



谷川尚, 権暁星, 中村誠, 染谷洋二, 坂本宜照, 河村繕範

H. Tanigawa, H. Gwon, M. Nakamura, Y. Someya, Y. Sakamoto, Y. Kawamura

量研機構 / QST

研究の背景と目的

- 崩壊熱に対する除熱異常は、放射性物質の閉じ込め機器である真空容器に影響を及ぼす可能性があることから、原型炉の安全上の特徴を評価する上で重要な事象である。
- ITERでは、輻射伝熱のみを考慮する条件でも過大な温度上昇が避けられるが、中性子壁負荷が高い原型炉では、真空容器、真空容器内機器ともに温度上昇が大きくなる。
- 真空容器を冷却水の自然循環により受動的に冷却し、さらに真空容器内への不活性ガス導入により真空容器内機器の温度上昇を緩和する方を提案する。

既往の評価例

ITER誘致時の検討における評価

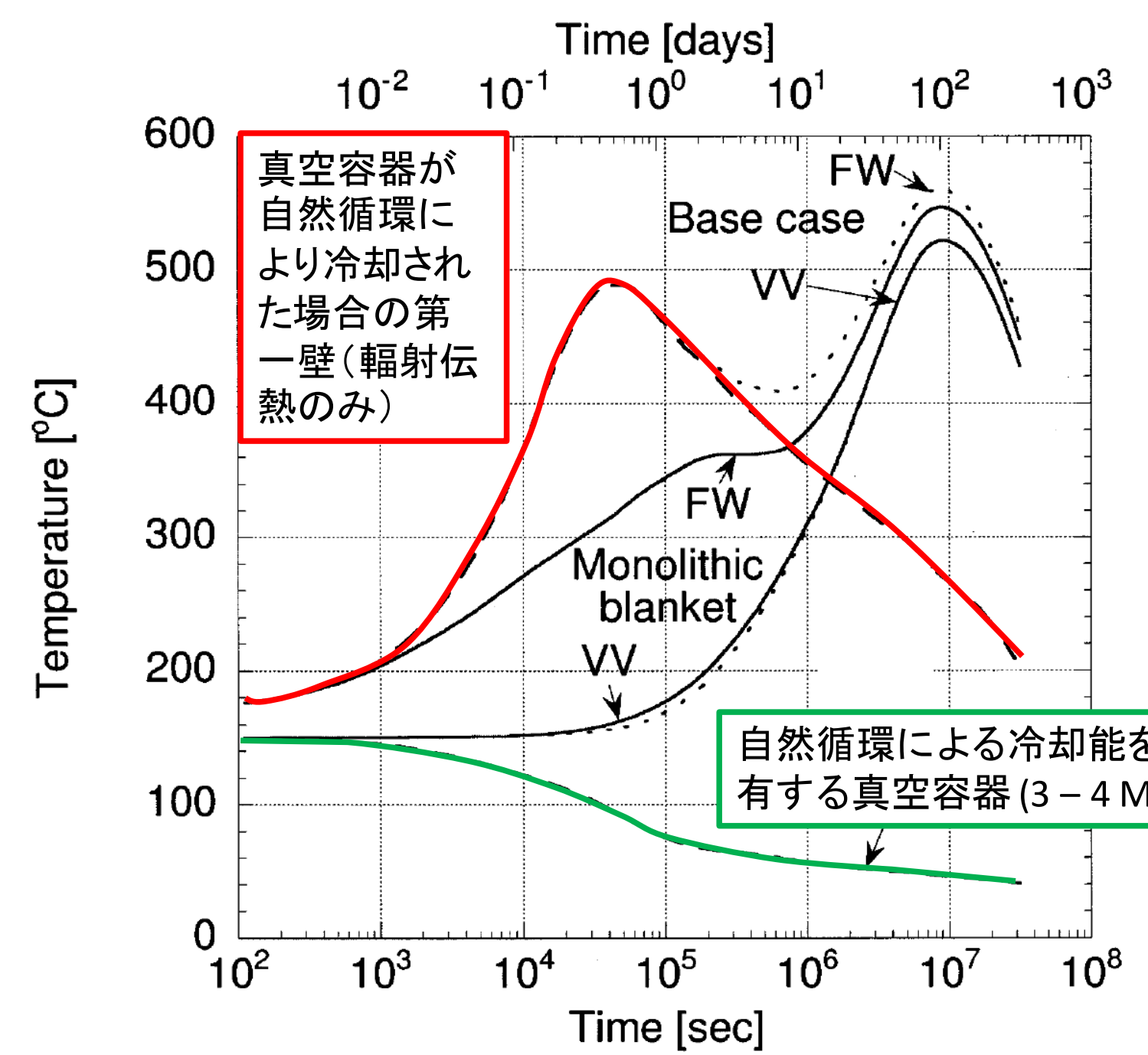
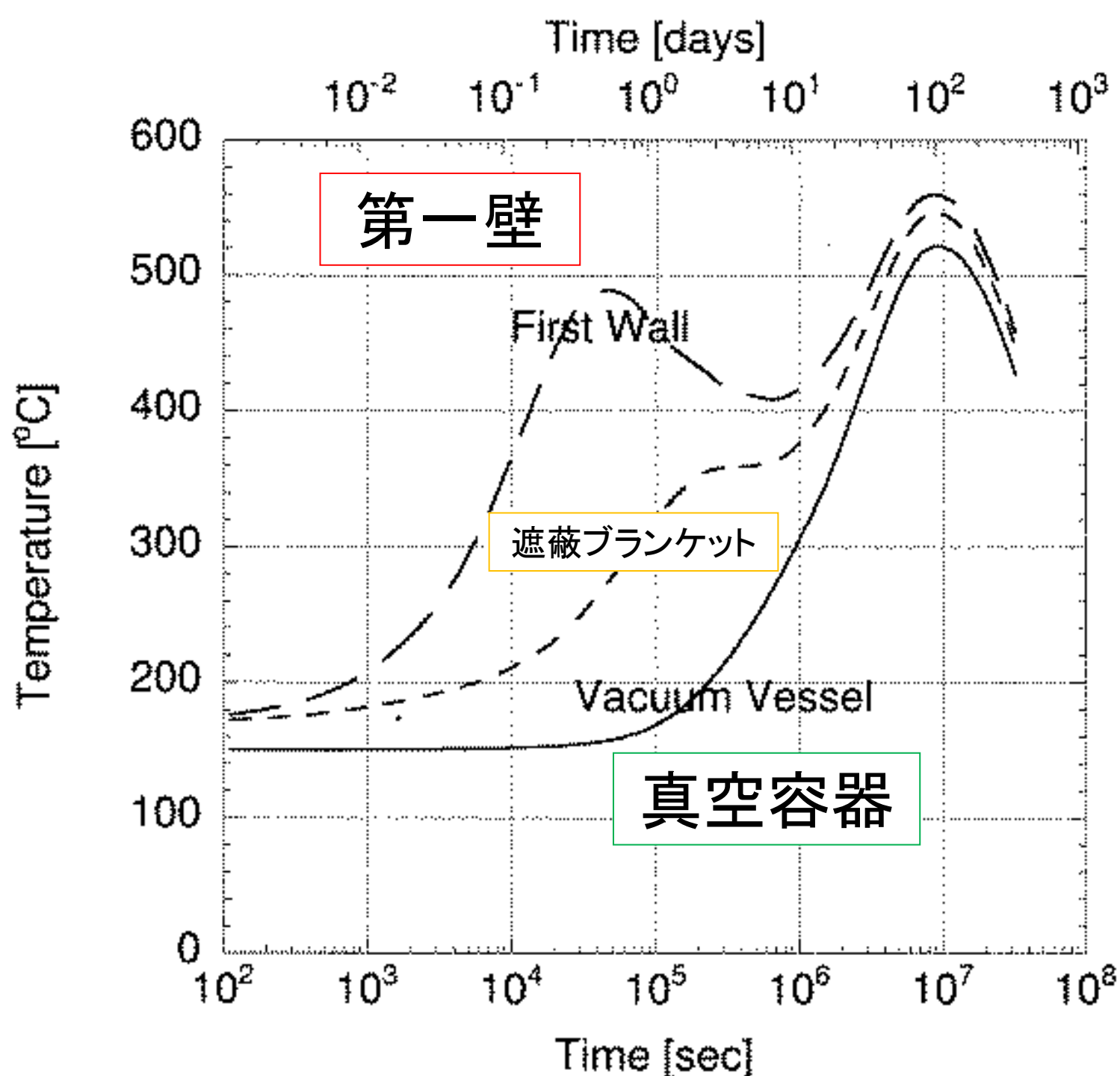
工学的にはあり得ないが、運転停止直後に、真空容器冷却系、ブランケット冷却系、ダイバータ冷却系内の冷却水の全量が瞬時に喪失する場合について、炉内機器と真空容器の温度の過渡応答を評価し、真空容器に健全性が損なわれないことを示している。

崩壊熱と熱応答に関する条件

	真空容器の材料	アーマ材	ブランケットの材料	中性子壁負荷
ITER	Stainless steel	Be	Stainless steel	max. 0.78 MW/m ²
原型炉	Stainless steel	W	● Reduced activation ferritic/martensitic steel (F82H) ● トリチウム増殖材 (Li₂TiO₃等) ● 中性子増倍材 (Be, Be₁₂Ti等)	~ 1.5 MW/m ²

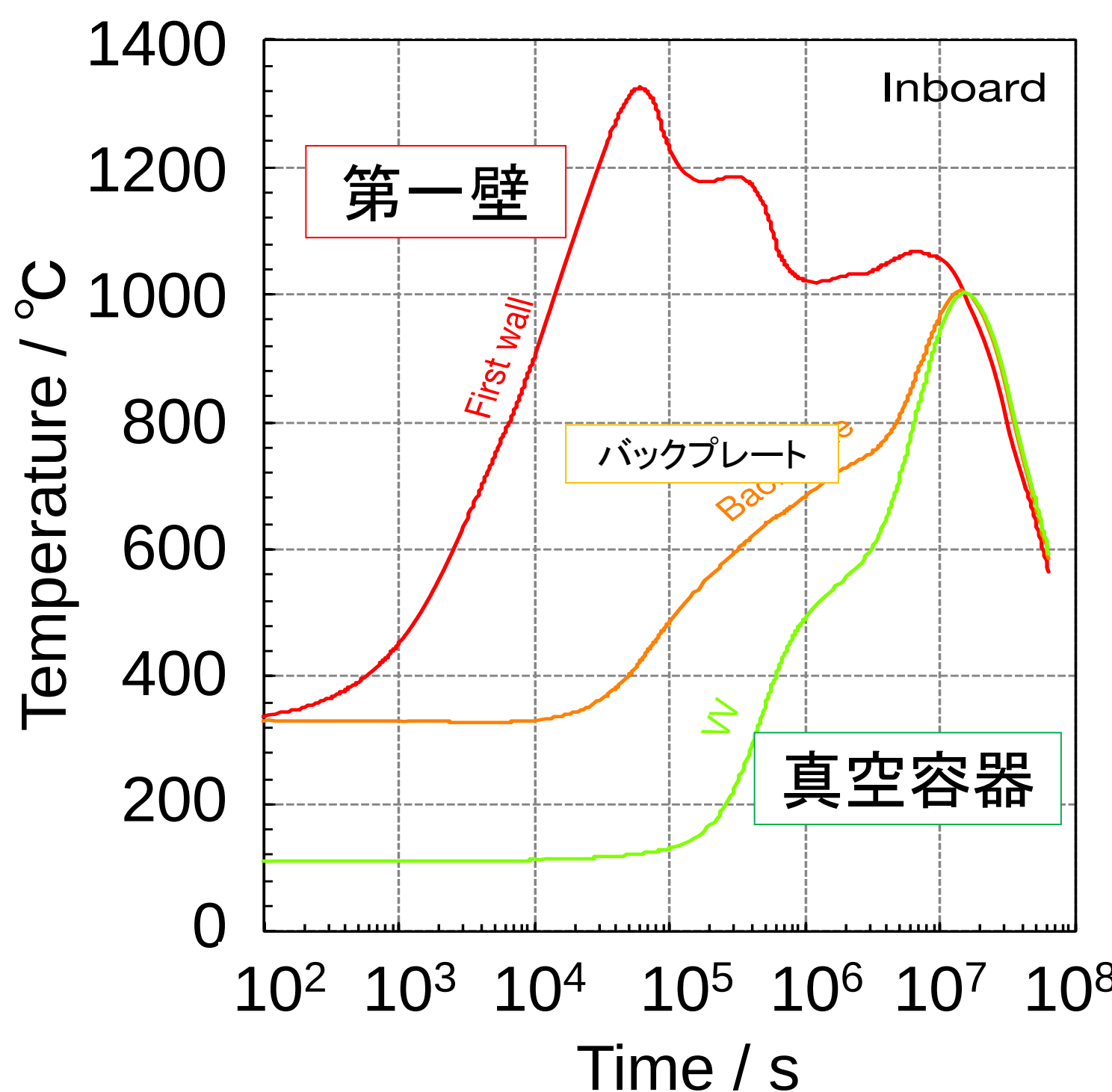
ITERの熱過渡応答の評価例*

* D. Tsuru, et al.,
Fusion Eng. Des. 58-59 (2001) 985.



原型炉の熱過渡応答**

** M. Nakamura, et al.,
Fusion Eng. Des. 109-111 (2016) 1417.

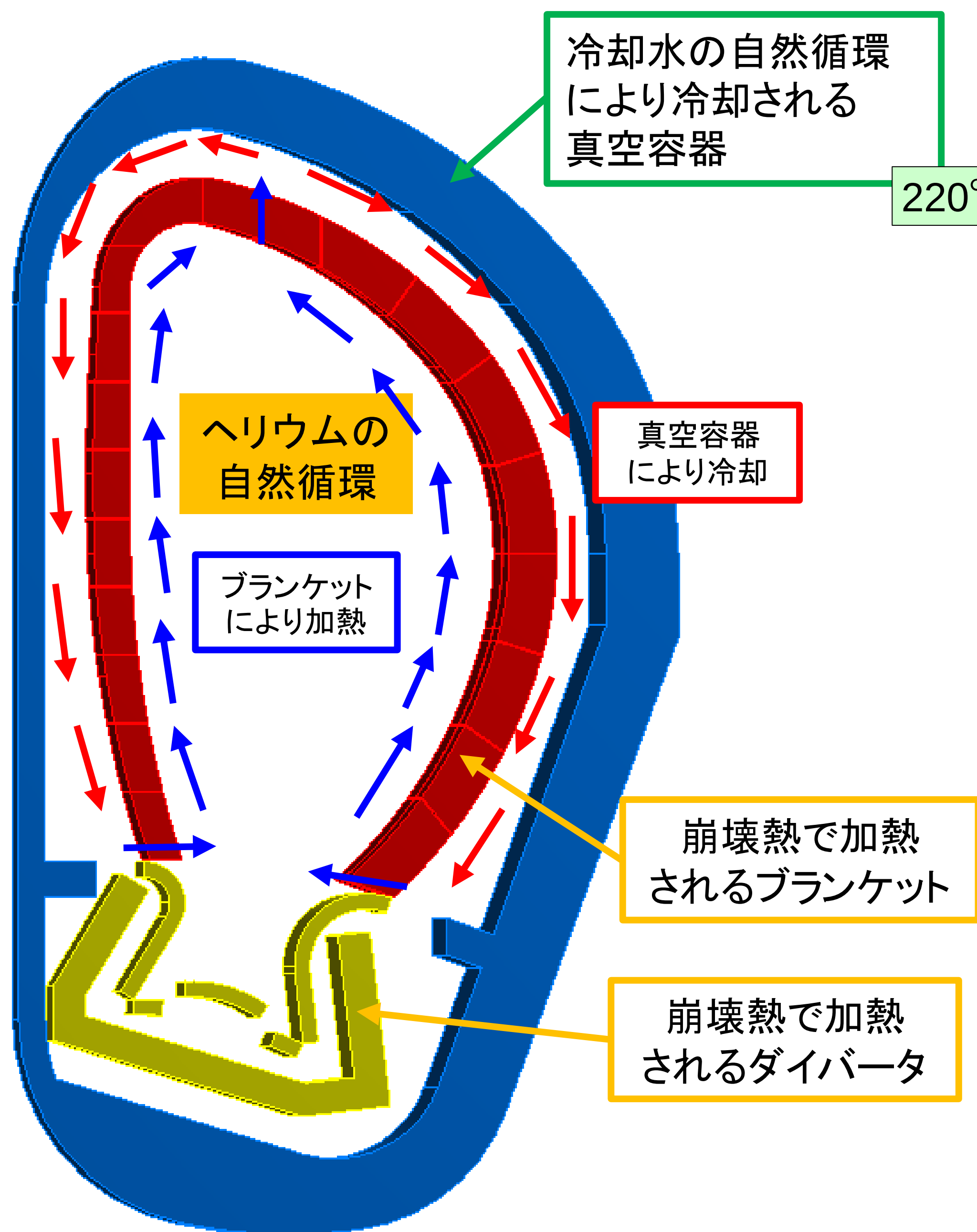


- 真空容器の温度は1000°Cに至り健全性の維持は困難
- 受動的な方法(真空容器冷却系の自然循環)による緩和について評価中

- ブランケット第一壁の最高温度は1000°Cを越え、ブランケット筐体の健全性の維持は困難

自然対流を利用した除熱促進の概念

真空容器内に導入した不活性ガスの自然対流を利用しブランケットから真空容器への伝熱を促進する可能性に着目

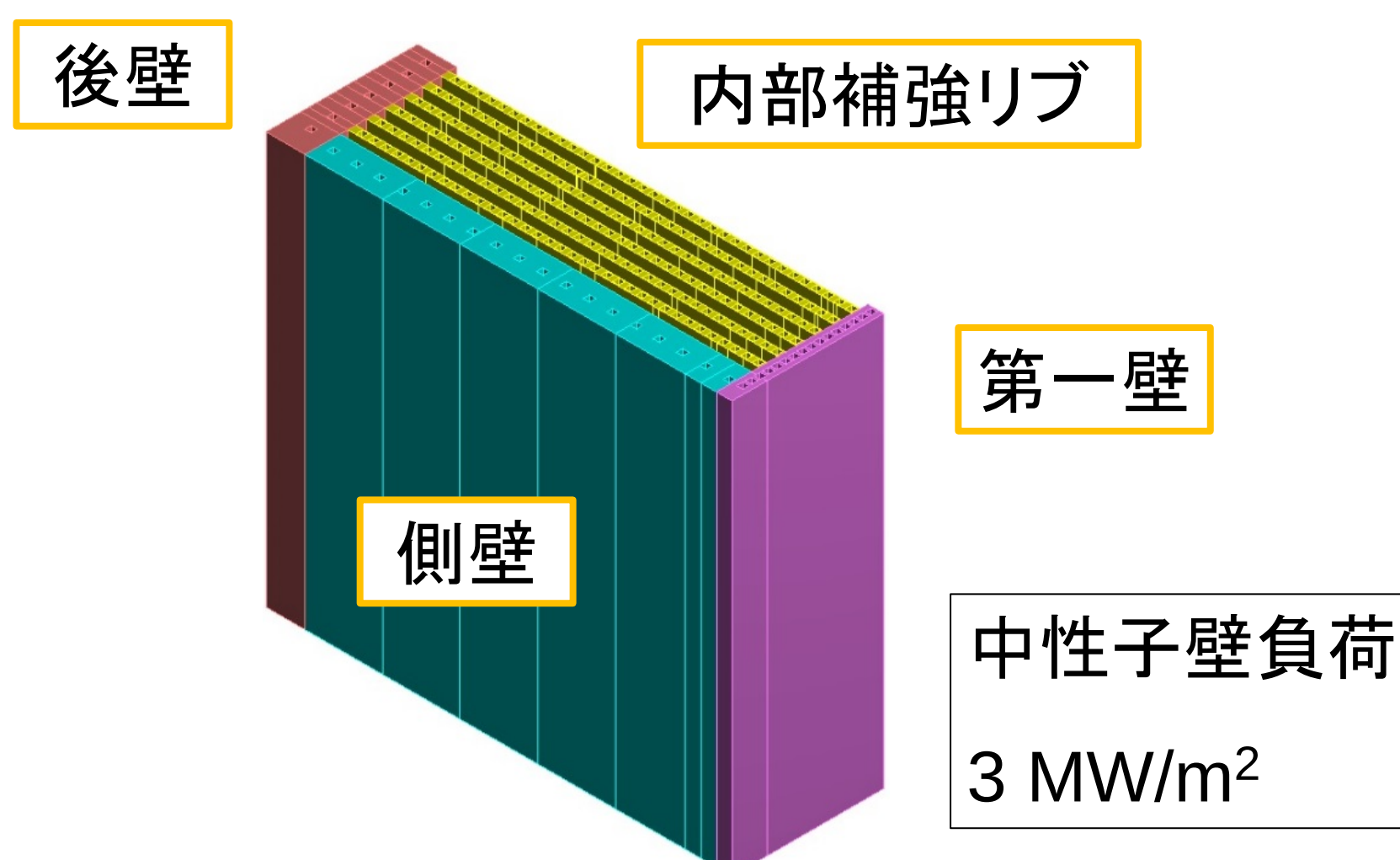


まとめ

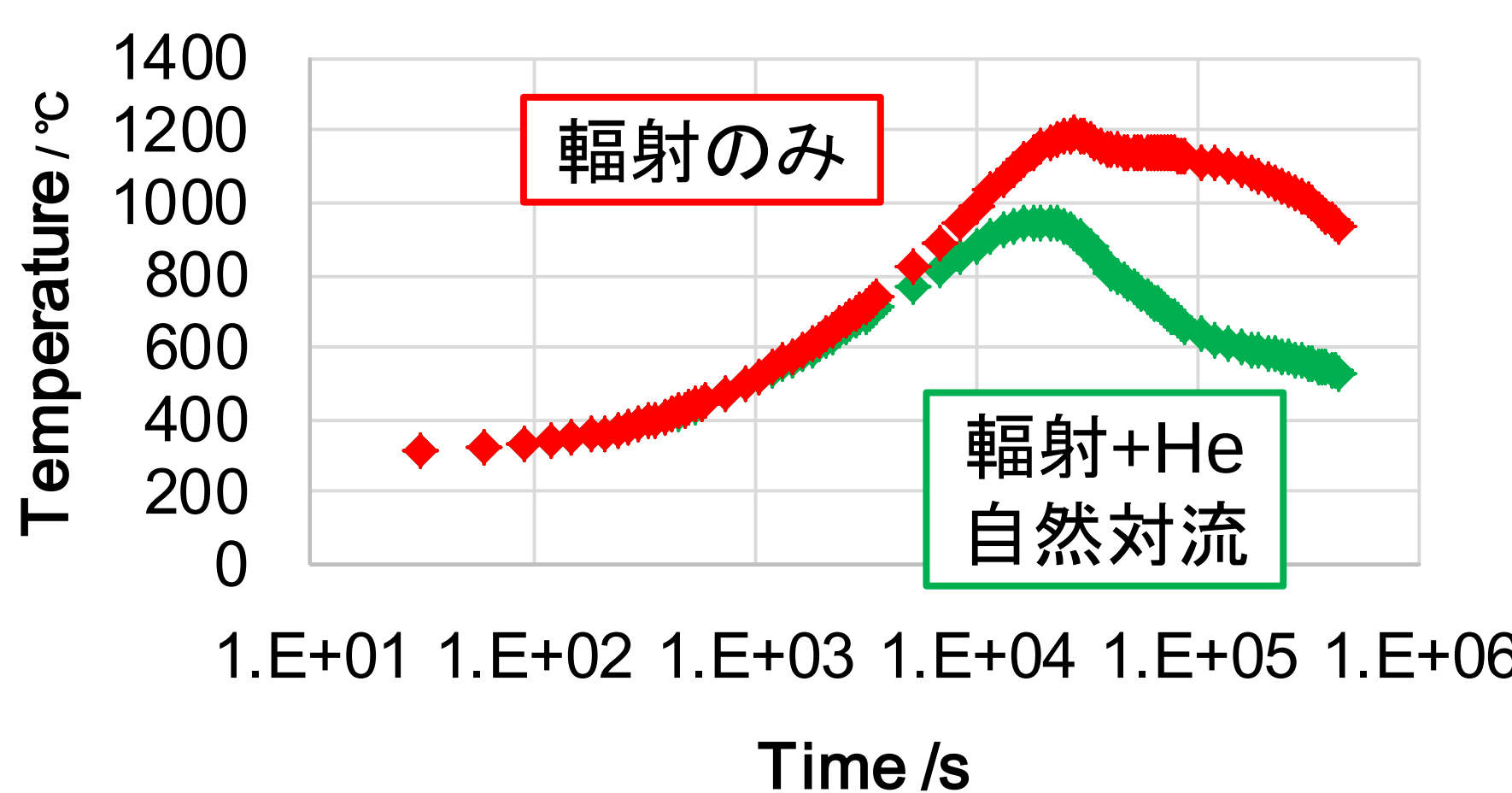
- 真空容器の内部でブランケットにより加熱されたヘリウムが上昇し、真空容器の内壁に沿って下降しながら冷却されることで、自然循環が生じうることを明らかにした。
- 導入したヘリウムの循環経路を考慮しない構造では、生じる流速が小さく、十分な冷却能を得ることが難しいことを明らかにした。
- ブランケット間のギャップ、特にバックプレートを貫通し、真空容器の内壁につながる経路の断面積が小さいことが原因である。
- ギャップの拡大により、自然循環が促進されることを確認した。
- 今後は、遠隔保守性や遮蔽能との両立性に注意しつつ、自然循環の促進に有効な位置のギャップを拡大することで、冷却性能を向上できるかどうか検討する。

ブランケットの過渡熱応答

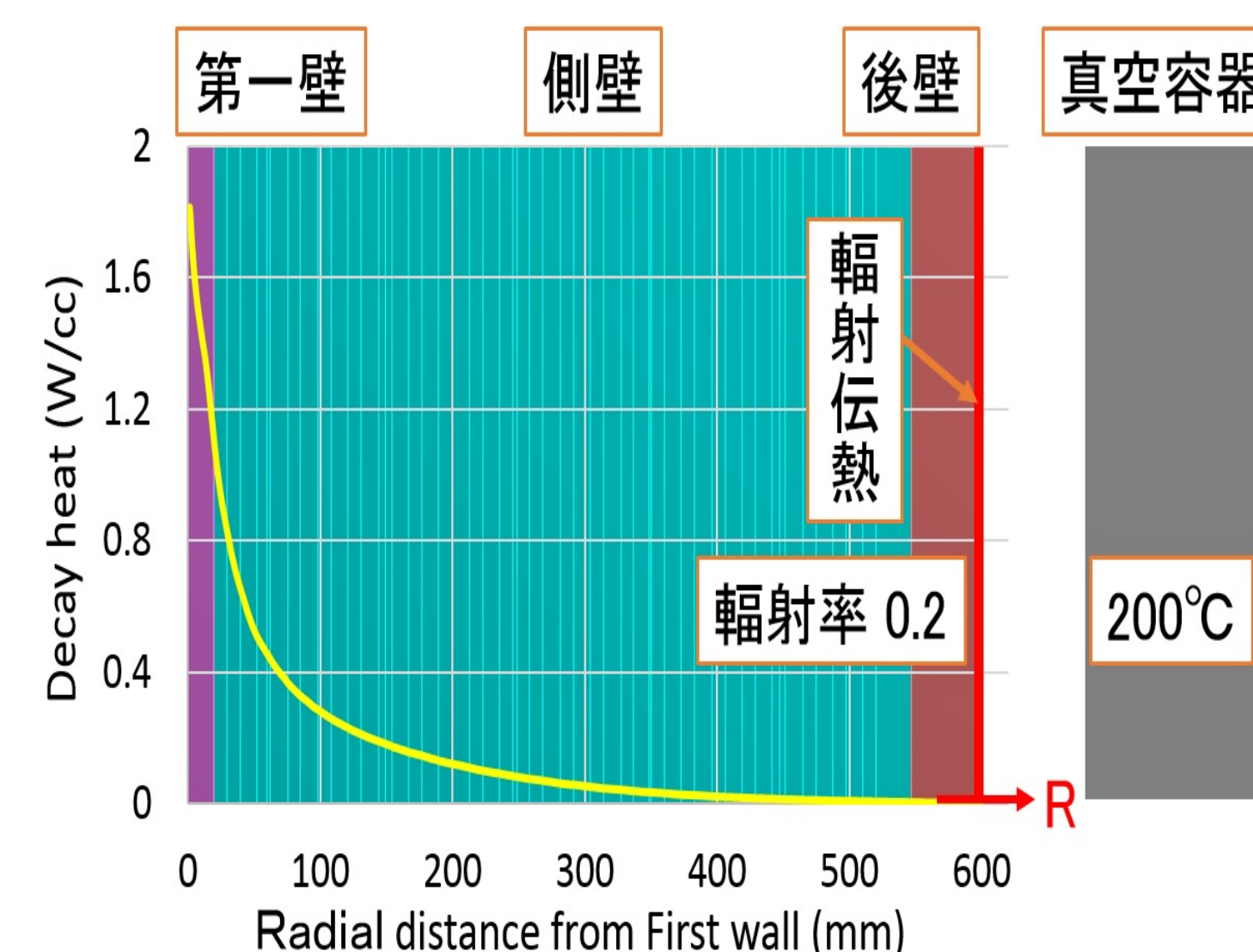
固体増殖水冷却ブランケットの1/4モデル

H. Gwon et al. presented in 29th SOFT.

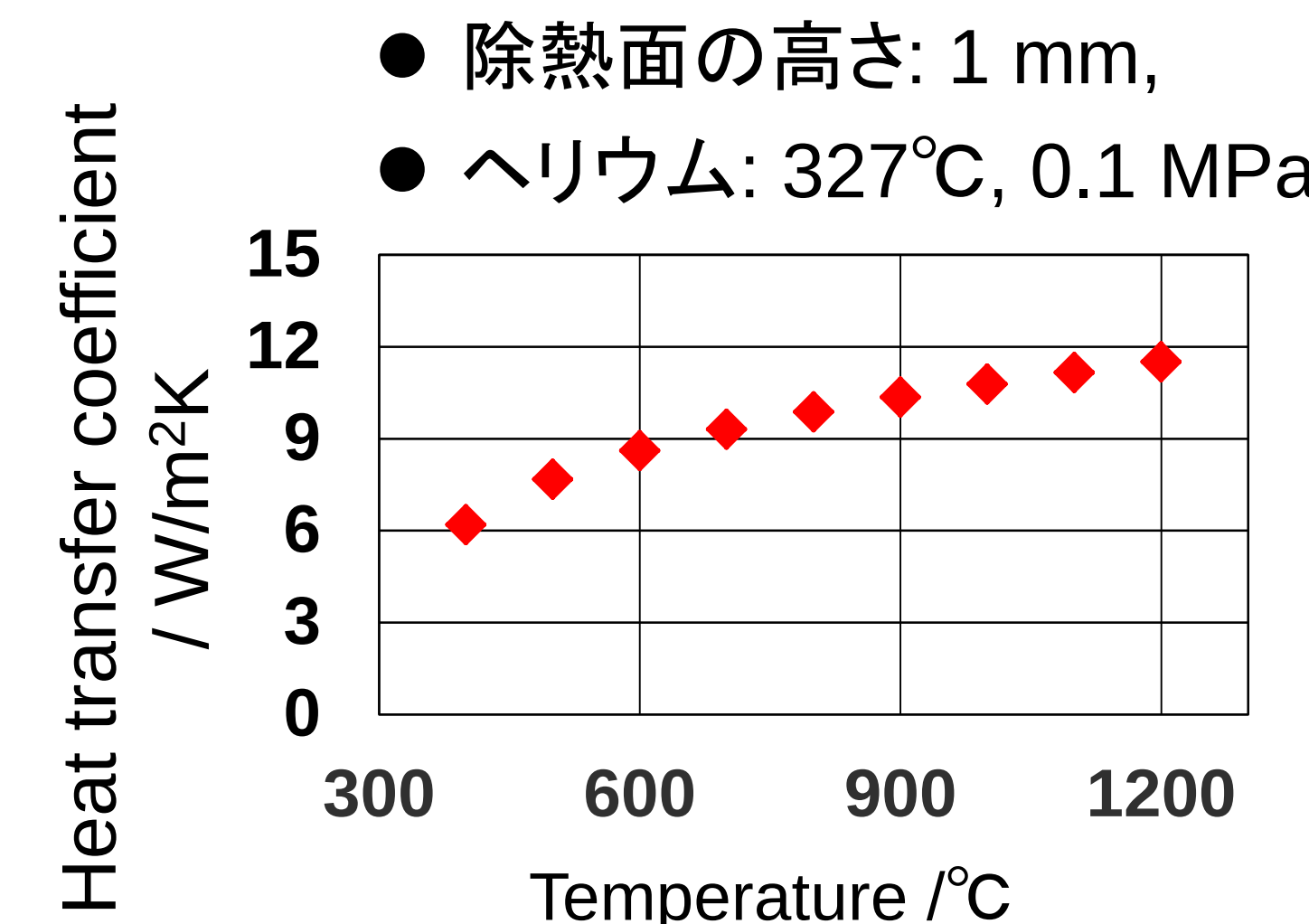
ブランケット第一壁の過渡熱応答



崩壊熱と輻射伝熱の境界条件

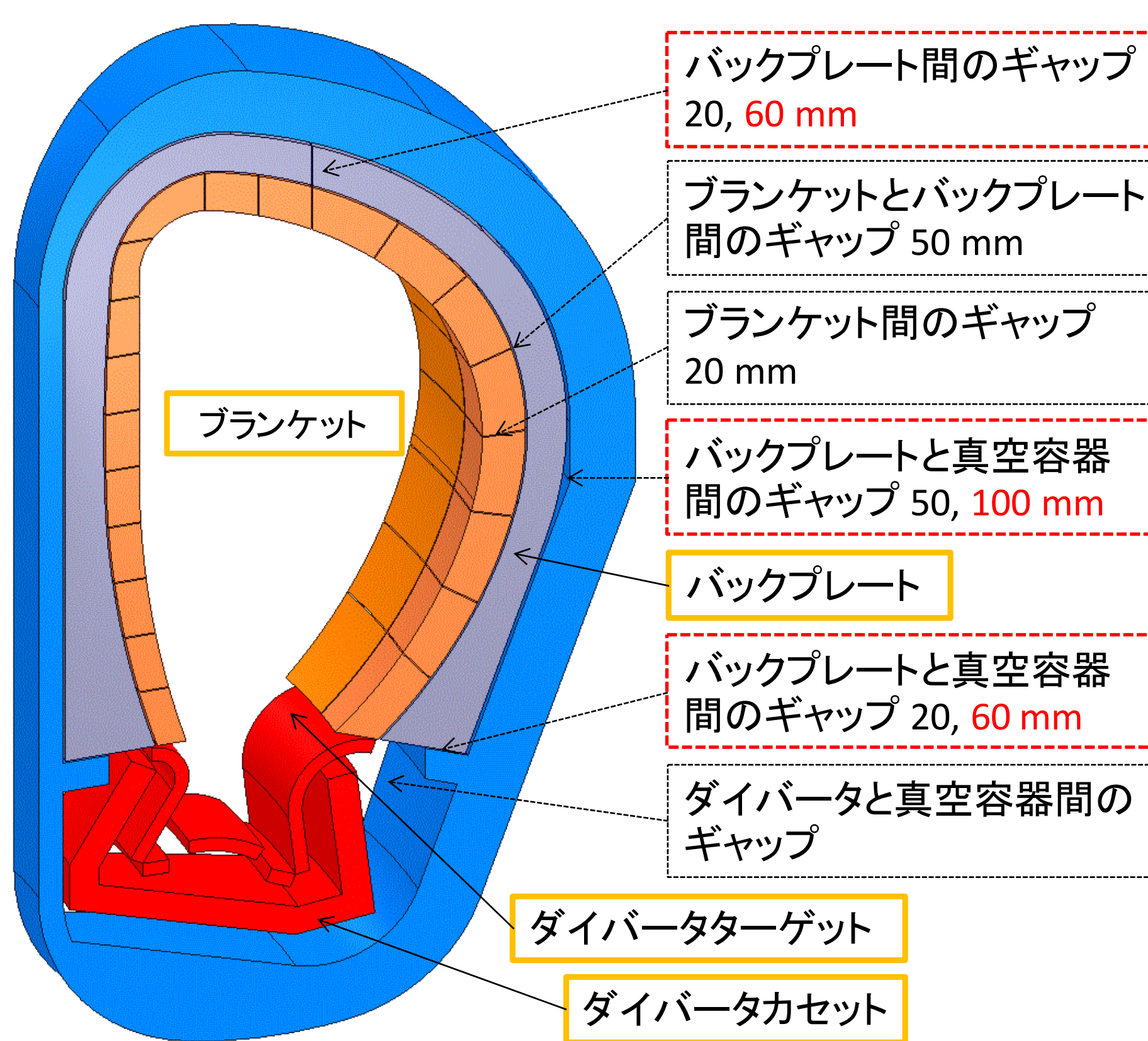


相関式から評価した自然対流による熱伝達率

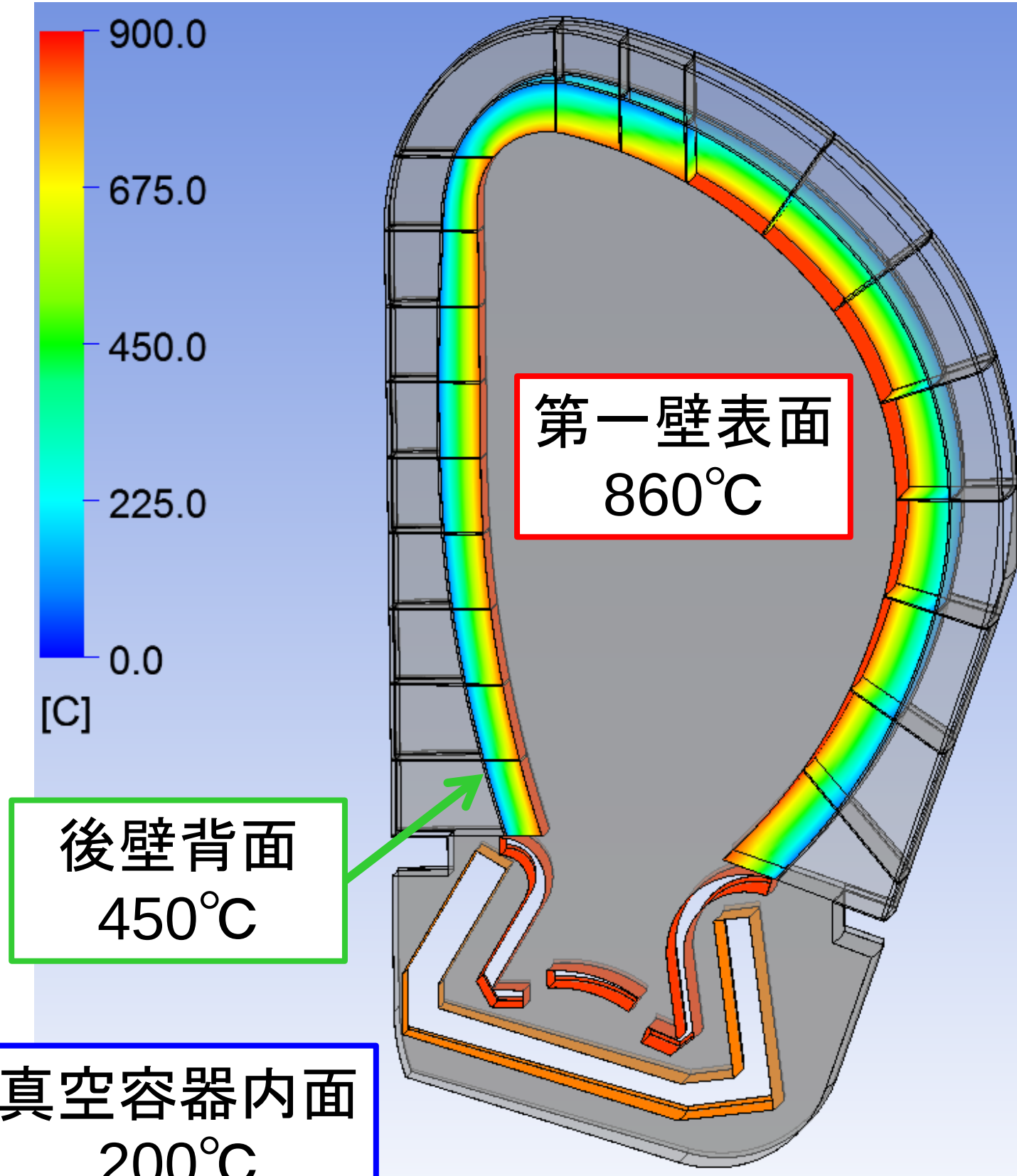


熱流動解析

原型炉の1/24セクターモデル



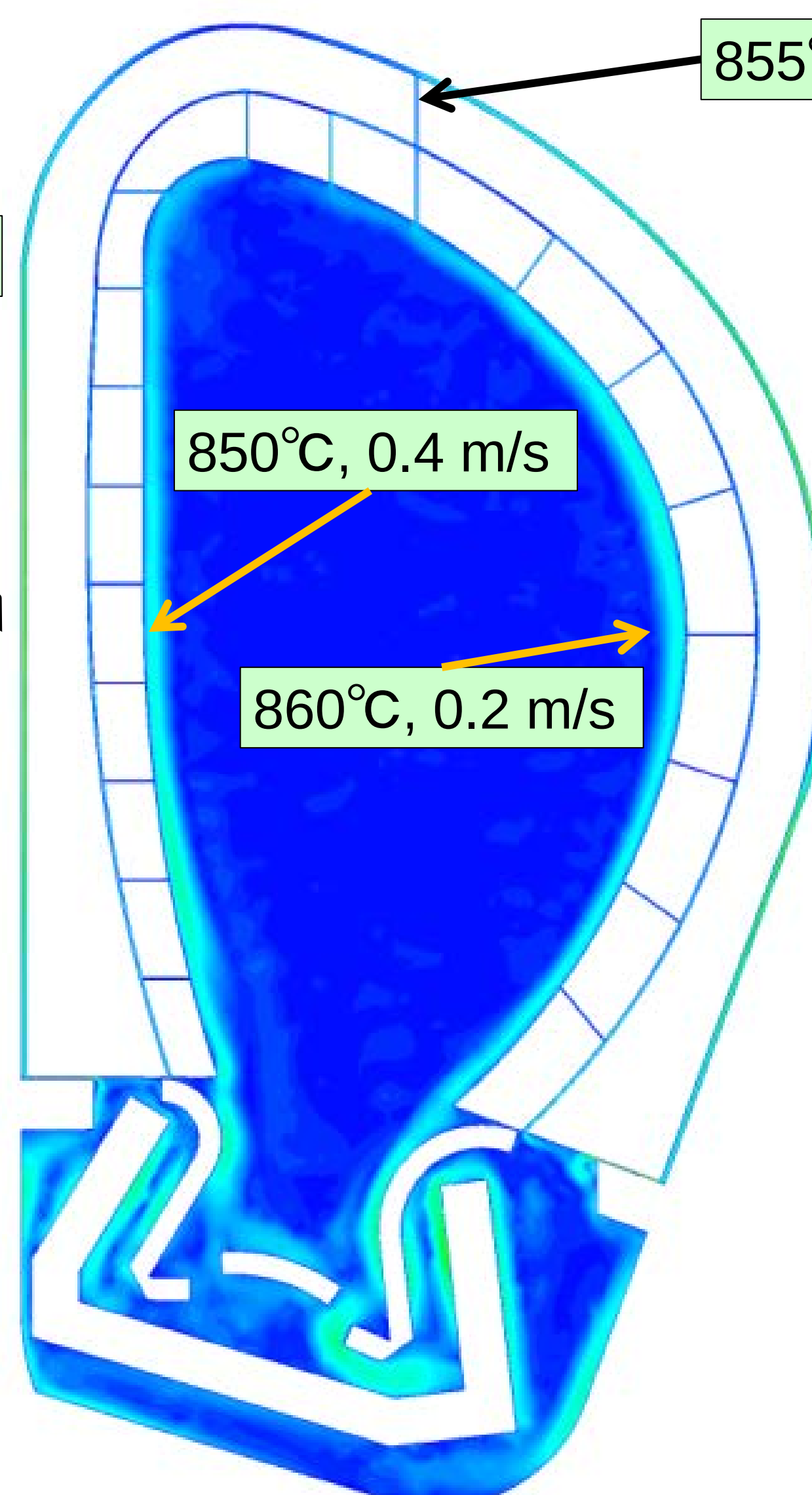
温度境界条件



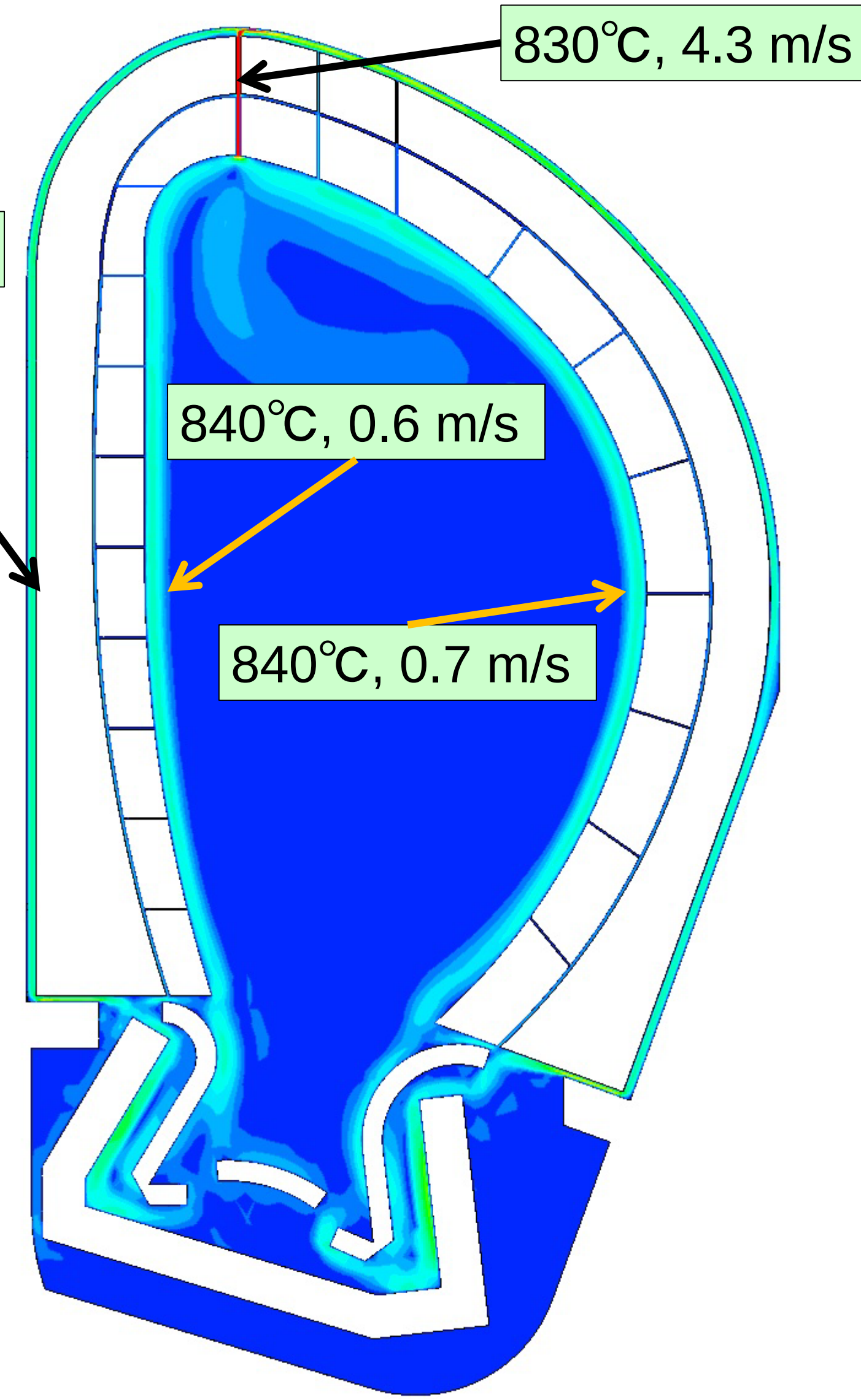
有限要素解析コード ANSYS CFD-Flot, ノード数: 1515990, 要素数: 1191960

Heの温度と流速分布

標準形状



ギャップ拡大形状



ギャップ拡大にともなう自然対流の促進を確認