

J1110206

## 集束超音波を用いた微小径孔の脱水特性

渡邊 達也<sup>\*1</sup>, 星 貴之<sup>\*2</sup>, 山口 大介<sup>\*3</sup>, 原 正之<sup>\*3</sup>, 高崎 正也<sup>\*3</sup>, 水野 毅<sup>\*4</sup>, 石野 裕二<sup>\*3</sup>

### Characteristics of Minute Hole Dewatering Using Focused Ultrasonic Wave

Tatsuya WATANABE<sup>\*1</sup>, Takayuki HOSHI<sup>\*2</sup>, Daisuke YAMAGUCHI<sup>\*3</sup>, Masayuki HARA<sup>\*3</sup>,  
Masaya TAKASAKI<sup>\*3</sup>, Takeshi MIZUNO<sup>\*4</sup> and Yuji ISHINO<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup><sup>\*3</sup><sup>\*4</sup> Department of Mechanical Engineering, Saitama University,  
255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570, Japan

<sup>\*2</sup> Department of Information and Communication, Nagoya Institute of Technology,  
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi, 466-8555, Japan

Using the focused ultrasound wave for the purpose of removing the residual water in minute hole has been proposed. There are some advantages in dewatering. For example, this method can discharge water as liquid droplet from minute and non-through hole easily. For radiation of ultrasonic wave with strong intensity, an ultrasonic focusing device is applied, then the focus can be arranged at three dimensions. It has been observed that success rate of dewatering depends on the size of the hole. To discuss the success rate, we proposed a dimensionless number which is ratio of surface tension and pressure by ultrasonic wave. The relationship between the surface tension and dewatering behavior at minute holes was observed by using working water with different concentration of ethanol. Then, relationship between the number and success rate of dewatering was plotted on a graph.

**Key Words** : Ultrasonic wave, Atomization, Dewatering, Minute hole, Surface tension, Printed circuit boards, Via

### 1. 緒 言

多層プリント基板は高密度配線が可能であり、近年の小型化、軽量化されつつある電子機器や電装品などで多く使用されている。多層プリント基板にはある層と他の層を電氣的に接続するビアと呼ばれる微小孔が設けられており、完全に貫通している貫通孔と一部の層間のみ接続に限られる有底孔がある。多層プリント基板の製造ではその過程で発生した不純物を洗い流す洗浄工程が存在するが、洗浄後ビア内には洗浄水と微小な不純物が残り、これらが故障の原因となることがある。そのため洗浄水を不純物ごと孔外へ排出する必要がある。

孔に入った水の脱水方法としては、風圧や熱を用いた脱水方法が考えられる。しかしながら風圧を用いた脱水では微小径孔の脱水、有底孔の脱水が難しい。一方、熱を用いた脱水方法では水に入った不純物が孔の内部に残留する問題や、熱によって孔周りの材料に熱膨張、表面剥離などといった悪影響を及ぼす危険性がある。

そこで、強力超音波の照射によって、放射圧を利用して液体を孔から押し出す方法や、超音波霧化現象と呼ばれる現象を用いた方法による脱水方法が提案されている<sup>(1)(2)</sup>。超音波を用いて脱水することで、微小径孔や有底孔の内部に溜まった水を、不純物とともに排出することができる。

これまで、貫通孔の脱水において、孔の径が小さくなるほど脱水が完了しないという現象が見られていた。超

<sup>\*1</sup> 学芸員, 埼玉大学 工学部機械工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

<sup>\*2</sup> 正員, 名古屋工業大学 若手研究イノベータ養成センター (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)  
現在 東京大学 先端科学技術研究センター (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

<sup>\*3</sup> 正員, 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

<sup>\*4</sup> 正員, フェロー, 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

E-mail : masaya@mech.saitama-u.ac.jp

音波脱水の確度の改善をはかるために、超音波によって押し出そうとする力と液体が孔内にとどまろうとする力の比較を検討した。

## 2. 超音波脱水の原理と超音波集束装置

### 2・1 貫通孔と有底孔における超音波脱水の原理

貫通孔及び有底孔，それぞれの孔における超音波を用いた脱水原理を Fig. 1 および Fig. 2 に示す．貫通孔では超音波照射による音響放射圧を受けて液滴が孔より外部へ押し出される．有底孔では照射された超音波の一部が水滴表面入射してキャピラリー波を発生させ，超音波霧化の原理で孔内に残留した水を水滴のまま孔外へ排出する．

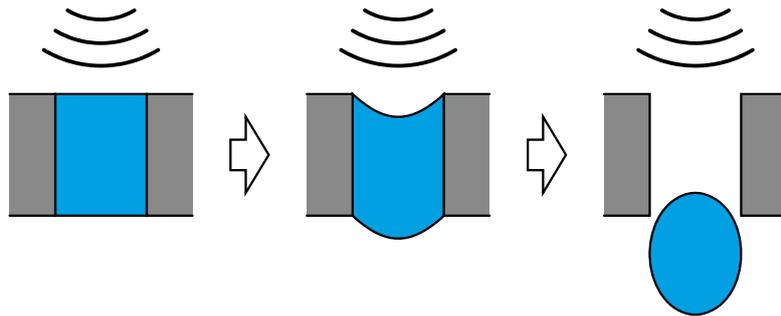


Fig. 1 Ultrasonic dewatering principle for through via.

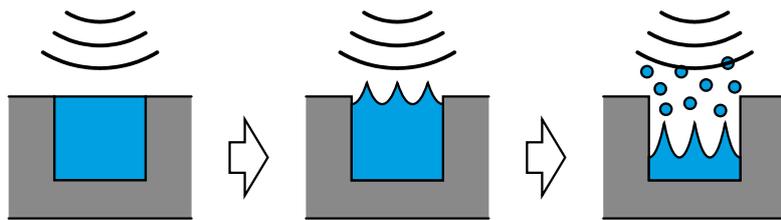


Fig. 2 Ultrasonic dewatering principle for blind via

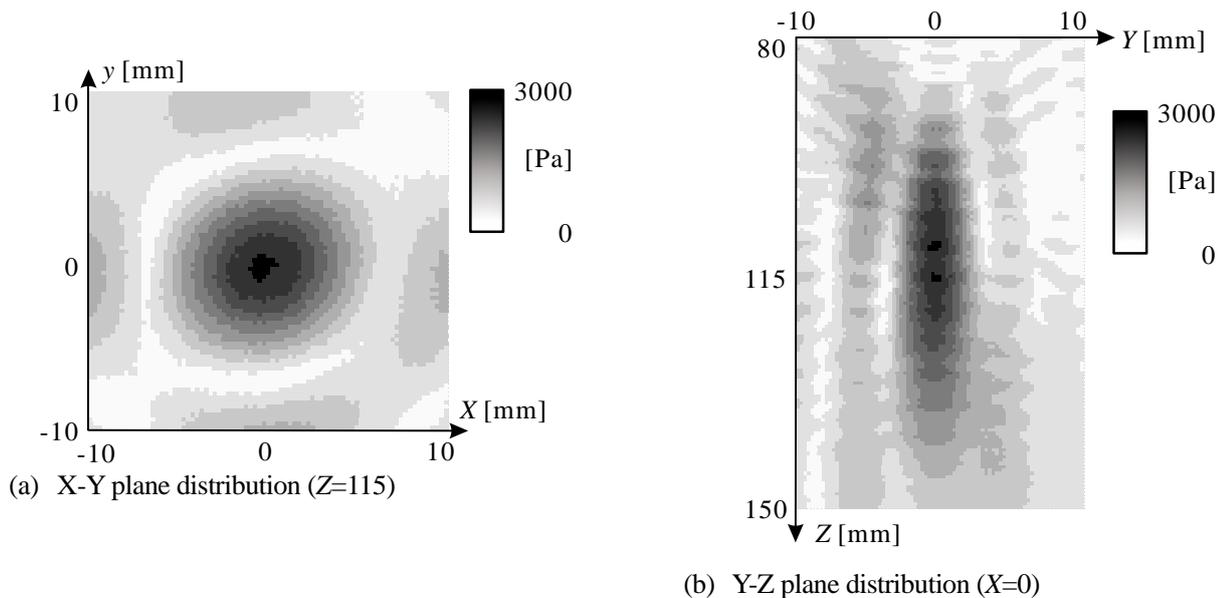


Fig. 3 Acoustic pressure distribution

### 2・2 超音波集束装置

本研究では超音波集束装置<sup>3)</sup>を用いて規定された場所で焦点を結ぶ超音波を発生させた．超音波集束装置は 286

個の超音波振動子の位相を独立に制御することで、超音波の焦点を3次的に制御することが可能である。装置の出力面中心を原点とし、その面をX-Y平面とする。原点より鉛直上方をZ軸とする。装置を天地逆転させて装置下方向へ超音波を照射するように固定した。装置下方において、あらかじめ校正されたマイクをステージで案内し、任意の位置へマイクを固定できるようにした。コマンドとして与える焦点座標を $(X, Y, Z) = (0, 0, 115)$  [mm]としたときの装置下方空間における音響圧力の分布を計測した。計測結果を Fig. 3 に示す。設定された焦点において、3000Pa を得ていることがわかった。

### 3. 貫通孔における超音波脱水の特性

#### 3・1 貫通孔の径、表面張力を変化させたときの脱水確度の関係

貫通孔の超音波脱水において、貫通孔の径、表面張力および脱水確度の関係を調べるために、以下の実験を行った。50 ms 間の超音波照射における脱水現象をハイスピードカメラで観察し、脱水の可否を記録した。この観察をそれぞれ160回行い脱水できた回数を全試行回数で除することで確度を求めた。貫通孔の径を変えて同様の確度測定を行った結果を Table 1 に示す。貫通孔の径と相関があることがわかる。また、エタノールは水より表面張力が小さいことが知られている。そこで作動流体を質量パーセント濃度20%エタノール水溶液とし、同様の脱水の確度を求める実験を行った。その結果を同表に示す。同様に径と相関が見られた。

Table 1 Through hole via diameter versus dewatering success rate

Diameter of through hole [mm]	Dewatering success rate (water) [%]	Dewatering success rate (Ethanol - 20wt%) [%]
1.2	100	100
0.8	98.1	99.4
0.7	91.3	96.3
0.6	90.6	95.0
0.5	70.6	96.9
0.4	63.8	88.8
0.3	28.1	70.0

(Ultrasonic wave radiation time = 50 ms, trial number  $N = 160$ )

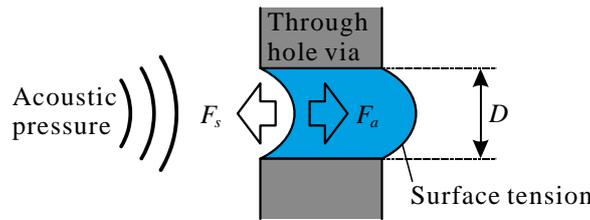


Fig. 4 Dewatering model of through hole

#### 3・2 無次元数 $W$ の提案

脱水確度と貫通孔の径及び表面張力の影響を調べるために、以下のようなモデルに基づき考察を行った。Fig. 4 に示すように、微小貫通孔には音響放射圧による力  $F_a$  が作用し孔内液滴を押し出そうとする力として作用する。 $F_a$  は以下のように表すことができる。

$$F_a = A\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (1)$$

ここで、 $A$  は照射された超音波による音響放射圧 [ $\text{N/m}^2$ ] を、 $D$  は貫通孔の直径 [ $\text{m}$ ] をそれぞれ表す。一方、孔内部の液体境界では表面張力によって液滴を孔内にとどめさせようとする力  $F_s$  が作用する。 $F_s$  は以下のように表すことができる。

$$F_s = 2\pi D\gamma \quad (2)$$

ここで、 $\gamma$ は表面張力[N/m]である。押し出そうとする力ととどめさせようとする力の比を無次元数  $W$  として以下のように定義する。

$$W = \frac{F_a}{F_s} \quad (3)$$

### 3・3 無次元数 $W$ と脱水確度計測結果の関係

上記  $W$  を用いて、上記2種類の力の比と脱水角度の関係を検討した。音響放射圧  $A$  は音圧計測結果 3000 Pa を計算に用い、孔の径  $D$  は実験で用いたものの直径を用いた。また、水、10 wt%エタノール水溶液、20 wt%エタノール水溶液の表面張力  $\gamma$  にはそれぞれ、71.2 [mN/m / 30°C]、47.9 [mN/m / 20°C]、37 [mN/m / 30°C]をそれぞれ用いた<sup>(4)</sup>。Table 1 の結果に加え 10wt%エタノール水溶液による計測結果より、 $W$  を算出して脱水確度のグラフをプロットした。その結果を Fig. 5 に示す。同図より、無次元数  $W$  と貫通孔の脱水確度の間には相関があることが分かった。一方、 $W$  が1よりも小さい条件で脱水ができていることから、算出された音響放射圧による力よりも大きな力が作用していることや、作用している表面張力が想定よりも小さいこと等が考えられる。

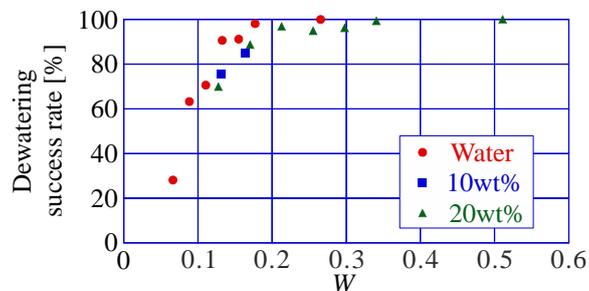


Fig. 5 Dimensionless number  $W$  versus dewatering success rate with change of working liquid

## 4. 結 語

本研究では、微小径貫通孔を対象とした超音波脱水における脱水確度の改善を目的として、水滴を押し出そうとする力ととどめさせようとする力のモデルに着目し、無次元数  $W$  を提案した。貫通孔径や作動流体を変えて表面張力を変化させながら確度の測定を行い、 $W$  と脱水確度のグラフとした。その結果、 $W$  と脱水確度の間には相関関係があることが分かった。今後は、 $W$  を指標の一つとして確度向上の検討を行っていく。

## 文 献

- (1) 高崎正也, 遠藤崇訓, 水野毅, “超音波を利用した微小径孔の脱水に関する研究 (第1報)”, 精密工学会誌, Vol. 78, No. 4 (2012), pp. 338-342
- (2) ゲン フ ダン, 高崎正也, 水野毅, 星貴之, プリント基板における超音波を利用した脱水システムに関する研究 - 第3報: 収束超音波における脱水 -, 2013 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, L18 (2013) pp.767-768
- (3) 星貴之, “非接触作用力を発生する小型超音波集束装置の開発”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 50, No. 7 (2014), pp. 543-552
- (4) 一般社団法人アルコール協会, 「エタノール水溶液の表面張力」[http://www.alcohol.jp/expert/list/03chouryoku0\\_50.html](http://www.alcohol.jp/expert/list/03chouryoku0_50.html), 2016年7月21日