

FROO02



第17回日本加速器学会年会

@ WEB MEETING

令和2年9月4日



J-PARC COMET 標的の現状

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

J-PARCセンター・ハドロンセクション

牧村俊助

SHUNSUKE.MAKIMURA@KEK.JP

CONTENTS

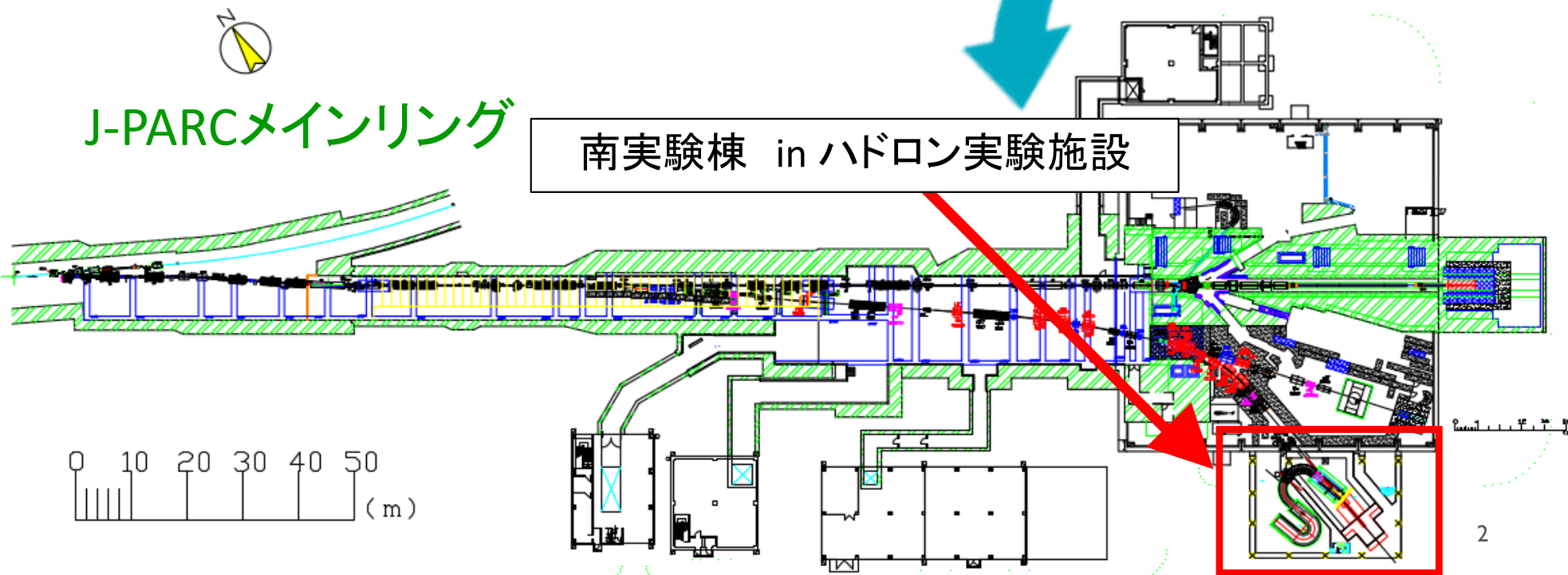
1. COMET標的の概略
2. COMET標的の熱解析
3. まとめ

深尾祥紀、三原智 and COMET collaboration
吉田誠 and KEK低温センター
& J-PARC, Hadron Section



J-PARCメインリング

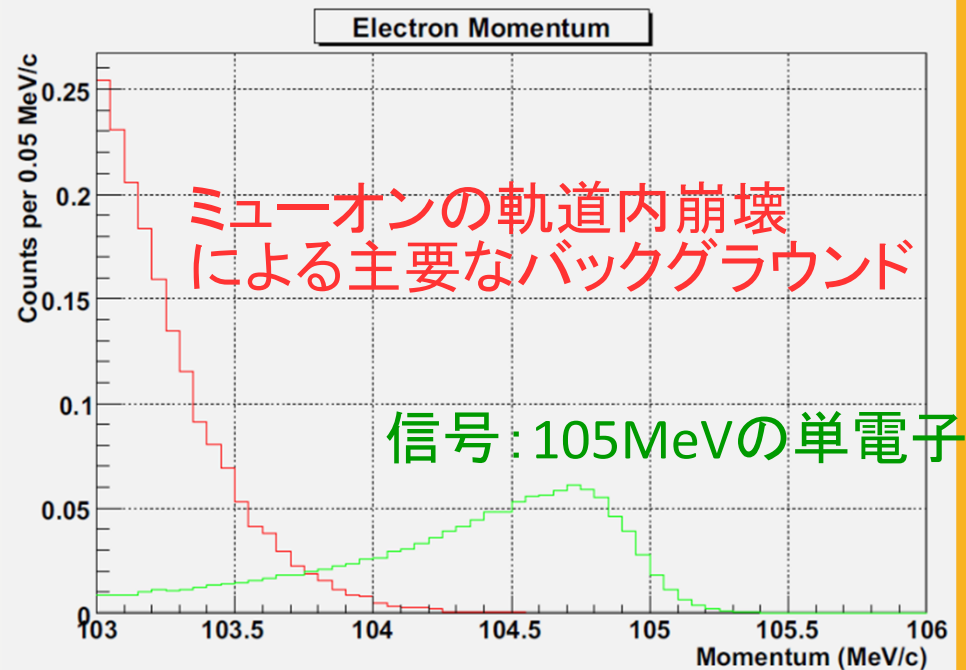
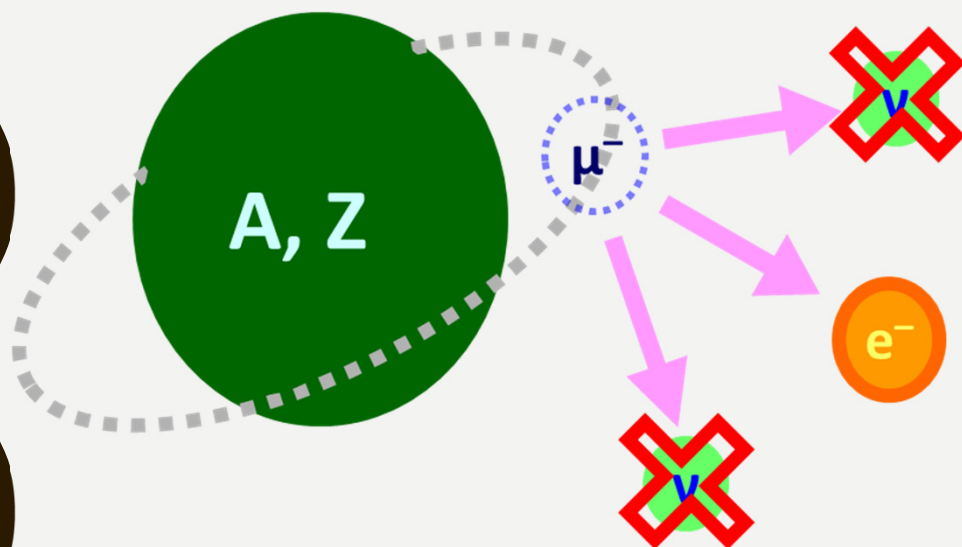
南実験棟 in ハドロン実験施設





COMET標的の概略

COMET実験



- $\mu^- + (A, Z) \rightarrow e^- + (A, Z)$
荷電レプトンフレーバ保存の破れ

- 標準模型では禁止されている
 ν 混合による分岐比 $\sim O(10^{-54})$

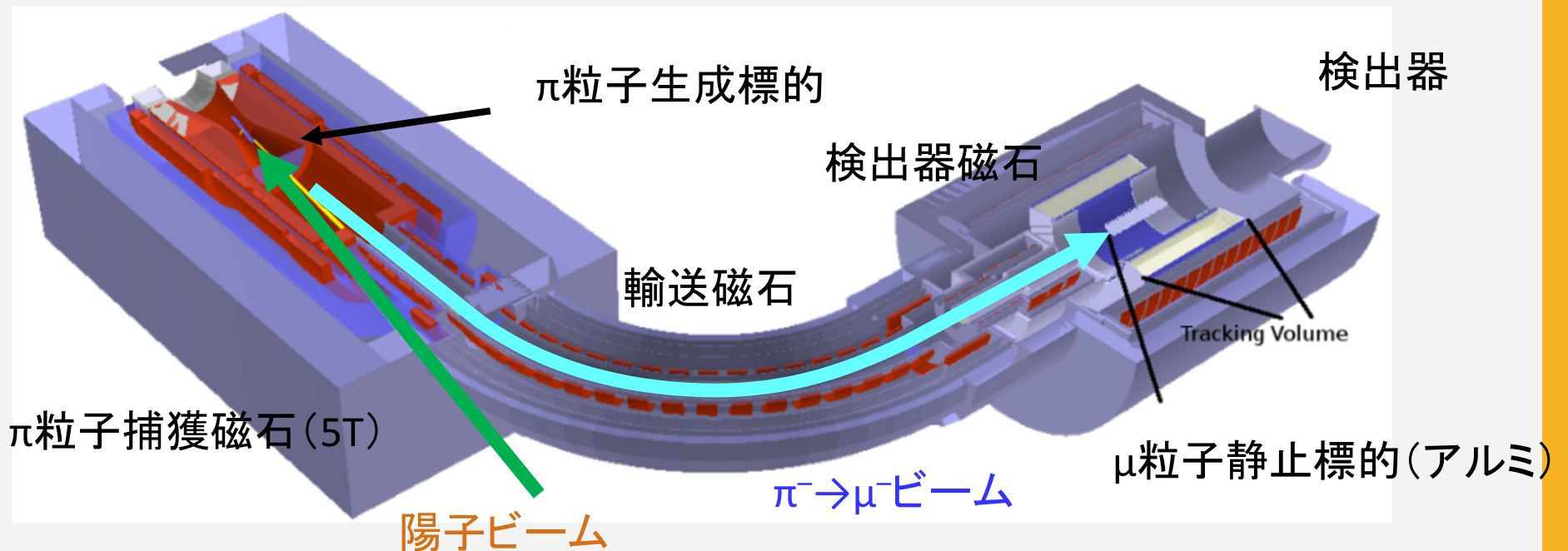
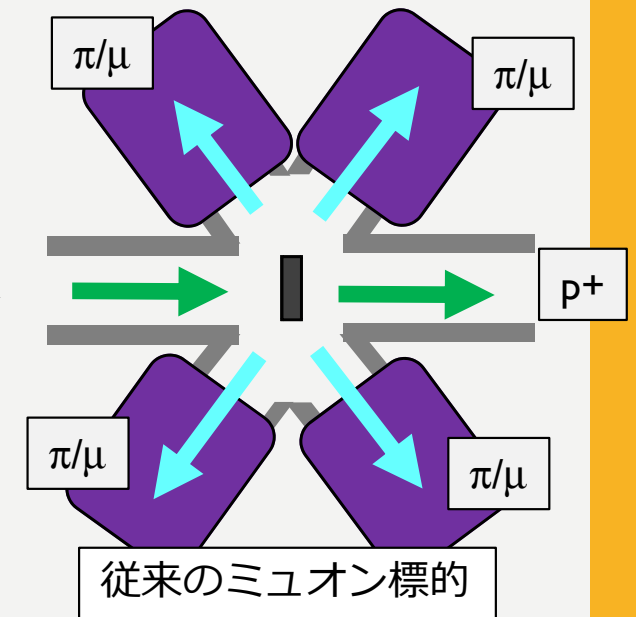
SINDRUM IIの測定結果
 $BR < 6.1 \times 10^{-13}$

SINDRUM IIより感度を
10000倍向上する
(COMET Phase2)

稀現象探索 → 従来の実験よりも多くのミュオンが必要
2022年度から運転開始を目指している

COMET標的

- 従来のミュオン標的：
捕獲電磁石と陽子ビームラインの幾何形状で捕獲率が限定。高い偏極は物性用途に利点
- 軸収束超電導ソレノイド捕獲方式：
阪大RCNP-MuSICで実証。大立体角でパイオンを捕獲・輸送。



- 陽子ビーム強度は高くないが、標的上の発熱密度が高い。
- 発熱密度を分散させることが出来ない。(e.g. 回転できない)



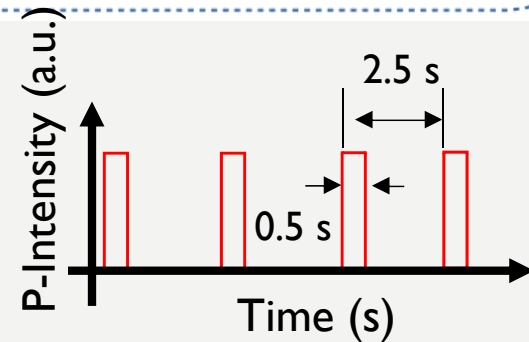
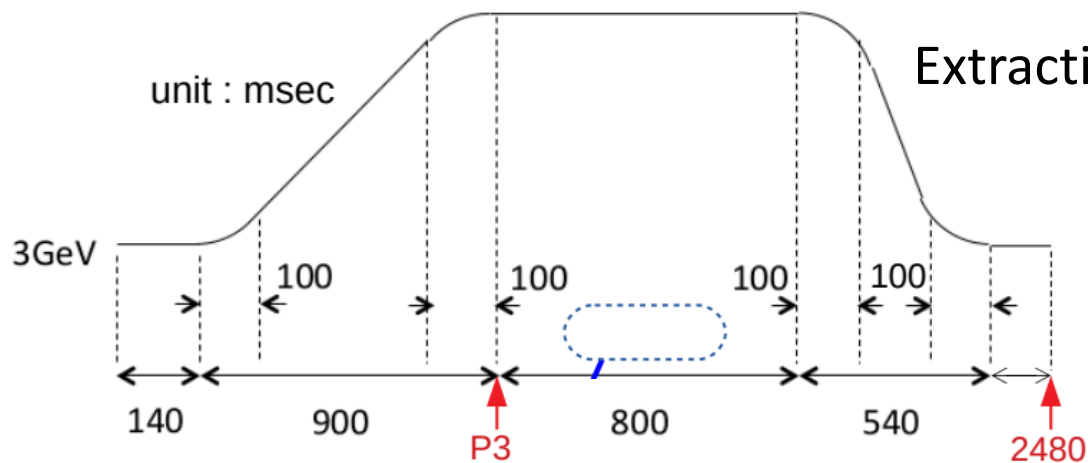
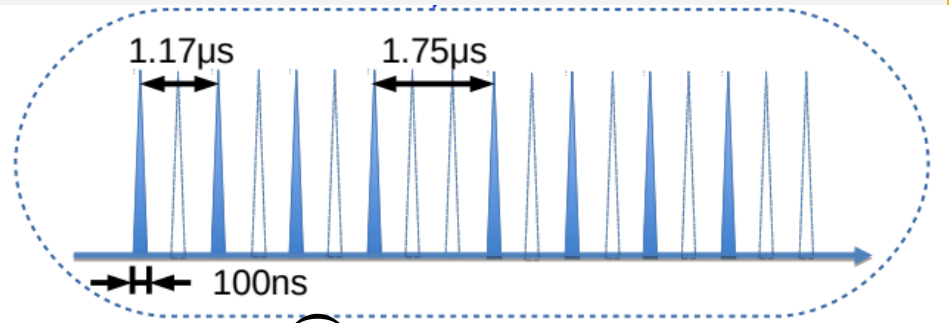
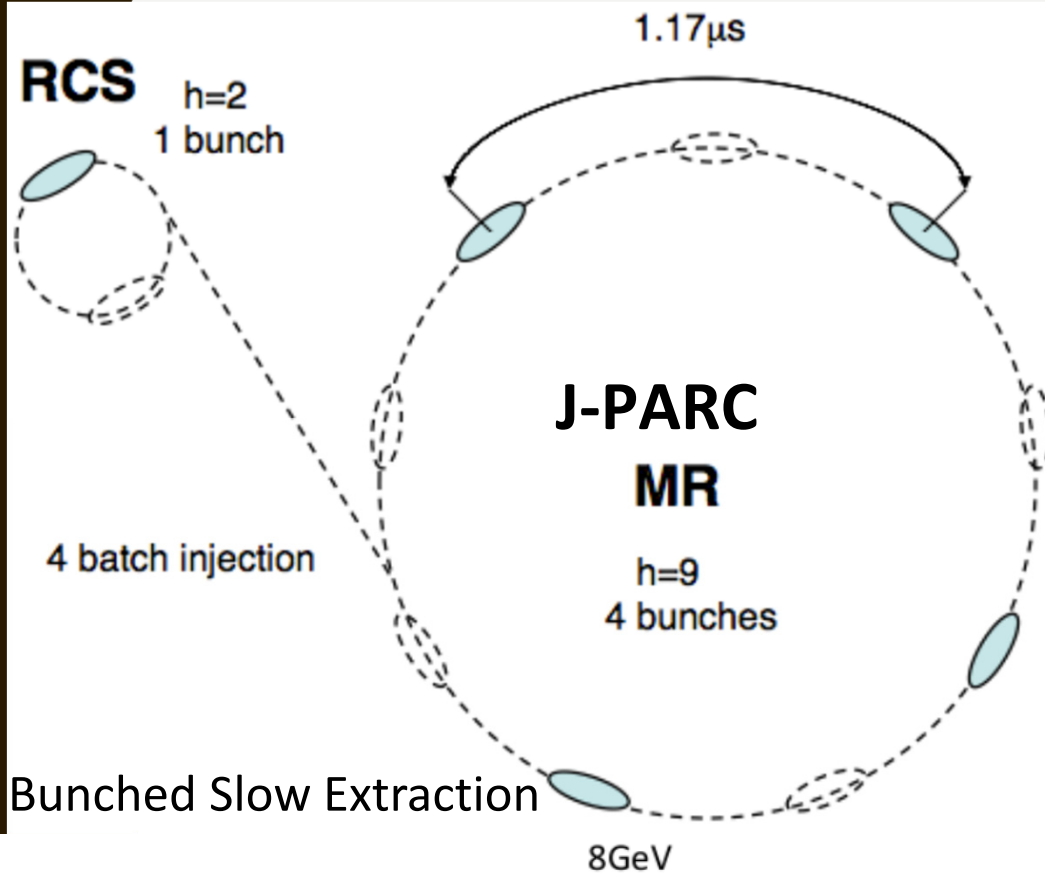
COMET標的の熱解析

- 黒鉛標的 for Phase 1 & Phase 2
- タングステン標的 for Phase 2

陽子ビーム時間構造

Case: COMET Phase1

energy	8GeV
power	3.2 kW
proton / bunch	1.6×10^7
proton / shot	6.2×10^{12}
<u>cycle</u>	<u>2.5 sec.</u>
<u>extraction</u>	<u>0.5 sec.</u>



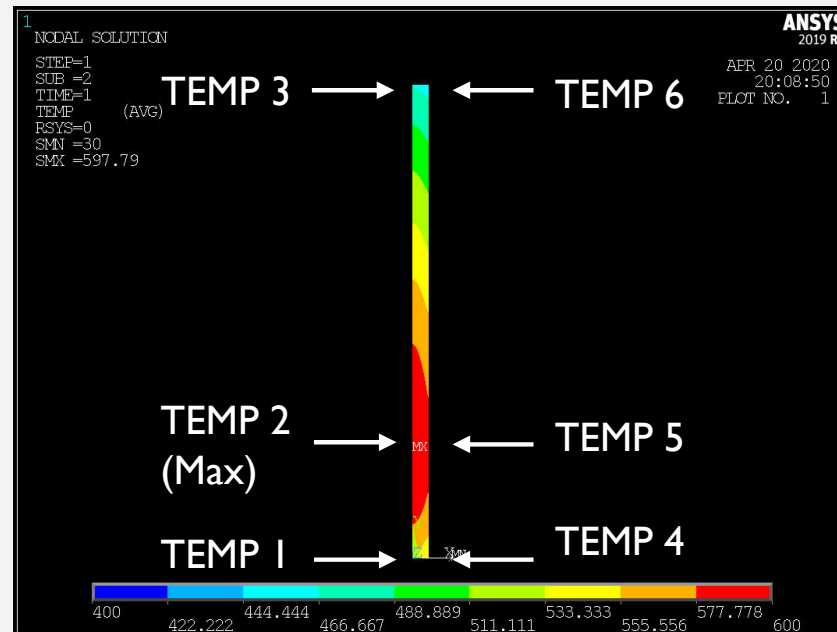
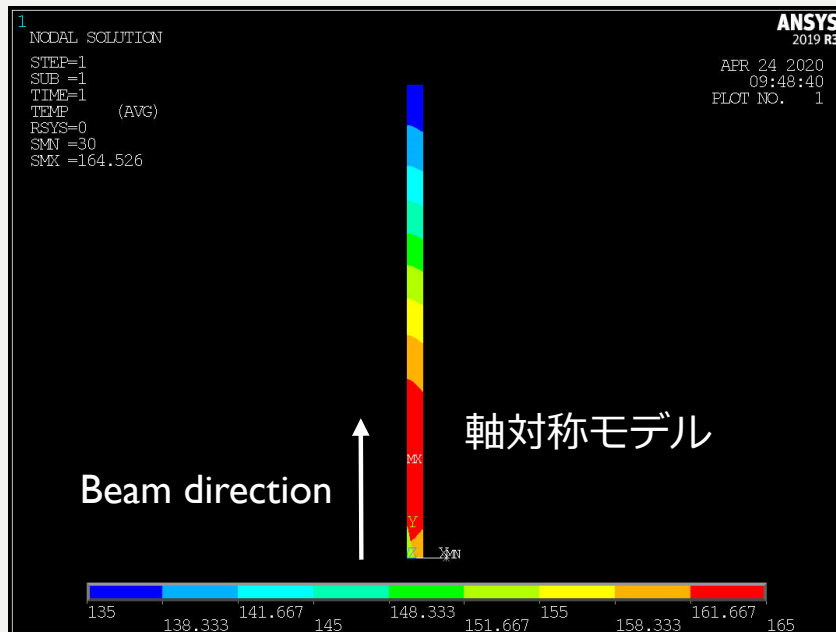
Case: Phase2
Power 56 kW

黒鉛標的 (輻射冷却) for Phase I & Phase 2

黒鉛：半径=20 mm, 長さ=600 mm (*最新のTDR: r=13 mm, L=700 mm)

ビーム発熱 through MARS-Calculation by M.Yoshida

(Static Analysis, DC beam)



	Beam intensity	Beam loss on Target	Maximum temperature	Temperature difference
	kW	kW	°C	°C
Phase I	3.2	0.11	164	30
Phase 2	56	1.9	598	150

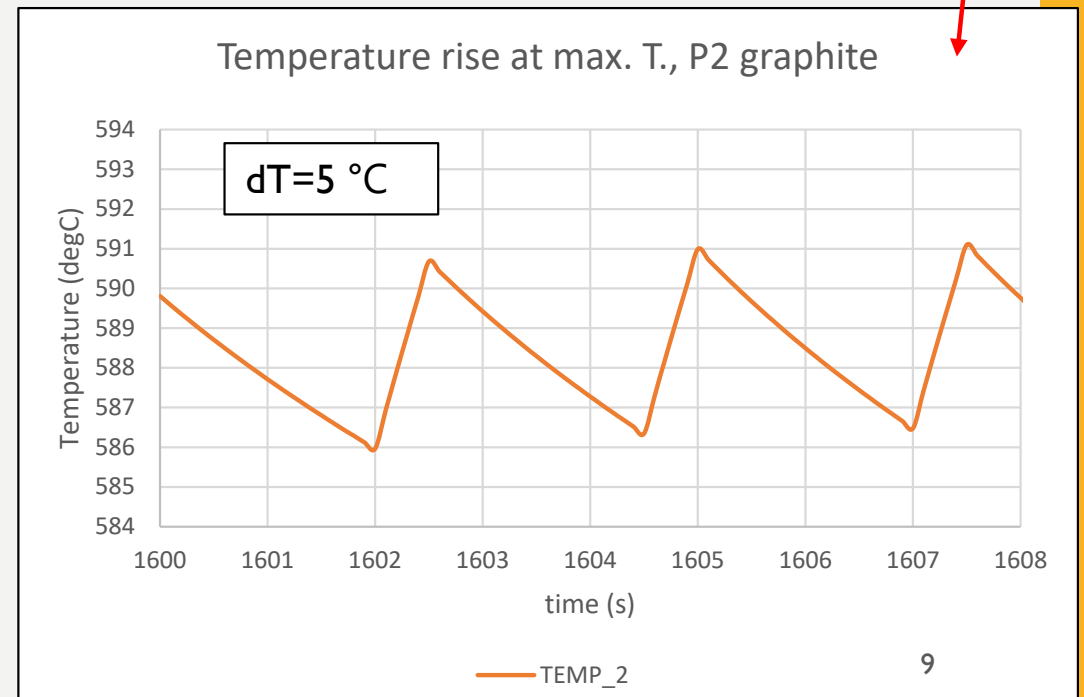
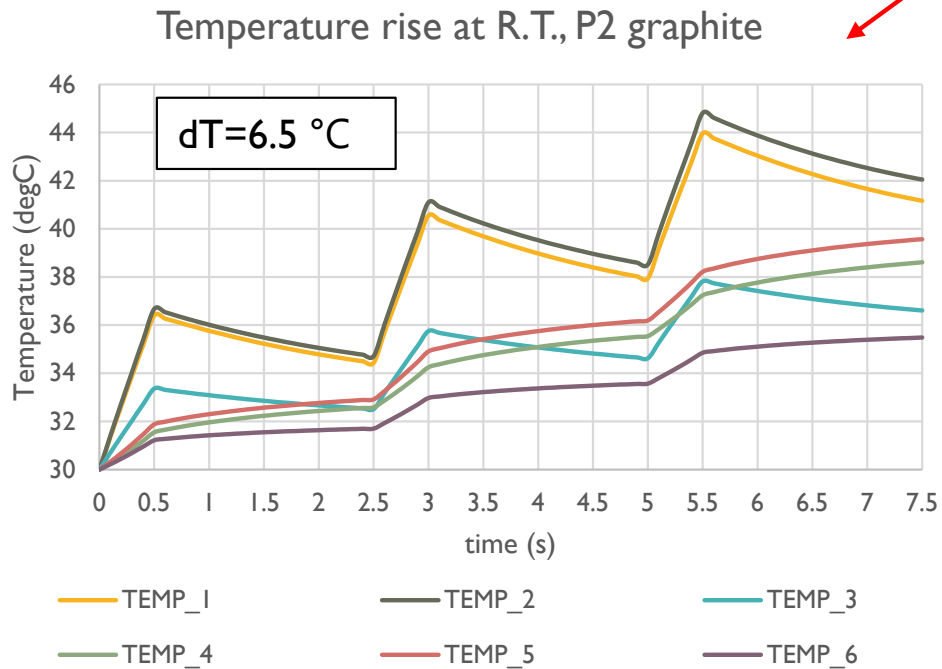
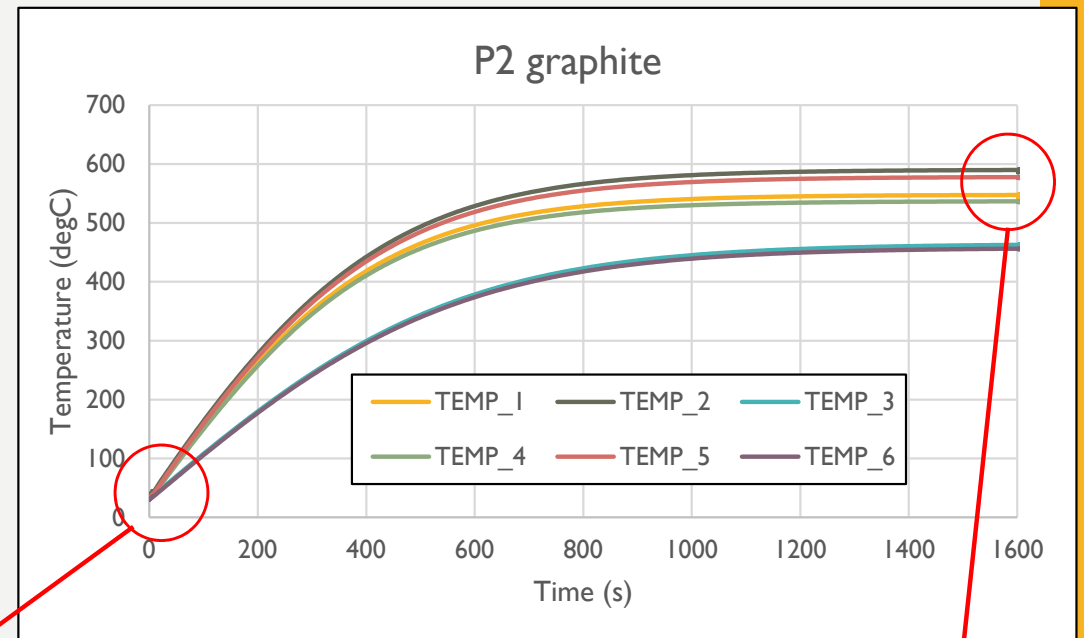
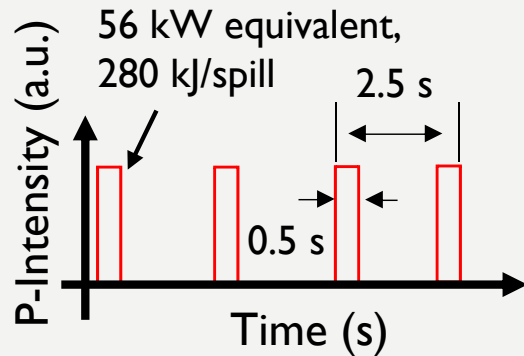
真空中での黒鉛の最大使用可能温度: 1600 °C

黒鉛標的はPhase2でも使用可能

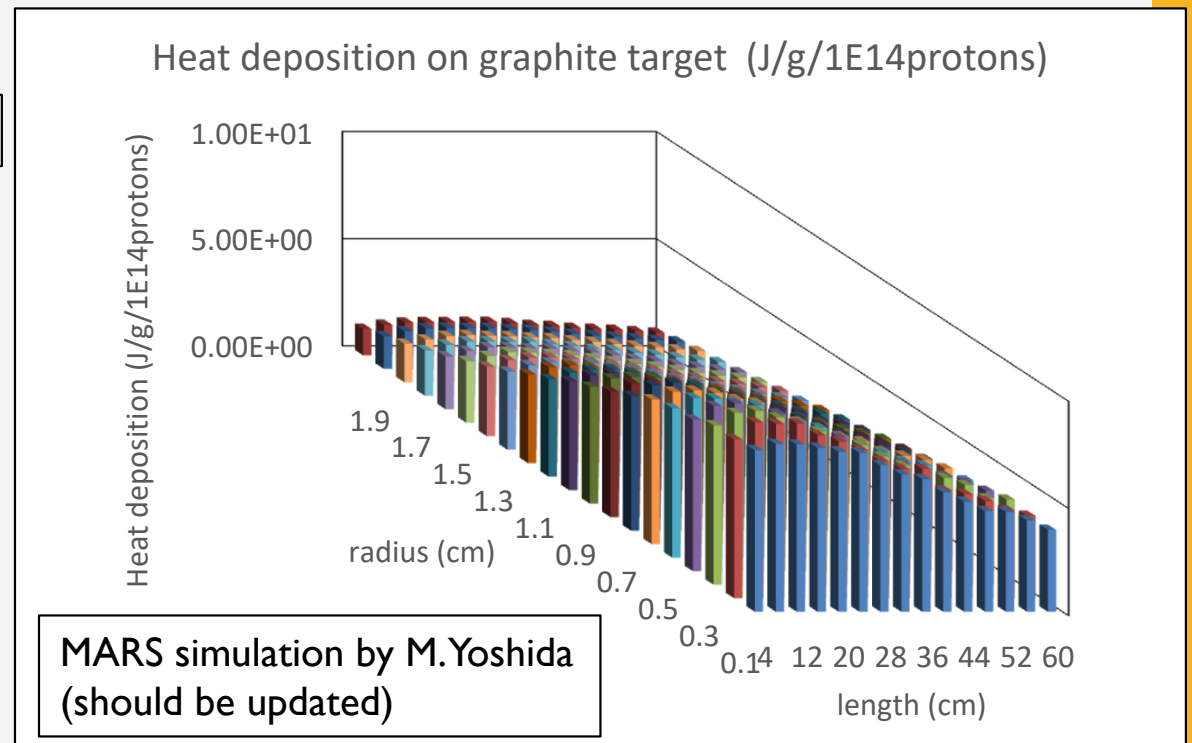
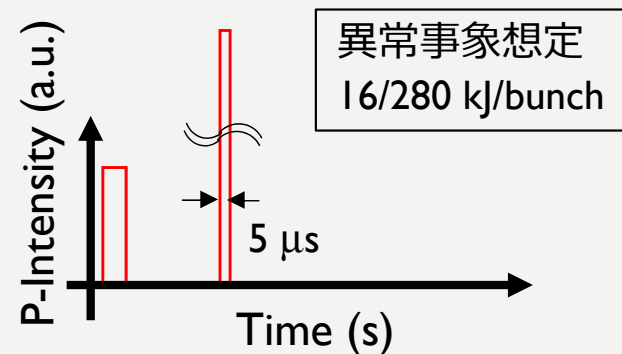
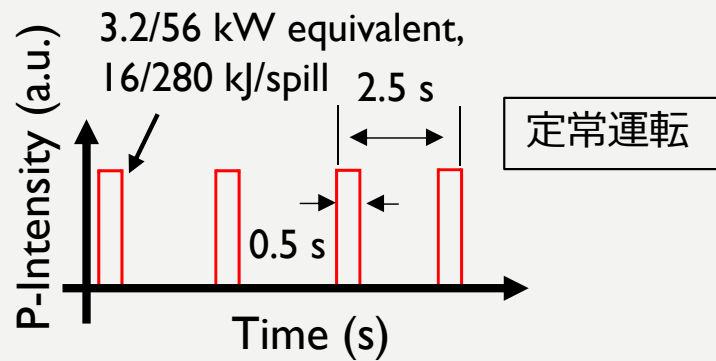
黒鉛標的 (Phase 2) の過渡解析

- 熱平衡に達するのに30分かかる
- スpillあたりの温度上昇も十分に小さい

- バンチ構造は考慮していない
- スpill構造は考慮している



黒鉛標的の異常事象解析 in Phase I & Phase2



最大発熱密度 : $8.2 \text{ J/g}/(10^{14} \text{ protons})$

Phase-I : $1.3 \times 10^{13} \text{ p/spill}$, Phase-II : $2.2 \times 10^{14} \text{ p/spill}$

黒鉛の比熱: $1.2 \text{ J/g/K @ } 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $1.5 \text{ J/g/K @ } 600 \text{ }^\circ\text{C}$

即時加熱による温度上昇

Phase-1: $8.2 \times 1.3 \times 10^{13} / 10^{14} / 1.2 = 0.89 \text{ }^\circ\text{C}$

Phase-2: $8.2 \times 2.2 \times 10^{14} / 10^{14} / 1.5 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$

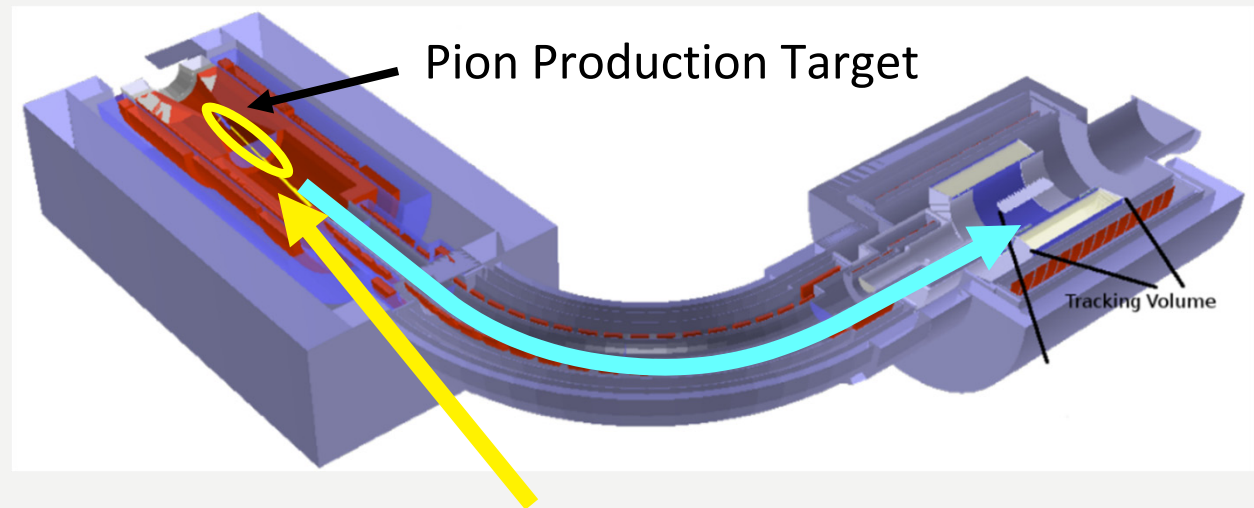
何も起きない

黒鉛標的はPhase 2のバックアップとして期待できる 10

何故、Phase 2 でタングステン標的を使うのか？

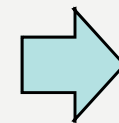
- パイオンの空間的広がりが小さい方がパイオン捕獲・輸送効率が高い
- パイオンが標的から抜け出す確率を考慮しなくてはならない
- 一般的には密度が高い方が、捕獲・輸送効率は高い

	黒鉛	W
密度 (g/cc)	1.8	19.2
長さ (cm)	60	16
輻射率	0.9	0.3



冷却手法によっても捕獲・輸送効率は変わる。

- 冷媒隔壁によってパイオン輸送が妨げられる
- 形状に依存する



輻射冷却？
水冷？

Phase 2: タングステン標的 (輻射冷却)

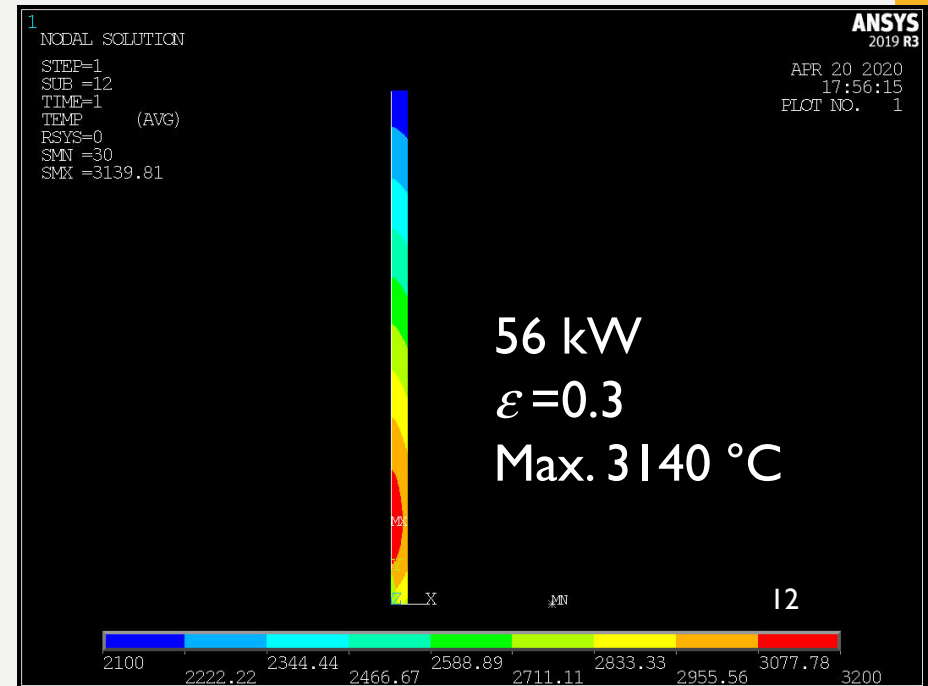
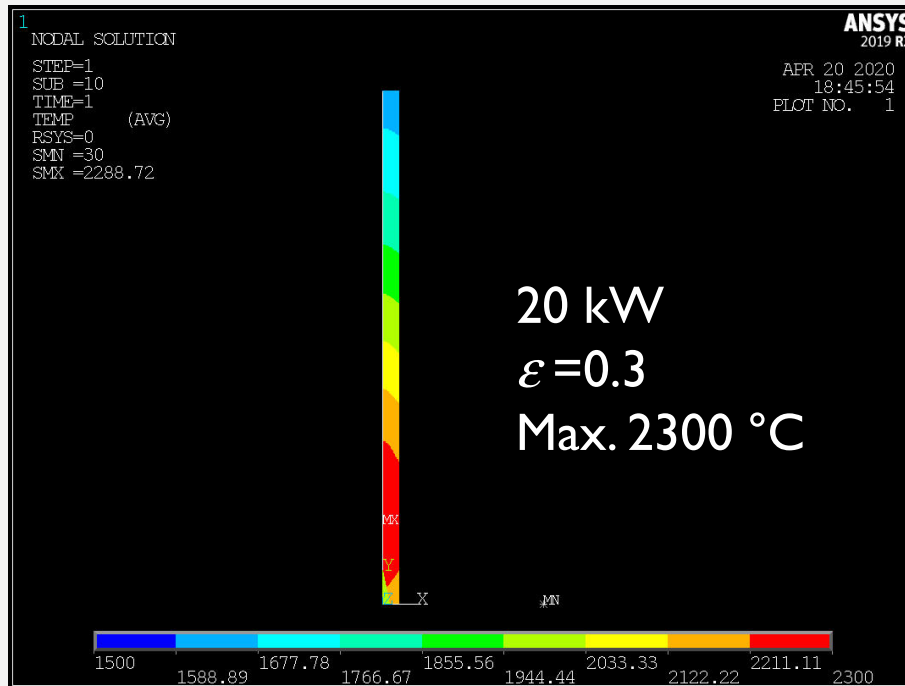
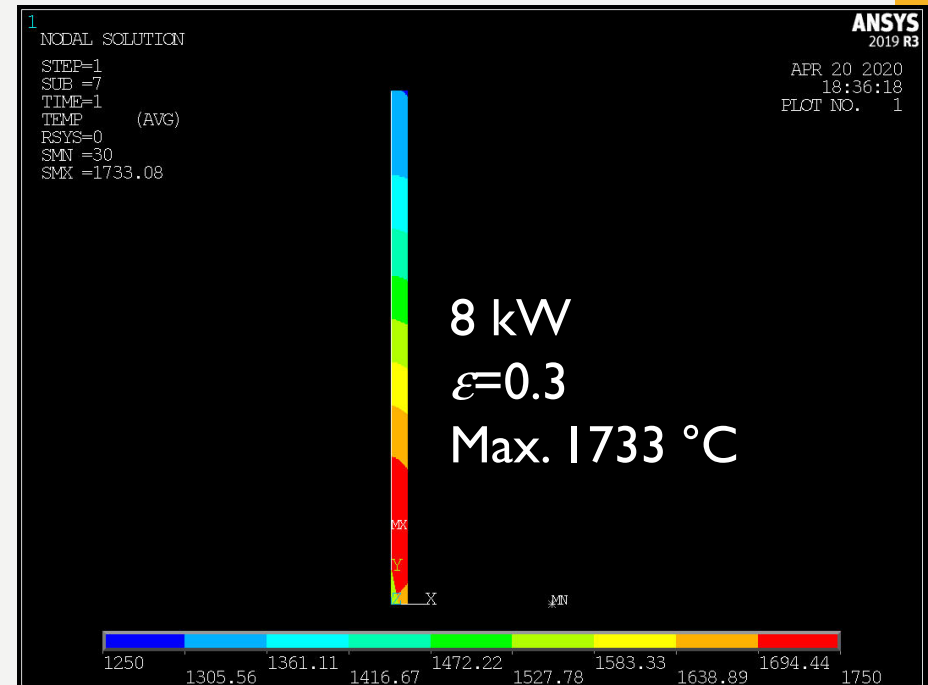
タングステン; 半径=5 mm, 長さ=160 mm
 $\sigma_x = 1.46$ mm, $\sigma_y = 1.36$ mm

軸対称モデル MARS-解析 by 深尾

ITER-GRADE タングステン for 核融合
(圧延タングステン)

最大許容温度: 1200 °C

8 kWでも現実的ではない。



タングステン合金と輻射率向上技術

1. 再結晶脆化しない超耐熱高靱性タングステン 最大使用可能温度

ITER grade タングステン: 1200 °C

超耐熱高靱性タングステンTFGR: 1700 °C

HGKP04「高熱負荷加速器材料としての超耐熱高靱性タングステンの開発」

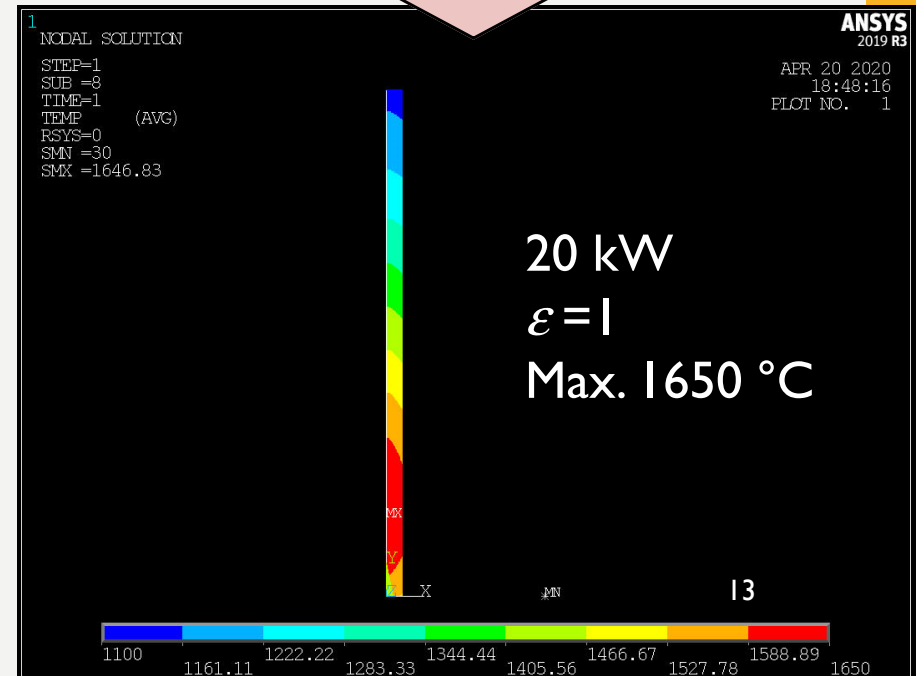
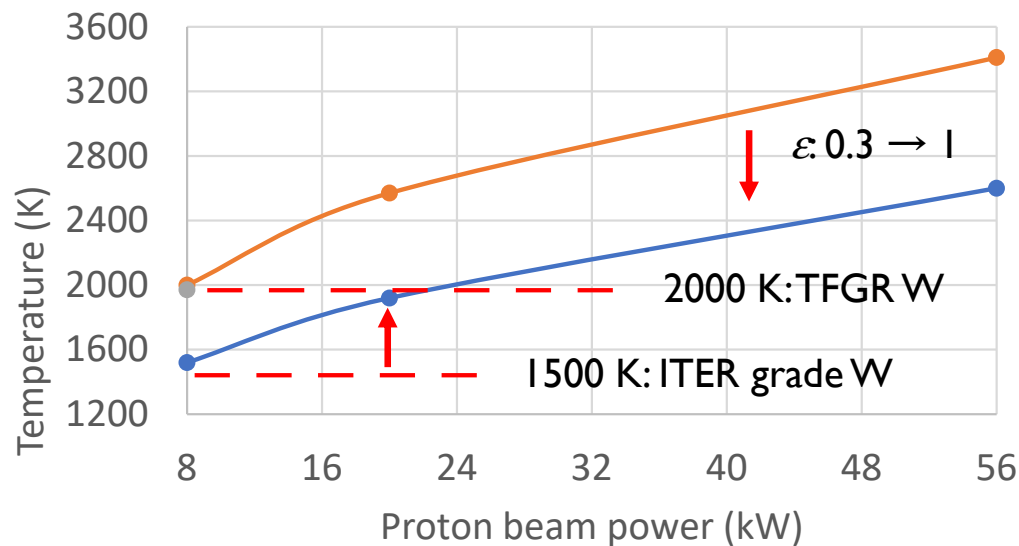
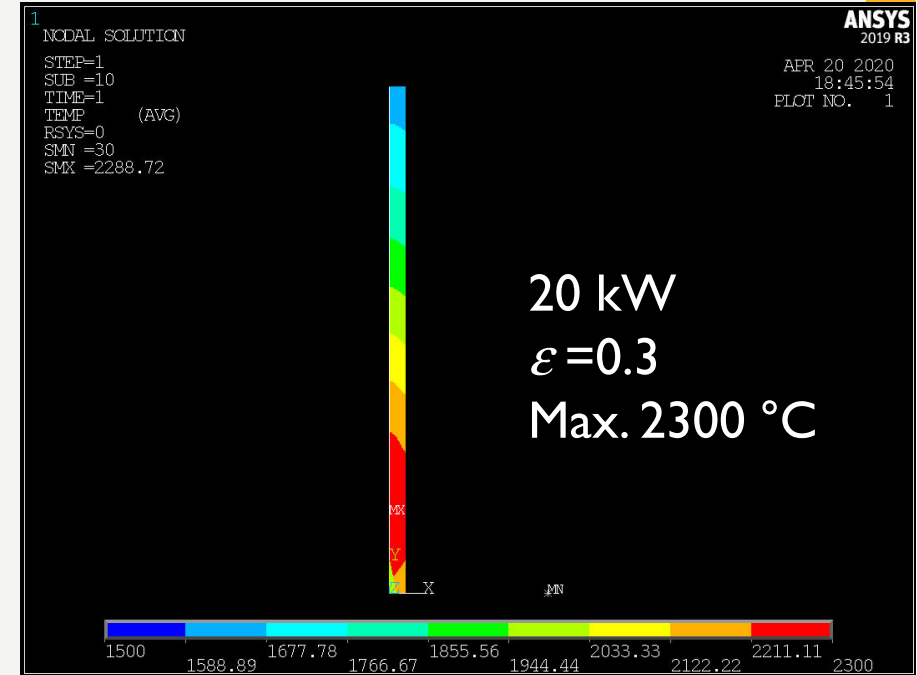
KEK-MTC collaboration, S. Makimura et al., Scientific Net, in press

2. 輻射率の向上による最高温度の抑制

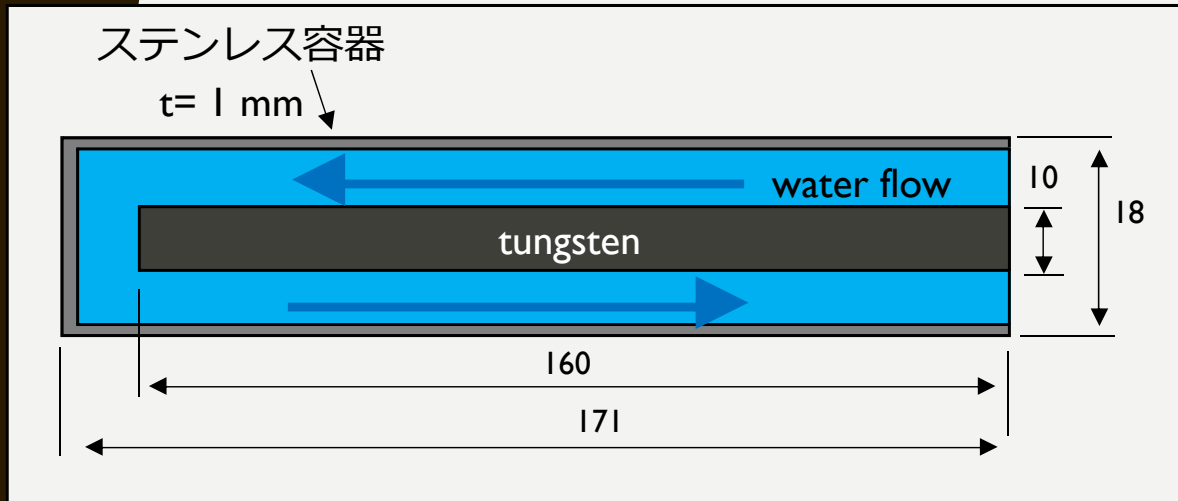
表面処理: 0.3 → 1

STFC/RALとの共同研究を議論している

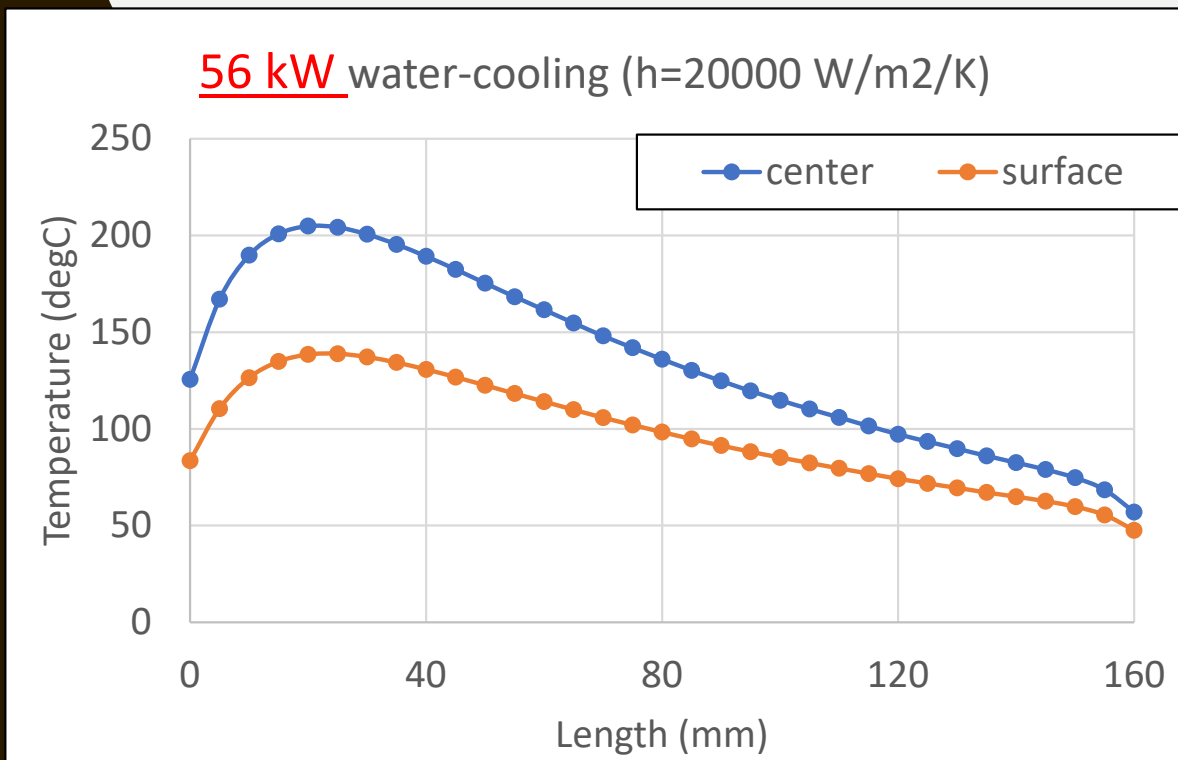
目標とする最大強度: 20 kW



水冷タングステン標的 for 56-kW Phase 2



過去の実績 (英国RAL)
ISIS TS-1 (RAL)
140kW beamloss



膜沸騰が発生する最大表面温度が限界を与える。最大表面温度を $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下にすることが目標

熱伝達係数を $20000 \text{ W/m}^2/\text{K}$ で評価している

現実的ではあるが最適化が必要



まとめ

まとめ

- J-PARCハドロン実験施設では、荷電レプトンフレーバ保存の破れを探索するCOMET実験のため、多くのミュオンが必要。
- 軸収束超電導ソレノイド捕獲方式でパイオン・ミュオンを捕獲・輸送
- 黒鉛標的はPhase 1 でも2安定して使用できる
- 輻射冷却方式において通常のタングステンでは8 kWでも難しい。新材料と技術の応用でも最大20 kW
- タングステン標的は水冷であれば56 kWの実現が可能。捕獲・輸送効率の確認が必要
- タングステンの新材料開発はポスター発表で（HGKP04）。

ご静聴ありがとうございました。