

モータ温度自動計測システム

Automatic Temperature Test System for Small Motors

神部 晃*
Akira Kanbe
太田 俊光*
Toshimitsu Ota

1 まえがき

近年、当社では小形モータの試験・検査業務の合理化、効率向上を目的として、LA機器の導入・活用を計画し鋭意推進してきた。⁽¹⁾⁽²⁾今般新たに導入した「モータ温度自動計測システム」は、モータ試験の中でも自動化が比較的遅れており作業改善の図りにくかった温度試験を合理化する設備である。

本設備は、モータの巻線やケースなどの温度上昇をパーソナルコンピュータ（以下、パソコンという）を使用して自動的に測定するシステムである。このシステムの大きな特長は、モータを運転させたままの状態、すなわち通電したままの状態での巻線の温度上昇を抵抗法で計測し、しかも同時に最高5台のモータの温度試験ができることである。

現在、本システムの運用により、当初の目的であったモータ試験の省力化や測定データの品質向上を図ることができたので、ここにその概要について紹介する。

2 設備の概要

当社では、クマトリモータ、コンデンサモータ、三相モータ、ブラシレスDCモータを製造・販売している。本システムでは、次の節で述べる測定原理から分るように、ブラシレスDCモータの巻線温度が測定できないので、これを除いた三種類のモータの温度上昇を自動計測するようになっている。

当社で従来から行っているモータ温度試験の主な方法は、次に述べるような温度計法と抵抗法の二つである。モータケースなどの表面温度は、サーミスタ温度計を用いて測定している。モータ巻線の温度は、通電を切ってモータを停止させた直後の巻線抵抗を測定し、それを温度換算して求めている。このとき手でモータの回転を強制的に止めるため、特にファン負荷運転状態の場合には危険であった。また測定の際には、モータを停止させ測定器のデータを読取る人と、それを記録する人の二人が必要であった。しかも抵抗の温度換算も手計算で行うため計算チェックが必要であった。さらに連続定格のモータの場合、温度上昇値が一定になる正確な時間が分からないため、モータ運転時間を充分過ぎる程とって測定していた。

このようなことを省みて、温度試験の省力化、試験時

間の短縮化、試験作業の安全性向上を図るため、本システムの導入を計画した。図1にシステムの外観を示し、図2にその構成を示す。

まえがきでも述べたように、本システムではモータを運転させた状態のまま巻線抵抗を測定し、パソコンで温度計算を行う。また、それと同時に熱電対でモータ表面温度を測定し、測定経過をディスプレイ上に表示したり、結果を試験成績表としてプリンタで印刷できるようにになっている。

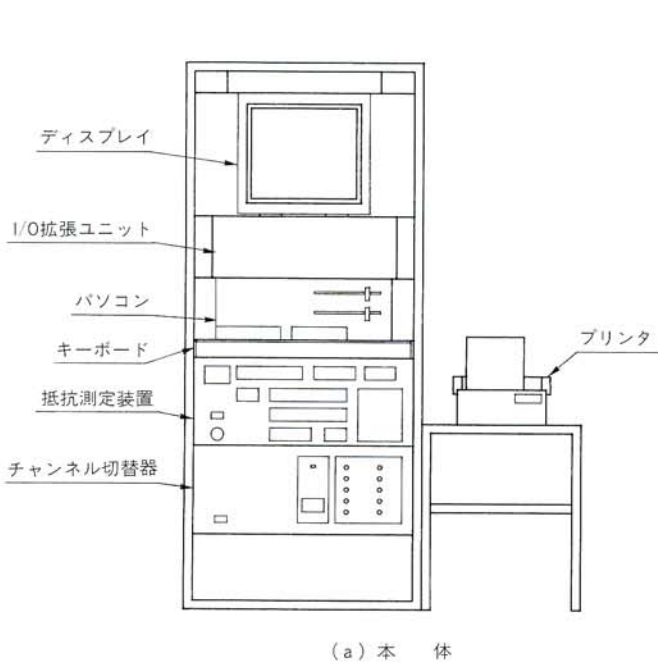
ここで、活線状態のままモータの巻線抵抗を測定する原理について簡単に述べる。

2.1 測定原理

図2(a)に示した抵抗測定装置が活線状態のまま抵抗を測定する装置で、その測定原理を説明する概略図を図3に示す。同図に示すように、測定装置から直流電流をモータ巻線に流す。すなわちモータ巻線電流（交流）に直流電流を重畳させ、これによる巻線端子間の電圧降下を測定する。測定した直流電圧と直流電流の比をとれば巻線の抵抗が測定できる。



図1/システム外観
Fig. 1/External view



《温度試験場》

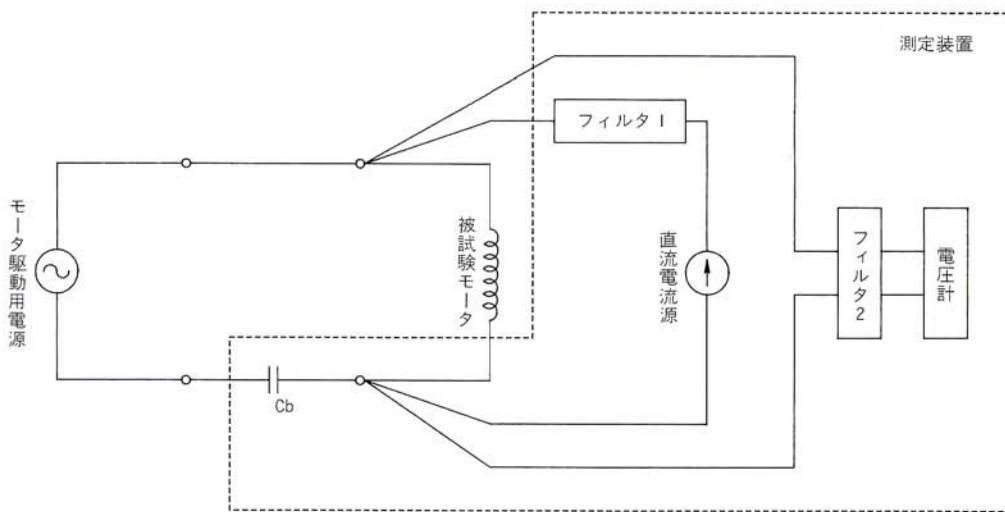
<p>[エリア4]</p> <p>(1) 試験可能なモータ 連続定格のクマトリモータと コンデンサモータ</p> <p>(2) 温度測定点数 抵抗法によるもの：2点 熱電対によるもの：3点</p>	<p>[エリア5]</p> <p>(1) 試験可能なモータ 連続定格のクマトリモータ</p> <p>(2) 温度測定点数 抵抗法によるもの：1点 熱電対によるもの：3点</p>
<p>[エリア2]</p> <p>(1) 試験可能なモータ 連続定格または短時間定格の クマトリモータとコンデンサモ ータ</p> <p>(2) 温度測定点数 抵抗法によるもの：2点 熱電対によるもの：3点</p>	<p>[エリア3]</p> <p>(1) 試験可能なモータ 連続定格のクマトリモータと コンデンサモータ</p> <p>(2) 温度測定点数 抵抗法によるもの：2点 熱電対によるもの：3点</p>
<p>モータ温度 自動計測システム</p>	<p>[エリア1]</p> <p>(1) 試験可能なモータ 連続定格または短時間定格の クマトリモータとコンデンサモ ータ及び三相モータ</p> <p>(2) 温度測定点数 抵抗法によるもの：3点 熱電対によるもの：3点</p>

(a) 本 体

(b) 温度試験場レイアウト (平面図)

図2/システム構成

Fig. 2/Configuration



Cb：直流成分をブロックするコンデンサ
フィルタ1、2：交流成分を除去するフィルタ
被試験モータ：クマトリモータ

図3/測定原理

Fig. 3/Measuring principle

重畳させる直流電流はモータ巻線電流に比して充分小さく、最大50mAである。ただし、これは抵抗測定装置の測定レンジが20Ωレンジ（最小測定レンジ）のときのもので、レンジが一つ大きくなるごとに、重畳される直流電流は1/10になる。いずれのレンジにおいても、多くても巻線電流の数%以下で、しかも抵抗測定するときだけしか流さないで、モータ特性に与える影響は無視できる。また直流電流を流すことによって発生するモータ巻線の温度上昇も、次に述べるように無視できるものである。

線径 d 、長さ l のモータ巻線に I なる直流電流を時間 t

の間だけ重畳させたとする。

まず、巻線の抵抗率を ρ とするとモータ巻線の抵抗 R は

$$R = \rho l / (\pi d^2 / 4)$$

である。

巻線の比熱を c 、密度を σ とするとモータ巻線の熱容量 C_w は

$$C_w = c \sigma l (\pi d^2 / 4)$$

となる。

このとき発生する熱量 Q は

$$Q = I^2 R t$$

である。

したがって、直流電流を流すことによって生じるモータ巻線の温度上昇 ΔT は、放熱を考えない最悪条件で求めると、

$$\Delta T = Q/C_w$$

$$= (\rho/c\sigma) I^2 t / (\pi d^2/4)^2$$

となる。すなわち、巻線径が小さいほど ΔT が大きくなって無視できなくなる可能性がでてくる。

現在、当社で製造しているモータの巻線径の最小値は0.12mmである。本システムの抵抗測定時間は約4秒で、この間に最大50mAの電流がこの巻線に流れたとすると、 $\Delta T=0.37^\circ\text{C}$ となる。この値は充分無視できるものである。

2.2 構成

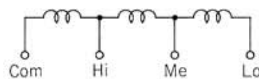
図2(a)に示したシステム本体の構成図から分るように、本システムは、測定器を制御しデータを収集・処理するパソコン及びその周辺装置と、活線状態でモータの巻線抵抗を測定する抵抗測定装置及びその周辺装置から構成されている。

(1) パソコン及びその周辺装置

主要な装置は次のとおりである。

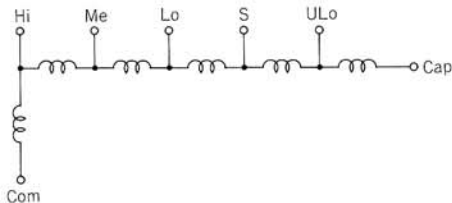
- ・パソコン：PC-9801RX4
- ・ディスプレイ：PC-KD854N
- ・プリンタ：NM-9950 II
- ・I/O拡張ユニット：PC-9811L

パソコンは20Mバイトのハードディスクを内蔵したタイプのものである。プリンタには、試験成績表を連



モータ運転条件	温度測定部
Hi タップで運転しているとき	Hi -Com間の巻線
Me タップで運転しているとき	Me -Com間の巻線
Lo タップで運転しているとき	Lo -Com間の巻線

(a) クマトリモータの場合



モータ運転条件	温度測定部 A	温度測定部 B
Hi タップで運転しているとき	Hi -Com間の巻線	Hi -Cap間の巻線
Me タップで運転しているとき	Me -Com間の巻線	Me -Cap間の巻線
Lo タップで運転しているとき	Lo -Com間の巻線	Lo -Cap間の巻線
S タップで運転しているとき	S -Com間の巻線	S -Cap間の巻線
ULo タップで運転しているとき	ULo-Com間の巻線	ULo-Cap間の巻線

(b) L結線のコンデンサモータの場合

続印刷できるように、A4用紙を自動供給するシートフイーダを取付けた。I/O拡張ユニットには、8点J型熱電対温度センサインターフェイスボード2枚、16点絶縁型パラレル入出力ボード1枚を実装した。これにより本システムでは15ヶ所までの温度測定が熱電対でできるようになっている。抵抗測定装置の制御はGP-IBインターフェイスを使用している。

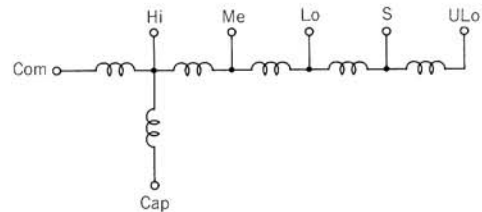
ソフトウェアについては、OSとしてMS-DOSバージョン3.1を用い、プログラムはC言語で作成している。

(2) 抵抗測定装置及びその周辺装置

主要な装置は次のとおりである。

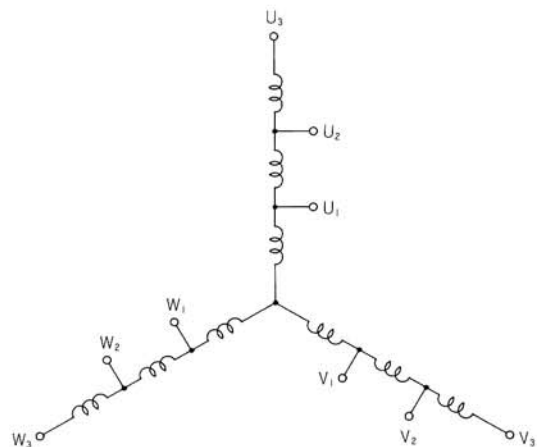
- ・抵抗測定装置：DAC-HR450-UL
- ・チャンネル切替器：DAC-SCB

抵抗測定装置にオプションの温度センサユニットを実装して、温度試験場の周囲温度を測定するようにした。チャンネル切替器は10点の測定点を切替えるようになっている。したがって本システムでは10個までのモータ巻線の温度測定ができる。



モータ運転条件	温度測定部 A	温度測定部 B
Hi タップで運転しているとき	Hi -Com間の巻線	Hi -Cap間の巻線
Me タップで運転しているとき	Me -Com間の巻線	Me -Cap間の巻線
Lo タップで運転しているとき	Lo -Com間の巻線	Lo -Cap間の巻線
S タップで運転しているとき	S -Com間の巻線	S -Cap間の巻線
ULo タップで運転しているとき	ULo-Com間の巻線	ULo-Cap間の巻線

(c) T結線のコンデンサモータの場合



モータ運転条件	温度測定部 A	温度測定部 B	温度測定部 C
Hi タップで運転しているとき	U ₁ -V ₁ 間の巻線	V ₁ -W ₁ 間の巻線	W ₁ -U ₁ 間の巻線
Me タップで運転しているとき	U ₂ -V ₂ 間の巻線	V ₂ -W ₂ 間の巻線	W ₂ -U ₂ 間の巻線
Lo タップで運転しているとき	U ₃ -V ₃ 間の巻線	V ₃ -W ₃ 間の巻線	W ₃ -U ₃ 間の巻線

(d) 三相モータの場合

図4 /モータ巻線温度測定部

Fig. 4/ Temperature measuring parts of winding in the motor

2.3 仕様

以下に本システムの主な仕様を示す。ハードウェア的には温度測定箇所の設定など自由な部分がある。しかし、操作性、試験成績表のフォーマット、プログラムの作りやすさなどを考えると、ソフトウェア的にはある程度固定化しておいた方が良くと思われるので、ハードウェアの柔軟性を犠牲にした部分もある。

(1) 測定対象

クマトリモータ、コンデンサモータ、三相モータ及びこれらの応用製品を対象とする。ただし、温度測定しようとするモータ巻線の端子間電圧がAC250Vを越えないものとする。またクマトリモータとコンデンサモータの場合はその全電流が、三相モータの場合は各相の巻線電流が、AC10Aを越えないものとする。

クマトリモータ、三相モータの速度切替タップ数は3タップまで、コンデンサモータは5タップまでとする。各モータにおける巻線の温度測定部分は従来と同様に図4のようにした。

(2) 並列測定台数

連続定格のモータは最高5台、短時間定格のモータは最高2台まで独立に測定できる。ただしデータ処理時間の関係上、連続定格のモータと短時間定格のモータを混在させて測定することはできない。図2(b)に示したように試験場所はエリア1～エリア5まで5箇所

あり、エリア1、2が両定格兼用の場所で、他のエリアは連続定格専用の場所である。またエリアごとに測定できる巻線の個数も決まっており、エリア1では3個、エリア2～4では2個、エリア5では1個である。熱電対による温度測定箇所は各エリアとも3箇所までである。

巻線抵抗温度上昇試験																					
SD-36872																					
機種名: C252 試作番号: 16381 付番号: 502 定格事項: 1φ, 50/60 Hz, 100 V, 6 P, 12 W, 7.0 A, F, 1 速 測定日: 1990年05月06日 備考: HIT LINE 検査システム																					
結線図					巻線抵抗測定箇所																
					<table border="1"> <tr><th>タップ</th><th>A</th><th>B</th></tr> <tr><td>Hi</td><td>MI</td><td>A</td></tr> <tr><td>Me</td><td>M1-M2</td><td>M2-A</td></tr> <tr><td>Lo</td><td>M1-M2-M3</td><td>M2-M3-A</td></tr> </table>					タップ	A	B	Hi	MI	A	Me	M1-M2	M2-A	Lo	M1-M2-M3	M2-M3-A
タップ	A	B																			
Hi	MI	A																			
Me	M1-M2	M2-A																			
Lo	M1-M2-M3	M2-M3-A																			
試験時間		飽和電圧		空転動力計No. 28		周温		周温													
t-φ	周波数 (Hz)	電圧 (V)	タップ	抵抗法	温度上昇値 (deg)	算出温度計法	周温	周温	周温												
				A	B	7-A1	7-A2	轉變	(°C)												
1	50	110	Lo	25.4	24.0	16.6	16.4	11.1	24.8												
1	50	100	Lo	23.0	22.1	15.4	15.6	10.7	23.8												
1	60	110	Lo	26.7	26.4	17.9	18.5	12.4	23.0												
1	60	100	Lo	24.8	23.4	16.2	17.4	11.3	22.1												
1	50	110	Me	32.4	34.1	20.6	20.1	12.4	22.1												
1	50	100	Me	29.9	31.3	19.5	19.9	12.0	21.7												
1	60	110	Me	38.7	41.1	26.0	25.3	15.5	20.8												
1	60	100	Me	36.7	38.9	24.2	25.1	15.1	23.2												
1	50	110	Hi	48.2	50.8	29.7	28.7	15.9	24.5												
1	50	100	Hi	44.4	45.8	27.2	27.2	15.5	24.5												
1	60	110	Hi	52.2	58.0	33.0	34.2	19.4	25.0												
1	60	100	Hi	48.9	52.5	31.7	32.3	18.5	25.1												

愛知電機株式会社

(a) 書式 1

モータ単体無負荷温度上昇試験															
SD-36875															
機種名: N15 試作番号: 1811b 付番号: 5003 定格事項: 1φ, 50/60 Hz, 100 V, 4 P, 1 W, 1 速 測定日: 1990年05月11日 備考: HIT LINE 検査システム															
結線図					巻線抵抗測定箇所										
					<table border="1"> <tr><th>タップ</th><th>A</th><th>B</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table>					タップ	A	B			
タップ	A	B													
試験時間		飽和電圧		空転動力計No. 28		周温		周温							
t-φ	周波数 (Hz)	電圧 (V)	タップ	抵抗法	温度上昇値 (deg)	算出温度計法	周温	周温	周温						
				A	B	ケース			(°C)						
0		0.0			0.0				25.6						
5		35.0			13.7				25.7						
10		70.0			22.0				25.8						
15		79.7			27.9				25.8						
20		85.1			31.1				25.8						
25		89.5			33.3				25.8						
30		92.2			35.0				25.8						
35		92.4			35.1				25.8						
40		92.7			35.4				25.7						
45		92.8			35.5				25.7						
50		92.9			35.6				25.7						
55		92.9			35.6				25.7						

愛知電機株式会社

(b) 書式 2

巻線抵抗温度上昇試験															
SD-37878															
機種名: N15 試作番号: 1811b 付番号: 5003 定格事項: 1φ, 50/60 Hz, 100 V, 4 P, 1 W, 1 速 測定日: 1990年05月11日 備考: HIT LINE 検査システム															
結線図					巻線抵抗測定箇所										
					<table border="1"> <tr><th>タップ</th><th>A</th><th>B</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table>					タップ	A	B			
タップ	A	B													
試験時間		飽和電圧		空転動力計No. 28		周温		周温							
t-φ	周波数 (Hz)	電圧 (V)	タップ	抵抗法	温度上昇値 (deg)	算出温度計法	周温	周温	周温						
				A	B	ケース			(°C)						
1	50	100			92.9				25.7						
1	60	100			66.3				24.9						

巻線抵抗温度上昇試験															
SD-37878															
機種名: N15 試作番号: 1811b 付番号: 5003 定格事項: 1φ, 50/60 Hz, 100 V, 4 P, 1 W, 1 速 測定日: 1990年05月11日 備考: HIT LINE 検査システム															
結線図					巻線抵抗測定箇所										
					<table border="1"> <tr><th>タップ</th><th>A</th><th>B</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table>					タップ	A	B			
タップ	A	B													
試験時間		飽和電圧		空転動力計No. 28		周温		周温							
t-φ	周波数 (Hz)	電圧 (V)	タップ	抵抗法	温度上昇値 (deg)	算出温度計法	周温	周温	周温						
				A	B	ケース			(°C)						
1	50	100			60.5				25.4						
1	60	100			45.4				25.7						

実機温度上昇試験															
SD-37878															
機種名: G15F															
結線図					巻線抵抗測定箇所										
					<table border="1"> <tr><th>タップ</th><th>A</th><th>B</th></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table>					タップ	A	B			
タップ	A	B													
試験時間		飽和電圧		空転動力計No. 28		周温		周温							
t-φ	周波数 (Hz)	電圧 (V)	タップ	抵抗法	温度上昇値 (deg)	算出温度計法	周温	周温	周温						
				A	B	ケース			(°C)						
1	50	100			67.2				25.9						
1	60	100			50.2				26.2						

愛知電機株式会社

(c) 書式 3

図5/試験成績表の書式

Fig. 5/Formats of the test report

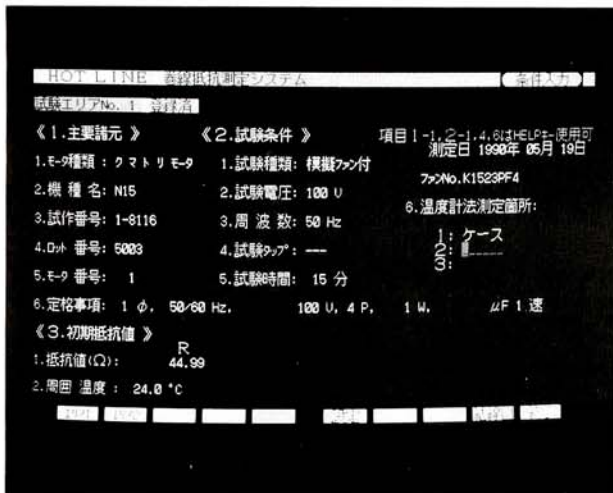


図6 / 条件入力画面
Fig. 6/Display of setting conditions

図4に示したように、モータの各運転状態において同時に温度測定する巻線部分の個数は、クマトリモータで1個、コンデンサモータで2個、三相モータで3個である。したがって、エリア1はすべてのモータ兼用の試験場所で、エリア2～4はクマトリモータとコンデンサモータ兼用の場所、エリア5はクマトリモータ専用の場所とした。

(3) 温度測定範囲

0～300℃の範囲の測定が出来る。ただし、モータ巻線温度は抵抗法で測定するため、抵抗測定範囲で限定される。測定可能な抵抗の範囲は最大20kΩまでで、測定装置の入力インピーダンスは200kΩ以上である。

モータ巻線温度 T_c は次式で算出している。

$$T_c = (234.56 + T_0) (R_t - R_0) / R_0 + T_0$$

ここで、 R_t はホット状態における抵抗値、 R_0 はコールド状態における抵抗値、 T_0 は R_0 を測定したときの周囲温度とする。ただし、コールド状態においては周囲温度と巻線温度が等しくなっているものとする。

(4) 測定精度

±0.5℃以下

(5) 試験時間

連続定格モータに対しては、測定している部分の温度がすべて飽和するまで自動的に試験を続ける。すべての温度が飽和したと判定したら自動的に試験を終了し、次の試験条件と測定開始の合図が入力されるまで待機状態となる。温度測定は5分間隔で行い、30分間に測定した温度上昇値の最大値と最小値の差が1 deg以内になった時、温度が飽和したものと判定する。

対象とするモータは小形であるので1～2時間運転すると熱的に飽和してしまう。しかも経験上、30分間の温度上昇値の変化が1 deg以内であれば飽和したものと見なせることが分っている。したがって温度飽和の判定基準を上記のように決めた。

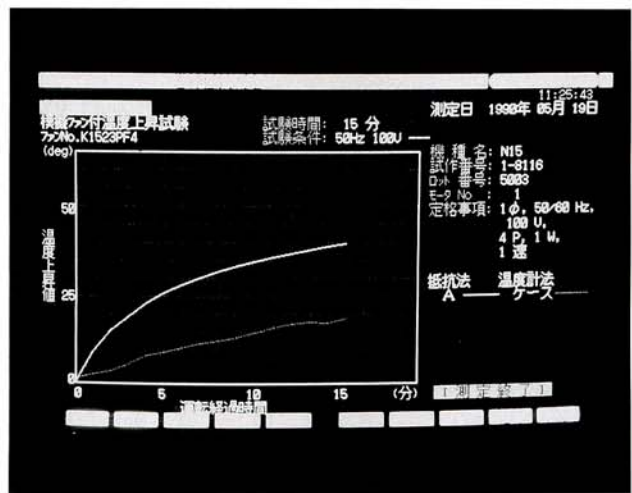


図7 / 温度上昇曲線
Fig. 7/Temperature rise curves

短時間定格のモータに対しては、1分間隔で温度測定を行い、指定した時間だけ経過したら自動的に試験を終了する。試験時間の指定は1分単位で最大120分まで指定できる。

(6) 試験成績表

測定データは自動的にハードディスクに格納するようになっている。試験成績表は、このデータを適当に呼出して図5に示すような三種類の書式で印刷することができる。

(7) データ管理

測定したデータの中で、重要なものはハードディスクからフロッピーディスクに移して保存する。フロッピーディスクに保存したデータは再度ハードディスクに移してから試験成績表として印刷する。

(8) 操作

モータ駆動電源の投入や遮断、電圧調整は手動で行う。モータのタップ切替えも手動で行う。測定に際してのシステムの操作としては、最初に図6に示すような条件を入力する。同図から分かるように、このときコールド状態における巻線抵抗と周囲温度を入力する。条件入力後測定中でもできるようになっている。

次に、モータ電源を投入して測定開始キーを押せば、自動的に測定がスタートする。測定中に、図7に示すようなグラフをディスプレイ上に表示して、データや進行状況を確認することができる。また図5(b)に示す表形式でも確認することができる。測定終了時には図7に示すグラフのハードコピーをプリンタでとることができる。

連続定格のモータの温度試験のときはデータ処理時間に余裕があるため、測定中でも試験成績表の印刷処理やデータ保存などのディスク操作ができるようになっている。

(9) 使用環境条件

温度 5～35℃、湿度 0～70%の環境で使用する。

3 あとがき

本報告で紹介したシステムは、モータ温度試験の自動化設備の第一段階に相当するものであるが、温度試験作業の安全性及び作業効率の向上に大いに貢献している。

今後の課題として、モータ駆動電源の投入・遮断、電圧調整や、モータのタップ切替えの自動化などを検討している。すなわち、一度モータをセッティングしてしまえば、後は自動的に試験条件を選択しながら最後まで完全に自動測定するといったシステム強化を計画中である。

最後に、本システムの導入に際しご協力戴いた関係各位に対し深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 神戸，他：小形モータの負荷特性自動計測システム，
愛知電機技報No.5（1987）
- (2) 太田，他：モータ試験室，愛知電機技報No.6（1988）

最近公開された愛知出願

実用新案

公開番号	名 称	考 案 者	共同出願人
I-904	塗料の塗着防止装置	吉田 兼光 宇都宮 敦	
I-16181	無整流子電動機のプリント基板支持装置	須藤 章夫	
I-22952	電熱器具の電熱線取付装置	山下 直治	
I-25875	無整流子電動機の駆動回路用部品取付装置	須藤 章夫	
I-37387	DC-DCコンバータ	佐藤 徹 丹羽 裕彦	
I-41853	蓄熱電気暖房器	新美 正明 杉本 立央	
I-95199	シートペーパー自動供給便座の駆動装置	山本 修 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-99298	シートペーパー自動供給便座	山本 修 野々村勝巳	東陶機器(株)

公開番号	名 称	考 案 者	共同出願人
I-103398	シートペーパー自動供給便座	山本 修 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-108199	シートペーパー自動供給便座の誤操作防止装置	稲垣 邦利	東陶機器(株)
I-112798	シートペーパー自動供給便座	山下 直治	東陶機器(株)
I-112799	シートペーパー自動供給便座	山下 直治 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-126196	シートペーパー自動供給便座	山本 修	東陶機器(株)
I-127226	分割鉄心形変流器	野中 守	中部電力(株) ミドリ安全(株)
I-161556	モールドモータ	須藤 章夫	
I-162585	天窓の開閉装置	山本 修	
I-174908	変圧器巻線	井戸 哲成	