

JT-60SAダイバータ製作の進展と 工学リサーチプラン

日本原子力研究開発機構

櫻井 真治、JT-60SAチーム

- ✓ 製作状況
- ✓ モノブロックターゲットの製作で判明した課題
- ✓ ダイバータ遠隔保守装置の課題
- ✓ 工学リサーチプランの現状

モノブロックターゲット

外側ダイバータ用: $15\text{MW}/\text{m}^2$ 、内側ダイバータ用: $10\text{MW}/\text{m}^2$

100本 製作済み

今後の予定: ダイバータカセットへ取り付けるためのユニット化



ダイバータカセット

トロイダル幅: $10\text{度}/\text{台}$ 、重量 $\sim 800\text{kg}$

36台 各部製作済み、仮組状態

今後の予定: 各部とフレーム間の配管接続、センサ取付け



遠隔保守装置

カセットフレーム内配管と内側ダイバータ板間、
カセットと真空容器内冷却水配管間の
配管 ($\sim \phi 60$) の溶接、切断、再溶接に用いる。

配管切断装置: 完成、試験済み

配管溶接装置: 改良後の溶接条件最適化中



製作中に明らかになった課題を報告する。

モノブロックターゲットの課題(1)

- 残留熱応力?と歩留り -

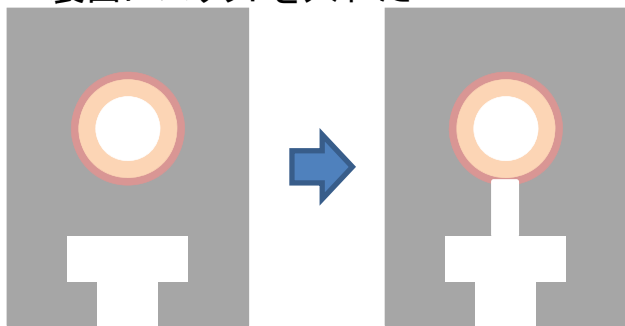
量産バッチの良品率(%)の推移

バッチ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	計
15MW/m ² 完全良品	33	0	0	50	20	10	10	10	0	0	22	86	100	39本
15MW/m ² 使用可	0	0	15	40	20	10	0	0	15	17	11	7	0	17本
10MW/m ² 完全良品	67	100	85	10	35	55	50	50	46	83	56	0	0	60本

CFC形状変更 ← 部品管理改善など試行錯誤 キーとなる要素を概ね同定

CFC形状変更

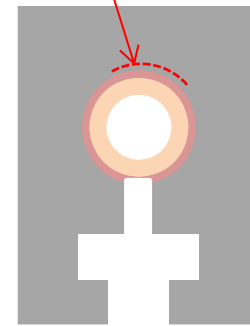
小型試験体の試作結果に基づき、残留熱応力低減を期待して裏面にスリットを入れた



12,13バッチ目と他の差異

通常は、ロウ付け・急冷(溶体化处理)後に治具を外して目視検査を行い、再度、治具を取り付けて時効処理を実施するが、12,13バッチ目は工程逼迫のため、治具を外さずにそのまま時効処理を実施した。
量産開始前の試作段階でも、同様の事例(15MW/m²完全良品が3本/3本得られた)があった。

不良ブロックはCFC内に亀裂発生



ロウ付け・急冷または時効処理時の残留熱応力によりCFC内に亀裂が生じることが不良の原因と推察される。

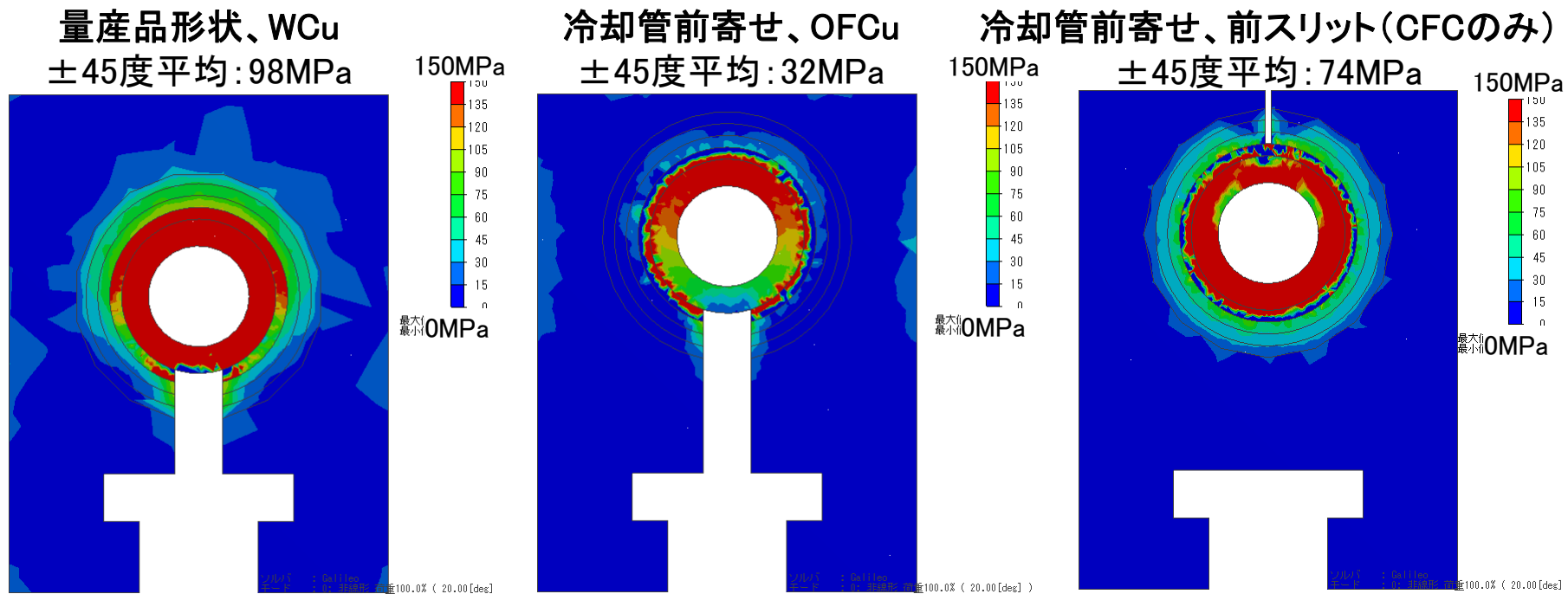
⇒残留熱応力の評価、改善案の検討が必要

モノブロックターゲットの課題(1)

- 残留熱応力の解析 -

ロウ付け時の熱膨張により冷却管とCFCモノブロック間の組立時のギャップ
 ($90\mu\text{m}$)が無くなる 770°C で応力0と仮定し、 20°C における残留熱応力を
 弾塑性解析で評価した。

スリットの有無 & 位置、中間層の材質 (WCu/OFCu)、冷却管の位置 & 径等をパ
 ラメータに受熱面側の接合部近傍の最大主応力の平均値に着目して比較した。



量産品形状の残留熱応力はCFC強度より高く亀裂の要因の1つである可能性が高い

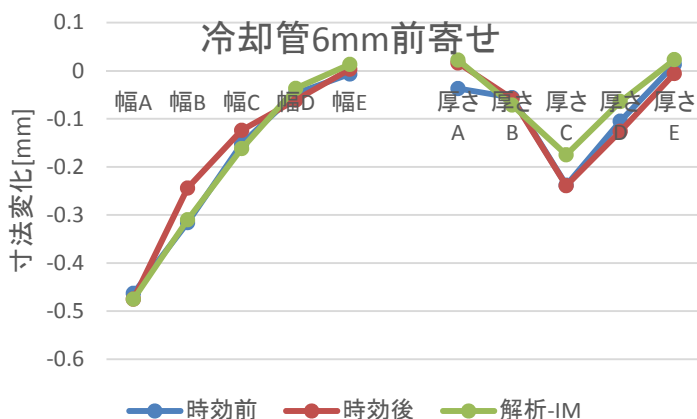
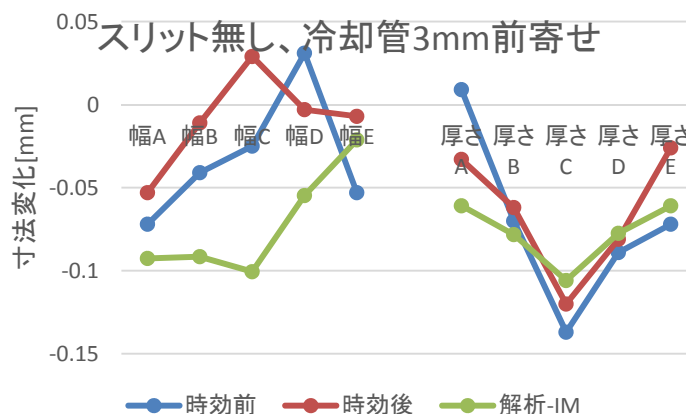
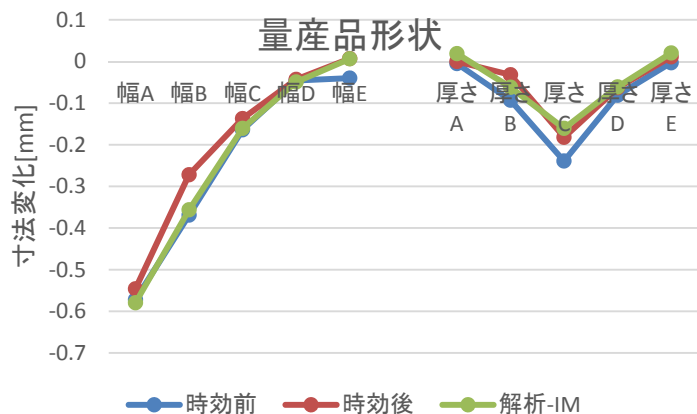
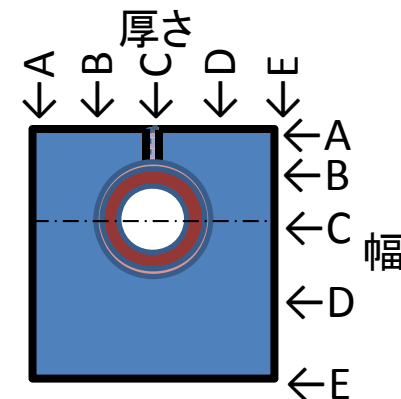
モノブロックターゲットの課題(1)

- 試作による残留熱応力の検証 -

単一ブロック試験体の、ロウ付け前後の寸法差を精密測定し、解析と比較した。

スリット無試験体7体(冷却管位置-6mm~0mm)

スリット有試験体21体(冷却管位置-6mm~+6mm)



スリット有り試験体の変形は解析と良く一致。
スリット無しでは差が大きい
(残留熱応力によるCFC中の亀裂の影響?)

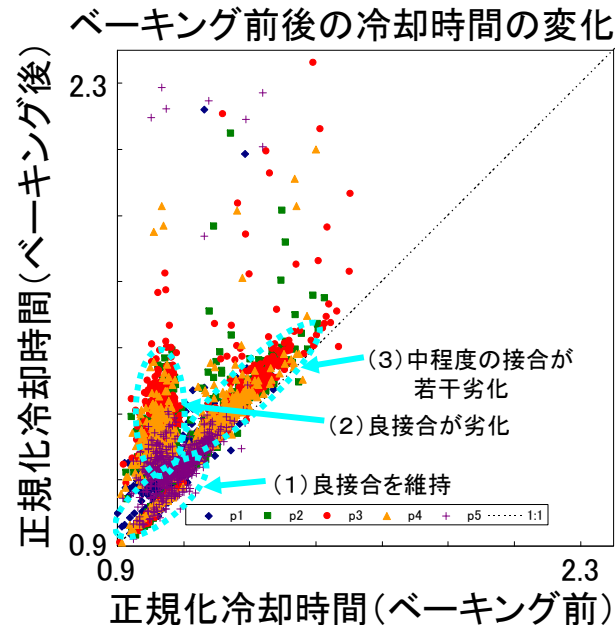
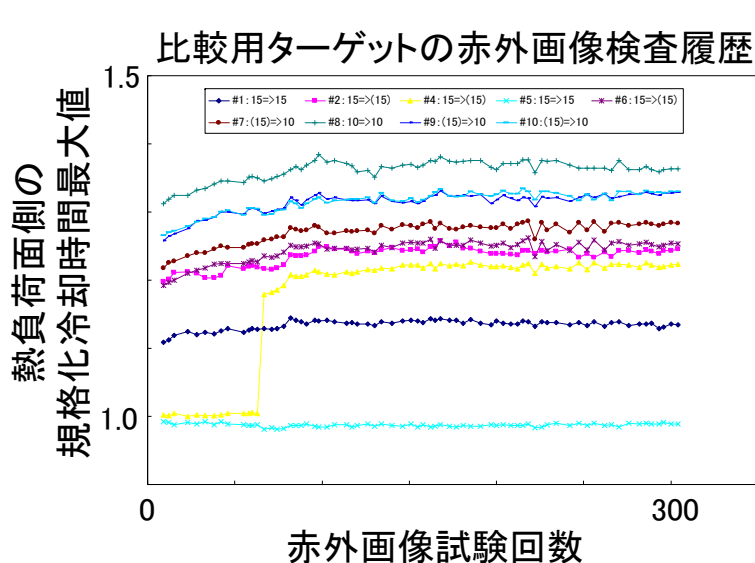
スリットの有無・位置、冷却管位置等で残留熱応力が低減できることを確認した。

詳細は鶴(JAEA)がSOFTとPlasma2014で発表予定。

モノブロックターゲットの課題(2)

-ベーキング等の影響-

赤外画像試験(95°C⇔5°Cの温度サイクル)、200°Cベーキングによって除熱性能が劣化するブロックが見つかった。



ロウ付け面に近い位置に剥離



- ✓ 数%のブロックで大幅な劣化を確認。
- ✓ 残留熱応力を低減した新規試作品でも再現。
- ✓ 製造プロセスの異なるITERのCFCモノブロックターゲットでは発生しない。

運転開始時に必要なターゲット(52本)は確保できているが、残り900本の量産に向けた課題

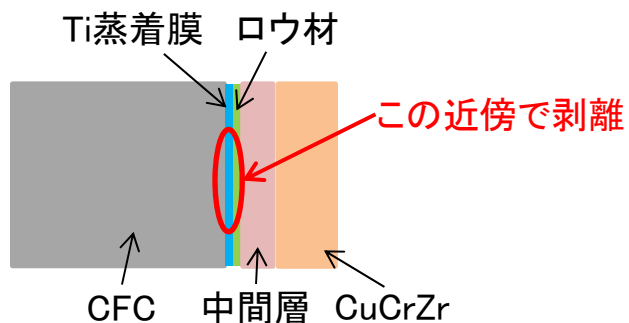
モノブロックターゲットの課題(2)

- 低熱応力サイクルによる接合劣化 -

低熱応力サイクル(95°C⇔5°C、200°Cベーキング)により、ロウ付け面近傍に剥離が生じるブロックが存在。



ITER用ターゲットでは発生しないことから製造プロセスの違いによる接合面の強度(のばらつき)の違いが疑われるが、遥かに大きなロウ付け時の残留熱応力で剥離せずに、その後の低熱応力サイクルで剥離する原因は不明。



剥離箇所
配管側表面に
CFC粉が付着

マクロ(平均的)な接合強度は引張試験で定量化できるが、ミクロ(局所的)な接合不良が原因ならば、その定量化が可能か？

剥離面の表面分析、剥離原因の同定等、材料や接合分野の専門家の協力を期待

ダイバータ遠隔保守装置の課題

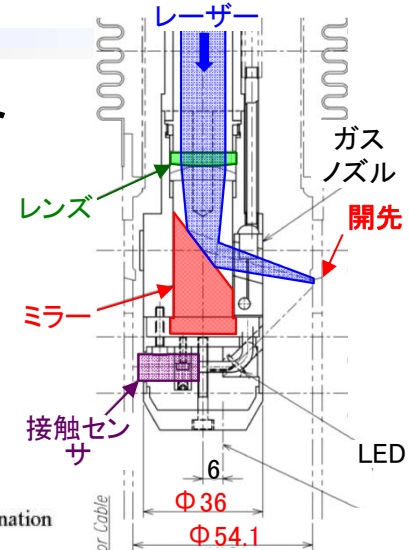
- スパッタ&ヒューム増加 -

ノンファイラーのレーザー溶接では0.2mm程度の開先ギャップが限界

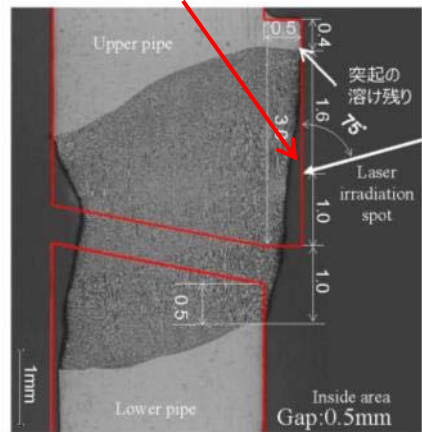
⇒特殊形状開先の採用によりギャップ0.6mmに拡大

⇒必要入熱量増大、2パス溶接によるスパッタ、ヒューム増加
溶接ヘッドミラーの寿命短縮(20回以上⇒4,5回)

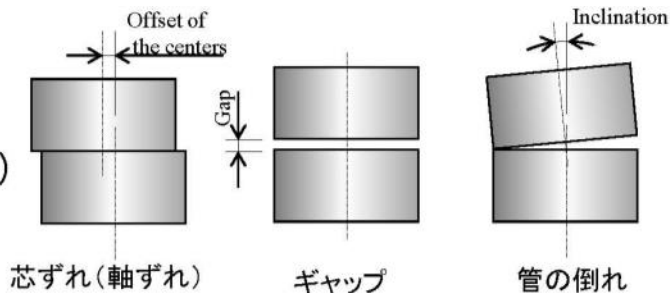
ミラーの寿命と溶接性能の両立が課題



特殊形状開先

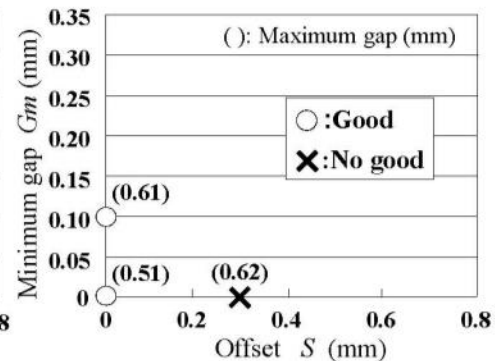
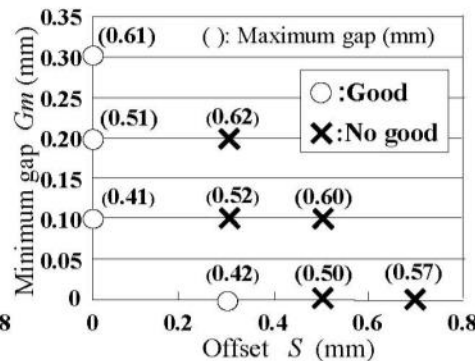
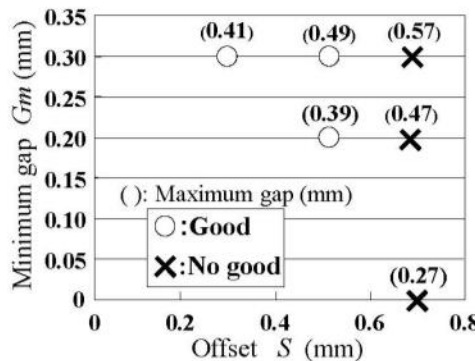


ミスアライメントの3つのモード
(実機では不可避免的に発生)



合否判断基準

目視によるVT検査
裏ビードに欠陥がないこと
突起の溶け残りがいないこと
表ビードに欠陥がないこと



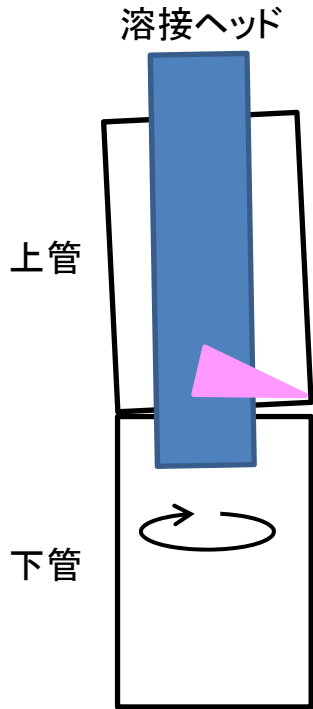
(a) Inclination: 0°

(b) Inclination: 0.3°

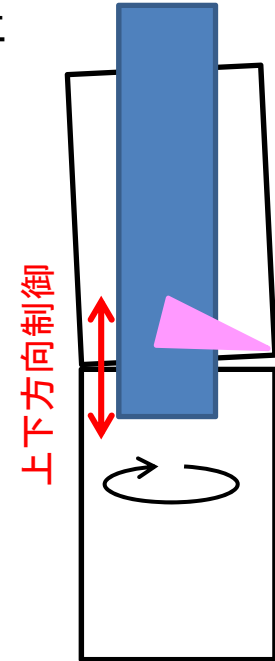
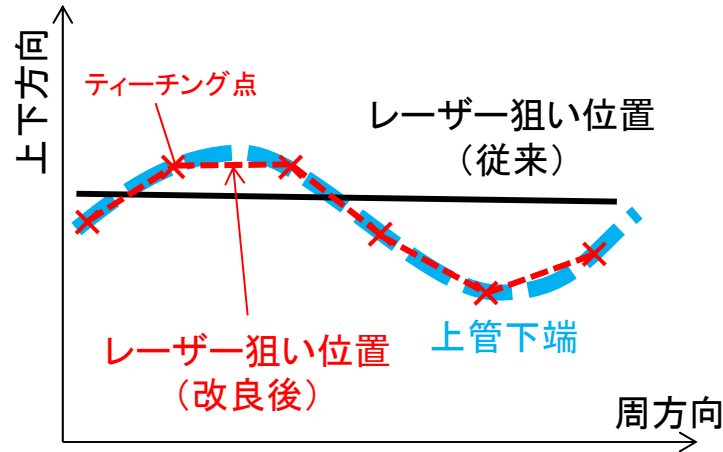
(c) Inclination: 0.5°

ダイバータ遠隔保守装置の課題

- ティーチング機能、溶接条件最適化による寿命改善 -



上管と溶接ヘッドの軸が一致しない場合、1周の間にレーザー狙い位置が変動し、溶け残しが生じるため、2パス溶接が必要だった。



事前にティーチングした点を狙う様に上下方向位置も同時に制御することで狙い精度を改善した。

ティーチング機能追加により、1パス溶接が可能なることを確認。
今後、溶接条件の最適化を進める。

配管内でのヒューム&スパッタ発生量の計測が可能ならば、効率的にヒューム&スパッタが少ない溶接条件を探索できる。(ミラーの寿命で評価するためには大量のミラーが必要)

ダストプラズマ測定等の知見が生かせないか？

ブランケット:

ITERやTBMのスケジュールに合わせて必要があれば改定

PWI:

ここ2年の進展があれば反映。

将来に向けたW被覆CFCのR&Dもメーカー、大学と協力中。

厚膜のW被覆については、JET&ASDEXの実績からEU側は懐疑的だが、
運転寿命の点からは魅力的。

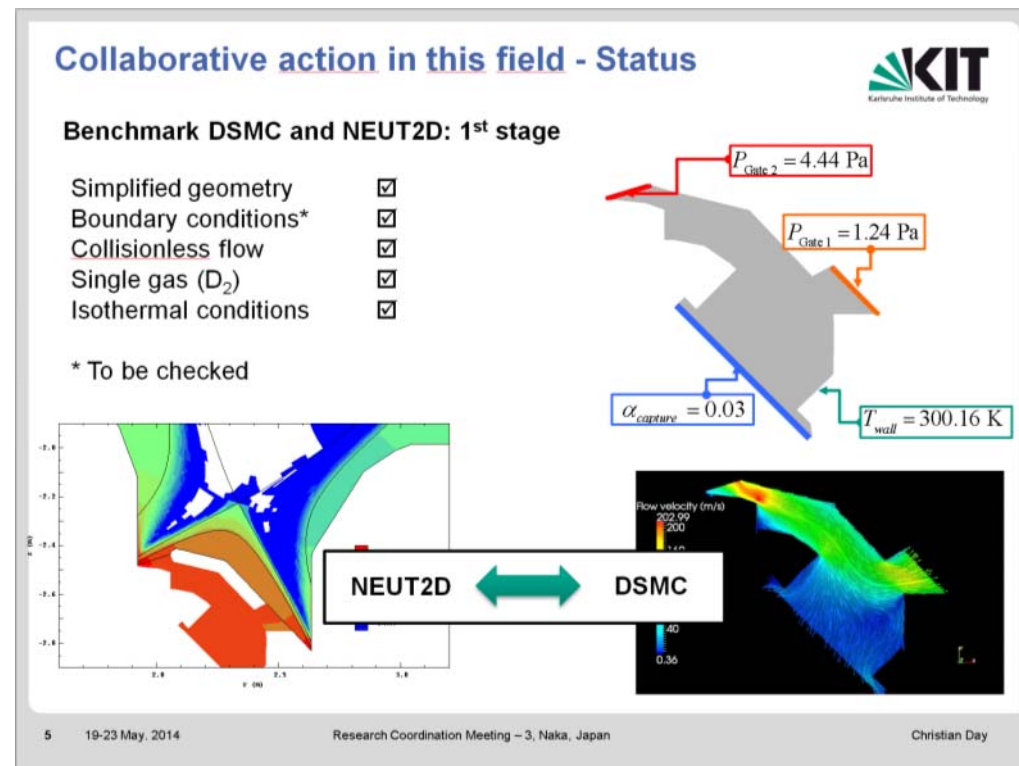
国内の専門家の協力を期待。

周辺技術:

粒子制御装置全体(クライオポンプ、
ペレット、MGI等)について、
日欧で協力。

クライオポンプの性能評価のため、
NEUT2D(中性粒子モンテカルロ
コード)と中性粒子間衝突を
考慮できるKITのコードとの
比較を開始。

クライオポンプの設計についても
KITと協力予定。



モノブロックターゲット

製造時のCFC中の亀裂はロウ付け時の過大な残留熱応力が原因。
⇒熱応力解析と試作試験で設計の改善に一定の目途。

製造後に低熱応力サイクルでロウ付け面近傍に剥離が発生。
⇒原因不明(製造プロセス?)のため、究明に専門家の協力を期待。

遠隔保守装置(配管溶接装置)

溶接可能なギャップを0.2mmから0.6mmへ拡大したが、入熱量増大と2パス溶接によりヒュームとスパッタが増加し、ミラーの寿命が短縮。

⇒ティーチング制御により1パス溶接が可能に。

ミラー寿命改善のための溶接条件最適化には、溶接中のヒュームとスパッタの発生量の計測が課題。

工学リサーチプラン

Ver3.2に向けた改定の準備。クライオポンプの性能評価と設計について日欧協力を開始。