

なぜSDGs? ～資源・材料循環におけるSDGsとカーボンニュートラル～
日本学術会議 材料工学委員会・環境学委員会・総合工学委員会合同
SDGsのための資源・材料の循環使用検討分科会 主催

2022年11月18日(金) 14:00～18:00

於: 東京大学生産技術研究所An棟2Fコンベンションホール+ オンライン配信

カーボンニュートラルと資源循環の 両立の重要性と難しさ

森口 祐一

国立環境研究所・理事(研究担当)

東京大学名誉教授

日本学術会議連携会員(23期～)

日本LCA学会前会長(2017.1～2021.3)

経済産業省グリーンイノベーション戦略推進会議委員・環境省中央環境審議会臨時委員

UNEP/IRP(国連環境計画・国際資源パネル)元メンバー(2007-2016)

日本学術会議の関連行事での登壇歴

2014.4.24 (講演者)

日本学術会議材料工学委員会 材料の循環使用検討分科会主催
「環境を考慮した材料の循環使用に関するシンポジウム」
日本学術会議講堂 2014年4月24日 13:30~

持続可能な資源管理に向けた国際活動の動向

森口 祐一

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻
(兼任)新領域創成科学研究科環境システム専攻

前(独)国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター長

日本学術会議特任連携会員
(東日本大震災復興支援委員会放射能対策分科会委員)

Member
International Resource Panel, UNEP

2016.5.23(講演者)

素材の循環使用に関するシンポジウム
日本学術会議 材料工学委員会材料の循環使用検討分科会・
総合工学委員会持続可能なグローバル資源利活用に係る検討分科会 主催
平成28年5月23日(金)13:00~17:00 於:日本学術会議講堂

UNEP国際資源パネルとEUの資源効率・循環経済

森口 祐一

日本学術会議連携会員

東京大学大学院・工学系研究科・都市工学専攻

Member
International Resource Panel, UNEP

2016.10.13(講演者)

シンポジウム:社会インフラ、グリーン・エネルギー分野における材料工学の展望
日本学術会議 材料工学委員会 材料工学ロードマップのローリング分科会 主催
平成28年10月13日(木)13:00~17:00 於:日本学術会議講堂

低炭素社会・循環型社会と資源効率性

森口 祐一

東京大学大学院・工学系研究科・都市工学専攻

日本学術会議連携会員
(環境学委員会、土木工学・建築学委員会、材料工学委員会、総合工学委員会傘下の活動に参画)

Member
International Resource Panel, UNEP

2019.8.5
(パネルディスカッション進行役)

SDGsのための資源・材料の循環使用に関するシンポジウム
パネルディスカッション

ファシリテーター 森口祐一 (東京大学/国立環境研究所)
(日本LCA学会会長、UNEP国際資源パネル設立時メンバー)

パネラー 月橋文孝 (東京大学)
伊藤公久 (早稲田大学)

講演者 中村 崇 (東北大学)
村上進亮 (東京大学)
齊藤公児 (日本製鉄)
安達 毅 (秋田大学)
岡部 徹 (東京大学)
平尾雅彦 (東京大学)
大和田秀二 (早稲田大学)
廣瀬弥生 (東洋大学)

1

2022.6.30
(安全工学シンポジウム講演者)

安全工学シンポジウム2022 気候変動を見据えた安全・安心・安定
オーガナイズドセッション OS-16 2022年6月30日(木)
「カーボンニュートラル施策のリスク検討フレーム」

OS16-3
カーボンニュートラル技術の
ライフサイクルにおけるリスク

森口 祐一
国立環境研究所・理事(研究担当)

日本学術会議連携会員(23期~)
日本LCA学会前会長(2017.1~2021.3)
グリーンイノベーション戦略推進会議委員
UNEP/IRP(国際資源パネル)元メンバー(2007-2016)

1

開催趣旨より

[開催内容の説明文から]

資源材料循環は、SDGsの目標12「つくる責任つかう責任」に密接に関係している。昨今のカーボンニュートラル政策においても、一層重要視されており、社会システムの的にも技術的にも変革が求められている。資源循環に対する課題は物質ごとに大きく異なるが、本シンポジウムでは、特に蓄電池などに使用される金属資源の循環に関して、その現状と課題を俯瞰し、市民と共に理想的な資源材料循環のあり方を議論する場としたい。

[プログラムにおける演者に関する紹介文]

世界的にカーボンニュートラル政策がすすめられる中、本来、経済成長とはデカップリングすべきである資源消費とこれに伴う環境影響が今以上に増加することが懸念されているが、その考え方と打開策の方向性について講演をお願いしている。

[本講演で意識するキーワード]

SDGs、デカップリング、カーボンニュートラル、資源循環、金属、LCA

本講演の構成

1. 多次元のゴールの同時達成の必要性
2. 温室効果ガス排出、物質フローの推移
3. 国際機関、国際科学パネルの報告：IRP, IEA, IRENA, IPCC
4. 国内政策の動向：グリーンイノベーション戦略を中心に
5. リスク検討フレームを踏まえたまとめ

サステナビリティ達成に向けたシナジーとトレードオフ

- Unpacking the SDGs by looking at how each SDG relates to well-being shows, in most cases, a strong positive correlation.
- However, SDG12 (responsible production and consumption) and SDG13 (climate action) are negatively correlated with well-being.

出典: De Neve, J.E., Sachs, J.D. The SDGs and human well-being: a global analysis of synergies, trade-offs, and regional differences. *Scientific Reports*, **10**, 15113 (2020).
<https://www.nature.com/articles/s41598-020-71916-9>

SDG12と13はWell-beingとトレードオフとの指摘。では、SDG12とSDG13の関係は？



Goal 12 “Sustainable Consumption and Production”

「つくる責任、つかう責任」のターゲット

Target 12.2: By 2030, achieve the sustainable management and efficient use of natural resources

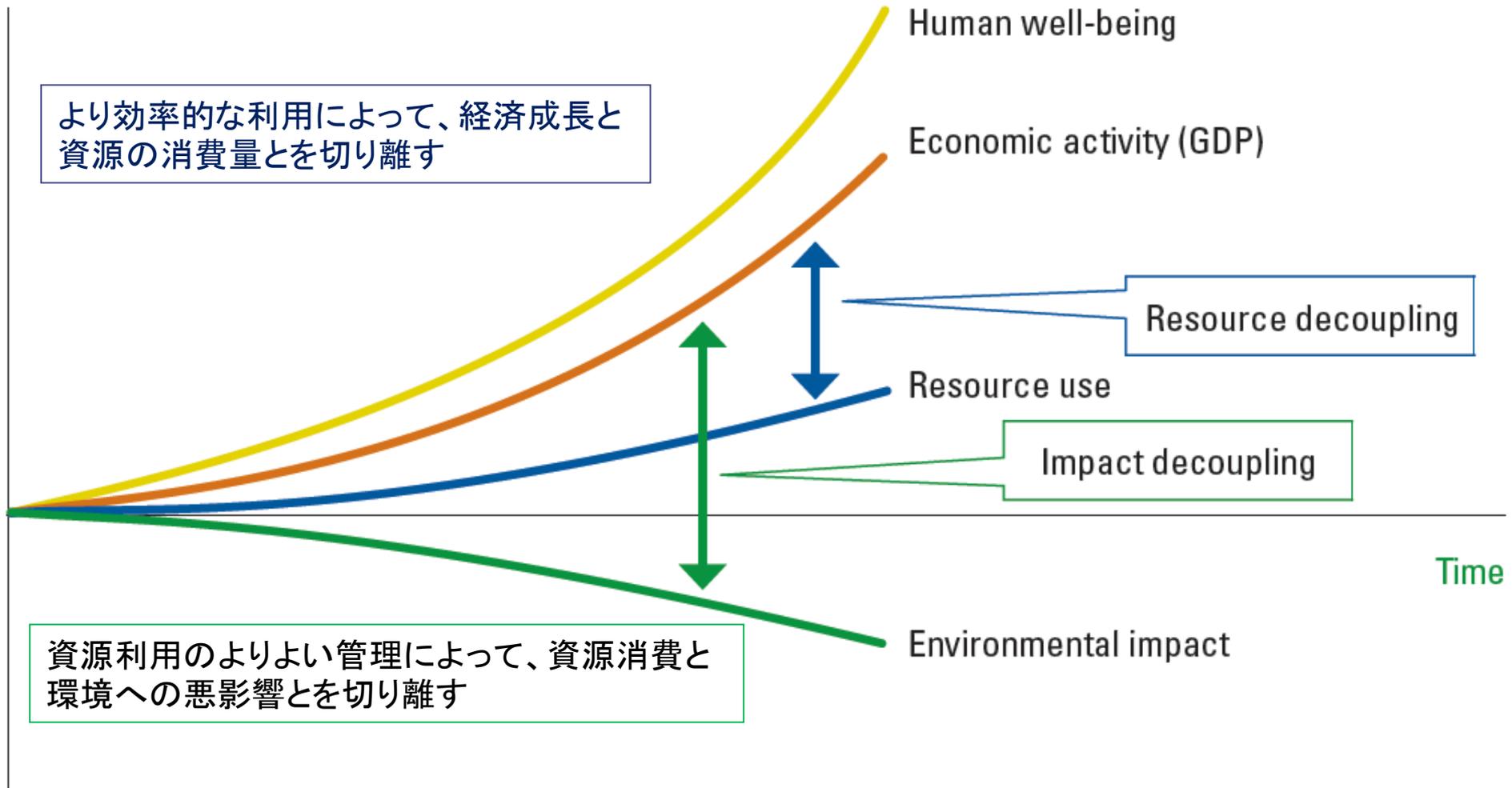
Indicator 12.2.1 Material footprint, material footprint per capita, and material footprint per GDP

Indicator 12.2.2: Domestic material consumption, domestic material consumption per capita, and domestic material consumption per GDP

	TARGET 12-1  IMPLEMENT THE 10-YEAR SUSTAINABLE CONSUMPTION AND PRODUCTION FRAMEWORK	TARGET 12-2  SUSTAINABLE MANAGEMENT AND USE OF NATURAL RESOURCES	TARGET 12-3  HALVE GLOBAL PER CAPITA FOOD WASTE	TARGET 12-4  RESPONSIBLE MANAGEMENT OF CHEMICALS AND WASTE	TARGET 12-5  SUBSTANTIALLY REDUCE WASTE GENERATION	TARGET 12-6  ENCOURAGE COMPANIES TO ADOPT SUSTAINABLE PRACTICES AND SUSTAINABILITY REPORTING
	TARGET 12-7  PROMOTE SUSTAINABLE PUBLIC PROCUREMENT PRACTICES	TARGET 12-8  PROMOTE UNIVERSAL UNDERSTANDING OF SUSTAINABLE LIFESTYLES	TARGET 12-A  SUPPORT DEVELOPING COUNTRIES' SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL CAPACITY FOR SUSTAINABLE CONSUMPTION AND PRODUCTION	TARGET 12-B  DEVELOP AND IMPLEMENT TOOLS TO MONITOR SUSTAINABLE TOURISM	TARGET 12-C  REMOVE MARKET DISTORTIONS THAT ENCOURAGE WASTEFUL CONSUMPTION	

「デカップリング」の概念

Figure 2. Two aspects of 'decoupling'

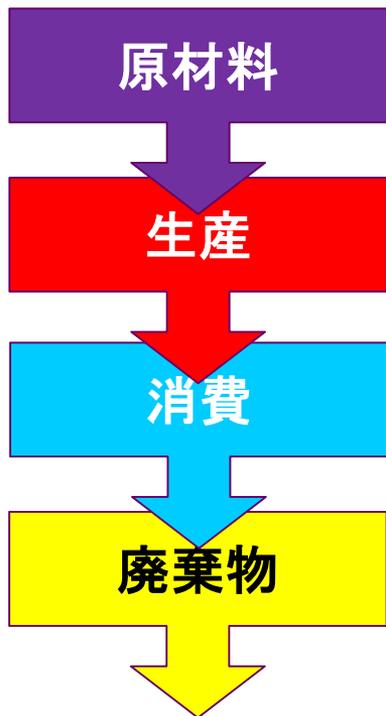


出典: 国連環境計画国際資源パネル(UNEP/IRP)

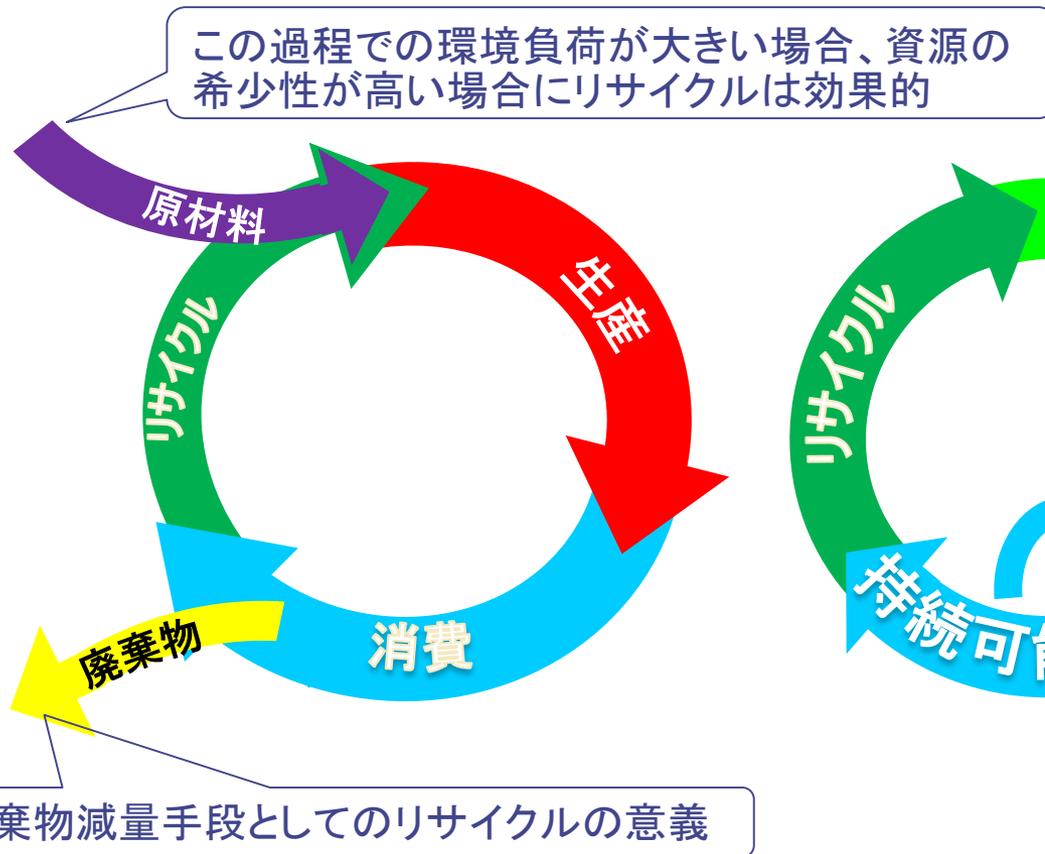
<https://www.resourcepanel.org/reports/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth>

使い捨て(一方向)型の経済から循環経済へ From Linear Economy to Circular Economy

使い捨て
型の経済



循環ループ
を含む経済



循環経済
(Circular Economy)



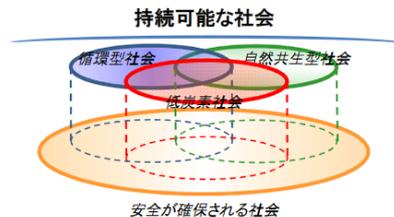
国内外の環境問題の柱と科学・政策・企業の対応

問題分野	国内政策のキーワード	国際条約	国際科学パネル	企業の情報開示	SDGsとの対応
気候変動	低炭素社会 脱炭素社会 カーボン ニュートラル	気候変動枠組 条約	IPCC	TCFD	
資源管理	循環型社会 循環経済		IRP		 
生物多様性	自然共生社会	生物多様性条約	IPBES	TNFD	 
化学物質管理 環境リスク	安全確保社会	(POPs条約) (水俣条約)	ポストSAICM で検討		 

第4次環境基本計画(2012)での認識

目指すべき持続可能な社会の姿

- 低炭素・循環・自然共生の各分野を統合的に達成
- その基盤として、「安全」を確保



第5次環境基本計画(2018)での認識

我が国が抱える課題



国際的な潮流

SDGs SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

パリ協定の採択

時代の転換点



2030年に向けて世界が合意した「持続可能な開発目標」です

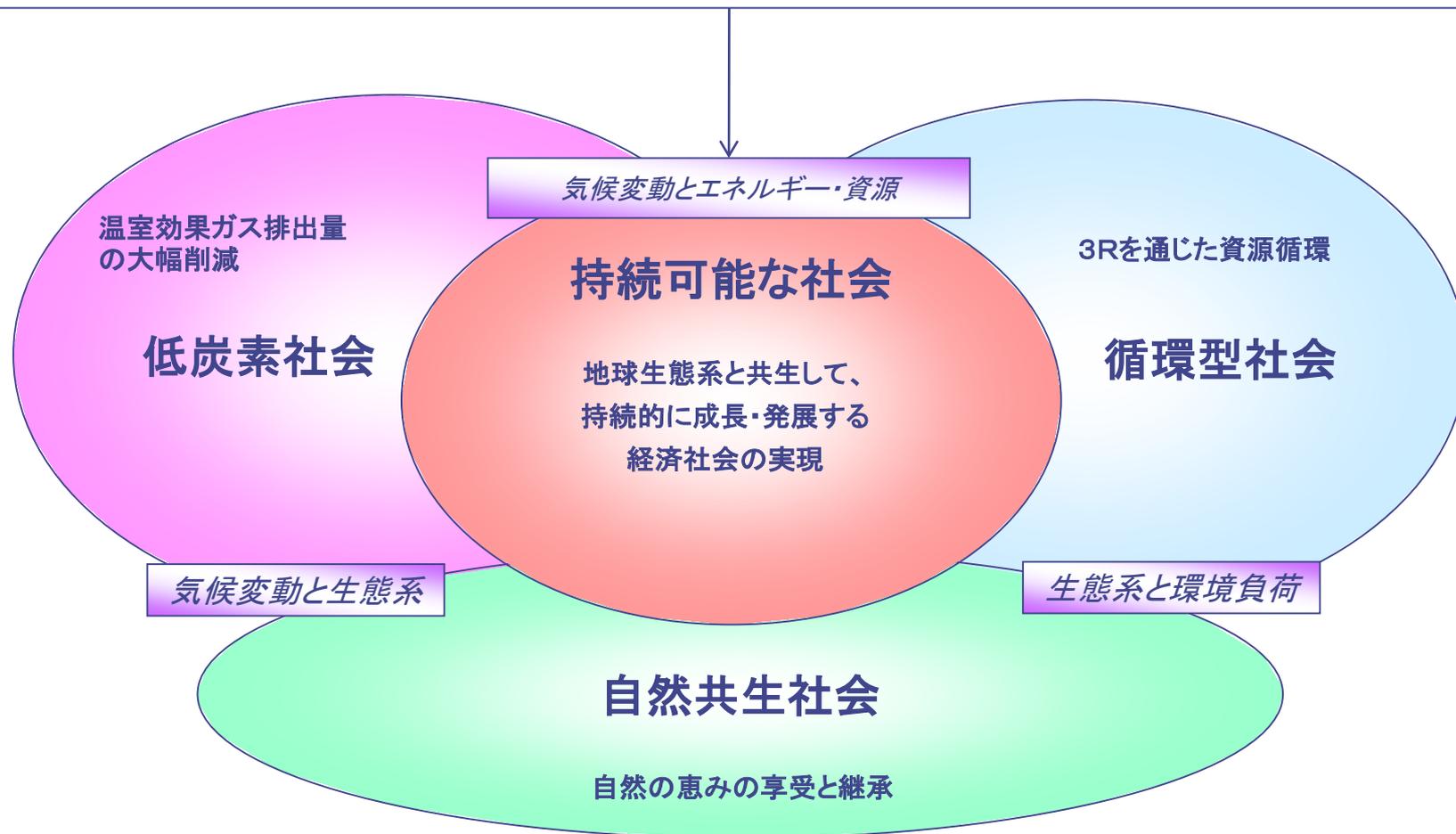
パリ協定が採択されたCOP21の首脳会合でスピーチする安倍総理 (写真：首相官邸HPより)

(資料：国連広報センター)

大きく考え方を転換 (パラダイムシフト)

21世紀環境立国戦略(2007)に示された統合的取組の概念

低炭素社会と循環型社会はエネルギー・資源の効率的利用という共通軸をもつ



国際資源パネル(International Resource Panel)

- 地球規模での経済活動の拡大に伴い、天然資源の持続可能な利用の確保が国際社会の大きな課題となっていることから、国連環境計画(UNEP)により、天然資源の持続可能な利用および資源利用によるライフサイクルにわたる環境影響に関する独立した科学的評価の提供、並びにそれらの環境影響を経済成長から切り離す(デカップリング)方法に関する理解の増進を目的として2007年11月に設立された。
- 持続可能な資源管理に係わる分野の著名な専門家30名程度のパネルメンバーと20を超える各国政府やEC、OECD、UNEPなどの国際的な機関からなる運営委員会で構成され、事務局をUNEPが務めている。
- 日本からのメンバー: 森口(2007年～2016年)、橋本征二立命館大学教授(2015年～)、南斉規介国立環境研究所国際資源持続性研究室長(2018年～)
- 共同議長
Ernst von Weizsäcker, Ismail Serageldin, Ashok Khosla,
Alicia Bárcena Ibarra, Janez Potočnik(現), Izabella Teixeira(現)

国際資源パネルの初期の金属作業部会の報告書

(概要版は全て日本語版あり)

Metal stocks in society: scientific synthesis (2010)

Recycling Rates of Metals (2011)

Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles (2013)

Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure (2013)

E-Book: International Resource Panel Work on Global Metal Flows (2013)



国際資源パネル

「世界の物質フローと資源生産性」報告書(2016)

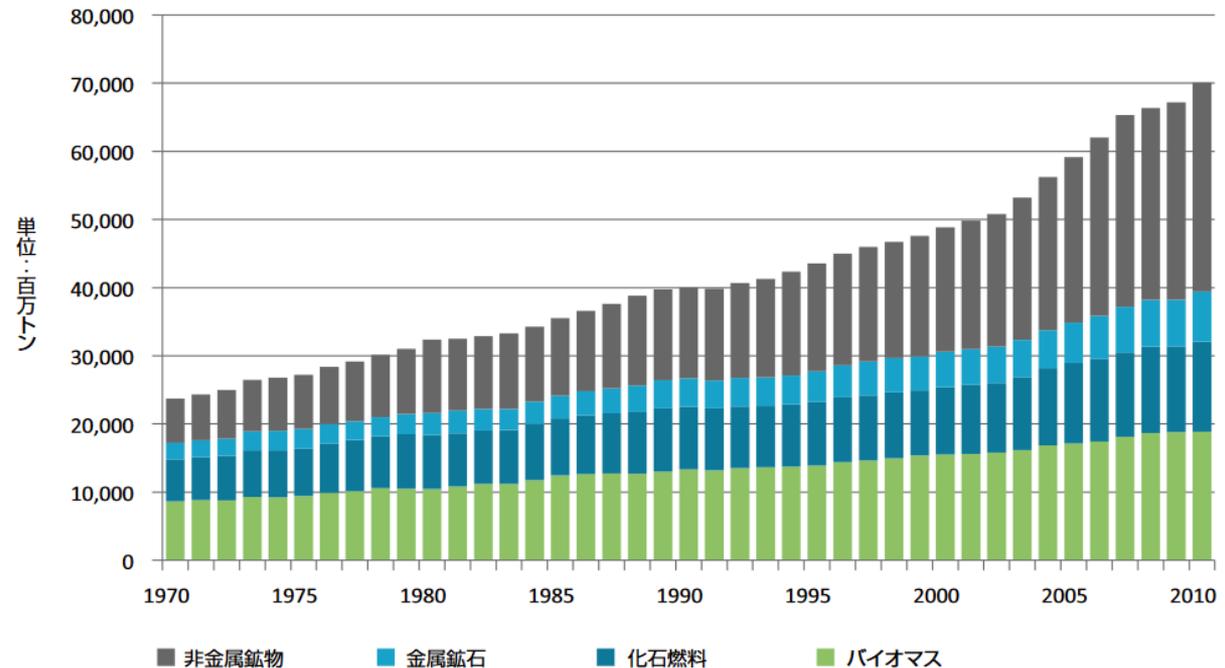


図1. 4物質カテゴリー別世界の物質採取量(DE)、1970～2010年、単位:百万トン

UNEP (2016). Global Material Flows and Resource Productivity. An Assessment Study of the UNEP International Resource Panel
<https://www.resourcepanel.org/reports/global-material-flows-and-resource-productivity-database-link>

金属鉱物の採掘量

(国際資源パネル:「世界の物質フローと資源生産性」報告書より)

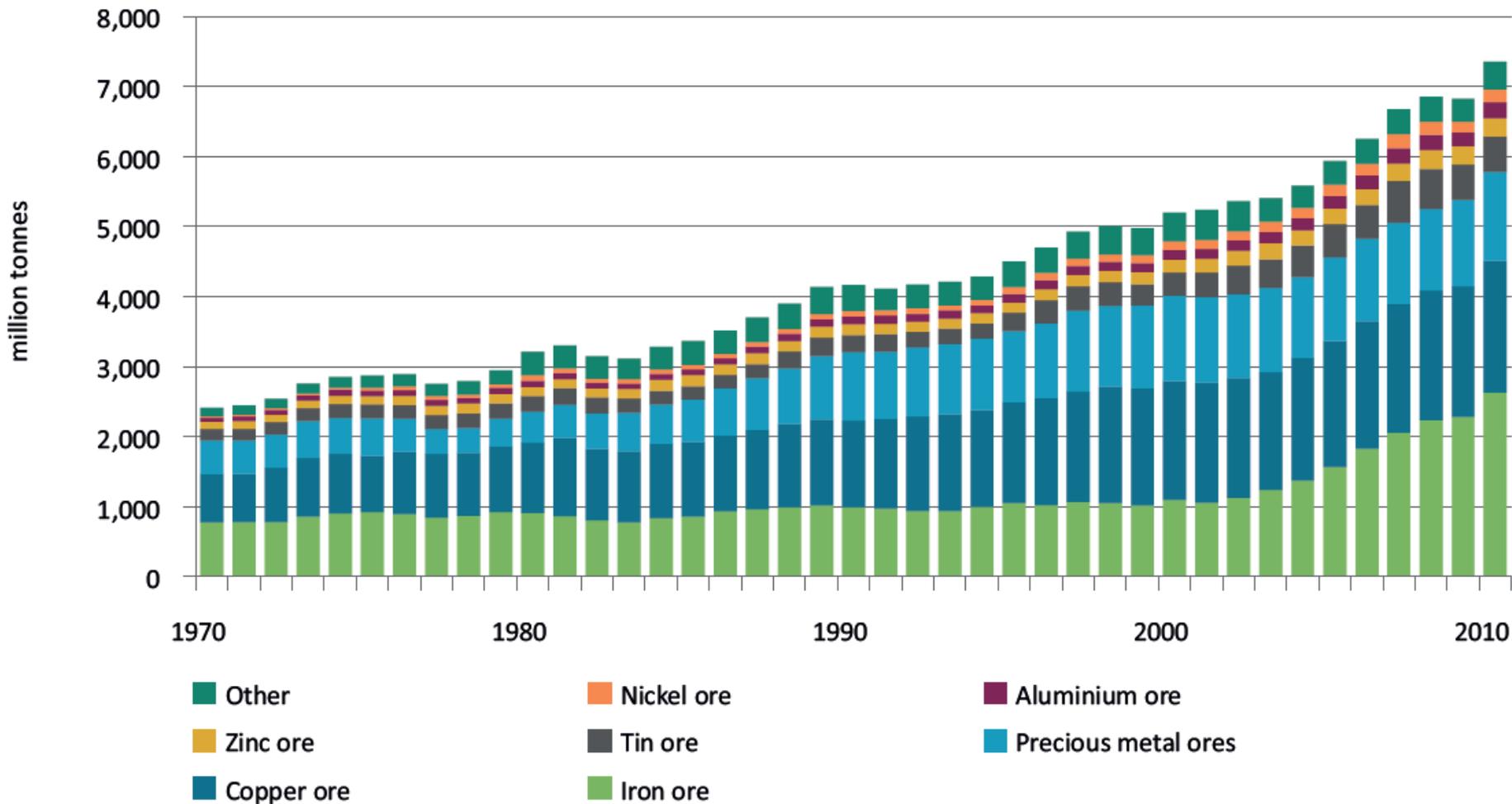
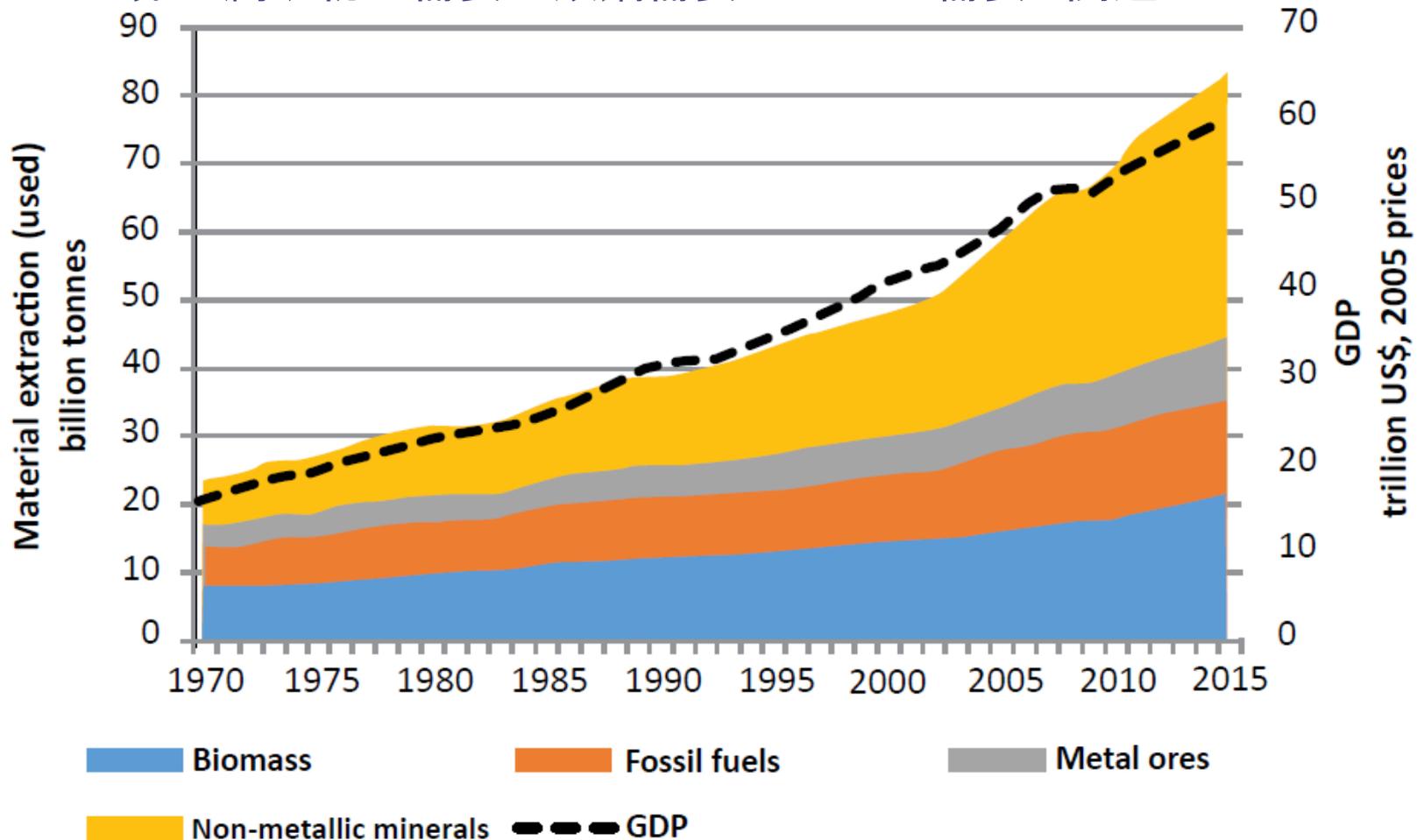


Figure 16. Global extraction (DE) of metal ores by material subcategories, 1970-2010, million tonnes

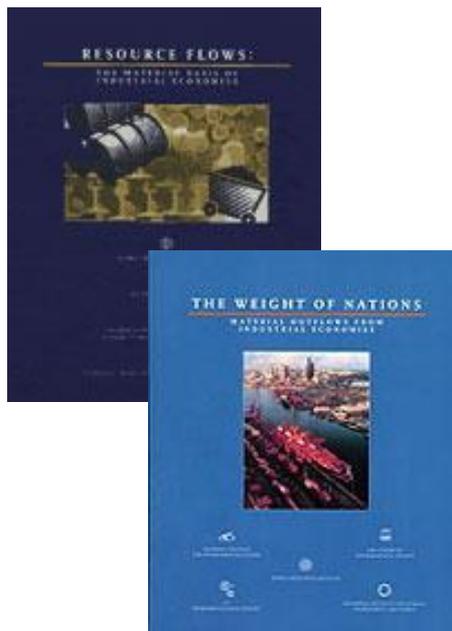
国際資源パネルの資源効率性報告書(2016)への掲載図

経済発展による非金属鉱物の需要増により、2000年頃以降
GDPと物質フロー総量の関係はデカップリングに逆行
非金属鉱物の需要は鉄鋼需要やセメント需要と関連



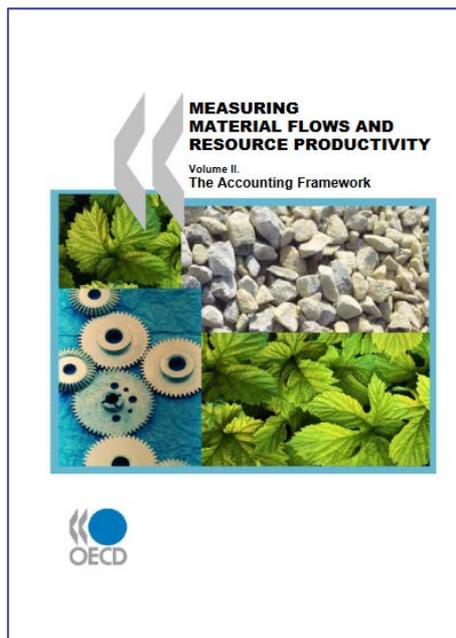
一国規模のマクロなマテリアルフローの定量化の進展

WRI(1997,2000)



日米欧の共同研究
演者も参加

OECD(2008)



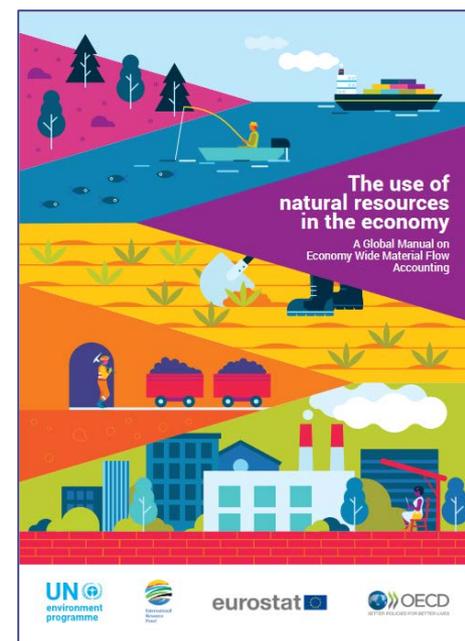
OECD作業部会議長
として参画

EUROSTAT(2018)



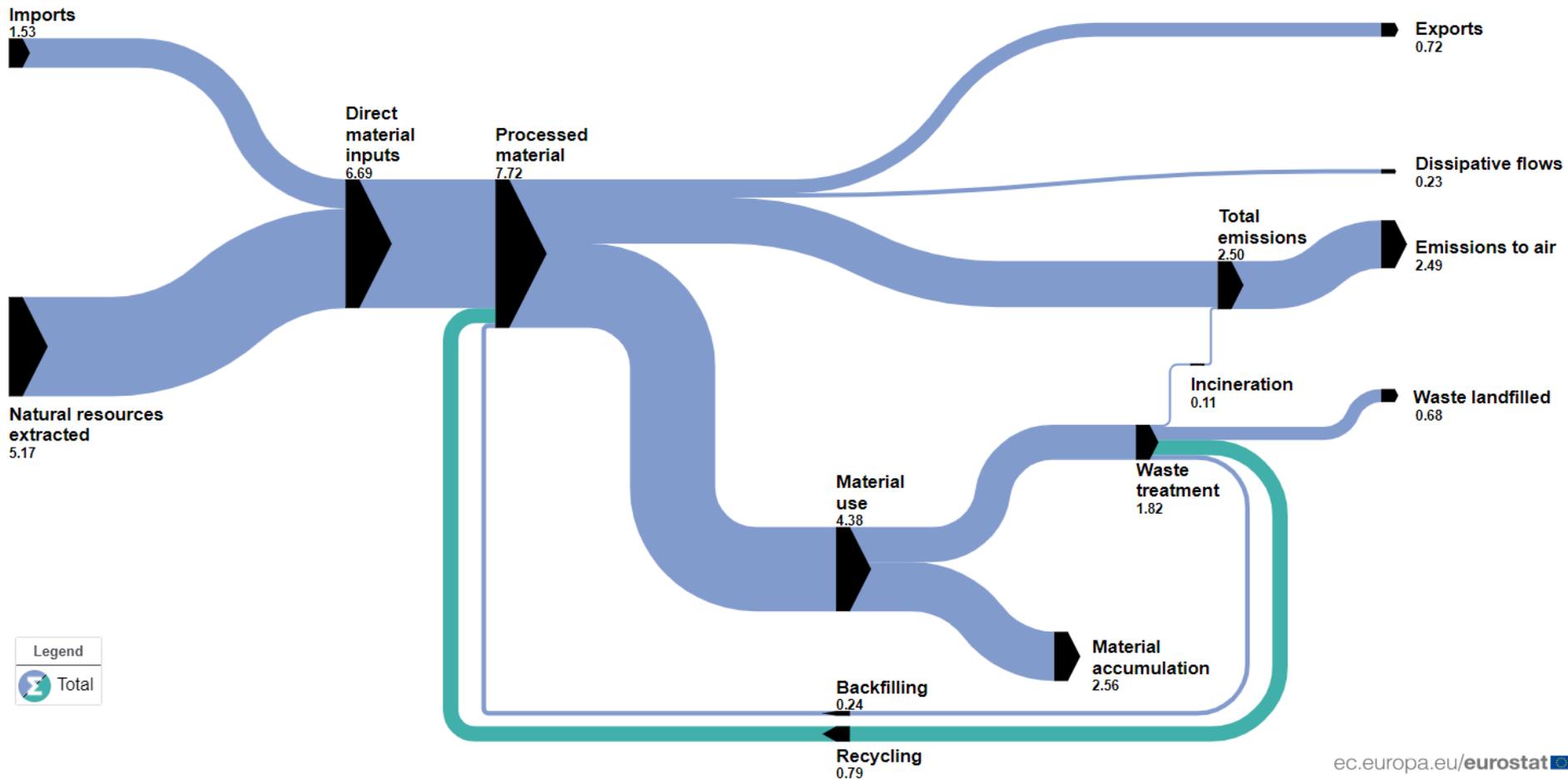
Regulation (EU) No. 691/2011 on
European environmental economic
accounts による公式統計

UNEP(2021)



<https://www.wri.org/research/resource-flows>, <https://www.wri.org/research/weight-nations>
<https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/MFA-Accounting-Framework.pdf>
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/ks-gq-18-006>
<https://www.resourcepanel.org/reports/global-manual-economy-wide-material-flow-accounting>

EUROSTATによるマテリアルフロー図

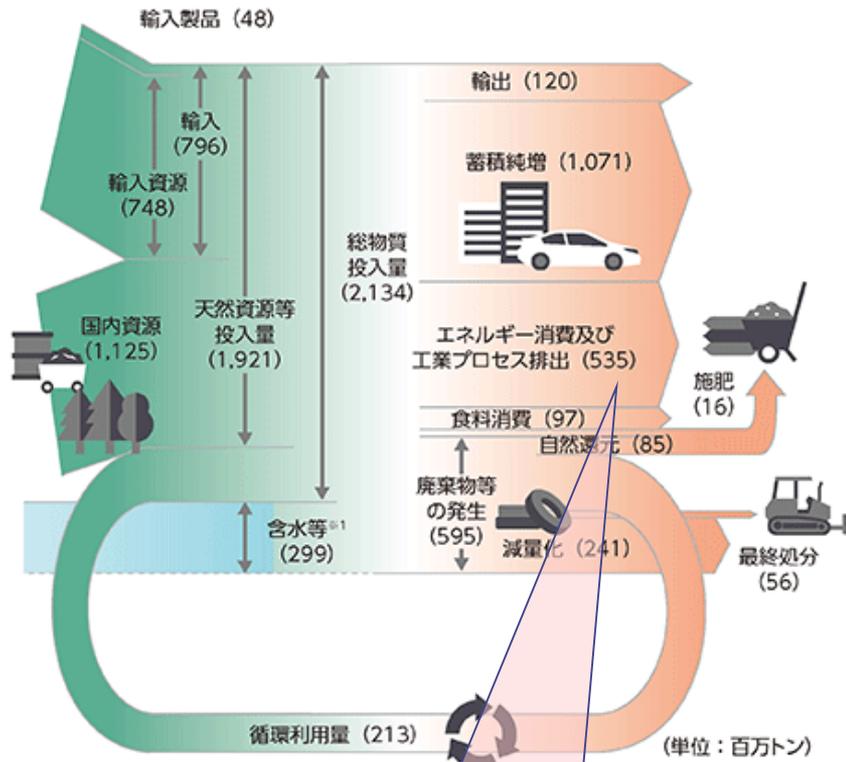


Material flows true scale in Gt/year (billion tonnes per year), EU, 2020

日本の物質フロー図 (2000年度, 2019年度)

図3-1-1 我が国における物質フロー (2019年度)

2000年度(参考)

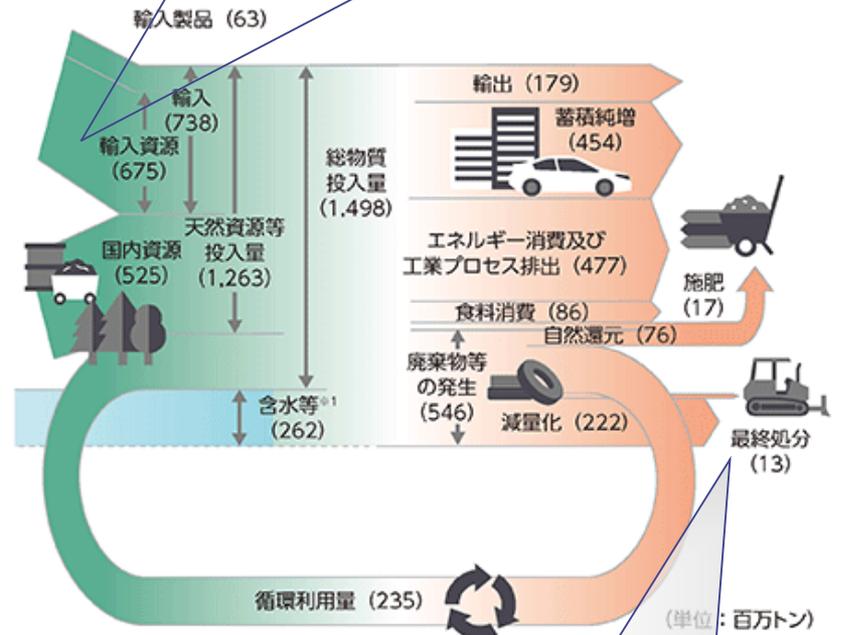


注:含水等:廃棄物等の含水等(汚泥、家畜ふん尿、し尿、廃酸、廃アルカリ)及び経済活動に伴う土砂等の随伴投入(鉱業、建設業、上水道業の汚泥及び鉱業の鉱さい)。
資料:環境省

エネルギー消費及び
工業プロセス排出
1990年 約455百万トン
2000年 約535百万トン
2019年 約477百万トン

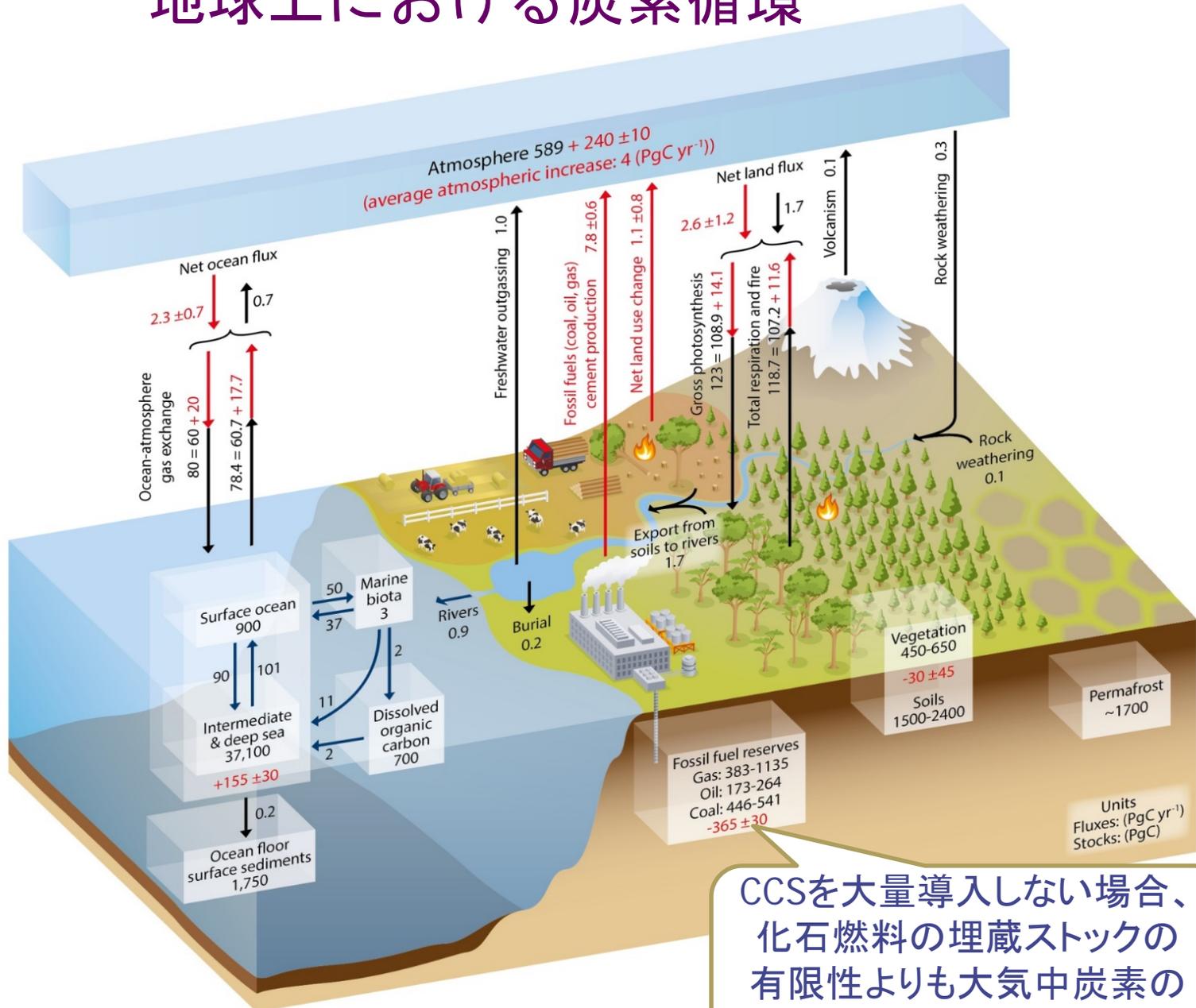
2019年度

この図では表現されていない輸入品由来のマテリアルフットプリント、カーボンフットプリントが重い課題



埋立処分量
1990年 約109百万トン
2000年 約56百万トン
2019年 約13百万トン

地球上における炭素循環

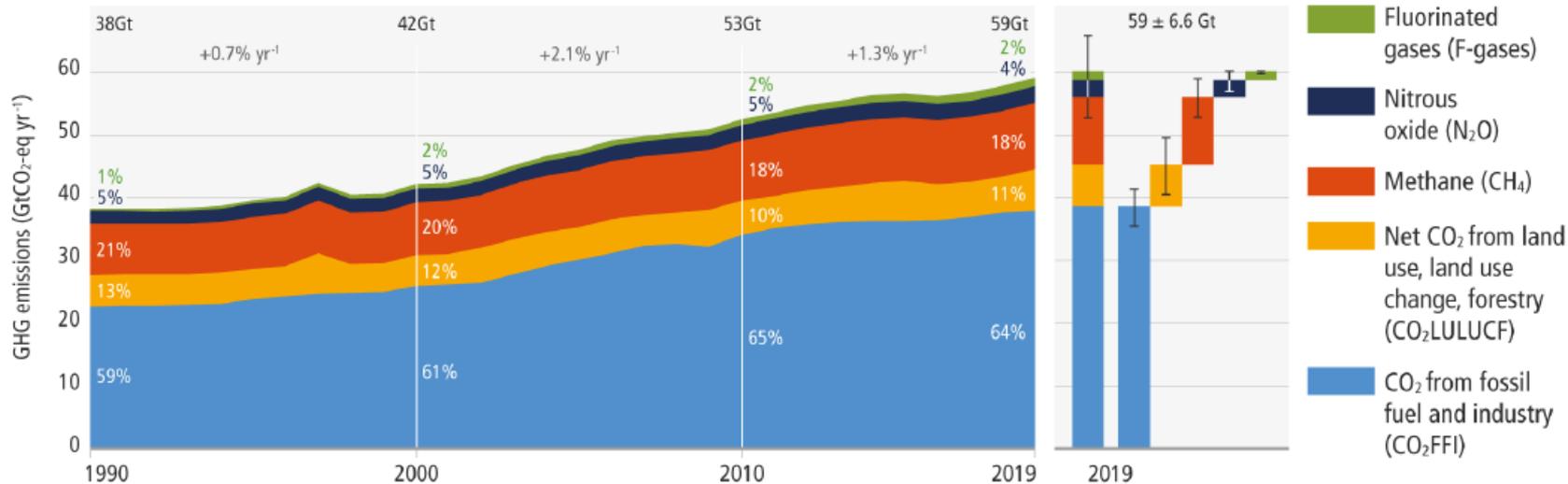


Source: IPCC(2013) AR5 WG1 Fig. 6.1

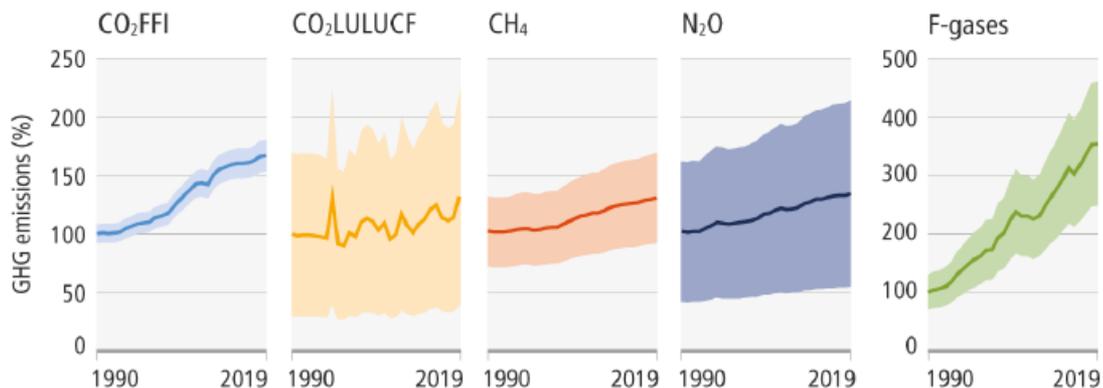
世界の温室効果ガス排出量の推移

Global net anthropogenic emissions have continued to rise across all major groups of greenhouse gases.

a. Global net anthropogenic GHG emissions 1990–2019 ⁽⁶⁾



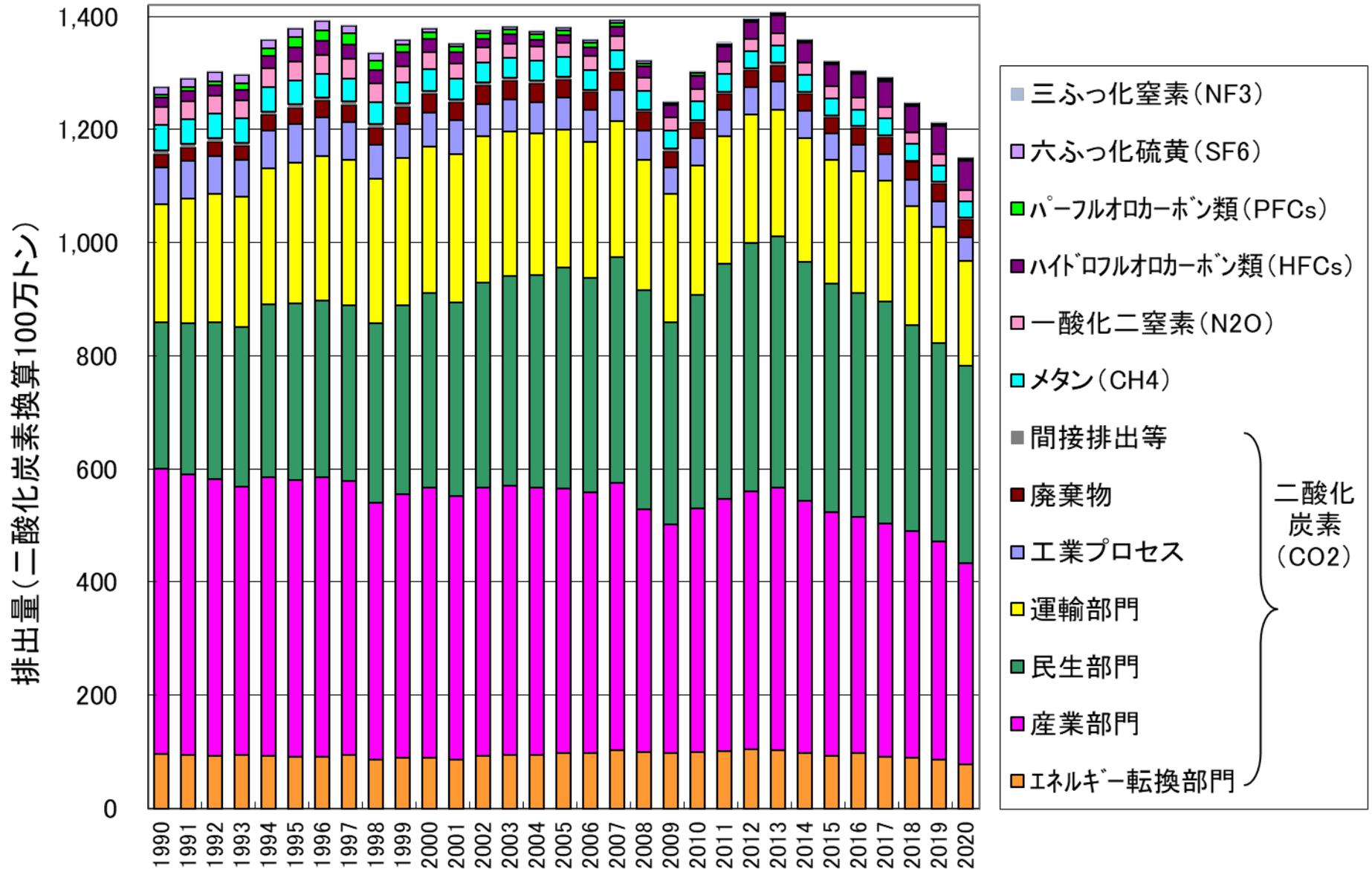
b. Global anthropogenic GHG emissions and uncertainties by gas – relative to 1990



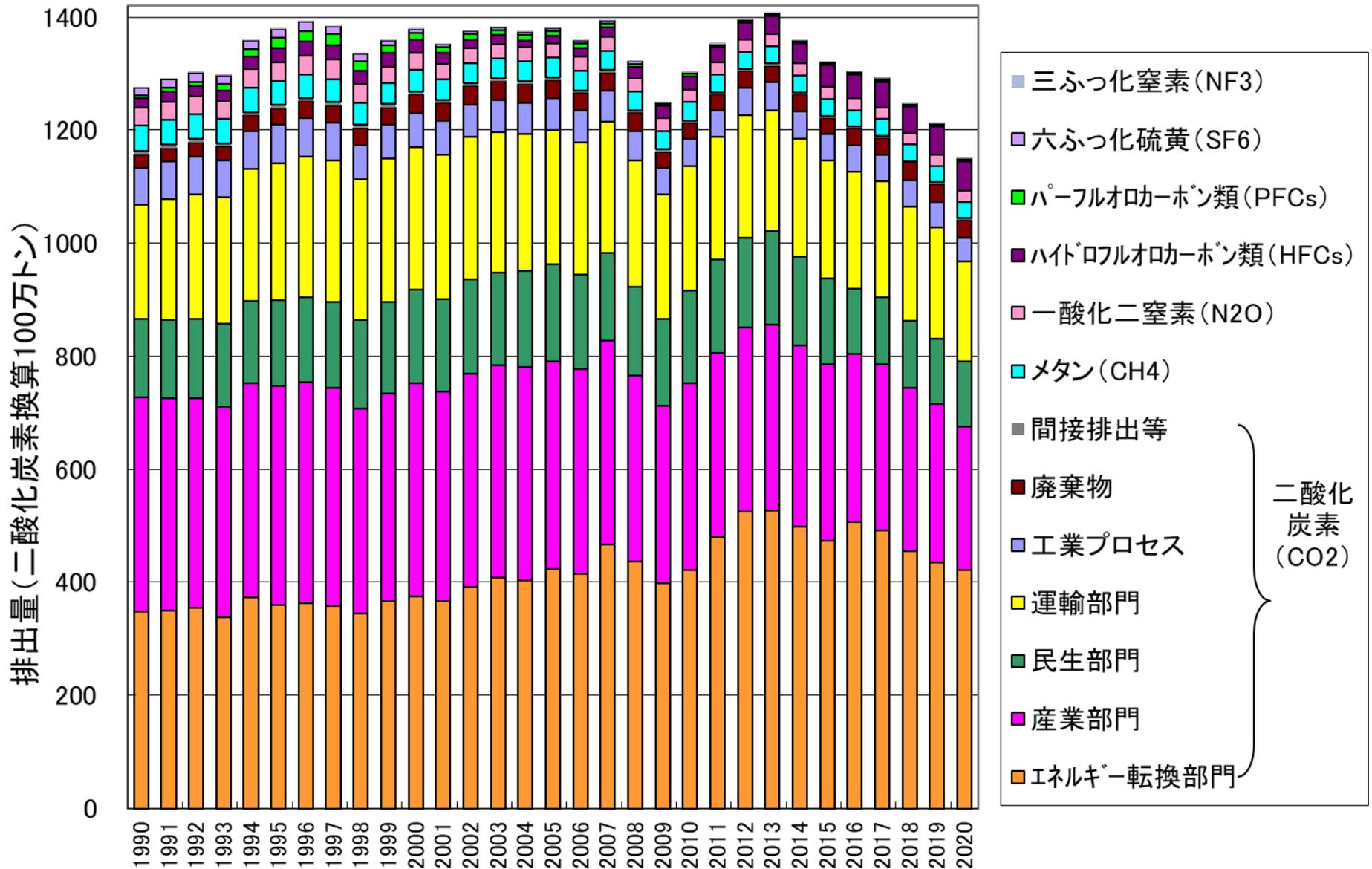
	2019 emissions (GtCO ₂ -eq)	1990–2019 increase (GtCO ₂ -eq)	Emissions in 2019, relative to 1990 (%)
CO ₂ FFI	38±3	15	167
CO ₂ LULUCF	6.6±4.6	1.6	133
CH ₄	11±3.2	2.4	129
N ₂ O	2.7±1.6	0.65	133
F-gases	1.4±0.41	0.97	354
Total	59±6.6	21	154

The solid line indicates central estimate of emissions trends. The shaded area indicates the uncertainty range.

日本の温室効果ガス排出量の推移(熱電配分後)



日本の温室効果ガス排出量の推移(熱電配分前)



IRP「資源効率」報告書 政策決定者向け要約

(前回日本がG7議長国であった2016年の富山環境大臣会合に報告)

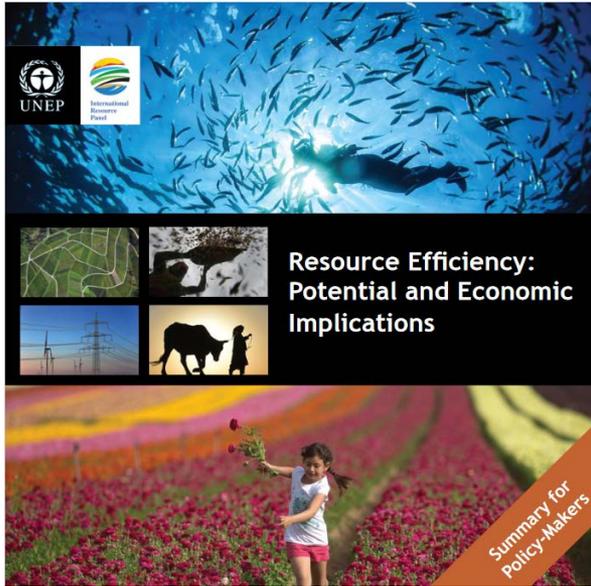
ヘッドラインメッセージ: 協調行動による資源効率性向上のポテンシャルは著しく、経済及び環境に多大な便益をもたらす。

5つのキーメッセージ

1. 環境保護と開発を両立させる持続可能な開発目標(SDGs)を達成するためには、資源効率性の大幅な増加が不可欠である。
2. 気候変動目標をコスト効率良く達成するには、資源効率性の向上が不可欠である。
3. 資源効率性は経済成長と雇用創出の促進に貢献し得る。
4. 多くの分野において資源効率性を向上する機会が存在する。
5. 資源効率性の向上は実際に達成可能である。

資源の効率的利用は気候変動対策とWin-winの関係にあるという側面を強調した内容

国際資源パネル「資源効率」報告書(2016)政策決定者向け要約から



3. Best practices for increasing resource efficiency

3.1 Overcoming barriers to resource efficiency

3.2 Initiatives and programmes for increased resource efficiency

3.3 Best practice examples of successful resource efficiency

3.3.1 Materials

3.3.2 Land and soils

3.3.3 Water

3.3.4 Energy

3.4 Systems thinking and nexus issues

<https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency>

3. Best practices for increasing resource efficiency

3.3 Best practice examples of successful resource efficiency

3.3.1 Materials

Recycling of specialty metals may become increasingly important as a number of such metals are key constituents of **low-carbon technologies** such as **solar PV cells, wind turbines and batteries**.

関連発表 森口祐一(2016):UNEP 国際資源パネルの活動と資源効率性に関する評価報告書, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 27, No. 4, pp. 260 – 268.

“3.3 Best practice examples of successful resource efficiency - 3.3.1 Materials” の要点抜粋 (1/2)

- In the area of materials, **recycling** has to date **received the greater part of policy attention** through national and local government strategies and targets. However, governments are becoming **increasingly aware** of the benefits of **moving upwards through the resource management hierarchy**, ---. Ideally, reducing demand would be the first priority of material management strategies, as it reduces the energy use and environmental impacts of extracting and processing materials.
- More substantial material reductions in product manufacturing are likely through improved **innovative design approaches**.
- **Synergies between companies** also offer potential for mutual benefit.
(The industrial symbiosis concept, e.g. **Japanese Eco-Towns**, Eco-Industrial-Park in Korea)
- **Remanufacturing** is another concept with growing interest. ---- Potential **barriers** to remanufacturing are the **public perception of the goods as second hand**, regulations that inhibit re-entry of material once classified as waste into the supply chain, as well as market access restrictions of remanufactured products.
- Many of the novel approaches to material efficiency discussed in this section could be assisted by the emergence of **new business models**. Product service systems such as **leasing** are important and widely transferable models.

“3.3 Best practice examples of successful resource efficiency - 3.3.1 Materials” の要点抜粋 (2/2)

- Recycling rates vary highly among countries for administrative, economic and technical reasons. For some countries lack of access to and cost of technologies are a barrier. Recycling rates also vary among materials, largely driven by the convenience with which the materials can be accessed from waste streams, and the value of those materials.
- **Recycling of specialty metals** may become increasingly important as a number of such metals are key constituents of **low-carbon technologies** such as solar PV cells, wind turbines and batteries.
- Incentives for resource efficiency are also important for waste management.
Examples :
 - Landfill tax in U.K.: GBP £7/tonne in 1996 to GBP £82/tonne in 2015, recycling rates reaching nearly 45 per cent for household waste in 2014
 - Capannori town and Treviso city in Italy :Rates of domestic waste segregation for recycling exceed 80 per cent, incentivized by “pay as you throw” systems, under which they are charged according to the weight of non-recyclable waste.

IEAのレポート(2022)

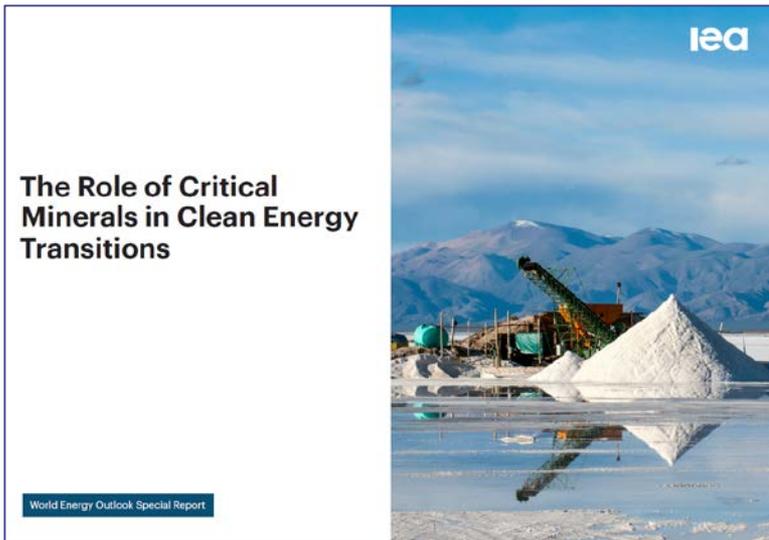


Table of Contents

Executive summary.....	4
Introduction.....	19
The state of play.....	23
Mineral requirements for clean energy transitions	42
Low-carbon power generation.....	54
Electricity networks.....	75
 Electric vehicles and battery storage	83
Hydrogen	109
Reliable supply of minerals	116
Supply prospects for the focus minerals	132
Approaches to ensure reliable mineral supply	157
Focus on recycling	175
Sustainable and responsible development of minerals	191
Mineral development and climate change.....	193
Sustainable minerals development	208
Responsible minerals development	225
International co-ordination.....	239
Annexes	246

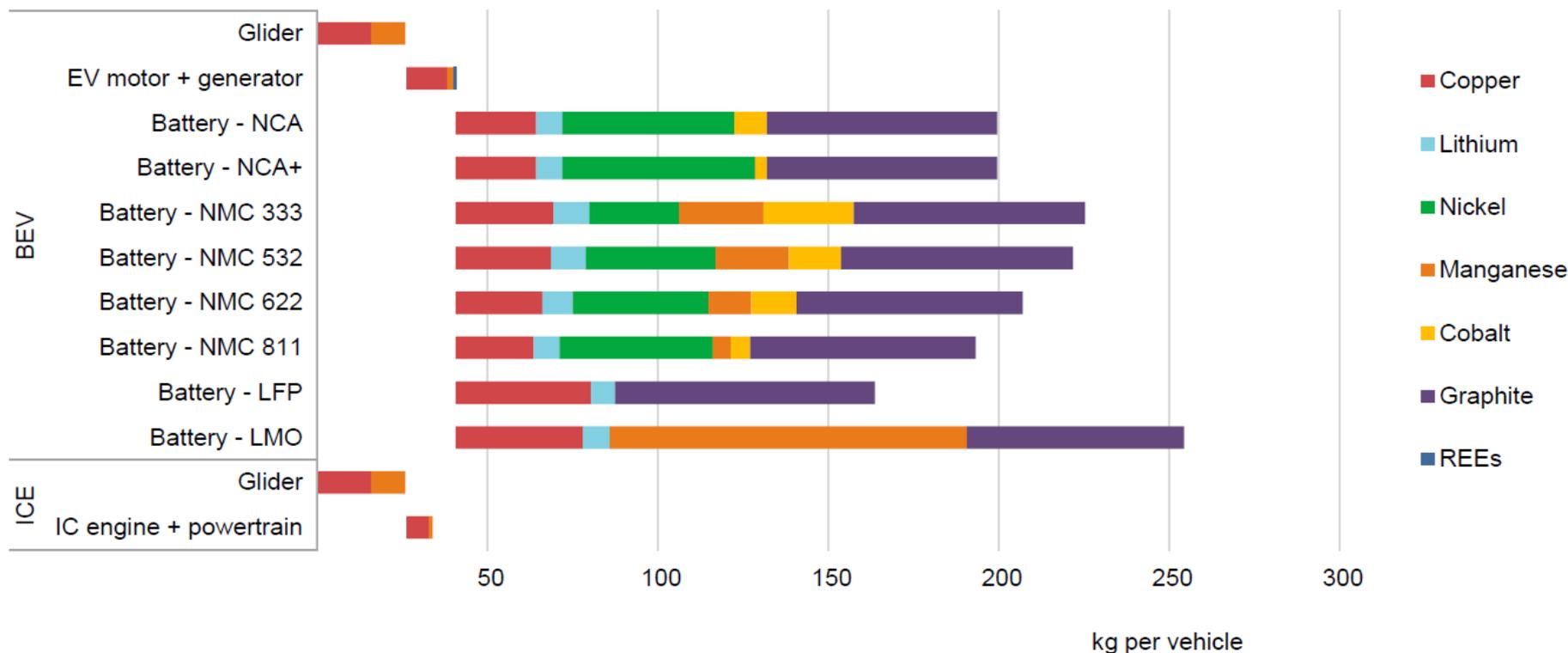
<https://www.iea.org/topics/critical-minerals>

<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

IEAのレポートより:EVに必要な非鉄金属等の材料

EVs use around six times more minerals than conventional vehicles

Typical use of minerals in an internal combustion engine vehicle and a battery electric vehicle

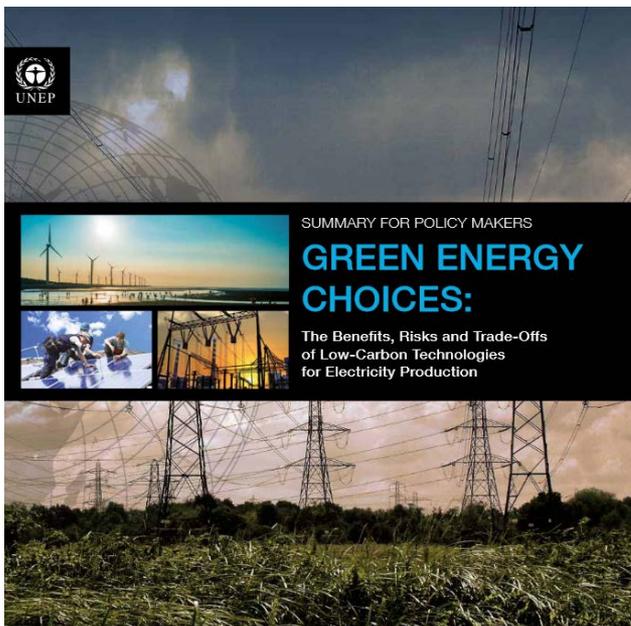


Glider: 動力源を除く車体

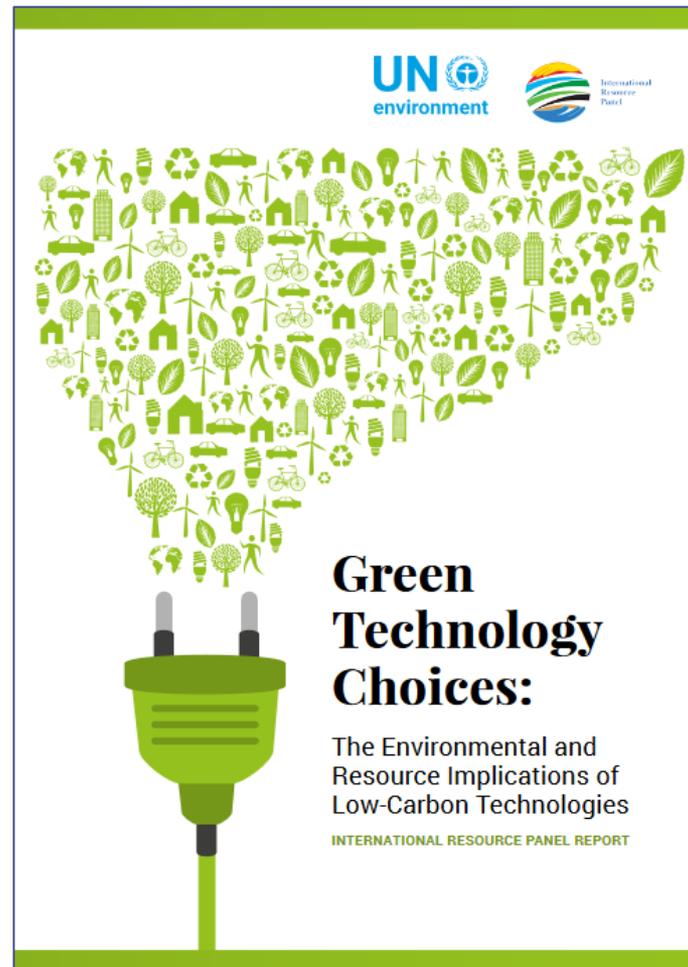
IEA. All rights reserved.

UNEP国際資源パネルによるアセスメント報告書

発電技術の評価



需要側技術の評価

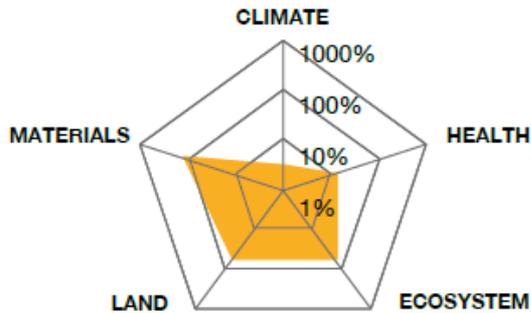


<https://www.resourcepanel.org/reports/green-energy-choices-benefits-risks-and-trade-offs-low-carbon-technologies-electricity>

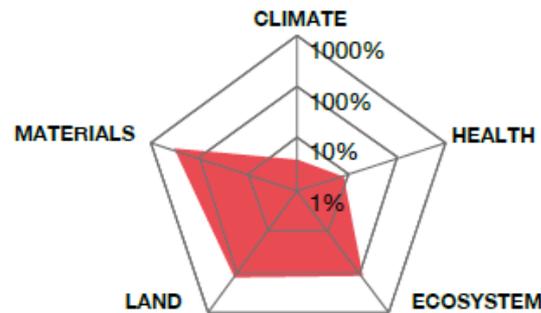
<https://www.resourcepanel.org/reports/green-technology-choices>

発電技術の環境影響プロファイルの比較

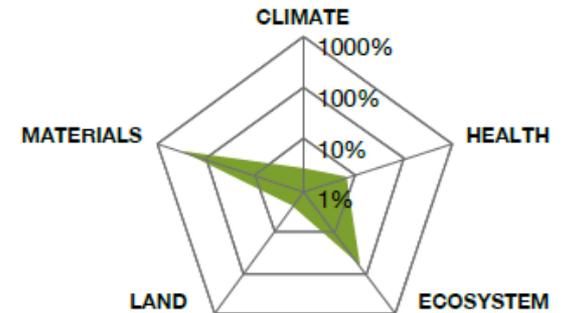
Photovoltaic power



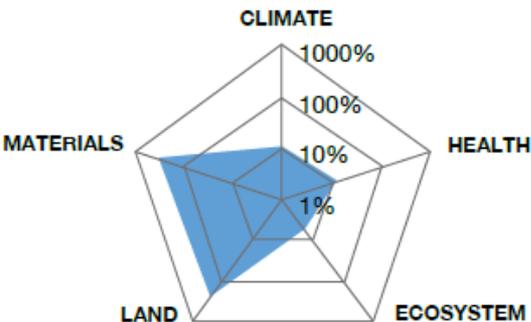
Concentrated Solar Power



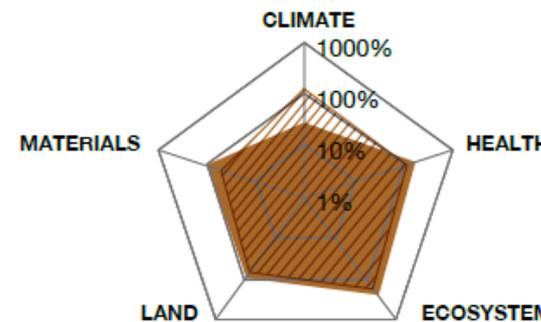
Wind power



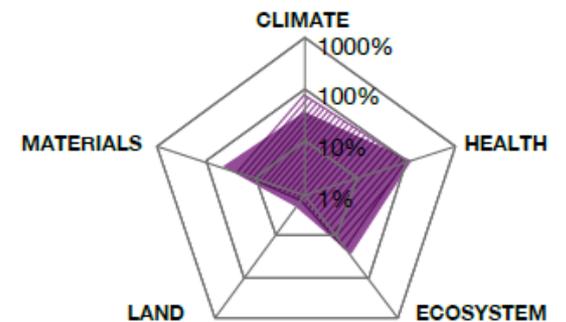
Hydropower



Coal, with and without CCS



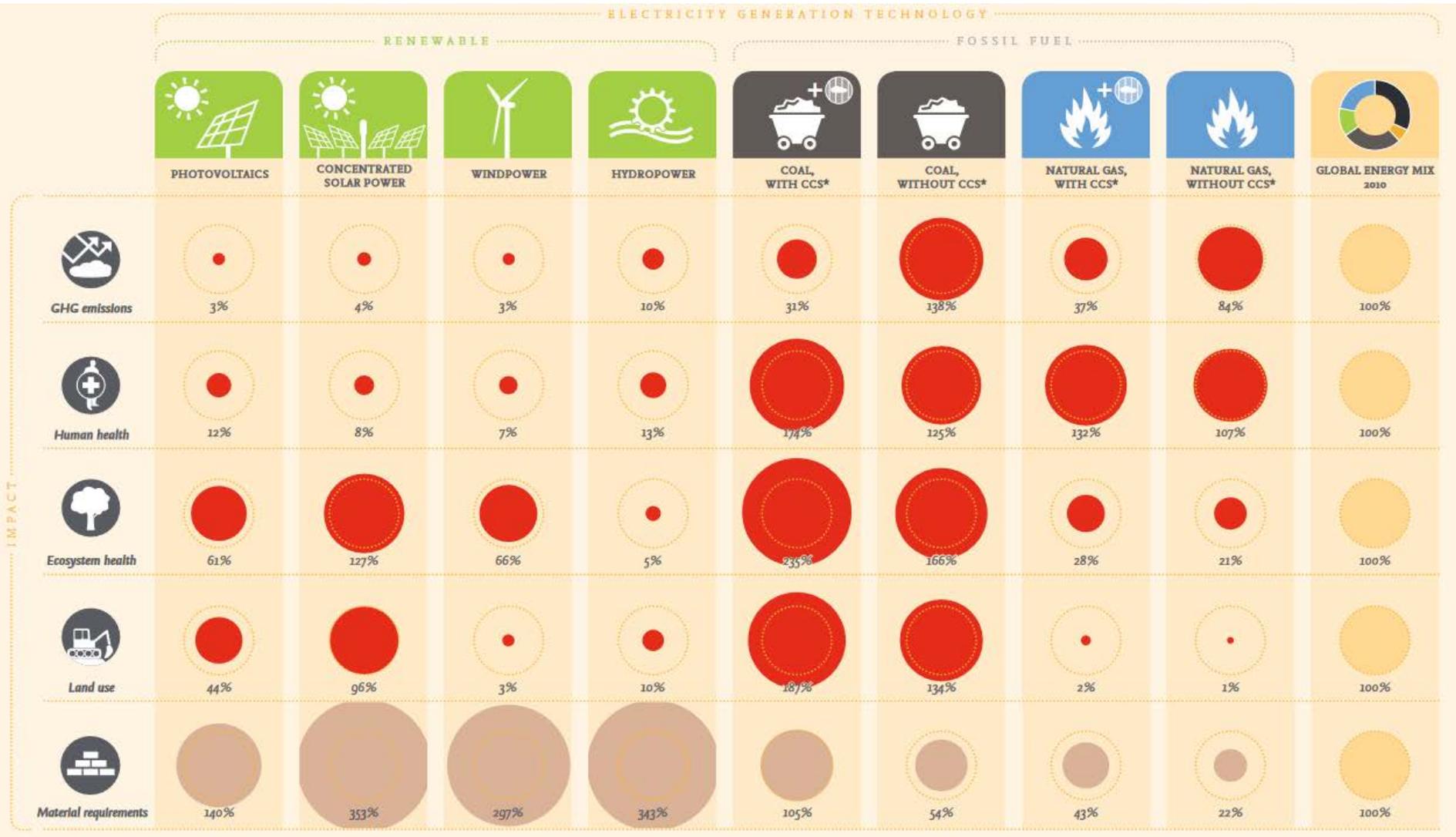
Natural Gas, with and without CCS



 coal without CCS

 gas without CCS

発電技術の環境影響を示したInfographic



IRENAのレポート(2021) Rare Earth Elementsに焦点

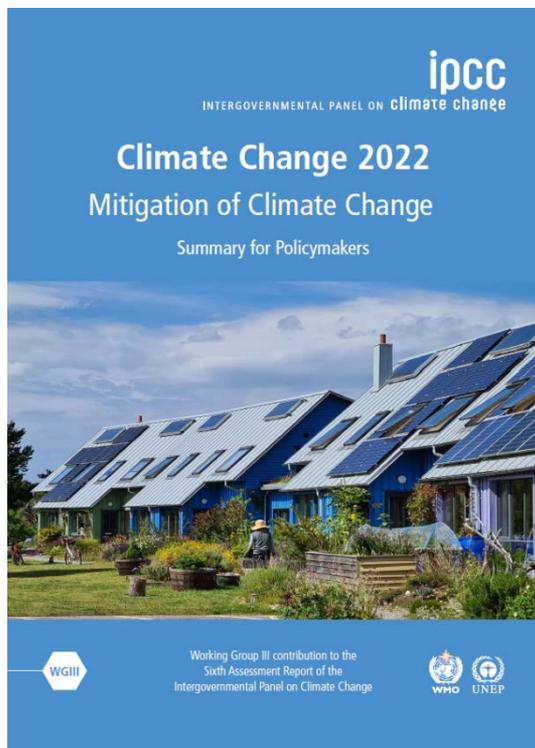


CRITICAL MATERIALS FOR THE ENERGY TRANSITION: RARE EARTH ELEMENTS

TECHNICAL PAPER 2/2022
BY DOLF GIELEN AND MARTINA LYONS

EXECUTIVE SUMMARY	6
INTRODUCTION	10
DEMAND	12
Wind turbines	14
Electric vehicles	15
Efficiency of rare earth elements' use	17
Patent activity in magnets.....	19
SUPPLY	21
Rare earth processing: companies and methods	28
Rare earth supply costs	34
ENHANCING THE SECURITY OF RARE EARTH ELEMENTS SUPPLY	36
CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	40
REFERENCES	41

IPCC_AR6_WG3: 第三作業部会第6次評価報告書(2022/4公表)



IPCC AR6 WG3 章構成

AR6 WG3	AR5 WG3
1. 序文及び報告書の枠組み	1. 序章
2. 排出傾向と駆動要因	5. 駆動要因・トレンド・緩和
3. 長期目標と整合する緩和経路	6. 移行経路の評価
4. 短期・中期の緩和・開発経路	
5. 需要、サービス、緩和の社会的側面	
6. エネルギーシステム	7. エネルギーシステム
7. 農業、森林、その他土地利用	11. 農業、森林、その他土地利用
8. 都市システムとその他居住地	12. 人間居住・インフラ・空間計画
9. 建物	9. 建物
10. 運輸	8. 運輸
11. 産業	10. 産業
12. 部門横断の展望	
13. 国・地域の政策と制度	15. 国・地方自治体の政策と制度
14. 国際協力	13. 国際協力：合意と措置 14. 地域開発と協力
15. 投資とファイナンス	16. クロスセクター、投資と資金問題
16. イノベーション、技術開発、移転	
17. 持続可能な開発の文脈における移行の加速	
(AR5 WG3の2~4章は、AR6 WG3 4~5, 13~14, 16~17章に含まれる)	2. リスクや不確実性での気候変動政策 3. 社会・経済・倫理的側面からの概念と方法 4. 持続的発展と公平性

3



国立環境研究所の解説動画

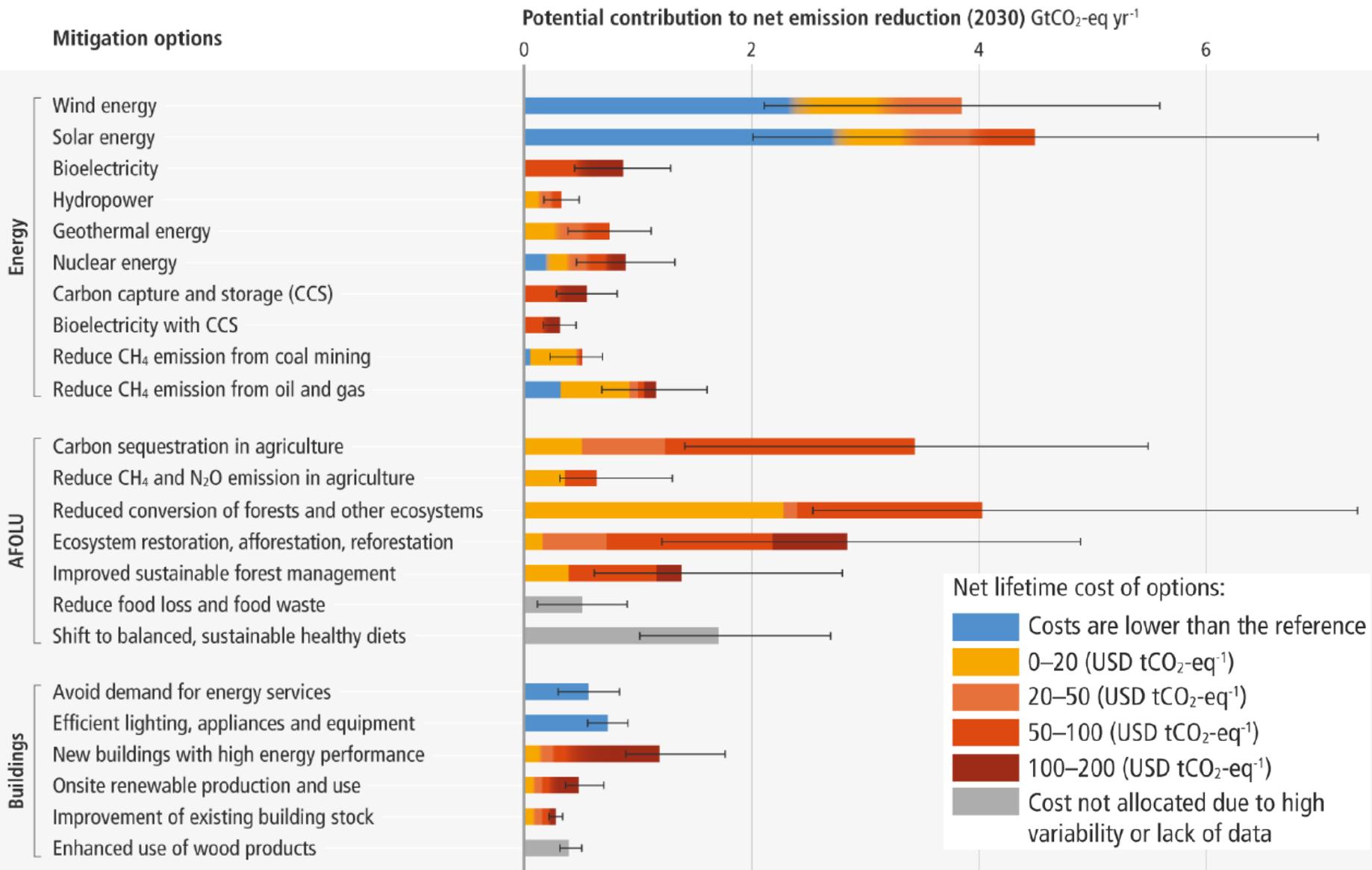
<https://www.env.go.jp/content/900505393.pdf>

https://www-iam.nies.go.jp/aim/pdf/IPCC_AR6_WG3_SPM_220405.pdf

<https://www.youtube.com/watch?v=2eMjuRiYvAI>

IPCC_AR6_WG3 政策決定者向けサマリー (SPM) から

Overview of mitigation options and their estimated ranges of costs and potentials in 2030 (1/2)



IPCC_AR6_WG3 政策決定者向けサマリー(SPM)から

Overview of mitigation options and their estimated ranges of costs and potentials in 2030 (2/2)



Source: IPCC_AR6_WG3_SPM Figure SPM.7

IPCC AR6 WG3 政策決定者向けサマリーより B4.1

- From 2010–2019, there have been sustained decreases in the unit costs of solar energy (85%), wind energy (55%), and **lithium-ion batteries (85%)**, and large increases in their deployment, e.g., >10x for solar and >100x for electric vehicles (EVs), varying widely across regions (Figure SPM.3).
- The mix of policy instruments which reduced costs and stimulated adoption includes public R&D, funding for demonstration and pilot projects, and demand pull instruments such as deployment subsidies to attain scale.
- In comparison to modular small-unit size technologies, the empirical record shows that multiple large-scale mitigation technologies, with fewer opportunities for learning, have seen minimal cost reductions and their adoption has grown slowly. (*high confidence*)

IPCC AR6 WG3 政策決定者向けサマリーより C.8.3

- Electric vehicles powered by low-GHG emissions electricity have large potential to reduce land-based transport GHG emissions, on a life cycle basis (*high confidence*).
- Costs of electrified vehicles, including automobiles, two and three wheelers, and buses are decreasing and their adoption is accelerating, but they require continued investments in supporting infrastructure to increase scale of deployment (*high confidence*).
- **Advances in battery technologies** could facilitate the electrification of heavy-duty trucks and complement conventional electric rail systems (*medium confidence*).
- There are **growing concerns about critical minerals needed for batteries**.
- **Material and supply diversification** strategies, energy and material **efficiency improvements**, and **circular material flows** can reduce the **environmental footprint** and **material supply risks** for battery production (*medium confidence*).
- Sourced sustainably and with low-GHG emissions feedstocks, bio-based fuels, blended or unblended with fossil fuels, can provide mitigation benefits, particularly in the short- and medium-term (*medium confidence*).
- Low-GHG emissions hydrogen and hydrogen derivatives, including synthetic fuels, can offer mitigation potential in some contexts and land-based transport segments (*medium confidence*).

IPCC AR6 WG3 テクニカルサマリー 第10章「運輸」の概要(1/2)

- Meeting climate mitigation goals would require **transformative changes** in the transport sector.
- Since AR5 there has been a growing awareness of the need for demand management solutions combined with new technologies, such as the rapidly growing use of **electromobility for land transport** and the emerging options in **advanced biofuels and hydrogen-based fuels for shipping and aviation** and in other specific land-based contexts (*high confidence*).
- Changes in urban form, behaviour programs, the **circular economy**, the **shared economy**, and **digitalisation** trends can support systemic changes that lead to **reductions in demand** for transport services or expands the use of more **efficient transport modes** (*high confidence*)
- Battery-electric vehicles (BEVs) have lower life cycle greenhouse gas emissions than internal combustion engine vehicles (ICEVs) when BEVs are charged with low carbon electricity (*high confidence*).→後のスライドで補足
- Land-based, long-range, heavy-duty trucks can be **decarbonised through battery-electric haulage** (including the use of electric road systems), complemented by hydrogen- and biofuel-based fuels in some contexts. These same technologies and expanded use of available electric rail systems can support rail decarbonisation (*medium confidence*).

IPCC AR6 WG3 テクニカルサマリー 第10章「運輸」の概要(2/2)

- Decarbonisation options for shipping and aviation still require R&D, though advanced biofuels, ammonia, and synthetic fuels are emerging as viable options (*medium confidence*).
- Scenarios from bottom-up and top-down models indicate that, without intervention, CO2 emissions from transport could grow in the range of 16% and 50% by 2050 (*medium confidence*).
- The scenarios literature indicates that fuel and technology shifts are crucial in reducing carbon emissions to meet temperature goals (*high confidence*).
- There is a growing awareness of the need to plan for the **significant expansion of low-carbon energy infrastructure**, including low-carbon power generation and hydrogen production, to support emissions reductions in the transport sector (*high confidence*).
- The deployment of low-carbon aviation and shipping fuels that support decarbonisation of the transport sector could require changes to national and international governance structures (*medium confidence*).
- **There are growing concerns about resource availability, labour rights, non-climate environmental impacts, and costs of critical minerals needed for lithium-ion batteries** (*medium confidence*).
- Legislated climate strategies are emerging at all levels of government, and together with pledges for personal choices, could spur the deployment of demand and supply-side transport mitigation strategies (*medium confidence*).

IPCC AR6 WG3 テクニカルサマリーにおけるリチウム電池の記述(1/2)

- **Battery-electric vehicles (BEVs) have lower life cycle greenhouse gas emissions than internal combustion engine vehicles (ICEVs) when BEVs are charged with low carbon electricity (*high confidence*).**
- Electromobility is being rapidly implemented in micro-mobility (e-autorickshaws, e-scooters, e-bikes), in transit systems, especially buses, and to a lesser degree, in personal vehicles. BEVs could also have the added benefit of supporting grid operations. **The commercial availability of mature **lithium-ion batteries (LIBs)** has underpinned this growth in electromobility.** As global battery production increases, unit costs are declining. **Further efforts to reduce the GHG footprint of battery production, however, are essential for maximising the mitigation potential of BEVs.** The continued growth of electromobility for land transport would entail investments in electric charging and related grid infrastructure. Electromobility powered by low-carbon electricity has the potential to rapidly reduce transport GHG and can be applied with multiple co-benefits, especially in the developing countries. {10.3, 10.4, 10.8}

IPCC AR6 WG3 テクニカルサマリーにおけるリチウム電池の記述(2/2)

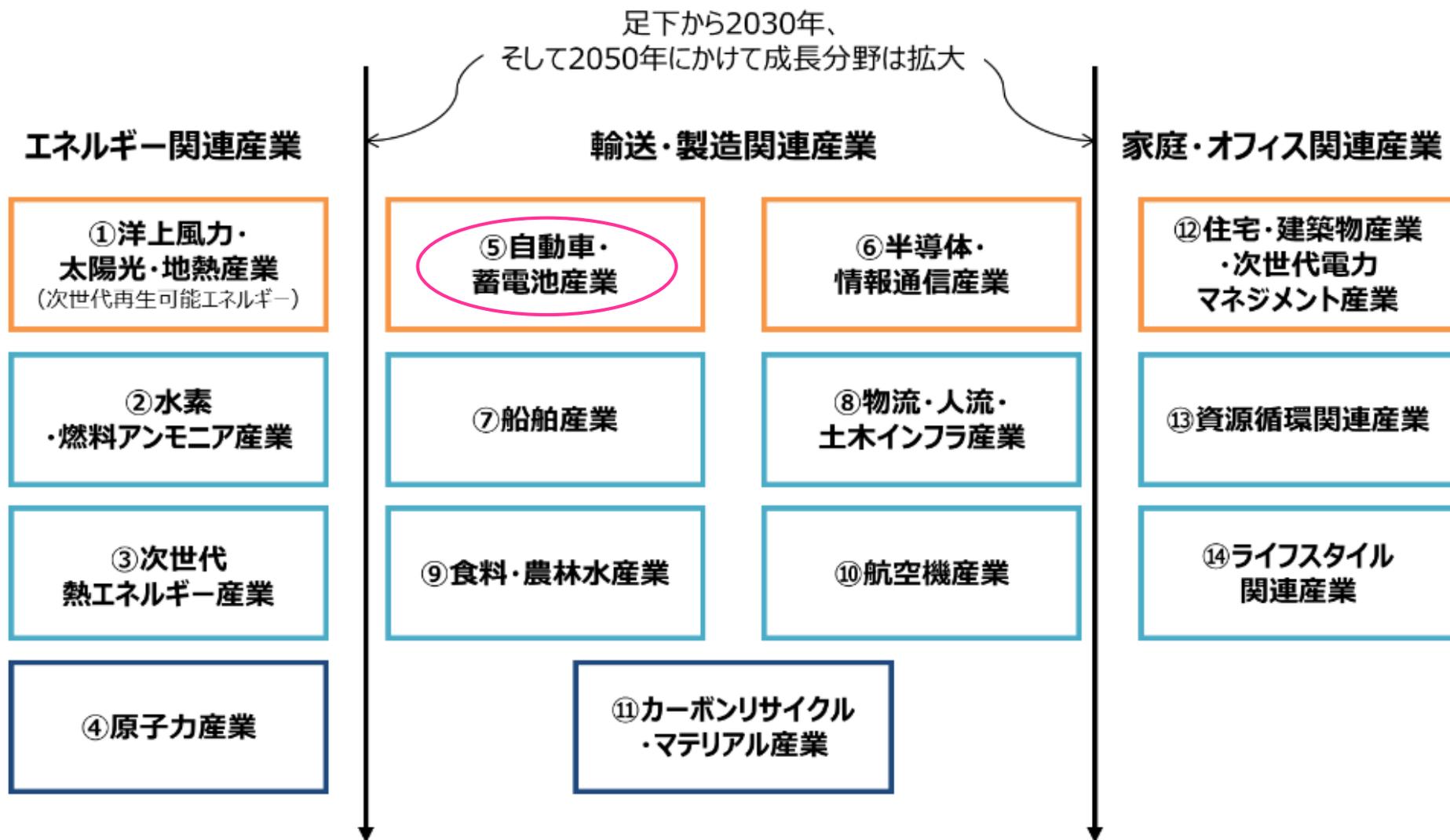
- There are growing concerns about resource availability, labour rights, non-climate environmental impacts, and costs of critical minerals needed for lithium-ion batteries (medium confidence).
- Emerging national strategies on critical minerals and the requirements from major vehicle manufacturers are leading to new, more geographically diverse mines. The standardisation of battery modules and packaging within and across vehicle platforms, as well as increased focus on design for recyclability are important. Given the high degree of potential recyclability of **lithium-ion batteries**, a nearly closed-loop system in the future could mitigate concerns about critical mineral issues (*medium confidence*). {10.3, 10.8}

IPCC AR6 WG3 SPMにおける「リスク」への言及

- 社会科学を含む学際的・多様性の高い分析の枠組みが機会とリスクの同定に有用
- 2030年以前に高排出の従来型のインフラへの投資を続け、低排出型インフラへの置換を遅らせることが移行の実現可能性へのリスクを高める
- 技術のリスクという観点から、資源効率、持続可能性重視のシナリオでは、初期投資の大きい技術(原子力など)への依存は抑制
- 石炭関連の資産が2030年以前、石油・天然ガス関連の資産が2050年にかけて「座礁資産化」するリスク
- 野心的な政策をとらなければ、建物の炭素対策がロックインするリスク
- 蓄電池のための鉱物資源への関心: 調達先の多様化、効率向上、循環利用による環境フットプリントと調達リスクの低減
- AFOLU(農林業、土地利用分野の対策)は生物多様性など他の環境問題との間でコベネフィット・リスクの両面がありうる
- CDR(炭素除去)技術は、リスク含めさまざまな面で多様
- リスクアセスメント・マネジメント手法の改善がCDRの社会実装を加速
- 調和のとれたスピード感のある施策がリスクを低減
- 金融セクターの課題: リスク・リターンの魅力の乏しさ
- 先進国から途上国への投資の公的支援によるリスク低減
- 支援が得にくいセクターを含む民間セクターの移行リスクを下げるための政府、国際コミュニティの明確な方向付け

グリーン成長戦略における14重要分野

(成長が期待される14分野)



グリーン成長戦略⑤自動車・蓄電池産業の「工程表」

⑤自動車・蓄電池産業の成長戦略「工程表」

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

●具体化するべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
電動化の推進・車の使い方の変革	自動車・インフラの導入拡大						2050年のモビリティ社会の理想像 例：移動の安全性・利便性の飛躍的向上、 移動時間の活用の革新、 「動く蓄電池」の社会実装、 モビリティの新たな付加価値の提供 等	
	エネルギー政策と両輪での政策推進							
	蓄電池・燃料電池・モータ等の自動車関連技術・サプライチェーン・バリューチェーン強化							
	車の使い方の変革							
	電動車の普及に向けたアジア等との連携							
	電動車の災害時対応							
燃料のカーボンニュートラル化 (合成燃料(e-fuel)等)	合成燃料の製造技術の開発					大規模製造の実証	導入拡大・コスト低減	自立商用化
	合成燃料の革新的製造技術の開発						ガソリン価格以下のコスト実現	
蓄電池	蓄電池のスケール化を通じた低価格化					新たなエネルギー基盤としての蓄電池産業の競争力強化	車載用、定置用など、 様々な種類の蓄電池を 電力グリッドに接続し、調整力として活用	
	鉱物資源の確保							
	研究開発・技術実証							
	蓄電池のリユース・リサイクルの促進							
	ルール整備・標準化							

グリーン成長戦略における14重要分野

2050年に向けた目標

2050年に向けて成長が期待される、14の重点分野を選定。

・高い目標を掲げ、技術のフェーズに応じて、実行計画を着実に実施し、国際競争力を強化。・2050年の経済効果は約290兆円、雇用効果は約1,800万人と試算。

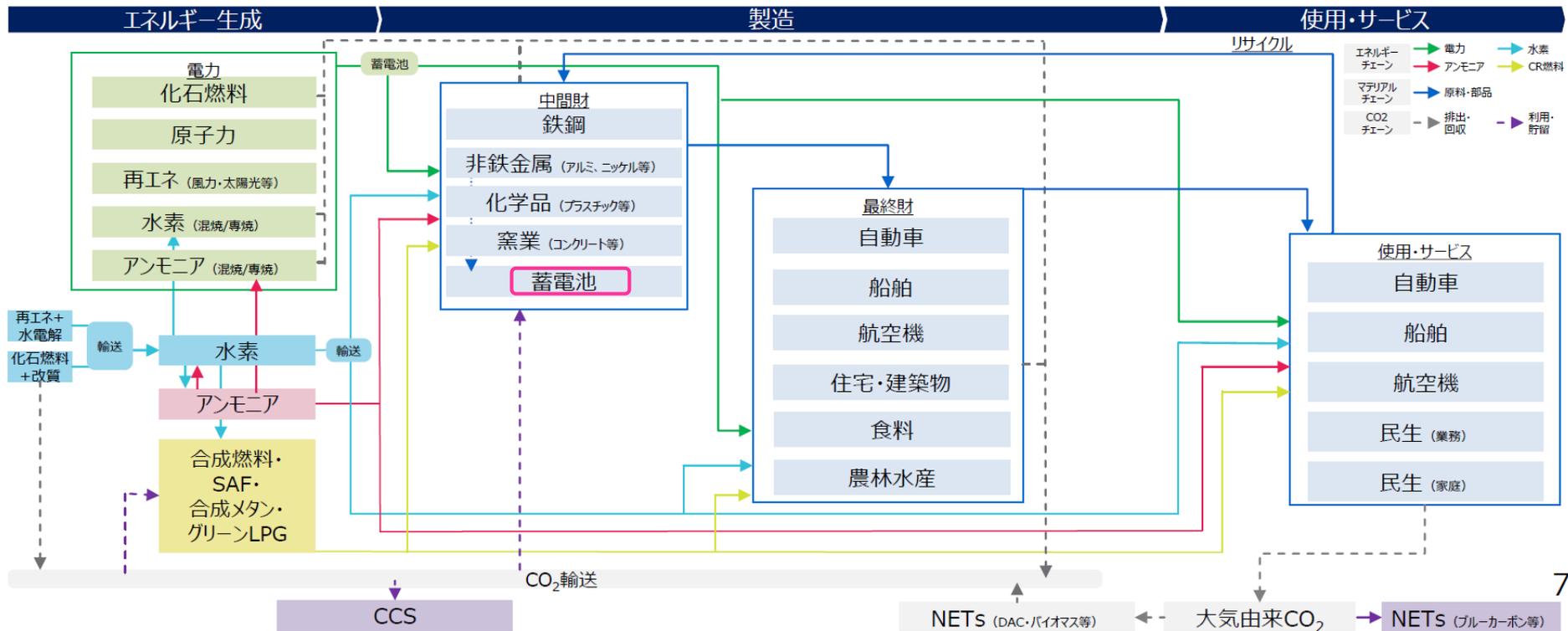
 <p>洋上風力・太陽光・地熱</p> <ul style="list-style-type: none"> 2040年、3,000~4,500万kWの案件形成【洋上風力】 2030年、次世代型で14円/kWhを視野【太陽光】 <p>1</p>	 <p>水素・燃料アンモニア</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年、2,000万トン程度の導入【水素】 東南アジアの5,000億円市場【燃料アンモニア】 <p>2</p>	 <p>次世代熱エネルギー</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年、既存インフラに合成メタンを90%注入 <p>3</p>	 <p>原子力</p> <ul style="list-style-type: none"> 2030年、高温ガス炉のカーボンフリー水素製造技術を確立 <p>4</p>	 <p>自動車・蓄電池</p> <ul style="list-style-type: none"> 2035年、乗用車の新車販売で電動車100% <p>5</p>	 <p>半導体・情報通信</p> <ul style="list-style-type: none"> 2040年、半導体・情報通信産業のカーボンニュートラル化 <p>6</p>	 <p>船舶</p> <ul style="list-style-type: none"> 2028年よりも前倒しでゼロエミッション船の商業運航実現 <p>7</p>
 <p>物流・人流・土木インフラ</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年、カーボンニュートラルポートによる港湾や、建設施工等における脱炭素化を実現 <p>8</p>	 <p>食料・農林水産業</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年、農林水産業における化石燃料起源のCO₂ゼロエミッション化を実現 <p>9</p>	 <p>航空機</p> <ul style="list-style-type: none"> 2030年以降、電池などのコア技術を、段階的に技術搭載 <p>10</p>	 <p>カーボンリサイクル・マテリアル</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年、人工光合成プラを既製品並み【CR】 ゼロカーボンスチールを実現【マテリアル】 <p>11</p>	 <p>住宅・建築物・次世代電力マネジメント</p> <ul style="list-style-type: none"> 2030年、新築住宅・建築物の平均でZEH・ZEB【住宅・建築物】 <p>12</p>	 <p>資源循環関連</p> <ul style="list-style-type: none"> 2030年、バイオマスプラスチックを約200万トン導入 <p>13</p>	 <p>ライフスタイル関連</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年、カーボンニュートラル、かつレジリエントで快適な暮らし <p>14</p>

グリーン成長戦略推進会議に参画する中での問題意識

- CNに向けた技術の大量普及においては、需給調整の仕組みを誰が構築・管理し、コストをどのように公平に負担するのか、という経済・社会面でのシステムの設計が不可欠
 （目下直面している電力需給問題の教訓）
- 非専門家にはなじみのないCN技術を急速かつ大量に普及させる上では、倫理的・法的・社会的課題(ELSI)にも留意すべき

2050年カーボンニュートラルにおける産業間の関係性

グリーン成長戦略・革新的環境イノベーション戦略のフォローアップについて(2022年4月)より抜粋



直近の戦略推進会議での演者からのコメント

- 網羅している反面、やや抽象化されており具体的にどの技術がどの点で関与するかが見えにくい
- 炭素について、化石由来、非化石由来かは大きく関わってくる点
- 技術を具体的に実行する際は、該当技術をどの地域でどの程度入れるかが重要
- 例えば重工業に関連する技術はコンビナート等と導入場所が限られる
- 環境に関連する技術は、廃棄物処理を中心に推進してきたエコタウンと呼ばれる地域での具体的な実績も踏まえた設計が求められる。

電気自動車用リチウム電池のLCAについて

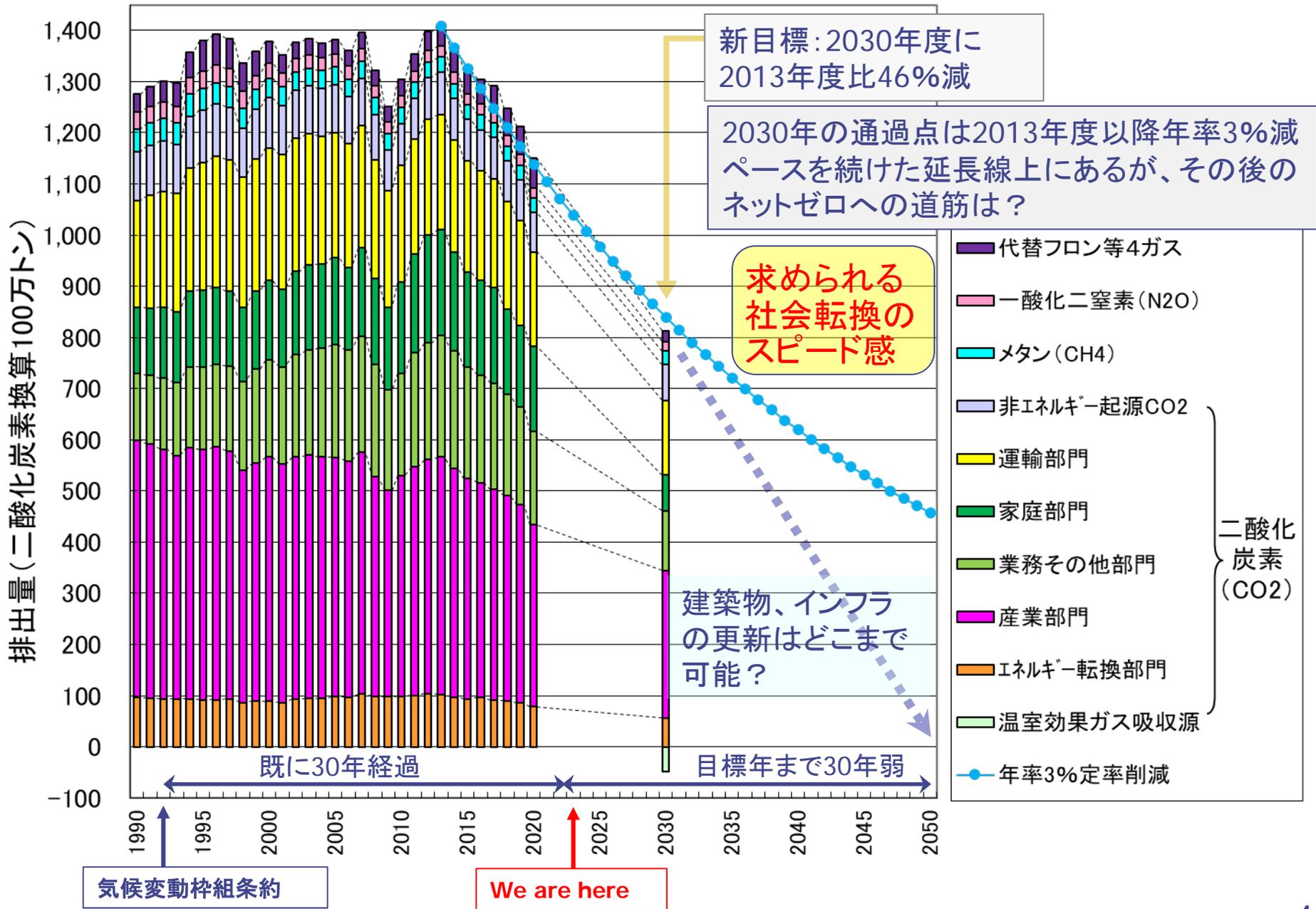
- 国際学術誌 (*Journal of Cleaner Production* など) には近年、多数の論文が掲載されている。EV自身の普及状況とも関連すると思われるが、欧州、中国、北米の著者が多く、日本からの論文は限定的。
- ごく最近の論文の中には、LIBのLCA結果がなぜばらつくかについてメタアナリシスを行ったレビュー論文も存在する。

Anne Bouter, Xavier Guichet (2022): The greenhouse gas emissions of automotive lithium-ion batteries: a statistical review of life cycle assessment studies, *Journal of Cleaner Production*, volume 344, 130994

上記論文のAbstractの末尾

We also propose recommendations for LCA practitioners to harmonize LIBs' environmental assessments and save time for further analysis.

日本の温室効果ガス排出量の推移と削減目標



安全工学の「リスク検討フレーム」を念頭においたまとめ

(安全工学シンポジウム(2022.6.30)での発表資料を一部修正)

- 求められる移行・転換のスケールに対する限られた年限
 - 気候変動枠組条約から既に30年経過し、今から2050年まで28年しかない
 - 地球温暖化防止の切迫性に関する認識不足
 - 個々のリスクに気がついた段階での対応では混乱が発生
 - 技術の大量普及に要するリードタイム(製品、建築物などのライフサイクル、「地域社会」への実装にあたっての受容性)
- 「重厚長大」な産業・技術からの転換可能性(産業移行の課題)
 - これまでのCarbon Intensiveな材料・産業
 - 排出削減技術に必要な新たな原材料の調達(大きな輸入依存度→国際的リスク)
 - 具体例として、効率向上のための「電化」に必要な金属資源
- 緩和策の副次的影響(他の環境問題、環境以外の問題)
 - IPCCによる他のSDGsとの関係の包括的整理を参考とした重要課題の掘り下げ
- 「縦割り」のリスク:施策のバラバラ感による課題
 - (エネルギー)供給側の技術・システムと需要側の技術・システムの全体最適化
 - マネジメント・ガバナンスの仕組み、そこに関わるべき専門知・経験知
 - 各自が真剣に個別問題に取り組んでおけば良い時代は過ぎた
 - IPCC_AR6_WG3 :Increasing diversity of analytic frameworks from multiple disciplines including social sciences