

# 「小型モータを材料で科学する」 目次

## 第1章 小型モータとは

### 1. 小型モータの歴史

- 1.1 電磁誘導現象の発見からモータの実用化
- 1.2 小型モータ産業の黎明期

### 2. 日本の小型モータ産業

- 2.1 第二次世界大戦後の発展
- 2.2 小型モータは「産業の米」
  - 2.2.1 ソニー
  - 2.2.2 松下電器(ナショナル)
  - 2.2.3 重電三社(日立、東芝、三菱)
- 2.3 日本小型モータ産業の海外移転、そして「冬の時代」

へ

- 2.3.1 戦後ビジネスモデルの研究と開発
- 2.3.2 真の国際競争力をなくした末路
- 2.3.3 バブル経済への突入から粗製乱造へ
- 2.3.4 人件費削減目的での製造拠点の海外移転は麻薬と

同じ

- 2.3.5 成功組、失敗組
- 2.3.6 冬の時代
- 2.4 日本小型モータ産業のこれから
- 2.5 資源に頼らない国際ビジネス
- 2.6 小が大を喰う
- 2.7 勝ち組の条件/負け組の条件
  - 2.7.1 勝ち組の条件:イノベーションのある会社(技術/経営方式/経営者の質)
  - 2.7.2 負け組の条件:強いリーダーシップ、国際性・先見性のない会社
- 2.8 米国の実力を甘く見るな(技術/国際政治力) SMMA 会議に参加して

### 3. 国内外の小型モータの協会組織と認識

- 3.1 世界の関連団体
- 3.2 日本の協会組織

### 4. 小型モータの定義

- 4.1 定義の前提
- 4.2 定義までの道程
- 4.3 学術的見地から考える

### 5. 分類と特徴

- 5.1 使用モータを決める要因
- 5.2 代表的な各種モータの構造図と動作原理
- 5.3 機能・用途による分類

- 5.4 それでも統一されない「小型モータ」の規格

### 6. 小型モータのキーワード

- 6.1 製造技術 Top10
- 6.2 材料技術 Top10
- 6.3 小型モータ業界の受け入れ検査の代表的な評価関数事例

## 第2章 小型モータ主要材料の役割と特性

### 第1節 カーボンブラシ, 整流子

#### 1. はじめに

##### 1.1 カーボンブラシの基本

- 1.1.1 最も重要なカーボンブラシの役割
- 1.1.2 整流子表面の皮膜について
- 1.1.3 小型モータ用カーボンブラシの材質と選定
- 1.1.4 カーボンブラシの成形方向と組織について

##### 1.2 カーボンブラシの開発動向

- 1.2.1 カーボンブラシの長寿命化
- 1.2.2 カーボンブラシの小型化
- 1.2.3 カーボンブラシの低騒音化
- 1.2.4 カーボンブラシの電気ノイズ低減化

##### 1.3 最新技術

- 1.3.1 異材質を層状に連結させた二層(多層)カーボンブラシ
- 1.3.2 カーボンブラシ本体に低抵抗材質を埋め込んだカーボンブラシ
- 1.3.3 安全機能

##### 1.4 カーボンブラシの製品検査項目と材料仕様取り決めの要点

- 1.4.1 カーボンブラシ製品単品での受け入れ検査項目(抜き取り検査にて実施)
- 1.4.2 カーボンブラシ材質の静特性の取り決め項目
- 1.4.3 カーボンブラシ材質(テストピース)もしくは製品による過酷試験項目

##### 1.5 今後の展望

##### 1.6 むすび

#### 2. 整流子について

##### 2.1 概要

- 2.1.1 基本特性
- 2.1.2 静音性

##### 2.2 開発動向

- 2.2.1 モータ用途と整流子
- 2.2.2 新分野の用途と整流子材料
- 2.3 最新技術
  - 2.3.1 スターター・ジェネレーター
  - 2.3.2 インタンク燃料ポンプ
  - 2.3.3 バルブコントロール
- 2.4 展望
  - 2.4.1 不等配配置整流子
  - 2.4.2 整流素子接続用端子付き整流子
  - 2.4.3 均圧線付き整流子
- 第2節 小型モータの貴金属電気接点材料について
  - 1. 概説
    - 1.1 電気接点材料について
      - 1.1.1 小型モータの分類と貴金属接点材料
      - 1.1.2 Cブラシモータと貴金属ブラシモータ
    - 1.2 摺動接点材料に起きる諸現象
      - 1.2.1 接触と接触抵抗
      - 1.2.2 摩擦と摩耗
      - 1.2.3 貴金属材料の環境劣化と接触障害
      - 1.2.4 潤滑剤
  - 2. 貴金属摺動接点材料
    - 2.1 接点材料の製造方法と金属材料の強化方法
      - 2.1.1 溶解鑄造法
      - 2.1.2 内部酸化法
      - 2.1.3 粉末冶金法
    - 2.2 ブラシに使用される接点材料
      - 2.2.1 AgPd 合金
      - 2.2.2 AgPdCu 合金
      - 2.2.3 PdAgPtAu 多元合金
    - 2.3 コミテータに使用される接点材料
      - 2.3.1 AgCu 合金
      - 2.3.2 AgNi 合金
      - 2.3.3 Au および Au 合金
  - 3. 貴金属ブラシおよびコミテータの種類
    - 3.1 クラッド材の種類
    - 3.2 めっき
  - 4. 今後の材料開発動向
    - 4.1 接点材料の開発動向
    - 4.2 工法の開発動向
- 第3節 エナメル線(マグネットワイヤ)
  - 1. 主な芯線(導電)材料
  - 2. 銅とアルミの特長

- 3. 各エナメル線の特徴
  - 3.1 油性エナメル線(EW)
  - 3.2 ホルマール線(PVF)
  - 3.3 ポリウレタン線(UFW)
  - 3.4 ポリエステル線(PEW)
  - 3.5 最近のエナメル線
- 4. エナメル線の安全規格
- 第4節 絶縁材料
  - 1. 各論
    - 1.1 電線用ワニス
      - 1.1.1 はじめに
      - 1.1.2 油性ワニス
      - 1.1.3 ホルマールワニス
      - 1.1.4 ポリウレタンワニス
      - 1.1.5 ポリエステルワニス
      - 1.1.6 ポリエステルイミドワニス
      - 1.1.7 ポリアミドイミドワニス
      - 1.1.8 その他ワニス
    - 1.2 コイル含浸用ワニス
      - 1.2.1 はじめに
      - 1.2.2 組成別コイル含浸用ワニスの分類および長所と欠点
      - 1.2.3 モータ用コイル含浸ワニス
      - 1.2.4 まとめ
    - 1.3 薄葉電気絶縁材料
      - 1.3.1 はじめに
      - 1.3.2 薄葉材料
    - 1.4 耐熱フィルム
      - 1.4.1 高機能フィルム開発の経緯
      - 1.4.2 代表的プラスチックフィルムの特性値
    - 1.5 複合材料
      - 1.5.1 耐熱複合材料
      - 1.5.2 複合材料の特性
      - 1.5.3 プリプレグ材料
    - 1.6 電気絶縁用粘着テープ
      - 1.6.1 ポリ塩化ビニル粘着テープ
      - 1.6.2 ポリエステル粘着テープ
      - 1.6.3 耐熱テープ
      - 1.6.4 電気・電子絶縁用粘着テープ類の全体像
- 第5節 小型モータ用転がり軸受
  - 1. はじめに(小型モータに使われる軸受)
    - 1.1 転がり軸受と滑り軸受(スリーブ)

- 1.2 軸受の歴史
  - 1.2.1 古代から近世
  - 1.2.2 近代から現代(規格化されてゆく軸受)
- 1.3 超極小軸受
- 2. ミニチュア深溝玉軸受の構造
  - 2.1 深溝玉軸受の構造と作り方
  - 2.2 軸受の各構成部品の役割
  - 2.3 予圧
  - 2.4 嵌め合い
  - 2.5 軸受の理想的な状態
- 3. 各種用途
  - 3.1 今まで軸受業界を發展させてきた用途
  - 3.2 市場からの性能要求
    - 3.2.1 耐荷重性
    - 3.2.2 低トルク
    - 3.2.3 耐食性
    - 3.2.4 潤滑:使用温度範囲, 攪拌抵抗
    - 3.2.5 高速性
    - 3.2.6 密閉性
  - 3.3 各用途の特徴
    - 3.3.1 自動車関連
    - 3.3.2 家電関連
    - 3.3.3 医療関連
- 4. 軸受の取り扱い
  - 4.1 軸受の清浄度とは
  - 4.2 軸受の精度
  - 4.3 軸受不良の判断
- 5. 市場の動向と今後の課題
  - 5.1 極小軸受の物性的な違い(大型軸受=金属疲労寿命/極小軸受=音響寿命)
  - 5.2 Failure mode(寿命予測, 適切な加速試験, Acoustic Emission)
  - 5.3 超精密軸受は要らない 安価な軸受に満足できる品質を求めて
  - 5.4 超精密軸受が必要な用途
- 6. まとめ
- 第6節 小型モータ用 焼結含油軸受
  - 1. 焼結含油軸受の製造工程
    - 1.1 混合工程(mixing)
    - 1.2 成形工程(compacting)
    - 1.3 焼結工程(sintering)
    - 1.4 矯正工程(repressing, sizing, coining)
  - 1.5 浸油工程(impregnation)
  - 2. 焼結含油軸受の潤滑機構
    - 2.1 自己潤滑
    - 2.2 理論とPV- $\mu$  曲線
      - 2.2.1 流体潤滑における摩擦理論
      - 2.2.2 PV- $\mu$  曲線
    - 2.3 摩擦面状態とクリアランス
  - 3. 焼結含油軸受の代表的な形状と特徴
    - 3.1 外径形状による分類
    - 3.2 内径形状による分類
      - 3.2.1 テーパー, 段付きタイプ
      - 3.2.2 ツジミタイプ
      - 3.2.3 ツインタイプ
      - 3.2.4 動圧タイプ
      - 3.2.5 気孔局部制御タイプ
  - 4. 焼結含油軸受用材料と特徴
    - 4.1 材料系
      - 4.1.1 Cu系材
      - 4.1.2 Fe系材
      - 4.1.3 Fe-Cu系材
  - 5. 潤滑油
    - 5.1 鉱物油
    - 5.2 合成油
  - 6. 焼結含油軸受の精度
    - 6.1 一般設計公差
    - 6.2 面取り寸法公差
      - 6.2.1 ストレートタイプ
      - 6.2.2 フランジタイプ
- 第7節 小型モータで使用される永久磁石材料(フェライト磁石, ネオジム磁石)
  - 1. BHカーブ, MHカーブの読み方
    - 1.2 「不可逆減磁」と不可逆減磁判定でのMHカーブの使い方
  - 2. 各磁石の特性
  - 3. 温度係数( $\alpha$ と $\beta$ ), 高温減磁と低温減磁
  - 4. フェライト磁石の特性と開発動向
  - 5. ネオジム系焼結磁石
  - 6. 最新技術
    - 6.1 希土類資源の偏在と高騰
    - 6.2 Dy拡散による保磁力向上
    - 6.3 希土類リサイクル技術
  - 7. 今後の展望

- 7.1 FeN系を代表とする次世代磁石
  - 7.2 それ自体で高い磁束密度の材料をベースとする:FeN系磁石
  - 7.3 交換スプリング磁石
  - 第8節 プラスチック磁石
    - 1. 概説
      - 1.1 プラスチック磁石の構成要素と磁粉の充填限界
      - 1.2 フェライト系, およびSm-Co系プラスチック磁石
      - 1.3 等方性Nd-Fe-B系, ナノコンポジット系プラスチック磁石
      - 1.4 異方性Nd-Fe-B系, Sm-Fe-N系プラスチック磁石
    - 2. レオロジーで異方性を連続方向制御したプラスチック磁石
    - 3. プラスチック磁石の磁気安定性
      - 3.1 熱減磁の分類
      - 3.2 ナノコンポジット系プラスチック磁石の熱安定性
    - 4. プラスチック磁石の今後の展望
  - 第9節 小型モータの接着・接着剤技術
    - 1. 小型モータにおける接着箇所と接着剤
      - 1.1 永久磁石の固定
      - 1.2 ベアリングの固定
      - 1.3 スリップリングの固定
      - 1.4 エンコーダーと軸の固定
      - 1.5 接着鉄心
      - 1.6 ステータとハウジングの嵌合
      - 1.7 ハウジングとブラケット間のシール
    - 2. 部品の接着性能に影響を及ぼす諸因子
      - 2.1 部品の表面状態と材質
        - 2.1.1 表面清浄度
        - 2.1.2 表面粗度
        - 2.1.3 表面の分子の極性
        - 2.1.4 表面張力
        - 2.1.5 材質
      - 2.2 接着剤の物性
        - 2.2.1 硬化過程での内部応力に影響する物性(硬化収縮率, ヤング率, 線膨張係数, ガラス転移温度  $T_g$ )
        - 2.2.2 硬化後の特性に影響する物性(ヤング率, 線膨張係数, ガラス転移温度  $T_g$ )
      - 2.3 接着のプロセス
        - 2.3.1 徐冷による内部応力の低減
        - 2.3.2 硬化温度と低温, 高温特性
        - 2.3.3 アクチベーターの塗布量
        - 2.3.4 隅肉接着における塗布量, 塗布形状の均一性
  - 2.4 構造的要因
    - 2.4.1 円筒状磁石接着におけるクリアランス
    - 2.4.2 SPMにおけるセグメント状磁石接着の接着剤層の厚さ
  - 3. 高信頼性接着のための基本条件
    - 3.1 凝集破壊率と接着強度の変動係数
    - 3.2 凝集破壊率の向上策
  - 4. 2液室温硬化型変性アクリル系接着剤による永久磁石の高信頼性接着
  - 5. 耐用年数経過後の接着強度の安全率の定量的評価方法
    - 5.1 接着強度の経年変化の概念
    - 5.2 耐用年数経過後の安全率の算出法
      - 5.2.1 評価のプロセス
      - 5.2.2 耐用年数経過後の安全率の算出法
    - 5.3 耐用年数経過後の安全率の算出事例
      - 5.3.1 接着部の要求条件と評価試験条件
      - 5.3.2 評価試験結果
      - 5.3.3 耐用年数経過後の安全率  $S_y$
      - 5.3.4 安全率の裕度の再配分
- 第10節 小型モータ用エポキシ接着剤
  - 1. エポキシ接着剤
  - 2. 部材との接着について
  - 3. 接着剤の選定について
  - 4. モータへの適用と事例
  - 5. 今後のエポキシ接着剤に求められるもの
    - 5.1 熱伝導性接着剤
    - 5.2 低ハロゲン低温速硬化型-液エポキシ接着剤
- 第11節 嫌気性接着剤の小型モータへの適用
  - 1. 嫌気性接着剤とは
  - 2. 小型モータへの適用
    - 2.1 軸嵌め合い
    - 2.2 面接着
      - 2.2.1 マグネット接着
      - 2.2.2 電磁鋼板の浸透接着
      - 2.2.3 その他の適応箇所
- 第12節 フェノール樹脂成形材料
  - 1. フェノール樹脂成形材料の概要
    - 1.1 熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂の差異
    - 1.2 フェノール樹脂成形材料
    - 1.3 フェノール樹脂成形材料の開発指向

2. モータ周辺部品に使用されるフェノール樹脂成形材料
  - 2.1 コンミテータ用フェノール樹脂成形材料
  - 2.2 ブラシホルダ用フェノール樹脂成形材料
  - 2.3 その他モータ周辺部品用フェノール樹脂成形材料

### 第13節 LCP, PPS 樹脂成形材料

1. LCP, PPS 樹脂の特徴
  - 1.1 エンジニアリングプラスチックにおける LCP, PPS

#### 樹脂の位置づけ

- 1.2 PPS 樹脂
  - 1.2.1 PPS の流動性
  - 1.2.2 PPS の寸法精度
  - 1.2.3 低薬品膨潤, バリア性
  - 1.2.4 耐熱水性
  - 1.2.5 耐クリープ性
  - 1.2.6 溶着性, ウエルド特性
  - 1.2.7 冷熱衝撃性
- 1.3 LCP 樹脂
  - 1.3.1 LCP の成形性(流動性, ハイサイクル性)
  - 1.3.2 LCP の寸法精度と安定性
  - 1.3.3 振動減衰性
  - 1.3.4 耐熱性
  - 1.3.5 機械的強度
2. モータ構造と成形樹脂材料の適用
  - 2.1 自動車分野
  - 2.2 家電分野
3. LCP, PPS 樹脂の最近の動向