

## 1. 諸言

圧電材料を用いたバイモルフ型アクチュエータは圧電セラミックスと金属シム板を接着した構造となっているため、その接合部が応力集中などの原因で、長期使用中に損傷することもある。これに対し、圧電特性を傾斜機能化させたモノモルフ型アクチュエータとすると、このような異種材料接合に起因する問題に対して信頼性を向上させることが予想されるため、これに関する研究もいくつか行われている。

一般的にセラミックスの作製は固相法が使用されるが、この成形工程において、電気泳動法 (EPD) を用いることができる。EPD とは粉末を液体中に分散させ、基板と対極間に電圧をかけることで、帯電した粒子を基板上に堆積させる方法である。この EPD を用いることにより、傾斜機能をもつセラミックスの作製が可能となる。

本研究ではこの EPD を用いて PZT 圧電セラミックスを基板上に堆積させるプロセスの条件について検討を行った。

## 2. 実験方法

成膜に使用した材料は市販の PZT 仮焼粉 (林化学工業製) を乳鉢で粉砕したものを用いた。懸濁液として材料粉 2.5g とエタノール 50ml あるいは精製水 50ml を混合したものを使用した。基板は市販の板厚 0.1mm の純ニッケル板で 5×15 (mm) に切り出したものを用いた。成膜前に超音波洗浄器で懸濁液を攪拌し、堆積させる基板を陰極に接続し電圧を印加した。電圧を印可後、基板を取り出し乾燥させた後に堆積量を計測した。

## 3. 実験結果

## 3.1 pH の影響

電気泳動の原理は固体と液体の界面に形成される電気二重層に対し、外部電場を印加することで溶液中に層流を生じさせ、粒子を移動させるものである。このとき液体の pH 値が電気泳動移動に大きく影響する。そこで濃度 0.1% の硝酸を用いて懸濁液の pH を調整し電気泳動させ、堆積量に及ぼす pH の影響を調査した。後に述べる矩形パルス電圧を用いて電位 100V で 5 分間における堆積量と精製水 pH の値の関係を図 1 に示す。この図より pH が 4.8 付近において堆積量が最大となることがわかった。エタノールを用いた場合もほぼ同じ pH の値で最大の堆積量が得られることがわかった。

## 3.2 懸濁液

堆積量が最大となる pH=4.8 において、電位などの堆積条件を同一にして電気泳動させると、エタノールを溶液とする方が精製水に比べて堆積量が多くなった。しかし、基板を懸濁液より引き上げ、乾燥させる工程で、エタノールの乾燥速度が速いため、堆積した PZT にひび割れが生じた。一方、精製水はひび割れが生じにくい、十分な堆積量を得るには、電圧を大きくする必要があり、電圧を増加させると水の電気分解により堆積層に気泡が生じ、均一な膜として PZT を堆積させることが困難であった。

## 3.3 矩形印加電圧

前節で述べた電気分解の問題を解決するため、精製水を用いた電気泳動堆積において矩形パルス電圧負荷について検討した。矩形パルスを用いることで気泡の発生を防ぎつつ、セラミックス粒子を堆積させることができる。本実験では 40V の矩形パルスの周波数とデューティ比を種々変化させて、それらの堆積量に及ぼす影響を調査した。図 2 に 2 分の電圧負荷における堆積量と周波数の関係を示す。周波数が 0.3Hz 付近までは 40 mg 程度の堆積量であるが、それ以上の周波数では堆積量は減少することがわかる。

次に、パルス電圧 (100V) のデューティ比を変えた時の 5 分間の堆積量を図 3 に示す。デューティ比が大きいかほど ON 時間が増加するため堆積量は増加するが、デューティ比が 40% を超えると基板表面での気泡発生も著しくなり、表面は性状が劣化した。以上の検討により、周波数 0.3Hz、デューティ比が 30% の矩形波電圧を用いるのが電気泳動堆積条件として最適であることが分かった。

## 3.4 焼結

前節までに検討した電気泳動堆積条件に基づき、5×15 (mm) のニッケル基板に PZT を堆積させたサンプルを高温電気炉を用いて 1130°C、2 時間で焼結した。セラミックスは焼結時に十数% の収縮が生じるため、今回の条件では PZT にクラックが生じることが多かった。そこで基板を 400°C 程度で燃焼する炭素板に変更し、同条件で PZT を堆積させ、焼結したところ、厚さ 0.1mm 程度の均一な PZT 膜を作成することができた。

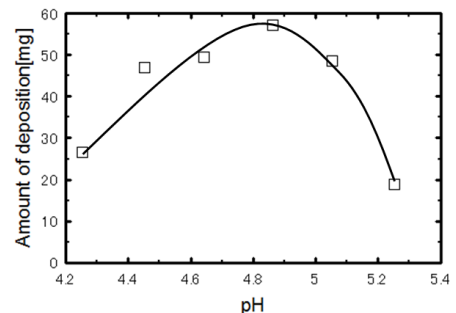


Fig.1 堆積量に及ぼす pH の関係

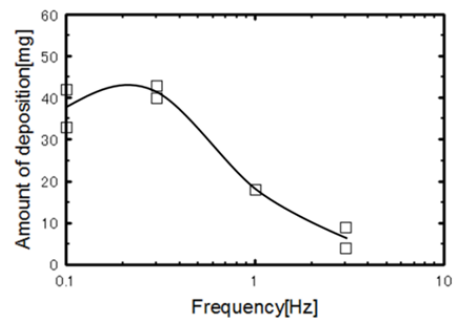


Fig.2 堆積量に及ぼす周波数の関係

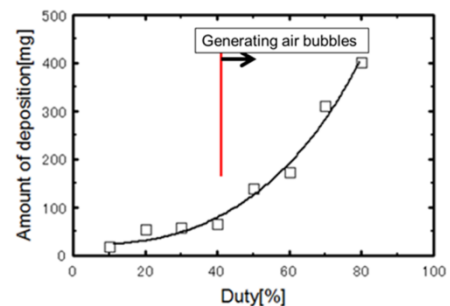


Fig.3 堆積量に及ぼす Duty 比の関係

## 4. 結言

- (1) EPD 堆積量は懸濁液の pH 値に依存し、本材料では 4.8 付近で堆積量が最大となった。
- (2) EPD 堆積量は印加電圧の周波数に依存し、本材料では 0.3Hz 付近で堆積量が最大となった。
- (3) 電気分解による気泡発生を防止するため、デューティ比は 30% が適当であった。