

## 微粒子ジェット流の基板への衝突の力積計測技術の開発

鈴木 勝彦<sup>\*1</sup>, 佐藤 亮吾<sup>\*2</sup>

### Development of Measuring Technology by Impulse of Collision to Substrate of Powder Jetting

Katsuhiko SUZUKI and Ryogo Satoh

A measuring system of impulses to a substrate by particle group has been developed by using a piezo element and an integration circuit. The intermittent jetting of carbon of the average particle size of 5  $\mu\text{m}$  has measured by using the present measuring system. The carbon particles were jetted using the carrier gas of Ar of 0.8 MPa. The measured results by the system showed that the stable jetting was performed by the particle jet from the lower injection port of the powder server.

KEYWORDS : Powder jetting, Carbon, Measuring of mpulse, Collision

#### 1. まえがき

近年のプリント配線基板には電子機器の小型化や高性能化に伴い、基板自体の小型化が求められている。従来からのプリント基板の材料は熱硬化性樹脂が使用され、その基板の上に抵抗体やコンデンサーを実装する。そのため基板の厚みが増えてしまう難点がある。この熱硬化性樹脂は耐熱性が高い、表面の強度が高いなどの特長がある。しかしその反面、加熱したときに硬化するためリサイクルは困難で廃棄には多くのエネルギーが消費される。また基板製作時に大規模な装置が必要な場合もあり、コストが上がるなどの短所がある。そのため、最近では融点の高い熱可塑性樹脂が注目されている。熱可塑性樹脂は加熱することにより軟化するためリサイクルしやすく、扱いやすい材料であるため、この材料を基板として用いる例が最近増えてきている。この熱可塑性樹脂の特性を利用した応用例として、多層のプリント基板を構築できる (PALAP) 技術<sup>1)</sup>がある。この技術は(株)デンソーが開発した技術で、熱可

塑性樹脂の基板材料に配線はメッキするか、金属ペーストを用いる。また、素子は既製品の抵抗、コンデンサー、コイル、能動素子を用いて、素子同士を配線し複数の基板を一括熱プレス成形し多層化するものである。この PALAP 技術を用いることで、電子部品を基板内部に3次元的に埋め込むことが出来るため基板の多層化が実現される。しかし、PALAP 技術はエッチングと呼ばれる、材料の必要な部分以外を溶解侵食によって排除する表面加工を利用して回路も製作するため、廃棄する材料が増えてしまう。また、既存の素子を用いて製作するため、製作時の自由度が低く、必要な要求を満たすため、複数素子を使用せざるを得ない事態も生じる。

そのため、リサイクル性を有する熱可塑性樹脂基板を効果的に使用し、微粒子のジェット噴射を利用することで基板内に電子部品を埋め込み形成できる、レーザー援用微粒子ジェット埋め込み形成法(以下 LAPJI 法<sup>2)</sup>)の開発を現在行っている。この LAPJI 法は、熱可塑性樹脂基板をレーザーによって局所的に軟化、熔融しながら、電子回路素子の配線の原料と

\*1 総合工学科 N3 ユニット (Dept. of General Engineering, N3 Unit)

\*2 機械システム工学科 (Dept. of Mechanical Engineering)平成 28 年度卒業生

なる銅(Cu)やコンデンサーのための誘電体であるチタン酸バリウム(BaTiO<sup>3</sup>)などの微粒子をジェット噴射して、更にレーザーの熱によって微粒子を焼結させ、素子を埋め込み形成する技術である。この技術を用いれば、基板の厚みは基板自体の厚さだけで済み、熱可塑性樹脂を使用しているためリサイクルも行えるなどの利点がある。

このLAPJI法を用いて、これまで、Cu配線<sup>3,4)</sup>はもとより、抵抗<sup>5)</sup>、積層コンデンサー<sup>6)</sup>、コイル<sup>7)</sup>を基板に埋め込み形成が可能でローパスフィルター回路や増幅回路も形成可能<sup>8)</sup>なことが確かめられ、しかも、その特性も計算結果とよく一致することが確かめられている。この技術を実用化する上で、回路形成の精度を上げる必要がある。そのためには、少なくとも微粒子ジェットの噴射状態を調べる必要がある。形成された膜の状態からだけでは不十分なので、成膜時に基板に生じる衝突状態の情報が必要なため、今回、微粒子の基板に衝突時に生じる力積を調べる計測技術の開発を試みた。その開発とそれを用いた結果について報告する。

## 2. 力積計測システムの構築

### 2.1 微粒子ジェット

微粒子は平均粒径 5 μm で純度 99.7%のカーボンを使い、高圧の Ar ガスによりジェット噴射させた。最初、0.8 MPa の Ar ガスをガスサーバーに充填させて、その後、電磁弁の開閉により微粒子サーバーに導入した後、電磁弁を開けて Ar をキャリアガスとして微粒子を、ノズルを通して基板に相当する力積センサーにジェット噴射させた。

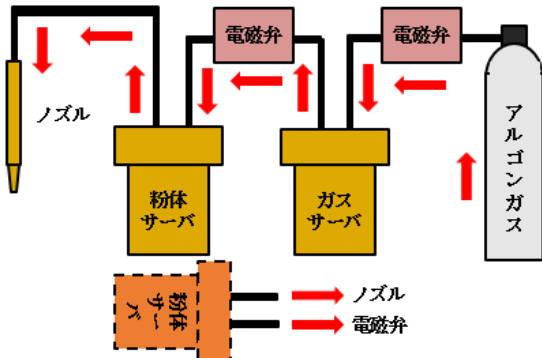


図1 微粒子ジェット噴射の構成。

図1に示すように、粉体サーバーの置き方を縦にしたり、横にしたり、横にしたときに、ノズルに導入する口を上にしたたり下にしたたり変化させた。特に、

横置きの場合、図2に示すように、粉体サーバーを、回転のトータル角度で 60°程度に数 Hz の周波数で転がらせて粉体サーバー内の微粒子の擾乱状態になるようにした。いずれの場合も、ノズルと力積センサーとの位置は、ノズル径 1 mm に対してポテンシヤルコア領域ギリギリの 4 mm に設置してセンサーの検証実験を実施した。

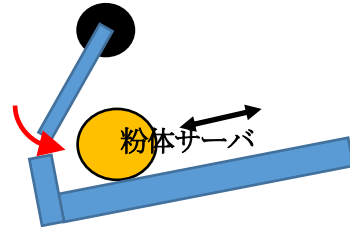


図2 粉体サーバー横置きの場合の転がり運動の様子。

### 2.2 力積計測システム

当初、ひずみゲージを用いて力積を計測すべく構築を試みたが、反応が非常に遅く全く計測が出来なかった。そこで、圧電素子(圧電スピーカー)を用いて、微粒子のスピーカー表面の中心部分に衝突したことによるセラミックスの変形に伴う電圧変化の時間変化総量が微粒子の衝突により力積に相当するように積分回路を作製した。図3に示すようにその信号を、アクエジション・ユニットを介して PC に取り込めるようにした。

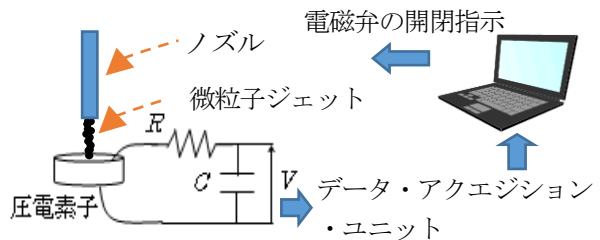


図3 力積測定システム。

### 3. 計測結果および考察

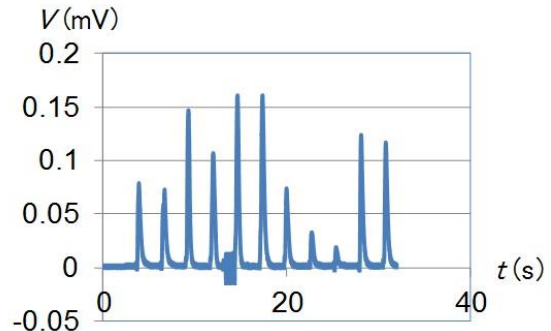


図4 転がり運動(噴射口上)の計測結果。

図4に粉体サーバーを転がり運動させながら、サーバーの上方から噴射させた時の力積の時間変化の初期のデータの拡大の図を示す。図から微粒子の衝突力の変化は初期が急激で最大に達した後は減少し、初期と比べてなだらかに減少する様子が分かる。この結果は、微粒子群がセンサー表面への衝突により、群状態が広げられたことを示していると考えられる。

### 3. 1 粉体サーバーを静止させた場合

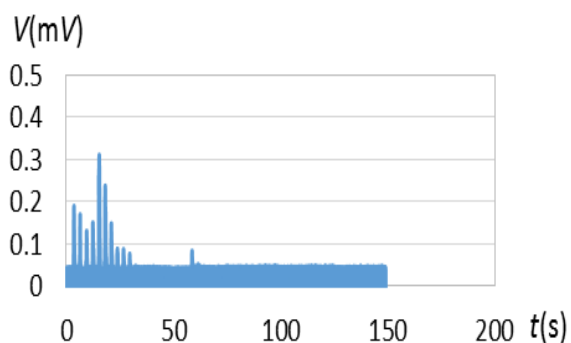


図5 粉体サーバー（縦置きの結果）。

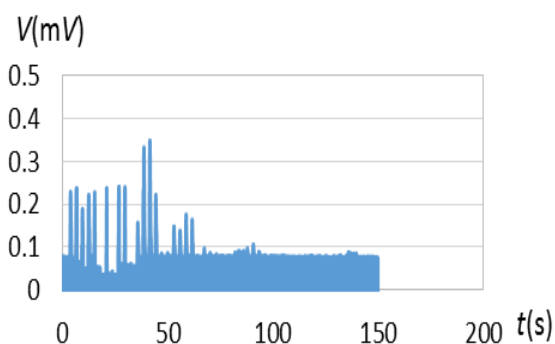


図6 粉体サーバー（横置き噴射口下の結果）。

粉体サーバーを縦置きに静止させて、Ar ガスをサーバーに導入して間欠的に微粒子ジェット噴射を連続的にさせたときの、その力積の時間変化の結果を図5に示す。縦軸の電圧は衝撃力に相当する。初期に大きな噴射の様子があるが、徐々に噴射されにくくなる様子が計測結果に表れている。

次に、粉体サーバーを横向きにして静止させて、縦置きの時と同じように、Ar ガスを間欠的に導入して間欠的に、それを連続的に微粒子ジェット噴射させたときの、その力積の時間変化の結果を図6に示す。図5と比較して、安定的に大きな噴射をしている時間が僅かに長くなる結果が得られた。

更に、粉体サーバーを横向きにしつつ噴射口を上にして噴射させたところ、図7に示すように、噴射

口を下にした時と比べて安定した噴射が得られなかった。このように、粉体サーバーを横にして更に、噴射口は下にして噴射させた方が、より安定した噴射になることが分かった。粉体サーバーの上の入り口から Ar ガスと共に微粒子が供給されて、下の口から噴射された方が、位置エネルギーが運動エネルギーに変化されるため、比較的安定噴射されたと考えられる。それに対して、下の口から Ar ガスと共に微粒子が供給されて、上の口から噴射される場合、噴射口まで運動エネルギーが位置エネルギーになり減少されるため運動エネルギーが少なくなり噴射の威力が減少したため、大きな噴射が安定してされなかったと考えられる。

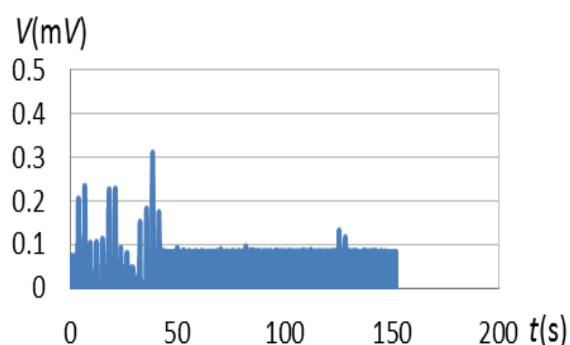


図7 粉体サーバー（横置き噴射口上の結果）。

このように、横向きにして、上の口から Ar ガスと共に微粒子を供給して、下の口から噴射させた方が、まだ不十分ではあるが、比較的安定し、ジェット噴射できることが分かった。

### 3. 2 粉体サーバーを転がり運動をさせて噴射させた場合

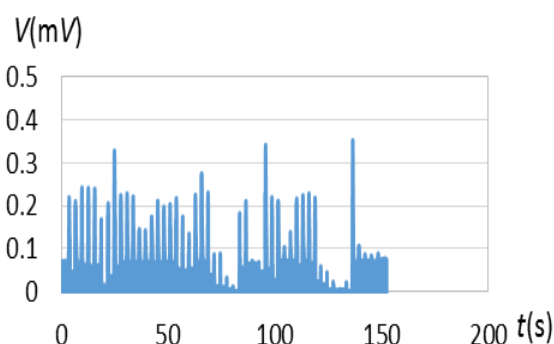


図8 粉体サーバー（横置き噴射口下の結果）。

次に、図2に示すように、粉体サーバーを横向きにして、そのサーバーを転がり運動させながら微粒

子をジェット噴射させた場合の結果を図8と図9に示す。どちらの結果も横向きに静止させてジェット噴射させた時と比べて、非常に安定して噴射されていることが分かる。しかし、詳細に比べると噴射口を上にした場合、力積に相当する電圧が0.2 mV以上の時間がほとんど見られなかったのに比べて、噴射口を下にした方が、0.2 mV以上の時間が6割から7割になっていて、大きな力積の値で噴射された時間帯が長い結果が得られている。

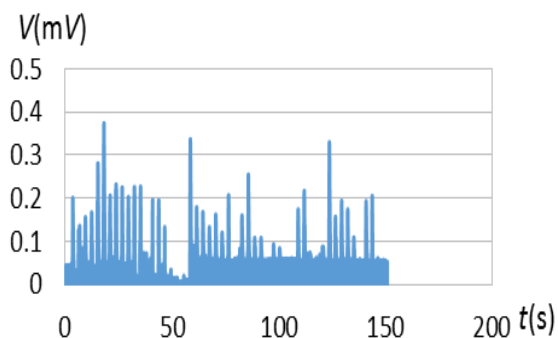


図9 粉体サーバー（横置き噴射口上の結果）。

また、両図にもみられる傾向であるが、50秒過ぎたところに噴射の途切れ状態が数秒続き、後半は力積の値が減少傾向になる結果が得られている。50秒付近の途切れは噴射口付近まで微粒子の充填状態の位置になった時に出にくくなるためと考えられる。それが過ぎると微粒子を噴射口まで押し上げるための位置エネルギーが余計に必要になり噴射の速度が減少し、その傾向が徐々に増していったものと考えられる。その証拠に噴射口が上になる図9の方が早く途切れがちな傾向が訪れ、一方で、噴射口を下にした図8の結果の方が遅く訪れている。

#### 4. まとめ

圧電スピーカーを圧電素子として活用し、それに微粒子ジェット噴射された時の電圧変化の時間変化を力積の時間変化を積分するシステムを開発した。そのシステムを用いて、レーザー援用微粒子ジェット法における微粒子ジェットのジェット噴射の安定性を調べた。その結果、粉体サーバーを縦置きではなく横向きにして、しかも、高圧の Ar ガスと共に微粒子を横置き粉体サーバーの上の口へ供給して、噴射を下の口からジェット噴射させながら、数 Hz の周波数で、しかも 60° 程度の角度で粉体サーバーを転がり運動させジェット噴射させると、かなり安

定的にジェット噴射されることが明らかにされた。しかし、噴射口のレベル付近で急激な噴射の力の減少が見られ、それを過ぎると徐々に減少していくため、今後、安定噴射のため、これらの対策が必要である。

#### 参考文献

- 1) 清水元規：第 26 回エレクトロ実装学会春季講演大会 (8C08 依頼講演)。
- 2) 鈴木勝彦：プラスチック 4 月号 (解説記事) 2013 年, p57~p61.
- 3) K. Suzuki, M. Miura, A. Konno, K. Miura, T. Yuzawa, M. Watanabe and T. Kuriyagawa : Jpn. J. Appl. Phys. 49, pp. 06GN09-1~06GN09-4.
- 4) K. Suzuki, K. Sato, Y. Kamei, M. Takeda, K. Sato, K. Miura, T. Kuriyagawa : Advances in Functional Materials 2016, 32(S1:WSTY).
- 5) K. Suzuki, T. Saito, T. Sugai, S. Watanabe, S. Kameya, K. Miura and T. Kuriyagawa : Jpn. J. Appl. Phys. 50, pp. 06GM12-1~06GM12-4.
- 6) K. Suzuki, S. Kameya, T. Sugai, T. Ohuchi, K. Miura and T. Kuriyagawa : Jpn. J. Appl. Phys. 52, pp. 06GL02-1~06GL02-4.
- 7) 鈴木勝彦：平成 26 年度 KC みやぎ産学共同研究会助成報告。
- 8) K. Suzuki, T. Takahashi, D. Katoh, R. Watanabe, K. Miura, T. Yuzawa, and T. Kuriyagawa: 27<sup>th</sup> International Microprocesses and Nanotechnology Conference (2014) 6P-7-97.