

# フルイディクマッドパルサの 提案と実現性

山本圭治郎・宮地秀征

機械工学科

## Fluidic Mud Pulser and Feasibility Test

Keijiro YAMAMOTO, Hideyuki MIYAJI

### Abstract

Fluidics is a key technology to flow control problems involving difficult fluids in harsh environments. Fluidic choke valve has the potential to improve the performance of measurement-while-drilling (MWD) systems that use the mud pulse telemetry technology on the seabed.

New fluidic choke valves employing pinch flow devices combined with a wall attachment jet device or a jet guide rod and a vortex flow device combined with a wall attachment jet device are devised.

Two types of choke valves employing pinch flow device have been designed and tested. The guide rod control pinch type choke valve produced the change of loss coefficient above 20 and the pressure control pinch type valve produced rather small loss coefficient change around 7. The feasibility of the choke valves were proved.

Key Word: Fluidics, Mud Pulser, MWD

## 1. はじめに

フルイディクスの特長は機械的可動部を持つことなく流体を制御する事にあり、従来の機械的バルブに生じる摺動部のシーリングの問題や傷つきやすい表面の強化の問題などから解放されるという利点がある。

この特長を有効に生かす応用分野の一つに海洋開発がある。特に、海洋における石油などの海底資源の掘削においては、試掘孔から上昇する高圧の海水にオイル、ガス、砂、金属細片などが混入しており、従来のバルブでは寿命が極めて短時間となり実用的でない。

石油などの掘削中の抗底情報（温度、圧力、方位、傾斜、等）を時時刻々地上へ伝送する技術として、リアルタイム抗底情報伝送技術:MWD(Measurement While Drilling)が使われている。これは、Fig. 1に示す様に、掘管内部に地上から圧入する掘削泥水を媒体にした圧力パルス波、即ち、マッドパルスに、抗底情報信号を乗せて地上へ伝送する技術である<sup>1)</sup>。このマッドパルスを発生するマッドパルスに要求される性能は、①高伝送レート（高発振周波数）、②耐高温性、耐高圧性、耐振性、耐衝撃性、③小型・単純構造、④小駆動パワー、である。

現在使用されているものは弁機構を用いたものであるが、機構が複雑であり、伝送レートが低く（10Hz以下）、駆動モータの消費パワーが大きく、弁の磨耗が激しく、振動、衝撃に弱い等の問題をかかえている。また、十年

程前にフルイディクスの応用が提案され、渦流型素子を4台並列に結合したものが試作テストされているが、渦流型素子は構造上特に細い制御流路が必要なため、掘削泥水が詰まり誤動作を招く可能性をもつ欠点を有す。伝送レートは20Hzまで可能であるがマッドパルスとしては十分ではない<sup>2)</sup>。

本研究において我々はフルイディクスの利点を有効に応用したマッドパルサの開発を目的として、比較的広い制御流路を持つピンチ形及び渦流型チョークバルブと側壁付着型素子あるいは偏向ロッドとの組み合わせによるものを提案し<sup>3)</sup>、その中で、最も単純な構造を可能にするものとして、運動量型ダイオードを応用し、噴流切換方式として偏向ロッドを用いるものと、側壁付着型素子を用いるものとの二種類のチョークバルブを設計、試作実験し、その実現性を確かめた。

## 2. フルイディクマッドパルサの提案

マッドパルサを駆動する信号は、抗底情報を収集するセンサが電気的なものであることから、電気信号とならざるを得ない。従って、フルイディクマッドパルサを制御する信号も電気信号となる。電気信号によりフルイディクス素子を制御する方法は種々考えられるが、最も消費パワーが少なく済む方法は、制御口の開閉による主噴流の切り換えである。消費パワーは大きくなるが、よ

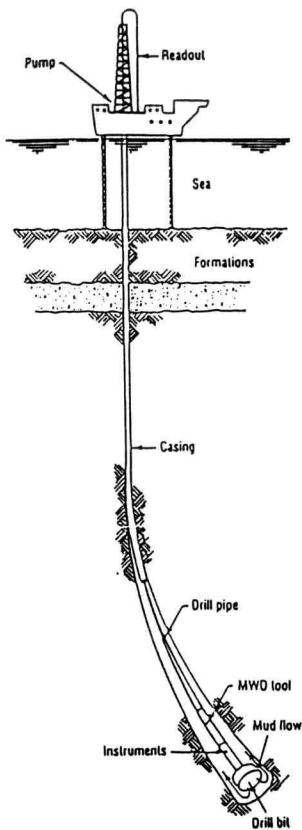


Fig.1. Measurement while drilling system

り小型化且つ高効率化を可能にするものとして、主噴流をガイドロッドにより切り換える方法が考えられる。この様な考察を基にして我々が考案したフルイディクマッドバルサを以下に示す。

2. 1 ガイドロッド変調ピンチ型

運動量型ダイオードと同様の原理によるピンチ効果を利用するもので、Fig. 2に示す様に、側壁付着型素子の側壁に挿入したガイドロッドを突出させることにより、流れを偏向させて干渉流（点線により表示）を生じさせ、ピンチ効果を得る方式である。

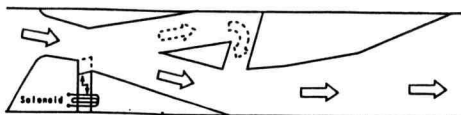


Fig.2. Guide rod control plane type

2. 2 ガイドプレート変調ラジアルピンチ型

ラジアルピンチ型増幅素子と同様の原理によるものであり、Fig. 3に示す様に、ガイドプレートを広げることにより干渉流（点線により表示）を生じさせてピンチ効果を得る方式である。

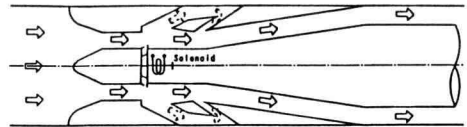


Fig.3. Guide plate control radial pinch type

2. 3 制御圧力変調ピンチ型

運動量型ダイオードと同様の原理によるピンチ効果を利用するものであるが、Fig. 4に示す様に、流れをノズルにより噴流とし、側壁付着型素子と同様の形状として、バルブ下流領域に通じている制御口的一方を閉じることで、噴流を切り換え、干渉流（点線により表示）を生じさせる方式である。

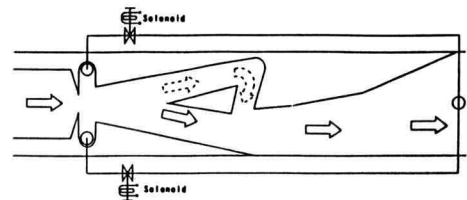


Fig.4. Pressure control plane pinch type

2. 4 ガイドロッド変調渦流型

渦流型チョークバルブと側壁付着型素子を組み合わせたもので、Fig. 5に示す様に、噴流をガイドロッドにより切替えて渦流（点線により表示）を生じさせチョーク効果を得る方式である。

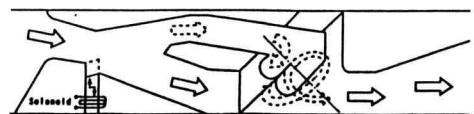


Fig.5. Guide rod control vortex type

2. 5 制御圧力変調渦流型

渦流型チョークバルブと側壁付着型素子を組み合わせたもので、Fig. 6に示す様に、流れをノズルにより噴流とし、側壁付着型素子と同様の形状として、バルブ下流領域に通じている制御口的一方を閉じることで、噴流を切り換え、渦流（点線により表示）を生じさせチョーク効果を得る方式である。

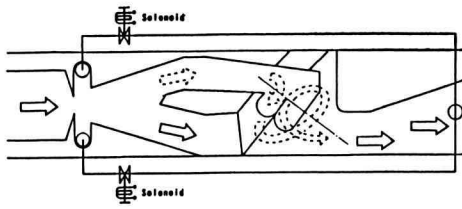


Fig.6. Pressure control vortex type

3. 試作パルサの特性

Fig. 7 に示す様に、22 m のヘッドタンクから供給された水を作動流体として用い、特性試験を行った結果を紹介する。

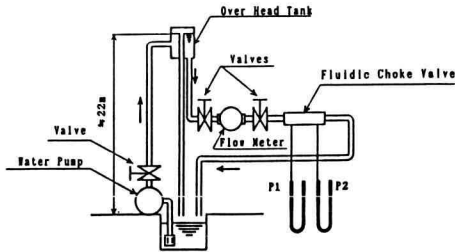


Fig.7. Experimental setup

3. 1 ガイドロッド変調ピンチ型

Fig. 8 に示す形状・寸法の試作素子の特性をFig. 9、10及び11に示す。

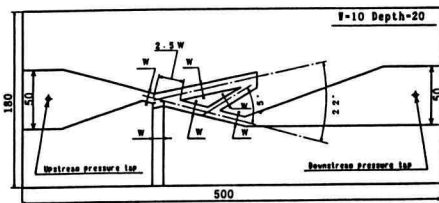


Fig.8. Guide rod control plane pinch type choke valve under test

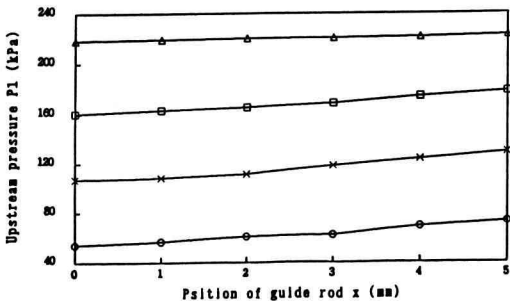


Fig.9. Effect of guide rod position upstream pressure

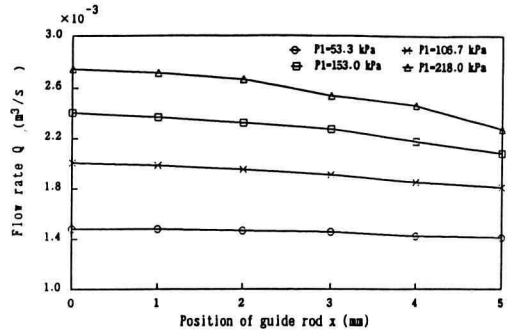


Fig.10. Effect of guide rod position on flow rate

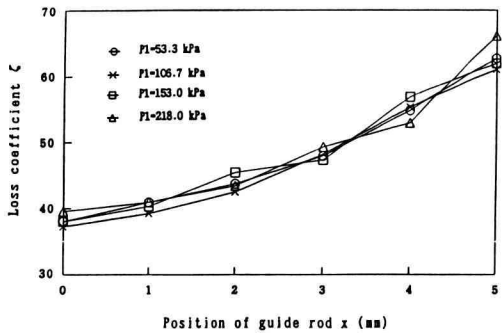


Fig.11. Effect of guide rod position on loss coefficient ζ

側壁面をガイドロッド先端の原点として、ガイドロッド先端の突出量xが、パルサ上流圧力P1を上昇させる(マッドパルスとなる)効果、素子通過流量Qを減少させる効果、及び流れの損失係数ζが増加する効果を、それぞれFig. 9、10及び11に示している。これらの図から、ガイドロッドの突出量に応じて流れが偏向して干渉流が増加し、ピンチ効果が強まり、結果として、損失係数が増大し、上流圧力が上昇し、流量が減少する事が分かる。Fig. 11から、損失係数の変化量として最大2.5が得られ、パルサとして十分なパルス圧を発生し得る事が認められる。

3. 2 制御圧力変調ピンチ型

Fig. 12 に示す形状・寸法の試作素子の特性をFig. 13、14及び15に示す。対向する二つの制御口I及びIIをそれぞれ開閉することによって、噴流を制御口I側に偏向させ干渉流を作れば、ピンチ効果を生じ損失係数が増大し上流圧力が上昇し、流量が減少する事が分かる。Fig. 15から、損失係数の変化量として最大7が得られる事が分かる。この値はパルサとして十分なパルス圧を発生し得るものではないが、素子の形状・寸法の改良により、数十を得る物の実現が可能である。動特性は、上流圧力波がパルス波としての形状を保つ上限の周波数で

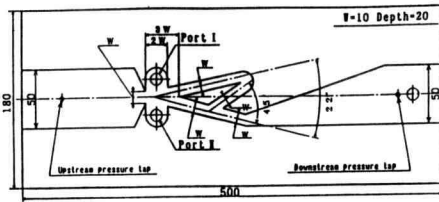


Fig.12. Pressure control plane pinch type choke valve under test

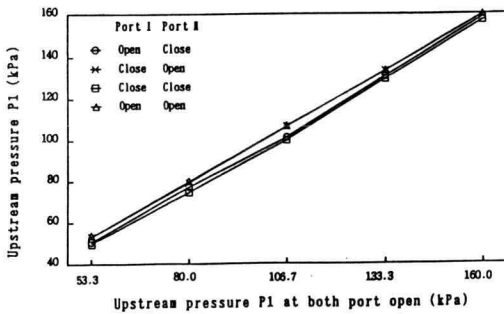


Fig.13. Influence of opening and shutting of control port on upstream pressure

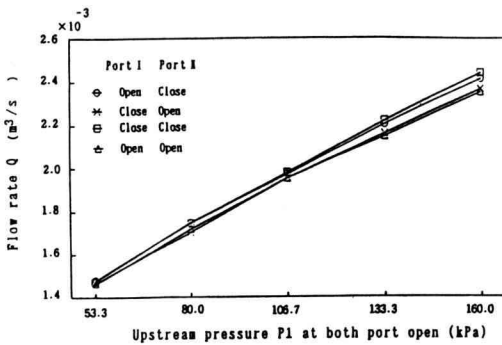


Fig.14. Influence of opening and shutting of control port on flow rate

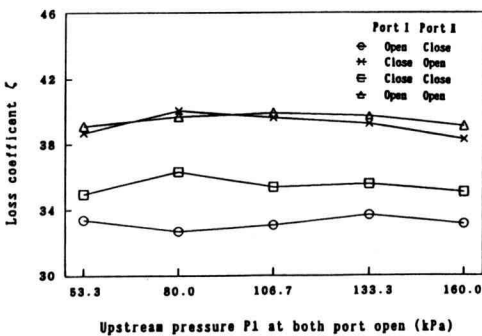


Fig.15. Influence of opening and shutting of control port on loss coefficient ζ

表される。試作素子では通過流量が $2.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ の時6Hzであった。

噴流の切換周波数は流量に比例することから、実際のマッドバルサに於いては100Hzを越えることが予測される。

4. おわりに

提案した五種類のフルイディクマッドバルサの中で製作の容易なガイドロッド変調ピンチ型と制御圧力変調ピンチ型を試作実験した。ガイドロッド変調ピンチ型は十分な損失係数変化を容易に確実に発生し得るものであるが、ロッドが可動である必要から、これを駆動するに要する電力が比較的大きいという欠点を持つ。制御圧力変調ピンチ型は低流速の流路を開閉するに要するだけの低パワーで済み高速駆動も可能であるという利点を持つが、実用に耐える特性を持つ素子の最適設計の確立が今後の課題であり、現在研究を進めている。

参考文献

- 1) 湯浅 肇：海洋石油掘削における情報伝送技術について、日本造船学会誌，752号，1992。
- 2) Holmes, A. B. :New Generation of MWD System Show Promise, Petroleum Engineer International, May, 1987.
- 3) Yamamoto, K, Miyaji, H, et al. :European patent No. 9 6112231.4-126/,1996.Measuring tool for collecting downhole information and metering valve for producing mud-pulse used in the same,