

Eco Premium Club

第16回 エコプレミアムクラブ シンポジウム
「超世代・Beyond Generation」

2019/8/7

Glass
Recycling
Advanced
Technology

GReAT6

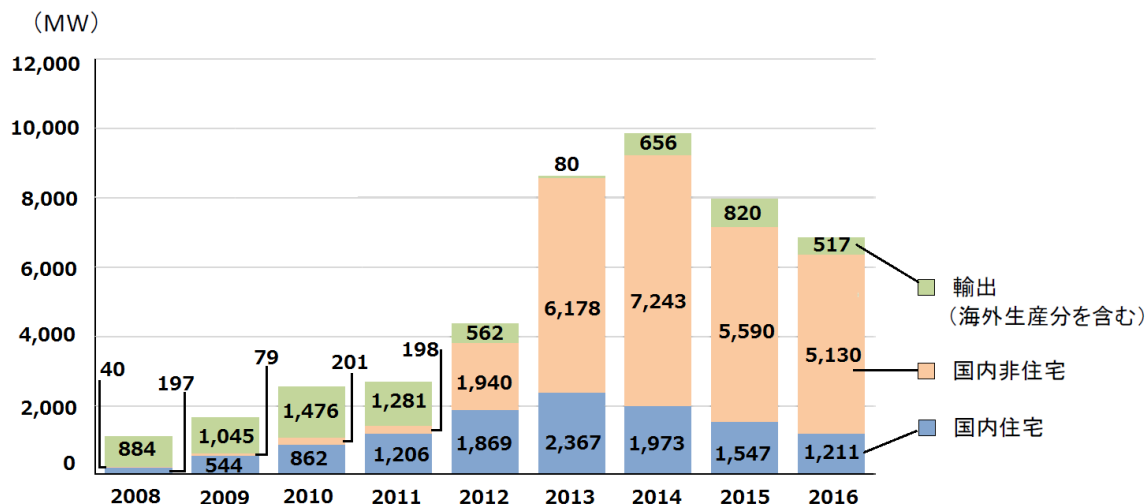
H30年度 LCA研究報告

東京大学大学院工学系研究科

マテリアル工学専攻

醍醐市朗

廃PVパネルの課題



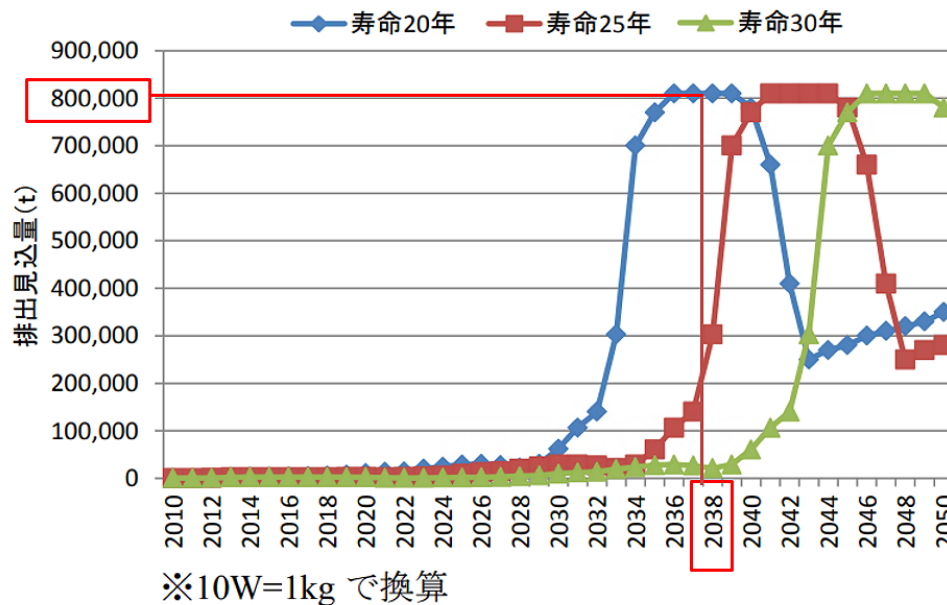
出典) JPEA統計資料よりNRIが作成

70-80wt%

図表 9 太陽電池モジュール構成部位及び素材 (1 / 2)

種類	構成部材	素材
結晶シリコン系	①. カバーガラス (受光面)	ガラス
	②. 太陽電池セル	金属
	③. 充填剤 (EVA*等)	プラスチック
	④. バックフィルム	金属・プラスチック
	⑤. 出力ケーブル	金属・プラスチック
	⑥. 端子箱	金属・プラスチック
	⑦. フレーム	金属

(出典) 環境省HP「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン(第二版)」



(出典) 環境省HP「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン(第一版)」

H.30 実施項目

1. 試験用廃PVパネルの調達
2. セラミック原料化試験
 1. 溶融温度帯試験
 2. 配合試験
3. タイル原料化試験
4. 使用済みPVパネルのリサイクルに関するLCA
 1. ガラスリサイクルの現状と将来展望
 2. 使用済み太陽光パネルのリサイクルに関わる環境影響評価

1. 試験用廃PVパネルの調達

本研究の供資材として廃PVパネル3,335枚、重量にして約51トン分を調達した。

搬入期間		2018年度 合計	2018年 4～12月	2019年 1～3月
パレット数		80	38	42
PVパネル枚数		3,335	1,026	2,309
PVパネル総重量[kg]		(e)51,270	15,773※1	(e)35,497※2
半導体 材料	単結晶[枚]	107	56	51
	多結晶[枚]	1,139	796	343
	薄膜・化合物[枚]	9	0	9
	不明[枚]	2,080	174	1,906
	合計[枚]	3,335	1,026	2,309

*1 PVパネル総重量は、搬入時に計測しておらず、ハリタ金属射水リサイクルセンターにて破碎試験を実施した時点で計測された正味重量

*2 2019年搬入分のPVパネル総重量は、計測しておらず、2018年の搬入分の1枚当たり重量を用いて総重量を推計した値

1. 試験用廃PVパネルの調達

搬入廃PVパネルの一例(2018年7月13日搬入分)

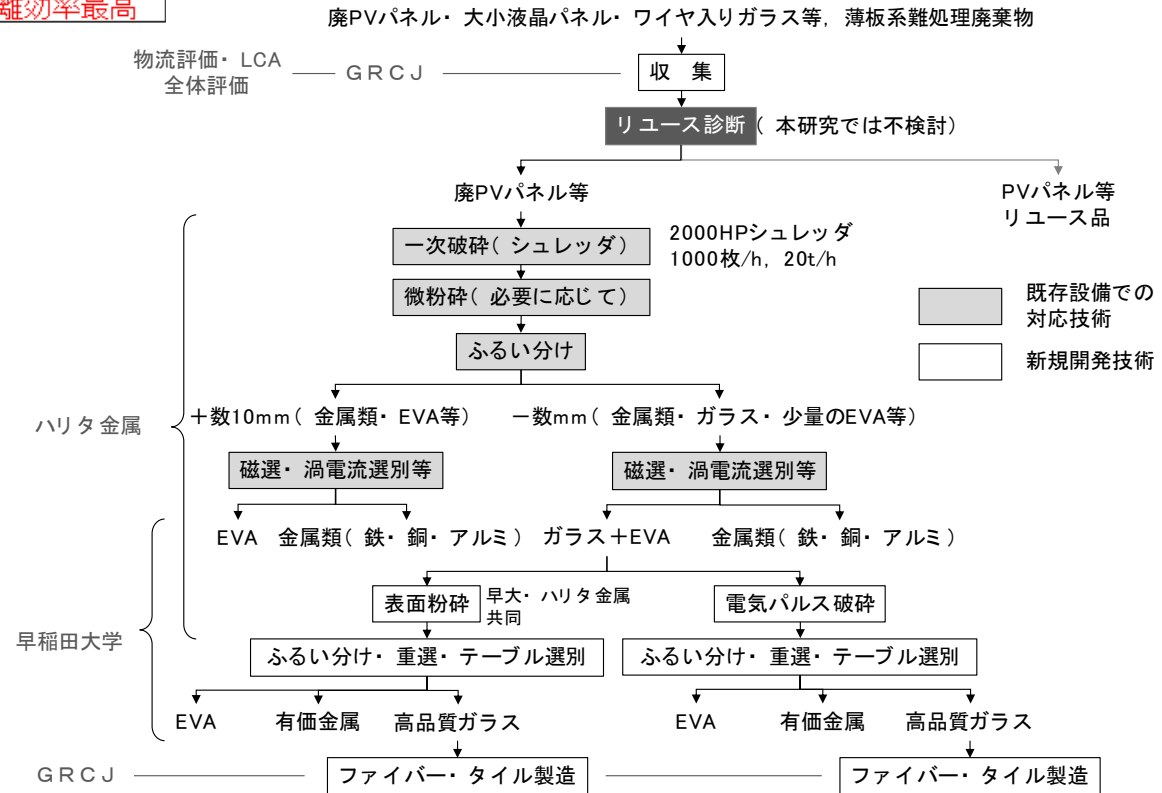
	メーカー	型番	半導体	重量(1枚あたり)	枚数	設置時期
1	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
2	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
3	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
4	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
5	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
6	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		20	約14年前
7	東芝	TA-60P255WA/E	多結晶		30	約2年前
8	東芝	TA-60P255WA/E	多結晶		14	約2年前
	フジプレミアム	FMC-175	多結晶		1	未設置
	サンテック	unknown(54cells)	不明		1	約4年前
9	サンテック	unknown(72cells)	不明		4	約4年前
10	JINKOソーラ	JKM260PP-60-J	多結晶		23	約5年前
	トリナソーラー	TSM260PC05A	多結晶		6	約4年前
11	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
12	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
13	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
14	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
15	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
16	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前
17	シャープ	NE-L0A1H	多結晶		30	約14年前



2. セラミック原料化試験

セラミック原料化試験に供されたガラス試料一覧

	担当	試験	選別	基準
⑩	大和田研	なし	なし	なし
①	大和田研	電気パルス試験	篩選別	除去成分品位最低
②				分離効率最高
③			湿式テーブル選別	除去成分品位最低
④				分離効率最高
⑤	所研	インテンシブミキサー試験	篩選別	除去成分品位最低
⑥				分離効率最高
⑦			湿式テーブル選別	除去成分品位最低
⑧				分離効率最高

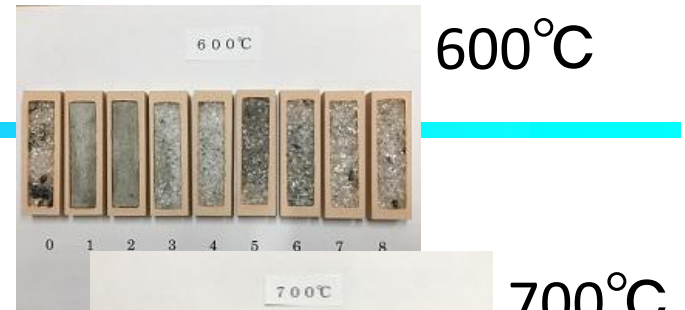


熔融温度帯試験

粘土で成型されたケースに各ガラス試料0～8を入れ、電気炉にて焼成した。

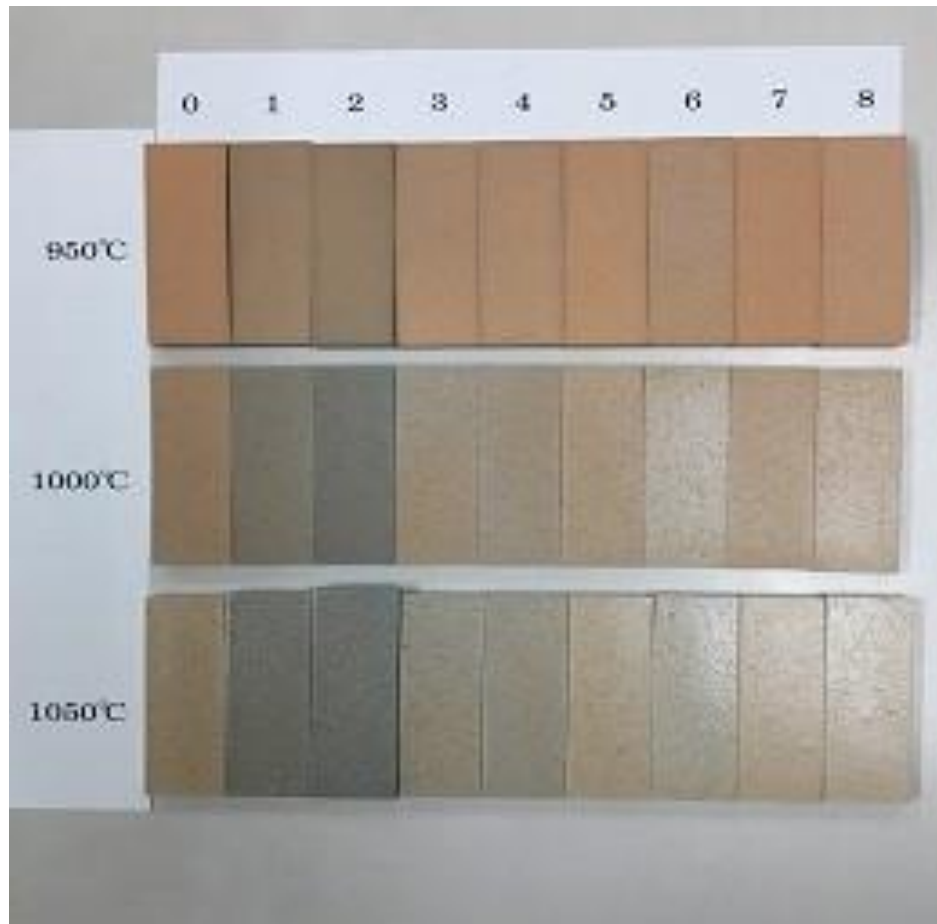
焼成前の試料0～8の試料外観

焼成前



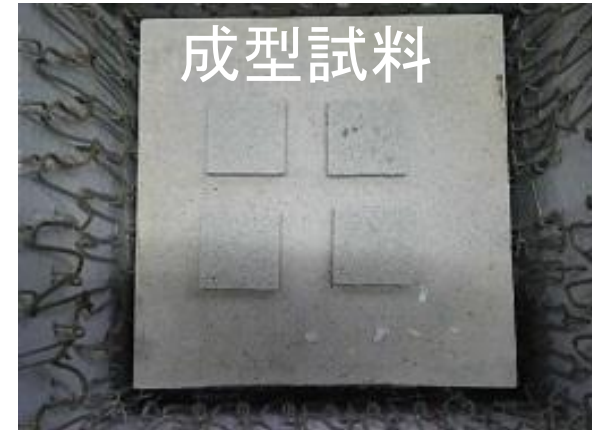
配合試験

各ガラス試料0～8と、通常タイル原料で使用している粘土を、各50%で調合を行い、ポットミルにて碎摩した。出来上がったスラリーを乾燥し、粉碎、成型、電気炉にて焼成した。焼成条件は、昇温は100°C/10分、設定温度にて30分のキープの後、空冷した。



3. タイル原料調製

調合比率%	選別粉碎G	タイルSP粉	タイルセルベン	バインダー
磁器質タイル	60	20	—	20
透水タイル	13	—	74	13



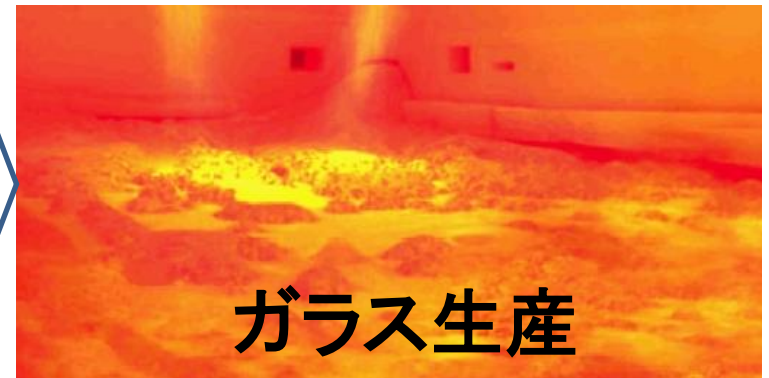
本試験において焼成されたタイル



4. 使用済みPVパネルのリサイクル に関するLCA

ガラスリサイクルにおける本質的課題

発生する廃ガラスの不純物濃度に対し、リサイクル先における許容濃度が低い

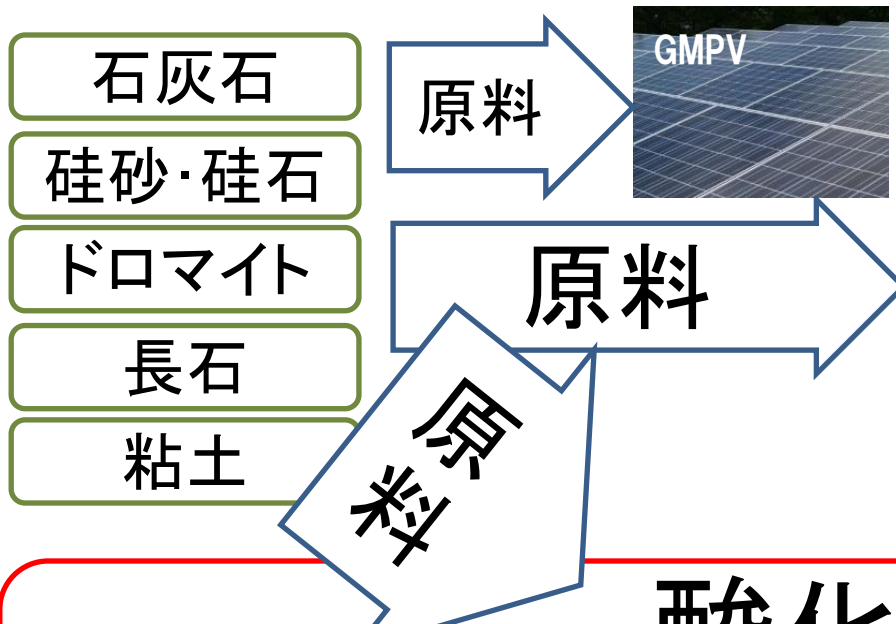


【経済性】天然原料価格が安価なため処理コストが限られる

【プロセス】不純物の除去困難
【材料特性】光透過性、強度、化学的安定性のため不純物に対する許容が低い

ガラスリサイクルにおけるファミリー

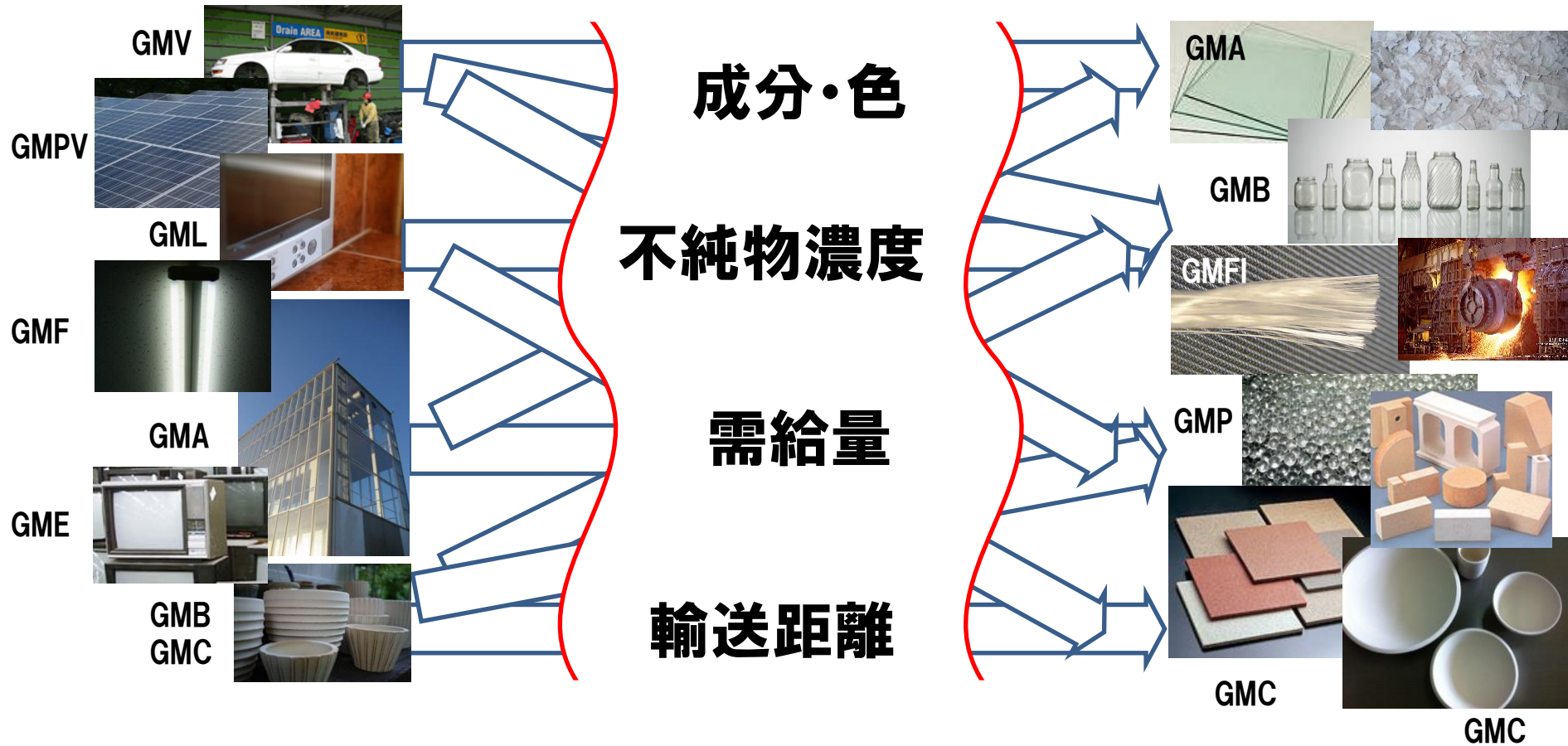
多用途のガラス



酸化物系セラミックス



ガラスリサイクルにおける全体最適



学術雑誌Resources, Conservation & Recycling

2018年最優秀論文賞* 受賞

Resources, Conservation & Recycling 133 (2018) 375–384

論文題目: 廃セラミック・廃ガラスリサイクルの元素に着目した最適化

著者: 醍醐市朗^a、清原慎^b、岡田知樹^{c,d}、岡本大作^e、後藤芳一^a

^a 東京大学大学院工学系研究科

^b 東京大学生産技術研究所 ^c 東京大学工学部

^d 株式会社神戸製鋼所

^e 株式会社キシヤマ



*Resources, Conservation & Recycling誌では、2018年から最優秀論文賞の表彰を始め、栄えある第1回の受賞論文となった。2018年に同誌に掲載された全429報の中から学術的な貢献の大きさによって厳選された3報が表彰された。表彰委員会は、厳密さ、新規性、重要さ、表現の明確さの4つの基準で論文を審査した。

学術雑誌Resources, Conservation & Recycling

2018年最優秀論文賞* 受賞

論文題目: 廃セラミック・廃ガラスリサイクルの元素に着目した最適化

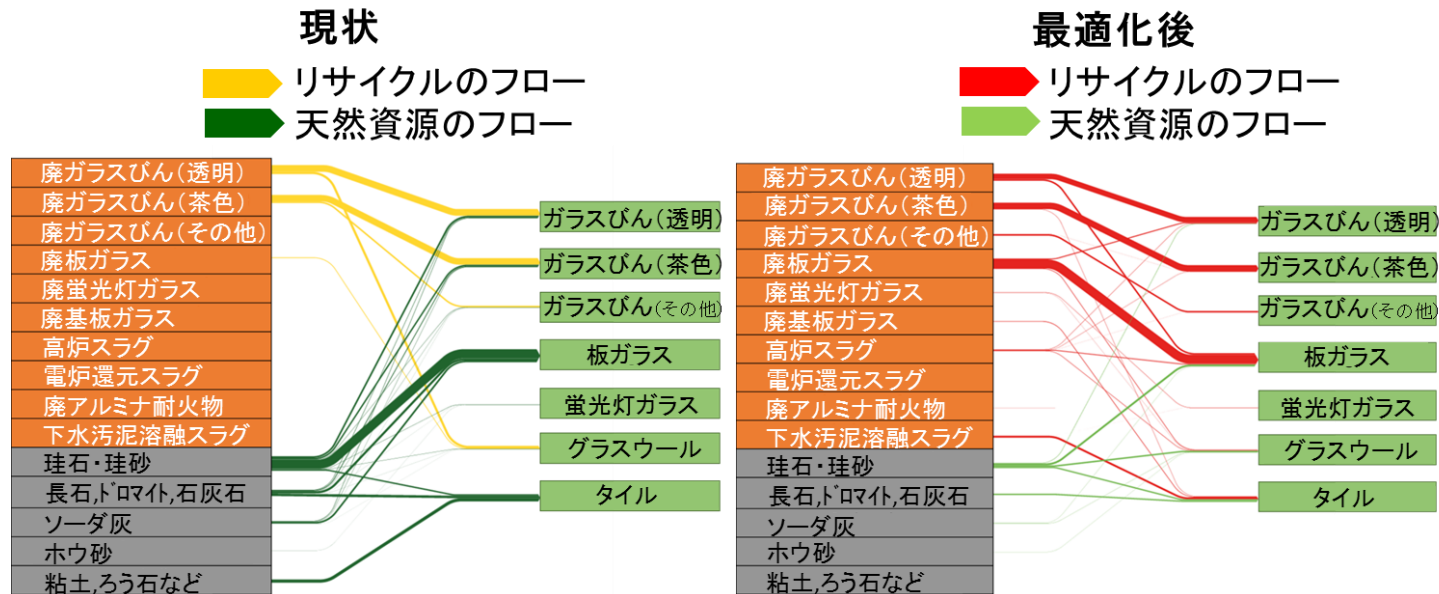
著者: 醍醐市朗^a、清原慎^b、岡田知樹^{c,d}、岡本大作^e、後藤芳一^a

^a 東京大学大学院工学系研究科

^b 東京大学生産技術研究所 ^c 東京大学工学部

^d 株式会社神戸製鋼所

^e 株式会社キシヤマ



単位: %		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	B ₂ O ₃
板ガラス	上限値	73	1.0	2.1	0.12	9.5	5.5	2.0	16	0.05	N.D.	0.00
	下限値	67	0.0	1.2	0.01	6.5	2.5	0.01	12	0.00	0.00	0.00

- セラミックとガラス (CerG: ceramic materials and glasses) を、相互にリサイクル可能な材料のグループとして定義した。
- CerGのリサイクルを最適化するための線形モデルを提案した。
- 今までにないいくつかのリサイクルルートの可能性が示された。

各種酸化物系セラミックスの 主要な材料特性

用途	主要な材料特性
板ガラス	光学特性、強度、化学的安定性、安価
グラスファイバー	光学特性、強度、化学的安定性、安価
グラスウール	繊維径、化学的安定性、安価
タイル	強度、化学的安定性、安価
耐火物	強度、高温における化学的安定性、安価
セメント	強度、化学的安定性、安価
鉄鋼スラグ	化学的反応性

赤字の特性は、カレットの不確実な成分によって
満たすことが不確実な特性

タイルへのガラスリサイクル

- カレット：天然原料の融点 1000°C に対して、低温（ $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$ ）で融剤として働く

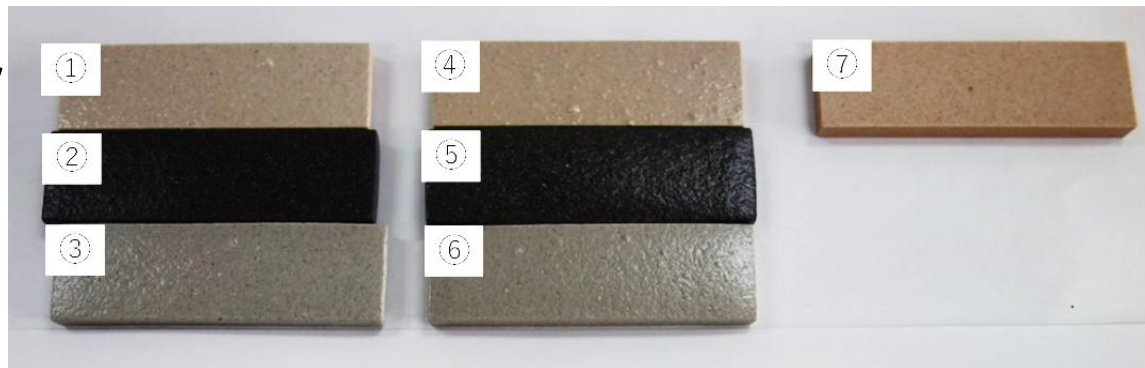
⇒ 低温での焼成が可能

焼結プロセスでのエネルギー消費が減少

GHG排出量の削減に寄与

- 課題：PVの封止材（EVA）の混在

⇒ 製品への着色



グラスウールへのリサイクル

- フェノール系樹脂がバインダ
- グラスウールへの着色は問題ない
⇒ 1つの有効なリサイクル先



- 要求特性: その生産プロセスの1つであるスピナーにおいて期待する繊維径のグラスウールが得られること

ガラスリサイクルロードマップ(案)

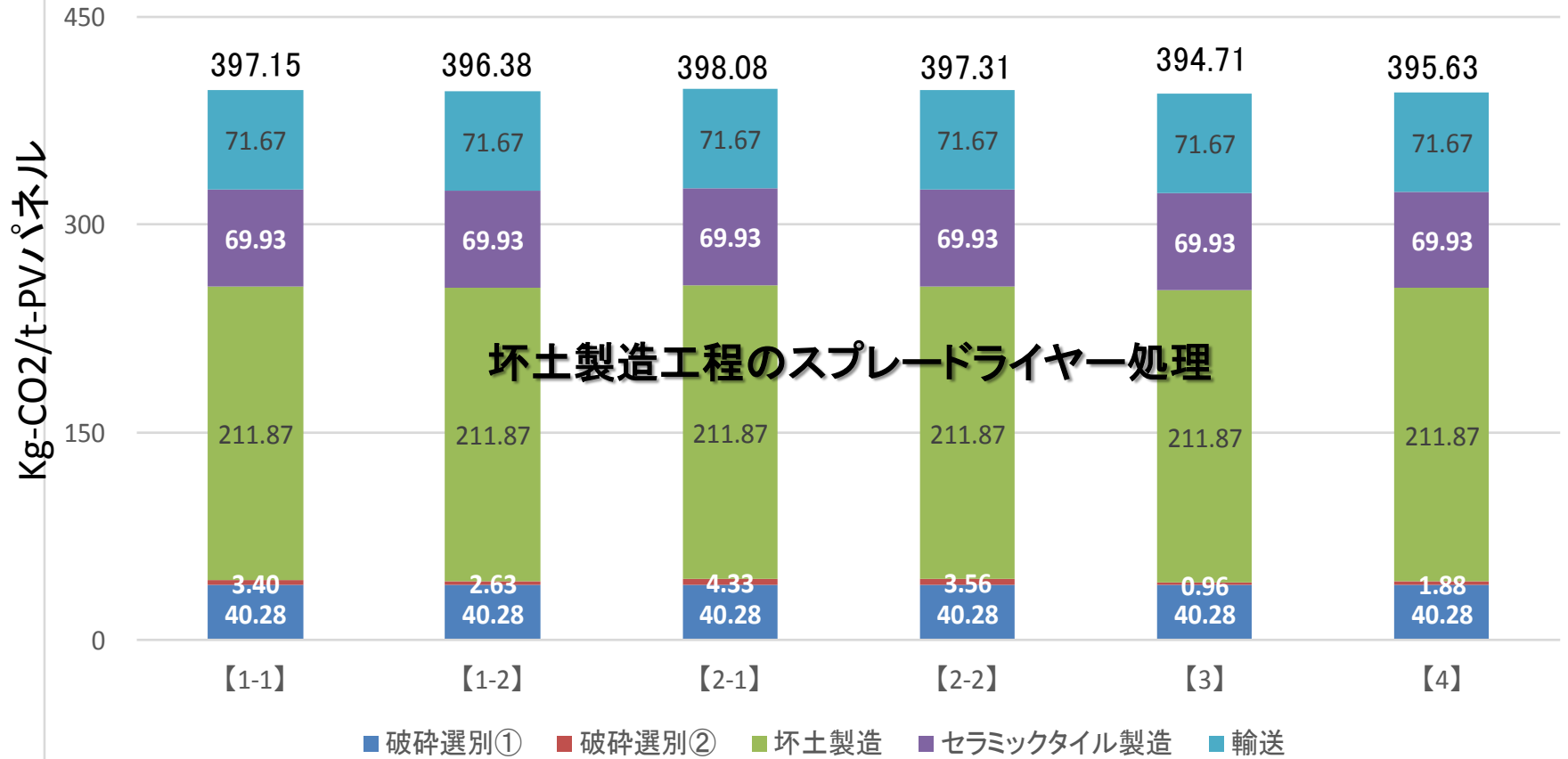
カレット用途	課題	実現の時期
タイル	混在物による着色 坏土中の混合率と製品性能	～2年
グラスウール	プロセス(スピナー)特性に対する不純物の影響の解明	～5年
セメント	アルカリ骨材反応に対する影響の解明	～10年
板ガラス	不純物を混在しない分離・回収システムの構築	5～15年

PVリサイクルのLCA評価

	破碎選別① (実機)	破碎選別② (ラボ実験)	坏土製造 (実機)	セラミックタイル 製造(実機)	輸送 (実機)
【1-1】	シュレッダー破 碎, 風力選別, 磁力選別, 渦電流選別①, 粒度選別①, 渦電流選別②, 粒度選別②, 渦電流選別③	インテンシブミキサー, ふるい選別	ポールミル, ポンプ, 攪拌, スプレードラ イヤー, ベルトコンベ ア	高圧整形大型 集塵機, ベルトコンベア, 焼成, セッタ輸送	共通
【1-2】		インテンシブミキサー (実機), ふるい選別			
【2-1】		インテンシブミキサー, ウォーターテーブル			
【2-2】		インテンシブミキサー (実機), ウォーター テーブル			
【3】		パルス破碎, ふるい 選別			
【4】		パルス破碎, ウォー ターテーブル			

PVリサイクルのCO₂排出量

PVパネル処理1tあたりのCO₂排出量(kg-CO₂/t-PVパネル)

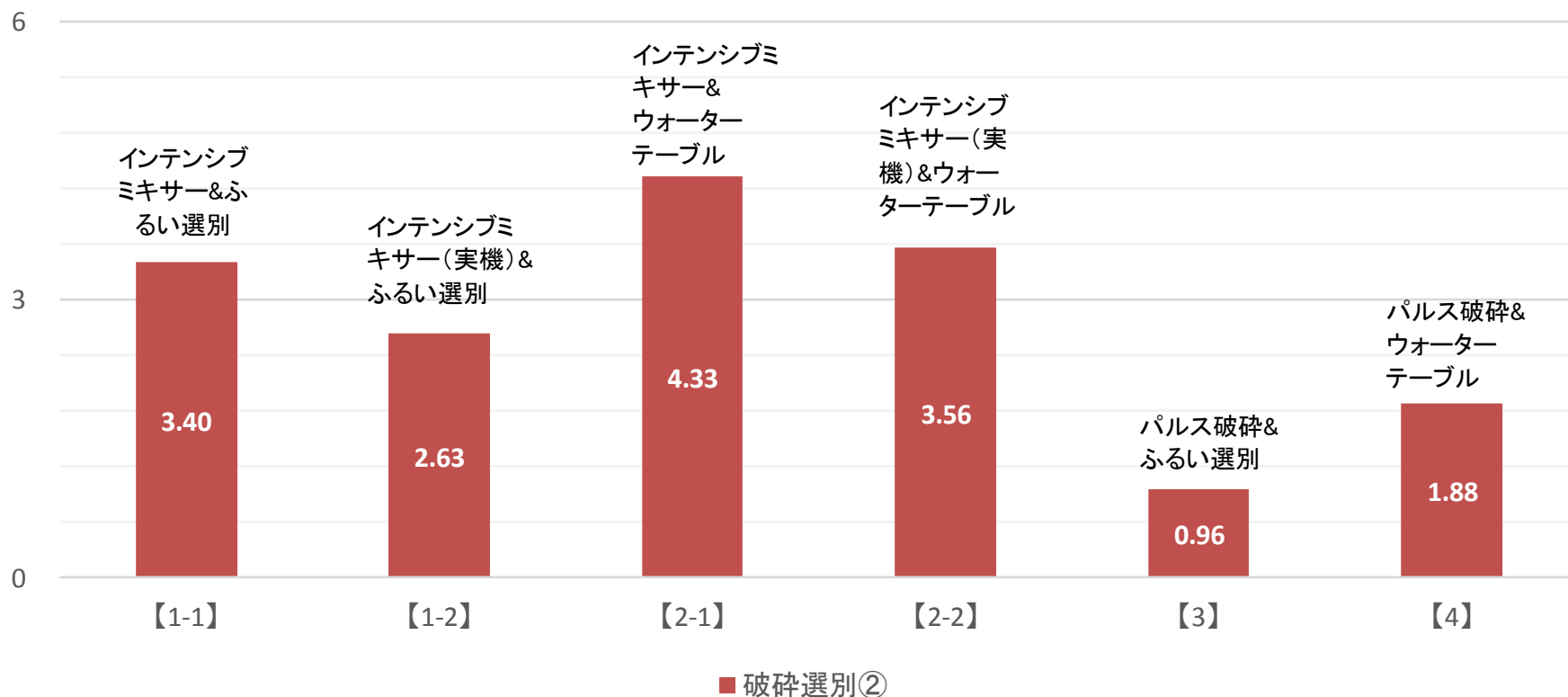


- 破砕選別工程②のみが違いたが、プロセス全体に占めるCO₂排出量の割合は1%

破碎選別工程の比較

- 【2-1】のインテンシブミキサー＋ウォーターテーブルの組み合わせがCO₂排出量が最も多く、【4】パルス破碎＋ふるい選別が最も少なく算定された。

破碎選別工程②におけるPVパネル処理1tあたりのCO₂排出量(kg-CO₂/t-PVパネル)



LCA評価の課題

- 評価の元データとなるライフサイクルインベントリ (LCI) が必須
- 現状の使用済みPVならびに回収された廃ガラスカレットのリサイクル技術を整理し、それらプロセスの環境負荷評価に関するインベントリデータの有無を確認
- データ整備と拡充が課題
 - グラスウール製造におけるカレット利用にともなうインベントリデータ
 - 種々のPVパネルの分離選別プロセスのインベントリデータ

東京都“大学研究者による事業提案”

スマートシティ分野採択事業

太陽光パネル高度循環利用に対する

「東京モデル」の提案

-技術と社会システムの最適パッケージの追求-

2019年8月7日

早稲田大学 理工学術院

創造理工学部 環境資源工学科

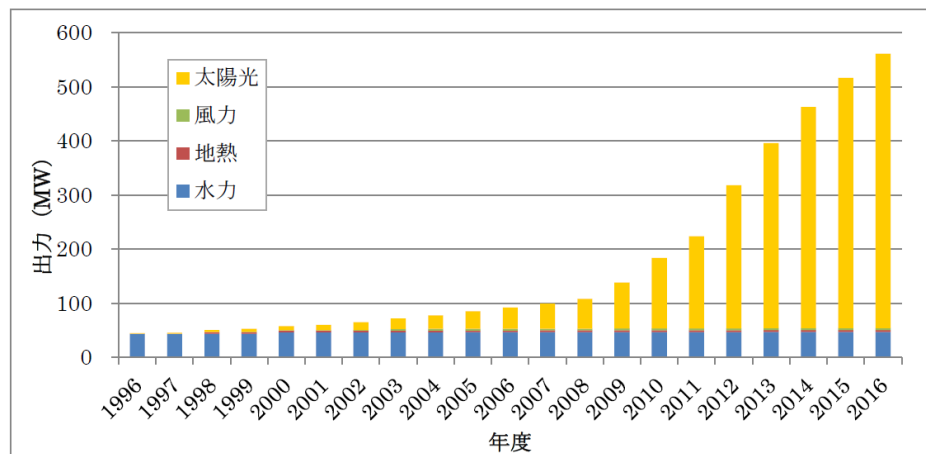
所 千晴

tokoro@waseda.jp

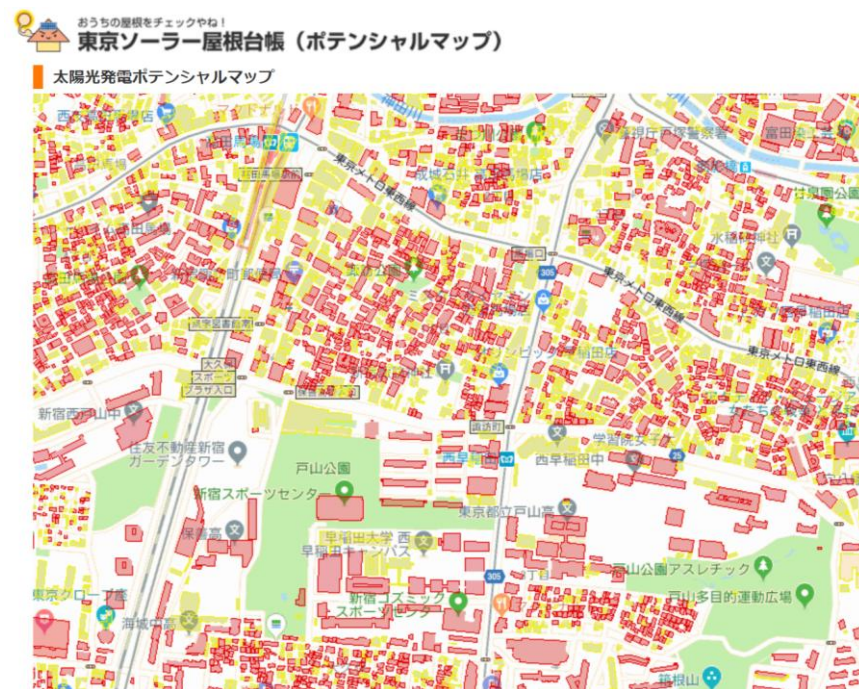
太陽光パネル高度循環利用に対する 「東京モデル」の提案 -技術と社会システムの最適パッケージの追求-

「環境先端都市」を目指す「東京」

- 「再生可能エネルギーの導入拡大」の推進は、その主要な方策の1つ。
- 「東京ソーラー屋根台帳」の発信などで、太陽光発電導入の拡大が図られている。



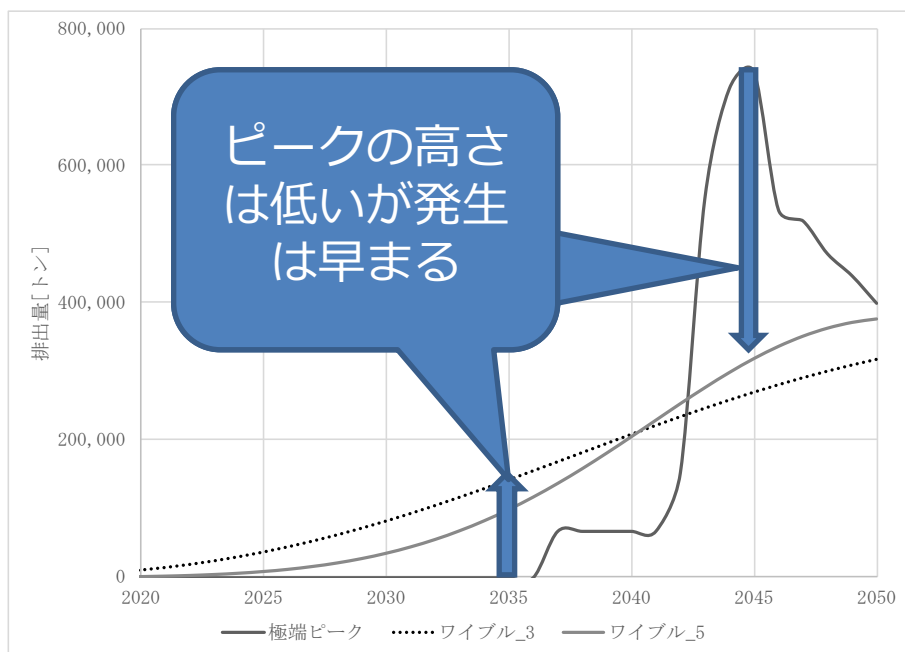
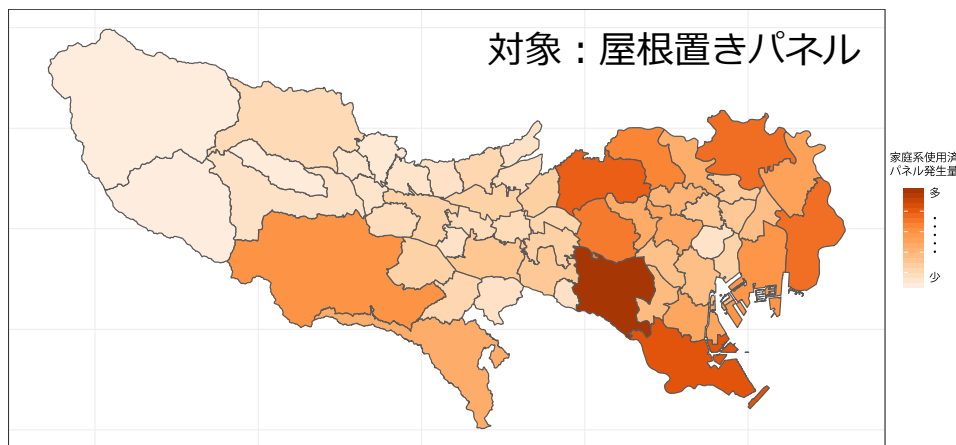
都内への太陽光発電設備導入量の目標
2024年までに100万kW
2030年までに130万kW



東京ソーラー屋根台帳
<http://tokyosolar.netmap.jp/map/>

太陽光パネル適正処理を「東京都で」「今から考える」必要性

東京都におけるパネル排出量予測(上)と
2050年の使用済パネル発生量予測(下)



日本の特徴

- ・ FIT制度開始により、特に非住宅用で太陽光発電導入が増加。世界第2位の太陽光発電導入国へ。
- ・ 世界的に太陽光発電のコストが大幅に下がり、海外製太陽光パネルが日本へ多く設置される状況に。
- ・ 太陽光パネル内の貴金属含有量は大幅に減少。

東京都の特徴

- ・ 全国と比べてパネル設置量は少。
- ・ 非住宅用<住宅用。

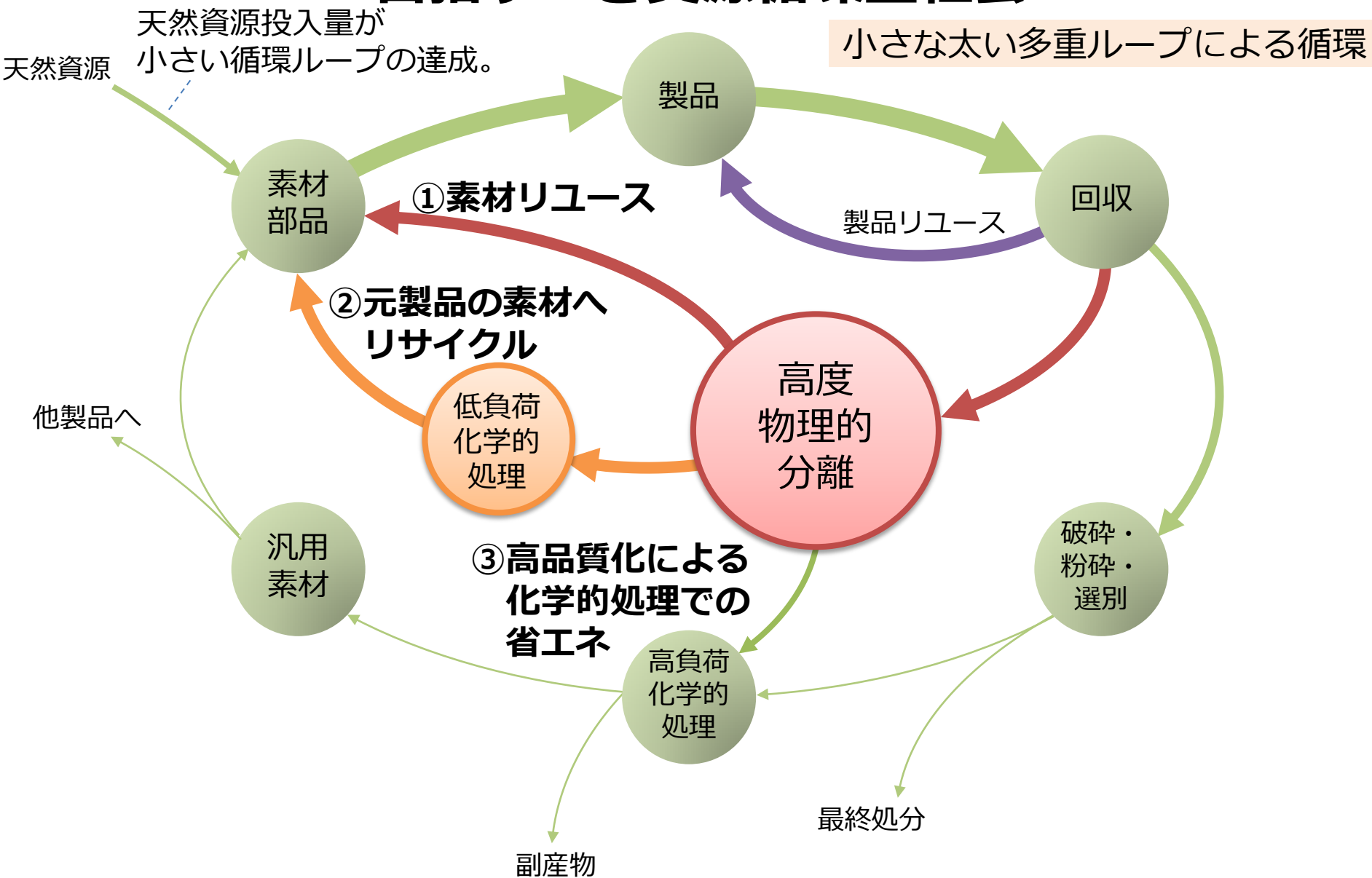
既存家屋0.5%、新築10%（ただしハウスメーカーによる戸建新築物件では5割程度設置というデータもあり）

- ・ 多様な価値観を有するユーザが密集しており、再生品のサプライチェーン構築のポテンシャル有する。

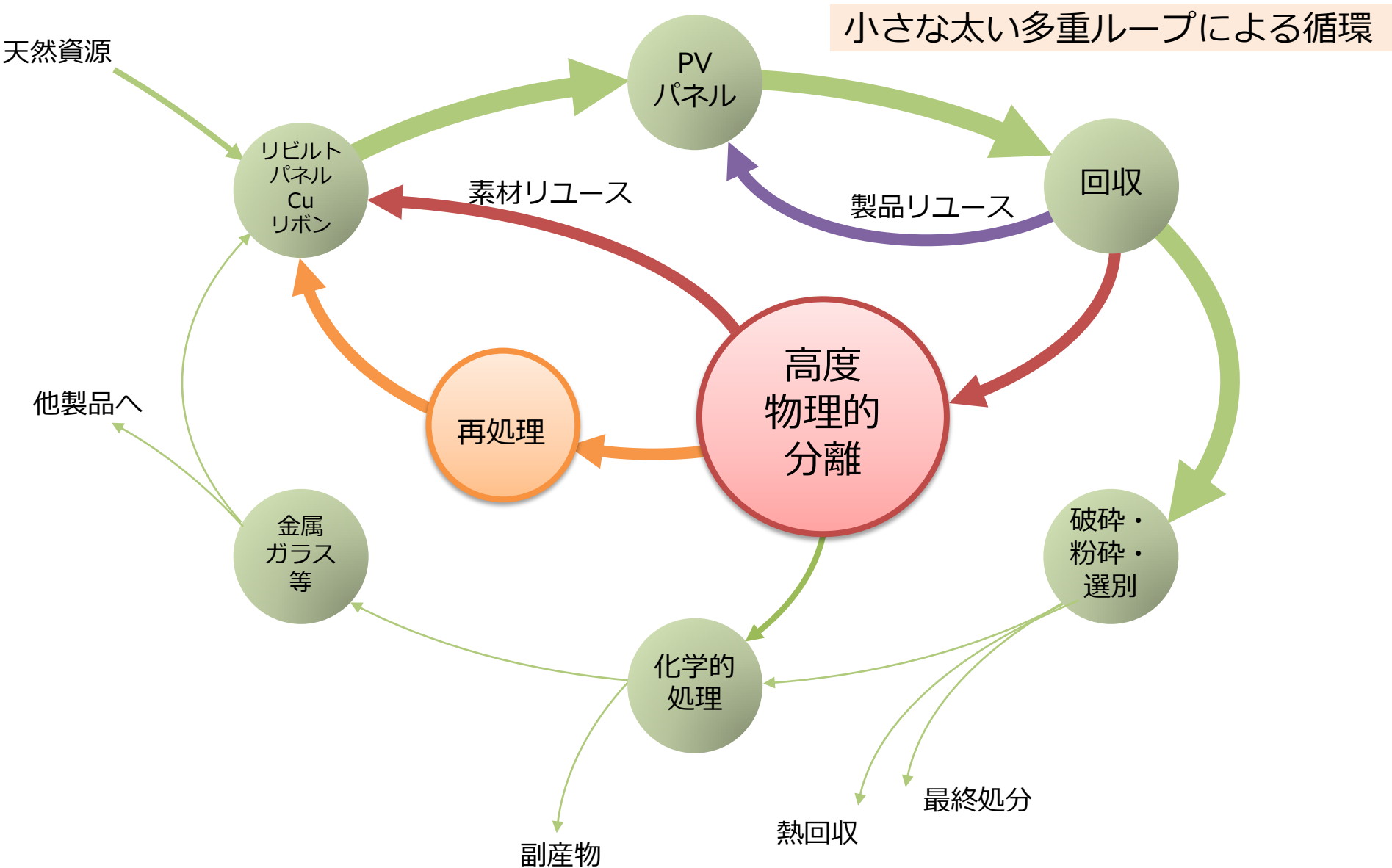
現状の資源循環型社会



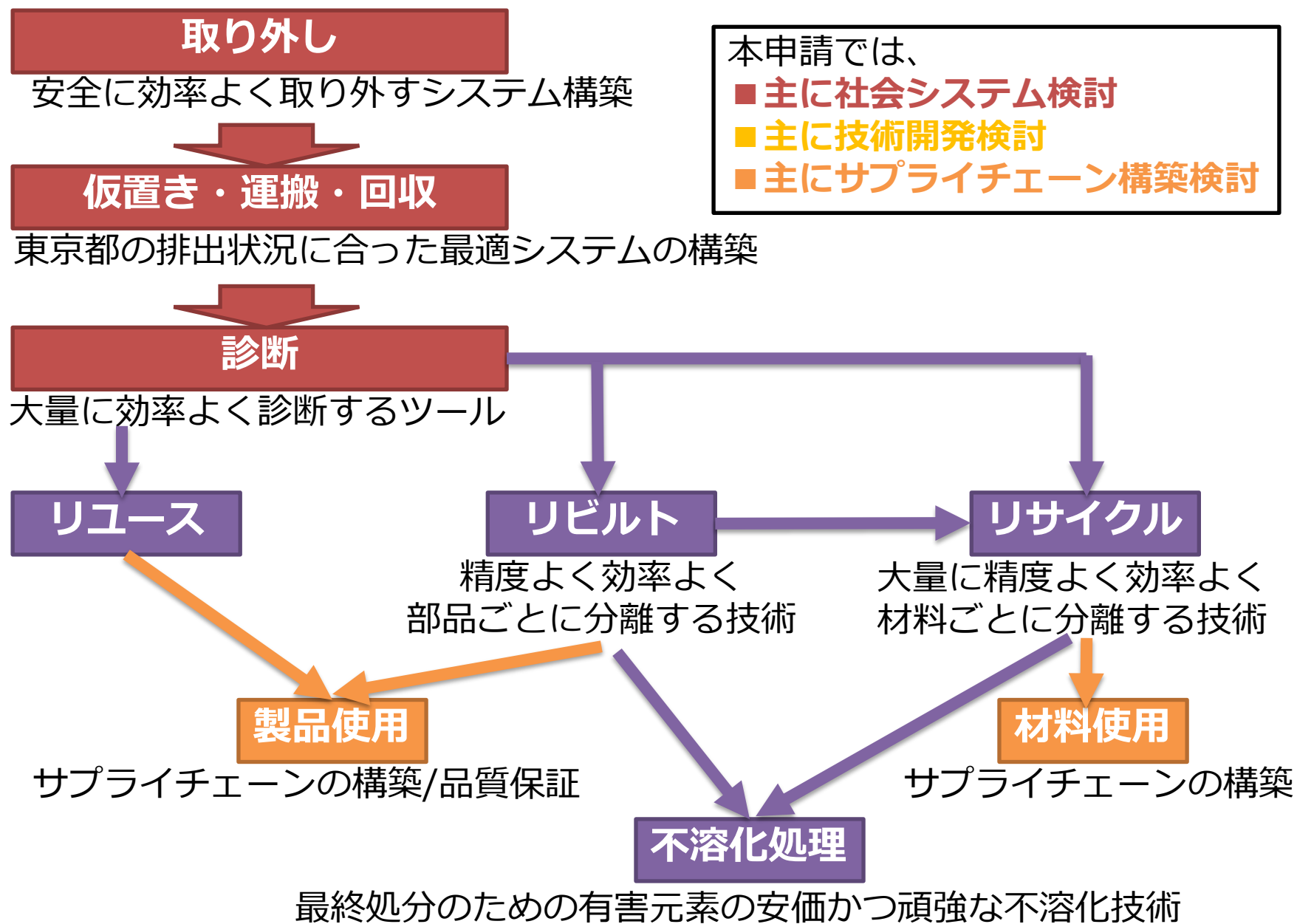
目指すべき資源循環型社会



目指す太陽光パネル循環



使用済太陽光パネル高度循環利用のために検討すべきこと



実施計画と総事業費



研究調査（2大学4研究室）

3000万円/1年

連携事業（大学/企業/東京都）

2億円/2年

■ 取り外し/運搬・回収/診断の最適社会システム検討

- 東京都における排出量、排出状態予測
- シミュレーションによる最適運搬・回収システム検討
- 診断効率化のためのIoT利用ヒアリング
- 最適な診断方法の検討

運搬・回収モデル
事業とその評価

■ リビルト/高度リサイクルのための分離濃縮技術検討および開発

- In situガラス分析法の検討
- 分離濃縮技術の体系化
- ガラス/セル分離技術の高度化
- 各種分離濃縮技術のLCA評価
- リビルト可能性調査
- 最終処分不溶化技術の調査

分離濃縮技術最適化
リビルト製品制作

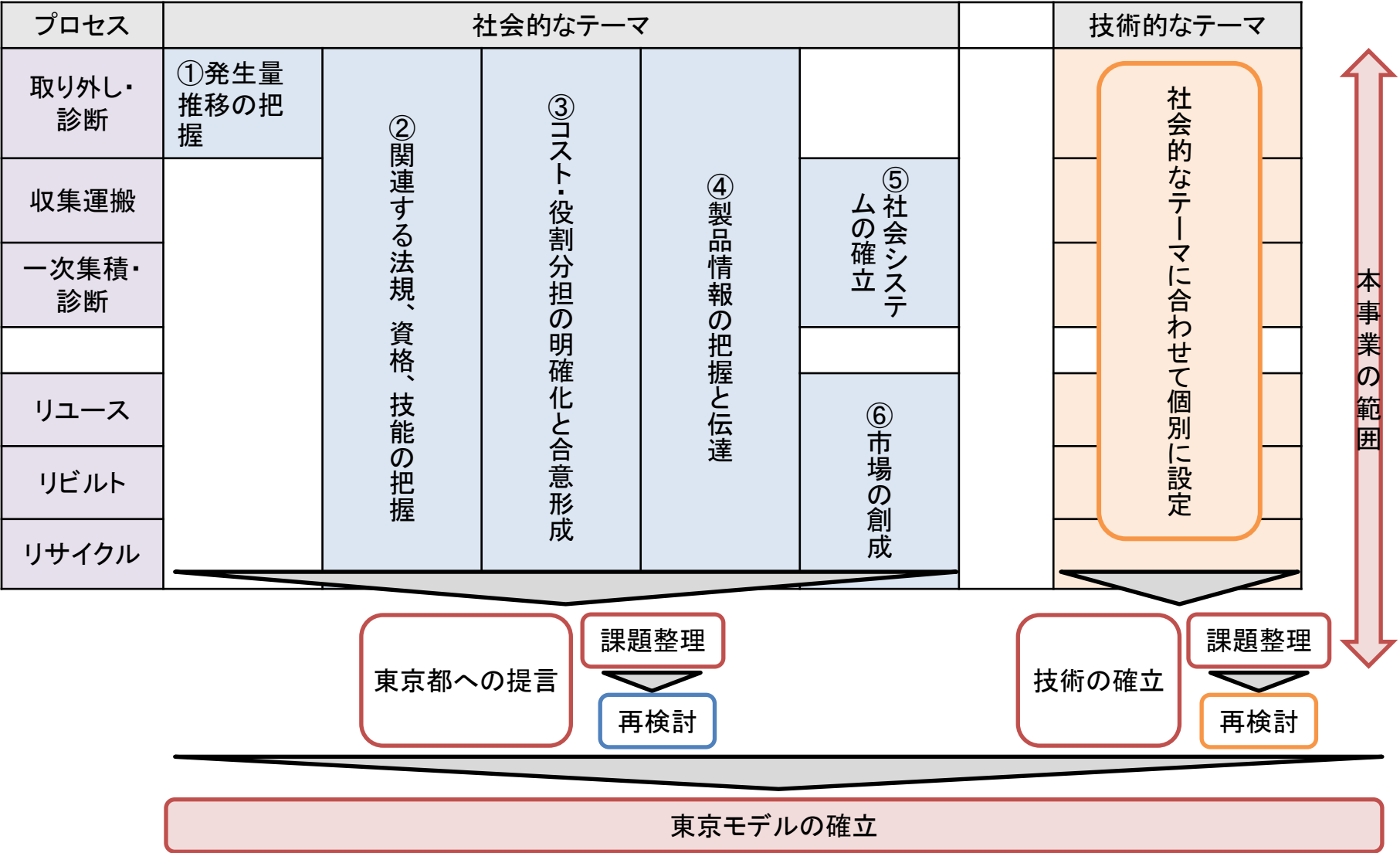
■ サプライチェーン構築のためのシステム検討

- リユースの現状に関するヒアリング
- ガラスリサイクル受け入れ基準の体系化
- ガラスリサイクルのLCA評価

リユース/リビルトモデル
事業とその評価

理想的な高度循環利用のためにとるべき東京都の政策を明らかにし、
太陽光パネル高度循環利用「東京モデル」の発信と実現へ。

連携事業のテーマ設定と本事業の範囲



実証の対象：戸建て設置のシリコン系PVパネル。
課題整理の範囲：将来的なビル設置メガPVや化合物系PVパネルも視野に。

連携事業のテーマ設定と本事業の範囲

- 設置状況の把握・将来予測
 - 場所・規模・種類・残存機能
- 診断方法の課題整理
 - メンテ時・解体時・集積時・処理時
 - 各診断技術の性能とコストの関係
- 解体・回収・運搬の課題整理
 - 解体ニーズの把握
 - 回収ルート最適化
 - 運搬方法とコストの関係
- リビルトパネルの経済性把握
- リサイクルプロセスの課題整理
 - 再利用サプライチェーンの整理
 - リサイクル技術の性能とコストの関係



PVパネルライフサイクルのあるべき姿の整理と東京都への提言

循環促進に向けた制度取り扱い/補助制度/情報の取り扱い

太陽光パネル高度循環利用に対する 「東京モデル」の提案

-技術と社会システムの最適パッケージの追求-

本提案で実現できること

1. 世界に先駆けた高度循環利用モデルの提案。
2. 先進的な高度分離濃縮技術の確立。
3. 太陽光パネル再生品、再生材料のサプライチェーン構築。
4. 理想的な社会システムを実現するための都政策の方向性の明確化。



環境負荷低減型の再生可能エネルギーを利用する
「環境先進都市・東京の実現」



東京都

小池都知事による感謝状贈呈式の様子

