

新冷媒使用 高性能ルームエアコン RAS-405BD

RAS-405BD High-Performance Room Air Conditioner with New Refrigerant

荒川 裕幸
ARAKAWA Hiroyuki

金澤 秀俊
KANAZAWA Hidetoshi

田熊 順一
TAKUMA Junichi

ルームエアコンに従来使用されてきたHCFC冷媒の代替化として、当社はHFC系冷媒(R-410A)を選定した。そしてこの冷媒を、家庭用エアコンとしては大能力の冷房定格4kWクラスに適用したRAS-405BDを開発した⁽¹⁾。

この商品は、新冷媒の利点を最大限に引き出す要素部品および制御技術開発により大幅な省エネルギー化(以下、省エネ化と略記)、高効率化および高力率化を達成した。また、従来このクラスは一般に200V電源を必要としたが、最大消費電力の低減により既設配線で据付できる電源100V化を業界で初めて実現した。HFC冷媒採用の課題の一つは、漏れ電流増加への対応である。今回開発した漏れ電流補償回路は、コンプレッサからの漏れ電流を低減し、機器の効率アップができた。

We have selected HFC-410A as the most appropriate alternative refrigerant to replace HCFC-22 for use in room air conditioners. The RAS-405BD high-performance room air conditioner with a 4 kW-class rated cooling capacity has been developed as a large-capacity appliance for home use.

The development of key components and control technology maximizing the advantages of the new refrigerant has resulted in remarkable energy-saving, high efficiency, and a high power factor. Moreover, by decreasing the maximum power consumption we have realized the first air conditioner in the industry that can operate on the standard 100 V installed home power supply. One problem with the newly adopted HFC refrigerant is how to handle the increased leakage current. The active EMI filter we have developed for this air conditioner not only decreases in leakage current from the compressor but also enhances the efficiency of the appliance.

1 まえがき

家庭用ルームエアコンは、年間を通じて快適な住環境を消費者に提供する商品として普及・発展してきた。

しかし、近年地球環境問題がクローズアップされ、オゾン層保護および地球温暖化防止への取組みが、冷凍・空調業界にとって急務となってきた。

現在、ルームエアコンの冷媒として広く使用されているHCFC(Hydro Chloro Fluoro Carbon)-22(以下、R-22と略記)は、1995年末までに全廃となったCFC(Chloro Fluoro Carbon)に比べオゾン層破壊への影響は約1/20と小さいが、基本的に塩素原子を含むため、モントリオール議定書により96年から総量規制が始まり、2004年から段階的削減、2020年に全廃される(図1)⁽²⁾。また、温暖化対策(二酸化炭素(CO₂)の排出削減)として省エネ化に対する社会ニーズが高まっており、システム効率の高い機器の開発が注目されている。

こうした状況への対応のため、当社はルームエアコンへの代替冷媒転換として、従来のR-22に対してODP(オゾン層破壊係数)が“ゼロ”のHFC(Hydro Fluoro Carbon)-410A(以下、R-410Aと略記)を採用すると同時に、大幅な

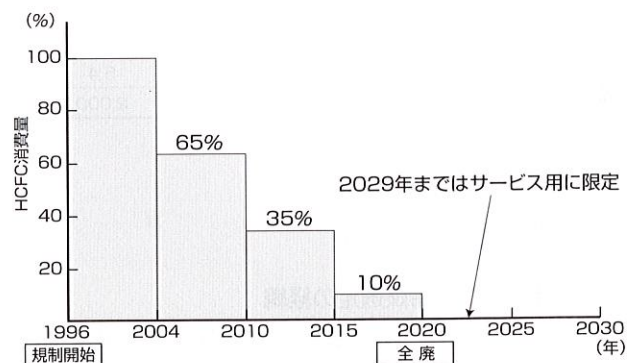


図1. HCFC削減スケジュール(UNEP:国連環境計画) 1989年の(HCFC消費量)+(CFC消費量) $\times 2.8=100$ としている。
Phaseout schedule for HCFCs

省エネ化を図った冷房定格能力4kWクラスでは業界で初めての100V電源仕様のワイドリビング用エアコン“RAS-405BD”を商品化した(図2、表1)。

ここでは、R-410A冷媒に対応する製品開発のために取り組んだ主な技術開発事項および技術課題の一つである漏れ電流増加への対応策について述べる。

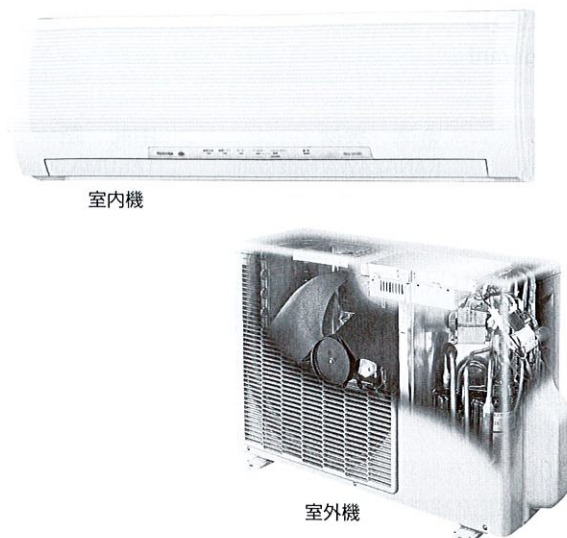


図2. 新冷媒高性能ルームエアコン ワイドリビング用エアコンとして業界初の100V電源化を達成した。
RAS-405BD high-performance room air conditioner

表1. 新冷媒(R-410A)採用機種と従来機種との性能比較
Performance specifications of development model

項目	RAS-405BD (新冷媒採用)	RAS-406SD (従来冷媒採用)
使用冷媒	R-410A	R-22
電源	単相100V 20A	単相200V 15A
冷房性能	能力(kW)	4.0
	入力(W)	1,350
暖房性能	能力(kW)	6.0
	入力(W)	1,700
暖房低温性能 (外気温2℃)	能力(kW)	5.4
	入力(W)	1,650

2 要素部品開発の概要

2.1 R-410A冷媒選定の経緯

当社は、冷媒メーカーから提案されたHFC系冷媒をR-22の有力代替冷媒として着目し、以下の観点から冷媒の候補を絞り込み評価を行った。

- (1) オゾン層を破壊しない(ODPがゼロ)。
- (2) 安全性(無毒・不燃性など)が高い。
- (3) 熱物性値的に効率が低い。
- (4) 熱的、化学的に安定性が高い物質である。
- (5) 温暖化への影響が小さい。
- (6) 温度-圧力特性はできるだけ現状のものに近く、機器の設計変更を最小限に抑えられること。

なお、単一冷媒ではR-22の特性に近いものがなく、冷媒の候補はすべてHFC冷媒を2種類か3種類混合したものであった。

検討の結果、つぎの理由からHFC系冷媒の2種混合冷媒R-410Aをルームエアコンの新しい冷媒として採用した。

- (1) ルームエアコンの性能向上が見込める。
- (2) 混合冷媒だが、擬似共沸性^(注1)で取扱いが容易である。
- (3) 作動圧力はR-22と比べ約1.6倍と高いが耐圧設計的に対応可能である。

R-410Aは、冷媒R-32とR-125を50/50wt%の割合で混合したもので、R-22との物性の比較を表2に示す。

表2. 新冷媒(R-410A)と従来冷媒(R-22)の物性比較
Characteristics of new R-410A and conventional R-22 refrigerants

項目	新冷媒(R-410A)	従来冷媒(R-22)
組成 (wt%)	R-32/R-125 (50/50)	R-22 (100)
分子量	72.6	86.5
沸点 (℃)	-51.4	-40.8
蒸気圧 (25℃, MPa)	1.56	0.94
飽和蒸気密度 (25℃, kg/m ³)	64.0	44.4
燃焼性	不燃性	不燃性
オゾン層破壊係数 (ODP) (CFC-11を1として)	0	0.055
地球温暖化係数 (GWP)	1,730	1,700

温暖化への影響にはGWP(地球温暖化係数)、TEWI(総合温暖化因子)がある。GWPとは冷媒が大気中に放出されたときの温暖化に与える影響度をCO₂と相対比較で表す指標で、R-410Aは従来のR-22とほぼ同等である。

これとは別に、温暖化を測る指標としてTEWIが用いられている。TEWIとは、機器に充填(てん)された冷媒が大気中に放出された場合に、冷媒自身が地球温暖化に与える影響度(直接効果: GWP×大気への放出量)と、機器寿命期間中の運転に必要な総エネルギー(電力など)の発生時に生ずる温暖化ガス(CO₂など)の影響(間接効果)を合計したものである。

R-410AはR-22に対して飽和蒸気密度が高く、同一体積循環量での冷凍能力が約1.4倍と大きい。このため、R-22使用機器と同一能力を発揮するときの体積循環量は約70%でよく、配管内の圧力損失が小さくなり機器としての効率が向上する。

ここで、表1の性能からTEWIを試算すると、R-410A冷媒採用機種RAS-405BDは、従来冷媒(R-22)機種に対して省エネ化の結果、約10%低下し温暖化抑制の効果が現れている。試算条件と結果を図3に示す。

(注1) 飽和状態に達したとき、混合冷媒を構成している各冷媒の沸点温度が近い値になること。

試算条件

冷房時間：350時間/年 暖房時間：450時間/年 稼働年数：12年
 冷媒充填量(RAS-406SD)：0.89kg、(RAS-405BD)：0.88kg
 廃棄時の冷媒漏えい量：15% 稼働時の冷媒漏えい量：0.1%/年
 発電の際に発生するCO₂量：0.473kgCO₂/kWh
 冷房性能、暖房性能は表1による

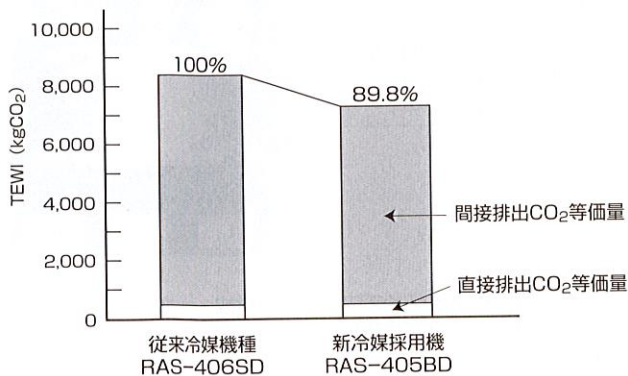


図3. TEWIの試算 RAS-405BDはR-22冷媒機種(RAS-406SD)に比べTEWI値を約10%改善している。

TEWI calculation results

2.2 R-410A 対応コンプレッサの開発

コンプレッサは、当社のデジタル制御ツインロータリコンプレッサをベースに、R-410A冷媒の特性に対応してシリンダ排除容積の最適化を行った。また、高圧化に伴う機械損失の増加を抑制するため、圧縮室ディメンジョンの最適な組合せを選定した。

潤滑油は、HFC冷媒と相溶性(潤滑油と冷媒が互いに溶け合う性質)があるポリオールエステル油(以下、POEと略記)の分子構造を改良して加水分解安定性を図ったものを採用した。また、機械摺(しゅう)動部の潤滑性とシール性を確保するため油の粘度を高めている。潤滑性能は、金属接触測定などにより従来と同等以上であることを確認している。図4に構造を示す。

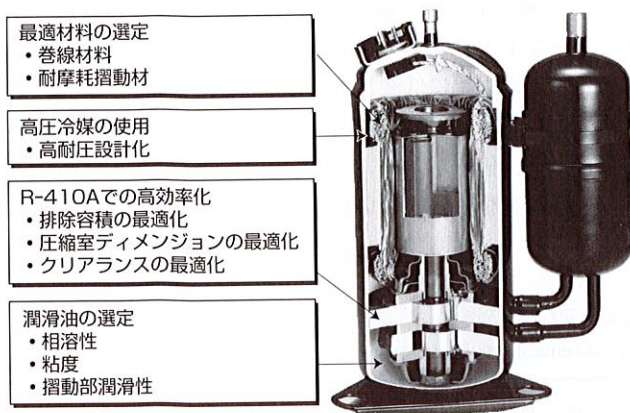


図4. 新開発コンプレッサの構造 当社の直流制御ツインロータリコンプレッサをベースにR-410A化対応を実施している。
 Structure of new compressor(for R-410A)

2.3 高性能熱交換器の開発

熱交換器は、熱の吸収と放熱を行う働きがあり、コンプレッサとともに重要な機能部品である。従来から管内を通る冷媒ガスの流れを変化させて凝縮、蒸発の熱伝達を向上させるために、管内面に細い溝をらせん状に付けた銅管を採用していた。

今回採用した高性能伝熱管は、配管内の圧力損失が小さくなるR-410Aの特性を利用して溝の深さと形状の最適化を図り、冷媒との接触面積の増加と冷媒衝突による管内乱流作用を促進させ、熱交換性能を大幅に改善している。

3 R-410Aの誘電率と漏れ電流

HFC冷媒とPOE油の組合せは、HCFC(R-22)と鉱油の組合せと比べ誘電率が大きい。そのため、インバータ制御コンプレッサで密閉型構造の場合、潤滑油、冷媒、巻線が同一ケース内に存在するので漏れ電流が増加する報告がされている⁽³⁾。ここではその対応策について述べる。

3.1 漏れ電流補償回路の原理

インバータを用いてコンプレッサを駆動すると、PWM(Pulse Width Modulation)に同期してコンプレッサ内部の巻線とケース間に、冷媒の静電容量により高周波の漏れ電流が流れる。エアコンの漏れ電流値は電気用品取締法で1mA以下に規制されているため従来のインバータエアコンでは下記の方法で漏れ電流低減を行っていた。

- (1) PWMのキャリア周波数調整
- (2) PWM波形改善
- (3) モータ巻線の表面積の低減

しかしどの方法も抜本的な改善ではないため、最終段階での調整を必要とした。またHFC冷媒の採用で、従来冷媒に比べ比誘電率が表3のように上がり漏れ電流が増加する傾向にあるため何らかの対策を必要とした。

表3. 冷媒および潤滑油の比誘電率

項目	比誘電率		
	従来冷媒 (R-22)	新冷媒 (R-410A)	
冷媒		R-32	R-125
	5.560	11.268	4.141
潤滑油	従来潤滑油 (鉱油)	新潤滑油 (POE)	
	1.93	2.55	

冷媒の比誘電率：40℃での値(液状態)
 潤滑油の比誘電率：50℃での値

当社は、長岡技術科学大学高橋勲教授と共同で、コンプレッサから流れる電流を大幅に低減させる漏れ電流補償回

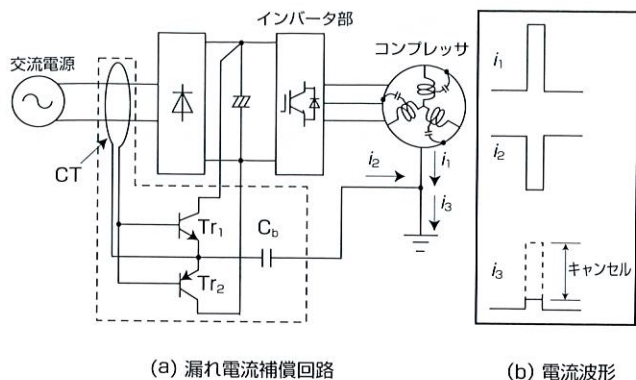


図5. 漏れ電流補償回路の構成と電流波形 漏れ電流 i_1 を打ち消すような補償電流 i_2 を流すことで、アースに流れる漏れ電流 i_3 を大幅に低減することができる。

Configuration and current waveforms of leakage current compensation circuit

路を開発し、量産化に成功した。

漏れ電流補償回路の原理について、図5の(a)で回路構成、(b)で電流波形を示す。補償回路はコモンモードCT(電流センサ)、トランジスタ Tr_1 、 Tr_2 、コンデンサ C_b とで構成される。モータからの漏れ電流 i_1 をCTで検出し、トランジスタをスイッチングすることで漏れ電流 i_1 を打ち消すような補償電流 i_2 を流す。これによりアースに流れる漏れ電流 i_3 を大幅に低減させることができる。

3.2 漏れ電流補償回路の構成と効果

図6にエアコン用インバータの回路構成を示す。インバータ回路には、従来から電源入力部のAC側と整流平滑後のDC側に、コンデンサとコイルを組み合わせたノイズ除去用パッシブフィルタを使用している。今回DC側のノイズフィルタに漏れ電流検出部を設け、パッシブフィルタとアクティブフィルタを兼ねるノイズフィルタを開発し、漏れ電流補償回路に応用した。

図7に、開発した漏れ電流検出用ノイズフィルタを示す。

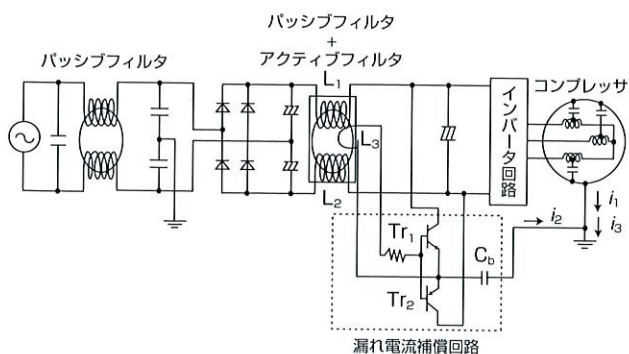


図6. インバータ回路構成 漏れ電流補償回路を搭載したインバータ回路の構成を示す。

Configuration of inverter circuit

コア	フェライト
巻線 ターン数	L_1, L_2 : 10ターン L_3 : 1ターン
構造	6本取付け足
インダクタンス	600 μ H
定格電流	15A

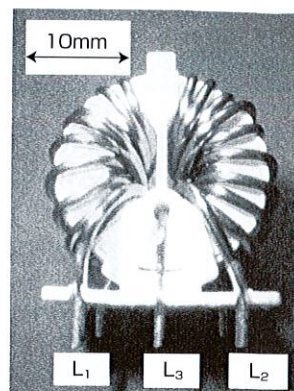


図7. 漏れ電流検出用ノイズフィルタの構成 従来のノイズフィルタ(L_1, L_2)の中間に漏れ電流検出部(L_3)を追加した。

Noise filter

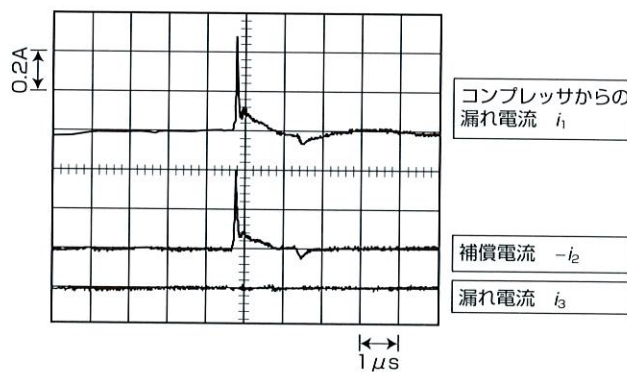


図8. 漏れ電流補償波形 インバータエアコンでのコンプレッサからの漏れ電流、補償電流、アースへ流れる漏れ電流の関係を示す。Leakage current compensation waveforms

従来のノイズフィルタ(L_1, L_2)の中間に漏れ電流検出部(L_3)を追加したもので、従来と同一寸法とした。

図8に、漏れ電流補償回路が動作した場合のコンプレッサからの漏れ電流 i_1 、補償電流 i_2 、漏れ電流 i_3 の波形を示す。コンプレッサからの漏れ電流と逆位相の電流 i_2 が流れ、漏れ電流 i_3 が大幅に低減していることがわかる。

表4に、漏れ電流補償回路の有無によるコンプレッサからの漏れ電流値を示す。

漏れ電流補償回路がない従来システムでHFC冷媒を使用

表4. 漏れ電流測定値
Measurement results

項目	従来システム(補償回路なし)と新冷媒(R-410A)	新システム(補償回路あり)と新冷媒(R-410A)
コンプレッサからの漏れ電流 (mA)	0.40	0.05

すると規制値1mAを満たさないことがある。しかし、この補償回路を使用するとコンプレッサからの高周波の漏れ電流は大幅に低減され、規制値を満たす。

この結果、コンプレッサの効率向上を目的とした電動機の巻線仕様、材料の選定ができ、また高周波の漏れ電流を低減することにより150kHz～1MHz帯の雑音端子電圧も約10dB低減できた。

この漏れ電流補償回路は、専用ノイズフィルタを用いることで、より小型化やコストダウンが実現できる。

4 あとがき

今回開発した漏れ電流補償回路は、コンプレッサからの漏れ電流と逆位相の電流を流すことでHFC冷媒化の課題の一つである漏れ電流増大への対応が実現できた。この結果、今後の機種展開上、効率を重視したコンプレッサ電動機的设计ができる。

冷媒R-410Aを用いた空調機器の市場導入は、空調業界全体の動きであり他社においても始まっている。当社は、主力である2.8kWクラスの機器にも順次R-410A機種を導入していき、2003年から05年までに大方の冷媒転換が完了するよう計画を進めている。

市場導入にあたっては、インフラ整備も重要であり関係先業界(流通、販売、据付け、サービス、設備業者など)の協力を得てPR活動、技術教育などを推進中である。

今後、さらに機器の省エネ化を進める一方、省資材化を追求し環境に即そ“やさしい”ルームエアコンを開発していく方針である。

文献

- (1) 佐野哲夫. 新冷媒採用ルームエアコンの開発. 冷凍. 73, 846, 1998, p.64-68.
- (2) 上田孝. オゾン層保護に対する日本の施策. 冷凍. 72, 835, 1997, p.3-7.
- (3) 杉本榮一監修. 最新新冷媒絶縁システム. 大阪府高槻市, (株)シー・エフプランニング, 1996, 322.



荒川 裕幸 ARAKAWA Hiroyuki

富士工場 エアコン設計部主務。
ルームエアコンの開発・設計に従事。日本機械学会会員。
Fuji Works



金澤 秀俊 KANAZAWA Hidetoshi

富士工場 開発技術部参事。
ルームエアコン用制御器の開発に従事。電気学会会員。
Fuji Works



田熊 順一 TAKUMA Junichi

富士工場 開発技術部。
ルームエアコン用室外制御器の開発に従事。電気学会会員。
Fuji Works