

高性能・高信頼性ガスヒートポンプ

High-Performance, High-Reliability Gas Heat Pump

冷熱事業本部 笠原 秀 晃*¹ 吉村 充 司*¹
技術本部 森 島 立 二*² 岩田 久 雄*³

年々高まる経済性と環境保護への顧客ニーズに応えるため、省エネルギーと快適性で好評の業務用ガスヒートポンプ（GHP）に改良を加え、エネルギー効率改善と排出ガス浄化を行った。同時に低騒音化と振動低減、定期メンテナンス性の改善も行い、商品力向上と信頼性確保の両立を図った。そこで、本機仕様を紹介するとともに、これを可能にした技術について述べる。

In order to response to annually increasing customer needs for economic efficiency and environmental protection, we have improved, the commercial gas heat pump (GHP), known for its energy saving and comfort, to make energy efficiency higher and improve exhaust gas purification. Fixed maintenance improving and reduced noise and vibration were implemented simultaneously, the GHP's value-added properties and reliability. This paper details GHP specifications and the technology enabling the above improvements.

1. はじめに

都市ガスやLPガスを燃料とするエンジンで圧縮機を駆動するガスヒートポンプ（GHP：Gas Heat Pump）は、従来の電気式空調機（EHP：Electric Heat Pump）には無いエンジン排熱を熱源に利用できるため、冬季に高い暖房性能を得られる。また、消費電力がEHPに比べて大幅に少ないGHPは、特に空調エネルギー使用量が最大となる夏季のピーク電力を抑制することから、電力・ガスのエネルギー平準化への切り札として評価されている。

2. GHC 5 型の特徴

今回開発したビル用マルチGHC 5型室外ユニットシリーズ（P355・P450・P560）は、2000年4月に発売して好評の当社4型をベースに、主に搭載エンジンの高性能化と冷凍サイクル改良、及び防振・防音性能の見直しを行った。同時に、

メンテナンス間隔の延長を実現することで、対環境性を更に改善した。表1に本機の主要諸元を示し、図1に主な改良点を示す。

3. 性能向上技術

3.1 冷媒回路

当社GHPは、エンジン排熱を効率よく回収するために小型高性能のプレート式冷媒加熱器を採用し、これを空気熱交換器と並列に配置する当社独自の高性能冷媒回路を採用している。この目的は、暖房運転時に空気熱交換器と冷媒加熱器を併用、外気温が大きく低下して空気熱交換器の吸熱量が低下する時は冷媒加熱器だけの運転に切り替えて、安定した暖房能力を実現することである。

図2に5型の冷媒回路を示す。従来機である4型では、冷媒加熱器から圧縮機に向かう回路を、四方切換弁の前で空気熱交換器からの配管に合流させていたが、5型ではアキュムレータ部で合流するように見直しを行った。この変更によ

表1 5型諸元（P560機・50Hz）
GHC-5 specifications (P560・50Hz)

外形寸法	H2 135 × W 1 750 × D 950 mm	
ユニット重量	880 kg	
エンジン仕様	直列 4 気筒 OHV・1 998 cc	
圧縮機仕様	レシプロ式 V 型 4 気筒	
冷房 定格	能力	56 kW
	ガス消費量	46.7 kW
	消費電力	1.50 kW
暖房 定格	能力	67 kW
	ガス消費量	45.4 kW
	消費電力	1.12 kW
低温暖房能力	67 kW	
冷房平均 COP	1.30	
運転音	60 dB (A)	
メンテナンス間隔	5 年または 10 000 時間	

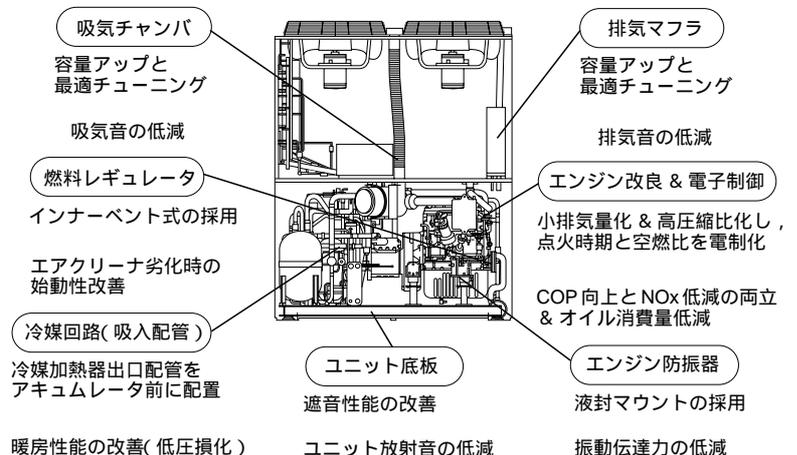


図1 主な改良点 4型からの主な技術変更点を示す。
Major improvement items

*¹ 技術総括部空調・輸送冷機技術部
パッケージエアコン設計グループ

*² 名古屋研究所冷熱システム研究室主席
*³ 名古屋研究所機械物理研究室

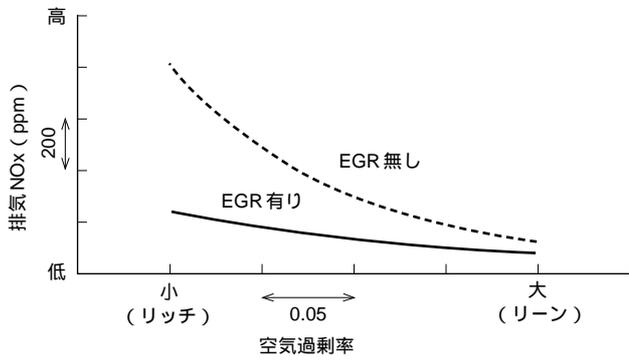


図6 EGRによるNOx低減効果 点火時期一定の時は空気過剰率をリッチ化してもEGR効果でNOx低減が可能．
NOx reduction effect by EGR

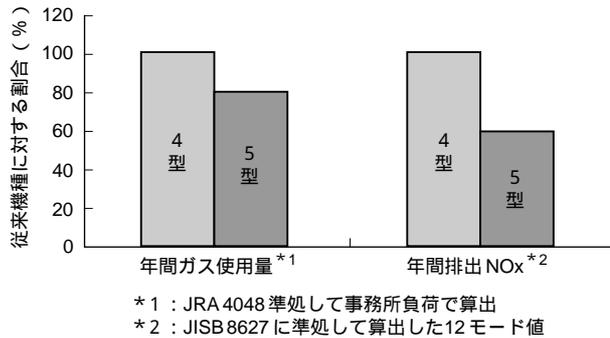


図7 年間ガス使用量とNOx排出量の低減効果 エンジン電子制御により年間ガス使用量・排出NOx量が大幅に低減．
Reduction of Seasonal gas consumption and NOx discharge

るためには、空気過剰率・点火時期を最適な値にする必要がある。従来は機械式制御のため、定格点の効率が最高になるように設定できるものの、広範な部分負荷運転領域で最適に設定することが困難であった。

5型では空気過剰率・点火時期・EGR共に電子制御化し、すべての運転領域で最適値に設定できるようにした。その結果、エンジンを小排気量化しながら4型並の出力を確保すると共に、年間ガス消費量で約80%、排出NOx量も約60%と大幅に低減した。図7に比較を示す。

3.3 ユニット運転音の低減

業務用空調機の居住地域への設置が増加するのに伴い、GHP室外ユニットも更なる低騒音化が求められている。そこで今回は、ユニット運転音60dB(A)を狙って開発した。このために、まず4型の各騒音放射面の寄与分析を実施し、目標運転音を達成するために対策すべき放射面と必要低減量を見出した。運転音寄与分析は室外ユニット外板各部からの放射音、エンジン吸排気音、熱交換器からの放射音を音響インテンシティー法で計測し、各周波数で騒音寄与の高い放射面を特定した。音響インテンシティー法は振動体表面の音圧と振動速度から計測できる。さらにその振動体の面積を乗じることで音響パワーが計算できるので、任意の放射面からの騒音寄与を分析できるのが特徴である。なお、外板各部からの放射音測定に使用した表面音響イン

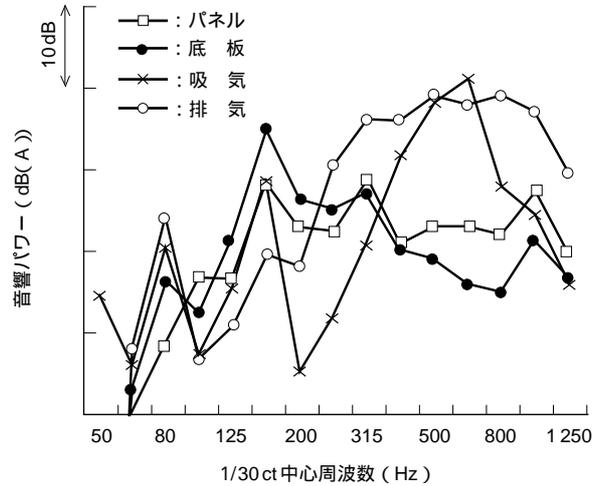


図8 4型の各放射面からの音響パワー比較 吸排気音が支配的であることが分かる．
Rank ordering sound power radiated from unit surfaces using acoustic intensity probe

テンシティープローブと異なり、振動面で直接加速度とその近傍の音圧を計測して音響インテンシティーを高精度に算出する新しいものである。

図8に4型の各放射面からの音響パワーの周波数分析結果を示す。横軸は1/3オクターブ中心周波数、縦軸はA補正後の音響パワーレベルを示す。全体音に対してエンジン吸排気音の寄与が高く、かつ低周波数域では底板からの放射音が寄与していることが分かった。本結果から、5型として必要な運転音低減レベルを算出し、吸気レゾネータと排気マフラの再設計、及び底板の遮音対策を実施し、目標運転音を達成した。また、時間変化の大きい吸排気音を低減したことで音質も改善できている。

3.4 メンテナンス間隔の延長

当社GHPは、圧縮機をエンジンに直結して駆動する独自構造を採用している。プーリを介したベルト駆動方式がベルトの定期交換・調整作業を避けられないのに対して、直結駆動式は駆動部のメンテナンスが不要で絶対的な高信頼性を有しているためである。また、エンジンの吸排気カム部に油圧リフトを採用し、バルブクリアランス調整も不要としているので、メンテナンス作業に特殊技能を必要としない。すなわち、短時間で多くの機器を点検することが可能で、メンテナンス費用の低減が図れる。

今回、エンジンの小排気量化に合わせ、シリンダ周りの冷却性能を改善するとともに、各摺動部の諸元を適正化することでエンジンオイル消費量を低減した。これにより、定期メンテナンス間隔を4型の8000時間から10000時間に延長しながら、封入オイル量を従来比で約70%に低減することで、メンテナンス時の交換オイル量の削減を実現した。

4. 信頼性向上技術

4.1 エンジン防振技術

エンジン防振はユニット内周辺機器の耐振設計に影響するため、信頼性確保の点でも重要な技術課題である。そこ

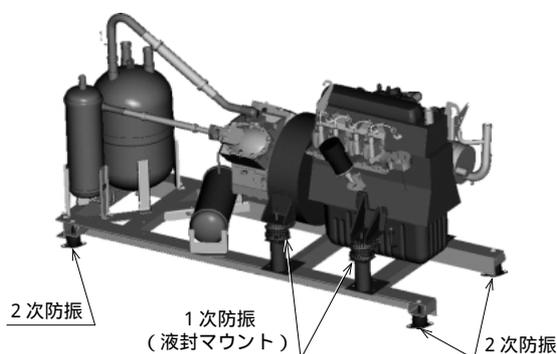


図9 2重防振構造 エンジンと圧縮機を架台上に防振支持し、その架台を更に防振支持する。
Structure of double vibration absorption system

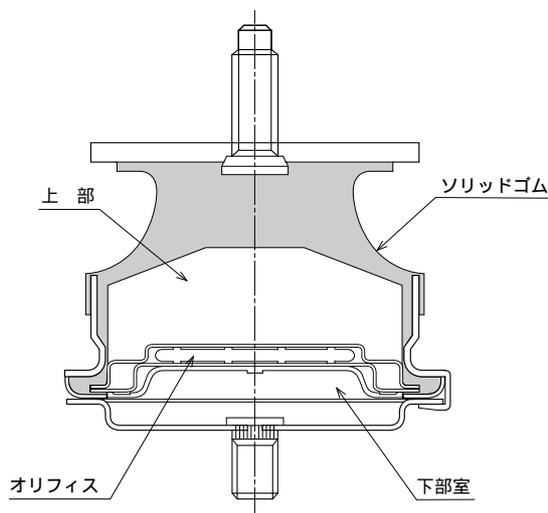


図10 液封マウントの構造 液封マウントの内部構造を示す。
Structure of hydraulic engine mount

で今回は、主にエンジン防振の改良を施し、更なる振動低減を行った。

当社GHPでは、他社に例を見ない独自のエンジン2重防振構造を3型（1998年発売）から採用し、エンジンからの振動伝達による外板と熱交換器の振動音や、設置される建物への振動伝達を防いでいる。2重防振構造とは、まず直結したエンジンと圧縮機をフレーム構造の架台上に防振支持（1次防振）し、この架台上に各種圧力容器を固定して架台全体をユニットに防振支持（2次防振）する構造である。図9に5型の二重防振構造を示す。5型では防振性能の向上を狙い、主に自動車に使用されている液体封入式マウント（以下、液封マウント）を改良し、1次防振に採用した。図10に液封マウントの内部構造を示す。

液封マウントは、ソリッドゴムに空洞を設けた上部室とダイヤフラムが張られた下部室、及び両室を結ぶオリフィスから構成され、両室には液体が封入されている。外力によってソリッドゴムが弾性変形して上部室が体積化する

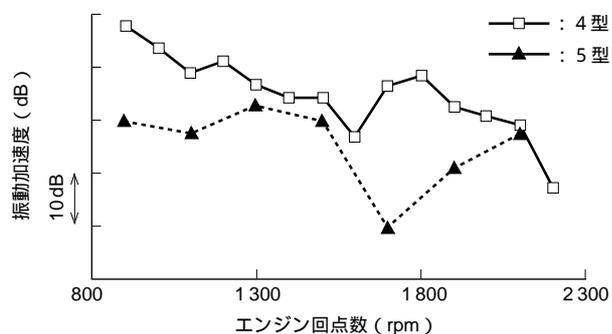


図11 4型と5型の振動比較（防振架台設置） 5型は4型比、全運転域で大幅な振動低減を実現。
Comparison of vibration on isolation unit between GHC-4 & GHC-5

ことで、封入液体がオリフィスを通して両室間を移動し、その時に生じる液体の反力を効果的に活用するのが特徴である。今回、本機の振動特性に最適化した液封マウントを開発、常用エンジン回転域で従来品より低い動的ばね定数を実現、同時に起動時の変位を拘束できるように減衰性能をエンジン防振系周波数に調整することで、起動時の過大応力抑制と定常時の振動伝達低減を両立した。その結果、5型では従来比、全エンジン回転域で振動レベルを大幅に低減することができた。図11に、4型と5型における防振架台（室外ユニットと建物の間に設置）上の振動比較を示す。

4.2 圧縮機の信頼性向上

圧縮機は耐久性で実績のあるレシプロ式を採用している。GHPで採用するに当たり、信頼性向上を主眼にEHP・バスエアコン・陸上レフユニットなどの豊富なノウハウから種々の設計品質向上対策を施した。

一例として圧縮機の油粘度確保について述べる。多種多様な使用環境や据付形態に対応する業務用マルチエアコンは、様々な運転条件を想定して信頼性評価を行う。特に、液冷媒が圧縮機に流れ込む条件があると冷凍機油が希釈されて油粘度が低下し、潤滑不良で軸焼付が発生する可能性がある。当社GHPは、前項で紹介したエンジンと圧縮機の直結構造を採用することで、エンジン本体からの伝熱で圧縮機温度が適正に維持され、冷媒が冷凍機油中に溶け込むことを防止して上記リスクを低減できた。この構造は、当社の大型観光バスのエアコンや生鮮食品を冷凍冷蔵して運送する大型冷凍車にも採用されており、ユーザから高い評価を得ている。

5. む す び

GHC 5型は、より一層の環境負荷低減と維持管理コスト低減への顧客ニーズに十分対応するため、ここに紹介した新技術と評価手法を用いて開発した。今後、本機が性能面だけでなく、信頼性の面でも高い市場評価が得られるものと期待する。