

国際資源循環に関する包括的研究	
題目	静電場解析および絶縁破壊モデル(DBM)による電気パルス粉碎選択破壊挙動の解明
著者	大和田秀二, 吉原彩華, 千賀太喜, 丸山修平

1. はじめに

電気パルス粉碎 (Electric Disintegration, 以下 ED) は、多成分系試料の境界面における選択的な破壊を起こし、省エネルギーで効率的な構成成分の単体分離を促進することで注目されている粉碎方法である。ED においては、破壊前駆現象として生じるストリーマと呼ばれるプラズマ柱が、電気力線に沿って陽極先端から陰極に向かって進展することで電流経路が生成されることが知られており¹⁾、試料内電場最大箇所が主たる電流経路となると考えられている。

そこで本研究においては、過去に当研究室の ED 試験において扱った^{2,3)}電子基板上の Ta コンデンサを対象試料とし、①電場解析ソフトを用いた試料内電場最大箇所の特定および②従来気相プラズマの進展予測に使用されてきた絶縁破壊モデル (Dielectric Breakdown Model, 以下 DBM) を用いた電流経路の推測を行い、上記 2 種類の解析結果間における整合性の確認および解析結果—実試験結果間の比較による解析結果の妥当性の確認を行った。

2. 解析・実験方法

有限要素法静電場解析ソフトとしてムラタソフトウェア社製の Femtet 2016.1 を使用して電場計算を行った。試料としては過去の実粉砕試験に使用した Ta コンデンサ試料を模擬した。

本試料に対しては東北大学設置の Selflag 社の装置を借用し、高電圧 (170 kV) における試験を行った。装置電極と試料の位置関係および試料の詳細な構造を図 2 に示す。

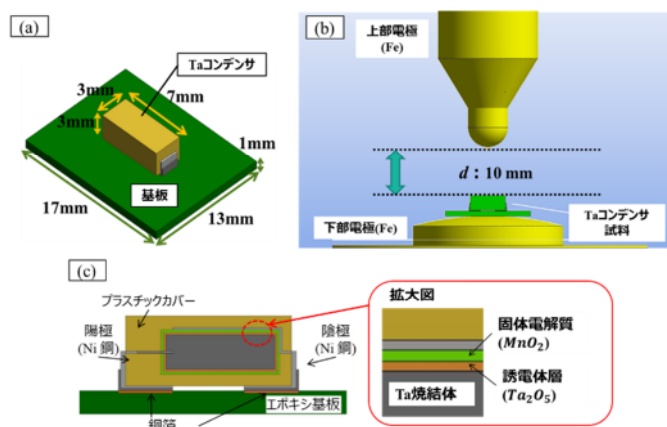


図 2 (a)Ta コンデンサ付き基板試料, (b)装置電極と試料の位置関係, (c)Ta コンデンサ付き基板の断面図

3. 解析・実験結果

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費事業の一環として行われました。

静電場解析により特定した試料内電場最大箇所と DBM により導出した電流経路の比較および解析結果—実試験結果間の比較から、解析結果の整合性・妥当性の確認を行った。結果を図 2 に示す。各図中(a)の背景はストリーマ進展前の初期段階における等電位線を示している。

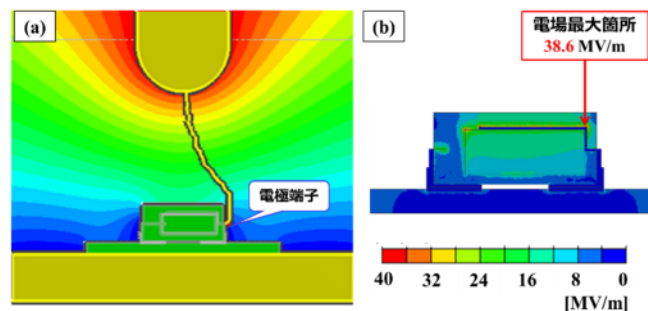


図 2 Ta コンデンサ試料の解析結果 ((a)DBM による電流経路予測結果, (b)試料内電場最大箇所)

電場最大箇所が部品内部の点となったことから、ストリーマは内部の点に向かう途中で外部導電性素材である電極端子へ到達する結果が得られた。図 3 に示す実粉砕試験の観察結果と DBM の結果は概ね一致することから、本試料のような複雑形状の試料に対しても解析の整合性および解析結果の妥当性が確認された。また、本試料に対する ED 試験では、ほぼ 100% の Ta コンデンサが基板から非破壊剥離されることが分かっている。その選択破壊機構として、電極端子へ到達したストリーマは電極端子およびそれに隣接する導電性素材である基板内の銅箔を経由した後、局所的な電場の増強が起こる箇所である基板—銅箔界面へ到達し、基板外面もしくは内部を通り短絡に至ることが上記解析結果より推測される。

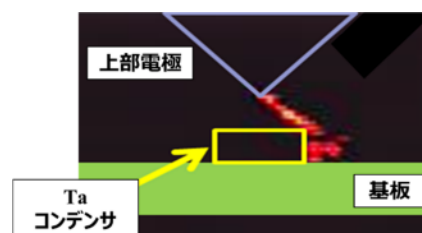


図 3 ED による Ta コンデンサ粉砕試験における電流経路観察結果

4. おわりに

本研究においては、廃電子基板上の Ta コンデンサを対象試

料とし、①電場解析ソフトを用いた試料内電場最大箇所の特
定および②DBMを用いた電流経路の推測、を行、これらの解析
間における整合性・解析結果－実試験結果間における妥当性を
確認した。具体的には、②に用いた DBM はストリーマの進展
に伴う系内電場分布の変化を考慮した動的な解析である一方、
①に用いた静電場解析は電圧印加直後の初期条件における系
内電場分布を示す静的な解析であったが、両解析間における結
果は概ね一致したことから、初期条件における電場最大箇所が
主たる電流経路として選択されることが確認された。このこと
から、静電場解析のみによってもある程度信頼性の高い電流経
路が推測できると考えられた。

引用文献

- 1) U. Andres, J. Jirestig, I. Timonshkin: Liberation of minerals
by high-voltage electrical pulses, Powder Technology Vol.
104, pp. 37-49, (1999)
- 2) 鎌田悠暉, 大和田秀二, 中村崇: 二成分系人工試料を用い
た電気パルス粉砕による異相境界面選択破壊機構の解明,
資源・素材講演集 Vol.3, No.1, (2016)
- 3) 寺田翔, 千賀太喜, 大和田秀二, 浪平隆男: 電気パルス粉
砕における異相境界面優先破壊の駆動エネルギーに関する
研究, 資源・素材講演集 Vol.4, No.1, (2017)