

少し未来の温冷感を先読みする ルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”

濱田 慎悟*
仁吾 昌弘**
成 アンナ***

Room Air Conditioner "Kirigamine FZ Series" Predicting Perceived Temperature in Near Future

Shingo Hamada, Masahiro Nigo, Anna Sung

要 旨

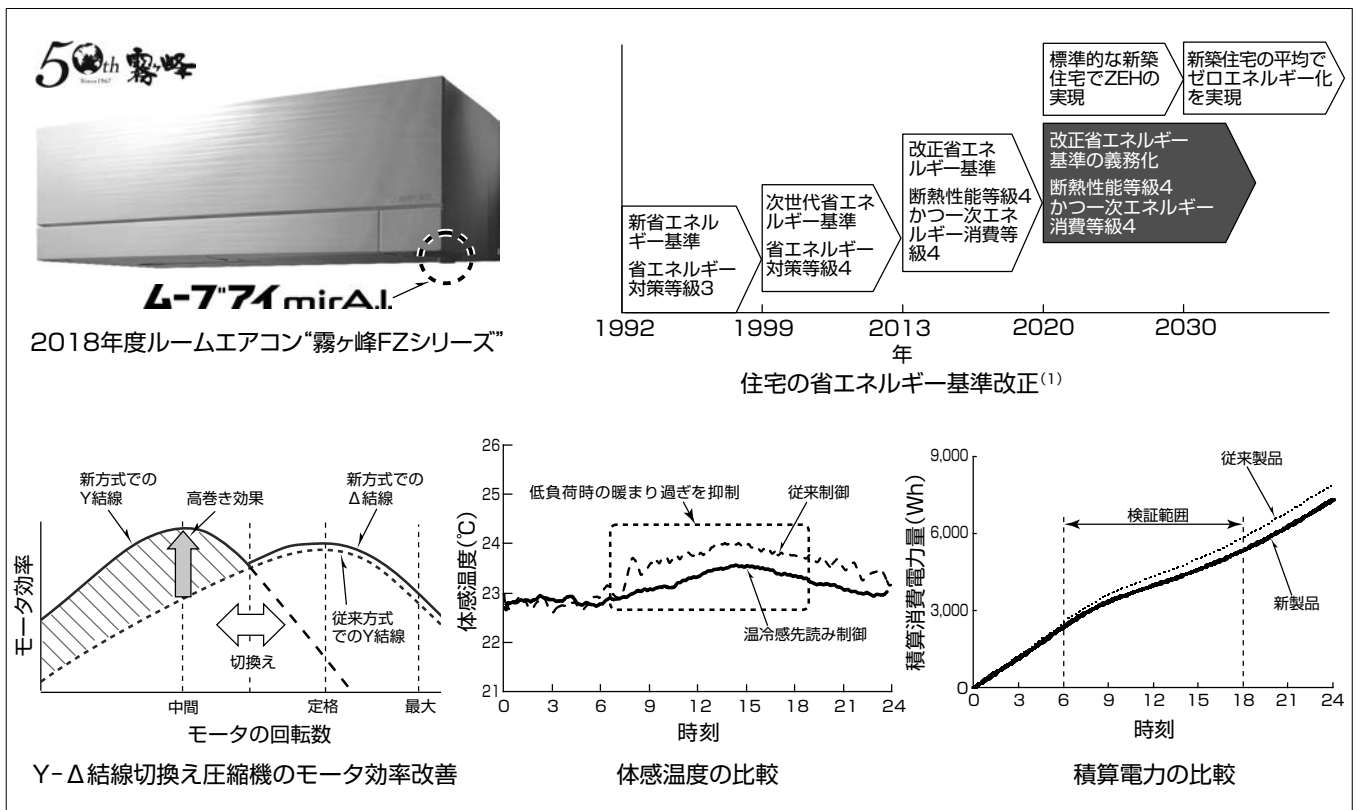
“ムーブアイ mirA.I.(ミライ)”を搭載し、住宅の断熱性能を学習しつつ、外気温や日射の温度変化を見ながら、少し未来の温冷感を先読みして快適性を高めて節電する2018年度ルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”(2017年11月発売)を開発した。

ルームエアコンは、住宅の広さ(畳数)に応じて必要な冷却能力(定格能力)が定められている。これは従来の住宅で、能力不足が発生しないような熱負荷を想定して算出されたものである。しかし、地球規模で低炭素社会が推進されている中、経済産業省では住宅の断熱性能を強化してCO₂排出量を削減する取組みが段階的に行われている。特に、2013年に改正された住宅の“改正省エネルギー基準”は、2020年に発売される新築住宅の過半数で、住宅の正味のエネルギー消費量をゼロにするZEH(Net-Zero Energy House)対応を目標にしている。つまり、ルーム

エアコンの省エネルギー技術開発では、高気密・高断熱住宅に合わせた機器の高効率化と、熱環境の変化に合わせた快適性の実現が重要となってくる。

新FZシリーズでは、ハードウェア面での省エネルギー技術の進化として、圧縮機に搭載しているDCモータの結線を、低負荷時には“Y結線”，高負荷時には“Δ(デルタ)結線”に切り換えることで、中間能力(低負荷)と定格能力(高負荷)のそれぞれで効率のピークを持つ巻線設計を可能にした。

ソフトウェア面での省エネルギー技術に関しては、エアコンの空調負荷から住宅の断熱性能に相当する“Q値(熱損失系数)”をAI(Artificial Intelligence)で学習し、冷やし過ぎ(暖め過ぎ)を抑制するとともに、外気温や日射熱の変動から、少し未来の温冷感を先読みすることで、快適性を高めつつ節電する技術を開発した。



新型サーモパイルセンサ“ムーブアイmirA.I.”搭載のルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”

高気密・高断熱住宅に合わせた快適性と節電を実現するため、新型サーモパイルセンサ“ムーブアイmirA.I.”を搭載したルームエアコン霧ヶ峰FZシリーズを開発した。新FZシリーズでは、圧縮機モータのY-Δ結線切換えによる効率改善と、ムーブアイmirA.I.による少し未来の温冷感先読み制御で快適性向上と節電を実現している。

1. ま え が き

2013年に改正された住宅の“改正省エネルギー基準”は、現在義務化はされていないものの、2020年には将来のZEHの普及を見据えて、新築住宅の過半数でZEH対応を目標にしている⁽²⁾。ルームエアコンの開発では、今後増加してくる高気密・高断熱住宅に合わせた機器の高効率化と、熱環境の変化に合わせた快適性の実現が重要になってくる。

そこで2017年11月発売の新型サーモパイルセンサ“ムーブアイmirA.I.”を搭載したルームエアコン霧ヶ峰FZシリーズでは、ハードウェア面では省エネルギー性を改善するために、多くの電力量を消費する圧縮機を抜本的に見直し、低負荷と高負荷で結線方式を切り換えて、それぞれの領域で効率のピークを持つ圧縮機を実現した。また、ソフトウェア面での省エネルギー性に関しては、空調負荷から住宅の熱損失係数(Q値)をAIで学習して、高断熱住宅での低負荷時の冷やし過ぎ(暖め過ぎ)を改善するとともに、外気温や日射熱の時系列な温度変化から少し未来の温冷感を先読みして、快適性を高めつつ節電することを実現した。

2. 開発プロセス

ルームエアコンでは、圧縮機を駆動させるための電力が約8割を占めており、圧縮機に搭載されている高効率なDCモータが高い省エネルギー性を支えていると言っても過言ではない。そこで、開発の初期段階で、機器の効率を改善するために、圧縮機の駆動に関するロス分析を行った(図1)。電源プラグから基板に入力された電力は、周波数変換時にインバータで回路損失を生じ、その後DCモータのコイルで銅損を生じ、コイルが巻かれている電磁鋼板で鉄損を生じる。DCモータと同軸でつながったシリンダは、冷媒を吐出する際に摺動(しゅうどう)摩擦等による機械損失を生じる。

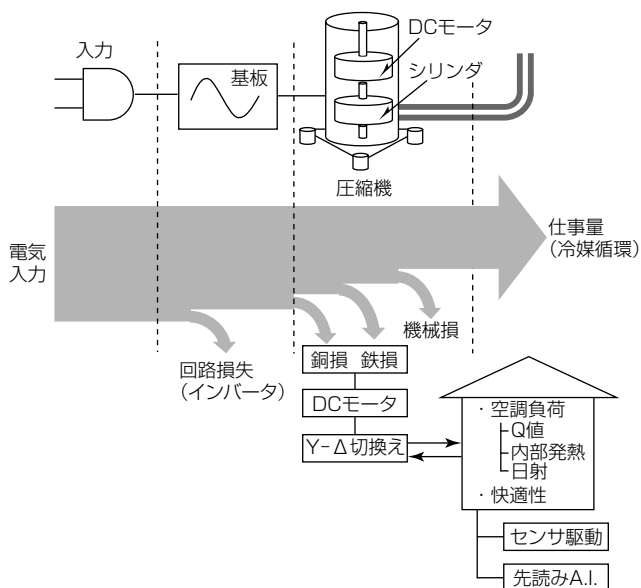


図1. 圧縮機のロス分析と開発内容

この分析結果からDCモータのY-Δ(ワイドデルタ)結線切換え方式については、結線の違いによってモータ回転時に発生する電圧や電流が異なるため、どちらの結線にたついても電圧や電流を制御できる駆動回路や、永久磁石が減磁しないための保護回路が重要であると考えた。

また、快適性評価のために、実際に断熱性能の高い住宅でエアコンを運転させてみると、立ち上がりは高負荷になる場合が多いが、その後刻々と変化する空調負荷の増減を正確に読むことができず、どのタイミングでΔからY(又はYからΔ)に結線を切り換えたらいのか、判断ができなかった。さらに、高気密・高断熱住宅の普及によって、冷やし過ぎ(暖め過ぎ)によって快適性が損なわれているケースがあり、新たなソフトウェア面での省エネルギー技術の開発が必要であると考えた。

3. Y-Δ結線切換え圧縮機の開発

3.1 高効率化とハイパワーのトレードオフ関係

図2に室外機に搭載されている(a)圧縮機、(b)圧縮機を駆動させるモータ、(c)モータを構成するコイルを示す。モータはインバータで駆動されるブラシレスDCモータであり、モータの効率を上げるために、コイルは細い銅線が数多く巻き込まれて形成されている。図3はモータの回転数とモータ効率の関係を示したものである。一般的に、コイルの巻数を増やすとモータ効率が上昇するが、コイルに生じる電圧が巻数に比例して上昇するため、コイルの電圧が供給電圧を超えた領域では、コイルに電流を流して電圧を抑制する必要がある。すると、モータ効率が下がるため駆動可能な上限回転数が低下してしまう(運転不可能領域を

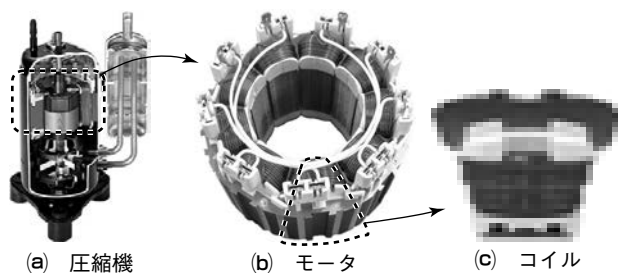


図2. 圧縮機のDCモータ

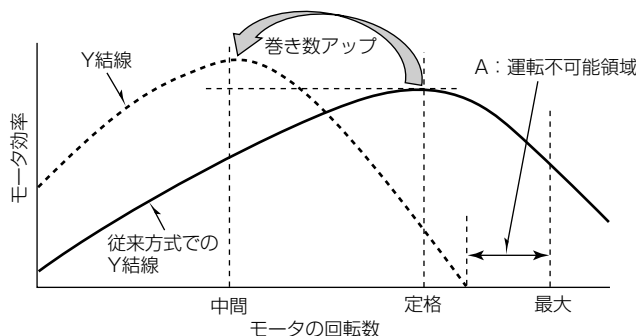


図3. 回転数とモータ効率の関係

図3のAに示す)。これは、モータ効率とハイパワーがトレードオフの関係にあることを示している。従来は、ハイパワーを出すために、負荷の高い定格条件で効率のピークを持たせていたため、負荷の低い中間条件でのモータ効率を高くできないという課題があった。

3.2 結線切換え方式の検討

モータのコイルの結線方法には“Y結線”と“Δ結線”があり、図4(a)に三相インバータに接続された2つの結線方式でのコイルの配置図を示す。Y結線は三相コイルの片側が共通接続されており、Δ結線は三相コイルが環状に接続されている。Y結線は、Δ結線に比べてインバータの相間電圧(コイルの電圧に相当)が $\sqrt{3}$ 倍となり、出力電流は $1/\sqrt{3}$ 倍の関係になる。電流が小さくなることで、インバータ損失やモータの鉄損を下げることができ、高効率な駆動が可能となる。逆に、Δ結線はY結線に比べてインバータの相間電圧が $1/\sqrt{3}$ 倍となり、出力電流は $\sqrt{3}$ 倍の関係となる。電圧が小さくなることで、供給電圧に対する余裕が生じ、ハイパワーまで駆動が可能になる。

従来は、負荷の低い中間条件の効率を改善したくても、ハイパワーを出す必要があったため、コイルの巻数を多くできないという課題があった。そこで今回、図4(b)に示す結線切換え方式を開発した。駆動回路は、従来の構成に電磁リレーを設けた構成になっており、電磁リレーを制御することで、Y結線とΔ結線を切り換えることができる。さらに、Y結線とΔ結線のそれぞれで効率がピークを持つように調整する新制御を追加することで、1つの回路でモータ結線を自由に選択駆動することが可能になった。これによって、コイルの巻き数を従来比で1.6倍にすることで(図5)、中間領域での高効率化と、Δ結線によるハイパワー化の両立を空調業界初^(注1)で実現した(図6)。

また、ブラシレスDCモータでは、コイルに流れる電流が許容値を超えてしまうと永久磁石が減磁してしまうため、インバータ出力電流に保護レベルを設けて電流を制限する必要がある。図7にY結線とΔ結線の永久磁石を保護するためのインバータ出力電流のしきい値を示す。Y結線とΔ結線で電氣的に $\sqrt{3}$ 倍の関係性があるため、電流保護レベルを一緒にすることができないという課題があった。そこで、モータ結線仕様に応じて適切な電流保護レベルを選択できる“レベルセレクト回路”を付加した新型駆動回路を開発することで、この課題を解決することができた(図8)。

(注1) 2017年8月22日現在、三菱電機調べ

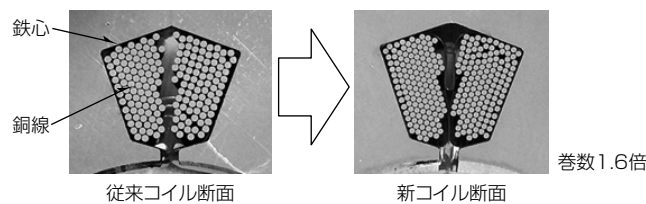


図5. コイルの高巻き化

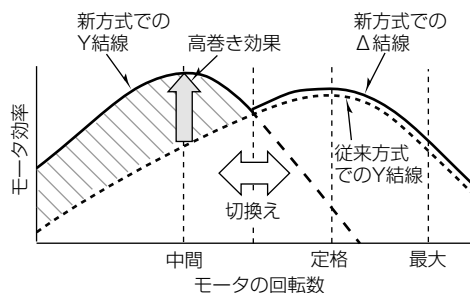
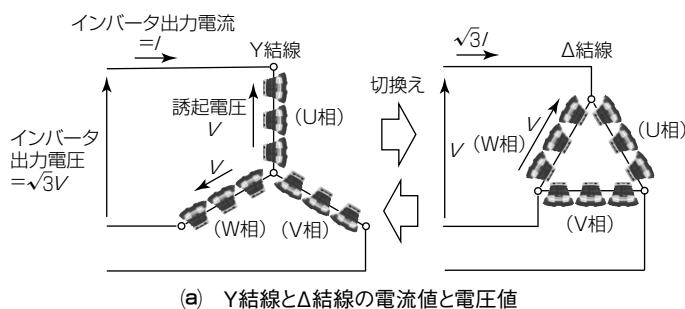
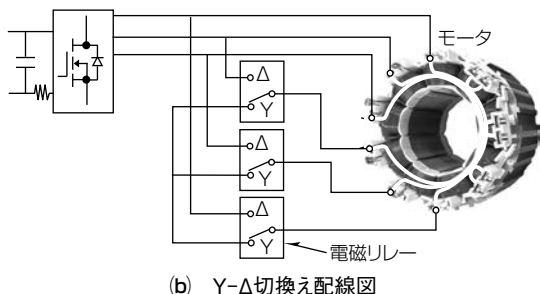


図6. Y-Δ結線切換えによる効率改善



(a) Y結線とΔ結線の電流値と電圧値



(b) Y-Δ切換え配線図

図4. Y-Δ結線切換え方式

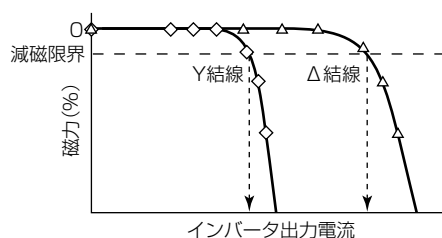


図7. モータ減磁特性

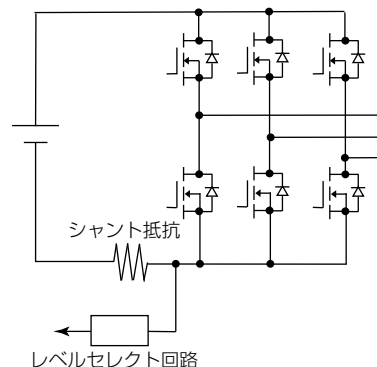


図8. 新型駆動回路

4. 住宅の熱負荷検知による快適性の向上

4.1 熱収支の仮説モデル

当社は断熱性能の高い実証試験住宅を建設し、将来のZEH対応を見据えた空調機の開発を行っている(図9)。図10は住宅での冷房時の熱の収支を示した模式図であり、表1にその分類と考え方を示す。外気温が一定な条件では室内での熱収支はゼロになることから、①外皮からの熱貫流量と、②家電品等による内部発熱量と、③窓から侵入する日射熱量の合計は、④エアコンの排熱量に等しくなる。ここで、日射影響に関しては、①(ii)外皮を加熱することによる熱貫流量の増分と、③窓から侵入する熱量に分けて考



図9. 当社の実証試験住宅

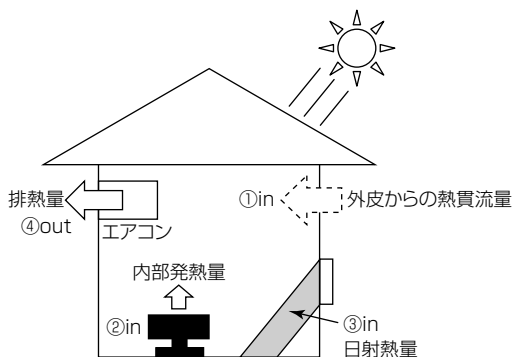


図10. 冷房時の熱収支

表1. 住宅での熱収支分析

	熱の分類	考え方	計算方法
①	(i) 外皮からの貫流熱	室温と外気温との差(ΔT)で熱伝導する量(Q ₁ = a ₁ × ΔT)	Q = a × ΔT と仮定 (a = a ₁ + a ₂ + a ₃)
	(ii) 日射負荷分の貫流熱(窓以外の外壁から)	1日の中では変動するが、平均的には外皮熱貫流率に0.034を乗じて計算することが可能(Q ₂ = a ₂ × ΔT)。ここで a ₂ = a ₁ × 0.034	
	(iii) 換気負荷・隙間風	風量一定の場合はΔTに比例すると仮定(Q ₃ = a ₃ × ΔT)	
②	内部発熱	家電品のON-OFF等による自己発熱量	ほぼ一定とする
③	窓から侵入する日射熱	太陽高度や窓の方角・大きさ等に起因するため、ΔTと相関なし	ムーブアイで補正
④	エアコンによる排熱	空調機の能力	ε-NTU法で計算

NTU: Number of Transfer Units

えた。前者は外皮熱貫流率に一定の係数を掛けて計算することが可能なため、外気温と室温の差(ΔT)に比例するものと仮定し、後者は人の快適性に影響を及ぼすためムーブアイで補正する方法を検討した。近似関数の勾配(a)は熱損失係数を、切片は内部発熱量になる。ここで、熱的にバランスが取れていない“非平衡状態”では、断熱性能が高い住宅(aが小さい)ほど、設定温度に到達するまでの時間が短いため、到達後すぐにパワーを落とすことができず、冷やし過ぎ(暖め過ぎ)の問題が発生する。

4.2 実証住宅による熱損失係数の学習精度検証

仮説モデルが正しいかどうかを検証するために、図9の実証試験住宅を使ってデータを採取した(図11)。“●”は内部発熱なしのデータ、“○”は、一定の内部発熱量を強制的に与えた場合の結果である。空調負荷が高い側にオフセットされた傾向が見られ、この検証結果から住宅の断熱性能に相当するQ値(熱損失係数)を高い精度で学習できる画期的なアルゴリズムを開発することができた。

4.3 少し未来の温冷感を先読みする“ムーブアイ mirA.I.”の開発

実証試験でQ値を学習できることが分かったため、外気温を正確にコントロールできる環境試験室を用い、図12に示す冬の外気温や日射熱の変動影響を与えて、新型サーモパイルセンサ“ムーブアイ mirA.I.”の温冷感先読み制御

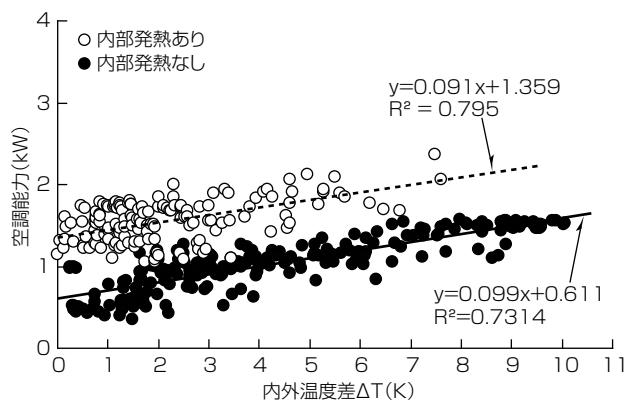


図11. 実証試験住宅での実測結果

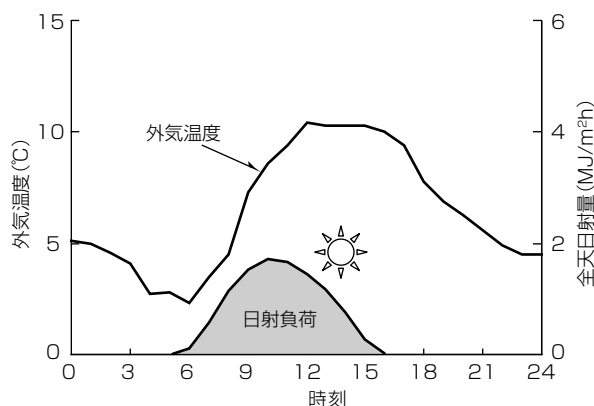


図12. 外気温条件

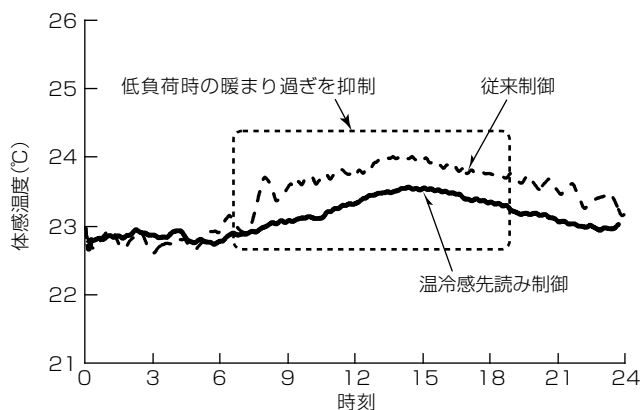


図13. 体感温度の比較

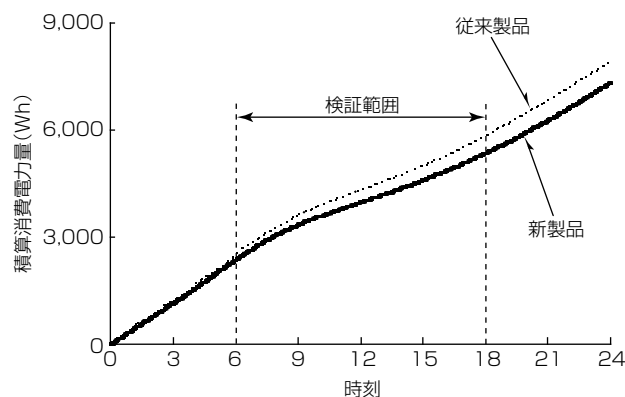


図14. 積算電力の比較

表2. 温冷感先読み制御によるソフトウェア面での省エネルギー効果^(注3)

	Q値学習	先読み制御		設定温度	体感温度	快適性	積算電力 6～18時	比率	節電効果
		外気温	日射熱(360°窓温度検知)						
従来製品	×	×	×	23℃	23～24℃	×	3,337(Wh)	基準	-
新製品	○	○	○		23～23.5℃	○			

(注3) 当社環境試験室試験結果 20畳, 外気温と日射負荷は変動, 設定温度: 23℃, 機種: MSZ-FZ6318S形, 活動量による節電効果は含まず。

によるソフトウェア面での省エネルギー効果を暖房運転で実測した。図13に従来制御と温冷感先読み制御の体感温度の違いを示す。従来制御では負荷が小さくなると体感温度が上昇して暖め過ぎが発生しているのに対し、温冷感先読み制御では体感温度の上昇が抑制されている。温冷感先読み制御では、負荷が下がった場合の暖め過ぎを抑制することで、快適性を維持しつつ、10.4%の節電を実現できることが分かった(図14, 表2)。

5. む す び

“ムーブアイ mirA.I.”を搭載し、住宅の断熱性能を学習しつつ、外気温や日射熱の温度変化を見ながら、少し未来

の温冷感を先読みして快適性を高めつつ節電するルームエアコン霧ヶ峰新FZシリーズの技術について述べた。今後、ハードウェア面とソフトウェア面での省エネルギー技術の進化を融合させながら、更に低炭素社会に貢献できるルームエアコンの開発に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) ㈱新昭和FCパートナーズ：クレバリーホーム、「ZEH(ゼッチ)」ってどんな家？
<http://www.cleverlyhome.com/column/zeh/>
- (2) 国土交通省：省エネルギー基準改正の概要
<https://www.mlit.go.jp/common/001012880.pdf>