

プリント基板における超音波を利用した脱水に関する研究 第4報：収束超音波による脱水の高効率化の検討

松沢勇作（埼玉大），○高崎正也（埼玉大），星貴之（名工大），水野毅（埼玉大）

Dewatering Using Ultrasonic Wave for Printed Circuit Board
4th report: Efficiency of Dewatering by Using Focused Ultrasound
Yusaku Matsuzawa (Saitama Univ.), Masaya Takasaki(Saitama Univ.),
Takayuki Hoshi (Nagoya Institute of Technology) and Takeshi Mizuno(Saitama Univ.)

Abstract: Previously, successful dewatering of holes in printed circuit boards using focused ultrasound has been reported. The focused ultrasound was provided by a device with 285 ultrasound speakers. During trial of continuous dewatering by the device, failures in dewatering were observed and dewatering efficiency was decreased. It seems that characteristic variation of the speakers resulted in misalignment of the focal point of the ultrasound. In this report, compensation of the misalignment is introduced. Database of the misalignment estimated in advance can help the compensation. Dewatering with the compensation was carried out. Improvement of efficiency is reported.

1. 緒言

近年，携帯電話やパソコンをはじめ，電子機器は小型化かつ多機能化に向かって著しく発展している。それに伴い，高密度配線が可能なプリント基板の需要が急増している。プリント基板は多層基板であり，ビア(via)と呼ばれる孔によって層間接続されている。ビアには全層を貫通する貫通孔と特定の層だけを接続する有底孔の2種類がある。基板の製造工程において，基板の洗浄は必要不可欠である。しかし，基板の洗浄過程では孔に水が溜まり故障の原因となりうる。孔の径が微小，有底孔である場合は溜まった水を除去することは難しい。

超音波の照射によって細孔の脱水ができることが知られている⁽¹⁾。また，ランジュバン型振動子から放射された超音波を利用したプリント基板の脱水が提案されている⁽²⁾。さらに，照射される音圧を高くし脱水効率を向上させるために，集束超音波を利用する方法が提案されている⁽³⁾。集束超音波の場合，焦点をスキャンすることで連続的な脱水を可能とし，かつ消費エネルギーを抑えることも可能である。

超音波集束装置の使用環境や振動子の取り付け精度などの原因により，理論的に計算された超音波焦点位置と実際の焦点位置が異なる。したがって，効率的に孔の脱水を行うには孔に超音波焦点を正確に合わせる必要がある。本研究では超音波焦点の設定値の補正を行い，効率良く孔の脱水を行うことを目的とする。

2. 脱水原理⁽²⁾

有底孔においては，照射された超音波により液表面にはキャピラリー波が発生し，液柱の周辺を反射の境界として表面に干渉波が起こる。これにより，液表面での液体が衝突し引きちぎり合う力が表面張力に勝り，液体を微粒子化して空中に飛散させることで脱水を行う。また，貫通孔においては，孔背面から照射された超音波の音響放射圧による力が液体の表面張力に勝り，液体を孔から空中に押し出し，飛散させる。

3. 実験装置

本研究では Fig. 1 (a)に示す超音波集束装置⁽⁴⁾を用いた。285個の超音波振動子より構成され，装置サイズは 190×190×50 [mm]である。多数の小型超音波振動子を配列させ，各振動子の位相差を独立に制御して空中の任意の位置に高音圧で単一の超音波焦点を結ぶことができる。同図(a)に示すように，超音波集束装置の中心を幾何原点とする。計測実験の概略を同図(b)に示す。音圧を測定するために，図のように超音波集束装置の真下にコンデンサマイクを設置し，3軸移動可能な自動ステージで案内した。

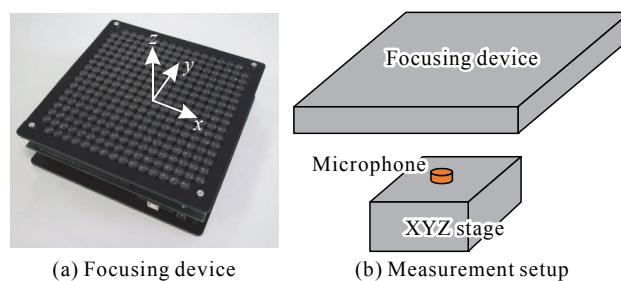


Fig. 1 Experimental apparatus

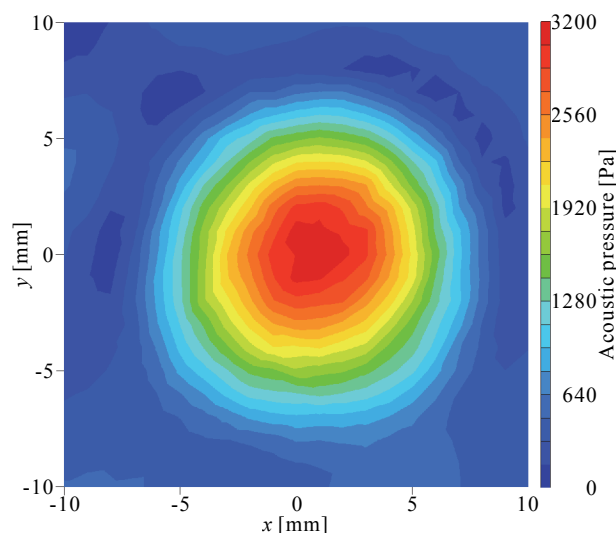


Fig. 2 Acoustic pressure distribution around focal point

4. 音圧分布・焦点誤差の測定

超音波集束装置の焦点位置を(0, 0, 115)に設定し，焦点近傍の圧力分布を測定した。xy平面内1 [mm]間隔の格子点での測定結果例を Fig. 2に示す。中心に近づくほど圧力が高くなっている。この結果より測定点の分解能よりも高い分解能で音圧極大点を推定することができる。この例では，推定圧力極大点，つまり焦点がxy平面の(0, 0)に一致してないことがわかった。

超音波収束装置の設定焦点位置と，実際に圧力が極大となる点とのずれを設定焦点位置を変えながら計測した。設定焦点位置を

2 [mm]間隔の格子点とし、各点において Fig. 2 と同様の計測を行って音圧極大点を求めた。測定結果例を Fig. 3 に示す。設定焦点位置からのずれをベクトルで表現し、ベクトルの長さを 5 倍にして示してある。ずれは最大で 1.2 [mm]であった。

このずれは、超音波収束装置に搭載されている超音波スピーカの特性のばらつきに起因していると推察される。脱水を効率良く行うためには、音圧の極大点を孔に一致させることが重要である。本研究では、このずれを実測にもとづき補正し、プリント基板上の任意の位置の孔の脱水効率を向上させることを提案する。

5. 焦点誤差補正

実測に基づきずれを補正するために、設定焦点位置の補正值をデータベース化した。補正值の取得を自動化し、以下の手続きを繰り返し行った。①目標焦点位置を (X, Y) とし、補正值 $(C_{Xys}, C_{Yys}) = (0, 0)$ とする②超音波収束装置へ送信する焦点位置を $(X + C_{Xys}, Y + C_{Yys})$ とする③目標焦点位置と音圧の極大値のずれ $\mathbf{B} = (b_x, b_y)$ を測定する④ $|\mathbf{B}|$ が 0.5 [mm]以内なら終了⑤ (C_{Xys}, C_{Yys}) に $-\mathbf{B}/2$ を加え②へ戻る。得られた補正值による焦点のずれの計測結果を Fig. 4 に示す。補正值の取得からこの計測までに時間が経過しているため、一部で誤差が大きくなっているが、ずれを小さくできている点が多く見られた。このような手続きで、超音波収束装置の音圧極大点を意図した通りの点へ近づけることが可能となる。

6. 自動脱水

提案した補正方法を評価するために、Fig. 5 に示す基板を用いて脱水実験を行った。左側が貫通孔、右側が有底孔であり、孔の位置は同一で直径は 1.2 [mm]である。この基板の孔の位置にあわせて上記の焦点補正を実行した。

孔の脱水を行うために得られた補正值データベースを用いて、孔の位置に 1 秒間超音波を照射し、それを繰り返すことで、自動的に基板の全孔の脱水を行った。試行ごとに脱水できた孔の数を数え、それぞれの基板で 15 回試行し、補正の有無で比較した。対象とした孔は外周を除いた 16 個とした。それぞれの試行の結果と平均値を Table 1 に示す。提案した補正を用いることで、脱水できた孔の数が約 2 倍になった。

7. 結 言

集束超音波を利用してプリント基板の孔内に溜まった水を効率良く除去するために超音波集束装置の焦点位置を補正する方法を提案した。実測に基づき補正值のデータベースを作成した。集束超音波を用いてプリント基板の自動脱水実験を行い、提案した補正を用いることで脱水できた孔の数が約 2 倍になり、本研究における焦点位置補正方法の有効性を示した。

参考文献

- (1) Y. Ito et. al.: Removal of Liquid in a Long Pore Opened at Both Ends Using High-Intensity Aerial Ultrasonic Waves, JJAP, Vol. 49, No. 7, 07HE22 (2010)
- (2) 高崎他: 超音波を利用した微小径孔の脱水に関する研究 第 1 報—脱水の観測—, 精密工学会誌 Vol. 78 No.4, pp. 338-342 (2012)
- (3) グェン他: プリント基板における超音波を利用した脱水に関する研究, 精密工学会 2013 年度春季大会学術講演会講演論文集, pp. 767-768 (2013)
- (4) 星: 空中超音波触覚ディスプレイの可搬性の向上, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 1A1-B03 (2012)

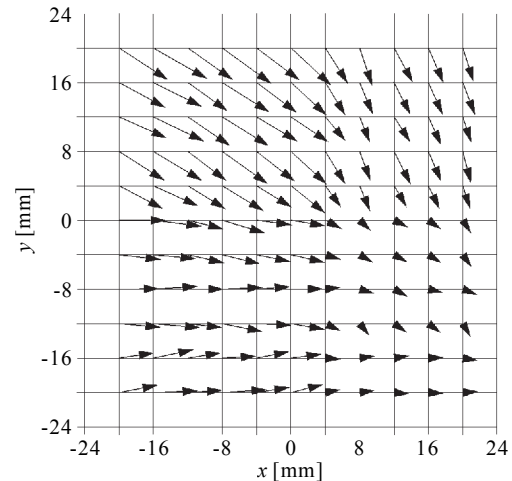


Fig. 3 Example of focal point error before compensation

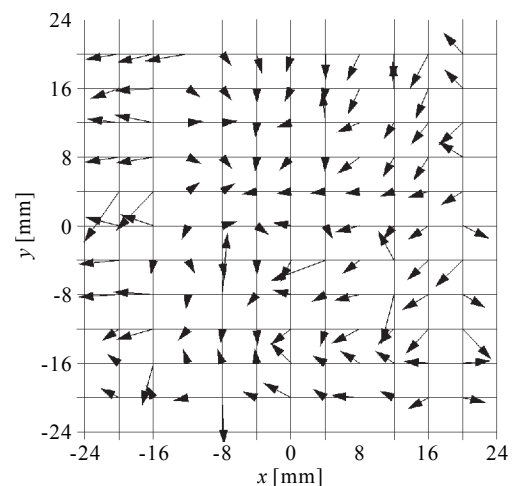


Fig. 4 Example of focal point error after compensation

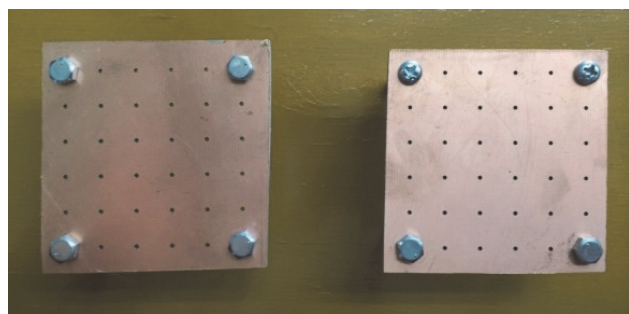


Fig. 5 Sample boards (Left: Through hole via, Right: Blind via)

Table 1 Number of successful dewatering

Trial	With	W/O	Trial	With	W/O
1	12	9	9	12	7
2	11	9	10	12	5
3	12	5	11	8	4
4	12	7	12	10	3
5	9	4	13	9	5
6	7	5	14	8	4
7	8	5	15	12	4
8	14	5	Ave.	10.4	5.4