課題番号：3K162004

「高電圧パルス破砕を利用した太陽光発電パネルの選択的破砕と物理選別技術」

研究実施期間：H28-H29年度
累積予算額：22,960,000円

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)

研究体制

研究代表者
東北大学 多元物質科学研究所・准教授
飯塚 淳

- サブテーマ①
「高電圧パルス破砕による太陽光発電パネルの選択破砕」

研究分担者
東北大学 多元物質科学研究所・教授
柴田 悦郎

- サブテーマ②
「選択破砕後の物理選別技術の検討」

研究の背景

太陽光発電の特徴

- エネルギー源の確保が容易である。
- 発電の際に地球温暖化の原因とされているCO_2を発生しない。

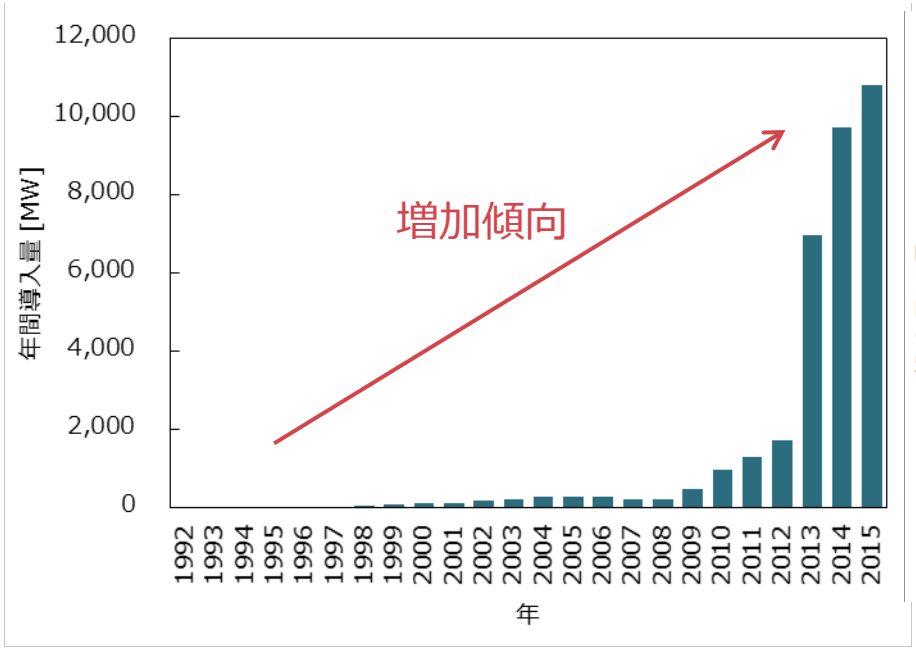


図　日本における太陽光発電設備の年間導入量推移 [1]

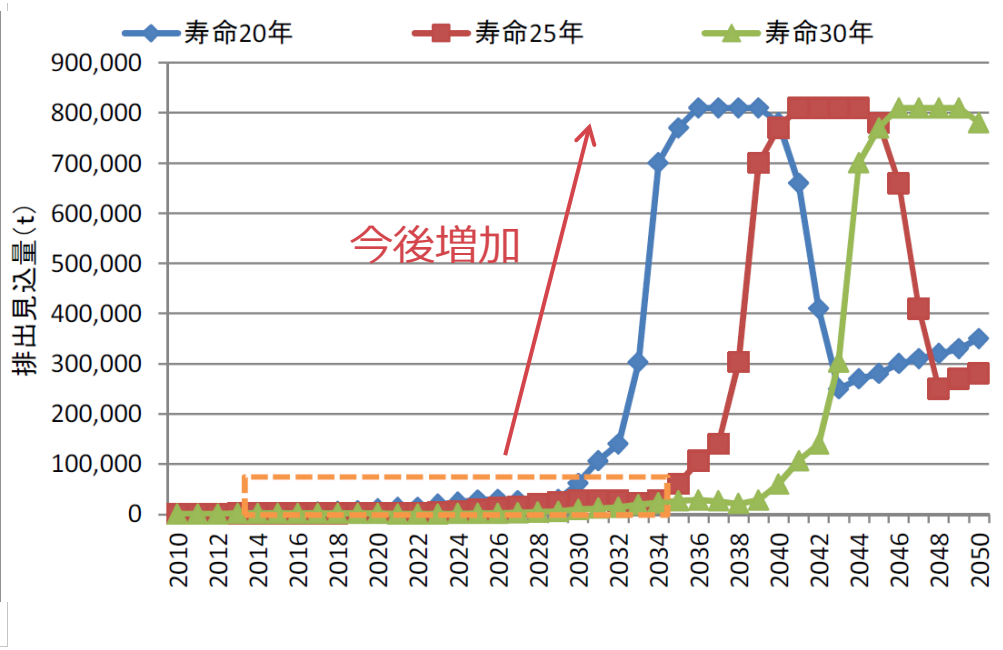
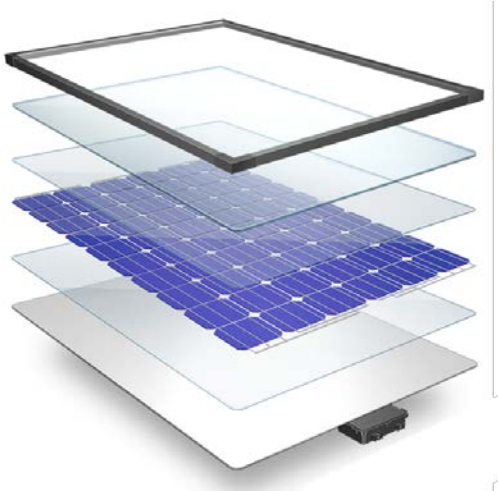


図　太陽電池モジュールの排出見込量 [2]

太陽光発電パネルの処分に関して検討が必要である。

[1] IEA PVPS. Trends 2016 in photovoltaic applications - Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2015, 2016.
[2] 株式会社三菱総合研究所. 平成26年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査委託業務 報告書, 2015.

太陽光発電パネルの構造



フレーム：Al または Fe

ガラス

封止材：EVA (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer)

太陽電池セル

封止材：EVA (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer)

バックシート：多層の樹脂

引用：デュポン株式会社
http://www.dupont.co.jp/products-and-services/solar-photovoltaicmaterials.html

図　太陽光発電パネルの構造

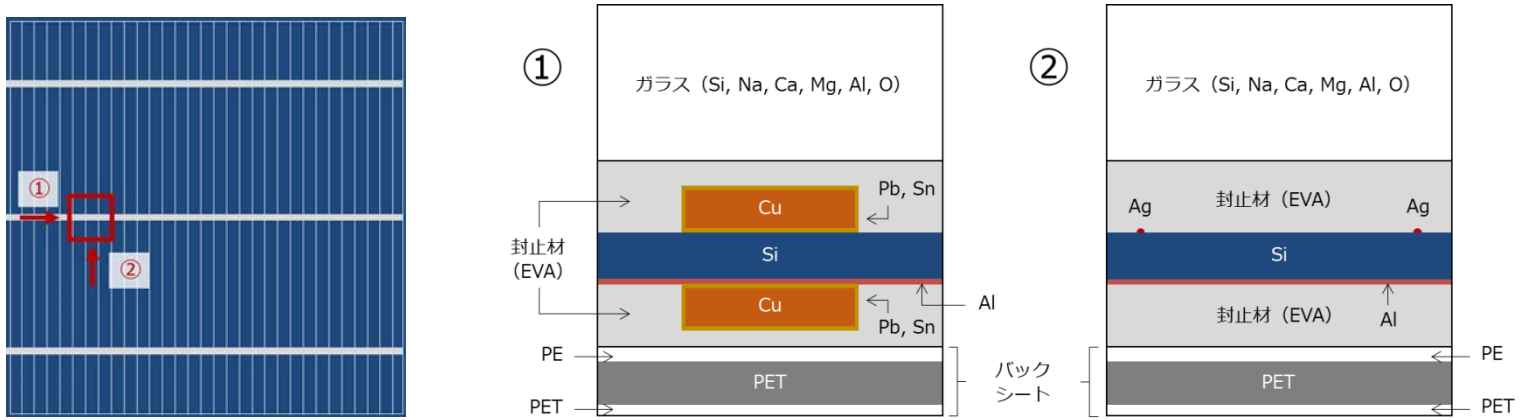


図　本研究で対象とした多結晶タイプの太陽光発電パネル断面の概略図

太陽光発電パネルは多種の材料で構成される複合材料である。
→ 高効率かつ低コストで分離し、リサイクルする技術が必要である。

研究開発目的

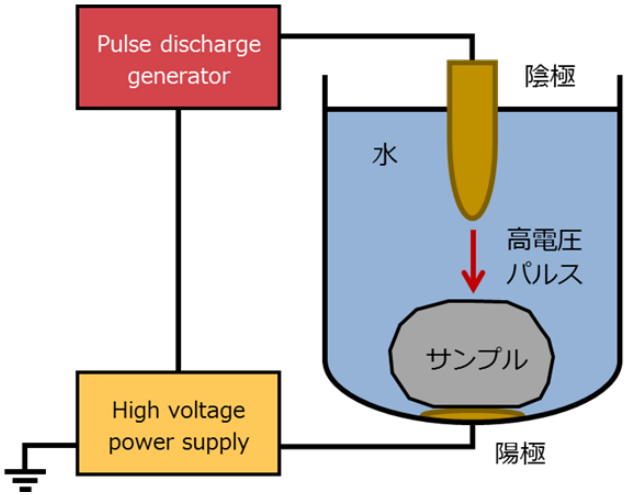
- そこで、本研究では近年効率的な装置が開発され、複合材料の選択的破砕を可能とする要素技術である高電圧パルス破砕を太陽光発電パネルリサイクルに適用することを検討した。

- 高電圧パルス破砕技術を太陽光パネルの粉砕に適用し、かつその他の物理選別技術（重液選別等）と組み合わせることで、パネル中の多種材料（ガラス、Ag、電極（Cu, Pb, Sn））を選択的に分離回収する手法の確立を目的とした。

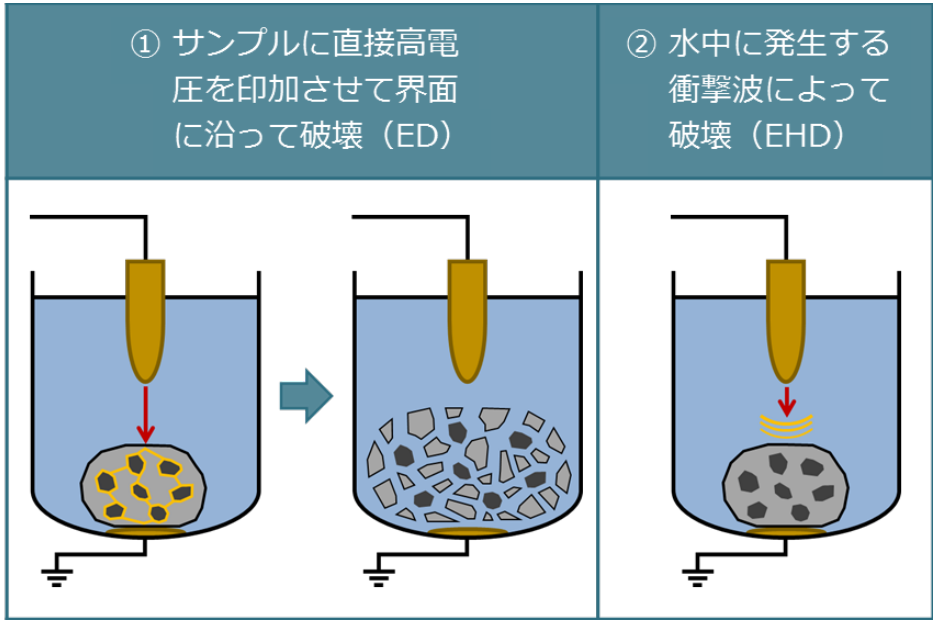
高電圧パルス破砕とは

- 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、選択的な粉砕を行う。（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（CO_2発生量小）



高電圧パルス選択性粉砕装置概略図



実験試料｜多結晶、単結晶、アモルファス

多結晶タイプ

- 低価格、普及量大
- リサイクラーの協力の元、廃パネルを入手

サイズ：1650×988×45 mm・重量：18.540 kg

単結晶タイプ

- やや高価格、普及量中
- リサイクラーの協力の元、廃パネルを入手

サイズ：1649×990×39 mm・重量：18.540 kg

アモルファスタイプ

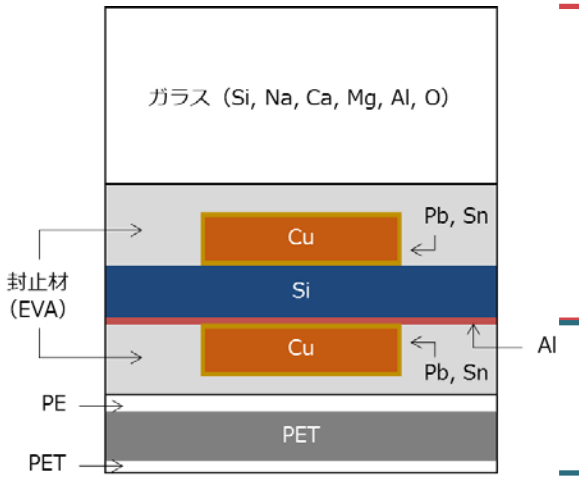
- 薄膜、普及量小、リサイクル困難
- 未使用の商品を購入

サイズ：924×313×22 mm・重量：4.555 kg

パネルを50 × 50 mmに裁断し、
高電圧パルス破砕実験に使用

第一段破砕（多結晶の太陽光パネル）

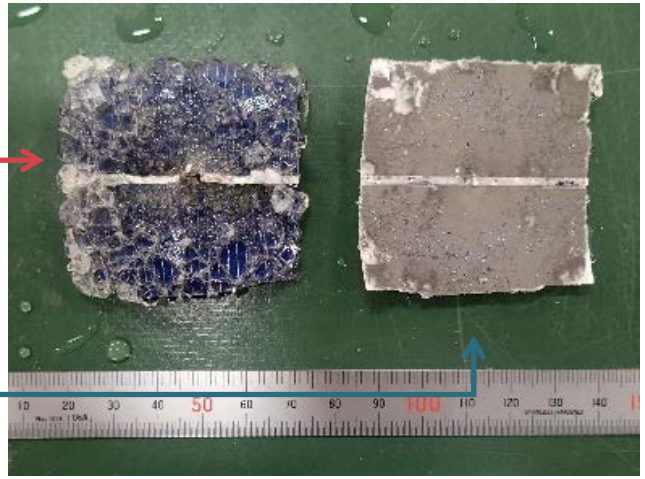
最適条件: **放電電圧 110 kV・電極間距離 20 mm**

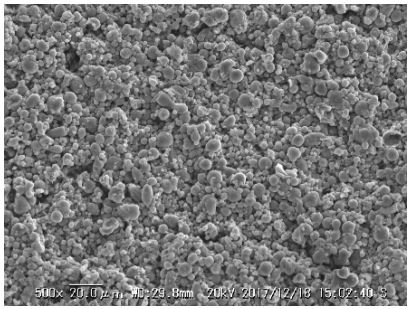


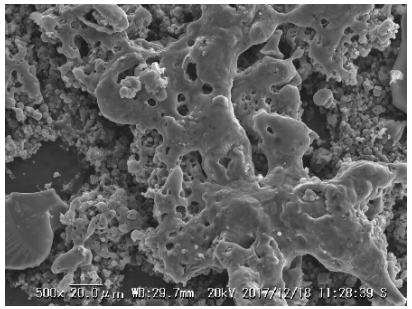
ガラス・シリコン層

バックシート層

パルス20回後







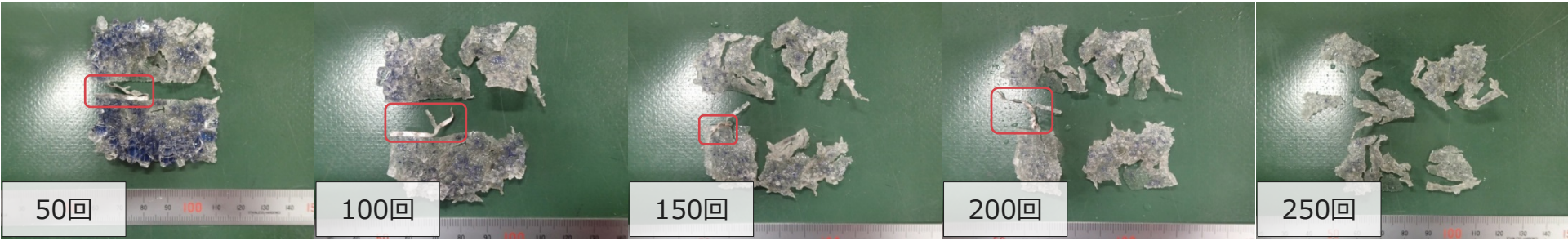
分離面のアルミ微粒子に変形を確認

- 最適条件では、パネルが上下2層に分離（シリコン層/アルミ電極層）
- 分離面のアルミ微粒子には変形を確認（プラズマ由来衝撃波か）

第二段破砕①（多結晶のガラス・シリコン層）

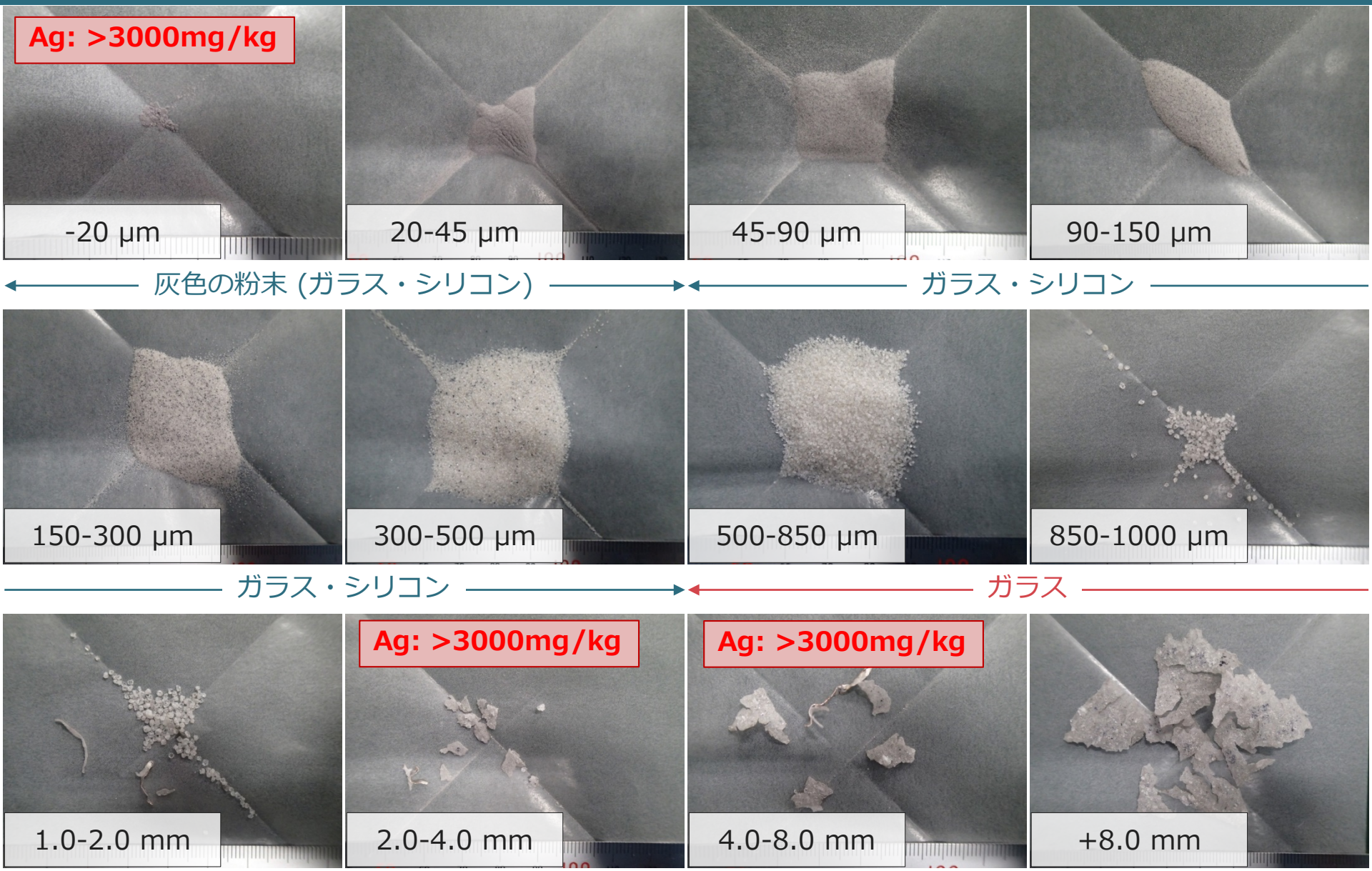
最適条件: **放電電圧 90 kV・電極間距離 10 mm**

250回でバスバー電極が分離



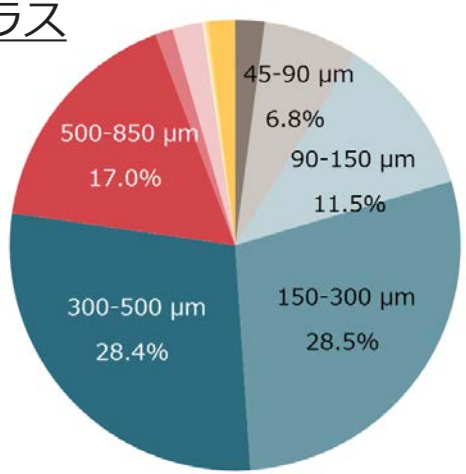
- 放電電圧が低い最適条件では、封止材をそれほど破壊せずに、ガラスやシリコン層、電極が封止材から効率的に剥離していく。

破砕物の粒群ごとの産物（多結晶）

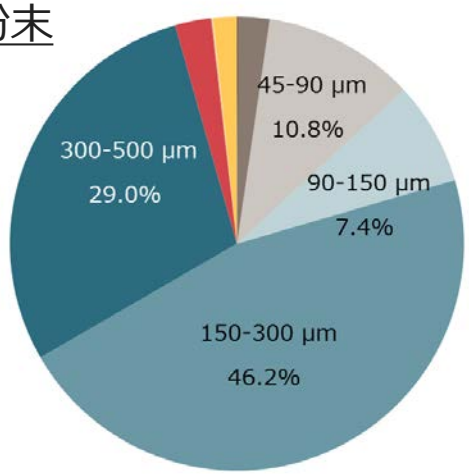


部材ごとの各粒群への分配（多結晶）

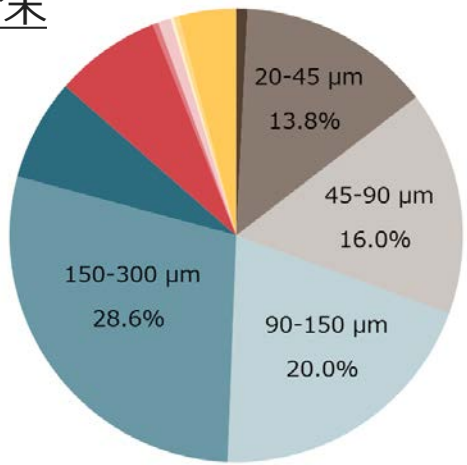
ガラス



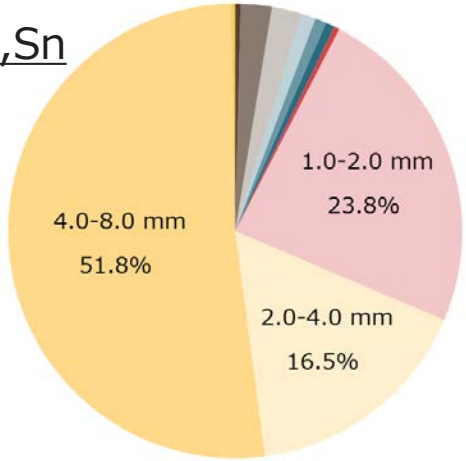
Si粉末



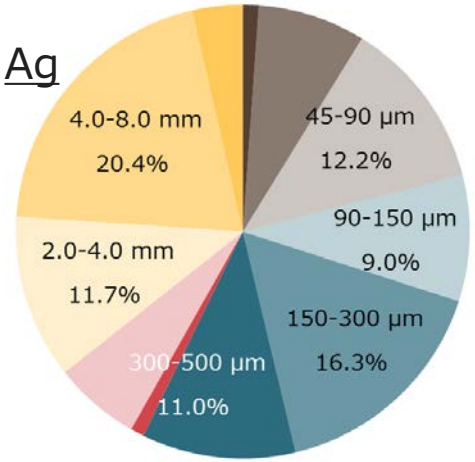
Al粉末

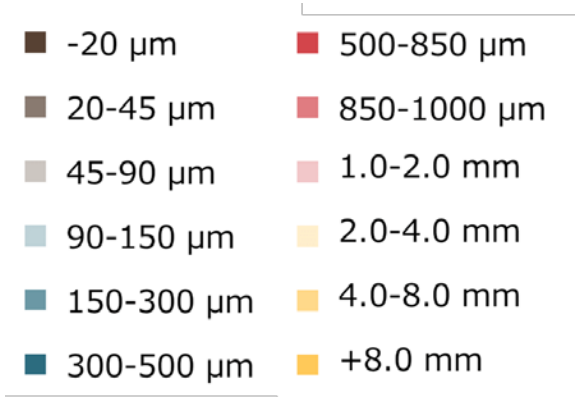


Cu,Pb,Sn



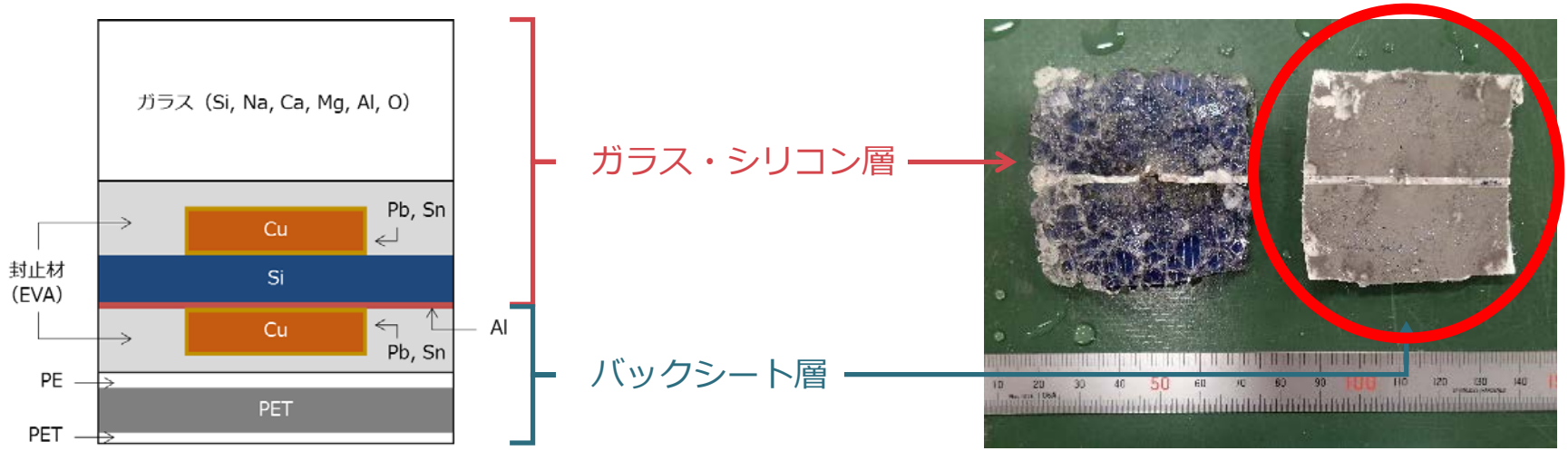
Ag





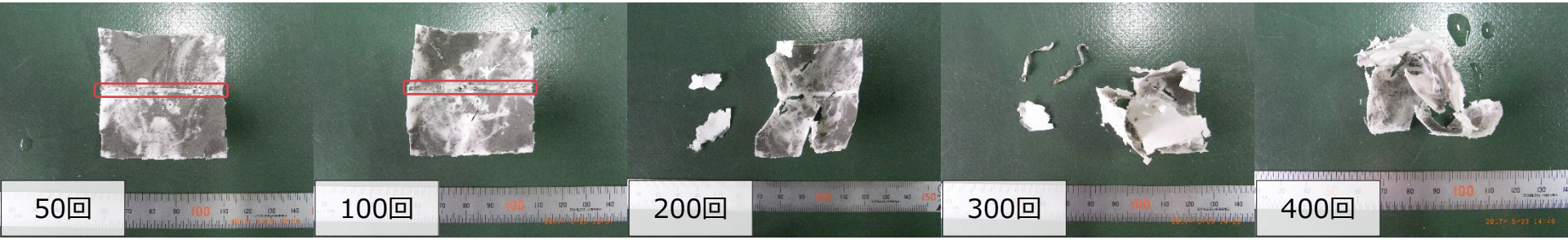
- 電極（Cu, Pb, Sn）は大粒径、ガラスは中粒径に分配。
- Agは大粒径と微小粒径に分布。回収率を上げるためには更に分離が必要

第二段破砕②（多結晶のバックシート層）



最適条件: **放電電圧 90 kV・電極間距離 10 mm**

200回でバスバー電極が分離



- 放電電圧が低い最適条件では、電極がバックシート層から分離され、また多層のバックシートもある程度相互に剥離する。

パルス破砕後の選別 (多結晶)

重液選別の適用の検討

①ガラスの高純度化とAgの濃縮の達成
＞300-500 μmの粒群
＞比重2.4での重液選別

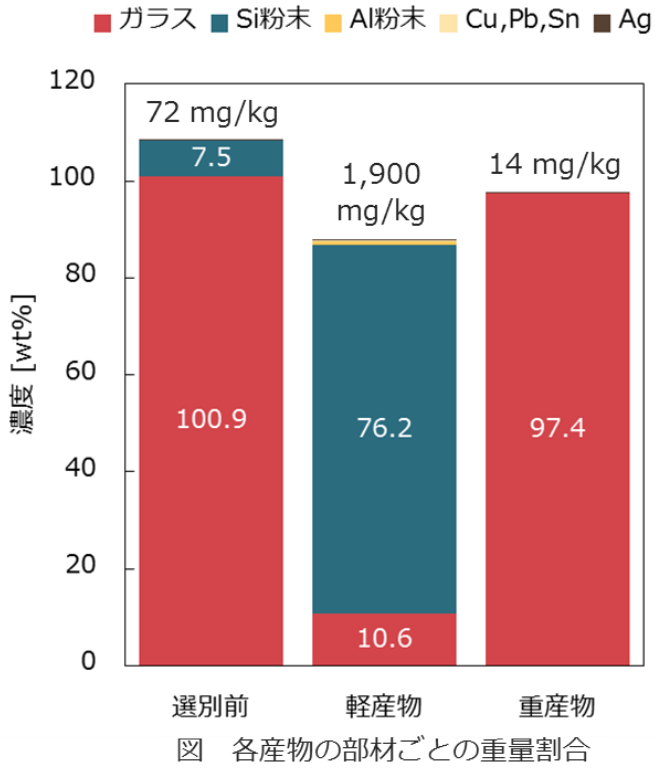


図　各産物の部材ごとの重量割合

②シリコン層からのAgの濃縮の達成
＞-20 μmの粒群
＞比重3.0での重液選別

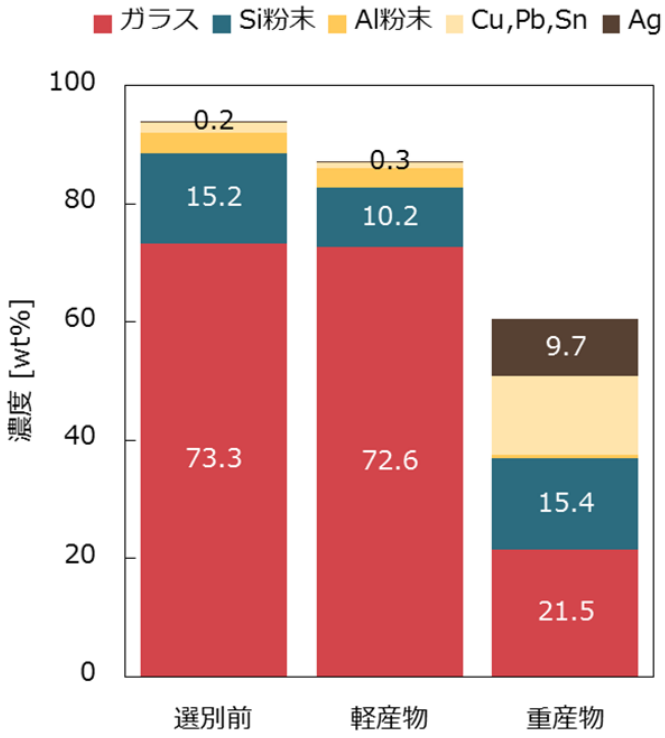
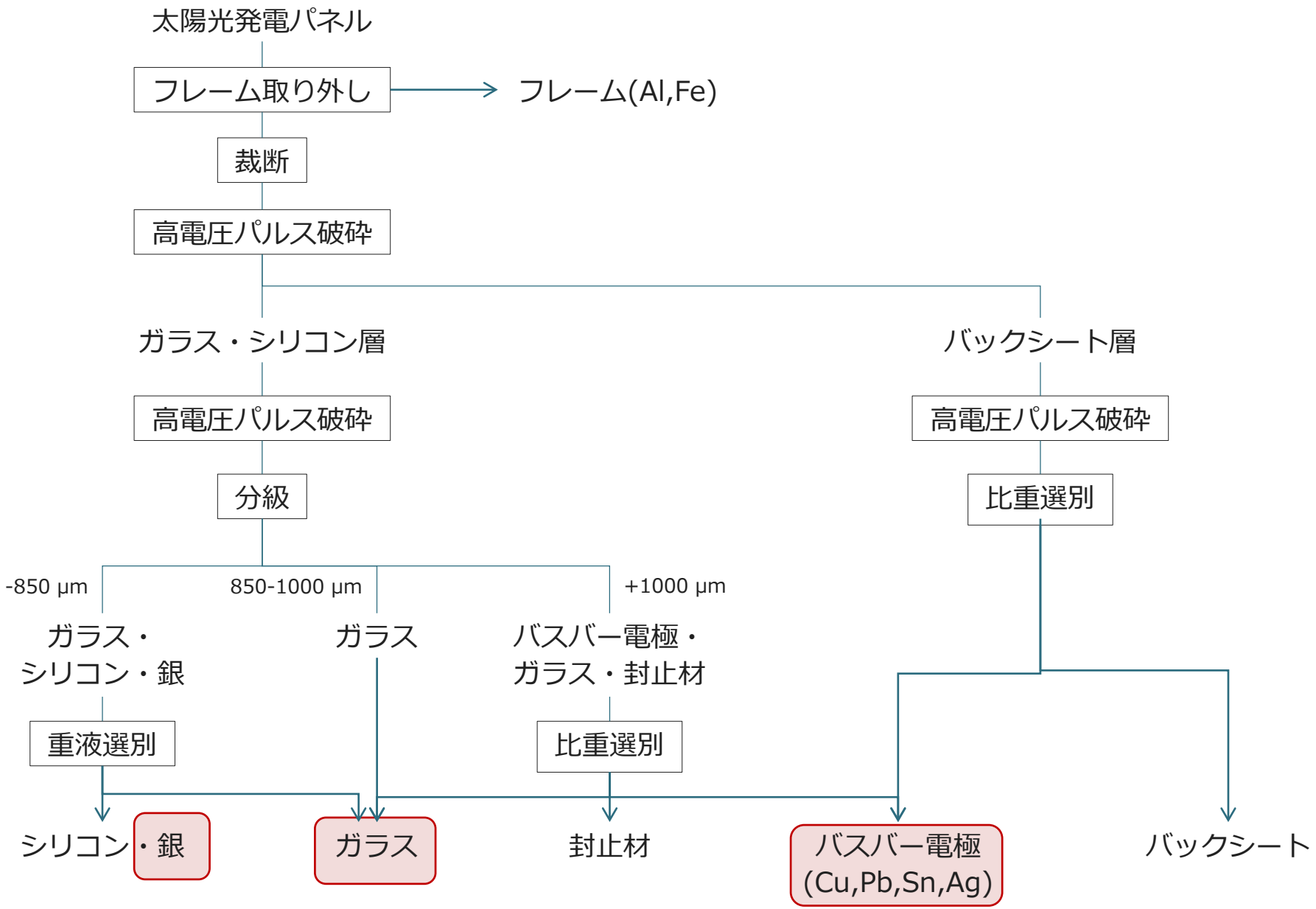


図　各産物の部材ごとの重量割合

本研究によるリサイクルイメージ



本研究により得られた主な成果

（科学的意義）

- 重要なリサイクル対象であり、複雑な積層材である太陽光パネルに対する高電圧パルス破砕効果を定量的に確認。
- 多結晶パネルに対する成果を学術論文にまとめ、投稿済み。

（環境政策への貢献）

- 多結晶太陽光パネルに対して、高電圧パルス破砕技術とその他の物理選別技術（重液選別等）と組み合わせることで、パネル中の主要な材料（ガラス、Ag、電極（Cu, Pb, Sn））を効率的に分離回収する手法を実証。
- 高電圧パルス破砕装置の装置コスト・運転コストを定量的に把握。
- パネルタイプによる破砕効果の相違について確認。