

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

日本セラミックス協会第37回秋季 シンポジウム

名古屋大学 東山キャンパス 240911

The Glass Recycling Committee of Japan

一般社団法人 ガラス再資源化協議会

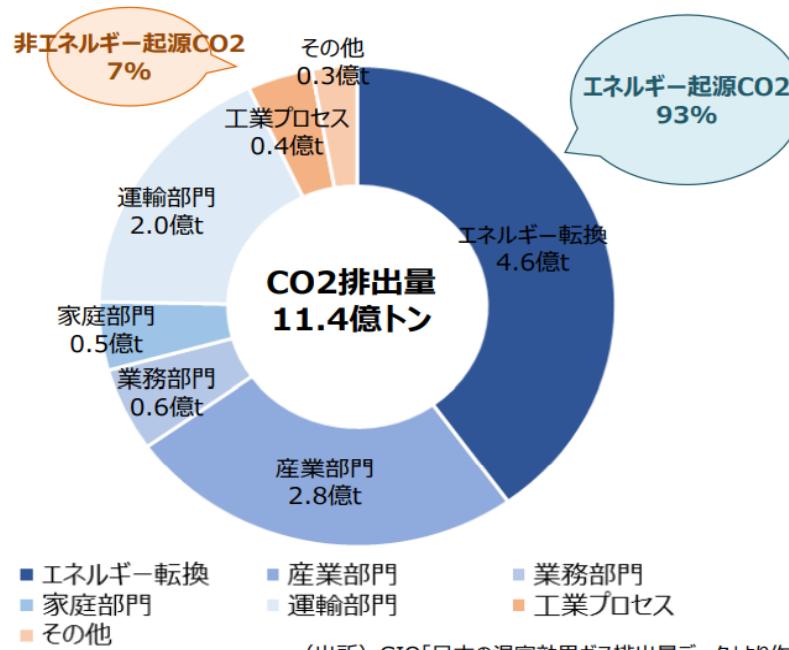
Chairperson SO KATO

代表理事 加藤 聰

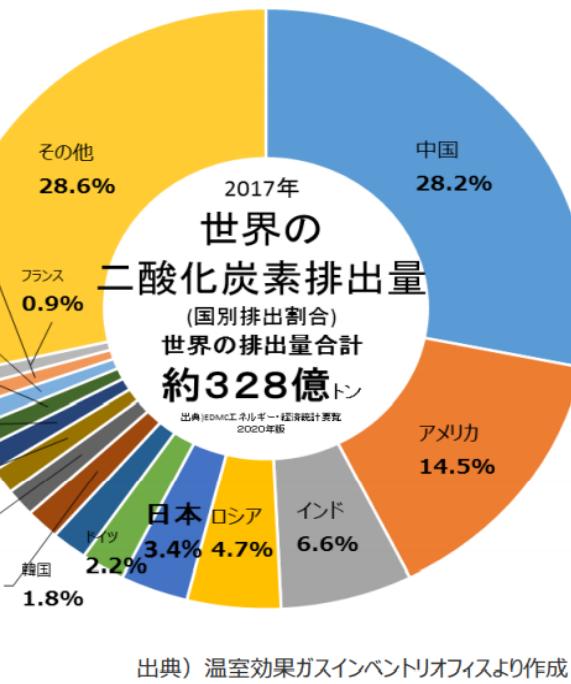
1. 産業界の直面するCarbon Neutrality (1)

- 日本のCO₂排出量は、世界で5番目。CO₂排出の内訳の太宗はエネルギー起源が占める。

日本のCO₂排出量（2018）

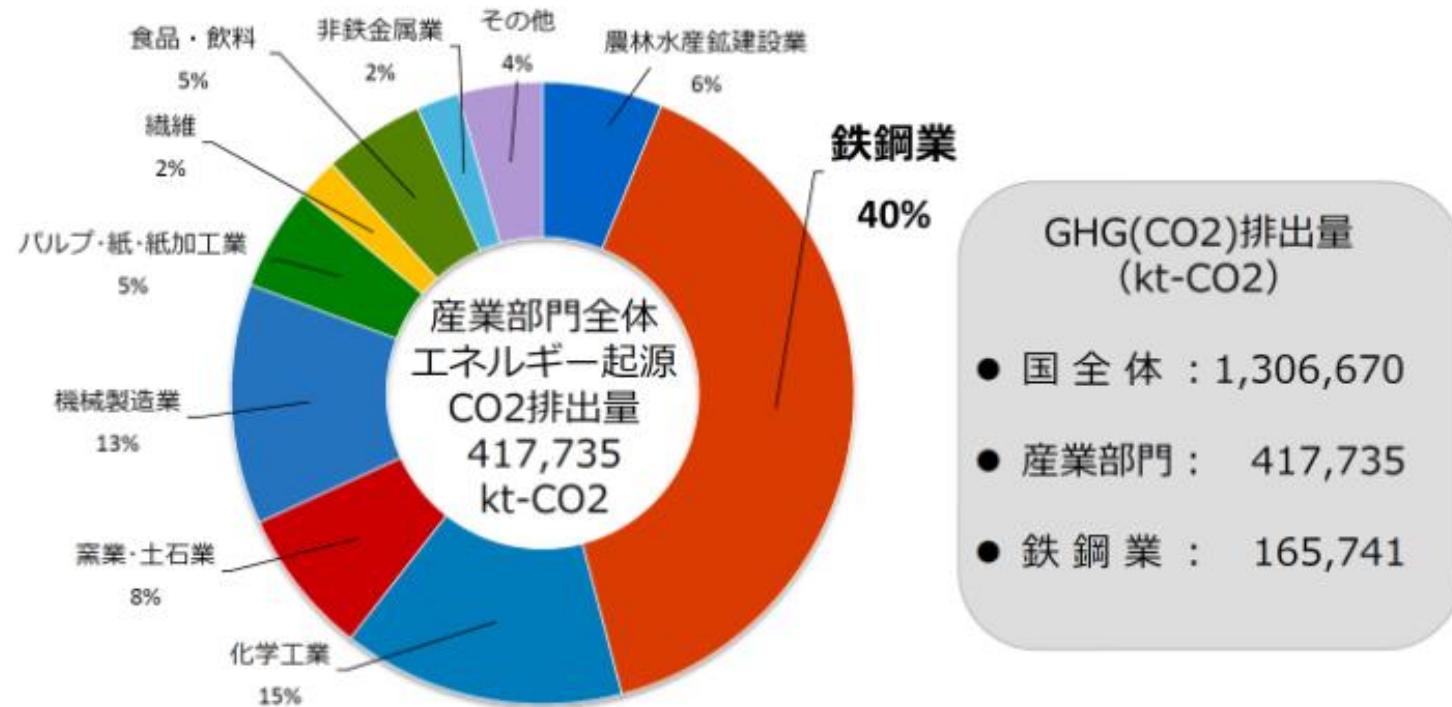


世界のCO₂排出量（2017年）



【図1】日本のCO₂排出量のセクター別内訳（2018年）と世界の国別CO₂排出量（2017年）
(出典: 経済産業省資料)

2. 産業界の直面するCarbon Neutrality (2)

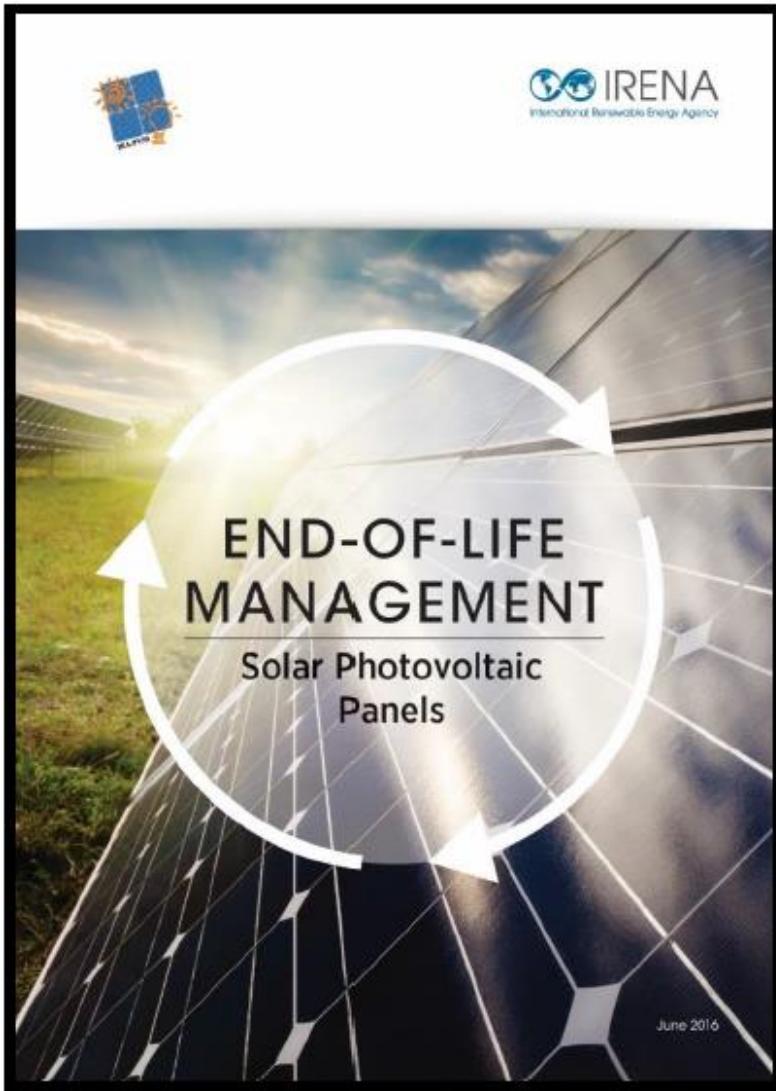


(出典) 国立研究開発法人国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ(2016)」

【図2】日本の産業部門のCO₂排出量の内訳（2016年）（出典：（一社）日本鉄鋼連盟資料）

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

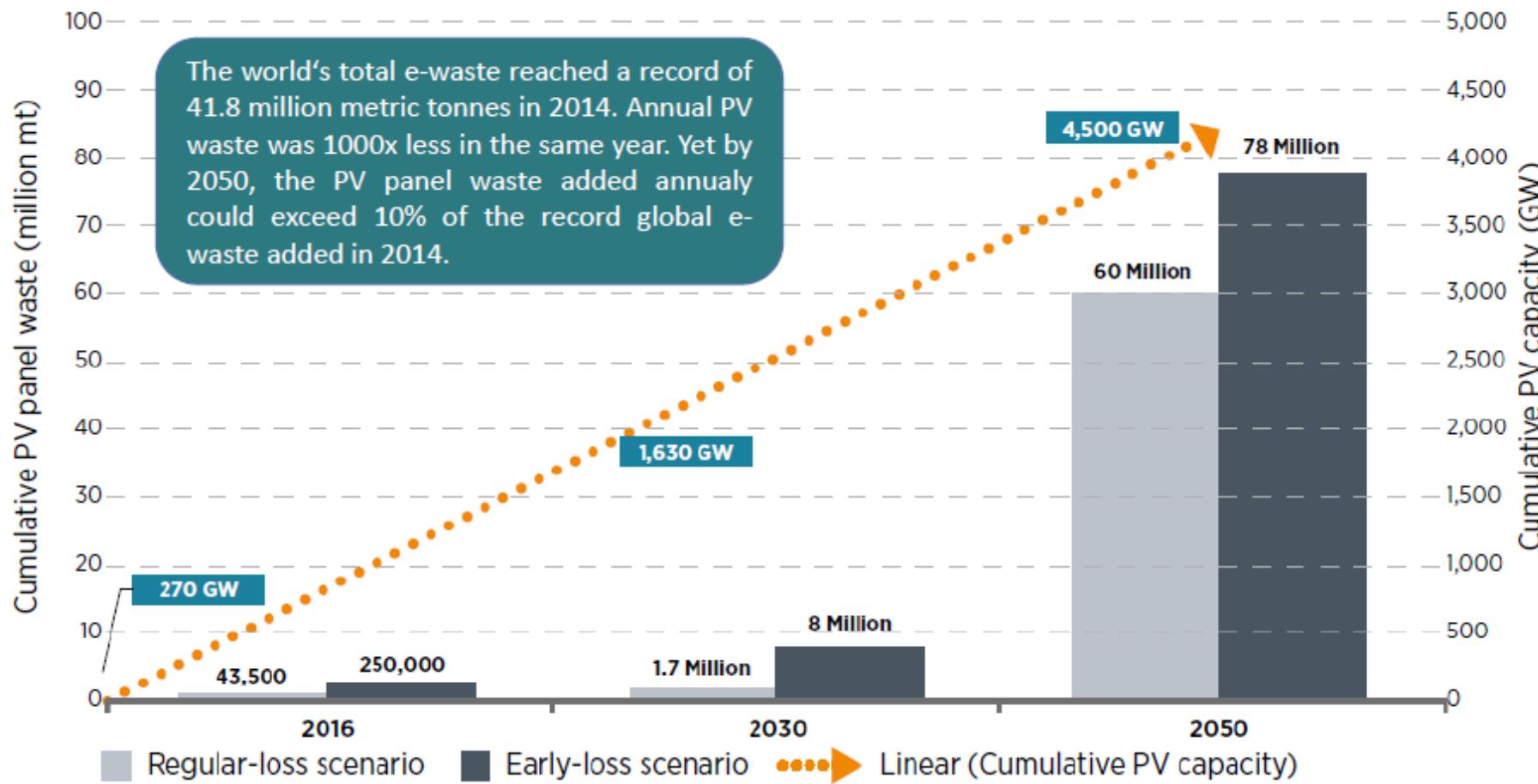
IRENA: Henning Wuester, Rabia Ferroukhi, Nicolas Fichaux, Asiyah Al Ali, Deger Saygin, Salvatore Vinci, Nicholas Wagner

Disposal PV management report by IRENA

IRENA 廃棄PVマネージメントレポート2016



GLOBAL PV PANEL WASTE PROJECTION 2016-2050

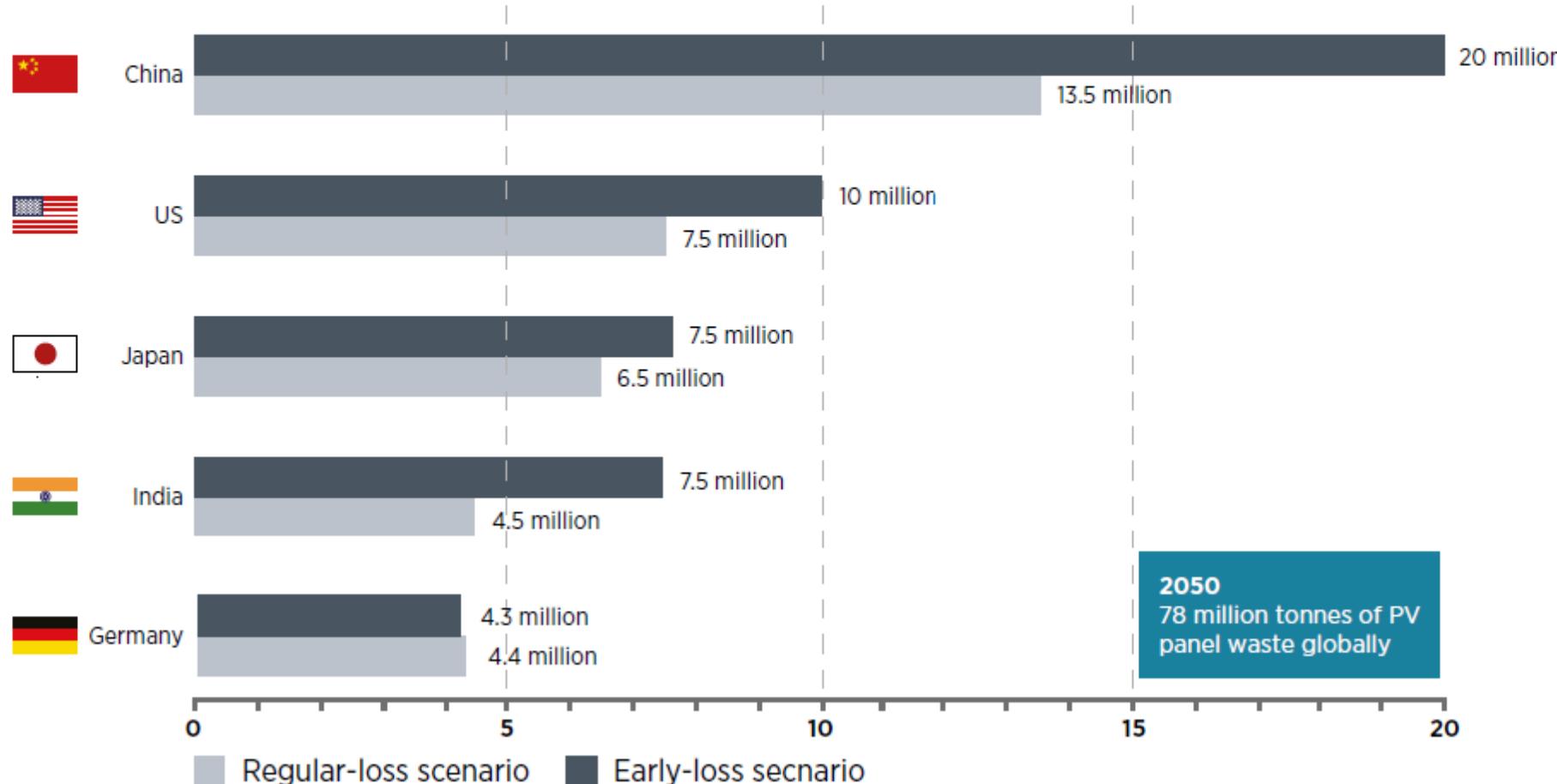


Disposal PV management report by IRENA

IRENA 廃棄PVマネージメントレポート2016



CUMULATIVE PV WASTE: TOP 5 REGIONS 2050

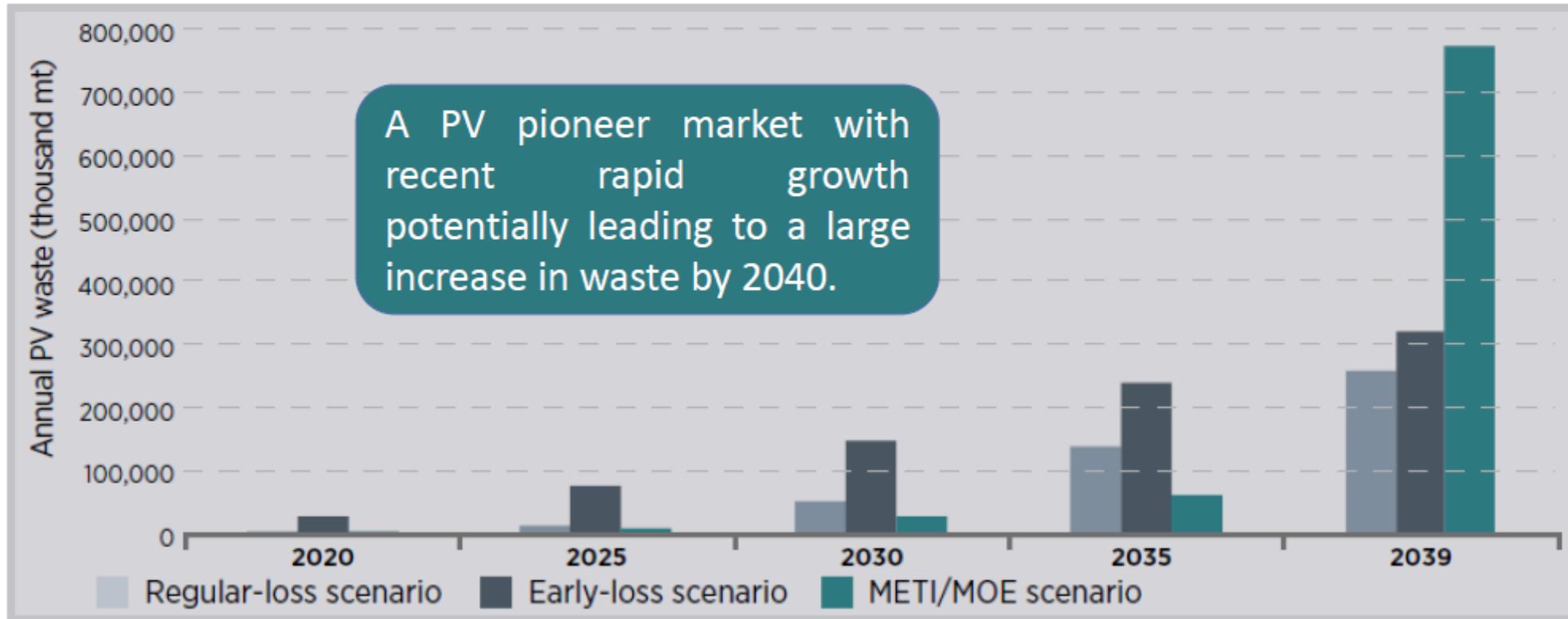


Disposal PV management report by IRENA

IRENA 廃棄PVマネージメントレポート2016



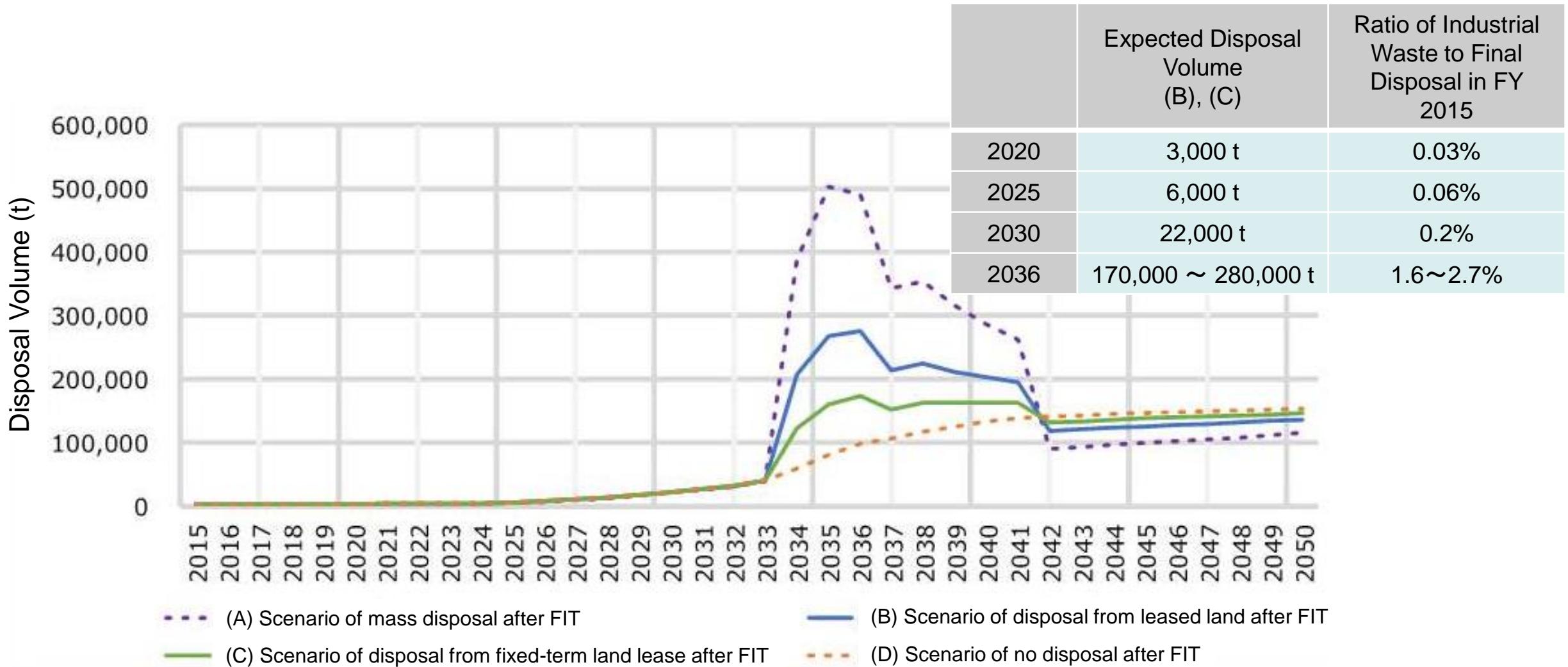
JAPAN –
advanced market without PV
specific waste regulations



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



再生可能エネルギー発電設備の廃棄・リサイクルのあり方に関する検討会について

- 今後排出の増加が見込まれる、太陽光パネルを始めとする再エネ発電設備のリサイクル・適正処理に関する対応の強化に向け、制度的対応も含めた具体的な方策について検討することを目的として、環境省、経産省共同事務局の有識者検討会を立ち上げ、4月以降会議を開催し、検討を実施。
- 今後、論点を整理し年内目途に今後の方向性について結論を得る予定。

| 委員名 | 所属 |
|--------|--|
| 高村 ゆかり | 東京大学 未来ビジョン研究センター 教授 |
| 青木 裕佳子 | (公社)日本消費生活アドバイザー・コンサルタント相談員協会 理事 |
| 飯田 誠 | 東京大学 先端科学技術研究センター 特任准教授 |
| 大関 崇 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所再生可能エネルギー研究センター 太陽光システムチーム 研究チーム長 |
| 大塚 直 | 早稲田大学 法学学術院 教授 |
| 桑原 聰子 | 外苑法律事務所 パートナー弁護士 |
| 神山 智美 | 富山大学 経済学部 経営法学科 教授 |
| 所 千晴 | 早稲田大学 理工学学術院 教授／東京大学大学院 工学系研究科 教授 |
| 村上 進亮 | 東京大学大学院 工学系研究科 教授 |
| 吉田 綾 | 国立研究開発法人 国立環境研究所 主任研究員 |

オブザーバー

山梨県、福岡県、(一社)太陽光発電協会、(一社)日本風力発電協会、(一社)日本小形風力発電協会、(公社)全国解体工事業団体連合会、(公社)全国産業資源循環連合会、ガラス再資源化協議会

Background:

From the 28th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)"



1. COP28

- 「**2030年までに世界の自然エネルギー設備容量を3倍にし、エネルギー効率の改善率を2倍にする**」という**誓約**に**120か国以上が賛同した。**

"By 2030, over 120 countries have pledged to triple the capacity of renewable energy facilities worldwide and to double the rate of energy efficiency improvements

- **日本も岸田総理が現地でのスピーチの中でこの目標への賛同を表明**

"Prime Minister Kishida of Japan has expressed support for this goal in his speech on the international stage."

- **1.5°C目標の実現に自然エネルギー拡大とエネルギー効率化が決定的に重要!世界の共通認識**

"The expansion of renewable energy and the enhancement of energy efficiency are critically vital! This is a global consensus for achieving the 1.5°C target."

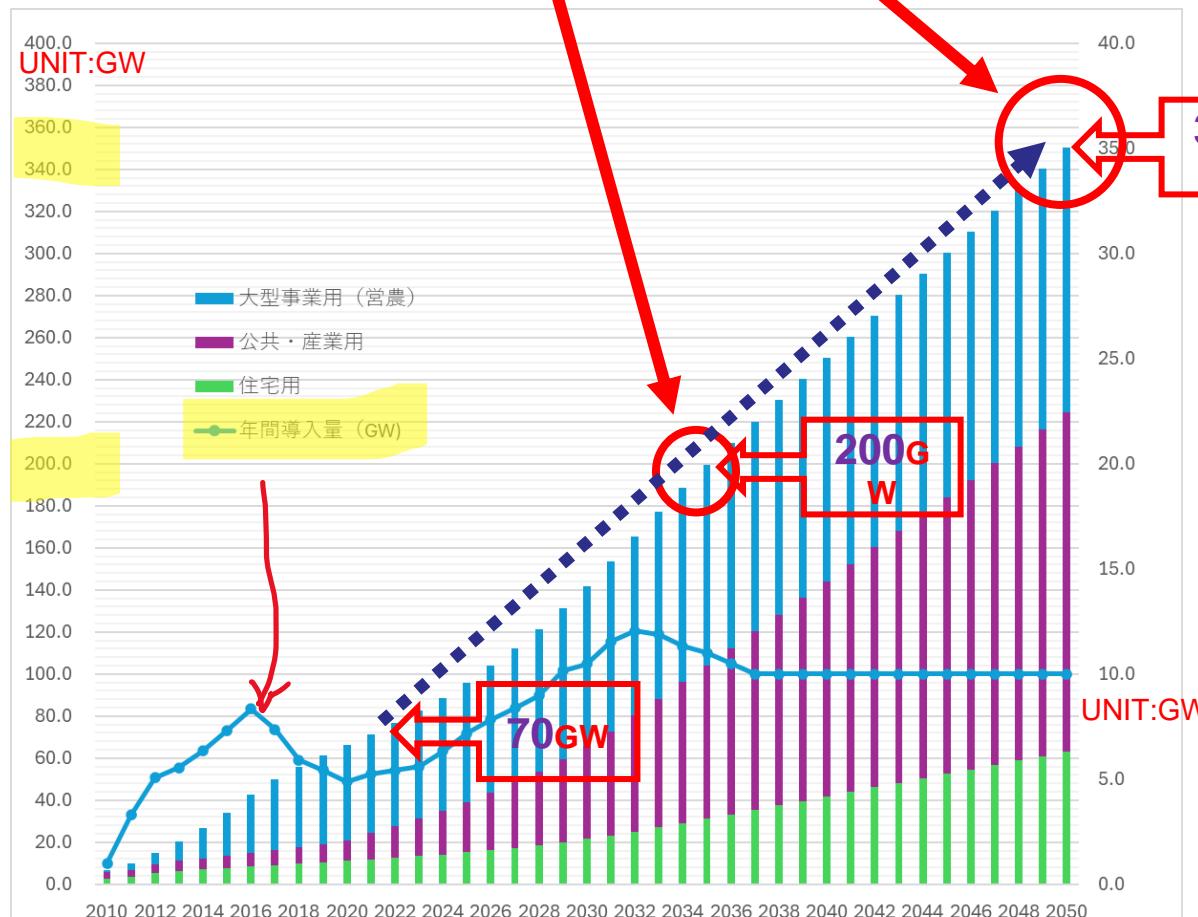
太陽光発電(W/ESS)導入による脱炭素社会実現！

"Realizing a Decarbonized Society through the Adoption of Solar Power Generation (W/ESS)!"

CHANGE IN THINKING
SMART SOLAR

2022年70GW！～2035年200GW！～2050年350GWも可能

Achieving Decarbonized Power of
350GW
脱炭素電力実現350GW



Current installation rate is approximately 6GW/year, with an annual introduction of around 10GW leading to 200GW by 2035 and 350GW by 2050

▶ 現状の導入量6GW/年程度、毎年10GW程度の導入で2035年200GW、2050年350GW

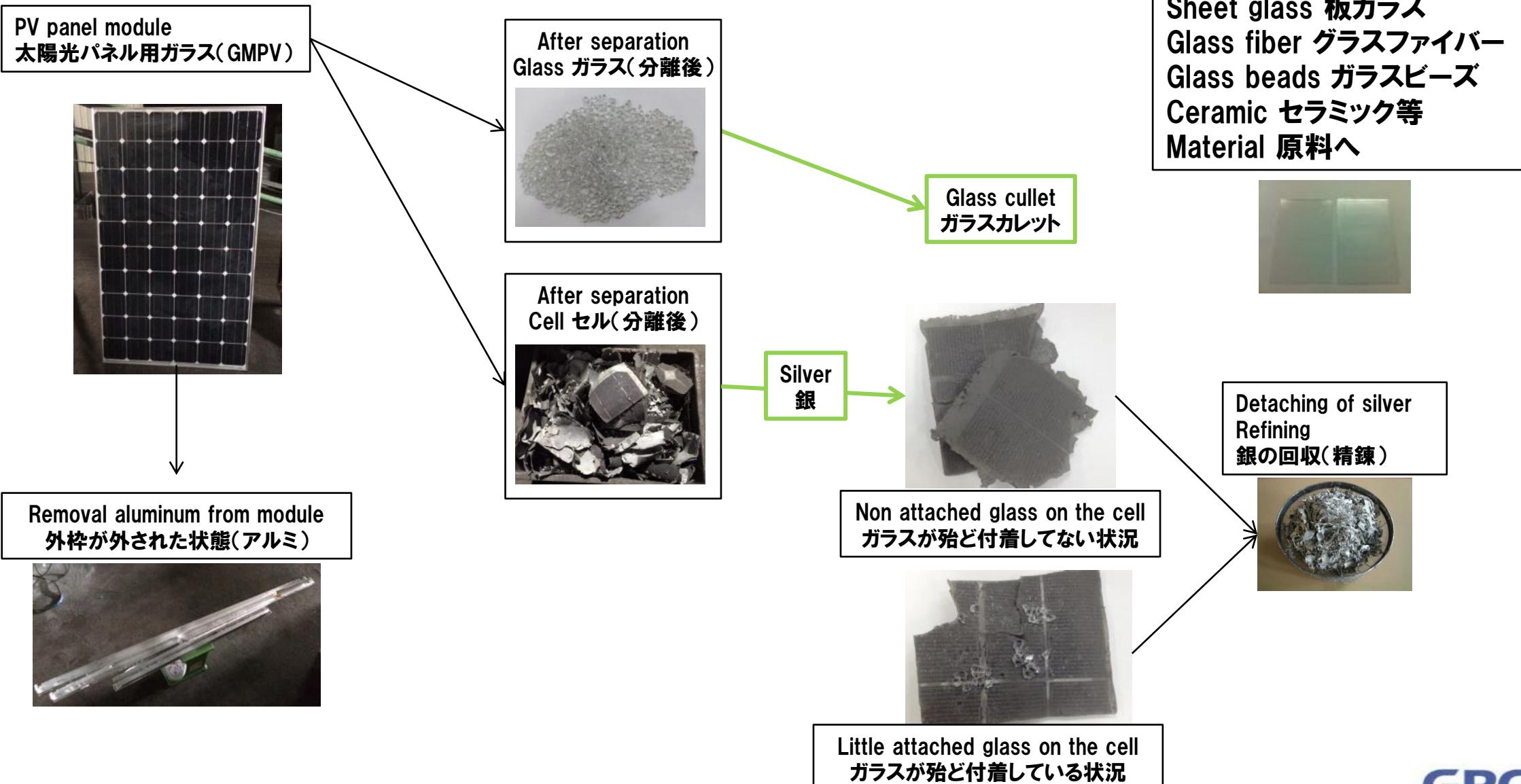
LCOE(均等化発電コスト)=(資本費+運転維持費+社会的費用)/発電電力量(kWh)

LCOE (Levelized Cost of Electricity) = (Capital Costs + Operation and Maintenance Costs + Social Costs) / Electricity Generation (kWh)"

出典:太陽光発電協会 PV OUTLOOK2050 を元にスマートソーラーにて作成

をスマートソーラー社の許可なくコピー及び配布することを禁止します。

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)」

Elution test result according to each modules

結晶系モジュールの部位別溶出試験結果

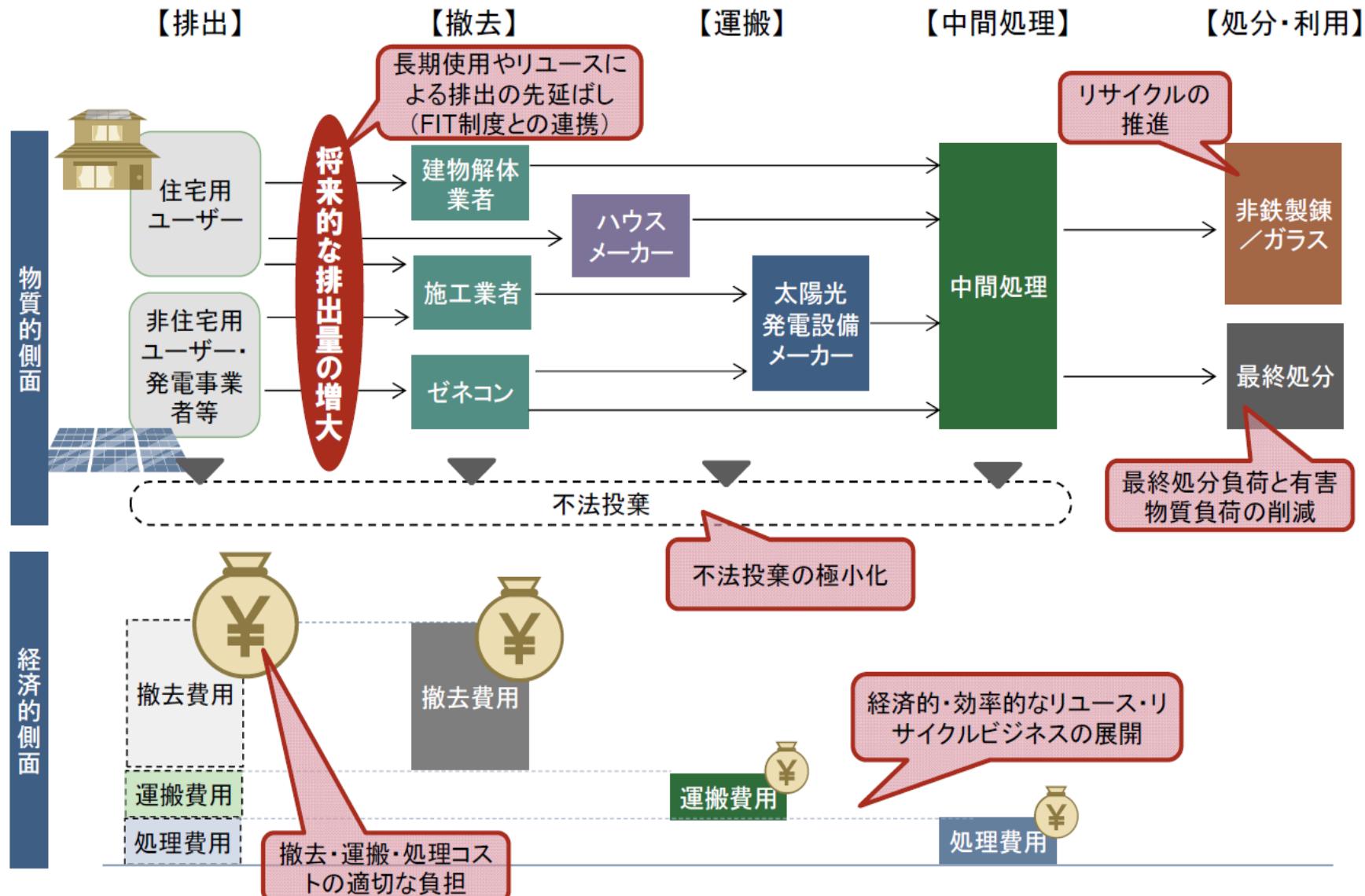
結晶系モジュールで鉛溶出と化合系モジュールでセレン溶出が確認、
溶出試験の結果、溶出の大きい部位を特定した

| 種類 | | メーカー | 製造年 | 分析項目 | モジュール全体 | フレーム | フロントカバーガラス | 電極 | EVA | Si結晶 | バックシート | 端子ボックス | その他 |
|-----|----|------|--------|-----------|-----------|--------|------------|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| 多結晶 | 国内 | G社 | 2012以降 | 重量(kg) | - | 2.8900 | 12.3400 | 0.1400 | 分離不可 | 2.2400 | 0.1300 | 0.3400 | 0.0800 |
| | | | | 構成比 | - | 15.9% | 68.0% | 0.8% | - | 12.3% | 0.7% | 1.9% | 0.4% |
| | | | | p H | 6.5~6.6 | - | 9.2 | 10.1 | - | 7.8 | 7.7 | 7.6 | - |
| | | | | EC (mS/m) | - | - | 2.3 | 8.7 | - | 1.3 | 3.6 | 1.8 | - |
| | | | | Pb (mg/L) | 0.30~0.42 | - | <0.01 | 500 | - | <0.01 | <0.01 | <0.01 | - |
| 多結晶 | 海外 | I社 | 2012 | 重量(kg) | - | 2.4500 | 11.9700 | 0.1400 | 分離不可 | 2.2500 | 0.1300 | 0.3400 | 0.6500 |
| | | | | 構成比 | - | 13.7% | 66.8% | 0.8% | - | 12.5% | 0.7% | 1.9% | 3.6% |
| | | | | p H | 6.6~6.6 | - | 9.3 | 10.3 | - | 7.4 | 8.2 | 7.5 | - |
| | | | | EC (mS/m) | - | - | 2.6 | 9.3 | - | 1.5 | 3.1 | 1.2 | - |
| | | | | Pb (mg/L) | 0.29~0.44 | - | <0.01 | 570 | - | <0.01 | <0.01 | <0.01 | - |
| 多結晶 | 海外 | K社 | 2013 | 重量(kg) | - | 3.4600 | 12.4700 | 0.1600 | 分離不可 | 2.1400 | 0.3500 | 0.3300 | 0.1400 |
| | | | | 構成比 | - | 18.2% | 65.5% | 0.8% | - | 11.2% | 1.8% | 1.7% | 0.7% |
| | | | | p H | 6.5~6.7 | - | 9.6 | 9.9 | - | 7.4 | 8.1 | 7.5 | - |
| | | | | EC (mS/m) | - | - | 3.4 | 8.1 | - | 1.0 | 2.7 | 1.4 | - |
| | | | | Pb (mg/L) | 0.20~0.90 | - | <0.01 | 470 | - | <0.01 | <0.01 | 0.01 | - |

| 種類 | メーカー | モジュール全体 | フレーム | フロントカバーガラス | 電極 | EVA | CIS/CIGS化合物 | 基板ガラス | バックシート・その他 |
|-----|------|---------|----------|------------|----|------|-------------|-------|------------|
| CIS | 国内 | D社 | | 分離不可 | | 分離不可 | | 分離不可 | |
| | | | pH | 9.8 | - | - | 9.1 | - | 9.9 |
| | | | EC(mS/m) | 2.1 | - | - | 6.1 | - | 1.9 |
| | | | Se(mg/L) | 0.04 | - | - | <0.01 | - | 0.06 |

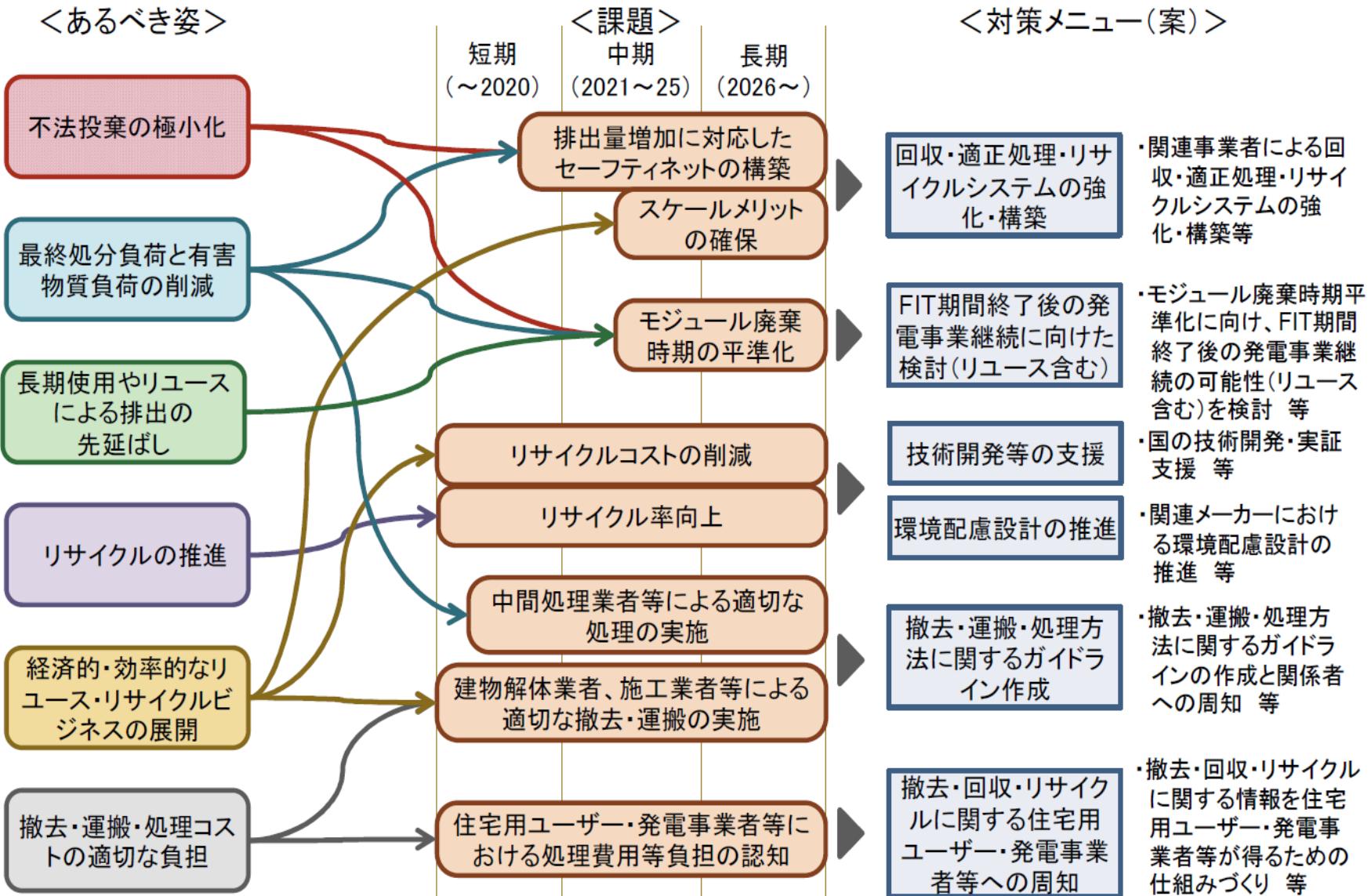
Ideal situation on Removal, Transport ,Treatment in PV systems

太陽発電設備の撤去・運搬・処理のあるべき姿



Ideal situation on Removal , Transport ,Treatment in PV systems

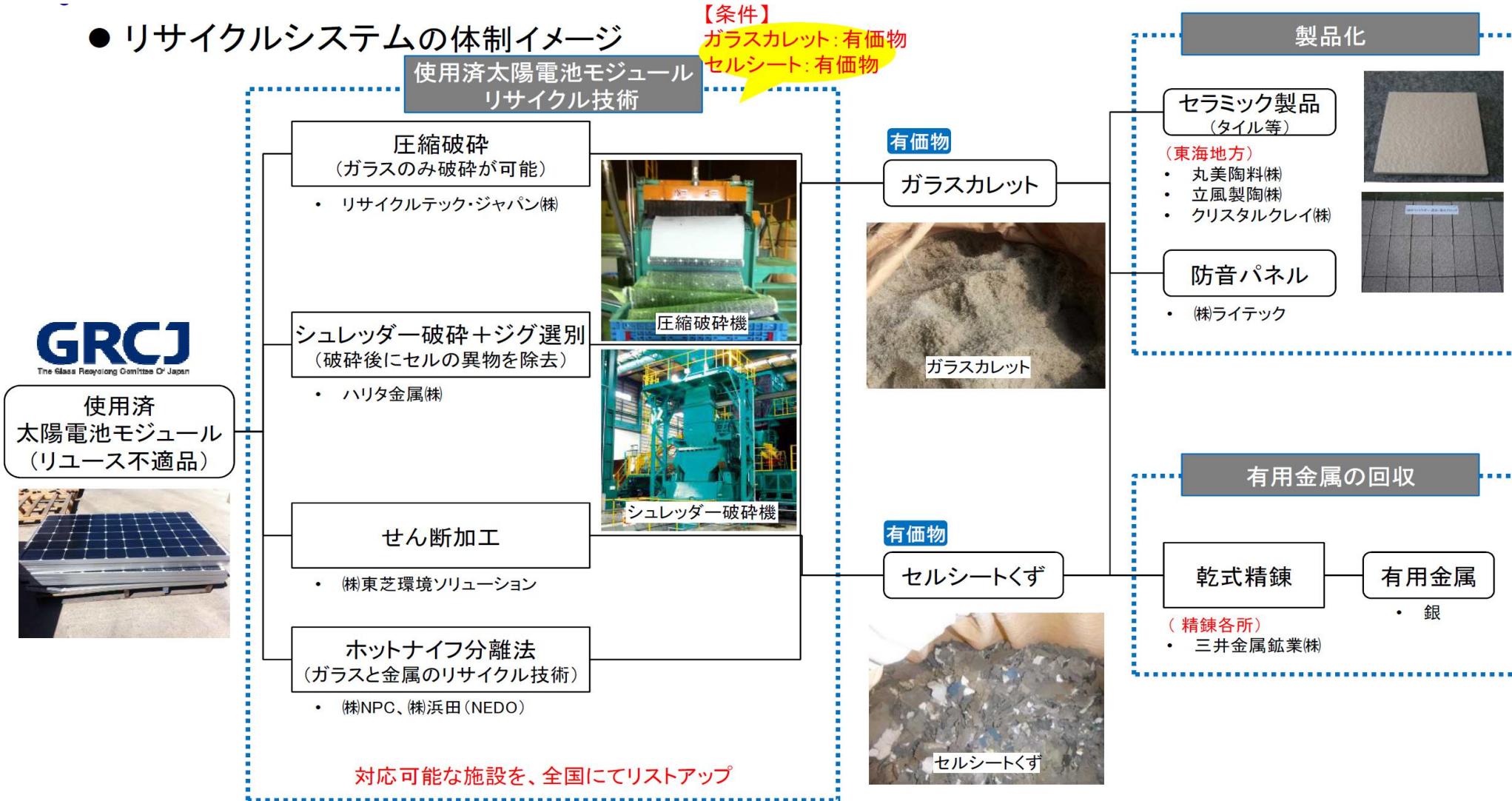
太陽発電設備の撤去・運搬・処理のあるべき姿



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

Study for establishment of a nationwide recycling system 全国リサイクルシステムの構築に向けた検討

● リサイクルシステムの体制イメージ



Processing by PV Recycling Hammer

Disposed PV Panels



Removing Aluminum Frames



Pre-Heating



Removing Glass



Junction Boxes Aluminum Frames



Glass



Cell Sheets

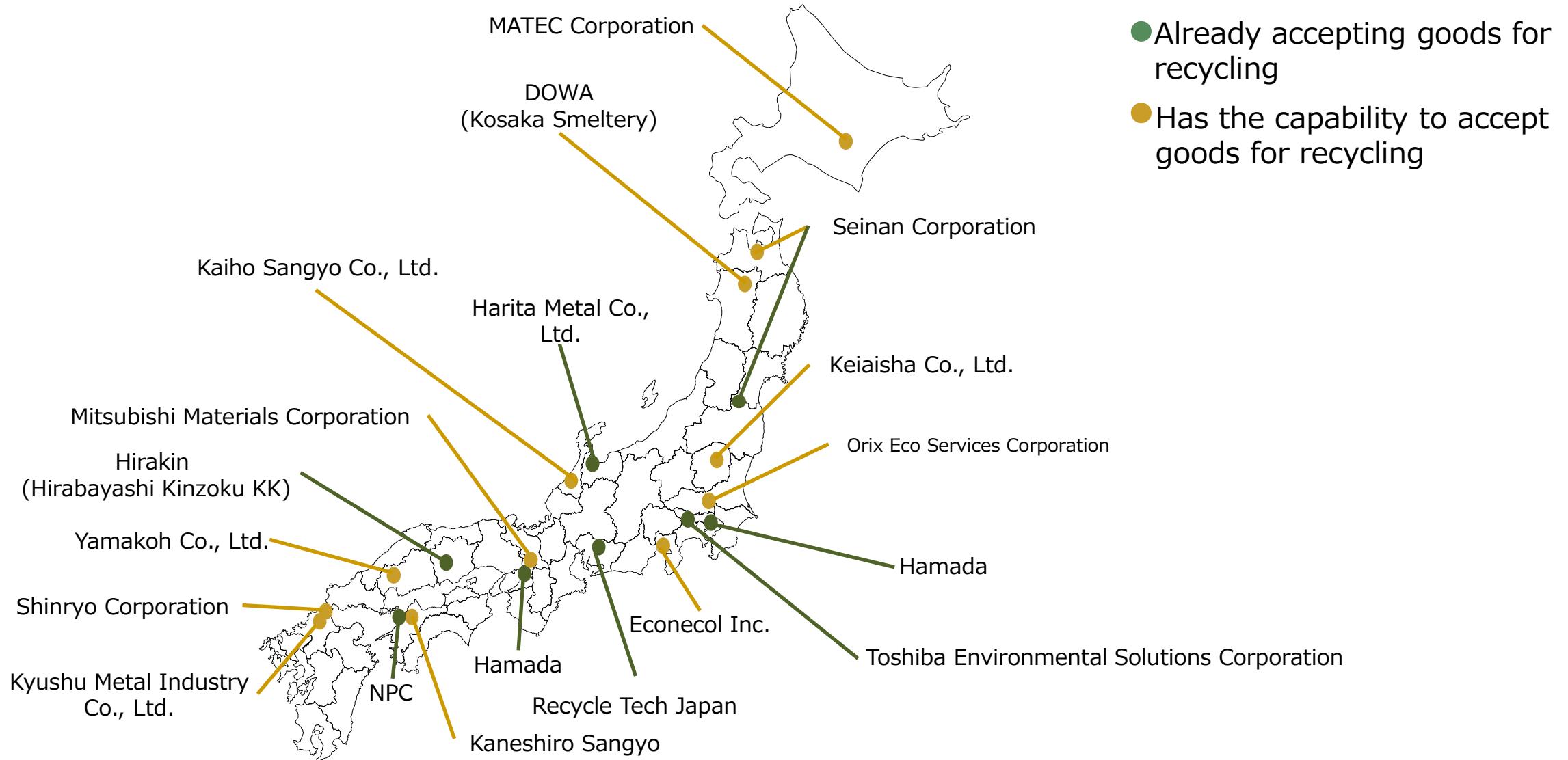
Scrap Recycling Companies
Metal Recycling Companies

Used as materials for;
Glass fiber, Insulation material, Foam glass,
Ceramic clay Recycled aggregates for
concrete pavers, blocks, etc.

Smelting Companies Rare Metal
Recycling Companies

Facilities capable of recycling photovoltaic cell modules (GRCJ GReAT6)

○ The facilities that are currently able to recycle photovoltaic cell modules as determined by the Glass Recycling Committee of Japan (GRCJ) are as follows.



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

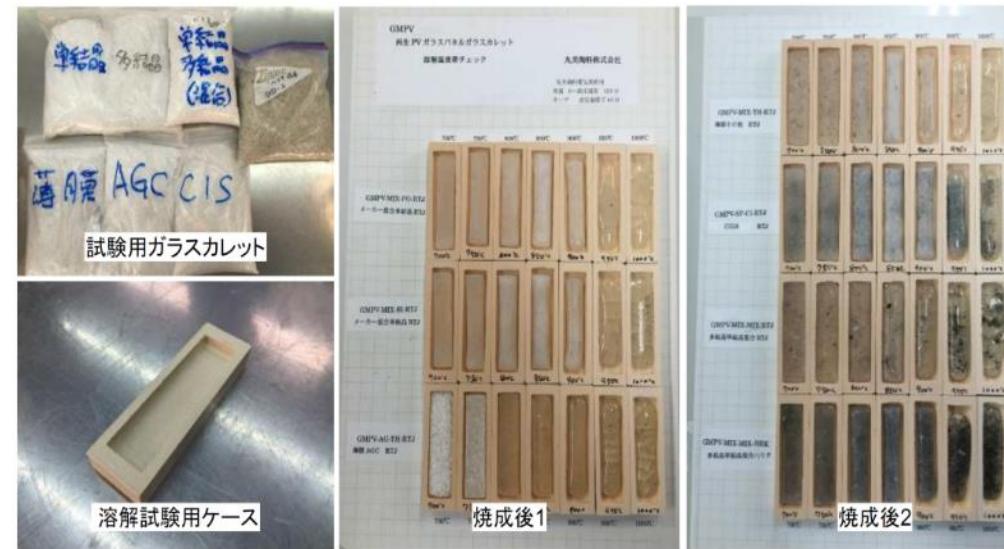
| | |
|------------|--------------------|
| 3mmガラスカレット | ①多結晶(メーカー混合) |
| | ②単結晶(メーカー混合) |
| | ③-1薄膜(アルミナ系) |
| | ③-2薄膜(その他) |
| | ④CIS/CIGS系(メーカー混合) |
| | ①②-1単結晶・多結晶(混合) |
| | ①②-2単結晶・多結晶(混合) |

➤ 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

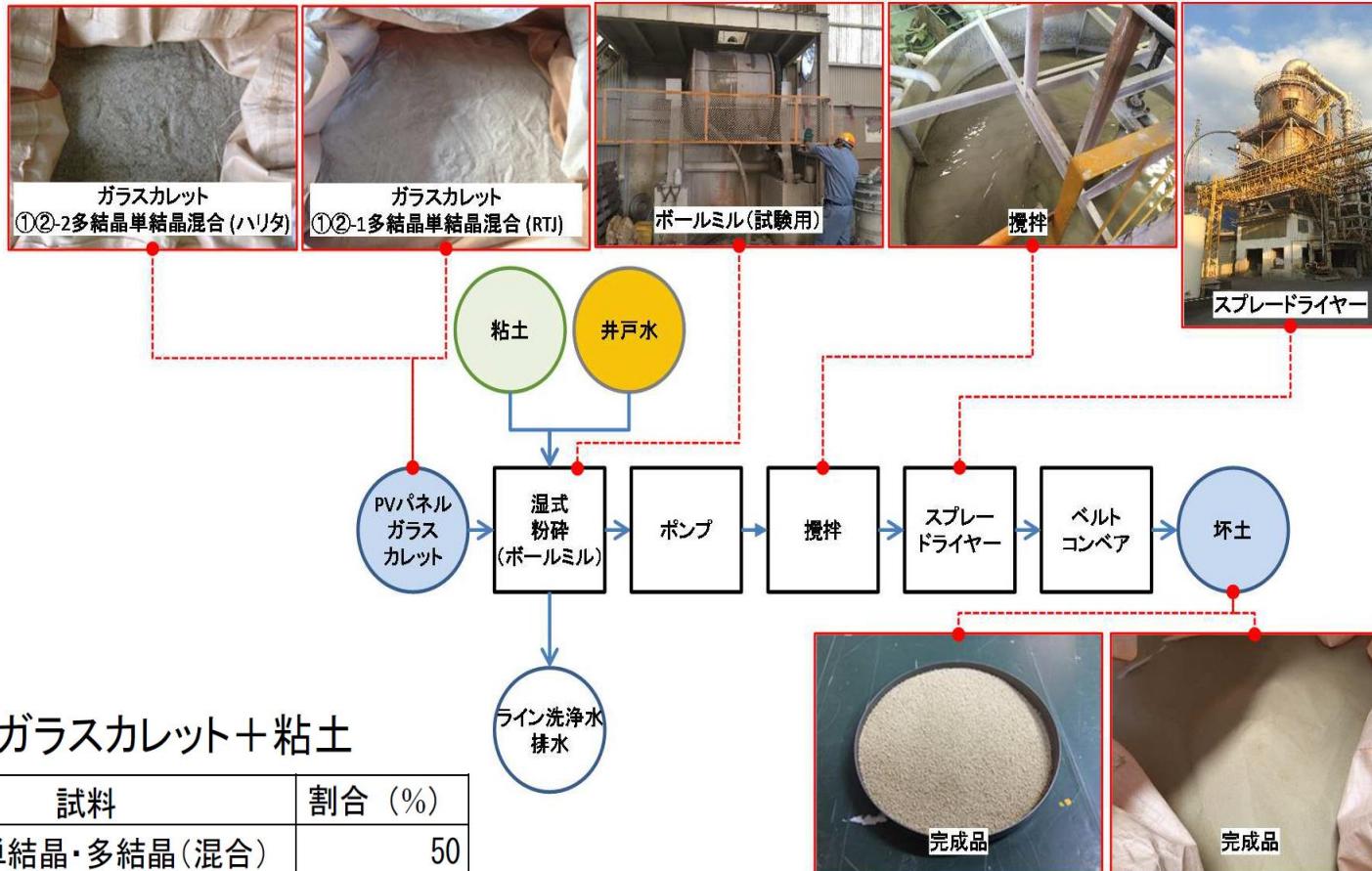
- 溶解温度帯が高い順に④>③-1,③-2>その他となった。
- 焼成前には目立たなかった異物が、加熱温度によっては焼成後に広がり目立つようになった。
- 850°Cから明らかに角が丸くなり、収縮したため、焼成後の収縮を考慮して温度と焼成時間を設定する必要がある。



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。



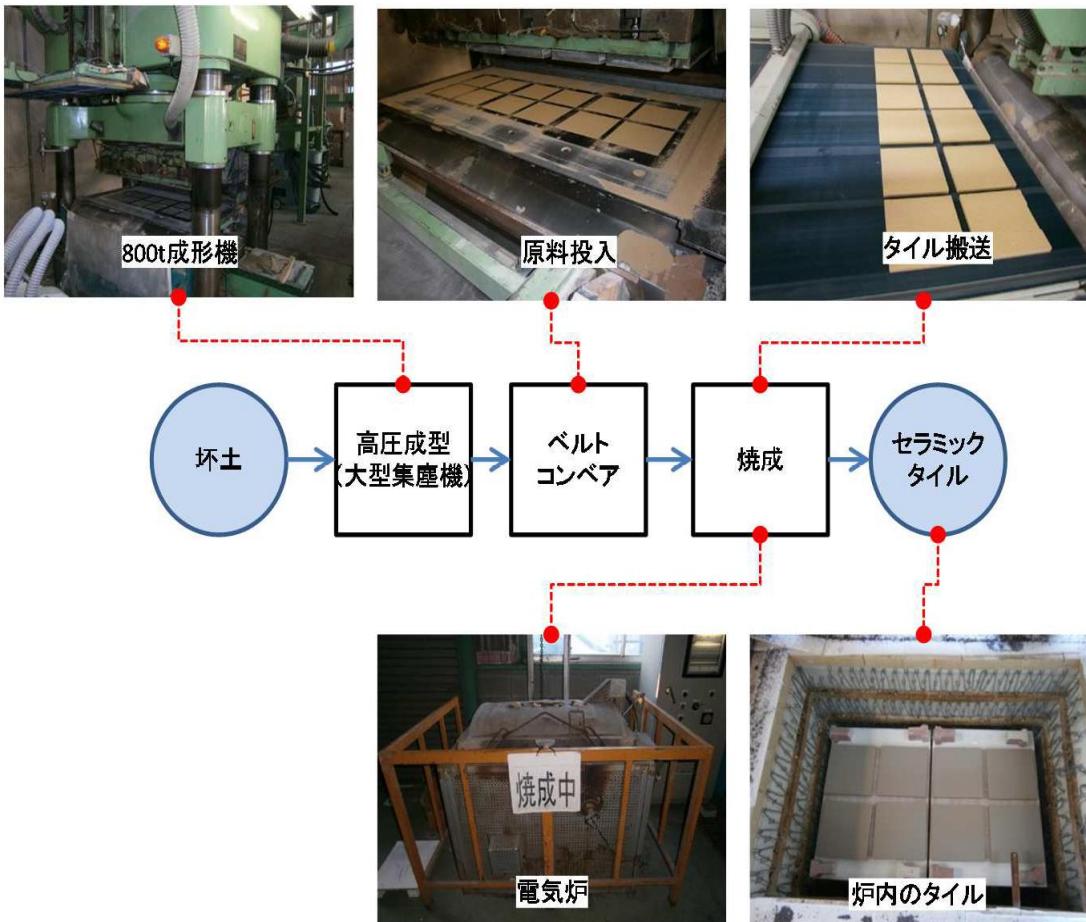
➤ 原材料: ガラスカレット + 粘土

| 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)



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

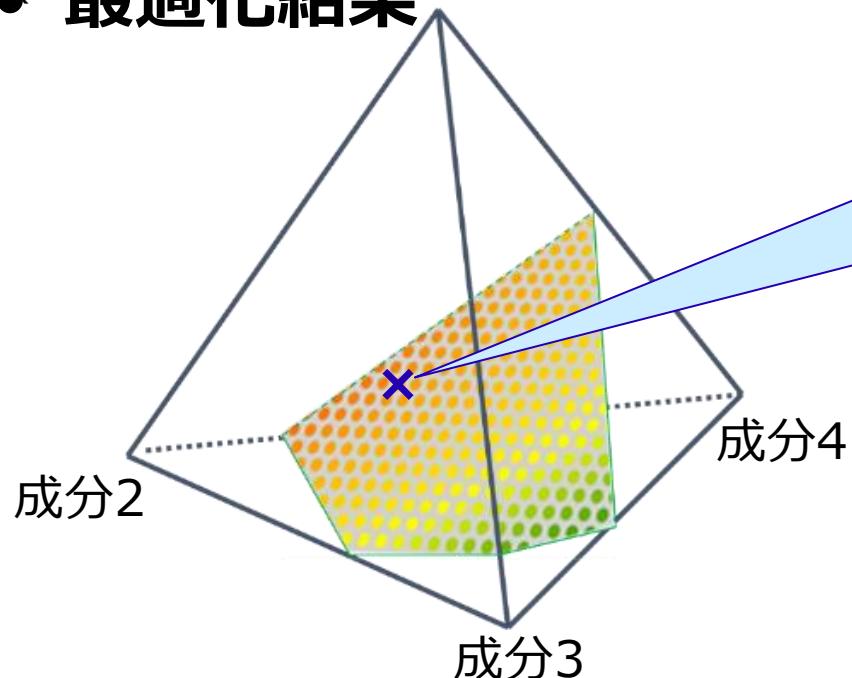
| | GML | GMA/GMV | GMPV | GMFI | GMB | GME | |
|---------------------------|------------------------------------|--|--|--------------------------------|---|---|--|
| | Liquid crystal 液晶 | Architectural and Vehicle 建設・自動車 | Photovoltaic 太陽電池 | Fiber 繊維ガラス | Bottole びん | Electron tube ブラウン管 | |
| | | | | | | 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

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) : SiO₂, B₂O₃, Na₂O, Al₂O₃
 - 入力データ数(混合組成と物性値) : 865個 (INTERGLAD)

図 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 ₂ | B ₂ O ₃ | Na ₂ O | Al ₂ O ₃ |
|------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| 81.6 | 14.7 | 2.6 | 1.1 |

(wt%)

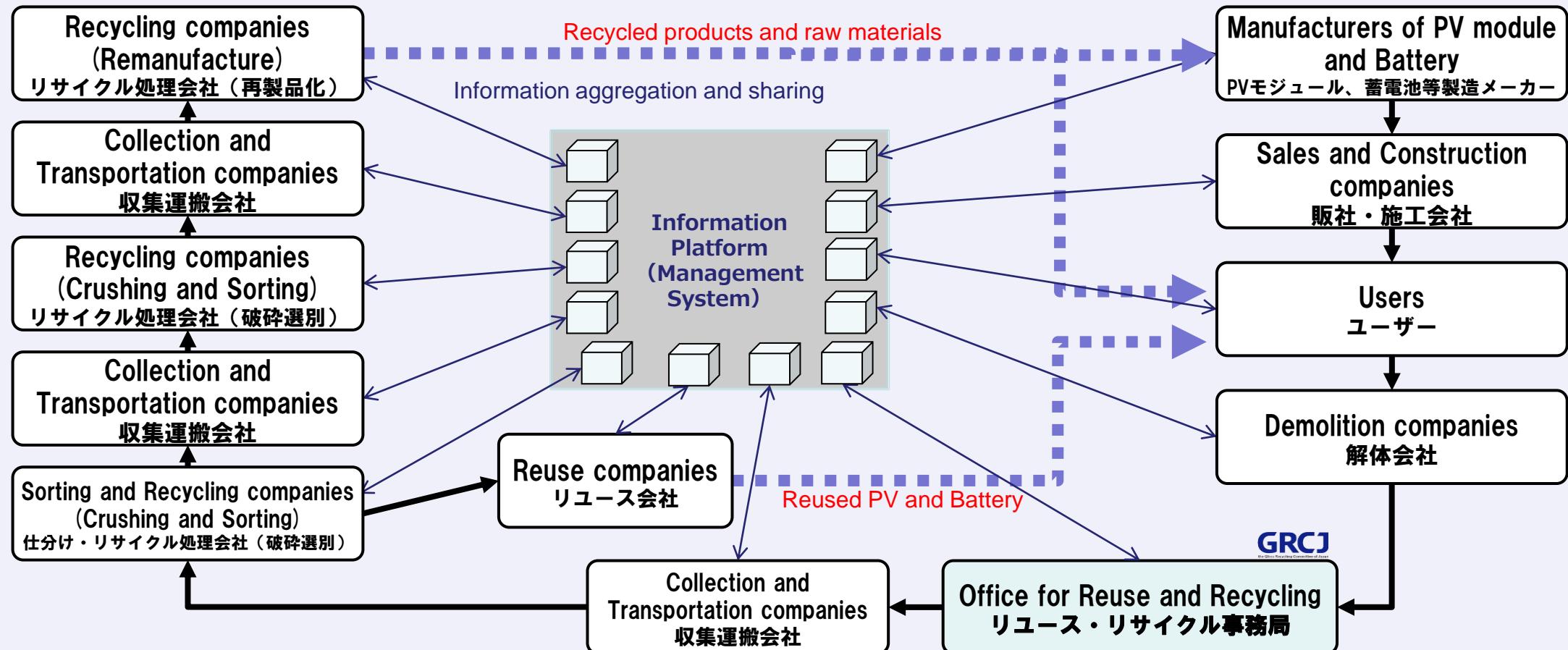
複数の要求特性に対して、
膨大な組み合わせ候補の中から
最適な混合組成を探索できる

Overall optimum of aiming GReAT DX project

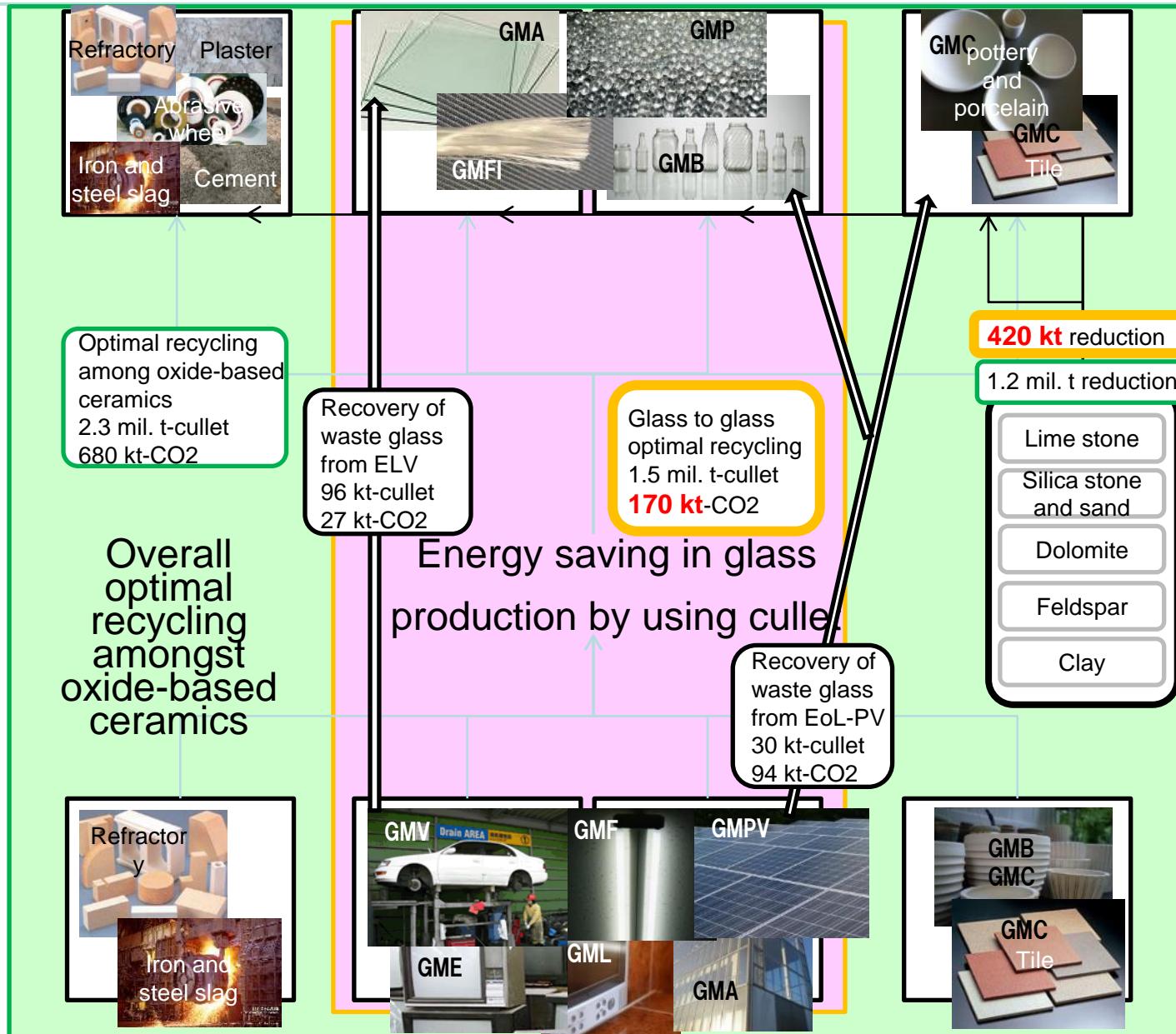
GReAT DX プロジェクトの目指す全体最適

< Image of an information platform >

Consortium



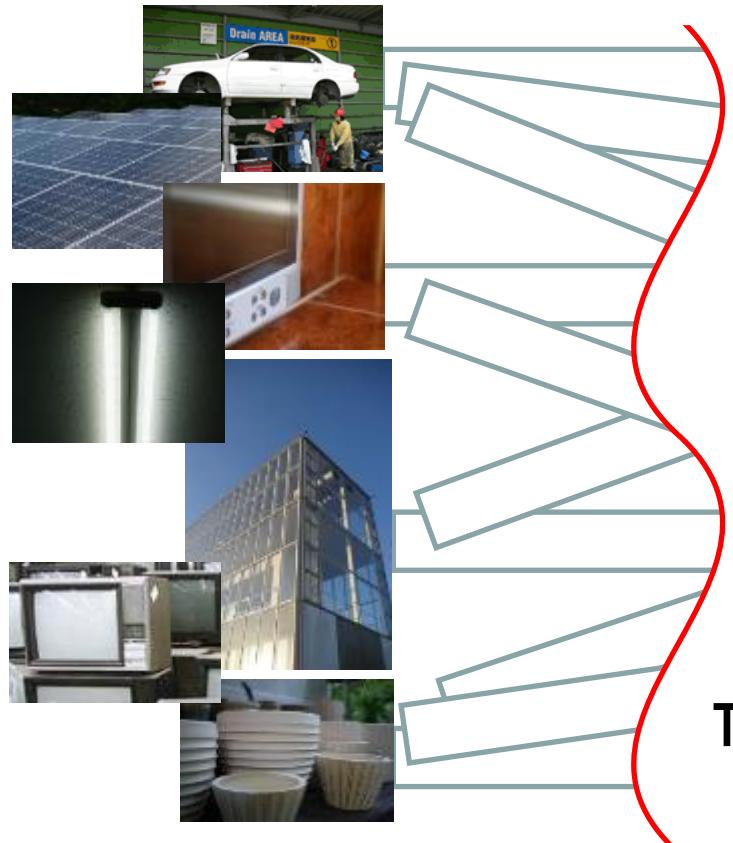
Recycling of glass cullet should be considered within family materials (glasses and other oxide-based ceramics)



- 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

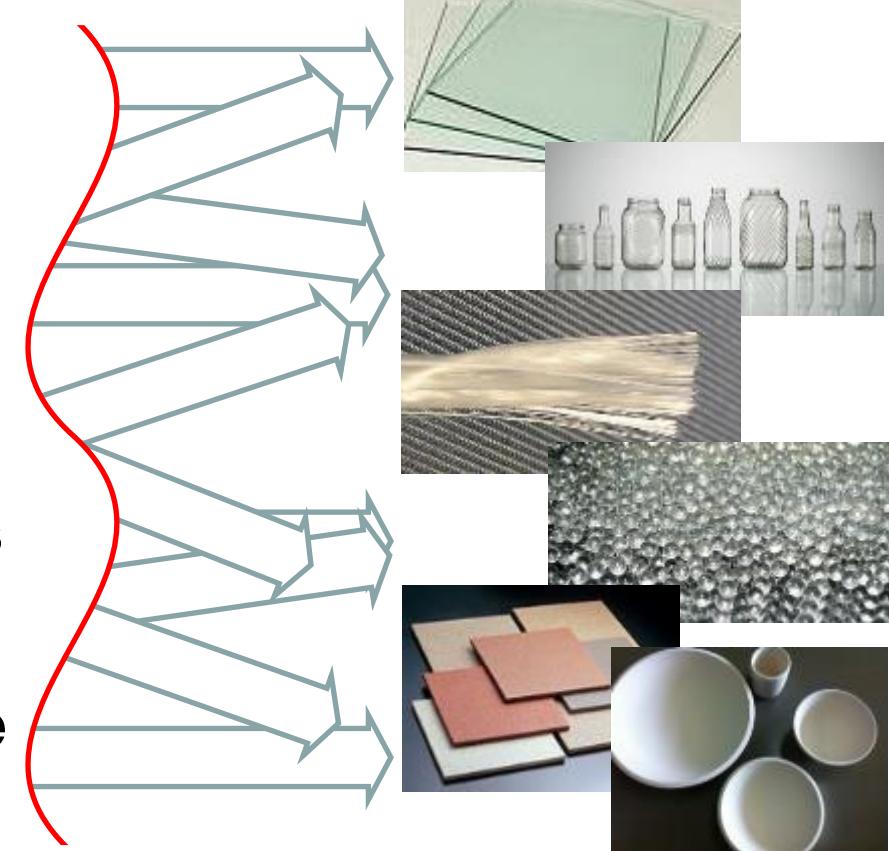


Supply-Demand
balance
需給量

Composition·Color
成分・色

Impurity contents
不純物濃度

Transportation distance
輸送距離

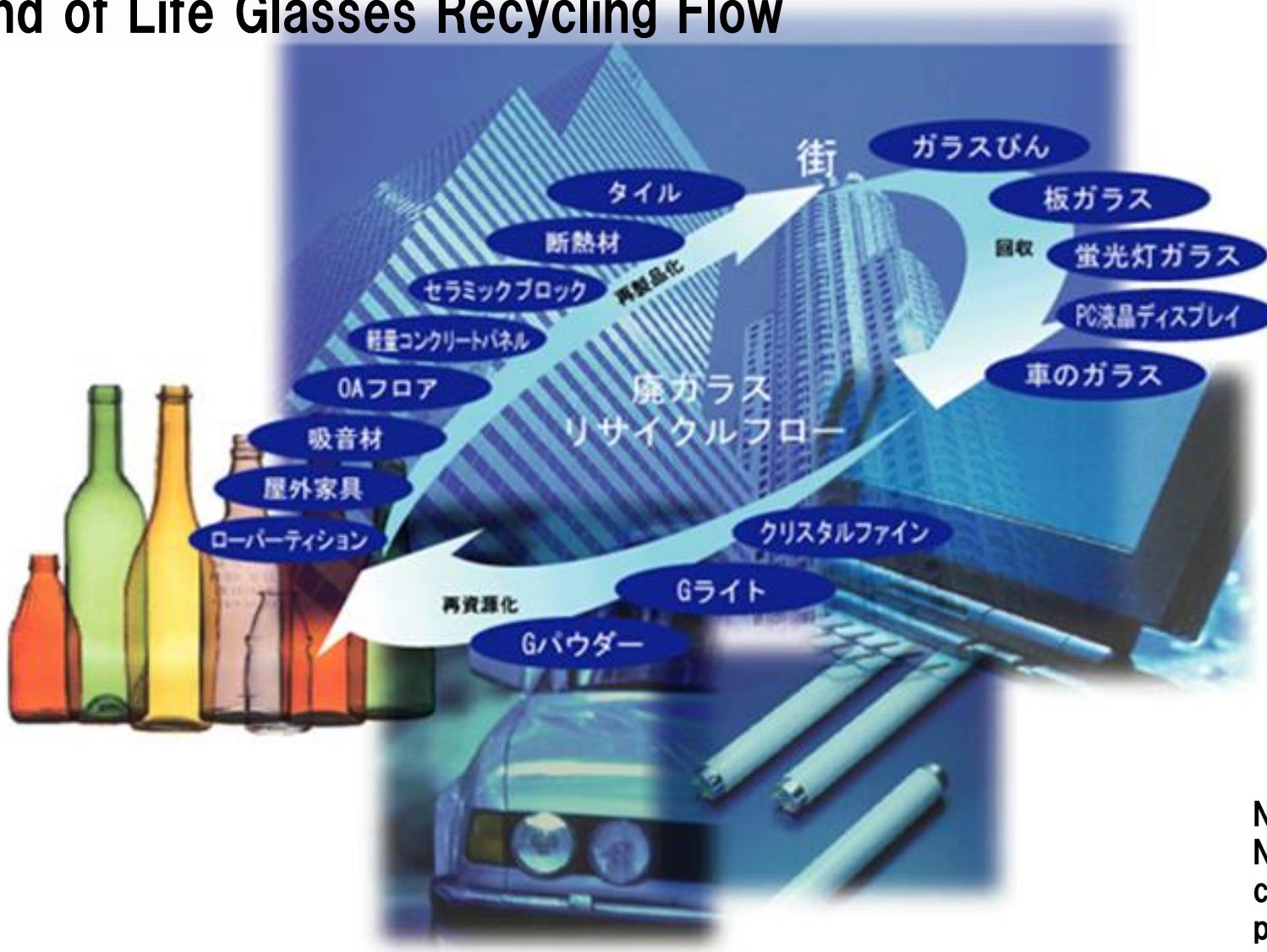


Oxide-based ceramics like almost same glass composition are included in the overall optimum evaluation
ガラスに組成(SiO₂-CaO系セラミック)の類似した酸化物系セラミック類も全体最適の評価対象内に含める

[Sustainability] Design for Resource Circular Economy

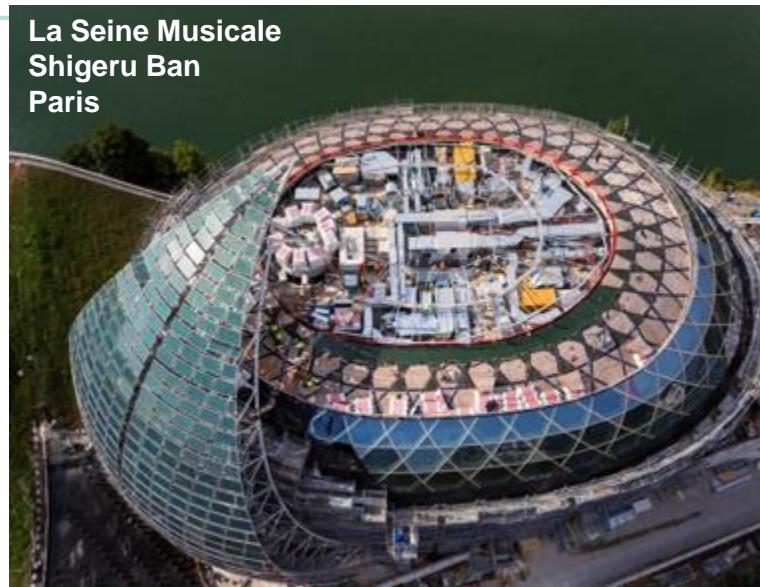
「サステイナビリティ」リサイクル産業システムをデザイン

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

**Thank you
有難うございます**

GRCJ renewed homepages as follows:

ガラス再資源化協議会(GRCJ)のホームページをリニューアルしました

<http://www.grcj.jp/index.html>