

高電圧パルス破砕を利用した アモルファスタイプの太陽光発電パネルの 効率的処理

課題番号【3-2002】/ 体系的番号【JPMEERF20203002】

研究実施期間：令和2年度～令和3年度（2年間）

重点課題

主：【重点課題⑫】社会構造の変化に対応した持続可能な廃棄物の適正処理の確保に関する研究・技術開発

副：【重点課題⑪】ライフサイクル全体での徹底的な資源循環に関する研究・技術開発

研究代表者：飯塚 淳（東北大学多元物質科学研究所）

研究分担者：柴田 悦郎（東北大学多元物質科学研究所）

● はじめに（研究の背景）

- 太陽光発電パネルによる発電は1990年代から導入が開始され、その発電量は増加傾向
- 初期に導入された太陽光パネルが更新時期を迎えており、今後廃棄される太陽光発電パネルの量は、大幅に増加



From Wikimedia commons

アモルファスタイプ（薄膜型）の太陽光発電パネル

- 多結晶・単結晶型の太陽光発電パネルには銅や銀を含有する電極が含まれることもあり、化学的・物理的分離技術が多数検討されている。
- 一方、アモルファスタイプの太陽光発電パネルは、重量のほとんどがガラス。微量のシリコン、透明電極由来のインジウム、錫等が含有される。
- このアモルファスタイプの太陽光発電パネルからの高効率での資源の分離回収は非常に困難である。

● 研究開発目的と研究目標

アモルファスタイプの太陽光発電パネルを対象とし、高電圧パルス破碎技術と物理選別技術の組み合わせによって、含有されるガラス、シリコン、インジウム、錫等の有価物の効率的な回収方法を実験によって検討する。得られた結果に基づき、経済的に合理的であると考えられる総合的な処理・有価物回収フローを提案する。

【サブテーマ目標】

- アモルファスタイプの太陽光発電パネルを対象とし、高電圧パルス破碎技術と物理選別技術の組み合わせによって、含有されるガラス、シリコン、インジウム、錫等の有価物の効率的な回収方法を実験によって検討する。
- 主要な対象であるガラスについては、高電圧パルス破碎とその他の技術の組み合わせにより、70%以上を再利用可能な形で回収することを目指す。
- 高電圧パルス破碎工程の処理コストを算出し、5円/W以下となることを確認する。
- 得られた結果に基づき、経済的に合理的であると考えられる総合的な処理・有価物回収フローを提案する。

● 高電圧パルス破碎とは

- 水中の固体試料に高電圧パルス放電をすることで界面に沿った破壊を起こし、選択的な粉碎を行う（ED）
- また、水中に発生する衝撃波によっても破壊が生じる（EHD）
- 原理的には、電気伝導度あるいは強度の違いがある材料同士は相互分離可能
- 複雑な積層構造を有する太陽光発電パネルに対しても、材料の相互分離が可能であると期待される
- 電力消費が小（CO₂発生量小）

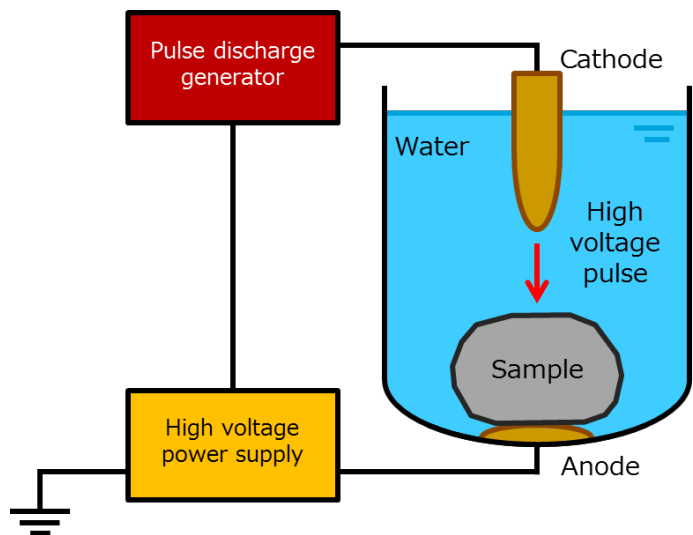


図1.2. 高電圧パルス破碎装置の概略図

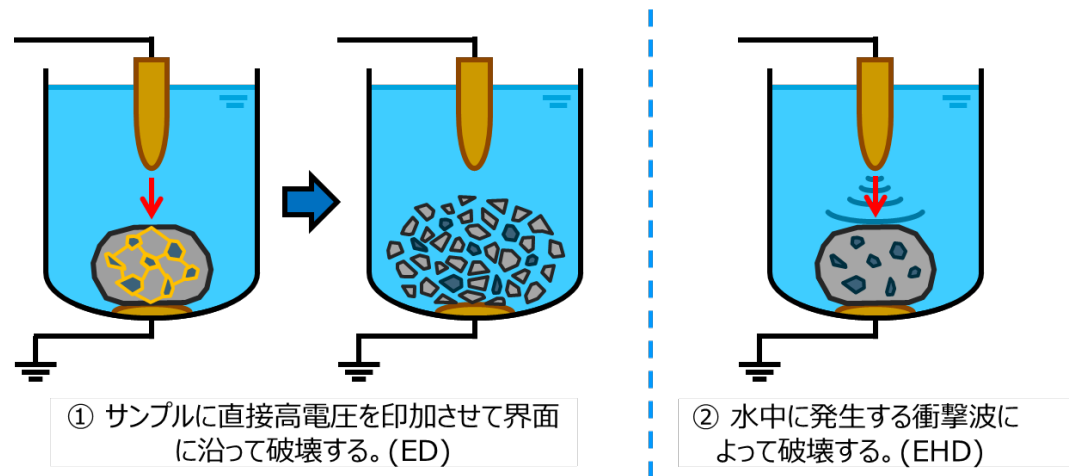
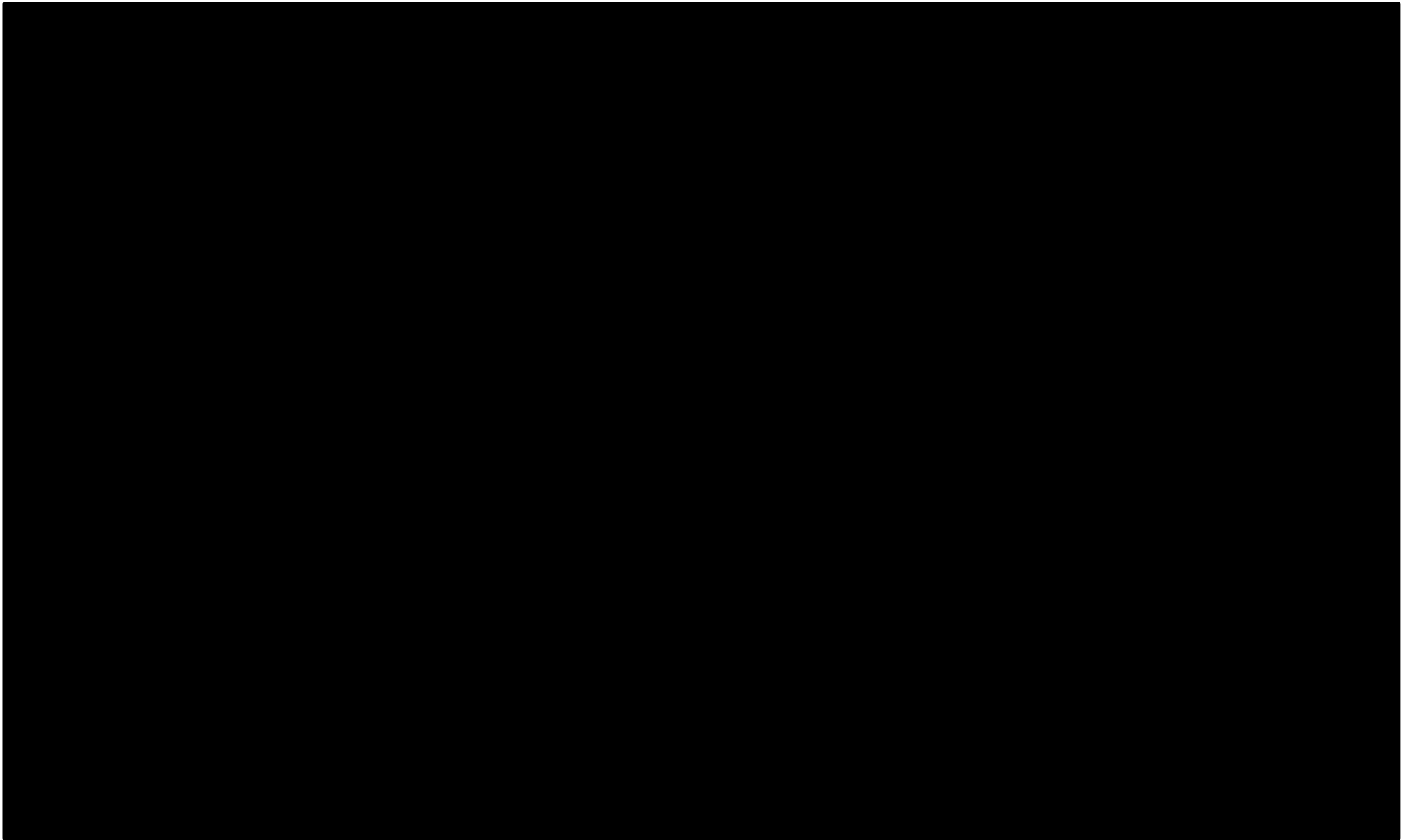


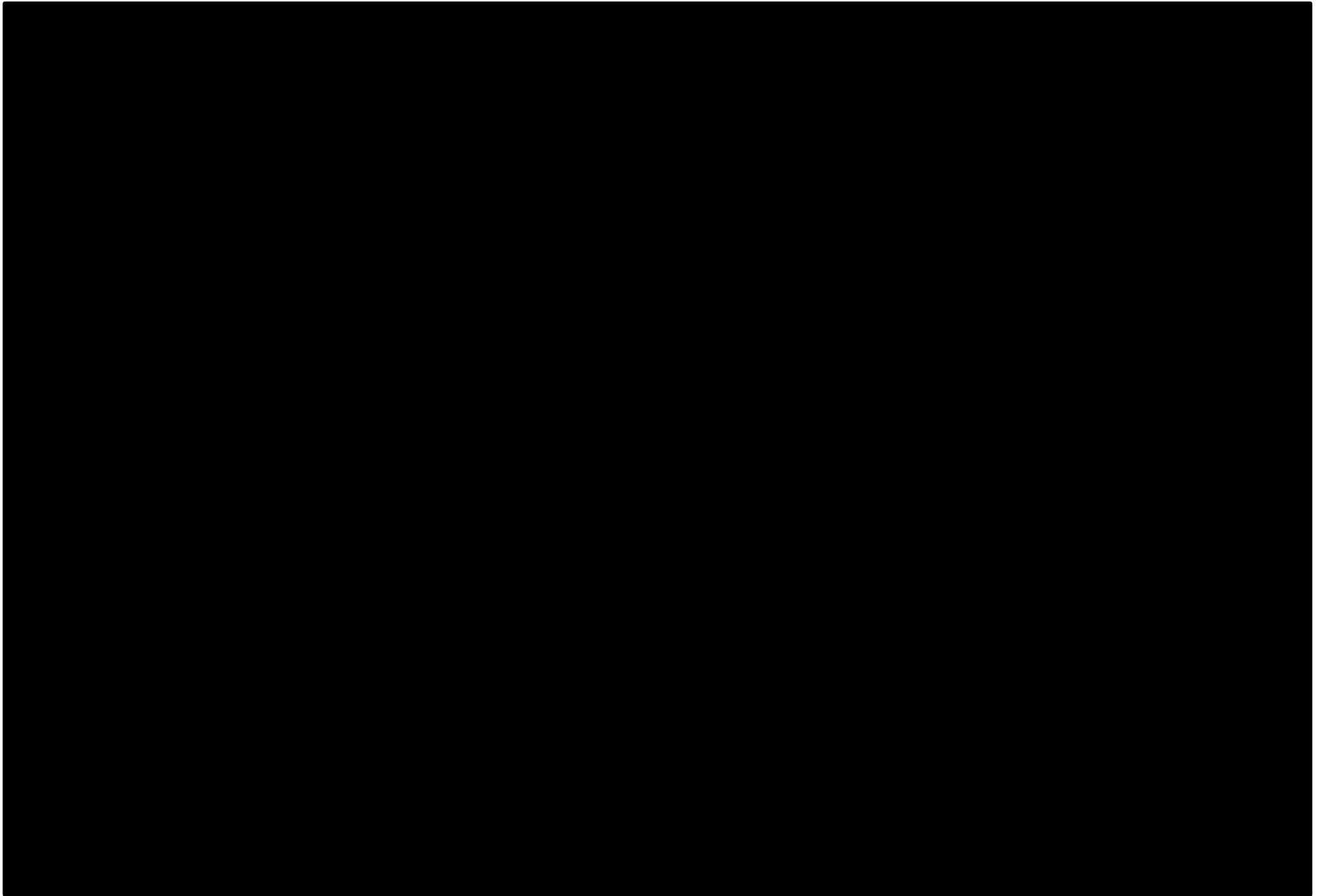
図1.3. 2種類の破壊機構

● アモルファスタイプ太陽光発電パネル試料の収集

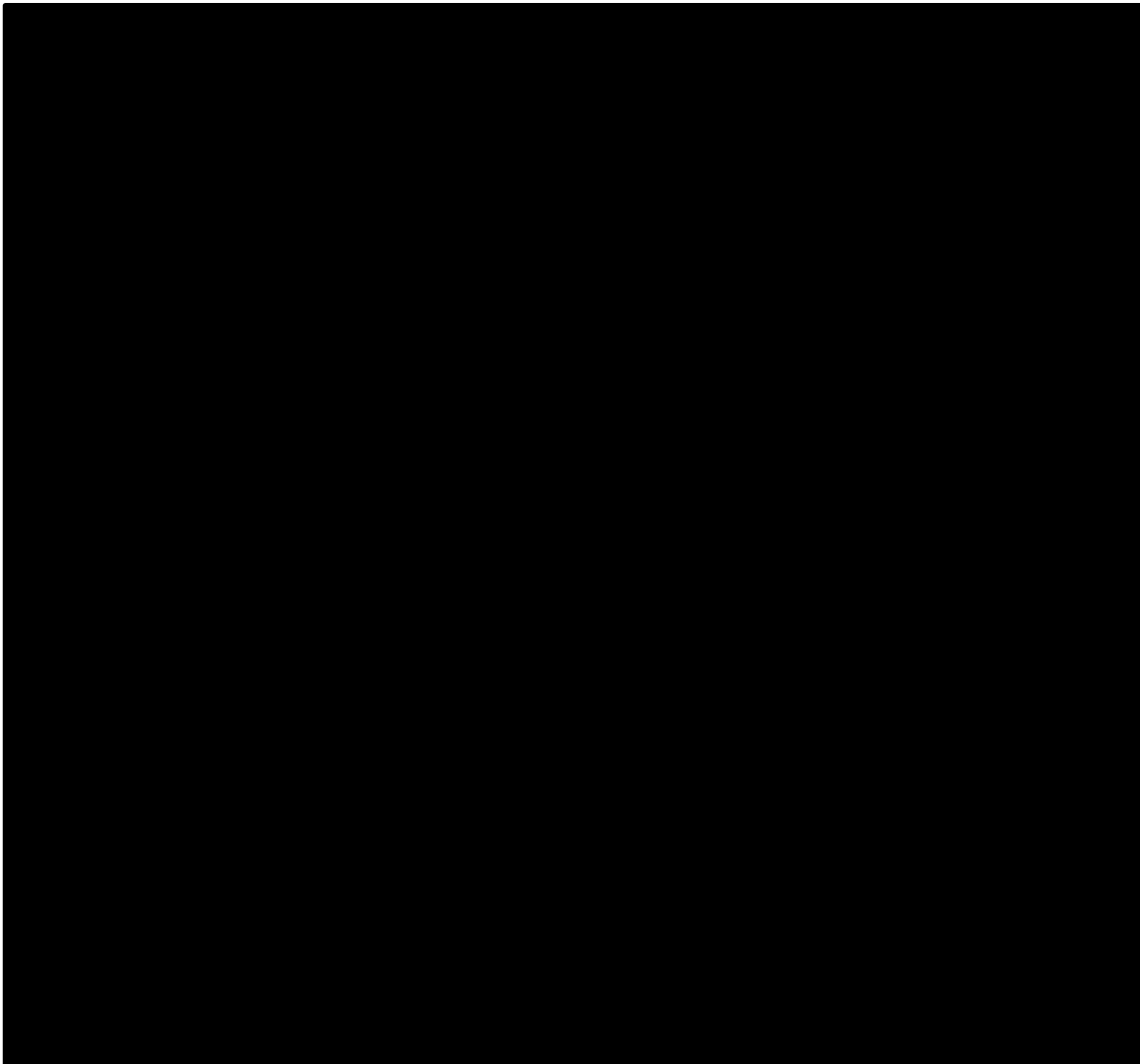
- 廃棄品の入手は困難。未使用品を収集し、50×50 mmに裁断して使用。



● アモルファスタイプ太陽光パネルの推定構造



● アモルファスタイプ太陽光パネルの推定組成

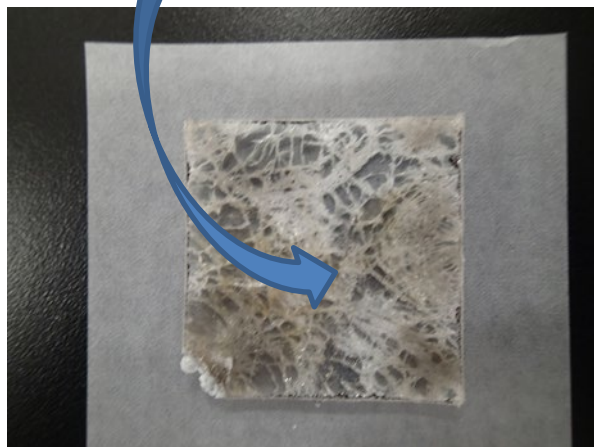
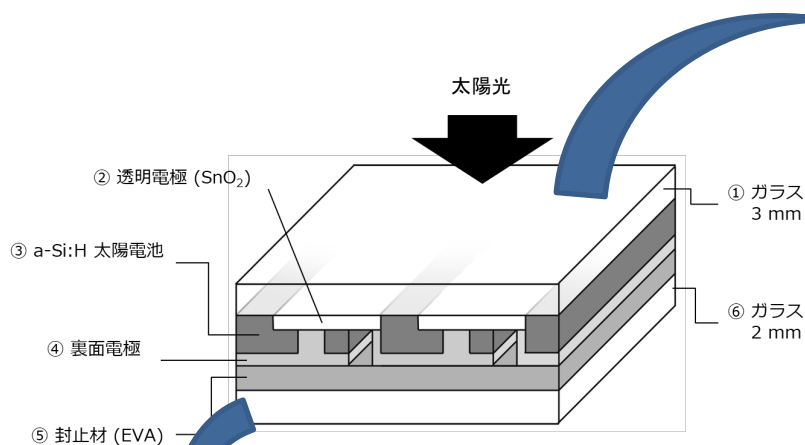


- いずれのパネルにおいても、ガラス層（上面および下面）の総重量割合は97mass%を超えており、ガラスの回収の重要性が改めて認識された。
- Ag, Bi, In, Sn等の金属の含有率は低く、アモルファス太陽光発電パネルからの主要な資源回収対象としてはガラスが重要。

● 典型的な破碎の結果

- SELFRAG社製SELFRAG Lab S2.0を用いて高電圧パルス破碎を実施

サンプル	電圧 (kV)	電極間距離 (mm)	周波数 (Hz)	パルス回数 (回)	設置の仕方
パネルA	100	20	5	1	受光面が上



- 受光面側の上面ガラスは比較的粗粒のまま容易に剥離。
- 剥離物には樹脂（封止材）の混入は無い。
- 封止材と接している下面ガラスはより剥離しづらい。

● 分級後の破砕物の外観 (パネルA)

(実験条件) 電圧 : 100 kV、電極間距離 : 20 mm、周波数 : 5 Hz、パルス回数 : 1 回



封止材 (裏面)



>8 mm



4~8 mm



2~4 mm



1~2 mm



850 μm~1 mm



500~850 μm



300~500 μm



150~300 μm



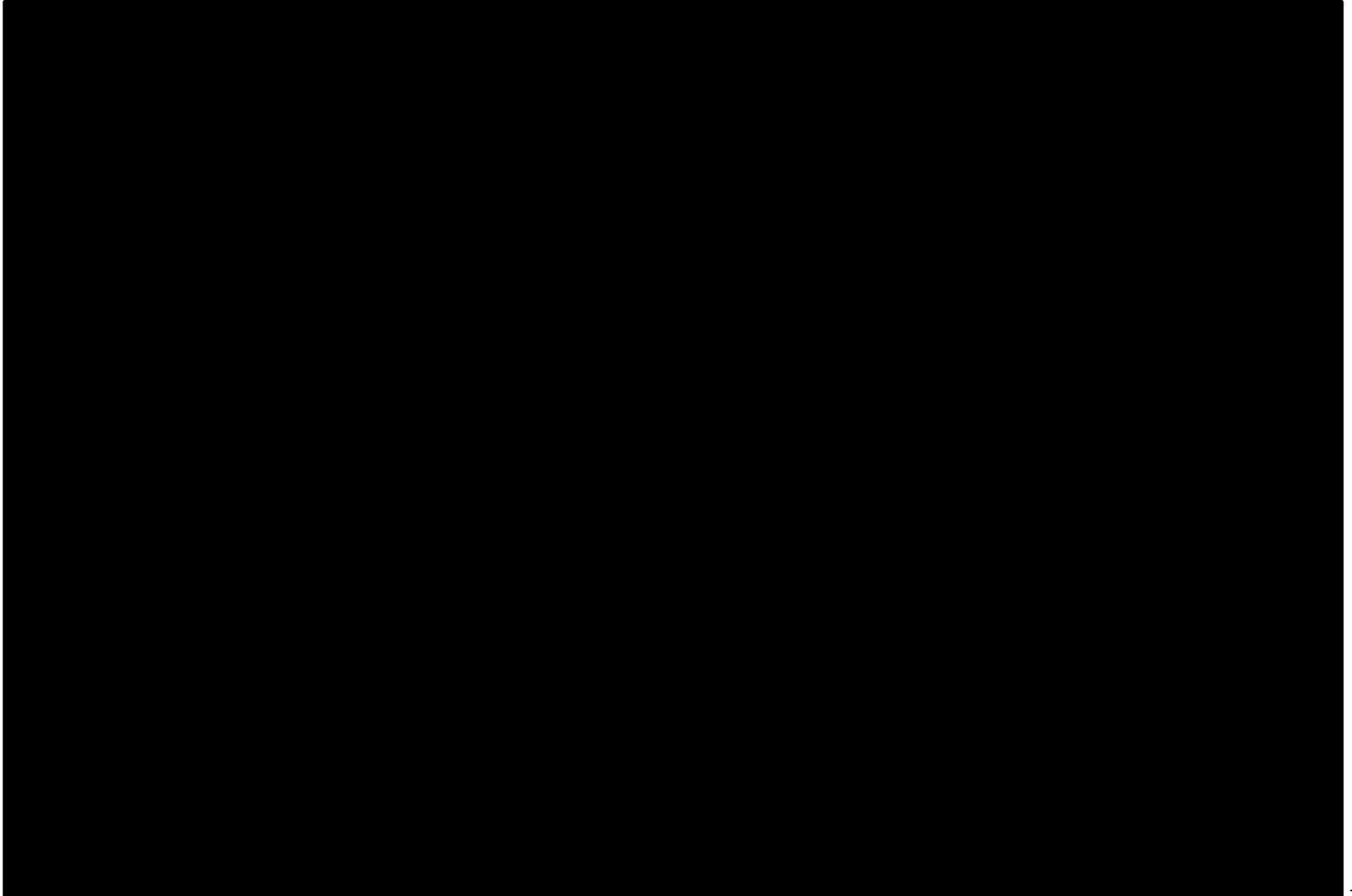
90~150 μm



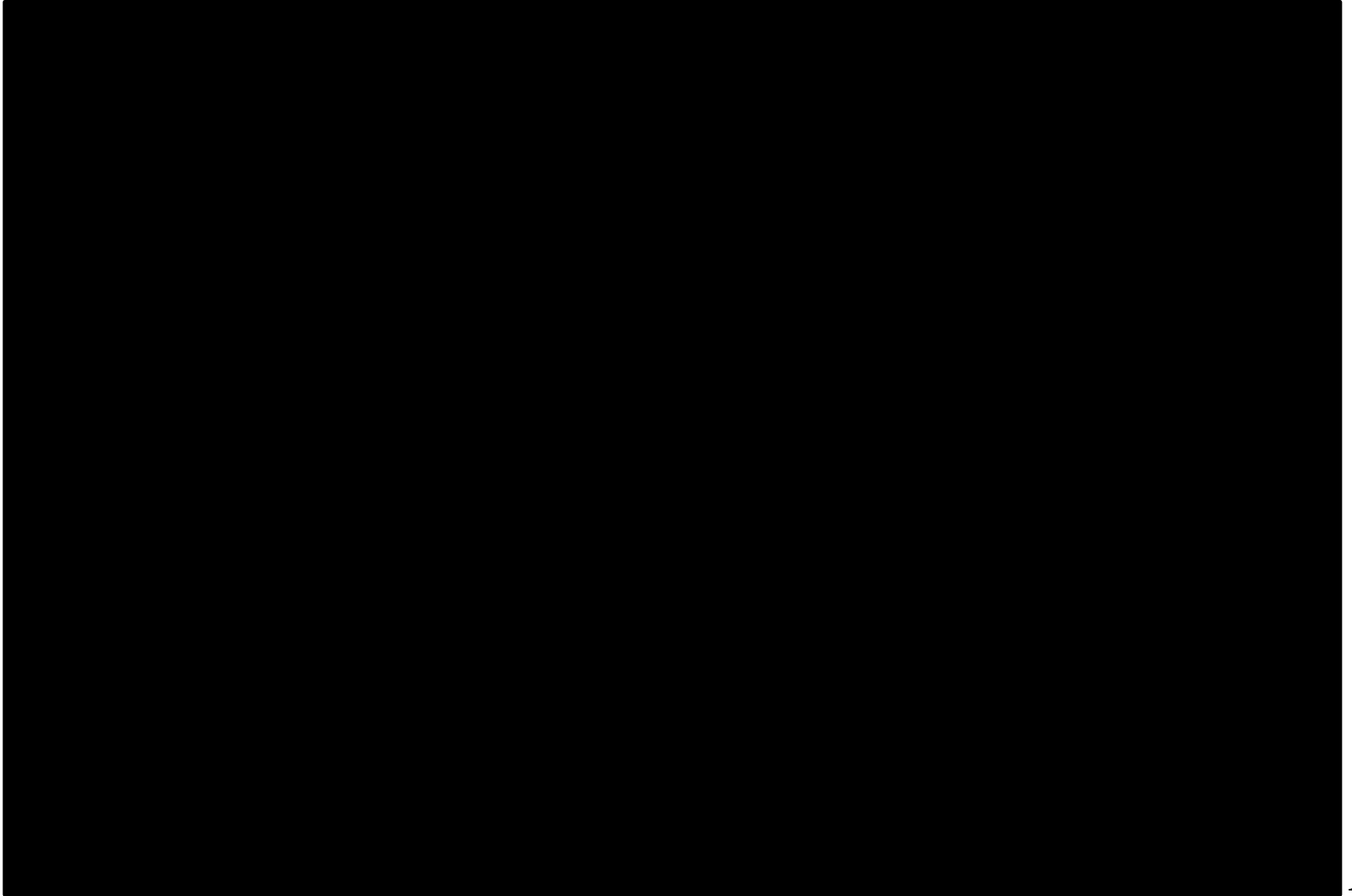
45~90 μm

- ✓ 封止材の受光面側はガラスが剥離し、剥離面にシリコン層/電極層が付着。
- ✓ 封止材の受光面と反対側は、ガラスがほぼ剥離せず、亀裂が入っている。

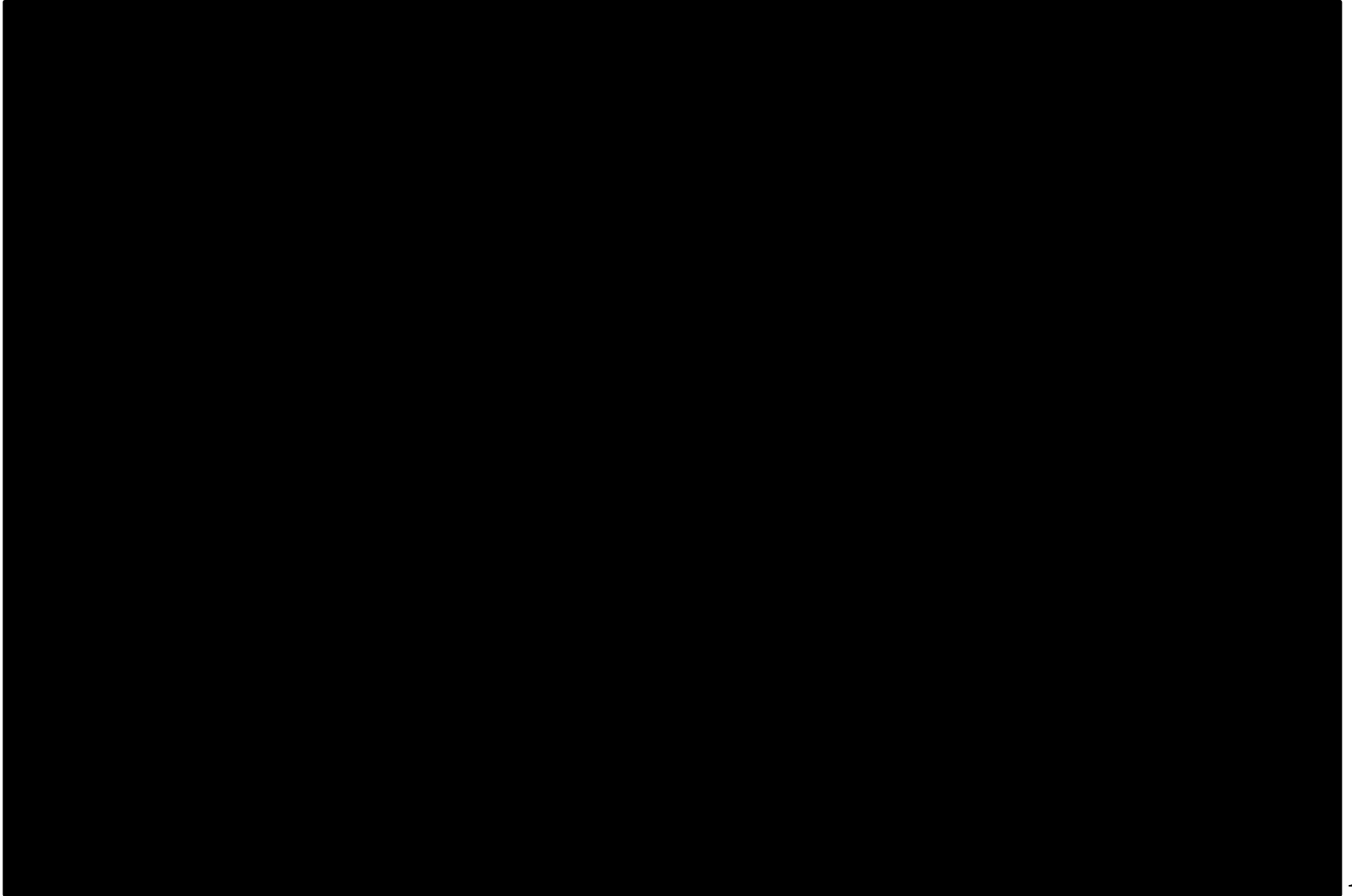
- 粒径毎の元素分析と酸処理の効果



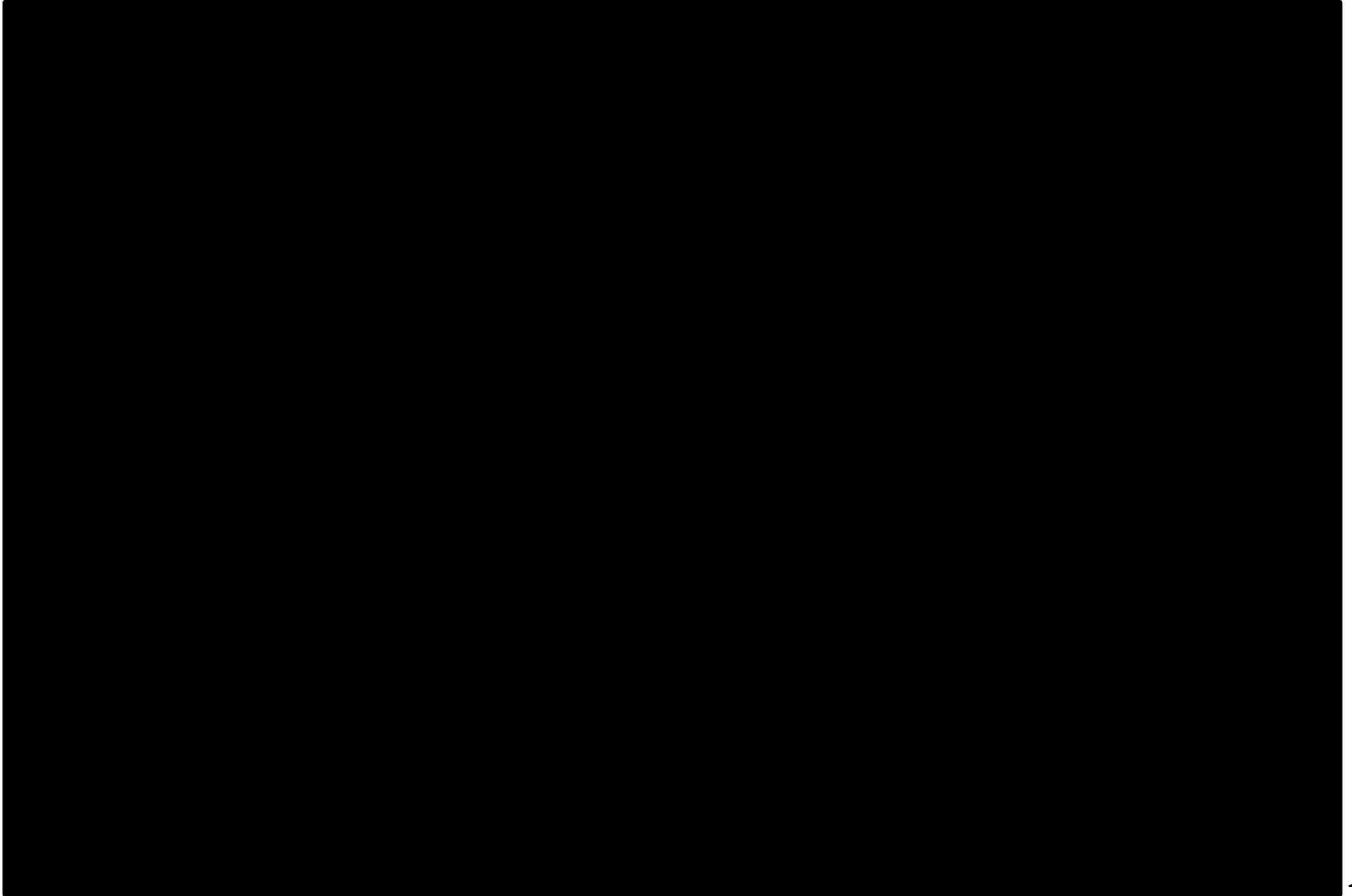
● 破碎結果の分析指標



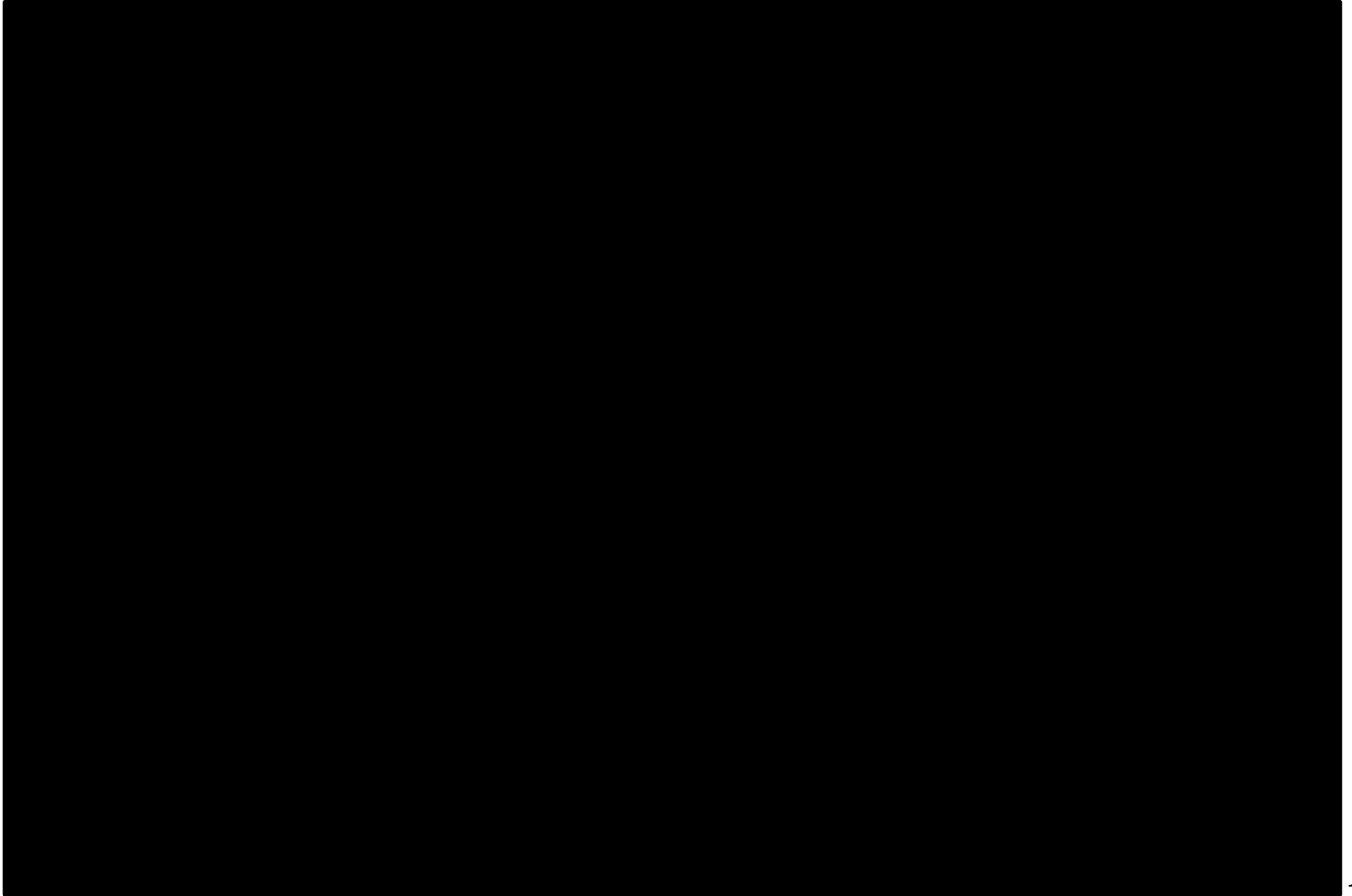
- 高電圧パルス破碎条件の影響



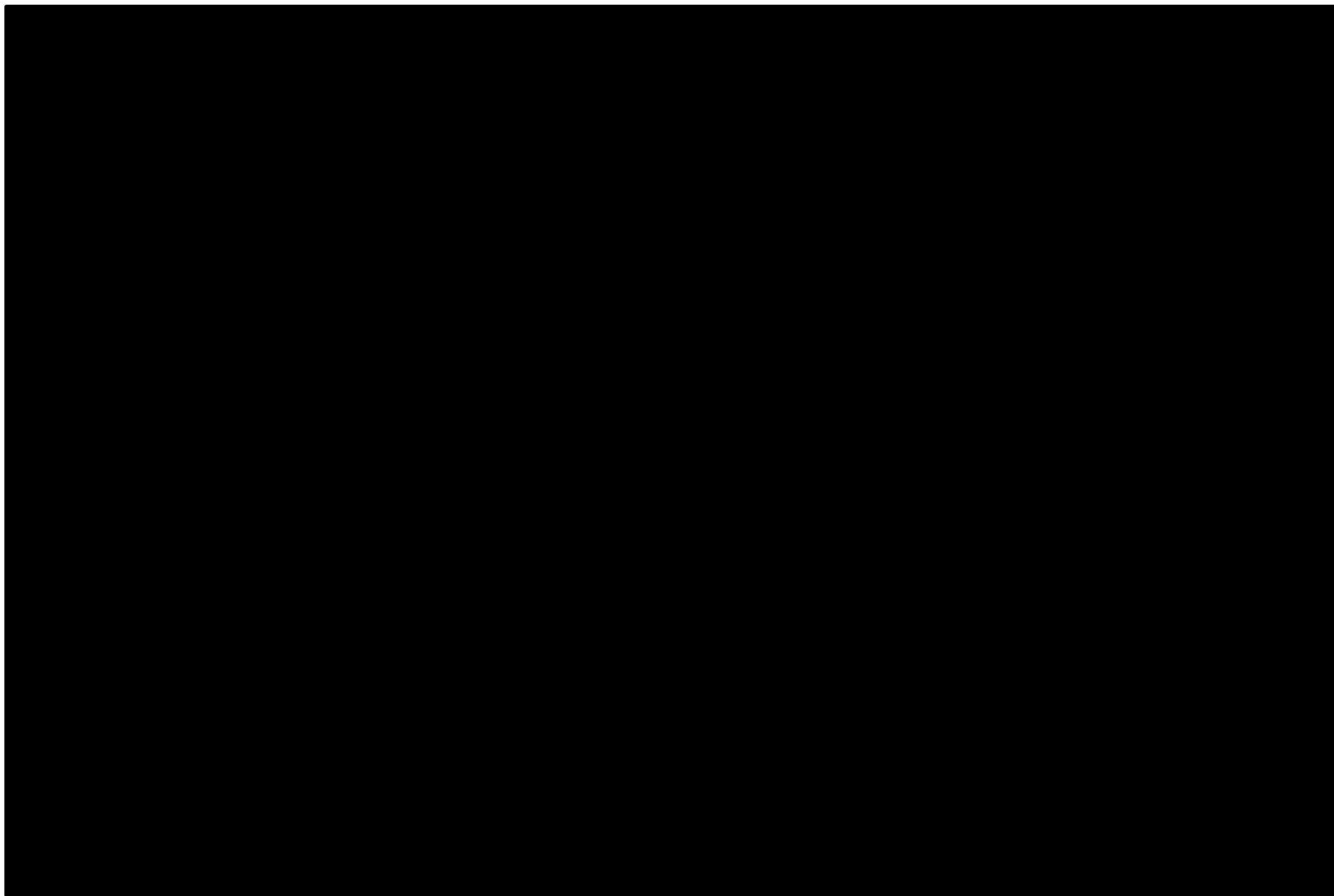
- 高電圧パルス破碎条件の影響



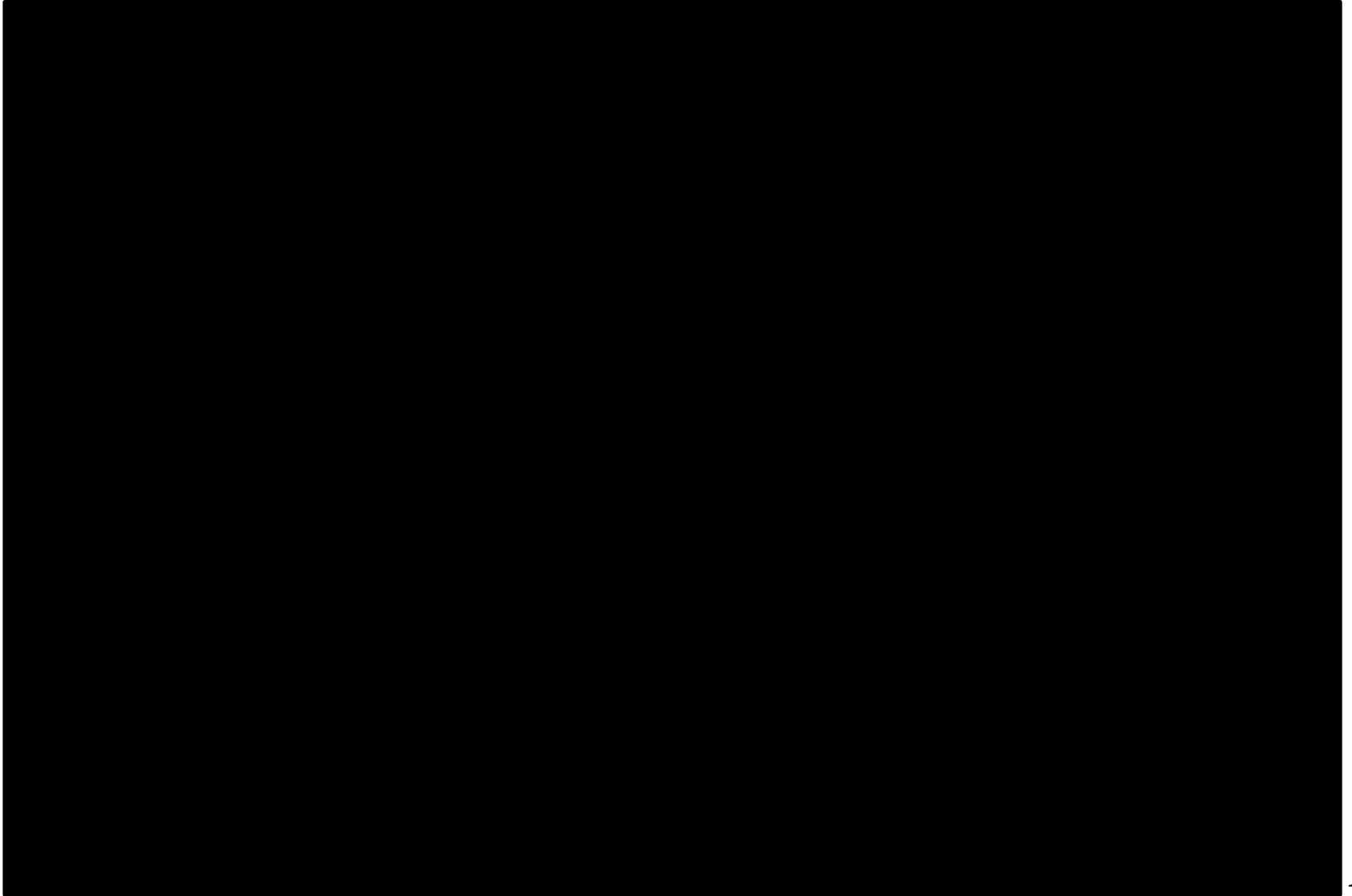
- 他の一般的破砕方法との比較



- 高電圧パルス破碎に要する電力量とコストの試算



- アモルファスタイプ太陽光発電パネルの処理フローの提案



● 研究成果のまとめ

- アモルファスタイプの太陽光発電パネルの収集と詳細分析を行い、価値の高い金属元素の含有率が非常に低いことを明らかとし、主要な回収対象をガラスと定めた。
- 破砕物では、金属の特定粒群への濃縮等は生じておらず、また、酸処理によるガラス品質の向上や金属回収は困難。
- 高電圧パルス破砕によって得られた破砕物は、300 μm での分級によって、粗大粒子を路盤材として利活用することが望ましい。
- 微量に含有される金属類は、鉛製錬に投入することで一部回収可能と期待。微細なガラス粒子や樹脂部分も鉛製錬によってフラックスや燃料・還元材として利用。
- 主要な対象であるガラスについては、各種パネルにおいて、高電圧パルス破砕条件を適切に設定することで、70 mass%以上を再利用可能な粒径で回収可能。
- 高電圧パルス破砕に必要な電力コストは最大0.020円/W程度。装置コストや消耗品コストと合わせても目標値である5円/Wと比較して十分に小さい。
- 得られた結果に基づき、経済的に合理的であると考えられる総合的な処理・有価物回収フローを提案。

● 環境政策等への貢献、研究目標の達成状況

環境政策などへの貢献

＜行政等が活用することが見込まれる成果＞

- 複雑な複合材料でありながら、価値の高い金属等の含有量が少ないアモルファスタ
イプの太陽光発電パネルについて、その組成や構造の分析を行うとともに、省電力
の破碎方法である高電圧パルス破碎技術と分級を組み合わせた方法によって、効
率的に処理と資源回収を行うことができると期待されるフローの提案を行うことが
できた。

● 研究成果の発表状況

- 太陽光発電パネルの詳細な組成分析を研究期間の最後まで進めていたため、これまでに論文等の発表は行っていない。
- 今後、得られた詳細組成の情報に基づき、学会発表（2022年度秋を予定）や学術論文の投稿を行う予定。