

J-PARC MLF MUSEのミュオン生成標的の 現状報告



Materials and Life Science
Experimental Facility
(**Muon** & Neutron)

◆ 高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所

◆ J-PARC Center

Materials and Life science Facility Division
Muon Science Section

牧村俊助

CONTENTS

1. J-PARC MLF ミュオン標的

- 回転標的
- 軸受と潤滑材
- 運転履歴

2. ミュオン標的システムの1 MW試験

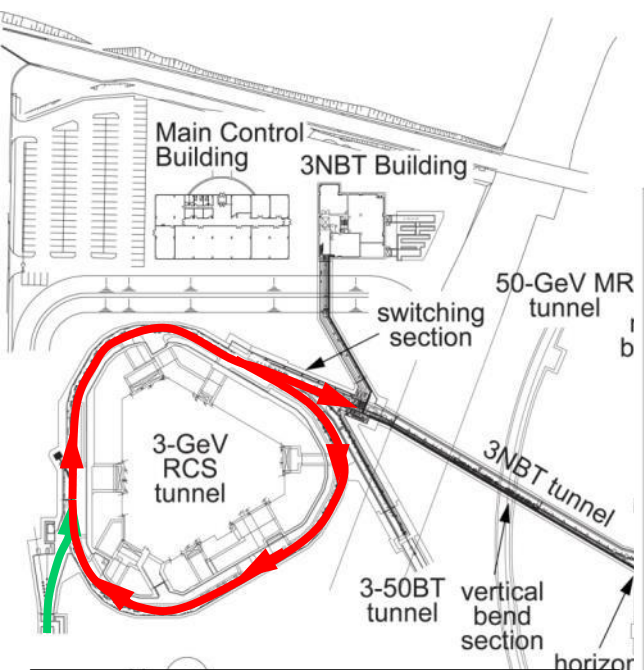
- 1MW試験スクレーパ
- 1MW試験回転標的

的場史朗、河村成肇 & ミュオングループ

1. J-PARC MLF ミュオン標的

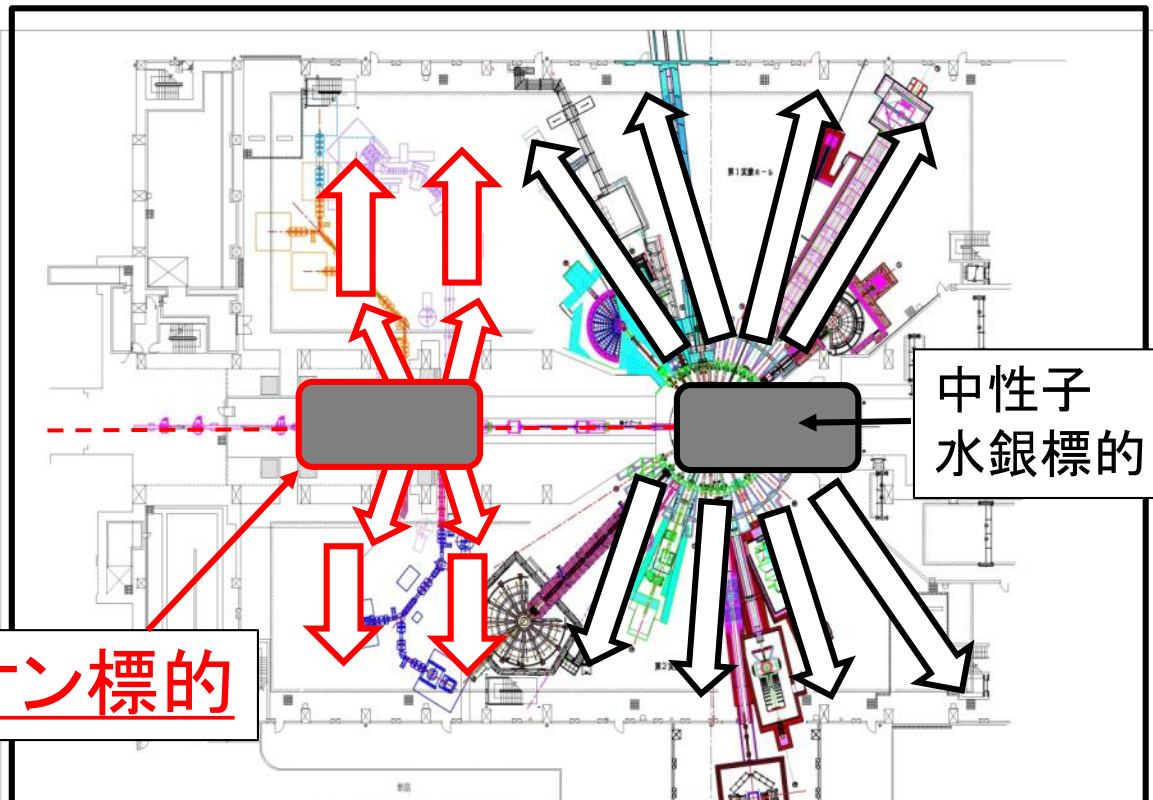
J-PARC物質生命科学実験施設

ミュオン標的



3GeV-シンクロトロン

目標: 1MW
現状: 500kW



物質生命科学実験施設
Materials and Life Science Experimental Facility (MLF)

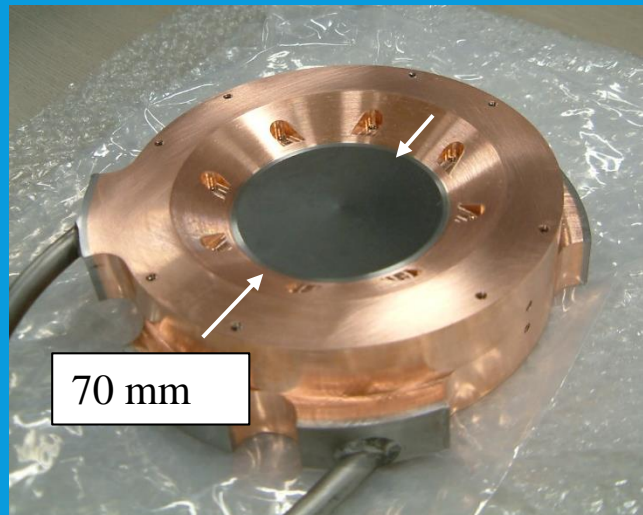
世界最高強度のパルス状ミュオン施設

ミュオン生成標的@J-PARC

- 固定標的で運転を開始。
- ミュオン標的は放射化するので、保守を簡略化するため寿命の長期化が必要。黒鉛材の照射損傷を分散させるために回転標的を開発。
- 2014年10月に固定標的を回転標的に交換

1MW proton beam

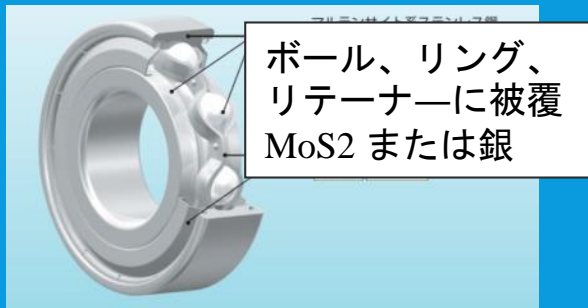
エネルギー、電流値、繰り返し	3 GeV, 333 μ A, 25 Hz
標的材厚み	黒鉛 (IG-430U) 20 mm
ビームロス	4 kW @1MW
ビーム径	3.5 mm, 1 sigma
ビームライン	真空



軸受と固体潤滑材

黒鉛の寿命は大幅に延びるが、軸受の固体潤滑材が回転標的の寿命を決定。
 使用温度：130°C、真空圧力： 10^{-5} Pa、高放射線場、回転速度：15 r.p.m.

	型式	耐熱温度	圧力 (Pa)	耐放射線	回転速度 (rpm)	保管	寿命 @15rpm (時間)
MoS ₂	<u>coating</u>	300°C	10 ⁵ to 10 ⁻⁵	<u>一般的</u>	<500	<u>大気</u>	<u>1100</u>
銀	<u>coating</u>	350°C	10 ⁻³ to 10 ⁻¹⁰	<u>一般的</u>	<500	<u>真空</u>	<u>5800</u>
WS ₂	<u>Separator</u>	350°C	10 ⁵ to 10 ⁻⁵	<u>実績無し</u>	<210	<u>大気</u>	<u>110000</u>



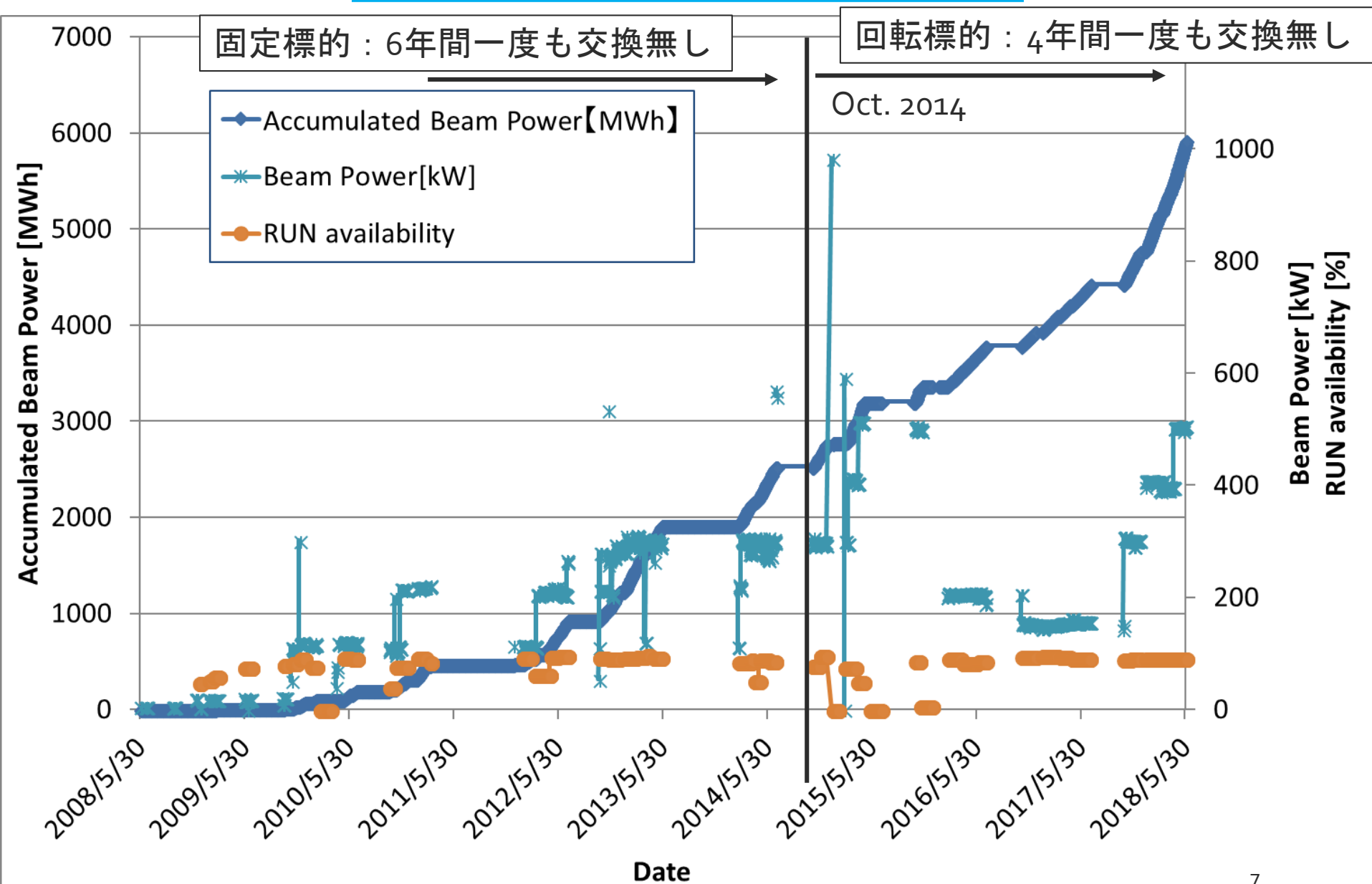
潤滑材の量が多い

JTEKT(KOYO) カタログより



J-PARCミュオン標的では
二硫化タングステンを採用している。
目標寿命：10年

ミュオン標的の運転履歴



回転標的の運転履歴

- 4年間交換無しで安定運転
- 運転履歴：2014年10月～2018年7月
～12600 hours (Nov. 2014 ~ 3rd July, 2018)
150 kW : 4290 h, 200 kW : 2300 h
300 kW : 2100 h, 400 kW : 2000 h
500 kW : 2200 h, 600 kW: 1 h, 1 MW: 1h
2018年7月3日に目標としていた1 MW運転を達成 (1時間)
- 回転数：～1220万回転
- 回転標的のトラブルによるユーザーへのビーム供給停止無し。

4年間の安定運転を継続中

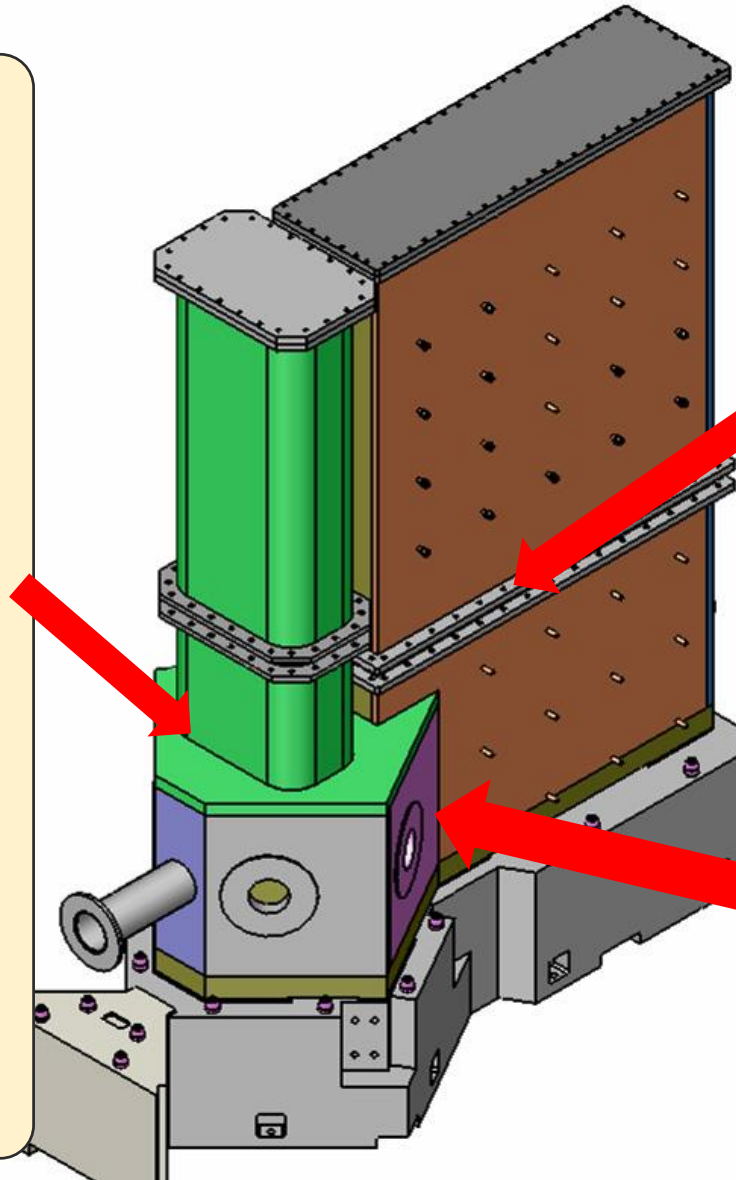
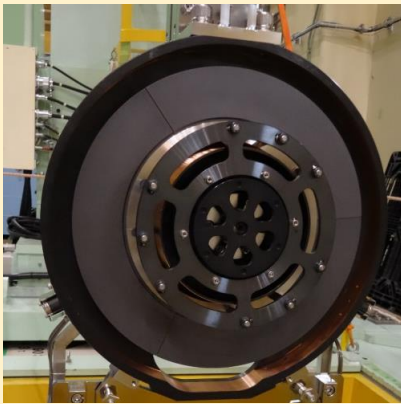
二硫化タングステン潤滑材は、高放射線場での実績を積み上げ中

2. ミュオン標的システムの1 MW試験

ミュオン標的システムの1MW試験 (2018年7月3日 : 935 kW)

ミュオン回転標的

- ◆ 2014年に運用開始
- ◆ 4年間交換なしで運転を継続中
- ◆ ビームロス : 4 kW
- ◆ 計測パラメータ
 - ✓ 軸受温度
 - ✓ 水冷ジャケット温度
 - ✓ 回転モータトルク
 - ✓ 真空圧力
 - ✓ 脱ガス質量数
 - ✓ 黒鉛からの輻射 (参考値)



スクレーパ

(散乱陽子をCollimate)

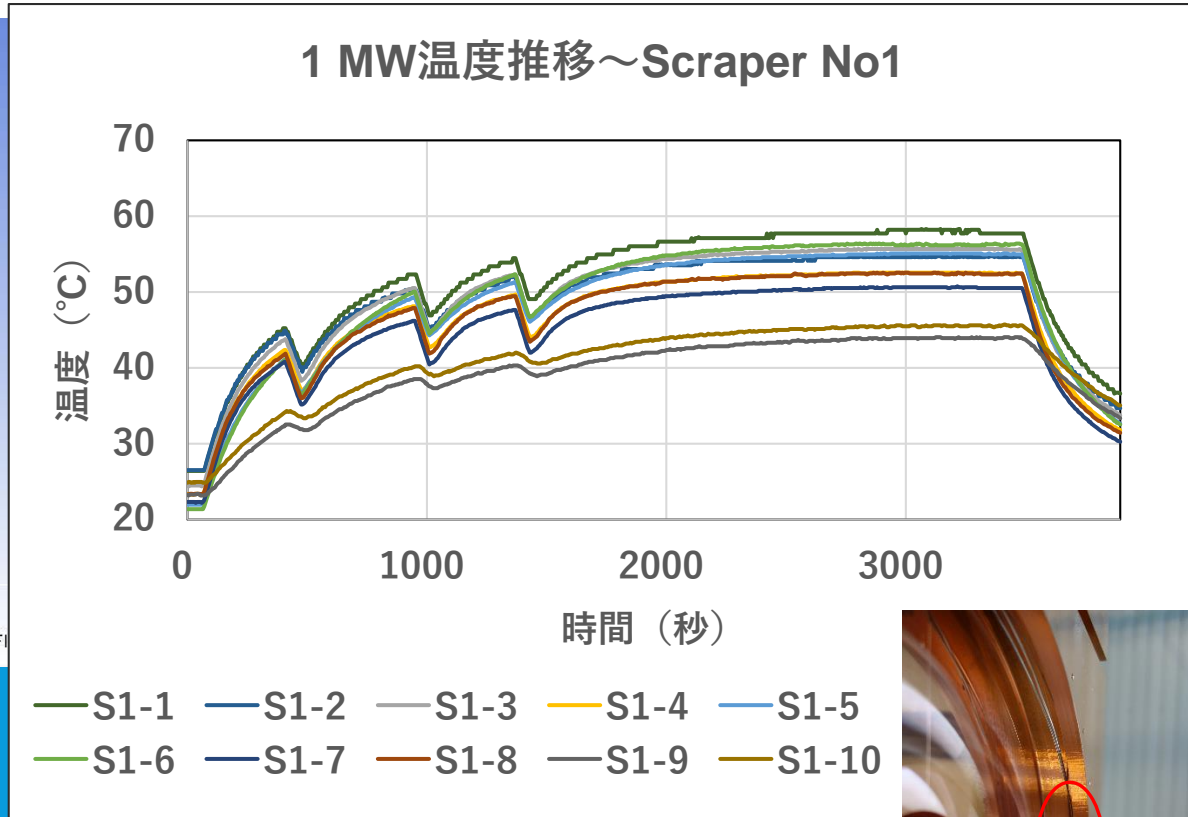
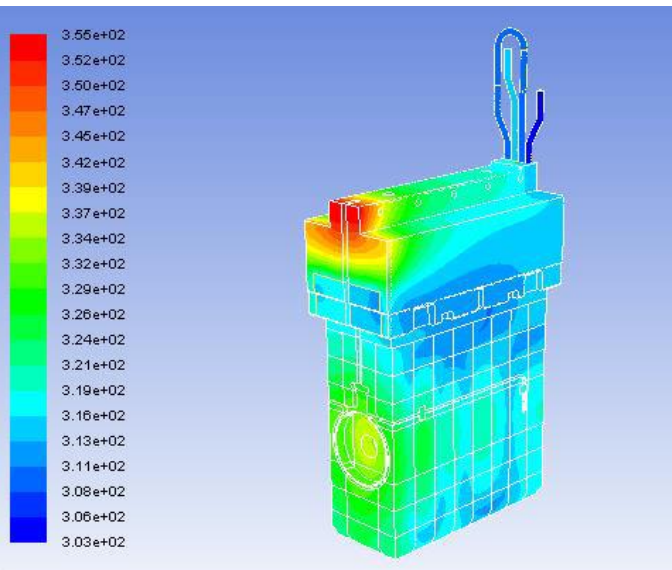
- ◆ 2015年に大強度用に更新
- ◆ ビームロス : 20 kW@No1



標的真空容器

- ◆ 2008年に運用開始
- ◆ 1時間の1MW運転では熱平衡状態に到達しない
- ◆ ビームロス : 10 kW

1MW試験～スクレーパ (発熱：20 KW)



ビーム強度	温度 (°C)
150 kW実測	33
300 kW実測	37
400 kW実測	39
500 kW実測	42
1 MW予測	60
1 MW実測	58

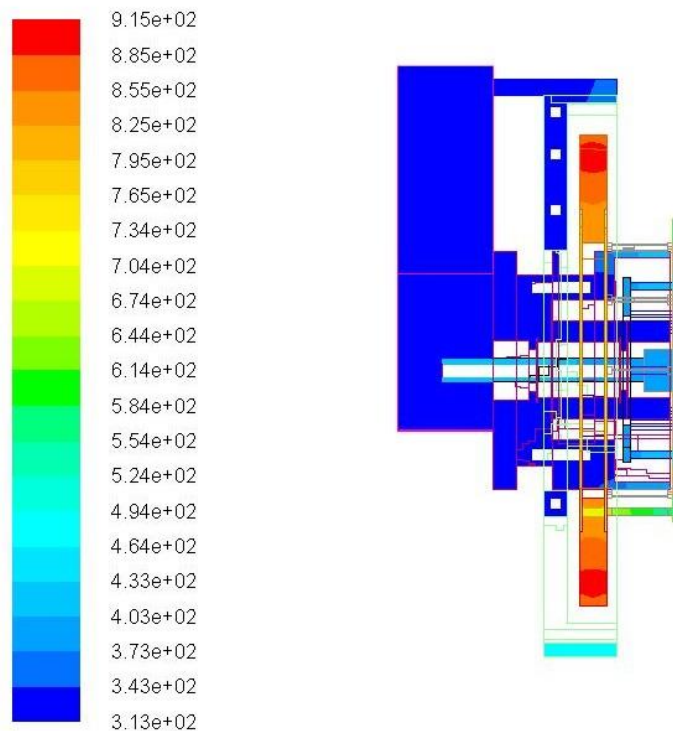
保守的な評価でもスクレーパ温度が100°C以下であれば破損しない。
1 MWでも問題ない事を確認



回転標的を直視しない位置で温度計測

1MW試験～回転標的 (標的溫度～解析)

ビーム強度	黒鉛平均 (°C)	軸温度 (°C)
150 kW	289	59
300 kW	387	71
400 kW	434	78
500 kW	474	84
1MW	613	112

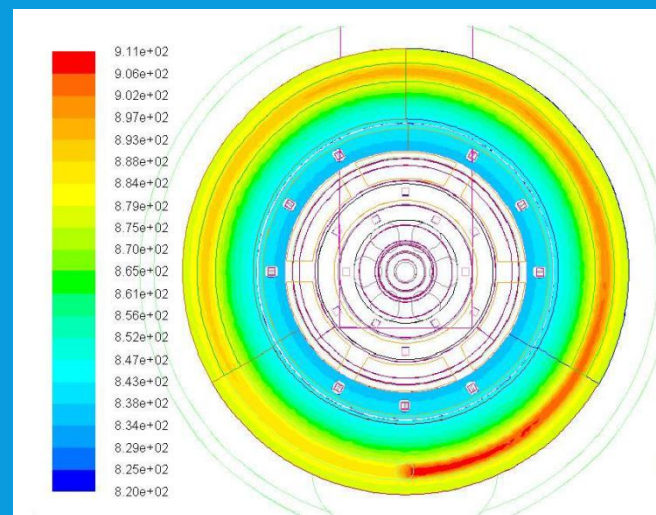


解析手法 (FEM、差分法) によって結果は20°Cほど異なる。

発熱 : 4 kW

- 回転標的の安全性は
- 回転トルク異常
- 真空圧力
- 回転軸温度
- 黒鉛温度 (参考値)
- で担保している。

回転体の温度を計測する事は容易では無い。



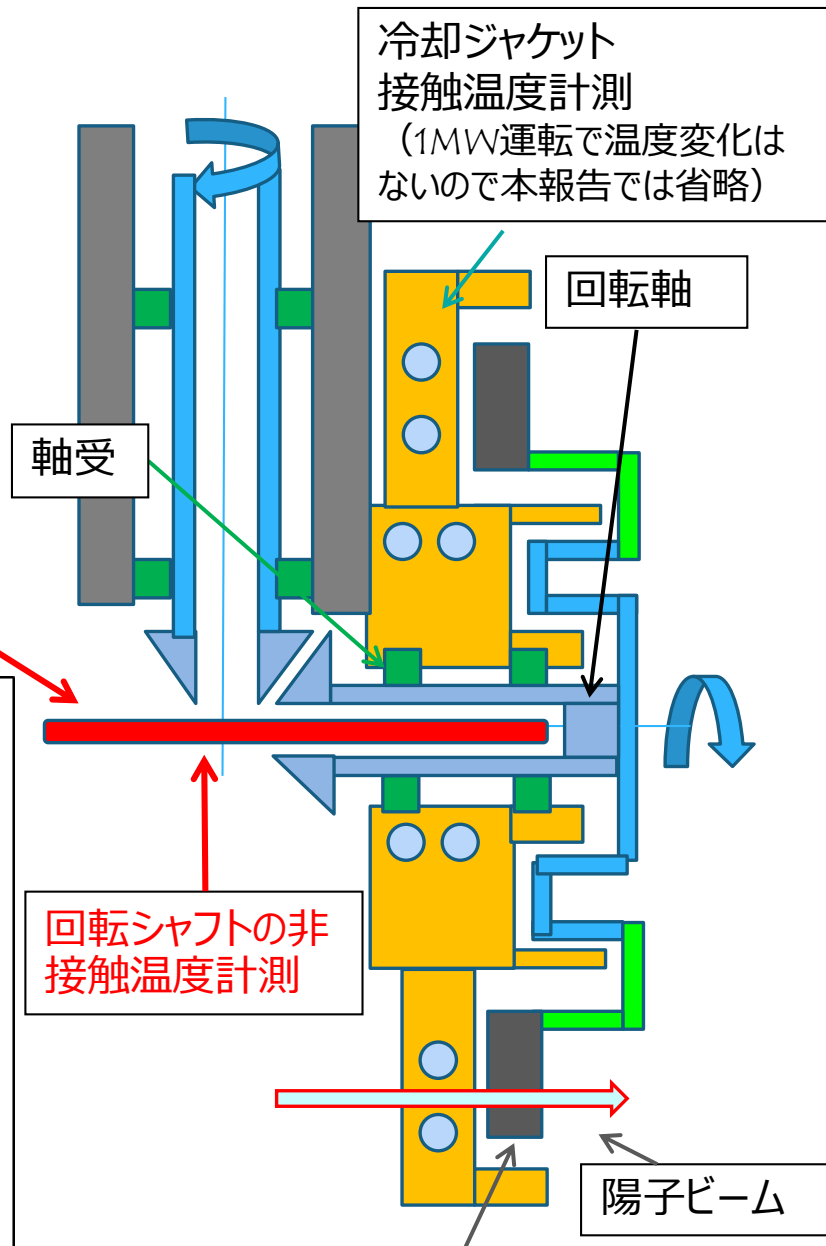
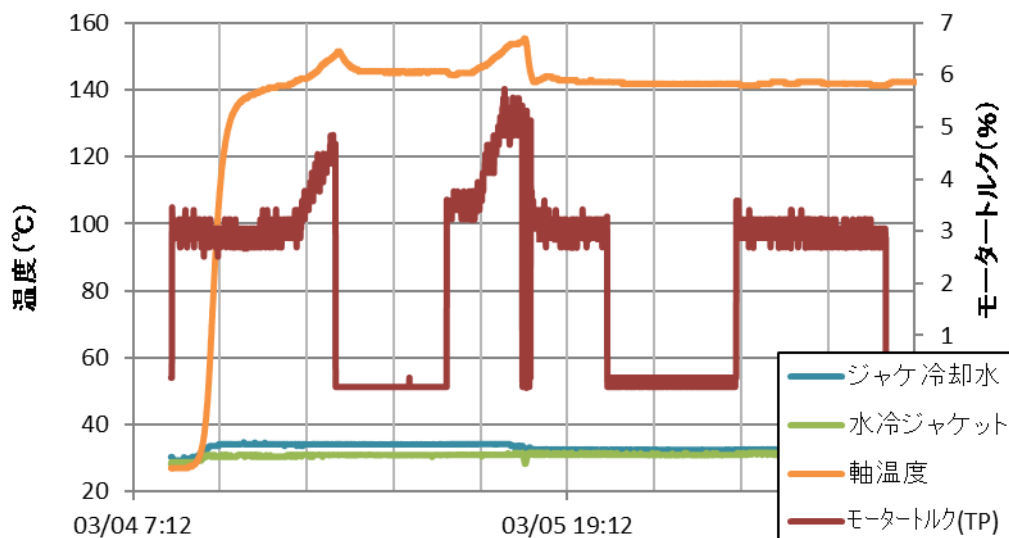
回転標的の温度測定 (回転軸)

回転標的の安全性

- 回転トルク異常
- 真空圧力
- 回転軸温度
- 黒鉛温度 (参考値)



軸受隙間C4 : 耐熱温度300°C



試験機の経験ではモータートルクと回転軸温度は相関がある。

黒鉛回転体の非接触温度計測

回転標的の温度測定 (黒鉛回転体)

- 回転している黒鉛の温度測定は困難。
- 熱絶縁された熱電対は黒鉛のみから輻射熱を受ける (数mW)。
- 散乱した陽子ビームによる核発熱よりも、やや大きい発熱
- 参考値として、計測を開始し、運用を行いながらインターロックに使用する。
- 反応速度は遅い。

□ 将来は、12m上流より運転中の黒鉛温度を赤外線カメラで計測する事を計画中 (by 的場)。



熱絶縁された熱電対が黒鉛からの輻射を受ける。



1 MW試験～回転標的

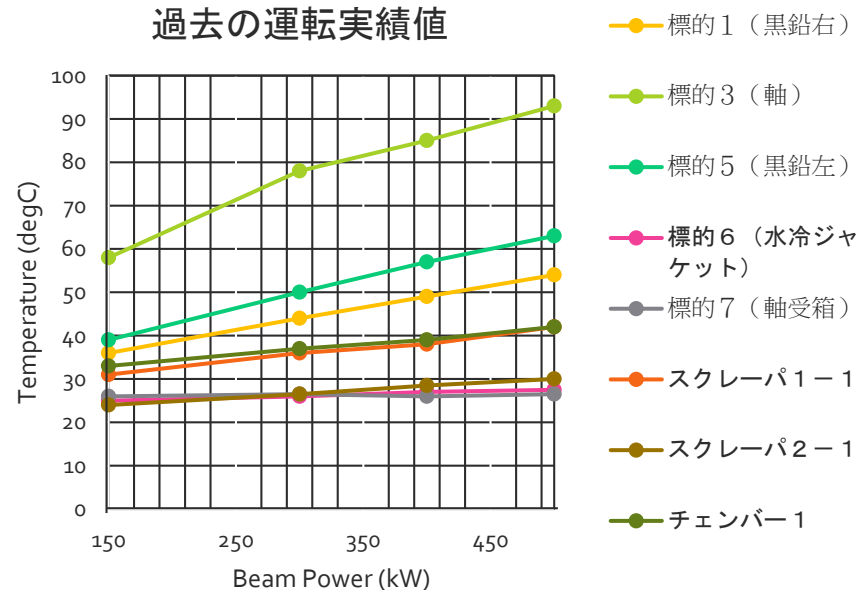
- モータートルクの上昇は観測されず
- 真空圧力： $1.9 \times 10^{-5} \text{Pa} \rightarrow 2.2 \times 10^{-5} \text{Pa}$
問題なし

	黒鉛右	黒鉛左	軸
実績からの予想温度 (°C) (1MW熱平衡)	80	100	130
実績からの予想温度 (°C) (1時間連続運転)	75	90	85
実測値 (°C)	70	82	95

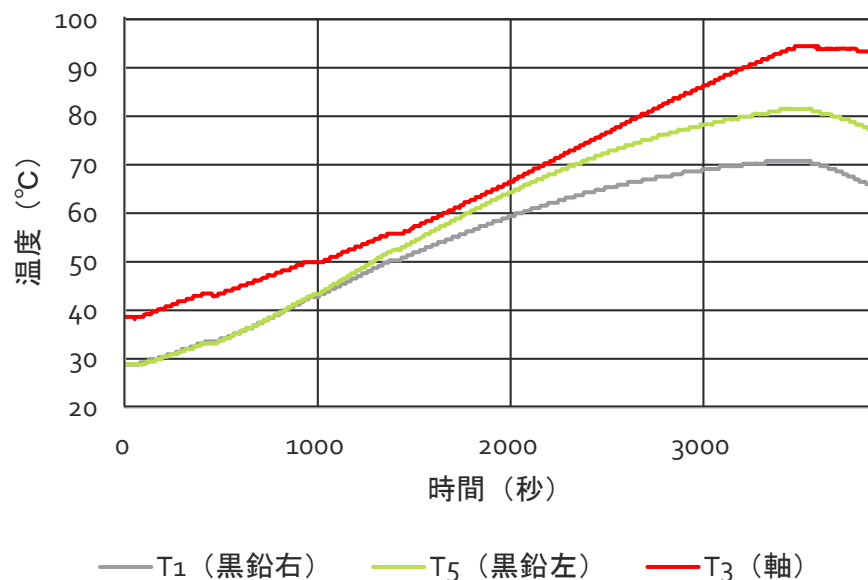
- 黒鉛温度も軸温度も熱平衡には到達しない
- 黒鉛温度はビーム停止の影響で
実測値 < 予測値
- 軸温度は調整運転の影響から初期値が高いため
実測値 > 予測値

□ 長期運転試験が望まれる。

過去の運転実績値

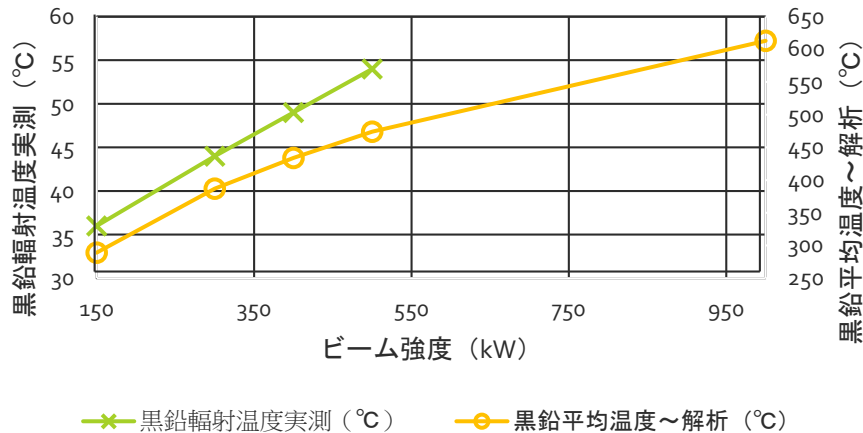


1 MW温度推移～Target

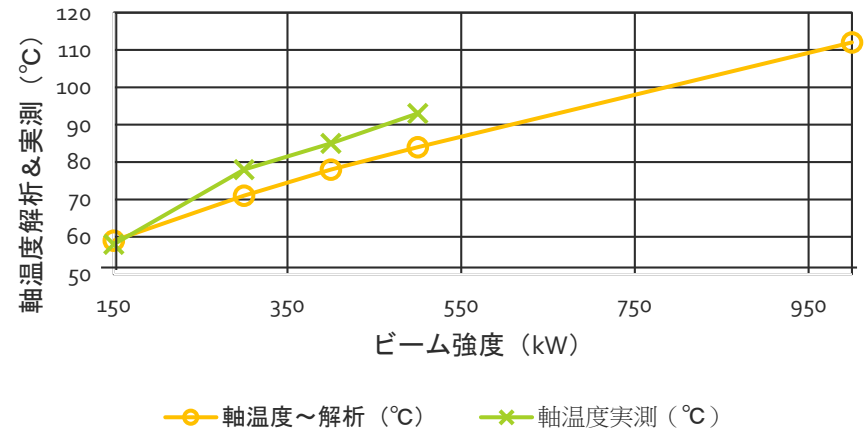


回転標的解析 & 実測の比較

解析 & 実測 ~ 黒鉛



解析 & 実測 ~ 軸温度



- 解析と実測値の比較を行っている。
- 相対的な評価には採用できそう。

SUMMARY

1. J-PARC MLF ミュオン標的

- 2014年に回転標的の運用を開始
- 二硫化タングステン潤滑材を採用
- 4年間の安定運転

2. ミュオン標的システムの 1 MW 試験

- スクレーパーは 1 MW で運転可能である事を確認
- 回転標的は評価に近い事を確認できたが、熱平衡には至っていないので長期運転試験が望まれる。

ご静聴ありがとうございました。