

Generation and Disintegration of Magnetic Fluid Jet under a Magnetic Field

○須藤誠一 (いわき明星大理工), 伊勢和貴 (いわき明星大理工)
中川 晃 (いわき明星大理工)

Seiichi SUDO, Kazutaka ISE and Akira NAKAGAWA

Dept. of Mech. Eng., Iwaki Meisei University, Iino 5-5-1, Chuohdai, Iwaki 970-8551, Japan

This paper describes the interfacial characteristics of magnetic fluid jet generated by the longitudinal vibration of the annular permanent magnet-magnetic fluid system. The experimental apparatus is composed of the vibration-testing system, a three-dimensional high-speed motion analysis system, and an optical displacement detector system. The interfacial phenomena of magnetic fluid jet are studied with the high-speed digital camera system. The processes of the magnetic fluid jet generation and the jet breakup are revealed in detail. It is found that the magnetic fluid jet generated by the vibration of magnet-magnetic fluid system is narrow and long.

1. 緒言

磁性流体は強磁性体の微粒子を界面活性剤で処理することによってキャリア液体内に安定に分散させたコロイド溶液であり、外部磁場に対して応答する機能性流体の1つである¹⁾。そのため、磁場作用下で通常の流体では考えられないような不思議な現象を示す。そのような理由から、磁性流体は開発当初から多くの研究者によって流体自体の様々な特性や工学的な応用が研究されてきた¹⁾。

比較的小さな円環状永久磁石に磁性流体を吸着させた系を鉛直方向に小さな振幅で正弦波加振すると、ある振動数範囲で系の中心部から微細な磁性流体噴流の発生することがSudo等によって発見された²⁾。しかしながら、このような磁石-磁性流体系の振動によって生成された磁性流体噴流は複雑な挙動を示し、磁性流体噴流の界面特性および界面崩壊特性に関しては、不明な点が多数存在する。

そこで本報は、円環状永久磁石に磁性流体を吸着させた系を縦方向に正弦波加振することによって、磁性流体噴流が発生する以前の微小加振振幅における界面特性を調べ、磁性流体噴流の生成メカニズムを究明するとともに、磁性流体噴流が多数の微小液滴に崩壊する過程を高速度カメラによって観察し、噴流の界面流動特性を究明するものである。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は、円環状マグネット-磁性流体系、振動試験機系、計測装置系により構成されている。それらの実験装置の概略を図1に示す。磁石-磁性流体系は円環状のフェライト磁石とケロシンベース磁性流体フェリコロイド HC-50 によって構成されている。フェライト円環状磁石の寸法は、外径 30mm, 内径 12mm, 厚さ 5mm であり、表面磁束密度は 90mT である。磁性流体は所定量を精密ピペットによって磁石に吸着させた。この磁石-磁性流体系に縦振動を加える加振機は、動電形で振動数、振幅、加速度等を任意に変えて運転できるようになっている。また、計測装置系は高速ダイナミック現象解析装置と非接触光学変位計などによって構成されており、高速ダイナミック現象解析装置は2台の高速度ビデオカメラ、同期ユニット、2台のビデオカセット、2台のモニター、モーショングラバー、パーソナルコンピュータによって構成されている。

実験は磁石-磁性流体系を加振機の振動テーブルにセットし、加振振幅 x_0 を一定にして、さまざまな振動数 f_0 で鉛直方向に加振することによって行った。磁性流体の界面に発生する現象は主に高速度ビデオカメラによって録画記録し、その画像解析によって観察した。さらに、加振振幅の効果を調べるために、加振振動数を一定として加振振幅を変化させた実験も行った。実験は室温で行い、実験中の温度変化に対する磁性流体の特性変化は無視できる範囲である。

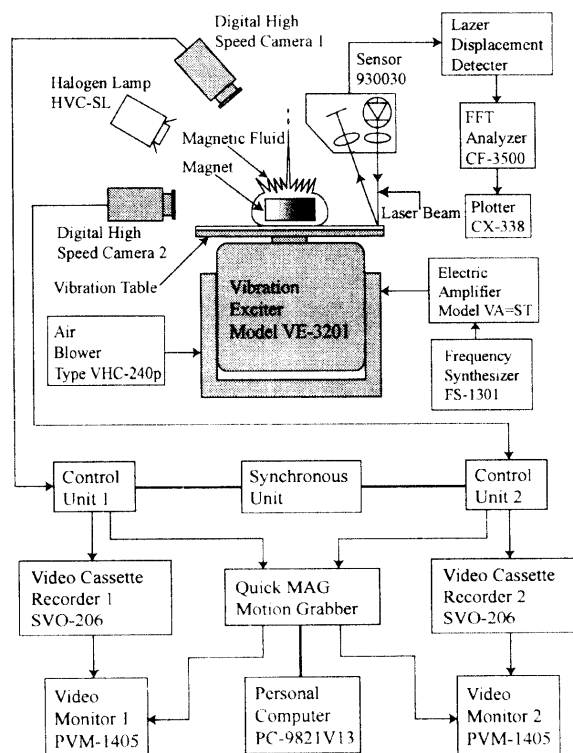


Fig. 1 Block diagram of experimental apparatus

3. 実験結果および考察

3.1 磁性流体界面の形状応答

円環状磁石に磁性流体を吸着させた場合、重力の作用下で磁性流体は円環部分から強い磁気力を受けるために、磁場の弱い系の中心付近に磁性流体の凹部が形成される。吸着される磁性流体の量が比較的小さい場合、凹部に小さなホール(穴)が形成される。そのような磁石-磁性流体系を鉛直方向に加振した場合の磁性流体ホールを上部から観察し、磁性流体ホールの形状応答を調べた。図2に磁性流体ホールを上部から観察した場合の振動応答を表す時間経過写真を示す。図2から磁性流体ホールの大きさが時間的に変化していることが明らかである。さらに、図3に磁性流体ホールの半径 r_h の時間変化を示す。磁性流体ホールは加振テーブルの上昇(系の圧縮段階)において縮小し、テーブルの降下(系の減圧段階)において拡大する。また、その拡大-縮小の変動周期は加振周期と一致し、調和応答となっている。

3.2 磁性流体噴流の生成

磁石-磁性流体系を鉛直方向に加振した場合、加振振動数

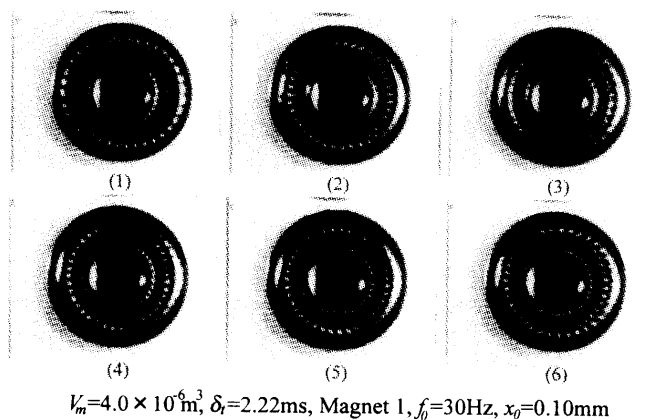


Fig. 2 Photographs of magnetic fluid hole

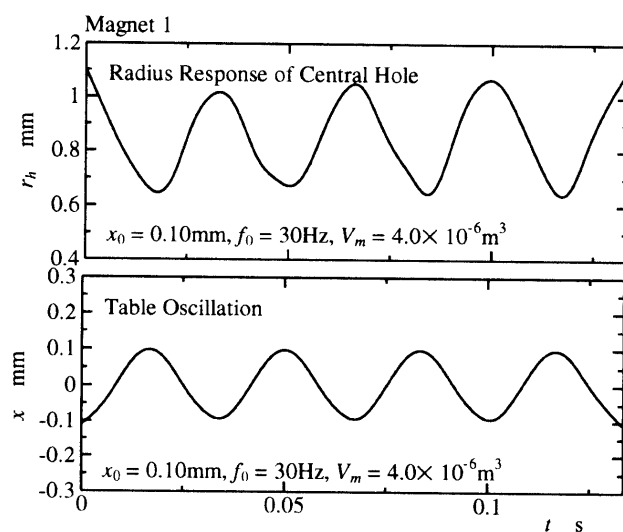


Fig. 3 Response of radius of magnetic fluid hole

と加振振幅がある範囲内であれば、磁石-磁性流体系の中心凹部付近から極めて微細な磁性流体噴流が生成することが既に報告されている²⁾。これは、前述のように磁石-磁性流体系の圧縮段階を通じて、系の底部の周辺部で発生した圧力波が中心に向かって進行しフォーカスして高い圧力が発生するためである。この磁性流体噴流の噴出最大速度 $V_{\max}$ は Sudo 等によって理論的に式 (1) のように得られている³⁾。

$$V_{\max} = \left\{ 2gh + 2 \frac{\mu_0}{\rho} (\overline{MH}) + 2Kc\omega x_0 \tan \frac{\omega\delta}{c} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式 (1) から磁場の強さや振動振幅が大きい場合に噴出速度が大きくなることが理解できる (記号については文献 (3) 参照)。

3.3 磁性流体噴流の崩壊

磁石-磁性流体系の縦振動によって生成された磁性流体噴流は磁場の印加によって磁場の方向に伸長するために非常に微細な長い噴流として成長する。一般に液体噴流は不安定であり、噴流表面に発生する Kelvin-Helmholtz 不安定性の成長によって表面波が発生する。磁場が作用しない場合、液体の表面形状と圧力の関係は式 (2) によって記述される⁴⁾。

$$(p_g - p_l) + \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = 2\mu_g \frac{\partial v_{gn}}{\partial n} - 2\mu_l \frac{\partial v_{ln}}{\partial n} \quad (2)$$

従って、噴流表面に不安定波のくびれ部やふくらみ部が発生

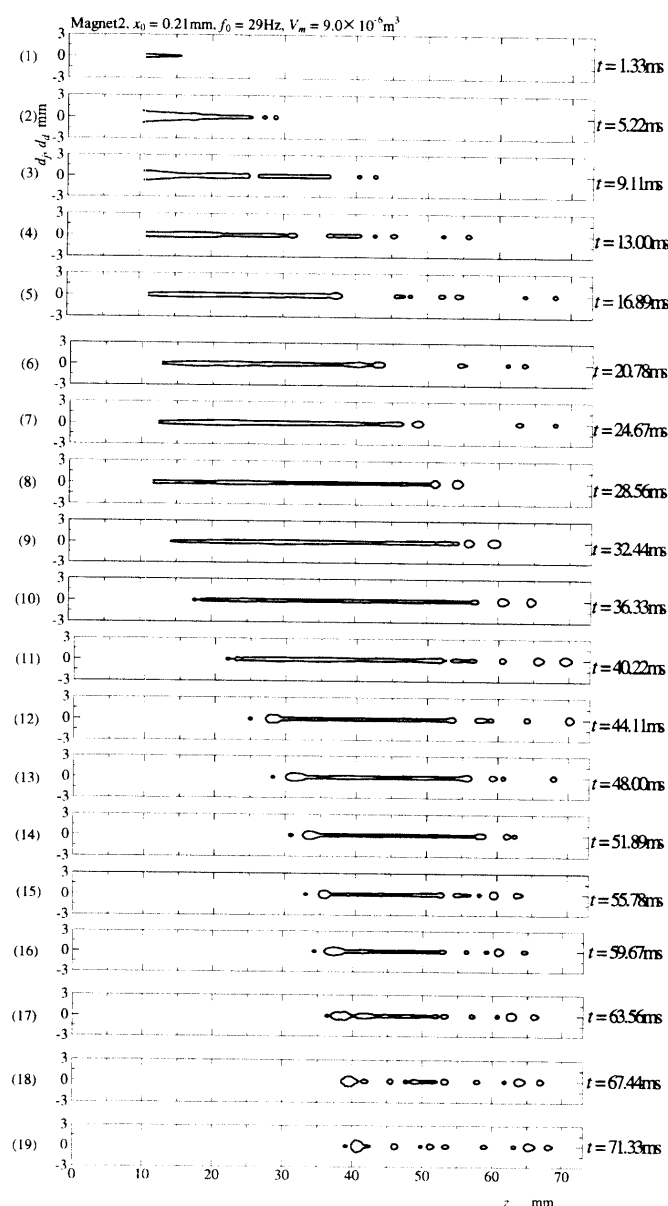


Fig. 4 Actual traces of the video photographs of MF jet

すると、表面張力は、くびれ部はますますくびれ、ふくらみ部はますますふくらむ方向に作用する。そのような表面張力の作用によって、一般に一定速度および一定直径の噴流は比較的規則的に液滴に崩壊する。しかしながら、本実験における磁性流体噴流の崩壊は図 4 に示すように、多様なサイズの磁性流体液滴へと分裂する。これは、噴流が縦振動によって生成されるために、噴流速度が間欠的であること、および磁場の強さが場所によって一定ではないことによる。

4. おわりに

磁石-磁性流体系を鉛直方向に正弦波加振した場合に生成される微細な磁性流体噴流の界面流動および界面崩壊特性について実験的に究明した。

5. 参考文献

- 1) R.E. Rosensweig : *Ferrohydrodynamics* (Cambridge University Press, 1985).
- 2) S. Sudo, K. Ise, & S. Kamiyama: *J. Magan. Magan. Mater.* 252 (2002) 162.
- 3) S. Sudo, K. Ise: *Proc. Int. Symp. Exp. Mech.* (2002) CD-ROM.
- 4) 庄司: *機械の研究* 26-6 (1974) 809.