

TODAY

## 文部科学省科学研究費補助金について思う



東京大学マテリアル工学専攻  
教授 柴田 浩司

材料名等を含む科研費採択研究課題の数

検 索 語		検 索 語	
鉄 鋼	79件	半 導 体	2250件
アルミ and 合金	84件	高 分 子	2661件
マグネ and 合金	66件	液 晶	617件
チタン and 合金	95件	ナノチューブ	336件
銅 and 合金	32件	ダイオード	97件
セラミックス	781件	ナ ノ	4098件
ガラス	706件	バ イ オ	1560件
コンクリート	990件	材 料	4859件

私の研究室の研究費の内情を述べると次のようである。年200万円程度、文科省の通常の予算が研究室に配分され、これから図書費、コピー代、文房具代、サーバー使用量などの日常経費をのぞいた残りが、助手（2名）、大学院生（本年度4名）、4年生（本年度2名）の研究費となる。文科省からの予算がどのように研究室に配分されるかは、大学によって多少の違いがあるから、凸凹があるだろうが他の大学でもおおよそこれに近い額になるものと思われる。当然この額では、研究室のメンバー全員の研究費用をまかなうことはできないので、他から研究費を獲得することを考えなければならない。近年、国家プロジェクトをはじめとする大型予算が大学にも流れるようになってきていて、幸い、私もこの数年間、科学技術振興調整費を得ることができたので、何とかしのいでいる。しかし、ほとんどすべての大学人がまず頼るのは、文科省の科学研究費補助金（通常、科研費と呼んでいる）であり、私もこの科研費を得ることができれば非常に助かるので、毎年申請書を書き続けてきた。

他方、文科省は平成16年度科研費概算要求額として2,023億円を計上している。平成15年度の予算計上額1,765億円と比較すると、14.6%増の要求である。日本学術振興会のホームページには、平成15年度配分状況が掲載されていて、それによると、申請課題数は100,471件、採択件数は38,777件、したがって採択率は38.6%である。また、4月の時点

での配分総額は1,203億円で、1課題あたりの平均配分額は310万円とある。採択率が40%近いのだから、私の申請も何年かに一度は採択されてもよさそうに思われるのだが、なかなかうまくいかない。実は、何年も前から多くの人に、「鉄鋼材料を研究課題にしていたら科研費は採用されにくいよ」と言われ続けてきた。しかし、私の専門は鉄鋼材料なので、申請する課題が「鉄鋼材料のリサイクル促進のための材料組織学的研究」とか「強磁場による鉄鋼材料のマルテンサイト変態の核生成サイトの研究」というようなものになってしまう。そして、実際にこの4年ほど1件も採択されず、本当に「鉄鋼材料を研究課題にしたら科研費は採用されにくいのか」気になって仕方がない。

国立情報学研究所のホームページから、1996年度から2003年度までの8年間に採用された科研費の課題名、申請者を調べることができる。この間の採択研究課題総数は314,138件（うち物質・材料科学系3,729件）である。上表は、材料名などの言葉で採択研究課題を検索して、そのような言葉を課題の中に含む採択研究の件数を調べた結果である。この表を見ると、基盤材料である鉄鋼および非鉄金属材料に関する研究の採択数が、やはり少ないようである。これが、申請数が少ないことによるのか採択率が低いことによるのか是非知りたいところであるが、調べることはできない。しかし、申請数が少なくても、採択率が低くても、どちらも何とかしなければならない問題であろう。

# 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)研究開発/低温材料の開発(終了報告)

環境・プロセス研究部 田村元紀

## 1 はじめに

経済産業省の補助を受けて進められた新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)研究開発」は、平成5年に開始され(第1期)平成11年度より第2期研究期間に移行し、平成14年度に終了した。

水素利用国際クリーンエネルギーシステムは、太陽光、地熱や風力等で水素を製造し、消費地へ輸送・貯蔵して自動車や発電等のエネルギー源として活用することを目標としている(図-1)。大量の水素の輸送・貯蔵に対し、液体水素は効率的な媒体と位置付けられる。そして、容器用材料には、20K(-253)の液体水素及び極低温水素ガス雰囲気下で、低温脆化や水素脆化を起ささない耐久性が要求される。しかし、プロジェクト発足当時、液体水素雰囲気における材料特性に関する情報は極めて少なく、特に溶接部や水素脆化に関するデータはほとんど知られてなかった。そこで、低温材料に関する研究開発グループを結成し、既存材料の中から候補材を選定し、液体水素及び低温水素ガス雰囲気において特性評価を行ってきた。

第2期では、極低温容器での使用実績のある材料を選定し、液体水素及び低温水素ガス中における母材及び溶接部の材料試験を中心に研究を推進した。その結

果、国内外の他機関では採取できない多くの有益なデータを得ることができた。

第2期では、最適溶接材料及び溶接法に関する要素技術の開発を念頭において、研究を推進した。極低温材料データベース作成も行った。溶接に関しては、従来の溶接法の適用限界を把握するとともに、低圧電子ビーム溶接、摩擦撹拌接合といった新しい溶接法の適用可能性を示した。

研究開発の実施にあたっては、愛知製鋼(株)、石川島播磨重工業(株)、新日本製鐵(株)、住友金属工業(株)(株)日本製鋼所、古河電気工業(株)及び三菱重工業(株)の各社と協力し実行した。水素脆化及び低温脆化機構の解明は、独立行政法人産業技術総合研究所、独立行政法人物質・材料研究機構、ドイツ材料研究所(MPA)と、溶接技術は英国溶接研究所(TWI)と共同研究した。

## 2 研究開発の内容と成果

### (1) 候補材と溶接法の選定

極低温(4K)で使用実績のあるオーステナイト系ステンレス鋼と、LNGタンカーへの適用例があるアルミニウム合金を候補材とした。ステンレス鋼の溶接は、TIG溶接(Tungsten Inert Gas Welding)、MIG溶接(Metal Inert Gas Welding)、SAW溶接(Submerged Arc Welding)等の従来溶接法に加え、新規溶接法として、CO<sub>2</sub>レー

ザー溶接、減圧電子ビーム溶接(RPEB: Reduced Pressure Electron Beam Welding)及び摩擦撹拌接合(FSW: Friction Stir Welding)を適用した。

(2) 液体水素雰囲気下材料試験装置の導入  
液体水素雰囲気下における機械特性試験が可能となる設備を導入した。本試験装置は、最大荷重300kNの油圧式機械試験機と極低温設備、さらに安全装置からなる。クライオスタット内にて、液体水素を含む極低温環境下における引張試験、破壊靱性試験及び疲労試験等の実施が可能であり、平成7年の本格稼働開始以来、本装置を中心に極低温環境下での材料特性を数多く評価している。

(3) 大規模液体水素輸送・貯蔵用材料の特性評価  
大型タンカーや貯蔵タンク等、大規模な液体水素貯蔵・輸送に対応した材料開発では、候補材の厚板材及びその溶接部の材料特性評価が重要である。母材、溶接金属部、さらにこれらに水素を10ppm程度チャージした材料の極低温特性を評価した。

### a. ステンレス鋼

シャルピー吸収エネルギー値、破壊靱性値とも試験温度の低下に伴い低下するが、316L鋼母材は4K及び20Kでも高い靱性値を示す。しかし、TIG、MIG、SAW等の従来汎用溶接法による溶接金属部の特性は、極低温において著しく低下する(図-2)。この改善が重要な課題であり、

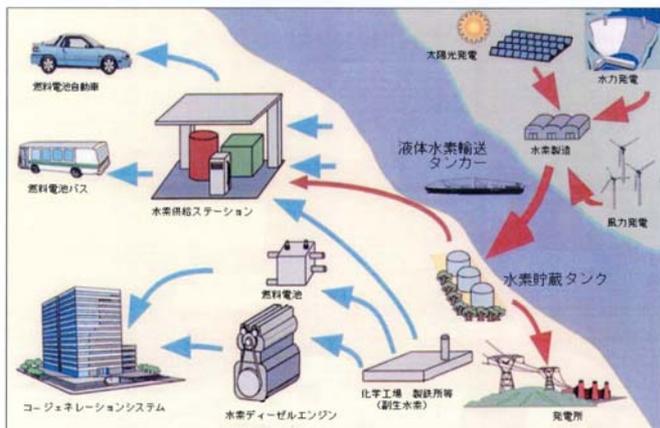


図-1 液体水素の利用形態図

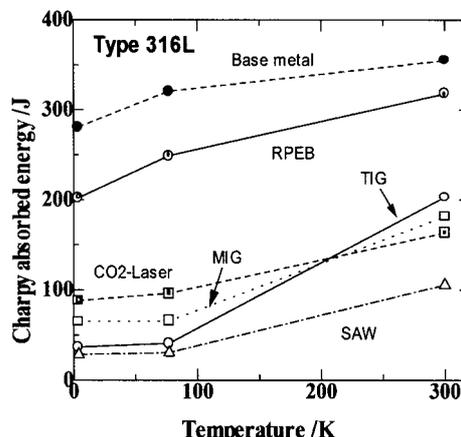


図-2 SUS316L鋼及び溶接金属部のシャルピー吸収エネルギーに及ぼす試験温度の影響

溶接材料の選定及び新溶接法の適用可能性を検討した。

溶接金属部の機械的特性は、フェライト含有量や非金属介在物の形態に影響を受ける。極低温域においては多層盛り溶接によって生成したフェライト(図-3)及び / 界面が、き裂の伝播経路となりやすいこと、またSAW溶接金属部等では高密度に存在する非金属介在物がき裂の発生を助長することによって靱性が低下すると考えられた。

極低温において、フェライト量を0%近傍に低減すると靱性が改善するが、ステンレス鋼の溶接ではフェライト量を低減すると高温割れが起こる。日本原子力研究所にて開発された、高靱性かつ優れた溶接性を有する完全型溶接材料(12Cr-14Ni-10Mn-5Mo-N鋼)を採用したところ、溶接金属部の極低温靱性は十分に高く、かつ高温割れも認められず、大型タンカーやタンク用の溶接法として有望であることを示した。

一方、減圧電子ビーム(RPEB)溶接による溶接金属部のシャルピー吸収エネルギー特性と靱性は、4K、20Kの極低温域において、従来溶接金属部に比較して大きく改善した(図-2)。RPEB溶接金属部は微細な組織から形成され、極低温靱性値は、5%前後のフェライトを含むが母材と同程度の高い値を示した。溶接パス数もTIG等と比べ少ないので、効率的な施工ができる。また10ppm程度の水素チャージによる特性劣化はほとんどなく、高靱性型厚板溶接法として有望である。さらに、後述するアルミニウム合金の接合に有効であったFSW法をステンレス鋼へ適用したところ、優れた機械的

性質を示すことが確認され、この方法も有望であることがわかった。

SUS304L、SUS316L及びSUS316LNの母材及び溶接金属部の疲労試験では、77K、20Kの極低温においても、き裂進展速度が遅く、いずれの母材も0.2%耐力相当の高応力下で、 $10^6 \sim 10^7$ 回以上の疲労寿命を有していることがわかった。これら知見やデータは、経済的観点も加味して、将来、容器の設計に十分に活用されることが期待される。

### b. アルミニウム合金

MIG溶接金属部の極低温における破壊靱性、衝撃特性、引張特性は、Mg含有量低減による特性劣化がみられた。母材に比べ、溶接金属部の低温靱性が大きく低下するが、FSW溶接金属部は母材特性より良好で、靱性が著しく向上した。

FSWで得られた溶接金属部は、大電流MIGで得られた溶接金属部に比べ、かなり微細な組織が形成され(図-4)、引張特性や破壊靱性も良好であった。また、ステンレス鋼で効果的であった減圧電子ビーム溶接もアルミニウム合金に有効であることも確認している。

### (4) 水素環境脆化に関する研究

液体水素容器は、液体水素充填時でも容器上部は水素ガスにさらされる。各種低温材料の、水素侵入や水素ガス雰囲気下の脆化挙動も検討した。

各種オーステナイト系ステンレス鋼において、水素及びヘリウムガス雰囲気下での引張試験結果から、水素環境脆化感受性を比較した(図-5)。室温から温度が低下するに従って水素環境脆化感受性が高くなり約200Kでピークを示した後、急激に回復し約150K以下で水素の影響

はなくなる。これは歪み誘起マルテンサイトの生成に関連し、オーステナイト相が安定であるほど感受性が低くなった。これらのことから新たな水素環境脆化指標を提案し、低温水素環境下で使用できるオーステナイト系ステンレス鋼の選定基準を示した。

さらに、水素ガス環境下の材料への水素侵入条件も検討した。例えば、SUS316LのTIG溶接金属部を373K(100℃)、4.9MPa(50気圧)に放置すると、1000時間後に10ppm程度の水素侵入がみられる。この程度の水素侵入では、機械的特性への影響は少ないが、高圧水素ガスの場合や、長時間暴露された場合には数10ppm以上の水素侵入の可能性があることを示した。

また、局所的な破壊靱性の評価や、20Kにおける機械的性質に及ぼす冷媒形態(液体水素、20Kのヘリウムガス)の影響等の基盤研究も、国内外研究機関と連携して実施した。これら試験結果は、独自のデータベースシステムに構築している。

## 3 おわりに

本研究開発成果は液体水素輸送・貯蔵用材料だけでなく、燃料電池自動車関連設備に採用されつつある高圧水素ガス貯蔵・輸送用材料等、水素エネルギー関連全般の材料開発に広く役立つものと期待している。本プロジェクトは平成14年度で終了したが、水素雰囲気で使用される構造材料の研究は、平成15年度よりNEDOによる「水素安全利用等基盤技術開発」のなかで引き継がれ、主として低温、液体水素雰囲気での材料研究から、高圧水素ガス雰囲気での安全なインフラ構築のための材料研究へと移行することとなった。

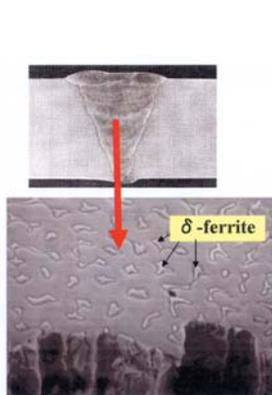


図-3 TIG溶接金属部のSEM写真

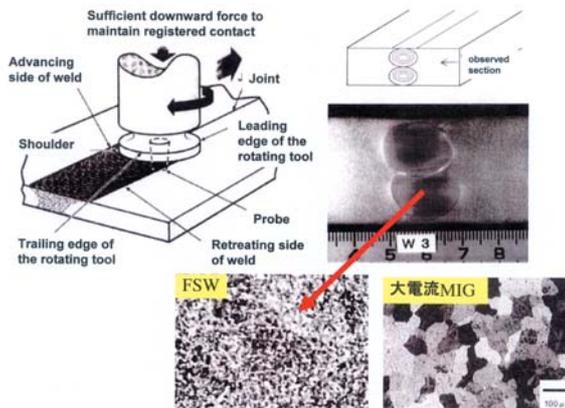


図-4 摩擦攪拌接合(FSW)法による溶接金属部の組織

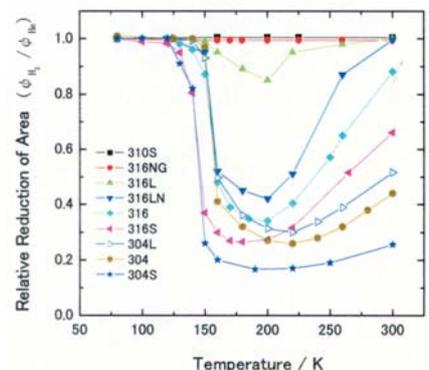


図-5 オーステナイト系ステンレス鋼の水素環境脆化

本研究活動は、WE-NET研究開発の開始以来、(1)安全かつ経済的な液体水素の輸送・貯蔵技術を支えるのは材料である、(2)液体水素の実雰囲気下での材料特性に関する情報は大幅に不足している、(3)特に、液体水素容器は一般的に溶接により製作されるが、室温から液体水素温度(20K)における溶接部の脆化に関する情報は非常に少ない、という現状

認識のもとに遂行されてきた。本研究活動で、多くの有益なデータを得ることができ、世界水素エネルギー会議をはじめとする国内外の会議でそれらを公表し、高い評価を得た。宇宙関連材料の機械的特性に及ぼす液体水素の影響に関する研究においても、貴重な知見となっている。

水素利用においては、液体水素、水素ガス中において高い信頼性と安全性のも

とに、さまざまな材料を使用しなければならぬ。本研究活動が行ってきた液体水素、水素ガス中における材料評価、材料開発に関する研究の重要性を改めて強調するとともに、研究成果が、安全で信頼性のある将来の水素利用技術の構築に役立つことを確信する次第である。これまで長期にわたりご協力いただいた、関係機関のご支援に感謝いたします。

(社)日本鉄鋼協会  
異業種交流セミナー「材料と機能シリーズ」  
人体にやさしい金属材料  
- 医療用材料の最前線 -

日時：11月14日(金) 9:30～17:20  
場所：東京電機大学

11号館17階大会議室  
東京都千代田区神田錦町2-2  
TEL. 03-5280-3405

内容：生体用金属材料の医療産業での位置付けを理解し今後を展望するために、新素材及び加工・表面処理技術の開発動向、実用化までの問題点を明らかにする。

問い合わせ先：(社)日本鉄鋼協会  
総合企画事務局 総務グループ  
TEL. 03-5209-7011

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第204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。  
本誌は地球環境保全を考慮し再生紙を使用しています。  
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 2003年10月1日  
発行人 小島 彰  
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  
TEL (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](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)