

インバーター一体型モータ

Inverter-Integrated Motor

宇津野 良 UTSUNO, Makoto

松井 康平 MATSUI, Kohei

近年、電動機（モータ）の高効率化や可変速システムによる省エネルギー化が加速している。富士電機は、モータにインバータ機能を内蔵したインバーター一体型モータを開発した。モータ単体が高効率であるだけでなく、インバータ制御による可変速運転を組み合わせることで大幅な省エネルギー効果が得られ、また一体化による小型化も実現している。省エネルギー効果は、効率クラス IE1 の標準モータに対して 45% 低減（1,923 kWh/年）、IE3 の「プレミアム効率モータ」に対して 43% 低減（1,742 kWh/年）となった。

Recently, energy saving by improving motor efficiency and adopting variable speed control systems have come to be accelerated. Fuji Electric has developed an inverter-integrated motor, which incorporates inverter functions into a motor. In addition to adopting a high efficient motor, variable speed operation with inverter control achieves significant energy saving effect. Moreover, it achieves downsizing by the incorporation. The energy-saving effect amounts to a reduction of 45% (1,923 kWh per year) from standard motors with IE1 class efficiency and 43% (1,742 kWh per year) compared to IE3 "Premium Efficiency Motors."

1 まえがき

地球温暖化防止を背景として電動機（モータ）の高効率化やシステムの省エネルギー（省エネ）化が加速している。空調機分野では、可変速運転により省エネを行うためインバータ搭載機が増加している^{(1),(2)}。富士電機は、モータとインバータについて多種多様なシリーズを提供しており、これらを組み合わせてさまざまなシステムに対応している。

今回、省エネだけでなく、小型・省スペース化や取付け工事の短縮などの要求が増加していることを踏まえ、モータにインバータの機能を内蔵したインバーター一体型モータを開発した。

2 省エネルギー化の要求

2.1 モータの消費電力量の現状^{(3),(4)}

日本における家庭用・業務用・産業用を合わせたモータの普及台数は約 1 億台とされている。これらのモータによ

る年間消費電力量は、国内の全消費電力量の約 55% を占める。産業部門に限った産業用モータの年間消費電力量は、産業部門の約 75% を占めている（図 1）。モータの消費電力量が半数以上を占めており、モータの省エネ化が求められている。

2.2 可変速運転による省エネルギー

一般的にファンの風量やポンプの流量は、ダンパやバルブを使って調整されている。しかし、このような調整方法では、風量や流量を下げてモータの軸動力の大幅な低減は期待できない。そこで、インバータを用いた回転速度による制御を行うと、電力は回転速度の 3 乗に比例するので大幅な省エネを図ることができる。図 2 に風量と所要動力の関係の例を示す。インバータ制御において、特に、風量が少ない場合に大きい省エネ効果が得られる。ファンなどの空調用途では、必要風量に合わせて回転速度を制御することで省エネを図ることができる。

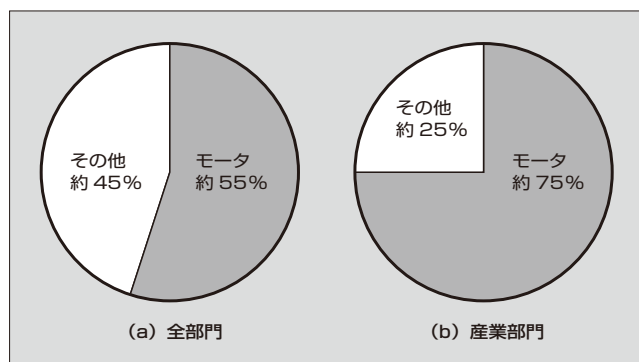


図 1 国内の年間消費電力量におけるモータの占める割合

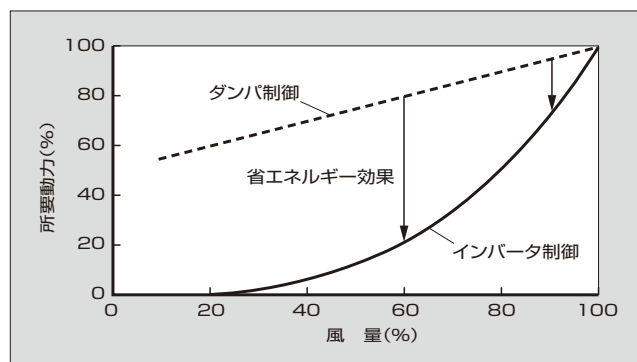


図 2 風量と所要動力の関係の例

3 開発機の仕様と構造

3.1 開発機の仕様

開発機の仕様を表1に示す。回転速度の範囲を50～1,000 r/minとし、モータ単体の効率は、IEC 60034-30-1で規定されているスーパープレミアム効率と呼ばれる効率クラスIE4以上の高効率を実現している。また、インバータの性能や機能は、富士電機の「FRENIC-Mini (C2S)」と同等である。開発機は、モータ単体で高効率であるだけでなくインバータ制御による可変速運転を組み合わせることで、大幅な省エネが可能である。

3.2 開発機の構造

図3に開発機の外観を示す。モータフレームにインバータの機能を内蔵している。空調機器のファンを駆動する用途を前提とし、ファンの冷却風を利用してインバーター一体型モータを冷却する構造とした。また、冷却能力を向上させるため、アルミニウムフレームを採用した。インバータを格納するフレーム部において、特にフレームの内側で電子部品の発熱が大きい箇所では冷却面積を十分に確保しつつ、風の流れの抵抗が大きくなる構造とした。モータ単体効率が効率クラスIE4と高いことと、出力やトルクの大きさ、定出力運転範囲がないことなどの観点から、フェライト磁石を採用した永久磁石式同期モータとした。また、インバータ出力部とモータ入力部の間隔が短くなる

表1 インバーター一体型モータ（開発機）の仕様

| 項目 | 仕様 |
|---------|--|
| 定格出力 | 1 kW |
| 定格回転速度 | 1,000 r/min |
| 入力電圧 | 3φ, 200 V級 |
| 効率 | 84.1%以上（モータ単体） (IEC 60034-30-1規定のクラスIE4) |
| 温度範囲 | -20～+60℃ |
| インバータ性能 | FRENIC-Mini (C2S) 相当 |
| 耐振動 | 1 G, 10-150-10Hz×20サイクル 1オクターブ/分, X-Y-Zの3方向 |

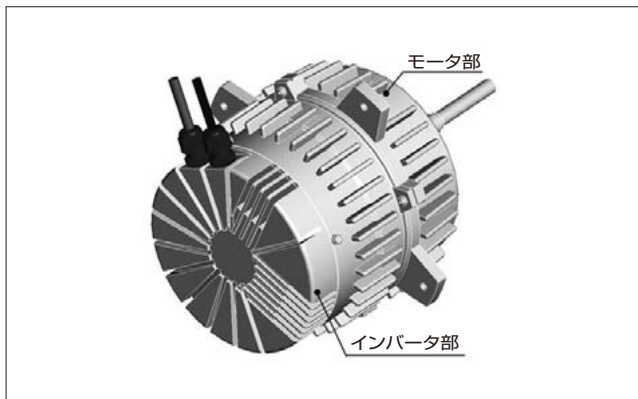


図3 インバーター一体型モータ（開発機）

ことで、配線定数に起因するマイクロサージ電圧による絶縁劣化を低減することが可能な構造である。

4 試験結果

4.1 効率測定

ファンを取り付けた状態でトルク-効率特性試験を行うことは困難であるため、インバーター一体型モータのシャフトを、負荷機として使用するモータにカップリングを介して接続し、冷時状態で測定した。図4に、回転速度を1,000 r/minの一定条件における負荷特性を示す。定格トルク9.55 N・mでは、モータ単体の要求効率84.1%よりも高い実測効率86.3%が得られた。

4.2 実負荷温度試験

図5に実負荷試験装置を示す。簡易風洞装置を作製し、その中に装置を取めて試験を行った。流量、静圧、インバーター一体型モータの各部の温度は、それぞれ流量計、圧力計、熱電対を使って測定した。

図6に、定格負荷時の各部品の温度の実測値と熱流体解析による解析値を示す。同図の横軸(a～l)はインバータ基板を含めた各部品である。図から次のことが分かった。

- (a) 各部品の温度の解析値は、実測値とおおむね一致し、温度上昇の誤差は平均で17%である。
 - (b) 部品の温度は許容値以下である。
- 特に部品gなどの実測値と解析値の誤差が大きい部品

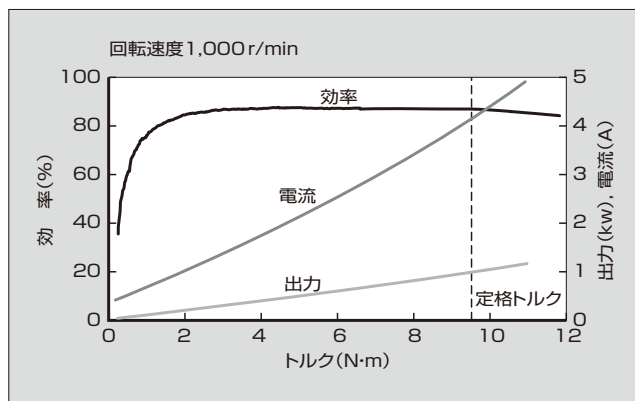


図4 負荷特性（モータ単体）

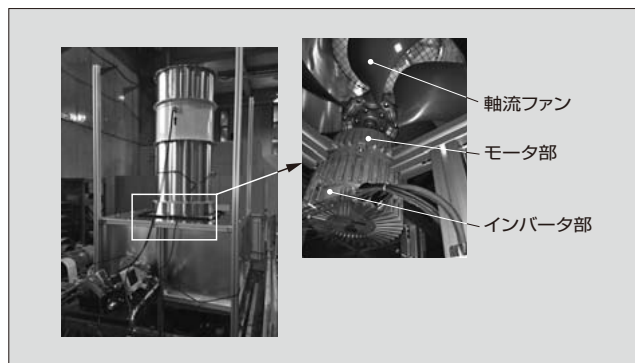


図5 実負荷試験装置

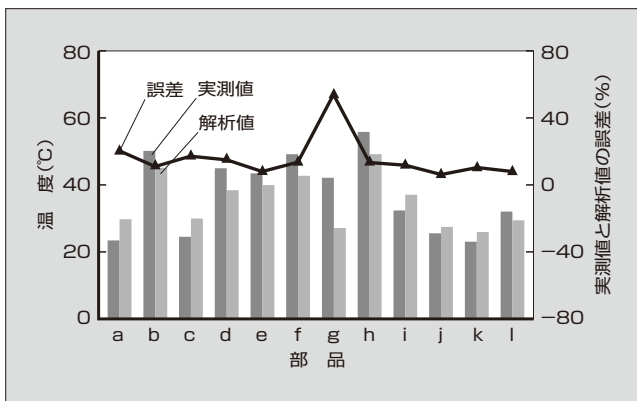


図6 定格負荷時の各部品の温度実測値と解析値

は、近傍に配置されている他の部品の発熱による影響を受けていると考えられ、インバーター一体型モータのフレームを流れる冷却風の剥離による冷却能力の低下など、解析精度向上のための検討項目が得られた。

4.3 耐振動試験

ガスヒートポンプなどの空調用室外機は、装置内部にコンプレッサやエンジンが組み込まれている。これらの機器の振動により、同じ装置に組み込まれるモータにも振動が加わる。そこで過去の実績を基に耐振動試験を行い、試験後にインバーター一体型モータの各部に損傷がないことを確認した。

インバータの各部品の固有振動数（共振周波数）を測定するため、インバータ基板単体での打撃試験と、これに合わせて基板単体のモーダル解析を解析ツール ANSYS Workbench^(注) を用いて行い、実測と比較した。図7に、インバータ基板の固有振動数の実測値と解析値を示す。横軸（A～D）はインバータ基板を含む各部品である。実測値と解析値の誤差は最大5%であり、精度は良好であった。しかし、開発仕様の耐振動の周波数範囲である10～150 Hzの間で一部の部品が固有振動数を持っていることが判明した。この周波数の範囲は、空調機器内のエンジン

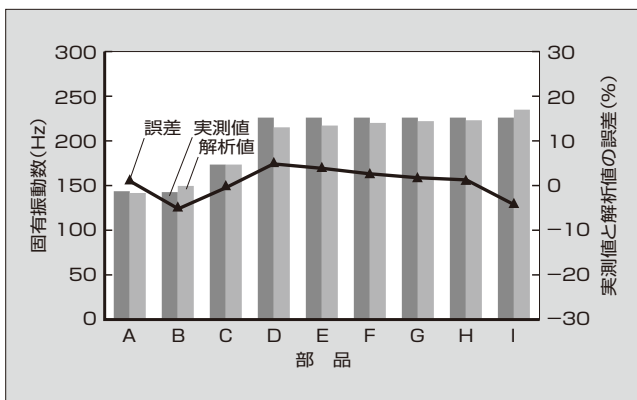


図7 インバータ基板の固有振動数の実測値と解析値

〈注〉 ANSYS Workbench：ANSYS Inc. および ANSYS Inc. 子会社の商標または登録商標

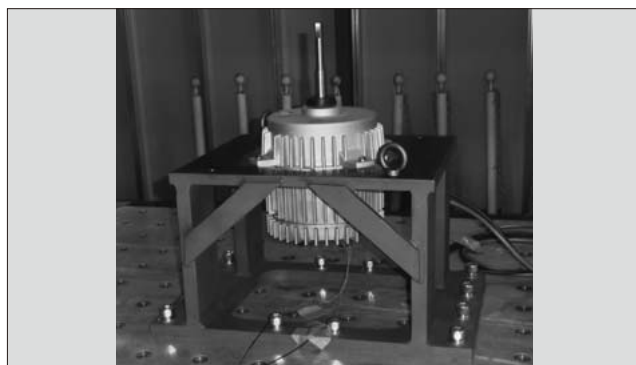


図8 耐振動試験の状況

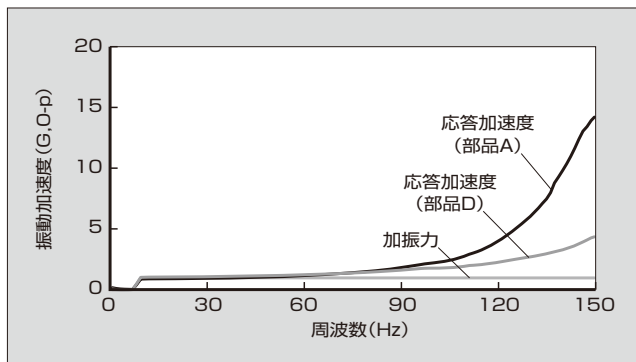


図9 部品AとDの振動加速度の周波数特性（Y方向）の例

やコンプレッサによる振動の周波数帯である。開発仕様の振動を受けても、実用上支障を来さないように、加振試験時に特に注視すべき部品であることをつかんだ。

図8に耐振動試験の状況を示す。試験において、インバーター一体型モータを固定する治具は、ANSYS Workbenchによる固有値解析において固有値が200 Hz以上であり、治具による影響がないことを確認している。

図9に、部品AとDの振動加速度の周波数特性（Y方向）の例を示す。150 Hz以下での共振は見られず、開発仕様を満足した。加振試験後にインバーター一体型モータを分解し、部品を含めて不具合は生じていないことを確認している。

5 省エネルギー効果と小型化

5.1 省エネルギー効果

インバーター一体型モータについて、標準モータ（効率クラスIE1）と2015年4月から始まる効率規制に対応したトップランナーモータ「プレミアム効率モータ」（効率クラスIE3）を比較対象として省エネ効果を検証する。省エネ効果の例として、図10に省エネルギー効果の例を示す。年間の消費電力量の比較と各機種における電力量料金を示している。

消費電力量と電力量料金は次の条件により算出している。

(1) 機種

- 標準モータ：MLC1107B, 1.5 kW, 6極
- プレミアム効率モータ：MLU1107B, 1.5 kW, 6極

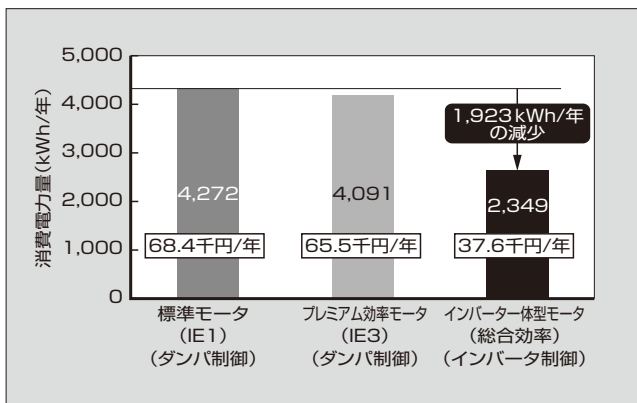


図10 省エネルギー効果の例

- インバーター体型モータ：1.5kW，1,000r/min
- (2) 条件
 - 1日10時間運転，年間250日稼動，風量80%
 - 電力量料金単価16円/kWh〔一般社団法人日本電機工業会（JEMA）においてトップランナーモータの省エネ効果の算出に用いられる単価〕
 - 標準モータ，プレミアム効率モータ：ダンパ制御
インバーター体型モータ：インバータ制御（図2に示した風量と所要動力との関係を用いて算出）

図10から、インバーター体型モータによる省エネ効果は、標準モータに対して45%低減（1,923kWh/年）、プレミアム効率モータに対して43%低減（1,742kWh/年）となる。また電力量料金は、標準モータに対して30,772円/年、プ

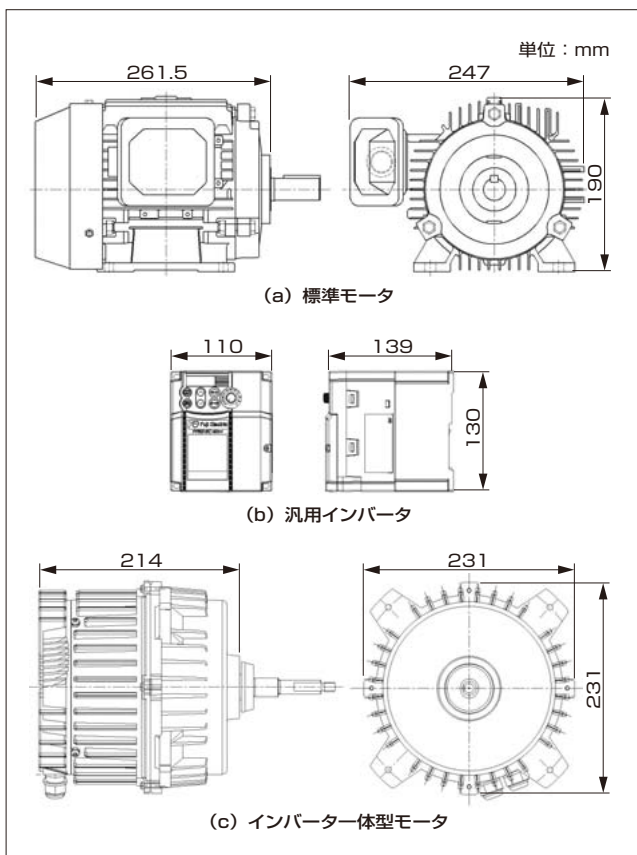


図11 各機種の外形

表2 体積と質量の比較

| 機種 | 体積と質量 |
|-------------------------------|--|
| 標準モータ MLC1097B 1.5kW，4極 | 体積：12.27×10 ⁶ mm ³ 質量：16.5kg |
| 汎用インバータ FRN1.5C2S-2J | 体積：1.99×10 ⁶ mm ³ 質量：1.7kg |
| インバーター体型モータ | 体積：11.42×10 ⁶ mm ³ 標準モータ単独との比較：-7% 標準モータ+汎用インバータとの比較：-20% 質量：12.5kg 標準モータ単独との比較：-24% 標準モータ+汎用インバータとの比較：-31% |

レミアム効率モータに対して27,872円/年の低減効果が得られる。

5.2 小型化

標準モータ，汎用インバータ，インバーター体型モータについて、図11に各機種の外形図を、表2に体積と質量の比較を示す。インバーター体型モータと標準モータのトルクは同等である。標準モータに対してインバーター体型モータは、体積は7%減，質量は24%軽量化した。また、標準モータと汎用インバータを組み合わせた可変速システムとの比較では、体積は20%減，質量は31%軽量化した。

これまで述べてきたインバーター体型モータとしての効率特性，温度，耐振動の評価以外に，インバータ基板単体の駆動評価，および汎用インバータとの比較を行い，駆動性能や高調波のレベルなどが同等の性能であることを確認した。

6 あとがき

モータにインバータ機能を内蔵したインバーター体型モータについて述べた。今後，インバータ・ドライブ技術と回転機技術の融合により，さらなる高効率・省エネルギー化，小型・軽量化を目指して開発を進め，地球温暖化防止に貢献していく所存である。

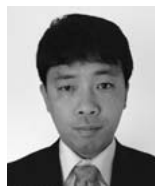
参考文献

- (1) 花田雄一，村山大. オフィスビル空調の省エネ化リニューアル技術. 東芝レビュー. 2010, vol.65, no.5, p.27-30.
- (2) 一般社団法人日本電機工業会. INVERTER2015 伸びゆくインバータ. JEMAパンフレット. 2015.
- (3) 一般社団法人日本電機工業会. 地球環境保護・省エネルギーのために“トップランナーモータ”2015年度の基準達成に向けて. JEMAパンフレット. 2013.
- (4) 財団法人 エネルギー総合工学研究所. 平成21年度省エネルギー設備導入促進指導事業（エネルギー消費機器実態等調査事業）報告書.（資源エネルギー庁委託事業）. IAE-0919107, 2010.



宇津野 良

回転機的设计開発を経て事業企画に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス事業本部回転機事業部管理部主任。電気学会会員，日本磁気学会会員。博士（工学）。



松井 康平

パワーエレクトロニクス機器の研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所パワーエレクトロニクス技術開発センター電機制御技術開発部主任。博士（工学）。





*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。