

ヒステリシス電動機用回転子リング磁気特性の 温度に対する依存性

湧井源二郎*, 工藤 巧**, 菅 完治**, 板垣 稔**

(昭和56年9月4日受理)

Temperature Dependence of Magnetic Performance for Rotor Ring of Hysteresis Motor

GENJIRO WAKUI, TAKUMI KUDO, KANJI SUGA and MINORU ITAGAKI

Abstract — It is well known that the pull-out torque of the hysteresis motor is decided by the area of D C hysteresis loop inside the rotor. And when the space harmonics are superposed on the fundamental, the pull-out torque of the motor is decided approximately by the area of equivalent hysteresis loop. The area of the latter becomes considerably smaller than that of the former.

The two kinds of the loops can be expressed approximately by inclined ellipse. From which, magnetic constants (loop area S , specific normal permeability μ_2^* and hysteresis angle α_2) are calculated.

In this paper, when the temperature of samples varied from -70°C to $+140^\circ\text{C}$, D C and equivalent loops of two samples were measured. And temperature dependence of magnetic constants were obtained and considered.

The conclusion becomes as follows.

- (1) When maximum magnetic intensity H_M of the loop is smaller than the value of the knee of magnetization curve, S , μ_2^* and α_2 increase in proportion to rise of temperature. And when H_M is larger than that, S , μ_2^* and α_2 decrease in inverse proportion to rise of temperature.
- (2) The temperature dependence of the magnetic constants of the rotor ring (Alnico material) is small.

1. まえがき

ヒステリシス電動機は高調波磁束が存在しないときは同期脱出時、回転子内の一極対についてのB-H関係が直流ヒステリシスループで表わされ、そのループ面積が脱出トルクに比例することは周知のとおりである⁽¹⁾。さらに、電動機の電流、効率、力率など特性を求めるためには、この直流ループを傾斜した楕円ループで近似し、透磁率 μ_2 、ヒステリシス角 α_2 を求めると、等価回路を用いて容易に特性を計算できることもよく知られていると

おりである⁽²⁾。

さらに、空間または時間高調波が含まれた場合は脱出時のB-H関係は直流ループより面積の小さい等価ループで表わされること、この等価ループの測定法などについてもすでに筆者らの一人によって報告されている⁽¹⁾。

このように、回転子リングの直流ループおよび等価ループ特性は電動機としての性能を支配する重要な特性である。

ところで、ヒステリシス電動機の脱出トルクが温度に依存し、一般に温度の上昇とともに大きくなることは経験するところである。しかし、その依存の程度や原因に

* 茨城大学工学部電気工学科（日立市中成沢町）

** 岩手大学工学部電気工学科（盛岡市上田4丁目）

についてはこれまで全く考察されていなかった。また、ヒステリシスループ特性の温度依存性についても、これまで報告はなかったようである。筆者らは、本文でヒステリシスループ特性の温度依存性を実測し、考察してトルクの温度依存性の原因なども明らかにする。

ここではまず、直流ヒステリシスループおよび等価ループと磁気定数(透磁率 μ_2 とヒステリシス角 α_2)、電動機特性との間の関係を明らかにする。ついで、直流通ループと等価ループ、透磁率、ヒステリシス角を測定温度を広範囲(-70°C~140°C)に変えて測定し、実験結果について考察する。

2. ヒステリシスループの磁気定数, 等価回路定数, 電動機特性との間の関係

2.1 高調波磁束が含まれない場合

Fig. 1 はヒステリシス電動機の断面図である。普通リングの厚さ t は薄いから、磁束は円周方向に t に無関

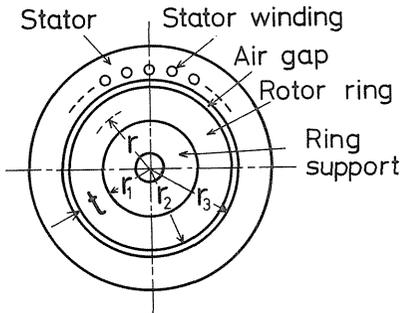


Fig. 1 Cross section of hysteresis motor.

係に一樣に通ると仮定できる。このとき、電動機の脱出(周回積分記号)トルク T は次式で与えられる。

$$T = (p V_r / 2\pi) \oint B dH \quad (1)$$

ここで、 B 、 H ：脱出時の回転子リング内の任意の点の磁束密度、磁界の強さ、 $\oint B dH$ ：回転子一極対についての $B-H$ ループ面積で、リングの直流ヒステリシスループ面積に等しい。 p ：極対数、 V_r ：回転子リングの体積。

いま、ヒステリシスループがFig. 2(a)の実線のように与えられると、これから磁気定数(透磁率とヒステリシ

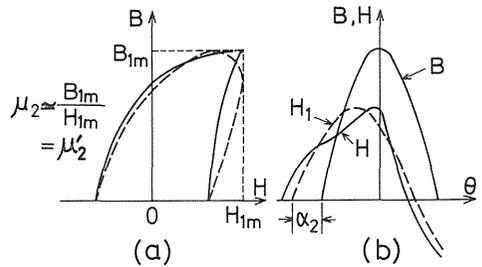


Fig. 2 D C loop, equivalent ellipse, B_1 , H_1 , H_1' distribution and hysteresis angle α_2 .

ス角)を求めることができる。Fig. 2 はその説明図である。 B を正弦波分布としてヒステリシスループを用いて H 分布を求めると図のようなひずみ波となる。その基本波 H_1 を考えると正規透磁率 μ_2 は次式となる。

$$\mu_2 = B_{1m} / H_{1m} \simeq B_{1m} / H'_{1m} = \mu'_2 \quad (2)$$

ここで、 $H'_{1m} : H_1$ の最大値

また、ヒステリシス角 α_2 は B と H_1 との位相差として求められる。 H_1 と B とより図のような等価楕円が得られ、その面積は元のヒステリシスループ面積に等しい。(1)式はこれら磁気定数を用いると次のように変形できる。

$$T = (1/2) p V_r (B_{1m}^2 / \mu'_2) \sin \alpha_2 \quad (3)$$

したがって、(3)式から回転子の磁束密度 B_m が定まると、 T は μ'_2 が小さく、 α_2 が大きいほど大となる。

また、ヒステリシス電動機の等価回路は m 相の場合Fig. 3で示される。

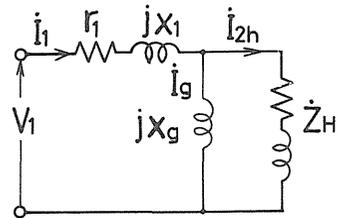


Fig. 3 Equivalent circuit.

ここで、

$$(i) \text{ ギャップ励磁リアクタンス } X_g \\ X_g = 4m \omega_o (K_{wp1} N_1)^2 \\ \times L \mu_o / \pi p A - p k_c \quad (4)$$

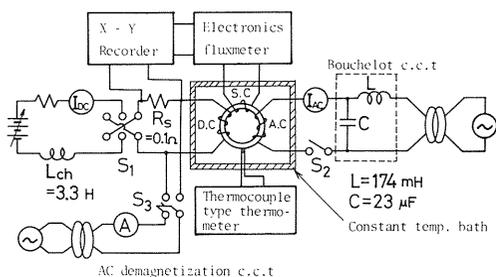


Fig. 5 Measured circuit.

かせる。消磁回路はループを一回測定することに交流消磁するためのものである。

高調波を含んだ場合のいわゆる等価ループの測定にはスイッチ S_2 を閉じて、ブーシエロ (Bouche lot) の定電流回路を通して、一定電流 I_{AC} (実効値), I_{AC} による交流磁界の最大値を, H_{AC} ($=H_{nm}$) とする) を流している状態で, 前と同様に直流電流を最大値 $\pm I_{1m}$ ($\propto H_{1m}$) の間をその大きさを連続的に変えて1サイクルさせると等価ループを描くことができる。ただし, 等価ループは(6)式の条件がなりたつようにして測定した。

3.3 測定点

- (1) 磁化曲線 直流磁化曲線のほかに, $H_{AC} = 4.24, 8.47 \text{ Oe}$ の一定交流磁界を加えている状態で, 直流磁界を加えて磁化曲線を測定した。
- (2) ヒステリシスループ 直流ループは $H_m = 64.6, 90.0, 99.4, 124.2, 140.0, 163.8, 230.0, 298.2 \text{ Oe}$ の8つの場合について測定。等価ループは(6)式の H_m と H_{AC} の組合せがTable 1の9通りについて測定。なお, H_{AC} の周波数は 50 Hz である。

Table 1 Group of measurement.

$H_m(\text{Oe})$	$H_{AC} (\text{Oe})$		
90	20	40	60
140	30	60	90
230	30	60	90

注 $H_m + H_{AC} = H_m$

3.4 測定温度の設定

本実験では試料のリング温度を一定にすることが最も重要な測定条件である。試料温度を一定に保つには試料温度を正確に検出する必要がある。そのために, Fig. 6 に示すように, 試料にアルミ管を密着させ, その上から巻線を巻き, アルミ管に熱電対を挿入し, 先端が試料に接触するようにした。これによって試料温度はかなり正

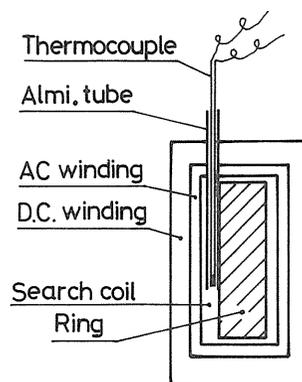


Fig. 6 Arrangement of thermocouple.

確に検出できる。ところで, コイルに電流を流すと巻線抵抗 (D.C.巻線, A.C.巻線, S.C.巻線抵抗は各々 $35, 5, 0.8 \Omega$) とリングの鉄損による発熱によって, リング温度は恒温槽に入れたにもかかわらず変化しようとする。測定開始温度と設定温度として, これを一定 (許容差 $\pm 1.0^\circ\text{C}$) にして測定した。測定開始時と終了時の温度を全測定点について実測したが, その結果によれば温度差の最大のものは磁化曲線測定では $H_{AC} = 84.7 \text{ Oe}$, 設定温度 140°C の場合で, 測定終了時 147.5°C で, 温度変化は 7.5°C である。直流ループ, 等価ループでは最大の温度変化のもので 1°C である。したがって, この程度の温度変化では磁気特性に全く影響しないとみられる。

4. 実験結果

磁気特性の温度依存性は試料 A, B ともに同じ傾向, 同じ程度であるので, ここでは以下試料 A のみについて述べる。

4.1 磁化曲線の温度依存性

Fig. 7 (a), (b) に測定結果を示す。図(a)は直流磁化曲

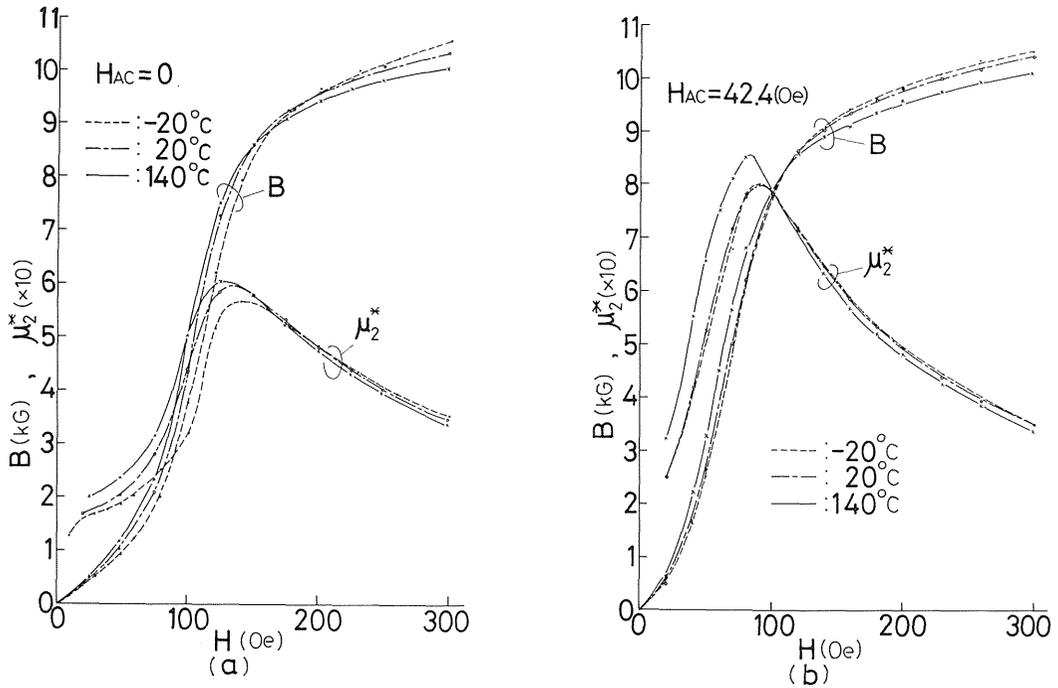


Fig. 7 Magnetization curve and specific permeability characteristics vs. H. (temperature; parameter)

線で、測定は 20, 60, 100 °C についても行ったが、図が複雑となるので省略した。図から明らかなように、磁化曲線のひざより下の範囲では温度上昇とともに、同じHに対するBは大きくなり、ひざより上の範囲では逆にBが小さくなるのがわかった。これは一定交流磁界が加わった Fig. 7 (b) の磁化曲線についても同様である。

4.2 ヒステリシスループの温度依存性

(1) ループ形状

Fig. 8 (a), (b) に測定例を示す。図では 20 °C と 140 °C のものを比較している。図(a)の直流ループでは一般に H_m の小さい範囲 ($H_m = 139.1 \text{ Oe}$ 以下) では温度とともにループは立ってくるが、Hが大きくなって磁気的に飽和に近づく ($H_m = 298 \text{ Oe}$)、温度とともに逆にループはおてくるようになる。これは同図(b)の等価ループについても全く同様である。

(2) ループ面積

Fig. 9 にループ面積の温度依存性を示す。まず、直流ループ面積 (実線) については、 H_m が小さい範囲

($H_m = 124 \text{ Oe}$ 以下) では温度とともに面積は増加し、 H_m がこれ以上になると逆に温度とともに減少するのが注目される。これは等価ループ (破線) についても同様である。また、Fig. 10 は 20 °C のときの直流ループ面積を基準にして、ループ面積の増減を%で示したもので、 H_m の値によりかなり様子を異にしている。図は省略するが、等価ループについても同様な傾向と同程度の依存性である。普通ヒステリシス電動機は磁気的に未飽和の範囲で使用される。したがって、温度とともに面積が増大するのはこのためと考えられる。

(3) 正規比透磁率 μ_2^*

Fig. 11 (a), (b) に正規比透磁率の温度依存性を示す。まず、(a)の直流ループの場合は、 $H_m = 124 \text{ Oe}$ 以下では温度とともに μ_2^* は増加し、 $H_m = 160 \text{ Oe}$ 以上では逆の傾向となっている。(b)の等価ループの場合は磁化曲線のひざより下を $H_m = 90 \text{ Oe}$ 、上を 230 Oe で代表させて、 H_{AC} を変えて測定した。 μ_2^* は直流ループの場合と同じ傾向である。Fig. 12 は直流ループの場合について

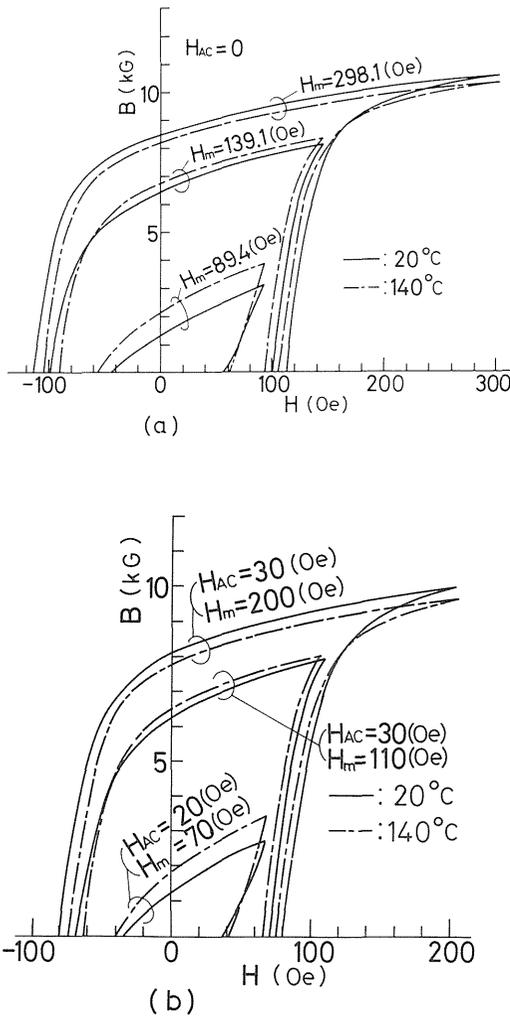


Fig. 8 D.C. and equivalent loops. (temperature; parameter)

て、 20°C のときの μ_2^* を基準にして、 μ_2^* の増減の様子を示したもので、 H_m の値によりかなり様子を異にしている。

(4) ヒステリシス角

Fig. 13にヒステリシス角の温度依存性を示す。実線が直流ループ、破線が等価ループの場合である。ヒステリシス角も比透磁率やループ面積とはほぼ同様な温度依存性を示すことがわかった。Fig. 14は直流ループの場合について、 20°C の α_2 を基準にして温度に対する増減を示したもので、 H_m が小さいほど温度依存性が大きくなっている。

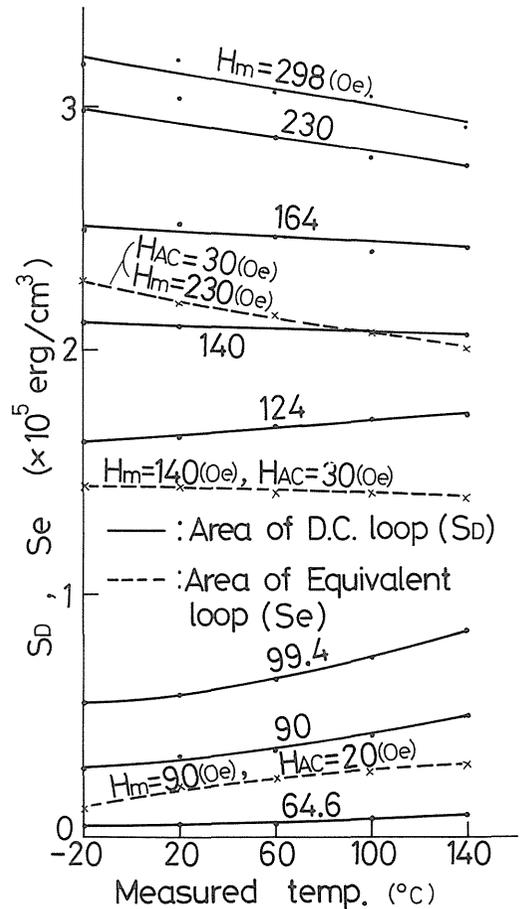


Fig. 9 Area of D.C. and equivalent hysteresis loop characteristics vs. measured temp.

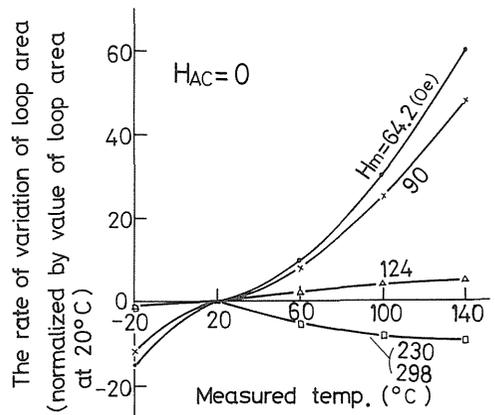


Fig. 10 The rate of increase of area of D.C. loop vs. measured temp.

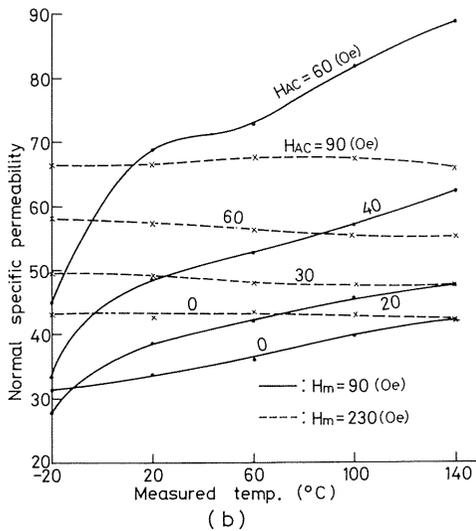
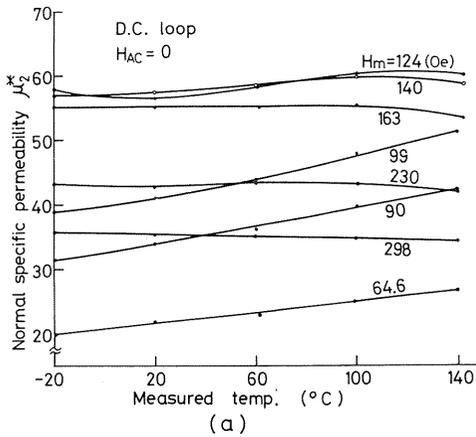


Fig. 11 Normal specific permeability characteristics vs. measured temp.

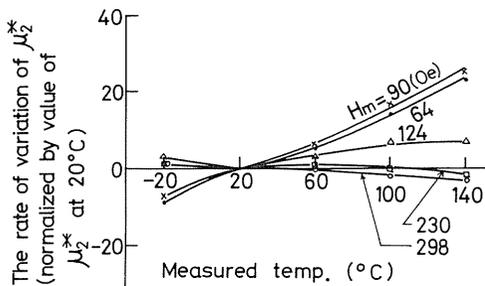


Fig. 12 The rate of variation of specific permeability characteristics vs. measured temp.

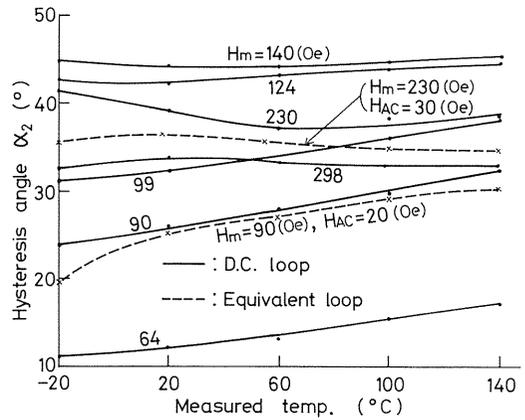


Fig. 13 Hysteresis angle characteristics vs. measured temp.

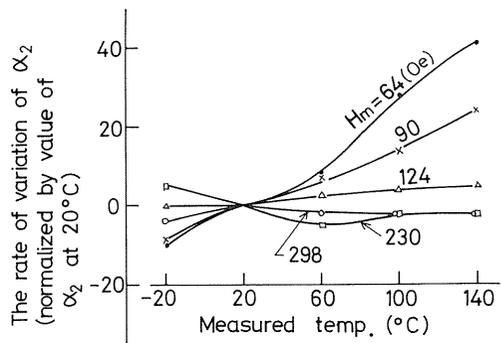


Fig. 14 The rate of variation of hysteresis angle vs. measured temp.

5. むすび

Fig. 15 は直流ループの場合について、ループ面積 S_D 、比透磁率 μ_2^* 、ヒステリシス角 α_2 が温度 10°C 変化するときの各値の変化分を 20°C の値を基準にして示したもので、三者とも同じ傾向である。実際の使用範囲は $B_m = 9 \text{ KG}$ ($H_m = 160 \text{ Oe}$) 以下である。いま、定格値を $B_m = 8 \text{ KG}$ ($H_m = 118 \text{ Oe}$) とすると、温度依存性は 10°C あたり $S_D = 1.1$, $\mu_2 = 0.6$, $\alpha_2 = 0.45\%$ といずれも小さいことが判明した。

最後に、本文の図面作成には茨城大学当研究室の久保田君のご協力を得た。厚く感謝致します。

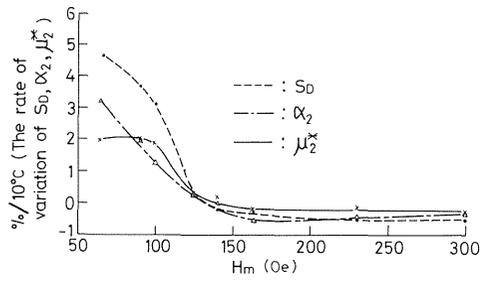


Fig. 15 The rate of variation of S_D , α_2 and μ_2^* vs. H_m .

参 考 文 献

- (1) 湧井：電気学会論文誌B 93, p. 1 (昭48. 1)
- (2) 宮入, 片岡：電気学会雑誌 85, p. 1740 (昭40. 10)
- (3) 湧井他：昭和49年電気関係学会東北支部連大2E7
- (4) 湧井：電気学会雑誌99, p. 287 (昭54. 4)
- (5) 湧井, 富田：電気学会論文誌B (昭57. 1)
- (6) 湧井：電気学会雑誌86 p. 1968 (昭41. 11)