

(技術資料)

# 水素ステーション用高圧水素圧縮機 HyAC シリーズの開発

## High-pressure Hydrogen Compressors, HYAC<sup>®</sup> Series, for Hydrogen Stations



福田貴之\*<sup>1</sup>  
Takayuki FUKUDA



名倉見治\*<sup>1</sup>  
Kenji NAGURA

Hydrogen energy has been attracting attention as one of the alternative energies that generate no CO<sub>2</sub>. In 2014, the commercial operation of hydrogen stations began, and fuel cell vehicles (FCVs) were released. As of the beginning of 2017, more than 1,500 units of FCV had been registered, and the number of hydrogen stations nationwide had increased to 91 locations including those under construction. Kobe Steel has been working on the development of high-pressure compressors for hydrogen stations. Following the first HYAC<sup>®</sup> machine released in 2012, the company has developed a second generation HYAC<sup>®</sup>, HYACmini, and a compressor more suitable for hydrogen stations. This paper introduces the Kobe Steel group's compressors for hydrogen stations and the technology related to those compressors.

まえがき<sup>1)</sup> = 昨今のCO<sub>2</sub>削減の世界的な動きを受け、CO<sub>2</sub>を発生しない二次エネルギーの一つとして水素エネルギーが注目されてきている。そうしたなか、燃料電池の実用化と普及に向けた諸課題の解決を目的とする燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ) という民間の任意団体が設立され、まず水素・燃料電池実証プロジェクトなどの実用化検証が進められた。2014年には商用水素ステーションの運営が開始されるとともに燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle, 以下FCVという) も発売され、新時代への一歩が踏み出された。2017年初頭にはFCVの登録台数は1,500台を超え、全国の水素ステーションは建設中を含めて91か所まで増えてきている。さらに、2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピックでは、FCバスを100台走らせる計画があり、官民が一体となって水素エネルギー社会の実現に向けて取り組んでいる。

FCVが搭載する燃料電池は燃料として水素ガスが使用される。このため、ガソリンエンジン車がガソリンスタンドでガソリンを補給するのと同様に、FCVは水素ステーションにおいて水素を補給する。このとき、ガソリンの補給時間と同等とする観点から水素ガスを高圧にする必要がある。このため、水素ステーションには82MPaまで昇圧する圧縮機が備えられる。

当社は昭和11年に100MPaの圧縮機を製作するなど、超高圧圧縮機メーカーとして国内はもとより世界中に圧縮機を供給してきた。まさに水素ステーション用の超高圧水素圧縮機に取り組むことは、当社としては自然の流れといえよう。

本稿では、当社グループの水素ステーション用圧縮機とその関連技術を紹介する。

## 1. 水素ステーション

### 1.1 水素ステーションの設置計画

経済産業省が平成28年に発行した「水素・燃料電池戦略ロードマップ (改訂版) ~水素社会の実現に向けた取り組みの加速~」<sup>2)</sup>によると、2020年度に160か所程度、2025年度に320か所程度の水素ステーションの設置が目標とされている。

いっぽうで現在、水素ステーションの設置・運営には国から補助金が支出されているが、2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指すとされている。

こういった背景から、水素ステーションの設置費用の圧縮が強く求められている。

### 1.2 水素ステーションの構成

水素ステーションには二つのタイプがある。水素カードルや水素トレーラなどを利用して水素供給基地から20MPaまたは40MPaの圧力で輸送するオフサイト型水素ステーションと、天然ガス・液化石油ガス (LPG) を改質・精製あるいは水を電気分解するなど水素を作るオンサイト型水素ステーションである (図1)。

また、水素の昇圧貯留の仕方にも二とおりある。水素を前段圧縮機で昇圧して中間蓄圧容器に貯留したものを後段圧縮機で82MPaまで昇圧して高圧蓄圧容器に貯留する方法と、1台の圧縮機で82MPaまで一気に昇圧して高圧蓄圧容器に貯留する方法である。

いずれの場合も、82MPaの高圧蓄圧容器に蓄えられた水素をプレクーラにより-40℃近傍まで冷却してからFCVに充填する。

当社グループは圧縮機をはじめとして、冷凍機、熱交換器製造から水素ステーションのエンジニアリングまで

\*<sup>1</sup> 機械事業部門 圧縮機事業部 回転機本部 回転機技術部

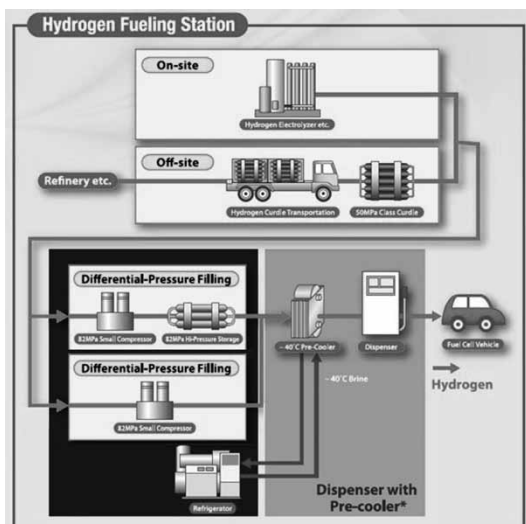


図1 水素ステーション概要図

Fig. 1 Schematic diagram of hydrogen refueling station

手掛けており、水素ステーションの設置に大きく貢献してきた。本稿では、その主要機器となる当社の圧縮機HyAC<sup>注1)</sup>シリーズを中心に紹介する。

### 1.3 水素ステーションに必要な圧縮機能力

一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC) では、水素を安全にFCVに充填するため、「圧縮水素充填技術基準JPEC-S0003」を制定しており、商用水素ステーションでは本技術基準に基づいて運用されている。

本技術基準では、FCVに水素を充填する時間を従来のガソリンエンジン車と同レベルの3分程度とし、安全に充填できることを目的としている。

具体的には、中規模ステーションでは、充填時間に車両の入れ代わり時間を加味した1時間あたり6台のFCVに充填することを想定し、1時間あたり30kg (5kg × 6台) 程度の水素を圧縮する必要がある。すなわち、圧縮機の能力としては340Nm<sup>3</sup>/h (約30kg/h) が必要とされている。

### 1.4 FCVへの充填方法

前節で述べたように、「圧縮水素充填技術基準JPEC-S0003」では、FCVへの充填速度を標準で5kg/3分の速度を想定されている。これは、100kg/h (約1,200Nm<sup>3</sup>/h) の充填速度であり、前述した圧縮機能力の3倍以上にもなる。このような高速充填を実現するため、圧縮機でFCVに直接充填するのではなく、水素をあらかじめ82MPaの高圧蓄圧容器に貯留しておき、高圧蓄圧容器とFCV搭載タンクとの差圧によって充填する方法が主流となっている。

また、FCVのタンクは、樹脂製もしくはアルミ製ライナにカーボンFRPを全周巻いた複合容器が採用されており、上限温度は85℃となっている。いっぽう、FCVに水素を充填する際には、断熱圧縮 (タンク内ガスが充填水素ガスにより圧縮される) による温度上昇が生じる。この温度上昇を考慮し、夏場でも上限温度を超えないよ

うに充填の際には冷凍機を用いて-40℃近傍まで水素ガスを冷却している。水素の冷却は、ディスペンサ内に設置されたプレクーラにより行われる。

## 2. 水素ステーション用圧縮機HyACシリーズについて

当社は、2011~2012年度の国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下、NEDOという) プロジェクトによる直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発 (容量1,200Nm<sup>3</sup>/h, 吐出圧87.5MPa) を経て、2012年度には実証ステーションに圧縮機を納入し、その経験とNEDOプロジェクトによる成果をもとに、2013年度にHyAC, 2014年度にHyACminiを上市した。

以下に、それぞれの特徴を記す。

### 2.1 NEDOプロジェクト

2010年当時、国内の水素ステーションには海外製のダイヤフラム式や油圧駆動ブースタ式などの小容量の圧縮機が設置されており、大容量のものはなかった。いっぽうで当社は、大容量化に適したレシプロ式圧縮機の開発における豊富な技術蓄積を有している。そこで当社は、容量1,200Nm<sup>3</sup>/h, 吐出圧87.5MPaのレシプロ式オイルフリー大容量高圧圧縮機HyACシリーズを開発することにした。

開発にあたっては、大容量に適したピストンリング式を採用した。しかしながら従来の技術では、シール材の信頼性確保を目的にシリンダに潤滑油を使用している。潤滑油は水素ガスの純度の悪化を招くことから燃料電池に対して好ましくない影響を及ぼす。このため、信頼性・シール性を確保する技術を開発する必要がある。すなわち、超高压かつ分子が最も小さい水素ガスをオイルフリーで圧縮するピストンシール技術の確立が最大の課題となった。

HyACシリーズでは、ピストンリング材に樹脂系材料を使用した。また、87.5MPaの超高压下ではピストンリングにかかる荷重が大きいため、高差圧に対応する高強度のリングとシール性の高いリングとを一つのピストン内に配置するなど、材料・形状・本数の最適化を図った。これらの技術開発によってHyACシリーズは安定した運転を実現させることができた。

### 2.2 HyACの仕様

#### 2.2.1 パッケージ

HyACは、前述のNEDOプロジェクトの研究開発成果や実証ステーションでの改善点を盛り込んで2013年に上市した。0.6MPaの水素を40MPaまで昇圧する4段オイルフリー圧縮機 (前段) と30MPaから82MPaまで昇圧する2段オイルフリー圧縮機 (後段) をコンパクトな一体パッケージ (4.2(W) × 2.4(D) × 3.1(H)m) にまとめたものである (図2)。本パッケージは、2012年に納入した初号機のパッケージサイズ (6.0 × 2.5 × 3.0 m) と比較し設置面積を約30%削減させている。

また、本圧縮機は前段・後段ともそれぞれ4シリンダで構成されているが、2スロー方式を採用しクランク軸

脚注1) HyACおよびハイアックは当社の登録商標 (第5523804号) である。

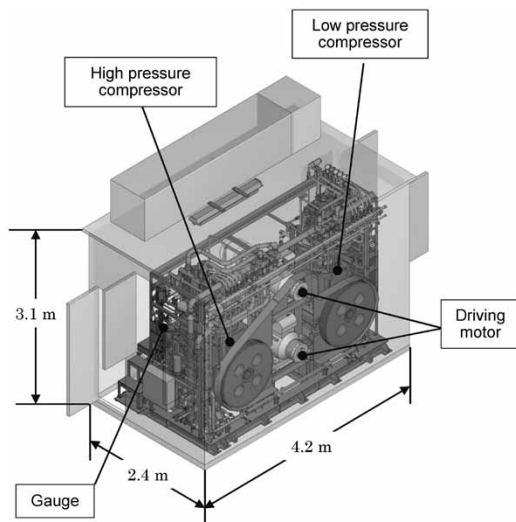


図2 HYACの内部構造  
Fig. 2 Internal structure of HYAC®

の長さ、部品点数を最小限にする本体構造とした。さらに、それぞれの駆動用モータを上下に配置、運転状況を確認するためのゲージなどをパッケージ両サイドに分けるなど、コンパクト性やメンテナンス性、使いやすさを考えたパッケージを特徴としている。

### 2.2.2 性能

前段圧縮機の容量は $300\text{Nm}^3/\text{h}$ で、FCVを1時間に6台充填できる能力を持つ。また後段の圧縮機は、 $1,200\text{Nm}^3/\text{h}$ の容量であり、FCVに直接充填できる能力を持つ。これらの能力は、高価な高圧蓄圧容器を減らすことを目的としたものである。

HyACではまず、前段の圧縮機によって40 MPaの中間蓄圧容器に水素を貯留しておく。つぎに、後段の圧縮機が中間蓄圧容器内の水素を吸い込んで、82 MPaの高圧蓄圧容器に蓄圧する。充填時は高圧蓄圧容器からFCVに差圧充填を実施するが、水素は高圧蓄圧容器に急速に補充できるため、高価な高圧蓄圧容器は少数で済むことが特徴である。

### 2.2.3 マイクロチャネル熱交換器

マイクロチャネル熱交換器（Diffusion Bonded Compact Heat Exchanger, 以下DCHE<sup>®注2)</sup>というは、エッチングにより流路を加工した板を積層し、拡散接合によって一体化した熱交換器である。数mm以下の流路を多数設けることにより、薄肉化かつ表面積を大きくとることが可能である。比較的熱伝導率が小さいステンレス鋼でも高い伝熱性能が得られるためコンパクト化が可能である。DCHEはHyACシリーズのガスクーラをはじめ、よりコンパクト性と熱交換性能を要求されるディスペンサにおいて初めてプレクーラの内蔵化を実現するなど、小型化に寄与している。

### 2.2.4 その他の特徴

前述のオンサイト水素ステーションに採用されている水素製造装置は、高温下で燃料ガスを水素に改質する高温の熱システムであるため、急な発停を繰り返すことが

できない。これに対してHyACでは、水素の製造に合わせて連続的に運転する低段圧縮機と、FCVへの充填にあわせて発停させる後段圧縮機とを上手く制御することが可能で、オンサイト型との相性も優れている。

## 2.3 HyACminiの仕様

水素ステーションは関東、中部、関西、および福岡などの都市部を中心に整備されており、設置スペースを広くとりにくいという問題を抱えている。このため、より狭い土地に設置できるように、圧縮機を含めた主要構成機器のさらなるコンパクト化が強く期待されている。

### 2.3.1 パッケージ

HyACminiは、0.7 MPaの水素ガスを82 MPaまで1台の圧縮機で昇圧する5段オイルフリー圧縮機が搭載されている。この圧縮機は、1スローに3シリンダを直列に配置することにより、コンパクトな2スローの圧縮機であるという特徴がある。冷凍機も含めたパッケージサイズは8(W)×2.4(D)×3.25(H)mである。冷凍機を別に設置しているHyACと比べて30%以上の設置面積の削減となっている。あわせて、メンテナンス性や使いやすさもより向上させた。

機器構成として、圧縮機のみ、圧縮機と冷凍機、圧縮機と高圧蓄圧容器、さらに圧縮機に冷凍機と高圧蓄圧容器をパッケージしたものラインナップしている(図3)。

これにより、圧縮機、蓄圧容器、冷凍機を別々に設置していたHyACの設置面積に対し約50%削減(当グループ試算)し、設置スペースの縮小化と現地工事の削減に大きく貢献している。

### 2.3.2 冷凍機

冷凍機は当社のスクリー式冷凍機を使用している。この冷凍機はインバータ駆動方式を採用しており、負荷の状況に合わせて回転数を変化させることができ、冷却能力を細かく制御することができる。

FCVへの充填時に冷熱が必要になるが、実際の水素ステーションではFCVの来店間隔はばらつきが大きく、冷凍機の負荷は一定とらない。このため、コールドブ

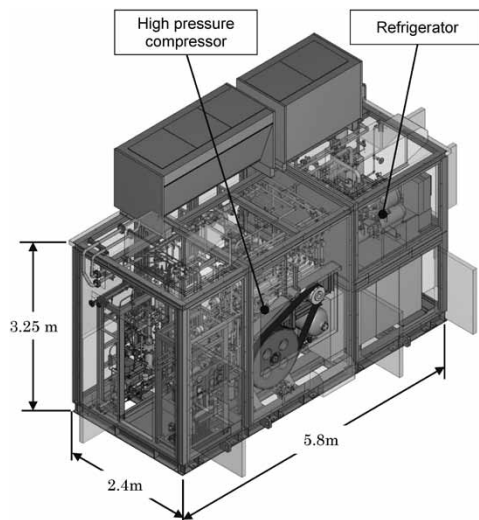


図3 HyACminiの内部構造  
Fig. 3 Internal structure of HyACmini

脚注2) DCHEは当社の登録商標である。

ラインに蓄熱しながら、熱負荷に合わせてインバータ制御によって圧縮機の回転数を増減させることにより、省エネが期待できる。また、ブライン（2次冷媒）と水素の熱交換は、当社製プレクーラ（DCHE）で水素ガスを $-40^{\circ}\text{C}$ 近傍まで冷却している。

### 2.3.3 その他の特徴

ガスは圧縮されるときに発熱するため、多段型の圧縮機の場合には、効率よく圧縮するため吐出ガスの冷却・圧縮を繰り返す。ガスの冷却に使用される冷却水は、補充水が不要な密閉型の冷却システムと、より低い水温の冷却水が得られる開放型の冷却塔水がある。

密閉型は空冷用ファンの動力が余分に必要になるが、冷却用の上水が手に入りにくい地域に適している点や水質の管理が不要なメリットがある。

開放型は、より効率よく低い温度の冷却水を得られる反面、水質管理や定期的な水の補充が必要となる。

両タイプとも一長一短があるが、HyACminiではメンテナンス性を優先し密閉型を採用している。

### 2.4 次世代機の開発

水素ステーションの設置費は、少しずつ下がってきてはいるもののいまだ高額である。設備費については業界でも、2020年度には13年度の約1/2を目標に取り組みが進められており、当社としてもさらなるコストダウンに取り組んでいる。主要機器を含めたユニット価格を下げるとともに、設置面積を小さくすること、またランニング費用を削減することが重要になる。

当社では現在、HyACminiの次世代機を開発中である。圧縮機ユニットとしての物量削減によるコストダウンだけでなく、設置面積で現行機と比べ約30%の小型化によるステーション建設コストの削減、動力の削減、およびメンテナンス性の向上によるランニング費用の削減などを目標としており、水素ステーションの普及に大きく寄与できると考えている（図4）。

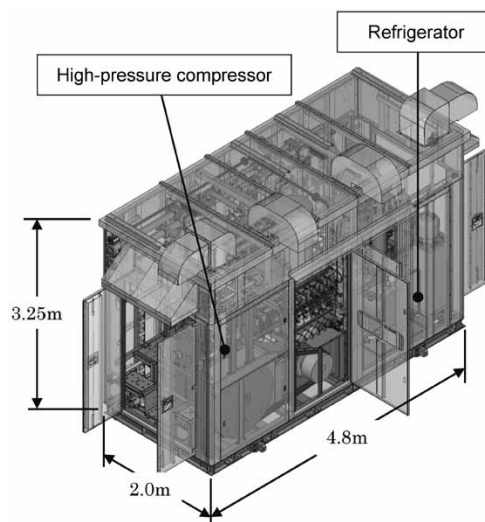


図4 開発中の次世代機

Fig. 4 New generation compressor (under development)

むすび= 上述のように当社グループは、昭和初期に超高压圧縮機や水素ガス用圧縮機を製作して以来、水素インフラをはじめとするエネルギー分野などのさまざまな用途の高圧圧縮機および高圧機器の開発・製造を行ってきた。

その間に蓄積されたノウハウと、NEDOプロジェクトでの研究開発や初号機製作を通じて得られた知見をフィードバックし、2013年にHyAC、翌年にはHyACminiの商品化を行うなど、業界のニーズにいち早く対応すべく取り組んできた。

将来、現在のハイブリッド車のようにFCVやFCバスが多く走る日が来るのも近いものと思われる。そうした日の到来を見据え、これまでに蓄積してきた知見や技術に新たな提案を加えながら水素ステーションの普及および水素エネルギーの時代に貢献できるよう、当社としても努力を重ねていく所存である。

### 参考文献

- 1) 三浦真一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2014, Vol.64, No.1, p.49.
- 2) 水素・燃料電池戦略協議会. 水素・燃料電池戦略ロードマップ 平成28年3月22日改訂.