

CEを見える化する資源効率指標の開発

2020年7月29日

パナソニックETソリューションズ株式会社
企画部 総括部長
田島 章男

本日のアジェンダ

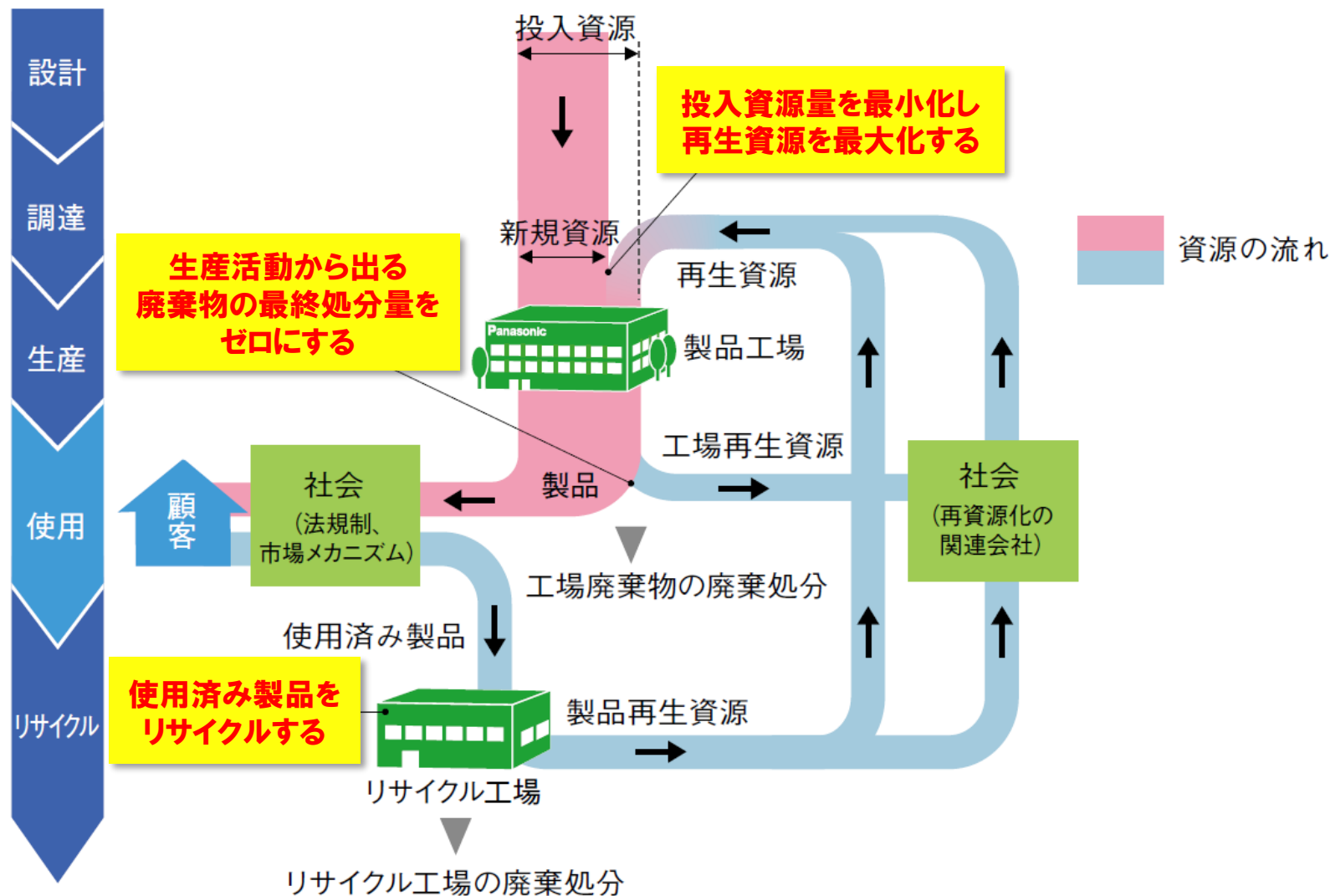
1. 資源効率指標開発の背景
2. 資源効率指標の提案
3. 式の構成要素検討
 - 1) 資源影響量 V_m
 - 2) 資源循環レベル C_m
4. ケーススタディ
5. まとめ

本日のアジェンダ

1. 資源効率指標開発の背景
2. 資源効率指標の提案
3. 式の構成要素検討
 - 1) 資源影響量 V_m
 - 2) 資源循環レベル C_m
4. ケーススタディ
5. まとめ

パナソニックの循環型モノづくり

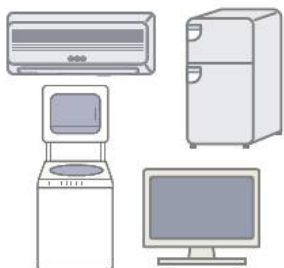
- CO₂削減に並ぶ重要課題として、2010年より循環型モノづくりを推進
- 投入資源を最小化し再生資源を最大化、最終処分量ゼロ、使用済み製品のリサイクル



樹脂循環取組み

- 「商品から商品へ」をコンセプトに、使用済み製品から回収した資源を再度製品原料に循環
- 近赤外線選別により回収した高純度樹脂を社内工場でリペレットし、製品原料として活用

使用済み家電製品



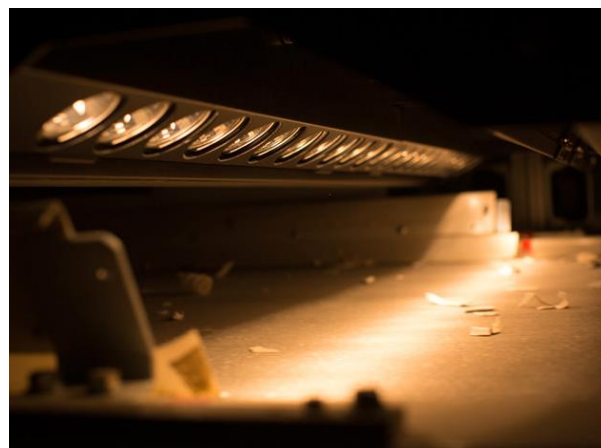
高純度
プラスチック



異物除去後、
強度・寿命を回復させた
プラスチック

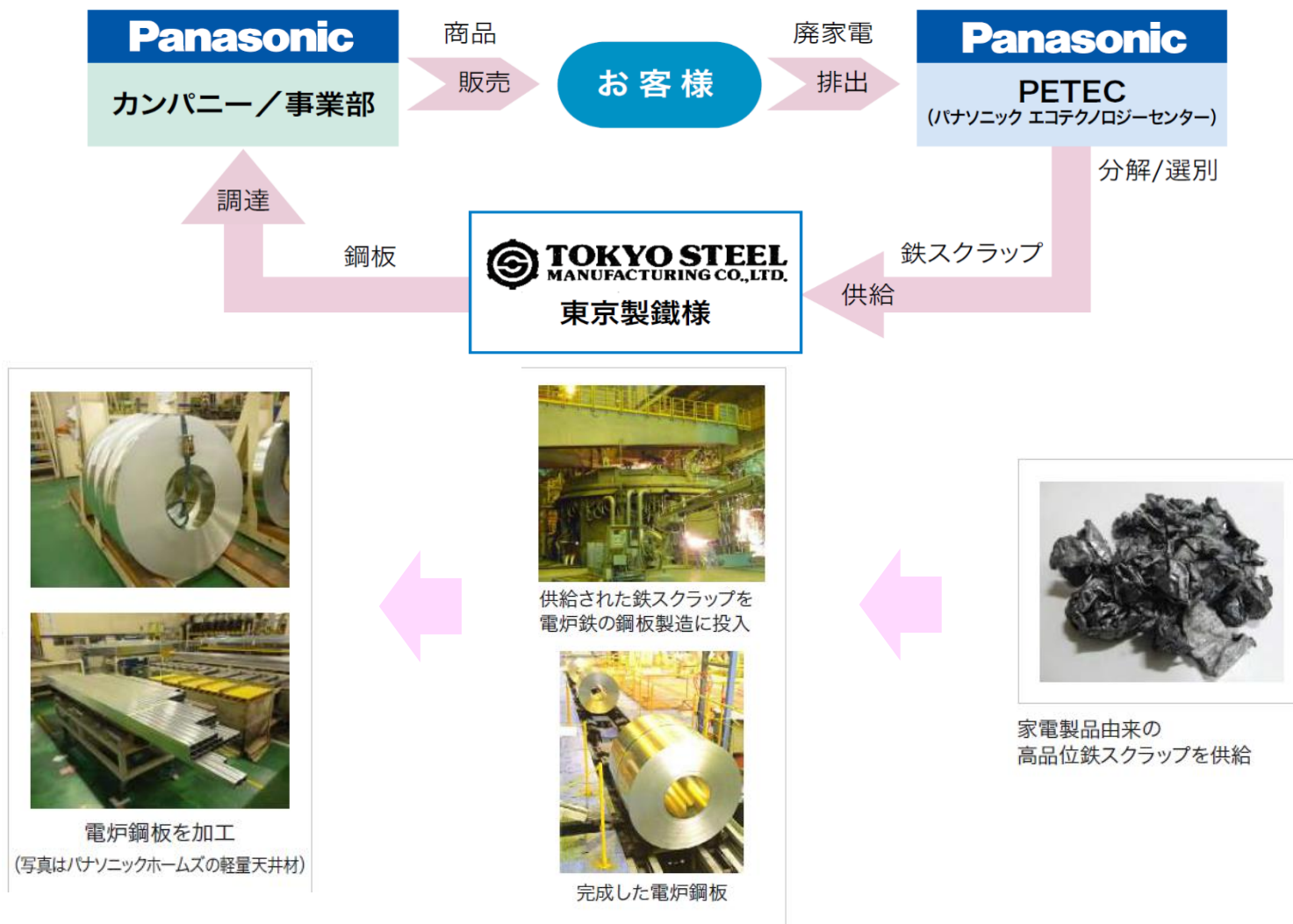


エアコンのフィルター枠、
冷蔵庫のカバーダクトなど
再生樹脂を活用した部材



再生鉄の循環スキーム

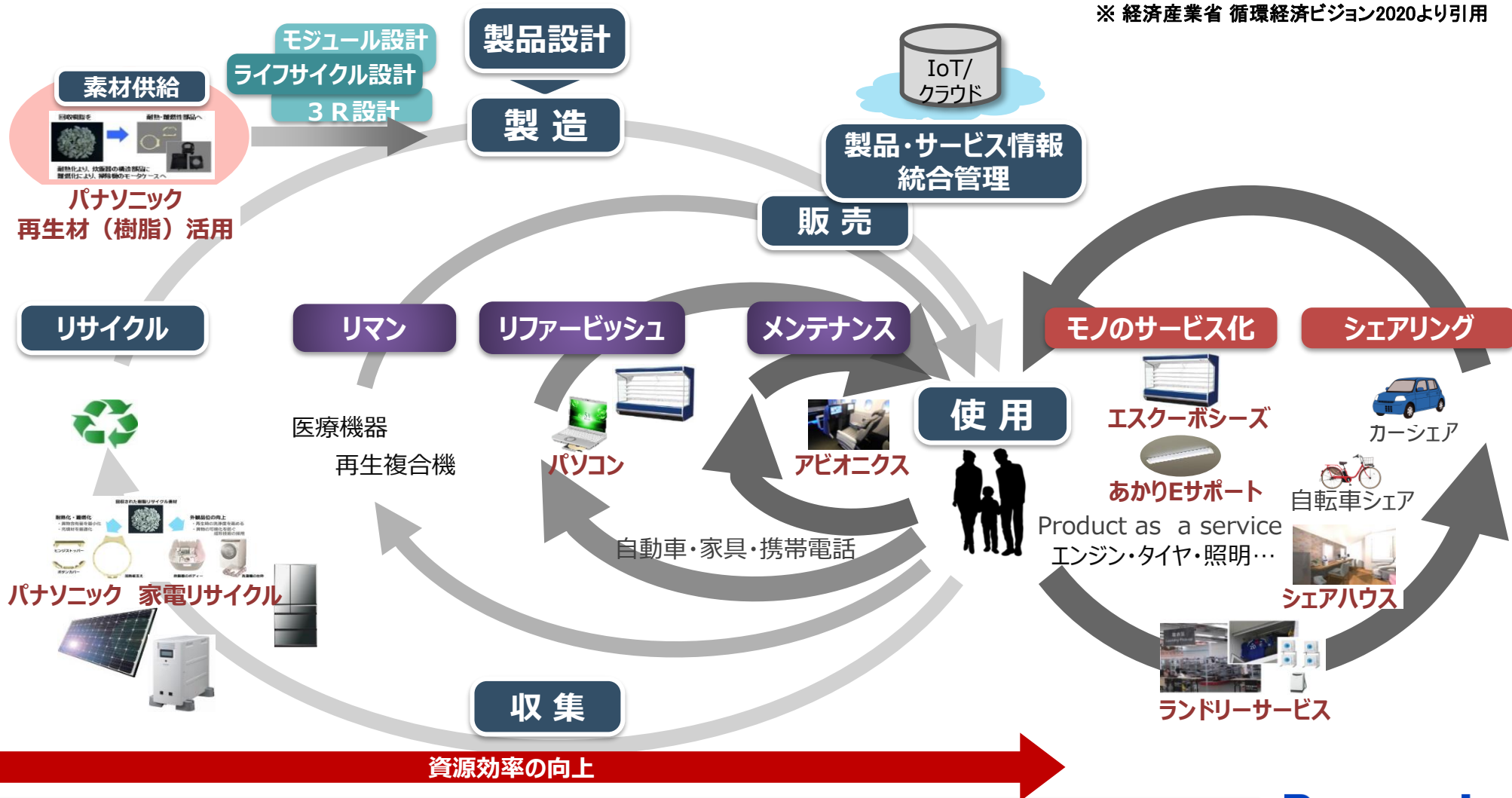
- 東京製鐵殿と共同で使用済製品から回収した鉄スクラップの資源循環スキーム構築 (2013～)
- 東京製鐵殿に鉄スクラップを納入し鋼板(原料)としてパナソニックが買い戻す自己循環を実現



CE(サーキュラーエコノミー)へのシフト

- CEとは:あらゆる経済活動において資源投入量・消費量を抑えつつ、ストックを有効活用しながら、サービス化等を通じ付加価値の最大化を図る循環型の経済社会活動*
- ライフサイクル価値最大化と環境負荷最小化を実現するビジネスモデルの構築が重要

※ 経済産業省 循環経済ビジョン2020より引用



パナソニックの目指す「くらしアップデート」

- B2Cだけでなく、くらしを支えるB2B事業も通じて、お役立ちの最大化を図る
- 個人と法人のお客様それぞれにとって「最適」なモノやサービスを提供し続ける

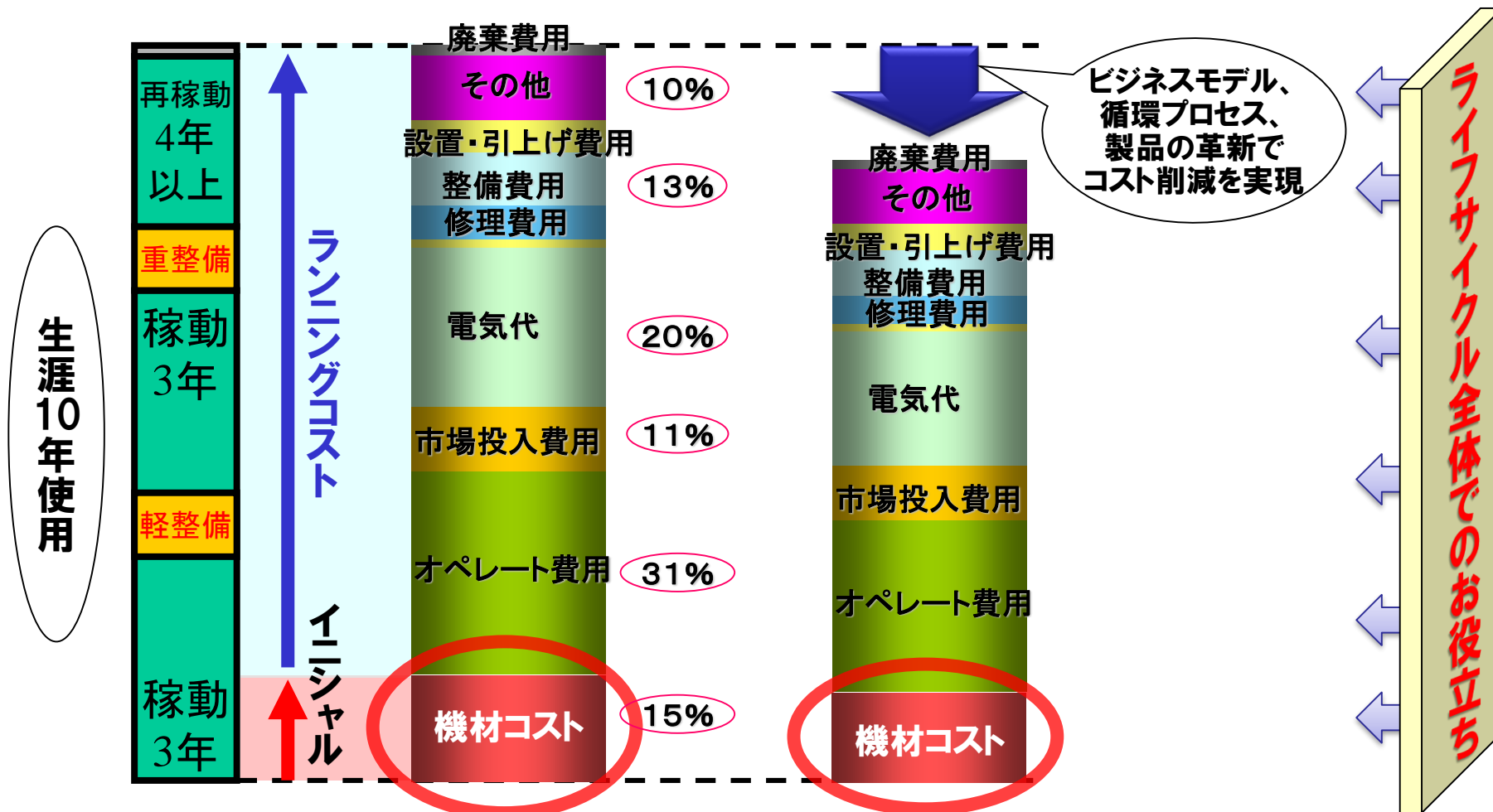
社会の変化をとらえより多くのくらしアップデートを可能にする



ライフサイクル思考の重要性

- 機器の売切りビジネスでは、お客様のコストの数分の1しか関わっていなかった
- **ライフサイクル全体のお役立ちでビジネス機会の拡大が可能（顧客接点の最大化）**

B2B機器での事例：ライフサイクルコストはイニシャルコストの約7倍

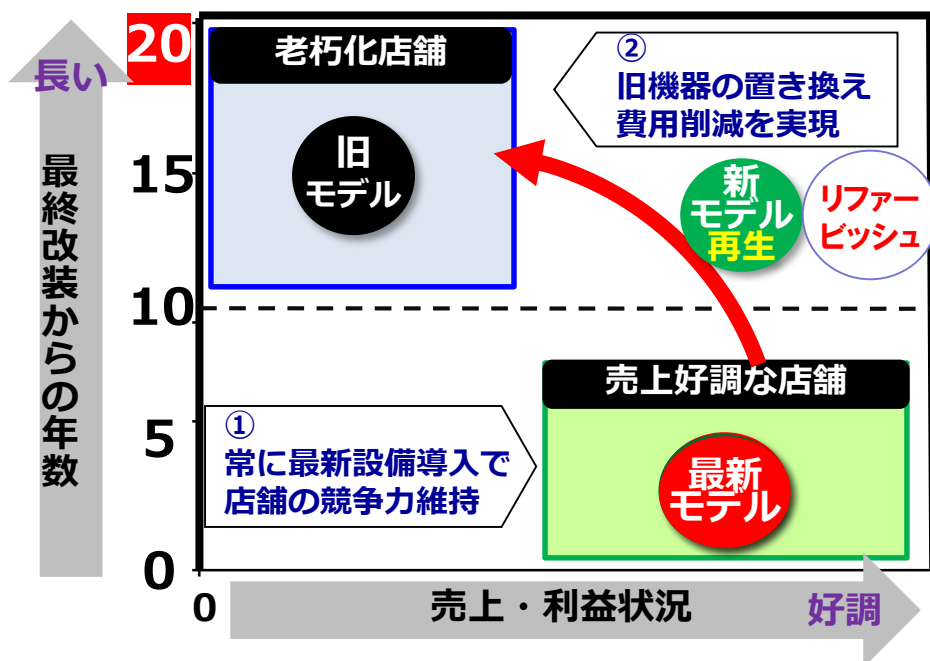


CEの事例：冷蔵ショーケースのリファーマービツシュ

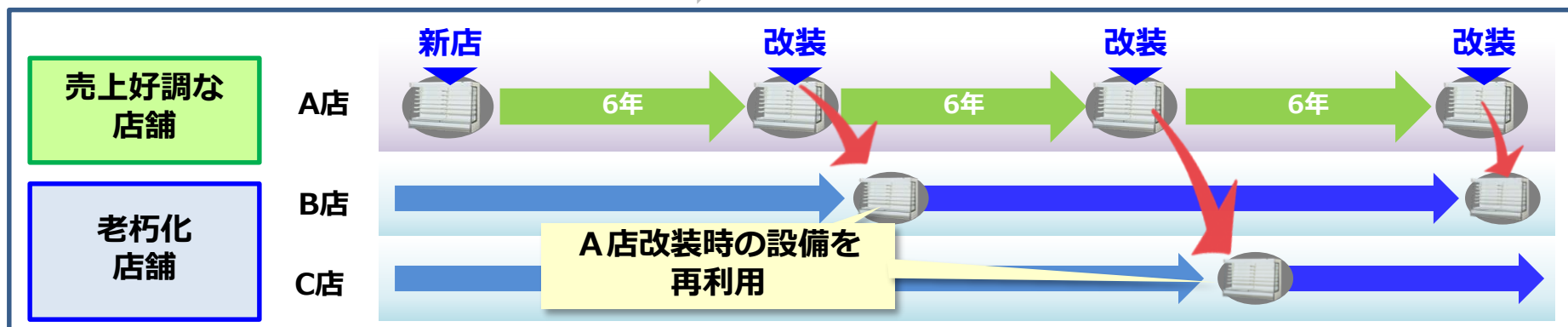
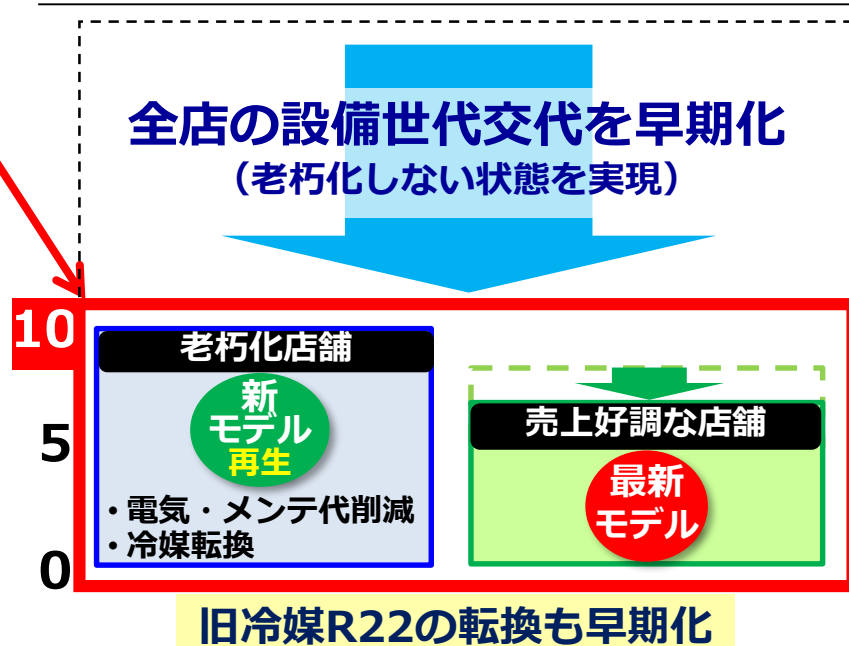
CEの事例：冷蔵ショーケースのリファービッシュ

- 売上好調な店舗の改装を早めてより競争力のある店舗へ
- 改装店舗の冷蔵設備を老朽化店舗へ転用し、全体の店設備を更新・収益を改善

店舗別設備状態を踏まえた施策



全店での冷蔵設備最適化の効果

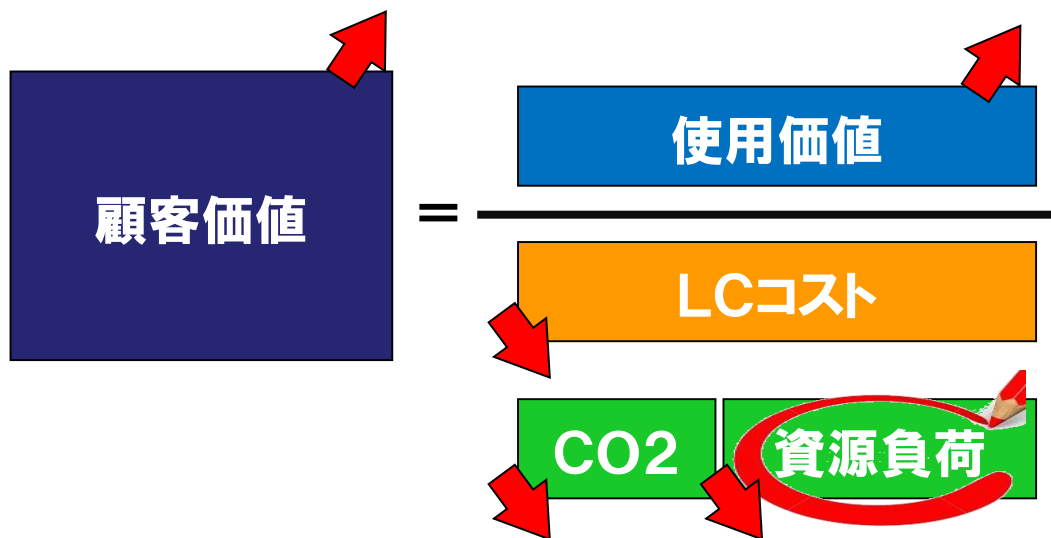


ライフサイクル思考による顧客価値最大化

- 顧客価値を最大化しつつライフサイクルコストと環境負荷(資源・CO2)の最小化を実現する
- そのために、ライフサイクル全体を見える化して
最適なビジネスモデル(循環)の構築と、それを実現する製品設計を行う

■ライフサイクルの可視化

- 「使用価値」と「ライフサイクルコスト」を見える化し、「顧客価値」を最大化する
- 同時に、「資源負荷」と「CO2」の最小化を実現



■ライフサイクルプランニング

- 調達、生産、メンテ、リマン、サービス化、シェア、リサイクル等のライフサイクルのビジネスモデルを決定



■製品設計

- ライフサイクルに最適な設計
 - ・3R設計、易解体設計、リサイクル設計...
 - ・モジュール化、プラットフォーム化

本日のアジェンダ

1. 資源効率指標開発の背景
2. 資源効率指標の提案
3. 式の構成要素検討
 - 1) 資源影響量 V_m
 - 2) 資源循環レベル C_m
4. ケーススタディ
5. まとめ

- ライフサイクルでの**資源効率**(持続可能な資源活用)を**見える化する**
- **社会的循環・意図的循環**及び**価値の提供期間**や**利用頻度**の効果を考慮

※社会的循環：社会的に既にスキームが構築されている資源循環 意図的循環：企業等が自己努力により管理している資源循環

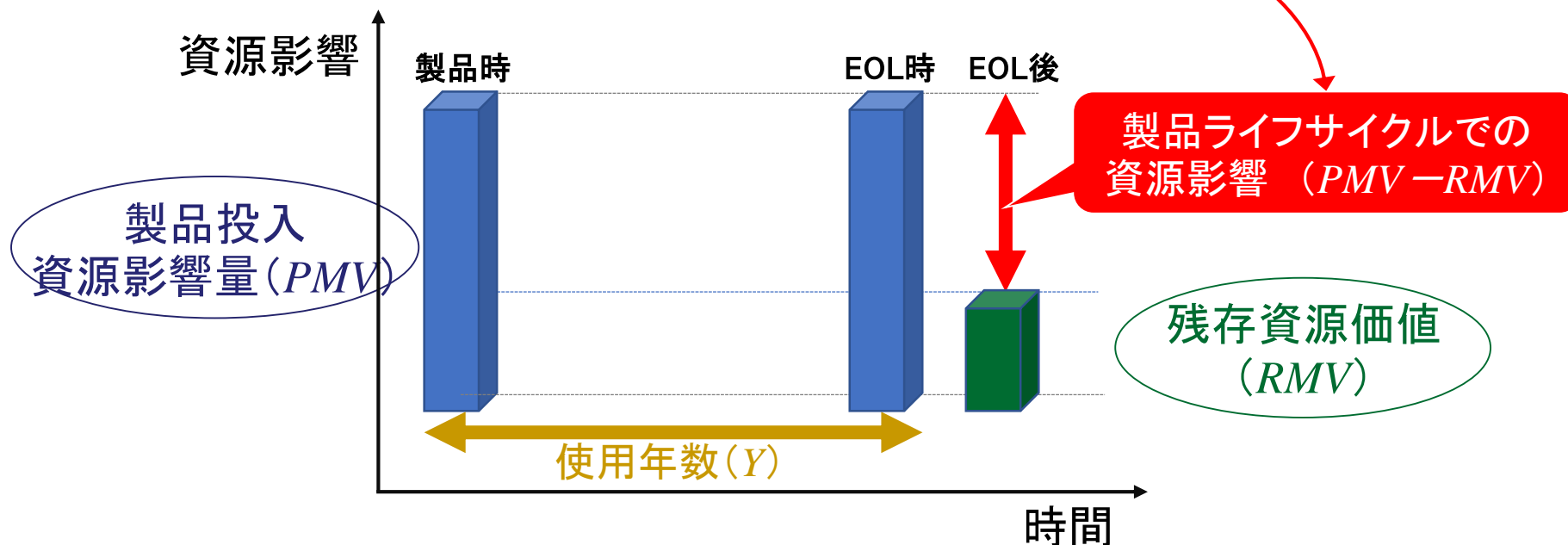
資源効率指標式

$$\text{資源効率} = \frac{\text{製品ライフサイクルでの資源影響}}{\text{使用年数} \times \text{使用価値}(=1)}$$

注：分母と分子を逆とすることもあるが計算のしやすさから左式を採用

$$= \frac{PMV - RMV}{Y}$$

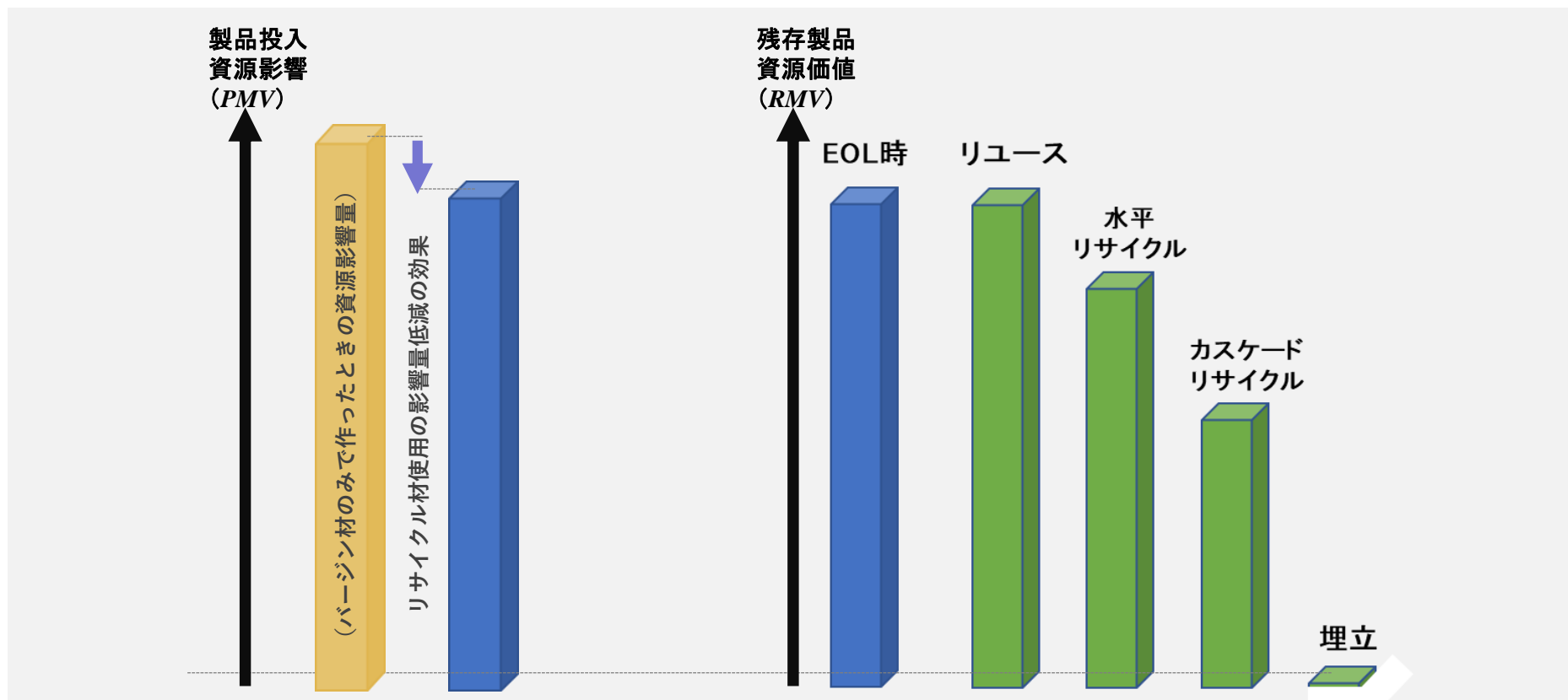
製品に投入される資源の影響量と、EoL後の残存資源価値との差



資源影響量の考え方

- 製品使用後(EoL後)の「残存資源価値」は、資源循環やリサイクルの質(循環レベル)に依存する。「質」が高いほど、残存資源価値は高い

- 製品投入資源影響量 PMV (Product material value)
- 残存製品資源価値 RMV (Retained product material value)



資源影響量の定式化

$$\begin{aligned}
 PMV - RMV = & \sum_m W_m \times (1 - R'_m) \times V_m + \sum_m W_m \times R'_m \times V_m \times C'_m \times A_m \\
 & \quad \text{バージン材使用影響} \qquad \qquad \qquad \text{循環材使用影響} \\
 & - \sum_m W_m \times R''_m \times V_m \times C''_m \times (1 - A_m) \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{残存資源価値}
 \end{aligned}$$

V_m	資源影響量	● 素材m(≒Fe, Cu, ...)の重量あたりの資源影響
C_m	資源循環レベル	● 素材mの循環レベル指標 ($0 \leq C_m \leq 1$) (C'_m, C''_m : 素材mの使用材とEoL後の循環レベル)
A_m	循環貢献割合	● リサイクル実施側とリサイクル材使用側の貢献割合 使用側の貢献割合 ($0 \leq A_m \leq 1$)

W_m	製品含有重量	● 製品に含有される素材mの重量
R'_m	循環材の重量割合	● 素材mの循環材(リサイクル材等)の重量割合 ($0 \leq R'_m \leq 1$)
R''_m	EoL後の循環利用割合	● 素材mのEoL後の循環利用の重量割合 ($0 \leq R''_m \leq 1$)

製品のパーツ(i)に分ける場合は以下のパラメータとする

パーツi中の素材mの含有重量

パーツi中の素材mの循環材の重量割合

パーツi中の素材mのEoL後との循環利用の重量割合

$W_{i,m}$ (kg)

$R'_{i,m}$

$R''_{i,m}$

資源影響量の定式化

$$PMV - RMV = \sum_m W_m \times (1 - R'_m) \times V_m + \sum_m W_m \times R'_m \times V_m \times C'_m \times A_m - \sum_m W_m \times R''_m \times V_m \times C''_m \times (1 - A_m)$$

バージン材使用影響
循環材使用影響

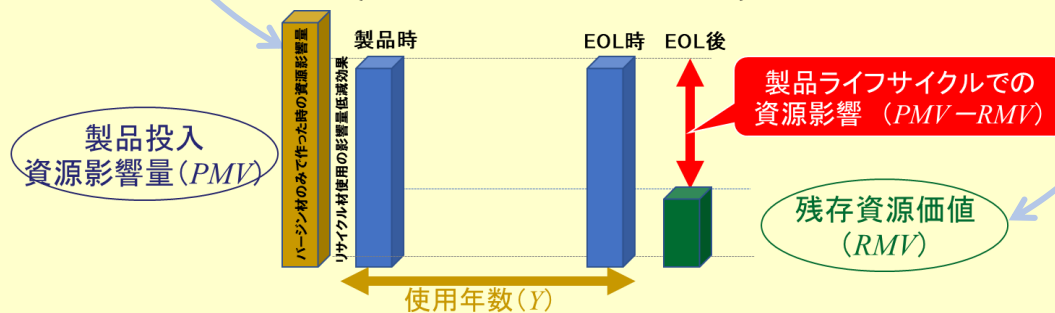
残存資源価値

$$= \sum_m W_m \times V_m - \sum_m W_m \times R'_m \times C'_m \times (1 - C'_m \times A_m) - \sum_m W_m \times R''_m \times V_m \times C''_m \times (1 - A_m)$$

資源影響
循環材使用の効果

残存資源価値(循環の効果)

$m \in \{Fe, Cu, Al, \dots\}$



本日のアジェンダ

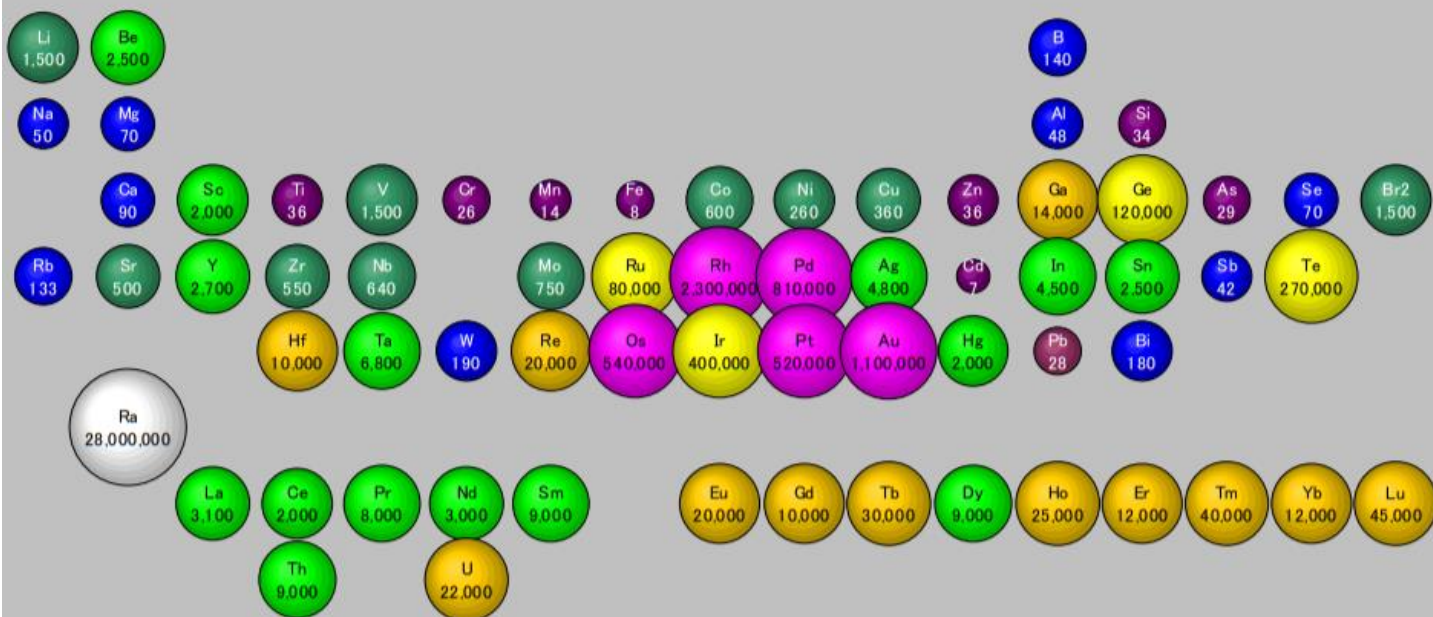
1. 資源効率指標開発の背景
2. 資源効率指標の提案
3. 式の構成要素検討
 - 1) 資源影響量 V_m
 - 2) 資源循環レベル C_m
4. ケーススタディ
5. まとめ

●資源影響の定量化について、資源枯渇性や生態系への影響、エネルギー・コストなどの候補があるが本報告では資源獲得に費やした物質の総量を数値化したTMRを採用

- TMR (Total materials requirement: 関与物質総量)「獲得する資源そのものの他、同時に採取、採掘されるが廃棄されたりする鉱石や土砂などを含めて、資源獲得に費やした物質の総量」

$$TMR = \Sigma(\text{直接物質投入量}) + \Sigma(\text{間接物質投入量}) + \Sigma(\text{隠れたフロー量})$$

周期表上に示した金属のTMR(t/t)



主な素材のTMR値

- ・Fe 8 (kg/kg)
- ・Cu 360
- ・Al 48
- ・Zn 36
- ・Sn 2500
- ・Au 1,100,000
- ・Pt 520,000
- ・Ag 4,800

本日のアジェンダ

1. 資源効率指標開発の背景
2. 資源効率指標の提案
3. 式の構成要素検討
 - 1) 資源影響量 V_m
 - 2) 資源循環レベル C_m
4. ケーススタディ
5. まとめ

資源循環レベル C_m の検討(1)

● 定量化の候補として、天然資源採掘の削減効果、素材としての価値の残存度、経済価値、CO₂ 排出などが考えられる。循環レベルをスコア化することで循環レベルを設定することの効果を確認

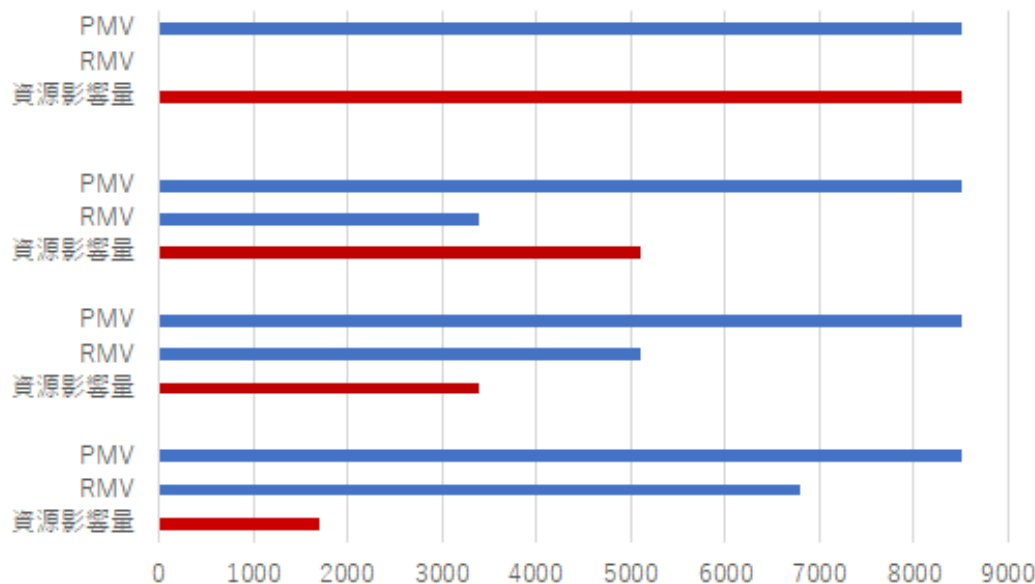
V_m	資源影響量	<ul style="list-style-type: none"> ● 素材m(\inFe, Cu, ...)の重量あたりの資源影響 <p>TMR (Total materials requirement; 関与物質総量)を適用</p>
C_m	資源循環レベル	<ul style="list-style-type: none"> ● 素材mの循環レベル指標 ($0 \leq C_m \leq 1$) (C_m', C_m'': 素材mの使用材とEoL後の循環レベル) <p>リユース 1.0 リサイクル(小ループ) 0.8 水平リサイクル 0.6 <small>(例: 展伸材リサイクル、伸銅)</small></p> <p>カスケードリサイクル 0.4 社会吸収 0.2 埋立 0.0 <small>(例: 路盤材) (non-functional recycling)</small></p>
A_m	循環貢献割合	<ul style="list-style-type: none"> ● リサイクル実施側とリサイクル材使用側の貢献割合 使用側の貢献割合 ($0 \leq A_m \leq 1$) <p>リユース、樹脂リサイクル 実施側:使用側 = 0.5 : 0.5</p> <p>金属リサイクル 実施側:使用側 = 1 : 0</p>

資源循環レベル C_m の検討(1)

- 冷蔵ショーケースはTMR量 (PMV 値) が約8,500 (kg)
- EoL後に「埋立て」をすると、資源価値は全て失われ(残存資源価値 (RMV 値) はゼロ)、ライフサイクルの資源影響量はそのまま約8,500(ケース1)
- EoL後に「リサイクル」し、その循環レベル(質)を上げるに従い、ライフサイクルの資源影響量は減少していく(ケース2~4)

製品ライフサイクルでの資源影響 = $PMV - RMV$

1. 新品→埋立 (基準シナリオ)
2. 新品→カスケードリサイクル
3. 新品→水平リサイクル
4. 新品→小ループリサイクル

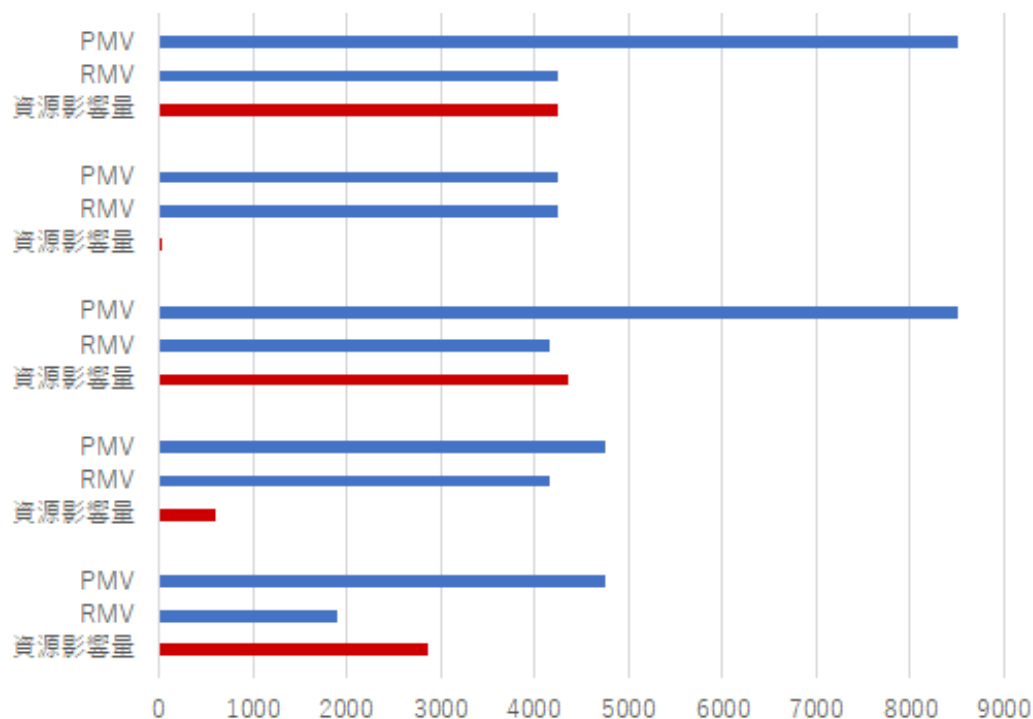


資源循環レベル C_m の検討(1)

- EoL後に「リユース」をすると、資源価値は全て残る(残存資源価値 (RMV) \approx 8500)が、0.5のアーロケーションがあるため、半分の資源影響量(ケース5)
- 「リマン」は、再生工程で資源消費があるため、「リユース」よりも資源影響量が多い(ケース7)

$$\text{資源影響量} = PMV - RMV$$

5. 新品→リユース
6. リユース→リユース
7. 新品→リマン
8. リマン→リマン
9. リマン→カスケードリサイクル



資源循環レベル C_m の検討(2)

- 資源効率の評価において、資源を再度利用する時の質を評価できる方法を検討
- 一般的には、カスケードリサイクルよりも水平リサイクルがより評価されるスコア

- ①再生品の素材純度
- ②再利用されるとき純度の低下
- ③リサイクル時のルート（材料精製の上流 or 下流）
- ④素材成分が把握されていること

対象毎に①～④の状況を点数化し、その合計点で、資源循環レベルを決定

値	該当部品	再生法	再生品	素材自体の純度		③循環の大きさ	④成分管理	点数 (①+②+③+④)
				①再生品純度	②純度変化			
5	銅配管・熱交換器	溶融	伸銅品	高	→	小	強	11(3+2+3+3)
	リード線	ナゲット-溶融	銅メッキ原料	高	→	小	強	11(3+2+3+3)
	ヒートシンク	溶融	展伸材	高	→	小	強	11(3+2+3+3)
	筐体(SUS)	溶融	SUS	高	→	小	強	11(3+2+3+3)
	コンプレッサ磁石	製錬	NdとDy	高	→	小	強	11(3+2+3+3)
	燃料電池	製錬	Ptインゴット	高	→	小	強	11(3+2+3+3)
4	プリント基板	製錬	電気銅	高	→	大	強	9(3+2+1+3)
		製錬	Auインゴット	高	→	大	強	9(3+2+1+3)
		製錬	Agインゴット	高	↑	大	強	10(3+3+1+3)
	コンプレッサ(Fe+Cu)	製鋼	特殊鋼	中	↓	小	強	9(2+1+3+3)
	熱交換器(Cu)	製鋼	特殊鋼	中	↓	小	強	9(2+1+3+3)
	シャドウマスク(Fe×Ni)	製鋼	特殊鋼	中	↓	小	強	9(2+1+3+3)
3	樹脂(PP)	手解体-溶解	再生ペレット	中	↓	小	強	9(2+1+3+3)
	熱交換器(Al)	鋳物	ADC12	中	↓	小	弱	7(2+1+3+1)
	プリント基板(Al)	鋳物	ADC12	中	↓	小	弱	7(2+1+3+1)
	筐体(Fe,SUS)	電炉	鋼板	中	↓	中	弱	6(2+1+2+1)
1	冷蔵庫ガラス棚	溶解	ガラスウール	中	↓	中	有	7(2+1+2+3)
1	樹脂サーマルリサイクル	燃焼	—	—	↓	—	弱	—

資源循環レベル C_m の検討(2)

●リサイクルにおける、素材およびリサイクル方法による、資源循環の質を評価(主に4家電由来)

6で割る
(0~1の値にする)

	ポイント	由来	対象材料	処理方法・用途	資源循環レベル	備考
金属	●製錬によりバージン材と同じ純度になるものと、不純物を取り除けないものがある	プリント基板	Cu、Au、Ag、PGM	・製錬:4N	4	
		銅配管・リード線	Cu	・原料(伸銅)	5	異物ないこと
		筐体	Fe	・製錬(電炉)	3	
				・鋳物	2	
		ヒートシンク	Al	・原料	5	
				・鋳物(ADC12など)	3	
		筐体(SUS)	SUS	・原料(品番単位)	5	異物・異種ないこと
	・原料(電炉)			3	鉄混合	
	コンプレッサ磁石	Nd、Dy	・製錬	5	相場により変動	
	バルブ	真鍮(Cu+Zn)	・真鍮	5		
●元の金属材料ではなく、合金材料や還元剤としての活用方法	熱交換器	Al+Cu	・鋳物(ADC12など)	3		
	コンプレッサ	Fe+Cu	・特殊鋼原料	4	Cuも材料として利用	
	ヒートシンク、熱交換器	Al	・脱酸材	2	電炉・高炉で使用	
	シャドウマスク	インバー(Fe+Ni36%)	・特殊鋼原料	4		
樹脂	●ケミカルは材料や処理方法でレベルが異なる。マテリアルでは品質が100%回復不可、サーマルリサイクルは熱回収	樹脂部品	PP、PS、ABS	・ケミカルリサイクル	1~4	
		樹脂部品		・マテリアルリサイクル	4	
		樹脂部品		・サーマルリサイクル	1	
ガラス	●添加物の除去が困難で、種類の異なるガラスが混ざると	冷蔵庫ガラス扉、ドラム洗扉、TVパネル	ガラス各種	・原料(同一種類)	5	板ガラスなど
				・混合溶解	3	グラスウール

リユース

6

本日のアジェンダ

1. 資源効率指標開発の背景
2. 資源効率指標の提案
3. 式の構成要素検討
 - 1) 資源影響量 V_m
 - 2) 資源循環レベル C_m
4. ケーススタディ
5. まとめ

ケーススタディの対象

- 冷蔵ショーケースを対象として、複数のシナリオ(製品とライフサイクルのシナリオ)を設定し、ケーススタディを実施

- 対象製品：冷蔵ショーケース
(基本機能 保冷 + 陳列)
- 使用価値：今回は「1」と仮定
- 製品情報：モデルシリーズの材料構成を基に検討
- リサイクルデータ：リサイクル試験を実施し、そのデータを活用



冷蔵ショーケース外観

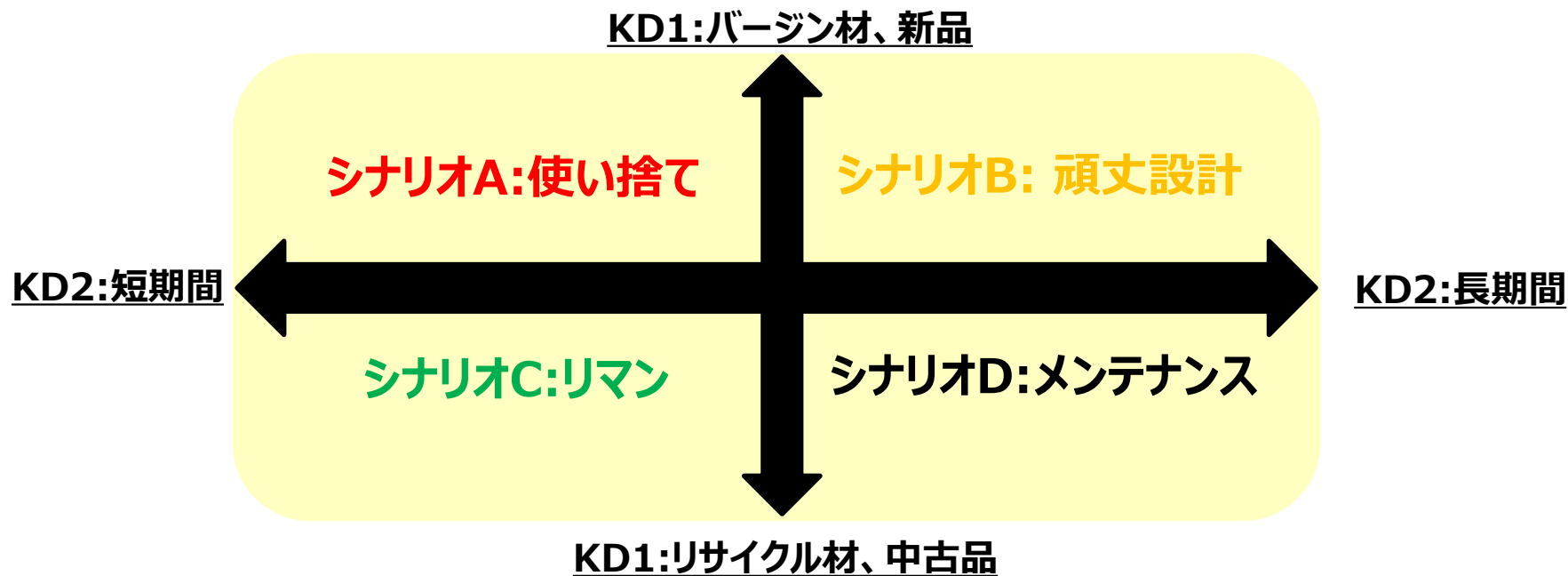
ケーススタディのシナリオ設定

●冷蔵ショーケースを対象として、シナリオのコンセプトを検討し、シナリオを設定

①キードライバー(以下、KD)の選定…製品およびライフサイクルに大きく影響する要因

- KD1:マテリアル、部品の状態 : (バージン材・新品、リサイクル材・中古品)
- KD2: 1店舗での使用期間 : (長期間、短期間)

②シナリオコンセプトの決定



各シナリオの設定条件

シナリオ	概要	製品		LC	
		構成材料(一部)		使用期間	リサイクル率
		筐体	パネル		
0:基準	11年使用で埋立	鉄	塗装鋼板	11年間	0% (埋立)
A:使い捨て	短期サイクルで 使い捨て	鉄	ABS	4年間	70% (シュレッダー)
B:頑丈設計	頑丈に設計により長 寿命化	ステンレス	ABS	15年間	70% (シュレッダー)
C:リマン	6年目でリマンし、 再使用	鉄	ABS	6 + 9年間	99% (手解体)
D:メンテ ナンス	メンテ(部品交換)に より長寿命化	ステンレス	塗装鋼板	15年間	70% (シュレッダー)

各シナリオの使用データ

■資源投入 (k g)

	シナリオ0		シナリオA		シナリオB		シナリオC		シナリオD	
筐体	メッキ鋼板		メッキ鋼板		SUS		メッキ鋼板		SUS	
パネル	塗装鋼板		ABS樹脂		ABS樹脂		ABS樹脂		SUS	
側板	ガラス		ガラス		ガラス		ガラス		ガラス	
熱交換	銅		銅		銅		銅		銅	
	アルミ		アルミ		アルミ		アルミ		アルミ	
配線	電源コード		電源コード		電源コード		電源コード		電源コード	
基盤	金		金		金		金		金	
	銀		銀		銀		銀		銀	
	銅		銅		銅		銅		銅	
	アルミ		アルミ		アルミ		アルミ		アルミ	
	錫		錫		錫		錫		錫	
	樹脂		樹脂		樹脂		樹脂		樹脂	
	鉄		鉄		鉄		鉄		鉄	
	SUS		SUS		SUS		SUS		SUS	

■資源回収

	シナリオ0		シナリオA		シナリオB		シナリオC		シナリオD	
	資源循環レベル	回収量	資源循環レベル	回収量	資源循環レベル	回収量	資源循環レベル	回収量	資源循環レベル	回収量
鉄(低)			3							
鉄(高)							3			
SUS(低)					3				3	
SUS(高)									5	
銅			3		3		5		3	
アルミ(低)			3		3				3	
アルミ(高)							5			
ABS樹脂(低)										
ABS樹脂(高)			4		4		4			

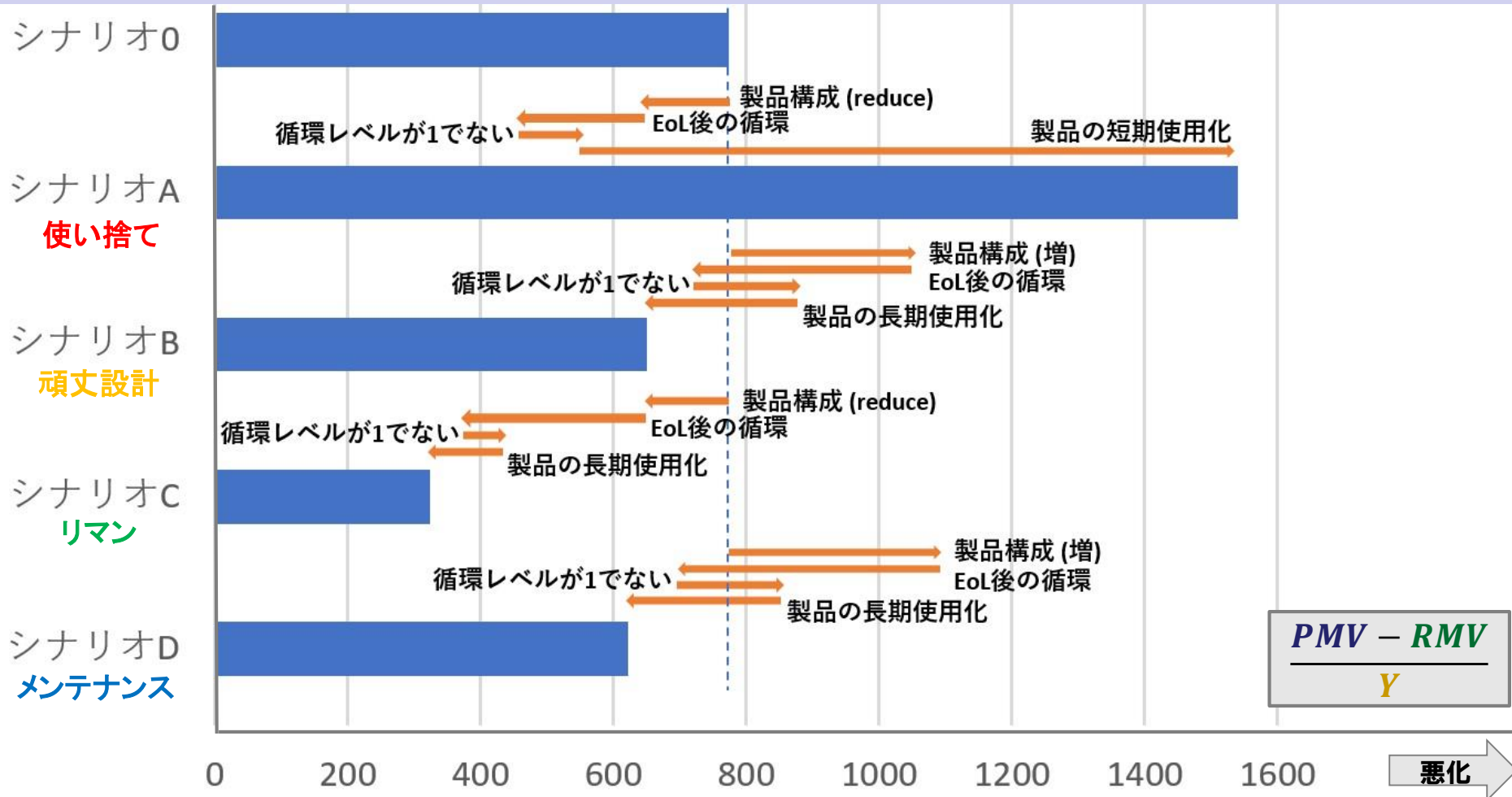
■使用

使用年数	11	年	4	年	15	年	15	年	15	年
------	----	---	---	---	----	---	----	---	----	---

シナリオ	0:基準	A:使い捨て	B:頑丈設計	C:リマン	D:メンテナンス
概要	11年使用で埋立	短期サイクルで使い捨て	頑丈に設計により長寿命化	6年目でリマンし、再使用	部品交換による長寿命化

シナリオによる評価結果

●使い捨てシナリオAの結果は、シナリオ0と比較して、製品の軽量化(reduce)により約120低減、EoLの循環により約90低減(残存資源価値)、製品の使用短期化(11年→4年)で1000弱の悪化



シナリオ	0:基準	A:使い捨て	B:頑丈設計	C:リマン	D:メンテナンス
概要	11年使用で埋立	短期サイクルで使い捨て	頑丈に設計により長寿命化	6年目でリマンし、再使用	部品交換による長寿命化

本日のアジェンダ

1. 資源効率指標開発の背景
2. 資源効率指標の提案
3. 式の構成要素検討
 - 1) 資源影響量 V_m
 - 2) 資源循環レベル C_m
4. ケーススタディ
5. まとめ

まとめ

1. 商品やビジネスモデルの資源効率を見える化する指標を提案
2. 資源効率指標の定式化
 - ① 素材による「重みづけ」…TMRを利用
 - ② 資源循環の「質」(資源循環レベル)の導入
 - ③ 貢献度アロケーション(リサイクル資源の創出/リサイクル材の利用)の組入れ
 - ④ 時間パラメータの導入(長期使用、シェアリングなど)
3. 「資源循環レベル」の提示
 - ・資源循環の質を規定するオプションを示し、オプションごとの循環レベルを提示

課題

1. 資源影響量、資源循環レベル、循環貢献割合の整備
2. 各種ビジネスモデルや商品での検証
3. 指標利用促進のためのツール化
4. 使用価値の定量化

資源効率指標の開発や利用にご興味あればぜひお問合せ下さい

ご静聴ありがとうございました。

開発メンバー

■国立研究開発法人 産業技術総合研究所

松本 光崇(Mitsutaka Matsumoto)

製造技術研究部門 積層加工システム研究グループ 研究グループ長

田原 聖隆 (Kiyotaka Tahara)

安全科学研究部門 IDEAラボ長

■パナソニック株式会社 マニュファクチャリングイノベーション本部

松田 源一郎 (Genichiro Matsuda)

資源循環技術課 課長

三宅 岳 (Gaku Miyake)

資源循環技術課 主任技師

■パナソニックETソリューションズ株式会社

田島 章男 (Akio Tajima)

企画部 総括部長

Mail : tajima.a@jp.panasonic.com