

制御用直流速度発電機に関する研究

田中 為夫*・実成 義孝**

(受理 昭和42年5月30日)

STUDY OF DC TACHO-GENERATOR FOR AUTOMATIC CONTROL

Tameo TANAKA* and Yoshitaka MINARI**

Various kinds of DC tachogenerator are in use for automatic control systems. These tachogenerators, generally have ripple in voltage due to the commutation or nonuniform flux distribution. To obtain a uniform DC signal, it is necessary to add a filter circuit having a certain time constant. This finite time constant injures the performance of automatic control system.

This paper is concerned with the DC tachogenerator based on new principle. Eddy current circulates in a metal disk when it rotates in magnetic field. This current induces another magnetic field, which is measured by means of Hall generator. The Hall voltage depends, in a near linear way, on rotating speed of the disk.

Preliminary experiment is carried out with a model machine. The linearity of speed-output voltage character is observed, and the ripple remains not reduced yet. This DC tachogenerator has the possibility of practical use.

1. ま え が き

自動速度制御系に使用される直流速度発電機は、その出力電圧に全く脈動を含まないことが望ましい。現在一般に用いられているものは、整流子による脈動とかブラシ・整流子間の電圧値の変化などのために出力電圧に脈動を含むのが普通である。この脈動を除去するために平滑回路が用いられるが、その時定数が制御性に悪影響をおよぼしているのが実情である。そこで現在、完全平滑な出力電圧を得る目的でホール整流子を応用したもの、その他種々の研究がなされている。本研究はすでに報告したように¹⁾、うず電流による直流磁界をホール素子の制御磁界とし、その出力電圧を利用し、完全平滑な直流を得ようとしたものである。この方式によれば機械的接触部がないので完全な直流出力電圧を得ることができる。速度発電機としては、速度—電圧特性の直線性が望ましい。この直線性の問題を検討するために試作した直流速度発電機を用いて実験を行なった。また試作発電機における出力電圧の脈動、制動トルク、温度上昇についても一例を示す。

2. 原 理

図1に示すように、回転導体円板A面に界磁々極

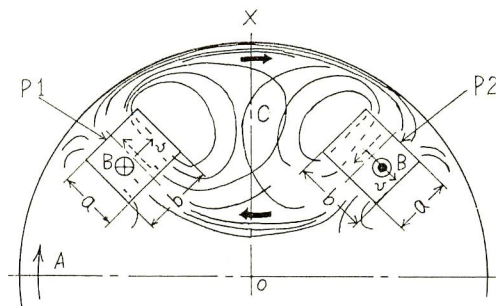


図 1

p1・p2を配置し、それぞれ直流で励磁する。導体の回転にともない磁極直下の導体に誘導される起電力により、図のようにうず電流が分布する。磁極p1・p2はOXに対称的に配置され、それぞれ逆方向に励磁されている。ゆえに各磁極によるうず電流は中心C附近では相殺され、矢印で示されたような分布が主になる（ここで磁極近辺の電流分布は考えないことにする）。

いま磁極p1・p2の配置をある位置に定めたとし、ギャップの磁束密度を $B[\text{Wb/m}^2]$ 、

磁極直下の導体平均速度を $v[\text{m/s}]$ 、

導体の半径方向有効長を $a[\text{m}]$ 、

導体の回転方向有効長を $b[\text{m}]$ 、

導体の厚みを $\delta[\text{m}]$ 、

* 鹿児島大学工学部電気工学教室・教授

** 鹿児島大学工学部電気工学教室・助手

導体の固有抵抗を $\rho[\Omega \cdot m]$

とすれば、磁極直下の導体の平均電流 i の大きさは、

$$i = \frac{Bva}{K_1 \rho a / \delta b} [A]$$

と表わされる、ただし磁束は磁極の直下だけにのみ存在するとし、うず電流反作用（うず電流によつて生じた磁束が界磁の主磁束に影響をおよぼす現象）は無視するものとする。またうず電流回路の全抵抗は速度に関係なく、磁極直下の導体抵抗の K_1 倍であると仮定する。ここに抵抗係数 $K_1 > 1$ である。

いま前述したようにこのうず電流の導体中の分布のうち、周辺部に存在するものだけを考え、その大きさを磁極直下の導体電流の K_2 倍と仮定すれば、その電流の大きさ i_e は

$$i_e = \frac{BvaK_2}{K_1 \rho a / \delta b} [A]$$

となり、速度の一次関数として表わされる。ここに電流係数 $K_2 < 1$ である。

この電流分布を、同じ大きさを有する任意形状の線状電流とみなしたとき、その微小部分 dl による、回路の中心附近 C 点における磁界 dH は、

$$dH = \frac{i_e}{4\pi} \cdot \frac{[dlr]}{r^3}$$

で与えられる、ここに r は dl から C 点に至る動径ベクトルである。すなわち、うず電流による中心 C 点の磁界は、磁極の配置を任意に定めた場合、電流回路の形状如何にかかわらず、電流の大きさに比例し、速度に比例した直流磁界が発生することになる。この直流磁界を図 2 に示すようにホール素子の制御磁界として導けば、素子出力電圧の磁界比例性により、速度に比例した直流出力電圧が得られる（ B_H は制御磁界、 I_c は制御電流、 V_L は出力電圧、 R_L は負荷抵抗である）。

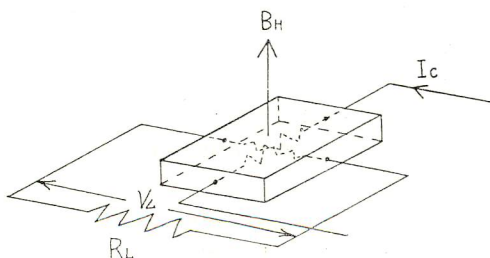


図 2

3. 実験装置および実験方法

試作した直流速度発電機の断面を図 3 に示す。界磁磁極は直流他励磁により直流磁界を発生するものであり、あらかじめ定められた数個の位置（図 7 の F 1～F 4）に適宜配置できるようにしてある。集束磁極はうず電流による磁束を検出集束するもので、半径方向に移動できる（その位置は図 7 に $X \cdot Y \cdot Z$ で示されている）。集束磁極の検出部は、そのギャップを変えることができ、また集束部のギャップにホール素子を挿入する。なお集束磁極に装備したバイアス巻線は、漏洩磁束、残留磁束による出力電圧の零点移動を修正するためのものである。また導体円板は、カップリングにより被測定側電動機に直結された回転子に装着され、界磁々極、集束磁極にはさまれたような状態で回転する。

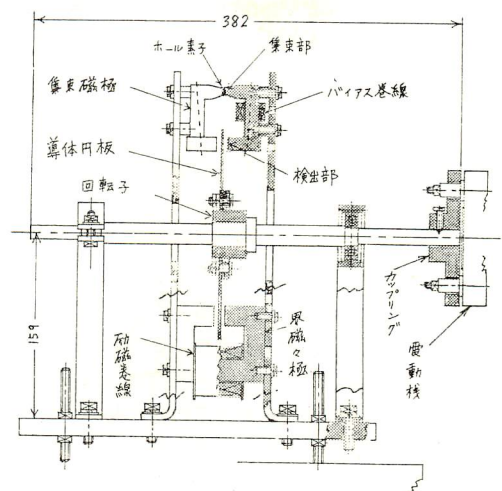


図 3

次に主要部の概略仕様を表 1 に示す。

図 4 に界磁々極を、図 5 に集束磁極を、図 6 に回転子を示す。

次に実験方法について述べる。1) 界磁々極の配置を変えた場合、2) 集束磁極の位置を変えた場合、3) 集束磁極の検出部ギャップを変えた場合、4) 導体円板の材質を変えた場合、に速度に対する出力電圧の特性がどのように変わるかを調べる。図 7 は各磁極の配置関係を示したものである。界磁々極は F 1～F 4（界磁軸）上に配置することができ、集束磁極の検出部位置は Ox （集束軸）上 $X \cdot Y \cdot Z$ の位置をとる

表 1 装置の主要部の仕様

| 項 目 | 仕 様 の 概 略 | |
|------------------|--------------------|----------------------------------|
| ホール素子 | SIEMENS, SV 130—1 | |
| | 出力電圧感度 10V/A・kG | |
| | InAs 素子, 4×8×0.5 t | |
| | 入力内部抵抗 | 200 Ω |
| | 出力内部抵抗 | <200 Ω |
| | 定格制御電流 | 35mA |
| | 定格制御磁界 | 10kG |
| 集束磁極 | 鉄心材質 | S S 34 |
| | 鉄心断面積 | 144mm ² |
| | 鉄心平均長 | 191mm (検出部ギャップ 4mm のとき) |
| | 検出部ギャップ長 | 4〜12mm |
| | 集束部断面積 | 60mm ² |
| | 断面比約 | 0.417 |
| 界磁磁極 | 鉄心材質 | S S 34 |
| | 断面積 | 400mm ² , 鉄心平均長 212mm |
| | ギャップ部断面積 | 360mm ² |
| | ギャップ長 | 6mm |
| | 励磁巻線抵抗 | 8 Ω |
| | 定格励磁電流 | 0.8A |
| | ギャップの静止磁束密度 | 1500G (定格励磁電流のとき) |
| | 導体円板 | 材 質 |
| 銅(CuP) | | 1.77 μΩ・cm |
| アルミ(AlP) | | 2.83 μΩ・cm |
| 真ちゆう(BsP) | | 6.2 μΩ・cm |
| 直径 190mm, 厚み 2mm | | |

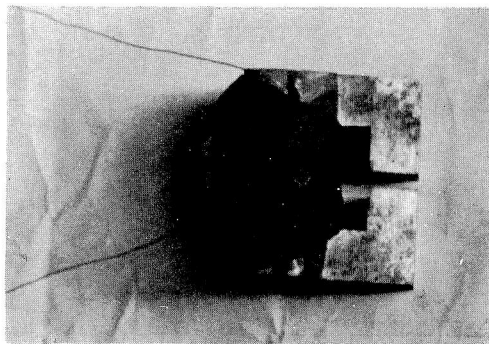


図 4

ことができる。図 8 にホール発電機の制御電流の値、使用した負荷抵抗の値を示す。 V_L は測定すべき出力電圧である。

4. 実験結果およびその検討

4.1. 速度—出力電圧特性

導体円板の材質に銅をえらび、集束磁極の検出部ギャップ長を 4 mm とした場合の特性を図 9 に示す。

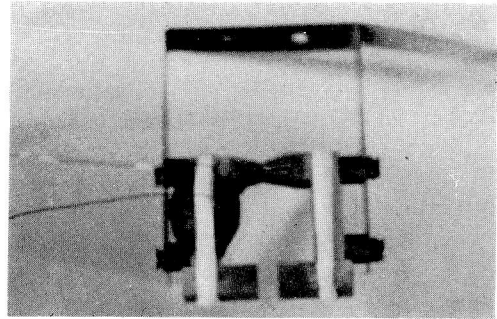


図 5

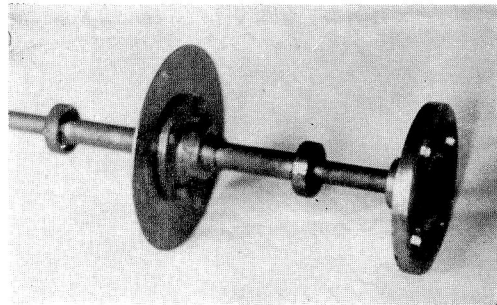


図 6

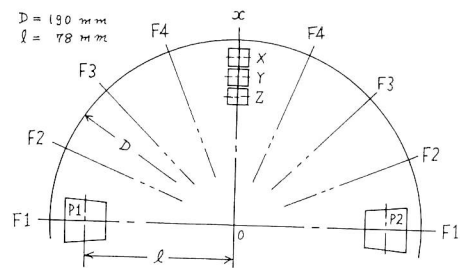


図 7

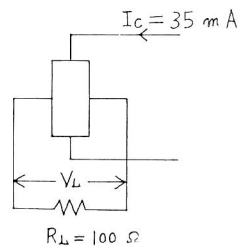


図 8

F1~F4 は界磁磁極の配置を表わし、X・Y・Z はそれぞれ集束磁極の検出部の位置を表わしている。図 10 は、検出部位置を Y とし、検出部ギャップを $4 \cdot 8$

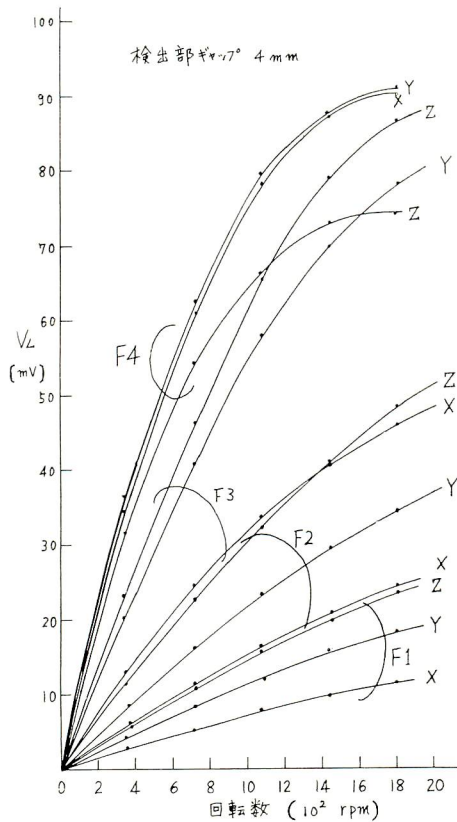


図 9

・12 mm とした場合の特性を表わしている。導体円板の材質は、図9の場合と同様に、銅である。図11は材質の違いによる特性の変化を調べたものである。検出部位置を Y とし、検出部ギャップを 8 mm としたである。

1) 界磁々極の位置が出力電圧に与える影響

図9～11からわかるように、集束軸 Ox に対して界磁々極 $p1 \cdot p2$ をともに界磁軸 $F1 \rightarrow F4$ と近づけた場合に、同一速度における出力電圧の大きさは増大する。以上の事実を理解するのは容易である。界磁々極がたがいに近づくに従って、うず電流回路の長さが短くなり、それだけ回路の抵抗が小さくなる。さらにうず電流のまとまりがよくなり、結局うず電流値 i_e が大きくなる。それに応じて、発生する磁界も強くなり、出力電圧が増大する。

2) 集束磁極の位置が出力電圧に与える影響

図9からわかるように、 $p1 \cdot p2$ が $F1 \rightarrow F4$ と移動するにしたがい、最大磁界発生点は Ox 上を O

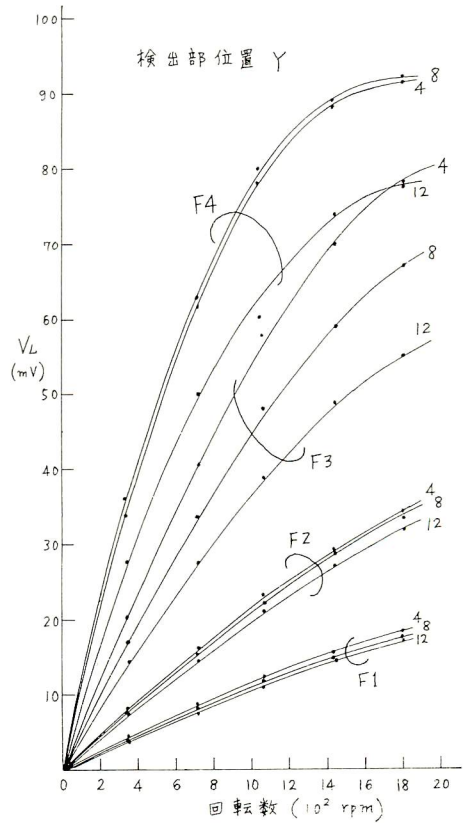


図 10

から x に向つて移行する。そして、界磁軸が集束軸に接近すればするほど、移行の割合は大きくなる。

以上の事実は、うず電流回路が最短距離を保持しようとすると考えれば、界磁々極 $p1 \cdot p2$ の配置関係から直ちに理解される。

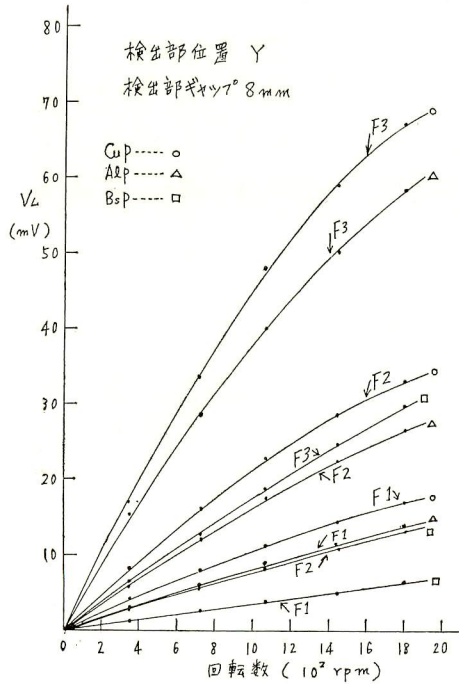
3) 集束磁極の検出部ギャップが出力電圧に与える影響

図10によれば、検出部ギャップの狭い程出力電圧は高いが ($F4$ の場合を除く)、このことは磁極の磁気抵抗からみて明らかである。出力電圧の高低により、また界磁々極の配置により、ギャップ変化による特性が異なるのは、検出部附近における二次的うず電流磁界等の影響もあるものと思われる。

4) 導体円板の材質が出力電圧に与える影響

図11からわかるように、円板の固有抵抗が大きい程出力電圧は低い。

このことは、うず電流の強さが円板の固有抵抗に逆比例することから自明である。



5) 出力電圧の直線性

図 9～11 から 明らかなように、出力電圧が円板の回転速度に比例するのは、出力電圧が低い場合に限られる。

以上の事実の原因としていろいろの要因が考えられる、たとえば、1) うず電流反作用による、界磁々極のギャップ磁束密度の変化、2) 抵抗係数 K_1 の速度依存性、3) 電流係数 K_2 の速度依存性などが考えられる。

4.2. 出力電圧の脈動

本研究の本来の目的は、出力電圧に脈動を含まない直流速度発電機を作ることであるが、試作発電機においては脈動がかなり残っている。図 12～15 にいろいろな速度における出力電圧の波形を示す。これらは導体円板の材質として銅を用い、界磁々極を F 3 に配置し、集束磁極の検出部を Y に置き、そのギャップ長を 8 mm としたときのものである。

脈動の最大の原因は導体円板の振動や、磁極を含めた装置全体の振動などの機械的な要素である。ホール素子の制御電流の脈動や、界磁々極の励磁電流の脈動

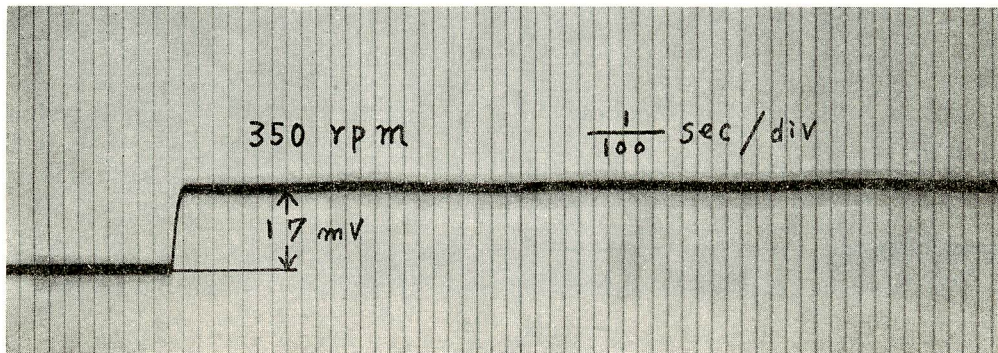


図 12

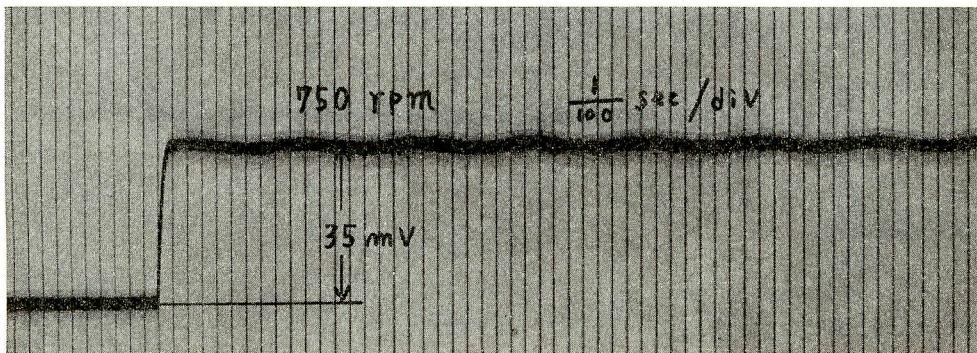


図 13

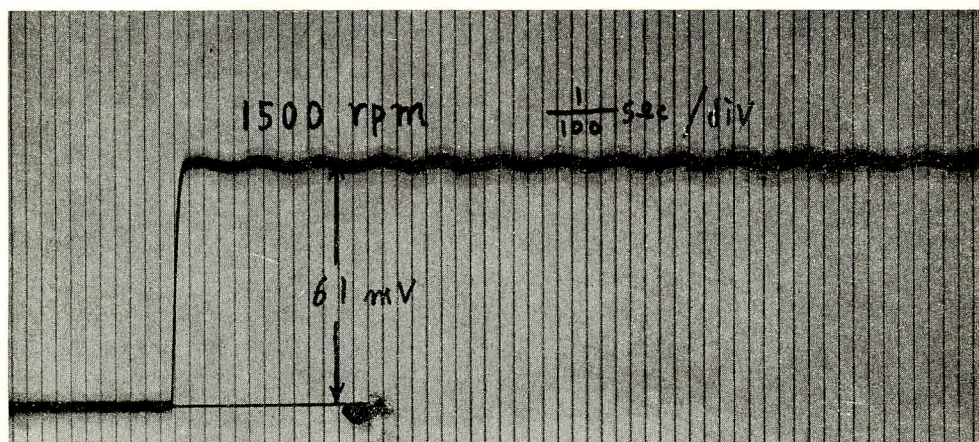


図 14

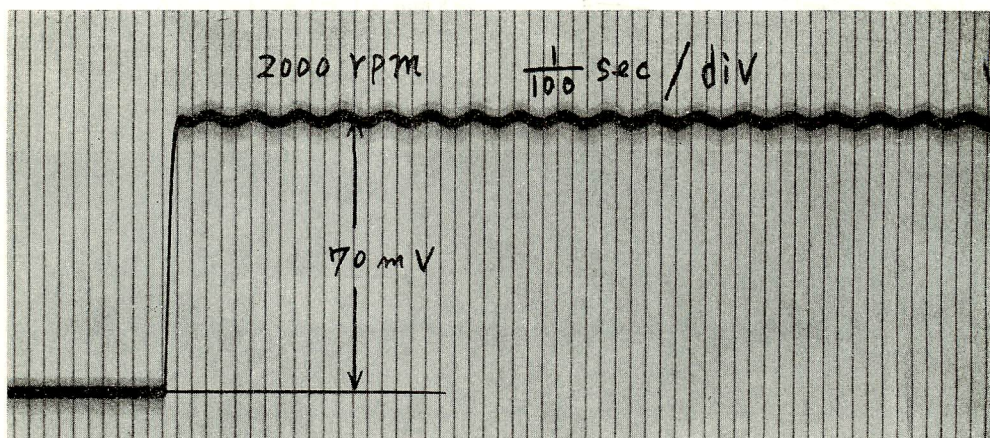


図 15

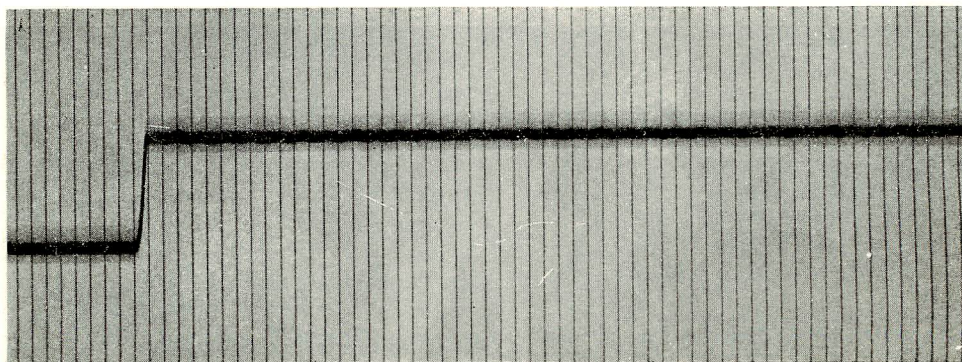


図 16

も、出力電圧脈動の原因になる。導体円板の曲りによる振れ幅は約1mmである。図より脈動の周波数が速度の上昇にともない高くなっていることがわかる。このことは、電圧脈動の原因が主として機械的なものであることを意味する。図16は界磁々極の励磁電流波形を示したものである。励磁電流源に直流発電機が用いられているため、多少の脈動が見られる。

4.3. 制動トルク

図17に制動トルクの一例を示す。制動トルクは磁極下の導体電流に起因するので、磁極配置による変化はあまりみられない。またこの程度の制動トルクは、被測定側の容量がかなり小さい場合を除き、一般には問題とならない。

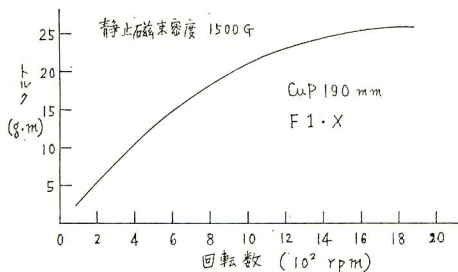


図 17

4.4. 温度上昇

図18に温度上昇の一例を示す。導体の温度上昇にともなう抵抗の変化は直線性に影響をおよぼす。本装置では温度上昇は一般の電気機器に比してかなり少なく、実用上支障はない。

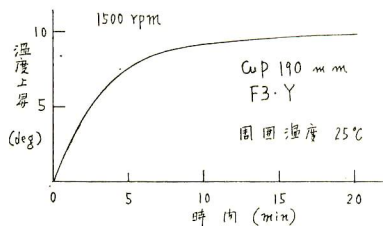


図 18

5. あとがき

1) 本研究の結果得られた特性はすべて図19に示されるような傾向を持ち、完全な直線性は得られなかった。しかし現段階においても斜線部分に相当する範囲ではかなり良い直線性が見られ、その範囲では本装置は速度発電機として十分利用できる（使用速度に応じて、設計条件を上記範囲に定めることができる）。磁極の形状および配置の問題も含めて特性解析を進めれば、更に良好な結果が得られると期待できる。

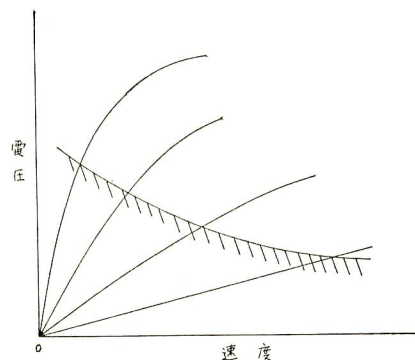


図 19

2) 今回の実験は速度—電圧特性に重点をおいたので、出力電圧にかなりの脈動が残っている。この脈動は主として装置の機械的振動によるものであり、工作精度を向上させれば除かれる。

3) 制動トルク、温度上昇、ともに実用上支障はない。

4) 本装置ではブラシの磨耗とか整流子の手入れ等の問題がなく、保守の点で有利である。

5) ホール素子の安定性に留意する必要がある。

今回の実験により、本機が直流速度発電機として実用的価値をもっていることが確かめられた。

文 献

- 1) 田中・実成・西村：電気四学会九州支部連合大会講演論文集，第19回（昭41.11）。