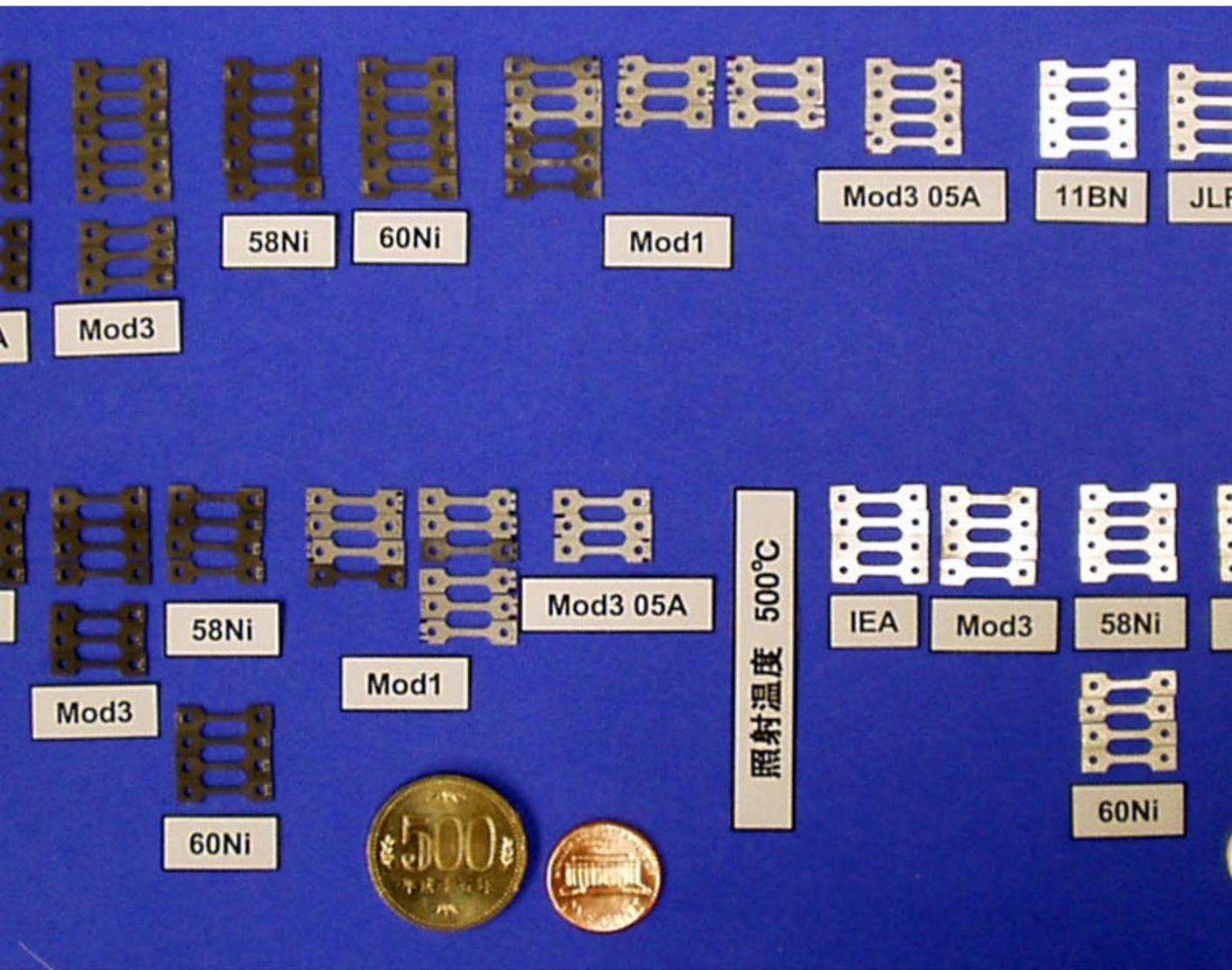


六ヶ所研だより



材料研究から見る

< 核 融 合 >
フュージョンエネルギー



エネギューン

ねえねえプラズマ博士、
核融合炉の材料ってなあに？



プラズマ博士

気になるかい、エネギューンちゃん。
核融合炉の材料というのは、F82H鋼を
はじめとしていくつかあるんじゃ

そうなんだ！
博士、もっと詳しく教えてよ～

それじゃあ、今回は
F82H鋼について紹介しよう

今回の話

六ヶ所研で研究中の核融合炉構造材料

・F82H鋼 ←コレ！

・SiC/SiCセラミックス複合材料

・タンガステン

・クロムジルコニウム銅合金

核融合炉と材料

核融合炉内はとても過酷な環境である。例えば、数億度のプラズマに最も近いパーツの一つであるブランケットは、主に磁場、水、熱、中性子の影響を受ける。

水

150気圧・300℃の高温高压水が秒速5mで循環している。配管の腐食(さび)の原因となる。

磁場

ITERや原型炉は磁石の力を利用してプラズマを制御する。冷却水中に溶けだした、放射化した材料は磁場の影響を受ける。

熱

サブモジュール表面は400℃にも達する。熱に弱い材料だと軟らかくなったり溶けたりしてしまう。

中性子

核融合プラズマから飛び出してくる中性子は高いエネルギーを持っている。材料特性変化や放射化(*)の原因となる。



熱に強くて
放射化しにくくて
腐食にも強くて
劣化しにくい

材料が
必要!

*放射化…強力な放射線(核融合炉だと主に中性子線)に晒されることで、材料自体が放射線を発するようになる。

低放射化フェライト鋼 F82H鋼

そのような材料の一つとして研究が進められているのがF82H鋼である。

材料の性質や核融合炉における適切な使い方を調べるための研究が行われており、六ヶ所研では作成した試験片を引っ張る試験や、中性子を照射した後の特性を調べる研究を行っている。

なお核融合炉は場所によってそれぞれ適した材料が異なるため、六ヶ所研ではF82H鋼を含めて4種類の材料が研究されている。

耐熱性

核融合炉で想定される300℃
～550℃の温度帯でも安定して
使用することができる。

信頼性

火力発電、原子力発電でも利用されているほか、核融合炉の材料として1990年代から世界中で研究が続けられており、豊富な知見が蓄積されている。

工業的な 安定性

日本の高度な製鋼技術により、安心して使うことができる。

F82H鋼 の強み

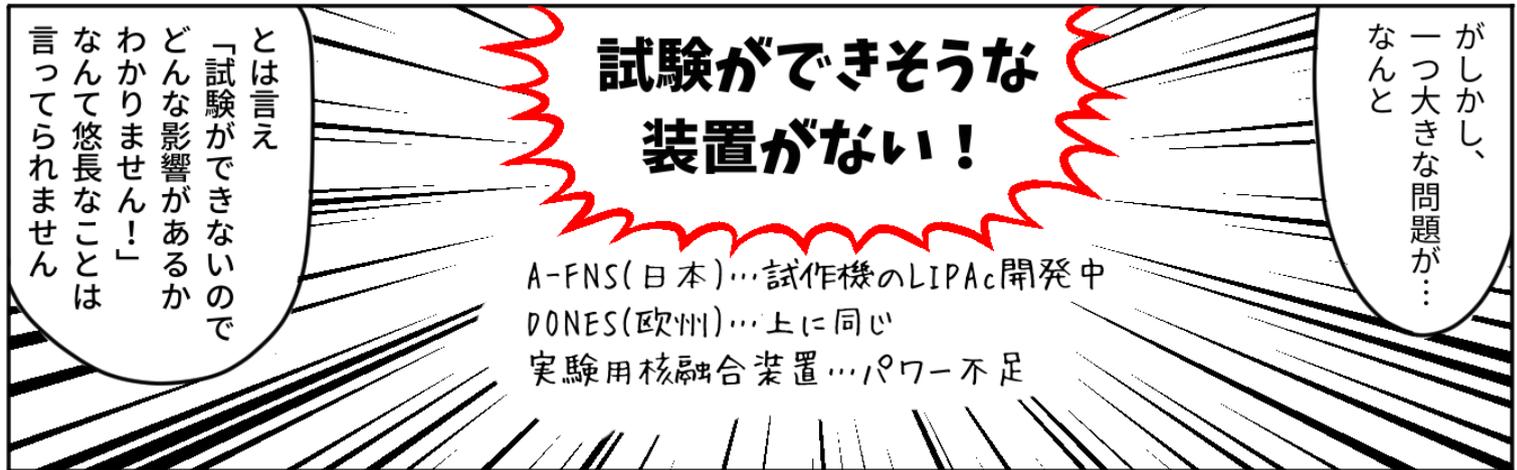
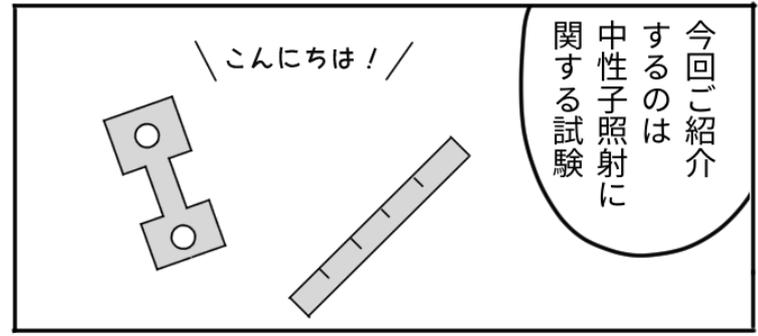
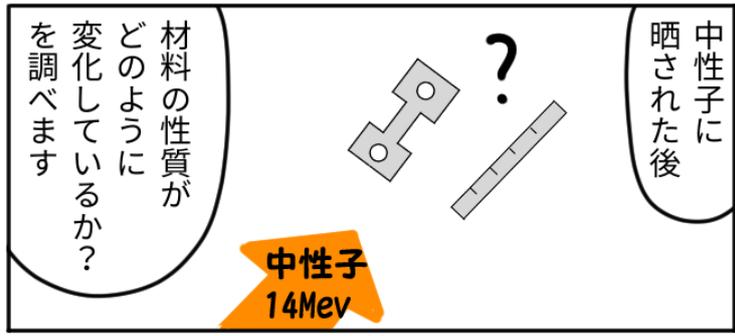
腐食との関係

腐食しにくい元素は放射化しやすいため他の元素に置き換えられている。しかしF82H鋼では、表面が早いうちに錆びに覆われることで、逆に内部が腐食しにくくなるのだ。

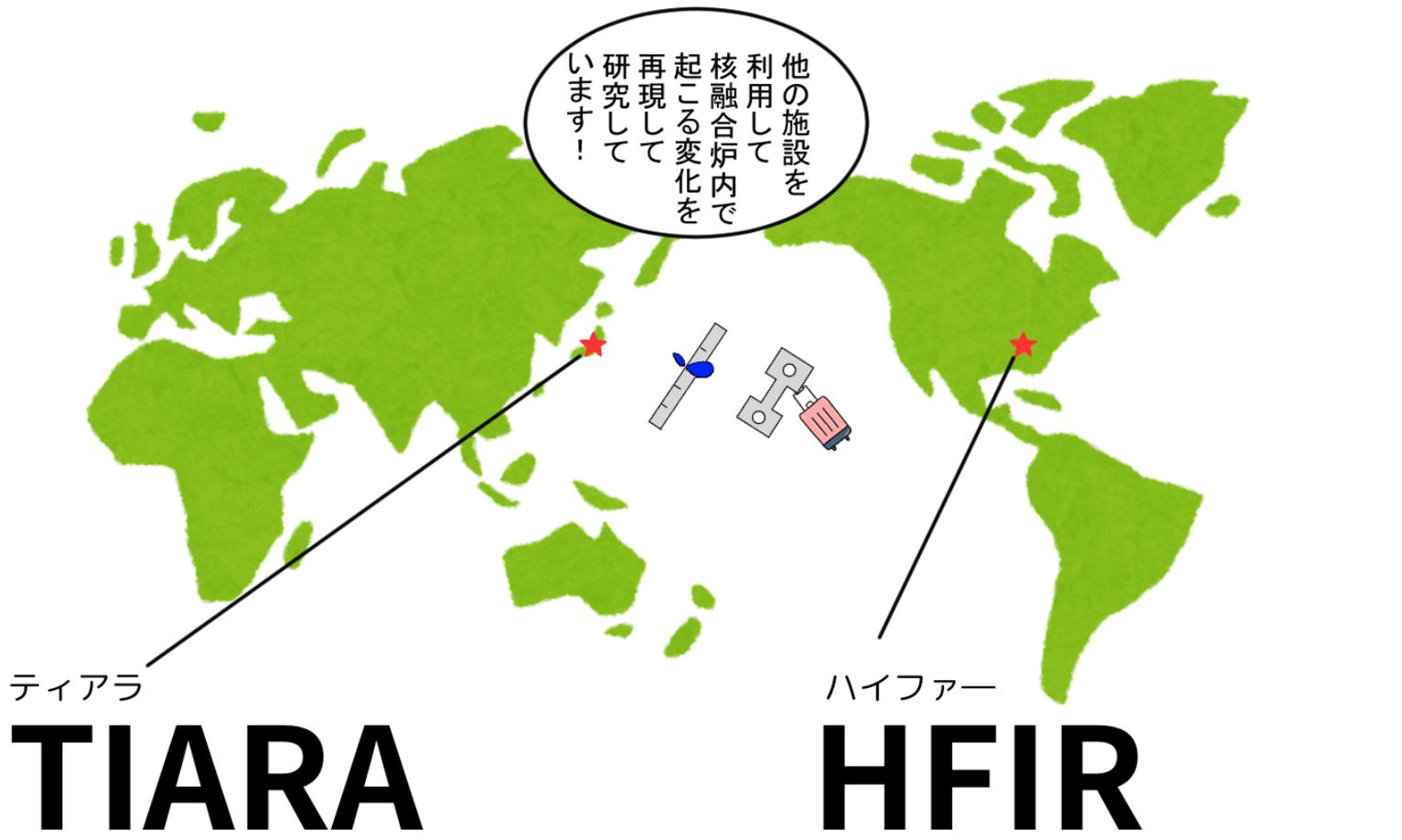
放射化耐性

F82H鋼はベースとなった材料からニオブ(Nb)をタンタル(Ta)に置き換えることによって、低放射化(放射化しにくい)を達成している。

F82H鈾、旅に出る



そこで!

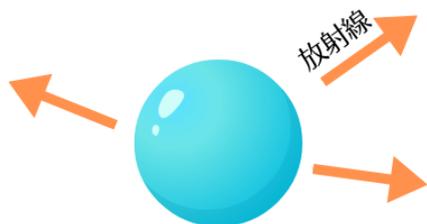


高崎研のイオン照射施設。色んな種類のビームを出すことができる。一番の特徴は3本のビームを同時に照射するトリプルターゲット!

米国オークリッジ国立研究所の研究用原子炉。照射できる中性子量は日本の原子炉の10倍もあり、実験用の設備もバッチリ!

核融合炉における中性子の影響

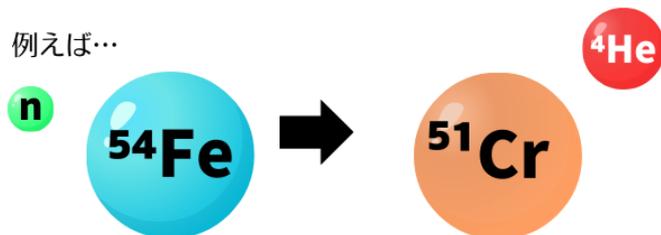
①放射化



材料自体が放射線を発するようになる

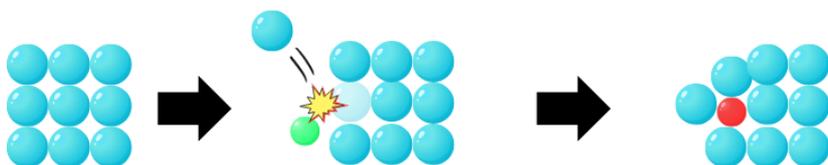
②核変換・ガスの発生

例えば…



原子核に中性子がぶつかることで、原子核が変化したり、ガスが発生したりする

③はじき出し損傷



中性子が衝突して
Fe原子がはじき出される

生じた隙間にHeなどの
ガスが入り込む

- Fe原子
- 中性子
- ガス(H₂、He)

核融合プラズマから飛び出す中性子が衝突することによって材料が受ける影響は主に3つ。中でも②や③が繰り返し発生すると、材料が脆くなったり、膨らんだり縮んだりといったサイズの変化が起こる。サイズが変わると部品が外れやすくなったり、パイプのようにサイズに高い精度が求められる部品に悪影響を及ぼすのだ。

試験の現状

材料からFe原子をはじき出すほど強力な中性子を発生させることと、隙間に他の原子を撃ち込むことの両方ができる装置は現状存在しない。それらの両立を可能とするのが核融合中性子源「A-FNS」だが、こちらは試作機のLIPAcが開発中という段階である。

そこで、核融合炉で起こる変化に近い状態を再現して試験を行いデータの取得を試みている。実験で不足する部分は、シミュレーションでカバーしている。これによって、実際の核融合炉でも「おそらくこうなるだろう」といった予測ができ、設計に役立てることができるのだ。

またこれらのデータは将来A-FNSでの試験を行う際、試験の結果が予想通りかを判断する際の手がかりにもなる。

HFIRにおける材料試験

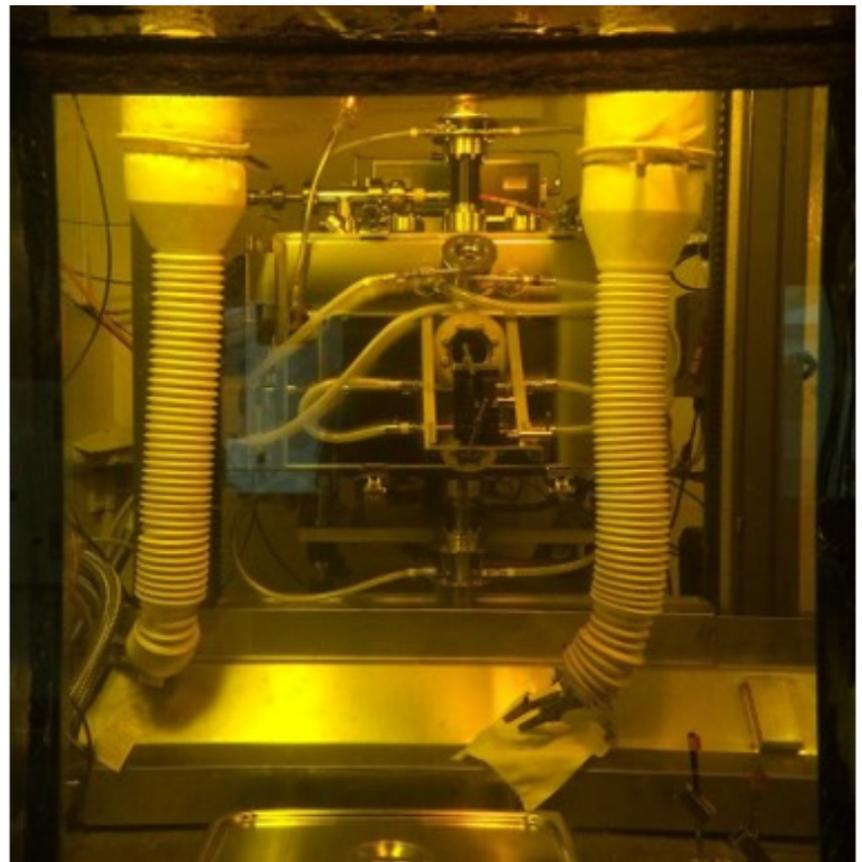
HFIRでは中性子との衝突で損傷した材料の性質の試験を行う。

照射する中性子は核融合炉で発生するものに比べてエネルギーが小さく、ヘリウムや水素といったガスがほとんど発生しない。そのため、核融合炉におけるはじき出し損傷による欠陥を再現するのは難しい。しかし照射できる量が多いため、実際の核融合炉内での数年分のダメージをほぼ同程度の年数で再現することができる。

放射化した試験片は持ち帰るのが難しいため、データを取るところまでHFIRで行い、六ヶ所研では持ち帰ったデータの解析を行う。



照射後の試験片。硬さを測ると計画通りの照射が行われたかどうかがわかる。問題がなければ試験を行う。試験の種類によって試験片の形状が異なる。



HFIRのホットラボの様子。

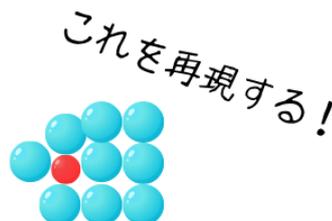
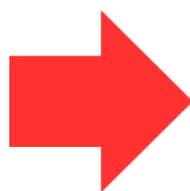
この中で引張試験や破壊試験を行ってデータを取る。照射に1~2年、その後の冷却に1年と、試験ができるようになるまで数年かかる。



引張試験を行った試験片。

TIARAにおける試験

TIARAでは材料中のFe原子をはじき出し、生じた隙間にHやHeを撃ち込むことによって、核融合炉におけるはじき出し損傷による欠陥を再現する。はじき出しには、中性子の代わりにFeのイオンが使われる。これは、はじき出しに使った原子が材料中に紛れ込んだとしても同じFeなので、影響を最小限に抑えることができるからだ。



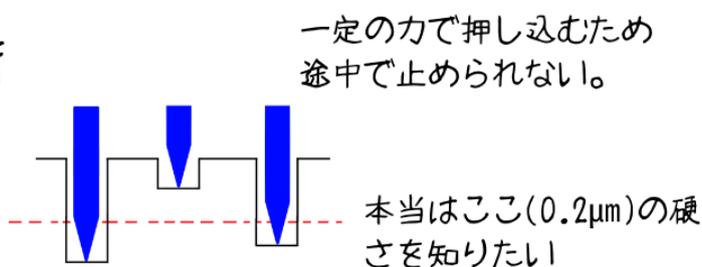
これを再現する!

Fe、H₂およびHeのイオンを同時に照射する。
特殊な設備が必要で、企業や大学では難しい試験だ。

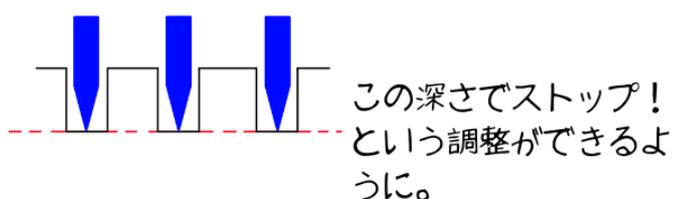
照射後

イオンビームでは放射化しないので、その後の試験や解析は六ヶ所研に持ち帰って行われる。イオンビームによるはじき出し損傷の欠陥が再現できるのは表層のみであるため、表層を削り出して試験片を製作する。以前は観察がメインだったが、照射後の表層の硬さを測ることができるようになったため、その性質を調べることもできるようになった。

昔



今



集束イオンビーム加工装置

照射が行われたF82H鋼から試験片を製作する装置。作られる試験片は非常に小さく、この後の試験を行う際に使用する針は髪の毛より細い。

おまけ
名前の由来

F82H

鉄(Fe)のF

HEAT(溶解)

タングステン(W 2%)

クロム(Cr 8%)

その他、バナジウム(V 0.2%)や
タンタル(Ta 0.08%)などを含む

今年は雪が多いですね。六ヶ所研だより第9号をお届けしました。
F82H鋼は様々な組織で研究が行われています。六ヶ所研では、主に
大学や企業では実施が難しい(特殊な設備が必要とか費用の問題とか
とてつもなく時間がかかるとか)試験を行っています。
取材にご協力いただいた核融合炉構造材料開発グループは、余力が
あれば新材料の開発もしたい!という熱意にあふれたグループです。
今回はF82H鋼、特に照射に関する試験に焦点を当ててみましたが、
記事の内容はほんの入口に過ぎません。材料研究はとても奥が深い世
界です。興味が湧いてきた方は施設公開や見学の際にいろいろ質問し
てみてはいかがでしょうか?難しい話も多いですが、長年に渡って続
けられている研究のスケールの大きさを体感してみるだけでも面白い
ですよ。

