

「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化 基盤研究開発プロジェクト」

プロジェクトの詳細説明 (公開)

【溶接技術SG(委託)】

- ①-5) 溶接部水素侵入による低温割れ機構の研究
(財)金属系材料研究開発センター, (独)物質・材料研究機構, (独)日本原子力研究開発機構,
大阪大学, 上智大学)

平成21年7月3日(金)

内容

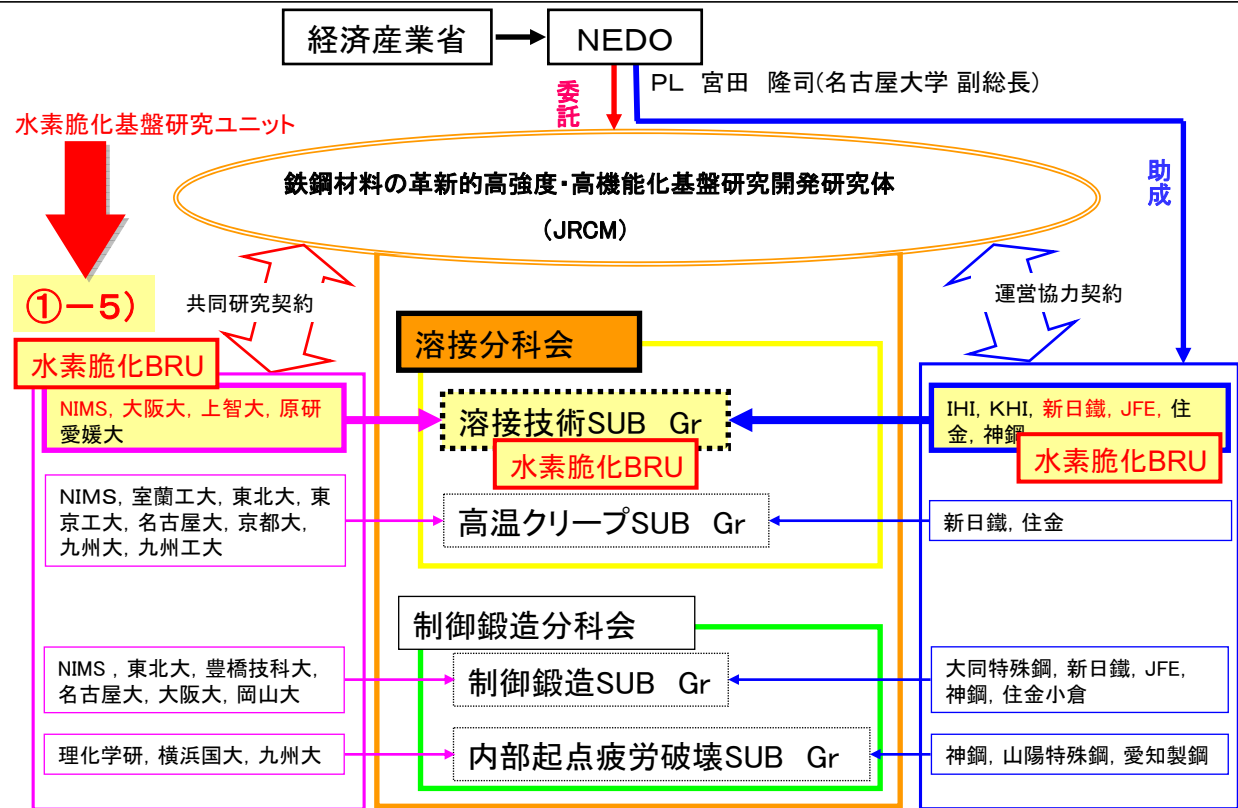
公開

1. 背景
2. 研究開発の実施体制
3. 開発目標と達成状況
4. 検討内容
 - (1) 水素の存在状態と拡散移動
 - (2) 水素による破壊現象
5. まとめと最終目標に向けた今後の取組み

研究開発項目①「高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発」
全体の最終目標「予熱なしで980MPa以上的高级鋼(現状400MPa)
の溶接を可能とする溶接技術と材料技術の基盤を確立する」

2. 研究開発の実施体制

公開



3. 開発目標と達成状況

公開

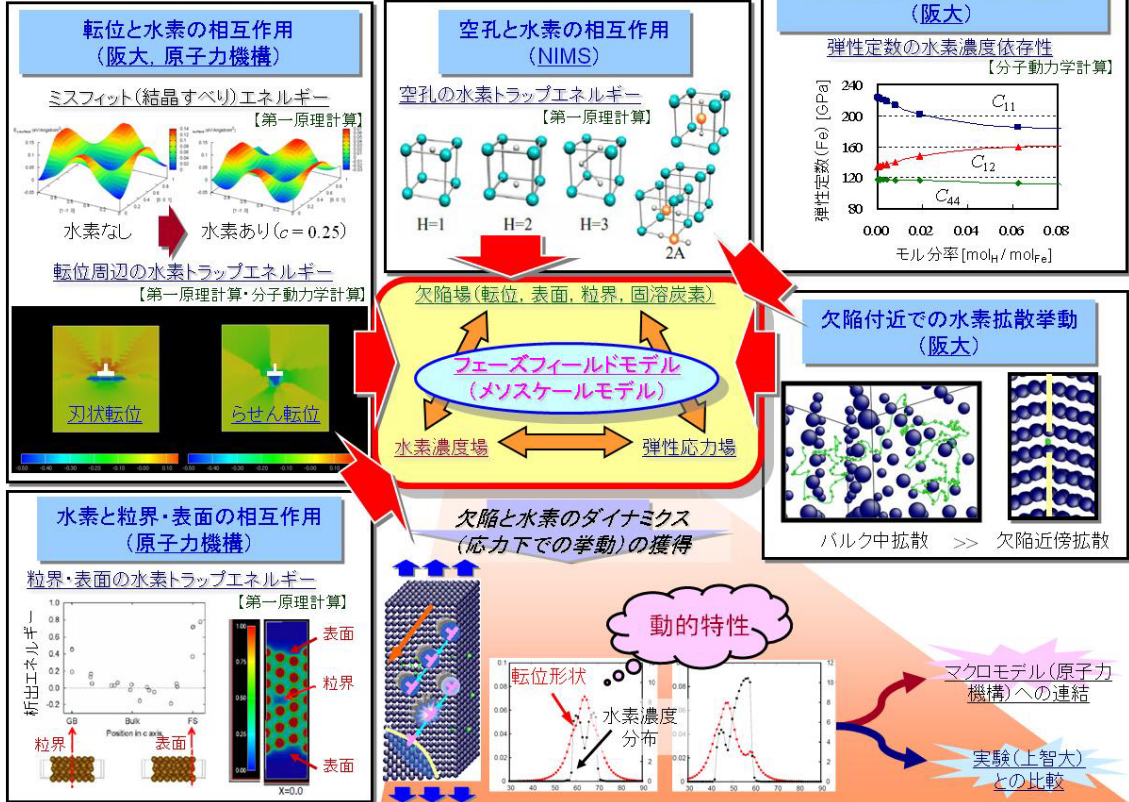
論文: 2件

研究開発項目	中間目標	最終目標	主な成果	達成状況	最終目標に向けた今後の取組み
①-5) 溶接部水素侵入による低温割れ機構の研究	<p>1) 単一の格子欠陥(空孔、転位、粒界等)を含む単純化された金属組織における格子欠陥と水素の相互作用エネルギーの定量化 【水素の存在状態と拡散移動】</p> <p>2) メゾスケール(結晶粒数個~数十個レベル)での応力状態における水素の挙動解析技術の基盤構築【水素による破壊現象】</p>	<p>複数の格子欠陥が重畳する複雑金属組織での各種格子欠陥における水素存在状態の定量化。メゾスケールでの水素の影響による亀裂の進展モデル構築。</p> <p>単純化した金属組織を持つ1000MPa高強度鋼での局所応力-局所水素量に基づく破断限界の取得。</p>	<p>1)</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄中の空孔、転位、粒界、表面と水素の相互作用エネルギー(Eb)を第一原理計算と分子動力学法により定量的に決定。(世界初の成果、空孔>転位芯>粒界を明示) 各種格子欠陥のEbを実験的に求める基盤構築を達成。(世界唯一の低温昇温脱離分析装置の開発に成功) <p>2)</p> <ul style="list-style-type: none"> 1000MPa級鋼の破断応力を水素量4ppmまで実験的に取得。(応力と水素量の危険域を明示) 水素粒界割れによる破断応力の低下を第一原理計算に基づき定量評価。(世界初の成果) 	<p>◎</p> <p>○</p>	<p>1) 残留オーステナイトを含む鋼での水素存在状態の定量化。(溶接SGとの統合により明確された課題。プロジェクト全体目標にとって重要課題としてH21年度中に着手)</p> <p>2) これまでに達成した世界唯一の実験装置や世界初の解析コードを用いて2次元から3次元モデルへ、単一欠陥から複数欠陥重畳組織への取り組みを行い最終目標を達成見込み。</p>

4-1. 水素の存在状態と拡散移動

公開

フェーズフィールドモデル(メソスケール)の構築

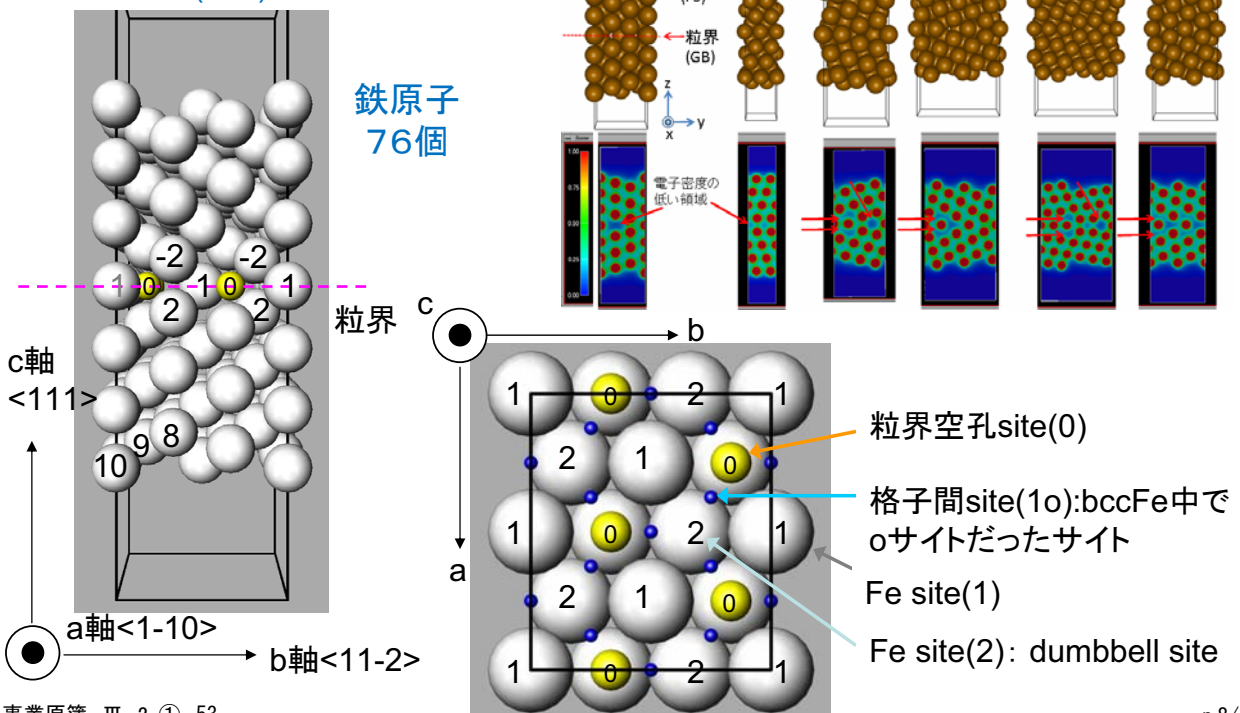


水素の存在状態(粒界・表面)

公開

水素と粒界・表面の相互作用

BCC FeΣ3(111) 粒界

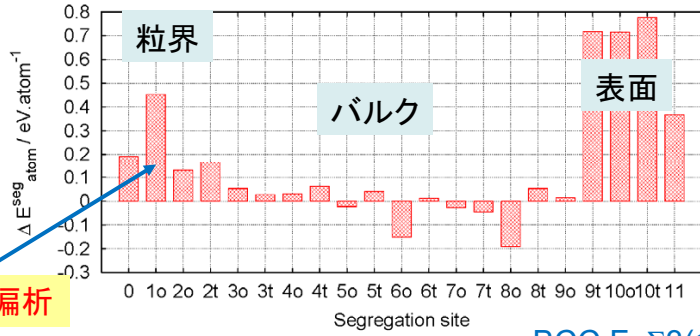
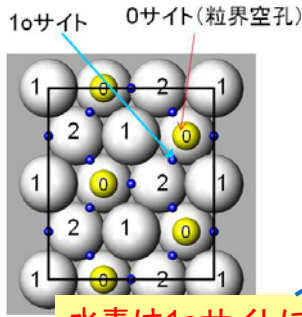


水素の存在状態(粒界・表面)

公開

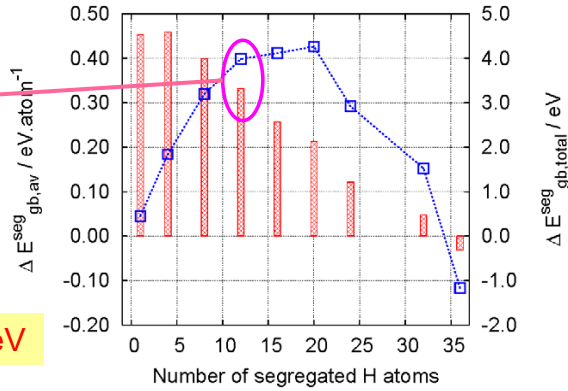
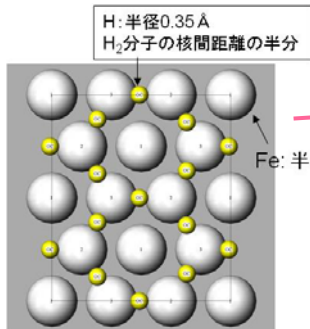
水素と粒界・表面の相互作用

粒界: 0.45eV, 表面: 0.78eV



水素は1oサイトに偏析

BCC Fe Σ 3(111)GB



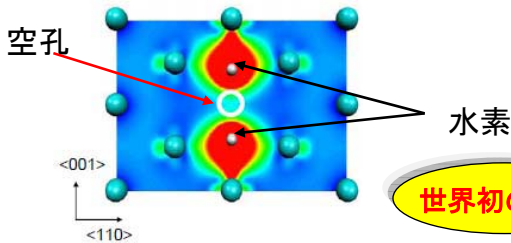
12個の1oサイトまで偏析可能: 0.33eV

水素の存在状態(空孔・転位)

公開

水素と空孔の相互作用

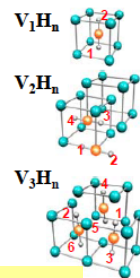
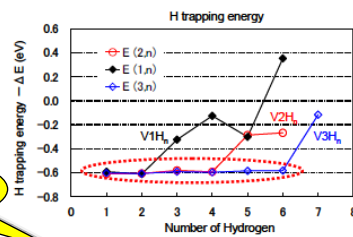
V-H₂複合体の電子状態



世界初の成果

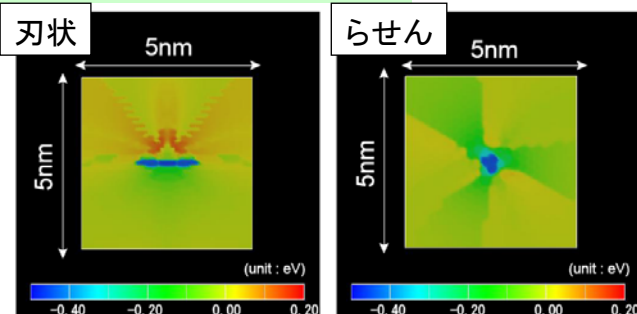
鉄中で水素分子として存在しない

	Fe16	Fe54	Fe128	Fe250
原子空孔	2.23	2.20	2.19	2.23
原子空孔とH ₂ 複合体	1.36	1.32	1.40	1.39



単空孔~3空孔: Eb=0.6eV

水素と転位の相互作用



水素: すべり面に広がる

原子埋め込み法ポテンシャルを用いた
分子動力学法の解析コードの開発

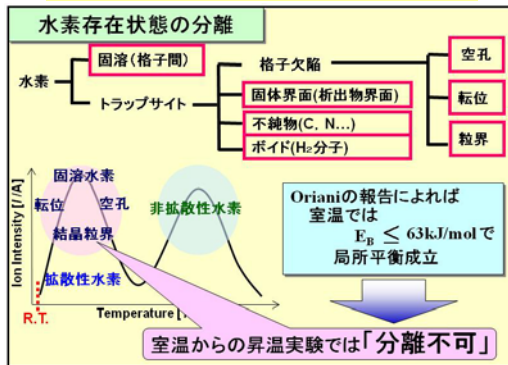
Fe原子数 12,192個~13,824個

刃状転位 : 0.46eV
らせん転位 : 0.45eV

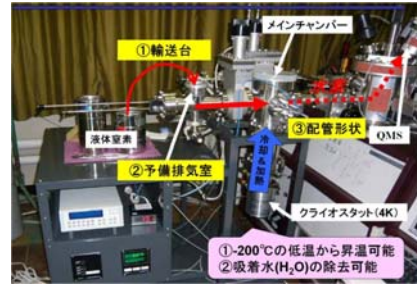
静水圧応力場の存在しない
らせん転位も芯では水素をトラップ

■ 低温昇温脱離分析装置の開発

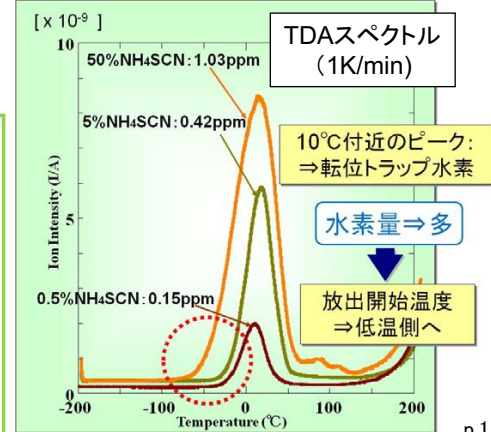
E_b (粒界、転位、空孔) < 0.65eV



-200°Cからの水素分析が可能
(世界唯一の装置開発に成功)



90%冷延純鉄+200°C2h(転位)

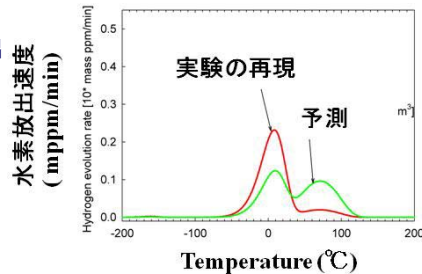


■ 水素熱脱離プロファイルの解析技術の開発

第一原理計算の結果
を取り入れた水素放出
数値モデルの直接
シミュレーション

粒界と転位のピーク
分離可能を予測

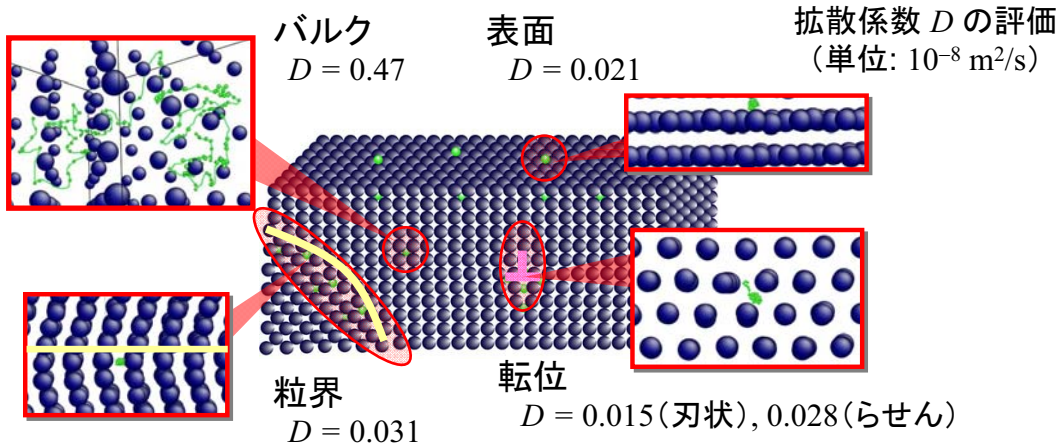
事業原簿 Ⅲ-2-①-58, 59



■ 水素拡散速度の分子動力学解析(300 K)

中間目標を超える成果!

転位近傍, 粒界近傍, 表面近傍での異方性水素拡散速度を評価



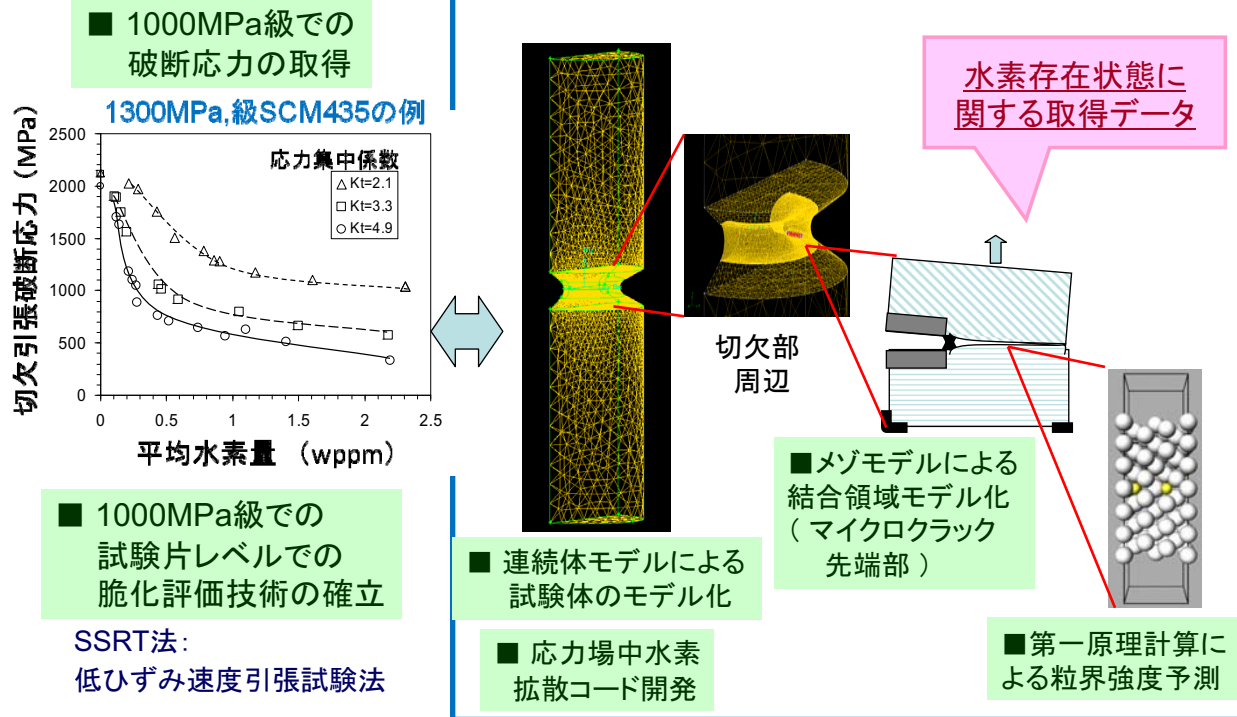
水素拡散速度の大小関係:
バルク ≫ 転位 ≒ 粒界 ≒ 表面
(約1/25)

バルク領域を含め、欠陥近傍においても、
水素拡散速度の明確な異方性は見られない

欠陥近傍での水素拡散速度を定量的に評価

パイプ拡散は見られない!

粒界割れ破断応力予測のための階層的モデル化

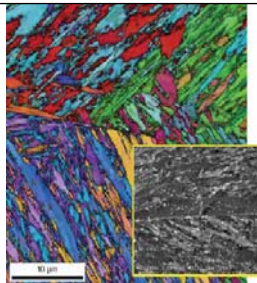


1000MPa級鋼での破断応力-水素量関係の取得(実験)

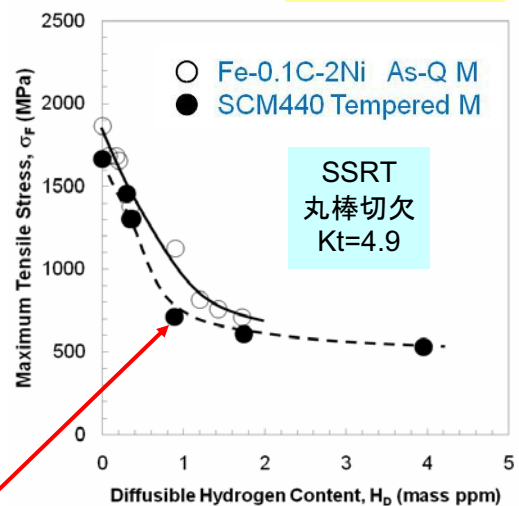
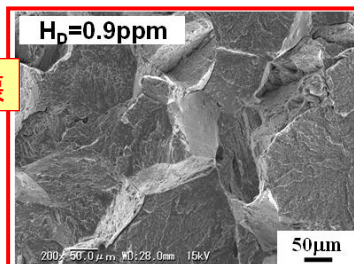
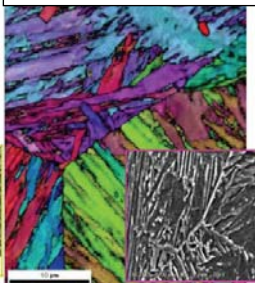
応力と水素量の危険域を明示

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
Boron steel	0.20	0.06	1.00	0.018	0.008	--	--	--	0.002
SCM440	0.40	0.28	0.82	0.015	0.016	1.08	0.18	0.02	--
Fe-0.1C-2Ni	0.09	0.01	<0.01	0.002	0.001	--	--	1.97	--

SCM440 Tempered M



Fe-0.1C-2Ni As-Q M



- ・粒界破壊によって著しく脆化
- ・破断応力は1/3-1/4に低下
- ・2ppm以上で一定値

➡ 計算解析の基礎データとして活用

水素による破壊現象

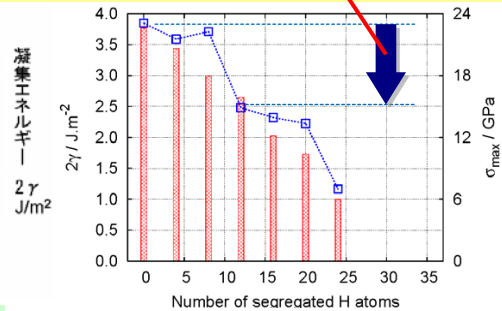
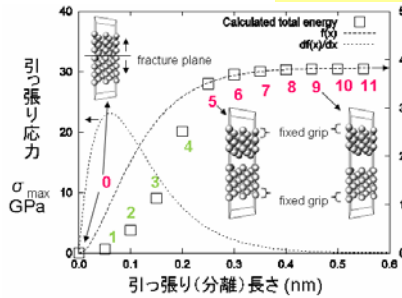
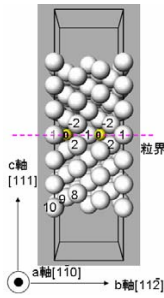
公開

■ 水素による粒界強度低下の定量化(第一原理計算)

第一原理計算結果に基づく粒界強度の定量化に成功(世界初)

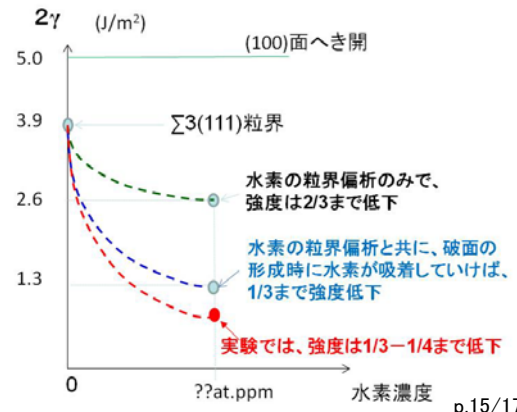
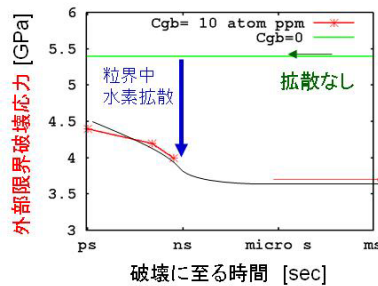
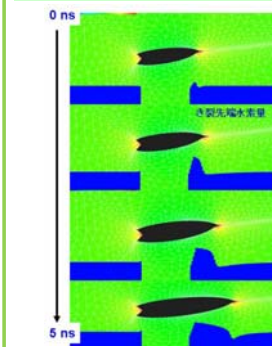
BCC Fe Σ 3(111)GB

水素の粒界偏析だけで粒界強度は2/3まで低下



■ 2次元結合領域メソモデル(亀裂進展)の開発

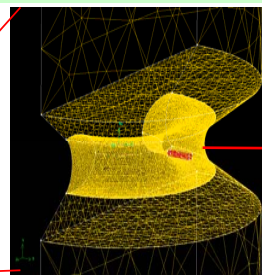
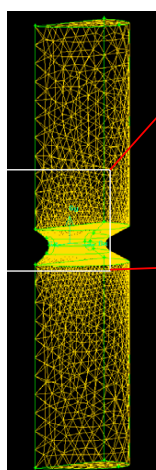
粒界中水素拡散で強度低下



水素による破壊現象

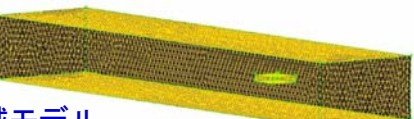
公開

■ 3次元応力場計算コード&3次元応力場中水素拡散計算コードの整備開発



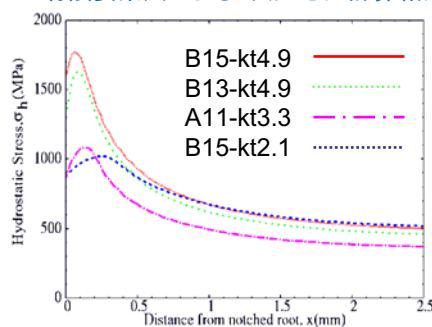
弾塑性モデルによる応力計算

部分領域モデル

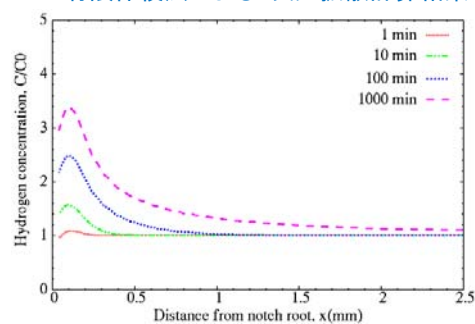


・異方性弾性論による多結晶体
・応力集中のメカニズム

切り欠き底面の静水圧応力分布
有限要素法による3次元応力計算結果



切り欠き底の面の水素分布 (Kt4.9-B15)
有限体積法による3次元拡散計算結果



5. まとめと最終目標に向けた今後の取組み

●中間目標1)の達成状況 (超過達成 ◎)

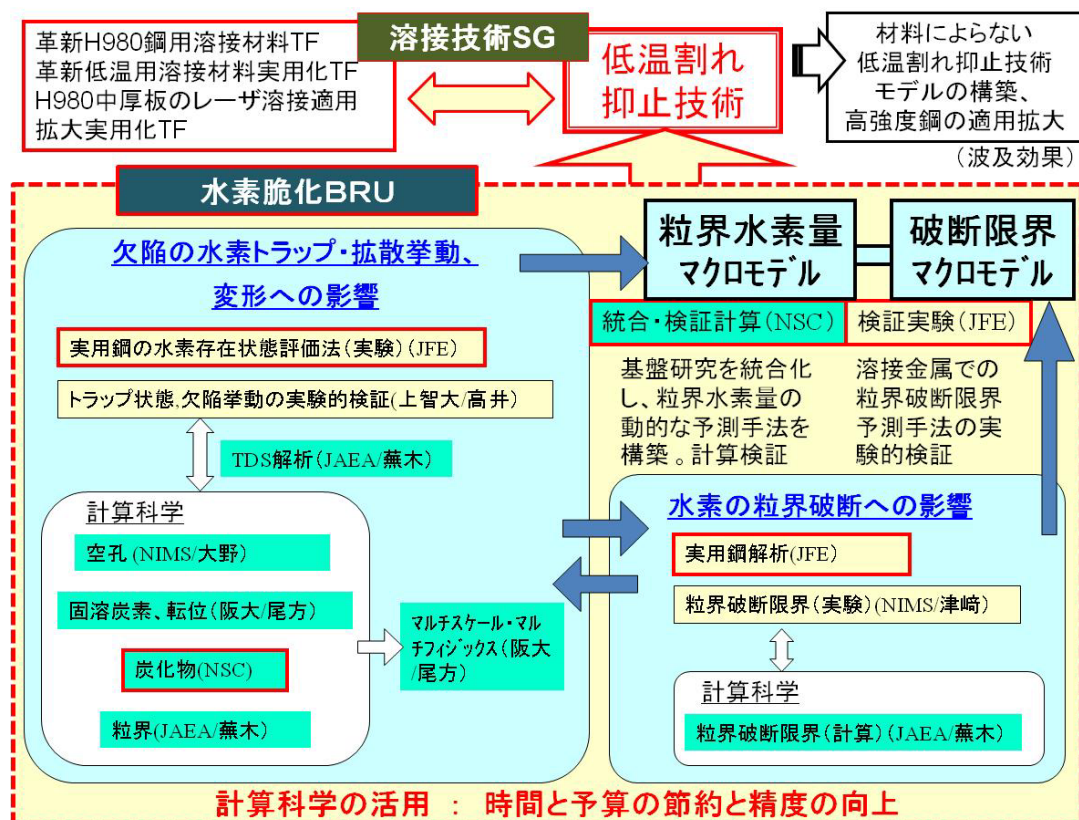
1. 鉄中の空孔、転位、粒界、表面と水素の相互作用エネルギー E_b を第一原理計算と分子動力学法による定量値取得を達成。(世界初の成果、空孔>転位芯>粒界を明示)
2. 各種格子欠陥の E_b を実験的に求める基盤構築を達成(世界唯一の低温昇温脱離装置の開発に成功)
 - 助成研究が行う粒界水素量マスターカーブ構築のための基礎データと基礎技術を取得。例えば空孔と転位芯は粒界水素量を低下させる有効なトラップサイトであることを定量的に提示できた。

●中間目標2)の達成状況 (達成 ○)

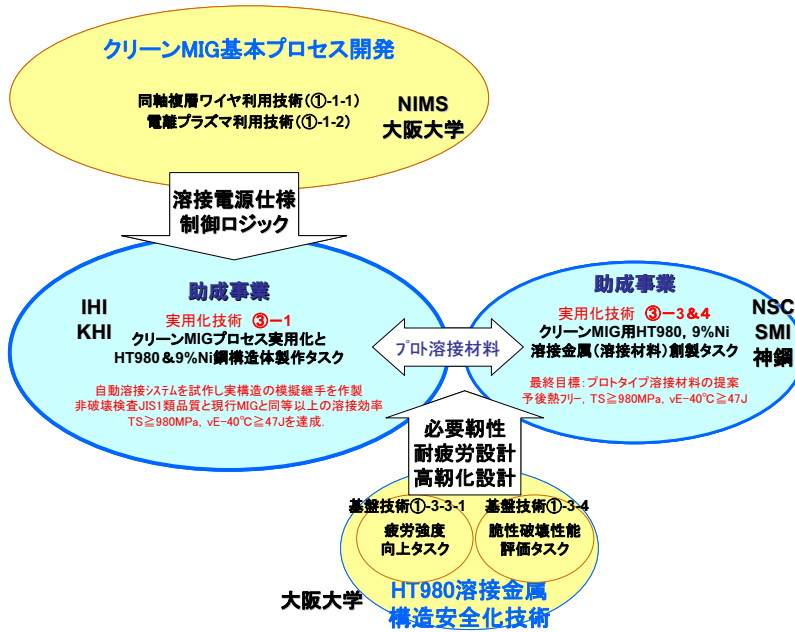
3. 1000MPa級鋼の破断応力を水素量4ppmまで実験的取得を達成(溶接金属モデル組織を対象とした応力と水素量の危険域を明示)
4. 水素粒界割れによる破断応力の低下を第一原理計算に基づく定量的な評価を達成 (世界初の成果、水素の偏析により粒界強度が1/3まで低下することを明示)
 - 助成研究が行う破断限界マスターカーブ構築のための基礎データと基礎技術を取得。例えば、粒界偏析量が飽和する高水素濃度域では破断応力が一定値になることを実験計算で示した。

●最終目標に向けた今後の課題(取組み)

1. 残留オーステナイトを含む鋼での水素存在状態の定量化。(溶接SGとの統合により明確された課題。プロジェクト全体目標にとって重要課題としてH21年度中に着手する)
2. これまでに達成した世界唯一の実験装置や世界初の解析コードを用いて、2次元から3次元モデルへ、単一欠陥から複数格子欠陥重畳組織への取組みを行うことによって最終目標を達成できる見込みである。



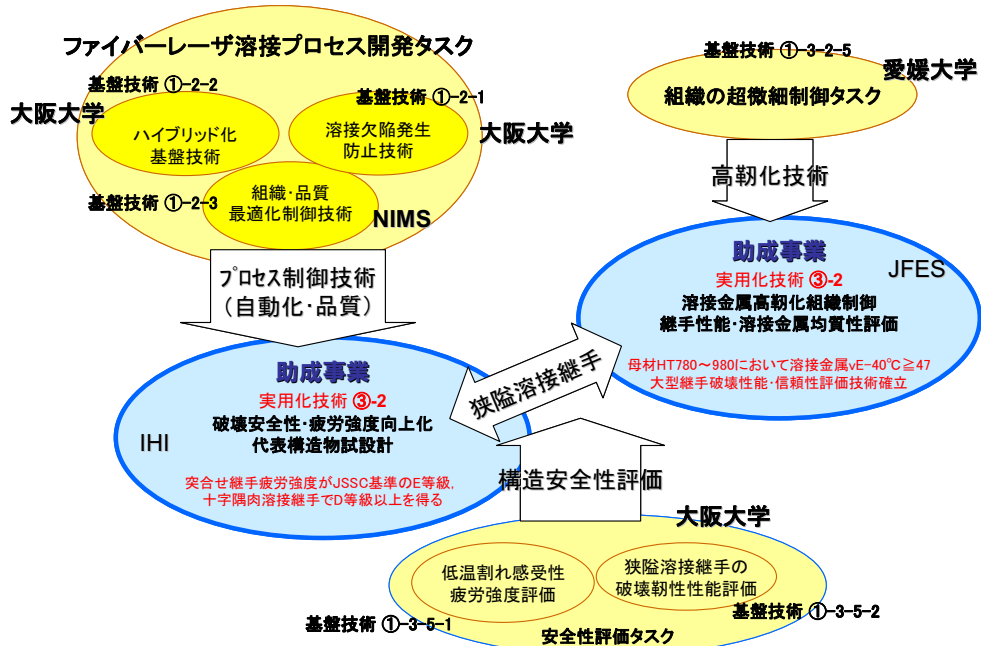
クリーンMIG溶接実用化技術創生



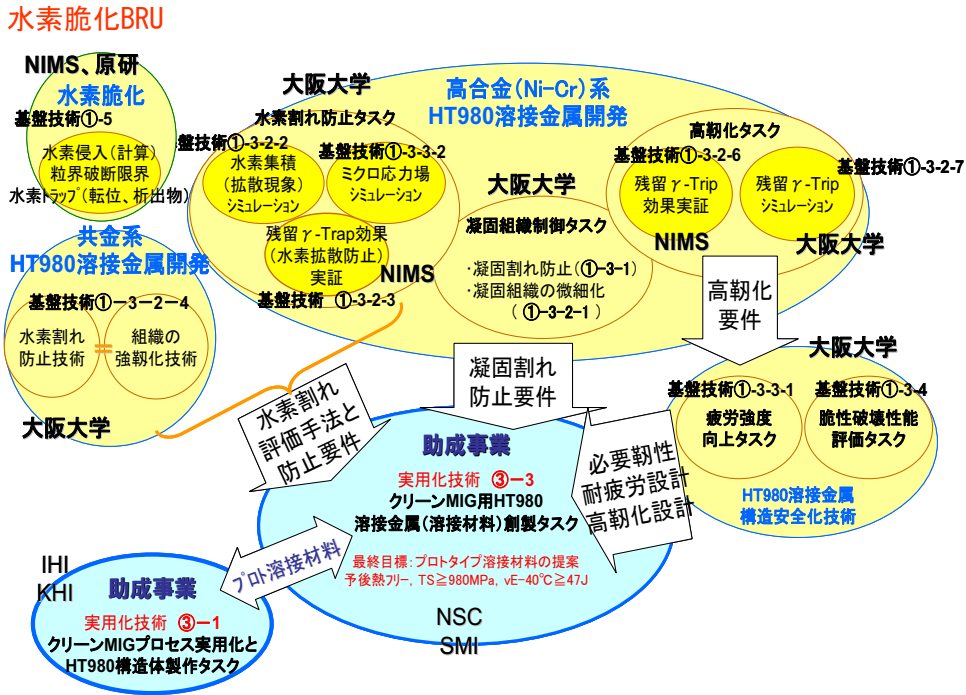
プロジェクト詳細説明(公開)

溶接SG(委託) ①-5)

HT980中厚鋼板のファイバーレーザ溶接実用化技術創生



実用クリーンMIG用HT980溶接金属創生



実用クリーンMIG用9%Ni溶接金属創生

