
Glass Recycling Advanced Technology GReATプロジェクト平成27年度活動報告

『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』

平成27年度低炭素型3R技術・システム実証事業

～ガラス再資源化システムの 設計・評価と大転換～

東京大学大学院 准教授 醍醐市朗

様々なガラス

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	
	液晶	建設・自動車	太陽電池	繊維ガラス	びん	ブラウン管	
						パネル	ファンネル
ガラス種類	アルミノ ホウケイ酸	ソーダ石灰	ソーダ石灰/ アルミノ珪酸	ソーダ石灰	ソーダ石灰	バリウム・ ストロンチウム	鉛
特徴	化学的耐久性	光透過性	光透過性	光透過性	色調管理	X-線吸収性	より高い X-線吸収性
軟化点℃	~850	720~740	720~850	720~740	720~740	690~715	655~675
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
色調	クリア	GMA:クリーン、クリア GMV:クリーン、 ギャラクシー	クリア	クリア 混色	クリア、ブラウン、 ブルー、グリーン、 他多種多様	クリア	

ガラス材質に適合したリサイクル方法を選択

ガラス



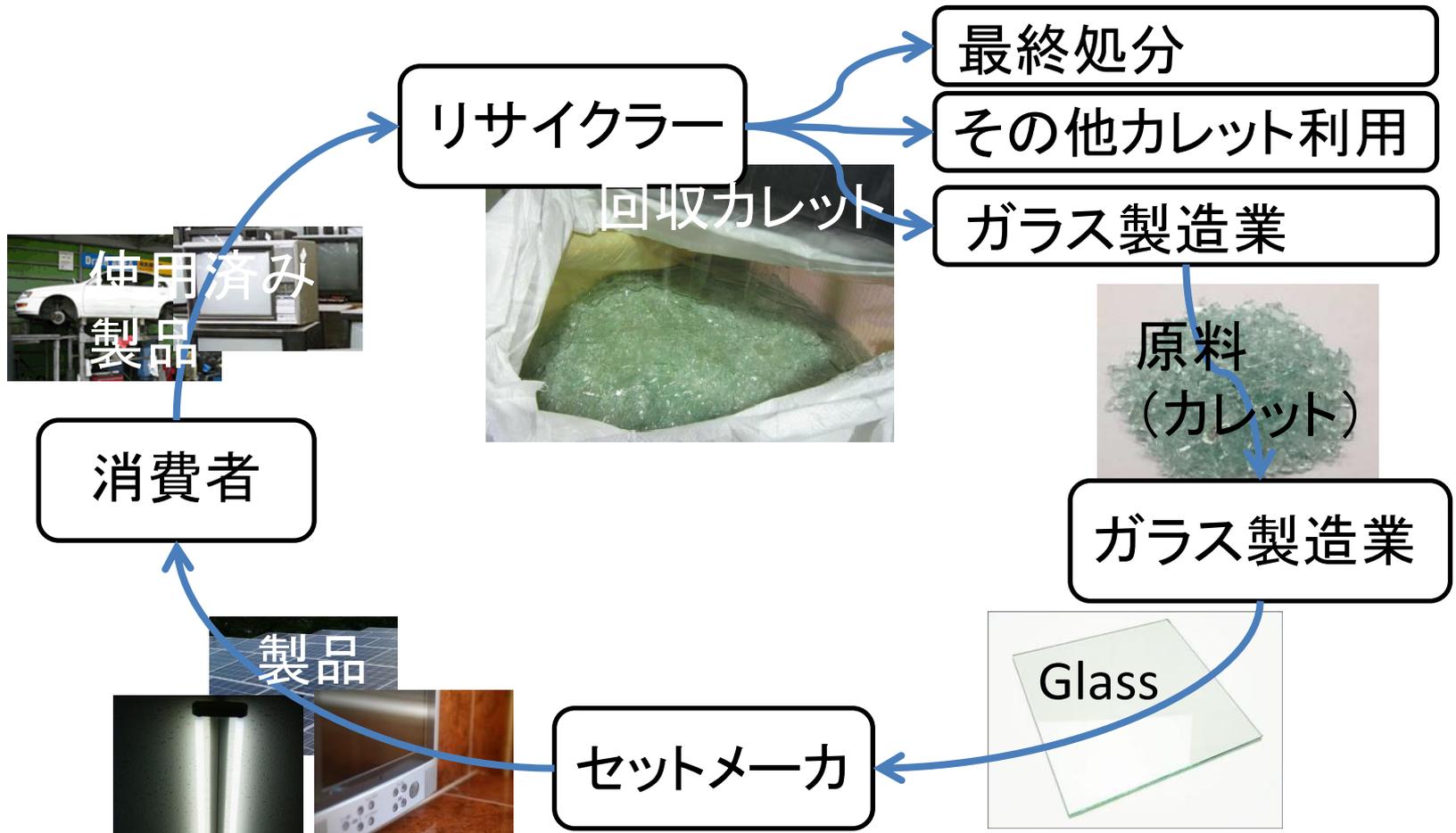
原料
石灰石
珪砂・珪石
ドロマイト
長石
粘土



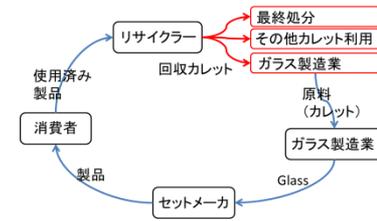
不純物に対する許容が小さい ⇒ 制約

- 光透過性
- 脆性破壊

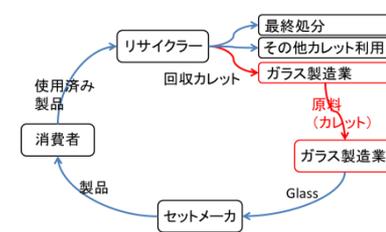
ガラスのライフサイクル



要求品位とリサイクル



自動車用板ガラスの許容品質



混入してはいけないガラス

濃色ガラス(可視光線透過率70%未満)

自動車窓ガラス用以外のガラス(ヘッドランプ、ビン等)

UVカットガラス

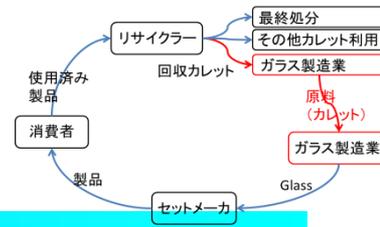


不純物の混入基準

不純物の種類	大きさ	許容量
①合わせガラスの中間膜、フィルム、紙、スッテカー、ゴム、プラスチック、糊、木片等の有機物、有機化合物(但し、金属が蒸着、ラミネートされているものを除く)	≥10 mm	無いこと
	<10 mm	≤20 ppm
②石、砂、セラミックス、セメント、等	≥0.5 mm	無いこと
	<0.5 mm	≤10 ppm
③鉄くず(ステンレス鋼等、ニッケルを含む特殊鋼を除く)	≥1 mm	無いこと
	<1 mm	≤10 ppm
④アルミニウム、非鉄金属、ニッケル化合物	全て	無いこと

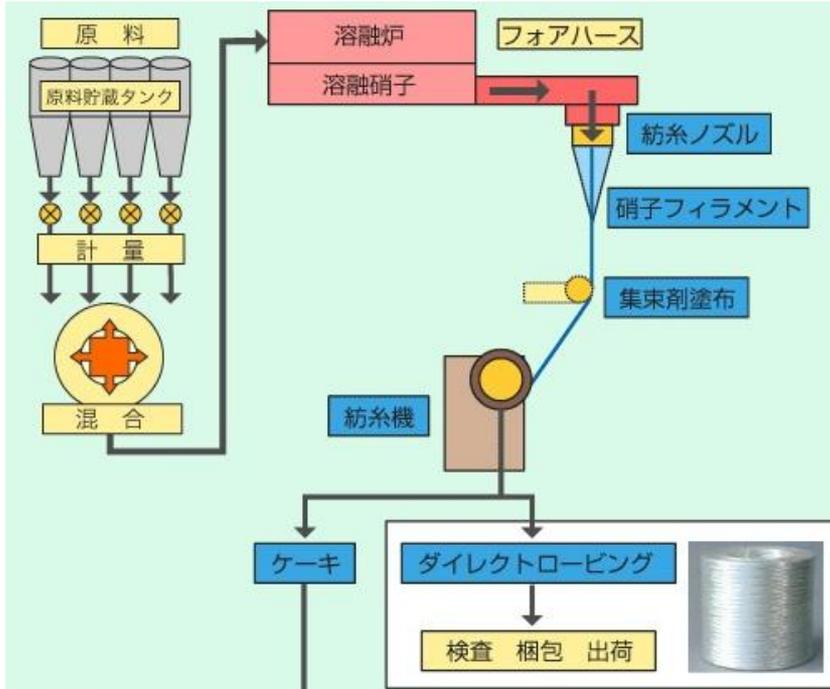
2006年 ガラスリサイクルワークショップ 旭硝子 環境室 資料より

ガラス繊維

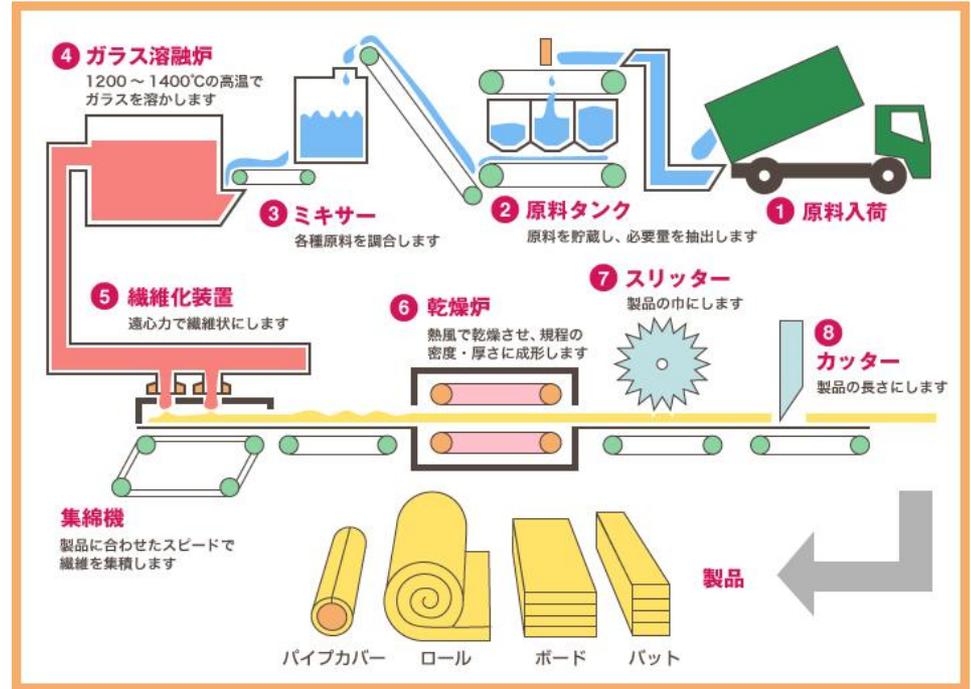


融点と粘度を阻害する組成の不純物

金属等の不純物

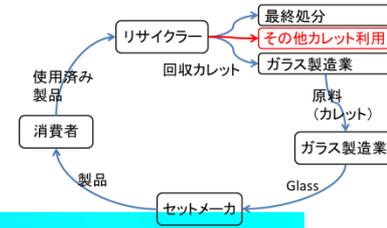


日東紡績(株)



硝子繊維協会

タイル



原材料



湿式

乾式

素材加工



素材加工



粉碎・混合し、原料を調製する

成形



成形



乾燥



施釉



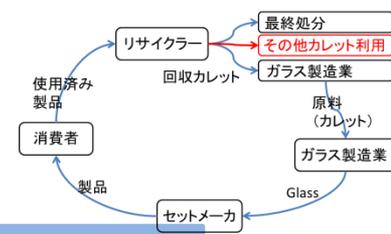
焼結



調整を阻害する不純物

出典：ニッタイ工業株式会社、株式会社LIXIL

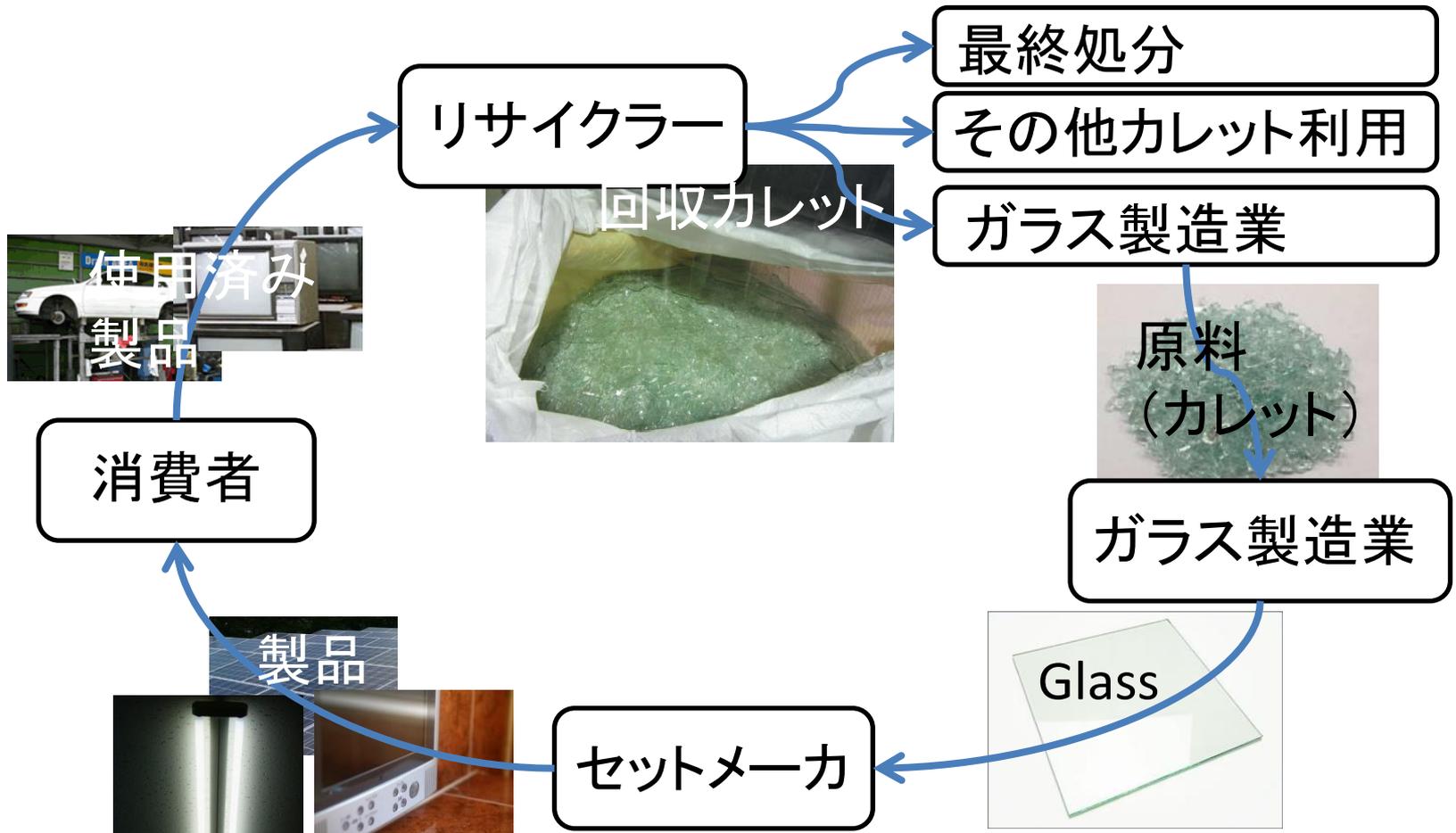
要求品位とリサイクル



成分制約
の少ない
新素材の
開発

成分制約の
少ない新しい
用途の開拓

様々なリサイクル可能性



	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	B ₂ O ₃	その他
GMB(透明)	72.5	1.8	0.03	11.2	0.1				
GMB(茶色)	72.6	2.0	0.26	10.5	0.1				
GMB(その他)	71.1	1.5	0.5	11.5	0.3				
GMA	70.0	1.7	0.1	11.0	0.0	1.5	12.0	0.0	0.4
GMV	70.0	1.7	0.1	11.0	0.0	1.5	12.0	0.0	0.4
GMF	72.7	3.1	0.12	11.2	0.2				
使用済み 製品	68.6	16.4	0.95	11.2	0.2				
珪砂	99.8	0.04	0.01	0.05	0.05	0	0	0	0
粘土	75.2	14.5	0.23	0.2	0.2	6.08	3.3	0	0
陶器	65.4	30.2	0.2	0.2	0.2	0	0.26	0	0
ガラス	79.4	12.0	0.1	11.2	0.1	0	0.23	0	0
原料 (カレット)	77.7	2.0	0.1	11.2	0.1	0	0.49	0	0
ガラス製造業	77.7	2.0	0.1	11.2	0.1	0	0.49	0	0
ガラス製造業	77.7	2.0	0.1	11.2	0.1	0	0.49	0	0
ガラス製造業	77.7	2.0	0.1	11.2	0.1	0	0.49	0	0
滑石	65.9	0.00	0.07	0.44	33.5	0	0.0	0	0
珪藻土	83.8	10.8	2.3	1.24	0.77	0.45	0.42	0	0
パーライ	76.5	13.7	1.0	0.66	0.13	4.0	3.88	0	0
ソーダ灰	0	0	0	0	0	0	100	0	0
ほう砂	0	0	0	0	0	0	30.8	69.2	0
ほう酸	0	0	0	0	0	0	0	100	0

リサイクラー

最終処分

その他カレット利用

ガラス製造業

回収カレット

大転換

消費者

ガラス製造業

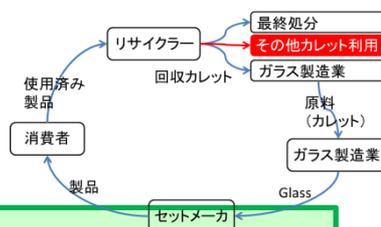
製品

セットメーカー

ガラスの主要8成分

大転換

酸化物系セラミックス



ガラス

GMV

GMPV

GML

GMF

GMA

GME

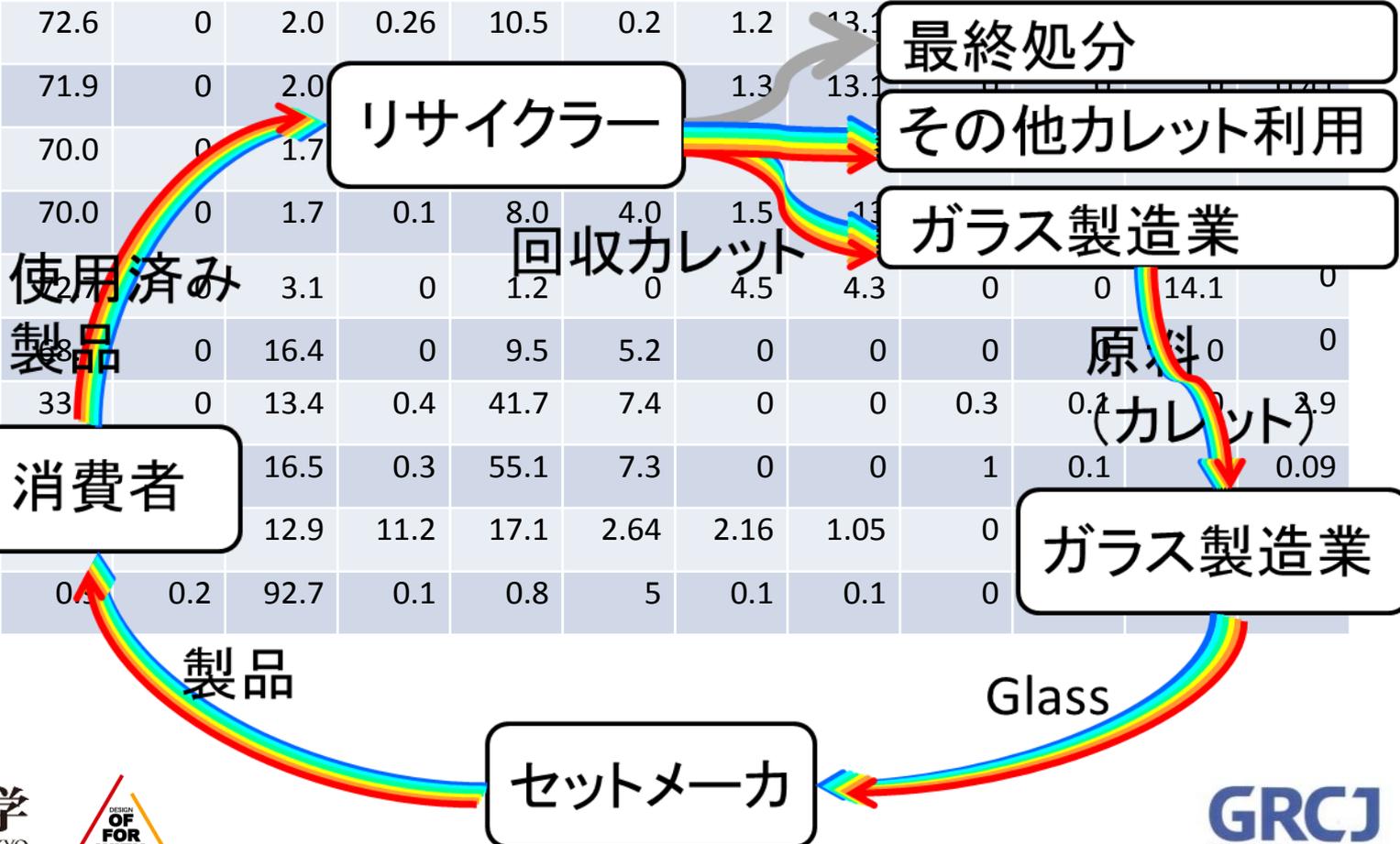
GMB
GMC

- 原料
- 石灰石
 - 硅砂・硅石
 - ドロマイト
 - 長石
 - 粘土

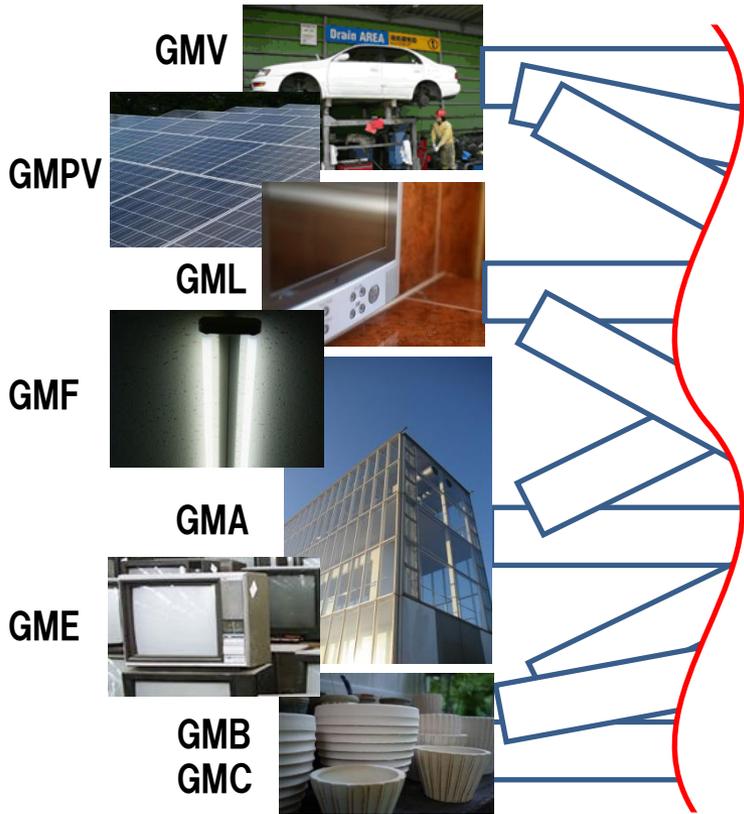
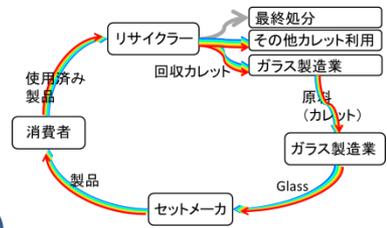


酸化物系セラミックスの主要11成分

	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	その他
GMB(透明)	72.5	0	1.8	0.03	11.2	0.1	0.8	13.1	0	0	0	0.18
GMB(茶色)	72.6	0	2.0	0.26	10.5	0.2	1.2	13.1				
GMB(その他)	71.9	0	2.0				1.3	13.1				
GMA	70.0	0	1.7									
GMV	70.0	0	1.7	0.1	8.0	4.0	1.5	11.1				
GMF	使用済み製品		3.1	0	1.2	0	4.5	4.3	0	0	14.1	0
GML	製品	0	16.4	0	9.5	5.2	0	0	0	0	0	0
高炉スラグ	33	0	13.4	0.4	41.7	7.4	0	0	0.3	0.1	0.1	3.9
電気炉還元スラグ			16.5	0.3	55.1	7.3	0	0	1	0.1	0.1	0.09
汚泥熔融スラグ			12.9	11.2	17.1	2.64	2.16	1.05	0			
アルミナ質耐火物	0	0.2	92.7	0.1	0.8	5	0.1	0.1	0			



GReATプロジェクトの目指す全体最適

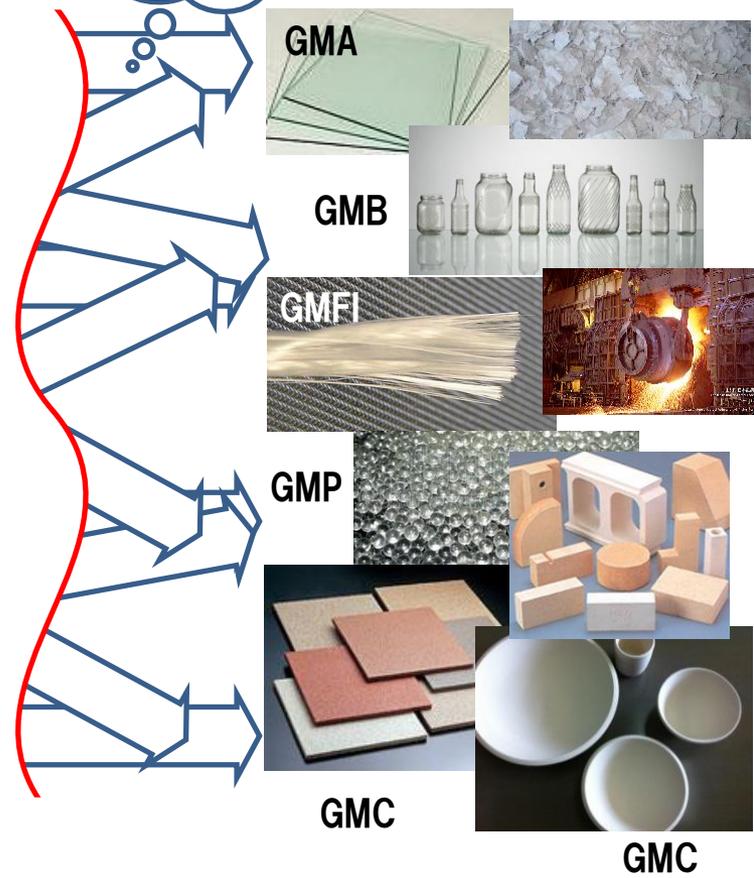


成分・色

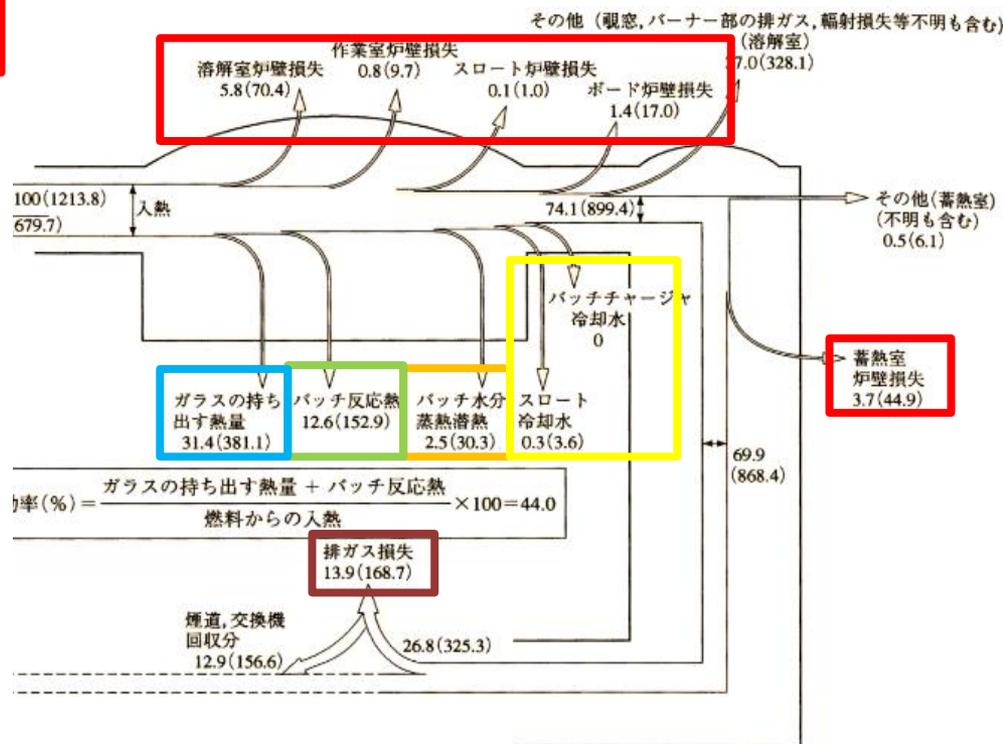
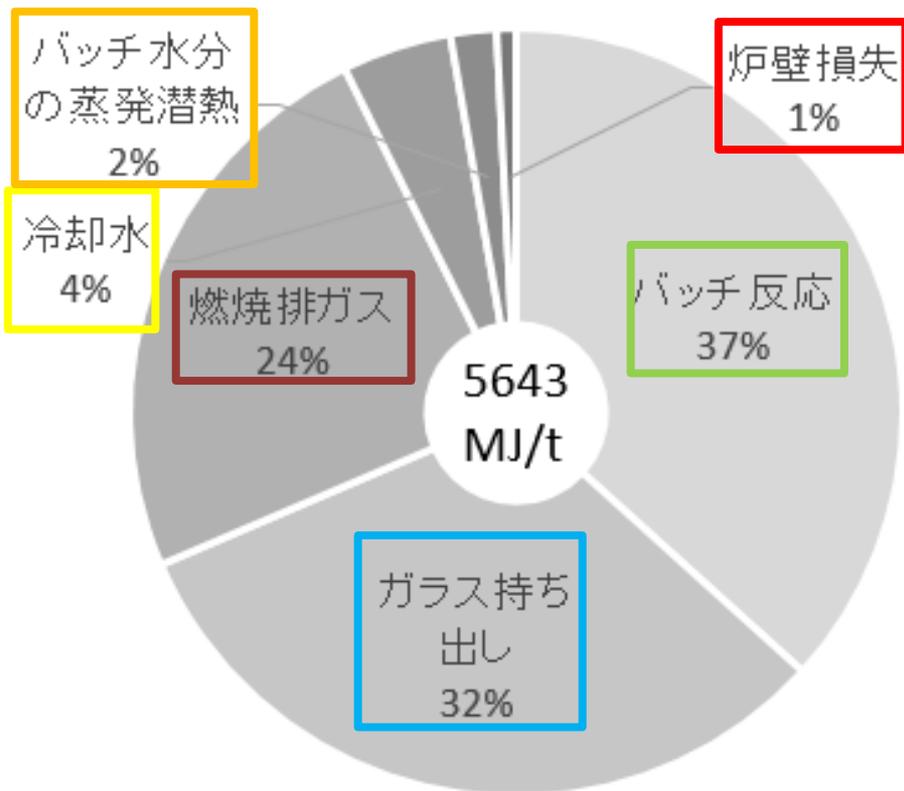
不純物濃度

需給量

輸送距離



ガラス溶融過程での消費エネルギー



ガラスびんの熱流れ図[8] 近藤敬, 2010

カレット利用による省エネ

溶融, 焼結プロセス

プロセス
温度

カレット
率

組成

変数

炉体から出る熱量

燃焼排ガスの
持ち去る熱量

炉壁損失

バッチ水分の蒸発
潜熱

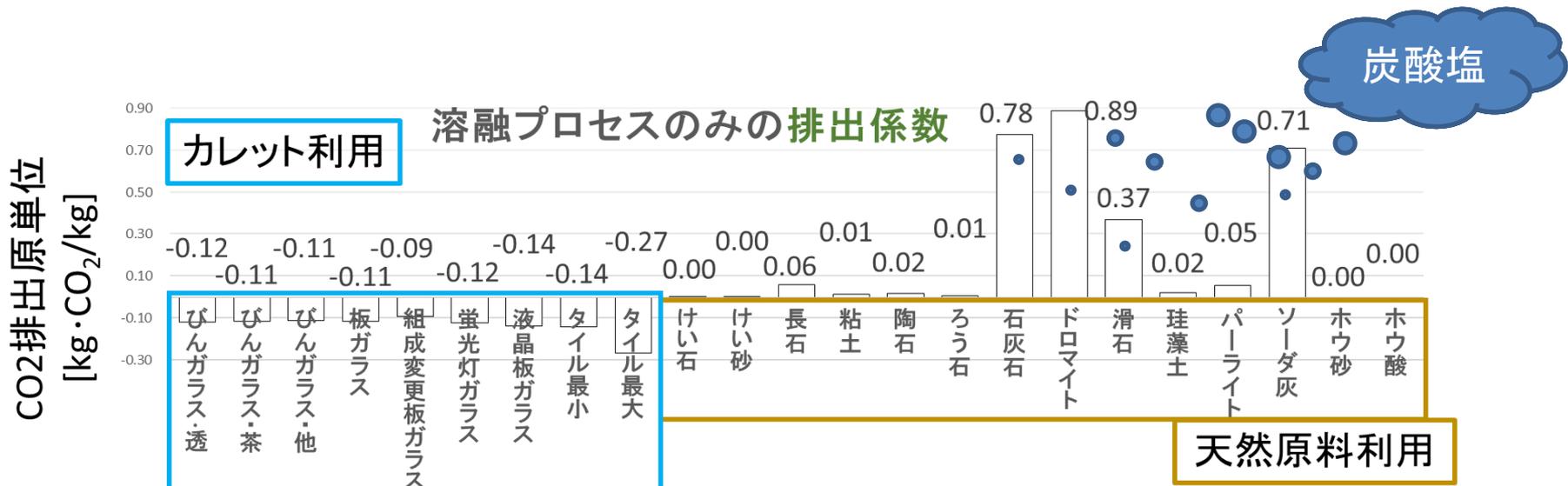
冷却水, 空気の
持ち去る熱

溶融, 焼結熱

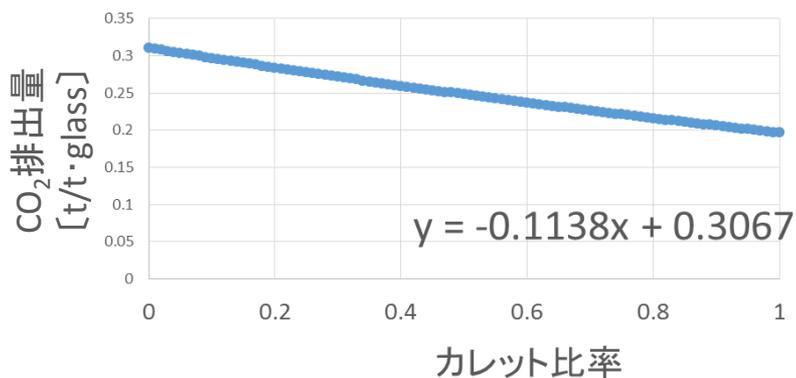
ガラス, 焼成品の
持ち出す熱量

	[MJ/t]	ガラスびん	板ガラス	タイル
燃焼排ガスの持ち去る熱		$0.8522(T - 298)$	$0.92047(T - 298)$	$0.004T^2 - 9.3148T + 5526$
炉壁損失		$0.0978T - 34.551$	$0.03232T - 11.419$	$5.6366T - 1991.3$
バッチ水分の蒸発潜熱		108.37	108.37	$0.0278T + 148.62$
冷却水・空気の持ち去る熱		$1.899T - 43.003$	$0.62763T - 14.2126$	$0.6276T - 14.213$
溶融・焼結熱		$\frac{(1 - C)}{1 + 0.1902C} \cdot \left(1016.94 - 152(\% SiO_2)' - 3281.82(\% Na_2O)' - 1766.31(\% CaO)' + 1.16114(T - 298) + 4.9476 \times 10^{-5}(T^2 - 88804) - 32973 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right) + 67.67 \right)$	$\frac{(1 - C)}{1 + 0.2120C} \cdot \left(1035.57 - 152(\% SiO_2)' - 3281.82(\% Na_2O)' - 1766.31(\% CaO)' + 1.16114(T - 293) + 4.9476 \times 10^{-5}(T^2 - 85849) - 32973 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{293} \right) + 67.67 \cdot (\% SiO_2) - 133.30 \cdot (\% Na_2O) - 179.2 \cdot (\% K_2O) - 264.00 \cdot (\% CaO) - 224.40 \cdot (\% MgO) - 365.10 \cdot (\% Al_2O_3) - 942.9 \cdot (\% Fe_2O_3) \right)$	1168.947
ガラス, 焼成品の持ち出す熱		$1.213(T - 298)$	$1.213(T - 298)$	$1.7018T - 507.14$

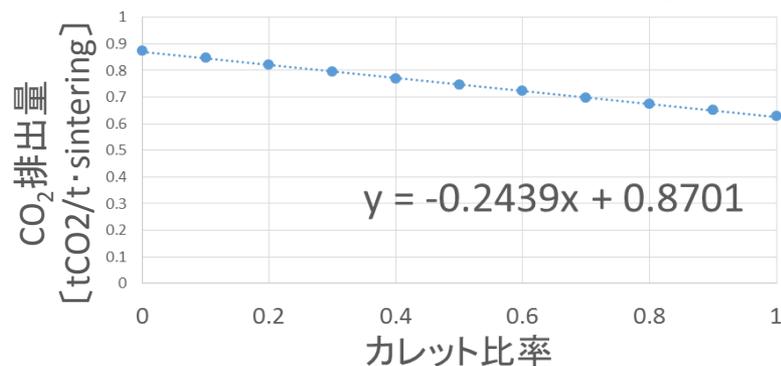
低炭素化の原単位



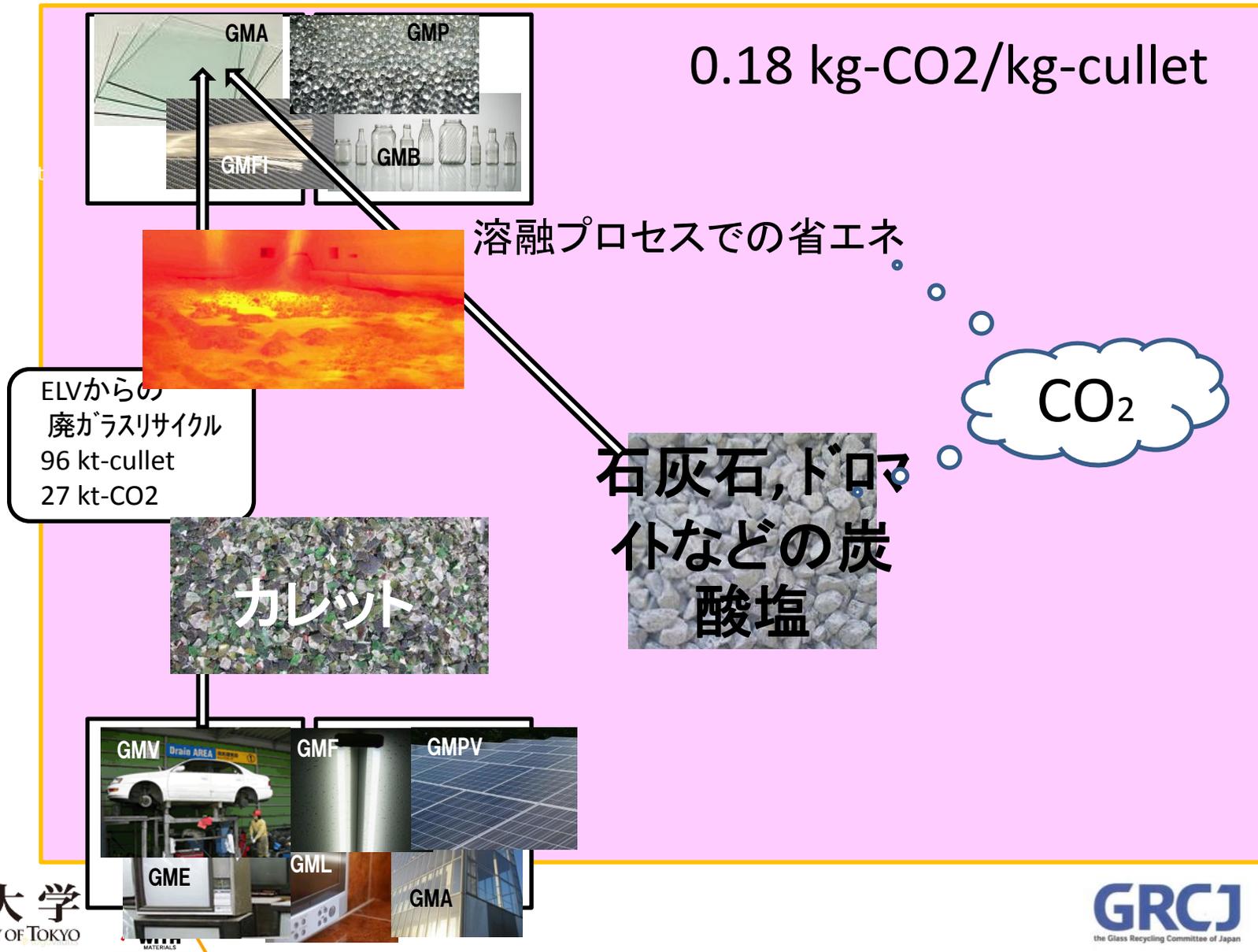
板ガラスのCO₂排出量 [t/t・glass]



タイルのCO₂排出量 [t/t・glass]



ガラスtoガラスのリサイクル

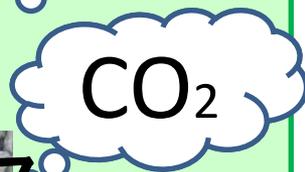


ガラスtoタイルのリサイクル

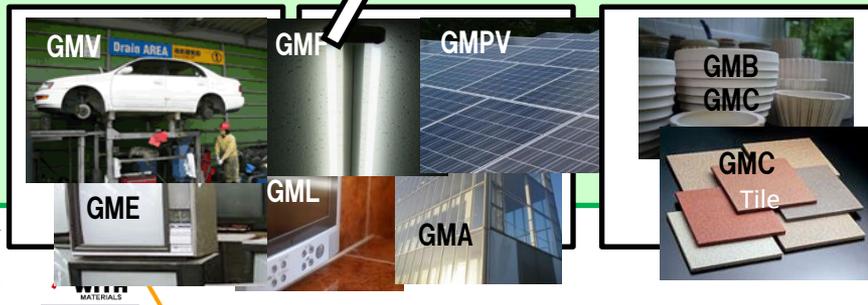


溶融プロセス
での省エネ

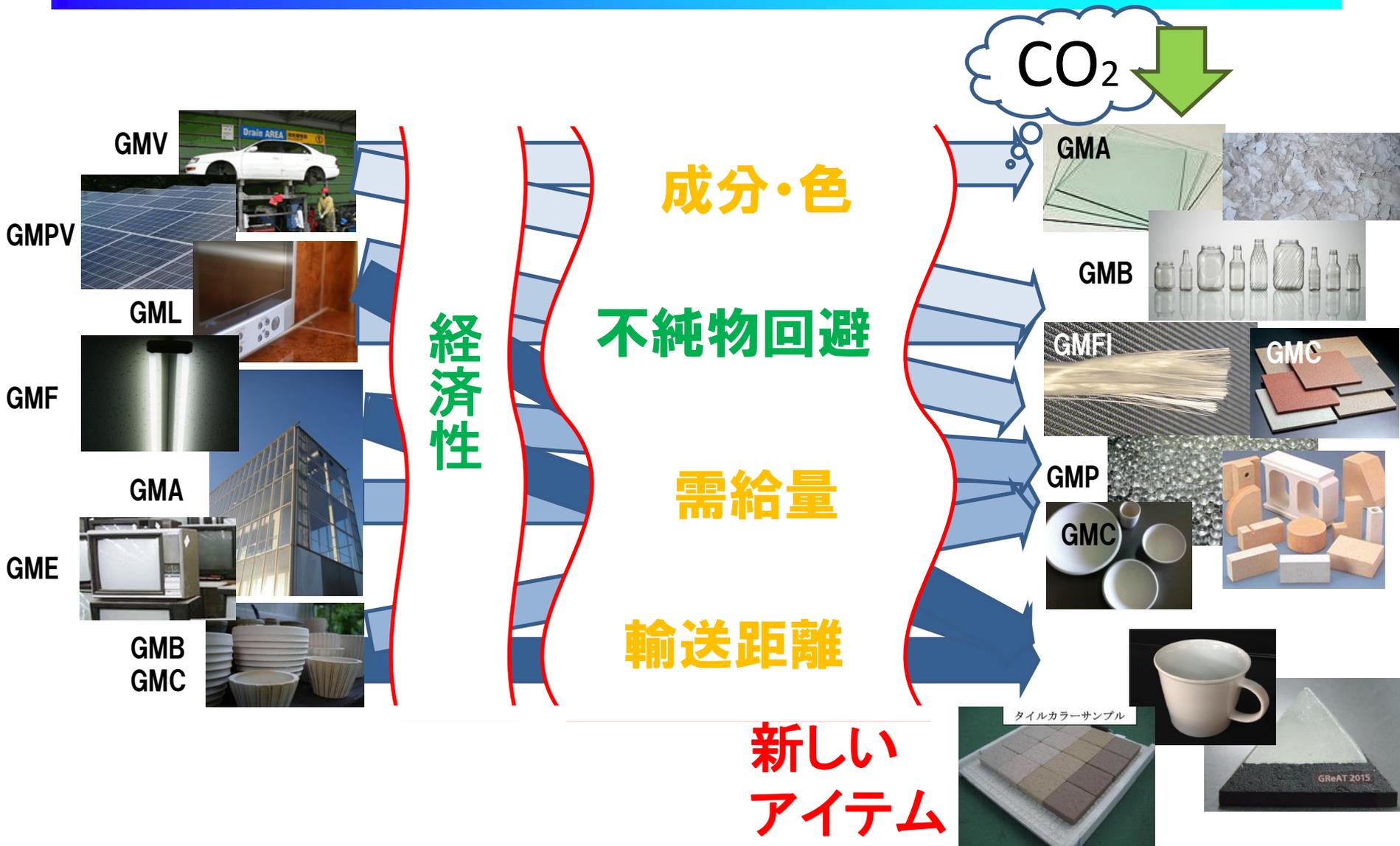
0.25 kg-CO₂/kg-cullet



石灰石, ドロマ
イトなどの炭
酸塩

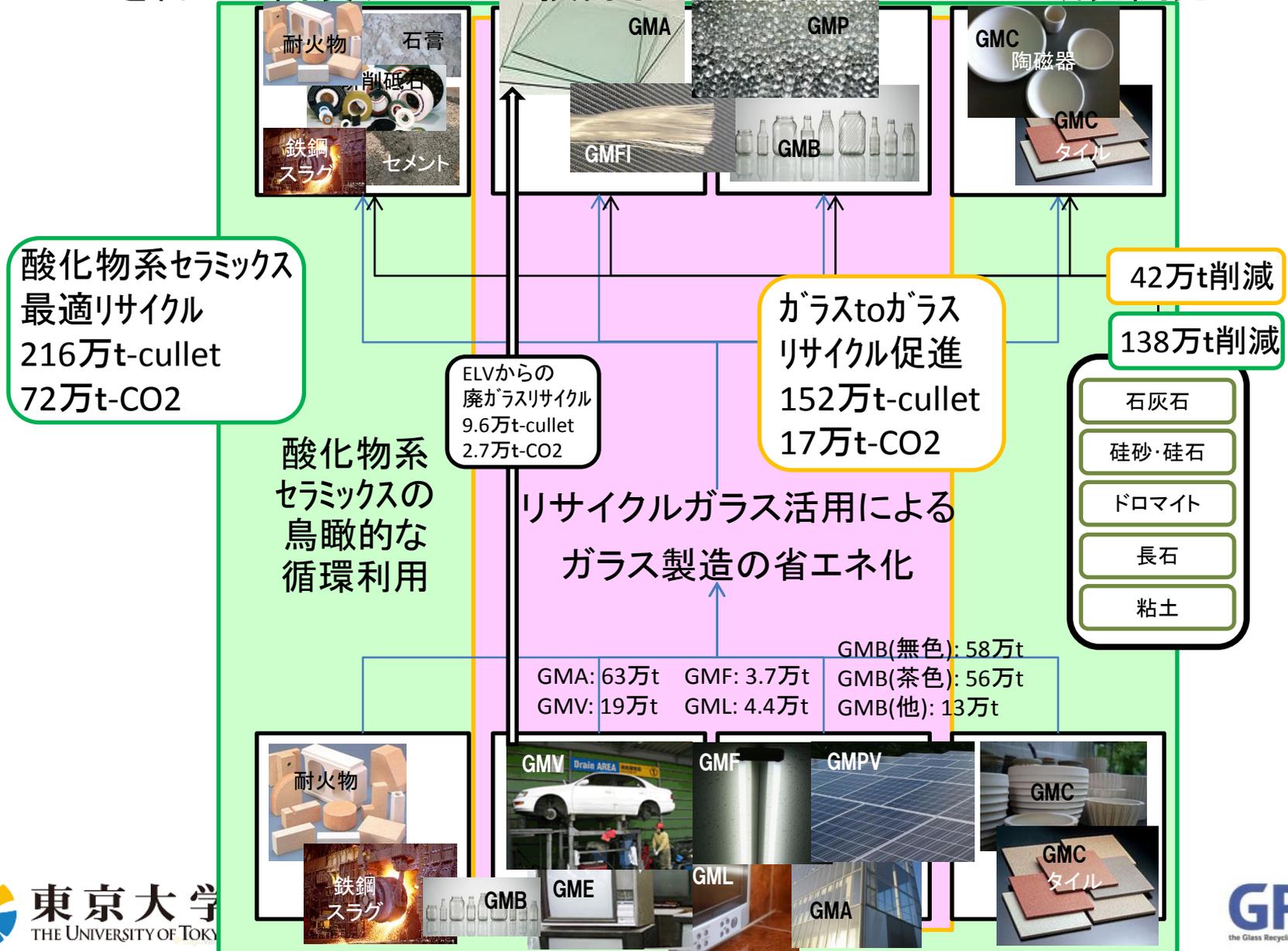


GReATプロジェクトの目指す全体最適



Glass Recycling Advanced Technology 3 (GReAT 3)

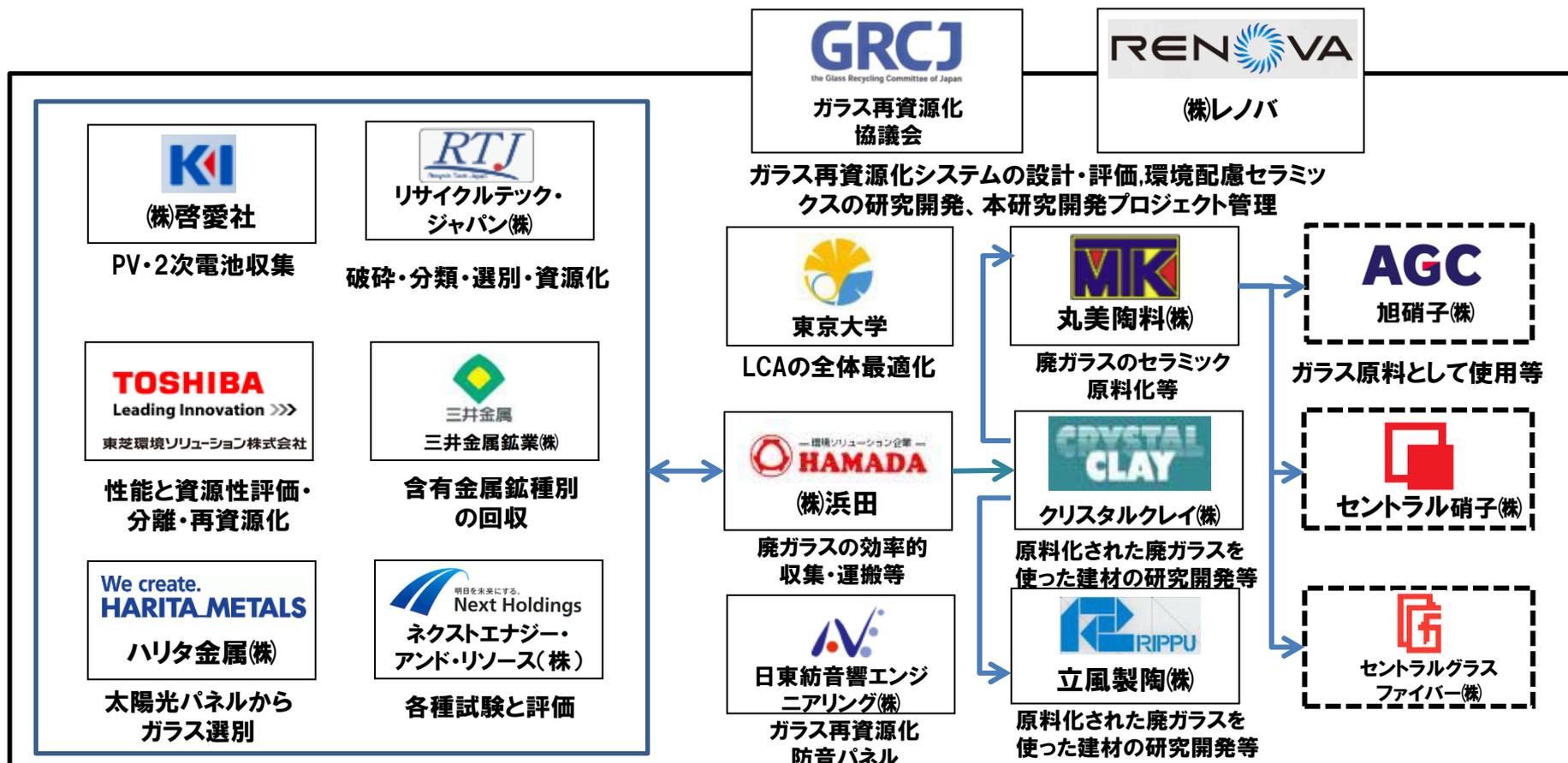
窯業における温室効果ガス排出削減に向けたガラスを中心とした酸化物系セラミックスを含めた高度リサイクル技術ならびに利用システムの研究開発



GReAT3 GMPVの概要（2015年度）

Glass Recycling Advanced Technology

廃太陽光パネルガラス（GMPV）の高度リサイクル技術を、運搬、解体、分別、分離、原料化、製品化を担う異業種の企業が乾式・湿式等の開発と有効性評価の推進、リユースの評価と使用済みガラスのリサイクルを促進させるサプライチェーン構築と低炭素化に向けた実証事業



出典：GRCJ資料



※図中には示していないが、(株)浜田は一次、二次、三次物流の全てを担当
東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻

