

寒冷地向け石油ハイブリッドエアコン RAK-405D1/AD1

RAK-405D1/AD1 Hybrid Air Conditioner for Cold Climate Regions

堀 将人
HORI Masato

寒冷地向けのエアコンとして、暖房運転時に外気および石油を熱源とするハイブリッドエアコン RAK-405D1/AD1を開発した。この製品は、外気温および部屋の暖房負荷により石油を熱源とする冷媒加熱暖房と、外気を熱源とするヒートポンプ暖房の運転を自動的に切り換えることにより、低外気温の寒冷地でも十分な暖房能力が発揮できるとともに、ヒートポンプ暖房によるきめ細かい室温コントロールを実現した。運転モードの切換えはランニングコストの低い運転モードを自動的に選択して運転するため、通常のヒートポンプ暖房または冷媒加熱暖房による単独運転に対しランニングコストの大幅な低減を図った。

We have developed the "hybrid air conditioner" and introduced it on the market in cold climate regions. This new product incorporates an innovative technology by which either heat pump type heating or kerosene heating is selected in an optimum manner. Such selection provides sufficient heating capacity for low outdoor temperatures, comfortable indoor temperature control, and considerable savings in energy costs.

1 まえがき

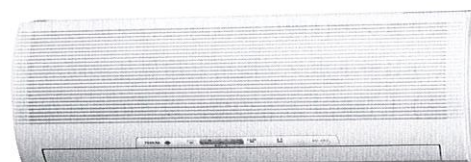
近年、地球温暖化の観点からCO₂排出量の規制や省エネルギー化の推進が図られている。空調業界においても、省エネルギー化と冷暖房性能の向上を推進している。寒冷地においても安全性などの面を考慮し、ファンヒータなどの室内で燃焼し暖房をする方式からヒートポンプ暖房のニーズが高まりつつある。しかし、現状では寒冷地におけるヒートポンプ暖房はいまだ定着していない。その理由として、低温性能が向上してきたが、まだ低外気温時に暖房能力が低下することや、除霜運転による快適性悪化など、ヒートポンプエアコンでは寒冷地対応に限界があるからである。そこで当社は、寒冷地向けに灯油および外気を熱源とするハイブリッド熱源のエアコンを開発した(図1)。以下に製品の概要および特長を述べる。

2 製品概要

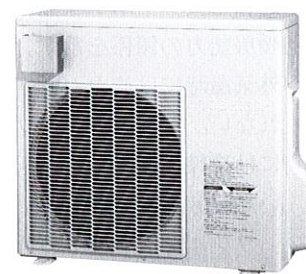
現在、寒冷地向け暖房空調として室外機に燃焼器を搭載した冷媒加熱エアコンが商品化されている。この冷媒加熱エアコンとヒートポンプエアコンの概要を説明した後、新開発のハイブリッドエアコンについて述べる。

2.1 ヒートポンプエアコン

外気を熱源とし、その熱により室内を暖めるのがヒートポンプエアコンの原理である。したがって、外気から熱を吸熱するために室外機熱交換器の温度を外気温より低くする必要があるので、次のような特徴をもっている。



室内ユニット RAK-405D1



室外ユニット RAK-405AD1

図1. 石油ハイブリッドエアコン 4.0kW 室内外ユニットの外観を示す。

Indoor and outdoor units

- (1) 低外気温時には暖房性能悪化 低外気温時には能力が低下し、消費電力は増加する。そのため、低外気になれば立上がり性能も悪化する。
- (2) 運転効率が良い 外気温を熱源としているため(暖房能力/消費電力) > 1であり、経済的であり省エネルギーにつながる。
- (3) 除霜運転が必要 外気中の水分が結露し室外熱交換器に着霜するため除霜運転が必要で、除霜による室温変動は避けられない。

- (4) 室温安定性が良い インバータにより圧縮機回転数を可変できるため低能力域の性能拡大がはかれ、きめ細かな室温コントロールが可能。

2.2 冷媒加熱エアコン

室外機に燃焼器を搭載し、暖房運転時にはガスまたは石油を燃焼させ、その燃焼熱を冷媒と熱交換させコンプレッサによって室内に搬送し暖房するのが冷媒加熱エアコンの原理である。したがって、次のような特徴をもっている。

- (1) 外気温に左右されない高暖房能力 燃焼器による燃焼熱を熱源としているため、外気温に影響されず低温時でも一定の暖房能力を発揮できる。
- (2) 暖房能力<(燃焼入力+電気入力) 燃焼の効率は80~90%であり、この効率は外気温によって変化しないため暖房能力は必ず(燃焼入力+電気入力)より小さい値となる。
- (3) 暖房能力可変範囲に限界 熱源となるバーナの燃焼範囲は限られているため、暖房能力可変範囲も限界があり部屋の暖房負荷が小さいときは断続運転となり室温変動が大きくなる。

2.3 ハイブリッドエアコン

ハイブリッドエアコンとは暖房運転時に外気温および部屋の暖房負荷によりヒートポンプ暖房と冷媒加熱暖房を自動的に選択(切換え)し運転するもので、以下のような特長がある。

- (1) 外気温に左右されない暖房能力 図2に冷媒加熱運転とヒートポンプ運転のおおのこの外気温における暖房能力の関係を示す。ヒートポンプ運転の場合、低外気温時には能力が低下してしまい十分な性能を得られない。しかし、ハイブリッドエアコンは低外気温時には冷媒加熱運転を選択するので外気温に左右されない高暖房能力が発揮できる。
- (2) ランニングコストの低減 図3に外気温発生時間

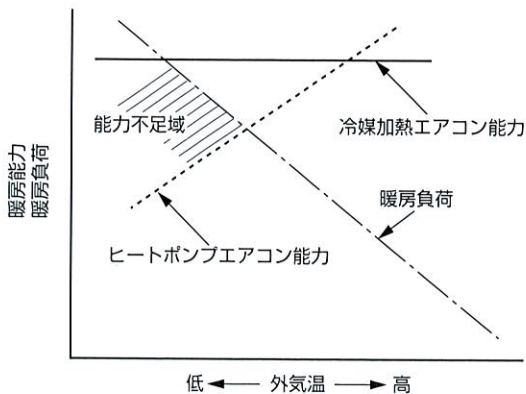


図2. 外気温による暖房能力変化 暖房負荷の変化に応じた暖房能力の変化を示す。ハッチング部はヒートポンプ運転では能力不足となる。

Variation of heating capacity with outdoor temperature

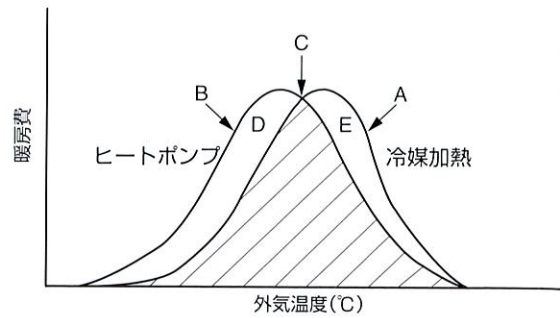


図3. 外気温発生時間を考慮した暖房費比較 冷媒加熱運転とヒートポンプ運転の暖房費は外気温により異なる。

Cost of heating operation (according to outdoor temperature)

を考慮した外気温における暖房費の関係を模式的に示す。この図の暖房費とは、ある外気温における消費電力と灯油流量に、暖房運転期間中その外気温の発生時間を掛け、さらに各動力源の単価を掛けたものである。この図より冷媒加熱単独運転の場合はAで囲まれた面積が暖房費となる。同じようにヒートポンプ単独運転の場合はBで囲まれた面積が暖房費となる。ここでC点の外気温で冷媒加熱運転とヒートポンプ運転を切り換えた場合斜線で囲まれた部分の面積がハイブリッドエアコンの暖房費となりヒートポンプエアコンと冷媒加熱エアコンおのおのに対し暖房費は低減できる。

- (3) 暖房立上り性能の向上 暖房運転起動時はつねに冷媒加熱運転で起動させることにより、外気温に左右されずに室温をすばやく暖めることができる。この立上り時の性能はファンヒータと同等であり、低外気温時のヒートポンプ運転に対し大幅に立上り時間の短縮ができる。
- (4) 室温コントロール特性向上 空調する部屋の負荷が小さくないとき(高外気温時や室温安定時)ヒートポンプ運転を行うことで、従来の冷媒加熱機種やファンヒータに対し、きめ細かな暖房運転が実現でき、ムラのない快適空調が可能である。

3 ハイブリッド技術

3.1 サイクル

図4にサイクルを示す。冷媒加熱サイクルの場合、図中の冷媒加熱器で暖められた冷媒をコンプレッサによって室内機に搬送し、室内熱交換器で室内空気と熱交換させることにより暖房を行う。室内機で熱交換された冷媒は再度室外機に戻り加熱器で加熱されるサイクルである。この場合、コンプレッサは単に熱搬送の役割しかしないため消費電力は低く抑えられる。ヒートポンプサイクルの場合は、室外熱交換器の温度を外気温より低くし外気温から熱を吸熱

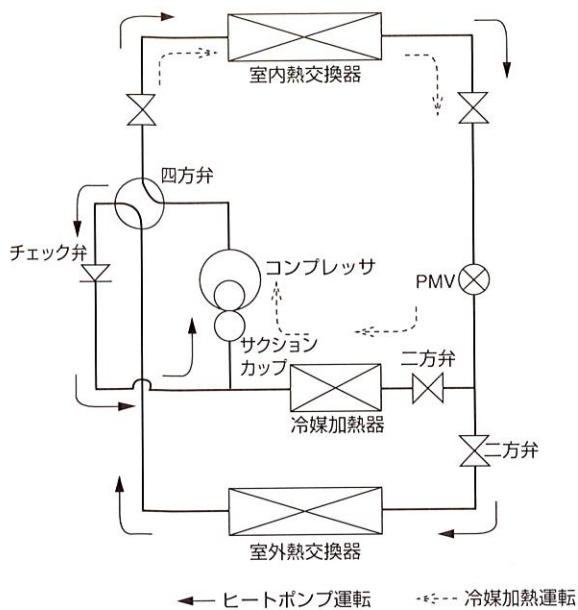


図4. ハイブリッドサイクル ヒートポンプ運転、冷媒加熱運転のときの冷媒の流れを矢印で示す。

Hybrid cycle of refrigerant

する。その冷媒をコンプレッサによって高温高圧とし室内熱交換器に流入させ室内空気と熱交換させることで暖房を行う。室内熱交換器で放熱した冷媒はPMV (Pulse Motor Valve) を通り外気温度より低い冷媒となり再度外気から吸熱する。

冷媒の流れは図中の矢印の通りであり、モリエル線図上に表すと図5のようになる。

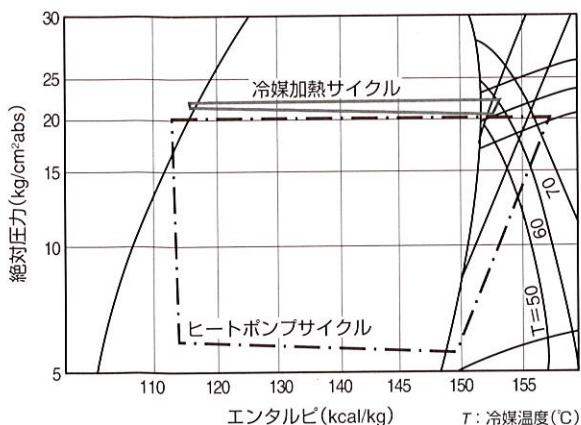


図5. モリエル線図 冷媒加熱運転はヒートポンプ運転より消費電力は低い。

Mollier diagram of refrigeration cycle

3.2 加熱器およびバーナ

冷媒加熱運転を行うためには、燃焼を行うバーナ部と冷媒を安定して加熱できる加熱器が必要となる。今回バーナ

部に関しては、燃焼コストの低減を考え安価な灯油による燃焼を採用した。バーナ部の構造は図6のような回転霧化式の構造とした。燃焼の原理はノズルから滴下した灯油は回転している拡散板によりヒータの内周に飛散し気化されファンから送られてくる燃焼空気(一次および二次空気)と混合されバーナヘッドから噴出し炎孔を形成する。このような気化式のバーナの場合、タールや煤(すす)の発生に十分注意する必要がある、バーナ内の構造検討や、気化器内の温度コントロールを行いタールや煤の発生を防止した。加熱器に関しては、当社がすでに開発し寒冷地で実績のある冷媒加熱機種用に用いられている加熱器を採用した。

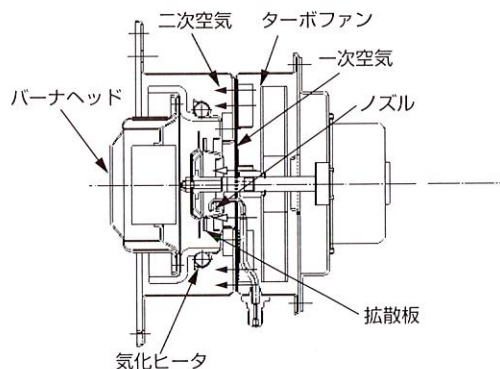


図6. 回転霧化式石油バーナ ノズルから滴下した灯油は回転している拡散板によりヒータの内周に飛散し気化される。

Burner unit

3.3 運転モード切換えの考えかた

ハイブリッドエアコンの特長である運転モードの自動選択(切換え)について説明する。図7は横軸に外気温度、縦軸に能力および負荷をとった図である。これを用い運転モードの切換えについて説明する。図中の暖房負荷とヒートポンプ最大運転能力との交点をPとする。交点P点より外

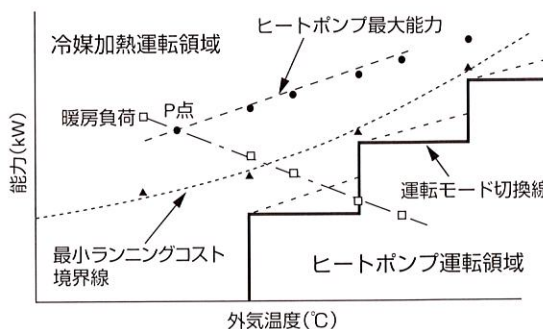


図7. ハイブリッド切換えマップ 階段上の運転モード切換え線より能力が低い運転の場合はヒートポンプ運転を行い、それ以上の能力の場合は冷媒加熱運転を行う。

Control map of hybrid operation

気温が低い場合、ヒートポンプ運転では能力不足となるため冷媒加熱運転を行う。また、交点Pより外気温が高い領域においても、ヒートポンプ運転で除霜に入る領域では冷媒加熱運転を行い除霜により室温変化を防止した。

次に、図中の最小ランニングコスト境界線について説明する。通常、室内負荷が大きくなると冷媒加熱運転はヒートポンプ運転と比較しランニングコストは安くなる。また、室内負荷が小さくなるとその逆にヒートポンプ運転のほうがランニングコストは安くなる。このランニングコストが安くなる境界線が最小ランニングコスト境界線である。交点Pより外気温が高く、除霜域以外の領域では、この境界線に近似させるように運転モードを切り換えるようにした。制御性も考慮し運転モード切替点は外気温、能力にておのおの3点で切り換えることにした。最終的に決定した切替線を図中の階段状の運転モード切替線で示す。

4 石油ハイブリッドエアコンの性能

4.1 シミュレーションによる暖房費算出

ハイブリッド切替えによる年間暖房費のシミュレーションを行った。通常、年間暖房費はJIS C 9612による算出が一般的である。この方法は空調負荷と外気温発生時間を基に年間暖房費を算出しているが、実際の空調負荷は室内外の温度以外に日射、人体代謝、照明、室内機器類からの放熱がある。また、外部から部屋に与えられた熱量は時間的なファクタも考慮しなくてはならない(非定常伝達)ため正確なものではない。そこで、以上のことを加味した実際の空調負荷に近いシミュレートが可能であるLESCOM80^(注1)という空調負荷シミュレーションコードをこのハイブリッド機種用に応用し年間暖房費を算出した。各地域における年間暖房費の結果を表1に示す。この表からもわかるようにハイブリッド運転を行うことでヒートポンプ単独・冷媒加熱単独運転に対し大幅に暖房費を低減できることがわかる。

4.2 運転モード切替え時の特性

実際に室内負荷・外気温が変化し運転モード(冷媒加熱/ヒートポンプ)が切り換わった場合の、室温変化特性は快適性の面から重要なポイントとなる。

表2に運転モード切替え時の室温変化幅を示す。この表からもわかるように運転モード切替えによる室温低下は2K以内であり、当社環境試験室にて実機確認し10人中9人までが2K以内の温度変化であれば快適性を損なわないと判断した。

4.3 低温立上り性能

この製品は-20℃という低外気温においてもサイクルの

(注1) LESCOM80は日本住宅設備システム協会を中心として研究開発されてきた空調負荷シミュレーションである。

表1. 各地域における暖房費比較
Running cost of heating operation

地域	設定温度	暖房費					
		ハイブリッド運転		ヒートポンプ単独		冷媒加熱単独	
		標準住宅	省エネルギー住宅	標準住宅	省エネルギー住宅	標準住宅	省エネルギー住宅
札幌	27℃	93,200	66,200	130,300	82,900	108,100	83,800
盛岡	23℃	75,300	50,100	97,300	58,200	89,100	67,200
松本	23℃	85,300	46,200	115,900	56,200	98,600	61,500
仙台	23℃	75,400	39,400	95,200	45,300	89,600	55,600
東京	23℃	64,700	52,100	77,100	59,200	84,200	74,600

暖房費算出条件：寝室12畳、運転時間6:00～24:00電気代23円/kWh、灯油代50円/l

各地域における住宅負荷と暖房期間

地域	住宅負荷(kcal/m ² h℃)		暖房期間
	省エネルギー住宅	標準住宅	
札幌	1.5	2.8	9/25～6/9
盛岡	2.3	3.6	10/10～5/29
仙台	2.7	4.4	10/16～5/14
松本	2.7	4.4	9/23～5/7
東京	3.4	4.8	10/28～4/14

表2. 運転モード切替え特性

Operating mode selection characteristics

運転モードの切替え	切替え前の安定時室温	切替え後の最小室温	温度低下幅
冷媒加熱→ヒートポンプ(外気温2℃)	24.1℃	22.3℃	1.8K
ヒートポンプ→冷媒加熱(外気温-5℃)	22.8℃	21.7℃	1.1K

当社環境試験室にて測定

室温：室内空間60か所の平均温度

には十分な暖房能力を発揮することを確認している。図8は、実際にセットを据え付けた条件での起動特性を当社環境試験室にて確認した特性である。当社環境試験室における最低外気温である外気温-10℃時における起動時の室温変化特性を示す。この図からわかるように-10℃という低外気温においても十分な暖房能力を発揮することができる。

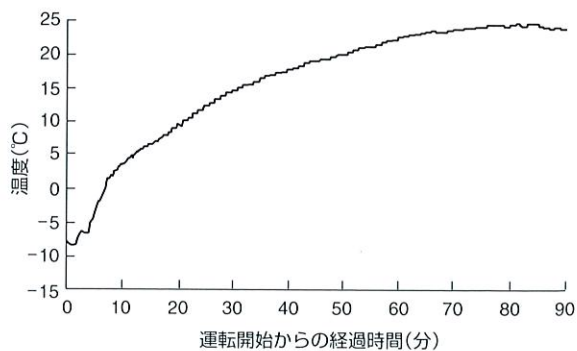


図8. 低外気温起動時の特性 外気温-10℃にて一昼夜放置した状態で運転を開始した場合の室温特性を示す。十分な暖房能力を発揮することがわかる。

Performance in low-temperature conditions

4.4 寒冷地向け他暖房器との比較

ここで、寒冷地で普及率の高いファンヒータとの比較をする。立上り時間や低温時の暖房性能などはどちらの機種も燃焼器により暖房を行うため大きな優位性はない。しかしファンヒータの場合、室温コントロール特性に関しては表3に示すように室温分布にムラがあり局所的に空調されていることが室温平均温度と床面平均温度の差からわかる。また、ファンヒータ運転中は定期的に換気が必要とし安全

表3. 当社ファンヒータとの比較(外気温2℃)
Comparison of performance to fan-heater

機 種	設定温度	立上り時間		安定時室温	
		室温平均	室温平均	室温平均	床面平均
石油ハイブリッド エアコン	23℃	18分	19分	22.6℃	21.9℃
	27℃	30分	31分	21.9℃	26.6℃
ファンヒータ	23℃	14分	26分	26.5℃	21.0℃
	27℃	17分	30分	29.4℃	23.0℃

当社環境試験室にて測定

床面平均：床面5cmの平均温度
室温平均：室内空間60か所の平均温度

性、快適性の面では石油ハイブリッドエアコンのほうが優れていると言える。

5 あとがき

石油ハイブリッドエアコンは当社で培ってきた冷媒加熱空調の技術をより発展させ、快適性・省エネルギー性を追求した製品である。この製品により、従来のヒートポンプ機種の普及率が低い寒冷地はもとより一部温暖地にも今までにないハイブリッド暖房の快適性・経済性を訴求していく。これからも快適空調・省エネルギーによる地球環境にやさしい商品の開発を続けていきたい。



堀 将人 HORI Masato

富士工場 空調機器設計部。
冷媒加熱式エアコンの開発・設計に従事。
Fuji Works