自動販売機の環境適合技術

木村　幸雄（きむら　ゆきお）　　篠原　　淳（しのはら　じゅん）　　土屋　敏章（つちや　としあき）

1　まえがき

わが国では，オフィス，商業施設，公共施設，街角に設置された多くの自動販売機が各種商品の販売やサービスの提供に使用されており，生活の利便性の向上に寄与している。

一方，地球環境を守りながら持続的な発展を図ることが大きな課題である現在，自動販売機においても環境に配慮した設計や製造プロセスを実現することが社会的な責務となっている。

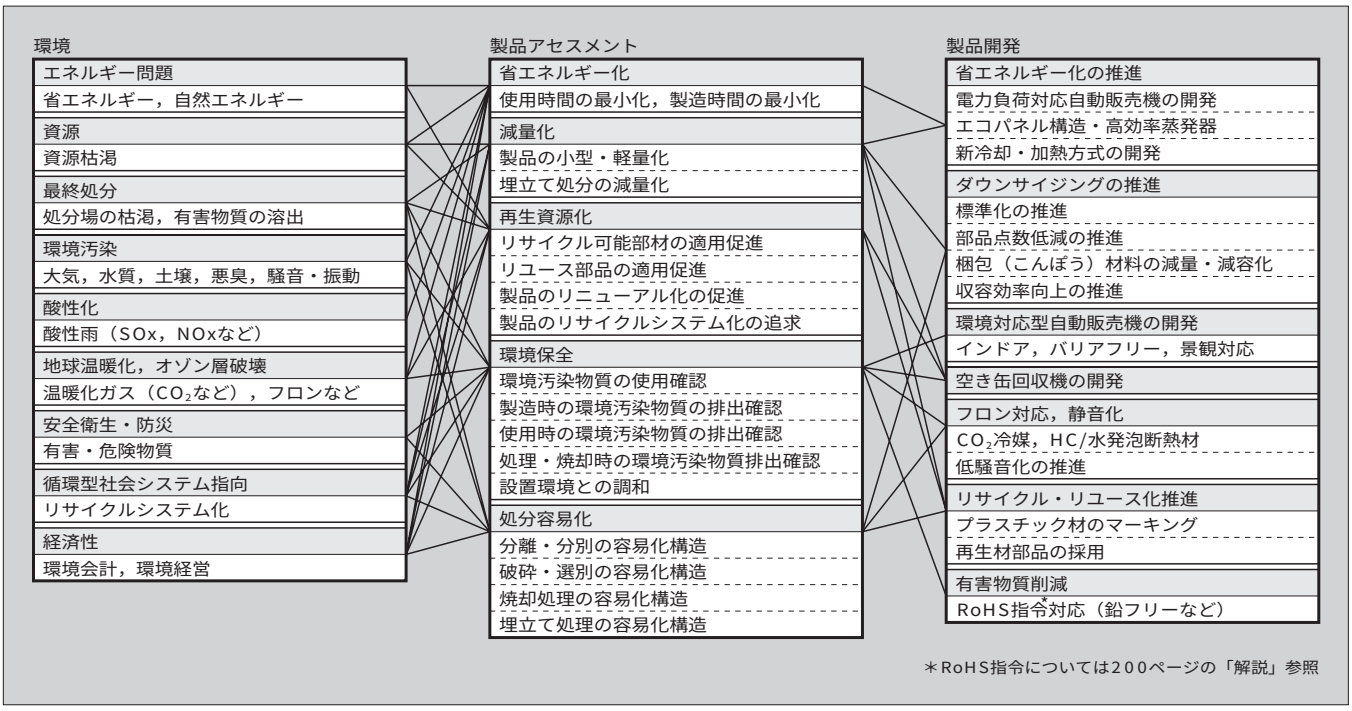
富士電機では，従来から自動販売機についてのライフサイクルアセスメント（LCA）システムを構築し，環境影響評価とそれに基づく製品の環境負荷低減を進めてきている。[(1), (2)]

自動販売機と環境の関連を**図1**に示す。左が環境側面であり，自動販売機にまつわる環境問題を表している。中央はこれらの問題の定量的分析による製品アセスメントの取組みであり，いわゆる3R（リデュース，リユース，リサイクル）や有害物質削減の活動である。富士電機はこれらの取組みの結果として**図1**の右に示すような製品や技術開発につなげてきた。

LCAによる分析結果からみると，自動販売機の環境影響は材料調達段階，最終処分段階，使用運転段階での影響が大部分を占めている。使用運転段階での影響は電力使用によるもので，その削減は自動販売機の省エネルギー化であり，別稿で説明する。

本稿では，最終処分段階での環境適合技術の取組みの中で重要な有害物質削減について述べる。

図1　自動販売機と環境の関連



木村　幸雄

自動販売機の環境対応に従事。現在，富士電機リテイルシステムズ株式会社製造統括本部三重工場開発第一部マネージャー。日本機械学会会員，日本冷凍空調学会会員，日本物理学会会員。工学博士。

篠原　　淳

カップ自動販売機の開発設計に従事。現在，富士電機リテイルシステムズ株式会社製造統括本部埼玉工場開発第二部。

土屋　敏章

自動販売機の開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所副主任研究員。日本伝熱学会会員，日本冷凍空調学会会員。

2　有害物質削減の取組み

自動販売機の約4割を占める缶飲料自動販売機で使用されている主な有害物質とその使用部位・用途および2005年度における削減状況を**表1**に示す。

2.1　六価クロムの削減

六価クロムは，塗装をしない亜鉛めっき鋼板の防錆（ぼうせい）処理やねじのめっきなどに広く使用されているので，六価クロムフリー処理への切替えを行っている。六価クロムフリー処理鋼板の防錆性，溶接やプレスなどの加工性について，自動販売機特有の使い方での品質やめっき処理の品質の検証を進めている。

2.2　鉛の削減

鉛は，プリント基板や電子部品のはんだ，冷凍機の配管の接合材料，ハーネス類やガスケット類の塩化ビニルへの添加剤などに使用されていた。

図2に示すように，富士電機では2004年の製品から鉛の大幅な削減を始めており，缶飲料自動販売機の2005年機では全廃を目指してさらに削減を進めている。

一方，カップ飲料自動販売機では製氷機製氷部（**図3**）にもはんだが使用されている。はんだ（Sn60/40Pb）の量が85gで鉛成分を34g使用していること，銅とステンレス鋼の接合という特殊性があるので，鉛フリー化の取組みの一例として以下で紹介する。

表1　主な有害物質の使用部位と用途（缶飲料自動販売機）

	物質名	使用部位・用途（2004年機まで）	2005年機
RoHS規制対象	鉛	基板（はんだ），ハーネス（被覆電線），銅配管固着（はんだ），インキ，モータ（カーボンブラシ），ヒューズほか	全廃※
	カドミウム	リレー接点，モータ整流子，ヒューズ	順次対応
	六価クロム	鋼板，ねじ，スプリング，ヒンジなど（防錆処理）	ねじから順次対応
	水銀	蛍光灯	—
	PBB（ポリ臭化ビフェニール）	標準プラスチックには含まれない	購入品について調査中
	PBDE（ポリ臭化ディフェニールエーテル）		
フロン	R407C	冷媒	一部CO_2で量産
	R134a		
	HCFC-141b	発泡剤	HCと水に切替え
塩化ビニル		電源コード，ハーネス（被覆電線）	調査中（信頼性）

※微小な量は含まず

製氷部では，熱交換効率を上げるため銅製のエバポレータとステンレス鋼パイプをはんだ接合している。従来のはんだでもぬれ性が悪く，十分に接合していなかったため製氷不良となる場合があり，今回の鉛フリーはんだ化では課題が大きい部位である。

(1)　鉛フリーはんだの選定

代表的な鉛フリーはんだであるSn-Ag-Cu成分はんだのぬれ性の評価を行った。一般的に高Agはんだのぬれ性は良いとされている。しかし，これはぬれ性が良い金属を対象にした評価であり，ぬれ性の悪いステンレス鋼ではあてはまらず，高Agはんだと低Agはんだで有意差は見られなかった。そこで，より安価な低Agはんだ（Sn/0.7Cu/0.3Ag）を選定した。

(2)　接合性の確認

高周波はんだ付け装置の設定条件を変えてエバポレータとステンレス鋼パイプの接合性の確認を行い，**図4**の断面写真に示すように十分に接合する設定条件を見いだした。同時にフラックスの確認も行った。鉛フリーはんだの場合，溶融温度が上がるためフラックスの耐熱温度が懸念されたが，フラックス特性（還元性，耐熱性）は良好であることが確認できた。

(3)　製氷性能と信頼性の確認

鉛フリーはんだは従来のはんだより熱伝導率が約20％高いが，ステンレス鋼と銅パイプを含めると熱伝導率の違

図2　缶飲料自動販売機における鉛の削減

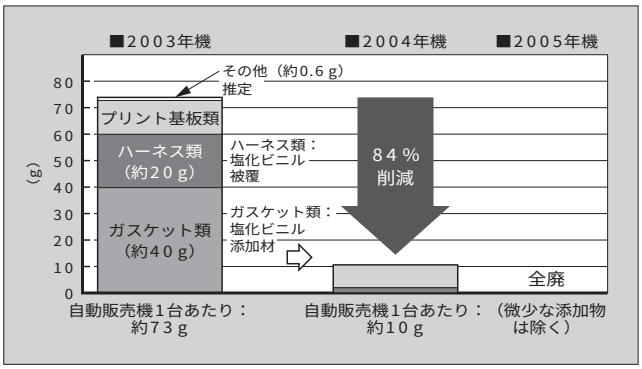


図3　製氷部の詳細

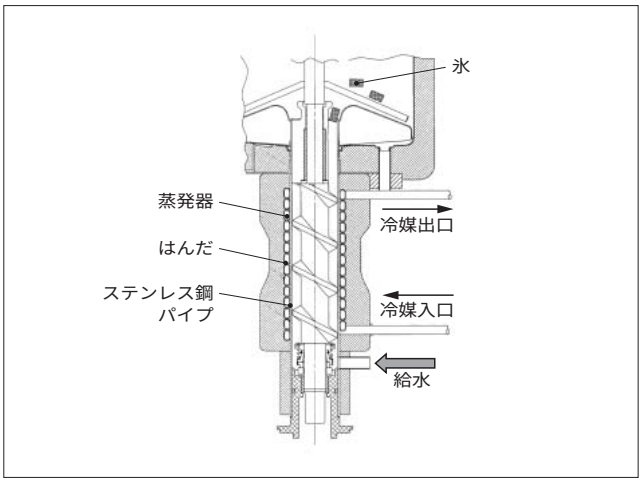
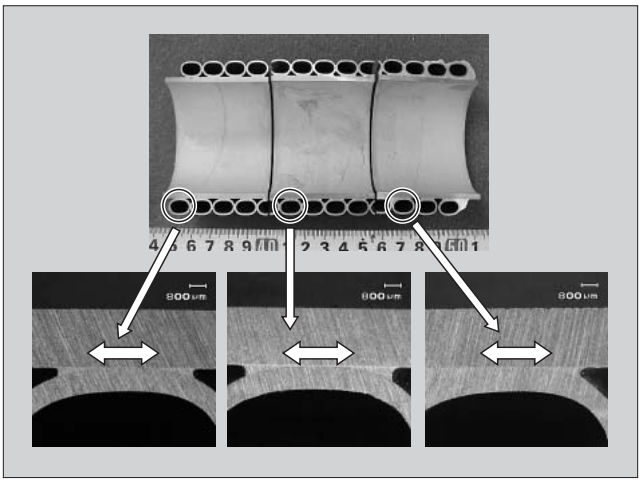


図４　鉛フリーはんだによる接合部



いは１％程度であり，製氷確認試験を行った結果，製氷特性（製氷能力，氷質）に差異は見られなかった。

鉛フリーはんだは従来のはんだより接合強度が劣ること，溶融温度が 30 ～ 40 ℃高くなるためステンレス鋼への影響がありうること，銅パイプ表面状態で接合ばらつきなどが懸念されるため，さらに検証を積み重ねて信頼性の確保に努めている。

3　脱フロン化

3.1　断熱材の脱フロン化

缶飲料自動販売機では冷却・加温している商品と外気の間の熱移動を遮断するため，発泡ポリウレタンの断熱材で筐体（きょうたい）内部を囲っている。

従来はこの発泡剤として代替フロンである HCFC-141b を使用してきたが，2004 年からはオゾン層破壊がなく地球温暖化係数（GWP）も 3 というシクロペンタンへ切替えを行っている。2005 年からは，地球温暖化係数が 1 という小さい値の CO_2 による断熱を行う水発泡ポリウレタンの断熱材を一部の機種に適用し始めている。

3.2　冷媒の脱フロン化

3.2.1　脱フロン冷媒の選定

飲料の自動販売機の冷凍機冷媒として長く使われてきたフロン系冷媒である R22 はオゾン破壊係数（ODP）が大きいため，富士電機ではすでに 2000 年から ODP がゼロの代替フロン冷媒である R407C への切替えを行っている。しかし，R407C も GWP は小さくないため，地球温暖化防止が緊急の課題となっている現在，より GWP の小さな自然冷媒などへの転換が望まれている（**表２**参照）。

自動販売機に適用可能な自然冷媒はプロパンなどの炭化水素冷媒（HC 冷媒）と CO_2 冷媒であるが，HC 冷媒は強燃性のため安全性に不安がある。そこで，引火のおそれのない CO_2 冷媒を適用した自動販売機の開発を行った。

3.2.2　CO_2 冷媒冷凍機の構成

図５の断面図に示すように缶飲料自動販売機は，下部の

表２　冷凍機冷媒の環境負荷

		ODP	GWP	燃焼性
自然冷媒	CO_2	0	1	不燃
	HC	0	3以下	可燃
フロン系冷媒	R22	0.055	1,700	不燃
	R407C	0	1,300	不燃

図５　自動販売機の構造（側断面）

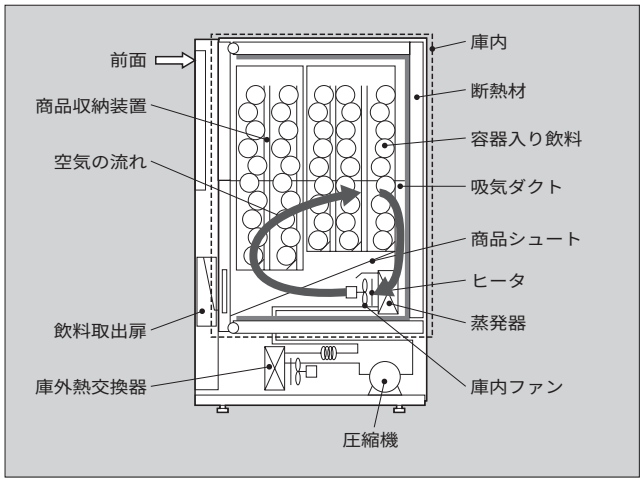


図６　CO_2 冷媒冷凍機の構成

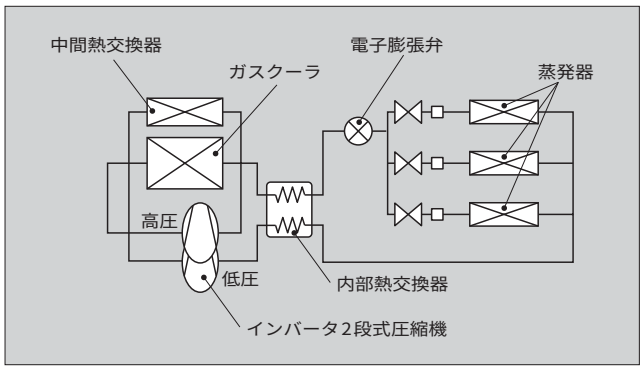


図７　CO_2 冷媒冷凍機の外観

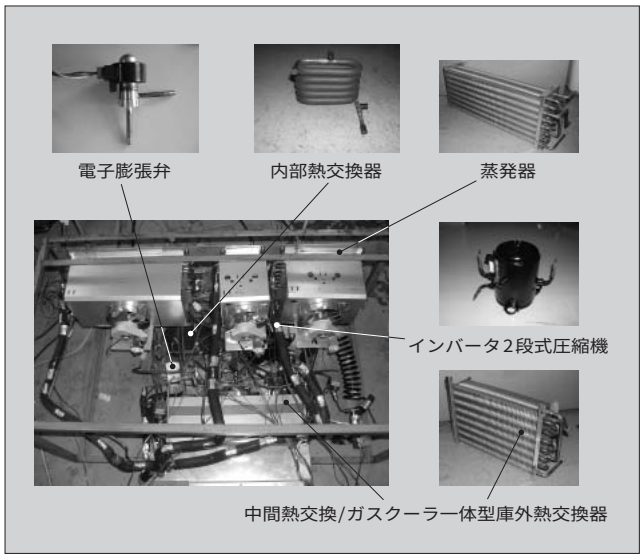
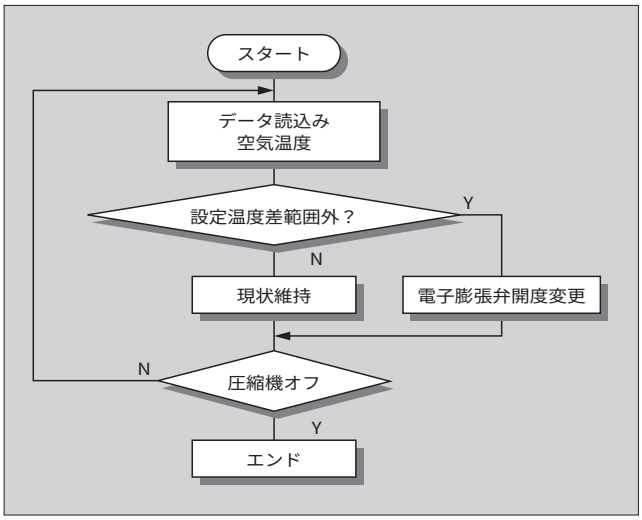


表３　冷媒としての性能

		臨界温度	運転圧力	運転効率	冷媒状態
自然冷媒	CO_2	31.1℃	9.0 MPa	2.62	超臨界
	HC	96.7℃	1.5 MPa	3.69	亜臨界
フロン系冷媒	R407C	86.2℃	2.0 MPa	3.63	亜臨界

図８　蒸発温度制御フロー



機械室に圧縮機と庫外熱交換器，複数ある庫内にそれぞれ蒸発器および庫内ファンを設置し，庫内ファンで空気を循環して商品を冷却している。**図６**に CO_2 冷媒冷凍機の構成，**図７**にその外観を示す。CO_2 圧縮機にはインバータ２段式を採用し，１段あたりの圧縮比を低減して効率向上を図っている。また，庫外熱交換器は１段目吐出冷媒を冷却する中間熱交換器と２段目吐出冷媒を冷却するガスクーラを一体化構成として省スペース化を実現した。さらに，膨張機構には電子膨張弁を用い，冷却負荷変動への適応性を高めている。

3.2.3　CO_2 冷媒冷凍機の課題

表３に示すように，CO_2 冷媒は臨界温度が低いので，周囲温度が高いと超臨界状態となり，冷媒はフロン系冷媒と異なり液化せず，気体に似た特性となる。このため，庫外熱交換器内の放熱量が減少して運転効率が低下したり，冷却する庫の数が減ると余剰冷媒が高圧配管側にたまって高圧圧力が上昇する。したがって，CO_2 冷媒を適用するには，高周囲温度での冷凍機の運転効率の向上および高圧圧力の上昇防止が課題である。

3.2.4　運転効率の向上

(1)　運転制御方法

運転効率向上のためには，冷却負荷に対し過不足なく冷凍能力を発揮させることと，蒸発温度を適正に制御することが重要である。今回開発した CO_2 冷媒冷凍機では，運転状態（冷却している庫の数）をもとにインバータ圧縮機で冷凍能力を制御するとともに，庫内空気温度に基づいて電子膨張弁で蒸発温度を制御（**図８**参照）し，運転効率の向上を図った。

図９　容積と運転効率

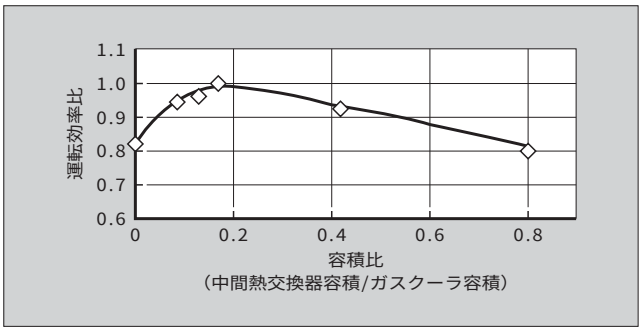
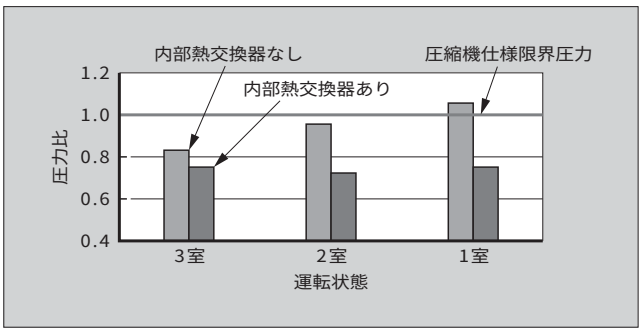


図10　高圧圧力の比較



(2)　庫外熱交換器

先に述べたように庫外熱交換器は１段目吐出冷媒冷却用の中間熱交換器と２段目吐出冷媒冷却用のガスクーラで構成している。運転効率は中間熱交換器とガスクーラの容積比で変化するため，**図９**に示すように容積比と運転効率の関係を実験で明確にし，運転効率の向上を図った。

3.2.5　高圧圧力の上昇防止

図10に示すように，CO_2 冷媒を用いた冷凍機は運転状態により高圧圧力は大きく変化する。特に冷却する庫数が１室の場合では，圧縮機の仕様限界圧力を超えてしまう。そこで，高圧圧力の上昇を防止するため，内部熱交換器で圧縮機からの戻り配管側の低温冷媒と高圧側の高温冷媒の熱交換を行い，高圧冷媒の温度を下げて密度を増加させることで，圧力の上昇を抑制した。

3.2.6　評　価

本冷凍機を 2004 年初めから 30 セレクションの缶飲料自動販売機に搭載しフィールド試験を実施した。

周囲温度 32 ℃での自動運転の評価結果を**図11**に示す。図に示すように高圧圧力は仕様を満足し，安定した自動運転を行うことができた。また，飲料温度も 4.0 ℃以下を達成し，缶飲料自動販売機として十分な冷却性能があることを確認した。

富士電機ではこれらの技術をベースに 2005 年機から CO_2 冷媒の缶飲料自動販売機の量産を開始している。

4　CO_2 冷媒による加熱の省エネルギー化

缶飲料自動販売機の年間消費電力量の約６割は加熱用のヒータが占めており，省エネルギー化にはヒータの消費電

図 11　自動運転の状態

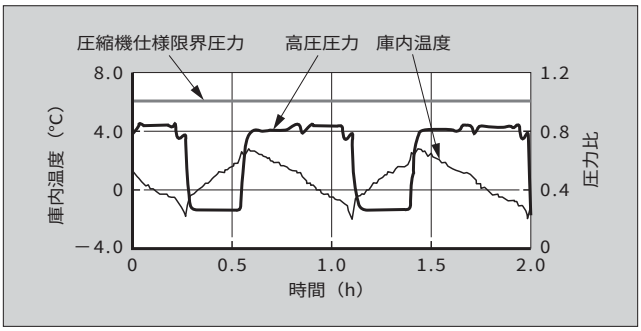
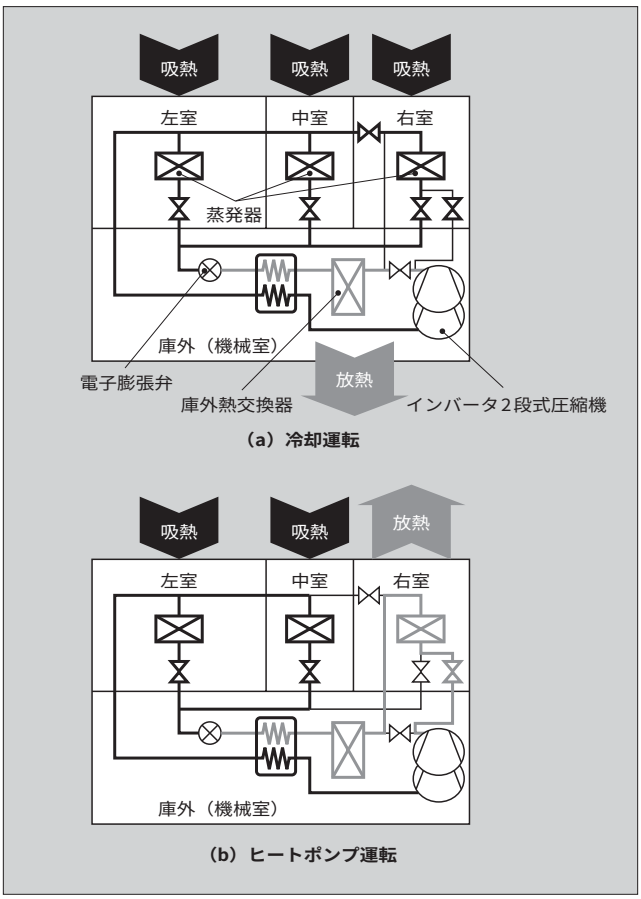


図 12　CO_2 冷凍機の回路構成



力量低減が重要である。

4.1　ヒートポンプ方式

CO_2 冷媒は庫外熱交換器の冷媒温度が 90 ～ 100 ℃と高いので，飲料商品の加熱に利用できる。そこで，今後の省エネルギー化技術として，冷却排熱を利用して飲料商品の冷却と加熱を同時に行う，CO_2 ヒートポンプ自動販売機の基本技術の開発を行った。

図12 に冷却運転とヒートポンプ運転の冷媒の流れを示す。冷却運転では**図12**(a)に示すように庫外熱交換器で外気に放熱し，庫内で吸熱して冷却する。一方，ヒートポンプ運転では**図12**(b)に示すように，庫内の蒸発器で放熱して庫内空気を加熱し飲料商品を温める。同時に，冷却する庫内の蒸発器で吸熱するので，冷却もできる。

4.2　ヒートポンプ方式の評価

ヒートポンプ運転では運転状態や周囲温度が変わっても，規定の飲料商品温度より加熱では高く，冷却では低い温度の空気を供給する必要がある。そこで，インバータ圧縮機，電子膨張弁およびファン風量を調節することで，高圧および低圧の冷媒温度をそれぞれ所定の温度に制御する技術を開発した。これにより，飲料商品の冷却と加熱を同時に行うヒートポンプ運転で，飲料商品温度は加熱 53 ℃以上，冷却 5 ℃以下を実現した。

ヒートポンプ方式の採用，さらに断熱強化や熱交換効率向上などで 35 %以上の省エネルギー化が期待できる。

5　あとがき

自動販売機の環境適合技術の中でも有害物質の削減，特にカップ飲料自動販売機の製氷機の鉛フリー化と CO_2 冷媒の自動販売機への適用技術について紹介した。

これら環境適合を目指した製品の企画，設計，製造をはじめとする環境に配慮した企業活動については，富士電機グループ全体として ISO14000 の環境マネジメント活動をベースに取り組んでいる。

また，自動販売機の廃棄処理やリサイクルなど単独のメーカーだけでは対応ができない課題もある。このような課題については，日本自動販売機工業会を中心に自動販売機業界全体として取組みを行っている。

富士電機は，今後ますます厳しくなる環境問題に積極的に取り組み「環境に優しい自動販売機」の開発を進めていく所存である。

参考文献

(1)　岩本昌三，木村幸雄．自動販売機の環境対応．富士時報．vol.68, no.3, 1995, p.179–182.
(2)　木村幸雄，丸山直樹．自動販売機の環境影響評価システム．富士時報．vol.76, no.10, 2003, p.639–643.
(3)　富士電機グループ環境報告書．2004 年 3 月期.
(4)　土屋敏章ほか．第 38 回空気調和・冷凍連合講演論文．p.45–48, 2004.
(5)　土屋敏章ほか．平成 15 年度日本冷凍空調学会学術講演会講演論文集．B114–1–4, 2004.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。