

圧電素子変位拡大機構型アクチュエータ “メカトランス”

＝高効率、高速、小型・薄型のアクチュエータ＝

(株)メカノトランスフォーマ

矢野 健・八鍬 和夫・徐 世傑・原田 三郎

圧電素子変位拡大機構型アクチュエータ “メカトランス”

=高効率、高速、小型・薄型のアクチュエータ=

(有)メカトランスフォーマ 矢野 健・八鍬 和夫・徐 世傑・原田 三郎

1. はじめに

メカトランスのルーツは、代表者がNEC時代に圧電型インパクトプリンタの開発に携わった事から始まる。当時はインパクトプリンタが全盛の時代でありその高速化に向けて各社は凌ぎを削ったが、電磁吸引力を利用する場合の速度限界に達しており、これ以上高速化するには別の物理現象を入れるしかないという事態になっていた。代表者等はこの速度限界を打ち破れる可能性として「圧電効果」の適用に着目し、7年の開発期間を経て1987年に世界初、且つ、1秒当たりの漢字印字速度110字という印字速度を持つ24ピンのドットインパクトプリンタの商品化に成功した。この印字速度は1ピン当たりの動作繰り返し周波数3.051Hzに相当し、電磁吸引力を利用するそれまでの世界最高速を凌駕するものであった。また、電磁吸引力を利用する場合には、電磁ヨーク部分が共通であるために不可避であったドット間干渉の問題が無く、印字品質も優れていた。更に、消費電力で見ると、電磁吸引力を用いた1秒間60字のプリンタに比しても消費電力が少ない等数々の特長を持つことが分った。ここで、敢えて昔の事を述べたのはこのインパクトプリンタ開発が、圧電効果の持つ高速化、低消費電力化の何よりの証拠になっていると考えるからである。

ドットインパクトプリンタを実現するには、0.2mmφのワイヤに対して約400μm程度の変位を与えてやる必要があるが、圧電素子の発生する変位は高々約20μmなので、この変位を約20倍程度機械的に拡大する変位拡大機構が不可避であった。24ピンのプリンタでは、プリンタヘッドとしての寸法制約のもとにこの変位拡大機構の厚さは2mm以下にする必要があ

った。これはまた薄型のアクチュエータ実現の実証になっている。

インパクトプリンタ時代の後、プリンタ技術の中心がインクジェットやレーザに移ったため、折角の変位拡大機構技術はお蔵入りになっていた。この現状を東京大学の樋口俊郎教授が着目され、広く社会に役立つ技術になる可能性があるということで代表者に会社を興すことを薦められた。この様な経緯で弊社は発足し、またメカトランスが誕生した。ここでメカトランスとは圧電素子と変位拡大機構を組み合わせたアクチュエータの商品名である。

2. メカトランスの特長

「アクチュエータ」は動く機構の総称であるが、現在アクチュエータの大半は電磁吸引力を利用している。電磁吸引力を利用するアクチュエータとの比較においてメカトランスの特長は下記の様なものである。

(1) エネルギー効率が低い(低消費電力)

圧電素子単体で電気エネルギーから機械エネルギーに変換される変換効率には実に60%を超える。メカトランス全体では、変位拡大機構部分でのエネルギー変換効率が約50%なので、メカトランス総合では約25%である。電磁吸引力のエネルギー変換効率は10%以下なので、メカトランスの効率は大変高い。

(2) 高速動作が可能

電磁吸引力を利用する場合に、高速動作をさせようとして力を大きくするためには、アーマチュアの寸法を大きくする必要があるが、アーマチュア寸法を大きくすると必然的に質量が増加し、高速動作とは相入れない方向となる。もう一つの高速化の限界は発熱による限界である。その意味ではメカトラン

スの低消費電力の特長はそのまま高速化の特長になっている。総合的に言ってメカトランスは電磁吸引力を利用するアクチュエータに比して一般に高速化が可能である。

(3) 小型化・薄型化可能

同等の変位と力を発生する電磁吸引力を利用するアクチュエータに比して、小型化、特に薄型型が可能である。

(4) 制御性が良い

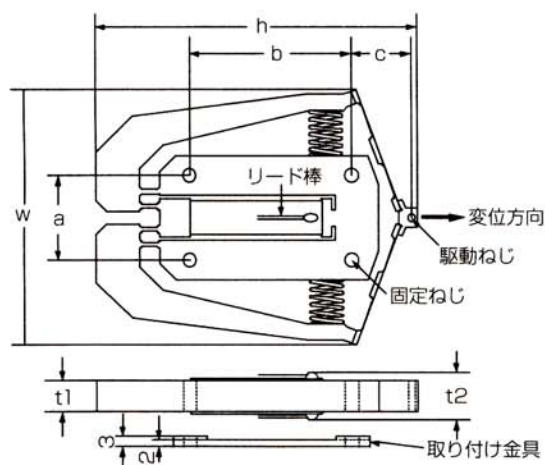
電圧と発生変位がほぼ比例関係にあるため所定の変位を得ることは電圧の制御により可能である。但し、電圧上昇時と電圧下降時とは同じ印加電圧でも発生変位が違ってくる（ヒステリシス）が存在するため、正確な変位を必要とする場合には変位センサの併用が望ましい。

3. 今回製品化されたメカトランス

メカトランスに対する一般的なニーズとして下記のような観点がある。

- ① 発生変位はリニアな運動か回転運動か
- ② 発生変位はプッシュタイプかプルタイプか
- ③ 変位発生方向は圧電素子の長手方向に対して平行かあるいは直交か（発生変位方向に対して、幅方向を狭くするかあるいは長さ方向を短くするか）

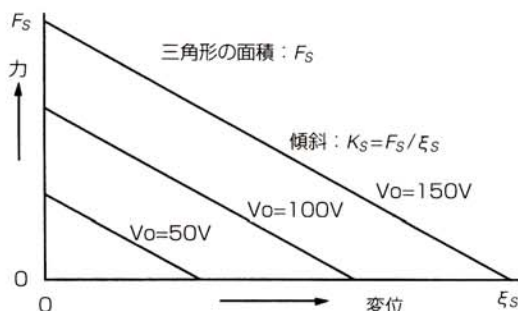
今回製品化したのは、この中で、リニア運動、プッシュタイプ、発生変位方向は圧電素子の長手方向という物である。今回製品化されたメカトランスの形状を第1図に示す。



第1図

4. 発生変位、発生力

メカトランスの発生変位と発生力とは何を示しているかを明確にしておきたい。メカトランスの発生変位と発生力および印加電圧の関係は第2図に示される通りである。発生変位 ξ_s とは外部から加えられる力が無い（自由状態）ときの発生変位である。発生力 F_s とはメカトランス先端が移動できない様に固定（クランプ）したときの発生力である。発生変位および発生力共に、圧電素子への印加電圧 V_0 に対してはほぼ比例関係になる。傾斜 K_s は印加電圧によらず一定の値になる。三角形の面積はメカトランスの持つエネルギー（保有エネルギー）を表す。メカトランスの持つエネルギーは印加電圧の二乗に比例する。圧電素子単体でも第1図と類似の三角形を定義することができる。その三角形の面積は圧電素子の保有エネルギーである。圧電素子の保有エネルギーとメカトランスの保有エネルギーの比がメカトランス変位拡大機構部分のエネルギー伝達効率である。変位拡大機構の設計に当たっては可能な限りエネルギー伝達効率を高める様、構造パラメータの選択に工夫をしている。

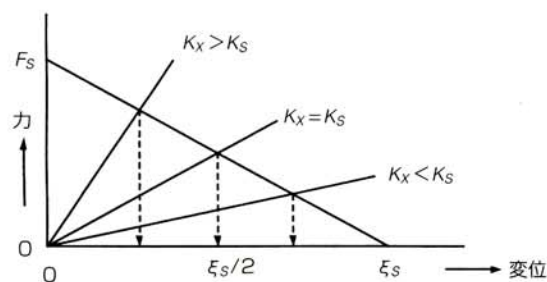


第2図 発生変位、発生力の定義

5. 静的負荷での動作

メカトランスを静的負荷（あるばね定数を持った負荷）のもとで用いた場合、メカトランスの発生変位は第3図のようになる。

メカトランスの負荷 K_x としてメカトランス自身の剛性 K_s と等しい剛性の負荷を与えた場合には、メカトランスの発生変位は自由状態変位の半分になる。負荷の剛性がメカトランスの剛性よりも高い場合には発生変位は自由状態変位の1/2以下となり、負荷の剛性がメカトランスの剛性よりも低い場合には自



第3図 静的負荷の場合の発生変位

由状態変位の1/2よりも大きくなるが、自由状態変位を超えることはない。

負荷 K_X がメカトランスから受け取るエネルギーは、第3図においてメカトランスの剛性の斜め線と負荷直線の交点から垂直に変位軸に降ろした線と変位軸の間で定義される三角形の面積である。負荷 K_X の剛性値が K_S に等しくなった場合に三角形面積は最大となるが、その面積はメカトランス保有エネルギーの1/4となる。一般に発生変位と発生力は、自由状態あるいはクランプ状態の変位、力でなく、ある変位状態での力が必要になる場合が多い。その場合には、発生変位、発生力は、自由状態変位およびクランプ状態発生力に比して何れもかなりの余裕が必要になる。

6. 動的負荷での動作

負荷が質量 M の場合には、メカトランスの剛性 K_S との間で機械的な共振周波数が形成される。共振周波数は式(1)より計算される。

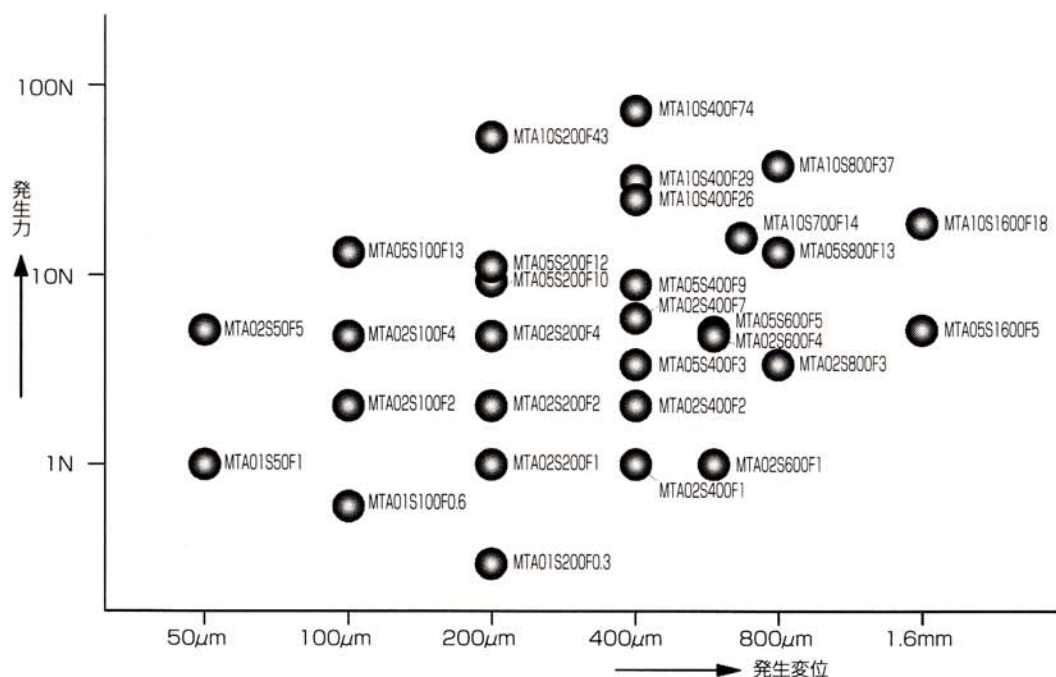
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_S}{M}} \quad \dots(1)$$

一般的に、この共振周波数を超える周波数での駆動は困難である。メカトランス自体の共振周波数がこれこれなので、そこまでの周波数での駆動が可能でずかという問いを良く聞か、メカトランスに質量負荷された状態での共振周波数が問題なのであって、メカトランス自体の共振周波数はあまり意味が無い。

メカトランスを動的な条件で用いる場合、静的条件の場合と違って種々の現象が起こる。場合によってはメカトランスが破壊することもある。駆動回路とも密接な関係があるので、動的な条件でお使いの場合には弊社の方にご相談頂く事をお薦めする。

7. メカトランスの標準系列

メカトランスを標準系列化するのに当たっては、実在する圧電素子を前提とする必要があった。そこで、製品化されている圧電素子をベースとして、変



第4図 メカトランスの標準化

第1表 メカトランス仕様

タイプ名	圧電素子 サイズ [mm]	発生 変位 [μm]	発生 力 [N]	剛性 [kN/m]	静電 容量 [nF]	各部寸法 [mm]								
						t1	t2	h	w	a	b	c	固定 ネジ	駆動 ネジ
MTA01S50F1	1.0×0.8×10	50	1.4	28	26	1	1.9	32	26	10.4	7	9.8	φ2	φ2
MTA01S100F0.6		100	0.6	6		1	1.9	32	26	10.4	7	9.8	φ2	φ2
MTA01S200F0.3		200	0.3	1.6		1	1.9	32	26	10.4	7	11.3	φ2	φ2
MTA02S50F5	2×3×5	50	5	74	90	2	3.5	28	25	10.4	7	9.7	φ2	φ2
MTA02S100F2		100	2	17		2	3.5	31	30	10.4	7	9.7	φ2	φ2
MTA02S200F1		200	1	4		2	3.5	33	35	10.4	7	9.7	φ2	φ2
MTA02S100F4	2×3×10	100	4	43	180	2	3.5	46	43	13	14	13	φ3	φ2
MTA02S200F2		200	2	11		2	3.5	42	43	13	14	13	φ3	φ2
MTA02S400F1		400	1	3		2	3.5	46	48	13	14	13	φ3	φ2
MTA02S200F4	2×3×20	200	4	17	350	2	3.5	63	58	15	24	18	φ3	φ2
MTA02S400F2		400	2	5		2	3.5	55	58	15	24	13	φ3	φ2
MTA02S600F1		600	1	1.5		2	3.5	62	58	15	24	18	φ3	φ2
MTA02S400F7	2×3×40	400	7	17	820	2	3.5	81	58	15	44	13	φ3	φ2
MTA02S600F5		600	5	8		2	3.5	83	58	15	44	13	φ3	φ2
MTA02S800F3		800	3	4		2	3.5	79	58	15	44	13	φ3	φ2
MTA05S100F13	5×5×10	100	13	132	750	4.8	8	53	52	16	19	13.5	φ3	φ2
MTA05S200F10		200	8	37		4.8	8	51	50	16	19	13.5	φ3	φ2
MTA05S400F3		400	3	7		4.8	8	55	50	16	19	14	φ3	φ2
MTA05S200F12	5×5×20	200	12	49	1,400	4.8	8.6	65	58	16	26	15	φ3	φ2
MTA05S400F9		400	8	21		4.8	8.6	61	58	16	26	15	φ3	φ2
MTA05S600F4		600	4	7		4.8	8.6	65	58	16	26	15	φ3	φ2
MTA05S400F26	5×5×40	400	27	57	3,400	4.8	8.6	86	67	18	44	17	φ3	φ2
MTA05S800F13		800	16	17		4.8	8.6	86	67	18	44	17	φ3	φ2
MTA05S1600F5		1,600	5	3		4.8	8.6	91	77	20	50	15	φ3	φ2
MTA10S200F43	1.0×10×20	200	43	228	5,400	9.4	14.2	75	75	26	29	17.8	φ4	φ2
MTA10S400F29		400	28	71		9.4	14.2	75	75	26	29	17.8	φ4	φ2
MTA10S700F14		700	14	19		9.4	14.2	75	83	26	29	17.8	φ4	φ2
MTA10S400F74	1.0×10×40	400	64	148	13,600	9.4	14.2	96	77	26	49	17.8	φ4	φ2
MTA10S800F37		800	37	46		9.4	14.2	96	77	26	49	17.8	φ4	φ2
MTA10S1600F18		1,600	18	11		9.4	14.2	97	89	26	49	17.8	φ4	φ2

位拡大率として適宜 3 種類を選んで標準系列を作成した。

今回標準化されたメカトランスのタイプは第 1 表に示す通りである。

8. 代表的製品例

以下に代表的製品例 3 例を示す。

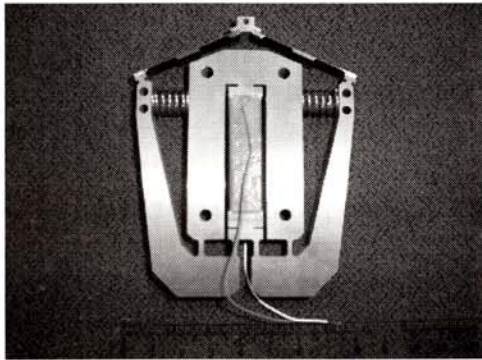
最初の製品例は今回の製品系列の中では発生変位が最大の $1,600\mu\text{m}$ のMTA05S1600F5である(写真 1)。

次の機種は、今回の製品系列の中では発生力が最大の 74N のMTA10S400F74である(写真 2)。



金属部板厚：4.8mm 発生変位： $1600\mu\text{m}$
発生力：5N 外形寸法：91(H)×77(W)

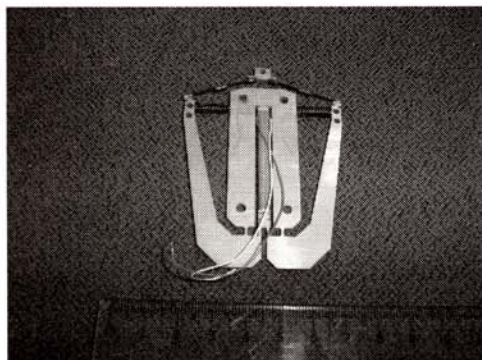
写真1 MTA05S1600F5



金属部板厚：9.4mm 発生変位：400 μ m
発生力：74N 外形寸法：96(H) x 77(W)

写真2 MTA10S400F74

第三の製品例は、金属部の厚さ2mm系列の中では発生変位が最大の800 μ mのMTA02S800F3である(写真3)。



金属部板厚：2mm 発生変位：800 μ m
発生力：3N 外形寸法：79(H) x 58(W)

写真3 MTA02S800F3

9. メカトランスの応用

展示会でのお客様からの問いとして、90%以上のお客様から応用分野のお問い合わせを頂く。しかし、メカトランスの応用は弊社にとって最もお答えのし難い問いなのである。実は、過去の事例で弊社側からお客様に対して応用のご提案を申し上げた例は一例もなく、すべてお客様側からこんな応用に適用したいというご提案を頂いたものである。その応用をお聞きする度に「そんな応用が可能なのですか」と弊社側が驚かされることが多い。つまり、応用に関

しては弊社側からこれを開示する権利が無いということでご容赦頂きたいと思う。

具体的に現在応用開発が進んでいるが、それ等の内容については相互に殆ど共通点が無い。応用分野然り、大きさ然り、機能も然り、生産数量も然りである。このバラエティを見させて頂く中で、アクチュエータというのは機械要素の正に基本機能であるという事を実感させられている。広く、産業機器分野、医療分野、自動車分野、コンシューマ分野、航空機・宇宙産業分野での応用が可能であり、是非、応用につき新規のご提案を頂きたいものである。

10. 疑問点にお答え

種々の場でご質問を頂く中で、共通してご質問を頂く内容につき、ご質問内容(Q)とお答え(A)を示したい。

Q：寿命はどの程度か？細い部分が金属疲労で破断することは無いのか？

A：フィールドでの実稼動で既に3億回の動作を超えている実績あり。

Q：圧電素子の発生変位は時間と共に少なくなると聞いているが？

A：決してそんなことはありません。1億回まで変位の変化が無いことの実証データがある。

Q：温度特性はどうか？

A：圧電素子と金属部分の線膨張係数が若干違うので、1 $^{\circ}$ Cの温度上昇に対してはほぼ1Vの電圧変化（方向は負）相当のメカトランス先端位置ドリフトが出る。改善は可能。それと圧電素子の静電容量の温度係数はかなり大きいので、温度範囲を広く使いたい場合には弊社にご相談を。

Q：発生変位の安定性は？

A：再現性はあるが、印加電圧に対してヒステリシスを持っているため、一定の電圧印加に対して発生する変位は電圧上昇時と電圧下降時で違って来る。また、厳密には、一定電圧印加に対して変位のドリフトがある。従って、正確な発生変位を必要とする応用の場合には変位センサを併用してフィードバック制御が必要である。

Q：周波数応答はどこまで？

A：メカトランスの持つ剛性（第1表参照）と負荷質量との間で形成される機械共振周波数の1/2程度までが一般的な限界。インパクトプリンタの場合には共振周波数まで応答させたが、これを実行するには種々の工夫が必要。もう一つの問題は繰り返し周波数が高くなると圧電素子からの発熱の点で限界が来ることも多い。弊社にご相談を。

11. おわりに

アクチュエータは機械要素中の基本機能の一つであり、広い応用が可能である。現在このアクチュエータについては、電磁吸引力を利用したものが多いが、メカトランスは、圧電素子と変位拡大機構を組み合わせた新しいタイプのアクチュエータをご提供するものである。電気エネルギーから機械エネルギーへの変換効率が高いことは同じ機械エネルギー仕事量に対して使われる電気エネルギーが少ないことを意味しており、ひいては環境にも優しいアクチュエータと言える。

種々の応用が可能であり、是非新規応用のご提案を期待している。

謝辞

本メカトランスの製品化は、独立行政法人中小企業基盤整備機構の「平成17年度中小企業・ベンチャ挑戦事業のうち事業化支援事業」において、「圧電素

子変位拡大機構型アクチュエータの事業化」なるテーマで助成金を頂いた結果完成したものである。ここでその件を明記し関係各位に厚く御礼申し上げる。

また、弊社設立以来、東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻、樋口俊郎教授には種々の面でご指導、ご支援を頂いている。ここに日頃のご指導、ご支援に対し厚く御礼申し上げる。

【筆者紹介】

矢野 健

(有)メカノトランスフォーマ 代表取締役
〒212-0054 川崎市幸区小倉308-10 KBIC233
TEL：044-580-6086 FAX：044-580-6087

八鍬 和夫

(有)メカノトランスフォーマ
〒212-0054 川崎市幸区小倉308-10 KBIC233

徐 世傑

(有)メカノトランスフォーマ
〒212-0054 川崎市幸区小倉308-10 KBIC233

原田 三郎

(有)メカノトランスフォーマ
〒212-0054 川崎市幸区小倉308-10 KBIC233