

分野: PHENIX

課題番号: MM-4

派遣者: 京都大学 工学研究科 原子核工学専攻 助教



秋吉優史

派遣先: オークリッジ国立研究所 (ORNL)

課題名

**高熱流束照射された  
タングステン材料の特性評価**

派遣期間:

平成 27年 2月 1日

～ 平成 27年 2月 23日 (23日間)

# 本課題の目的

核融合原型炉において問題となる、タングステン(W)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。

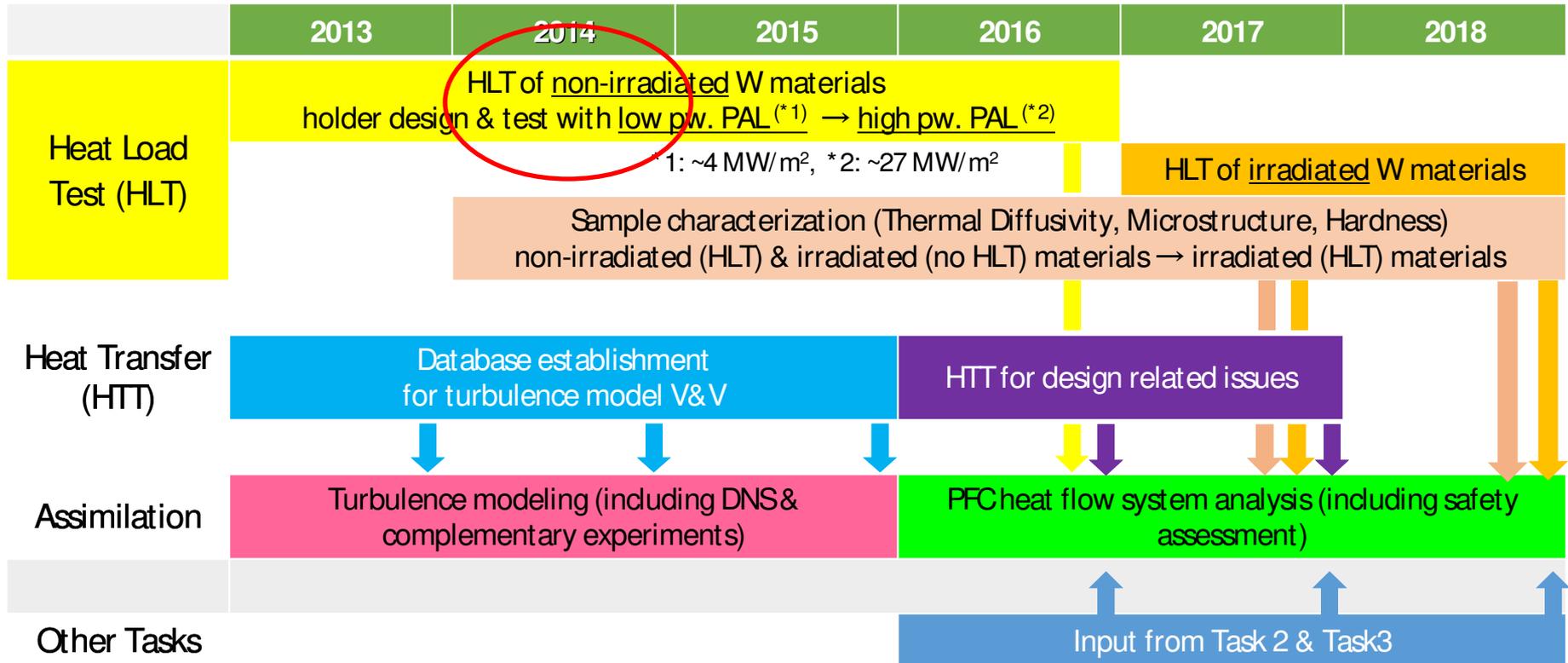
派遣先(ORNL)では、プラズマアークランプ(PAL)装置により熱負荷を与えられたタングステン材料の熱機械特性の評価を行う。

本研究により、原型炉におけるダイバータ機器の熱負荷損傷及び熱除去特性に及ぼす中性子照射の影響が明らかとなり、材料開発及び炉設計に必要な基礎データが取得されることが期待される。

# 本課題のPHENIXプロジェクトにおける位置づけ



## Task-1 6 years schedule



# 本年度派遣に伴う成果

- 1) 派遣者がRad WorkerII 資格を取得したことにより、中性子照射後試料を米国側施設で取り扱うことが可能となった。
- 2) 27MW/m<sup>2</sup> 高熱流束プラズマアークランプ(PAL) 動作試験を行なった。また、熱負荷試験(HLT)中の熱挙動解析を進めた。
- 3) HHFT後の試験片の熱拡散率測定を行なう測定装置(Netsch LFA-457)の使用許可を取得し、測定手順の確認を行なった。
- 4) 中性子照射を現状ではφ6mm 試験片で計画しているため、熱拡散率測定の標準であるφ10mm試験片と比較し、妥当性を検証した。
- 5) さらに試験片の微小化の可能性を検討するためにφ3試験片の測定用治具の設計、製作を行なった。

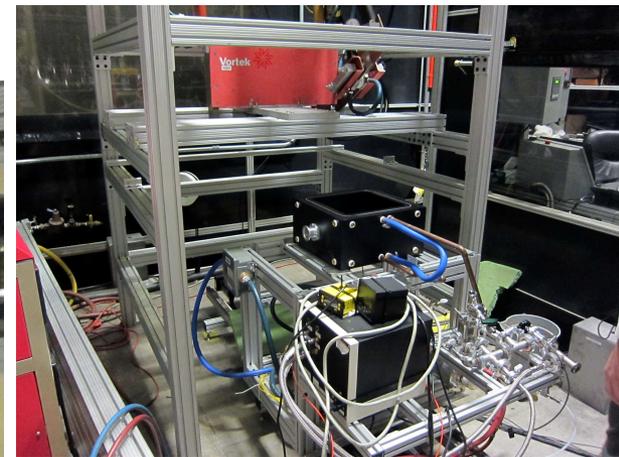
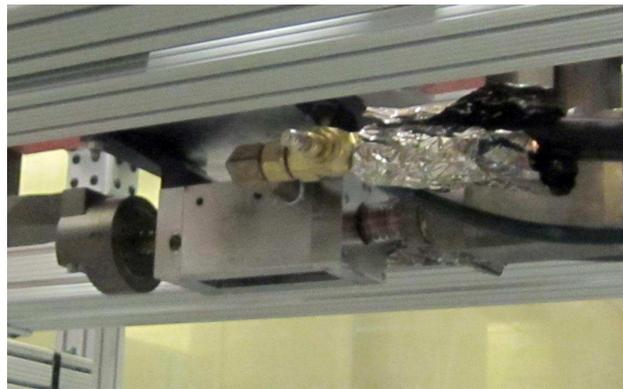
# 1) Rad Worker-II 資格を取得

- 8h の Initial Training と、別の日に行われる4h の Practical Training の後の試験にそれぞれ合格することで、非密封放射性物質を取扱が可能となる(個人線量計も即日発給)。2年間有効。
- 最短では2日で取得可能であるが、不定期の開催であるため、派遣期間に都合良く取得できるわけではなく、派遣時期について事前の打ち合わせが必要。



## 2) 27MW/m<sup>2</sup> 高熱流束 PAL 動作試験

- 27MW/m<sup>2</sup> のPALは現在単体での動作試験を終えて、試料部を 4MW/m<sup>2</sup> の PAL ユニットから移設を行なっている状況である。熱流束をVatell 社製 HFM-8E/H を使用して測定したが、耐熱温度を超えてしまい破損したため、現在水冷式の熱流束計に交換を行い、試験を継続する予定である。



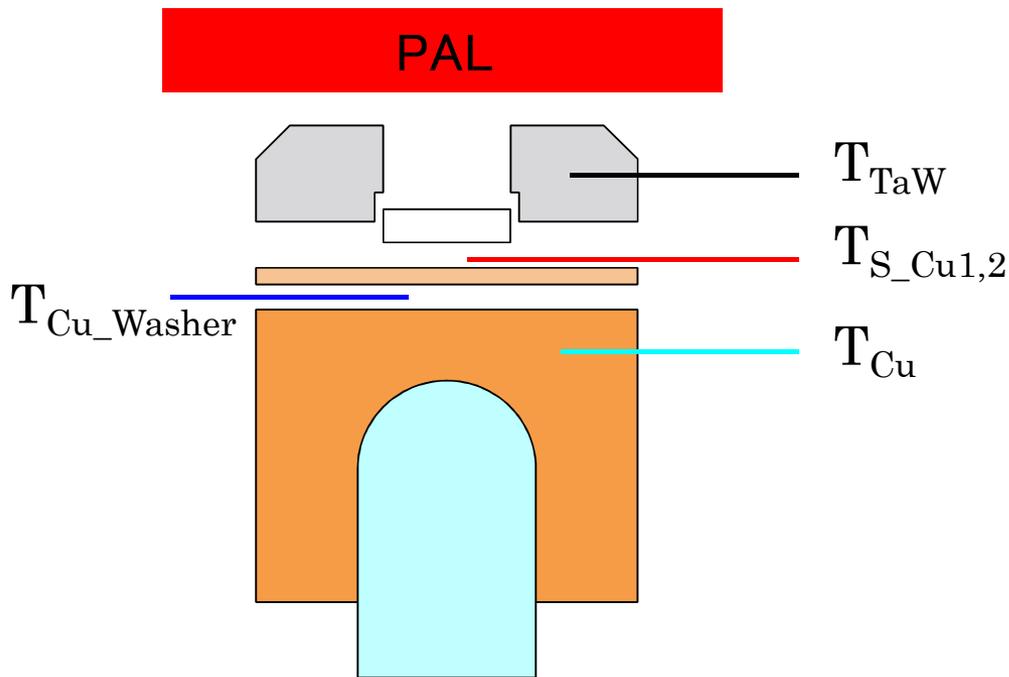
27MW/m<sup>2</sup> PAL 装置の現状

# 27MW/m<sup>2</sup> PAL 動作テストの様子

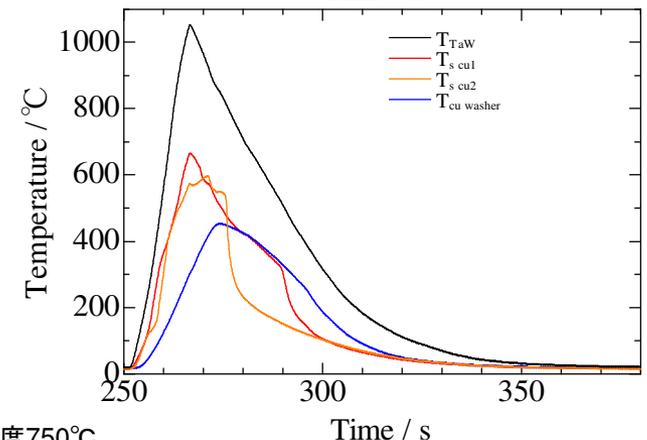
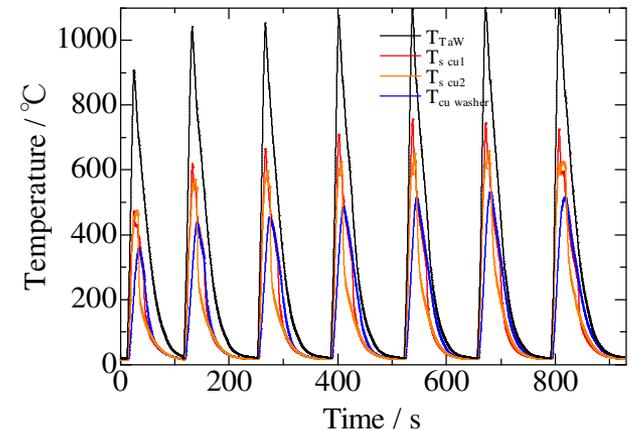


## 2-2) HLT中の熱挙動解析

- 2014/12 に行なわれた4MW/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>, 試料最高温度750°C、  
φ10x2mm VPS-W/F82H 試料でのHLT

phenix s1d3 120514 r13c

### 3) Netsche LFA-457による熱拡散率測定

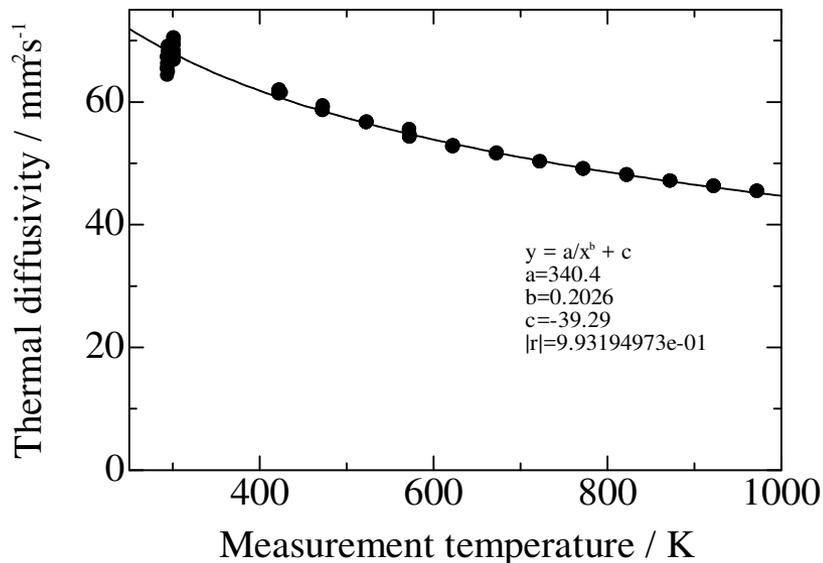
- ORNLに設置されたNetsche LFA-457 熱拡散率測定装置の仕様を確認し、室温～1100度の測定が可能であり、 $\phi 12.7$ ,  $\phi 10$ ,  $\phi 6$  試料用の治具の存在と形状を確認した。
- ITER Grade W の  $\phi 10$  の標準サイズの試料と、 $\phi 6$  試料に対して室温～500°Cで熱拡散率温度依存性の測定を行ない、試料サイズの違いを評価した。



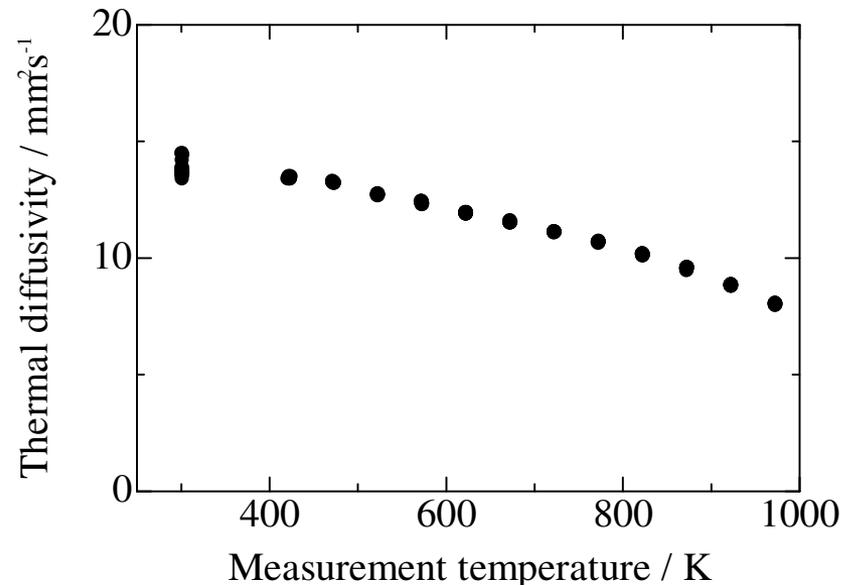
ORNLの熱定数測定装置 Netsche LFA-457 と測定用治具

# 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。



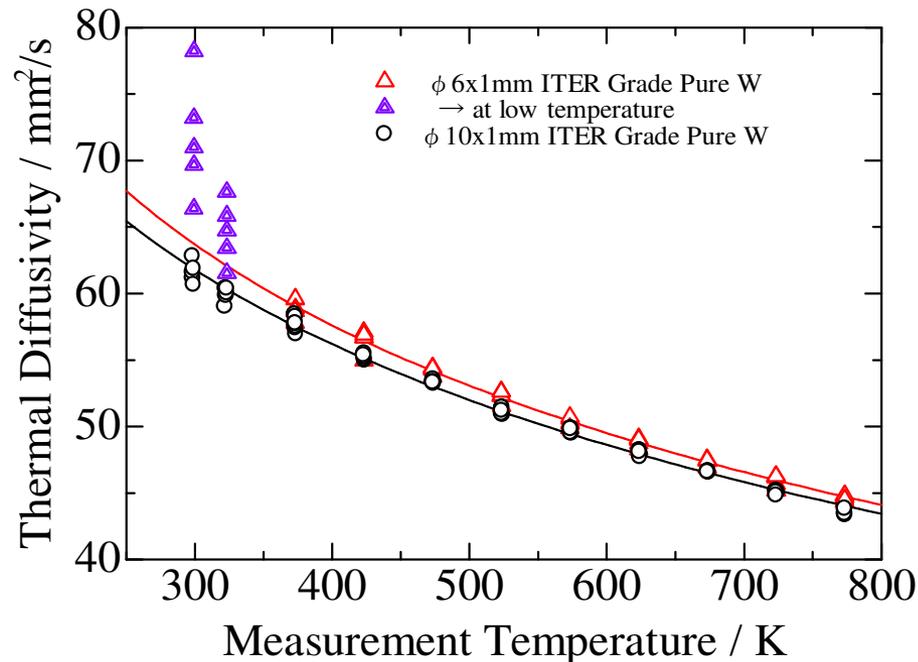
ITER Grade W の熱拡散率温度依存性



VPS-W/F82H の熱拡散率温度依存性

## 4) $\phi 6$ 試料による熱拡散率測定の見証

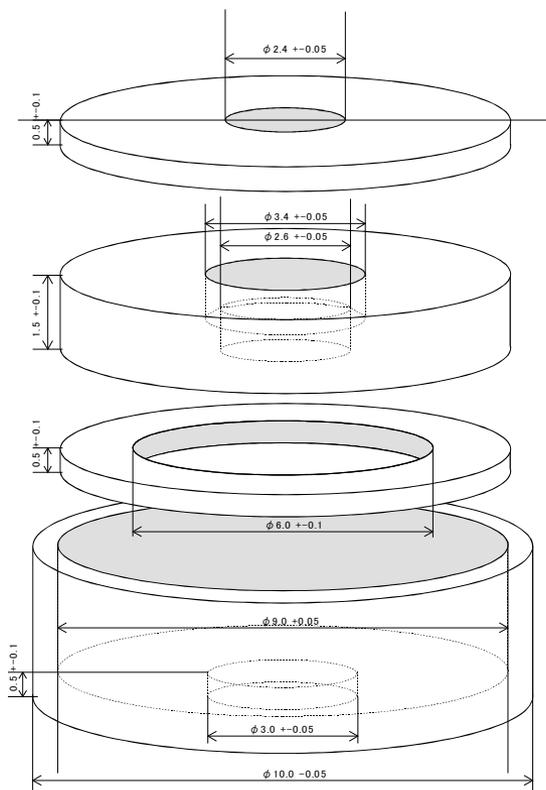
- $\phi 6$ 試料は試料面積が小さいため背面からの赤外線放出量が少なく、室温付近ではS/N比が悪いため測定精度が低かったが、 $100^{\circ}\text{C}$ 程度まで昇温することで十分な精度となった。使用している解析モデル(Cowanモデル)では試料形状補正を行っていないため、今後より適した解析法を検討する。



未照射タングステン $\phi 10$ 、 $\phi 6$ 試料の熱拡散率温度依存性の比較

## 5) $\phi 3$ 試料測定用治具の設計、製作

- RB\*装荷の熱拡散率測定用試験片のさらなる微小化の可能性を検討した。メーカー側との打ち合わせを行ない、測定出来る可能性が高いとの結論に達し、 $\phi 3$ の測定用治具の設計、製作を米国側の装置の専門家と共に行なった。



加工の容易な黒鉛で作成した治具。測定の可否に関する検証を行なった後、TiやNi等の高融点金属で耐久性のある治具を作成する予定。

# 核融合研究の推進に果たす事項

- 中性子照射及び高熱負荷によるタングステン材料の熱物性変化は、ダイバータ設計に大きな影響を及ぼしうる。その評価を行う上で必要不可欠な、熱拡散率測定を行なうための試験片形状の妥当性に関する情報を得ることが出来た。
- 実機で計画されている熱負荷を模擬するための  $27\text{MW/m}^2$  プラズマアークランプ(PAL)による熱負荷試験の準備を行った。2015/3～5にかけてW試料及びVPS-W/F82H材への熱負荷試験を行い、試験後の試料の評価を順次行う予定である。

# 謝辞

- 現地では加藤先生、小柳氏、Adrian Sabau氏、エンジニアのWallace Porter氏、事務のSusan Noe氏をはじめ、大勢の方にお世話になり本事業を遂行することが出来ました。
- また、日本側の上田先生、波多野先生、横峯先生には出国前、滞在中、帰国後と様々な面でお世話になりました。大変有意義となった本派遣事業をサポートして頂いた、NIFS事務局の皆様始め、関係者の皆様に感謝致します。



加藤先生



小柳氏



Adrian  
Sabau氏



3週間目に入ったところで寒波に襲われましたが、様々な方の助言で無事に帰国できました