

“光ビッグシリーズ” 冷蔵庫の新機能

柴田舞子*
田代雄亮**
岡部 誠***

New Features of "E Series" Refrigerator

Maiko Shibata, Yusuke Tashiro, Makoto Okabe

要 旨

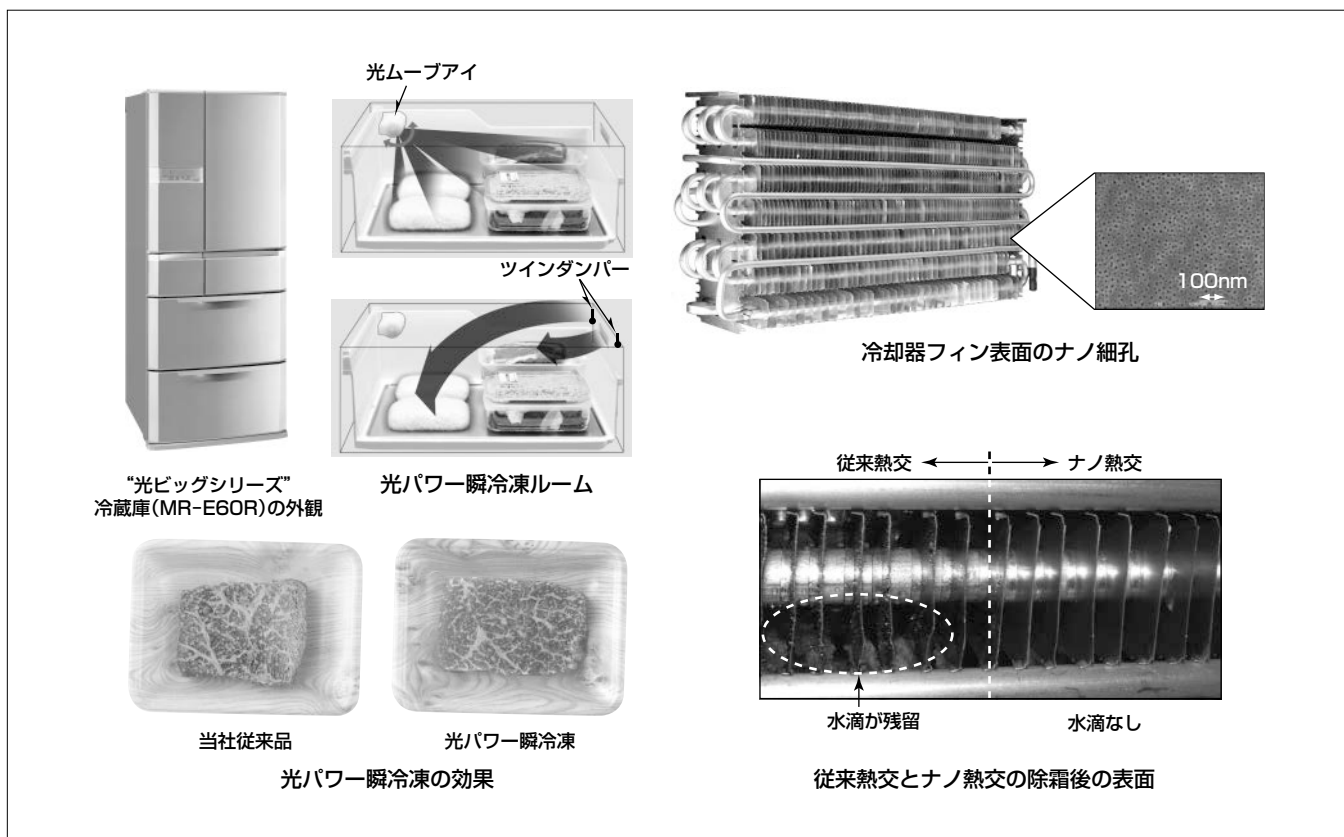
食品の安全志向の高まりや健康志向の高まりから、冷蔵庫には食品の鮮度・栄養保存機能の向上が求められている。また大容量、省エネルギーは、常に要求として上位に挙げられる。三菱電機冷蔵庫“光ビッグシリーズ”では、“おいしい、使いやすい、大容量。しかも省エネ。”をコンセプトとし、次の新機能を開発した。

(1) “光パワー瞬冷凍”機能

食品を、過冷却現象を利用した“瞬冷凍”で高品質に冷凍し、可動式赤外線センサ“光ムーブアイ”で食品の温度をきめ細かく管理し、食品と空気の温度変動を小さくすることで、保存中の食品の乾燥を抑制できる保存技術を開発した。これによって、食品への霜つき量を従来の約1/2に低減し、またそれに伴う変色や酸化を抑制した。

(2) 省エネルギー新技術

冷蔵庫の省エネルギー化のため、着霜時の性能改善・除霜時間短縮をねらい、冷却器フィン表面にナノサイズの細孔(ナノ細孔)を持つナノポーラス熱交換器(ナノ熱交)を開発した。ナノサイズの細孔によって、着霜初期の凝縮液滴の合体が抑制され霜密度が高くなるため、風路閉塞(へいそく)が遅延され、冷却能力の低下が抑制され、積算冷却能力が約22%増加した。またナノ細孔内の空気層によって、水滴の滑着性が向上し、同一着霜量での除霜に要する時間が約20%短縮した。このような効果を持つナノ熱交を冷蔵庫に搭載した結果、着霜時の性能向上と除霜時間短縮によって消費電力量が約1.3%低減した。



“光ビッグシリーズ” 冷蔵庫の新機能

新機能“光パワー瞬冷凍”は、食品温度を感知する可動式赤外線センサ“光ムーブアイ”を保存時も動作させ、状況に応じてツインダンパーで airflow 制御を行うことで、食品温度を安定させて、霜つきや変色を抑制する(図左)。“ナノ熱交”では冷却器フィン表面のナノ細孔によって、風路閉塞が遅延され、冷却能力の低下が抑制される。またナノ細孔内の空気層によって、水滴の滑着性が向上し、除霜に要する時間が短縮される(図右)。

1. ま え が き

冷蔵庫は、国内で約400万台/年の市場規模で推移しており、今後も人間の食生活に半永久的に必要な家電製品である。また、近年の内食回帰の流れから、冷蔵庫にはおいしく保存するための食品の鮮度・栄養保存機能の向上が求められる。また大容量、省エネルギーは、常に要求の上位に挙げられている。三菱電機冷蔵庫では、“おいしい、使いやすい、大容量。しかも省エネ。”をコンセプトとし、新機能開発を行った。

2. “光ビッグシリーズ”の新機能

2.1 “光パワー瞬冷凍”機能

近年、食品のおいしさ、安全性への消費者意識の高まりから、食品の保存状態に対する要求は増している。高品質な保存とは、冷凍前後でおいしさが変わらないことである。冷凍保存の場合、食品を凍らせる凍結工程、凍結後の食品を保存する保存工程があり、当社では各工程でおいしさを維持できる“光パワー瞬冷凍”機能を開発した。この“光パワー瞬冷凍”は、凝固点以下でも凍らない過冷却現象を利用した“瞬冷凍”によって、凍結工程での品質向上の実現と、保存中に食品温度をセンシングすることで、庫内温度と食品温度とを一定に保ち、食品の霜つき、変色を抑制する保存技術によって高品質保存を実現した。これによって、凍結から保存までの全工程での品質向上を実現し、家庭用冷蔵庫で高品質な冷凍保存を可能とした。

2.1.1 凍結工程の品質向上

当社が2007年から搭載した“瞬冷凍”とは、過冷却現象を利用した冷凍方法である。過冷却とは、物質が凝固点以下の温度でも液体のままである状態をさす。例えば、水が氷に変わるためには、氷の結晶が成長する場が必要であり、それは小さい分子レベルでの氷結晶核である。過冷却液体中では、揺らぎによって分子の集合離散が繰り返され、いろいろな大きさの分子集合(クラスター)が生じていると考えられる。小さな水分子のクラスターは不安定であり、内部の分子は結合状態にあるが、表面の水分子は不安定で形成されては消えを繰り返す(図1)。クラスターがある臨界半径を超えない限り核にはならず、凝固点以下に達していても凍結は開始しない。この状態が過冷却状態である。物

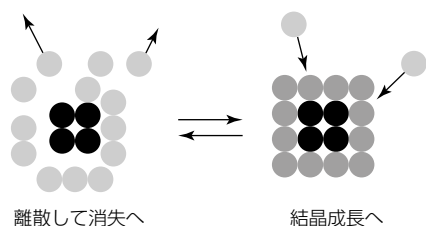


図1. 氷結晶の成長と消失のイメージ図

理的衝撃などの外乱が加えられ、液体内の密度の揺らぎが大きくなり、臨界半径以上のクラスターが一つでも生じると、それが核となり氷結晶を生成する。過冷却状態の水を叩(たた)くと水ができるのはこのためである。実際の食品の場合、食品は物質の混合物であるので、それらを核として氷結晶を生成することが多い。いったん氷結晶核が生じ過冷却状態が解消されると、一気に凍結が開始する。

一方、従来の凍結方法では、冷気が当たる食品表面から徐々に凍結が開始し、表面から内部へと氷結晶が形成され、氷結晶は針状の結晶となる。形成される氷結晶が大きくなると、食品の組織や細胞へ与える機械的損傷が大きくなり、解凍後の食品の物性に影響を与える。例えば、解凍時のドリップ流出や食感の低下が、物性変化の現れとして挙げられる。これに対し、過冷却状態を経て凍結させる“瞬冷凍”では、食品全体に氷結晶を均一に生成し、最終的な氷結晶も微細な球状とすることができるため、食品の組織構造の破壊を抑制し、解凍後も食品の物性を維持することができる。

過冷却状態は準安定状態であるため、氷結晶核が発生すれば、瞬時に凍結が始まる。従来の冷凍室では、すぐに過冷却状態が解消され凍結していた。そのため“瞬冷凍”では、可動式赤外線センサで食品温度を検出し、温度のフィードバック制御を行っている。これによって、食品を過冷却状態へと到達させ凍結させることができるため、高品質な冷凍が実現した(図2)。

2.1.2 保存工程の品質向上

冷凍保存中における食品の霜つき、変色は、温度変動による食品の乾燥が原因である。冷凍保存中の乾燥は、水の昇華によって水分が減るため、食品の深部まで空気による酸化作用が及びいわゆる冷凍ヤケを招き、見た目だけでなく食感、風味も劣化する。そのため保存中の乾燥抑制は、高品質保存のために極めて重要である。今回、保存中の温度変動を抑制することで食品の乾燥を低減し、霜つき、変色を抑制する保存方法を実現した。

一般に冷蔵庫は、圧縮機のON/OFF運転による温度ハンチングや、霜取り動作であるデフロストによる温度変動がある。食品の乾燥は、これらの温度変動が原因となっている。空気温度が上昇すると、食品の温度も上昇する。空

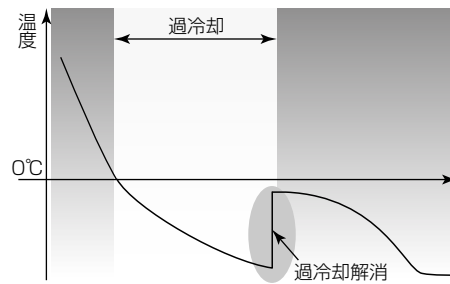


図2. 過冷却を経て凍結した温度変化イメージ

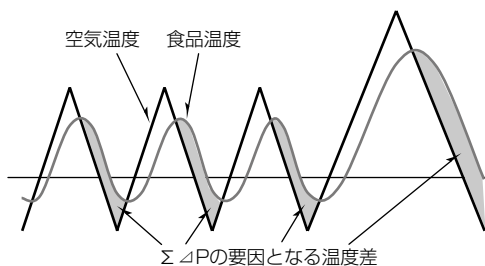


図3. 空気温度・食品温度のイメージ

気温度が元の温度へと下降すると、食品も冷却されて下降するが、食品は空気より熱容量が大きく、空気温度より遅れて下降するため、食品温度の方が空気温度よりも高い状態となる。このときの水蒸気圧は、食品温度の水蒸気圧が空気温度の水蒸気圧よりも高く、水分は水蒸気圧の低い方へと移動するので、食品中から空気中へと水分が移動し食品の乾燥が起きる。このように空気中へと移動した水分は、包装の表面などに付着し結露するため、霜として現れる。

単位時間に食品から喪失する水分量を W (kg/h) とすると、次式(1)によって表されることが知られている。

$$W = \beta F (P2 - P1) \dots\dots\dots(1)$$

β : 食品の表面の性状による蒸散率(kg/m²h(mmHg))

F : 食品の表面積(m²)

$P1$: 食品に接している空気の水蒸気圧(mmHg)

$P2$: 食品の表面の水蒸気圧(mmHg)

ここで、 β 、 F は一定と考えられるため、水分喪失量 W は、 $P2 - P1 = \Delta P$ で決まる。したがって、食品からの水分喪失量 W は空気温度の水蒸気圧 $P1$ と食品温度の水蒸気圧 $P2$ との差分で算出することができる。図3に示す冷蔵庫の温度変動のうち、斜線部分に相当する水蒸気圧差 ΔP の積算値 $\Sigma \Delta P$ を求め、この積算値 $\Sigma \Delta P$ と、食品の水分喪失量 W との関係は、一次関数で表せる相関を持つことを見いだした。この関係に着目し、食品温度と空気温度との差を小さくすることで、水蒸気圧差の積算値 $\Sigma \Delta P$ を抑制し、食品の乾燥を低減する温度シーケンスを開発した。

従来、庫内温度のみをセンシングし、シングルダンパーを全開/全閉を繰り返していたため、温度変動は大きくなっていった。しかし、“光パワー瞬冷凍”では、食品温度をセンシングする可動式赤外線センサ“光ムーブアイ”を搭載するとともに、気流制御にツインダンパーを採用した。保存時も“光ムーブアイ”を動作させて食品温度をセンシングし、状況に応じてツインダンパーでの気流の微調整を行うことで、庫内温度と食品温度を一定に保つことを可能とした(図4)。さらに、あとで述べる省エネルギーの観点から除霜時間が短縮され、除霜による温度変動も抑制された。これらによって、食品への霜つき量を従来の約1/2に低減し、またそれに伴う変色や酸化を抑制した(図5、図6)。

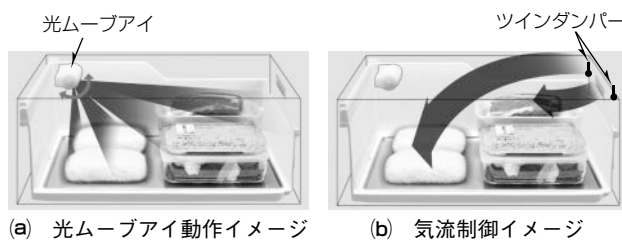


図4. 光パワー瞬冷凍ルーム

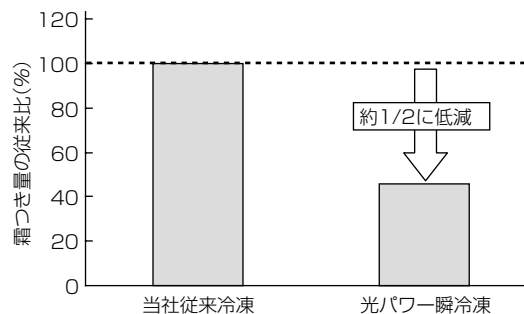


図5. 霜つき量の比較(牛肉を2週間保存)

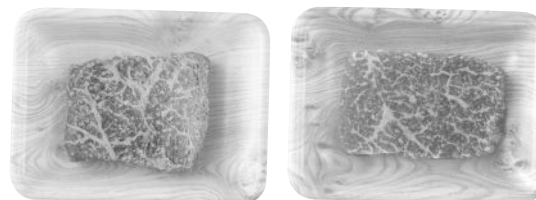


図6. 食品外観の比較

3. 省エネルギー新技術

空調・冷熱機器は、低温条件下で蒸発器の表面温度が0℃以下になると、熱交換器に流入する空気中の水分が熱交換器フィン表面で霜となって付着する。着霜が進むと、フィン間は霜で閉塞され、風量低下によって熱交換器の能力が低下する。性能低下を避けるため、機器は定期的に除霜運転をするが、除霜中はヒーターなどの余分な入力が必要となり、また冷熱機器では庫内温度の上昇を引き起こす。このため、着霜条件下での熱交換器の性能低下抑制・除霜時間の短縮は空調・冷熱機器の省エネルギー、冷蔵庫ではさらに食品の保存に有効である。

3.1 ナノポーラス熱交換器

冷蔵庫では、庫内温度維持のため、冷却器の表面温度は-30℃近くまで低下する。扉開閉や庫内食品から発生する水分が冷却器表面で着霜するため、冷蔵庫はおおよそ日に1回程度除霜運転している。

冷蔵庫の省エネルギー化のため、着霜時の性能改善・除霜時間短縮をねらい、冷却器フィン表面にナノサイズの細孔を持つナノポーラス熱交換器(ナノ熱交)を開発した。冷却器を陽極酸化処理することで、フィン表面に約10ナノメートルの細孔を形成することに成功した(図7)。

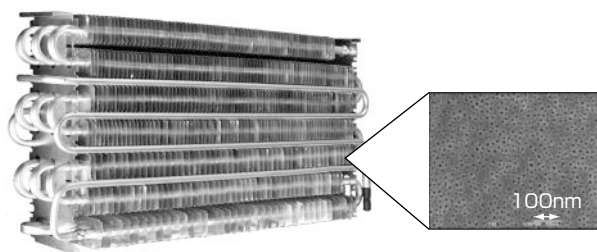


図7. 冷却器フィン表面のナノ細孔

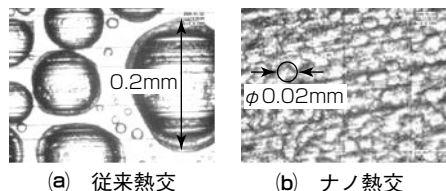


図8. 従来熱交とナノ熱交の凝縮液滴の生成状況

3.2 着霜時の性能

図8に、冷却開始から5分後の冷却器フィン表面での凝縮液滴の生成状況を当社従来の熱交換器(従来熱交)と比較した結果を示す。ナノサイズの細孔によって着霜初期の凝縮液滴の合体が抑制され、約1/10に細径化している。これによって各液滴から霜が均一に成長し霜密度が高くなるため、同一着霜量での風路閉塞が遅延され、着霜進行に伴う冷却性能の低下を抑制できる。

従来熱交とナノ熱交の単体能力を測定した結果を、図9に示す。ナノ熱交は風路閉塞の遅延によって、冷却能力の低下が抑制され、積算冷却能力が約22%増加した。

3.3 除霜時の性能

ナノ熱交は、着霜時の冷却性能向上に加えナノ細孔内の空気層によって、水滴の滑落性が向上し、除霜時間が短縮する。同一着霜量での除霜に要する時間を従来熱交と比較したところ、ナノ熱交では除霜時間が約20%短縮した。これによって、除霜に要する消費電力量を低減することができる。また滑落性の向上によって除霜後のフィン残留水滴が減少し、除霜復帰時の着霜も遅延される。図10に、除霜後の冷却器表面の水滴残留状況を示す。ナノ熱交では水滴の残留がないことが確認できた。

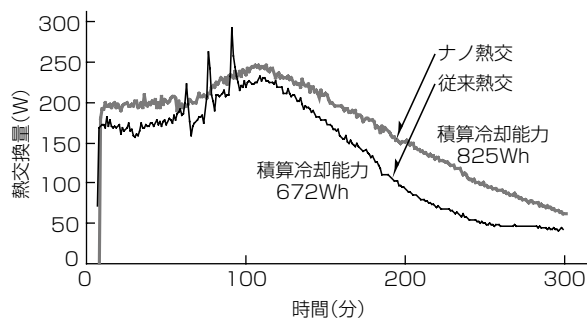


図9. ナノ熱交と従来熱交の単体性能評価結果

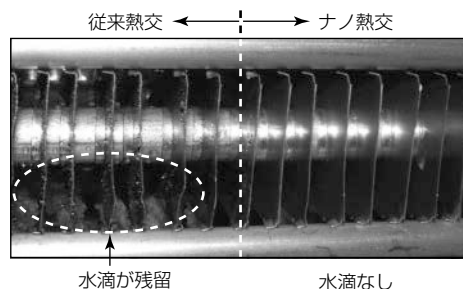


図10. 従来熱交とナノ熱交の除霜後の表面

3.4 実機省エネルギー効果

ここまで述べたような効果を持つナノ熱交を冷蔵庫に搭載した結果、着霜時の性能向上と除霜時間短縮によって、消費電力量が約1.3%低減した。ナノ熱交は2009年9月から冷蔵庫に量産導入されている。

4. む す び

三菱電機冷蔵庫“光ビッグシリーズ”の新機能について述べた。今後も、おいしさ、省エネルギーといった多様な観点から、市場要求に対応した製品開発に臨んでいく。

参 考 文 献

- (1) 社)日本冷凍空調学会：新版 食品冷凍技術 (2009)
- (2) 平敷 勇：冷凍「瞬」時代の到来－冷凍冷蔵庫の変遷と最新情報－，住まいと電化，20，No.4，21～24 (2008)
- (3) 加藤舜郎：食品冷凍の理論と応用，光琳書院 (1960)