

# 水素の輸送・貯蔵と利用技術

## Storage, Transmission and Utilization of Hydrogen

中 根 正 典\*

### 1. はしがき

将来の二次エネルギーとして注目されている水素は多くの利点を持っているが、その最大の特徴は貯蔵が可能なことである。これまで、水素の貯蔵・輸送には高圧ガスまたは液体水素が用いられてきたが、近年この目的のため金属水素化物を用いる方法が脚光を浴び、多くの研究が行われている。最近の調査<sup>1)</sup>によれば、水素に関する文献のうち約25%が金属水素化物の利用に関するものであり、いかに深い関心を持たれているかをこの数字は示している。一方、水素は多くの利用が考えられる。

本文は水素の輸送・貯蔵及び利用についてこの一年間の研究の動向を解説したものであり、本誌前号の続編である。

### 2. 水素の輸送・貯蔵技術

#### 2・1 金属水素化物による水素の輸送・貯蔵

ある種の金属あるいは合金は水素と反応して金属水素化物を形成するが、これは液体水素と同等あるいはそれ以上の密度で水素を吸蔵できることから、水素の新しい貯蔵法として注目されており、これまで数多くの水素貯蔵用合金が発表され、現在すでに実用化研究へ移行しつつあるものもある。しかし、水素吸蔵・放出特性がより優れ、その上安価な合金の探索という命題は依然として残されており、なお研究は盛んである。一方では金属水素化物に関するより基礎的な研究も増加の傾向にある。

##### 2・1・1 金属水素化物に関する基礎的研究

LaNi<sub>5</sub>多結晶及び単結晶の表面状態がX線光電子分光、オージェ電子分光、低速電子線回折及び磁気測定など

を用いて研究され、活性表面の挙動や、LaNi<sub>5</sub>が比較的不純な水素に対して影響を受けない理由が明らかにされた<sup>2)</sup><sup>3)</sup>。同様な研究がTiFeについても行われ<sup>4)</sup><sup>5)</sup>、LaNi<sub>5</sub>及びTiFeの活性化処理の難易について考察が加えられた。中性子回折を用いる水素化物の構造研究法が提案され<sup>6)</sup>、水素化物中の水素の位置決定に役立てられた。これまで合金の水素吸蔵・放出特性については評価されてきたが、結晶構造、電子構造、水素拡散など重要な物理的性質についての資料は不十分であった。そこで、NMRを用いてTiFeHx、TiFe<sub>1-x</sub>Mnx<sup>7)</sup>、Ti-H、Zr-H<sup>8)</sup>、La-D、La-H<sup>9)</sup>が研究された。また、希土類-遷移金属化合物の水素吸収による磁気的性質の変化<sup>10)</sup><sup>11)</sup><sup>12)</sup>が測定された。

金属水素化物の生成熱の計算法が提案され<sup>13)</sup>、金属-水素系におけるプラト-圧力の熱力学的関係が解明<sup>14)</sup>される一方、水素の吸蔵・放出過程であられるヒステリシス効果を説明する新しい理論が提案された<sup>15)</sup>。金属水素化物の利用においてヒステリシスの存在は熱力学的効率を減少させる原因になるので、この原因を正しく理解することは工学的にも重要な問題であった。合金が水素化物を生成するとき、音響エネルギーの放出を伴いながら相変化する。この過程での音の放出が水素化反応の進行の検出<sup>16)</sup>や、微粉化過程の観察に応用した実験例が報告された<sup>17)</sup>。

2・1・2 水素貯蔵用合金の探索 水素貯蔵用合金に関するこれまでの研究を大別すると、マグネシウム、チタン、希土類金属などをベースとした合金系となるが、現在もこれら合金の水素吸蔵・放出特性の研究と、実用化を前提とした改良研究が盛んである。

(1) マグネシウム系合金: MgとMg-10%Ni合金の表面水素化速度と同金属水素化物粉末の吸蔵・放出の繰り返しによる比表面積の変化が測定された<sup>18)</sup>。またニッケルの添加効果が検討され、Mg<sub>2</sub>Ni相がMg相を

\* 通商産業省工業技術院大阪工業技術試験所  
第5部水素化学研究室室長

活性化して水素吸蔵速度の温度依存性を变化させ、水素吸蔵用としての特性が改善されることが見いだされた<sup>19)</sup>。Mg<sub>2</sub>Ni, Mg<sub>2</sub>Cu, Mg<sub>2</sub>Si, Mg<sub>3</sub>Si, Mg<sub>2</sub>Sn<sup>20)</sup>, Mg<sub>2</sub>Ca, La<sub>2</sub>Mg<sub>17</sub>, CeMg<sub>12</sub><sup>21)</sup>などの水素吸蔵容量、水素化速度が調べられる一方、自動車用として各種Mg系合金が試験され、Mg-5Y, Mg-5Ni-5Yが有効であると結論された<sup>22)</sup>。また、Mg系合金の現状を総括し、主な水素化物の特性に関する解析結果がまとめられた<sup>23)</sup>。

(2) チタン系合金: チタン系合金のうちTiFeの水素吸蔵特性は優れており、すでに米国ではTiFeの小型容器が市販されている。それだけに、あらゆる角度から特性の検討が加えられており、吸蔵特性に及ぼす焼鈍、水素吸蔵・放出の繰り返し及び粒度の影響<sup>24)</sup>、TiFe製造のための新しい溶融技術の提案<sup>25)</sup>、夾雑物及び第3成分添加の影響<sup>26) 27) 28) 29)</sup>などが検討された。TiFeの唯一の欠点とされていた活性化の問題がMnの添加により改善された。またTiFeに少量のCeを添加することにより酸化形成を妨げる効果のあることが明らかにされた。TiFeを用いて水素を貯蔵する場合、水素の吸蔵・放出に伴う膨張収縮による容器の損傷をなくすための容器構造が検討された<sup>30) 31)</sup>。

活性化が容易な合金を開発することを目標に、Ti-Co系<sup>32)</sup>、Ti-Mn系<sup>33)</sup>、Ti-Cr系<sup>34)</sup>が検討され、TiCo<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.5</sub>, TiCo<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>, Ti<sub>0.9</sub>Zr<sub>0.1</sub>Mn<sub>1.4</sub>V<sub>0.2</sub>-Cr<sub>0.4</sub>, Ti<sub>0.8</sub>Zr<sub>0.2</sub>Cr<sub>0.8</sub>Mn<sub>1.2</sub>などが見いだされた。また、 $\eta$ -Ti<sub>4</sub>Fe<sub>2</sub>Oの水素化物<sup>35)</sup>、アモルファスTi<sub>0.65</sub>Cu<sub>0.25</sub>, TiCuの水素吸収能が結晶性のものと比較検討された<sup>36)</sup>。チタン系金属水素化物の開発の現状と利用についての総説が発表された<sup>37) 38)</sup>。

(3) 希土類系合金: 実用上高価である点問題は残るが、LaNi<sub>5</sub>はやはり優れた水素吸蔵・放出能を有しており、現在もこれに関する研究例は多い。LaNi<sub>5</sub>の水素化特性に及ぼすFe, Cr置換の影響<sup>39)</sup>や、水素吸蔵・放出の速度論的研究が行われ<sup>40)</sup>、RENi<sub>5</sub>やRECo<sub>5</sub>水素化物の研究から新しい水素化物の解離圧を推算する経験則が導かれ<sup>41)</sup>、単位セル容積と解離圧の対数の間に直線関係のあることが報告された<sup>42)</sup>。希土類をベースとした合金の水素吸蔵に関する研究が行われ、水素化物の安定性から水素吸収能を推測するモデルの妥当性が評価された<sup>43)</sup>。六方晶形AB<sub>5</sub>型化合物において、NiをMnで置換した場合の水素化物特性の変化が、LaNi<sub>5-x</sub>Mnx, MmNi<sub>5-x</sub>Mnxについて検討され、これら合金が基合金の水素化物より強い安定効果のあるこ

とが示された<sup>44)</sup>。

LaNi<sub>5</sub>が高価であるため、Laをミッシュメタルで置き換えた合金について多くの研究が行われている。MmNi<sub>5</sub>の水素含有量はLaNi<sub>5</sub>のそれと等しく、生成熱は小さいが、解離圧が非常に高い<sup>45)</sup>。そこで、一般式Mm<sub>1-x</sub>AxNi<sub>5</sub>, MmNi<sub>5-x</sub>Ax (A: 遷移金属など, x = 0.05 ~ 0.5)について検討した結果、水素吸蔵・放出特性はLaNi<sub>5</sub>に匹敵し、しかも活性化が容易なMmNi<sub>4.5</sub>Mn<sub>0.5</sub><sup>46)</sup>, MmNi<sub>4.5</sub>Al<sub>0.5</sub><sup>47)</sup>, MmNi<sub>2.5</sub>Co<sub>2.5</sub><sup>48)</sup>などの合金が見いだされた。そのほか、Mm<sub>1-x</sub>Tix-Ni<sub>5</sub> (x = 0.1 ~ 0.25), Mm<sub>1-x</sub>CaxNi<sub>5</sub> (x = 0.1 ~ 0.75)などの合金について研究され、前者ではxの増加とともに解離圧はMmNi<sub>5</sub>より増大するが、後者ではx = 0.5以上で低くなる傾向のあることが認められた<sup>45)</sup>。Mm<sub>1-x</sub>CaxNi<sub>5-y</sub>Cuy合金の水素吸蔵・放出特性も調べられた<sup>49)</sup>。

(4) 水素貯蔵用合金の使用上の問題点: 合金の水素貯蔵特性は合金の冶金学的あるいはマイクロ構造によって左右されることから、チタン系、希土類系合金の大量製造時の合金組成比、不純物の影響、溶融技術などが詳細に検討された<sup>50)</sup>。金属水素化物を用いる水素貯蔵装置は反応装置であると同時に熱交換器と考えられる。装置の効率向上のためには水素化物の低い熱伝導性にもかかわらず一つの課題であるが、その一つの試みとしてporous metal matrixの使用が提案され、水素化物との比較が行われた<sup>51)</sup>。金属水素化物の示す水素吸蔵・放出特性はそれぞれの合金に固有のものであり、すべての範囲をカバーできるものはない。そこで二種合金を混合し、より広い特性を得ようとする試みがLaNi<sub>5</sub>-TiFe<sup>52)</sup>, LaNi<sub>5</sub>-Ti<sub>0.8</sub>Zr<sub>0.2</sub>Cr<sub>0.8</sub>Mn<sub>1.2</sub><sup>53) 54)</sup>などについてなされた。

## 2.2 水素のガス又は液体での輸送・貯蔵

水素は普通高圧ガスとしてポンペに詰めて輸送されるが輸送効率は悪い。将来、大量水素はパイプライン輸送されるものと考えられており、長距離経路に有利という試算もある。ガス輸送網を水素に変換することの可能性が検討された<sup>55)</sup>。水素含有量の高い都市ガスの輸送も実施されていることから基礎資料も揃っており、安全性は一応認められている。

液体水素の取り扱いに関する技術は米国における宇宙開発と関連して著しく進歩した。我が国初の大規模液体水素製造プラント(生産能力730ℓ/hr, 貯蔵能力10万ℓ)が建設され、生産が開始された<sup>56)</sup>。気体水素に比べ輸送・貯蔵効率は向上するが、液体水素製造に

は高純度の水素が必要であること、製造設備が高価であることに加えて液体水素の沸点が204K(-256℃)という極低温のため特殊な容器が必要であり経済的問題がある。しかし、液体水素は液体炭化水素燃料に較べ安全性の上で有利なので、水素エネルギーシステムにおける輸送・貯蔵で重要な役割を示すものと考えられている<sup>57)</sup>。液体水素の貯蔵容器としては10<sup>6</sup>ℓの貯蔵用 Dewar も開発されており、気化損失は0.03~0.05%/dayと少い。水素液化の効率について検討され<sup>58)</sup>、250t/day生産のモジュールのフローシートが発表された。太陽エネルギーから液体水素製造までの一貫したシステムについても検討されている<sup>59)</sup>。

### 3. 水素の利用技術

水素は広汎な用途が考えられるが、現在の化石燃料が将来水素によって置きかえられるとすると、その用途は加熱用、動力用、発電用、化学原料などとなる。また、金属水素化物のエネルギー変換材料としての利用が注目される。

#### 3・1 熱源としての利用

水素を燃焼させ、発生する熱を利用しようとするものであり、そのためには水素の燃焼特性を知ることが大切である。

水素はクリーンな燃料であると言われている。なるほど、燃焼の三大公害要素である煤塵やSO<sub>x</sub>については水素は完全にクリーンであるが、燃焼条件によってはNO<sub>x</sub>を多発する場合がある。事実水素の拡散燃焼では高いNO<sub>x</sub>レベルを与えるが、空気予混合燃焼で低NO<sub>x</sub>化することは他の炭化水素系燃料の場合と著しく異なっており、これが水素燃焼最大の特色である。水素の燃焼及び火炎の特性についての解説が試みられ、水素は応用範囲の広い燃料であるが、工業的に水素燃料を広く活用するためには、基礎研究を積み重ね、水素の燃焼技術の向上を図ることが必要であると強調された<sup>60)</sup>。小型水素火炎についてその構造、性状及びNO<sub>x</sub>の生成と抑制法など一連の研究が行われている。<sup>61) 62) 63) 64) 65) 66) 67) 68) 69)</sup>一方、水素炎の着色についての系統的な研究が進められている<sup>70) 71)</sup>。予め混合したH<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>ガスの燃焼乱流ジェット<sup>72)</sup>の安定性、天然ガス分配システム中への水素の混合について<sup>73)</sup>、水素-空気混合ガスの火炎に対する発泡金属板の消炎性能<sup>74) 75)</sup>などについての研究もある。

水素はある種の触媒を用いることによって、比較的低温で燃焼が可能である。従って、火災性は勿論、

NO<sub>x</sub>の発生の心配もなく安全無公害燃焼法として期待される。しかし、将来民生用としての用途を考えると、白金にかわる安価で高性能、しかも長寿命触媒の探索が必要となる。そこで、触媒の系統的な探索研究が行われ<sup>77) 78) 79)</sup>、100℃以下で使用可能な高性能触媒が見いだされた<sup>80)</sup>。これを用いた触媒燃焼機器の開発も進められている<sup>81)</sup>。

#### 3・2 動力としての利用

自動車燃料としての水素はガソリンに比較して着火可能な燃焼限界の範囲も広く、熱効率も高い。石油系燃料の場合、排気ガスの浄化と熱効率の悪化との板ばさみで苦慮している今日、水素には本質的にその悩みはない。しかも、基本的には現在のエンジンで作動可能であることも確かめられており、この点でも見通しは明るい。

自動車エンジンへの水素燃料の適合性<sup>82)</sup>、水素燃料火花点火エンジンの問題と利点<sup>83)</sup>、輸送機関燃料としての水素の可能性<sup>84)</sup>、水素燃料用工業自動車の計画<sup>85)</sup>、液体水素自動車<sup>86) 87)</sup>、金属水素化物使用の水素自動車の評価<sup>88)</sup>、自動車用エネルギー源の比較と開発の将来展望<sup>89)</sup>、水素を燃料とする自動車の技術的経済的評価<sup>90)</sup>、など多くの研究結果が報告された。

一方、航空機燃料としての水素とくに液体水素の利用<sup>91)</sup>、将来の航空機燃料としての液体水素の利用は非常に魅力的であり、環境汚染の減少、低コスト化に加えて高いエネルギー効率が得られるという解析結果が示された<sup>92)</sup>。また、液体水素を燃料とする航空機は現実のものになりつつあるとして、液体水素を供給するための設備計画が検討され、液体水素地上燃料システムの費用が試算された<sup>93)</sup>。液体水素と液体酸素の組み合わせが優れた比推力を持つとして、宇宙船に安全に貯蔵するための容器構造とその材料及び種々の周辺技術について検討された<sup>94)</sup>。

#### 3・3 発電利用

将来の水素エネルギーシステムでは水素と電力の相互変換技術が必要となる。この目的に利用されるものにタービン発電と燃料電池がある。

水素と酸素の燃焼による高温蒸気でタービンを廻す効率は、3000kで理論カルノー効率90%が得られる。GE社では70%以上の効率が得られ、従来のボイラより小型高効率を得られている。今後解決すべき課題として水素専焼特性、爆発に対する安全性、NO<sub>x</sub>の抑制、材料問題などがあげられる。

燃料電池は電気化学的に燃料を酸化した化学エネルギー

ギーを直接電気エネルギーに変換する発電装置であり、カルノー効率の制限を受けないので原理的には100%の変換効率が期待できる。しかし、実際にはオーム損、両極の過電圧が生ずるので70~80%程度まで低下するが、熱-機械エネルギー変換効率に比べるとこの値は大きい。

将来民生用として利用するためには、信頼性は勿論経済的でしかも長寿命電池の開発が必要である。燃料電池用電極触媒の研究<sup>95) 96) 97)</sup>、酸素の電気化学的還元速度<sup>98)</sup>、 $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$  固体電解質の電気化学的特性<sup>99)</sup>、プロトン導電性固体電解質としてのリン酸ウラニル水和物<sup>100)</sup> やリンモリブデン酸及びリントングステン酸など<sup>101) 102) 103) 104) 105)</sup>、触媒や固体電解質についての研究が進められている。一方電力のロードレベリング、又はオンサイト発電用としての用途を目標に、1ユニット1000 Kw程度の電池の開発研究、水素燃料電池と水電解兼用槽の開発のための基礎研究<sup>106)</sup>、水素-空気燃料電池の可能性が検討され<sup>107)</sup>、米国における電力用燃料電池の研究開発の動向が紹介された<sup>108) 109) 110)</sup>

### 3・4 エネルギー変換材料としての金属水素化物

金属水素化物をエネルギー変換材料と考える場合のもつとも重要な特徴は、これが金属と水素に分解する反応にあり、応用技術の基本となるものは反応の可逆性の良さによるものであると言える。つまり、金属と水素の反応は化学エネルギー（水素）、熱エネルギー（反応熱）、機械エネルギー（平衡水素圧）の相互変換機能を持っており、種々の応用が考えられる。

金属水素化物のエネルギー変換材料としての応用についての解説が発表された<sup>111) 112) 113) 114)</sup>。金属水素化物を用いる太陽熱冷暖房システムHYCSOS（Hydride Conversion and Storage System）が提案され<sup>115) 119)</sup>、システムの熱力学的考察<sup>116)</sup>、住宅用として使用する場合の設計、性能、コスト及びシステムの成績係数の試算<sup>117)</sup>、ケミカルヒートポンプとしての金属水素化物の評価用システム<sup>118)</sup>、などについて詳細な研究が進められた。LaNi<sub>5</sub>型金属水素化物のヒートポンプ、コンプレッサーとしての利用<sup>120)</sup>、CaNi<sub>5</sub>-LaNi<sub>5</sub>を組み合わせたヒートポンプ<sup>121)</sup>、などについての利用が注目されている。金属水素化物を用いる化学蓄熱<sup>122)</sup>、マグネシウム-水素系を用いた蓄熱<sup>123)</sup>、新しい水素ガス圧縮機<sup>124)</sup>、水素源としての金属水素化物についての物理化学的データ<sup>125)</sup>などが報告された。

## 4. あとがき

本誌前号に引き続き、水素の輸送・貯蔵と利用について、この1年の進歩について解説を試みた。

水素エネルギーに関する本格的な研究が初まってほぼ10年を経過した今日、まだ従来のエネルギーシステムの一部を代替するまでには至っていないが、当然やってくるであろう化石燃料の枯渇にそなえ、山積するもろもろの技術的問題点を解決する地道な研究が積み重ねられていることが汲みとれる。

なお、本文のまとめの作業中、米国コロラドスプリングスで“金属水素化物の特性と応用”に関する第2回国際シンポジウムが開催され、150件近い論文が発表された。これらはすべて本稿に関係あるものであるが、紙数に制限があるため割愛した。機会があれば紹介したい。

## 参考文献

- 1) 中根：本誌，1，23（'80）。
- 2) H.C.Siegman ほか：Phys. Rev. Letters, 40, 972（'78）。
- 3) L.Schlapbach ほか：Int. J. Hydrogen Energy, 4, 21（'79）。
- 4) L.Schlapbach ほか：Mat. Res. Bull., 13, 697（'78）。
- 5) G.Bush ほか：Int. J. Hydrgen Energy, 4, 29（'79）。
- 6) A.F.Andresen：Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 61（'78）。
- 7) R.C.Bowman Jr.ほか：ibid. 97（'78）。
- 8) C.Korn：ibid., 119（'78）。
- 9) B.Pedersen：ibid., 83（'78）。
- 10) K.H.J. Buschow：ibid., 273（'78）。
- 11) W.E. Wallace：ibid., 217（'78）。
- 12) R.Hempelmann ほか：ibid., 407（'78）。
- 13) C.D.Gelatt：ibid., 193（'78）。
- 14) P.S.Pedersen：ibid., Hydrogen Energy 3, 431（'78）。
- 15) C.E.Lundin ほか：Int. Symp. Hydrides Energy Storage 395（'78）。
- 16) C.J.M.Northrup ほか：ibid., 205（'78）。
- 17) 三沢ほか：日本金属学会誌，44, 387（'78）。
- 18) 石堂ほか：電化，46, 620（'78）。
- 19) 西宮ほか：電化，45, 682（'77）。
- 20) Ph. Guinet ほか：Semi. Hydrogen Energy Vector, 373（'78）。
- 21) B. Darried ほか：ibid., 372（'78）。
- 22) D.L.Douglass ほか：Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 151（'78）。
- 23) 須田ほか：工学院大学研究報告，44号，128（'78）。
- 24) 天野ほか：日本金属学会誌，43, 809（'79）。
- 25) G.D.Sandrock：U.S. DOE Rep. [CONF-761134]，143（'76）。
- 26) 須田ほか：工学院大学研究報告，44号，91（'78）。

- 27) J.R. Johnson ほか : Miami Int. Conf. Alternative Energy Sources, [ 8 ], 3739 ('78).
- 28) J.J. Reilly ほか : U.S. DOE Rep. [ CONF-761134 ], 129 ('76).
- 29) C.M. Stander : Met. Sci., 13, 322 ('79).
- 30) G. Strickland : Miami Int. Conf. Alternative Energy Sources, [ 8 ], 3699 ('78).
- 31) G. Strickland : Hydrogen for Energy Distribution, Symp. Paper, ('78) 509.
- 32) 大角ほか : 日化, 1979 (7), 855.
- 33) 蒔生ほか : タタニウム・ジルコニウム, 25, 159 ('77).
- 34) Y. Machida ほか : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 329 ('78).
- 35) K. Hiebl ほか : Monatsh. Chem., 110, 9 ('79).
- 36) A.J. Maeland : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 447 ('78).
- 37) 須田ほか : 工学院大学研究報告, 44号, 114 ('78).
- 38) 大角ほか : タタニウム・ジルコニウム, 27, 142 ('79).
- 39) 三沢ほか : 日本金属学会誌, 43, 104 ('79).
- 40) T.B. Flanagan : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 135 ('78).
- 41) G. Busch ほか : ibid., 293 ('78).
- 42) D.M. Gruen ほか : Symp. Electrode Mater. Processes, Energy Convers. Storage, 482 ('77).
- 43) K.H.J. Buschow ほか : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 235 ('78).
- 44) C.E. Lundin ほか : Miami Int. Conf. Alternative Energy Sources, [ 8 ], 3803 ('78).
- 45) 大角ほか : 日化, 1978 (11), 1472.
- 46) 大角ほか : 日化, 1979 (1), 45.
- 47) Y. Osumi ほか : J. Less-Common Metals, 66, 67 ('79).
- 48) 大角ほか : 日化, 1979 (6), 772.
- 49) G.D. Sandrock : Miami Int. Conf. Alternative Energy Sources, [ 8 ], 3713 ('78), 12th IECEC, 951 ('77).
- 50) G.D. Sandrock : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 353 ('78).
- 51) M. Ron : ibid., 417 ('78).
- 52) S. Suda ほか : ibid., 515 ('78).
- 53) 須田ほか : 工学院大学研究報告, 44号, 106 ('78).
- 54) 須田ほか : ibid., 45号, 58 ('78).
- 55) S. Bezin ほか : Semi. Hydrogen Energy Vector, 447 ('78).
- 56) 能宗 : ステンレス, 23, 17 ('79).
- 57) A.W. Francis : Appl. Cryog. Technol., 7, 65 ('78).
- 58) C.R. Baker ほか : Int. J. Hydrogen Energy, 3, 321 ('78).
- 59) H.C. Zachmann : Miami Int. Conf. Alternative Energy Sources, [ 8 ], 3637 ('78).
- 60) 功刀 : 機械の研究, 31, 201 ('79).
- 61) 佐野ほか : 第12回燃焼シンポジウム前刷集, 9, ('74).
- 62) 佐野ほか : ibid., 第13回, 261 ('75).
- 63) 遠山ほか : ibid., 第15回, 1, ('77).
- 64) 佐野ほか : ibid., 108 ('77).
- 65) 遠山ほか : 日化第37春季年会, ('78). 3H 38.
- 66) 遠山ほか : 日化第38秋季年会, ('78). 3L 21.
- 67) 佐野ほか : 第16回燃焼シンポジウム前刷集, 145, ('78).
- 68) 佐野ほか : ibid., 第17回, 233 ('79).
- 69) 遠山ほか : ibid. 228 ('79).
- 70) 中村ほか : 大工試季報, 30, 297 ('79).
- 71) 中村ほか : ibid., 31, 7 ('80).
- 72) H.F. Nelson : 科学技術文献速報, エネルギー編, S79070400.
- 73) U.S. DOE Rep. [ CONS-2925-1 ], 99 ('77).
- 74) U.S. DOE Rep. [ CONS-2925-2 ], 154 ('77).
- 75) C.R. Guerra ほか : U.S. DOE Rep. [ CONF-761134 ], 15 ('76).
- 76) 堀口ほか : 高圧ガス, 16, 275 ('79).
- 77) 春田ほか : 日化第37春季年会, ('78) 3Q 45.
- 78) 春田 : 燃料及燃焼, 45, 385 ('78).
- 79) 春田ほか : 第43回触媒討論会, ('78).
- 80) 春田ほか : 触媒研究発表会, ('79).
- 81) 春田ほか : 第17回燃焼シンポジウム前刷集, 114 ('79).
- 82) G.H. Gilson : SAE-Australes, 38, 144 ('78).
- 83) H.C. Watson ほか : Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf., 13 th, 1170 ('78).
- 84) R.E. Billings : Int. Conf. Eff. Hydrogen Behav. Mater., 18 ('76).
- 85) J.J. Mehne ほか : U.S. DOE Rep. [ CONF-761134 ], 171 ('76).
- 86) N.N. CEANBAHOB ほか : Automob. Prom-st., 44, 39 ('78).
- 87) R.L. Whitelaw : Miami Int. Conf. Alternative Energy Sources, [ 8 ], 3843 ('78).
- 88) R.E. Mc Alevy : Miami Int. Conf. Alternative Energy Sources, [ 8 ], 3877 ('78).
- 89) D. Bätzold : Kraftfahrzeug technik, 3, 69 ('79).
- 90) Y. Breelle ほか : Semin. Hydrogen Energy Vector, 506 ('78).
- 91) G.D. Brewer : Int. J. Hydrogen Energy, 3, 217 ('78).
- 92) G.D. Brewer : Appl. Cryog. Technol., 7, 87 ('78).
- 93) R.F. Korycinski : Int. J. Hydrogen Energy, 3, 231 ('78).
- 94) J.B. Odom : Appl. Cryog. Technol., 7, 111 ('78).
- 95) W. Vielstich : Symp. Electrode Mater. Processes, Energy Convers. Storage, 505 ('77).
- 96) H. Behret ほか : ibid., 519 ('77).
- 97) A.P. Fickett : ibid., 546 ('77).
- 98) J. McHardy : ibid., 537 ('77).
- 99) H.S. Issacs ほか : ibid., 584 ('77).
- 100) P.E. Childs ほか : J. Power Sources, 3, 105 ('78).
- 101) 中村ほか : 第8回中部化学関係学会支部連合秋季大会, ('77).
- 102) 中村ほか : 第18回電池討論会, ('77).
- 103) 中村ほか : Chemistry. Letters, 17 ('79).
- 104) 中村 : 固体電解質材料専門委員会, ('79).
- 105) 高橋 : 大工試研究講演会, 講演要旨集, ('79). 25.
- 106) 水尾ほか : 旭硝子工業技術奨励会報告集, 31, 139 ('78).
- 107) B. Sale' ほか : 科学技術文献速報, エネルギー編, S79010794.
- 108) 池田 : オーム, 66, 47 ('79).

- 109) 外島 : 日本金属学会会報, 17, 355 ('78).  
 110) 小林 : 機械の研究, 31, 1269 ('79).  
 111) J. J. Reilly : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 527 ('78).  
 112) 小野ほか : セラミックス, 14, 339 ('79).  
 113) 中根ほか : 大工試季報, 30, 201 ('79).  
 114) 大角ほか : 金属, 50, 51 ('80).  
 115) D. M. Gruen ほか : U. S. DOE Rep. [ CONF-761134 ], 65 ('76).  
 116) D. M. Gruen ほか : Int. J. Hydrogen Energy, 3, 303 ('79)  
 117) R. Gorman ほか : Pap. Am. Inst. Aeronaut. Astronaut, [ 78-1762 ], 1, ('78).  
 118) I. Sheft ほか : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 551 ('78).  
 119) 須田ほか : 工学院大学研究報告, 44号, 99 ('79).  
 120) H. H. Van Mal ほか : Int. Symp. Hydrides Energy Storage, 251 ('78).  
 121) D. M. Gruen ほか : Sol. Energy, 21, 153 ('78).  
 122) 小野 : 工業材料, 26, 30 ('78).  
 123) W. Rummel : Siemens Forsch. Entwickl. Ber., 7, 44 ('78).  
 124) O. Boser ほか : Purdue Compressor Technol. Conf., 433 ('76).  
 125) P. A. AHAPNEBCKNN : Izv. Akad. Nauk SSSR, Neorg. Mater., 19, 1563 ('78).

## 新刊図書

## 「水なんでも質問箱」

著者 鈴木 宏明

(栗田工業株式会社室技師長)

(内容) 私達の体の血液の90%、筋肉や神経の80%以上を水が占め、文字通り、地球の生命が誕生以来私達は「水びたし」の中で生きています。体内、地球上含め、水こそ生命の母といえましょう。

この水は今や石油に負けず劣らず人間の社会生活に不可欠な物質ですが、汚染が進行し、私達は水を「湯水のごとく」無駄使いしているのが現状です。

本書はこのような水をめぐる現実の諸問題を百の設問にわけ、わかりやすく説明した水の小百科といえましょう。(設問数 ①～⑩)

設問例① 地球上には、どれだけの水が存在しているのでしょうか。

設問例⑩ 石油にかわるエネルギーとして水素が注目されていますが、水から水素をつくるには、どのような方法があるのでしょうか。

(目次)	第1章 水資源	第6章 水の供給
	第2章 水の利用	第7章 水と災害
	第3章 水の質	第8章 水の浄化
	第4章 水の値段	第9章 水問題と対策
	第5章 水と法律	第10章 水の未来

(体裁) 教養文庫 229頁 360円

(発行) 社会思想社

〒113 東京都文京区本郷 1-25-21 TEL 03-813-8101  
 振替口座 東京 6-71812