

ノンフロン the 鮮蔵庫

"Non-fluorocarbon the SENZOHKO" Refrigerator

岩井 隆賀

IWAI Takayoshi

苗村 好郎

NAEMURA Yoshiro

野口 明裕

NOGUCHI Akihiro

冷蔵庫は地球環境保護に縁の深い家庭用電気製品である。東芝は、冷蔵庫を省電力化することで、発電時に発生するCO₂(二酸化炭素)削減に寄与するとともに、地球温暖化防止とオゾン層保護を目的に、使用冷媒及び断熱材をノンフロン化した。更に、冷蔵庫使用時の食品貯蔵では、冷却、除菌・脱臭などによる鮮蔵(食品の鮮度を維持して貯蔵)制御を行い、各家庭で年間約3万円発生している廃棄食材を削減し、省資源や生ごみの発生量の抑制を図った。

当社は、他社に先駆けて2002年1月にノンフロン冷蔵庫を発売したが、今回、第3世代目のノンフロン冷蔵庫として、“DSP(Digital Signal Processor)ベクトル制御”や“真空断熱パネル”などを採用した“ノンフロン the 鮮蔵庫”を商品化した。

Refrigerators are electric home appliances that are deeply related to protection of the global environment. Toshiba has changed the refrigerants and insulation used in refrigerators to non-fluorocarbon types and developed energy-saving models to reduce CO₂ emissions from electricity generation, as measures to contribute to the protection of the ozone layer and the prevention of global warming.

Moreover, Toshiba's line of refrigerators with "SENZO" control (the connotation of which is to maintain the freshness of food while storing it) perform cooling, germ removal, deodorizing and other functions. This helps to save resources by decreasing the volume of scrapped food materials, which amounts to around 30,000 yen (approx. \$US 275) annually in value terms per household in Japan.

Toshiba developed non-fluorocarbon refrigerators in January 2002, prior to its competitors. We have now developed a new model called "Non-fluorocarbon the SENZOHKO," featuring digital signal processor (DSP) vector control and vacuum insulation panels, as the third-generation refrigerator in this line.

1 まえがき

従来、冷蔵庫は、低温にするための冷凍サイクルの冷媒と、低温を維持するための断熱材の発泡剤にフロンを用いていたが、オゾン層保護と地球温暖化防止の観点から、これらのノンフロン化が重要な課題であった。しかしながら、冷媒や断熱用発泡剤としてのフロンの性能が優れていたため、代替品が長い間見つからなかった。

このようななか、2002年は、冷蔵庫業界にとってノンフロン元年となった年である。東芝は、1月に主力商品である定格内容積400Lクラスの大型冷蔵庫を、環境への影響が小さい炭化水素系冷媒に切り替え、国内メーカー初のノンフロン冷蔵庫を発売した。2月から各社が中型冷蔵庫を中心に順次ノンフロン冷蔵庫を発売し、環境に配慮した商品群として注目を浴びた。

また、冷蔵庫における地球環境問題への当社の取組みと技術が評価されて、2002年4月に日経BP技術賞大賞、9月にオゾン層保護大賞優秀賞を受賞し、2003年5月にはその技術と稼働実績により、日本冷凍空調学会の技術賞を受賞した。

引き続き、ノンフロン技術をベースに、高速演算CPUであ

る“DSP(Digital Signal Processor)を用いたベクトル制御”技術の採用により、冷却、除菌・脱臭の鮮蔵制御と省電力制御の開発を行った。更に“真空断熱パネル”による省電力を図り、業界で初めて、冷蔵と冷凍の冷気循環経路にそれぞれプラズマユニットを設置した“ツインプラズマ”搭載の冷蔵庫GR-NF415Gを、2003年10月に発売した。以下、この冷蔵庫の仕様及び環境技術面での特長について述べる。

2 GR-NF415G 冷蔵庫の特長

GR-NF415Gの外観を図1に示す。

この冷蔵庫の環境技術面での主な特長は次のとおりである。

- (1) 業界トップクラスの省エネルギー(以下、省エネと略記)を実現 冷却効率の高いイソブタン冷媒を使用し、また、DSPベクトル制御技術による高効率冷却と、真空断熱パネルの採用及び各部の断熱厚さの最適化設計による断熱性能の向上を図った。これらの技術により、業界トップクラスの年間消費電力量180kWh/年を実現した。この値は、冷蔵庫のLCA(Life Cycle Assessment)においてCO₂排出量の約80%を占める使用時の消費電力



の極めて低い炭化水素系の自然冷媒である。省エネや地球環境保護の面では優れているが,可燃性であるという問題点があるため,万一の冷媒漏れ対策として,要素部品の防爆対応に加え,DSP冷媒漏れ検知システムを搭載し,安全性を高めた。

3 ノンフロン化技術の概要

3.1 ノンフロン化の経緯

高度経済成長と技術革新によって気づかぬうちに蓄積してきた地球環境問題を解決するため,世界的な取組みが行われている。冷蔵庫においては,使用している冷媒及び断熱材用発泡剤によるオゾン層破壊と地球温暖化を防止するため,表1のステップで製品の対応を実施し,第4ステップのイソブタン化により2002年1月にノンフロン化を完了した。

3.2 炭化水素系冷媒(イソブタン)の特性

冷蔵庫の断熱材用発泡剤に用いられていた指定フロンHCFC141bは,ノンフロン発泡剤のシクロペンタンに大部分切り替わっているが,冷媒としては引き続き代替フロンHFC134aが主に使われてきた。表2に示すように,HFC134aはオゾン破壊係数がゼロではあるが,地球温暖化係数は1,300であり,イソブタンの3に対して大きな値となっている。しかし,イソブタンは可燃性であり,漏れに対する安全性対応が重要な課題であった。

イソブタンは,冷気自然対流方式が主流の欧州では1990年代から採用され,北ヨーロッパを中心に広く使われている。これに対し,霜取りのためのヒータや冷気循環用のファンモータが必要な冷気強制循環方式が主流のわが国の冷蔵庫では,冷媒漏れに対する特別の配慮が必要である。そのため,使用冷媒量の低減,電気部品の防爆設計,冷媒漏れ対応制御などによって製品安全性を確保した。

また,冷媒の特性に合わせた冷凍サイクル各要素の最適化,イソブタン用高効率コンプレッサの開発及び冷却器の高効率化などにより,システムとしての最適化を図った。

量を,当社の前年度機種に対して約30%低減したものである。また,冷蔵庫の買替えサイクルである11年前の当社の同内容積冷蔵庫に対して,消費電力量は1/5以下になった。これにより,発電時に発生するCO₂削減に寄与するとともに,月々の電気代を約345円(1kWh=23円で算出)に節約して家計に貢献した。

- (2) 全室クリーン鮮蔵 冷蔵と冷凍の冷気循環経路にそれぞれプラズマユニットを設置し,冷蔵及び冷凍庫内の浮遊菌の活動を抑制するとともに脱臭も行い,クリーンな冷蔵と冷凍を実現した。また,負荷変動を検知し,DSPベクトル制御で庫内の温度をすばやく最適状態にする。これらの冷却,除菌・脱臭の鮮蔵制御により食品の鮮度を長持ちさせて廃棄食材を低減し,各家庭からの生ごみ排出量の削減に寄与した。
- (3) 地球環境保護に寄与 ノンフロン冷媒のイソブタン(R600a)は,オゾン層を破壊せず,かつ地球温暖化係数

表1. ノンフロン化に至るステップ

Steps toward achievement of non-fluorocarbon technologies

ステップ	冷媒, 断熱材用発泡剤	オゾン破壊係数 (*1)	地球温暖化係数 (*2)	技術開発のポイント	意義
1	CFC12(冷媒)	1	8,100	-	対策前(特定フロン(*3))
	CFC11(発泡剤)	1	24,300	-	
2	HFC134a(冷媒)	0	1,300	サイクル内の残査・生成物による詰り防止	特定フロンの全廃(*4)
	HCFC141b(発泡剤)	0.11	630	断熱材の断熱特性確保	
3	シクロペンタン(発泡剤)	0	3	製造設備の安全対応(防爆)	ノンフロン化完了
4	イソブタン(冷媒)	0	3	製品安全設計の確立(防爆)	

*1: CFC11のオゾン層破壊係数を1とした場合の数。
*3: オゾン層破壊物質として,1995年に全廃された。

*2: CO₂の地球温暖化係数を1とした場合の数字。
*4: 代替フロンHFC134a,指定フロンHCFC141bへの切替え。

表2 . 冷媒特性の比較

Comparison of refrigerant characteristics

冷 媒	名称(番号)	化学式	オゾン破壊係数	地球温暖化係数	冷凍能力比	理論COP比	燃焼性の分類 (高圧ガス保安法)
代替フロン	HFC134a	CH ₂ FCF ₃	0	1,300 (CO ₂ = 1として)	100(基準)	100(基準)	不燃性ガス
炭化水素系	イソブタン(R600a)	CH(CH ₃) ₃	0	3 (CO ₂ = 1として)	約57(低い)	約107(良い)	可燃性ガス (爆発限界: 下限 1.8 vol % , 上限 8.4 vol %)

COP : 成績係数

4 DSP を用いたベクトル制御

DSPベクトル制御を搭載した冷蔵庫のシステム概要を図2に示す。このシステムでは、DSPを用いたベクトル制御によりコンプレッサモータを高効率で駆動することで、消費電力の低減を実現した。また、DSPで瞬時電力(コンプレッサ入力)変化量を演算により求め、冷却、除菌・脱臭の鮮蔵制御を行うとともにノンフロン冷媒の漏れも検出する。

- (1) 消費エネルギーの低減(ベクトル制御) ベクトル制御は、モータ電流値(三相)を検出し、この電流値をモータのロータと共に回転する直交座標系に変換(dq変換)して、トルクに寄与する成分(I_q)としない成分(I_d)とに分けて制御する方式である。モータ固有のトルク特性方程式を用い、必要トルクを得るための電流値を最小に制御することで、コンプレッサモータの高効率駆動が可能になり、従来の矩形(くけい)波方式に対し、より省エネを図ることができる。このベクトル制御を、DSPという高速演算器を用いて構成し、あらゆる負荷条件に対して

瞬時に対応できるシステムとした。

- (2) 鮮蔵制御,安全コントロールへの応用 DSPベクトル制御では、検出した電流値とコンプレッサへ出力する電圧値を用いて瞬時電力を算出することができる。この瞬時電力値の変化量により、扉開閉などで冷蔵庫の負荷が増えたことを検出した場合は、コンプレッサと冷却ファンの回転数制御及びプラズマユニットを動作させてパワフルな冷却と脱臭を行い、鮮蔵制御する。

また、同様に電力変化をモニタすることにより、冷媒漏れを検出する。モニタにより急激な電力変化が認められた場合、冷媒漏れか否かを冷媒漏れ判定部が検証し、冷媒漏れと判定した場合は、安全対応システムを動作させる。

5 断熱最適化設計

無機繊維系コア材を用いた大型真空断熱パネルを新規開発し、効果的な取付け位置と、ウレタンフォーム断熱材の厚

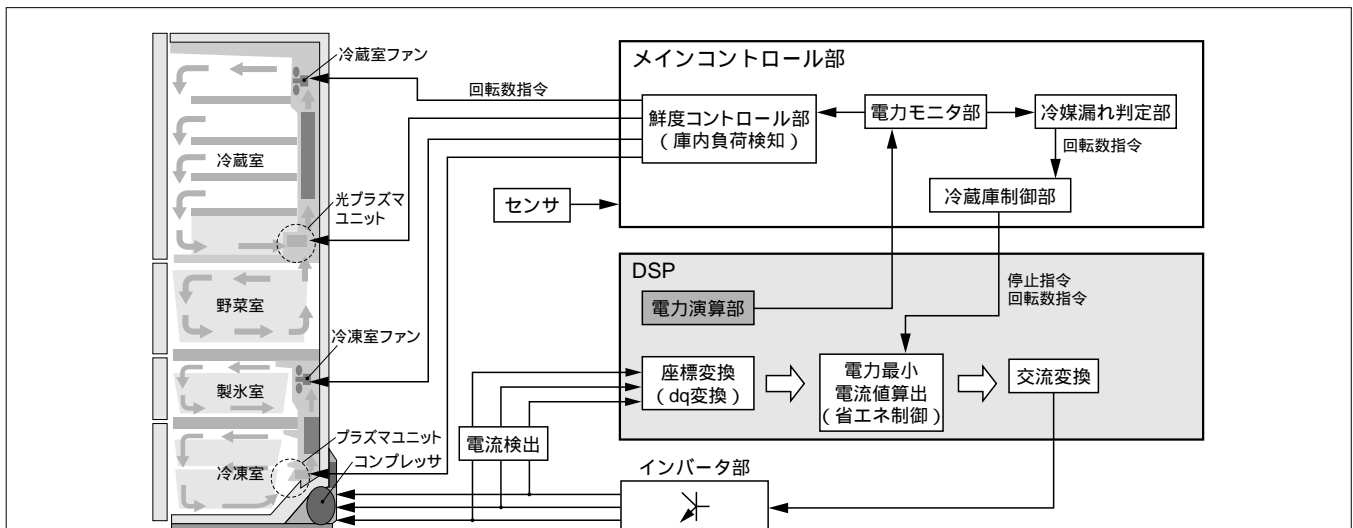
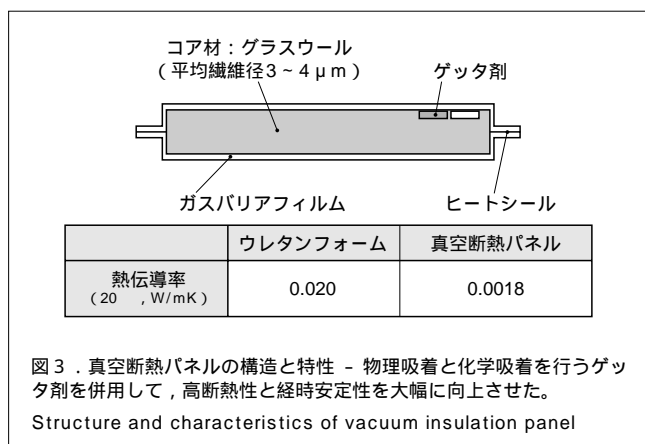


図2 . DSPベクトル制御のシステム概要 - ベクトル制御技術により消費エネルギーの最小制御を行い、電力の直接監視により鮮蔵・安全コントロールを行う。

Outline of DSP vector control system

み適正化によりキャビネットの断熱構造を改善した。

今回開発した真空断熱パネルの基本構成は、図3に示すとおりであり、コア材に極細(平均繊維径3~4 μm)の短繊維グラスウールを採用した。最少量の有機系バインダによって寸法精度と平面性を確保し、業界最高レベルの0.0018 W/mK(パネル中央部、ウレタンフォームの約1/10)の熱伝導率を実現した。端面のヒートリークの影響を極力抑えるために、大型パネルをキャビネット両側面のほぼ全面に配設し、少ない被覆率でより効率的な配置とした。



真空断熱パネルは、構造上樹脂フィルムで外周を覆っているため、真空度の保持が最大の課題である。真空度保持のために、ピンホールの極めて少ないアルミニウム箔を含む、4層ラミネートのガスバリアフィルム容器を採用した。また、パネル内部へ微量透過するガス成分(空気、水蒸気)や残留ガス成分も除去する必要があるため、物理吸着と化学吸着が可能なゲッタ剤を併用した。これらによってパネル内部圧力を数Paオーダーに保持し、高い断熱性の実現とともに経時安定性を大幅に改善した。

当社独自の加速試験条件に基づく推定では、冷蔵庫の平均使用年数である11年後の経年劣化を10%以下に抑えることが可能となった。

更に、組込みに際しては、ホットメルト接着剤を真空断熱パネル全面に均一に塗布して強固に外箱と固定することにより、キャビネットの外観と強度を確保した。

6 ツインプラズマユニットによる冷凍鮮蔵

前年度機種から冷蔵循環経路に搭載している光プラズマユニットは、臭気物質の分解除去、浮遊菌の活動抑制、果物などから発生するエチレンガスの吸着・分解などにより食品の

鮮度を保持する装置で、今回はこれに加え、冷凍冷気の循環経路に同機能のプラズマユニットを新たに搭載した(図2)。

これにより、ホームフリージング時の肉や魚の臭気が、自動製氷した氷やごはん、アイスクリームなどに移るのを防ぐ。特に氷に関しては、製氷前の給水タンクでの移臭は冷蔵室に作用する光プラズマユニットで、また製氷中及び貯氷中の移臭はプラズマユニットで抑えることにより、におい移りのないおいしい氷ができる。

冷凍室に用いたプラズマユニットは、セラミック電極に交流高電圧(約4.5 kV)を印加することでプラズマ(電離)空間を作り、そこで発生するオゾンの強力な酸化分解作用により脱臭を連続的に行う。オゾンと臭気成分がセラミックハニカム触媒に吸着し、臭気成分は触媒上でオゾンにより低臭気物(無臭物)に分解される。ヤシガラ活性炭などの吸着作用を利用した市販脱臭剤のように定期的に交換といった手間がなく、メンテナンスフリーである。

冷凍室プラズマユニットは、指標臭気ガス(アンモニア)の濃度減衰特性から、プラズマユニット未搭載の従来機種及び市販脱臭剤に対して、約3倍の脱臭能力を備える。

7 あとがき

環境への影響が小さいノンフロン冷蔵庫を他社に先駆けて発売するとともに、省エネにおいても業界トップクラスの低消費電力量を達成することができた。

今後とも、環境に関する技術において冷蔵庫業界における先駆者であり続けるために、ノンフロン化などの環境負荷低減技術を他の冷蔵庫にも拡大採用し、環境調和型製品の開発に取り組んでいく。



岩井 隆賀 IWAI Takayoshi

東芝家電製造(株)家電機器開発部 要素技術第一担当主査。
家電機器の要素技術開発に従事。高分子学会会員。
Toshiba HA Products Co., Ltd.



苗村 好郎 NAEMURA Yoshiro

東芝家電製造(株)冷蔵庫商品部 冷蔵庫技術担当。
冷蔵庫の開発・設計に従事。日本機械学会会員。
Toshiba HA Products Co., Ltd.



野口 明裕 NOGUCHI Akihiro

東芝家電製造(株)家電機器開発部 要素技術第一担当主務。
家電機器の要素技術開発に従事。日本冷凍空調学会会員。
Toshiba HA Products Co., Ltd.