

【技術分類】 3 - 1 - 3 社会的要請 / 小型・軽量・省エネルギー / マイクロバルブ

【 F I 】 F16K31/126@Z F16K31/02@Z

【技術名称】 3 - 1 - 3 - 1 熱膨張型マイクロバルブ

【適用分野】 精密・マイクロ

【技術内容】

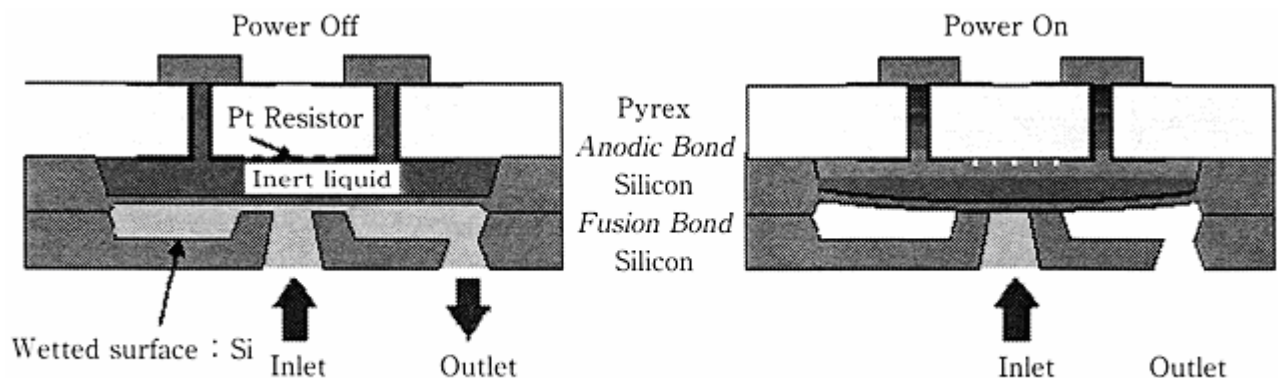
ノーマルオープン（NO）タイプの熱膨張型マイクロバルブの断面構造を図 1 に示す。シリコンと耐熱ガラスに挟まれた内部空間内に不活性液体を封入し、耐熱ガラスには不活性液体に接するようにヒーターを蒸着する。耐熱ガラスと対向する面は柔軟性のある単結晶シリコンメンブレンで構成する。ヒーターを加熱すると不活性液体が膨張してシリコンメンブレンが弁座方向に湾曲し、流量が制限される。流量はヒーターの発熱量、すなわち印加電圧に比例して変化することから、このバルブは流量制御弁としての利用に適する。メンブレンの変位は最大 50 μm であり、毎分数 mL から数 L までの広範囲の制御が可能である。シリコン同士やシリコンと耐熱ガラスの接合には、直接接合や陽極接合など MEMS（Micro Electro-Mechanical System）特有の接合技術を用いている。

ノーマルクローズ（NC）タイプの熱膨張型マイクロバルブの断面構造を図 2 に示す。メンブレンにボス（突起）を追加し、そのボスにシリコンカンチレバー（片持ち梁）を接合する。さらに、カンチレバーの先端には弾性体バルブシートを設け、バルブシートと弁座でシールを形成する。ヒーターに電圧を印加すると、バルブシートが弁座から離れて流体が通過する。NC タイプはシール性に優れ、ストップ弁として利用に適する。

NO タイプのマイクロバルブを利用した流量制御機器を図 3 に示す。流路を形成する金属基板に NO タイプのマイクロバルブと圧力センサ、温度センサ、オリフィスを装着した構造を有する。オリフィスの上流側の圧力を計測し制御回路にフィードバックすることによりマイクロバルブの弁開度を制御する。この流量制御機器と NC タイプのバルブを組合せ、超小型の高集積ガスシステムが可能になる。

【図】

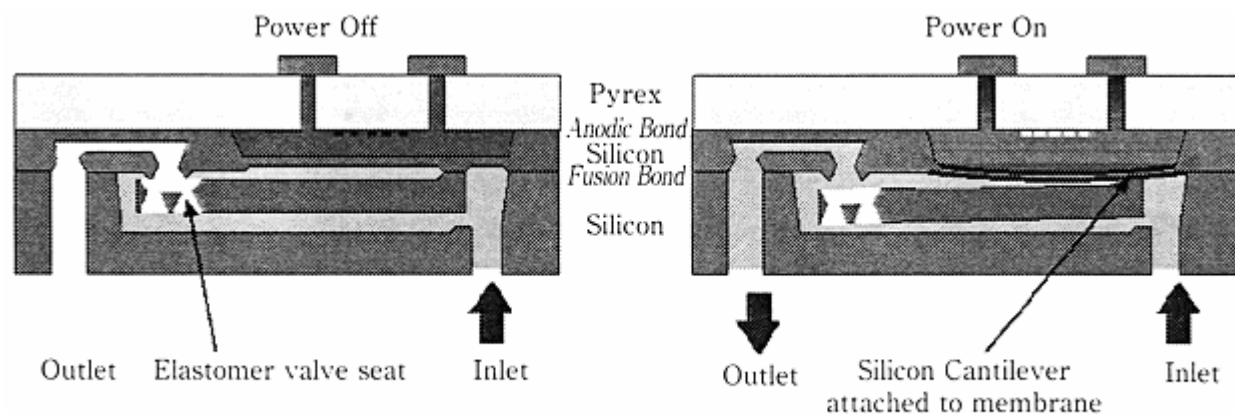
図 1 熱膨張型マイクロバルブ（ノーマルオープンタイプ）



第3図 ノーマルオープンマイクロバルブ

出典：「マイクロバルブ＝熱膨張型マイクロバルブとその応用＝」，「油空圧技術 VOL.42 No.6 18 頁」，「2003 年 6 月 1 日」，「森山健二（SMC 株式会社）著」，「日本工業出版株式会社発行」

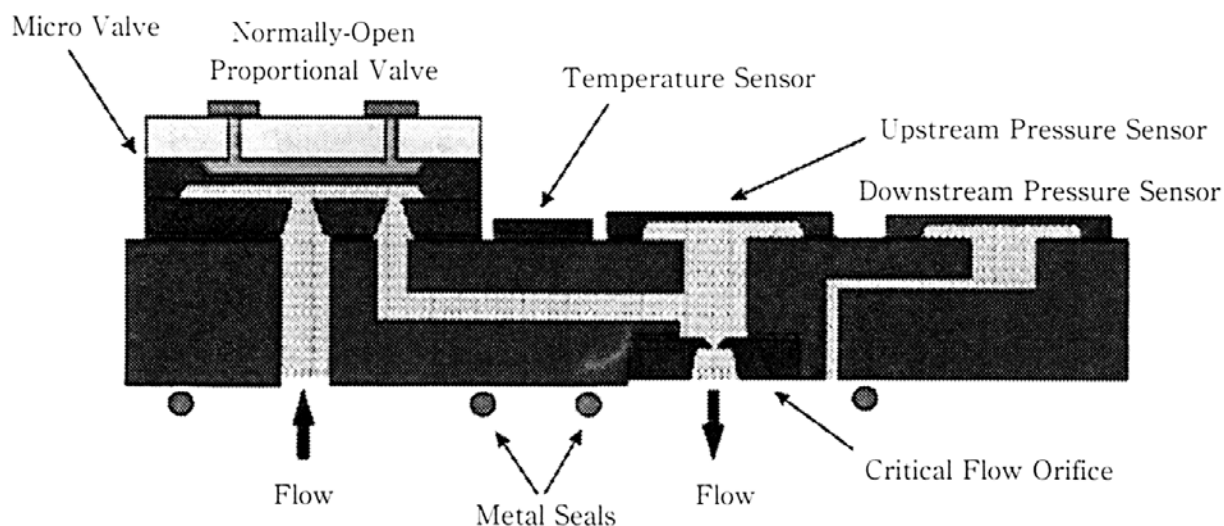
図 2 熱膨張型マイクロバルブ（ノーマルクローズタイプ）



第 4 図 ノーマルクローズマイクロバルブ

出典：「マイクロバルブ＝熱膨張型マイクロバルブとその応用＝」，「油空圧技術 VOL.42 No.6 19 頁」，「2003 年 6 月 1 日」，「森山健二（SMC 株式会社）著」，「日本工業出版株式会社発行」

図 3 流量制御機器の構造



第 5 図 流量制御機器の構造

出典：「マイクロバルブ＝熱膨張型マイクロバルブとその応用＝」，「油空圧技術 VOL.42 No.6 19 頁」，「2003 年 6 月 1 日」，「森山健二（SMC 株式会社）著」，「日本工業出版株式会社発行」

【出典 / 参考資料】

出典：「油空圧技術 VOL.42 No.6 17 - 20 頁」，「2003 年 6 月 1 日」，「森山健二（SMC 株式会社）著」，「日本工業出版株式会社発行」

【技術分類】 3 - 1 - 3 社会的要請 / 小型・軽量・省エネルギー / マイクロバルブ

【 F I 】 F16K31/02@Z

【技術名称】 3 - 1 - 3 - 2 粒子分散系 ER 流体を応用した圧力制御弁

【適用分野】 精密・マイクロ

【技術内容】

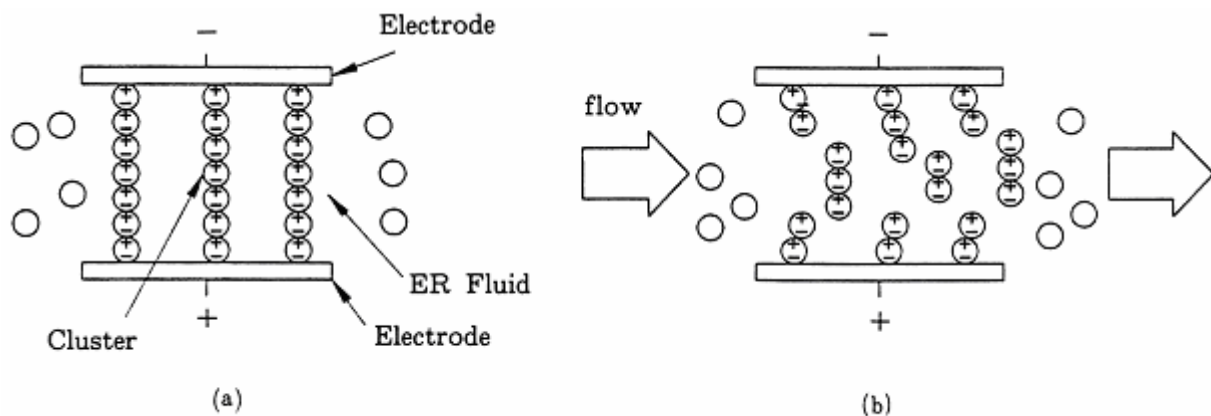
粒子分散系 ER (電気粘性) 流体を応用した圧力制御弁について記述する。本弁で使用される粒子分散系 ER 流体は、絶縁油に高比重シリコンオイルを使用し、ポリマー粒子の表面を特殊酸化チタンの微粒子で被覆した無機・有機複合粒子を ER 粒子として重量比 30% で分散させている。

ER 流体を満たした電極間に電界をかけると、図 1 に示すように、見かけ上 ER 流体の粘度が増し電極間において流れに対し大きな抵抗が発生する。ER バルブはこの現象を利用し流れを制御する。粒子分散系 ER 流体を作動流体とした ER バルブでは、粒子分散系 ER 流体の持つビンガム流体的特性により、電極部通過流量によらず電界により決まる一定の差圧を得ることができる。この特性を利用し圧力制御弁が単純構造で実現できる。

本圧力制御 ER バルブの構成を図 2 に示す。固定オリフィスと電極を直列に組合せ、その間を制御ポートとした 3 ポート型である。図 3 に本バルブの制御ポートをブロックし負荷流量をゼロとしたときの負荷圧力 - 電界強度間の静特性、すなわち圧力ゲイン特性を示す。ほぼ電界強度に比例して負荷圧力が変化していることから、圧力制御 ER バルブがサーボ系への応用に適していることが分る。ER 流体が更に改良され圧力制御 ER バルブの高圧化が達成されることが期待されている。

【図】

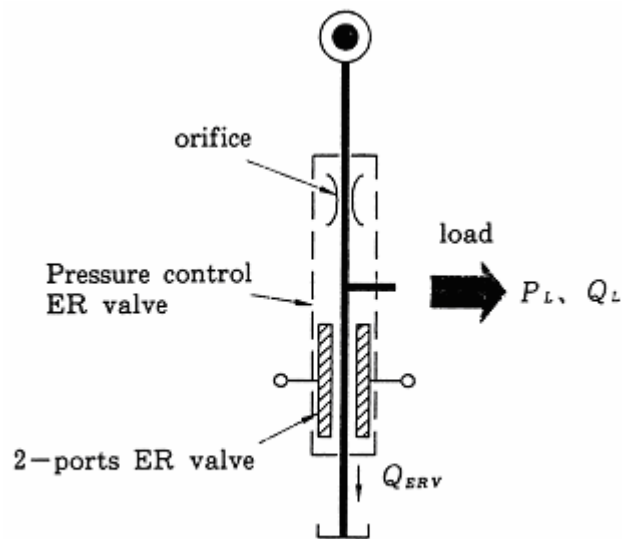
図 1 ER バルブの原理



第5図 ERバルブの原理

出典:「粒子分散系 ER 流体を応用した圧力制御弁」,「油空圧技術 VOL.36 No.8 10 頁」,「1997 年 8 月 1 日」,「横田眞一、近藤豊 (東京工業大学) 著」,「日本工業出版株式会社発行」

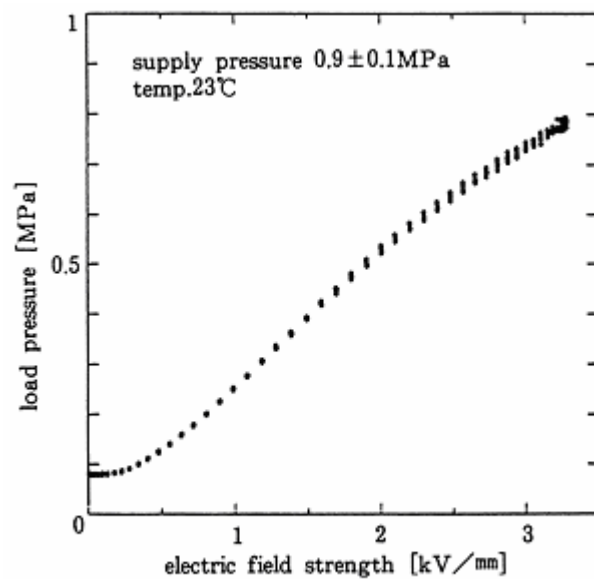
図2 圧力制御 ER バルブの構成



第9図 圧力制御ERバルブの構成

出典:「粒子分散系 ER 流体を応用した圧力制御弁」,「油空圧技術 VOL.36 No.8 11 頁」,「1997 年 8 月 1 日」,「横田眞一、近藤豊（東京工業大学）著」,「日本工業出版株式会社発行」

図3 負荷圧力 - 電界強度間の静特性



第14図 負荷圧力・電界強度間の静特性

出典:「粒子分散系 ER 流体を応用した圧力制御弁」,「油空圧技術 VOL.36 No.8 13 頁」,「1997 年 8 月 1 日」,「横田眞一、近藤豊（東京工業大学）著」,「日本工業出版株式会社発行」

【出典 / 参考資料】

出典:「油空圧技術 VOL.36 No.8 9 - 15 頁」,「1997 年 8 月 1 日」,「横田眞一、近藤豊（東京工業大学）著」,「日本工業出版株式会社発行」

【技術分類】 3 - 1 - 3 社会的要請 / 小型・軽量・省エネルギー / マイクロバルブ

【 F I 】 F16K13/10@Z

【技術名称】 3 - 1 - 3 - 3 マイクロ空気圧縮機用バルブ

【適用分野】 精密・マイクロ

【技術内容】

人工筋肉など空気圧式マイクロアクチュエータに向け直径が 2mm の往復式空気圧縮機には、圧縮機には吸込み口と吐出し口に空気の整流を行うバルブが不可欠である。高圧の吐出し側のバルブには、微細構造のためリード弁でもリードの損傷などにより圧縮機のパフォーマンスが不安定であった。リードの弁座への固定も難作業であった。この対策として、液体の表面張力と粘性抵抗を利用して弁機構を構成するバルブについて記述する。

本バルブの作動原理を図 1 に示す。初期状態では吐出し口が液体で塞がれる。ピストンが上昇を開始し吸込み口が塞がれると、シリンダ内の空気が吐出し口を通して液体に入り込み気泡を形成する。気泡はある大きさに達すると上昇して割れ、液体から分離して吐出しが完了する。ピストン下降時にシリンダ内が負圧になるが、液体の粘性抵抗と表面張力の寸法効果のため液体がシリンダ内に流入することがない。

本バルブを搭載したマイクロ空気圧縮機（図 2）のパフォーマンスが評価されている。非圧縮運転（吐出し圧力が 0）における本バルブの動作および想定ピストン変位を図 3 に示す。写真のコマ送り時間は 0.05sec である。空気圧が本バルブの上側と下側に交互に加わる圧縮機では、ピストン運動と関連した気泡と液体の周期的な運動によって整流作用が現れることが確認されている。液体の動粘度や表面張力が高い場合、一旦液体内に吐出された気泡がシリンダ側に戻る現象が現れ、整流機能が低下する。ピストン直径 2mm、ストローク 3mm の圧縮機に本バルブを搭載した場合において、圧縮機のパフォーマンスを最大限に引き出す吐出し口の直径と数、および液体として用いたシリコンオイルの動粘度が提示されており、その結果、ピストン振動数 4Hz において、吐出し圧力 100kPa の条件下で体積効率 80% が得られる。

【図】

図 1 バルブの作動原理

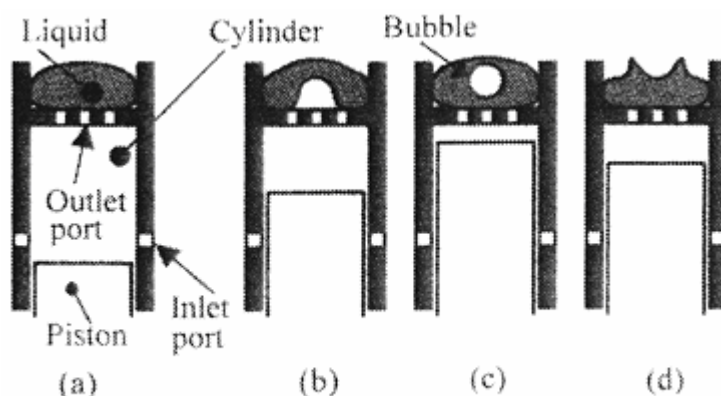


Fig. 1. Operating principle of liquefied valve.

出典：「マイクロ空気圧縮機用液状バルブに関する研究」, 「設計工学 Vol.38 No.2 88 頁」,
「2003 年 2 月 5 日」, 「ン・ケアン・エン、藤原満、風間俊治（室蘭工業大学）著」, 「社団法人日本設計工学会発行」

図2 マイクロ空気圧縮機

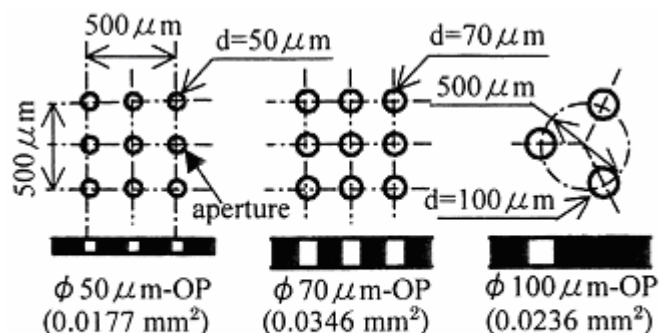


Fig. 11. Names and shapes of outlet ports. Areas of outlet ports are showed in parentheses.

出典：「マイクロ空気圧縮機用液状バルブに関する研究」,「設計工学 Vol.38 No.2 92 頁」,
「2003 年 2 月 5 日」,「ン・ケアン・エン、藤原満、風間俊治（室蘭工業大学）著」,「社団法人日本設計工学会発行」

図3 バルブの動作とピストンの想定変位

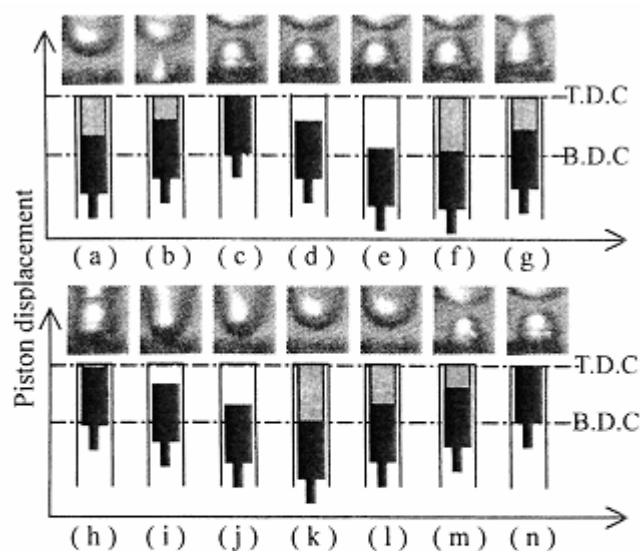


Fig. 13. Experimental results of operating process of liquefied valve for silicone oil of kinematic viscosity of 300 mm²/s with outlet port of nine $\phi 50 \mu\text{m}$ -apertures. Inserts show hypothetical piston displacement of microcompressor. Times are (a) 0 s, (b) 0.05 s, (c) 0.1 s, (d) 0.15 s, (e) 0.2 s, (f) 0.25 s, (g) 0.3 s, (h) 0.35 s, (i) 0.4 s, (j) 0.45 s, (k) 0.5 s, (l) 0.55 s, (m) 0.6 s, (n) 0.65 s.

出典：「マイクロ空気圧縮機用液状バルブに関する研究」,「設計工学 Vol.38 No.2 93 頁」,
「2003 年 2 月 5 日」,「ン・ケアン・エン、藤原満、風間俊治（室蘭工業大学）著」,「社団法人日本設計工学会発行」

【出典 / 参考資料】

出典：「マイクロ空気圧縮機用液状バルブに関する研究」,「設計工学 Vol.38 No.2 87 - 95 頁」,
「2003 年 2 月 5 日」,「ン・ケアン・エン、藤原満、風間俊治（室蘭工業大学）著」,「社団法人日本設計工学会発行」

【技術分類】 3 - 1 - 3 社会的要請 / 小型・軽量・省エネルギー / マイクロバルブ

【 F I 】 F16K31/02@A

【技術名称】 3 - 1 - 3 - 4 微量分注を行うための高分解能マイクロディスペンサ

【適用分野】 精密・マイクロ

【技術内容】

化学物質の合成・評価を行う場において、図 1(a)に示すようなウェルプレートが用いられる。ウェルの低容量化を進める上で、ウェルに分注を行うディスペンサの微量化が必要となる。そのため、平板圧電素子を駆動源とするダイヤフラムポンプ方式のマイクロディスペンサについて記述する。本ディスペンサは小型・低コスト化にも適し、図 1(b)のマルチディスペンサ化も容易である。

本マイクロディスペンサの部品構成、断面、外観写真を図 2 に示す。本マイクロディスペンサは単結晶シリコン一体構造の与圧型逆止弁と微細枠構造型撥水ノズルを特長とし、多段異方性エッチング法と表面活性化接合技術により製作されている。一体構造の与圧型逆止弁により、0.02 [MPa] の与圧が得られており、これにより、逆止弁の応答遅れに因る送液効率の低下を防いでいる。微細なノズルに撥水处理を施すことにより、液滴の付着を防ぎ安定した液滴 (0.14 [μl]) の生成が可能である。

表 1 に評価試験による各機能の特性についての評価を示す。表 1 に示すとおり、本マイクロディスペンサを用いた場合、分注液量が 56 [μl] のときのばらつきは 0.22 [C.V. %] であり、市販の高性能シリンジポンプを用いて 100 [μl] を分注したときの 1 [C.V. %] に比べ十分な性能が得られている。

【図】

図 1 マイクロディスペンサによるウェルへの分注

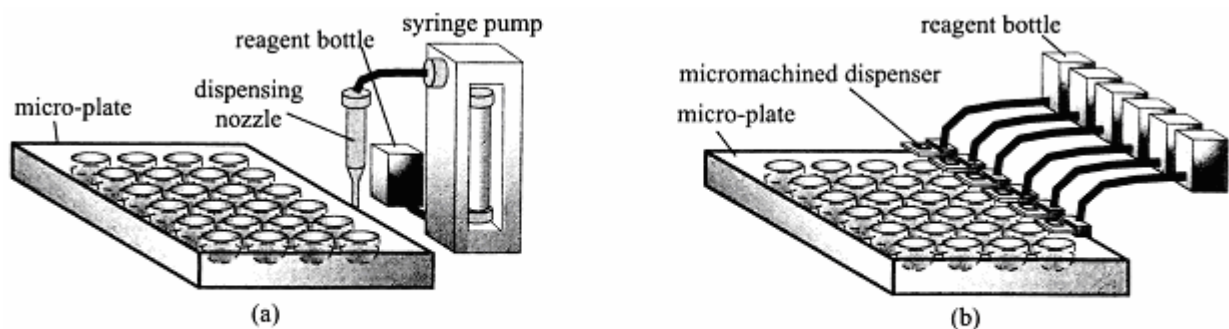


図 1. (a) 現行の高分解能ディスペンサ、(b) マイクロディスペンサによるマルチディスペンサ化

Fig. 1 Concept of (a) conventional dispenser and (b) arrayed micromachined dispensers

出典：「高分解能マイクロディスペンサの開発」, 「電気学会論文誌E Vol.121 No.9 519 頁」,
「2001 年 9 月 1 日」, 「小出晃、佐々木康彦、吉村保廣、三宅亮、寺山孝男（株式会社日立製作所）
著」, 「社団法人電気学会発行」

図2 マイクロディスペンサ

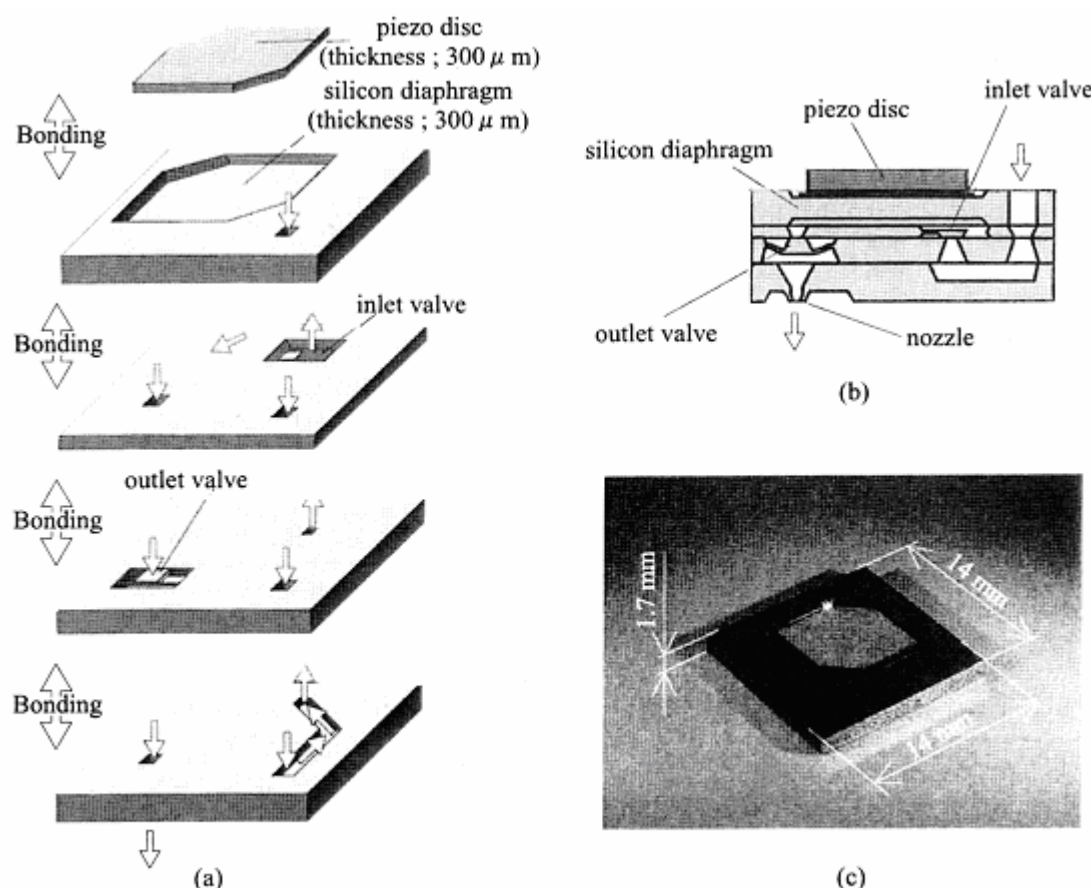


図2. 開発したマイクロディスペンサの(a) 構成図、(b) 断面図、(c) 外観写真

Fig. 2 (a) Principle design, (b) crosssectional view and (c) photograph of micromachined dispenser

出典：「高分解能マイクロディスペンサの開発」,「電気学会論文誌E Vol.121 No.9 520 頁」,
「2001 年 9 月 1 日」,「小出晃、佐々木康彦、吉村保廣、三宅亮、寺山孝男（株式会社日立製作所）
著」,「社団法人電気学会発行」

表1 マイクロディスペンサの性能比較

表2. マイクロディスペンサの性能比較

Table. 2 Performances of micromachined and commercial dispensers

	Micromachined	Commercial
C.V.	0.22 % (56 μl)	>1 % (100 μl)
size [mm]	14W×14D×2H	490W×450D×354H
arrayed dispensers	easy	difficult, expensive

出典：「高分解能マイクロディスペンサの開発」,「電気学会論文誌E Vol.121 No.9 523 頁」,
「2001 年 9 月 1 日」,「小出晃、佐々木康彦、吉村保廣、三宅亮、寺山孝男（株式会社日立製作所）
著」,「社団法人電気学会発行」

【出典 / 参考資料】

出典：「高分解能マイクロディスペンサの開発」,「電気学会論文誌E Vol.121 No.9 519 - 524 頁」,
「2001 年 9 月 1 日」,「小出晃、佐々木康彦、吉村保廣、三宅亮、寺山孝男（株式会社日立製作所）
著」,「社団法人電気学会発行」

【技術分類】 3 - 1 - 3 社会的要請 / 小型・軽量・省エネルギー / マイクロバルブ

【 F I 】 F16K31/02@Z

【技術名称】 3 - 1 - 3 - 5 磁気粘性流体の粘度変化特性を応用したマイクロバルブ

【適用分野】 精密・マイクロ

【技術内容】

磁気粘性流体 (MRF) は油中に磁性体微粒子を分散させた懸濁液であり、磁界を印加すると見かけ上の粘度が上昇する特性を持つ。また、磁性流体と同様に磁界に吸引される特性も有しているため、機械への応用事例も多い。MRF の特性のうち、粘度変化特性を応用したマイクロバルブについて記述する。

本バルブでは、MRF を作動流体として固定磁極間に流し、磁界印加による見かけ上の粘度の変化で弁差圧または弁通過流量を制御する。電磁石ではマイクロ化に伴い印加できる磁束密度が低下する問題がある。そのため、図 1 に示すとおり、キュリー温度を室温付近に設定できる感温フェライトをペルチェ素子で加熱冷却して永久磁石からの磁界を制御する温度制御形磁気回路が導入されている。すなわち、感温フェライトがキュリー温度以下のときは永久磁石の磁束を感温フェライト側に流し、キュリー温度以上でその磁化が消失したときは磁束を流路側に流すものである。図 2 に示す本マイクロ MR バルブで得られた静特性を図 3 に示す。流量にほとんど依存せずに圧力を 50kPa から 130kPa まで制御できる。

【図】

図 1 マイクロ MR バルブの動作原理

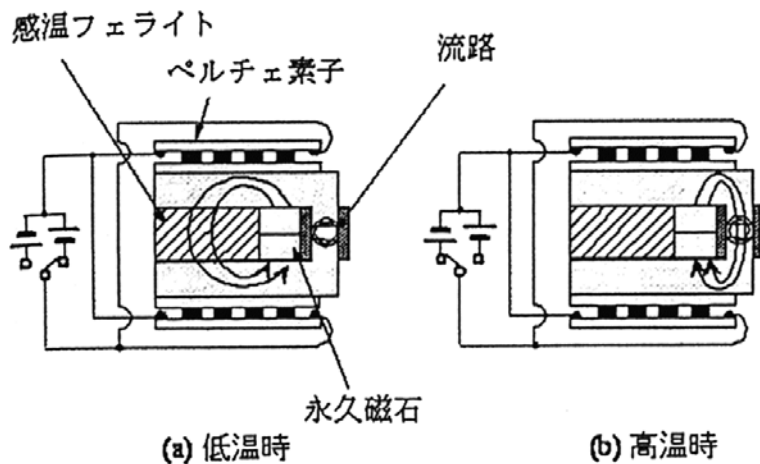


図 3 マイクロ MR バルブの動作原理

出典:「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」,「フルードパワー Vol.18 No.2 59 頁」,「2004 年 4 月 30 日」,「吉田和弘、横田真一(東京工業大学)著」,「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

図2 試作したマイクロ MR バルブ

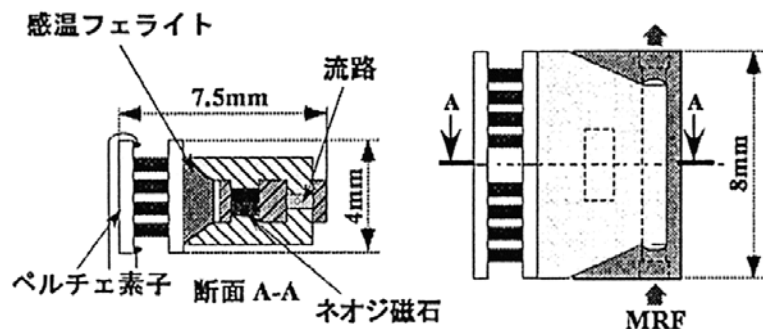


図4 試作したマイクロ MR バルブ

出典：「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」,「フルードパワー Vol.18 No.2 59 頁」,「2004 年 4 月 30 日」,「吉田和弘、横田眞一(東京工業大学)著」,「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

図3 試作マイクロ MR バルブの静特性

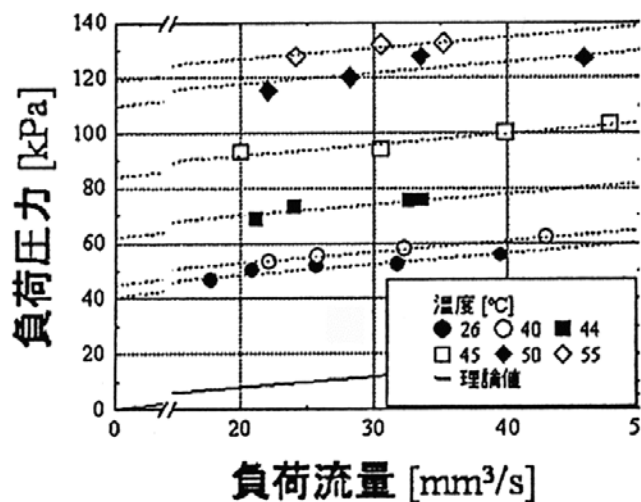


図5 試作マイクロ MR バルブの静特性

出典：「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」,「フルードパワー Vol.18 No.2 59 頁」,「2004 年 4 月 30 日」,「吉田和弘、横田眞一(東京工業大学)著」,「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

【出典 / 参考資料】

出典：「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」,「フルードパワー Vol.18 No.2 58 - 62 頁」,「2004 年 4 月 30 日」,「吉田和弘、横田眞一(東京工業大学)著」,「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

【技術分類】 3 - 1 - 3 社会的要請 / 小型・軽量・省エネルギー / マイクロバルブ

【 F I 】 F16K31/02@Z F16K11/00@Z

【技術名称】 3 - 1 - 3 - 6 磁気粘性流体の磁界吸引特性を応用したマイクロバルブ

【適用分野】 精密・マイクロ

【技術内容】

磁気粘性流体 (MRF) は油中に磁性体微粒子を分散させた懸濁液であり、磁界を印加すると見かけ上の粘度が上昇する特性を持つ。また、磁性流体と同様に磁界に吸引される特性も有しているため、機械への応用事例も多い。MRF は磁性流体より粒子径が大きく、粒子分散系 ERF に比べて最大せん断応力が高く、粒子分散性に優れる。

MRF が有する磁界に吸引される特性を用いたマイクロバルブについて記述する。MRF を弁体とする本マイクロバルブを図 1 に示す。永久磁石の磁界で保持され、それと直交する方向に電磁石で印加された磁界によって屈曲される柱状 MRF 弁体によって流路を開閉する構造を有する。図 2 に示す大きさ $8.0\text{mm} \times 7.5\text{mm} \times 4.0\text{mm}$ の本マイクロバルブにおける静特性を図 3 に示す。ヒステリシスはあがるが、供給圧力 35kPa に対し完全な遮断を含む流量制御が実現できる。

【図】

図 1 マイクロバルブの動作原理

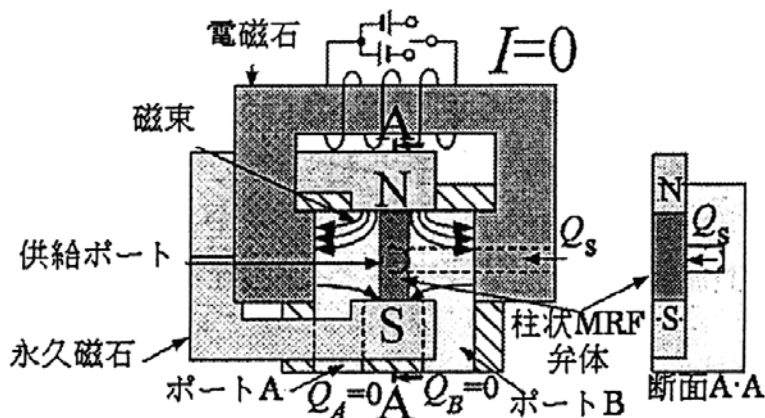


図 6 MLV バルブの動作原理

出典：「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」、「フルードパワー Vol.18 No.2 59 頁」、「2004 年 4 月 30 日」、「吉田和弘、横田眞一（東京工業大学）著」、「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

図 2 試作したマイクロバルブ

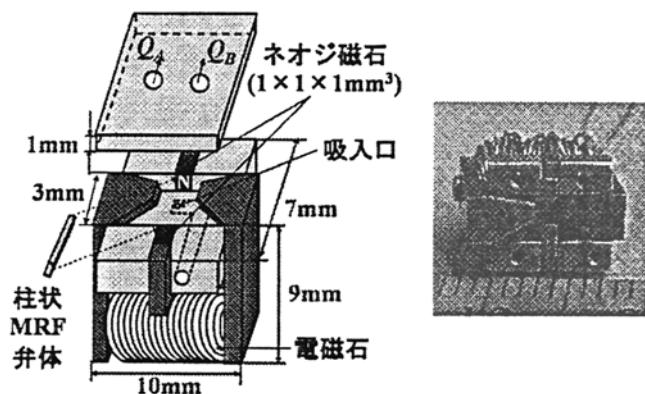


図 7 試作した MLV バルブ

出典：「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」, 「フルードパワー Vol.18 No.2 59 頁」, 「2004 年 4 月 30 日」, 「吉田和弘、横田眞一(東京工業大学)著」, 「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

図 3 試作マイクロバルブの静特性

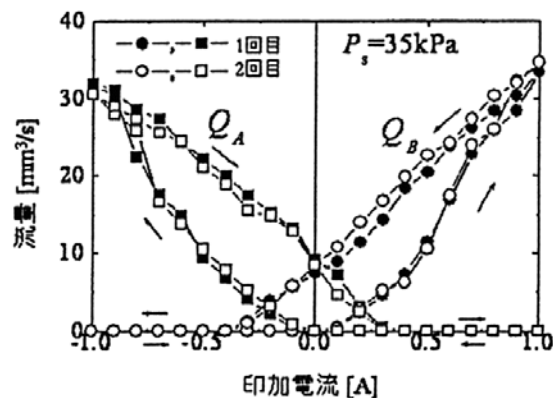


図 8 試作 MLV バルブの静特性

出典：「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」, 「フルードパワー Vol.18 No.2 60 頁」, 「2004 年 4 月 30 日」, 「吉田和弘、横田眞一(東京工業大学)著」, 「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

【出典 / 参考資料】

出典：「フルードパワーの挑戦 機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ」, 「フルードパワー Vol.18 No.2 58 - 62 頁」, 「2004 年 4 月 30 日」, 「吉田和弘、横田眞一(東京工業大学)著」, 「社団法人日本フルードパワー工業会発行」

【技術分類】 3 - 1 - 3 社会的要請 / 小型・軽量・省エネルギー / マイクロバルブ

【 F I 】 F16K31/02@A

【技術名称】 3 - 1 - 3 - 7 ピエゾアクチュエータを用いたマイクロバルブ

【適用分野】 精密・マイクロ

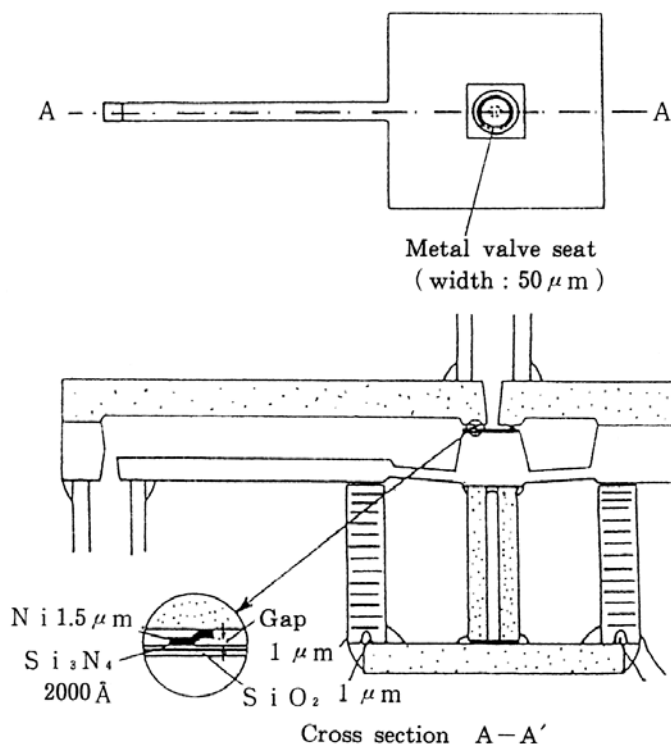
【技術内容】

積層型ピエゾアクチュエータにより駆動するマイクロバルブについて記述する。気体用マイクロバルブの構造を図 1 に示す。図 1 のバルブは、メサとダイヤフラムを持つシリコンにガラスを張り合わせた構造のノーマリクローズ型である。マイクロバルブは半導体集積回路の微細加工技術に応用したマイクロマシーニングにより製作される。シリコンのメサ上にはニッケルのガスケットがあり、シーリング性が向上される。このタイプのアクチュエータは、100V 程度の電圧を印加することで作動し、発生力が 3.4kgf と大きく、応答速度も 0.1msec と速い。また、寸法は 2mm×3mm×6mm と比較的小型である。制御できる流量の範囲は 0.1～100ml/min 程度までであるが、特に微流量の制御が可能である。3 方向バルブの例を図 2 に示す。基本構造は図 1 と同様であるが、 $\mu\text{l/min}$ オーダの微流量の液体の制御が可能である。

積層型ピエゾアクチュエータ駆動のマイクロバルブと熱型マイクロフローセンサを集積化することによりマイクロ流体制御が可能になる。その構造を図 3 に示す。高感度フローセンサにより微流量を高速かつ正確に制御することができる。1 回の開閉動作で導入する量を nl 程度にすることも可能なため、分子レベルの流量制御が行える。

【図】

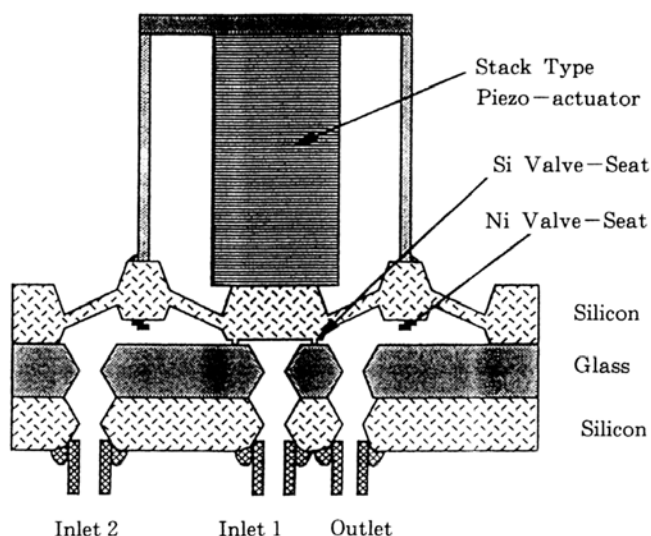
図 1 積層型ピエゾアクチュエータ駆動マイクロバルブ



第 1 図 積層型ピエゾアクチュエータ駆動マイクロバルブ

出典:「マイクロ流体制御システム」,「油空圧技術 VOL.33 No.3 51 頁」,「1994 年 3 月 1 日」,
「庄子習一、江刺正喜(東北大学)著」,「日本工業出版株式会社発行」

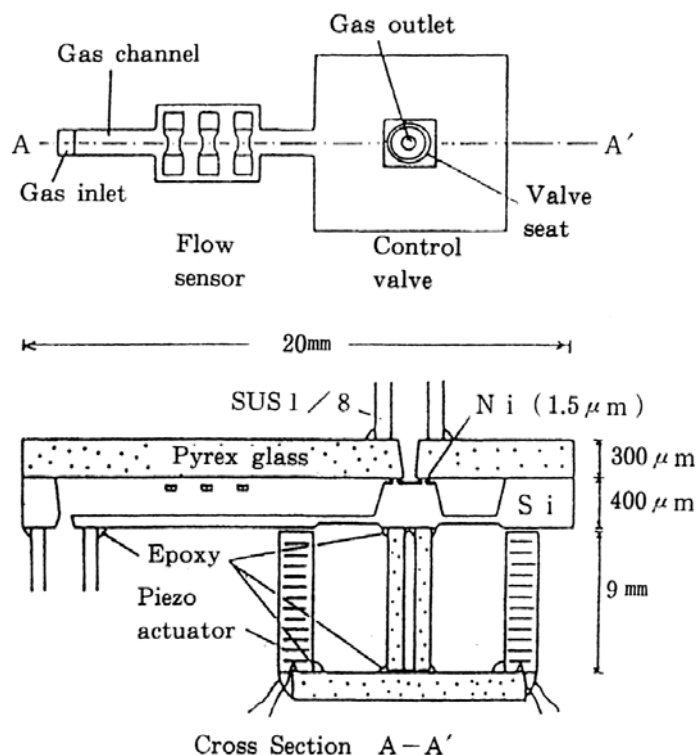
図2 積層型ピエゾアクチュエータ駆動3方向マイクロバルブ



第2図 積層型ピエゾアクチュエータ駆動3方向マイクロバルブ

出典:「マイクロ流体制御システム」,「油空圧技術 VOL.33 No.3 52頁」,「1994年3月1日」,
「庄子習一、江刺正喜(東北大学)著」,「日本工業出版株式会社発行」

図3 集積化マスフローコントローラ



第14図 集積化マスフローコントローラ

出典:「マイクロ流体制御システム」,「油空圧技術 VOL.33 No.3 55頁」,「1994年3月1日」,
「庄子習一、江刺正喜(東北大学)著」,「日本工業出版株式会社発行」

【出典／参考資料】

出典:「マイクロ流体制御システム」,「油空圧技術 VOL.33 No.3 51 - 57頁」,「1994年3月1日」,
「庄子習一、江刺正喜(東北大学)著」,「日本工業出版株式会社発行」