

# 低速大トルク油圧モータの開発

## Development of Low-Speed High-Torque Hydraulic Motor

Hitachi has completed construction on its patented design for a new type of low-speed, high-torque hydraulic motor for construction machinery use. This multi-stroke, radial piston type motor uses commercial steel balls for piston elements. The motor has a wide range of applications to hydraulic excavators and cranes, industrial and marine winches, conveyors, rolling mills, tunnel digging machines, boring machines, plastic extrusion machines, and the like. This report explains the motor's specifications, performance and features, together with the performance of the ball piston unit and the profile and material of the cam-ring.

小野 耕三\* Kozô Ono  
 米谷 栄二\* Eiji Kometani  
 今井 正也\*\* Masaya Imai  
 波多野和好\*\*\* Kazuyoshi Hatano

### 1 緒 言

建設機械の油圧化の傾向は10年ほど前より顕著になり、現在では油圧化されていない建設機械のほうが珍しいほどになった。日立建機株式会社では昭和40年に全油圧ショベルUH03を発売して以来、油圧機器の使用量は年々増大している。建設機械の油圧機器は単なる量的拡大だけでなく、性能、耐久性いずれの面でも高いレベルが要求され、この10年来一般産業用油圧機器の発展は建設機械からの要求により促されたものと言っても過言ではない。

建設機械の油圧機器は軽量コンパクトで大きな力を伝達しなければならない。特に油圧ショベル、油圧クローラクレーンの走行用モータは取付方法が限られた場所に置かねばならないので、どのような形式の油圧モータを採用すべきかは重要な問題である<sup>(1)(2)</sup>。

日立HMA形低速油圧モータは、こうした事情を背景に、油圧ショベルなどの走行駆動を減速機なしで駆動することを可能にするため開発された。従来の油圧モータではトルク不足、寸法過大などの理由で、それが不可能であった。

このため段付きボールピストンおよびマルチカムを用いたラジアルピストン式を採用することにより、小形化大トルク化を実現した。本モータの機構に関して取得または出頭中の特許は国内25件、国外7個国19件に及び、この結果図1に示すように外径寸法、重量ともに従来品よりもすぐれたものになり、昭和44年以来日立建機株式会社の油圧ショベル、クレーンに搭載され多くの実績をあげている。

本報告はこの日立HMA形油圧モータの構造、性能、応用などについて報告する。

### 2 構造・作動原理

図2は日立HMA形油圧モータの外観図を、図3は同HMA50L形の内部構造を示したものである。同図により構造および作動原理を説明する。

吸入ポートより流入した高圧油は、リヤケーシングに固定されたインナーバルブ内の油路を通り、シャフトとともに回転するロータにボルト止めされたアウトバルブ内の油路を通して、ロータ内に半径方向に設けられたシリンダ室に入る。そこでスチールボールを球面座に抱いたピストンをカムリン

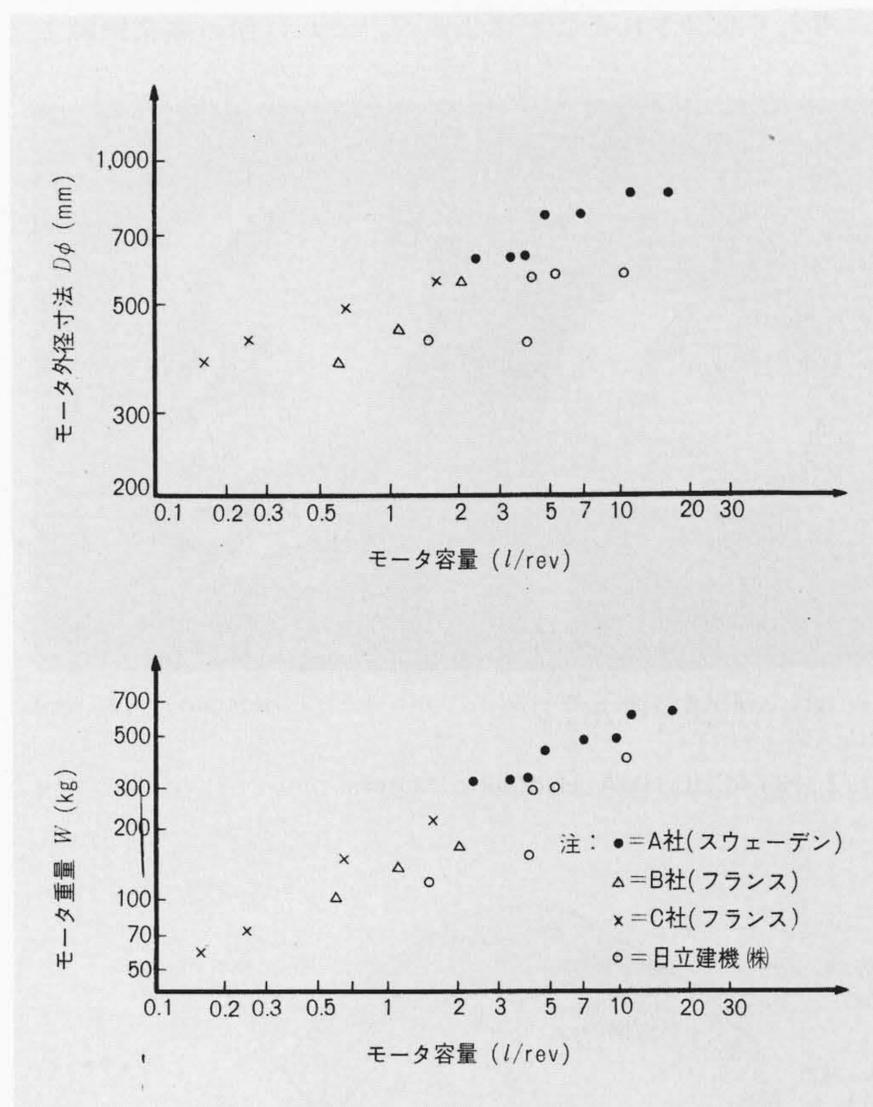


図1 油圧モータの外径と重量 同一形式であるラジアルピストン、マルチストローク式のもので比較してある。他の形式に比べてこの形式が最もコンパクトである。

Fig. 1 Outer Dia and Weight of Hydraulic Motors

グのカム面に押し付けるので、その反力によりロータ、シャフトは回転する。各のピストンが出す回転力の方向が同方向になるようにカムの凹凸とインナーバルブのポート位置関係が定められており、またカムは出力トルク変動のない形状になっている。

\* 日立建機株式会社土浦工場

\*\* 日立製作所機械研究所 工学博士

\*\*\* 日立製作所機械研究所

### 3 仕様、性能および特長

表1は現在量産されている二つの形式の仕様を示すものである。36W形は50L形の80%近い容量がありながら、重量は半分しかなく特にコンパクトになっているが、そのため内部の流路損失を多少犠牲にしているため最高流量の値が低くなっている。

図4は50L形を例にとった全体効率および出力トルク曲線である。このように広い範囲で高い効率で大きな出力トルクが出せる。

本機の特長は、

- (1) 図1に示すように軽量コンパクトで大トルクが出せる。
- (2) 極低速でも一定トルクでスムーズな回転力が出せる。
- (3) 低速でかつ剛性が高いため非常に低騒音である。
- (4) シャフトに大きな曲げ外力をかけて使用可能である。
- (5) 岩石や泥土に終始さらされても耐え得る構造となっている。

以上のほとんどの特長は、主として建設機械への適用を第一に考えて設計されたことによるが、これは他の産業機械で

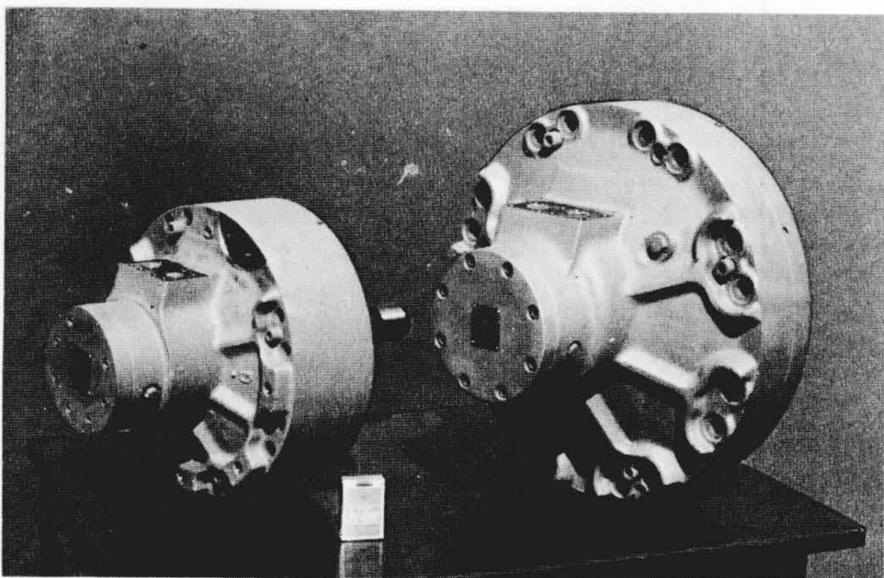


図2 日立HMA形油圧モータ 小さいほうがHMA36W、大きいほうがHMA50Lを示す。

Fig. 2 HITACHI HMA Hydraulic Motors

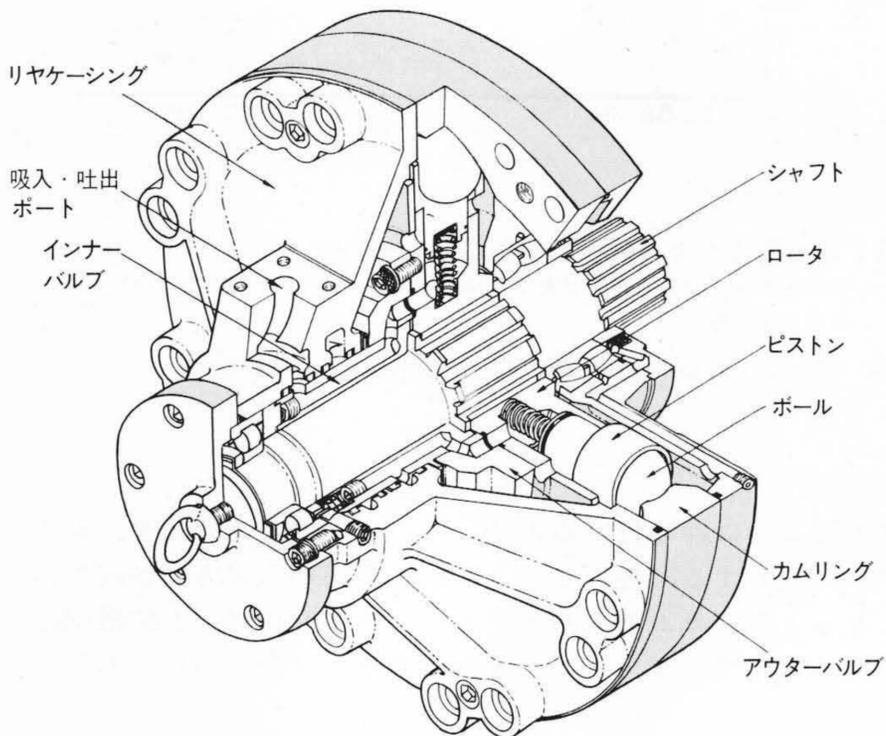


図3 日立HMA50L油圧モータ構造 軸受用スチールボールをピストン部材に用い、極力コンパクトな設計にしたことが本機の特長である。

Fig. 3 Sectional View of HMA 50L Hydraulic Motor

表1 日立HMA形油圧モータ仕様 HMA36Wは複列シリンダ形であり、HMA50Lは単列シリンダ形のため、前者は特に軽量コンパクトであり、後者はより大流量で使用可能な仕様になっている。

Table 1 Specifications of HMA Hydraulic Motors

形式名	HMA36W	HMA50L
モータ容量	4.05l/rev	5.16l/rev
定格圧力 (出力トルク)	175kg/cm <sup>2</sup> (1,070kg-m)	175kg/cm <sup>2</sup> (1,370kg-m)
最高圧力 (最高トルク)	280kg/cm <sup>2</sup> (1,751kg-m)	280kg/cm <sup>2</sup> (2,220kg-m)
定格流量 (定格回転数)	120l/min 50rpm	260l/min 30rpm
最高流量 (最高回転数)	200l/min 50rpm	335l/min 65rpm
重量	150kg	300kg

も要求される重要な特長と言える。

### 4 各部の性能

#### 4.1 ピストン

この油圧モータの特徴は、ピストンとボールの組合せを使ったことである。このため、全体構造はコンパクトになったが、一方、ピストンとボール、ピストンとシリンダの間の摺動条件がかなりきびしく、この部分でがじりや摩耗を生じないようにふうが必要である。

そこで、ピストンとボールのすべり面は静圧形球面軸受とした。図5に示すように球面中央部と側面にみぞを切り、ここにピストン頭部の高圧の油を送り込んで、ボールを浮かせ、ピストンとの金属接触を防ぐ。給油穴には毛細管絞りをつけ、この働きによって、適正油膜厚さを保ち、油漏れが過大にならないようにした。図5はボールがカムリングによって側方から押された場合を示すが、押された側の油膜が薄く、油漏れが少なくなる結果、絞りでの圧力降下が小さくなる。すなわち、押された側の油圧  $P_1$  が反対側の油圧  $P_2$  に比べ大きくなり、ボールを中心に押しもどそうとする力を生じ、この力

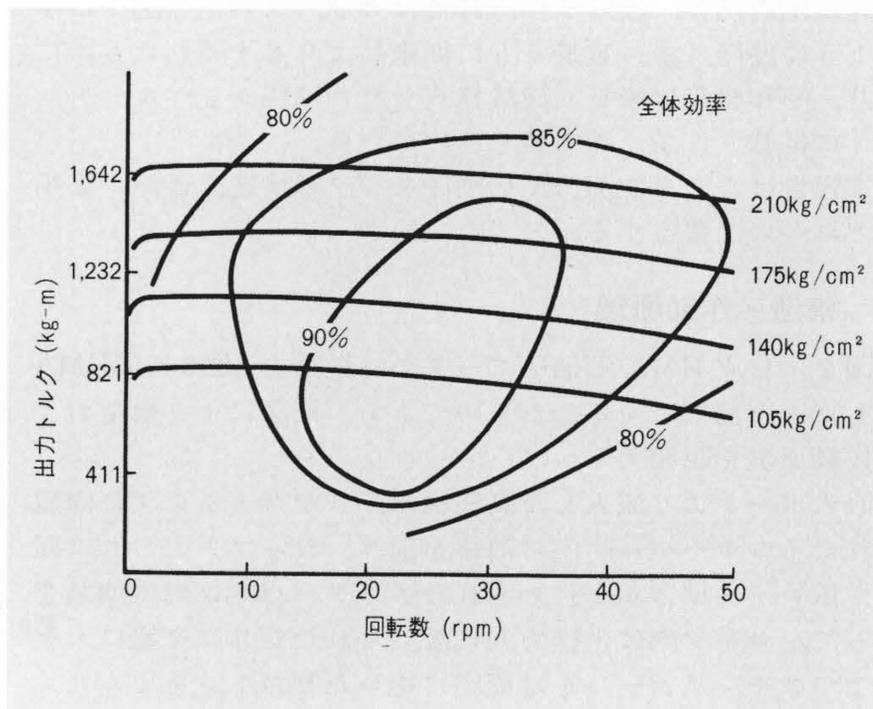


図4 日立HMA形油圧モータの性能 HMA50L形の出カトルクと全体効率を示す。

Fig. 4 Performance Curves of HMA Hydraulic Motor

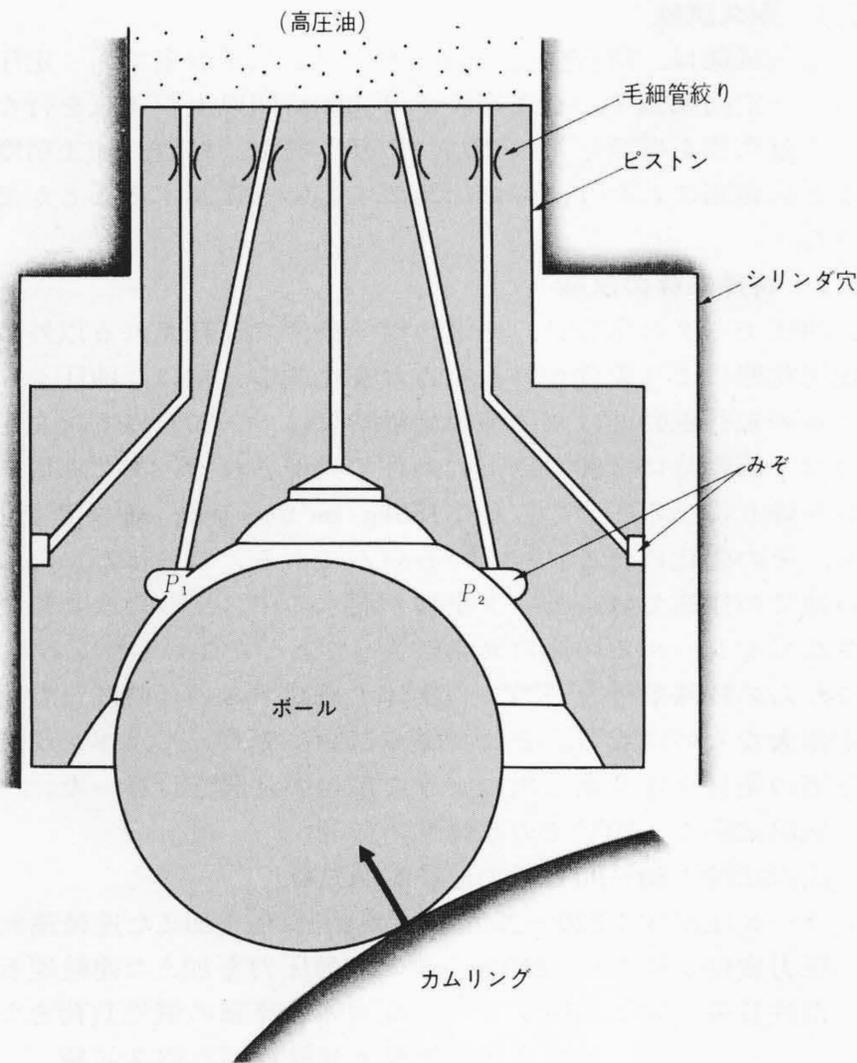


図5 ピストン摺動面の潤滑法 油膜厚み、球面形状など誇張して示してある。

Fig. 5 Lubrication of Piston Sliding Surfaces

に、いわゆる油膜のくさび作用による力が加わって、適正厚さの油膜ができる。

ピストンとシリンダの摺動面についても、ピストン側方につけたみぞに頭部の高圧油を絞りを介して導き、油滑するようになっている。

ピストンはアルミ合金製であり、ボールは市販のころがり軸受用鋼球である。ピストン球面の加工と検査には、特に注意を払い、精度と表面あらさを管理している。図5に示すように、球面は三つの部分から成るが、これは温度変化により、アルミ合金製ピストンと鋼製ボールの相対寸法が変化した場合、かじりを避けるためである。

ピストンとボールの摺動性能を調べるため製作した試験機は図6に示すとおりである。同図のように実機で使用するピストンとボールをそのまま組み込み、摩擦損失、油漏れ、温度上昇などを測定できるようになっている。

この試験機により、求めたボールとピストンの間の摩擦特性は図7に示すとおりである。同図は縦軸に摩擦係数を、横軸に無次元数  $ZN/P$  (ここで、 $Z$ は油粘度、 $N$ はボール回転数、 $P$ はピストン頭部油圧) をとり、圧力角  $\alpha$  (図6参照) をパラメータとしたものである。実験は油圧  $300\text{kg/cm}^2$  まで行なったが、摩擦はきわめて小さく、また左下りの摩擦特性が見られることから、すべり面ではほぼ完全な流体潤滑状態が保持されていることがわかる。

このピストンとボールの組合せについては、実機使用条件を想定して、種々の信頼性試験を行なったが、摩耗やかじりに対し良好な結果を得ている。

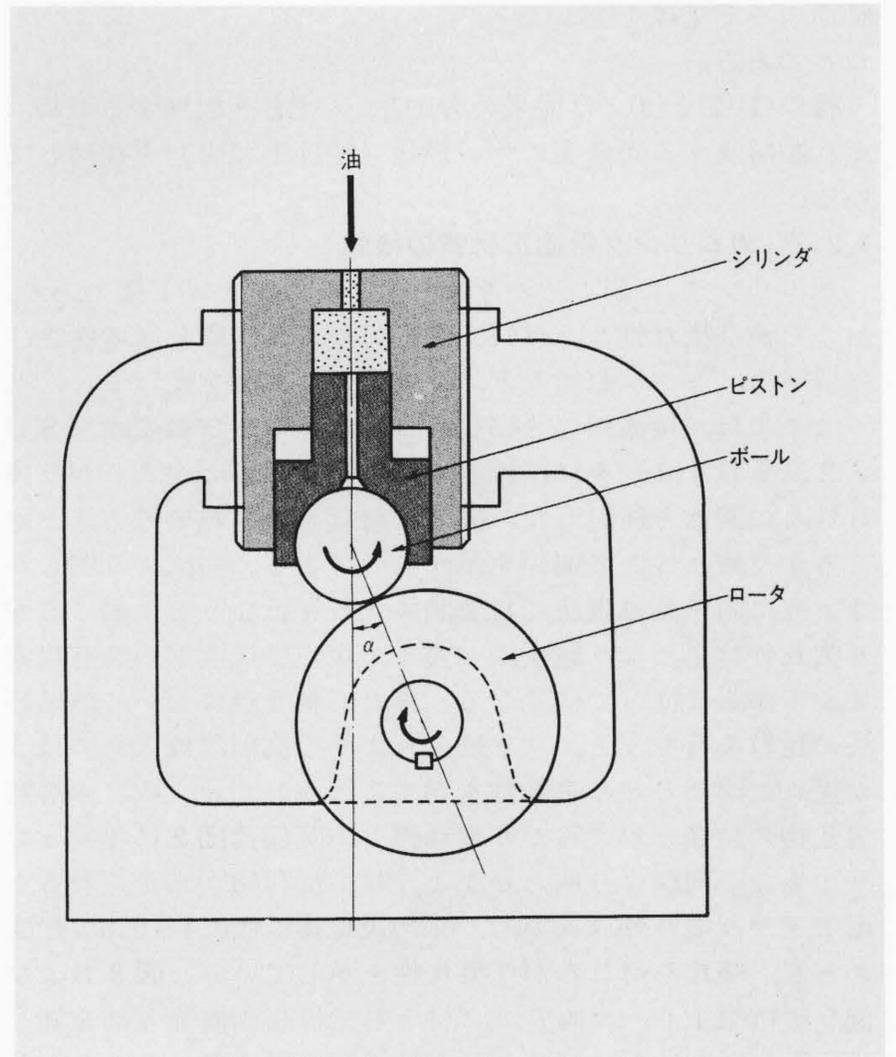


図6 ピストン球面摺動試験機 ロータをトルクメータを介して電動機で駆動し、摺動抵抗を測定する。

Fig. 6 Piston Testing Machine

## 4.2 カムリング

### 4.2.1 カム形状

カム形状について考慮した点は、

- (1) 出力トルクを一定にすること。
- (2) モータ内部のバルブ切換時に、閉じ込み、吹抜け現象のないようにすること。
- (3) カムの寿命を伸ばすため、接触面圧を適切な値にすること。
- (4) 加工誤差の範囲内で、カム転動面中心とボール中心とがずれる場合に、ピストンに異常な側圧がかからないように転

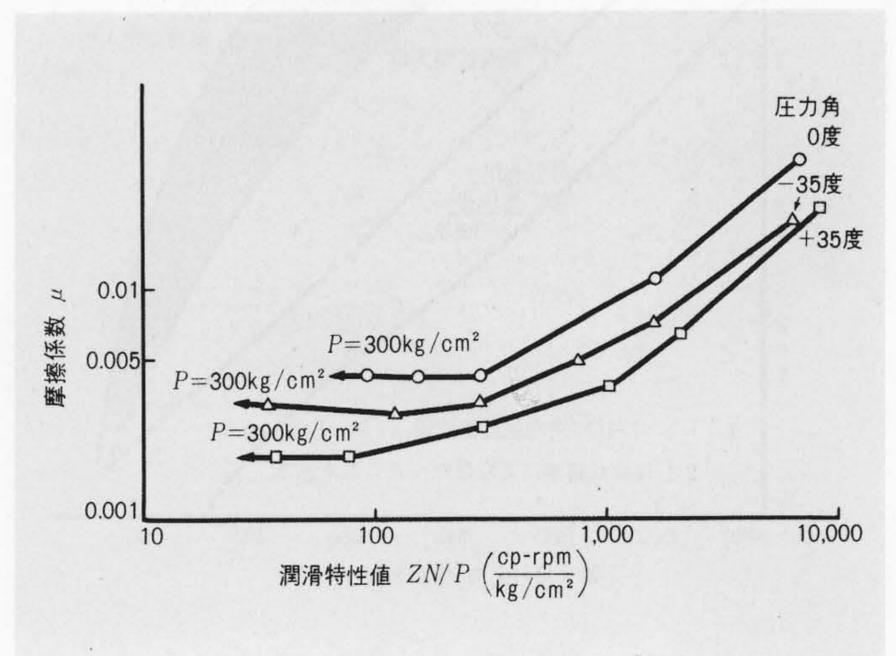


図7 ピストン球面の摩擦特性 ピストン圧力角が+35度から-35度まで、使用圧力では  $300\text{kg/cm}^2$  まで良好な潤滑特性を示していることがわかる。

Fig. 7 Friction Performance of Piston Spherical Surface

動面のみぞ半径を選ぶこと。

などである。

特に(1)(2)と(3)とは従来の考え方からすると相反するため、それを解決する新考案のカム形状(特許出願中)を採用している。

#### 4.2.2 カムリング用適正材質の検討

カムリングは、耐ころがり疲れ性の高いことが必要である。耐ころがり疲れ性は、材質、表面のかたさ、硬化層の深さ、残留応力、ミクロ組織などにより大きな影響を受ける。

ここでは、炭素鋼(S45C, SK7)および軸受鋼(SUJ2, SUJ3)を供試材とし、上記諸因子と耐ころがり疲れ性との関係を検討した。図8は材質および熱処理方法と耐ころがり疲れ性との関係を示すものである。同図より明らかなように同一熱処理法で材質間の比較を行なうと、耐ころがり疲れ性は、やはり軸受鋼が良く、次いで炭素鋼の含有炭素量が下がるに従って低くなる。また、軸受鋼について熱処理法の比較を行なうと、ズブ焼入れよりも高周波焼入れのほうが優れた耐ころがり疲れ性を示すことがわかる。次に未溶解炭化物の粒径と耐ころがり疲れ性との関係は図9に示すとおりである。同図より明らかなように、炭化物が細かくなると耐ころがり疲れ性は向上し、平均炭化物粒径0.4~0.6 $\mu$ 程度するとき、優れた耐ころがり疲れ性を示している。図8および図9の結果より、カムリング材としては高周波焼入れを施し炭化物粒径を0.4~0.6 $\mu$ とした軸受鋼が優れていることがわかった。

### 5 信頼性の確認試験

油圧モータを量産開始するにあたっては、単体の性能確認試験のほかに、信頼性の確認のための種々の試験を重ねた。それらの試験を内容的に分類すると、このモータの寿命の確認のための耐久試験と、種々の特殊条件での使用の適否の確認試験とに分けられる。

#### 5.1 耐久試験

耐久試験は、防音構造の油圧モータ耐久試験室で、一定圧力、一定回転数で、昼夜連続の1,000時間以上の運転を行なって耐久性を確認した。これにより、構造、材質、加工精度など広範囲にわたり、寿命に及ぼす影響を確認することができた。

#### 5.2 特殊条件の試験

油圧モータの場合は、一定の標準条件で運転される以外に使用状態により条件がいろいろに変化する。特に、油圧ショベルの走行駆動部は寒冷地の始動時には、-20 $^{\circ}$ C以下、夏季のフル稼働時には80 $^{\circ}$ C以上の条件で動かされる。また坂道の登り降りによる圧力の変動は155kg/cm<sup>2</sup>から0kg/cm<sup>2</sup>まで変化し、その変化のサイクルもいろいろである。このほかに泥ねい地での作業では、モータ全体が泥水の中に浸ったまま駆動されてもシールその他に異常があってはならないものである。これらの特殊条件を一つ一つ車体で確認するのは時間と費用が膨大なものになる。そこで実車試験に先だて、ベンチで等価の条件を作り出し次のような項目の試験を行なった。

低温試験：-20 $^{\circ}$ Cでの起動性の確認

高温試験：80~90 $^{\circ}$ Cでの連続耐久試験

サージ圧試験：230~250kg/cm<sup>2</sup>のサージ圧を加えた連続運転

圧力変動試験：0~210kg/cm<sup>2</sup>の変動圧力を加えた連続運転

慣性負荷試験：油圧ショベル旋回体と等価の慣性負荷をかけて、正転逆転の連続繰返し耐久試験

泥水試験：泥水中でのシールの耐久性の確認試験

図10はこれら一連の試験を行なったベンチの写真を、図11はサージ圧試験の圧力波形の一例を、図12は泥水試験の試験方法と加圧条件をそれぞれ示すものである。

### 6 使用実績と適用分野

日立HMAモータは昭和44年10月に日立UH03M形湿地用油圧ショベル(図13)の走行駆動用に装着されて発売されて以

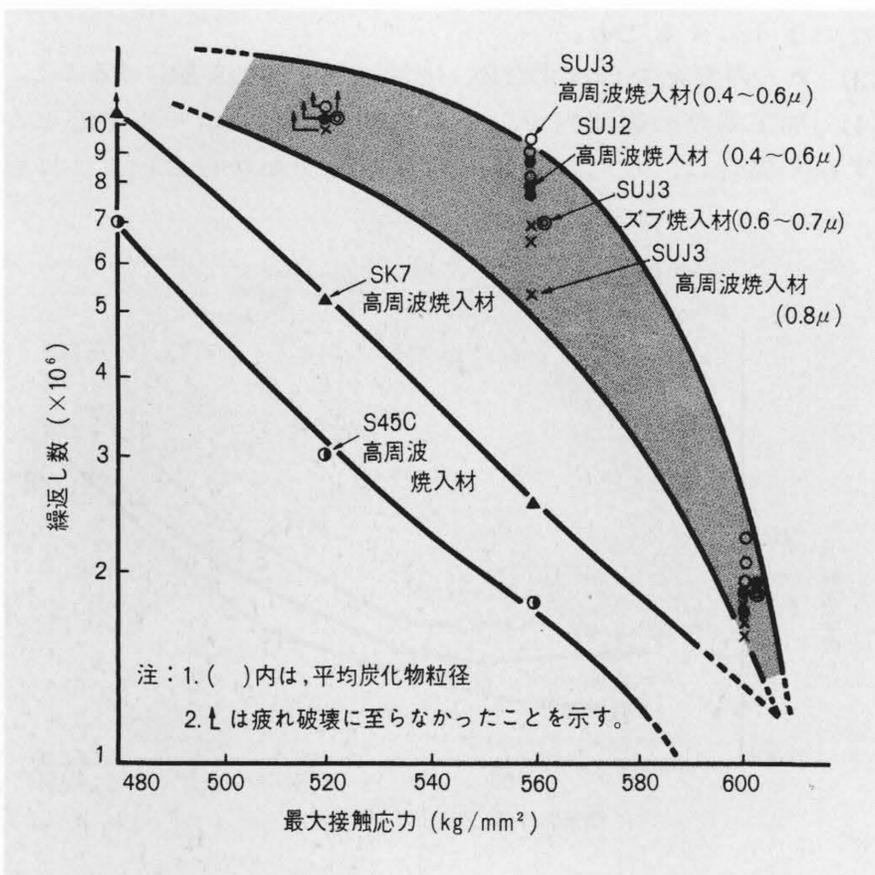


図8 ころがり疲れ試験結果 材質および熱処理方法と耐ころがり疲れ性との関係

Fig. 8 Rolling Contact Fatigue Test

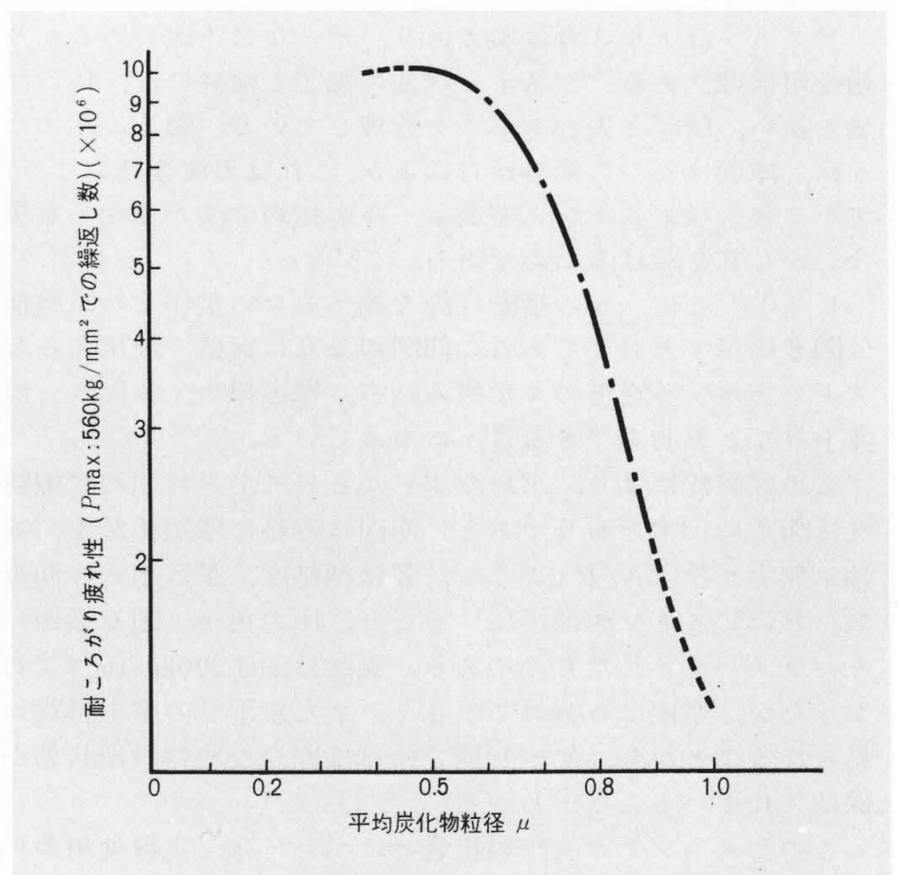


図9 未溶解炭化物粒径と耐ころがり疲れ性との関係 耐ころがり疲れ性に及ぼす因子のうち、炭化物粒径の影響を示す。

Fig. 9 Effect of Insoluble Carbide Size on Rolling Contact Fatigue

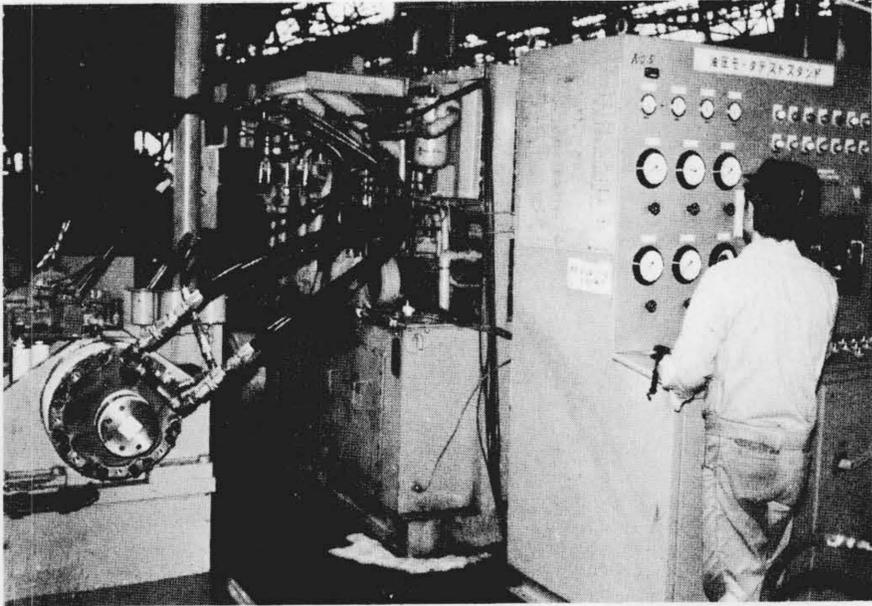


図10 油圧テストスタンド 同じ形式の油圧モータを負荷ポンプとして動力回収させる回路になっている。  
Fig. 10 Hydraulic Test Stand

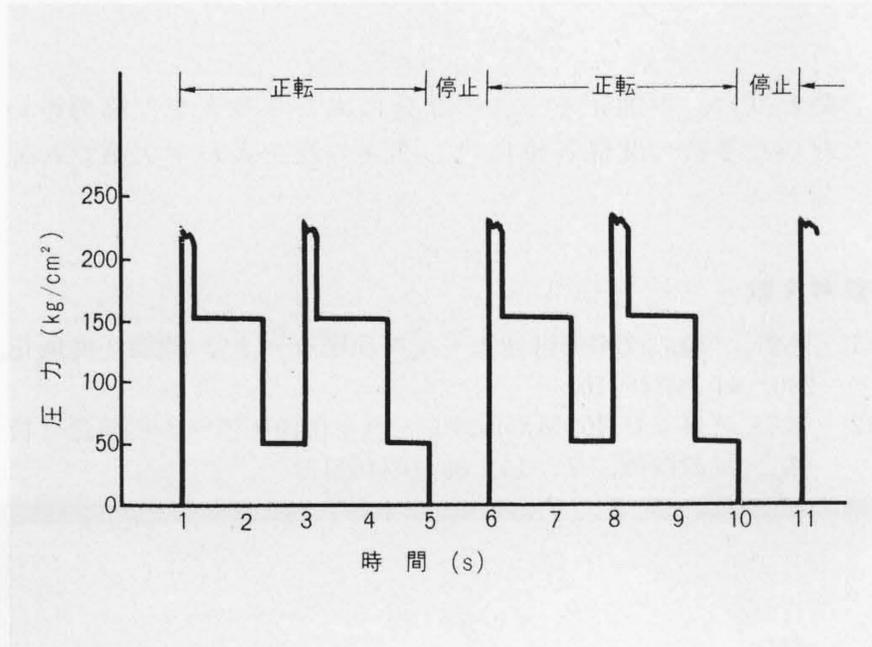


図11 サージ圧試験の圧力波形 圧力波形の変化は、電磁弁の切換えにより行なった。最初のサージ圧は、切換え時のショックによるものである。  
Fig. 11 Pressure Profile of Surge Pressure Test

来、標準形油圧ショベルUH03Dにも使用されて、総出荷台数5,000台にも及んでいる。また、稼動時間も5,000時間を超えたものもある。

また油圧ショベル以外への適用分野としては、建設機械の巻上・旋回・走行駆動、産業車両の走行駆動、クレーンの巻上機や走行駆動、コンベヤや圧延機の回転送り機構、トンネル掘削機やボーリング機械の回転駆動、船舶用の補機類の回転駆動など、日立HMモータの利用分野は広い。特にウインチには、(1)トルク変動がほとんどない。(2)起動効率が良い。(3)音が静かである。減速機を使用しなくても直接ドラムを駆動できるなどの諸効果で、性能の良いコンパクトなものができる。図14は日立HMモータ付ウインチを搭載したKH180クローラークレーンを示すものである。産業用に製作した4.5tウインチは図15に示すとおりである。また騒音が非常に少ないことから、工場内で使用される機械、たとえば射出成形機などにも適している。

## 7 結 言

油圧ショベル、クレーンなどの建設機械用として、日立建

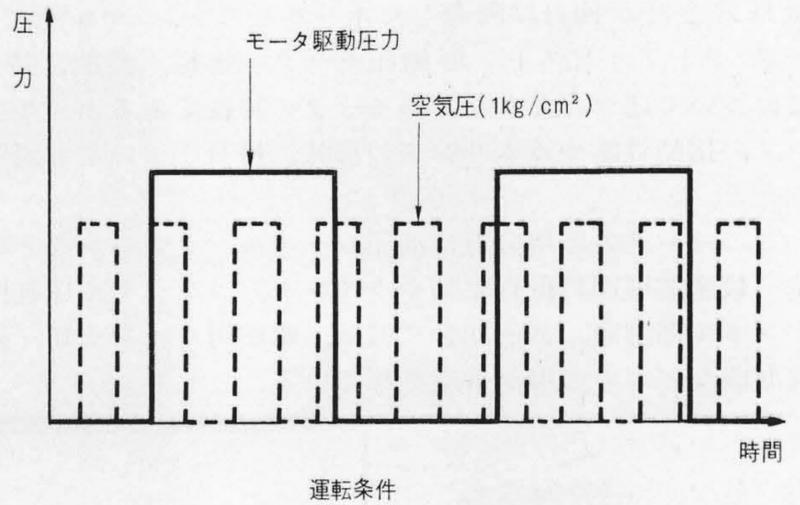
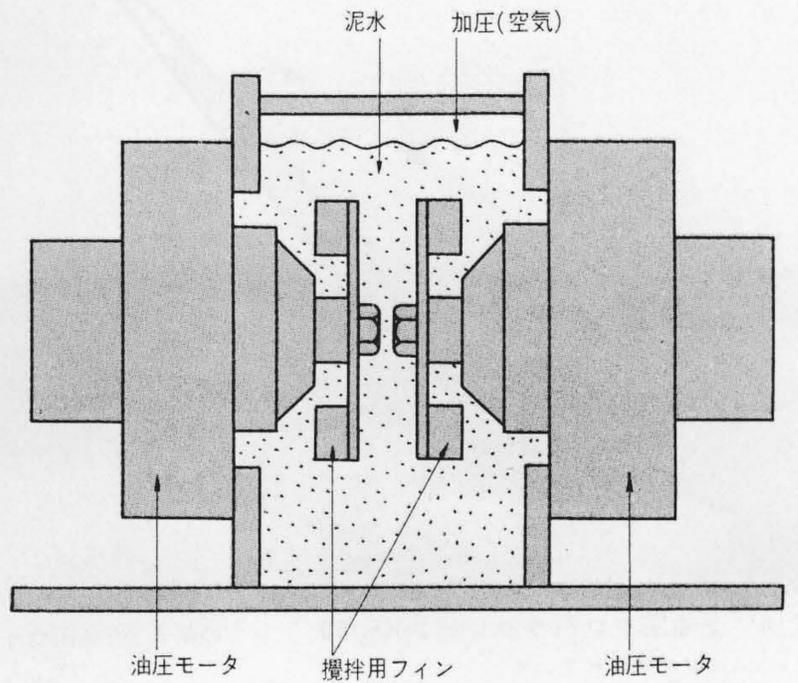


図12 泥水試験 右図のような圧力波形の空気圧で加圧しながらモータで泥水を攪拌することにより、シールの耐久性を確認した。  
Fig. 12 Muddy Water Test



図13 日立UH03M形湿地用油圧ショベル 走行駆動部にHMA50Aが使用されている。

Fig. 13 Muddy Land Type Hydraulic Shovel UH03M



図14 全油圧クローラークレーンKH180 この第3ドラム用ウインチにHMA36Wが使われている。

Fig. 14 All Hydraulic Crawler Crane KH180

機株式会社が独自に開発したボールピストン マルチストローク ラジアルピストン形油圧モータの仕様、性能、特長などについて述べた。またこのモータの特長であるボールピストンの摺動性能やカムリングの形状、材質についても説明を加えた。

このモータの応用分野は油圧ショベル、クレーンなどのほか一般産業車両の走行駆動やウインチ、コンベヤや圧延機、トンネル掘削機、ボーリング機械、船舶用ウインチ類、射出成形機などへの応用が推進されている。

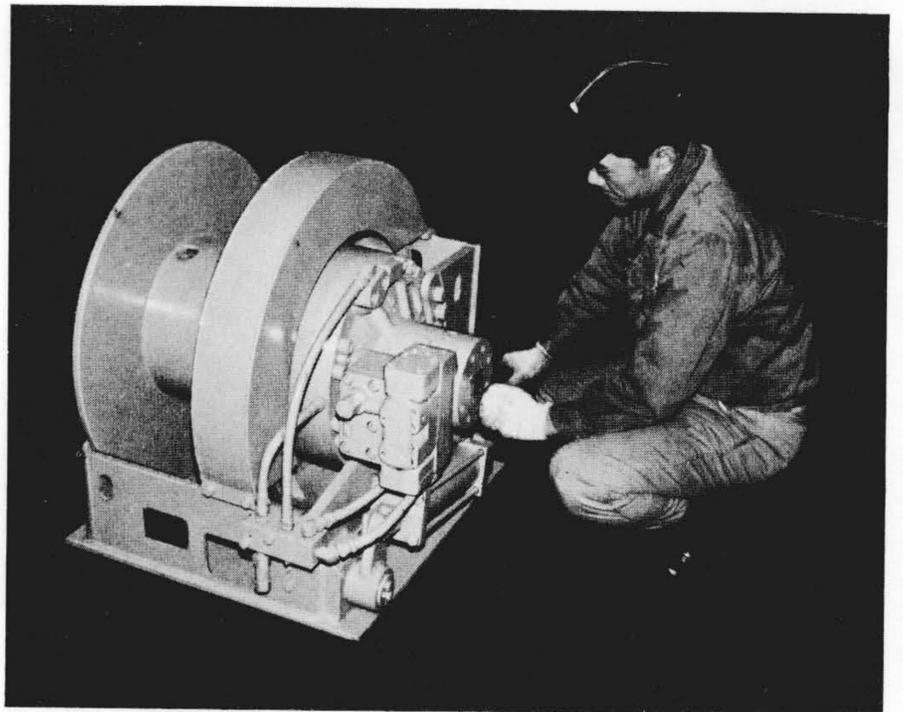


図15 4.5t 油圧ウインチ 一般産業機械用として用いられる。

Fig. 15 4.5ton Hydraulic Winch

終わりに、本油圧モータの開発にあたり多大なご協力をいただいた多数の関係各位に対し感謝の意を表わす次第である。

#### 参考文献

- (1) 小野, 「建設機械用低速大トルク油圧モータ」, 建設の機械化, 260, 41 (昭46-10)
- (2) 米谷, 「日立UH03M形湿地ショベル用油圧モータの構造と特性」, 建設機械, 7, 13, 60 (昭46-12)



## 磁性合金

富田貞美・大内弘之

特許 第598428号 (特公昭45-24213号)

本発明は磁気増幅器、磁気マルチバイブレータなどに用いる角形ヒステリシス特性およびその他の磁氣的性質にすぐれた新規な磁性合金に関するものである。

従来、この種の材料として圧延と焼鈍によって薄板にすると同時に方向性を付与した異方性パーマロイ、方向性けい素鋼などを用い、これらを環状巻鉄心として使用していたが、使用者の立場からは一般のE形、I形の打抜き積層鉄心に比べて、巻線作業が容易でないこと、回路に組み込むときの空間の占積率が悪いことなどが欠点となっていた。

本発明は、上記の従来技術の欠点を解消して一辺が開放しているU形積層鉄心用の磁性合金を提供するものである。U形鉄心

は短辺が対向し、かつ長辺が重なるように交互に積層して用いる。本発明は次のような合金組成成分と熱処理方法にすることに特徴を有するものである。すなわち、2~30%のコバルト、10~30%の鉄、0.5~4%のモリブデンまたは銅および残部75%を越えないニッケルから成る合金を高温焼鈍後磁場中冷却する。本発明の磁性合金の磁気特性および電気特性の一例は次のとおりであるが、これらは板厚0.3mm、長辺70mm、長辺の幅5mm、短辺20mmおよび短辺の幅10mmのU形鉄心を1,100°Cで高温焼鈍後700°Cから400°Cまで平均冷却速度100°C/hで磁場冷却処理したものを30枚1組にして測定に供したものである。合金組成7Co-23Fe-2Cu-Ni,  $B_{10}$  12.1kG,  $Br/B_{10}$  89.7%,  $B_{0.5}/$

$B_{10}$  (下降ヒステリシスループの残留磁化状態になる以前の0.50eにおける角形比)95.5%,  $H_c$ 0.037Oe, キュリー温度640°C,  $\alpha_{B_{10}}$  (温度-20~30°C間の $B_{10}$ の平均温度係数)  $-2.5 \times 10^{-4}$ , 電気比抵抗 $31.4 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 。

以上説明したように、本発明になるU形積層鉄心用磁性合金は、巻線作業が容易であり、かつ装置に組み込んだときの空間の占積率が良いことのほかに、(1)磁束密度が大きい、(2)保磁力が小さい、(3)角形ヒステリシス特性にすぐれる、(4)磁性の温度変化が小さい、(5)電気抵抗値が大きい点ですぐれているなどがある。

このほか、振動などによる外的な応力による磁性変化が小さい点においてもすぐれたものである。