

ガスエンジンヒートポンプエアコンの開発

Development of Gas Engine Heat Pump Air Conditioner

エアコン製作所 村田伸夫*1 加藤忠広*2
 佐藤保廣*2
 技術本部 森島立二*3

近年の冷房需要の増大は、夏期のピーク電力を押し上げている。一方、ガスは夏冬で需要が電力とは逆のパターンを示すことから、空調機の動力をガスエンジンとしたガスエンジンヒートポンプエアコン（GHP）の普及が加速している。GHP用ガスエンジンは、自動車用エンジンと異なり、長時間の連続運転が要求され、自動車用エンジンの寿命を大きく上回る。したがって、エンジンのメンテナンスが必要となるため、オイル消費量の低減、ブローバイガス中のオイルミストの回収による排気系汚れの防止、さらに寿命の観点から触媒が使えないため、リーンバーンによるNOxの低減といった技術の確立が要求される。これらGHP用ガスエンジン技術の開発とシステム全体の低騒音化を行い、都市ガス仕様機を完成させた。

In recent years, the demand for an air-conditioning has greatly increased, there by increasing the electric power level too. On the other hand, the annual gas consumption pattern is a mirror-image of that of electric power. For this reason the gas engine heat pump (GHP) air-conditioner is under development. The GHP engine operates for long time compared with a car engine and its life-span exceeds that of a car engine. To achieve this long life-span, it is necessary that the oil consumption decrease, that there be mist collection in the blow-by gases to avoid burned oil deposits accumulating in the exhaust line and from the environmental pollution viewpoint that NOx be reduced by a lean-burning engine. In the GHP system, the low noise operation is also required and then the engine and other equipment should be mounted on the same base to decrease vibration.

1. ま え が き

近年、多様化する空調ニーズに対応できるルームエアコンディショナやパッケージエアコンディショナの普及は著しく、夏期の電力需要のピークを押し上げる要因の一つとなっている。特に夏期の昼間の電力需要は高く、電力供給能力のひっ迫を招いている。

一方、ガスの需要は気温の上昇とともに減少し、夏期と冬期の需給アンバランスが問題となっている。

そこで、圧縮機を電気モータで駆動する方法からガスエンジンで駆動する方法に変えることにより、消費電力を大幅に低減し、またガス消費の年間アンバランスを解消する、ガスエンジンヒートポンプエアコンが商品化され、普及し始めている。

当社では、電力の消費を大幅に低減した、LPGを燃料としたマルチタイプガスエンジンヒートポンプエアコンに引き続き、都市ガス（13A）を燃料としたガスエンジンヒートポンプエアコンを3機種開発し、発売した。

2. 製品概要

2.1 当社のガスエンジンヒートポンプエアコンの特徴

当社のガスエンジンヒートポンプエアコンの特徴を以下に述べる。

(1) ガスエンジンのメンテナンス性向上

ガスエンジンに必要なメンテナンス間隔を4000hとし、メンテナンス点検項目の改善を実施した。メンテナンス部品は、点火プラグ・オイルフィルタ・エアクリーナエレメント・エンジンオイル・ブローバイフィルタ・ドレンフィルタの6部品とした。バルブ関係の摩耗に対して、自動調整機構を設け、調整不要としたことは、メンテナンス作業時間の低減につながっている。

オイル消費量は、平均4cc/h程度であり、4000hメンテナンス間隔に対し、有効油量が約26lと十分余裕を持っている。

サービス用としてコントローラ内に、7セグメントのLED（Light Emitting Diode）を設け、室内機あるいは室外機の状態を表示することで、故障分析を速く行うことができるようになった。

(2) 低騒音

エンジン音対策として、給気脈動音用マフラ・振動伝搬音防振材等を設け、20馬力仕様で62dB(A)まで低減できた。

(3) 低外気暖房能力向上

暖房時外気温度が低下しても、エンジン排熱を利用することにより暖房能力の低下を防ぎ、-5℃でも定格能力を維持することができた。

図1に示すように、電気式ヒートポンプに比べ外気温度-5℃で約1.5倍の能力を出すことができる。

2.2 仕様

本ガスエンジンヒートポンプエアコンの仕様を表1に示す。

能力シリーズは、13、16、20馬力の3種類であり、接続できる室内機は最大J280形、最小J22形まで15タイプ87機種を準備している。

特にJ22が接続可能となったことにより、個別空調ニーズに更に対応することができるようになった。

2.3 外観

本ガスエンジンヒートポンプエアコンの外観を図2に示す。

3. ガスエンジンヒートポンプエアコンの課題

3.1 オイル消費量低減

ガスエンジンヒートポンプエアコンのメンテナンス間隔を決めている要因の一つに、オイル消費量がある。オイル消費量が多

*1 技術部主査

*2 技術部GHPエアコングループ主務

*3 名古屋研究所冷熱システム研究室主務

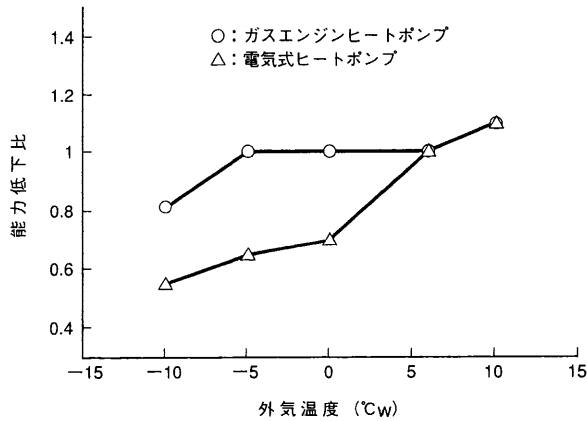


図1 暖房能力低下比 外気温度が低下した場合の電気式ヒートポンプに対し、ガスエンジンヒートポンプエアコンの能力は-5°Cで約1.5倍の能力を確保できる。
Deviation ratio heating capacity

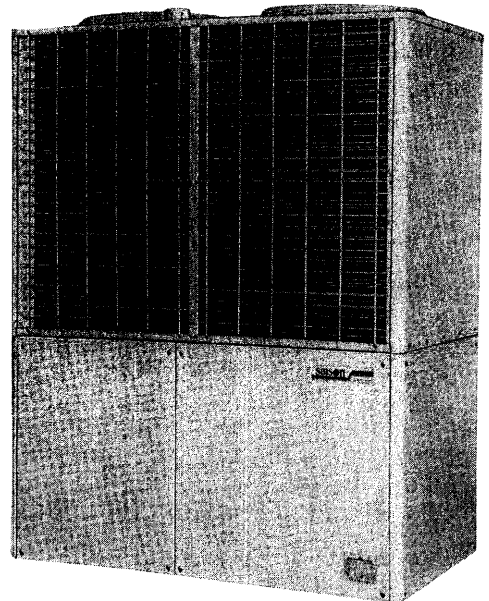
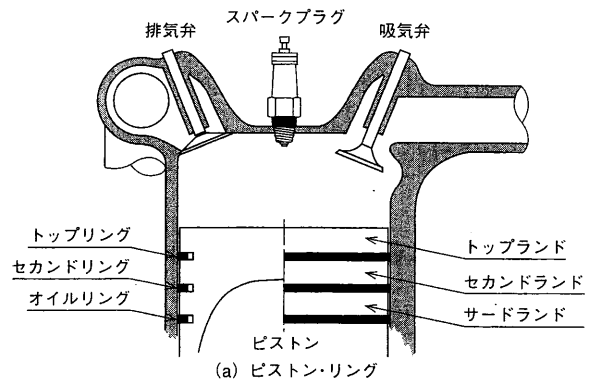


図2 外観 ガスエンジンヒートポンプエアコンの外観を示す。
Appearance

表1 仕様概要

Specification (50/60 Hz)

形 式	単位	GHCJ355HMT2	GHCJ450HMT2	GHCJ560HMT2
冷房能力	kW	35.5	45.0	56.0
暖房能力	kW	42.5	53.0	67.0
高さ×幅×奥行	mm	2 200×1 600×950		
重量	kg	920	960	970
電 源		3相 200 V 50/60 Hz		
消費電力	冷房 kW	0.99/1.04	1.49/1.59	1.54/1.64
	暖房 kW	1.03/1.08	1.58/1.68	1.63/1.73
燃料ガス種		都市ガス13A用		
ガス消費量	冷房 m³N/h	3.23	4.00	4.95
	暖房 m³N/h	3.19	3.91	4.89
エンジン排気量	cc	2 237		
圧縮機押しつけ量	cc	340	454	528
運 転 音	dB(A)	60	61	62
接続可能室内機台数		1~13台(J22~J280)	1~16台(J22~J280)	

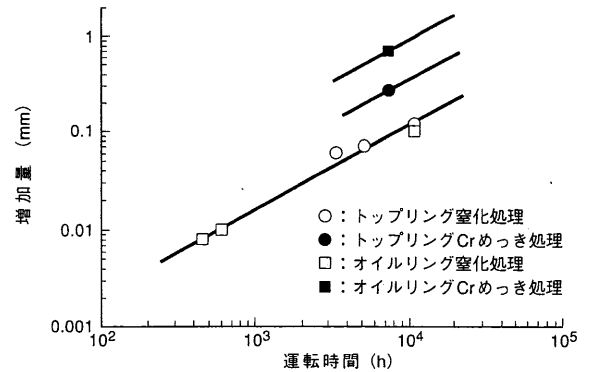


いと有効油量に対し、メンテナンス間隔が短くなる。

ガスエンジンのオイル消費量は、ピストン・シリング間のオイル上がり、ブローパイガス中のオイルミスト、バルブステムとガイド間のオイル下がりに分けることができる。

本ガスエンジンヒートポンプエアコンの開発中に、耐久試験機のオイル消費量が約7200h運転した時点で当初4cc/h程度であったものが、7.7cc/hまで増加した。オイル上がりについて着目し調査した結果、トップリング・オイルリングの摩耗が多いことが分かった。ピストン・リングの関係を図3(a)に示す。トップリングの摩耗が多くなると、セカンドランドの圧力がトップランドの圧力に比べ高くなり、セカンドランドから燃焼室側にオイルが噴き出すことが考えられた。摩耗したリングで、セカンドランドとトップランドの圧力推移とリングの溝内移動をシミュレーション計算した。クランク角度約59°から約107°でセカンドランドの圧力がトップランドの圧力より高くなり、トップリングが溝内を移動していることが分かった。

この結果、セカンドランド中のオイルの一部がトップリングの溝内移動中に燃焼室に噴き出すことが分かった。また、オイルリングの摩耗は、オイルかき下げ能力が低下し、サードランドへのオイル保持量が増し、充満する原因となる。サードランドのオイルは、ピストン下降時セカンドリングの溝内移動時セカンドラン



(b) トップリング・オイルリング合口すきま増加量

図3 ピストン・リング関係及びトップリング・オイルリング合口すきま増加量 Crめっきの場合、窒化処理に比べトップリングで約2.8倍、オイルリングで約10倍摩耗している。

Structure of piston and ring, increase quantity of topring gap and oilring gap

ドに供給される。すなわちサードランドのオイル保持量が増すと、セカンドランドを通じトップランド・燃焼室へ供給するオイル量が増し、オイル消費量が増すことになる。

リング摩耗対策として、リング表面処理をCrめっきから窒化処理に変更することにより、耐摩耗性を向上させた。図3(b)にトッ

プリング、オイルリングの合口すきま増加量を示す。窒化処理することにより耐摩耗性が向上し、20 000 h 後でも 0.2 mm 程度と推定される。また 20 000 h 後の摩耗を推定し、トップランドとセカンドランドの圧力推移とリングの溝内移動をシミュレーション計算すると、セカンドランドの圧力の逆転はなく、オイル消費量の大幅な増加はないと推定できた。

また、オイル上がりによるオイル消費量の一つに、エンジンオイル温度が影響することが分かった。エンジン単体で計測したオイル温度とオイル消費量の関係を図 4 に示す。オイル温度を 10℃ 低下させると、約 1.3 cc/h のオイル消費を低減できることが分か

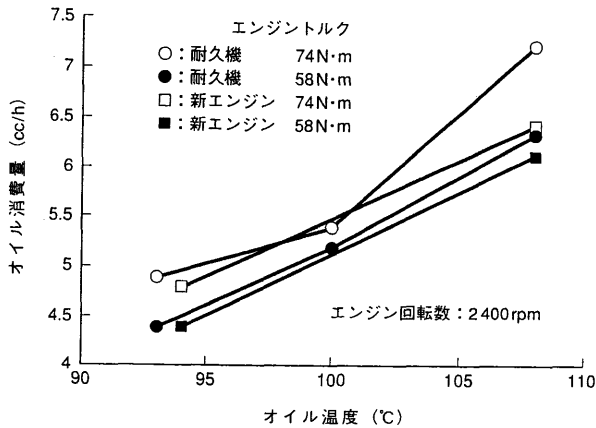


図 4 オイル消費量 オイル温度を 10℃ 低下させると、オイル消費量は約 1.3 cc/h 低減できる。
Oil consumption

った。オイル温度が上昇するとオイル消費量が増加するのは、潤滑面での温度が高くなりエンジンオイルの軽質分が蒸発するため、本エンジンに使用しているオイルはオイル温度が 200℃ を超えると急激に蒸発が進む特性を有している。潤滑面でのエンジンオイル温度を低減するためエンジン内部への冷却水量を増すよう冷却水回路を改良し、オイル温度を約 30℃ 低下することができた。

その結果、冷房定格条件でオイル消費量を約 4 cc/h とすることができた。

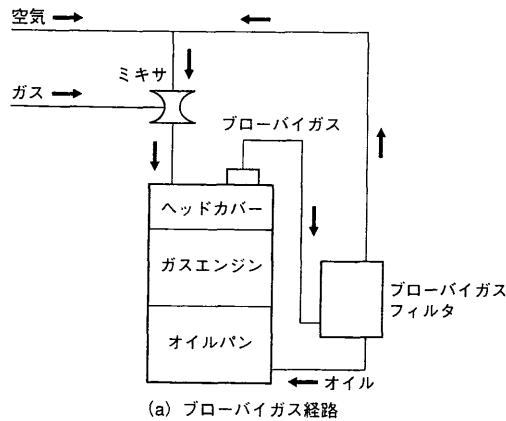
3.2 吸気弁デポジットの低減

ガス用エンジンの吸気弁にたい積したデポジットの量が多いと、それがはがれ落ちバルブシートにかみ込み、圧縮不良に至る問題がある。デポジットたい積量が多い原因の一つとして、ブローバイガス中に含まれるオイルミストが多いことが考えられ、オイルミスト量を減少させるためフィルタを設置した。

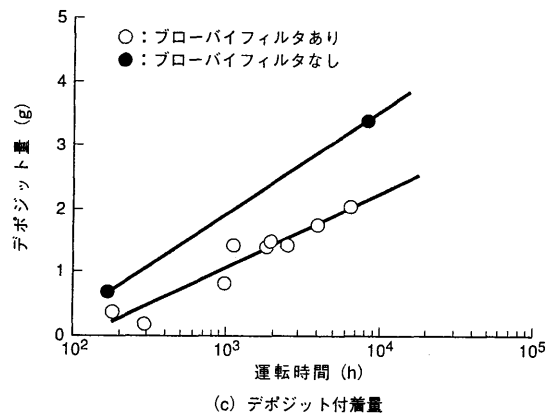
図 5 (a) にブローバイガス経路、図 5 (b) にブローバイガスフィルタの構造を示す。

フィルタエレメントは、ブローバイガス中のオイルミストが吸着しやすい材質のポリプロピレン不織布を積層する構造とした。ケース及びリッドは、ブローバイガス中の水分が凝縮し、オイルと混ざり合うことにより、マヨネーズ状のスラッジが生成し、ガス経路及びフィルタの目詰りに至らないよう、ケース裏面及びリッド表面をヒータにより加熱する必要がある。

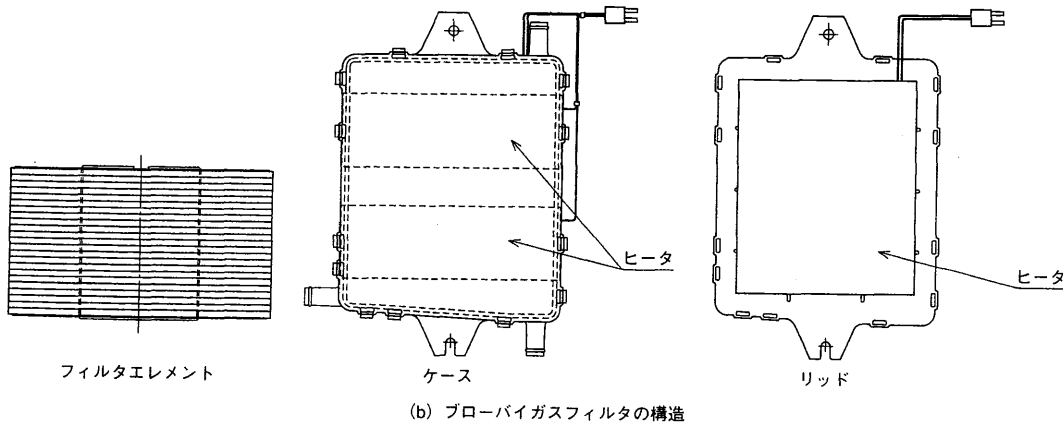
ブローバイガスフィルタ設置による効果を図 5 (c) に示す。ブローバイガスフィルタなしと比較し、デポジット付着量は約 40% 減少しており、ブローバイガスフィルタ設置による効果が大きいことが分かった。



(a) ブローバイガス経路



(c) デポジット付着量



(b) ブローバイガスフィルタの構造

図 5 ブローバイガスフィルタ及びデポジット付着量 エンジンヘッドカバーから排出させるブローバイガス経路にフィルタを設置し、オイルミストを除去する。ブローバイガスフィルタ設置により、デポジット量が約 40% 低減した。
Blow-by gas filter and adhesion quantity of oil deposition

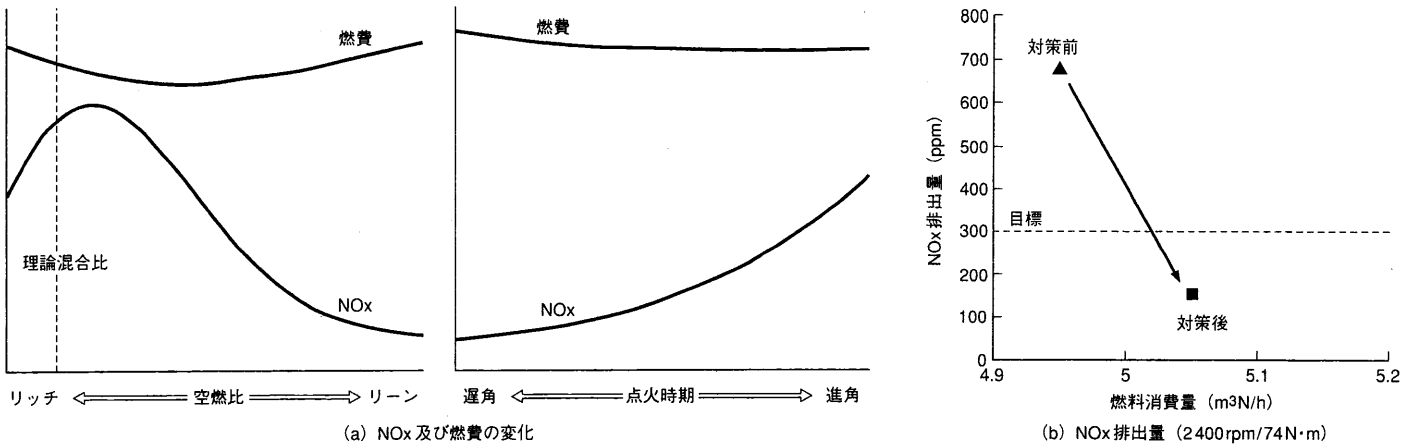


図6 NOx及び燃費の変化 空燃比をリーンにすると、ある比を境に燃費が増加する。空燃比及び点火系を調整し、NOx排出量を300ppm以下とした。
Change of NOx and fuel consumption

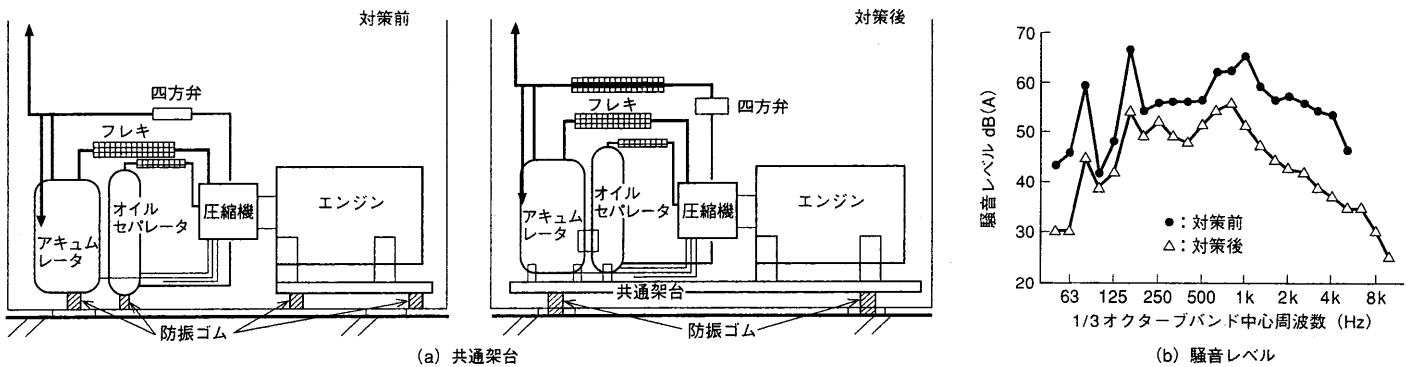


図7 共通架台と騒音レベル 防振桁を共通架台方式とし、固体伝ば音の低減を図った。吸気マフラにより爆発1次80Hz、2次160Hzを減衰させること及び固体伝ば音対策により騒音レベルを62dB(A)程度まで低減できた。
Common beam and sound noise level

3.3 低NOx化

ガスエンジンからのNOx排出に対しては、環境問題の点から大幅な削減が要求される。

空燃比に対するNOxと燃費(燃料消費量)の一般的な関係を、図6(a)に示す。図6(a)から空燃比をリーンにするほどNOx、燃費が低減するが、燃費はある空燃比を境にして再び増加する。この燃費の増加は燃焼が不安定になるためで、燃焼室形状や混合気流動の改良によって改善することが可能である。

点火時期もNOx、燃費に影響を与え、図6(a)に示すように遅角するほどNOxは低減し、燃費が増加する。

本ガスエンジンは、点火時期は遠心・真空進角により、燃料はエンジンの負圧に応じた量をミキサで供給しており、NOxを低減し、燃費が最適になるように点火系及びミキサの調整を行い設定した。その結果図6(b)に示すように、環境庁ガイドライン値300ppm以下を達成することができた。

3.4 低騒音化

騒音低減策として以下の内容を実施し、騒音低減を図った。

3.4.1 個体伝ば音の低減

図7(a)に示すとおり、防振ゴム位置を加振源から離れた位置に

移すとともに、防振桁(けた)の固有振動数を増大させ、エンジンと冷媒回路系を共通架台に載せる方式とし、振動変位を抑えた。その結果、冷媒回路中のアクムレータ、オイルセパレータの液冷媒のたまり量による質量変化の影響がなくなることを広範囲運転で確認した。

3.4.2 空気伝ば音の低減

エンジンの吸気音、特に爆発1次80Hzと2次160Hz対策としてエンジン吸気系に吸気マフラを設けることで、吸気音のレベル低下と音質改善が実現できた。図7(b)に20馬力仕様のガスエンジンヒートポンプエアコン全体の低減効果を示す。

4. む す び

ガスエンジンヒートポンプエアコン用ガスエンジンとして要求される耐久性、排ガスNOx低減及び振動・騒音低減を実現し、都市ガス仕様機を完成した。

今後は地球環境の観点からNOx濃度の更なる低減を目指す。また、メンテナンス費用低減の観点からオイル消費量の低減に取り組んでいく。