

# ステッピングモータの機能性評価手法

## Functional Evaluation for Stepping Motor

今井 力也\*

Rikiya IMAI

溝口 宏明\*

Hiroaki MIZOGUCHI

保栖 篤史\*

Atsushi HOZUMI

岩間 健一\*

Kenichi IWAMA

### 要　　旨

品質工学の中の機能性評価手法を用いて、外部の部品メーカーからの購入部品である複写機・プリンター等に多数搭載されているステッピングモータについて、その構造の優劣の評価を短期間に行う技術を開発した。ステッピングモータの構造を制御因子、本体より印加されるノイズを誤差因子として、ノイズの影響の無い基準波形に対して、意図的に与えたノイズの影響による波形の安定性を解析し、評価する。この評価技術により、スッテッピングモータ構造の優劣を製品の使い方で生じるプリンター本体より印加されるノイズに対しての安定性で表せるほか、評価モータの中に市場実績の明確なモータをベンチマークとして入れ込み評価することで、数日の評価期間で相対的な信頼性の予測が可能となった。

### Abstract

The evaluation technique for stepping motor adopted copy machine or printer is developed using the functional evaluation method in quality engineering. Structure of stepping motor is taken as a control factor, and both mechanical and electrical noise generated by the product are taken as the error factor, then the stability analysis is carried out for the wave form by the influence of noise intentionally given to the standard wave. By this evaluation, the superiority of stepping motor structure can be shown by the stability against the noise. Furthermore, it becomes possible to predict the relative reliability by putting the motor that the market results are clear into the evaluated motor as a benchmark in a few days.

\* 画像製品事業部 第一生産技術部

1st Product Engineering Department, Imaging System Production Division

## 1. 背景と目的

従来、電装部品購入に際しては過去の実績とコストによる比較によって購入先選定をするケースが多かった。その理由は、性能評価のため長期間（数ヶ月～1年以上）の信頼性試験の実施が必要で作業量も膨大であり、量産開始の日程にも影響を及ぼしかねないからである。また、その試験も結果に対する可否判断である為、可となつた部品構造の優劣は不明であり最良の部品が選ばれているとは限らない。その為に現実にはこの様に選定した電装部品が、後工程～市場で問題を発生する事もあった。

ここで取上げたステッピングモータは複写機・プリンターに多数搭載されているキーパーツであり、外部部品メーカーからの購入部品である。そのため購入に際して外部部品メーカー毎に固有となっているステッピングモータ構造を選定する必要があり、その為に信頼性試験を実施する必要がある。

今回我々は、品質工学の中の機能性評価手法を用いて、長期間の信頼性試験をせずに購入部品、ここではステッピングモータの性能を合理的に評価する技術を開発した。

## 2. 技術

### 2-1 機能性の評価とは

そのシステムの機能が誤差因子の影響を受け難い度合いを機能性という。誤差因子とはそのシステムの機能に影響を与えるが取り除くことができない外部要因で主に使用環境や劣化等である。

機能性の評価はそのシステムの基本となる機能（以下、基本機能と示す）をシステムの入力／出力関係（多くは比例関係）として捉え、その関係が誤差因子によってどのように影響を受けるかを求ることにより、そのシステムの誤差因子に対する安定性を評価するものである。

入力信号をM、出力をyとしてシステムの関係を比例式で表した場合、

$$y = \beta M + \varepsilon$$

なる関係式となる。ここでの $\varepsilon$ は非線型分と誤差因子の影響による比例定数 $\beta$ のバラツキの結果である。

機能性は信号の影響の大きさである $\beta^2$ と非線形分も含め

た誤差因子の影響の大きさ $\sigma^2$ との比であるSN比 $\eta$ として求める。

$$\eta = 10 \log (\beta^2 / \sigma^2)$$

これが機能性の尺度である。

SN比 $\eta$ が大きいほど、バラツキのない、機能性の良いシステムであると評価できる。

### 2-2 方法

#### 1) 基本機能の設定

ステッピングモータの基本機能は“安定して回転駆動力を発生させる。”とした。つまりどのような誤差因子（使い方ノイズ）が加わろうとも、同じ回転を再現できるのが良いステッピングモータ構造と考えた。

すなわち、回転駆動立上りの回転速度を測定した起動時波形（Fig.1）の安定性を評価すればよい。

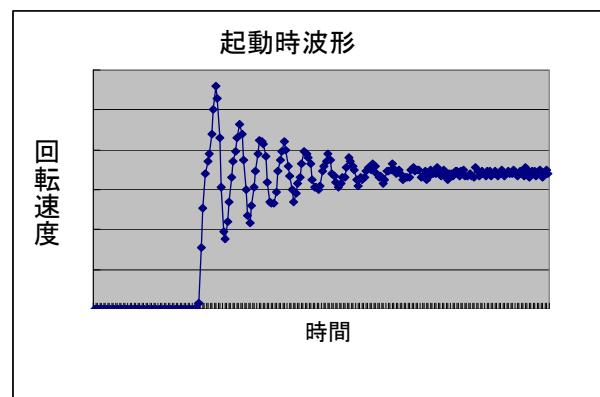


Fig.1 Revolution counting to activate.

その為にFig.2のように基準となる波形（実線）と誤差因子（使い方ノイズ）を加えたときの波形（破線）における各測定ポイント（a点、b点）での回転速度データ（a1, b1, a2, b2）をFig.3のように変換することで、理想状態を $\beta=1$ の比例式に当てはめることが可能となる。

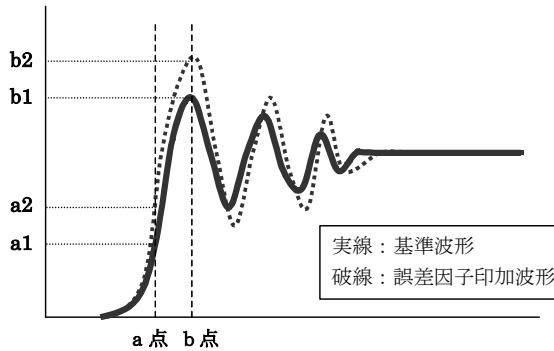


Fig.2 Displacement of Wave pattern.

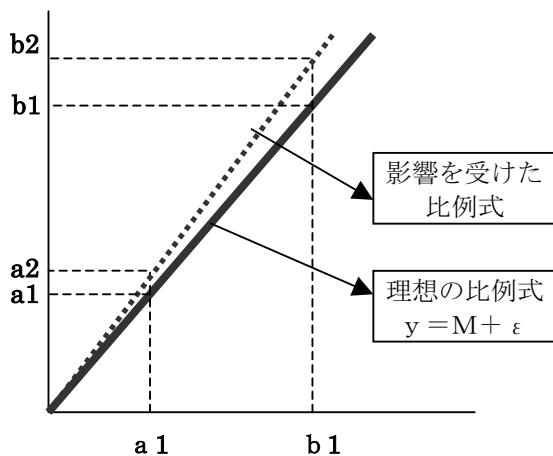


Fig.3 Proportional expression of Displacement.

## 2) 因子の決定

機能性評価を成立させる為には、制御因子、誤差因子を設定する。

制御因子は評価対象のシステムであり、今回の目的においてはステッピングモータ構造を取る。つまりX社、Y社、Z社のステッピングモータを制御因子として設定した。

誤差因子（使い方ノイズ）はステッピングモータを機械本体に取り付けて使用する際に想定される様々な外部要因で、振動、負荷トルク、等とした。

今回の機能性評価では、この誤差因子（使い方ノイズ）に多くの因子を取りたいので、直交表L8に割り付けた。

## 3) システム図

以上の検討結果より、以下のシステム図 (Fig.4) を想定し実験を組む事とした。

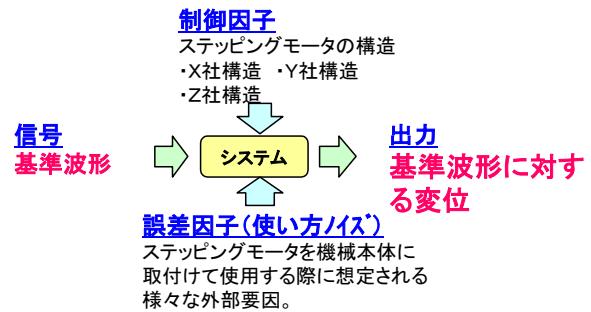


Fig.4 Functional system chart.

## 2-3 評価装置

前記Fig.4の機能システム図に基づく評価実験を行う為には、設定した誤差因子（使い方ノイズ）を再現することを性能とする評価装置が必要となる。

以下の装置 (Fig.5) を作成した。

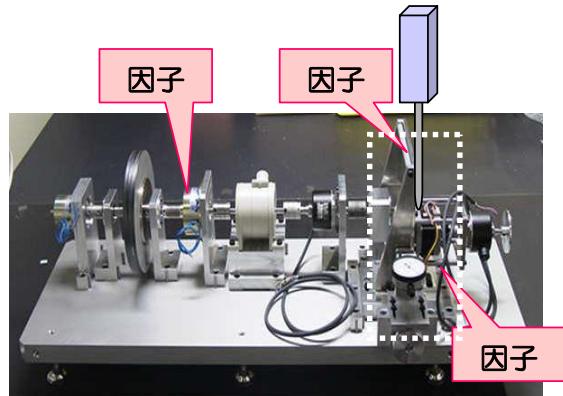


Fig.5 Evaluation equipment.

## 2-4 結果

### 1) 実験の組立

前記Fig.4の機能システム図に基づき、誤差因子にL8の直交表での外側割り付けの実験を組む (Table 1)。なお、回転数により機能性の優劣が変化する可能性を考慮して、500pps, 600pps, 700ppsの3モード（自起動領域内で負荷をかけられる回転数で、各構造間にわたって設定できる値。）の実験を行う事とする。

Table 1 Structure of data.

制御因子		誤差因子 L8					
		N1	N2	N3	.....	N7	N8
X社	500pps						
	600pps						
	700pps						
Y社	500pps						
	600pps						
	700pps						
Z社	500pps						
	600pps						
	700pps						

なお、標準条件（基準波形）としては誤差因子の全ての水準が1（負荷として軽い方）を取る実験N1として解析を行う。

## 2) 生データグラフ

参考としてX社、Y社、Z社ステッピングモータの生データグラフの一部をFig.6に示す。

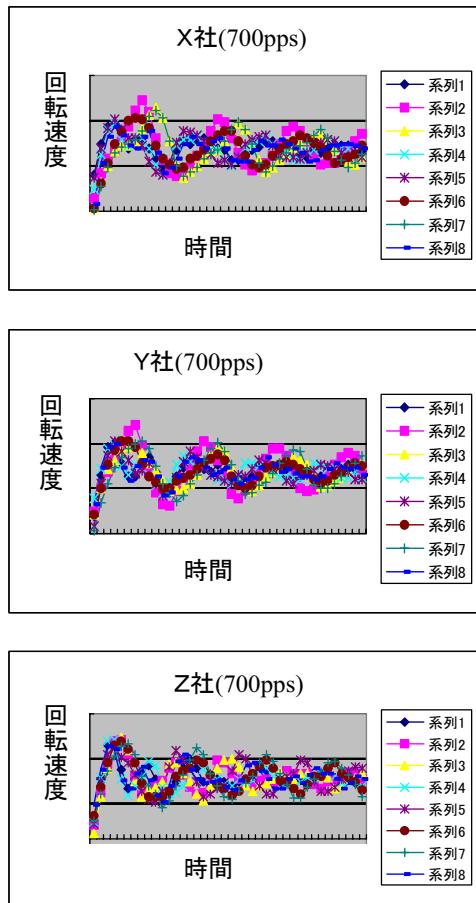


Fig.6 Actual data samples.

## 2-5 解析

### 1) データ構造

この評価技術の開発において、機能システム図通りの解析（安定性を基準とした性能の優劣→メーカ構造間の解析）の他に、どの誤差因子（使い方ノイズ）がステッピングモータの性能に大きく影響を及ぼすのか（ノイズ影響度分析→ノイズ間の解析）を選定し、この評価技術そのものの効率化についても検討した。

その為には制御と誤差の因子を入れ替えて（Table 2）解析した。

Table 2 Explanation of data.



### 2) 性能優劣評価結果

1)のデータ構造のうち「メーカ構造間の解析」を行い、構造の優劣を誤差因子（使い方ノイズ）に対する安定性として各回転数毎にSN比 $\eta$ で示した（Fig.7）。

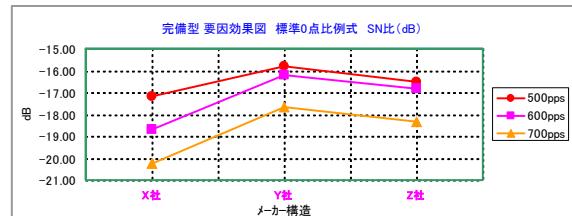


Fig.7 Chart of Factor effect for SN ratio.

全ての回転数においてほぼ同じ傾向で、Y社>Z社>X社の順で誤差因子（使い方ノイズ）に対して安定している結果が得られた。これは回転数に関係無く、誤差因子に対する安定性はステッピングモータ構造によって変わらないことを示しており、これによりステッピングモータ各構造間（メーカ間）の誤差因子（使い方ノイズ）に対する安定性の観点での性能の順位付けができたと考える。

### 3) ノイズ影響度分析

1)のデータ構造のうち「ノイズ間の解析」を行いノイズ影響度を感度 ( $S=10\log \beta^2$ ) によりあらわした (Fig.8)。

なお解析は「メーカ構造間の解析」でもっとも利得の差が得られた、700ppsの条件にて実施した。

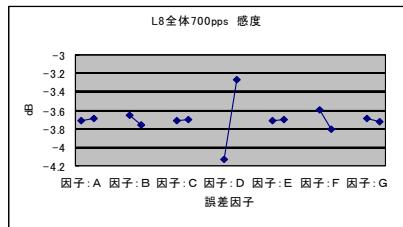


Fig.8 Chart of Factor effect for sensitivity.

因子:Dが突出して寄与率が高い、つまりステッピングモータの機能に最も影響を与えるとの結果が得られた。因子:Dは物理的なノイズであり、今まで想定してきた環境的・電気的なノイズではない。これはステッピングモータ構造特有なものと考えられる。

これにより誤差因子（使い方ノイズ）の選定（評価するのに最も効果的な誤差因子の選定）が出来たと考える。

ただし、今回のステッピングモータの事例においては、寄与率の高い誤差因子（使い方ノイズ）に構造間の偏りが見うけられる為、当面、誤差因子（使い方ノイズ）の最適化は行わずにL8にて運用している。

## 2-6 信頼性の予測

以上の評価実験の結果を信頼性試験として運用し、市場における信頼性の予測を行う方法を提案する。実施ステップとしては以下の様になる。

① 評価したいステッピングモータと、市場実績の明確なステッピングモータを混在させサンプルとして用意する。

- Ex)
- 評価対象のモータ
  - 市場実績で信頼性の良好なモータ
  - 市場実績で信頼性の悪いモータ

② 開発した手法にて各サンプル間の性能優劣評価を行い順位付けを実施する。その際、選定された効果の高いノイズを特化して印加することにより、この評価実験そのものの効率化を行う。実験に必要な期間としては、

基本的には数日程度で評価可能である。

③ 市場実績の明確なサンプルとの比較によって、評価対象の市場における信頼性を相対的に判断する。

## 3. 結論

機能性評価手法を用いてステッピングモータの信頼性を相対的に判断する事は、数日間の期間で実施可能と考える。これにより部品選定における評価遅延のリスク回避と試験コストの大幅な低減が図れる。

なお、ここではステッピングモータについて取上げたが、電装購入部品全体（ポリゴンモータ、クラッチ、ブラシレスモータ、各種センサー、等）についてもそれぞれ同様の評価技術を開発中である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重なご助言、ご指導を頂きました東京電気大教授 矢野宏氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 田口玄一：開発・設計段階の品質工学（品質工学講座1）
- 2) 田口玄一、横山翼子：実験計画法（経営工学シリーズ18）