

中性子で構造材料の 強度と変形のしくみを調べる

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
J-PARCセンター

物質・生命科学ディビジョン 中性子利用セクション
川崎卓郎

みのまわりの構造材料



構造材料

- 力に耐え、ものの形を保つために用いられる材料。
- インフラ、車両、機器など、あらゆるところで暮らしを支える。

東京タワー
(1953年)



鉄鋼強度
約2倍

スカイツリー (2012年)



自動車の重量の
約7割は鉄鋼



軽量化で燃費向上

電子機器の強度を
担うアルミ合金



構造材料の性能向上は、より大きな建造物、
より安全で低燃費な車両、より軽量な機器などの
実現に重要な役割を果たす。

2

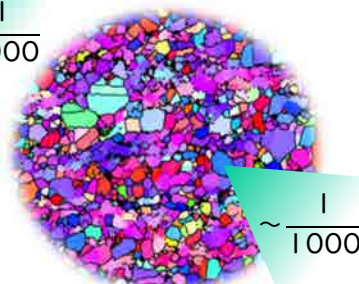


車両、機械など
~cm



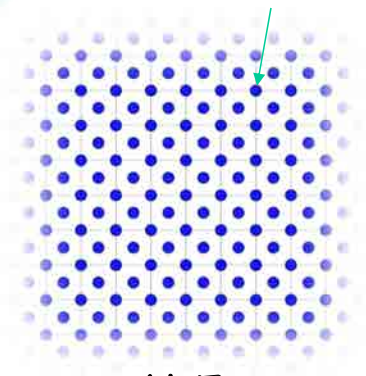
部品・材料
~mm

私たちが使う機器は部品で構成され、
部品は材料で作られている。



結晶粒
~μm

原子



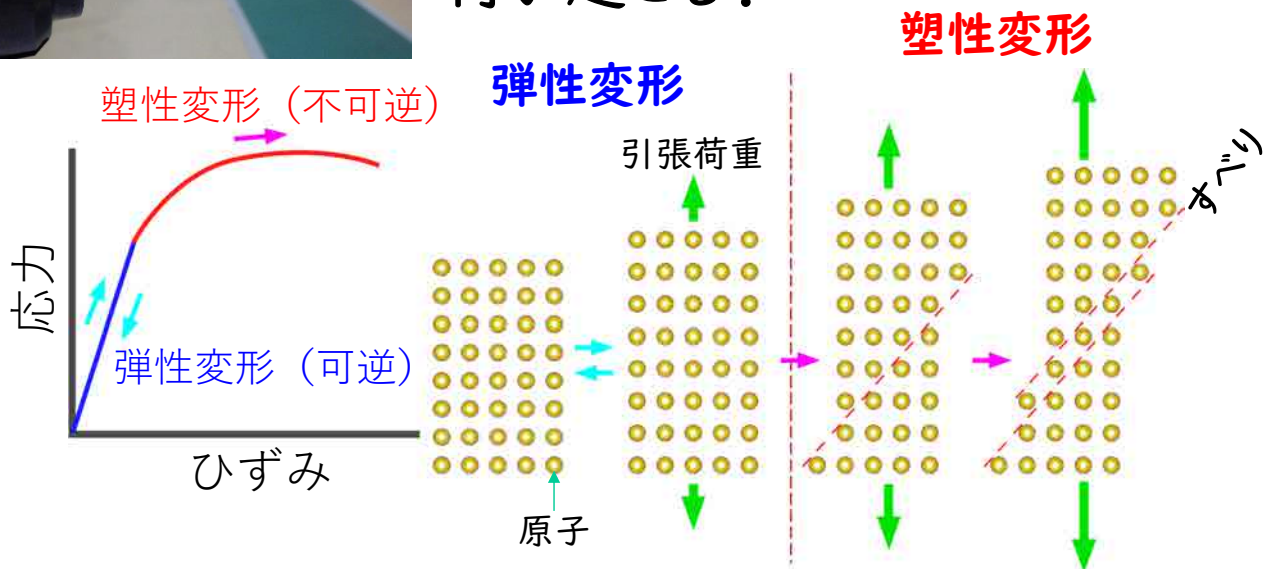
結晶
~nm

- 材料は結晶粒と呼ばれる小さな粒が集まって形づくられている。
- 結晶粒の中では膨大な数の原子が規則正しく並んでいる。

3



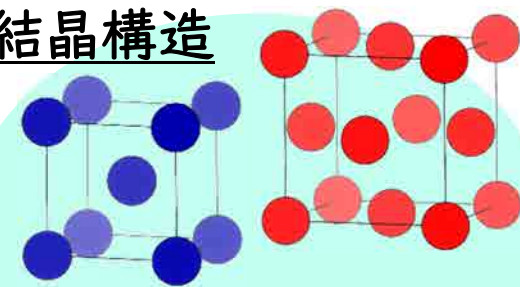
金属材料に力が加えられると、
何が起こる？



材料内部のミクロな構造の変化によって、
変形というマクロな特性が現れる。

4

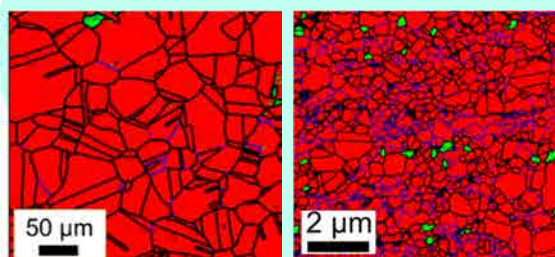
結晶構造



どのような原子が、
どのように並んでいるか？

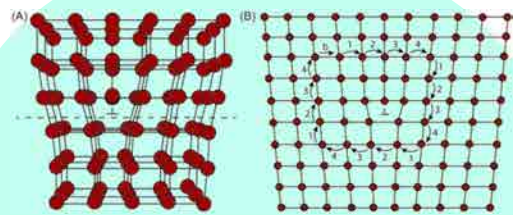
結晶粒の大きさ・方位

材料を構成する結晶粒の、
大きさや形、向きはどうか？



結晶欠陥

Aloke Paul, Handbook of Solid State
Diffusion, Vol. 1, 2017



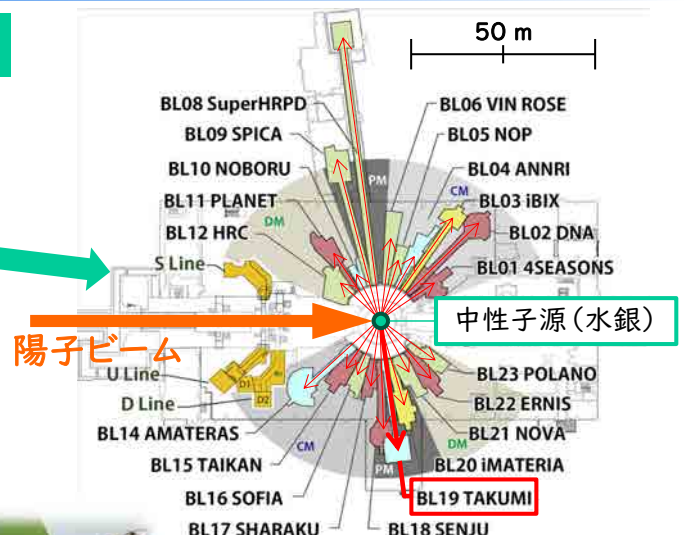
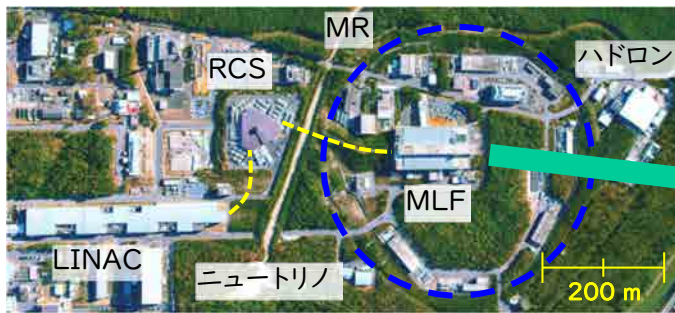
原子の並びに、どのような乱れが
どれほどあるか？

加えられた力に対して、
これらがどう変化するか？

➡原子レベルで構造を
調べる手段が必要。

5

大強度陽子加速器施設J-PARC



陽子ビーム

中性子源 (水銀)

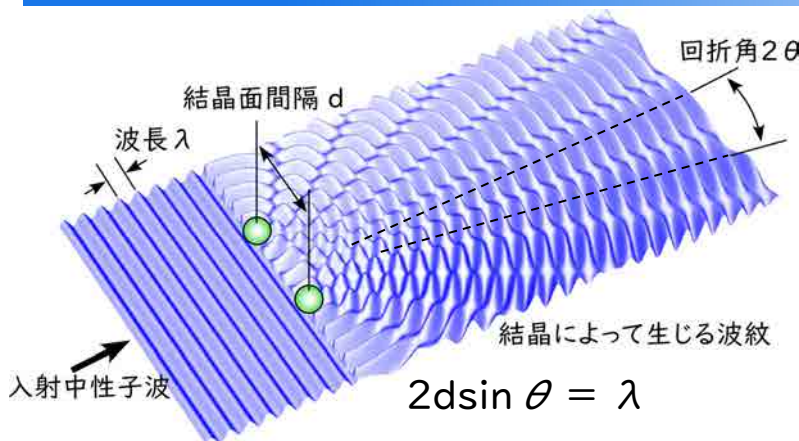


物質・生命科学実験施設
(MLF)

「匠」：
工学材料研究のための
中性子回折装置

6

中性子回折法

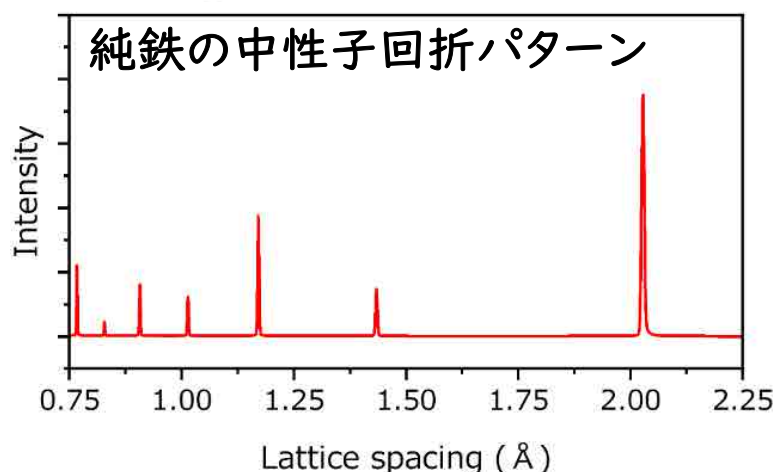


中性子は**波の性質**を持つ。

物質(結晶)中では原子が
規則正しく並んでいる。

結晶に中性子を照射すると、
波紋(=回折パターン)を
生じる。

回折パターンを調べることで、
物質の構造を原子レベルで
知ることができる。

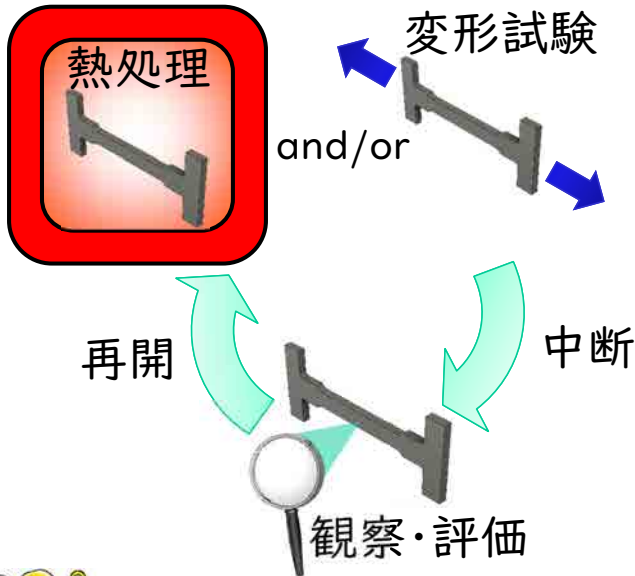


7



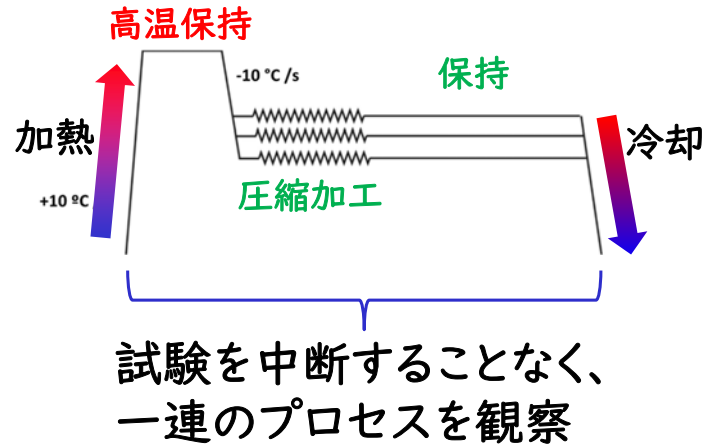
変形試験や熱処理を組み合わせた、
一連のプロセスでの材料の変化を調べたい。

通常の方法観察



試験を中断した材料は
同じ状態を保っているか？

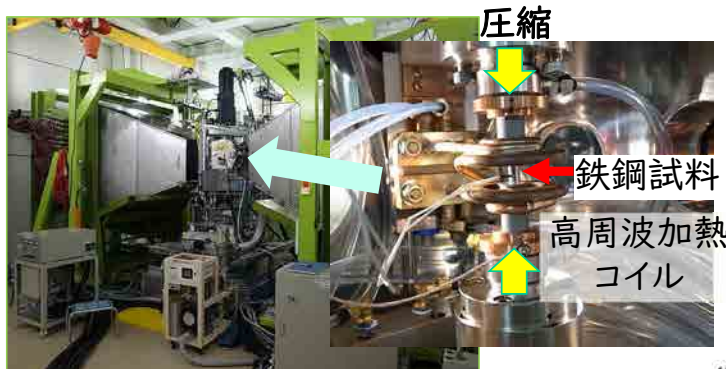
中性子「その場」材料観察



より「リアル」な材料の挙動

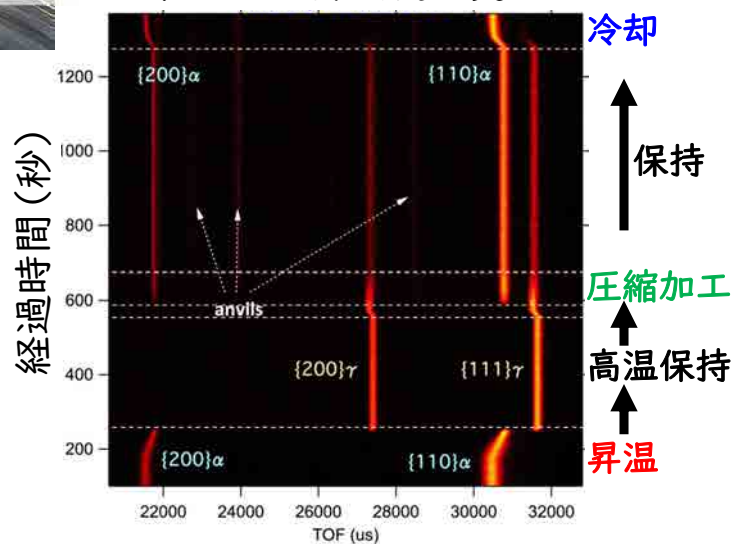
実験装置上に鉄鋼の加工プロセスを再現

京大 辻グループ
との共同研究



プロセスの進行にともなう結晶
構造の変化を「その場」観察

中性子回折強度の変化



高温での圧縮加工の様子

水素社会の実現



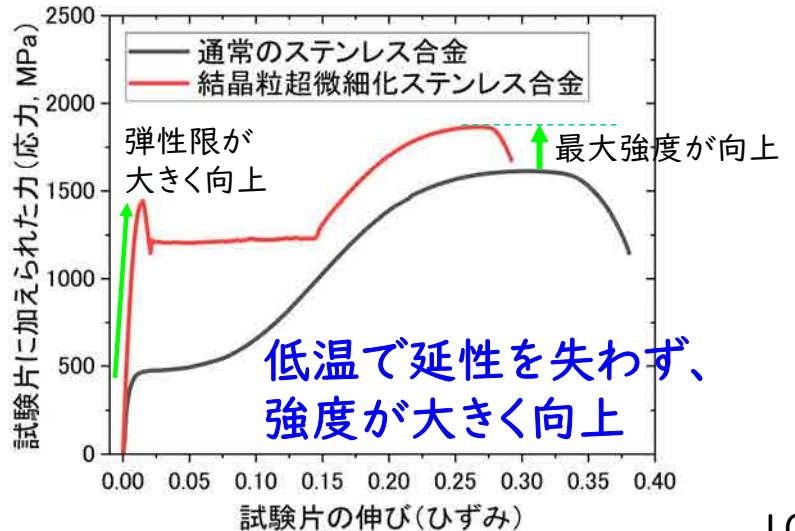
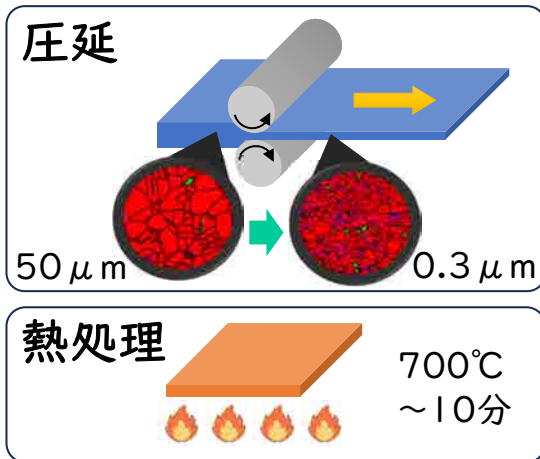
液体水素（約 -250°C ）を安全に扱うために、
低温で優れた特性を持つ材料が必要

狙い：材料組織を制御して既存材料の低温強度を高める。



圧延と熱処理によって、ステンレス合金の結晶粒を超微細化

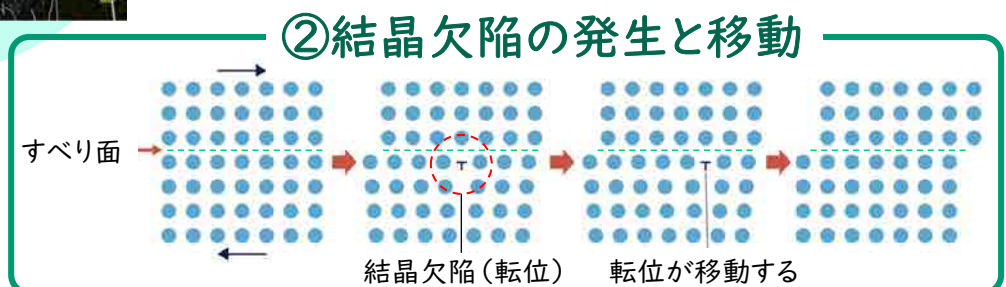
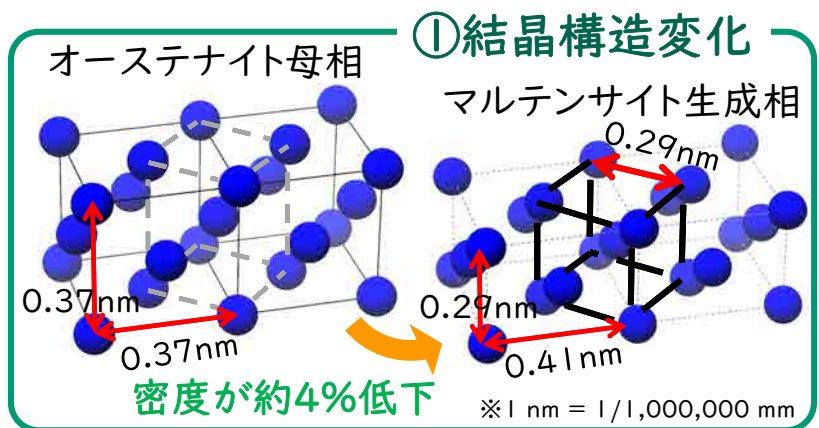
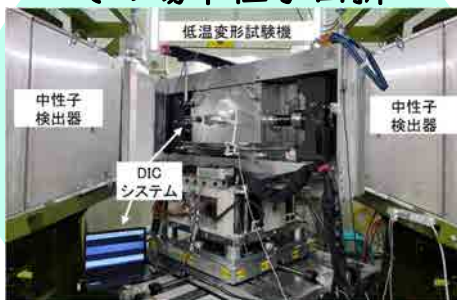
約 -200°C での材料に加えられた力と変形量の関係



10

中性子でメカニズムを解明

低温変形試験中
その場中性子回折



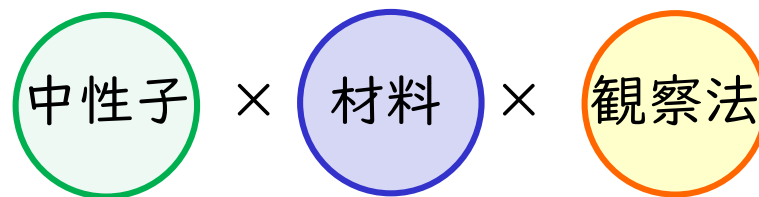
2つの変形機構が段階的に発生することで低温でも延性を維持



液化ガスの貯蔵や輸送設備、超伝導機器などの
低温設備への応用が期待される。

11

- 構造材料のミクロな変化を中性子で観察し、マクロな特性が出現するメカニズムを解明



新しい材料

- 先進鉄鋼材料
- 軽金属合金
- 形状記憶合金
- 機能性合金
- 高エントロピー合金

新しい製造法

- 積層造形
- 先進接合法
- 電気炉製鋼

新しい使用環境

- 水素環境
- 極低温環境
- 超高温環境

→ 社会を豊かにする材料の研究・開発に貢献