飲料自動販売機の省エネルギー技術

岩崎　正道（いわさき　まさみち）　　滝口　浩司（たきぐち　こうじ）　　近藤　悟（こんどう　さとる）

1　まえがき

飲料自動販売機の主力である缶・ボトル飲料自動販売機（以下，缶自動販売機と略す）は，街角やオフィスに置かれ利便性は広く受け入れられている反面，エネルギー資源の消費には厳しい目が向けられている。

缶自動販売機は，2002年12月に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）の特定機器に指定され，トップランナー方式が導入された。**表1**に示す算定式により目標値を設定し，これによって，消費電力量を業界加重平均で2000年度の2,617 kWh/年から2005年度1,729 kWh/年を目標とする約34％の改善が求められた。

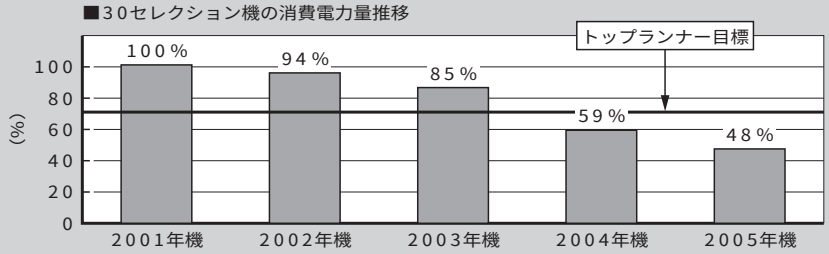
飲料自動販売機のエネルギー消費の抑制という社会的要請に応えて，富士電機では従来から省エネルギー化に努めてきた。この省エネルギー化に関するこれまでの開発技術の成果を**図1**に示す。前述の省エネ法の定める2005年度の目標を2004年機でほぼ達成し2005年機においてはさら

表1　省エネ法目標基準値

区　分	目標基準値算定式
Ⅰ：コールド専用機（ホットオアコールド機を含む）	$E=0.346\,V+465$
Ⅱ：ホットアンドコールド機（薄型）（庫内奥行400 mm未満のもの）	$E=2.18\,V_{adj}-214$
Ⅲ：ホットアンドコールド機（標準型）（庫内奥行400 mm以上のもの）	$E=0.876\,V_{adj}+527$

E：年間消費電力量（kWh/年）
V：実庫内容積〔販売商品貯蔵室の内寸を基に計算した容積。コールド専用機（ホットオアコールド機を含む）に適用。単位：L〕
V_{adj}：調整庫内容積（ホットアンドコールド機に適用。単位：L）

図1　省エネルギーのこれまでの成果と2005年機の目標



		2001年機	2002年機	2003年機	2004年機	2005年機
断熱・気密	エコパネル				○	○
	厚仕切り			○	○	○
	断熱材高性能化					○
	断熱カーテン	○	○	○		
冷凍機高効率化	デルタ翼付蒸発器					○
気流制御	新風路設計				○	○
DC化	庫内ファンモータDC化	○	○	○	○	○
	庫内ファンモータDC軸流ボックスファン					○
蛍光灯	蛍光灯インバータ調光	○（50％点灯）	○	○	○（40％点灯）	○（40％点灯）
制御	学習省エネルギー	○	○	○	○	○
	ピークカット	○	○	○	○	○

岩崎　正道

自動販売機関連の研究・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。日本機械学会会員，日本伝熱学会会員。

滝口　浩司

自動販売機の設計に従事。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三重工場開発第一部マネージャー。

近藤　悟

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三重工場開発第一部マネージャー。

なる省エネルギーの目標を置いて，より一層の高効率化技術に取り組んだ。本稿では，主要な技術開発アイテムについて概要を紹介する。

2　缶自動販売機の構造と省エネルギーの考え方

2.1　構　造

缶自動販売機の外観を**図2**に，内部構造を**図3**に示す。季節に応じて収納商品を冷却および加温保管するため，内部は複数の庫内に分かれており，それぞれに冷却器（蒸発器）とヒータが配置されている。庫内の空気は，ファンによって循環し，商品である容器入り飲料を冷却・加熱している。商品は上部から補充され，下部から販売される構造となっている。

2.2　省エネルギー技術の基本

缶自動販売機では，庫内を冷却または加熱するための運転を効率的に行い，省エネルギー化を図る必要がある。省エネルギー化を進める場合のポイントは次の四つである。

図2　缶自動販売機の外観

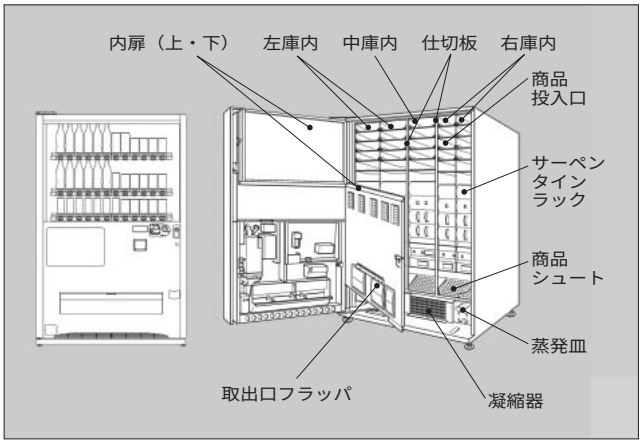
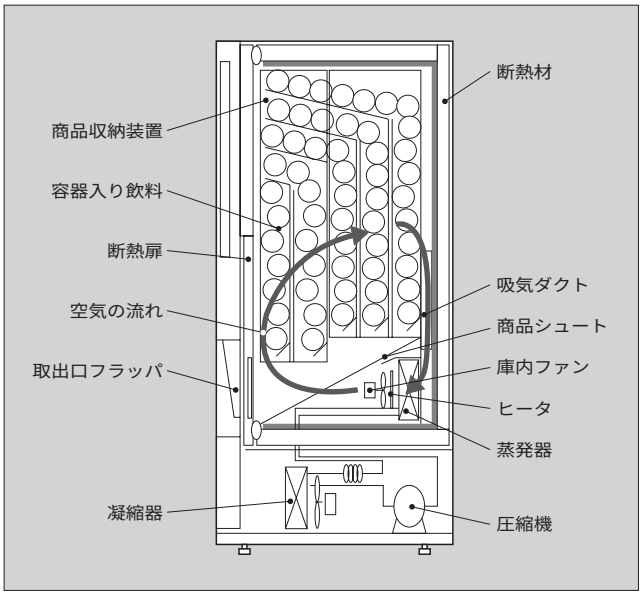


図3　内部構造（側面）



(1)　断熱・気密性の向上（熱ロス低減）
(2)　冷却システムの高効率化
(3)　冷却・加熱する領域の縮小（ゾーン化）
(4)　省エネルギー制御

富士電機では，2004年機において高断熱性能のエコパネル構造，真空断熱仕切り，冷凍機の高効率化，気流制御，省エネルギー制御を開発し，冷却・加熱システムの高効率化を実現した。[(1), (2)] 2005年機においては，2004年機に比べ10～15％低減を目標にこれらをさらに高性能化・高効率化して省エネルギー化を図った。

3　断熱・気密技術

3.1　熱収支解析

缶自動販売機の本体構造は，一般的に筐体（きょうたい）となる外箱，断熱層，内箱，商品収納部，断熱扉などから成っている。熱ロスは，外箱と周囲の間および内部の構造物を通した熱移動により生じるものがある。これらの熱収支を明らかにするため，詳細な温度測定により熱の流れを解析した。2004年機で内箱の鋼板をなくしたエコパネル構造を開発し，冷却と加熱を組み合わせて運転したときに内箱の鋼板を通して高温側から低温側に伝わる熱移動量を低減した。その熱移動量を分析した結果を**図4**に示す。

図4　熱収支解析結果

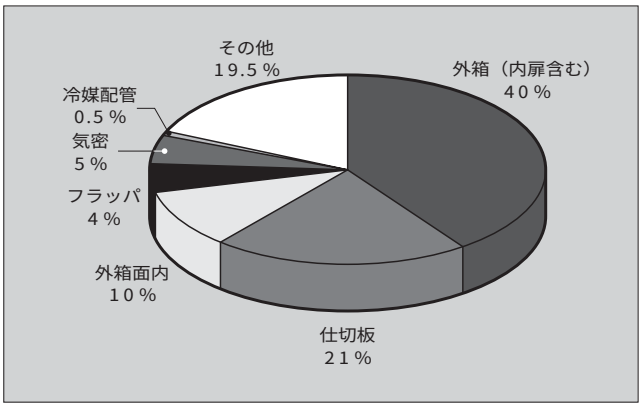
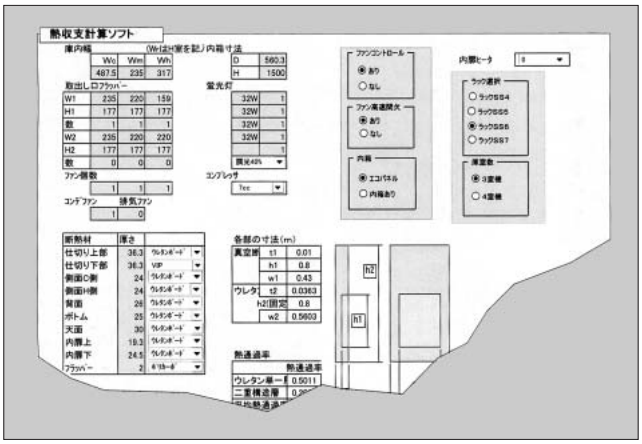


図5　熱収支計算ソフトウェア実施例



3.2　断熱材の最適配置

熱収支解析に基づき熱の流れと伝熱経路について熱抵抗計算を行い各部の熱移動量を数値計算する熱収支計算ソフトウェアを開発した（**図5**）。この計算ソフトウェアにより，真空断熱材の大きさと配置，断熱材厚さなどコストと効果のバランスを考慮した最適な断熱材配置を行った。

3.3　断熱気密性の向上

2005年機の開発においては，本体と内扉をシールするガスケットの構造を変更し，さらに断熱材の合わせ目の密着性を向上させて気密性を高めた。また，発泡の工夫によるウレタン断熱材の高性能化も同時に実施し省エネルギー化を図った。

4　冷却システムの高効率化

4.1　缶自動販売機用冷却システムの構成

缶自動販売機内の飲料を冷却する冷却システムは，圧縮機と凝縮器と蒸発器により構成される。主要機種である3室機の場合は，**図6**に示すよう各庫ごとに蒸発器が設置されており，必要に応じて電磁弁を開閉して冷却運転を行う。冷却システムの高効率化には，蒸発器の高性能化が課題であった。

4.2　蒸発器高性能化の原理と構成

缶自動販売機で用いられている蒸発器は**図7**に示すように，冷媒が流れる配管と配管内の熱を効率的に伝えるフィンで構成されたフィンアンドチューブ型熱交換器である。**図7**に示すように，蒸発器フィンの配管前方にデルタ翼，配管後方にデルタウイングレット，という2種類の渦発生体を用いたフィン形状を考案した[(3), (4)]。渦発生体，特にデルタ翼を用いた伝熱促進方式の原理を**図8**に示す。デルタ翼ではフィン上に縦渦を発生させることで空気ーフィン間での熱輸送を促進し，デルタウイングレットでは配管後方に生じる死水域に配管上流の空気流れを導くことで，低圧力損失かつ高熱伝達率を実現した。流れの可視化や数値解析により定量的な解析技術を確立し，渦発生体を付設したフィン上での空気流動および伝熱現象を明らかにすることで，渦発生体の形状・配置の最適化を実施した。**図9**，**図10**に各渦発生体周りでの流れの可視化と解析結果との比較を示す。**図11**にフィン表面での熱伝達率分布の解析結果を示す。

図8　伝熱促進方式の原理

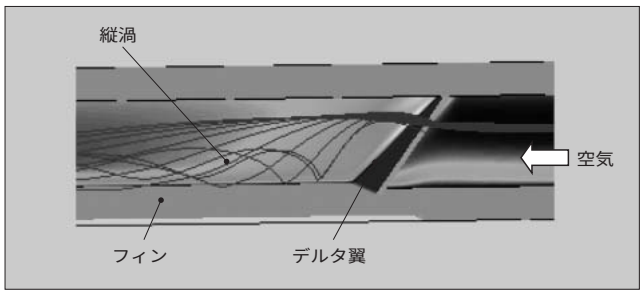


図6　自動販売機の冷却システム構成

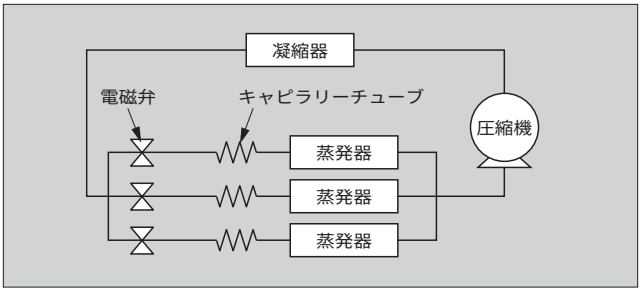


図9　流れの可視化と解析結果（デルタ翼）

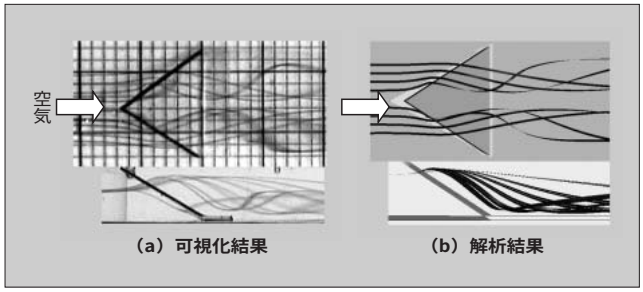


図7　渦発生体付きフィン

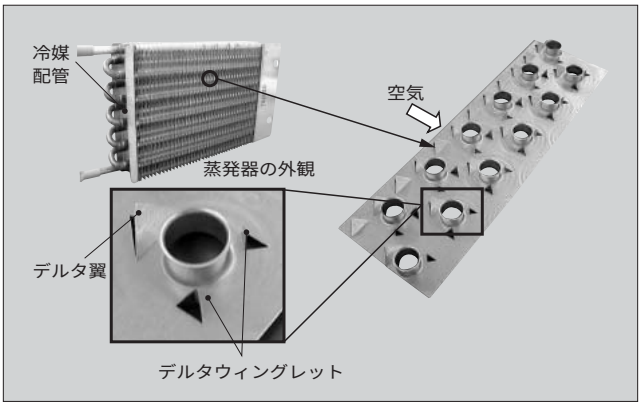


図10　流れの可視化と解析結果（デルタウィングレット）

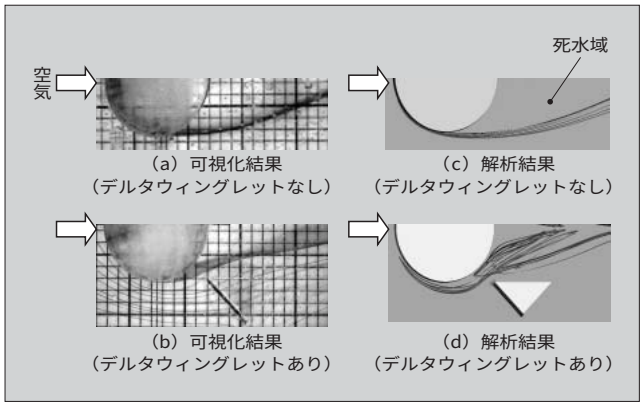


図11　フィン表面熱伝達率分布の解析結果

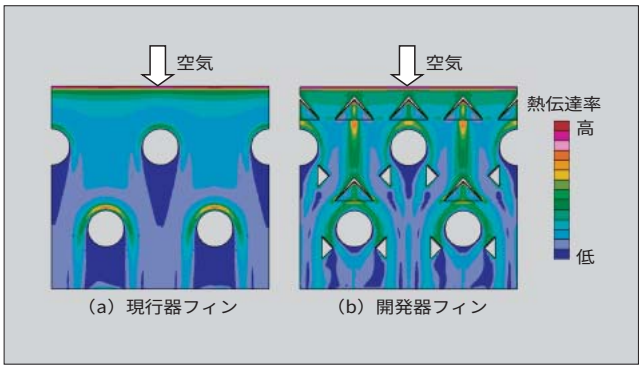
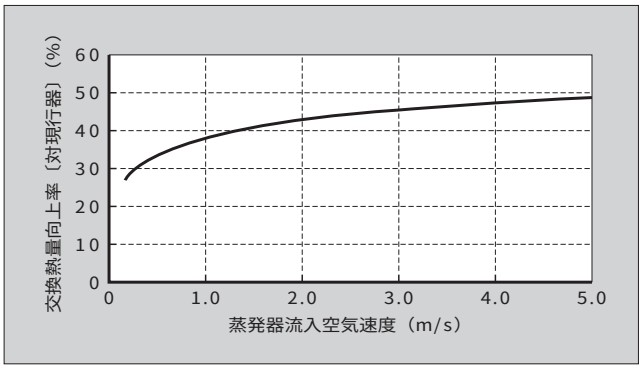


図12　蒸発器性能評価結果



4.3　高性能蒸発器の効果

蒸発器単体での現行器との性能比較を**図12**に示す。缶自動販売機内で使用される風速域での交換熱量が約40％向上した。この蒸発器を缶自動販売機に組み込むことで冷却システムの消費電力量が約30％低減した。

5　DC軸流ボックスファンと庫内気流制御

Fシリーズ機の冷却・加熱用としてDC軸流ボックスファン（以下，ボックスファンと略す）を搭載した。これまで採用してきたファンモータと比較し消費電力量の削減が可能になるが，風量は30％低下する。そのため，ボックスファン採用においては，庫内循環風の流れをコントロールし適正な範囲で風を回し，均等に配分することが課題であった。

そこで，庫内気流をコントロールするため三次元モデルによる流体解析ソフトウェアを使い，風の流れや風速を明確にした。その結果，庫内風洞中央部で旋回流による逆流が発生し，狙いどおりの風量が出ず商品温度のばらつきが大きくなっていることが分かった（**図13**）。幾つかの構造アイデアをもとにしたシミュレーション解析により，軸流ファン前部に風向制御板を設けると風量低下の抑制と商品温度精度向上が実現できるという見通しを得て，実機検証で確認した。

ボックスファンによる風量の適正配分と商品温度精度向上により消費電力量を7％低減できた。

図13　庫内風洞部シミュレーション

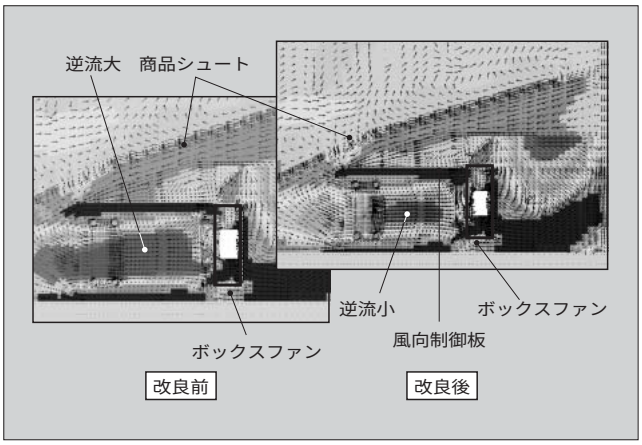
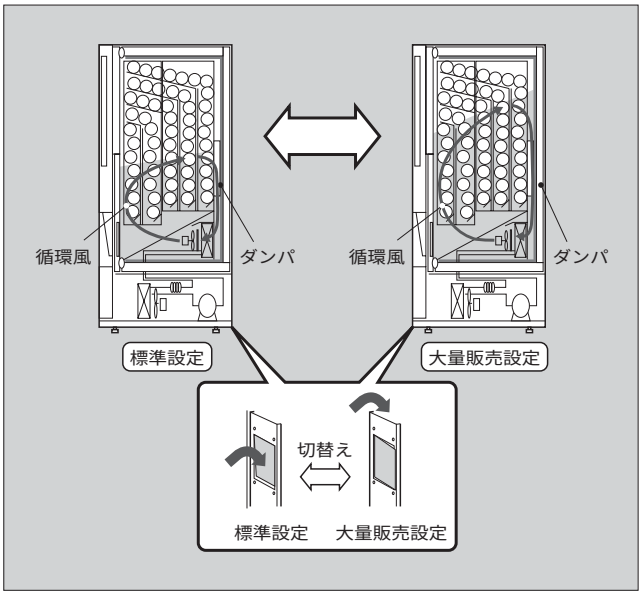


図14　大量販売の原理



6　大量販売対応

省エネルギー化を図るため冷却・加熱領域を縮小すると，売行きの多い自動販売機では商品の冷却・加熱スピードが追いつかないという問題が発生する。売行きがよい場合に対応するには冷却・加熱領域を拡大する必要があるが，消費電力量は多くなる。この相反する問題を解消するためFシリーズ機では，省エネルギーと大量販売量どちらにも対応できる大量販売対応機能付き缶自動販売機を開発した。

図14は冷却・加熱領域を拡大する原理を示す。商品を収納するラックの後部に配置したダクトの中央に，吸込口切替え用ダンパを設け，このダンパの設定を切り替えることで庫内気流の循環範囲をコントロールし，冷却・加熱領域を拡大あるいは縮小する。

気流の変化と適温領域の変化をシミュレーションにより確認しながら最適設計を行い，適温領域を省エネルギー設定時の約2倍まで拡大でき，販売量の多い設置場所でも対応可能にした。

図 15　庫内気流と品温分布の変化

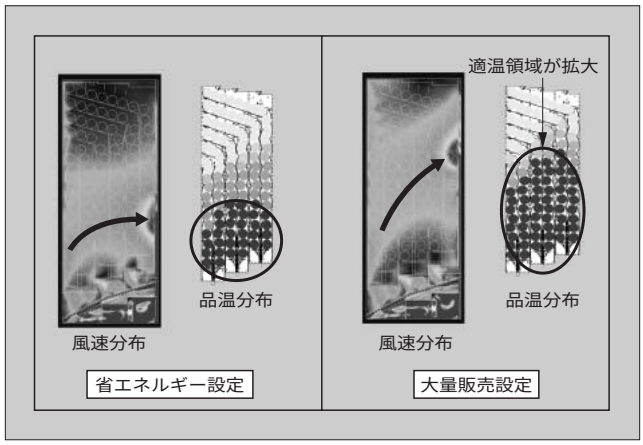


図15はダクト高さと庫内気流の変化をシミュレーションした結果である。ダクトを高くすることにより気流も広範囲に流れるため，適温領域が拡大している。

7　あとがき

缶自動販売機の庫内断熱構造や冷却・加熱方式の抜本的な改良により，2005 年機は対前年比 10 %以上の省エネルギー化を実現した。

これまで進めてきた省エネルギー技術をさらに発展させ，今後も環境に優しい製品開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

(1)　近藤悟ほか．缶自動販売機の省エネルギー技術．富士時報．vol.76, no.10, 2003, p.644–648.

(2)　滝口浩司ほか．自動販売機の省エネルギー取組み．冷凍．vol.79, no.919, 2004.

(3)　岩崎正道ほか．第 41 回日本伝熱シンポジム講演論文集．vol.2, 2004, p.465.

(4)　岩崎正道ほか．Thermal Science & Engineering. vol.12, no.4, 2004, p.105.

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。