

温度上昇を考慮した小形制御用モータの駆動法

Drive Method of Small Motor for Control Considering Temperature Rise

○山口 憲二郎, 秋山 宜万, 三浦 武, 谷口 敏幸

○Kenjiro Yamaguchi, Yoshikazu Akiyama
Takeshi Miura, Toshiyuki Taniguchi

秋田大学

Akita University

キーワード: 抵抗法(resistance method), 温度計法(thermometer method),
サーミスタ(thermistor), DC サーボモータ(DC servo-motor),
温度上昇(temperature rise)

連絡先: 〒010 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学工学資源学部 電気電子工学科
三浦 武, TEL:(018)889-2329, FAX:(018)837-0406, E-mail:miura@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

制御用小形モータは OA、FA、AV 機器等、数多くの用途に用いられている¹⁾。モータを駆動させると、供給電力の一部が損失となり、モータ自身の温度上昇を引き起こしてしまう。これは避けられない問題である。損失には運転中負荷に関係なく一定に生じる固定損失と負荷によって変化する変動損失(負荷損失)がある。固定損失には機械損や鉄損などがある。また、変動損失には銅損(抵抗損)や漂遊負荷損などがあるが、変動損失の大部分は銅損が占めている。損失はかなりの軽負荷の場合を除いて、変動損失が大部分を占める場合が多いので、発生する損失は銅損に比例するものと考えられる場合が多い。また、銅損は電機子電流の二乗に比例するため、発生する熱量はほぼ負荷の二乗に比例するものと考えてよい。

モータは磁気回路を構成する鉄心や継鉄、磁極などの鉄の部分と、電気回路を構成する銅の部分からなっている。この両者の間や銅の部分の間では短絡を生じないように絶縁を必要があるが、絶縁のために用いる絶縁材料は金属部分に比べて熱的に弱く、温度が高くなるほど寿命が短くなる。また、あまり高温になると絶縁が破壊されて危険である²⁾。

モータを駆動させれば損失によりモータ自身の温度が上昇してしまうという現象は避けられない問題であるにもかかわらず、駆動条件に温度上昇をどのように考慮すればいいのかという事は、十分に研究されていない。モータを駆動させる際、温度上昇を考慮に入れた駆動法を考えた方がいいのは明らかである。

そこで、本研究ではモータを駆動させる際に、どのように温度上昇を考慮すればいいのかという事を考察するという目的で実験を行

った。その糸口を見出す手段の一つとして、モータを様々な運転パターンで駆動させ、それぞれの運転パターンでのモータ表面及び巻線抵抗の温度上昇について考察を行った。

2. モータの温度の測定

本研究では、モータの表面についてはNTCサーミスタを用いて温度計法により温度を検出し、巻線抵抗については抵抗法により温度を検出している。

温度計法とは、直接測定したい部分に温度計素子を固定して温度を測定する方法である。また、抵抗法とは、温度を測定しようとする巻線の抵抗の増加を測って温度を測定する方法で、巻線の平均温度を測定することになる³⁾。

モータに印加される印加電圧を $V[V]$ 、電機子回路の抵抗を $R_a[\Omega]$ 、電機子電流を $I_a[A]$ 、回転速度を $\omega[\text{rpm}]$ 、逆起電力定数を $K_e[V/\text{rpm}]$ とすると

$$R_a I_a = V - K_e \omega \quad (1)$$

(1)式より

$$R_a = \frac{V - K_e \omega}{I_a} \quad (2)$$

となり、ここで逆起電力定数 K_e が決まれば電機子抵抗 R_a を求めることができる。ここでは逆起電力定数 K_e は定数として考えているが、実際には K_e は非線形性を持ち、定数とは考えにくい。そこで本研究では実験的に K_e を決定した。図1に K_e のグラフを示す。図より逆起電力定数は

$$K_e = 0.0035[V/\text{rpm}]$$

と決定した。

巻線抵抗の温度については抵抗法を用い、温度 $\theta_1[^\circ\text{C}]$ における抵抗を $R_1[\Omega]$ 、 $\theta_2[^\circ\text{C}]$ における抵抗を $R_2[\Omega]$ 、材料によって定まる定数を $\alpha[^\circ\text{C}]$ とすると次式で算出できる。

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\alpha + \theta_2}{\alpha + \theta_1} \quad (3)$$

α の値は銅線の場合には 234.5 である³⁾。

3. 実験装置

実験装置の構成を図2に示す。本研究では制御対象としてDCサーボモータを用いた。パソコン(PC9821-Xa13)から出力される印加電圧指令は、D/Aコンバータによ

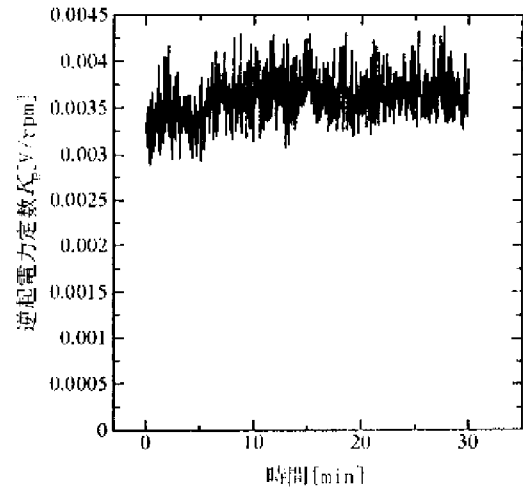


図1. 逆起電力定数 K_e

りアナログ量に変換され、増幅器で10倍にされた後、DCサーボモータに印加される。カップリングによりモータのシャフトに結合されたロータリーエンコーダにより現在のモータの位置を検出し、タコジェネレータにより現在のモータの回転速度を検出している。また、NTCサーミスタによってモータの表面温度を検出している。

DCサーボモータは三洋電気社製、R30IT-011を用いた。モータの各パラメータは、定格電圧 24V、定格電流 1.25A である。

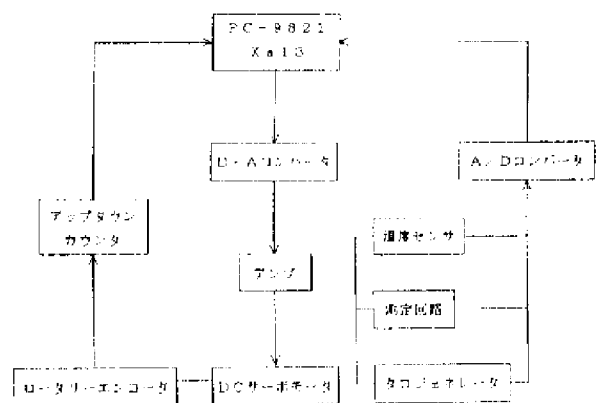


図2. 実験装置

4. モータ表面温度変化の時定数の決定

一定の印加電圧を印加してモータを運転させ続け、サーミスタによってモータの表面温度を検出した結果、得られた応答波形より時定数を決定する。図 3 に各印加電圧でモータを運転させたときのモータ表面の温度変化を示す。ここで、温度変化の関数を $\theta(t)$ とすると

$$\theta(T) = \{(\text{最終温度} - \text{開始温度}) \times 0.632\} + \text{開始温度} \quad (4)$$

(4)式で算出した温度になる時の時間が時定数 T となる。この結果より時定数を 14.2[min]と決定した。

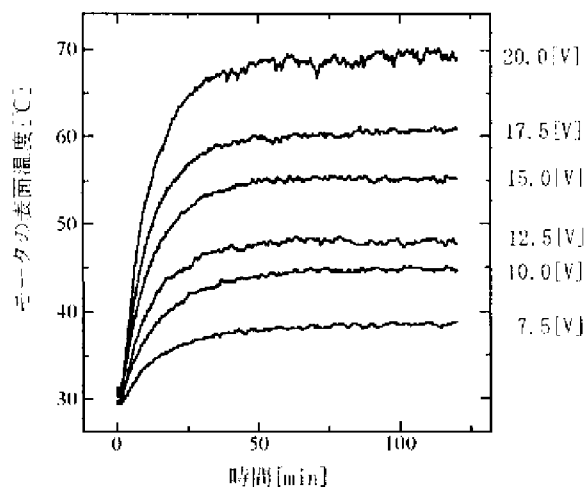


図 3. モータ表面の温度変化

5. 実験結果

本研究では、5000回転を15回繰り返して、合計75000回転させることを条件としてモータを駆動させた。モータに印加する電圧を10[V]、15[V]、20[V]の3種類とした。また、モータが5000回転するごとに停止期間を置くという運転パターンでモータを駆動させた。停止期間は1分、2分、3分、4分、5分の5種類とした。図4、6、8、10、12、14に印加電圧10[V]の場合のモータの表面温度、図5、7、9、11、13、15に巻線温度の実験結果を示す。図16、18、20、22、24、26に印加電圧15[V]の場合のモータの表面温度、図17、19、21、23、25、27に巻線温度の実験結果を示す。図28、30、32、34、36、38に印加電圧20[V]の場合のモータ

の表面温度、図29、31、33、35、37、39に巻線温度の実験結果を示す。

それぞれの条件でのモータの巻線温度の結果を見ると、モータが停止している状態ではそれほど目立たないが、運転時にはノイズが目立ち、その変動の幅はおよそ30~50[°C]であることがわかる。これはモータが持つ特有のノイズの影響によるものと思われる。モータ特有のノイズの大きな原因としてブラシによるものが考えられる。また、それぞれの条件でのモータの表面温度と巻線抵抗の温度の比較から、モータの内部と表面の温度差はおよそ25[°C]であることがわかる。

図40に停止期間を置かない場合のそれぞれの印加電圧でのモータ表面の温度上昇値を示す。これより印加電圧が大きくなるほど温度上昇値が大きくなっていることがわかる。印加電圧が大きくなるということは、今、負荷は一定であるから電機子電流の値が大きくなるということである。銅損は電機子電流の二乗に比例することから、印加電圧を大きくすると温度上昇値が大きくなることはこのことから明らかである。

モータの運転の合間に停止期間を置くことによる温度上昇値の変化について考える。例として図41に印加電圧が20[V]の場合の停止期間をそれぞれ変えた時のモータ表面の温度上昇値を示す。これを見ると、停止期間の時間が長くなるにつれて温度上昇値の値が小さくなっていることがわかる。これより運転の合間に停止期間を置くことにより、モータの温度上昇値を調節できることがわかった。

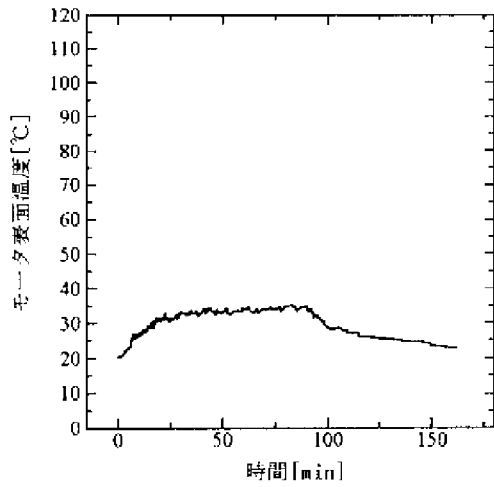


図 4. 停止期間なしの場合のモータの表面温度 (印加電圧 10[V])

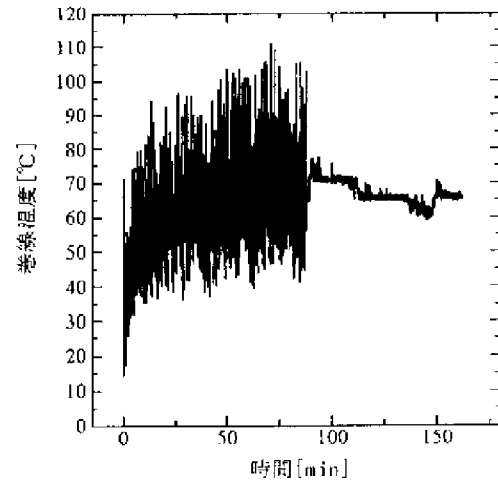


図 5. 停止期間なしの場合のモータの巻線温度 (印加電圧 10[V])

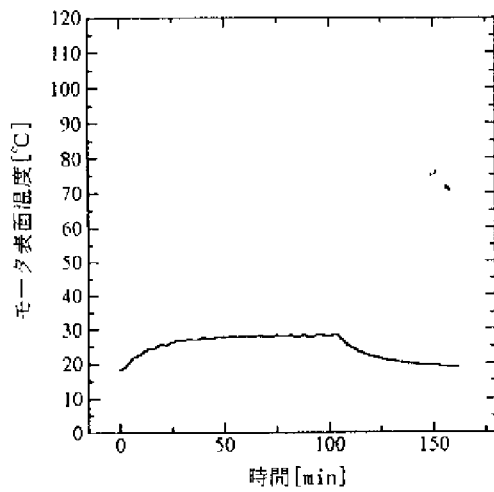


図 6. 停止期間 1 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 10[V])

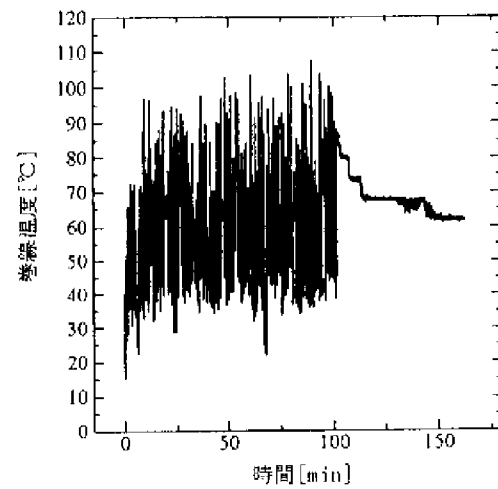


図 7. 停止期間 1 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 10[V])

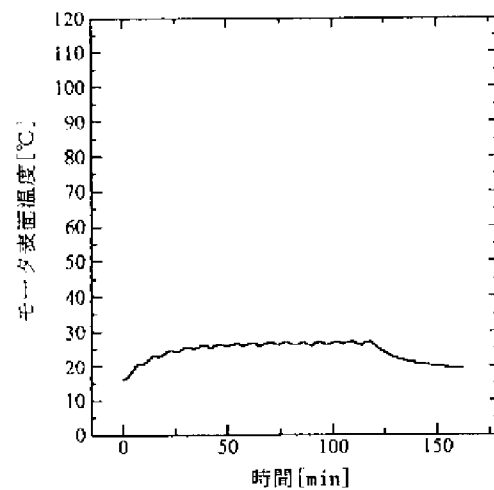


図 8. 停止期間 2 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 10[V])

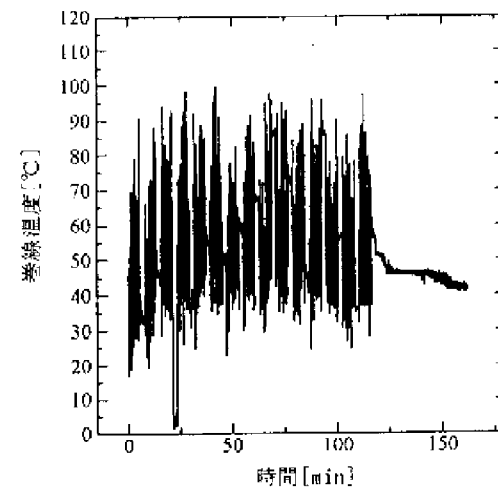


図 9. 停止期間 2 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 10[V])

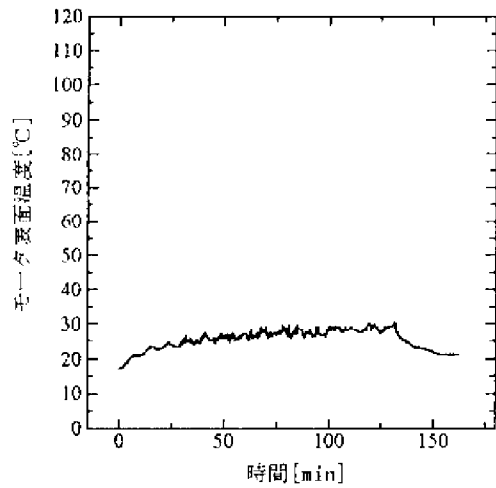


図 10. 停止期間 3 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 10[V])

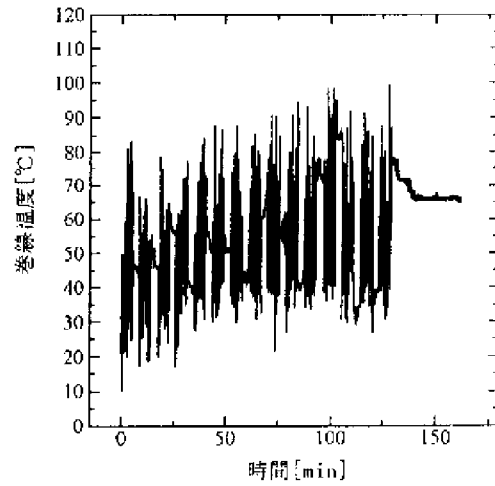


図 11. 停止期間 3 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 10[V])

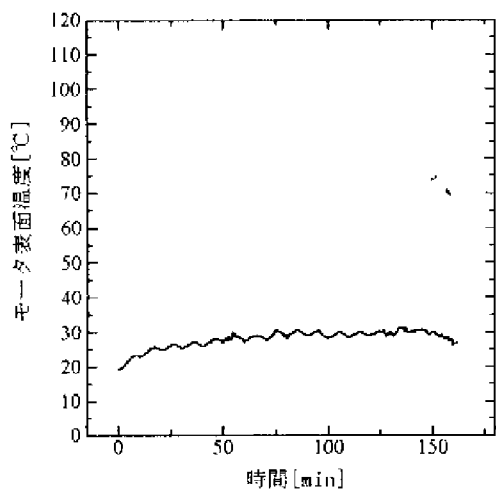


図 12. 停止期間 4 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 10[V])

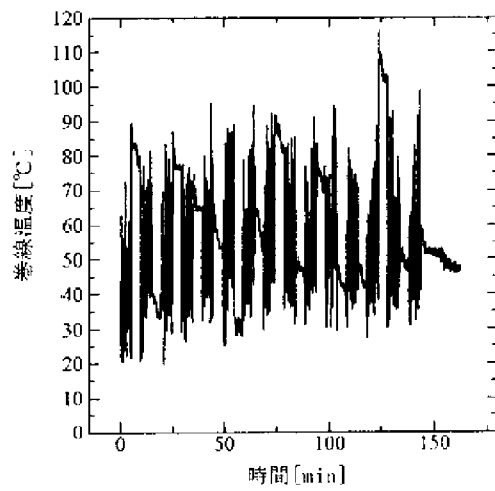


図 13. 停止期間 4 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 10[V])

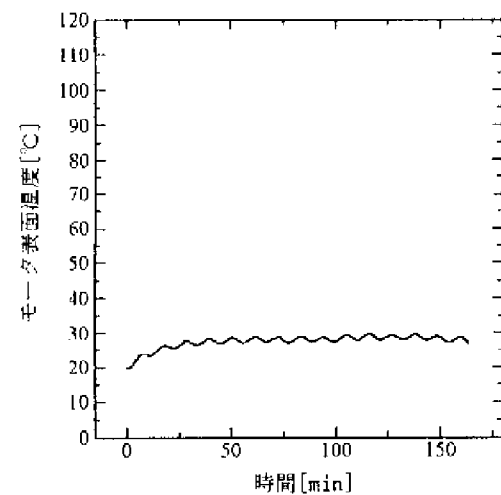


図 14. 停止期間 5 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 10[V])

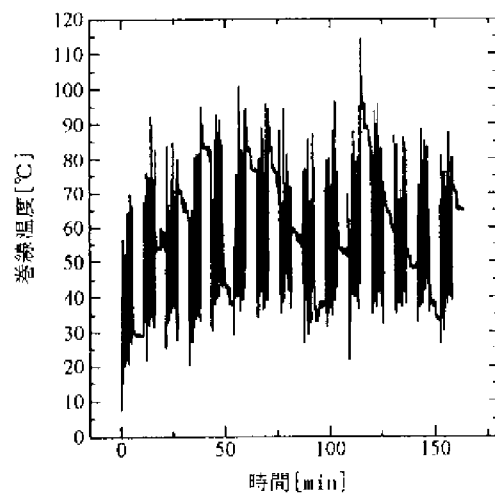


図 15. 停止期間 5 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 10[V])

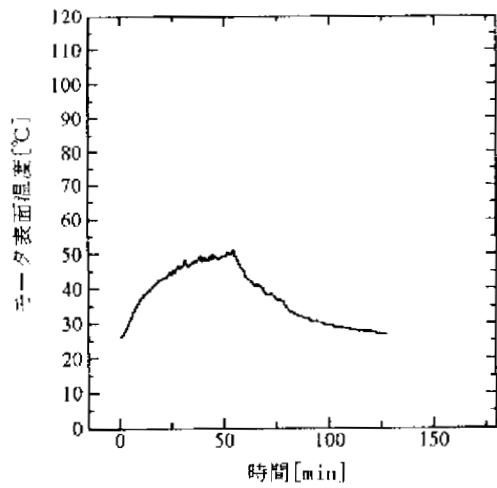


図 16. 停止期間なしの場合のモータの表面温度 (印加電圧 15[V])

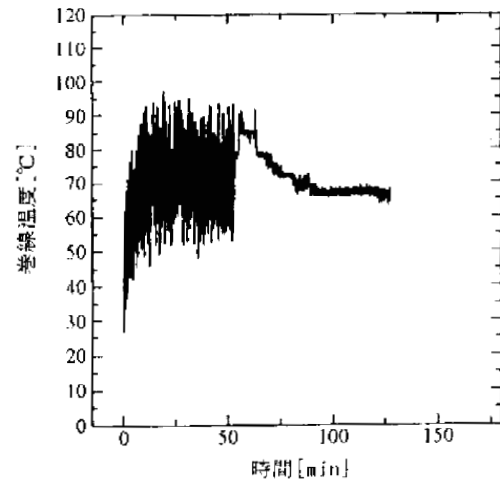


図 17. 停止期間なしの場合のモータの巻線温度 (印加電圧 15[V])

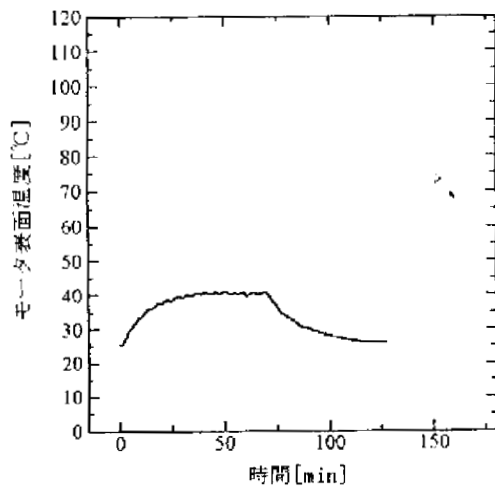


図 18. 停止期間 1 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 15[V])

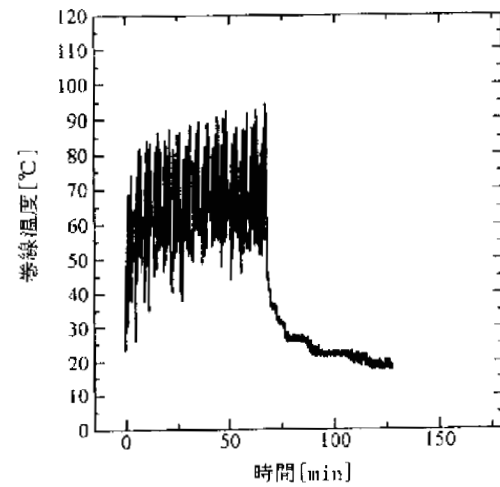


図 19. 停止期間 1 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 15[V])

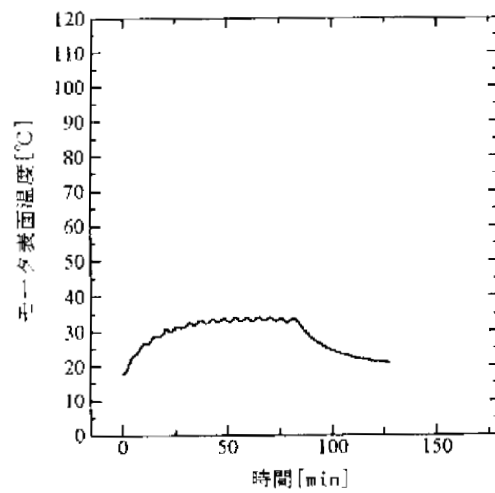


図 20. 停止期間 2 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 15[V])

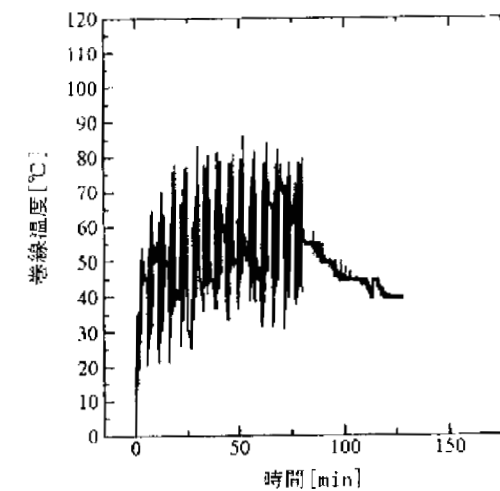


図 21. 停止期間 2 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 15[V])

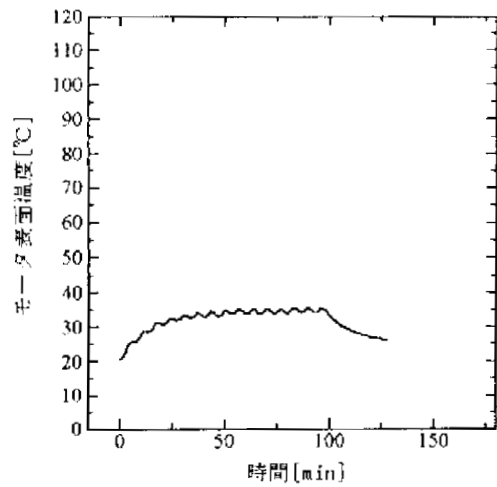


図 22. 停止期間 3 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 15[V])

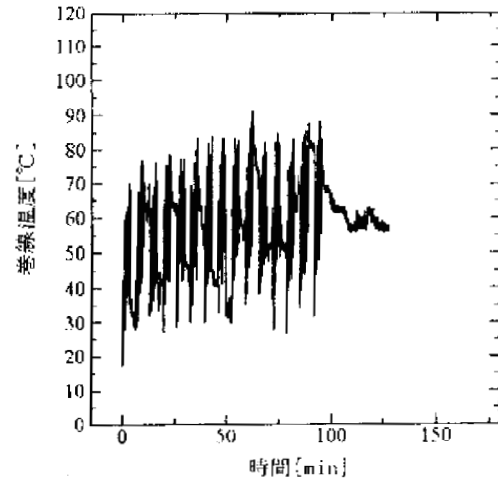


図 23. 停止期間 3 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 15[V])

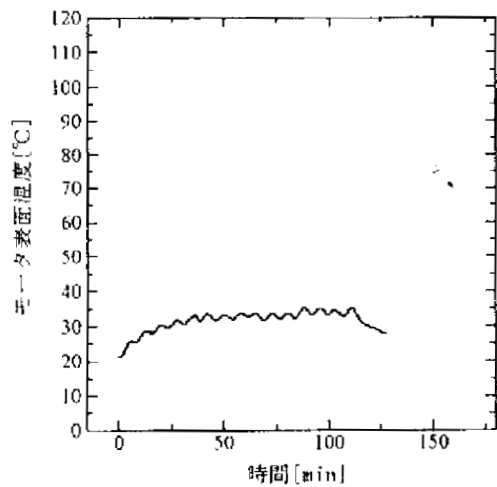


図 24. 停止期間 4 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 15[V])

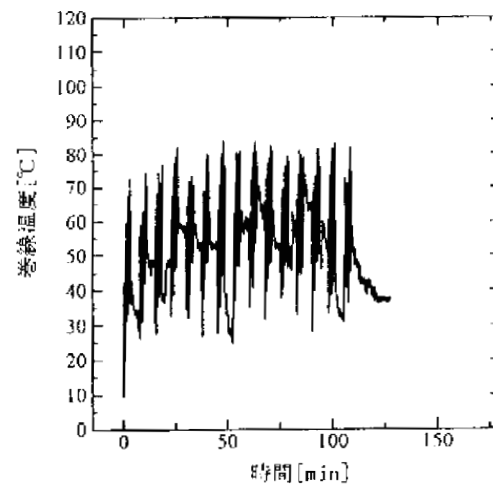


図 25. 停止期間 4 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 15[V])

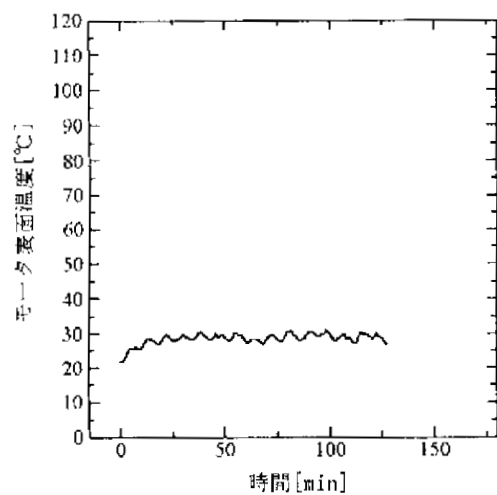


図 26. 停止期間 5 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 15[V])

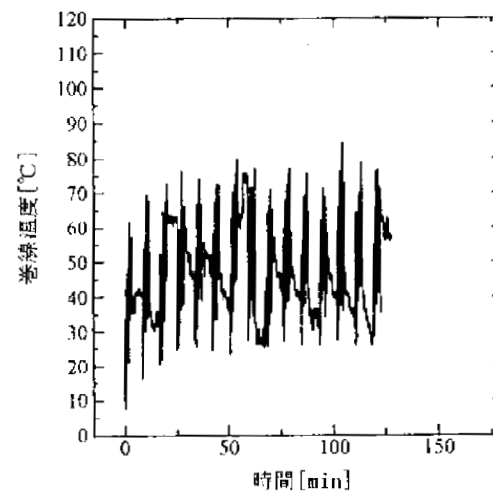


図 27. 停止期間 5 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 15[V])

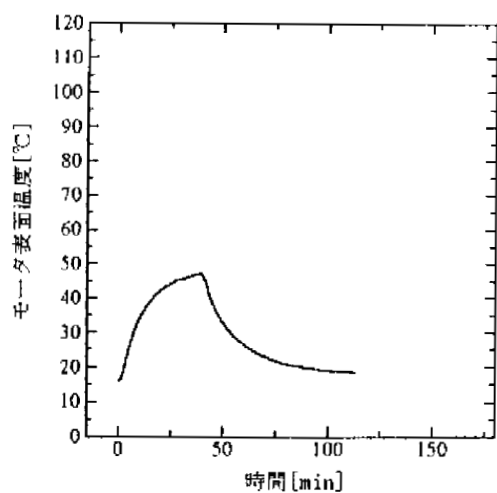


図 28. 停止期間なしの場合のモータの表面温度 (印加電圧 20[V])

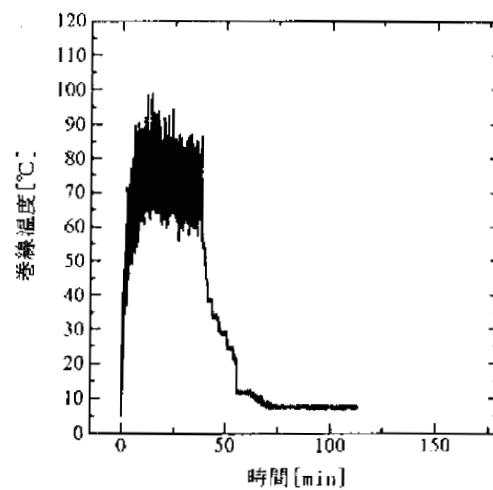


図 29. 停止期間なしの場合のモータの巻線温度 (印加電圧 20[V])

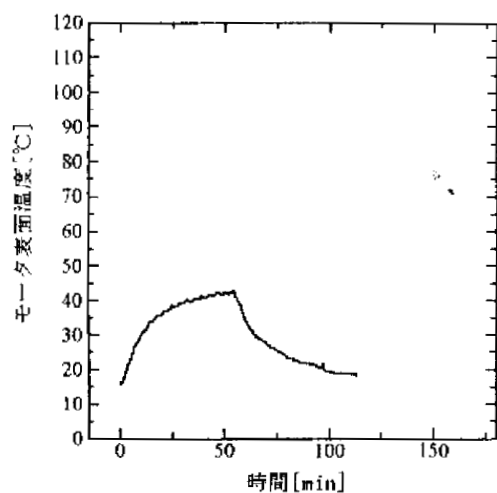


図 30. 停止期間 1 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 20[V])

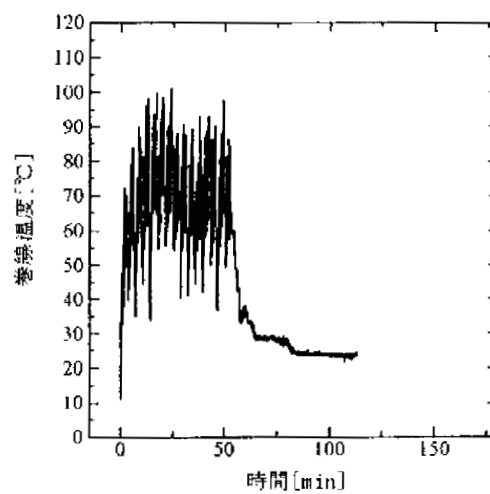


図 31. 停止期間 1 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 20[V])

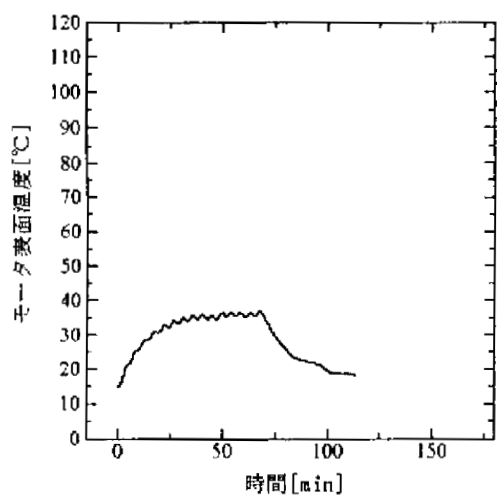


図 32. 停止期間 2 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 20[V])

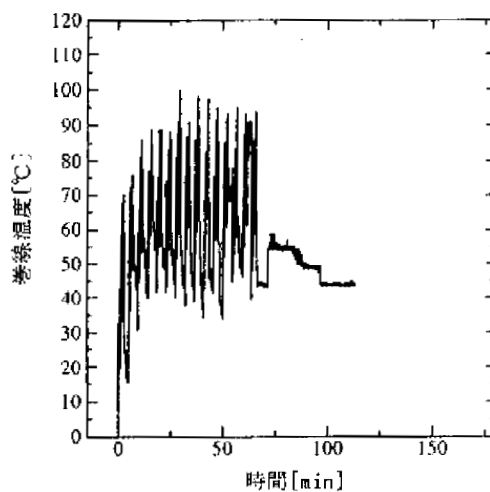


図 33. 停止期間 2 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 20[V])

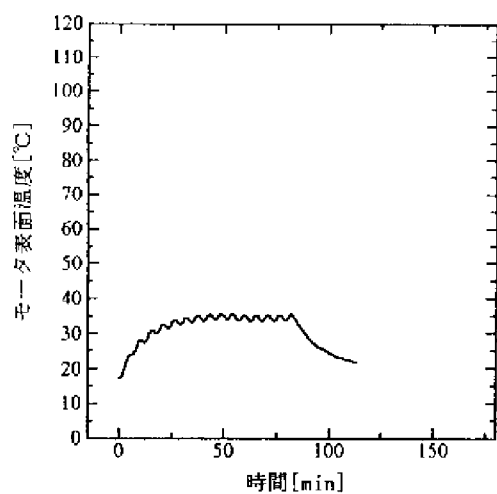


図 34. 停止期間 3 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 20[V])

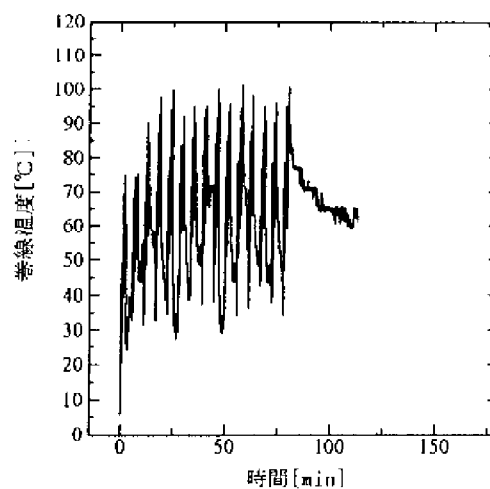


図 35. 停止期間 3 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 20[V])

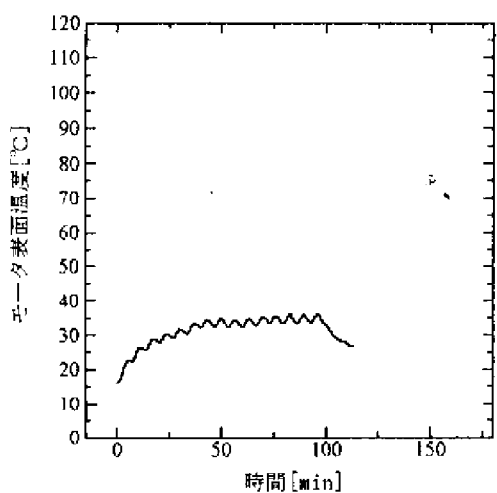


図 36. 停止期間 4 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 20[V])

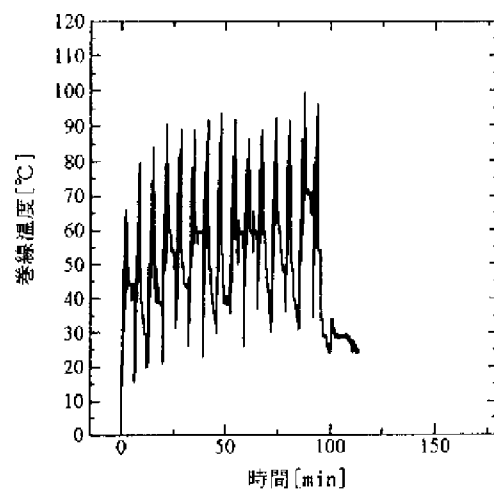


図 37. 停止期間 4 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 20[V])

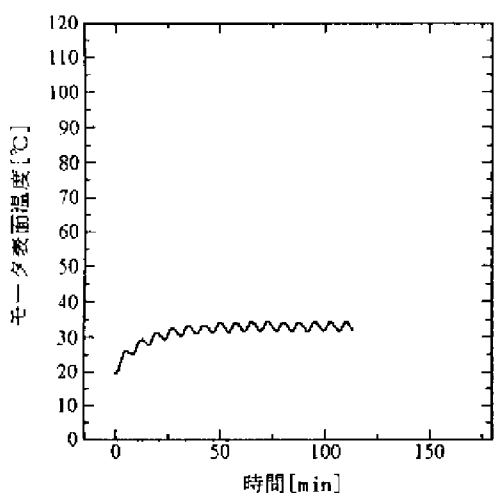


図 38. 停止期間 5 分の場合のモータの表面温度 (印加電圧 20[V])

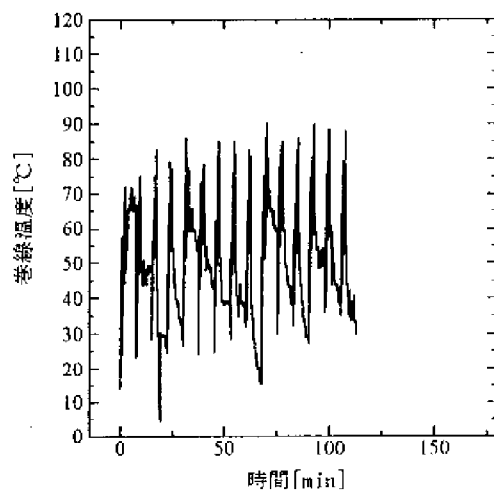


図 39. 停止期間 5 分の場合のモータの巻線温度 (印加電圧 20[V])

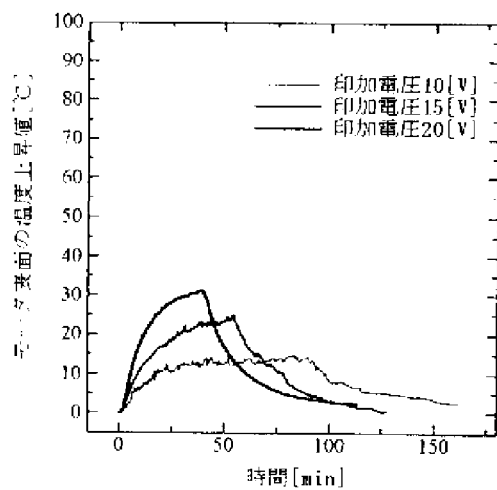


図 40. 停止期間なしの場合の
モータ表面の温度上昇値

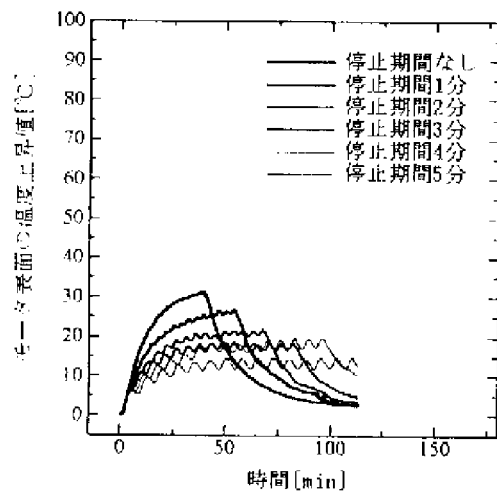


図 41. 印加電圧 20[V]の場合の
モータ表面の温度上昇値

<参考文献>

- 1) 電気学会産業応用部門回転機技術研究会：小形モータの分類と試験法の現実，1/2，電気学会(1996)
- 2) 藤田宏：電動力応用工学，164/165，森北出版(1992)
- 3) 坪島茂彦，大坪俊，丸山孝一郎：電気機器の据付・試験・保全，112/117，電気書院(1978)

6. おわりに

本研究ではモータを駆動させる際に温度上昇をどう考慮すべきかという目的で，その糸口を見出す手段の一つとして，モータを様々な運転パターンで駆動させ，モータの温度上昇の傾向を考察した。その結果，モータの運転の合間に停止期間を置くことで，モータの温度上昇を調節できることがわかった。また，モータの内部と表面の温度差がおよそ 25[°C]であった。例えば，もし，現在の負荷運転で温度上昇限度まであとどのくらいの時間だけモータを運転させられるかがわかれば，温度上昇を考慮した運転スケジュールを立てることが可能であると考えられる。