

ソリッドロータ形三相誘導電動機の試作研究 (その1)**

榊 茂忠*・猪上 憲治*

(昭和53年10月4日受理)

Study Using Experimental Solid Iron Rotor Motor

(Part 1)

Shigetada SAKAKI and Kenji INOUE

(Received Oct. 4, 1978)

The induction motor with solid iron rotor has some favorable properties that are lacking in conventional motors, for example this motor exhibits the peak torque at starting point and speed control by varying the stator voltage is possible with this motor. However, because of the larger copper loss caused by being designed with a high resistance rotor, the efficiency and the power factor are lower than those of conventional motors.

To attain improvement of the efficiency and the power factor, the authors have been making research for optimum rotor material and rotor structure in this motor.

The results of some tests made on an experimental solid iron rotor motor are discussed in this paper. Metal manufactured by a method of sintering a correctly mixed powder of iron and copper and other components is used for the material in the rotor of the experimental machine.

1. 緒 言

鉄塊回転子を有する誘導電動機 (以後ソリッドロータ形誘導電動機と呼ぶ) は、効率が低いため一般には使用されず、わが国においては簡易式のエレベータや昇降機などに若干使用されているにすぎない。ただし、この種の電動機で、現在わが国で却光を浴びようとしているものに、リニヤーマータがある。

本研究で取り扱っているソリッドロータ形誘導電動機は、「始動トルク」が大きく、「一次電圧制御によ

る広範囲速度調整」が可能であり、「回転子構造」も簡単などという利点がある。これらの利点をそこなうことなく、効率をなるべく高く (60%附近) に改善することができれば、利用価値は相当高くなるものと考えている。

本研究の目的は、この考え方を前提として効率改善のための試作研究を行なうものである。

まだ研究の緒についたばかりであるが第一報をここに報告する。

* 電気工学教室

** 昭和53年9月19日広島工業大学 研究発表会にて発表

2. 試作研究用に開発する粉末冶金材料の歴史的 position と開発理由

ソリッドローター形誘導電動機の試作研究において、もっとも重要なことは、ソリッドローターの材料の開発であると考えている。

一般に市販されているかご形誘導電動機の回転子は、二次電流回路としての回転子導体と、回転磁界に必要な磁気回路、すなわち回転子鉄心とからなっている。ソリッドローターは、回転子鉄心そのものが二次

電流回路であり、磁気回路でもある。

したがって、ソリッドローター形誘導電動機は、ローターの材料により、出力特性が大きく異なってくる。本研究の目的に適合するローター材料は、種々研究した結果、粉末冶金法によって開発を進めて行く以外にないと考え、この方法によってまずローター材料の試作研究を始めることに決定した。

また、他方において粉末冶金法による各種材料の変遷を見ると、第1表のような状況が見られる。

この表の最後の行に太い実線で囲んだ材料、すなわち

第1表 粉末冶金法による主要製造材料年代表 (18世紀より)

年 代	主 要 製 造 材 料
1783年	WO ₃ (炭素で還元, インゴットまで焼結), 金属Wの純化
1809年	Pt (圧粉, 焼結), 各種製品の生産
1829年	Pt (焼結, 高温加工), 箔, 細線の生産
1838年	Cu (圧粉, 焼結), 複雑な形状を有する製品の生産
1848年	Ir (圧粉, 焼結), 特殊製品の生産
1855年	海綿状 Au, Sn-Ag 合金粉アマルガム, 歯科用充てん材の生産
1870年	多孔質材料の研究生産, 含油軸受の考案開始
1878年	C (圧粉, 焼結), 炭素電球フィラメントの生産
1880年	真鍮, 砲金, ウッドメタル製造実験開始
1898年	Os (真空処理精製), Os 線製造 (白熱電球フィラメントの生産)
1900年	Wおよび高融点金属の粉末 (圧粉, 焼結), ダクタイルタンングステン線(電球フィラメント; 電球の発達), Mo線および板の生産
1903年	Ta (真空処理精製), Ta (白熱電球フィラメントの生産)
1916年	多孔質合金の焼結, 含油軸受の実用化開始
1917年	W-Cr-Fe-Ti 系
~	TiC-WC 系
1918年	W-Mo-Cr-Fe 系 } など複合金属の焼結, 高融金属の多孔性焼結体の生産 ※Fe 焼結体 Cu 溶浸, W焼結体 Ag 溶浸
1920年	Cu, Ag の組合せによる電気接点および熔接用電極, Cu-C 粉末(圧粉, 焼結), 集電ブラシの製造
1922年	Titamit; W-Ti-Fe 族金属-C 系など超硬合金製造
1923年	多孔質合金のフィルターへの応用
1925年	Widia(WC-Co) など超硬合金市販
1927年	カーボニル鉄粉発明 (高周波用鉄心生産)
1930年	Fe-Ni 合金 (圧粉, 焼結), 永久磁石の生産, Fe (純鉄) の生産, 青銅フィルター (多孔質材料) の実用化
1929年	Mo ₂ C-Co 系の商品化, TiC-WC-Co 系 (widia X) の生産
1931年	フェライトマグネット (OP マグネット), バリウムフェライト (硬質性; 高周波用鉄心用), Cu-Zn フェライト(軟質性; 磁心用), Mn-Zn フェライトおよび Ni-Zn フェライトの実用化
1935年	鋼鉄 (圧粉, 焼結) による含油軸受の開発
1945年	
1950年	分散強化型材料 SAP の開発
1952年	Mikrorit CM332 など超耐熱材料セラミック類の開発
1959年	TiC-Ni-Mo 系など超耐熱材料サーメット類の開発
1961年	サーメット類 Steel bond carbide の出現
1962年	Al 粉類 (Al Cu Mn 合金粉) 高温押出法による製品出現 T. D. Ni (分散型強化ニッケル) 研究開発 (ジェットエンジン用部品, 高温装置用部品, 液体水素ロケットのノズル, 電子工学部品などの応用として開発)
1970年代	鍛造焼結法 (Preform forging) による研究開発
1978年	強磁性電気伝導材料の研究開発中 例, Fe-Co-Cu, FeCo-Cu, Fe-Co-Cu- (其の他) FeCo-Cu- (其の他) などより目的に適合するもの

強磁性電気伝導材料（仮称）がわれわれの開発しようとしている材料である。

3. 粉末冶金法によって試作した第1号ローター

3.1 粉末成分について

焼結に用いた第1号ローター成分は、電解鉄、電解銅、コバルトなどで、その成分を第2表に示す。

粉末の太さはいづれも200メッシュである。

配合成分の種類や量的な面については、すでに前節で述べたように、今後研究を進めていくつもりである。

第2表 試作ローター第1号の粉末成分

混 合 材 料	第1号ローター	
	Fe-Co-Cu	
Fe	86	[%]
Co	4	[%]
Cu	10	[%]
ステア ン 酸 亜 鉛	1	[%]
完 成 品 の 比 重	6.80[g/cm ³]	

3.2 焼結の条件と雰囲気について

焼結する場合の条件や雰囲気については工場の設備などに関係してくるので、自由に変えることはできない。第3表は第1号ローターの焼結条件である。

3.3 試作したソリッドローターの形状と主な部分の寸法について

Fig. 1は焼結したローターである。実際商品としての焼結製品は、焼結完了後、加工の必要はなく、完全な製品となるが、本ローターは試作品であって、焼結完了後、種々加工するために焼結工程も簡単にしたものである。また使用した治具も工場で利用後、集納してあったものを寸法の一部を修整して利用したものである。Fig. 2は、この焼結ローターを仕上げた場合の主な部分の寸法を示すものである。

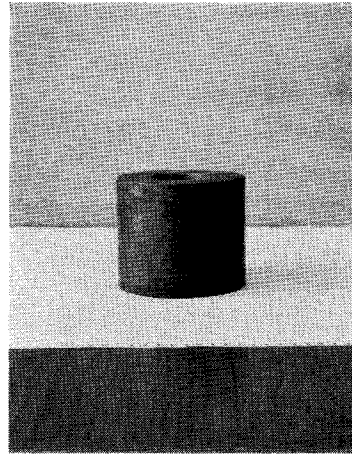


Fig. 1 焼結ローター

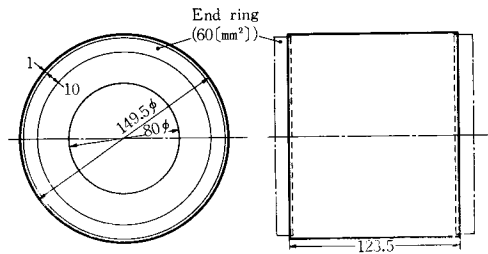


Fig. 2 第1号ローター仕上り寸法

4. 試作ローターによる諸特性

4.1 無負荷特性について

Fig. 3は無負荷における特性曲線で、一次供給電圧を基準とした無負荷入力電力、無負荷回転速度、無負荷電流および無負荷力率である。

図から明らかなように同期速度附近に達するための一次供給電圧は、割合低いことがわかる。また最高無負荷速度は1785[r. p. m]で、そのすべりは約0.08[%]である。この最高無負荷速度は、一般に市販されている普通かご形三相誘導電動機に定格電圧を加えた場合の無負荷速度とほとんど変わらないことがわかる。

第3表 試作第1号ローターの焼結条件

圧 力	温 度		除 冷	雰 囲 気
	最初の1時間	焼 結 温 度		
500 [t]	400[C°]	1130[C°]	100[C°]	CO : 23.4 [%] H ₂ : 31.1 [%]
4 [t/cm ²]	800[C°]	で50分間	まで4時間	CH ₄ : 0.20 [%] N ₂ : 45.3 [%]

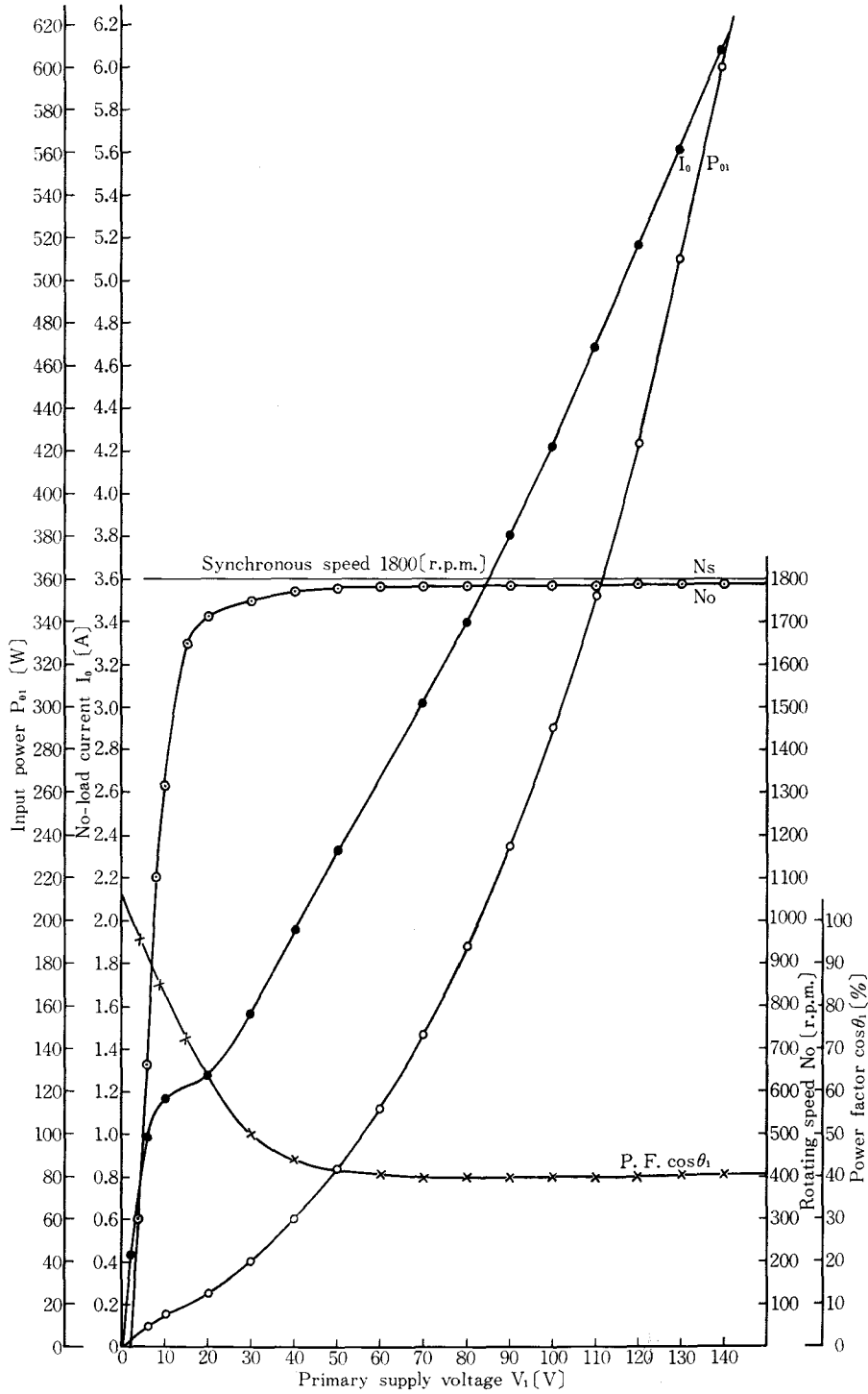


Fig. 3 無負荷特性曲線

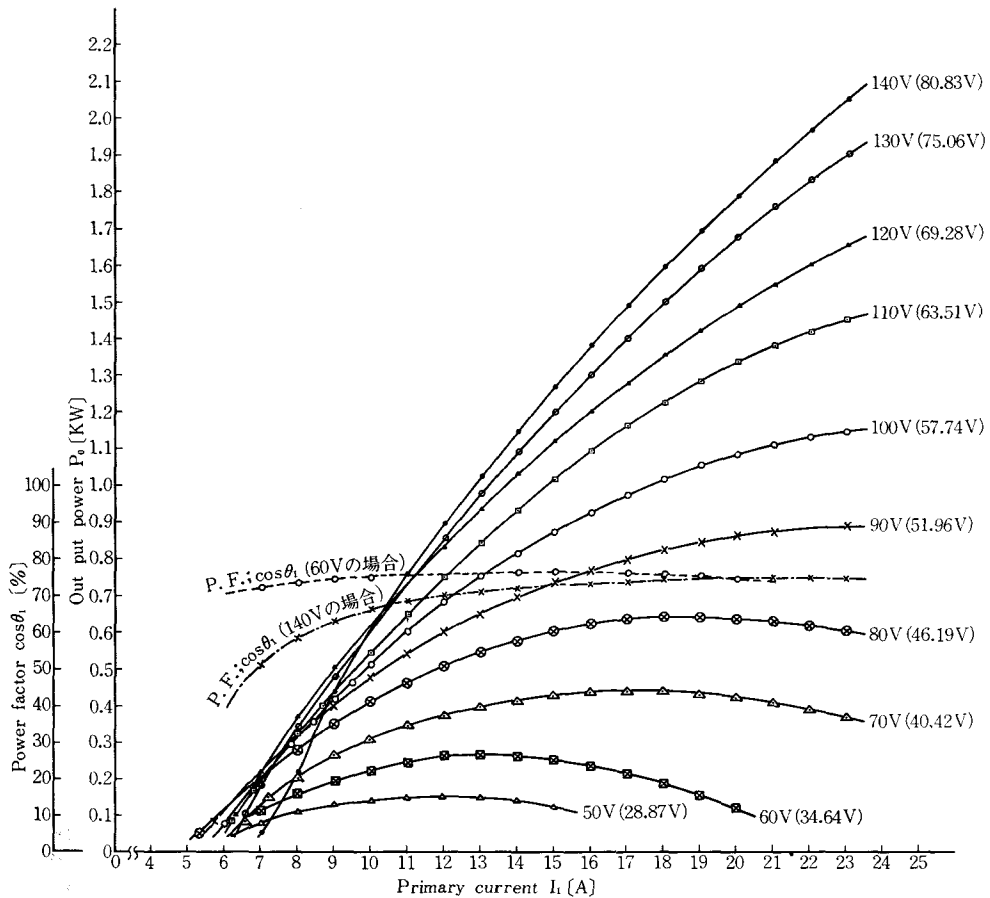


Fig. 4 負荷特性曲線（一次供給電圧 60[V], 140[V] の力率特性を含む）
 (注)；パラメーターとしている一次供給電圧の () 内は相電圧である。

しかし、この場合における無負荷入力電力（最高速度、140[V]供給の場合）は市販されている同一容量 [kW] の約4.4倍である。

この無負荷入力電力はローター材料の研究開発により相当軽減できるものと考えている。

4.2 負荷特性について

Fig. 4は一次供給電圧をパラメータとした場合の出力電力[kW]と、一次供給電圧60[V], 140[V]に対する力率を示したものである。

この特性曲線で明らかのように、一次供給電圧を相当低くしても安定した運転が可能であることを意味している。

また力率特性は一次供給電圧 60[V]~140[V] 範囲において、ほとんど変わらないことがわかる。

Fig. 5は、一次入力電流をパラメータとした速度特性曲線および最高効率特性曲線である。この特性曲線

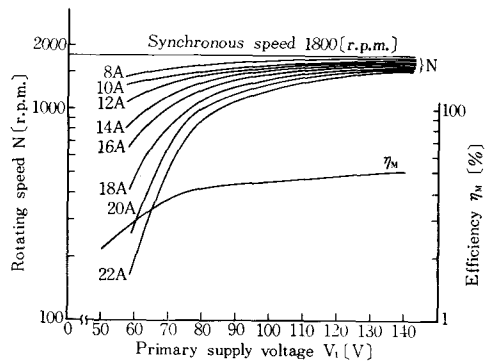


Fig. 5 速度特性曲線および最高効率特性曲線
 (注)；一次入力電流パラメーター

で明らかのように、負荷の大きい場合において、広範囲の速度調整ができる。

また図中の η_m は各一次供給電圧に対する最高効率を

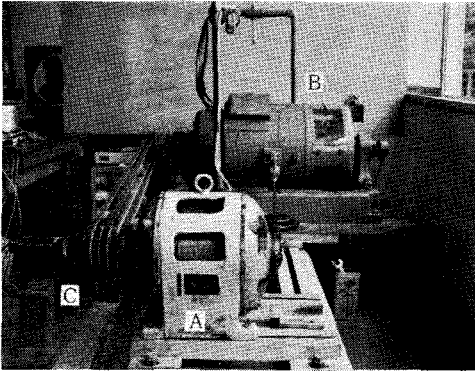


Fig. 6 実験装置

- A : 供試電動機
- B : 電気動力計
- C : オプチカルタコメーター

示すもので、その最高は51~52〔%〕程度であるが、ローター材料の研究開発が進むにつれて高くなるものと確信している。なお、Fig. 6は本実験に用いた装置である。

5. 使用した三相誘導電動機固定子巻線の定格について

使用した固定子巻線は、普通の鉄塊回転子の固定子巻線で、その定格は次の通りである。

- 一次供給電圧：100〔V〕
- 一次入力電流：37〔A〕
- 出力電力：2.2〔KW〕
- 周波数：60〔Hz〕
- 極数：4
- 時間定格：30分

6. 結 言

ソリッドローター形三相誘導電動機の効率を高くするためには、最初に述べたように、ソリッドローター材料の研究開発が最も重要である。

この理由は、ソリッドローター形三相誘導電動機の二次インピーダンスが、ほぼ下式であらわされることから理解できると考えている。すなわち、

$$R_{2s} = 57.2 \frac{m_1 l^2 N_1^3 B_{sr} \rho f_1}{D_1} \cdot \frac{1}{s \cdot E_1} \quad \dots\dots(1)$$

$$X_{2s} = \frac{R_{2s}}{2} \quad \dots\dots(2)$$

$$\dot{Z}_{2s} = R_{2s} + jX_{2s} \quad \dots\dots(3)$$

ただし m_1 = 一次相数、 l = 鉄心の長さ (ソリッドロ

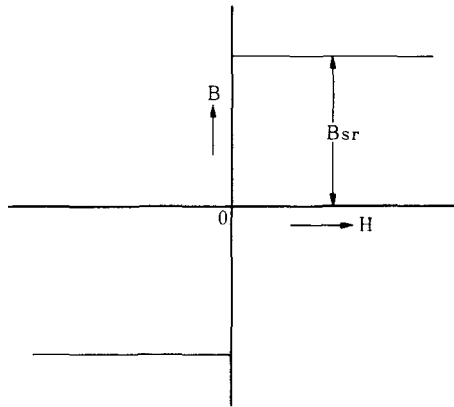


Fig. 7

ーター) N_1 = 一次1相の有効巻数、 B_{sr} = ソリッドローターの飽和磁束密度 (Fig. 7のような形と仮定した場合)、 ρ = ソリッドローターの抵抗率、 f_1 = 一次供給電力の周波数、 D_1 = 固定子鉄心の内径、 S = すべり、 E_1 = 一次1相の誘導起電力、 X_{2s} = 二次リアクタンス、 Z_{2s} = 二次インピーダンス。

上式において、ローター材料に関する定数は、 B_{sr} 、 ρ である。

また E_1 は、固定子巻線に関するもので、ソリッドローターを使用する誘導電動機に適した固定子巻線を研究することによって解決できる定数である。

なお、本材料の研究開発は、ソリッドローター形誘導電動機のみならず、これに類似の電気機器にも応用可能である。

最後に、本研究に関しまして多大のご指導とご協力を賜った、広島大学工学部助教授 工学博士 黒木英憲先生、本工業大学機械工学科 技師 田中史郎先生および神岡部品工業株式会社に対し、心から感謝いたします。

また、わが電気工学科4年次生の卒業研究班(特殊三相誘導電動機の試作研究班)に対しても、ご協力を感謝します。

参 考 文 献

- 1) 松山芳治, 三谷裕康, 鈴木 寿: 総説粉末冶金学, 日刊工業新聞社.
- 2) 榎葉久吉: 粉末冶金学, コロナ社.
- 3) 社団法人, 粉末冶金技術協会編: 粉末冶金技術講座6, 日刊工業新聞社.
- 4) 梶山正考, 鈴木 壽: 粉末冶金とその応用, オー

ム社.

- 5) 監修橋本守一, 編集 梶山正考, 鈴木 寿: 金属材料と加工技術講座12, 地人書館.
- 6) 猪上憲治, 榑 茂忠, 岡部勝也, 鹿井恵意: 広島工業大学研究紀要, 第5卷, 第1号(129—147)。
- 7) 鹿井恵意, 猪上憲治, 岡部勝也, 榑 茂忠: 広島工業大学研究紀要, 第5卷, 第1号(149—163).
- 8) The Induction Machine with Solid Iron Rotor; H. M. McConnell: 他 I. E. E. E. June. 1955.
- 9) Analysis of the Solid Iron Rotor Induction Motor for Solid-State: Spped Controls; I. E. E. E. Feb. 1968.