

2016/11/18 大阪府立大学 放射線研究センター
共同利用成果報告会 @ C-13棟 講堂



核融合炉ダイバータ材料熱物性評価の ための ϕ 3微小試験片測定技術開発

大阪府立大学 地域連携研究機構
放射線研究センター

秋吉優史

本課題の目的

核融合原型炉において問題となる、ダイバータ候補材料の熱負荷特性に及ぼす中性子照射効果を明らかにすることを目的とする。

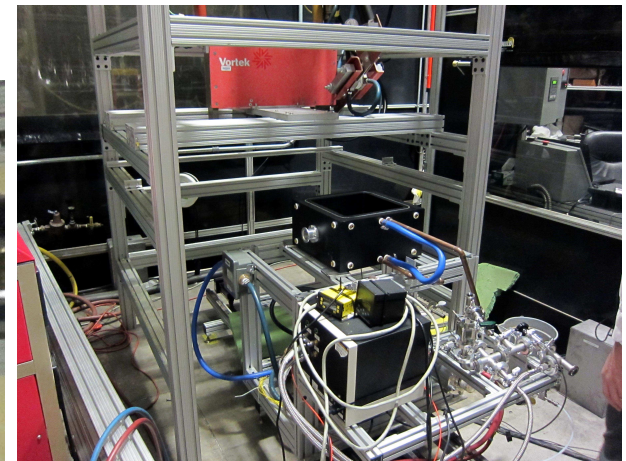
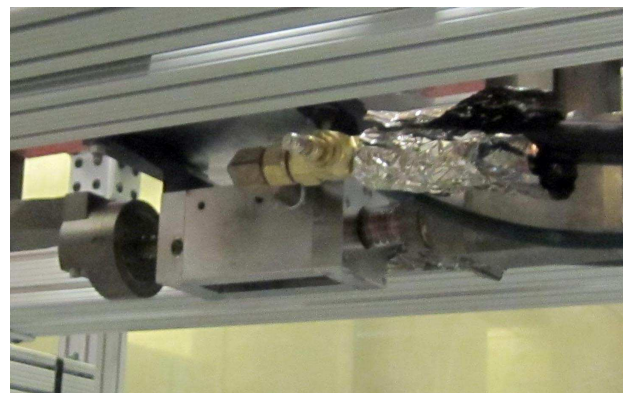
日米科学技術協力事業核融合分野でのPHENIX プロジェクトにおいて、アメリカ・オークリッジ国立研究所 (ORNL) の研究炉であるHFIRで 1dpa 程度までの中性子照射を行っている最中である。

核変換の影響を低減するため Gd により熱中性子をシールドしての照射という極めてユニークな計画であるが、照射キャプセルの体積が非常に限られており、また放射能を低減する必要性などから、試料の体積を減らす必要があるため、 $\phi 3 \times 0.5t$ という微小試料を用いて熱拡散率測定を行う事が決定されている。

$\phi 3 \times 0.5t$ 微小試験片での熱拡散率測定は技術的に確立されておらず、また現状の装置と対象とする試料では $T_{1/2}$ 法での解析で推奨される条件から大きく外れることが明らかとなっているため、 $\phi 3 \times 0.5$ 微小試料の熱拡散率測定技術開発を行った。

熱負荷試験 (HLT) について

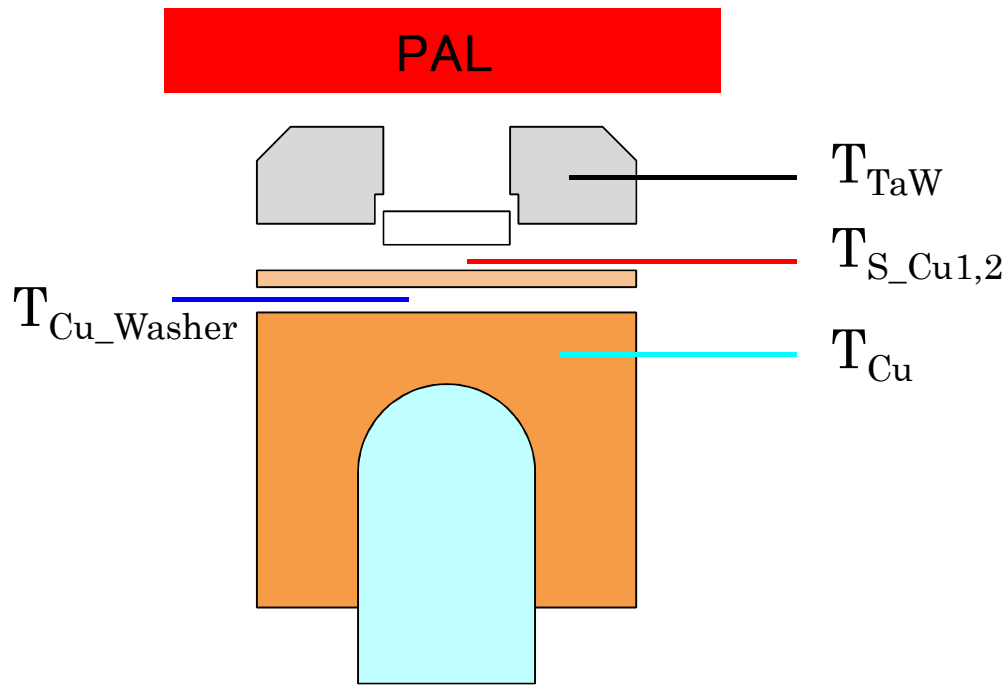
- ダイバータ表面での $10\text{MW}/\text{m}^2$ という高い熱負荷を模擬するため、 $27\text{MW}/\text{m}^2$ のプラズマアークランプ (PAL) をORNLにおいて整備中である。現在単体での動作試験を終えて、試料部を $4\text{MW}/\text{m}^2$ のPALユニットから移設を行なっている状況である。



27MW/m² PAL 装置の現状

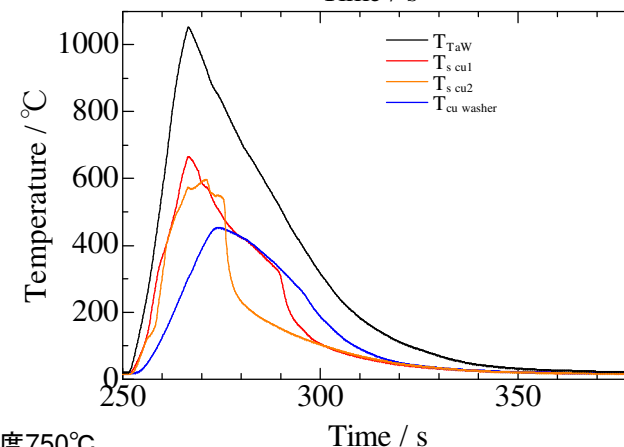
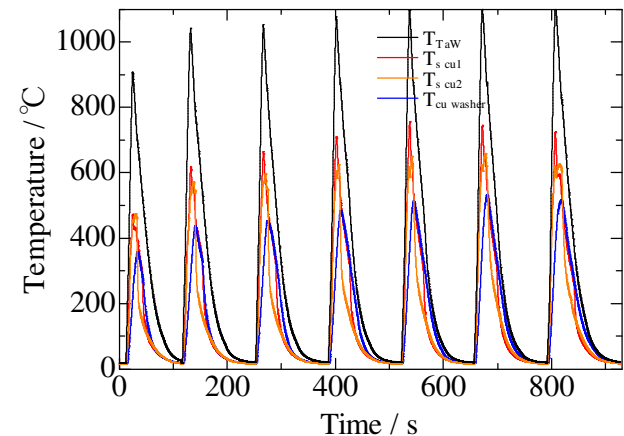
HLT中の熱挙動解析

- 4MW/m² PAL を用いたHLTの際の各部の熱電対挙動から各コンパートメントの熱抵抗などを見積る解析を行っている。



HLT中の熱電対配置模式図

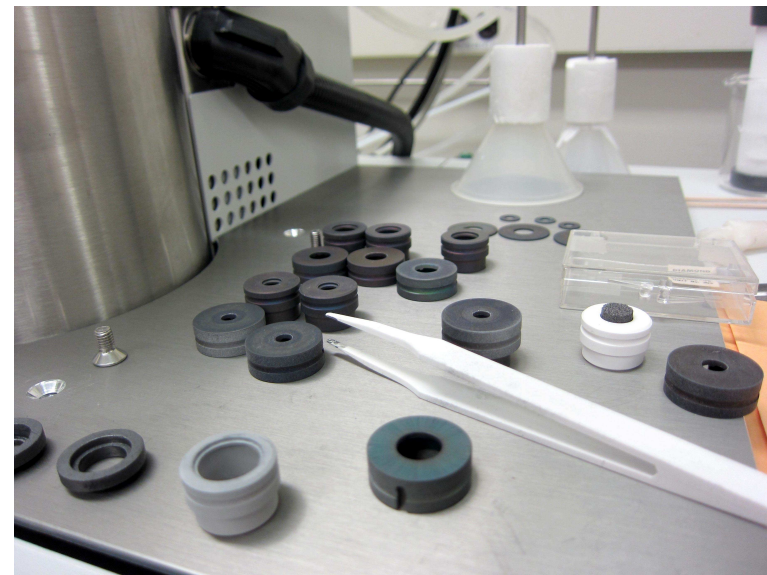
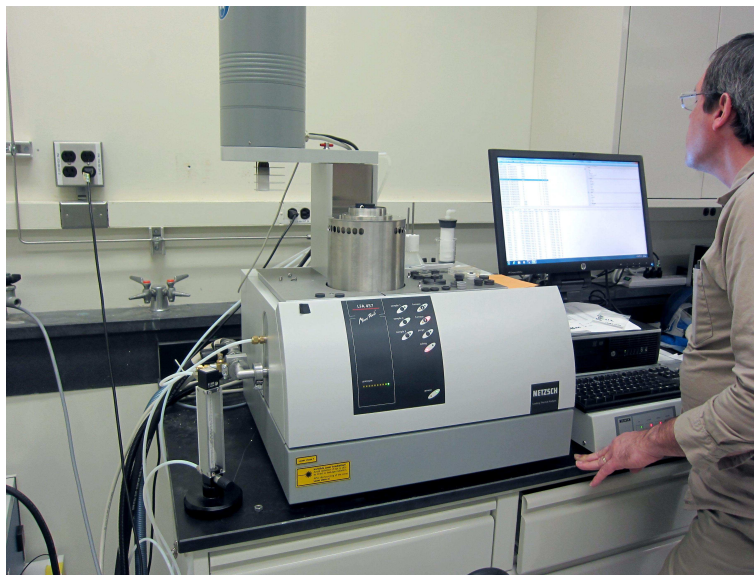
熱流束3MW/m², 試料最高温度750°C、
φ10x2mm VPS-W/F82H 試料でのHLT



phenix s1d3 120514 r13c

Netsche LFA-457による熱拡散率測定

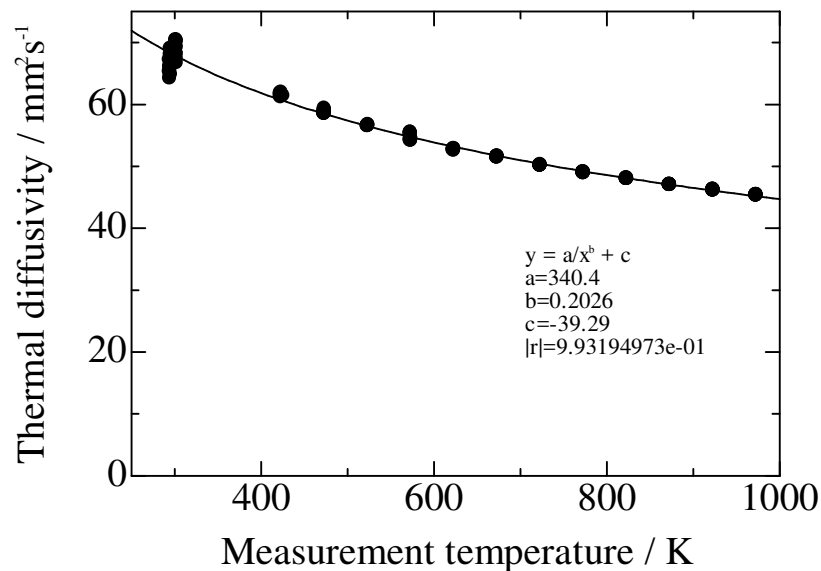
- ORNLに設置されたNetsche LFA-457 熱拡散率測定装置の仕様を確認し、室温～1100度の測定が可能であり、 $\phi 12.7$, $\phi 10$, $\phi 6$ 試料用の治具の存在と形状を確認した。
- ITER Grade W の $\phi 10$ の標準サイズの試料と、 $\phi 6$ 試料に対して室温～500°Cで熱拡散率温度依存性の測定を行ない、試料サイズの違いを評価した。



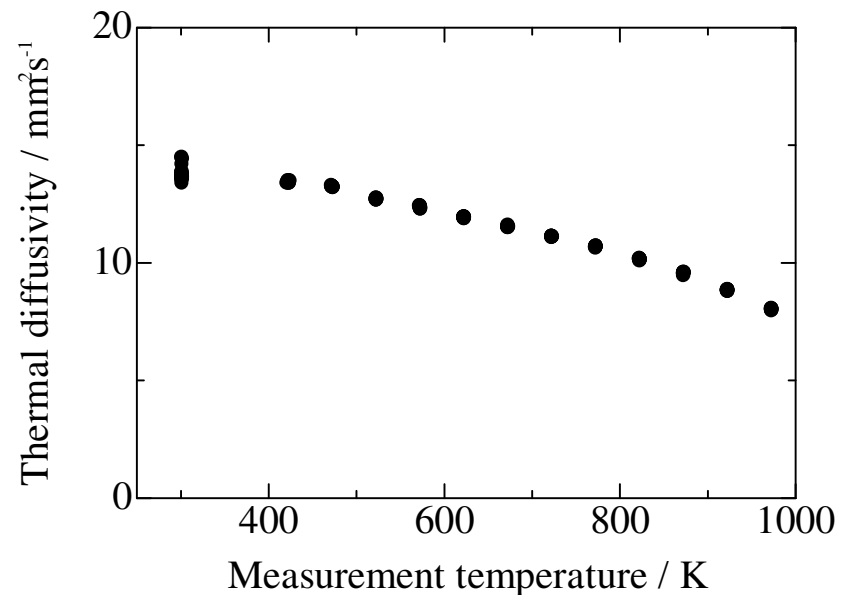
ORNLの熱定数測定装置 Netsche LFA-457 と測定用治具

VPS-W/F82H 試料の熱拡散率温度依存性

- ITER Grade W 及びVPS-W/F82H 積層材の熱拡散率温度依存性を測定した。通常、フォノン伝導が支配的なセラミックス材料では熱拡散率 $\alpha = a/T^n$ (T: 測定温度(K), a, n: 定数) で表わされるが、W に関しては電子伝導の寄与分を定数として $\alpha = a/T^n + b$ でフィッティングを行えた。VPS-W/F82H に関しては今後検討を行なう。

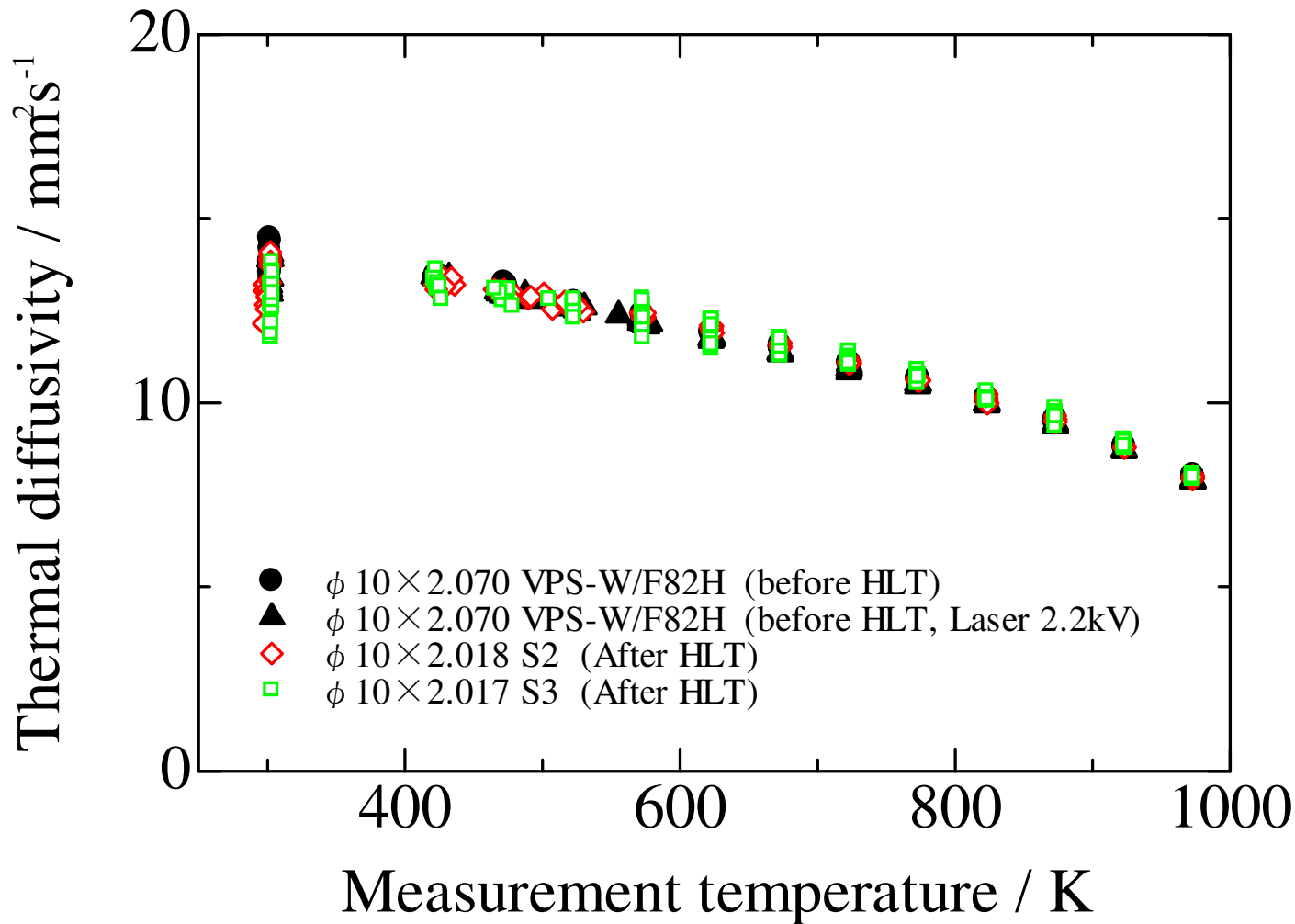


ITER Grade W の熱拡散率温度依存性



VPS-W/F82H の熱拡散率温度依存性

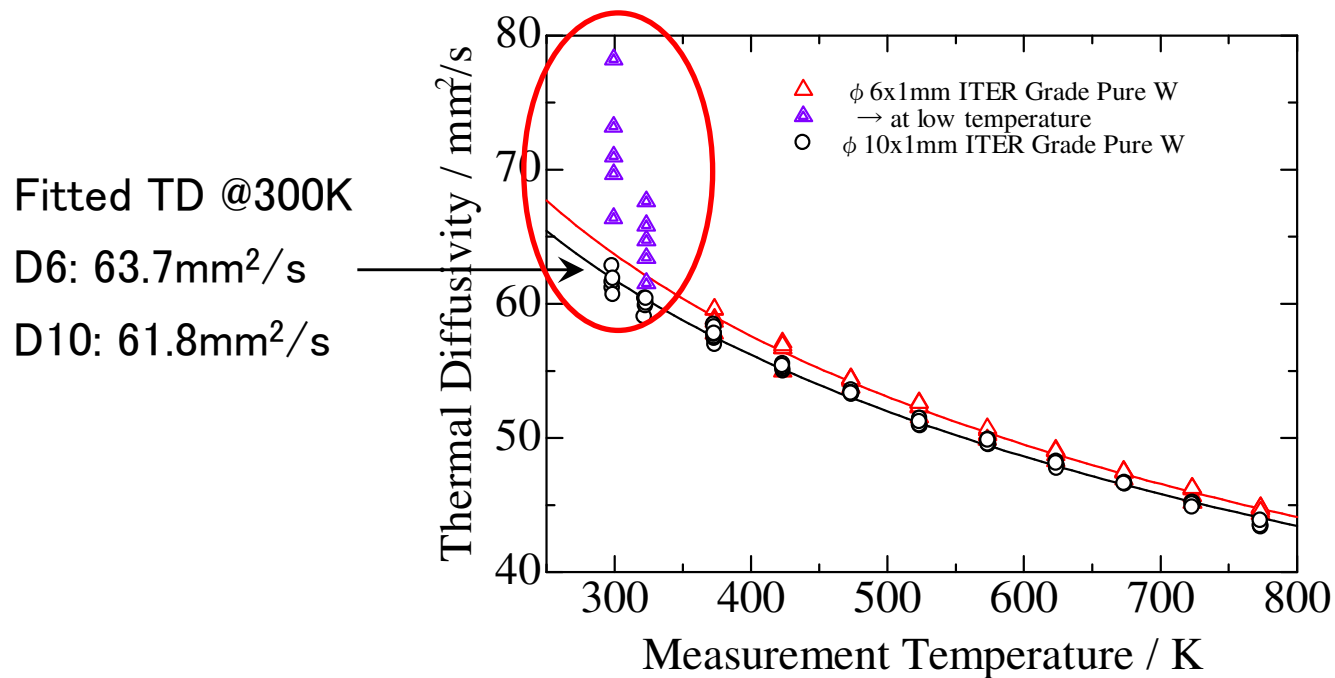
Thermal diffusivity of VPS-W/F82H before and after HLT



Measurements were performed by TC-7000 special at Kyoto-u, Katsura.

φ6試料による熱拡散率測定の見直し

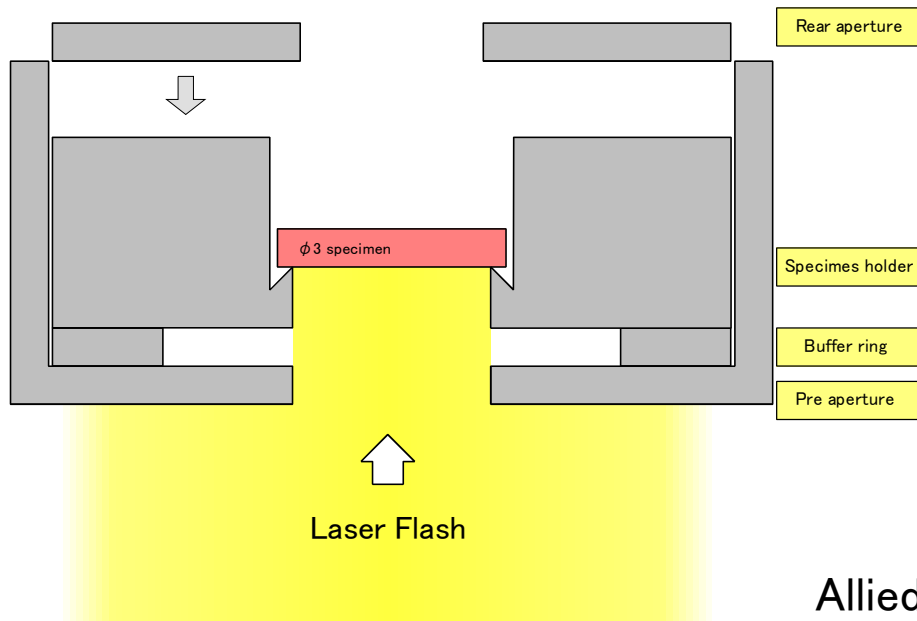
- φ6試料は試料面積が小さいため背面からの赤外線放射量が少なく、室温付近ではS/N比が悪いため測定精度が低かったが、100°C程度まで昇温することで十分な精度となった。使用している解析モデル(Cowanモデル)では試料形状補正を行っていないため、今後より適した解析法を検討する。



未照射タングステンφ10、φ6試料の熱拡散率温度依存性の比較

Design and manufacture of D3 specimen holder (for Task 2)

Specimen holder for D3 specimen was designed and manufactured. In ORNL, a graphite holder was manufactured in 2015 and more reliable Mo-TEM alloy holders (survive 1200°C) were manufactured in 2016. (Mo-TEM alloy: <http://www.allied-material.co.jp/products/tungsten/processed/moriita/>)



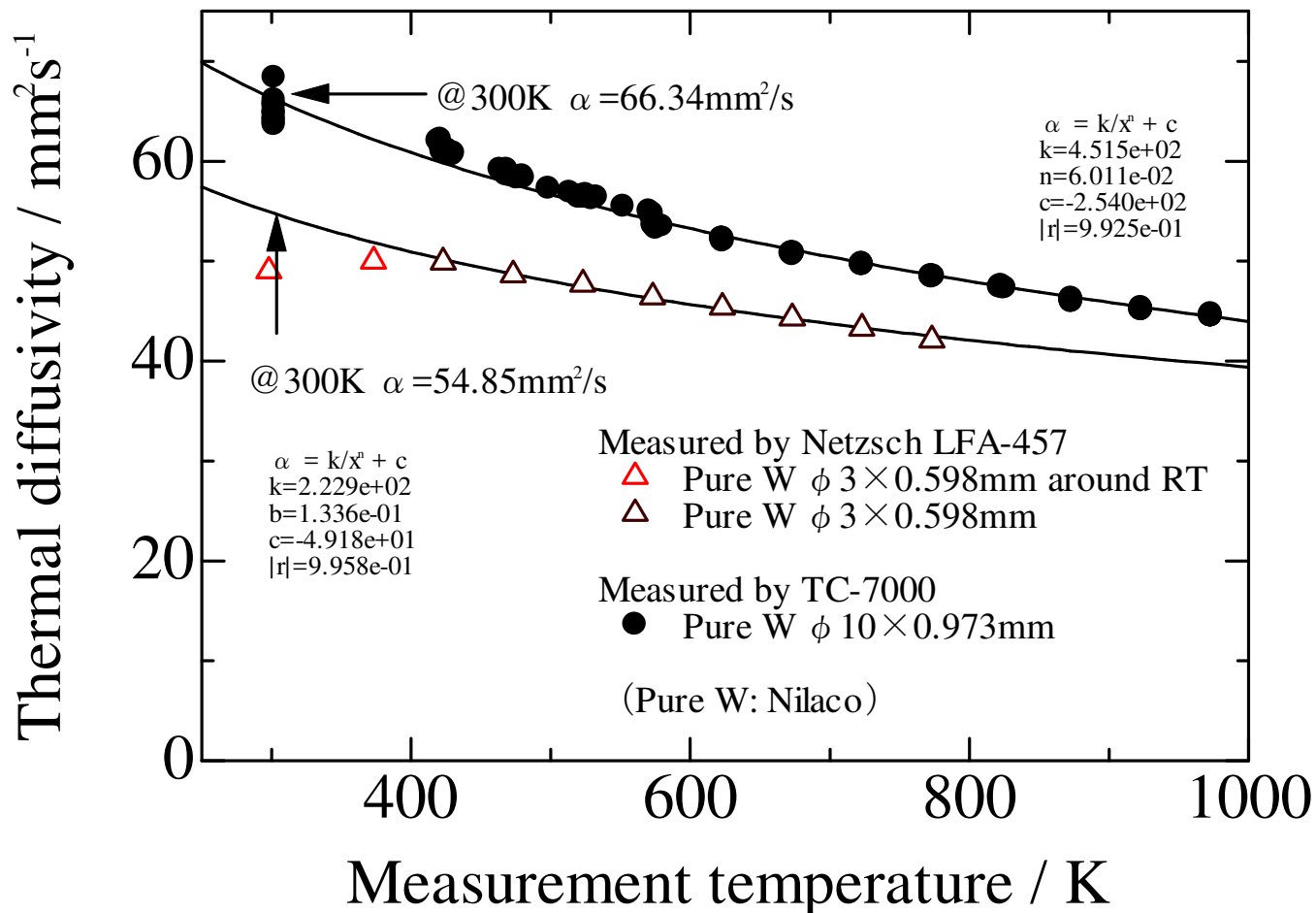
D3 Specimen holder manufactured in ORNL using graphite.



D3 Specimen holder manufactured in Japan using Mo-TEM alloy.

Allied material: 3set for 110,000yen (by Prof. Ueda)

Validation of TD measurement using $\phi 3$ specimen using LFA-457



Required thickness of specimen

Pulse width of Laser Flash in LFA-457: $T_f = 0.33\text{ms}$ (cf. LFA-467: $20\ \mu\text{s}$)

ASTM E1461, JIS R1611, Netzsch recommend. \rightarrow Require $T_f < T_{1/2} / 10$

$$\alpha = 0.1388 t^2 / T_{1/2}$$

for quality guarantee

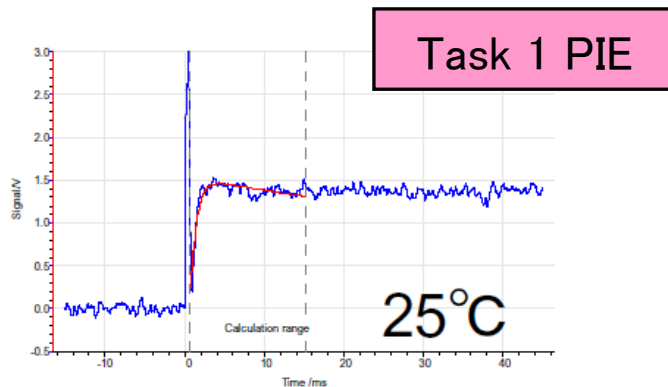
α : thermal diffusivity, t : thickness, $T_{1/2}$: half time

LFA-457

$$T_{1/2} > 3.3\text{ms} \quad (\leftarrow T_f \times 10)$$

Tungsten (unirradiated),

$$\alpha = 68.4\text{mm}^2/\text{s} \rightarrow t > 1.3\text{mm}$$



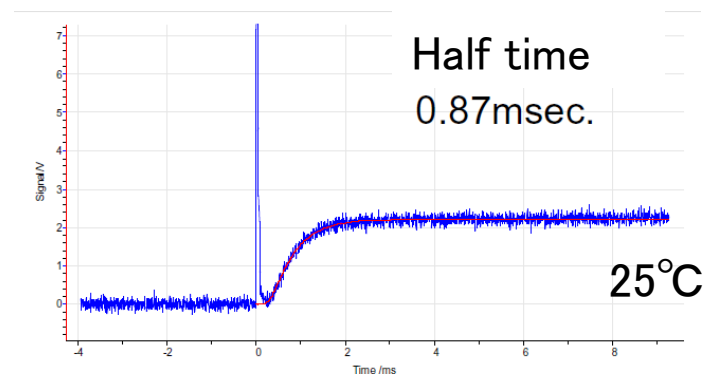
LFA-467

Task 2 PIE

$$T_{1/2} > 0.2\text{ms} \rightarrow t > 0.10\text{mm}$$

Nilaco Pure W, D3 $t=0.598\text{mm}$

Measured data $\rightarrow \alpha = 68.8\text{mm}^2/\text{s}$



まとめ

- ・タングステン材料、W/F82H 積層材料などへの中性子照射による熱物性に対する影響を評価するために、照射前後の熱拡散率測定、また熱負荷試験前後の熱拡散率測定を計画している。
- ・未照射試料に対する4MW/m²での熱負荷試験による影響は見られなかった。
- ・熱拡散率測定試料はφ3×0.5という微小試料であり、これまでの技術では測定できなかったため、専用治具の開発を行い、測定の可能性を検討した。
- ・Netzsch LFA-457 ではレーザーパルス幅が大きいため、未照射のタングステン微小試料については正常に評価出来なかった。照射後試料についてはタングステンも一部フォノン伝導で熱伝導を行っているため、熱拡散率が低下することが予想されるために、正常に測定できる可能性はある。
- ・微小試験片での測定結果から正しい値を評価するために、系統的に熱拡散率の異なるφ3×0.5同一フォームファクタの試験片の測定を行い、補正式を得る必要がある。
- ・レーザーパルス幅が小さい最新のLFA-467 であれば上記問題は起こらないが、放射線管理区域への装置導入は限られており、既存の装置での測定技術開発も重要。