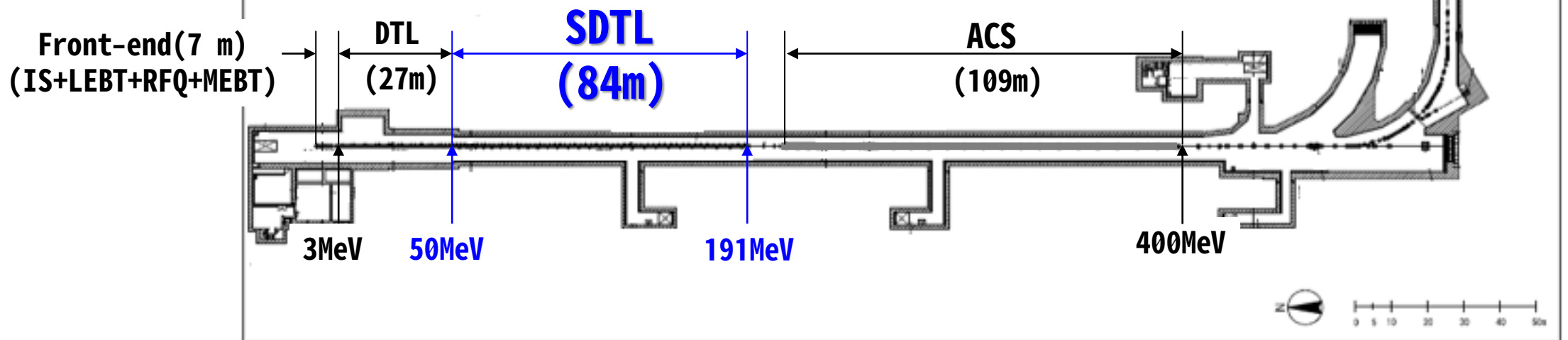


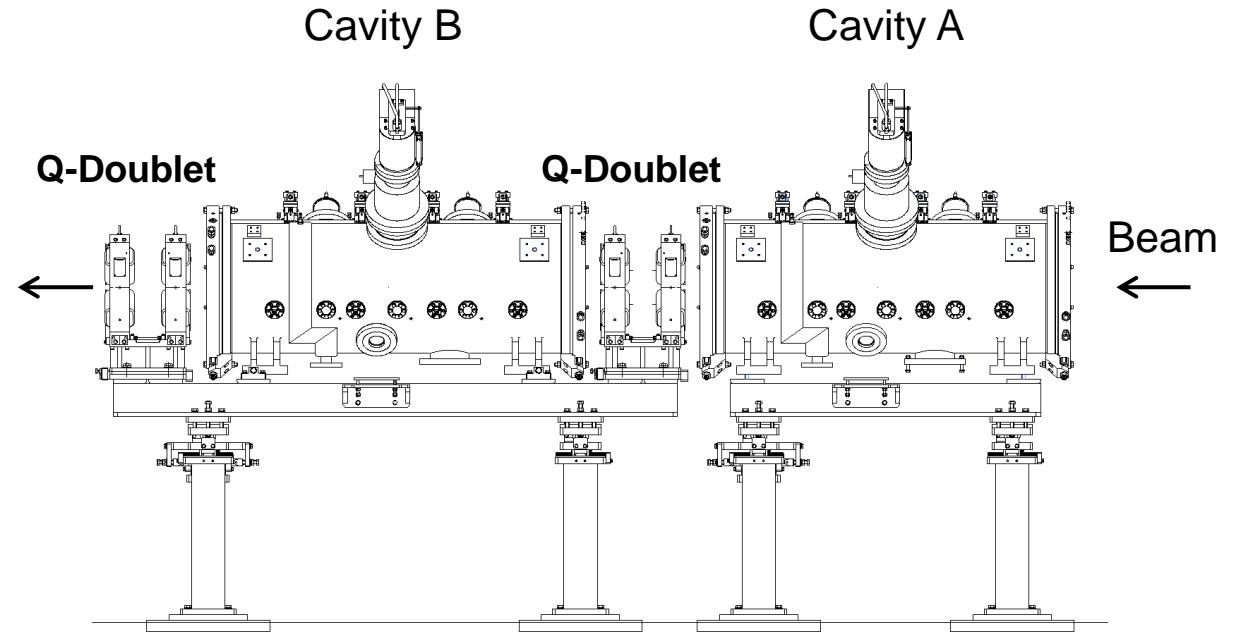
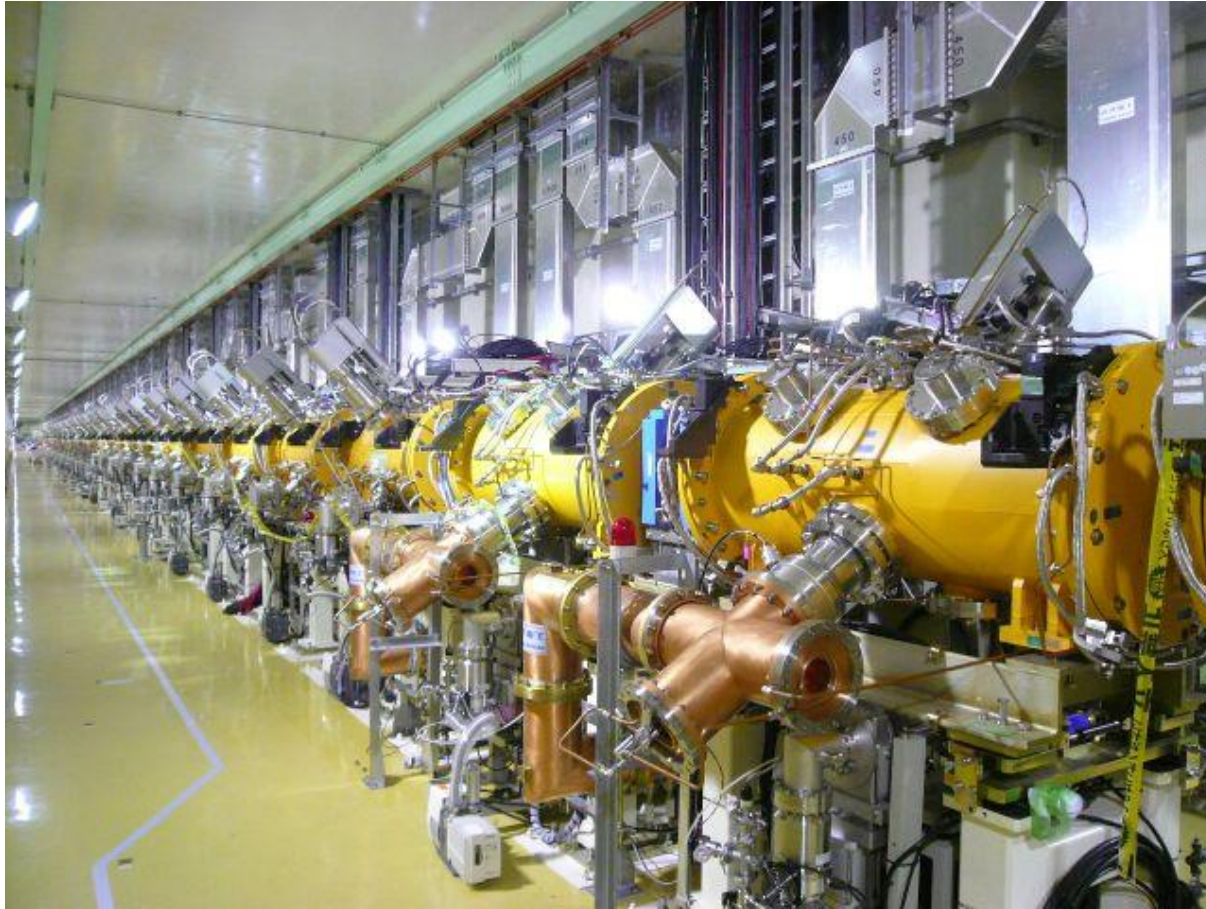
J-PRAC SDTLで発生したマルチパクダ抑制のための 空洞内洗浄について

○伊藤 崇，森下 卓俊，平野 耕一郎，北村 遼，小林 史憲，新井 宇宙（日本原子力研究開発機構），
南茂 今朝雄（高エネルギー加速器研究機構），根本 康雄，小坂 知史（株式会社NAT）

J-PARC リニアック配置図



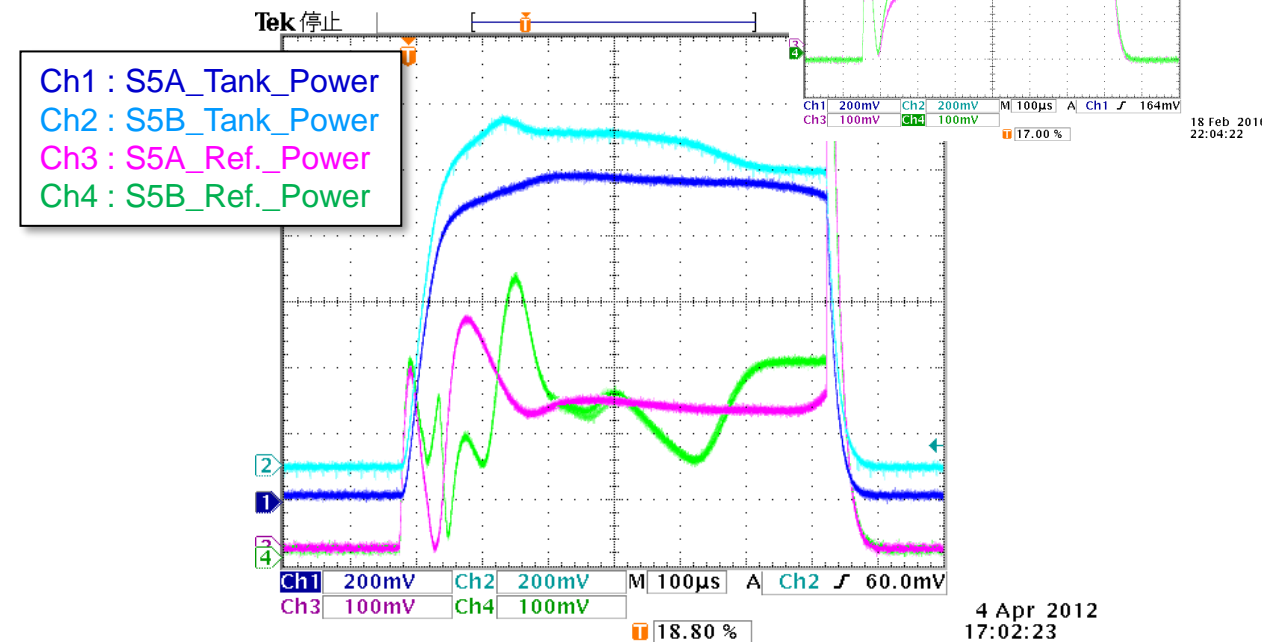
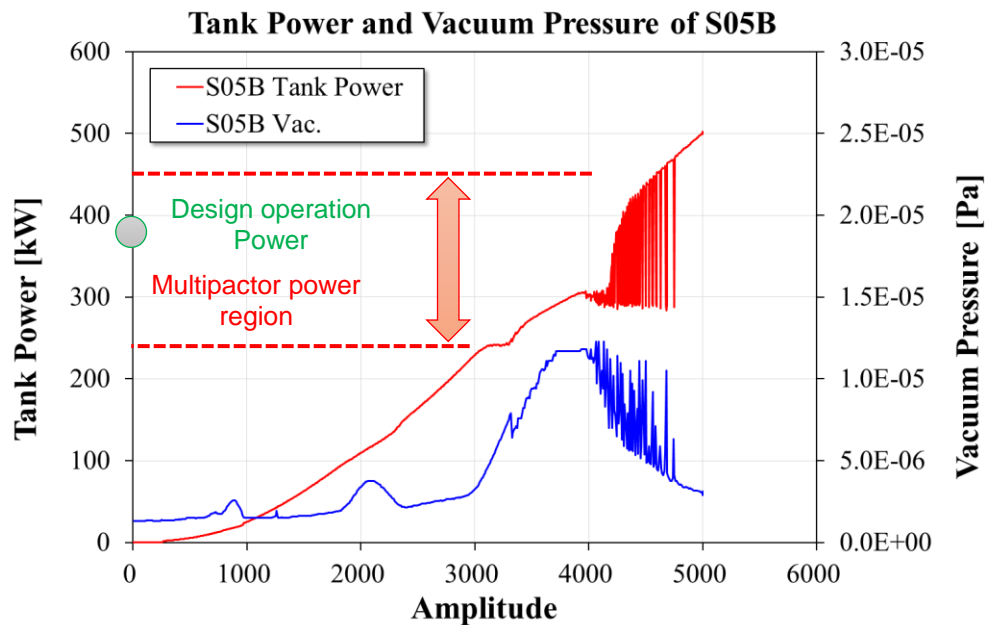
SDTL (Separated DTL)



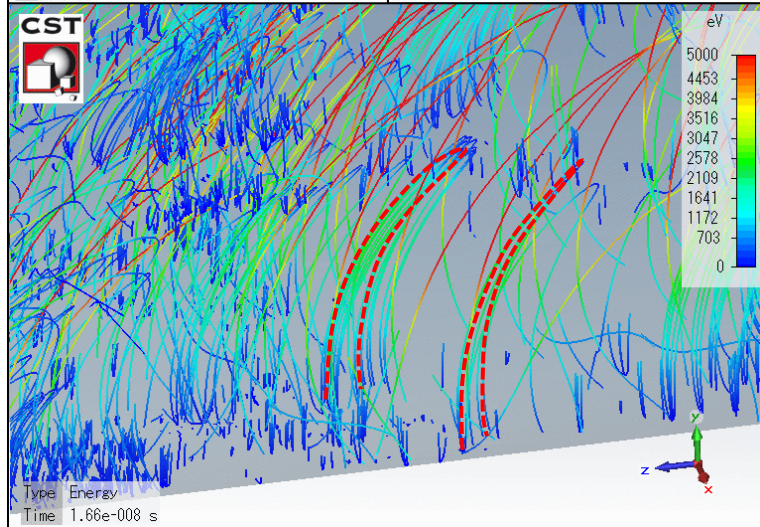
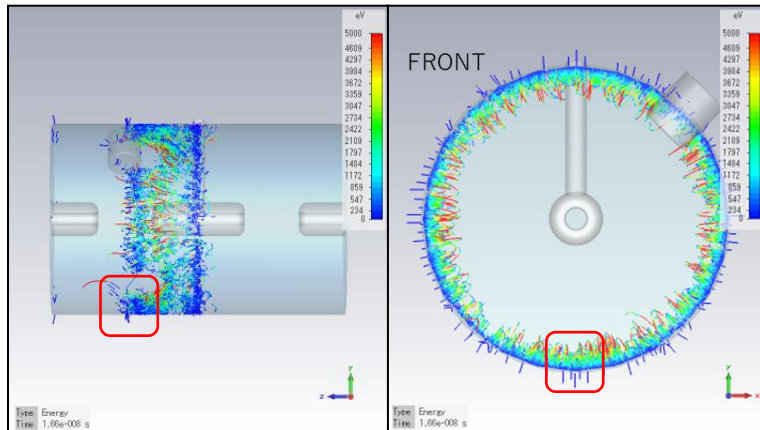
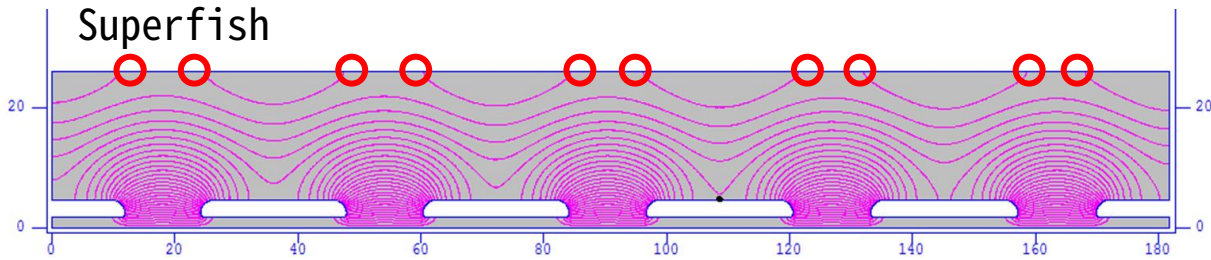
Number of cavities	32
Diameter	520 mm
Length	1.5 m(S01A) ~ 2.5 m(S16B)
Drift tube diameter	92 mm
Bore diameter	36 mm
Number of cells	5
Operating frequency	324 MHz
Operating power	180 kW~800 kW
Repetition	25 Hz
Rf macro-pulse width	600 μ s
Energy	50 MeV~190 MeV

□ 震災後、運転電力付近で正常に電力が投入できない空洞が発生。 (S05A~S06Aで顕著に発生)

- 空洞電力で約250kWから450kW（クライストロン出力で約500kW～900kW）の範囲では空洞内に正常に電力を投入できない。
- この電力範囲では真空度が悪化する。
- この電力範囲ではマクロパルスの波形がゆがむ

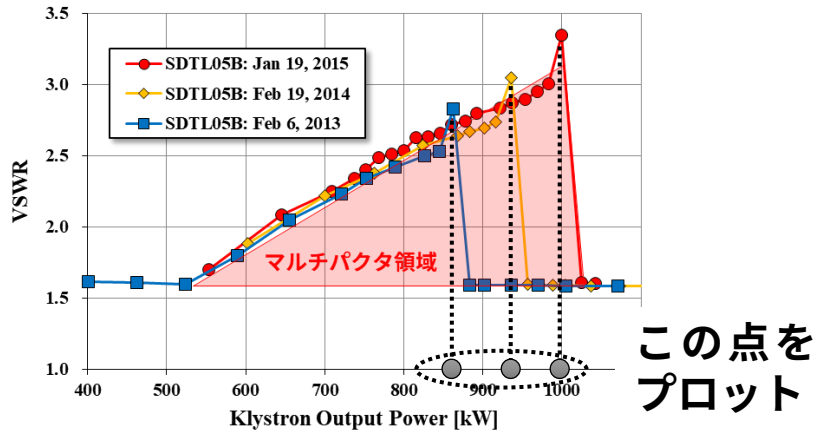


内部観察とシミュレーション結果



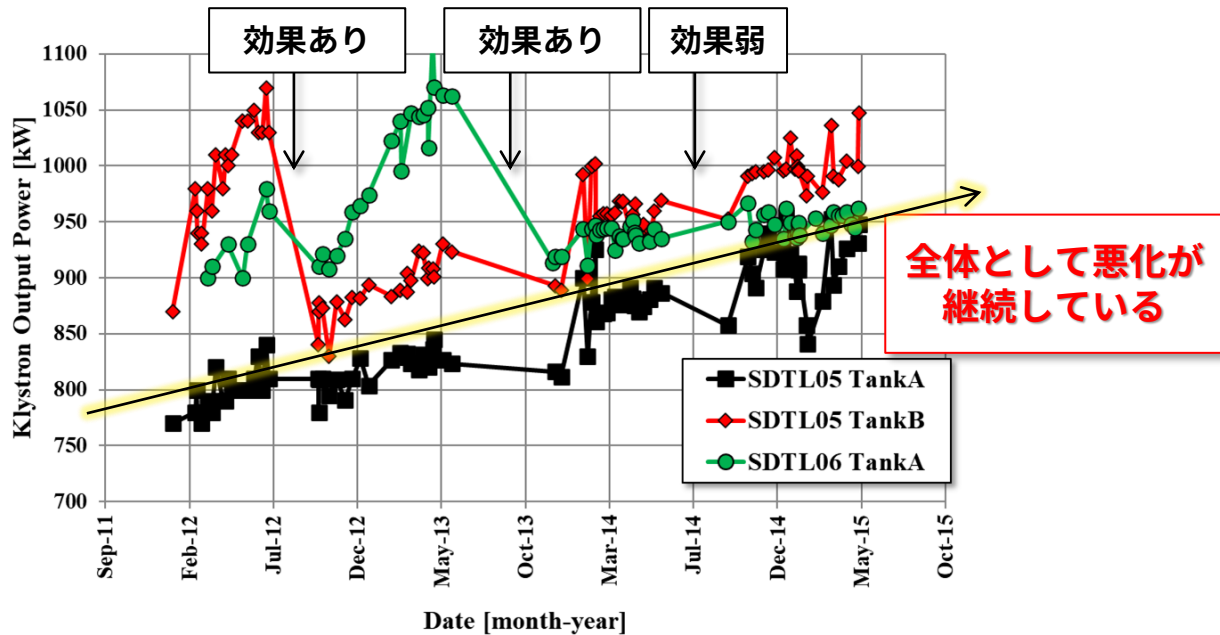
- 空洞内壁に円周状の黒い変色がみられる。
- 空洞表面でマルチパクタが発生している。
- 丸印で発生した電子は発生場所に戻って空洞内壁面に衝突し、再び電子を発生させている。

洗浄前に実施した対策と結果



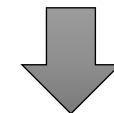
クライストロン出力に対するVSWR (S05B)

■ 真空ポンプ増強、オイルフリー化（ロータリーポンプ→スクロールポンプ）、真空配管交換、等々の対策を行った結果、不具合症状の改善（マルチパクタ領域の縮小）がみられたが、再拡大し解決には至らなかった。



マルチパクタ領域上限値の推移 (S05A, S05B, S06A)

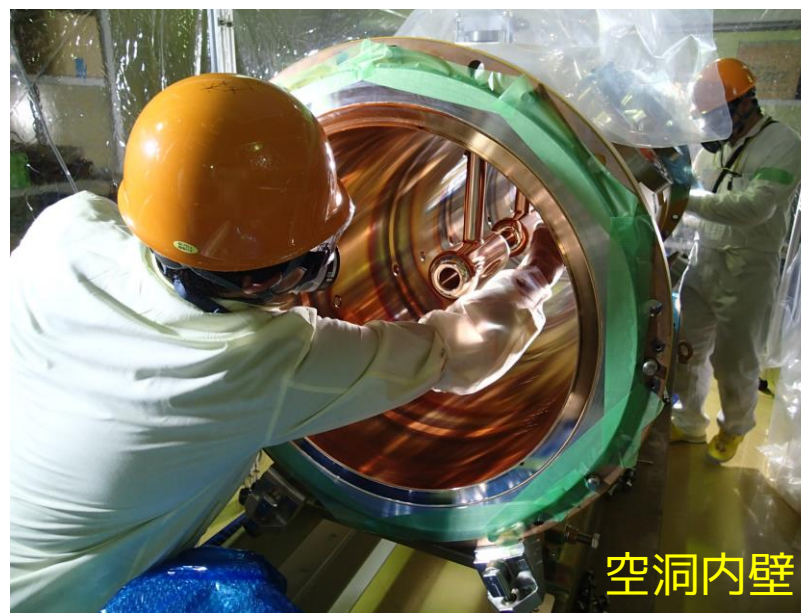
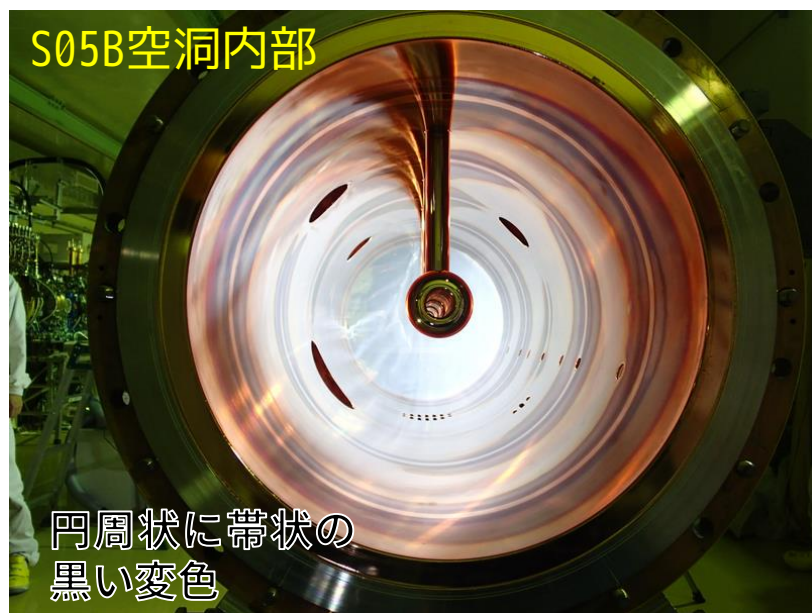
空洞内部に付着している（と思われる）
オイルを除去すれば回復するのでは？



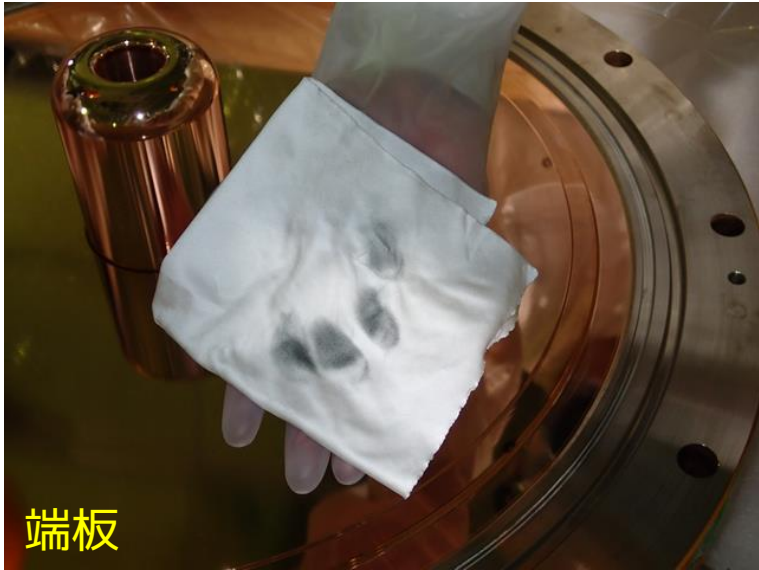
次の対策として、アセトンによる
空洞内壁洗浄の実施を決定。

アセトン洗浄 (S05B)

- 拭き取りは手作業
- ワイピングクロス、綿棒にアセトンを染み込ませて空洞内壁、など真空面になる部位を全て拭く。最後にアルコールで拭き上げる。
- ドリフトチューブとステムは拭かない。



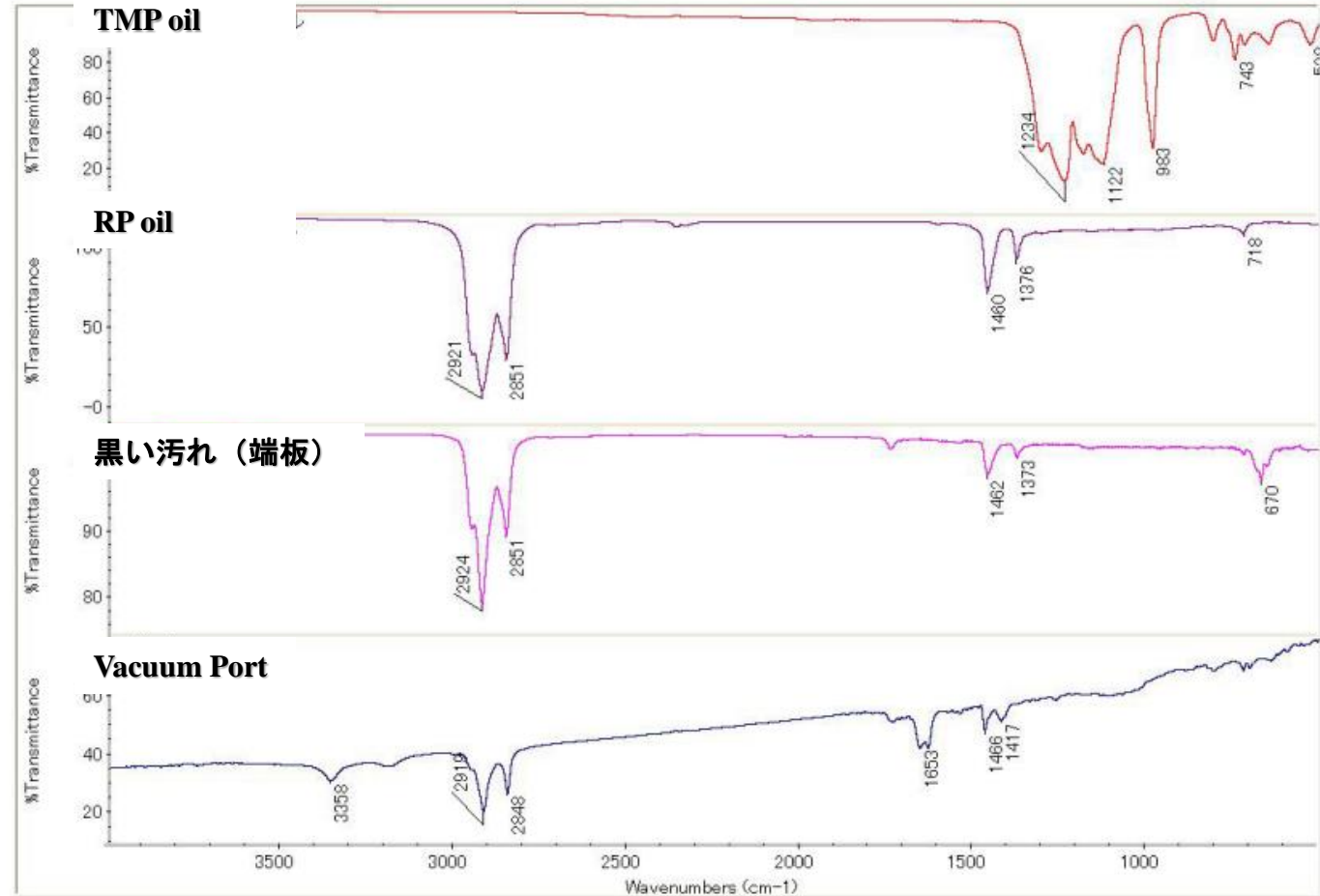
アセトン洗浄 (S05B)



端板



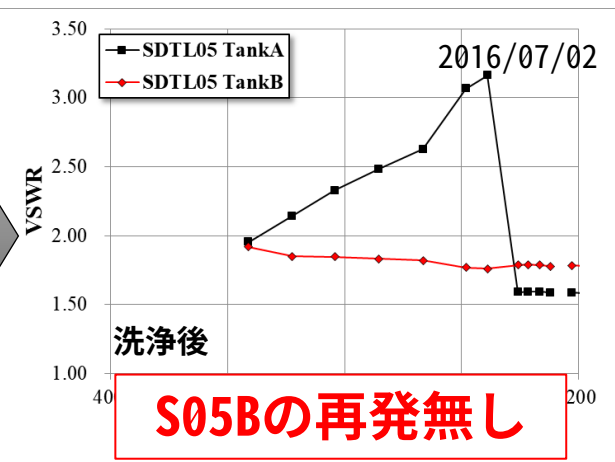
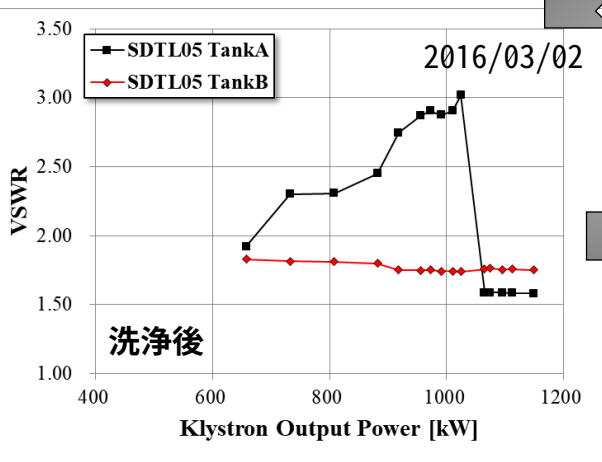
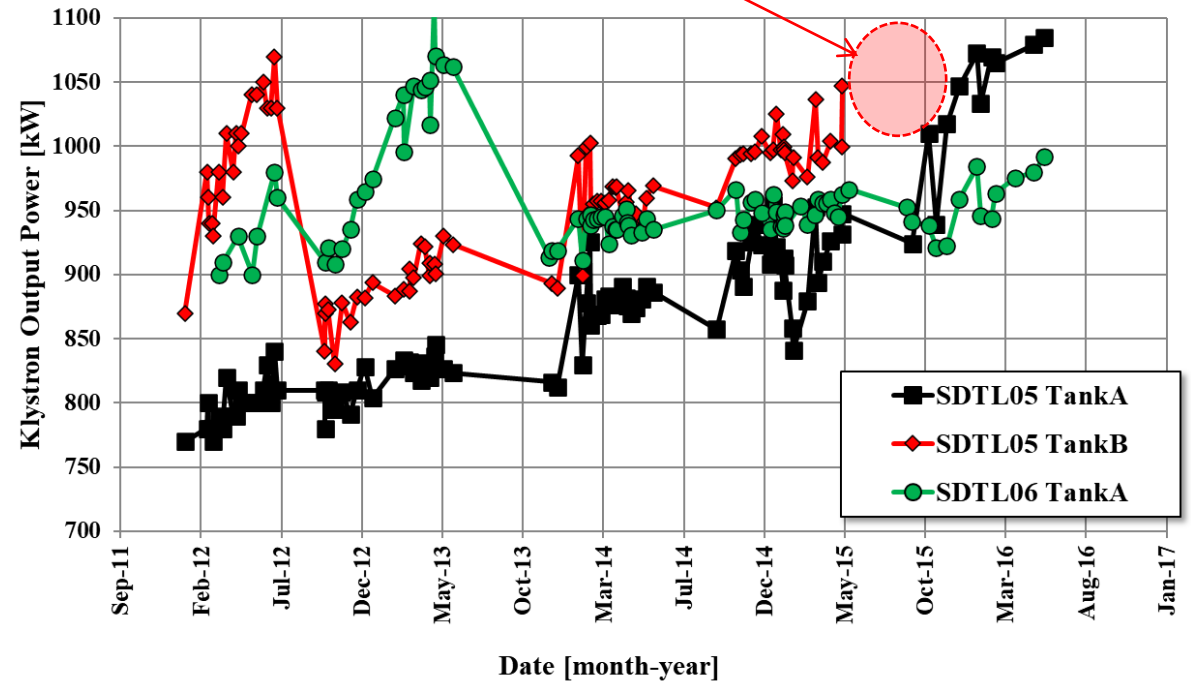
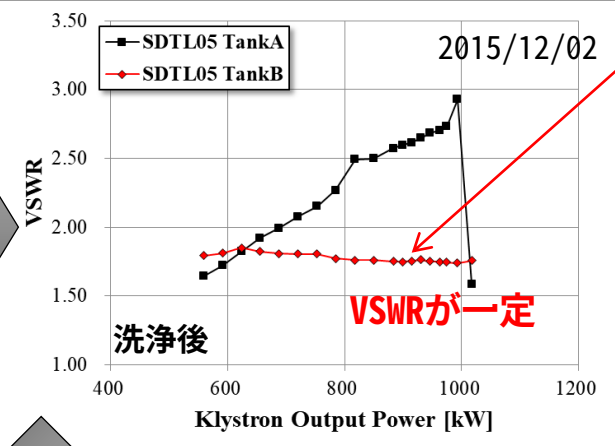
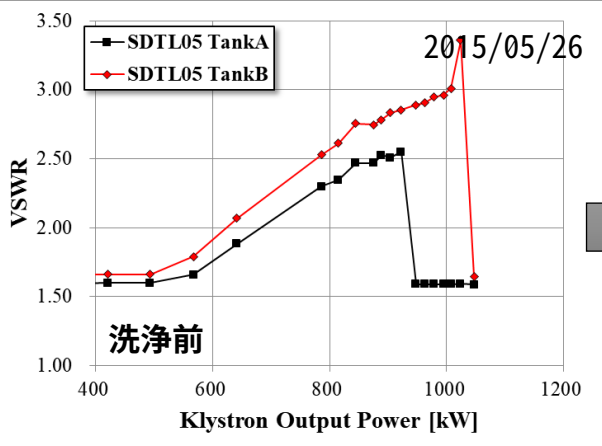
Vacuum port



- 空洞内壁面は非常に汚れていた。
- 黒い汚れの成分はロータリーポンプのオイル成分と良い一致を示した。

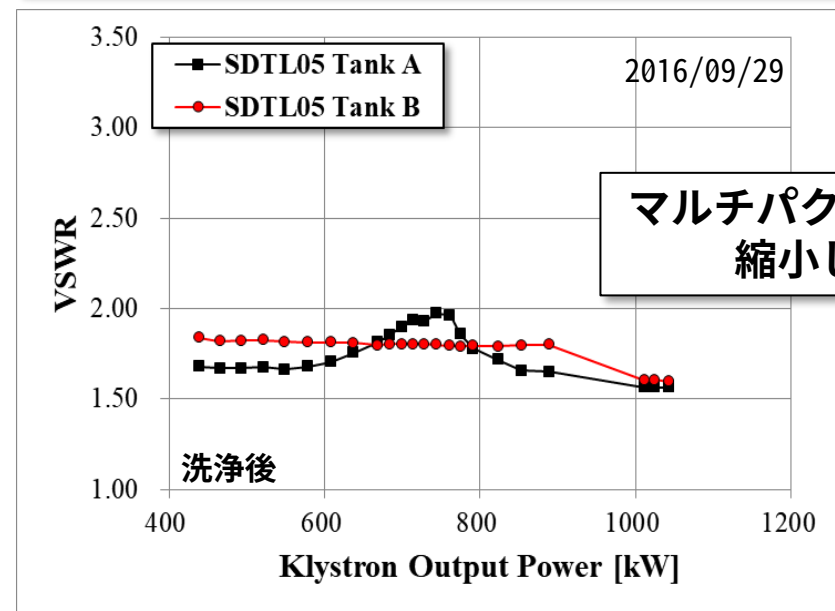
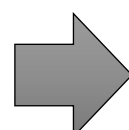
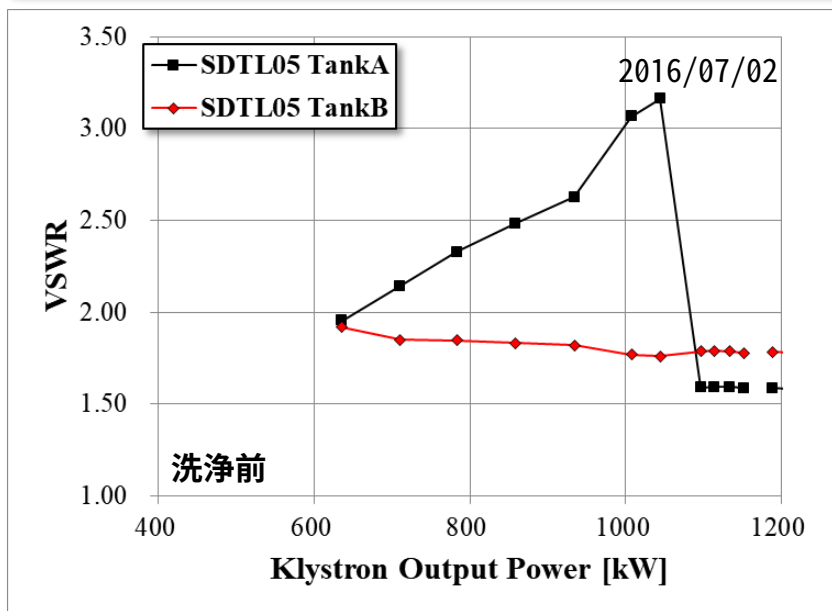
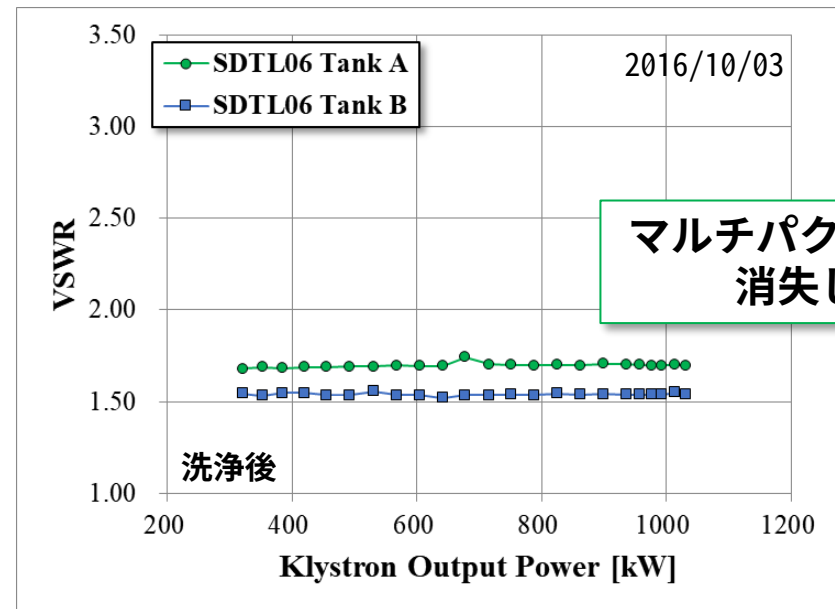
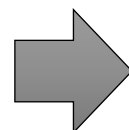
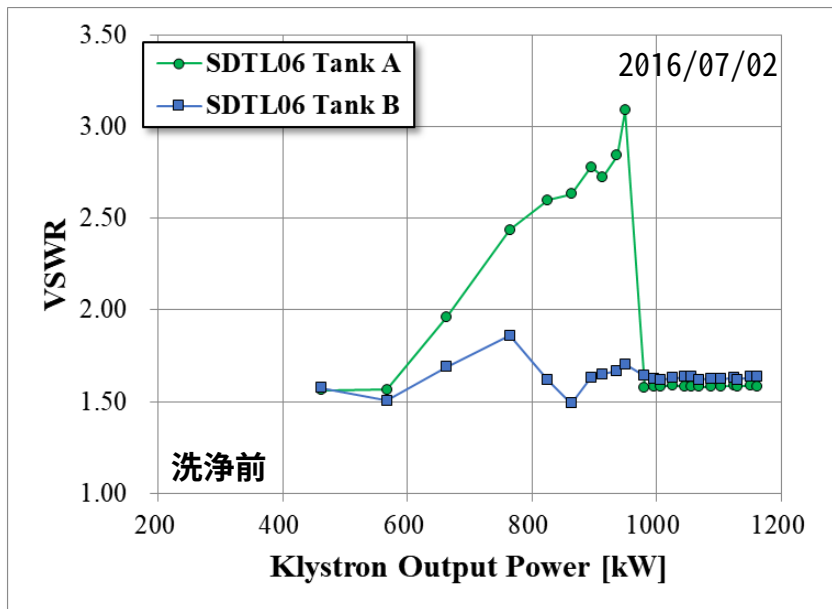
アセトン洗浄 (S05B)

S05Bのマルチパクタ領域は消失した

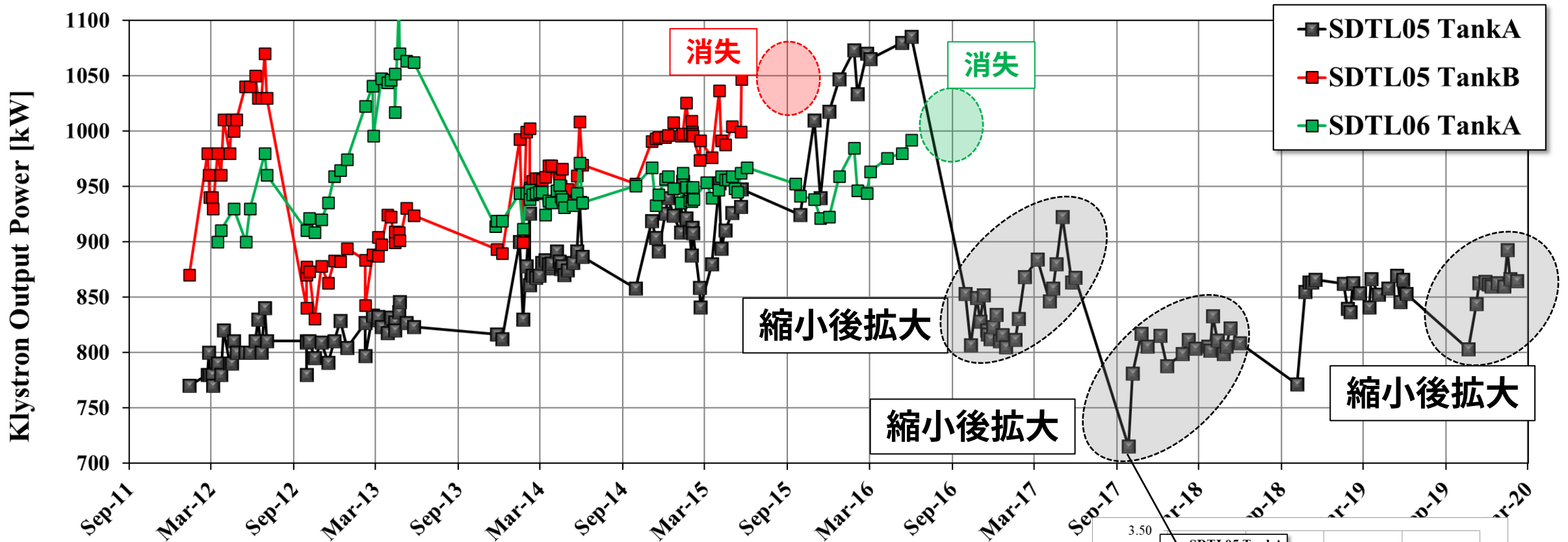


- アセトン洗浄が有効であると判断。
- 2016夏にS05A、S06A、S06Bのアセトン洗浄を決定。

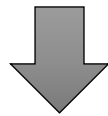
アセトン洗浄 (2016:S05A, S06A, S06B)



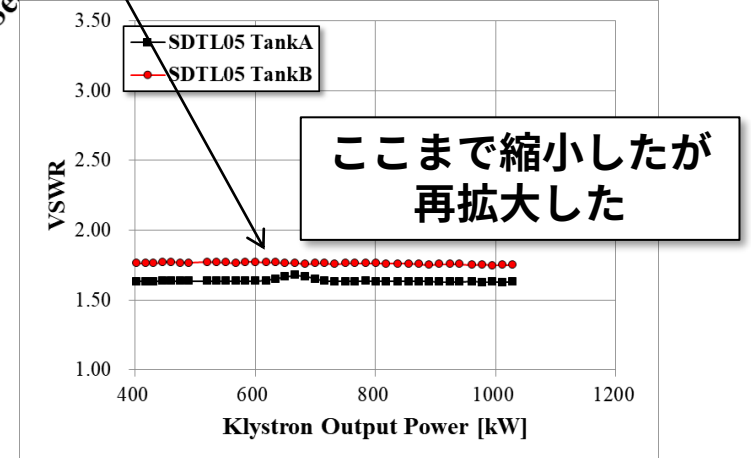
アセトン洗浄 (S05A, S06A, S06B)



S05Aのマルチパクタ領域がどうしてもなくなるならない。



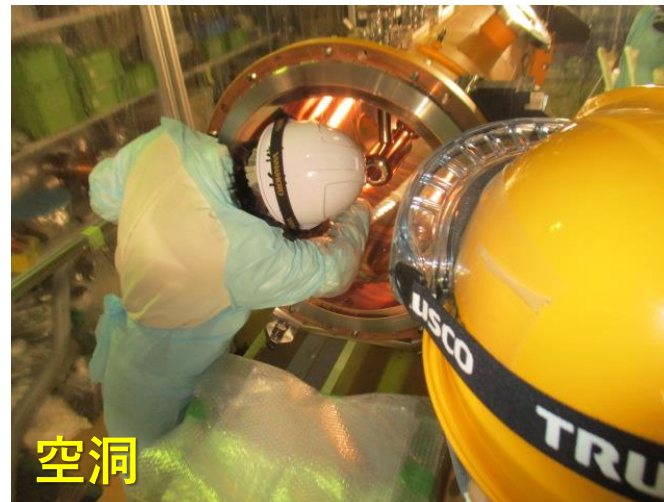
**さらに次の対策として
酸による空洞内壁洗浄の実施を決定。**



酸洗浄 (S05A)

■洗浄手順

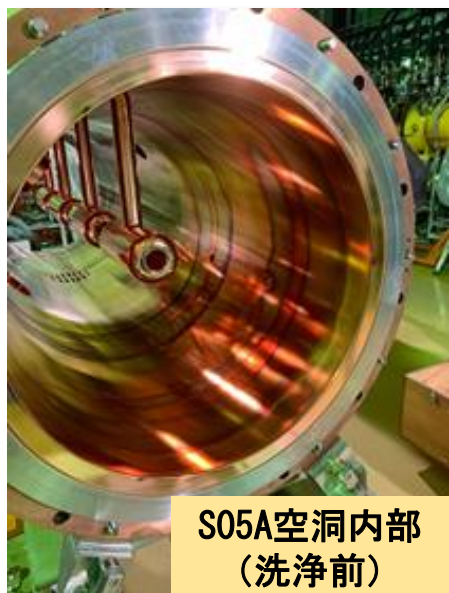
1. 洗浄剤による洗浄 (油分除去)
2. 水洗 (複数回)
3. 乾拭き
4. 酸洗浄 (希硫酸、又は希塩酸)
5. 水洗 (複数回)
6. 乾拭き
7. アルコール置換



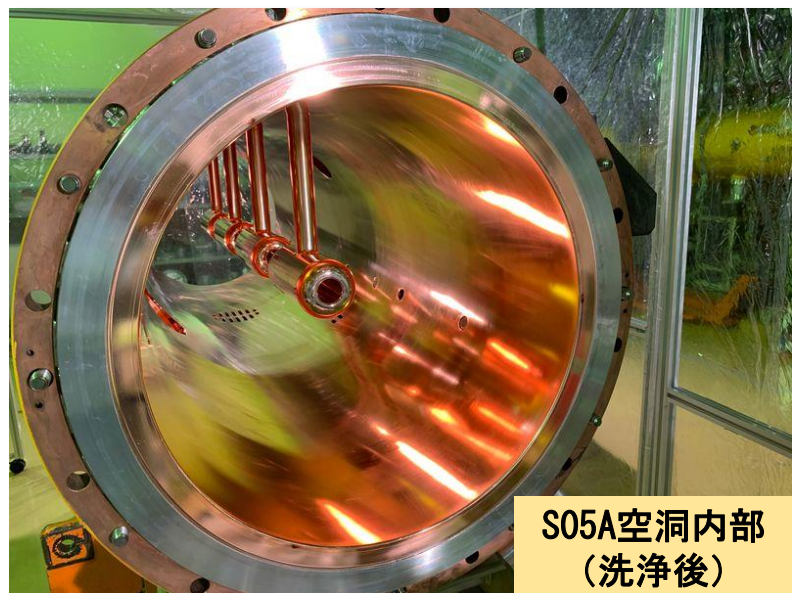
空洞



固定チューナー



S05A空洞内部
(洗浄前)

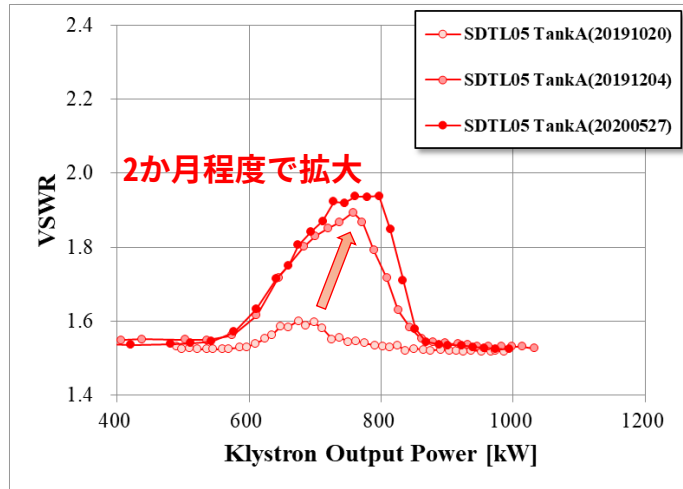


S05A空洞内部
(洗浄後)

- 空洞内表面の黒色の変色部分がなくなり銅色になった。
- 拭き取りウェスについた変色部 (黒) の成分分析では銅が検出された (黒い変色部分はおそらく酸化銅)。
- 銅以外に特異な成分は検出されなかった。

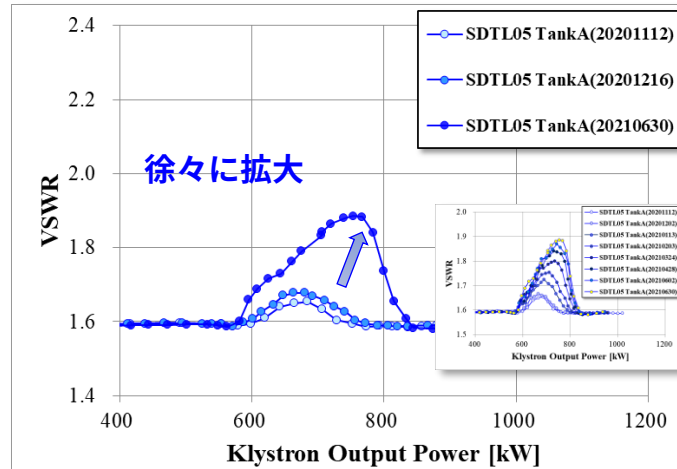
酸洗浄 (S05A)

アセトン洗浄(2019)



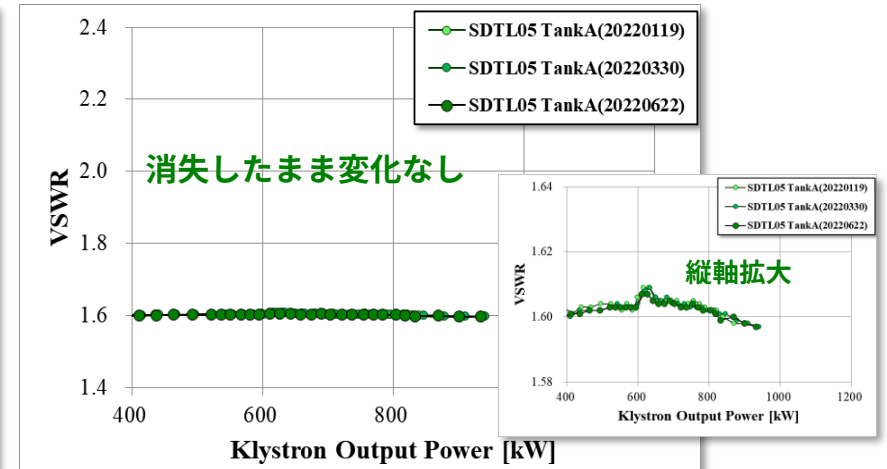
アセトン洗浄後の推移

希硫酸洗浄(2020)



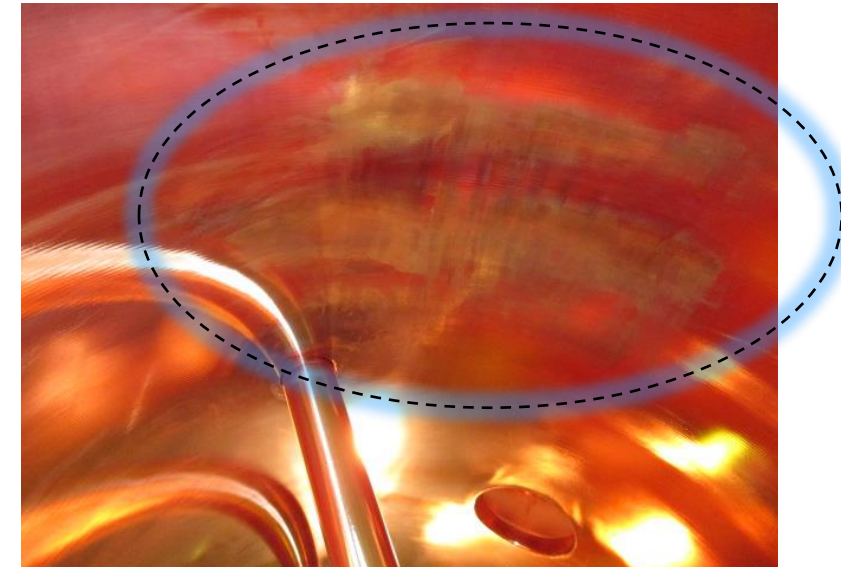
希硫酸洗浄後の推移

希塩酸洗浄(2021)



希塩酸洗浄後の推移

- 希硫酸洗浄後のマルチパクタ領域拡大速度が遅いことから、酸洗浄のほうが効果があると判断し、再度酸洗浄することを決定した。
- 拭き残し（水洗が不十分）箇所が複数見つかった。
- 2度目の酸洗浄では希塩酸を使用した。洗浄後、S05Aのマルチパクタ領域は消失し、再発していない。



洗浄履歴 (S04A～S06B)

	S04A	S04B	S05A	S05B	S06A	S06B
2015				<u>アセトン</u> 消失		
2016			<u>アセトン</u> 残 → 拡大		<u>アセトン</u> 消失	<u>アセトン</u> 消失
2017	<u>アセトン</u> 残	<u>アセトン</u> 残	<u>アセトン</u> 残 → 拡大 (fast)			
2018						
2019			<u>アセトン</u> 残 → 拡大 (fast)			
2020			<u>希硫酸</u> 残 → 拡大 (slow)			
2021			<u>希塩酸</u> 消失			
2022	<u>希塩酸</u> (2022/11月電力投入予定)	<u>希塩酸</u> (2022/11月電力投入予定)				

- 震災後に発生した不具合は、空洞内壁面で発生したマルチパクタが原因。
- アセトン洗浄、酸洗浄ともにマルチパクタの抑制・解消に有効。
- 空洞内壁が汚染していたことが根本原因（ロータリーポンプを使用していた）。
- S05A～S06Bの4空洞の不具合は解消し再発もしていない。
→ 定格電力での運転が可能に
- **空洞内を清浄に保つことが何よりも重要**

ご清聴ありがとうございました