

2. 定例研究会

2-1 第17回定例研究会

(a) 核融合反応になにを選ぶべきか

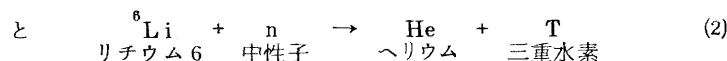
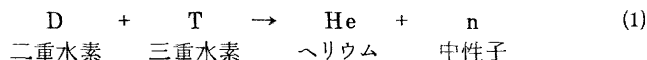
日本学術会議会長 伏見 康 治

核融合の話と水素エネルギーシステムの話とは余り直接の関係がないと思われませんが、水素の原子核の反応を使うという意味で、水素に関係しているところじつげられないことはないでしょう。

核融合の研究開発の段階も追々進んできました、始めのうちは全くの空想の世界のことと聞いていたのが、高温プラズマの生成と閉じこめの技術が大進歩を示しまして、特に環状大電流放電を行う、いわゆるトカマク方式というのが、核融合反応を行わせるのに十分なプラズマの温度と密度と時間幅とに近付いてきました。それで、もう核融合研究開発途上の最大難関は突破できたので、もはやその実現は間近いと考える向きが多くなりまして、相当多額の資金が投入されるようになってきました。今世紀末か来世紀初頭には核融合技術はものになるという見透しを立てることが一般的な観方になっていると思います。私はそれほど楽観的でなく、なるほど超高温プラズマの生成と閉じこめが核融合研究開発過程の中での最重要の里程碑であることは疑いないとしても、それ以外にもむずかしい問題が山積しているように思います。

たとえば現在唯一の可能性とみなされているトカマク方式ですと、その運転は原理的に有限時間内で終るパルス放電で行われることとなります。1億度の火の玉がついたり消えたりするわけですから、核融合炉のプラズマに直面する壁は大変な温度変化を受けることは必然で、このいわゆる熱サイクルに耐えられる物質を見付けることはずいぶん困難なことになるだろうと想像されるわけです。何しろトカマクというのは、変流器の2次回路のところに環状放電管を置いたものですから、1次回路の電流を無限に増大しないかぎり、有限時間内に放電電流のための起電力はなくなり、超高温プラズマの電気抵抗は大変小さいにしても、電流は次第に衰えてしまうのです。

もうひとつの難点は、核融合が果してクリーンなエネルギーになるかという問題です。核融合がクリーンであるという論拠は、その想定している核反応が

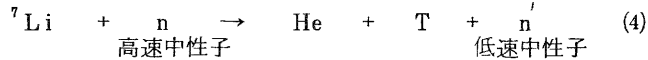


との組み合わせによるものとされているからです。(1)式と(2)式とを辺々加えますと、



となって、左辺にも右辺にも安定な原子核しか登場しません。それで核融合は、うまくやれば！、後に何も放射性のものを残さない、核分裂が必然的に死の灰を生産するのとの根本的な違いであると言われてきました。これはもちろん第一近似としては正しいことに違いありませんが、(1)の反応と(2)の反応とが物理的に連結されて起るわけではなく、工学的処理で両方を結び付けるだけのものであることに注意がいります。それに(1)と(2)のような1次元の連鎖反応は実際問題として続けられるものでなく、中性子nは途中で他の核につかまって、失われる場合が多いのです。核分裂の連鎖反応の場合のように、末広がりになっていないといけないのです。

幸いD, T 反応の場合には、高速の中性子に対して



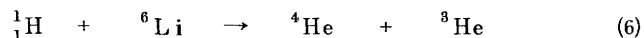
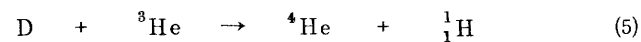
という反応があり、天然のリチウムで、D, T プラズマから出る高速(14 MeV)の中性子nを受けるとすれば、(2)も(4)も起って、多少とも末広りの、増倍的な連鎖反応になり、途中での損失があってもその連鎖反応が維持できることとなります。この考えには、中性子の損失があることを前提としており、従って中性子がリチウム以外の炉材料を放射能化することを許容しています。

炉材料、特にプラズマをいれる真空容器の壁は、第1壁とよばれていますが、その材料の中性子による放射能化については色々予想計算がされており、たとえば耐熱材料としてもNbを選んだ場合には、決してバカにできないことがわかってきました。少なくとも物性的観点からの材料選択の前に、核的観点からの選択が必要であることがはっきりしてきました。それにまた三重水素Tの存在が仲々の技術的問題をかもし出します。水素が高温の金属壁を簡単に透過してしまうことも厄介なことですが、何よりもその分量の大きいことが問題です。Tの1グラムが放射能としては1万キュリーで、炉にしこむのに数百グラムですから、数百万キュリーの放射能が炉内にあることになりすし、リチウム壁の中に貯溜されている量などを勘定に入れますと、現在の核分裂の軽水型原子炉内の放射能と桁が一致してきます。核融合も手離してクリーンだとは言いきれないようです。

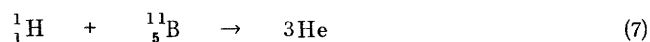
これに関連してでしょうか、放射能的に問題を起しやすいD, T - 反応を使うことをあきらめて、他の核反応たとえば、D, D - 反応を使ったらどうかというような提案が改めてされたりしています。Tを大量に取得することは実は相当な大仕事ですから、Dだけで済まされるならもちろんそれに越したことはありません。しかしD, D 反応はD, T にくらべて遅い反応な

ので、それを働かせるためには、プラズマの温度を数倍に高めないといけないという事情があります。それに、D, D- 反応の結果としてT が現れ、その T が D と 反応して結局高速中性子 n が (1) によって出てきます。

また、(1)や(2)の反応で現れる T と n とを ${}^3\text{He}$ と ${}^1_1\text{H}$ とで置き換えるという案も提出されています。



これですと、反応に現れる粒子はすべて荷電粒子ばかりで、中性子が現れませんから、それによる放射能化を恐れる必要がなくなります。ただし、中性子が出なければ、(1)のように反応熱を荷ったものが、磁氣的に閉じこめられたプラズマから簡単に出てきませんから、そのエネルギーのとり出し方について別途工夫が必要になります。同じことは、もっと高い原子番号の核を使う。



なる反応を使う核融合炉についても言えます。この種の“高級”な近水素燃料を使う核融合はクリーンという意味で理想的ですが、それを実現するには、現在のトカマク型環状放電などとは違ったアプローチが必要になってくると思われます。

(b) 中国におけるエネルギー問題

日揮(株)副社長・東工大名誉教授 森川 清

中国では1700年あまり前、四川省で天然ガス井戸を掘り、製塩に利用していた。また450年ほど前から、四川省で何百米もの深さの石油井戸が掘られていた。しかし解放前における原油生産量はとるに足りなかった。

解放後10年経った1959年に、東北区松遼平原の大慶油田が自噴した。地下千米以上の深いところに油層がいくつも存在する大油田であった。これは大油田は海盆で形成され、陸相堆積盆地には存在しないという通説を覆すものであり、この油田の発見により中国は貧油国から産油国に一変し、豊富な石炭資源と相俟って、近代工業の建設へ出発することが可能になった。

1962年自力で大慶石油化工総廠の建設が開始され、ついで64年に勝利・大港の両油田の開発が開始された。そして66年にはこれもまた自力で北京石油化工総廠の建設を開始した。ここでいう石油化工総廠とは石油精製工場と石油化学工場を併せたものである。そして'74年には大慶・秦皇島間に1152Km、さらに'75年には北京まで355Km、総長1507Kmの送油パイプラインが完成した。

一方この自力建設の基礎となった外国プラントの導入を概説すると、我々日本人技術者の協力により、'50年に瀋陽市の旧鉄道潤滑油工場の復興、'51年に撫順市の旧石炭液化工場の改造、復興（頁岩軽油の高圧水素化分解工場へ）が行なわれた。'56年ソ連の援助で蘭州煉油廠の建設が開始され、'63年にイタリーと初の製油プラントの輸入契約が結ばれた。'72年から'76年にかけての約5年間は最も多くのプラントを海外から導入した時期で、その金額は約29.5億米ドルに上った。これらのプラントの導入と建設を通じ、近代的工業の建設・開発が進むと同時に、多数の科学技術者が育成され、これが上述の国産工場の自力建設に貢献したのである。

以下、統計諸表にしたがって、やや詳しく述べてみよう。

1. 中国の石油生産量の推移

終戦前の'43年には32万トンに過ぎなかったが、大慶油田の採油が始まった翌'61年には530万トン、そして'74年には6,530万トンに達した。近年は毎年1,100万トン位増加している。

2. 油田別埋蔵量

'73年の大野英男氏の推定によると、最大の油田は大慶・勝利・大港などで、いずれも埋蔵量

15億トン、可採量9億トンである。中国全土の陸上油田合計で埋蔵量75億トン、可採量45億トンであり、これに海洋油田を加えると2～3倍に達するものと推測されている。同年神原達氏の確認+推定量はいずれも上記数字の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度であるが、いずれにせよ世界屈指の大油田群であることに間違いはないと思われる。

3. 大慶油田の生産量

大慶はハルビンと安達の間中に位し、昔は亜砂漠地帯であったが、農業と工業を結合するモデル自治地域を建設し、近年は一貫して“工業は大慶に学べ”と称揚されている。'75年この地を視察した筆者は全く“北大荒”は“北大倉”に一変したとの感を深くした。

'60年5月採油が決定され、同年の産油量は40万トンであったが、'74年には1,940万トンに達している。

4. 主要エネルギーの生産

'74年の石炭換算総エネルギー生産量は45,900万トンで、その内訳を見ると、石炭が62.8%、石油が17.0%、天然ガスが17.7%、水力発電が2.5%である。毎年石油の比率の増加が著しい。

5. 天然ガスの生産

'74年の生産量は580～640億 m^3 で、その内520億 m^3 が四川で生産された。

6. 石炭の生産

新中国の誕生した'49年は324万トンであったが、'74年は38,900万トンであり、当初は20～30%、近年は数%毎年伸びている。

7. 一次エネルギーの部門別消費

'74年における消費を見ると、石炭換算で、

産業および建設部門	23,480万トン
農業部門	2,400 "
交通部門	1,940 "
民生(含商業)部門	10,150 "
合計	37,970 "

である。産業および建設部門の内訳を見ると

石 炭	1 6,0 8 0 万トン
石 油	5,2 3 0 "
天 然 ガ ス	1,9 2 0 "
水 力	2 5 0 "
合 計	2 3,4 8 0 "

である。すなわち大油田が開発されたが、産業開発用のエネルギー源はまだ石炭が主力である。国土が広大であり、石炭資源が豊富な中国においては、当分この傾向が続くであろう。

8. 製油能力

中国各製油所の年産製油能力を示すと、

大 慶	5 0 0 万トン	'7 4	撫 順1号	2 0 0 万トン	'7 4
大 連	5 0 0 "	'7 3	大 港	6 0 "	"
撫 順2号	4 3 0 "	'7 4	独山子	1 0 0 "	-
上 海	4 0 0 "	"	蘭 州	2 0 0 "	-
北 京	3 5 0 "	'7 3	南 京	3 0 0 "	-
勝 利	3 5 0 "	'7 4	玉 門	1 0 0 "	-
鞍 山	2 5 0 "	'7 3	南 充	3 0 "	-
茂 名	2 5 0 "	'7 4			

9. 中国原油の品質

大慶と勝利の原油は中近東原油などに比べると、重溜分多く、またパラフィン分が多いため凝固点高く、硫黄と重金属分が少ないという特徴がある。そのため、中近東の原油を主として精製して、市場の要求する製品パターンを作っているわが国の製油所のプラントの種類と性能に、そのまま適合し難いといわれている。

原 油	大 慶	勝 利
比重 15/4 °C	0.8 5 8	0.9 3 4
粘度 (50°C) CST	1 7	8 8.2
流動点 °C	3 2.5	2 7.5
硫黄 wt%	0.1	0.8 8
残留炭素 wt%	2.6	6.5

製品得率 Vol %	大 慶	勝 利
L P G	0.1	—
ナフサ	9.4	6.0
灯 油	7.3	4.3
軽 油	12.7	13.7
残 油 (重油)	70.5	76.0

10. 大慶のプラント建設・稼動

中国最初の石油化工総廠である大慶のプラント建設と稼動を列記してみる。

稼動年	プラント	能力 万t/y	基数	技術源
'62	常 減 圧 蒸 留	100→250	1	イタリー
"	機 械 加 工 工 場		1	
'65	ディレード・コーキング	60	1	
"	流 動 接 触 分 解	60	1	キューバ(?)
'66	常 減 圧 蒸 留	150→250	1	
'67	中 圧 水 素 化 脱 硫	10	1	
"	高 圧 気 相 水 素 化 分 解		2	撫 順
'69	芳 香 族 抽 出	10→21	1	
"	プ ラ ッ ト ホ ー ミ ン グ	10→21	2	
'70	ア ン モ ニ ヤ 合 成	6.5	1	
?	ア ク リ ロ ニ ト リ ル			国 産
?	脱 ワ ッ ク ス			
?	ポ リ プ ロ ビ レ ン			
'70以降	脱 ワ ッ ク ス			
"	硝 安			

表を見ると、'62年に工廠建設を開始して僅か3～6年で、触媒を用いる高温高压装置や反応操作の難しい流動触媒反応装置を自力で設計・製作・据付・運転し、生産稼動に入ったのである。当時まだ工業基盤が十分整備されていなかったこと、ならびに文化大革命の政治的混乱がたけなわであったことを思うと、まことに奇蹟ではないかと思われる。

11. 日中の工農業生産比較

最後に中国産業開発の到達した水準を日本と比較してみよう。

品 目	中 国		日 本		備 考
	1974	1975	1974	1975	
食糧 10 ⁸ t	2.75	2.80	—	—	日本は輸入量
原油 10 ⁷ t	6.50	7.80	27.6	26.3	
粗鋼 10 ⁷ t	2.38	2.80	11.7	10.2	
電力 10 ¹¹ KWH	1.08	1.25	4.16	4.19	
化学肥料 10 ⁷ t	2.48	2.87	11.52	10.90	
石炭 10 ⁷ t	38.9	41.1	8.7	—	単純総和 但しアンモニアを除く 日本は国産炭と輸入炭 の合計

中国にはわが国のはしい石油・石炭のエネルギー資源が豊富である。日本には中国の工業建設を援助できる高水準の近代的技術がある。したがって近い将来日中間の経済交流・技術交流は必至であると思われる。

文 献

1. 赤木昭夫・佐藤森彦, 中国の技術創造, 中央公論社, 自然選書, 昭和50年
2. 森川 清, 訪中触媒交流団派遣報告, 日中経済協会, 昭和50年
3. 日中貿易拡大均衡への試練, 日中経済協会, 1976年
4. 山内一男, 現代の中国経済, 中公新書, 昭和51年

2-2 第18回定例研究会

(a) 第2回金属中の水素に関する国際会議

金材技研 佐々木 靖 男

昭和52年6月6日から11日まで仏国パリ市郊外のChatenay-Malabryにある工業技術中央学校、建築技術および高級材料研究所において第2回金属中の水素に関する国際会議が開催された。

金属中の水素に関する諸問題は、18世紀からすでに金属材料分野における一つの研究対象とされてきたが、近年多目的原子炉や核融合炉のような未来産業機器の材料における問題点として、またLNG輸送用パイプ、地熱発電用蒸気パイプ、海中構造用材料、水素貯蔵用金属材料(金属水素化合物)などにおける問題点としても益々興味と関心をもたれてきた。このような背景のもとに、金属中の水素に関する国際会議が近年ほぼ2年おきに世界各地で開催され、52年度にはパリ郊外で開かれた。

本国際会議では、金属中の水素の拡散、水素固溶度、電子論的諸性質、格子欠陥と水素原子との相互作用などの物理的な基礎分野(発表論文数106件)及び材料の水素脆性、腐食過程における水素の役割などのような応用分野(発表件数108件)にわたる総計214篇の論文が発表された。

講演は基礎と応用との内容によって二会場に分けられ、各会場での公用語は仏英二カ国語であった。

オープニング・セッションにおける講演は、仏国研究者が分担し、各分野における最新の研究情報と講演者自身の研究業績とを包括した内容であった。一般の研究報告講演は、講演討論時間の節約のため講演前日にポスター・セッションを設けて、予め研究報告内容の理解を深めておくシステムになっていた。

発表された214篇の論文をその内容によって分類(筆者の主観も多少は入っているが)すれば表1のようになる。

表 1

1. Physical Properties	76
1-1. Diffusion Mobility and Solubility	32
1-2. Electronic Properties	15
1-3. Lattice Defects	12
1-4. Others	17

2. Absorption and Desorption.....	12
3. Metal Surfaces Properties.....	18
4. Hydrogen Embrittlement	88
4-1. Steel	28
4-2. Non-Ferrous	24
4-3. Gaseous (H ₂ and H ₂ S)	24
4-4. Others	12
5. Hydrides.....	12
6. Corrosion	17
7. Electrochemical Problems	11
	214

筆者は金属ニオブの水素固溶度におよぼす合金添加元素の効果と、その添加元素による水素脆性の防止について講演した。合金元素添加による水素脆性の防止改善がこれ程顕著であった例が、今までなかったためか、脆性防止改善の主原因を合金添加元素による水素固溶度の増大によるという私共の解釈については、ポスター・セッションでも議論が集中した。また講演直後にも直ちに同様な考え方を他合金の水素脆性防止に適用してみたいという研究者が何人かあった。

会議中討論したり雑談した多くのヨーロッパ系研究者とくに仏国研究者によると、現在仏国では金属中の水素に関する研究には比較的研究費が得られ易く、多くの研究者が金属中の水素に関するテーマに従事しており、その内容にも多くのコメントを求められた。英語を母国語としないヨーロッパ系研究者、例えば仏、独、伊、蘭の研究者の英会話力は小生のそれとはほぼ同程度で、意志の疎通はかなり充分?にできたように思う。

214篇の講演発表のほか、カクテルパーティ、リセプション及びボンビドー・芸術センター見学会が夜間の催し物として組込まれ、参会者の懇親を深めるよう配慮がなされていた。

会議終了直前に、次回の金属中の水素に関する国際会議は1979年3月西独のミュンスター大学で開催されることが公告された。ご参考までに次回以後の国際会議の計画は表2のように示される。

表 2

1. International Meeting on Hydrogen in Metals
on March 27/30 1979 Münster West Germany

Prof. Dr. E. Wicke
Institut für Physikalische Chemie
Universität Münster
Schlossplatz 4 D-4400 Munster GERMANY

2. International Seminar on Hydrogen in Metals (JIMIS-2)
November 1979 Tokyo JAPAN

Prof. Taira Suzuki
Institute for Solid State Physics
Univ. of Tokyo
7-22-1 Roppongi, Minato-Ku, Tokyo 106 JAPAN

3. International Congress on Hydrogen in Metals
June 1980 Urbana U. S. A.

Prof. H. K. Birnbaum
Dept. of Metallurgy and Mining Eng., College of Eng.,
Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois 61801 U. S. A.

一般社会面では、日本の経済進出に対する反感を研究者達も持っているようであったが、「日本商人は仏国では仏語で商売しているが、東京で日本語を喋って商売している仏商人をみたことがない」と申ししたところ、「その点にはすでに気付き、仏国でも日本語熱が近年急に高くなってきた」という返事であった。事実道路脇の至る所にベルリッツ外国語学校の生徒募集ポスターが貼られ、それに表示されている外国語の種類には第一に日本語が挙げられ、彼等がかなりの関心を我が国によせているのがわかった。

(b) 燃料としてのメタノール

東京工業試験所 加藤 順

1. はじめに

環境を汚染することのないクリーンな水素エネルギーシステムの確立を旨として我々は日夜努力を続けているのであるが、メタノールも燃料としてはきわめてクリーンであり、大量生産も容易であるので燃料用を中心としたメタノールの大規模利用システムの実現は期待できないことではない。海外の天然ガスはLNGとして専用タンカーにより我が国に輸入されているが、LNG船は高価であり、輸送費も高い。遠距離の場合には産ガス地で天然ガスをメタノールに変えて通常タンカーで輸送するほうがエネルギー当りの輸送費が安くつくという試算がなされたことから、メタノール大規模利用の構想が広く関心を呼ぶようになった。近い将来、エネルギー源を石炭に依存する割合が増大してくれば、石炭のもつエネルギーを輸送する手段としてのメタノール化輸入は益々その重要性を増してくるであろう。

また大量の安いメタノールが輸入されれば、既存用途における需要が拡大されるとともに新規の用途も展開することになる。

メタノール合成工業も近年大型化が進み、現在1規模800～1000 t/日 程度のものは普通となり、2000 t/日 の装置も国外では稼働している。石油危機以後、我が国におけるメタノールの需要は低下し、51年度では約100万tであった。これに対し設備能力は140万tもあり、低稼働率のまま推移しているのが現状である。一方、現在でも、1基5,000 t/日 の設備も建設可能であるので、燃料用として1基地において1～2万t/日 という大量生産をすることは技術的に問題はない。

2. エネルギー輸送媒体としてのメタノール

現在我が国には、アラスカ、ブルネイ、アブダビ及びインドネシアからのLNGの輸入契約（総計1565万トン）が実施され、昭和50年度には約500万トンが輸入されている。しかし、大量のLNG輸送における最大の問題点は高価なLNGタンカーを必要とするため、LNG価格に占める運賃の割合が大きいことである。このために提案されたのが大規模メタノール計画である。現在、中東地区で僅か20数%しか利用されていない油田随伴ガスから得られる安い天然ガスを産地でメタノールに変え、通常タンカーで消費地まで運べば大巾な運賃低減ができるため、メタノール合成コストが割高になることを加味しても、単位発熱量当たりの価格はLNGより安くなる可能性があることを期待している。

このため、具体的な条件を設置してプロジェクトの可能性を確かめるため、いくつかの試算が

なされた。1例として日産25,000t(5000t/日,5系列)でメタノールを生産する場合、アブダビ・東京間ではLNG方式では2,022円/Gcal,メタノール方式では1,975円/Gcalと僅かにメタノール方式の方がやすくなる。アラビア湾岸・西独間(南アフリカ廻り)ではLNG方式では3,515円/Gcal,メタノール方式では2,825円/Gcalとメタノール方式の方がかなりやすくなることが示されている。

しかしながら、原料天然ガスのもつ総エネルギーに対し、液化後のLNGの総エネルギーは約82.4%となるが、これを需要地で再ガス化して供給網に載せるときの総エネルギーは輸送距離が3000カイリ,6000カイリ,12,000カイリに対して、それぞれ78.2%,76.2%,72.1%となる。一方、メタノールの場合は原料のもつ総エネルギーに対する歩留りは54.2%であって、LNGよりかなり低いということは一考を要する問題である。

将来、エネルギーの多様化を考えると、我が国としては、海外の石炭のもつエネルギーの輸送システムをあらゆる角度から十分研究しておく必要がある。山本為親氏はホルネオのブラウ炭鉱の褐炭を現地でガス化してメタノールを合成し、タンカーで日本に輸入することを提案したが、石炭を液体燃料に変えることがもっとも効果的な輸送手段であろう。

石炭の液化には高圧水素化法や溶剤精製法などがあり、またガス化した後Fischer-Tropsch法により合成石油に変えることもできる。ある試算では、天然ガスからメタノールに変えた場合とF-T合成油に変えた場合とについて長距離輸送(19,000Km)の効果を比較し、メタノールは再ガス化して利用しても、メタノールの方が安いという結果を得ている。原料を石炭とすれば、メタノールの方がさらに有利となろう。

微粉炭をパイプライン輸送する場合に、水を用いてスラリー化して輸送することはよく知られている。これに対して、水の代わりにメタノールを用いて、微粉炭をスラリー化して長距離パイプライン輸送する方法が検討されている。この微粉炭スラリーは“Methacoal”と称されているが、この考え方は、海外の石炭を船積みして、我が国に輸入する場合にも適用できる、きわめて興味のある方法である。貯留された微粉炭は、空気と接触すると自然発火するおそれがあるので、粒子の間隙をメタノールで充填すれば、空気との接触を遮ることもできるし、体積当たりのエネルギーの輸送量を増大するのに役立つであろう。

3. メタノールの利用

メタノールの既存用途では、単独で大きい市場を持ち得る分野はホルマリン以外にはないが、メタノールが大規模に製造され、安価に供給されるようになれば、それぞれの用途で需要が増大するとともに新しい分野での利用が期待できる。

3.1 発電用燃料 発電用燃料は従来の重油および原油の専焼だけでなく、LNGおよびナフサも実用化されており、多様化の傾向にある。このため、メタノール燃料についても実用化のための研究が実施され、発電用燃料として適格であり、かつ低公害性であることが明らかにされている。NO_x は重油燃焼の際の 1/5 以下となり、CO、炭化水素およびアルデヒド類の排出濃度は他の燃料と大差はなく、ばいじんはメタノール専焼時には全く発生しないが、重油との混焼の際にわずかに発生がみられる。従来の燃焼装置に若干の改良を加えたり、燃焼方法に工夫をすれば、さらに低公害化できる可能性もでてくる。

3.2 自動車用燃料 メタノールを自動車燃料として利用するには、ガソリンに混合する場合とメタノール単味で利用する場合とがある。前者では相溶性が問題となり、水分がわずかでも存在するとメタノールとガソリンとの分離がおこる。元来吸湿性であるなら、水による分離を防止するため、相溶剤として第3成分を添加する研究が行われているが、その効果はまだ十分とはいえない。

ガソリンのアンチノック性はメタノールの混合によってかなり改善されるので、アルキル鉛を使用制限するにあたって、オクタン価向上剤として芳香族成分の代わりにメタノールの添加が有効となろう。メタノール単味の場合には、発熱量で比較すると、燃料消費率はガソリンより35%程度低くなり、排ガス中のCO、SO_xも減少し、空気比を1.4まで上げるとほとんどゼロにすることもできる。炭化水素の大部分は未燃焼のメタノールであり、アルデヒド分はガソリンの場合の2倍程度である。メタノールはエネルギー当りの価格がガソリンに匹敵するようになれば、その低公害性のために自動車燃料としての使用が期待される。

このように、メタノールは現在の自動車エンジンにそのまま、あるいはわずかの改造を加えれば使用できるけれども、本格的に利用するにはエンジンの開発あるいは大巾な改造が必要であり、貯蔵、運搬など配給網の整備など多大の新規投資を必要とすることは明らかである。これに対して、もし、メタノールの燃料化普及に必要な追加投資よりも少ない費用でメタノールをガソリンに転換できるならば、これに越したことはないとして、Mobil社はメタノールからゼオライト触媒を用いてガソリンを製造する方法を提案している。CO + H₂の原料ガスからガソリンを製造する場合、従来のFischer-Tropsch法では選択性を高めることがきわめて難しいが、メタノールを経由しても非常に選択性が高くなれば、むしろ魅力的な方法といえよう。

3.3 メタノール資化微生物の利用

メタノール資化微生物には微生物タンパク(SCP)の原料が廃水処理に利用されるものがあり、メタノールが安価になれば、大量に利用される可能性がある。

食糧の国際的な需給関係の不安定性に具えて、各国において食糧生産の一環として、飼料用単

細胞タンパク質の工業的生産の技術開発への関心が高まっている。このような飼料用にSCPを大量に生産するためには、安価な原料が安定的に供給されねばならないが、n-パラフィンを原料とする“石油タンパク”は社会的に受容されることができなくて企業化が中絶している。一方、メタノールを原料とする場合は種々の利点もあり、同時にSCPの安全性の確認については国連をはじめ、各国において真剣に検討され、諸外国では実用化普及の段階に入ろうとしているので、その将来は期待されよう。

沿岸、湖沼の富栄養化現象の防止のために、都市下水の廃水処理施設に脱窒素、脱リンの工程を組み入れる例がみられるようになってきた。このような廃水処理にメタノールが用いられるのは、脱窒素技術のうち、生物学的方法における細菌の栄養源として優れているからであって、メタノールが安くなれば大量に利用される可能性が出てくる。

3.4 化学利用

新規の化学用途として最も期待され、我が国においても工業化計画が進められているものはメタノールのカルボニル化による酢酸の製造である。これは、ロジウム化合物とヨウ素化合物を触媒として用い、 175°C 、 $15\sim 35\text{ atm}$ と非常に温和な条件でカルボニル化合物溶媒中で反応させ、酢酸への選択率は99%と高く、画期的な方法である。

メタノール、 CO 、 H_2 よりエタノールを合成する反応は古くから研究されているが、まだ選択性、収率とも十分でない。この反応でエタノール、プロパノールが合成できれば、これらの脱水によってエチレン、プロピレンの合成が可能となる。また CO と H_2 とから直接エチレン、エチレングリコールなどが合成できるようになれば、石油にかわる石炭からのオレフィンの合成法ともなり、石炭の石油化学原料化への橋渡しとして、今後のきわめて重要な課題である。

4. おわりに

メタノールが大量かつ安価に供給できるようになれば、エネルギーの貯蔵、輸送媒体、すなわち二次エネルギーとして、きわめて効果的な役割りを果たし得るものとして期待される。また、同時に化学工業原料として新しい柱を築き上げることになるろう。

将来、水の分解によって得られる水素と大気に放出された二酸化炭素とからメタノール合成を経て、自然界の有機物の循環が工業的な規模で実現できるようになるのも夢ではないのかも知れない。

2-3 第19回定例研究会

(a) ヨーロッパにおける新エネルギー開発の近況

太田 時 男

1977年6月10日から10日足らずパリを中心にしてヨーロッパのエネルギー関係の研究所やシンクタンクなどを歴訪したり、学会に出たり、また、イスブラのユーラトム研究所で2日間続いて講義をしたりしたことを、HESSの研究会で概要を紹介した(8月18日の定例研究会)。ここで、その話をまとめるとなると、いささか、タイミングが外れていてニュース性の重みが抜けていることを感じ気のすまないことだが、要点だけ記しておこう。

パリは中東石油の取引きの舞台になることも多く、ともかく情報の中心地であることは間違いない。毎年といってもよい程訪れるパリで、何時も思いがけぬニュースに驚かされる。1977年に訪れた時は、いわゆる「カーター原子力政策」の反対論、賛成論が激しく渦をまいており、他のエネルギーの話は、ほとんど、きけなかったが、ただ、印象に強く残ったのはソ連の中東石油輸入計画で、あと数年(早くても5年後か)で輸入国になるだろうといわれ、その時の石油情勢の混乱はただごとではなからう。これをもっと深刻に受けとめねばならないだろうという声があったことである。

現在は食糧はアメリカが輸出し、ソ連が輸入するが、原油はアメリカが輸入し、ソ連は輸出している。ニーズのバランスが冷戦の調和を保つのに役立っているが、どちらの国も、そして日本も中東原油をあてにするようになれば深刻な情勢が生れて当然といえる。

石油情勢で楽観論をぶつ人が最近わが国で増えている。確かに石油はだぶつきドル安の効果も加わって価格も安い。これは原油が埋蔵量(賦存量)、可採量ともに見通しが明るくなったからでは決してない。むしろアラブの大油田では油圧が低下し1部では空気を押しこんで採油しだしたところもある。1部の楽観派には技術音痴もいて、100メートル下の油でもポンプで引けばでてくると思っているらしい。アラブの油田は浅いものでも800メートルはあり、他の地域のものは1000メートルをこすものはざらである。自然圧がなくなると引いても出ないことすら知らない。

現在の石油のだぶつきは日さきの一時的経済現象であることを見抜くべきだろう。

原子力についてのカーター新政策のヨーロッパにおける反応については、すでに他の雑誌(中央公論 昭52年9月号)にのべたのでニュース性もすでに色あせた今、ここで述べようとは思わない。ただ言えることは、いろいろな批判を浴びながら、宗教的信仰に近いカーターの信念的政策は、それなりに堅く実行されており、日本の核燃料サイクルは日本が計画している通りには

進まないだろう。筆者は唯一の被曝国日本こそカーター政策にもっとも賛成すべき立場にありながら、資源をもたない悲しさから被曝したことを原子力の積極的利用と直結させる論理しかだせないことに不自然な姿さえ感ずる。

カナダから原子炉を輸入したインドのガンジー政権が協定を破って原爆実験をやったのは記憶に新しい。韓国、中国、台湾のアジア諸国、イラン、サウジアラビア、エジプトのアラブ諸国、イスラエル、ブラジル、アルゼンチン、南アフリカ連邦なども例外と言える証拠は何もない。また、現実の世界平和は力のバランスの上に存在することも事実である限り、カーターの核政策は何といっても核武力抑止の実効的方法である。わが国は平和憲法をもち、核の軍事利用など思いもつかぬところ（1部では別）なので、世界の核の特異点であり、孤児なのである。

外国へでると何時もそう思う。



写真1. 第2回「金属中の水素」国際会議が開かれたフランス中央工芸大学図書館。パリの南郊外ロビンソン近くのシャテニーマルプレーに最近建設された大学。

第2回「金属中の水素」に関する国際会議はパリの南郊外の貴族の古い館の街シャテニーマルプレーに最近できた中央工芸大学図書館で開催された。これについては佐々木氏が本誌に紹介されると思うので割愛するが、フランスの科学・技術政策は果敢なものがあることを今回も強く感じた。その1例はフランス政府が1978年2月22日の閣議で太陽エネルギー庁の設置をきめたことである。筆者が訪れた、その8カ月前にも、その話は確かに聞いたがまさか一年以内に実現するとは思わなかった。初年度予算は2億7,500万フラン（160億円くらい）という。

もう一つ他の例は金属と水素に関する研究テーマについては、ほとんど例外なしに研究資金の面倒を国がみていることで、これは非常な研究刺激を与えている。

ただ、こうした激しい陽性政策は肉食人種であるヨーロッパ人の特性で、菜食を主とする日本人のやり方とは自ら相違するものがあり、どちらが利巧であるかは歴史が証するものであろう。



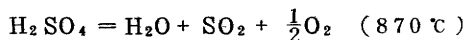
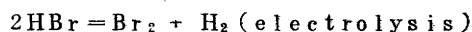
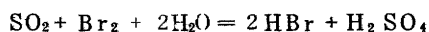
写真2. イタリア北部、スイスと接するところにある湖マジョーレのイスブラ港。港といっても遊覧船のつく波止場とヨットハーバーだけ。遠くスイスの山々を写しまさに絶景。

水素エネルギー関係の方々には馴染みの深いユラトムのイスブラ研究所へは実際出かけられた方も幾人かおられる筈で、改めて紹介する要はないかも知れないが幾度訪れても素晴らしいところ（景色も人も）なので、さらにおすすめる意味でふれておきたい。

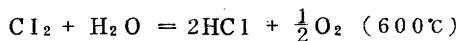
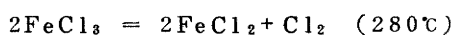
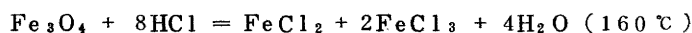
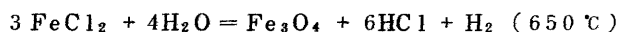
写真2はスイスとイタリアの境するところ、マジョーレ湖に面するイスブラ港の風景である。向う側はスイスの山並みで、手入れのよく行届いたプラタナスの古木群の公園並木はホテル「ヨーロッパ」の庭につづく。イスブラを訪れる日本人はミラノの市街に宿をとることが多いと聞くが、これは2回目からは止した方がよい。徒歩でも20分でイスブラ研究所へいけるこのホテルをおすすめる。サービスもいいし、マジョーレ湖の絶景が何より楽しい。

Promising Cycles Proposed by EURATOM

Mark 13 (hybrid cycle)



Mark 15



Mark 16

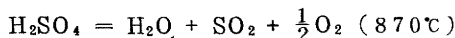
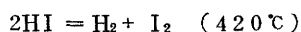
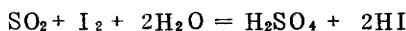


表1 ユーラトムが現在開発を進めている3種の化学サイクル。

さて、このイスブラ研究所はマーク1やマーク9で名を挙げた熱化学法のメッカであるが、1976年に熱化学法の継続可否をめぐってユーラトムは大きな決断を迫られたのであった。厳しい議論の末、マーク9(あれほど力を入れていたサイクルだが)を切捨てて表1に掲げた3種のサイクルにまとを絞ったのである。そして再出発。私の訪れた頃のイスブラ水素族の面々はまことに元気一杯、今度こそは何も疑わずに40%効率の成功へ向うという姿であった。

表1の3種のサイクルの中でも、とりわけて、もっとも力を入れていたのはマーク13のハイブリッドサイクルである。臭化水素は高温ではふ食が激しい、しかし溶液ではそんなに激しくなく、また、電解電圧も0.3V(理論)とまづまづの低さである。

熱化学法もハイブリッド法へと傾斜していく世界的傾向が感じられる。

1977年1月にイスブラ研究所に太陽エネルギーシステム研究所ができた。私は2日間続いた講義の間にここを訪れ、原子力研究所が太陽エネルギーを学ぶフィロソフィを伺うをえた。

写真3はド・ベギ材料部長(筆者中央の向って右)、ド・ベニ博(左)や他の水素仲間の1部とともにとったものである。

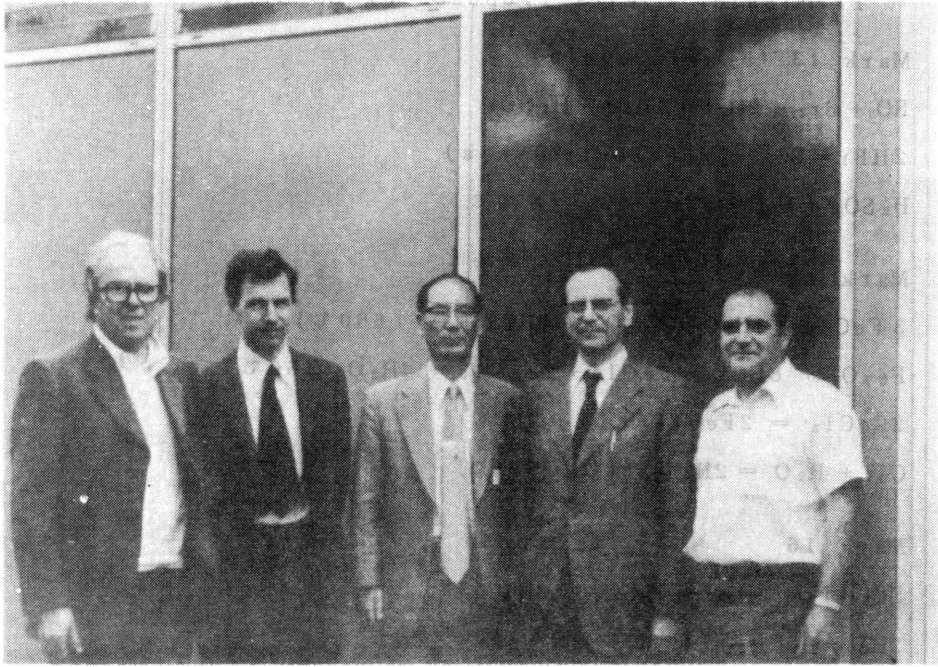


写真3. ユーラトムイストラ研究所材料部で水素エネルギー開発の面々。筆者（中央）の右がド・ベキ材料部長，左がド・ベキ博士。

（以下は非常に薄い文字で印刷された文章がほとんど読み取れない。一部は「ユーラトムイストラ研究所」や「水素エネルギー」などの単語が確認できる。）

(b) 3rd WHEC (World Hydrogen Energy Conference) の日本開催について

3rd WHEC 実行委員長・HESS 副会長 太田 時 男

1. 経 緯

1974年3月、世界23カ国から750名ほどを集めた初の水素エネルギー関係の国際会議 THEME (The Hydrogen Economy Miami Energy) 会議がアメリカ、フロリダ州、マイアミビーチで開催された。日本からは原子力産業会議のチーム(団長上田氏)が主となって参加したが、時恰も石油危機の最中でもあり、まことに熱っぽい会議であった。今にして思うと、歌唱意欲は旺盛でも楽譜があまりよく読めないアマチュア歌手のような方々が多かったのではなかったろうか。しかし、一方ではNASA関係のプロも多く、ともかく、これから水素エネルギーという分野をどのように育成していくのかという思いが誰れにも一様であったようである。

この会議で筆者は日本代表に主催者側から指名され、会議期間の間、国際機関を発足するための協議が行われた。Veziroglu, Gregory, Marchetti, de Beghi, Funk, Bockris, Martinez, Seibritz, Van Vorst, それに私などが参加した。本部をマイアミ大学におくこと、雑誌を出すこと、名称、組織、会の運営などであるが、その時会の主要目的の一つがWHEC 会議の主催であった。WHEC は World Hydrogen Energy Conference の略である。

1975年1月にT.N. Veziroglu を会長にして正式にIAHE (International Association for Hydrogen Energy) が発足した。1975年7月に日米科学協力事業(学術振興会とNSFの後援)として「水素エネルギーシステムの基礎技術」というシンポジウムが東京で開催され、筆者がコーディネーターとしてホスト役を務めたが、この期間中、IAHE の理事で当期間中出席していた者7名で理事会を開き、1976年3月に第1回のWHEC 会議をマイアミビーチで開催すること、雑誌「International Journal of Hydrogen Energy」を季刊で出すことを決めた。

1976年3月の1st WHEC は当初の予想よりはアメリカ国内の参加者は減少したが参加国の数は増加し、参加者680名、30カ国近くだったと記憶する。また、ソ連邦からも Valeriy A. Legasov が参加し、1977年夏以降は正式な理事に選任されている。1st WHEC には日本からは筆者の他、古浜、栗田、吉田、緒方その他数人の方が参加されたが、THEME 会議よりはトピックスが地味で、いわゆる専門化の傾向が目立ち、水素エネルギーという一つの新しい横割りの学術体系の芽がではじめたと感じられた。一方では内容が専門化したため、たとえば、内燃機関の分野と熱化学法の分野では両方ともよく理解することは難しい状態になってきた。

当然のことである。だからこそ、こうした横の学会会合が意味をもつのであろう。

さて、第1回のWHEC会議の期間中に2年後、すなわち、1978年の2nd WHEC の開催について理事会で討議された。会の空気としては日本はどうだろう。というので筆者の意見を求められたが、日本では「サンシャイン計画」という国家プロジェクトは存在するけれども、そのプロジェクトの民間一般への波及効果は小さいといってよく、予算規模もきわめて少額であり、また、民間企業の景気はよくなく、水素エネルギーという21世紀にはきわめて重要なテーマで国際会議を開くことは難しいだろう。もっと先にしたい。この趣旨の発言をした。理事は日本をあてにしていたらしく、なかなか、意見がまとまらなかったが、私はEurope!とつぶやくと、Seibritzが決心したらしい。その後全理事の投票で、ユーラトム、ユーリッヒ、ガス・ド・フランスなどの協力でスイスのチューリッヒで1980年8月に行われることに内定した。

この時、暗々裡に第3回は日本でということが強く求められていたように思う。筆者も「水素エネルギー」プロジェクト、そのものも日本では1980年頃には最初の山を迎えていることだろうと予想し、この時点で日本で3rd WHECを開催することは、いろいろな意味で刺激となり重要な意味をもつものと考えた。

1977年8月18日の第19回の定例研究会で私から会員諸氏に「3rd WHEC会議の日本開催について」了解と賛同を求めたわけである。この時寄せられたご意見には慎重派と積極派がみられたが、ともかく「前向きに検討する」との結論をえた。

これを基に早速幹事会で検討し、募金などはミニマムにし、なるべく参加者負担の率を高めることで実行委員会を発足させることにし、組織委員会準備委員長に伏見康治会長を実行委員長に筆者を選定し実質的な作業に入ったわけである。

われわれの研究会は、まだ、学会でも法人格の協会でもない。したがって国際会議などを主催し、募金を行うためには種々の法的処置が必要で、幸い、日本学術振興会（会長茅誠司本会顧問）はこのような任意団体の主催する国際会議の経理事務を引受けられるような制度になっており、すでに筆者も数回会計課長を訪れて予備的な交渉を行ってきたが、茅先生のお力もあって助力していただくことが内定している。

後援は文部省と通産省へお願いする予定で5月に正式な申請を起すことになろう。

また、事務局は日本コンベンションセンター（03-508-1211）へ一任することも内定したが、この選択は数社の代表と会って慎重に考慮した結果である。

本稿を草している時点では組織委員会準備委員会で組織委員候補者を列挙している段階であるが、印刷、配布の頃には顔ぶれが決定している筈である。

ともかく、わが国のように国土が狭く、人口密度の高い工業国家において、水を分解して、経

済的でかつクリーンなパワフルエネルギーである水素を作り、これを石油脱硫、非鉄金属の直接還元、燃料電池による発電、2次エネルギー、エネルギー・トータルシステム、もろもろの化学材料、金属水素化物への適用など広汎に応用する技術を研究・開発することは焦眉の急といえようし、「サンシャイン計画」やIEAのような政府レベルのプロジェクトをバックアップする意味からも、1980年の3rd WHECを何としてでも成功させたいと思い、くれぐれも関係諸氏の積極的な暖い援助と参加をお願いいたしたいと思う。

現在まで内定しているスケジュールを記しておくが、第1回のサーキュラーは1978年8月の2nd WHEC（チューリッヒ）まで印刷し諸氏はじめ全世界へ配布される。

第3回世界水素エネルギー会議（3rd WHEC）概要

1. 会議の名称

和文名 第3回世界水素エネルギー会議

英文名 3rd World Hydrogen Energy Conference

2. 主催・後援

主催 第3回世界水素エネルギー会議組織委員会

後援 文部省（予定）

通産省あるいは同省工技院（予定）

3. 母体 国際水素エネルギー協会（IAHE）

水素エネルギーシステム研究会

4. 会期 昭和55年5月27日（火）～5月30日（金）4日間

5. 場所 東京：都市センター

6. 議題

テーマ 人類究極のエネルギーシステムの現況

研究 水素エネルギー関連のあらゆる分野を含む

- (1) 1次エネルギーの水素への変換システム（石炭、天然ガス、太陽、原子力など）
- (2) 電解による水素製造法
- (3) 熱化学法およびハイブリッド法による水素製造法
- (4) その他の新しい水素製造法
- (5) 金属水素化物とその応用システム
- (6) 水素の輸送貯蔵
- (7) 化学工業および石油化学工業における原料として
- (8) ビヒクル用燃料として

- (9) 冶金における直接還元用として
- (10) 電力システムへの応用
- (11) トータルシステム・環境・安全・材料・その他

7. 参加予定者

国外 300名
国内 300名
計 600名(700名を限度とする)

8. 会議使用語

英語

9. プロシーデング

会場で配布

10. 連絡先

会の学術的分野については：240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156 横浜国立大学工学部
太田時男(045-335-1451 内2344)，会の事務的分野については：100 千代田区
内幸町2-2-1 日本コンベンションセンター 黒川幸史(03-508-1211)

(注) 全会員にはサーキュラーをお配りしますが各会員におかれましては知人同僚をなるべく多数お誘いの上ご参加下さい。

なお、詳細は未定ですが、会議期間中の1夜「水素エネルギーと市民の集い」を開催の予定で、「水燃ゆる時」の唄なども発表され政・財界の方も多数参加される予定です。これは直接3rd WHECとは関係ありませんが、3rd WHECを盛り上げるため筆者が計画中です。お楽しみにしてして下さい。

2-4 第20回定例研究会

(a) 金属水素化物開発の動向

工学院大学・化学工学科 須田 精二郎

はじめに 金属水素化物の水素およびエネルギー貯蔵体としてのすぐれた特性が明らかとなるに従って、この特性を工学的に応用展開しようとする研究と開発が各国で急速に進展しようとしている。なかでも水素燃料用貯蔵体としての用途開発が先行しているようである。しかしながら、貯蔵すべき水素の絶対量、すなわち、吸蔵用合金に対する水素の吸収量が問題となるこのような用途向きの高水素吸蔵型の金属水素化物は未だに開発されておらず、現状では、せいぜい2%（重量）前後のものに限られており、特にこの目的には鉄・チタン合金が最良のものと考えられている。一方、金属水素化物を各種エネルギーの変換・貯蔵媒体として考え、熱力学的なシステムを構成させようとする、水素吸蔵量の大小はともかく、むしろその他の諸性質、例えば、水素吸収時と放出時の反応熱のような特性が重要となり、これらの特性に着目するとこれまでない新規性の高いエネルギーシステムの開発が可能となる。

ここでは、金属水素化物の開発の現況と最進の動向について簡単に触れてみたい。

[1] 金属水素化物に関する研究動向

水素貯蔵の目的に合致し、将来ともに工学的展開をはかる上で有用とみなされる合金は意外に少なく、希土類系、チタニウム系、およびマグネシウム系の3系統に分類されるものに限られる。これまでに開発された金属水素化物を実用性の高いこれらの3系列に限り、それらの平衡圧力と温度の関係を $\log P$ vs. $1/T$ のプロットでみてみると、図-1のようになる。この図に明らかのように、上記3系列の金属水素化物は、比較的高圧・低温領域に属する希土類系とチタニウム系、および高温・低圧領域に分布するマグネシウム系とに分かれており、この両領域の中間に広い空白部分が存在することに気付く。現在の水素吸蔵用合金開発の多くのものは、既存合金の改質を目的としており、特定の工学的目的に合わせて等温吸収（放出）曲線（ $P-C$ 関係）や平衡吸収（放出）圧力対温度関係（ $P-T$ 関係）を改善するために、元の金属又は合金に第2または第3成分を添加する多元化合物の合成を行う方向にあると云える。ところで、水素吸蔵量の向上を目的とした合金開発の例は非常に少なく、中には、水素吸蔵性能の高いチタニウム系2元合金の開発例もあるが、吸蔵特性と放出特性との間には著しい相違があることが多く、最大吸収量のデータのみからこの合金の特性の良否を判定することはできない。水素化特性の改善に関する研究の中で特筆されるのは、チタニウム系4元合金に関する蒲生ら¹⁾ および町田ら²⁾の研究であろう。両者に共通しているのは、例えば、 $Ti_x Zr_{1-x} Cr_y Mn_{2-y}$ のような原型をもつ合金の中

で x および y の値を系統的に変化させ、C-15型のレーブス相をもつ活性化特性のすぐれた合金の開発に成功している点にある。これらの研究の成果を要約すると、平衡圧力の高低と形状の制御とが容易に行え、吸収特性と放出特性のよくバランスした金属水素化物の合成を、比較的高い水素吸蔵特性を保ったまま可能としているところにあると云える。また、大工試の大角ら³⁾のミッシュメタル系合金に関する研究も、この合金の活性化の容易さ、あるいは、コスト面での優位性を考慮したとき、彼らの開発した、 $A_x Mm_{1-x} Ni_5$ および $Mm Ni_{5-x} B_x$ タイプの合金の特性が、将来の工学的応用に対して、有効な基礎を与えるであろうことが十分に予想されることである。マグネシウム系合金に関しては、カルフォルニア大学のDouglass⁴⁾の研究が最新のものであり、数多くのマグネシウム系の2元および3元系合金の活性化特性と吸収・放出特性の改善に関して詳しい研究成果が報告されている。既に開発されているMg、Mg-Ni、およびMg-Cuの3種類に加えて、Mg-Y系およびMg-Ni-Y系合金が新たに開発されたことになる。

現在、金属水素化物の中では、TiFe系水素化物が、最も実用性の高いものと考えられているが、この水素化物は、水素以外のガス、特に酸素や一酸化炭素の影響を受け易く、活性化が比較的困難であるといった欠点も有している。この合金の量産規模での生産技術の確立は、原料中に含まれるケイ素やアルミニウムなどの不純物、大気中あるいは原料中に含まれる酸素、溶解用炉材の材質、溶解温度などの本合金の水素吸蔵特性におよぼす影響がきわめて大きいため非常に困難であり、実験室的規模で確認されたと同じ特性を量産合金に求めることは難しい。Inco社のSandrock⁵⁾は、このような量産にかかわる技術的課題について詳細な実験的研究を行っており、この成果はすでに実用規模でのTiFe合金の製造に生かされている。研究規模がせいぜい数グラムから数キログラムオーダーの合金の使用に限られている段階では、このような量産技術の確立に関連した基礎研究の重要性を認識することはむずかしいかもしれないが、ベンチまたはパイロットスケールでの装置やプラントの試作段階になって、均質な特性をもつ合金を一定量入手しようとするとき現段階ではなかなか困難であることに気付くのである。このSandrockの研究については他に紹介したので参照されたい⁶⁾。なお、異なる特性を有する合金の混合によって新しい水素化特性を得ようとする合金特性の改良法についての筆者らの研究^{7),8)}の一つの方向を示すものであるが、ここでは紙面の都合もあるので割愛させて頂くこととした。

〔2〕 工学的応用開発に関する動向

米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)の基礎開発をベースとした水素燃料自動車の試作は、金属水素化物の最も良く知られた応用例の一つであろう。米国ビリングスエネルギー社(BEC)の一連のパイオニア的デモンストレーションと西独ダイムラーベンツ社の小型バスの試作例がある。BECでは、開発の目標をICエンジンの水素燃料化におき、現時点ですでに或る程度を目

標開発に成功している。同社では、水素時代への移行手段としてガソリンと水素の併用を行なうデュアル燃料方式の採用にも成功している。金属水素化物を燃料源とする自動車開発の状況については他にも解説⁹⁾があるのでここでの詳述はさけることとした。

米国におけるもう一つの重要な開発事例としては、BNLが中心となって行っているOff-Peak電力の貯蔵とPeak Shaving法に関する一連の開発がある。最近では、実用規模での水素製造をOff-Peak電力を用いた電解法によって行ない、26 MW(e)スケールの燃料電池式発電プラントと大型金属水素化物貯蔵タンクを中心としたプロセスによって再発電を行なおうとするプロジェクトが公表されている。¹⁰⁾この計画では、水素処理量が2,800 lbm/hrであり、現在計画されている金属水素化物の工業的応用例としては最大規模のものであろう。この他、電解法によって得られた水素の大量貯蔵法に関してその技術的および経済的評価を行ったIGTのDarrow¹¹⁾の報告もある。水素を燃料源とし、金属水素化物をその貯蔵体とする事例としては、BECが行っている“Hydrogen Homestead”プロジェクト¹²⁾がある。これは、住宅における全エネルギーを水素によってまかなおうとする計画で、調理用熱源、照明器具や空調機などの電力、自家用車、農業用トラクター、芝刈機などのICエンジン用燃料源などを鉄・チタン合金中に吸蔵された水素によって得ようというもので、すでに実験住宅が完成し実用に供されている。¹³⁾現在では、水素の供給を小型高圧電解装置の設置によって行っているが、将来的には石炭のガス化によって得られる水素の供給を予定しているという。このプロジェクトの基盤をなす個々の機器の技術的先進性、特に電解装置や金属水素化物タンクなどについては全く不明であるが、2次エネルギー源としての水素とその貯蔵体としての金属水素化物の将来的用途を示唆する夢のようなプロジェクトである。

これまでに述べてきた事例では、金属水素化物の水素吸蔵能力そのものが重要な要素であり、この用途には、鉄・チタン合金にまさる水素吸蔵能力を持つ合金の開発が待たれるのであるが、水素と金属水素化物の2相間の平衡関係と吸収と放出時に同伴する反応熱に着目したエネルギーシステムの開発では、金属水素化物のもつ熱容量や熱伝導率などの物性あるいは水素の吸収や放出にかかわる動力学的特性についての知見が最も大切である。また、装置やプラント類の設計に当たっては、水素の吸収と放出時の伝熱工学的特性の解析が不可欠である。残念ながら、この分野における研究実績はきわめて少なく、実験データの集積をベースにした報告が見られるようになるのはまだ当分先のことであろう。

エネルギー機器としての開発は、オランダのフィリップス基礎研究所の低温液化装置がよく知られている。ヒートポンプシステムに関する同研究所と米国のアルゴンマ国立研究所の研究は、¹⁴⁾CaNi₅とLaNi₅の2種類の金属水素化物と複合して用いる最も新しい開発例であるが、い

れも詳しい実験データが報告されている段階ではなく、今夏以降の国際学会での発表が期待されている。我が国においては、東工試の小野ら¹⁵⁾によるハイドライドエンジンの試作開発例がある。これは少量の合金に吸蔵された比較的多量の水素ガスの圧力・容積仕事の大きさに着目した外熱機関で、一種のスターリングエンジンを構成している。このエンジンサイクルのスピードは、水素の吸収と放出速度、金属水素化物粒子の熱伝導特性あるいはピストンシリンダー壁自体の伝熱特性などが律速条件となってまだ高速のサイクルの発生には成功していないが、新しい熱交換機構の開発によって、回転速度の速いすぐれたエンジンサイクルの構成が可能であろう。この他にも、我が国にはアイデアもしくは基礎開発段階にある熱力学的システムや熱回収システムなどがあるが、これらについては、今後の実験的研究成果に基づいた報告を待つこととして、ここでは論評をさしひかえたい。

〔3〕 今後の問題点

これまでに開発された金属水素化物は、実用性の点から判断すると数種類を数えるに過ぎない。金属水素化物を各種エネルギーの回収貯蔵体と考えるとき、利用可能なエネルギー源は多種多様である。しかしながら、この多様性に富むエネルギー源に対応して利用可能な金属水素化物は、それらの圧力-温度関係を示す図-1にも明らかなようにごくわずかのものに限られてしまう。図中に示された中間圧力-温度領域に属し、その空白部分を補う金属水素化物の開発は、エネルギーシステムの設計にとってはきわめて重要である。既存合金の水素吸蔵特性の改造を含め、新合金の開発はこのような意味からも大切となる。アイデア段階にある一つの開発が具体的設計段階を迎えて既存水素化物の諸物性を検討しているうちに実現不能であることを知ることは良くあることである。開発目的にかなった金属水素化物が多ければ多い程、多種類のエネルギーシステムの実現が可能となるわけで、そのような意味で本分野の研究の進展が期待されるゆえんである。

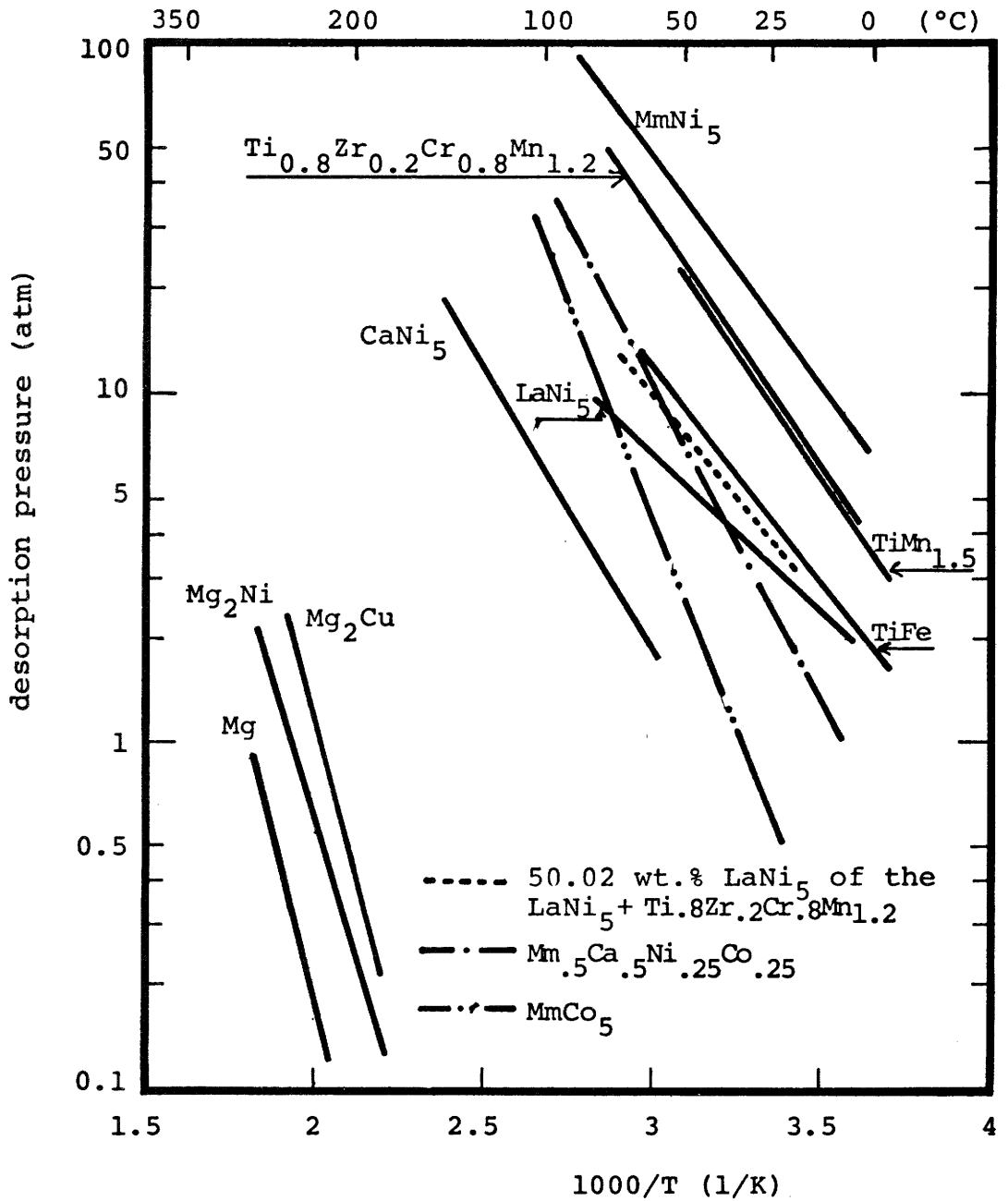


図-1. 主たる金属水素化物の解離平衡圧力と温度の関係

[4] 文 献

- (1) 蒲生孝治ら；日本材料科学会，52年度学術講演会，予講集，p. 27 (1977)。
- (2) 町田育彦ら；International Symposium on Hydrides for Energy Storage, Geilo, Norway. Aug. 14~19, 1977。
- (3) 大角泰章ら；日本化学会36回春季大会，講演要旨集，3J08, 3J09 (1977)。
- (4) Douglass, D. L., International Symposium on Hydrides for Energy Storage, Geilo, Norway. Aug. 14~19, 1977。
- (5) Sandrock, C. D., *ibid.*
- (6) 須田精二郎他；「チタニウム・ジルコニウム誌」26巻，2号(1978)。
- (7) 内田雅樹他；第4回水素エネルギーシステム研究会，講演要旨集，p. 48, (1977)
- (8) 須田精二郎他；International Symposium on Hydrides for Energy Storage, Geilo, Norway. Aug. 14~19, 1977。
- (9) 須田精二郎；「チタニウム・ジルコニウム誌」26巻，2号(1978)。
- (10) Beaufriere, A.H., ら；Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 1 p. 307 (1976)。
- (11) Darrow, K., ら；Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 2, p. 175 (1977)。
- (12) Billings, R. E. ; 私信による (1978)。
- (13) Popular Science, March, p. 20 (1978)。
- (14) Sheft, I., ら；International Symposium on Hydrides for Energy Storage, Geilo, Norway. Aug. 14~19, 1977。
- (15) 小野修一郎他；第4回水素エネルギーシステム研究会，講演要旨集，p. 37 (1977)。

(b) 水素の接触燃焼について

大工試 佐野 寛・春田正毅

1. 序

水素の炎燃焼は、もっとも一般的な水素の使用法と考えられているが、実際に使用してみるとさまざまな問題点がある。

すなわち、燃焼三大公害(ばいじん, SO_x, NO_x), のうち前2者について完全にクリーンであることは間違いがないが、NO_xについてはかなりの問題があって図1に見られるように通常の安全な燃焼法である拡散炎

(空気を水素へ予混合しない)では、既成燃料に匹敵する高NO_xレベルとなる。工業炉の多くのように水素を加圧し高速で噴出して燃焼する乱流拡散炎方式をとればかなりの低NO_x化は可能であるが、なおガス燃焼のNO_x排出基準レベルにはおよばない。空気予混合をすすめると水素は超低NO_x化し、あらゆる燃料の中でもっとも低いNO_x発生レベルになるが、いちじるしく逆火し易くなり実用が困難になる。

その他、燃料の中でもっとも小さな点火エネルギーのための引火性、および無色透明炎であるための監視制御困難性など問題が山積している。これらの課題については現在サンシャイン計画の中で取組まれ、いくつかの対策が研究されつつある。

一方、水素がもっとも燃え易い燃料であることに着目して低温で触媒によって燃焼すること

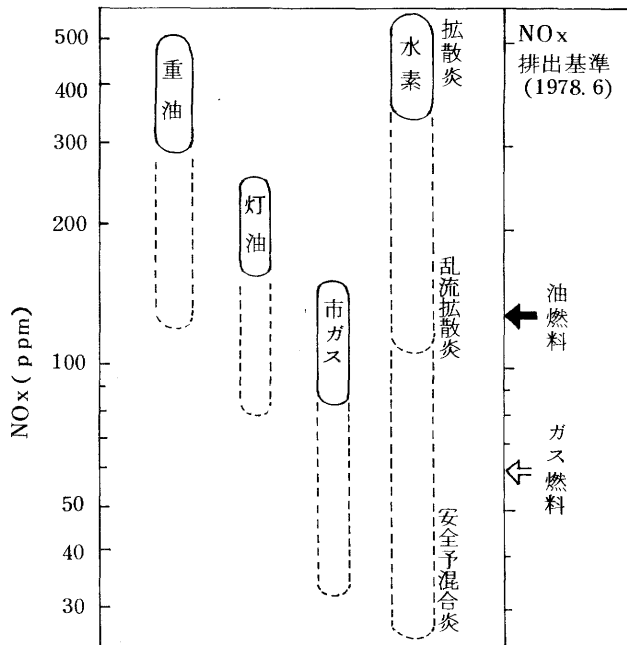


図1 各種燃料のNO_xレベル現状

NO_x抑制法適用の場合

が検討されている。炎燃焼(550°以上)と大巾に異なる点は、

(1) 火災性がない。無炎燃焼であり、多くの有機物の発火温度である350°に達しない温度で燃焼できる超安全燃焼である。

(2) NO_x発生がない(低温であるため)。完全無公害燃焼である。

このため、水素の接触燃焼は、特に民生用(暖房・厨房・給湯用)にもっとも期待される夢の燃焼の一つとされている。

以下に水素の燃焼触媒の研究状況を中心に、その発展動向を紹介する。

2. 水素燃焼に対する各種触媒の活性¹⁾

2.1 白金系金属

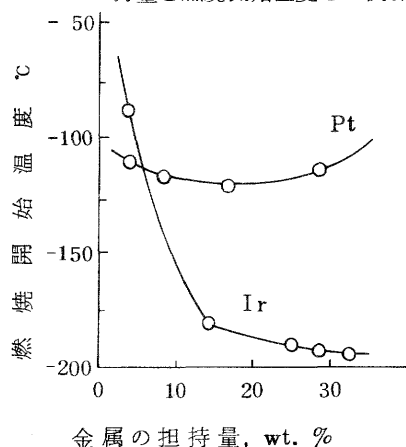
白金系金属は水素と酸素を化学吸着し、しかもそれらとの結合が強くないので水素の燃焼触媒としての活性が最も高い。ロケット燃料として液体水素を用いる場合の点火法の一つとして、低温における白金系金属による水素の触媒燃焼が研究されている。その結果を表1にまとめて掲げた。²⁾

表1. 白金系金属及びそれらの二元系合金の開始温度

アルミナ担持, 合金の原子比 1 : 1 担持金属原子数は皆同じで, Pt 4.5 wt % 相当						
	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
Ru	>+20					
Rh	>+20	>+20				
Pd	-69	-71	-84			
Os	-	-	-	>+20		
Ir	+4	+13	-78	-	-70	
Pt	-107	-107	-106	-	-113	-112

試料ガス: He ベースで H₂ 3vol%, O₂ 1vol%

図2 アルミナ担持触媒における担持量と燃焼開始温度との関係



Ru, Rh, Os では室温からの燃焼開始は期待できないが, Pd, Pt, Irを用いれば寒冷期でも室温から燃焼開始が可能である。最も活性の高いのはIrで(図2参照), 耐熱性の点でも優れている。

高価な白金系金属の使用量を節約する試みとして、いわゆる“spiel over catalysts”の考え方から、不活性担体だけと組み合わせるより、比較的活性の高い遷移金属酸化物と組み合わ

せることが考えられる。³⁾

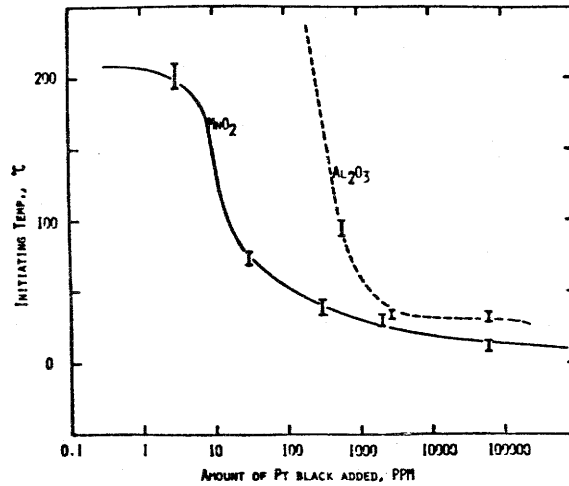


図3 H₂ 1 vol.% 空気混合ガスの燃焼開始温度と白金黒添加量との関係

2.2 金属酸化物

金属酸化物上での水素の酸化反応は表面酸素と水素との反応が律速となっている場合が多いので、酸素1原子当りの酸化物の生成熱 ΔH_f が小さいものほど触媒活性が高くなる傾向がみられる。⁴⁾(図4)

酸化物の触媒活性を半導体性との関連で把える考え方はCOの酸化反応について試みられてきた。金属酸化物に酸素が吸着すると、格子から電子が移行してきて酸素イオンが生成されるが、このような陰イオン吸着はそれによって電導度が増加するP型半導体の方がn型より起りやすい。一般的に、P型>n型>絶縁体の順に活性が減少する。

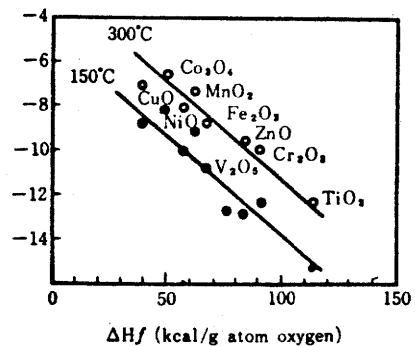


図4 第IV周期金属酸化物の水素の酸化反応に対する触媒活性
小室, Boreskov のデータ

表2に遷移金属酸化物の中で比較的活性の高いCo, Mn, Ni, Cuの酸化物について空気ベースH₂ 1 vol.% 試料ガスの50%燃焼率を与える温度をまとめた。

酸化物	調製法	50%燃焼率の温度 °C	Notes
● Co_3O_4	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{CoCO}_3 \xrightarrow{300^\circ\text{C}} \text{Co}_3\text{O}_4$	133	結晶性低い
● "	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{CoCO}_3 \xrightarrow{500^\circ\text{C}} \text{Co}_3\text{O}_4$	140	結晶性高い
Co_2O_3	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{Co}_2\text{O}_3$ or 水和物	179	COに対する活性高いといわれる
Co_3O_4	市販品 (キンダ化学)		
● $\gamma\text{-MnO}_2$	$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NaClO}_3 \xrightarrow{120^\circ\text{C}} \text{MnO}_2$ (金属光沢)	265 (207)	(空間速度の影響大) 昇温速度低い、100°C位、表面積小
MnO_2	$\text{KMnO}_4 + \text{HCHO} \xrightarrow{120^\circ\text{C}} \text{MnO}_2$ (黒茶色)		
"	市販品	261	
● NiO	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 \xrightarrow{300^\circ\text{C}} \text{NiO}$ (黒色)	191	
NiO	市販品 (緑灰色)	>245 (20%)	
Ni_2O_3	" (黒色)	203	
● CuO	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{200^\circ\text{C}} \text{CuO}$	193	
"	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{300^\circ\text{C}} \text{CuO}$	252	結晶性高い
"	市販品	220	30~50メッシュ 空間速度1/2倍

<測定条件> 昇温速度: $2^\circ\text{C}/\text{min}$, 試料: 100~145メッシュ, 0.30g
 試料ガス: H_2 1vol. % Air, 100ml/min

上記4種の遷移金属酸化物は実際には酸化状態の異なる2種の酸化物の混合物となっている。

(図6のESCAデータ)

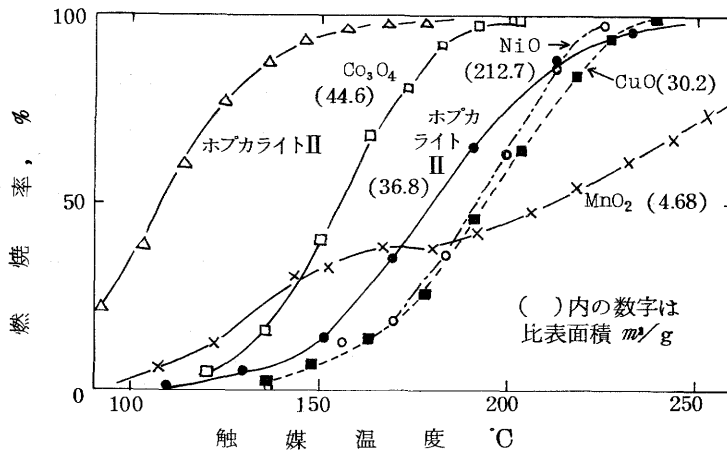


図5 触媒温度と燃焼率との関係 (H_2 1vol % 100 ml/min)

CO の常温酸化触媒として普及しているポプカライト触媒は水素の酸化に対してはCOの場合ほど活性は高くないが、ポプカライト I (CO_2O_3 , 15%, Ag_2O , MnO_2 , CuO) は 50% 燃焼率の温度が約 5% 50% 30% 110℃ と酸化物触媒としては活性が高い。

<安価な酸化物触媒の探索>

自動車排ガス浄化用燃焼触媒に関連して、耐熱性などを向上させるため多くの多元系酸化物触媒が研究されてきたが、水素の触媒燃焼に対する活性の高いものは少ない。第IV周期遷移金属酸化物のスピネル型化合物やMgOなどの不活性マトリックス中に固溶させた遷移金属酸化物は対応する単一酸化物より活性が低い。半導性と触媒活性との関連を追求する立場から、NiOにLi₂Oをドープすることが多くの研究者によって試みられているが、P型半導性の増大により触媒活性もある程度向上している。点火源を必要としない程活性の高い安価な酸化物触媒の開発には今後の多大な研究が必要である。2元系酸化物混合触媒についての活性データを以下に示す。

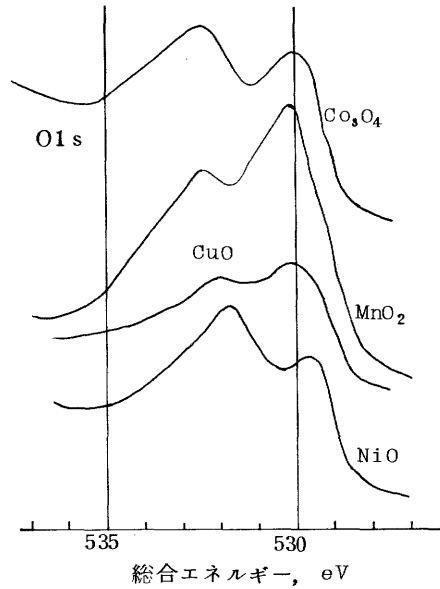


図6 O1s の ESCA スペクトル

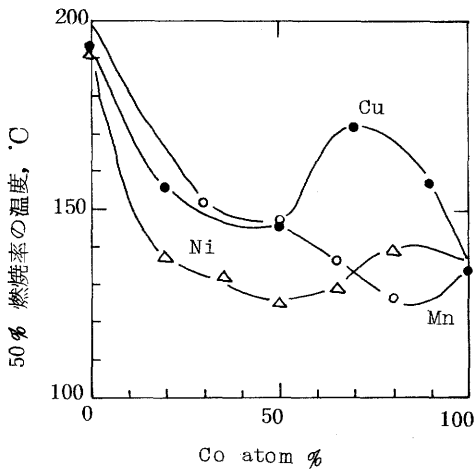


図7 Co 二元素酸化物

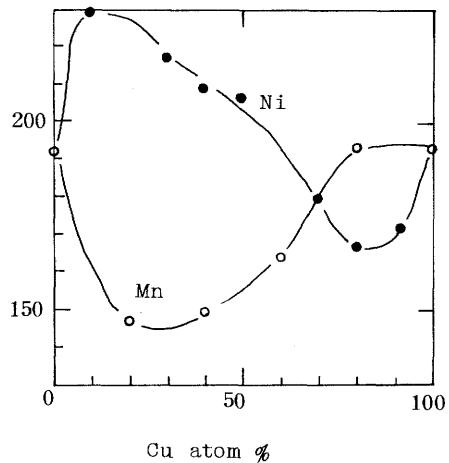


図8 Cu 二元素酸化物

2.3 その他の触媒

燃料電池の電極触媒としてPtに近い活性をもつものとして開発されたタングステンカーバ

イト、タンクステンブロンズなどは水素を室温で燃焼させることができるとされているが、二、三の市販品については活性は非常に低いという結果となっている。臭化パラジウム酸カリウムとチロシン（モル比 1 : 2）を加熱して水に溶解させ還元処理したものは室温で水素を水中燃焼できるので、液中触媒燃焼への応用が考えられる。

3. 水素の触媒燃焼のビジョン

触媒燃焼方式のストーブは我が国では現在のところほとんどみられないが、欧米、ソ連を中心に二、三百万台の使用実績があるといわれている。⁵⁾ これらの触媒燃焼器に使用されている燃料は携帯性の良さ、燃焼性の良さなどから、LPGが最も多いが、点火には圧電着火方式でパイロット炎をつくり、炎燃焼で触媒層を予熱してから、触媒燃焼方式に切替えるという面倒なものが多い。炭化水素系燃料では活性の高い白金を用いても燃焼開始温度が室温よりかなり高く、触媒面の温度も 300～500℃の範囲となり、低温域の温調が難しいなど問題となる点が多い。大きな特徴としては、COの発生が極めて少ないことと、NO_xの生成がほとんどみられず、NO₂については環境空气中に存在する量より減少するという点が注目されるが、上記の問題点などから普及には至らなかったと考えられる。

水素はその燃焼性の良さから触媒燃焼用として最も適した燃料として期待できる。低温・無炎、安全、無公害の触媒燃焼器を安価で供給できるのは水素を燃料とした時に初めて実現でき、その具体的な利用分野は

- 1) 快適暖房一床・壁暖房（将来のエネルギー需要の伸びの最も高い分野）
- 2) ロード・ヒーティング用 — 除雪、凍結、水濡れ防止
- 3) 厨房用 — 肉・魚焼き器（適温：200℃前後）
- 4) その他 — パイプライン補修用の熱収縮パイプ加熱器、塗膜焼付け乾燥、ハンダこて、ライター

水素の触媒燃焼器開発にあたっては、安価で耐久性のある触媒の開発が必要なことは当然であるが、触媒層の加熱により炎燃焼がおり逆火の危険性が水素の場合特に大きいのでこの対策が重要な課題である。

参考文献

- 1) ガス協会、S51年度サンシャイン委託報告書 p93～114
- 2) Jennings et al., J. Catal. 24, 493 (1972)
- 3) 春田、佐野、触媒 19, 73 (1977)
- 4) Boreskov et al., Proc. Int. Congr. Catal. 4th 1968, 1, 439 (Pub. 1971)
- 5) 1)の文献 p114～135