

業務用冷凍機搭載スクロール圧縮機“HNK”

松本哲三*
松井友寿*
楠部真作*

Scroll Compressor for Commercial Refrigerator & Condensing Unit "HNK"

Tetsuzo Matsugi, Tomokazu Matsui, Shinsaku Kusube

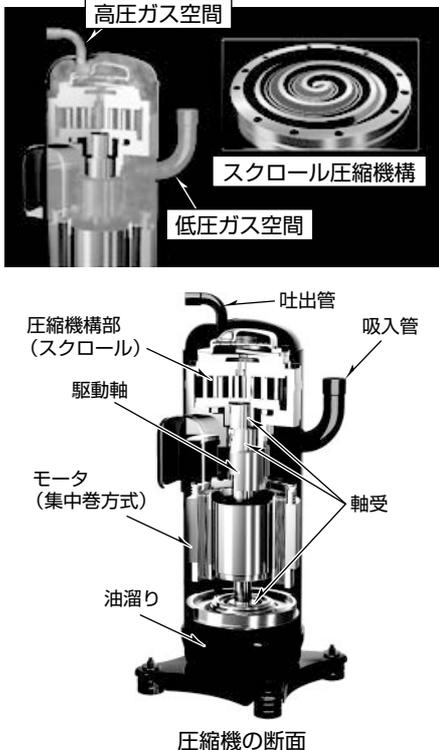
要旨

低温・空調機器では、地球温暖化防止の観点から低GWP(Global Warming Potential)冷媒、省エネルギー、小型軽量(省資源)がそれぞれ強く求められ、冷媒回路を構成する圧縮機でも、圧縮機構開発、大容量の高効率モータ開発、高効率駆動パワーエレクトロニクス技術や生産技術開発によって小型軽量と高効率を両立させた大容量圧縮機開発が進められている。三菱電機は、各用途・冷媒に対応した高効率大容量インバータ圧縮機を開発し、ビル用マルチエアコンでは20HP(Horse Power)、業務用冷凍機では15HPの定格能力の製品までを1台の小型軽量・高効率圧縮機で実現しており、更なる機能向上と小型軽量化に取り組んでいる。

スクロール圧縮機“HNK”は、業務用冷凍機に搭載され

る高効率大容量DCインバータ圧縮機で、小型軽量を大きく向上させた第2世代の圧縮機として、既設配管利用性を高めたR410A冷媒対応の当社冷凍機“ワイドリプレースシリーズ”に搭載している。

この圧縮機は、外径をφ240mm必要としていた従来のR404A対応の高効率インバータ圧縮機から外径をφ170mmまで小径化し、製品質量を従来の78kgから45kgまで約40%低減しながら、下限運転能力拡大による冷凍機発停運転回数の削減、大型集中巻モータ搭載による軽負荷運転効率の向上を、高負荷側の運転特性を損なうことなく高い信頼性の下で実現させた。この圧縮機を搭載している冷凍機の年間消費電力は、当社15HPインバータ冷凍機と比較して約20%改善している。





圧縮機HNK搭載冷凍機
ECOV-EN75~300DCA
10~40HP冷凍機(代表30HP冷凍機)



冷凍機室内機(日配ショーケース、冷凍庫等)

形名(シリーズ名)		HNK	
冷媒		R410A	
用途		業務用冷凍機(冷凍・冷蔵用途)	
押しのけ量	cc/rev	84(冷蔵用)	92(冷凍・冷蔵用)
常用回転数範囲	rpm	1,200~6,600	1,200~6,000
最大冷凍能力	kW	11.3	
	HP	15	
モータ仕様		DCブラシレスモータ(集中巻方式)	
外形寸法(シェル)	mm	φ170×510H	
製品質量	kg	43	45

業務用冷凍機搭載スクロール圧縮機“HNK”

R410A冷媒を採用した当社業務用冷凍機の主力機種“ECOVシリーズ”に搭載している。従来のR404A冷媒用高効率インバータ圧縮機に対して、圧縮機外径を小径化し、製品質量を約40%低減しつつ、従来機の高負荷側性能を損じることなく下限運転能力拡大、軽負荷運転効率を向上させている。この圧縮機は8~45HPの機種群に主に搭載され、スーパーマーケット、冷蔵倉庫や農事用途など幅広い低温設備での消費電力低減、省スペース化に貢献している。

1. ま え が き

低温・空調機器では、地球温暖化防止のために低GWP冷媒、省エネルギー、小型軽量(省資源)が強く求められている。当社はR410A冷媒を採用して既設配管利用性を高めたワイドリプレース冷凍機を発売しており、これにはスクロール圧縮機HNKが搭載されている。HNKは、従来のR404A用高効率インバータ圧縮機から、外径をφ240mmからφ170mmまで小径化し、製品質を約40%低減し、併せて下限運転能力拡大、軽負荷運転性能向上を高負荷側特性を損ねることなく実現させて、搭載冷凍機の年間消費電力を従来の高効率機から約20%改善している。

本稿では、この圧縮機の技術的な特長と経済性・環境性について述べる。

2. 製品の仕様と技術的特長

2.1 製品の主要仕様

業務用冷凍機は、空調用途と比べて高温の吐出ガス温度などでの潤滑油劣化、軸受信頼性・モータコイル信頼性の確保、封入冷媒の回収能力などの理由から低压シェル方式の圧縮機が多く使用されている。冷凍機は、-25~43℃の外気温度と蒸発温度-45~10℃の広い温度範囲で高効率かつ高い信頼性が求められる。例えば、冷凍冷蔵倉庫などでは高負荷運転時の高性能が求められる一方で、目標温度到達後の厳密な温度管理に対応する発停回数の少ない高効率軽負荷運転特性が求められる。HNKは全体構造を低压シェル方式として、これらの求められる高効率と高信頼性を小型軽量で同時に成り立たせた高効率大容量DCインバータ圧縮機である。

図1はHNKの断面構造、表1は従来の同等容量のR404A高効率DCインバータ圧縮機“UDK”との比較を示す。表1に示すように、HNKでは15HP冷凍機搭載能力をφ170mmの小径かつ43~45kgの軽量で実現している。

2.2 圧縮機の動作

図2に冷媒及び潤滑油の圧縮機内部での流れを示す。モータが駆動され軸が回転すると、圧縮機構部で圧縮が開始される。吸入管から吸い込まれた冷媒は実線矢印に示すようなモータ上部空間を経て圧縮機構部にいたる主流と、破線矢印に示すような下方分流に分かれる。下方分流は、運転時に温度上昇するモータコイルを冷却した後に主流と合流し圧縮される。また、潤滑油は実線矢印で示す経路を経て各軸受を潤滑した後、下部油溜(だ)まりに戻る。このとき、一部の潤滑油は破線矢印で示すように内部空間で冷媒流に巻き上げられて、冷媒とともに圧縮機外部に吹き出され冷媒回路を循環した後、再び圧縮機に戻り内部空間で冷媒と分離されて下部油溜まりにいたる。

冷凍機用圧縮機では、-45℃などの低蒸発温度域でモ-

タコイルを冷却する冷媒の熱容量を確保するために、下方分流量を空調用途に対して多くとるが、インバータ圧縮機では高速運転になるほど圧縮機内部の冷媒速度が増して旋回流によって巻き上げられる潤滑油量が増えて圧縮機内部油量が減少してしまう問題などを解決する必要があり、従来の流速変化を主とした油分離技術では、内部容積を減少させて小径で高速運転することはできなかった。

2.3 技術的特長

2.3.1 高効率化技術⁽¹⁾

HNKは、R404A冷媒から高密度化したR410A冷媒の物性も活用しつつ、取り込み容積を従来機の165cc/revから84cc/revに小容量化し、下限運転能力を従来比0.64倍まで

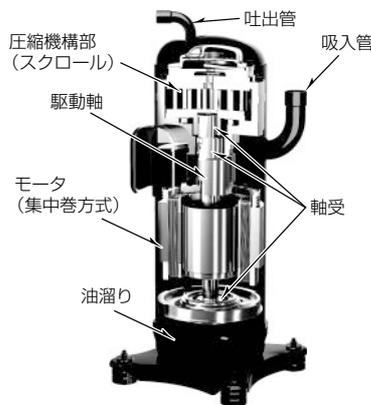


図1. 圧縮機の断面構造

表1. 圧縮機の仕様比較

形名(シリーズ名)	HNK(開発機)		UDK(従来機)
冷媒	R410A		R404A
用途	業務用冷凍機(冷凍・冷蔵用途)		
押しのけ量(cc/rev)	84(冷蔵用)	92(冷凍・冷蔵用)	165(冷凍・冷蔵用)
常用回転数範囲(rpm)	1,200~6,600	1,200~6,000	1,200~5,400
最大冷凍能力(HP)	15		
モータ仕様	DCブラシレスモータ(出力11kW)		
	集中巻方式		分布巻方式
外形寸法(シェル)(mm)	φ170×510H		φ240×545H
製品質量(kg)	43	45	78

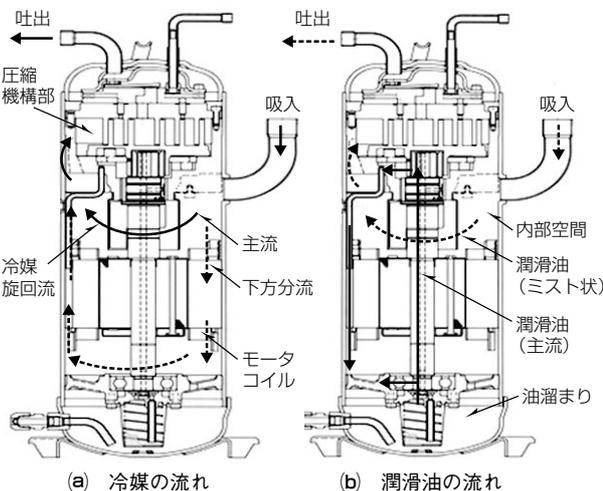


図2. 圧縮機の動作

拡大した。一方で、上限運転能力は上限回転数を6,600rpmまで拡大して従来機同等の能力を確保している(図3)。この下限運転能力拡大によって冷凍機の発停運転回数を抑制し、年間消費電力を抑制する効果を得ている。また、低速運転ではスクロールの小型化による機械効率向上と、新コア方式⁽²⁾を採用した集中巻方式のDCブラシレスモータ(図4)を開発し、低能力・軽負荷時の効率を向上させている。また、増速運転時の高負荷運転でも、駆動パワーエレクトロニクス技術“過変調PWM(Pulse Width Modulation)制御”と“位置センサレス制御”を最適化して、運転回転数全域で高効率にモータを駆動し、全域で同等以上の効率向上を実現している(図5)。

2.3.2 高信頼性技術⁽¹⁾

(1) 保有潤滑油の信頼性確保

冷凍機用圧縮機では、低能力、低回転数時に2つのスクロールを良好に潤滑摺動(しゅうどう)させるために渦巻部分に給油を必要とする。必要油量を確保するために、この圧縮機では“圧縮室間欠給油機構”を設け、一方でシェル内に流入した冷媒と混在するミスト状の潤滑油を圧縮機内部の冷媒旋回流の遠心力を利用して分離する“潤滑油遠心分離機構”を併せて採用している。また、冷凍機用に最適化した下方分流機構と下部油溜まりへの排油経路を加えたことで、小さな内部容積での油分離を可能にし、回転数全域

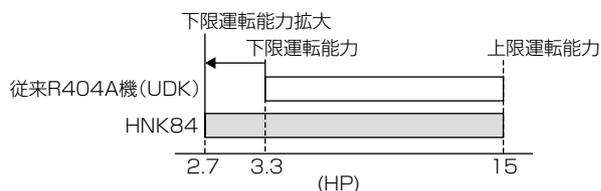


図3. 運転能力範囲の比較

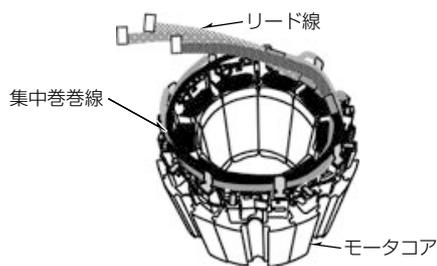


図4. 集中巻DCブラシレスモータ(11kW)

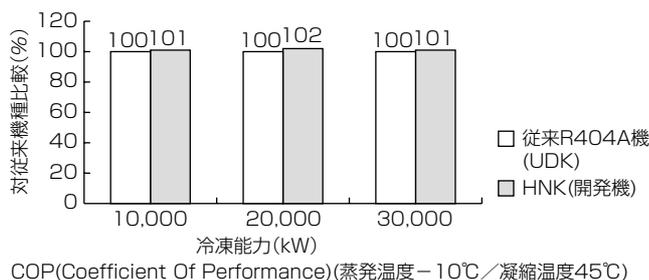


図5. 性能比較

での保油性能を確保した。図6にHNKの軸回転数での油循環量特性を示す。これらの技術によって従来の内部油分離方式では限界があった小容量化を実現させ、従来機の外径φ240mmの最大回転数5,400rpmに対して、小径φ170mmで6,600rpmの高速回転化を可能にした。

(2) 軸受信頼性確保

冷凍機固有の急激な負荷変動や発停運転時に起こる大量の冷媒液バック運転、負荷荷重による軸撓(たわ)みに起因する傾斜摺動に対して、1,200~6,600rpmの広い回転数全域で高い軸受信頼性を安定確保するために、HNKでは軸受摺動面を平行に保つ“従動軸受機構(ピボット軸受機構)”を採用している(図7)。この機構は、主軸と軸受の間に軸と同期して回転しピボット突起を支点として可動とした“中間円筒軸”を設けたもので、軸の傾斜によらず駆動軸と軸受は相対的に平行軸受となり、良好な油膜圧力を形成し、液バックでの希釈運転など潤滑状態悪化時にも高い軸受信頼性を得る。

2.3.3 駆動制御技術⁽³⁾

11kWの定格出力の集中巻ブラシレスDCモータを、1,200~6,600rpmの運転回転数全域で高い信頼性で高効率に安定駆動するため、“過変調PWM制御”と“位置センサレス制御”を低温用途に最適化した。過変調PWM制御によって、低電流化を可能とするとともに過変調時にスイッチング回数が抑制でき、モータと駆動インバータの総合効率を約10%改善している。また、過変調PWM制御で非線形となる出力電圧への対応と冷媒圧縮機の求められる位置センサレス駆動制御に、この圧縮機では磁極位置検出器を使用せずに制御軸(γ-δ座標軸)上で磁束を一定に制御してモ

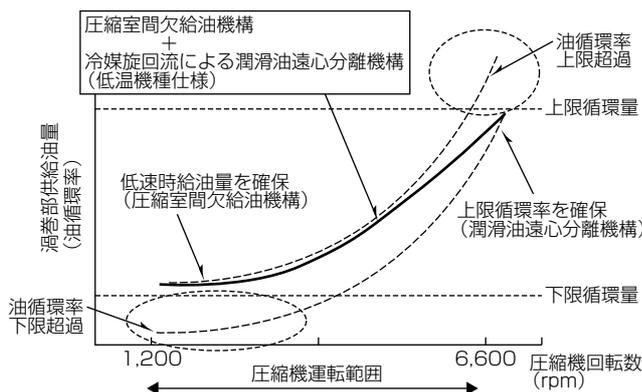


図6. 油循環率特性

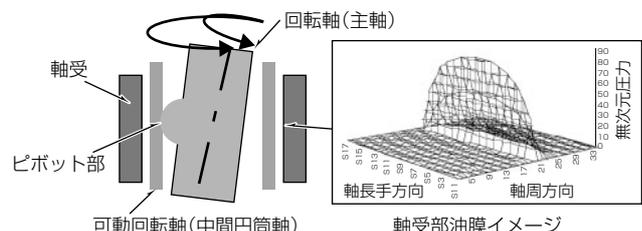


図7. ピボット軸受機構の動作

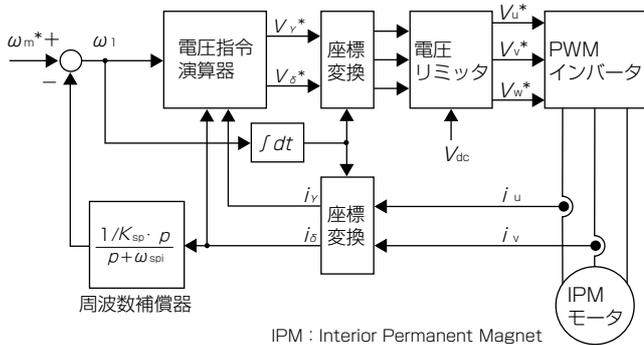


図8. 制御ブロック図

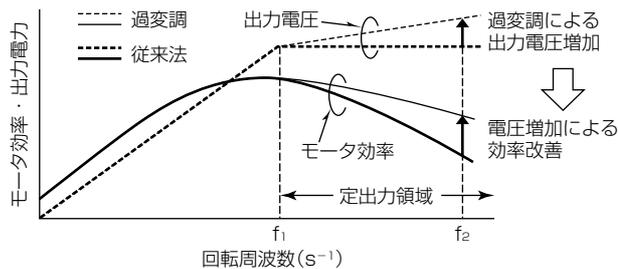


図9. 過変調PWM制御の駆動

ータの安定制御を可能にする制御アルゴリズム“一次磁束制御方式”を採用している。図8は位置センサレス駆動制御の制御ブロック図、図9は過変調PWM制御の駆動説明を示す。

3. 経済性・環境性

3.1 省エネルギー性

HNKでは、先に述べたように下限運転能力拡大及び圧縮機効率を、機械効率とモータ効率の双方を駆動制御技術を併せて向上させている。このことによって、運転周波数全域での効率向上と冷凍機発停運転を抑制させており、搭載冷凍機では年間消費電力を約20%低減している。

3.2 省資源性

この圧縮機では、表2に示すように単機で従来の高効率インバータ機の78kgから45kgまで質量を約40%低減させている。またモータに集中巻方式を採用したことで、モータ巻線に使用する銅量を約40%、希土類磁石の使用量を約20%低減させた。HNKはシリーズで年間約15,000台生産しており、この軽量化によって約500トン/年の金属系材料使用量を低減し、製造時のCO₂の年間排出量を約200トン削減している。図10は、搭載される冷凍機機種群(当社スクロール冷凍機)での搭載質量低減効果を示す。図に示すように、HNKは、冷媒リプレースの対象となる従来の一定速機種を主とした冷凍機と比べて搭載圧縮機質量を大きく低減し、それぞれの冷凍機での小型軽量化を実現している。

4. むすび

業務用空調、低温用途に搭載される冷媒圧縮機には、更なる低GWP対応化、広範囲での効率向上、小型軽量化が

表2. HNKと従来機種の比較

形名	HNK84(開発機)	UDK165(従来機)
冷媒	R410A	R404A
対応冷凍能力範囲(HP)	2.5~15	3.3~15
下限回転数(rpm)	1,200	1,200
上限回転数(rpm)	6,600(最大7,200)	5,400
下限能力比	65	100
圧縮機外観		
外形寸法(シェル)(mm)	φ170×510H	φ240×545H
圧縮機質量(kg)	43	78
使用量比		
鉄系材料(-)	55	100
銅系材料(-)	64	100
希土類材料(-)	80	100

	従来機		開発機
	一定速機	高効率インバータ機	
冷媒	R404A		R410A
主要搭載冷凍機	ECAシリーズ	ECAVシリーズ	ECOVSシリーズ
搭載圧縮機(15HP機種)	8HP一定速×2台	15HP高効率インバータ1台	
圧縮機合計質量(kg)(比率)	156(100)	78(50)	45(29)

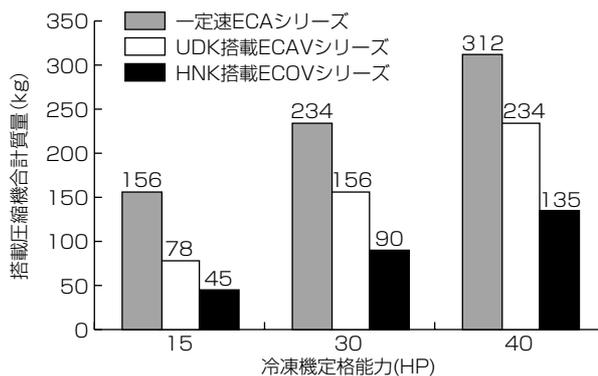


図10. 業務用冷凍機搭載圧縮機合計質量の比較 (当社スクロール冷凍機)

求められている。HNKでは、従来の高効率圧縮機の良さを損なうことなく、更なる小型軽量化を実現させており、今回培った技術を今後更に進化させて地球温暖化対策への貢献に取り組む。

参考文献

- (1) 松本哲三, ほか: DCモータ搭載大形全密閉スクロール圧縮機, 2005年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, C320 (2005)
- (2) 山本一之, ほか: 圧入組立構造の分割鉄心を用いたモータ生産工法の開発(第2報) - 中大型圧縮機モータの高効率化 -, 精密工学会誌, 78, No.12, 1099~1104 (2012)
- (3) 楠部真作, ほか: 冷凍空調分野におけるインバータの利用と最新の制御, 2011年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, A231 (2011)