

# 超音波浮揚を利用した搬送装置の開発 (第1報) 構想と基礎実験

豊田工業大学 ○小野政貴, 古谷克司

Development of transfer device using ultrasonic levitation(first report)

- Concept and fundamental experiments -

Toyota Technological Institute Masataka Ono, Katsushi Furutani

A noncontact transfer device using a combination of ultrasonic levitation with flexure traveling wave has some advantage in clean environment and simple device configuration. This report deals with the concept of a two-dimensional transfer device using ultrasonic levitation and fundamental experiments. A one-dimensional transfer device was built and examined to assess design criteria of a two-dimensional transfer device. A prototype of the two-dimensional transfer device with four bolted Langevin transducers was constructed based on the result of the preliminary experiments. Thrust by the flexure traveling wave was observed. Some characteristics were measured under various driving conditions.

## 1. はじめに

クリーンな環境が要求されるシリコンウエハやガラス基板の搬送現場では、非接触搬送技術が必要となる。非接触搬送技術としては、圧縮空気を使用した浮揚技術、静電気力や磁力を用いた浮揚技術が提案されている。しかし前者では大量の清浄な空気が必要であり、後者では適用可能な材料の誘電率や透磁率の影響を受けるという欠点がある。そこで超音波浮揚を利用した搬送装置が提案されている<sup>1)</sup>。

近接場超音波浮揚を利用した搬送原理を図1に示す。近接場超音波浮揚とは、強力な超音波を発する物体のごく近傍で、スクイーズ効果により平滑面を持つ物体が浮上する現象である。超音波振動体のみから構成されるため構造が単純、音響効果による力のため浮揚対象を選ばないという利点がある。そのため、新たな搬送技術として注目されている。この浮揚効果に加え振動体にたわみ進行波を発生することで物体を搬送する、1次元の搬送装置がいくつか提案されている<sup>2)</sup>。また、他の手法を併用した装置も提案されている<sup>3)</sup>。超音波のみによる2次元搬送も提案されているが、まだ成功例は報告されていない<sup>4)</sup>。そこで、本研究では、超音波浮揚を用いた2次元搬送装置の開発を目標とする。

## 2. 基礎実験

1次元搬送装置を作製し超音波搬送の基礎実験を行った。実験装置を図2に示す。振動子としてボルト締めランジェバン振動子を使用し、その先端には振幅増幅のためステップ形ホーンを接続した。振動子の共振周波数は20kHz、ホーンの振幅増幅率は4倍である。振動板ははりの振動の理論を基に振動子の共振周波数に合わせて設計した。材質はアルミニウムで、大きさは長さ600mm(16波長)、幅15mm、厚さ3mmとした。振動板とホーンは端から9.4mm(1/4波長)の点でボルト

によりホーンに固定した。信号源として2チャンネルの位相差を変更できるファンクションジェネレータを使用し、出力をアンプで増幅後、アンプの出力を振動子に入力した。振動子への入力を振幅300Vp-pの正弦波とした時の入力電力は9.5Wであった。搬送物として長さ80mm(2.1波長)、幅15mm、厚さ3mmのアルミ板を使用した。

基礎実験では、周波数20kHzで共振し浮揚効果が確認された。また、このとき振動板上に搬送物をとどめようとする幅方向の効果も確認された。二つの振動子に位相差を付け駆動することで搬送効果が得られた。位相差70度のときに最大の搬送速度が得られ、位相が進んでいる側から遅れている側へ向かって搬送された。ビデオでの撮影結果から求めたこの時の平均速度は約100mm/sであった。

基礎実験では、以下のことが分かった。

- (1) 振動子および振動板、個々の共振周波数は、ある程度近ければ問題ない。
- (2) 振動子は、振動板自由振動時の、腹の位置に接続したほうが良い。
- (3) 振幅増加のためにインピーダンスマッチング用のトランスが必要である。

## 3. 2次元搬送

1次元搬送の結果を基に2次元搬送装置を試作した。装置構成を図3に示す。振動板は有限要素法によるモード解析を行い振動子の共振周波数に合わせて設計した。解析結果を図4に示す。材料は板厚3mmのアルミニウム、一辺の長さが313mm(6波長)の正方形板とした。振動子の構成は1次元搬送装置と同様であるが、数を4つに増加し、振動板自由振動時の四隅の腹位置に配置した。搬送実験では、隣り合う2本を組にして駆動を行った。駆動回路には、駆動アンプとのインピーダンスマッチングを取るため、昇圧トランスを製作し追

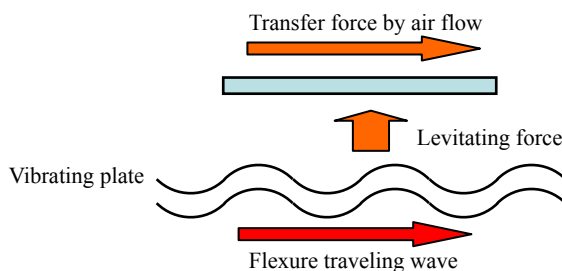


Fig. 1 Transfer device using ultrasonic levitation

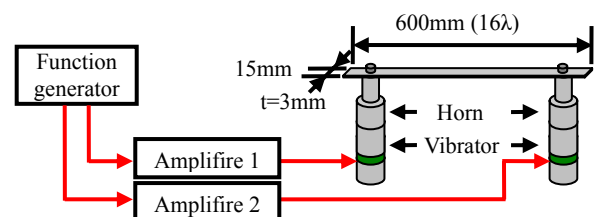


Fig. 2 One-dimensional transfer device

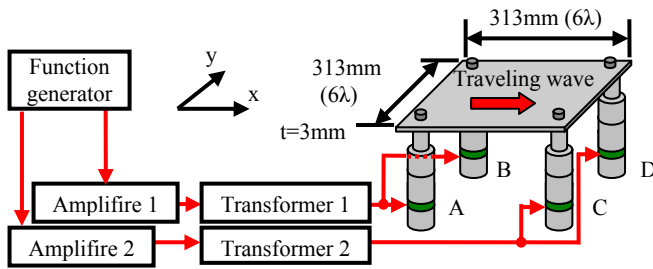


Fig. 3 Prototype of Two-dimensional transfer device

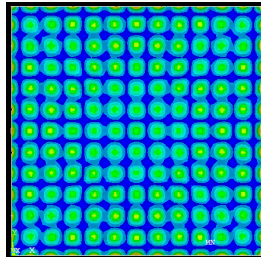


Fig. 4 Modal analysis

加した。トランスの巻き数比は 1 : 4 である。搬送物は厚さ 2mm、一辺の長さが 120mm(2.3 波長)の正方形板を使用した。質量は 81g である。

試作機を使用した搬送実験では、振動子共振点付近の 19.9kHz において位相差 90 度、入力電圧 1300V<sub>pp</sub> で駆動したところ、搬送が確認された。このとき、位相差を逆転することで搬送方向を逆転、振動子の組を図 3 の AB と CD の組から AC と BD の組につなぎかえることで搬送方向を x 方向から y 方向に変更することが可能であった。

搬送に成功した条件付近で周波数を変更し、搬送速度の平均値の変化を観察した結果を図 5 に示す。周波数は 19850Hz-19950Hz の間で変更し、印加電圧は 1300V<sub>pp</sub>、位相差は±90 度とした。搬送速度は、搬送物を振動板の一端の中央から他端まで搬送する様子をビデオで撮影し、その結果をトラッキングソフトで画像処理することで算出した。搬送条件によっては中央付近で振動的な動きをして、他端には到達しないことがあった。グラフには搬送が観察された場合のデータのみ表示した。搬送された場合にも、搬送方向に向かって左側に動く、搬送物が反時計回りに回転するという現象が観察された。x 方向と y 方向で搬送できる周波数にずれが生じた。板の取付状態のばらつきによりピークの位置がずれたと考えられる。二つの振動子の組の位相差を変更した結果を図 6 に示す。印加電圧は 1300V<sub>pp</sub>、周波数は x 方向の場合 19900Hz、y 方向の場合 19920Hz に設定した。位相差は、x 方向の場合 AB に対する CD の位相差、y 方向は AC に対する BD の位相差である。搬送できたのは位相差 90 度付近であった。x、y いずれの方向も位相差の正負で搬送方向が対称になった。また、x 方向と y 方向で搬送速度に明らかな差が現れた。振動子に入力する電圧振幅を変更した結果を図 7 に示す。印加電圧は 100V から 1300V まで 100V 単位で変更し、位相差は±90 度、周波数は x 方向 19900Hz、y 方向 19920Hz で実験を行った。搬送方向にかかわらず、印加電圧が高くなると搬送速度が増加した。

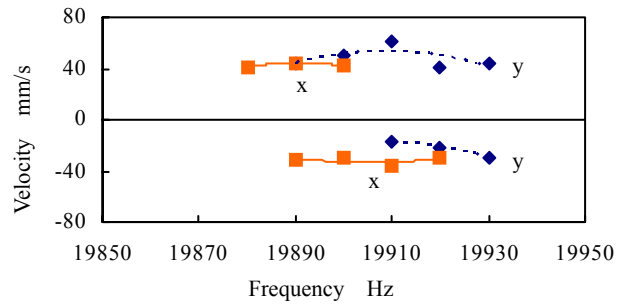


Fig. 5 Relationship between transfer velocity and frequency

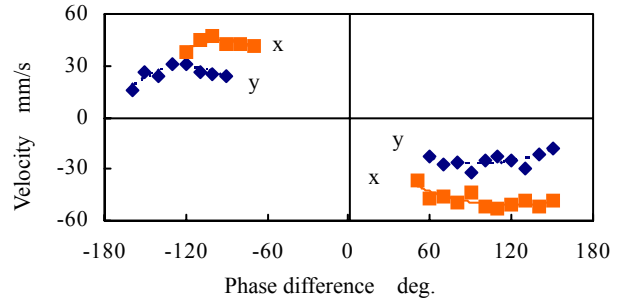


Fig. 6 Relationship between transfer velocity and phase difference

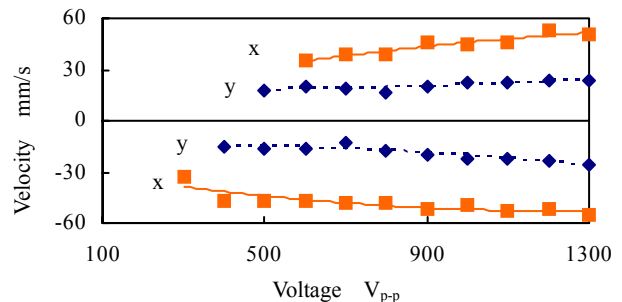


Fig. 7 Relationship between transfer velocity and applied voltage

#### 4. まとめ

本報の結果を以下にまとめる。

- (1) 音波浮揚を使用した 1 次元搬送装置を作製し、基礎実験により 2 次元搬送装置の設計指針を得た。
- (2) 2 次元搬送装置を試作し、搬送できることを確認した。

今後は、搬送原理の解析、および搬送方向を制御するための装置を作製する。

#### 参考文献

- 1) 橋本芳樹他: 音波浮揚を利用した非接触物質搬送, 信学技報, 93, 354, pp.25-32 (1993)
- 2) P. I. Ro et al.: Feasibility of Contact and Noncontact Material Handling Using Traveling Waves and Transition Characteristics, IEEE Trans. Ind. Electron., 47, pp. 1344-1345 (2000)
- 3) 磯部浩己他: 静圧力と音響粘性力を組み合わせた平面基板の非接触搬送技術の開発 - 搬送ユニットの基礎実験装置の製作 -, 日本 AEM 学会誌, 6, 1, pp. 84-89 (2006)
- 4) 加藤博之他: 超音波浮揚を用いた二次元非接触搬送の研究, 日本機械学会 2005 年次大会予稿, 5, pp. 479-480 (2005)