



## ガスタービン用燃料供給源としての 水素吸蔵合金—水素系の水素放出特性

東京都立科学技術大学 湯 浅 三 郎  
後 藤 登

### Abstract

In the prospect of using metal hydrides as a fuel storage tank for hydrogen gas turbines, a fundamental study was performed experimentally on the properties of hydrogen desorption under the isothermal condition at pressures and temperatures of practical interest using a mass flow meter system. A hydrogen storage alloy selected was  $MmNi_{4.15}Fe_{0.85}$ , because of having high equilibrium plateau pressures over wide ranges of hydrogen concentration in its metal hydride. It was found that the alloy could be easily activated at low temperatures and short incubation times. The hydrogen release rates from the hydride increased with an increase in ambient temperature and a decrease in ambient pressure. The rates could be represented as a function of equilibrium hydrogen concentration in the hydride, and the activation energy of the hydrogen desorption reaction was obtained. From the release rate data, a storage tank volume of the alloy was estimated to be comparable with those of liquid hydrogen tanks.

### 1. はじめに

著者らは、水素を現実のガスタービン燃料として実用化する一つの試みとして、自動車用のターボチャージャを圧縮機・タービンに転用し、新たに製作した高負荷燃焼器を具備した超小型水素ガスタービンシステムの開発を行い、高負荷燃焼器の燃焼特性やシステム全体の特性を調べてきた<sup>(1)~(3)</sup>。その結果、水素燃料ガスタービンを実用化の上では水素燃料の高密度貯蔵・供給システ

ムの開発が最も重要かつ早急な課題の一つであるとの認識を持つに至った。この点を解決するには小型で簡便な水素燃料供給システムを開発する必要がある、その水素供給源としては液体水素あるいは水素化された水素吸蔵合金（金属水素化物）が有望である。液体水素はロケットや航空機のように短時間に大量の水素を消費するエンジンに適しているが、長期間保存したり比較的少量の水素を長時間にわたって供給することが要求されるエンジンには水素化物の方が適している。そこで筆者らは、後者の用途を想定して水素吸蔵合金を用いた燃料供給システムの開発を試みることにした。

水素吸蔵合金による燃料供給システムの例としては、水素自動車用に開発されたシステムが報告されてはいるが<sup>(4),(5)</sup>、ガスタービン用はまだ開発されておらず、明らかにすべき事柄は多い。特に燃料供給システムを設計する上で欠くことの出来ない、金属水素化物からの水素の放出速度のデータは非常に少ない。本研究では水素ガスタービン用水素吸蔵合金燃料供給システム開発の第一段階として、各種水素吸蔵合金の特性の比較検討に基づいて、筆者らの開発した超小型水素ガスタービンの燃料貯蔵源に適した吸蔵合金を選定し、その水素化物の水素放出特性を調べた。続いてこの結果を基に、水素吸蔵合金を用いた燃料供給タンクのサイズについて検討を加えた。

### 2. 水素吸蔵合金—水素系の一般的特性と水素ガスタービン用合金の選定

水素吸蔵合金は、加圧・冷却すると多量の水素ガスを吸収する合金であって、最終的には水素化物に変化する。逆にこの水素化物を減圧・加熱すると水素ガスを放出して元の水素吸蔵合金に戻ることができる。可逆的なこの過程は以下の反応式で表される。

(平成4年1月21日原稿受付)

## 吸蔵 (加圧・冷却)

水素吸蔵合金 + 水素ガス  $\rightleftharpoons$  水素化物 + 反応熱 (1)

## 放出 (減圧・加熱)

水素吸蔵合金 - 水素系の静的な特性は、一般的に平衡圧力-組成等温線図によって知ることができる。図1(a)はこの線図を模式的に示したもので、温度が $T_1$ と $T_2$ の二つの等温下での金属水素化物中の水素濃度(横軸の濃度は合金を構成する元素の総原子数と水素の原子数との比で表される<sup>(6)</sup>)と平衡水素圧との関係を示したものである。これより水素圧力が水素濃度によらずほぼ一定となる領域(プラトー領域と呼ばれる)が存在すること、吸蔵・放出時にヒステリシスが存在し吸蔵時の方が平衡圧が高いこと、温度が高いほど平衡圧が高くなることがわかる。このような平衡圧力-組成等温線図から、平衡状態に達しているときの水素化された吸蔵合金の水素の吸蔵量や放出圧力が予測できる。図1(b)は平衡圧の温度依存性を示したもので、温度の逆数に対する勾配から(1)の反応のエンタルピーの変化、すなわち反応熱を求めることができる<sup>(6)</sup>。

水素吸蔵合金を構成する成分元素としては、水素の吸蔵能力が優れた希土類金属(La, Ce, Pr, Nd等)やMg, Ni, Fe, Ti等が有望であり、これらを組み合わせた数多くの種類の水素吸蔵合金が知られている。高圧水素ガスを一定圧力で供給する必要があるガスタービン燃料供給源としての吸蔵合金を考えた場合、①水素吸蔵量が多いこと、②水素化物のプラトー領域における等圧性が良く、またその領域が広いこと、③常温でのプラトー圧

が高いこと、④水素化物の水素放出速度が早いこと、⑤活性化が容易なこと、⑥水素化物の生成熱が低いことが要求される。特に④は、直接的に水素吸蔵合金タンクの容量に関係するばかりでなく、④の場合には温度・圧力制御に関する水素供給システムの構築が容易になる点からも重要である。

市販されている各種の水素吸蔵合金において、①の特性の違いはそれほど大きくはなく、また④は不明であるため、特に②と③に重点を置いて超小型水素ガスタービン用燃料供給源に適した吸蔵合金を調査した。調査は5社、26種の水素吸蔵合金に対して行い、イ) 常温におけるプラトー圧が0.8MPa以上あること、ロ) (プラトー領域の圧力差/平均的なプラトー圧) で定義した等圧度が0.3以下であること、を選定基準とした。その結果、日本重化学工業社製の $MmNi_{4.15}Fe_{0.85}$  (Mm: ミッシュメタル。希土類金属の合金で、比重は8.2, 組成は質量パーセントでLa: 27.6%, Ce: 51.8%, Pr: 15.8%, Nd: 4.6%である。)<sup>(7)</sup>が、少なくとも著者らの知る限りでは最も優れている合金であるとの結論に達した。図2に30°Cにおけるこの合金-水素系の平衡圧力-組成等温線図<sup>(7)</sup>を示す。([H/M] = 1.0におけるこの合金の水素吸

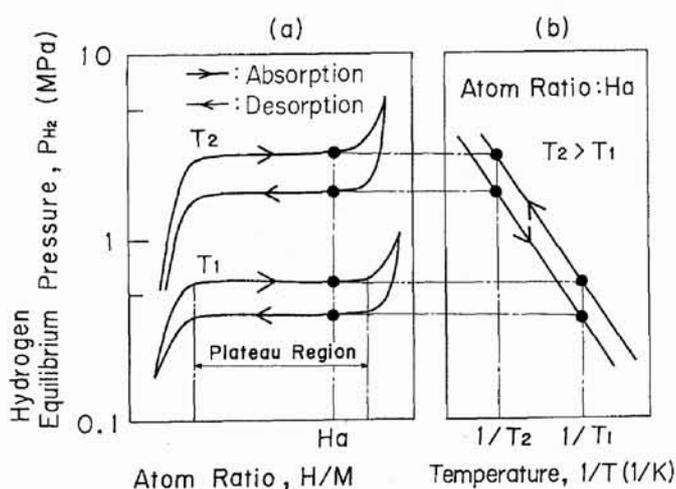


図1 金属水素化物の平衡特性

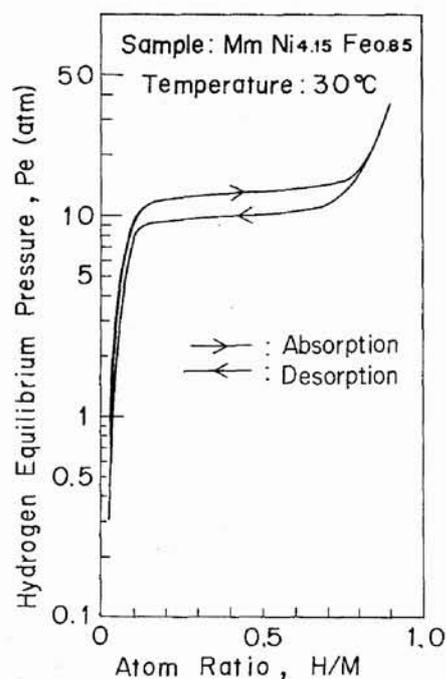


図2  $MmNi_{4.15}Fe_{0.85}$ -水素系の平衡圧力-組成等温線図<sup>(7)</sup>

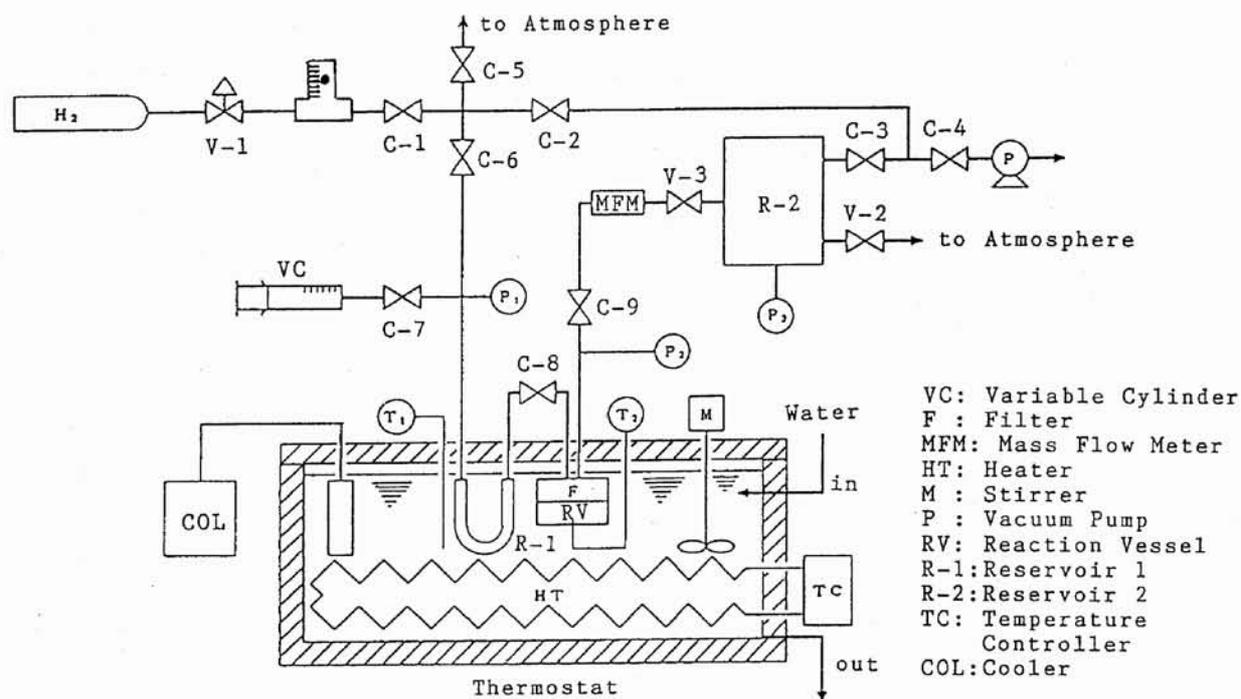


図3 実験装置系統図

蔵量は $1.39 \times 10^{-2}$  [gH<sub>2</sub>/g Metal]である。) この合金の水素化物の場合、雰囲気温度によってプラトー領域の平衡圧力は大きく変化するものの、例えば0°Cの時の放出プラトー圧は3~4気圧に低下するが、プラトー圧よりも高い圧力で吸蔵したときの水素吸蔵量そのものは殆ど変わらず、水素の吸蔵能力に及ぼす雰囲気温度の影響は少ない<sup>(7)</sup>。この合金を使い、機関仕様に見合った大きさの燃料供給システムを実際に開発する上では、平衡時の静的な性能以外に活性化の容易さや水素化物の水素放出の速度などの動的な性能を知る必要があるが、これらのデータはこれまでに報告されていない。

### 3. 実験装置と方法

図3に水素吸蔵合金を活性化し、水素の放出速度などの測定を行うための実験装置の系統図を示す。本装置は大別して水素ガス加压供給系、反応容器と恒温水槽、質量流量計と排気系とから成っている。水素吸蔵合金は図4に示す反応容器(RV; 銅製、内径30mm、深さ5mm)内に入れて恒温水槽内に設置する。一度に試験する合金量は、水素化による体積膨張を考慮して約4gとした。水槽の温度は0~100°Cの範囲で制御できるようになっており、合金の温度は試料層内に挿入した熱電対で測定した。リザーバー1(R-1)は平衡

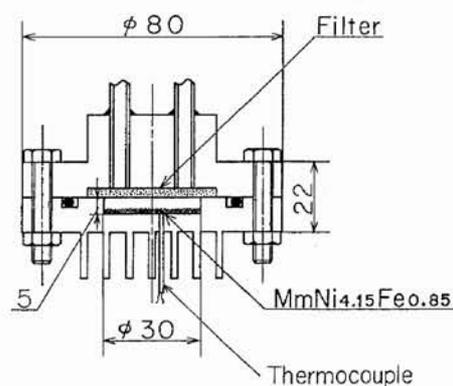


図4 反応容器

圧力-組成等温線図を求める際に必要な水素タンクであり、配管部も含めてその容積は厳密に計測されている。リザーバー2(R-2)は放出速度測定時の放出圧力設定用のタンクで、水素ボンベからの配管のバルブの開度を操作することによって、タンク内の圧力を真空から0.6MPaの範囲内で設定できる。このタンクの容積は反応容器の容積に比べて十分に大きくとってある。また反応容器からリザーバー2までの配管は極力短くして圧力損失が少なくなるように注意を払った。ここで水素放出速度は、従来よく利用されていた容積法や定圧法による間接測定ではなく、放出される水素流量を質量流量計(MFM)で直接測定することにより求めた。この方法は、反応容器内圧力ある

いは試料合金の質量の変化の精密な測定を要すことなく、ほぼ理想的な等温・等圧の条件下で水素の放出速度を比較的簡単かつ直接的に測定できるところに利点がある。

製造された水素吸蔵合金は空气中で粉碎されて使用に供されるが、この過程で合金表面に酸化物や水酸化物、吸着ガス層が形成され、これらが水素と合金との反応を阻害する。従って、合金の水素化を促進させるためには、前処理としてこれらを除去して合金表面を活性化させる必要がある。本実験では16メッシュパス（1 mm 以下）の粒子径に粉碎された  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  を用い、以下の手順で活性化処理を行った。すなわち、反応容器に入れた試料をまず  $80^\circ\text{C}$  に加熱した状態で1時間真空に引き、続いて  $0^\circ\text{C}$  近くまで冷却したのち水素で約 5 MPa に加圧し12時間程度放置する。この一連の操作を、反応容器内の水素の明かな吸蔵が認められるまで数回繰り返して活性化処理を完了させる。続いて活性化した合金試料に、所定の雰囲気温度のもとで反応容器内の圧力を1.8MPa に保って、平衡状態が達成されるまで水素を吸蔵させる。最後にリザーバー 2 の圧力を所定の圧力に設定する。これらの操作終了後、ある時刻においてコック C-9 を開け、金属水素化物からの水素の放出速度の時間的変化を調べる。一般的に、放出速度に影響を与える因子としては水素化物の温度、放出雰囲気圧力、合金内の熱伝導の速さ、吸蔵水素ガス中に含まれる不純物ガスの濃度、吸蔵・放出の繰り返し回数等がある。今回は市販の高圧ボンベ水素ガス（純度：99.99%以上。露点： $-60^\circ\text{C}$  以下。含有他ガス濃度： $\text{O}_2 < 3 \text{ ppm}$ ,  $\text{N}_2 < 80 \text{ ppm}$ ,  $\text{CO} < 1 \text{ ppm}$ ,  $\text{CO}_2 < 1 \text{ ppm}$ ,  $\text{HC} < 1 \text{ ppm}$ ) を用い、雰囲気温度（測定開始時の反応容器内温度）と圧力（リザーバー 2 の圧力）をそれぞれ  $4 \sim 30^\circ\text{C}$ ,  $0.1 \sim 0.6 \text{ MPa}$  の範囲で変えて、放出速度に及ぼす温度と圧力の影響を調べた。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 活性化特性

$\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  の活性化の進行状況を知るために、3.の実験方法の節で述べたような加熱・減圧と冷却・加圧の操作を繰り返す際の水素吸蔵過程における圧力の時間変化を調べた。図5に、活性化達成時における反応容器内の水素ガス圧の時間

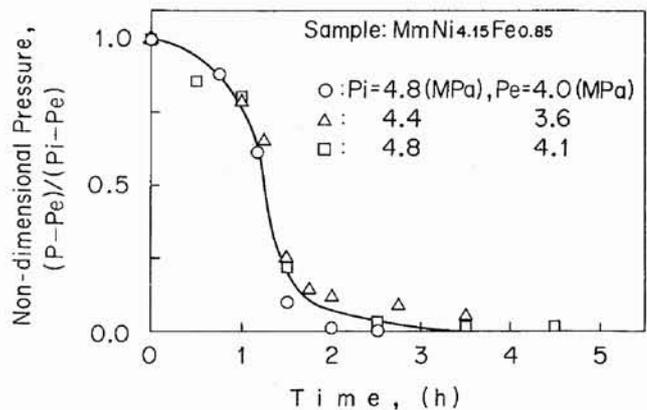


図5  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  の活性化時の圧力変化

( $p_i$ : 反応容器内の初期水素圧,

$p_e$ : 活性化達成時の反応容器内の平衡水素圧)

的变化を示す。この図のような圧力変化は活性化操作を2～3回繰り返した後に初めて起った。その時には図に示すように加圧1時間後あたりから水素の吸蔵が開始されて容器内の水素圧が低下し始め、2時間後にはほぼ平衡に達するのが観察された。この後の繰り返し操作では、加圧後数分間で容器内圧力が平衡値まで急激に低下するようになった。従って図5に示した様な圧力低下が認められる時点で合金の活性化が完了することがわかった。すなわち  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  の場合、活性化処理のための吸放出操作は比較的簡単で、数回で済むことがわかった。またこの合金の活性化前後の試料の形状を比較観察したところ、明らかに粒径が微細になっているのが認められた。これより活性化処理によって合金は表面層が除去されるばかりでなく、微細化も促進され水素との接触表面積が増大することが明らかになった。

### 4.2 水素放出時の諸特性

本実験における放出速度測定は、原理的には等温の条件下で行われることを前提としている。このことを確かめるために、水素化された  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  の水素放出時の反応容器内の温度変化を測定し、容器内に水素吸蔵合金を入れずに水素ガスのみを貯えた場合と活性化していない合金を入れた場合の温度変化の結果と比較した。図6は反応容器内の温度の時間変化の代表的な例である。常温の水素ガスが、放出開始時の圧力である1.8MPa から大気圧まで可逆断熱膨張した場合には、理論上は

温度が約170°C低下する。しかし図6からわかるように、この反応容器内の水素ガスのみの場合の温度降下は約1°Cであり、また活性化していない  $MmNi_{4.15}Fe_{0.85}$  を入れた場合には反応容器内からの水素の放出による温度降下は殆ど認められなかった。これは反応容器の表面積/容積比が大きくかつ熱伝導率の大きい銅製反応容器であるために周囲との熱交換が速やかに行われるためと考えられる。従って放出反応が起こらない場合には、この反応容器内はほぼ等温状態が保持されることが確認された。一方、水素化されたこの合金から水素が放出される場合には、最初大きく温度が低下した後、水素を放出している間中1~2°Cの温度低下が観測された。このことは水素放出反応は明らかに吸熱反応であることを示しているが、反応容器を通して水素化物試料へ周囲から熱が速やかに供給されるため、放出過程の初期の段階を除いてはその温度低下は少なく、本実験では等温条件

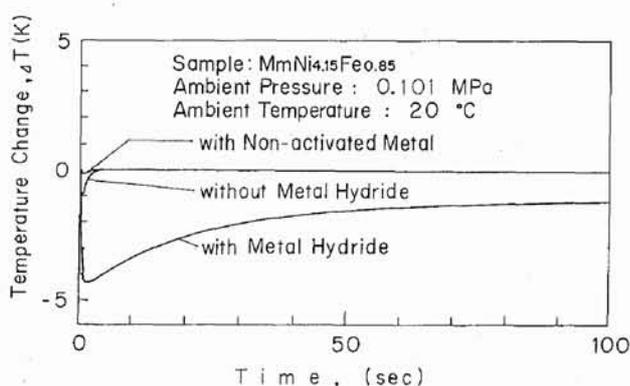


図6 反応容器内温度の時間的変化

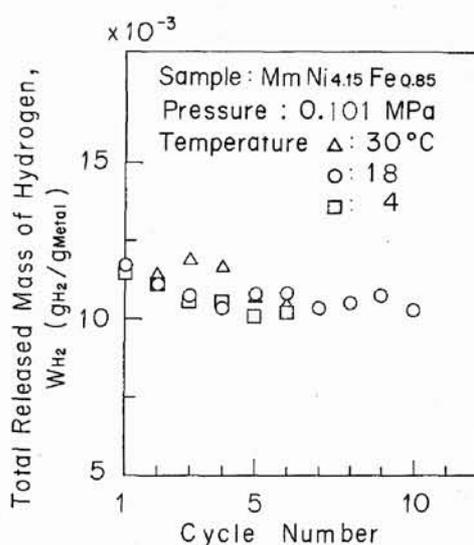


図7 放出回数による総放出水素質量の変化

がほぼ満足されていると見なせる。

金属水素化物は水素の吸蔵、放出を繰り返すことによって粒径が微細になることが知られている<sup>(5),(8)</sup>(4.1参照)。この現象の放出特性に及ぼす影響を把握する一つの目安として、図7に示すように放出回数に対する  $MmNi_{4.15}Fe_{0.85}$  単位質量当りの水素の総放出量の変化を、雰囲気温度をパラメータにして調べた。この図より放出回数が増えるにつれて総放出量は減少する傾向が見られるが、5回前後でほぼ落ち着くことがわかる。このことは、活性化後の合金では総放出量に及ぼす表面積の増加の効果は見られず、むしろ最初の数回の放出の間に水素ガス中に含まれる酸素などの不純物ガスによって水素吸蔵合金表面が“被毒”<sup>(5)</sup>され放出量が減少した可能性すら示唆しているが、詳細な原因については現時点では不明である。また雰囲気温度が高いほど総放出量が多い傾向が認められるが、顕著ではない。いずれにせよここで得られた総放出量の値は、平衡圧力-組成等温線図(図2)から求められる値とほぼ同じであり、質量流量計を用いた本実験の放出水素質量測定方法が妥当であることを示している。

図8と9に、 $MmNi_{4.15}Fe_{0.85}$  単位質量当りの金属水素化物の水素放出速度と総放出量の時間的変化の代表的な例を示す。放出過程においてはコックC-9を開けた瞬間に反応容器内に貯っていた水素ガスがまず放出されるが、その時間は約3秒間であり、金属水素化物から水素が放出される時間に比べて十分に短い。従って図8と9にはその後からの変化を示してある。またこれら曲線は、総放出量が回数によって変化しなくなった後の、同一合金試料の4回分の放出結果の軌跡の幅を示したものであるが、反応容器内の合金試料を取り替えて新たに活性化した試料を用いた場合には、雰囲気温度・圧力が同じであっても実験によっては絶対値の再現性が悪い場合も観察された。従って図7や以下における同一図面のデータはすべて同一合金試料に対して比較したものである。さて図8より、水素化されたこの合金からの水素の放出速度は最初の約20秒の間は比較的高い値を示すものの、時間とともに終始単調に減少するのがわかる。そして平衡圧と雰囲気圧との圧力差がほぼ一定となるプラトー領域に対応した組成になっ

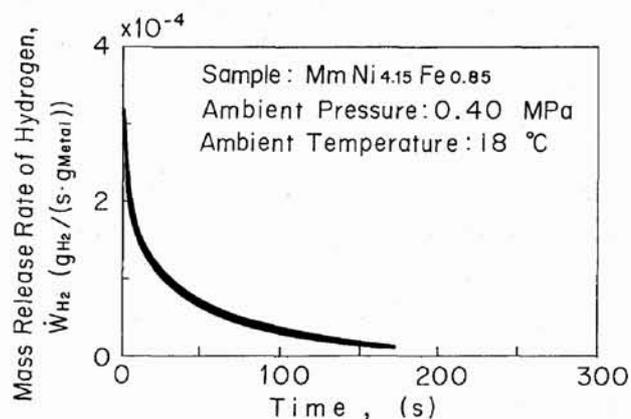


図8 水素放出速度の時間的变化

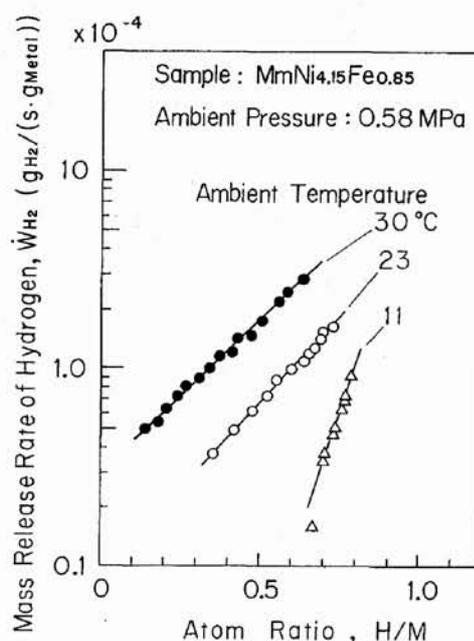


図10 水素放出速度と平衡組成との関係: 雰囲気温度による影響

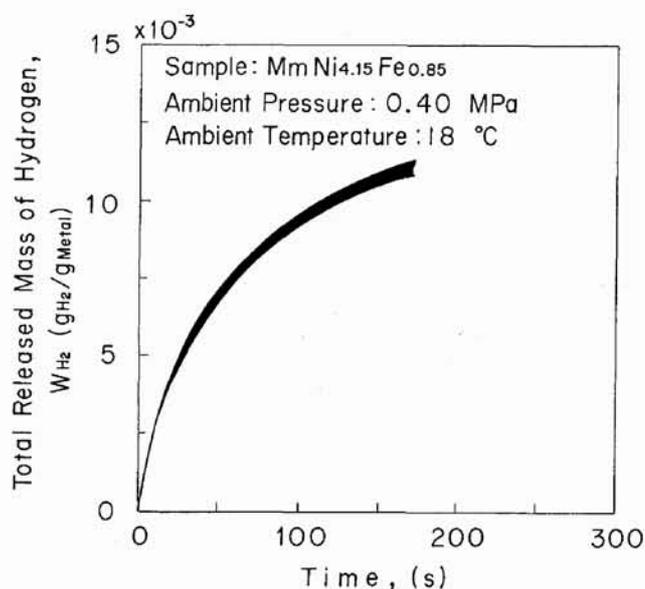


図9 総放出水素質量の時間的变化

たときにおいても放出速度は時間に対して一定値をとらない。この傾向は、実験した全ての雰囲気温度と圧力のもとで同じであった。図8を時間積分して求めた図9の水素の総放出量は時間とともに単調に増加し、最終的には雰囲気温度と圧力によって決まる平衡水素組成にほぼ等しい水素量を放出するのが確認された。

#### 4.3 放出速度に及ぼす温度と圧力の影響

平衡組成の状態から水素化された  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  が水素の放出を開始すると仮定すれば、合金単位質量当りの水素放出速度および総放出量の時間変化のデータを用いて水素放出速度と平衡組成との関係を求めることができる。この様にして求めた時間とともに変化する水素放出速度と平衡組成との関係を、雰囲気圧力と温度とをパラメータにして図10と11に示す。これらの図より

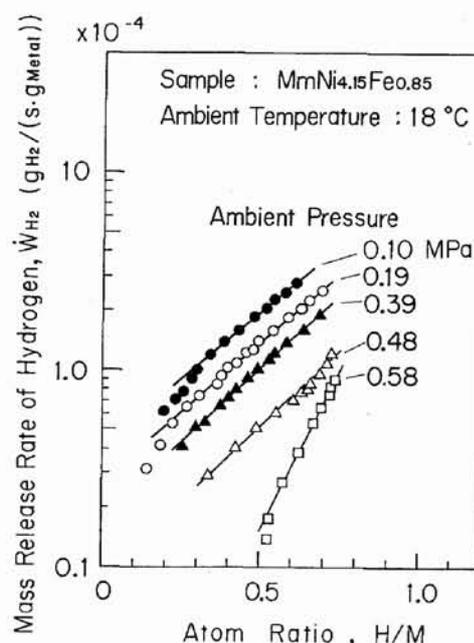


図11 水素放出速度と平衡組成との関係: 雰囲気圧力による影響

$\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$ —水素系の放出速度は

$$\dot{W}_{H_2} = a \cdot \exp(b \cdot [H/M]) \quad (2)$$

なる速度式で表すことが出来ることがわかった。ここで  $\dot{W}_{H_2}$  は吸蔵合金単位質量当りの水素化物の水素放出速度、 $a$  と  $b$  はそれぞれの温度と圧力によって決まる定数、 $[H/M]$  は水素化された吸蔵合金中の水素の平衡組成である。(2)の速度式は、

ゼルドビッチ-ロジンスキーの式として知られているニッケル線や金属酸化物への水素の化学吸着あるいは脱離速度式<sup>(9)</sup>と同じ関数の形をしている。このことは、金属水素化物からの水素の放出過程は貯気槽からの気体の噴出のような単純な物理過程ではなく、気体水素と水素吸蔵合金表面との複雑な化学反応過程によって支配されていることを示唆している。さらにこれらの図より明らかのように、放出速度は雰囲気温度が高いほど、また圧力が低いほど大きくなる。次に図12と13に、

放出速度定数  $a$  と  $b$  の雰囲気温度および圧力に対する変化を示す。これらの図は、定数  $a$  が一般の反応速度定数と同じくアレニウス型の関数、すなわち

$$a = A[(p_p - p_a)/p_o]^n \cdot \exp(-E/RT) \quad (3)$$

で表せることを示している。ここで  $A$  は定数、 $p_p$  はプラトー圧、 $p_a$  は雰囲気気圧力、 $p_o$  は標準圧力、 $n$  は圧力指数、 $E$  は見かけの活性化エネルギー、 $R$  はガス定数である。雰囲気気圧力が  $0.1 \sim 0.48$  MPa の範囲では定数  $b$  は温度と圧力によらずほぼ

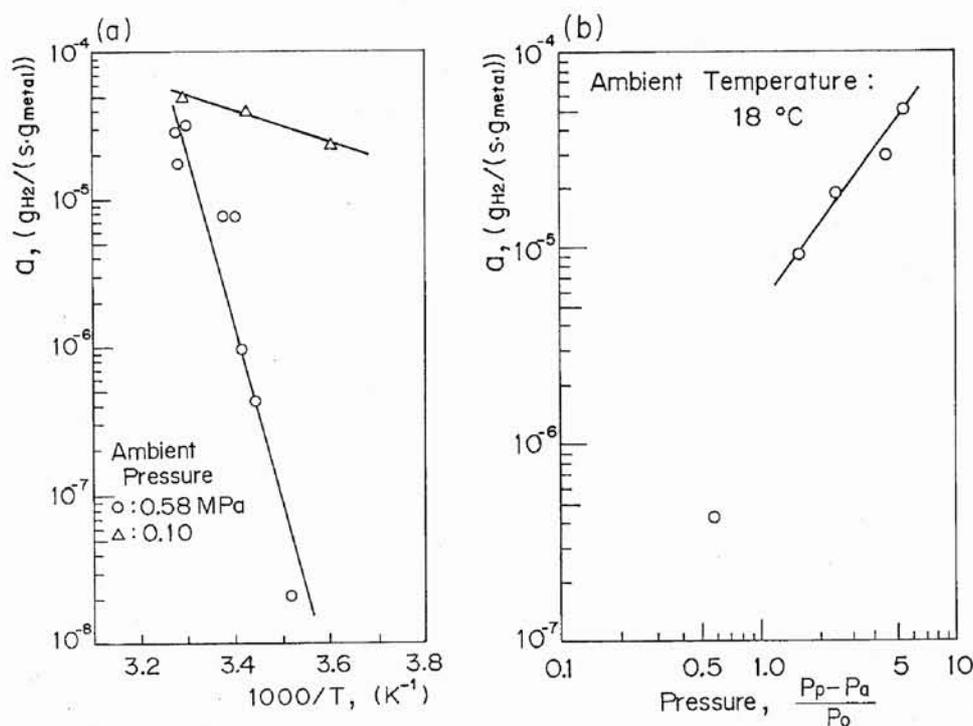


図12 放出速度定数  $a$  の温度及び圧力依存性

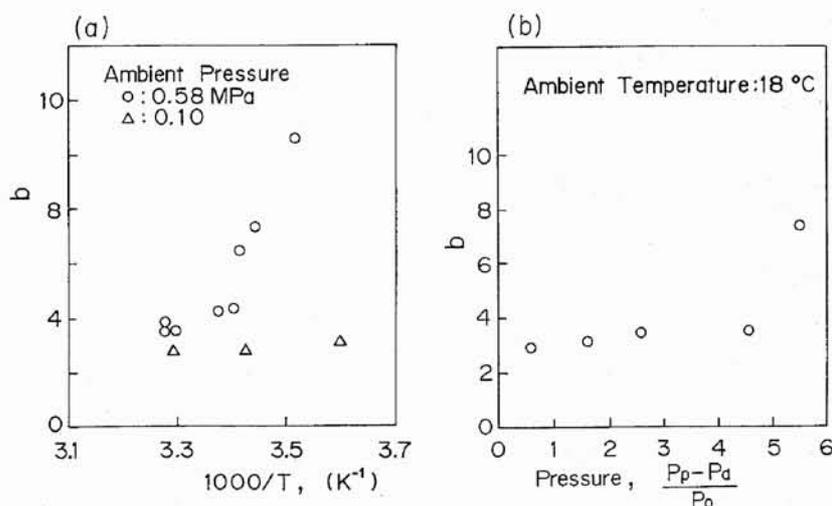


図13 放出速度定数  $b$  の温度及び圧力依存性

一定であり、 $n$ は約1.35、 $E$ は約8.5kJ/molである。この活性化エネルギーの値はこれまでに知られているMmNi系の金属水素化物の放出時の活性化エネルギーの値とオーダーが一致していることがわかった<sup>(6)</sup>。しかし雰囲気圧力が0.58MPaと高くなると定数 $b$ が温度の上昇とともに減少する様になり、活性化エネルギーも約100kJ/molと非常に大きくなった。このことは雰囲気圧力が高いところでは水素放出の反応機構が変化することを示唆しているが、詳細は現時点では不明である。

これらの放出速度の測定より、雰囲気温度と圧力とを一定に保っている限りでは単位合金質量当りの水素放出速度は時間とともに変化してしまうが、温度あるいは圧力を適当に変化させることによって放出速度を一定に保つことが原理的には可能であることが明らかになった。現実の供給装置を想定した場合には、温度を制御する場合の方が得策であると考えられる。

#### 4.4 水素吸蔵合金タンクの容積の評価

MmNi<sub>4.15</sub>Fe<sub>0.85</sub>を使った実際の水素吸蔵合金燃料供給システムの大きさを検討するため、得られた放出速度のデータに基づいて合金貯蔵タンクの容積を見積ってみた。見積りにあたって第一に、雰囲気温度と圧力はそれぞれ18°Cと0.58MPaで一定に保たれ、金属水素化物は水素の放出によって平衡水素組成が $[H/M] = 0.9$ から0.5に変化するまで使用するものとした。また4.3の実験で明らかになったように、温度と圧力を一定に保つとすれば、水素が放出されて組成が最も低くなる $[H/M] = 0.5$ において、放出速度は最も小さくなる。その速度は、データのばらつきを考慮して最も小さい値を選ぶとすれば $0.2 \times 10^{-4} [gH_2 / (gMetal \cdot s)]$ 程度である。(図11参照)。従って第二に、MmNi<sub>4.15</sub>Fe<sub>0.85</sub>-水素系が常にこの放出速度を保つと仮定し、供給水素流量として超小型水素ガスタービンの自立時と最大出力時の流量に対応した0.2~0.4g/sの範囲を想定する<sup>(1)-(3)</sup>。これらの条件下での試算結果を図14に示す。図中の横軸には水素化された吸蔵合金に含まれる水素と同質量の液体水素の容積を比較のため併せて示している。

これより、上述の範囲の水素流量を得るのに必要な最も少ない合金の質量は10~20kgなり、それぞれの流量で約4.6分間水素を放出できることが

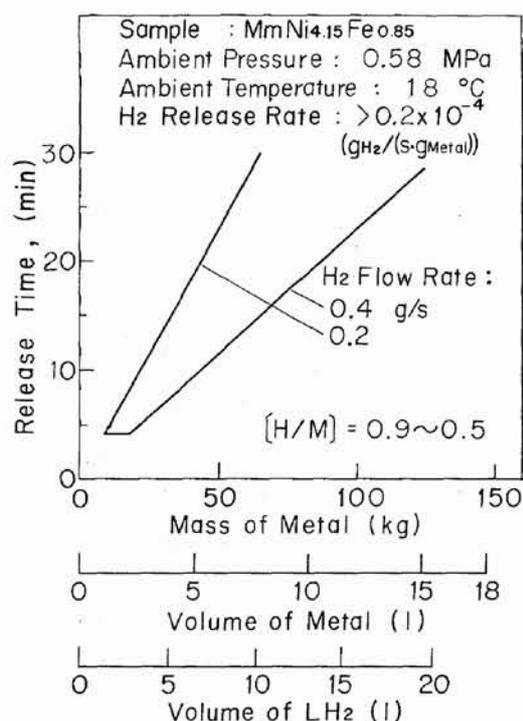


図14 水素吸蔵合金燃料タンクの容積評価

わかった。より実際的には、例えば水素化されたMmNi<sub>4.15</sub>Fe<sub>0.85</sub>が10ℓ(合金質量で82kg)である場合には、0.4と0.2g/sの水素流量に対してそれぞれ19及び38分間に渡って超小型水素ガスタービンを運転できることになる。(この貯蔵タンク容量の場合、放出初期の短時間であれば10g/s以上の速度で水素ガスを放出することが可能である。)この間にこの容積から放出される全水素流量は460gであり、この放出量は液体水素の体積に換算すると6.5ℓに相当する(この時点でも水素化された吸蔵合金内には $[H/M] = 0.5$ に相当する水素がまだ貯蔵されているので、横軸の液体水素の体積はその分も含んで換算してある)。このことは、この水素吸蔵合金を用いた燃料供給システムは同質量の水素を貯蔵する液体水素と容積的にほぼ同じであり、質的には不利ではあるものの十分に実用的な大きさに納まると言える。

実際にこのような貯蔵タンクから水素を供給するときには、放出時の吸熱反応による合金の温度低下やタンク内の圧力変動に伴う放出速度の変化が予想される。従って水素吸蔵合金による現実の水素ガス供給システムを構築する際には、水素化物内の熱交換を促進する工夫とともに温度・圧力を一定、場合によっては所定のプログラムに沿っ

て制御することが必要となると考えられる。

## 5. まとめ

水素吸蔵合金による水素ガスタービン用燃料供給システム開発の第一段階として、筆者らが開発した超小型水素ガスタービンを対象にこのガスタービンに最適な水素吸蔵合金の選定およびその水素化物の水素放出特性を調べる実験を行い、以下のことが明らかになった。

- (1) プラト特性の点からは  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  が、市販されている最も有望な水素吸蔵合金の一つである。
- (2)  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  は活性化処理が比較的容易で、冷却・加圧と加熱・減圧による水素の吸放出を2～3回繰り返すと活性化できる。
- (3) 水素化された  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  の単位質量当りの水素放出速度  $\dot{W}_{\text{H}_2}$  は、雰囲気温度が高く、圧力が低いほど速くなる。この水素化物の平衡水素組成  $[\text{H}/\text{M}]$  を用いると、 $a$  と  $b$  を雰囲気温度と圧力に依存する定数としてその放出速度は、
 
$$\dot{W}_{\text{H}_2} = a \cdot \exp(b \cdot [\text{H}/\text{M}])$$
 なる速度式で表すことができる。また定数  $a$  はアレニウス型の反応速度定数の形で整理することができる。
- (4)  $\text{MmNi}_{4.15}\text{Fe}_{0.85}$  の水素化物を用いる燃料供給装置は、雰囲気温度を10～30°Cの間で変えることによって容易に放出速度を制御することが可能であるばかりでなく、貯蔵水素質量が同じで

あるならば液体水素とほぼ同容積を占め、十分に実用的である。

上記の実験結果に基づき、筆者らは超小型水素ガスタービン用の水素吸蔵合金燃料供給システムを現在製作中であるが、今後はガスタービンと供給システムとのマッチング、水素供給時の金属水素化物内の温度や圧力の変化など、実際の供給装置を用いて吸蔵合金による水素燃料供給上の問題点を明らかにしていく予定である。

本研究を遂行するに当たって平成2～4年度の東京都特定学術研究費の補助を受け、また実験に際しては本学学生田村 穂、山村健一君両君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- (1) 湯浅三郎他5名, 日本ガスタービン学会誌, 15-59 (1987), 122.
- (2) 湯浅三郎他6名, 東京都立科学技術大学研究報告, 5 (1991), 131.
- (3) 湯浅三郎・後藤登, 日本機械学会論文集 (B編), 58-551 (1992), 2288.
- (4) Hama, J. et al., SAE Paper 880036 (1986)
- (5) 大角泰章, 金属水素化物—その物性と応用—, (1986), 化学工業社.
- (6) 中村泰・鈴木良一・鉄と鋼, 72-2 (1980), 10.
- (7) 日本重化学工業社資料, ハイドマック, (1987)
- (8) Van H. H., "Stability of Ternary Hydrides and Some Applications," Philips Research Reports Supplements, (1976).
- (9) 慶伊富長, 吸着, (1973), 共立出版.