

衛藤 浩\*  
大矢恵司\*  
西岡孝真\*

# 新薄型断熱構造“SMART CUBE”

*New Thin Heat-Insulated Structure "SMART CUBE"*

*Hiroshi Eto, Keiji Oya, Takamasa Nishioka*

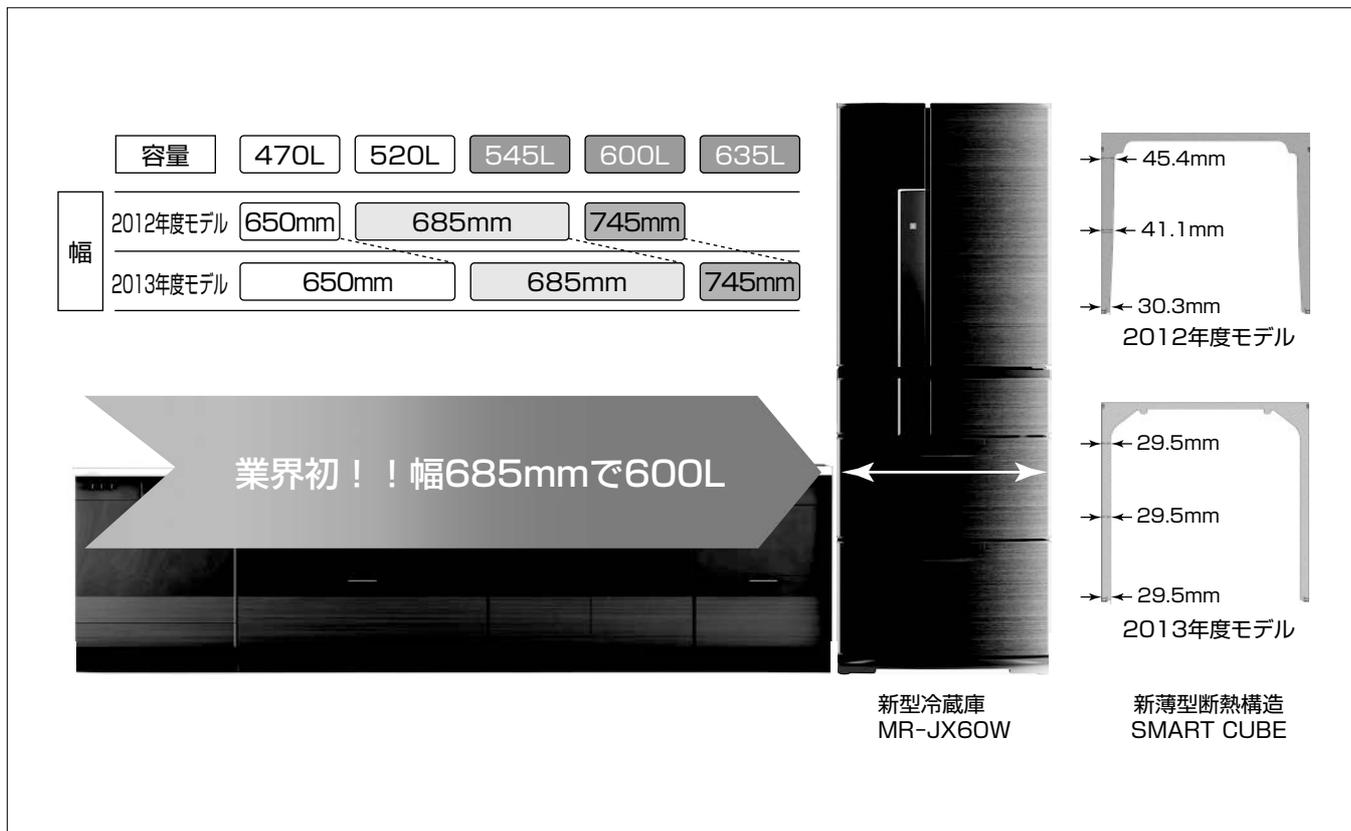
## 要 旨

近年、核家族化や共働き家庭が増加傾向にあり、食品類の買いだめをする家庭が増加している。消費者の冷蔵庫の収納容積拡大に対するニーズが年々高まる中、冷蔵庫業界でも、年々収納容積(以下“内容積”という。)を拡大した冷蔵庫を開発してきた。しかしながら、“キッチンのスペースには限りがあり、大容量の冷蔵庫を置きたくても置けない”といった消費者も数多く存在する。

これを受け、2013年度モデルの開発では設置幅寸法を変えず内容積の改善を図るため、大幅に冷蔵庫の箱体を変更した。その改善方法として、冷蔵庫の箱や扉の断熱厚を薄くすることが挙げられる。断熱厚を薄くする方法としてはウレタンフォームに対して断熱性能の優れた真空断熱材(VIP)で冷蔵庫を被覆することが考えられる。

しかしながらVIPの被覆に関しては他社特許が登録されており、被覆率を上げることができない状況であった。他社特許を回避する手法を模索する中で発想を転換し、VIPを配置してからウレタンフォームを接着剤として充填することで、ウレタンフォームの厚みを極限まで低減するという設計手法を生み出した。これによって他社特許を回避するとともにVIPの被覆率を大幅に上げることができた。さらに、VIPの3D曲げ加工技術の確立とウレタン発泡治具のスライド構化を行って、内容積の改善を可能にする新薄型断熱構造“SMART CUBE(スマートキューブ)”を開発した。その結果、業界初<sup>(注1)</sup>の幅685mmで600Lの内容積を実現できた。

(注1) 2012年8月21日現在、当社調べ



## 新型冷蔵庫“MR-JX60W”

新薄型断熱構造“SMART CUBE”の開発によって、業界初の幅685mmで600Lの内容積を実現した。

## 1. ま え が き

近年、核家族化や共働き家庭が増加傾向にあり、食品類の買いだめをする家庭が増加してきている。消費者の冷蔵庫の内容積拡大に対するニーズが年々高まる中、冷蔵庫業界でも、年々内容積を拡大した冷蔵庫を開発してきた。また、大容量を求める消費者に対しては、製品寸法を拡大した冷蔵庫の開発を行うことで市場のニーズに応えてきた。

しかしながら、“キッチンのスペースには限りがあり、大容量の冷蔵庫を置きたくても置けない”といった消費者も数多く存在する。冷蔵庫の設置幅と設置可能率の相関(図1)を見てみると、750mm幅を設置可能な消費者は約半数しかおらず、700mm幅では約80%まで設置可能率が上昇することが分かる。現在、世の中に存在する750mm幅冷蔵庫の内容積は600L、また、700mm幅は550Lなので、世の中の半数の家庭では600Lが設置できない現状にある。

そこで三菱電機冷蔵庫の2013年度モデル“JXシリーズ”では、550Lクラスの設置幅寸法で600Lクラスの内容積を可能とする新薄型断熱構造SMART CUBEを開発した。

## 2. 新断熱設計手法の確立～設計の革新～

### 2.1 内容積拡大方法の抽出

冷蔵庫で、内容積拡大手法は大きく分類すると、“製品寸法の拡大”と“構成部品の体積削減”が挙げられる。設置幅寸法はそのまま内容積拡大を、JXシリーズの開発目標としているため、構成部品の体積削減に着手した。

初めに、550Lクラスの冷蔵庫で、設置空間に占める構成要素の比率を調査した(図2)。この結果から、内容積以

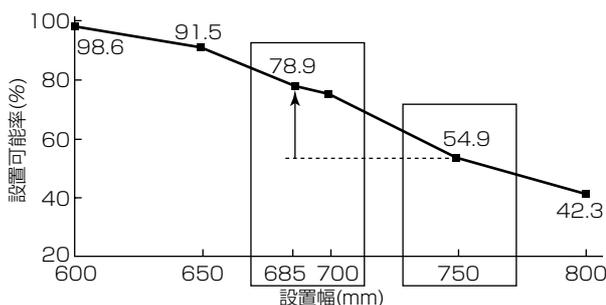


図1. 冷蔵庫設置幅と設置可能率の相関

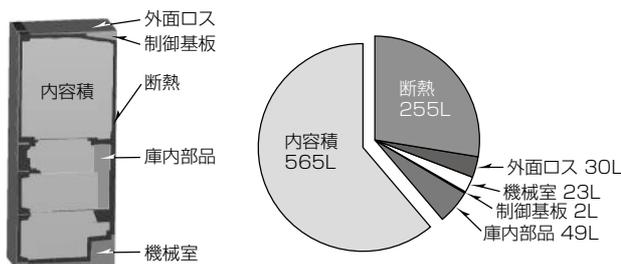


図2. 冷蔵庫の設置空間分析

外で、断熱が大きな空間を占有していることが分かる。内容積拡大のためには、断熱容積を内容積に転換することが重要となる。

その転換方法として冷蔵庫の箱や扉の断熱厚を薄くすることが挙げられる。断熱はウレタンフォームと真空断熱材(VIP)で構成されており、冷蔵庫の性能を左右する最重要部品の一つである。そのため、単純に断熱厚を薄くすると、冷蔵庫の冷却性能の低下が生じてしまう。これを解決する方法は、ウレタンフォームに対して熱伝導率が1/10以下のVIPで冷蔵庫全体を被覆して、VIP投影面積上のウレタンフォームの厚みを減少させることで、断熱性能の低下を最小限に抑制しつつ断熱容積の内容積への転換を行うことである<sup>(1)</sup>。

### 2.2 内容積拡大に対する課題と解決方法

VIPを冷蔵庫全体に被覆するためには他社の登録特許回避が課題となった。その特許の内容は“密度60kg/m<sup>3</sup>以下のウレタンフォームとVIPとからなり、VIPの被覆率が外箱表面積の40%を超えるドアを3つ以上持つ断熱箱体”となっている。

従来はこの特許が存在していたため、VIPの被覆率(外箱表面に対するVIP被覆面積の割合)40%が上限となっていた。特許回避のために、ウレタンフォームの密度を60kg/m<sup>3</sup>より大きくすることを検討した。

ここで、ウレタンフォームの密度と熱伝導率の相関を調査した結果を図3に示す。図からウレタンフォームは密度が高くなるほど熱伝導率が上がり、ウレタンフォームの断熱としての性能が低下することが分かる。

ここで、2012年度モデルの550Lクラス“RX57T”でウレタンフォームの密度を40kg/m<sup>3</sup>から60kg/m<sup>3</sup>に変更した際の、VIP被覆率と熱漏洩(ろうえい)量(冷蔵庫内部への外部入熱量を測定したもの)を図4に示す。この結果から、ウレタンフォームの密度が60kg/m<sup>3</sup>より大きくてもVIP被覆率を50%以上にすることで、断熱性能は2012年度モデルと同等以上となることが分かった。

これらのことから、ウレタンフォームを密度60kg/m<sup>3</sup>より大きくし、かつVIP被覆率50%以上にすることで、断熱性能を確保しつつ他社の特許回避が可能となる。

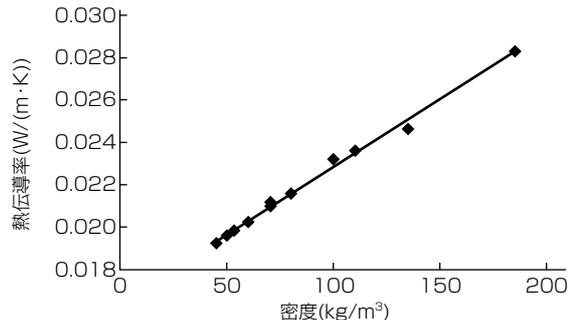


図3. ウレタンフォーム密度と熱伝導率の相関

2.3 断熱設計の手法

断熱設計の従来手法としては冷蔵庫の基本性能を決める断熱を、まずウレタンフォームで設計し、次に省エネルギー性向上のためにVIP配置を決める方法を取っていた(図5)。このようにVIPを省エネルギー性向上アイテムとして活用していた。

他社特許回避のため、ウレタンフォームの密度を上げると、熱伝導率を悪化させるため、従来手法では断熱性能が悪化してしまう。そこで発想の転換を行った。

初めに断熱性能に優れたVIPで断熱設計を行い、次にウレタンフォーム厚を最小に設計し、ウレタンフォームをVIPとその周辺部品とを固定する接着剤として充填することとした(図6)。これによって、断熱材の主材料がウレタンフォームから熱伝導率の低いVIPに変更となり、VIPを省エネルギー性向上アイテムから、断熱厚最小化を行える内容積拡大アイテムとして取り扱うという設計の革新が行われた。

このような断熱設計手法を用いて開発したのが新薄型断熱構造SMART CUBEである。

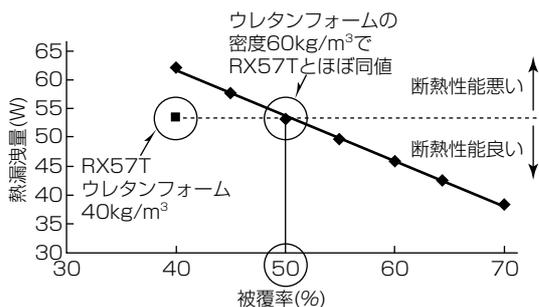


図4. VIP被覆率と熱漏洩量

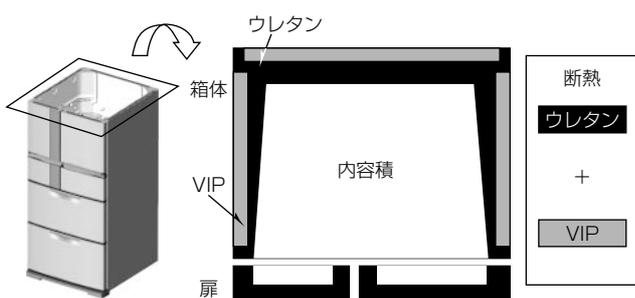


図5. 断熱設計の従来手法

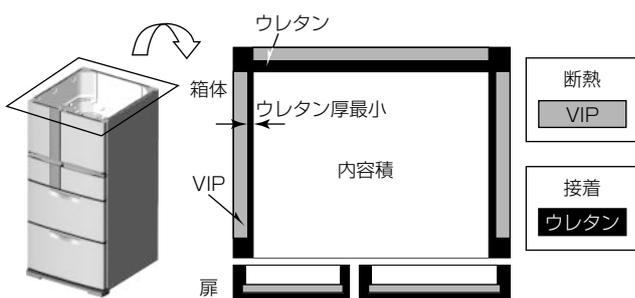


図6. 断熱設計の手法

3. 新薄型断熱構造SMART CUBEの開発  
～製造技術の進化～

3.1 開発目標の設定

表1に示す2012年度モデルの他社600Lクラスと、当社の550Lクラスを比較すると、685mm幅を維持したまま、内容積を35L拡大することで、業界初の幅685mmで600L超えが可能となる。これをJXシリーズの開発目標と設定した。

3.2 VIPの3D曲げ加工

2.3節で述べた断熱設計の手法を用いてウレタンフォームの密度を60kg/m³より大きくし、かつ冷蔵庫の6面にVIPを配置し、ウレタンフォームの厚みを最小にすることで、内容積を24.6L拡大することが可能となる。

しかしながら、図7に示すような2つの面が接する場所には当社で従来使用している板状VIPでは被覆できない場所が存在し、VIP間の隙間から冷蔵庫内部への熱侵入の経路ができ、断熱性能の悪化が発生する。

そこで、VIPを曲げ加工して、2つの面が接する場所を被覆可能にする3D曲げ加工技術を確立した。これによってVIPが被覆できない場所を最小限に抑制することが可能となり、図8に示すように被覆率を39%から65%に大幅に

表1. JXシリーズの開発目標設定

	2012年度モデル		2013年度モデル
	他社	RX57T	目標
設置寸法(mm)	幅	740	685
	高さ	729	733
	奥行き	1,818	1,821
内容積(L)	603	565	600

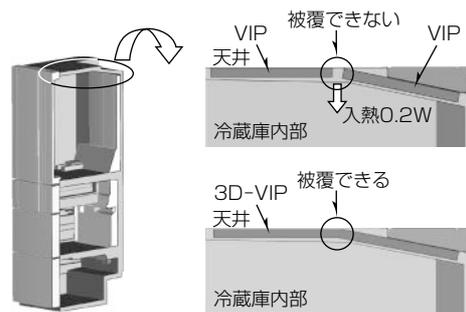


図7. 3D曲げ加工VIPの適用

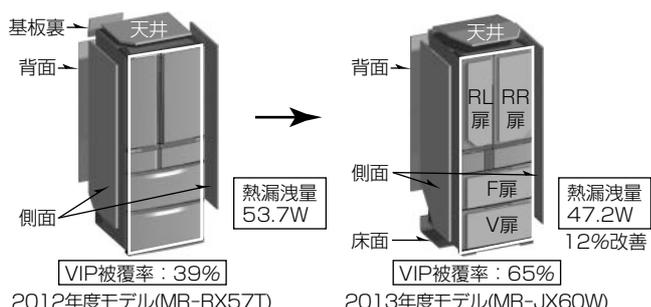


図8. VIP配置の仕様

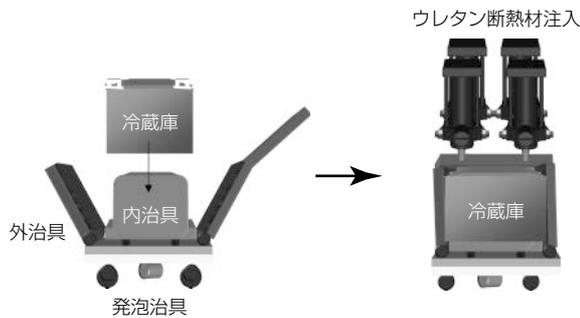


図9. 冷蔵庫のウレタン発泡工程

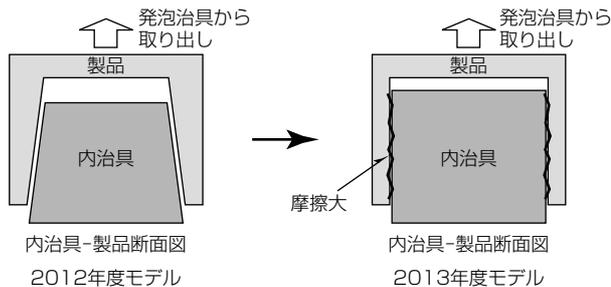


図10. 冷蔵庫ウレタン発泡治具の傾斜

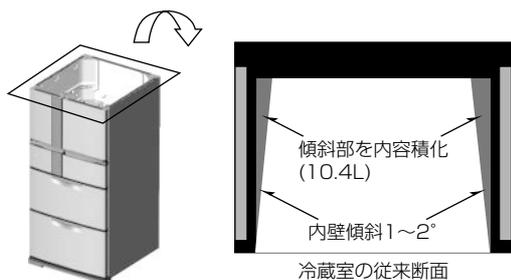


図11. ウレタン発泡治具の傾斜廃止による内容積拡大

向上させ、24.6Lの内容積を確保しつつ、熱漏洩量を2012年度モデルよりも12%低減できた。

### 3.3 ウレタン発泡治具のスライド構造化

冷蔵庫のウレタン発泡工程を図9に示す。冷蔵庫ではウレタンの発泡圧による変形を抑制するため、発泡治具に収納してウレタン発泡を行う。ここで図10に示すように、従来のウレタン発泡治具では製品を取り出す時に、スムーズに取り出せるよう、傾斜角1~2°を設けている。治具取り出しのために設けられている傾斜角を0°にすることで、図11に示すように内容積を10.4L拡大することが可能となることに着目し、製造技術の進化を図った。

従来の方式では傾斜を0°にすると治具と冷蔵庫の壁で大きな摩擦が発生してしまい取り出せなくなるため、ウレタン発泡治具にスライド機構を追加することとした。このウレタン発泡治具は、冷蔵庫を取り出す際、側面を押さ

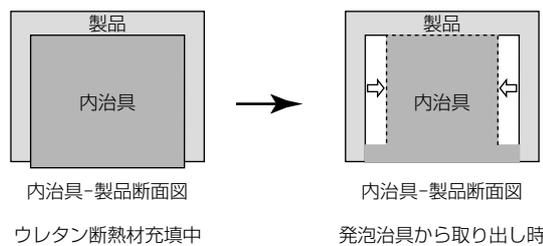


図12. ウレタン発泡治具のスライド機構

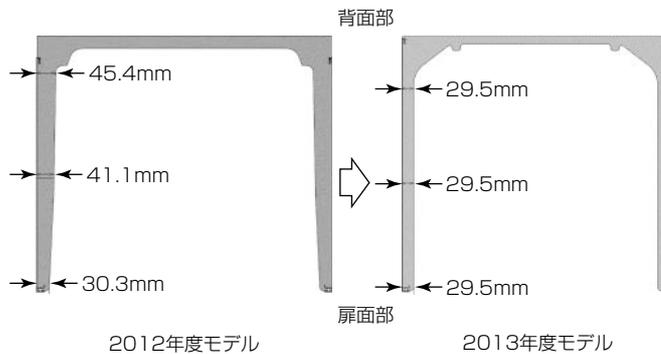


図13. 断熱厚の縮小

ている面が内側にスライドして収納される機構になっており、冷蔵庫を取り出す際に、隙間を確保できる機構となっている(図12)。

これによって、治具を取り出すのに従来必要であった傾斜角を0°にすることで、内容積を10.4L拡大することができ、3.2節の24.6L拡大と合わせて内容積35L拡大を実現した。図13に断熱厚さを内容積に転換した最終断熱厚を示す。

## 4. むすび

当社冷蔵庫JXシリーズの“新薄型断熱構造SMART CUBEの開発”について述べた。他社特許を回避するとともにVIPの被覆率を39%から65%に大幅に上げた設計手法の革新や、ウレタン発泡治具のスライド構造化等の製造技術の進化によって、業界初の設置幅685mmで600Lの内容積を実現させた。

今後、更に大容量化のニーズが高まっていくと考えられる中、設置スペースを変えず内容積を最大にする製品開発に臨み、市場のニーズに応えていきたい。

## 参考文献

- (1) 小林 孝, ほか: 冷熱空調家電でのCFD活用による省エネルギー上流設計・検証解析技術, 三菱電機技報, 87, No.4, 240~243 (2013)