

非拡散性水素吸蔵条件下の高強度鋼の疲労

中谷 正憲

大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
博士後期課程3年
日本学術振興会特別研究員

研究背景

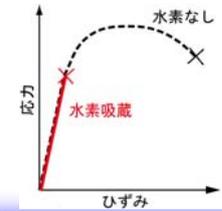
■ 高強度鋼の利用
➡ 軽量化, 長寿命化

■ 水素社会への移行
燃料電池や水素エンジン



水素の侵入による強度・延性の低下
⇒ **水素ぜい化**

↓
水素ぜい化機構の解明
耐水素ぜい化材料の開発



水素の存在状態

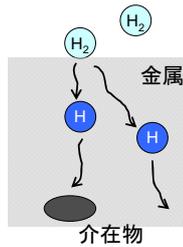
外部環境から水素が侵入

↓
高圧水素雰囲気
雨や大気中の水分による腐食
メッキ, 酸洗い
溶接

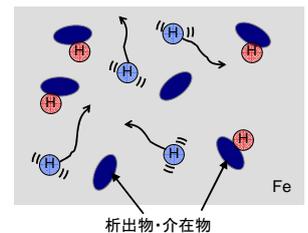
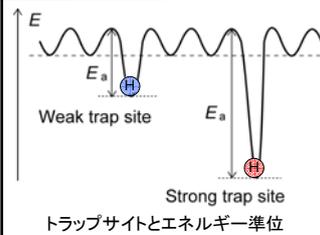
↓
金属格子内を拡散

↓
格子欠陥に捕捉(トラップ)

原子空孔, 転位, 析出物, 介在物など



拡散性水素と非拡散性水素



室温環境下において

再び拡散可能 ➡ **拡散性水素**

拡散不可 ➡ **非拡散性水素**

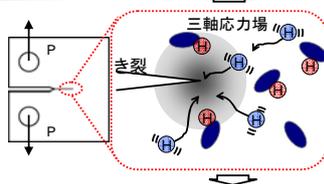
水素ぜい化と水素吸蔵状態

三軸応力場に水素が集積
水素吸蔵量に依存

↓
拡散性水素が主要因子

静的荷重下では
非拡散性水素は拡散しない

↓
水素ぜい化に寄与しない



水素ぜい化対策

- 環境側
 - 腐食表面反応制御
- 材料側
 - 炭化物・粒界偏析の低減
 - **非拡散性水素トラップサイト生成**

研究目的

耐水素ぜい化材料の創製指針

非拡散性水素トラップサイト ➡ 水素の拡散防止

長期間の使用により

非拡散性水素の吸蔵量は**増加・飽和**

実際の機械構造物は**繰返し荷重下**で使用

疲労損傷の蓄積による微視組織構造の変化

非拡散性水素が疲労強度特性に及ぼす影響の解明

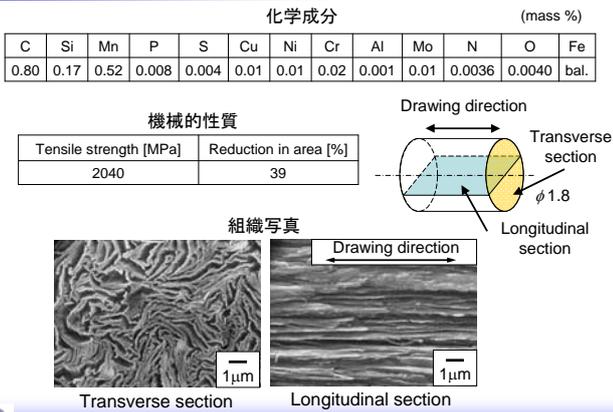
破壊過程, 材料因子との関連について検討

疲労強度特性に及ぼす非拡散性水素の影響

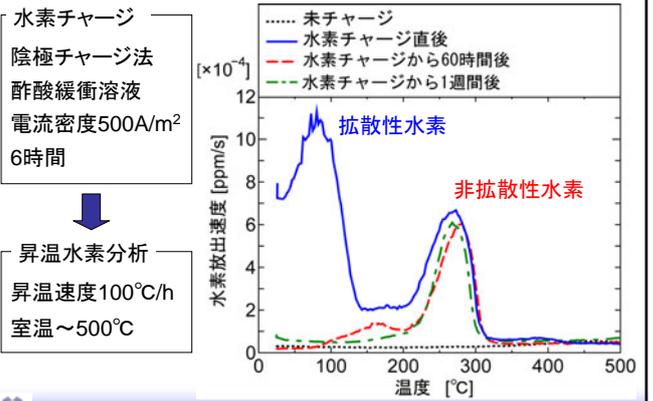
疲労強度特性に及ぼす非拡散性水素の影響

材料内の水素は格子欠陥に存在
 低合金鋼, ステンレス鋼 → 微視組織が複雑
 ↳ トラップサイトは多種
 非拡散性水素の分離・抽出が困難
 伸線強加工高強度鋼
 非拡散性水素トラップサイトは1種類
 ↓
 高強度鋼の疲労強度特性に及ぼす水素吸蔵状態の影響を検討

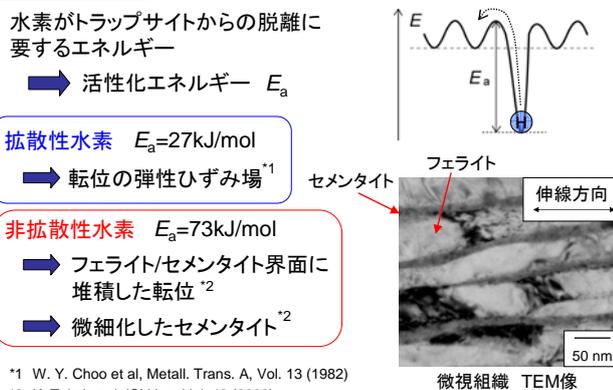
伸線強加工高強度鋼



水素吸蔵特性

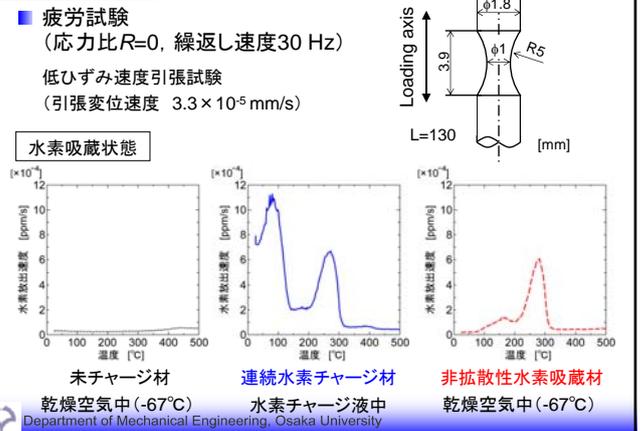


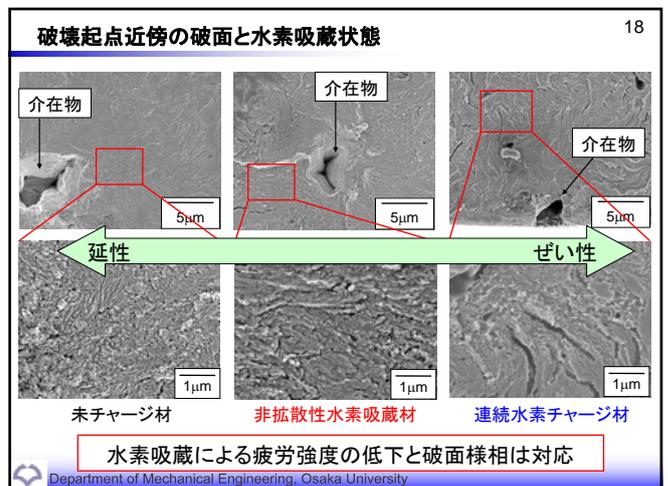
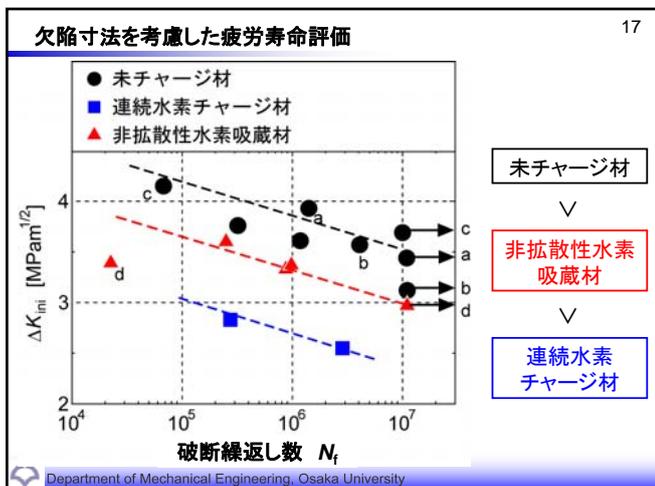
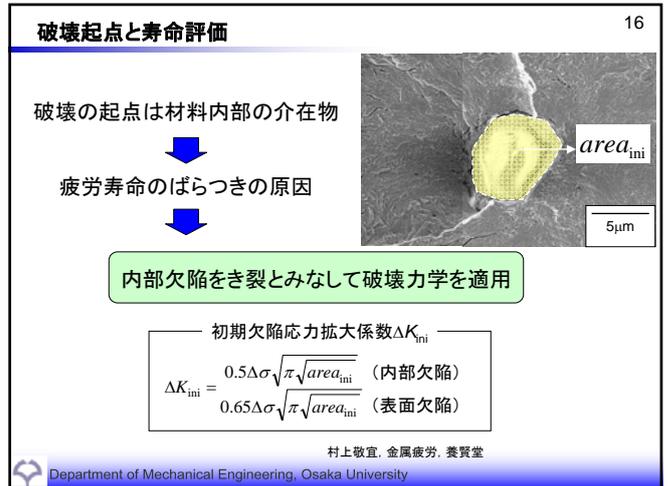
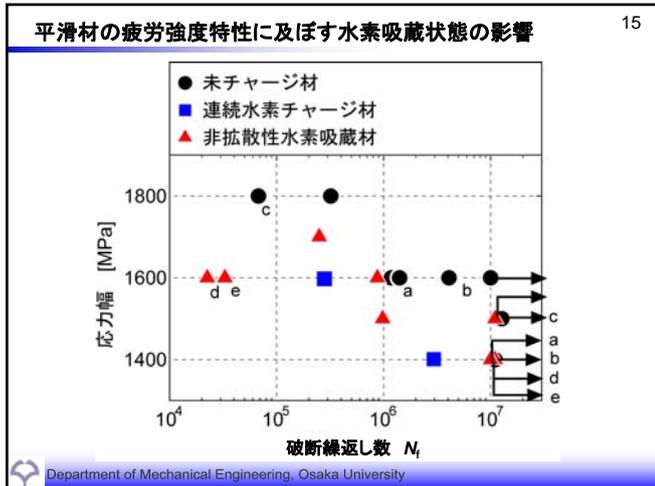
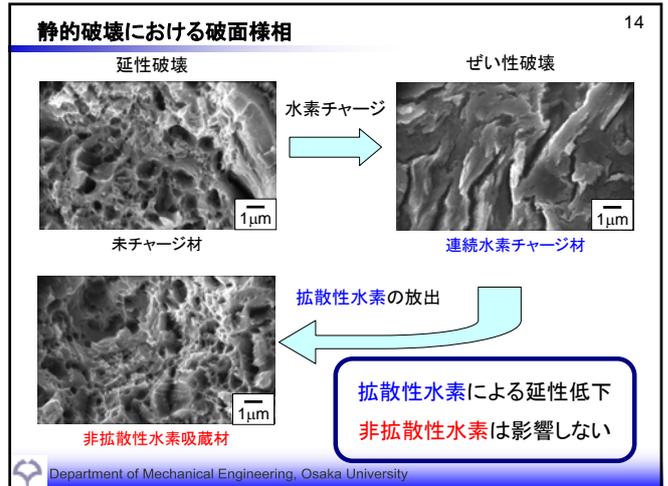
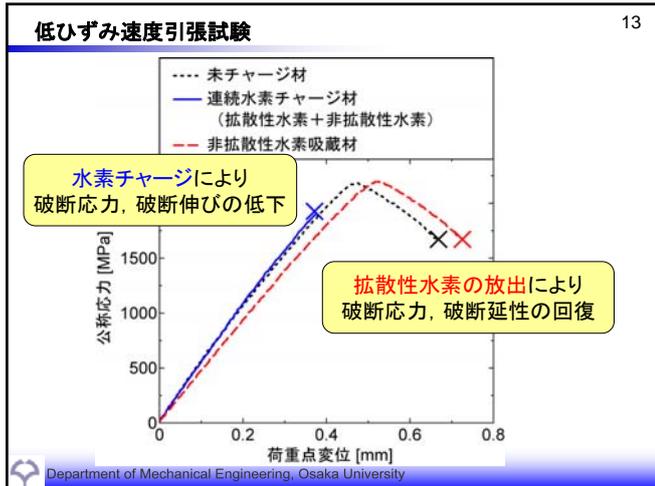
活性化エネルギーとトラップサイト



*1 W. Y. Choo et al, Metall. Trans. A, Vol. 13 (1982)
 *2 K. Takai et al, ISIJ int., Vol. 43 (2003)

実験方法





疲労き裂発生寿命に及ぼす非拡散性水素の影響

非拡散性水素と疲労き裂発生・進展

非拡散性水素の吸蔵により**疲労寿命**は低下

疲労き裂発生 + 疲労き裂進展

応力支配

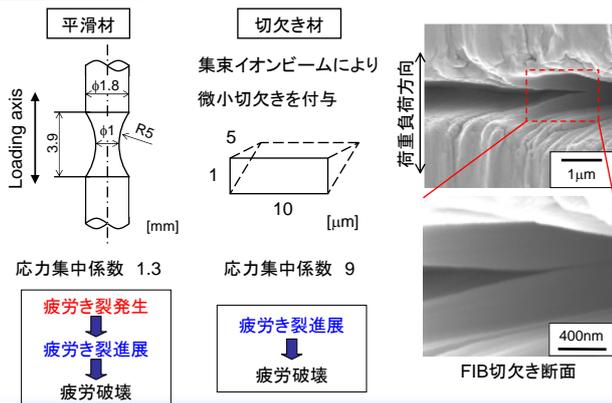
破壊力学支配

疲労破壊過程を分離した上で
非拡散性水素が疲労強度特性に及ぼす影響を検討

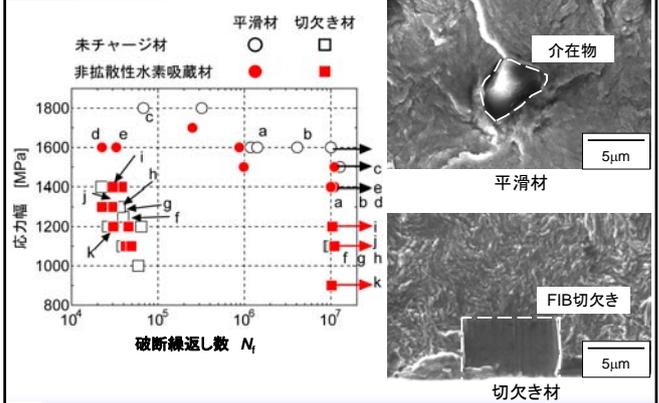
平滑材と切欠き材の疲労強度特性

平滑材の疲労き裂発生寿命を推定・評価

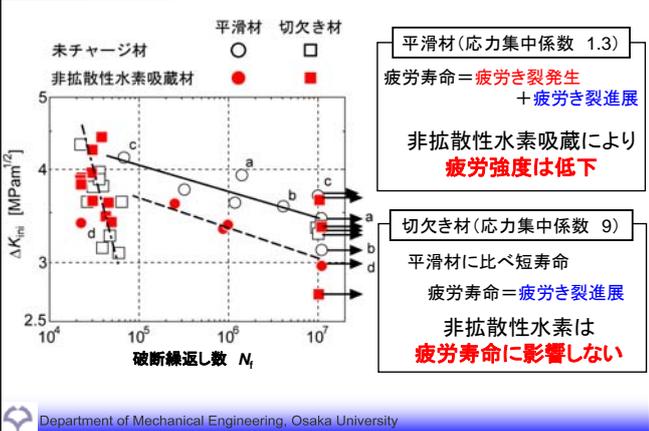
切欠き試験片



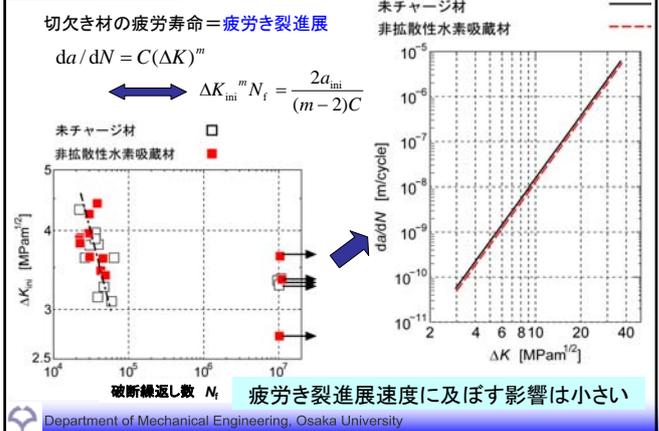
切欠き材の疲労強度特性に及ぼす非拡散性水素の影響

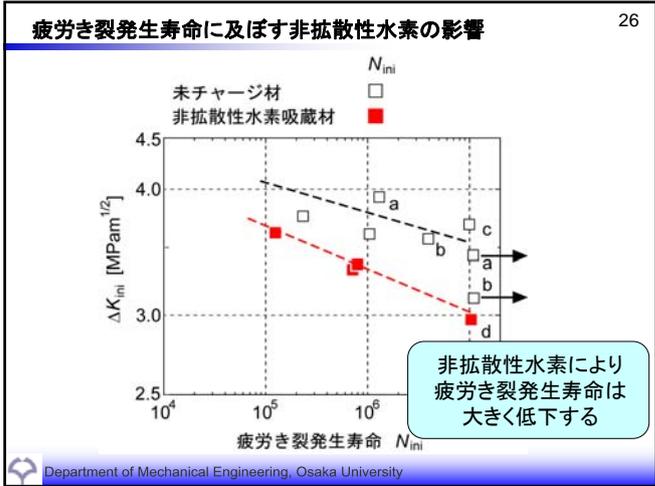
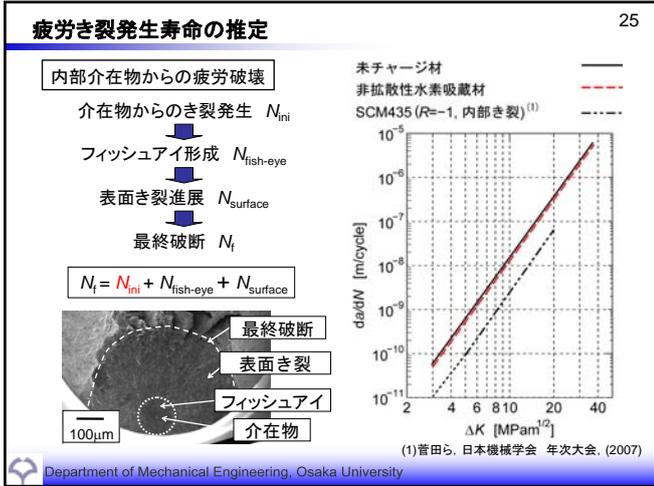


欠陥寸法を考慮した疲労寿命評価



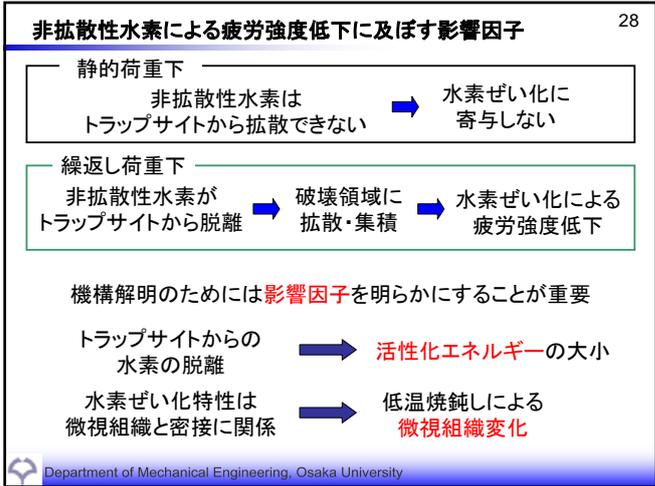
切欠き材のき裂進展速度





非拡散性水素による疲労強度低下に及ぼす影響因子

Department of Mechanical Engineering, Osaka University



供試材

伸線強加工高強度鋼

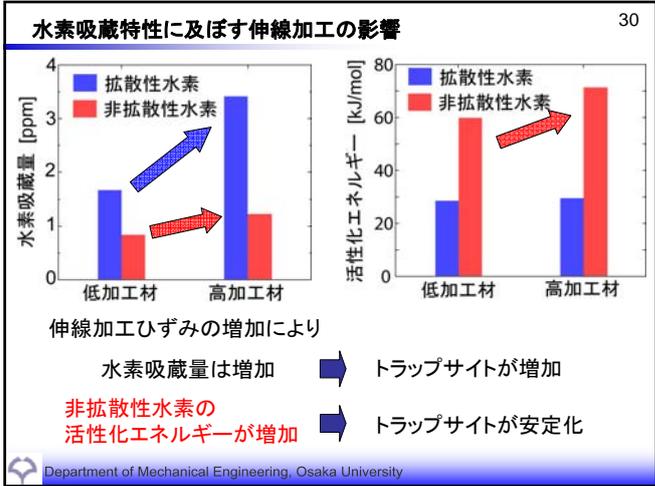
化学成分 (mass %)											
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	N	O	Fe
0.96	0.19	0.69	0.017	0.060	0.21	0.07	0.2	0.011	0.012	0.0013	Bal.

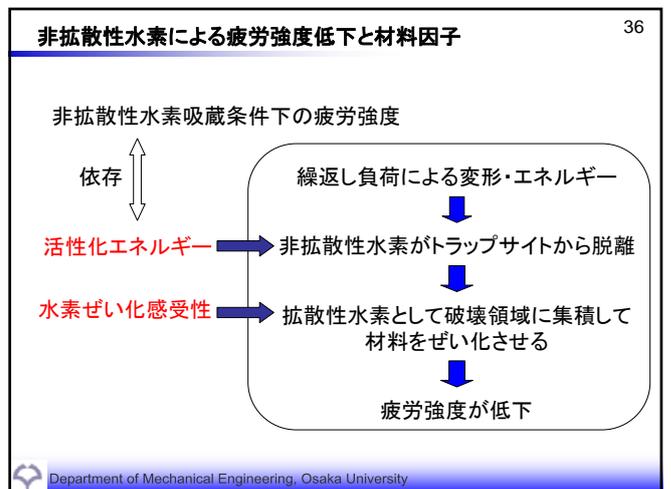
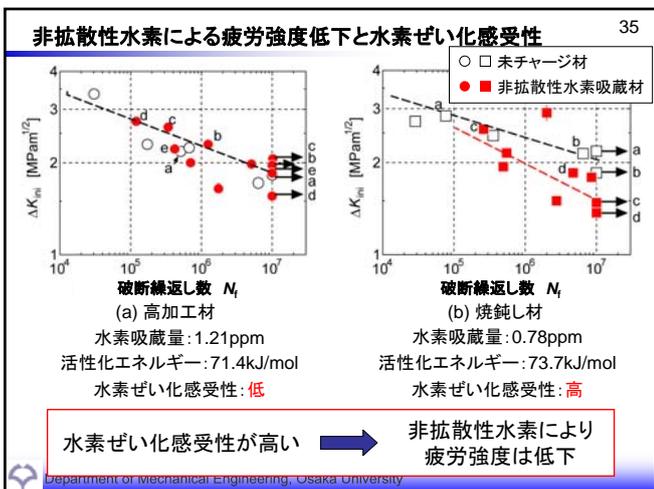
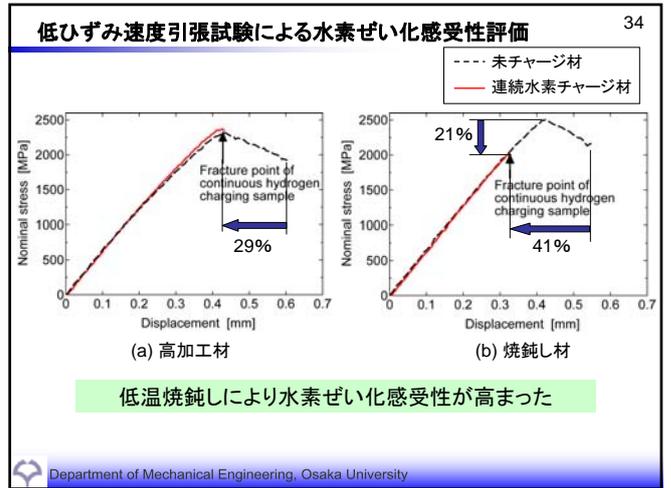
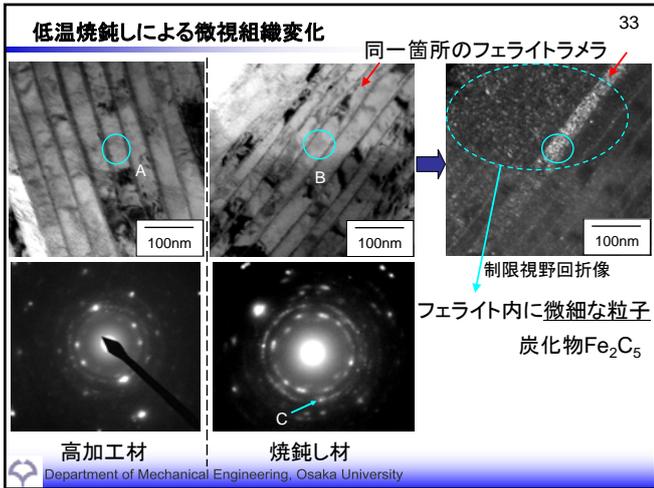
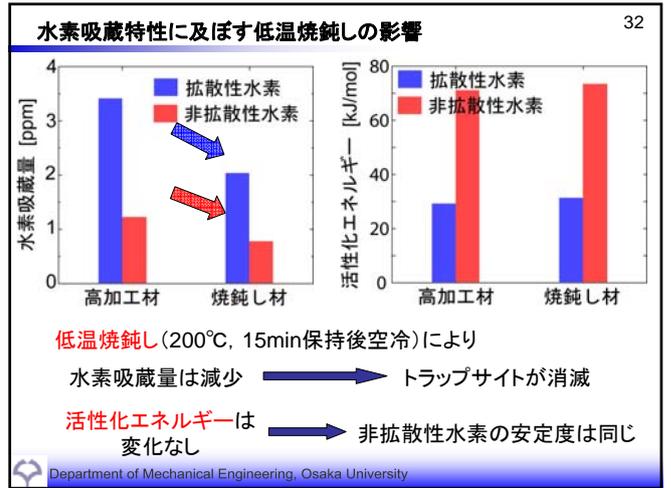
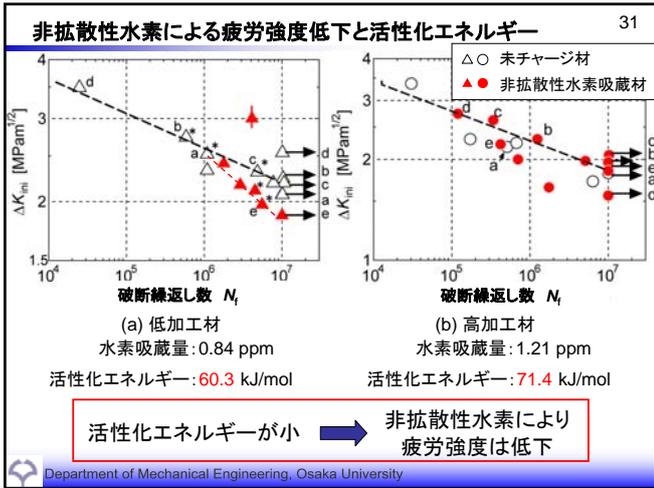
機械的性質			
	Tensile strength [MPa]	Reduction of area [%]	HV
Slightly drawn sample	1894	20	423
Heavily drawn sample	2310	42	546

伸線加工ひずみの異なる同一組成の線材

(a)母材 (φ = 5.5mm) (b)低加工材 (φ = 3.3mm) (c)高加工材 (φ = 1.7mm)

Department of Mechanical Engineering, Osaka University





結論 および 耐水素ぜい化材料の創製指針

結論

非拡散性水素により疲労強度特性は低下

破壊過程への寄与

疲労き裂発生 > 疲労き裂進展

影響因子

活性化エネルギー

水素ぜい化感受性
(微視組織)

メカニズム

繰返し負荷による
変形・エネルギー → 非拡散性水素が
トラップサイトから脱離 → 拡散性水素として
ぜい化に寄与

耐水素ぜい化材料の創製指針

非拡散性水素のトラップサイトの生成

➡ 拡散性水素のき裂先端への拡散防止

繰返し荷重により非拡散性水素は
トラップサイトから脱離し、疲労強度が低下

新たな耐水素ぜい化材料の創製指針

1. 活性化エネルギーを大きくする
2. 水素ぜい化感受性を低くする