

電気パルスを用いた廃小型家電の高効率破碎技術

High-Efficiency Crushing Technology for Used Small Home Appliances Using High-Voltage Electrical Pulse

内海省吾*
Syougo Utsumi

電気パルス破碎とは、水中で高電圧放電を発生させ、放電経路周辺の液体を急速に気化膨張させて衝撃波を発生させるとともに、放電経路にプラズマを発生させることで、対象物を破壊する破碎方法である。本方式の有効性を確認するために、原理検証機の製作と回路基板からの電子部品の剝離検証を行ったので、本稿で報告する。

A high-voltage electrical pulse is applied in a method to destroy used home appliances. It works in water by using a shock wave caused by rapid expansion of water and plasma around the discharge path.

1. まえがき

廃小型家電製品には、鉄・銅・アルミなどのベースメタルや樹脂に加えて、金、銀、レアメタルなどの希少元素が、回路基板、特に電子部品に多く含まれている。

廃小型家電は今後、排出量の増大が予想されており効率的なリサイクル工法の開発が急務である。

本稿では、電気パルス破碎方式を用いて回路基板から電子部品の剝離について検証した結果を報告する。

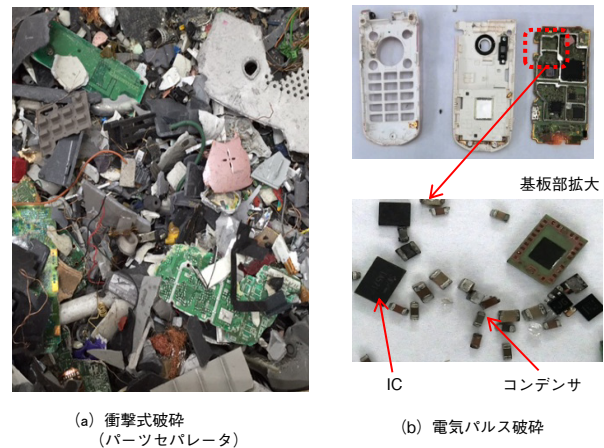
2. 電気パルスを用いた破碎について

2.1 従来破碎方式との比較

電子基板や電子部品を効率的に回収するためには、家電の筐体（きょうたい）部分と回路基板を過破碎することなくかつ作業者が容易に回収できるよう、それぞれが単品に分離している状態に破碎することが重要である。

第1図は、小型家電の代表サンプルとして携帯電話を衝撃破碎機（パーツセパレータ）と電気パルス破碎にて破碎した結果を示す。衝撃破碎機で小型家電を筐体と回路基板が単品分離するまで破碎した場合、破碎時の衝撃により回路基板自体が回収困難なサイズまで過破碎されるため、回収率の低下や回収時間が掛かるなど課題が発生する。衝撃破碎方式は、大量処理が必要で破碎物の選別が自動機（比重選別、磁力選別など）で処理可能な洗濯機や冷蔵庫などの大型家電に適している。

電気パルス破碎方式は、異種材料の界面を選択的に破碎できる特長をもつため、小型家電の筐体と回路基板の分離や回路基板からの電子部品の剝離に適した破碎方法である。



第1図 従来破碎と電気パルス破碎の比較

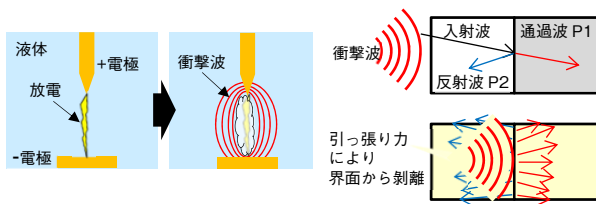
Fig. 1 Comparison of conventional fragmentation and pulse fragmentation system

2.2 電気パルス破碎のメカニズム

電気パルス破碎は、水中で放電を起こし、放電部の液体を急速に気化膨張させ衝撃波を発生させるとともに放電経路にプラズマを発生させることで、対象物を破壊する破碎方法である。本技術は20世紀中頃に開発された破碎技術で、主な工業利用用途として、鉱石を破碎して金属類を生産する工法として用いられている。ここでは、小型家電のリサイクル用途として、量産設備化を目指して開発を進めている。

第2図に電気パルス破碎のメカニズムを示す。電極と破碎対象物間に発生した放電周囲の液体の急激な気化膨張により、衝撃波が発生する。衝撃波が破碎対象物に入ると、通過波と反射波の作用により密度の異なる材料界面に引っ張り力が発生する。この作用を利用して、電子部品と基板の接合界面であるはんだ付け部を選択的に破壊することを検討することとした。

* 生産技術本部 環境生産革新センター
Green Manufacturing Innovation Center,
Manufacturing Technology and Engineering Div.

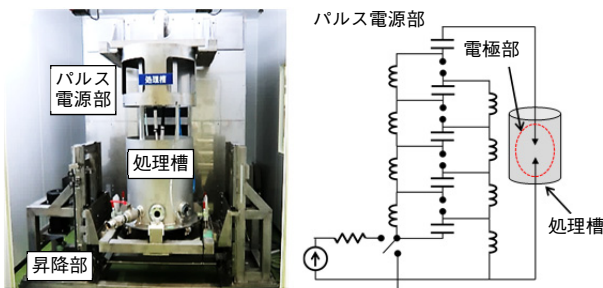


第2図 電気パルス破碎のメカニズム
Fig. 2 Principle of pulse fragmentation process

2.3 パルス破碎原理検証機

第3図はパルス破碎原理検証機（内部製作）である。

装置は円筒形の処理槽（容積150 L）と処理槽の昇降部、電気パルスを発生させるパルス電源部で構成され、防音ブースの中に設置されている。パルス電源部は、複数のコンデンサを直列に放電することで、印加電圧150 kV、1パルスあたりのエネルギーは1.8 kJを得ることができる。また、処理物に流れる電流は20 kA～25 kAと非常に大きな電流ではあるが、エネルギー発生時間が2 μs～3 μsと瞬間的であり、消費電力が衝撃式破碎機に比べて少ないことが特徴である。



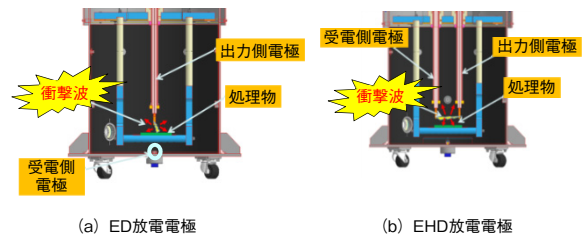
第3図 原理検証機の外観
Fig. 3 In-house-developed pulse fragmentation system

3. 回路基板からの電子部品剥離検証

3.1 電極構成

本取り組みにて製作した原理検証機は、破碎対象物に合わせて電極構成を組み替えることが可能である。

電極構成には、破碎対象物へ直接放電を印加するために正極を破碎対象物に接触させるElectrical Disintegration (ED放電電極)と液体の絶縁破壊により発生する衝撃波により破碎を行うElectro-Hydraulic Disintegration (EHD放電電極)の2種類がある。第4図にED放電とEHD放電の電極構成を示す。回路基板からの電子部品剥離の場合、放電による電子部品の破壊を避けること、少ない回数で広範囲の電子部品を剥離するためにEHD放電電極を採用した。



(a) ED放電電極 (b) EHD放電電極

第4図 電極構成
Fig 4 Construction of electrode

3.2 放電電流と破碎状態

回路基板からの電子部品剥離検証に際して、剥離に必要な破碎エネルギーを求めるための検証を行った。電子部品を効率的に剥離させるためには、放電により、回路基板のベース基板自体は破碎することなく部品だけが剥離されることが重要である。つまり、電子部品のはんだ付け接合部を選択的に破碎するためのエネルギーを求める必要がある。

第5図は回路基板に流れた放電電流と破碎後の基板の状態を示したものである（基板サイズ 50 mm × 120 mm）。

印加電圧150 kV、放電回数10回にて破碎実験の結果、電子基板の回路部品を剥離するのに必要な電流値は、約10 kAであることがわかった。また剥離した電子部品自体は破壊されず原形をとどめており、ベース基板とのはんだ付け接合部から剥離していることが観察された。電流値が15 kAになるような条件の場合でも、剥離した電子部品自体に差異は見あたらなかった。別の基板ではあるが、同じサイズ、同じ材質の回路基板にて、25 kA～30 kAの電流値が流れる放電を10回付加すると、電子部品・基板自体が破碎される結果となった。より大きな電流値を付加すればより少ない放電回数で剥離が可能と考えるが、電流値が大きくなるとベース基板や電子部品自体が破壊され、破碎後の有価物回収にて選別回収が困難になるため、破碎対象物に合った電流値の設定が重要であることが確認できた。同時に、電気パルス破碎の特長である界面剥離による単品分離についても確認できた。

第1表 電流値と破碎の状態

Table 1 Relationship between current value and state after crushing

放電電流最大値	5 kA	10 kA	15 kA	20 kA
破碎後の状態				
結果	剥離せず	部品剥離	部品剥離	基板自体が破碎

4. 動向と展望

電気パルス破碎により、電子部品の単品分離、樹脂筐体と回路基板結合部の破壊により電子部品、回路基板を効率的に回収することが可能である。今後、量産設備化検討を推進することで廃小型家電リサイクルの市場を切り開く可能性が大いに期待できる。

参考文献

- [1] 白鳥寿一 他, “人工鉱床構想(2) 廃電気・電子機器の金属含有ポテンシャルの推定と経済的意味,” *Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan*, vol.105, no.1, pp.171-178, 2007.