

革新的GX技術開発小委員会 2024/03/01

サーキュラー・エコノミー(CE)の 社会実装の現在地と研究ニーズ

東京大学大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻
教授 村上 進亮

略歴



経歴

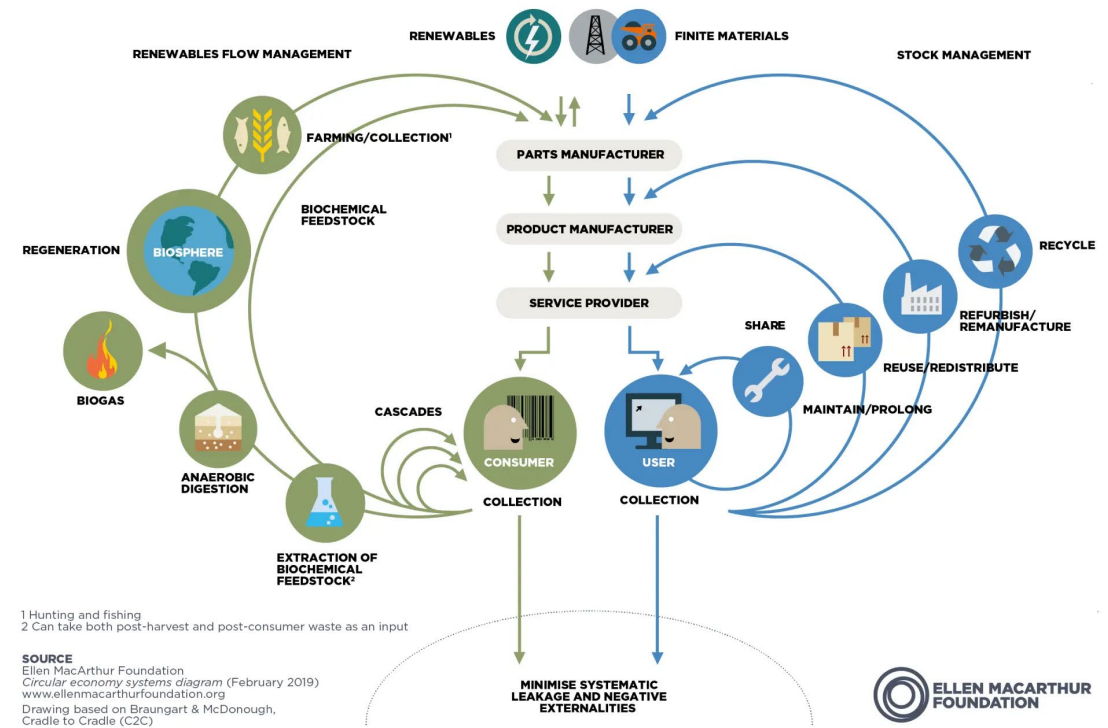
- 国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター
 - 流動研究員～研究員（2004～2007）
- 東京大学大学院工学系研究科
 - 地球システム工学専攻 講師(2007年4月～2008年3月)
 - システム創成学専攻 講師(2008年4月～2011年4月)
 - 同 准教授（2011年4月～2020年3月）
 - 技術経営戦略学専攻へ異動（2020年4月）
 - 同 教授(2022年8月～)
- 学歴
 - 東京大学 工学部 地球システム工学科（1997年3月）
 - Colorado School of Mines, Division of Economics and Business（2000年5月 MSc. (Mineral Economics)）
 - 東京大学大学院工学系研究科 地球システム工学専攻（2000年9月 工学修士）
 - 東京大学大学院工学系研究科 地球システム工学専攻（2004年8月 博士(工学)）

今日のテーマに関わる仕事

- 研究分野として
 - 資源循環全体の評価（指標、体系化など含め）：特に天然資源開発の評価
 - 静脈物流：狭い意味での収集車のルートみたいな話から、もう少し広めのいわゆるリバースロジスティクスみたいな話まで
 - 消費者行動：小型家電の回収とか、製品使用期間とかから始めて、情報の伝え方による違いとか、最近はPSS的なサービスが本当に環境に良いのかを考えるシミュレーションを作るべく、そもそも消費者行動の予測みたいな所まで
- 社会貢献？
 - ISO : TC323(CE) WG3([Measuring Circularity](#)): 国際エキスパート、国内委員会WG3対応分科会主査と WG5(Product Circularity Data Sheet: 情報共有用のデータフォーマット)も一応…、TC333 (Lithium) WG5 (Sustainability): 国際エキスパート 国内委員会委員
 - 審議会等（中環審：循環型社会部会、産構審：廃棄物リサイクル小委員会 委員など）：個別リサ法については：自動車（座長(2022まで)）、家電（委員）、コデン（立ち上げから）

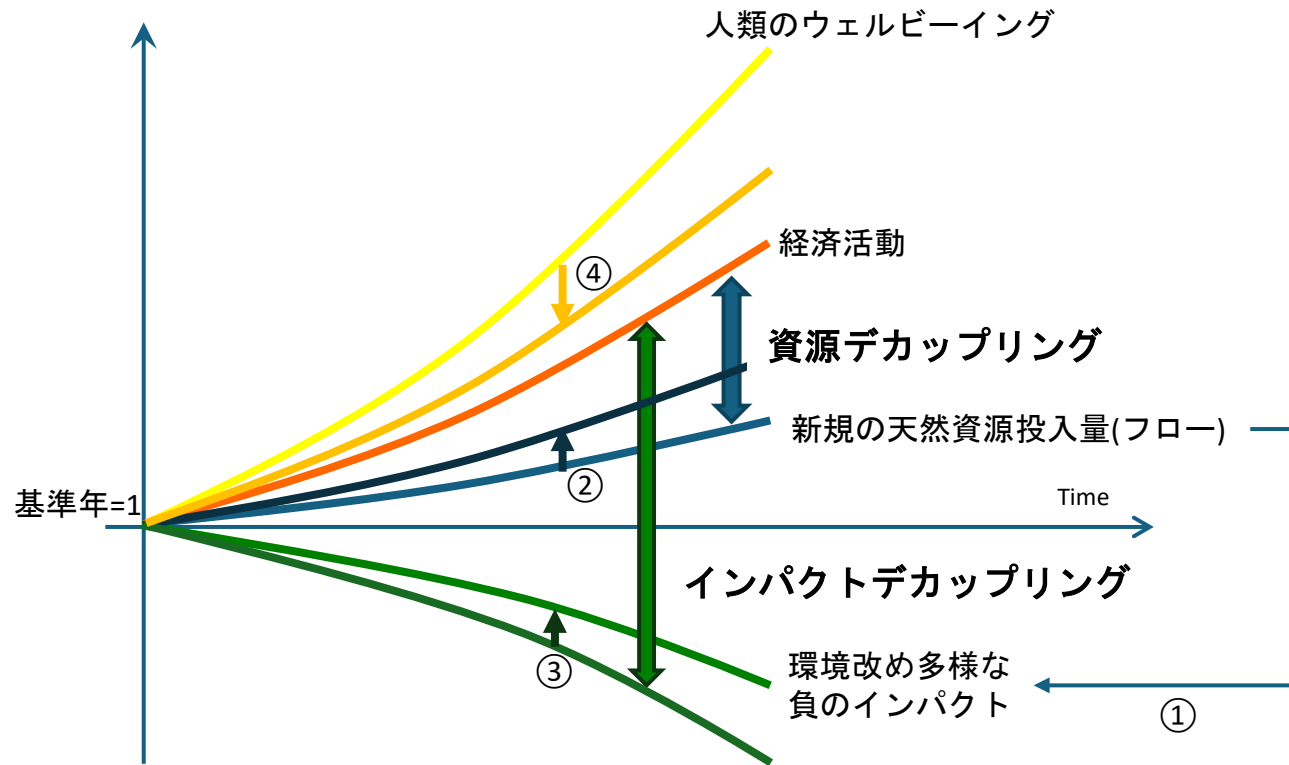
サーキュラー・エコノミーとは

- エレンマッカーサー財団によると
 - The circular economy is a system where materials never become waste and nature is regenerated. In a circular economy, products and materials are kept in circulation through processes like **maintenance, reuse, refurbishment, remanufacture, recycling, and composting**. The circular economy tackles climate change and other global challenges, like biodiversity loss, waste, and pollution, by decoupling economic activity from the consumption of finite resources.
 - The circular economy is based on three principles, driven **by design**:
 - Eliminate waste and pollution
 - Circulate products and materials (at their highest value)
 - Regenerate nature



なぜCE(Circular Economy)？

2つのデカップリング



資源デカップリングが
重要な理由

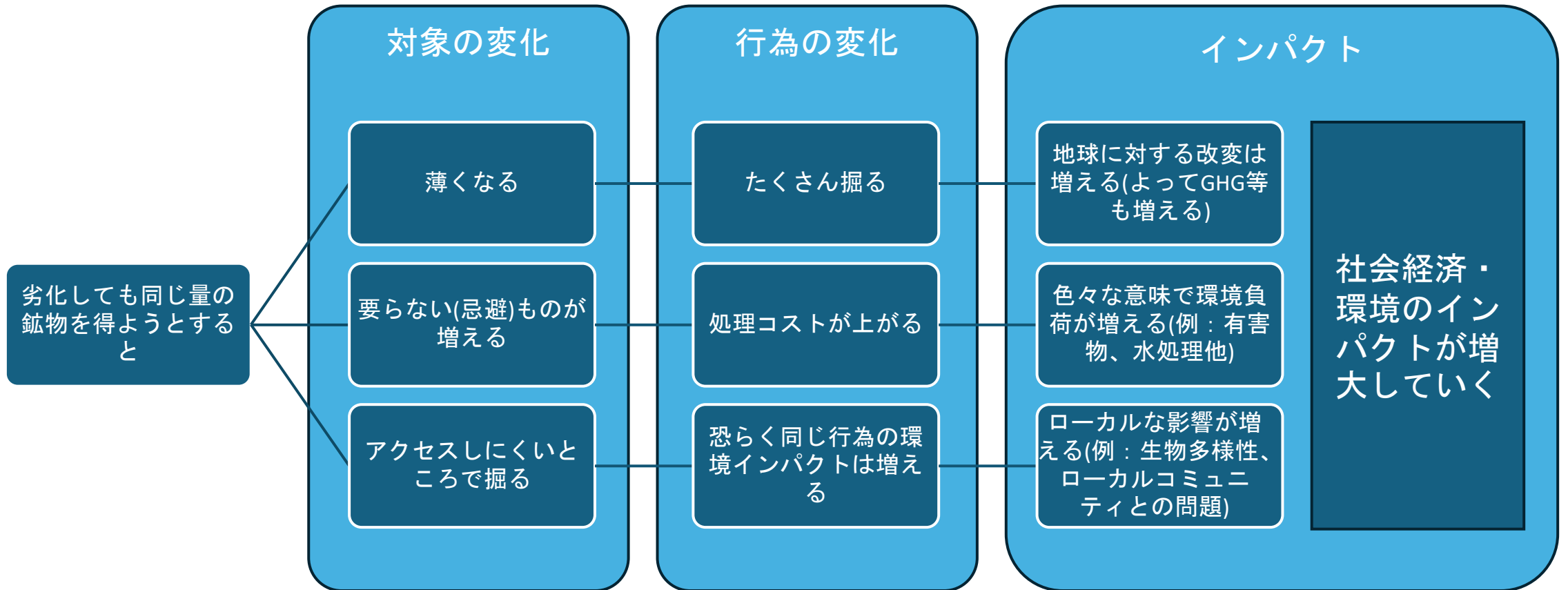
① 天然資源投入と負のインパクトは関係する

② 資源デカップリングに失敗する

③ インパクトデカップリングの程度が小さくなる

④ 経済活動が同じレベルだとしてもウェルビーイングは下がる

天然資源は劣化している 金属鉱物資源の劣化の含意



同じ量の天然資源を得る上で生じる様々な負のインパクトが増えていること
そしてそもそもこうしたインパクトを社会が認識するようになったこと

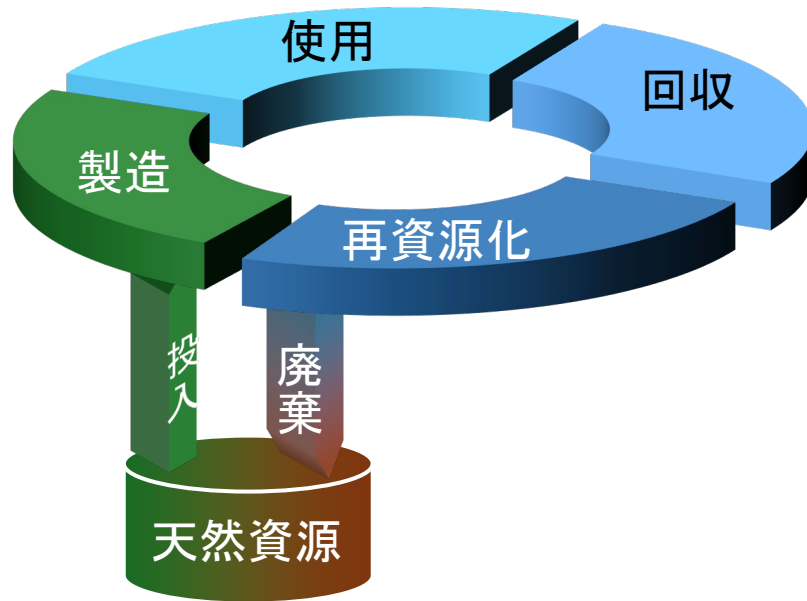
→ こうした事実が天然資源を使うこと自体をある種のリスクに変えてしまっている

既に社会には資源が蓄積されている

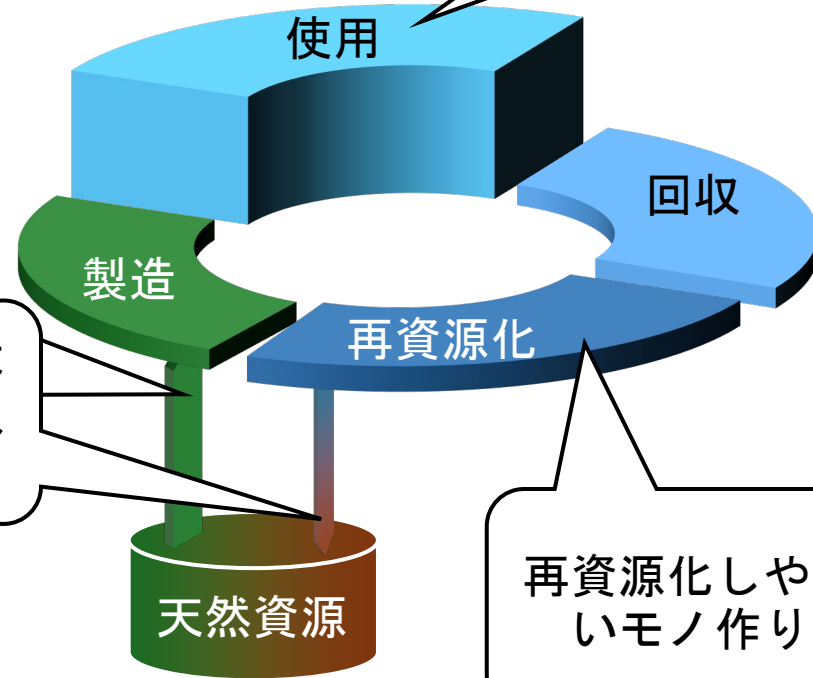
- Krausmannらによる論文*によれば1900年頃10Gt/yr前後であった資源投入量は年間90Gt程度まで膨れ上がっており、特に非金属鉱物、化石燃料の増加量が多い。また伸び率で言えば金属鉱物も非常に高い。
- これに対しモデルを組んで推計された蓄積量は2015年には1,000Gtに迫る量であり、明らかに蓄積されている資源の有効利用を考えるべき。

	推計数	一人あたりストック量		
		Global	先進国のみ	発展途上国
Al	9	80	350-500	35
Cu	34	35-55	140-300	30-40
Fe	13	2200	7000-14000	2000
Pb	20	8	20-150	1~4
Steel	1		7085	
Stainless	5		80-180	15
Zn	14		80-200	20-40

モノ流れから見た変化の方向



天然資源投入は減るが、それ以上に廃棄が減る



再資源化以前にストックにとどめ機能を発揮させる

再資源化しやすいモノ作り

Narrowing(単位製品あたりの流量を減らす), Slowing(社会全体で流量を減らす), Closing(捨てない)

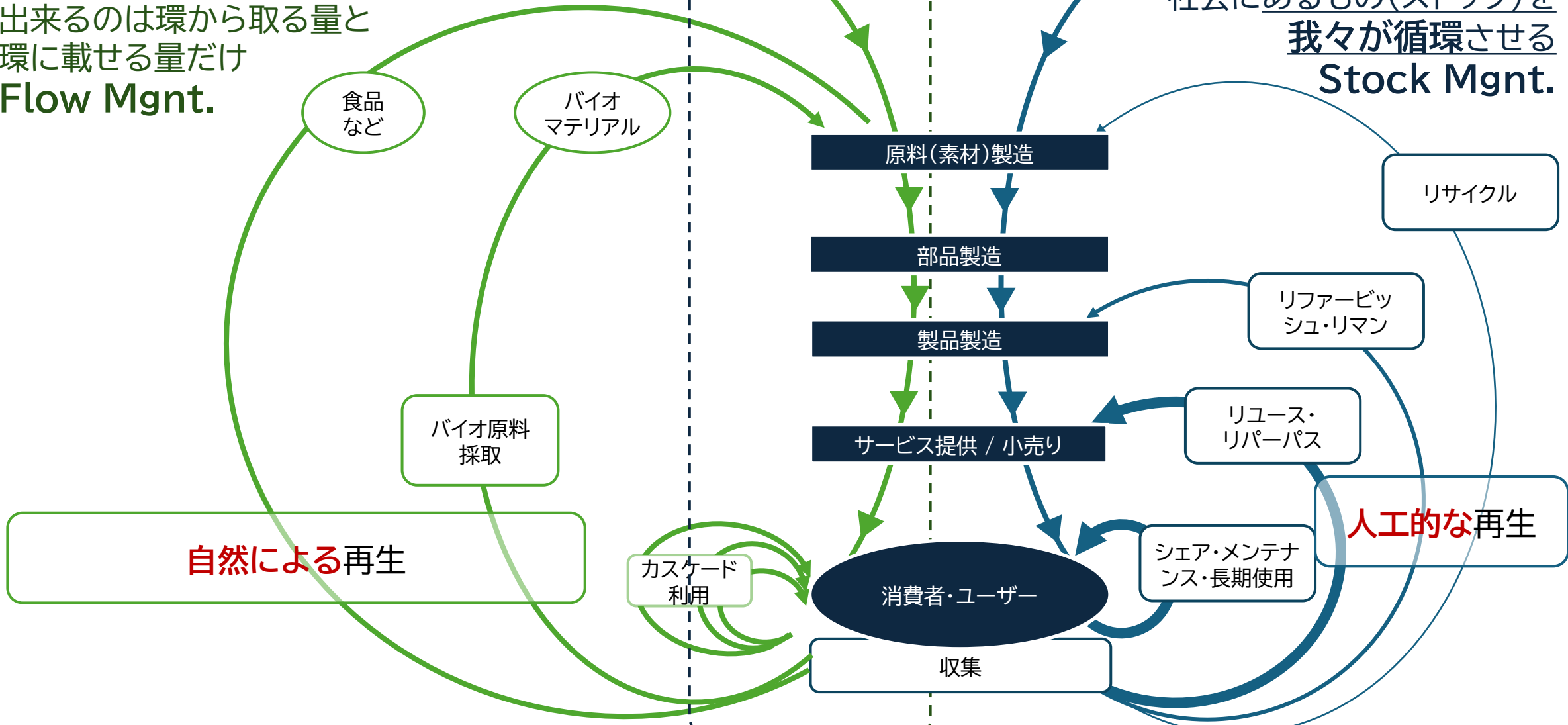
長持ち、高付加価値型、循環しやすい...

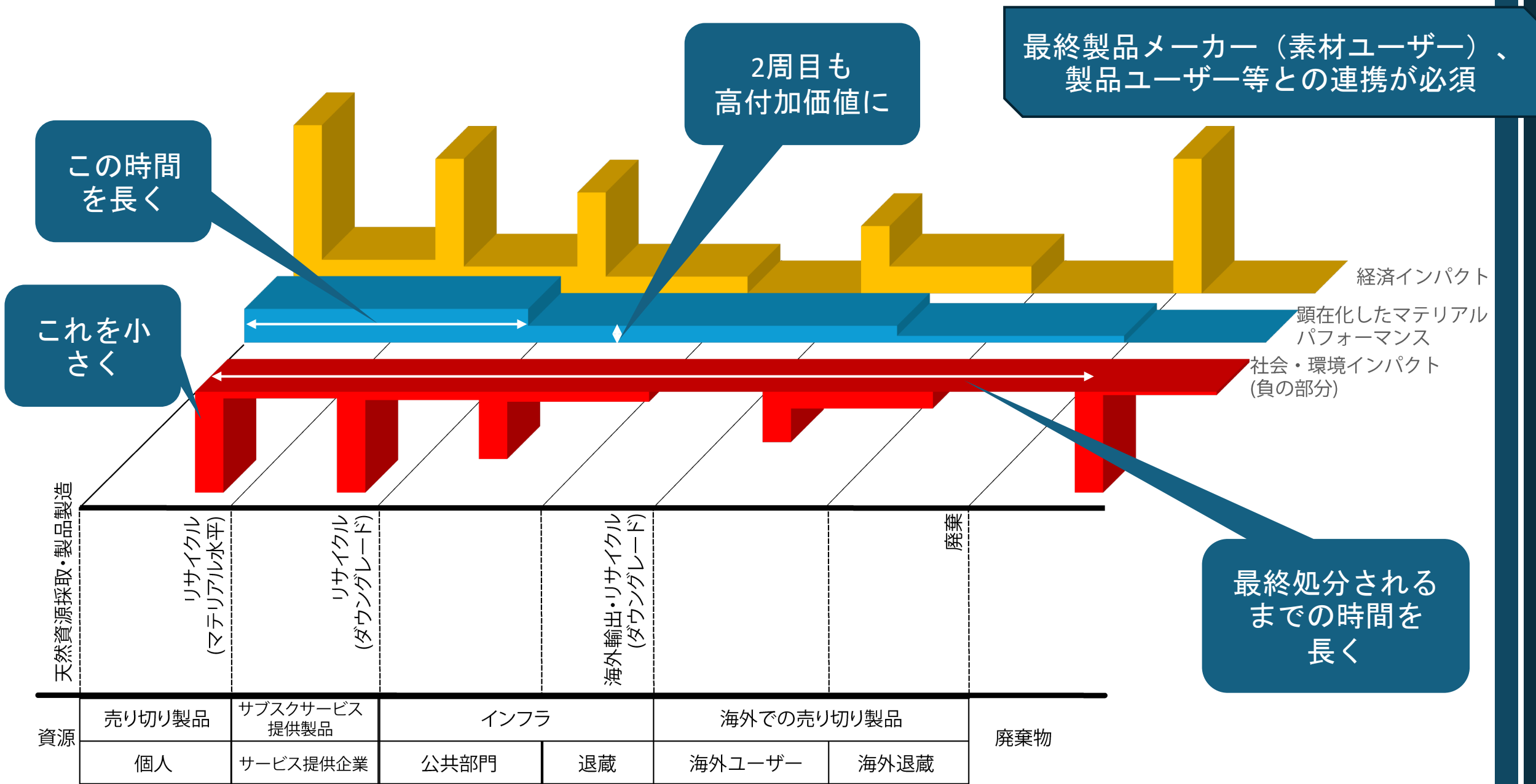
自然界にあるもの
 循環は人間には制御できない
 出来るのは環から取る量と
 環に載せる量だけ
Flow Mgnt.

再生可能資源

非再生可能資源

社会にあるもの(ストック)を
 我々が循環させる
Stock Mgnt.

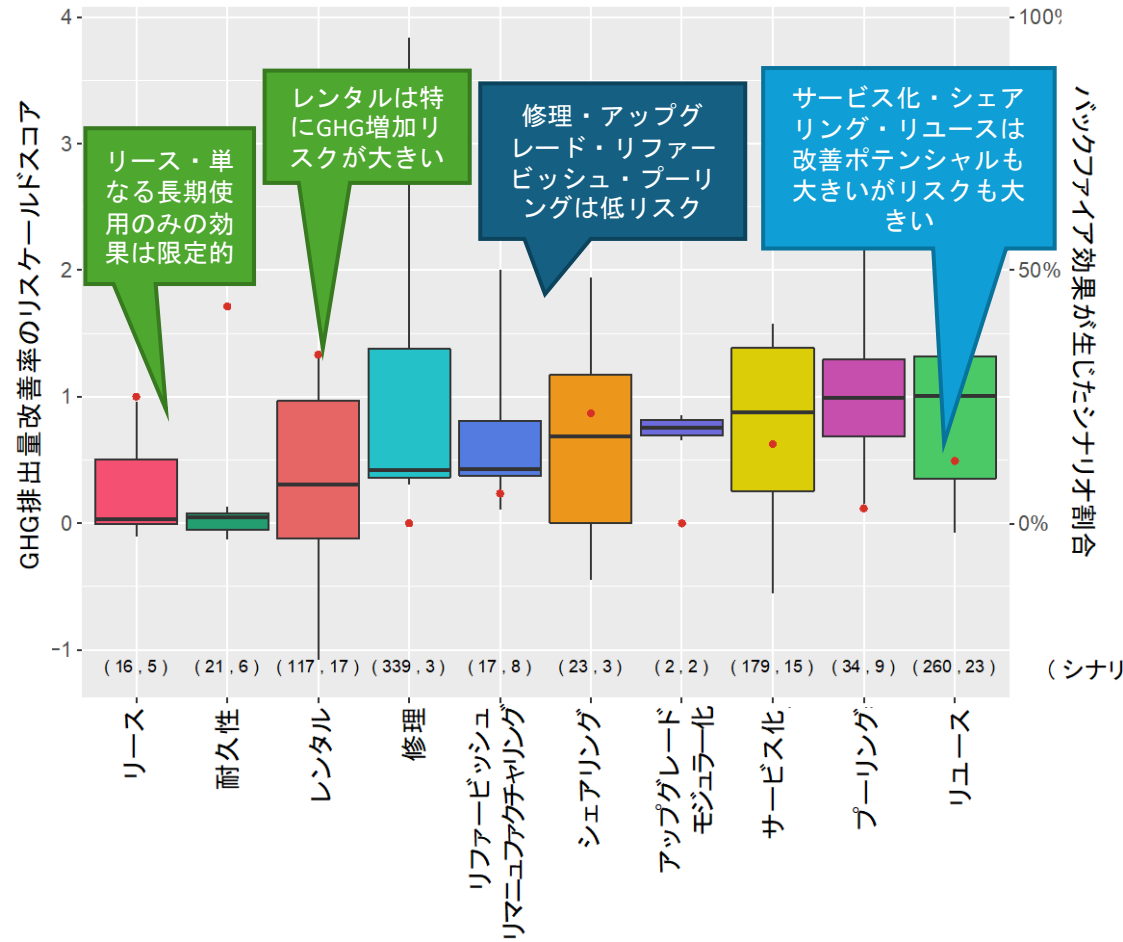




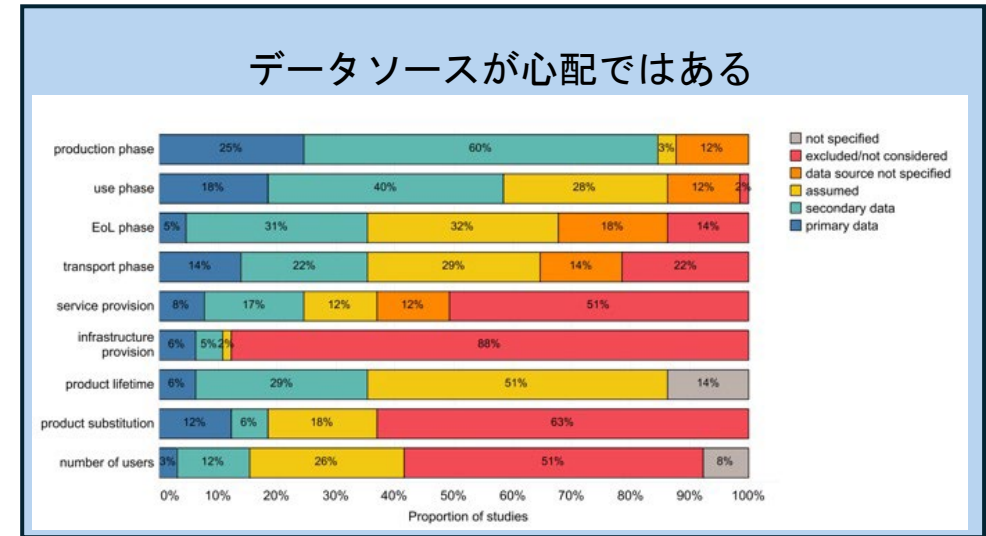
高耐久性、易解体に、そして多様な用途を持つように

評価の重要性

CEならなんでもCNでもない



低リスクのCE施策（プーリング、アップグレード、リファーマービッシュ）
高ポテンシャル・高リスクのCE施策（リユース、サービス化、シェアリング）



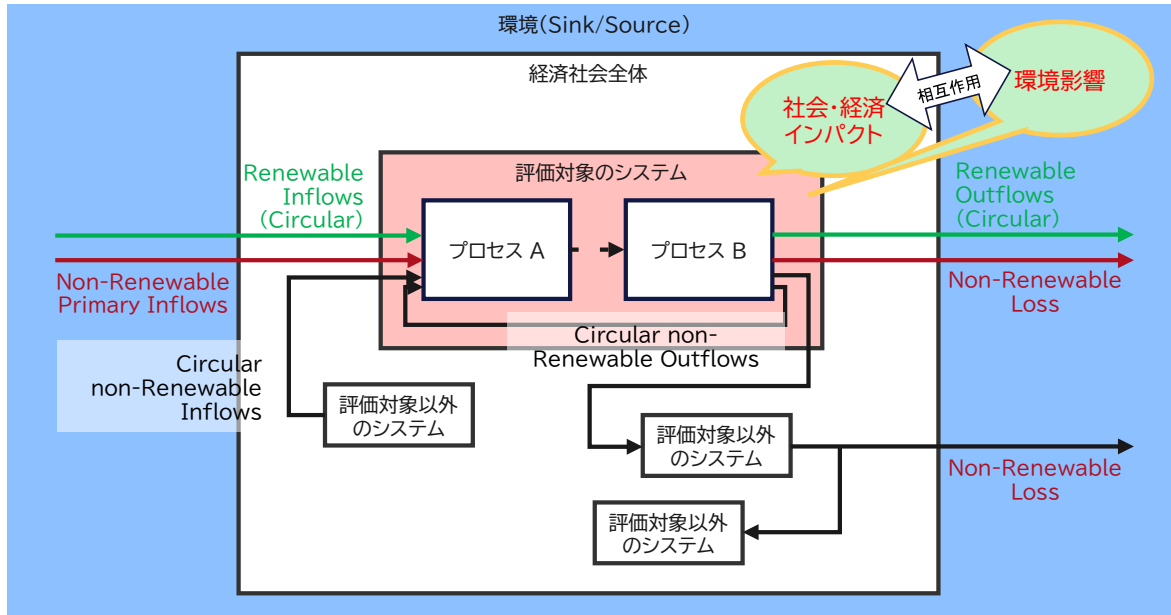
CNにつながる人が多い施策であってもGHGが増えることもある。

例えばこんな考え方で評価

$\frac{\text{発揮した機能}}{\text{評価対象システムの資源利用}}$	例)	$\frac{\text{その素材が捨てられるまでに発揮する機能}}{\text{素材製造への天然資源投入量}}$
$\frac{\text{価値}}{\text{評価対象システムの負のインパクト}}$	例)	$\frac{\text{ある製品の産み出す経済的付加価値}}{\text{その製品のライフサイクル環境負荷}}$

- 例えば、スクラップを全く投入出来ない超高機能材料と、スクラップを豊富に投入出来る通常の材料のどちらが良いと言うのか？
 - どちらとも言えないが、少なくともカスケードリサイクルは出来るべき。ただしここは素材ではなく製品設計の問題かもしれない。
- いずれにせよ評価するためにはそのための情報が必要。故に良く言うCEのためのDXを通したトレサビの確保と言った話は不可避。
 - 国際規格等の交渉も積極的に参戦しておくべき。

Circularity ちゃんと測りましょう



CEからDXへの期待

- 組成情報が分かったり・・・と資源循環が高度化しやすいという現場技術からの期待。
- この種の評価関連情報を共有する(Green Washを避ける)、とにかく情報の信頼感向上への期待。

Circularity

- CEっぽさ (CEの概念にそのシステムがどの程度沿っているか) を流れのCircular度合いでみる
 - Resource Decoupling
 - 測るべきはマテリアルとエネルギーだけでなく、水も、です。
- それ以外については、そもそもCEはSustainabilityに負の影響を与えるべきではないので、社会・経済的なインパクトや環境インパクトを測っていく
 - Impact Decoupling
- *Renewable Outflowは、正しく biological cycleに戻される量、を指す。別に元々がbio-basedだから全て良いわけではない。

一事例として：ISO TC323 WG3: ISO 59020で予定されているCore Indicators では

<まだ発行前のドラフト (FDIS (最終国際規格原案、Final DIS)) です。>

- マテリアルというかモノの流れは義務
 - 前スライドのCircular Inflows/Outflowsの比率
- エネルギーと水はoptional
 - やらなくて良いというのでは無く、例えば水については恐らく上手く合致しない対象があるので。
- 義務ではないのですが重要だと思われるところに
 - 使用期間→業界平均に対して長い、短い
 - Material Productivity (資源生産性) Linear Inflowsの生産性
 - 資源利用強度
- その他よく日本で聞かれる話で言うと熱回収の話はCircularではないので、Circularity Indicatorではないが関連する重要な指標として扱う予定。
- また、当然エビデンスの無い値は認められないことにはなりますが、本規格の中でISO:22095 (Chain of Custody)への引用が入ります。ただこのあたりも含めやはり情報連携は重要です。

まとめ代わりに研究・教育ニーズの例

- CEのコンセプトに合致した高機能材料
 - リサイクルー辺倒でもバイオー辺倒でもないという当然のポイント
- CEのコンセプトに合致した製品の設計
 - まずは長寿命化、リマン・リファービッシュへの適性、そして再資源化しやすい設計、材料（接着剤等まで含めた）選択など。また対象は耐久消費財には限らず建築、土木なども重要
- CE実践のための技術
 - 再資源化に関する単体分離、選別等の技術
 - 情報管理に関する技術
- 評価研究者、そして現場で実践するレベルの評価担当者、認証機関等の育成
 - 社会・経済インパクトまでみれば評価についても研究レベルの仕事はまだ残っている
 - また、評価の実務者が不足しているのはCFPを見ても明らか。
 - 天然資源の影響評価、社会環境問題の抽出にはAI的な技術の活躍の場も多分あり。
- この辺りの分野が魅力的であると次世代に伝える発信。