

富士電機技報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

2022
Vol.95 No.



特集 新しい価値を創造する富士電機の食品流通



特集 新しい価値を創造する富士電機の食品流通

自動販売機は、飲料メーカーの売上拡大の一翼を担うまでに成長してきました。また、売り場に設置される店舗流通関連の製品は、店舗の省エネルギーや業務の効率化に貢献してきました。昨今のSDGsやカーボンニュートラルの実現に向けた世界的な環境保護の流れ、さらには人口減少やコロナ禍などによるライフスタイルや働き方などの社会環境の変化は、ビジネスのありように大きく影響を与えています。

富士電機は、これらの変化に対応するとともに、お客さまの求める一歩先を見据えた新しい価値を創造できる製品および技術を提供していきます。

本特集では、自動販売機や店舗流通関連の製品だけでなく、コア技術である冷熱技術やIoTをはじめとした新しい価値を創造する技術について紹介します。

表紙写真

- ①カップミキシング式自動給茶機「とろみ給茶機」
- ②冷蔵ショーケース
- ③缶・ボトル飲料自動販売機
- ④冷凍自動販売機「FROZEN STATION」



目次

特集 新しい価値を創造する富士電機の食品流通

〔特集に寄せて〕熱のデジタルトランスフォーメーション実現に向けて 齋藤 潔	117 (3)
--	---------

〔現状と展望〕新しい価値を創造する 富士電機の食品流通の現状と展望 石橋 剛信	118 (4)
---	---------

自動販売機

自動販売機運用サービスの拡充 田中 誠一 ・ 柳川 弘行 ・ 水野 健太	123 (9)
---	---------

飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術 渡辺 忠男 ・ 河野 周	128 (14)
------------------------------------	----------

冷凍自動販売機「FROZEN STATION」 福田 勝彦 ・ 岩子 努 ・ 中西 寿一	132 (18)
---	----------

カップミキシング式自動給茶機「とろみ給茶機」 畔柳 靖彦 ・ 喜田 明 ・ 小沢 竜徳	136 (22)
--	----------

グローバル汎用自動販売機「FGG160DCY」 阿部 順一	140 (26)
----------------------------------	----------

店舗流通

店舗向けネットワークサービス 徳永 勇貴 ・ 武藤 健二 ・ 石原 雄大	144 (30)
---	----------

ショーケースの省エネルギー技術 木下 卓	147 (33)
-------------------------	----------

店舗における省エネルギーの施策 宮越 智也 ・ 水澤 竜也	151 (37)
----------------------------------	----------

共通技術

機能性塗料による熱交換器の無着霜化技術 小川 莉玖 ・ 水澤 竜也 ・ 滝口 浩司	155 (41)
--	----------

次世代エッジデバイス基盤開発とその適用 べれらまどうら ・ 竹内 志郎 ・ 濱田 公介	159 (45)
--	----------

製品紹介論文

第7世代「Xシリーズ」1,700V/800A 産業用RC-IGBTモジュール「Dual XT」	164 (50)
--	----------

第2世代SiC-SBD 1,200Vシリーズ	166 (52)
------------------------	----------

略語・商標	168 (54)
-------	----------

Fuji Electric's Food Distribution Creating New Value

[Preface] Digital Transformation of Thermal Systems SAITO, Kiyoshi	117 (3)
--	---------

Fuji Electric's Food Distribution Creating New Value: Current Status and Future Outlook ISHIBASHI, Masanobu	118 (4)
---	---------

Vending Machines

Expansion of Vending Machine Operation Services TANAKA, Seiichi YANAGAWA, Hiroyuki MIZUNO, Kenta	123 (9)
--	---------

Technology for Applying Heat Pumps to Beverage Vending Machines WATANABE, Tadao KONO, Amane	128 (14)
---	----------

"Frozen Station" Frozen Food Vending Machine FUKUDA, Katsuhiko IWAKO, Tsutomu NAKANISHI, Toshikazu	132 (18)
--	----------

"Thickened Beverage Vending Machine" In-Cup Mixing Automatic Tea Server KUROYANAGI, Yasuhiko KIDA, Akira OZAWA, Tatsunori	136 (22)
---	----------

"FGG160DCY" Global Multipurpose Vending Machine ABE, Junichi	140 (26)
--	----------

Store Distributuion

Network Services for Stores TOKUNAGA, Yuki MUTO, Kenji ISHIHARA, Yudai	144 (30)
--	----------

Energy-Saving Technology for Showcases KINOSHITA, Suguru	147 (33)
--	----------

Energy-Saving Measures for Stores MIYAKOSHI, Tomoya MIZUSAWA, Tatsuya	151 (37)
---	----------

Common Technologies

Frost-Free Technology for Heat Exchangers Using Functional Coating OGAWA, Riku MIZUSAWA, Tatsuya TAKIGUCHI, Koji	155 (41)
--	----------

Fundamental Development and Application of the Next Generation Edge Devices PERERA, Madhura TAKEUCHI, Shiro HAMADA, Kosuke	159 (45)
--	----------

Product Profiles

7th-Generation "X Series" 1,700-V/800-A RC-IGBT "Dual XT" Modules for Industrial Applications	164 (50)
--	----------

2nd-Generation Discrete SiC-SBD 1,200 V Series	166 (52)
---	----------

Abbreviations and Trademarks	168 (54)
-------------------------------------	----------

特集に寄せて

熱のデジタルトランスフォーメーション 実現に向けて

Digital Transformation of Thermal Systems

齋藤 潔 SAITO, Kiyoshi

早稲田大学 持続的環境エネルギー社会共創研究機構 機構長
基幹理工学部 機械科学・航空宇宙学科 教授

現在、国を挙げて“サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する社会”としての“Society5.0”の構築を進めている。このような社会を実現するのに必要な技術の一つが、DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）であり、IoT（Internet of Things）によって、コンピュータだけでなくモノもインターネットに接続することによって、製品やサービス、ビジネスモデルを変革し、業務そのものや企業文化・風土までも変革しようとするものである。

筆者は、これまでに“熱システムのダイナミクスと制御”を専門として研究を展開してきた。具体的には、冷凍や空調技術も含むヒートポンプ関連技術を対象として、システムのモデリング、最適設計・制御に関する研究やシミュレータ開発を進めてきたところである。

熱利用技術は、アナログ的な要素が多い技術でもあり、わが国では、燃焼、伝熱技術をベースとして圧縮機などの回転機器をはじめとしたデバイス技術を中心に技術開発が進められてきた。ここでは、長期にわたる地道な基礎研究開発が必要であるため、それを得意とするわが国は、高い技術力を有しているところであり、引き続き世界に対して強い競争力を維持できると期待されている。

最近になり、熱利用技術においてもDXに向けた検討が徐々に進められてきており、学習制御や、人感センサの導入、自動運転の高度化も確実に進んでいる。DXにおいてキーテクノロジーとなるエネルギー管理システム（EMS）も家庭用から産業用まで多様な技術の導入が進み、AI（Artificial Intelligence）によって負荷や気象、さらには人間の行動までもが予測され、その分析結果も具体的に活用され始めている。

今後、例えば冷凍空調分野においては、冷媒漏えいをいち早く探知することが可能となれば、冷媒管理も容易となるであろう。EMSが高度化すれば、現状では複数設置されているヒートポンプ関連機器の統廃合や再生可能エネルギーの導入を促進させ、より高効率でCO₂排出の少ない運転も可能となっていくであろう。コールドチェーンの中

では、流通のデジタル情報にエネルギーや冷媒に関連する情報も付加することによって、サプライチェーン全体としてのCO₂排出量削減や冷媒の低GWP（Global Warming Potential）化、さらには食品ロス低減にも結び付いていくであろう。

一方で、家の中を見ても、なかなかDXが進んでいかない状況に危機感も抱いている。IoTも少しずつは進みつつあるが、家電が大好きな筆者の周りには、五つものリモコンがありそれを使って機器を動かしているところである。また、筆者はエネルギー管理サービスの審査を多々やってきたが、省エネルギー性や利便性がうたわれてもその有効性を検証する手立てがない。エネルギー管理を導入しても結局ほとんど効果がないようなこともしばしば起こっている。このような状況が続くとわが国では結局、真に必要なとされるエネルギー管理サービスが実現されず、最終的には国際競争力を失っていくことになるであろう。

今後は、わが国があまり得意としてこなかったシステムの統合化技術こそが持続的脱炭素社会実現のキーとなる。熱利用技術に対して多くの高度基盤技術を有するわが国が熱のDXまで世界を先導できれば、熱利用技術を引き続き国際競争力ある技術とすることも可能であろう。ハードウェアの基盤技術ばかりに注力し、気付いた時には、すっかり時代に乗り遅れてしまったスマートフォンの二の舞いを演じることにならないことを願うばかりである。

早稲田大学は、富士電機を含む30を超える機関とともに一般社団法人産業競争力懇談会（COCN：Council on Competitiveness-Nippon）の推進テーマとして“Ambient energy platformの構築と社会実装”なるプロジェクトを立ち上げ、多様なメーカーの多様な熱利用機器をもIoTで結びつけ、熱のEMSを早期に実現するためのプラットフォーム化について検討を進めている。

2023年度からは、大型国家プロジェクトとして検討を進める予定でもある。熱のDXが引き続きわが国の熱利用技術を牽引（けんいん）し、国際競争力ある技術を次々と生み出していく源となっていくことを願うばかりである。

新しい価値を創造する 富士電機の食品流通の現状と展望

Fuji Electric's Food Distribution Creating New Value: Current Status and Future Outlook

石橋 剛信 ISHIBASHI, Masanobu

① まえがき

日本の自動販売機の歴史は、1904年に登場した切手と葉書の自動販売機から始まったといわれており、その約60年後の1962年に国外の飲料メーカーが日本に進出してきた。富士電機は1965年に牛乳ベンダの製造発売を開始し、1970年の大阪万博においてカップ式コーヒー自動販売機を設置した。これを機に自動販売機は飲料メーカーの売上拡大の一翼を担う製品として日本の高度経済成長と相まって成長してきた。小売店舗向けには、1973年にオープンショーケースを発売以降、売り場を構成する製品としてお客さまの売上拡大を支えてきた。

SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）の達成やカーボンニュートラルの実現に向けた世界的な環境保護の流れ、さらには人口減少やコロナ禍などの社会環境の変化により、企業には環境保護や社会貢献が強く求められるようになってきている。

富士電機は、お客さまの売上拡大や環境保護に貢献するべく、市場変化に対応する技術の獲得に取り組んでいる。本稿では、これらの新技術や新製品など新しい価値を創造する富士電機の食品流通の現状と展望について述べる。

② 地球環境保護に対する貢献

政府が宣言した2050年のカーボンニュートラル実現の目標達成に向けて、富士電機の顧客もそれぞれの環境目標を掲げて再生可能エネルギーの利用拡大や省資源化に取り組んでいる。その中でも省エネルギー（省エネ）は、昨今の電力料金の高騰に伴うランニングコストの上昇を抑制する効果もあることから最大の

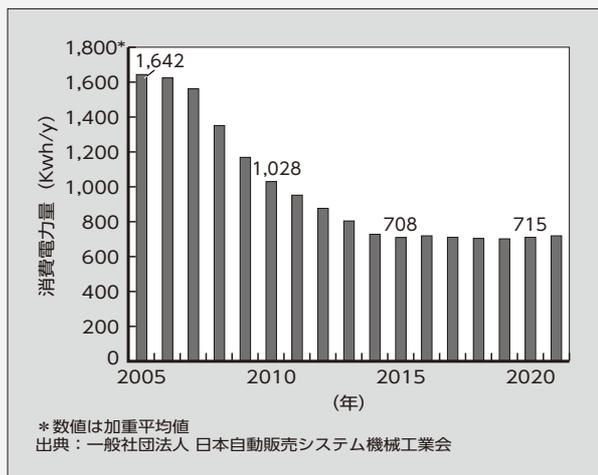


図1 飲料自動販売機1台当たりの年間消費電力量の推移

関心事となっている。

2.1 飲料自動販売機のヒートポンプ^(*)技術

飲料自動販売機1台当たりの年間消費電力量の推移を図1に示す。年々低下する傾向にあった消費電力量が2015年以降は停滞しており、さらなる省エネが求められていた。飲料自動販売機では、庫内の加熱と冷却を同時に行うためにヒートポンプを用いている。富士電機はこのヒートポンプの省エネに取り組んできた。

飲料自動販売機のヒートポンプの仕組みを図2に示す。屋内、屋外を問わずさまざまなロケーションに設置される飲料自動販売機は、外気温度をはじめ、商品収容数や売行き状況などさまざまな要因によりヒートポンプの負荷が変動する。また、季節に応じて庫内の一部を冷却から加熱に切り替える運転も行われる。これらの条件の下で最適な効率となるようにヒートポンプの運転方法を調整し、年間を通じて最大の省エネ効果が得られる制御技術を開発した。

(* 1) ヒートポンプ

ヒートポンプは、低い温度部から高い温度部に“熱”をくみ上げる。これにより低い温度部はより低く、高

い温度部はより高くなる。この原理は、冷蔵庫やエアコンでも使われている。室内機と室外機の間で冷媒により熱を移動させ、空気を冷やしたり暖めたりする。

ヒートポンプは圧縮機の仕事量以上の熱量を移動することができるので、効果的な省エネルギーの手段として注目を集めている。

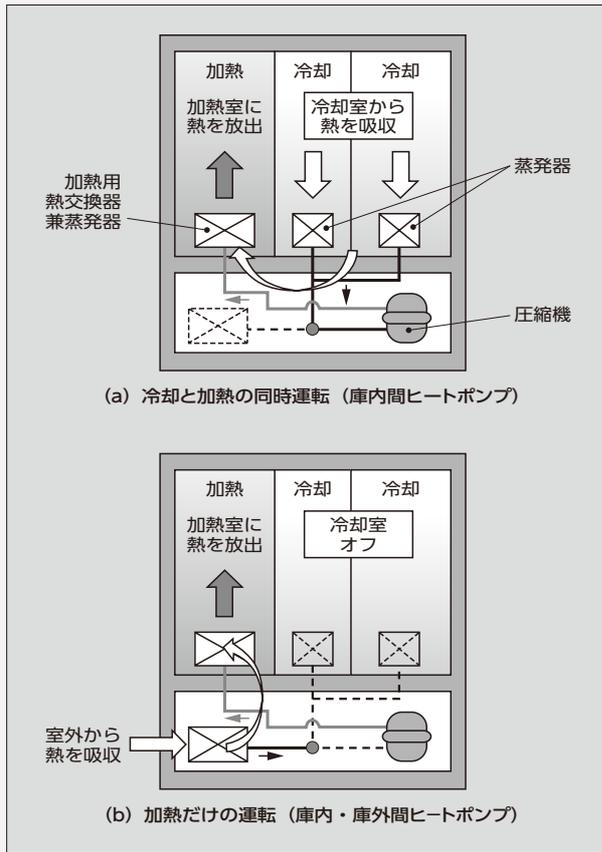


図2 飲料自動販売機のヒートポンプの仕組み

ヒートポンプは、加熱と冷却のバランスが取れた状態で運転しているときに最も効率が高くなる。外的要因により加熱側の負荷が高くなる場合には、ヒートポンプの熱交換器における冷媒の蒸発温度と凝縮温度を調整して、負荷に対する性能が加熱側と冷却側とで同等になるように制御する。

このヒートポンプ同期制御を最優先に適用して運転することにより、図2(b)の庫内・庫外間ヒートポンプを不要とし、省エネを可能にした(“飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術”、128ページ参照)。

2.2 ショーケースの省エネルギー技術

スーパーマーケットやコンビニエンスストアの店舗内で使われる設備の中で、商品を適切な温度に保冷するショーケースは、商品陳列部分が開放されていることから外気の影響を受けやすい。このため、密閉された庫内を冷却する冷蔵庫などと比べて多くのエネルギーを消費する。したがって、ショーケースの省エネが重要な課題となる。

一般にショーケースは、冷凍機の設置場所の違いから、二つに大別される。一つは内蔵ショーケースと呼ばれ、ショーケース内部に冷凍機を搭載し、その冷凍機により陳列された商品を冷却する。もう一つは、別置ショーケースと呼ばれ、図3に示すように店舗外に

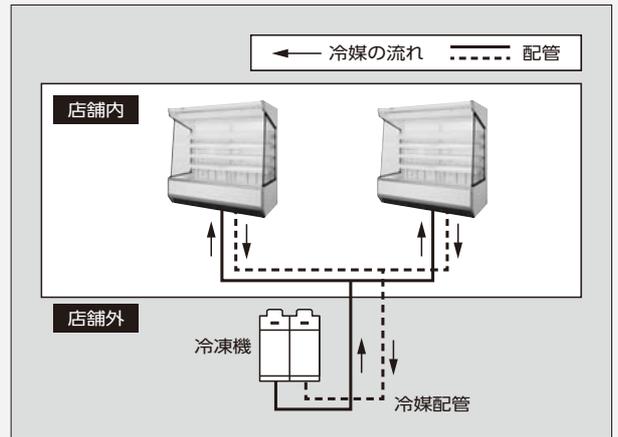


図3 別置ショーケース

冷凍機を設置し、店舗内の複数のショーケースと接続する。

別置ショーケースは現地で配管施工するため、配管の長さや屈曲具合が店舗ごとに異なり、配管内に封入する冷媒量がばらつきやすく、最適化するのが難しかった。そこで、現場で容易に使用でき、配管容量に応じて最適な冷媒封入量を算出するツールを作成し、展開した。施工時の冷媒封入量を最適化し、店舗全体の省エネ効果を高めることができた。

また、従来の機械式膨張弁では難しかった運転条件の最適化を実現できる電子膨張弁を用いた制御システムを開発した(“ショーケースの省エネルギー技術”、147ページ参照)。

2.3 店舗対応省エネルギーシステム

2.2節で述べたとおりショーケースは外気の影響を受けやすく、また、店舗内の機器は互いに影響を与え合う存在でもある。このため、機器ごとの効率化ではなく、店舗全体として省エネできる運転を行うことが重要である。さらに、来店者が感じる快適性を確保することも必要である。例えば、夏季に空調の設定温度を高めれば、省エネには有効であると一般的に認識されているが、来店者の快適性を損ない、売上げに影響する恐れもあるので、省エネと快適性を両立することは容易ではない。そこで、実際の店舗において省エネに影響する因子を抽出し、快適性との関係を分析した。快適性の定量化には予想平均温冷感申告(PMV: Predicted Mean Vote)と呼ばれる指標を用いて、省エネと快適性の両立を目指して、冷凍設備や空調だけでなく外気導入も利用することについて検討した(“店舗における省エネルギーの施策”、151ページ参照)。

③ 国内の市場変化への対応

少子高齢化と人口減少が続く基調の下で、小売業界

においても売上げの確保と省人化・省力化が課題である。これに加えてコロナ禍が市場環境を一変させ、既存のビジネスに大きな打撃を与えた一方で、非対面での販売など新たなニーズも生まれている。この大きな変化の中に好機を見出すことが求められている。

3.1 新しい自動販売機の付加価値サービス

富士電機は、これまで自動販売機を運用する事業者向けに運用効率の改善を支援する“自動販売機運用サービス”を提供してきた。昨今のSDGsへの貢献を求める機運の高まりを受け、運用事業者各社においても労働環境の改善や食品ロスの削減などの課題への取組みを一層強めている。これらの課題を解決するとともに売上拡大も可能とする新たな機能を拡充したサービスを2020年から順次提供している。

これらのサービスを提供するための基盤として、自動販売機に通信端末ユニット(MCU: Multi Communication Unit)を搭載している(図4)。このMCUを利用する新たなサービスとして、販売価格の表示を自動的に更新する“ダイナミックプライシング”、自動販売機の設定などの操作をスマートフォンアプリで行う“スマホリモコン”、さらに、キャッシュレス決済を安価な導入コストで実現できる“新QRコード決済”^(注)を開発した。これまで作業が行っていた、自動販売機の設置場所を巡回しての商品補充や代金回収、商品の切替えに伴う価格表示の変更といった作業を軽減できる。また、賞味期限が近付いた商品を値引きして売り切ることが容易に実施できる(“自動販売機運用サービスの拡充”、123ページ参照)。

3.2 コンビニエンスストアにおけるネットワーク化

コンビニエンスストアのような店舗では、市場の変



図4 通信端末ユニット

〈注〉QRコード：株式会社デンソーウェーブの商標または登録商標

化に対応した新商品や新機材の導入を続ける一方で省エネも求められている。さらに少子高齢化に伴う労働力不足への対応も大きな課題となっていて、省エネと同時にオペレーションの省人化・省力化も図る必要に迫られている。富士電機では、店舗機器をネットワーク化して店舗の運営を支援するシステムを提供している。

一例として、店舗コントローラを用いたシステムの構成を図5に示す。このシステムを通じてショーケース本体や冷凍機の稼働状態を監視・分析することにより、冷凍機の省エネ制御が可能になるだけでなく、機器の異常の兆候を検知して予知保全を実現することができる(“店舗向けネットワークサービス”、144ページ参照)。

3.3 「とろみ給茶機」

高齢化が進む国内では、介護が必要な要介護者が増加する一方で、介護サービスを担う労働力の不足が深刻化している。例えば、要介護者は食事を摂る際に誤嚥(ごえん)を起こしやすいため、提供する飲料にはとろみをつけて飲み込みやすくする対策が取られている。このとろみ飲料は要介護者の状態に合わせて用意する必要があるため、その調理には多大な労力を要していた。

そこで富士電機は、カップ式自動販売機で培った技術を応用し、とろみ飲料を調理するカップミキシング式自動給茶機「とろみ給茶機」を開発した(図6)。簡単な操作で利用者一人一人の状態に合わせたとろみ飲料を手間なく作ることができ、さらに最小限のメンテ

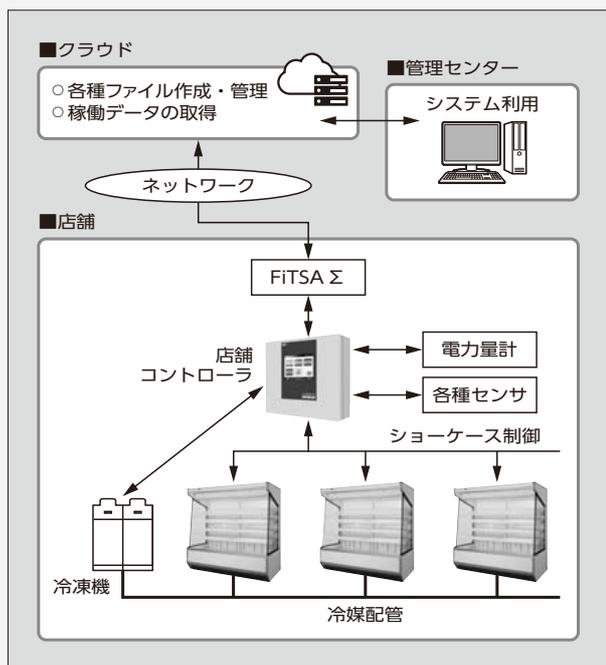


図5 店舗コントローラを用いたシステムの構成図



図6 「とろみ給茶機」

ナンスで運用できるように工夫されているので、とろみ飲料の提供に要していた介護者の負担を軽減できる（“カップミキシング式自動給茶機「とろみ給茶機」”、136 ページ参照）。

3.4 冷凍自動販売機

コロナ禍により生活様式が変化し、中食市場が急成長している。中でも冷凍食品は、冷凍技術の発達による品質の向上とともに、賞味期限が長いことから食品ロスを解決する手段として SDGs の面からも注目されている。

また、外食業界ではコロナ禍による外出制限や営業時間の短縮、非対面志向の広まりによって売上げが減少しており、これを挽回する新たな販売手段として自動販売機が有力視されている。

そこで富士電機は新しい冷凍自動販売機「FROZEN STATION」を開発した（図7）。多種多様な商品を販売できるスパイラルラックを搭載し、庫内スペースを有効活用して大型商品の取容および取容数の増加を



図7 冷凍自動販売機「FROZEN STATION」

実現した。また、シミュレーションにより搬出される商品の挙動を解析し、商品を確実に取り出すことができる搬出機構を開発した。さらに、自動販売機の操作や運用に不慣れな方でも安心して扱えるように、運用支援サービスも用意している。今まで自動販売機を運用したことがない顧客に向けた商材であり、自動販売機による冷凍食品市場の拡大につながることを期待している（“冷凍自動販売機「FROZEN STATION」”、132 ページ参照）。

4 さらなる成長に向けた挑戦

国内外に向けた、その他のソリューションについて述べる。社会課題の解決や顧客の利便性向上など新たな価値を生む研究開発に取り組んでいる。

4.1 グローバル汎用自動販売機

東南アジア（タイ、マレーシア、シンガポール、インドネシアなど）においては、既に1万台以上の食品自動販売機が設置されている。近年はコンビニエンスストアチェーンが自動販売機の運営に参入し、さらにさまざまな飲料や食品の販売需要が増加傾向にある。この地域で販売される缶・ペットボトルの形状は国内とは比較にならないほど種類が多く、国内向けの飲料自動販売機では取り扱うことができない。また、台湾では、病院での医薬品の払出しに自動販売機を利用することが検討されている。薬剤師の人為的ミスの防止と、医薬品の定温保管に有用と期待されたためである。

そこで富士電機は、さまざまな形状の商品を多数収納できて、柔らかい商品でも中身が形崩れを起こさずに販売できる商品搬送機構を搭載した自動販売機を開発した（図8）（“グローバル汎用自動販売機「FGG160DCY」”、140 ページ参照）。



図8 「FGG160DCY」

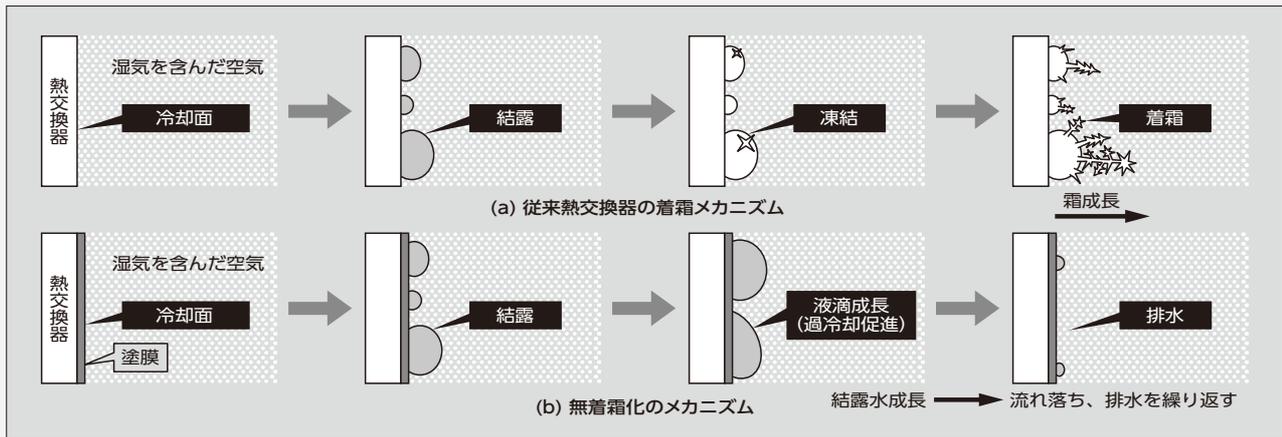


図9 無着霜化のメカニズム

4.2 エッジデバイス

普及が進むIoT（Internet of Things）システムは、便益のさらなる向上のためにリアルタイム性への要求が強まっていることから、従来のクラウド中心の構成から、エッジデバイス側での処理を高度化した構成へと変化しつつある。

そこで富士電機は、多様なニーズに応えるために、新たなIoTプラットフォームの要件を定義し、これを実現するためのソフトウェアアーキテクチャを追求したエッジコンピューティング用の端末、すなわちエッジデバイスの基盤技術を開発した。

多様なニーズに応える柔軟性とアプリケーション開発の期間短縮を可能にするため、OSS（Open Source Software）を活用したソフトウェアを採用した。ハードウェアはコネクティビティを強化した構成とし、有線と無線の両方を利用できる。将来のアップデートを容易にするため、機能モジュールの構成を工夫した。セキュリティソフトを標準搭載しており、安全に使用できる（“次世代エッジデバイス基盤開発とその適用”、159ページ参照）。

4.3 熱交換器の無着霜化技術

ショーケースや自動販売機だけでなく、冷蔵庫など対象物を冷却する機器には、熱交換器が使われている。熱交換器の内部を循環する冷媒の気化熱を利用して機器の庫内を冷却する。動作中に低温になる熱交換器の表面には空気中の水分が結露し、これが0℃以下に冷却されると凍結して霜に成長し、熱交換の効率を低

下させる。これまでは、霜を除去するには、熱交換器の表面をヒータで加熱する方法が採られており、これに必要なエネルギーを余分に消費しなければならなかった。

図9に無着霜化のメカニズムを示す。熱交換器表面に特定の材料を塗布することで過冷却促進（凍結の起点となる水核の作用を妨げること）ができ、結露した水分が凍結せずに成長して自重で流れ落ちるので、霜が発生しない。これまでは必要だった除霜に費やすエネルギーを不要とする技術の研究開発を進めて、ショーケースや自動販売機のさらなる省エネの実現を目指している（“機能性塗料による熱交換器の無着霜化技術”、155ページ参照）。

5 あとがき

新しい価値を創造する富士電機の食品流通の現状と展望について述べた。市場環境は今後も、より速いスピードで変化し、グローバルでの環境に配慮した経営が重視される。

食品流通のコア技術である冷熱、メカトロニクス、IoT技術をさらに向上させ、この市場変化に迅速に対応し、新しい価値を提供し続けていく所存である。



石橋 剛信

自動販売機、店舗流通機器の研究開発に従事。富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場副工場長。

自動販売機運用サービスの拡充

Expansion of Vending Machine Operation Services

田中 誠一 TANAKA, Seiichi

柳川 弘行 YANAGAWA, Hiroyuki

水野 健太 MIZUNO, Kenta

自動販売機を運用する事業にて労働環境の改善や食品ロス削減など、SDGs に貢献する取組みが求められている。富士電機は、自動販売機の運用効率を改善する“自動販売機運用サービス”を展開しており、今回新たな機能を開発した。設定ルールに合わせて商品販売価格を変更する“ダイナミックプライシング”、自動販売機のリモコン操作を簡便化する“スマホリモコン”、ならびに QR コード決済を安価に導入可能な“新 QR コード決済”である。これにより、オペレーションの作業時間の 20% 削減をはじめとする容易な運用環境の構築、自動販売機の売上げの向上が期待できる。

In the vending machine business, there are calls for efforts to contribute to the SDGs, such as by improving the working environment and reducing food loss and waste. Having been rolling out its Vending Machine Operation Services to improve the efficiency of vending machine operation, Fuji Electric has now developed new functions. These functions are dynamic pricing, which changes product selling prices according to set rules; a smartphone remote controller, which simplifies vending machine remote operation; and New QR Code Payment, which enables the introduction of QR code payments at a low cost. These functions are expected to reduce operating hours by 20%, create an easy operating environment, and increase sales of vending machines.

1 まえがき

富士電機はこれまでも、自動販売機を運用する事業者向けに運用効率の改善を支援する“自動販売機運用サービス”を提供している。昨今の SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）への貢献を求める気運の高まりを受け、運用事業者（オペレーター）各社においては労働環境の改善や食品ロスの削減などの課題への取組みを一層強めている。これらの課題を解決するとともに売上拡大も可能とする新たな機能を拡充したサービスを、2020 年から順次提供している。本稿では、この自動販売機運用サービスの拡充について述べる。

2 自動販売機の運用における課題

日本国内の自動販売機市場は飽和状態にある。さらに、スーパーマーケットやコンビニエンスストアといった商品販売チャネルの拡大により販売競争が激化しており、自動販売機のオペレーターにとっては、自動販売機 1 台当たりの売上げをいかに増やしていくかが課題となっている。

また、少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少や、働き方改革への対応により労働環境の見直し改善が求められる中で、売上管理や在庫管理などの運用業務の効率化が課題となっている。例えば、自動販売機を巡回する作業者は、1 日に複数拠点を回る必要があり、商品補充や価格変更を伴う商品入替えといった業務は非常に時間がかかるため、今以上に巡回数を増やすことは困難である。また、期限内に売り切れなかった商品は廃棄せざるを得ないという問題にも新たな対策が求められている。

3 自動販売機運用サービスの基盤

富士電機ではこれまで、自動販売機に通信端末ユニット（MCU：Multi Communication Unit）を搭載して、自動販売機の売上情報、商品売切れ情報、故障情報および稼働情報を MCU 経由でリアルタイムにクラウドサーバに集約し、オペレーターなどに迅速に情報を伝えるシステムを構築してきた。図 1 に自動販売機運用サービスのシステム構成を示す。この既存サービスでは、自動販売機への商品補充情報と自動販売機での売上情報とを連動させて、商品在庫や賞味期限を遠隔から管理する“在庫管理”、在庫情報とルート情報とから最適な巡回ルートを提案する“ルート管理”を提供している。

自動販売機は、クラウドサーバにインターネットを介して接続され、情報は暗号化されて送受信される。また、クラウドサーバでは、オペレーターの利用者認証や自動販売機の機器認証によるアクセス制限を行うことにより、セキュリティを確保している。

表 1 自動販売機運用サービスの例

導入効果	サービス
オペレーション効率化	売上管理
	在庫管理（売切れ、商品期限など）
	ルート管理（巡回、補充計画）
	ダイナミックプライシング
売上向上	スマホリモコン
	商品ラインアップ最適化
	新QRコード決済

■：本稿で説明するサービス

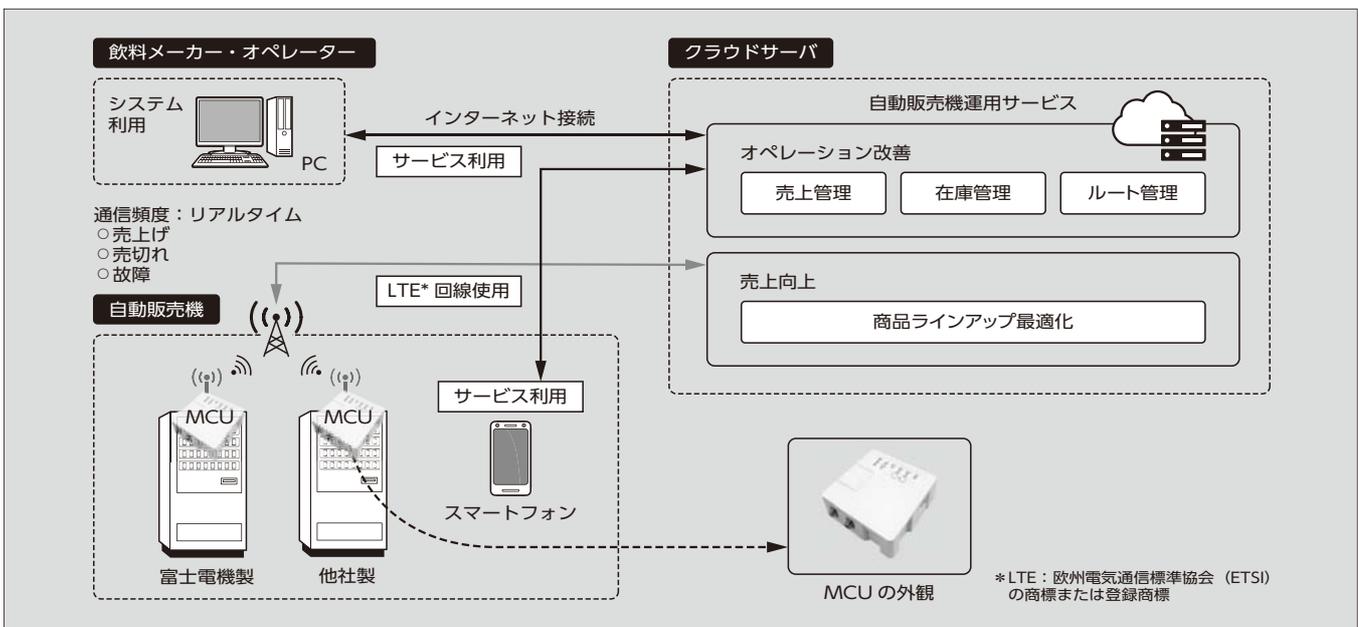


図1 自動販売機運用サービスのシステム構成⁽¹⁾

4 運用サービスの新メニュー

今回、富士電機は、表1に記載の自動販売機運用サービスとして、設定ルールに基づき商品価格を遠隔から変更する“ダイナミックプライシング”、習熟が必要な自動販売機専用のリモコン操作を簡便化する“スマホリモコン”、ならびにQRコード^(注1)決済サービスを安価な導入コストで実現する“新QRコード決済”を開発した。

自動販売機の運用効率の改善のために、新たに開発したサービスメニューを従来からのメニューとともに表1に示す。これらの新サービスの機能とその効果の詳細は次に述べる。

4.1 ダイナミックプライシングサービス

これまで、新商品のプロモーションや商品入替え時の売り切りを行う場合に、商品の割引販売が行われていた。昨今では、コロナ禍における非対面での無人販売が目立され、食品自動販売機も増加傾向にある。また、賞味期限切れによるフードロスの削減も求められている。

割引販売のための価格変更を行う場合、現状では自動販売機付属のリモコンで商品ごとに価格設定を変更する必要がある。さらに、価格表示の変更に対して自動価格表示機能を持たない自動販売機の場合は、商品ディスプレイ内の価格シールの貼替えも必要となる。これらの作業はオペレーターが自動販売機の設置場所に赴いて行う必要があり、自動販売機の運用業務の中で大きな負担となっていた。

このような業務を効率化するため、遠隔から自動販売機

〈注1〉 QRコード：株式会社デンソーウェブの商標または登録商標

の商品価格を自動変更するダイナミックプライシングサービスを新たに開発した。図2に本サービスの概要を示す。

本サービスにより、オペレーターは富士電機が提供するクラウドサーバに自社端末からアクセスし、巡回対象の各自動販売機の設定を変更できる。変更された設定は、クラウドサーバから自動販売機のMCUを介して自動販売機に送られ、変更後の設定が反映される。これにより、オペレーターは価格設定の変更のための巡回が不要となる。加えて、本サービスでは、オペレーターのユースケースに応じて設定ルールに基づいた変更も行うことができる。例えば、イベント日時限定セールや季節商品変更前などの期間限定セール（タイムセール）などの“日時・期間指定変更機能”、設置場所などの機器条件や売れ行き・賞味期限などの在庫条件を考慮した“機器・在庫条件指定変更機能”を用意している。

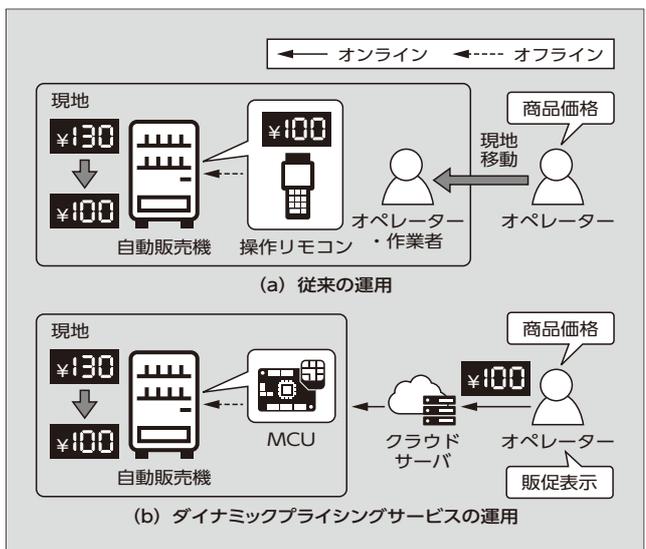


図2 ダイナミックプライシングサービスの概要



図3 新価格表示ボタンの表示イメージ

これに併せて、ダイナミックプライシングサービスの効果を最大限に発揮させることができる新たな価格表示ボタン（新価格表示ボタン）も開発した。図3に新価格表示ボタンの表示イメージを示す。この新価格表示ボタンにより実現できる新たな機能を次に述べる。

(1) “イチオシ!”表示

特に売りたい商品に割り当てられたボタンに“イチオシ!”をオペレーターが表示させることができる。従来の自動販売機の場合、オペレーターは独自のPOP表示を使用してこのような販売促進表示を行っていたが、本製品はボタン内の表示で対応できる。さらにこの表示は、点滅させて強調させることも可能である。

(2) “割引”表示

販売価格の割引を行う商品に割り当てられたボタンに“割引”と表示させることができる。従来の自動販売機の場合、割引運用を行った場合でも割引後の販売価格が表示されるだけで、購入者に割引中であることをアピールするには、別途POP表示を使用しなければならなかった。イチオシ!表示と同様に、“割引”も点滅させて強調させることが可能であり、購入者に容易にアピールすることができる。

(3) 冷温表示

販売商品の温度帯（温かい、または冷たい）を割り当てられたボタンに表示させることができる。従来は商品ディスプレイ内のPOP表示で行っていたが、本ボタンは冷温ランプ（橙・青・紫）と冷温表示（HOT・COLD・常温）を備えており、これらを連動させて冷温状態を表示することができる。また、常温の表示は従来の自動販売機ではPOP表示で対応する必要があったが、本ボタンでは冷温ランプ“紫”と冷温表示“常温”により表現することができる。

(4) 表示価格の4桁化

今後、拡大が予想される食品や物品などの飲料以外の商品を視野に入れ、価格表示を4桁とした。従来は3桁であったため、1,000円以上の商品を扱う場合は価格表示機能付きボタンであっても価格シールを使う必要があった。

本サービスを利用することで、オペレーターは設定変更を行うために自動販売機の設置場所を巡回する必要がなくなり、巡回オペレーションの作業時間を従来に比べて20%削減できる。

また、販売状況や周囲環境に合わせた臨機応変なプロ

モーションを行うことで、商品の販売機会を逃がすことなく売上向上につなげることができ、また、商品の売れ残りによる廃棄のリスクも軽減できる。さらに、4桁の価格表示を利用すれば、飲料商品以外の食品・物品などの多様な商品についても販売機会を増やすことができる。

4.2 スマホリモコン

これまでの自動販売機では、設定変更などの操作は、各自動販売機に付属の操作リモコンによって行うが、この操作方法が直感的に分かりづらいものとなっており、新規顧客の自動販売機導入をちゅうちょさせる原因になっていたと考えられる。

従来の自動販売機の操作リモコンは、目的ごとに指定されたコードナンバーを入力し設定する方式を採っている。表2に操作リモコンの入力例を、図4に従来の操作リモコンの操作例を示す。オペレーターは、これらのコードナンバーを記憶しておくか、取扱説明書を読む対応が求められる。リモコンの複数ボタンを操作して目的のコードナンバーを入力し、コードナンバーに該当するメニュー画面においても複数回のボタン操作が必要である。このように、従来の操作リモコンでは、設定変更・確認を行う際に時間を要すことから、オペレーターに長時間労働を強いる結果となっていた。

スマートフォンを操作リモコンとして利用できる“スマホリモコン”を開発した。これはMCUとスマートフォンをBluetooth^(注2)で接続し、スマートフォンにあらかじめ導

表2 操作リモコンの入力例

操作内容	入力内容
売上管理	売上集計キー：TC
照明点灯条件	モードキー：2-09
商品払出動作	テストキー：T5T1
販売価格変更	価格設定キー：金額入力

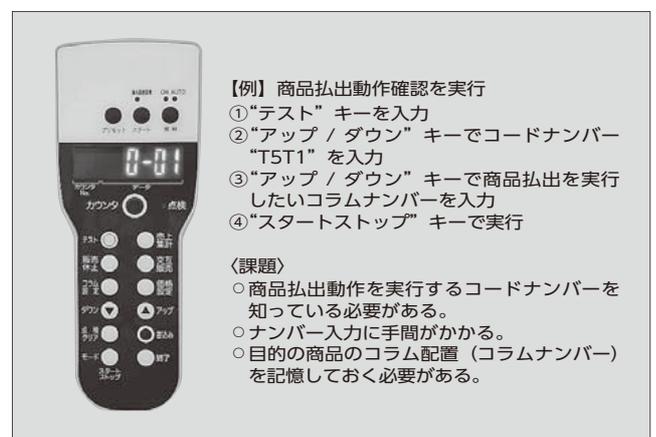


図4 従来の操作リモコンの操作例

〈注2〉 Bluetooth：Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標



図5 スマホリモコン

入したアプリケーションを用いて自動販売機の設定や情報確認を行うことができるシステムである。スマホリモコンの操作手法は従来のコードナンバーの入力操作とは異なり、図5のように絵や文字で操作手順を分かりやすく表現し、画面表示により操作手順を誘導して直感的に操作できる。さらに、スマホリモコンを利用すると、クラウドサーバに保存されている設定値をスマホリモコンで事前に変更することができ、現地での作業時間を大幅に短縮するとともに、設定ミスを防止することができる。

4.3 導入が容易な新 QR コード決済

自動販売機におけるキャッシュレス決済は、NFC (Near Field Communication) による電子マネーが主流であったが、国内での QR コード決済を利用する購入者の急増を受け、自動販売機でも QR コード決済に対応した決済端末の導入・運用が進んでいる。この QR コード決済を実行するためには、図6に示すとおり、“モバイル端末に表示された QR コード”を“決済端末で読み取る (CPM: Consumer Presented Mode)”か、“決済端末に QR コードを表示”して“モバイル端末で読み取る (MPM: Merchant Presented Mode)”が必要となる。CPM の場合はスキャナやカメラが、MPM の場合は LCD (Liquid Crystal Display) などの表示器が必要となるため、決済端末が高価になってしまう。この導入コストを理由にキャッシュレス決済の導入を断念する顧客が多かった。

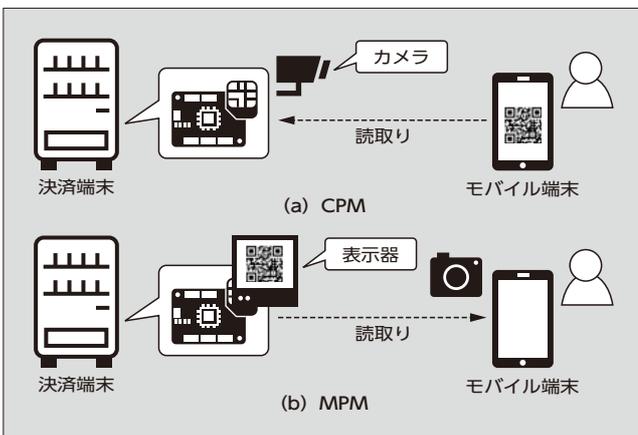


図6 QRコード決済方式

この問題を解消するため、印刷した QR コードを1枚貼付するだけで安価に導入できる、新たな QR コード決済 (新 QR コード決済) システムを構築した。図7に従来の QR コード決済フロー (MPM 方式) を、図8に新 QR コード決済フロー (MPM 方式) を示す。新 QR コード決済システムでは、自動販売機が搭載する MCU を利用する。印刷された QR コードをモバイル端末で読み取り、Bluetooth にて接続し、従来の QR コード決済と同じ“決済用 QR コード情報”を MCU に通知する。自動販売機の MCU は、モバイル端末の操作による決済結果を決済サーバから受信することで、商品を販売する。これは、購入者から見るとモバイル端末のカメラにおける QR コード読取り方式 (MPM) と互換性のある決済フローとなる。こ

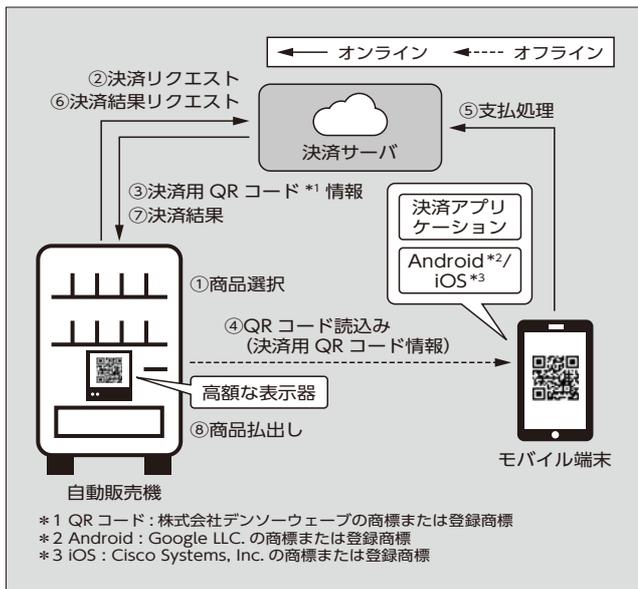


図7 従来の QR コード決済フロー (MPM 方式)

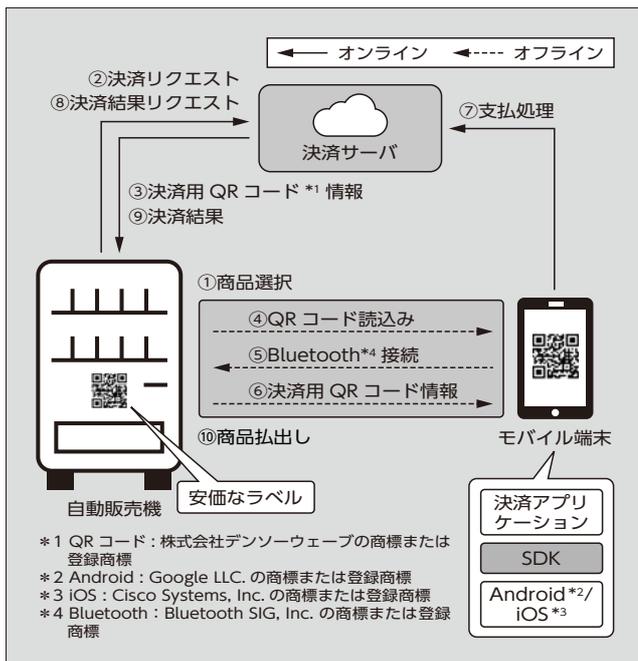


図8 新 QR コード決済フロー (MPM 方式)

の方式では、自動販売機のMCUは、モバイル端末と決済サーバとの3者間で正当性を検証することにより、なりすましやデータ偽造などから決済情報を保護し、セキュリティを確保する。また、本システムを実現するには、モバイル端末上の決済アプリケーションを開発することが必要となるが、これを容易化するソフトウェア開発キット（SDK：Software Development Kit）を富士電機が用意しており、顧客からの要望に応じて提供している。

新QRコード決済は、従来の方式より安価に構築できるため、導入コストを理由にキャッシュレス決済端末の搭載を断念していた顧客でも、導入可能となる。QRコード決済に対応できれば、決済事業者での割引やポイントキャンペーンとも連携できるほか、使い勝手の良さから購入者が拡大して自動販売機の売上げが向上することが期待できる。

⑤ あとがき

自動販売機運用サービスの拡充について述べた。お客さまの課題を解決する新たなサービスとして、自動販売機運用の効率化および売上向上を実現できるものと考えている。

今後は、オペレーターの鍵管理業務改善ならびに自動販売機セキュリティを高度化する電子鍵システムや、経費精算のデジタル化に伴い物品自動販売機で需要の高まる電子領収書サービスなど、市場ニーズに応じたサービスを持続的に創出し、自動販売機のさらなる価値向上を通じて自動

販売機運用事業者の事業に貢献することを目指す所存である。

参考文献

- (1) 片山修吾ほか.オペレーション業務の効率化に貢献するIoT・AIを活用した自動販売機運用サービス. 富士電機技報. 2021, vol.94, no.3, p.151-156.



田中 誠一

食品流通分野の制御開発設計業務に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場制御設計部担当部長。



柳川 弘行

食品流通分野でのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場制御設計部。



水野 健太

食品流通分野の制御開発設計業務に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場制御設計部。



飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術

Technology for Applying Heat Pumps to Beverage Vending Machines

渡辺 忠男 WATANABE, Tadao

河野 周 KONO, Amano

利便性が高く広く普及している飲料自動販売機は、エネルギー効率の向上が求められている。富士電機は、庫内間ヒートポンプの運転拡大とエネルギー効率の向上となる飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術を開発した。目標の蒸発温度を維持するように電子膨張弁を用いて冷媒の膨張量をきめ細かく制御し、蒸発温度による負荷調整運転を行うことで、庫内間ヒートポンプの運転調整範囲を拡大した。凝縮温度は、PID 制御で目標値に合わせた運転を行った。この結果、庫内間ヒートポンプのみの運転を実現し、約 4% の省エネルギーを達成した。

Beverage vending machines, widely used for their convenience, are required to improve their energy efficiency. Fuji Electric has developed a technology for beverage vending machines to expand the use of heat pumps between internal compartments and improve energy efficiency. An electronic expansion valve is used to precisely control the amount of refrigerant expansion to maintain the target evaporation. This load adjustment operation based on the evaporation temperature allows the adjustable operating range of the heat pumps to be expanded. PID control keeps the condensation temperature to match the target value. This technology was able to run vending machines only on heat pumps between internal compartments, thereby saving approximately 4% of energy.

1 まえがき

飲料自動販売機は、いつでも手軽に飲み頃温度の飲料を提供できる利便性が高い製品であり、国内では約 225 万台が普及している⁽¹⁾。飲料自動販売機はエネルギー消費機器でもあるため、2002 年に「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」の特定機器に指定され、エネルギー効率を向上させることが求められている。富士電機は、ヒートポンプを含めさまざまな技術開発に取り組んできた。本稿では、缶飲料とペットボトル飲料を同時に販売する飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術について述べる。

2 飲料自動販売機における加熱・冷却の仕組み

2.1 飲料自動販売機の内部構造と運用

図 1 に飲料自動販売機の内部構造を示す。一般的な飲料自動販売機は、庫内に三つの商品保管室（左室・中室・右室）を備え、庫外には機械室がある。商品収納部のラックには、内容量が 350 ml 以下の小容量の缶飲料を主とした“標準ラック”に加え、大容量の 500 ml ペットボトル飲料を収納する“ペットラック”も使用される。収納する商品の種類に応じて飲料自動販売機の幅寸法、奥行寸法も多種類となっている。

飲料自動販売機には、飲料を冷却、または加熱するためのヒートポンプが内蔵されている。各商品保管室は、商品の用途に応じて冷却室と加熱室に使い分けられる。一般的な自動販売機では、左室と中室は冷却室と加熱室を兼用し、右室は冷却室専用となっている。

表 1 に飲料自動販売機の冷却室と加熱室の使い分け（運転モード）を示す。運転モードは 4 種類があり、主に夏季は、3 室全て冷却の CCC モードで運用することが多い。

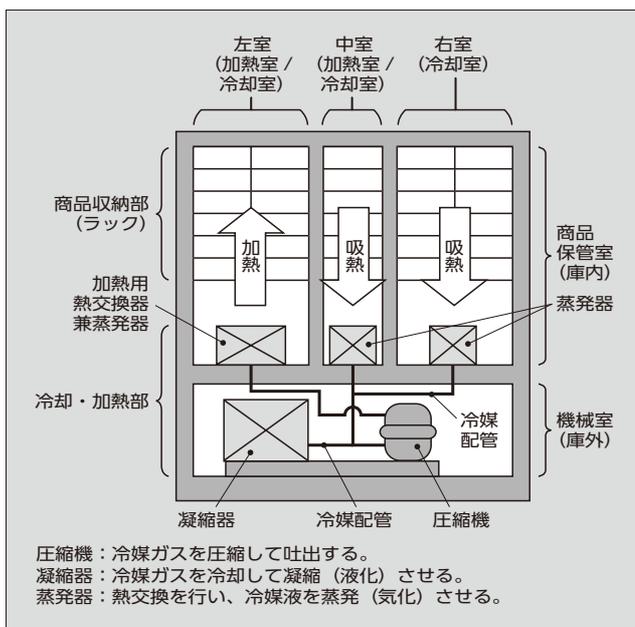


図 1 飲料自動販売機の内部構造

表 1 飲料自動販売機の運転モード

運転モード*	左室 (加熱室 / 冷却室)	中室 (加熱室 / 冷却室)	右室 (冷却室)	主な運用季節
CCC	冷却	冷却	冷却	夏季
HCC	加熱	冷却	冷却	春季・秋季
CHC	冷却	加熱	冷却	春季・秋季
HHC	加熱	加熱	冷却	冬季

*C：冷却 (Cold)、H：加熱 (Hot)

他の季節には販売動向などにより冷却と加熱の運転を切り換えているが、実際の運用では、一年の大半が図 2 に示す HCC モードで運用される。そのため、この運転モード

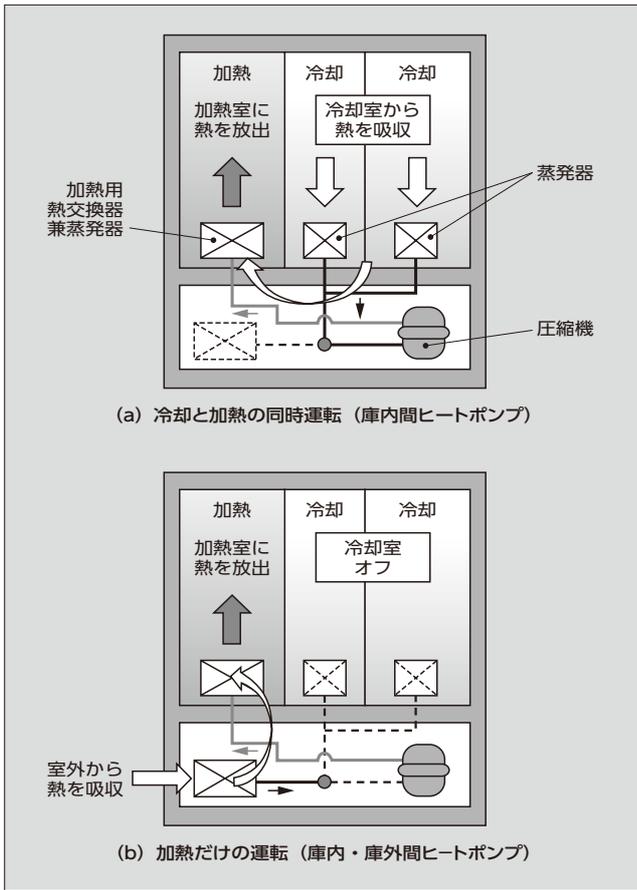


図2 飲料自動販売機のヒートポンプの仕組み(HCCモード運転)

における消費電力量の削減は、大きな省エネルギー（省エネ）効果が期待できる。

2.2 ヒートポンプによる加熱と冷却の仕組み

ヒートポンプとは、“熱を移動させるポンプ”と呼ばれているもので、例えば一般家庭のエアコンにも使われている。エアコンの場合は、少ない電気エネルギーで室外の空気から熱を集めて、室内の空気を温めることに使われる。逆に、室内の空気から熱を集めて室外に温風を放出する冷房としても使うことができる。エアコンでは冷房と暖房を切り替えて使用するが、飲料自動販売機では冷却室でくみ上げた熱を加熱室に送り込んで、冷却と加熱を同時に行う。

加熱室と冷却室の商品は、適切な温度範囲に保つことが求められる。ヒートポンプは、原理的に冷却と加熱を個別に行うことができないため、冷却室の冷却と加熱室の加熱を同期して行う必要がある。従来の飲料自動販売機では、庫内間ヒートポンプ〔図2(a)〕は冷却室を主、加熱室を従として制御されている。例えば周囲温度が15℃の場合、冷却室内温度5℃との温度差は10K、加熱室内温度55℃との温度差は40Kとなり、加熱する方が負荷が高いため、加熱室への加熱が不足する。これを補うため、室外の空気から熱をくみ上げる庫内・庫外間ヒートポンプ〔図2(b)〕を装備している。ヒートポンプの運転動作を図3に示す。冷却室の温度が設定した温度まで上昇したら、庫内間ヒートポンプの運転を開始し、冷却室の冷却と

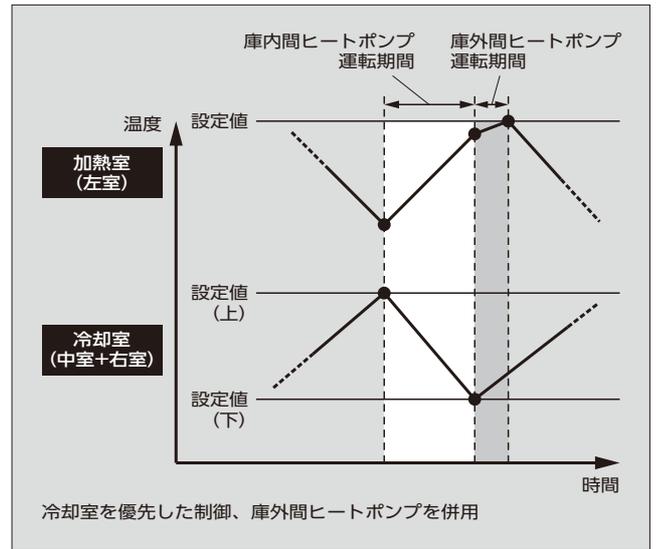


図3 ヒートポンプの運転動作（従来機）

加熱室の加熱を開始する。冷却室の温度が設定した温度まで降下したら庫内間ヒートポンプの運転を終了する。この時点では加熱室の加熱が不足しているため、直ちに庫内・庫外間ヒートポンプの運転を開始し、加熱室の加熱を継続する。加熱室の温度が設定した温度に達したら、庫内・庫外間ヒートポンプを停止する。この後、冷却室の温度が再び上昇したら、上述の動作を繰り返す。

庫内・庫外間ヒートポンプは、室外から熱をくみ上げて加熱のみに使用されるため、加熱と冷却を同時に行う庫内間ヒートポンプと比較して効率が低い。省エネを図るためには、庫内・庫外間ヒートポンプの使用割合を低減させることが必要である。

③ ヒートポンプの運転効率の向上

2.2節で述べた課題を解決するため、効率の低い庫内・庫外間ヒートポンプを使用せずに、庫内間ヒートポンプのみで加熱と冷却を行う技術を開発した。

3.1 蒸発温度の制御による加熱・冷却能力の均衡化

従来の庫内間ヒートポンプの運転方法では、冷却に対して加熱能力が不足していた。蒸発器の冷媒が蒸発する時の温度（蒸発温度）を変えると、冷却能力と加熱能力の比率を変えることができる。図4に開発機における冷媒の蒸発温度と加熱・冷却能力の比率との関係を示す。蒸発温度を上げると冷却能力に対する加熱能力の比率は上昇する。膨張弁で冷媒の流量を変えて蒸発温度を制御することにより、冷却を遅らせて、冷却室と加熱室の温度が同時に設定値に達するようにヒートポンプを制御することができる。従来機では、事前に設定した蒸発温度でしか運転できなかったが、開発機では状況に応じて、蒸発温度による能力調整運転を行うことで、庫内間ヒートポンプの運転調整範囲を拡大することが可能となる。

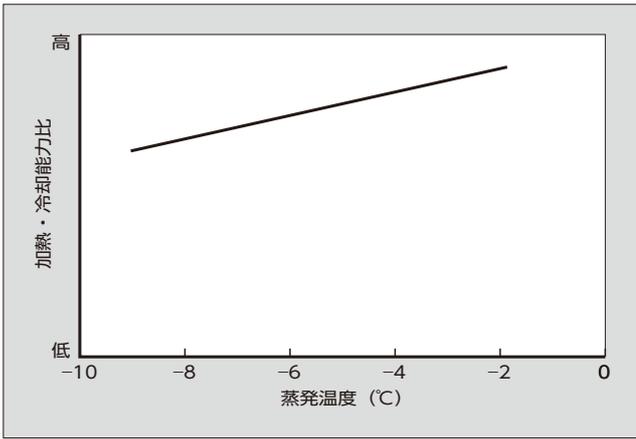


図4 開発機における冷媒の蒸発温度と加熱・冷却能力の比率との関係

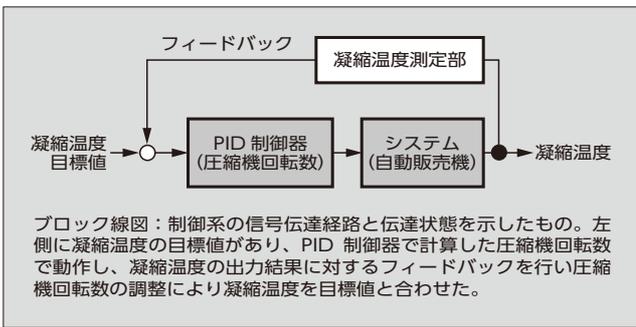


図5 PID制御のブロック線図

3.2 凝縮温度の制御による加熱効率の向上

冷媒が凝縮器で凝縮する温度（凝縮温度）には、ヒートポンプの加熱効率が最大になる条件が存在する。圧縮機の回転数を制御することにより、この凝縮温度を保持して加熱効率の最大化を実現できる。PID（Proportional-Integral-Differential）制御を用いて圧縮機の回転数をインバータで制御することにより、加熱室にある熱交換器の凝縮温度を目標値に保持することができる。図5にPID制御のブロック線図を示す。

3.3 効果

3.1節で述べた制御を適用したヒートポンプの運転動作を図6に示す。ここでは、加熱室を主、冷却室を従として、ヒートポンプの制御を行っている。加熱室の温度が設定した温度まで降下したら、庫内間ヒートポンプの運転を開始し、加熱室の加熱と冷却室の冷却を開始する。加熱室の温度が設定した温度まで上昇したら庫内間ヒートポンプの運転を終了する。蒸発器の冷媒の蒸発温度を制御することで、加熱室と冷却室の温度が同時に設定値に達することができる。

図7にヒートポンプ運転中の凝縮温度推移を示す。開発機では、PID制御により目標の凝縮温度での運転を実現している。なお、この目標凝縮温度は、商品を加熱するのに必要最低限の温度としている。

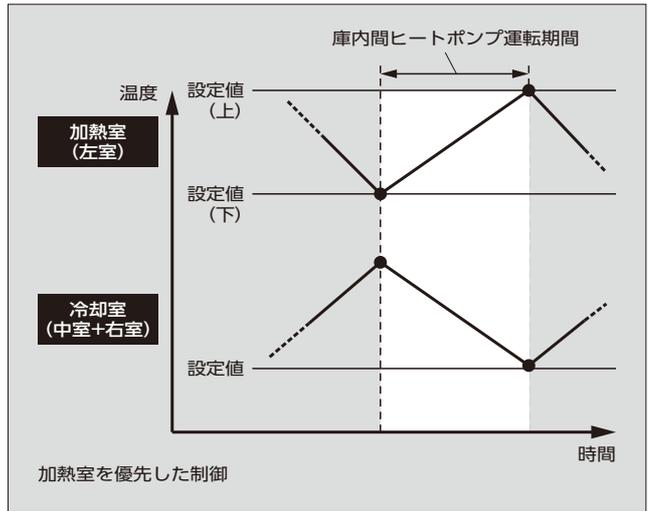


図6 ヒートポンプの運転動作（開発機）

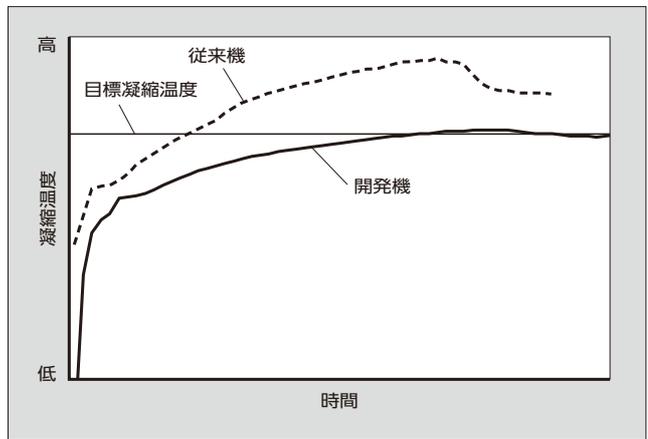


図7 ヒートポンプ運転中の凝縮温度推移

図8にヒートポンプ運転開始から運転終了までのエネルギー効率の推移を示す。開発機は、冷却能力に対する加熱能力の比率が従来機より約18%向上しており、運転開始から終了に至るまで従来機よりエネルギー効率が向上している。庫内・庫外間ヒートポンプを使わずに、庫内間ヒートポンプのみで運転をしている効果は大きく、図8の例では4%の省エネを達成している。

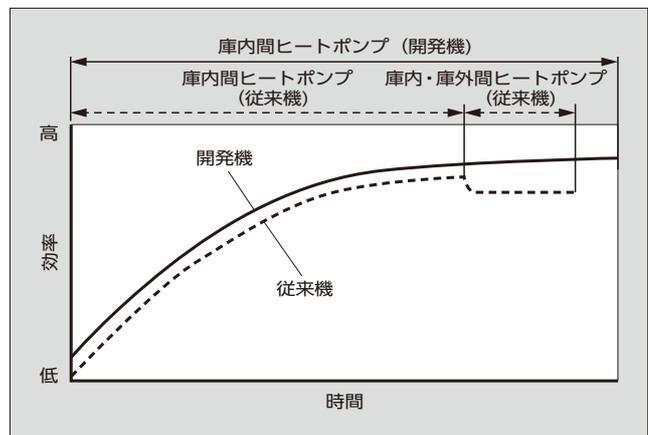


図8 ヒートポンプ運転中のエネルギー効率

information/fukyu2021.pdf, (参照 2022-08-23).

4 あとがき

飲料自動販売機のヒートポンプ適用技術について述べた。本開発により、庫内間ヒートポンプの運転拡大と効率向上を行うことができた。今後も、飲料自動販売機の設置環境に合わせた、最適な省エネルギー運転が求められる。ヒートポンプの回路技術の向上および高効率化につながる制御の高度化・高精度化を目指した技術開発を推進していく所存である。

参考文献

- (1) 一般社団法人 日本自動販売システム機械工業会. “普及台数 2021年（令和3年）版”. <https://www.jvma.or.jp/>



渡辺 忠男

自動販売機、オープンショーケースの冷凍機開発業務に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場開発部担当課長。



河野 周

自動販売機の冷凍機開発業務に従事。現在、富士電機株式会社三重工場開発部。日本冷凍空調学会会員。



冷凍自動販売機「FROZEN STATION」

“Frozen Station” Frozen Food Vending Machine

福田 勝彦 FUKUDA, Katsuhiko

岩子 努 IWAKO, Tsutomu

中西 寿一 NAKANISHI, Toshikazu

近年の生活様式の変化により中食市場が急成長しており、中でも冷凍食品は冷凍技術の進展による味の向上と、食品ロス問題への解決手段としての期待からニーズが高まりつつある。今回さまざまなロケーションにおいて、店舗の商品を非対面かつ24時間販売可能な冷凍自動販売機「FROZEN STATION」を開発した。大型商品の収容数で業界最多となる70個を実現しつつ、さまざまな形態の冷凍食品に対応した収納構造と搬送技術により、落下姿勢を制御することで商品の姿勢を安定化させた。また、搬送シュータ形状の最適化により搬送抵抗を低減し、安定した商品搬送を可能にした。

The market for home meal replacements has been growing rapidly due to changes in lifestyles, and in particular, frozen foods are increasingly in demand for their improved flavor provided by freezing technology advancement and as promising means of solving the problem of food loss. Fuji Electric has developed the “Frozen Station” frozen food vending machine, which can sell products in stores at various locations 24 hours a day without face-to-face interaction. While achieving the industry’s largest storage capacity capable of stocking 70 large-sized products, the storage structure and conveyance technology for various forms of frozen products stabilize the posture of the products by controlling the posture during dropping. In addition, by optimizing the shape of the conveyance chute, the conveyance resistance is reduced, enabling stable conveyance of goods.

1 まえがき

新型コロナウイルス感染症の影響により生活様式が変化し、中食の需要が増加している⁽¹⁾。中でも、国内の家庭用冷凍食品の工場出荷額は2021年に過去最高を更新し、冷凍食品市場の年平均成長率は2030年まで8.37%と予想されている。その背景には、冷凍技術の向上によるおいしさと、SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）にもつながる食品ロス問題解決の手段として冷凍食品が消費者から注目されていることが挙げられる。この状況に対し、外食産業を担ってきた飲食店では、コロナ禍による店舗内での飲食の敬遠や営業時間短縮による売上減少への対策として、今まで店舗内で提供していた商品を冷凍食品の形にして販売するニーズが高まってきた。富士電機では、このような消費者の嗜好（しこう）の変化に応じて、店先などのさまざまなロケーションにおいて、冷凍食品を非対面かつ24時間販売可能な自動販売機を開発した。本稿では、この冷凍自動販売機「FROZEN STATION」について述べる。

2 飲食店向け冷凍自動販売機における課題

今回開発した冷凍自動販売機は、飲食店がこれまで店舗内で提供していた商品（料理）の新たな販売チャネルとして、冷凍した商品を販売する用途を想定している。販売する冷凍食品は飲食店が自ら用意するものになるので、その形状、大きさ、重さは多種多様になる。また、商品の容器には図1に示すフードパック容器を用いる場合が多いと想定される。したがって、今回の冷凍自動販売機は多様な形態の商品を扱うことができる収納構造や搬送機構を持つ必要がある。さらに、一度になるべく多くの商品を収納でき

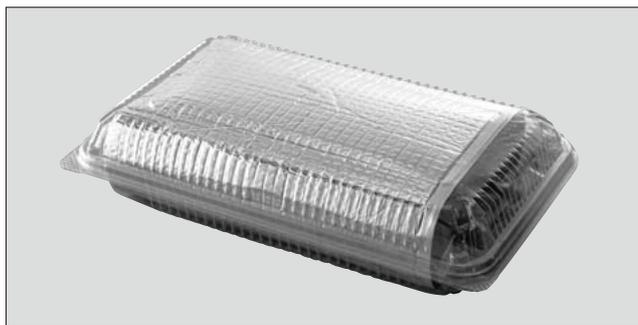


図1 フードパック容器

るようにすることが、この冷凍自動販売機においても重要である。売切れによる販売機会の損失を減らすことや、商品を補充する頻度を下げることににつながるためである。

また、この冷凍自動販売機の運用は、導入した飲食店が自ら行うと想定される。自動販売機の取扱いに不慣れな人でもスムーズに運用できるようにすることも重要な課題といえる。

3 冷凍自動販売機「FROZEN STATION」の特徴

3.1 概要

FROZEN STATIONの外観を図2に、仕様を表1に示す。製品の外形寸法は、自社製品であるアイスクリーム自動販売機をベースにした標準的なサイズであり、庫内容積を確保しつつ一般的なロケーションに設置可能である。

3.2 多様な商品に対応した収納構造

収納構造の検討に際し、まず、フードパックや市販されている冷凍食品を調査し、販売対象商品サイズを幅150～230mm、奥行き100～155mm、高さ41～51mm



図2 「FROZEN STATION」

表1 「FROZEN STATION」の仕様

項目	仕様
型名	FFS107WFXU1
外形寸法	W1,161×D836×H1,830 (mm)
販売種類	7セレクション 10選択ボタン
収容可能な商品質量	500 g以下
製品質量	330 kg
照明	LED
設置環境	屋内および屋外設置可能
商品保管温度	-23 ~ -19℃
消費電力量	2,500 kWh/y

表2 販売対象商品の仕様

項目	仕様
1コラム最大収容数	10個
幅	150 ~ 230 mm
奥行	100 ~ 155 mm
高さ	41 ~ 51 mm
最大対角	250 mm以下
質量	1ラック合計 4,000 g以下 かつ 1個500 g以下

とした。販売対象商品の仕様を表2に示す。

パスタ、ラーメンなどの大型の商品の販売も想定し、種類数、収容数を十分に確保するために効率的な収納となることを重視したラック構造とした。図3に縦シングルスパイラル方式のラック構造を示す。大型の冷凍食品を効率的に収容可能な方式として、アイスクリーム自動販売機で実績のあるラック構造をベースに、直径110mmの大径スパイラルをラック奥側に配置することで、ラックの左右方向ではスパイラルの固定部品などを持たないスリムな構造とし、ラック内への収容個数は10個を確保した。

図4にラック配置を示す。ラックを幅方向にスリムにしたことで、大型商品を対象としつつも横方向に4コラムを配置し、計7コラムの構成とすることができた。これにより冷凍のパスタや惣菜など想定される大型商品の収容

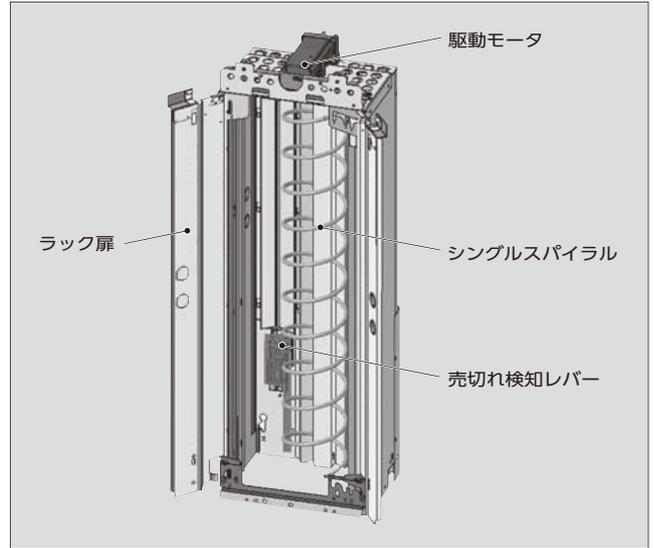


図3 縦シングルスパイラル方式のラック構造

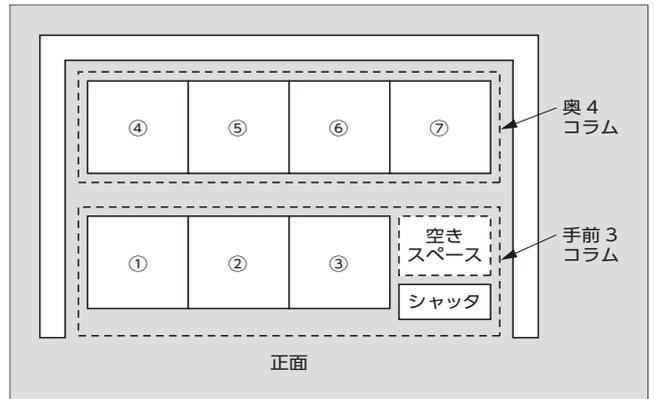


図4 ラック配置 (上から見た図)

数として、業界最多となる70個を実現した。

多様な容器寸法・形態に対して、ラック内での商品の脱落を防止し、商品サイズに関わらず安定した搬送を実現するために、ラック幅を調整する可動式の仕切り板（アジャスタ）を設けた。仕切り板による調整例を図5に示す。さまざまな大きさの商品をラック内で安定に保持するため、商品幅に応じてラックの内幅を6段階に調整できる。仕切り板を付け直すなどの煩わしい操作が不要なスライド動作で容易に調整できるアジャスタ構造を採用した。また、商品奥行きへの対応は、軽量のアタッチメントを扉側に着脱する方式とし、2段階の調整が可能な構造とした。これらの機構により寸法が異なる容器も安定して収納できる。

商品の高さについては、標準設定のスパイラルにおいて仕様に定めた寸法範囲の商品を収納できるが、この範囲外の高さの商品を扱うことができるように、商品の高さに応じた間隔のスパイラルをオプションで用意している。

これらにより、さまざまなサイズの商品を収納できる機構を実現した。

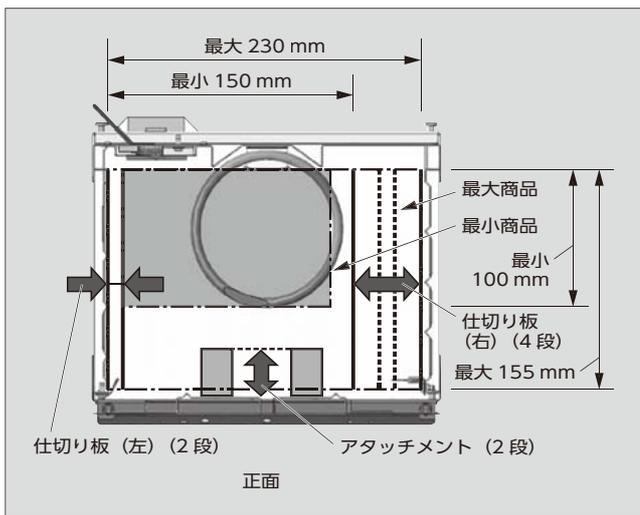


図5 仕切り板による調整例

3.3 商品を確実に搬出する機構

(1) スパイラルラック機構

先に述べたように、商品を収納するラック構造として、商品補充作業が容易な縦スパイラル方式を採用している。縦スパイラル方式は、搬送部であるスパイラルが回転し、下方向に商品を押し出すものであり、シングルスパイラル方式〔図6(a)〕とツインスパイラル方式〔図6(b)〕がある。ツインスパイラル方式は図6(b)のように左右のスパイラルに商品の両端を挿入し商品を水平に保持するため、販売時の商品の落下姿勢を制御しやすいが、スパイラルを2本搭載するために、ラック幅が商品より大きくなる。シングルスパイラル方式では商品をスパイラルに沿って斜めに装填するため、ラック幅を小さくすることができ、自動販売機の庫内平面に対し収容効率を高めることができるため、今回はシングルスパイラル方式を採用した。

この方式では、商品が長方形の場合には、商品を搬出する時に長手方向に直立して落下し、直立状態のまま商品が詰まってしまふ恐れがあった。その防止策として、ラックの下に姿勢制御ガイドを2層に設け、商品の長手方向へ

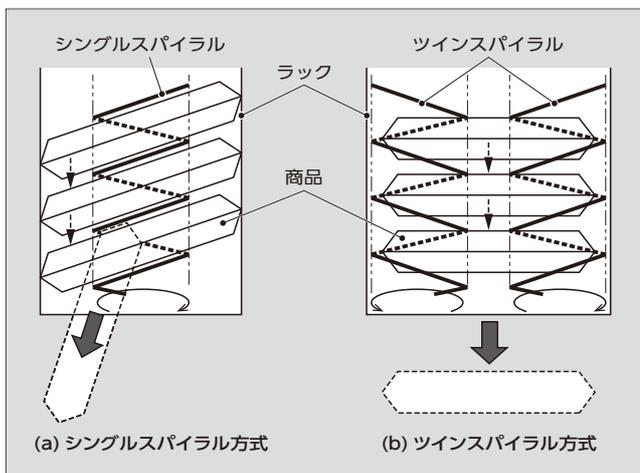


図6 ラックと商品搬出挙動 (正面から見た図)

の落下を抑制する一次ガイドと短手方向に落下する姿勢を整える二次ガイドを設け、商品の落下姿勢を制御する機能を持たせた。図7に商品の搬出における姿勢制御を示す。このようにして商品が搬送シュータに着地した時の姿勢を制御し、大型商品に対して収容効率の高いシングルスパイラル方式を用いて商品の詰まりが起きない信頼性の高い搬出機構を実現した。

(2) 搬送シュータ

図8に搬送シュータを示す。ラック機構から落下した商品は搬送シュータに受け止められる。搬送シュータは左右前後の各ラックから搬出された商品を中央部に引き寄せ、前方への傾斜により取出し口に搬送する機能を持っている。構造としては、低温用樹脂で一体成型し、低摩擦でシームレスな三次元曲面の構造で構成することで引っ掛かりなどによる商品詰まりを防いでいる。しかし、商品の大型化に伴い搬送シュータの通路を拡大すると、曲率の緩い中央部エリアが広くなるため商品が滑り落ちずに滞留してしまうことが懸念された。搬送シュータの表面に凹凸を設けて商品との接触面積を減らすと、摩擦力が減り、緩やかな斜面でも商品を滑らせることができる。商品が停滞せずに滑ることができる商品の重量と接触面積の関係を実験的に求めて、凹凸形状の設計に反映した。

この凹凸形状は配置する方向にも配慮する必要がある。商品の搬送方向に段差ができるように凹凸を配置する

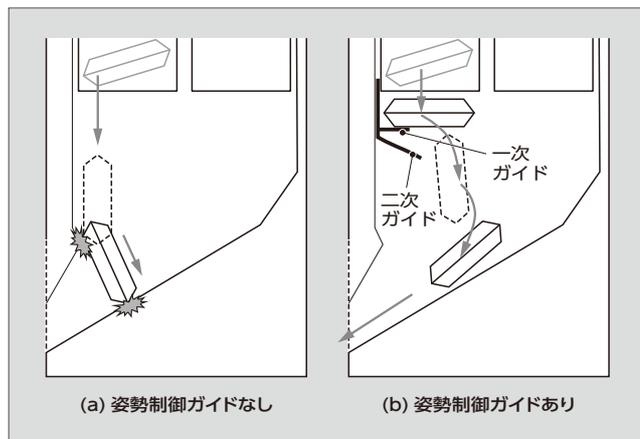


図7 商品の搬出における姿勢制御

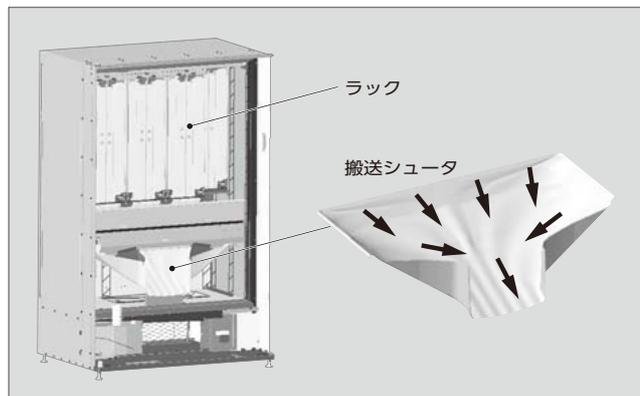


図8 搬送シュータ

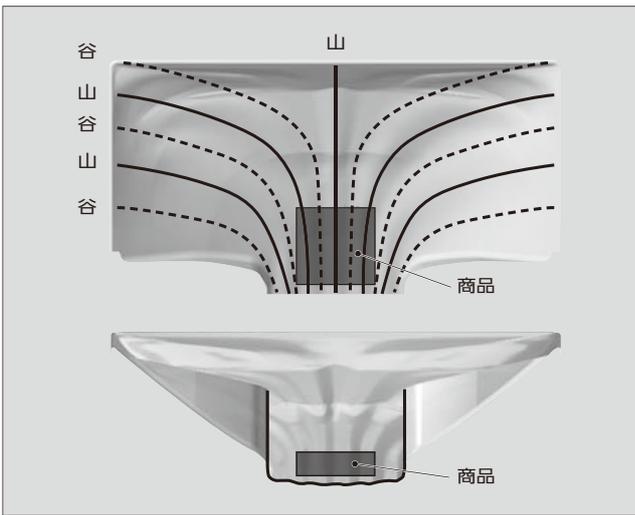


図9 搬送シュータ凹凸の配置



図10 ラック搬出後の商品落下挙動

と、商品が引っ掛かる要因となる恐れがある。そこで、搬送シュータのベース面に対して商品が流れる軌跡を調査し、商品が滑り下りる動きを妨げないように軌跡に沿って凹凸を配置し、求めた接触面積比率を緩やかな曲面で構成するように凹凸のピッチを決定した。図9に設計した搬送シュータ凹凸の配置を示す。これにより、軽量の袋商品でも摺動可能な搬送シュータ形状を実現した。搬送シュータの接触面積は、従来比で1/10に低減しており、結露などの滑りを妨げる要因がある悪条件下でも安定した商品搬送を可能にしている。

図10にラック搬出後の商品落下挙動を示す。

3.4 自動販売機運用支援サービス

今回開発した冷凍自動販売機には、運用を支援するサービスを提供する仕組みとして、自動販売機の状態を外部に通知する通信ユニットを搭載している⁽³⁾。この仕組みを使うと、商品ごとの売上げを現場に足を運ぶことなく遠隔で確認できるので、自動販売機への商品補充を1回の訪問で済ませることができる。

また、自動販売機に不慣れな方が運用した場合には、装填の仕方や設定ミスによる販売トラブルやつり銭切れなどが懸念されるが、このようなトラブルが起きると即時にメール通知する機能を備えているので、速やかな対策につなげることができ、販売機会の損失を最小限に抑えることができる。

4 あとがき

冷凍自動販売機「FROZEN STATION」について述べた。本開発により新たな商品形態である冷凍食品の自動販売機を上市し、これによりこれまで店舗で提供していた商品を無人で販売する新たな手段を提供できた。今後は、さらなる容器の多様化に対応できる機材の開発を行い、冷凍食品の自動販売機の市場拡大に貢献できるよう努めていく所存である。

参考文献

- (1) 一般社団法人 日本惣菜協会. “2021年度版 惣菜白書”. <https://www.nsouzai-kyoukai.or.jp/wp-content/uploads/hpb-media/hakusho2021-digest-3.pdf>. (参照 2022-09-02).
- (2) 一般社団法人 日本冷凍食品協会. “品目別国内生産量推移”. <https://www.reishokukyo.or.jp/statistic/quantity-item/>. (参照 2022-09-02).
- (3) 片山修吾ほか. オペレーション業務の効率化に貢献するIoT・AIを活用した自動販売機運用サービス. 富士電機技報. 2021, vol.94, no.3, p.151-156.



福田 勝彦

自動販売機の販売機構の開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場開発部担当課長。



岩子 努

自動販売機の販売機構の開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場開発部主任。



中西 寿一

自動販売機の販売機構の開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場開発部。

カップミキシング式自動給茶機「とろみ給茶機」

“Thickened Beverage Vending Machine” In-Cup Mixing Automatic Tea Server

畔柳 靖彦 KUROYANAGI, Yasuhiko

喜田 明 KIDA, Akira

小沢 竜徳 OZAWA, Tatsunori

高齢化社会へと進んでいく日本において、介護現場における労働力不足の解消や就労環境の改善が課題となっている。富士電機は、カップ式自動販売機などで培った技術を生かして、とろみ飲料を簡単に提供できる「とろみ給茶機」を製品化した。とろみ飲料とは、飲食物が間違えて気管に入る誤嚥（ごえん）を予防するため、通常より粘り気を多くした飲料である。通常、医療や介護の現場では、要介護者一人一人の状態に合わせて手作業で調製する必要があり、介護者の負担になっていた。本製品により、要介護者に合わせて飲料温度や粘度を自動で調理できる。

As the population of Japan continues to age, there is a need to address labor shortages and improve the working environment in the nursing care field. Fuji Electric has launched the “Thickened Beverage Vending Machine,” which facilitates the preparation of thickened beverages using the technology it has cultivated in cup vending machines and other products. Thickened beverages have more viscosity than usual to prevent aspiration, that is, accidental entry of food or drink into the trachea. In the medical and nursing care field, the viscosity must be varied depending on the condition of each individual care receiver by hand, placing a burden on the caregivers. Our newly developed Thickened Tea Vending Machine can automatically adjust the beverage temperature and viscosity according to the care receiver.

1 まえがき

日本社会の少子高齢化の進展に伴い、介護の必要な人は増え続けており、介護現場における労働力不足の解消や就労環境の改善が喫緊の社会課題となっている。例えば、嚥下（えんげ）障害のある方の介護においては、食事や飲み物にとろみを付けて誤嚥（ごえん）を防ぐ対策が取られている。このための作業は煩雑であり、細心の注意も求められることから、介護者の大きな負担となっている。富士電機はこの課題を解決するため、自動販売機で培った技術を生かして、要介護者ごとに最適なとろみを付けた飲料を簡単に提供できる「とろみ給茶機」を製品化した。

2 開発の背景と課題

2.1 とろみ飲料

とろみ飲料とは、通常より粘り気を多くした飲料のことである。のどの機能が弱くなっているお年寄りなどの誤嚥や窒息を予防する目的で、医療機関や介護保険施設をはじめ、サービス付高齢者住宅や有料老人ホームなどで提供されている。飲料に少し粘り気を与えることで、のどを通る速度が遅くなり誤嚥を防ぐ効果がある。この粘度は、要介護者の状態に合わせて変える必要がある。また、とろみ飲料は、のどを通過する際に時間がかかるため、温度が高すぎるとやけどの原因となる可能性があり、温度管理も重要となる。現在、とろみ飲料は病院スタッフや介護士といった介護者が手作業で作っている。要介護者一人一人に適した品質（粘度・温度）のとろみ飲料を調理するために、繊細な原料計量作業や、長時間のかくはん作業が必要であり、介護者への負担も大きかった。

2.2 「とろみ給茶機」の実現に向けた課題

とろみ給茶機を実現するためには、次に述べる課題があり、表1にとろみ給茶機の開発課題と対応機能を示す。

(1) 要介護者の状態に合わせた調理

要介護者のニーズは、提供されるとろみ飲料が、自分に適したとろみ具合であり、溶け残りなどがなく一様に均一な組成であり、適した温度となっていることである。

一般社団法人 日本摂食嚥下リハビリテーション学会では、とろみ飲料のとろみ具合について、嚥下障害の程度によって、3段階の基準を設けている。とろみ給茶機もこの基準を満たすことが求められる。

適切なとろみ飲料を調理するための温度管理も重要である。医療関係者や原料メーカーなどへのヒアリングにより、温かい飲料の温度は約45℃が望ましいことが分かった。一方、冷たい飲料の調理方法や温度管理方法の検討も課題である。

表1 「とろみ給茶機」の開発課題と対応機能

対象者	対象者ごとのニーズ	ニーズに基づく課題	機能
要介護者	要介護者に合った、適切な飲料が提供される	要介護者の状態に合わせた調理	精密な計量と配合
		所定の粘度に調整できる	カップミキシング、揺らぎ制御
		均一混合、溶け残りなし	冷水とお湯の温度と量の制御
介護者	手軽で確実に飲料が作れる	調理の自動化	ボタン操作での自動調理
		誤操作防止	選択ガイド機能
		衛生性の確保	自動洗浄（新プロペラリンス方式）

要介護者のもう一つのニーズは、とろみ飲料を飲みたいタイミングで待たずに飲めることである。このため、とろみ給茶機の調理時間を少なくとも手作業より短縮することも課題である。

(2) 使い勝手の良さ

介護者は、とろみ給茶機を操作して、必要とするとろみ飲料を取り出し、要介護者に提供する役割も持つ。このため、とろみ給茶機の使い勝手の向上が課題となる。従来の給茶機の多くは、飲料ごとのボタンを選択することで飲料が選択でき、ワンアクションで選択できる利便性を追求するデザインだった。しかし、とろみ給茶機の場合は選択を間違えると、粘度の違う飲料が要介護者に提供されて誤嚥する恐れがある。このため、とろみ剤の有無、とろみ粘度を確実に選択できるデザインとすることが特に重要である。

(3) 衛生性の確保

病院や介護施設において、とろみ給茶機を管理する立場にある介護者にとっては、とろみ飲料は高齢者や障害者が口にするため、衛生面の管理が不可欠である。機器を洗浄する手間がかからず安定して簡単に自動洗浄ができる製品が望まれる。日常のオペレーションにおいて衛生性を保ちつつ、かつメンテナンスに時間がかからない製品であることが介護者の負担軽減につながる。

③ 「とろみ給茶機」

3.1 製品概要

とろみ給茶機の外観と内部構造を図1に、仕様を表2に示す。

3.2 特徴

(1) 高品質な調理のための制御項目

とろみ剤を熟知している原料メーカーと協業し、とろみ剤を取り扱うために制御すべき項目を洗い出した。表3にとろみ剤の特性と制御項目を示す。

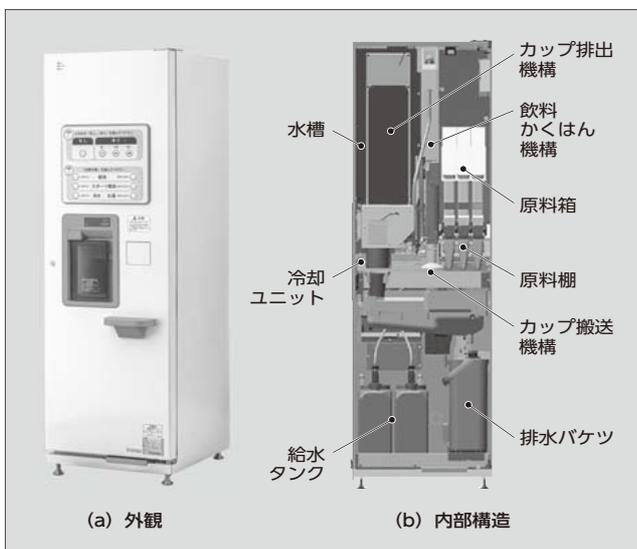


図1 「とろみ給茶機」の外観と内部構造

表2 「とろみ給茶機」の仕様

項目	仕様
外形寸法	W550×D605×H1,700 (mm)
販売種類	HOT飲料×3、COLD飲料×3
ファンクションボタン	4個 (とろみ3段階、なし)
原料収容数	2.4L×3個 (とろみ×1、パウダー×2)
原料調理方法	カップミキシング式
カップ機構	あり (9oz)
カップ収容個数	1種2列 (200個以上)
カップ搬送方式	X軸搬送方式
加熱装置	容量7L、ヒータ550W
冷却装置	水槽4.5L (アイスバンク方式)
給水方式	水道直結方式、カセットタンク方式
冷媒	R1234yf
電源	100V、50/60Hz、15A

表3 とろみ剤の特性と制御項目

とろみ剤の特性	制御項目
溶解性	湯・冷水温度、かくはん時間
粘度変化	かくはん時間、放置時間
粘度影響	原料、冷水、湯スロー
温度依存	飲料温度、放置時間
付着性	衛生性 (リンス湯量、タイミング)

とろみ剤の特性を理解した上で、一般社団法人日本摂食嚥下リハビリテーション学会の定める粘度基準(図2)を参考に、3段階の粘度のとろみ飲料を提供するために必要な条件を見極め、製品に反映した。

(2) 調理工程の自動化

図3に調理動作工程図を示す。カップ式自動販売機で採用しているカップミキシング式を、自動給茶機として初めて搭載した。図4にカップミキシング式を示す。この方式では、カップ内で原料とお湯または水をプロペラでかくはんして調理する。これは、位置、回転数、時間を粒子や粘度などの原料特性に合わせて最適化することができる最先端の調理技術である。さらに、かくはん時に、カップを左右に揺する動作を追加してかくはん効率を上げることに



図2 粘度基準⁽²⁾

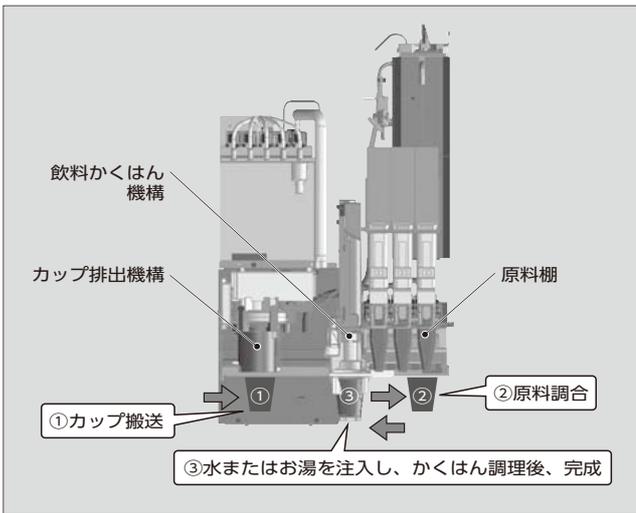


図3 「とろみ給茶機」の調理動作工程図

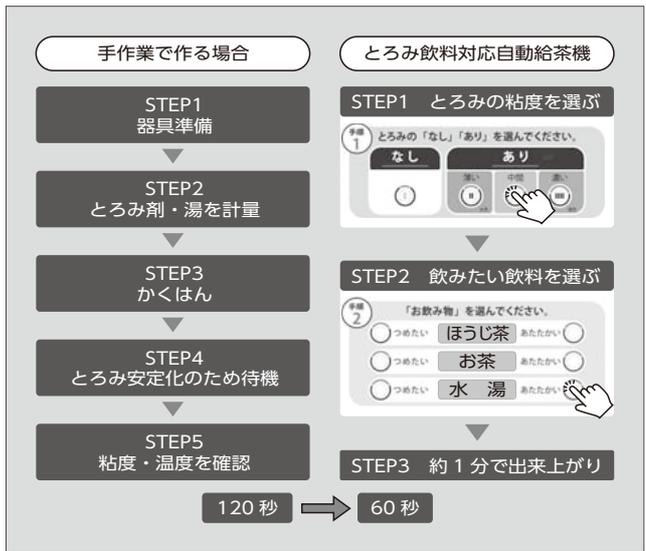


図5 とろみ飲料の調理方法

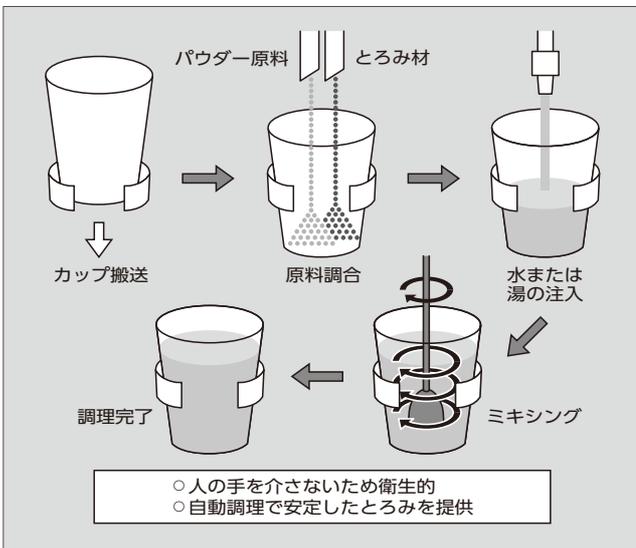


図4 カップミキシング式

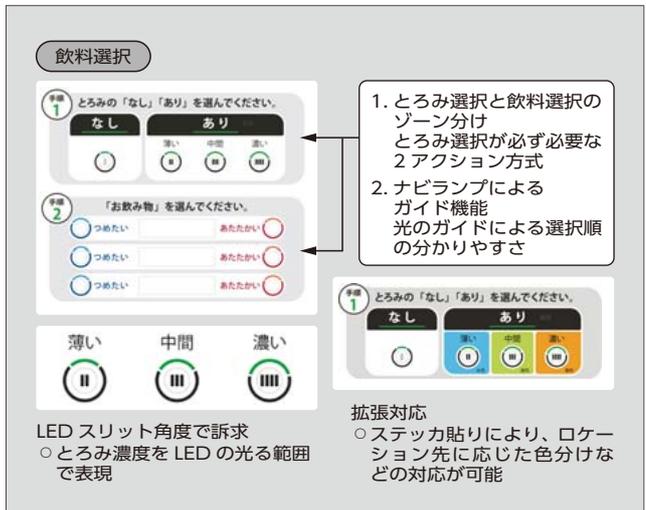


図6 ユーザインタフェース

より、溶け残りのないとろみ飲料を約60秒で完成することができる。これは、一般的な手作業での調理に要する120秒を半減させている(図5)。

飲料を最適な温度にコントロールするために、氷により冷やす方式ではなく、冷水の量を調整して冷やす方式を採用した。自動給茶機に搭載している流体量を検知するセンサを用いた飲料回路を活用した。お湯と水の量を細かく制御することにより、温かい飲料は約45℃、冷たい飲料は約20℃の安定した温度での提供を実現した。

(3) 使いやすいユーザインタフェース

実際にとろみ給茶機を扱う医療従事者や介護者からのヒアリングや操作性の体験を通じて検討を進め、扱いやすいユーザインタフェースを実現した(図6)。

とろみ剤の有無を間違えないように、必ず2アクションで選択する機能、ナビランプによるガイド機能、とろみ粘度をLEDの光る範囲で表現する表示など、押し間違いがしにくく、一目で分かるデザインを実現している。介護者と要介護者が同じ給茶機を使うことができるように、と

ろみなしも選択可能にした。

(4) 衛生状態を保つ自動洗浄機構

カップミキシング式を採用したので、調理ごとに洗浄する必要があるのはミキシング用のプロペラだけである。開発したとろみ給茶機では、新しいプロペラリンス方式を採用している。図7にプロペラの洗浄状態を示す。この方式では、お湯を吐出するノズルの形状やプロペラの高さを調整し、プロペラ全体にお湯がかかる構造とし、飲料が変わっても対応できるように、お湯をかけるタイミングやプロペラの回転速度および時間を変更可能とした。

この新しい洗浄方法の衛生性の評価に際しては、医療機関において採用されている、ATP(アデノシン三リン酸)検査キットによる一般生菌数を基準として用いた。プロペラの衛生状態の目標値は、水道法の基準である 10^2 個以下とした。これは、主に病院や介護施設で使用するため、食品に用いられている基準の一般生菌数 10^5 個以下よりも厳しくした。この洗浄方法により一般生菌数10個以下の状態を保つことが確認でき、衛生性が確保されているこ



図7 プロペラの洗浄状態

とを証明した。

4 あとがき

カップミキシング式自動給茶機「とろみ給茶機」について述べた。高齢化社会へと進んでいく日本では、今後も介護に従事する方の負担軽減が課題となっていく。この製品がその一助になるものと考えている。今後も社会課題に向き合い、世の中の人々に貢献できる製品を開発していく所存である。

参考文献

- (1) 公益財団法人 介護労働安定センター. “令和2年度「介

護労働実態調査」結果の概要について”. http://www.kaigo-center.or.jp/report/pdf/2021r01_chousa_kokka_gaiyou_0823.pdf. (参照 2022-06-13).

- (2) National Dysphagia Diet Task Force American Dietetic Association. National Dysphagia Diet : Standardization for Optimal Care. American Dietetic Association, Chicago,Ill, 2002.



畔柳 靖彦

カップ式自動販売機、フードサービス機器の製品開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場製品設計部担当課長。



喜田 明

カップ式自動販売機、フードサービス機器の製品開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場製品設計部課長補佐。



小沢 竜徳

カップ式自動販売機、フードサービス機器の製品開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場製品設計部。



グローバル汎用自動販売機「FGG160DCY」

“FGG160DCY” Global Multipurpose Vending Machine

阿部 順一 ABE, Junichi

東南アジアにおける自動販売機を利用した小売市場では、消費者の購買要求の多様化が著しい。富士電機は、この動向に応じ、新たなグローバル対応の汎用自動販売機「FGG160DCY」を開発した。食品や飲料、医薬品などの大きささまざまな物品を安定して搬出する商品収納装置（ラック）とエレベータ機構を搭載し、収容量を大幅に拡大した。冷却性能においては、庫内の断熱構造の強化と吹き降ろし気流構造の採用で、全ての商品を1～8℃の温度帯で均一に保冷することができる。また、国外での輸送時の衝撃にも耐えられるよう、筐体（きょうたい）構造を強化した。

In the retail market that uses vending machines in Southeast Asia, consumer purchasing requirements have become increasingly diversified. In response to this trend, Fuji Electric has developed a new global multipurpose vending machine, the “FGG160DCY.” Equipped with the storage that has been greatly expanded in capacity, its product storage equipment (rack) and elevator mechanism stably dispense large and small, various products, such as food, beverages, and pharmaceuticals. In terms of cooling performance, strengthening the internal insulation structure inside and adopting a blow-down airflow structure have enabled all products to be kept uniformly cool in the temperature range of 1°C to 8°C. In addition, the housing structure has been strengthened to withstand the shocks during transportation outside Japan.

① まえがき

近年、世界的に消費者の購買行動が多様化し、非対面で24時間販売可能な自動販売機へのニーズが高まってきている。国外、特に東南アジアにおいても、オフィスや商業施設の敷地内などに、菓子や即席めんなどの食品類や日用品、医薬品などの自動販売機を導入しようとする動きが拡大している。富士電機は、このような動向を踏まえ、グローバル汎用自動販売機「FGG160DCY」を開発した。

② 東南アジアにおける自動販売機へのニーズ

2.1 市場動向

東南アジア（タイ、マレーシア、シンガポール、インドネシアなど）における自動販売機市場は、中小の事業者（オペレーター）による缶・ペットボトルなどの容器飲料販売が中心であった。近年は、コンビニエンスストアチェーンも事業参入し、飲料に加えてスナック菓子、米飯、デザート類などさまざまな食品の販売需要が増え、既に1万台以上の食品自動販売機が導入されている。また、都市部では慢性的な交通渋滞でロケーションまでのアクセスが悪いなどの事情がある。オペレーターからは、販売商品の補充作業の頻度を抑えるため収容量を増やしたい、あるいは購買チャンスを逃さないよう販売品目の種類を多くしたいという要求が強くなっていった。

一方、台湾の病院では、食品以外の用途に自動販売機を使う新たな運用が試行されている。薬剤師による調剤業務で薬を取り違えるなどの人為的ミスがあり、これを低減するため、自動販売機で医薬品を自動で払い出す方法を検討するためである。

このように東南アジアを中心とする国外市場では、商材

の多種多様さに対応し、収容能力の高い機種への要求が高まっている。

2.2 課題

一般的な食品自動販売機（一般機）は、透明ガラス扉と棚式の商品収納装置（ラック）、商品搬送のエレベータ機構搭載、庫内全体冷却という機能を持っていた。これにより、利用者が棚陳列の商品を直接見ることができ、商品の装填はコラム（ラック上の販売区画）に置くだけで容易であるというメリットがあった。病院業務用としても、実際に払い出される薬を陳列状態から目視確認することは重要なことであり、このガラス扉型が適している。その一方で、次のような課題があった。

(1) 多様な商品への対応

① 大型商品の収容

日本国内で流通しているペットボトル飲料の容量は500mlが主流であるが、国外では600mlサイズのものも多く、全長も国内で流通しているものより長い。単純にラックの容積を拡大するだけでなく、国外市場の大型商品など、さまざまな商品に適應するための、フレキシブルに棚の位置を変更できるような収納構造にする必要がある。

② 商品の搬送

一般機のラックは、高い位置からも商品を払い出すために、棚前方にエレベータを配備し、商品を取出口まで垂直搬送する。しかし従来のエレベータでは、多様な商品を垂直搬送する過程で、商品がはみ出して、他の棚や他の商品と接触するなどの問題があった。また、重い商品を載せると制動力が利かなくなり、エレベータが所定の位置に正しく停止できなくなる問題があった。さらに搬送中の揺れや取出口への受渡し動作で、中身が形崩れ

する、あるいは容器が損傷するなどの理由で販売できない商品もあった。したがって、大型で重い商品、壊れやすい繊細な商品も確実に安定して搬送できるようにすることが課題である。

③ 庫内冷却の均一化

台湾での医薬品用途では、8℃以下の庫内温度が要求される。これは、薬剤を保管する温度として医薬品メーカーが指定している。一般機では、それぞれの棚位置に冷気を送り出し、庫内全体を冷やす構造を取っていたが、庫内の温度範囲を0～10℃としていたためこの仕様を満たさなかった。本製品では、一般食品や飲料、薬剤までを同じ温度範囲で、均一に保冷できる庫内構造を新たな標準仕様とすることを目指した。

(2) 高断熱対応

大収容量に伴い放熱が増えるため、冷却運転の負荷が増え、消費電力量も大きくなることが懸念される。庫内の保冷性能を高めるために、庫内の筐体（きょうたい）側および扉側の断熱を一般機以上に強化する必要がある。

(3) 輸送に対応した強化構造

本製品は、国内で製造し輸出することを想定している。国内での物流状況と異なり、貨物船での輸送や未舗装道路でのトラック輸送など、運搬や荷下ろし時の衝撃や振動により、製品の筐体を変形させる恐れがある。これを防ぐための製品の筐体強度や梱包（こんぼう）の対応が求められる。コンテナ輸送時に自動販売機が受ける衝撃力は最大16G（重力加速度）にまで及び、これに耐えられる構造が必要となる。

③ グローバル汎用自動販売機の特徴

3.1 概要

図1にFGG160DCYの外観を、図2に内部構造を、表1に本製品と一般機「FGG136MCY」との仕様比較を示す。

扉部は、庫内側の搬出扉と庫外側の決済機器などを配置している操作扉からなる観音開き式とした。庫内外をそれぞれ独立した扉で構成することで、金銭の回収や販売設定



図1 「FGG160DCY」

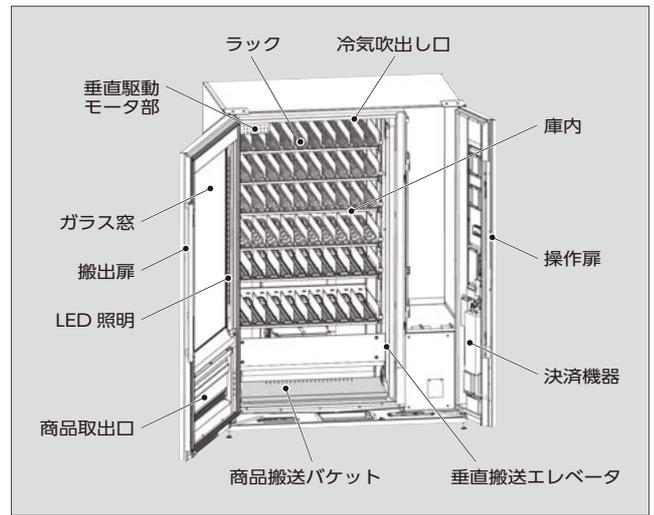


図2 「FGG160DCY」の内部構造

表1 本製品と一般機の仕様比較

項目	一般機	本製品
型式名	FGG136MCY	FGG160DCY
外形寸法	W882×D840×H1,834 (mm)	W1,435×D890×H1,934 (mm)
セレクション	6列×6段、36セレクション	10列×6段、60セレクション
商品収容数	最大540個	最大900個
販売補助	垂直搬送エレベータ	垂直搬送エレベータ
冷却方式	強冷 (0～10℃)	強冷 (1～8℃)
扉	1枚扉	観音開き2枚扉

の変更などの作業を行う際に庫内側を開けずに済むので、作業中の冷却漏れや暖かい外気や虫の侵入を抑制できるといった利点がある。

3.2 特徴

本製品の主な特徴は次のとおりである。

(1) 大型商品対応ラック

図3にラック全体の構造を示す。ラックは商品補充時に手前に引き出す機構を備え、スパイラル式やベルトコンベヤ式の販売モジュールを搭載する。本製品では棚1段当たり10コラム（列）とし、これを6段まで積載できる構造とすることで収納できる商品を最大60セレクション（種類）となる仕様とした。一般機の36セレクションに対し収容数は最大1.67倍となる。また、国外のさまざまな商材に対応するため、ラック全体の高さ寸法および庫内高さを一般機より100mm拡張し、さらに各段は、20mm刻みで上下高さ位置を任意に設定できるようにした。6段仕様での組合せとして棚間の高さ方向の有効寸法は約163～258mmに設定できる。本製品では、ボトル形状のような全長の長いものでも、棚上下間のピッチを調整することで販売が可能となった。また、上段の棚位置が高くなることで商品補充時の作業性が悪くなるため、上1段目および2段目は傾斜引出し構造にした。

特集 新しい価値を創造する富士電機の食品流通

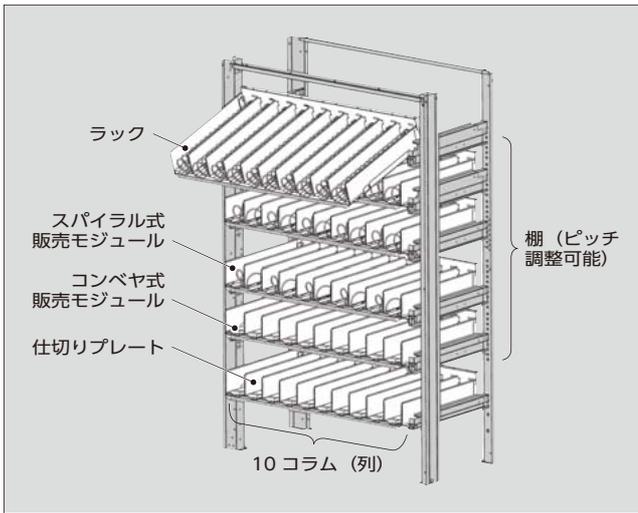


図3 ラック全体の構造

(2) 商品の揺れを抑えた垂直搬送エレベータ

図4に垂直搬送エレベータの商品受取り機構を示す。垂直搬送エレベータの商品搬送バケットは、庫底部で通常待機し、販売時には販売する商品を取納したラックの高さまで上昇して停止する。続いて、商品搬送バケット入口に設けた商品検知センサで通過する商品を検知して、ラックから商品搬送バケットに商品が受け渡されたことを確認する。そして、扉の商品取出口の位置まで水平姿勢を保持したまま静かに移動し、バケット上の商品を直接取り出す様式にすることで、壊れやすい商品も扱えるようにしている。

垂直駆動モータは高トルク化し、同等の国内機に対して搬送可能質量を2倍としている。前述の庫内高さが100mm拡大し、待機位置も低くなっているため、商品搬送バケットの移動距離が長くなっているが、一連の動作(待機位置から上昇し最上段で停止⇒ラックから商品を受取り⇒下降して待機位置に停止)に要する時間は一般機と同等である。商品搬送バケットは、奥行寸法を同比較で約50mm拡大し、大きささまざまな商材も確実に受け取れる構造とした。さらに、商品搬送バケットは両端を4輪ローラと搬送ベルトでバランス良く支持しており、大型化しても搬送する商品が揺れにくくなっている。高トルク駆動と

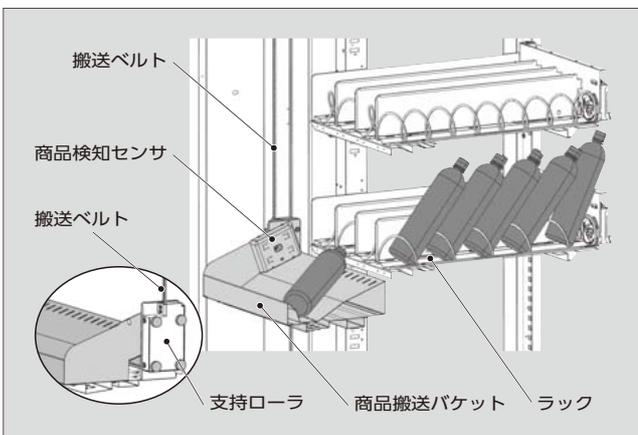


図4 垂直搬送エレベータの商品受取り機構

水平姿勢での商品搬送バケットの安定した払出し動作により、重いペットボトルから薬剤アンプルのようなガラス瓶容器まで、問題なく搬送できることを確認した。

(3) 天井ダクト構造による庫内温度均一化

本製品では、庫内を冷却する冷気を通す経路に天井ダクトを取り入れた。その構造を図5に示す。これにより、庫内背面と天井にダクトを連結して通風路を設け、天井前部から冷気を吹き降ろすことができる。冷気は通風ファンで背面ダクト内を押し上げられ、天井ダクトを介して天井吹出し口から下降する。自然対流とファンによる引込みにより効率の良い庫内気流循環が行われ、均等な商品冷却が可能となり、狙いとする管理温度1~8℃を達成した。なお、冷気を天井部に回す際に、熱損失が発生する懸念があったが、後述の保冷性能向上の取組みにより解決している。

(4) 高断熱構造

表2に本製品と一般機の構造と断熱性能比較を示す。中型の一般機に対して庫内容積は58%拡大しているが、全体の断熱材を重厚にすることで熱リークを抑制し、保冷性能を向上させた。本体側および扉部において、庫内に面する壁はすべてウレタン発泡材で覆い、全体の断熱材体積は一般機に対し1.5倍とした。特に、天井部は断熱材の厚み

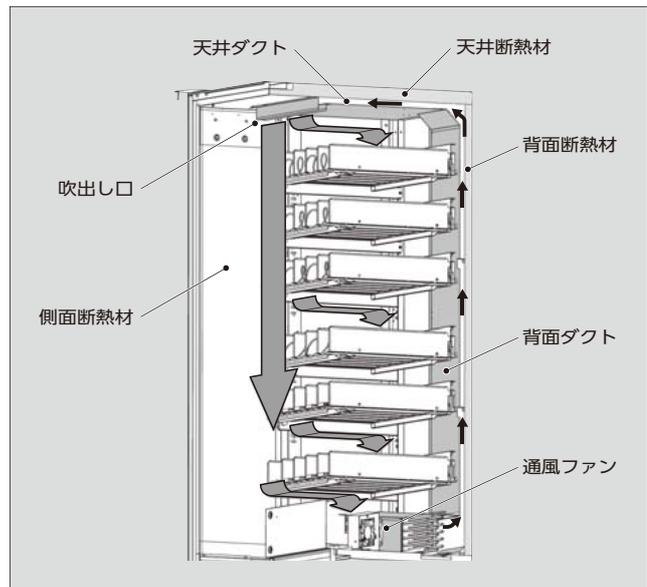


図5 天井ダクト構造 (庫内横断面斜視)

表2 本製品と一般機の構造と断熱性能比較

項目	一般機	本製品
庫内容積 (m ³)	0.685	1.08
庫内断熱材体積 (m ³)	0.17	0.27
天井断熱材厚み (mm)	25	45
天井断熱材熱貫流率 (W/m ² ·K)	0.99	0.55
理論熱リーク量 (W)	184	262
理論熱リーク量 (庫内容積比) (W/m ³)	269	243
消費電力量 (庫内容積比) (kWh/y·m ³)	2,920	2,530

を増やし、熱貫流率を低減させている。一般機との性能比較として実質単位容積当たりで換算すると、熱リーク量は約 10% 減少となり断熱性が向上している。前述の冷却構造と合わせた相乗効果により、消費電力量も庫内容積比で 13% 削減を達成した。

(5) 高剛性筐体

国外での輸送時に製品が破損しない構造とするため、米国の輸送包装試験規格“ASTM D 4169”^(注)に準拠した製品落下試験や正弦波またはランダム波による振動試験の基準を定めた。また、大型化した筐体には板金の厚肉化や梁（はり）の構成の断面係数を上げるなどの対策を施した。図 6 に筐体の剛性解析と実機振動試験を示す。図 6 (a)は筐体基台部の剛性応力解析図である。筐体の基台の 4 隅に

は設置用の脚があり、1 か所の脚に荷重が偏った場合を想定しても変形が発生するような応力集中は見られない構造となっている。また、自動販売機の構造だけではなく製品梱包仕様も検討している。製品梱包の土台には木製角材のパレットを用いるが、本体との間に樹脂製の発泡緩衝材を取り入れている。これは製品荷重と想定衝撃値から必要とする緩衝性を算出し選定しており、この梱包状態での振動評価を行った。図 6 (b)に振動試験の実施例を示す。こちらも製品の内外部に損傷は発生せず、梱包材の衝撃吸収性が機能していることが確認できた。

4 あとがき

グローバル汎用自動販売機「FGG160DCY」について述べた。この開発により、主に東南アジア向けに輸出する製品のスタンダードモデルを完成させた。大型商品や特定医薬品の取扱いも可能としたことで、一般食品から物品まで自動販売機としての用途の幅も広がった。しかし、まだ各国によって異なる要求がある。例えば、電子決済や通信デバイス、サイネージなどのモジュール搭載などである。

今後は、本製品をプラットフォームとし、柔軟なカスタマイズ化と豊富な機種をそろえ、さらなる市場ニーズに応じていく所存である。

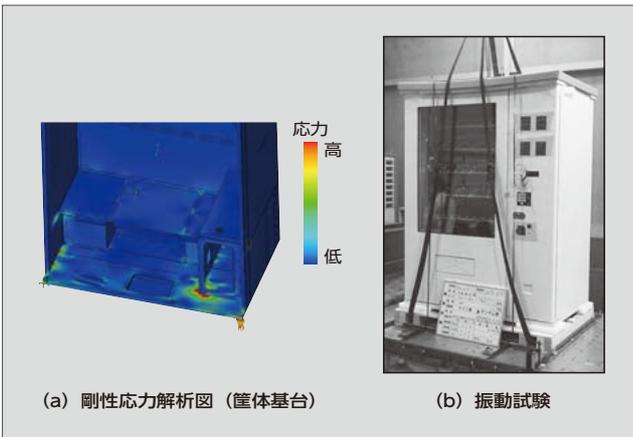


図 6 筐体の剛性解析と実機振動試験

〈注〉 ASTM：米国 ASTM International が策定・発行した工業材料や試験方法に関する国際規格



阿部 順一

自動販売機の製品開発業務に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場製品設計部担当課長。

店舗向けネットワークサービス

Network Services for Stores

徳永 勇貴 TOKUNAGA, Yuki

武藤 健二 MUTO, Kenji

石原 雄大 ISHIHARA, Yudai

近年、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの小売業界においても省エネルギー（省エネ）や少子高齢化による労働力不足の解消が喫緊の課題となっている。その対策として、店舗に設置されるショーケースなどの機器の稼働情報や警報履歴の収集、データ配信のために、機器ごとにクラウドとネットワーク接続するシステムを開発した。設備の稼働状態を分析して異常の兆候を検知する機能を備え、各機器の予知保全を実現する。また、店舗別や機器別の傾向を把握して運転制御条件やメンテナンス計画に反映し、省エネやオペレーション業務の効率化に貢献する。

It has recently become an urgent priority for retail industry, including supermarkets and convenience stores, to save energy and solve labor shortages due to the declining birthrate and aging population. To address the challenges, Fuji Electric has developed a network connection system to collect operational information and alarm histories from each store equipment, such as showcases, and to deliver data to the equipment via the cloud. A function that analyzes the operating conditions of equipment and detects signs of abnormality is equipped to allow for preventive maintenance of each piece of equipment. In addition, monitoring trends by store and equipment allows users to reflect them to operation control conditions and maintenance plans, contributing to energy saving and improved efficiency of operational tasks.

① まえがき

さまざまな産業分野において、SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）の目標達成への貢献が求められている。スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの小売業界においても地球温暖化対策につながる省エネルギー（省エネ）の推進や、少子高齢化の進展に伴う労働者不足の解消が喫緊の課題となっている。富士電機では、店舗の省エネに貢献する機器連携制御システム「エコマックス」シリーズを2011年から提供してきた。今回、機能・性能を大幅に拡充した店舗向けネットワークシステムを開発し、サービスの提供を開始したので本稿で述べる。

② コンビニエンスストアを取り巻く状況

コンビニエンスストアでは、新型コロナウイルス感染症対策の影響による巣ごもり需要や非接触での販売などの新しいニーズに応えるため、小容量惣菜や冷凍食品の拡大、カウンターでの出来たて商品の品ぞろえの拡充などによる新しい売場づくりを行っており、そのための新たな店舗機器の導入が進んでいる。その一方で、CO₂排出量の削減と消費電力量の削減を両立させるため、再生可能エネルギーの利用促進とともに店舗機器の省エネに力を入れている。また、少子高齢化による労働者不足により、24時間営業をやめざるを得ない店舗も出てきている。高齢者や外国人の採用を増やしている店舗でも、初めて操作する店舗内機器の増加や複雑化に対処するため、デジタル技術を活用した店舗オペレーション業務の省力化が求められている。

③ 店舗向けネットワークサービスの特徴

富士電機は、コンビニエンスストア向けに冷蔵設備（ショーケース、冷凍機）、カウンター機器（レジの横に設置される保温・調理機器）、自動つり銭機などの個別機器に加えて、それらの省エネやメンテナンスの効率向上を目的とする設備管理システムも提供してきた。設備管理システムを初めて発売した2011年当時は、個々の店舗を対象とした省エネやメンテナンス効率向上を目指していたが、現在では、CO₂排出量の削減や店舗オペレーション業務の省力化など、コンビニエンスストアチェーン全体に共通する課題を解決する必要に迫られており、システムで管理する店舗数を増やしてコンビニエンスストアチェーン全体で最適化を図ることが求められている。

次に、今回新たに開発した店舗向けネットワークサービスの特徴を述べる。

3.1 店舗コントローラを用いたシステム

(1) 概要

図1に店舗コントローラを用いたシステム構成図を示す。店舗コントローラは、店舗内に設置されたショーケースや冷凍機、電力量計などと接続されるとともに、インターネットを通じて外部のサーバとの通信も行う⁽¹⁾。従来のシステムでは、外部との通信にはVPN（Virtual Private Network）とFTP（File Transfer Protocol）接続によりクラウドに同期してデータを通信する方法を採っていた。そのため、このシステムを数千、数万店規模の店舗に導入するには、VPN用のサーバの増強やデータ収集時間の増大に伴うサーバのリソース拡大が必要になるといった問題があった。新しいシステムでは、通信方式として大規模に対応し、かつセキュリティレベルの高いMQTT

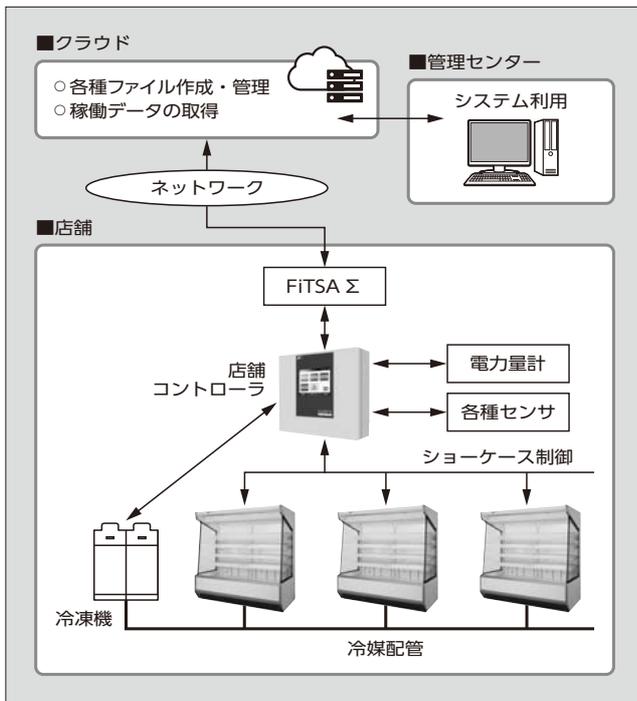


図1 店舗コントローラを用いたシステムの構成図

(Message Queuing Telemetry Transport Security) を採用している。MQTTS 通信では、非同期にデータ送信を行うため、不安定なネットワーク環境でもサーバにデータを送信でき、数万規模のネットワークへの拡大が容易になる。また、MQTTS 通信を実現するため VPN のサーバルータの代わりに富士電機の IoT/M2M コントローラ「FiTSA Σ」を利用する。FiTSA Σ は SIM 内蔵タイプで、MQTTS 通信に対応済みの製品である。店舗コントローラは FTP サーバや Web サーバの機能を持ち、外部のクラウドとの間で各種ファイルの授受や変更を容易に行うことができる。

(2) 冷蔵設備の運用支援

店舗における冷蔵設備は、商品を常時最適な温度で保存する必要があり、1日24時間、365日連続稼働される。さらに、消費電力も大きいことから、冷蔵設備の運転を最適化することにより店舗の省エネに大きく貢献できる。従来システムでは、稼働データの見える化 (HACCP 対応)、警報履歴の見える化、電力データの見える化を行う機能を備えていた。

今回開発したシステムでは、従来システムの機能に加えて設備の稼働状態を分析して異常の兆候を検知する機能も備え、稼働データの分析による各機器の予知保全を実現できる。さらに、店舗別や機器別の傾向を把握してメンテナンス計画に反映することもできる。

これらの機能により、故障を事前検知し、修理のリードタイムを短縮できるとともに、消費電力量の記録を利用して機器ごとだけでなく店舗別や地域別に比較することで、省エネ効果の高い運転制御の設定条件を配信して、コンビニエンスストアチェーン全体での省エネを実現することができる。

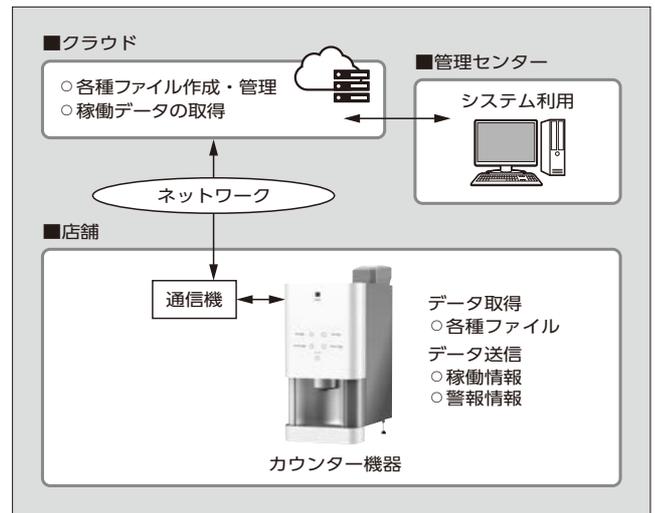


図2 カウンター機器システムの構成

3.2 カウンター機器

カウンター機器は店舗内で調理を行って商品を提供するため、販売に伴う材料の補充や定期的な清掃など、所定のメンテナンスが欠かせない機器である。

図2にカウンター機器システムの構成を示す。今回開発したシステムでは、カウンター機器の稼働状態と警報の情報を収集している。清掃が必要な部品の取外しと取付けを検知して記録するのでメンテナンスの実施状況を知ることができる。清掃が必要な箇所やタイミングを店員に知らせ、確実なメンテナンスの実施を促すことができる。

また、カウンター機器においては、新規顧客の獲得や既存顧客をつなぎとめるために、季節や嗜好 (しこう) の変化に合わせて、味や香りなどを更新した商品の提供が求められる。これを実施するためには、店舗でメニューを入れ替えるタイミングに合わせてカウンター機器の調理方法も変更する必要がある。今回開発したシステムでは、新メニューのレシピで動作させるカウンター機器の制御データを、あらかじめクラウド上に登録している。制御データはネットワークを介してカウンター機器に配信されるが、直ちに実行されることはなく、メンテナンス作業が実施されたタイミングで制御データが更新され、新メニューを提供できるようにしている。これにより、煩雑な作業をなくしてメニューの入替えを確実に行うことができる。この機能を利用すれば、エリア限定や期間限定の商品提供といった販売促進策も容易に実施することができる。

3.3 自動つり銭機

自動つり銭機は、POS (Point of Sales) レジスタと連動して会計の際の現金の受渡しを自動的に行う機器であり、それまでに比べて会計業務を省力化できる機器としてコンビニエンスストアへの導入が進んできた。これをさらに取扱いやすく省力化に貢献する機能が求められていた。

図3につり銭機システムの構成を示す。今回開発したシステムでは、自動つり銭機に出し入れされる硬貨や紙幣

特集 新しい価値を創造する富士電機の食品流通

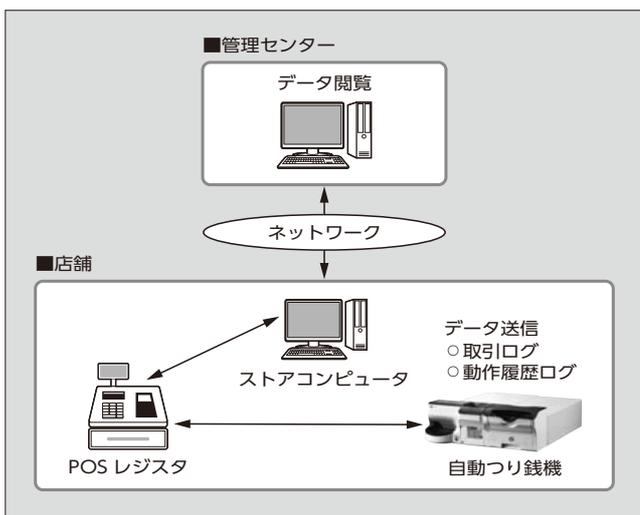


図3 釣り銭機用システムの構成

の入金回数や収納回数などの現金の取扱いに関する履歴と、入出金の動作や鍵の操作などの動作に関する履歴を、連動するPOSレジスタに記録する。これらの記録はネットワークを介して接続される管理センターからも閲覧することができる。これらの機能により、店舗での機器の状態を管理センター側でも把握することができるため、例えば、不慣れた店員による操作ミスがあった場合の復旧や、万一機器が故障した場合の対処を管理センターから速やかに支援して、店舗側の負荷を減らすことが可能となる。

4 将来構想

現在は、消費電力量の大きい冷蔵設備や空調の最適運転により、省エネ・省力化を実現している。今後、さらなるCO₂排出量の削減を目指し、エネルギーマネジメントシステムを内蔵した新店舗コントローラを開発し、店舗外から店舗に供給される電力について、再生可能エネルギーの利用を拡大することができるシステムを構想している。こうしたシステムを全国のスーパーマーケットやコンビニエンスストアに普及させることで、CO₂排出の削減に貢献できるものとする。

5 あとがき

店舗オペレーションの一層の省エネルギーや省力化に貢献する、最新の店舗向けネットワークサービスについて述べた。

今後は、店舗内や店舗外のシステムとの連携により、さらなる省エネルギーや、再生可能エネルギーの活用に向けて取り組み、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの小売業界に貢献する所存である。

参考文献

- (1) 城戸武志、神崎克也. 店舗のEMSを実現する「エコマックスコントローラ」. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.193-196.
- (2) 中村善宏ほか. 変化する市場ニーズに対応した自動つり銭機「ECS-777」. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.1, p.41-45.



徳永 勇貴

自動販売機および店舗機器のソフトウェア・システム開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場制御設計部担当課長。



武藤 健二

店舗システムの開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所IoTソリューションセンターIoTシステム研究部主任。



石原 雄大

店舗機器のシステム開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部事業統括部自販機センターシステム技術部主任。



ショーケースの省エネルギー技術

Energy-Saving Technology for Showcases

木下 卓 KINOSHITA, Suguru

スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの小売業界において、商品を適切な温度に保冷するショーケースに対して、さらなる省エネルギー（省エネ）を求めるニーズが高まっている。富士電機は、ショーケースの消費電力量を削減するため、弁開度を緻密に制御できる電子膨張弁を採用し、冷媒の流量を最適に制御するシステムを開発した。また、冷媒配管への冷媒封入量の最適化や、複数のショーケースに対して、冷却の偏りをなくすために冷媒を均等に配分する設計を行った。この制御システムにより、従来の制御方法に比べて消費電力量を約 20% 削減した。

The retail industry, including supermarkets and convenience stores, is increasingly demanding further energy saving of showcases, which keep products in adequate cold temperatures. To save showcase power consumption, Fuji Electric has developed a precise valve opening control system using an electronic expansion valve to optimally control the flow rate of refrigerant. This system is also designed to optimize the amount of refrigerant contained in the refrigerant piping and equally allocate the amount of refrigerant to each showcase, ensuring uniform cooling. This control system reduces power consumption by approximately 20% compared to conventional control methods.

1 まえがき

近年、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの小売業界では、ライフスタイルの変化による冷凍食品や新鮮で衛生的な食品へのニーズが高まっており、冷蔵ショーケース（ショーケース）の導入が増加しつつある。一方、店舗ではより一層の省エネルギー（省エネ）が求められており、ショーケースの省エネは必須となっている。本稿では、富士電機におけるショーケースの省エネ技術の開発状況について述べる。

2 ショーケースの基本構成と種類

スーパーマーケットやコンビニエンスストアに設置してあるショーケースは、商品の展示とともにショーケース内を冷却し、商品を適正な温度に保冷する機能を持つ。

ショーケースの冷却装置の基本構成を図 1 示す。ショーケース内に設置した蒸発器に低温・低圧の冷媒を流すことにより庫内に吹き出す空気を冷却する。このとき、蒸発器

を通過する冷媒は空気から熱を奪って蒸発し、蒸発器の出口では蒸気（気体）となる。蒸発器の上流側に設置された膨張弁により、冷媒流量を調整して蒸発器の運転温度を制御している。したがって、膨張弁はショーケースの冷却効率を左右する重要な機器である。冷凍機は、冷媒ガスを圧縮して吐出する圧縮機と冷媒ガスを冷却して凝縮（液化）する凝縮器で構成される。

ショーケースの装置構成は、冷凍機の設置場所の違いから 2 種類に大別される。外観からは判別が難しいが、一つは内蔵ショーケースと称し、図 2 に示すように、ショーケース内部に冷凍機を搭載するタイプである。搭載した冷凍機と蒸発器が 1 対 1 でつながっているため、ショーケースと冷凍機の接続施工が不要であり、店舗内の中央部に単体で設置する場合に多く使用されている。もう一つは、別置ショーケースと称し、図 3 に示すように店舗外に冷凍機を設置し、店舗内の複数のショーケースと接続するタイプである。この場合、ショーケースと冷凍機を接続する配管

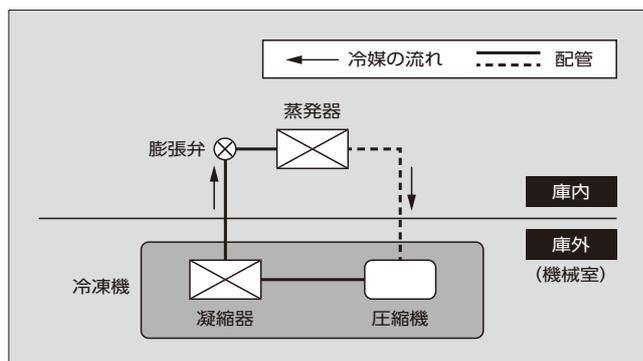


図 1 ショーケースの冷却装置の基本構成



図 2 内蔵ショーケース

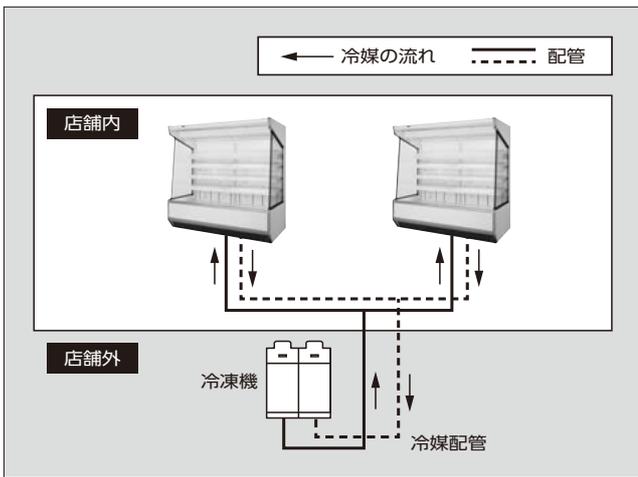


図3 別置ショーケース

は現場で施工される。1台の冷凍機で複数のショーケースが運用できることでコストを安く抑えられることや、冷凍機の排熱を店舗内に出さないため店舗内環境への影響を抑制できるため、店舗内の壁沿いに複数台のショーケースを並べる際に多く使用されている。

③ 最新の省エネルギー技術の特徴

3.1 電子膨張弁による制御の最適化

(1) 課題

冷却装置を正常に運転するためには、蒸発器の出口に達した冷媒蒸気の過熱度を一定に保つ必要がある。過熱度とは、冷媒の沸点（飽和温度）を基準とした冷媒蒸気の温度の高さを意味する。過熱度が負値、すなわち沸点を下回る温度になると、冷媒が蒸発しきらずに下流側の圧縮機に液冷媒が送り込まれる“液戻り”と呼ばれる現象を引き起こす。これは圧縮機に過大な負荷を与えて圧縮機を故障させるリスクとなるため、必ず回避しなければならない。蒸発器の入口側に設けられる膨張弁には、上述の過熱度を一定に保つように冷媒の流量を制御する機能が求められる。これを実現するため、従来の冷却装置に採用されていた機械式膨張弁では、蒸発器出口の配管に感温筒を取り付け、その内部に封入された冷媒を気化させて筒内部の圧力を変化させ、その圧力を使って膨張弁の開度を機械的に調整する仕組みであった。しかしこの仕組みでは、直接的に過熱度により膨張弁の開度を制御しているわけではなく、誤差要因が多い。また、構造上の制約があるため必ずしも適切な制御性能となるように調整できるとは限らなかった。

蒸発器を効率的に使用するためには、過熱度を限りなくゼロに近い理想値に近づけることが望ましい。しかし、先に述べた液戻りを起こさないために、機械式膨張弁を使用する場合は、安全率を考慮して過熱度を理想値よりも大きい値に設定するのが一般的であった。膨張弁としては弁開度を必要以上に小さくすることになり、その結果として蒸発器の出口の圧力が低下する。この下流側にある圧縮機では、必要以上に低下した冷媒の圧力（低圧圧力）を所定の

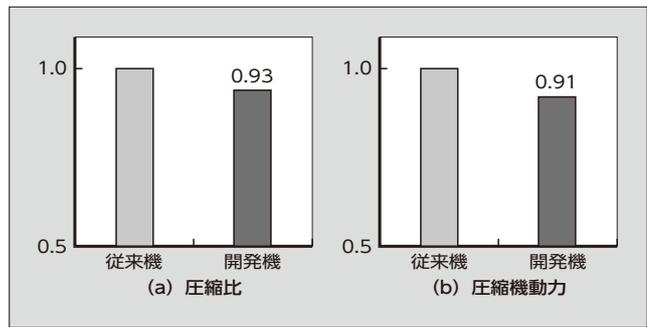


図4 圧縮比と圧縮機動力の比較

圧力（高圧圧力）まで高めなければならない。つまり、この高圧圧力と低圧圧力の比である圧縮比を必要以上に高めなければならない、これを達成するための圧縮機動力が増加してしまう。これによりむだなエネルギーを消費するため、ショーケースの消費電力量を増やす結果を招いていた。

(2) 対策と効果

ショーケース単体での消費電力量を削減するため、適切な調整が常にできるとは限らない機械式膨張弁から、弁開度を緻密に制御できる電子膨張弁に変更し、膨張弁の弁開度を最適にフィードバック制御する制御システムを開発した。

電子膨張弁は、ステッピングモータにより弁開度を調整できる機構を持つため、弁開度を高精度に調整することができる。開発した制御システムでは、蒸発器の入口と出口の両方の温度をサーミスタで測定し、測定値を基に算出した過熱度をPID（Proportional-Integral-Differential）制御の制御量に用いて弁開度を操作する。さらに、現在の過熱度と時間をトリガーに液戻りのしきい値を設定する液戻り防止制御を追加した。これらの制御により、常に理想値に近い過熱度を実現する。必要以上に低圧圧力を下げることなく常に最適な冷凍サイクルを実現できるので、圧縮機動力が抑制される。図4に従来機と開発機の圧縮比と圧縮機動力の比較を、従来機の値を1として示す。開発機の方が圧縮比と圧縮機動力を抑制できていることが分かる。自社で行ったショーケースの評価の結果、年間を通した消費電力量が、従来機比で約10%の省エネを実現した。

3.2 現地施工条件に応じた冷媒封入量の最適化

(1) 課題

内蔵ショーケースの場合は、冷凍機周りの配管はあらかじめ工場で行われているため、冷媒封入量を適切に管理することができる。一方、別置ショーケースの場合は、別置された共用の冷凍機と複数のショーケースの間の配管は現場で行われるため、設置されるショーケースの種類や台数、現場施工でつなげる冷凍機までの配管長さなどに合わせて、冷媒封入量を調整する必要がある。

従来は、現場での配管工事完了後に、冷凍機の高圧側サイトグラスで状態を目視しながら、凝縮器で完全に液化した状態になるまで冷媒を注入する手法で実施していた。この方法では、施工時の条件の影響を受けて、冷媒が多めに

注入される傾向があり、注入量を最適化する必要があった。

(2) 対策と効果

上述の問題を解決するために、現場の配管容積から必要な冷媒封入量を算出する、現場で容易に使えるツールを導入した。冷媒封入量は、式(1)で算出される。

$$M=a \times A+b \times B+c \times C+d \dots \dots \dots (1)$$

- M：冷媒封入量 (kg)
- a：蒸発器内冷媒密度 (kg/m³)
- b：高圧配管内冷媒密度 (kg/m³)
- c：低圧配管内冷媒密度 (kg/m³)
- d：冷凍機内冷媒量 (kg)
- A：蒸発器内容積 (m³)
- B：高圧配管内容積 (m³)
- C：低圧配管内容積 (m³)

本ツールを作成するに当たり、実際の冷凍機とショーケースを組み合わせて、環境条件、配管長さ、ショーケース台数（配管内容積）、冷媒封入量という四つのパラメータを変化させたときの最適冷媒封入量を実験的に求めた。この実験結果を基に a～d を決定して計算ツールを完成させた。計算ツールを使ってショーケースの種類と台数を入力すると A が求まり、さらに現場で接続する配管の外径と長さを入力すると B、C が決定する。これにより、店舗ごとの最適な冷媒封入量を自動で計算することができ、ショーケースの消費電力量を従来方法に比べて、最大で 12% の省エネを実現した。

3.3 別置ショーケースの冷媒の均等配分

(1) 課題

別置ショーケースでは、冷凍機からの冷媒が各ショーケースに分配されるが、冷凍機と各ショーケースの間の配管長はショーケースの設置場所ごとで異なってくるため、冷媒流量も配管の圧力損失に応じて変わる。このため冷媒の流れやすいショーケースやエネルギー負荷の小さいショーケースは冷媒流量が過多となって冷え過ぎ状態となり、冷媒の流れにくいショーケースやエネルギー負荷の高いショーケースは冷媒流量が不足して冷却が足りなくなる。これにより、ショーケースごとに冷却状態に偏りが出てしまう。

さらに、従来の店舗では、店舗の全てのショーケースの冷却状態を監視し、全てのショーケースが十分に冷却できていると判断した場合に、冷凍機の運転周波数を下げるように指示する省エネ制御を実施している。しかし、上述のように各ショーケース間で冷却状態に偏りができると、冷却が足りないショーケースに合わせて冷凍機を制御してしまうため、消費電力量が高くなってしまった場合があった。そこで、各ショーケースへの冷媒の均等配分が必要となる。

(2) 対策と効果

3.1 節で述べた電子膨張弁を用いると、目的に応じてさまざまな制御を容易に実現することができる。内蔵ショー

ケースに適用した場合は省エネ性能を高める効果が得られたが、別置ショーケースに適用して、それぞれのショーケースが均一に冷却されるようにショーケースごとの電子膨張弁を調整する制御システムを開発した。

開発した制御システムでは、各ショーケースの冷却状態を判別するため、冷気吹出し温度も測定する。先に述べた蒸発器の入口と出口の温度と合わせた 3 か所の温度測定値から各ショーケースの冷却状態を認識し、これを次に示す 6 種類のモードに分類する。

- (a) 初期運転モード（冷却開始時の状態）
- (b) 吹出し温度モード（冷却が不足している状態）
- (c) 過熱度保持モード（冷却が安定している状態）
- (d) 液戻り防止制御モード（冷却が十分足りている状態）
- (e) 弁開度固定モード（冷凍機が停止している状態）
- (f) 停止モード（ショーケースが停止している状態）

この分類結果を基に、冷媒が足りていないショーケースがある場合はそのショーケースの膨張弁を大きく開くなどの制御により、まずは全体の冷却状態の均一化を目指す。続いて、個別のショーケースの冷却状態が安定するように膨張弁開度を微調整して最適な流量制御を実施する。図 5 に示す膨張弁制御用状態遷移図を示す。それぞれのモードになるよう、各ショーケースの膨張弁は制御される。図 6 に初期運転モードの適用事例を示す。図 5 の(a)に示した初

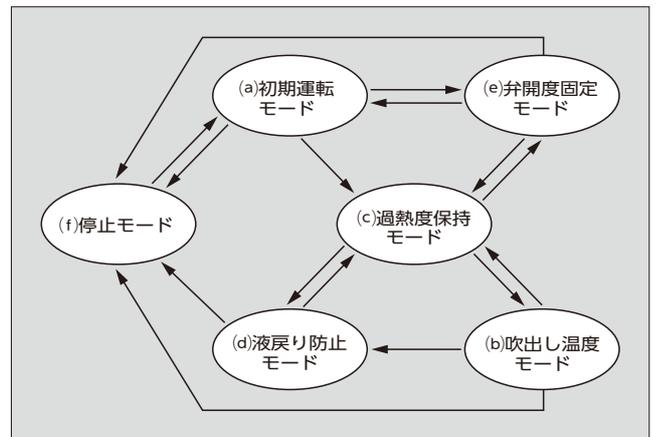


図 5 膨張弁制御用状態遷移図

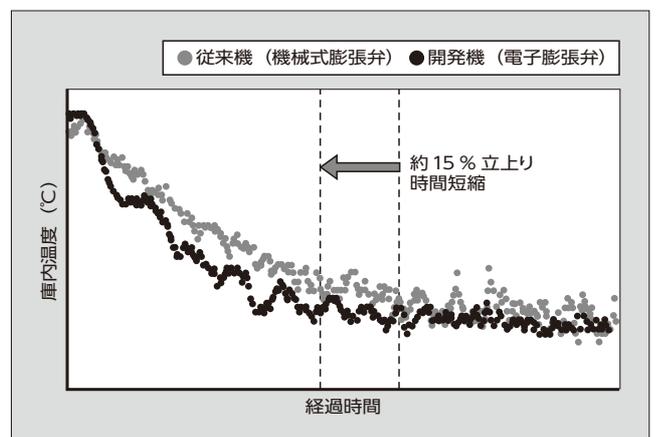


図 6 初期運転モードの適用事例

期運転モードの制御を用いた効果を示したものである。庫内が目標温度に到達するまでの時間が、従来機に比べて約15%短縮する効果が得られている。

上述の制御システムを適用することにより、常に各ショーケースに最適な冷媒を分配することができるので、同一系統内の各別置ショーケースの冷却状態が均一化され、従来の制御方法に対して消費電力量を約20%削減した。

4 あとがき

本稿では、ショーケースの省エネルギー技術について述べた。

富士電機は、お客さまのニーズに応じ、内蔵型と別置型の双方のショーケースを市場に提供している。それぞれのショーケースの特徴に応じた課題を解決し、今後も省エネルギー性の高いショーケースや店舗全体の省エネルギーシステムの開発に取り組んでいくことで、環境対応やお客さまの要望に応じていく所存である。



木下 卓

冷凍・冷蔵ショーケースの設計に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場製品設計部課長。日本冷凍空調学会会員。



店舗における省エネルギーの施策

Energy-Saving Measures for Stores

宮越 智也 MIYAKOSHI, Tomoya

水澤 竜也 MIZUSAWA, Tatsuya

コンビニエンスストアをはじめとする店舗において、さらなる省エネルギー（省エネ）が求められている。その一方で、店舗内の快適性と両立も必要とされている。そこで、予想平均温冷感申告（PMV：Predicted Mean Vote）と呼ばれる指標を用いて、店舗内環境の解析を実施した。解析の結果、夏季の空調の温度設定を制御することが有効であることが分かった。また、冬季の低温の外気を利用してショーケースの負荷を低減する外気導入システムを開発した。熱流体解析ソフトウェアを用いて解析した結果、標準的な店舗に設置されるショーケースで 1.84 kWh の消費電力量を低減できる。

Retail outlets such as convenience stores have been further required to save energy. Meanwhile, store comfortability is also needed. Fuji Electric's store environment analysis using an index called predicted mean vote (PMV) suggested the effectiveness of controlling the temperature setting of air conditioners during the summer. We have also developed an outside air intake system to reduce the load on showcases by using cold outdoor air during the winter. The results of using thermal fluid analysis software showed that the system can reduce the power consumption of showcases installed in typical stores by 1.84 kWh.

1 まえがき

社会的要請の強まる地球温暖化対策に貢献するため、コンビニエンスストア業界でもさまざまな省エネルギー（省エネ）に取り組んでおり、店舗運営においてもさらなる消費電力量削減が求められている。店舗での省エネ施策として空調を弱めることが考えられるものの、その結果として店舗内の快適性を損ない、来客数、売上げに影響することが懸念され、簡単には採用できない。富士電機ではこれまで、ショーケースなどの機器単体の高効率化の追求や空調効率を改善する正圧化制御システムを開発し、店舗の消費電力量削減に貢献してきた。そして、さらなる省エネに貢献するため、機器・システムの個別最適ではなく、快適性まで考慮した店舗全体の消費電力量を削減する総合的な省エネに向けた取組みを始めている。

本稿では、ショーケースなどの機器、正圧化制御システムに加えて、空調、換気まで含めた運用方法に着目し、店舗全体の視点から省エネと快適性を両立する施策について述べる。

2 店舗における省エネルギーの課題

図1に店舗の代表的な設備別消費電力量の割合を示す。⁽²⁾富士電機が省エネに貢献できる空調設備、冷凍冷蔵設備、加熱保温設備が7割以上を占めている。これまでに消費電力量の大きかった冷凍冷蔵設備であるショーケースの効率化を進めてきており、加熱保温機器と同等にまで消費電力量を削減している。さらに、店舗内の気圧を店舗外の気圧よりもわずかに高い圧力を保つことで空調設備の運転効率を改善する正圧化制御システムを開発した。現在の消費電力量の割合の違いは、図1のように冷凍冷蔵設備 25%、

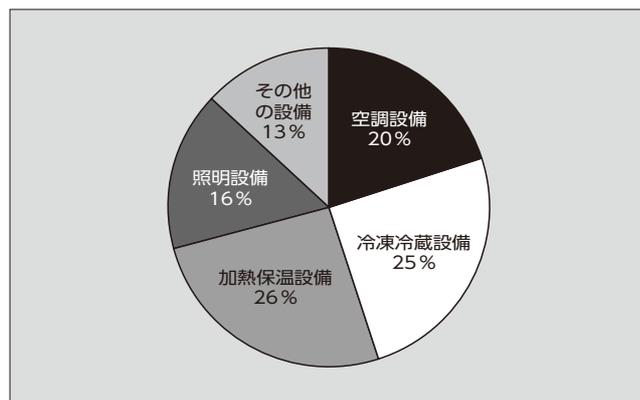


図1 設備別消費電力量の割合

加熱保温設備 26% が空調設備 20% と同程度となっている。

これまでは前述のような個別最適化を追求してきたものの、熱機器は互いの消費電力に影響を与える存在である。つまり、さらなる省エネのためには、これらの機器やシステムの運転条件を協調させて店舗全体の最適化に取り組む必要がある。

店舗全体として消費電力量を削減するためには全体の熱収支を見える化する必要がある。そこで図2に示した富士電機三重工場の敷地内に設置した実験用模擬店舗を利用し、実際の店舗の熱収支を調査した。図3は6月のある一日における店舗への侵入熱量を時系列に表したグラフである。店舗への侵入熱量は夜間と昼間で3倍以上も変化することが確認できる。さらに、店舗への侵入熱量は一日の変化だけでなく、季節による変化も大きい。このような外部環境の変化に応じた省エネ施策を検討する必要がある。



図2 実験用模擬店舗の外観

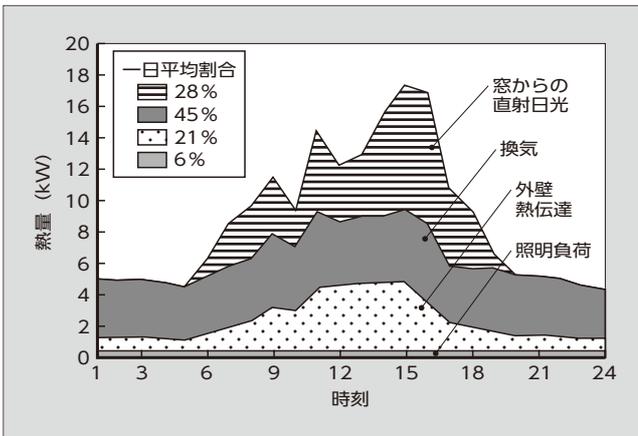


図3 店舗への侵入熱量の割合

③ 省エネルギーと快適性を両立させるための検討

3.1 店舗全体のモデル化

店舗全体の消費電力量や店舗内の快適性は、外部環境である季節や天気の影響を大きく受ける。図2の模擬店舗は屋外に設置されているのでそれらの影響を制御することができないため、省エネ施策の効果を模擬店舗で計画的に実証することが難しい。そこで、店舗全体をモデル化してシミュレーションを活用することにした。図4に店舗室内解析に用いたモデルを示す。図2の模擬店舗と同じように空調やショーケース、雑誌棚などを配置した。また、空調設定値や正圧化制御システムの換気量のほかに、空調運転台数も変更できるようなモデルとしている。さらに、外的な環境要因として、外気温と日射量を変更して解析できる。

3.2 快適性の評価指標 PMV

省エネと快適性の両立を検討するためには快適性の評価指標を導入する必要がある。そこで、本稿では予想平均温冷感申告 (PMV: Predicted Mean Vote) と呼ばれる指標を用いた。PMVはファンガーが導出した快適方程式を基に発表したものであり⁽³⁾、1994年に国際標準となっている。PMVは体感温度ではなく温冷感を指標にしたことが特徴的で、温冷感を決定する環境側の4要素〔空気

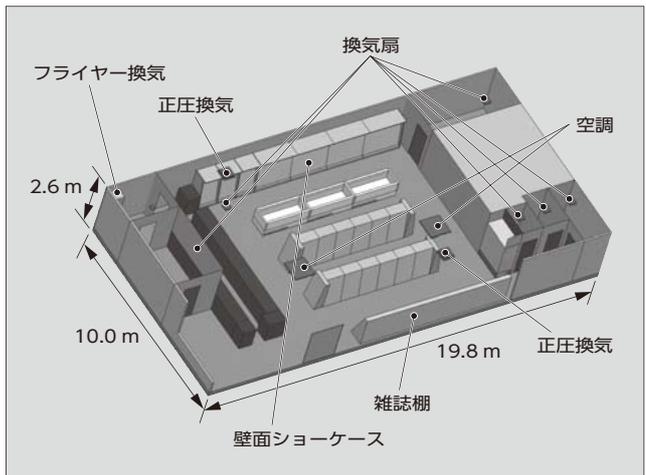


図4 店舗室内解析に用いたモデル

温度 (°C)、相対湿度 (%)、風速 (m/s)、熱放射 (°C)〕に、人間側の2要素〔代謝量 (met)、着衣量 (clo)〕を加えて算出するものである。PMVの評価尺度は、温熱環境に不満足や不快さを感じる人の割合を示した予測不快者率 (PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied) に基づいている。表1に温冷感に対するPPDとPMVを示す。PMVでは、PMV=0の状態を中立とし、PMV=±3では99%もの人が不快に感じるとされている。

3.3 解析による省エネルギーと快適性の相関評価

(1) 解析条件

3.1節で述べたモデルを用いて、熱流体解析ソフトウェアによる解析を行った。解析条件には実験計画法を用いて因子割付けを行い、各因子の影響を求めた。表2に解析パラメータの条件を示す。ここで、空調の吹出角度とは天井と水平に吹出す場合を0°とし、空調の運転台数とは通常2台稼働しているものをそれぞれ独立して動かすことを示している。また、制御因子については基準となる値も記載した。PMVの算出には、人間側の要素では、屋外からの来客の服装を想定し、夏季では一般的な夏服を表す着衣量として0.6 cloとし、冬季では防寒着を着た状態を表す着衣量として2.0 cloとした。代謝量は夏季も冬季も立った姿勢の場合を表す1.4 metとした。省エネとPMVを評価するために感度分析によって、各因子が空調、換気、冷凍設備を合計した総合消費電力 (省エネ性) と店舗内空間

表1 温冷感に対するPPDとPMV

温冷感	PPD (予測不快者率) (%)	PMV (予想平均温冷感申告)
暑い	99	+3
暖かい	75	+2
やや暖かい	25	+1
中立	5	±0
やや涼しい	25	-1
涼しい	75	-2
寒い	99	-3

表2 解析パラメータの条件

	因子	解析条件 (基準)
制御因子	空調設定温度 (°C)	22、25、28 (基準: 25)
環境要因	空調吹出風量 (m³/h)	1,200、1,620、1,800 (基準: 1,620)
	空調吹出角度 (°)	20、40、60 (基準: スイング)
	空調運転台数	1台、2台 (基準: 2台)
	正圧化換気量 (m³/h)	1,000、1,400、1,800 (基準: 自動)
	外気温 (°C)	夏季 28、32、36 冬季 0、5、10
	日射	日射なし、遮光、日射あり

を平均した PMV (快適性) に与える影響度を明らかにし、省エネ制御を行うための方法を検討した。

(2) 解析結果

図5に夏季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果を、図6に冬季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果を示す。左側縦軸と黒色のプロットは総合消費電力であり小さい方が望ましい。また、右側縦軸と灰色のプロットは PMV であり、これは 0 に近いほうが良い。

夏季条件において、制御因子の空調吹出角度に着目すると、吹出角度が大きいほど消費電力は小さく、PMV は大きくなっており、省エネと快適性の両立が難しいことが分

かった。PMV の傾きが大きいため、快適性を高めるためには空調吹出角度を小さく保つことが効果的と分かった。また、空調設定温度と正圧化換気量では消費電力と PMV の傾向が同じとなり、省エネと快適性を両立できることが分かった。空調設定温度を下げることで消費電力も PMV も小さくすることができており、一般的に認識されている空調設定温度を上げることで省エネになる傾向とは異なっている。これは、店舗では空調よりもショーケースの消費電力が大きいためであり、空調設定温度を下げることで冷凍設備の消費電力が改善され、総合消費電力が下がることが要因であると考えられる。

冬季条件では、制御因子は消費電力と PMV の傾向が同じであり、省エネと快適性が両立しやすいことが分かった。正圧化換気量に着目すると換気量を増加させるほどに省エネになる。これは夏季と同様に外気によってショーケース周辺の温度が下がり、冷凍設備の消費電力が下がったことが要因であると考えられる。

この解析では屋外からの来客を想定しているため、店舗内に常駐する店員や移動手段の異なる来客では PMV に差が表れることが予想できる。これらの検証は今後の課題である。

3.4 冬季の省エネルギーと快適性を両立させる施策案

夏季条件の解析から、ショーケース周辺の温度を下げることで、店舗全体の消費電力削減に有効であることが分

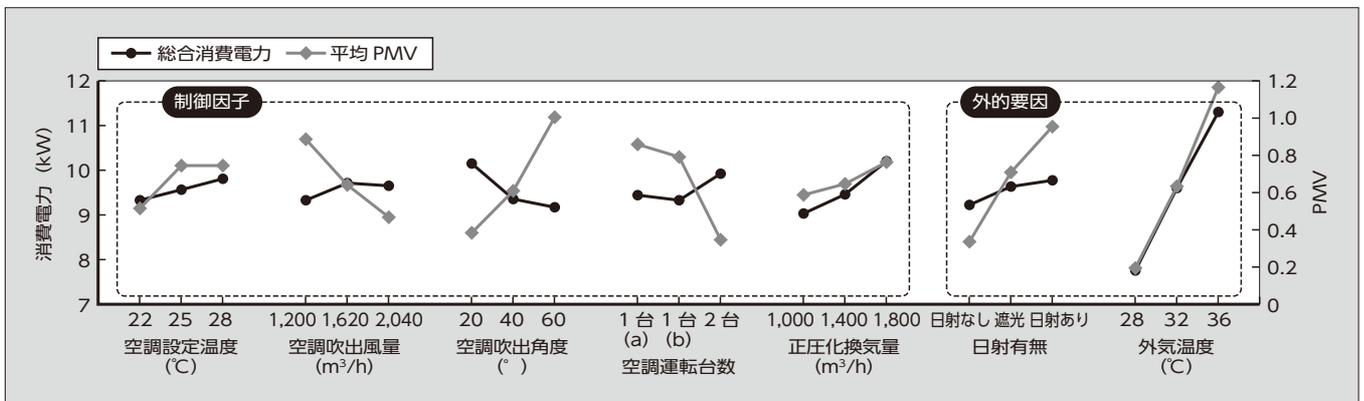


図5 夏季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果

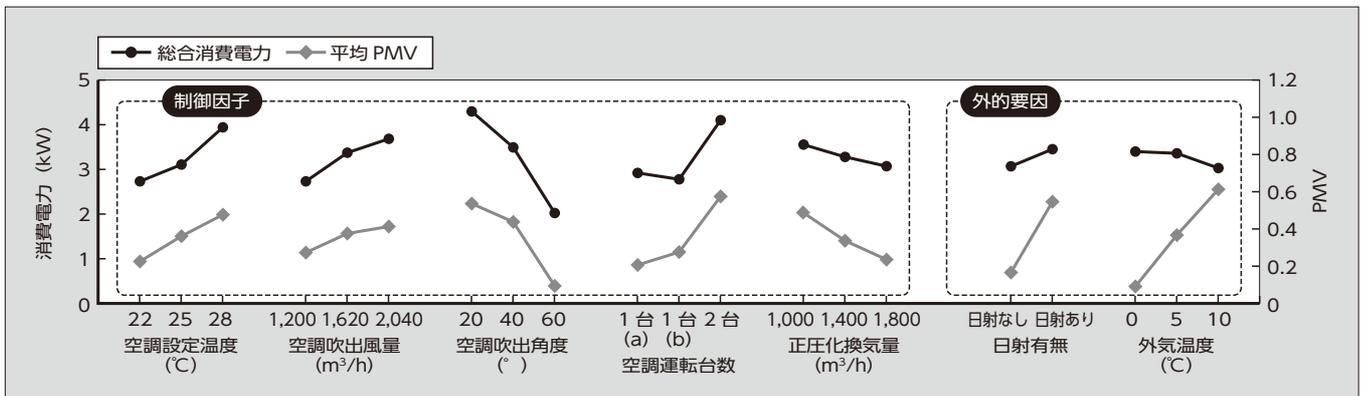


図6 冬季条件の総合消費電力と PMV の感度分析結果

かった。このことから、冬季における省エネの施策として、換気により低温の外気を有効に利用する方法として外気導入システムを検討した。図7に外気導入システムの概要を示す。冬季の低温の外気をショーケースの上方から下方に向かって吹き出すようにすることで、エアカーテンが店舗内の空気に触れて温められることを抑え、結果的にエアカーテンに供給する空気の冷却に要するエネルギーを減らす効果を期待した。

外気導入システムの省エネ効果を熱流体解析ソフトウェアを用いて計算した。図8に吹出風量に対する3尺ショーケース1台当たりの消費電力量を示す。外気温度を5℃とし、外気の吹出風量を変化させてショーケースにかかる熱負荷を計算し、ショーケース1台当たりの消費電力量を算出した。外気導入の吹出風量が増加するほど消費電力量が減少することが分かった。図6で示している正圧化換気量が最大風量である1,800 m³/hの場合では、0 m³/hと比較して、消費電力量を0.23 kWh低減ができることが

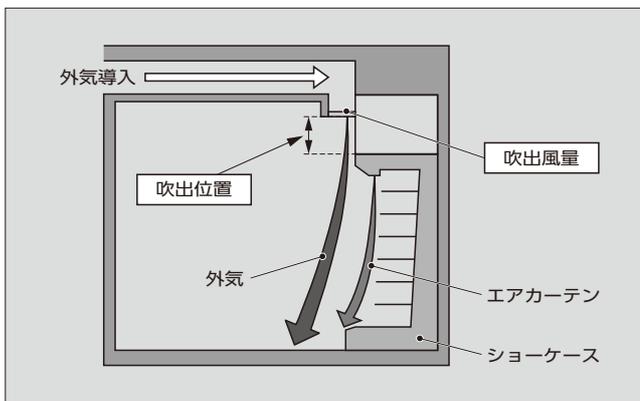


図7 外気導入システムの概要

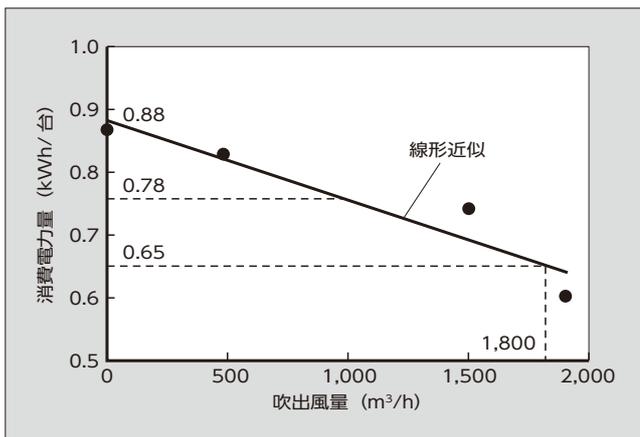


図8 吹出風量に対する3尺ショーケース1台当たりの消費電力量

分かった。店舗形態によりショーケースの構成が異なるが、標準的な店舗で設置される24尺分で1.84 kWhの消費電力量を低減できる。

4 あとがき

本稿では、店舗における省エネルギー（省エネ）の施策について述べた。空調や換気が快適さと省エネに与える影響を明らかにするとともに、夏季には空調の温度設定、冬季では外気を有効活用することで省エネと快適さを両立する可能性を見出した。今後は、これらの解析で得た知見を実験用模擬店舗での長期評価にて実証し、快適性を加味したコンビニエンスストアの省エネ設計指針を確立する所存である。

参考文献

- (1) 寺脇宏幸ほか. 店舗全体の省力化と省エネルギー化を実現する店舗空調ソリューション. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.1, p.31-35.
- (2) 経済産業省. 2021年度第1回産業構造審議会産業技術環境分科会. 地球環境小委員会. 流通・サービスワーキンググループ. “チェーンストア業界のカーボンニュートラル行動計画フェーズ「低炭素社会実行計画」(2020年目標)”. https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyuu_kankyo/ryutsu_wg/pdf/2021_001_05_02.pdf, (参照 2022-08-09).
- (3) P.O.Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press, 1970.
- (4) 公益社団法人 日本冷凍空調学会. 最近気になる用語. “66. PMVとPPD指標”. <https://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/66.html>, (参照 2022-08-09).



宮越 智也

店舗省エネルギーシステム技術の開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センター熱エネルギー技術研究部主任。



水澤 竜也

店舗省エネルギーシステム技術の開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センター熱エネルギー技術研究部主任。博士（工学）、日本伝熱学会、電気化学会、日本機械学会会員。

機能性塗料による熱交換器の無着霜化技術

Frost-Free Technology for Heat Exchangers Using Functional Coating

小川 莉玖 OGAWA, Riku

水澤 竜也 MIZUSAWA, Tatsuya

滝口 浩司 TAKIGUCHI, Koji

近年、省エネルギー（省エネ）が一層重要な社会課題となる中、店舗用冷熱機器のショーケースにも省エネが求められている。そこで、ショーケースに搭載される熱交換器において効率低下の要因である着霜を防止するため、機能性塗料を用いた無着霜化技術を開発している。この機能性塗料は、0℃以下でも水が凍結しない状態（過冷却）を促進可能な塗料である。今回は、熱交換器表面を模擬したアルミニウム小片にて、機能性塗料の塗膜が結露した液滴の過冷却を促進することを明らかにした。

In recent years, as energy saving has become an increasingly important social issue, refrigerated showcases in stores have been required to save energy. In response, Fuji Electric has been developing frost-free technology that uses functional coating to prevent frosting, which is an efficiency lowering factor in the heat exchanger of showcases. The functional coating can promote a state in which water does not freeze even at 0°C or lower (supercooling). We found that a functional coating film promotes supercooling of condensed droplets on small test pieces of aluminum simulating the surface of a heat exchanger.

1 まえがき

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて省エネルギー（省エネ）がより一層重要な社会課題となっており、富士電機が提供する店舗用冷熱機器のショーケースにも省エネが求められている。ショーケースはこれまでも庫内を冷却するエアカーテンや冷却機能を阻害する霜取り（除霜）を最適化して、省エネを進めてきた⁽¹⁾⁽²⁾。特にエアカーテンは、独自の熱流体シミュレーション技術を用いて、エアカーテンの流路や風量の最適化によって省エネに寄与している。一方で、除霜は熱交換器に霜が付く（着霜）限り、加熱や送風などの余分なエネルギーを消費する。そこで、本稿では機能性塗料による熱交換器の無着霜化技術について述べる。

2 熱交換器の課題

ショーケースの基本構成を図1に示す。ショーケース本体は冷凍機と接続されており、冷凍機内の圧縮機で冷媒を循環させている。冷媒は、ショーケース内の熱交換器で蒸発し、その気化熱によってショーケースを流れる空気が冷却され、ショーケースの庫内が冷やされる。熱交換器の表面は低温のため、湿気を含んだ空気が触れると空気中の水分が熱交換器表面に結露する。そして、この結露した水滴は熱交換器表面の温度が0℃以下になると凍結して霜に成長する。オープンショーケースは、図1のように扉が存在しないため、温度が高く湿気を含んだ店舗内の空気がエアカーテンに侵入するため、熱交換器表面への着霜は避けられない。霜の成長は、熱交換器の空気の流路を塞ぐことになり、熱交換性能が著しく損なわれる。そこで、従来はヒータや暖かい店舗内の空気の熱を用いて定期的に熱交換

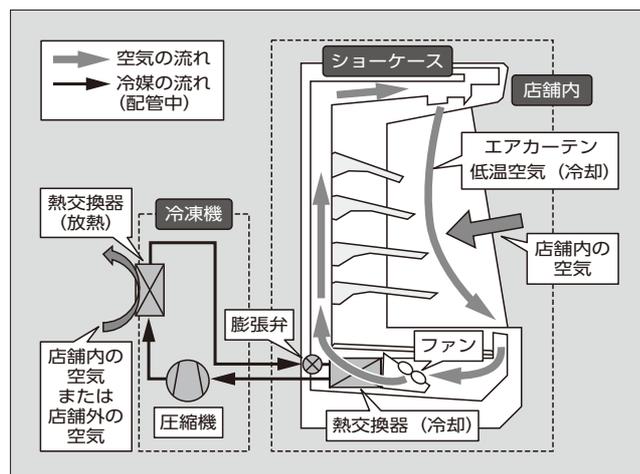


図1 ショーケースの基本構成

器を加熱し、霜を溶かして排水していた。しかし、着霜した氷の凝固潜熱や除去に費やされるエネルギーは余分なエネルギーなので、熱交換器の着霜を防止できれば、これらのエネルギーが不要となり、従来よりも省エネとなる。

2.1 熱交換器における着霜のメカニズム

熱交換器表面の着霜は、結露水の凍結が起点となる。その凍結メカニズムは、一般的に次の二つと考えられている。一つは均質核生成と呼ばれ、水に含まれるちりや埃（ほこり）などの明確な凍結要因がなく、水全体に凍結の核（氷核）が発生して凍結する。この均質核生成のみが支配する場合、水は-40℃付近まで凍結しないことが知られており、0℃以下で水が凍結しない状態は過冷却状態と呼ばれる⁽³⁾。もう一方は不均質核生成と呼ばれ、水に含まれるちりや埃などの異物が氷核となり、そこを起点に水全体が凍結する。自然現象に見られる凍結の多くは、後者の不均質核

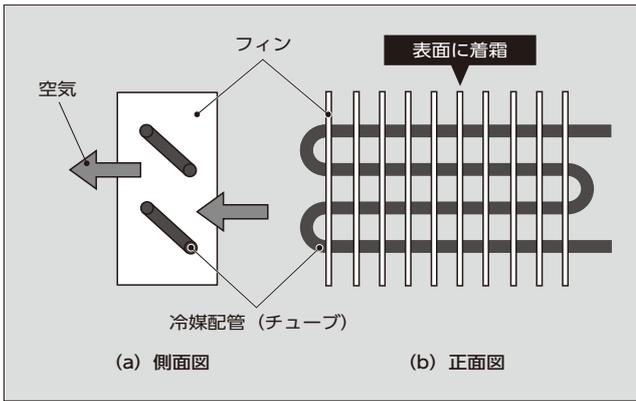


図2 熱交換器（フィンとチューブ）の基本構造

生成である。

図2にフィンとチューブから構成される熱交換器の基本構造を、図3に熱交換器における結露水の凍結メカニズムを示す。ファンで送られた空気は、熱交換器の表面を流れて冷却される。この時、空気に含まれる異物が熱交換器表面や結露水に付着し、不均質核生成により凍結する。また、この異物が付着する量は、空気中の異物濃度と熱交換器の通過風量の影響を受ける⁽⁴⁾。したがって、結露水の凍結防止には異物の付着防止が有効である。しかし、異物の付着は実用上避けられないため、着霜を防ぐには、異物が付着することを前提に異物の水核化を抑制する必要がある。

3 新規開発した無着霜化技術

3.1 過冷却促進物質の概要

異物が付着しても過冷却状態を維持できる物質（過冷却促進物質）がこれまでにいくつか報告されている。そのほとんどは水自体に過冷却促進物質をあらかじめ溶解させる添加剤である。しかし、熱交換器などで自然発生する結露水に適用する場合、選択的かつ継続的に過冷却促進物質を添加することは難しい。これに対して長友らは、チロシン三量体というアミノ酸の結合物を過冷却促進物質として選定し、それを樹脂と結合させて塗料にしている⁽⁶⁾。そして、この塗料をガラス基材に塗布することで、塗膜表面に滴下した水滴の過冷却が促進されることを実証している。しかし、この実証評価は、ガラス基材やよう化銀添加液（よう化銀は代表的氷核物質の一つ）を使った評価であり、熱交換器が使用される環境とは異なる条件下で行われている。

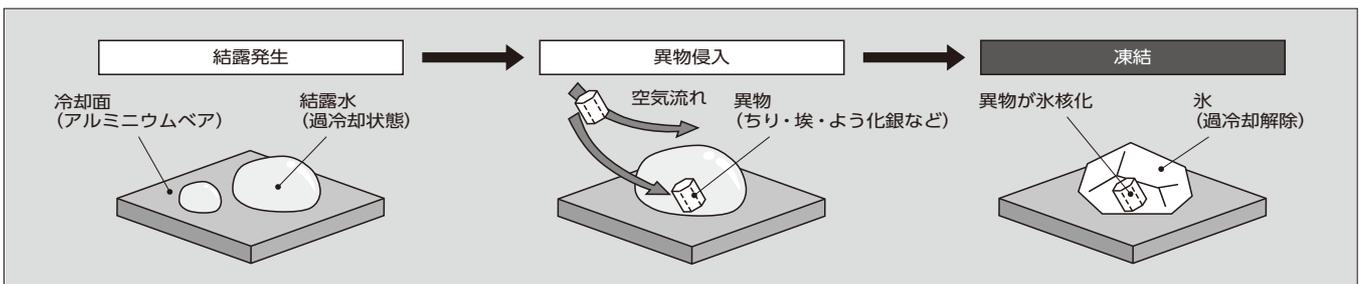


図3 熱交換器における結露水の凍結メカニズム

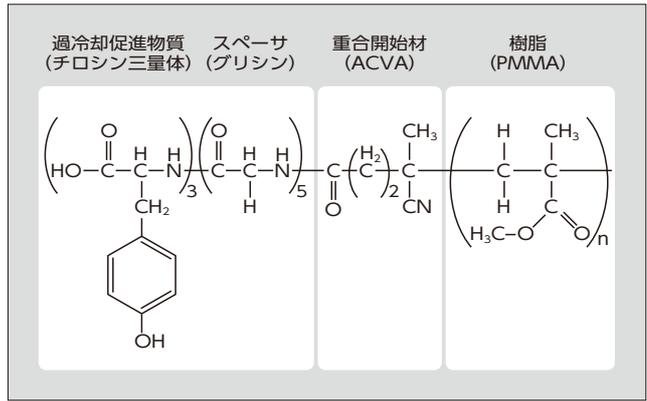


図4 機能性塗料の原料の分子構造⁽⁷⁾

3.2 熱交換器への適用

熱交換器で無着霜化を実現するためには、金属製の熱交換器表面に過冷却促進物質の塗膜を形成する必要がある。今回、金属表面に塗布する機能性塗料の原料の分子構造を図4に示す分子構造とした。この原料は、金属表面に物理吸着する樹脂を過冷却促進物質と結合させており、溶剤に溶かして塗料とした。なお、この機能性塗料が、熱交換器表面材質であるアルミニウムに塗布可能なことは確認済みである⁽⁷⁾。

機能性塗料を用いた無着霜化のメカニズムを図5に示す。従来の熱交換器は低温になると表面が結露し、結露水に含まれた異物が氷核化して凍結する。一方、機能性塗料を塗布した熱交換器の結露水は、塗膜の過冷却促進物質の作用を得て0℃以下でも過冷却状態が維持される。過冷却状態の結露水は、時間の経過とともに成長して質量が増し、重力が結露面との付着力を超えた時点で流れ落ち排水される。この結露と排水を繰り返すことで連続的な冷却が可能になり、無着霜化を実現する。

3.3 効果の検証

(1) 過冷却促進効果の評価

熱交換器の実条件を再現し、機能性塗料の結露水への過冷却促進効果を評価した。評価試料は、熱交換器のフィンを模擬したアルミニウム小片（D20 mm×W20 mm×t2 mm）に機能性塗料を塗布して作製した。熱交換器表面に自然発生する結露水の再現には、図6に示す結露水評価の装置図のとおり、バブラーユニットによって温湿度が

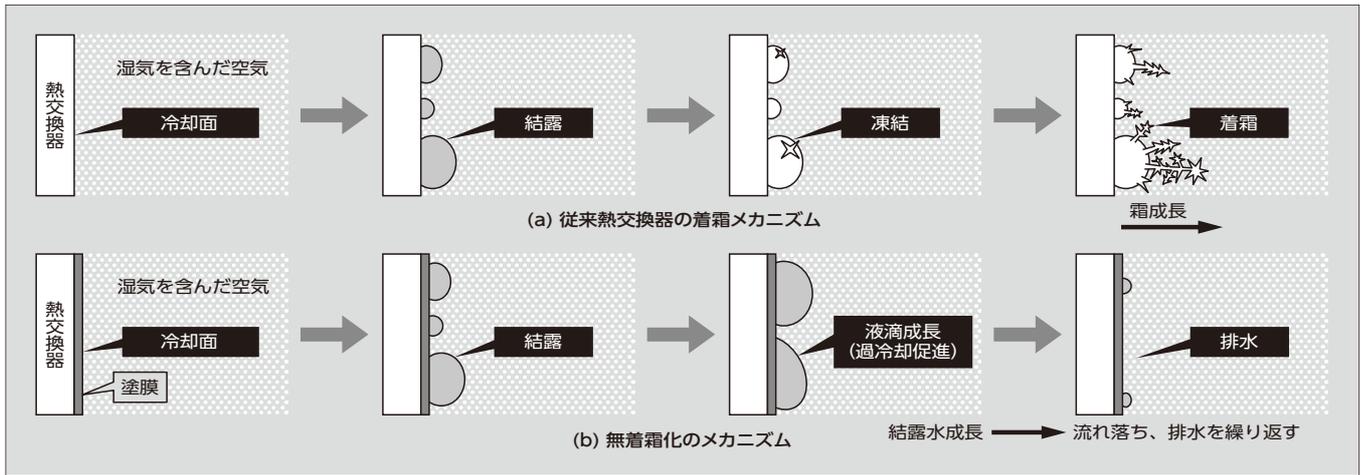


図5 無着霜化のメカニズム

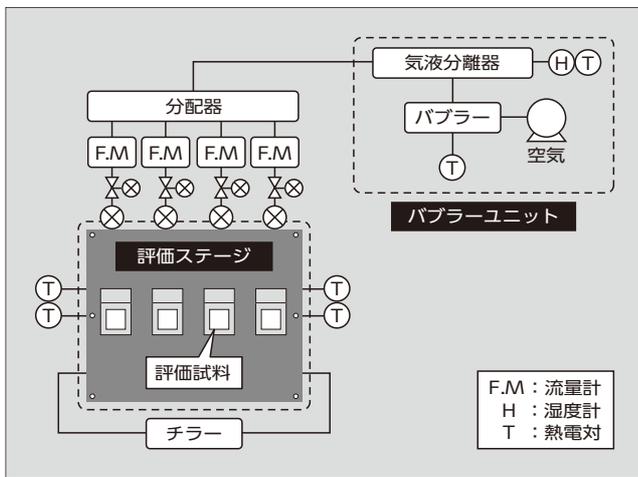


図6 結露水評価の装置図

一定に保たれた空気と熱交換器の空気の流れを模擬した評価ステージを用いた。試料の冷却では、結露水が凍結する温度（凍結温度）を測定するため、微小液凍結法⁽⁷⁾を参考に冷却面温度の条件を設定した。空気の温度と湿度は、熱交換器の実条件から、20℃と65%に設定した。また、評価指標は、塗膜のないペア材の凍結温度から、塗膜試料の凍結温度を引いた値で定義した“抗氷核活性値”とし、結露水の凍結の判定は全表面の水滴の一部でも凍結した時点とした。

これらの熱交換器を再現した評価条件（結露水評価条件）を表1に示す。表1の条件で評価した結果、抗氷核活性値は4.2Kであった。また、参考として先行文献より、凍結しやすい水（よう化銀添加液）を滴下した岡本らの原理評価結果（よう化銀添加液評価⁽⁷⁾）を表2に示す。表2の条件で評価した結果、抗氷核活性値は2.3Kであった。これらの結果から、結露水評価では、よう化銀添加液評価と同様に、抗氷核活性値がプラス側に表れ、過冷却促進効果が確認できた。表1の結果から、機能性塗料の塗膜は、熱交換器の実運転に近い水質と冷却方法でも、過冷却を促進できると考えられる。

続いて、過冷却状態の結露水が時間の経過とともに排水

表1 熱交換器を再現した結露水評価⁽⁴⁾

項目	評価条件
冷却面温度 (°C)	-26 ~ +4
冷却速度 (°C / min)	0.2
空気温度 (°C)	20
空気湿度 (%RH)	65
風速	自然対流
試料姿勢	垂直

表2 よう化銀添加液評価⁽⁷⁾

項目	評価条件 ⁽⁷⁾
冷却面温度 (°C)	-18 ~ 0
冷却速度 (°C / min)	1.0
空気温度 (°C)	25
空気湿度 (%RH)	- (乾燥剤設置)
風速	自然対流
試料姿勢	水平

される様子を図7に示す。ここでは、表1の評価条件を基に、冷却温度は0℃以下の代表温度で一定にし、風速は実環境を模擬した強制対流で一定にして時間経過を観察し

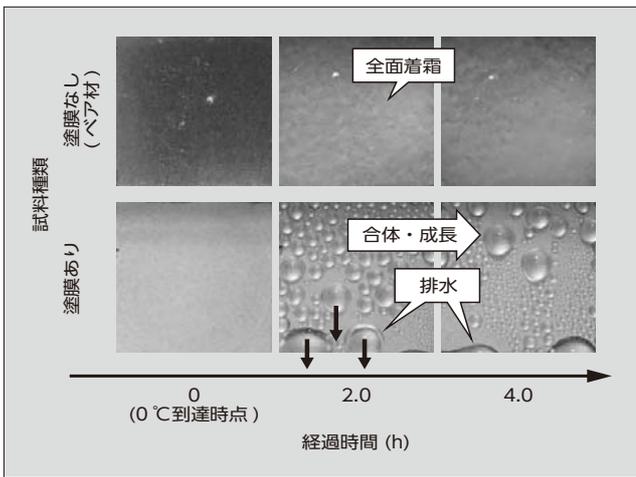


図7 過冷却状態の結露水が排水される様子⁽⁴⁾

ている。図の写真から、時間の経過とともに結露水が成長し、排水されていく様子が確認できる。

これらにより、設計した機能性塗料の塗膜は、熱交換器の結露水の過冷却を促進し、無着霜化できることを実証できた。

(2) 省エネ効果の試算

着霜は、結露水が凍結して発生するため相変化を伴っている。そのため、結露時は凝縮潜熱、凍結時は凝固潜熱が消費される。この二つの潜熱は、熱交換器が空気を冷却する目的において無駄なエネルギーとなる。無着霜化技術を適用した熱交換器は、そのうちの凝固潜熱が不要になるため省エネが狙える。また、ヒータを用いた除霜と比較し、無着霜化はヒータ電力が不要である。これらを踏まえ、無着霜化技術を熱交換器に適用した際の省エネ効果を試算した。

一般的な除霜方式であるヒータ除霜式と無着霜化技術の消費電力量を自社基準の条件を基に試算した結果、無着霜化技術のヒータ除霜式に対する省エネ効果は、3尺の冷蔵多段ショーケースで年間7%と分かった。

また、無着霜化技術は従来の熱交換器に塗膜を施すことで機能を付与できるため、熱交換器のサイズや庫内容積を変更しないで省エネ効果を得ることができる。

4 あとがき

本稿では、機能性塗料による熱交換器の無着霜化技術について述べた。この機能性塗料は、ショーケースのみならず冷却用熱交換器が用いられる多くの冷熱機器に適用できる技術である。今回はアルミニウム小片を用いて評価を実施したため、今後は熱交換器の実スケールで過冷却促進効果を確認する。また、製品化に向けては、塗膜の原料とな

る過冷却促進物質の製造コストの低減も課題である。今後も開発を継続し、これらの課題を解決して無着霜化技術を確立し、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく所存である。

最後に、本開発で用いた過冷却促進物質は、関西大学平野義明教授との共同研究による成果である。ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) 中島正登, 浅田規. オープンショーケースの省エネルギーを実現する熱流体シミュレーション技術. 富士電機技報. 2016, vol.89, no.1, p.50-53.
- (2) 新製品・新技術紹介. スーパーマーケット向け省エネ型ショーケース. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.459.
- (3) 公益社団法人日本冷凍空調学会. 最近気になる用語. “48過冷却水”. <https://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/48.html>, (参照 2022-08-31).
- (4) 小川莉玖ほか. 過冷却促進塗料を適用した塗膜壁面の凍結性評価. 公益社団法人日本冷凍空調学会年次大会講演論文集. 2022, OS-9 (B111).
- (5) Tagawa, E. et al. Anti-Ice Nucleation Activities of Tyrosine Peptide. *Biocontrol Science* 23 (2). 2018, p.81-83.
- (6) 長友翔希ほか. ガラスにコーティング可能なペプチド凍結予防剤の分子設計. 塗装工学. 2018, vol.53, p.174-183.
- (7) 岡本大智ほか. 抗水核ペプチドを用いた材料表面の設計. 第70回高分子学会予稿集. 2021, vol.70, 3Pa043.



小川 莉玖

店舗省エネルギーシステム技術の開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センター熱エネルギー技術研究部。日本冷凍空調学会会員。



水澤 竜也

店舗省エネルギーシステム技術の開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センター熱エネルギー技術研究部主任。博士(工学)、日本伝熱学会、電気化学会、日本機械学会会員。



滝口 浩司

自動販売機およびショーケースの冷熱開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場開発部主幹。日本冷凍空調学会会員。

次世代エッジデバイス基盤開発とその適用

Fundamental Development and Application of the Next Generation Edge Devices

ぺれら まどうら PERERA, Madhura

竹内 志郎 TAKEUCHI, Shiro

濱田 公介 HAMADA, Kosuke

IoT システムは、クラウドシステムの利用を最小限に抑え、現場でデータ収集から分析までを完結させたいというニーズが高まっている。富士電機は、現場設備からデータを収集しクラウドシステムに中継するエッジデバイスの基盤を開発している。次世代エッジデバイスとして、ハードウェアは、有線・無線の多様なコネクティビティを実現し、処理能力を向上することでさまざまな製品への適用が可能である。また、高い拡張性を実現したビジネスアプリケーションフレームワークをはじめ、利便性の高いソフトウェアを搭載した。

There is a growing need for IoT systems to minimize the use of cloud systems and enable data collection and analysis to be completed in the field. Fuji Electric is developing a platform for “edge devices” that collects data from on-site equipment and relays them to cloud systems. This next-generation device has hardware that delivers enhanced processing power and diverse connectivity in wired and wireless networks, allowing it to be used for a broad range of products. It also includes highly scalable business application frameworks and other convenient software.

1 まえがき

従来の IoT (Internet of Things) システムは、クラウドシステムを中心に構成されていたが、最近では、クラウドシステムの利用を最小限に抑え、IoT システムを適用する工場敷地内などの現場でデータ収集から分析までを完結させたいというニーズが高まっている。それに伴い、現場設備からデータを収集し、クラウドシステムに中継するエッジデバイスに対する要件も変化しつつある。

富士電機では、こうした新たな要件の実現を狙ったエッジデバイスの基盤を開発している。本稿では、この次世代エッジデバイス基盤開発と、富士電機の商品流通分野向け製品への適用事例について述べる。

2 IoT システムの技術動向

2.1 エッジコンピューティングへの期待

従来の IoT システムでは、工場などの現場にある機器のさまざまな情報を、エッジデバイスの中継してインターネット上のクラウドシステムにて収集する構成を基本とする。収集したデータはクラウドシステム上で AI (人工知能: Artificial Intelligence) 技術などを用いたアプリケーションで分析する。

この従来構成には一部の顧客にとって次の懸念があり、IoT システム導入の障壁となっていた。

- (a) エッジデバイス - クラウドシステム間での通信コストの増加
- (b) 通信に関わるオーバーヘッドなどによる、データ収集からクラウドシステム上でのデータ分析完了までに要する処理時間の増加 (リアルタイム分析が困難)
- (c) データをクラウドシステムに送信することによる、

データ流出などのセキュリティ上のリスクへの懸念

こうした懸念を解消する、データをクラウドシステムに送らない現場完結型の IoT システムが注目されている。例えばクラウドシステムの代替として、顧客の工場内にサーバ PC を配置し、そこでデータを収集、分析するような構成である。このように、現場に設置されたサーバ PC などデータ処理を行うことを、エッジコンピューティングと呼ぶ。

このエッジコンピューティングを活用した新たな IoT システムでは、そのコンピューティング基盤としてエッジデバイスの活用が期待されている。特に、エッジデバイスは現場設備に近い環境で設置されるためリアルタイムでデータ収集や分析を実現できる可能性がある。エッジデバイスはいわゆる“組込み機器”であるため、クラウドシステムやサーバ PC を完全に代替することはできないものの、相応の機能および性能を分担することにより、サーバ PC を必要最小限の性能としたり、台数を削減したりしてシステム全体のコストダウンができる可能性がある。

2.2 エッジデバイス向けのコンピューティング技術

近年、エッジデバイスに利用できるコンピューティング技術は大きく進化している。これはスマートフォンの普及によるところが大きく、コンピューティングデバイスの高密度化、多機能化、省電力化の進展は顕著である。コンピューティングに必要な要素 (CPU、GPU、Security、Multimedia など) を一つのチップに集約した SoC (System on a Chip) の機能・性能向上、小型化が進んでいる。さらにこの SoC とメモリや有線通信 (USB、Ethernet など)、無線通信 (Wi-Fi、Bluetooth、cellular など) などを一つのモジュールに統合した SoM (System on Module) の進化も大きく、その活用が進展

している。この SoM はモジュールとのインタフェースなどに関する国際標準規格の制定が行われており、モジュールベンダ間の競争による低価格化が進み、さまざまな組込み機器への採用が容易となった。

一方、SoC、SoM の採用にデメリットもある。多機能であるがゆえ、そのファームウェア（ハードウェアを制御するためのソフトウェア）の開発工数が膨大になることである。しかし、SoC、SoM ベンダ自体がファームウェアのサンプルを提供することが一般的になっており、ユーザーはそれを活用することで製品開発スピードを加速できるようになった。また、これらのファームウェアはライセンスフリーのオープンソースソフトウェア（OSS：Open Source Software）化されていることがほとんどであるため、ユーザーは自らの製品設計に応じたファームウェアの改変が容易となっており、ソフトウェア開発の面でも SoC、SoM の組込み機器に採用されるようになった。

③ 小売業における最近の課題

富士電機は、実店舗を運営するスーパーマーケットやコンビニエンスストアの事業者、店舗内に設置するショーケースやカウンター什器、店舗システムなどを提供している。また、飲料をはじめとするさまざまな物品を無人かつ 24 時間営業で販売できる自動販売機を、飲料メーカーや運用事業者などに提供している。これらの小売業を取り巻くビジネス環境は昨今大きく変化し、新たな課題が顕在化している。

3.1 社会課題への取組みの強化

店舗運営における従来の主な課題は、オペレーションの効率化により人手不足を解消し、損益改善につなげることだった。

昨今、SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）が広く認知されるようになった。また、CSR（Corporate Social Responsibility）が企業評価の大きな柱となり、投資家のみならず一般消費者も企業の CSR への取組みを重視しつつある。コンビニエンスストアもこの流れを受けて、温室効果ガス削減および食品ロスの削減に取り組んでいる。この取組みを実現するためには、店舗運営における一層の省エネルギー（省エネ）が不可欠である。これまでに取り組んできた店舗内の什器単体あるいは店舗内で完結する仕組みでは不十分であり、例えば店舗内外と連携した照明や空調、各什器の最適制御や

デマンドレスポンスとの連動、それらを含めたエネルギーマネジメントなどが求められている。

3.2 マーケット、消費嗜好（しこう）の変化への対応

自動販売機の運用事業における従来の主な課題は、1 台当たりの売上増加と、経費削減である。これに対して富士電機ではデジタルサイネージを活用した自動販売機単体での販売促進機能や IoT 技術によるオペレーション効率化のための機能を開発してきた。

現下のコロナ禍による消費者の行動変化により、既存の飲料自動販売機市場は大きな影響を受けた一方で、人と対面せずに 24 時間いつでも商品を購入できるという自動販売機の特徴が改めて注目され、新たな物品自動販売機のニーズが生まれている。このようなマーケットの変化を捉えた新しいサービスを速やかに具体化することがこれまで以上に重要な課題となっている。これを実現するためには、概念実証（PoC：Proof of Concept）を効率的に行うことができる仕組みが求められる。

④ 次世代エッジデバイスの特徴

③章で述べた課題を実現する手段として、エッジコンピューティングを活用した新たな IoT システムを導入することが有効であると考えられる。店舗機器あるいは自動販売機にエッジデバイスを搭載して必要な情報を自律的に収集・分析し、店舗内の各設備を協調的に制御したり、自動販売機のデジタルサイネージに条件を合わせて適切なコンテンツに切り替えたりしながら表示する、といったことが実現できると考えられる。このようなエッジデバイスが備えるべき特徴は次のようになる。

- さまざまな周囲の設備や、インターネット上のコンテンツに容易にアクセス可能な有線・無線を含めた高機能なコネクティビティ
- カメラからの画像データなどを取り込み、AI を活用してそれらをリアルタイムに分析できる高い処理能力
- ニーズに応じて速やかな機能の追加変更を可能にする汎用性のあるアプリケーション開発環境の提供、およびそのアプリケーションの入替えの容易性

このような特徴を備えるために、ハードウェアおよびソフトウェアの要件を再定義して、次世代エッジデバイスのプラットフォームを開発した。その詳細を次に述べる。

4.1 ハードウェアプラットフォーム

次世代エッジデバイスでは顧客のさまざまなニーズを実現できる柔軟なハードウェアが必要である。そこで、顧客のニーズを実現するための新たなサービスに必要な機能を検討し、今後の技術動向も想定して、次世代エッジデバイス仕様を定義した。

図 1 にエッジデバイス（プロトタイプ）の外観を、表 1 にその主な仕様を示す。

〈注 1〉 USB：USB Implementers Forum の商標または登録商標

〈注 2〉 Ethernet：富士フィルムビジネスイノベーション株式会社
の商標または登録商標

〈注 3〉 Wi-Fi：Wi-Fi Alliance の商標または登録商標

〈注 4〉 Bluetooth：Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標

〈注 5〉 cellular：cellular communication system



図1 エッジデバイス（プロトタイプ）

表1 エッジデバイスの主な仕様（ベースモデル）

構成要素		仕様
プロセッサ		Cortex ^{*1} -A53 Quad Core + Cortex-M7
メモリ		eMMC 32 GB LPDDR4 1 GB
ストレージ		SDカード
時計		RTC
インタフェース	Ethernet ^{*2}	Gigabit Ethernet (GbE)
	無線通信	Bluetooth ^{*3} 5.0
		Wi-Fi ^{*4}
		cellular ^{*5} 4 G CAT-4
	USB	USB ^{*6} 3.0 Host
		USB 2.0 Function
	シリアル	RS-232C, RS-485, I2C, SPI
	映像	LVDS, HDMI
	マルチメディア	MIC, Speaker
	入出力	LED, SW, DIO

*1 Cortex : Arm Ltd. の商標または登録商標

*2 Ethernet : 富士フイルムビジネスイノベーション株式会社の商標または登録商標

*3 Bluetooth : Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標

*4 Wi-Fi : Wi-Fi Alliance の商標または登録商標

*5 cellular : cellular communication system

*6 USB : USB Implementers Forumの商標または登録商標

次世代エッジデバイスのハードウェアの特徴を次に示す。

(1) 多様なコネクティビティ

有線および無線のネットワーク通信機能を搭載してクラウドに接続でき、ニーズに合った IoT システムを構築可能である。また、さまざまな機器と接続するための各種外部通信インタフェースや映像、音声入出力機能を備える。技術の進화가速い無線通信機能においては、モジュール化しており、将来のアップグレードを容易に実現可能としている。また、Wi-Fi 通信と cellular 通信のアンテナを内蔵して設置できる構成とした。設置環境に応じて外部アンテナも装着可能としている。

(2) 高い処理能力

従来製品と比べて処理能力を大幅に向上させるため、高性能の SoC と高速・大容量メモリを標準で搭載する。さらに、製品要件に合わせて、SoC のアップグレードやメモリ容量拡大が可能なハードウェアアーキテクチャを採用

している。例えば、プロセッサを AI アクセラレータ搭載のものに入れ替えて AI 機能を実現可能である。また、大容量アプリケーションに対応できるように eMMC (embedded Multi Media Card) は 64 GB まで、LPDDR4 (Low-Power Double Data Rate 4) は 8 GB までそれぞれ拡張可能である。

(3) さまざまな用途や環境で使用可能

コンパクトなサイズに設計し、さまざまな機器に搭載しやすくした。また、インダストリアルグレード部品を採用することで、耐環境性能を高めている。

○ サイズ : W153×D30×H100 (mm)

○ 温度 (設置環境) : -20 ~ +70 °C

4.2 ソフトウェアプラットフォーム

クラウドコンピューティング型 IoT システムでは、適用先によらず標準化されたサービスを提供することが基本であることに比べて、エッジコンピューティング型 IoT システムでは、適用先の現場ごとの個別の課題に最適化したサービスを構築しやすい利点がある。これを実現するには、現場に対応したサービスのために、さまざまなソフトウェア (ビジネスアプリケーション) を作り込む必要があり、その開発の効率化が課題である。今回開発するエッジデバイスは組込み機器の形態を採っているが、組込み機器のソフトウェア開発においては、PC やクラウド向けのソフトウェア開発とは異なり、ハードウェアに関する知識やそれを活用するためのノウハウなどの専門知識が求められ、難易度が高い。また、作成したソフトウェアを組込み機器に搭載する際も、専用のツールが必要になるなど、容易にソフトウェアを入れ替えられない場合が多い。

ソフトウェア開発の容易化を狙いとした、次世代エッジデバイス基盤に搭載するソフトウェアプラットフォームの全体構成を図2に示す。このプラットフォームでは、エッジデバイスの基本機能をファームウェアとして標準搭載し、その上に個別の課題を解決するためのソフトウェア、すなわちビジネスアプリケーションの開発を容易にするための“ビジネスアプリケーションフレームワーク”を搭載する。表2にソフトウェアプラットフォームの構成要素を示す。この特徴を次に示す。

(1) Linux OS 搭載

OS (Operating System) として、世界中で広く使われている OSS である Linux OS を採用した。これにより、ソフトウェア開発者にとって開発環境の構築が容易になり、PC 向けやクラウド向けのソフトウェア開発ノウハウを生かすことができるので、特にビジネスアプリケーション開発の効率向上が期待できる。

(2) フルサポートの BSP 搭載

ソフトウェア開発者がハードウェアプラットフォームに

〈注6〉 Linux : Linus Torvalds 氏の日本およびその他の国における商標または登録商標

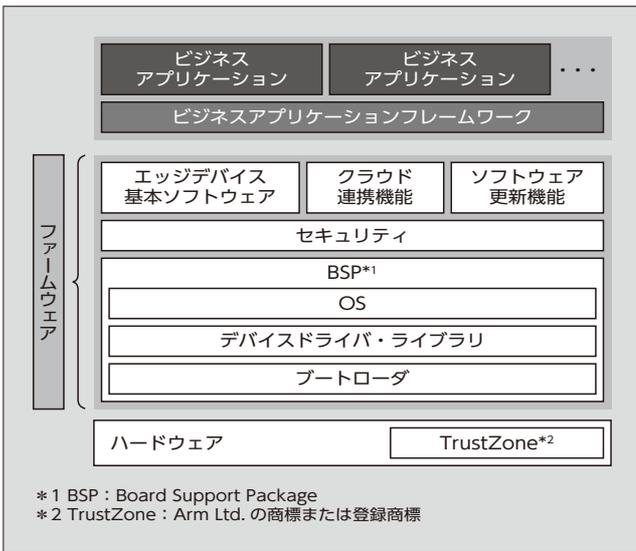


図2 ソフトウェアプラットフォームの全体像

表2 ソフトウェアプラットフォームの構成要素

構成要素	概要
BSP (Board Support Package)	ハードウェアを動作させるための次のソフトウェア群を内蔵 ○ブートローダ 電源投入直後に実行されるソフトウェア 不正なプログラムの動作を防止するセキュア起動に対応 ○デバイスドライバ・ライブラリ ハードウェア（基盤）上の各デバイスを利用するためのドライバやライブラリの集合体 ○OS Linux*1 5.15を採用
セキュリティ	Armマイコンで利用可能な“TrustZone*2”を用いた、セキュアなソフトウェア実行環境
エッジデバイス基本ソフトウェア	エッジデバイスの基本的な機能をまとめたソフトウェア ○データ収集機能 ○システム監視機能 ○ネットワーク管理機能 ○時計機能、ログ機能 ○システムメンテナンス機能 など
クラウド連携	エッジデバイスとクラウドシステム（各ITベンダなどが提供する各種クラウド）と通信やデータ連携を行うための機能
ソフトウェア更新	オフラインまたはオンラインでのソフトウェア更新機能
ビジネスアプリケーションフレームワーク	ビジネスアプリケーションを管理し、動作させるフレームワーク

*1 Linux : Linus Torvalds氏の日本およびその他の国における商標または登録商標
 *2 TrustZone : Arm Ltd. の商標または登録商標

搭載された全てのハードウェア機能を容易に利用可能とするため、それらのハードウェアの初期化や利用するためのデバイスドライバなどをワンパッケージとし、富士電機の品質基準をクリアした BSP (Board Support Package) をファームウェアとして搭載する。

(3) コンテナ技術を採用したビジネスアプリケーションフレームワーク

ビジネスアプリケーションの開発効率向上やその搭載を容易にするために、“コンテナ”と呼ばれるアプリケー



図3 ビジネスアプリケーションフレームワークの構成

表3 ビジネスアプリケーションフレームワークの構成要素

構成要素	概要
コンテナ	ビジネスアプリケーションを動作させる仮想的なエッジデバイス
ビジネスアプリケーション	仮想的なエッジデバイスを独占して単独で動作するアプリケーション
コンテナ管理ソフトウェア	コンテナを管理、動作させるための管理用ソフトウェア（例：Docker*Engine）
MQTTブローカー・クライアント	ビジネスアプリケーションがコンテナ外の機能とデータ通信をするための通信機能・プロトコル

* Docker : Docker, Inc. の米国およびその他の国における商標または登録商標

ションの動作環境を仮想的に構築する技術を採用した。図3にビジネスアプリケーションフレームワークの構成を、表3に構成要素を示す。

コンテナ技術とは、一般的な PC を例とすると、PC の中に仮想の PC を作成し、その仮想 PC 上でアプリケーションを動かす技術であり、仮想 PC 一つ一つをコンテナという単位で管理する。本ソフトウェアプラットフォームではコンテナの作成や管理を行うコンテナ管理ソフトウェアとして、クラウドなどで標準的に用いられている Docker Engine (注7) を採用した。このビジネスアプリケーションフレームワークにより、ビジネスアプリケーションの開発者は、ハードウェアに関する詳細な知識やファームウェア、または他のビジネスアプリケーションを意識せずに、その開発を行うことができる。また、アプリケーションの更新は Docker Engine の機能を用いて容易に実施できる。

(4) 高いセキュリティ

ブートローダ（電源投入後に最初に起動されるソフトウェア）、OS、その他のソフトウェアに対して、起動時にセキュリティ認証などを行うことで不正なソフトウェアが起動できない仕組みを構築している。

〈注7〉 Docker : Docker, Inc. の米国およびその他の国における商標または登録商標

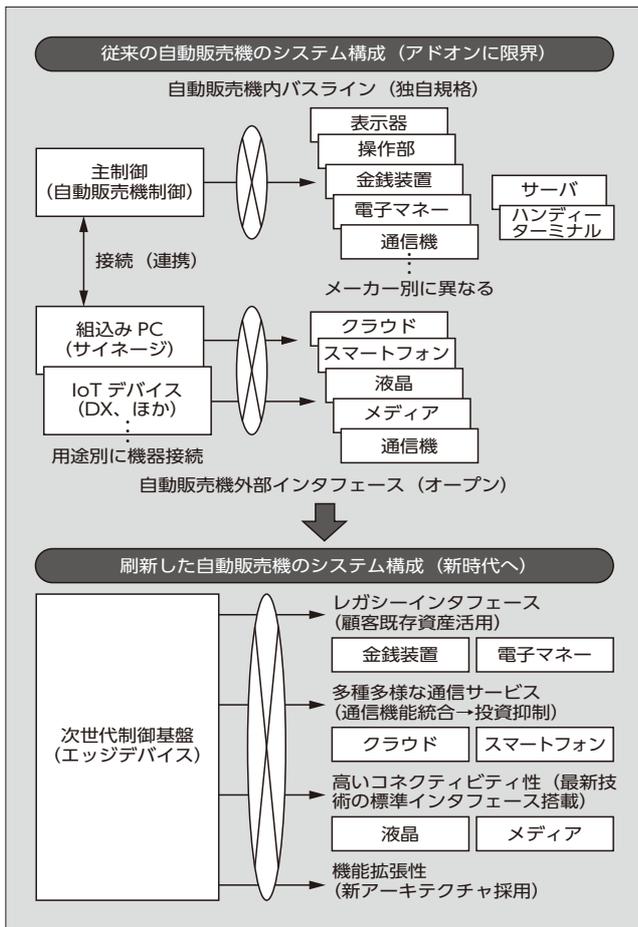


図4 自動販売機のシステム構成

4.3 食品流通分野向け製品への適用事例

(1) 自動販売機

現在、次世代エッジデバイスを適用した次世代型自動販売機を検討している。自動販売機のシステム構成を図4に示す。20年以上使い続けてきた従来の自動販売機のシステム構成を大きく刷新することにより、新たな価値を創出できると考えている。例えば、次世代エッジデバイスの無線通信機能を使って、自動販売機への商品の補充などの運用作業を行う運用事業者（オペレーター）が持っているスマートフォンと接続することにより、自動販売機のさまざまな設定を入力するリモコン機能をスマートフォンで実現できる。従来の自動販売機に付属する操作リモコンと比べて圧倒的に使いやすいリモコンとなる。他にも多くの新し

い機能が次世代エッジデバイスを使用することで実現できる。

(2) 店舗

将来、店舗の一層の省エネを実現するためには、店舗内の各設備や機器を連携させるだけでなく、店舗外の各システムとも連携させて、これまでは実施できなかった省エネ施策を可能にする必要がある。このシステムの中核となる次世代の“新店舗コントローラ”に求められる要件としては、外部のシステムとの間でネットワーク通信を行うための有線通信や無線通信の機能、店舗内の各設備・機器と接続するための通信機能などの高度な情報処理を高速に実行できる性能などが挙げられる。次世代エッジデバイスを適用すれば、従来の店舗コントローラでは実現できなかった、このような要件を満たすことができると考える。

5 あとがき

次世代エッジデバイスの基盤開発とその適用について述べた。

自動販売機や店舗向けの製品だけではなく、ファクトリーオートメーションの用途をはじめとするさまざまな製品への展開を検討中であり、今後もお客さまの多様化し続けるニーズにスピーディに答えていく所存である。



ペレら まどうら

組込システムの研究開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部マネジャー。



竹内 志郎

組込システムの研究開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部主任。



濱田 公介

組込システムの研究開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部主任。

第7世代「Xシリーズ」1,700V/800A 産業用 RC-IGBT モジュール「Dual XT」

7th-Generation "X Series" 1,700-V/800-A RC-IGBT "Dual XT" Modules for Industrial Applications

山野 彰生* YAMANO, Akio

江袋 佑太* EBUKURO, Yuta

掛布 光泰* KAKEFU, Mitsuhiro

近年、安全・安心で持続可能な社会を実現するために、エネルギーを効率的に利用し、省エネルギーに貢献できるパワーエレクトロニクス技術への期待が高まっている。中でも産業、車載、再生可能エネルギーなどのさまざまな分野で用いられる電力変換装置のキーデバイスであるパワー半導体の需要が拡大している。

富士電機はこれまで多くの技術革新を行い、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールを小型化、低損失化および高信頼性化をすることで、電力変換装置の小型化や低コスト化および高性能化に貢献してきた。チップおよびパッケージのさらなる技術革新を行った最新世代である第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールでは、低損失化と高信頼性化を両立し、一層の高パワー密度化を実現した。

さらに第7世代 IGBT と FWD (Free Wheeling Diode) の機能をワンチップ化した RC-IGBT (逆導通 IGBT : Reverse-Conducting IGBT) を開発し、IGBT と FWD のそれぞれのチップを組み合わせた従来の IGBT モジュールよりも一層の高パワー密度化と高信頼性の両立を実現した、Xシリーズ産業用 RC-IGBT モジュールの系列化を進めている。従来の定格電流が最大で 600 A⁽¹⁾であったのに対し、今回、定格電流を 800 A まで拡大した。

1 RC-IGBT の特徴

図1に Xシリーズ産業用 RC-IGBT の概略図と等価回路図を示す。電力変換装置であるインバータでは、IGBT と FWD の2種類の半導体チップを逆並列に接続している (IGBT+FWD 方式)。これに対して RC-IGBT では一つのチップに IGBT と FWD の機能を集約し、ワンチップ化している。

RC-IGBT は IGBT および FWD の機能をワンチップ化しているため、個々の IGBT と FWD と比較して同じ定格電流では RC-IGBT のチップ面積は大きい。そのため、従来チップよりも放熱性に優れ、熱抵抗が低いという特徴がある。一方で、IGBT と FWD を合わせたチップ面積よりも RC-IGBT のチップ面積は小さくなる。そのため同じチップ面積では、RC-IGBT の定格電流を大きくできる。これらの特徴を利用して、IGBT モジュールの出力を同一パッケージサイズのまま拡大した。

* 富士電機株式会社半導体事業本部産業事業部産業設計第一部

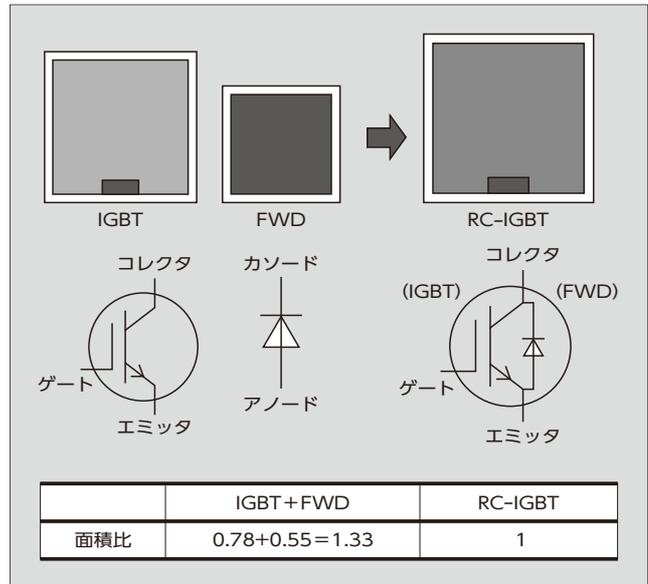


図1 Xシリーズ産業用 RC-IGBT 概略図および等価回路図

2 製品ラインアップ

新たに系列に加えた 1,700V Xシリーズ産業用 RC-IGBT モジュール「Dual XT」のラインアップ、製品外観および等価回路図を図2に示す。顧客は、用途に応じて最適なモジュールを選択できる。

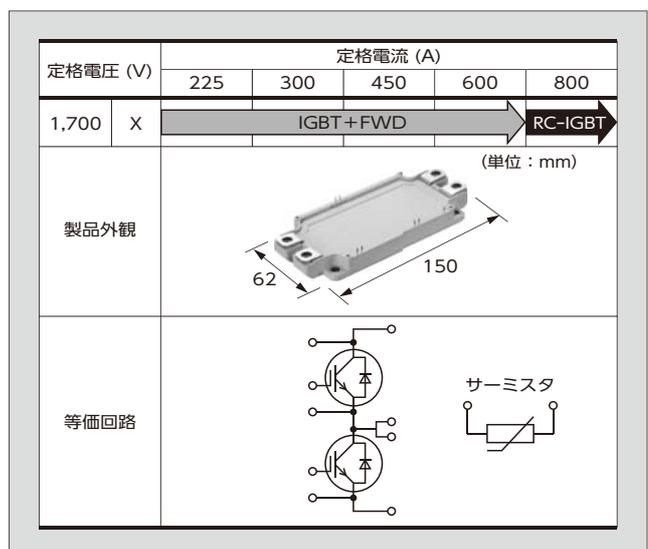


図2 1,700V「Dual XT」のラインアップ

③ 第7世代「Xシリーズ」1,700V/800A 産業用RC-IGBTモジュール「Dual XT」の特徴

(1) チップ接合温度 ΔT_{vj} の低減

再生可能エネルギーの中でも最も重要な電力源の一つと考えられている風力発電システムには、定格電圧1,700VのIGBTモジュールが広く用いられている。図3に、風力発電システムの概略図を示す。発電機側では風車の回転により交流電力が発生し、電力変換装置により直流電力に変換される。その直流電力を系統側の電力変換装置で交流電力に再変換する。

ここで、風車の回転を電気エネルギーに変換する発電機側の電力変換装置では、1~10Hzの低周波運転時には温度の時間変化 ΔT_{vj} が大きくなり、パワーサイクルにおけるRC-IGBTモジュールの余寿命の短縮が懸念された。

図4に、回生動作時の低周波動作の1サイクルにおけるチップ接合温度 T_{vj} の変化を計算で求めた結果を示す。従来のIGBT+FWD方式IGBTモジュールでは、IGBTチップとFWDチップが交互に発熱し、1サイクルにおける T_{vj} の ΔT_{vj} は41℃であった。一方、XシリーズRC-IGBTモジュールでは、RC-IGBTでは、チップ面積が拡大したため放熱性が向上し、最高チップ接合温度 T_{vjmax} は低くなった。さらに、RC-IGBTでは1チップ内の

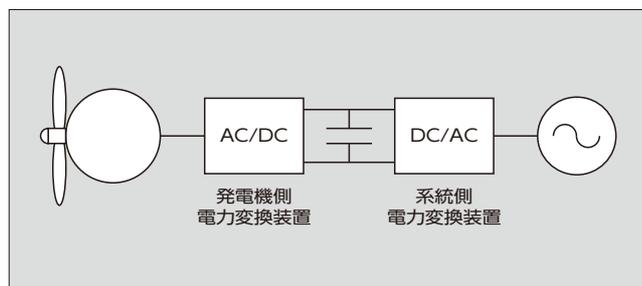


図3 風力発電システムの概略図

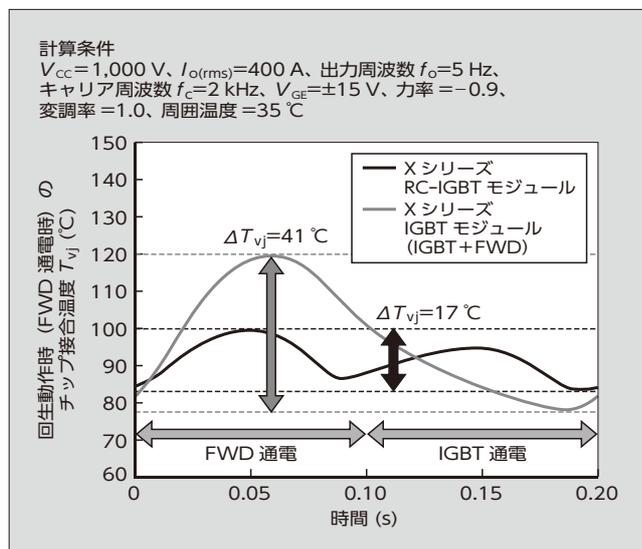


図4 低周波動作の T_{vj} 計算結果

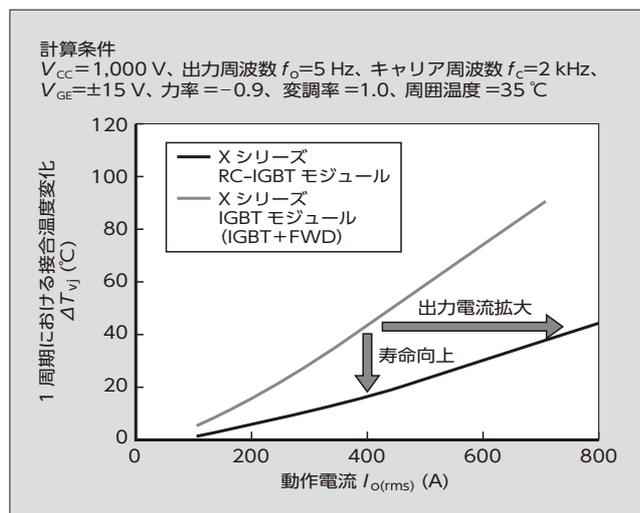


図5 低周波動作時の ΔT_{vj} - I_o 計算結果

IGBT領域およびFWD領域が交互に発熱することにより、最低チップ接合温度 T_{vjmin} が高くなった。その結果、XシリーズRC-IGBTモジュールの ΔT_{vj} は17℃と大幅に改善し、アルミニウムワイヤやはんだに加わる熱応力の変化量が低減した。

(2) 出力電流とパワーサイクル寿命向上

図5に、低周波動作時の ΔT_{vj} と出力電流 I_o の計算結果を示す。Xシリーズ産業用RC-IGBTモジュールは、従来のIGBT+FWD方式であるXシリーズIGBTモジュールと比較して、同一出力電流の場合、 ΔT_{vj} を大幅に小さくできる。これにより同じ電力変換条件では、IGBTモジュールの温度変化量が小さくなることに伴い熱応力の変化量が小さくなる。また、 ΔT_{vj} をそろえてパワーサイクル寿命を従来と同等となるように電力変換装置を設計した場合、図5に示すようにXシリーズRC-IGBTモジュールは、従来のIGBT+FWD方式よりも出力電流を拡大できる。例えば ΔT_{vj} が41℃の場合、従来のIGBT+FWD方式と比較して、Xシリーズ産業用RC-IGBTモジュールは電力変換装置の出力電流を約1.8倍にすることが可能となる。

参考文献

- 江袋佑太ほか. 第7世代「Xシリーズ」産業用RC-IGBTモジュール「Dual XT」. 富士電機技報. 2021, vol.94, no.4, p.246-250.

発売時期

2021年10月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
半導体事業本部営業統括部営業第一部
電話(03)5435-7152

(2022年11月17日Web公開)

第2世代 SiC-SBD 1,200V シリーズ

2nd-Generation Discrete SiC-SBD 1,200V Series

原 幸仁* HARA, Yukihito

宮本 辰* MIYAMOTO, Shin

中村 友士** NAKAMURA, Yuji

近年、全世界のデータ通信量の増加に伴い、データセンターや通信基地局の設置が加速している。データセンターには電力の安定供給が求められるため、無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）が使用される。UPS に適用されるパワー半導体に対しては、さらなる低損失化と耐久性の向上が要求されている。

富士電機は、第1世代ディスクリット SiC-SBD シリーズに比べ、順方向電圧 V_F の低減により低損失化と、サージ順電流 I_{FSM} の向上を実現した第2世代ディスクリット SiC-SBD 1,200V シリーズを開発した。

① 特徴

第2世代ディスクリット SiC-SBD 1,200V シリーズのパッケージ外観を図1に、ラインアップを表1に示す。主な特徴は次のとおりである。

- (a) 低順電圧 ($T_{vj}=25^\circ\text{C}$ 、従来比 10% 低減) の実現により、適用する電源機器の効率向上に貢献
- (b) I_{FSM} (サージ順電流) の改善 ($T_{vj}=25^\circ\text{C}$ 、従来比 110% 向上) により、瞬間的に流れる順方向の大電流 (突入電流) に対する耐量が向上

② チップ技術

SiC-SBD は、ユニポーラデバイスであり、伝導に寄与するのは蓄積効果のない多数キャリアであることから、逆回復動作時のスイッチング損失は小さい。したがってデバイス損失の低減には、 V_F の低減による導通損失の低減が必要である。また、力率改善 (PFC：Power Factor Correction) 回路では、電源の投入時に平滑コンデンサを充電するため、突入電流によってダイオードが破壊しないことが求められる。

図2に、第1世代と第2世代の SiC-SBD チップ構造を示す。いずれも素子表面に p^+ 層を形成した JBS (Junction Barrier Schottky) 構造である。第2世代 SiC-SBD では、 n^+ SiC 基板厚さの薄化、ショットキー接合の最適化によるバリアハイトの低減、JBS 構造とドリフト層の最適化によるドリフト抵抗の低減、独自のウェーハプロセス技術によるコンタクト抵抗の低減などにより、



図1 パッケージ外観

表1 ラインアップ

型式	パッケージ	最大定格			電気特性	
		V_{RRM}	I_F	I_{FSM}	V_F $T_{vj}=25^\circ\text{C}$ (typ.)	V_F $T_{vj}=150^\circ\text{C}$ (typ.)
		(V)	(A)	(A)	(V)	(V)
FDC2WT20S120	TO-247-2	1,200	20	190	1.57	2.29
FDC2WT40S120	TO-247-2	1,200	20	305	1.57	2.29

* 富士電機株式会社半導体事業本部電装事業部電装設計第二部

** 富士電機株式会社半導体事業本部産業事業部産業設計第一部

*** 富士電機株式会社半導体事業本部電装事業部電装設計第一部

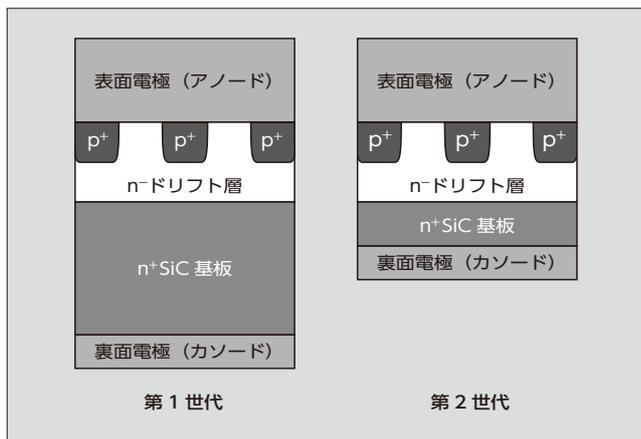


図2 第1世代と第2世代のSiC-SBDチップ構造

V_F の低減と、 I_{FSM} の改善を行った。

図3に、第1世代と第2世代 1,200V/20A 定格の $I_F=20A$ における V_F の温度特性を示す。-55 ~ +125°C までの領域において、第2世代は第1世代より V_F が低く、 $T_{vj}=25^\circ C$ において V_F は 10% 低減した。

図4に、1,200V/20A 素子の大電流域の I_F-V_F 特性を示す。表面電極(アノード)と接している p^+ 層と n^- ドリフト層で構成される pn 接合ダイオードが動作し、表面

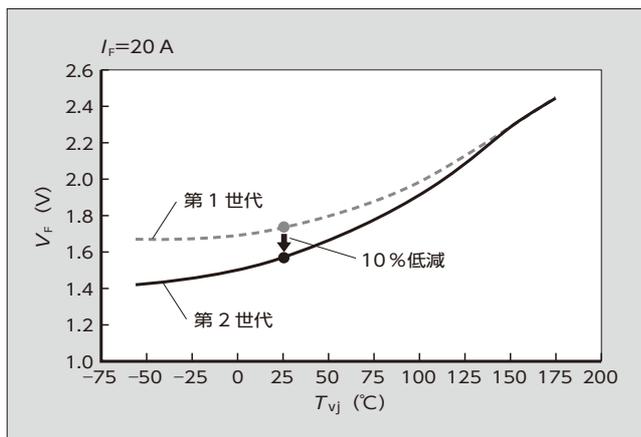


図3 1,200V/20A 素子の第1世代と第2世代の V_F 温度特性

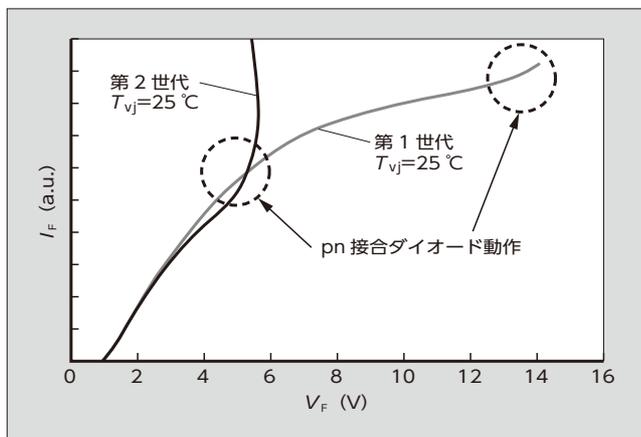


図4 1,200V/20A 素子の第1世代と第2世代の大電流域の I_F-V_F 特性

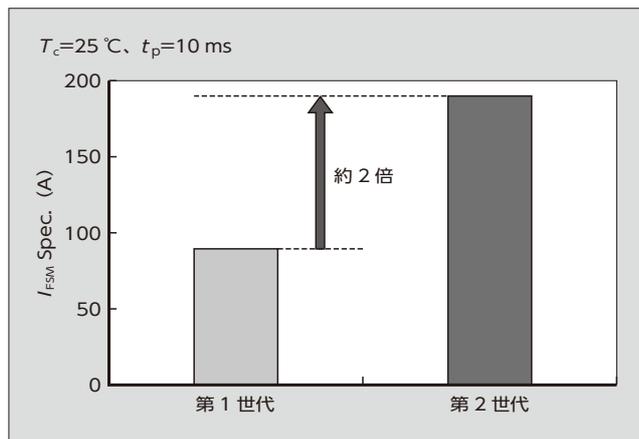


図5 1,200V/20A 素子の第1世代と第2世代の I_{FSM} 特性

電極(アノード)と p^+ 層のオーミック領域に 100A 以上の大電流が流れる。第2世代は、JBS 構造を最適化したことにより第1世代と比べて pn 接合ダイオードに電流が流れやすくなる。また、 n^+ SiC 基板の薄化による熱抵抗が低減(放熱性向上)したことにより、図5に示すように、第1世代では I_{FSM} 保証値は 90A であったのに対し、第2世代では 190A となり、約 2 倍向上した。

③ パッケージ

外形は業界標準の TO-247 パッケージで、センター端子がない 2 端子の TO-247-2 パッケージを採用した。端子間の沿面距離(絶縁距離)が 3 端子品より長くなるため、絶縁性が高くなり、高耐圧に向けた構造である。また、チップとリードフレームの接続には鉛フリーはんだを採用しており、RoHS 指令 (EU 2011/65/EC) に適合している。

参考文献

- (1) 渡邊壮太ほか. 第2世代ディスクリットSiC-SBDシリーズ. 富士電機技報. 2021, vol.94, no.4, p.267-271.

発売時期

2021年12月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
 半導体事業本部営業統括部営業第一部
 電話 (03) 5435-7152

略語（本号で使った主な略語）

AI	Artificial Intelligence	人工知能
BSP	Board Support Package	
COCN	Council on Competitiveness-Nippon	産業競争力懇談会
CPM	Consumer Presented Mode	
CSR	Corporate Social Responsibility	
DX	Digital Transformation	デジタルトランスフォーメーション
eMMC	embedded Multi Media Card	
EMS	Energy Management System	エネルギーマネジメントシステム
FTP	File Transfer Protocol	
FWD	Free Wheeling Diode	
GWP	Global Warming Potential	地球温暖化係数
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Point	
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ
IoT	Internet of Things	
JBS	Junction Barrier Schottky	
LCD	Liquid Crystal Display	
LPDDR4	Low-Power Double Data Rate 4	
MCU	Multi Communication Unit	通信端末ユニット
MPM	Merchant Presented Mode	
MQTTS	Message Queuing Telemetry Transport Security	
NFC	Near Field Communication	
OS	Operating System	
OSS	Open Source Software	
PFC	Power Factor Correction	力率改善
PID	Proportional-Integral-Differential	
PMV	Predicted Mean Vote	予想平均温冷感申告
PoC	Proof of Concept	概念実証
POS	Point of Sales	
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied	予測不快者率
RC-IGBT	Reverse-Conducting IGBT	逆導通 IGBT
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
SDK	Software Development Kit	
SoC	System on a Chip	
SoM	System on Module	
UPS	Uninterruptible Power System	無停電電源装置
VPN	Virtual Private Network	
VPP	Virtual Power Plant	バーチャルパワープラント

商標（本号に記載した主な商標または登録商標）

Android	Google LLC. の商標または登録商標
Bluetooth	Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標
Cortex	Arm Ltd. の商標または登録商標
Docker	Docker, Inc. の米国およびその他の国における商標または登録商標
Ethernet	富士フイルムビジネスイノベーション株式会社の商標または登録商標
iOS	Cisco Systems, Inc. の商標または登録商標
Linux	Linus Torvalds 氏の日本およびその他の国における商標または登録商標
LTE	欧州電気通信標準協会（ETSI）の商標または登録商標
QR コード	株式会社デンソーウェーブの商標または登録商標
TrustZone	Arm Ltd. の商標または登録商標
USB	USB Implementers Forum の商標または登録商標
Wi-Fi	Wi-Fi Alliance の商標または登録商標

その他の会社名、製品名は、それぞれの会社の商標または登録商標である。

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.2、14 行目

(正)

KITADANI, Yuji

(誤)

KITADANI, Yuuji

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.5、右側下から 2 行目

(正)

ESG (Environment・Social・Governance)

(誤)

ESG (Environment Social Governance)

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.7、右側下から 14～15 行目

(正)

グローバル対応 115 kV、50 MVA 変圧器

(誤)

グローバル対応 115 V、50 MVA 変圧器

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.17、左側 4 行目

(正)

受電遮断器

(誤)

受電遮断機

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.30、左側〈注 1〉4 行目、p.63、商標 7 行目

(正)

日本碍子株式会社

(誤)

日本硝子株式会社

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.44、左側上から 3～4 行目

(正)

3.3 高信頼性設計 (絶縁破壊の防止)

(誤)

3.3 高信頼性設計

(1) 絶縁破壊の防止

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.58、左側 1 行目

(正)

図 7 に示した

(誤)

図 8 に示した

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.62、略語 10 行目

(正)

ESG Environment・Social・Governance

(誤)

ESG Environment Social Governance

訂正：富士電機技報. vol.95, no.1, p.63、商標 2 行目

(正)

EMTP EMTP Alliance の商標または登録商標

(誤)

(掲載せず)

訂正：富士電機技報. vol.95, no.2, p.76、因果分析と機械学習による異常原因分析、図中

(正)

1 圧力 B 0.03 MPa 以下

(誤)

1 圧力 B 0.03Mpa 以下



Innovating Energy Technology

エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。

F **富士電機**



主要事業内容

パワエレ エネルギー

エネルギーの安定供給、最適化、安定化に貢献します。

- エネルギーマネジメント
エネルギーマネジメントシステム
- 変電システム
変電設備、産業電源
- 施設・電源システム
無停電電源装置 (UPS)、配電盤
- 器具
受配電・制御機器

パワエレ インダストリー

あらゆる産業分野の自動化と省エネに貢献します。

- オートメーション
インバータ、モータ、サーボシステム、コントローラ、
プログラマブル表示器、計測機器、センサ、FA システム、
駆動制御システム、計測制御システム
- 社会ソリューション
鉄道車両用駆動システム、ドアシステム、
船舶用排ガス浄化システム、放射線機器・システム
- 設備工事
電気工事、空調設備工事
- IT ソリューション
ICT に関わる機器・ソフトウェア

半導体

高い品質、変換効率を実現、小型化・省エネ化に貢献します。

- パワー半導体
産業分野、自動車分野

発電プラント

高度なプラントエンジニアリング力で、設計・製作から現地据付・
試運転・アフターサービスまで一貫して提供します。

- 再生可能エネルギー・新エネルギー
地熱発電、水力発電、太陽光発電、風力発電、燃料電池
- 火力発電
原子力関連設備

食品流通

自動化・省エネを食の安全・安心とともに提供します。

- 自販機
飲料自販機、食品・物品自販機
- 店舗流通
店舗設備機器、金銭機器

*本誌に掲載されている論文を含め、創刊からのアーカイブスは下記 URL で利用できます。

富士電機技報 (和文)

https://www.fujielectric.co.jp/about/company/contents_02_03.html

FUJI ELECTRIC REVIEW (英文)

<https://www.fujielectric.com/company/tech/contents3.html>

富士電機技術期刊 (中文)

<http://www.fujielectric.com.cn/jtkw.html>



次号予定

富士電機技報 第95巻 第4号

特集 モビリティ・エネルギーマネジメントに貢献する
パワー半導体

富士電機技報企画会議

幹事 安川 和行
企画メンバー 土屋 敏章 前田政一郎 粕谷 敏 渡部 雅教
松尾 壮太 片桐 源一 出野 裕 鈴木 健司
特集委員 出野 裕
事務局 斎藤 哲哉 黒田 健一 堀口 道子 中田 栄寿
編集室 藤木 徹 木村 基 小野寺拓也 小野 直樹
高橋 徹

富士電機技報 第95巻 第3号

令和5年2月20日印刷 令和5年2月28日発行

編集兼発行人 中山 和哉

発行所 富士電機株式会社 技術開発本部
〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号
(ゲートシティ大崎イーストタワー)

編集・印刷 富士オフィス&ライフサービス株式会社内
「富士電機技報」編集室
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地
電話 (042) 585-6965
FAX (042) 585-6539

発売元 株式会社オーム社
〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地
電話 (03) 3233-0641
振替口座 東京 6-20018

*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。

© 2023 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan (禁無断転載)

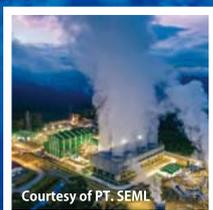
エネルギー・環境事業で、
持続可能な社会の実現に貢献します。



Innovating Energy Technology

エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。



Courtesy of PT. SEMI

耐食・材料・熱水利用技術
地熱発電プラント



デバイス技術
パワー半導体



パワーエレクトロニクス技術
メガソーラー向けPCS
(パワーコンディショナ)



パワーエレクトロニクス技術
インバータ



パワーエレクトロニクス技術
UPS(無停電電源装置)



熱交換・冷媒制御技術
ハイブリッドヒートポンプ式
自動販売機

F 富士電機

本誌は、環境に配慮した FSC® 認証紙および
植物油インキを使用しています。また、ユニ
バーサルデザイン(UD)の考えに基づいた
見やすいデザインの文字を採用しています。

