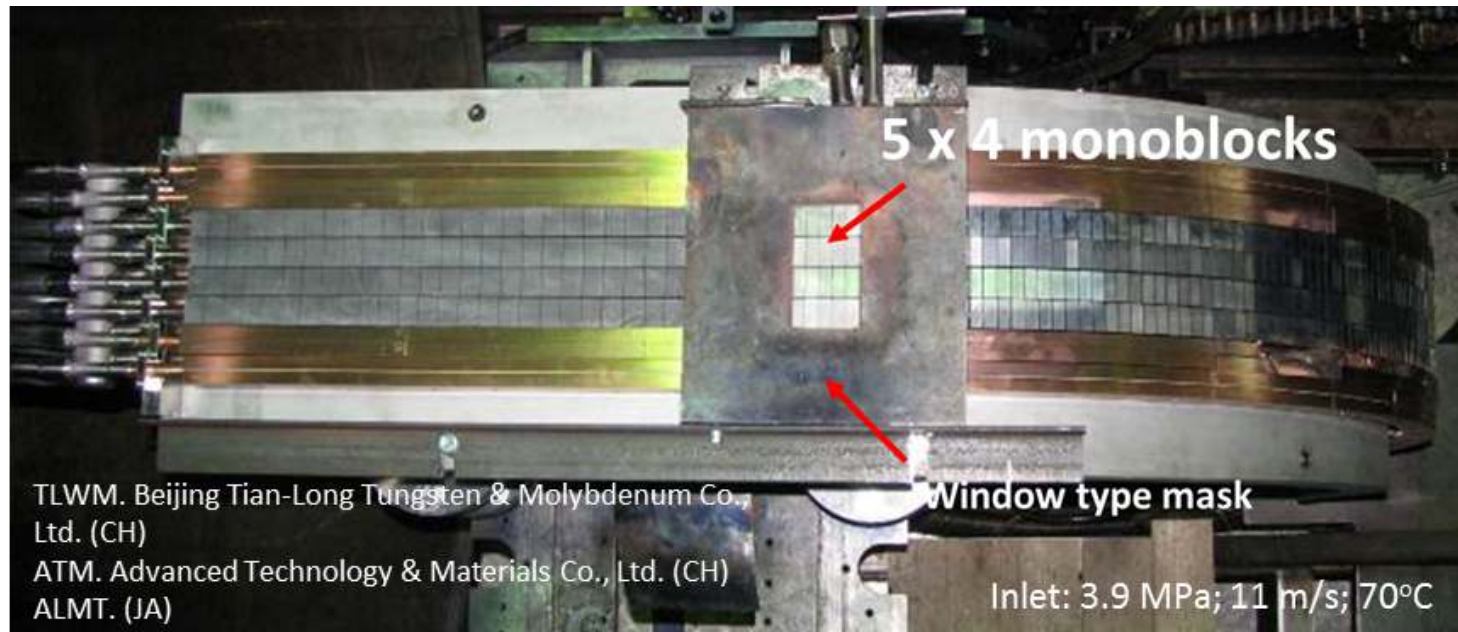
実規模プロトタイプ (1号機；PFU#1) の製作

- 2012年秋に高熱負荷試験（エフレモフ研）を実施した。



ITERダイバータ用電子ビーム試験装置(IDTF)におけるテストアセンブリの
設置作業とIDTFのメンバー

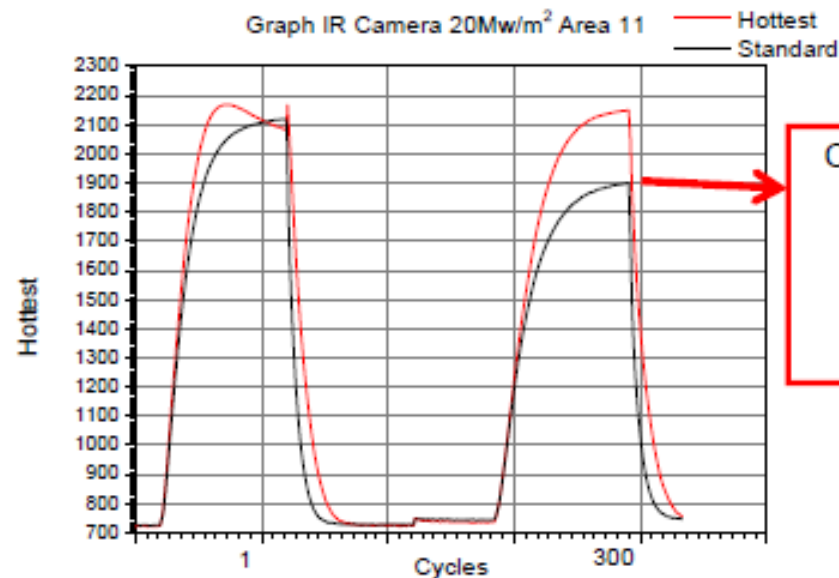
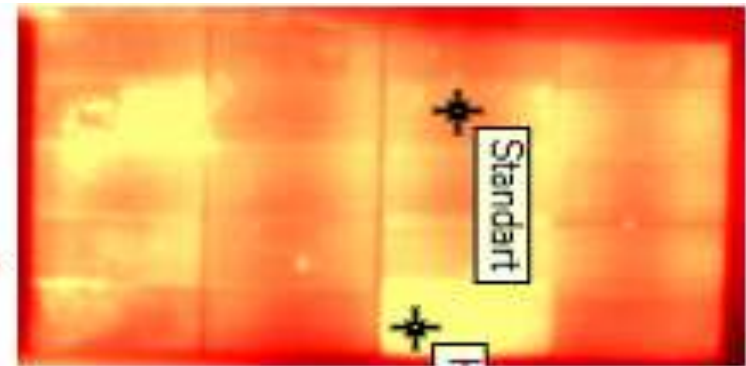
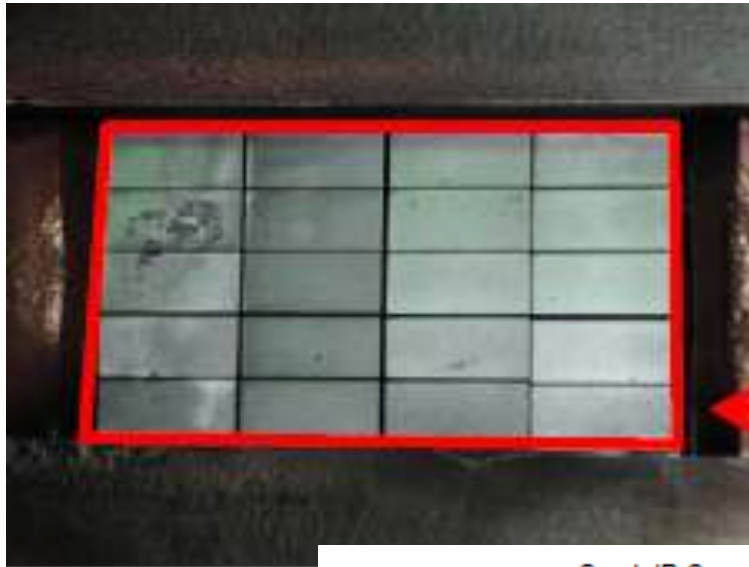
PFU#1の高熱負荷試験 (エフレモフ研：2012年10-11月)



*Straight W part of OVT PFUs
after 1000 cycles at 20 MW/
m² (top view)*

- CFC部は接合不良が確認され、最大熱負荷20MW/m²の繰り返し加熱試験は完了できなかった。一方、タングステン部は設計要求（10MW/m²）を超える20MW/m²×1000回の繰り返し加熱を実施した。その結果、表面に再結晶は生じたものの亀裂の発生や除熱性能の劣化は確認されなかった。

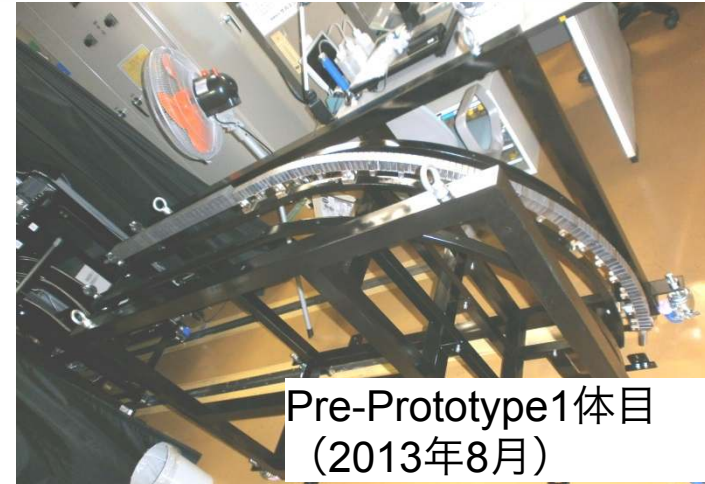
PFU#1の高熱負荷試験 (エフレモフ研：2012年10-12月)



Calculated 2400 C
Surface
Temperature
measurement
accuracy to be
solved

実規模プロトタイプPFU2号機（PFU#2）と ステンレス製支持構造体（SSS）の製作

- 2012年1月、PFU#2とSSSの製作契約を締結し、製作開始に必要なクオリフィケーションを開始。
- PFUの異材溶接部のクオリフィケーション及びCFC接合体及びタングステン接合体の荷重試験を2013年8月に完了。
 - 模擬PFU（Pre-Prototype）の1体目の製作を完了。Pre-Prototype2-3体目の口ウ付け施工を準備中。
 - PFU#2（6PFUs）の高熱負荷試験を今秋に実施予定。
- SSSの溶接部のクオリフィケーションを2013年7月に完了。
 - 2013年8月よりSSSの溶接施工を開始。
 - 8/29にITER機構のQA担当者による溶接施工立会いを実施。



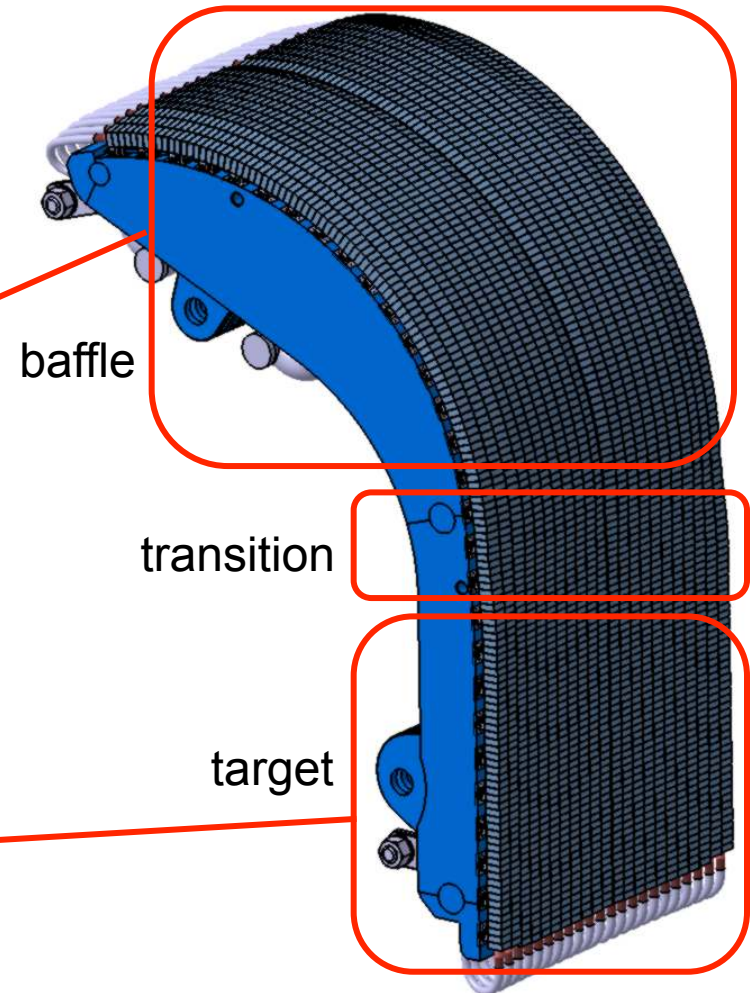
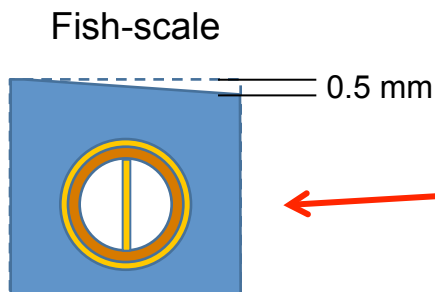
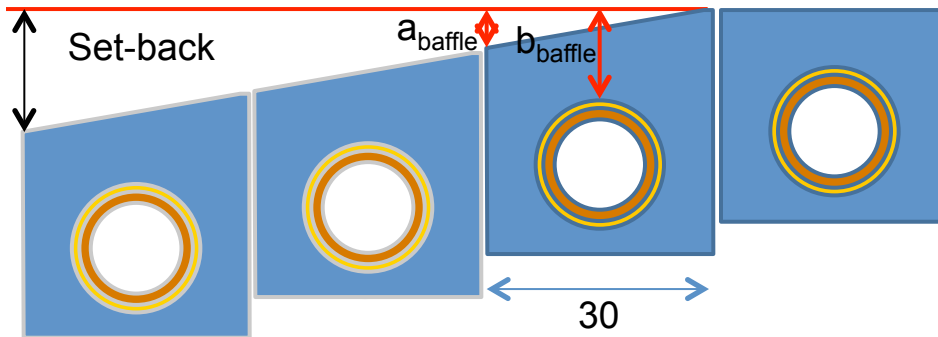
アウトライン

- ITERダイバータ開発（調達）の状況
 - 外側ターゲット実規模プロトタイプの製作
- フルタングステンダイバータについて
 - ITER機構における設計の進展
 - 原子力機構におけるR&Dの状況

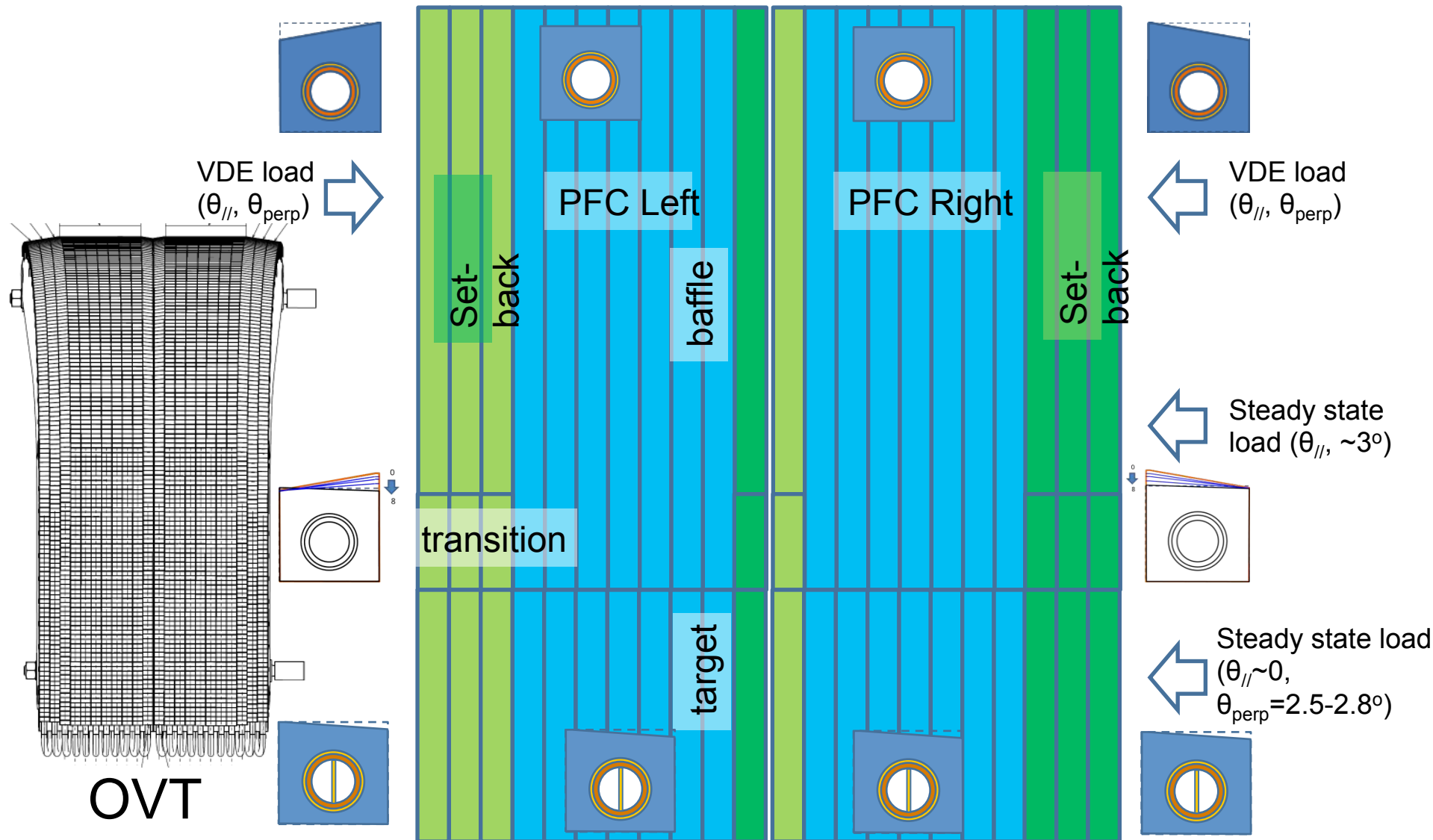
OVT Design – overview

OVT:

- Implement roof shaping and tilting at baffle, tilting and fish-scale (local) shaping at target
- Simple chamfered Monoblock shape (to be optimized) at baffle set-back
- Roof shaping by 3 PFUs at each side
- Simple PFU coolant tube profile



Overall monoblock distribution at OVT



原子力機構におけるR&Dの状況

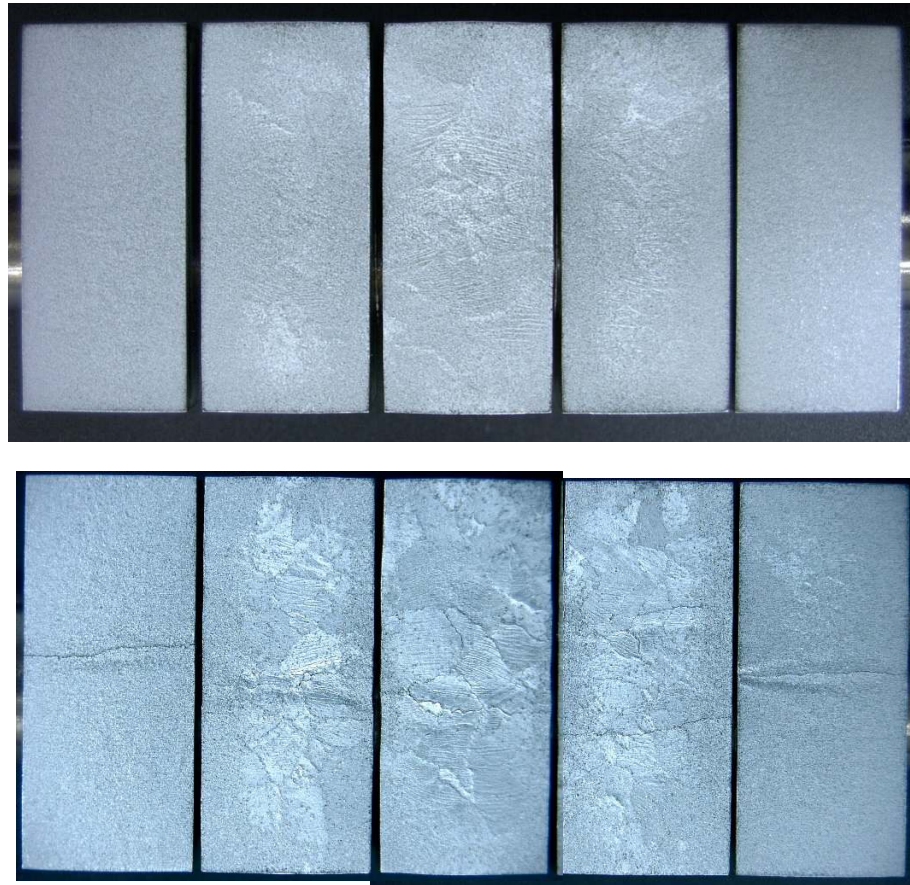


2012年12月にJAEAはITER機構とタングステンダイバータに関するR&Dタスクを締結し、タングステンモノブロックをCuCrZr冷却管に接合した小型試験体の開発を実施している。

製作したこれらの試験体については、タスクの一環として、熱負荷試験の一部をロシア国内機関にて実施する予定。

→2013年9月より、6体の小型試験体の高熱負荷試験をエフレモフ研究所の電子ビーム試験装置にて実施予定。

原子力機構におけるR&Dの状況



熱負荷20MW/m²×300サイクル後の試験体

上) 再結晶あり。亀裂なし。

下) 再結晶あり。亀裂あり。

- JEBISにおいて高熱負荷試験（熱負荷20MW/m²×300回）を実施している。
- 表面温度は約2000℃に達するため、タングステンの再結晶化は加熱サイクルの増加と共に進行する。
- タングステンのグレードにより表面亀裂が発生するものもあることを確認した。
- 一方、これまでのところ繰り返し加熱によって接合面に剥離等の損傷が生じ、除熱性能が劣化するものは確認されておらず、現状のタングステンの材料仕様に則ったタングステン圧延材を使用する限り、定常熱負荷（10-20MW/m²）に対する除熱の観点からは問題無いと考えられる。



まとめ

- 2011年度に製作を完了した実規模プロトタイプ用プラズマ対向ユニット1号機（PFU#1）の高熱負荷試験をロシア（エフレモフ研）にて実施した。タングステン部は、表面の再結晶化が観察されたものの、設計熱負荷条件を超える熱負荷 20MW/m^2 繰り返し加熱に対して、除熱性能を維持することを実証した。
- 実規模プロトタイプ用プラズマ対向ユニット2号機（PFU#2）及びステンレス製支持構造体の製作を進めており、PFU#2の高熱負荷試験を今秋に予定している。
- 2013年秋に予定されるアーマ材の最終選定に向け、ITER機構とタスクを締結し、タングステンダイバータの開発を進めている。
- 小型試験体の高熱負荷試験をJEBISにて実施し、 $20\text{MW/m}^2 \times 300$ 回の繰り返し加熱において除熱性能を維持する（接合面の健全性を維持する）ことを確認しており、現状のタングステンの材料仕様に則ったタングステン圧延材を使用する限り、定常熱負荷（ $10\text{-}20\text{MW/m}^2$ ）に対する除熱の観点からは問題無いと考えられる。一方、表面亀裂が発生した小型試験体もあり、今後、ITER機構と協力してタングステンの材料仕様について詳細化を図る必要がある。