磁界および整流解析による永久磁石界磁直流電動機 の特性評価

正員 田原 和雄 (日立)

正員 山下 誠二 (日立)

正員 田辺 昭次 (日立)

非会員 村松 正治 (日立)

正員 高橋 典義 (茨城大)

Evaluation of Performance of Permanent Magnet Field Type DC Motors by Magnetic Field and Commutation Analysis

Kazuo Tahara, Member, Seiji Yamashita, Member, Syoji Tanabe, Member, Masaharu Muramatsu, Non-member (Hitachi Ltd.), Noriyoshi Takahashi, Member (Ibaraki University)

Permanent magnet field-type DC motors are used widely for many purposes because of such features as small size, light weight, high efficiency and the ease of the variable speed drive.

Permanent magnet field-type DC motors are small motor, so that there are few reports with respect to evaluation of performance for optimum design.

Therefore, this paper describes the evaluation of performance in regard to armature circuit inductance, demagnetization durability of permanent magnet and commutation characteristics.

The results are summarized as follows.

(1) The armature circuit inductance and the demagnetization durability of the permanent magnets fields can be calculated by magnetic field analysis using the finite element methods.

(2) The commutation characteristics of permanent magnet field-type DC motors without commutating poles can be calculated by commutating analysis using the flux distribution at the neutral zone.

(3) The armature circuit inductance can be increased by slotted-core armature and permanent magnet field with pole pieces.

(4) The demagnetization durability of the permanent magnets fields can be increased by slotted-core armature and stator with splitted-yokes.

It is proved that the measured results obtained by the trial machines have a good agreement with the analytical results.

キーワード：永久磁石界磁直流電動機，減磁耐力，電機子回路インダクタンス，磁界解析，整流解析

1. ま え が き

界磁に永久磁石材を適用した永久磁石界磁の小形電動機として，従来は直流モータが，最近ではブラシレスモータも多く適用されるようになってきている。

いずれも可変速電動機として効率，制御性が良いことから広く用いられている。特に，最近では負荷条件が最も過酷な自動車用のスタータモータに永久磁石界磁直流電動機が適用されている⁽¹⁾。一方，小形モータ用の永久磁石材としては，従来から最も安価なフェラ

イト磁石が多く使用されている。しかし、付加価値の高いモータではエネルギー積が大きい希土類-コバルト系磁石が使用されている。一方、エネルギー積が希土類-コバルト系磁石以上であるネオジム磁石も開発されており、この磁石は鉄を主成分としていることから、将来の低コスト化が期待されている。このような状況から永久磁石界磁の小形モータの需要は今後とも増加するものと考えられる。

一般に、永久磁石界磁電動機は整流補償用の補極がなく、交流電源の場合は位相制御装置、直流電源の場合はチョッパ制御装置による電圧制御により可変速運転を行っている。この結果、電機子電流は脈動電流となり、脈動電流の大きさは電動機自体の電機子回路インダクタンスの大きさでも左右される。特に、電機子電流の脈動が大きいと整流特性の悪化、電機子起磁力による永久磁石の減磁などの問題が生じやすくなるので、設計段階で電機子回路インダクタンス、電流脈動を考慮した整流性能および永久磁石界磁の減磁耐力の計算評価を行う必要がある。

従来、補極を設けた巻線形界磁の直流電動機の場合には、磁界解析に基づいた整流解析、電機子回路インダクタンスの計算評価法などが報告されているが、補極のない永久磁石界磁直流電動機に対する電機子回路インダクタンス、永久磁石界磁の減磁耐力および整流性能の計算評価に関しては明らかにされていない^{(2)~(6)}。

そこで、本論文では補極がなく、可逆回転で運転される永久磁石界磁直流電動機を対象に、各種の永久磁

石界磁構造と電機子構造について、電機子回路インダクタンスと永久磁石界磁の減磁耐力の関係を明らかにした。更に、整流性能を整流解析で評価し、最適な構造の永久磁石界磁直流電動機を試作して計算評価の妥当性を検証すると共に電機子回路インダクタンスおよび永久磁石界磁の減磁耐力が大きく、かつ整流性能の良好な構成を明らかにすることができたので、その結果について述べる。

2. 永久磁石界磁直流電動機の磁界解析

永久磁石界磁直流電動機（以下、PM-DCMと略称）の磁界計算はFEMによる二次元の磁界解析を適用した。図1(a)にPM-DCMに適用したフェライト磁石の減磁曲線を示す。通常、永久磁石界磁は電機子起磁力による減磁作用が働いても、永久磁石の磁束密度が P 点以下にならないように設定する。永久磁石界磁の動作領域内での $0-P$ 点間の透磁率は減磁曲線上の P 点の減磁界が約 202 kA/m 、 $0-P$ 点間の磁束密度が約 0.26 T なので自由空間透磁率にほぼ一致する。

このため、以下の磁界解析は永久磁石内の透磁率を便宜的に自由空間透磁率に設定して行った。しかし、磁気回路を構成する各部鉄心、例えば継鉄、磁極片および電機子鉄心は磁気飽和の影響を考慮している。

PM-DCMの磁界解析における起磁力の設定法を図1(b)に示す。

永久磁石の起磁力は図示の A 、 B 、 C 点に全起磁力を分散して与え、電機子巻線の起磁力についてはス

図1 永久磁石の減磁曲線と解析モデル

Fig. 1. Demagnetization curve of permanent magnet and analytical model of electromagnetic field.

ロット付機はスロット内に、空隙電機子巻線 (Air Gap Armature Winding) 機は空隙巻線部の全面積に与えた。

ただし、ブラシで短絡されている範囲は直線整流として起磁力を与えて磁界解析を行った。

3. 電機子回路インダクタンスの計算法

従来の電機子回路インダクタンスの計算法としては機械寸法からパーミアンスを求めて計算する方法がある。この方法は磁気回路の飽和の影響が含まれていないことから、永久磁石界磁に磁極片などを設けた場合には精度の高い計算ができない。磁界解析により求める方法は巻線の励磁電流と磁束鎖交数の関係から求める磁束鎖交数法と巻線の励磁電流と磁界に蓄積されるエネルギーの関係より求めるエネルギー法がある。

ここでは、前者の磁界解析により電機子巻線と鎖交する電機子磁束を求めて電機子回路インダクタンスを計算する磁束鎖交数法を用いた。すなわち、電機子起磁力と電機子磁束は図2のように示すことができる。図示の電機子起磁力 F_a は次式から求める。

$$F_a = \frac{ZI}{2 \cdot 2a \cdot 2p} \quad (\text{A}) \quad (1)$$

ここに、 Z : 全導体数, I : 電機子電流 (A), $2a$: 並列回路数, $2p$: 極数

この電機子起磁力による電機子磁束は図示のようにギャップを介して永久磁石界磁, 継鉄と電機子の間で閉ループを形成し, 主磁束を偏磁させると共に, 電機

子巻線はこの磁束と鎖交するためにインダクタンスを有する。従って, 電機子回路インダクタンスは図示のように電機子鉄心を通る磁束量が求められれば, 次式から磁束鎖交数 N を求め, そのときの電機子電流 I で磁束鎖交数 N を除すことにより, 次式から電機子回路インダクタンス L_a を求めることができる。

$$N = 2 \sum (n_1 \phi_1 + n_2 \phi_2 + n_3 \phi_3 + \dots) \quad (\text{Wb}) \quad (2)$$

$$L_a = N/I \quad (\text{H}) \quad (3)$$

4. 減磁耐力の計算法

永久磁石界磁の減磁は永久磁石の起磁力の方向に対して, 電機子起磁力が相反する方向となる減磁側で発生する。ここで減磁耐力とは, 便宜上から永久磁石界磁が減磁しない最大の負荷電流率で表している。

永久磁石の端部に作用する減磁界の最大起磁力 F'_a は (1) 式に示した電機子起磁力 F_a に極弧率 ρ を乗じた次式で示される。

$$F'_a = F_a \rho \quad (\text{A}) \quad (4)$$

今まで, 磁極片を有する永久磁石の減磁耐力は次のように求めている。

まず, 電機子起磁力 F'_a によるギャップの平均磁束密度 B'_a は次式となる。

$$B'_a = \frac{4\pi}{10^7} \frac{F'_a}{2l_g} \quad (\text{T}) \quad (5)$$

ここに, l_g : ギャップの長さ (m)

従って, 磁極片による減磁耐力 F_{ap} は次式で計算できる。

$$F_{ap} = \frac{B_{st} t_p}{B'_a \cdot \tau_{ptt} / 2} = \frac{2 B_{st} t_p}{B'_a \cdot \tau_{ptt}} \quad (6)$$

ここに, B_{st} : 磁極片 (鉄心材) の飽和磁束密度 (T), τ_{ptt} : 磁極片の周長 (m), t_p : 磁極片の厚み (m)

次に, 適用永久磁石の減磁耐力は次式で計算できる。

まず, 永久磁石へ加わる減磁界強さ H_{ma} を次式から求める。

$$H_{ma} = \frac{F'_a}{L_m} \frac{P_g}{P_t} \quad (\text{A/m}) \quad (7)$$

ここに, L_m : 永久磁石の磁化方向長 (m), P_g : ギャップのパーミアンス, P_t : 総合パーミアンス

従って, 永久磁石の減磁限界の磁界強さを H_{max} とすれば, 永久磁石の減磁耐力 F_{am} は次式となる。

$$F_{am} = H_{max} / H_{ma} \quad (8)$$

これより, 磁極片の存在を考慮した簡略計算による総合の減磁耐力 F_{at} は, 次式から求めることができる。

図2 電機子起磁力と電機子磁束
Fig. 2. Armature magnetomotive force and armature magnetic flux.

$$F_{at} = F_{ap} + F_{am} \dots\dots\dots (9)$$

(4)～(9)式により磁極片による減磁耐力 F_{ap} を求めるには磁極片の飽和磁束密度 B_a を設定する必要がある。例えば、磁極片の飽和磁束密度 $B_a = 2.0 \text{ T}$ 、永久磁石の減磁限界の磁界の強さ $H_{\max}$ を 238.9 kA/m に設定する。

以上の計算式は電機子起磁力による磁束を集中回路で扱っているが、今回の磁界解析による減磁耐力は永久磁石界磁の起磁力を一定にした状態で、電機子起磁力（電機子電流の大きさ）を変えて磁界計算を行い、減磁作用が働く永久磁石界磁の電機子側周面の磁束密度の変化から減磁耐力を求める。すなわち、減磁特性で曲がりが生じている磁束密度の点（図1のP点）が減磁開始点であるから、各負荷電流率で計算した磁束密度がP点以上であれば減磁しないことになる。従って、減磁側の永久磁石界磁内の磁束密度がP点に等しくなった負荷電流率が、減磁耐力の限界値として表すことができる。

5. 基本構成検討

PM-DCM の構成は各種の方式があり、用途に応じて各方式の特長を生かすように選定している。このため、まず、基本的な構成の検討を行って特性の比較を行い、その結果に基づいて試作機を製作した。

＜5・1＞ 基本設計定数 検討対象機は 0.75 kW 機を選定し、表1にその基本設計定数と構成を示す。

＜5・2＞ 磁束分布の計算結果 表1に示した機種

①～⑤の定格負荷時における一極分の磁界解析結果を図3に示す。また、図4にスロット付機の磁極片あり（機種①）と磁極片なし（機種②）および空隙電機子巻線機（以下、空隙巻線機と略記）の磁極片あり（機種④）と磁極片なし（機種⑤）の電機子表面の磁束分布の計算結果を示す。図3より、磁極片がある場合（機種①、④）は電機子磁束が多くなり、磁束の流れに曲がりが生じていることがわかる。

この影響は図4に示す電機子表面の磁束分布からも明らかである。すなわち、磁極片を設けた場合（実線）は主磁極下の磁束分布の偏磁が大きくなる。

次に、スロット付機と空隙巻線機を比較すると、主磁極下の磁束分布の偏磁は磁極片がある場合（図4の実線）にはスロット付機のほうが大きく、磁極片がない場合（破線）には両者の差異が小さいことがわかる。

これは永久磁石のみで界磁を構成したことによる特徴の一つである。また、各部の磁束密度を見るとスロット付機は実効ギャップの長さが空隙巻線機に比して小さいので、主磁極下の磁束密度が主磁極の中心で大きくなっている（約1.4倍）。このため、空隙巻線機で同一磁束量を得るためには図4からも明らかなように磁極片の周長を大きくすると共に、電機子鉄心および永久磁石の軸方向長を大きくしている。このように、空隙巻線機はスロット付機に比して外形寸法が大きくなることから、小形軽量化の点からは不利といえる。

表 1 PM-DCM の仕様と基本構成
Table 1. Specification and basic structure of PM-DCM.

仕様	出力 電圧 回転数 極数	0.75(kw) 160(V) 1750(min ⁻¹) 2				
	機種	①	②	③	④	⑤
変更点	電機子構造	スロット付	スロット付	スロット付	空隙巻線	空隙巻線
	固定子構造					
	磁極片（厚み）	有(5t)	無	無	有(10t)	無
	永久磁石厚み	17.5(mm)	22.5(mm)	22.5(mm)	20.0(mm)	20.0(mm)
	永久磁石	フェライト	フェライト	フェライト	フェライト	フェライト
設計値	電機子外径	75(mm)			電機子外径	75(mm)
	電機子積厚	162(mm)			電機子積厚	203(mm)
	全導体数	928			全導体数	1140
	スロット数	29			スロット数	—
	電氣装荷	118(A/cm)	フェライト		電氣装荷	145(A/cm)
	整流子片数	58			整流子片数	57

図 3 定格負荷時の磁束分布
Fig. 3. Distribution of magnetic flux at rated load.

図 4 電機子表面の磁束分布
Fig. 4. Distribution of magnetic flux density on the armature surface.

〈5・3〉 電機子回路インダクタンス 図 5 に 0.75 kW PM-DCM の基本構成に対する永久磁石界磁の起磁力を零にした場合の定格電流時の電機子磁束の計算結果を示す。

また、図 6 に電機子回路インダクタンスを計算するために、図 5 の磁界解析結果から求めた電機子鉄心中の電機子磁束の主磁極中心距離に対する変化を示す。

これより、図 6 の各部の磁束に鎖交する導体数を乗じれば、(2)、(3)式により電機子回路インダクタンスを求めることができる。この電機子回路インダクタンスの計算結果を図 7 に示す。

これらの図より磁極片がある場合 (機種①, ④) の

電機子磁束は磁極片内を通過し、磁極片がない場合 (機種②, ⑤) は継鉄内を全電機子磁束の 80% 以上が通過する。また、磁極片がなく、かつ継鉄を分割構成とした場合は磁気抵抗が大きくなるために、電機子磁束が減少する。

従って、電機子回路インダクタンスを大きくしたい場合は磁極片を設け、逆に、小さくしたい場合は磁極片を設けず、更に継鉄を分割構成にするのが効果的であることが明らかとなった。なお、磁界解析は二次元で行っているのでコイル端部のインダクタンスを考慮していない。これは小形モータの場合、電機子外径が小さいためにコイル端部の長さが短く、更に 1 コイル

図 5 電機子起磁力による磁束分布

Fig. 5. Distribution of magnetic flux due to armature magnetomotive force.

図 6 主極中心からの距離に対する電機子磁束

Fig. 6. Distribution of armature magnetic flux through the armature core.

の巻回数が多いので、スロット内のコイル部のインダクタンスが非常に大きいのに対し、コイル端部のインダクタンスは小さい。このため、コイル端部のインダクタンスを無視している。

〈5・4〉 減磁耐力 永久磁石界磁の減磁耐力の計算は電機子電流を過負荷電流に設定して磁界計算を行い、減磁側の永久磁石界磁の内周面の磁束密度の最小値を求めて、その値を各負荷電流率に対してプロットすることにより求められる。

図 8 に各負荷電流率に対する永久磁石表面の磁束密度の変化を各機種①～⑤について示す。

この結果より、減磁耐力が最も大きいのは磁極片中

央の厚みが大きく、かつ磁石を分割している機種④の空隙巻線機で減磁しない最大負荷電流率が 2,800% である。

次は、機種①の磁極片の厚みが薄いスロット付機で、減磁耐力が 1,600% である。最も減磁耐力が小さいのは磁極片のない機種⑤である。なお、機種③の分割磁鉄の効果を機種②と比較してみると、分割磁鉄とすることにより減磁耐力が 1.6 倍増加していることがわかる。従って、PM-DCM で減磁耐力を増加するには永久磁石界磁の電機子側に鉄心材からなる磁極片を設けたり、分割磁鉄構成を採用することが有効であることがわかった。

以上、PM-DCM の基本構成について検討した結果を述べたが、小形軽量で、電機子回路インダクタンスが大きく、かつ減磁耐力も大きい構造はスロット付き、磁極片付きで磁石と継鉄を分割する構成が最適で

図 7 電機子回路インダクタンスの計算結果
Fig. 7. Calculated result of armature circuit inductance.

図 8 負荷電流率に対する永久磁石表面の磁束密度の変化

Fig. 8. Variation of magnetic flux density on the permanent magnet surface due to armature current.

あることを明らかにした。

6. 試作機の性能評価

計算検討結果を検証するために試作した試作機は、表 1 に示した仕様と同一なので、主たる設計定数を表 2 に示す。なお、回転子はスロット付き、固定子は機種④と同一の磁極片付きとしている。

〈6・1〉 磁束分布の計算と実測値の比較 図 9 に試作機の定格電流における磁界解析結果と、この結果より求めた磁束分布を換算して求めた速度起電力の計算値および探りコイルで測定した速度起電力の実測値を比較して示した。図中の計算値と図中のオシログラムから求めた実測値の速度起電力はほぼ一致していることがわかる。各部の磁束密度は著しい磁気飽和しているところもなく設計値をほぼ満足している。

〈6・2〉 整流解析による整流計算と実測結果

補極の存在しない PM-DCM の整流性能の向上を図る場合、回転方向が一方向の場合についてはブラシ位置を反回転方向に移動させて主磁束を整流コイルが切ることにより誘導される電圧で整流補償を行うが、可逆回転機の場合はブラシ位置を幾何学的中性軸上に置かなければならない。このため整流コイルのインダクタンスを極力小さくする必要がある。ここでは整流性能向上策として全導体数を維持し、スロット数および整流子片数を増加して 1 コイルの巻回数を 9 から 6 ターンに減少した場合の整流性能向上効果を整流計算と実測で確認した。

まず、整流解析に際し中性帯の磁束分布は図 9 の中性軸付近の磁束分布を拡大して表した結果を図 10 に示す。中性帯の磁束分布は、補極がないために電機子起磁力により補極が存在する場合の磁束分布に対し、反転した極性側に磁束が分布している。

整流計算に必要な整流コイルに誘起する速度起電力は、この中性帯の磁束分布に基づいて電機子巻線の短節度を考慮して合成し、電機子外周の周速と有効長か

表 2 試作機的设计定数
Table 2. Design constants of trial machines.

機種	A	B	機種	A	B
電機子外径 (mm)	83		整流子片数	57	75
積厚 (mm)	110	130	ブラシ寸法 (mm)	8×16	6.4×13
スロット数	19	25	スロット形状		
導体配列	3×9×2	3×6×2	電機子巻線 (A/cm)	122	107
全導体数	1026	900	ギャップ長 (mm)	1.0	
ギャップ長 (mm)	1.0		整流子外径 (mm)	76	
整流子外径 (mm)	76				

(a) 磁界解析結果

(b) 磁束分布の計算値と実測値の比較

図 9 試作機の定格負荷時における磁束分布
Fig. 9. Distribution of magnetic flux at rated load.

図 10 試作機の中性帯における磁束分布
Fig. 10. Distribution of magnetic flux at the neutral zone.

ら計算することができる。なお、図中の機種 A は電機子巻線の 1 コイルの巻回数が 9 ターン、機種 B は 6 ターンの場合を比較して示している。

図 11 に 0.75 kW、PM-DCM の整流解析結果を示す。ここで、(イ)は直線整流を仮定した場合のリアクタンス電圧、(ロ)～(ニ)は整流計算結果で、(ロ)は各整流コイルの整流期間中における整流曲線、(ハ)は直線整流から外れてブラシを介して流れる短絡電流および(ニ)はブラシ-整流子片間電圧を示す。

これより、スロット数と整流子片数を増して 1 コイルの巻回数を 9 から 6 ターンにした機種 B は巻回数の低減によりリアクタンス電圧が減少し、整流中にブラシを介して流れる短絡電流が小さくなる結果、整流終了時のブラシ-整流子片間の電圧、すなわち、ブラシ後端電圧の最大値が 7.5 V から 3.2 V に減少した。

この結果、ブラシ火花の発生火花号数は小さくなることが期待できる。

図 12 に機種 A、B で実測した整流終了時のブラシ-整流子片間電圧（整流開始から終了までの各整流子片のブラシ接触電圧降下）のオシログラムを示す。

本オシログラムより機種 A のブラシ後端におけるブラシ接触電圧降下は電圧リミッタに達しているの

(a) 機種 A (b) 機種 B
 $V_M=160$ V, $I_L=6$ A (100%), $N=1,750$ rpm

図 11 試作機の整流解析結果
Fig. 11. Computed result of commutation characteristics.

図 12 試作機のブラシ接触電圧降下
Fig. 12. Measured result of brush contact voltage.

図 13 試作機の電機子磁束と電機子回路インダクタンス
Fig. 13. Armature magnetic flux and armature circuit inductance.

図 14 試作機の減磁耐力
Fig. 14. Demagnetization durability of trial machines.

で、7 V 以上の値であるのに対し、機種 B は 4.4 V に減少していた。この結果、整流火花は機種 A が 5 ～ 6 号に対して機種 B では 3 号と小さくなり、1 コイルの巻回数を低減した機種 B のほうが整流性能が良いことを実測結果からも明らかになった。なお、ブラシ接触電圧降下の実測値は整流計算結果とほぼ一致し、無補極機でも電機子起磁力による中性帯の磁束分布を考慮して整流計算を行うことにより、設計段階での整流性能評価が可能であることを確認した。

〈6・3〉 電機子回路インダクタンスの計算と実測結果 図 13 に電機子巻線のみに定格負荷時の起磁力を与えた場合の電機子磁束の計算値と、この磁束に基づいて計算した電機子回路インダクタンスの計算値、および試作機で実測したインダクタンス値を比較して示す。

本図より、電機子回路インダクタンスは実測値が計算値に比して若干大きい程度でよく一致しており、差異が生じているのは計算値がコイル端部のインダクタンスを無視しているためと考えられる。

〈6・4〉 減磁耐力の計算と実測結果 図 14 に減磁

耐力を検討するために計算した一例として、1,000% の負荷電流率における磁界解析結果と負荷電流率に対する減磁側の永久磁石界磁表面の磁束密度の変化（計算値）および永久磁石界磁の定格電流時の磁束量を 100% とした場合の負荷電流の増加に伴う磁束量の実測値を示す。本図より、磁界解析から永久磁石界磁表面の磁束密度値で求めた計算値の減磁耐力は負荷電流率が 2,150% 以下、実測した永久磁石界磁の磁束量の変化からは負荷電流率 1,800% 以下と計算値に近い結果となった。

従って、永久磁石界磁の減磁側の内周面の磁束密度を各負荷電流率で計算し、内周面の磁束密度が永久磁石の減磁を開始する値になる負荷電流率から減磁耐力を求めてもよいことが確認できた。

7. む す び

磁界解析により PM-DCM の基本構成に対する磁束分布、電機子回路インダクタンスおよび減磁耐力について検討し、更に、その結果に基づいて試作機を製作して特性評価を行い、次の結論を得た。

(1) 二次元の有限要素法による磁界解析により、永久磁石界磁の磁極片の有無に対して、電機子回路インダクタンス、および永久磁石界磁の減磁耐力を計算することができる。

(2) 補極のない直流電動機でも中性帯の磁束密度分布を求めて整流計算を行うことにより、整流性能を予測することができる。

(3) 電機子回路インダクタンスを大きくするには、スロット付電機子で、かつ磁極片付永久磁石界磁固定子構成を適用すべきである。

(4) 減磁耐力を大きくするには磁極片の適用、更に永久磁石界磁の中心で継鉄を周方向に分割する分割継鉄構成にすることが効果的である。

なお、本研究を進めるにあたり御指導いただいた日立製作所情報映像事業部 田室次長、同日立研究所 植田技術主幹、大前部長はじめ関係各位に対し、深く謝意を表します。(平成2年9月21日受付)

文 献

- (1) 蛇川・田原・高橋・田島・富手:「補助極付永久磁石界磁式スタータ・モータ」, 電学論 B, 105, 993(昭60-12)
- (2) 田中・沢・清水・大西・宮地・森田:「直流機の電機子回路インダクタンスについての検討」, 昭57 電気学会会大, P 771
- (3) 沢・太田・上木・宮地:「直流機の電機子回路インダクタンスについての検討」, 電気学会回転機・静止器合同研究, RM-84-62(昭59)
- (4) 沢・宮地:「運転時の電機子回路インダクタンスの解析」, 電気学会回転機研究, RM-88-24(昭63)
- (5) 直流機常置専門委員会:「直流機の電機子回路インダクタンスの計算式と測定法について」, 電気学会技報(I), No. 127(昭54)
- (6) 田原・高橋・山下・田辺・村松:「磁界解析による永久磁石界磁直流機の評価」, 電気学会回転機研究, RM-88-74(昭63)

田 原 和 雄 (正員)

昭和17年2月13日生。35年3月山梨県立甲府工業高校電気科卒業。同年4月(株)日立製作所入社、日立研究所勤務。39年4月日立茨城工業専門学校電気科、43年茨城大学工業短期大学部電気科卒業。回転機研究室に所属し、主として整流に関する研究に従事。工学博士。主任研究員。

山 下 誠 二 (正員)

昭和18年9月21日生。37年3月山梨県立甲府工業高校電気通信科卒業。同年4月(株)日立製作所入社、日立研究所勤務。46年4月日立茨城工業専門学校電気科卒業。61年より同社自動車機器事業部に勤務。この間、主として小形回転機、電磁アクチュエータの研究開発に従事。主任技師。

田 辺 昭 次 (正員)

昭和16年8月20日生。35年3月中央大学理工学部電気工学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社、習志野工場勤務。小形専用モートルおよび可変速モートルの設計に従事。現在パーソナルコンピュータシステム部副部長。

村 松 正 治 (非会員)

昭和21年4月26日生。40年3月長野県立長野工業高校卒業。同年4月(株)日立製作所入社、習志野工場勤務。43年4月日立茨城工業専門学校電気科卒業。主として、電動機およびそのコントローラの設計業務に従事。主任技師。

高 橋 典 義 (正員)

昭和10年3月1日生。34年3月東北大学電気工学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社、日立研究所勤務。主として、中・大形回転電機の電磁性能に関する研究開発に従事。平成2年4月茨城大学教授、現在に至る。工学博士。