

平成 27 年度低炭素型 3 R 技術・システム実証事業

(使用済太陽光パネルユニットの新たな
リサイクル、リユースシステムの構築実証事業)

報告書

平成 28 年 2 月 29 日

株式会社レノバ

目次

1. 背景	1
1.1 太陽電池モジュール	1
1.1.1 構造	1
1.1.2 太陽電池モジュールの種類	2
1.1.3 素材構成比	3
1.2 太陽光発電の生産量、出荷量の動向	3
1.2.1 日本における太陽光発電設備の導入量	3
1.3 排出量予測	4
1.3.1 排出量予測	4
1.3.2 現状のリサイクル・処理方法	5
1.3.3 現状の課題とその対策	5
2. 実証事業の概要	6
2.1 目的	6
2.1.1 リユースの目的	6
2.1.2 リサイクルの目的	6
2.2 実施体制（全体）	7
2.3 本報告書の構成	8
3. 実証事業の実施および結果	9
3.1 リユース	9
3.1.1 実施内容	9
3.1.2 使用済太陽電池モジュールのリユースシステムの検討	9
3.1.3 使用済太陽電池モジュールのリユース条件の整理	33
3.2 リサイクル	37
3.2.1 実施体制	37
3.2.2 使用済太陽電池モジュールのリサイクルの実証試験	40
3.2.3 使用済太陽電池モジュールの用途開発	63
3.2.4 使用済太陽電池モジュールのリサイクル条件の整理	104
3.2.5 使用済太陽電池モジュールの全国リサイクルシステムの構築に向けた検討	108
4. 環境負荷低減効果の検証	114
4.1 本処理工程およびベースラインプロセスにおける CO2 発生量のバウンダリの設定と削減効果の試算	114
4.1.1 セラミックタイルへの製品化	114
4.1.2 セラミックブロックへの製品化	124
4.1.3 防音パネル製品化	133
4.2 使用済太陽電池モジュールの種類別、処理方法別の環境負荷削減効果の検討	143
4.2.1 使用済太陽電池モジュールの種類別の環境負荷削減効果の検討	143
4.2.2 ベースラインプロセスが埋立処分の場合の CO2 削減効果の検討	144
4.3 本処理技術にて回収されるマテリアル資源の回収ポテンシャルの試算	148

5. 事業実現可能性等の検証	149
5.1 リユース	149
5.2 リサイクル	151
6. 総括	154
6.1 リユース実証実験 まとめ	154
6.1.1 実証事業による成果	154
6.1.2 事業実現における今後の課題	154
6.2 リサイクル実証実験 まとめ	155
6.2.1 実証事業による成果	155
6.2.2 事業実現における今後の課題	155
6.3 事業終了後の検討項目・スケジュール等	156
6.3.1 リサイクル	156
6.3.2 リユース	156
添付資料	157
添付資料 1 リユース検討会	157
添付資料 2 リサイクル検討会	158
添付資料 3 ガラスカレットの成分分析結果	159

図目次

図 1.1-1	太陽電池モジュールの断面図（結晶シリコン系）	1
図 1.1-2	太陽電池モジュールの重量構成比	3
図 1.3-1	太陽光発電設備の排出見込量（素材構成内訳）（2015 年～2030 年）	4
図 1.3-2	現状のリサイクル・処理方法	5
図 2.2-1	実施体制図	7
図 2.3-1	本報告書の構成（数値は章番号を示す）	8
図 3.1-1	リユースシステムの実施内容	9
図 3.1-2	ソーラーシミュレーター	10
図 3.1-3	本実証事業で使用した使用済太陽電池モジュールの種類における割合	11
図 3.1-4	公称 I_{sc} （短絡電流）における使用済太陽電池モジュール 281 枚の分布 ..	11
図 3.1-5	実測 I_{sc} （短絡電流）における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布 ..	12
図 3.1-6	I_{sc} （短絡電流）における公称値に対する実測値の比率分布	12
図 3.1-7	公称 V_{oc} （開放電圧）における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布 ..	13
図 3.1-8	実測 V_{oc} （開放電圧）における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布 ..	13
図 3.1-9	実測 V_{oc} （開放電圧）における公称値に対する実測値の比率分布	14
図 3.1-10	公称 I_{pm} （最適電流・最大出力動作電流）における使用済太陽電池モジュール 279 枚の分布	15
図 3.1-11	実測 I_{pm} における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布	15
図 3.1-12	I_{pm} における公称値に対する実測値の比率分布	16
図 3.1-13	公称 V_{pm} における使用済太陽電池モジュール 282 枚の分布	16
図 3.1-14	実測 V_{pm} における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布	17
図 3.1-15	V_{pm} における公称値に対する実測値の比率分布	17
図 3.1-16	出力／公称出力のヒストグラム（ $n=278$ ）	18
図 3.1-17	E 社の出力/公称出力の枚数分布（ $n=136$ ）	20
図 3.1-18	J 社の出力/公称出力の枚数分布（ $n=28$ ）	20
図 3.1-19	N 社の出力/公称出力の枚数分布（ $n=33$ ）	20
図 3.1-20	P_{max} における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布	21
図 3.1-21	リユースユニット（8 枚セット）	24
図 3.1-22	日射量の測定結果（2015-11-27）（8 枚セット）	25
図 3.1-23	充電量の測定結果（2015-11-27）（8 枚セット）	25
図 3.1-24	リユースユニット（12 枚セット）	26
図 3.1-25	日射量の測定結果（2015-11-16）（12 枚セット）	27
図 3.1-26	充電量の測定結果（2015-11-16）（12 枚セット）	27
図 3.1-27	ソーラーシミュレーターによる発電量と日射量の関係試算結果	28
図 3.1-28	蓄電量の時間変化（2015-11-12）	29
図 3.1-29	蓄電量の時間変化（2015-11-18）	30
図 3.1-30	蓄電量の時間変化（2015-12-8）	31
図 3.1-31	放電電流と放電時間	32
図 3.1-32	リユースユニットの用途イメージ	33
図 3.1-33	リユースの受入条件	35
図 3.2-1	リサイクルシステムの実施内容	37
図 3.2-2	使用済太陽電池モジュールの成分分析における仕分け	38

図 3.2-3	破碎・選別工程での技術比較	38
図 3.2-4	用いる使用済太陽電池モジュールまとめ	39
図 3.2-5	RTJ の使用済太陽電池モジュールの処理工程におけるマテリアルフロー	57
図 3.2-6	使用済太陽電池モジュールの種類によるマテリアルバランスの比較	58
図 3.2-7	ハリタの使用済パネルの処理工程におけるマテリアルフロー	61
図 3.2-8	セラミック製造の体制	63
図 3.2-9	電気窯ヒートカーブ（800℃の場合）	64
図 3.2-10	A 配合の焼成温度と吸水率（％）	68
図 3.2-11	B 配合の焼成時間と吸水率	69
図 3.2-12	A 配合の焼成温度と収縮率	70
図 3.2-13	B 配合の焼成温度と収縮率	71
図 3.2-14	坏土の配合におけるフロー図	74
図 3.2-15	セラミックタイル・テストピース作成のフロー	80
図 3.2-16	セラミックブロックの焼成フロー図	90
図 3.2-17	セラミックタイル焼成のフロー	95
図 3.2-18	防音パネルの製作 フロー図	99
図 3.2-19	ガラスカレットの原料評価	102
図 3.2-20	破碎選別工程での実証結果	105
図 3.2-21	セルシートの含有物・銀評価結果	105
図 3.2-22	セラミックタイルの受入条件	106
図 3.2-23	セラミックタイル原料化を想定した場合の破碎選別工程の仕分け案	106
図 3.2-24	仕分け案	107
図 3.2-25	リサイクルシステムの体制イメージ	108
図 3.2-26	使用済太陽電池モジュールのリサイクル施設候補	109
図 3.2-27	セラミックタイル化のイメージ	112
図 3.2-28	精錬施設候補	113
図 4.1-1	セラミックタイル製品化におけるバウンダリ	115
図 4.1-2	使用済太陽電池モジュールの種類別 CO2 排出量の内訳	124
図 4.1-3	セラミックブロック製品化におけるバウンダリ	125
図 4.1-4	防音パネル製品化におけるバウンダリ	134
図 4.2-1	使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO2 削減量	143
図 4.2-2	使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO2 削減率	144
図 4.2-3	埋立処分した場合のセラミックタイル製品化におけるバウンダリ	145
図 4.2-4	使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO2 削減量	146
図 4.2-5	使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO2 削減率	146
図 4.2-6	使用済太陽電池モジュールの種類別 CO2 排出量の内訳	147
図 5.1-1	リユース事業化のためのコスト整理課題	149
図 5.1-2	リユースユニットのターゲットイメージ（10kw 以上 50kw 未満）	150
図 5.1-3	リユースユニットのターゲットイメージ（500kw 以上）	150
図 5.2-1	事業化における処理方法別のコスト課題（圧縮破碎、RTJ）	152
図 5.2-2	事業化における処理方法別のコスト課題（シュレッダー破碎＋ジグ選別、ハリタ）	152
図 5.2-3	有価物の売却による収益性	153

表 目 次

表 1.1-1	太陽光発電設備の素材構成.....	1
表 1.1-2	太陽電池モジュールの種類.....	2
表 1.2-1	太陽光発電設備の新規導入量（住宅用・非住宅用・メガソーラー）	3
表 1.3-1	現状の課題とその対策.....	5
表 3.1-1	太陽電池モジュールの種類・メーカー別の残存出力率.....	19
表 3.1-2	使用設備のスペック	22
表 3.1-3	機器別の消費電力量	34
表 3.1-4	電源別の用途イメージ.....	34
表 3.2-1	ガラスカレット及びガラスパウダーの品番.....	39
表 3.2-2	分析用試料.....	40
表 3.2-3	成分分析の試料	41
表 3.2-4	定性分析における判断基準.....	41
表 3.2-5	定量分析における分析項目と分析方法.....	41
表 3.2-6	成分分析結果（定性）①多結晶（メーカー混合）	43
表 3.2-7	成分分析結果（定性）②単結晶（メーカー混合）	44
表 3.2-8	成分分析結果（定量）①多結晶（メーカー混合） 単位：%	45
表 3.2-9	成分分析結果（定量）②単結晶（メーカー混合） 単位：%	45
表 3.2-10	含有物質分析及び溶出試験分析の試料.....	46
表 3.2-11	分析試料 写真資料	46
表 3.2-12	分析項目及び分析方法.....	47
表 3.2-13	含有量試験結果：①多結晶（メーカー混合）、②単結晶（メーカー混合）	48
表 3.2-14	含有量試験結果：③-1 薄膜（アルミナ系）、③-2 薄膜（その他）	49
表 3.2-15	含有量試験結果：④CIS/CIGS 系（メーカー混合）	50
表 3.2-16	溶出試験結果：①多結晶（メーカー混合）、②単結晶（メーカー混合） .	51
表 3.2-17	溶出試験結果：③-1 薄膜（アルミナ系）、③-2 薄膜（その他）	51
表 3.2-18	溶出試験結果：④CIS/CIGS 系（メーカー混合）	52
表 3.2-19	セルシートの含有分析試料.....	53
表 3.2-20	含有分析結果（①多結晶（メーカー混合）、②単結晶（メーカー混合）、① ②-1 単結晶・多結晶（混合））平均値.....	53
表 3.2-21	含有分析結果（③薄膜）平均値	54
表 3.2-22	含有分析結果（④CIS/CIGS 系（メーカー混合））平均値.....	54
表 3.2-23	含有分析結果（8mm オーバー品セルシート層、0.5mm アンダー品）平均値	55
表 3.2-24	投入物（①②-1 単結晶・多結晶）	58
表 3.2-25	RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリア ルバランス（①②-1 単結晶・多結晶）	58
表 3.2-26	投入物（③-1 薄膜 アルミナ系）	59
表 3.2-27	RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリア ルバランス（③-1 薄膜 アルミナ系）	59
表 3.2-28	投入物（③-2 薄膜 その他）	59
表 3.2-29	RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリア	

ルバランス（③-2 薄膜 その他）	59
表 3.2-30 投入物（④CIS/CIGS 系）	60
表 3.2-31 RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリアル ルバランス（③-1 薄膜 その他）	60
表 3.2-32 セルシートの銀評価対象品	60
表 3.2-33 投入物	62
表 3.2-34 ハリタの使用済太陽電池モジュールの破碎、ジグ選別におけるマテリアル バランス	62
表 3.2-35 ガラスカレットにおける溶解温度帯チェックのための試料	63
表 3.2-36 溶解温度帯チェック 写真資料	65
表 3.2-37 配合試験の試料	66
表 3.2-38 A 配合（単位：％）	66
表 3.2-39 B 配合（単位：％）	66
表 3.2-40 A 配合の焼成温度と吸水率（単位：％）	67
表 3.2-41 B 配合の焼成時間と吸水率（単位：％）	68
表 3.2-42 A 配合の焼成温度と収縮率（単位：％）	70
表 3.2-43 B 配合の焼成温度と収縮率（単位：％）	71
表 3.2-44 配合試験 写真資料	72
表 3.2-45 A-50 配合	74
表 3.2-46 B-50 配合	74
表 3.2-47 坏土の配合 写真資料	75
表 3.2-48 ガラスカレットにおける溶解温度帯チェックのための試料	76
表 3.2-49 溶解温度帯チェック 写真資料	77
表 3.2-50 吸水率測定結果（ガラス 95％）	78
表 3.2-51 ガラスチャート製作 写真資料	79
表 3.2-52 セラミックタイル・テストピースの原料	80
表 3.2-53 吸水率の測定結果	81
表 3.2-54 曲げ破壊荷重の測定結果	81
表 3.2-55 寸法測定	82
表 3.2-56 セラミックタイル 写真資料	82
表 3.2-57 セラミックタイルの含有試験結果	84
表 3.2-58 セラミックタイルの溶出試験結果	84
表 3.2-59 溶解温度帯チェック（焼成前）写真資料	85
表 3.2-60 溶解温度帯チェック（焼成結果）写真資料	86
表 3.2-61 原料の割合	87
表 3.2-62 皿焼成（試験用治具）写真資料	87
表 3.2-63 原料調合 写真資料	88
表 3.2-64 焼成前 写真資料	88
表 3.2-65 皿焼成の試験結果 写真資料	88
表 3.2-66 セラミックブロックの焼成 写真資料	91
表 3.2-67 寸法測定	92
表 3.2-68 透水試験	92
表 3.2-69 強度（曲げ試験）	92
表 3.2-70 滑り性結果	92

表 3.2-71	セラミックブロックの物性試験 写真資料.....	93
表 3.2-72	セラミックブロックの含有試験結果	94
表 3.2-73	セラミックブロックの溶出試験結果	94
表 3.2-74	セラミックタイル 写真資料.....	95
表 3.2-75	寸法測定	96
表 3.2-76	曲げ破壊荷重	96
表 3.2-77	滑り性試験.....	96
表 3.2-78	吸水率測定.....	96
表 3.2-79	セラミックタイル物性試験 写真資料.....	97
表 3.2-80	セラミックタイルの含有試験結果	98
表 3.2-81	セラミックタイルの溶出試験結果	98
表 3.2-82	防音パネルの原料（混合比）	99
表 3.2-83	曲げ強さ	100
表 3.2-84	圧縮強さ	100
表 3.2-85	吸水率.....	100
表 3.2-86	かさ比重	100
表 3.2-87	耐酸性試験・耐アルカリ試験	100
表 3.2-88	急熱急冷試験	101
表 3.2-89	熱膨張試験.....	101
表 3.2-90	耐凍害試験.....	101
表 3.2-91	セルシートの品質評価.....	103
表 3.2-92	セラミックタイル化の受入条件	104
表 3.2-93	使用済太陽電池モジュールのリサイクル施設候補地	110
表 4.1-1	セラミックタイル製品化における 1t あたりの CO2 削減量	116
表 4.1-2	セラミックタイル製品化における年間 CO2 削減量	116
表 4.1-3	セラミックタイル製品化のインベントリーデータ	117
表 4.1-4	インベントリーデータ収集における参考文献一覧	121
表 4.1-5	セラミックブロック製品化における 1t あたりの CO2 削減量	126
表 4.1-6	セラミックブロック製品化における年間 CO2 削減量	126
表 4.1-7	セラミックブロックのインベントリーデータ	127
表 4.1-8	インベントリーデータ収集における参考文献一覧	130
表 4.1-9	防音パネル製品化における 1t あたりの CO2 削減量.....	135
表 4.1-10	防音パネル製品化における年間 CO2 削減量.....	135
表 4.1-11	防音パネルのインベントリーデータ	136
表 4.1-12	インベントリーデータ収集における参考文献一覧.....	140

単位・略称の一覧

本報告書では、以下のとおり単位および略称の統一を図る。

単位

本報告書での表記	正式名称・意味など
残存出力率（％）	使用済太陽電池モジュールの実出力（Pmax）／使用済太陽電池モジュールの新品時での公称出力（Pmax）

略称

本報告書での表記	正式名称・意味など
パネルガラス	太陽電池モジュールのパネルに使用されているガラス
パネル	太陽電池モジュールからアルミフレームを外したもの。ガラスとセルシートがまだ接着した状態
PCS	Power Conditioning System
RTJ	リサイクルテック・ジャパン株式会社
ハリタ	ハリタ金属株式会社
GRCJ	ガラス再資源化協議会

要旨

本事業では、ガラス再資源化協議会（GRCJ）協力の元、使用済太陽電池モジュール 3,000 枚を用いて、リユース及びリサイクルの用途開発実証試験を行った。

回収した使用済太陽電池モジュールのうち、破損がない等、外観上で判断出来た 500 枚について、東芝環境ソリューションの保有設備であるソーラーシミュレーターにて性能診断を行い、リユースの可能性を診断した。診断の結果、 P_{max} の残存出力率（実出力/交渉出力）が 0.8 以上のものは 117 枚であった。この 500 枚から P_{max} 値が 240w 以上のものを 20 枚用いて、実際にリチウムイオン電池や PCS 等と組み合わせ、8 枚組、12 枚組のリユースユニットを千葉県富津市にて組み立て、発電、充電、放電実験を行った。実験の結果、冷蔵庫であれば 20 時間、スマートフォン 80% 充電であれば 1 時間で 45 台まで対応可能など、オンサイト型の発電ユニットとしての活用が見込まれた。

破損あり等リユースに適さなかった 2,500 枚を対象に、セラミックタイル化のためのガラスカレット生成として 2 種類の破碎・選別処理の比較実験を行い、それぞれのガラスカレットを用いてタイルの原料製造、壁用、床用のタイルの製作を行った。また、タイルの他、ガラスカレットの用途開発として、セラミックブロック、発泡ガラスによる防音パネルの製作、板ガラス、グラスファイバーの原料評価も行った。また、パネルガラスだけでなくセルシートの銀評価も併せて行ったほか、パネルガラスの成分分析、含有物試験についても、太陽電池モジュールの種類別に実施した。タイル化に用いたパネルガラスは、比較実験用に必要な量が確保出来た単結晶・多結晶太陽電池モジュールである。破碎・選別処理方法は、リサイクルテック・ジャパン（RTJ）による圧縮破碎・選別と、ハリタ金属（ハリタ）によるシュレッター破碎・ジグ及びふるい選別の 2 種類である。タイル原料となる坯土の調合は丸美陶料、壁材タイルの焼成は立風製陶、床材タイル及び床材ブロックの焼成はクリスタルクレイ、防音パネルはライテックが行った。

異物混入率 1%以内という条件に対し、単結晶・多結晶混合の使用済太陽電池モジュールを用いて破碎・選別実験を行った結果 RTJ、ハリタともに条件を満たすガラスカレットの生成に成功し、調合された坯土やパウダーによる焼成製品はいずれも物性試験、溶出試験をクリアする品質のものが出来た。また、RTJ にて太陽電池モジュールの種類別に圧縮破碎を行い、セルシートを生成し、セルシートに含有する銀の評価を受けたところ、三井金属鉱業より単結晶、多結晶、薄膜（アルミナ系）のものは有価物との評価が得られた。

今後の事業化を検討するにあたり、リユースとリサイクルでは、それぞれ課題検討事項が異なる。本事業では、リユース実験を行ったのみであり、引取や仕分けの作業効率化は行っていなかった。このため、大きなコストがかかっている。今後、3 年以内の事業化を目指すにあたり、早急に事業化のための工程別の効率的な作業段取りの整理を行い、コスト圧縮対策を取る必要がある。回収するリユース可能な使用済太陽電池モジュールに関する情報把握、撤去、運搬、性能診断、付帯設備の調達、用途別のユニットパッケージ化等、様々な工程にかかる項目やコストを把握し、商業ベース化のための整理、検討が必要である。

セラミックタイル化によるリサイクルについては、原料としての受入条件として、異物

1%以内、パネルガラス成分の安定、継続的に同成分でのロット調達が可能なこと、事前に成分に関する情報提供が必要等の整理がなされた。また、これらの条件を満たす処理工程も目処が立った。従って、今後は、商業ベース化させるために処理工程の効率化によるコスト削減が課題となる。

実験の結果、セラミックタイル化の可能性のある、異物混入の可能性が低く、安定的な量の回収が見込めるのは、単結晶、多結晶の太陽電池モジュールであった。薄膜（アルミナ系）も異物混入の可能性は低い、発生量が現段階では少ない。今後、安定発生することにより、単結晶・多結晶・薄膜（アルミナ系）として、一定配合にてカレット化することにより、原料としての取扱が可能になる。タイル化に適した太陽電池モジュールを事前に仕分け、処理施設に搬入することで、処理の効率化が図られ、コスト圧縮に繋がり、目標となる 50 円台/kg が達成出来るのではないかと思われる。

リサイクルによる CO2 削減効果として、セラミックタイル化での試算を行った。セラミックタイルへのベースラインプロセスは、使用済パネルガラスの乾式製錬による処分と、長石を原料とした製品化とし、本処理工程は、使用済太陽電池モジュールの選別処理と、ガラスカレットを原料とした製品化とした。ライン全体の CO2 排出量を比較した場合、本処理工程を導入することによって使用済太陽電池モジュール 1t あたりの CO2 排出量は 478kg/t 削減との算出結果となった。

Summary

In this project, together with the Glass Recycling Committee of Japan (GRCJ), we conducted demonstration tests using 3000 solar cell modules to study the reuse and recycling possibilities.

Of those solar cell modules collected, 500 which had no visual damages were selected and analyzed for the reuse capability using the solar simulator owned by Toshiba Environmental Solutions Corporation.

As the result of this analysis, there were 117 solar cell modules having Pmax residual output factor (actual output/nominal output) of at least 0.8. Using 20 of the 500 solar cell modules having Pmax value above 240W, 8-cell and 12-cell reuse units were assembled together with lithium ion batteries, PCS, etc. in Futtsu City of Chiba Prefecture and were tested on power generation, charging, and discharging performances. The results indicated that these units could be used to supply electricity for 20-hour operation of refrigerators as well as conduct 80% power charges up to 45 units of cell phones in one hour, showing great potential for the use as an on-site power generating unit.

For the 2,500 solar cell modules that were damaged and thus could not be reused, two kinds of comparative tests were carried out which involved tests crushing and selecting them to generate glass cullet for ceramic tiles. Using the two kinds of glass cullet, raw tile materials and wall and floor tiles were produced.

For the purpose of developing other glass cullet applications in addition to the tiles, tile blocks and foam glass sound proof panels were produced, as well as raw materials of plate glass and glass fiber, which were evaluated.

In addition, not only the panel glass, but also cell sheets were assessed for silver, and panel glass components were analyzed and inclusions were tested for each type of solar cell module.

The panel glass used for tiles was made of mono and polycrystal solar cell modules fully available for carrying out comparative tests. They were compressed, crushed, and selected by Recycle Tech Japan (RTJ), whereas they were crushed using a shredder and selected using a jig and a sieve by Harita Metals Co., Ltd. (Harita). The plastic matter to be used as the raw material for tiles was prepared by MARUMI TORYO K.K, wall tiles were baked by RIPPU SEITO CO.,LTD, floor tiles and blocks were baked by CRYSTAL CLAY CORP., and sound proof panels were produced by Lightec Inc.

As a result of crushing and selecting mono and polycrystal solar cell modules under the condition with a maximum foreign matter mixing ratio of 1%, RTJ and Harita were

both able to produce acceptable glass cullet, and the baked products using the prepared plastic matter and powder satisfied the physical property test and elution test. Further, after the solar cell modules were compressed and crushed for each type by RTJ to produce cell sheets, and the cell sheets were assessed for the contained silver, those in forms of monocrystal, polycrystal, and thin film (alumina system) were evaluated as valuables by Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd.

Before planning future businesses, we need to solve different problems for reusing and recycling solar cell modules. Since we only conducted tests for reusing solar cell modules in this business, we did not take into account effective collection and sorting, which would result in a larger cost. To actually establish our businesses within three years, we need to study and arrange effective work procedures for each process for commercialization, as well as to reduce the required costs, by understanding the various issues and costs including; the reusable solar cell modules to be collected, information collection, removal, transportation, capability analysis, procurement of ancillary equipment, and unit packaging by purpose.

For recycling and converting solar cell modules into ceramic tiles, we have summarized the conditions for accepting them as raw materials, including a maximum of within 1% of foreign matter, stabilized panel glass components, availability of consecutive lot procurement in the constant components, preliminary provision of information regarding components, etc. In addition, we have established rough treatment processes satisfying these conditions. Accordingly, we need to reduce the costs through effective treatment processes for commercialization.

According to the result of tests, those that could be converted into ceramic tiles in a stable amount without mixing foreign matter were mono and polycrystal solar cell modules. Thin films (alumina system) were produced in a smaller amount, even though they were less likely to be contaminated with foreign matter. However, if such thin films can be produced stably, they can be treated as a raw material by making them a cullet material in a certain percentage as mono and polycrystal thin films (alumina system). We expect that preliminarily sorting solar cell modules suitable for tiles and delivering them to treatment facilities can simplify the process, thus reducing the costs, achieving the goal of around ¥50/kg.

As a result of trial calculation on converting solar cell modules into ceramic tiles to reduce CO₂ through recycling, where the baseline process for ceramic tiles included pyrometallurgy of used panel glass and production using feldspar as a raw material, as well as this treatment process which included selection of used solar cell modules and production using glass cullet as a raw material, when comparing the CO₂ emission in the lines as a whole, a reduction of CO₂ emission of 478 kg/t was achieved per used solar cell module of 1 t, through the introduction of this treatment process.

1. 背景

1.1 太陽電池モジュール

我が国では、2015 年 7 月に「長期エネルギー需給見通し」が策定され、2030 年度のエネルギー需給構造の見通しを示している。2030 年度の総発電電力量における再生可能エネルギーの比率の目標は 22～24%と設定され、太陽光発電は 7.0%程度迄の電源構成比率を上昇することを目指している。

一方、2012 年 7 月から開始した固定価格買取制度（FIT）により、太陽光発電の導入が急増し、10 年経過後の 2022 年頃から住宅用の設備廃棄が、20 年経過後の 2032 年頃から非住宅用の設備廃棄が急増すると考えられている

本節では、我が国の現時点における太陽光電池モジュールの性質、生産量・出荷量の動向、排出予測、リサイクル・処理状況を整理し把握した。

1.1.1 構造

太陽電池モジュールの主要構成材は、フロントカバー（ガラス）、フレーム（アルミ）、プラスチック（EVA 等）がある。代表的な太陽電池モジュールの構造と素材構成を示す。

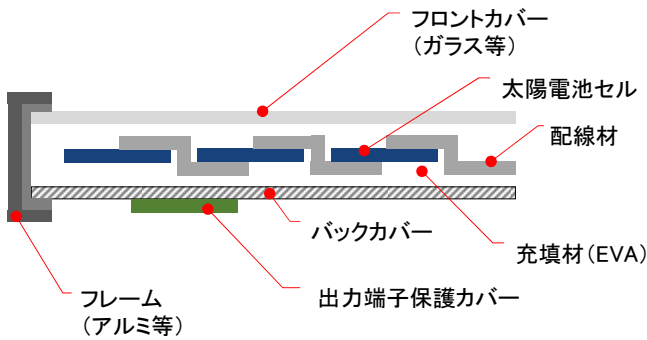


図 1.1-1 太陽電池モジュールの断面図（結晶シリコン系）

表 1.1-1 太陽光発電設備の素材構成

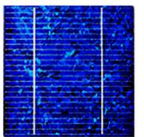
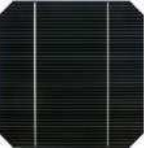
項目	kg/枚	構成比 (%)
シリコン	1.10	7.6%
板ガラス	8.63	59.2%
アルミニウム	2.31	15.8%
銅	0.10	0.7%
充填材	1.73	11.8%
PET	0.66	4.5%
PPE	0.06	0.4%
合計	14.59	100.0%

出所) 株式会社三菱総合研究所「平成 24 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」

1.1.2 太陽電池モジュールの種類

太陽電池モジュールは多くの種類があるが、市場に最も出回っているものとしては、多結晶と単結晶のシリコン系太陽電池モジュールである。表 1.1-2 にその種類を示す。

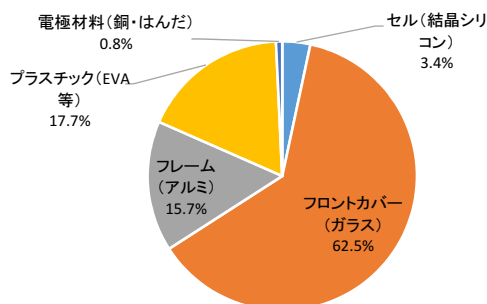
表 1.1-2 太陽電池モジュールの種類

種類			特徴	モジュール 変換効率 [%]	セル外観
シリコン系	結晶系	単結晶	シリコンの原子が規則正しく配列した構造で、変換効率の高い太陽電池を作ることができる。製品の歴史が長く、豊富な実績を持っている。	15~17	
		多結晶	単結晶シリコンが多数集まってできている太陽電池。単結晶に比べて、変換効率は低いが安価に製造ができる。	13~15	
		ヘテロ接合	結晶系基板にアモルファスシリコン層を形成した高効率な太陽電池。変換効率が高く、特に住宅などの限られたスペースへの設置に優れる。	16~19	
	薄膜系	アモルファス	シリコン原子が不規則に集まった太陽電池。薄くても発電できる（結晶系の約 1/1000）。また、ガラスやフィルム基板上に製造が可能。波長感度は短波長側にある。	6~7	
		多接合	異なる波長感度特性を持つ二つ以上の発電層を重ね合わせたもの。このため、単接合により発電効率が向上している。アモルファスと微結晶（薄膜多結晶）を組み合わせたタンデム構造が主流。トリプル構造もある。	8~10	
化合物系	CIS/ CIGS系		銅（Cu）、インジウム（In）、セレン（Se）の三つの元素を主成分とした太陽電池。CIGS は、ガリウム（Ga）を加えている。従来型のシリコン結晶系太陽電池とは全く異なる構造である。	11~12	
	その他		異なる元素を組み合わせた構造の太陽電池。GaAs、CdTe などがある。		

参考）一般社団法人太陽光発電協会（編集）「太陽光発電システムの設計と施工」

1.1.3 素材構成比

太陽電池モジュールの重量構成比を図 1.1-2 に示す。太陽電池モジュールにおいて、ガラスが占める重量比は約 60%である。したがって、太陽電池モジュールのリサイクル率の向上のためにはガラスのリサイクル促進が重要である。



出典：NEDO(2009)「太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」

図 1.1-2 太陽電池モジュールの重量構成比

1.2 太陽光発電の生産量、出荷量の動向

1.2.1 日本における太陽光発電設備の導入量

太陽光発電設備の新規導入量の推移を表 1.2-1 に示す。2012 年度に FIT が導入され、導入量は飛躍的に増加し、2015 年度には 10,000,000kW を超えると想定されている。

表 1.2-1 太陽光発電設備の新規導入量（住宅用・非住宅用・メガソーラー）

年度	新規導入量 KW	年度	新規導入量 KW	年度	新規導入量 KW
1981	358	1996	20,205	2011	1,404,149
1982	743	1997	33,230	2012	3,809,451
1983	1,689	1998	43,306	2013	8,545,732
1984	2,441	1999	81,078	2014	9,216,325
1985	3,332	2000	116,659	2015	10,061,264
1986	4,456	2001	124,370	2016	12,355,111
1987	4,290	2002	186,175	2017	14,721,806
1988	4,040	2003	224,986	2018	16,953,380
1989	4,901	2004	274,189	2019	18,655,113
1990	5,827	2005	305,068	2020	20,138,789
1991	8,022	2006	268,175		
1992	7,738	2007	209,856		
1993	6,737	2008	236,787		
1994	7,723	2009	623,127		
1995	11,498	2010	1,062,914		

出所) 1981～2014 年度までは JPEA データを使用、2015 年度以降は回帰直線（FORCAST 関数）で将来の新規導入数を予測した。

1.3 排出量予測

1.3.1 排出量予測

太陽光発電設備の排出見込量（素材構成内訳）（2015 年～2030 年）を図 1.3-1 に示す。設備寿命は太陽電池モジュール 20 年、パワーコンディショナー 10 年としている。

排出量は 2015 年時点で 69,941t と見込まれている。今後の見込みとして、2020 年度までは緩やかに上昇するが、FIT で導入量が増加した設備が廃棄を迎える 2021 年や 2029 年に増加率が急上昇し、2030 年には 352,733t となり、2015 年の約 5 倍程度まで増加すると考えられている。

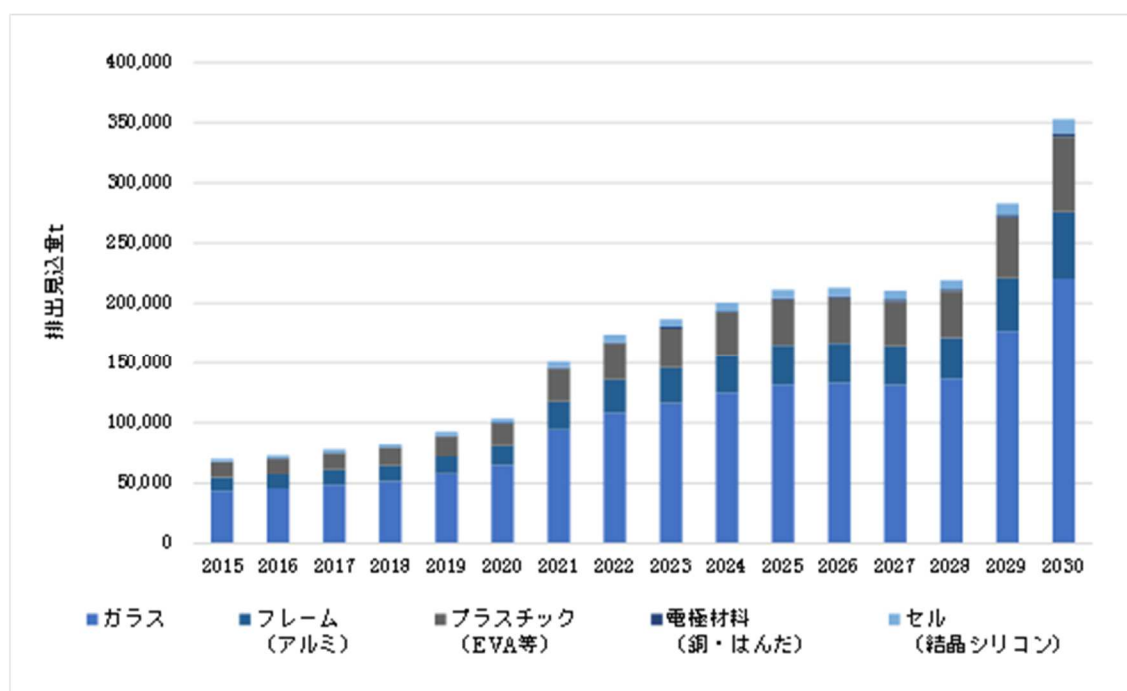


図 1.3-1 太陽光発電設備の排出見込量（素材構成内訳）（2015 年～2030 年）

参照）環境省「平成 24 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（株式会社三菱総合研究所実施）」の見込量から、重量構成比率を用いて各素材の見込量を算出した。

1.3.2 現状のリサイクル・処理方法

使用済太陽電池モジュールの排出後フローに関し、現状のリサイクル・処理方法は、①埋立、②破碎・選別の2パターンが考えられる。環境省の報告書（環境省「平成24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（株式会社三菱総合研究所実施）」）によると、現状では太陽光発電設備メーカーから中間処理業者・金属スクラップ業者へ引き渡され、破碎・選別ののちに非鉄精錬業者にて金属回収されるフローが最も多いとされている（従来システム②）。

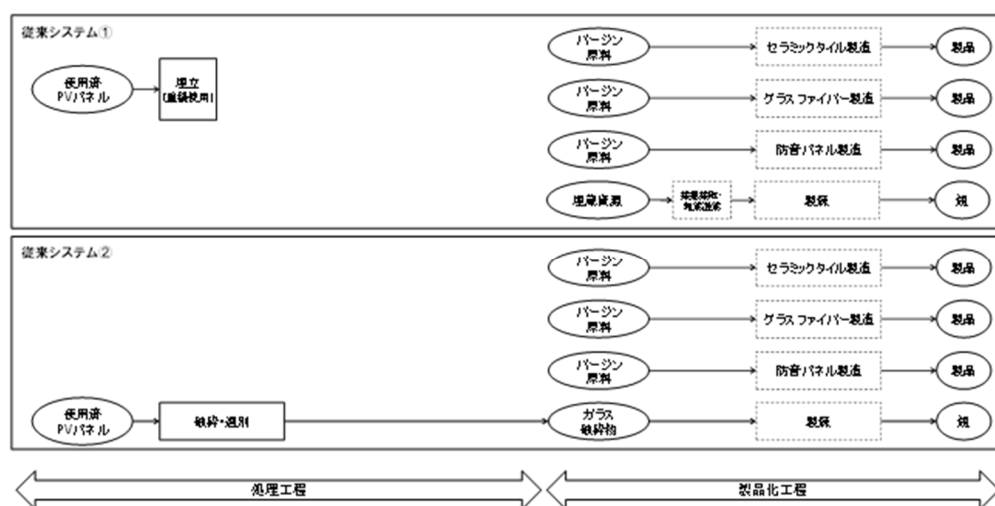


図 1.3-2 現状のリサイクル・処理方法

1.3.3 現状の課題とその対策

表 1.3-1 現状の課題とその対策

分類	現状の課題	対策
リユース	リユース判断基準が曖昧である。また、高付加価値なリユースパッケージが確立していない	事業採算性が高く、かつ全国展開が可能なスキームを確立することで、リユース事業化を促進する
リサイクル	使用済み太陽電池モジュールのリサイクルにおいてフィルム剥離が肝要であるが、現状採算性の合う技術が確立されていない	使用済太陽電池モジュールの再資源化において必要な技術開発、かつ高付加価値な商品開発を行うことで、事業採算性を確保し、リサイクル事業化を促進する
	ガラスパウダーの高付加価値な再資源化品の用途開発が行われていない。また、技術評価、再資源化品の物性確認が必要である	
	フィルムの剥離段階における異物（主にEVA樹脂）の完全除去	
		破碎後の異物除去としてふるい選別のメッシュの組み合わせを追加する、またはEVA樹脂をセルシート側に残すように圧縮破碎を行う

2. 実証事業の概要

2.1 目的

2.1.1 リユースの目的

リユースをすることで、「廃棄物の削減」、「環境保全上の効果」、「低所得者支援」の効果が挙げられる。リユース製品は新製品と比較して安価に商品を提供することが可能となり、新商品の購入を希望しているが経済的な観点から購入できない低所得者にとってリユースは品質の良い商品を安価に手にすることが出来る手段となっており、家庭部門における普及拡大につながる事が期待される。

2.1.2 リサイクルの目的

現状排出されているのは、メーカーの工場排出物、修理・交換によりメーカーや工事事業者が引き取った製品等が中心であり、これらは産業廃棄物として製錬事業者等に委託処理されているものが多い。製錬事業者等では、アルミの回収や非鉄製錬プロセスによる非鉄金属等の回収が行われている。

一方、太陽電池モジュール重量の大部分を占めるガラスの回収に関しては、製錬後のスラグをセメント原料や路盤材として再利用されている。更に高付加価値な製品用途は研究段階であり、実用化まで至っていない。

本実証により、付加価値・経済合理性の高いガラスの用途開発やリサイクルシステムが確立されることにより、再資源化率の向上、最終処分率の低減といった資源循環型社会への貢献が期待される。

2.2 実施体制（全体）

本事業の実施体制図を図 2.2-1 に示す。本事業の実証試験は、リユースとリサイクルから成っている。両者で使用した使用済太陽電池モジュールは、ガラス再資源化協議会（以下、GRCJ）が調達した。

リユースにおいて、使用済太陽電池モジュールの品質評価およびリユースユニットの組み立て、実証試験を東芝環境ソリューションが実施した。リユースユニット 12 枚セットで使用するリチウムイオン電池は啓愛社協力の元、ニチコンよりレンタルした。

リサイクルにおいて、使用済太陽電池モジュールを RTJ がアルミフレームを除去した後、RTJ とハリタにてガラスの選別を行った。回収したガラスカレットおよびガラスパウダーを、丸美陶料、立風製陶、クリスタルクレイ、ライテックで処理し、製品化の検証と条件整理を行った。旭硝子、セントラル硝子においても、原料評価を依頼した。

また、回収したガラスカレットと剥離したセルシートについて、三井金属鉱業が成分分析を実施した。

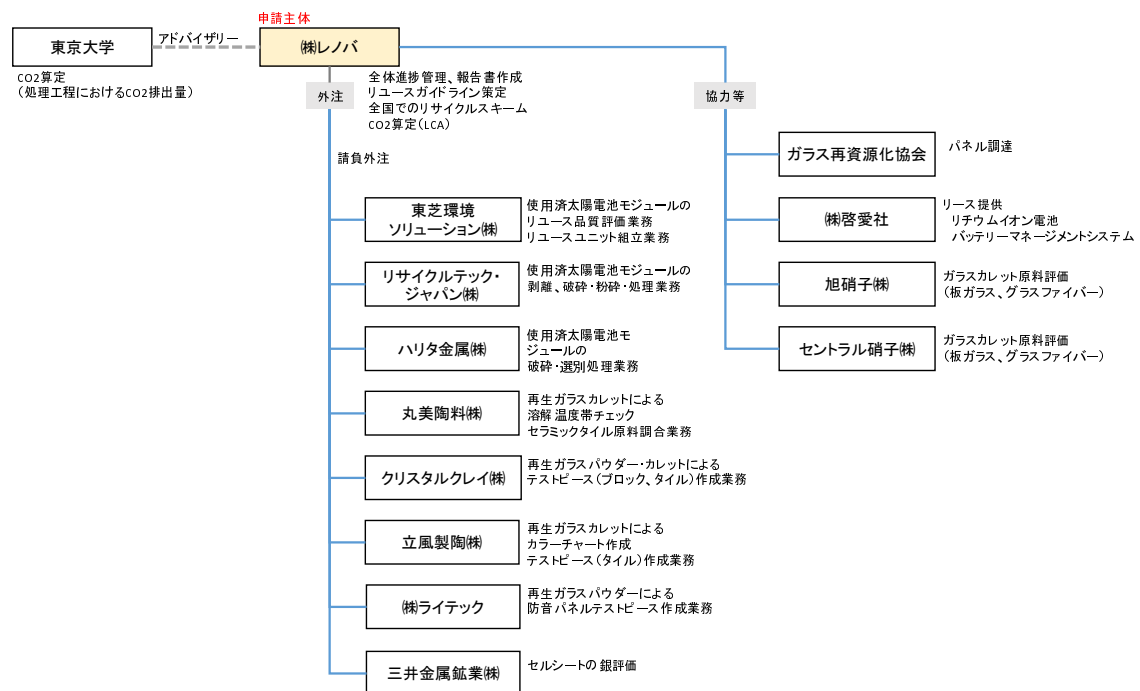


図 2.2-1 実施体制図

2.3 本報告書の構成

本報告書のリユース、リサイクルの検討について章構成を示す。リユース検討は 3.1 にて、リサイクルは 3.2 にて行った。また、環境負荷としての CO₂ 排出量削減効果については、リサイクルのみ試算を行っている。

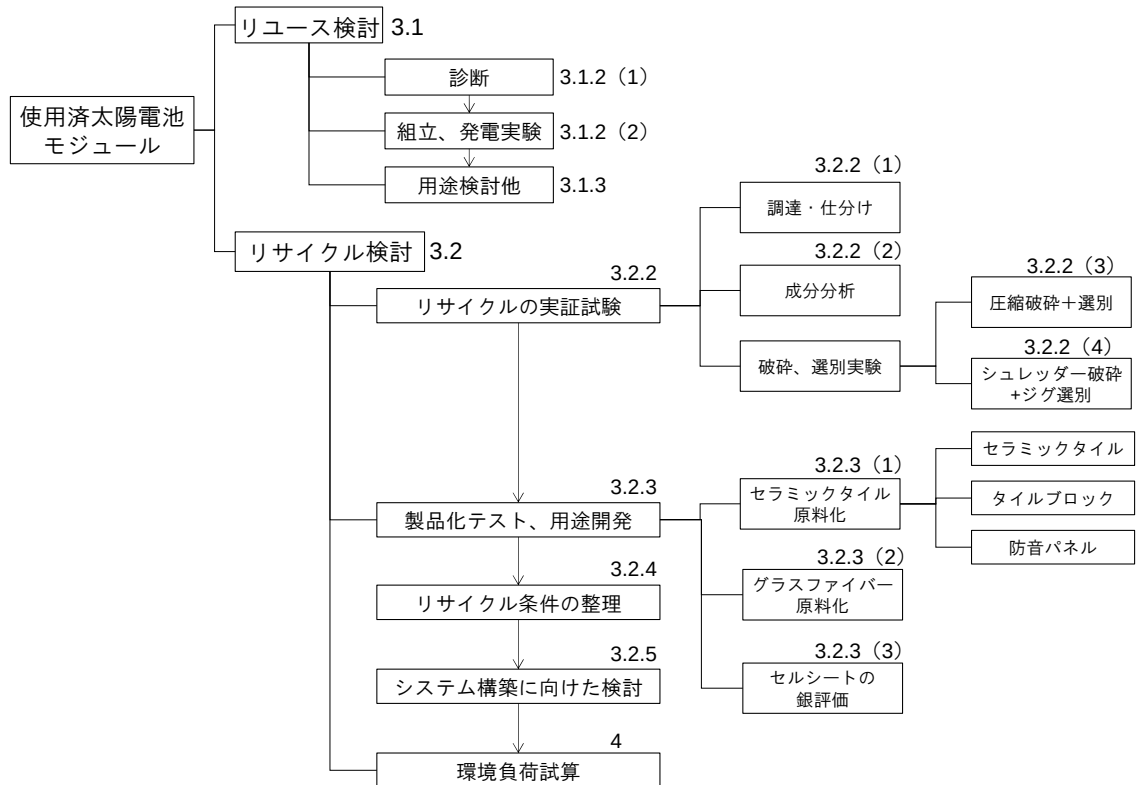


図 2.3-1 本報告書の構成（数値は章番号を示す）

3. 実証事業の実施および結果

3.1 リユース

3.1.1 実施内容

GRCJ の回収した使用済太陽電池モジュールのうち、外観に破損がないなど、リユースの可能性が考えられるもの 500 枚を対象に、リユースの検討を行った。リユース実証試験の実施内容を図 3.1-1 に示す。

本事業では、使用済太陽電池モジュール 500 枚全てを対象にソーラーシミュレーターによって性能等の診断を行った。更に選別した使用済太陽電池モジュールを用いてリユースユニットを組み立て、発電、充電、放電の実証試験を行い、用途検討やリユース利用のための条件整理を行った。

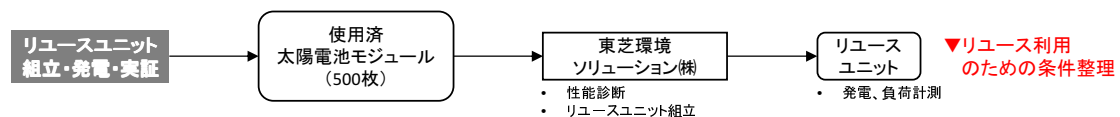


図 3.1-1 リユースシステムの実施内容

3.1.2 使用済太陽電池モジュールのリユースシステムの検討

(1) 使用済太陽電池モジュールの性能診断結果

1) 目的

GRCJ が収集した使用済太陽電池モジュール 500 枚を活用し、ソーラーシミュレーターにて出力等の性能診断を行った。

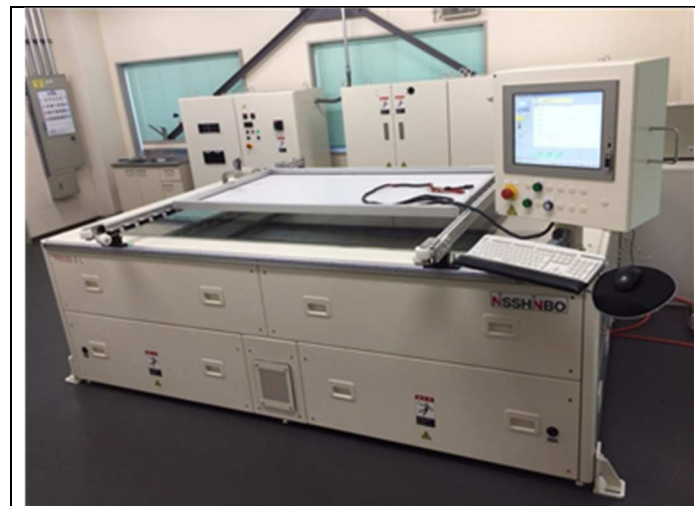
<評価項目>

- ・ Pmax 最大電力・最大出力
- ・ Isc 短絡電流
- ・ Voc 開放電圧
- ・ Ipm 最適電流・最大出力動作電流
- ・ Vpm 最適電圧・最大出力動作電圧
- ・ 500 枚の使用済太陽電池モジュールの写真

2) 試験方法

本試験に使用したソーラーシミュレーターは自然光の波長域と強度分布が類似した人工光 ($1,000\text{W/m}^2$) を発生・照射することで太陽電池モジュールが実際に発電する環境を擬似的に作りだし、この時の電圧・電流値を計測し、発電量を算出する装置である。測定には 100 msec のパルス状の発光方式を用いており、連続光方式による測定と比較して供試体への伝熱が殆どないため、温度影響が少なく、安定した測定結果を得ることができる。

本測定法は基本的に相対評価法であり、ランプの照度の変動すると測定される値にも変化が生じる。このため、決められた頻度で“基準モジュール”と呼ばれる認定機関により、すでに性能が保障されたモジュールの測定を行い、測定値に変動がないことの確認を行う。また太陽電池モジュール性能（発電）が温度に依存するため、測定の温度条件も厳しく定められておりモジュールの温度が $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 以内である必要がある。測定温度は機器に設置された放射温度計を使用し、太陽電池モジュール裏面のバックシート温度で評価している。



名称：ソーラーシミュレーター
形式：PVS1222i II-L
製造者：日清紡メカトロニクス株式会社

図 3.1-2 ソーラーシミュレーター

3) 試験結果

本実証事業で使用した使用済太陽電池モジュールの種類は、単結晶が59%、多結晶が40%、化合物が1%の比率であり、単結晶が最も多かった。

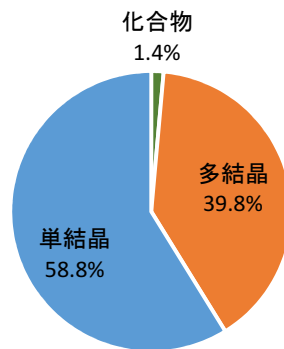


図 3.1-3 本実証事業で使用した使用済太陽電池モジュールの種類における割合

a. Isc（短絡電流）

Isc 短絡電流について、公称値を把握することが可能な使用済太陽電池モジュールは 281 枚であった。その中で、7.5-8A の分布にける公称 Isc が最も多く、140 枚と全体の約 50% となっていた。2 番目に多かった領域は 8.5-9A で、63 枚と全体の 22% であった。一方、実測値では、8.5-9A が 219 枚で全体の 44% を占めていた。

公称値が把握できる 281 枚について、公称値に対する実測値の比率分布を図 3.1-6 に示す。公称値の 80% 以上の結果となった使用済太陽電池モジュールが 273 枚で全体の 97.2% を占め、出力を維持している使用済太陽電池モジュールが非常に多いことが伺えた。

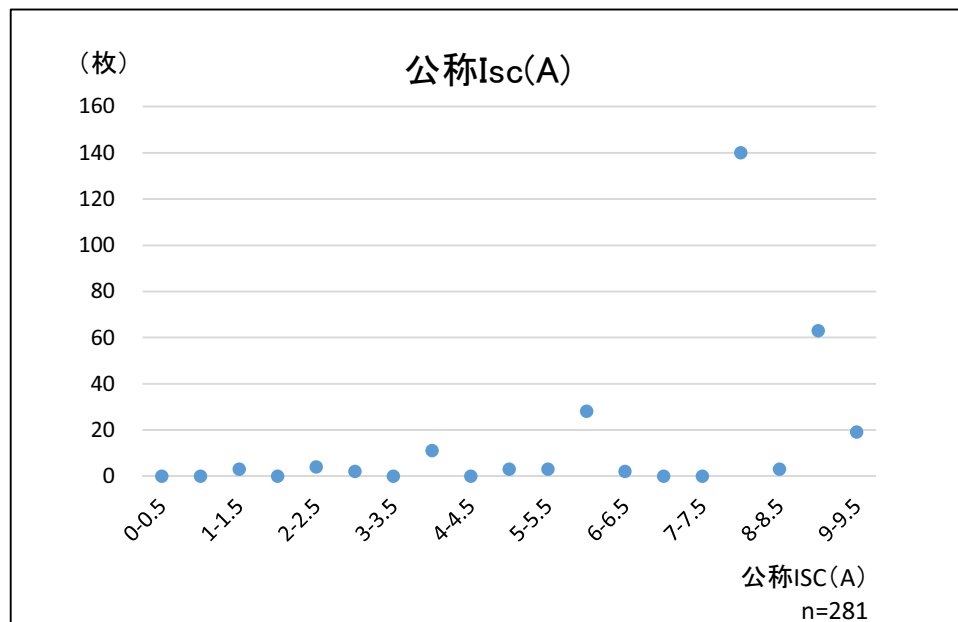


図 3.1-4 公称 Isc（短絡電流）における使用済太陽電池モジュール 281 枚の分布

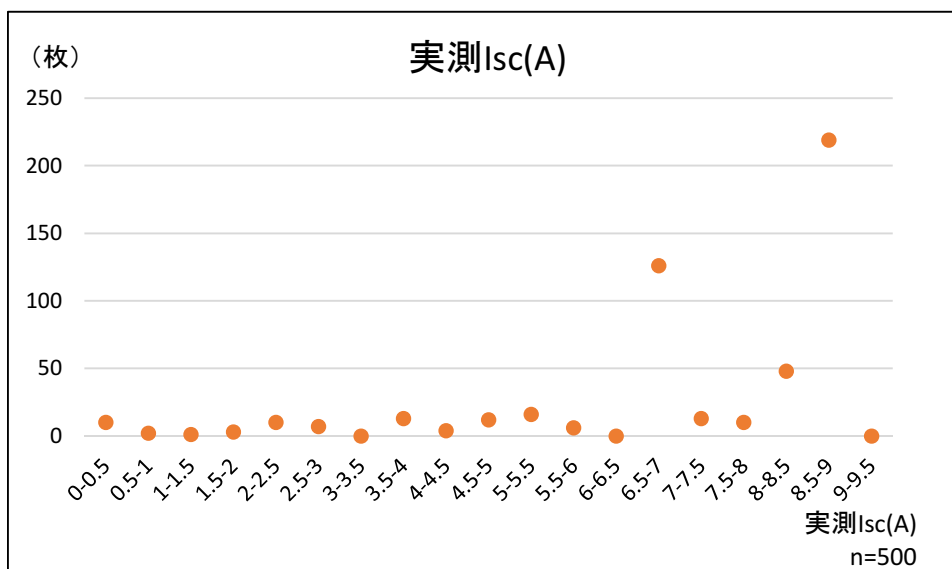


図 3.1-5 実測 Isc（短絡電流）における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布

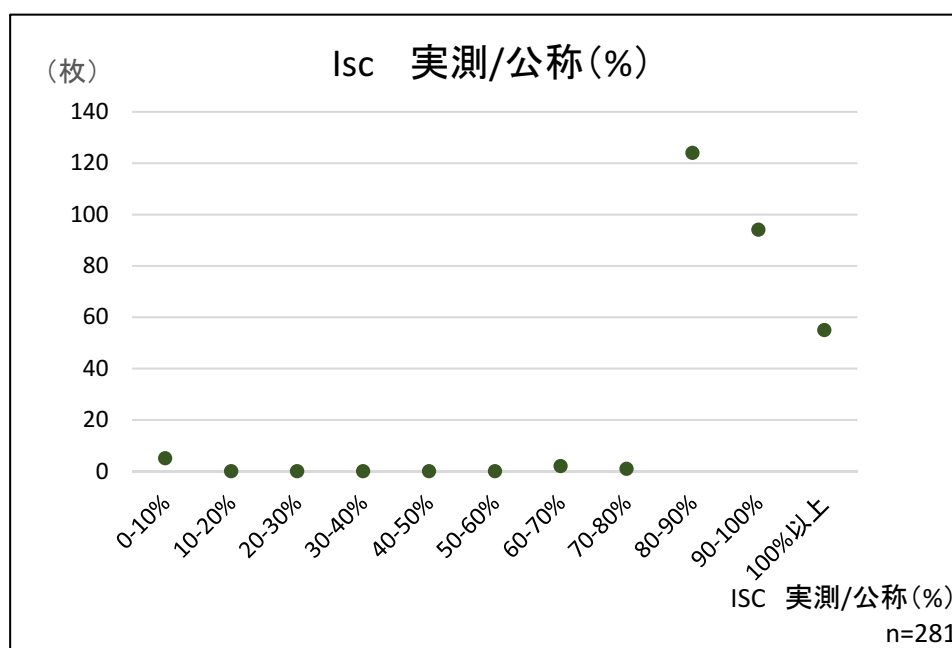


図 3.1-6 Isc（短絡電流）における公称値に対する実測値の比率分布

b. Voc（開放電圧）

Voc 開放電圧について、公称値を把握することが可能な使用済太陽電池モジュールは 281 枚であった。その中で、20-25V の公称値の分布が最も多く、149 枚と全体の 53% を占めていた。2 番目に多かった領域は 35-40V となっており、60 枚と全体の 21% であった。一方、実測値では、30-35V の領域が 198 枚で全体の 40% を占めていた。

公称値が把握できる 281 枚について、公称値に対する実測値の比率分布を図 3.1-9 に示す。公称値の 80% 以上の結果となった使用済太陽電池モジュールが 222 枚で全体の 79.0% であり、Isc と比較して若干比率は低下したが、8 割弱の使用済太陽電池モジュールが 8 割程度の出力を維持していることが確認できた。

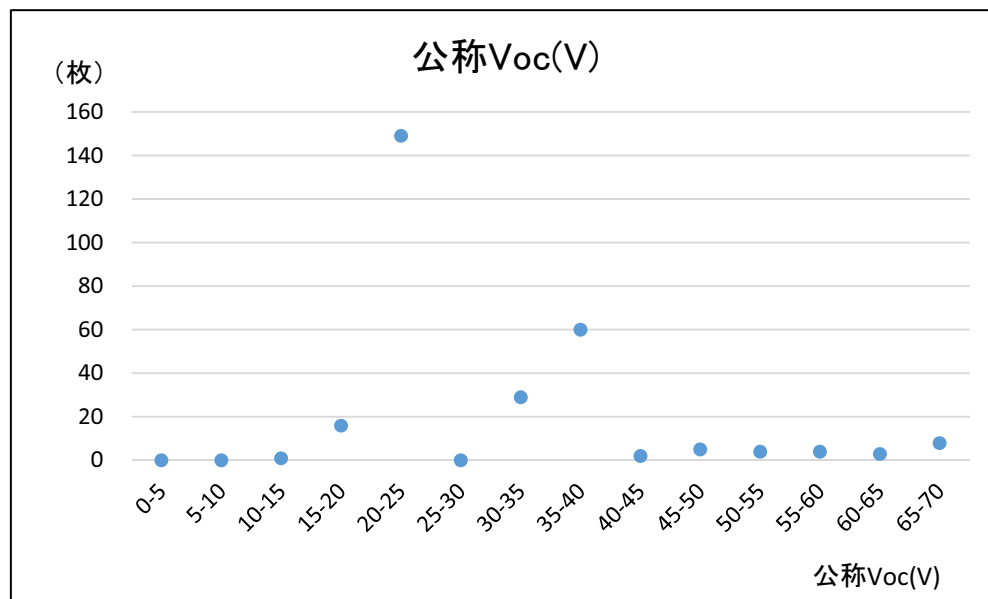


図 3.1-7 公称 Voc（開放電圧）における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布

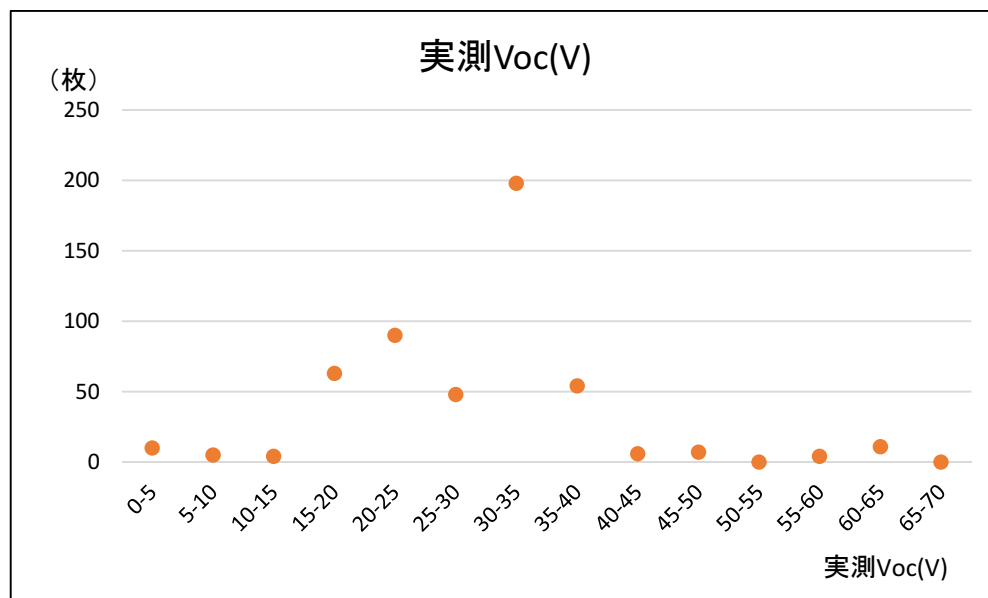


図 3.1-8 実測 Voc（開放電圧）における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布

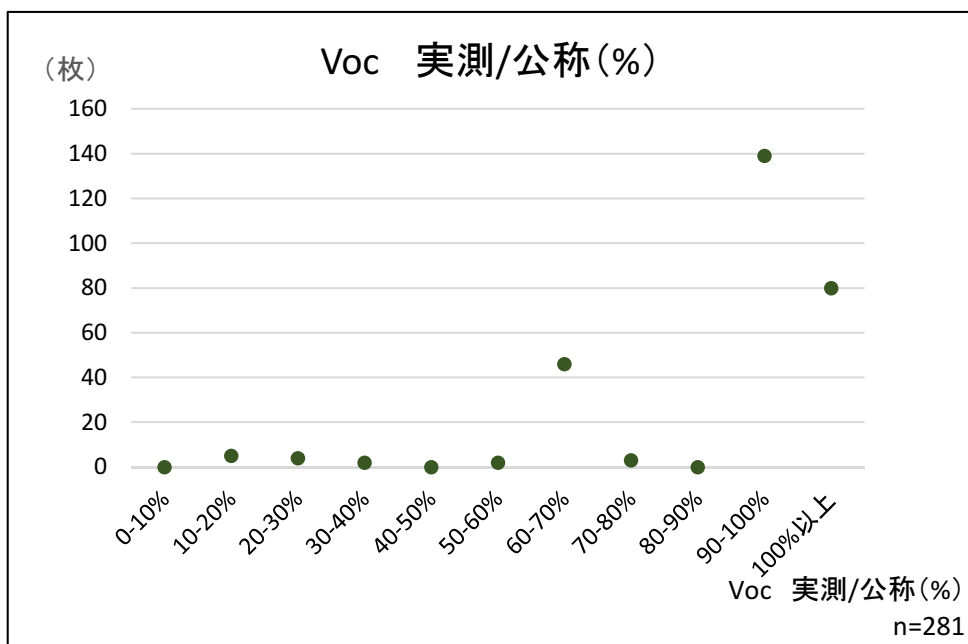


図 3.1-9 実測 Voc（開放電圧）における公称値に対する実測値の比率分布

c. Ipm（最適電流・最大出力動作電流

公称 Ipm について、公称値を把握することが可能な使用済太陽電池モジュールは 279 枚であった。公称値の分布は 7・7.5A が最も多く、140 枚で全体の 50%となっていた。2 番目に多かった領域は 8・8.5A となっており、58 枚と全体の 21%であった。一方、実測値では、8・8.5A の領域が 179 枚で全体の 36%を占めていた。

公称値が把握できる 279 枚について、公称値に対する実測値の比率分布を図 3.1-12 に示す。公称値の 80%以上の結果となった使用済太陽電池モジュールが 235 枚で全体の 84.2%を占めていた。

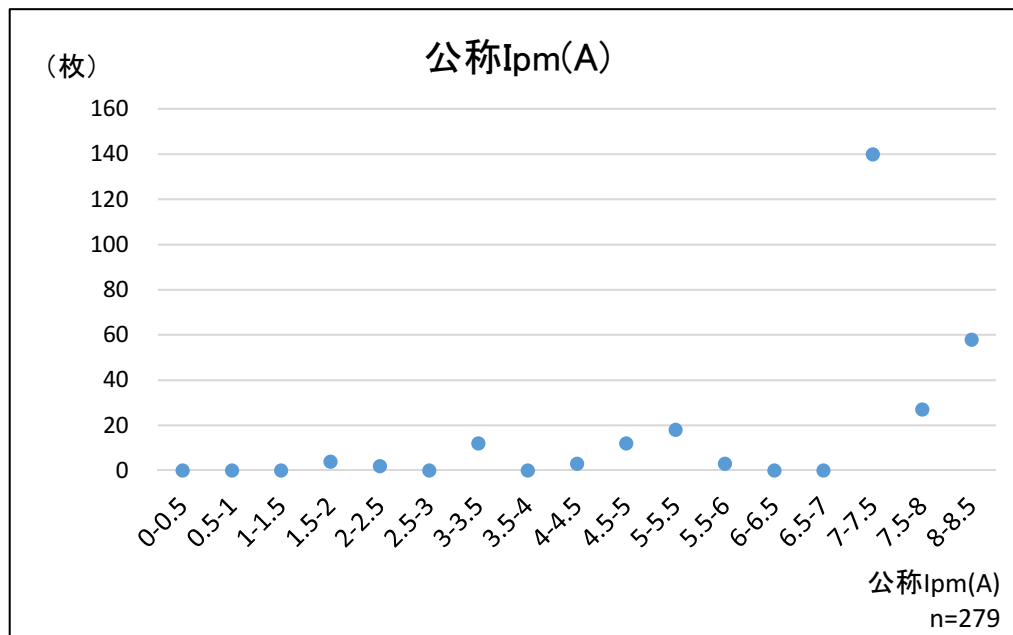


図 3.1-10 公称 Ipm（最適電流・最大出力動作電流）における使用済太陽電池モジュール 279 枚の分布

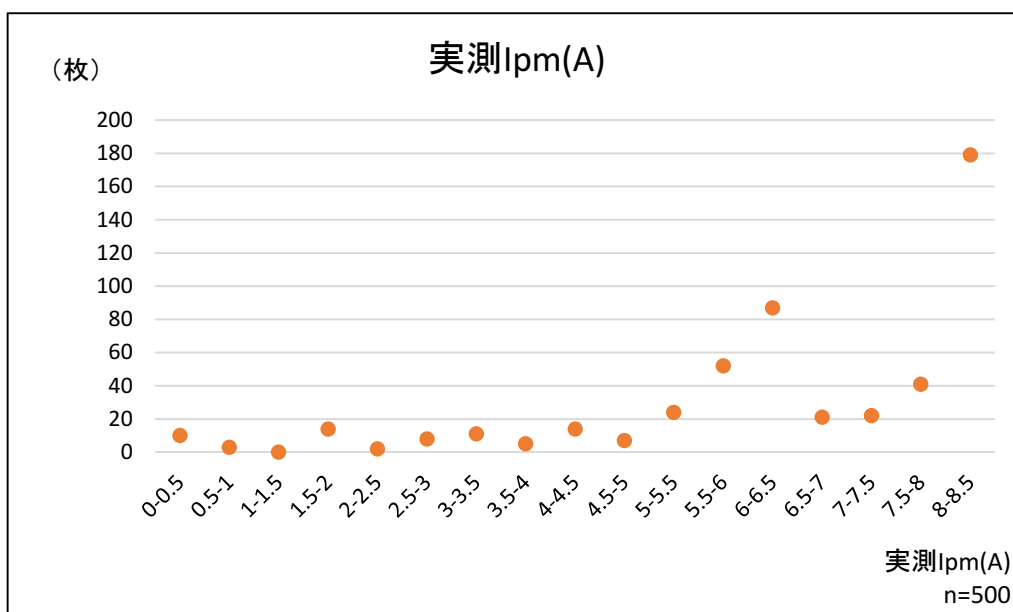


図 3.1-11 実測 Ipm における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布

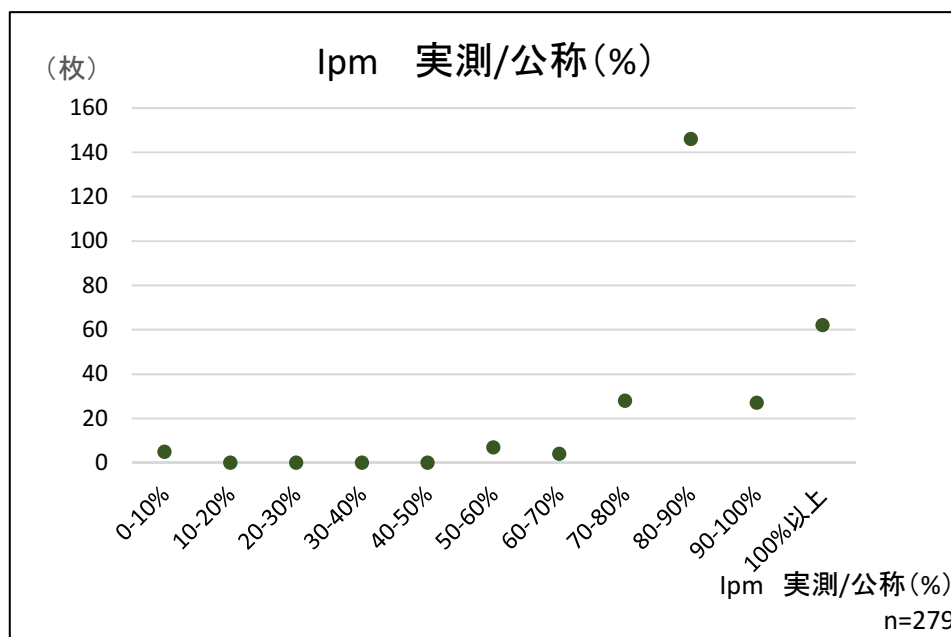


図 3.1-12 Ipm における公称値に対する実測値の比率分布

d. Vpm（最適電圧・最大出力動作電圧）

Vpm について、公称値を把握することが可能な使用済太陽電池モジュールは 282 枚であった。公称値の分布は 15-20V が最も多く、149 枚と全体の 53%となっていた。2 番目に多かった領域は 30-35V となっており、57 枚と全体の 20%であった。一方、実測値では、25-30V の領域が 216 枚で全体の 43%を占めていた。

公称値が把握できる 282 枚について、公称値に対する実測値を図 3.1-15 に示す。公称値の 80%以上の結果となった使用済太陽電池モジュールが 216 枚で全体の 76.6%を占めていた。

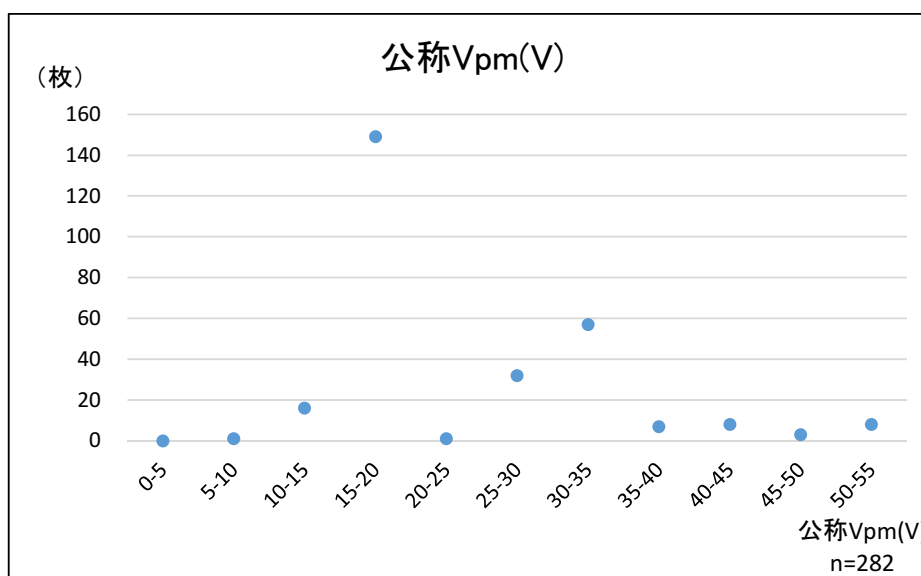


図 3.1-13 公称 Vpm における使用済太陽電池モジュール 282 枚の分布

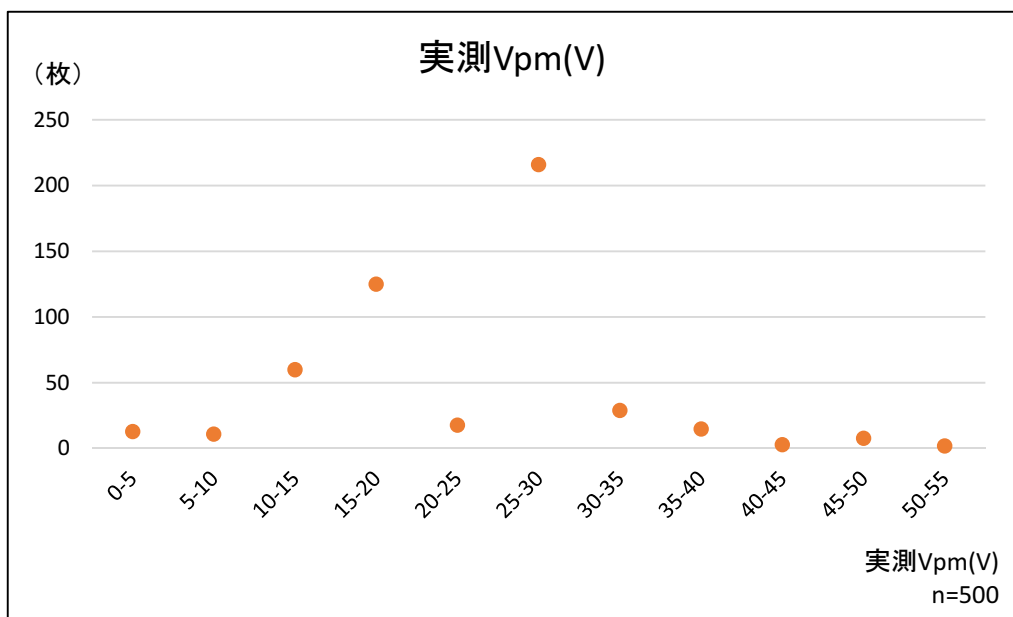


図 3.1-14 実測 Vpm における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布

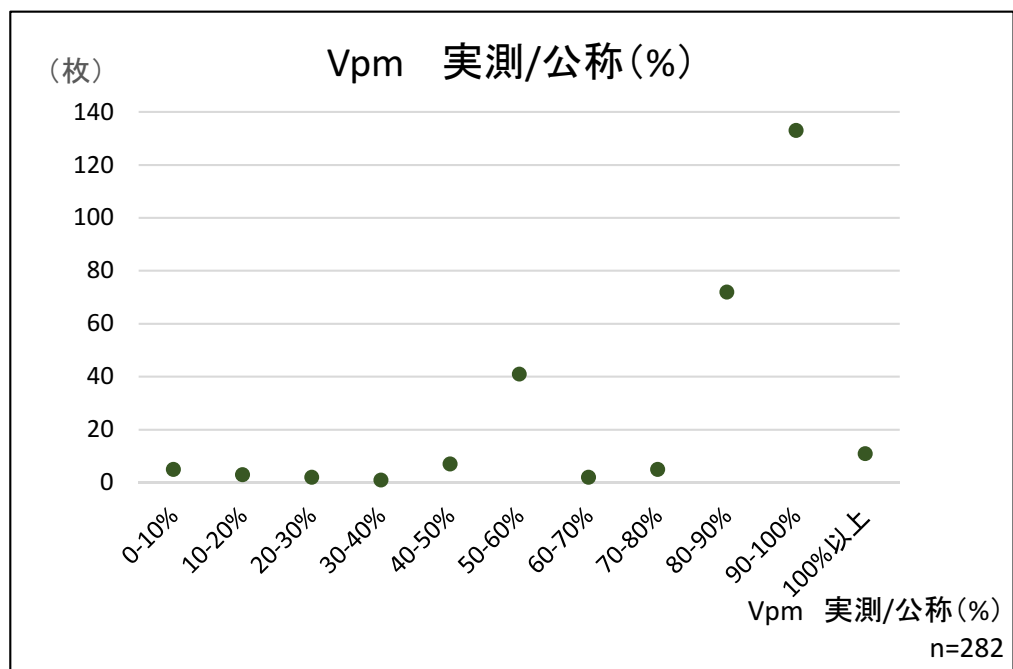
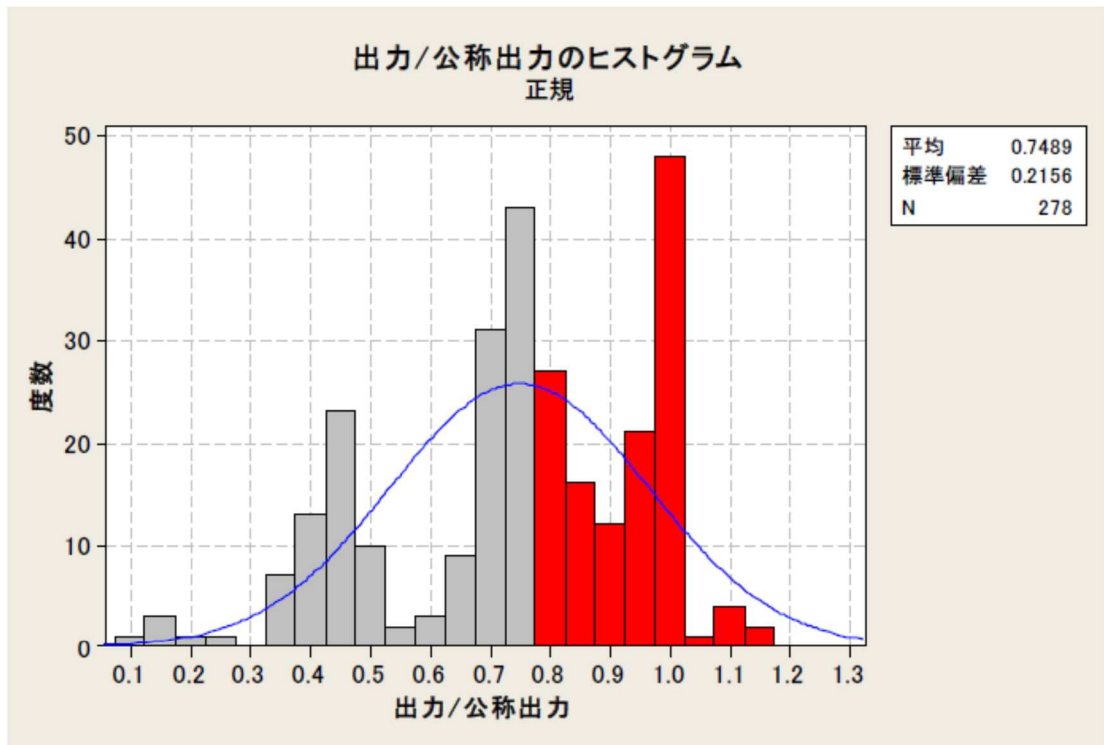


図 3.1-15 Vpm における公称値に対する実測値の比率分布

e. 性能診断結果 (Pmax)

Pmax について、残存出力率（実出力／公称出力）0.8 以上の使用済太陽電池モジュールが 117 枚あった。残存出力率には幅広いばらつきがあることがわかった。



性能診断結果 (Pmax 最大電力・最大出力)

初期特性の把握できる278枚のうち、

- ・良好（公称初期値の 80%以上）117枚
- ・出力低下（公称初期値の 80%未満）161枚

図 3.1-16 出力／公称出力のヒストグラム (n=278)

f. メーカー別の公称出力

太陽電池モジュールの種類別、メーカー別に Pmax の残存出力率（実出力/公称出力）を整理した。更に、サンプル数が 20 以上（表 3.1-1 の黄色セル）のものの残存出力率の分布を見たところ、0.7 以上の数値が多かった一方で、0.5 程度等ばらつきが見られた。

現状では、単結晶や多結晶がコストパフォーマンス性の良さから多く使用されているが、使用年数や使用環境によって劣化度は当然異なる。本実験にて使用した太陽電池モジュールには、沿岸部で 15 年使用されたものが含まれていたことから、残存出力率の低いものについては、塩害による劣化もあったのではないかと考えられる。

使用済太陽電池モジュールに対し、後追いでこれらの情報を読み取ることは不可能なため、廃棄段階から使用環境の情報把握が求められる。

表 3.1-1 太陽電池モジュールの種類・メーカー別の残存出力率

メーカー	最大値 / 出力/公称出力	最小値 / 出力/公称出力	平均 / 出力/公称出力	枚数
化合物	0.90	0.85	0.87	4.00
A 社	0.90	0.85	0.87	4.00
多結晶	0.99	0.10	0.63	142.00
B 社	0.99	0.97	0.98	3.00
C 社	0.99	0.99	0.99	1.00
D 社	0.95	0.92	0.94	2.00
E 社	0.88	0.10	0.61	136.00
単結晶	1.16	0.13	0.87	124.00
F 社	0.81	0.81	0.81	1.00
G 社	0.92	0.83	0.88	8.00
H 社	0.97	0.96	0.97	2.00
I 社	1.02	0.79	0.96	8.00
J 社	1.02	0.92	0.99	28.00
K 社	0.66	0.13	0.41	6.00
L 社	0.87	0.79	0.84	6.00
M 社	0.93	0.92	0.93	4.00
N 社	0.98	0.44	0.73	33.00
O 社	0.85	0.79	0.82	3.00
P 社	0.99	0.93	0.97	15.00
Q 社	0.98	0.96	0.97	3.00
R 社	0.98	0.98	0.98	2.00
S 社	1.16	1.00	1.10	3.00
T 社	0.97	0.97	0.97	1.00
U 社	0.97	0.97	0.97	1.00
総計	1.16	0.10	0.74	270.00

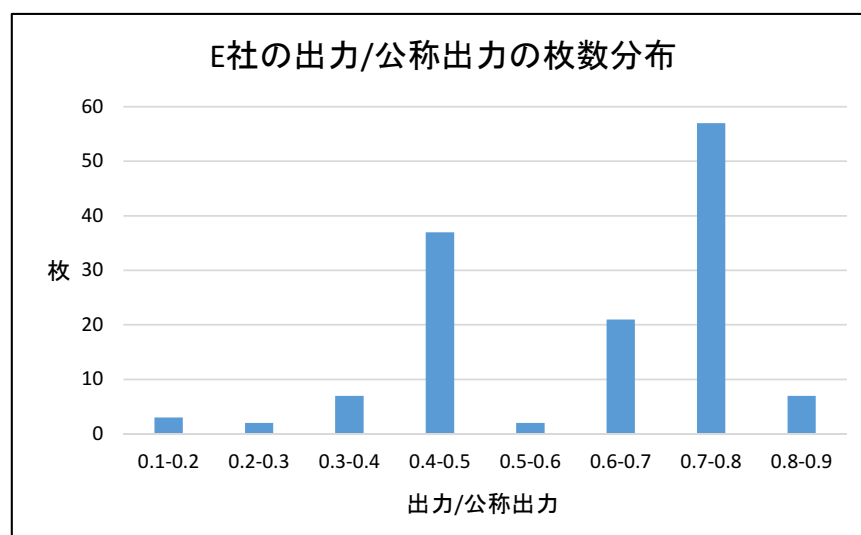


図 3.1-17 E 社の出力/公称出力の枚数分布 (n=136)

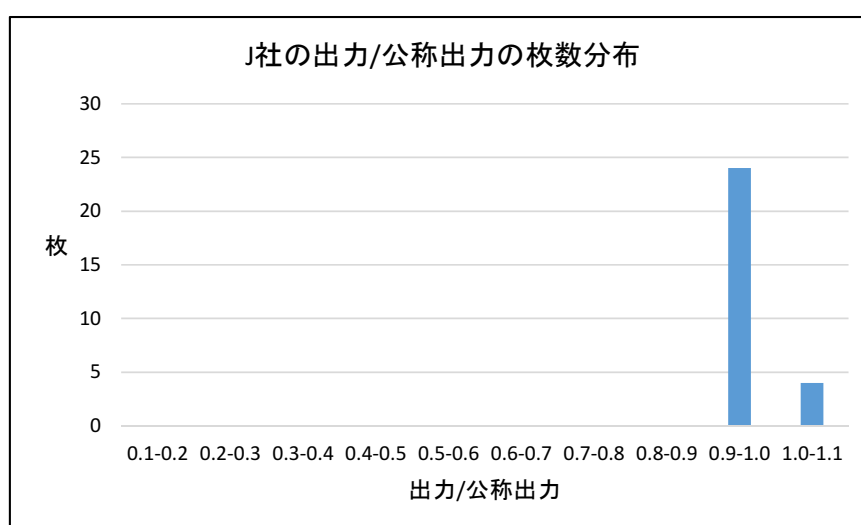


図 3.1-18 J 社の出力/公称出力の枚数分布 (n=28)

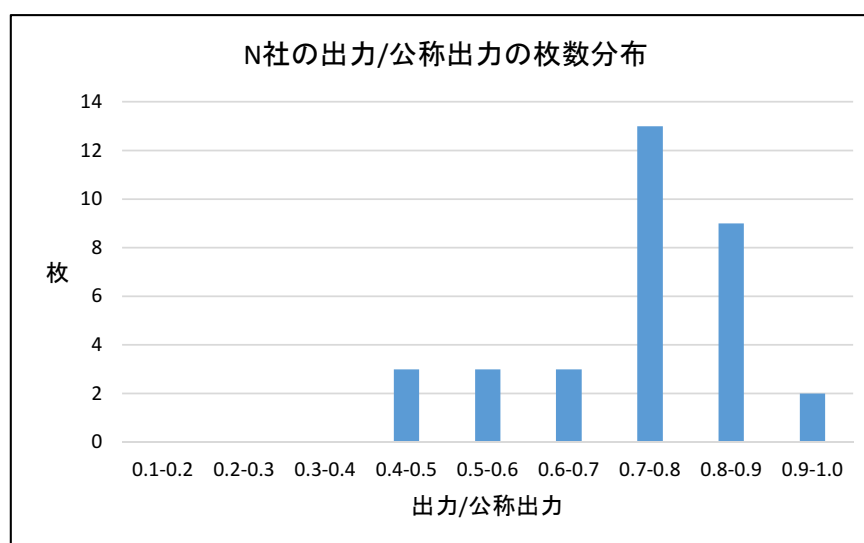


図 3.1-19 N 社の出力/公称出力の枚数分布 (n=33)

(2) 使用済太陽電池モジュールのリユースシステムの試作と利用可能性の検討

1) 20 枚の選定

使用済太陽電池モジュール（500 枚）を基準条件（1,000W/m²、25℃）下で、ソーラーシミュレーターにより診断した。診断結果を Pmax の値（単位：W/枚）で整理すると図 3.1-20 に示す分布となり、Pmax210～220W の分布が約 14%で一番高い結果となった。

本試験結果に基づき、「使用済太陽電池モジュール（リユース用）を用いたリユースユニット組立、及び交流電子負荷による発電時間の計測」に使用する発電試験用使用済太陽電池モジュール（20 枚）を選別した。使用済太陽電池モジュール（20 枚）は、Pmax の値において 240W/枚以上を出力した使用済太陽電池モジュールの中から選別した。

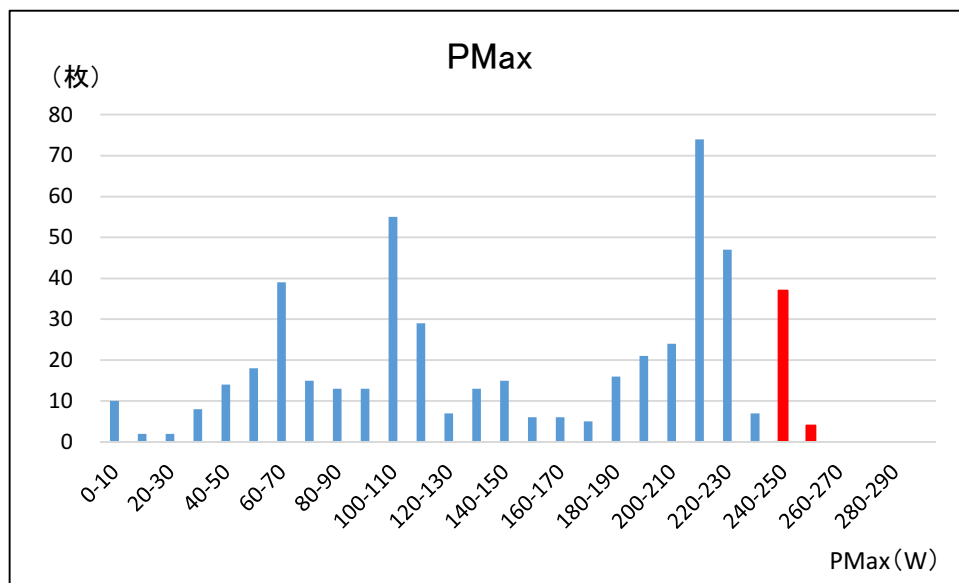


図 3.1-20 Pmax における使用済太陽電池モジュール 500 枚の分布

2) 使用設備

発電・負荷計測を実施するため、接続箱、PCS（Power Conditioning System）、充電装置、交流電子負荷装置を準備した。スペック等の詳細を表 3.1-2 使用設備のスペックに示す。

表 3.1-2 使用設備のスペック

接続箱 (新品)	機能	使用済太陽電池モジュールによるリユースユニット（8枚セット）、使用済太陽電池モジュールによるリユースユニット（12枚セット）で示した、複数の使用済太陽電池モジュールを直列接合した系列ごと（8枚セットは1系列、12枚セットは2系列）に集電し、系列同志を並列接合して、後段のPCSに電力を導入する。
	装置概要	メーカー：（株）東芝 名称：太陽光発電システム用接続箱 型式：TOS-CBS4C-R2 回路数：4 回路容量：300V（1回路）20A
	写真	
PCS (使用済品)	機能	接続箱で集電した電力（直流）を100V 商用電力（交流）に変換する。本試験に供試した、エコノラインEXPVN-405 は、変換後の電力の最大値は 1.2kWであった。
	装置概要	メーカー：京セラ(株) 名称：ソーラ発電システム用パワーコンディショナー 型式：エコノラインEXPVN-405 定格：4kW
	写真	
充電装置 (使用済品)	機能	PCSで変換した商用電力（交流）を、電力（直流）に再度変換し、リチウムイオン電池に電力として蓄電する。 本試験に供

		試したESS-U1SK2は、蓄電容量が7.2kWhとなっているが、出力可能な電池の最大電力は、電池保護のため5.7kWh程度となっている。
	装置概要	メーカー：nichicon 名称：蓄電システム 型式：ESS-U1SK2 電池種：リチウムイオン 蓄電容量：7.2kWh（自立時） 最大出力：1.5KV 最大電流：15A
	写真	
交流電子負荷 （使用済品）	機能	充電装置に蓄電された電力量（公称：5.7kWh）を、時間当たりの負荷（消費電力）を調整できる機能を有す。電子的に細調整可能な可変抵抗であるため、蓄電された電力量の変動が生じても、消費設定値（AC100V 10A, 5A, 2A）が安定的に維持される。
	装置概要	メーカー：（株）高砂製作所 名称：交流電子負荷装置 型式：EWL-2000 最大有効電力：2,000W
	写真	

3) 組立・発電・負荷計測

a. 8枚セット

<試験条件>

「使用済太陽電池モジュール（リユース用）を用いたリユースユニット組立」で示した8枚セットの組立条件において、表3.1-2で示した装置を使用し、発電（充電量）を計測した。



図 3.1-21 リユースユニット（8枚セット）

<試験日>

2015-11-27

<試験結果>

日射量および充電量の測定結果（2015-11-27）を以下に示す。発電量と日射量の関係はあらかじめソーラーシミュレーターを使用して実測し、使用済太陽電池モジュールの使用枚数（8枚セット、及び12枚セット）に応じて計算した。今回の計測に供試したPCSの最大値は 1.2kW であるため、この値を出力するためには、600W/m²以上の日射量が必要となる。

発電（充電量）を計測した 2015-11-27 は、最大で 600W/m² 程度であった。これにより、充電装置で示した充電装置には、1.2kWh 未満の電力量で充電されている。

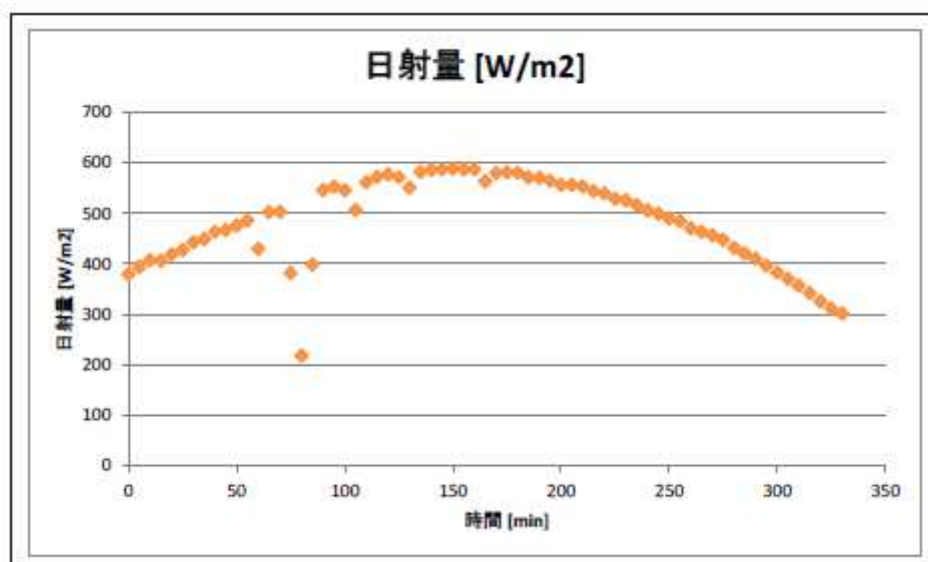


図 3.1-22 日射量の測定結果 (2015-11-27) (8 枚セット)

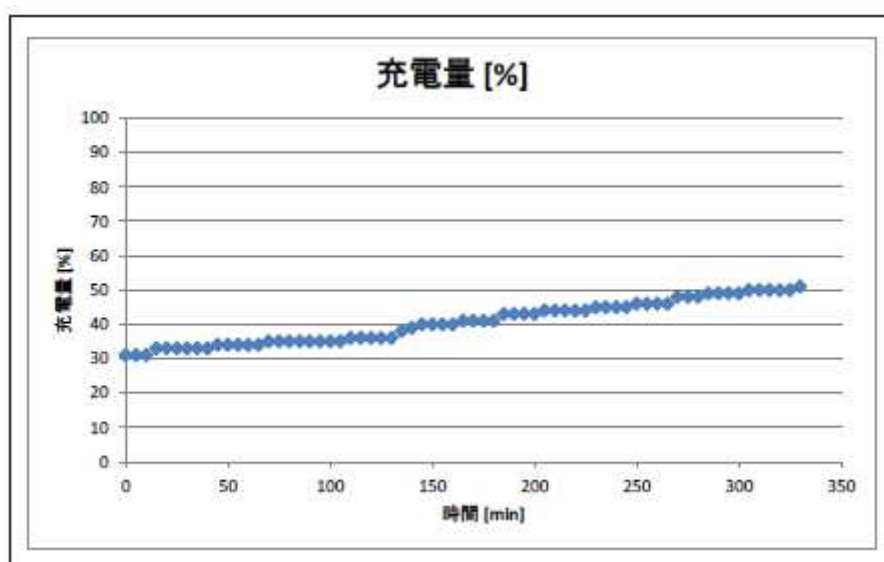


図 3.1-23 充電量の測定結果 (2015-11-27) (8 枚セット)

b. 12 枚セット

<試験条件>

「使用済太陽電池モジュール（リユース用）を用いたリユースユニット組立」で示した 12 枚セットの組立条件において、上記で示した装置を使用し、発電（充電量）を計測した。



図 3.1-24 リユースユニット（12 枚セット）

<試験日>

2015-11-16

<試験結果>

日射量の測定結果（2015-11-16）および充電量を以下に示す。発電量と日射量の関係はあらかじめソーラーシミュレーターを使用して実測し、使用済太陽電池モジュールの使用枚数（8 枚セット、及び 12 枚セット）に応じて計算した。

8 枚セットと同様に、その関係は後述で記載している。今回の計測に供試した PCS の最大値は 1.2kW であるため、この値を出力するためには、400W/m² 以上の日射量が必要となる。発電（充電量）を計測した 2015-11-16 は、測定開始してから 250 分に亘り、400W/m² 程度を維持することができた。これにより、充電装置で示した充電装置には、1.2kWh の電力量で充電されている。

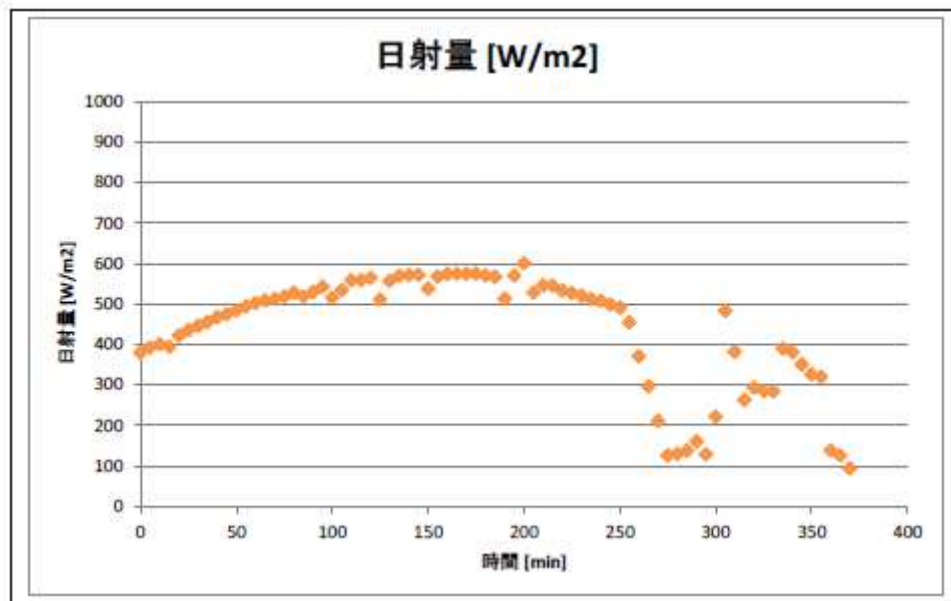


図 3.1-25 日射量の測定結果 (2015-11-16) (12 枚セット)

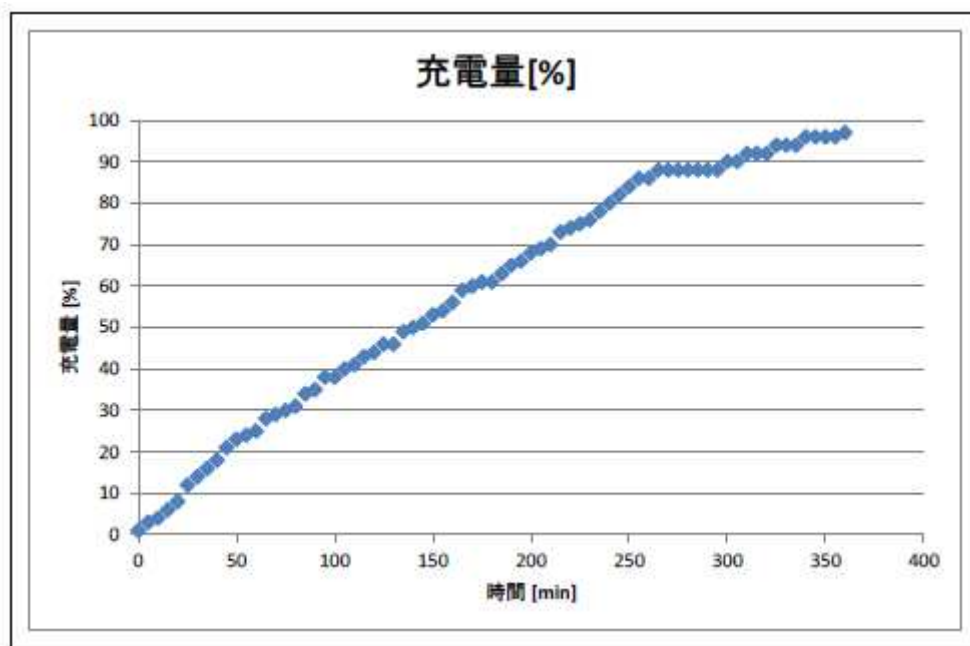


図 3.1-26 充電量の測定結果 (2015-11-16) (12 枚セット)

c. 発電量と日射量の関係試算結果

組立条件において、発電量と日射量の間をあらかじめソーラーシミュレーターを使用して実測し、使用済太陽電池モジュールの使用枚数（8 枚セット、及び 12 枚セット）に応じて計算した。その計算結果を図 3.1-27 に示す。

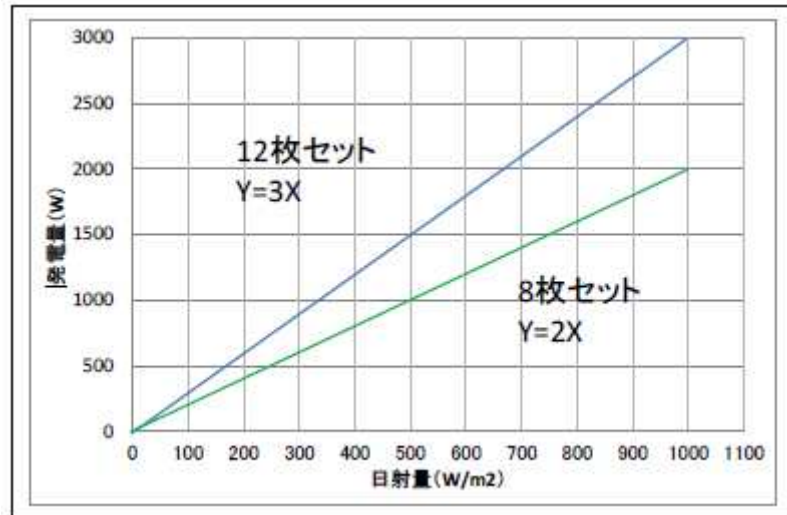


図 3.1-27 ソーラーシミュレーターによる発電量と日射量の関係試算結果

4) 負荷計測

a. 10A 放電試験

<試験条件>

充電装置に充電されている電力を、交流電子負荷により 100V、10A の条件で放電を実施した。その時の蓄電装置の蓄電量変化を時間の経過ごとに計測した。

<試験日>

2015-11-12

<試験結果>

蓄電量の時間変化を図 3.1-28 に示す。蓄電と時間の関係から、その傾き $d[\text{kWh}]/d[\%]$ の値を求めると、0.0512 となる。この傾きから、充電量 100%を計算すると、その電力量は 5.12 kWh と計算される。

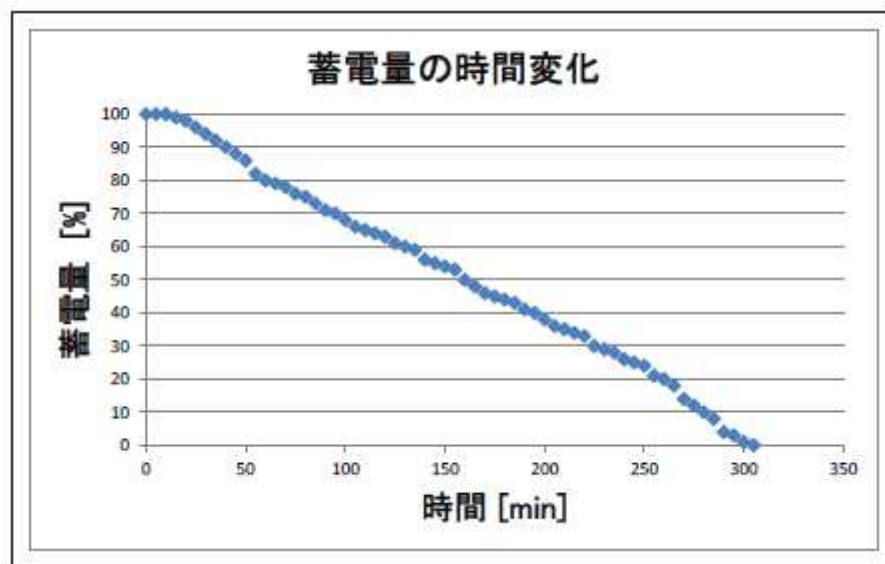


図 3.1-28 蓄電量の時間変化 (2015-11-12)

b. 5A 放電試験

<試験条件>

充電装置に充電されている電力を、交流電子負荷により 100V、5A の条件で放電を実施した。その時の蓄電装置の蓄電量変化を時間の経過ごとに計測した。

<試験日>

2015-11-18

<試験結果>

蓄電量の時間変化を図 3.1-29 に示す。蓄電と時間の関係から、その傾き $d[\text{kWh}]/d[\%]$ の値を求めると、0.0459 となる。この傾きから、充電量 100%を計算すると、その電力量は 4.59 kWh と計算される。

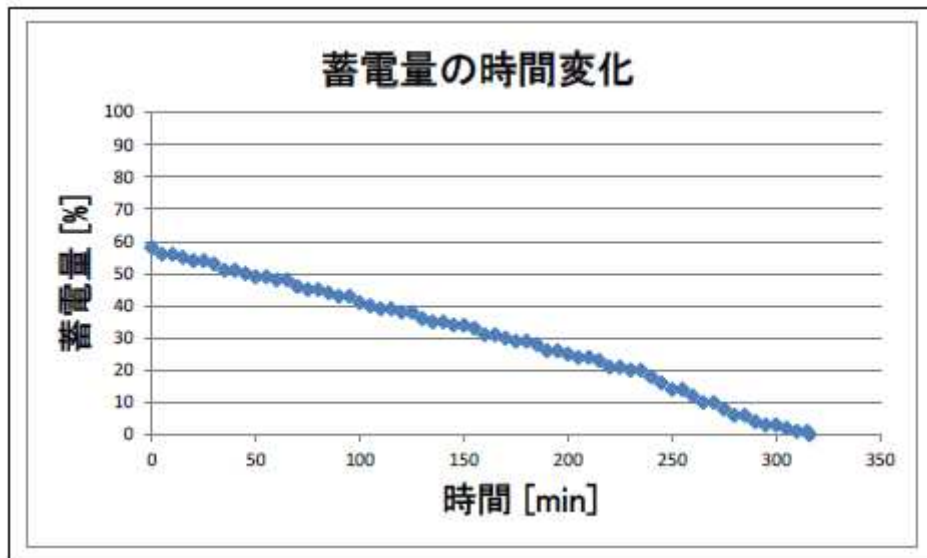


図 3.1-29 蓄電量の時間変化 (2015-11-18)

c. 2A 放電試験

<試験条件>

充電装置に充電されている電力を、交流電子負荷により 100V、2A の条件で放電を実施した。その時の蓄電装置の蓄電量変化を時間の経過ごとに計測した。

<試験日>

2015-11-18

<試験結果>

蓄電量の時間変化を図 3.1-30 に示す。蓄電と時間の関係から、その傾き $d[\text{kWh}]/d[\%]$ の値を求めると、0.0437 となる。この傾きから、充電量 100%を計算すると、その電力量は 4.37 kWh と計算される。

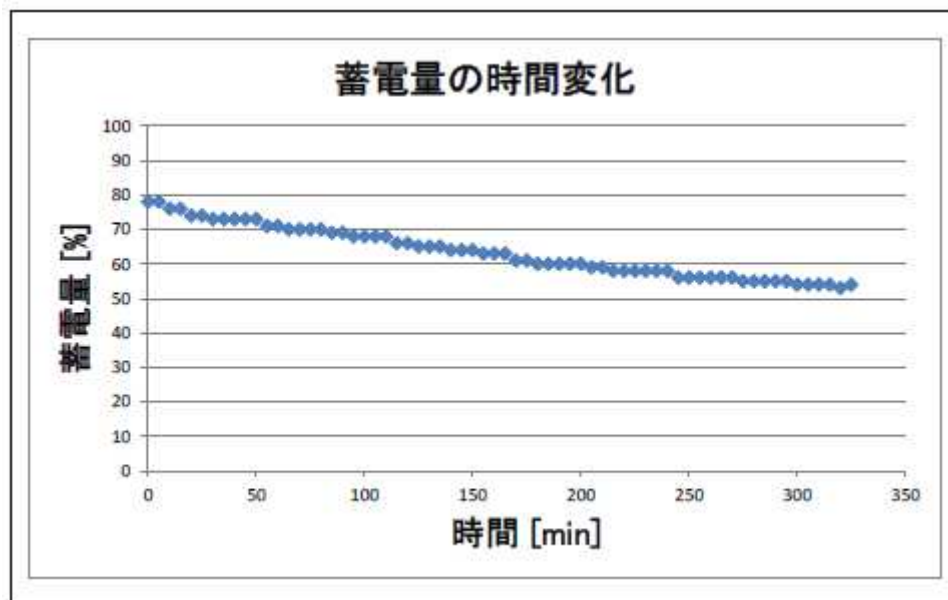


図 3.1-30 蓄電量の時間変化 (2015-12-8)

d. 発電・負荷計測結果のまとめ

発電（放電）時間計測において、各放電条件（10A,5A,2A）で得られた d [kWh] / d [%] の値から求めた放電電流と放電時間を求めると、図 3.1-31のグラフとなる。さらに、この値を、放電時に充電装置機器が自ら消費する補正值を考慮すると、その値（▲）は、理論値（青点線）とほぼ一致する結果が得られる。この時、理論値とは充電装置の定格100%充電時電力量（5.7kWh）とし、放電電流で除した放電電流と放電時間の関係とする。

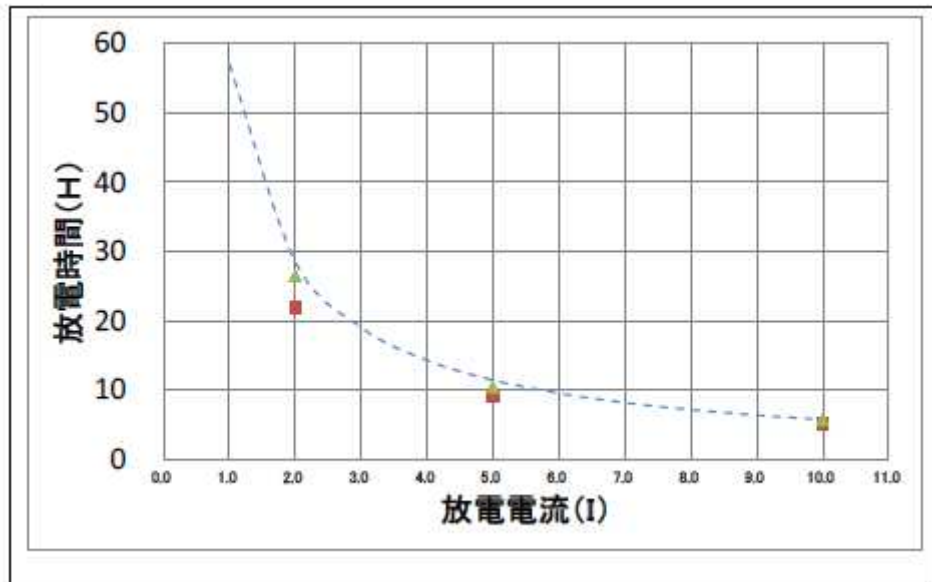


図 3.1-31 放電電流と放電時間

3.1.3 使用済太陽電池モジュールのリユース条件の整理

1) リユースユニットの用途イメージ

a. 一般家庭（単相 100V）で使用されている電化製品での使用イメージ

8 枚組、12 枚組にて発電、充電し、3 パターンでの放電実験の結果、放電時間と放電電流に図 3.1-32 の結果が得られた。一般家庭（単相 100V）で使用されている電化製品別の使用可能時間等を示す。

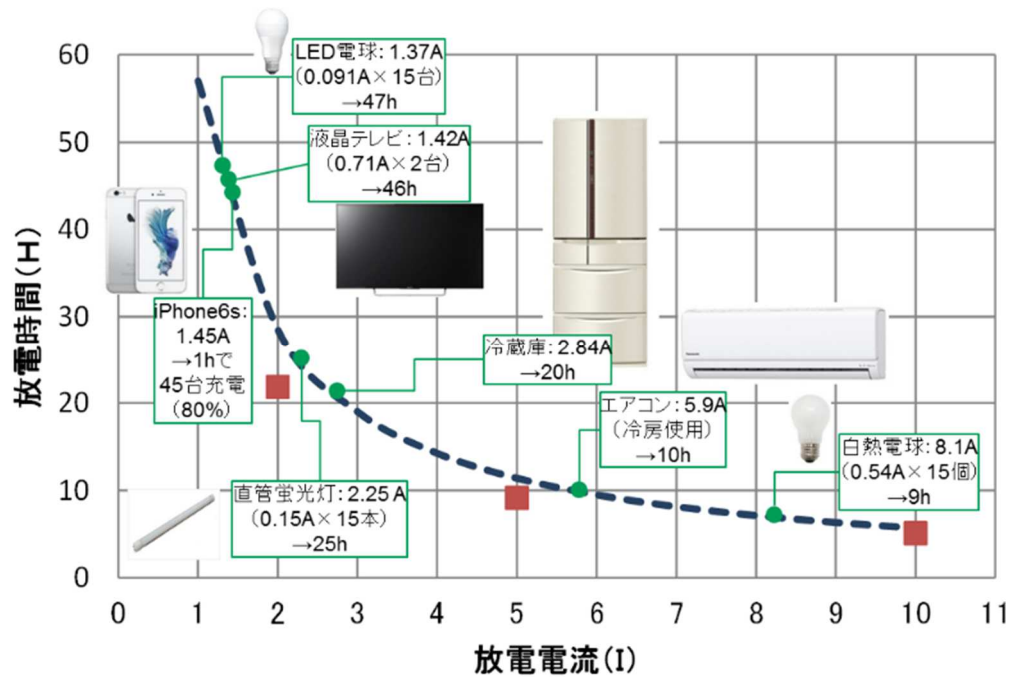


図 3.1-32 リユースユニットの用途イメージ

表 3.1-3 機器別の消費電力量

電化製品	メーカー、消費電力等の情報
LED 電球	・メーカー：東洋ライテック LDA9L-G/60W (60W 形相当) ・定格消費電力：9.1W
白熱電球	・メーカー：東洋ライテック TOYO LW100V54W 60W 形 ・定格電圧：100V ・消費電力：54W
直管蛍光灯	・メーカー：東芝 FL15D ワットブライター ・管長：436mm ・定格ランプ電力：15W
テレビ	・ソニーBRAVIA 【KJ-40W700C】 40V ・サイズ：40 インチ ・消費電力：71W (視聴時)
スマートフォン	・メーカー：iPhone6s (バッテリー容量 1810mAh) ・消費電力：145W ※1h で充電 80%として仮定
冷蔵庫	・メーカー：パナソニックトップユニット冷蔵庫 NR-F511V ・容量：510L ・定格消費電力：90W (電動機 50Hz) 194W (電熱装置 50Hz)
エアコン	・メーカー：パナソニック F シリーズ CS-F225C ・消費電力：590W (6～9 畳、能力 2.2kW、冷房使用)

b. 直流電源、交流電源における用途イメージ

発電量は、使用済太陽電池モジュールの組み合わせ枚数や、組み合わせる使用済太陽電池モジュールの出力値 (Pmax) の選択によって調整が可能である。具体的な使用用途に合わせて、使用する使用済太陽電池モジュールの Pmax 値や組み合わせ枚数を決定する。表 3.1-4 に国内外でのオンサイトによるリユースユニットの利活用イメージを示す。

表 3.1-4 電源別の用途イメージ

	日本国内	海外
直流電源	● 山小屋や避難所など、一時的に居住する場所 ➢ LED電球 (9W) ➢ ラジオ (0.08W) ➢ 懐中電灯 (0.25W) ➢ iPhone6sの充電 (145W)	● アフリカ等の送電の整備が未発達な地域 ➢ LED電球 (9W) ➢ 懐中電灯 (0.25W) ➢ テレビ (63W) ➢ ラジオ (0.08W) ➢ iPhone6sの充電 (145W)
交流電源	● 別荘や離島など、継続的に居住する場所 ➢ 電化製品全般	● 別荘や離島など、継続的に居住する場所 ➢ 電化製品全般

2) リユース条件の整理

使用済太陽電池モジュールをリユースするにあたり、事前把握が必要とされるもの、撤去や運搬時の対応等について、図 3.1-33 に示す。出力値の基準は、用途やリユースユニットの販売額によって異なるため、今後更なる検討が必要である。

導入時は単位面積あたりの発電量 (w/m2) や発電効率 (kwh/kw) が重要になる。通常、新品では 15% 程度の発電効率が一般的である。これらはメーカーや太陽電池モジュールの種類によって異なるため、回収前の事前把握が必要である。

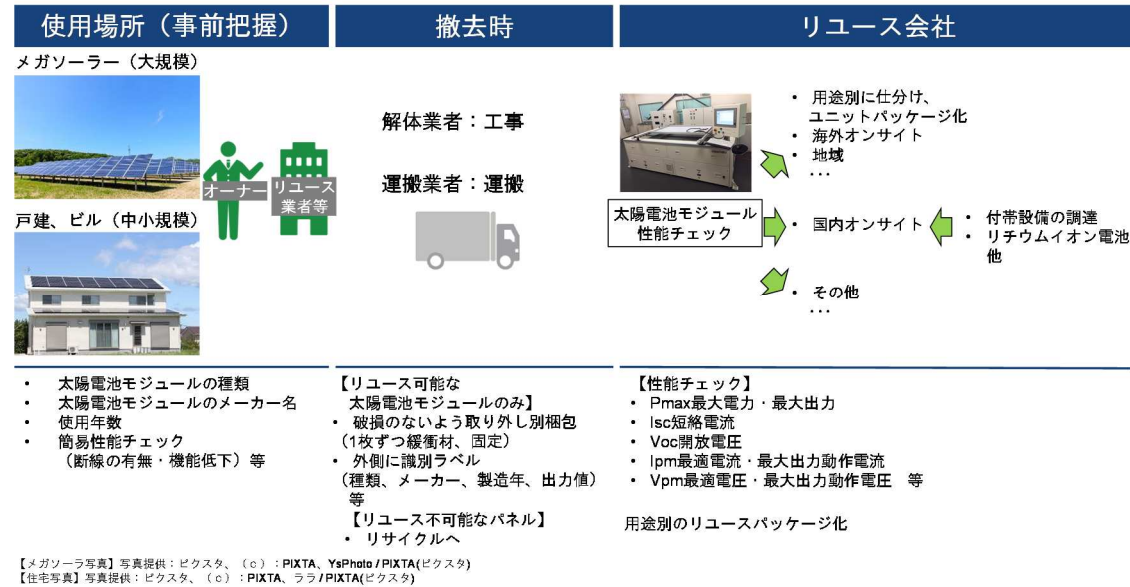


図 3.1-33 リユースの受入条件

3) リユースにかかる課題

リユース用使用済太陽電池モジュールの選定にあたり、コスト低減のため、撤去前にリユース可能な使用済太陽電池モジュールの目処を立て、対象品のみを破損のないよう撤去するなど、現場判断、撤去方法の標準化を検討する必要がある。また、リユース用の使用済太陽電池モジュールは、製品として破損のないよう梱包し排出場所から運搬する等、製品として取り扱う必要があることから、運搬方法の手順を定める必要がある。

製品管理として、リユース用に回収する太陽電池モジュールの製品情報（メーカー、製造年、使用年数、**Pmax** 等）を把握する仕組みづくりが必要である。リユースの可能性基準については用途によって求められる性能が異なるため、用途別にリユース可能となる **Pmax** 等、判断基準を検討することが望ましいと考えられる。

このほか、リユースユニットをオンサイト利用だけでなく系統に接続する場合は、使用する **PCS** によって充電設備への蓄電量に制限が生じるため、発電量の有効活用のためには組み合わせる周辺機器のスペックについても検討が必要である。

今後、使用済太陽電池モジュールのリユース事業を行うためには、事業にかかるコスト試算について、現地確認による事前診断、撤去、運搬、詳細診断、製品管理等、様々な検討を詳細に行う必要がある。

3.2 リサイクル

3.2.1 実施体制

(1) 実施体制

リユース使用に適さない使用済太陽電池モジュール 2,500 枚を対象に、破碎・選別処理を行い、セラミックタイル等の最終製品化テストを行った。リサイクル実証試験の実施内容を図 3.2-1 に示す。

事業スケジュールの関係から、使用済太陽電池モジュールのアルミフレームは全て RTJ にて取り外しを行った。なお、使用済太陽電池モジュールによってはフレームがないものもあった。

アルミフレーム取り外し後、RTJ とハリタにてそれぞれ製品化の原料となるガラスの選別を実施した。回収したガラスカレットおよびガラスパウダーは、丸美陶料、立風製陶、クリスタルクレイ、ライテック、旭硝子、セントラル硝子で処理し、製品化の検証を行った。また、回収したガラスカレットと剥離したセルシートについて、三井金属鉱業が成分分析を実施した。

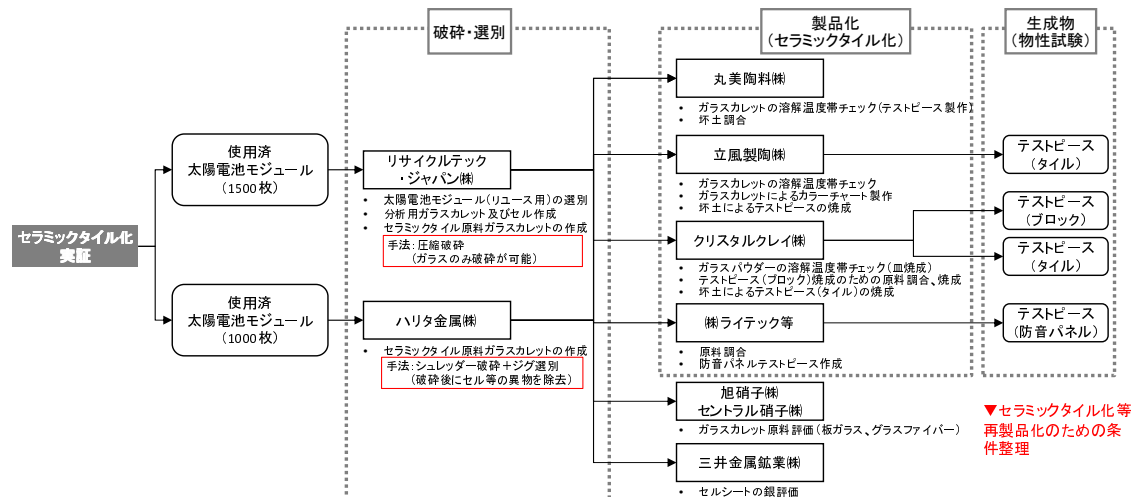


図 3.2-1 リサイクルシステムの実施内容

(2) 各実験に用いる使用済太陽電池モジュールの整理

回収した使用済太陽電池モジュールにつき、各実証試験に用いた使用済太陽電池モジュールの整理は下図の通りである。

ガラス成分による比較を行うため、成分分析はパネルの種類別に行った。

セラミックタイル化のための破碎・選別実験については、手法の異なる 2 つの方法で比較検証することから、使用するパネルを揃えるため、数量の確保が出来た単結晶と多結晶のパネルを用いた。セルシートの銀評価についても同様である。

なお、現状では、単結晶、多結晶パネルのシェアが大きいことから、これらのパネルのリサイクルの可能性を検討することに問題はないと思われる。

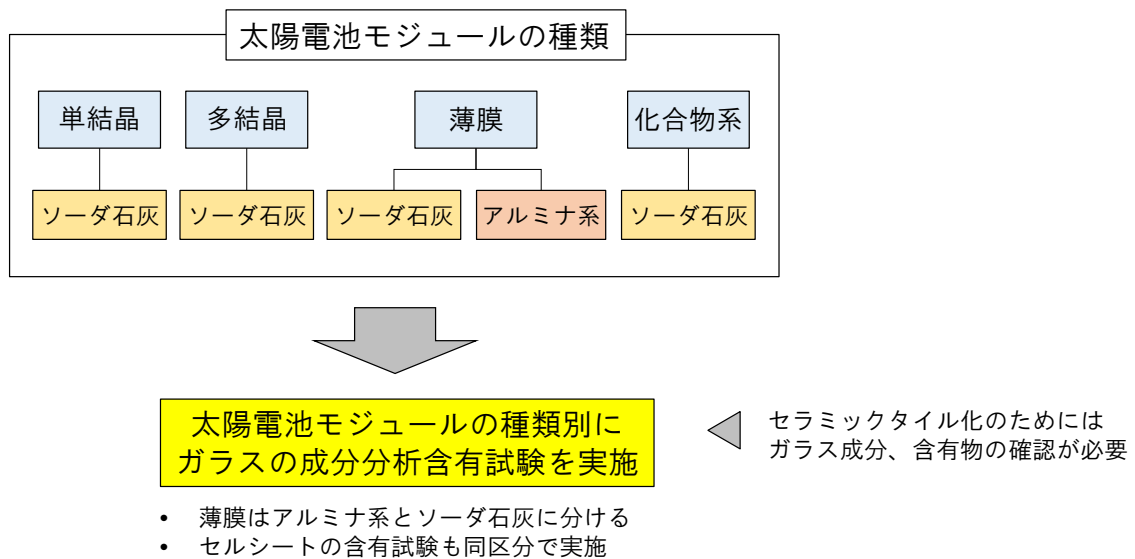


図 3.2-2 使用済太陽電池モジュールの成分分析における仕分け

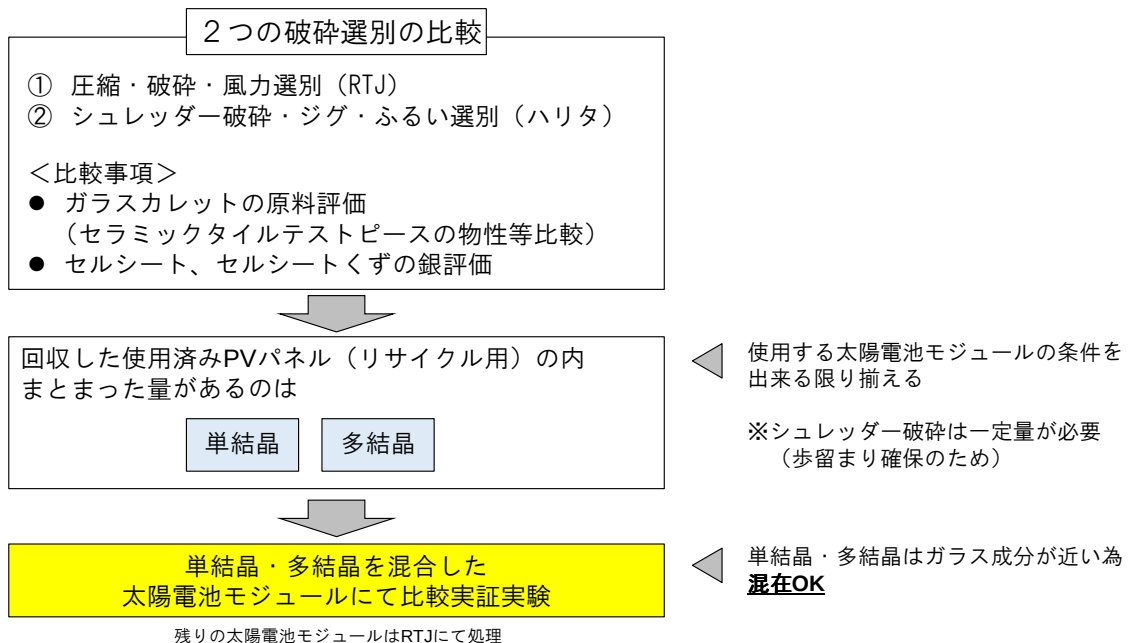
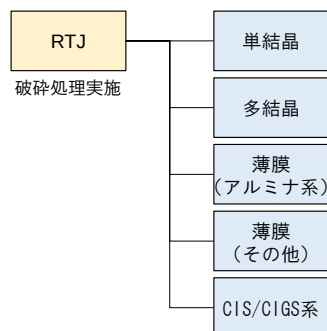


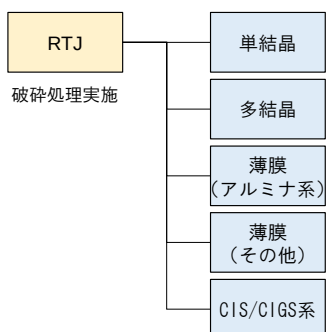
図 3.2-3 破碎・選別工程での技術比較

用いる使用済み太陽電池モジュールまとめ

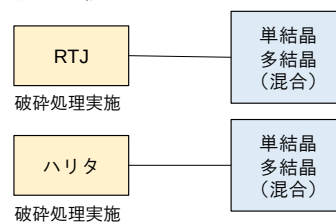
● ガラスの成分分析、含有試験、溶出試験



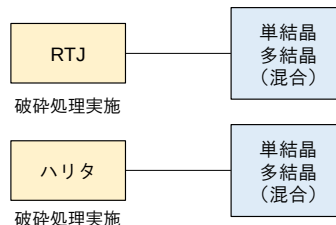
● セルシートの含有試験



● 破砕・選別比較



● セルシートの銀評価（比較）



● セルシートの銀評価（比較なし）

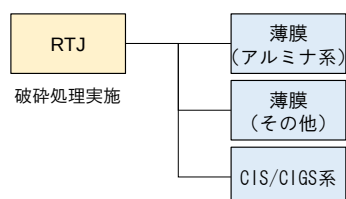


図 3.2-4 用いる使用済み太陽電池モジュールまとめ

なお、回収したガラスカレット及びガラスパウダーについて、表 3.2-1 の通り品番をつけた。

表 3.2-1 ガラスカレット及びガラスパウダーの品番

実施計画書における名称	処理会社	品番
①多結晶（メーカー混合）	RTJ	GMPV-MIX-PO-RTJ
②単結晶（メーカー混合）	RTJ	GMPV-MIX-SI-RTJ
③-1 薄膜（アルミナ系）	RTJ	GMPV-AL-TH-RTJ
③-2 薄膜（その他）	RTJ	GMPV-MIX-TH-RTJ
④CIS/CIGS 系（メーカー混合）	RTJ	GMPV-SF-CI-RTJ
①②-1 単結晶・多結晶（混合）	RTJ	GMPV-MIX-MIX-RTJ
①②-2 単結晶・多結晶（混合）	ハリタ	GMPV-MIX-MIX-HRT

3.2.2 使用済太陽電池モジュールのリサイクルの実証試験

(1) 実証試験用使用済太陽電池モジュールの調達・仕分け

GRCJ が使用済太陽電池モジュールメーカーや工事業業者等から調達した使用済使用済太陽電池モジュール 2,500 枚について、RTJ にて、使用済太陽電池モジュールの種類別に仕分けを行った。仕分けは、①多結晶（メーカー混合）、②単結晶（メーカー混合）、③-1 薄膜（アルミナ系）、③-2 薄膜（その他）、④CIS/CIGS 系（メーカー混合）の 5 種類で行った。

(2) 使用済太陽電池モジュールの含有物等の分析業務

仕分けた使用済太陽電池モジュールを RTJ にて剥離・破砕処理し、ガラスとセルシートに分け、ガラスは更に 3mm アンダーに破砕した。その後、ガラスカレットについては、ガラスの成分分析と重金属等の含有物質分析・溶出試験を、セルシートは含有物質の分析を行った。

表 3.2-2 分析用試料

試料	分析内容	実施者
ガラスカレット	成分分析	(株)産業公害・医学研究所 八戸分室
	含有物質分析	東芝環境ソリューション(株)
	溶出試験分析	
セルシート	含有物質分析	三井金属鉱業(株)

1) ガラスカレットの成分分析及び重金属等の含有物質分析・溶出試験結果

a. 成分分析（産業公害・医学研究所 八戸分室）

ア) 目的

使用済太陽電池モジュールのリサイクル処理にあたり、リサイクル処理によって製造した原材料について、その成分ほか、有害物質の含有量を把握することは、原材料の活用方法を検討するにあたり非常に重要である。

また、リサイクル後の用途において、セラミックタイル化や防音パネル化を検討するにあたり、異なる溶解温度帯のガラスが混在しているとタイル焼成時に破損等につながるため、成分分析を行うことで、使用済太陽電池モジュールの種類やメーカーによって事前の仕分けの必要性について確認した。なお、板ガラス化の受け入れ条件を満たすための確認をしたところ、アルミ、銀、銅、ニッケル系ステンレスが混入不可の成分として挙げられるため、これらの混入についても、確認した。

イ) 試料

ガラスカレット (3mm) 5 種類を各 3 検体、合計 15 検体について分析を行った。

表 3.2-3 成分分析の試料

試料		数量	試験日時
実施計画書における名称	品番		
①多結晶 (メーカー混合)	GMPV-MIX-P0-RTJ	1kg×3 検体	平成 27 年 10 月 30 日 (金)
②単結晶 (メーカー混合)	GMPV-MIX-SI-RTJ	1kg×3 検体	
③-1 薄膜 (アルミナ系)	GMPV-AL-TH-RTJ	1kg×3 検体	
③-2 薄膜 (その他)	GMPV-MIX-TH-RTJ	1kg×3 検体	
④CIS/CIGS 系 (メーカー混合)	GMPV-SF-CI-RTJ	1kg×3 検体	

ウ) 分析方法

定性分析は ICP 定性分析を、定量分析は JIS R 3015 を用いた。詳細を表 3.2-4 に示す。

<定性分析>

分析方法 : ICP 定性分析

表 3.2-4 定性分析における判断基準

記号	評価
(+++)	数十%以上を含有する元素
(++)	数%を含有する元素 : 数%を含有する元素
(+)	0. X%を含有する元素
(±)	0. 0X%を含有するかもしれない元素
(-)	含有していないと思われる元素 (0. 01%以下)

<定量分析>

分析方法 : JIS R 3015

表 3.2-5 定量分析における分析項目と分析方法

項目	分析方法
二酸化ケイ素 (SiO ₂)	JIS R 3015
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	JIS R 3015
酸化ナトリウム (Na ₂ O)	JIS R 3015
酸化マグネシウム (MgO)	JIS R 3015 準拠
酸化カリウム (K ₂ O)	JIS R 3015
酸化スズ (SnO)	JIS R 3015 準拠
酸化カルシウム (CaO)	JIS R 3015 準拠
酸化鉄 (Fe ₂ O ₃)	JIS R 3015
酸化ジルコニウム (ZrO ₂)	JIS R 3015
酸化硫黄 (S O ₃)	JIS R 3015 準拠
酸化ストロンチウム (SrO)	JIS R 3015 準拠
酸化チタン (TiO ₂)	JIS R 3015
酸化ホウ素 (B ₂ O ₃)	JIS R 3015

エ) 成分分析結果

定性分析では、全体を通して、アルミニウムが検出された。定量分析において、酸化アルミニウムが検出されたことから、酸化アルミニウムの成分が反応した可能性が高く、板ガラスで混入不可とされている金属アルミニウムの可能性は低いと考えられる。

また、廃棄物処理法に抵触する成分である、カドミウム、鉛、砒素、クロム、セレン等は検出されなかった。

太陽電池モジュールの種類毎の特徴として、①多結晶（メーカー混合）と②単結晶（メーカー混合）の定性分析結果では、ナトリウムとケイ素がそれぞれ数十%含み、カルシウムとマグネシウムも数%程度含まれていた。定量分析では、二酸化ケイ素の平均値が①多結晶（メーカー混合）で 71.43%、②単結晶（メーカー混合）で 71.93%、酸化ナトリウムがそれぞれ 14.07%と 14.50%、酸化カルシウムが 8.54%と 9.78%、酸化マグネシウムが 3.82%と 2.04%となっており、主要な成分は類似していることが分かった。①多結晶（メーカー混合）は硫黄の検出結果が試料によって異なっていた。

③-1 薄膜（アルミナ系）の定性分析結果では、①多結晶（メーカー混合）や②単結晶（メーカー混合）と異なり、アルミニウムを多く含んでおり、定量分析結果について、酸化アルミニウムが多く検出された。③-1 薄膜（アルミナ系）と③-2 薄膜（その他）において、アルミニウム、カルシウム、カリウム、ナトリウム、硫黄、アンチモンといった成分の含有量に差異があった。また、③-2 薄膜（その他）の定性分析結果では、1 サンプルで銅を含有している可能性が見られた。

④CIS/CIGS（メーカー混合）の定性分析結果では、銅、インジウム、セレン、ガリウムは検出しなかった。

<定性>

表 3.2-6 成分分析結果（定性）①多結晶（メーカー混合）

成 分		①多結晶（メーカー混合） GMPV-MIX-PO-RTJ		
		試料 1	試料 2	試料 3
銀	(Ag)	－	－	－
アルミニウム	(Al)	＋	＋	＋
砒素	(As)	－	－	－
ほう素	(B)	－	－	－
ビスマス	(Bi)	－	－	－
カルシウム	(Ca)	++	++	++
カドミウム	(Cd)	－	－	－
コバルト	(Co)	－	－	－
クロム	(Cr)	±	±	±
銅	(Cu)	－	－	－
鉄	(Fe)	±	±	±
ガリウム	(Ga)	－	－	－
ゲルマニウム	(Ge)	－	－	－
インジウム	(In)	－	－	－
カリウム	(K)	＋	＋	＋
マグネシウム	(Mg)	++	++	++
マンガン	(Mn)	－	－	－
モリブデン	(Mo)	－	－	－
ナトリウム	(Na)	+++	+++	+++
ニッケル	(Ni)	－	－	－
リン	(P)	－	－	－
鉛	(Pb)	－	－	－
硫黄	(S)	±	＋	±
アンチモン	(Sb)	＋	＋	＋
セレン	(Se)	－	－	－
ケイ素	(Si)	+++	+++	+++
スズ	(Sn)	－	－	－
テルル	(Te)	－	－	－
チタン	(Ti)	－	－	－
タリウム	(Tl)	－	－	－
亜鉛	(Zn)	－	－	－

表 3.2-7 成分分析結果（定性）②単結晶（メーカー混合）

成 分	②単結晶（メーカー混合） GMPV-MIX-SI-RTJ		
	試料 1	試料 2	試料 3
銀 (Ag)	-	-	-
アルミニウム (Al)	+	+	+
砒素 (As)	-	-	-
ほう素 (B)	-	-	-
ビスマス (Bi)	-	-	-
カルシウム (Ca)	++	++	++
カドミウム (Cd)	-	-	-
コバルト (Co)	-	-	-
クロム (Cr)	-	-	-
銅 (Cu)	-	-	-
鉄 (Fe)	±	±	±
ガリウム (Ga)	-	-	-
ゲルマニウム (Ge)	-	-	-
インジウム (In)	-	-	-
カリウム (K)	-	-	-
マグネシウム (Mg)	++	++	++
マンガン (Mn)	-	-	-
モリブデン (Mo)	-	-	-
ナトリウム (Na)	+++	+++	+++
ニッケル (Ni)	-	-	-
リン (P)	-	-	-
鉛 (Pb)	-	-	-
硫黄 (S)	+	+	+
アンチモン (Sb)	+	+	+
セレン (Se)	-	-	-
ケイ素 (Si)	+++	+++	+++
スズ (Sn)	-	-	-
テルル (Te)	-	-	-
チタン (Ti)	±	±	±
タリウム (Tl)	-	-	-
亜鉛 (Zn)	-	-	-

<定量>

表 3.2-8 成分分析結果（定量）①多結晶（メーカー混合） 単位：％

項目	①多結晶（メーカー混合）			平均	分析方法
	GMPV-MIX-P0-RTJ				
	試料 1	試料 2	試料 3		
二酸化ケイ素 (SiO2)	71.50	71.40	71.40	71.43	JIS R 3015
酸化アルミニウム (Al2O3)	1.43	1.42	1.39	1.41	JIS R 3015
酸化ナトリウム (Na2O)	14.10	14.00	14.10	14.07	JIS R 3015
酸化マグネシウム (MgO)	3.85	3.82	3.80	3.82	JIS R 3015 準拠
酸化カリウム (K2O)	0.14	0.14	0.12	0.13	JIS R 3015
酸化スズ (SnO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化カルシウム (CaO)	8.38	8.53	8.70	8.54	JIS R 3015 準拠
酸化鉄 (Fe2O3)	0.07	0.03	0.03	0.04	JIS R 3015
酸化ジルコニウム (ZrO2)	0.02	0.02	0.02	0.02	JIS R 3015
酸化硫黄 (SO3)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化ストロンチウム (SrO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化チタン (TiO2)	0.01	0.01	0.01	0.01	JIS R 3015
酸化ホウ素 (B2O3)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015

表 3.2-9 成分分析結果（定量）②単結晶（メーカー混合） 単位：％

項目	②単結晶（メーカー混合）			平均	分析方法
	GMPV-MIX-SI-RTJ				
	試料 1	試料 2	試料 3		
二酸化ケイ素 (SiO2)	71.20	72.30	72.30	71.93	JIS R 3015
酸化アルミニウム (Al2O3)	0.75	0.92	0.84	0.84	JIS R 3015
酸化ナトリウム (Na2O)	14.40	14.60	14.50	14.50	JIS R 3015
酸化マグネシウム (MgO)	2.34	1.85	1.94	2.04	JIS R 3015 準拠
酸化カリウム (K2O)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015
酸化スズ (SnO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化カルシウム (CaO)	9.74	9.74	9.85	9.78	JIS R 3015 準拠
酸化鉄 (Fe2O3)	0.04	0.04	0.03	0.04	JIS R 3015
酸化ジルコニウム (ZrO2)	0.01 未満	0.01	0.01	0.01 未満	JIS R 3015
酸化硫黄 (SO3)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化ストロンチウム (SrO)	0.05	0.05	0.05	0.05	JIS R 3015 準拠
酸化チタン (TiO2)	0.01	0.07	0.06	0.05	JIS R 3015
酸化ホウ素 (B2O3)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015

b. 含有物質分析及び溶出試験分析（東芝環境ソリューション）

ア) 目的

使用済太陽電池モジュールのリサイクル処理にあたり、リサイクル処理によって製造した原材料について、その成分ほか、有害物質の含有量を把握することは、原材料の活用方法を検討するにあたり非常に重要である。

今回は、使用済太陽電池モジュールのリサイクル処理によって製造したガラスカレットについて、有害物質の含有量試験、及び溶出量試験を行った。

イ) 試料

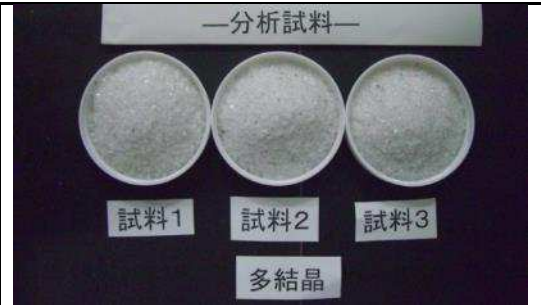
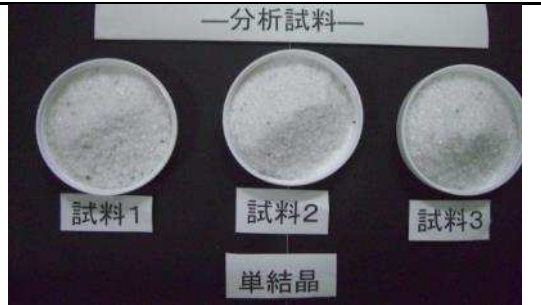
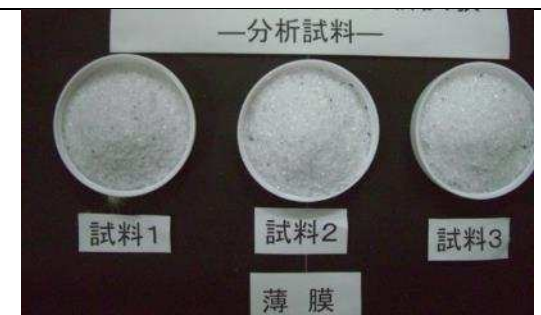
ガラスカレット（3mm）5種類を各3検体、合計15検体について分析を行った。

表 3.2-10 含有物質分析及び溶出試験分析の試料

試料		数量
実施計画書における名称	品番	
①多結晶（メーカー混合）	GMPV-MIX-P0-RTJ	1kg×3 検体
②単結晶（メーカー混合）	GMPV-MIX-SI-RTJ	1kg×3 検体
③-1 薄膜（アルミナ系）	GMPV-AL-TH-RTJ	1kg×3 検体
③-2 薄膜（その他）	GMPV-MIX-TH-RTJ	1kg×3 検体
④CIS/CIGS 系（メーカー混合）	GMPV-SF-CI-RTJ	1kg×3 検体

分析試料のガラスカレットは、すべて白色粒状である。試料の写真を表 3.2-11 に示す。

表 3.2-11 分析試料 写真資料

			
①多結晶（メーカー混合） GMPV-MIX-P0-RTJ		②単結晶（メーカー混合） GMPV-MIX-SI-RTJ	
			
③-1 薄膜（アルミナ系） GMPV-AL-TH-RTJ		③-2 薄膜（その他） GMPV-MIX-TH-RTJ	

	
④CIS/CIGS 系（メーカー混合） GMPV-SF-CI-RTJ	

ウ) 分析項目及び分析方法

含有量試験、溶出量試験の分析項目と分析方法を表 3.2-12 に示す。

表 3.2-12 分析項目及び分析方法

試験内容	分析項目	分析方法	備考
含有量試験	鉛 カドミウム 砒素 セレン 水銀 六価クロム ベリリウム アンチモン テルル	製品中のレアメタル 等の暫定分析方法 ※1	・ ガラスカレット試料を、0.5 mm以下に微粉碎したものを含有量試験用試料とする。 ・ 「製品中のレアメタル等の暫定分析方法」に準じて含有量試験を実施する。
溶出量試験	鉛 カドミウム 砒素 セレン 総水銀 六価クロム ベリリウム アンチモン テルル 銅 亜鉛 すず モリブデン インジウム ガリウム 銀	環境庁告示 13 号 ※2	・ ガラスカレット試料は 5 mm以下のためそのまま溶出試験用試料とする。 ・ 「環境庁告示 13 号」に準じて溶出試験を実施する。

備考) ※1 製品中のレアメタル等の暫定分析方法

((社) 廃棄物資源循環学会物質フロー研究部会)

備考) ※2 産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法 (環境庁告示 13 号)

エ) 試験結果

<含有量試験結果>

ガラスカレット試料の含有量試験の結果を下表に示す。

含有量試験の結果、すべてにおいて、15～1,500mg/kg とアンチモンが多く検出された。特に CIS・CIGS は 1,400～1,500mg/kg と高い濃度であった。アルミナ系のカレットについては 15～19mg/kg と、ほかに比べて含有量が低かった。全体的に鉛、銅、亜鉛、すず、モリブデン、ガリウム、銀が検出されたが含有量は低く、これは太陽電池モジュールの電極由来の成分と考えられる。

全体的にアルミナ系のガラスカレットは他のカレットに比べて、重金属類の含有量が低い傾向が見られた。

表 3.2-13 含有量試験結果：①多結晶（メーカー混合）、②単結晶（メーカー混合）

項 目		単位	①多結晶（メーカー混合）			②単結晶（メーカー混合）		
			GMPV-MIX-P0-RTJ			GMPV-MIX-SI-RTJ		
			試料 1	試料 2	試料 3	試料 1	試料 2	試料 3
1	鉛	mg/kg	1	1	1 未満	2	12	2
2	カドミウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
3	砒素	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
4	セレン	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
5	水銀	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
6	六価クロム	mg/kg	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満
7	ベリリウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
8	アンチモン	mg/kg	810	530	750	930	1000	1000
9	テルル	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
10	銅	mg/kg	2	1	1 未満	1 未満	1	1 未満
11	亜鉛	mg/kg	13	3	2	3	5	4
12	すず	mg/kg	2	1	1	2	16	3
13	モリブデン	mg/kg	3	5	3	3	2	2
14	インジウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
15	ガリウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
16	銀	mg/kg	5	1	1 未満	2	25	5

: 検出された項目
 : 濃度が高く検出された項目

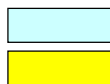
表 3.2-14 含有量試験結果：③-1 薄膜（アルミナ系）、③-2 薄膜（その他）

項 目		単位	③-1 薄膜（アルミナ系） GMPV-AL-TH-RTJ			③-2 薄膜（その他） GMPV-MIX-TH-RTJ		
			試料 1	試料 2	試料 3	試料 1	試料 2	試料 3
1	鉛	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	3	2	2
2	カドミウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
3	砒素	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	4	2	3
4	セレン	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
5	水銀	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
6	六価クロム	mg/kg	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満
7	ベリリウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
8	アンチモン	mg/kg	15	19	17	510	260	430
9	テルル	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
10	銅	mg/kg	1 未満	5	1 未満	9	120	12
11	亜鉛	mg/kg	2	2	2	7	7	5
12	すず	mg/kg	18	41	17	17	17	12
13	モリブデン	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
14	インジウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
15	ガリウム	mg/kg	5	4	4	1 未満	1 未満	1 未満
16	銀	mg/kg	16	15	8	35	30	18

: 検出された項目
 : 濃度が高く検出された項目

表 3.2-15 含有量試験結果：④CIS/CIGS 系（メーカー混合）

項 目		単位	④CIS/CIGS 系（メーカー混合） GMPV-SF-CI-RTJ		
			試料 1	試料 2	試料 3
1	鉛	mg/kg	2	3	5
2	カドミウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満
3	砒素	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満
4	セレン	mg/kg	1	1	1 未満
5	水銀	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満
6	六価クロム	mg/kg	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満
7	ベリリウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満
8	アンチモン	mg/kg	1500	1400	1500
9	テルル	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満
10	銅	mg/kg	2	2	1
11	亜鉛	mg/kg	7	7	5
12	すず	mg/kg	6	8	6
13	モリブデン	mg/kg	8	8	2
14	インジウム	mg/kg	1 未満	1 未満	1 未満
15	ガリウム	mg/kg	2	2	1
16	銀	mg/kg	3	21	13



：検出された項目

：濃度が高く検出された項目

<溶出試験結果>

ガラスカレット試料の溶出量試験の結果を下表に示す。

溶出試験の結果、すべての項目において、「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準（昭和四十八年二月十七日総理府令第五号）」に定められた基準値以下であった。なお、すべての試料において、アンチモンが検出された。また、CIS/CIGS 系では、セレンが検出された。

表 3.2-16 溶出試験結果：①多結晶（メーカー混合）、②単結晶（メーカー混合）

項 目	単位	① 多結晶（メーカー混合） GMPV-MIX-PO-RTJ			② 単結晶（メーカー混合） GMPV-MIX-SI-RTJ			基準値
		試料 1	試料 2	試料 3	試料 1	試料 2	試料 3	
1 pH（溶出液）	—	9.9	9.9	9.8	9.9	9.9	10.1	—
2 鉛	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
3 カドミウム	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
4 砒素	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
5 セレン	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
6 水銀	mg/L	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.005
7 六価クロム	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	1.5
8 ベリリウム	mg/L	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	—
9 アンチモン	mg/L	0.032	0.027	0.041	0.10	0.060	0.057	—
10 テルル	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	

: 検出された項目

表 3.2-17 溶出試験結果：③-1 薄膜（アルミナ系）、③-2 薄膜（その他）

項 目	単位	③-1 薄膜（アルミナ系） GMPV-AL-TH-RTJ			③-2 薄膜（その他） GMPV-MIX-TH-RTJ			基準値
		試料 1	試料 2	試料 3	試料 1	試料 2	試料 3	
1 pH（溶出液）	—	8.9	9.1	9.0	10.0	10.1	10.2	—
2 鉛	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
3 カドミウム	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
4 砒素	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
5 セレン	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
6 水銀	mg/L	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.005
7 六価クロム	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	1.5
8 ベリリウム	mg/L	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	—
9 アンチモン	mg/L	0.011	0.011	0.009	0.031	0.043	0.020	—
10 テルル	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	

: 検出された項目

表 3.2-18 溶出試験結果：④CIS/CIGS 系（メーカー混合）

項 目		単位	④ CIS/CIGS 系（メーカー混合） GMPV-SF-CI-RTJ			基準値
			試料 1	試料 2	試料 3	
1	pH（溶出液）	—	10.2	10.2	10.2	—
2	鉛	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
3	カドミウム	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
4	砒素	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.3
5	セレン	mg/L	0.04	0.09	0.01	0.3
6	水銀	mg/L	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.005
7	六価クロム	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	1.5
8	ベリリウム	mg/L	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	—
9	アンチモン	mg/L	0.020	0.063	0.057	—
10	テルル	mg/L	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	

：検出された項目

2) セルシートの含有分析結果（三井金属鉱業）

a. 試料

表 3.2-19 セルシートの含有分析試料

搬入元	種類	数量	試験実施日
RTJ	セルシート	①多結晶（メーカー混合）	平成 27 年 10 月 30 日（金）
		②単結晶（メーカー混合）	
		①②-1 単結晶・多結晶（混合）	
		③-1 薄膜（アルミナ系）	
		③-2 薄膜（その他）	
		④CIS/CIGS 系（メーカー混合）	
ハリタ	セルシート（8mm オーバー）	1kg×2 検体	平成 27 年 12 月 10 日（木）
	セルシートくず、ガラスくず（0.5mm アンダー）	1kg×1 検体	

b. 成分分析結果

表 3.2-20 含有分析結果（①多結晶（メーカー混合）、②単結晶（メーカー混合）、①②-1 単結晶・多結晶（混合））平均値

項目	単位	①多結晶（メーカー混合）	②単結晶（メーカー混合）	①②-1 単結晶・多結晶（混合）	分析方法
鉛（Pb）	%	0.23	0.24	0.24	JIS M 8206 準用
カドミウム（Cd）	%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
砒素（As）	%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
セレン（Se）	%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
水銀（Hg）	%	0.0001 未満	0.0001 未満	0.0001 未満	底質調査方法 準用
クロム（Cr）	%	0.01 未満	0.01 未満	0.02	JIS M 8206 準用
ベリリウム（Be）	%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
アンチモン（Sb）	%	0.06	0.01 未満	0.07	JIS M 8206 準用
テルル（Te）	%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
銅（Cu）	%	3.25	0.56	1.82	JIS M 8121
銀（Ag）	g/t	2,136.67	2,230	2,590	JIS M 8111
アルミニウム（Al）	%	1.56	1.87	1.58	JIS M 8206 準用
亜鉛（Zn）	%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
スズ（Sn）	%	0.43	0.31	0.53	JIS M 8206 準用
ケイ素（Si）	%	26.87	35.10	31.23	JIS M 8206 準用
カルシウム（Ca）	%	2.44	4.11	3.56	JIS M 8206 準用

備考）乾量値とする

：検出された項目

表 3.2-21 含有分析結果 (③薄膜) 平均値

項目	単位	③-1 薄膜 (アルミナ系)	③-2 薄膜 (その他)	分析方法
鉛 (Pb)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
カドミウム (Cd)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
砒素 (As)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
セレン (Se)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
水銀 (Hg)	%	0.0001 未満	0.0001 未満	底質調査方法 準用
クロム (Cr)	%	0.01	0.01 未満	JIS M 8206 準用
ベリリウム (Be)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
アンチモン (Sb)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
テルル (Te)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
銅 (Cu)	%	3.48	0.59	JIS M 8121
銀 (Ag)	g/t	1,873	744	JIS M 8111
アルミニウム (Al)	%	2.95	3.45	JIS M 8206 準用
亜鉛 (Zn)	%	0.01 未満	0.06	JIS M 8206 準用
スズ (Sn)	%	0.69	0.22	JIS M 8206 準用
ケイ素 (Si)	%	24.30	20.43	JIS M 8206 準用
カルシウム (Ca)	%	0.02	3.40	JIS M 8206 準用

備考) 乾量値とする

表 3.2-22 含有分析結果 (④CIS/CIGS 系 (メーカー混合)) 平均値

項目	単位	④CIS/CIGS 系 (メーカー混合)	分析方法
鉛 (Pb)	%	0.01 未満	JIS M 8206 準用
カドミウム (Cd)	%	0.01 未満	JIS M 8206 準用
砒素 (As)	%	0.01 未満	JIS M 8206 準用
セレン (Se)	%	0.03	JIS M 8206 準用
水銀 (Hg)	%	0.0001 未満	底質調査方法 準用
クロム (Cr)	%	0.01	JIS M 8206 準用
ベリリウム (Be)	%	0.01 未満	JIS M 8206 準用
アンチモン (Sb)	%	0.05	JIS M 8206 準用
テルル (Te)	%	0.01 未満	JIS M 8206 準用
銅 (Cu)	%	0.17	JIS M 8121
銀 (Ag)	g/t	68.33	JIS M 8111
インジウム (In)	%	0.02	JIS M 8206 準用
亜鉛 (Zn)	%	0.11	JIS M 8206 準用
スズ (Sn)	%	0.05	JIS M 8206 準用
モリブデン (Mo)	%	0.03	JIS M 8206 準用
ガリウム (Ga)	%	0.01 未満	JIS M 8206 準用

備考) 乾量値とする

 : 検出された項目

表 3.2-23 含有分析結果（8mm オーバー品セルシート層、0.5mm アンダー品）平均値

項目	単位	8mm オーバー品 セルシート層	0.5mm アンダー品	分析方法
鉛 (Pb)	%	0.53	0.07	JIS M 8206 準用
カドミウム (Cd)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
砒素 (As)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
セレン (Se)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
水銀 (Hg)	%	0.0001 未満	0.0001 未満	底質調査方法 準用
クロム (Cr)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
ベリリウム (Be)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
アンチモン (Sb)	%	0.05	0.12	JIS M 8206 準用
テルル (Te)	%	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8206 準用
銅 (Cu)	%	3.23	0.02	JIS M 8121
銀 (Ag)	g/t	3,225	2,260	JIS M 8111
アルミニウム (Al)	%	2.47	0.96	JIS M 8206 準用
亜鉛 (Zn)	%	0.01	0.05	JIS M 8206 準用
スズ (Sn)	%	1.00	0.13	JIS M 8206 準用
ケイ素 (Si)	%	33.00	37.30	JIS M 8206 準用
カルシウム (Ca)	%	2.53	6.46	JIS M 8206 準用

備考) 乾量値とする

: 検出された項目

(3) 使用済太陽電池モジュールの解体、剥離選別、破碎、微粉体によるリサイクル実証試験 (RTJ 社)

使用済太陽電池モジュールのうち、破損等があり、リユース不可と判断された 2,500 枚について、リサイクル化の検討を行った。

本事業では、リサイクル用途としてセラミックタイルと防音パネルを検討した。ガラスカレット及びガラスパウダーを原料として受け入れるにあたり、異物混入率は 1%程度との条件が示された。このため、この条件を満たす中間処理として、RTJ の圧縮破碎・ふるい選別とハリタのシュレッダー破碎・ジグ選別・ふるい選別を選定した。

なお、本事業ではアルミフレームは全てアルミフレーム枠取り外し専用プラントを保有する RTJ にて取り外すこととし、ハリタでは取り外し後のパネルをシュレッダーに投入することとした。

リサイクル用の使用済太陽電池モジュール 2,500 枚のうち、RTJ にて 1500 枚、ハリタにて 1,000 枚の破碎、選別処理を行った。ハリタでは、大型シュレッダーにて処理した後、ジグ選別、複数のふるい選別に組み合わせを行うため、まとまった投入量が必要となる。このためハリタでは、市場に最も出回っている①②・1 単結晶・多結晶 (メーカー混合) 1,000 枚にて、破碎・選別を行った。

なお、単結晶と多結晶のパネルガラスはソーダ石灰ガラスであり、溶解温度帯が近く、混在してもセラミックタイル、防音パネルともに原料として問題がないことをヒアリングにて確認している。

本事業では、最も普及している太陽電池モジュール 2 種を混在した状態でリサイクル可能かを検討するとして、単結晶・多結晶混合 (メーカーも混合) の太陽電池モジュールを用いることとし、2 種類の破碎・選別方法にて生成されたガラスカレットを使用した再製品化テストを行うこととした。

RTJ では、2 パターンのガラスカレットを作成した。

<パターン 1>

- ①多結晶 (メーカー混合) 3mm アンダーガラスカレット
 - ②単結晶 (メーカー混合) 3mm アンダーガラスカレット
 - ③・1 薄膜 (アルミナ系) 3mm アンダーガラスカレット
 - ③・2 薄膜 (その他メーカー) 3mm アンダーガラスカレット
 - ④CIS/CIGS 系 (メーカー混合) 3mm アンダーガラスカレット
- 用途：セラミックタイルのテストピース製作 (丸美陶料、立風製陶)

<パターン 2>

- ①②・1 単結晶・多結晶 (混合) 3mm アンダーガラスカレット
- ③・1 薄膜 (アルミナ系) 3mm アンダーガラスカレット
- ①②・1 単結晶・多結晶 (混合) 100 μ m ガラスパウダー

用途：

①②・1 単結晶・多結晶 (混合) 3mm アンダーガラスカレット：セラミックタイル原料 (坯土) 調合 (丸美陶料)

①②・1 単結晶・多結晶 (混合)、③・1 薄膜 (アルミナ系) 3mm ガラスカレット：ガラスファイバー原料化評価 (旭硝子とセントラル硝子)

①②・1 単結晶・多結晶 (混合) 100 μ m のガラスパウダー：ブロックのテストピース製作 (クリスタルクレイ)、防音パネルのテストピース製作 (ライテック)

剥離したセルシートは、三井金属鉱業 (乾式製錬) にて Ag 等含有物の品質評価を行うこととした。

RTJ での破碎・選別結果を下記に示す。ガラスカレット及びガラスパウダーへの異物混入を抑えるため、圧縮破碎機にかかる回数を減らし、セルシートがガラスカレットに混ざらないよう、セルシートにガラスを残す形で破碎を行った。その後、振動ふるい、風力選別を行い、ガラスカレットを生成した。

RTJ の圧縮破碎技術は、太陽電池モジュールのパネルガラスやフロントガラス等の破碎、ガラス回収に特化した処理である。回収されたガラスカレット量は、タイル化実験用、その他カレットとして回収された量の合計として、単結晶・多結晶では約 6 割、薄膜（アルミナ系）では約 1 割であった。これらはいずれもグラスウール原料等、有価物として売却可能な品質のものであった。異物となる残さはなく、ガラスカレットとセルシートに選別された。

一方で、薄膜（その他）と CIS/CIGS は、ガラスカレットが 2、3 割程度に留まり、ガラスカレットの異物となる残さがそれぞれ約 5 割、約 2.5 割発生した。今回の薄膜（その他）は EVA 膜等の強度が高いためではないかと思われる。また、CIS/CIGS は製品構造がガラス 2 枚構造のため、単結晶、多結晶と異なったのではないかとと思われる。

本実験ではガラスカレットへの異物を抑えるため、圧縮破碎の圧縮程度や設備への通し回数を調整しているが、にもかかわらず、薄膜（その他）と CIS/CIGS では残さが発生したことから、これらのパネルは、セラミックタイル化の原料とするのは、本破碎・選別技術では難しいのではないかと考えられる。

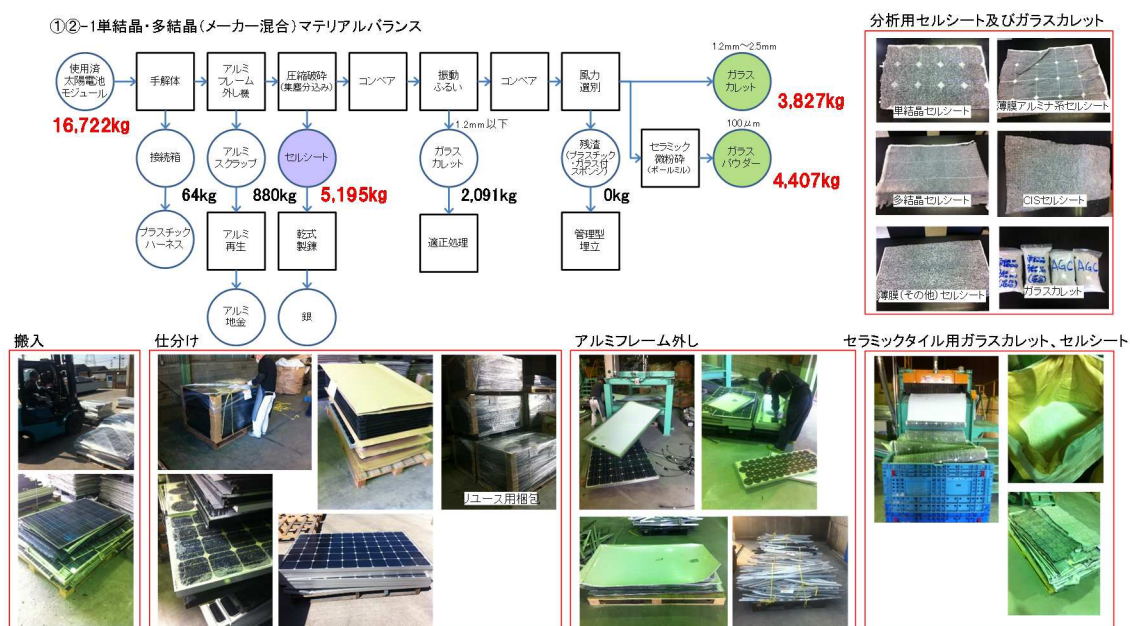


図 3.2-5 RTJ の使用済太陽電池モジュールの処理工程におけるマテリアルフロー

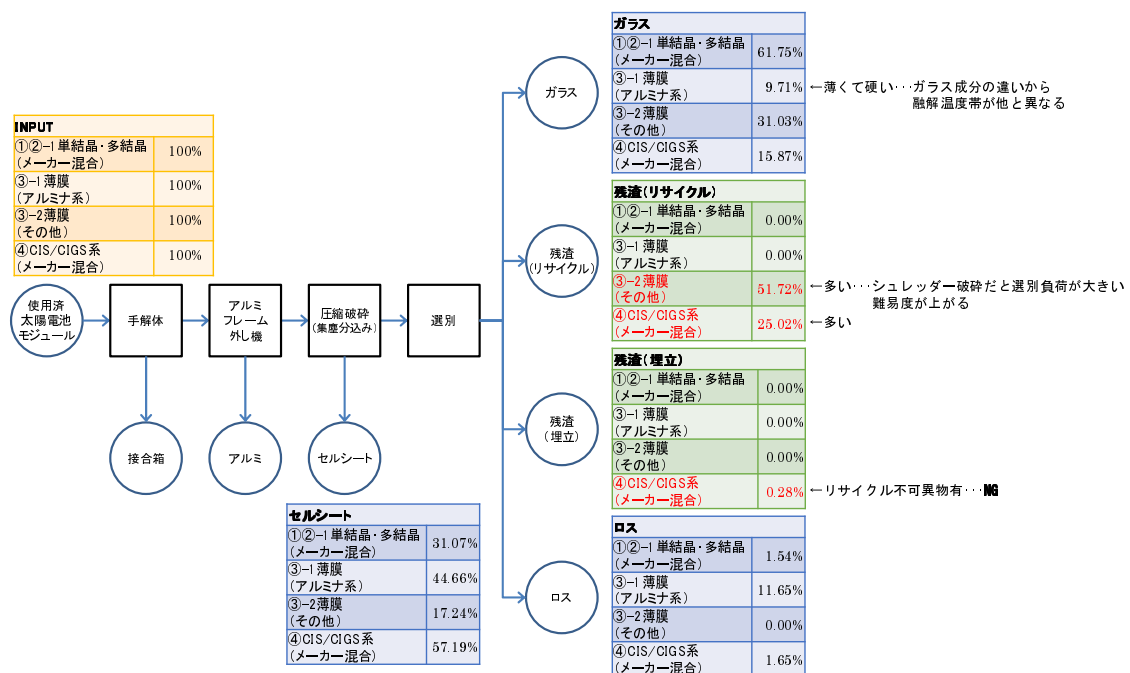


図 3.2-6 使用済太陽電池モジュールの種類によるマテリアルバランスの比較

【①②-1 単結晶・多結晶】

表 3.2-24 投入物 (①②-1 単結晶・多結晶)

INPUT	
投入重量 (kg)	16,722
メーカー	混合
結晶系	単結晶・多結晶混合

表 3.2-25 RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリアルバランス (①②-1 単結晶・多結晶)

	重量[kg]	マテリアル バランス [wt%]	備考
接続箱	64	0.38%	有償売却
アルミスクラップ	880	5.26%	有償売却
セルシート	5,195	31.07%	三井金属鉱業へ全量送付
ガラスカレット (1.2mm 以下)	2,091	12.50%	有償売却
残渣	0	0.00%	
ガラスカレット (1.2~2.5mm)	3,827	22.89%	丸美陶料 (500kg)、立風製陶 (2kg)、旭硝子 (2kg)、セントラル硝子 (2kg) 送付、残りは売却
ガラスパウダー	4,407	26.35%	クリスタルクレイ (15kg)、ライテック (3,000kg) 送付、残りは有償売却
目切れ	258	1.54%	
合計	16,722	100.00%	

【③-1 薄膜 アルミナ系】

表 3.2-26 投入物 (③-1 薄膜 アルミナ系)

INPUT	
投入重量 (kg)	103
メーカー	アルミナ系
結晶系	薄膜

表 3.2-27 RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリアルバランス (③-1 薄膜 アルミナ系)

	重量[kg]	マテリアル バランス [wt%]	備考
接続箱	1	0.97%	有償売却
アルミスクラップ	34	33.01%	有償売却
セルシート	46	44.66%	三井金属鉱業へ全量送付
ガラスカレット (1.2mm 以下)	5	4.85%	有償売却
残渣	0	0.00%	
ガラスカレット (1.2~2.5mm)	5	4.85%	丸美陶料 (500kg)、立風製陶 (2kg)、旭硝子 (2kg)、セントラル硝子 (2kg) 送付、残りは売却
ガラスパウダー	0	0.00%	
目切れ	12	11.65%	
合計	103	100.00%	

【③-2 薄膜 その他】

表 3.2-28 投入物 (③-2 薄膜 その他)

INPUT	
投入重量 (kg)	29
メーカー	その他
結晶系	薄膜

表 3.2-29 RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリアルバランス (③-2 薄膜 その他)

	重量[kg]	マテリアル バランス [wt%]	備考
接続箱	0	0.00%	
アルミスクラップ	0	0.00%	有償売却
セルシート	5	17.24%	三井金属鉱業へ全量送付
ガラスカレット (1.2mm 以下)	9	31.03%	有償売却
残渣 (プラスチック・ガラス付スポンジ)	0	0.00%	
残渣	15	51.72%	三井金属鉱業へ全量送付
合計	29	100.00%	

【④CIS/CIGS 系】

表 3.2-30 投入物（④CIS/CIGS 系）

INPUT	
投入重量 (kg)	7,103
メーカー	混合
結晶系	CIS/CIGS 系

表 3.2-31 RTJ の使用済太陽電池モジュールの選別、圧縮破碎処理におけるマテリアルバランス（③-1 薄膜 その他）

	重量[kg]	マテリアル バランス [wt%]	備考
接続箱	0	0.00%	
アルミスクラップ	0	0.00%	
セルシート	4,062	57.19%	三井金属鉱業へ全量送付
ガラスカレット（1.2mm 以下）	1,127	15.87%	有償売却
残渣（プラスチック・ガラス付 スポンジ）	20	0.28%	三井金属鉱業へ全量送付
残渣	1,777	25.02%	三井金属鉱業へ全量送付
目切れ	117	1.65%	
合計	7,103	100.00%	

表 3.2-32 セルシートの銀評価対象品

搬入元	種類	数量 (kg)	写真
リサイクルテック・ジャパン(株)	①②-1単結晶・多結晶(混合)	5,195	    
	①②-2単結晶・多結晶(混合)	0	
	③-1薄膜(アルミナ系)	46	
	③-2薄膜(その他)	5	
	④CIS/CIGS系(メーカー混合)	4,062	
	セルシート (小計)	9,308kg	
ハリタ金属(株)	セルシート (8mmオーバー)	1,808kg	 
	セルシートくず、ガラスくず (0.5mmアンダー)	1,221kg	
	(小計)	3,029kg	
合計		12,337kg	

(4) 使用済太陽電池モジュールの破碎、ジグ選別によるリサイクル実証試験

RTJにてアルミフレームを除去したパネル①②-2 単結晶・多結晶（混合）1,000 枚をハリタに搬入し、ハリタにて破碎、ジグ選別を行い、ガラスとセルシートに仕分けを行った。

ガラスは 3mm の篩処理を行い、3mm アンダーのガラスカレットを選別し、セラミックタイルのテストピース製作のため丸美陶料と立風製陶へ、ガラスファイバー原料化評価のため旭硝子とセントラル硝子へ送付した。

セルシートは 8mm 篩処理を行い、8mm オーバーセルシート及び 0.5mm アンダーの残渣は三井金属鉱業（乾式製錬）にて Ag 等含有物の品質評価を行った（結果については 3.2.3(3) に記載）。残ったセルシート等は適正処理を行った。

実証試験フロー図及び結果を下記に示す。

マテリアルバランスは、投入量 7,877kg に対して 8mm+が 1,808kg (22.95%) と 0.5mm+が 1,221kg (15.50%) 取得し、合計 3,029kg (38.45%) を精錬に売却した。また、3-8mm、0.5-1mm、オーバーフロー、アンダーテイルの合計 3,545kg (51.72%) は産廃処分とした。

シュレッダー破碎・ふるい選別は、全国で発生した太陽電池モジュールが搬入される金属スクラップ会社の保有する標準的な設備である。その中でもハリタは、家電リサイクル、小型家電リサイクルと先進的に資源選別の取組を行ってきた。そこで、本事業では、他のエリア展開を検討する上で、標準的な破碎方法と高度選別の組み合わせで、大量処理を実現し、かつセラミックタイル原料としてのガラスカレットの品質条件に応えられるかを検証した。

実験の結果、ガラスカレットは約 1 割、製錬評価が可能なセルシートくずは約 4 割、その他残さは約 5 割の結果となった。

通常、同社が使用済太陽電池モジュールの処理を行う場合、有価売却できるものはアルミフレームが主であり、ガラスやセルシートは、残さとして熔融処理を行っていたことから、原料目的の選別を行うことで、すべて産廃処理から約 5 割の産廃処理に、産廃処理率を抑制することが出来、同社の高度選別技術の向上の指標となった。

産廃処理の 3-8mm のガラスを再破碎し、1-3mm のガラスカレットをいかに回収するか今後の検討課題となる。

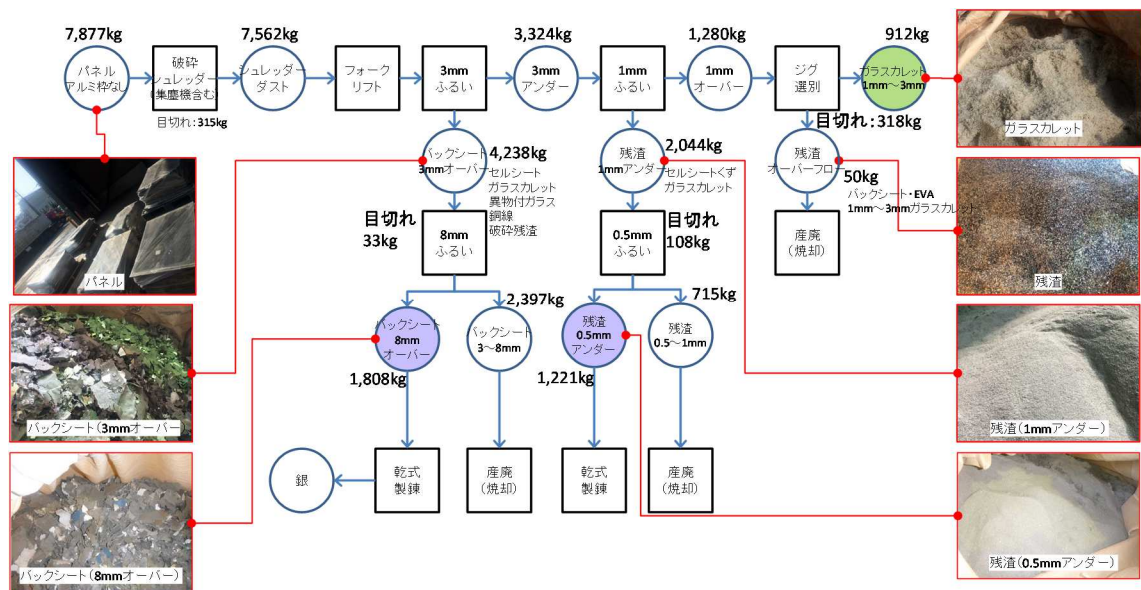


図 3.2-7 ハリタの使用済パネルの処理工程におけるマテリアルフロー

表 3.2-33 投入物

INPUT	
投入重量 (kg)	7,877
枚数 (枚)	1,000
メーカー	混合
結晶系	単結晶・多結晶混合

表 3.2-34 ハリタの使用済太陽電池モジュールの破碎、ジグ選別におけるマテリアルバランス

OUTPUT				
		重量 [kg]	マテリアル バランス [wt%]	備考
ガラスくず、 セルシートく ず	8mm+	1,808	22.95%	三井金属鉱業へ出荷（製錬）
	3-8mm	2,397	30.43%	産廃処理
	0.5-1mm	715	9.08%	産廃処理
	0.5mm-	1,221	15.50%	三井金属鉱業へ出荷（製錬）
	オーバーフロー	50	0.63%	産廃処理
	1~3mm ガラスカレット （アンダーテイル）	912	11.58%	529kg 丸美陶料へ出荷。サンプ リング 10kg。残渣は 373kg。
	回収ボックス	0	0.00%	
	未選別品	0	0.00%	
	ジグ目切れ	459	5.83%	目切れの割合は篩選別で 2.2% (141kg)、ジグ選別で 3.6% (318kg)。
	※コンベアこぼれ	0	0.00%	
鉄		0	0.00%	
軽アルミ		0	0.00%	
シュレッダー 目切れ		315	4.00%	
Total		7,877	100.00%	

3.2.3 使用済太陽電池モジュールの用途開発

(1) ガラスカレットのセラミックタイル原料化の用途開発

セラミック製造の体制図を下記に示す。

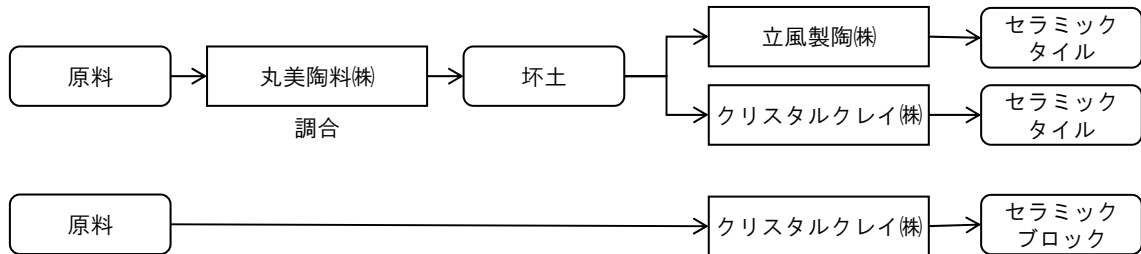


図 3.2-8 セラミック製造の体制

1) 丸美陶料株式会社

a. 原料調合のための溶解温度帯チェック

ア) 目的

セラミックタイル化を検討するにあたり、異なる温度帯のガラスが混在していると、タイル焼成時に溶け切ることができず、破損等につながる。このため、RTJ 及びハリタより納入されたガラスカレット 3mm を使用し、焼成温度を変更し溶解温度帯を探すことで、今後セラミックタイル化を検討するための参考資料の作成を試みた。

イ) 試料

試料を下記に示す。

表 3.2-35 ガラスカレットにおける溶解温度帯チェックのための試料

試料	実施計画書における名称	品番	
3mm ガラスカレット	①多結晶（メーカー混合）	GMPV-MIX-PO-RTJ	1kg
	②単結晶（メーカー混合）	GMPV-MIX-SI-RTJ	1kg
	③-1 薄膜（アルミナ系）	GMPV-AL-TH-RTJ	1kg
	③-2 薄膜（その他）	GMPV-MIX-TH-RTJ	1kg
	④CIS/CIGS 系（メーカー混合）	GMPV-SF-CI-RTJ	1kg
	①②-1 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-RTJ	1kg
	①②-2 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-HRT	1kg

ウ) 方法

粘土系で成形されたケースに各ガラスカレットを入れ、電気窯にて焼成。昇温は大気温度～設定温度まで 120 分、そのまま 40 分間キープし自然冷却。設定温度は 700℃から 50℃刻みで 1,000℃まで 7 水準で行った。

エ) 結果・分析等

溶解温度帯が高い順に④>③-1,③-2>その他とわかる。タイル原料とする際にはその他原料との配合によって反応が変化するため、これらのデータは参考値としたい。また焼成前には目立たないセルくずが焼成後には広がって目立つようになることがわかる。もし残存セルがタイル化に対して悪影響を及ぼすとする前処理が重要となってくることがわかる。

また、850℃から明らかに角が丸くなり、収縮することが写真から確認されたため、焼成後の収縮を考慮して温度と焼成時間を設定する必要がある。

セラミックタイル化を検討する上で、焼成温度を設定する際の指標として、今回の焼成結果写真を活用することが可能となった。

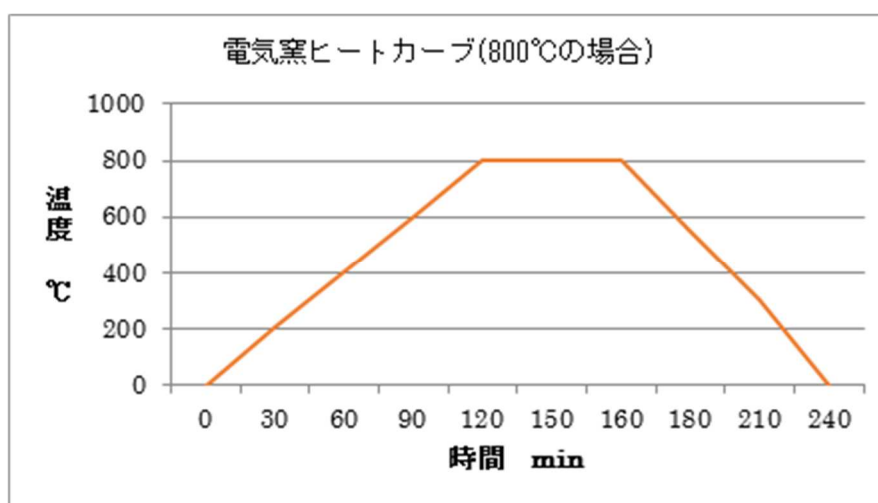


図 3.2-9 電気窯ヒートカーブ (800℃の場合)

表 3.2-36 溶解温度帯チェック 写真資料

試験用ガラスカレット	溶解試験用ケース
焼成後 1	焼成後 2

b. 坏土の配合（丸美陶料）

ア) 配合試験

i) 目的

丸美陶料にて、RTJ 及びハリタより納入された各種 3mm ガラスカレットを使用し、通常 1250℃近辺で焼成されているタイルの原料配合の変更及び焼成温度帯を把握した。

ii) 試料

試料を下表に示す。

表 3.2-37 配合試験の試料

試料	実施計画書における名称	品番
3mm ガラスカレット	①②-1 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-RTJ
	①②-2 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-HRT

iii) 方法

2 種類のガラスカレットと通常のタイル原料に使用されている原料のうち、今回は粘土のみを使用し、試験室のポットミルで配合を行った。なお、A 配合（表 3.2-38）では①②-1 単結晶・多結晶（混合）を、B 配合（表 3.2-39）では①②-2 単結晶・多結晶（混合）を使用した。配合各 1kg と水等をポットミルに入れ粉砕、出来上がったスラリーを乾燥粉砕し粉末 14 種類を作成後、プレスにて各 10 枚を成型した。成形体を電気窯で焼成、設定温度は、800℃、900℃、1,000℃、1,030℃、1,050℃、1,070℃、1,100℃の 7 水準×2 種類（A,B）計 14 回の焼成を行った。

表 3.2-38 A 配合（単位：％）

	A-20	A-30	A-40	A-50	A-60	A-70	A-80
①②-1 単結晶・多結晶（混合） GMPV-MIX-MIX-RTJ	20	30	40	50	60	70	80
粘土 A	40	35	30	25	20	15	10
粘土 B	40	35	30	25	20	15	10

表 3.2-39 B 配合（単位：％）

	B-20	B-30	B-40	B-50	B-60	B-70	B-80
①②-2 単結晶・多結晶（混合） GMPV-MIX-MIX-HRK	20	30	40	50	60	70	80
粘土 A	40	35	30	25	20	15	10
粘土 B	40	35	30	25	20	15	10

iv) 結果・分析等

1,000℃以下もしくはガラスが少ない場合（40%以下）は粘土由来の赤茶色が強く出てしまう。逆にガラスが 60%以上になると急に膨張し始めるので今回の 500kg 配合試験は各々 50%で行った。

A 配合と B 配合の差について、B 配合は溶解が強く耐火度が低い様に見られるが今回の試験ではセルくずの影響なのが配合時のブレによるものなのかは判断できなかった。

また今回は単純な配合で試験を行ったので、今後の課題と共にガラス配合比が増えても対応できる可能性はある。

v) 物性評価（焼成温度別の吸水率）

A-80 は 800℃の時点で吸水率 0%となったことに対して、A-20 は 1,100℃まで温度を上昇させても吸水率は 0.07%となった。A の配合率が高くなればなるほど、低い温度で吸水率 0 となることから、A が多く配合されると、焼成が低温で完了するため、低エネルギーでの実用化が可能となることが示唆された。

表 3.2-40 A 配合の焼成温度と吸水率（単位：％）

	A-20	A-30	A-40	A-50	A-60	A-70	A-80
800℃	15.34	14.37	12.33	10.87	9.22	2.41	0.00
900℃	11.74	11.19	6.40	6.64	1.19	0.07	0.00
1,000℃	5.51	3.33	0.17	0.07	0.00	0.00	－
1,030℃	3.26	1.10	0.13	0.00	0.00	－	－
1,050℃	1.29	0.12	0.00	0.00	－	－	－
1,070℃	1.34	0.08	0.07	0.00	－	－	－
1,100℃	0.07	－	－	－	－	－	－

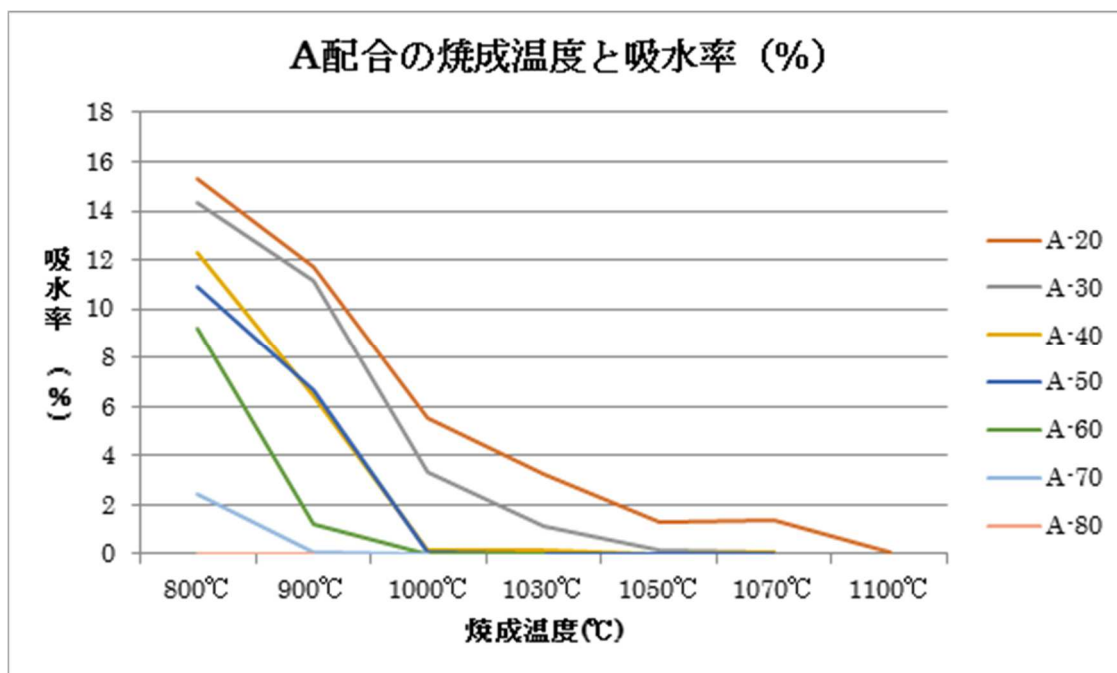


図 3.2-10 A 配合の焼成温度と吸水率 (%)

A の実験結果と同様、配合率が焼成温度に影響を与えており、B の配合率が高くなるほど、低い温度で吸水率 0 となっていた。A の結果と比較した場合、800℃の温度帯では、A の吸水率が高く、低エネルギーでの磁器化を検討するにあたり、B を配合した方が優位であることが示唆された。

表 3.2-41 B 配合の焼成時間と吸水率 (単位: %)

	B-20	B-30	B-40	B-50	B-60	B-70	B-80
800℃	17.09	14.58	13.19	11.93	9.05	0.15	0.07
900℃	11.52	9.79	7.50	9.15	0.00	0.00	0.00
1,000℃	4.29	2.41	1.34	1.48	0.00	0.00	—
1,030℃	3.06	0.71	0.12	0.00	0.00	—	—
1,050℃	1.28	0.49	0.00	0.00	0.00	—	—
1,070℃	0.36	0.07	0.00	0.00	0.00	—	—
1,100℃	0.07	0.07	—	—	—	—	—

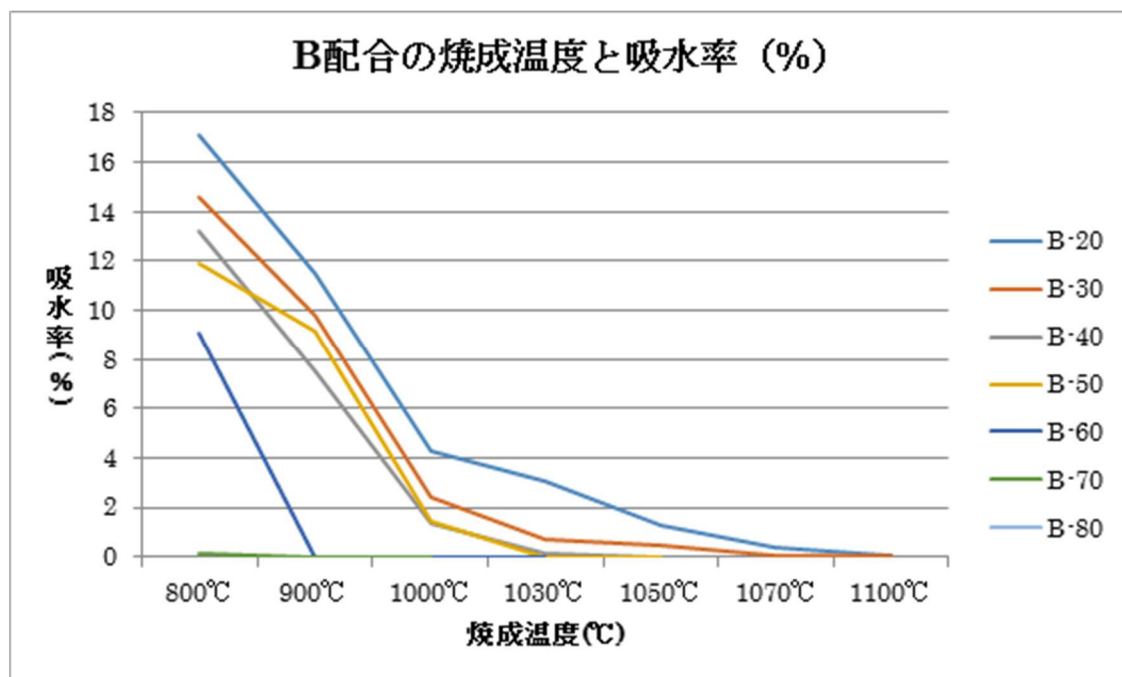


図 3.2-11 B 配合の焼成時間と吸水率

vi) 物性評価（焼成温度別の収縮率）

A の配合比率により、収縮率のピークが異なる。A-20 は一番高い温度帯である 1,100℃ に収縮率 10.17%のピークがきていたが、A-30、A-40、A-50、A-60、A-70、A-80 と進むに釣れ、1,070℃、1,050℃、1,030℃、900℃、900℃、800℃と低下傾向にあった。つまり、ガラスの比率が高いほど、低温で収縮が進むこととなる。これは、B の実験についても同様であり、ガラスの比率が高いほど、低温で収縮が進む結果となった。

表 3.2-42 A 配合の焼成温度と収縮率（単位：％）

	A-20	A-30	A-40	A-50	A-60	A-70	A-80
800℃	1.38	3.09	4.32	5.75	6.86	10.11	13.27
900℃	3.91	6.01	8.02	8.09	8.55	11.28	11.30
1,000℃	7.93	9.88	10.37	9.75	8.46	9.38	—
1,030℃	9.07	10.58	10.49	9.88	6.72	—	—
1,050℃	9.54	10.96	10.54	9.48	—	—	—
1,070℃	9.96	11.11	10.37	9.14	—	—	—
1,100℃	10.17	10.95	9.75	7.81	—	—	—

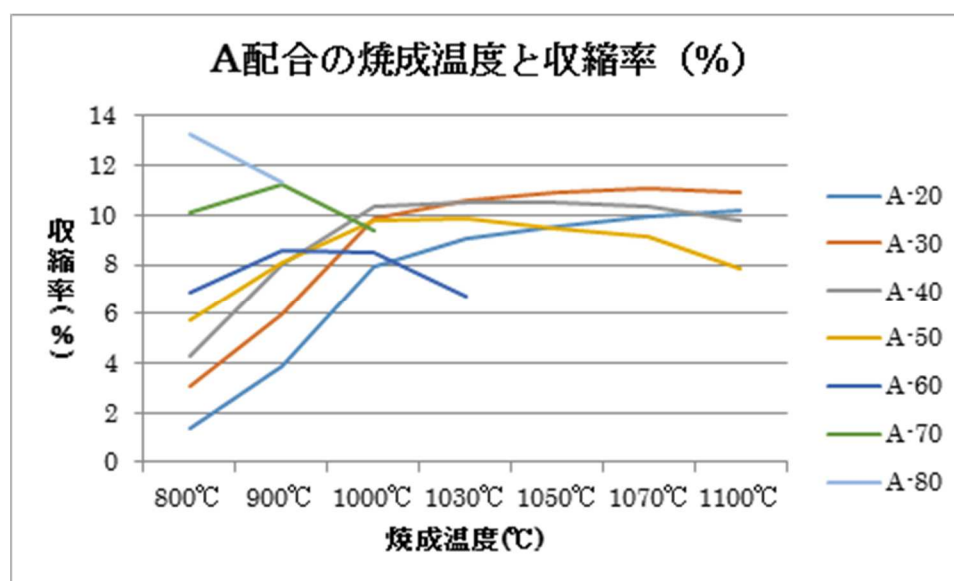


図 3.2-12 A 配合の焼成温度と収縮率

表 3.2-43 B 配合の焼成温度と収縮率（単位：％）

	B-20	B-30	B-40	B-50	B-60	B-70	B-80
800℃	1.79	3.33	4.40	5.55	6.81	11.09	10.12
900℃	4.69	6.56	7.96	6.53	8.73	9.07	3.73
1,000℃	9.20	10.77	10.70	8.58	7.91	4.47	—
1,030℃	10.41	11.41	10.93	9.41	5.58	—	—
1,050℃	10.86	11.63	11.01	9.44	—	—	—
1,070℃	11.00	11.59	10.67	8.52	—	—	—
1,100℃	11.09	11.51	10.42	6.89	—	—	—

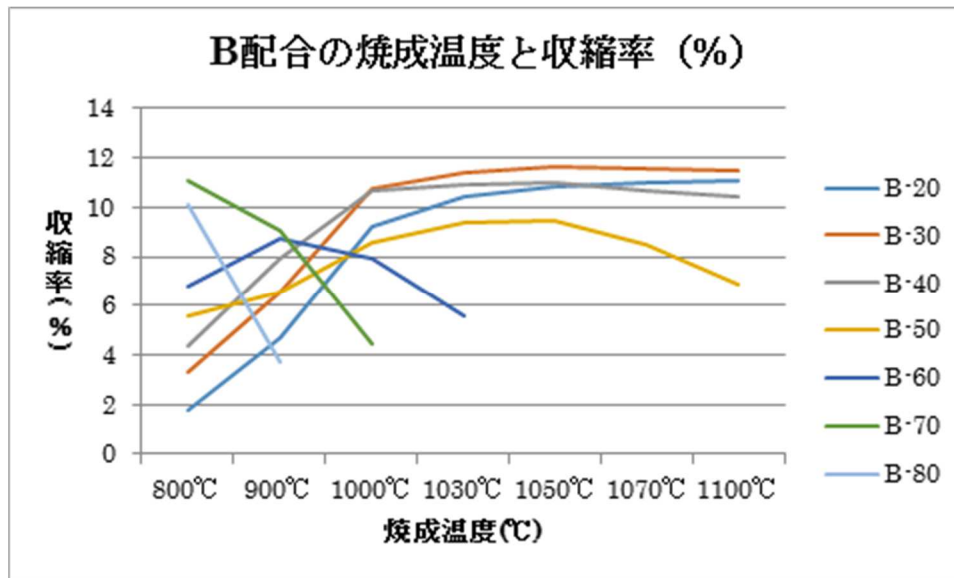
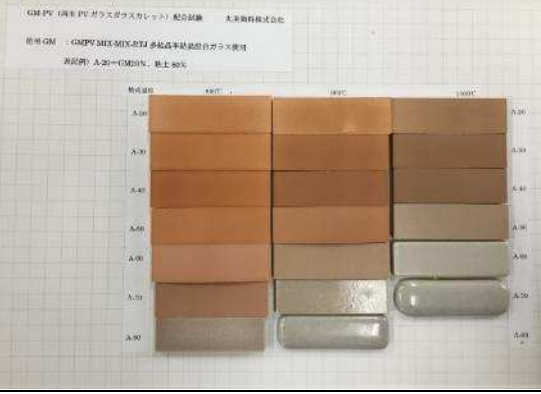
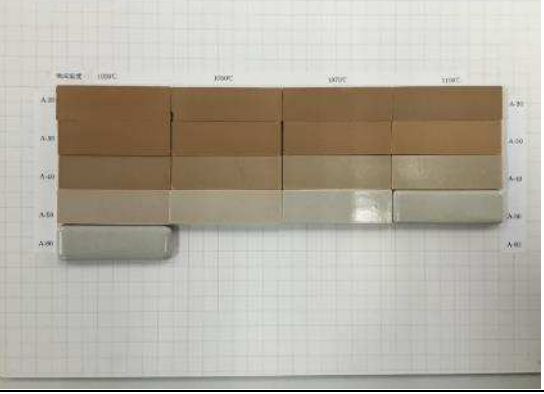


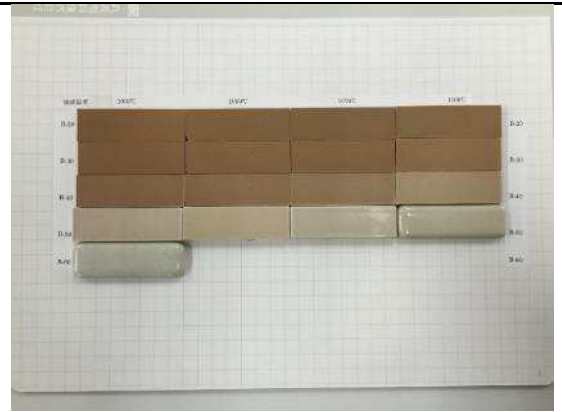
図 3.2-13 B 配合の焼成温度と収縮率

表 3.2-44 配合試験 写真資料

	
配合原料	ポットミルにて粉砕
	
スラリー化	スラリー乾燥品
	
乾燥品を粉砕	成形
	
GMPV-MIX-MIX-RTJ 配合焼成品	GMPV-MIX-MIX-RTJ 配合焼成品 2



GMPV-MIX-MIX-HRK 配合焼成品



GMPV-MIX-MIX-HRK 配合焼成品 2

イ) 坏土の配合

配合試験で考査した配合のうち、A-50 及び B-50 の 2 種類の配合で 500kg の坏土の製作を行った。

表 3.2-45 A-50 配合

原材料	割合 (%)
①②-1 単結晶・多結晶 (混合) GMPV-MIX-MIX-RTJ	50
粘土	50

表 3.2-46 B-50 配合

原材料	割合 (%)
①②-2 単結晶・多結晶 (混合) GMPV-MIX-MIX-HRK	50
粘土	50

上記配合内容と水を 500kg ボールミルへ投入し、A-50 及び B-50 共に同工程にて、スラリーを製造した。

出来上がったスラリーは、生産ラインのスプレードライヤーで乾燥し、顆粒を製造した。通常のタイル用素地であれば 7・8%の含水率となるのだが、粉の状態を確認し、流動性とプレス時の成形性を考慮し 10%程度の水分へ調整を行った。

顆粒粉は確認のため、丸美陶料の電気窯 1,050℃で焼成を行い問題のない事(吸水率のない事、配合試験と大きな差異の無い事)を確認した。これらの製品をクリスタルクレイ、立風製陶へ納入した。

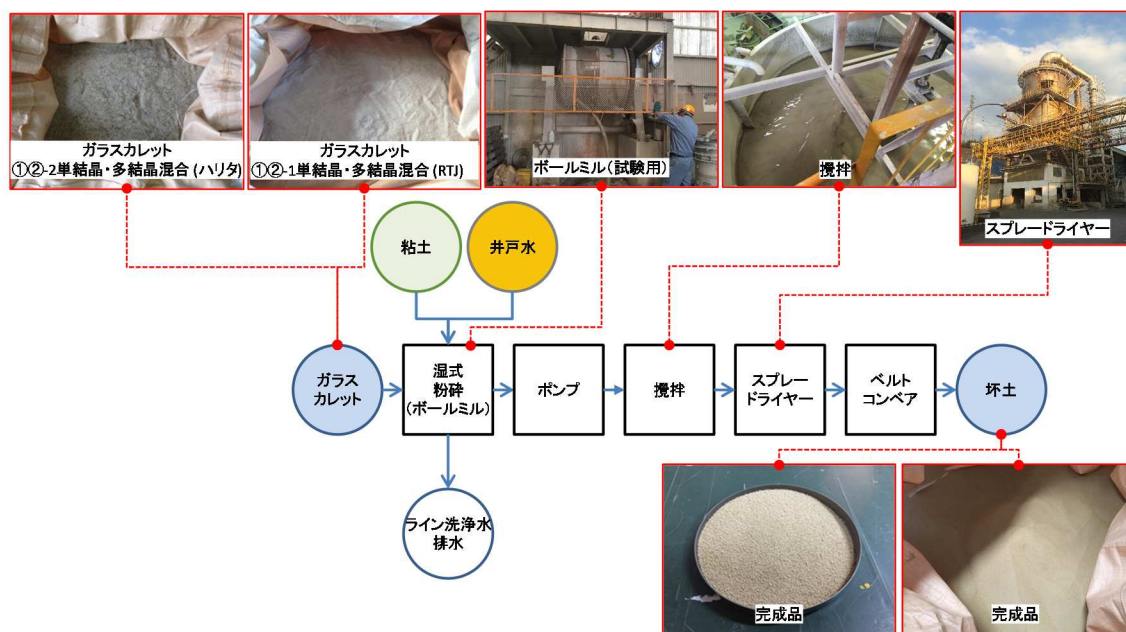
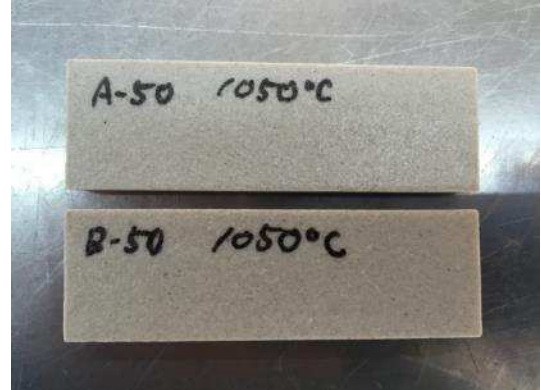


図 3.2-14 坏土の配合におけるフロー図

表 3.2-47 坏土の配合 写真資料

	
ボールミル	攪拌
	
スプレードライヤー	完成品（顆粒粉）
	
丸美陶料の電気窯（1,050°C）焼成品	

2) 立風製陶株式会社

a. 溶解温度帯チェック

ア) 目的

各種ガラスカレットの溶融温度と状態、性質を確認する。またその結果からガラスモザイクを製作するガラスカレットの種類を選定する。

イ) 試料

試料を下記に示す。

表 3.2-48 ガラスカレットにおける溶解温度帯チェックのための試料

試料	実施計画書における名称	品番	数量
3mm ガラスカレット	①多結晶（メーカー混合）	GMPV-MIX-PO-RTJ	1kg
	②単結晶（メーカー混合）	GMPV-MIX-SI-RTJ	1kg
	③-1 薄膜（アルミナ系）	GMPV-AL-TH-RTJ	1kg
	③-2 薄膜（その他）	GMPV-MIX-TH-RTJ	1kg
	④CIS/CIGS 系（メーカー混合）	GMPV-SF-CI-RTJ	1kg
	①②-1 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-RTJ	1kg
	①②-2 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-HRT	1kg

ウ) 方法

素焼きケースに表 3.2-48 のガラスカレットを入れて、テスト RHK（ローラーハースキルン写真 1、2）を使用して 700℃～1,000℃で焼成した。なお、焼成温度はすべてリファサーモ指示温度対照表による。

エ) 結果・分析等

溶け始める温度は③-1 薄膜（アルミナ系）を除き同等であった（写真 3、4）が、温度を上げていくことで不純物の含有量の差が見られた。

以上の結果から、トータル排出量が多く、不純物が少ないことから①②-1 単結晶・多結晶（混合）を用いてガラスモザイクの製作を行うこととした。

表 3.2-49 溶解温度帯チェック 写真資料



写真1：テスト RHK 手前が入口



写真2：焼成 テスト RHK 出口



写真3：溶解温度帯チェック



写真4：溶解温度帯チェック

b. ガラスカレットによるカラーチャート製作

ア) 目的

溶解温度帯チェックで選定した①②-1 単結晶・多結晶（混合）を用いてガラスモザイクがどのような状態で製品化が可能なのかを確認しカラーチャートを製作した。

イ) 方法

- ・ ガラス 100%と CMC 及び顔料（桃、青、緑、黒、なし各 0.5%）を混合する。また原料に粘りを持たせて成形性の向上を狙いガラス 95%に対し粘土粉末を 5%添加した調合も同様に混合する。
- ・ 金型に原料を投入して手動プレスで成形する。（写真 5）
- ・ ガラス 100%及び 95%それぞれを 20℃刻みで焼成する。（写真 6）
- ・ 外観、寸法を確認し、吸水率の測定を行う。
- ・ カラーチャートを製作する。

ウ) 結果・分析等

テスト焼成を行い、ガラス 100%は 670℃から 20℃刻み、ガラス 95%は 755℃から 20℃刻みで焼成したところ、20℃の差にもかかわらず溶け状態にかなり違いが見られた（写真 7、8）。

調合の割合で比較すると、ガラス 95%の調合の方が 100%より成形性が向上し、粘土分を含むため耐火度が上がった。ガラス 100%は 710℃から、ガラス 95%は 795℃から溶け度合いが急に大きくなり形状にバラツキ変化が見られた。また、通常ガラスに吸水はないが、ガラス 95%は粘土分の添加により耐火度が上がり吸水性が現れた。

顔料種類の成分差によると、熔融状態と吸水率において特に緑に差が見られた。

吸水率測定結果（ガラス 95%）を表 3.2-50 に示す。

表 3.2-50 吸水率測定結果（ガラス 95%）

焼成温度	顔料なし	ピンク	青	緑	黒
755℃	4.0%	4.2%	4.6%	5.6%	3.7%
775℃	3.7%	4.0%	3.6%	5.1%	3.5%
795℃	1.7%	2.4%	1.3%	4.3%	1.5%
815℃	0.3%	0.5%	0.2%	1.8%	0.5%

備考) 測定方法－JIS A 5209 真空法による

表 3.2-51 ガラスチャート製作 写真資料



写真 5 : テスト手動プレス
ガラスモザイクのプレス



写真 6 : ガラスモザイク焼成
テスト RHK 入口

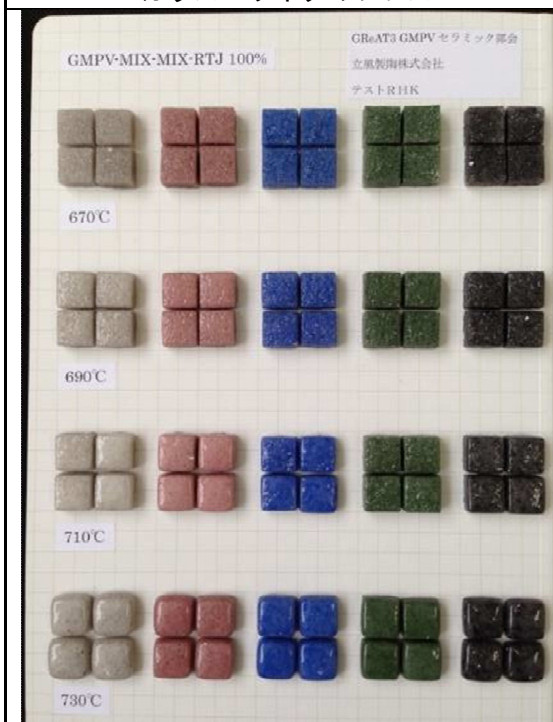


写真 7: ガラスモザイク
GMPV-MIX-MIX-RTJ100%



写真 8: ガラスモザイク
GMPV-MIX-MIX-RTJ95%

c. セラミックタイルのテストピース焼成

丸美陶料が作成した坏土によるテストピース(モザイクタイル 45 二丁)の焼成を行った。

ア) 原料

坏土 (A-50、B-50 の 2 種類) を使用した。

表 3.2-52 セラミックタイル・テストピースの原料

坏土	使用ガラスカレット	
A-50	①②-1 単結晶・多結晶 (混合)	GMPV-MIX-MIX-RTJ
B-50	①②-2 単結晶・多結晶 (混合)	GMPV-MIX-MIX-HRK

イ) 方法

- ・ 600t 油圧自動プレス機の一般原料を掃除して金型を交換する。
- ・ 丸美陶料が作成した 2 種類の坏土をそれぞれ金型に投入し、 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力でプレス成形する。
- ・ 乾燥後に温度を変えて RHK でテスト焼成を行い、その結果から焼成温度を決定して RHK で焼成する。
- ・ 外観を確認し、寸法、吸水率、曲げ破壊荷重を測定する。
- ・ タイルの裏にネットを貼り 30cm 角のユニットにする。

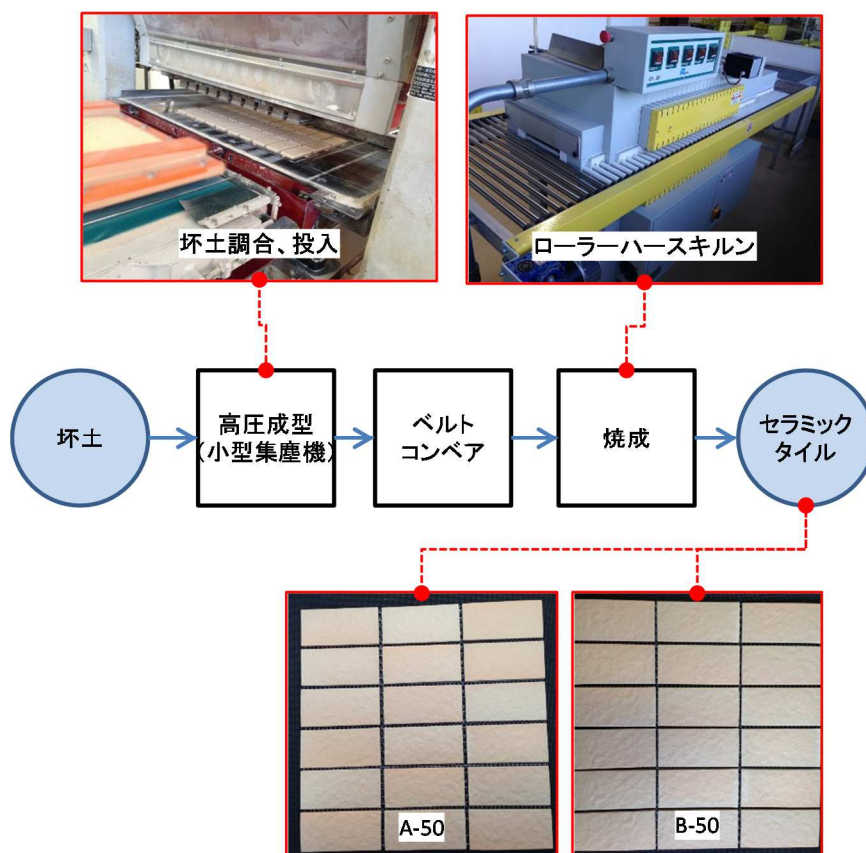


図 3.2-15 セラミックタイル・テストピース作成のフロー

ウ) 結果・分析等

テスト焼成をした結果、900℃以下ではタイルの反り変形が大きい、温度の上昇とともに磁器化が進行し形状が安定した。また、吸水率を確認すると 3%以下となり磁器化していたため、焼成温度を 1,000℃に決定した。

各測定結果を下表に示す。

表 3.2-53 吸水率の測定結果

A-50		B-50	
1	0.6%	1	0.5%
2	0.7%	2	0.8%
3	0.5%	3	0.9%
4	0.4%	4	0.7%
5	0.8%	5	0.7%
平均	0.6%	平均	0.7%

備考) 2 種類の原料共に測定方法—JIS A 5209 真空法により 3.0%以下は I 類の磁器質となり、これは通常磁器質タイルと同等の吸水率である。

表 3.2-54 曲げ破壊荷重の測定結果

A-50		B-50	
1	629.4N	1	678.1N
2	734.5N	2	677.4N
3	739.8N	3	679.7N
4	795.3N	4	734.0N
5	685.4N	5	681.8N
平均	716.9N	平均	690.2N

備考) 2 種類の原料共に測定方法—JIS A 5209 により外装壁モザイクタイル規格の 540N 以上となり、これも通常磁器質タイルと同等の数値である。

表 3.2-55 寸法測定

A-50				B-50			
No	長辺	短辺	厚み	No	長辺	短辺	厚み
1	95.39	45.37	6.48	1	96.05	45.89	6.75
2	95.28	45.35	6.46	2	96.08	45.79	6.56
3	95.49	45.38	6.48	3	96.18	45.74	6.64
4	95.55	45.48	6.38	4	96.53	45.97	6.42
5	95.20	45.31	6.31	5	96.30	46.00	6.69
6	95.62	45.58	6.47	6	96.40	46.00	6.60
7	95.15	45.44	6.53	7	96.66	46.06	6.65
8	95.23	45.61	6.45	8	96.51	45.91	6.61
9	95.35	45.65	6.54	9	96.30	45.88	6.58
10	95.27	45.41	6.43	10	96.26	45.83	6.59
平均	95.35	45.46	6.45	平均	96.33	45.91	6.61

エ) 考察

吸水率や曲げ破壊荷重の物性値が通常の外装壁モザイクタイルと同等の数値が得られたことにより、今回のガラスカレットによるリサイクルタイルの製造は十分可能であると考えられる。

また、寸法や形状等についても通常タイルに比べて焼成温度や成形圧力により特に変化が大きくなるため、それぞれの原料に最適な製造条件を見つけることでより高品質なリサイクルタイルの生産が可能になると考えられる。

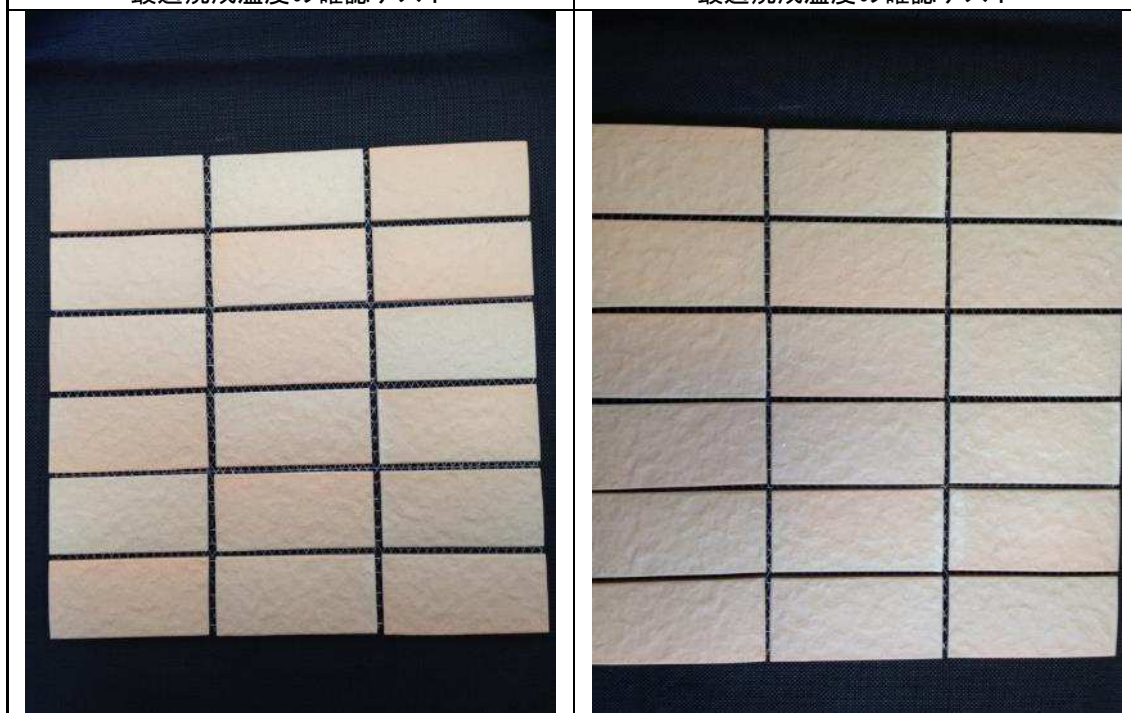
表 3.2-56 セラミックタイル 写真資料

	
600t 油圧自動プレス機	原料を金型に投入しプレス成形 (約 200kg/cm ²)



最適焼成温度の確認テスト

最適焼成温度の確認テスト



A-50 30cm ユニット

B-50 30cm ユニット

オ) 含有・溶出試験

試験実施期間：平成 28 年 1 月 22 日～平成 28 年 2 月 5 日

試験場所：一般財団法人岐阜県公衆衛生検査センター

表 3.2-57 セラミックタイルの含有試験結果

項目	A-50	B-50	計量の方法	基準値
カドミウム	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 55.3	150 mg/kg 以下
シアン化合物	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 38.3	50 mg/kg 以下
鉛	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 54.3	150 mg/kg 以下
六価クロム	2 mg/kg 未満	2 mg/kg 未満	JIS K0102 65.2.1	250 mg/kg 以下
ひ素	1 mg/kg 未満	1 mg/kg 未満	JIS K0102 61.4	150 mg/kg 以下
総水銀	0.05 mg/kg 未満	0.05 mg/kg 未満	S46 環境庁告示第 59 号 付表 1	15 mg/kg 以下
セレン	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 67.4	150 mg/kg 以下
フッ素	30 mg/kg 未満	30 mg/kg 未満	JIS K0102 34.1	4000 mg/kg 以下
ほう素	1 mg/kg 未満	1 mg/kg 未満	JIS K0102 47.3	4000 mg/kg 以下

備考) 試験方法：試験方法土壌含有量調査に係る測定方法を定める件（平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 19 号）による。

表 3.2-58 セラミックタイルの溶出試験結果

項目	A-50	B-50	計量の方法	基準値
カドミウム	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	JIS K0102 55.4	0.01 mg/L 以下
全シアン	不検出 (0.1 mg/L 未満)	不検出 (0.1 mg/L 未満)	JIS K0102 38.1.2 及び 38.3	検出されないこと
鉛	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	JIS K0102 54.4	0.01 mg/L 以下
六価クロム	0.04 mg/L 未満	0.04 mg/L 未満	JIS K0102 65.2.1	0.05 mg/L 以下
ひ素	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	JIS K0102 61.4	0.01 mg/L 以下
総水銀	0.0005 mg/L 未満	0.0005 mg/L 未満	S46 環境庁告示第 59 号 付表 1	0.0005 mg/L 以下
セレン	0.002 mg/L 未満	0.002 mg/L 未満	JIS K0102 67.4	0.01 mg/L 以下
フッ素	0.1 mg/L 未満	0.1 mg/L 未満	JIS K0102 34.1	0.8 mg/L 以下
ほう素	0.02 mg/L 未満	0.02 mg/L 未満	JIS K0102 47.4	1 mg/L 以下

備考) 試験方法：土壌の汚染に係る環境基準について（平成 3 年 8 月 23 日 環境庁告示第 46 号）による。

3) クリスタルクレイ株式会社

a. 溶解温度帯チェック（ガラスパウダー）

ア) 試料

RTJ 社が作成した 100 μ m のガラスパウダーを用いた。

試料	実施計画書における名称	品番
100 μ m ガラスパウダー	①②-1 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-RTJ

イ) 結果・分析等

ガラスパウダーの焼成温度が 1,000℃を超えたサンプルは緑色に着色した。ガラスパウダーはガラスカレットと異なり、空気を含んでいることが要因であると考えられる。そのため、製品化を行う際、975℃以下に焼成温度を抑えるか、1,000℃以上の焼成が必要で着色が生じる場合は色つきのブロックとして実用化を検討する必要がある。

また、焼成結果の写真は、今後セラミックタイル化を検討する上で、焼成温度を設定する際の指標として活用可能と考えられる。

表 3.2-59 溶解温度帯チェック（焼成前）写真資料



表 3.2-60 溶解温度帯チェック（焼成結果）写真資料

		
700°C	725°C	750°C
		
775°C	800°C	825°C
		
850°C	875°C	900°C
		
925°C	950°C	975°C
		
1,000°C	1,025°C	1,050°C
		
1,075°C	1,100°C	1,125°C

		
溶解温度帯チェック一覧		

b. 皿焼成

皿焼成における原料調合の割合は、磁器タイルくず破砕粒である骨材が 80%、その他骨材とガラスパウダーを 10%ずつとした。

表 3.2-61 原料の割合

原料	割合 (%)
骨材（磁器タイルくず破砕粒）	80
その他骨材	10
バインダー（ガラスパウダー）	10

表 3.2-62 皿焼成（試験用治具）写真資料

	
ガラス焼成用皿	計量
	
電気炉	

表 3.2-63 原料調合 写真資料

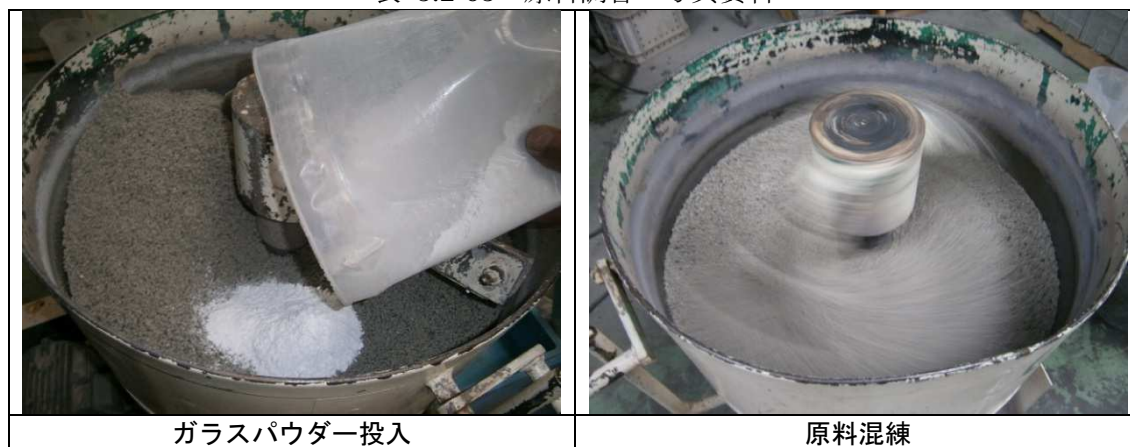


表 3.2-64 焼成前 写真資料

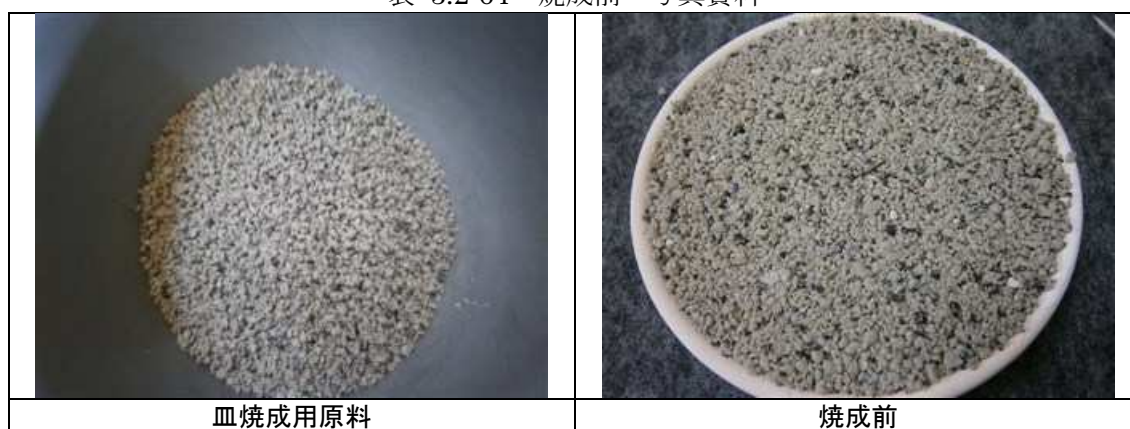


表 3.2-65 皿焼成の試験結果 写真資料



	
1, 100°C	1, 125°C
	
皿焼成試験一覧	

c. セラミックブロック

ア) セラミックブロックの作成

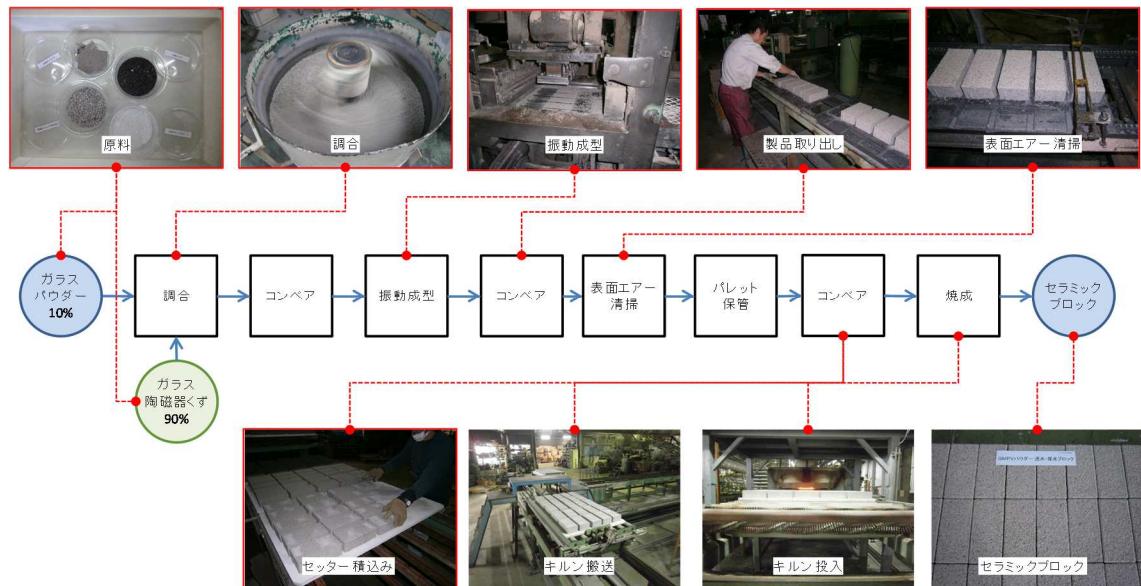


図 3.2-16 セラミックブロックの焼成フロー図

表 3.2-66 セラミックブロックの焼成 写真資料

	
振動成型	成型後の製品取り出し
	
表面エアー清掃	パレット保管
	
コンベアへの積込み	キルンへ搬送
	
キルン投入	セラミックブロック

イ) 物性試験結果

焼成したブロックについて、屋外での床材製品の品質をチェックするため、寸法測定、透水試験、曲げ強度試験、滑り性試験を行った。これらは、道路や建物屋外敷地での使用を想定した品質項目である。

試験の結果、いずれも参考基準値はクリアしていた。

表 3.2-67 寸法測定

試験方法	JASS 7M101	
試験数	n=50	
試験設備	ノギス（最小目盛 0.01 mm）	
製作寸法	200×100×60mm	
焼成温度	1,070℃（RHK）	
測定値平均・長さ （製作寸法±）	+0.8mm	参考基準：JASS 7 製作寸法 ±3.0 mm以内
測定値平均・厚さ （製作寸法±）	-0.4mm	JASS 7 製作寸法 -1.0～+4.0 mm以内

表 3.2-68 透水試験

試験方法	JIS A 5371	
試験数	n=10	
試験設備	透水量測定用水槽	
製作寸法	200×100×60mm	
焼成温度	1,070℃（RHK）	
測定値平均・透水	0.7×10 ⁻² cm/sec	参考基準：JIS A5371 1.0×10 ⁻² cm/sec

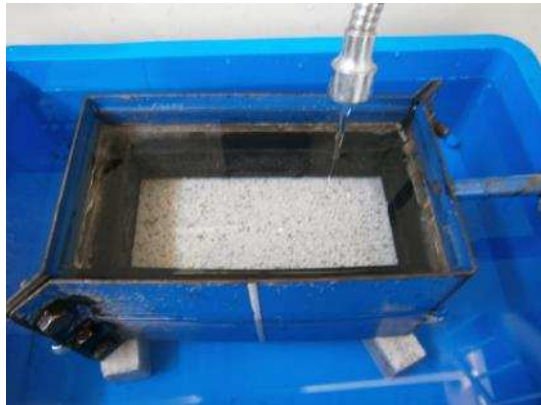
表 3.2-69 強度（曲げ試験）

試験方法	IS A 5371	
試験数	n=10	
試験設備	曲げ試験機	
製作寸法	200×100×60mm	
焼成温度	1,070℃（RHK）	
測定値平均・強度	5.8N/mm ²	参考基準：JIS A 5371 3N/mm ²

表 3.2-70 滑り性結果

試験方法	ASTM E 303	
試験数	n=16	
試験設備	英国振り子試験機	
製作寸法	200×100×60mm	
焼成温度	1,070℃（RHK）	
測定値平均・滑り性	BPN45	参考基準：ILB 協会 BPN40 以上

表 3.2-71 セラミックブロックの物性試験 写真資料

	
寸法測定	透水試験
	
滑り性試験	強度試験

ウ) 含有・溶出試験結果

製造されたブロックについて、製品化の際に必要な含有試験、溶出試験についても行ったところ、いずれも基準をクリアしていた。

試験実施期間：平成 28 年 1 月 22 日～平成 28 年 2 月 5 日

試験場所：一般財団法人岐阜県公衆衛生検査センター

表 3.2-72 セラミックブロックの含有試験結果

項目	数量	計量の方法	基準値
カドミウム	3 mg/kg 未満	JIS K0102 55.3	150 mg/kg 以下
シアン化合物	3 mg/kg 未満	JIS K0102 38.3	50 mg/kg 以下
鉛	3 mg/kg 未満	JIS K0102 54.3	150 mg/kg 以下
六価クロム	2 mg/kg 未満	JIS K0102 65.2.1	250 mg/kg 以下
ひ素	1 mg/kg 未満	JIS K0102 61.4	150 mg/kg 以下
総水銀	0.05 mg/kg 未満	S46 環境庁告示第 59 号 付表 1	15 mg/kg 以下
セレン	3 mg/kg 未満	JIS K0102 67.4	150 mg/kg 以下
フッ素	30 mg/kg 未満	JIS K0102 34.1	4000 mg/kg 以下
ほう素	7mg/kg 未満	JIS K0102 47.3	4000 mg/kg 以下

備考) 試験方法：試験方法土壌含有量調査に係る測定方法を定める件（平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 19 号）による。

表 3.2-73 セラミックブロックの溶出試験結果

項目	数量	計量の方法	基準値
カドミウム	0.001 mg/L 未満	JIS K0102 55.4	0.01 mg/L 以下
全シアン	不検出 (0.1 mg/L 未満)	JIS K0102 38.1.2 及び 38.3	検出されないこと
鉛	0.005 mg/L 未満	JIS K0102 54.4	0.01 mg/L 以下
六価クロム	0.04 mg/L 未満	JIS K0102 65.2.1	0.05 mg/L 以下
ひ素	0.005 mg/L 未満	JIS K0102 61.4	0.01 mg/L 以下
総水銀	0.0005 mg/L 未満	S46 環境庁告示第 59 号 付表 1	0.0005 mg/L 以下
セレン	0.002 mg/L 未満	JIS K0102 67.4	0.01 mg/L 以下
フッ素	0.1 mg/L 未満	JIS K0102 34.1	0.8 mg/L 以下
ほう素	0.02 mg/L 未満	JIS K0102 47.4	1 mg/L 以下

備考) 試験方法：土壌の汚染に係る環境基準について（平成 3 年 8 月 23 日 環境庁告示第 46 号）による。

d. セラミックタイル

ア) セラミックタイルの焼成

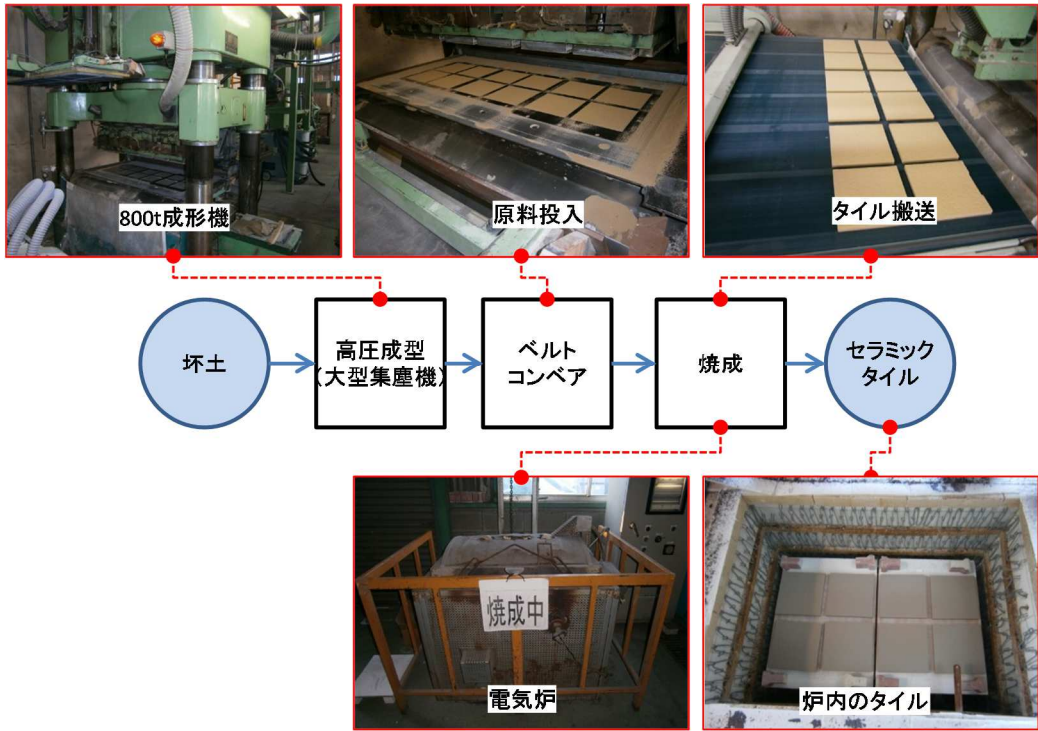
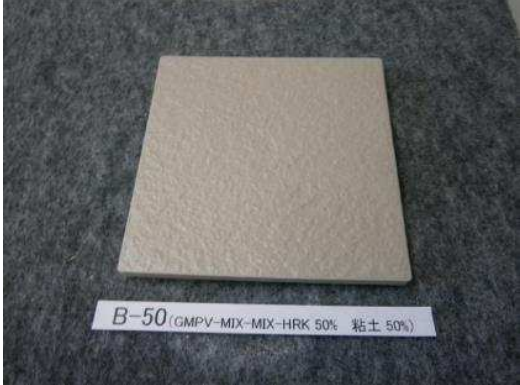


図 3.2-17 セラミックタイル焼成のフロー

表 3.2-74 セラミックタイル 写真資料

 A-50 (GMPV-MIX-MIX-RTJ 50% 粘土 50%)	 A-50 (GMPV-MIX-MIX-RTJ 50% 粘土 50%)
A-50 セラミックタイル 焼成前	A-50 セラミックタイル 焼成後
 B-50 (GMPV-MIX-MIX-HRK 50% 粘土 50%)	 B-50 (GMPV-MIX-MIX-HRK 50% 粘土 50%)
B-50 セラミックタイル 焼成前	B-50 セラミックタイル 焼成後

イ) 物性試験結果

下記の項目において、物性試験を行った。

試験の結果、いずれも参考基準値はクリアしていた。

表 3.2-75 寸法測定

試験方法	JIS A 1509-2	
試験数	n=25	
試験設備	ノギス（最小目盛 0.01 mm）	
製作寸法	150×150×13mm	
焼成温度	1,060℃（中型電気炉使用）	
測定値平均・長さ・A-50 （製作寸法±）	-8.9mm	参考基準： JIS A5209 製作寸法±2.0 mm
測定値平均・厚さ・A-50 （製作寸法±）	-1.68mm	
測定値平均・長さ・B-50 （製作寸法±）	-8.22mm	
測定値平均・厚さ・B-50 （製作寸法±）	-1.93mm	

表 3.2-76 曲げ破壊荷重

試験方法	JIS A 1509-4	
試験数	n=5	
試験設備	曲げ試験機	
試験条件	スパン幅 132 mm	
製作寸法	150×150×13mm	
焼成温度	1,060℃（中型電気炉使用）	
測定値平均・A-50	4,702.2N	参考基準：JIS A5209 曲げ破壊荷重 1,080N 以上
測定値平均・B-50	4,691.0N	

表 3.2-77 滑り性試験

試験方法	ASTM E 303	
試験数	n=10	
試験設備	英国振り子試験機	
製作寸法	150×150×13mm	
焼成温度	1,060℃（中型電気炉使用）	
測定値平均・A-50	45BPN	参考基準：40BPN 以上 （当事者間の協定）
測定値平均・B-50	44BPN	

表 3.2-78 吸水率測定

試験方法	煮沸法	
試験数	n=5	
試験設備	曲げ試験機	
試験条件	煮沸 2 時間後、水中で 12 時間以上静置する	
製作寸法	150×150×13mm	
焼成温度	1,060℃（中型電気炉使用）	
測定値平均・A-50	0%	参考基準：JIS A5209 吸水率 3.0%以下 I 類
測定値平均・B-50	0%	

表 3.2-79 セラミックタイル物性試験 写真資料

	
寸法測定	滑り性試験
	
吸水試験（煮沸法）	吸水試験（タイル重量測定）
	
強度試験(測定器)	強度試験

ウ) 含有・溶出試験結果

試験実施期間：平成 28 年 1 月 22 日～平成 28 年 2 月 5 日

試験場所：一般財団法人岐阜県公衆衛生検査センター

表 3.2-80 セラミックタイルの含有試験結果

項目	A-50	B-50	計量の方法	基準値
カドミウム	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 55.3	150 mg/kg 以下
シアン化合物	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 38.3	50 mg/kg 以下
鉛	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 54.3	150 mg/kg 以下
六価クロム	2 mg/kg 未満	2 mg/kg 未満	JIS K0102 65.2.1	250 mg/kg 以下
ひ素	1 mg/kg 未満	1 mg/kg 未満	JIS K0102 61.4	150 mg/kg 以下
総水銀	0.05 mg/kg 未満	0.05 mg/kg 未満	S46 環境庁告示第 59 号 付表 1	15 mg/kg 以下
セレン	3 mg/kg 未満	3 mg/kg 未満	JIS K0102 67.4	150 mg/kg 以下
フッ素	30 mg/kg 未満	30 mg/kg 未満	JIS K0102 34.1	4000 mg/kg 以下
ほう素	1 mg/kg 未満	1 mg/kg 未満	JIS K0102 47.3	4000 mg/kg 以下

備考) 試験方法：試験方法土壌含有量調査に係る測定方法を定める件（平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 19 号）による。

表 3.2-81 セラミックタイルの溶出試験結果

項目	A-50	B-50	計量の方法	基準値
カドミウム	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	JIS K0102 55.4	0.01 mg/L 以下
全シアン	不検出 (0.1 mg/L 未満)	不検出 (0.1 mg/L 未満)	JIS K0102 38.1.2 及び 38.3	検出されないこと
鉛	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	JIS K0102 54.4	0.01 mg/L 以下
六価クロム	0.04 mg/L 未満	0.04 mg/L 未満	JIS K0102 65.2.1	0.05 mg/L 以下
ひ素	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	JIS K0102 61.4	0.01 mg/L 以下
総水銀	0.0005 mg/L 未満	0.0005 mg/L 未満	S46 環境庁告示第 59 号 付表 1	0.0005 mg/L 以下
セレン	0.002 mg/L 未満	0.002 mg/L 未満	JIS K0102 67.4	0.01 mg/L 以下
フッ素	0.1 mg/L 未満	0.1 mg/L 未満	JIS K0102 34.1	0.8 mg/L 以下
ほう素	0.02 mg/L 未満	0.02 mg/L 未満	JIS K0102 47.4	1 mg/L 以下

備考) 試験方法：土壌の汚染に係る環境基準について（平成 3 年 8 月 23 日 環境庁告示第 46 号）による。

4) 株式会社ライテック

a. 防音パネルの焼成

RTJ 社にて生成した①②-1 単結晶・多結晶（混合） $100\mu\text{m}$ のガラスパウダーをライテックに送付し、ガラス発泡パネル化のための原料調合、防音パネルのテストピース製作を行った。

表 3.2-82 防音パネルの原料（混合比）

試料	実施計画書における名称	品番	混合比
$100\mu\text{m}$ ガラスパウダー	①②-1 単結晶・多結晶（混合）	GMPV-MIX-MIX-RTJ	75%
発泡剤	-	-	微量
集塵粉	-	-	25%

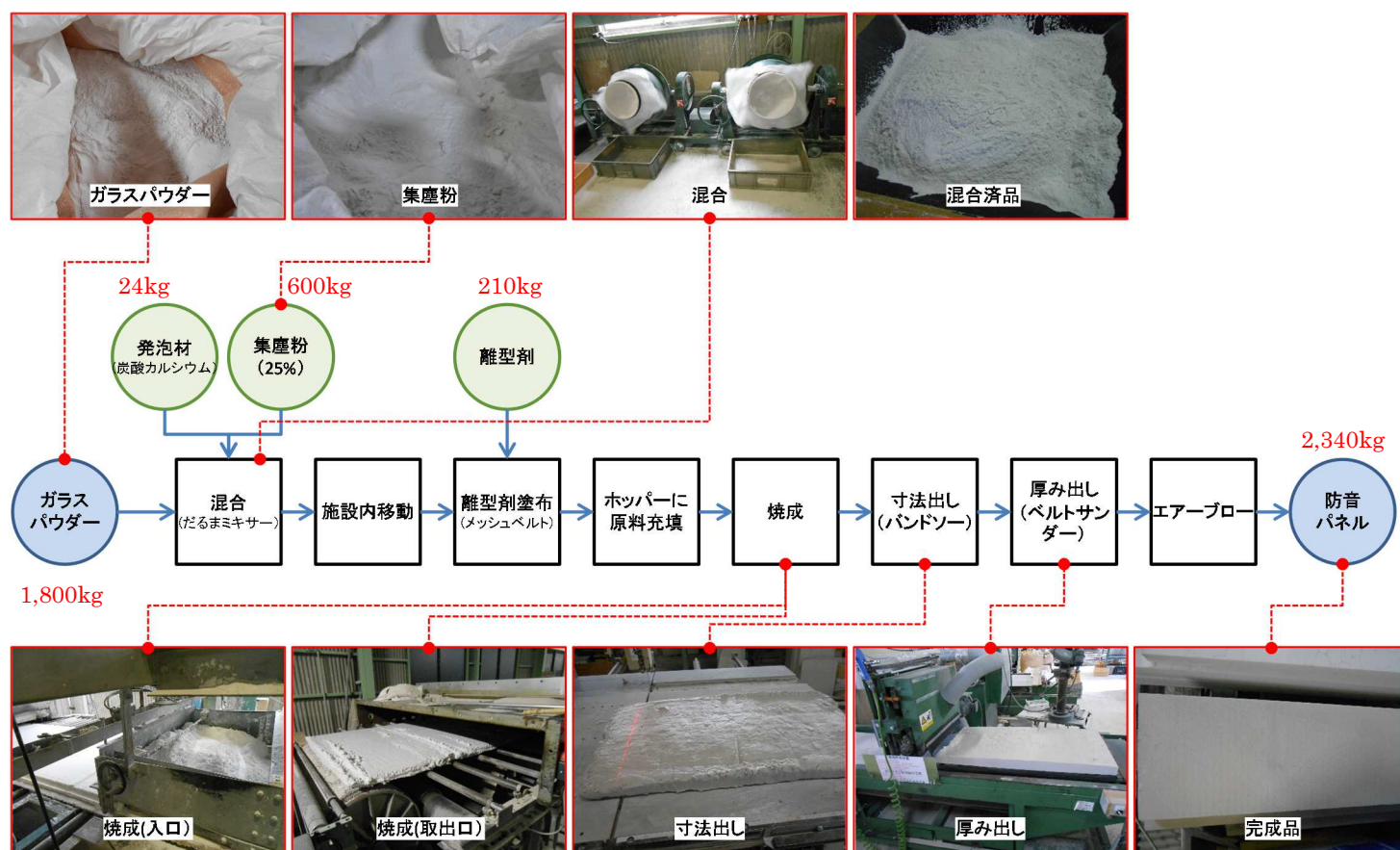


図 3.2-18 防音パネルの製作 フロー図

b. 物性試験

焼成した防音パネルについて、屋内での壁材製品としての品質をチェックするため、曲げ強さ、圧縮強さ、吸水率、かさ比重、耐酸性試験、耐アルカリ試験、急熱急冷試験、熱膨張試験、耐凍害試験を行った。これらは、建物の壁材での使用を想定した品質項目である。当初は衝撃試験の実施も想定していたが、屋内の防音パネルでは衝撃試験が行われていないこと、試験場が設備を保有していないことから実施を取りやめた。

参考基準値が設けられている項目は吸水率の JIS R 1250 のみであり、化粧レンガの基準である 9%以下をクリアしていた。耐凍害試験では、10 回終了時にひび割れが生じたが、内装材としては問題ないとの評価であった。加えて、外壁等、野外で使用する製品に関してはパネルそのものを金属製の枠に収め製品化するため問題は無い。

また、その他の項目は参考基準値が設けられていないものの、特段問題ない水準であるとの評価であったことから、100 μ m のガラスパウダーの発泡原料化による防音パネルの作成は技術的には対応可能であると考えられる。

試験実施期間：平成 28 年 1 月 4 日～平成 28 年 1 月 22 日

試験場所：あいち産業科学技術総合センター 瀬戸窯業技術センター

表 3.2-83 曲げ強さ

試験方法	3 点曲げ（常温）	
支点距離	160mm	
支持具の直径	10mm	
クロスヘッド移動速度	0.5mm/min	
試験数	n=5	
測定値平均	2.88MPa	参考基準：—

表 3.2-84 圧縮強さ

試験方法	JIS R 2615	
試験片寸法	1 辺 50mm の立方体	
測定値平均	432N/cm ²	参考基準：—

表 3.2-85 吸水率

試験方法	JIS R 1250	
測定値平均	8.3%	参考基準：9%以下（化粧レンガの基準）

表 3.2-86 かさ比重

試験方法	JIS R 2614	
測定値平均	0.33	参考基準：—

表 3.2-87 耐酸性試験・耐アルカリ試験

試験方法	試験方法：JIS A 1509-10（平面法）	
試験溶液 （塩酸溶液約 3%）	変化が認められない	参考基準：—
耐アルカリ試験 （水酸化カリウム溶液約 3%）	変化が認められない	参考基準：—

表 3.2-88 急熱急冷試験

試験方法	試験方法: 室温から 100℃の温度差になるようにあらかじめ加熱した恒温器内に試料を 1 時間保持した後、室内に取り出して素地の欠点の有無を調べた。
試験結果	割れ、切れ、ひび及び欠けを認めず

表 3.2-89 熱膨張試験

試験方法	JIS R 1618 (ただし、測定雰囲気は大気とした)
平均線膨張率 (25~500℃)	$9.7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 参考基準: —

表 3.2-90 耐凍害試験

試験方法	JIS A 5208
試験回数	10 回
試験結果	8 回終了時に試験体側面にひび割れが発生し、10 回終了時に上面にひび割れが発生した。 →内装材ならば問題ないのではとの評価

(2) ガラスカレットのグラスファイバー原料化の用途検討

RTJ、ハリタにて生成した単結晶・多結晶の混合ガラスカレットについて、旭硝子、セントラル硝子に板ガラス、グラスファイバーの原料可能性の評価を依頼した。

評価の結果、いずれも難しいとの回答であった。理由として、異物が多く、原料評価よりも除去コストが上回ること、特にガラス炉への損傷や、ガラスの品質に悪影響を及ぼす非鉄金属の含有があったことが挙げられた。

他の廃棄物処理と併用する破碎処理でのカレットは、非鉄金属が混ざることから受入不可であること、専用破碎機によるカレットであっても、そもそも破碎の時点で微粒な異物混入の可能性があるとのことであった。このため、破碎ではなくガラスと膜を分断するスライスカット方式が処理方法としては望ましいと考えられる。

● ガラスカレット原料評価(板ガラス、グラスファイバー)

➤ 回収ガラスカレット受入品質規格(板硝子協会)

ガラス以外の不純物の許容量

種類	異物	サイズと許容濃度	
有機化合物	フィルム、紙、ゴム、木片等	10 mm未満:20 ppm未満	10 mm以上:無いこと
砂利、セラミックス、セメント等		0.5 mm未満:1000 ppm未満	0.5 mm以上:無いこと
鉄片	ステンレスを除く	1 mm未満:10 ppm未満	1 mm以上: 無いこと
非鉄金属類	アルミ、ステンレス等	無いこと	

- 含有NGの金属物質:アルミ、ニッケル
- ごく微量に留めるべき金属物質:銅、亜鉛、銀

この含有が微量ではあるが認められたため、原料としての取扱は困難の見込み

➤ 板ガラスにおける異物の影響

板ガラスは酸素過飽和過冷却液体であるため、還元性成分の混入が、問題を起こすことが多い。

<還元性成分を含む異物>

- 有機化合物
(紙、プラスチックフィルム、シール材等)
- 金属異物
- 砂利、セラミックス等の異物

<異物混入が板ガラスに与える欠点>

- ガラスが局所的に還元されることによる欠点
 - 還元硫黄によるアンバー色(ビール瓶の色)ムラ発生
 - 酸素濃度の違うガラスの接触による泡欠点の発生
 - AlによるSiO₂の還元→金属シリコン粒欠点発生
- 異物自体の欠点
- 熱膨張率の異なる異物が存在することによる欠点
 - 製造工程の徐冷段階、製品で割れトラブル発生

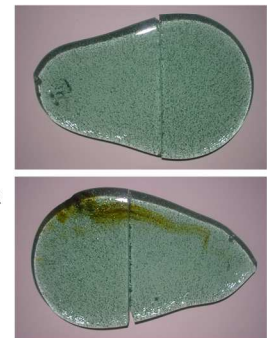


図 3.2-19 ガラスカレットの原料評価

(3) パネルから剥離したセルシートの銀品質評価業務（三井金属鉱業）

三井金属鉱業にて行ったセルシートの含有分析結果に基づき、下表の通りセルシートの銀に対する品質評価を行った。銀評価の結果、単結晶・多結晶、薄膜（アルミナ系）は有価物との評価となった。また、銀の含有品位は、同じ単結晶・多結晶処理に由来するものである場合、ハリタ・セルシートくず（8mm オーバー）＞RTJ・セルシート＞ハリタ・セルシートくず、ガラスくず（0.5mm アンダー）となった。

表 3.2-91 セルシートの品質評価

処理 会社	評価対象品		銀の含有 品位 (平均) (g/t)	対象鉱量 (Ag) (t)	回収 金属量 (Ag) (kg)	有価物 評価
RTJ	セルシート	①②-1 単結晶・多結晶 (混合)	2, 525	5. 195	10. 494	○
		③-1 薄膜 (アルミナ系)	1, 873	0. 046	0. 069	○
		③-2 薄膜 (その他)	744	0. 005	0. 003	×
		④CIS/CIGS 系 (メーカー混合)	68	4. 062	0. 000	×
ハリタ	セルシート (8mm オーバー)		3, 225	1. 781	4. 882	○
	セルシートくず、ガラスくず (0. 5mm アンダー)		2, 260	1. 215	2. 197	○

備考) 有価物評価は銀の販売額評価から前処理、有害物質処理を差し引いたものである。

3.2.4 使用済太陽電池モジュールのリサイクル条件の整理

ガラスカレットの製品化において、ガラスが少ない場合（40%以下）は粘土由来の赤茶色が強く出てしまう。逆にガラスが 60%以上になると急に膨張し始めるため、ガラスの調合比率は 50%とし、吸水率が 0%になる 1,030℃で焼成することが望ましい。但し、ガラスパウダーは空気がリサイクルの過程で空気が混入し、焼成温度が 1,000℃以上になると緑色に着色してしまうため、975℃以下とした方が良いことが確認できた。

以下、各用途におけるリサイクル条件を整理した。

セラミックタイル化の原料受入条件で確認すべき項目は、「①原料の成分」、「②原料の形態」、「③原料の付着成分」、「④原料における異物の混入割合」となる。

「①原料の成分」は、大前提として、有害物質は不可となる。また、ホウ素が大量に含まれていると、溶解温度が低下し、耐火度に影響を及ぼす。そのため、処理委託時に成分情報を提示する必要がある。基本的には、有害物質が含まれていなければ問題ない。

②形態については、粒度、粒度分布、粒径が重要となる。基準としては、カレットの大きさが 3mm 以下であることが条件となるため、事前のサンプル提出による確認が必要となる。

③付着成分の量によって、その後の工程のハンドリングや受入費用が異なってくるため、こちらも事前にサンプルを提出の上、相談が必要となる。なお、丸美陶料の場合、粉塵等の問題の発生を防止する観点で、含水率 5～10%程度が望ましいとしている。

④異物の混入割合については、1%程度が望ましい。事前の受入検査でサンプルを確認し、問題の有無を判断する。

表 3.2-92 セラミックタイル化の受入条件

項目	内容	対応
①原料の成分	・ 有害物質は不可 ・ ホウ素は少ない方が望ましい（大量のホウ素が含まれていると、溶解温度が低下し、耐火度に影響が出る）	処理委託時、成分情報の提示が必要
②原料の形態	ガラスカレットの大きさは 3mm 以下	事前のサンプル確認が必要
③原料の付着成分（含水率）	付着成分の量により、受入後の工程に影響が出る	事前のサンプル確認が必要
④原料内の異物混入割合	1%程度が望ましい	事前のサンプル確認が必要

これらのセラミックタイル原料としての受入条件と、実際の使用済太陽電池モジュールの排出状況、破碎・処理施設側の対応を考慮し、以下のようにセラミックタイル化としてのリサイクル条件を整理した。

排出量の安定性、異物混入の可能性等から、単結晶、多結晶は同時処理可能と判断したが、CIS/CIGS は有害物質を含有する残さ発生率があることから、同一処理は不可とした。

			破碎・選別の結果	
			破碎選別による 処理残渣率	ガラスカレットへの 異物混入リスク
太陽電池 モジュール	ソーダ石灰	単結晶	低	低
		多結晶	低	低
		薄膜 (その他)	高	高
		CIS/CIGS系	高	高
	アルミナ系	薄膜 (アルミナ系)	低	低

図 3.2-20 破碎選別工程での実証結果

			セルシートの含有物・銀評価結果		
			有価物 含有率	有害物 混入率	評価
太陽電池 モジュール	ソーダ石灰	単結晶	高	無	有価物
		多結晶	高	無	有価物
		薄膜 (その他)	低	無	廃棄物
		CIS/CIGS系	低	有	廃棄物
	アルミナ系	薄膜 (アルミナ系)	高	無	有価物

図 3.2-21 セルシートの含有物・銀評価結果

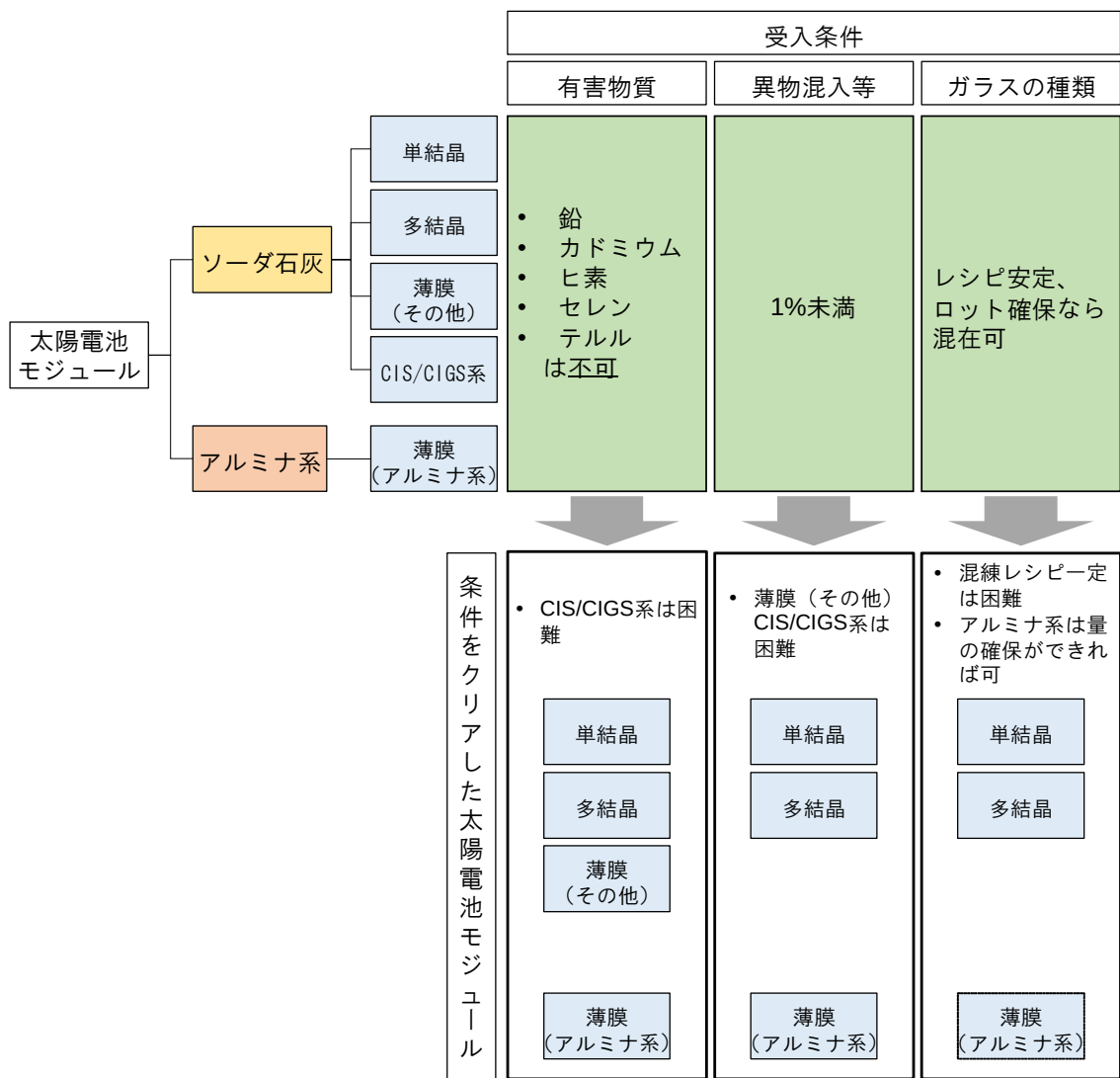


図 3.2-22 セラミックタイルの受入条件

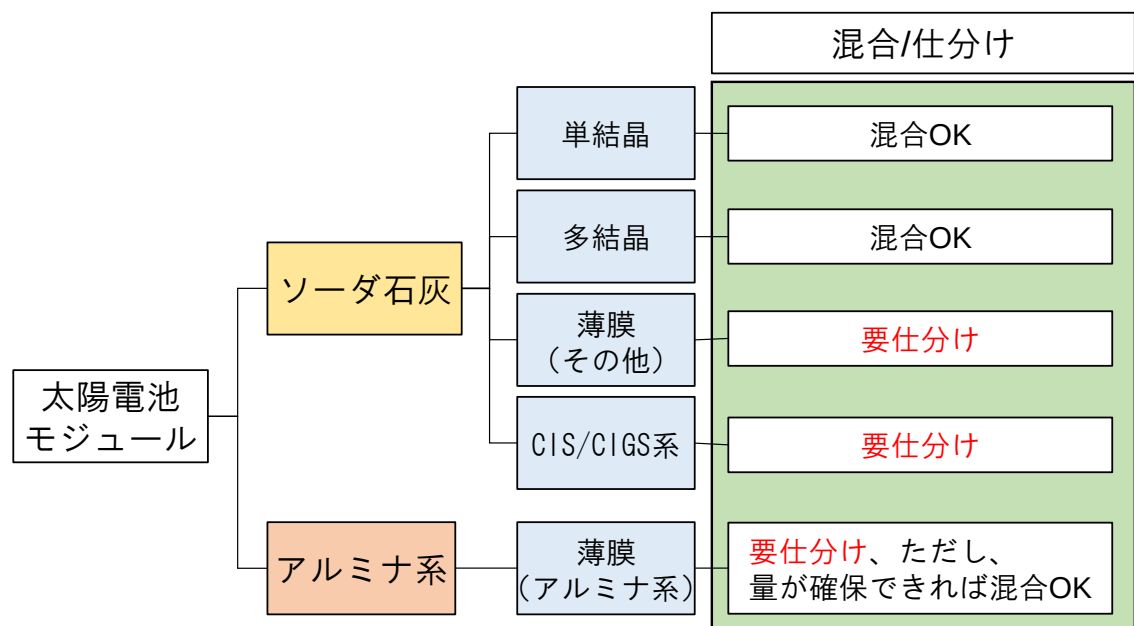


図 3.2-23 セラミックタイル原料化を想定した場合の破碎選別工程の仕分け案

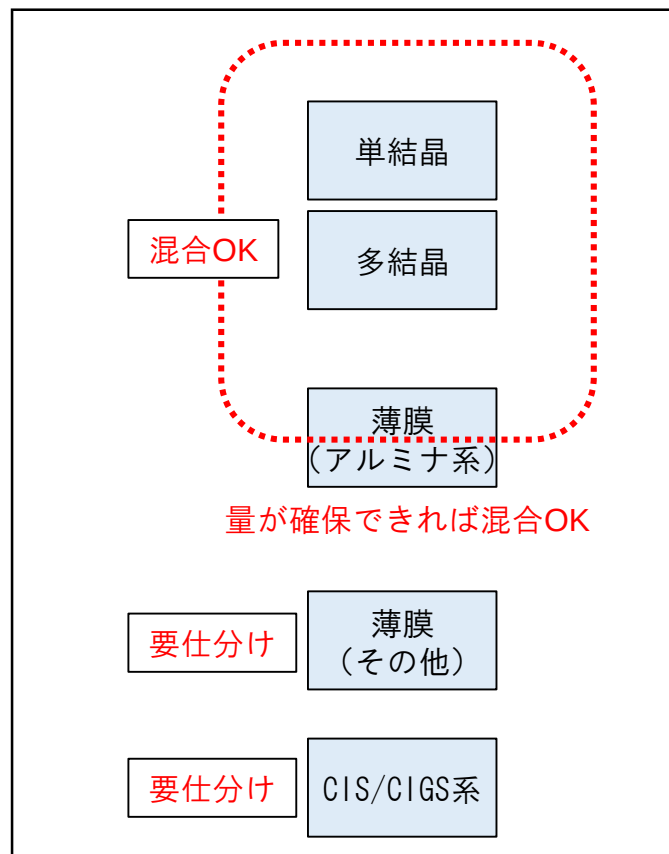


図 3.2-24 仕分け案

3.2.5 使用済太陽電池モジュールの全国リサイクルシステムの構築に向けた検討

本事業で検討したセラミックタイル化のリサイクル体制図を下記に示す。リサイクル技術には、ガラスとセルシートを有価物化させることが可能な処理方法を選定している。なお、セルシートの有価物化は、製品の銀含有濃度に大きく影響することに留意が必要である。

セラミックタイル化が可能なガラスカレットの生成について対応可能ではないかと期待される処理施設として、家電リサイクル施設や小型家電リサイクル施設等、破碎と選別能力を備えた施設が候補として考えられる。

なお、セラミックタイル化が可能な施設は東海の窯業が盛んな地域に集中しているため、運搬コストを考慮するとまずは関東、中部、近畿地方にて排出された使用済太陽電池モジュールのリサイクル用途となるのではないかと考えられる。他の地域で排出された使用済太陽電池モジュールについては、運搬コストの改善によるタイル化や他のリサイクル用途の検討が考えられる。

セルシートについては、銀評価と有害物質の処理対応の両方が可能な施設は、本実証事業体制内では、神岡鉱業、三井金属鉱業竹原事業所となる。従って、関東、中部、近畿地方にて発生した使用済太陽電池モジュール由来のセルシートの受入先となるのではないかと考えられる。

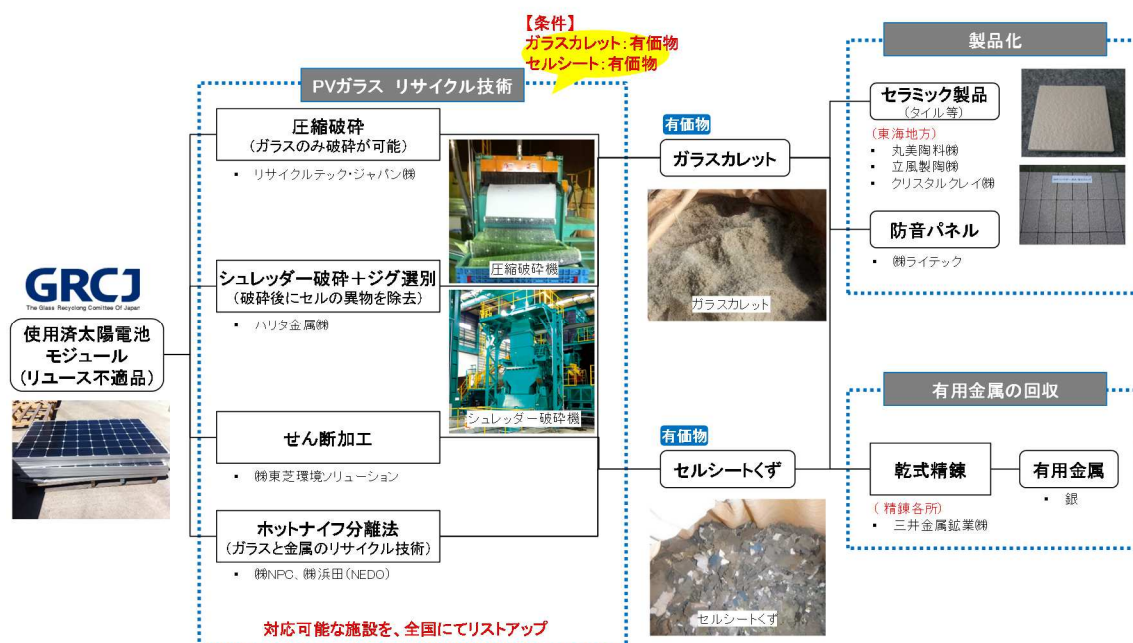


図 3.2-25 リサイクルシステムの体制イメージ



図 3.2-26 使用済太陽電池モジュールのリサイクル施設候補

表 3.2-93 使用済太陽電池モジュールのリサイクル施設候補地

社名	エリア	県	小型家電	家電	自動車	GRCJ 会員
HOK1	北海道地方	北海道	○	-	○	○
HOK2	北海道地方	北海道	-	○	-	
HOK3	北海道地方	北海道	○	-	-	
HOK4	北海道地方	北海道	○	○	○	
HOK5	北海道地方	北海道	○	○	○	
TOU1	東北地方	岩手県	○	-	-	
TOU2	東北地方	秋田県	○	○	-	
TOU3	東北地方	宮城県	-	○	-	
TOU4	東北地方	福島県	-	○	○	
KAN1	関東地方	栃木県	○	○	○	
KAN2	関東地方	栃木県	-	○	-	
KAN3	関東地方	埼玉県	○	-	-	
KAN4	関東地方	千葉県	○	○	-	○
KAN5	関東地方	千葉県	○	-	-	
KAN6	関東地方	千葉県	-	○	-	
KAN7	関東地方	東京都	○	-	-	
KAN8	関東地方	東京都	○	○	○	
KAN9	関東地方	東京都	○	○	○	
KAN10	関東地方	東京都	○	○	-	
KAN11	関東地方	東京都	○	○	-	
KAN12	関東地方	東京都	-	○	○	
KAN13	関東地方	東京都	-	○	○	
KAN14	関東地方	東京都	-	○	○	
KAN15	関東地方	東京都	-	○	○	
KAN16	関東地方	東京都	-	○	-	
KAN17	関東地方	神奈川県	-	○	-	
KAN18	関東地方	神奈川県	-	○	-	○
TBU1	中部地方	新潟県	-	○	○	
TBU2	中部地方	富山県	○	○	○	○
TBU3	中部地方	富山県	○	-	○	
TBU4	中部地方	石川県	○	-	-	
TBU5	中部地方	福井県	○	-	-	
TBU6	中部地方	静岡県	○	-	○	○
TBU7	中部地方	静岡県	-	○	-	
TBU8	中部地方	愛知県	○	○	-	
TBU9	中部地方	愛知県	○	-	-	
TBU10	中部地方	愛知県	○	○	-	
TBU11	中部地方	愛知県	○	-	○	
TBU12	中部地方	愛知県	○	○	○	
TBU13	中部地方	愛知県	○	-	○	

社名	エリア	県	小型家電	家電	自動車	GRCJ 会員
TBU14	中部地方	愛知県	○	-	-	
TBU15	中部地方	愛知県	○	-	○	
TBU16	中部地方	愛知県	-	○	-	
TBU17	中部地方	愛知県	-	○	○	
KIN1	近畿地方	三重県	○	-	-	
KIN2	近畿地方	三重県	-	○	-	
KIN3	近畿地方	大阪府	○	-	○	
KIN4	近畿地方	大阪府	○	-	○	
KIN5	近畿地方	大阪府	○	-	○	
KIN6	近畿地方	大阪府	-	○	-	
KIN7	近畿地方	兵庫県	○	○	○	
KIN8	近畿地方	滋賀県	○	-	-	
KIN9	近畿地方	兵庫県	○	○		
KIN10	近畿地方	兵庫県	○	-	○	
KIN11	近畿地方	兵庫県	-	○	-	
TG01	中国地方	岡山県	○	○	○	
TG02	中国地方	広島県	○	-	-	
TG03	中国地方	広島県	○	○	-	
TG04	中国地方	広島県	○	-	-	
SHI1	四国地方	愛媛県	○	○	○	
SHI2	四国地方	香川県	○	-	○	
KYU1	九州地方	福岡県	○	-	-	
KYU2	九州地方	福岡県	-	○	○	
KYU3	九州地方	福岡県	-	○	-	
KYU4	九州地方	福岡県	○	-	-	
KYU5	九州地方	熊本県	-	○	-	
KYU6	九州地方	熊本県	-	○	-	
KYU7	九州地方	大分県	○	-	-	
KYU8	九州地方	宮崎県	-	○	○	
KYU9	九州地方	鹿児島	-	○	○	
KYU10	九州地方	沖縄県	○	○	○	
KYU11	九州地方	沖縄県	-	○	○	

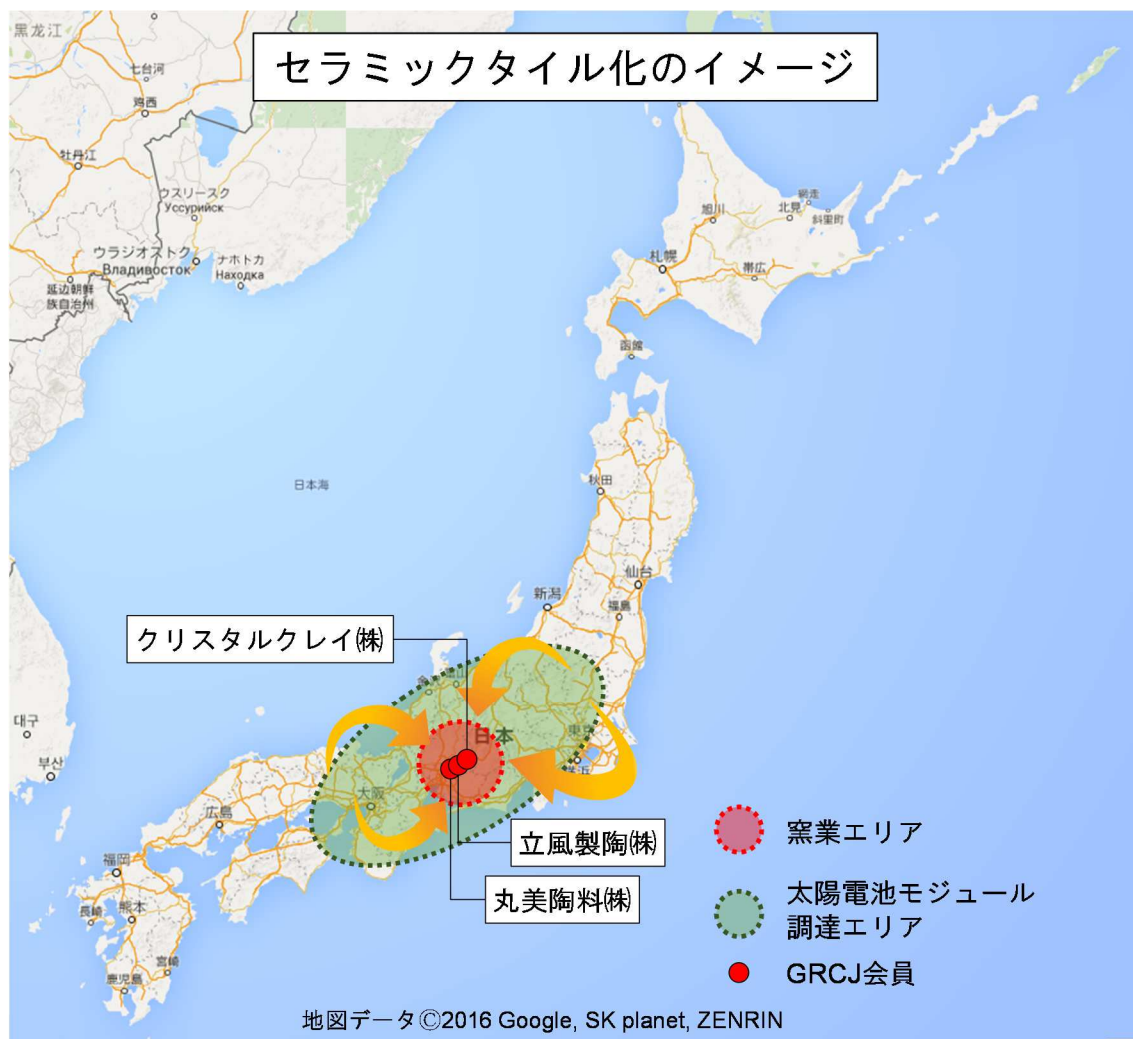


図 3.2-27 セラミックタイル化のイメージ
(備考：GRCJ の会員企業を「GRCJ 会員」とする)



図 3.2-28 精錬施設候補
(備考：GRCJ の会員企業を「GRCJ 会員」とする)

4. 環境負荷低減効果の検証

4.1 本処理工程およびベースラインプロセスにおける CO2 発生量のバウンダリの設定と削減効果の試算

本実証事業では、自社で消費もしくは排出された商品の処理工程をバウンダリとして設定し、CO2 排出量を算出した。

本事業のリサイクルプロセス（本処理工程）における処理プロセスは、大きく処理プロセスと製品化プロセスに分類される。処理プロセスでは、使用済太陽電池モジュールのセルとシートを分離する圧縮破碎、篩い等の選別によるガラスカレットとガラスパウダーの生成までを指す。製品化プロセスは、処理プロセスで生成したガラスカレットとガラスパウダーからセラミックタイルや防音パネルの製作までを指す。

また、各製品の現状の製品化プロセスをベースラインプロセスとして、同様にバウンダリを設定し、CO2 排出量を算出して本処理工程と比較することで、本事業の環境負荷低減効果を検証した。ベースラインプロセスは、使用済太陽電池モジュールからアルミフレームを取り外し、残りを乾式製錬により、銅、銀を回収し、製錬スラグ化すると設定した。

なお、CO2 排出量算定にあたり、処理する使用済太陽電池モジュールは単結晶とし、RTJ の処理施設にて破碎・選別を行ったと仮定して試算した。

4.1.1 セラミックタイルへの製品化

本処理工程によるセラミックタイル化(c)の実施に対応する事業実施前となるベースラインプロセスは、現状の使用済太陽電池モジュールの乾式製錬による処理と製錬スラグの路盤材化（A）と、長石を原料としたセラミックタイルの製造（B）である。

一方、本処理工程による事業実施後として想定されるプロセスは、使用済太陽電池モジュールの破碎・選別処理と、ガラスカレットを原料としたセラミックタイルの製品化(c)、および（A）による路盤材化が実施されないことによる採石からの路盤材化（D）である。

（A）をベースライン（現状）の排出量、（B）を事業（本処理工程）実施時の代替分、（c）を事業（本処理工程）実施時の排出量、（D）をベースライン（現状）の代替分とする。

使用済太陽電池モジュールの処理にかかる CO2 排出量は、ベースラインプロセス（A）では 326kg/t であり、本処理工程(c)では 980kg/t となった。これは、ベースラインプロセスでは製錬処理のみであったが、本処理工程では破碎・選別処理に加え、タイル化の焼成プロセスが含まれるためと考えられる。

一方で、代替効果を比較すると、ベースラインプロセス（D）では 6kg/t、本処理工程（B）では 1,138kg/t となった。プロセス全体の CO2 排出量を比較した場合、本処理工程を導入することにより、使用済太陽電池モジュール 1t あたりの CO2 排出量は 478kg/t 削減されたとの算出結果となった（CO2 削減効果算出式＝（A+B）・（C+D））。

セラミックタイルの製造にあたり、ベースラインプロセスと本処理工程のプロセスはあまり変わらない。相違点は原料であり、ベースラインプロセスでは長石を、本処理工程では使用済太陽電池モジュールを破碎・選別して回収したガラスカレットを使用している。ガラスカレットの焼成温度は長石と比較して低いため、本処理工程の CO2 排出量がベースラインプロセスよりも低い結果となったと考えられる。

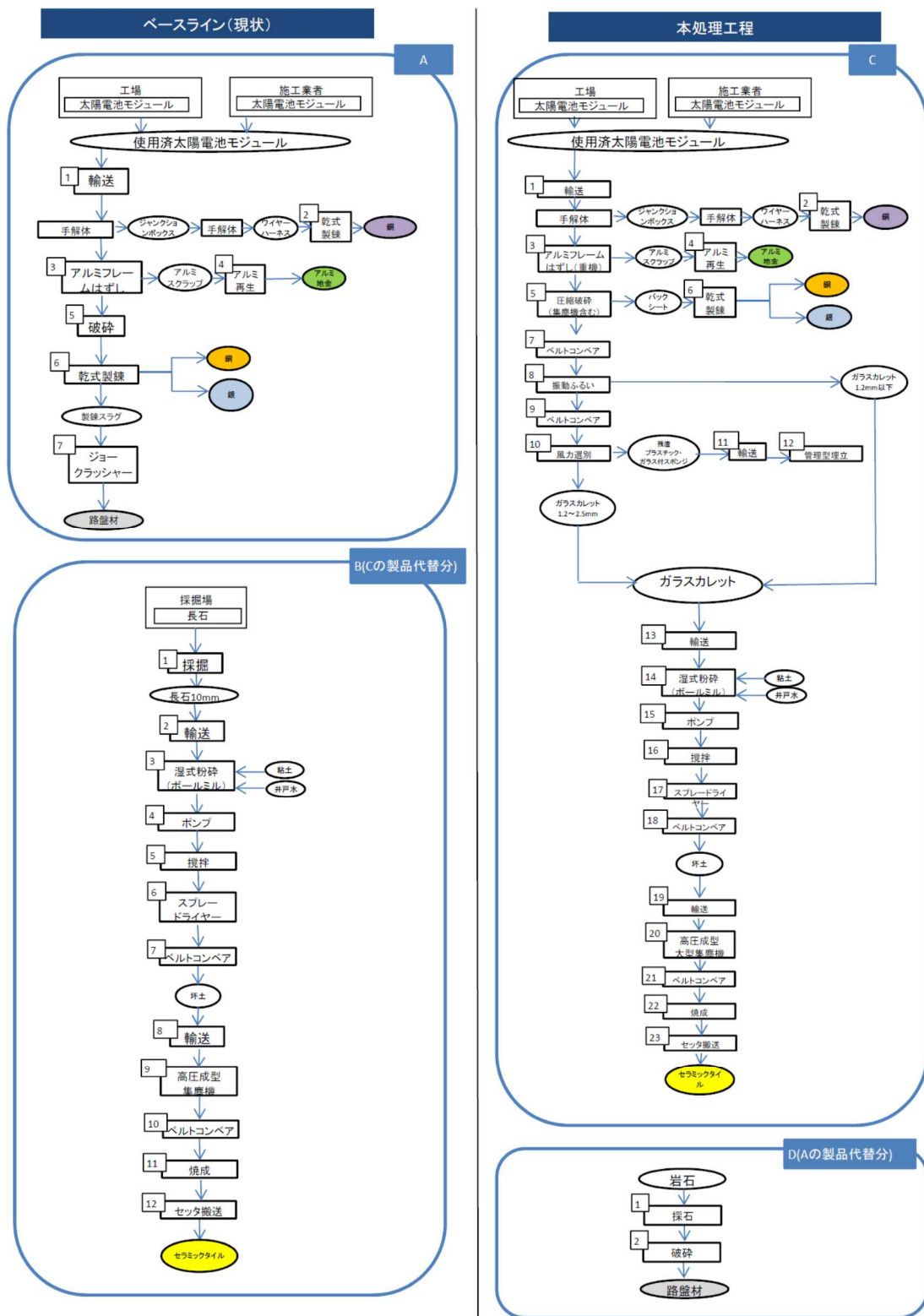


図 4.1-1 セラミックタイル製品化におけるバウンダリ

表 4.1-1 セラミックタイル製品化における 1t あたりの CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量	単位
A	ベースライン（現状）の排出量	326	Kg-CO2/t
B	事業（本処理工程）実施時の代替分	1,138	Kg-CO2/t
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	980	Kg-CO2/t
D	ベースライン（現状）の代替分	6	Kg-CO2/t
	CO2 削減効果 (A+B) - (C+D)	478	Kg-CO2/t

表 4.1-2 セラミックタイル製品化における年間 CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量	単位
	年間処理量（想定）	1,000	t/年間
A	ベースライン（現状）の排出量	326	t-CO2/年
B	事業（本処理工程）実施時の代替分	1,138	t-CO2/年
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	980	t-CO2/年
D	ベースライン（現状）の代替分	6	t-CO2/年
	CO2 削減効果 (A+B) - (C+D)	478	t-CO2/年

表 4.1-3 セラミックタイル製品化のインベントリーデータ

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	単位	項目	数量	単位
A	ベースライン(現状)の排出量	輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	100.00	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.06	kg-CO2/tkm
		乾式精錬	太陽電池モジュール1tあたりワイヤーハーネスの銅含有量(d)	3.95	kg/太陽電池モジュールt	銅1tあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg
		アルミフレームはずし	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	6.27	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.58	kg-CO2/kwh
		アルミ再生	太陽電池モジュール1tあたりのアルミニウムスクラップ含有量(b)	200.00	kg/太陽電池モジュールt	アルミスクラップ1kgあたりの溶融時CO2排出量(c)	0.29	kg-CO2/kg
		破碎	太陽電池モジュール1tあたりの処理量(a)	785.00	kg/太陽電池モジュールt	処理物1kgを破碎する際のCO2排出量	0.0215	kg-CO2/kg
		乾式精錬	太陽電池モジュール1tあたりの銅含有量(a)	1.85	kg/太陽電池モジュールt	銅1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール1tあたりの銀含有量(b)	0.74	kg/太陽電池モジュールt	銀1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	14.8	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール1tあたりの処理物含有量(c)	782.41	kg/太陽電池モジュールt	処理物1kgあたり溶融時のCO2排出量(b)	0.287	kg-CO2/kg
		ジョークラッシャー	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.69	kwh/太陽電池モジュールt	1kwhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
B	事業(本処理工程)実施時の代替分	長石採掘～選鉱・精錬	カレットの代替用長石量	438.00	kg	長石採取1kgあたりのCO2排出量	0.0011	kg-CO2/tkm
		輸送	セラミックタイル 788.4kg製造tあたりの輸送量	50.00	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.034	kg-CO2/tkm
		湿式粉碎(ボールミル)	セラミックタイル 788.4kg製造あたりの電気使用量	5.11	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ポンプ	セラミックタイル 788.4kg製造あたりの電気使用量	0.90	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	単位	項目	数量	単位
		攪拌	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの電気使用量	0.68	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		スプレー ドライヤー	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの電気使用量	16.48	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
			セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの A 重油使用量	65.70	L	A 重油 1L 使用あたりの CO2 排出量	2.710	kg-CO2/L
		ベルトコンベア	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの電気使用量	1.77	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.373	kg-CO2/kwh
		輸送	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの輸送量	50.00	tkm	1tkm あたりの CO2 排出量	0.066	kg-CO2/tkm
		高圧成型 (集塵機ふくむ)	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの電気使用量	39.95	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの電気使用量	9.55	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		焼成	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの電気使用量	56.70	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
			セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの都市ガス使用 量	393.07	L	都市ガス 1L 使用あたりの CO2 排出量	2.230	kg-CO2/L
		セッタ搬送	セラミックタイル 788.4kg 製造あたりの電気使用量	3.20	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
C	事業（本処理工程） 実施時の排出量	輸送	太陽電池モジュール 1t あた りの輸送量	100.00	tkm	1tkm あたりの CO2 排出量	0.0585	kg-CO2/tkm
		乾式精錬	太陽電池モジュール 1t あた りワイヤーハーネスの銅含 有量 (d)	3.945	kg/太陽電池モジ ュール t	銅 1t あたりの乾式製錬に関わる CO2 排出量	0.95	kg-CO2/kg
		アルミフレームはずし	太陽電池モジュール 1t あた りの電気使用量	6.27	kwh/ 太陽電池モ ジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		アルミ再生	太陽電池モジュール 1t あた りのアルミニウムスクラッ プ含有量	200.00	kg/太陽電池モジ ュール t	アルミスクラップ 1kg あたりの熔融 時 CO2 排出量 (c)	0.29	kg-CO2/kg

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	単位	項目	数量	単位
		圧縮破碎機 (集塵機含む)	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	30.73	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		乾式精錬	太陽電池モジュール1tあたりの銅含有量(a)	1.85	kg/太陽電池モジュールt	銅1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール1tあたりの銀含有量(b)	0.738	kg/太陽電池モジュールt	銀1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	14.8	kg-CO2/kg
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.72	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		振動ふるい	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	2.36	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.72	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		風力選別	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	1.18	kWh/太陽電池モジュールt	太陽電池モジュール1tあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	50.00	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.00117	kg-CO2/tkm
		管理型埋立	太陽電池モジュール1t当たりの残渣搬出量	15.00	kg/太陽電池モジュールt	埋立時の1kg当たりのCO2排出量	0.0379	kg-CO2/kg
		輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	50	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.034	kg-CO2/tkm
		湿式粉碎 (ボールミル)	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	2.45	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		ポンプ	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	1.22	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		攪拌	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.45	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
		スプレー ドライヤー	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	29.65	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh
			太陽電池モジュール1tあたりのA重油使用量	72.27	L/太陽電池モジュールt	A重油1L使用あたりのCO2排出量	2.710	kg-CO2/L
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	11.18	kWh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kWh

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	単位	項目	数量	単位
		輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	50	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.066	kg-CO2/tkm
		高圧成型 (集塵機含む)	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	39.95	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	9.55	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		焼成	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	56.70	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
			太陽電池モジュール1tあたりの都市ガス使用量	262.05	L/太陽電池モジュールt	都市ガス1L使用あたりのCO2排出量	2.230	kg-CO2/L
		セッタ搬送	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	3.20	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
D	ベースライン(現状)の代替分	採石	路盤材 782kg を製造するのに必要な採石量	782.4104	kg	採石 1kg あたりの CO2 排出量	0.0069	kg-CO2
		砕石	路盤材 782kg 製造あたりの電気使用量	0.69	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh

表 4.1-4 インベントリーデータ収集における参考文献一覧

カテゴリ	プロセス	出典
A	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」(使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定) ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレームはずし	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査
	破碎	産業環境管理協会「平成 13 年度 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書」中間処理のインベントリ
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属(金、銀、白金)のインベントリ分析-CO2 排出に注目して」成田、田原、他 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」よりアルミスクラップ溶解の値で代替(アルミ溶解炉温度: 約 1100℃、ガラス融点: 1000℃前後)
	ジョークラッシャー	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定
B	長石採取～選鉱・製錬	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	乾式粉碎	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果(カレット使用率 50%より) ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定
	ポンプ	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	攪拌	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	スプレードライヤー	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	高圧成型(集塵機ふくむ)	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果(カレット使用率 50%より)
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	焼成	・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果(カレット使用率 50%より)

カテゴリ	プロセス	出典
		・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」 ガラス再資源化協会（素材をガラスカレットに置き換えることで燃料使用量を 33%削減可能）
	セッタ搬送	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
C	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレームはずし	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査
	圧縮破碎（集塵機含む）	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属（金、銀、白金）のインベントリ分析－C02 排出に注目して－」成田、田原、他
	湿式粉碎（ボールミル）	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	振動ふるい	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	風力選別	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	管理型埋立	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	輸送	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	湿式粉碎	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果

カテゴリ	プロセス	出典
	(ボールミル)	・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・ 日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属(金、銀、白金)のインベントリ分析-CO2 排出に注目して」成田、田原、他 ・ 日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」よりアルミスクラップ溶融の値で代替(アルミ溶融炉温度:約 1100℃、ガラス融点:1000℃前後)
	ポンプ	・ リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	攪拌	・ リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	スプレードライヤー	・ リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・ 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
	ベルトコンベア	・ リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	高圧成型 (集塵機ふくむ)	・ リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・ クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果(カレット使用率 50%より)
	ベルトコンベア	・ リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	焼成	・ 環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・ クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果(カレット使用率 50%より) ・ 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」 ガラス再資源化協会(素材をガラスカレットに置き換えることで燃料使用量を 33%削減可能)
	セッタ搬送	・ リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・ 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
D	砕石	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	破碎	・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)

4.1.2 セラミックブロックへの製品化

本処理工程によるセラミックブロック化(c)の実施に対応するベースラインプロセスは、使用済太陽電池モジュールの乾式製錬による処理 (A) と、ガラスびんを原料としたセラミックブロックの製造 (B) である。

本処理工程による事業実施後として想定されるプロセスは、使用済太陽電池モジュールの破碎・選別処理と、それにより生成された $100\mu\text{m}$ ガラスパウダーを原料としたセラミックブロックの製品化(c)、および (A) による路盤材化が実施されないことによる採石からの路盤材化 (D) である。

使用済太陽電池モジュールの処理にかかる CO₂ 排出量は、ベースラインプロセス (A) では 325kg/t であり、本処理工程(c)では 1,905kg/t となった。これは、ベースラインプロセスでは製錬処理のみだが、本処理工程では破碎・選別処理にパウダー化の粉碎処理が追加され、更にブロックの焼成プロセスも含まれるためと考えられる。

一方で、代替効果を比較すると、ベースラインプロセス (D) では 6kg/t、本処理工程 (B) では 1,762kg/t となった。プロセス全体の CO₂ 排出量を比較した場合、本処理工程を導入することにより、使用済太陽電池モジュール 1t あたりの CO₂ 排出量は 177kg/t 削減されるとの算出結果となった (CO₂ 削減効果算出式 = (A+B) - (C+D))。

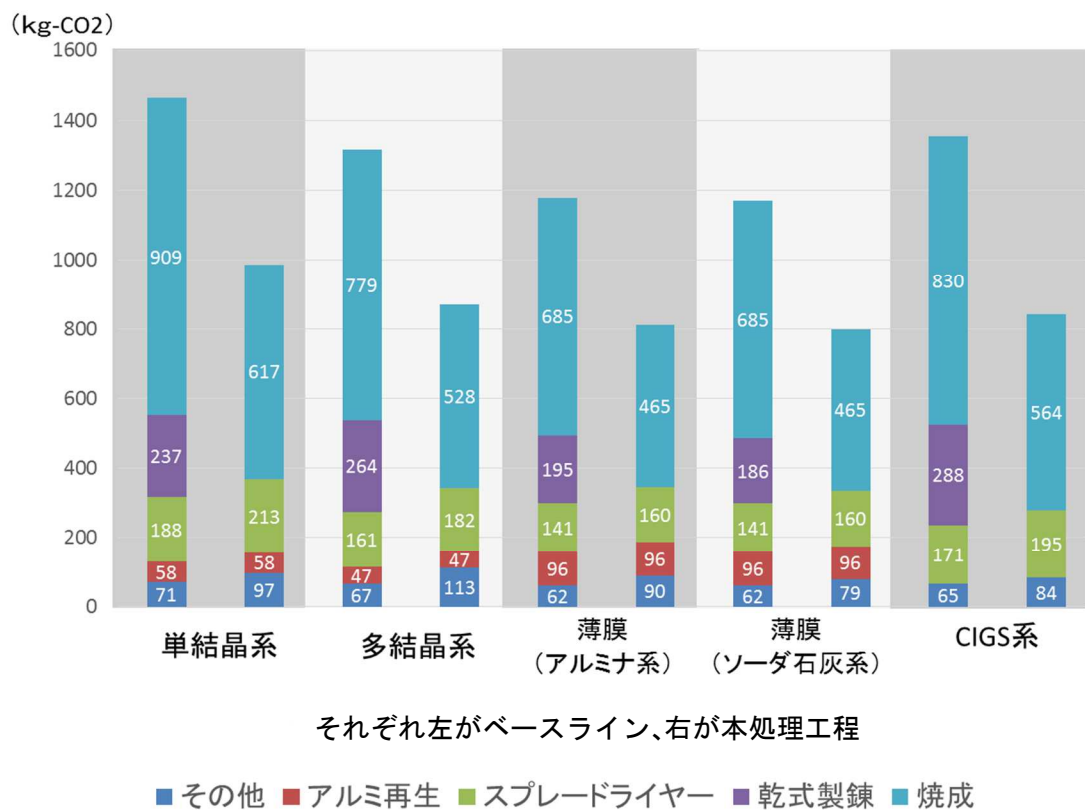


図 4.1-2 使用済太陽電池モジュールの種類別 CO₂ 排出量の内訳

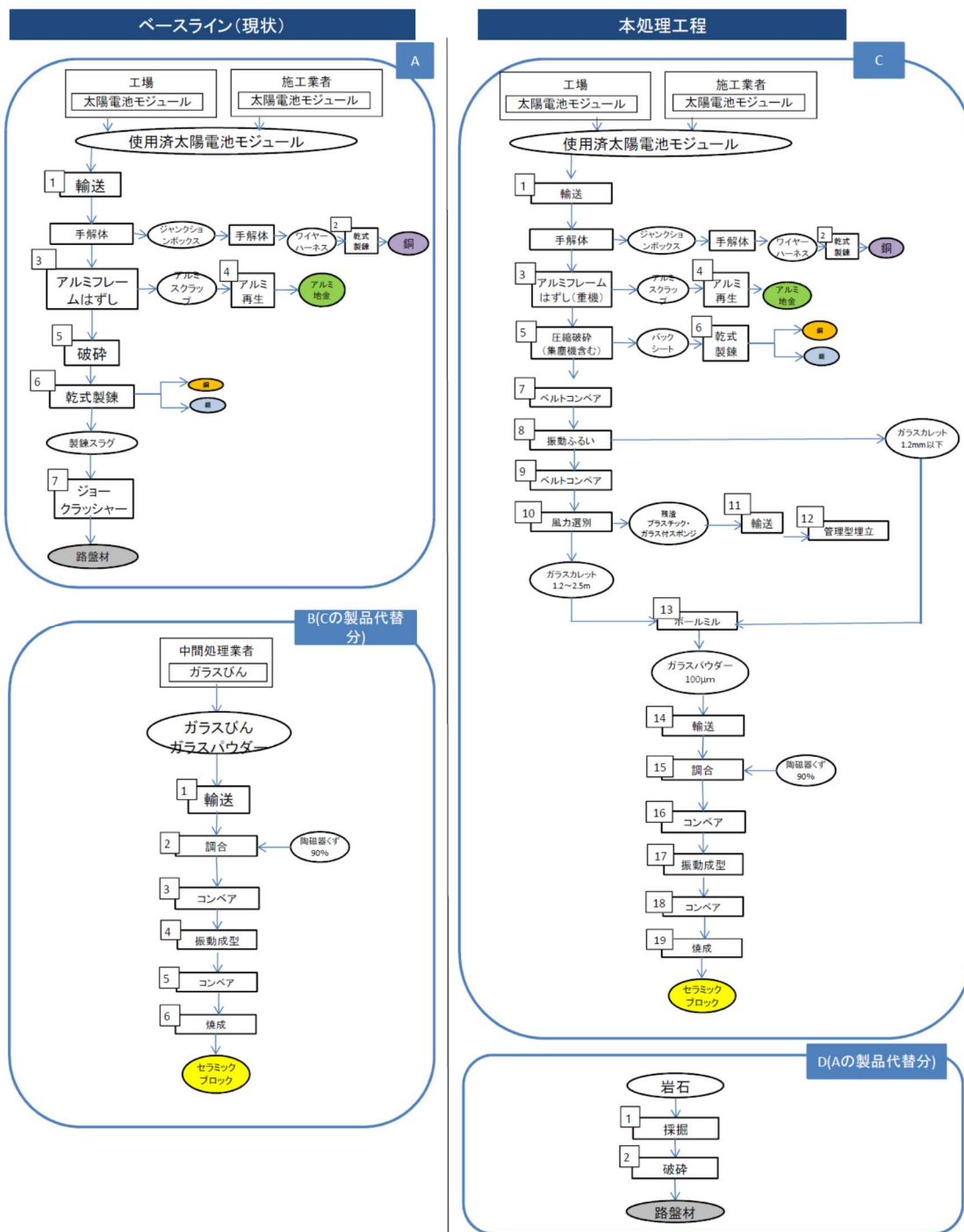


図 4.1-3 セラミックブロック製品化におけるバウンダリ

表 4.1-5 セラミックブロック製品化における 1t あたりの CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量	単位
A	ベースライン（現状）の排出量	325	Kg-CO2/t
B	事業（本処理工程）実施時の代替分	1,762	Kg-CO2/t
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	1,905	Kg-CO2/t
D	ベースライン（現状）の代替分	6	Kg-CO2/t
	CO2 削減効果 (A+B) - (C+D)	177	Kg-CO2/t

表 4.1-6 セラミックブロック製品化における年間 CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量	単位
	年間処理量（想定）	1,000	t/年間
A	ベースライン（現状）の排出量	325	t-CO2/年
B	事業（本処理工程）実施時の代替分	1,762	t-CO2/年
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	1,905	t-CO2/年
D	ベースライン（現状）の代替分	6	t-CO2/年
	CO2 削減効果 (A+B) - (C+D)	325	t-CO2/年

表 4.1-7 セラミックブロックのインベントリーデータ

項目				活動量			排出原単位	
				項目	数量	単位	項目	数量
A	ベースライン（現状）の排出量	輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	100	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.06	kg-CO2/tkm
		乾式精錬	太陽電池モジュール1tあたりの銅含有量（d）	3.95	kg/太陽電池モジュールt	銅1tあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg
		アルミフレームはずし	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	6.27	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.58	kg-CO2/kwh
		アルミ再生	太陽電池モジュール1tあたりのアルミニウムスクラップ含有量（b）	200	kg/太陽電池モジュールt	アルミスクラップ1kgあたりの溶融時CO2排出量（c）	0.29	kg-CO2/t
		破碎	太陽電池モジュール1tあたりの処理量	785	kg/太陽電池モジュールt	処理物1kgを破碎する際のCO2排出量	0.0215	kg-CO2/kg
		乾式精錬	太陽電池モジュール1tあたりからの銅再生地金量	1.852	kg/太陽電池モジュールt	太陽電池モジュール1tあたりからの銀再生地金量	0.7376	kg/太陽電池モジュールt
			太陽電池モジュール1tあたりの銀含有量（b）	0.74	kg/太陽電池モジュールt	銀1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	14.8	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール1tあたりの処理物含有量（c）	782.41	kg/太陽電池モジュールt	処理物1kgあたり溶融時のCO2排出量（b）	0.287	kg-CO2/kg
		ジョクラッシャー	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.69	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.58	kg-CO2/kwh
B	事業（本処理工程）実施時の代替分	輸送	セラミックブロック4380kg製造あたりの輸送量	50.0	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.034164	kg-CO2/tkm
		調合（集塵機含む）	セラミックブロック4380kg製造あたりの電気使用量	24.0	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	セラミックブロック4380kg製造あたりの電気使用量	11.0	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		振動成型	セラミックブロック4380kg製造あたりの電気使用量	68.7	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	セラミックブロック4380kg製造あたりの電気使用量	11.0	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh

項目				活動量			排出原単位	
				項目	数量	単位	項目	数量
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	焼成	セラミックブロック 4380kg 製造あたりの電気使用量	124.3	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		焼成	セラミックブロック 4380kg 製造あたりの都市ガス使用量	727.3	L	都市ガス 1L 使用あたりの CO2 排出量	2.23	kg-CO2/L
		輸送	太陽電池モジュール 1t あたりの輸送量	100.00	tkm	1tkm あたりの CO2 排出量	0.0585	kg-CO2/tkm
		乾式精錬	太陽電池モジュール 1t あたりの銅含有量 (d)	3.95	kg/太陽電池モジュール t	銅 1t あたりの乾式製錬に関わる CO2 排出量	0.95	kg-CO2/kg
		アルミフレームはずし	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	6.27	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		アルミ再生	太陽電池モジュール 1t あたりのアルミニウムスクラップ含有量	200.00	kg/太陽電池モジュール t	アルミスクラップ 1kg あたりの溶融時 CO2 排出量 (c)	0.29	kg-CO2/kg
		圧縮破砕機（集塵機含む）	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	30.73	kWh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		乾式精錬	太陽電池モジュール 1t あたりの銅含有量 (a)	1.85	kg/太陽電池モジュール t	銅 1kg あたりの乾式製錬に関わる CO2 排出量	0.95	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール 1t あたりの銀含有量 (b)	0.74	kg/太陽電池モジュール t	銀 1kg あたりの乾式製錬に関わる CO2 排出量	14.8	
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	0.72	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		振動ふるい	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	2.36	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	0.72	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		風力選別	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	1.18	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ボールミル	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	64.89	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		輸送	太陽電池モジュール 1t あたりの輸送量	50.00	tkm	1tkm あたりの CO2 排出量	0.00117	kg-CO2/tkm

項目				活動量			排出原単位	
				項目	数量	単位	項目	数量
		管理型埋立	太陽電池モジュール1tあたりの残渣搬出量	15.00	kg/太陽電池モジュール t	埋立時の 1kg 当たりの CO2 排出量	0.0379	kg-CO2/kg
		輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	50.0	tkm	1tkm 当たりの CO2 排出量	0.034164	kg-CO2/tkm
		調合（集塵機含む）	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	24.0	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh 当たりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	11.0	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh 当たりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		振動成型	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	68.7	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh 当たりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	11.0	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh 当たりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		焼成	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	124.3	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh 当たりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
			太陽電池モジュール1tあたりの都市ガス使用量	727.3	L/太陽電池モジュール t	都市ガス 1L 使用あたりの CO2 排出量	2.23	kg-CO2/L
D	ベースライン（現状）の代替分	採石	路盤材 782kg を製造するのに必要な採石量	782.4104	kg	採石 1kg 当たりの CO2 排出量	0.00694	kg-CO2
		砕石	路盤材 782kg 製造あたりの電気使用量	0.690	kwh	1kWh 当たりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2

表 4.1-8 インベントリーデータ収集における参考文献一覧

カテゴリ	プロセス	出典
A	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」(使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定) ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレームはずし	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」
	破碎	産業環境管理協会「平成 13 年度 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書」中間処理のインベントリ
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属(金、銀、白金)のインベントリ分析-CO2 排出に注目して」成田、田原、他 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」よりアルミスクラップ溶解の値で代替(アルミ溶解炉温度: 約 1100℃、ガラス融点: 1000℃前後)
	ジョークラッシャー	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定
B	輸送	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」) ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	調合(集塵機含む)	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	ベルトコンベア	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	振動成型	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	ベルトコンベア	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	焼成	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10% ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
	焼成	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10% ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
C	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」(使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定) ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセス

カテゴリ	プロセス	出典
		における原単位で代替
	アルミフレームはずし	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査
	圧縮破碎（集塵機含む）	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属（金、銀、白金）のインベントリ分析－CO2 排出に注目して－」成田、田原、他
	湿式粉碎（ボールミル）	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	振動ふるい	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	風力選別	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	ボールミル	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	管理型埋立	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	輸送	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	調合（集塵機含む）	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用） ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	ベルトコンベア	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用） ・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	振動成型	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）

カテゴリ	プロセス	出典
		・クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	ベルトコンベア	・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・ クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10%
	焼成	・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・ クリスタルクレイ株式会社、パウダー投入量 10% ・ 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
D	砕石	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	破碎	・ JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・ 環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)

4.1.3 防音パネル製品化

本処理工程による防音パネル化(c)の実施に対応するベースラインプロセスは、使用済太陽光モジュールの乾式製錬による処理(c)と、ワイヤー除去ガラスを原料とした防音パネルの製造 (B) である。

本処理工程による事業実施後として想定されるプロセスは、使用済太陽電池モジュールの破碎・選別処理と、それにより生成された $100\mu\text{m}$ ガラスパウダーを原料とした防音パネルの製品化(c)、および (A) による路盤材化が実施されないことによる採石からの路盤材化 (D) である。

使用済太陽電池モジュールの処理にかかる CO₂ 排出量は、ベースラインプロセス (A) では 326kg/t であり、本処理工程(c)では 229kg/t となった。これは、ベースラインプロセスでは製錬処理のみだが、本処理工程では破碎・選別処理にパウダー化の粉碎処理が追加され、更に防音パネルの焼成プロセスも含まれるためと考えられる。

一方で、代替効果を比較すると、ベースラインプロセス (D) では 6kg/t、本処理工程 (B) では 106kg/t となった。プロセス全体の CO₂ 排出量を比較した場合、本処理工程を導入することにより、使用済太陽電池モジュール 1t あたりの CO₂ 排出量は 196kg/t 削減されるとの算出結果となった (CO₂ 削減効果算出式 = (A+B) - (C+D))。

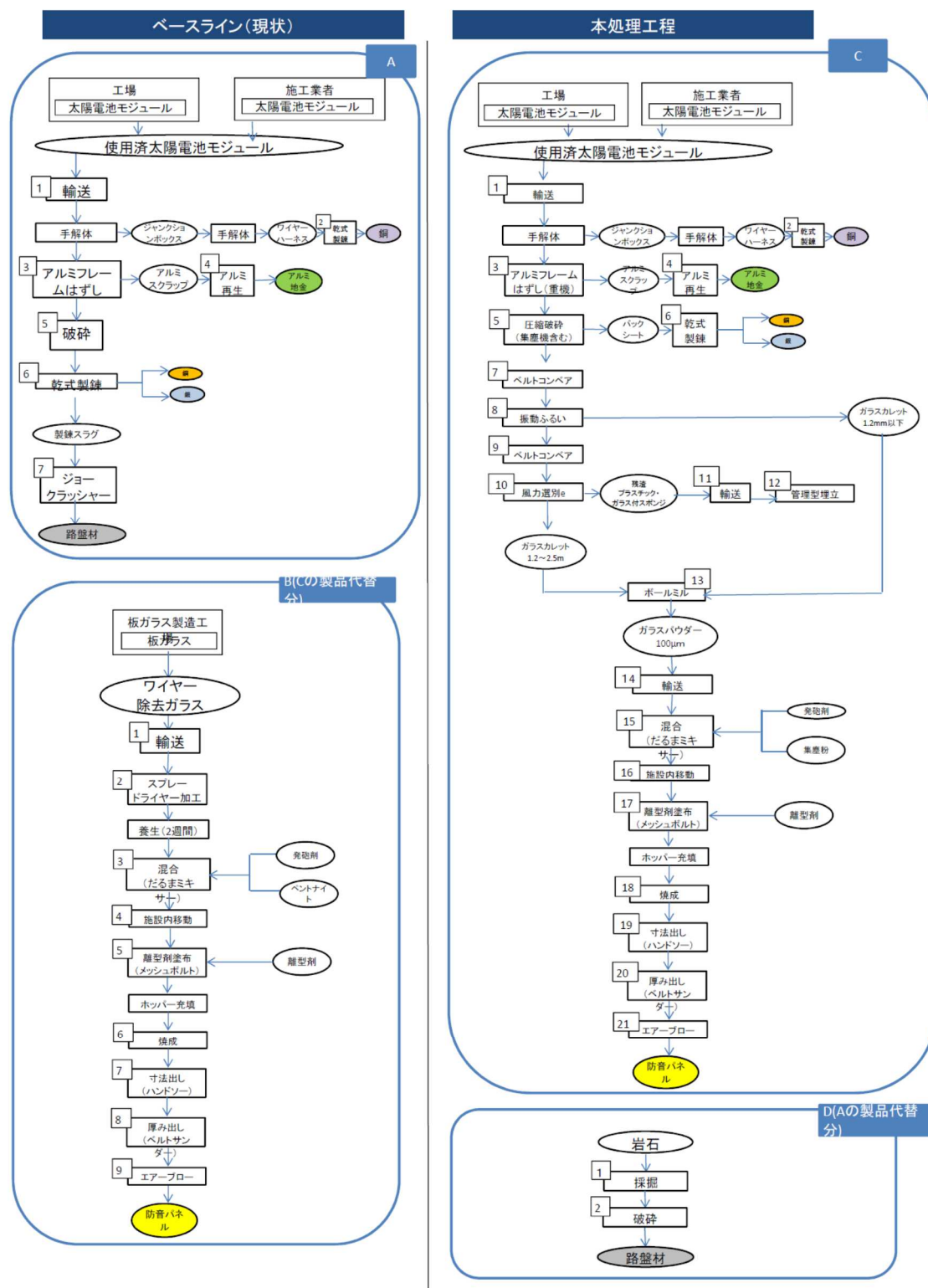


図 4.1-4 防音パネル製品化におけるバウンダリ

表 4.1-9 防音パネル製品化における 1t あたりの CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量	単位
A	ベースライン（現状）の排出量	326	Kg-CO2/t
B	事業（本処理工程）実施時の代替分	106	Kg-CO2/t
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	229	Kg-CO2/t
D	ベースライン（現状）の代替分	6	Kg-CO2/t
	CO2 削減効果 (A+B) - (C+D)	196	Kg-CO2/t

表 4.1-10 防音パネル製品化における年間 CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量	単位
	年間処理量（想定）	1,000	t/年間
A	ベースライン（現状）の排出量	326	t-CO2/年
B	事業（本処理工程）実施時の代替分	106	t-CO2/年
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	229	t-CO2/年
D	ベースライン（現状）の代替分	6	t-CO2/年
	CO2 削減効果 (A+B) - (C+D)	196	t-CO2/年

表 4.1-11 防音パネルのインベントリーデータ

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	項目	数量	項目	数量
A	ベースライン (現状)の排出量	輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	100.00	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.059	kg-CO2/tkm
		乾式精錬	太陽電池モジュール1tあたりのワイヤーハーネスに含まれる銅含有量(d)	3.95	kg/太陽電池モジュールt	銅1tあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.950	kg-CO2/kg
		アルミフレームはずし	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	6.27	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		アルミ再生	太陽電池モジュール1tあたりのアルミニウムスクラップ含有量(b)	200.00	kg/太陽電池モジュールt	アルミスクラップ1kgあたりの熔融時CO2排出量(c)	0.290	kg-CO2/t
		破碎	太陽電池モジュール1tあたりの処理量	785.00	kg/太陽電池モジュールt	処理物1kgを破碎する際のCO2排出量	0.021	kg-CO2/kg
		乾式精錬	太陽電池モジュール1tあたりの銅含有量(a)	1.85	kg/太陽電池モジュールt	銅1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.950	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール1tあたりの銀含有量(b)	0.74	kg/太陽電池モジュールt	銀1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	14.800	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール1tあたりの処理物含有量(c)	782.41	kg/太陽電池モジュールt	処理物1kgあたり熔融時のCO2排出量(b)	0.287	kg-CO2/kg
		ジョクラッシャー	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.69	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ジョクラッシャー	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.69	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
B	事業(本処理工程)実施時の代替分	輸送	防音パネル 589.9kg 製造あたりの輸送量	50.00	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.044	kg-CO2/tkm
		スプレードライヤー加工	防音パネル 589.9kg 製造の電気使用量	12.64	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.58	kg-CO2/kwh
			防音パネル 589.9kg 製造 tあたりのLPG使用量	3.641	kg	LPG1kg使用あたりのCO2排出量	3.00	kg-CO2/L
		混合(だるまミキサー)	防音パネル 589.9kg 製造あたりの電気使用量	3.40	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.58	kg-CO2/kwh

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	項目	数量	項目	数量
C	事業（本処理工程）実施時の排出量	施設内移動	防音パネル 589.9kg 製造あたりの軽油使用量	1.00	kwh	軽油 1L 利用あたりの CO2 排出量	2.58	kg-CO2/L
		離型剤塗布	防音パネル 589.9kg 製造あたりの電気使用量	22.14	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.58	kg-CO2/kwh
		焼成	防音パネル 589.9kg 製造あたりの電気使用量	14.90	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.58	kg-CO2/kwh
		寸法出し（ハンドソー）	防音パネル 589.9kg 製造あたりの電気使用量	22.93	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.58	kg-CO2/kwh
		厚み出し（ベルトサンダー）	防音パネル 589.9kg 製造あたりの電気使用量	22.93	kwh	1kWh あたりの CO2 排出量	0.58	kg-CO2/kwh
		エアブロー	防音パネル 589.9kg 製造あたりの電気使用量	56.27	kwh	防音パネル 589.9kg 製造あたりの CO2 排出量	0.58	kg-CO2/kwh
	事業（本処理工程）実施時の排出量	輸送	太陽電池モジュール 1t あたりの輸送量	100.00	tkm	1tkm あたりの CO2 排出量	0.0585	kg-CO2/tkm
		乾式精錬	太陽電池モジュール 1t あたりのワイヤーハーネスに含まれる銅含有量（d）	3.95	kg/太陽電池モジュール t	銅 1t あたりの乾式製錬に関わる CO2 排出量	0.95	kg-CO2/kg
		アルミフレームはずし	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	6.27	kwh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		アルミ再生	太陽電池モジュール 1t あたりのアルミニウムスクラップ含有量	200.00	kg/太陽電池モジュール t	アルミスクラップ 1kg あたりの溶融時 CO2 排出量（c）	0.29	kg-CO2/kg
		圧縮破砕機（集塵機含む）	太陽電池モジュール 1t あたりの電気使用量	30.73	kWh/太陽電池モジュール t	1kWh あたりの CO2 排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		乾式精錬	太陽電池モジュール 1t あたりの銅含有量（a）	1.85	kg/太陽電池モジュール t	銅 1kg あたりの乾式製錬に関わる CO2 排出量	0.95	kg-CO2/kg
			太陽電池モジュール 1t あたりの銀含有量（b）	0.74	kg/太陽電池モジュール t	銀 1kg あたりの乾式製錬に関わる CO2 排出量	14.8	kg-CO2/kg

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	項目	数量	項目	数量
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.72	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		振動ふるい	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	2.36	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ベルトコンベア	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	0.72	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		風力選別	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	1.18	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		ボールミル	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	64.89	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	50.00	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.00117	kg-CO2/tkm
		管理型埋立	太陽電池モジュール1t当たりの残渣搬出量	15.00	kg/太陽電池モジュールt	埋立時の1kg当たりのCO2排出量	0.0379	kg-CO2/kg
		輸送	太陽電池モジュール1tあたりの輸送量	50.00	tkm	1tkmあたりのCO2排出量	0.034	kg-CO2/tkm
		混合(だるまミキサー)	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	3.37	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		施設内移動	太陽電池モジュール1tあたりの軽油使用量	1.00	L/太陽電池モジュールt	軽油1L利用あたりのCO2排出量	2.580	kg-CO2/L
		離型剤塗布	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	21.92	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		焼成	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	14.75	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh

項目			活動量			排出原単位		
			項目	数量	項目	数量	項目	数量
		寸法出し(ハンドソー)	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	22.93	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		厚み出し(ベルトサンダー)	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	22.93	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
		エアブロー	太陽電池モジュール1tあたりの電気使用量	56.27	kwh/太陽電池モジュールt	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh
D	ベースライン (現状)の代替分	採石	路盤材 782kg を製造するのに必要な採石量	782.4104	kg	採石 1kgあたりのCO2排出量	0.0069	kg-CO2
		砕石	路盤材 782kg 製造あたりの電気使用量	0.69	kwh	1kWhあたりのCO2排出量	0.579	kg-CO2/kwh

表 4.1-12 インベントリーデータ収集における参考文献一覧

カテゴリ	プロセス	出典
A	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「GFP4.01」)
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」(使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定) ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレームはずし	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」
	破碎	産業環境管理協会 「平成 13 年度 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書」中間処理のインベントリ
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属(金、銀、白金)のインベントリ分析—CO2 排出に注目して—」成田、田原、他 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」よりアルミスクラップ溶融の値で代替(アルミ溶融炉温度: 約 1100℃、ガラス融点: 1000℃前後)
	ジョークラッシャー	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定
B	輸送	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「GFP4.01」) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	スプレードライヤー	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・丸美陶料、同様の機械の仕様から仮定 ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
	混合(だるまミキサー)	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	施設内移動	・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
	離型剤塗布	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	焼成	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	寸法出し(ハンドソー)	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	厚み出し(ベルトサンダー)	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	エアブロー	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定

カテゴリ	プロセス	出典
	ー	・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
C	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」(使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定) ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレームはずし	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」
	圧縮破碎 (集塵機含む)	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」(使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定) ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属(金、銀、白金)のインベントリ分析ーCO2 排出に注目してー」成田、田原、他
	湿式粉碎 (ボールミル)	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果(カレット使用率 50%より) ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	振動ふるい	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果(カレット使用率 50%より) ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	風力選別	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	ボールミル	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	管理型埋立	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」) ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	輸送	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 C02 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」) ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	混合(だる)	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定

カテゴリ	プロセス	出典
	まみキサー)	・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	施設内移動	・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
	離型剤塗布	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	焼成	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	寸法出し (ハンドソー)	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	厚み出し (ベルトサンダー)	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
	エアブロー	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用) ・日本音響エンジニアリング ヒアリング
D	碎石	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	破碎	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)

4.2 使用済太陽電池モジュールの種類別、処理方法別の環境負荷削減効果の検討

4.2.1 使用済太陽電池モジュールの種類別の環境負荷削減効果の検討

本事業では、単結晶、多結晶、アルミナ系薄膜、ソーダ石灰系薄膜、CIGS の使用済太陽電池モジュールの種類別、製品別（タイル、ブロック、乾式防音パネル、湿式防音パネル）、リサイクル手法別（RTJ、ハリタ）の CO₂ 削減量について比較した。

これらのケースについて CO₂ 削減効果を検討したところ、RTJ によるタイル原料化の削減効果が大きくなっていた。つまり、ガラスカレット利用によるセラミックタイルの焼成工程での燃料削減効果が結果に大きく影響していることがわかった。

使用済太陽電池モジュールの種類別では、ガラス構成比率が高さと比例して単結晶、CIGS、多結晶、薄膜の順に削減効果が大きくなるのではないかと予想したが、実際には CIGS の削減効果が最も大きかった。この原因としては、今回の実証試験では、CIGS のみアルミフレームやジャンクションボックスを含まない形で RTJ に搬入されたためではないかと考えられる。また、セラミックブロック化の削減率がセラミックタイル化と比較すると半分以下に留まっていた。これは、生成されたガラスパウダー1 に対して陶磁器くずが 9 投入されるために、焼成プロセスでの CO₂ 排出量が大きくなり、全体としてリサイクル効果が低くなってしまったことが原因と考えられる。

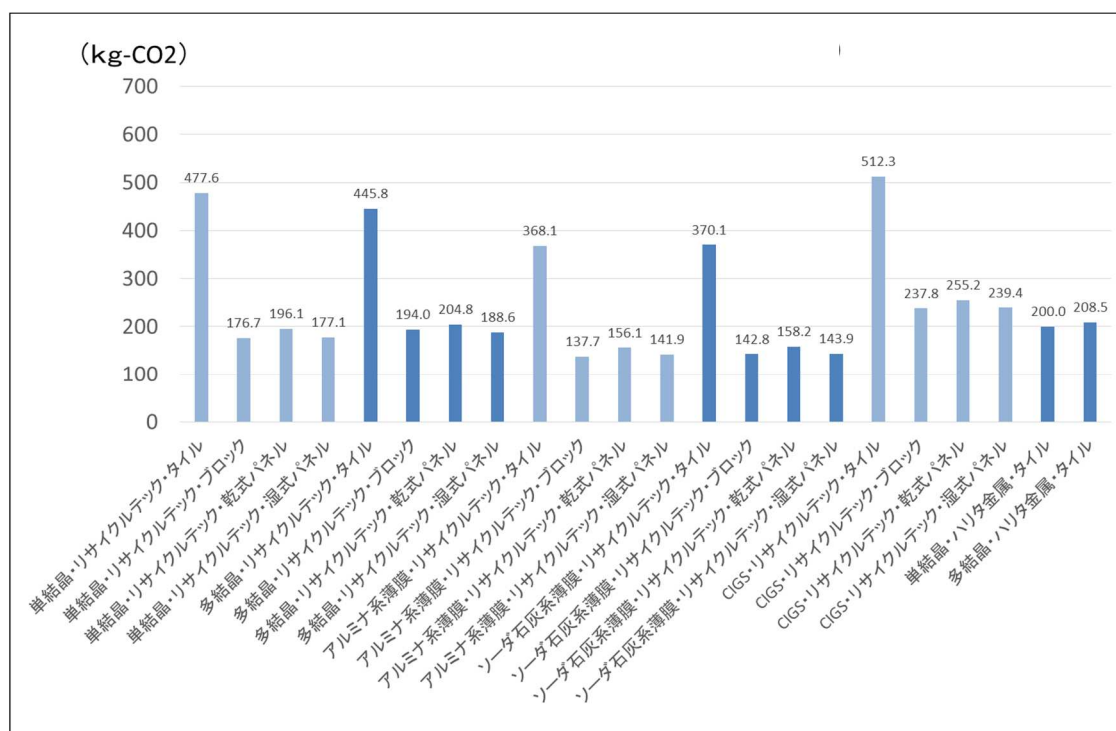


図 4.2-1 使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO₂ 削減量

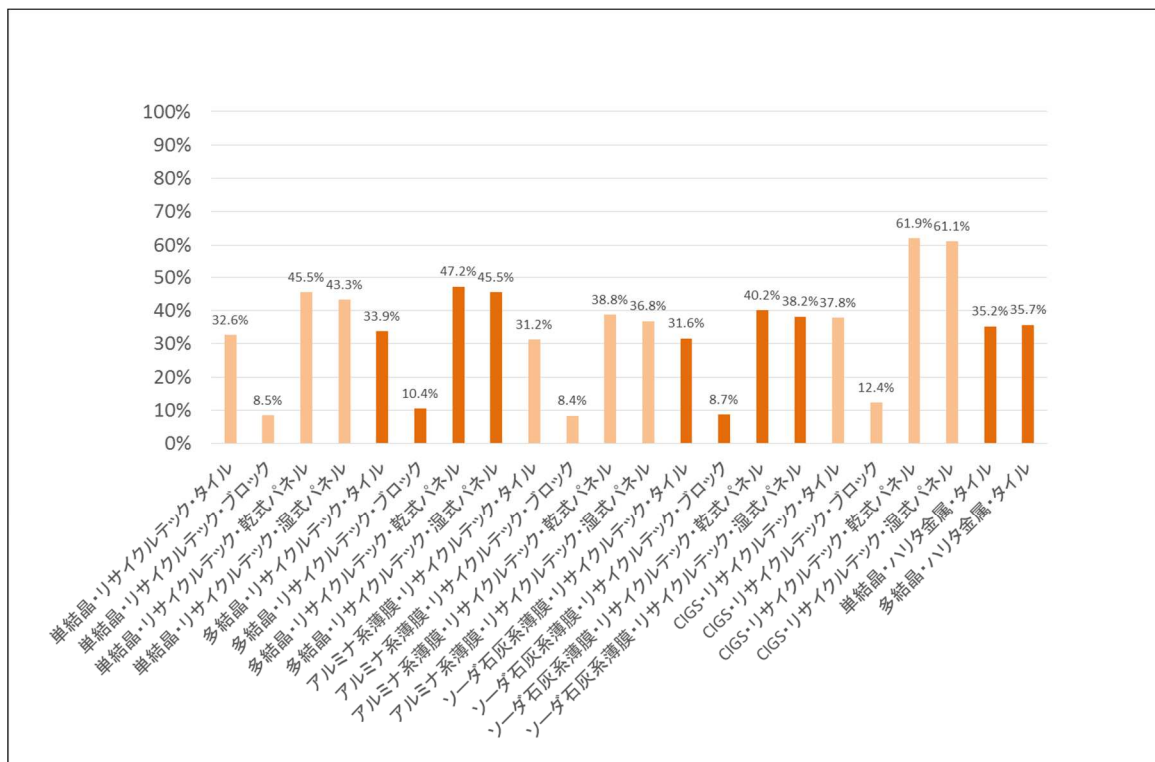


図 4.2-2 使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO2 削減率

4.2.2 ベースラインプロセスが埋立処分の場合の CO2 削減効果の検討

ベースラインプロセスの処理方法を乾式製錬から埋立処分に置き換えた場合の CO2 削減量と削減率についても試算を行った。埋立処分の場合、有価金属の回収がなされないため、乾式製錬よりも環境負荷が大きくなる。試算の結果、CO2 削減効果は乾式製錬に比べて少なくなったものの、ベースラインプロセスが埋立処分であっても、一部は CO2 削減効果があることがわかった。多結晶の使用済太陽電池モジュールが最も CO2 削減効果が高い結果となっており、これは銀、銅の比率が他の使用済太陽電池モジュールより高いことが原因であると考えられる。

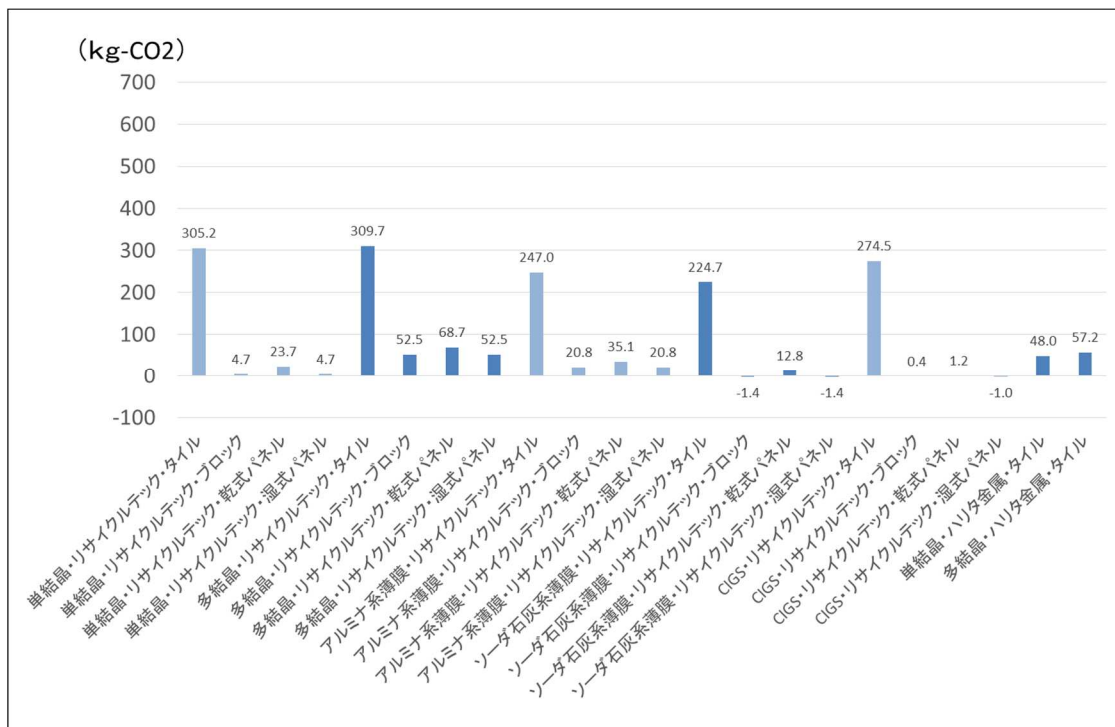


図 4.2-4 使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO2 削減量

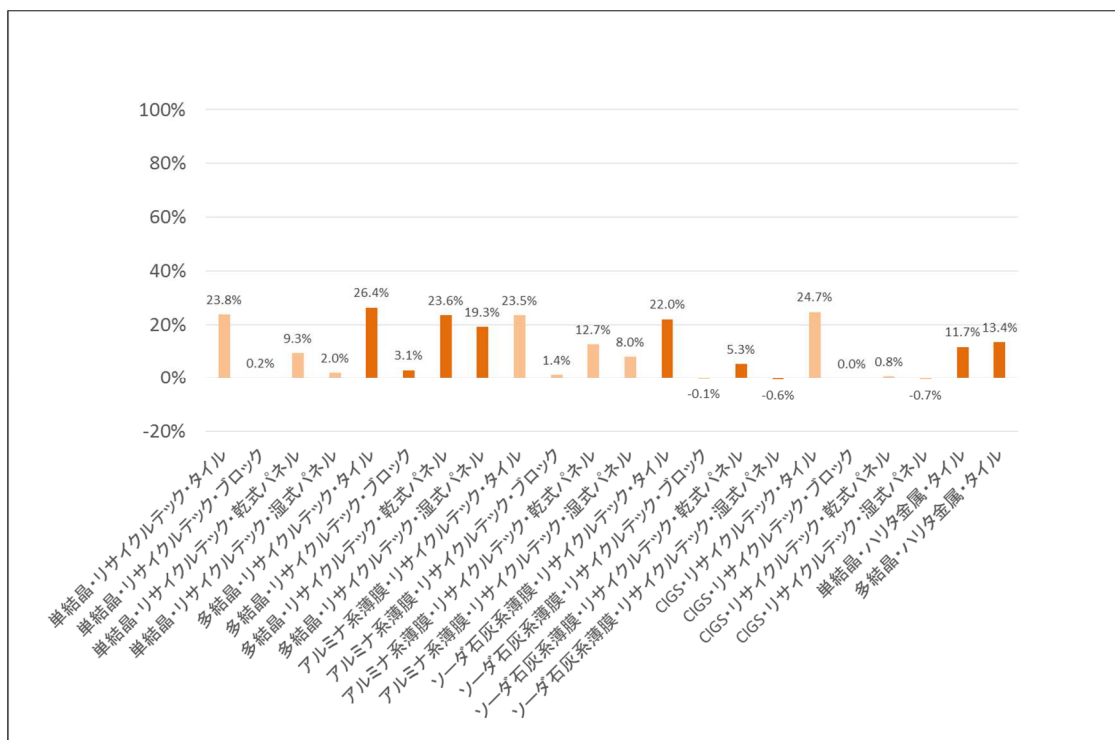
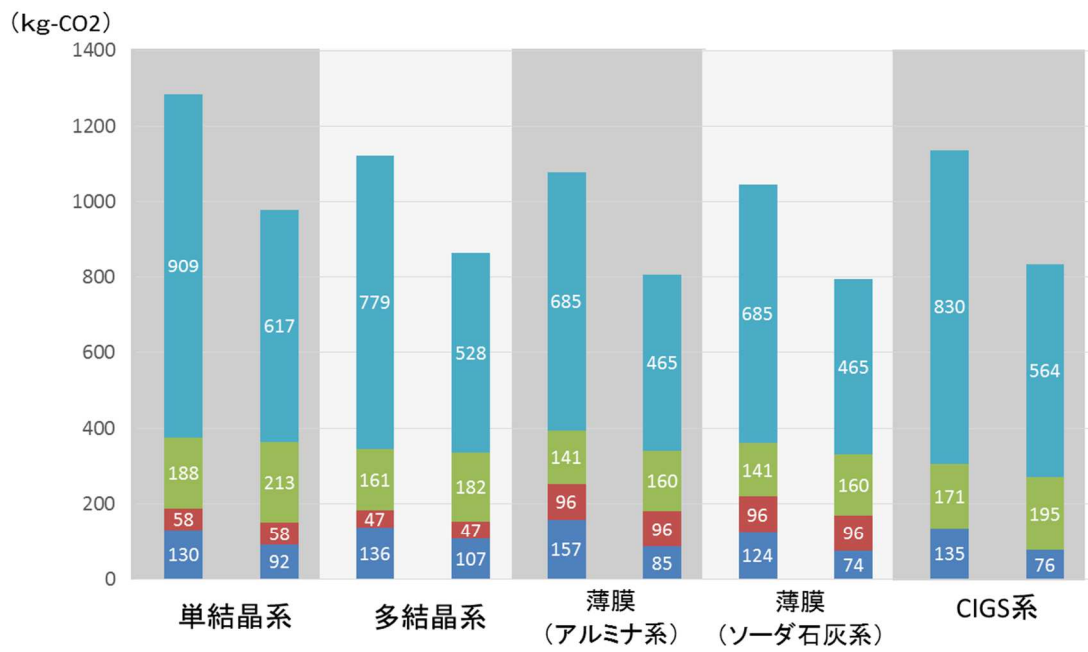


図 4.2-5 使用済太陽電池モジュール 1t 処理あたりの CO2 削減率



それぞれ左がベースラインプロセス、右が本処理工程

■ その他 ■ アルミ再生 ■ スプレードライヤー ■ 焼成

図 4.2-6 使用済太陽電池モジュールの種類別 CO₂ 排出量の内訳

4.3 本処理技術にて回収されるマテリアル資源の回収ポテンシャルの試算

使用済太陽電池モジュールの排出量は、寿命を 25 年と仮定すると、2020 年に 2,808t、2030 年には 28,788t、2039 年には 775,085t と推測されている。(出典：環境省「平成 26 年度使用済再生可能エネルギー設備のリサイクル等促進実証調査委託業務 報告書（株式会社三菱総合研究所実施）」)

セラミックタイルの市場規模は、生産量 21,187 千 m³、出荷量 20,578 千 m³、出荷金額 44,107 百万円（出典：一般社団法人 全国タイル業協会、2013 年度）。セラミックタイルの比重を 2,112.3kg/m³ とした場合、生産量は 44,753,300t、出荷量は 43,466,909t となる（出典：クリスタルクレイ商品 FP-10 より比重算出）。

防音パネルの市場規模については、データが把握できなかったため割愛する。

ガラスの市場規模は生産量 1,479,310t、販売量 1,432,019t、販売金額 210,743 百万円（出典：一般社団法人日本硝子製品工業会、2013 年度）

回収可能量と受入量のバランスを試算した結果、セラミックタイル、ガラス、グラスファイバーの生産量の合計は、46,694,653t であり、使用済太陽電池モジュールの 2020 年の排出量見込みは市場規模合計の 0.006%、2030 年で 0.06%程度、2039 年で 1.66%程度であり、受入量は十分にあると考えられる。

5. 事業実現可能性等の検証

5.1 リユース

使用済太陽電池モジュールのリユースにおける事業可能性を検討するにあたり、用途別のリユースユニットの性能基準を把握し、使用済太陽電池モジュールの性能診断を行うコストの他、設置場所からの撤去、回収コストの検証も必要となる。

本実証事業では、使用済太陽電池モジュールとして収集したもののうち、外観から破損なしのものをリユースの可能性ありとして仕分け、全て性能を診断してリユースユニットとして使用する太陽電池モジュールを選定した。しかし、当然ながらこの段取りでは非常にコストがかかる。まず集めた使用済太陽電池モジュールの中からリユース可能なものを探して仕分けするという作業コストが大きい。その上、仕分けは外観判断であり、リユース可否の判断精度が低く、可能性のあるものをすべて機械で精緻に性能診断するため、コストが膨らんでいる。また仕分けた後に診断施設に輸送しているため、運搬コストも排出場所から保管場所、保管場所から診断場所と二重にかかっている。このため、実用化にあたってはリユース対象となる使用済太陽電池モジュールの選定にあたり、現地で簡易な性能診断を行い、性能的に可能性のあるものを回収し、直接診断場所へ輸送するなど効率化によるコスト圧縮が必要である。

想定される事前診断(簡易)、撤去・運搬、リユースユニット化の大まかな流れを下記に示す。事業化のためには、これらのコストを把握し、更に効率化によるコスト圧縮を検討する必要がある。例えば、事前診断における診断機材の性能を向上させることで、事前診断にかかるコストを削減させることのほか、判断精度の向上、リユース価値ありと判断する使用済太陽電池モジュールの品質を向上させ、後工程でのリユースユニット化にかかる作業負荷や廃棄率を抑制するなどのコスト圧縮に繋がる。また、撤去・運搬の手法を統一することで資材コストの削減を図ることなどが考えられる。

リユース事業化のためのコスト整理課題

	事前診断（簡易）	撤去・運搬	リユースユニット化	販売
	【現地確認】 - 使用環境 - 太陽電池モジュールの種類 - メーカー名 - 製造年 - 使用年数 【簡易性能チェック】 - 出力値チェック等	- リユース可能パネルの取り外し - 梱包 - 運搬 等	- 性能診断（詳細） - 付帯設備とのユニット化（リチウムイオン電池）等	- 売値検討 - 海外オンサイト - 国内オンサイト等
費用項目	- 人件費 - 交通費 - 診断機材費 等	- 人件費 - 撤去機材費 - 梱包材費 - 運送費（パネル、機材）等	- 人件費 - 診断機材費 - 付帯設備調達費 - 販売管理費 等	

図 5.1-1 リユース事業化のためのコスト整理課題

2014 年の太陽電池モジュールの新品単価は、一般家庭で使用される 10kW 以上 50kW 未満で 120 円/W～140 円/W の価格帯に、メガソーラー等の開発で使用される 500kW 以上で 100 円/W～120 円/W の価格帯にそれぞれ集中していた（出典：公益財団法人自然エネルギー財団「太陽光発電事業の現況とコスト」、2015 年）。太陽電池モジュールの新品単価は技術革新によって年々低下しており、メガソーラー事業由来の使用済太陽電池モジュールが大量に発生すると予測されている 20 年後は、さらに安価になっているものと考えられる。

2014 年の単価実績を足元に、過去の文献（出典：経済産業省資源エネルギー庁、「第 3 回コスト検証委員会 資料 3-1」、2011 年）と年々同じ金額が下がると仮定して 10 年後と 20 年後の単価を算出した結果、10kW 以上 50kW 未満の太陽電池モジュールの単価は、10 年後に 112.1 円/W～131.0 円/W、20 年後に 105.4 円/W～123.4 円/W に、500kW 以上の単価は 10 年後に 94.8 円/W～111.9 円/W、20 年後に 90.4 円/W～105.0 円/W に集中し、両設備とも 2014 年と比較して 9 円/W～16 円/W 程度単価は低下すると推定された。

太陽電池モジュールのリユースユニットの事業展開を行うにあたり、新品の太陽電池モジュールの単価が競合になる。20 年後ではリユースユニットを使用する価格メリットが厳しい可能性が高い。そこで、途中排出される使用済太陽電池モジュールをリユース用のターゲットとするのが現実的と考えられる。

リユース利用においては、単位面積あたりの発電量（w/m²）や発電効率（kwh/kw）が重要になる。通常、新品で 15% 程度の発電効率が一般的である。メーカーや太陽電池モジュールの種類によってもこれらは異なるため、回収前の事前情報把握が必要である。

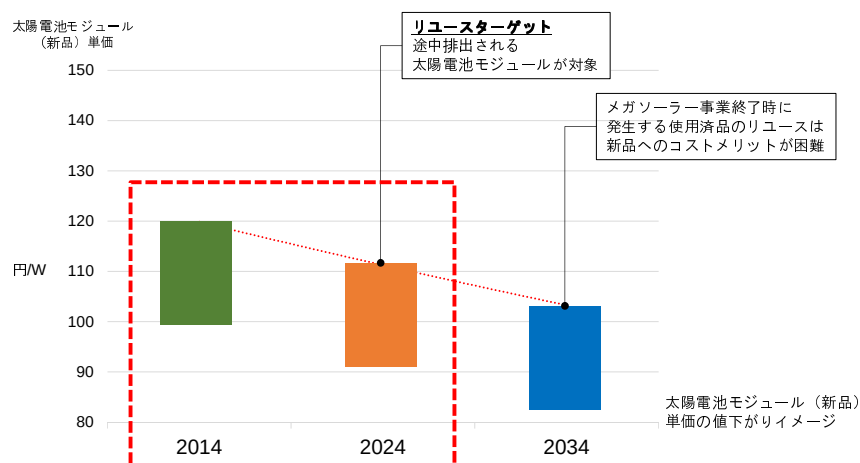


図 5.1-2 リユースユニットのターゲットイメージ（10kW 以上 50kW 未満）

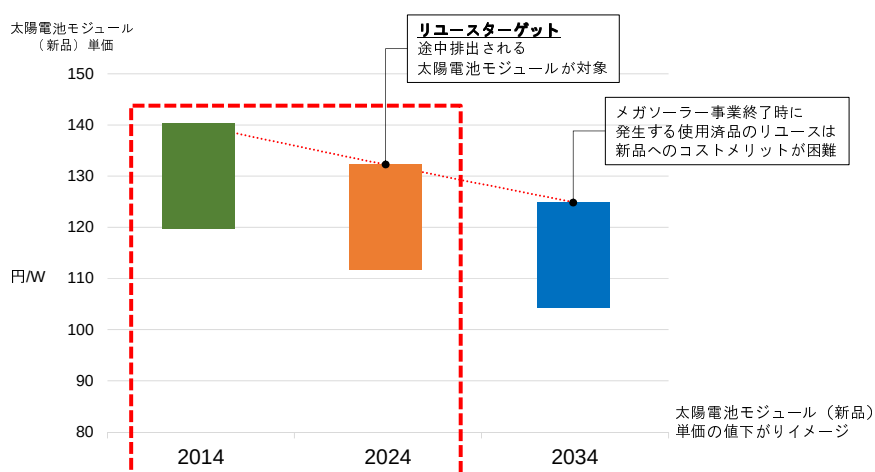


図 5.1-3 リユースユニットのターゲットイメージ（500kW 以上）

5.2 リサイクル

使用済太陽電池モジュールのセラミックタイル化を想定したリサイクルにおける事業可能性について、仕分け条件や処理の手法に関しては、方針を示すことが出来た。今後、事業化を行うにあたって必要となるのは、コスト圧縮である。

本実証事業から得られた事業化における処理方法別のコスト課題を図 5.2-1 及び図 5.2-2 に示す。使用済太陽電池モジュールの分解処理コストとしては、既に NEDO の「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」より、前提条件 200MW 回収時において 5 円/W 以下との目標が提示されている。これは、1 枚の太陽電池モジュールを 200W、20kg 程度とすると、約 50 円/kg に相当する。本実証事業にて RTJ が実施した作業項目を全て行う場合、仕分けの作業負担が大きいことから 200 円/kg 程度の処理コストが求められ、商業ベースには乗らない価格設定となってしまう。収集した使用済太陽電池モジュールに対し、使用済太陽電池モジュールの種類等を仕分ける作業が発生したが、通常、廃棄段階で把握出来る情報は全て事前把握とし、仕分けた状態で搬入することを想定すると、コストは半分程度に抑えられると考えられる。そこから更にコストを圧縮する対策として、セラミックタイル化に適した使用済太陽電池モジュールのみを取り扱うこと、量をまとめ、作業効率化を図ることが考えられる。

また、処理費と売却益との収益性について、単結晶・多結晶での実証データおよび RTJ でのリサイクル実績に基づき、簡易試算を行った結果を図 5.2-3 に示す。生成物であるガラスカレットをセラミックタイル用とガラスウール用の 2 種類に分類し、セルシート、アルミフレームと合わせて売却益を試算した。通常ガラスウール化等の用途で売却しているガラスカレットは約 1、2 円/kg 程度であるが、セラミックタイルの原料とする場合、異物等の状態にもよるが 2～5 円/kg での取引が見込まれる。運搬コストを考慮し、ガラスカレットやアルミフレーム等の売却単価は相場より保守的な金額と仮定した。

試算の結果、売却益は 62 円/kg 程度となった。処理コスト 50～80 円/kg と比較すると、売却益と処理コストがほぼ同額となった。収益が少なすぎるため、商業ベースに乗せるためには、今後、処理コストを圧縮し、ガラスカレットの性状を安定化させることで収益性の向上を図る等、改善が必要である。

なお、RTJ では 3mm アンダーのガラスカレットの他に 100 μ m のガラスパウダーを、セラミックブロックと防音パネルの原料として生成した。このパウダー化には破碎・選別コストに追加して 30～50 円/kg の加工費がかかる。しかしながら、既存のタイルブロックでの原料調達費用は、数円/kg であり、防音パネルでも 30～50 円/kg であるため、実用化にあたってはパウダー製造コストの更なる圧縮が必要であり、今後の改善課題である。

ハリタにて処理する場合は、RTJ とは異なり後工程の選別コストが大きな割合を占める。投入パネルを RTJ のように調整することでこのコスト圧縮を図ることにより、商業ベース化を目指す。

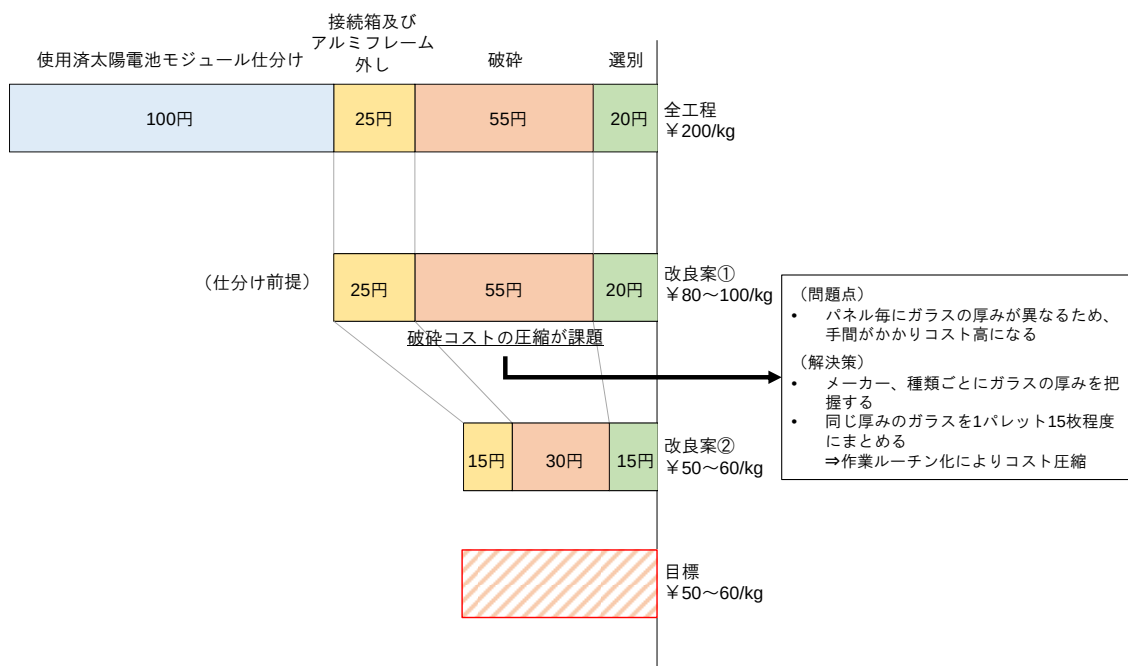


図 5.2-1 事業化における処理方法別のコスト課題（圧縮破碎、RTJ）

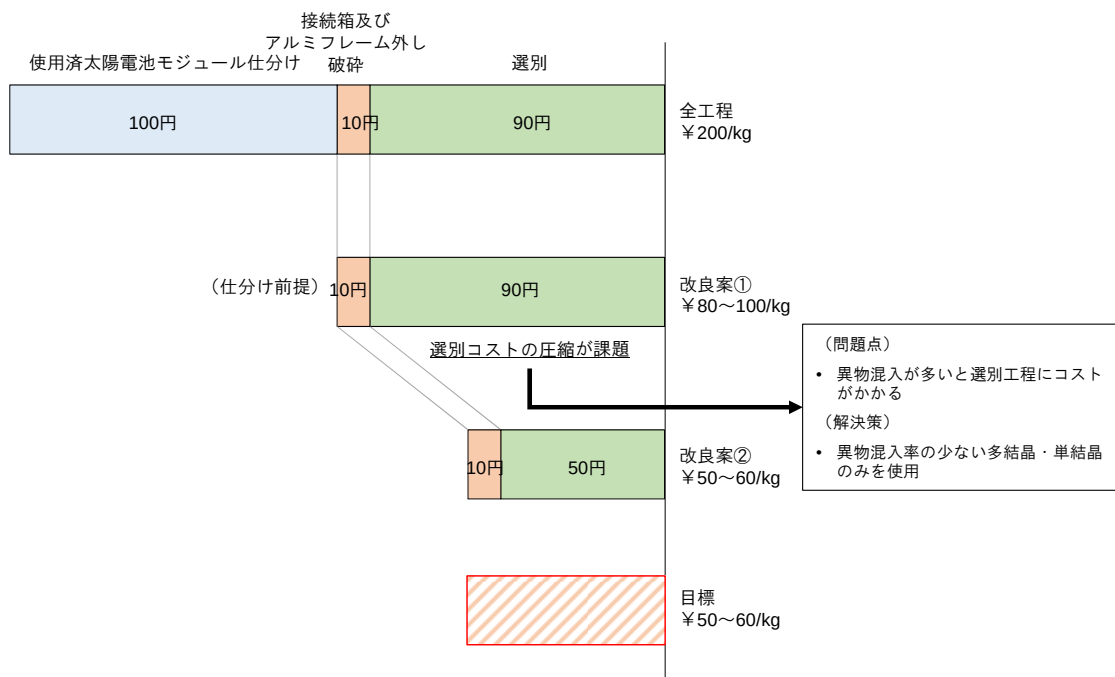


図 5.2-2 事業化における処理方法別のコスト課題（シュレッダー破碎＋ジグ選別、ハリタ）

	売却単価 (円)	構成比 (%)	構成重量 (kg)	売却額 (円)
ガラスカレット (グラスウール)	1	16%	3.2	3.2
ガラスカレット (セラミックタイル)	3	49%	9.8	29.4
セルシート	0	30%	6	0
アルミフレーム	30	5%	1	30
合計		100%	20	62.6

備考) 太陽電池モジュール20kg/枚と仮定

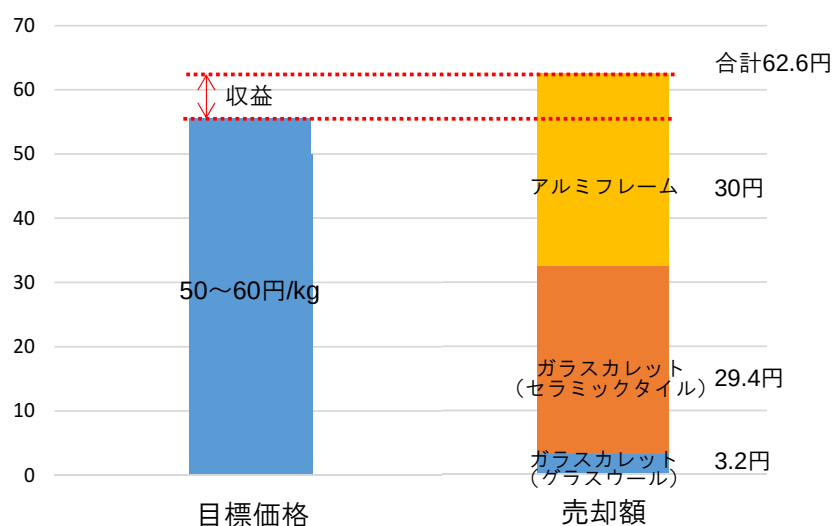


図 5.2-3 有価物の売却による収益性

6. 総括

使用済太陽電池モジュールの処理として、再使用可能なものはリユース、リユース不可能なものはリサイクルに仕分けを行い、廃棄段階から分けることが効率的である。リユースは、撤去、運搬、品質管理にコストがかかることから、事業性の取れる性能のもののみをターゲットとすることになり、リユース率を定めることは難しい。

一方、リサイクルは、素材の市況に左右されるものの、ガラスカレットの市況変動は大きくはないこと、セラミックタイル原料としての受け皿は充分にあることから、リユース不適合品となったものを受け入れることが可能である。単結晶・多結晶の使用済太陽電池モジュールを用いた RTJ の圧縮破碎・ふるい選別での実証試験結果では、アルミフレームとガラスカレットが有価物として取引可能となった。処理量全体を 100%とすると、アルミフレーム分が約 5%、ガラスカレット分が約 60%、計約 65%が有価物化された。このことから、保守的に見積もっても、単結晶・多結晶の使用済太陽電池モジュールのうち 3 割程度は有価物として取引可能であると期待される。

6.1 リユース実証実験 まとめ

6.1.1 実証事業による成果

- ・ ソーラーシミュレーターの結果、残存出力率には幅広いばらつきがあることがわかった。
- ・ 少枚数でのリユースユニットによる発電量等の実績データが取得された。
- ・ 少枚数でのリユースユニットによる発電量の用途イメージが確認出来た。
- ・ 実際に運用するにあたっての諸処の配慮事項を確認することが出来た。

6.1.2 事業実現における今後の課題

- ・ リユース用使用済太陽電池モジュールの選定にあたり、コスト低減のため、撤去前にリユース可能な使用済太陽電池モジュールの目処を立て、対象品のみを破損のないよう撤去するなど、現場判断、撤去方法の標準化を検討する必要がある。
- ・ リユース用の使用済太陽電池モジュールは、製品として破損のないよう梱包し排出場所から運搬する等、運搬方法の標準化を検討する必要がある。
- ・ 製品管理として、リユース用に回収する太陽電池モジュールの製品情報(メーカー、製造年、使用年数、Pmax 等)を把握する仕組みづくりが必要である。
- ・ 用途別に、リユース可能となる Pmax 等、判断基準を検討する必要がある。
- ・ 使用する PCS によって充電設備への蓄電量に制限が生じるため、発電量の有効活用のためには組み合わせる周辺機器のスペックについても検討が必要である。
- ・ リユース事業を行うためには、事業にかかるコスト試算について、現場診断、撤去、運搬、詳細診断、製品管理等、詳細に行う必要がある。

6.2 リサイクル実証実験 まとめ

6.2.1 実証事業による成果

- ・ ガラスの製品化（セラミックタイル、防音パネル）において要求された【異物混入率1%以内】に対し、RTJの圧縮破砕・ふるい選別のうち、単結晶・多結晶、薄膜（アルミナ系）で条件を満たしたガラスカレットが生成出来、残さも発生しなかった。一方、薄膜（その他）とCIS/CIGS系では条件を満たすガラスカレットの生成は出来たが、残さも発生した。
- ・ ガラスの製品化（セラミックタイル、防音パネル）において要求された【異物混入率1%以内】に対し、ハリタのシュレッダー破砕・ジグ選別・ふるい選別は、単結晶・多結晶の混合処理において、条件を満たすことが出来た。
- ・ セルシートの銀評価の結果、RTJにて生成されたセルシートのうち、単結晶、多結晶、薄膜（アルミナ系）は、いずれも有価物としての評価を得たが、薄膜（その他）、CIS/CIGS系は有価物として評価を得られなかった。
- ・ セルシートの銀評価の結果、ハリタにて生成された単結晶・多結晶の混合処理のセルシートくずは、いずれも有価物としての評価を得た。
- ・ セルシートくずについては、有価物とするための使用済太陽電池モジュールの種類や処理における選別の組み合わせの目処が立った。
- ・ ガラスカレットの種類別の溶解温度帯の確認が出来た。
- ・ ガラスカレット 50%配合の坏土にて磁器化（吸水率 0）となる温度帯の確認が出来た。
- ・ ガラスカレットを原料とし、セラミックタイル、ブロック、防音パネルを製作したところ、いずれも焼成品が出来、かつ物性試験の結果、基準をクリアした。
- ・ 板ガラス原料としての可能性を板ガラスメーカーにヒアリングしたところ、RTJにて生成されたガラスカレットには可能性が見られたものの、板ガラス原料とするにはまだ異物が多く、有価物として取引するのは困難との回答であった。ハリタにて生成されたガラスカレットについては、板ガラス原料とするには異物混入率が高く、他の使用済品と破砕プラントを併用しているために混入不可とされているアルミ等の金属異物混入の可能性が高いことから、受入は難しいとの回答であった。

6.2.2 事業実現における今後の課題

- ・ セラミックタイル化の受入条件（異物混入率等）を満たすための処理工程にかかるコストの低減が必要である。
- ・ セラミックタイル化にあたり、製造コストの低減化、および製品の品質向上として成形性をより高めるため、坏土やカラーモザイクの原料調合レシピ（材料、配合等）について、より検討が必要である。
- ・ セラミックタイル化にあたり、使用済太陽電池モジュールの薄膜（アルミナ系）のみ、他のガラスより溶解温度帯が高いため、混在使用でも構わないが混合比を一定にする必要がある。そこで、排出段階で使用済太陽電池モジュールの種類を把握し、仕分ける仕組みを作る必要がある。
- ・ 使用済太陽電池モジュール由来のカレットを安定して原料として使用するために、受入前に、使用済太陽電池モジュールの種類、異物混入の内容や混入率、含水率、粒度等、性状に関する情報提供の仕組み作りが必要である。
- ・ CIS/CIGSは、セルシートに有害物質が含有されるほか、銀含有率が低く、ガラス処理における残さ率も高いことから、他との混合は避け、別処理するのが望ましい。

6.3 事業終了後の検討項目・スケジュール等

6.3.1 リサイクル

- ・ 破碎・選別工程のコスト低減を行い、採算ベースに乗る手法の確立を早期に行う。
- ・ セラミック製品化において、採算ベースに乗る原料調合レシピの詳細検討を早期に行う。
- ・ 受入設備について、破碎・選別工程では設備工夫（設備改修、設備投資等）が必要。一方、セラミックタイル化は既存設備で受入可能。
- ・ 使用済太陽電池モジュールのリサイクル体制を全国的に構築し、使用済太陽電池モジュールのリサイクル運用を図る。
- ・ 2020年東京オリンピックでの施工資材としてリサイクル製品が活用されるよう、働きかけを行う。

6.3.2 リユース

- ・ 使用済太陽電池モジュール調達の仕組みづくりとして、現場での簡易診断、運搬方法、詳細診断、用途決定のための基準策定等、事業化のための詳細検討を行う。
- ・ 用途別に求められる発電量、必要となるパネル出力値、枚数、周辺設備の選定基準を策定する。
- ・ 用途別、ニーズに合わせた組み合わせを元に、収益性の検討を行う。
- ・ 3年以内にリユースユニットの国内外への販売事業の展開を図る。

添付資料

添付資料 1 リユース検討会

リユース検討会の日時及びメンバーを下表に示す。

リユース検討会 日時

	日時	場所
第1回	2015年10月15日(木) 9:00~11:00	株式会社レノバ 会議室
第2回	2015年11月30日(月) 10:00~12:00	エム・エム・プラスチック株式会社 会議室
第3回	2016年1月21日(木) 10:00~12:00	株式会社レノバ 会議室

リユース検討会 参加者名簿

		氏名	所属	肩書
1	メンバー	加藤 聡	ガラス再資源化協議会	代表幹事
2	メンバー	須永 竹英	ガラス再資源化協議会 マーケティング部会	ジェネラルマネージャー
3	メンバー	武田 信治	東芝環境ソリューション株式会社 環境分析部	部長
4	メンバー	瀬川 昇	東芝環境ソリューション株式会社 環境分析部 分析センター	参与
5	メンバー	諸澤 泰裕	東芝環境ソリューション株式会社 環境分析部 分析センター	
6	メンバー	永田 敦	株式会社啓愛社	副社長付 主管
7	事務局	本田 大作	株式会社レノバ	取締役
8	事務局	若林 史子	株式会社レノバ 環境イノベーション事業部	マネージャー
9	事務局	木原 一樹	株式会社レノバ 環境イノベーション事業部	シニアコンサルタント

(敬称略)

添付資料 2 リサイクル検討会

リサイクル検討会の日時及びメンバーを下表に示す。

リサイクル検討会 日時

	日時	場所
第1回	2015年10月30日（金） 13:30～15:30	丸美陶料株式会社 本社工場・事務所
第2回	2015年12月15日（火） 13:30～15:30	丸美陶料株式会社 本社工場・事務所
第3回	2016年1月15日（金） 13:30～15:30	丸美陶料株式会社 本社工場・事務所

リサイクル検討会 参加者名簿

		氏名	所属	肩書
1	メンバー	醍醐 市朗	東京大学大学院 工学系研究科 マテリアル工学専攻	特任准教授 博士
2	メンバー	加藤 聡	ガラス再資源化協議会	代表幹事
3	メンバー	北山 勝也	クリスタルクレイ株式会社	代表取締役
4	メンバー	豊永 雅仁	クリスタルクレイ株式会社 クリスタルクレイ事業部	営業課長
5	メンバー	小川 兼護	丸美陶料株式会社	取締役
6	メンバー	加藤 孝典	立風製陶株式会社 生産技術部 窯業技術室	研究員
7	メンバー	鶴田 忠彦	株式会社ライテック	代表取締役
8	メンバー	深谷 崇	リサイクルテック・ジャパン株式会社 営業部	係長
9	メンバー	仲里 卓	ハリタ金属株式会社 サイト管理グループ 射水管理チーム	
10	事務局	本田 大作	株式会社レノバ	取締役
11	事務局	若林 史子	株式会社レノバ 環境イノベーション事業部	マネージャー
12	事務局	木原 一樹	株式会社レノバ 環境イノベーション事業部	シニアコンサルタント

（敬称略）

添付資料 3 ガラスカレットの成分分析結果

成分分析結果（定性）③-1 薄膜（アルミナ系）、③-2 薄膜（その他）

成 分	③-1 薄膜（アルミナ系） GMPV-AL-TH-RTJ			③-2 薄膜（その他） GMPV-MIX-TH-RTJ		
	試料 1	試料 2	試料 3	試料 1	試料 2	試料 3
銀 (Ag)	-	-	-	-	-	-
アルミニウム (Al)	++	++	++	+	+	+
砒素 (As)	-	-	-	-	-	-
ほう素 (B)	-	-	-	-	-	-
ビスマス (Bi)	-	-	-	-	-	-
カルシウム (Ca)	+	+	+	++	++	++
カドミウム (Cd)	-	-	-	-	-	-
コバルト (Co)	-	-	-	-	-	-
クロム (Cr)	-	-	-	-	-	-
銅 (Cu)	-	-	-	-	-	±
鉄 (Fe)	±	±	±	±	±	±
ガリウム (Ga)	-	-	-	-	-	-
ゲルマニウム (Ge)	-	-	-	-	-	-
インジウム (In)	-	-	-	-	-	-
カリウム (K)	++	++	++	±	±	±
マグネシウム (Mg)	++	++	++	++	++	++
マンガン (Mn)	-	-	-	-	-	-
モリブデン (Mo)	-	-	-	-	-	-
ナトリウム (Na)	++	++	++	+++	+++	+++
ニッケル (Ni)	-	-	-	-	-	-
リン (P)	-	-	-	-	-	-
鉛 (Pb)	-	-	-	-	-	-
硫黄 (S)	±	±	±	+	+	+
アンチモン (Sb)	-	-	-	-	±	±
セレン (Se)	-	-	-	-	-	-
ケイ素 (Si)	+++	+++	+++	+++	+++	+++
スズ (Sn)	-	-	-	-	-	-
テルル (Te)	-	-	-	-	-	-
チタン (Ti)	-	-	-	-	-	-
タリウム (Tl)	-	-	-	-	-	-
亜鉛 (Zn)	-	-	-	-	-	-

成分分析結果（定性）④CIS/CIGS 系（メーカー混合）

成 分	④CIS/CIGS 系（メーカー混合） GMPV-SF-CI-RTJ		
	試料 1	試料 2	試料 3
銀 (Ag)	-	-	-
アルミニウム (Al)	+	+	+
砒素 (As)	-	-	-
ほう素 (B)	-	-	-
ビスマス (Bi)	-	-	-
カルシウム (Ca)	++	++	++
カドミウム (Cd)	-	-	-
コバルト (Co)	-	-	-
クロム (Cr)	-	-	-
銅 (Cu)	-	-	-
鉄 (Fe)	±	±	±
ガリウム (Ga)	-	-	-
ゲルマニウム (Ge)	-	-	-
インジウム (In)	-	-	-
カリウム (K)	+	±	+
マグネシウム (Mg)	++	++	++
マンガン (Mn)	-	-	-
モリブデン (Mo)	-	-	-
ナトリウム (Na)	++	++	++
ニッケル (Ni)	-	-	-
リン (P)	-	-	-
鉛 (Pb)	-	-	-
硫黄 (S)	±	±	±
アンチモン (Sb)	+	+	+
セレン (Se)	-	-	-
ケイ素 (Si)	+++	+++	+++
スズ (Sn)	-	-	-
テルル (Te)	-	-	-
チタン (Ti)	-	-	-
タリウム (Tl)	-	-	-
亜鉛 (Zn)	-	-	-

成分分析結果（定量）③-1 薄膜（アルミナ系） 単位：％

項目	③-1 薄膜（アルミナ系） GMPV-AL-TH-RTJ			平均	分析方法
	試料 1	試料 2	試料 3		
二酸化ケイ素 (SiO ₂)	62.90	62.50	62.50	62.63	JIS R 3015
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	10.60	11.00	10.90	10.83	JIS R 3015
酸化ナトリウム (Na ₂ O)	12.50	12.50	12.60	12.53	JIS R 3015
酸化マグネシウム (MgO)	6.08	6.16	6.12	6.12	JIS R 3015 準拠
酸化カリウム (K ₂ O)	5.40	5.64	5.48	5.51	JIS R 3015
酸化スズ (SnO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化カルシウム (CaO)	1.36	1.07	1.32	1.25	JIS R 3015 準拠
酸化鉄 (Fe ₂ O ₃)	0.05	0.04	0.04	0.04	JIS R 3015
酸化ジルコニウム (ZrO ₂)	0.86	0.89	0.88	0.88	JIS R 3015
酸化硫黄 (S ₂ O ₃)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化ストロンチウム (SrO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化チタン (TiO ₂)	0.02	0.02	0.02	0.02	JIS R 3015
酸化ホウ素 (B ₂ O ₃)	0.01 未満	0.01	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015

成分分析結果（定量）③薄膜（その他のメーカー） 単位：％

項目	③-2 薄膜（その他） GMPV-MIX-TH-RTJ			平均	分析方法
	試料 1	試料 2	試料 3		
二酸化ケイ素 (SiO ₂)	70.40	62.50	71.60	68.17	JIS R 3015
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	1.09	11.00	0.94	4.34	JIS R 3015
酸化ナトリウム (Na ₂ O)	14.10	12.50	13.90	13.50	JIS R 3015
酸化マグネシウム (MgO)	3.21	6.16	3.63	4.33	JIS R 3015 準拠
酸化カリウム (K ₂ O)	0.06	5.64	0.03	1.91	JIS R 3015
酸化スズ (SnO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化カルシウム (CaO)	10.70	1.07	9.39	7.05	JIS R 3015 準拠
酸化鉄 (Fe ₂ O ₃)	0.04	0.04	0.04	0.04	JIS R 3015
酸化ジルコニウム (ZrO ₂)	0.01	0.89	0.01	0.30	JIS R 3015
酸化硫黄 (S ₂ O ₃)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化ストロンチウム (SrO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化チタン (TiO ₂)	0.01	0.02	0.01	0.01	JIS R 3015
酸化ホウ素 (B ₂ O ₃)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015

成分分析結果（定量）④CIS/CIGS系（メーカー混合） 単位：％

項目	④CIS/CIGS系（メーカー混合） GMPV-SF-CI-RTJ			平均	分析方法
	試料 1	試料 2	試料 3		
二酸化ケイ素 (SiO ₂)	71.90	71.80	72.00	71.90	JIS R 3015
酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	1.39	1.15	1.34	1.29	JIS R 3015
酸化ナトリウム (Na ₂ O)	13.10	13.20	13.00	13.10	JIS R 3015
酸化マグネシウム (MgO)	3.30	3.34	3.29	3.31	JIS R 3015 準拠
酸化カリウム (K ₂ O)	0.18	0.07	0.14	0.13	JIS R 3015
酸化スズ (SnO)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化カルシウム (CaO)	8.94	9.66	9.08	9.23	JIS R 3015 準拠
酸化鉄 (Fe ₂ O ₃)	0.04	0.03	0.03	0.03	JIS R 3015
酸化ジルコニウム (ZrO ₂)	0.02	0.08	0.16	0.09	JIS R 3015
酸化硫黄 (S ₂ O ₃)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015 準拠
酸化ストロンチウム (SrO)	0.46	0.20	0.38	0.35	JIS R 3015 準拠
酸化チタン (TiO ₂)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015
酸化ホウ素 (B ₂ O ₃)	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS R 3015

低炭素型 3 R 技術・システム実証事業

使用済太陽光パネルユニットの新たなリサイクル、リユースシ
ステムの構築実証事業 報告書
平成 28 年 2 月

株式会社レノバ
環境イノベーション事業部
TEL 03-3516-6233

この印刷物は、国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。