

金属水素化物の形態での輸送

Hydrogen Transportation by Metal Hydrides

秋 葉 悦 男*

Etsuo Akiba

1. はじめに

金属水素化物は、25年程前に見いだされ、水素エネルギーの輸送・貯蔵媒体として大きく注目を集めた。それ以来、種々の分野への応用展開と、材料としての研究開発が平行して進められてきている。

二次エネルギーとしての水素の特徴は、長距離輸送及び長期に貯蔵ができる点と、燃焼しても二酸化炭素や硫黄酸化物を排出しないクリーンさにある。また、最近の技術開発に伴って、水素を最適の燃料とする、燃料電池あるいは超音速航空機や宇宙往還機用のエンジンなどの実用化が、そう遠くない将来のものとなっている。このように、地球環境問題への対応が不可欠であることと、研究開発の進展に伴う技術の進歩から見て、水素エネルギーの利用が現実のものとなる日も近いと予想される。

上記のような水素の特徴を利用したエネルギー・システムを実現するためには、安全かつ効率的な水素の輸送・貯蔵技術の開発が必須の課題である。

水素は最も軽い燃料で、質量当たりのエネルギー密度はガソリンなどに比べて非常に大きい。しかし、水素は常温、常圧では気体であり、体積当たりの貯蔵できるエネルギー量は小さく、輸送・貯蔵の効率が悪い。また、気体であることで、液体や固体に比べて、散逸し易く取り扱いが著しく難しく、かつ密度が低い難点がある。そこで、より密度の高い状態で輸送・貯蔵することが必要とされる。

本稿では、水素の輸送・貯蔵技術の中で、体積密度に優れ、安全性の高い金属水素化物を用いた水素エネルギーの輸送について述べる。最初に、金属水素化物について概説した後、既に実用になっている技術を紹介する。その後で、水素エネルギーシステム中での金属水素化物を用いた水素の輸送・貯蔵について述べ、

* 化学技術研究所 材料化学部エネルギー材料課主任研究官
〒305 茨城県つくば市東1-1

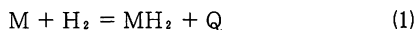
最後に今後の方向性に簡単に触れることとしたい。

2. 金属水素化物¹⁾

水素ガスを大量にかつ速やかに、繰り返して吸蔵・放出する合金がある。一般に、この種の合金は水素吸蔵合金あるいは金属水素化物と呼ばれる。

金属水素化物の存在が、知られるようになったのは1960年代の後半である。その直後の第一次石油ショックの際に、再生可能エネルギーの研究開発が盛んになって、水素エネルギーに注目されてから、世界各国で一気に金属水素化物の研究開発が進んだ。

金属水素化物と水素ガスの反応を以下に示した。



ここで、Mは金属水素化物をつくる合金（水素吸蔵合金）で、MH₂は金属水素化物、Qは反応熱である。通常は、「金属水素化物」あるいは「水素吸蔵合金」は、水素を吸蔵している状態でもしていない状態でも、区別せず用いられる。本稿でも、金属水素化物という用語を水素を含んだものだけではなく、水素を含まない合金の記述にも用いることとする。

式(1)に示した反応は、固体とガスの反応にもかかわらず、極めて早い速度で進むことが知られている。しかし、この反応は、単純な吸着現象などではなく、金属原子のつくる微少な空隙に水素原子が入り込む化学反応である。化学反応であるため、反応熱も大きく、それも特徴の一つとされる。金属水素化物は水素とのみ選択的に反応するため、繰り返し反応させても、水素の吸蔵量や反応速度が低下しないことが多い。

金属水素化物の特徴、特に水素の輸送に直接関連した特徴は、水素密度が高いことと、安全性に優れる点である。

表1に、各種の水素輸送・貯蔵媒体の水素密度の比較を示した。金属水素化物では、水素の体積密度が液体水素と同等のレベルにあることがわかる。

金属水素化物をつくる合金は、一般的に単独で水素

表1 金属水素化物中の水素の密度と水素含有量

	単位本積当り 水素密度 (molH ₂ /dm ³)	単位重量当り 水素量 (重量%)
水素ガス (標準状態)	0.045	100
液体水素 (20K)	35	100
水 (293K)	56	11.2
MgH ₂	55	7.7
Mg ₂ NiH ₄	47	3.6
LaNi ₅ H ₈	52	1.4
TiFeH ₂	47	1.9
高圧ポンベ(150気圧)	6.7	1.2*

* ポンベの重量を含んだ値

を吸収できる金属 (希土類, Ti, Zr, Mg, Ca 等) と吸収できない金属 (Fe, Ni, Mn, Co 等) の組み合わせである。例外的に、水素を吸収できる金属どうしを組み合わせた金属水素化物は知られているが、水素を吸わないものを組み合わせると金属水素化物を造った例は未だ知られていない。

表2には、代表的な金属水素化物の特性を示した。各々の金属水素化物毎に、異なった水素を吸蔵する温度と圧力、発熱量及び水素の吸蔵量を示すことが分かる。しかし、最近では金属を三種類以上組み合わせることで、水素を吸蔵する温度や圧力条件を制御することができるようになって、応用のフレキシビリティが飛躍的に向上した²⁾。

金属水素化物の特性を評価するために、水素圧力組成等温線図が広く用いられている。その測定法については、すでにJIS規格に定められている³⁾。理想的な

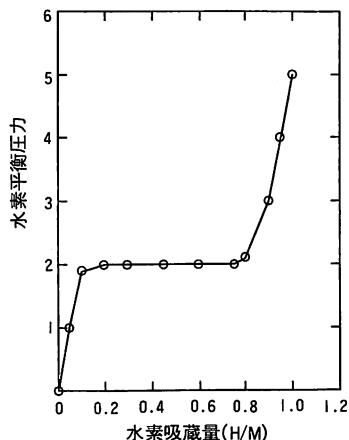


図-1 金属水素化物の水素圧力組成等温線図

水素圧力組成等温線図を図-1に示した。これは、金属水素化物の水素吸蔵量と平衡圧力の関係を示したもので、所定の温度における金属水素化物から吸蔵・放出される水素の圧力、最大水素吸蔵量等が直ちに読み取れる。さらに、水素圧力の温度変化から水素化反応の反応熱が計算される。ここでは詳しく述べないが、この図から、その他の金属水素化物の特性も判定することができ、金属水素化物の開発や評価には、水素圧力組成等温線図は不可欠のものとなっている。

金属水素化物は、水素を吸蔵すると体積が20%以上も増加し、放出すると元に戻るため、その度に割れが生じて微粉体状になる。一般的には、粒径がミクロン程度の微粒となっている。従って、容器から配管へ飛び出さないよう、フィルター等が必要とされる。また、粉体であるために、熱伝導が悪く、金属粉にもかかわ

表2 主な金属水素化物の水素吸蔵量、水素平衡圧力及び水素化物の生成エンタルピー

金属水素化物	水素吸蔵量 x (MH _x)	水素平衡圧力 (温度) P (T) (MPa, (K))	水素化物生成エンタルピー ΔH (kJ/molH ₂)
LaNi ₅	6.3	0.097 (285)	-31.83±0.09
LaNi _{4.8} Al _{0.2}	6	0.2 (323)	-35
LaNi ₄ Al	4	0.2 (453)	-53
MmNi ₅	6.3	1.3 (293)	-30
TiFe	2	0.73 (313)	-28.1 (x<1.04)
TiCo	1.4	0.101 (403)	-57.7 (x<0.6)
Ti _{1.2} Mn _{1.8}	2.47	0.7 (293)	-28
ZrMn ₂	3.46	0.23 (374)	-44.4
Mg	2	0.92 (638)	-76.15±9.2
Mg ₂ Ni	4	1.15 (633)	-62.7
CaNi ₅	6	0.077 (313)	-33.1±0.5(1.1<x<2.0)

らず、ガラスやコンクリート程度の熱伝導があるに過ぎない。粉体であることの最大の問題点は、水素の吸蔵で増加した体積が、放出時に減少する時、重力方向に圧密し、次の吸蔵の際、体積増加の逃げ場が無くなって堅く焼結したようになり、ついには容器そのものをも破損する現象である。しかし、これらの欠点は、容器の設計を十分に検討すれば解決可能と現在は考えられている。

3. 金属水素化物の安全性

金属水素化物による水素の輸送では、高圧ポンベ中にガスを単純に圧縮して充填しているのとは異なり、化学反応で生成した水素化物中に水素が存在するので、水素貯蔵量が多いにもかかわらず、水素ガスの圧力は低い。例えば、代表的な金属水素化物である LaNi_5 に水素を吸蔵させると高圧ポンベで貯蔵すると800気圧以上にも相当する量の水素を吸蔵しながら、示す圧力は室温で約2気圧に過ぎない。従って、万一、容器の破損が起っても、高圧ポンベよりもはるかに安全と考えられている。

しかし、これは室温程度の温度域の場合で、より高温に容器が熱せられた際は、状況が少し異なる。堀口らは、実際に数種の金属水素化物を詰めた容器を最高600°Cまで加熱して、内部圧力の変化を追跡した⁴⁾。高圧ガスでは、理想気体の状態式で所定の温度における内部圧力が概算できるが、金属水素化物では平衡圧力の温度勾配が気体に比べて大きいのが一般的なもので、加熱による内圧上昇が著しいと予測されたためである。堀口らの実験によれば、室温で水素を吸蔵放出するような金属水素化物の場合、400°Cで250~400気圧にまで内部圧力が上昇した。従って、金属水素化物においても通常の高圧ガスポンベと同様に、異常に加熱され

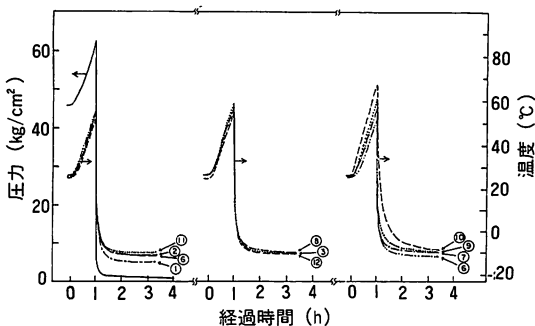


図-2 破裂板を有するTiFeMn水素化物容器の異常加熱時の圧力・温度変化(番号は容器内の熱電対の位置を示す)⁵⁾

た場合に備えて安全弁が不可欠であることが分かった。

さらに堀口らは、金属水素化物容器の内部及び周囲を加熱し、安全弁が作動した際の挙動について調べた⁶⁾。図-2には火災等による異常高温を想定した周囲加熱実験の結果を示した。安全弁(破裂板)の作動の直後から、内部圧力が急激に下がると同時に、内部の温度も0°C以下まで下がった。これは、式(1)に示したように金属水素化物の生成・分解が化学反応であることから、水素の放出時に外部からの熱が必要で、その熱の供給が不足して、金属水素化物の温度が下がったためである。それに伴い、水素の発生速度も相当に下がりが、容器からの水素の放出は穏やかなものとなった。この実験から、金属水素化物の特性に合った安全弁を設置することで、火災などの異常な状況下でも十分に安全を確保できることが確認された。

4. 金属水素化物の水素輸送への応用

金属水素化物の特徴は、水素の体積密度が大きく、安全性が高い点にある。一方、金属水素化物の価格は1kg当り10³円のオーダーにあり水素輸送媒体としては高価である。また、重量当りで考えると、1ないし2wt%の水素含有量しかない。これらの点を考慮に入れて金属水素化物の水素輸送の用途を考えると、安全性を優先するエンドユーザー向け機器やコンパクトさを要求する輸送機器が、まず挙げられる。

しかし、現実的にはエネルギーとして水素が実際に利用されているわけではなく、工業原料としての水素が小さな規模で高圧ガスポンベによって輸送されているに過ぎない。従って、エネルギーとしての水素輸送の将来像を描くのは、たやすいことではなく、金属水素化物が、どの程度まで改良されれば実用に耐えるのかを、正確に予測するのは不可能であろう。ここでは、実現の可能性のあると思われる金属水素化物による水素の輸送技術について、現在の研究・技術開発をもとに幅広く述べることにしたい。

5. 小規模な輸送への応用

化学計測機器(ガスクロマトグラフィー)には、水素ガスを燃料として必要とするものがある。このような機器への水素ガスの安全な供給のために、小型の水素輸送容器が開発された。この装置の水素の貯蔵量は100ℓ(0°C, 1気圧)、外形寸法は約20cm×33cm×27cmで重量は約9kgである。発生水素圧力は0.7MPa以下で、水素発生用加熱ヒーターを制御することでその

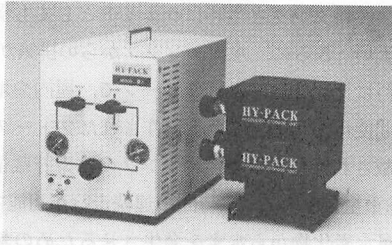


図-3 市販されている金属水素化物を用いた小型水素輸送容器

圧力と発生量を変えることができる。この製品はすでに100台以上が販売されていると言われている（図-3参照）。

現在、わが国では水素の輸送は高圧ボンベあるいはそれを束ねたカードルを用いて行われている。そのため、カードル程度の規模の水素輸送に付いても、検討がなされた。一例として、70m³の水素を輸送できる容器を紹介する。これは、小型の容器を十数本まとめてコンテナのなかに収納したものである。全体の大きさとしては約140cm×70cm×60cm程度と高圧ボンベと比べてコンパクトである。総重量は約730kgである。この装置の特徴は、水素を発生させる際に必要な熱を大気から集熱することである。従って、温水の供給やヒーターの設置の必要がないので経済性も高いと推

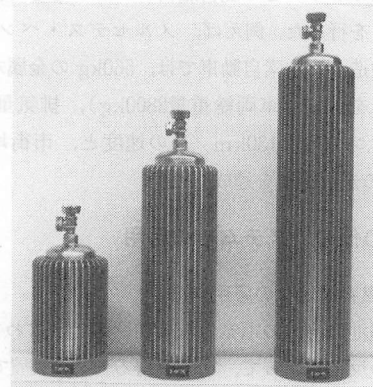


図-4 HWT社の小型水素輸送容器の外観

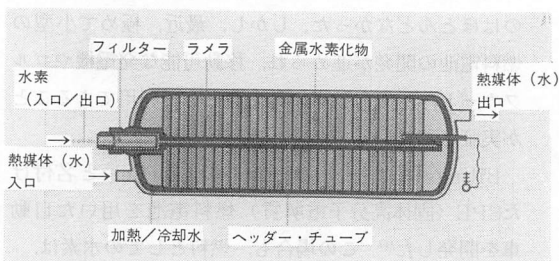


図-5 HWT社の輸送容器内部の構造

察される。

海外では、ドイツのHWT社が金属水素化物を用いた水素輸送容器を開発し販売している。同社では、わが国の一般的傾向とは異なりチタン系の多元系合金を水素吸蔵合金として用いている⁶⁾。製品は、小さいものは水素貯蔵量1m³程度から大きいものは100m³以上の物までであるとされている。実験室規模の小型（1～3m³）のものは熱源を大気としている。図-4には、その外観を、図-5には容器の内部の構造を示した。

容器の内部には、微粉体である金属水素化物の外部への散逸を防ぎかつ水素の流れを妨害しないような焼結金属製のフィルター及びヘッダー・チューブが設置されている。金属水素化物は、図-5にあるラメラと呼ばれる板の間の空間に充填される。ラメラは、熱伝導の悪い金属水素化物粉体と熱媒体の間の熱交換を促進するとともに、その膨張収縮を吸収する働きをもつ。

6. 自動車への応用

水素を燃料とする自動車において、水素の貯蔵方式には、いくつかの方法がある。なかでも、現実的なものが金属水素化物と液体水素である。液体水素に関しては、その普及のために膨大な社会投資を必要とする上に、長期間車上に貯蔵することは困難であるという本質的欠点を有している。そのため、安全でコンパクトな金属水素化物を水素自動車に利用することは相当に有力と考えられている⁷⁾。

化学技術研究所と機械技術研究所は共同で、金属水素化物を燃料タンクとする水素燃料自動車を試作・試験を行った。自動車搭載用の金属水素化物利用水素タンクの開発上、解決すべきポイントを列挙すると次のようになる。

- ①コンパクト、軽量かつ高いエネルギー密度。
- ②金属水素化物からの水素放出に要するエネルギーの確保。
- ③寒冷時の始動性の確保。
- ④水素発生制御技術。
- ⑤水素エンジンの特性とのマッチング。

特に、外界からのエネルギー供給が期待できない自動車上では、エンジンの廃熱をいかに有効に金属水素化物からの水素発生のための熱として利用するかという点に大きな技術的困難さがあると考えられる。

これらの要求に答えるため、二ないし三種類の異なる特性をもつ金属水素化物を用いる考え方もある。例えば、エンジンを暖気運転する間に発生する低温の熱



図-6 機械技術研究所と化学技術研究所が開発した水素自動車の外観

でも充分な量の水素を供給できる合金と、定常運転中に水素を供給するための水素吸蔵量は大きいが高温の熱を供給しなげなければならない水素化合物とを組合せるというものである。しかし、二種類以上の異なった合金タンクを持つことは自動車という限られた空間に応用するには技術的には相当困難であることが、実験段階で明らかとなった。そのため、比較的低温で作動する希土類系の合金を選定した。水素の発生に必要な熱は、排気ガスの廃熱から温水をつくり、それをタンクに送ることで供給することとした。直接、排気ガスをタンクに導入することは、合金層の温度に著しい傾斜をつけるので好ましくないことが実証された。完成した金属水素化合物水素タンクは、重量663kg（金属水素化合物480kg）で、水素を80m³貯蔵することができた。

試作された水素自動車の外観を図-6に示した。車体は長さ4.7m、幅1.7m、高さ1.9mのワンボックス小型車で、四段マニュアル変速機付き、6人乗りで、車両重量は2450kgであった。エンジンは、直列四気筒1968cm³で、水素は筒内噴射により供給した⁸⁾。

自動車としての機能試験の結果、金属水素化合物タンクは、移動用動力源に燃料を供給するシステムとして支障なく機能することが証明された。走行試験の結果、一回の水素充填における走行距離は60km/hの定速走行において最高280.3kmであり、実験範囲での最高速度は108km/hを記録して、目標値である100km/h以上の最高速度と200km以上の走行距離は達成することができた。

金属水素化合物を用いた水素タンクの重量が大きいことを利用して、フォークリフトに応用した例がある。フォークリフトでは、安定な走行及び荷役時の転倒防止のために重り（バランスウエイト）を設置している。金属水素化合物をフォークリフトの水素源として用

いると、燃料タンクと同時にウエイトとしても動き、都合がよい。さらに、水素エンジンからの排気ガスは、他の燃料に比べてはるかにクリーンで、屋内や地下での長時間使用が可能となる。試作されたフォークリフトに搭載された金属水素化合物タンクの水素貯蔵量は45m³で総重量は664kg、5時間の連続走行が可能であった。金属水素化合物から水素を発生させるための熱源としては、エンジンの冷却水を用いている。この方式には、ラジエータの熱負荷が減少し、ラジエータの小型化が図れる利点もある⁹⁾。

最近、マツダはロータリーエンジンと金属水素化合物を組み合わせた水素自動車を開発した。水素ガスを燃焼する場合、バックファイアの危険性がある。しかし、ロータリーエンジンでは吸気と燃焼が別々の場所で行われ、バックファイアの心配が少ない。マツダの発表した水素自動車では、金属水素化合物のタンクをアルミ合金で造るなど軽量化を図っている。金属水素化合物タンクは280kgの重量で、37m³の水素を吸蔵し、一回の水素充填当り200kmの走行距離を実証した。主なスペックは、長さ3.9m、幅1.7m、高さ1.45m、定員4名、4速自動変速機付きで、重量1260kgと発表されている¹⁰⁾。

海外では、ダイムラー・ベンツ社が、水素エンジンあるいはガソリンとの混合燃料エンジンをもつ自動車のテストを行った。例えば、メルセデス・ベンツ310バンを改造した水素自動車では、560kgの金属水素化合物タンクをもち（車両総重量2800kg）、排気量2.3ℓのエンジンで最高130km/hの速度と、市街地での120kmの走行距離を達成した¹¹⁾。

7. その他のシステムへの応用

7.1 燃料電池への応用

燃料電池は、水の電気分解の逆反応、すなわち酸素と水素の反応によって、電力を得るための装置である。従来、燃料電池は商用規模の発電装置を目指して研究開発が進められてきたため、小型軽量で運搬可能なものはほとんどなかった。しかし、最近、極めて小型の燃料電池の開発が進められ、移動可能な発電機やゴルフカート、電気自動車の動力源として利用できることが実証されている。

Bilingsらは、レーザーセル(LaserCel)と名付けたSPE(固体高分子電解質)燃料電池を用いた自動車を開発した¹²⁾。この場合も、燃料としての水素は、金属水素化合物によって輸送された。小型自動車を改造

したボディには、全重量136kgの金属水素化物タンクが搭載され、その中には2.3kgの水素(25.6m³)を吸蔵可能である。

また、三洋電機はリン酸型燃料電池を用いたゴルフカートと携帯用発電機を試作した。燃料は、金属水素化物のカートリッジで供給され、燃料交換が簡単にできる利点をもつ。また、ゴルフカートでは、水素を燃料に燃料電池で発電した電力の一部を、二次電池に蓄えるハイブリッドシステムをもっている。これらの機器は排気がクリーンなばかりではなく、静粛で、燃料補給が簡単であるという特徴をもっている。

燃料電池の小型化が図られ、民生用、自動車用として使用される方向性も示唆されている現状では、燃料としての水素を金属水素化物を用いて安全に搭載する技術の必要性が高まるものと思われる。

7.2 長距離・大量輸送への応用

金属水素化物の特徴は、安全で、容積密度が高いことにある。一方、重量当りの水素含有量が低いことや、金属水素化物がかなり高価なことが欠点とされる。その欠点を解決するために、安価で水素含有量の高い金属水素化物の開発が進められている。表1からも分かるように、Mg系の金属水素化物は他の系に比べて、比較にならないほど多量の水素を吸蔵することができる。我々は、Mg系合金の特性を生かしたバルク輸送の可能性があると考えている。一般に、金属水素化物は微細で活性な金属粉であるので発火性をもつ場合もある上、酸素や水分などに侵されやすく、大気中に取り出すことはほとんど不可能とされている。しかし、Mg系の合金では図-7に示すように、金属水素化物表面と空气中的炭酸ガスが反応して二層原子程度のきわめて薄い保護膜ができることを明らかにした¹³⁾。また、この保護膜は水素と反応してメタンを生じ、再び活性な表面を提供する¹⁰⁾。さらに都合の良いことに、Mg系金属水素化物からは、室温では水素が放出され

ない。従って、Mg系金属水素化物をコンテナ等でバルク輸送することができれば、特殊な密閉容器等を必要としない効率の良い水素輸送が実現できる可能性がある。しかし、Mg系金属水素化物の反応温度は約300~400℃であるため、その温度を維持する熱源が必要である。今後は、反応温度のより低いMg系金属水素化物の開発や、熱源を考慮した新しい水素輸送システムの構築が期待される。

7.3 トリチウムの輸送

トリチウムは重水素とならんで水素の同位体の一つで、天然にはほとんど存在しない放射性物質である。一旦、体内に入ると普通の水と交じりあい、体外に排出されにくい極めて有害な物質である。一方、トリチウムは重水素とともに核融合の燃料として最も有力である。核融合が現実のものとなれば、トリチウムをかなり大量に輸送・貯蔵する必要があるとみられる。現状は、少量のトリチウムが金属水素化物の一種であるとともに核燃料物質であるU(ウラン)のトリチウム化物の形態で試験・研究目的で輸送されているに過ぎない。今後、核融合の燃料としてのトリチウムの大量輸送・貯蔵技術の開発が必要になると考えられている。化学的には水素と同じ性質を示すトリチウムを安全に取り扱うための技術として、金属水素化物の利用に注目が集まっている。

8. 結語

金属水素化物は、水素の輸送媒体として、安全性と体積密度に優れている。用いられる分野としては、その利点を生かして、比較的小規模な水素の輸送や移動可能な水素源としての用途が最も可能性が高いと考えられている。しかし、この推定は、金属水素化物の現在の性能を前提としたものである。仮に、水素吸蔵量が現在知られているものの2倍以上の金属水素化物が開発されれば、水素輸送媒体としてもさらに大きな可能性が広がると予想される。金属水素化物の高性能化を目指した研究開発が必要とされる所以である。

謝辞

本稿をまとめるに当たり、貴重な資料を提供いただいた(株)鈴木商館、鈴木 譲氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 大角泰章;金属水素化物(1983), 化学工業社。秋葉悦男; 化学工業資料, 22巻(1988), 202~218。秋葉悦男; セラ

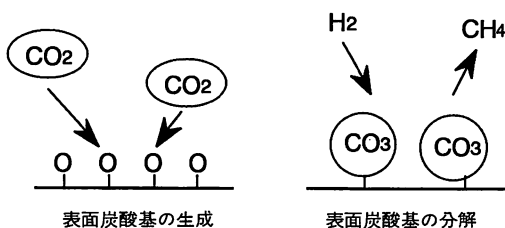


図-7 Mg系合金の表面保護膜の生成と分解

- ミックス, 25巻(1990), 441~446.
- 2) 秋葉悦男; 金属, 58巻9号(1988), 17~22.
- 3) JIS H7003, JIS H7201
- 4) 堀口貞茲, 浦野洋吉, 徳橋和明, 岩阪雅二, 橋口幸雄;
化技研報告, 80巻(1985), 523~527.
- 5) 堀口貞茲, 徳橋和明, 浦野洋吉, 岩阪雅二, 橋口幸雄;
化技研報告, 80巻(1985), 529~536.
- 6) Bernauer, O.; Z. Phys. Chem., N. F., Vol. 164 (1989),
1381~1390.
- 7) Reilly, J. J.; Z. Phys. Chem., N. F., Vol. 117 (1979),
655~684.
- 8) Hama, J., Uchiyama, Y., Kawaguchi, Y.; SAE Paper
880036 (1988).
- 9) 鈴木啓之, 柴田充蔵, 遠藤幸平, 渡辺国俊, 植松信行;
製鉄研究, 338巻(1990), 49~54.
- 10) Tsushio, Y., Yoshimoto, K., Ogawawara, T., Fujiwara,
K., Shimizu, T., Morishima, T.; Z. Phys. Chem., N. F., in
press.
- 11) Topler, J., Feucht, K.; Z. Phys. Chem., N. F., Vol. 164
(1989), S.1451~1461.
- 12) Billings, R. E., Sanchez, M., Cherry P., Eyre, D. B.; Int.
J. Hydrgen Energy, Vol. 16 (1991), 829~837.
- 13) Akiba, E., Ono, S.; J. Less-Common Met., Vol.124
(1986), L1-L4.
- 14) Ishido, Y., Ono S., Akiba, E.; J. Less-Common Met.,
Vol. 120 (1986), 163~169.

協賛行事ごあんない

日本機械学会関西支部195回講習会

〔日 時〕 平成4年12月24日(木)~25日(金)
〔会 場〕 同志社大学工学部
(京都市上京区今手川通り烏丸東入,
TEL 075-251-3817)
〔テーマ〕 「燃焼診断を支援するレーザ応用計測
(実習付き) 一入門から最先端まで」

〔聴講申込締切〕 12月16日(水)
〔定 員〕 120名
〔聴講料〕 会員 30,000円
(大学, 官公庁関係 15,000円,
院生及び学生員 6,000円)
会員外 40,000円

・いずれも教材一冊代金含む, 教材のみの申し
込みも可

〔申込方法〕

B6判用紙(学会誌半裁)に「関西支部第195
講習会申込み」と題記し, 1) 氏名・会員資格,
2) 勤務先・所属部課名・住所, 3) 通信先,
4) 所属学会名, 5) 送金内訳及び送金額
を記入のうえ, 下記宛お申し込み下さい。

〔申込み・問い合わせ先〕

〒550 大阪市西区靉本町1-8-4
(大阪科学技術センタービル内)
社団法人 日本機械学会関西支部
TEL 06-443-2073 (直通)