

## GReAT: Glass Recycling Advanced Technology

- The concept on the global optimal glass and ceramics recycling system
- Technical feasibility of recycling PV panel glass to ceramics and tiles

## ガラス最先端再資源化技術

- ガラスリサイクルの全体最適コンセプトの紹介
- 太陽光モジュールガラスのセラミックス・タイルへのリサイクルの技術適用可能性

RE2026フォーラム

東京ビッグサイト会議棟room606 260128

The Glass Recycling Committee of Japan

一般社団法人 ガラス再資源化協議会

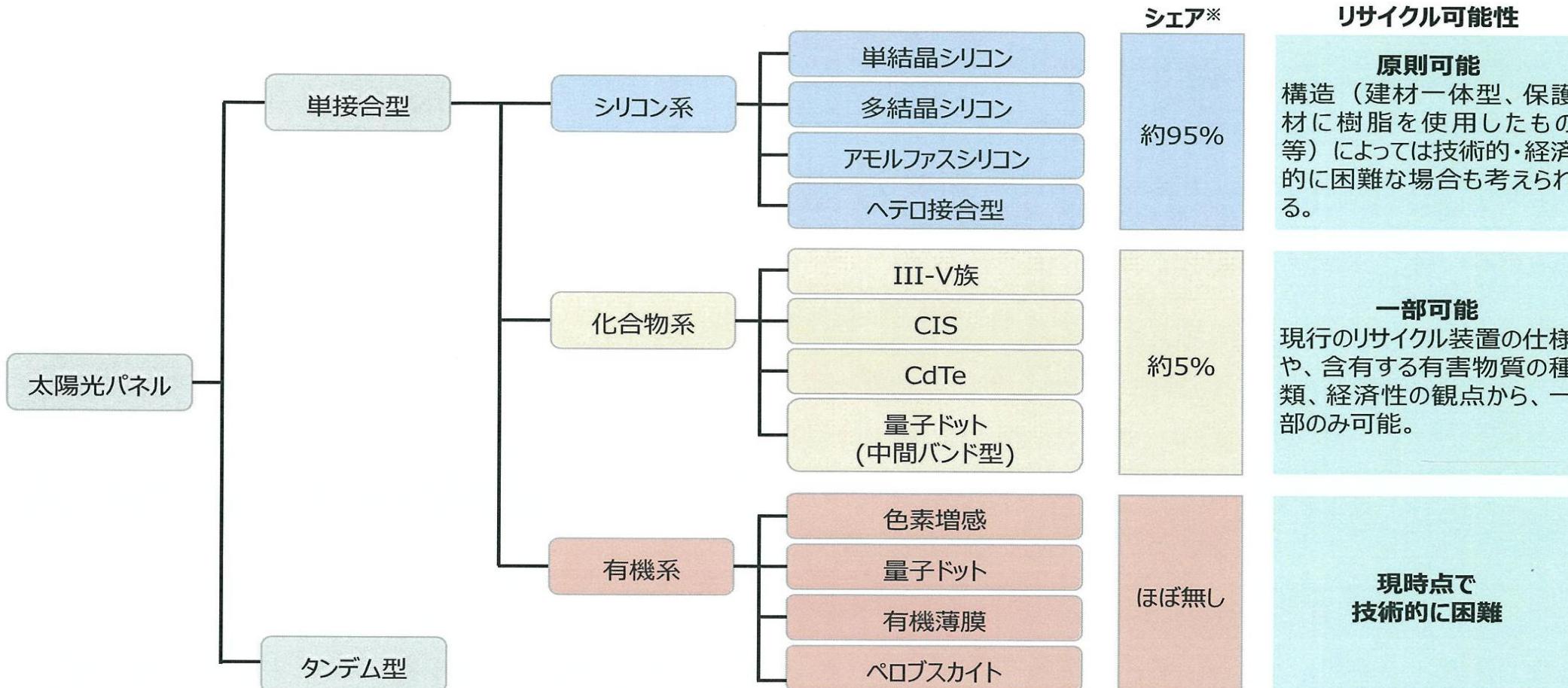
Chairperson SO KATO

代表理事 加藤 聰

# 新たな法制度案

## 対象とする太陽光パネル

- 本法制度案の主な目的が**使用済太陽光パネルの最終処分量の減量等**であり、特に重量（容量）が大きく燃焼による減量が困難なガラスのリサイクルが重要となること、**技術的・経済的なリサイクル可能性等**を踏まえて、本法制度案でリサイクルを推進する太陽光パネルを決定することとする。



\*シェアは国際市場における年間生産量ベースで算出。

# (参考) ペロブスカイト太陽電池のリサイクルについて

- ペロブスカイト太陽電池については、我が国ではガラス型と比べて軽量なフィルム型の導入が見込まれ、ガラスを用いるタンデム型についても、製造技術が確立した後、導入が進んでいくことが見込まれている。
- ペロブスカイト太陽電池のリサイクル技術等については研究開発を実施中であり、今後の技術開発や社会実装に向けた動向、リサイクルの経済合理性も踏まえながら、リサイクルの推進に向けた在り方を検討していく必要がある。

## ペロブスカイト太陽電池の種類



- 軽量で柔軟という特徴を有し、建物壁面など、これまで設置が困難であった場所にも導入が可能で、**新たな導入ポテンシャルの可能性大**。
- 海外勢に、大型化・耐久性といった**製品化のカギとなる技術で、大きくリード**。
- △ 発電コストの低下に向けては、引き続き、**耐久性の向上に係る技術開発が必要**。

- 建物建材の一部として、既存の高層ビルや住宅の窓ガラスの代替設置が期待され、一定の**新たな導入ポテンシャルの可能性**に期待。
- △ 海外勢でも技術開発が盛んに行われており、**競争が激化**している状況にある。
- フィルム型と比べ、耐水性が高く、**耐久性を確保しやすい**。
- 現在一般的に普及しているシリコン太陽電池の置換えが期待されており、引き続き研究開発段階。**世界的に巨大な市場**が見込まれる。
- △ 海外勢でも技術開発が盛んに行われており、**競争が激化**している状況にある。
- △ 開発の進捗状況は、フィルム型やガラス型に劣り、**引き続き研究開発段階**。
- × シリコンは海外に依存。

（出典）第12回産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会  
グリーン電力の普及促進等分野ワーキンググループ 資料5

## ペロブスカイト太陽電池のリサイクル技術の開発状況

- NEDO太陽光発電導入拡大等技術開発事業において、環境への影響評価を含めた適切な廃棄・リサイクルシステムを確立するための評価・検証を2025年度から開始。
- 環境研究総合推進費において、フィルム型ペロブスカイト太陽電池のリサイクル・環境配慮設計の技術開発を2025年度から開始。

# ①国による基本方針の策定

■ 使用済太陽光パネルの排出を抑制するとともに、リサイクルを総合的にかつ計画的に推進するため、以下の事項について定めた基本方針を策定する。

- 太陽電池廃棄物の排出者等、リサイクル事業者、製造業者等、国、地方公共団体等の関係者が相互に連携し、リサイクルが選択される環境を整備することが重要であるため、各主体の役割を定める。
- 関係者が将来のあるべき姿を共有し各自の取組を実行するとともに、新たな法制度の施行状況を評価するため、リサイクル目標を定める。
- リサイクル施設の偏在を解消し、全国各地でリサイクルが選択されるようにするため、施設整備の促進の方向性について定める。
- リサイクル費用の低減のためには、リサイクル技術の開発・実装、リサイクル施設の稼働率向上、再生材の利用拡大等が重要であることから、費用低減・技術開発等の施策の方向性を定める。

■ 基本方針の下、各主体が措置事項を着実に実行していくことで、リサイクルが促進されることが期待される。

## 基 本 方 針

### 太陽電池廃棄物の排出者等

- ・リサイクルの取組
- ・国が定める判断基準に基づくリサイクルの取組（太陽光発電事業者等）
- ・排出実施計画の事前届出（多量に排出等をする太陽光発電事業者等）

### リサイクル事業者

- ・国のリサイクル事業の認定に基づく効率的なリサイクルの実施
- ・空白地域への進出、高度なリサイクル設備導入の検討

### 製造業者等

- ・環境配慮設計
- ・含有物質情報の提供

### 国

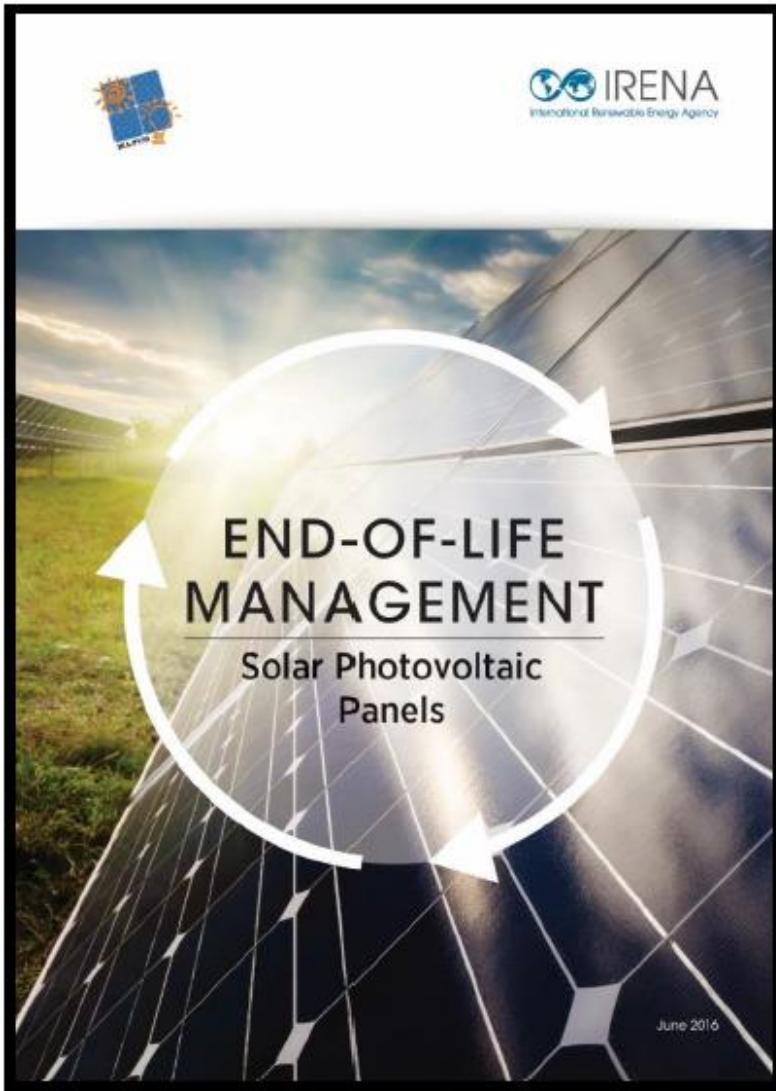
- ・判断基準の策定、リサイクル事業の認定等
- ・予算措置等による、リサイクル費用の低減・体制整備
- ・リサイクルの率先実施

### 地方公共団体

- ・域内の実情に応じた施策の実施
- ・廃棄物処理法の許可権者としての責務
- ・リサイクルの率先実施

# Disposal PV management report by IRENA

## IRENA 廃棄PVマネージメントレポート2016



## CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Andreas Wade (IEA-PVPS Task 12), Stephanie Weckend (IRENA), Garvin Heath (IEA-PVPS)

### Contributors

Dr. Karsten Wambach (bifa Umweltinstitut), Tabaré A. Currás (WWF), Knut Sander (ökopol)

IEA-PVPS Task 12: Zhang Jia, Keiichi Komoto, Dr. Parikhit Sinha

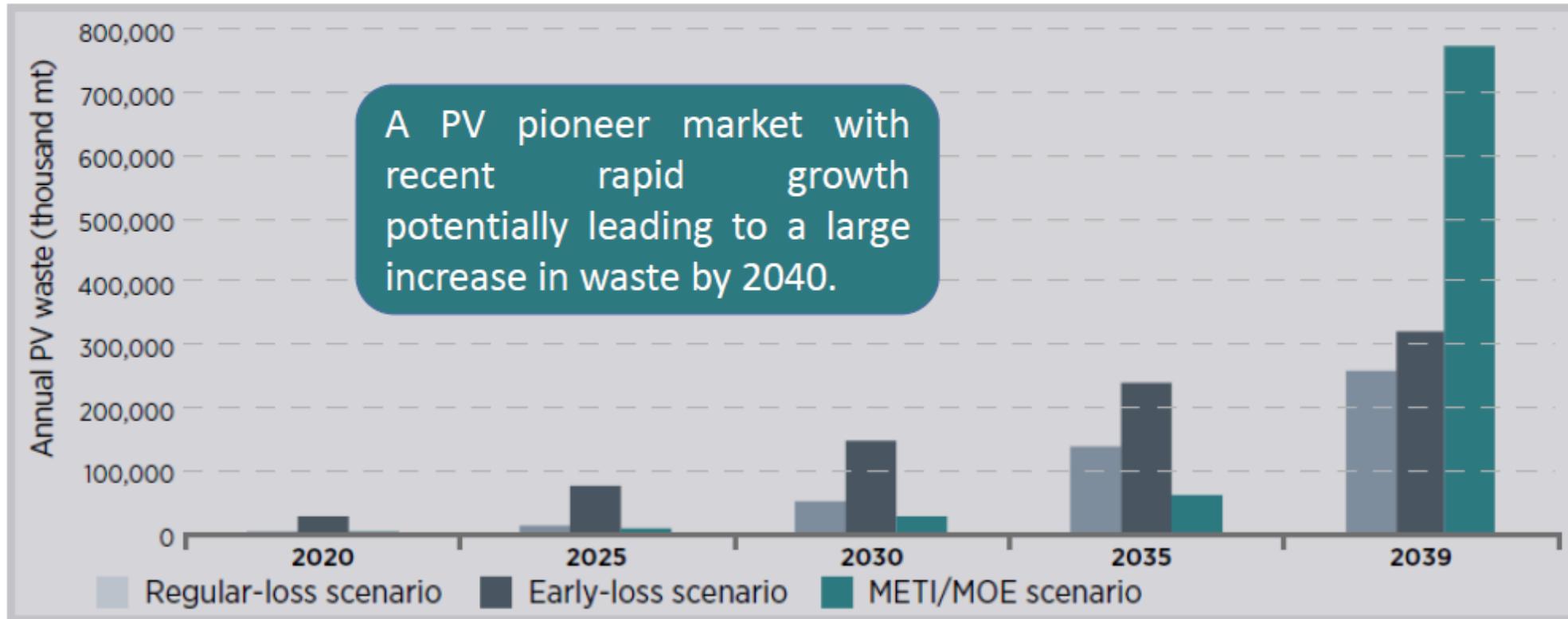
IRENA: Henning Wuester, Rabia Ferroukhi, Nicolas Fichaux, Asiyah Al Ali, Deger Saygin, Salvatore Vinci, Nicholas Wagner

# Disposal PV management report by IRENA

## IRENA 廃棄PVマネージメントレポート2016



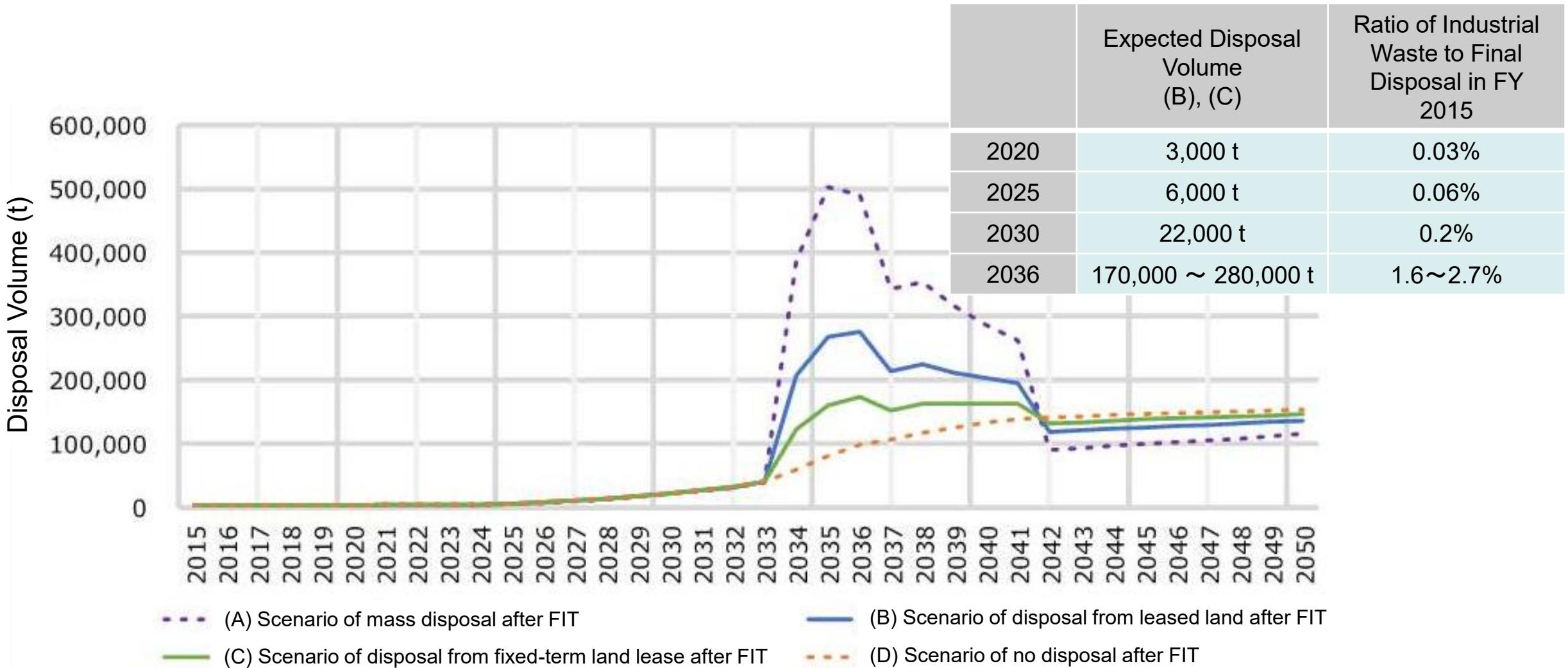
JAPAN –  
advanced market without PV  
specific waste regulations



# Expected Disposal Volume of the End-of-Life Facilities for PV Module

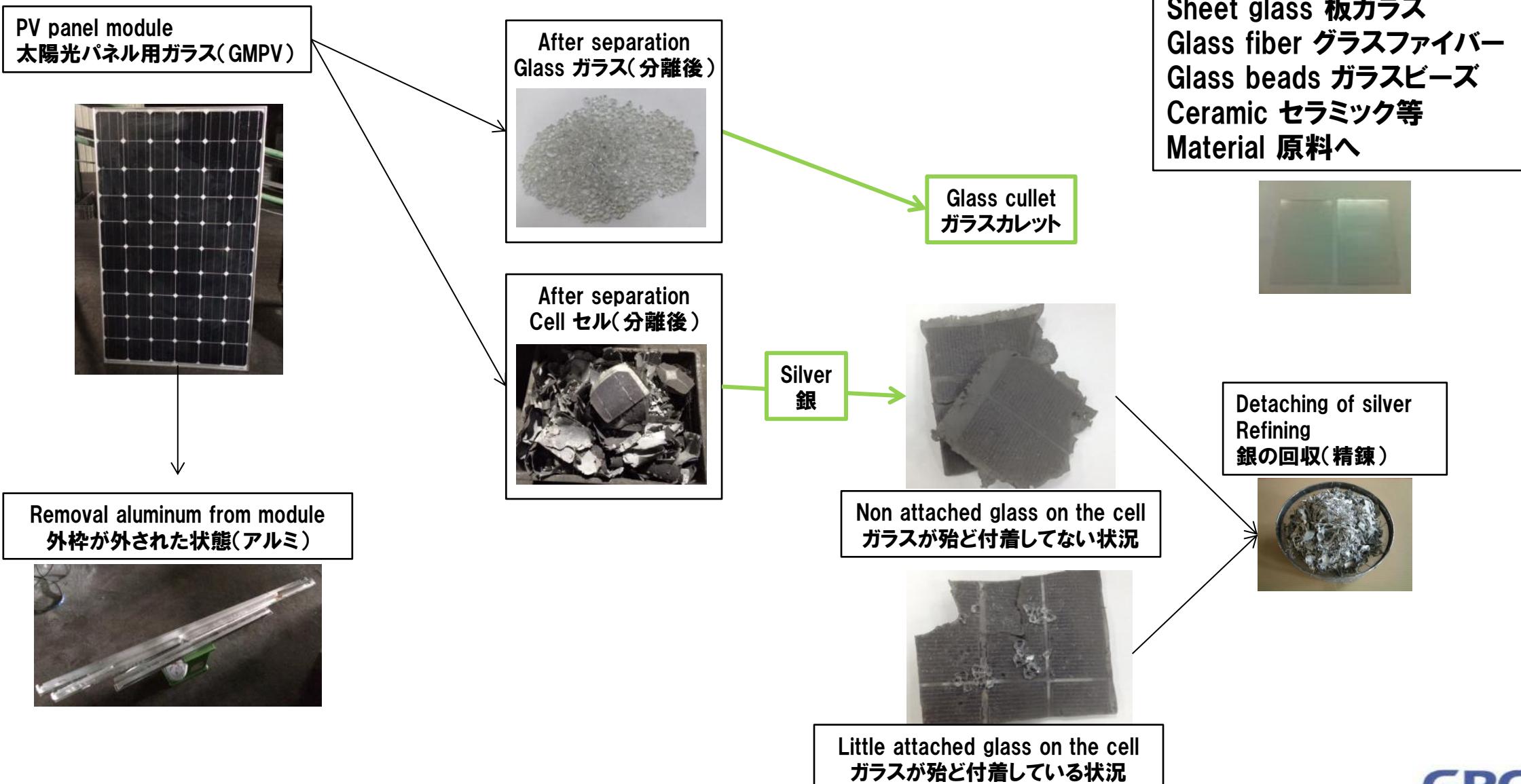
## 太陽電池モジュールの排出見込

### Estimation of the future disposal volume of PV module



# Glass recycle of PV panel

## 太陽光パネルのガラスリサイクル



# Guidelines for promotion of recycling on PV generation facilities ガイドライン

## Transmission of information for toxic substances : Offer of the information necessary for appropriate disposal

### 有害物質等の情報伝達：適正処分に必要な情報提供

#### [Changes]

Introducing the "Guidelines for Providing Information Contribution to Proper Disposal of Used Solar Cell Modules" formulated and published by the Japan Photovoltaic Energy Association. In addition, creating a correspondence table between the constituent parts of the solar cell module and the four parts shown in the information provision.

#### Excerpt of "Guidelines for Providing Information Contribution to Proper Disposal of Used Solar Cell Modules"

##### 4. Types and thresholds of target substances for which information must be provided

###### 1) Target substance

Considering the viewpoint of chemical substances that may affect the environment at the time of disposal and the high possibility of inclusion depending on the type of photovoltaic power generation module, the following four substances are targeted.

Lead, cadmium, arsenic, selenium

###### 2) Content rate standard value

The content rate standard value at the time of labeling shall be as follows, and if it exceeds this, it shall be labeled by the method specified in Section 4.

Lead: 0.1wt%

Cadmium: 0.1wt%

Arsenic: 0.1wt%

Selenium: 0.1wt%

The content rate of the target substance is a theoretical value calculated by dividing the mass of each of the four parts (\*) that make up the module part that can be disassembled relatively easily as the denominator and the content of the target chemical substance in each part as the numerator.

(\*) ① Frame, ② Screw, ③ Cable, ④ Laminated part (including terminal box, parts other than ①, ②, ③)

#### 【変更点】

■一般社団法人太陽光発電協会が策定・公表している「使用済太陽電池モジュールの適正処理に資する情報提供ガイドライン」を紹介。また、太陽電池モジュールの構成部位と情報提供で示された4部位との対応表を作成

#### 「使用済太陽電池モジュールの適正処理に資する情報提供のガイドライン」からの抜粋

##### 4. 情報提供する対象物質の種類と閾値

###### 1) 対象物質

廃棄時に環境に影響を及ぼす可能性のある化学物質の視点と太陽光発電モジュールの種類に応じた含有の可能性の高さを考慮し、以下の4物質とする。

鉛、カドミウム、ヒ素、セレン

###### 2) 含有率基準値

表示を行う際の含有率基準値は以下の通りとし、これを超える場合に4項に定める方法で表示する。

鉛: 0.1wt%

カドミウム: 0.1wt%

ヒ素: 0.1wt%

セレン: 0.1wt%

尚、対象物質の含有率は、比較的容易に解体できるモジュール部を構成する4つの部位(①フレーム、②ネジ、③ケーブル、④ラミネート部(端子箱を含む、①・②・③以外部分))毎の質量を分子、それぞれの部位中の対象化学物質含有量を分子とし、除して算出する理論値。

出所)「使用済太陽電池モジュールの適正処理に資する情報提供のガイドライン(第1版)(太陽光発電協会)」

# Glass recycle of PV panel 太陽光パネルのガラスリサイクル

## ● ガラスカレットの溶解温度帯チェック(テストピース製作)

### ➤ 目的

異なる温度帯のガラスが混在すると、タイル焼成時に溶け切ることができず、破損等につながるため、各ガラスの溶解温度帯を確認した。

### ➤ 試料

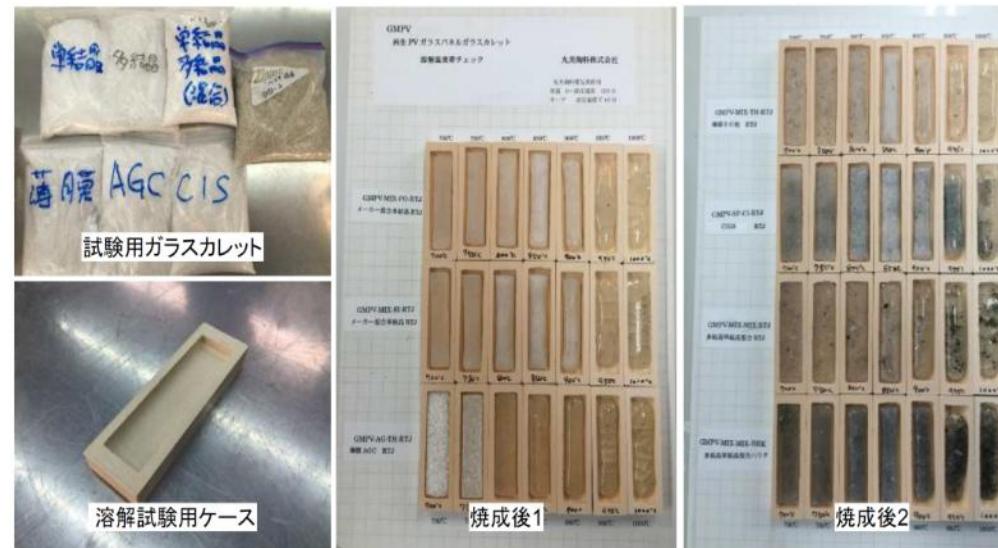
3mmガラスカレット	①多結晶(メーカー混合)
	②単結晶(メーカー混合)
	③-1薄膜(アルミナ系)
	③-2薄膜(その他)
	④CIS/CIGS系(メーカー混合)
	①②-1単結晶・多結晶(混合)
	①②-2単結晶・多結晶(混合)

### ➤ 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: 大気温度～設定温度まで120分、そのまま40分間キープし成り行きで冷却。
- 設定温度: 700°Cから50°C刻みで1,000°Cまで7段階で行った。

### ➤ 結果・分析等

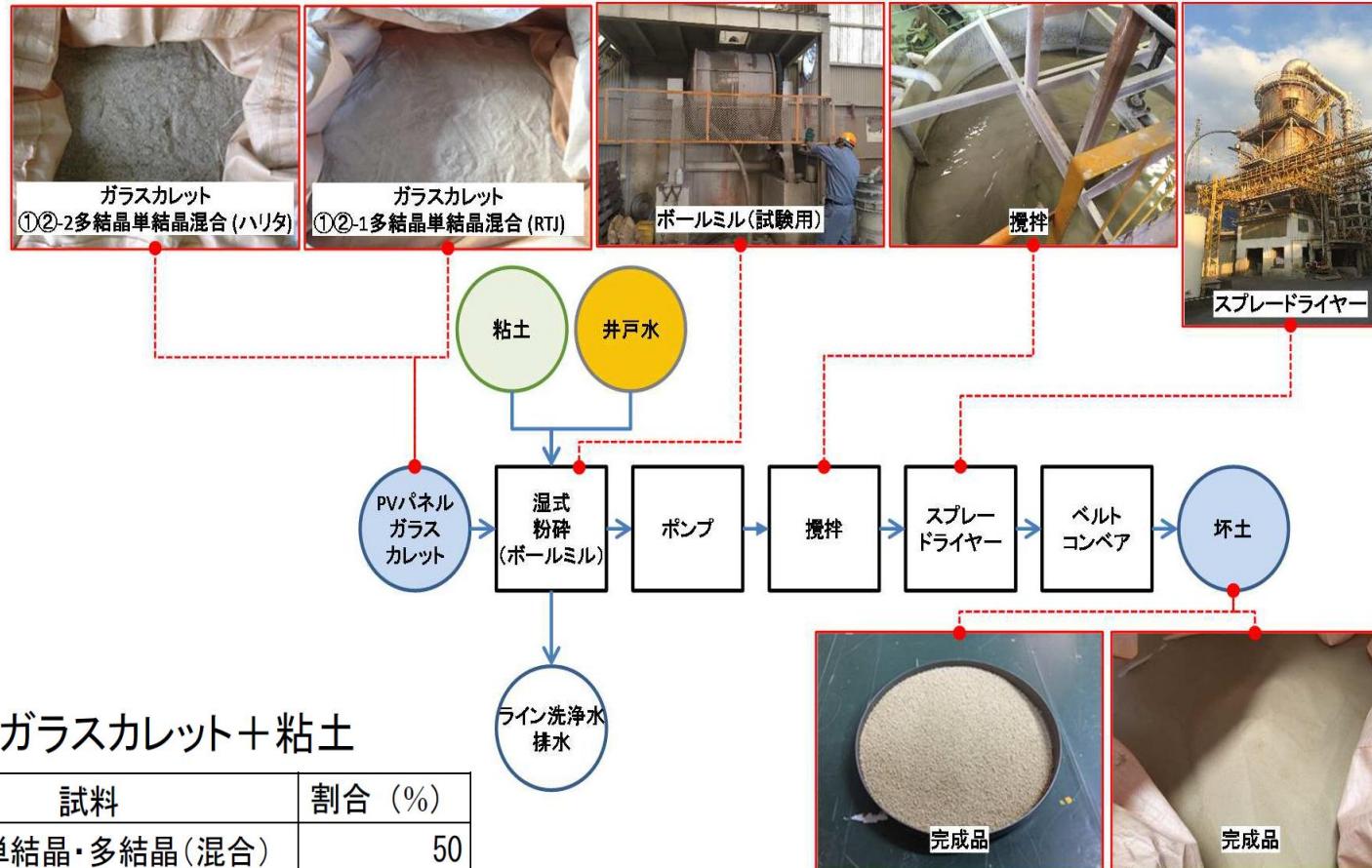
- 溶解温度帯が高い順に④>③-1,③-2>その他となった。
- 焼成前には目立たなかった異物が、加熱温度によっては焼成後に広がり目立つようになった。
- 850°Cから明らかに角が丸くなり、収縮したため、焼成後の収縮を考慮して温度と焼成時間を設定する必要がある。



# Glass recycle of PV panel 太陽光パネルのガラスリサイクル

## ● 坯土調合

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の坯土を生産した。



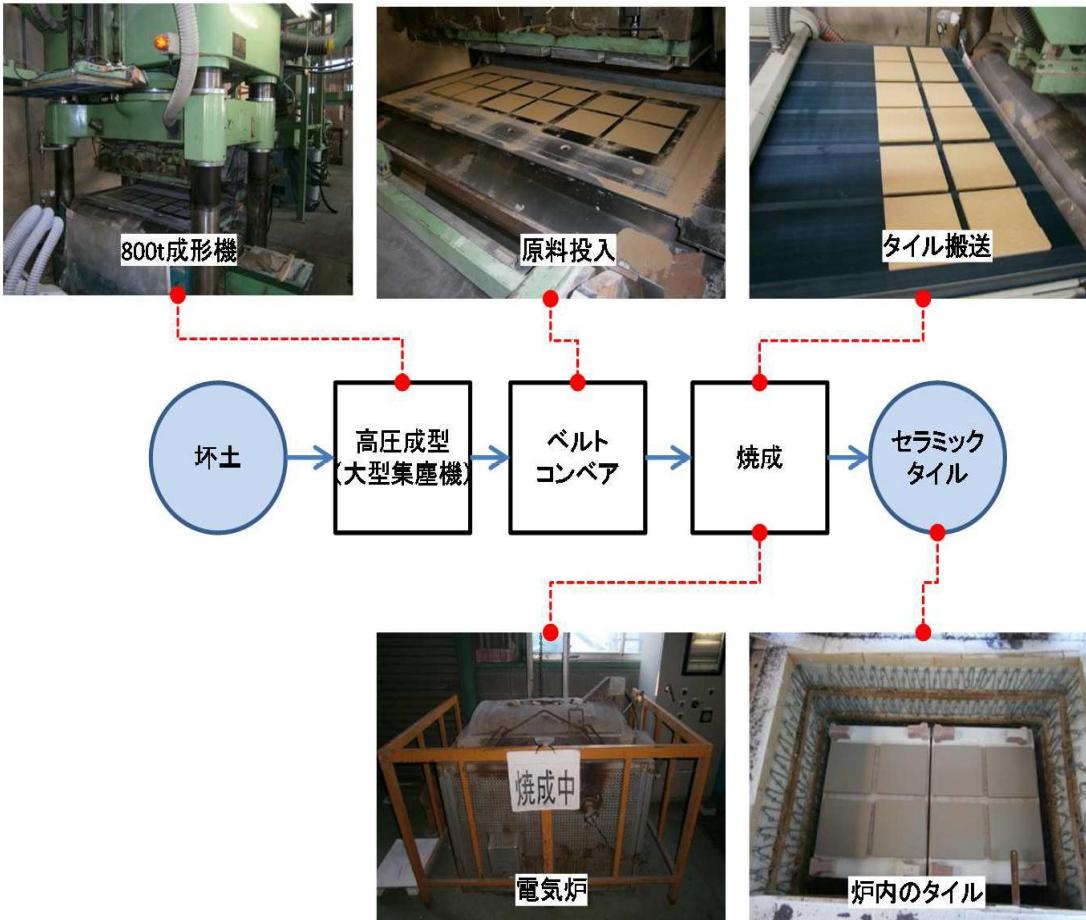
➤ 原材料: ガラスカレット + 粘土

坯土	試料	割合 (%)
A-50	①②-1单結晶・多結晶(混合)	50
	粘土	50
B-50	①②-2单結晶・多結晶(混合)	50
	粘土	50

# Glass recycle of PV panel 太陽光パネルのガラスリサイクル

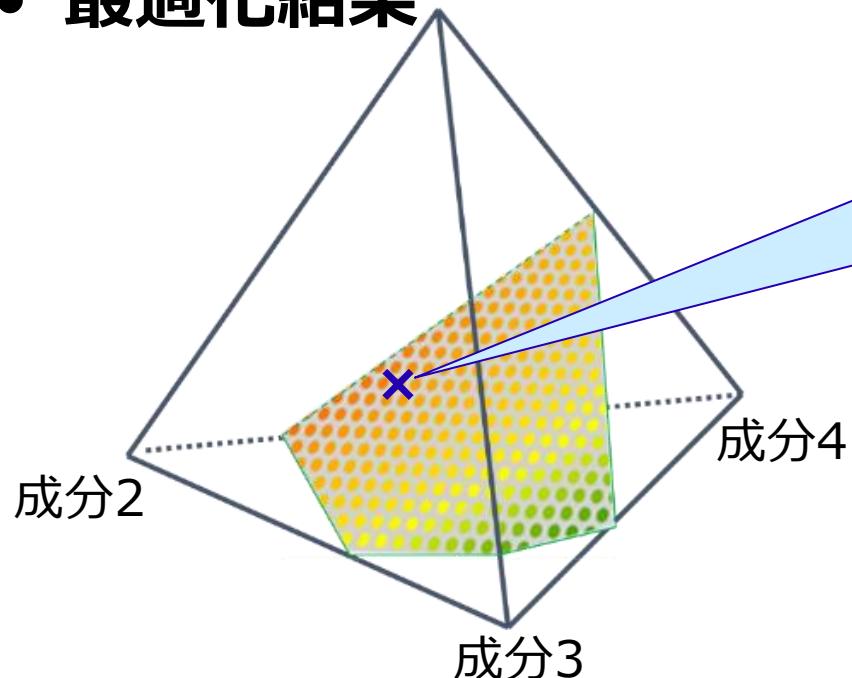
## ● 坯土によるテストピース(タイル)の焼成

- 原料: 坯土(A-50、B-50の2種類)



# 事例：混合ガラスの組成探索

- 目的：熱膨張係数 ⇒ 小、ガラス転移温度 ⇒ 低（加工しやすい）
  - 説明変数(4成分系) : SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
  - 入力データ数(混合組成と物性値) : 865個 (INTERGLAD)
- 最適化結果



パイレックスガラスに近い組成が  
数分で得られた！

SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
81.6	14.7	2.6	1.1

(wt%)

複数の要求特性に対して、  
膨大な組み合わせ候補の中から  
最適な混合組成を探索できる

# PV Module Design for Recycling Guidelines

## <一般的なDfRガイドライン>

- 機能性、長寿命、耐久性、信頼性、コストなどの製品要件が重要
- 材料選択と、分離した素材の回収可能性が重要
- 製品に含まれる有害物質の抑制
- リサイクルしにくい材料の抑制
- 不可逆的な接着剤の抑制
- 分解を前提とした設計
- DfRによる効果の評価が重要
- リサイクル可能な材料を示すラベリングの標準化が重要
- リサイクル材料を使用した製品設計が循環生産を促進

## <太陽電池モジュールのDfRガイドライン(結晶Si太陽電池モジュール)>

- モジュールの構造と組成を永続的に特定可能にする
- バックシートの添加物
- 金属の選択
- 充填材使用量の抑制
- モジュール材料の数と複雑さの低減
- アルミフレームを容易に分離できるシーリング材の使用

Technology Collaboration Programme  
by IEA



Task 12 PV Sustainability

PVPS

PV Module Design for  
Recycling Guidelines  
2021

Report IEA-PVPS T12-23:2020

Ref.) IEA PVPS Task12, PV Module Design for Recycling Guide, IEA-PVPS T12-23

# Task 15 Phase-1 成果例

- ・IEC 63092-1, -2の制定を実現 国際規格でBIPVの定義が明らかとなった
- ・厳密にはBIPVとBAPVは異なる 実務上、外皮の性能ライン上にあるか、否かで分類なぜなら、ファサードに与える影響が異なるから（水密性能、防火性能など）



The currently running, second phase of Task 15 started at the beginning of 2020 and runs until 2023 with the following subtasks:

- 1 **Subtask A : Technological Innovation System (TIS) analysis for BIPV**  
BIPVの市場拡大に向けた分析や提言
- 2 **Subtask B : Cross-sectional analysis: learning from existing BIPV installations**  
BIPV性能指数（発電量、環境、デザイン、経済性）の評価
- 3 **Subtask C : BIPV guidelines**  
BIPVガイドブックの作成  
→ 融合分野（建築+電気）の要求性能やBIPVディテールの提供で貢献
- 4 **Subtask D : Digitalization for BIPV**  
BIPVのBIM導入に向けた調査  
→ BIM導入におけるシミュレーション等を地域特性別に実施し貢献
- 5 **Subtask E : Pre-normative international research on BIPV characterisation**  
BIPVの性能評価手法に関する調査研究  
STE1 日射熱取得率、STE3 火災安全性、STE4 信頼性安全性、STE5 発電量予測評価  
→ STE1 日射熱取得率(リーダー)、STE3 火災安全性、STE4 信頼性安全性で貢献

# 国内廃ガラス潜在量の全体感



①  
**建築**

**約70万トン/年**  
リサイクルシステムなし



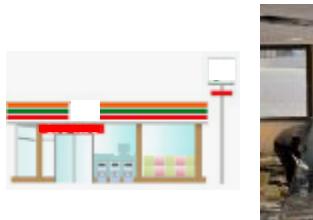
②  
**自動車**

**約10万トン/年**  
自動車リサイクル法の対象外



③  
**太陽光パネル**

**約0.5万トン/年**  
板ガラス向けの高度化が必要



④  
**産業用**

**約0.5万トン/年**  
コンビニ、内装、家電など

## @2021年廃ガラス発生量 (弊社推定)

建築物由来  
約70万トン/年

自動車由来  
約10万トン/年

PV由来  
約0.5万トン/年

## @2035年廃ガラス試算データ (弊社推定)

建築物由来  
約50万トン/年

自動車由来  
約10万トン/年

PV由来  
約15万トン/年

大量の建築物、自動車の廃ガラスが水平リサイクルが出来ていない。それは、PV太陽量廃棄時代の廃PVカバーガラスよりも大きく、今後も継続して発生する見込み。

# Glass characteristic ガラスの特徴

Several glasses in market depend on the case of useful  
使用用途に沿い多様なガラスが開発されている

	GML	GMA/GMV	GMPV	GMFI	GMB	GME	
	Liquid crystal 液晶	Architectural and Vehicle 建設・自動車	Photovoltaic 太陽電池	Fiber 繊維ガラス	Bottole びん	Electron tube ブラウン管	
						Panel パネル	Funnelファンネル
Glass type ガラス種類	Aluminoborosilicate アルミノボケイ酸	Sodalime ソーダ石灰	Sodalime/ Aluminosilicate ソーダ石灰/ アルミノ珪酸	Sodalime ソーダ石灰	Sodalime ソーダ石灰	Barium and Strontium バリウム・ストロンチウム	Lead 鉛
Characteristic 特徴	Scientific durability 科学的耐久性	Light transmittance 光透過性	Light transmittance 光透過性	Light transmittance 光透過性	Color control 色調管理	X-ray absorptivity X-線吸収性	Higher X-ray absorptivity より高いX-線吸収性
Softening point 軟化点 °C	~850	720~740	720~850	720~740	720~740	690~715	655~675
Specific gravity 比重	2.36~2.77	2.48~2.6	2.36~2.77	2.48~2.6	2.48~2.6	2.48~2.6	3.4~4.28
Color tone 色調	Clear	GMA:Clean、Clear GMV:Clean、Galaxy	Clear	Clear mixed color	Clear, Brown, Blue, Green, Other color	Clear	

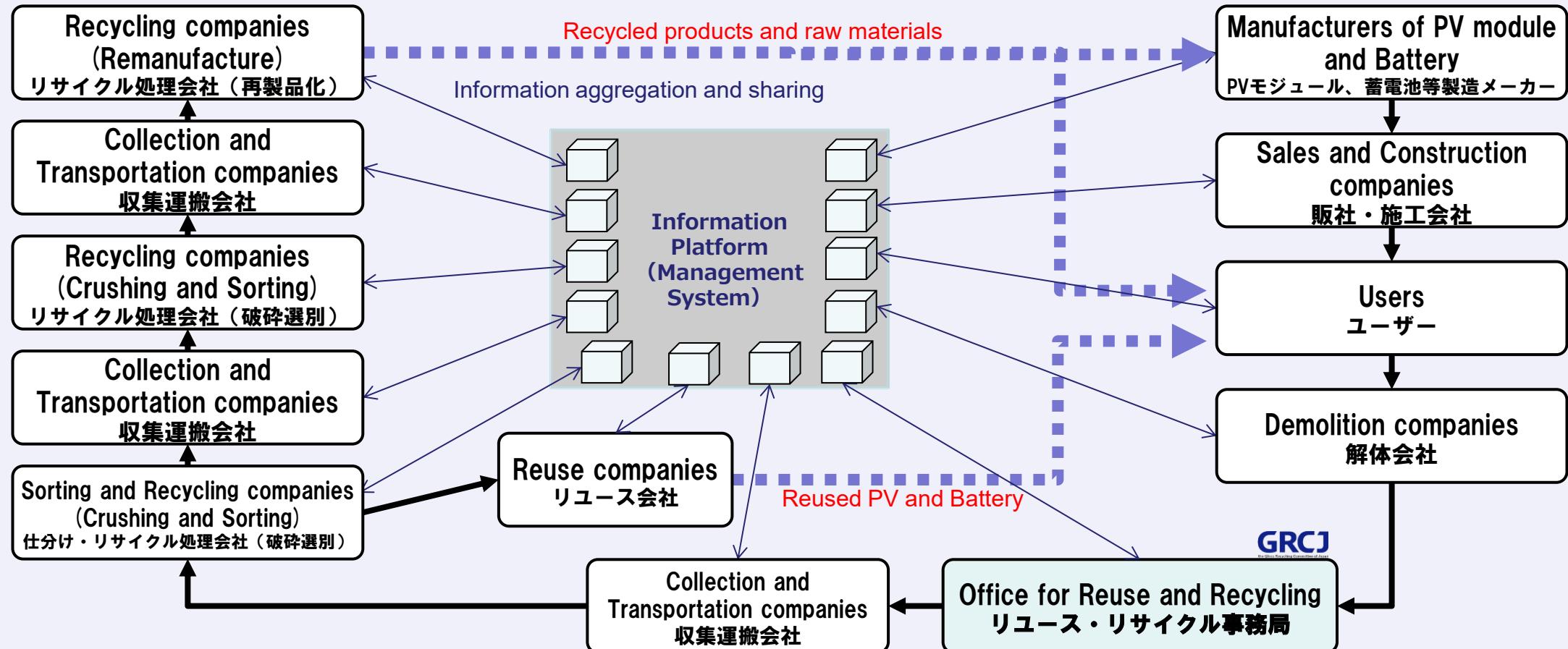
Selection of recycle method in adequate glass material  
ガラス材質に適合したリサイクル方法を選択

# Overall optimum of aiming GReAT DX project

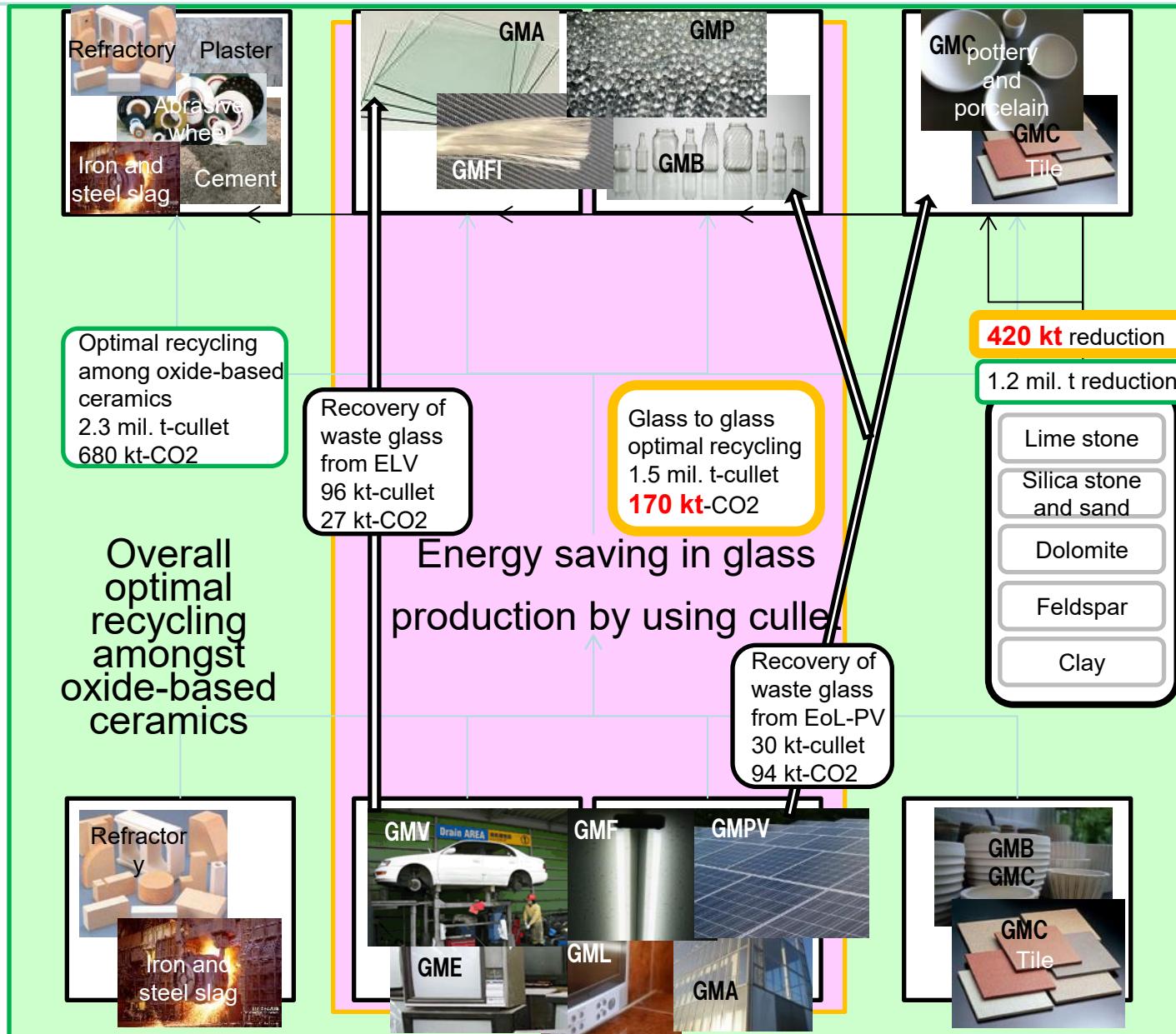
## GReAT DX プロジェクトの目指す全体最適

< Image of an information platform >

### Consortium



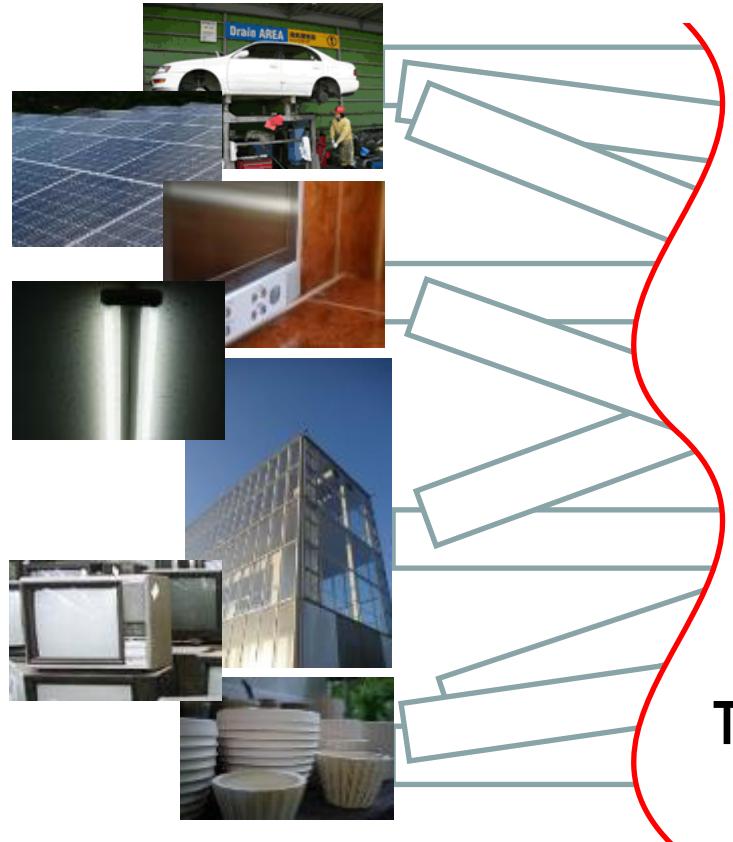
# Recycling of glass cullet should be considered within family materials (glasses and other oxide-based ceramics)



- EoL-LCD glass (Home Appliance Recycling Law)
- EoL-CRT glass (Home Appliance Recycling Law)
- ELV glass (Automobile Recycling Law)
- EoL-PV glass (Construction Recycling Law)
- EoL-architectural glass (Const. Recycling Law)
- EoL-fluorescent bulb (Const. Recycling Law)
- EoL-plateware, etc.

# Overall optimum of aiming GReAT project

## GReATプロジェクトの目指す全体最適

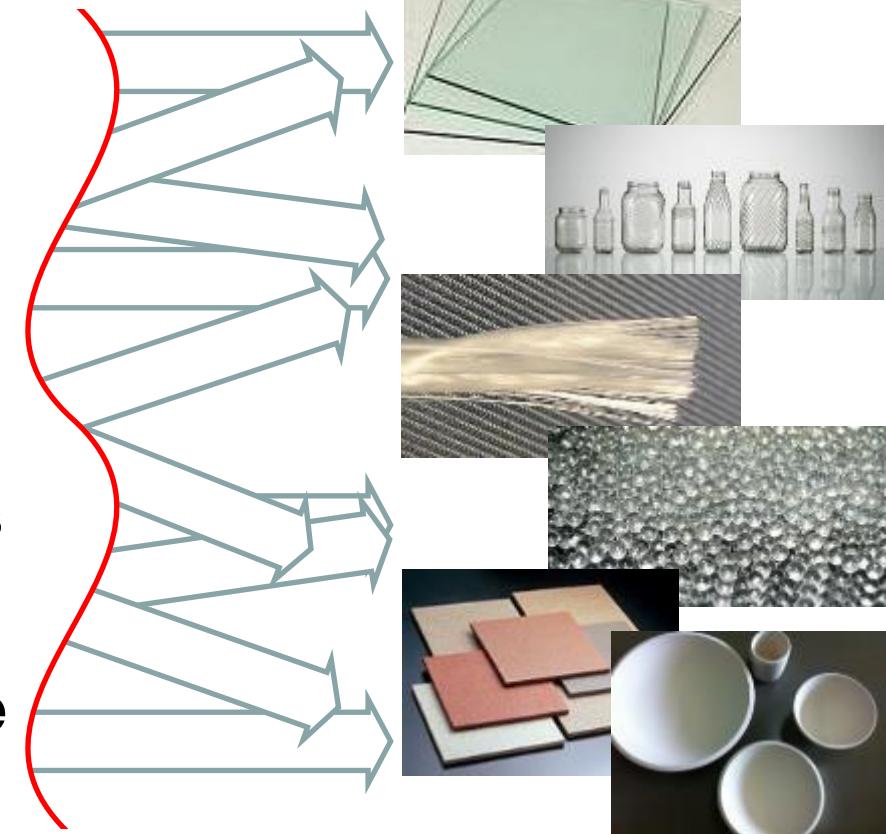


Supply-Demand  
balance  
需給量

Composition·Color  
成分・色

Impurity contents  
不純物濃度

Transportation distance  
輸送距離

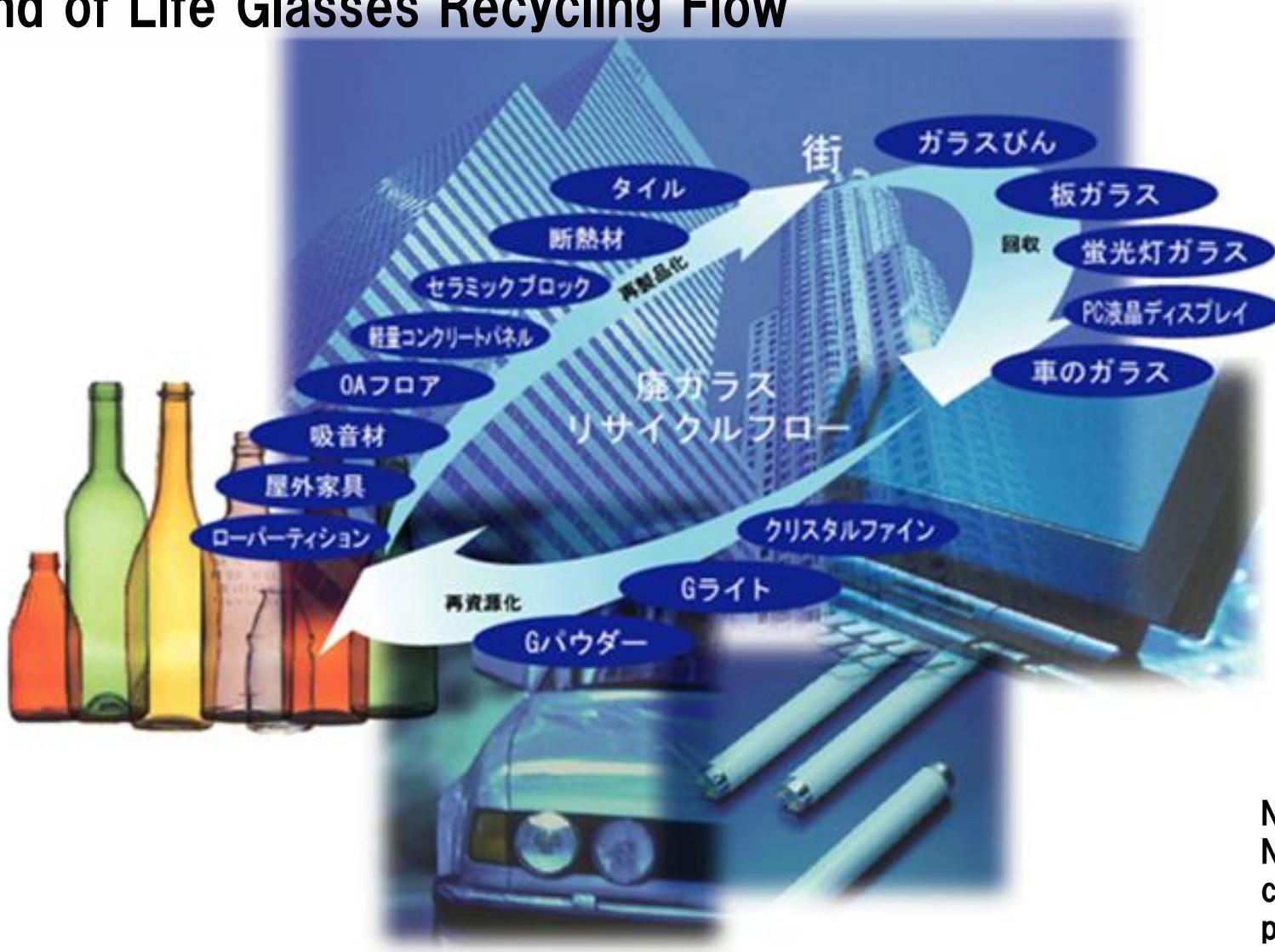


Oxide-based ceramics like almost same glass composition are included in the overall optimum evaluation  
ガラスに組成(SiO<sub>2</sub>-CaO系セラミック)の類似した酸化物系セラミック類も全体最適の評価対象内に含める

# [Sustainability] Design for Resource Circular Economy

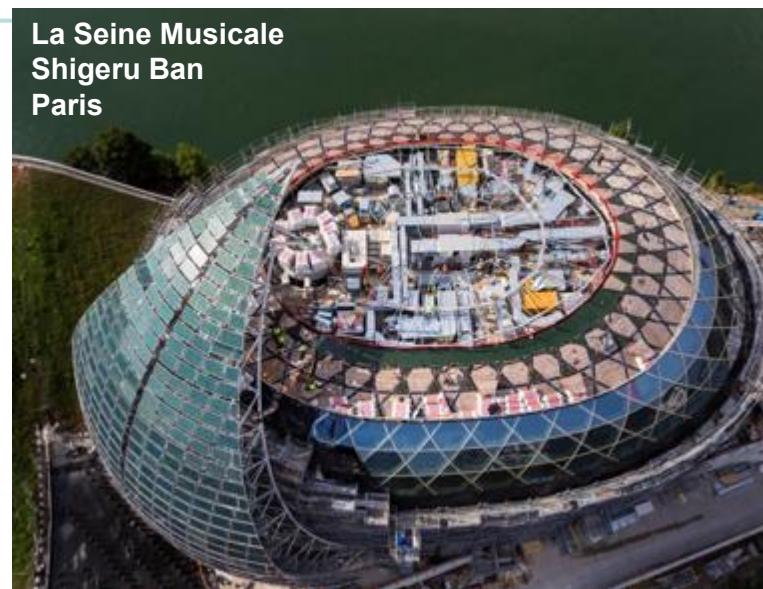
## 「サステイナビリティ」リサイクル産業システムをデザイン

### End of Life Glasses Recycling Flow



New area design department  
Network that promotes integrated system from glass collection to application development and use of recycled products

# High visibility projects from Oslo to Hong Kong BIPV





INTERNATIONAL YEAR OF  
**GLASS**  
**2022**  
国際ガラス年2022