

TODAY

大学の国際化と留学生



豊橋技術科学大学大学院
機械工学専攻
教授 梅本 実

世界の留学生の数は、2007年の280万人から2025年には700万人に増加すると予想されている。我国では文部科学省を中心として、受け入れ留学生の数を2020年までに30万人に増やす計画（留学生30万人計画、現在12万人）が2008年度から始まっている。

世界の留学生の受け入れ状況を見るとアメリカが約60万人で最も多いが、近年その数は横ばいとなっている。一方、イギリス、オーストラリア、カナダ、ニュージーランドなどのアメリカ以外の英語圏諸国の留学生数の伸びが著しい。留学希望先として英語圏が優位であるのは、英語が国際語になりつつあるからである。英語圏の国の大学に優秀な留学生が数多く入学する事に対して、日本やドイツ、フランスなどの非英語圏諸国は驚異に感じ、留学生獲得対策を講じ始めている。

海外から留学生を獲得する目的は、開発国援助、自国学生の国際感覚の醸成、大学の研究の国際競争力の強化など多岐にわたる。例えばアメリカの大学の博士課程における留学生の割合は理工系学部では60%以上に達しており、大学の研究が留学生によって支えられている。人口あたり博士課程に進む学生数は、日本はアメリカをすでに上回っているため、今後日本で博士課程の学生数を増やすには海外から留学生を獲得する他は無い。次の大きな問題は、博士課程修了後である。アメリカで働いている博士号を所有する技術者・科学者のうち外国生まれの割合は年々増加しており、2005年には40%を越えている。留学生は大学の研究レ

ベルを高めるだけでなく、卒業後企業に入って社会を支えているのである。

留学生の教育に関して英語圏以外の国では言葉の問題を抱えている。日本やドイツなどでは留学生を対象に専門科目を英語で教える大学が増えてきている。しかし、留学生だけを対象に英語で授業をすることは教員にとって大きな負担である。そこで、自国の学生をも対象として英語で講義をする大学も増えてきている。韓国の一部の大学では40～50%の専門科目を英語で講義しており、その割合は年々増加しつつあると聞く。英語で専門科目の講義をする場合、学生の専門科目の理解度が自国語よりも低くなってしまいう問題がある。つまり教員だけでなく授業を受ける学生も英語に熟達していることが要求される。ドイツでは国内の定期講演大会が10年以上前から英語で行われている。学生も大学でしかるべき訓練を受けて、英語で発表する。このような事を通して、英語による専門科目の授業に対する抵抗が次第に薄れていくものと思われる。日本で金属学会や鉄鋼協会の定期講演大会が英語で行われる日がいつか来るのであろうか。

一方日本からの米国留学生は1997年の4万7000人をピークに減り続け、2007年は3万4000人にまで落ち込んでいる（朝日新聞）。これに対して、韓国からの米国留学生は最近でも年々増加しており、2007年には6万人に達している。さらに留学生の中で大学院生の割合が日本は20%であるのに対して、韓国は38%と倍近い。日本からの米国留学生が減った理由について朝日新聞は競争をいやがる草食系学生が増加した事を挙げている。いずれにしても、世界的にグローバル化が進む中で日本人学生が「ガラパゴス化」しつつある事は憂うべき事であろう。

大学の国際化とは、世界の何処でも通用する普遍的な知性を学生に獲得させることであるとすれば、海外から留学生を受け入れ、日本人学生に海外留学を勧める事が重要と思う。そのような学生を企業もしっかりと受け入れていただきたい。

NEDO「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤技術研究開発」
 における水素脆化 BRU の活動状況
 ～ 980MPa 級継手の水素侵入による低温割れの解明・信頼確保のための予測手法の構築～

新日本製鐵（株）川上 和人
 JFE スチール（株）石川 信行

1. はじめに

溶接金属の低温割れは溶接時に鋼材や溶接材料または雰囲気より侵入する水素による脆化が原因とされており、予熱処理や後熱処理などの割れ防止対策が取られている。しかし、本プロジェクトで進めている 980MPa 級の高強度溶接技術の開発では溶接施工コスト低減のために予後熱フリー化を目指しており、水素存在下での高強度溶接金属の低温割れを防止するための材料設計指針が必要となっている。そのため、水素脆化 BRU(Basic Research Unit) においては、980MPa 級溶接金属の低温割れを対象に割れ防止のための指導原理・設計指針の構築を目指して、水素脆化の機構解明と低温割れ予測手法の開発を進めている。

本報告では、本研究プロジェクトにおける水素脆化 BRU の目標と、これまでに得られた研究成果の概要について紹介する。

2. 水素 BRU の開発目標と研究体制

2.1 開発目標

水素脆化 BRU では粒界破断を対象を絞った水素脆化の研究を進めており、低温割れ予測に際して、①溶接中に侵入した水素が冷却中に空孔、転位、析出物、粒界などの格子欠陥に分配される過程の予測技術と、②粒界に水素が偏析することで粒界結合力が低下し破断に至る過程の予測技術とを基礎技術として開発を進めている。図 1 に低温割れ（水素脆化）現象の概念図を示す。鋼中に存在する様々な格子欠陥による水素のトラップサイト数とトラップエネルギーに応じて自由エネルギーが最小となるように水素が再配分されると考えられる。局所平衡が仮定できるようなミクロな系での水素の分配状態は、欠陥の種類と密度および組織が分かれば、任意の平均水素濃度と温度と応力状態で予測できる。そして、粒界に偏析した水素によって粒界結合力が低下し、粒界破壊が起こると考えられる。

図 2 に本研究の最終目標である 2 つのマスターカーブの模式図を

示す。一つは「破壊限界マスターカーブ」であり、水素集積による粒界結合力低下による破壊発生条件を示すものである。もう一つは「粒界水素量マスターカーブ」であり、粒界水素量と転位や炭化物等、他の組織因子との関係を示したものである。これによって低温割れに対する安全性判定が可能となり、また粒界水素量とトラップサイトの関係から粒界水素を低減するための溶接金属の最適な組織に関する指針が示される。

2.2 水素 BRU の研究体制

本 BRU は、H19 年度から H21 年度まで委託研究グループ（独）物質・材料研究機構、（独）日本原子力開発機構、上智大学及び大阪大学）と助成研究グループ（新日本製鐵（株）、JFE スチール（株））とで研究を進めてきた。委託研究においては、単純化したモデル材料を用いた高精度な実験研究と、原子レベルからマクロレベルの幅広

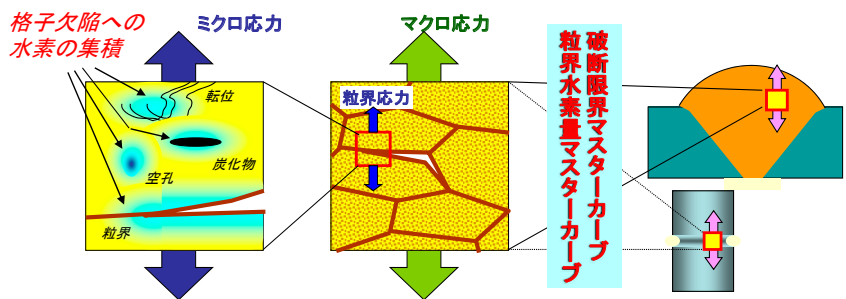


図 1 低温割れ（水素脆化）現象の階層モデル

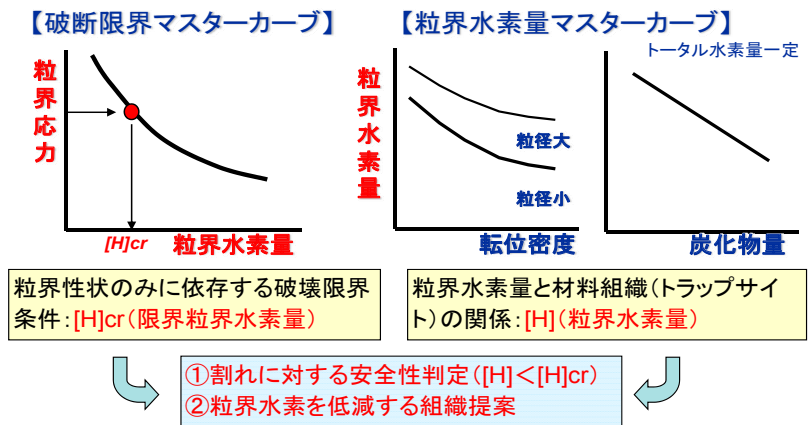


図 2 水素脆化 BRU の開発目標：2 つのマスターカーブ

い領域の現象を統合するマルチスケールモデリングの計算手法を用いた計算研究を相補的に遂行し、結晶粒界の水素偏析量の定量評価から、nmレベルでの局所的水素存在状態に関する知見に基づいた低温割れ（水素割れ）機構を解明し、さらに、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とメゾスケール（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を確立した。これによって、H22年度からは助成事業の目標達成（低温割れ予測手法の構築）に向けて水素BRUの研究体制を開発にシフトし、新たな体制で研究開発を進めている。図3にH22年度からの研究体制を示す。委託研究グループを助成研究に一体化し、これまでの研究成果の統合化による、粒界水素量予測技術と破壊限界予測技術の早期の構築を目指す。

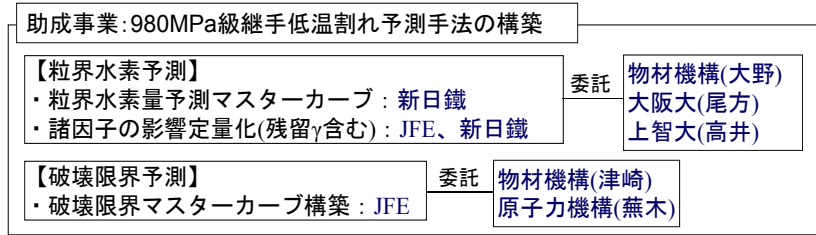


図3 水素脆化BRUの研究体制 (H22～H23年度)

3. これまでの研究成果の概要

3.1 粒界水素量の予測技術

空孔、転位、炭化物そして粒界等、鋼中に存在する様々な格子欠陥は水素のトラップサイトとなり、鋼中に侵入した水素の分配挙動を予測するためには、個々の欠陥のトラップエネルギーを正確に評価する必要がある。助成事業で導入した低温昇温脱離水素分析装置（低温TDS；上智大）は、従来の昇温分析では測定困難だった格子間や転位にトラップされた水素の脱離挙動を測定できる世界初の装置であり、第一原理計算に基づくトラップエネルギーの計算結果の貴重な検証手段にもなっている。

図4はそれぞれの欠陥を強調させたモデル鋼での脱離実験で得られた各欠陥の水素脱離スペクトルを合わせて示したものである。明瞭に分離されたピークから精度よく求められたトラップエネルギーは計算結果と良く一致しており、両者の解析手法の信頼性を示している。一方、鋼中トラップサイトへの水素の分配挙動は水素の拡散によるものであり、その正確な予測のためには、各種トラップサイトでの水素の拡散挙動を理解する必要がある。図5は量子効果を陽に取り込んだ経路積分セントロイド分子動力学解析コードによる300Kにおけるbcc鉄中での水素原子の拡散係数を解析した結果である（大阪大）。バルク中の拡散が最も早く、転位部、粒界面ともに拡散速度に方位依存性は見られず、転位線や粒界面に沿う方向の拡散速度には大きな差異がないことが明らかになった。

上述のような委託研究での空孔、転位、炭化物、粒界の水素トラップ能、水素拡散に関する成果を取り入れ、複数種の欠陥が存在する系での粒界水素量予測モデルのプロトタイプを作成した。溶接時に混入する標準的水素量（2ppm）において、転位と粒界が共存し、常に局所平衡が成立する粒界水素量予測モデルでの水素トラップ量の温度依存性を図6に示す。高温では格子間にある水素が温度低下とともに粒界と転位に分配してゆくが、転位密度が大きい場合は転位にトラップされる水素量が多くなり、結果として粒界水素量が低下していることが示

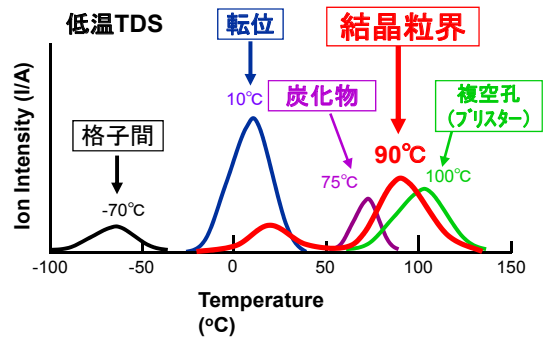


図4 低温TDSによる水素脱離スペクトル

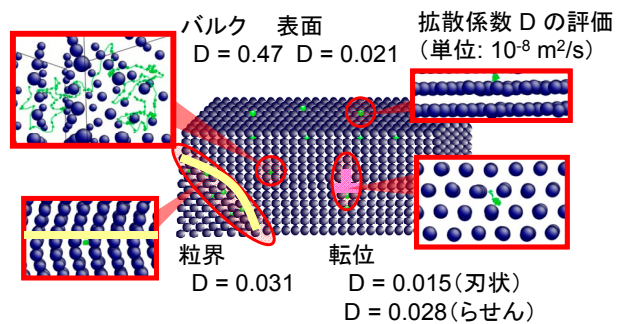


図5 水素拡散速度の分子動力学解析 (300K)

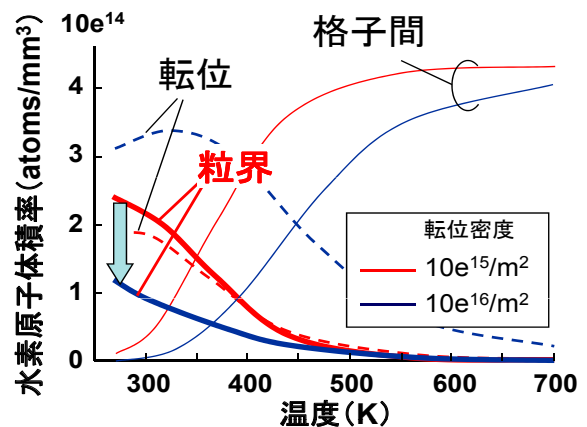


図6 粒界水素予測プロトタイプモデルによる解析結果の例

される。本プロトタイプモデルでは、計算セル内に複数の欠陥を配置することで、より大きな空間スケールの計算も可能となる。

3.2 破壊限界予測

980MPa 級溶接金属の水素低温割れの破壊限界条件を実験的に確認するため、板厚 25mm の 980MPa 級鋼板を用いた MIG 溶接による Y 割れ実験を行った。シールドガスに水素を混入し溶接金属の平均水素濃度が約 2ppm に達すると図 7 に示すように溶接金属で割れが発生し、破面は明瞭な粒界破面となった。980MPa 級溶接金属の破壊が水素による粒界破壊であることが確認され、粒界水素基準の破壊限界予測手法構築の必要性が再認識された。割れ発生部の応力状態を解明するために中性子回折による残留応力測定を行った結果、図 8 に示すように割れが発生した溶接金属ルート部では 1000MPa を超える高い引張応力が存在していることが明らかになった。このような実際の溶接金属で得られた破壊条件は今後の限界破壊マスターカーブ構築のための重要な基礎データとして使用される。

上述のような高強度鋼で見られる水素による粒界破壊は、第一原理計算から水素偏析による粒界結合力の低下が原因と考えられている。水素による粒界破壊の限界条件をより詳細に解析するため、第一原理計算結果に基づく 2 次元結合領域メソモデルによる粒界強度の評価を行った（原研）。図 9 は限界破壊応力の解析結果であるが、粒界への水素偏析による破壊応力が低下し、き裂表面での水素の拡散によりさらに破壊応力が低下していることが示された。この結果は切欠丸棒による遅れ破壊実験の結果と良く対応しており、今後本メソモデルをベースに破壊限界予測モデルの構築を進める。

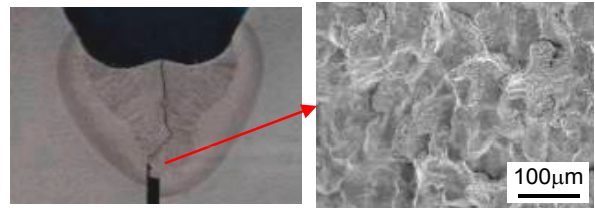


図 7 980MPa 級鋼の低温割れ

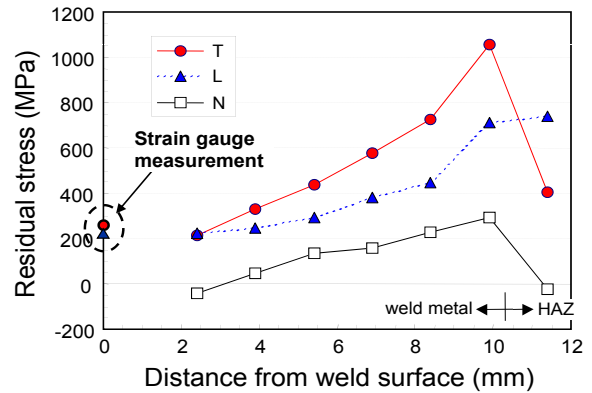


図 8 中性子回折による 980MPa 溶接金属の残留応力測定

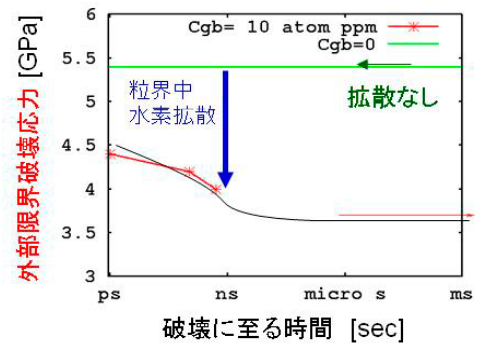
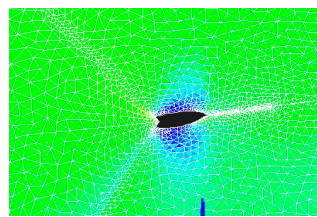


図 9 粒界き裂メソモデルによる破壊限界応力の解析結果

活動報告

■鉄鋼材料研究部

○「NEDO プロジェクト「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」制御鍛造分科会シンポジウム —中高炭素鋼の高強度化・傾斜機能化のための制御鍛造メタラジー—」開催報告

9月25日(土)午後、北海道大学において開催した。鉄鋼業界、自動車メーカ、機械メーカ、大学・独法等より計107名が出席し、講演予稿集は品切れになるほどであった。9件発表の研究成果、特に、VC析出制御や相変態制御機構、また、バーチャルラボシステムと

その基になる各モジュールとその精度、更に、鍛造部品の実用化に向けた課題と対策について、活発な質疑応答・意見交換がなされた。これらの議論を通じ、制御鍛造分科会で取り組んでいる技術の先進性と有効性を再認識でき、今後のプロジェクト成果に大きな期待が寄せられていることを実感できた。(深川主席研究員)

○研究委員会の開催報告

10月7日(木)、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の第6回研究委員会(委員長:栗飯原周二東京大学教授)が開催され、



シンポジウム会場風景

本プロジェクトのこれまでの成果について外部委員への説明がなされた。各委員から貴重なコメントが多く出され、今後のプロジェクト推進に反映されることとなった。(川端主席研究員)

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 289 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2010年11月1日

発行人 小紫正樹

発行所 財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階

T E L (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp