

# AC 長寿命プロペラファン MRE シリーズのラインアップ

五十嵐 正晃

## Lineup of **MRE** Series long-life AC propeller fan

Masaaki IGARASHI

Many fan motors are used for cooling electronic equipment, however the longevity of the fan is as short as 3~6 years compared with electronic parts, and it is necessary to periodically exchange the fans. A long-life operation is hoped for to reduce the periodic maintenance as a function required for the fan motor. To satisfy this demand, our company recently released the **MRE** Series AC input long-life fan in addition to the lineup of DC long-life fan **MDE** Series.

This article describes a validation methodology of the technology and the reliability that support the features and long-life operation of the products.

### 1. はじめに

ファンモーターは電子機器などの冷却に多く使用されていますが、ファンモーターの寿命は3~6年と他部品と比べると短く、定期的に交換が必要な部品として位置付けられています。当社では、このメンテナンス工数の低減を狙いとした DC 入力の長寿命プロペラファン **MDE** シリーズを 2000 年に発売しました。一方、AC 入力の小型ファンモーターでは、隈取りモーターが主流のため効率が悪いなどいくつかの原因でファンモーターの長寿命化が難しい面がありました。これらを克服し、AC 入力の長寿命プロペラファンを **MRE** シリーズとして取付角 104mm ~ 180mm の4タイプを発売しました。

ここでは商品の特徴、長寿命化を支える技術および信頼性の検証方法について述べます。



図1 MRE シリーズ

### 2. 製品の特徴

#### 2.1. 期待寿命 100,000 時間の長寿命

期待寿命 100,000 時間を達成し、24 時間、365 日連続運転で約 11 年間の使用に耐えます。装置のメンテナンス工数を低減でき、ランニングコストを抑えることができます。

期待寿命 100,000 時間とは、周囲温度 60℃（取付角 104mm、119mm は 50℃）において定格電圧・連続運転・フリーエアで運転し、100,000 時間運転後に下記の判定基準を満足するファンモーターが全体の 90% 以上であることを意味しています。

##### 【判定基準】

回転速度（定格電圧時） 定格の 70% 以上  
入力電流（定格電圧時） 定格の 130% 以内

#### 2.2. コネクタ接続

コネクタによる接続のため、配線作業を軽減できます。また、長寿命の単相電源入力タイプでは、進相コンデンサをファンモーター本体に内蔵しました。

#### 2.3. 回転低下アラーム付(取付角160mm、180mm)<sup>(1)</sup>

回転速度検出機能（内蔵のジェネレータ）を持たせ、ファンモーターの寿命や異物侵入などにより、所定の回転速度以下になると、アラーム信号を出力できるタイプです。ファンモーターが故障停止する前に交換ができますので、装置への影響を最小限に抑え、お客様の装置の信頼性向上を図れます。

### 3. 長寿命を支える技術

#### 3.1. 故障曲線と長寿命化

図2は時間経過に伴う故障発生の様子を表した故障率曲線です。この時間経過の中には、初期故障期間・偶発故障期間・摩耗故障期間<sup>(2)</sup>があります。長寿命設計において、これら3つの故障期間の故障を低減させ、また偶発故障期間を長くし、摩耗故障の開始時点をいかに遅らせるかがポイントとなります。

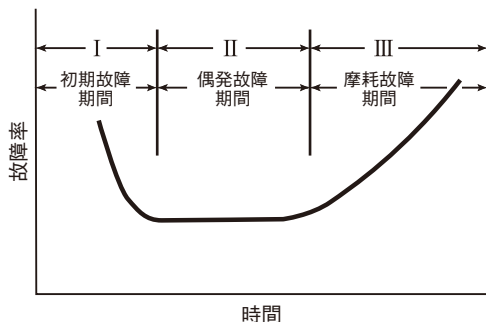


図2 故障率曲線

#### 3.2. 信頼性解析技術

長寿命で故障率の低いファンモーターを実現するために、信頼性解析技法を用いて、設計や工程管理の見直しを行いました。使用した信頼性解析技法はFTA（故障の木解析）とFMEA（故障モードと影響解析）です。まずFTAでは、ファンモーターを構成している部品（図3）ごとに、故障や寿命の低下につながる現象をリストアップするとともに、これらの起因現象を全て列挙しました（図4）。これにより特定できた事象に対し、長寿命化および故障率低減の対策をとりました。また、FMEAはファンモーターの故障モードを（I）初期故障期間、（II）偶発故障期間、（III）摩耗故障期間の3つに分割し、このうち（I）と（II）に適用しました。FMEAは故障や寿命低下の原因を全て洗い出し、過去のフィールドデータの結果や技術者が想定する原因を元にシートへまとめました。このFMEAの結果にもとづき、品質管理や工程管理を厳しくし、また設計を見直しました。

次項より、長寿命ファンの設計対策を述べます。

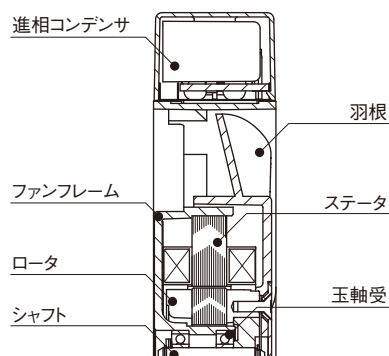


図3 ファンモーターの主な構成部品（単相電源入カタイプ）

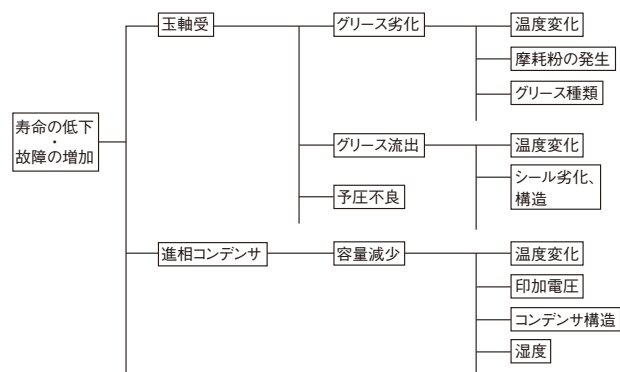


図4 FTA図（一部抜粋）

#### 3.3. 長寿命化設計

##### 3.3.1. 玉軸受

玉軸受の長寿命化では予圧管理とグリース寿命が重要です。

##### 1) 予圧管理

玉軸受の寿命には、転がり疲れ寿命とグリース寿命があります。ファンモーターの場合、玉軸受に加わる荷重は小さいため一般に転がり疲れ寿命は無視できるとされています。しかし、玉軸受に加わる荷重と転がり疲れ寿命の関係には、動等価荷重となる予圧が基本動定格荷重の約2%以上のとき、100,000時間以内に転がり疲れ寿命に至るケースがあります。<sup>(2)</sup> また、玉と内・外輪間の隙間に形成される油膜厚さの変化によって、表面が削れて生ずる摩耗粉がグリースの化学劣化に影響します。これらの現象に対しては玉軸受に加わる予圧の管理が重要になります。これに対し、部品の寸法公差を見直し、製造工程では部品寸法を実測し、適正予圧になるよう管理を行っています。

##### 2) グリース寿命

グリース寿命を伸ばすには、玉軸受の温度をいかに低減できるかが重要です。これに対し、放熱性向上として玉軸受を支えるハウジングをロータ内からファンフレームに構造変更を行いました。これにより、玉軸受に直接熱が伝達しないため、温度上昇の低減を図られました。またこの構造変更は、玉軸受の玉が外輪回転から内輪回転になり、玉軸受の自己発熱（局部発熱）を抑えることができます。<sup>(3)</sup>

##### 3.3.2. モーターの効率化

取付角119mmのAC入力MUシリーズには、隈取りモーターを採用しています。隈取りモーターはコンデンサランモーターに対し、進相コンデンサが不要というメリットがありますが、効率が劣ります。長寿命ファンには、効率の良いコンデンサランモーターと三相インダクションモーターを採用し、低発熱化を図りました。

この効果を取付角 119mm の MU1225S-11 と長寿命ファン MRE12-BH の比較で表1に示します。

表1 MU1225S-11 と MRE12-BH の比較 (100V、60Hz 時)

項目	MU1225S-11	MRE12-BH
モーターの種類	隈取りモーター	コンデンサランモーター
モーター損失	10.3W	6.5W
軸受温度上昇	25℃	10℃

### 3.3.3. 進相コンデンサ

コンデンサランモーターでは、進相コンデンサの長寿命化が必要です。コンデンサの印加電圧・使用温度や湿度などの環境ストレスに対し、長時間にわたって容量の減少を抑える必要があります。進相コンデンサの長寿命化は、コンデンサメーカー様との共同研究で達成できました。主な対策を以下に示します。

- ・セルフヒーリング性を改善した蒸着フィルムを使用
- ・従来品と比較して蒸着フィルムの電圧裕度を向上
- ・耐湿性などの対環境性能を向上

### 3.3.4. アラーム回路

回転低下アラーム回路の電子部品の故障モードは、初期故障を除けば偶発故障のみであるといわれています。偶発故障率を低減させる方法には、部品への負荷に対し余裕を持たせるデレーティングがあります。なお、アルミ電解コンデンサの容量減少に対しては、使用温度におけるリップル電流のデレーティングを行いました。

また、実装基板の表面には、塵埃の付着や湿気の侵入を防ぐために、コーティングを施しました。

さらに、電子部品を接続するはんだの機械寿命は、熱衝撃による影響を考慮する必要があります。プリント基板と電子部品（チップ部品）の線膨張係数が異なるため、はんだにストレスが加わり、クラックが入る可能性があります。そこで、この線膨張を考慮し、適切な基板材質やチップ部品の選定およびパターン設計を行いました。

### 3.3.5. 樹脂材料

羽根やジェネレータのボビンなど樹脂材料には、UL746B（Polymeric Materials - Long Term Property Evaluations；プラスチック材料の長期物性評価の規格）の RTI（Relative Thermal Index：相対温度指数）が高い温度定格の材料を採用しました。

表2に取付角 160mm 標準タイプの MRS16-BTA と長寿命ファン MRE16-BAH の材質および RTI を、ジェネレータのボビンの例で示します。

表2 ボビンの樹脂材料選定

項目	MRS16-BTA	MRE16-BAH
品名	PA (ポリアミド)	PBT (ポリブチレンテレフタレート)
RTI	65℃	140℃

## 3.4. 長寿命ファンの信頼性検証

長寿命 100,000 時間については実機による加速寿命試験で推定しています。

加速寿命試験の目的は、試験環境を厳しくすることで、物理的・化学的劣化を早め、寿命を短時間で推定することにあります。条件が厳しいほど短時間での推定が可能となりますが、部品の仕様を超える温度の試験では、故障モードが変わり、加速寿命試験が成り立たない場合があります。したがって、試験は個々の部品の仕様にあった形で行う必要があります。試験条件が重要なポイントになります。(4)

ここでは長寿命化に対する重要部品である玉軸受、アラーム回路の加速寿命試験条件の決め方を述べます。

### 3.4.1. 玉軸受

玉軸受については、3水準の温度で加速寿命試験を行っています。

玉軸受のグリースの寿命を決定する反応速度係数は、一般的に(1)式で示すアレニウスの式に従うことがわかっています。

$$K=A \cdot \exp\left(-\frac{E\alpha}{k \cdot T}\right) \dots \dots \dots (1)$$

- $K$ ：反応速度係数
- $A$ ：定数
- $E\alpha$ ：活性化エネルギー
- $k$ ：ボルツマン定数 ( $8.6159 \times 10^{-5} \text{eV/K}$ )
- $T$ ：温度 [K]

寿命  $L$  は、反応速度係数  $K$  に反比例するので(1)式の逆数を取って、

$$L=B \cdot \exp\left(\frac{E\alpha}{k \cdot T}\right) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $B$  は温度に依存しない定数。

(2) 式の両辺の自然対数を取って整理すると、

$$\ln L = \frac{E\alpha}{k} \cdot \frac{1}{T} + \ln B \dots \dots \dots (3)$$

となります。

この式は温度と寿命の関係を示しており、故障モードが同一であれば、温度  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  での寿命試験における寿命  $\ln L_1$ 、 $\ln L_2$ 、 $\ln L_3$  と、温度  $1/T_1$ 、 $1/T_2$ 、 $1/T_3$  の関係は図5のようになり、傾き  $E\alpha/k$  と定数  $B$  を求めることができます。図5より、実使用温度  $T_0$  における寿命が推定できます。この図のことをアレニウスプロットと呼びます。

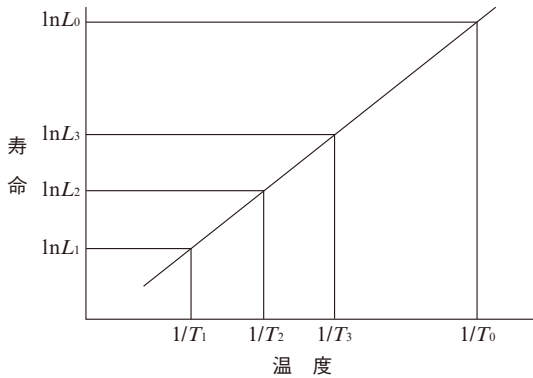


図5 アレニウスプロット

### 3.4.2. アラーム回路

アラーム回路は、はんだの接合部が長寿命 100,000 時間を満足することができるか、温度サイクルによる加速寿命試験により検証しました。

ここでは、はんだ接合部の熱疲労破壊について説明します。一般に、はんだ接合部の熱疲労寿命は、Coffin-Manson モデルの修正式で表されます。(5)

$$N = C \cdot f^m \cdot (\Delta\varepsilon)^n \cdot \exp\left(\frac{H}{k \cdot T_{max}}\right) \dots\dots\dots (4)$$

$N$ : 破断寿命

$C$ : 定数

$f$ : on / off 周波数

$m$ : 周波数パラメータ (1/3)

$\Delta\varepsilon$ : 熱疲労ひずみ振幅

$n$ : 材料で決まる定数 (ストレスパラメータ) (1.9)

$H$ : 活性化エネルギー (0.123eV)

$T_{max}$ : 最高試験温度 [K]

また、熱疲労ひずみ振幅  $\Delta\varepsilon$  は、次式で表されます。

$$\Delta\varepsilon = \alpha \cdot \lambda \cdot \Delta T \cdot \left(\frac{V}{\pi \cdot r^2 \cdot h^{1+\beta}}\right)^{1/\beta} \dots\dots\dots (5)$$

$\alpha$ : 線膨張係数

$\lambda$ : DNP (ストレスの中心点からの距離)

$\Delta T$ : 温度サイクルの温度幅

$V$ : 接合部のはんだ体積

$r$ : バンプの半径

$h$ : バンプの高さ

$\beta$ : 定数

(4),(5) 式から、温度サイクル試験の実使用環境に対する加速係数  $AF$  は、次式で表されます。

$$AF = \left(\frac{f_f}{f_t}\right)^m \cdot \left(\frac{\Delta T_f}{\Delta T_t}\right)^{-n} \cdot \exp\left\{\frac{H}{k} \left(\frac{1}{T_{max-f}} - \frac{1}{T_{max-t}}\right)\right\} \dots (6)$$

$f_f$ : 実使用条件での on / off サイクル数

$f_t$ : テスト条件での on / off サイクル数

$\Delta T_f$ : 実使用条件での温度幅

$\Delta T_t$ : テスト条件での温度幅

$T_{max-f}$ : 実使用条件での最高温度

$T_{max-t}$ : テスト条件での最高温度

この加速係数  $AF$  で試験サイクル数を決定し、実使用環境下ではんだ付け部推定寿命が、100,000 時間であることを判定しています。

なお、試験条件は以下の条件で行っています (表3)。

表3 温度サイクル試験条件

試験条件	
最高温度	125°C
最低温度	-40°C
保持時間	30分
試験サイクル数	24 サイクル/日

### 3.5. 製造工程の管理

長寿命ファンは部品品質および製造工程で、従来のファンモーターの工程とは異なった管理が必要です。以下に具体的な対応を述べます。

- ・ 玉軸受はアンデロンメータ(注1)による全数検査
- ・ 玉軸受の定期的な抜き取り分解検査
- ・ 部品寸法管理による予圧の全数管理
- ・ リフローはんだの温度プロファイル管理
- ・ はんだ槽の不純物管理
- ・ 防錆管理
- ・ 構成部品のトレーサビリティ





(注1) 玉軸受の音響検査を行う検査装置で、玉軸受の状態を数値化して表すことができます。

### 4. ラインアップ

表4に AC 長寿命プロペラファン MRE シリーズのラインアップを示します。

また、図6に風量-静圧特性を示します。

表4 MRE シリーズのラインアップ

種類	MRE10		MRE12		MRE16		MRE18	
サイズ	□ 104mm-28mm 厚		□ 119mm-28mm 厚		□ 160mm-62mm 厚		□ 180mm-90mm 厚	
外観								
タイプ	標準タイプ		標準タイプ		標準タイプ	回転低下アラーム付	標準タイプ	
電源電圧	単相 100V	●	●	—	—	—	—	—
単相 100/110/115V	—	—	—	●	●	●	●	●
単相 200V	●	●	—	—	—	—	—	—
単相 200/230V	—	—	●	●	●	●	●	●
三相 200/220/230V	—	—	—	—	●	●	●	●

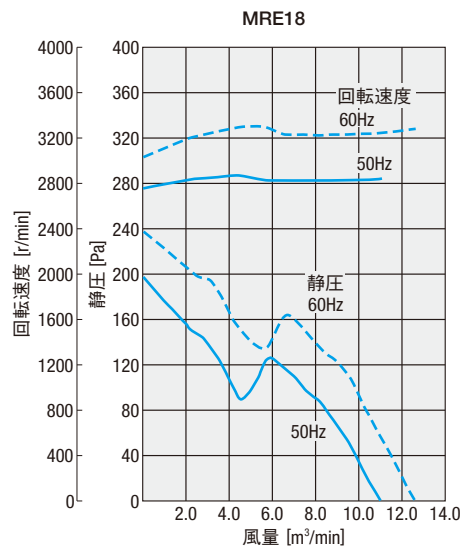
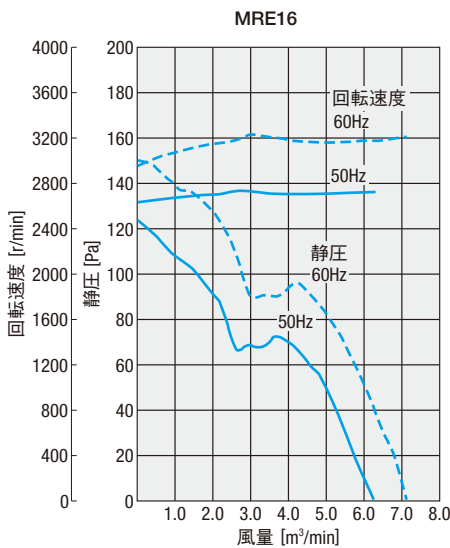
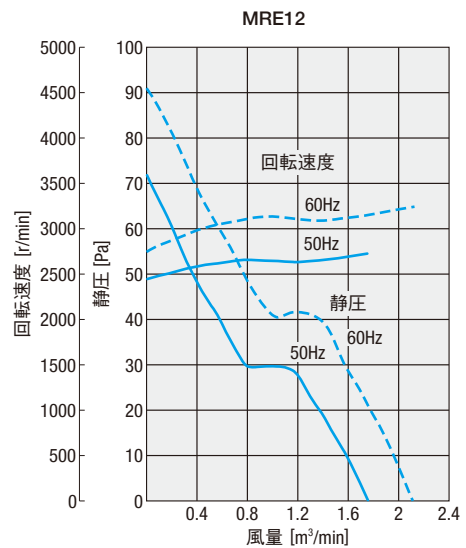
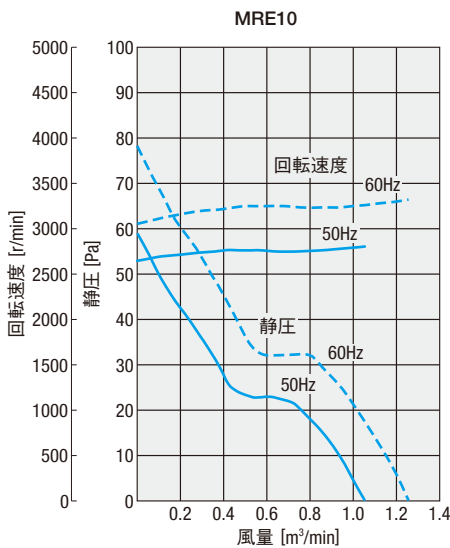


図6 風量-静圧特性

## 5. まとめ

AC 長寿命プロペラファンの特徴、長寿命化を支える技術および信頼性の検証方法について述べました。

隈取りモーターを採用したファンモーターでは商用電源で容易に駆動することができますが、一方でモーター効率が DC ファンに比べて低いなどの点から、長寿命化が難しい面がありました。

この度、DC 入力の長寿命ファンに加え、AC 入力の長寿命ファンがラインアップされたことにより、長寿命ファンの選択肢が広がりました。

今後も、長寿命ファンのラインアップを充実し、お客様の要望に応じていきたいと考えています。

### 参考文献

- (1) 五十嵐 孝, 「回転低下アラーム付 DC プロペラファン MDA シリーズについて」, RENGA, No.171, (2008)
- (2) 伊藤 孝宏, 「ファンモーターの長寿命化技術」, RENGA, No.170, (2007), p26-27
- (3) 川村 隆之・南 政美・平田 正和, 「密封玉軸受のグリース寿命予測」, NTN (株), TECHNICAL REVIEW, No.69, (2001)
- (4) 高久 清・山本 繁晴・柴田 義文・佐伯 輝憲・岩間 英雄, 「デバイス・部品の信頼性試験」, 信頼性 110 番シリーズ 第 2 巻, (1992), 株式会社 日科技連出版社
- (5) 実装システム標準化委員会 (社団法人 日本電子機械工業会), 「CSP・BGA パッケージ実装状態での環境及び耐久性試験方法」, EIAJ ET-7407, (1999)

筆者



五十嵐 正晃

TM 事業部  
技術部 開発課