

応用力学研究所研究集会

平成 24 年度
 応用力学研究所 研究集会申請書

※受付年月日 年 月 日

※受付番号

研究課題分野 地球環境 核融合力学 新エネルギー力学

※分類番号

研究代表者氏名 (ふりがな)

所属機関・部局・職名

義家敏正 (よしいえ としまさ)

京都大学・原子炉実験所・教授

連絡先住所 大阪府泉南郡熊取町朝代西二

連絡先 電話 072-451-2473 FAX 072-451-2658

e-mail Yoshiie@rri.kyoto-u.ac.jp

応用力学研究所 所内世話人 氏名 渡辺英雄

研究集会題目

炉内構造物の経年変化に関する研究集会

(英文)

Workshop on aging properties in nuclear reactor pressure vessel and internals

新規・継続の別 新規 継続

印刷費等 50 千円

旅費 800 千円

研究集会開催予定 (時期、回数、参加者数)

6月 - 8月頃、玄海原子力発電所立地の佐賀県内での開催を希望。約 50 名程度を予定。

- ・研究集会旅費 ; 55万円
- ・その他(共同利用); 10万円
(大学関係者・発表者のみ12名)
- ・懇親会; 各自負担(¥5000)

開催時期; 東北大学(永井先生)と協議。九大を夏(原子炉材料)講演ファイルは参加者にCDで配布(HP上の公表予定なし)

2012. 7.24

炉内構造材料の経年変化に関する研究集会
(九州大学)

玄海原発1号炉照射脆化に関するこれまでの 経緯と九大での取り組み

九州大学 応用力学研究所
渡邊英雄

九州電力(株)玄海原子力発電所

玄海原発高経年化を巡る経緯

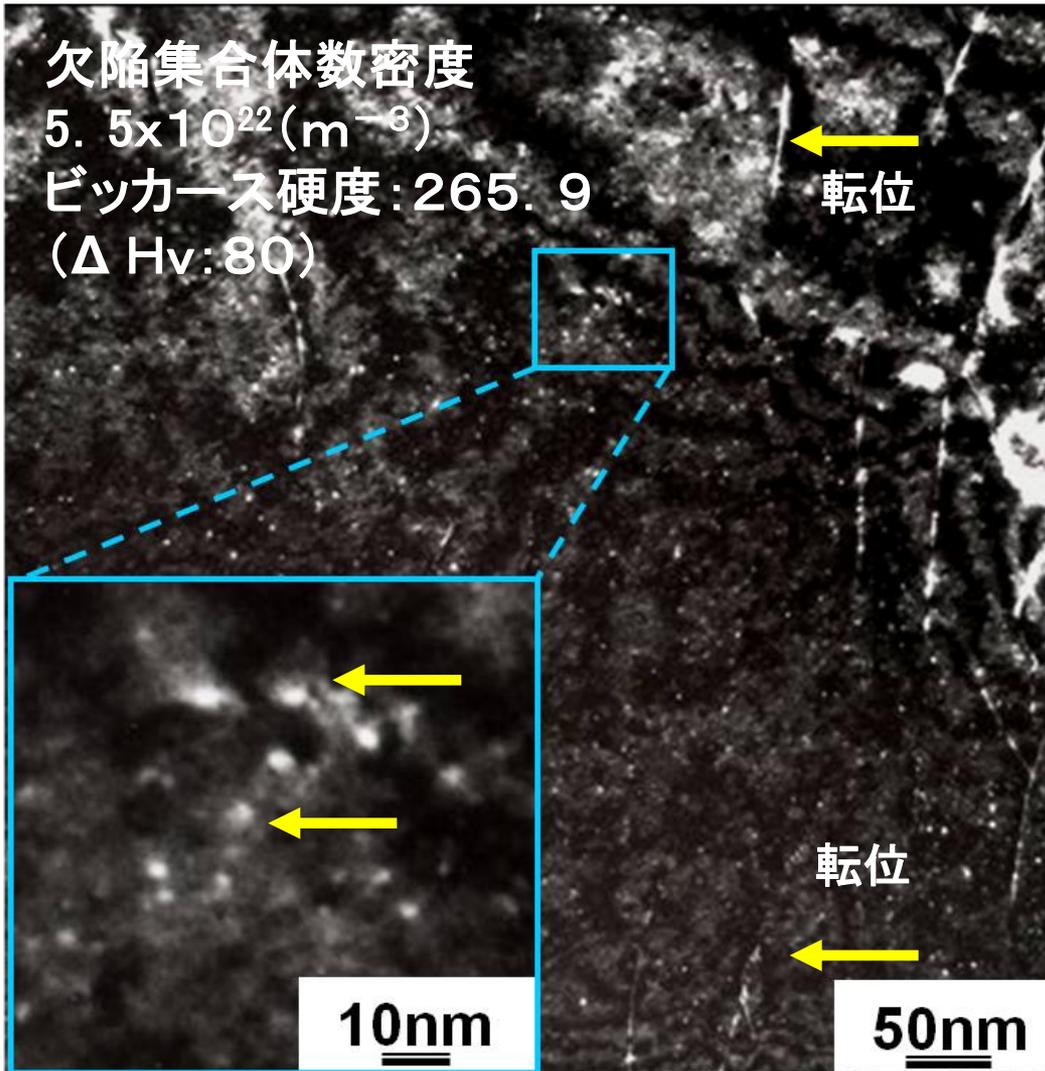
- ・ 平成21年 4月頃 玄海1号炉・監視試験片取り出し
(東海村・NDCにて試験)
- ・ 平成22年 10月 唐津市議会で試験片結果の公表 (98°C)
3月11日、大震災・原発事故
- ・ 平成23年 5 - 7月 マスコミ報道 (地元新聞誌+週刊誌)
(6月29日 海江田経済相、地元訪問/2・3号炉再稼働)
7月 九電HPにて試験片デ・タ結果公表(11日)
佐賀県専門家会議の開催を検討
8月2日 佐賀県知事；やらせメール問題記者会見
(電力事業者+県への不信感の始まり)
(佐賀県専門家会議の開催中止)
11月28日 保安院専門家会議の開催(-現在まで)
12月 2日 1号炉定期点検の為炉停止
(停止の伴う炉の危険性の指摘：報道)
- ・ 平成24年 12月 玄海町議会勉強会 (平成24年2月2回目)
3月頃 保安院意見取りまとめ(案)提示

保安院・意見聴取会での議論まとめ(私見)

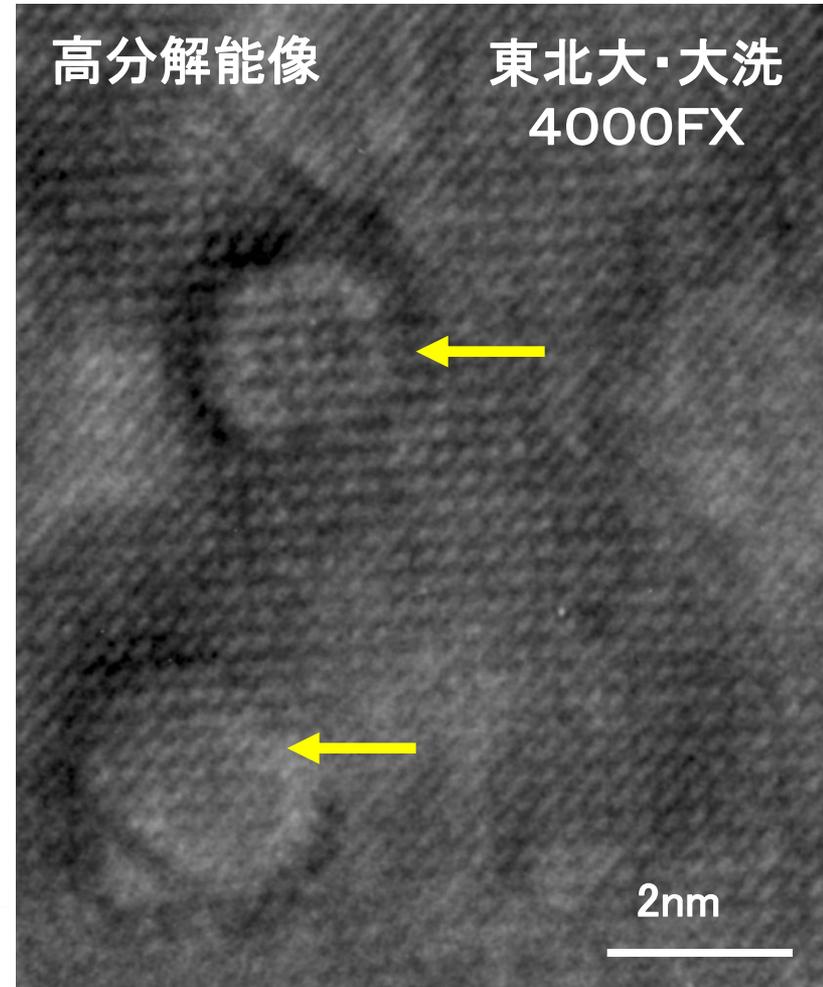
- ・通常の運転(起動・停止)に伴う炉の安全性について議論
加熱制限曲線に基づく運転管理 (さし迫った危険性なし)
- ・事故時・PTS事象での炉の健全性評価は審議中。
(解析のモデル、熱伝導度の評価等)
- ・脆化の原因は不明。(九電提出の資料から)
主要な元素組成(不純物)、組織(3DAP,TEM),界面SEM写真
ビッカース硬さ、引張強度等は特に異常なし。
(脆化量と硬さ・引張強度との相関は崩れる)
- ・今回の脆化量は、実験誤差により?(他に選択肢がない)
→ **大学の人間が直接観察する余地はないのか?**
(監視試験片・試験結果の公開?)
- ・高照射領域での予測式の高精度化
(微分方程式の中身、モデルの妥当性)
→ 学協会で今後議論(電気協会・原子力学会か?)

A533B材 (High Cu 0.16wt%) JMTR (290°C)

基盤S(代表;岩手大 高橋 分担:渡邊,) JMTR照射

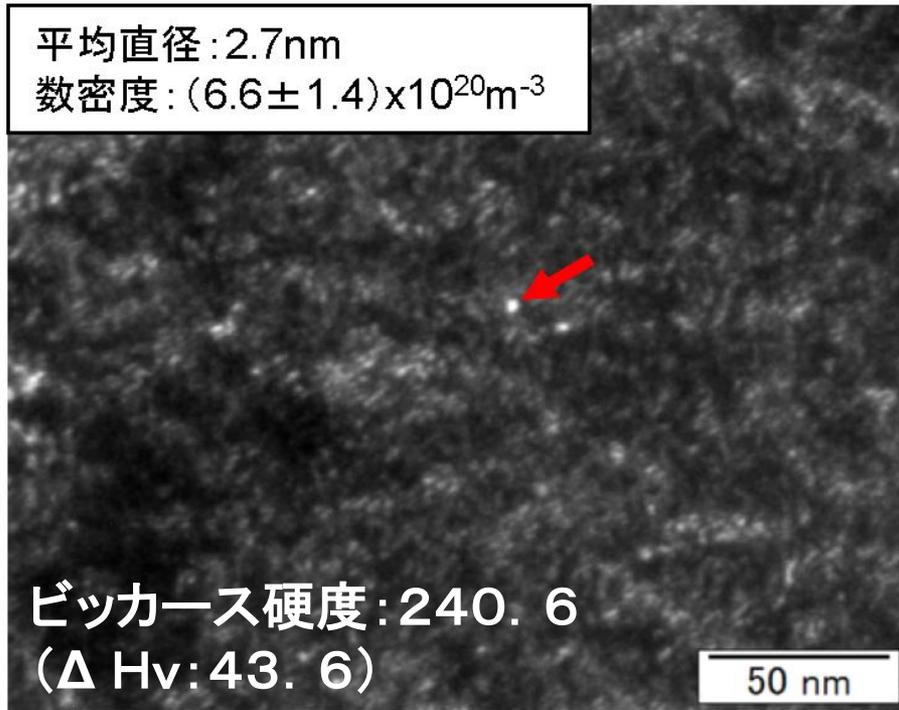


目標照射量: $5 \times 10^{23} \text{m}^{-2}$ ($E > 1 \text{MeV}$)

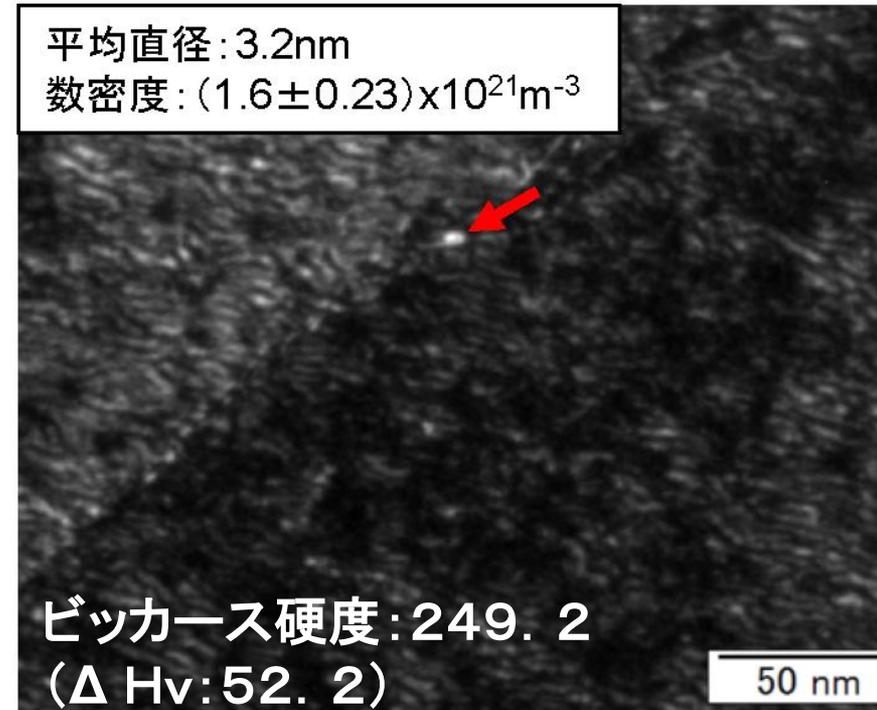


- 微小欠陥が転位近傍での形成(成長) + マトリクス中で均一に発生
→ 欠陥集合体(転位ループ、クラスタ-)の発生

九州電力(株)監視試験片TEM組織(0.12wt%)



第3回監視試験片(転位ループ)



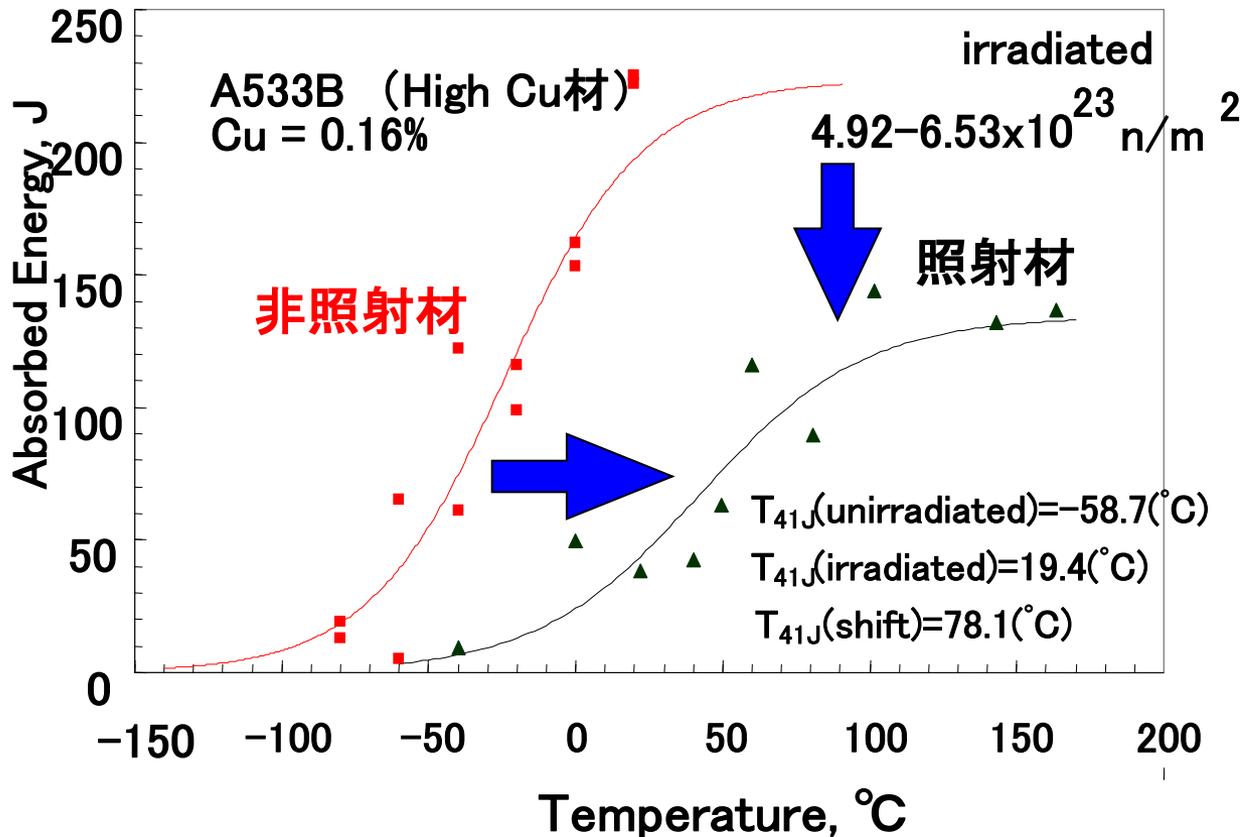
第4回監視試験片(転位ループ)

監視試験片(母材)の転位ループを測定した結果、数密度(10^{21}m^{-3} オーダー)は、**溶質原子クラスターの数密度(10^{23}m^{-3} オーダー)に比べ小さく、転位ループの特異な増加は認められなかった**ことから、脆化への寄与は小さいと考えられる※1。

※1 参考としてPRE事業の手法で、第4回測定結果から転位ループによる Δ RTNDTを見積もると数°Cから10数°C程度となる(第3回から第4回の上昇としては数°C程度)。
保安院意見聴取会(平成24年2月)

延性脆性遷移温度の変化—A533B材

A533B 0.16wt%Cu



高橋基盤S

$$\Delta T_{41J} = 78.1^{\circ}\text{C}$$

九州電力(株)4回目監視試験片デ-タ(シフト)

$$T_{41J}(\text{unirradiated}) = -16.0(^{\circ}\text{C})$$

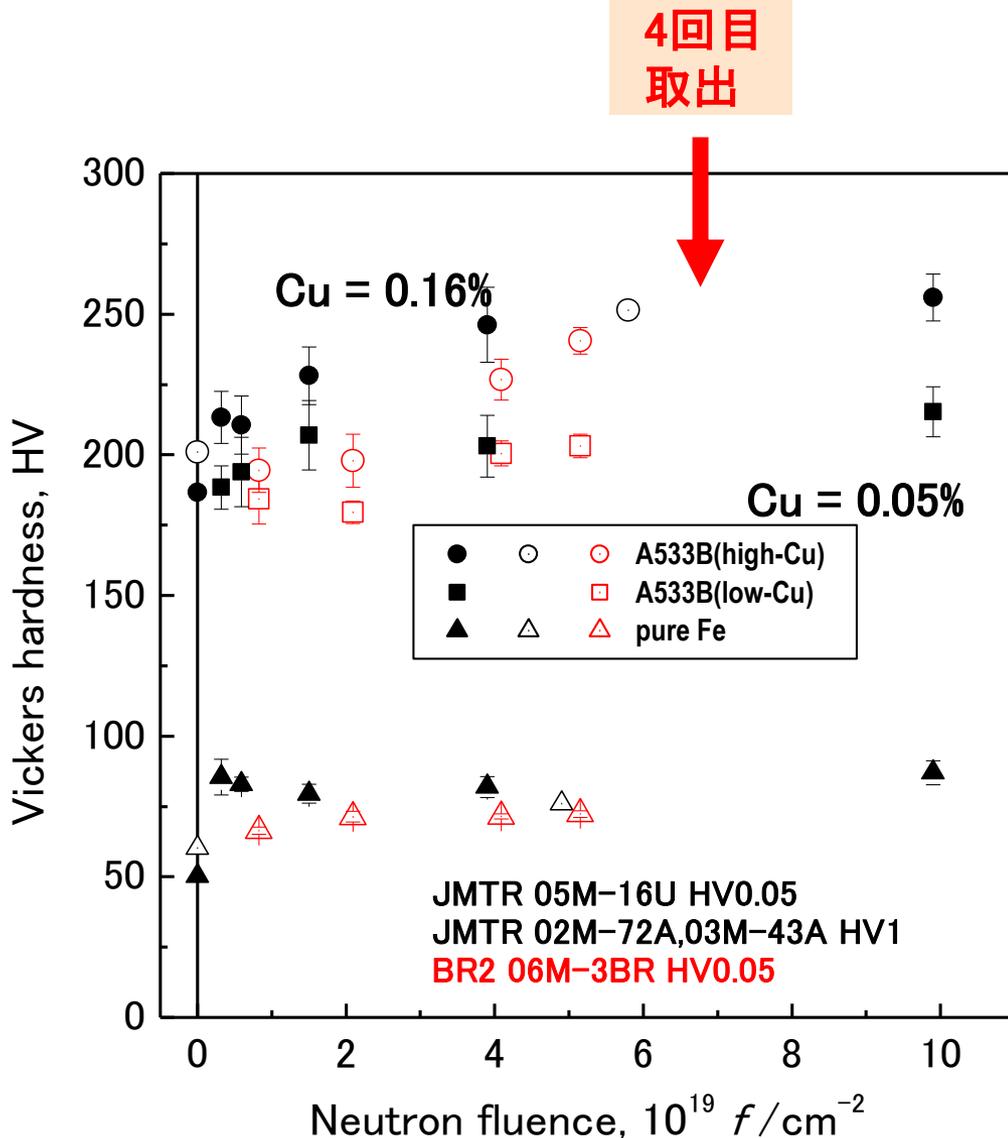
$$T_{41J}(\text{irradiated}) = 98.0(^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta T_{41J} = 114^{\circ}\text{C}$$

基盤S(代表;岩手大 高橋 分担:渡邊,) JMTR照射

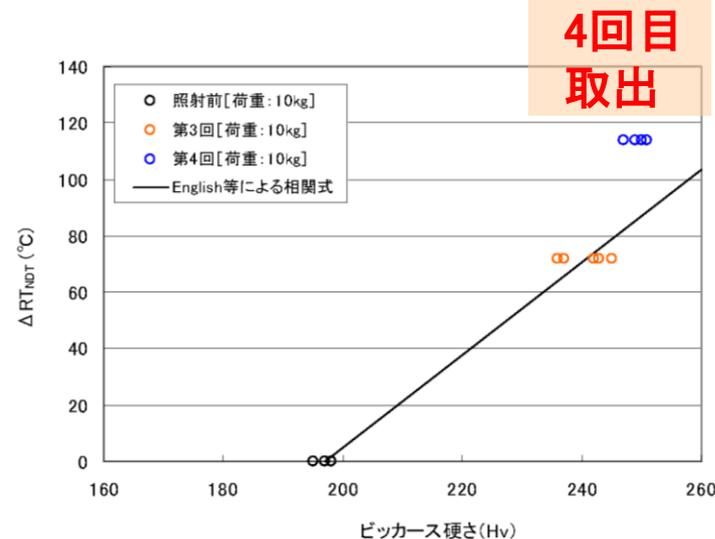
- ・ 533B(B,High Cu材)は照射により、DBTTが78.1°C上昇。
- ・ 照射による、上部棚吸収エネルギーの(靱性)低下
- ・ これまでの遷移温度評価式の予測値とほぼ一致。

A533B材 (High Cu 0.16wt%) JMTR・BR2



JMTR引き上げ(05M-16U)

- ・JMTRとBR2照射を比較すると低照射側でBR2照射の硬度上昇が少ない。
- ・信頼性の最も高いJMTR引き上げ照射でのビッカース硬さの推定値は、250-260程度となり、以前の照射結果及び4回目試験片結果とほぼ同一。



平成23年2月13日資料9
(ΔRT_{NDT} ・硬さ相関)

九大・応力研における照射施設と解析手法

熱処理条件

880°C・60min(AC) +
670°C・80min(AC) 2段階焼鈍

手法

微小な領域(組織)の電子顕微鏡観察から、中性子照射後の特性を予測・評価する。



照射実験

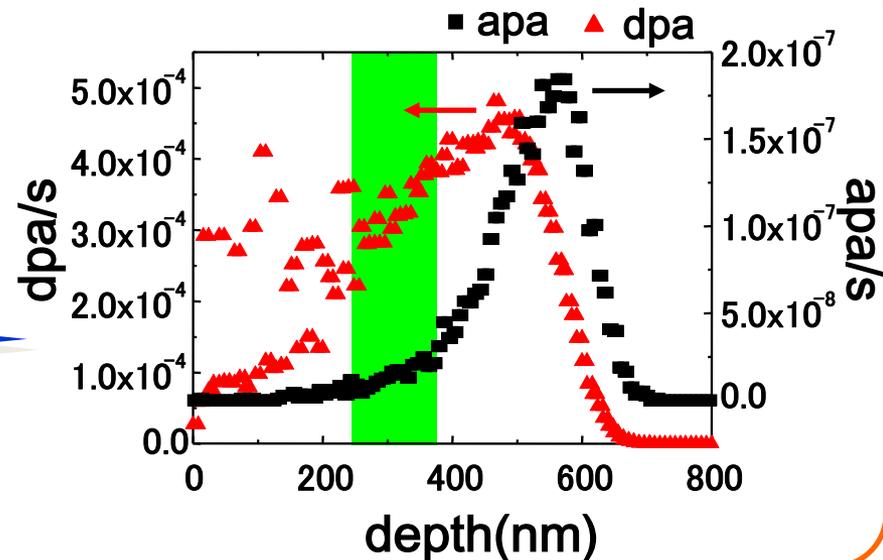
- 照射装置: タンデム型加速器(九大応力研)
- 照射量: 0-2dpa ● 照射温度: 室温 (26°C), 290°C

背面研磨により薄膜化し損傷ピーク(500nm)まで研磨

TRIM codeにより計算

透過型電子顕微鏡(TEM)

内部組織観察



実機応力条件下での照射研究(重イオン)

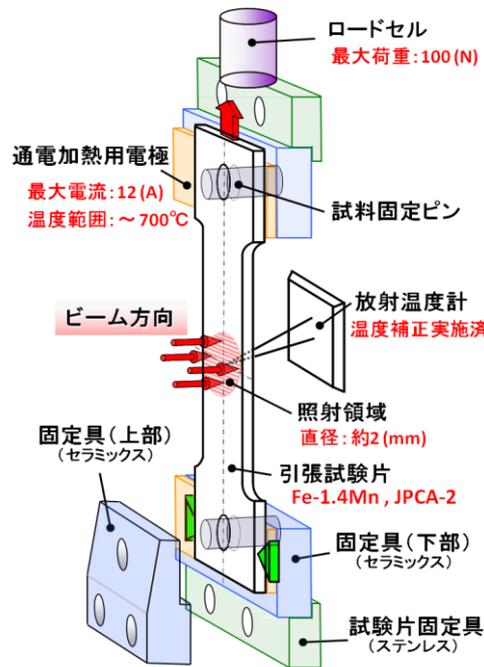
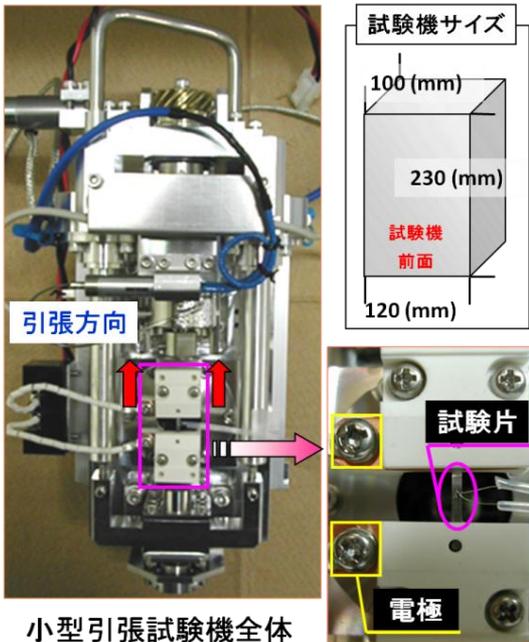
商業炉条件(応力)下での照射脆化機構の解明

→これまでの知見を基に、より実機に近い照射環境を再現。

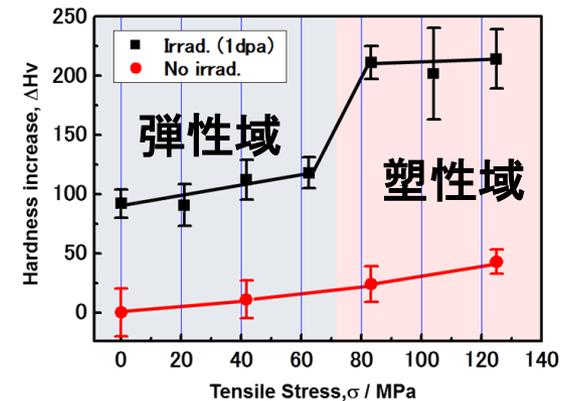
照射温度; 290°C、引張応力(175kg/cm²)、応力比~0.7
(応力比; 発生応力/降伏応力)

Fe-1.4Mnモデル合金における考察

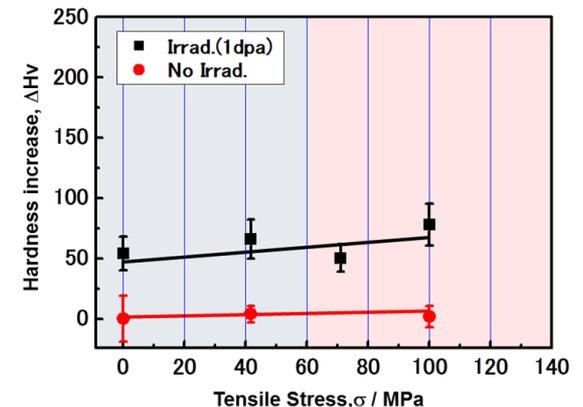
・名称: 動的照射効果観察ステーション



RT.1dpa



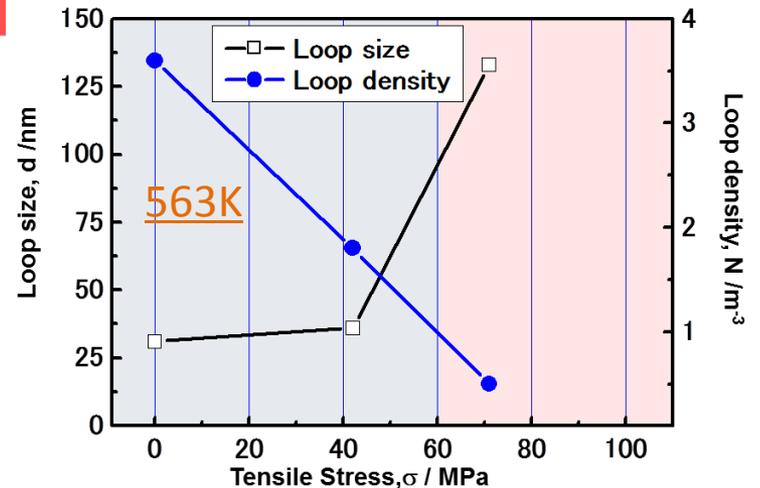
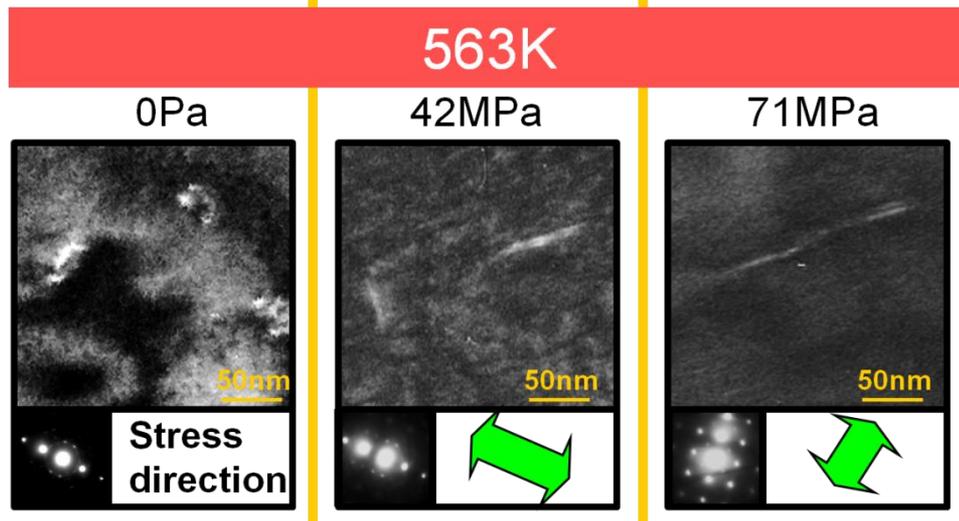
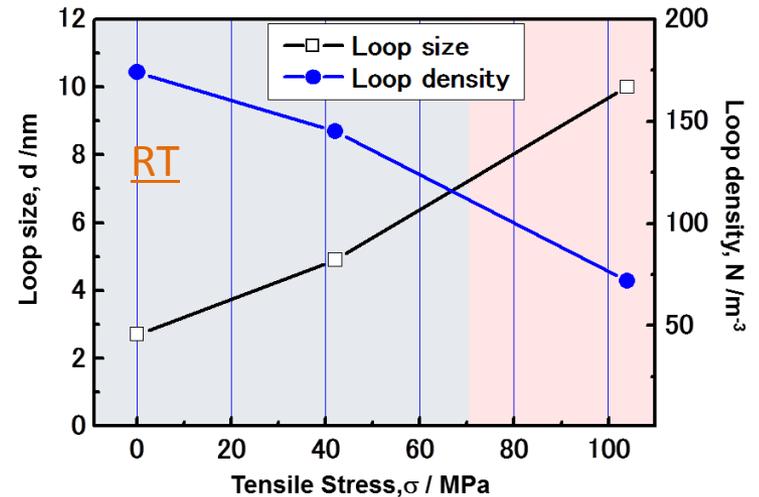
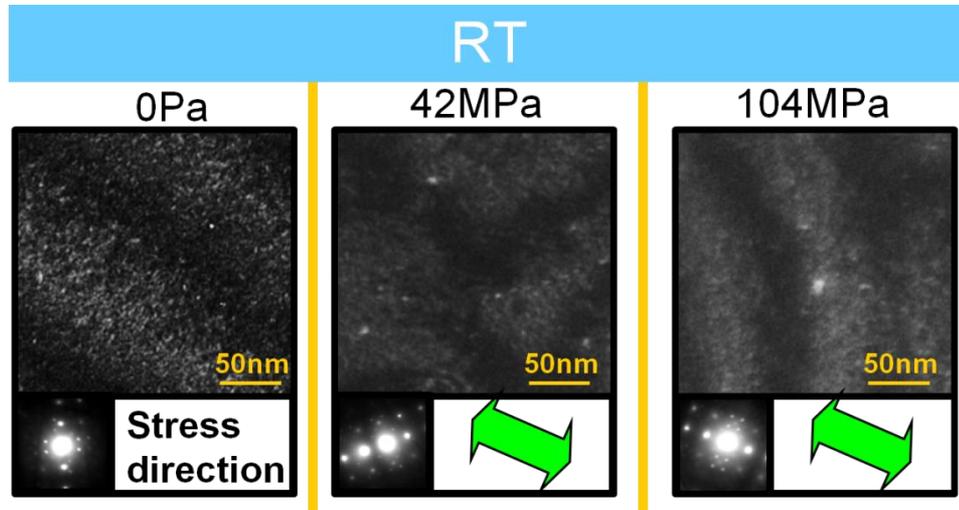
563K.1dpa



科研費(B)、平成20-23年度、代表; 渡辺

(Watanabe et al ; IGRDM16)

重イオン照射組織TEM観察

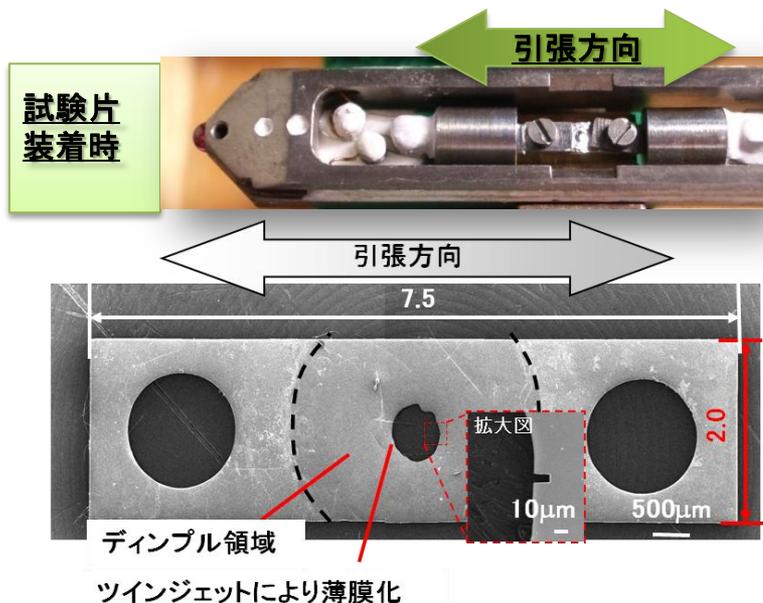


実機条件では、応力の負荷により硬さ変化が少ない（これまでの知見と同じ）
 → 組織（転位ループの形成・成長）変化は負荷応力により異なる。

(Watanabe, to be published in JNM)

実機応力条件下での照射研究(電子線)

HVEM用引張・高温ホルダー

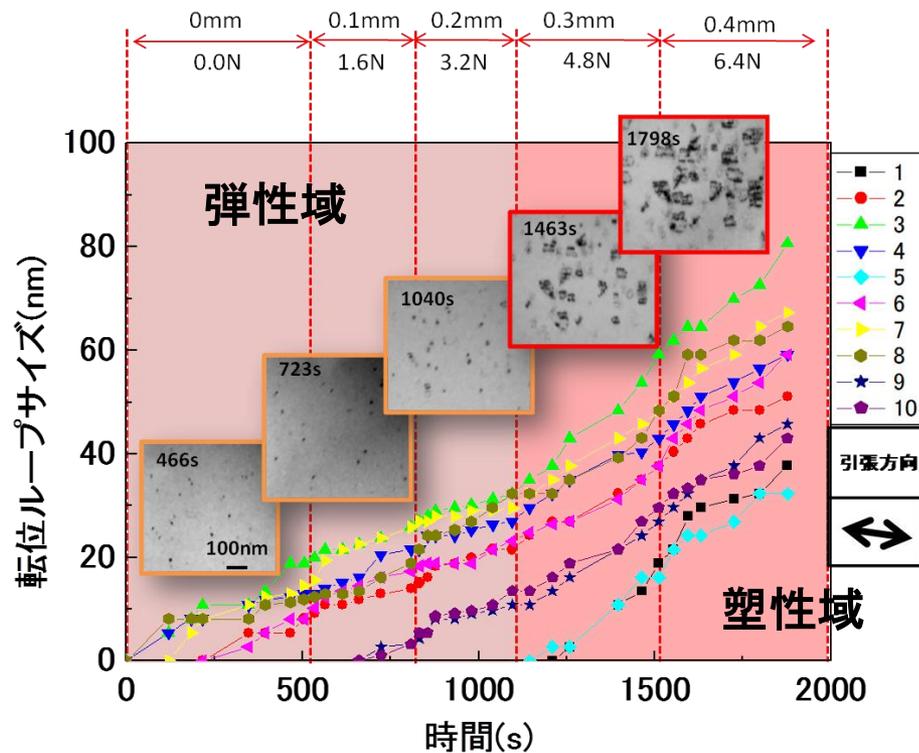


原子炉安全性の再評価に適応

HVEM・引張ホルダーを用いたその場観察手法の応用例

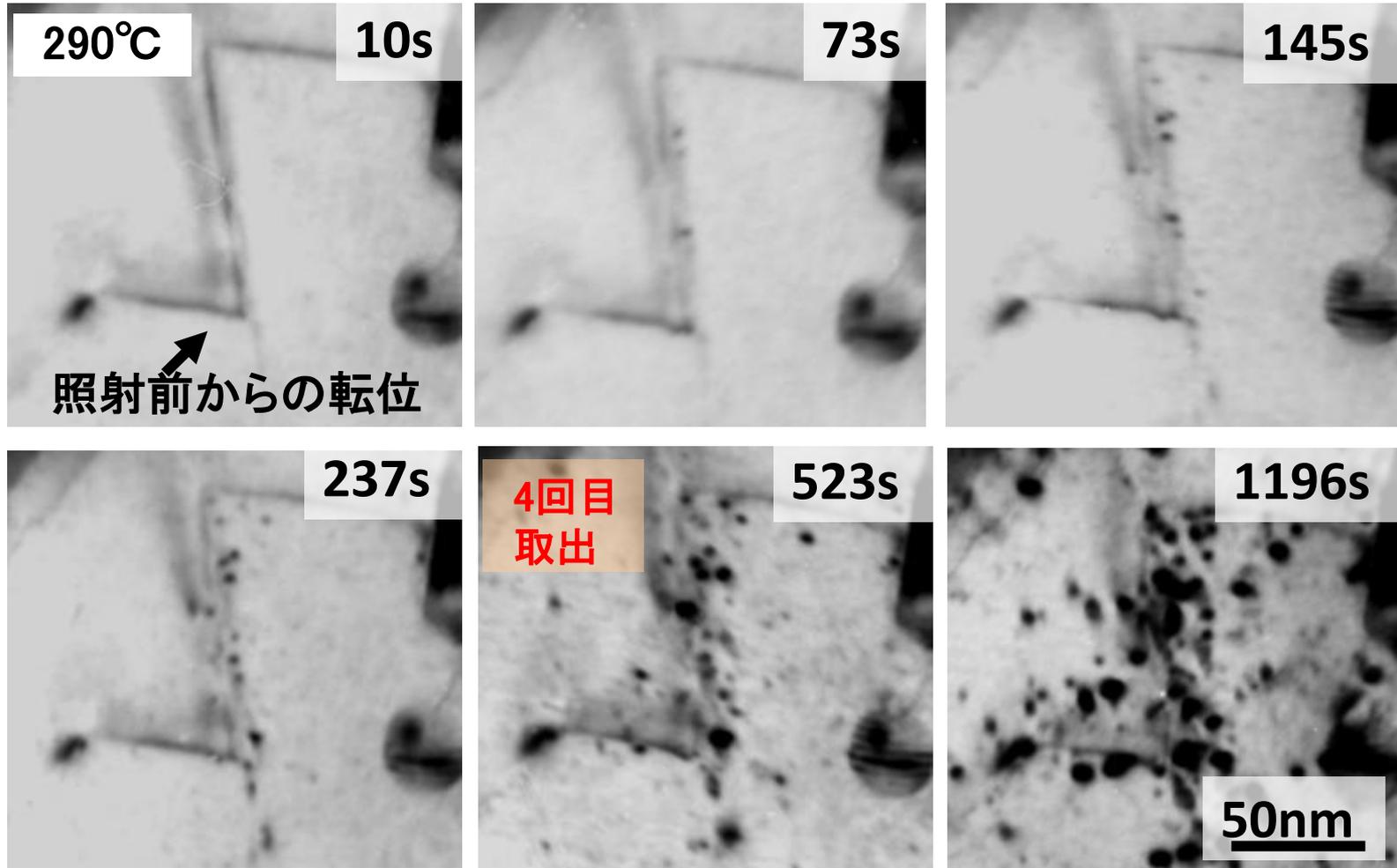
モデル合金(Fe-1.4Mn合金)での検討: 4.8Nから成長の傾きが変化し、応力の負荷により転位ループの成長促進が確認され、応力の影響により転位ループ成長に影響を及ぼしている事が確認。(弾性変形から塑性変形で大きな脆化が起こる可能性を示唆)

・通常の原子炉運転状況では、塑性域での材料使用はないが、事故時の評価・溶接部不良部(残留応力下)での照射脆化等の検討に活用。



転位ループ10個各々の成長過程

玄海原発1号炉相当材料における欠陥形成

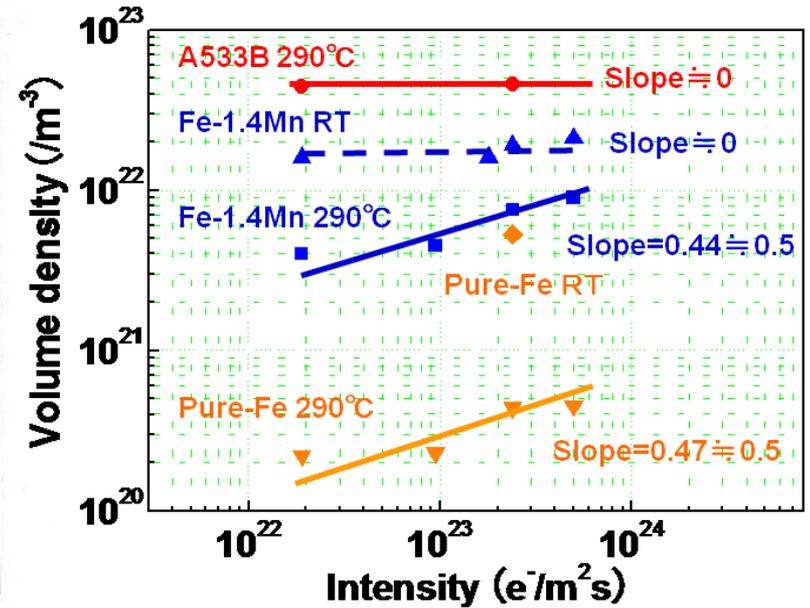
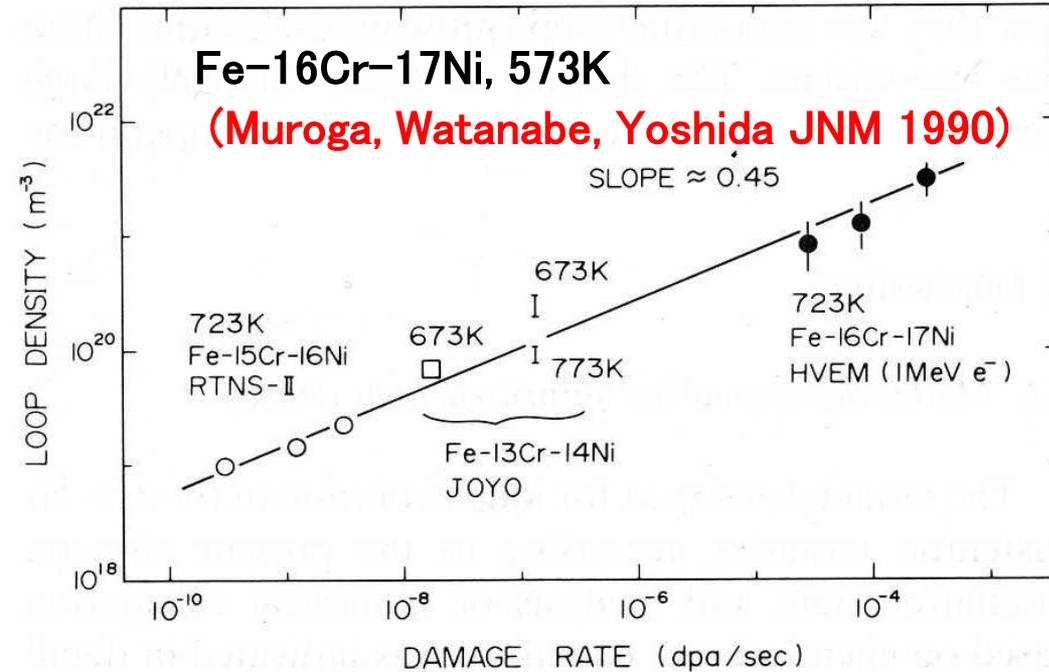


HVEM(電子線照射)による軽水炉相当温度(290°C)での組織変化

・銅濃度;玄海1号炉(0.12wt%)、対象材料(0.16wt%)

→ 転位近傍のループ成長が顕著となる照射領域 (Watanabe et al JNM 2011)

格子間原子型転位ループの照射強度依存性



(Watanabe, to be published JNM)

FCC純金属・高純度モデル合金における格子間原子型転位ループの照射強度依存性

- ・不純物元素の影響が無視できる場合(材料・照射温度) 数密度は照射強度の2分の1条則に従う。(例;ステンレスモデル合金)
- ・実用鋼(特に軽水炉条件の様な低温) 照射強度の影響は少ない。
 - 不純物(Mn-Niクラスター或いは銅析出)がループの核形成に寄与
格子間原子が溶質原子クラスターと強く結合

箱崎地区超高压電子顕微鏡(HVEM)

High Voltage Electron Microscope



最高加速電圧：1250 kV (JEOL)

分解能：0.27 nm(粒子像)

イオン照射装置搭載 (現在停止中)

イオン種：HからXe

加速電圧：30 kVから

- ・厚い試料の観察
- ・照射欠陥のその場観察
- ・加熱・冷却・引張・その場観察

RIの有効利用・中性子照射による欠陥の基礎的理解に大きな貢献

・HVEMを用いたRIの管理区域外使用(国内では例がない)

RIの管理区域外使用について(箱崎)



・箱崎地区RIセンターは伊都地区移転（平成25年）

→ 事業所境界の見直し

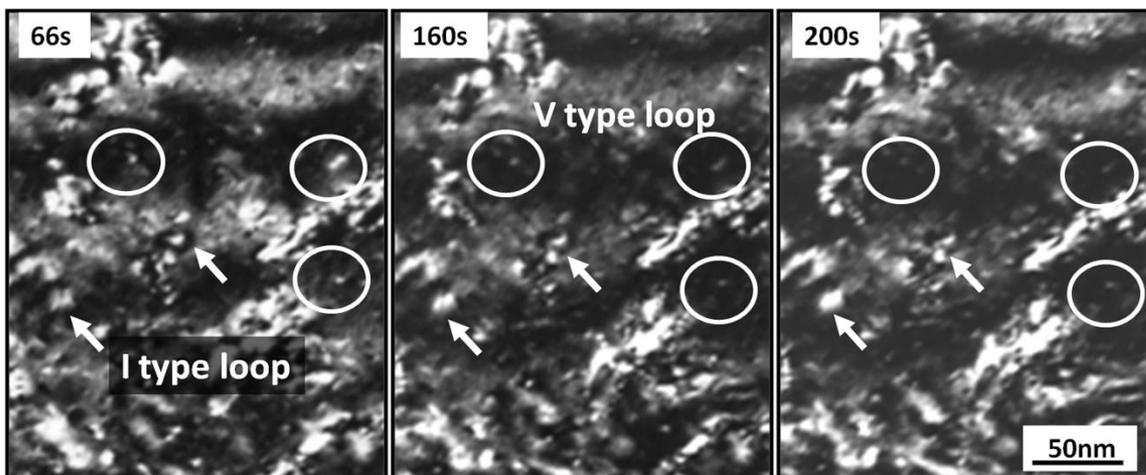
→ 文科省に申請

・関連内規の整備・作成

（RIセンター及び超高压電子顕微鏡室の運営委員会で主旨説明）

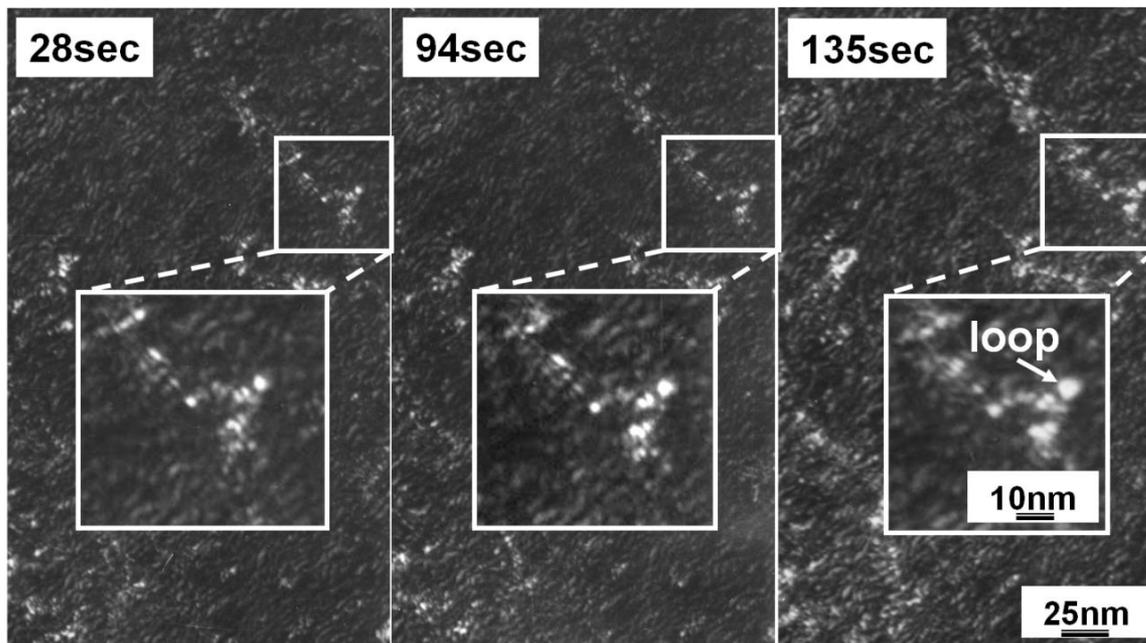
・総量1メガベクレルまで微細化後、HVEM内にて使用。

HVEMを利用した微小欠陥集合体の型判定



Fe-0.8Ni合金・290°C電子線照射により形成された欠陥集合体(格子間原子型と空孔型)の判定・室温での追照射により消滅或いは成長する。

→ 成長するもの(格子間型)
収縮・消滅するもの(空孔型)



HVEMでしか判定出来ない微小欠陥の応用例(圧力容器鋼)

イオン照射により圧力容器鋼中で形成された照射欠陥の型判定

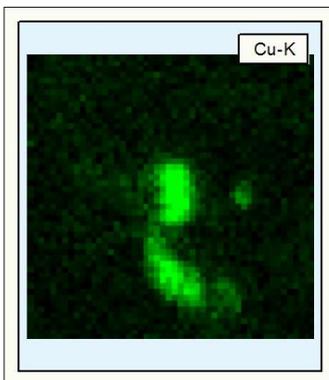
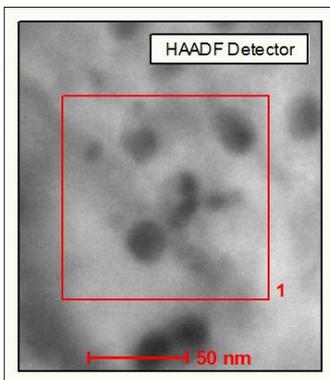
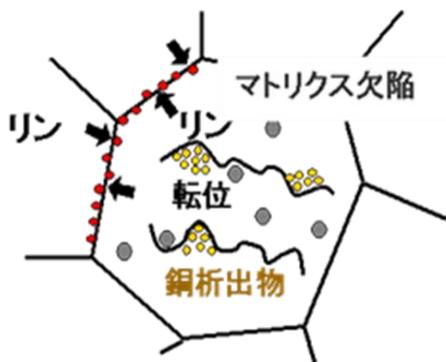
・中性子照射材(RI試料)では、管理区域内での電子顕微鏡の設置が著しく制限されている。

→ 今回の申請により初めて判定が可能となる。

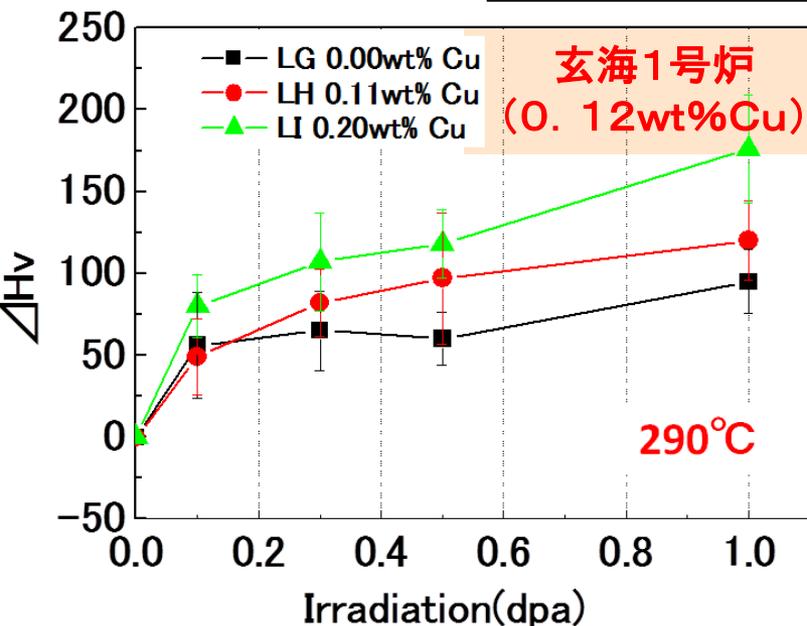
→ 照射欠陥研究に大きなインパクト

(Watanabe et al JNM 2011)

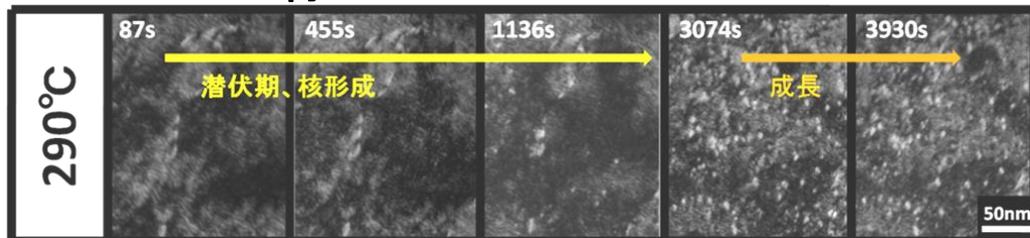
銅の不純物量と照射硬さとの関連 (UCSB)



照射脆化は、照射により銅析出物と照射欠陥集合体により起こる。
 ・焼鈍により形成された銅析出物のSTEM像(約10nm)
 → 照射による銅析出物(1-2nm) 整合性(高い)



0.20wt% Cu材



軽水炉相当温度(290°C)での硬さ変化とHVEM
 その場観察による転位ループ観察
 ・不純物として含まれる銅濃度に大きく依存
 高経年化時(運転開始後40年以降)

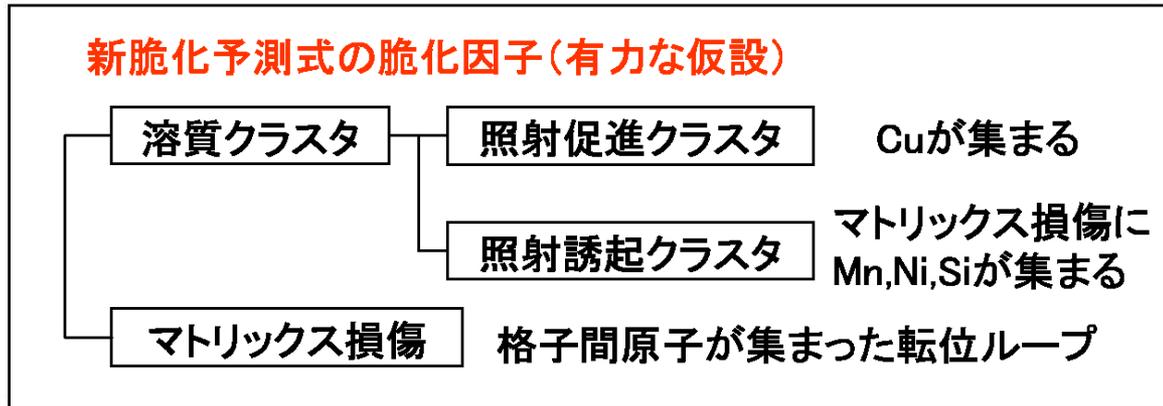
→ マトリック欠陥が大きく寄与(転位ループ等)

転位ループ数密度が緩やかに上昇 → 照射初期の硬度上昇は組織観察から説明不能

照射初期の硬度上昇は { 顕微鏡では確認できないCu析出物等の影響、微小欠陥集合体
 鉄鋼材料中で分析(マッピング)、3次元化の精度向上が必要

現象の詳細な理解のためには(まとめ)

■ 照射脆化機構の解明



脆化機構をもう一度
の見直しが必要

マトリクス欠陥の中
身は？

(平成23年2月22日資料10)

- ・ (おそらく、数年に亘り照射場・照射環境が限定) 国内での中性子照射研究が困難な状況下で、東北大学・金研・大洗施設を中心とした、大学のネットワークの重要性。
- ・ (軽水炉照射条件; 288°C、~0.1dpaの照射) 照射温度・照射温度・照射速度・材料の組成を広範に変えた基礎研究。
- ・ PTS事象時における材料の脆化から破壊に至る現象の理解