

水 素 液 化 装 置

Hydrogen Liquefier

安 永 義 博*
Yoshihiro Yasunaga

要 旨

水素液化装置における技術的問題点をまとめて報告する。

水素の液化冷凍はヘリウムの場合とほとんど同じといえるが、唯一(ゆいいつ)の相異点は安全性の点である。原料水素中の不純物、特に酸素は液化装置にはいるまえにじゅうぶんに除去されなければならない。

また水素特有の現象としてオルト・パラ転移現象があるため、水素液化装置にはオルト・パラ変換器が取り付けられる。

本稿では水素液化を精製過程、オルト・パラ変換過程、液化過程の三つにわけ各過程の概要を報告する。

1. 緒 言

水素は実在気体のうちではヘリウムの次に低い沸点(-252.7°C)を有し、きわめて液化のむずかしい気体の一つである。最初液化に成功したのは1898年デュワーによってである。液体水素は液体ヘリウムとともに極低温における諸物性の研究に使用されてきたが、工業的規模で液化利用されるようになったのは第2次大戦後のことである。世界最初の工業的規模の水素液化装置は1952年NBS低温工学研究所(Cryogenic Engineering Laboratory, National Bureau of Standards)の0.6 t/d (350 l/h) 液化装置である。

原子力工業の発展とともに原子炉材料としての重水製造法の最も経済的な方法として水素液化精留法が重視されるに及び水素液化の技術は急速に開発され、上記の沸点のほか、密度(0.07 g/cm³)、蒸発潜熱(217 cal/mol)が非常に小さいなど極端な物理的性質からくる技術的難点も次々に克服されてきた。また宇宙開発の発展により、ロケット燃料として液体水素が大量に使用されるようになり、アメリカでは20~60 t/dの大形液化装置が建設された。

このほか液体水素は原子核、素粒子の研究などにも使用されている。放射性物質から出るα粒子、β粒子、宇宙線の中にある中間子などの通路を検出するために、液体水素を使った泡(あわ)箱が欧米諸国で使用されている。

このように液体水素工業は原子力工業、宇宙開発事業とともに脚光を浴び大規模に発展しようとしている。以下、水素ガスの液化の技術などについて概要を述べる。

2. 液化装置に供給される原料水素ガス⁽¹⁾⁽²⁾

代表的な水素ガスの供給源としては電解プラント、精製プラント、コークス炉ガスからの副生水素、天然ガス、LPG、ナフサなどの改質によって得られる水素、天然ガス、原油または重油の部分酸化によって得られる水素、あるいはアンモニア分解による水素などがあげられる。

水素源の一般的な組成を示したのが表1である。

水素液化の初期の段階ではおもに電解水素が使用されていたが、3.6 t/d(2,100 l/h)程度以上の水素液化装置になると油、天然ガスの部分酸化による水素、プロパン、天然ガスの水蒸気改質による水素、あるいは精製オフガスから回収された水素が使用されている。

水蒸気改質による水素製造装置の一例を示したのが図1である。

3. 水素液化装置⁽²⁾

水素液化装置は次の三つの過程に大別される。

* 日立製作所笠戸工場

表1 水素源の組成⁽¹⁾⁽²⁾ (Vol %)

成 分	天然ガス 水蒸気改質	天然ガス 部分酸化	電 解 水 素	精 製 オ フ ガ ス	コ ー ク ス 炉 ガ ス
水 素	88.3-95.3	95.5	99.75	75.1-93.7	54.1
ヘ リ ウ ム	20 ppm	—	—	—	—
窒 素	0.3	0.4	0.14	30-600 ppm	4.5
酸 素	—	—	0.1	30-200 ppm	0.9
ア ル ゴ ン	—	1.1	—	—	—
一酸化炭素	1.4	2.4	—	0.2	5.0
二酸化炭素	5 ppm	100 ppm	—	60 ppm	2.4
水 分	飽 和	飽 和	飽 和	飽 和	飽 和
塩 化 物	—	—	100 ppm	—	—
硫 化 物	—	—	—	60-120 ppm	—
メ タ ン	3-10%	0.6	50 ppm	4-12	28.6
C ₂	—	—	—	2-7	4.1
C ₃	—	—	—	0-3	0.2
C ₄ 以 上	—	—	—	0.2-2	0.2
芳 香 族	—	—	—	0.1-0.3	500 ppm

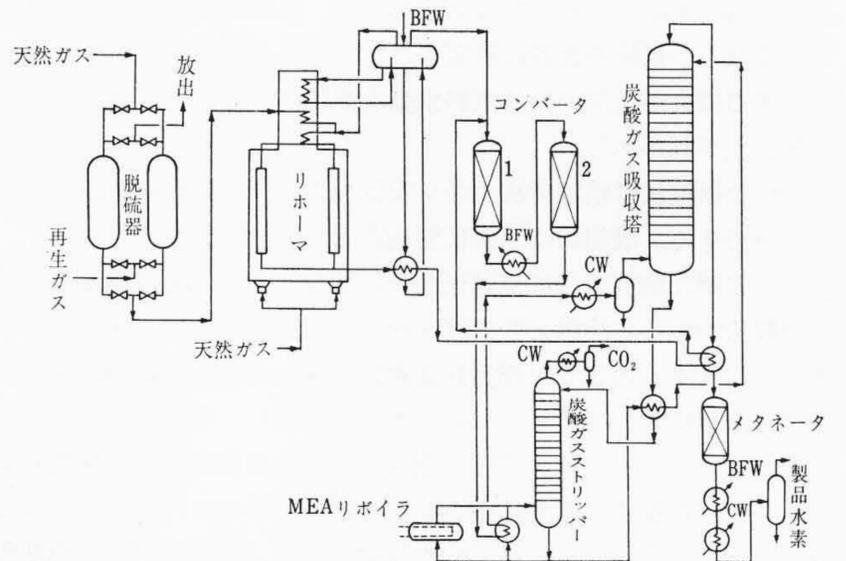


図1 水蒸気改質による水素製造装置⁽¹⁾

- (a) 精 製 過 程
- (b) オ ル ト ・ パ ラ 変 換 過 程
- (c) 液 化 過 程

3.1 水素ガスの精製

原料水素中の不純物は表2に示すような温度レベルで凝固析出し、管路、弁部あるいは膨張機部を閉塞してしまうおそれがあるため、水素液化装置では特に不純物をじゅうぶんに除去しなければならない。また原料水素中の酸素は爆発性混合ガスを生成しないように液化装置にはいる前にじゅうぶん除去しなければならない。

水素の精製方法には、次のものがあるが一般には単独または組合

表2 原料水素中の不純物の凝固点⁽¹⁾

成分	三重点 (°C)	成分	三重点 (°C)
ベンゼン	5.5	酸化窒素	-164.2
水分	0.0	エチレン	-169.2
二酸化炭素	-56.6	メタン	-182.5
硫化水素	-85.6	エタン	-183.3
亜酸化窒素	-90.9	プロパン	-187.7
nヘキサゴン	-94.0	アルゴン	-189.4
トルエン	-95.0	一酸化炭素	-205.1
塩素	-101.0	窒素	-209.9
nペンタン	-129.7	酸素	-218.8
nブタン	-138.3	水	-259.2
iブタン	-159.6	ヘリウム	-271.0

表3 不純物成分の除去方法⁽¹⁾

成分	除去方法
水分	活性アルミナ, モレキュラ・シーブス
芳香族	油洗浄
炭酸ガス	ソーダ洗浄, アミン洗浄, モレキュラ・シーブス
炭化水素	部分凝縮, 吸着, 蒸溜
塩素	活性炭による吸着
硫化水素	活性炭による吸着
酸素	触媒により水素と反応させ水分として除去
アルゴン	活性炭による低温吸着
一酸化炭素	
メタン	

せによって行なわれている。

- (イ) パラジウム拡散法 (Palladium Diffusion)
- (ロ) 凝縮法 (Condensation)
- (ハ) 吸収法 (Absorption)
- (ニ) 吸着法 (Adsorption)

350~370°C に加熱されたパラジウム膜は水素のみを透過させ、他のガスは透過させないという性質がある。(イ)のパラジウム拡散法はこの性質を利用したもので70~80%の水素を含む原料を99%以上の純度にするのに適した方法であるが、拡散装置がきわめて高価であるため小規模の装置に限定されている。またディフューザにおける圧力損失が大きいため原料水素を高圧に圧縮しなければならないという不利がある。

(ロ)の凝縮法は精製方法中最も安価な方法で、水素純度97~98%に精製できる。凝縮法は予備精製過程として利用される。

次に安価な精製方法には適当な吸収油を使った低温における(ハ)の吸収法がある。溶媒としてはプロパン、プロピレン、エタン、エチレン、メタンのような軽質炭化水素が適している。C₂, C₃炭化水素はメタンに対してじゅうぶんな溶解性を有し、水素からほとんど完全にメタンを洗浄除去する。窒素や一酸化炭素はC₂, C₃炭化水素に対しては溶解性が非常に小さいが、液体メタンには溶解するので液体メタンで洗浄すれば経済的に除去できる。吸収法を使えば99.99%水素まで精製可能である。

仕上げの精製法としては液体窒素温度における(ニ)の吸着法がある。吸着剤としては活性炭、活性アルミナ、シリカゲルまたは合成ゼオライトが使用される。

低温吸着装置の一例は図2に示すとおりである。

アルミナゲルまたはモレキュラ・シーブスの吸着により水分を除去された原料水素は-173~-179°Cに予冷され、切換式活性炭吸着器にはいり、そこで不純物は1ppm以下のレベルまで除去される。吸着装置は一般に8時間サイクルで設計されている。すなわち、一方の容器で吸着が行なわれている間、他方は再生される。再生のステップは脱圧、加熱、放出、冷却、加圧から成り立っている。

表3は不純物成分の除去に対して一般に採用されている方法を示したものである。

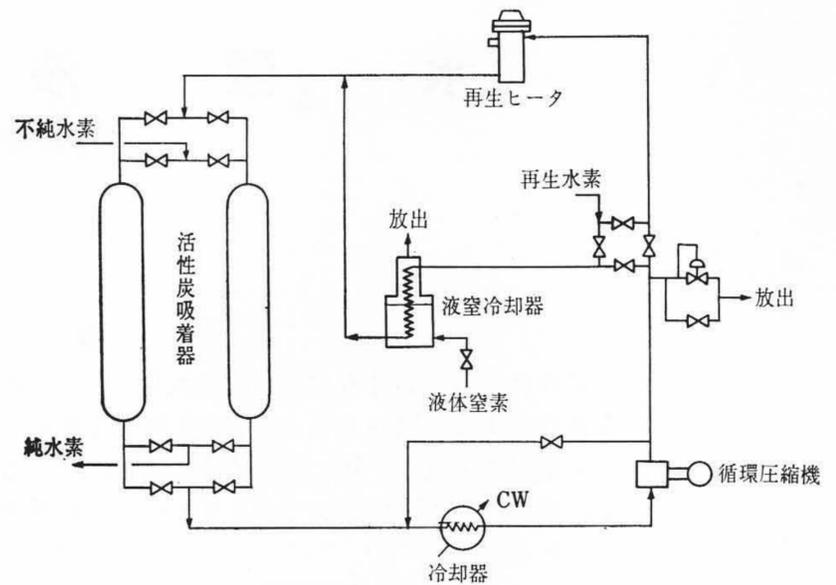


図2 低温吸着装置⁽¹⁾

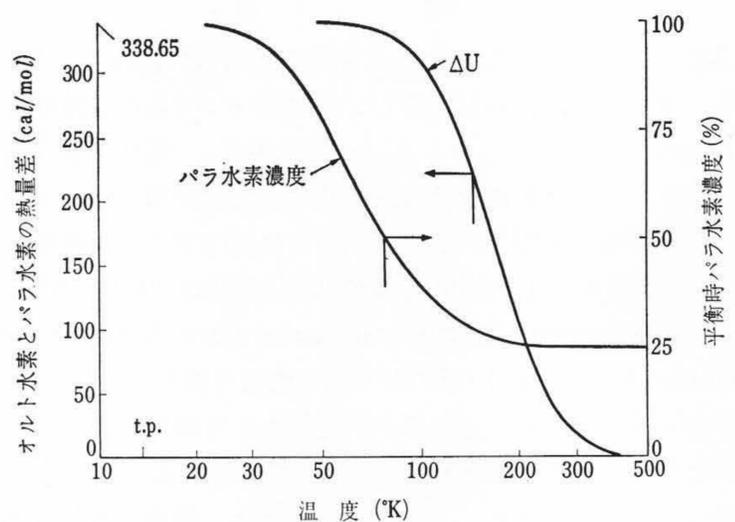


図3 パラ水素の平衡濃度およびオルト水素とパラ水素の熱量差⁽²⁾

表4 パラ水素平衡組成⁽⁵⁾

温度 (°K)	パラ水素 (%)	温度 (°K)	パラ水素 (%)
10	99.999	90	42.882
20	99.821	100	38.620
30	97.021	120	32.959
40	88.727	150	28.603
50	77.054	200	25.974
60	65.569	250	25.264
70	55.991	300	25.072
80	48.537		

3.2 オルト・パラ変換 (Ortho-para conversion)

液体水素の製造、貯蔵においてきわめて重要であり、かつ水素液化上特有の現象にオルト・パラ転移現象がある。

水素分子では二つの原子核スピンの平行のときをオルト水素 (Ortho hydrogen)、逆平行のときをパラ水素 (Para hydrogen) といっている。オルト水素は不安定で高エネルギー形であるのに対し、パラ水素は安定で低エネルギー形であり、両者には比熱や蒸気圧のような物理的性質において若干の差がある。低温では不安定なオルト水素は安定なパラ水素に転移しようとする。オルト水素とパラ水素の組成の平衡値は温度の関数で図3および表4に示すとおりである。平衡状態にある水素を平衡水素 (Equilibrium hydrogen) と呼び、常温ではオルト水素75%、パラ水素25%の平衡値 (この平衡値の水素をノルマル水素 (Normal hydrogen) とよぶ) を示し、液体窒素温度 (77°K) ではオルト水素50%、パラ水素50%、液体水素温度 (20°K) ではオルト水素0.2%、パラ水素99.8%で平衡している。

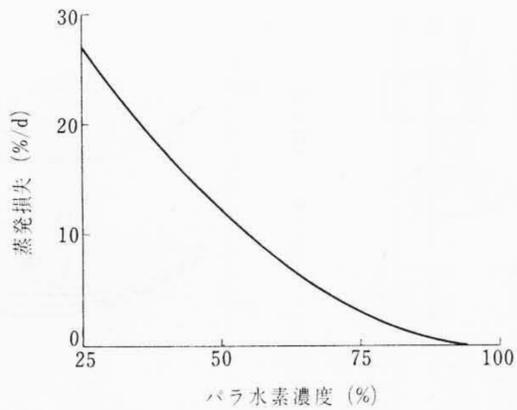


図4 パラ水素濃度と蒸発損失の関係⁽¹⁾

表5 代表的なオルト・パラ変換触媒⁽¹⁾

触媒	活性 (scfm/ft ³ 触媒)	かさ比重 (1 b/ft ³)
酸化クロム	69	90
水酸化第二鉄	2,000~2,600	78
Apachi 触媒	3,300	32

注：活性は 76 °K, 0.7 kg/cm²G における変換時の値を示し、変換後のパラ水素濃度は 48% である。

いまあるオルト・パラ組成を持つ水素の温度を変化させた場合、その温度のオルト・パラ平衡値に達する転移速度は触媒を介さないかぎりきわめて遅い。

一方、オルト・パラ転移反応は発熱反応である。50°K 以下の転移熱は 339 cal/mol で液体水素の蒸発熱は 217 cal/mol であるから、もし液体水素温度の平衡になっていない水素を貯蔵すると転移により、平衡値に達するまでに貯蔵デューワーの性能に関係なく液体水素は蒸発してしまう。図4はオルトを含む水素が液体水素温度(20°K)において平衡になるまで自然転移した場合の蒸発損失を示している。したがって水素を液化して貯蔵する場合、貯蔵温度のオルト・パラ水素平衡値に液体水素を転移させておけば長時間の貯蔵が可能となる。現在稼動している工業的規模の水素液化装置にはすべてこの変換器が付けられている。水素液化装置では通常少なくとも 95% パラ水素を製造するように設計されている。

オルト・パラ変換触媒⁽⁴⁾には一般に常磁性物質がよく用いられ、水酸化第二鉄や酸化クロムなどが知られている。また活性炭に吸着させた酸素を触媒としている例もある⁽⁵⁾。商業的規模で販売されている代表的なオルト・パラ変換触媒は表5に示すとおりである。触媒の活性度は space velocity で示されている。

アルミナゲルをベースとした酸化クロムは Harshaw Chemical Co. によって開発販売されているが、活性度が低く長い接触時間と大きな触媒床が必要である。水酸化第二鉄は NBS の低温研究所によって開発されたもので酸化クロムより高い活性度を有している。また Apachi 触媒(シリカ・ニッケル触媒)は Air Products and Chemicals, Inc. によって開発されたもので、水酸化第二鉄より若干高い活性を有している。

オルト・パラ変換は動力消費を減ずるために一般に2段階で行なわれている。まず液体窒素温度(77°K)で25%パラ水素から50%パラ水素に変換し、さらに液体水素温度(20°K)で50%パラ水素から99.8%パラ水素に変換する。

変換触媒の再生は乾燥ガスにより加熱ページして行なわれる。触媒の活性は水素中の不純物を吸着して低下することが考えられるので、この意味からも水素中の不純物はじゅうぶん除去されなければならない。特に塩素、硫化水素、重質炭化水素によって被毒されることが報告されている。

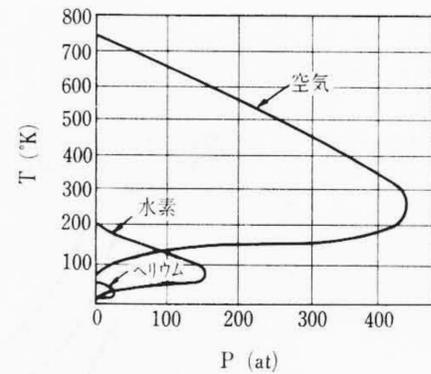


図5 逆転曲線

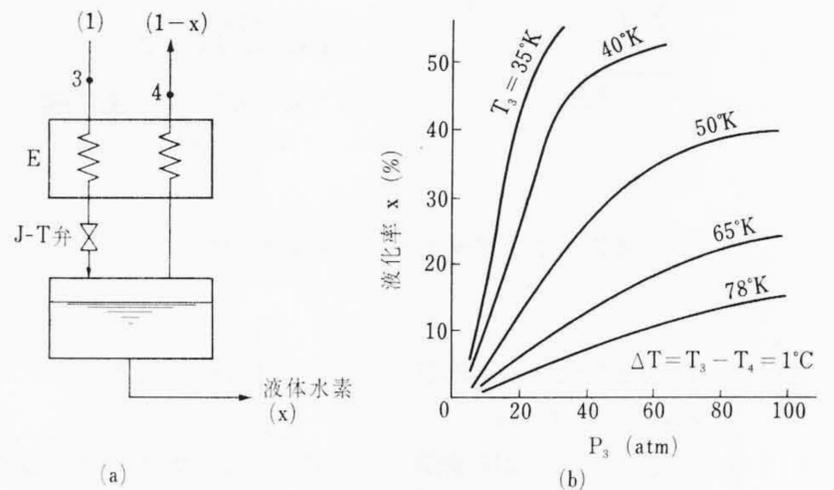


図6 ジュール・トムソン膨張による液化率

3.3 水素の液化

水素ガスを等エンタルピー膨張させるとき、空気など一般のガスと異なり、常温では温度が下がらず、ジュール・トムソン効果が現われるためにはある程度温度が低くなければならない。

等エンタルピー膨張させた場合に温度変化の生じない現象が存在し、これをジュール・トムソン効果の逆転と呼んでいる。

この逆転温度と圧力との曲線を逆転曲線 (Inversion curve) という。空気、水素、ヘリウムの逆転曲線は図5のようになる。これら逆転曲線の右側は温度上昇、左側は温度降下の範囲を示している。

たとえば空気液化機の場合、ジュール・トムソン弁からの膨張だけでも常温から起動して液化温度にまで冷却することができるが、水素液化機ではあらかじめジュール・トムソン効果が現われる温度(約 204°K) 以下まで高压ガスを冷却する必要があり、このためには液体窒素などの冷却剤を使うか、膨張機を使うしなければならない。

図6(a)に示すような熱交換器E(J-T熱交という)の高温端の状態を添字3、低温端の状態を添字4で表わし、ガスのエンタルピーをH、低压の飽和液のエンタルピーをH_{liq}とすれば、液化率xは次式で示される。

$$x = (H_4 - H_3) / (H_4 - H_{liq})$$

高温端の温度T₃をパラメータとして、圧力と液化率の関係を示したのが図6(b)である。高温端の温度が低いほどまた圧力が高いほど液化率は大きくなる。

水素液化の最終段階にはすべてジュール・トムソン効果が採用されているが、予冷方法との組合せで次の三つの液化サイクルに大別される。

- (1) ジュール・トムソン効果のみによるリンデサイクル
- (2) ヘリウム冷凍機により水素凝縮温度を生成し、そこへ水素を導入し液化するサイクル

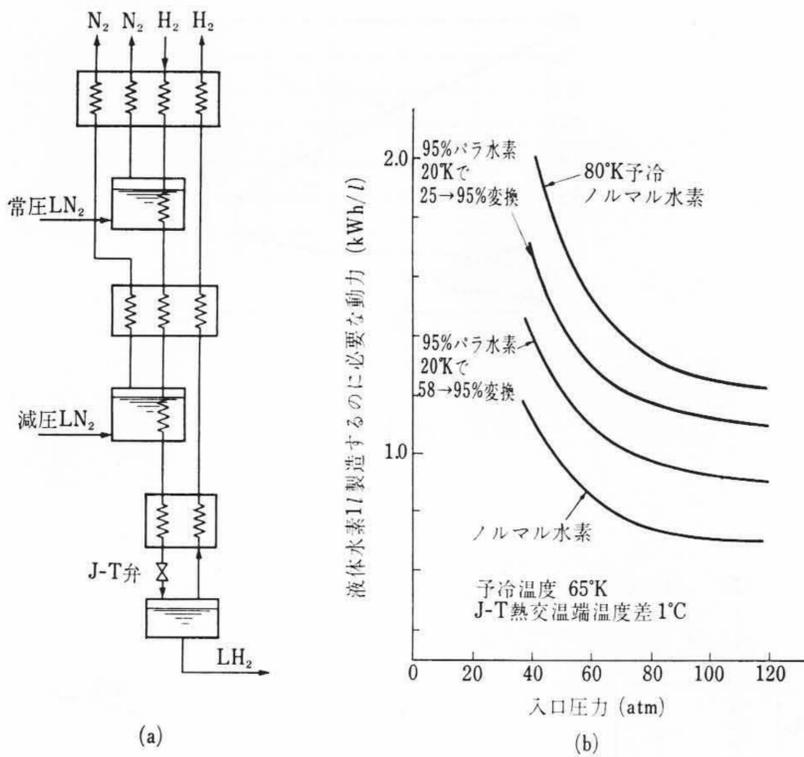


図7 リンデサイクルと所要動力⁽⁶⁾

(3) 往復動またはターボ形膨張機との組合せによるサイクル (クロードサイクル)

(1)のリンデサイクルは圧縮機のみが可動部分であり、プロセス中の水素ガス純度が高ければ長時間運転が可能である。そのため液体水素泡箱用液化冷凍機に世界各国で採用されているサイクルで、このリンデサイクルの容量は1 l/h~4 t/d (2,300 l/h)のものが建設されている。リンデサイクルの典型的なフローシートは図7(a)に示すとおりである。図7(b)は液体水素1 l製造するのに必要な動力を示したものである。

(2)のヘリウム冷凍式の水素凝縮形液化サイクルは高圧水素を必要としないため安全性が高い。この形式は国産でも実用化されていて10 l/h級のもののまでである。図8(a)はこの形式の典型的なフローシートを、図8(b)は所要動力を示したものである。大形機としてはアメリカ Aerojet 社がかってこの方式を計画したことが知られている。

(3)のクロードサイクルは大形装置が多く、世界最大の液化機としてNASAのためにU. C. C. のLinde Divisionが製作した液化能力60 t/d (35,000 l/h)のプラントがある。

クロードサイクルの典型的な一例を示したのが図9(a)である。クロードサイクルの高圧のガスはリンデサイクルと同じ方法で予冷され、点2で二つに分けられ一部は膨張機で常圧付近まで膨張し温度降下して熱交換器IIの低压側低温端に吹き込まれる。高圧の液化回路ガスは熱交換器IIで冷却されたあと、熱交換器III(J-T熱交)を通り、J-T弁で常圧付近まで膨張し、一部は液体水素となり、残りの未液化水素ガスは熱交換器ではいってくる高圧ガスを冷却しながら常温まで熱回復される。

膨張機による膨張は外部仕事をして断熱膨張する変化で断熱等エントロピ変化と呼ばれる。この断熱膨張による温度降下はジュール・トムソン効果より大きいため低温発生法としてきわめて重要である。

膨張機には往復動形膨張機(レムプロ膨張機あるいは膨張エンジンともいう)とターボ形膨張機(膨張タービンともいう)がある。

低温装置では一般に信頼性および保守の面からターボ形膨張機のほうが往復動形膨張機よりすぐれている。しかしターボ形膨張機1段あたりの膨張比が大きくとれない、水素の分子量が小さいなどのために1段あたりの寒冷発生量は約2 kcal/Nm³である。73°Kの温

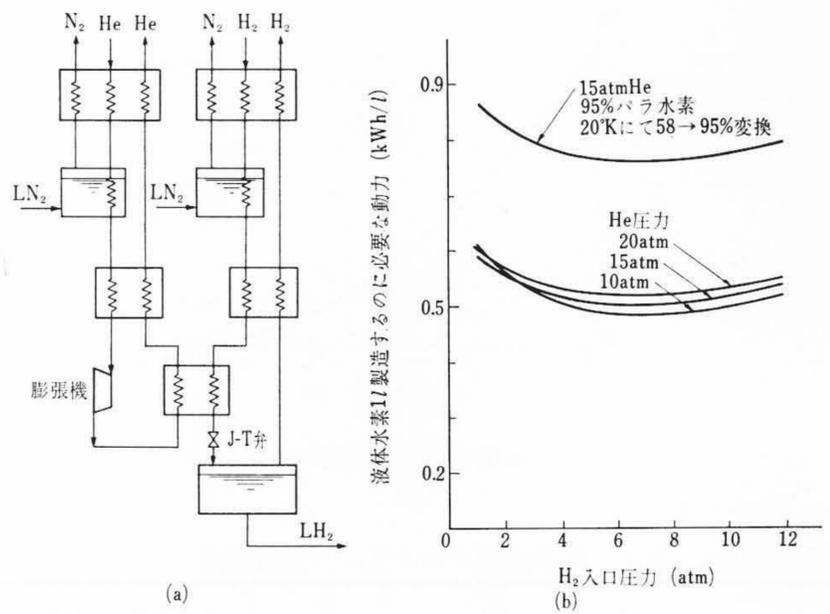


図8 He-H₂凝縮サイクルと所要動力⁽⁶⁾

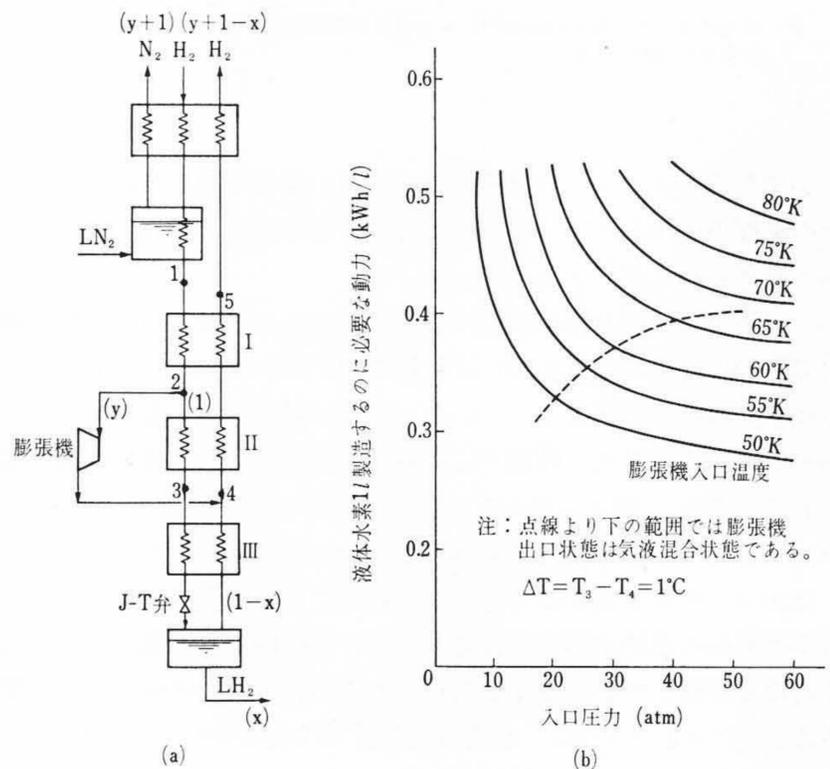


図9 クロードサイクルと所要動力⁽⁶⁾

度の水素1 Nm³を液化するには約25 kcal必要であるから、ターボ形膨張機を何台も直列に置く必要がある、これがターボ形膨張機の大きな欠点である。それに対して往復動形膨張機の場合は1段の膨張比が20以上とれ、また効率も70~80%と高く、1段あたりの寒冷発生量は約6 kcal/Nm³である。したがって1段の往復動形膨張機は3段直列のターボ形膨張機に匹敵する。しかし往復動形は無潤滑形にしなければならないこと、ターボ形より組立、保冷、保守などの面で困難であるといった欠点を持っている。図9(a)のクロードサイクルの熱バランスおよび物質バランスは次のようになる。

$$x = (H_4 - H_3) / (H_4 - H_{liq})$$

$$y = \{ (H_1 - H_3) - (1-x)(H_5 - H_4) \} / \{ (H_2 - H_4) - (H_1 - H_5) \}$$

図9(b)は膨張機入口温度をパラメータとして液体水素1 l製造するのに必要な動力を示したもので、膨張機の入口温度が低いほどまた圧力が高いほど所要動力は小さくなる。

水素液化サイクルの選定にあたってはエネルギー効率がまず問題になるが、このほかに液化機のコスト、信頼性、運転の容易さ、保守などを総合的に考えて決める必要がある。

水素の液化冷凍はヘリウムの場合とほとんど同じといえるが、唯

表6 世界の大型水素液化装置の概要⁽²⁾⁽⁸⁾

製造者	NBS	Air Pro.	Air Pro.	Air Pro.	Air Pro.	Air Pro.	U. C. C. Linde
所有者	NBS-CEL	U. S. 空軍	U. S. 空軍	U. S. 空軍	Air Pro.	Air Pro.	
容量	0.6 t/d (352 l/h)	0.75 t/d (440 l/h)	4 t/d (2,350 l/h)	30 t/d (17,600 l/h)	32 t/d (18,800 l/h)	30 t/d (17,600 l/h)	6 t/d (3,520 l/h)
操業年	1952	1957	1957	1958	1963	1965	1960
水素源		電解水素	プロパン水蒸気改質	天然ガスの部分酸化	精製ガス	天然ガス水蒸気改質	化学プラントオフガス
精製方法	吸着	吸着	吸着	吸着	部分凝縮, 吸着	部分凝縮, 吸着	部分凝縮, 吸着
圧縮機	140 atm レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ
液化方法	J-T 膨張	J-T 膨張	J-T 膨張	ターボ膨張機	レシプロ膨張機	レシプロ膨張機	J-T 膨張
予冷	液体窒素	液体窒素	液体窒素	液体窒素	液体窒素	液体窒素	液体窒素
オルト・パラ変換		2段, 酸化鉄	2段, 酸化鉄	5段, 酸化鉄	7段, Apachi	7段, Apachi	水酸化鉄
保冷槽		岩綿, パーライト	岩綿, パーライト	岩綿, パーライト	パーライト, 真空パーライト	真空パーライト	真空パーライト
備考	図10			図11			図12

製造者	U. C. C. Linde	U. C. C. Linde	Stearns-Roger	L'Air Liquide	L'Air Liquide	L'Air Liquide	Sulzer Bros.
所有者		NASA		原子力委員会	L'Air Liquide	Air Reduction	CERN
容量	25 t/d (14,700 l/h)	60 t/d (35,200 l/h)	1.5 t/d (880 l/h)	168 kg/d (100 l/h)	840 kg/d (490 l/h)	6 t/d (3,520 l/h)	1.7 t/d (1,000 l/h)
操業年			1958	1962	1966	1964	1961
水素源	天然ガス水蒸気改質	天然ガス水蒸気改質	精製廃ガス	アンモニア分解	コークス炉ガス	精製ガス	
精製方法	部分凝縮, 吸着	部分凝縮, 吸着	吸着	吸着	吸着	低温分離	吸着
圧縮機	レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ	レシプロ
液化方法	ターボ膨張機	ターボ膨張機	J-T 膨張	J-T 膨張	ターボ膨張機 レシプロ膨張機	ターボ膨張機 レシプロ膨張機	ターボ膨張機
予冷	UCON-12 液体窒素	UCON-12 液体窒素	液体窒素	液体窒素	液体窒素	液体窒素	予冷なし
オルト・パラ変換	水酸化鉄	Houdry 触媒		2段, 酸化鉄	3段, 酸化鉄	7段, 酸化鉄	
保冷槽	パーライト, 水素	パーライト, 水素		真空	パーライト, 真空	パーライト, 真空	積層真空
備考							図13

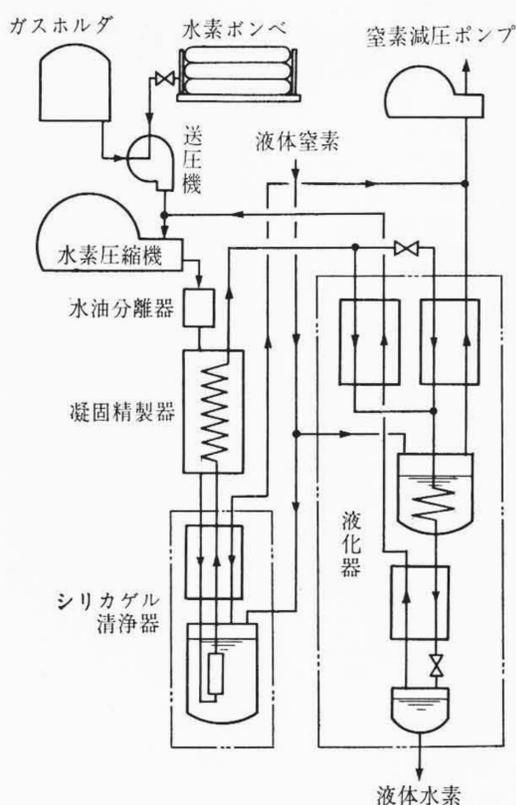


図10 NBS 低温研究所の水素液化装置⁽⁷⁾

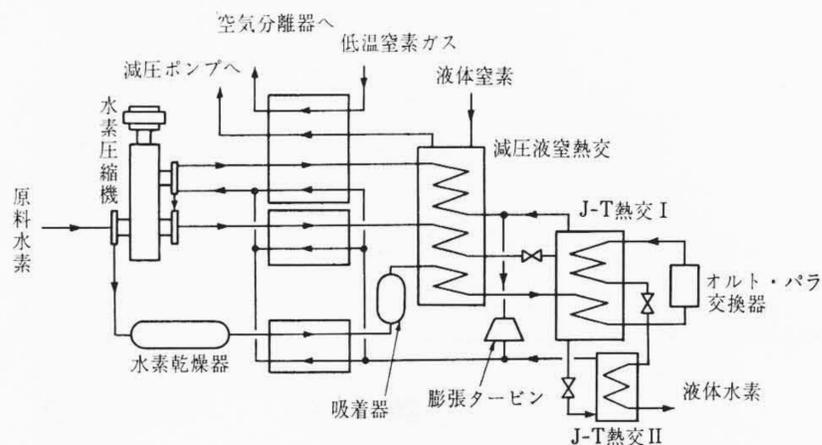


図11 Air Products 社の水素液化装置 "Papa Bear"⁽⁷⁾

4. 世界の大型水素液化装置の概要

表6は世界の大型水素液化装置の概要を、図10はNBS低温研究所の水素液化装置を、図11はアメリカ空軍に納入されているAir Products社の水素液化装置を示したものである。またU. C. C. Linde社の水素液化装置は図12に、CERN(European Organization for Nuclear Research)の2m泡箱用に納入されたSulzer社の水素液化冷凍装置は図13に示すとおりである。

5. 結 言

水素液化冷凍技術の限られた面について述べたが、他の多くの重要な面たとえば圧縮機、熱交換器、保冷槽その他の関連機器についてはほとんど触れることができなかった。これらの点については別の機会に述べることにする。

日立製作所は1968年に国内最大規模の150 l/hヘリウム液化冷

一の異なる点は安全性の点である。水素は他の可燃性ガスたとえば炭化水素ガスの発火温度よりずっと低いが、発火の最小エネルギーはきわめて小さくそれらの10%にすぎない。また燃焼範囲も幅広く空気に対し4~75%となっている。プラントのページには必ず窒素などの不活性ガスを用い、決して爆発性混合ガスを作らないこと、液体水素中に固体空気を混入させないなどの細心の注意が必要である。

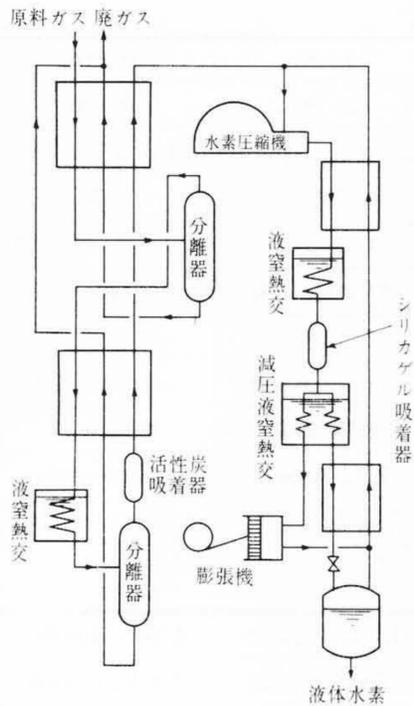


図12 Linde 社の水素液化装置⁽⁷⁾

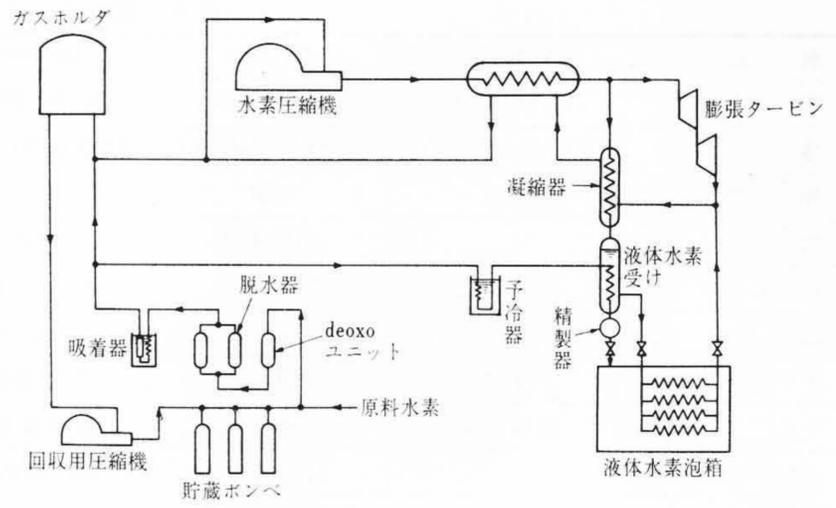


図13 Sulzer 社の水素液化冷凍装置⁽⁸⁾

凍装置を開発し、きわめて良好な結果を得、4°K 付近の極低温装置の製作技術を確立した⁽⁹⁾。またオルト・パラ転換触媒の開発もすでに完了し、大容量水素液化装置の製作を可能とした。

化学的に活性な水素の利用技術の発展に伴い、大量移送、大量貯蔵のための水素液化装置は、今後大いに発展するものと考えられる。

参 考 文 献

- (1) C.L. Newton: Hydrogen Production and Liquefaction, Chemical and Process Engineering, Dec. 1967
- (2) W. L. Nelson et al: Liquid Hydrogen in Tonnage Quantities, Pure & Applied Cryogenics Vol.5, 1966
- (3) R. B. Scott: Cryogenic Engineering, May 1962
- (4) D. H. Weitzel et al: Ortho-Para Catalysis in Liquid-Hydrogen Production, Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol.60, No. 3, Mar. 1958
- (5) 菊池ほか: オルト・パラ水素転移に関する研究, 住友機械技報, 第16巻, 第43号
- (6) J. Macinko et al: Hydrogen Liquefaction Cycles.
- (7) 門奈ほか: 液体水素の製造とその利用, 日刊工業技術選書 17「化学工業における低温技術」
- (8) C. Trepp: The Liquid Hydrogen Refrigerating Plant of the CERN 2-Metre Bubble Chamber, Sulzer Technical Review 3/1963
- (9) 松本ほか: 日立評論 52, 781 (昭45-9)

第 33 卷

日 立 目 次

第 8 号

・グ ラ フ / コ ー ル ド チ ェ ー ン
 ・解 説 / エ レ ク ト ロ ニ ッ ク ス の 散 歩 道 (第 8 回)
 / 染 色 の 自 動 化
 / 近 代 化 す る 倉 庫 管 理
 ・ル ポ / 新 都 心 と 京 王 プ ラ ザ

/ 盛 況 の ラ ジ コ ン カ ー ・ レ ー ス
 / ほ お ず き , あ さ が お 市
 ・家 電 コ ー ナ ー / 水 の 話
 ・P R コ ー ナ ー
 ・ホ ー ム サ イ エ ン ス

発行所 日立評論社
 取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
 郵便番号 100
 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 郵便番号 101
 振替口座 東京 20018 番