

DCモータテスター技術資料

1. 特性の測定方法と計算式

- ① 無負荷回転数 N_0 (rpm) = 実測
- ② 無負荷電流 I_0 (mA) = 実測
- ③ 定格負荷回転数 N_r (rpm) = $N_0 - (T_r / T_s) * N_0$
- ④ 定格負荷電流 I_r (mA) = $(T_r + T_0) / (T_s + T_0) * I_s$
- ⑤ 起動電流 I_s (mA) = $I_{sp} * E / (E - e_s)$
- ⑥ 起動トルク T_s (gcm) = $((I_s / 1000) * K_t) - T_0$
- ⑦ トルク定数 K_t (gcm/A) = $K_e * 97.38$
- ⑧ 損失トルク T_0 (gcm) = $K_t * (I_0 / 1000)$
- ⑨ 接触抵抗 $T_{ouch. R}$ (Ω) = $\frac{(E - e_0)}{I_0 / 1000} - \frac{E}{I_s / 1000}$
- ⑩ 効率 η (%) = $\frac{(T / 10^5) * 1.027 * N * 100}{E * (I / 1000)}$
- ⑪ 出力 P_0 (W) = $(T / 10^5) * 1.027 * N$
- ⑫ 定格トルク T_r (gcm) = 規格値
- ⑬ 端子間印可電圧 E (V) = 実測
- ⑭ 逆起電圧 e_0 (V) = 実測 (N_0 時)
- ⑮ 逆起電力定数 K_e (V/Krpm) = $e_0 / (N_0 / 1000)$
- ⑯ 起動電流ピーク I_{sp} (mA) = 実測 (起動電流波形のピーク)
(モーターのスリットでのショートを含まない)
- ⑰ 起動逆起電圧 e_s (V) = 実測 (起動電流波形ピーク時の逆起電圧)

* 1 定格負荷回転数は回転数で接触抵抗が変化するためにT-Nカーブが直線にならず、実測と同じになりません。但し、ブラシの接触が安定していれば同じです。

* 2 接触抵抗は無負荷回転時の端子間抵抗から起動時の端子間抵抗を引いたものです。すなわち、起動時から無負荷回転時の接触抵抗の増加分です。よって、起動時の接触抵抗が大きいと純粋な接触抵抗になりません。

2. 計算方法の詳細説明

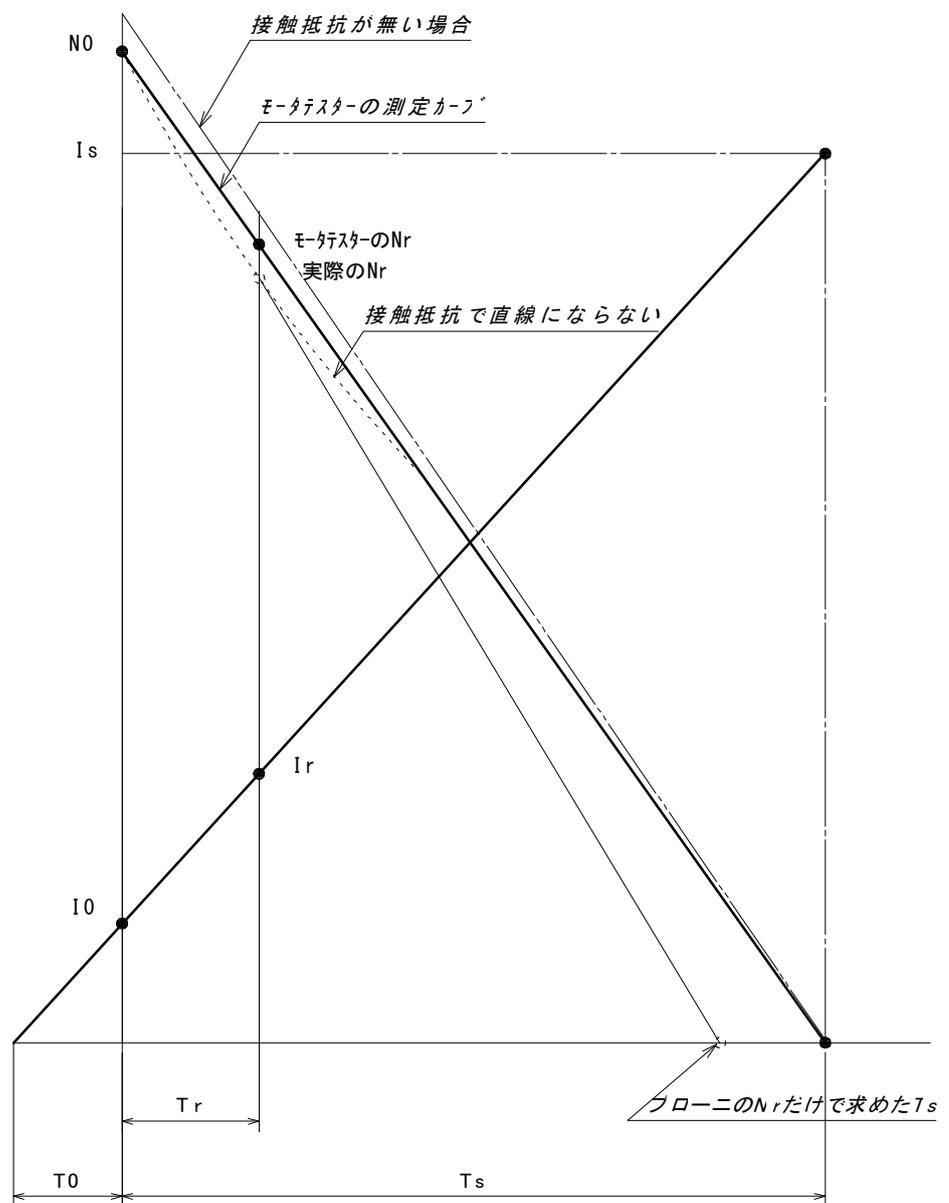
2-1. 定格負荷回転数

① 計算式

$$N_r \text{ (rpm)} = N_0 - (T_r / T_s) * N_0$$

② 説明

- この式はT-Nカーブが直線であることを前提にした計算式ですが、実際のT-Nカーブはブラシとコミュテータの接触抵抗が回転数で変化するため直線にはなりません。よって、実際の N_r より高くなります。



- 接触抵抗で回転数が下がる理由は、下表のように、 r （接触抵抗） $= 0 \Omega$ の場合は $e = 2.0 \text{ V}$ ですが、 $r = 1 \Omega$ の場合は $R_c + r$ の電圧降下が 0.1 V 増えるため $e = 1.9 \text{ V}$ になります。 K_e で計算すると回転数は 500 rpm さがることになります。

N_r (定格負荷回転数)	10000rpm	9500rpm	$e/0.2 * 1000$
r (接触抵抗)	0Ω	1Ω	
R_c (コイル抵抗)	10Ω	10Ω	
$R_c + r$ の電圧降下	1.0 V	1.1 V	$(r+R_c) * 0.1$
e (逆起電圧)	2.0 V	1.9 V	$3.0 - (r+R_c) * 0.1$

$$E = 3.0 \text{ V}$$

$$I_r = 0.1 \text{ A}$$

$$K_e = 0.2 \text{ V/Krpm}$$

- 以上のように接触抵抗が大きいと実際の N_r より高く測定します。接触抵抗が不安定だったり、大きい場合はこの事を十分に考慮してご使用下さい。

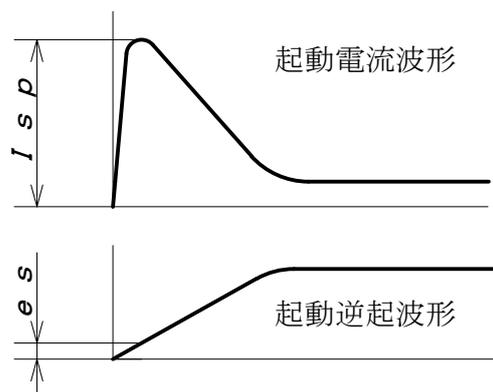
2-2. 起動電流

① 計算式

$$I_s \text{ (mA)} = I_{sp} * E / (E - e_s)$$

② 説明

- 起動電流波形のピーク時の電流を測定し、同時に逆起電圧を測定して I_s を求めています。3相モータの場合は6回繰り返し測定して平均を求めています。但し、コミュテータのスリット部でのショート（コイル2相に電流が流れた状態）による高い電流値は除きます。



- 起動電流は安定しているように見えますが、実際は金属ブラシでも接触抵抗の不安定なモータやカーボンブラシのモータなどは毎回数%変化しています。本器で確認してください。

2-3. 起動トルク

① 計算式

$$T_s \text{ (g cm)} = ((I_s / 1000) * K_t) - T_0$$

② 説明

- 起動トルクは I_s と K_t からもとめています。 I_s が不安定 (Touch.R が不安定) なら T_s も不安定になります。
- 本器とのデータ合わせのために、プローニ式で T_s を求めるときには、無負荷回転数と定格負荷回転数だけで直線を引くと T-Nカーブが直線でないため T_s が小さくなります。起動トルクの 50% くらいの回転数も測定して求めて下さい。(定格負荷回転数の図を参照下さい)

2-4. 接触抵抗

① 計算式

$$\begin{aligned} \text{Touch. R } (\Omega) &= R_0 - R_s \\ &= (R_c + r_0) - (R_c + r_s) \\ &= \frac{(E - e_0)}{I_0 / 1000} - \frac{E}{I_s / 1000} \end{aligned}$$

$\text{Touch. R } (\Omega)$: 起動から無負荷回転までの、ブラシとコミュテータの接触抵抗の増加分

$R_s (\Omega)$: 起動時の端子間抵抗 ($R_c + r_s$)
3相モータなら1回転6カ所の平均値

$R_0 (\Omega)$: 無負荷回転時の端子間抵抗 ($R_c + r_0$)
1回転の平均値

$R_c (\Omega)$: コイル抵抗

$r_s (\Omega)$: 起動時の接触抵抗

$r_0 (\Omega)$: 無負荷回転時の接触抵抗

② 説明

- **Touch.R** は上式のように起動時の端子間抵抗から無負荷回転時の端子間抵抗を引いたものです。すなわち、起動から無負荷回転までの接触抵抗の増加分です。
- 起動時の端子間抵抗とは、起動電流波形のピーク時の回転数での端子間抵抗です。ピーク時には普通数十 rpm で回転しています。厳密には停止時の端子間抵抗ではありませんが実機の起動時もギヤのバックラッシュなどで若干回転してから実機を起動（起動トルクで回す）します。以上の事から実際に合っている測定方法と考えています。
- 本器で $r_s \cdot r_o$ は直接測定できません。設計や技術的に、 $r_s \cdot r_o$ を求める必要がある場合には起動時の接触抵抗はモータを分解するか事前に、コイル抵抗を実測してから、 $r_s = E / I_s - R_c$ で求めます。また、無負荷回転時の接触抵抗は $r_o = r_s + \text{Touch.R}$ で求めます。
- 無負荷回転数の接触抵抗は客先の実機では無負荷で回転することはありませんから無意味な検査項目ですが、モータの良否を判定するには非常に参考になります。但し、無負荷では接触抵抗が大きい定格回転数では接触抵抗を小さくするような設計がなされたモータは、それなりにこの測定値を判断するべきで、数Ωあっても正常な事もあります。しかし、それが十数Ωになれば組立上に異常があります。
- 定格回転数の接触抵抗は、無負荷回転時より低くなります。定格回転時の **Touch.R** の測定は、普通に検査を始め、シャフトに指などで負荷をかけ定格回転数で検査を終了させれば、表示します。
- コミュテータが酸化・硫化したものは、一回目の測定では起動時は接触抵抗が高いが回転により酸化膜などが摩耗し接触抵抗が低くなります。R_o より R_s の方が大きい場合は **Touch.R** はマイナスになります。本器はマイナスを0で表示します。
(マイナス表示変更可能) **Touch.R**=0や $I_s \cdot T_s$ が小さいなら以上のことが考えられます。何回か検査を繰り返せば普通の数値がでますが1回目の測定で **Touch.R** が大きければ $I_s \cdot T_s$ が小さくなり、客先の実使用状態では実機を回転することができない可能性があります。
- 平均0. 数Ωなのに、異常に **Touch.R** が高いもの、または、0Ωのものは、ブラシ圧が低い・ブラシ材質が違う・在庫によるコミュテータの酸化や硫化・グリスやオイルの影響・フラックスの洗浄不足・設計的問題などが考えられます。
- 銀含入率の高いカーボンブラシでは r_s と r_o がほぼ同じなものが多く、**Touch.R** = 0になります。
- カーボンブラシは一回目の測定では **Touch.R**=0や10数Ωになるが、二回目から徐々に0. 数オームに近づくモータが多いようです。これは初期的にコミュテータの酸化膜とブラシの接触面積が小さく接触が安定しないが、回転によりカーボンが転移しブラシが摩耗することで接触面積が増え安定すると考えられます。
- 金属ブラシは初期から安定しているモータが多いが、希に検査を繰り返すうちに、徐々に **Touch.R** が増加するものがあります。これは摩耗粉がオイルに混ざり接触が不安定になるようです。(分解してコミュテータを拭くとなおる)
- $I_{sp} = (R_c + r_s) / (E - e_s)$ ですから r_s が大きくなれば I_s は小さくなり、結果 T_s が小さくなります。客先の実機耐久試験で仕様の耐久寿命以下で起動できなくなるが、モータメーカーの耐久試験では問題ないような場合は、この **Touch.R** が原因であることが多いようです。
- 以上のように **Touch.R** はモータには重要な項目です。この検査項目を設計的・技術的に上手に使用することにより、工程を安定させ、信頼性を上げる事ができます。