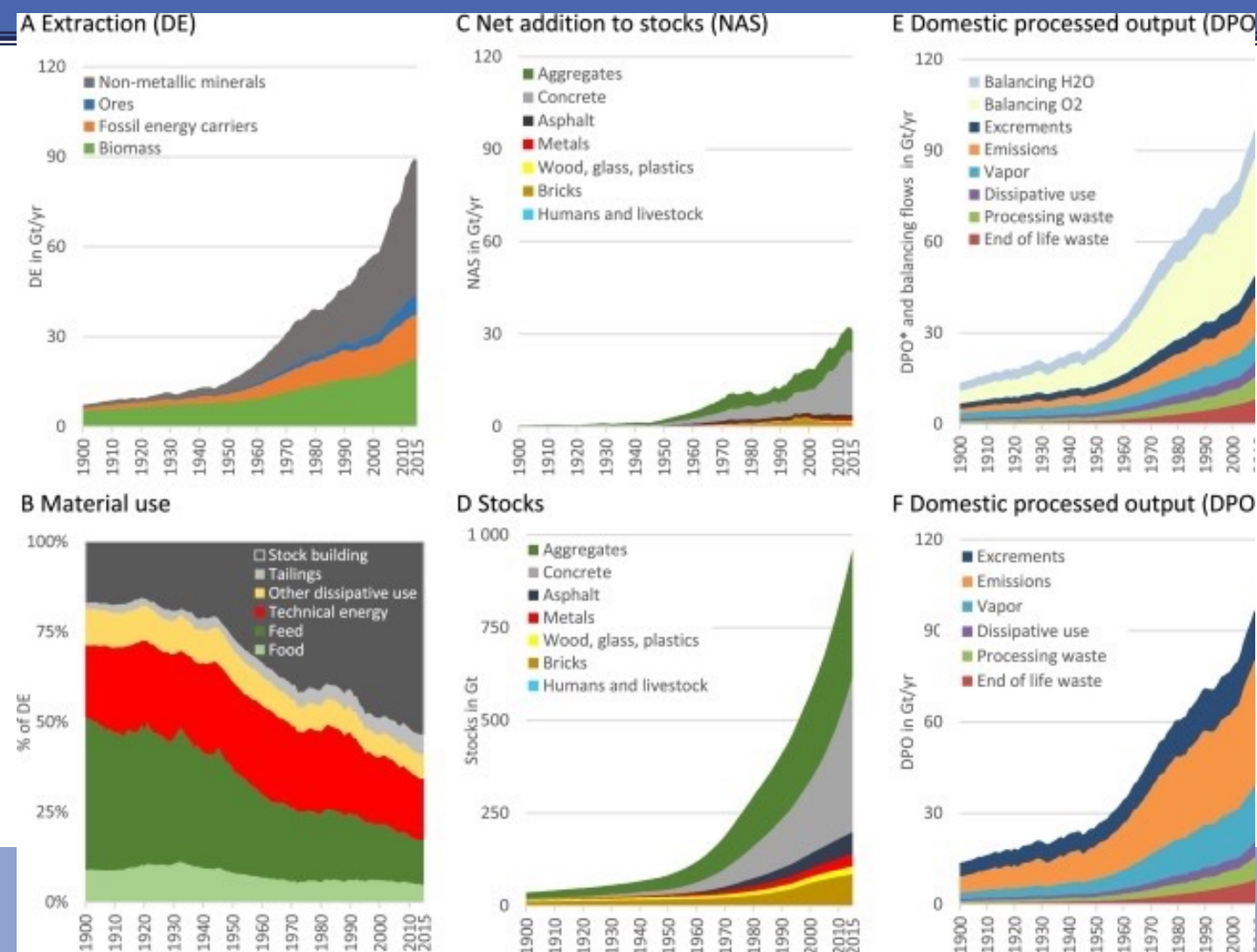


持続可能な資源利用と脱炭素化： サーキュラーエコノミーという アプローチ

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 (smurakam@tmi.t.u-tokyo.ac.jp)

資源消費量の拡大と劣化



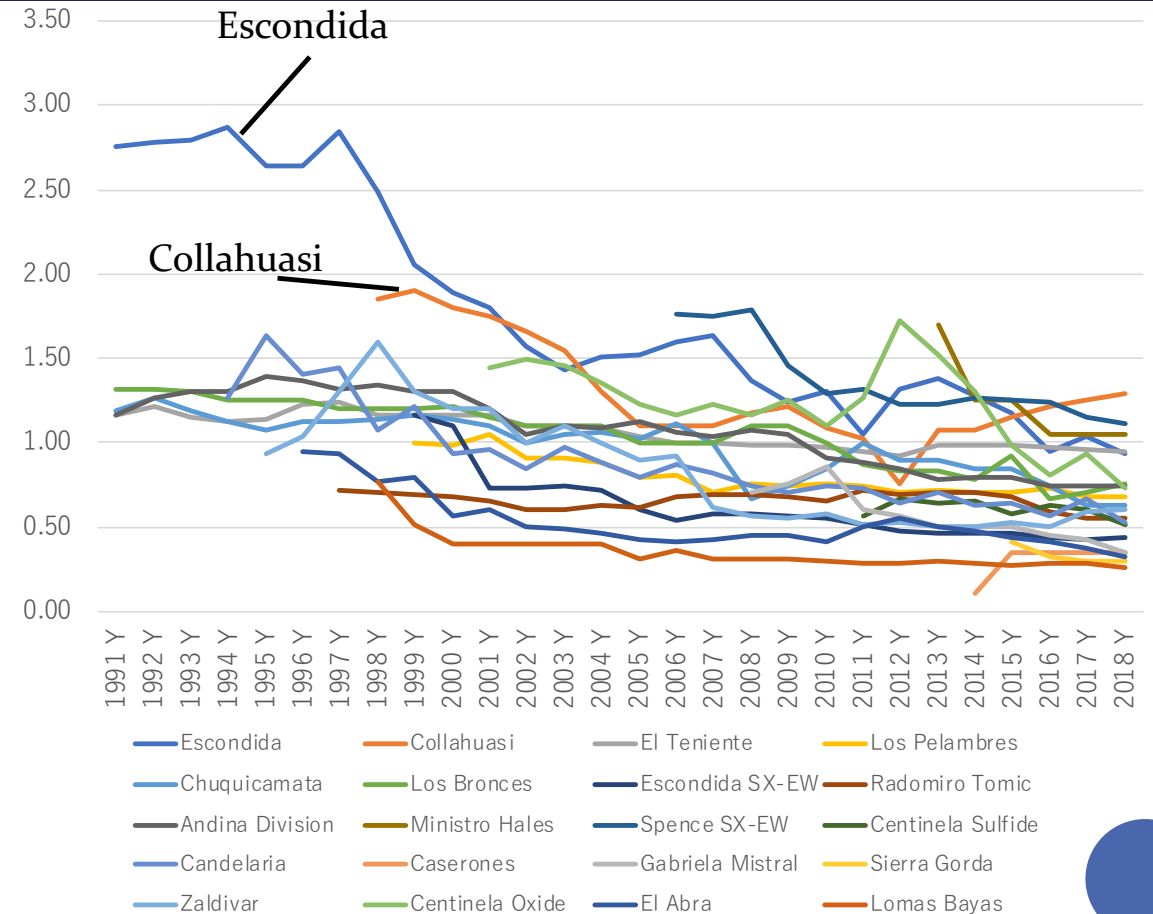
- いわゆる資源消費量DE(A)は増加し続けるがシェアは小さいものの実は**Oresの伸び**はかなり大きい。
- これが社会に貯め込まれる量 (NAS: C)もその結果の蓄積量 (Stocks: D)も大きい。
- また資源利用の内訳(B)を見るとバイオマスの比率が下がりそれ以外のものが増え続けていることが分かる。

Krausmann, F., Lauk, C., Haas, W., Wiedenhofer, D., 2018. From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. *Glob. Environ. Chang.* 52, 131–140.

金属鉱物資源の劣化とは

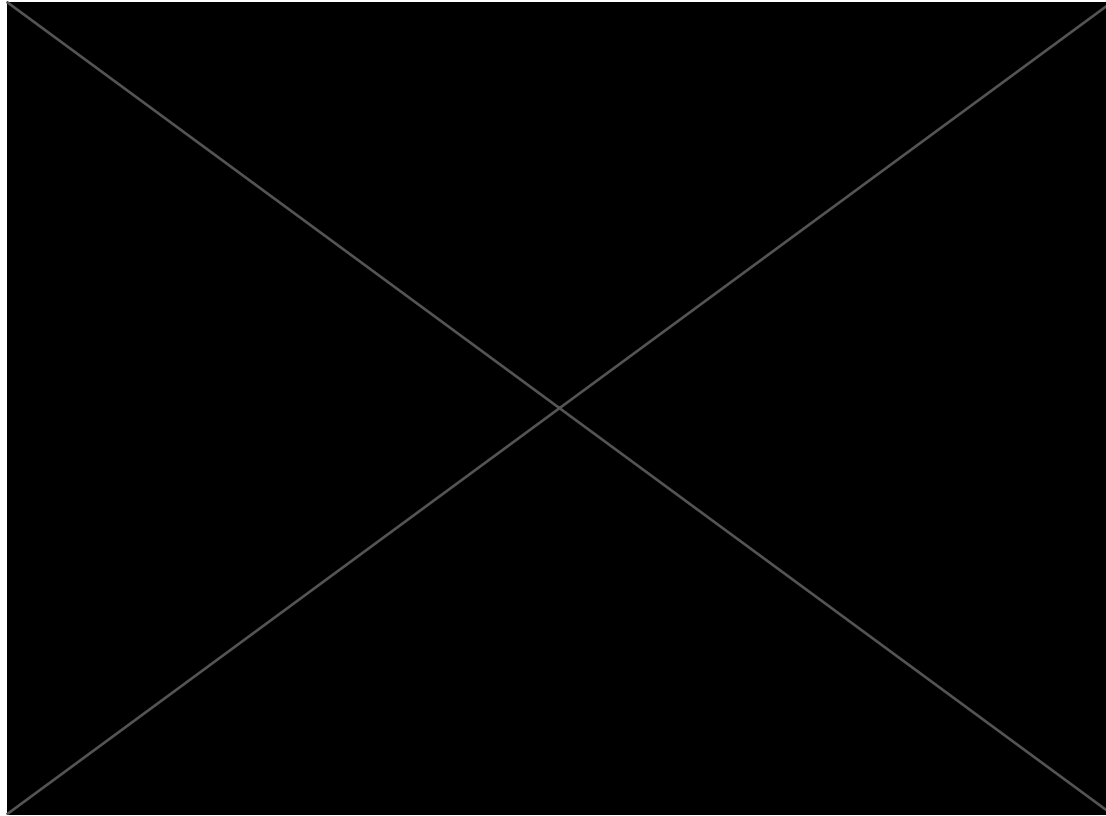
広い意味での低品位化を差す

- 目的鉱物の含有濃度が下がる
- 忌避元素の含有濃度が上がる
- その他コスト上昇につながる要因
 - 開発現場が大深部化する
 - その他環境影響の増大要因がある
 - 現地コミュニティとの関係が難しい etc.
- 右図はチリの例：現在世界最大の生産量を誇るEscondida (銅量で年間120万トン弱), 2位の Collahuasi (55万トン程度)などの低下は明らか



環境問題

増加傾向にある尾鉱ダムの事故



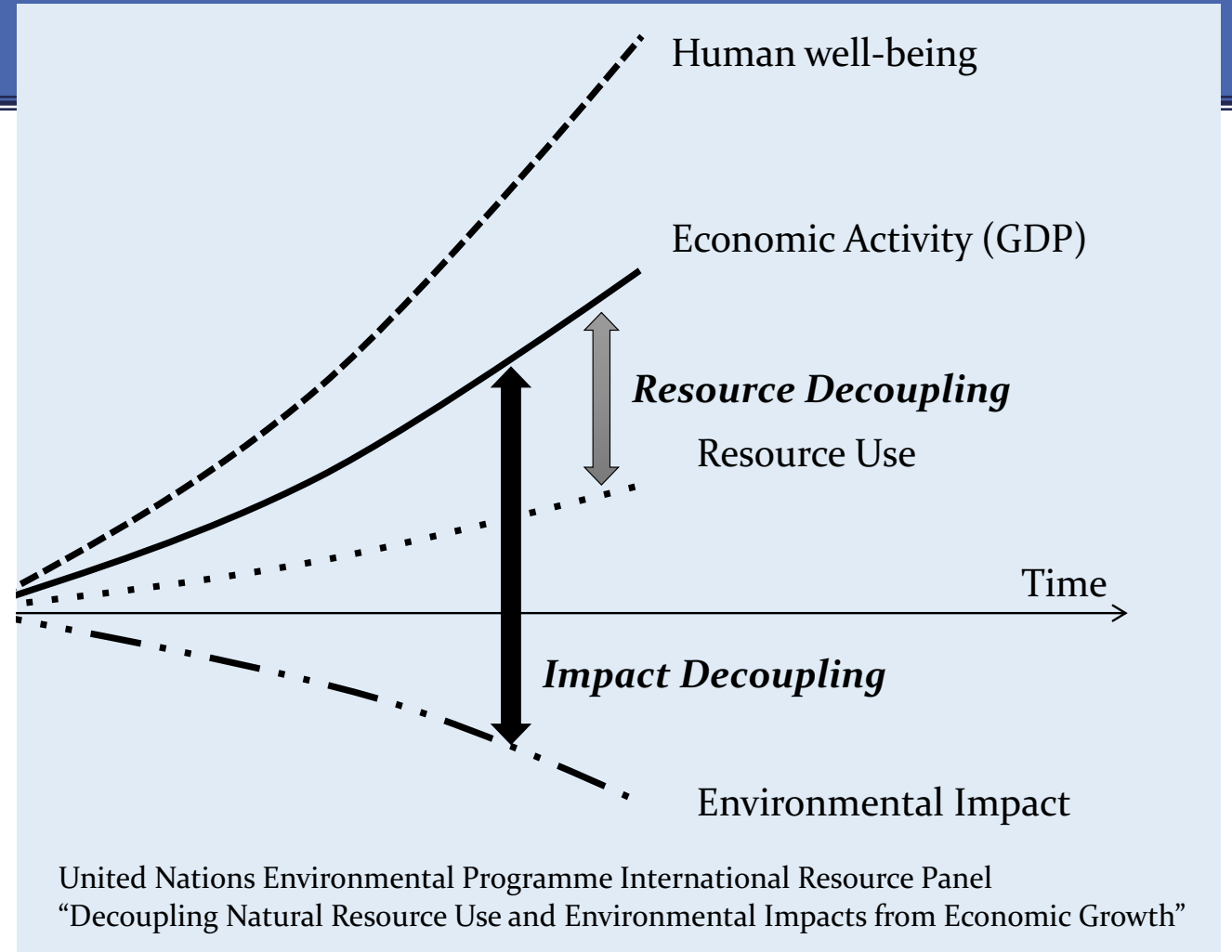
- ブラジルの鉄鉱石鉱山で2015, 2019と大きな事故が2回あったこともあり、国際金属・鉱業評議会（International Council on Mining and Metals: ICMM）、国連環境計画（UNEP）、国連責任投資原則（Principles for Responsible Investment: PRI）が新しい国際基準を設定するに至った。
- 鉱山開発の環境影響としては、CO2は当然としても、土地改変(衛星画像解析関係の論文数が急増中)→生態系、水(淡水利用と汚染水の両方)が注目されることが多い。

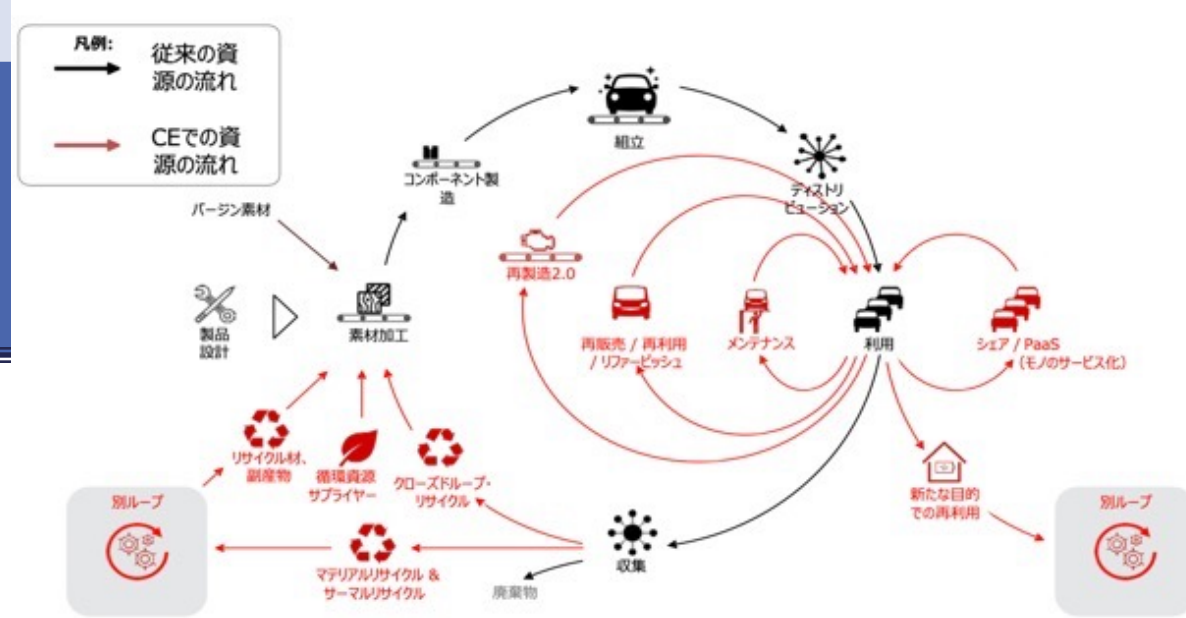
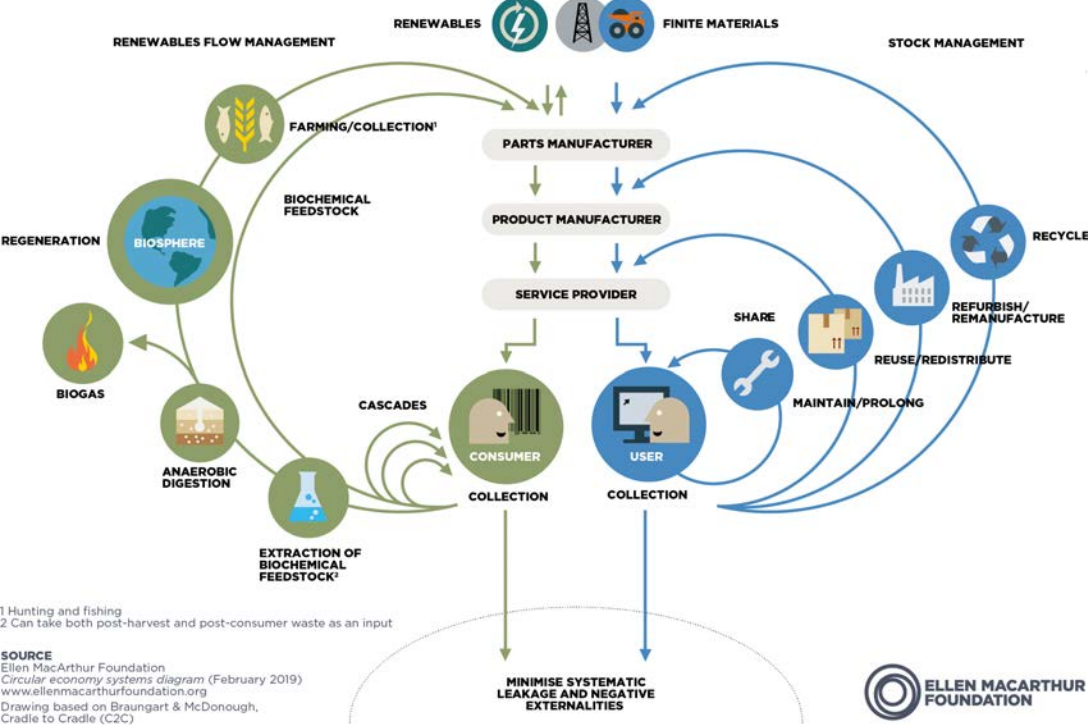
Decoupling

資源効率を高めるための考え方として Decoupling というものが提唱されて実は 20 年程度たちます。

基本的には資源デカップリングと書いてあるものですが、環境影響も見据えては居ます。

この発想は2000年に日本が循環型社会というコンセプトを導入した時点でその基礎にあったもので、全く新しいものではありません。





サーキュラーな流れ

我が国の循環型社会とは何が違ったのか？

(左：EMFのButterfly Diagram, 右：METI循環経済ビジョン)

L: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>

R: <https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200522004/20200522004-1.pdf>

サーキュラー・エコノミー(CE)

In our current economy, we take materials from the Earth, make products from them, and eventually throw them away as waste – the process is linear. In a circular economy, by contrast, we stop waste being produced in the first place.

The circular economy is based on three principles, driven by design:

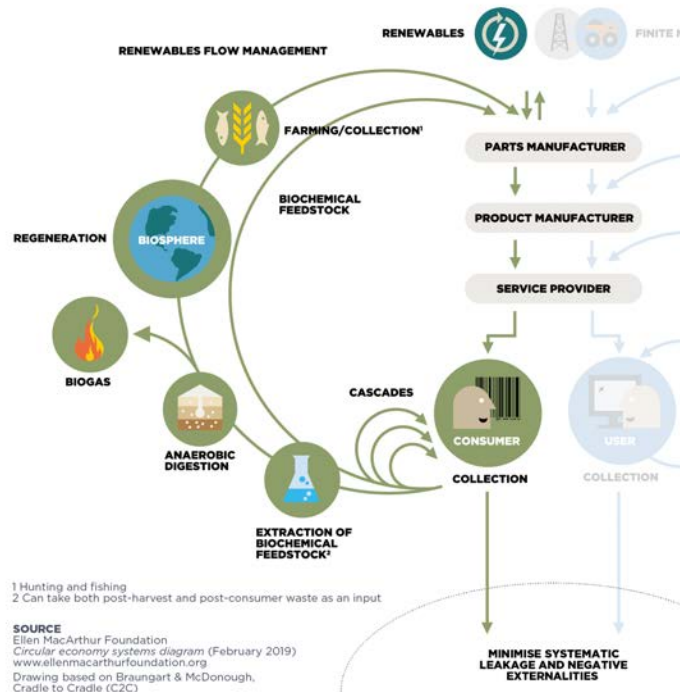
1. Eliminate waste and pollution
2. Circulate products and materials (at their highest **value**)
3. Regenerate nature

It is underpinned by a transition to renewable energy and materials. A circular economy decouples economic activity from the consumption of finite resources. It is a resilient system that is good for business, people and the environment.

The circular economy is a systems solution framework that tackles global challenges like climate change, biodiversity loss, waste, and pollution.

The biological cycle describes the processes that return nutrients to the soil and help regenerate nature.

Extraction of biochemical feedstock: Taking both **post-harvest and post-consumer biological materials** as feedstock, this step involves the use of **biorefineries** to produce low volume but high value chemical products. On top of this, biorefineries can produce a range of other valuable products from organic materials through a series of steps.



右側

On the right-hand side of the butterfly diagram is the technical cycle, relevant for products that are used rather than consumed. This page will focus on the different stages of the technical cycle and look at how each step allows materials to remain in use rather than becoming waste.

Sharing: Sharing is the first port of call in the technical cycle and, while not appropriate for all products in the economy, it has the power to **dramatically increase the utilisation** of many products.

Maintaining: If sharing is a way to increase the intensity of product use, another way to maximise the value of a product is by prolonging its usable life. Maintenance is an important way of **keeping products at a high quality** and guards against failure or decline.

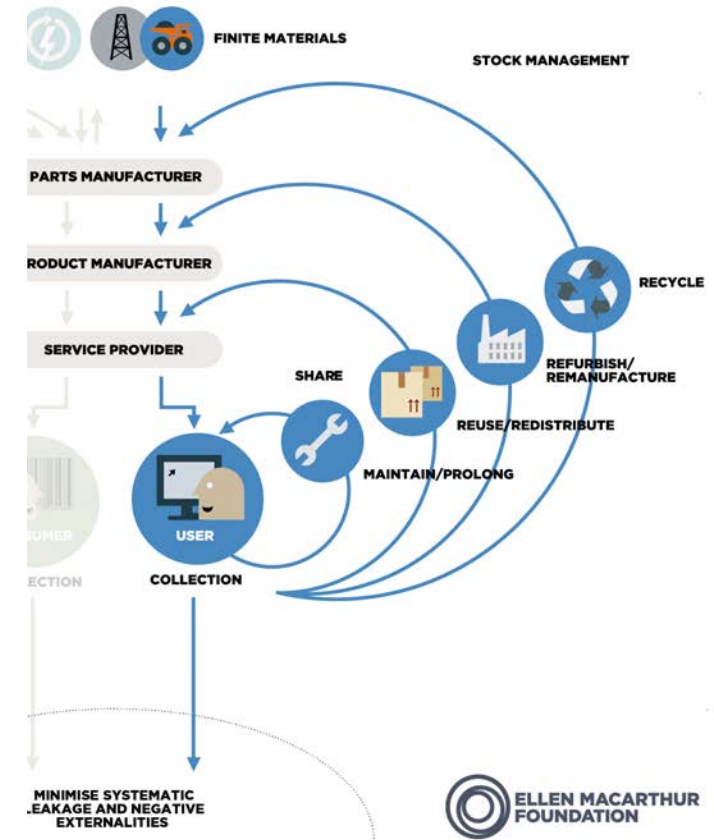
Reusing: The next loop in the technical cycle of the butterfly diagram is reuse. Like sharing and maintaining, this step keeps products in use in their **original form** and for their **original purpose**

Redistributing: Redistribution is another way to keep products in use and stop them becoming waste. By diverting products from their intended market to another customer, the product is put to valuable use. For example, a fashion brand could redistribute unsold clothing from one store to another.

Refurbishing: Returning products to **good working order** is a way to restore their value. This could include repairing or replacing components, updating specifications, and improving cosmetic appearance.

Remanufacturing: The next stage of the technical cycle is remanufacturing. This is done when products cannot remain in circulation in their current state and **need more intensive work to be used again**. Remanufacturing involves **re-engineering** products and components to as-new condition with the same, or improved, level of performance as a newly manufactured one.

Recycling: The **final step** in the technical cycle is recycling. This is for when a product can no longer be used and is beyond refurbishment or remanufacture, or isn't suitable for those steps.



循環性(Circularity)をあげる

- Circularity: 何かシステム（経済でも、製品でも、企業でも、ビジネスモデルでも）のCEっぽさを測り、評価するもの
 - 何がサーキュラーに？：マテリアル系の資源、エネルギー、水の流れ
 - At their **highest value**: こうなれば結果的にサーキュラーになるんじゃない？と思いますが、valueも測っておいた方が良い。（例：天然資源等投入量ではなくて資源生産性）
 - どうやって測る？：システム境界を跨いだ流れ（要するにinflow / outflow）がサーキュラーかどうか
 - サーキュラーって？：再生可能である（バタフライの左側にある）こと、リサイクル、リユース等であること、より長期使用につながっていること など

PSS: ビジネスモデル的なアプローチ

所有権に注意？

- シェアリング：もの、サービス、場所等を複数のプレーヤーで共有する仕組み。C to Cだと所有権はユーザーの誰か、サービス提供者はマッチングの仕組みだけを提供。B to Cだと所有権もサービス提供者。
 - プーリング：シェアリングとの違いが難しいですが、例えばライドシェアリングはプーリングです。
- レンタル・リース：所有権はサービス提供者。この2つは期間を始め契約の項目が意外と違います。
- サブスクリプション：所有権はサービス提供者。支払額固定のリース？ただし、違う機種との交換、新機種との交換など、メリットも多いし、ちょっと違う..。

PSSならなんでもGHG削減ではない (学生の論文から)

耐久消費財の製品サービスシステムを通じたサーキュラーエコノミーのもたらす温室効果ガス削減効果とLCA手法の系統的文献レビュー

(Koide, R., Murakami, S., & Nansai, K. (2022). Prioritising low-risk and high-potential circular economy strategies for decarbonisation: A meta-analysis on consumer-oriented product-service systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 155(November), 111858. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111858>)



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Prioritising low-risk and high-potential circular economy strategies for decarbonisation: A meta-analysis on consumer-oriented product-service systems

R. Koide^{a,b,c,*}, S. Murakami^b, K. Nansai^a^a Material Cycles Division, National Institute for Environmental Studies, Onogawa 16-2, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506, Japan^b Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan^c Institute for Global Environmental Strategies, Kamiyanaguchi 2108-11, Hayama, Kanagawa, 240-0115, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:

Product service systems
Circular economy
Greenhouse gas emissions
Life cycle assessment
Consumer product
Systematic review
Meta-analysis

ABSTRACT

The circular economy has potential synergies with climate change mitigation, although quantitative evidence for these synergies in the consumer product sector has not yet been systematically evaluated. We conducted a systematic review of existing studies of consumer-oriented product-service systems (PSS) on the lifecycle impacts, focusing on a meta-analysis of global warming potentials. Potential reductions in greenhouse gas emissions and the risk of backfire as a result of 10 types of circular economy strategies were investigated by reviewing 103 studies and more than 1500 scenarios for consumer durable and semi-durable products. As many as three-quarters of the reviewed studies analyse only one circular economy strategy rather than comparing (e.g., reusing, sharing, and renting) or integrating multiple strategies (e.g., leasing combined with remanufacturing). Approximately one-third of the reviewed studies rely on assumptions for set parameters of use, transport, and end-of-life phases, whereas more than half of the studies do not consider service and infrastructure provisions, or imperfect product substitution. Among the reviewed case studies, upgrading, repair, refurbishing, and pooling showed moderate to high improvement potentials with lower risks of backfiring, whereas servitisation, sharing, and reuse were associated with higher backfire risks, but they had high improvement potentials. The risk of backfiring was explained by factors such as transport, number of uses, product substitution and lifetime, maintenance, energy source, and energy efficiency. This meta-analysis revealed the importance of prioritising low-risk strategies, controlling for rebound effects of high-potential strategies, and integrating multiple strategies in order to utilize PSS for climate change mitigation.

1. Introduction

In recent years, significant changes have occurred in consumption and production patterns. There has been a shift in the dominant logic of businesses from focusing on tangible products to service provision [1], as illustrated by the rise of a sharing economy [2] and a digital economy

PSS can be, if intentionally designed to be geared towards sustainability, a tool for realising the transition from a linear economy to a circular economy (CE) [8]. In addressing environmental sustainability, policies for shifting the current practices of manufacturing industries and for reducing excessive natural resource consumption are necessary [9]. CE is among the most promising approaches for sustainable development through addressing the constraints of the linear patterns of production,

国立環境研と東大、サーキュラーエコノミーを脱炭素化につなげるための必須条件を解明

2021年12月15日 16:46



環境ビジネス オンライン

法人会員

脱炭素経営の実践へ！チームで情報共有し、

① 会員限定記事 ② 補助金データベース ③ 季刊「環境」

[HOME](#) > [ニュース](#) > 国環研と東大、脱炭素につながるサーキュラーエコノミーの必須条件を解明

国環研と東大、脱炭素につながるサーキュラーエコノミーの必須条件を解明

2021年12月17日掲載

記事を印刷

☆ 記事を保存

✉ メールで共有



[トップページ](#) > [広報・イベント](#) > [新着情報](#) > [2021年度](#) > サークュラーエコノミーを脱炭素化につなげるための必須条件を解明

2021年12月15日

国立研究開発法人
国立環境研究所
National Institute for Environmental Studies

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

サーキュラーエコノミーを脱炭素化につなげるための必須条件を解明

(筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ、環境記者会、文部科学記者会、科学記者会、大学記者会同時配付)

耐久
直した
て
挙げ
らの

対象としたCE施策と耐久消費財

対象製品

- 大型家電
- 小型家電
- 情報通信機器
- 工具
- 衣類
- 書籍
- メディア
- 容器包装
- 自動車
- 自転車・スクーター

サーキュラー施策

- サービス化
- プーリング(同時使用)
- リース
- C2Cシェアリング
- レンタル
- リユース
- 修理
- 耐久性向上
- アップグレード・モジュール化
- リファビッシュ、リマン

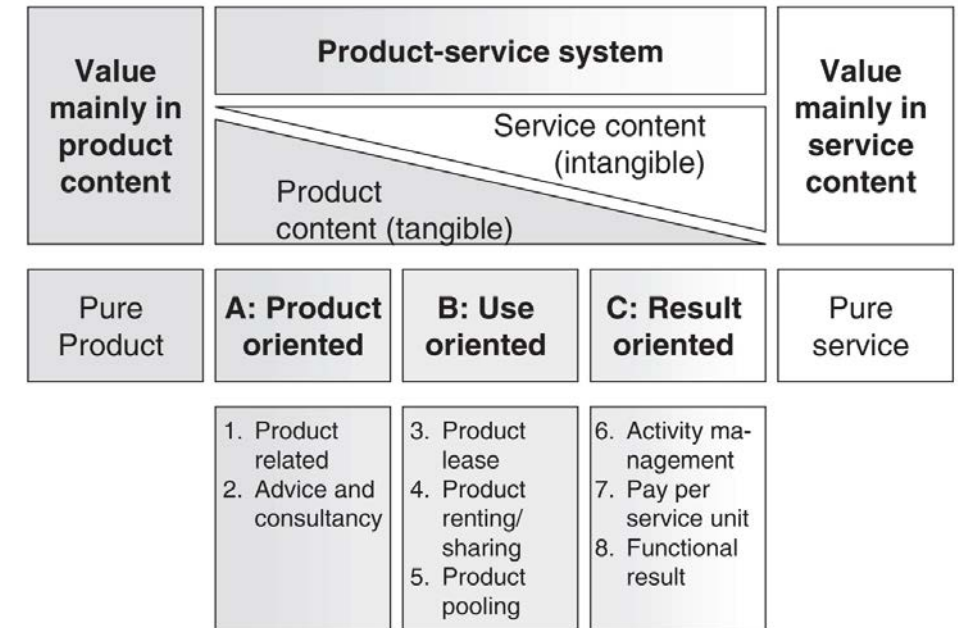
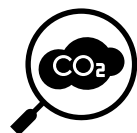


Figure 1. Main and subcategories of PSS

評価指標



$$R_i^{improve} = \frac{E_i^{pss} - E_i^{base}}{E_i^{base}}$$

E_i^{base} : ベースラインの排出量 E_i^{pss} : 施策導入後の排出量



製品k 施策jに関する記述統計量を製品ごとにCE施策間で比較

〔中央値, 第1,第3四分位, 10%,90%パーセンタイル〕

i: シナリオ
j: 施策
k: 製品種類

GHG純増シナリオの割合をもとにGHG増加リスクを把握



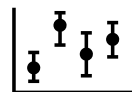
$$P_{j,k}^{backfire} = \frac{N_{j,k}^{backfire}}{N_{j,k}^{all}}$$

$N_{j,k}^{backfire}$: GHG増加したシナリオ数 $N_{j,k}^{all}$: 報告されている全シナリオ数



製品ごと・全製品横断でCE施策間で比較

異なる製品を横断した評価のため各製品ごとに改善率を四分位範囲で除してリスクレーシング



$$R_i^{improve-rescaled} = \frac{R_i^{imp}}{Q_{3,k} - Q_{1,k}} \quad (i \in S_k)$$

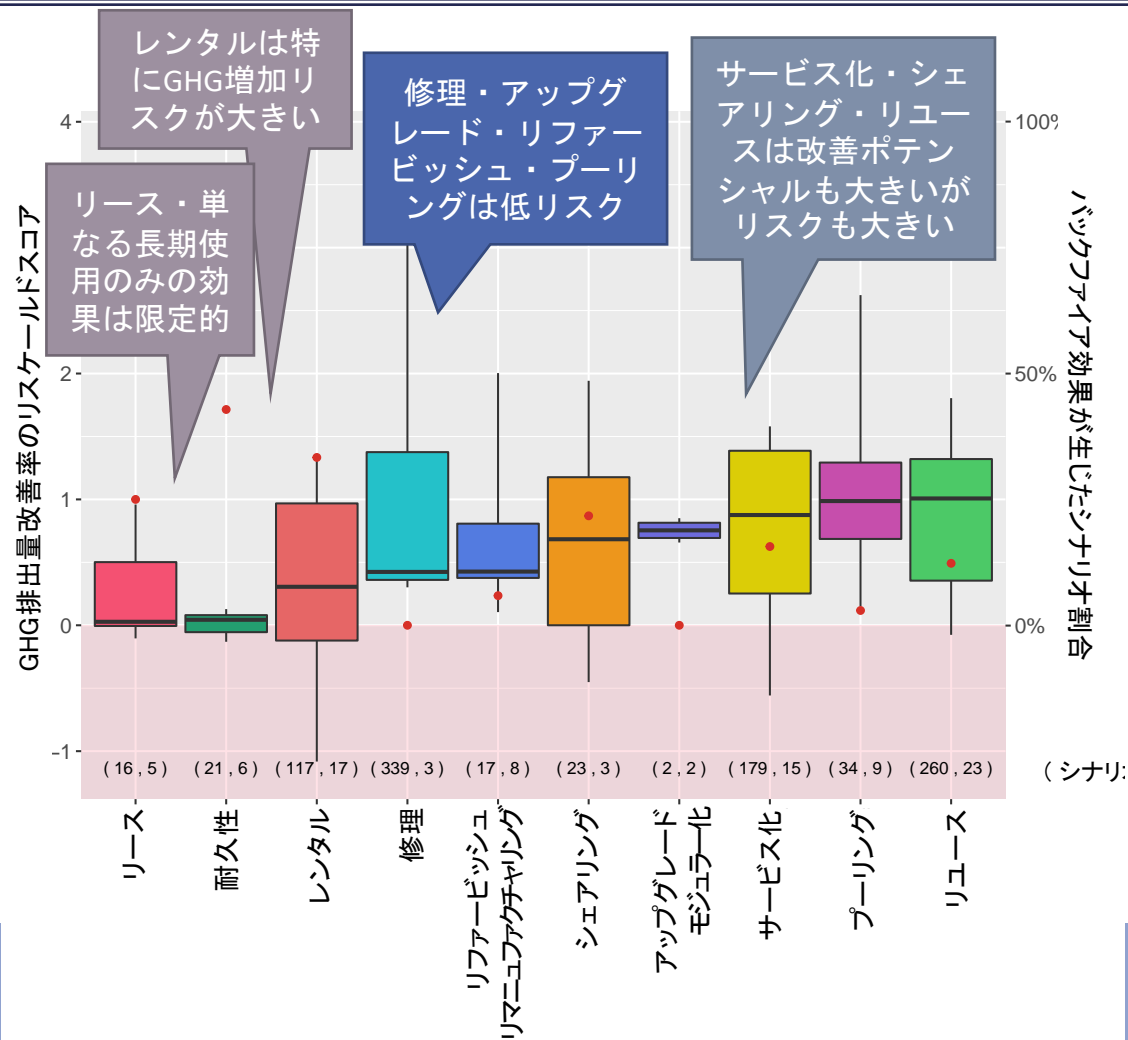
$Q_{3,k}$: 製品kの第3四分位, $Q_{1,k}$: 製品kの第1四分位 S_k : 製品kに関するシナリオ集合



施策jに関する記述統計量を全製品横断でCE施策間で比較

〔中央値, 第1,第3四分位, 10%,90%パーセンタイル〕

メタ分析の結果：全製品種をひとまとめに

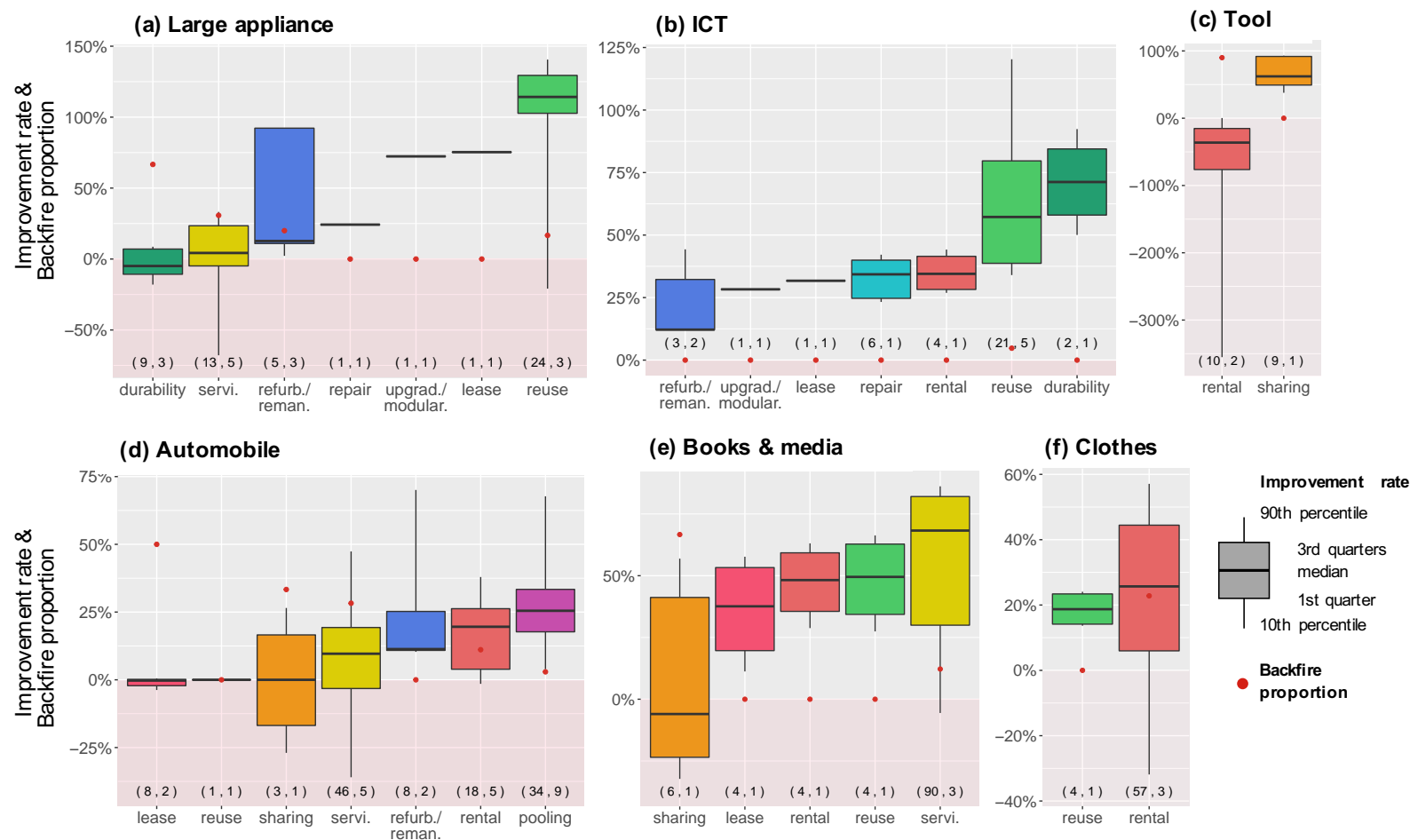


各CE施策の導入によるGHG削減効果とバックファイア効果の割合



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

製品ごとの結果(抜粋)

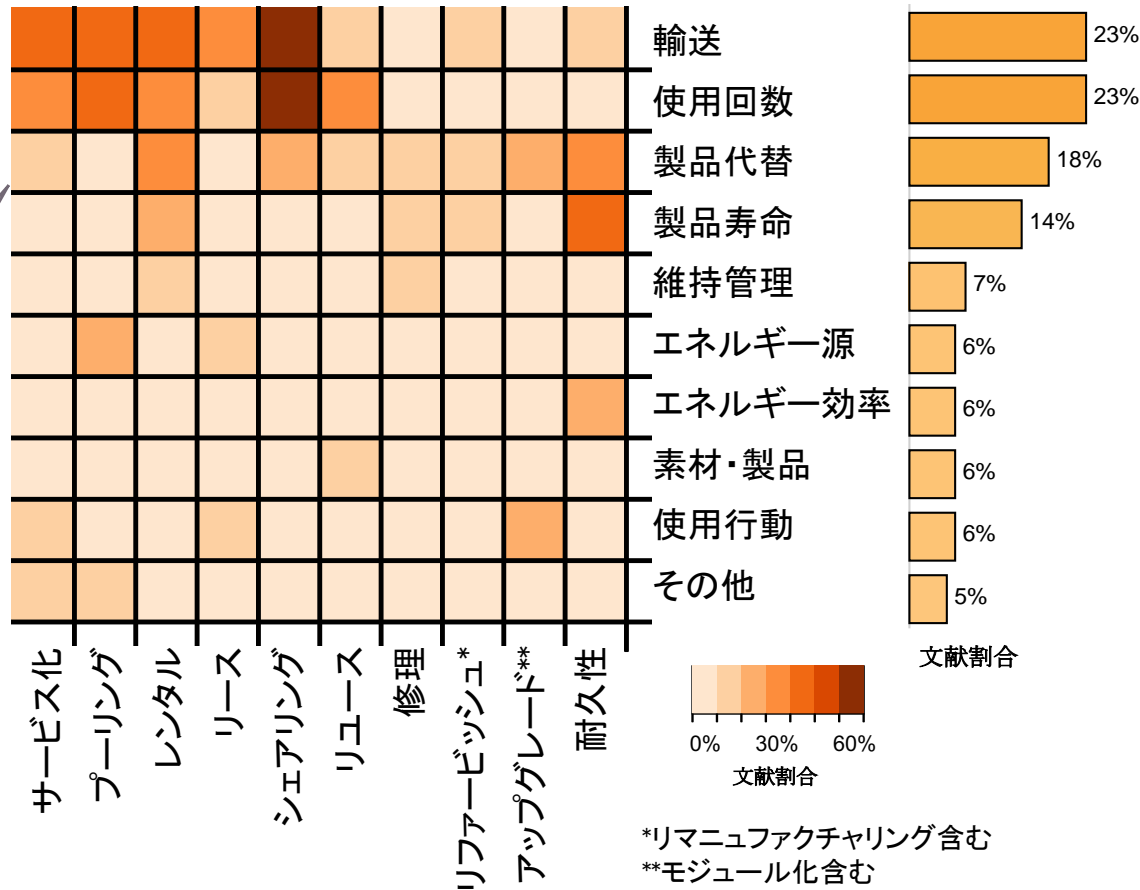


GHG削減効果の打ち消し（バックファイア効果）の潜在的な理由

バックファイア効果の可能性が指摘された理由別・CE施策別の全文献数に対する割合

輸送と使用回数は結果志向と使用志向PSSのGHG増加要因

製品代替(PSS導入により売り切りが何台置き換わるか)と使用期間はCE施策間で共通する要因



使用・結果志向PSSでは輸送と使用回数が影響大。製品代替の度合い、使用期間は全てのPSSに共通する要因。他に維持管理、エネルギー、使用時行動など。

CEと脱炭素化をつなげるために必要なこと

1. リスクの低いCE施策の重要性を再考すべき

(例: 修理、アップグレード、リファーマビッシュ、リマン、プーリング)

2. リスクの高いCE施策はバックファイア効果を防止しながら導入

(例: サービス化、C2Cシェアリング、リユース)

3. 複数のCE施策の統合による相乗効果の活用

(例: リユース/リファーマビッシュ/アップグレード品のレンタル・リース)

- LIBや、PVなど利用状況から情報を囲い込んでリユースへ持ち込む可能性のある財でやることは悪くなさそう。

リサイクルすると素材の背負う負荷は減るのか

Sugimura, Y., Kawasaki, T., & Murakami, S. (2023). Potential for Increased Use of Secondary Raw Materials in the Copper Industry as a Countermeasure Against Climate Change in Japan. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.007>

銅製錬の原料を変えてみる。

	現在 (2019)	Case 1			Case 2		
		2019	2030	2050	2019	2030	2050
銅精鉱	1,241	886	805	496	869	767	379
Copper scrap (現状)	353	353	353	353	353	353	353
Copper scrap (輸出分を国内に)	-	253	268	332	253	268	332
Copper scrap (輸入する)	-	102	168	412	102	168	412
WEEE (国内回収を頑張る)	-	-	-	-	1.8	2.0	2.4
WEEE (海外から買ってくる)	-	-	-	-	16	36	115
Total	1,594	1,594	1,594	1,594	1,594	1,594	1,594
Percentage of SRMs	22%	44%	50%	69%	46%	52%	76%

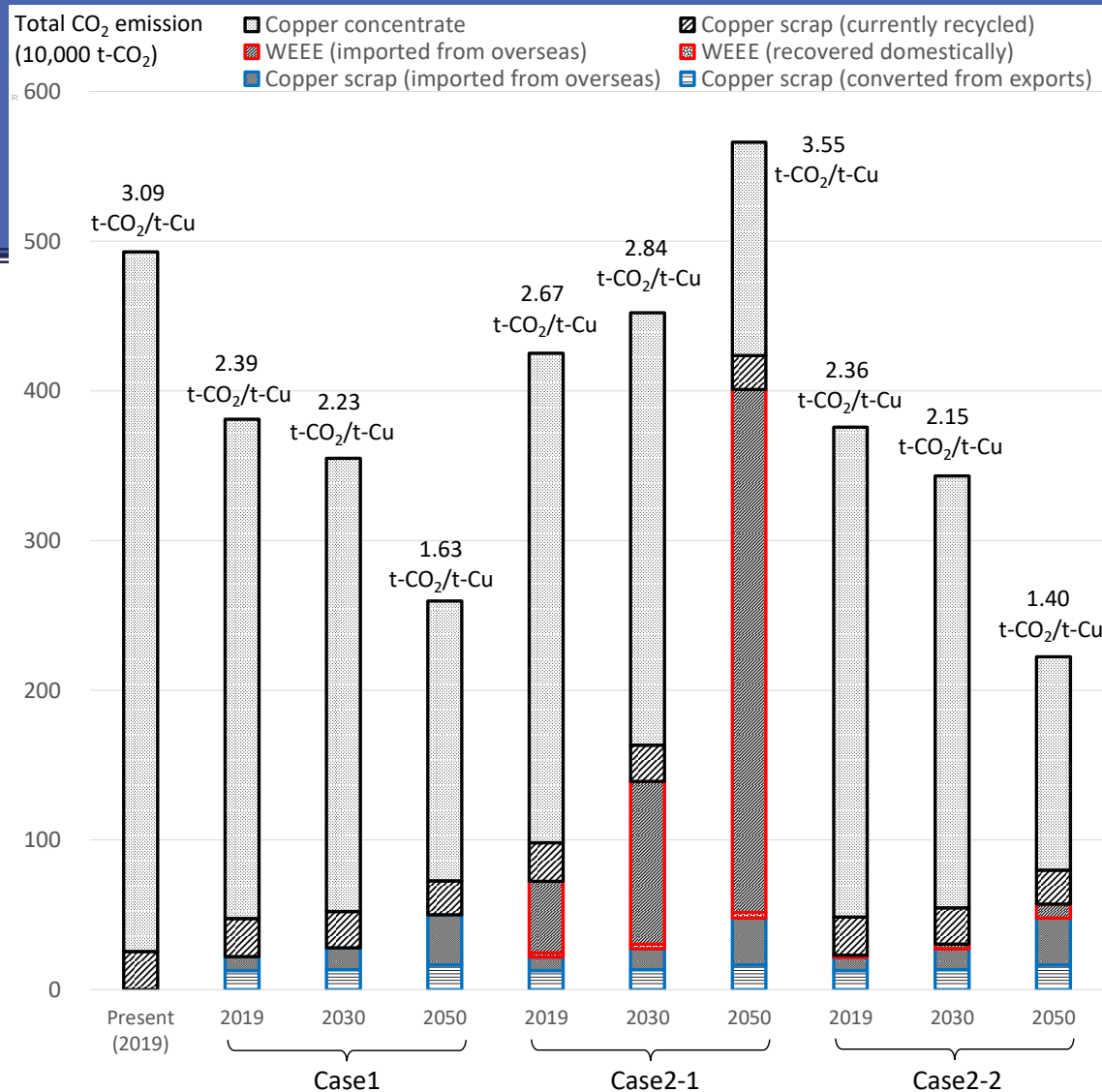
結果の見せ方

現状とCase1の比較から二次原料が増えると銅のCFは減る

Case1と2-1の比較からWEEEを増やすと総量では増える

2-1と2-2の比較がミソです。

2-1は全てのCO₂を銅が背負っていますが、2-2はWEEE,つまり基板に含まれる貴金属等に経済価値の比率で背負わせている。その結果2050年にはCase1よりも小さい値になった。



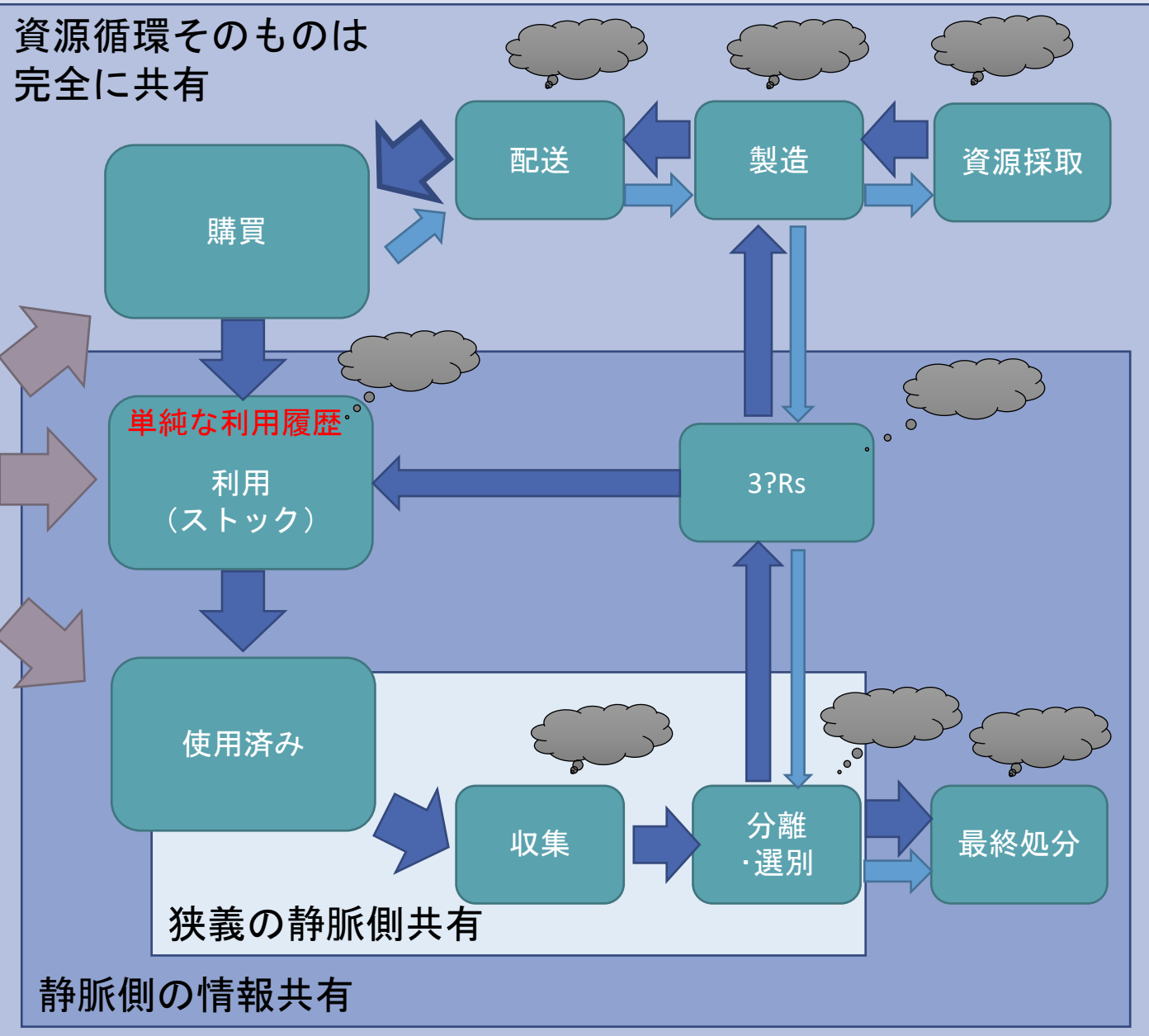
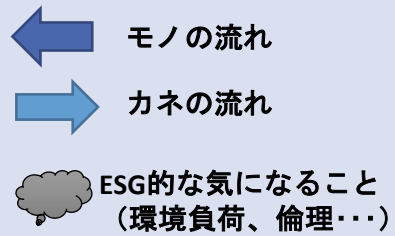
まとめにかえて

CEとCN

- 資源利用を持続可能にしたい？デカップリングしたい？どちらかということ、資源を我々の持続可能な成長の妨げにならないようにしたい。
- この文脈での低炭素は、資源を使うことに由来するGHGsが大きくてはいけないということ。それだけを目指しているわけではないので、当然うまく考える必要がある。
- 一つ前の事例にあったように、CFの話は見せ方の問題もある。CEについて、特にリサイクルについては素材産業が重要だが、素材産業にとってどう見えるか、見せるかも重要な問題。

CEのこれからに関する諸問題？

- リサイクルはするんでしょう。きっと。
- バイオマス素材に本当に行くのか？サステイナブルなのか？
- 複数戦略の組み合わせ(サブスクだとリマン使ってくれる)が重要。
 - →消費者行動は極めて重要。ものを使うのはユーザー。買うのは？
- 今日はお話ししてませんが、資源安全保障やら、倫理的な調達やらと言った話も全て含めて考えないと。
- 最後は情報共有の話も重要です。



完全な情報の共有

情報共有で解決？

- しないと思いますが、必須だろうとは思いますが。
- 共有された情報で
 - 純粹に情報が増えるので、低コストで高効率に循環
 - 非財務価値のマネタイズ？
- などに期待がかかります。色々なものが見える化されたとき、それをモチベーションにして人々がどう動くか、そのあたりが非常に興味深く、重要な問題だと思います。

ご清聴ありがとうございました

ご質問、意見交換等、お気軽にお声がけ下さい。