

金属新材料

OMC シーエムシー

TG14
3

金属材料

江苏工业学院图书馆
藏书章

OMO シーエムシー

40001328

号通通原

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

03-431-1375

金 属 新 材 料

発行 1985年 1 月25日

定 価 46,350 円
(本体 45,000 円・税 1,350 円)

発行者 檜 垣 寅 雄

発行所 株式会社 シーエムシー
東京都千代田区内神田 1-5-4
(ミヤコビル) 電話03(293)2065

発売元 株式会社 ジ ス ク
東京都千代田区内神田 1-5-4
(ミヤコビル) 電話03(293)2061
大阪市北区西天満 4-7-10
(昭和ビル) 電話06(364)7571

〔 印 刷 桂印刷株式会社 〕

©1985

落丁・乱丁本はお取替えいたします。

はじめに

近年、原子力・エネルギー関連材料、宇宙開発・航空機・自動車用材料、海洋開発用材料、情報・通信システム関連材料など新素材開発が活発に行われてきた。

新素材としての金属、無機材料、有機材料は互いに競合しながら、また協調しながら、ニーズに対応した材料が創製されてきている。

中でも鉄鋼、アルミなど金属メーカーにとって、量的拡大が望めない現在、高付加価値を生む新素材開発力が企業生き残りへの重要課題であることは言うまでもない。

既に自動車用「高張力鋼板」、合金メッキ鋼板、家電用「プレコート鋼板」、形状記憶合金、「水素貯蔵合金」などが開発され、大きな話題を呼んだ。

本書は金属の新材料に焦点をあて、各製品の概要、市場・企業動向、物性、特徴などを内容として、約90品目の注目される製品をコンパクトにまとめた。

金属メーカーはもちろんのこと、新素材開発に携わる有機、無機材料メーカーの企画、開発、研究部門、さらにはユーザーである電気・電子、自動車・航空機メーカーの設計担当の方々へのデータブックとして、本書がお役に立てば幸いである。

1985年1月

シーエムシー編集部

(担当：辻 賢司)

1. 高純度電解鉄

(1) 概 要

電解鉄は、宇宙産業、航空産業用特殊合金のベースメタルとしての用途を中心に、磁性材料、粉末冶金用材料としても広く利用され、一部は鉄鋼研究用として使用されてきた。

近年製鉄技術の進歩にともない、不純物、特にP、Sの除去により、鋼の高純度化が進められ、一方、鉄鋼の用途の拡大、高純度の要求に対応することの課題となっている。

第1章 鋼 ・ 合 金

以上のような背景のもとで、従来品よりもP、S、N、Oをさらに下げた高純度電解鉄の要求があり、これに対応すべく、C<20ppm、N<10ppm、O<50ppm、P、Sともに10ppm以下、その他の不純物は、いずれも10ppm以下の高純度電解鉄が製品化されている。この電解鉄は単に、より高純度になったというのにとどまらず、電着カソードのまま、溶解や焼まし処理を経ることなく、圧延、鋳造などの常態加工が可能であり、したがって従来品と同様、ハンチング等を用いた溶解によって試料を作ることのほかに、そのまま所望の形状に加工して必要な試験に供し、またゾーンメルトなど汚染の少ない特殊な溶解法を行うための所定の形状に加工することもできる。このことは、純い電解鉄という従来の枠をこえて、より広く基礎研究用原料として利用される可能性を示すものといえよう。

(2) 市 場

用途は、高炉メーカーなどが鉄ベースの新素材開発、例えば、

- ・宇宙・航空、深海底、原子力などの先端技術分野で開発されつつある超高温材料
- ・耐食、耐熱、低温用などの材料
- ・磁性材料

などの研究開発および特殊な製品原料である。

マイロン1号の通常の厚さは、3mmの厚さで、これを要求に応じた寸法に切りだして提供されている。また、紙、箔などの特性にも応じられる。

価格(50kg時点)

・マイロンXL 1,500~1,600円/kg

・YL 約2,500円/kg

(サイズ: 50~70×50~70×3~13mm、重量: 25kg スチールドラム缶詰め)

目 次

第 1 章 鋼・合金

1. 高純度電解鉄……………	1	21. アルミニウム合金(高強度成形加工用)…	58
2. 水素貯蔵合金……………	5	22. 高温用フェライト系クロム・モリブ デン鋼……………	62
3. 形状記憶合金……………	9	23. クロム・モリブデン合金鋼……………	64
4. リボン状アモルファス合金……………	17	24. 高多孔率発泡金属……………	65
5. 制振金属材料……………	19	25. 多孔質吸音材鉄焼結体……………	67
6. 複合型制振鋼板……………	21	26. 高力・耐摩耗性アルミニウム粉末合 金……………	69
7. ダンピングシート……………	24	27. 高伝導銅鋳物……………	72
8. フェライト振動吸収材……………	25	28. 自己潤滑性焼結合金……………	74
9. 制振合金(合金型制振材料)……………	27	29. 鉛快削鋼……………	77
10. アモルファス合金……………	30	30. 高マンガン非磁性鋼……………	79
11. 耐放射線用耐熱合金……………	35	31. 特殊浸炭処理ステンレス鋼……………	82
12. 鉄-36%ニッケル合金—アンバー…	38	32. 耐候性—オーステナイトステンレス鋼…	84
13. アルミニウム・リチウム合金(Al- Li 合金)……………	40	33. 高耐食摩耗焼結ステンレス鋼……………	86
14. アルミニウム青銅(鉄ケイ化物分散型)…	43	34. 赤熱体用耐熱ステンレス鋼……………	88
15. チタン・アルミ系新合金……………	46	35. 耐硫酸ステンレス鋼……………	90
16. ケイ素・アルミニウム系合金……………	48	36. 窒化ホウ素・ステンレス合金……………	91
17. プラスチック金型鋼……………	50	37. 鉄系焼結パルプシート合金……………	92
18. 高強度マンガン・クロム焼結鋼……………	53	38. 耐海水用ステンレス鋼……………	94
19. 耐候性鋼……………	55		
20. 2相ステンレス鋼(高耐食)……………	56		

第 2 章 鋼板・金属板・複合板材

1. アルミ・亜鉛合金メッキ鋼板 — ガ ルバリウム鋼板 — ……	99	2. ポリッシュド・スキンシート……………	101
		3. 電磁鋼板……………	102

4. クラッド鋼板.....	105	11. 溶融亜鉛メッキ鋼板.....	121
5. ステンレスクラッド鋼.....	109	12. 錫メッキ鋼板.....	122
6. 鉛防音材.....	111	13. ティン・フリー・スチール.....	124
7. ステンレス鋼板(セラミック塗装).....	113	14. 極厚高張力鋼板.....	125
8. 亜鉛・アルミ複合板 — 屋根材 —	114	15. 家電用・プレコート鋼板.....	126
9. モリブデン板.....	117	16. アルミ溶射鋼板.....	127
10. 電気亜鉛メッキ鋼板.....	119		

第3章 金属箔

1. 金属箔.....	129	3. 電解銅箔.....	133
2. 圧延銅箔.....	131	4. 極薄鉄箔.....	135

第4章 粉・粒・フレーク

1. 金属超微粒子.....	139	6. 粉末ハイス(超硬工具鋼).....	160
2. タンタル粉末.....	151	7. ステンレスフレーク.....	163
3. 鉄粉.....	154	8. チタンブラック.....	166
4. アルミニウム粉.....	157	9. アモルファス金属粉.....	169
5. アルミフレーク(薄片).....	159		

第5章 織 維

1. アモルファス金属繊維.....	171	2. ステンレス鋼繊維.....	175
--------------------	-----	------------------	-----

第6章 線

1. 導電ステンレス鋼線.....	179	3. チタンワイヤ.....	184
2. ばね用高強度ステンレス鋼線.....	181	4. 純アルミ厚メッキ鉄鋼線.....	185

第7章 金属電子部品材, その他

1. 光記録合金.....	187	2. ネオジウム-鉄磁石.....	189
---------------	-----	-------------------	-----

3. 薄膜材料・ターゲット材.....	190	10. 金メッキステンレス.....	206
4. 超精密表面加工アルミニウム.....	196	11. ボンディングワイヤ用金線.....	207
5. 磁気ディスク用アルミ合金基板.....	198	12. リードフレーム.....	211
6. 3%ケイ素鋼.....	200	13. スピーカー振動合金板 — 金属ベリ リウム振動板 —	215
7. ステンレス精密細管.....	201	14. 導電性銀粉末・銀複合粉末.....	217
8. 電解コンデンサ弁作用金属 — Al- Ti 多孔質焼結合金 —	202	15. ばね材料.....	220
9. 紫色金・オーマライト.....	204	16. 磁性材料.....	222

第1章 鋼 ・ 合 金

1. 高 純 度 電 解 鉄

(1) 概 要

電解鉄は、宇宙産業、航空産業用特殊合金のベースメタルとしての用途を中心に、磁性材料、粉末冶金用材料としても広く利用され、一部は鉄鋼研究用として使用されてきた。

近年製鋼技術の進歩にともない、不純物、特にP、Sの除去により、鋼の高純度化が進められ、一方、鉄鋼の用途の拡大によって、高純度化の要求に対応することが、1つの課題となっている。

以上のような背景のもとで、従来品よりもP、S、N、Oをさらに下げた高純度電解鉄の要求があり、これに対応すべく、 $C < 20 \text{ ppm}$ 、 $N < 10 \text{ ppm}$ 、 $O < 50 \text{ ppm}$ 、P、Sともに 10 ppm 以下、その他の不純物は、いずれも 10 ppm 以下の高純度電解鉄が製品化されている。この電解鉄は単に、より高純度になったというのにとどまらず、電着カソードのままで、溶解や焼なまし処理を経ることなく、圧延、線引などの常温加工が可能であり、したがって在来品と同様に、ルツボ等を用いての溶解によって試料を作ることのほか、そのまま所望の形状に加工して必要な試験に供し、またゾーンメルトなど汚染のおこらない特殊な溶解法を行うための所定の形状に加工することもできる。このことは、脆い電解鉄という従来の枠をこえて、より広く基礎研究用原料として利用される可能性を示すものといえよう。

(2) 市 場

用途は、高炉メーカーなどが鉄ベースの新素材開発、例えば、

- 宇宙・航空、深海底、原子力などの先端技術分野で開発されつつある超高張力鋼
 - 耐食、耐熱、低温用などの材料
 - 磁性材料
- などの研究開発および特殊な製品原料である。

マイロンHPの通常の荷姿は、3mmの厚さで、これを要求に応じた寸法に切りだして提供されている。また、線、箔などの特注にも応じられる。

価格(58年時点)

アトミロンXL 1,500~1,600円/kg

” YL 約2,500円/kg

(サイズ: 50~70×50~70×5~13mm, 荷姿: 25kg スチールドラム缶詰め)

＜用 途＞

①研究用ベースメタル

不純物含有量がきわめて少なくかつ品質安定，各成分のバランスもよく取扱いも容易なため，ベースメタルとして超高張力鋼，耐熱鋼等鉄鋼関係の研究用に使われる。特にアトミロンYLは，その特性から，さらに進んだ研究，新しい特殊鋼用鉄源として利用できる。

②磁性材料

高級磁性材料製造時の原料鉄源として，78.5%Ni パーマロイ，80～82%Ni パーマロイ等に使われる。

また，アトミロンを粉化調整，酸化して得られる高純度の酸化鉄は，磁性特性の良好なフェライトとなる電子材料等に使用される。

③特殊合金原料

超高張力鋼等，高度の特性を要求される鉄合金の原料として使用される。そのほか耐熱鋼，耐食鋼（超低温，超高圧容器）用に供される。

④不純物希釈材

特定金属成分の希釈用として（超低炭素フェロクロム等），あるいは特殊合金用溶接棒（LNG関係構造物の加工用）の希釈材として利用される。

⑤アルカリ 2 次電池原料

粉砕品は針状で見掛け密度が低く（ $2.3 \sim 2.7 \text{ g/cc}$ ），比表面積が大きくアルカリ電池の陰極として適する。

⑥顔料，化粧品，医薬，食品添加用原料

有害成分がきわめて少なく上記各種原料に使用される。

⑦粉末冶金

特に高密度，高負荷を要求される部品の製造用として，アトミロンの鉄粉は圧粉密度が高く（ $7.2 \text{ g/cc} : 5 \text{ t/cm}^2$ ），自動車用を中心とした機械部品に利用される。

⑧分析用標準試料

助燃材

⑨マグナ探傷用磁粉

今後，原子力，海洋，宇宙などの開発研究や構造物への使用が増大するものと考えられる。

(3) 企業動向

現在，高純度電解鉄を生産しているのは東邦亜鉛「マイロン」および昭和電工「アトミロンYL」がある。

昭和電工では，57年10月より東長原工場で生産，年間100トンの予定で販売を開始した。品種は，

普通品 アトミロンM

低硫黄品 アトミロンF

低硫黄・低リン アトミロンXL

低硫黄・リン・窒素 アトミロンYL

等がある。アトミロンYLは硫黄 5ppm 以下、リン、窒素をそれぞれ 10ppm 以下にした 99.99～99.999 %品である。

一方、東邦亜鉛もわが国で初めて純度 99.99 % 以上の高純度電解鉄の開発に成功、59 年よりサンプル出荷を開始した。この高純度品は、従来のスリーナインクラスのものに比して、カーボン含有率が 20ppm 前後と低く、磁気特性にも優れている特徴がある。このため磁性材料、高純度特殊鋼、各種触媒用などとして販売し、同社ではエレクトロニクス分野で需要の増加しているスパッタリング用のターゲット材に加工、成形のうえ、家電、コンピュータ分野に供給する計画である。

同社は、57 年に純度 99.95 % の電解鉄を開発、さらに高純度品の開発を行ったものであるが、58 年 8 月に藤岡工場（群馬県）に月産 10 トンの生産設備を完成させている。

(4) 物性・特徴

「マイロン HP」の分析例

(単位：重量%)

C	N	O	S	P	As	Cl	H	B	Si	Mn	Al
0.0018	0.0005	0.0039	0.0008	<0.0001	0.0004	<0.0010	0.0005	0.0001	<0.0010	0.0001	0.0005
Cu	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Mg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn
0.0003	0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0002	<0.0010	0.0001	<0.0001	0.0001	0.0002

<純度>

分析結果の一例を上表に示す。S、P が低いこととともに、ガス不純物、特に Cl の少ない特徴である。

高純度になると化学分析によって ppm 台の分析を行うことは元素によってはむずかしく、そのため残留抵抗比を用い、この比（残留抵抗比、 RRR_H ）の大きいものほど純度が高いことになる。現在市販されている純鉄として最高級のクラスに属するジョンソン・マッセー鉄を直接冷間加工して、針金にし、十分に水素処理を行って C、N、O をできるだけ低くしたものの RRR_H は 1000～1500 である。一方、在来品電解鉄はいったんルツボ溶解し（こうせざるを得ない）、線材としたのち同様に十分の水素処理を行うと、 RRR_H は 100 以下になる。これに対し高純度電解鉄では約 2mm 角に切り出したのち、溶解や中間焼鈍を経ずに、0.5mm 径まで冷間線引して水素処理すると、 $RRR_H \simeq 500$ である。

「アトミロンYL」の物性、製品の化学成分

(単位：重量%)

	C		S		P		N	
	規格値	分析値	規格値	分析値	規格値	分析値	規格値	分析値
アトミロンYL	—	0.0039	≤0.0005	0.0001	≤0.001	0.0002	≤0.001	0.0003
アトミロンXL	≤0.004	0.0034	≤0.001	0.0004	≤0.001	0.0002	—	0.0036
アトミロンF	≤0.004	0.0038	≤0.002	0.0010	≤0.004	0.0020	≤0.006	0.0055
アトミロンM	≤0.005	0.0029	≤0.005	0.0031	≤0.004	0.0013	—	0.0031

	Si		Mn		Cu		Cl	
	規格値	分析値	規格値	分析値	規格値	分析値	規格値	分析値
アトミロンYL	≤0.001	0.0002	≤0.001	0.0003	≤0.004	0.0016	≤0.04	0.014
アトミロンXL	≤0.001	0.0004	≤0.001	0.0004	≤0.004	0.0016	≤0.06	0.020
アトミロンF	≤0.004	0.0023	≤0.004	0.0018	≤0.004	0.0020	≤0.06	0.029
アトミロンM	≤0.005	0.0030	≤0.005	0.0021	≤0.004	0.0009	—	—

2. 水 素 貯 蔵 合 金

(1) 概 要

水素貯蔵合金は大量の水素を可逆的に吸蔵（貯蔵）、放出させる合金である。この合金の結晶構造のすきまは結晶の格子間位置と呼ばれ、合金中にある多くの格子間位置は多くの水素原子を収容できる広さをもっている。

また、水素圧を高くすることにより水素は飽和状態となり、合金と水素は一般に簡単な整数比の金属水素化物をつくる。この場合、合金の原子と水素原子との結合力が重要な要素で、この結合力いかんによって合金の水素放出、吸蔵に差異を生ずる。このため、最も適当な結合力をもつ金属水素化物のみが可逆的に水素を吸蔵、放出できる。

このような水素の吸蔵、放出の性状のほか、もう1つの特徴は、水素化物の生成あるいは分解にともなう発熱または吸熱性状であり、これらの熱動作を利用することが水素貯蔵合金の用途を大きく広げている。この用途ではヒートポンプへの応用がある。

さらに、水素化物にすると、水素密度をきわめて高くすることができ、水素の貯蔵・輸送としての用途が開発されつつある。

水素貯蔵合金が水素を吸蔵あるいは放出する温度および圧力は合金の組成で決まる。

水素貯蔵合金として具備すべき主な条件は以下のとおりである。

- ①活性化が容易である。
- ②水素吸蔵量が大きい。
- ③水素平衡圧が室温付近で数気圧である。
- ④ヒステリシスが小さい。
- ⑤水素吸蔵・放出速度が速い。
- ⑥不純物に対する被毒に強い。
- ⑦耐久性に優れる。
- ⑧安価である。

水素貯蔵用金属としては、チタン系、希土系、マグネシウム系等が検討されている。チタン系（チタン・鉄）合金は比較的安価で吸蔵放出のサイクル寿命も長く、実用性が高いと考えられているが、水素化の際、高温高圧下で活性化処理をしなければならないことが欠点である。希土系（ランタン・ニッケル系）は常温で水素の吸蔵放出ができるが、ラタン（La）の価格が高い。マグネシウム系合金は単位重量当たりの水素吸蔵が高いが、放出には300℃以上の高温が必要である。

各種金属水素化物の諸特性の比較

金属水素化物	水素含有率 (wt%)	解離圧 (atm)	生成熱 ΔH (kcal/mol H_2)	金属水素化物	水素含有率 (wt%)	解離圧 (atm)	生成熱 ΔH (kcal/mol H_2)
LiH	12.7	1 (890°C)	-43.3	TiFe _{0.85} Mn _{0.15} H _{1.9}	1.8	5 (40°C)	-
MgH ₂	7.6	1 (290°C)	-17.8	TiCoH _{1.4}	1.3	1 (130°C)	-13.8
Mg ₂ NiH _{4.0}	3.6	1 (250°C)	-15.4	Ti _{0.9} La _{0.1} CoH _{1.3}	1.1	1 (115°C)	-13.2
MgCaH _{3.72}	5.5	5 (350°C)	-17.4	Ti _{0.9} V _{0.1} CoH _{1.4}	1.3	1 (132°C)	-15.9
CaNi ₅ H _{4.0}	1.2	0.4 (30°C)	-8.0	TiCo _{0.5} Mn _{0.5} H _{1.7}	1.6	1 (90°C)	-11.2
AlH ₃	10.1	-	-2.7	TiCo _{0.5} Fe _{0.5} H _{1.2}	1.1	1 (70°C)	-10.1
LaNi ₅ H _{6.0}	1.4	4 (50°C)	-7.2	TiCo _{0.75} Cr _{0.25} H _{1.3}	1.2	1 (119°C)	-12.1
MmNi ₅ H _{6.3}	1.4	34 (50°C)	-6.3	TiCo _{0.75} Ni _{0.25} H _{1.5}	1.4	1 (156°C)	-15.2
MmCo ₅ H _{3.0}	0.7	3 (50°C)	-9.6	TiFe _{0.46} Nb _{0.04} H _x	-	9 (60°C)	-
Mm _{0.5} Ca _{0.5} Ni ₅ H _{5.0}	1.3	19 (50°C)	-7.6	TiFe _{0.8} Be _{0.2} H _{1.34}	1.4	2.5 (50°C)	-36.6
Mm _{0.9} Ti _{0.1} Ni ₅ H _{4.5}	1.1	27 (50°C)	-7.4	-	-	-	(kcal/gH)
MmNi _{4.5} Mn _{0.5} H _{6.6}	1.5	4 (50°C)	-4.2	TiFe _{0.8} Ni _{0.15} V _{0.05} H _{1.6}	1.6	1 (79°C)	-10.8
MmNi _{2.5} Co _{2.5} H _{5.2}	1.2	6 (50°C)	-8.4	TiMn _{1.5} H _{2.47}	1.8	5~8 (20°C)	-6.8
MmNi _{4.5} Al _{0.5} H _{4.9}	1.2	5 (50°C)	-5.5	Ti _{0.8} Zr _{0.2} Mn _{1.3} Mo _{0.2} H _{3.0}	1.7	2~6 (20°C)	-7.0
MmNi _{4.5} Cr _{0.5} H _{6.3}	1.4	14 (50°C)	-6.1	Ti _{0.9} Zr _{0.1} Mn _{1.3} V _{0.2} Cr _{0.4} H _{3.2}	2.1	8~9 (20°C)	-7.0
MmNi _{4.5} Si _{0.5} H _{3.8}	0.9	21 (50°C)	-6.6	Ti _{0.8} Zr _{0.2} Cr _{0.8} Mn _{1.2} H _{3.0}	1.8	5 (20°C)	-6.9
MmNi _{4.5} Cr _{0.25} Mn _{0.25} H _{6.9}	1.6	5 (50°C)	-7.1	TiCr _{1.8} H _{3.6}	2.4	2~50 (-78°C)	-
Mm _{0.5} Ca _{0.5} Ni _{2.5} Co _{2.5} H _{4.5}	1.1	9 (50°C)	-8.3	Ti _{0.75} Al _{0.25} H _{1.5}	3.4	1 (100°C)	-11.3
MmNi _{4.5} Al _{0.45} Ti _{0.05} H _{5.3}	1.3	3 (30°C)	-	ZrMn ₂ H _{3.46}	1.7	1 (210°C)	-9.3
MmNi _{4.7} Al _{0.3} Ti _{0.05} H _{5.6}	1.3	6 (30°C)	-	VH ₂	3.8	8 (50°C)	-9.6
TiFeH _{1.9}	1.8	10 (50°C)	-5.5	V _{0.8} Ti _{0.2} H _{1.6}	3.1	3~10 (100°C)	-11.3

水素貯蔵合金の種類と特性比較

合金の種類	水素放出条件	水素含有量	吸蔵放出能力	活性化難易	コスト	安全性	摘 要
鉄-チタン	☆☆☆	☆	☆☆	☆	☆☆☆	☆☆	最安値品
チタン-マンガン	☆☆	☆	☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	アルミ合金容器用
ランタン-ニッケル	☆☆☆	☆	☆	☆☆	☆	☆☆	最高級品
*ミッシュメタル-ニッケル	☆☆	☆	☆	☆☆	☆☆	☆	Laの低コスト化
マグネシウム-ニッケル	☆	☆☆	☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	自動車向け

(三段階評価, ☆印が多いほど優れている。)

(注) * ミッシュメタルはランタン(La)とセリウム(Ce)の混合体

(2) 市場・企業動向

①水素貯蔵装置

水素貯蔵合金を用いる定置式水素貯蔵装置の研究開発が進められた。貯蔵装置の大形化を促す原動力となったのは、昭和56年大阪工業技術試験所が開発した貯蔵量16m³の装置であり、その後、約20倍の貯蔵能力を有する装置が相次いで開発された。これらの装置は高圧ポンベと比較して容積で約1/7、重量でも約30%減と小形・軽量化を達成している。これらにはいずれも改良形希土類合金が使用されている。

②水素輸送用装置

化学技術研究所では、水素輸送用装置の開発が進められ、5%ニッケルを含むマグネシウム合金を用いた軽量バッチ形水素輸送システムが考案された。これは通常のポンベと比較して体積、重量とも1/4以下、重量当たりの水素輸送量は5倍程度になる。

金属水素化物からの水素を燃料とする水素燃料原動機の開発が、機械技術研究所と化学技術研究所共同で進められ、このほか、水素ガス燃料供給システムの開発も行われている。

③ケミカルヒートポンプ

各種産業廃熱の回収・利用、太陽熱の利用による冷暖房の省エネルギー化などの効果は大きく、現在多くの企業で実証試験機を使った性能試験が繰り返されている。システムの効率をより向上させるため、合金特性の改良研究も同時に進められている。

④その他の応用

金属水素化物の分解による水素は、その温度における平衡解離圧をもっているため、これを機械エネルギーとして利用しようとする試みや、水素貯蔵合金を用いる水素の精製や同位体分離に利用しようとする研究が進められている。また一方では、有機化学における水素添加触媒や、電池材料としての利用についての研究も行われている。

(3) 企業動向

わが国の研究の歴史はまだ浅いが、最近各研究所、各メーカーの進出は著しい。金属材料技術研究所では、鉄-チタン合金に酸素を加えた改良鋼種を開発、活性化処理をしないで水素を吸蔵する特徴をもっている。また、大学の研究室でも研究が盛んで、東京大学、工学院大学、東北大学、横浜国立大学など数多く、特に東北大学ではアモルファス（非晶質）の水素貯蔵合金の開発を進めている。民間企業でも、松下電器産業と大同特殊鋼、日本重化学工業と日本真空技術、中央電気工業、昭和電工、積水化学工業、山陽特殊製鋼、三菱化成工業、三菱製鋼、共同酸素などがある。

三菱製鋼では、100℃までの低温用としてジルコニウム-チタン鉄合金、300~400℃の高温用としてマグネシウム-遷移金属の合金を開発している。

(4) 物性・特徴

＜水素貯蔵合金：日本冶金工業＞

＜性 質＞

水素吸蔵合金は、水素ガス中で圧力をあげると水素を吸って発熱し、圧力を下げると水素を吐いて吸熱する性質がある。

＜応 用＞

この水素貯蔵合金性を利用して水素貯蔵タンクや、熱的特性を利用してヒートポンプなどに広く開発が進められている。

＜種 類＞

狭い圧力幅で多量の水素を速かに吸蔵・放出することを特徴があり、つぎの種類がある。

当社開発合金	温度、圧力*	主 な 用 途
Zr-Ti-Fe-V 系	0 ~ 200 ℃	水素貯蔵タンク、輸送容器、 精製・分離、自動車、電池、 触媒
Ti-Fe-Ni 系	0 ~ 30 気圧	エアコン、廃熱回収、蓄熱装置 コンプレッサ、センサ、ケミカルエンジン
Ti-Fe-Co 系		

* 使用温度、圧力条件には合金組成を変えて対応できる。

3. 形状記憶合金

(1) 概要・市場

現在、開発されている形状記憶合金には、下表に示すように種々のものがあるが、母相での物性、加工性および M_s （マルテンサイト変態温度）、 A_s （逆変態温度）をどのように設定できるか、あるいは合金価格などによって、これらの合金の種類がきまる。

形状記憶合金の最初に開発されたものはAu-Cd合金で、その後十数種類の基本形が発表されている。そのうち実用化されているのは、Ni-Ti合金とCu-Znに第三元素（Al, Snなど）を加えた合金である。

完全な形状記憶効果を示す合金の種類

合 金	組 成	M_s 点	A_s と M_s との差(℃)	規則構造の有無
Ag-Cd	44~49 原子% Cd	-190~-50℃	~15	規則
Au-Cd	46.5~50 原子% Cd	30~100℃	~15	規則
	14~14.5 重量% Al	-140~100℃		
Cu-Al-Ni	3~4.5 重量% Ni	-190~40℃	~35	規則
Cu-Au-Zn	23~28 原子% Au		~6	規則
	45~47 原子% Zn	-120~30℃		
Cu-Sn	~15 原子% Sn	-180~-10℃	~10	規則
Cu-Zn	38.5~41.5 重量% Zn			規則
Cu-Zn-X		-180~100℃		規則
(-Si, Sn, Al, Ga)	数重量% X		~10	
(X=Si, Sn, Al, Ga)		60~100℃		
In-Ti	18~23 原子% Ti	-180~100℃	~4	不規則
Ni-Al	36~38 原子% Al	-50~100℃	~10	規則
Ti-Ni	49~51 原子% Ni	~-130℃	~30	規則
Fe-Pt	~25 原子% Pt	~-100℃	~4	規則
Fe-Pd	~30 原子% Pd	-250~180℃		不規則
Mn-Cu	5~35 原子% Cu		~25	不規則

①Ni-Ti合金の製法

主成分のチタンは非常に活性で、容易に酸化するため、真空溶解（通常グラファイトルツボの真空誘導炉）が用いられる。

原料は純チタンと純ニッケルで、チタンは真空中でも原料、炉材、黒鉛などと反応しニッケルと