

カップ式飲料自動販売機の省エネルギー技術

Energy-Saving Technology for Cup-type Beverage Vending Machines

江利川 肇 ERIKAWA Hajime

中島 規朗 NAKAJIMA Norio

牧野 道彦 MAKINO Michihiko

カップ式飲料自動販売機のレギュラーコーヒーの調理システムを中心に、省エネルギーと風味の向上を目的とした要素技術の開発を行った。ヒータレスペーパードリップ抽出機を開発し、カップ式飲料自動販売機全体の消費電力量の25%に当たる713kWh/年の削減を実現した。同時に省エネルギーと組み合わせた抽出回路の衛生性改善により、コーヒーの飲料品質も向上させることができた。また、コーヒーミルにおいては、粉碎した粉の搬送経路の半減と静電気の低減により、1回の販売当たりの消費エネルギーを従来比25%と大幅な削減を実現した。

We have developed component technologies of cup-type beverage vending machines, focusing on the system for preparing a regular coffee, with the intent of improving both energy efficiency and flavor. We have developed a heaterless paper drip extractor, and thereby manage to reduce the total amount of power consumption for the cup-type drink vending machine by 713kWh per year, or 25%. In addition, by improving the sanitation of the extraction flow pass in combination with the improvement in energy efficiency, we can increase the quality of the coffee. Also, by halving the conveyance path for the ground coffee and reducing static electricity in the coffee mill, we achieve a 25% reduction in energy consumption per purchase, compared to conventional cup-type vending machines.

1 まえがき

カップ式飲料自動販売機の市場では、環境意識の高まりから、省エネルギー（省エネ）への取組みが最重要課題になっている。カップ式飲料自動販売機は2007年に省エネ特定機器の指定を受け、2012年に消費電力の削減目標を2005年比で17.9%減に設定し、省エネ技術開発を加速してきた。その結果、主力機種では達成年度を前倒して、2010年時点で削減目標を大幅に上回る49%減の省エネを達成した。とはいえ市場からは継続的に、ランニングコストを低減した機材の提供が求められている。本稿では、今まで富士電機が取り組んできたカップ式飲料自動販売機の省エネ技術について述べる。

2 カップ式飲料自動販売機の技術課題

コーヒーや炭酸飲料などをカップに入れて販売するカップ式飲料自動販売機は、缶飲料などのパッケージ飲料における製造プラントから自動販売機による販売までのサプライチェーンが、一つの筐体（きょうたい）に入っている。水と原料から完成飲料をその場で調理して提供するため、自動販売機単体の消費電力量は大きい。この自動販売機での消費電力量を低減することは、生涯消費エネルギーの削減にもつながり、消費エネルギーの観点から大きな意味を持つ。

カップ式飲料自動販売機は、加熱においては97℃の熱湯の生成、冷却においては氷塊の生成が必要であり、一般的な缶飲料自動販売機のホット飲料60℃、コールド飲料5℃の飲料温度と比較すると、保温・保冷の温度帯域が広い。さらに食の安全のため、それぞれの制御温度や原材料は法令で規制され、その条件を外れた場合には自動的に販

売を停止するという安全最優先の制御を行っている。カップ式飲料自動販売機の省エネ化における一番の課題は、食の安全を最優先で確保しつつ、高効率な冷却、加熱、調理機構をシステムとして確立することである。

3 省エネルギー技術の特徴

2011年度以降の機種において上述の課題を解決するため、飲料調理技術のコアとなるレギュラーコーヒーの調理システムを中心に、省エネと風味の向上を目的とした要素技術の開発を行った。主な特徴を次に示す。

- (1) コーヒー抽出システム
 - (a) ヒータレスペーパードリップ抽出機
 - 世界初のヒータレスペーパードリップ抽出機
 - 高衛生性（新構造による衛生的な抽出容器）
 - 高効率混合抽出による短時間・高濃度の抽出
 - (b) 小型ミル
 - 高効率（従来機比3倍の粉碎効率、消費電力量1/4）
 - 高精度（長寿命ミル刃・高粒度再現性）
 - 衛生性（帯電防止構造で汚れ防止、清掃作業の軽減）
- (2) 温水タンク
 - 高断熱構造を改善（真空断熱部分採用、密閉度向上、ヒータ形状最適化）
 - 制御の細分化（2センサ化によるヒータ精密制御）
- (3) 衛生維持装置
 - 粉原料乾燥装置の構造の最適化
- (4) 各種機能部品
 - 飲料冷却用水槽の攪拌（かくはん）の駆動制御、電

源容量の最適化

(5) 製品構成

○熱伝達に注目した、冷熱要素部品の内部配置最適化

④ コーヒー抽出システムの省エネルギー技術

省エネ技術の開発のポイントは、熱損失の低減とエネルギー変換効率の向上である。代表例としてカップ式飲料自動販売機の消費電力量の25%を占める抽出システム(図1)の省エネに関して取り組んだ内容を述べる。

4.1 コーヒー抽出システムの課題

カップ式飲料自動販売機のレギュラーコーヒーの抽出システムの核になるのが、ミルと抽出機である。ミルでレギュラーコーヒー豆を粉碎し、抽出機で設定した手順に基づいて豆と湯を混合・濾過(ろか)しユーザに提供する。インスタントパウダーの調理と異なり、自動販売機の調理

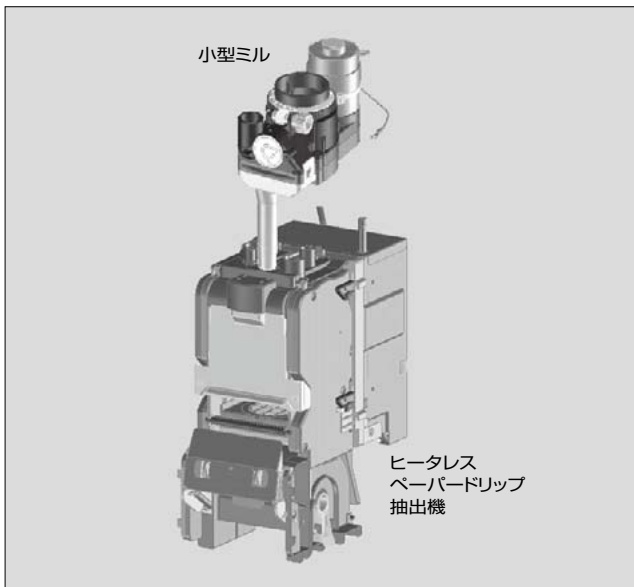


図1 抽出システム

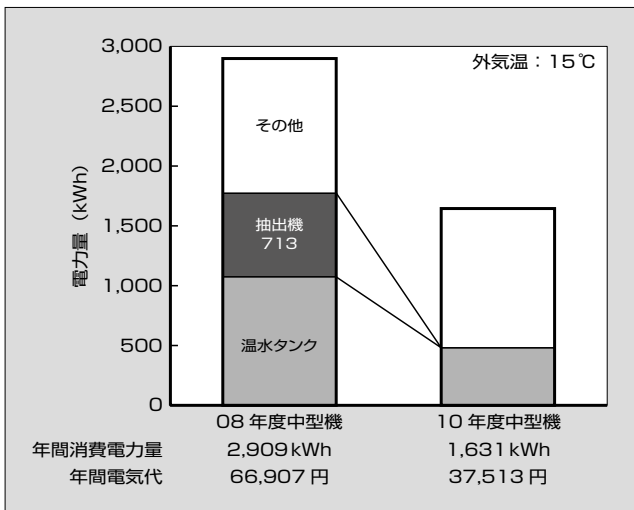


図2 年間消費電力量の推移

工程の動作設定を変更することで、理論的には無限の組合せで味造りが可能である。抽出機は、嗜好(しこう)品であるレギュラーコーヒーには欠かせない機構である。

飲料温度は、ユーザにおいしいコーヒーを提供するための飲料品質の基準の一つであり、カップ式飲料自動販売機から提供するコーヒーの温度に関しても具体的に定義されている。従来の抽出システムでは飲料が提供するまでに冷めてしまわないように、飲料回路にヒータを設置していた。飲料回路に4種のヒータを設けたカップ式飲料自動販売機では、1台当たり713kWh/年(年間電気代16,000円/年)を消費していた(図2)。抽出システムの大幅な省エネと飲料品質の確保を同時に実現するために、従来機の熱損失低減と効率向上に関する課題を根本から解決する必要があった。

4.2 抽出機の熱損失低減

大幅な省エネを達成するために、熱損失の低減によってペーパードリップ抽出機からヒータをなくすという大きな目標を掲げた。そのためには、従来機の熱損失の要因を抽出し、その削減の方策を体系的に構築し、製品として成立させる必要があった。

(1) 螺旋シャワー採用による熱損失の低減

抽出機は、抽出容器の中でコーヒー粉(原料)と湯を混合させる。カップ式飲料自動販売機では、喫茶店のように調理時間が十分確保できないため、香味成分を抽出するために、短時間でいかに原料と湯を効率良く混合させるかが重要なポイントとなる。

従来機の抽出容器は、原料の上から全体的に湯を注ぐ直流シャワー方式(図3(a))を採用していた。原料に満遍なく湯を投入できるとともに、抽出容器壁面に付着する原料残渣(ざんさ)を湯で洗い流せるという利点がある。しかし、チャンバーという湯加熱装置に一時的に湯をためている間や、湯をシャワー状にゆっくり投入している間に冷めないようにヒータで加熱する必要があった。

そこで、ヒータレス抽出機の抽出容器には、湯を勢よく投入して抽出容器壁面を利用し湯を流し入れる螺旋(ら

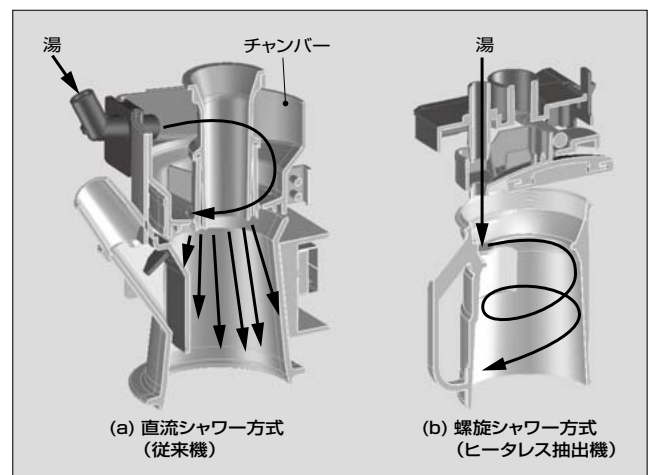


図3 抽出容器と湯投入方式

せん) シャワー方式 (図 3 (b)) を採用した。抽出容器の内部にリング形状を設け、抽出容器の一点に勢いよく湯を投入し、内壁面を介して原料全体に湯を投入する構造にした。また、投入する湯の勢いを増すことで、原料と湯の混合効果が高まった。さらに、抽出容器の底面積 (内径) を従来機の約 70% に小径化し、抽出容器を縦長形状にすることで、原料が抽出容器底面で積み重なる原料ベッド厚さを増すようにした。これにより、抽出濾過時に湯がより多くの原料と通過接触しながら抽出するので、抽出効率が従来機比で約 20% 向上した。

この抽出効率の向上により、混合効率が良くなったので原料と湯の空気攪拌による混合時間を短縮しても、飲料品質を損なうことなく飲料の提供が可能になった。販売時間は、同等の飲料を従来機比約 83% にまで短くでき、熱損失の削減に大きな効果を生み出した。加えて、原料ベッド厚さが増すことで、原料自身に抽出時に飲料の上部にたまる雑味や嫌味成分を濾過するフィルタの役割を負わせることができる。雑味や嫌味成分の少ない、すっきりしたドリップコーヒーを提供でき、飲料品質の向上にもつながっている。

カップ式飲料自動販売機のレギュラーコーヒー飲料は、販売の都度原料残渣を排出しているため、抽出容器の下面にごく少量の原料残渣が付着して残ってしまう課題がある。この原料残渣は低温環境では次の販売までに冷え切ってしまう飲料の熱損失の要因になる。そこで、ヒータレス抽出機では螺旋シャワー方式を生かし、毎回抽出後に 6ml 程度のリンス湯を投入し、原料残渣と抽出容器間に水膜を作り、原料残渣の剝離性を向上させた。これらの工夫により、販売後の原料残渣付着量を従来機に比べて大幅に削減し、熱損失の削減に加えて風味や衛生面の向上と、オペレータの清掃頻度を減らす効果が得られた。

(2) 新抽出方式・新構造による熱損失の低減

抽出機は短時間で飲料を提供できるようポンプを使用し、抽出容器と飲料回路の差圧を利用して抽出するシステムである。その差圧発生方式は、大きく分類すると吸引方式と微加圧方式の 2 種類がある。

従来機は、チューブポンプによる吸引方式を採用しており、チューブと回転ピンチ機構により発生する差圧によって飲料を吸引する方式である。この方式は、抽出容器上部のふたを開放した状態でも抽出することができ、構造をシンプルにできる利点がある。しかし、チューブのピンチ開閉により、一部の飲料がチューブ内を往復し滞留するため、チューブ内の飲料に熱損失が生じる欠点がある。

一方、ヒータレス抽出機では、新規にエアポンプを開発し、微加圧方式を採用した。湯と原料を抽出容器内に供給した後、ふたをして密閉状態とした上でエアを送り込み、圧送抽出する方式である。この方式の採用で、抽出時に飲料が回路内をスムーズに通過し、抽出時間を短縮したことで、熱損失を削減することができた。抽出機の飲料回路が長くなると熱損失が増大する。従来機ではチューブポンプ内のチューブの長さだけでも 350mm 程度必要だった

が、ヒータレス抽出機に採用した加圧方式では、チューブが不要となる。また、自動販売機内の部品配置を、回路が最短になるように優先して再配置することで、従来機比で飲料回路の長さを 50% 削減し、熱損失を低減している。

また、ヒータレス抽出機は湯を導くガイドに熱的に有利な樹脂部品を選択・小型化するとともに、湯を滞留させない構造を採用した。さらに、飲料回路内にある金属フィルタに関しても新精密成形技術による樹脂化を進め、熱損失の主因となっていた回路上の金属部品を徹底的に排除した。

(3) 新除湿構造による熱損失の低減

原料であるレギュラーコーヒーの固着防止と、抽出機構の乾燥状態維持を目的として除湿を行っている。

従来機は、抽出容器が外気にさらされていたため、その外気温の影響を直接受ける構造になっていた。ヒータレス抽出機は、抽出容器を樹脂で構成した調理室の中に納める構造とした (図 4)。この樹脂製の調理室は断熱性が高いため、熱損失を低減する効果がある。

抽出機は、抽出容器内に原料とともに湯を投入するため、湯気による湿気が原料投入口に逆流してくる。湿気の影響で原料が原料投入通路内で詰まり、飲料が提供できなくなる。このため、湯気をファンで換気排出する構造となっているが、湯気とともに暖かい空気も同時に吸ってしまい、これが熱損失となる。従来機は原料詰まりを抑制するために、より原料投入口の近くから湯気を吸う必要があり、湯気は抽出容器内を通過した経路で吸引されている (図 5 (a))。

一方、ヒータレス抽出機は、抽出容器外から湯気を引く構造とした。さらに加圧抽出方式の採用により、抽出容器にふたをする構造となっている。そのため、湯気引き時間や風量を抑えることができる。また、抽出容器内にあるコーヒー液面上を、換気した空気が通過しないので気化熱の損失も少なくなっている (図 5 (b))。

これら 3 項目の熱損失に対する課題に対処した結果、製品全体の消費電力量の 25% に当たる 713kWh/年の消費電力量の削減を実現した。同時に省エネと組み合わせた抽出回路の衛生性改善により、コーヒーの飲料品質も向上させることができた。

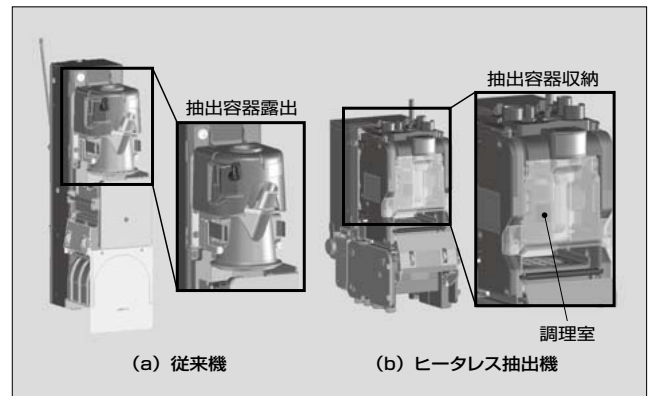


図 4 抽出容器の収納方法

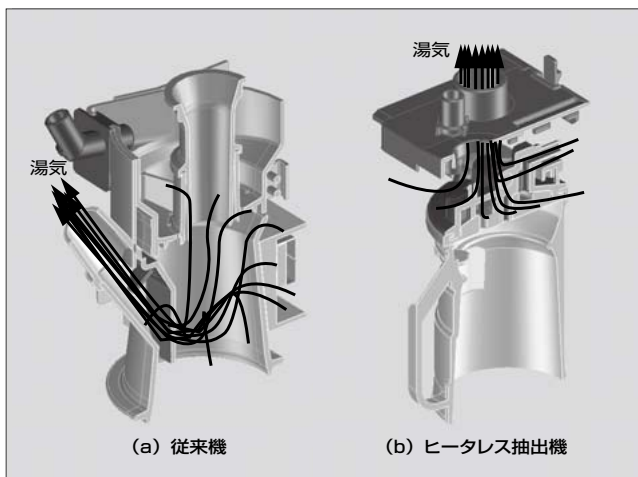


図5 抽出容器と湯気の流れ

4.3 小型ミルの省エネ技術（エネルギー変換効率向上）

ミルは、レギュラーコーヒー豆を限定された時間内に規定の粒度に粉碎し、抽出機に受け渡す役割を持つ機構である。その省エネ開発はエネルギー変換効率の向上の視点から、いかに効率良く高精度に豆を粉碎するかが重要である。

(1) 豆搬送効率の向上と吐出量の安定化

新たに自社開発した小型ミルと購入品である従来ミルで大きく異なる点は、原料の導入方式・粉碎方法・粉碎回転数である。カップ式飲料自動販売機は重力による自然落下を機構で制御する原料供給が主であるが、上下方向に機構が系統的に並んでいるため、高さ方向にスペース上の制約がある。従来ミルは大型であるため、カップ式飲料自動販売機に搭載する場合、豆導入経路を横にして配置する制約

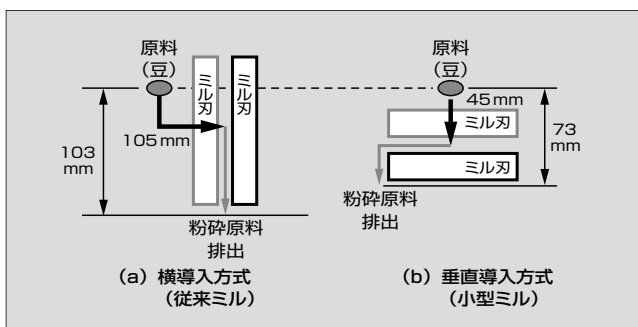


図6 原料の導入方式

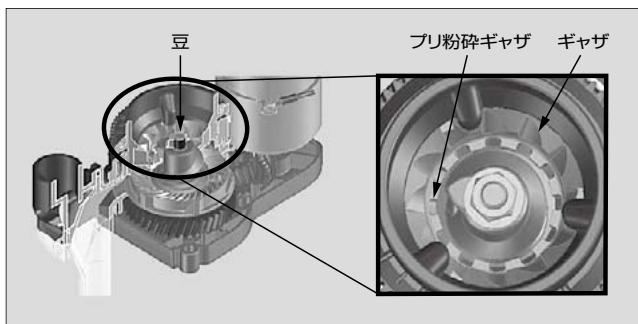


図7 ミル刃に導入したプリ粉碎ギャザ

があった（図6(a)）。今回、自社でミルを開発するに当たり、省エネに加えてカップ式飲料自動販売機やコーヒーディスペンサの搭載スペースに収まるような省スペース化による標準化展開の実現も考慮した。そのため、豆導入経路の垂直化（図6(b)）という基本構造の変更に着手し、大幅な小型化の実現に取り組んだ。

従来ミルは横導入方式という構造上、豆の搬送量のムラが大きい。さらにミル刃を5,000 r/min と高回転で運転しているため、豆を導入する際に豆をはじいてしまい、粉碎能力自体は高いが、粉碎時間のばらつきが大きいという問題があった。そこで、豆の導入を垂直方式にして動線をシンプルにするとともに、搬送距離を105 mm から45 mm と短くし、また、ミル刃を1,000 r/min と低回転にすることで、豆導入時のはじきをなくし、豆の搬送にムラをなくして吐出量を安定化させることで根本的な解決を図った。さらに、搬送経路の粉碎原料の静電気による付着を防止するため、経路の除電構造を構築するとともに、経路の曲折部には豆と同じ帯電傾向を持つ素材を採用し、吐出抵抗を減らすことでモータトルクを低減できた。

(2) ミル刃豆粉碎効率の向上と負荷の安定化

一方、この施策の採用により、わずか20%となった回転数で抽出時間に影響しない豆粉碎量を確保する必要が

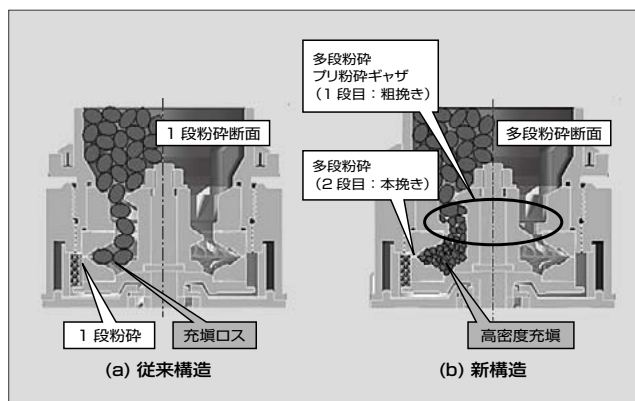


図8 粉碎構造

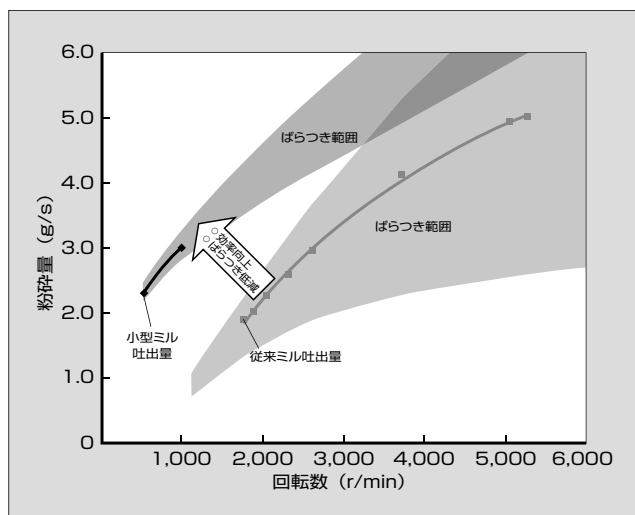


図9 ミル粉碎能力

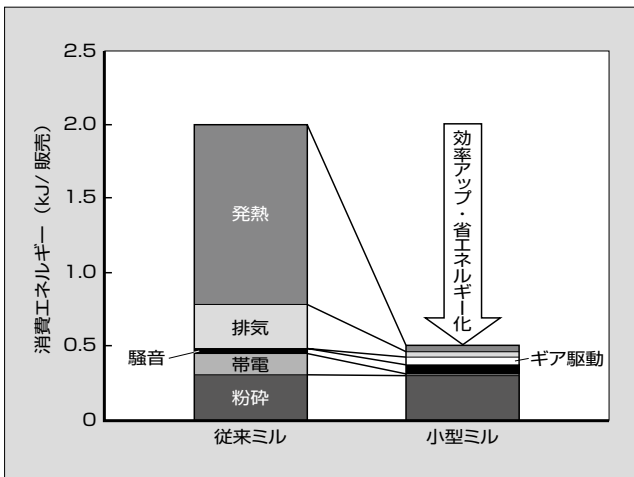


図10 消費エネルギー

あった。そこで、豆をミル刃に導入する箇所にはプリ粉碎ギャザ（図7）を構成し、豆導入経路に狭窄（きょうさく）部を設けて本粉碎と同時に粗挽（び）き工程を同軸上で行う、豆の多段粉碎構造を構築した（図8）。その結果、低回転領域における単位回転数当たりの豆粉碎量を、約2.5倍と大幅に向上することができた（図9）。

これらの効率向上策により、豆粉碎量のばらつきも少なくなり、負荷のピークが平準化されたため、低出力モータでも従来ミルと同等の時間内で豆を粉碎処理することが可能になった。図10に、小型ミルと従来ミルの消費電力エネルギーの比較を示す。従来は1回の販売当たり約2kJ必要としていたが、小型ミルでは約0.5kJとなり、従来比25%と大幅に低減（省エネ）している。

5 コーヒー抽出システムのシナジー効果

5.1 ミル効率向上のシナジー効果

効率向上策として採用した豆の動線の短縮は、レギュラー豆市場の動向にもマッチした。ここ10年でレギュラーコーヒー豆の市場は、表面油量の多い、深い焙煎（ばいせん）のコーヒー豆にシフトしており、ミル内部の油汚れが進行しやすい傾向にある。小型ミルで搬送効率改善のため考案した新搬送経路（従来ミルの半分以下の全長、動線垂直化）は、耐詰まり性においても期待したとおりの効果を発揮し、従来の2倍以上の油分を持つ豆においても同等以上の閉塞（へいそく）耐久性能が得られている。さらに、モータトルク低減のために採用したミルの除電構造は、原料詰まりや汚れ飛散の原因である原料自体の帯電を低減する狙いもあり、低回転粉碎による吐出風量の削減と併せ、粉碎原料の帯電量・吐出風速で1/10、周囲汚れ量で1/5～1/10以下と衛生面で画期的な成果を得た（図11）。また、1,000r/minという低速粉碎は、粉碎工程での豆やカッターの発熱を抑え、原料粉碎中のオフフレーバー（香味成分の散逸）を抑制する。その結果は、飲料品質の向上に直結している。さらに、粉碎原料が飛散しないことから、抽出機の抽出容器内に全原料が損失なく投入され、原料の節約と

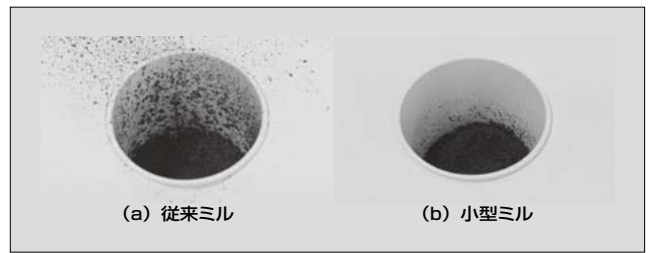


図11 ミル周囲の汚れ

いった効果も得ることができた。

5.2 抽出システムとしてのシナジー効果

新抽出システムは、ヒータレス抽出機と小型ミルの組み合わせによるシナジー効果も得ている。

従来の抽出システムでは、湯気の拡散による原料詰まり防止のため、原料を抽出容器に全て投入した後に、湯を投入する方法を採っていた。新抽出システムでは、小型ミルの低飛散・低排気効果により、湯と原料を抽出容器に同時に投入することが可能になった。その結果、原料と湯の接触時間が増え、従来機比で抽出速度120%の実現に寄与するとともに、ユーザのレシピ設定（味作り）の自由度を大幅に増やすことができた。

ミル効率向上および新抽出システムのシナジー効果により、省エネに加えて“濃く・熱く・早く・おいしく・きれいに”という付加価値を付けることができ、カップ式飲料自動販売機へのユーザーニーズに応えることができた。この省エネ抽出システムは、リデュースという環境側面でも、総質量10.5kg（抽出機7kg+ミル3.5kg）を4.5kg（抽出機3.3kg+ミル1.2kg）に減量し、57%減という結果を出している。

6 あとがき

カップ式飲料自動販売機の省エネルギー技術について述べた。この技術は、同じ思想の基に各種機能部品に展開され、派生部品はカップ式飲料自動販売機だけでなく、フード機器にも展開する計画となっている。今後も市場の省エネルギーニーズに俊敏に対応し、業界での主導的立場を維持しながら、新しい省エネルギーの研究・開発に努力していく所存である。



江利川 肇

カップ自動販売機の機能部品の開発設計に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社生産・開発本部三重工場設計部課長。



中島 規朗

カップ自動販売機の機能部品の開発設計に従事。
現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社生産
・開発本部三重工場設計部。



牧野 道彦

カップ自動販売機の機能部品の開発設計に従事。
現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社生産
・開発本部三重工場設計部。





*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。