



未来を拓く '超鉄鋼'



フロンティア構造材料研究センター
科学技術庁 金属材料技術研究所

超鉄鋼へ託す地球の未来

「超鉄鋼」とは

強度2倍、寿命2倍以上の特性を有する鉄鋼材料を「超鉄鋼」と称し、この研究開発を推進するプロジェクトを「STX-21プロジェクト」と呼んでいます。

なぜ今、構造材料か？

「環境問題、社会問題への対応、 快適で持続可能な21世紀の創造」

資源枯渇、地球温暖化、廃棄物処理などの問題が深刻化し、従来の成長型から持続型社会への転換が求められています。また高度成長期に建設した主要インフラも21世紀には50年を経て更新期を迎えます。主要インフラに使われる構造材料には、人々の快適で安全な生活を維持する責任があり、さらに大量に使用されるためエネルギー資源・環境問題との調和も重要です。従って画期的な安全性、長寿命性、環境調和性をもつ構造材料の開発が求められています。

鉄鋼の7つの魅力

- 1.豊富な資源
- 2.容易な再生
- 3.多機能性
- 4.可変なマイクロ組織
- 5.合金創製
- 6.優れた加工性
- 7.容易な精錬

鉄は他の金属と比べ埋蔵量が多く安価で、また、スクラップの再生も容易なため、資源的に非常に恵まれた金属です。多くの場合、他の元素と結びついて合金や化合物をつくり、組織を変化させ、柔らかい鉄から強い鉄まで多様な強さの構造材料に姿を変えます。さらに、鉄は現在の電化社会でも最も重要な物性である磁性という機能もっており、機能材料としての優れた特徴も兼ね備えています。

※STX-21は、「超鉄鋼材料の英語訳、Structural Materials for 21st Century」を略したもので、STはScience and Technologyの意味も兼ねる。
Xは未知のものを生み出すことを表現している。

優れた構造物による社会の革新

「革新的な社会インフラの構築、輸送機器の軽量化や安全性」

強度と耐久性が飛躍的に向上した「超鉄鋼」を用いることにより、超長大橋、メガフロート等の革新的社会インフラの構築、輸送機器の軽量化や安全性に貢献します。また、発電効率の向上だけでなく「超鉄鋼」自身の優れたリサイクル性によって地球環境保全に寄与します。21世紀は「超鉄鋼」によって未来へ持続可能な社会構造へ生まれ変わります。

STX-21プロジェクト

「強さの2倍化、寿命の2倍化、環境負荷の低減、トータルコストの低減」

構造用鉄鋼材料には強度、靱性、耐食性、溶接性等の多くの特性を同時に具備する事が求められています。しかし、これらの諸特性を損なわず強度や寿命を10%でも増加させることは大変困難な研究課題であり、これまで順次克服してはありますが、近年、難しい課題ばかりが残り、革新的な取り組みが求められています。

原子レベルでの解析と計算科学

本プロジェクトでは諸現象について最先端の計測解析機器を用い原子レベルまで掘り下げ、さらに、計算科学を駆使することで、現在も未解決のままの難しい課題に挑戦し、ブレークスルーしていきます。そして強度の2倍、寿命の2倍を一挙に飛躍させる事を目指しています。

材料開発と構造化の連携

プロジェクトでは材料開発だけに止まらず、材料特性を生かす接合技術の開発、更には使用される構造物を脱んだ学際領域の研究、加えて、環境負荷の低減やトータルコストの低減を目指しております。

産学官の結集

本プロジェクトの推進のため、産業界、学界、国立研究機関の英知を結集しているのが特徴です。

未来社会へ貢献する構造物

土木・建築



超長大橋
超長大橋の長さは、橋を支えるワイヤーの強度に依存します。より高強度のワイヤーの開発は、夢の超長大橋の実現を可能にします。



超々高層ビル
高強度鋼の開発と溶接性の改善により、現在よりもさらに高いビル建築が可能になり、**容積率・空間利用率が飛躍的に向上**します。

輸送機器



超低燃費自動車
超鉄鋼材料により、**安全性・耐久性**とともに**車体の軽量化**を図ることで、更なる**燃費向上**が推進され、CO₂の削減が期待されます。

海洋利用



メガフロート
耐海水ステンレス鋼や海浜汎用鋼の開発が海洋構造物の**メンテナンスコスト低減**を実現し、**海洋・沿岸域の利用拡大**が期待できます。

エネルギー



高効率発電プラント
より高温・高圧環境下で効率良く電気を作ること、**CO₂の排出量削減・化石燃料の消費量削減**を推進することができます。

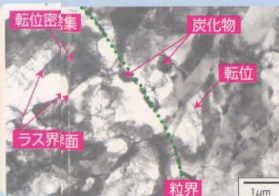
1 原子レベルでのマイクロ組織制御

鋼の組織を原子レベルで以下のように制御し、超鉄鋼となる材料組織を生み出します。

- 析出物の形態を制御し、結晶粒をサブミクロンサイズまで微細化し、高強度化する。
- 結晶粒界から析出物を除去し、水素による遅れ破壊を防止する。
- 粒界および粒内の析出物を熱的に安定化し、高温で安定な耐熱組織を創る。
- 添加元素の存在位置を制御し、酸化皮膜の剥離を防止する。



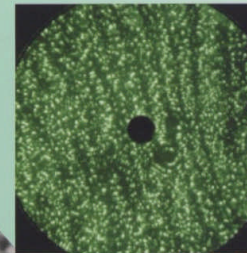
粒内結晶はラスマルテンサイト組織で、方位の異なるバケット組織が存在



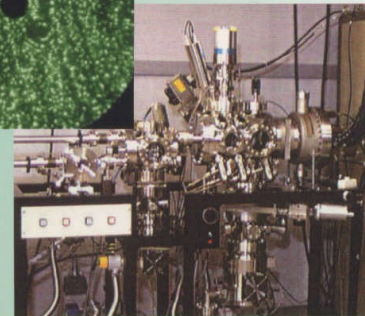
粒界、ラス界面に炭化物が存在、ラス内部には多数の転位がある。(黒っぽい部分は転位が密集)



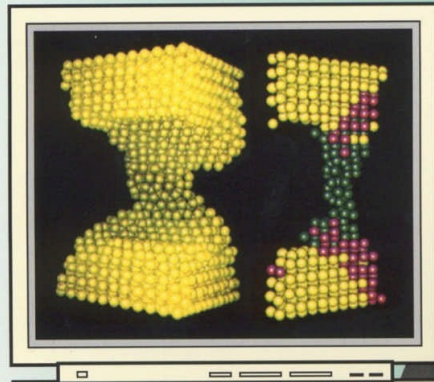
常温での鉄の原子配列



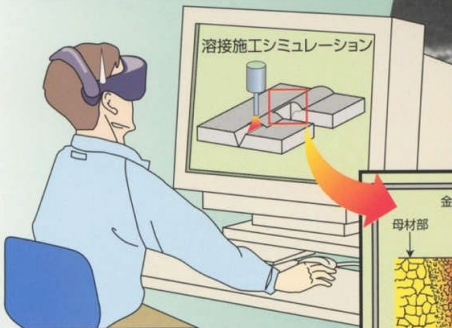
白点が鉄原子を示す観測像



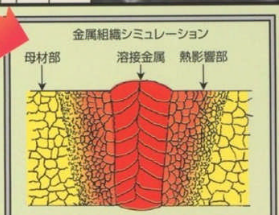
原子レベルの分析を可能にするアトムプローブ (APFV)



材料の強度や破壊挙動を解析し予測する計算機シミュレーション技術



接合バーチャルシミュレーション

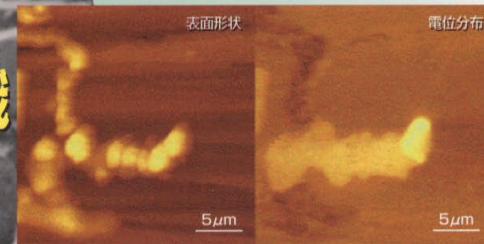


さまざまな特性を実現する鋼の組織

2μm
高強度を担う
フェライト・パーライト組織

高剛性を実現する
粒子分散組織

高温長時間強度を支える
マルテンサイト組織



AFM (原子間力顕微鏡) による“さび”の観察。鉄の上で小さな電池が形成 (右の図の明るい点とそれに続くやや明るい部分) され、ミクロサイズの小さな“さび”が成長しているのがわかります。

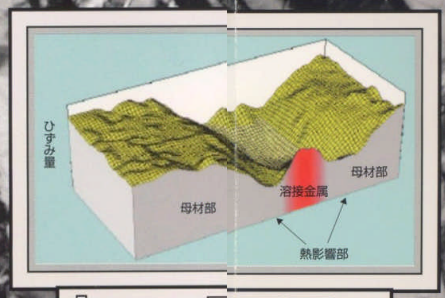
2 構造体化テクノロジー

接合とバーチャルシミュレーションの世界

構造体化テクノロジーは、接合プロセスと接合性能に関する総合的な研究分野です。このプロジェクトでは計算科学によるプロセスモデル、力学モデルの高度化、それらを統合した包括的バーチャルシミュレーション化を目指して研究を進めています。

多くの学問分野の結果

構造設計、材料設計、接合設計における最適設計のキーは、設計段階での予知、予測技術とデータベース構築にあります。これらの設計においては、多くの学問分野 (金属学、プラズマ物理学、高温工学、(電磁) 流体力学、材料力学分野等) の知識を結集することが極めて重要です。更に複雑系の問題解決手法の採用等の最新科学分野へのアプローチも不可欠となります。



モアレ法による溶接部のクリープ変形ひずみ解析

3 原子レベルからの解析・評価

メカニズムの解明

超鉄鋼は、あらゆる分野に幅広く利用されることが期待されます。そのため用途によって高温、高湿、海中などの過酷な使用環境下に置かれることになり、しかも長時間にわたってその性能を維持することが求められます。そのような材料を創り出すためには、性能が発現するメカニズムを知ることが重要で、多くの場合そのメカニズムは個々の原子の振る舞いに関係します。

原子レベル解析装置

アトムプローブやナノインデンテーション、原子間力顕微鏡 (AFM) は、最先端の技術によって原子レベルやナノスケールでの解析・評価を可能にする装置です。その結果を材料の開発プロセスにフィードバックすることにより、性能の飛躍的な向上を目指します。

高強度化への挑戦

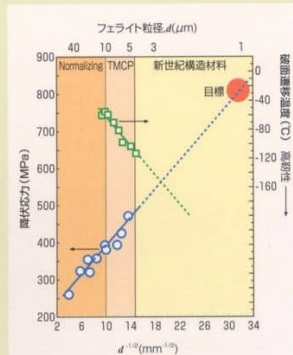
1 環境に優しい溶接用高張力鋼

【リサイクル・省資源・省エネルギーに適した新高張力鋼】

構造物が相次いで建築後50年を経過し、2010年頃には約20兆円を補修と更新に費やす必要があります。リサイクルしやすく、強度が高く、寿命の長い、溶接の容易な素材を提供することができれば、省資源、省エネルギーの観点から二酸化炭素発生削減効果はかなり大きなものになります。

【微細粒組織での鋼の高強度化】

これまでのように合金元素の増加で高強度化を目指すのではなく、リサイクルしやすい現在の400MPa級組成鋼を基に結晶粒径1ミクロンの超微細化を実現し、2倍の強度(800MPa)の溶接しやすいフェライト-パーライト組織鋼に生まれ変わらせることに挑戦します。さらに、微細化した組織を壊さない溶接プロセス技術や、溶接継ぎ手疲労強度および寿命を2倍化する溶接技術を開発すれば、より安全で、より寿命の長い構造物の実現が期待できます。



鋼のフェライト粒径を細くすることは降伏強度を上昇させ、同時に高靱性化させます。

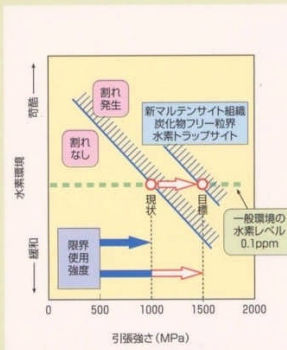
2 遅れ破壊に強い超高張力鋼

【超高張力鋼の限界】

今や明石大橋は2000MPaの超高張力ワイヤーの束で支えられ、自動車タイヤは4000MPaのスチールコードで補強されていますが、強度を増すほど高張力鋼の直径は逆に小さくなる宿命にあります。これは製造技術の限界だけでなく、ボルトのような太い物では水素侵入が原因となる遅れ破壊の危険が増すからです。また、1200MPaを超すと介在物などを起点とした内部破壊により、疲労強度特性の向上が困難になります。超高張力鋼の安全性と強度の向上には、これらの脅威を排除しなければなりません。

【析出物と介在物の制御で限界の克服】

高張力鋼の一般環境への使用と一層の高強度化を妨げるこれらの壁を超えるため、水素による粒界割れの原因となる粒界炭化物の生成を抑制したり、粒界よりも水素を強く引きつける粒子を分散させることにより、遅れ破壊の克服へ挑戦します。また、鋼中に存在する介在物を小さくしたり、柔らかくすることにより、疲労強度の向上を目指します。



高強度化しても水素による遅れ破壊の発生しにくいマルテンサイト組織の鋼を開発します。

長寿命化への挑戦

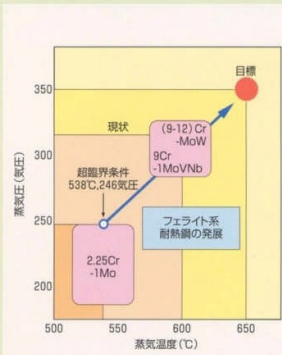
3 高効率発電用耐熱鋼

【発電効率の向上を目指す超々臨界圧発電】

石炭火力発電では、タービンを回す蒸気の温度を650℃、圧力を350気圧に高め、発電効率の向上を目指す超々臨界圧発電と呼ばれるプラントを21世紀に作る計画があります。世界でこれまでに開発された高強度フェライト系耐熱鋼は、620℃が使用限界温度です。

【650℃で耐える鋼材の合金設計】

650℃、350気圧使用の新しいフェライト系耐熱鋼の開発が切望されています。火力発電プラントは約10年間使用されるため、長期間にわたって十分な高温強度を有するだけでなく、高温の水蒸気酸化にも耐える材料が必要です。また溶接性や疲労も重要です。これまでの限界温度の620℃を超えるには挑戦的な取り組みが必要ですが、耐酸化性の合金設計と高温で長時間安定な組織設計の統合という全く新しい概念でのブレークスルーに挑戦しています。



超々臨界圧発電には650℃、350気圧の新しいフェライト系耐熱鋼の開発が必要です。

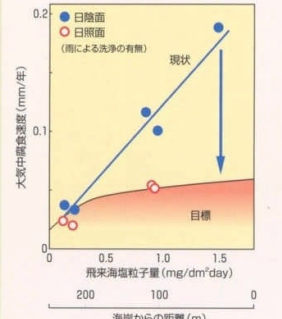
4 海でも錆びない鋼

【構造物の建設は沿岸から洋上へ】

我が国では、人口密集部は沿岸平野部に集中し、立地を求めて構造物の建設は沿岸から洋上へと向かっています。残念ながら海洋は鋼に対して極めて過酷な環境となります。例えば、耐食鋼の代名詞であるステンレス鋼も海中ではその耐食性は十分とはいえません。耐海水ステンレスの創製の第一歩は不純物を極限まで低減化することですが、加えて、鋼中に窒素を0.6%程度以上含ませることにより耐食性の著しい向上が期待できます。

【メンテナンスフリーな無塗装鋼】

陸地にある構造物にはステンレス鋼より安価な耐食性鋼が使用されていますが、塗装をしなくても使用できるメンテナンスフリーな耐食性鋼が望まれてきました。従来の耐食性鋼は海浜環境でありその効果を発揮することができませんでしたが、現在、無塗装で使用可能な低合金鋼の開発を進めています。



飛来海塩粒子量の増加に影響されない耐食性能を目指します。

これらの
キーテクノロジーが
「超鉄鋼」実現へと
導きます。

STX-21プロジェクトの研究体制

—産学官の連携—

超鉄鋼

スパイラルダイナミズム

フロンティア構造材料研究センターは、「材料創製」、「構造化」、「評価」の3ステーションにより構成されています。併せて本プロジェクトでは、4つの研究課題の推進のため、タスクフォース制を設けています。タスクフォースの導入によりステーション間の連絡を強化し、「スパイラルダイナミズム」が発揮できる体制として、研究課題の達成と要素技術の充実を図っています。



産学官の研究者・技術者の連携

産業界より 24名
大学(客員を含む)より 35名
金材技研 81名
(平成10年7月現在)

産学官連携のための各種委員会

構造材料への社会的・経済的ニーズを把握するため各界の学識経験者に参加いただき下記3委員会を設置しています。

- ①フロンティア研究推進委員会
- ②フロンティア企画調整委員会
- ③スパイラル研究作業委員会

①では、研究方針等の審議を、②では、研究計画の立案及び研究課題間の調整の検討を、③では、研究課題毎に分科会を設置し、進捗状況の検討及び研究計画のブラッシュアップを行っています。



科学技術庁 金属材料技術研究所

【問い合わせ先】 企画室普及係 電話 0298(59)2045 FAX 0298(59)2049
〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1 WWW <http://www.nrim.go.jp/>