

A Gas Compressor Using Magnetic Fluid

(4th Report, Test of a New Apparatus Having Coiled Channel and Rotating Permanent Magnets)

正 佐田富 道雄 (熊本大)
正 糸永 泰彦 (三井三池製作所)

○ 学 栗山 太 (熊本大院)
正 西村 睦郎 (三井三池製作所)

Michio SADATOMI, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto-City, Kumamoto.
Futoshi KURIYAMA, Graduate School of Kumamoto University
Yasuhiko ITONAGA, Mitsui-Miike Machinery Co.Ltd.
Mutsuo NISHIMURA, Mitsui-Miike Machinery Co.Ltd.

緒言 磁性流体 (以下 MF と略す) は磁気力に反応する人工流体として知られている⁽¹⁾. この MF の用途として, 佐藤と佐田富⁽²⁾は MF とリニアモータを利用したガス圧縮機を提案した (Fig.1). この圧縮機では, 流路内の MF スラグが容積式圧縮機のピストンの役割を果たし, MF スラグ間に吸入された気体が流路に沿って移送され, 圧縮される. この圧縮機は振動や騒音を生み出す機械的な運動部分がないのが特徴である. これまでに性能改善のためにいくつかの改良を行った^{(3)・(4)}. 今回, 最高締切圧のさらなる増加と装置の小型化のためにコイル状流路と永久磁石式ロータを持つ新型装置を開発し, 性能試験を行った. 試験においては, ロータの回転速度と MF の供給量が最高締切圧力と空気吐出流量に及ぼす影響を調査した. この結果を一つ前の形式の装置⁽⁵⁾の結果との比較と共に報告する.

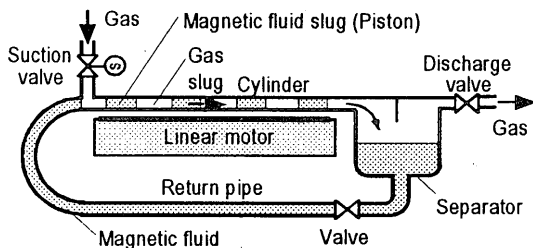


Fig.1 Prototype of a gas compressor using magnetic fluid (Sato and Sadatomi, 1995)

実験 実験装置 実験装置を Fig.2 に示す. 本装置の特徴は次の通りである.

(1) 圧縮機の小型化のために直線流路の代わりにコイル状流路を採用した. 流路は直径 $d = 8 \text{ mm}$ の円形断面を持つナイロンチューブ (耐圧 800 kPa) である. コイル状流路のピッチ円直径及び段数はそれぞれ $D = 353 \text{ mm}$, 17 段であり, 流路全体の長さ Δx は約 18.85 m である.

(2) 流路に沿って回転する強力な磁気力を発生させるため, 12 対の超強力永久磁石 NEOMAX-48 がロータの表面に埋め込まれている. このロータはコイル状流路外側のステータコイルにより発生する磁場によって回転する. すなわち, ロータの回転速度は, ステータに三相交流電流を供給するインバータの周波数を変えることにより, 任意に設定できる. MF スラグが正しく形成された場合, 流路 1 段あたりの MF スラグ数は 24 になり, 流路全体での MF スラグ総数 N は 408 になる.

MF は液面高さが一定に保たれた入口タンクから MF チョップを経て流路へと導入した. ここで, MF チョップとは MF の供給を断続的に行うソレノイドバルブと, 空気を導入する T 字管とからなる. バルブの開・閉時間

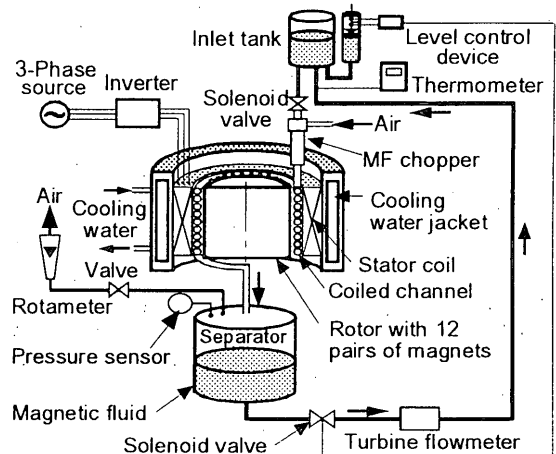


Fig.2 New apparatus having coiled channel and rotating permanent magnets

はいずれもロータの回転速度に応じてツインタイマで設定した. MF は, 導入直後に MF スラグとなり, 移動磁場によって流路出口に向かって移動する. 一方, 空気は, 前述の MF スラグの後方に発生する負圧により, 自動的に MF スラグ間に吸入される. MF と空気は流路を通過したのち分離タンクへ排出される. 分離された MF は分離タンクの内圧で入口タンクへと戻される. 但し, 運転開始時においてはタンク内圧が十分でないため, 研究室内の空気供給源より 50 kPa 程度になるまで圧縮空気を供給した. 実験項目と測定については, 後で述べる.

供試 MF として, 扱いやすさと高い飽和磁化 ($M_{Sat} = 0.031 \text{ T}$) を考慮して, W-40 (タイホー工業 (株) 製, 水ベース) を使用した. この MF の $20 \text{ }^\circ\text{C}$ における密度及び見かけ粘度はそれぞれ 1396 kg/m^3 , $0.017 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ であった.

装置における磁束密度の最大値 B_{MAX} は, 一つ前の装置の約 2.3 倍であった. 以前の装置では永久磁石式ロータの代わりに直流電磁石式のロータが採用されており, B_{MAX} 値は供給される直流電流とインバータ周波数によって $0.08 \sim 0.26 \text{ T}$ の範囲で変化した. これに対し, 今回のガス圧縮機では, B_{MAX} がインバータ周波数によらずほぼ 0.6 T であった. このような B_{MAX} の増加は最高締切圧を増加させるのに効果的である. なぜなら, MF スラグに作用する力が磁場の強さに依存して増加するからである. このような理由で, 今回の装置では超強力永久磁石を使用した.

実験項目及び測定 MF の供給量及びインバータ周波数 (すなわちロータの回転速度) の影響を調査するため

に、周波数 $f=2, 4, 6, 8, 10\text{Hz}$ において MF 供給体積を系統的に変化させ実験データを得た。それぞれの周波数における磁場速度 U は、24 極のステータコイルと 12 対の永久磁石で移動磁場が作られるので、 $U = \pi Df/12$ となる。性能試験では、次の二種類の試験が行われた。

ひとつは、最高締切圧 ΔP_{MAX} の測定である。この試験では、Fig.2 における分離タンクとロタメータの間にある空気排出バルブを閉じた状態で、流路内の MF スラッグの破断による圧力降下が起こるまで運転を継続し、分離タンク内のゲージ圧を監視する。なお、圧力は $\pm 3\text{kPa}$ の精度で圧力変換器によって検出した。

もうひとつは、ある圧力 ΔP (ΔP_{MAX} 以下) における空気及び MF の吐出流量 Q_G, Q_{MF} の測定である。圧力は、空気排出バルブの開度を調節して、規定圧力の $\pm 1\text{kPa}$ 以内に保持した。空気と MF の吐出流量はそれぞれロタメータとタービン流量計で測定した。

結果及び考察 最高締切圧 最高締切圧への影響を調査するために、三つのパラメータ (インバータ周波数 f , MF 供給体積 $V_{MF,in}$, MF 供給周期 $f_{MF,in}$) を変化させた。ここで、 $V_{MF,in}$ と $f_{MF,in}$ はソレノイドバルブの開・閉時間によって設定した。MF 供給体積 $V_{MF,in}$ は 0.58cm^3 及び 1.16cm^3 で試験した。また、インバータ周波数 f が高い領域ではインバータ周波数 f の増加に伴ってソレノイドバルブの開・閉時間間隔が減少するため、磁場のそれぞれの波での MF スラッグの形成は容易ではない。このことから、周波数は $f=2 \sim 10\text{Hz}$ の範囲に限定し、MF 供給周期は 2 shots / 1 wave だけでなく、2 shots / 3 waves と 2 shots / 6 waves での試験も行った。

Fig.3 は、本装置の ΔP_{MAX} を以前の結果と比較している。この図において、それぞれのインバータ周波数 f における ΔP_{MAX} の平均値が記号 \circ で示されており、 $V_{MF,in}$ と $f_{MF,in}$ を変えた時の上限と下限も併せて示してある。本装置の ΔP_{MAX} が以前の装置の 2.5 ~ 7 倍であり、本装置だけが $f=6 \sim 10\text{Hz}$ で動作することがわかる。

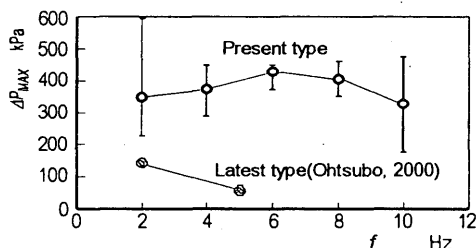


Fig.3 Comparison of maximum discharge pressure between the present type compressor and the latest type one (Ohtsubo, 2000)

MF 及び空気の吐出流量 この試験では、MF 供給周期を ΔP_{MAX} が比較的高くなる $f_{MF,in} = 2\text{ shots} / 6\text{ waves}$ に固定した。インバータ周波数 f 及び MF 供給体積 $V_{MF,in}$ はそれぞれ 6Hz と 1.74cm^3 (公称値) まで変化させ、分離タンク内圧力は 100, 200 及び 400kPa に設定した。Fig.4 (a), (b) に、インバータ周波数 $f=2, 4\text{Hz}$ での空気流量の測定結果を示す。分離タンク内圧力が $\Delta P = 100$ 及び 200kPa での測定結果を、同時に示している。 $Q_{MF,in}$ の大きな領域では ΔP の影響は非常に小さく、以前の装置と同様の傾向を示している。

Fig.4 には式(1)より計算された直線も示してある。この式は、MF と空気がスラッグ状に完全に分離した理想的

な流れでは、空気と MF の速度が磁場の速度 U_c と等しくなければならないという考えに基づいている。

$$Q_G + Q_{MF} = U_c A \quad (1)$$

計算結果との比較より、本圧縮機の Q_G は理想的な流れにおける流量の約半分であることが分かる。 Q_G がこのように低いのは、実際の流れでは、気泡周りに厚い MF 液膜が形成されているためと考えられる。空気流量をさらに増加させるためには、より優れた MF 供給装置、例えば移動磁場に同期し応答性に優れたものを開発しなければならない。これが今後最も重要な研究課題である。

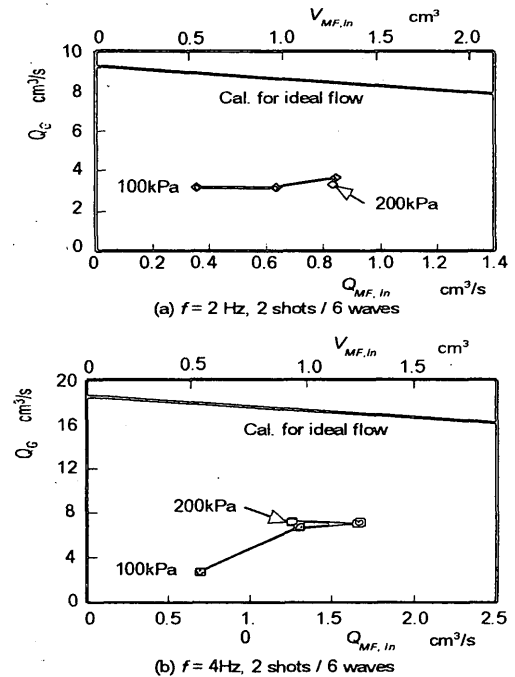


Fig.4 Discharge rate of air and MF measured in this experiment

結 言 MF とリニアモータを利用したガス圧縮機の性能を改善するために、コイル状流路と永久磁石式ロータを持つ新しい形式の装置を開発し、性能試験を行った。試験では、磁石の回転速度 (すなわちインバータ周波数 f) と MF 流入量 (MF 供給体積 $V_{MF,in}$, MF 供給周期 $f_{MF,in}$) が最高締切圧と最大空気吐出流量に及ぼす影響を調査した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 本装置の最高締切圧 ΔP_{MAX} は約 400kPa であり、これまでの装置では最も高く、以前の装置の 2 ~ 7 倍となった。しかしながら、理想的な流れにおける最高締切圧よりも一桁小さい値である。
2. 本装置の空気吐出流量 Q_G はインバータ周波数 f と共に増加し、 $f=4\text{Hz}$ においては約 $7\text{cm}^3/\text{s}$ となった。これは過去の装置の少なくとも 2 倍以上である。しかしながら、この装置の理想的な流れにおける空気吐出流量と比較すると約半分である。
3. 更なる装置の改善のためには、移動磁場と同期した、より優れた MF 供給装置を開発しなければならない。

文 献 (1) 神山新一, 磁性流体入門, (1989), 1-135, 産業図書. (2) 佐藤泰生・ほか 4 名, 機論, 59-562, B(1993), 1809-1815. (3) Sadatomi, M. and Sato, Y., Proc. 3rd Int. Conf. Multiphase Flow, ICMF'98, Lyon, France, Paper #385(1998), 1-6. (4) 佐田富道雄・ほか 2 名, 機論, 65-636, B(1998), 2763-2769. (5) 大坪, 熊本大学修士論文, (2000).