

水素の物性

阿部 勲夫

オフィス テラ

284-0024 四街道市旭ヶ丘 4-4-10

Physical and Chemical Properties of Hydrogen

Isao ABE

Office Tera,

4-4-10 Asahigaoka, Yotsukaido-Shi, Chiba 284-0024, Japan

Physical and Chemical properties of hydrogen is described with data. Among the properties, only those related to the use of hydrogen for energy medium.

Keywords: hydrogen, property

1. 緒言

水素をエネルギー媒体として利用するに当たって、水素の物性に関して信頼できるデータが必須である。この点から、水素エネルギー協会として水素物性表を整備し、会員の便に供する必要があると考えている。本解説はその手始めとして手近で入手可能なデータを纏めてみた。今後更にデータの内容をチェックし、更に必要な項目を加えて信頼できる物性表を整備すべきであると考えている。

2. 水素の物理的・化学的物性

水素には通常の軽水素のほかに重水素 (D 原子量 2.01410222) と三重水素 (T 原子量 3.0160497) という 2 つの同位元素が存在する。三重水素は放射性があり、低エネルギーのβ線源 (半減期 12.26 年) である。これらの同位元素は軽水素とは異なる物性値を有するが、今回は水素エネルギーシステムにおいてエネルギー媒体として用いられる物性を中心に集めたため軽水素のみを取り上げる。

2.1 水素の基礎的物性

水素分子は 2 個の水素原子からなり、常温では無色、無臭の気体である。最も軽い気体であり、空気の約 14 分の 1 の重さしかない。液化水素は非常に低い沸点 (-252.88°C) を有し、同じ重さで気体水素の 700 分の 1 の体積を有する。しかし液化した状態ですら密度は低く

(0.007 g cm⁻³) しかない。水素分子自体は高い結合エネルギー (435.99 kJ mol⁻¹) を有する安定した分子であるが、多くの元素と反応して様々な化合物を形成している。例えばよく知られているように水素は広い混合濃度範囲で容易に酸素と反応して燃焼し、水を生成する。この性質が水素をエネルギー媒体として利用することを可能にしている。また水素と有機物の反応は水素の貯蔵・輸送に利用できる可能性がある。例えば水素をベンゼンと反応させてシクロヘキサンを製造し、得られたシクロヘキサンを貯蔵・輸送した後に再び水素とベンゼンに分離することにより水素を回復することが出来る。アンモニアや金属水素化物も水素の貯蔵に利用し得る。水素の化学的性質を詳述することはあまり多岐にわたるため、今回は水素をエネルギー媒体として利用するのに最も重要な物性である燃焼に関するものを中心に記述した。表 1 に水素の基本的な物性を掲げる。

表 1 水素の基本物性

水素原子

原子番号 : 1

原子量: 1.00782519 (on ¹²C scale)

CAS Registry Number: 12385-13-6

水素分子

化学式 : H₂

化学構造 : H-H

分子量 : 2.0159

外見： 常温では無色、無臭の気体
 密度 (気体) : 0.08988 gL⁻¹ (0 °C, 1 atm)
 相対ガス密度 (空気=1): 0.07
 密度 (液体): 70.8 gL⁻¹ (at -253 °C)
 融点 : -259.35 °C
 沸点 : -252.88 °C (at 1 atm)
 水への溶解度 : 0.0214 cm³g⁻¹ (0 °C, 1 atm)
 水素 1 Kg の発熱量 (酸素と反応して水となった場合)
 高発熱量: 141900 kJ 33900 kCal 39.4 kWh
 低発熱量: 120000 kJ 28680 kCal 32.9 kWh
 発火温度: 500 - 571 °C
 燃焼限界: 4 - 76 % (空气中 vol %)
 CAS Registry Number : 1333-74-0
 UN Number : UN1049 (気体) UN1966 (液体)
 RTECS Number : MW 8900000

2.2 水素の物理的性質

水素原子が結合して水素分子を生成するとき、2個の水素原子の核スピンの並行 (オルト水素) と反並行 (パラ水素) という異なった水素分子が出来る。これらの水素分子は熱的な物性が異なる。パラ水素の方がエネルギー的に低い状態なのでオルト水素がパラ水素に変換するのは発熱反応である。これは液化水素を利用する上では重要な事である。オルト水素とパラ水素の各温度における平衡組成を図1に、それら間の変換熱を表2に示す。

常温ではオルト水素 : パラ水素の平衡組成は3 : 1であり、これをノーマル水素と呼ぶ。液化水素の沸点での平衡組成はパラ水素が90%であるため、ノーマル水素をパラ水素90%の組成へ変換する時の発熱量は元の液化水素

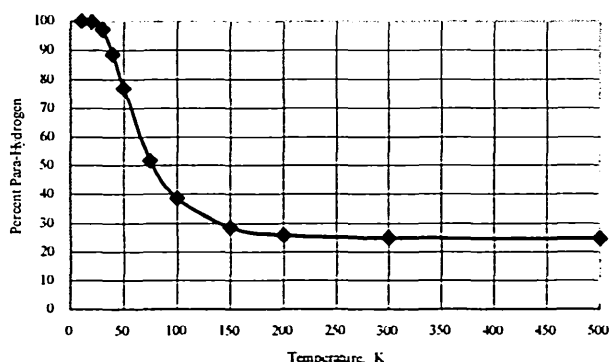


図1 オルト水素とパラ水素の平衡組成 (平衡組成中のパラ水素濃度) と温度の関係

の64%を蒸発させる熱量と等しい。従って液化水素は貯蔵前にオルト水素をパラ水素へ触媒を使って変換しておく必要がある。

表3に水素ガスの、表4に液化水素の物理的、熱力学的物性を掲げる。

表2 平衡組成の水素をパラ水素に変換するのに要する熱量

温度, K	平衡組成の水素をパラ水素に変換するに要する熱 KJ mol ⁻¹
10	1.0627
50	1.0621
100	0.9710
200	0.3302
300	0.0556

表3 水素ガスの物理的、熱力学的物性
 特に注記ない場合はすべて圧力が101.3 kPa (1 atm)、温度が0 °Cでの値である

物性	パラ水素	ノーマル水素
密度 (mol cm ⁻³) x 10 ³	0.05459	0.04460
Cp J (mol K) ⁻¹	30.35	28.59
Cp at 25 °C and 100 kPa, J (mol K) ⁻¹		28.84
J (g K) ⁻¹		14.30
Cv J (mol K) ⁻¹	21.87	20.30
エンタルピ J mol ⁻¹	7656.6	7749.2
内部エネルギー J mol ⁻¹	5384.5	5477.1
エントロピ J (mol K) ⁻¹	127.77	139.59
粘度 mPa s (= cP)	0.00834	0.00834
熱伝導度 mW (cm K) ⁻¹	1.826	1.739
誘電率 ε	1.00027	1.000271
自己拡散係数 cm ² s ⁻¹		1.285
水中でのガス拡散能 at 25 °C, cm ² s ⁻¹		4.8 x 10 ⁻⁵
解離熱 at 298.16 K, kJ mol ⁻¹	435.935	435.881

表4 液化水素の物理的、熱力学的物性
特に注記ない場合はすべて沸点での値である

物性	パラ水素	ノーマル水素
融点 K (triple point)	13.803	13.947
常圧下での沸点 K	20.268	20.380
臨界温度 K	32.976	33.18
臨界圧力 kPa	1292.8	1315
臨界体積 $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$	64.144	66.949
沸点での密度 mol cm^{-3} g cm^{-3}	0.03511	0.03520
	0.0708	0.0710
蒸発熱 J mol^{-1} cal g^{-1}	898.3	899.1
	106.5	106.6
定圧比熱 J (mol K)^{-1}	19.53	19.70
定容比熱 J (mol K)^{-1}	11.57	11.60
エンタルピー J mol^{-1}	-516.6	548.3
内部エネルギー J mol^{-1}	-519.5	545.7
エントロピー J (mol K)^{-1}	16.08	34.92
粘度 mPa s (= cP)	0.0133	0.0133
熱伝導度 mW(cm K)^{-1}	1.00	1.00
誘電率 ϵ	1.230	1.231

New York, Chichester, Brisbane, Toronto: John Wiley & Sons.

<http://www.webelements.com/webelements/elements/text/H/index.html>

[水素の一般的物性に関するインターネットサイト]

<http://www.eren.doe.gov/hydrogen/>

[米国エネルギー省 (DOE) のインターネットサイト、水素の基本的性質を記述]

<http://siri.uvm.edu/nioshdb/ipcsneng/neng0001.htm>

[国際化学安全カードのインターネットサイトで安全性に関するデータを記述]

3. 結語

水素の物性については膨大なデータが存在する。今回はその中でも水素をエネルギー媒体として利用するのに関係が深いと思われる物性データを集めてみた。今後は更に多くのデータを収集し、信頼性の検証を実施して水素エネルギー協会として自信を持って会員に提供できる物性データ集を編纂して行くべきであろう。

参考文献

Lide D. (1998) *CRC Handbook of Chemistry and Physics 79th edition*, Boca Raton, Boston, New York, Washington D.C.: CRC Press.

Dean J. (1999) *Lange's Handbook of CHEMISTRY fifteenth edition*, New York: McGraw-Hill.

Grayson M. (1980) *KIRK-OTHMER ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY Third Edition*, Vol 12, 938 pp.