

# 衝撃電磁力を利用した微小移動機構

Micro-Positioning by Electromagnetic Impulsive Force

樋口 俊 郎\*  
Toshiro HIGUCHI

## 1. はじめに

平面上に置かれた物体の一端を軽く叩くことによって物体を微小距離移動させることができることは経験的に知られている。たとえば、工作機械に加工対象物をセッティングするときなど作業物がプラスチックハンマーを用いて位置と姿勢の微調整を行っている。また、組み立て作業においても現場では微調整を行うとき等に良く用いられている。このように衝撃力による微小移動現象は実際にはかなり利用されているにもかかわらず、移動機構の解析および各種作業の自動化への試みがほとんどなされていない。ハンマーで叩く場合のように物体間の衝突時に発生する衝撃力を利用する方法は、衝撃力を精密に制御することが難しく、また機構が大掛かりになり、自動化には適していないと思われる。そこで、機械的な接触を伴わないで衝撃力を直接的に得ることができる電磁気現象に着目し、これを利用した位置決め機構の開発の研究を始めた。本速報では、衝撃電磁力を利用した精密位置決め機構原理を説明し、簡単な装置で行った実験結果を示す。

## 2. 衝撃電磁力を利用した微小変位移動機構

平面上に置かれた物体を移動させるには、少なくとも

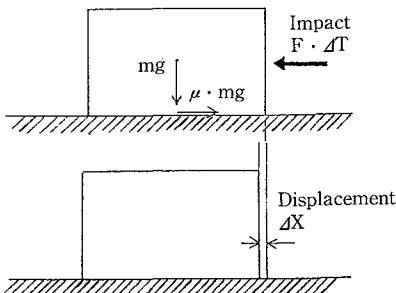


図1 衝撃力による移動

摩擦よりも大きな力を加える必要がある(図1)。衝撃力によって微小距離の移動を得るためには、ピーク値が大きく持続時間の短い鋭い波形の衝撃力が適していると考えられる。この衝撃力を得る方法としてハンマーで叩くなどの機械的な衝撃現象を利用しても良いが、開発した方法では電磁気現象を利用して非接触で衝撃力を得ている。

### 2-1 衝撃電磁力発生原理

衝撃電磁力発生機構の説明図を図2に示す。この機構は高エネルギー速度加工の一つである電磁成形<sup>1)</sup>に利用されているのと原理的に同じものである。図2に示すように充電しておいたコンデンサからの放電電流をコイルに瞬間的に流すことによって変化する磁界を発生させると、コイルに接近して置かれた導体板(アルミニウムや銅が適している)には磁束の侵入を妨げる方向に渦電流が誘導される。その結果、コイルに流れる電流と導体板に誘導される渦電流との間に衝撃的な反発力が発生する。この原理から明らかになるように、機械的な接触を全く伴わずに衝撃力を導体板表面近傍にbody forceとして広く分散した形で発生させることができる。また、この電磁力は放電電流の自乗に比例することから、コンデンサの容量、充電電圧、コイルのインダクタンス等を調整、選択することによって、衝撃力の波形を制御することができる。

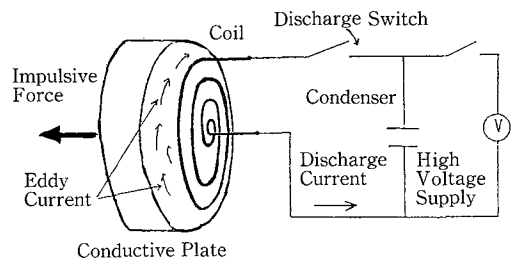


図2 衝撃電磁力発生機構

\*東京大学生産技術研究所 第2部

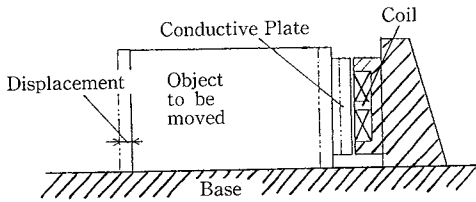


図3 微小距離移動機構Type I

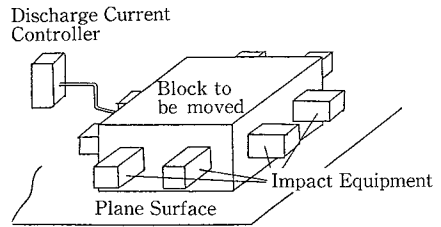


図5 XYθ微小位置姿勢調整機構

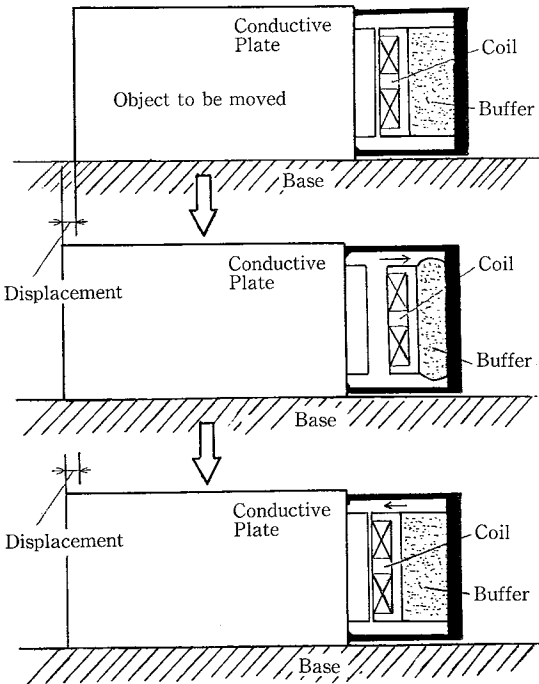


図4 微小距離移動機構Type II

### 2-2 微小変位移動機構の形態

微小変位移動機構の形式としては図3と図4に示す基本的な2形態が考えられる。図では説明のために一方向の移動に関してのみ示している。図3に示すType Iではコイルを基盤に固定しており導体板を移動対象物に取り付けている。こうすることにより、移動対象物に対して衝撃力を外力として加えることができる。この形式では、移動に伴い、コイルと導体板の距離が大きくなるにしたがって電磁力が減少することから、移動行程が制限される(コイルの径にもよるが、1mm程度の範囲の移動ならばType Iで十分対処できる)。

これに対して、図4に示すType IIでは移動範囲が制限されない。Type IIではコイルがばねあるいはダンパー等のバッファを介して移動対象物に取り付けられている。

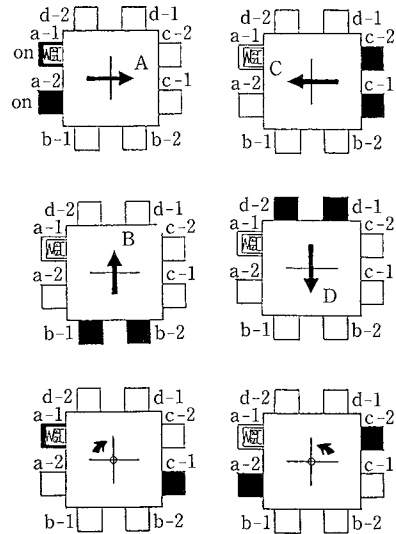


図6 XY移動とθ回転の方法

移動対象物は衝撃力によって図4では左方向に瞬時に微小距離移動すると同時に衝撃力の反作用力によってコイルが右方向に加速されるが、バッファの働きにより衝撃力のピーク値よりも遙かに小さな力で徐々に減速される。この力を摩擦力よりも小さくするようにすれば反作用力による逆方向(図では右方向)の移動対象物の移動を防止することができる。図3、図4において、コイルと導体板との位置を交換しても同様の移動形態を実現できる。説明では一方向の移動について述べたが、たとえばType IIの移動機構を図5に示すように8個用い移動対象物に取り付けることにより、XYθの平面上の3自由度の移動が可能となることからわかる。このように、複数個を用いることによって、多自由度の移動に対応できる。図6は図5を上から見た略図であり、a-1とa-2のコイルを同時に働かすことによってA方向の移動が、またa-1とc-1のコイルによって右回転が可能であること等を示している。XYθの平面上の3自由度の移動に

研究速報

は、図6のように8個のコイルを必要とせず、6個あるいは4個(たとえばa-1, d-2, b-2, c-1)でも良い。

2-3 微小変位移動機構の特徴

衝撃電磁力を利用した位置決め機構には次のような特徴が考えられる。

- 機構、構成要素が単純であり、小形化が容易に行える
- 静止位置の保持は摩擦力だけで得ており、安定であるとともに、静止時にエネルギーを消費しない
- 電磁力を利用しているために再現性が良い
- 平面上の3自由度の移動を一体で実現できる

一回の放電に対して得られる移動距離は、後で述べるように、基盤と移動体との間の摩擦の状態に依存する。したがって、ステップモータのように構造的に移動距離が決定するものではないので、開ループ制御による位置決めは困難であり、移動体の位置や姿勢を検出する測定器を併用することが位置決め制御に必要である。

3. 実験方法と実験結果

3-1 実験装置

微小移動機構の着想の有効性を調べるために一方向の移動についての簡単な実験装置を製作した。図7にType I について、また図8にType II についての実験装置の概要を示し、図9にその写真を示す。テーブルは水平直線

に沿ってのみ移動できるように両側のV溝で案内されている。テーブルの質量は0.63kgであり錘を付加して移動体の質量を変化させた。案内面の静止摩擦係数は0.34である。テーブルの端面に導体板として10mm厚、φ38mmのアルミニウム円板を取り付けている。コイルは空芯で偏平ソレノイド形であり、巻数58、自己インダクタンス64μHである。コンデンサは10μFのものを並列に接続して50μFまでの容量で実験を行った。放電スイッチとしては当初、機械式リレーを用いたが損耗が激しく、SCRサイリスタを採用した。SCRサイリスタを用いることによって、放電状態が一定となり再現性の良い実験を行うことが可能となった。また、SCRは順方向にしか電流を流さないために、放電電流を図10のように減衰振動の第一半波だけにすることができ、単一パルスの衝撃力を発生できる。

3-2 実験結果

コンデンサの充電エネルギーと移動量との関係を3種類の移動体質量について調べた結果を図11, 図12, にType I, Type IIのおのおのについて示す。同一充電エネルギーに対する移動量は移動体の質量が増加すると大きく減少することがわかる。また、移動量は充電エネルギーに依存するが、今回の実験の範囲ではコンデンサの容量には影響されることが言える。Type I, Type IIとも、移動体

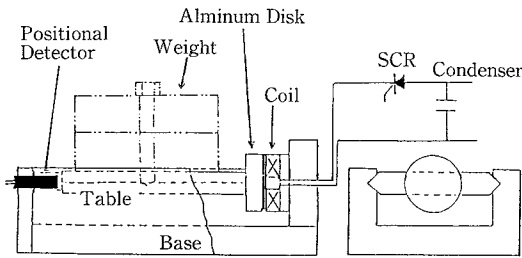


図7 Type Iの移動機構の実験装置概要

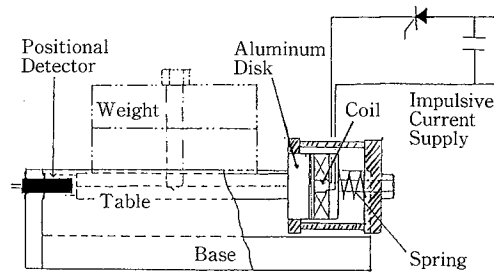


図8 Type IIの移動機構の実験装置概要

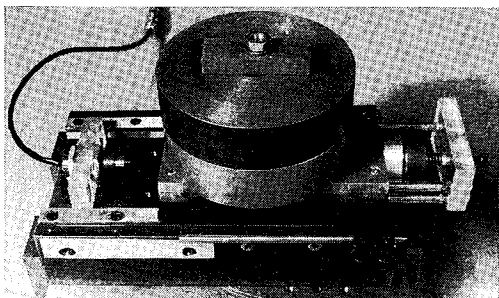


図9 実験装置 (Type II) の写真

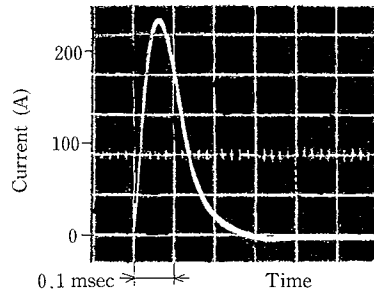


図10 放電電流の例(充電電圧400V, コンデンサー容量50μF)

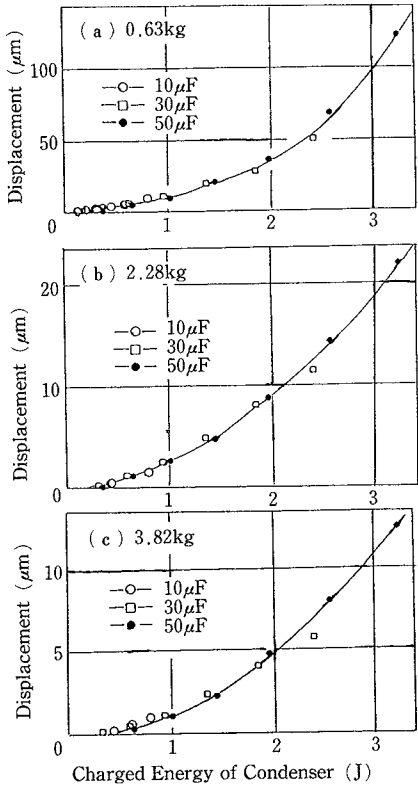


図11 充電エネルギーと移動量の関係 (Type I)

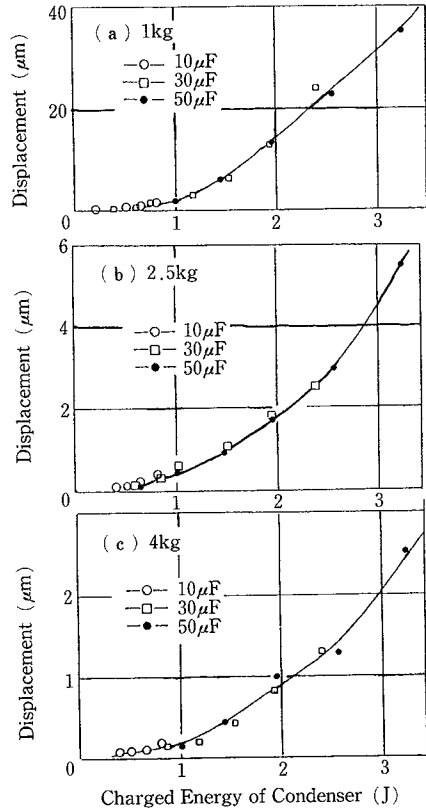


図12 充電エネルギーと移動量の関係 (Type II)

の質量に対して電気条件を適当に選定することによって、1回の放電で、0.1μmから0.1mmのオーダーの移動が可能であると言える。

4. あとがき

衝撃電磁力を利用した微小距離移動機構の考案の有効性を簡単な実験によって明らかにすることができた。

現在、応用分野の開拓と、移動現象の解析を行っている。

おわりに、実験に協力していただいた瀬戸口俊と菊池謙二の両君に謝意を表す。(1987年7月22日受理)

参考文献

- 樋口俊郎：平板状スパイラルコイルによる電磁成形について，生産研究，30，2（1978）44～51