

平成 29 年度 環境経済の政策研究

資源循環に係る環境効率に関する調査・検討
研究報告書

平成 30 年 3 月

立命館大学

地球環境戦略研究機関

東京大学

東京農工大学

リサイクル適性の表示：印刷用の紙へリサイクルできます。

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。

目次

要旨	1
I 研究計画・成果の概要等	3
1. 研究の背景と目的.....	4
2. 3年間の研究計画及び実施方法.....	4
3. 3年間の研究実施体制.....	6
4. 本研究で目指す成果.....	6
5. 研究成果による環境政策への貢献.....	7
II 平成29年度の研究計画および研究状況と成果／3年間の研究を通じて得られた成果	9
1. 平成29年度の研究計画.....	10
2-1. 平成29年度の研究状況および成果(概要).....	10
2-2. 3年間の研究を通じて得られた成果(概要).....	14
3. 対外発表等の実施状況.....	20
4. 平成29年度および3年間の研究を通じて得られた成果(詳細).....	22
4.1 既存の環境効率指標の事例収集と分析.....	22
(1) マクロ(国レベル).....	22
(2) ミクロ(企業レベル・製品レベル).....	34
(3) GHG プロトコル SCOPE3 の考え方.....	39
4.2 物質1単位あたりの環境負荷・環境影響の試算.....	43
(1) システム境界の設定と環境影響の配分方法.....	43
(2) 対象物質の選定.....	44
(3) 対象物質1単位あたりの環境影響の試算.....	56
4.3 日本の環境効率の時系列推計.....	67
(1) 日本の物質利用データの整備.....	67
(2) 日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響の推計.....	71
(3) 関連するマクロな統計との比較・検証.....	104
(4) 日本の環境効率の時系列推計.....	105
4.4 日本の環境効率の推移の要因分析.....	109
(1) 構造分解式と構造分解の方法.....	109
(2) 要因分析の結果.....	110
4.5 本研究の成果のまとめ.....	113
III 添付資料	115
参考文献.....	116

要旨

第四次環境基本計画では、「環境と社会経済の関係を端的に表す指標」として「環境効率性を示す指標」や「資源生産性を示す指標」が挙げられている。前者については、当面「二酸化炭素排出量÷GDP」を用いることとしているが、生産量ベースでの指標や他の環境負荷(大気環境、化学物質など)の環境効率性についての検討が課題となっている。また、後者についても、少量だが有害な物質の影響や希少金属の価値が過小評価されるなどの課題が指摘されている。一方、「資源生産性」を重要な指標の1つとして採用している第三次循環型社会形成推進基本計画では、今後の検討課題等の一つとして、環境負荷と財・サービスの付加価値の間の効率性を測る環境効率指標を挙げている。

これに関して欧州では、「資源生産性(resource productivity: €/kg)」と「環境効率(eco-efficiency: €/impact)」の両者を「資源1単位あたりの環境影響(resource specific impact: impact/kg)」で関連づけて検討する方向にあるが、そうした手法の開発は未だ諸に着いたばかりである。数少ない既存研究においても、資源のライフサイクルのどの段階で対象物質を定義するか(ダブルカウントをどう回避するか)、各物質へ環境負荷をどのように配分するか、製品使用時の環境負荷をどう考えるか等の課題があり、さらなる検討が必要な状況にある。

以上のようなことから、本研究では、「物質1単位あたりの環境影響(resource specific impact: impact/kg)」を試算し、日本の「環境効率(eco-efficiency: yen/impact)」を時系列で推計するとともに、その変化の要因分析を行うことを目的とした。具体的には、①既存の環境効率指標についてマクロ(国レベル)からミクロ(企業レベル・製品レベル)に至る事例を収集し、その定義・計算手法に着目した整理・分析を行った。②対象物質の選定とシステム境界の設定を行い、ライフサイクルアセスメント(LCA)を援用して、物質1単位あたりの環境影響を試算した。③これらを用いて日本の物質利用に伴う環境影響・付加価値を推計するとともに、これを関連するマクロな統計と比較・検証し、日本の環境効率を時系列で推計した。④推計した環境効率の時系列変化がどのような要因に基づくものであったかを分析した。

その結果、以下の成果が得られた。①物質利用に着目した国レベルの環境効率の算定に関する既存研究において、環境影響のダブルカウントや物質生産以降の環境影響の考慮等の手法上の課題があることを整理した。②物質利用に着目した国レベルの環境効率の算定において、論理性・網羅性のある対象物質選定方法を構築するとともに、ある対象物質が別の対象物質の原材料となる場合の環境影響の配分方法、対象物質が使用される下流側で発生する環境影響の配分方法、対象物質の付加価値の配分方法を提示した。③日本の天然資源等消費量は1990～2010年の間約40%減少し、資源生産性も約100%向上したが、日本の物質利用に伴う環境影響はこの間ほぼ横ばいで推移し、物質利用に係る環境効率も減少していることを示した。④日本の物質利用に係る環境効率の減少は、1990年代は各対象物質の付加価値のシェアの変化、2000年代後半は各対象物質の環境効率の変化によるものであることを示した。

これらの結果はさらなる検討・検証を要するものの、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。例えば、通常の「資源生産性」よりも「土石系資源投入量を除いた資源生産性」をより重視することなどが考えられる。

Abstract

The Fourth Basic Environment Plan identifies eco-efficiency and resource productivity as indicators that concisely capture the relationship between the environment and socio-economic systems. While carbon dioxide emissions divided by GDP will continue to be used as an eco-efficiency indicator for the time being, indicators based on production quantities or eco-efficiency related to other environmental burdens (such as air pollution and chemical substances) warrant further study. With regard to resource productivity indicator, underestimations of the impacts of the small amount of materials with hazardous property and the value of rare metals are among issues that have been identified. In the Third Fundamental Plan for Establishing a Sound Material Cycle Society, which adopts resource productivity as one of the key indicators, the need for eco-efficiency indicators for measuring the efficiency of the relationship between environmental burden and value added of goods and services has been pointed out.

In Europe, although efforts are underway to explore the possibility of using resource specific impact (impact/kg) to relate resource productivity (€/kg) and eco-efficiency (€/impact), development of such methods has just begun. With regard to the limited existing research, issues including the appropriate lifecycle stage of resources for defining target materials (how to avoid double counting), appropriate allocation of the environmental burden to each material, and appropriate treatment of the environmental burden during product use require further consideration.

Thus, the objectives of this research were to estimate resource specific impacts (impact/kg), estimate trends in Japan's eco-efficiency (yen/impact) over time, and analyze the factors causing changes therein. Specifically, the research involved (1) collecting macro (national level) to micro (company/product level) examples of existing eco-efficiency indicators and synthesizing/analyzing these indicators based on definitions and analytical methods used; (2) selecting target materials, setting system boundaries, and calculating resource specific impacts by using life cycle assessments (LCA); (3) estimating the environmental impacts and value added of Japan's materials use using the results above, comparing/verifying these results against related macro statistics, and estimating Japan's eco-efficiency over time; and (4) analyzing the factors driving changes in estimated eco-efficiency over time.

The following results were obtained: (1) For prior research estimating country level eco-efficiency focusing on materials use, we identified methodological issues including the double counting of environmental impacts and handling of post material production environmental impacts; (2) For estimating country level eco-efficiency focusing on materials use, we developed a logical and comprehensive method for selecting target materials, and proposed methods for allocating the environmental impact of a target material when it is a raw material for another target material, for allocating the downstream environmental impacts resulting from target material use, and for allocating the value added associated with target materials; (3) Although Japan's natural resource consumption declined by 40% and resource productivity rose by approximately 100% from 1990 to 2010, we showed that the environmental impact associated with Japan's materials use remained essentially unchanged and its eco-efficiency declined during this period; and (4) We showed that the decline in eco-efficiency associated with Japan's materials use was caused by the change in share of value added for individual target materials in 1990s and the change in eco-efficiency for individual target materials in later 2000s.

Although these results require further examination and verification, given that they reveal that the reduction in natural resource consumption is not contributing to reducing environmental impacts, they indicate a need to reconsider the targets for future environmental policy. For example, paying more attention to resource productivity excluding non-metallic minerals rather than normal resource productivity would be an option.

I 研究計画・成果の概要等

1. 研究の背景と目的

第四次環境基本計画では、「環境と社会経済の関係を端的に表す指標」として「環境効率性を示す指標」や「資源生産性を示す指標」が挙げられている。前者については、当面「二酸化炭素排出量÷GDP」を用いることとしているが、生産量ベースでの指標や他の環境負荷(大気環境、化学物質など)の環境効率性についての検討が課題となっている。また、後者についても、少量だが有害な物質の影響や希少金属の価値が過小評価されるなどの課題が指摘されている。一方、「資源生産性」を重要な指標の1つとして採用している第三次循環型社会形成推進基本計画では、今後の検討課題等の一つとして、環境負荷と財・サービスの付加価値の間の効率性を測る環境効率指標を挙げている。

これに関して欧州では、「資源生産性(resource productivity: €/kg)」と「環境効率(eco-efficiency: €/impact)」の両者を「資源1単位あたりの環境影響(resource specific impact: impact/kg)」で関連づけて検討する方向にあるが、そうした手法の開発は未だ諸に着いたばかりである。数少ない既存研究においても、資源のライフサイクルのどの段階で物質を定義するか(ダブルカウントをどう回避するか)、各物質へ環境負荷をどのように配分するか、製品使用時の環境負荷をどう考えるか等の課題があり、さらなる検討が必要な状況にある。

以上のようなことから、本研究では、「物質1単位あたりの環境影響(resource specific impact: impact/kg)」を試算し、日本の「環境効率(eco-efficiency: yen/impact)」を時系列で推計するとともに、その変化の要因分析を行うことを目的とする。具体的には、

- (1) 既存の環境効率指標の事例収集と分析：既存の環境効率指標についてマクロ(国レベル)からミクロ(企業レベル・製品レベル)に至る事例を収集し、その定義・計算手法に着目した整理・分析を行う。
- (2) 物質1単位あたりの環境負荷・環境影響の試算：対象物質の選定とシステム境界の設定を行い、ライフサイクルアセスメント(LCA)を援用して、物質1単位あたりの環境負荷・環境影響を試算する。
- (3) 日本の環境効率の時系列推計：上記(2)を用いて日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響を推計するとともに、これを関連するマクロな統計と比較・検証し、日本の環境効率を時系列で推計する。
- (4) 日本の環境効率の推移の要因分析：推計した環境効率の時系列変化がどのような要因に基づくものであったかを分析する。

2. 3年間の研究計画及び実施方法

本研究の構成は図1.2(1)に示すとおりであり、これを表1.2(1)に示す工程で実施していく。

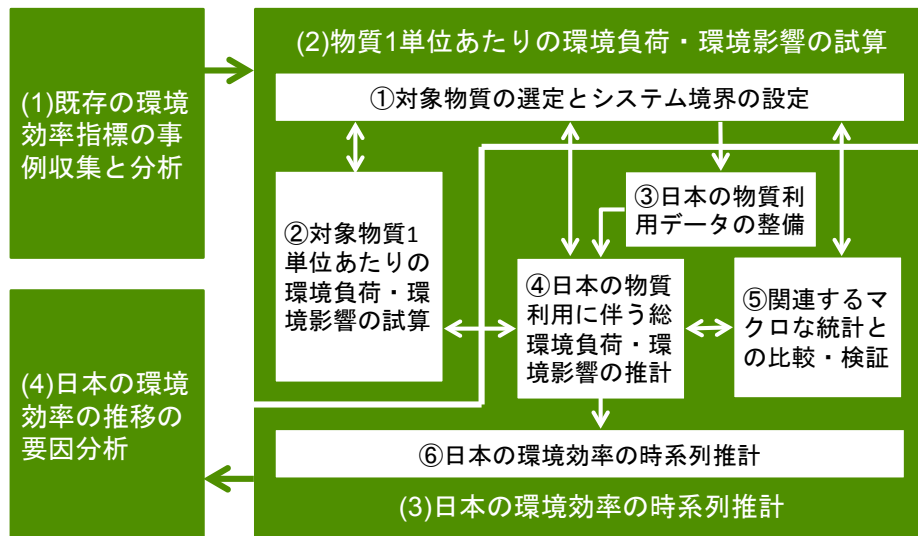
(1) 既存の環境効率指標の事例収集と分析

既存の環境効率指標についてマクロ(国レベル)からミクロ(企業レベル・製品レベル)に至る事例を収集し、整理・分析を行う。マクロ(国レベル)については欧州での研究事例を対象に、特にシステム境界の設定に着目した整理・分析、ミクロ(企業レベル・製品レベル)については企業の環境報告書や学術論文を対象に事例を収集し、その定義・計算方法に着目した整理・分析を行う。

(2) 物質1単位あたりの環境負荷・環境影響の試算

①対象物質の選定とシステム境界の設定

資源のライフサイクルの適切な段階で対象とする物質を選定する。また、ダブルカウントを回避するようなシステム境界、環境負荷・環境影響の配分方法を検討する。



図I.2(1) 本研究の構成

表I.2(1) 本研究の工程表

	2015年度	2016年度	2017年度
(1)	更新	更新	更新
(2) ①	見直し	見直し	見直し
②	見直し	見直し	見直し
(3) ③	見直し・更新	見直し・更新	見直し・更新
④	見直し	見直し	見直し
⑤	見直し	見直し	見直し
⑥	見直し	見直し	見直し
(4)	見直し	見直し	見直し

②対象物質1単位あたりの環境負荷・環境影響の試算

①をもとに、対象物質1単位あたりのライフサイクル環境負荷・環境影響を試算する。各対象物質を用いた製品の加工段階・使用段階・廃棄段階については簡易な仮定を設定し、ライフサイクルインベントリー(LCI)分析のデータベースである IDEAversion2(産業技術総合研究所・産業環境管理協会、2017)を用いた環境負荷の試算を行う。各種環境負荷・環境影響の重み付けについては、日本版被害算定型影響評価手法(LIME: Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)(伊坪・稲葉、2010)を使用する。物質ごとの試算結果について、支配的な環境影響領域の違い等について比較分析を行う。

(3) 日本の環境効率の時系列推計

③日本の物質利用データの整備

①で選定した対象物質について、国内の生産量・出荷量等に関わるデータを時系列で整備する。

④日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響の推計

②および③をもとに、日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響を推計する。なお、②で算出する係数は、対象物質1単位のライフサイクルでの環境負荷・環境影響であるが、対象物質の生産で消費された原材料が輸入されたものであれば、それ以前に発生すると考えられる環境負荷・環境影響を含まず、また、対象物質が中間製品や最終製品として

輸出されるものであれば、その先で発生すると考えられる環境負荷・環境影響を含まない係数とする必要がある。

⑤関連するマクロな統計との比較・検証

④において推計された総環境負荷・環境影響が、国全体としての統計とどの程度整合するかを検証する。大きな不整合がある場合、対象物質の抜け落ち、ダブルカウントやカウントの漏れ、また、IDEAversion2における不整合等の原因について探索し、改善策を検討する。①②③④⑤は往復運動であり、全体の整合が取れるように補正を行っていく。

⑥日本の環境効率の時系列推計

④をもとに、日本の環境効率の時系列で推計し、その推移を示す。また、(1)どの物質の環境影響が大きいか、(2)どの環境影響領域が大きいか、(3)各物質の環境影響についてどの環境影響領域の比率が大きいか、(4)各環境影響領域においてどの物質による影響の比率が大きいか、等について検討し、物質管理の視点から見た環境対策の対象を分析する。また、資源生産性指標から得られる視点との違いについて考察する。

(4) 日本の環境効率の推移の要因分析

⑥の推移の要因をいくつかに分け、これらのどの要因によって環境効率が推移してきたかを分析する。

3. 3年間の研究実施体制

以上を、表 I.3(1)に示す体制で実施する。資源を大きく 4 分類(土石系資源、化石系資源、金属系資源、生物系資源)し、各研究分担者がそれぞれの資源分類に含まれる物質を担当して研究を進めていく。上記①②③④⑤は往復運動であり、各資源間の整合が取れるように研究分担者間で随時調整を行っていく。

表 I.3(1) 本研究の実施体制(◎：責任担当者、○：担当者)

	橋本	粟生木	村上	加用
(1) 既存の環境効率指標の事例収集と分析	○	◎		
(2) 物質1単位あたりの環境負荷・環境影響の試算				
①対象物質の選定とシステム境界の設定	◎ 土石資源	◎ 化石資源	◎ 金属資源	◎ 生物資源
②対象物質1単位あたりの環境負荷・環境影響の試算				
(3) 日本の環境効率の時系列推計				
③日本の物質利用データの整備	○	◎	○	○
④日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響の推計	◎ 土石資源	◎ 化石資源	◎ 金属資源	◎ 生物資源
⑤関連するマクロな統計との比較・検証				
⑥日本の環境効率の時系列推計	○	◎		
(4) 日本の環境効率の推移の要因分析	◎	○	○	○

橋本征二：立命館大学、粟生木千佳：地球環境戦略研究機関、村上進亮：東京大学、加用千裕：東京農工大学

4. 本研究で目指す成果

「1. 研究の背景と目的」で示した研究目的に対応して、以下の成果が見込まれる。

- (1) 既存の環境効率指標の事例集が提供される。国レベルの環境効率の計測だけでなく、企業や製品の環境効率の計測に役立てられると考えられる。

- (2) 物質 1 単位あたりの環境影響の係数リストが提供される。本研究では、係数リストを日本の過去の環境効率の推計に利用するが、技術が変化しないことを前提に将来の推計にも用いることができる。同様に、企業や製品の環境効率の推計にも役立てられると考えられる。
- (3) 日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響の時系列推計値とその資源内訳、日本の環境効率の時系列推計値とその資源内訳等が提供される。これに基づき今後の施策の展開について検討することができる。
- (4) 日本の環境効率の推移の要因分析結果が提供される。これに基づき今後の施策の展開について検討することができる。

5. 研究成果による環境政策への貢献

本研究は「1. 研究の背景と目的」に記したような行政ニーズに対応したものであり、次期環境基本計画および次期循環型社会形成推進基本計画(いずれも 2018 年春頃策定)における環境効率の指標検討に貢献するものである。環境効率の試算は 2017 年度に予定しており、各計画の検討には十分間に合わないが、その後のモニタリング指標として活用が可能となるように適時情報提供を行っていく。

II 平成 29 年度の研究計画および研究状況と成果

／3 年間の研究を通じて得られた成果

1. 平成 29 年度の研究計画

表 II.2(1)に示したように、平成 29 年度は必要に応じて「(1)既存の環境効率指標の事例収集と分析」の更新を行うとともに、「①対象物質の選定とシステム境界の設定」から「⑤関連するマクロな統計との比較・検証」までの過程を必要に応じて見直しつつ、「⑥日本の環境効率の時系列推計」と「(4)日本の環境効率の推移の要因分析」を中心に行った。

2-1. 平成 29 年度の研究状況および成果(概要)

(1)物質 1 単位あたりの環境負荷・環境影響の試算

①対象物質の選定とシステム境界の設定

平成 28 年度は論理性・網羅性を高める方法を構築して対象物質を選定した。平成 29 年度は、IDEAversion2 の様々な不具合を可能な限り修正し、その修正に対応して対象物質を選定し直した。各年度に選定した対象物質数の推移を表 II.2-1(1)に示す。

②対象物質 1 単位あたりの環境負荷・環境影響の試算

本研究の結果を考察する過程で同定された不具合を可能な限り修正した。IDEAversion2(産業技術総合研究所・産業環境管理協会、2017)と LIME 特性化係数(伊坪・稲葉、2010)を用いて、①で選定した対象物質 1 単位あたりの環境影響を試算した。

表 II.2-1(1) 対象物質の選定結果

	既存研究(van del Voet et al., 2003)における対象物質数	本研究における対象物質数		
		平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
生物資源	5	46	79	80
化石資源	9	37	74	71
金属鉱物資源	19	15	15	14
非金属鉱物資源	58	22	44	48
合計	91	120	212	213

(2)日本の環境効率の時系列推計

③日本の物質利用データの整備

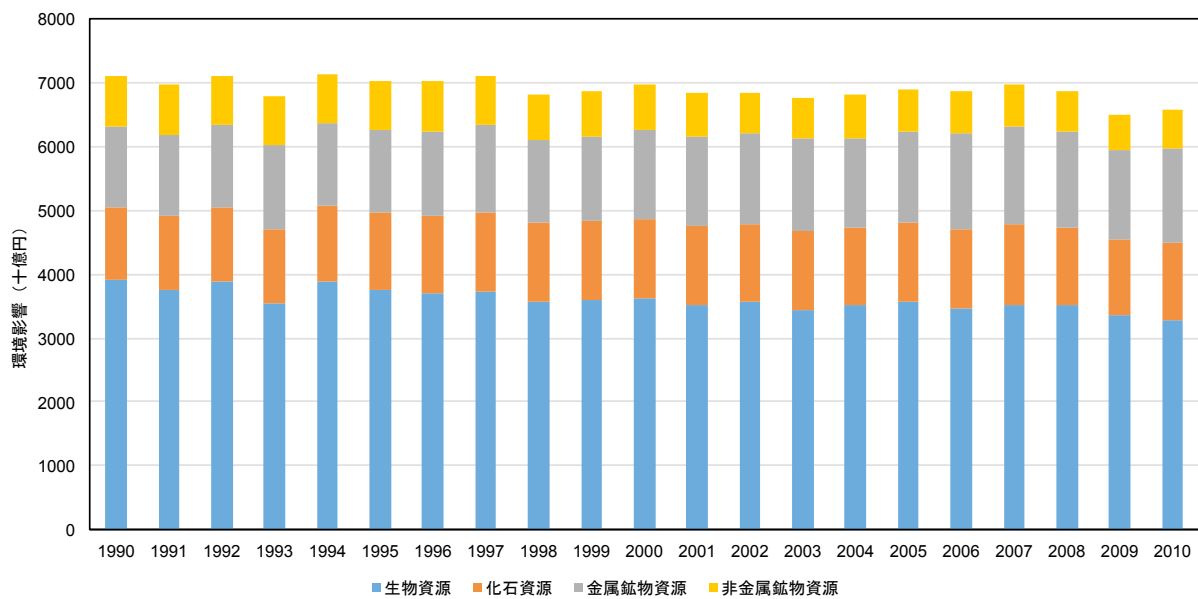
①で新たに選定された対象物質の 1990～2010 年の生産量または出荷量のデータを整備した。また、昨年度不足していたデータを整備した。

④日本の物質利用に伴う環境影響・付加価値の推計

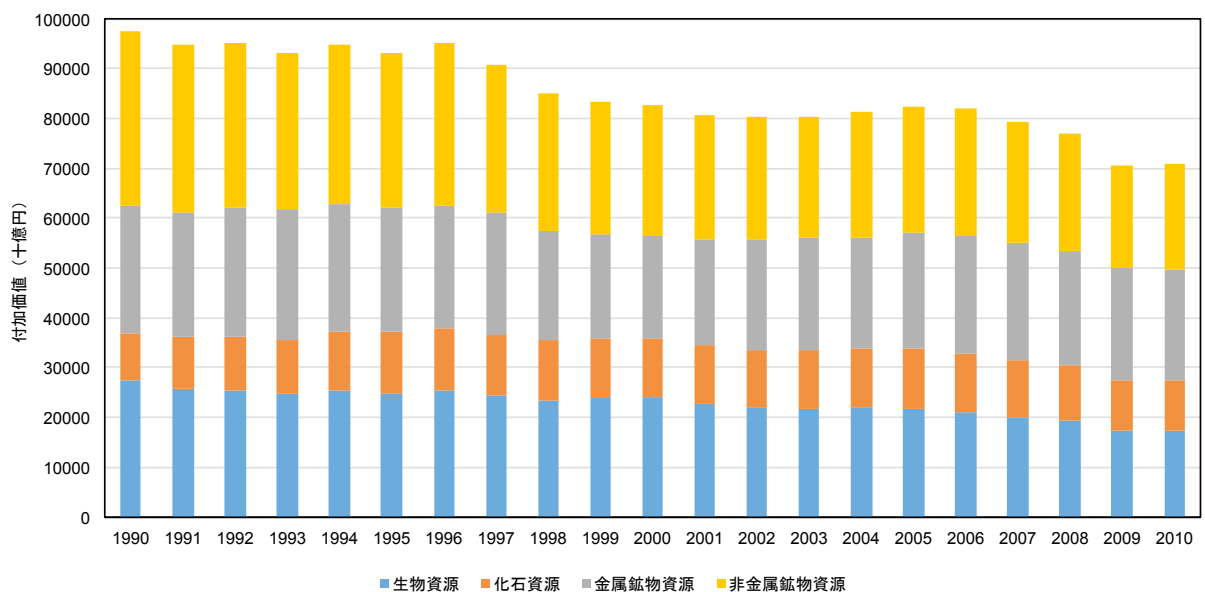
②で試算した対象物質 1 単位あたりの環境影響と③で整備した統計データ等を用いて、日本の物質利用に伴う環境影響を再推計した。また、平成 29 年度は、環境影響と同様の考え方で各対象物質が生み出す付加価値を推計した。対象期間は 1990～2010 年である。

対象物質の利用に伴う環境影響の推計結果を図 II.2-1(2)-a に示す。1990～2010 年における総環境影響は、2008 年の経済危機の影響を受けて 2009 年に若干減少したが、全体的にはほぼ横ばいで推移していると推計された。日本の天然資

源等消費量はこの間約40%減少したが、環境影響の観点からは必ずしも減少の傾向が見られないことが示唆された。最も大きな環境影響を示した資源の種類は生物資源であり、金属鉱物資源、化石資源、非金属鉱物資源の順となった。生物資源の環境影響は、おおよそ50%を占め、その割合はやや減少傾向、金属鉱物資源利用の環境影響は微増傾向を示し、全体の約20%を占める結果となった。化石資源の環境影響は、全体の15%程度であったものの、2010年には20%程度まで増加し、非金属鉱物資源は、全体として占める割合も絶対量についてもやや減少傾向がみられた。この間の天然資源等消費量の大幅な減少は砂利・碎石の減少によるものであるが、これらの非金属鉱物資源の利用による環境影響は小さく、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に直接的に貢献していないことが示された。天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。



図II.2-1(2)-a 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(資源別)



図II.2-1(2)-b 日本の物質利用で生み出された付加価値の推移(資源別)

対象物質の利用で生み出された総付加価値(2011年基準実質値)の推計結果を図II.2-1(2)-bに示す。1990～2010年における総付加価値は、減少傾向にあると推計された。対象物質利用で生み出された付加価値は、順位が逆転する年もあるものの、全体としては、非金属鉱物資源で高く、化石資源で低い結果となった。生物資源、金属鉱物資源、非金属鉱物資源の付加価値がそれぞれ25-30%を占め、化石資源は、1990年には10%程度であったが、2010年には15%となった。

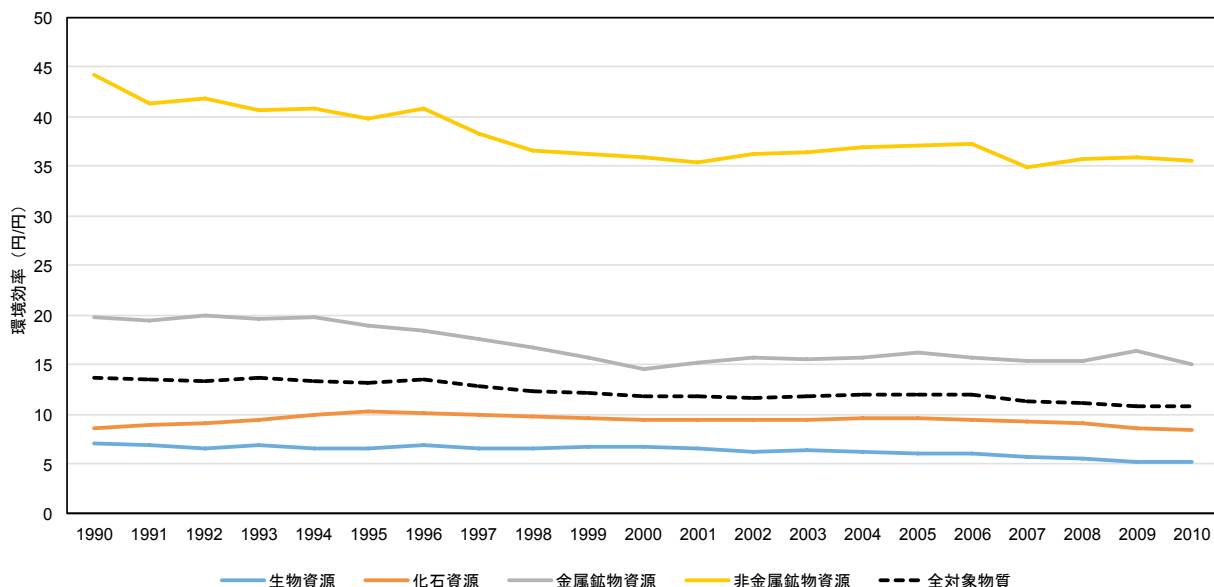
⑤関連するマクロな統計との比較・検証

関連するマクロな統計として日本の温室効果ガス排出量(環境省、2012)を用い、本研究で再推計された温室効果ガス排出量との比較を行った。本研究で推計された温室効果ガス排出量はいずれも日本の排出量を下回っており、本研究では対象外となる排出もあることを考慮すると妥当な推計結果であると考えられた。

⑥日本の環境効率の時系列推計

④における環境影響と付加価値の推計結果をもとに、日本の物質利用に係る環境効率の時系列推計を行った結果を図II.2-1(2)-cに示す。全対象物質の利用に係る環境効率は減少傾向と推計され、4資源ごとに見ると、非金属鉱物資源の環境効率が高く、生物資源の環境効率が低いと推計された。日本の資源生産性はこの間約100%向上したが、環境効率は改善していないことが示唆された。この環境効率の推移に似た推移を示す関連指標として「土石系資源投入量を除いた資源生産性」があるが、例えば、現在の「資源生産性」よりも「土石系資源投入量を除いた資源生産性」をより重視することなどが今後の選択肢として考えられる。

生物資源の対象物質利用に係る環境効率の時系列推計結果を図II.2-1(2)-dに示す。生物資源全体の環境効率は上述のとおり一貫して微減傾向と推計された。物質グループ別に見ると、漁業製品、木材製品の環境効率が高く、農業製品、畜産製品の環境効率が低いと推計された。漁業製品は、その環境影響に対して生み出された付加価値が相対的に高いこと、木材製品は、建設業において利用する段階で多くの付加価値を生み出していることによるものと考えられる。ただし、いずれも減少傾向にあると推計された。また、農業製品、畜産製品の環境効率は横ばい傾向、紙製品はわずかに減少傾向と推計された。



図II.2-1(2)-c 日本の物質利用に係る環境効率の推移(資源別)

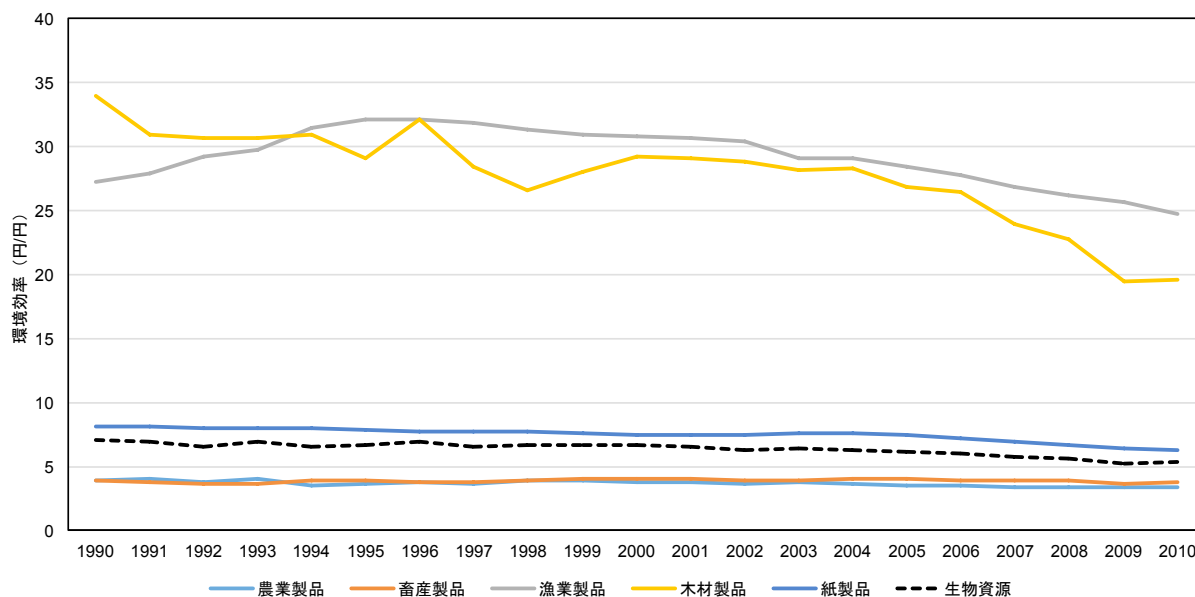


図 II.2-1(2)-d 日本の物質利用に係る環境効率の推移(生物資源)(物質グループ別)

(4)日本の環境効率の推移の要因分析

環境効率の逆数の変化に対する2つの因子 \sim (α)各対象物質の環境効率の変化、(β)全対象物質の付加価値に占める各対象物質の付加価値のシェアの変化 \sim の影響を推計した結果を図 II.2-1(2)-e に示す。1990年代は因子 α (図の α effect)、2000年代後半は因子 β (図の β effect)の影響が大きいと推計された。物質グループ別に見ると、いずれも農業製品、木材製品、銅、金等の影響が大きいと推計され、農業製品については玄米、小麦など、木材製品については普通合板、ひき角類、ひき割類などの環境効率の変化、付加価値のシェアの変化の影響が大きかった。

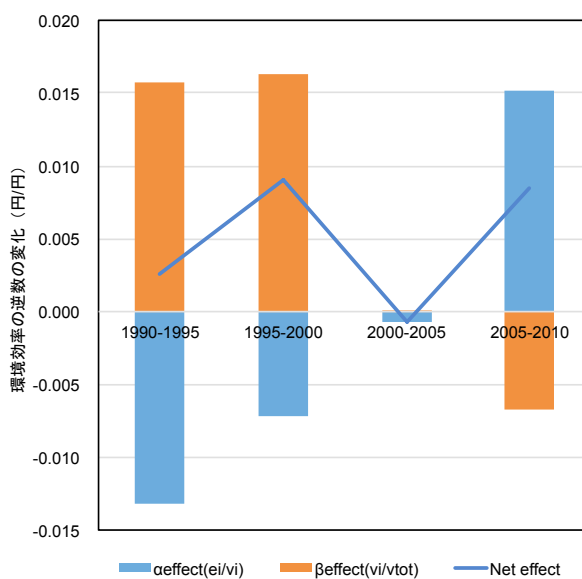


図 II.2-1(2)-e 日本の物質利用に係る環境効率の逆数の変化に対する各因子の影響

(5)本年度の成果のまとめ

平成 29 年度の主な成果は以下の通りである。

- ① IDEAversion2 の様々な不具合を可能な限り修正し、その修正に対応して対象物質を選定し直すとともに、対象物質 1 単位あたりの環境負荷・環境影響の再試算、新たに選定された対象物質の 1990～2010 年の生産量または出荷量のデータ整備、日本の物質利用に伴う環境影響の再推計を行った。
- ② 対象物質の利用で生み出された付加価値(2011 年基準実質値)は、1990～2010 年において減少傾向にあると推計された。
- ③ 日本の物質利用に係る環境効率は、1990～2010 年において減少傾向と推計され、4 資源ごとに見ると、非金属鉱物資源の環境効率が高く、生物資源の環境効率が低いと推計された。日本の資源生産性はこの間約 100%向上したが、環境効率は改善していないことが示唆された。
- ④ 日本の物質利用に係る環境効率の減少は、1990 年代は各対象物質の付加価値のシェアの変化、2000 年代後半は各対象物質の環境効率の変化によるものであることを示した。

これらの結果はさらなる検討・検証を要するものの、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。環境効率の推移に似た推移を示す関連指標として「土石系資源投入量を除いた資源生産性」があるが、例えば、現在の「資源生産性」よりも「土石系資源投入量を除いた資源生産性」をより重視することなどが今後の選択肢として考えられる。

2-2. 3 年間の研究を通じて得られた成果(概要)

(1)既存の環境効率指標の事例収集と分析

既存の環境効率指標についてマクロ(国レベル)からミクロ(企業レベル・製品レベル)に至る事例を収集し、整理・分析を行った。マクロ(国レベル)については欧州での研究事例を対象に、特にシステム境界の設定に着目した整理・分析、ミクロ(企業レベル・製品レベル)については企業の環境報告書を対象に事例を収集し、その定義・計算方法に着目した整理・分析を行った。また、システム境界設定の参考とするため、全バリュー(サプライ)チェーンを通じた温室効果ガス排出の推計、いわゆる GHG プロトコルにおける Scope 3 の考え方についてレビューを行った。

①マクロ(国レベル)

van del Voet et al.(2003、2004)及び EC(2012)の 2 事例について分析を行った。いずれも使用量の小さい物質が大きな環境影響を持つ場合や、使用量の大きい物質が小さな環境影響しか持たないという事実を踏まえて、物質の環境問題への寄与度を測り、政府の脱物質化政策のための知的基盤を提供することを目的としたものである。

van del Voet et al.(2003)では、システム境界について以下の 3 つのオプションが示されている。

- Regional system(地域システム)：一国家を対象としたもので、国内で発生する環境影響を対象とし、当該国家外で発生する環境影響は対象外とする。
- Consumption-based system(消費ベースシステム)：国内で消費された物質により発生する環境影響を対象とし、対象物質についてはライフサイクル全体の環境影響が考慮される。
- Production-based system(生産ベースシステム)：国内で製造された物質により発生する環境影響を対象とし、対象物質についてはライフサイクル全体の環境影響が考慮される。

van del Voet et al.(2003)では、Consumption-based system(消費ベースシステム)を採用して各物質の環境影響の推計が行われているが、ダブルカウントの問題や製品使用時の環境影響の考慮の問題等が指摘されている。

EC(2012)では、van del Voet et al.(2003、2004)の課題を踏まえ、ライフサイクルを大きく3つの段階に分け、それぞれ異なる方法を適用して以下の3つの指標が開発されている。

- Resource indicators
- Basket-of-products indicators
- Waste management indicators

Resource indicators で用いられたアプローチは van del Voet et al.(2003、2004)の方法と似ており、上流側の資源・物質に着目してライフサイクルアセスメントを行い、消費量の情報を反映させて総環境影響を求めている。Basket-of-products indicators は、市民が消費する製品やサービスに着目してライフサイクルアセスメントを行い、消費量の情報を反映させて、総環境影響を求めるものである。Waste management indicators は、廃棄物処理の段階に着目して環境影響とリサイクルによる便益を算定し、統合評価を行うものである。

EC(2012)では、資源・物質のライフサイクルの3段階に着目してそれぞれ指標を作成しているが、本研究ではあくまでそれらを統合するアプローチを希求し、van del Voet et al.(2003)が示す Regional system で推計を行うこととした。

②ミクロ(企業レベル・製品レベル)

ミクロレベルの国内の事例については、環境報告書プラザ(<https://www.ecosearch.jp/>)における環境効率指標に関する公開情報も参照しつつ、国内企業を中心に、各企業の環境報告書やホームページを精査し、2015年12月時点の環境効率指標の評価実施状況を調査した。

その結果、分子については、基本的に売上高やそれに関連する指標を用いているという共通性がみられたが、分母については、大きく3種類の方法が存在した。

- 単一の環境負荷
- 複数の環境負荷を既存の重み付け手法で統合
- 複数の環境負荷を企業独自の重み付け手法で統合

分母を単一の環境負荷としている企業は、複数の環境効率指標を持つことが多い。つまり、分子をCO₂で除したもの、SO_xで除したもの、廃棄物発生量で除したものなど複数の指標を算出している。この方法を採用している企業のうちほとんどが、CO₂、SO_x、NO_x、そして廃棄物量(特に産業廃棄物)を分母としている。これら4つの項目に水使用量や燃料使用量が続く。また、分母において、複数の環境負荷を統合している企業が採用している統合化手法としては、JEPIX、LIME、ELP法、企業独自の重み付け係数を活用した方法などがあった。

本研究では、既存の重み付け手法として一般的になりつつあるLIMEを用いた統合化を行うこととした。

ミクロレベルの海外の事例については、海外企業の環境報告書や持続可能性報告書における環境効率(Eco-Efficiency)という用語の記載の有無を、インターネット検索を基本に調査した。その結果、本調査においては、環境効率を算出している企業として3社(BASF、Uniliver、Roche)の事例が得られた。ただし、3社にまたがる共通性などは特に確認できず、BASFはISOによる環境効率評価ガイドラインを参考とし、Uniliverでは異なる環境影響について個別に環境効率を算出、また、Rocheについては分母となる環境支出や環境影響ポイントをBAFU(Swiss Agency for the Environment)手法を用いて算出していることが特徴として見られた。また、日本企業の環境報告書等と比較して、厳密な算定手法が掲載されていない場合が多く環境影響の統合化手法は明らかではなかった。

③GHG プロトコル Scope 3 の考え方

GHG プロトコル Scope 3 において、本研究の対象物質を生産するような企業の下流側となる最終製品生産プロセスや最終製品の使用プロセス、廃棄物処理プロセスにかかわるカテゴリの考え方や算出手法についてレビューを行った。特に、本研究でのシステム境界の範囲内と考えられる算定カテゴリ4・5・9・10・11・12について、今後の分析に関連すると考えられる算定範囲や算定方法、報告対象年に関わる内容を中心にその概要をまとめた。

算定範囲や算定方法などを概観した結果、各カテゴリにおける検討範囲や必要となるデータ(例えば、輸送・配送に
あたり収集すべきデータ、また、廃棄物処理・排水処理・リサイクル活動の対象範囲および収集すべきデータ、使用に
おける標準シナリオの設定項目など)、加工プロセスにおける按分の必要性等、本研究にも適用可能な内容を整理する
ことができた。ただし、本研究が一国を対象としているのに対し、Scope 3 は一企業を対象としている。また、本研究
では、いわゆる中間製品となる原材料レベルのものを対象物質としている。そのため、企業レベルで把握可能なデータ
と国レベルで把握可能なデータ(対象物質の関連統計)の種類や内容が異なることが大いに想定された。例えば、輸送・
配送の場合、おそらく、マクロレベルでのデータなどは入手が可能と判断されるが、対象物質ごとのデータなどは把握
することが困難であると考えられる。また、対象となる最終製品の使用に伴う環境影響を、それぞれの対象物質にどの
ように割り付けるのかについても検討が必要となる。

また、報告対象年についての概要も整理した。Scope 3 では、あくまで、報告年度における報告企業の活動に関連す
る排出を必要に応じて過去に遡り、ないしは、将来の排出を推計して報告するとされていた。本研究においても、ある
一年のみを対象として評価する場合は、そのアプローチも可能であるが、時系列評価を実施しようとした場合は、あく
までも環境影響が発生する年に算定する必要があると考えられる。

(2)物質 1 単位あたりの環境負荷・環境影響の試算

①対象物質の選定とシステム境界の設定

一国の環境効率を推計するにあたっては、上述の Regional system を用いることが基本であるが、本研究では対象物質
を選定し、その対象物質の生産を中心に関連する環境影響を見ていくことから、具体的なシステム境界のイメージは図
II.2-2(2)-a に示すようなものとなる。上流側については、対象物質の生産の投入とならない財・サービスの環境影響の
ほか、対象物質の生産の投入となりうる財でも輸出されるものの環境影響、対象物質の生産の投入のうち輸入されるも
のの環境影響は考慮されない。また、下流側では、対象物質を投入しない財・サービスの環境影響のほか、輸出された
対象物質に関わる環境影響、対象物質を投入したのちに輸出された財の輸出後の環境影響、海外で生産された対象物質
を投入する財・サービスの環境影響は考慮されない。このように、本研究では対象物質をそのライフサイクルの中間的
な場所で選定することになるが、選定したある物質が、別途選定した物質の原材料となることがある。図 II.2-2(2)-b
では、例えば、対象物質 1 の原材料として対象物質 2 及び非対象物 3、4 が使われ、また、非対象物 3 の原材料として、
対象物質 1、2 および非対象物 4 が使われている。このような場合、対象物質のそれぞれの環境影響を計算し合計して
しまうと、環境影響が重複計上されてしまう。本研究では、他の対象物質の原材料となっている対象物質の環境影響は、
当該物質のそれから控除することとした。また、対象物質が原材料となる下流側の環境影響については、下流側の各プ
ロセスで発生する環境影響を投入財間で案分することとした。この場合、どのように案分するかが課題であるが、本研
究では投入財の価格の比で案分することとした。図 II.2-2(2)-b では、例えば、非対象物 3 の原材料として、対象物質 1、
2 および非対象物 4 が使われているが、この投入価格の比で非対象物 3 を生産するときの環境影響を配分した。さらに、
原材料の非対象物 4 には対象物質 1、2 が使われているが、これも同様に案分した。

また、既存研究(van der Voet et al., 2003)では、対象物質選定の論理性・網羅性において課題があったため、本研究で
はこれを向上させる方法を構築した(具体的には 4.2(2)参照)。本手順に産業連関表の部門を導入したのは、環境効率の
分母となる付加価値の推計と結びつけるためである。また、いくつかの手順は対象物質数をデータの収集が実施可能な
200 程度にするためのものであり、統計データの整備が進めば対象物質数を拡張することは可能である。結果、213 の
物質が選定され、既存研究(van del Voet et al., 2003)と比べ対象物質の総数は大幅に増加したが、対象から外れた物質も
あった(表 II.2-2(2))。

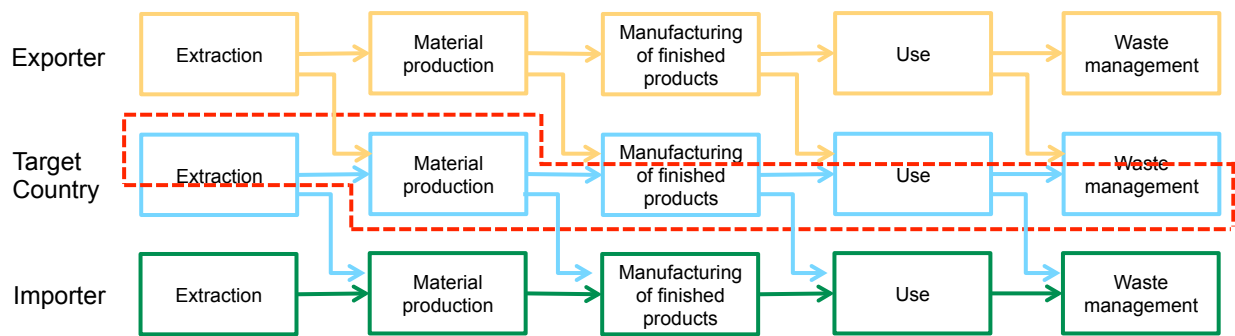


図 II.2-2(2)-a 対象物質に関連する環境影響推計のシステム境界

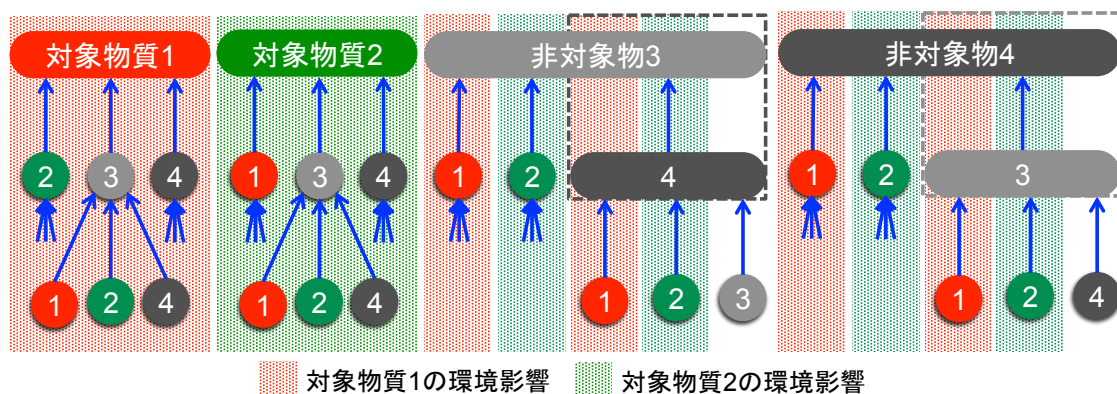


図 II.2-2(2)-b 対象物質への環境影響配分の考え方

表 II.2-2(2) 対象物質の選定結果

	既存研究(van del Voet et al., 2003)における対象物質数	本研究における対象物質数
生物	5	80
化石	9	71
金属鉱物	19	14
非金属鉱物	58	48
合計	91	213

②対象物質 1 単位あたりの環境負荷・環境影響の試算

①で選定した対象物質について、IDEAversion2(産業技術総合研究所・産業環境管理協会、2017)および LIME 特性化係数(伊坪・稲葉、2010)を用いて 1 単位あたりの環境影響を試算した。

(3)日本の環境効率の時系列推計

③日本の物質利用データの整備

①で選定した対象物質について、1990～2010 年の生産量または出荷量のデータを整備した。

④日本の物質利用に伴う環境影響・付加価値の推計

②で試算した対象物質 1 単位あたりの環境影響と③で整備した統計データ等を用いて、①で検討した考え方に基づき、

日本の物質利用に伴う環境影響を推計した。また、環境影響と同様の考え方で各対象物質が生み出す付加価値を推計した。対象期間は1990～2010年である。

対象物質の利用に伴う環境影響の推計結果を図11.2-2(3)-aに示す。1990～2010年における総環境影響は、2008年の経済危機の影響を受けて2009年に若干減少したが、全体的にはほぼ横ばいで推移していると推計された。日本の天然資源等消費量はこの間約40%減少したが、環境影響の観点からは必ずしも減少の傾向が見られないことが示唆された。最も大きな環境影響を示した資源の種類は生物資源であり、金属鉱物資源、化石資源、非金属鉱物資源の順となった。生物資源の環境影響は、おおよそ50%を占め、その割合はやや減少傾向、金属鉱物資源利用の環境影響は微増傾向を示し、全体の約20%を占める結果となった。化石資源の環境影響は、全体の15%程度であったものの、2010年には20%程度

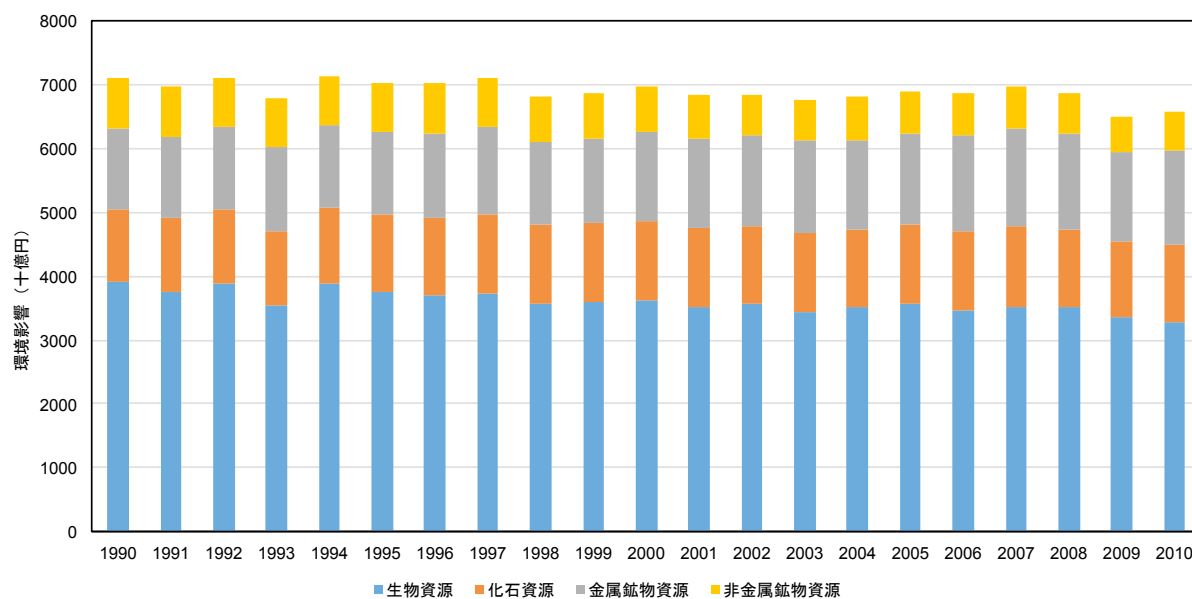


図11.2-2(3)-a 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(資源別)

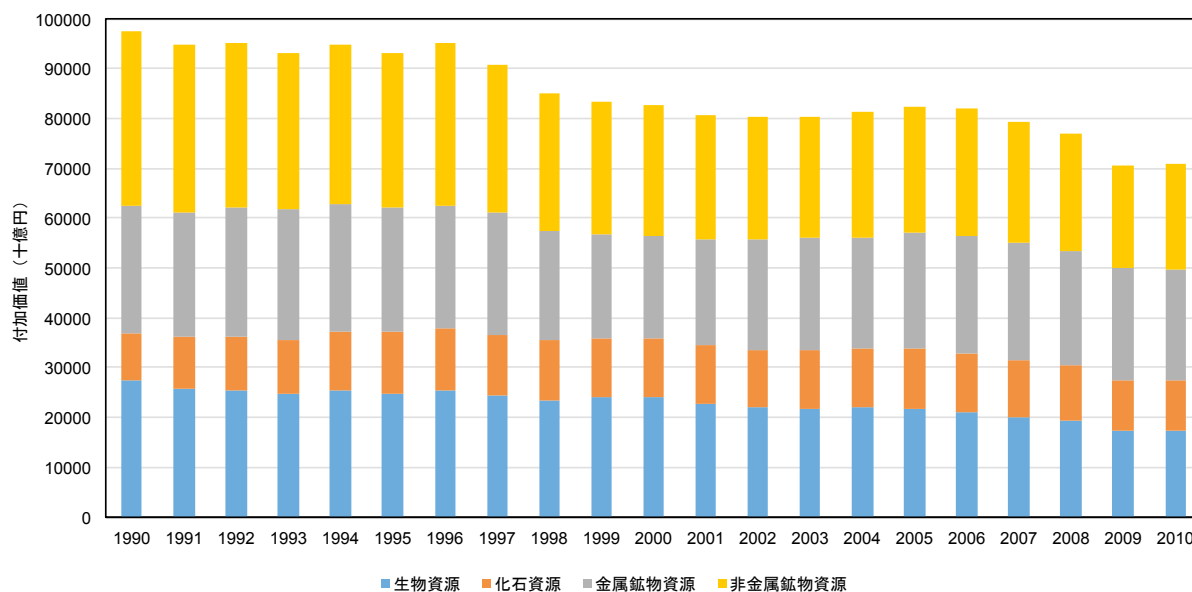


図11.2-2(3)-b 日本の物質利用で生み出された付加価値の推移(資源別)

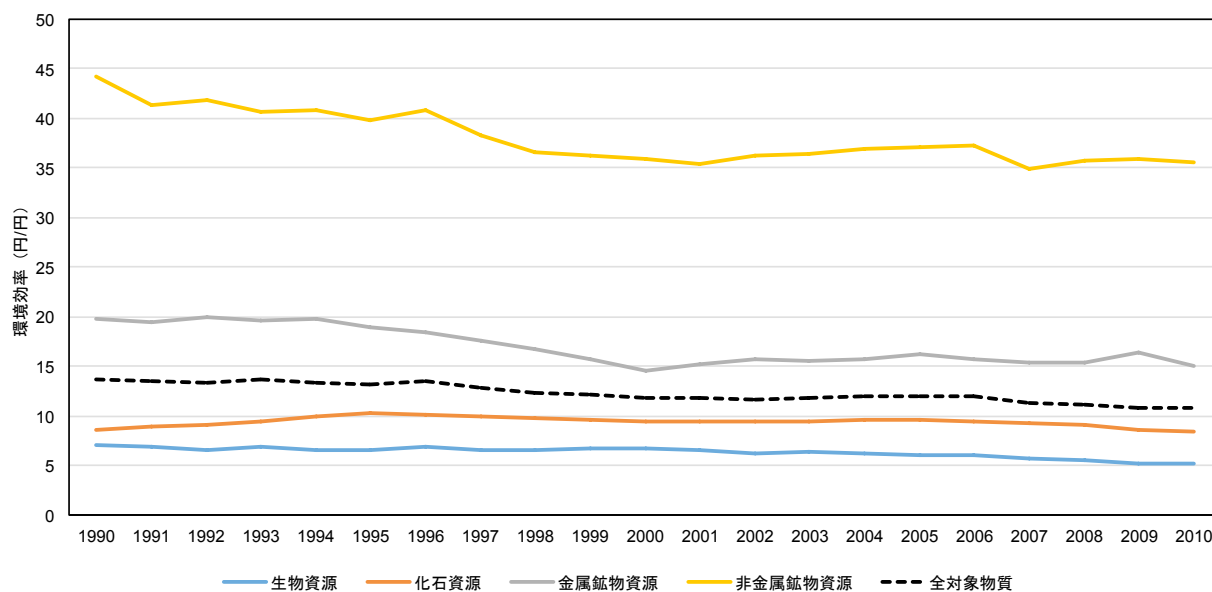


図 II.2-2(3)-c 日本の物質利用に係る環境効率の推移(資源別)

まで増加し、非金属鉱物資源は、全体として占める割合も絶対量についてもやや減少傾向がみられた。この間の天然資源等消費量の大幅な減少は砂利・碎石の減少によるものであるが、これらの非金属鉱物資源の利用による環境影響は小さく、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に直接的に貢献していないことが示された。天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。

対象物質の利用で生み出された付加価値(2011年基準実質値)の推計結果を図 II.2-2(3)-b に示す。1990～2010年における総付加価値は、減少傾向にあると推計された。対象物質利用で生み出された付加価値は、順位が逆転する年もあるものの、全体としては、非金属鉱物資源で高く、化石資源で低い結果となった。生物資源、金属鉱物資源、非金属鉱物資源の付加価値がそれぞれ25-30%を占め、化石資源は、1990年には10%程度であったが、2010年には15%となった。

⑤ 関連するマクロな統計との比較・検証

関連するマクロな統計として日本の温室効果ガス排出量(環境省、2012)を用い、本研究で推計された温室効果ガス排出量との比較を行った。本研究で推計された温室効果ガス排出量はいずれも日本の排出量を下回っており、本研究では対象外となる排出もあることを考慮すると妥当な推計結果であると考えられた。

⑥ 日本の環境効率の時系列推計

④における環境影響と付加価値の推計結果をもとに、日本の環境効率の時系列推計を行った結果を図 II.2-2(3)-c に示す。全対象物質の利用に係る環境効率は減少傾向と推計され、4資源ごとに見ると、非金属鉱物資源の環境効率が高く、生物資源の環境効率が低いと推計された。日本の資源生産性はこの間約100%向上したが、環境効率は改善していないことが示唆された。この環境効率の推移に似た推移を示す関連指標として「土石系資源投入量を除いた資源生産性」があるが、例えば、現在の「資源生産性」よりも「土石系資源投入量を除いた資源生産性」をより重視することなどが今後の選択肢として考えられる。

(4) 日本の環境効率の推移の要因分析

環境効率の逆数の変化に対する2つの因子～①各対象物質の環境効率の変化、②全対象物質の付加価値に占める各対象物質の付加価値のシェアの変化～の影響を推計した結果、1990年代は因子②、2000年代後半は因子①の影響が大き

いと推計された。物質グループ別に見ると、いずれも農業製品、木材製品、銅、金等の影響が大きいと推計された。農業製品については玄米、小麦など、木材製品については普通合板、ひき角類、ひき割類などの環境効率の変化の影響が大きかった。

(5)本研究の成果のまとめ

本研究の各項目に対応した主な成果は以下の通りである。

- ① 物質利用に着目した国レベルの環境効率の算定に関する既存研究において、環境影響のダブルカウントや物質生産以降の環境影響の考慮等の手法上の課題があることを整理した。
- ② 物質利用に着目した国レベルの環境効率の算定において、論理性・網羅性のある対象物質選定方法を構築するとともに、ある対象物質が別の対象物質の原材料となる場合の環境影響の配分方法、対象物質が使用される下流側で発生する環境影響の配分方法を提示した。
- ③ 日本の天然資源等消費量は1990～2010年の間約40%減少し、資源生産性も約100%向上したが、日本の物質利用に伴う環境影響はこの間ほぼ横ばいで推移し、物質利用に係る環境効率も減少していることを示した。
- ④ 日本の物質利用に係る環境効率の減少は、1990年代は各対象物質の付加価値のシェアの変化、2000年代後半は各対象物質の環境効率の変化によるものであることを示した。

これらの結果はさらなる検討・検証を要するものの、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。例えば、通常の「資源生産性」よりも「土石系資源投入量を除いた資源生産性」をより重視することなどが考えられる。

3. 対外発表等の実施状況

(1) 打ち合わせ

<環境省との打ち合わせ>

- ・ 第1回 2017年8月7日(月)15:00～16:30 場所：環境省

<研究者間の打ち合わせ>

- ・ 第1回 2017年7月12日(水)11:00～13:00 場所：立命館東京キャンパス
- ・ 第2回 2017年10月11日(水)12:30～14:30 場所：立命館東京キャンパス
- ・ 第3回 2017年11月13日(月)16:00～18:30 場所：IGES サステイナビリティフォーラム
- ・ 第4回 2018年2月22日(木)13:00～15:00 場所：立命館東京キャンパス

(2) 論文発表

<論文発表>

- ・ Dente, S.M.R., C. Aoki-Suzuki, D. Tanaka, and S. Hashimoto: Revealing the life cycle greenhouse gas emissions of materials - The Japanese case, *Resources, Conservation & Recycling*, in press (doi: 10.1016/j.resconrec.2017.12.011)
- ・ Kayo, C., S.M.R. Dente, C. Aoki-Suzuki, D. Tanaka, S. Murakami, and S. Hashimoto: Environmental Impact Assessment of Wood Use in Japan through 2050 Using Material Flow Analysis and Life Cycle Assessment, *Journal of Industrial Ecology*, in press
- ・ Aoki-Suzuki, C., S.M.R. Dente, D. Tanaka, S. Murakami, C. Kayo, C. Fujii, K. Tahara, and S. Hashimoto: Environmental

impacts associated with materials use in Japan, under review

- Dente, S.M.R., C. Aoki-Suzuki, D. Tanaka, and S. Hashimoto: Effect of allocation choice on the upstream phase of material life cycle greenhouse gas emissions – the Japanese case, under review

<学会発表>

- Aoki-Suzuki, C., S.M.R. Dente, D. Tanaka, S. Murakami, C. Kayo, and S. Hashimoto: Developing methodology to evaluate decoupling economic growth from environmental impacts of materials use in Japan, The 9th Conference of International Society for Industrial Ecology and 25th Conference of International Symposium on Sustainable Systems, WS-16, 2017 (2017年6月25-29日、Chicago)
- Dente, S.M.R., C. Aoki-Suzuki, and S. Hashimoto: Assessing the eco-efficiency of materials: Methodology development and Japanese case study, The 9th Conference of International Society for Industrial Ecology and 25th Conference of International Symposium on Sustainable Systems, MS-8, 2017 (2017年6月25-29日、Chicago)
- Nogi, A., J. Mizgajski, L. Schebek, and S. Hashimoto: Eco-efficiency of phosphorus resource use in agriculture, The 9th Conference of International Society for Industrial Ecology and 25th Conference of International Symposium on Sustainable Systems, ID 1127, 2017 (2017年6月25-29日、Chicago)
- 田中大介, S.M.R. Dente, 栗生木千佳, 村上進亮, 橋本征二: 資源・物質利用の環境影響～金属資源を対象として、第45回環境システム研究論文発表会講演集、pp.217-222、2017 (2017年10月21-22日、吹田)
- Dente, S.M.R., C. Aoki-Suzuki, D. Tanaka, and S. Hashimoto: Assessing carbon efficiency of materials in Japan, Conferecen Book of 4th International Conference on Final Sinks, pp.55-56, 2017 (2017年10月24-27日、Kyoto)
- 加用千裕, S.M.R. Dente, 栗生木千佳, 田中大介, 村上進亮, 橋本征二: MFA および LCA を用いた日本の木材利用による環境影響の将来予測、第13回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.112-113、2018 (2018年3月7-9日、新宿)
- 田中大介, S.M.R. Dente, 栗生木千佳, 村上進亮, 橋本征二: 資源・物質利用の環境効率～鉱物に関する分析、第13回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.348-349、2018 (2018年3月7-9日、新宿)
- 野木茜, S.M.R. Dente, 橋本征二: 製造業分野におけるリン資源利用の環境効率評価、第13回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.100-101、2018 (2018年3月7-9日、新宿)
- Dente, S.M.R., C. Aoki-Suzuki, and S. Hashimoto: Calculating life cycle eco-efficiency of materials: A review of allocation methodologies of environmental impacts and services, 第13回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.352-353, 2018 (2018年3月7-9日、新宿)

4. 平成 29 年度および 3 年間の研究を通じて得られた成果(詳細)

以下では 3 年間の研究を通じて得られた成果について報告するが、各項目が何年度の成果に基づくものであるかを表 II.4 にまとめた。

表 II.4 各項目と成果の年度の対応関係

項目	成果
4.1(1)、4.1(2)a)	記載の内容は、平成 27 年度の成果である。
4.1(2)b)、4.1(2)c)	記載の内容は、平成 28 年度の成果である。
4.2(1)	平成 27 年度は上流側のシステム境界と環境影響の配分方法を検討した。記載の内容は、下流側を含めて検討した平成 28 年度の成果である。
4.2(2)	平成 27 年度は既存研究(van der Voet et al., 2003)をもとに対象物質を選定した。平成 28 年度は論理性・網羅性を高める方法を構築して対象物質を選定した。記載の内容は、IDEAversion2 の修正に対応して対象物質を選定し直した平成 29 年度の成果である。
4.2(3)	平成 27 年度は 4.2(1)、4.2(2)の条件のもと、IDEAversion1 を用いて環境影響を試算した。平成 28 年度は更新された 4.2(1)、4.2(2)の条件のもと、IDEAversion2 を用いて環境影響を試算した。記載の内容は、IDEAversion2 の様々な不具合を可能な限り修正し試算した平成 29 年度の成果である。
4.3(1)	平成 27 年度は 4.2(2)で選定した対象物質の 2010 年のデータを整備した。平成 28 年度は 4.2(2)で選定直した対象物質の 1990～2010 年のデータを整備した。記載の内容は、4.2(2)でさらに選定直した対象物質の 1990～2010 年のデータを整備した平成 29 年度の成果である。
4.3(2)	環境影響については、4.2(2)～4.3(1)の更新を踏まえ、平成 28 年度の成果を平成 29 年度の成果に更新したものである。付加価値については、平成 29 年度の成果である。
4.3(3)	4.2(2)～4.3(2)の更新を踏まえ、平成 28 年度の成果を平成 29 年度の成果に更新したものである。
4.3(4)、4.4	平成 29 年度の成果である。

4.1 既存の環境効率指標の事例収集と分析

(1) マクロ(国レベル)

(a) van del Voet et al.(2003、2004)

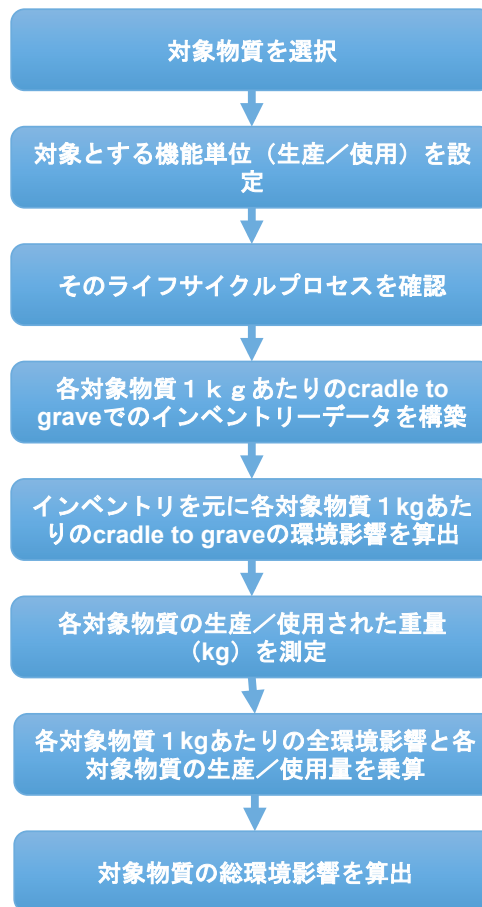
本事例の背景等

van del Voet et al.(2003、2004)は、使用量の小さい物質が大きな環境影響を持つ場合や、使用量の大きい物質が小さな環境影響しか持たないという事実を踏まえて、物質の環境問題への寄与度を測り、政府の脱物質化政策のための知的基盤を提供をすることを目的として、環境効率指標の開発を実施している。

開発にあたり、環境影響を測るライフサイクルアプローチは、一般に機能単位(functional unit)を対象としていることから、一概に「物質」に適用できない可能性があること、また、たとえば、ある物質 A の生産に伴う環境影響がある別の物質 B の生産によって発生する場合、物質 A による環境影響が、物質 B の環境影響に含まれる可能性があるというダ

ブルカウントのリスクがあることなどが課題として認識されている。

それら課題をふまえた上で、図II.4.1(1)-aに示す方法論が採用された。



図II.4.1(1)-a van del Voet et al.(2003、2004)による対象物質の総環境影響の推計方法

※ van del Voet et al.(2003、2004)を元に作成

単位重量あたりの環境影響の算出

単位重量あたりの環境影響の算出には、ETH database が用いられている。これが採用された理由としては、産業、エネルギー、廃棄物など各種プロセスが網羅されていること、多数の物質の情報が含まれていることがあげられる(ただし、ほぼ cradle to gate プロセスのみ)。

算出対象とする機能単位(functional unit)については、ベースを物質の生産とし、物質の使用や廃棄物段階(リサイクル・焼却・埋立)については、大まかな想定を行って研究者自身がデータベースへ追加している。また、使用中の排出を3つのタイプに分類し(使用中に全排出されるもの(塗料や溶剤など)、使用中に排出がないもの(家具・家電)、使用に伴う腐食／一部排出があるもの(建造物の鉛シートやタイヤ等))、対象物質を含む製品のエネルギー使用については考慮しないこととしている。

考慮する環境影響分野および環境影響の統合化

考慮する環境影響分野は、気候変動、オゾン層破壊、酸性化、富栄養化、光化学オゾン形成、非生物資源枯渇、人への毒性、水域環境への毒性、地上環境への毒性、土地利用である。統合化に伴う重み付けについては、その時々科学の見解や政策、注目度などによって変動するものとして、等分による重み付け(equal weighting)がなされている。

対象物質の使用／生産量の把握

対象物質の使用／生産量などの把握については、基本的に1国の輸出入量および生産量などの統計およびEurostatにおける物質フロー勘定のデータを元を実施されている。データが不足しているものについては、国内統計、FAO やUSGSなどのデータも補完的に使用している。一部、輸出入量統計に大きな変動がある物質については、既存研究の推計などで補足し、消費量について把握できないものについては、輸入+製造-輸出=消費量との想定において算出がなされている。

対象物質の選択

対象物質の選択にあたり、元素(例えば、アルミニウム)、化合物(例えば、ポリ塩化ビニル樹脂)、複合材料(例えば、カーボンケブラー)、もしくは粗い資源カテゴリー(プラスチック)など、何を「物質」とすべきかという課題を踏まえ(例えば、ポリエチレンといった *homogenous materials* を対象とするという RIVM(オランダ政府)の期待もあったが、数が膨大であるため)物質のグループ化(化石燃料、木材、水、プラスチック、建設物質、金属など)を行うことから開始し、可能な範囲でグループの詳細化が行われた。また、物質の製造量/使用量、流出入量を把握するための Eurostat における統計の利用可能性および ETH database でのプロセスの算出可能性を踏まえて、物質の選択が進められた。その結果、同研究では表 II.4.1(1)-a に示す物質が選択されている。

なお、化石燃料については、暖房や交通による使用は対象とせず、対象物質の製造に伴う化石燃料使用は、対象物質のライフサイクルチェーンに含め、考慮することとしている。

システム境界の設定

システム境界については、以下の3つのオプションが示されている。なお、物質ごとの総環境影響の算出については、データの信用性・ETH データベースの適用範囲の限界等から、消費ベースシステムに基づいた評価がなされている。

- **Regional system(地域システム)(図 II.4.1(1)-b)**: 一国家を対象としたもので、国家内で発生する環境影響を対象とし、当該国家外で発生する環境影響は対象外とする。
- **Consumption-based system(消費ベースシステム)(図 II.4.1(1)-c)**: 国家内で消費された物質により発生する環境影響を対象とし、対象物質についてはライフサイクル全体の環境影響が考慮される。
- **Production-based system(生産ベースシステム)(図 II.4.1(1)-d)**: 国家内で製造された物質により発生する環境影響を対象とし、対象物質についてはライフサイクル全体の環境影響が考慮される。

本既存研究における結果と課題

van del Voet et al.(2003)における物質別環境影響の算出結果(上位20物質)(消費ベースに基づく算出)を図 II.4.1(1)-e に示す。対象物質中のうち、環境影響が特に高いものとしては、Crop and grass, Iron and steel, animal products などあげられた。この結果をうけて、van del Voet et al.(2003)は、「物質は大きく環境影響に寄与している」「各物質の各環境問題への寄与度はそれぞれ異なる」「環境影響の多くは製造段階で発生するが、例外も存在する」「希少金属の単位あたり環境影響は大きい、生産量が小さいため、全体としてはその影響は小さい」「物質そのものよりは、製造段階のエネルギーや補助原料が環境影響のスコアに寄与している可能性が高く、物質使用のみならずプロセスにも目を向けるべき」「高い環境影響を示したものは、単位あたり影響もフロー量も大きい」「高い環境影響を示したものには、農業由来のもの、鉄、アルミ、コンクリートセメント、いくつかのプラスチックなどがあり、政策対象になるべき」などの見解を示している。

ただし、本研究の限界としては、各種データ不足と不確実性(特に消費量データの不足や、生産量データの不確実性)、ETH database における環境負荷の配分方法の明確化、リサイクルにおける環境影響データの改善があるとしている。このほか、対象物質の環境影響を見るにあたり、物質生産時のエネルギー使用による環境影響が大きな影響を与えている場合も少なくないことから、対象物質のライフサイクルプロセスの再検証が必要だとしている。加えて、システム境界

の再検証(特に境界付近で生じている現象の精査)、影響発生時点(時系列)の検証、統合化における重み付けの検証などが必要だとしている。

表 II.4.1(1)-a 既存研究(van del Voet et al., 2003)における対象物質

物質グループ	選択物質
1. Metal	
1.1 Bulk Metals	aluminium 0% rec., aluminium 100% rec., raw iron, cast iron, steel (light alloyed), steel (not alloyed), steel (high alloyed), electro steel, blow steel
1.2 Heavy Metal	lead soft, lead hard, chromium, copper, zinc
1.3 Others	manganese, nickel, palladium, platinum, rhodium
2. Minerals and Chemicals	
2.1 Industrial minerals and chemicals	NaCl, chlorine, NaOH, HNO ₃ , H ₃ PO ₄ , HF, H ₂ SO ₄ , NH ₃ , Al ₂ O ₃ , FeSO ₄ , sulphur, hydrogen, soda, formaldehyde, phenol, propylene glycol, HCl, ethylene, ethylene oxide, CaO, Ca(OH) ₂ , paraxylene, styrene, vinylchloride, barite, bentonite, zeolite, refrigerants, organic chemicals, anorganic chemicals
2.2 Consumer minerals and chemicals	ignored
2.3 Agricultural minerals and chemicals ※	phosphate rock, K – salts, kieserite, NH ₃ NO ₃ , K ₂ SO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₄ , Ca(NO ₃) ₂ , K(NO ₃) ₂ , CaNO ₃ NH ₃ (CAN), urea, urea - NH ₃ NO ₃ (UAN), superphosphate, tripelsuperphosphate, PK – fertilizer, ammonium phosphates, NPK - fertiliser (2 vars), pesticides (Dutch profile)
2.4 Other minerals	ignored
3. Building materials	
3.1 Surface minerals	gypsum, gypsum (raw stone), sand (for construction), gravel (for concrete), clay and loam, limestone, dolomite
3.2 Finished materials	ceramic, concrete, cement, rockwool,
4. Plastics	
4.1 Plastics	PE (high density), PE (low density), PP, PET (0% rec.), PS, PVC, PC, rubber, PUR
5. Biomass	
5.1 Agricultural crops ※	agricultural crops and grass
5.2 Forest biomass	wood (massive), wood (board)
5.3 Animal agricultural products ※	animal products
5.4 Fish and game	ignored
6. Others	water (decarbonated), water (demineralised), paper, board, glass (coated), glass (not coated)

※ ※を示したグループにある物質は ETH database では環境影響が算出できなかったため、別のデータを使用したとある。

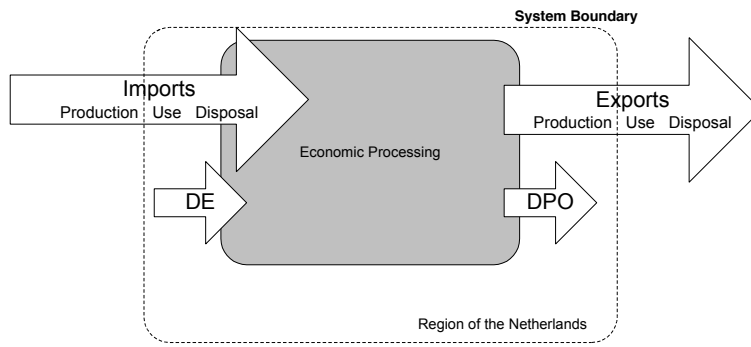


图 II.4.1(1)-b Regional system(van del Voet et al., 2003)

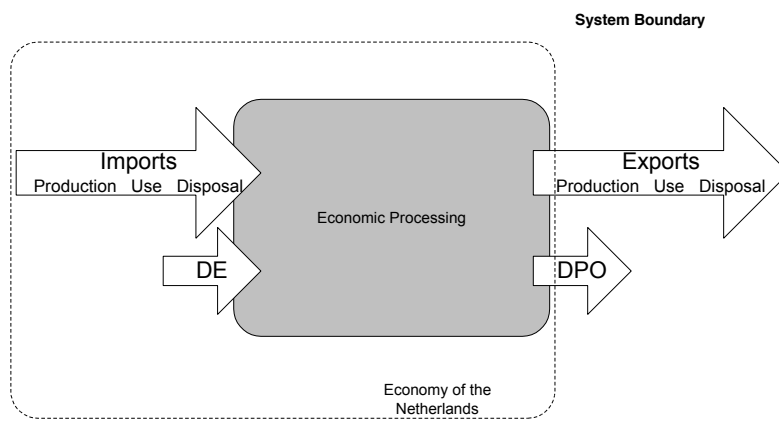


图 II.4.1(1)-c Consumption-based system(van del Voet et al., 2003)

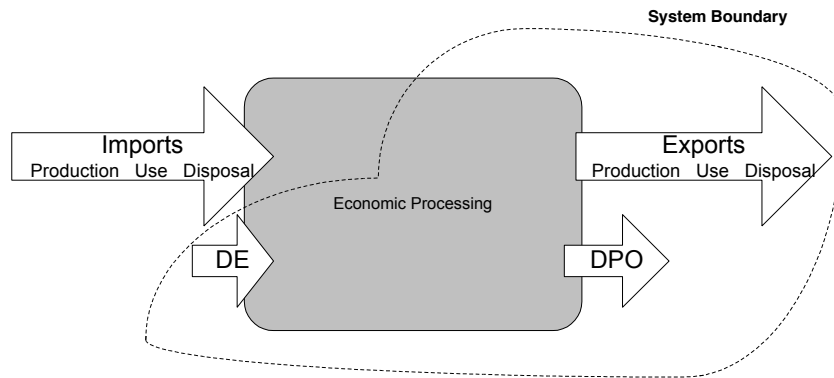


图 II.4.1(1)-d Production-based system(van del Voet et al., 2003)

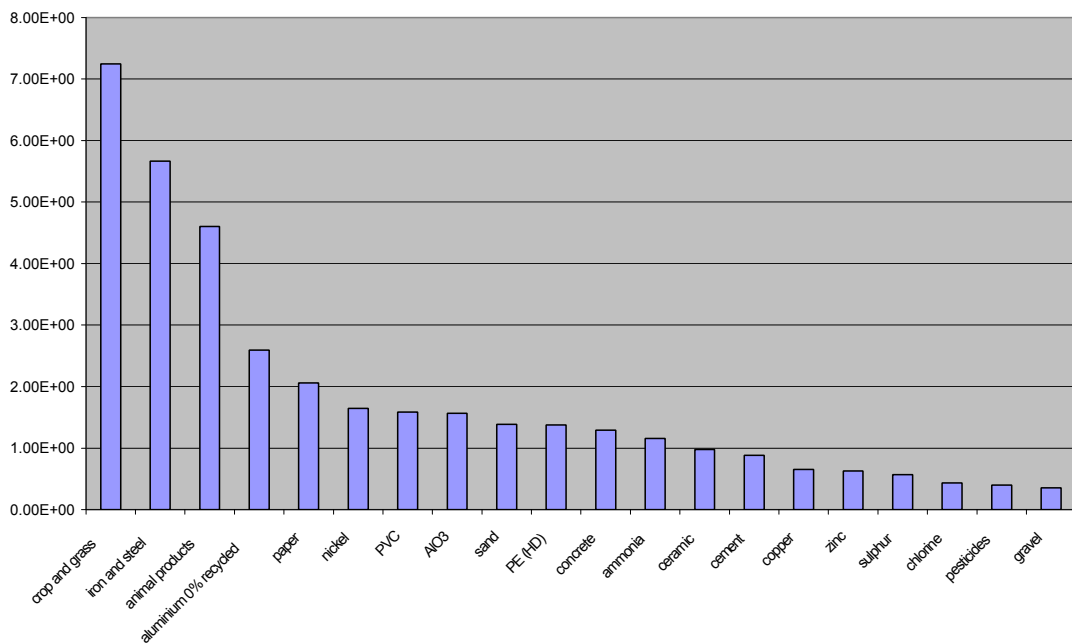


図 II.4.1(1)-e 物質別環境影響の算出結果(上位 20 物質)(消費ベースに基づく算出)(van del Voet et al.、2003)

(b) EC (2012)

European Commission (EC)の Joint Research Center (JRC)によって実施された Life cycle indicators for resources, products and waste というプロジェクトで指標の開発が進められた。これは、Resource efficient Europe (2011)や Sustainable Consumption and Production Action Plan (2008)を受けて、その政策評価に資することを目的に開発されたものである。サプライチェーンのライフサイクル観点や、欧州内の活動のみならず、欧州の需要に関連する欧州外の環境影響と資源消費も含めた観点で開発が進められた。

van del Voet et al.(2003、2004)が実施した方法も踏まえて、物質グループごとの環境影響を捉えようとした指標であるが、物質の環境影響が発生する時点や事象の発生場所が異なること、ライフサイクルインベントリの利用可能性などから時系列によるデータの算出が難しいという課題を踏まえ、van del Voet et al.(2003、2004)とは異なるアプローチを用いている。ライフサイクル全体を一度に統合的に捉えようとするのではなく、同プロジェクトでは、ライフサイクルを大きく3つの段階に分け、それぞれ異なる方法を適用して以下の3つの指標を開発している。

- Resource indicators
- Basket-of-products indicators
- Waste management indicators

以下、各指標に関する概要を示す。

Resource indicators

2008年にECより発表された政策 Thematic strategy on the sustainable use of natural resources の考え方を反映したものであるが、EU内での消費に伴う物質消費量のみならずその環境影響および貿易品に関する環境影響を捉えようとした指標である。用いたアプローチは van del Voet et al.(2003、2004)の方法と似ており、対象とした物質やその貿易品等の環境影響について、ライフサイクルアセスメントを行い、消費量の情報を反映させて総環境影響を求めている。

環境影響の算出対象は、各種資源(原材料)と環境への排出(表 II.4.1(1)-b)および(EU内で消費/生産される)環境影響の大きい重要な貿易品(表 II.4.1(1)-c、表 II.4.1(1)-d)である。システム境界は、消費ベースのシステム境界を採用している(図

II.4.1(1)-f). 貿易品については、cradle to gate および EU 内外への輸送が考慮される。対象とした資源や製品などのうち、廃棄物・リサイクル・リユースを目的としたものについては、統計の利用可能性や廃棄・リサイクル・リユース等が達成される時点・場所を勘案して算出するとしている。

ライフサイクルインベントリーには、European Reference Life Cycle Database (ELCD)(EC, 2010a)を用いつつ、ILCD Data network により補完を行い、統合化では、ILCD handbook(EC, 2010b)に示された方法を反映させたとある。なお、統合すると書いてあるものの、本報告書では環境影響領域別の結果のみが示されている。

Basket of products indicators

EU 市民が消費する物質や製品のグループ別の環境影響を捉えるための指標である。消費(需要)の視点での指標として、各国の LCA データと家計最終消費支出統計が使用されている。政府支出は含めず、あくまで EU 市民の最終消費が対象とされ、輸出品は除外されている。また、輸入品については、各製品の主要輸入国のデータを活用している。

算出の手順としては、まず需要カテゴリーとして、製品部門を同定し(例：道路交通)、その後、その部門における代表製品を選定(例：自家用車)、その代表製品に関する環境影響を算出し(例：自家用車の環境影響)、それらに基づき製品部門の環境影響を算出する(例：道路交通部門の環境影響)という手順をとっている。

表 II.4.1(1)-b EC(2012)における環境影響の算出対象(資源(原材料)と環境への排出)(Resource indicators)

Natural resources*, grouped		Individual contributors accounted (examples)	Unit	Environmental Impact Category	Area of Protection (a)**
Raw materials	Minerals, biomass, water ¹³	Iron in ore extracted, gold in ore extracted, different types of water abstraction or consumption ¹⁴ , ...	kg/a, m ³ /a	Resource depletion, generic environmental pressures by mineral extraction and water consumption	R, E
	Fossil energy	Crude oil extracted, lignite extracted, uranium in ore extracted, ...	MJ/a	Resource depletion, generic environmental pressure by primary energy use	E ; R
Space	Land occupation and transformation	Intensive farming, natural forest, ... Land use change	m ² /a (occupation) and m ² /a (transformation)	Land use and land use change	E ; R
Environmental media	Soil (sink)	Cadmium (Cd) emission to soil, soil erosion, ...	kg/a	Human toxicity; ecotoxicity; resource depletion	H ; E ; R
	Air (sink)	CO ₂ emission to air, mercury emission to air, ...	kg/a, kBq/a for radioactive emissions	Climate change; ozone depletion; summer smog; acidification; eutrophication; human toxicity; ecotoxicity; radiation	H ; E
	Water (sink)	Nitrate emission to water, ...	kg/a, m ³ /a for water abstraction, kBq/a for radioactive emissions	Eutrophication; Human toxicity; ecotoxicity; Radiation	H ; E
Flow resources	Renewable energy (wind, geothermal, water, solar)	Wind energy extracted in wind power plants; geothermal energy extracted; dam water energy extracted, running water energy extracted, tidal energy extracted; solar energy extracted in solar power stations	MJ/a	Resource depletion	R

©EC(2012)

表 II.4.1(1)-c EC(2012)における環境影響の算出対象(輸入品)(Resource indicators)

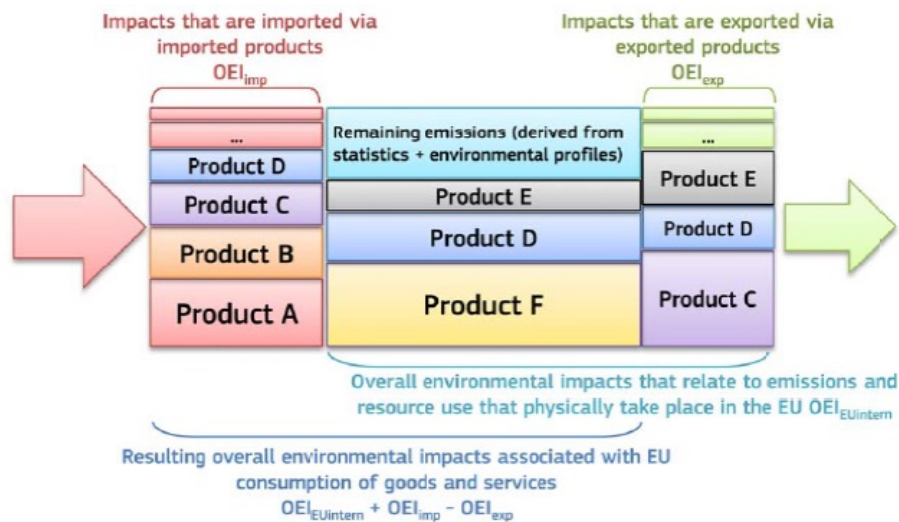
#	Code (HS2)	Product group	Representative product	Code CN8	1 st country of origin	2 nd country of origin	3 rd country of origin
1	27	Mineral fuels	crude oil	27090090	RU	NO	SA
2	72&73	Iron & Steel	non alloyed steel slabs or coils	72071210	RU	UA	MX
3	76	Aluminium	unwrought aluminium	76011000	RU	MZ	NO
4	61/62/63/52	Textiles/Cotton	t-shirts (cotton)	61091000	BD	TR	CN
5	87	Road vehicles	passenger car	87032319	JP	KR	TR
6	39	Plastics	polyethylene bags	39232100	CN	MY	TH
7	84a	Machinery	air conditioning	84158190	CN	TH	JP
	84b	Machinery	computer/laptop	84713000	CN	TW	n.a.
8	85	Electrical machinery	video recording or reproducing apparatus	85219000	CN	ID	TR
9	26	Ores	iron ore	26011100	BR	AU	MR
10	28	Inorganic chemicals	aluminium oxide	28182000	JM	SR	BA
11	31	Fertilizers	urea	31021010	RU	EG	HR
12	29	Organic Chemicals	methanol	29051100	CL	RU	LY
13	17	Sugar	cane sugar	17011110	BR	MU	FJ
14	23	Residues and waste from the food industry	soya oil cake	23040000	AR	BR	n.a.
15	02	Meat	bovine meat boneless	02013000	BR	AR	UY

©EC(2012)

表 II.4.1(1)-d EC(2012)における環境影響の算出対象(輸出品)(Resource indicators)

#	Code (HS2)	Product group	Representative product	CN8
1	72&73	Iron and steel	hot rolled non-alloyed steel	72085120
2	27	Mineral fuels	crude oil	27090090
3	87	Road vehicles	passenger cars	87032319
4	39	Plastics	polypropylene	39021000
5	84a	Machinery	self-propelled excavators	84295210
	84b	Machinery	data processing machines	84714990 (from 2006 84714900)
6	76	Aluminium	alloyed aluminium sheets	76061291
7	47&48	Pulp and paper	paper and paperboard	48101990
8	85	Electrical machinery	electric motor parts	85030099
9	31	Fertilizers	NPK fertilizer	31052010
10	17	Sugar	white sugar	17019910
11	4	Diary	milk and cream in solid forms	04021019
12	2	Meat	frozen boneless swine meat	02032955
13	28	Inorganic chemicals	aluminium oxide	28182000
14	29	Organic chemicals	caprolactam	29337100
15	25	Minerals	portland cement	25232900

©EC(2012)



©EC(2012)

図 II.4.1(1)-f EC(2012)におけるシステム境界

なお、製品(部門)選択の基準として、家計最終消費支出データが利用可能か、EuP 指令製品群に上げられている製品か(高い環境影響削減効果があるか)、その産業セクターの環境影響に関する研究が実施されているか、LCI データが利用可能かという4つをあげている。これらに基づき、対象製品を選択した結果、EU内の全環境影響の70%程度に匹敵する主要製品を網羅したとしている(表 II.4.1(1)-e)。なお、ダブルカウントを避けるため最終製品のみ対象としている。ただし、家電の使用による影響は、ダブルカウントの可能性があるので住居(Shelter/housing)での環境影響からは差し引かれる。

環境影響の算出は、基本的には、cradle to grave アプローチですすめるが、食品については、cradle to point of sales アプローチを取っている。また、長寿命製品の生産時・使用後処理の環境影響は、生産年・処理年に帰属させず、寿命年数で分割し、使用後の環境影響では、各種オプション(焼却、エネルギー回収、埋立、再生)が考慮されている。また、LCA データには ELCD データベース(EC、2010a)を用い、製品の生産・消費量などの統計データには Eurostat、FAO 等を用いている。

図 II.4.1(1)-g に、結果の事例として、気候変動に関する製品部門別環境影響を示す。

Waste management indicators

EUにおける廃棄物群別の環境影響とリサイクルによる便益の統合指標である。対象とする廃棄物群は、廃棄物規制対象の廃棄物群のうち、廃棄物統計および LCA データが利用可能なもの、リサイクル可能性およびその便益が大きいと想定されるものが選択されている(表 II.4.1(1)-f)。また、各種廃棄物に関する管理オプション、リサイクルによる環境便益を算出するためのライフサイクルインベントリーの作成には、ECLD database(EC、2010a)を用いている。廃棄物 1(w1)の環境影響(EI)は、下記の式に基づいて算出される。

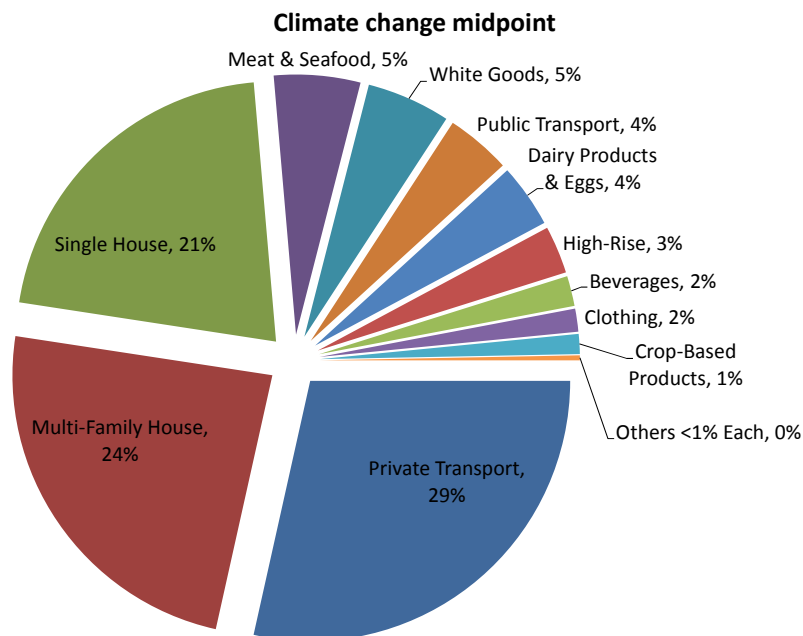
$$EI_{w1} = EI(t1, w1) * Aw1 * st1 + Bap * Aap(t1, w1) + \dots + EI(tx, w1) * Aw1 * stx + Bap * Aap(tx, w1)$$

ここで、EI(t,w) : Environmental Impact per unit of specific waste treated, t: treatment technology (collection, transport, storage, quality and treatment), w: waste, A: Amount, s: share of waste into specific treatment technology, B: Benefit, ap: avoided product

表 II.4.1(1)-e EC(2012)における環境影響の算出対象(Basket of products indicators)

Demand category	Product group	Product sub- group (products)
Nutrition	Meat and seafood	beef, pork, poultry
	Dairy products and eggs	milk, butter, cheese
	Crop based products	sugar, vegetable oils & fats
	Vegetables	potatoes
	Fruits including tomatoes	apples, oranges
	(Non)alcoholic beverages	coffee
Shelter/private housing	Single-, two-family and terrace houses	single house
	Multi-family houses	multi-family house
	High-rise buildings	high-rise building
Consumer goods	Clothing	shoes, cotton shirt
	White goods	washing machine, fridge, dish washer
	Consumer electronics	laptop
Mobility	Private transport	middle class car
	Public transport	travel by train, bus and plane
Service	Bars & restaurants	(omitted from this study)
	Leisure activities	(omitted from this study)
	Education	(omitted from this study)
	Tourism	(omitted from this study)

©EC(2012)



©EC(2012)

図 II.4.1(1)-g 気候変動分野における製品部門別環境影響(EC、2012)

システム境界については、単純に廃棄物群の環境影響を検討する場合と、リサイクルによる便益(クレジット)を検討する場合で分けて考えられている(図 II.4.1(1)-h)。なお、クレジットは以下の式に基づいて算出される。

$$C = y * (LCIpri - LCIssec)$$

ここで、C: Credit for recycled scrap/waste, y: recycling process yield, LCIpri: Virtual impacts of primary production of material that will be substituted, LCIssec: Impacts of recycling/recovery of the scrap/waste resulting in a secondary good with the same inherent properties as the primary material

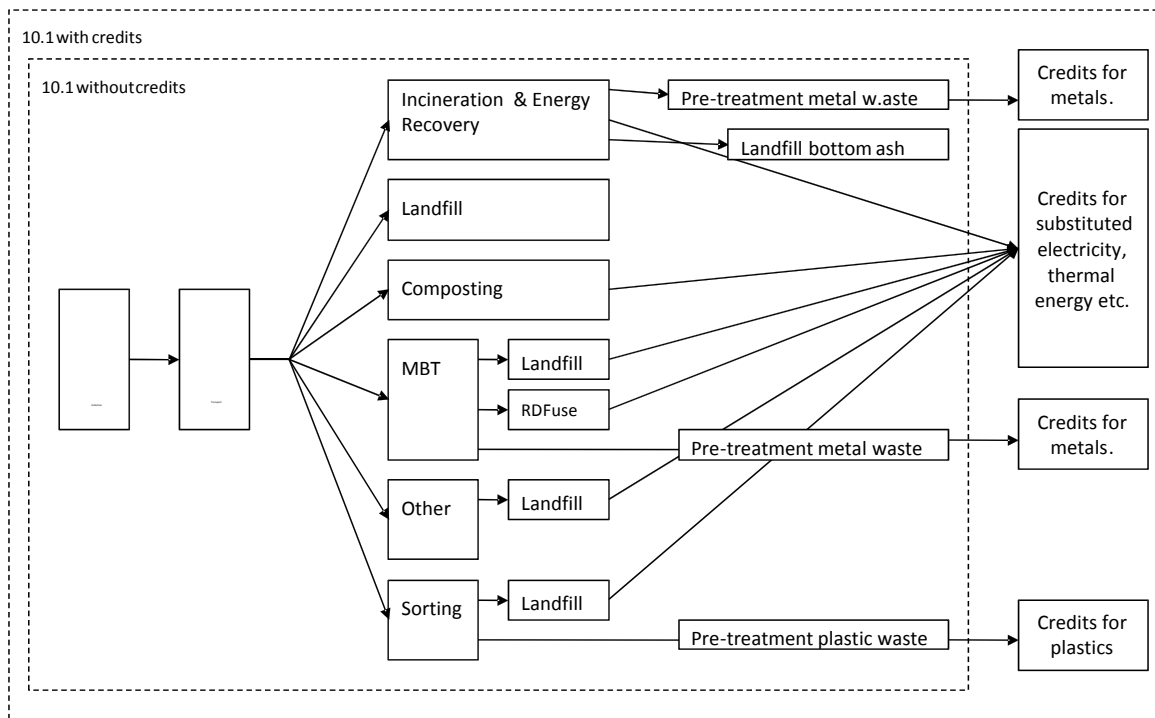
このほか、廃棄物の貿易や、二次資源・再生資源を作り出す処理プロセスと焼却などの廃棄物処理プロセスとの間のダブルカウントや、各種データソースから廃棄物量などの推計を行う際のデータマッチングの必要性などに課題があるとしている。

最終的には、クレジットも含めすべて標準化(Normalised)される。これらに基づいて算出した結果の例を図 II.4.1(1)-i に示す。リサイクルによるクレジットを考慮すると、金属廃棄物が最も環境便益が高い結果となっている。

表 II.4.1(1)-f EC(2012)における環境影響の算出対象(Waste management indicator)

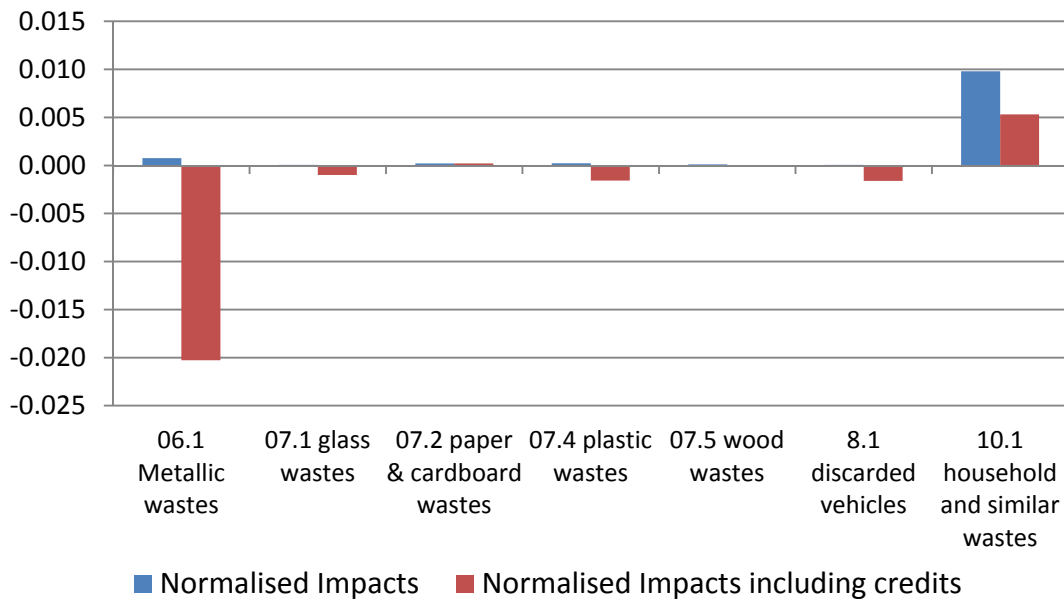
#	EWC-Stat Code	Waste stream	Share of total generated waste by mass	
			Non-hazardous	hazardous
1	06	Metallic wastes	3.4%	0.3%
2	07.1	Glass wastes	0.6%	0.1%
3	07.2	Paper & cardboard wastes	2.3%	0%
4	07.4	Plastic wastes	0.5%	0%
5	07.5	Wood wastes	3.1%	3.9%
6	08.1	Discarded vehicles	0.2%	9.1%
7	08.2	Discarded electrical and electronic equipment & bulky household equipment (WEEE)	0.1%	1.7%
8	09.3 ⁴¹	Animal faeces, urine and manure	1.0%	0%
9	09 (excl. 9.11 & 9.3)	Animal and vegetal wastes	3.8%	0%
10	10.1	Household and similar wastes	7.4%	0%
11	12.1 - 12.3 & 12.5	Mineral wastes (excluding combustion wastes, contaminated soils and polluted dredging)	65.4%	15.8%
12	12.4	Combustion wastes	5.3%	14.1%
Total coverage			93.1%	45.0%

©EC(2012)



©EC(2012)

図 II.4.1(1)-h システム境界の例(家庭系廃棄物)(EC、2012)



©EC(2012)

図 II.4.1(1)-i 廃棄物群別総環境影響算出結果(EU-27 対象)(EC、2012)

(2) ミクロ(企業レベル・製品レベル)

(a) 日本国内の事例

日本国内の事例については、環境報告書プラザ(<https://www.ecosearch.jp/>)における環境効率指標に関する公開情報も参照しつつ、各企業の環境報告書やホームページを精査し、2015年12月時点の環境効率指標の評価実施状況を調査した。

その結果、分子については、基本的に売上高やそれに関連する指標を用いているという共通性がみられたが、分母については、大きく3種類の方法(CO₂などの単一の環境負荷、複数の環境負荷を既存の重み付け手法で統合、複数の環境負荷を企業独自の重み付け手法で統合)が存在した。

分母を単一の環境負荷としている企業は、複数の環境効率指標を持つことが多い。つまり、分子をCO₂で除したもの、SO_xで除したもの、廃棄物発生量で除したものなど複数の指標を算出している。この方法を採用している企業のうちほとんどが、CO₂、SO_x、NO_x、そして廃棄物量(特に産業廃棄物)を分母としている。これら4つの項目に水使用量や、燃料使用量が続く。

また、分母において、複数の環境負荷を統合している企業が採用している統合化手法としては、JEPIX、LIME、ELP法、企業独自の重み付け係数を活用した方法などがあつた。

表II.4.1(2)-aにその概要を示し、表II.4.1(2)-bには、各企業の環境効率指標の詳細を示す。本研究では、既存の重み付け手法として一般的になりつつあるLIMEを用いた統合化を行うこととした。

表II.4.1(2)-a 日本国内の企業レベルの環境効率指標の分類

分母：単一の環境負荷 (単一指標、複数指標)	分母：複数の環境負荷を既存の重み付け手法で統合	分母：複数の環境負荷を企業独自の重み付け手法で統合
指標として、 CO ₂ 排出量 SO _x 排出量 NO _x 排出量 廃棄物排出量 水使用量 燃料使用量 など	統合化手法として、 JEPIX LIME ELP法 など	アステラス：(評価年度負荷量/基準年度負荷量) × 7項目に対するウェイト ソニー：資源指標 = (事業所廃棄物最終廃棄量 + 製品資源投入量) - (循環材使用量 + 製品再資源化量)
九州電力、中国電力、古河機械金属、NTT 東日本、トヨタ自動車、住友ゴム工業	三洋化成工業、四国電力、電源開発、東北電力、大阪ガス、アステラス製薬、ライオン、東芝	

表 II.4.1(2)-b 日本国内の各企業の環境効率指標詳細

企業名	名称	算出式	分子	分母	
				対象とする環境影響	統合化手法
三洋化成工業株式会社	環境効率	環境負荷総量/付加価値 (他企業とは逆の分母と分子)	環境負荷総量	付加価値	JEPIX 利用
四国電力株式会社	環境効率	販売電力量/環境影響	販売電力(他電力への送電などを含む)	環境影響(CO ₂ 、SO _x 、NO _x の各排出量)	各排出量に係数(早稲田大学永田研究室開発)を乗じて統合した環境負荷排出量)
電源開発株式会社	環境効率指標	販売電力量/環境負荷 (1990 年度を 100 とした)	販売電力量	環境負荷 ・石炭 ・CO ₂ ・SO _x ・NO _x ・石炭灰	JEPIX 利用
					LIME 利用
東北電力株式会社	環境効率	販売電力(もしくは売上高)/環境負荷量(統合化)	販売電力量(もしくは売上高)	環境負荷量(燃料消費、廃棄物、CO ₂ ・SO _x ・NO _x の排出)	ELP 法(早稲田大学永田研究室で開発された手法)
大阪ガス株式会社	環境負荷抑制効率	ガス販売量あたりの7種類の環境負荷の発生量・数値を金額換算し、事業活動による環境負荷を定量的に把握できるようにした値	ガス販売量	・CO ₂ 発生量 ・CH ₄ 発生量 ・掘削土最終処分量 ・一般廃棄物最終処分量 ・産業廃棄物最終処分量 ・NO _x 排出量 ・COD 排出量 ・トルエン・キシレン排出量 ・水	LIME2 利用
アステラス製薬株式会社	生物多様性指数	評価年度連結売上高/(評価年度負荷量/基準年度負荷量)	評価年度連結売上高	・NO _x 排出量 ・SO _x 排出量 ・BOD 排出量 ・水使用量 ・生物起源の原材料 ・廃棄物最終処分量 ・温室効果ガス排出量	それぞれウェイトをかけて足し合わせる。

表 II.4.1(2)-b 各企業の環境効率指標詳細 続き

企業名	名称	算出式	分子	分母	
				対象とする環境影響	統合化手法
ライオン株式会社	環境効率	事業活動の成果(売上高)/環境影響(環境負荷金額)	売上高	環境負荷金額 ・ 大気への排出量(CO ₂ 、NO _x 、SO _x 、PRTR 対象化学物質) ・ 水域への排出量(排水量、COD、PRTR 対象化学物質) ・ 廃棄物(最終処分量、PRTR 対象化学物質) ・ 容器包装排出量	LIME2 利用
株式会社東芝	(製品の)環境効率	製品・サービスの価値/環境影響	QFD を活用した価値評価 QFD：顧客要求の分析→顧客要求と設計仕様との関係を見える化→スペック比較→統合化	Easy-LCA(大気排出量、水域排出量、資源消費、その他の LCA データ)	LIME 利用
関西電力株式会社	環境効率性	販売電力/統合指標(1990 年度を 100 とした場合)	販売電力量	・ CO ₂ 排出量 ・ SO _x 排出量 ・ NO _x 排出量 ・ 産業廃棄物最終処分量 ・ 石油消費量 ・ 石炭消費量 ・ LNG 消費量	LIME2
		販売電力/CO ₂ 排出量(1990 年度を 100 とした場合)	販売電力量	CO ₂ 排出量(CO ₂ クレジット等反映後の排出量)	
コクヨ株式会社	エコ効率指標	売上高/環境負荷量	売上高	・ CO ₂ 排出量 ・ 廃棄物の最終処分量 ・ PRTR 法対象化学物質の使用量 ・ 水の使用量	統合せずにそれぞれの環境効率を見ている。
	環境影響ポイント	環境負荷量×エコファクター	環境影響ポイント	環境負荷量	JEPiX 利用
九州電力株式会社	環境効率性	製品・サービス価値/販売電力量(kWh)/環境負荷量(トン)	販売電力量(kWh)	環境負荷量(トン) ・ CO ₂ 排出量 ・ SO _x 排出量 ・ NO _x 排出量 ・ 産業廃棄物排出量	統合せずにそれぞれの環境効率を見ている。

表 II.4.1(2)-b 各企業の環境効率指標詳細 続き

企業名	名称	算出式	分子	分母	
				対象とする環境影響	統合化手法
中国電力株式会社	環境経営効率	経常利益/環境負荷量	経常利益	環境負荷量 ・CO ₂ 排出量 ・産業廃棄物処分量指標	統合せずにそれぞれ の環境効率 を見ている。
古河機械金属株式 社	環境効率性指 標	売上高/環境負荷総量	売上高	・CO ₂ 排出量 ・水資源使用量 ・廃棄物等総排出量	統合せずにそれ ぞれの環境効率 を見ている。
東日本電信電話株式 会社(NTT 東日本)	環境効率性	売上高/環境負荷発生量	売上高	環境負荷発生量 ・電力購入量 ・紙使用量 ・廃棄物最終処分量	統合せずにそれ ぞれの環境効率 を見ている。
トヨタ自動車株式会 社	環境効率	売上高/環境負荷	売上高	環境負荷 ・CO ₂ 排出量 ・廃棄物発生量	統合せずにそれ ぞれの環境効率 を見ている。
住友ゴム工業株式会 社	環境効率	売上高/環境負荷の基準 年を100としたときの 指数	売上高	・CO ₂ 排出量 ・排水量 ・埋立廃棄物量 ・有機溶剤排出量	統合せずにそれ ぞれの環境効率 を見ている。
ソニー株式会社	環境効率	売上高/環境負荷(環境 指標)	売上高	温室効果ガス指標 =事業所温室効果ガス総 排出量+製品使用時 CO ₂ 排出量+物流CO ₂ 排出量-温室効果ガス 排出削減貢献量(再生 可能エネルギーによる CO ₂ 削減貢献量)	
				資源指標 =事業所廃棄物最終廃棄 量+製品資源投入量- (循環材使用量+製品再 資源化量)	

(b) 海外の事例

海外の事例については、海外企業の環境報告書や持続可能性報告書における環境効率(Eco-Efficiency)という用語の記載の有無を、インターネット検索を基本に調査した。その結果、本調査においては、環境効率を算出している企業として3社(BASF、Unilever、Roche)の事例が得られた。ただし、3社にまたがる共通性などは特に確認できず、BASFはISOによる環境効率評価ガイドラインを参考とし、Unileverでは異なる環境影響について個別に環境効率を算出、また、Rocheについては分母となる環境支出や環境影響ポイントをBAFU (Swiss Agency for the Environment)手法を用いて算出していることが特徴として見られた。また、日本企業の環境報告書等と比較して、厳密な算定手法が掲載されていない場合が多く環境影響の統合化手法は明らかではなかった。表 II.4.1(2)-c に環境効率を算出している企業の環境効率指標の概要を示す。

加えて、複数の海外企業の環境報告書や持続可能性報告書を閲覧し、環境効率に近い取り組みの有無を調査した

(Kärcher, Vodafone, Shell, VolksWagen, Nokia, British American Tobacco, Intel, GE, SAP, Phillips, Novo Nordisk)。しかし、環境効率(Eco-Efficiency)と記載があったとしても、環境負荷データの表示にとどまっている企業や、特に環境効率に関する取組みはなく、環境負荷についてのデータは環境報告書や持続可能性報告書内でとりまとめているものの、売上高などを環境負荷で除すことにより環境効率を求めている企業はみられなかった。

なお、環境負荷データとしてあげられているもので共通して見られた項目は、温室効果ガス、エネルギー、廃棄物・リサイクル、水、オゾン層破壊物質などであった。

表 II.4.1(2)-c 各企業の環境効率指標の概要

企業名	名称	算出式	分子	分母	備考
				対象とする環境影響	
BASF	Eco-Efficiency	不明 (備考参照)	不明	The environmental impact is assessed with a range of categories: <ul style="list-style-type: none"> Raw materials consumption Water consumption Land use Human toxicity potential Eutrophication Acidification Ozone depletion Photochemical ozone creation Climate change 	統合化手法不明 ISO 14045 Environmental management – Eco-efficiency assessment of product systems を参考
Unilever	Eco-efficiency	Each parameter required for a ton of production	Each parameter (Energy, CO ₂ from energy, Total water, Total COD, Disposed waste)	Each parameter <ul style="list-style-type: none"> Energy [GJ/ton] CO₂ from energy [kg/ton] Total water [m³/ton] Total COD [kg/ton] Disposed waste [kg/ton] 	統合なし 261 の製造工場から収集したデータ
Roche	Eco-efficiency Rate (EER)	the ratio of sales to the product of environmental spending and environmental impact	Sales [million CHF]	Expenditure on environmental protection and environmental impact points according to the BAFU (Swiss Agency for the Environment) method This point covers the following factors: <ul style="list-style-type: none"> Use of resources (energy [TJ], raw materials [t], water [t]) Emission to the air [ton] (VOC, SO₂, NO_x, CO₂, halogenated hydrocarbons, particles) Emission to the water [ton] (TOC, heavy metals, phosphorus, nitrogen) Landfilled waste [ton] (inert waste, construction waste, reactor waste) 	統合化手法不明

出典：各社 HP 内環境報告書または持続可能性報告書

(3) GHG プロトコル Scope 3 の考え方

一国における対象物質の環境効率を推計するにあたっては、当該国内で発生する環境影響を対象とし、当該国家外で発生する環境影響は対象外とする Regional system (図 II.4.1(1)-b)のシステム境界を用いることが基本となる。つまり、対象物質の生産プロセスまでの環境影響だけでなく、最終製品生産プロセスや最終製品の使用プロセス、廃棄物処理プロセスにおける環境影響を、輸出入を考慮して各物質に割り当てるような作業を行う必要がある。

そこで、GHG プロトコル Scope 3 において、本研究の対象物質を生産するような企業の下流側となる最終製品生産プロセスや最終製品の使用プロセス、廃棄物処理プロセスにかかわるカテゴリの考え方や算出手法についてレビューを行った。具体的には、WRI(世界資源研究所)および WBCSD(持続可能な開発のための世界経済人会議)による、「Corporate Value Chain (Scope3) Accounting and Reporting Standard」(WRI and WBCSD, 2011)を中心にレビューし、一部、環境省・経済産業省「サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン(ver 2.2)」(環境省・経済産業省、2015)も参照した。

分析の対象とする Scope 3 カテゴリ

Scope 3 の算定カテゴリとして、表 II.4.1(3)に示す 15 カテゴリが挙げられている。以下、本研究でのシステム境界の範囲内と考えられるカテゴリ 4・5・9・10・11・12 について、本研究の分析に関連すると考えられる算定対象や報告対象年などのシステム境界に関わる内容を中心にその概要をまとめた。

算定対象および算定方法概要

① カテゴリ 4：上流側の輸送・配送

製品・サービスのサプライヤーから自社への物流(輸送、荷役、保管)に伴う排出、およびそれ以外の物流サービス(輸送、荷役、保管)に伴う排出(自社が費用負担している物流に伴う排出)を算出の対象としている(WRI and WBCSD, 2011)。

算定方法は、燃料使用量、ないしは、輸送距離と燃費、輸送重量に基づく方法などがある(環境省・経済産業省、2015)。

② カテゴリ 5：事業による廃棄物

報告企業の管理下による活動により発生した廃棄物および排水の第3者による輸送、処理に伴う排出を対象としている(WRI and WBCSD, 2011)。ここでは、報告年度に発生する廃棄物によって発生するすべての将来排出も含まれる。また、報告企業による輸送・処理は、Scope 1 および 2 に含まれる。なお、処理活動には、最終処分(埋め立て)、埋立地からのガス回収、リサイクルのための回復、焼却、コンポスト、廃棄物からのエネルギー回収、排水処理が含まれ、廃棄物の輸送も算定対象とすることは可能としている(WRI and WBCSD, 2011)。

リサイクルによる排出は、以下のように取り扱っているとされている。例えば、ある報告企業が、再生資源(リサイクル材)が含まれる物質を購入、または、再生資源となりうる製品を販売する場合、リサイクルプロセスからの排出を上流と下流の双方で勘定することはダブルカウントとなり、避ける必要がある。ダブルカウント回避のために、その企業は、再生資源が含まれる物質を購入した際には、カテゴリ 1 および 2 において上流側でのリサイクルプロセスからの排出を勘定し、また、カテゴリ 5 および 12 において、廃棄後のリサイクルに伴う排出を勘定する。しかし、リサイクルプロセスそのものからの排出は、すでに、カテゴリ 1・2 において再生資源の購入による排出として勘定されるため、勘定しない。なお、カテゴリ 5 や 12 においてマイナス値やリサイクルによって回避された排出も勘定しない(WRI and WBCSD, 2011)。

算定方法には、処理・リサイクル量、ないしは、処理・リサイクル費用に基づく方法などがある(環境省・経済産業省、2015)。

表 II.4.1(3) Scope 3 の算定カテゴリー一覧

カテゴリ	カテゴリ名	内容
カテゴリ 1	購入製品・サービス	原材料・部品、仕入商品・販売に係る資材等が製造されるまでの活動に伴う排出
カテゴリ 2	資本財	自社の資本財の建設・製造に伴う排出
カテゴリ 3	燃料・エネルギー関連活動	他者から調達している燃料の調達、電気や熱等の発電等に必要燃料の調達に伴う排出
カテゴリ 4	上流側の輸送・配送	①報告対象年度に購入した製品・サービスのサプライヤーから自社への物流(輸送、荷役、保管)に伴う排出 ②報告対象年度に購入した①以外の物流サービス(輸送、荷役、保管)に伴う排出(自社が費用負担している物流に伴う排出)
カテゴリ 5	事業による廃棄物	自社で発生した廃棄物の輸送、処理に伴う排出
カテゴリ 6	出張	従業員の出張に伴う排出
カテゴリ 7	雇用者通勤	従業員が事業所に通勤する際の移動に伴う排出
カテゴリ 8	上流側のリース資産	自社が賃借しているリース資産の操業に伴う排出(Scope 1、2 で算定する場合を除く)
カテゴリ 9	下流側の輸送・配送	自社が販売した製品の最終消費者までの物流に伴う排出(自社が費用負担していないものに限る)
カテゴリ 10	販売製品の加工	事業者による中間製品の加工に伴う排出
カテゴリ 11	販売製品の使用	使用者(消費者・事業者)による製品の使用に伴う排出
カテゴリ 12	販売製品の廃棄(寿命後)処理	使用者(消費者・事業者)による製品の廃棄時の処理に伴う排出
カテゴリ 13	下流側のリース資産	賃貸しているリース資産の運用に伴う排出
カテゴリ 14	フランチャイズ	フランチャイズ加盟者における排出
カテゴリ 15	投資	投資の運用に関連する排出

出典：WRI and WBCSD(2011)、環境省・経済産業省(2015)

③ カテゴリ 9：下流側の輸送・配送

報告企業が販売した製品の最終消費者までの物流に伴う排出(自社が費用負担・所有管理していないもの)を対象としている(WRI and WBCSD、2011)。なお、下流側の輸送・配送には、倉庫・配送センターでの販売製品の保管、小売施設での販売製品の保管、飛行機/鉄道/道路/海洋輸送が含まれる。消費者による小売店までの交通も含みうる。

算定方法には、燃料使用量、ないしは、輸送距離と燃費、輸送重量に基づく方法などがある(環境省・経済産業省、2015)。

④ カテゴリ 10：販売製品の加工

報告企業が販売した中間製品の第 3 者による加工に伴う排出を対象とする(第 3 者とされる企業にとって報告企業は Scope 1 や 2 となる)(WRI and WBCSD、2011)。なお、複数の中間製品が加工されている場合は、ここでの算定対象の中間製品の分の排出として、加工に伴う排出を按分する必要がある。ただし Scope 3 基準では、報告企業が販売した中間製品からできる最終製品を十分に把握できない場合は、算定対象から除外することも可能としている。

算定方法には、加工に伴う排出量、ないしは、加工に伴うエネルギー消費量、販売量に基づく方法などがある(環境

省・経済産業省、2015)。

⑤ カテゴリ 11：販売製品の使用

使用者による販売製品の使用に伴う排出で、報告する年に販売した製品を対象としている(WRI and WBCSD、2011)。なお、直接使用による排出と間接使用による排出の2つの区分(下記参照)を対象とし、直接使用による排出は算定必須としている。間接使用による排出はその重要度に応じて算定に含めるかどうかを判断することとなっている。

- 直接使用による排出がある製品：使用段階でエネルギーを直接的に使用する製品(例：自動車、飛行機、エンジン、モーター、家電製品、証明、データセンター、ソフトウェアなど)、燃料・原料(例：石油製品、天然ガス、石炭、石油など)、温室効果ガスそのもの・温室効果ガスを使用段階で排出する製品(例：二酸化炭素、メタン、フロン製品、冷蔵庫、エアコン、産業ガス、消火器、肥料など)
- 間接使用による排出がある製品：衣料(洗濯・乾燥にエネルギー使用)、食品(調理にエネルギー使用)、調理器具(調理にエネルギー使用)など

算定方法には、販売数量などをベースに、標準的な使用シナリオ(使用回数、1回当たりの燃料・電力消費量、使用時間、使用条件、使用年数などに基づく)を設定して推計する方法がある(環境省・経済産業省、2015)。

⑥ カテゴリ 12：販売製品の廃棄(寿命後)処理

報告企業が報告年に販売した全ての製品の寿命後・廃棄時の処理に伴う排出を対象としている(WRI and WBCSD、2011)。処理に含まれる活動は、カテゴリ 5 に示した活動と同様である(廃棄物処理企業の Scope 1、2 にあたる)。

算定方法には、処理・リサイクル量、ないしは、処理・リサイクル費用に基づく方法などがある(環境省・経済産業省、2015)。

報告対象年

時間境界については、報告年の報告企業の活動に係る排出量を把握することとしている(WRI and WBCSD、2011)。そのため、報告企業の活動からの直接的な排出量については、算定対象とした年の排出量となるが、サプライチェーンの上流や下流の排出量の排出時期は、報告企業の活動からの直接的な排出量で算定対象とした年とは異なる場合がある。

ここで、概要をまとめた上記カテゴリの場合、カテゴリ 4 に関しては報告年以前に算定対象の活動による排出が発生する場合が想定される。カテゴリ 5・9・10・11・12 については、報告年以降に算定対象の活動が発生する場合が想定される。このような場合、カテゴリ 4 など前年以前の活動が算定対象となる場合は、以前に排出した排出量を算定・報告することとなる。また、カテゴリ 5・9・10・11・12 など製品の使用や廃棄に関する排出については、将来の排出量を推計・報告することとなる(WRI and WBCSD、2011)。

算定範囲からの除外

また、以下の条件にあてはまるものは、算定範囲から除外可能とされている(WRI and WBCSD、2011；環境省・経済産業省、2015)。

- ・該当する活動がないもの
- ・排出量が小さくサプライチェーン排出量全体に与える影響が小さいもの
- ・事業者が排出や排出削減に影響力を及ぼすことが難しいもの
- ・排出量の算定に必要なデータの収集等が困難なもの
- ・自ら設定した排出量算定の目的から見て不要なもの

GHG プロトコル Scope 3 と本研究の関連と課題

ここでは、本研究における対象物質の生産以降で発生する環境影響の把握の参考とするため、全バリュー(サプライ)チェーンを通じた温室効果ガス排出の推計、いわゆる GHG プロトコル Scope 3 の算定基準のうち、本研究でのシステム境界の範囲内と考えられるカテゴリ 4・5・9・10・11・12 について、本研究の分析に関連すると考えられる算定対象や

報告対象年などのシステム境界にかかわる内容を中心に整理した。

算定対象や算定方法などを概観した結果、各カテゴリにおける検討範囲や必要となるデータ(例えば、輸送・配送にあたり収集すべきデータ、また、廃棄物処理・排水処理・リサイクル活動の対象範囲および収集すべきデータ、使用における標準シナリオの設定項目など)、加工プロセスにおける按分の必要性等、本研究にも適用可能な内容を整理することができた。

ただし、本研究が一国を対象としているのに対し、Scope 3は一企業を対象としている。また、本研究では、いわゆる中間製品となる原材料レベルのものを対象物質としている。そのため、企業レベルで把握可能なデータと国レベルで把握可能なデータ(対象物質の関連統計)の種類や内容が異なることが大いに想定される。

例えば、輸送・配送の場合、おそらく、マクロレベルでのデータなどは入手が可能と判断されるが、対象物質ごとのデータなどは把握することが困難であると考えられ、対象物質ごとの環境影響を算出する場合にどのような想定を行うかが非常に重要となる。

また、使用においても、本研究では、対象物質によって製造される全ての最終製品について標準的シナリオを設定し、環境影響を算出する必要がある。対象となる最終製品の使用に伴う環境影響を、それぞれの対象物質にどのように割り付けるのかについても、更なる検討が必要となる。

算定対象や算定方法のほか、ここでは、報告対象年についての概要も整理した。Scope 3では、あくまで、報告年度における報告企業の活動に関連する排出を必要に応じて過去に遡り、ないしは、将来の排出を推計して報告するとされていた。本研究においても、ある一年のみを対象として評価する場合は、そのアプローチも可能であるが、時系列評価を実施しようとした場合は、あくまでも環境影響が発生する年に算定する必要があると考えられる。

4.2 物質 1 単位あたりの環境負荷・環境影響の試算

(1) システム境界の設定と環境影響の配分方法

一国の環境効率を推計するにあたっては、上述したように Regional system(図 II.4.1(1)-b)を用いることが基本であり、これを 3ヶ国の例で考えると図 II.4.2(1)-a に示すシステム境界となる。しかしながら本研究では、対象物質を選定し、その対象物質の生産を中心に関連する環境影響を見ていくことから、具体的なシステム境界はやや複雑になる。

上流側については、対象物質の生産の投入とならない財・サービスの環境影響のほか、対象物質の生産の投入となりうる財でも輸出されるものの環境影響、対象物質の生産の投入のうち輸入されるものの環境影響は考慮されない。また、下流側では、対象物質を投入しない財・サービスの環境影響のほか、輸出された対象物質に関わる環境影響、対象物質を投入したのちに輸出された財の輸出後の環境影響、海外で生産された対象物質を投入する財・サービスの環境影響は考慮されない。こうしたシステム境界のイメージを図 II.4.2(1)-b に示した。

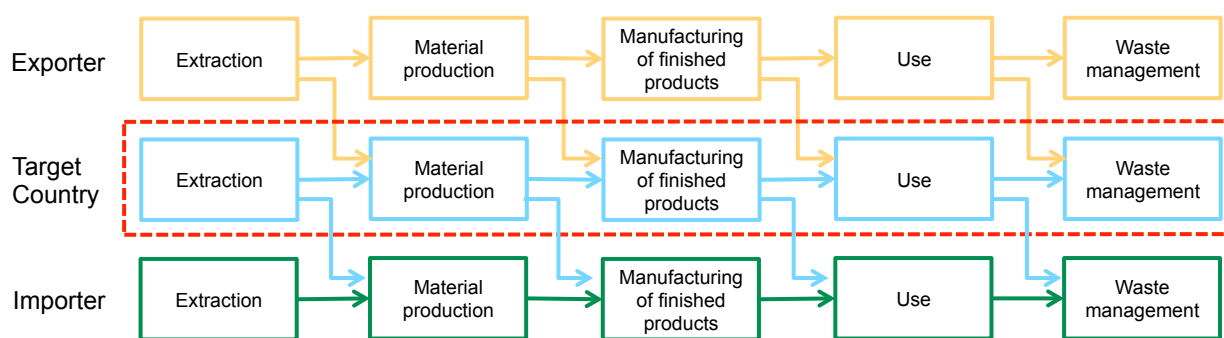


図 II.4.2(1)-a 環境影響推計のシステム境界

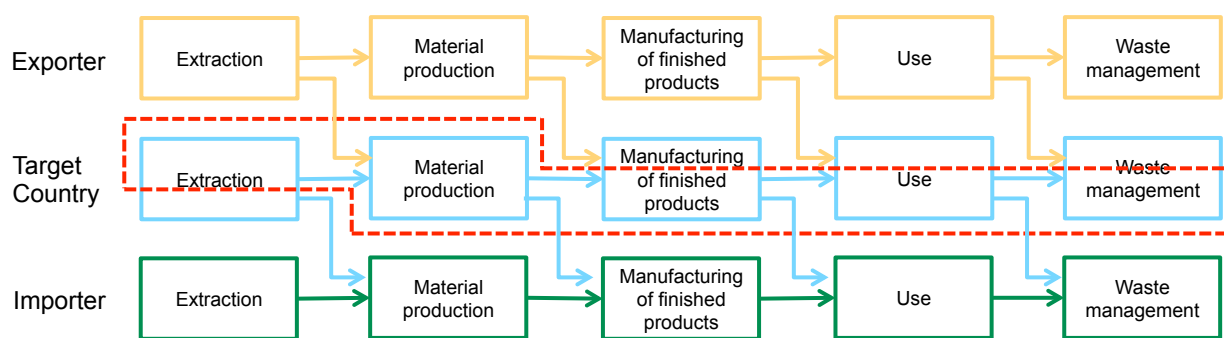


図 II.4.2(1)-b 対象物質に関連する環境影響推計のシステム境界

図 II.4.2(1)-b に示すように、本研究では対象物質をそのライフサイクルの中間的な場所で選定することになるが、選定したある物質が、別途選定した物質の原材料となることがある。図 II.4.2(1)-c では、例えば、対象物質 1 の原材料として対象物質 2 及び非対象物 3、4 が使われ、また、非対象物 3 の原材料として、対象物質 1、2 および非対象物 4 が使われている。このような場合、対象物質のそれぞれのの上流側の環境影響を計算し合計してしまうと、環境影響が重複計上されてしまう。本研究では、他の対象物質の原材料となっている対象物質の環境影響は、当該物質のそれから控除することとした。具体的な計算方法はで 4.3(2)で述べる。また、対象物質が原材料となる下流側の環境影響については、

下流側の各プロセスで発生する環境影響を投入財間で案分することとした。この場合、どのように案分するかは課題であるが、本研究では投入財の価格の比で案分することとした。図 II.4.2(1)-c では、例えば、非対象物 3 の原材料として、対象物質 1、2 および非対象物 4 が使われているが、この投入価格の比で非対象物 3 を生産するときの環境影響を配分した。さらに、原材料の非対象物 4 には対象物質 1、2 が使われているが、これも同様に案分した。

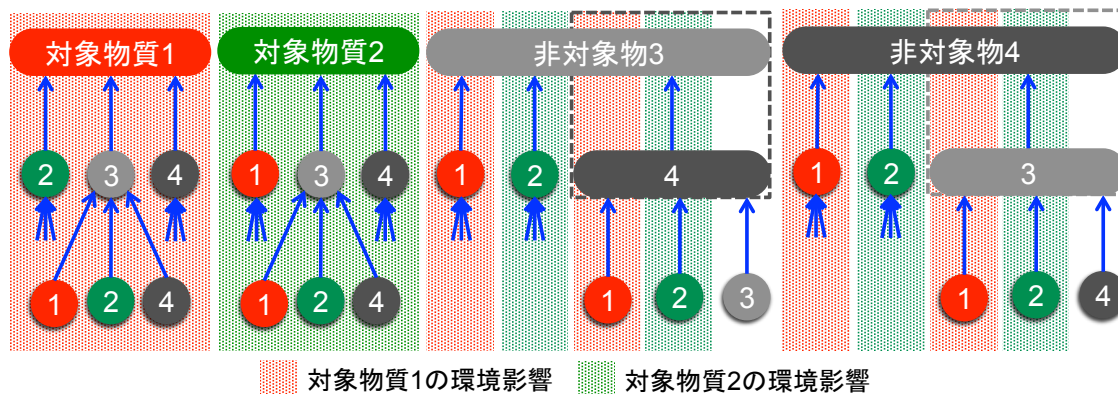


図 II.4.2(1)-c 対象物質への環境影響配分の考え方

(2) 対象物質の選定

既存研究(van der Voet et al., 2003)では、対象物質選定の論理性・網羅性において課題があったため、本研究ではこれを向上させる方法を構築した。具体的には以下の手順で選定を行った。なお、本手順に産業連関表の部門を導入したのは、環境効率の分母となる付加価値の推計と結びつけるためである。手順 d、e は対象物質数をデータの収集が実施可能な 200 程度にするためのものであり、統計データの整備が進めば対象物質数を拡張することは可能である。

- 2011 年産業連関表において物質に関連する部門を同定(84 部門)
- 上記の部門のうち、ある部門の財が 50%以上別の部門の投入財(原材料)となっている場合は、その物質のライフサイクルを考慮し、上流側もしくは下流側のいずれかの部門を選定(64 部門)
- LCA データベース IDEAversion2 における財・サービスのうち、上記の部門に対応する財を同定(446 財)
- 上記の財のうちその生産額が上位半分の財(105 財)と、それらの財を含む部門を選定(61 部門)
- 上記の選定部門における選定財の生産額の合計がその部門の生産額の半分に満たない場合は、半分以上となるように財を追加し、対象候補財を選定(213 財)
- 上記の対象候補財について、生産量等の統計データが利用可能な財を対象物質として決定(213 財)

これらのうち、手順 a～e の結果を表 II.4.2(2)-a～表 II.4.2(2)-c、手順 f の結果を表 II.4.2(2)-d～表 II.4.2(2)-j に示す。手順 f で対象から外れた物質はないが、既存研究(van der Voet et al., 2003)で対象となっていなかった物質が対象になるとともに、特に非金属鉱物において本研究では対象外となった物質が多くあった。この状況をまとめたものが表 II.4.2(2)-k である。

表 II.4.2(2)-a 対象物質の選定(手順 a~e)

Step (a)				Step (b)		Step (c)	Step (d)		Step (e)
IO sector code	IO sector name	Identified sector		Share of inputs to other identified sectors in step (a)	Selected sector	IDEA materials in selected sector in step (b) in terms of production value	Upper half IDEA materials in step (c) in terms of production value	Selected sector	Selected IDEA material
			Type of material						
011101	Rice	v	Biomass	5%	v	1	1	v	1
011102	Wheat, barley and the like	v	Biomass	31%	v	5	1	v	1
011201	Potatoes and sweet potatoes	v	Biomass	8%	v	2	1	v	2
011202	Pulses	v	Biomass	23%	v	5	1	v	1
011300	Vegetables	v	Biomass	0%	v	21	5	v	15
011401	Fruits	v	Biomass	0%	v	22	3	v	6
011501	Sugar crops	v	Biomass	2%	v	2	1	v	1
011502	Crops for beverages	v	Biomass	0%	v	1	1	v	1
011603	Flowers and plants	v	Biomass	0%	v	2	1	v	1
011609	Miscellaneous inedible crops	v	Biomass	1%	v	6	1	v	1
012101	Dairy cattle farming	v	Biomass	9%	v	2	1	v	2
012102	Beef cattle	v	Biomass	29%	v	1	1	v	1
012103	Hogs	v	Biomass	1%	v	1	1	v	1
012104	Hen eggs	v	Biomass	4%	v	1	1	v	1
012105	Chickens	v	Biomass	2%	v	1	1	v	1
012109	Miscellaneous livestock	v	Biomass	6%	v	1	1	v	1
015301	Special forest products (including hunting)	v	Biomass	2%	v	7	2	v	3
017101	Marine fishery	v	Biomass	3%	v	30	2	v	8
017102	Marine aquaculture	v	Biomass	5%	v	7	2	v	3
017200	Inland water fishery and aquaculture	v	Biomass	12%	v	1	1	v	2
161101	Timber	v	Biomass	14%	v	5	2	v	4
161102	Plywood, glued laminated timber	v	Biomass	31%	v	5	2	v	4
161909	Miscellaneous wooden products	v	Biomass	4%	v	24	3	v	5
163201	Paper	v	Biomass	6%	v	12	3	v	9
163202	Paperboard	v	Biomass	62%	v	9	2	v	5
062101	Coal mining, crude petroleum and natural gas	v	Fossil fuel	32%	v	6	1	v	2
204101	Aliphatic intermediates	v	Fossil fuel	58%	v	30	4	v	15
204102	Cyclic intermediates	v	Fossil fuel	50%	v	15	3	v	11
204201	Synthetic rubber	v	Fossil fuel	10%	v	4	1	v	1
204901	Methane derivatives	v	Fossil fuel	35%	v	3	2	v	2
204902	Plasticizers	v	Fossil fuel	5%	v	2	1	v	1
204909	Miscellaneous industrial organic chemicals	v	Fossil fuel	27%	v	10	1	v	2

表 II.4.2(2)-b 対象物質の選定(手順 a~e)

Step (a)				Step (b)		Step (c)	Step (d)		Step (e)
IO sector code	IO sector name	Identified sector		Share of inputs to other identified sectors in step (a)	Selected sector	IDEA materials in selected sector in step (b) in terms of production value	Upper half IDEA materials in step (c) in terms of production value	Selected sector	Selected IDEA material
			Type of material						
205101	Thermo-setting resins	v	Fossil fuel	5%	v	7	1	v	4
205102	Thermoplastics resins	v	Fossil fuel	4%	v	13	3	v	6
205103	High function resins	v	Fossil fuel	3%	v	4	2	v	3
205109	Miscellaneous synthetic resins	v	Fossil fuel	3%	v	4	1	v	4
206101	Rayon and acetate	v	Fossil fuel	2%	v	3	1	v	1
206102	Synthetic fibers	v	Fossil fuel	6%	v	7	2	v	5
211101	Petroleum refinery products (including greases)	v	Fossil fuel	17%	v	17	2	v	13
212102	Paving materials	v	Fossil fuel	0%	v	1	1	v	1
261103	Crude steel (converters)	v	Metallic minerals	1%	v	1	1	v	1
261104	Crude steel (electric furnaces)	v	Metallic minerals	1%	v	1	1	v	1
271101	Copper	v	Metallic minerals	2%	v	2	1	v	1
271102	Lead and zinc (including regenerated lead)	v	Metallic minerals	11%	v	5	2	v	4
271103	Aluminum (including regenerated aluminum)	v	Metallic minerals	13%	v	4	1	v	1
271109	Miscellaneous non-ferrous metals	v	Metallic minerals	6%	v	8	2	v	6
063101	Gravel and quarrying	v	Non-metallic minerals	40%	v	1	1	v	1
063102	Crushed stones	v	Non-metallic minerals	29%	v	1	1	v	1
202101	Industrial soda chemicals	v	Non-metallic minerals	58%	v	8	2	v	2
202901	Inorganic pigment	v	Non-metallic minerals	7%	v	6	2	v	3
202902	Compressed gas and liquefied gas	v	Non-metallic minerals	45%	v	6	2	v	5
251101	Sheet glass and safety glass	v	Non-metallic minerals	8%	v	7	3	v	5
251102	Glass fiber and glass fiber products, n.e.c.	v	Non-metallic minerals	5%	v	3	1	v	3
251109	Miscellaneous glass products	v	Non-metallic minerals	9%	v	16	2	v	4
252101	Cement	v	Non-metallic minerals	71%	v	2	1	v	2
253101	Pottery, china and earthenware	v	Non-metallic minerals	2%	v	16	2	v	7
259101	Clay refractories	v	Non-metallic minerals	10%	v	8	2	v	2
259109	Miscellaneous structural clay products	v	Non-metallic minerals	6%	v	9	1	v	2
259901	Carbon and graphite products	v	Non-metallic minerals	29%	v	7	2	v	4
259902	Abrasive	v	Non-metallic minerals	7%	v	6	2	v	2
259909	Miscellaneous ceramic, stone and clay products	v	Non-metallic minerals	28%	v	19	3	v	5
011509	Miscellaneous edible crops	v	Biomass	34%	v	3	1		
204103	Synthetic dyes and organic pigments	v	Fossil fuel	9%	v	4	1		
202903	Salt	v	Non-metallic minerals	10%	v	3	1		

表 II.4.2(2)-c 対象物質の選定(手順 a~e)

Step (a)			Step (b)		Step (c)	Step (d)		Step (e)
IO sector code	IO sector name	Identified sector	Share of inputs to other identified sectors in step (a)	Selected sector	IDEA materials in selected sector in step (b) in terms of production value	Upper half IDEA materials in step (c) in terms of production value	Selected sector	Selected IDEA material
		Type of material						
011601	Feed and forage crops	v Biomass	91%					
011602	Seeds and seedlings	v Biomass	80%					
015101	Logs	v Biomass	97%					
113101	Feeds	v Biomass	81%					
113102	Organic fertilizers, n.e.c.	v Biomass	69%					
161103	Wooden chips	v Biomass	93%					
163101	Pulp	v Biomass	96%					
163301	Corrugated cardboard	v Biomass	23%					
163302	Coated paper and building (construction) paper	v Biomass	7%					
201101	Chemical fertilizer	v Biomass	86%					
203101	Petrochemical basic products	v Fossil fuel	92%					
203102	Petrochemical aromatic products (except synthetic resin)	v Fossil fuel	67%					
212101	Coal products	v Fossil fuel	81%					
061101	Metallic ores	v Metallic minerals	100%					
261101	Pig iron	v Metallic minerals	96%					
261102	Ferro alloys	v Metallic minerals	84%					
063909	Miscellaneous ores	v Non-metallic minerals	86%					
202909	Miscellaneous industrial inorganic chemicals	v Non-metallic minerals	27%					
252102	Ready mixed concrete	v Non-metallic minerals	1%					
252103	Cement products	v Non-metallic minerals	1%					

注)手順 a で対象外となった産業連関表の部門を除く。

表 II.4.2(2)-d 対象物質の選定(手順 f)

Target material in van del Voet et al.(2013)	Type of material	IO code	IDEA code	IDEA goods name	IDEA unit	Statistical data source	Production or shipment	Unit in statistics
agricultural crops & grass	Biomass	011101	011111000	brown rice	kg	全国統計表	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011102	011211000	wheat	kg	全国統計表	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011201	011511000	sweet potato	kg	全国統計表	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011201	011512000	potato	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011202	011319000	miscellaneous bean	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012111000	cucumber, outdoor and facility mixture	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012112000	watermelon, outdoor and facility mixture	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012113000	tomato, outdoor and facility mixture	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012114000	sweet pepper, outdoor and facility mixture	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012116000	eggplant, outdoor and facility mixture	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012117000	strawberry, facility	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012118000	melon, facility	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012211000	cabbage	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012212000	spinach	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012213000	lettuce	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012215000	onion	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012219000	miscellaneous vegetable leaves and stems	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012311000	Japanese radish	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012312000	carrot	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011300	012319000	miscellaneous root crop	kg	野菜生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011401	014111000	apple	kg	果樹生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011401	014112000	Japanese pear	kg	果樹生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011401	014211000	unshu mandarin	kg	果樹生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011401	014311000	peach	kg	果樹生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011401	014911000	Japanese persimmon	kg	果樹生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011401	014913000	grape	kg	果樹生産出荷統計	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011501	017111000	sugar beet	kg	全国統計表	Production	ton
agricultural crops & grass	Biomass	011502	017113000	beverage crop, tea	kg	作物統計	Production	kg
agricultural crops & grass	Biomass	011603	016111000	flower, outdoor and facility mixture	本	花き生産出荷統計	Shipment	千本
agricultural crops & grass	Biomass	011609	017219202	miscellaneous non-food crop which are not elsewhere classified, except natural rubber, crude rubber	kg	作物統計	Production	kg
animal products	Biomass	012101	018111000	raw milk	kg	生乳生産量累年統計	Production	ton
animal products	Biomass	012101	018119000	miscellaneous dairy product	kg	生乳生産量累年統計	Production	kg
animal products	Biomass	012102	018311000	beef cattle	kg	枝肉生産量累年統計	Production	ton
animal products	Biomass	012103	018312000	pig	kg	枝肉生産量累年統計	Production	ton
animal products	Biomass	012104	018211000	hen egg	kg	鶏卵流通累年統計	Production	ton
animal products	Biomass	012105	018313000	broiler	kg	食鳥流通累年統計	Shipment	ton
animal products	Biomass	012109	018911000	miscellaneous livestock, for food and for fur	円	産業連関表などより調整	Production	円
agricultural crops & grass	Biomass	015301	013100000	shiitake mushroom, cultivated	kg	全国統計表	Production	千万円
agricultural crops & grass	Biomass	015301	013212000	shimeji mushroom, cultivated	kg	全国統計表	Production	千万円
animal products	Biomass	015301	022211000	special forest product, including hunting industry	円	全国統計表	Production	円

表 II.4.2(2)-e 対象物質の選定(手順 f)

Target material in van del Voet et al.(2013)	Type of material	IO code	IDEA code	IDEA goods name	IDEA unit	Statistical data source	Production or shipment	Unit in statistics
対象外	Biomass	017101	031100000	tuna	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017101	031300000	skipjack	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017101	031400000	salmon and trout	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017101	031600000	horse mackerel	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017101	031800000	snapper	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017101	031900000	miscellaneous fish	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017101	032111000	Japanese scallop	kg	養殖魚種別収穫量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017101	035100000	cuttlefish	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017102	032112000	oyster	kg	養殖魚種別収穫量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017102	033111000	nori seaweed	kg	養殖魚種別収穫量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017102	034100000	shrimp	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017200	031500000	sardine	kg	海面漁業魚種別漁獲量累年統計	Production	ton
対象外	Biomass	017200	032114000	freshwater clam	kg	養殖魚種別収穫量累年統計	Production	ton
wood (board)	Biomass	161101	131111000	boards less than 7.5cm depth of minimum cross section, with more than 4 times width larger than depth	m3	木材需給報告書	Shipment	千m3
wood (massive)	Biomass	161101	131112000	lumpers less than 7.5cm depth of minimum cross section, with less than 4 times width larger than depth	m3	木材需給報告書	Shipment	千m3
wood (massive)	Biomass	161101	131113000	squares 7.5cm or more depth and width	m3	木材需給報告書	Shipment	千m3
wood (massive)	Biomass	161101	131114000	lumber for boxes and packing	m3	木材需給報告書	Shipment	千m3
wood (board)	Biomass	161102	131311000	floor boards	m3	工業統計	Shipment	百万円
wood (board)	Biomass	161102	132211000	common plywood	m3	木材需給報告書	Production	千m3
wood (board)	Biomass	161102	132212000	special plywood	m3	木材需給報告書	Production	千m3
wood (board)	Biomass	161102	132311000	glued laminated timber	m3	木材需給と木材工業の現況	Production	千m3
wood (board)	Biomass	161909	132111000	millwork, except fittings	円	工業統計	Shipment	百万円
wood (board)	Biomass	161909	132411000	prefabricated wooden buildings and structural members for housing	m2	工業統計	Shipment	百万円
wood (board)	Biomass	161909	132511000	particle board	m2	生産動態統計年報	Production	千m2
wood (board)	Biomass	161909	133311000	wooden boxes, except chipping boxes	円	工業統計	Shipment	百万円
wood (board)	Biomass	161909	139919000	miscellaneous wood, bamboo, rattan and willow products (including painted products)	円	工業統計	Shipment	百万円
paper	Biomass	163201	152111000	rolls of newsprint	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152112000	non-painted printing paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152113000	painted printing paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152114000	special printing paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152115000	information paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152117000	unbleached wrapping paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152118000	bleached wrapping paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152121000	sanitary paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163201	152123000	miscellaneous paper	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163202	152211000	exterior liner board, for corrugated liner board	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163202	152213000	corrugating medium liner board, for corrugated liner board	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163202	152214000	manila paperboard	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163202	152215000	white paperboard	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton
paper	Biomass	163202	152219000	miscellaneous paperboard	kg	紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計年報	Production	ton

表 II.4.2(2)-f 対象物質の選定(手順 f)

Target material in van del Voet et al.(2013)	Type of material	IO code	IDEA code	IDEA goods name	IDEA unit	Statistical data source	Production or shipment	Unit in statistics
対象外	Fossil fuel	062101	052111000	crude oil	L	資源・エネルギー統計年報	Production	L
対象外	Fossil fuel	062101	052112000	natural gas	Nm3	資源・エネルギー統計年報	Production	m3
paraxylene	Fossil fuel							
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173211000	synthetic butanol	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173212000	synthetic octanol	kg	化学工業統計年報	Production	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173213000	synthetic acetone	kg	化学工業統計年報	Production	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173214000	acetic acid (including synthetic acetic acid)	kg	化学工業統計年報	Production	ton
ethylene	Fossil fuel							
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173311000	ethyl alcohol, 95% conversion	kg	化学工業統計年報	Production	kg
ethylene oxide	Fossil fuel	204101	173215000	ethylene oxide	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173216000	ethylene glycol	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173217000	propylene oxide	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173221000	polypropylene glycol	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173223000	ethylene dichloride	kg	化学工業統計年報	Production	kg
vinylchloride	Fossil fuel	204101	173224000	vinyl chloride monomer	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173225000	acrylonitrile	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173226000	vinyl acetate monomer	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173231000	acetic anhydride	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204101	173239000	miscellaneous aliphatic intermediates	kg	工業統計	Shipment	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173411101	dimethyl terephthalate	kg	工業統計	Shipment	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173411103	terephthalic acid	kg	化学工業統計年報	Production	kg
styrene	Fossil fuel	204102	173412000	styrene monomer	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173413000	tolylenediisocyanate (TDI)	kg	工業統計	Shipment	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173414000	caprolactam	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173415000	cyclohexane	kg	化学工業統計年報	Production	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173416000	synthetic carbolic acid	kg	化学工業統計年報	Production	kg
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173417000	aniline	kg	化学工業統計年報	Production	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173421000	methylene diphenyl diisocyanate(MDI)	kg	化学工業統計年報	Production	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173422000	nitrobenzene	kg	化学工業統計年報	Production	ton
organic chemicals	Fossil fuel	204102	173429000	miscellaneous cyclic intermediates	kg	工業統計	Shipment	kg
rubber	Fossil fuel	204201	173611000	synthetic rubbers (including synthetic latex)	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	204901	173912000	chloro-fluoro-methane and chloro-fluoro-ethane (chloro-fluoro-carbon)	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	204901	173919000	miscellaneous methane derivatives	kg	工業統計	Shipment	百万円
対象外	Fossil fuel	204902	173939000	miscellaneous plasticizers	kg	工業統計	Shipment	百万円
対象外	Fossil fuel	204909	173929000	miscellaneous coal-tar products	kg	工業統計	Shipment	kg
対象外	Fossil fuel	204909	173949000	miscellaneous organic chemistry industrial products which are not elsewhere classified	kg	工業統計	Shipment	百万円
phenol	Fossil fuel	205101	173511000	phenol resin	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205101	173514000	unsaturated polyester resin	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205101	173527000	epoxy resin	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205101	173539000	miscellaneous plastic	kg	工業統計	Shipment	kg

表 II.4.2(2)-g 対象物質の選定(手順 f)

Target material in van del Voet et al.(2013)	Type of material	IO code	IDEA code	IDEA goods name	IDEA unit	Statistical data source	Production or shipment	Unit in statistics
対象外	Fossil fuel	205102	173516000	polyethylene	kg	化学工業統計年報	Production	ton
PE (high density)	Fossil fuel	205102	173516100	polyethylene, high density (HDPE)	kg	化学工業統計年報	Production	ton
PE (low density)	Fossil fuel	205102	173516102	low density polyethylene	kg	化学工業統計年報	Production	ton
PS	Fossil fuel	205102	173517000	polystyrene	kg	化学工業統計年報	Production	ton
PP	Fossil fuel	205102	173518000	polypropylene	kg	化学工業統計年報	Production	ton
PVC	Fossil fuel	205102	173521000	vinyl chloride resin	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205103	173524000	polyamide resin	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205103	173531000	polyacetal	kg	化学工業統計年報	Production	ton
PC	Fossil fuel	205103	173532000	polycarbonate	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205109	173522000	methacrylic resin	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205109	173523000	polyvinyl alcohol	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	205109	173525000	fluorocarbon resin	kg	化学工業統計年報	Production	ton
PET (0% rec.)	Fossil fuel	205109	173526000	polyethylene terephthalate	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	206101	174113000	cupra and acetate, long and short fibers	kg	工業統計	Shipment	ton
対象外	Fossil fuel	206102	174211000	nylon long and short fibers	kg	繊維・生活用品統計	Production	ton
対象外	Fossil fuel	206102	174212000	polyester long fiber	kg	繊維・生活用品統計	Production	ton
対象外	Fossil fuel	206102	174213000	polyester short fiber	kg	繊維・生活用品統計	Production	ton
対象外	Fossil fuel	206102	174214000	acrylic long and short fibers	kg	繊維・生活用品統計	Production	ton
対象外	Fossil fuel	206102	174219000	miscellaneous synthetic fibers	円	工業統計	Shipment	ton
対象外	Fossil fuel	211101	181111000	gasoline	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181112000	naphtha	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181113000	jet fuel oil	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181114000	kerosene	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181115000	light oil	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181116000	heavy fuel oil A	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181118000	heavy fuel oil C	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181121000	lubricating oil (including grease)	L	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	181123000	asphalt	kg	資源・エネルギー統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	211101	181124000	liquefied petroleum gas (LPG)	kg	資源・エネルギー統計年報	Production	ton
対象外	Fossil fuel	211101	181125000	hydrocarbon oil	L	石油等消費動態統計調査・燃料受払表	Production	l
対象外	Fossil fuel	211101	181126000	petroleum gas	Nm3	資源・エネルギー統計年報	Production	kl
対象外	Fossil fuel	211101	182111000	lubricating oil (not depend on petroleum refinery)	L	工業統計	Shipment	kl
対象外	Fossil fuel	212102	184111000	asphalt paving admixture and tar paving admixture (including asphalt block and tar block)	円	工業統計	Shipment	百万円
PUR	Fossil fuel							
propylene glycol	Fossil fuel							
formaldehyd	Fossil fuel							

表 II.4.2(2)-h 対象物質の選定(手順 f)

Target material in van del Voet et al.(2013)	Type of material	IO code	IDEA code	IDEA goods name	IDEA unit	Statistical data source	Production or shipment	Unit in statistics
raw iron	Metallic minerals	261103	231115201	crude steel, Linz-Donawitz converter process	kg	鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報 資源統計年報	Production	ton
cast iron	Metallic minerals	261104	231115202	crude steel, electric furnace converter process	kg	鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報 資源統計年報	Production	ton
steel (light alloyed)	Metallic minerals							
steel (not alloyed)	Metallic minerals							
steel (high alloyed)	Metallic minerals							
electro steel	Metallic minerals							
blow steel	Metallic minerals							
copper	Metallic minerals	271101	241112000	electrolytic copper, allocation standard is pure amount mass	kg	鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報 資源統計年報	Production	ton
zinc	Metallic minerals	271102	241211000	zinc ingot, allocation standard is market price	kg	鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報 資源統計年報	Production	ton
lead soft	Metallic minerals	271102	241911000	primary lead metal, allocation standard is market price	kg	鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報 資源統計年報	Production	ton
lead hard	Metallic minerals							
対象外	Metallic minerals	271102	242112000	solder and antifriction alloys	円	工業統計	Shipment	百万円
対象外	Metallic minerals	271102	242211000	regenerated zinc and zinc alloys	kg	工業統計	Shipment	ton
aluminium 0% rec.	Metallic minerals							
aluminium 100% rec.	Metallic minerals	271103	242311000	regenerated aluminium and aluminium alloys	kg	工業統計	Shipment	ton
対象外	Metallic minerals	271109	241912000	gold, from ore	kg	鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報 資源統計年報	Production	g
対象外	Metallic minerals	271109	241913301	silver, electrolysis, allocation standard is pure amount mass	kg	鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報 資源統計年報	Production	kg
対象外	Metallic minerals	271109	241929000	miscellaneous non-ferrous metals by primary smelting and refining	円	工業統計	Shipment	百万円
対象外	Metallic minerals	271109	242911000	regenerated gold and gold alloys	kg	工業統計	Shipment	g
対象外	Metallic minerals	271109	242913000	regenerated copper and copper alloys	kg	工業統計	Shipment	ton
対象外	Metallic minerals	271109	242919000	miscellaneous regenerated non-ferrous secondary metals and non-ferrous alloys	円	工業統計	Shipment	百万円
chromium	Metallic minerals							
manganese	Metallic minerals							
nickel	Metallic minerals							
palladium	Metallic minerals							
platinum	Metallic minerals							
rhodium	Metallic minerals							
sand (for construction)	Non-metallic minerals	063101	054111000	quarried stone, sand, gravel and cobble-stone	kg	骨材需給表	Shipment	kg
gravel (for concrete)	Non-metallic minerals	063102	228111000	crushed stones	円	骨材需給表	Production	kg
NaOH	Non-metallic minerals	202101	172111000	sodium hydroxide, 97%	kg	化学工業統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	202101	172119000	miscellaneous soda industrial products	kg	工業統計	Shipment	円
対象外	Non-metallic minerals	202901	172212000	titanium oxide	kg	化学工業統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	202901	172215000	carbon black	kg	化学工業統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	202901	172219000	miscellaneous inorganic pigments	kg	工業統計	Shipment	円

表 II.4.2(2)-i 対象物質の選定(手順f)

Target material in van del Voet et al.(2013)	Type of material	IO code	IDEA code	IDEA goods name	IDEA unit	Statistical data source	Production or shipment	Unit in statistics
対象外	Non-metallic minerals	202902	172311000	oxygen gas (including liquefied oxygen)	Nm3	化学工業統計年報	Production	m3
hydrogen	Non-metallic minerals	202902	172312000	hydrogen gas	Nm3	化学工業統計年報	Production	m3
対象外	Non-metallic minerals	202902	172313000	dissolved acetylene	kg	化学工業統計年報	Production	ton
対象外	Non-metallic minerals	202902	172315000	nitrogen	Nm3	化学工業統計年報	Production	m3
対象外	Non-metallic minerals	202902	172319000	miscellaneous compressed gases and liquefied gases	Nm3	工業統計	Shipment	kg
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251101	221111000	sheet glass	2mm換算箱	工業統計	Shipment	2mm換算箱
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251101	221113000	polished plate glass	2mm換算箱	窯業建材統計年報	Production	2mm換算箱
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251101	221211000	laminated glass	m2	窯業建材統計年報	Production	m2
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251101	221212000	reinforced glass	m2	窯業建材統計年報	Production	m2
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251101	221219000	miscellaneous flat glass	m2	窯業建材統計年報	Production	m2
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251102	221711000	glass fiber (tow) and its products	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251102	221712000	glass fiber (line) and its products	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251102	221713000	optical fiber strands	円	工業統計	Shipment	円
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251109	221311000	optical glass materials (including ones for glasses)	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251109	221319000	miscellaneous glass processing materials	円	工業統計	Shipment	円
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251109	221411000	glass containers for drinks	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
glass (coated) (not coated)	Non-metallic minerals	251109	221919000	miscellaneous glass and its products which are not elsewhere classified	円	工業統計	Shipment	円
cement	Non-metallic minerals	252101	222111000	portland cement	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
cement	Non-metallic minerals	252101	222119000	miscellaneous hydraulic cement	kg	工業統計	Shipment	円
ceramic	Non-metallic minerals	253101	224111000	sanitary pottery	円	工業統計	Shipment	円
ceramic	Non-metallic minerals	253101	224211000	Japanese-style ceramic tableware	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
ceramic	Non-metallic minerals	253101	224411000	insulators and insulating tubes	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
ceramic	Non-metallic minerals	253101	224413000	fine ceramic IC boards and fine ceramic IC packages (sintered and unmachined)	個	窯業建材統計年報	Production	個
ceramic	Non-metallic minerals	253101	224419000	miscellaneous pottery for electricity	円	工業統計	Shipment	円
ceramic	Non-metallic minerals	253101	224511000	scientific and industrial ceramic products, except industrial fine ceramics	円	工業統計	Shipment	円
ceramic	Non-metallic minerals	253101	224512000	scientific and industrial fine ceramics (sintered and unmachined)	円	工業統計	Shipment	円
対象外	Non-metallic minerals	259101	225119000	miscellaneous fire bricks	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	259101	225219000	miscellaneous unshaped refractories	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	259109	223112000	glazed and salt-glazed roofing tile	個	全陶連	Shipment	個
gypsum	Non-metallic minerals	259109	229612000	gypsum board and its products	m2	窯業建材統計年報	Production	m2
対象外	Non-metallic minerals	259901	226111000	artificial graphite electrodes	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	259901	226211000	carbon fiber	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	259901	226913000	special carbon products	kg	窯業建材統計年報	Production	kg
対象外	Non-metallic minerals	259901	226919000	miscellaneous carbon and graphite products which are not elsewhere classified	円	工業統計	Shipment	円
対象外	Non-metallic minerals	259902	227111000	natural abrasive grains and artificial abrasives	円	工業統計	Shipment	円
対象外	Non-metallic minerals	259902	227919000	miscellaneous abrasive products	円	工業統計	Shipment	円
対象外	Non-metallic minerals	259909	228311000	cut-stones and stoneware products	円	工業統計	Shipment	円
対象外	Non-metallic minerals	259909	228511000	minerals and stones crushed or otherwise treated	円	工業統計	Shipment	円
対象外	Non-metallic minerals	259909	229411000	rock wool, slag wool and its products	kg	工業統計	Shipment	kg
CaO	Non-metallic minerals	259909	229711000	raw lime	kg	化学工業統計年報	Production	kg

表 II.4.2(2)-j 対象物質の選定(手順 f)

Target material in van der Voet et al.(2013)	Type of material	IO code	IDEA code	IDEA goods name	IDEA unit	Statistical data source	Production or shipment	Unit in statistics
gypsum (raw stone)	Non-metallic minerals	259909	229919000	miscellaneous ceramic, stone and clay products which are not elsewhere classified	円	工業統計	Shipment	円
clay and loam	Non-metallic minerals							
concrete	Non-metallic minerals							
limestone, dolomite	Non-metallic minerals							
rockwool	Non-metallic minerals							
NaCl	Non-metallic minerals							
chlorine	Non-metallic minerals							
HNO3	Non-metallic minerals							
H3PO4	Non-metallic minerals							
HF	Non-metallic minerals							
H2SO4	Non-metallic minerals							
NH3	Non-metallic minerals							
Al2O3	Non-metallic minerals							
FeSO4	Non-metallic minerals							
sulphur	Non-metallic minerals							
HCl	Non-metallic minerals							
Ca(OH)2	Non-metallic minerals							
barite	Non-metallic minerals							
bentonite	Non-metallic minerals							
zeolite	Non-metallic minerals							
refrigerants	Non-metallic minerals							
anorganic chemicals	Non-metallic minerals							
phosphate rock	Non-metallic minerals							
K - salts	Non-metallic minerals							
kieserite	Non-metallic minerals							
NH3NO3	Non-metallic minerals							
K2SO4	Non-metallic minerals							
(NH4)2SO4	Non-metallic minerals							
Ca(NO3)2	Non-metallic minerals							
K(NO3)2	Non-metallic minerals							
CaNO3NH3 (CAN)	Non-metallic minerals							
urea	Non-metallic minerals							
urea - NH3NO3 (UAN)	Non-metallic minerals							
superphosphate	Non-metallic minerals							
tripelsuperphosphate	Non-metallic minerals							
PK - fertiliser	Non-metallic minerals							
ammonium phosphates	Non-metallic minerals							
NPK - fertiliser (2 vars)	Non-metallic minerals							
pesticides (Dutch profile)	Non-metallic minerals							
soda	Non-metallic minerals							
water (decarbonated)								
water (demineralised)								

表 II.4.2(2)-k 対象物質の選定結果

	既存研究(van del Voet et al., 2003)における対象物質数	本研究における対象物質数		
		平成27年度	平成28年度	平成29年度
生物資源	5	46	79	80
化石資源	9	37	74	71
金属鉱物資源	19	15	15	14
非金属鉱物資源	58	22	44	48
合計	91	120	212	213

生物資源に関わる物質について既存研究(van del Voet et al., 2003)と比較すると、agricultural crops & grass、animal products、wood (board)、paper 等が細分化されたことのほか、水産物が対象になること等によって、本研究の対象物質が拡大している。また、木材製品・紙製品の分類が細分化されたこと等により対象物質が拡大した。なお、手順bにおいて部門間の濃密な関係が見られたことから、手順aで同定された部門のうち9部門を対象外としている(表 II.4.2(2)-b および表 II.4.2(2)-c 参照)。

化石資源に関わる物質について既存研究(van del Voet et al., 2003)と比較すると、エネルギーとして利用される石油製品(ガソリン、灯油、軽油、重油等)や様々な石油化学製品が対象になることによって、本研究の対象物質が拡大している。特に、既存研究(van del Voet et al., 2003)では、エネルギーとして利用される石油製品を対象としていないが、日本全体の環境効率を推計する上では重要な物質であり、対象物質に含まれるべきものである。また、主要なプラスチック樹脂以外の様々な石油化学製品が対象になったこと等により、対象物質が大幅に拡大している。

金属鉱物資源に関わる物質について既存研究(van del Voet et al., 2003)と比較すると、生産額の小さい金属が対象外となったこと、いくつかの金属について日本の統計等で通常用いられる分類と異なる分類がなされていること、IDEAversion2 で計算ができない対象物質が含まれていること等から、対象物質数としては本研究がやや少なくなっている。ただし、金、銀等、本研究で追加した物質もある。

非金属鉱物資源に関わる物質について既存研究(van del Voet et al., 2003)と比較すると、glass (coated) (not coated)や ceramic が細分化され、新たな物質が対象となる一方、生産額が小さいことから多くの化学物質が対象外となり、本研究の対象物質が少なくなっている。なお、既存研究(van del Voet et al., 2003)において、「砂」「砂利・碎石」「セメント」「コンクリート」がいずれも対象となっていたが、前者3つは「コンクリート」の原材料であることから、環境影響が重複計上されていたと考えられる。本研究では、「生コンクリート」や「セメント製品」を対象外としている(表 II.4.2(2)-c 参照)。なお、生産額が小さいために対象から外れた化学物質には環境影響の大きなものが含まれている可能性があり、引き続き検討を行っていく必要がある。

以上、本研究では対象物質選定の論理性・網羅性を向上させる方法を構築した。その結果、既存研究(van del Voet et al., 2003)と比べ対象物質の総数は大幅に増加したが、対象から外れた物質もあった。上述した手順d、eは対象物質数をデータの収集が実施可能な200程度にするためのものであり、統計データの整備が進めば対象物質数を拡張することは可能である。

(3) 対象物質 1 単位あたりの環境影響の試算

4.2(2)において選定した物質について、後述する 4.3(2)の方法で、1 単位あたりの環境影響を試算した。

生物資源

生物資源に関わる対象物質 1 単位あたりの環境影響を推計した結果を図 II.4.2(3)-a～図 II.4.2(3)-d、環境影響の内訳を図 II.4.2(3)-e に示す。農業・畜産・漁業製品では(図 II.4.2(3)-a、図 II.4.2(3)-b)、全体的として、畜産、農業のうち穀物・果物類の値が大きく、次いで野菜類、そして漁業が続く傾向が見られる。個別にみると、農業・畜産製品では(図 II.4.2(3)-a)、「その他豆類」、「小麦」、「肉用牛」、「しいたけ (人工栽培)」、「肉鶏」の環境影響が大きい。漁業では(図 II.4.2(3)-b)、「まぐろ類」「たい類」「かつお類」「えび類」「いか類」などが大きい。木材製品では(図 II.4.2(3)-c)、単位が異なるものが混在しているため単純な比較はできないが、 m^3 単位あたりの環境影響では、「ひき角類」「ひき割類」「箱財・荷造用仕組材」「普通合板」と製材類が大きい値を示している。「集成材」や「特殊合板」の方が製材類よりも加工度が高いが、木材の消費量が少ないため、資源消費の領域で環境影響が小さくなり、製材類よりも小さな環境影響となっている。一方、土地利用の環境影響は、「普通合板」「特殊合板」「床板」「集成材」において、工場の敷地が影響してか相対的に大きくなっている。紙製品では(図 II.4.2(3)-d)、紙類の環境影響が板紙類の環境影響よりも大きい。環境影響の内訳を見ると(図 II.4.2(3)-e)、各物質グループで、大きな割合を示す影響領域が大きく異なっている。農業・畜産製品は、全体的に土地利用、地球温暖化、都市域大気汚染、中でも土地利用の環境影響が大きいのに対して、漁業製品は、船舶のエネルギー消費に関わる地球温暖化、都市域大気汚染の環境影響が大きい。また、木材製品は、資源消費で環境影響のほとんどを占め、紙製品では、地球温暖化、都市域大気汚染につづき、土地利用、資源消費、廃棄物の環境影響が大きな割合を占めている。木材製品よりも紙製品の方が加工度が高くエネルギーを消費するためである。

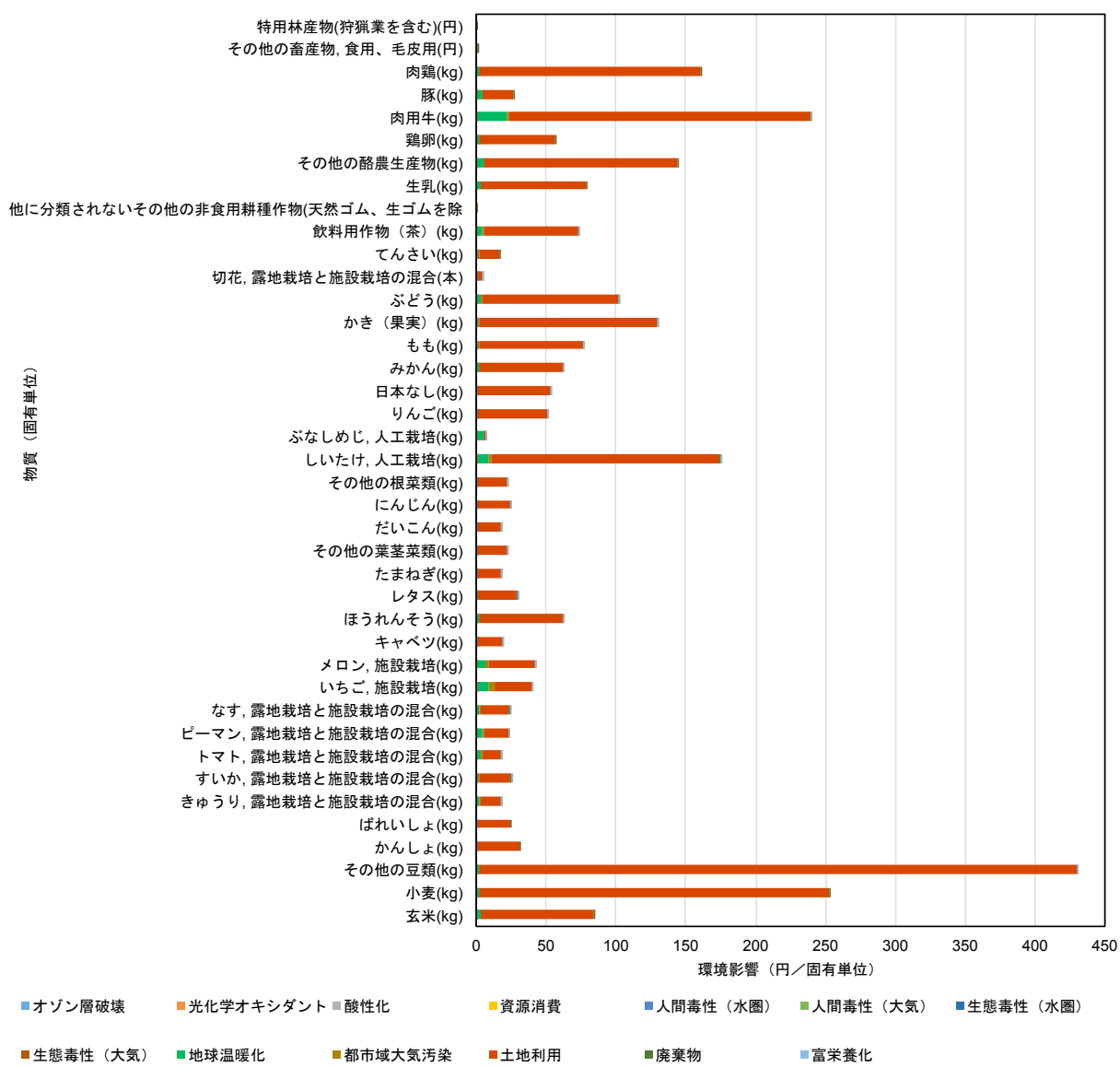
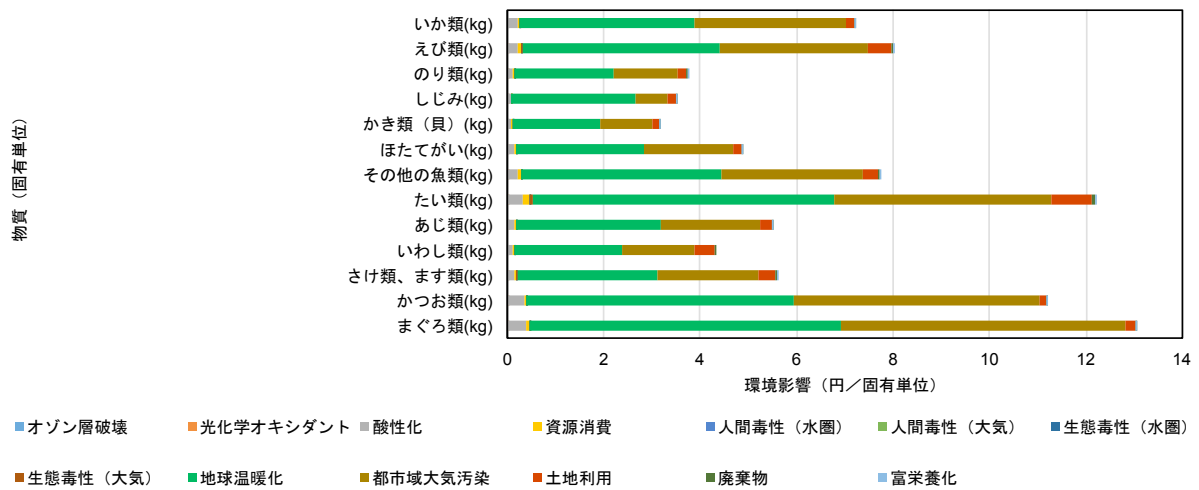
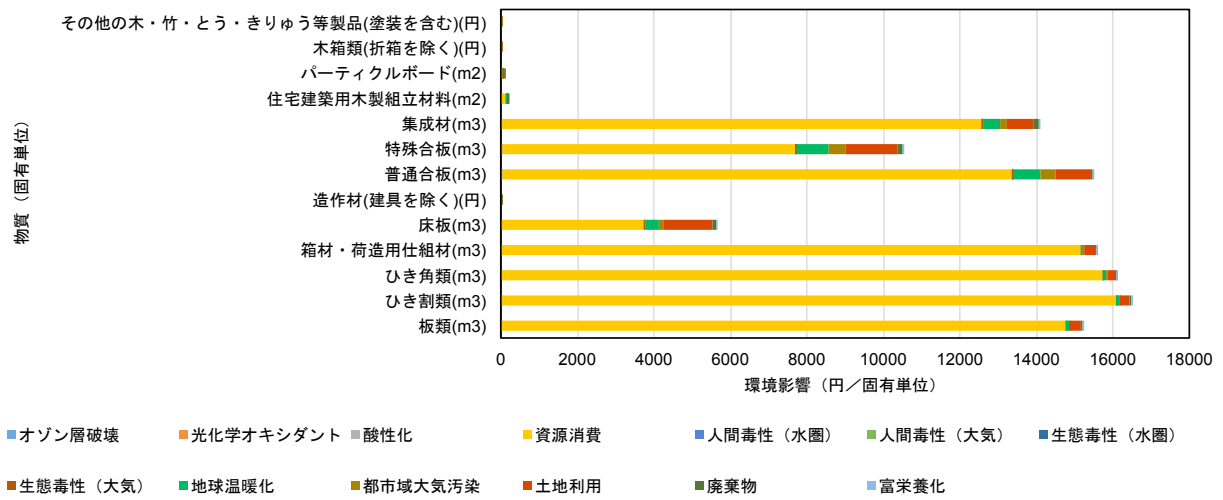


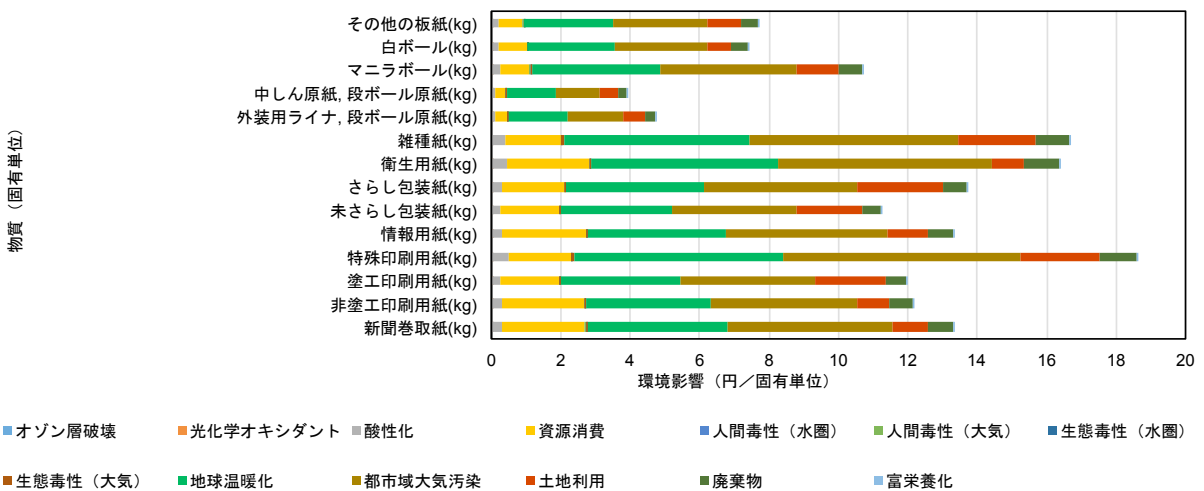
図 II.4.2(3)-a 対象物質 1 単位あたりの環境影響(生物資源/農業・畜産製品)



図II.4.2(3)-b 対象物質1 単位あたりの環境影響(生物資源/漁業製品)



図II.4.2(3)-c 対象物質1 単位あたりの環境影響(生物資源/木材製品)



図II.4.2(3)-d 対象物質1 単位あたりの環境影響(生物資源/紙製品)

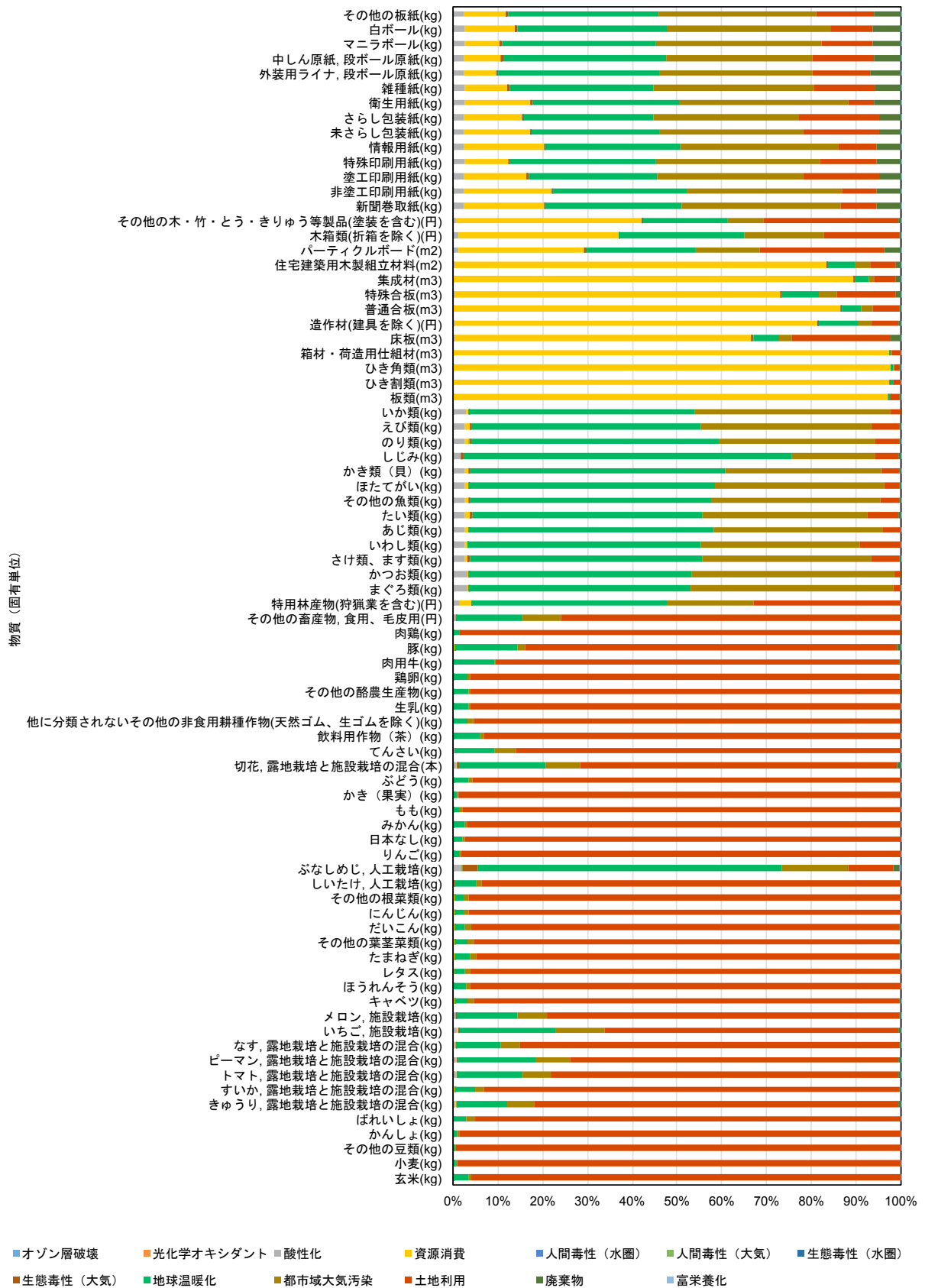
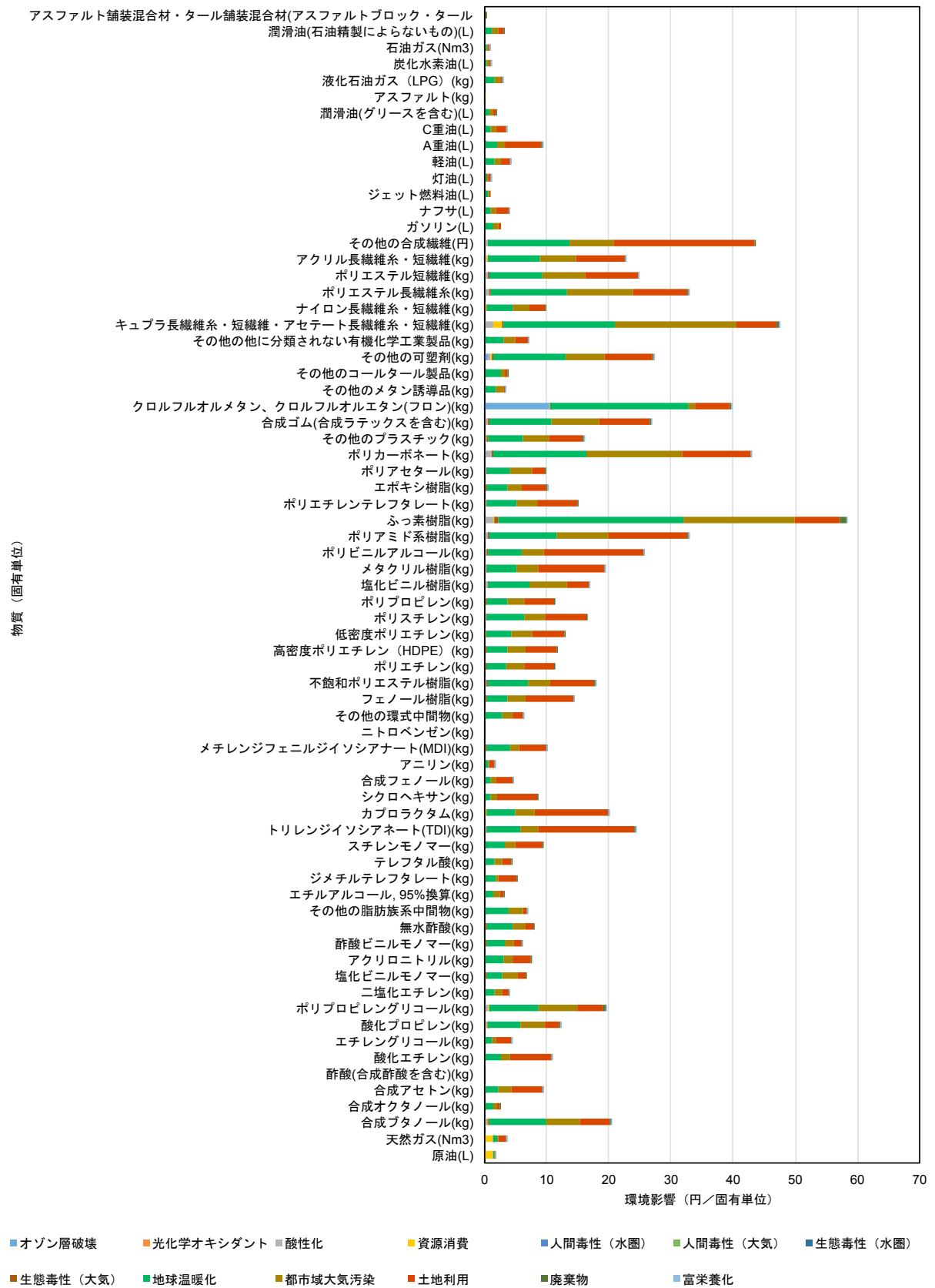


図 II.4.2(3)-e 対象物質 1 単位あたりの環境影響の内訳(生物資源/農業・畜産・漁業製品)

化石資源

化石資源に関わる対象物質 1 単位あたりの環境影響を試算した結果を図 II.4.2(3)-f、環境影響の内訳を図 II.4.2(3)-g に示す。1kg あたりで比較できる物質について見ると(図 II.4.2(3)-f)、「ふっ素樹脂」「キュプラ長繊維糸・短繊維・アセテート長繊維糸・短繊維」や「その他の合成繊維」「ポリカーボネート」「クロルフルオロメタン、クロルフルオロエタン」が大きい。単位は異なるものの石油製品「ガソリン」「ナフサ」「ジェット燃料」「灯油」「軽油」「重油」などは、一般的な比重を想定した場合、全体と比較して小さい値となっている。一部の製品を除けば、単位あたり環境影響の大きさは、おおよそ、繊維類、プラスチック類、有機化学製品、石油製品類(一般的な比重を想定した場合)の順となる。また、環境影響の内訳を見ると(図 II.4.2(3)-g)、全体的に土地利用、地球温暖化、都市域大気汚染の影響が大きい。割合としては小さいながらも「酸性化」の影響も全体的に確認できる。また、一部の製品には、「オゾン層破壊」の影響もある。また、「原油」「天然ガス」などについては、「資源消費」の割合も大きいことが特徴である。



図II.4.2(3)-f 対象物質 1 単位あたりの環境影響(化石資源)

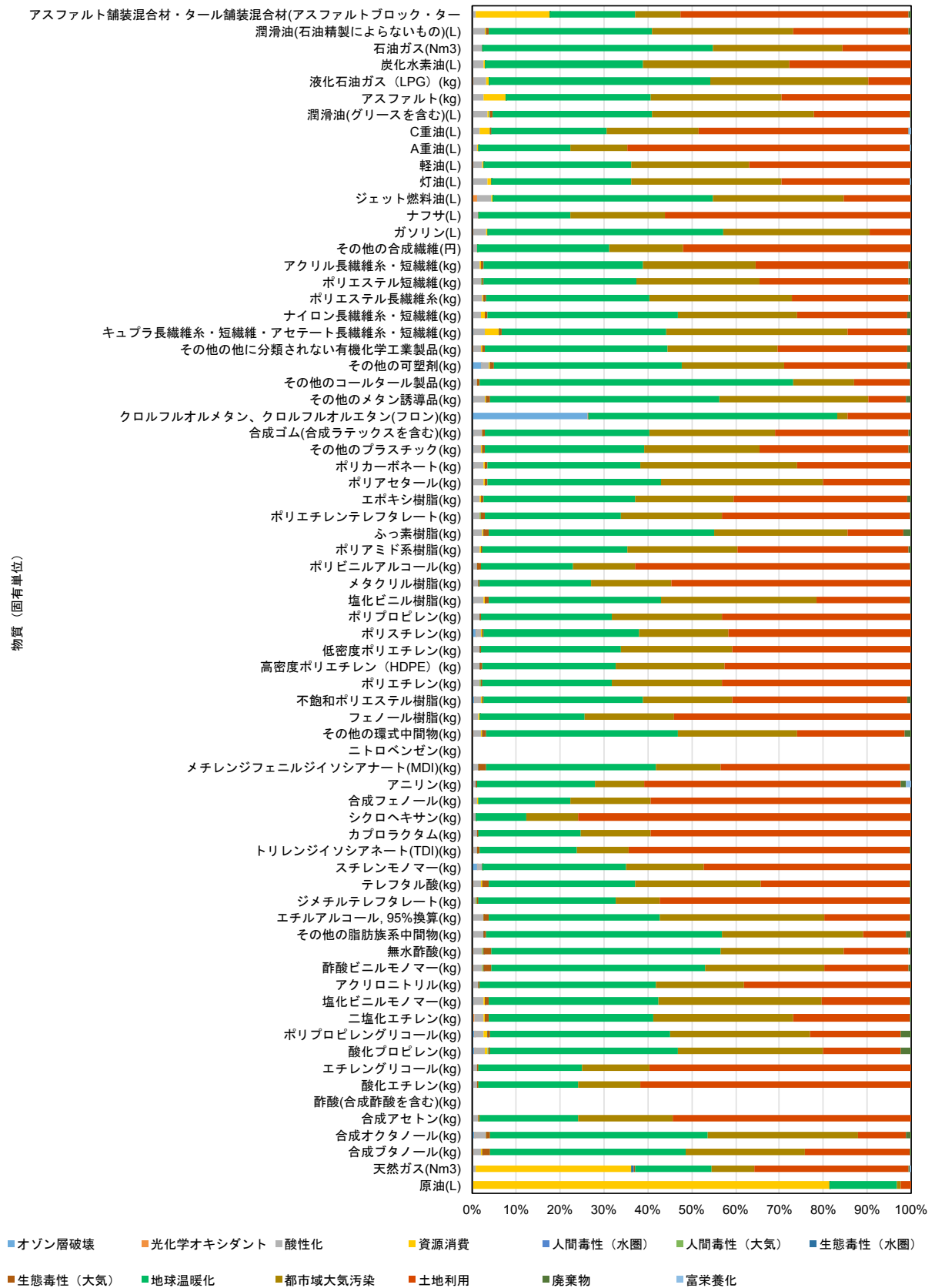
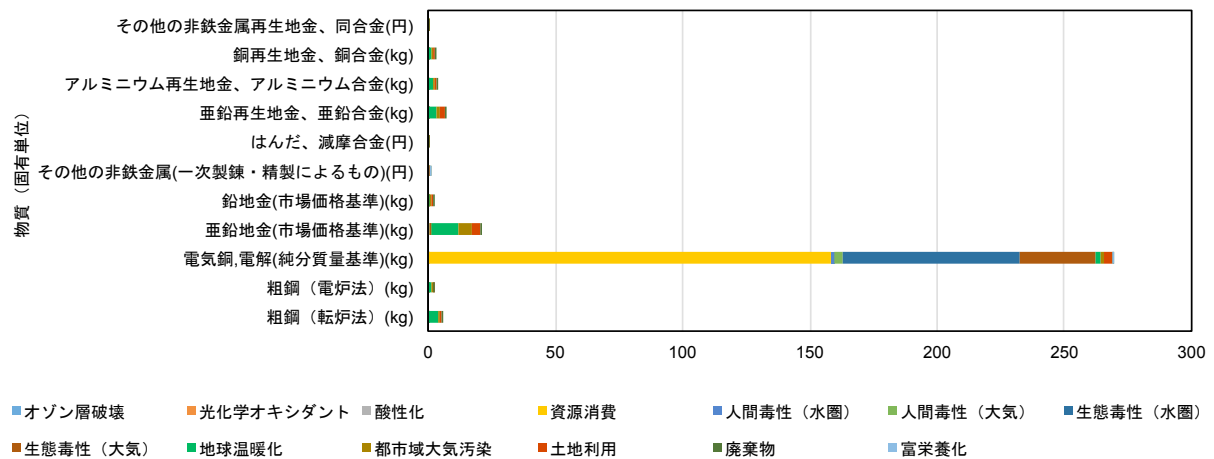
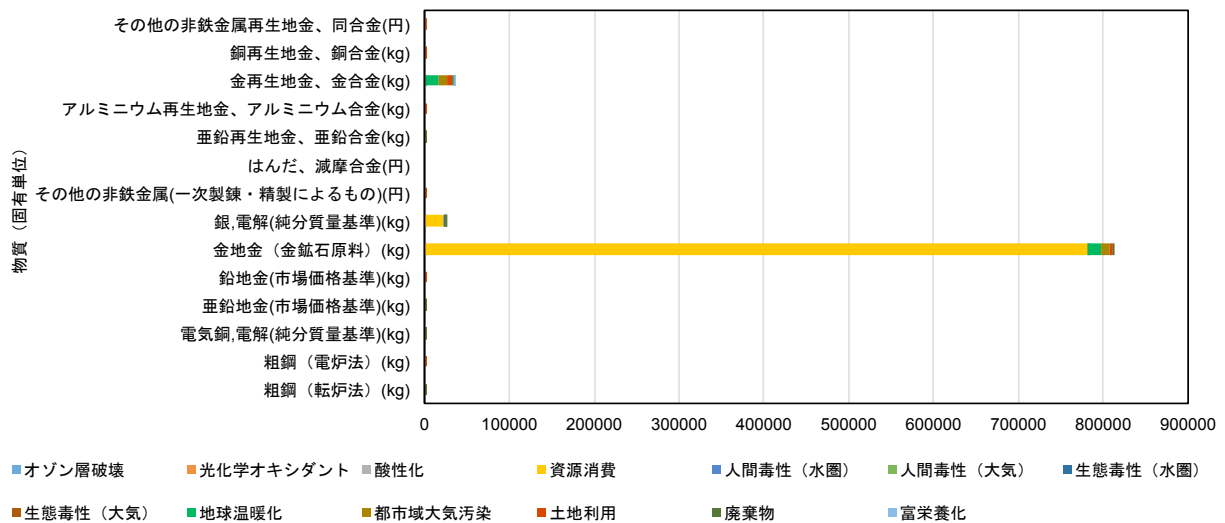


図 II.4.2(3)-g 対象物質 1 単位あたりの環境影響の内訳(化石資源)

金属鉱物資源

金属鉱物資源に関わる対象物質1単位あたりの環境影響を推計した結果を図II.4.2(3)-h、環境影響の内訳を図II.4.2(3)-iに示す。重量単位で見ると(図II.4.2(3)-h)、「金地金」が圧倒的に大きく、それに「金再生地金」「銀」が続いている。次いで、「電気銅」、「亜鉛地金」となるが、物質間の差が他の分野と比較しても顕著に大きい。また、環境影響の内訳を見ると(図II.4.2(3)-i)、「金地金」「銀」「電気銅」「はんだ」については、資源消費が大きな割合を占め、「金地金」「銀」については、資源消費がその影響のほとんどを占めている。資源消費は電気銅においても比較的大きな割合を占める。その他については、特に地球温暖化、土地利用、都市域大気汚染が大きな割合を占め、次いで生態毒性(大気)、酸性化の影響が確認できる。「電気銅」については、他と比較して生態毒性(水圏)と生態毒性(大気)の割合が大きい。



図II.4.2(3)-h 対象物質1単位あたりの環境影響(金属鉱物資源)

注：上図は、金属鉱物資源に関わる対象物質すべて、下図は、金地金・銀・金再生地金を除いて表示したもの。

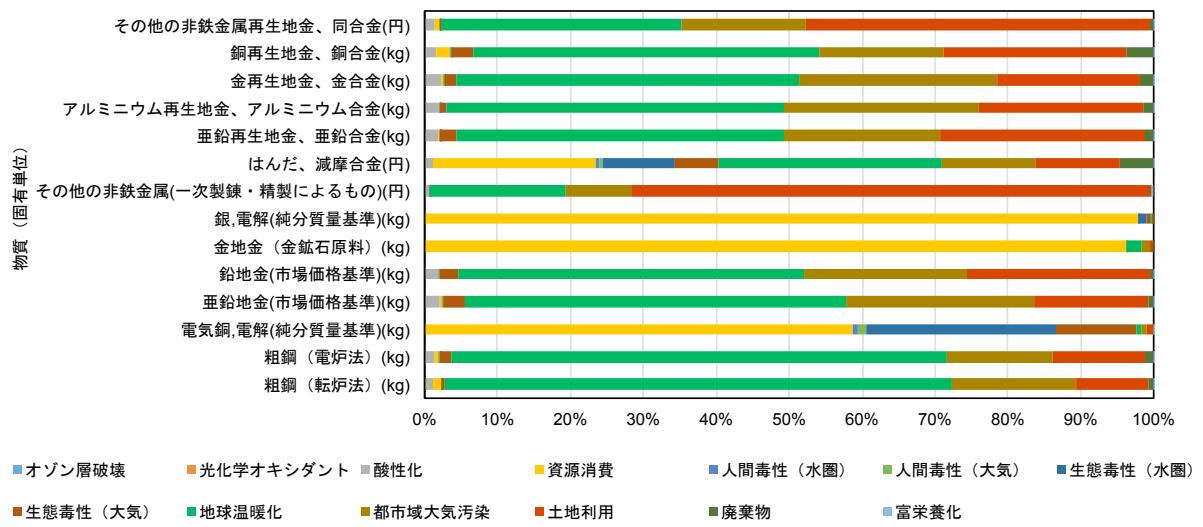


図 II.4.2(3)-i 対象物質 1 単位あたりの環境影響の内訳(金属鉱物資源)

非金属鉱物資源

非金属鉱物資源に関わる対象物質 1 単位あたりの環境影響を試算した結果を図 II.4.2(3)j、環境影響の内訳を図 II.4.2(3)k に示す。単位が異なるものが混在するため直接比較はできないが、1kg あたりで比較できる環境影響で見ると(図 II.4.2(3)j)、「炭素繊維」「酸化チタン」「溶解アセチレン」「光学ガラス素地」「特殊炭素製品」が大きい。また、環境影響の内訳を見ると(図 II.4.2(3)k)、全体的に地球温暖化、都市域大気汚染、土地利用、廃棄物、資源消費の影響が大きくなっており、ガラス製品や窯業・土石製品については、他と比較して廃棄物の影響が大きくなっている。「採石・砂・砂利・玉石」「碎石」「酸化チタン」などは資源消費の割合が大きい。

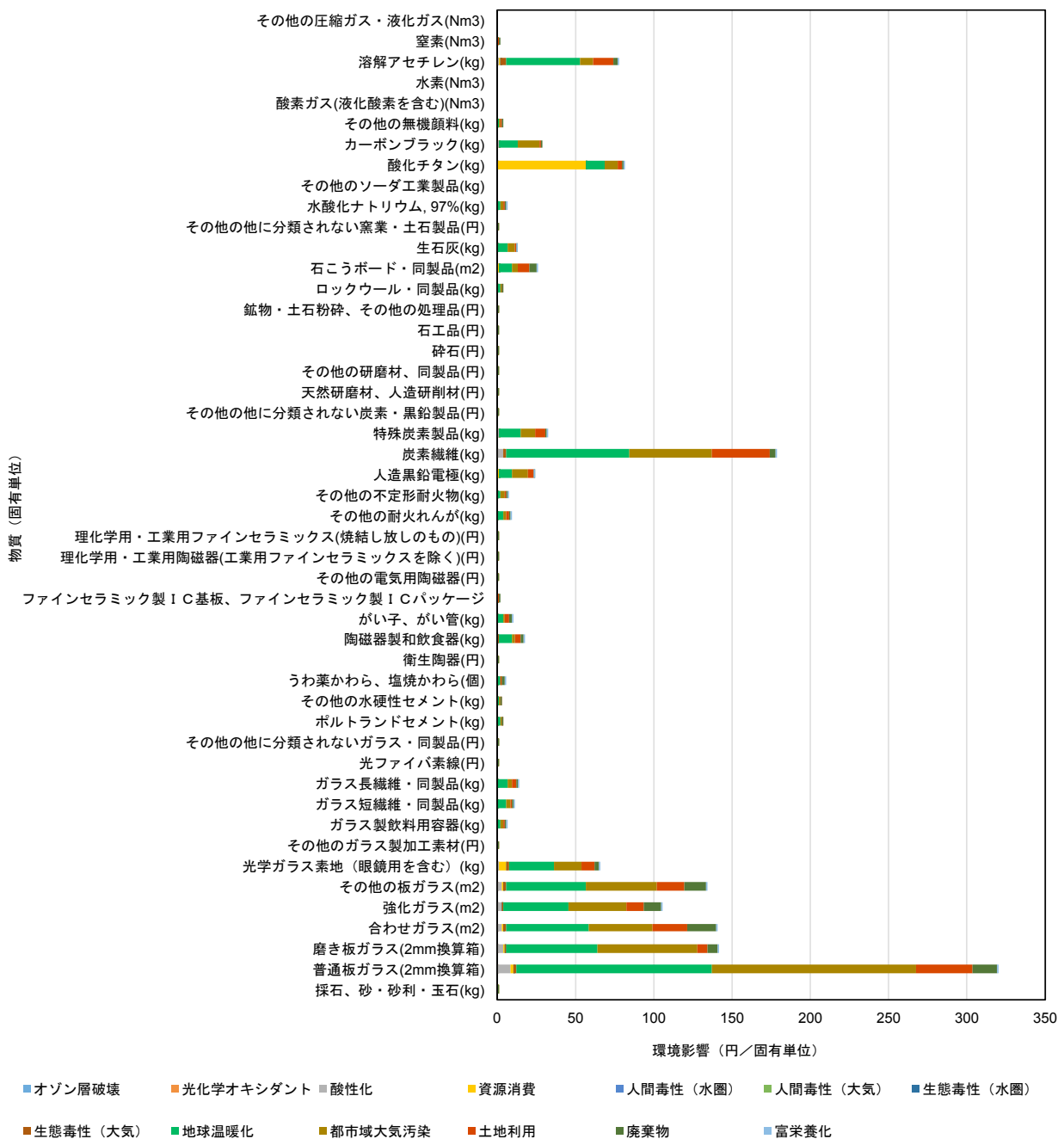


図 II.4.2(3)j 対象物質 1 単位あたりの環境影響(非金属鉱物資源)

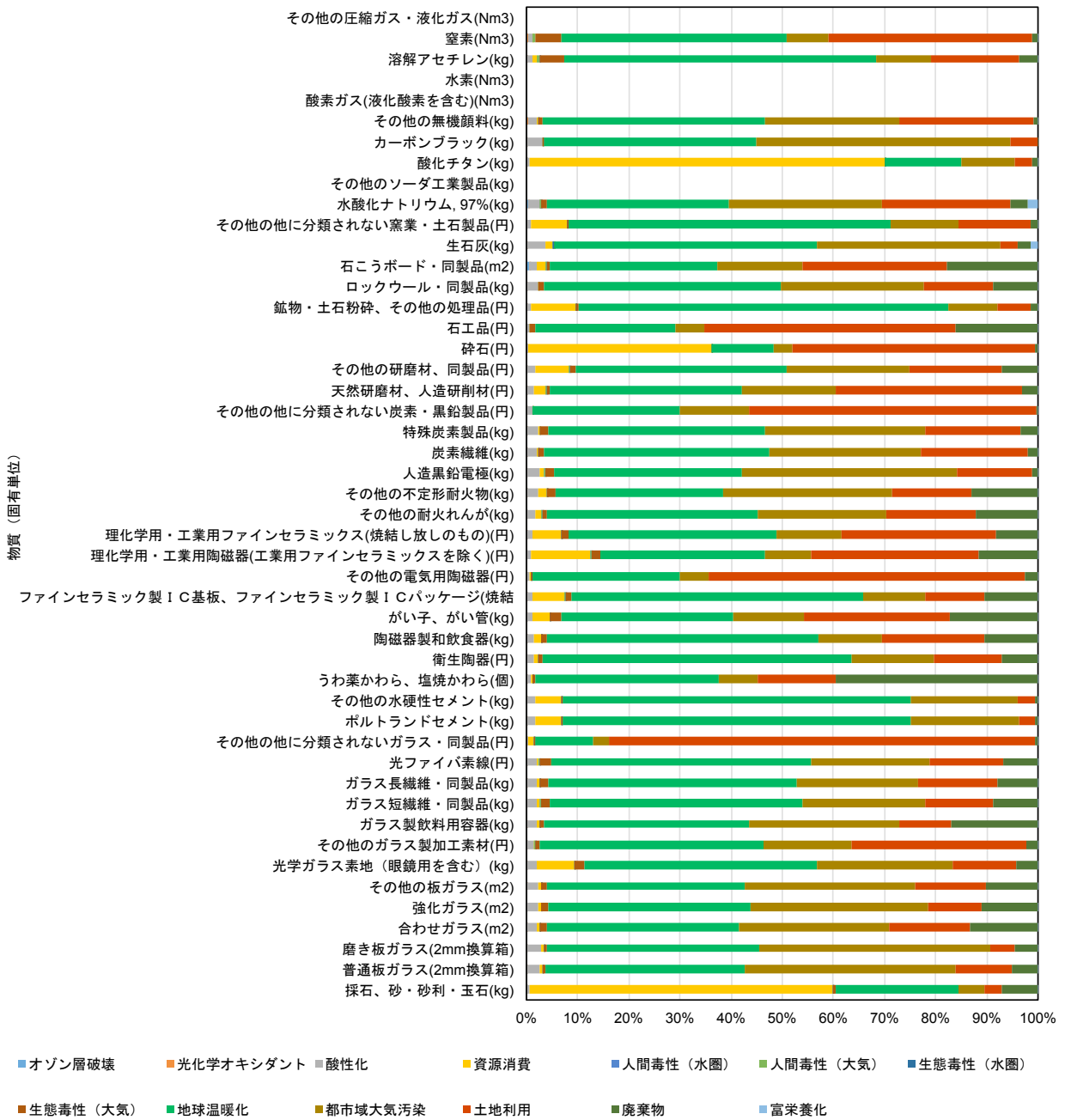


図 II.4.2(3)-k 対象物質 1 単位あたりの環境影響の内訳(非金属鉱物資源)

4.3 日本の環境効率の時系列推計

(1) 日本の物質利用データの整備

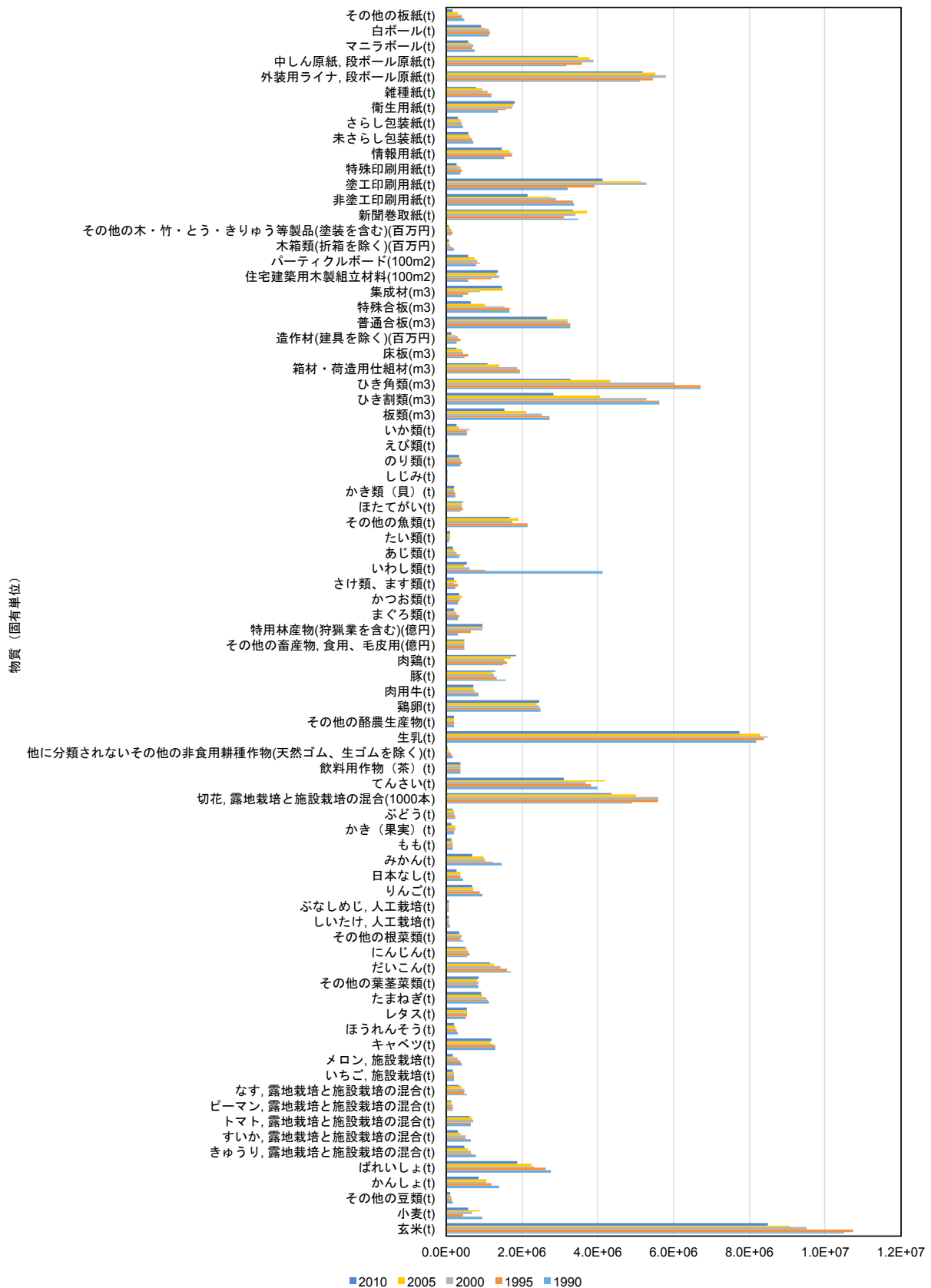
4.2(2)において選定した対象物質について、表 II.4.2(2)-d～表 II.4.2(2)-j に整理した統計データソースをもとに、1990～2010年の生産量または出荷量のデータを整備した。なお、ある年の上流側の環境影響を評価する上では生産量、下流側の環境影響を評価する上では出荷量が適当であるが、ここでは両者はほぼ同じと仮定し、生産量のデータを優先的に整備した。生産量のデータが得られない場合に、出荷量のデータを整備した。

生物資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-a に示す。おおそ時系列でデータを整備できたが、「その他の豆類」「ぶなしめじ、人工栽培」「他に分類されないその他の非食用耕種作物」「その他の酪農生産物」「鶏卵」「肉用牛」「肉鶏」「その他の畜産物、食用、毛皮用」「板類」「ひき割類」「ひき角類」「箱材・荷造用仕組材」「普通合板」「特殊合板」などにおいて、一部期間のデータが確認できなかった。農業・畜産製品の生産量・出荷量では、重量単位で得られたデータの中では「玄米」「生乳」等が突出して多く、次いで、「てんさい」「ばれいしょ」、続いて「鶏卵」「肉鶏」「豚」が多くなっている。漁業製品は、「その他の魚類」を除き、農業・畜産製品と比較して小さい値を示した。農業・畜産・漁業製品の生産量・出荷量は、1990～2010年の間、農業についてはやや減少傾向、畜産・漁業については、全体として横ばいか微減している。木材製品は、単位が異なるため比較が難しいが、全体として減少傾向にある。紙製品では、「ダンボール原紙」類、「塗工印刷用紙」類、「新聞巻取紙」が多い。全体として、1990年から2000年にかけて増加し、その後減少に転じている。

化石資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-b に示す。ほぼ時系列でデータを整備できたが、一部期間のデータが欠損している物質も存在した(例えば、「ジメチルテレフタレート」「ジフェニルメタンジイソシアナート(MDI)」「キュブラ長繊維糸・短繊維糸・アセテート長繊維糸・短繊維」「炭化水素油」「潤滑油(石油精製によらないもの)」。ガス関係の生産量・出荷量では、「酸素ガス」や「窒素」、有機化学製品関係の生産量・出荷量では、「二塩化エチレン」「塩化ビニルモノマー」「スチレンモノマー」、プラスチック関係の生産量・出荷量では「ポリプロピレン」「ポリ塩化ビニル」「ポリスチレン」「塩化ビニル樹脂」、「ポリエチレン(低密度、高密度含む)」、石油製品関係の生産・出荷量では「ガソリン」「軽油」「C重油」「アスファルト」「液化石油ガス」等が多くなっている。

金属鉱物資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-c に示す。おおそ時系列でデータを整備できたが、「はんだ、減摩合金」「亜鉛再生地金、亜鉛合金」「アルミニウム再生地金、アルミニウム合金」「金再生地金、金合金」「銅再生地金、銅合金」「その他の非鉄金属再生地金、同合金」など工業統計に記載があるデータについては、一部期間のデータが確認できなかった。また、生産量・出荷量では「粗鋼(転炉法)」「粗鋼(電炉法)」が圧倒的に大きく、次いで「アルミニウム再生地金」「電気銅」となっている。

非金属鉱物資源に関わる対象物質の統計データを図 II.4.3(1)-d に示す。ほぼ時系列でデータを整備できたが、「普通板ガラス」のみが一部期間のデータが確認できなかった。また、生産量・出荷量では、重量単位で確認できるものについては、「採石、砂・砂利・玉石」のが圧倒的に大きく、次いでセメント類が多くなっている。無機化学工業品のうち重量単位で確認できるものについては、「水酸化ナトリウム」が大きい。また、各製品分野のうち「その他の○○製品」となる項目がどの分野においても大きい値を示す傾向にある。



図II.4.3(1)-a 対象物質に関わる統計データ(生物資源)

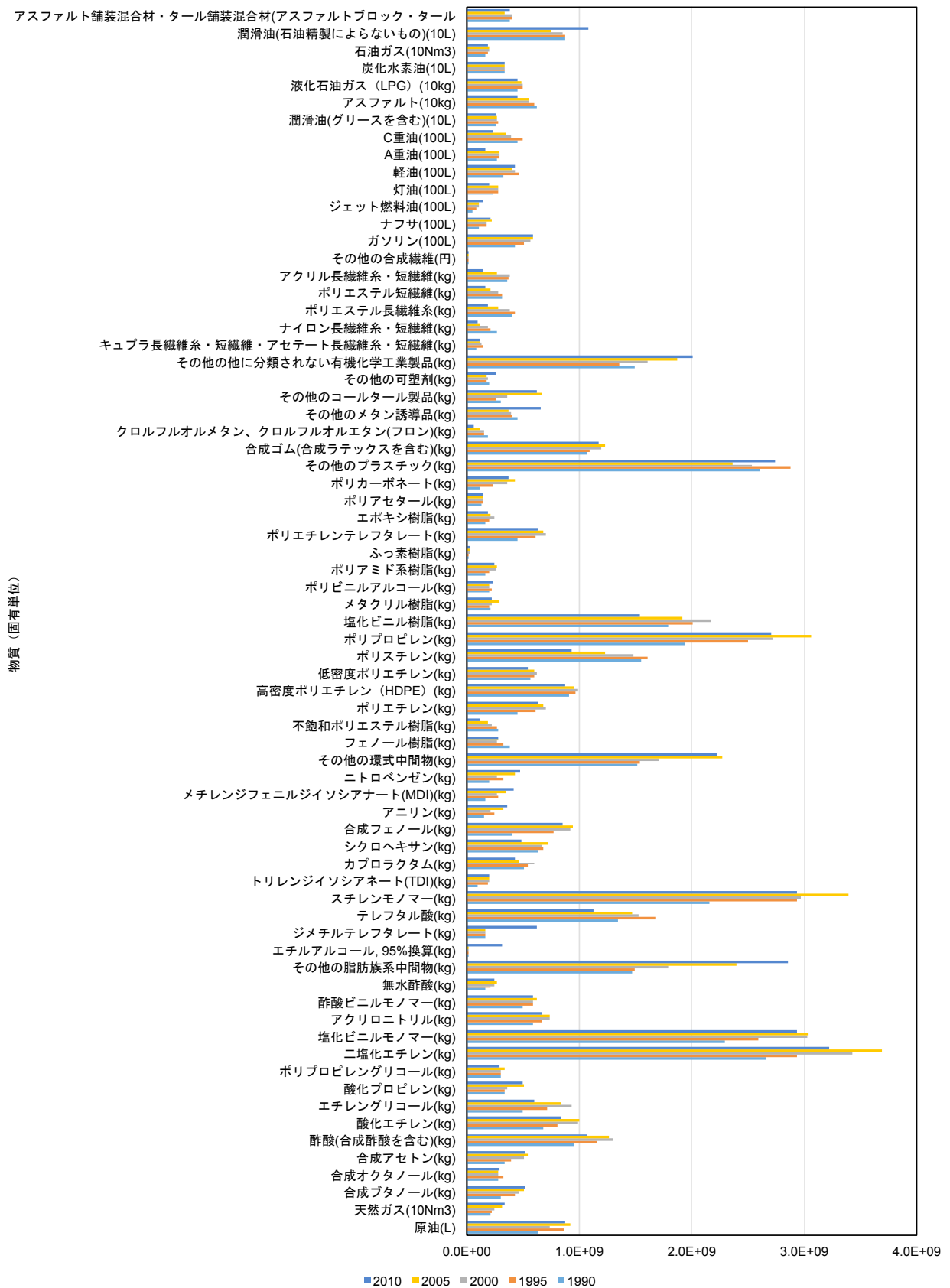


図 II.4.3(1)-b 対象物質に関わる統計データ(化石資源)

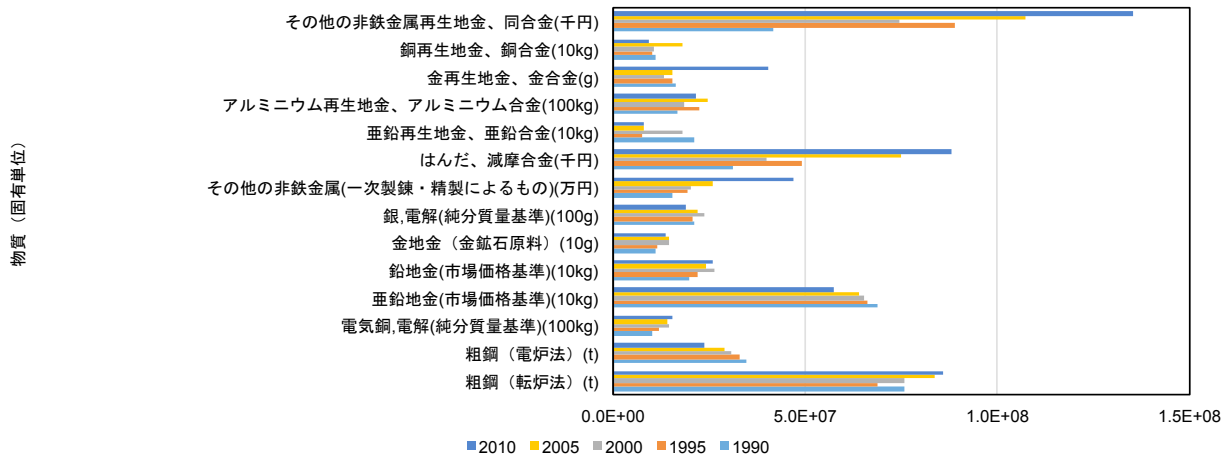


図 II.4.3(1)-c 対象物質に関わる統計データ(金属鉱物資源)

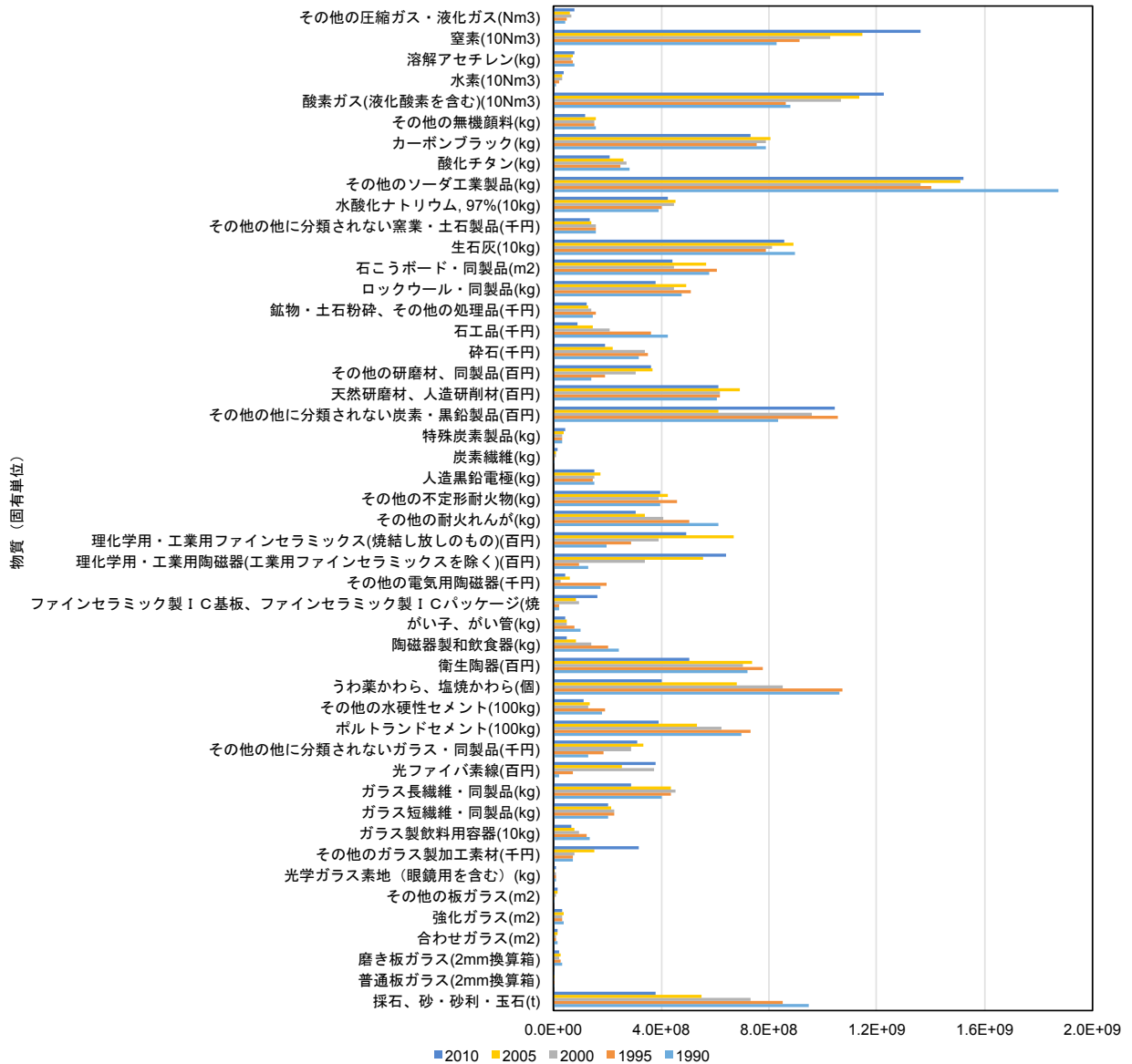


図 II.4.3(1)-d 対象物質に関わる統計データ(非金属鉱物資源)

(2) 日本の物質利用に伴う総環境負荷・環境影響の推計

4.2(3)で試算した対象物質1単位あたりの上流側の環境影響、4.3(1)で整備した統計データ等を用いて、日本の物質利用に伴う環境影響を推計した。また、環境影響と同様の考え方で各対象物質が生み出す付加価値を推計した。対象期間は1990～2010年である。

(a) 推計方法

対象物質の上流側の環境影響を推計するにあたっては、ダブルカウントを考慮する必要がある。選定した対象物質が他の対象物質の原材料となっている場合があるからである。そこで、他の対象物質の原材料となっている対象物質の環境影響は当該物質のそれから控除することとした。具体的には、対象物質1単位あたりの上流側の環境影響ベクトル(UE_{up})に、それぞれIDEAversion2の生産量ベクトル(X)とダブルカウントを控除する係数ベクトル(k)を乗じて、対象物質の上流側の環境影響(E_{up})を算出した。付加価値(V_{up})も同様の考え方であり、対象物質1単位あたりの上流側の付加価値ベクトル(UV_{up})は対象物質の生産において国内で生み出された付加価値を計算したものである。付加価値には、1990年、1995年、2000年、2005年、2011年の産業連関表の値を実質化し用いた(2011年基準)。

$$E_{up} = UE_{up}kX$$

$$V_{up} = UV_{up}kX$$

係数ベクトル(k)を算出するにあたり、IDEAversion2の投入係数行列Aを図II.4.3(2)-aのように4つのブロックに分割した。ここで、 t は対象物質、 o は対象外の財・サービスであり、 A_{tt} は対象物質に対する対象物質の投入係数行列を、 A_{oo} は対象外の財・サービスに対する対象外の財・サービスの投入係数行列を、 A_{to} は対象外の財・サービスに対する対象物質の投入係数行列を表す。このとき、係数ベクトル k は以下の等式より算出される。

$$(Id - k)X = (A_{tt} + A_{to}(I - A_{oo})^{-1}A_{ot})X$$

ここで、 Id は単位ベクトルであり、 $(I - A_{oo})^{-1}$ は、 $I + A_{oo} + A_{oo}^2 + \dots + A_{oo}^{60}$ で算出した。

A_{tt}	A_{to}
A_{ot}	A_{oo}

図II.4.3(2)-a 投入係数行列Aの分割

対象物質の下流側の環境影響を推計するにあたっては、下流側で発生する環境影響の一部を対象物質に割り当てる必要がある。本研究では、下流側のプロセスの投入係数の比によって、そのプロセスで発生する環境影響を上流側の対象物質に割り当てた。この係数(α_{to})は、以下で表される。

$$\alpha_{to} = A_{to}(I - A_{oo})^{-1}$$

この割り当てを繰り返し、対象外の財・サービスの生産プロセスで発生する環境影響(C_o)を下式により対象物質に割り当て、下流側の環境影響ベクトル(E_d)を算出した。

$$E_d = \alpha_{to}diag(C_oX_o^d)$$

ここで、 X_o^d は下流側の対象外の財・サービスの生産量ベクトルであり、下記で算出される。

$$X_o^d = X_o - X_o^{up} = X_o - L_{ot}kX$$

下流側の付加価値ベクトル(V_d)も同様に、対象外の財・サービスの生産プロセスで発生する付加価値ベクトル(D_o)を用いて下記のとおり算出した。

$$V_d = \alpha_{to}diag(D_oX_o^d)$$

上記を用いることにより、対象物質 1 単位あたりの下流側の環境影響ベクトル(UE_d)、付加価値ベクトル(UV_d)を下式のように算出することが可能である。

$$UE_d = E_d/kX$$

$$UV_d = V_d/kX$$

以上をもとに、対象物質 i または全対象物質の環境影響(e_i 、 e_{tot})、付加価値(v_i 、 v_{tot})を算出した。これは、算出した環境影響ベクトルの成分(e_{upi} 、 e_{di})、付加価値ベクトルの成分(v_{upi} 、 v_{di})を合計したものである。4.2(3)で試算した対象物質 1 単位あたりの上流側の環境影響は下記の e_i である。

$$e_i = e_{upi} + e_{di}$$

$$e_{tot} = \sum_i e_i = \sum_i e_{upi} + \sum_i e_{di}$$

$$v_i = v_{upi} + v_{di}$$

$$v_{tot} = \sum_i v_i = \sum_i v_{upi} + \sum_i v_{di}$$

なお、環境影響の統合については、ライフサイクル環境影響評価手法LIME2(Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling ver.2)を用いた。

(b) 環境影響の推計結果

全ての対象物質

まず、全ての対象物質の利用に伴う環境影響の推計結果を図 11.4.3(2)-b～図 11.4.3(2)-e に示す。1990～2010 年における日本の物質利用に伴う総環境影響は、2008 年の経済危機の影響を受けて 2009 年に若干減少したが、全体的には、ほぼ横ばいで推移していると推計された。日本の天然資源等消費量はこの間約 40%減少したが、環境影響の観点からは必ずしも減少の傾向が見られないことが示唆された。

最も大きな環境影響を示した資源の種類は生物資源であり、金属鉱物資源、化石資源、非金属鉱物資源の順となった(図 11.4.3(2)-b、図 11.4.3(2)-c)。生物資源の環境影響は、おおよそ 50%を占め、その割合はやや減少傾向、金属鉱物資源利用の環境影響は微増傾向を示し、全体の約 20%を占める結果となった。化石資源の環境影響は、全体の 15%程度であったものの、2010 年には 20%程度まで増加し、非金属鉱物資源は、全体として占める割合も絶対量についてもやや減少傾向がみられた。この間の天然資源等消費量の大幅な減少は砂利・碎石の減少によるものであるが、これらの非金属鉱物資源の利用による環境影響は小さく、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に直接的に貢献していないことが示された。天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。

環境影響領域別で見ると(図 11.4.3(2)-d、図 11.4.3(2)-e)、全体として、土地利用が最も大きく(50～60%程度)、次いで地球温暖化(約 20%)、資源消費、都市域大気汚染(各 10%程度)となった。対象期間中の内訳については、大きな変化は見られなかった。

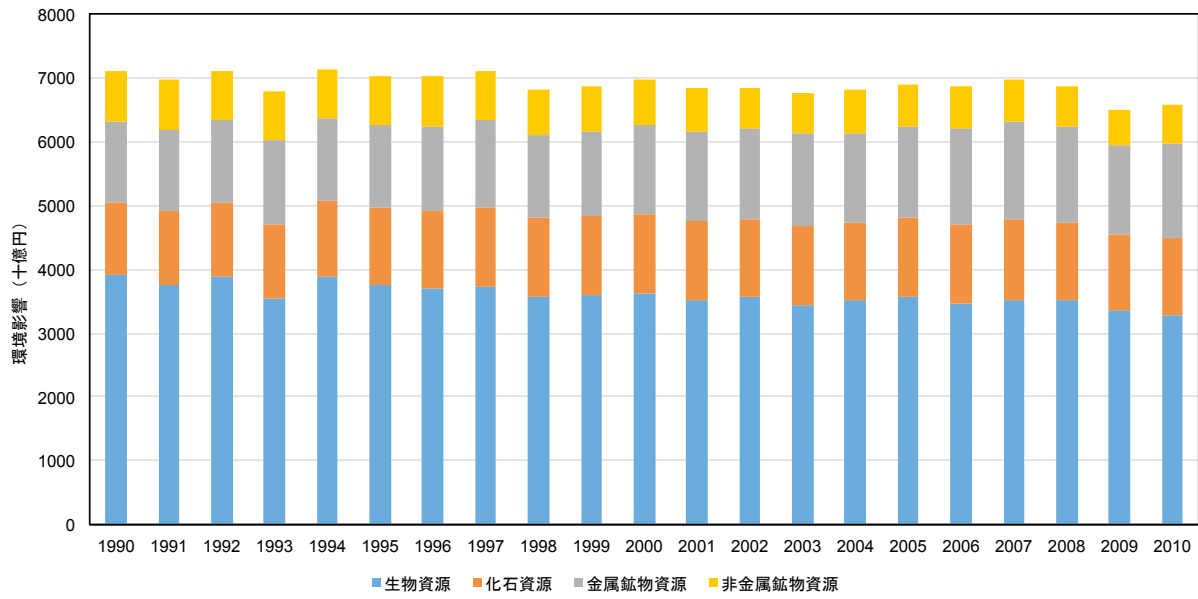


図 II.4.3(2)-b 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(資源別)

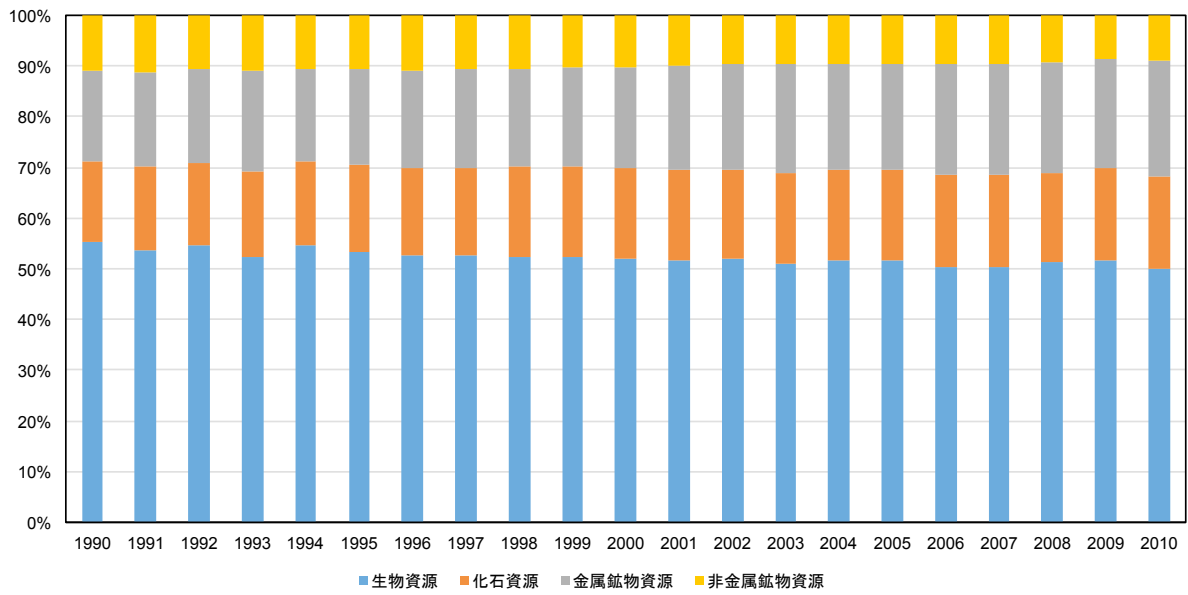


図 II.4.3(2)-c 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(資源別)

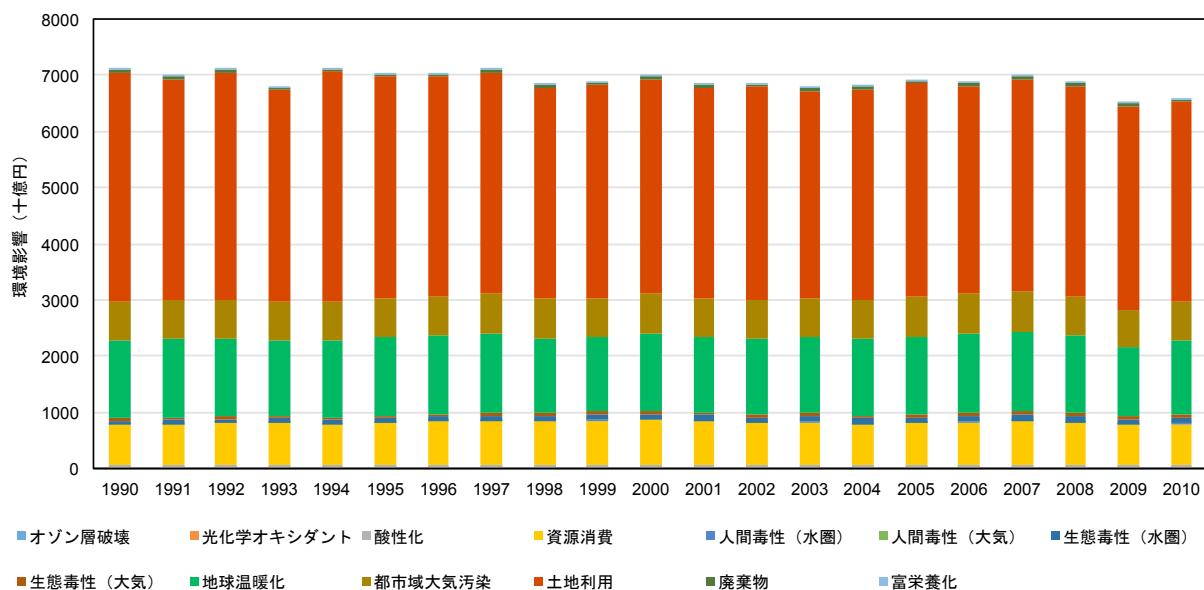


図 II.4.3(2)-d 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(影響領域別)

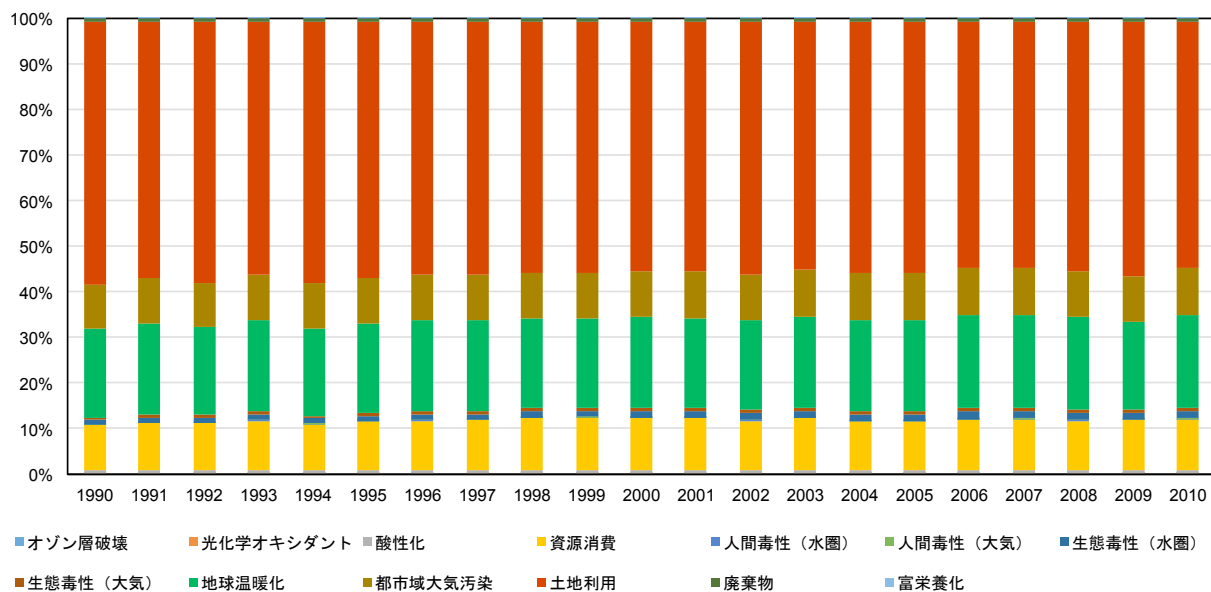


図 II.4.3(2)-e 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(影響領域別)

生物資源

生物資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-f～図 II.4.3(2)-j に示す。上述のとおり、全体的には減少傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-f、図 II.4.3(2)-g)、農業製品は、減少傾向を示しているが、その他製品は横ばい傾向となっている。2010 年では、農業製品・畜産製品がそれぞれ約 40%を占め、次いで、木材製品 8%、紙製品 8%と続き、漁業製品は 1%と小さい割合となった。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-h、図 II.4.3(2)-i)、土地利用が 80%近くを占め、資源消費が約 8%、次いで、地球温暖化、都市域大気汚染などの影響がみられる。その内訳に大きな変化は見られなかった。

個別対象物質別で見ると(II.4.3(2)-j)、農業・畜産・漁業製品については、「玄米」が、単位あたり環境影響が比較的大きいことに加え、生産量も大きいことから、特に顕著な総環境影響の値を示した。次いで「生乳」「肉鶏」「肉用牛」「鶏卵」など畜産製品が大きな値を示し、それに続いて「小麦」も比較的大きい値を示した。その他製品の値はいずれも小さく、1 単位あたりの環境影響における相対的關係とは大きく異なっている。木材製品・紙製品については、「ひき角類」「ひき割類」「新聞巻取紙」「塗工印刷用紙」「普通合板」「非塗工印刷用紙」「衛生用紙」が比較的大きい値を示した。また、上記以外の農業・畜産・漁業製品では、果実・野菜類が、木材・紙製品と同等の総環境影響を示したが、漁業製品は比較的小さい値を示した。これは、農業・畜産・木材・紙製品の原料にかかわる土地利用や資源消費の影響が大きいためと考えられる。逆に、土地利用の影響を受けない漁業が相対的に小さい値を示す結果となっている。「玄米」「生乳」「肉鶏」「肉用牛」「鶏卵」「小麦」などについても、耕作面積や飼料向け土地利用が大きく影響している。なお、「玄米」「生乳」「肉用牛」「肉鶏」等以外の農業・畜産製品は、総じて 1kg あたりの環境影響が紙製品より大きく、漁業製品は小さい。漁業製品は、生産量も総じてやや小さく、総環境影響の結果にもそれが反映されている(木材製品については固有単位が異なるため単純な比較が難しい)。

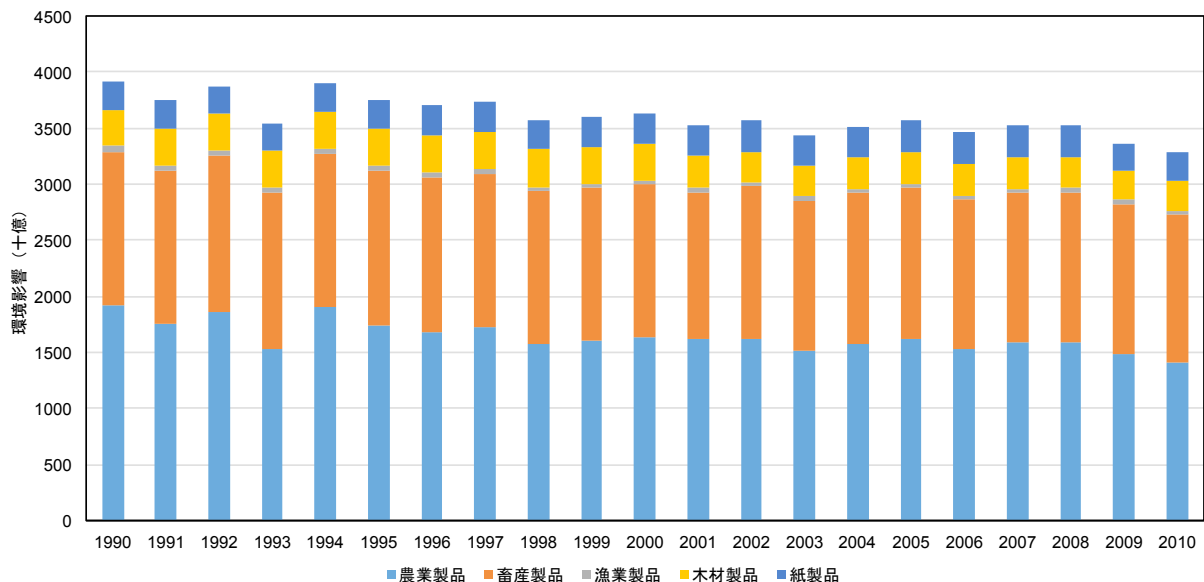


図 II.4.3(2)-f 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(生物資源)(物質グループ別)

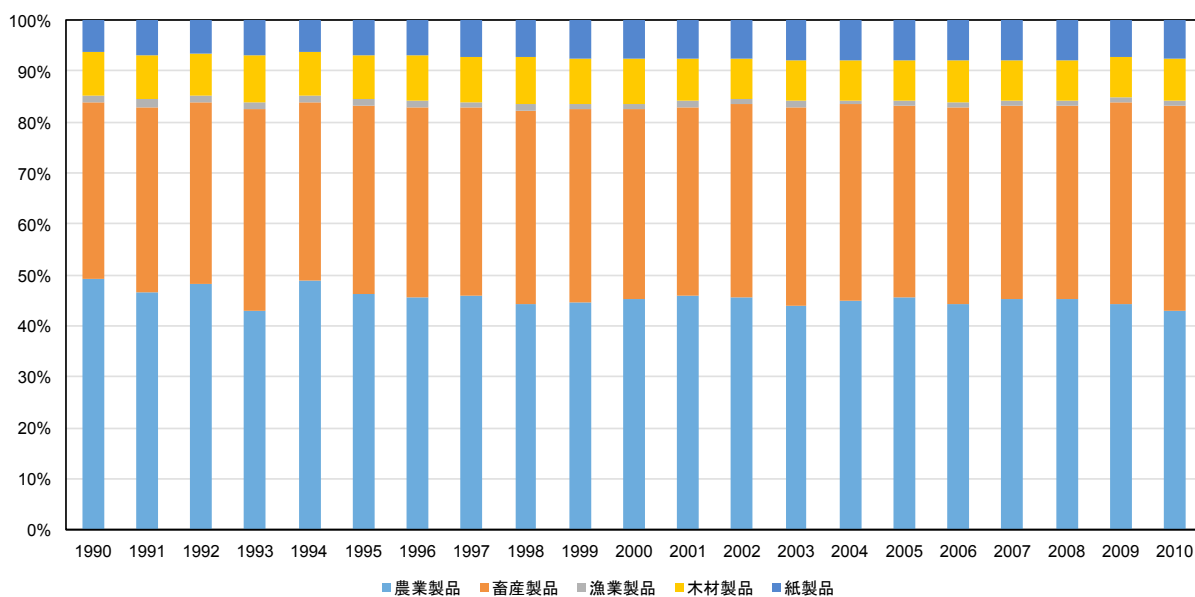


図 II.4.3(2)-g 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(生物資源)(物質グループ別)

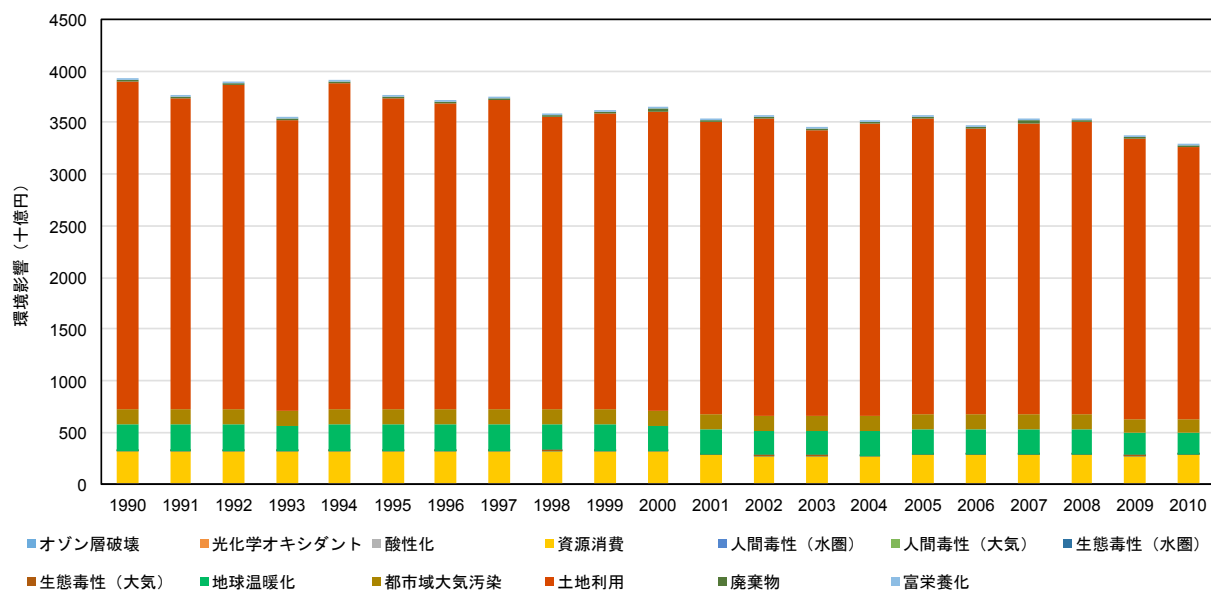


図 II.4.3(2)-h 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(生物資源)(影響領域別)

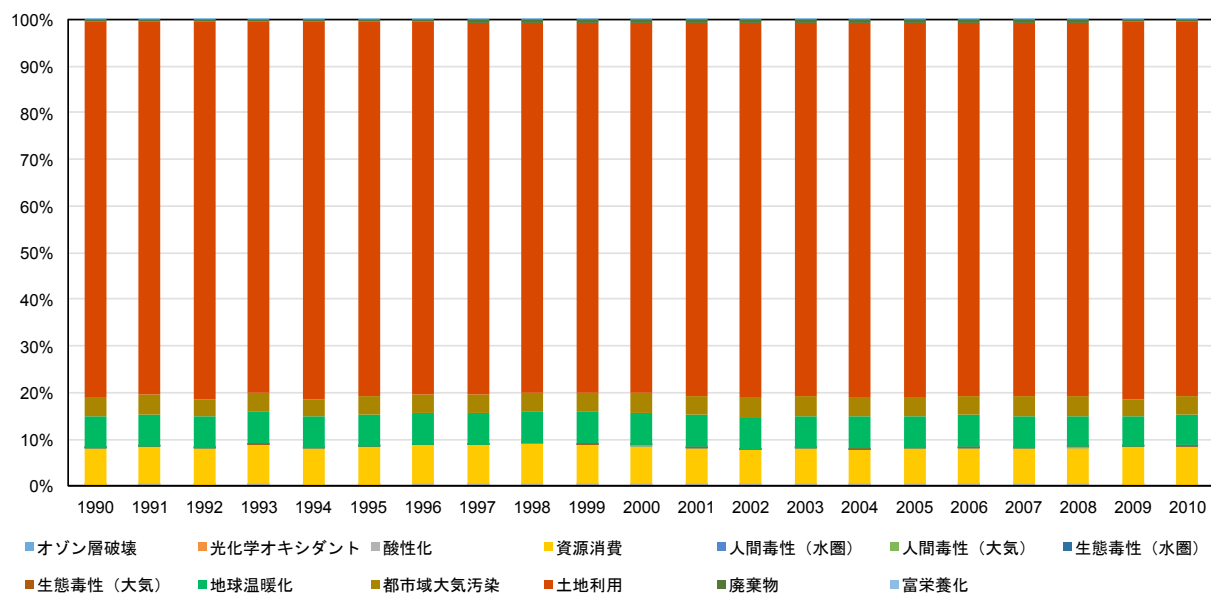
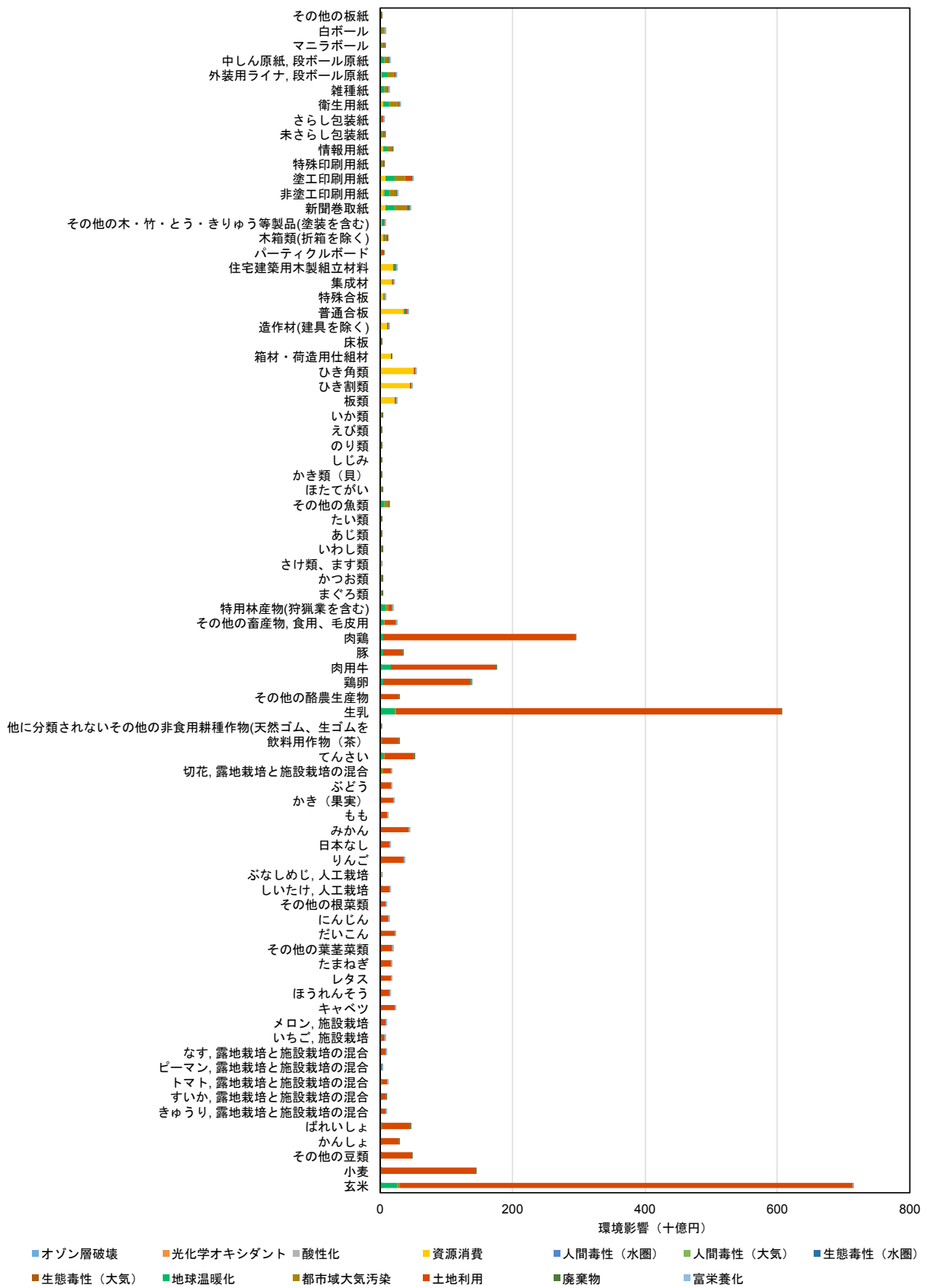


図 II.4.3(2)-i 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(生物資源)(影響領域別)



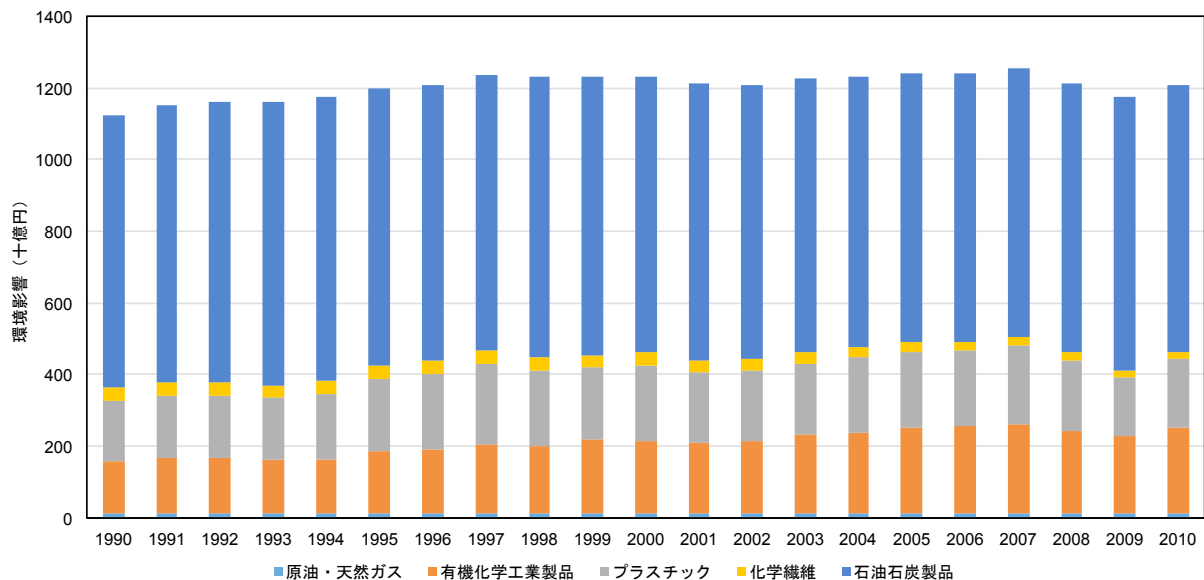
図II.4.3(2)j 日本の物質利用に伴う総環境影響(生物資源)(対象物質別)(2010年)

化石資源

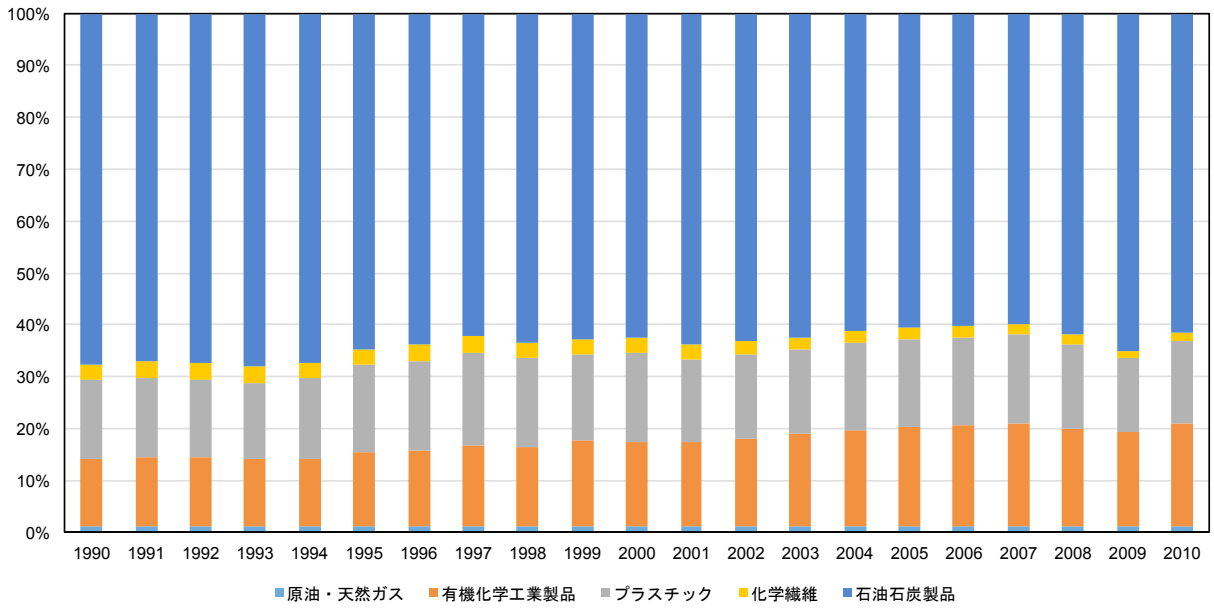
化石資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-k～図 II.4.3(2)-o に示す。2008～2009 年は世界経済危機により減少しているが、全体的には、微増傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-k、図 II.4.3(2)-l)、2010 年では、石油石炭製品が約 60%を占め、有機化学工業製品が約 20%、プラスチックが約 15%となっている。しかし、時系列で見ると、石油石炭製品が、微減傾向を示すのに対し、有機化学工業製品やプラスチックが微増傾向を示しており、それに伴い、環境影響の内訳も変化している。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-m、図 II.4.3(2)-n)、土地利用が約 40%を占め、次いで、地球温暖化が約 30%、都市域大気汚染が約 25%と大きい。

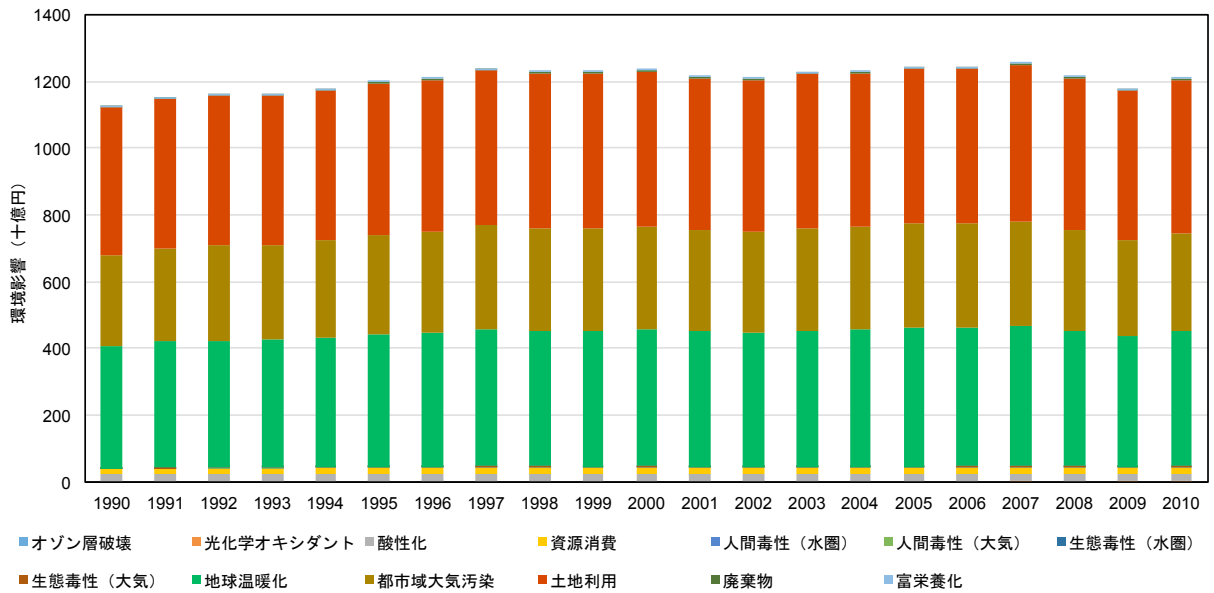
個別対象物質別で見ると(図 II.4.3(2)-o)、例えば、1 単位あたりの環境影響ではかなり小さい値を示していた石油・石炭製品類が、総環境影響では大きな値を示した。特に「軽油」「ガソリン」「A 重油」「ナフサ」「C 重油」などの原料・燃料となる石油製品が大きい。それに次いで大きな値を示したのは、プラスチック類であった。一方、1 単位あたりの環境影響で大きな値を示していた「ふっ素樹脂」は、相対的に小さい値となった。



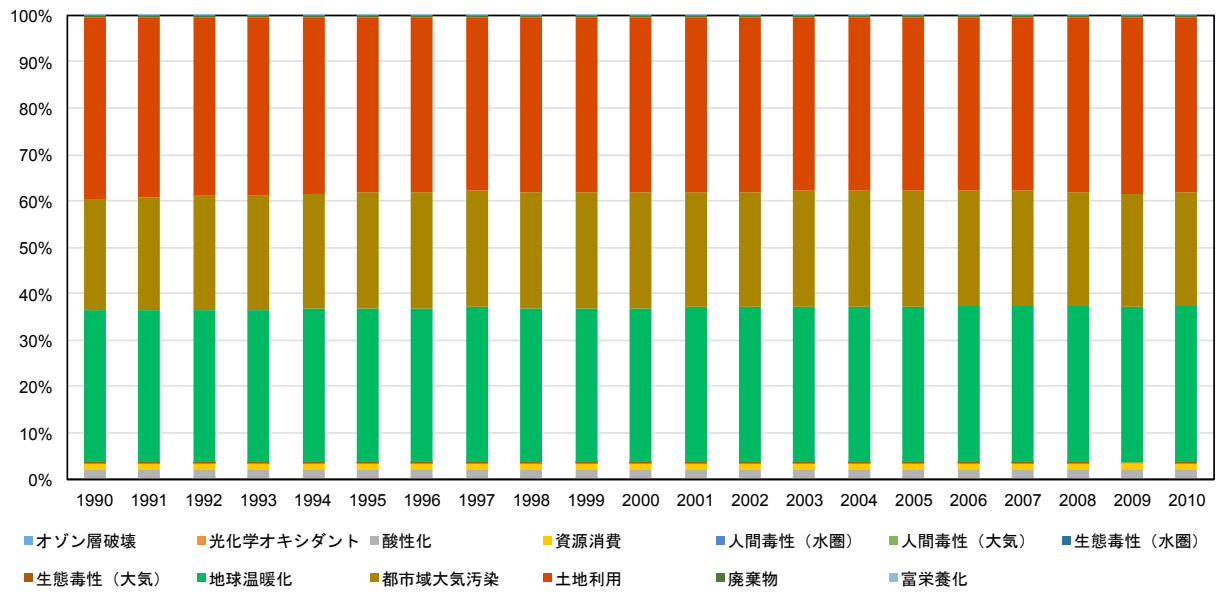
II.4.3(2)-k 日本での物質利用に伴う総環境影響の推移(化石資源)(物質グループ別)



II.4.3(2)H 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(化石資源)(物質グループ別)



図II.4.3(2)-m 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(化石資源)(影響領域別)



II.4.3(2)-n 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(化石資源)(影響領域別)

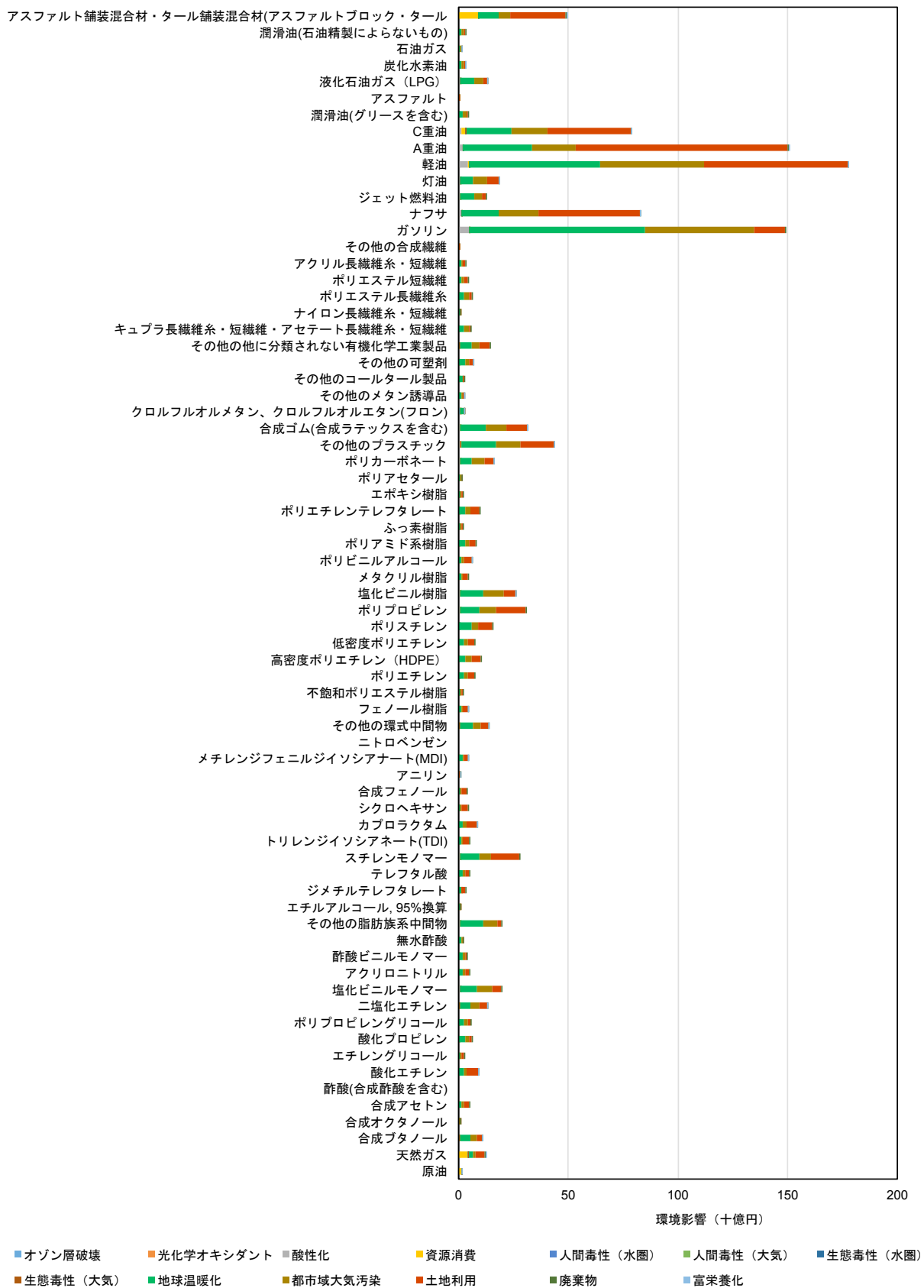


図 II.4.3(2)-o 日本の物質利用に伴う総環境影響(化石資源)(対象物質別)(2010年)

金属鉱物資源

金属鉱物資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-p～図 II.4.3(2)-t に示す。ここでも、2008～2009 年は世界経済危機により減少しているが、全体的には、増加傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-p、図 II.4.3(2)-q)、銅および鉄(2008 年経済危機付近を除く)が増加傾向、金が微増傾向、それ以外は横ばい傾向を示した。2010 年では、鉄および銅が共に約 30%を占め、次いで金が 7%を占めている。時系列で見ると、銅の増加傾向が特に顕著であり、割合も対象期間中に 1 割程度の伸びを示した。生産量の伸びの影響を受けているものと考えられる。鉄や金も全体を通しては増加傾向を示した。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-r、図 II.4.3(2)-s)、資源消費と地球温暖化、土地利用の影響が顕著であり、次いで、都市域大気汚染も大きい値を示し、生態毒性(水圏)、生態毒性(大気)の影響も確認できる。その内訳に大きな変化は見られないが、地球温暖化、土地利用が微減し、資源消費が微増している傾向が確認できる。

個別対象物質別で見ると(図 II.4.3(2)-t)、1 単位あたりの環境影響では、「金地金」「金再生地金」に続いて大きな値を示した「電気銅」が、総環境影響では「粗鋼(転炉法)」に続く大きな値を示し、1 単位あたりの環境影響では比較的小さい値を示していた「粗鋼(転炉法)」が、総環境影響では最大値を示している。これは「粗鋼(転炉法)」の生産量が他の対象物質と比べて顕著に大きいためである。また、「粗鋼(転炉法)」は、石炭を多量に消費するため、地球温暖化、都市域大気汚染の影響が大きな割合を占め、他の対象物質と異なっている。一方、1 単位あたりの環境影響で特に大きな値を示していた「金地金」「金再生地金」は、総環境影響では、「金地金」が他と比較してやや大きい値を示したが、「金再生地金」は生産量・出荷量が非常に小さく、顕著に大きな値とはならなかった。また、その他の非鉄金属(一次製錬・精製によるもの)が、生産・出荷量の影響を大きく受け、大きな値を示している。

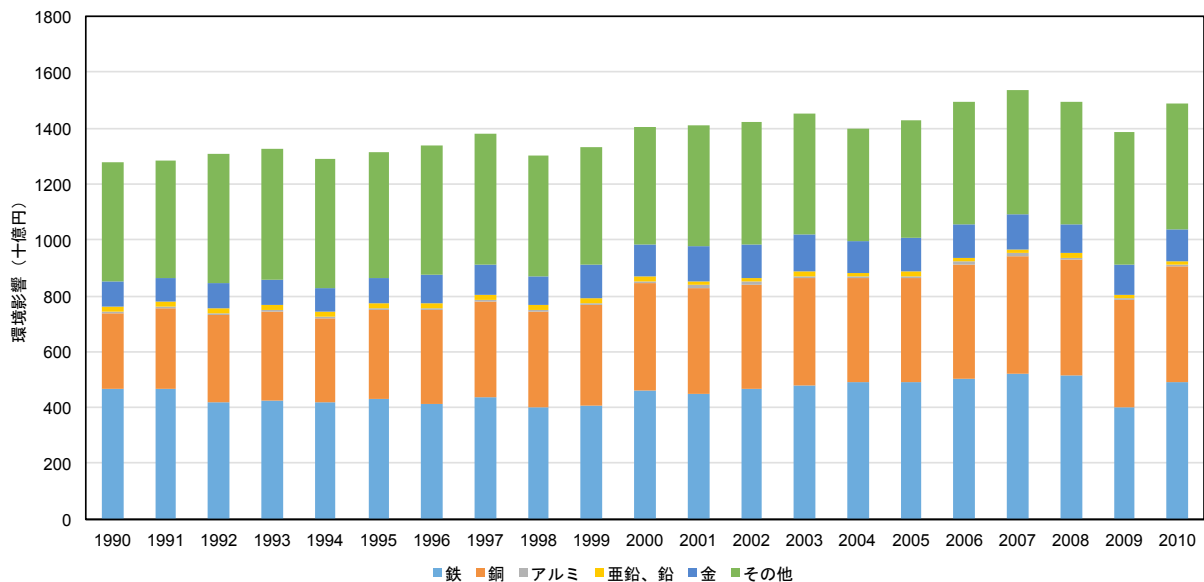


図 II.4.3(2)-p 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

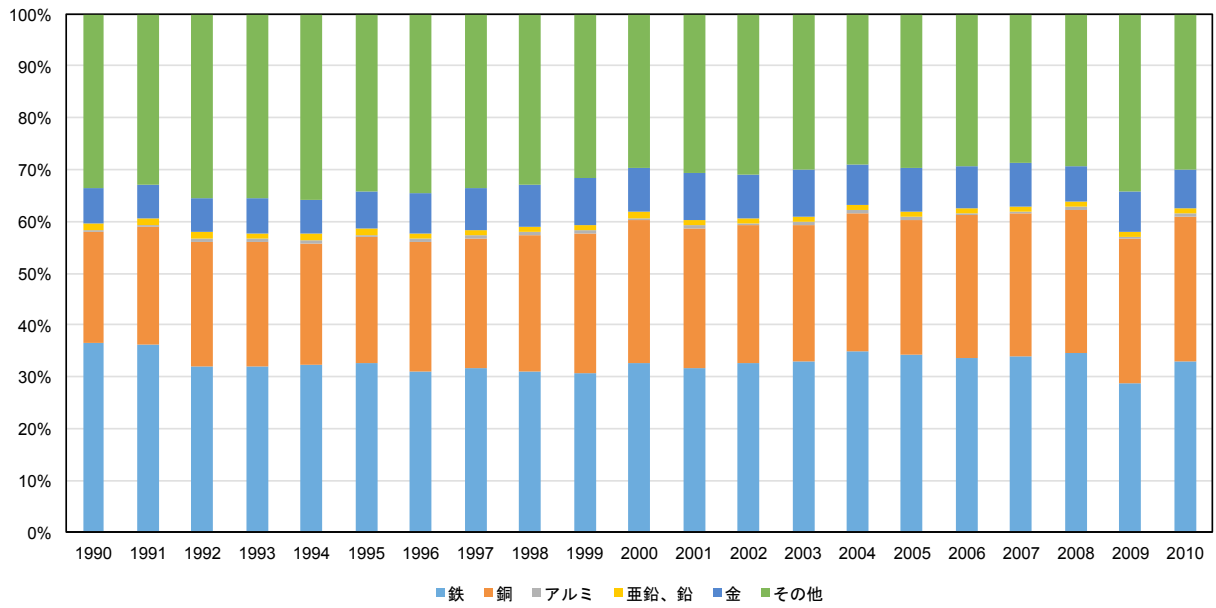


図 II.4.3(2)-q 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

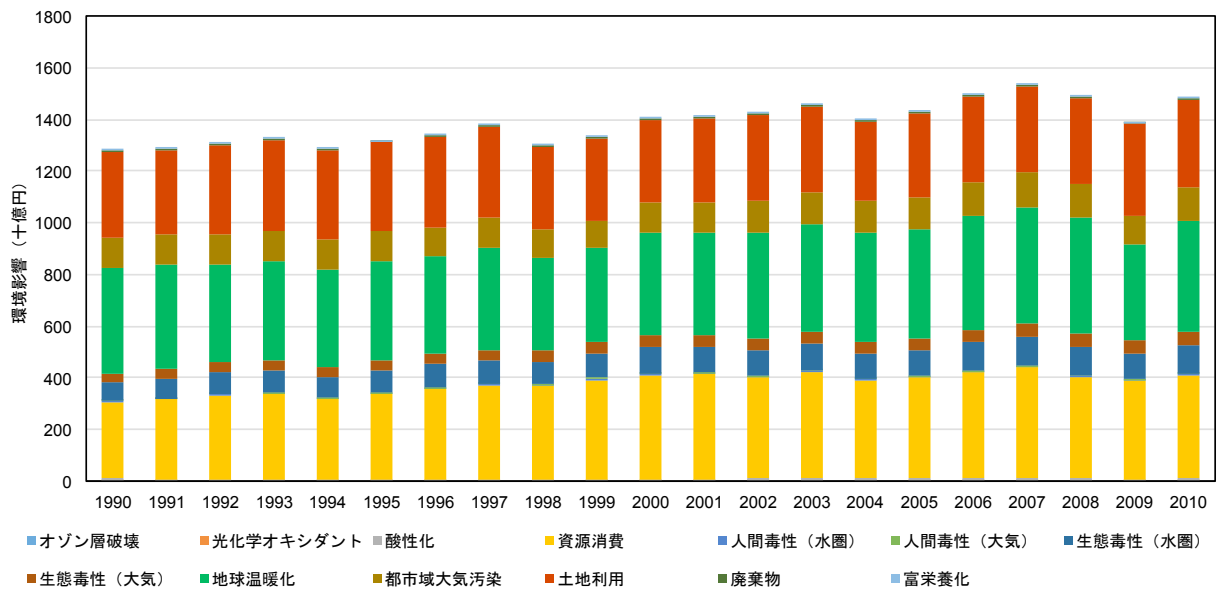


図 II.4.3(2)-r 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(金属鉱物資源)(影響領域別)

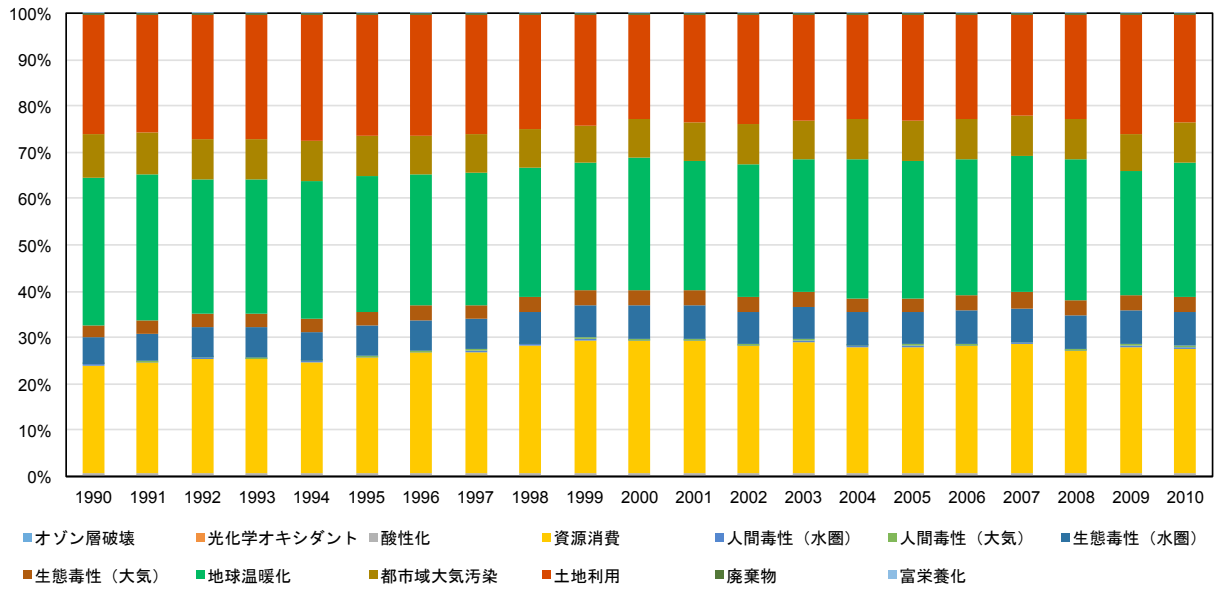


図 II.4.3(2)-s 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(金属鉱物資源)(影響領域別)

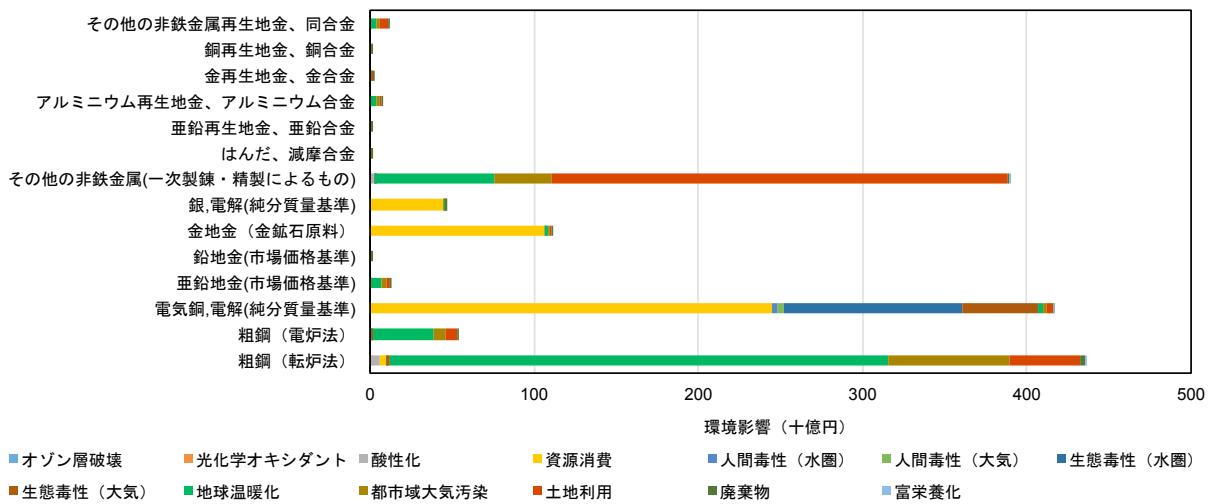


図 II.4.3(2)-t 日本の物質利用に伴う総環境影響(金属鉱物資源)(対象物質別)(2010年)

非金属鉱物資源

非金属鉱物資源に関わる対象物質の利用に伴う総環境影響の推計結果を図 II.4.3(2)-u～図 II.4.3(2)-z に示す。全体的には、減少傾向にある。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-u、図 II.4.3(2)-v)、セメント、採石・砂・砂利・碎石のグループが減少傾向を示し、ガラス・ガラス製品は微増、窯業・土石製品は微減、無機化学工業製品は横ばいの傾向を示した。1990年代は、セメントが最も大きい値を示していたが、1997年を境に減少し始め、2000年以降窯業・土石製品が最も大きい値を示す物質グループとなった。また、採石・砂・砂利・碎石の影響も、2000年前後を境に、ガラス・ガラス製品、無機化学工業製品より小さくなった。2010年では、窯業・土石製品が約35%と最も大きい割合を占め、次いでセメントが約25%、ガラス・ガラス製品が約20%、無機化学工業製品や砂利・碎石が約10%を占めている。環境影響領域については(図 II.4.3(2)-x、図 II.4.3(2)-y)、地球温暖化が40～50%程度を占め、次いで、土地利用、都市域大気汚染、資源消費、廃棄物などの影響が大きい。資源消費の割合が減少傾向を示している。

個別対象物質別にみると(図 II.4.3(2)-z)、1単位あたりの環境影響では比較的小さい値を示していた「ポルトランドセメント」「生石灰」「その他の他に分類されないガラス・同製品」「その他の他に分類されない炭素・黒鉛製品」「碎石」「鉱物・土石粉碎、その他の処理品」「採石、砂・砂利・玉石」が、総環境影響では上位物質に入っている。「生石灰」については、下流側の一般・産業廃棄物の焼却処理サービスの影響を受け、地球温暖化、都市域大気汚染の影響が大きく示されている。

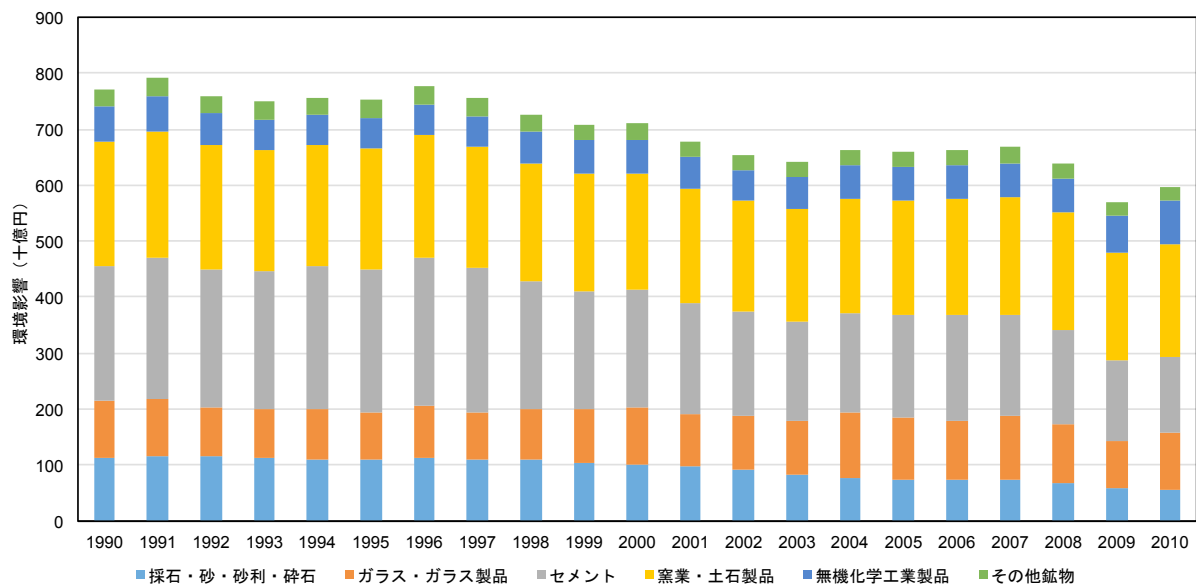


図 II.4.3(2)-u 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

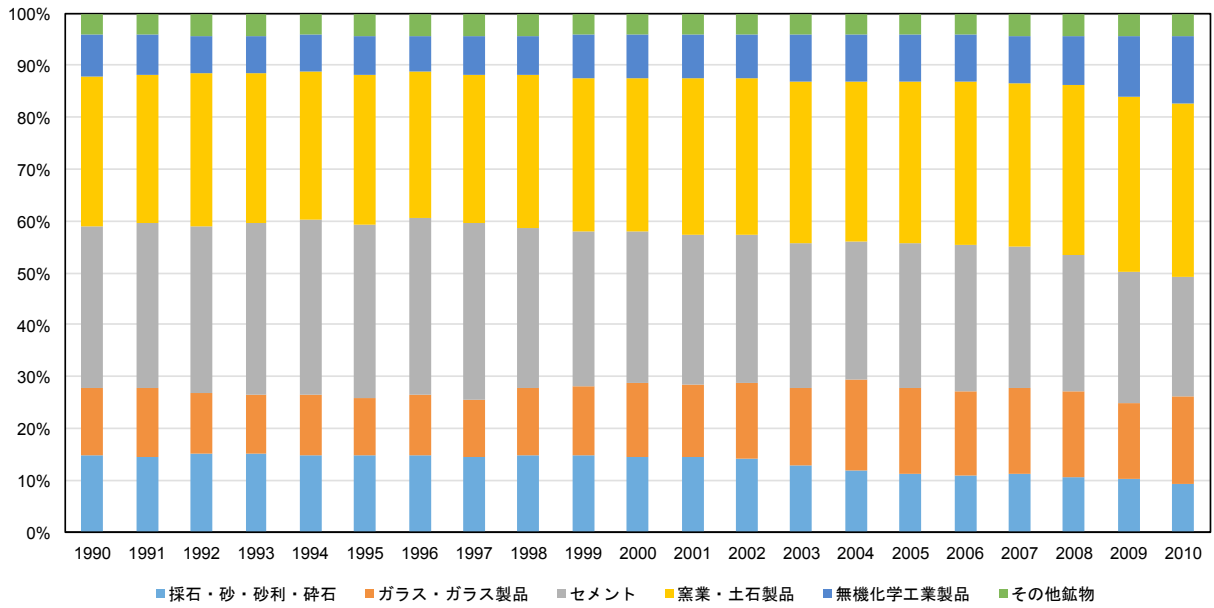


図 II.4.3(2)-v 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

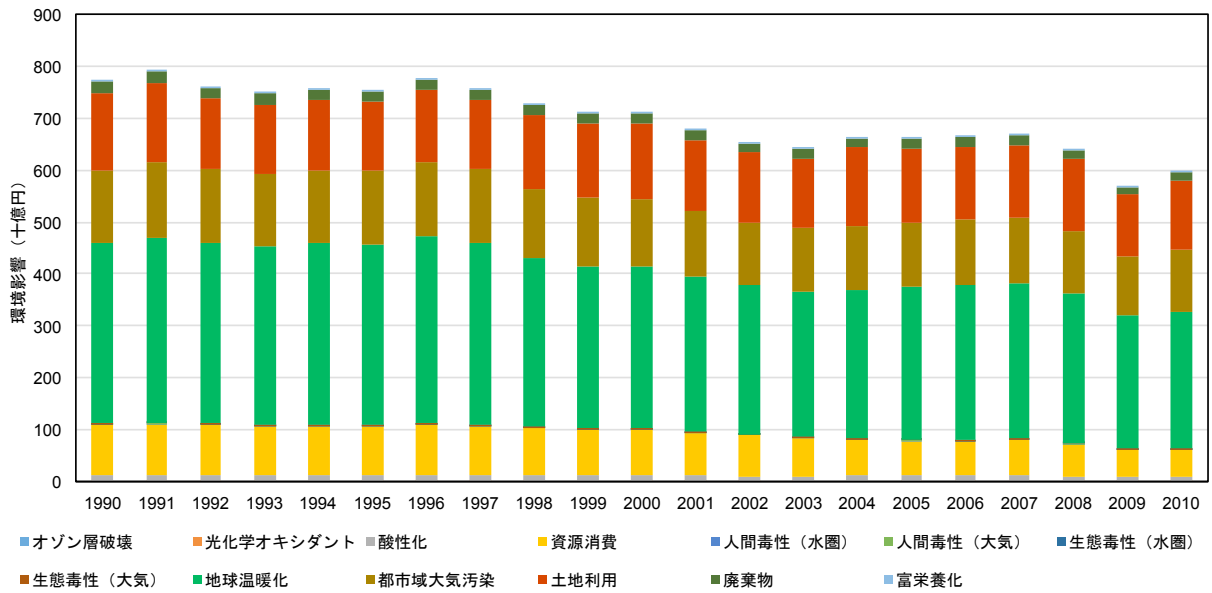


図 II.4.3(2)-x 日本の物質利用に伴う総環境影響の推移(非金属鉱物資源)(影響領域別)

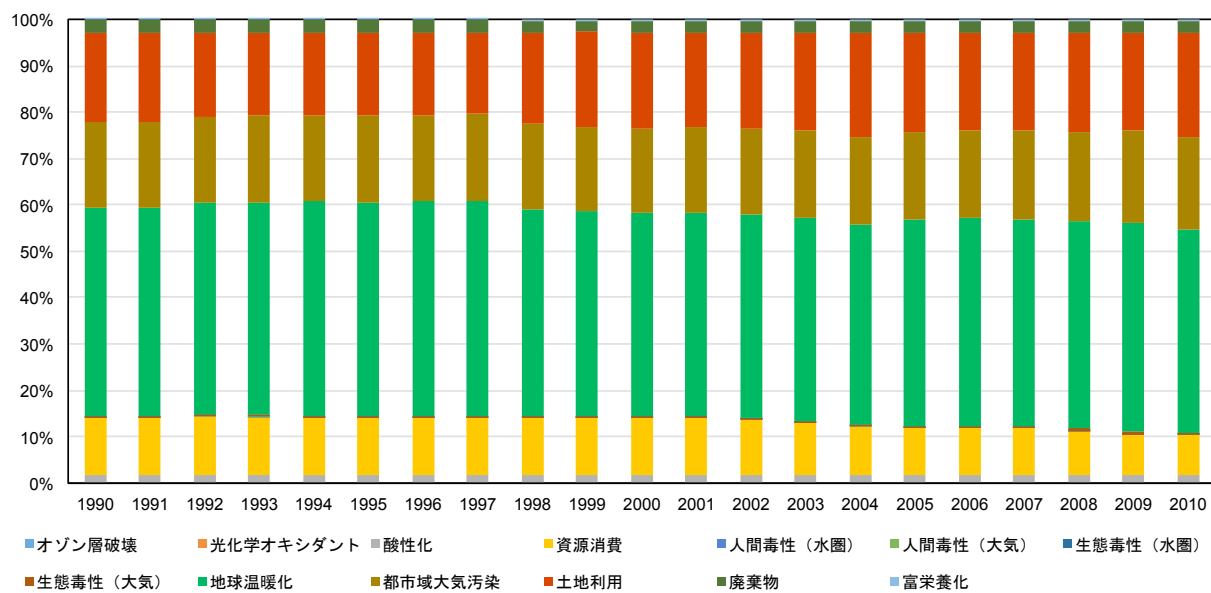
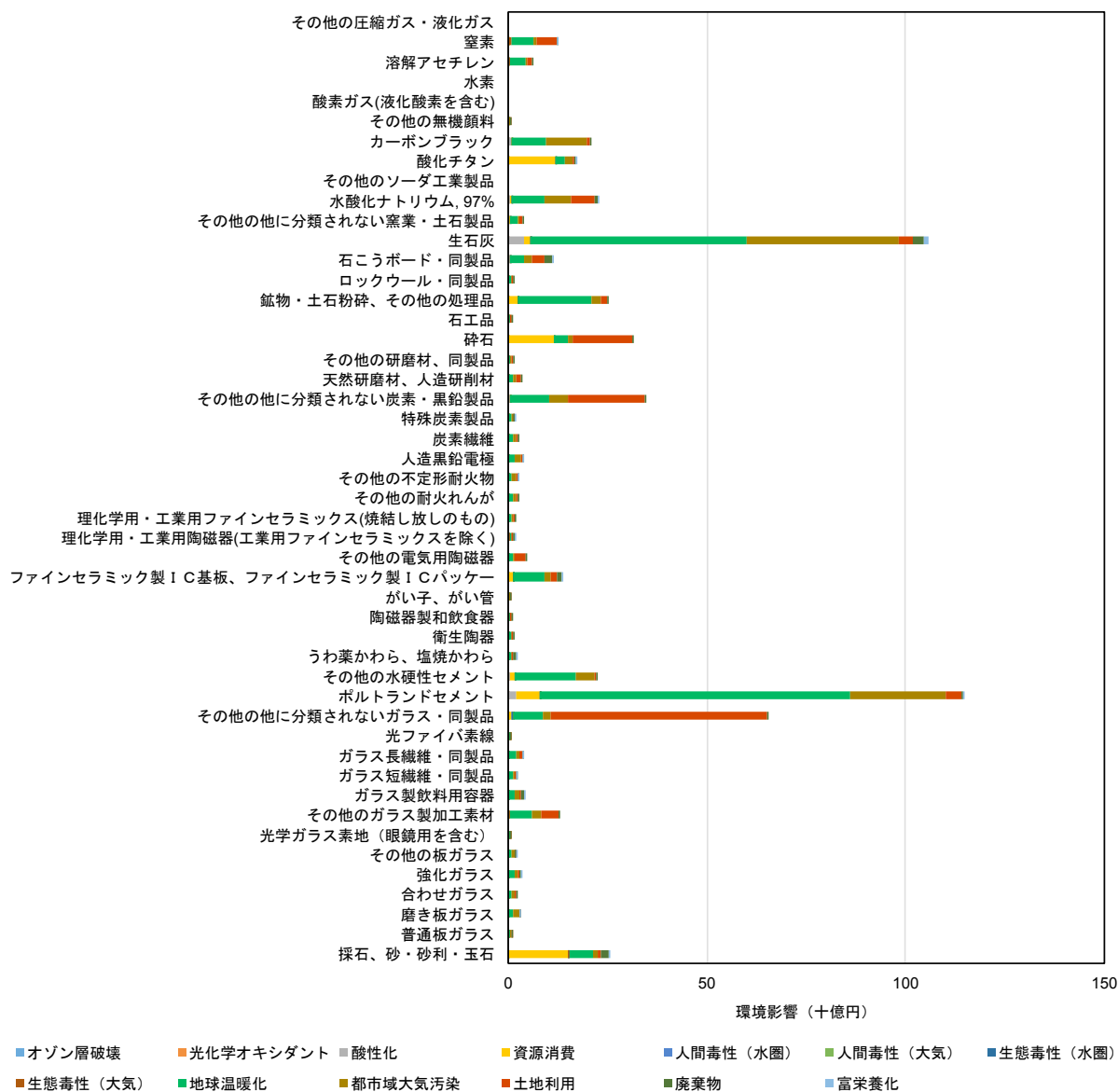


図 II.4.3(2)-v 日本の物質利用に伴う総環境影響の内訳の推移(非金属鉱物資源)(影響領域別)

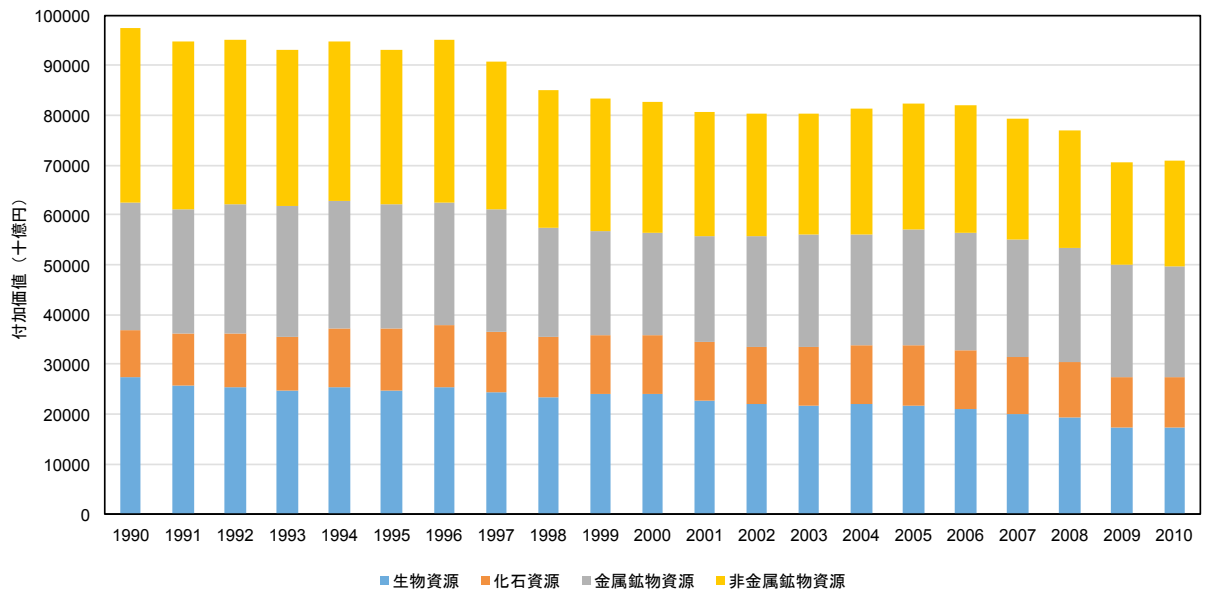


図II.4.3(2)-z 日本の物質利用に伴う総環境影響(非金属鉱物資源)(対象物質別)(2010年)

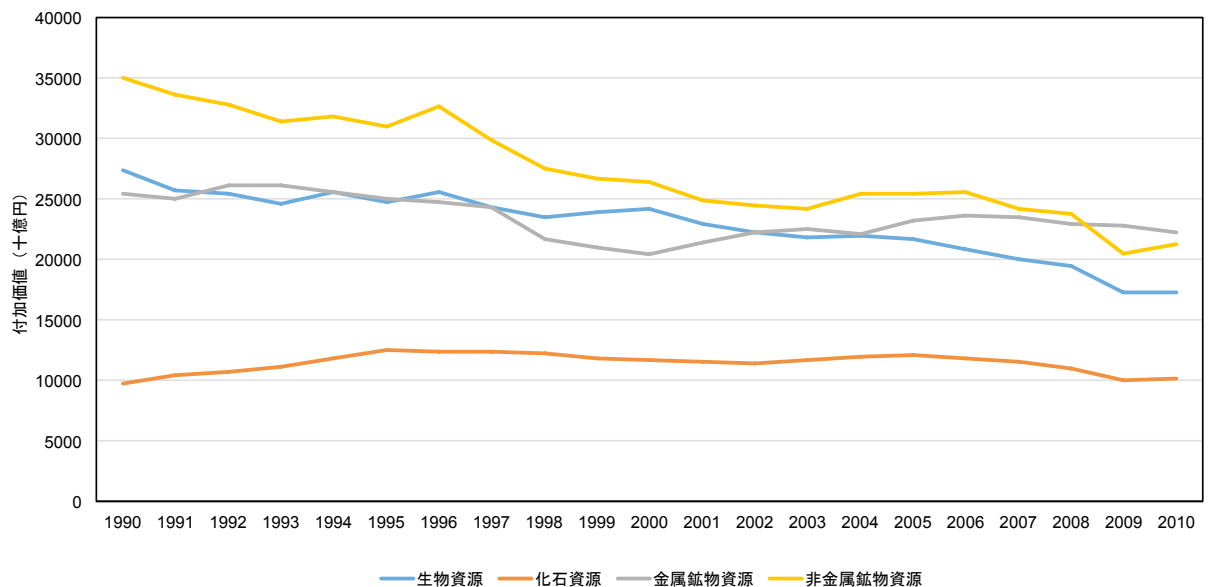
(c) 付加価値の推計結果

全ての対象物質

まず、全ての対象物質利用で生み出された総付加価値(2011年基準実質値)の推計結果を図II.4.3(2)-aa～図II.4.3(2)-acに示す。1990～2010年における総付加価値は、減少傾向にあると推計された。対象物質利用で生み出された付加価値は、順位が逆転する年もあるものの、全体としては、非金属鉱物資源で高く、化石資源で低い結果となった(図II.4.3(2)-aa、図II.4.3(2)-ab)。化石資源、金属鉱物資源は、増減はあるものの横ばい傾向であったが、生物資源、非金属鉱物資源は、減少傾向を示す結果となった。また、生物資源、金属鉱物資源、非金属鉱物資源の付加価値がそれぞれ25-30%を占め、化石資源は、1990年には10%程度であったが、2010年には15%となった(図II.4.3(2)-ac)。



図II.4.3(2)-aa 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(資源別)



図II.4.3(2)-ab 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(資源別)

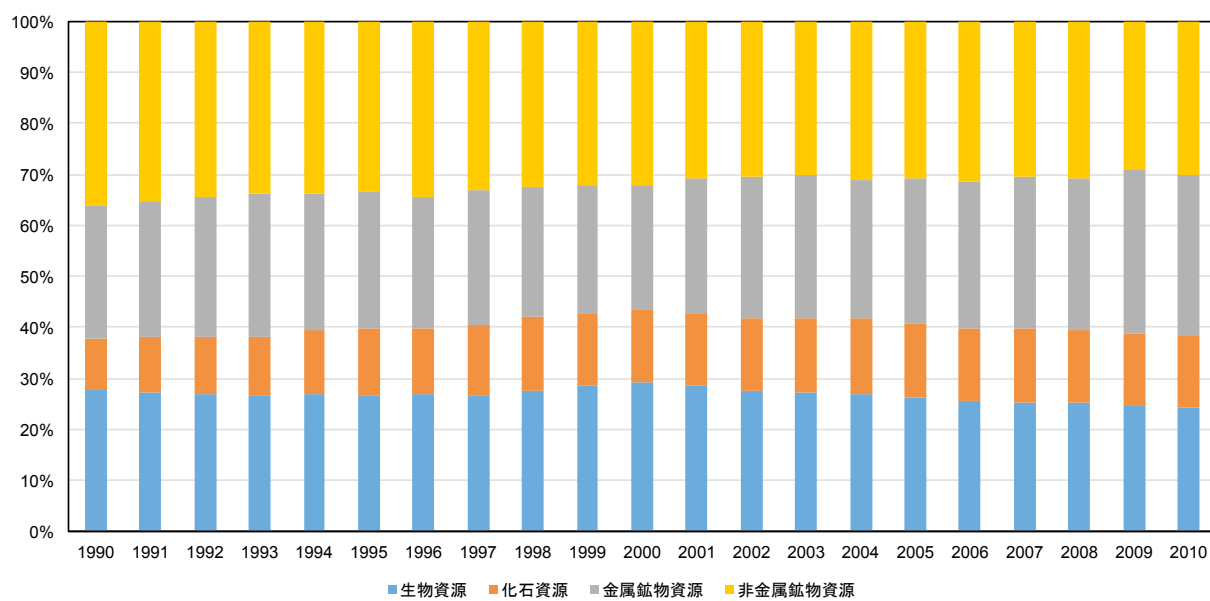


図 II.4.3(2)-ac 日本の物質利用で生み出された総付加価値の内訳の推移(資源別)

生物資源

生物資源に関わる対象物質の利用に伴う付加価値の推計結果を図 II.4.3(2)-ac～図 II.4.3(2)-ag に示す。全体的には、減少傾向にある。

最も大きな付加価値を示した物質グループは木材製品であり、農業製品、畜産製品、それに続き、紙製品、漁業製品の順となった(図 II.4.3(2)-ac、図 II.4.3(2)-ad)。木材製品の減少が、生物資源全体の減少を牽引しており、その全体に占める割合も、対象期間中に40%から30%まで減少した(図 II.4.3(2)-ae)。住宅着工などの減少が影響しているものと考えられる。農業・漁業製品において絶対量の減少傾向、一方、畜産製品の増加傾向が見られた。それに伴い、全体の中で畜産製品の割合が増加した。

個別対象物質の付加価値の推移をみると(図 II.4.3(2)-ag)、木材製品は総じて減少傾向、農業製品の減少傾向は、特に玄米の減少傾向の影響を受けた。

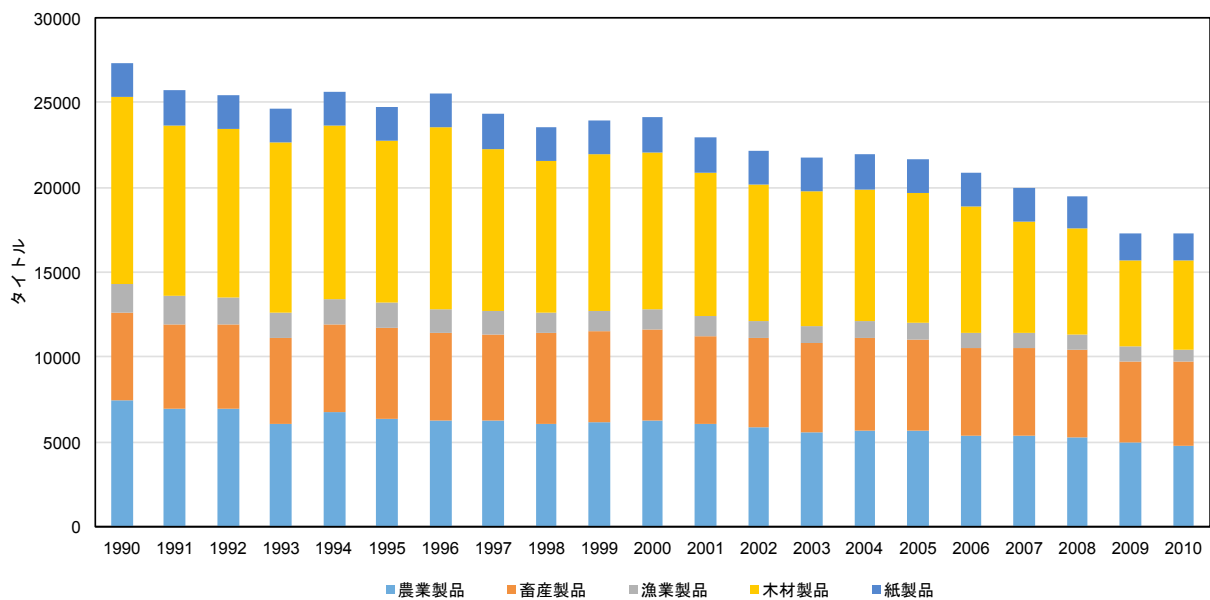


図 II.4.3(2)-ad 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(生物資源)(物質グループ別)

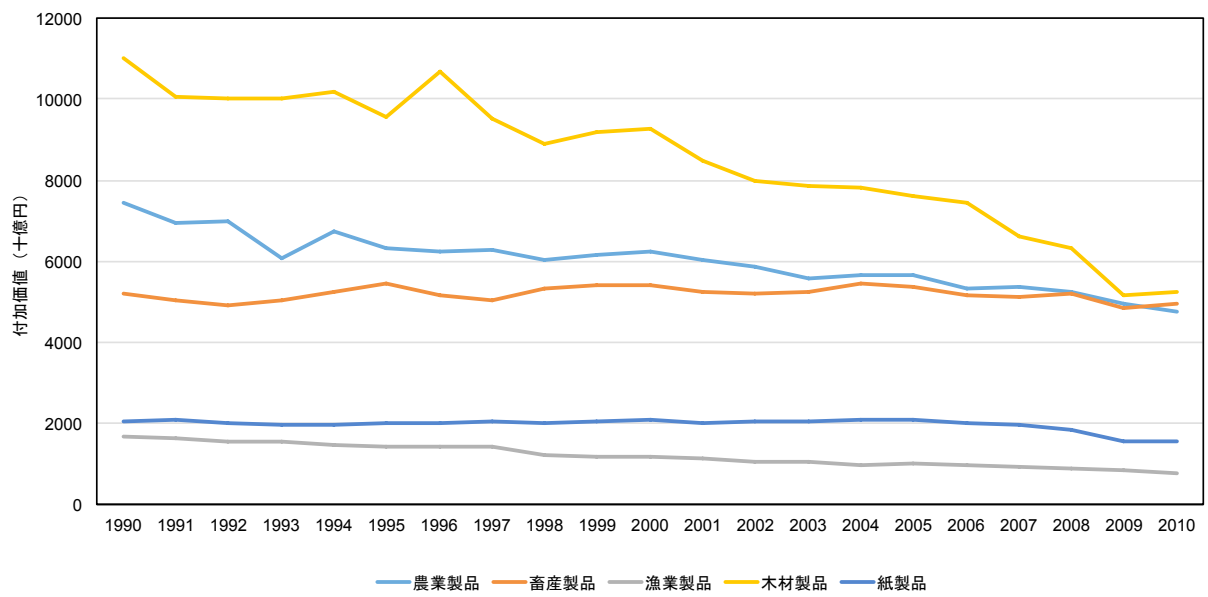


図 II.4.3(2)-ae 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(生物資源)(物質グループ別)

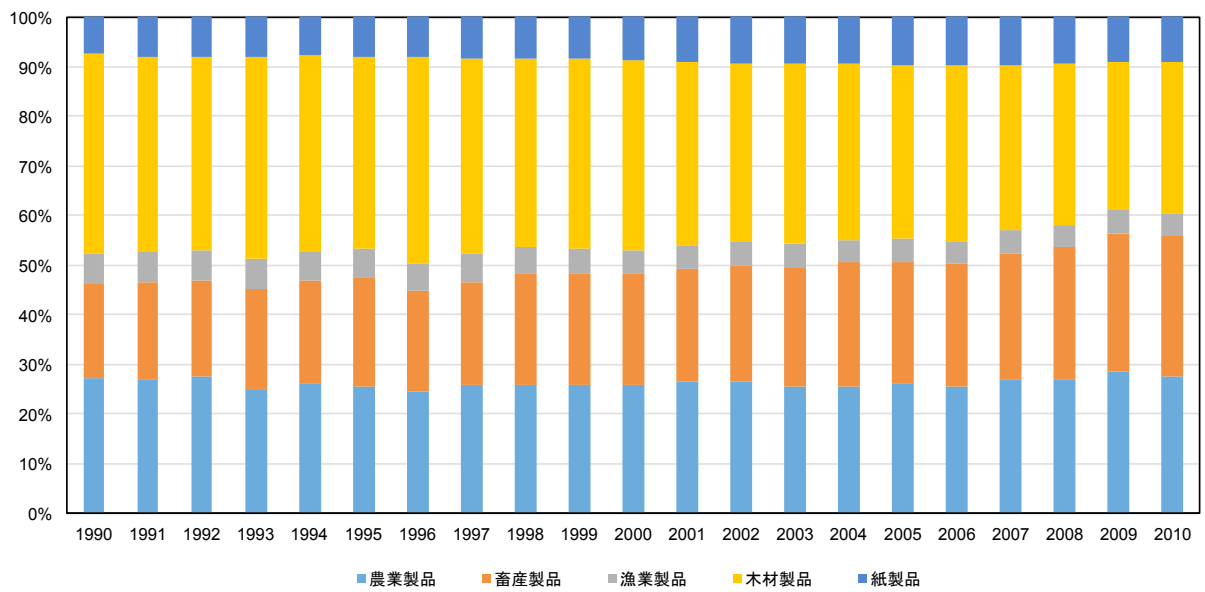


図 II.4.3(2)-af 日本の物質利用で生み出された総付加価値の内訳の推移(生物資源)(物質グループ別)

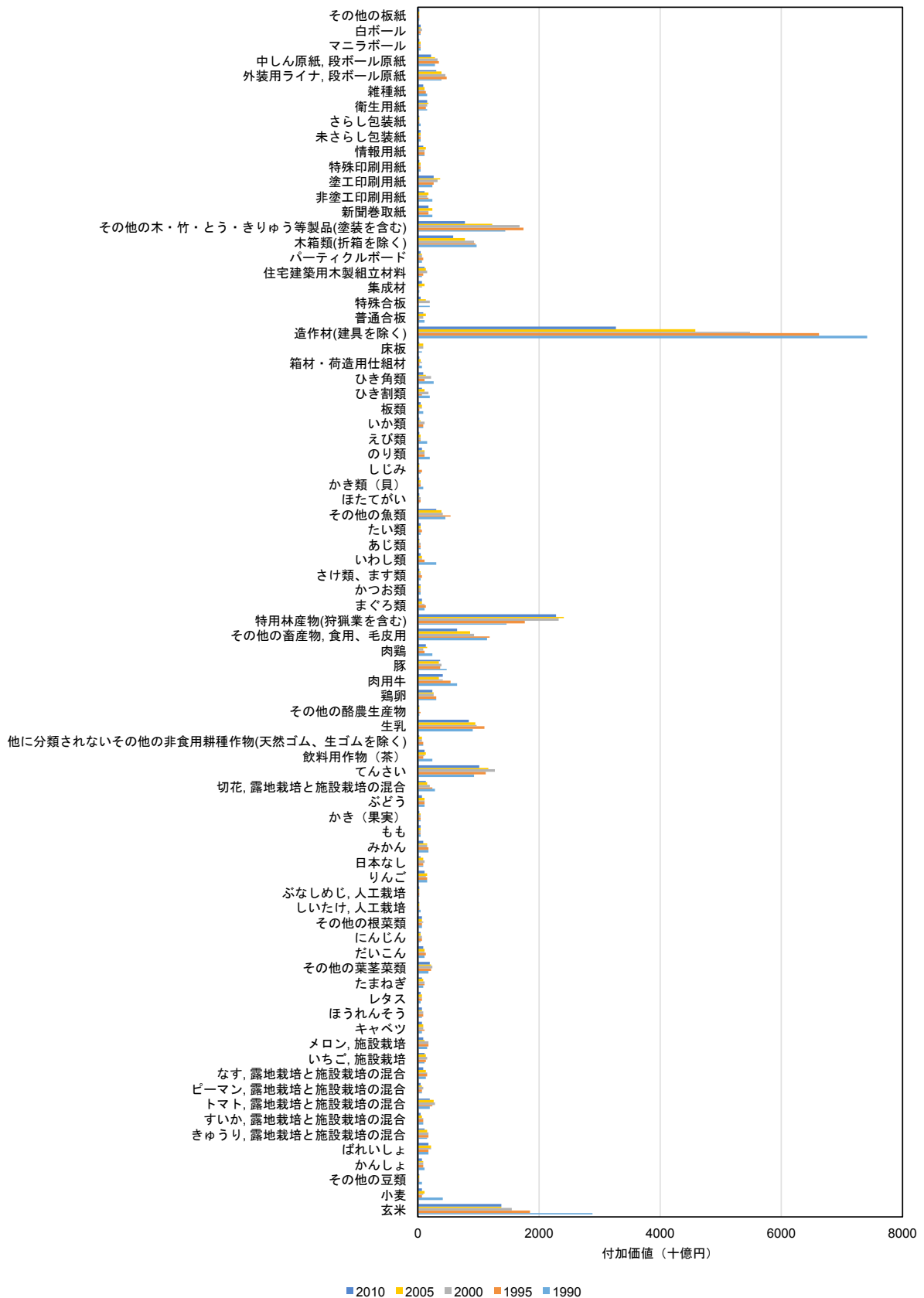


図 II.4.3(2)-ag 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(生物資源)(対象物質別)

化石資源

化石資源に関わる対象物質の利用に伴う付加価値の推計結果を図 II.4.3(2)-ah～図 II.4.3(2)-ak に示す。全体的には、1995 年までは増加で推移してきたが、それ以降 2005 年まで横ばい、その後は減少傾向を示している。2008 年の経済危機の影響を受けて 2009 年において相対的に大きな減少幅を示した。

物質グループ別に見ると(図 II.4.3(2)-ah、図 II.4.3(2)-ai)、最も大きな付加価値を示したのは、石油石炭製品であり、他と比して 6～10 倍程度の値となっている。次に、プラスチック、有機化学工業製品と続く。有機化学工業製品、プラスチックは、横ばい/微増傾向を示していたが、経済危機の影響を受けて、2009 年に減少傾向となっている。内訳においては、石油石炭製品の絶対量の変化を受けた変化が見られた。

個別対象物質について見ると(図 II.4.3(2)-ak)、ガソリン・重油・軽油・灯油などの燃料系の石油石炭製品が大きな値を示し、つづいて、主要プラスチック類および合成ゴムが大きな値を示している。

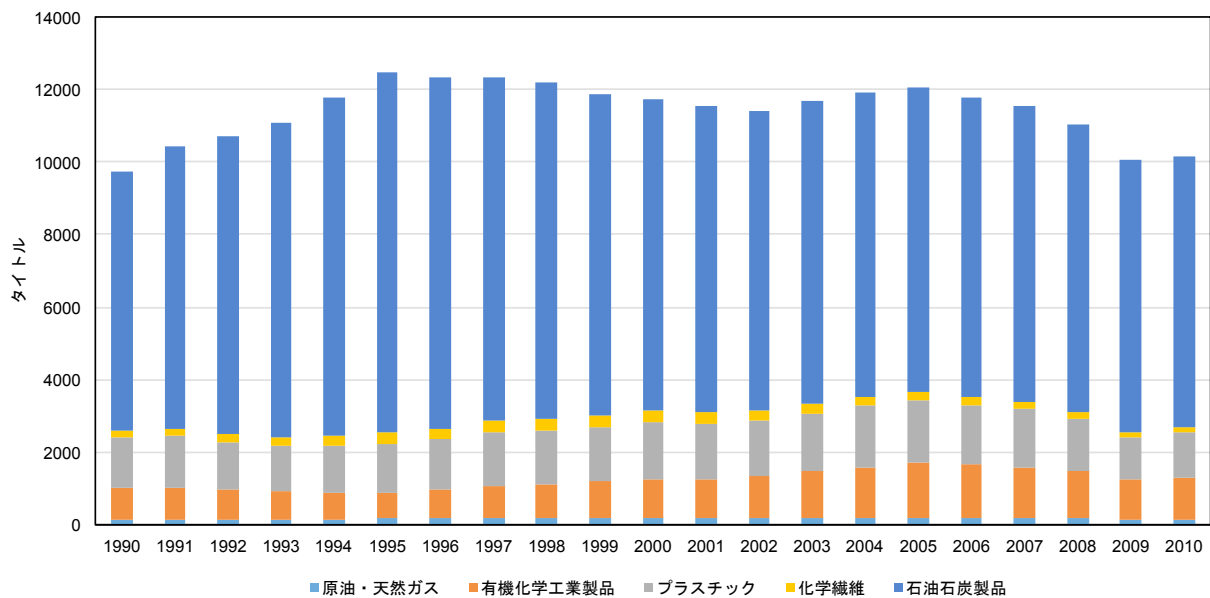


図 II.4.3(2)-ah 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(化石資源)(物質グループ別)

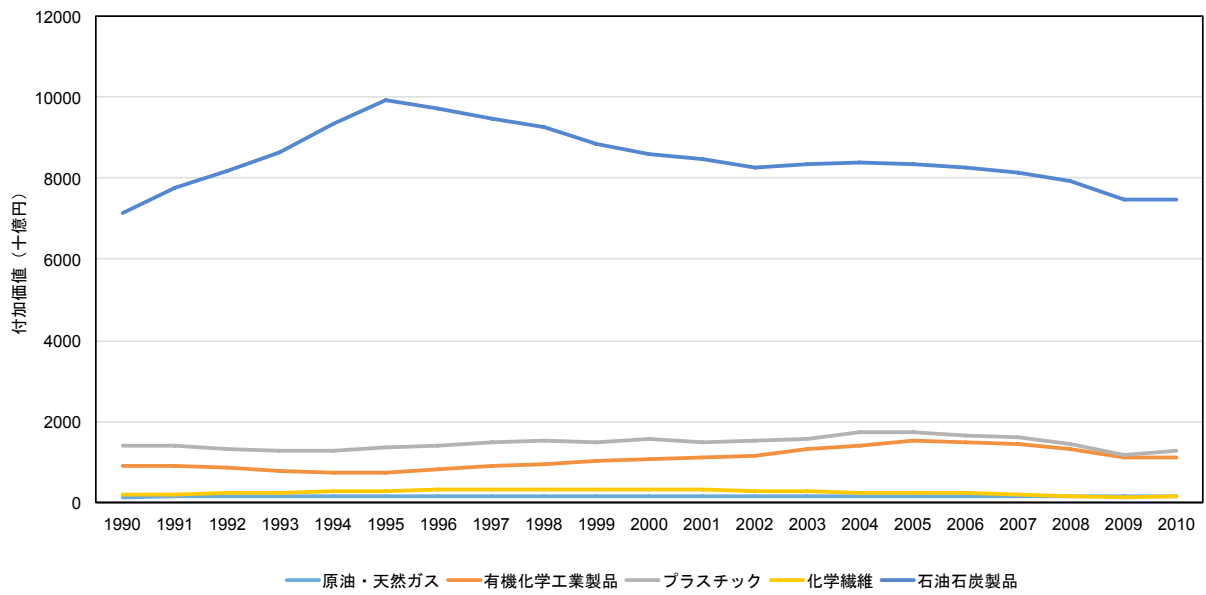


図 II.4.3(2)-ai 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(化石資源)(物質グループ別)

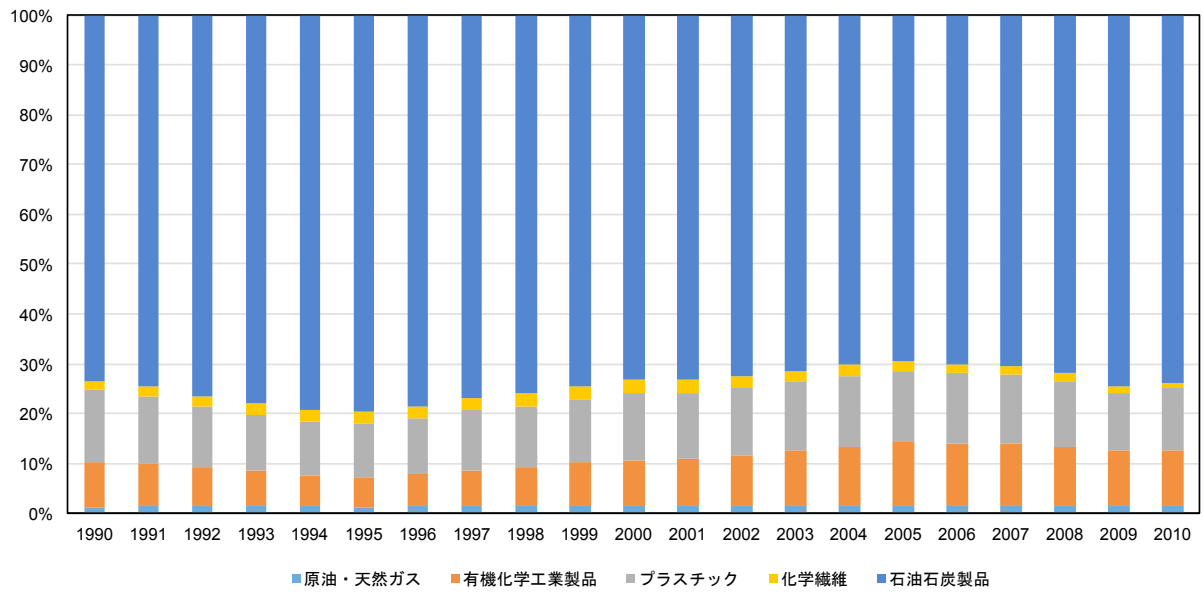


図 II.4.3(2)-aj 日本の物質利用で生み出された総付加価値の内訳の推移(化石資源)(物質グループ別)

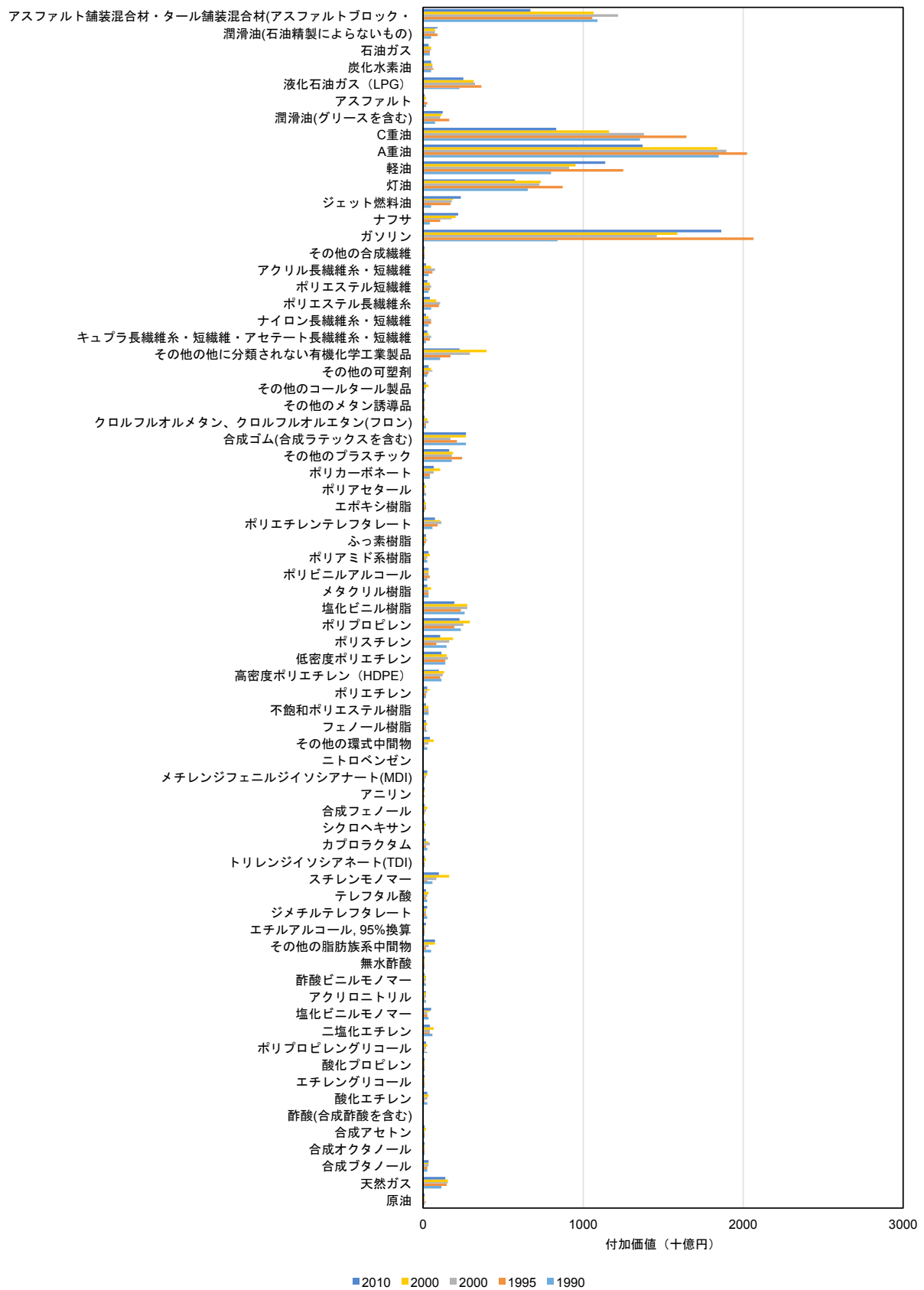


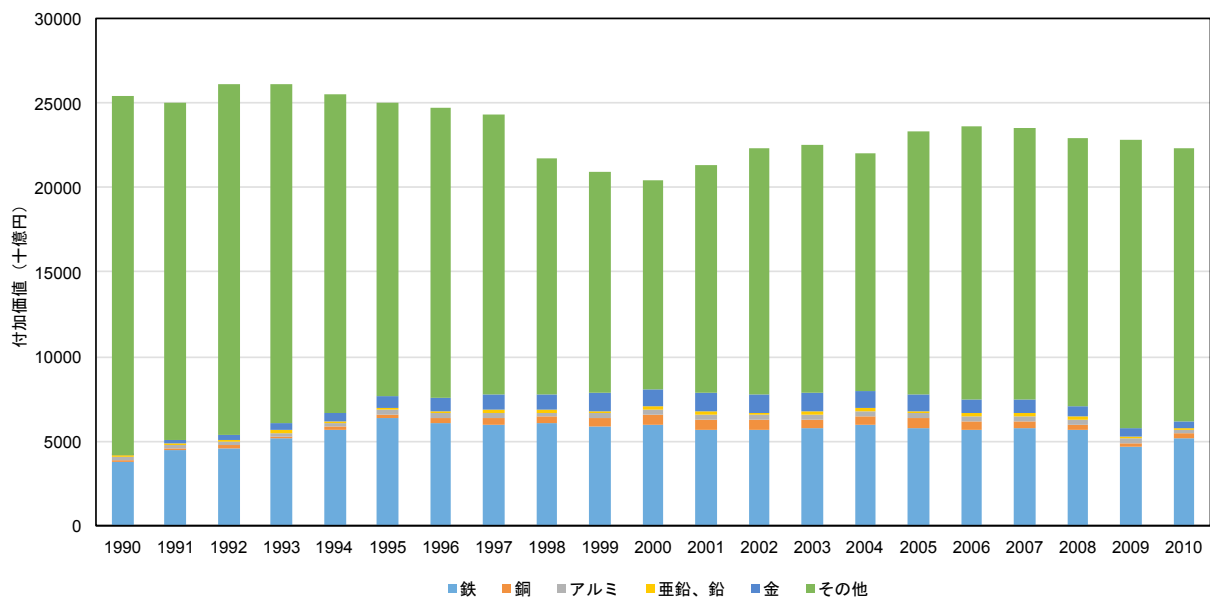
図 II.4.3(2)-ak 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(化石資源)(対象物質別)

金属鉱物資源

金属鉱物資源に関わる対象物質の利用に伴う付加価値の推計結果を図II.4.3(2)-al～図II.4.3(2)-aoに示す。全体的には、1995年までは横ばい傾向を示したが、以降2000年まで減少し、それ以降は増加したものの、2008年の経済危機の影響を受けてやや減少した。

物質グループ別に見ると(図II.4.3(2)-al、図II.4.3(2)-an)、最も大きな付加価値を示したのは、その他の金属(全体の70%以上)であり、2000年まで減少傾向を示した後増加に転じている。続いて鉄(全体の20%以上)が続き、1995年までは増加傾向を示した後、横ばい傾向を示した。

個別対象物質について見ると(図II.4.3(2)-an)、最も大きい付加価値となっているのは、「非鉄金属(一次製錬・精製によるもの)」である。この物質の付加価値は、特に下流側の自動車部品・鋼板などで発生する付加価値の影響をうけていた。白金などが影響しているものと考えられるが、今後、含まれる金属種の内訳などを確認し精査する必要がある。「非鉄金属(一次製錬・精製によるもの)」に続いて大きな値を示した物質は、粗鋼(転炉法)、粗鋼(電炉法)である。



図II.4.3(2)-al 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

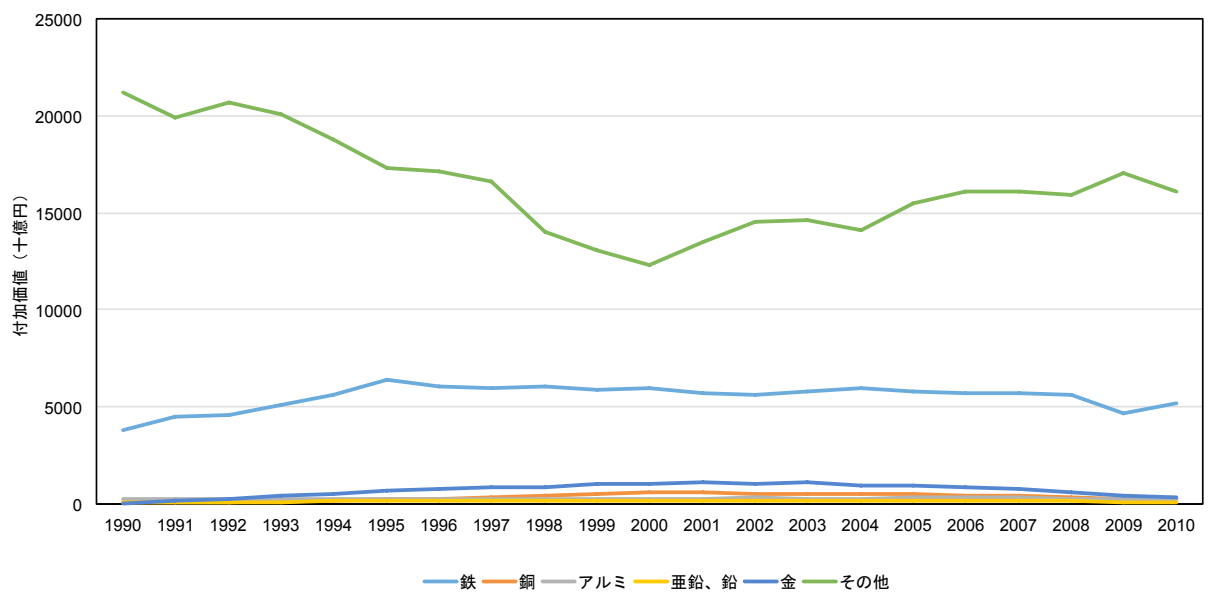


図 II.4.3(2)-am 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

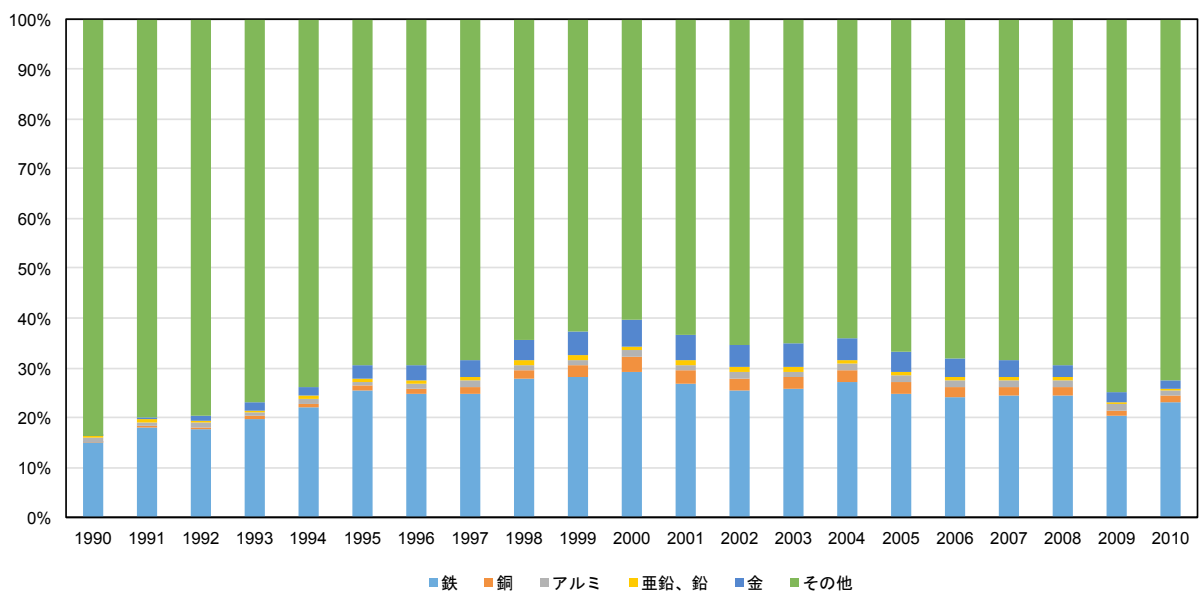


図 II.4.3(2)-an 日本の物質利用で生み出された総付加価値の内訳の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

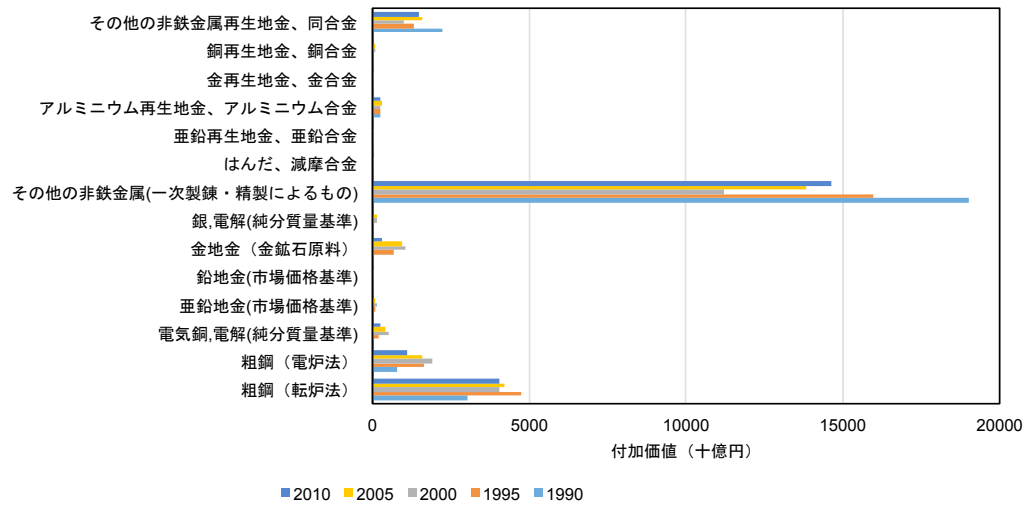


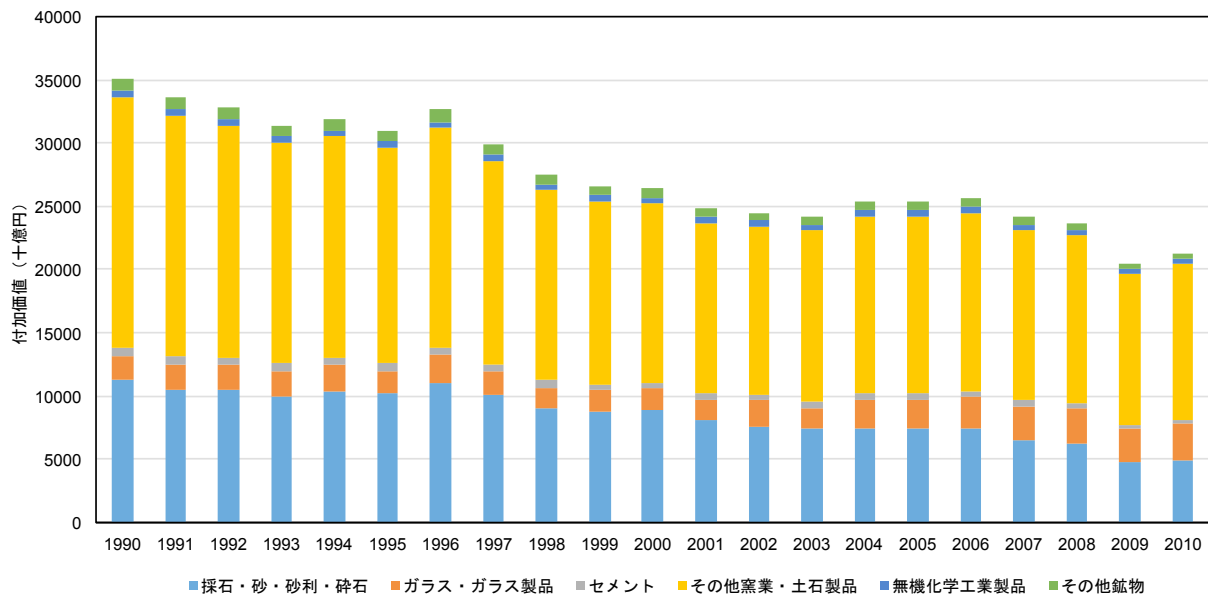
図 II.4.3(2)-ao 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(金属鉱物資源)(対象物質別)

非金属鉱物資源

非金属鉱物資源に関わる対象物質の利用に伴う付加価値の推計結果を図II.4.3(2)-ap～図II.4.3(2)-asに示す。全体的には減少傾向にあり、特に近年大きく減少している。

物質グループ別に見ると(図II.4.3(2)-ap～図II.4.3(2)-ar)、最も大きな付加価値を示したのは、その他窯業・土石製品であり、続いて採石・砂・砂利・碎石、ガラス・ガラス製品、その他鉱物、セメントの順となった。その他窯業・土石製品の付加価値は、約60%を占め、絶対量は減少した。採石・砂・砂利・碎石においても絶対量の減少傾向が見られた。全体の内訳としては、ガラス・ガラス製品の増加傾向と、採石・砂・砂利・碎石の減少傾向が見られた。

個別対象物質について見ると(図II.4.3(2)-as)、「その他の他に分類されない炭素製品」が顕著に大きな値を示し、その他窯業土石製品グループの付加価値を牽引している。続いて、「採石、砂・砂利・玉石」、「碎石」、「衛生陶器」、「その他の他に分類されないガラス・同製品」などが続く。いずれも減少傾向を示している。



図II.4.3(2)-ap 日本での物質利用で生み出された総付加価値の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

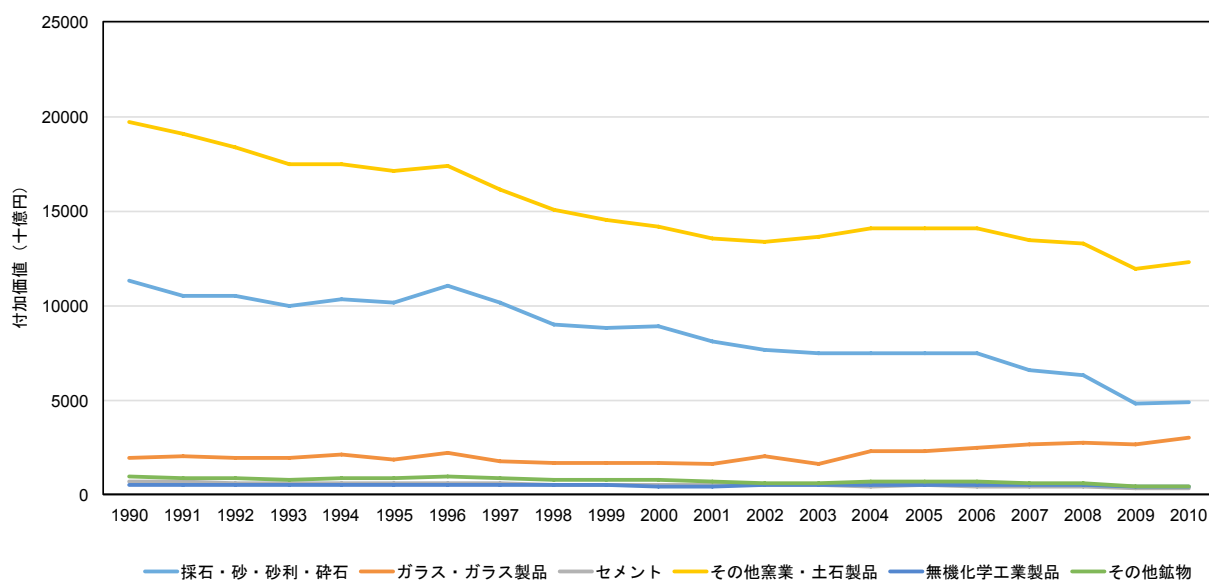


図 II.4.3(2)-aq 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

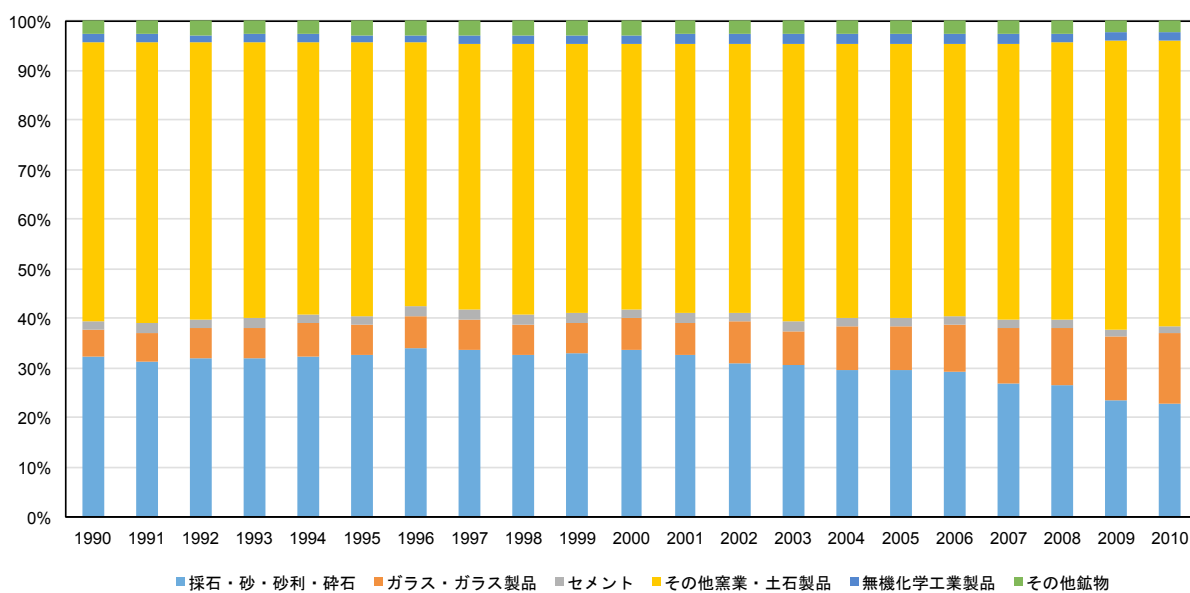


図 II.4.3(2)-ar 日本の物質利用で生み出された総付加価値の内訳の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

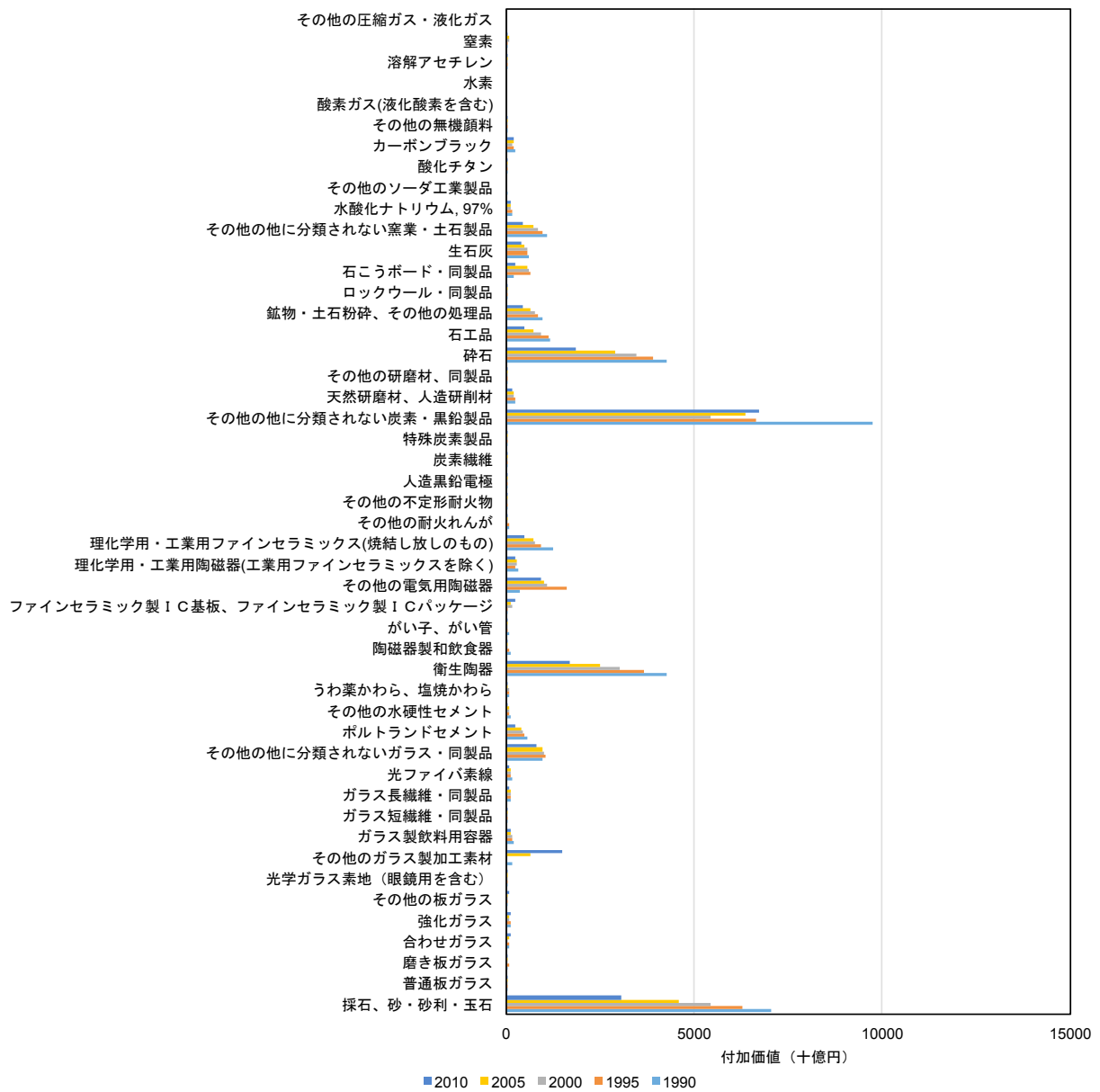


図 II.4.3(2)-as 日本の物質利用で生み出された総付加価値の推移(非金属鉱物資源)(対象物質別)

(3) 関連するマクロな統計との比較・検証

ここでは、関連するマクロな統計として日本の温室効果ガス排出量(環境省、2012)を用い、本研究で推計された温室効果ガス排出量との比較を行った。表 II.4.3(3)に示す通り、本研究で推計された温室効果ガス排出量はいずれも日本の排出量を下回っており、本研究では対象外となる排出もあることを考慮すると妥当な推計結果であると考えられる。なお、IDEAversion2に含まれる財・サービスは、とりわけ下流側について網羅性に乏しいことから、各排出量において下流側の割合が小さい。しかしながら、IDEAversion2に含まれる財・サービスからの温室効果ガス排出量のうちCO₂については、2010年の日本の排出量(環境省、2012)を上まわっていることに留意する必要がある。

表 II.4.3(3) 温室効果ガス(GHG)排出量の比較

	日本の GHG 排出量(2010 年) (環境省、2012)	本研究で推計された GHG 排出量(2010 年)	IDEAversion2 に含まれる財・ サービスからの GHG 排出量
CO ₂ (百万トン)	1,192	535	1366
CH ₄ (千トン)	971	722	927
N ₂ O(千トン)	71	33	54

(4) 日本の環境効率の時系列推計

4.3(2)における環境影響と付加価値の推計結果をもとに、日本の環境効率の時系列推計を行った。環境効率(Eco-Efficiency : EE)は、下式で定義される。

$$EE = \frac{V}{EI} = \frac{\sum V_i}{\sum EI_i}$$

ここで、Vは付加価値(value added)(円：実質値)、EIは環境影響(Environmental Impact : EI)(円)である。

まず、全ての対象物質利用に係る環境効率の時系列推計結果を図11.4.3(4)-aに示す。全対象物質の利用に係る環境効率は減少傾向と推計され、4資源ごとに見ると、非金属鉱物資源の環境効率が高く、生物資源の環境効率が低いと推計された。非金属鉱物資源、金属鉱物資源については、1990年代後半に減少傾向を示した後、2000年台はほぼ横ばいとなった。また、化石資源については、1990年代前半は微増、その後ほぼ横ばい傾向を経て2005年以降微減となり、生物資源については、一貫して微減傾向となった。日本の資源生産性はこの間約100%向上したが、環境効率は改善していないことが示唆された。この環境効率の推移に似た推移を示す関連指標として「土石系資源投入量を除いた資源生産性」があるが、例えば、現在の「資源生産性」よりも「土石系資源投入量を除いた資源生産性」をより重視することなどが今後の選択肢として考えられる。

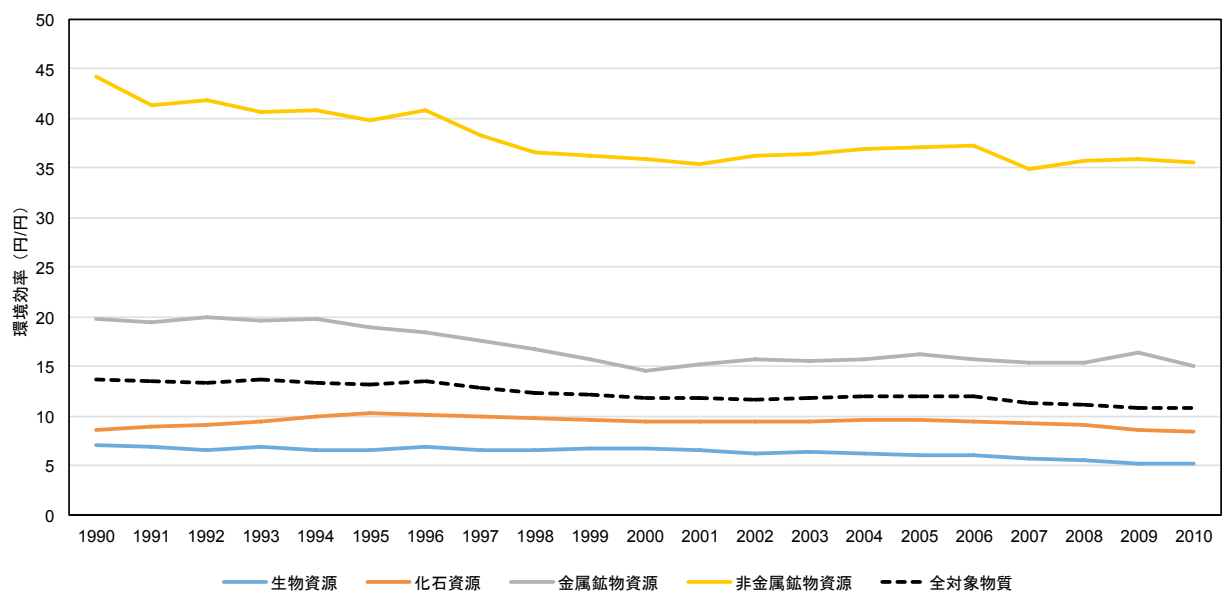


図11.4.3(4)-a 日本の物質利用に係る環境効率の推移(資源別)

次に、生物資源の対象物質利用に係る環境効率の時系列推計結果を図11.4.3(4)-bに示す。生物資源全体の環境効率は上述のとおり一貫して微減傾向と推計された。物質グループ別に見ると、漁業製品、木材製品の環境効率が高く、農業製品、畜産製品の環境効率が低いと推計された。漁業製品は、その環境影響(図11.4.3(2)-f)に対して生み出された付加価値(図11.4.3(2)-ae)が相対的に高いこと、木材製品は、建設業において利用する段階で多くの付加価値を生み出していることによるものと考えられる。ただし、いずれも減少傾向にある。また、農業製品、畜産製品の環境効率は横ばい傾向、紙製品はわずかに減少傾向と推計された。

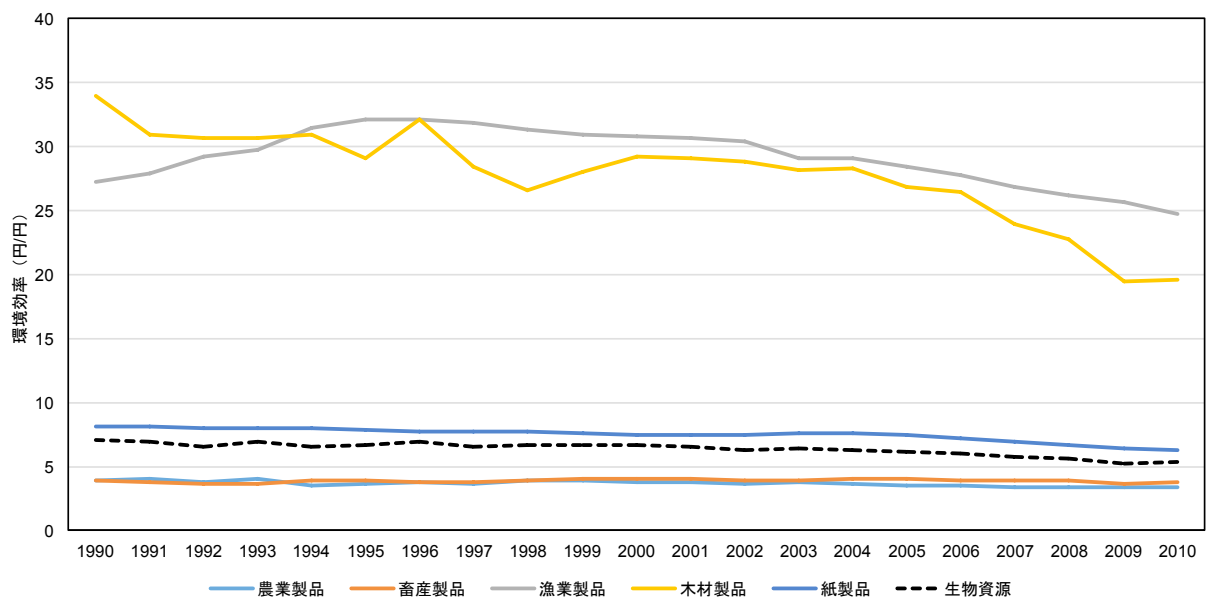


図 II.4.3(4)-b 日本の物質利用に係る環境効率の推移(生物資源)(物質グループ別)

化石資源の対象物質利用に係る環境効率の時系列推計結果を図 II.4.3(4)-c に示す。化石資源全体の環境効率は、上述のとおり 1990 年代前半は微増、その後ほぼ横ばい傾向を経て 2005 年以降微減していると推計された。環境影響が全体としてやや微増傾向にある一方で(図 II.4.3(2)-k)、付加価値が 1995 年までは増加推移してきたが、以降 2005 年まで横ばい、2005 年以降は減少傾向で推移した結果(図 II.4.3(2)-ah)が反映されている。物質グループ別に見ると、原油・天然ガスの環境効率が高く、有機化学工業製品の環境効率が低いと推計された。また、原油・天然ガス、化学繊維、石油石炭製品の環境効率は、1990 年代に上昇し、2000 年代は減少する傾向となった。一方、有機化学工業製品、プラスチックの環境効率は、1990 年代前半は減少し、その後上昇したが、2005 年以降減少する傾向となった。

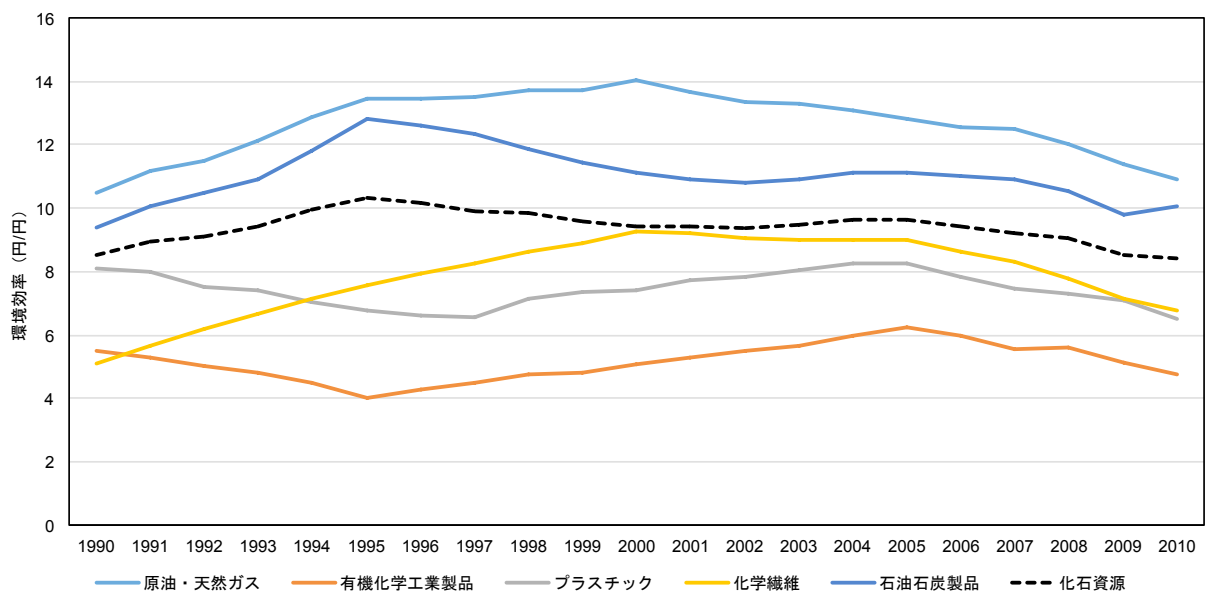


図 II.4.3(4)-c 日本の物質利用に係る環境効率の推移(化石資源)(物質グループ別)

金属鉱物資源の対象物質利用に係る環境効率の時系列推計結果を図 II.4.3(4)-d に示す。金属鉱物資源全体の環境効率は、上述のとおり 1990 年代後半に減少傾向を示した後、2000 年台はほぼ横ばいと推計された。環境影響が全体としてやや微増傾向にある一方で(図 II.4.3(2)-p)、付加価値が 1990 年代後半に減少し、その後微増傾向で推移した結果(図 II.4.3(2)-al)が反映されている。物質グループ別に見ると、その他の金属およびアルミニウムの環境効率が高く、銅の環境効率が低いと推計された。これは、その他の金属については、「非鉄金属(一次製錬・精製によるもの)」を中心に高い付加価値を生み出していること、アルミニウムについては、再生アルミニウムを対象としており、その環境影響が小さいことなどが影響していると考えられる。また、銅については、下流側で生み出される付加価値が小さく推計されたことが影響していると考えられる。

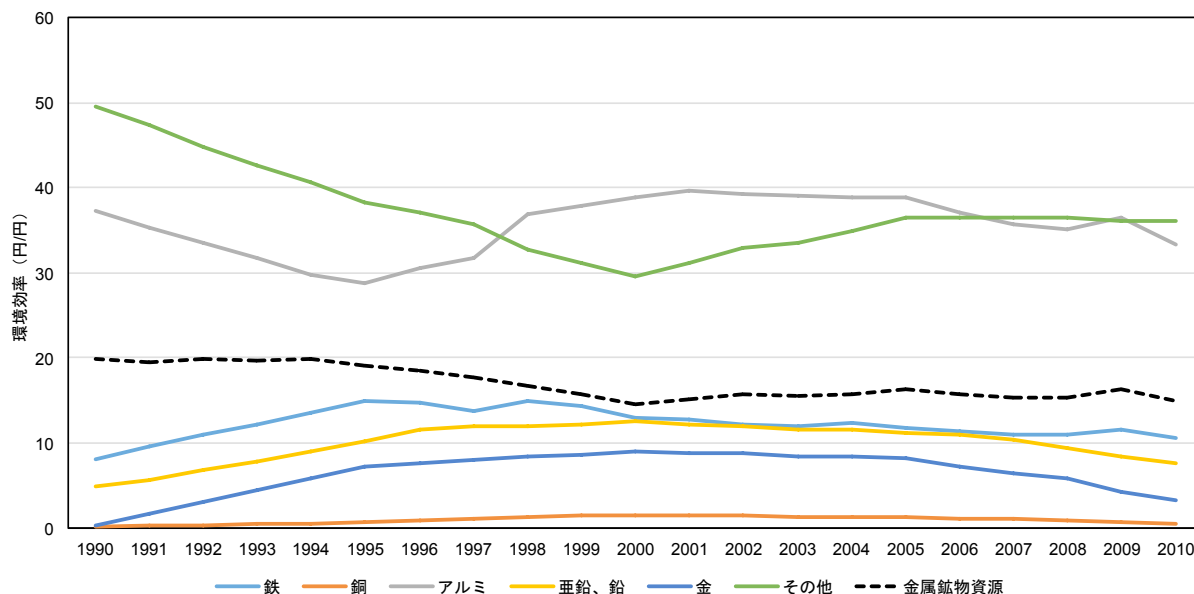


図 II.4.3(4)-d 日本の物質利用に係る環境効率の推移(金属鉱物資源)(物質グループ別)

非金属鉱物資源の対象物質利用に係る環境効率の時系列推計結果を図 II.4.3(4)-e に示す。非金属鉱物資源全体の環境効率は、上述のとおり 1990 年代後半に減少傾向を示した後、2000 年台はほぼ横ばいと推計された。物質グループ別に見ると、採石・砂・砂利・碎石の環境効率が高く、セメントの環境効率が低いと推計された。これは建設業において利用する段階で生み出される付加価値の大きさと、採石・砂・砂利・碎石の環境影響の小ささ、セメントの環境影響の大きさの相対的關係が影響しているものと考えられる。また、その他窯業・土石製品の環境効率が高いと推計されたが、これは生み出している付加価値の大きさを反映したものであり、この間の環境効率は減少傾向にあると推計された。また、ガラス・ガラス製品の環境効率は 2005 年以降微増、無機化学工業製品の環境効率はこの間減少傾向と推計された。

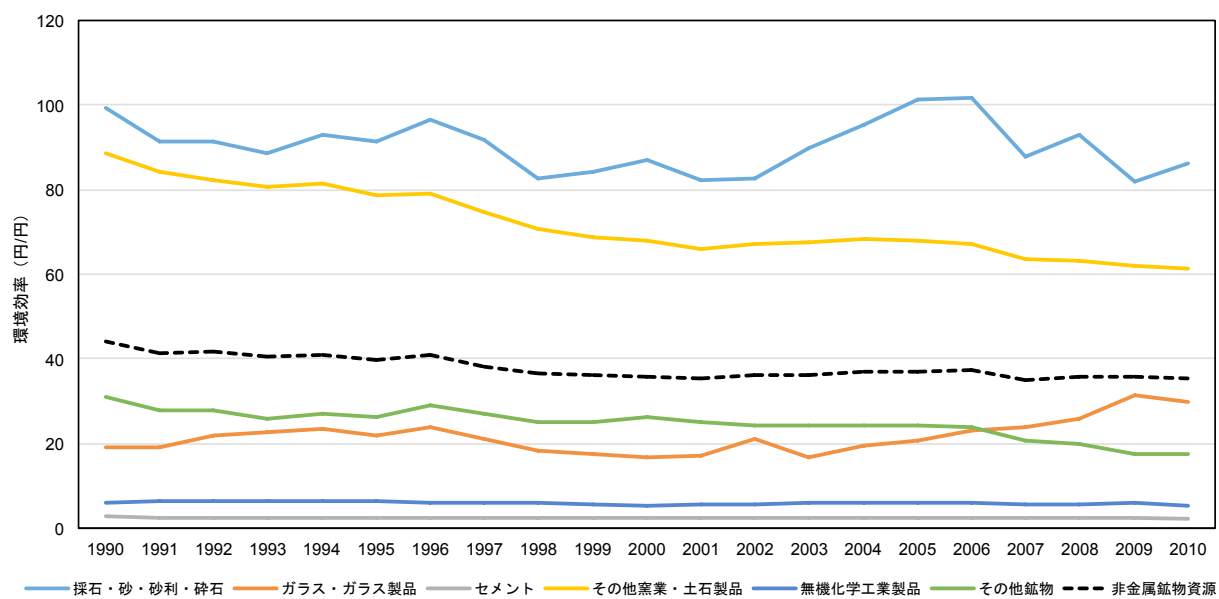


図 II.4.3(4)-e 日本の物質利用に係る環境効率の推移(非金属鉱物資源)(物質グループ別)

4.4 日本の環境効率の推移の要因分析

(1) 構造分解式と構造分解の方法

4.3(4)において推計した1990～2010年の日本の環境効率の推移の要因を検討するため、下式の構造分解を行った。ここでは、因子の解釈を容易にするため、環境効率(EE)の逆数を構造分解している。

$$\frac{1}{EE} = \frac{e_{tot}}{v_{tot}} = \sum_i \frac{e_i}{v_i} \times \frac{v_i}{v_{tot}}$$

ここで、 e_{tot} は全対象物質の環境影響、 v_{tot} は全対象物質の付加価値、 e_i は物質*i*の環境影響、 v_i は物質*i*の付加価値である。

第1因子の e_i/v_i ($= \alpha$ とする)は、対象物質*i*の環境効率の逆数である。したがって、この値が小さくなるほど左辺の環境効率は良くなる。

第2因子の v_i/v_{tot} ($= \beta$ とする)は、全対象物質の付加価値に占める対象物質*i*の付加価値のシェアである。したがって、環境効率の良い対象物質の付加価値のシェアが大きくなるほど左辺の環境効率は良くなる。

ここで、 y_1 年から y_2 年にかけての環境効率の差がこれらの2つの因子の和で説明できるとすると、以下のように表すことができる。 $\alpha effect$ 、 $\beta effect$ は、それぞれ第1因子(対象物質*i*の環境効率の変化による影響)、第2因子(全対象物質の付加価値に占める対象物質*i*の付加価値のシェアの変化による影響)に対応するものである。

$$\Delta \frac{1}{EE} = \frac{1}{EE_{y_2}} - \frac{1}{EE_{y_1}} = \alpha effect + \beta effect$$

各因子の大きさは、complete decomposition model(Sun, 1998)を用いて計算することができる。例えば、 y_1 年と y_2 年の環境効率の差分に対する $\alpha effect$ 、 $\beta effect$ は、

$$\alpha effect = \Delta \alpha \beta + \frac{\Delta \alpha \Delta \beta}{2}$$

$$\beta effect = \alpha \Delta \beta + \frac{\Delta \alpha \Delta \beta}{2}$$

となる。 $\Delta \alpha$ は $\Delta \alpha = \alpha_{y_2} - \alpha_{y_1}$ のように計算され、 $\Delta \beta$ も同様である。

(2) 要因分析の結果

図 II.4.4(2)-a は、基準年(1990 年、1995 年、2000 年、2005 年)から比較対象年(1995 年、2000 年、2005 年、2010 年)にかけての環境効率の逆数の変化に対する 2 つの因子の影響を推計した結果である。値が正の場合当該因子が環境効率を減少させる方向に、値が負の場合当該因子が環境効率を増加させる方向に働いていることを示している。

全体として、2000 年までは β effect(全対象物質の付加価値に占める対象物質 i の付加価値のシェアの変化による影響)が大きく、2000 年以降は α effect(対象物質 i の環境効率の変化による影響)が大きいと推計された。2005-2010 年以外のいずれの期間においても、 α effect(対象物質 i の環境効率の変化による影響)は負の値を示している。これは、基準年の対象物質の環境効率と比較して、比較対象年のそれが良くなり、全体の環境効率の改善に貢献したことを意味する。一方、2005-2010 年では、 α effect(対象物質 i の環境効率の変化による影響)は正の値となり、2005 年の対象物質の環境効率と比較して、2010 年のそれが悪くなり、全体の環境効率の悪化に寄与したと推計された。また、2005-2010 年以外のいずれの期間においても、 β effect(全対象物質の付加価値に占める対象物質 i の付加価値のシェアの変化による影響)は正の値を示している。これは、環境効率の悪い対象物質の付加価値のシェアが、比較対象年のそれよりも大きくなり、環境効率の悪化に寄与したことを意味する。一方、2005-2010 年では、 β effect(全対象物質の付加価値に占める対象物質 i の付加価値のシェアの変化による影響)は負の値となり、環境効率の良い対象物質の 2005 年の付加価値のシェアが、比較対象年のそれよりも大きくなり、環境効率の改善に寄与したと推計された。つまり、1990 年代は、各対象物質の環境効率が全体として上昇し(α effect)、付加価値生産のシェアがより環境効率の悪い対象物質にシフトした(β effect)ことにより、対象物質利用の環境効率が悪化したのに対し、2000 年台後半は、各対象物質の環境効率が全体として低下し(α effect)、付加価値生産のシェアがより環境効率の良い対象物質にシフトした、もしくはより環境効率の悪い対象物質のシェアが低下した(β effect)ことが示されている。

同様に各資源の影響を見ると、2000-2005 年において、生物資源および非金属鉱物資源の影響が負の値となったほかは、いずれの期間も正の値となった。1990-1995 年においては化石資源、金属鉱物資源の影響が大きく、1995-2000 年および 2005-2010 年においては生物資源、金属鉱物資源、化石資源の影響が大きくなった。非金属鉱物の影響はほかの資源と比較して小さかった。

α effect(対象物質 i の環境効率の変化による影響)を物質グループ別に見ると(図 II.4.4(2)-b)、農業製品、木材製品、銅、金等の影響が大きいと推計された。農業製品については玄米、小麦など、木材製品については普通合板、ひき角類、ひき割類などの環境効率の変化の影響が大きかった。農業製品については、1995-2000 年を除いて環境効率が悪化しているが、これは農業の大規模化・集約化による相対的な付加価値の減少によるものと考えられる。木材製品については、1990 年代の変化が大きいが、この理由については更なる検討が必要と考えられる。銅については、1990 年代に環境効率が改善したが 2000 年台は悪化する傾向にあり、金については、1990-1995 年に環境効率が大きく改善したと推計された。ほとんどの物質グループで、2005-2010 年に環境効率が改善していることも分かる。

β effect(全対象物質の付加価値に占める対象物質 i の付加価値のシェアの変化による影響)を物質グループ別に見ると(図 II.4.4(2)-c)、同様に農業製品、木材製品、銅、金等の影響が大きいと推計された。農業製品については玄米、小麦など、木材製品については普通合板、ひき角類、ひき割類などの環境効率の変化の影響が大きかった。環境効率の低い農業製品については、その付加価値のシェアが減少傾向にあり、これが全体の環境効率の改善に寄与したと考えられる。また、銅や金の環境効率も低く、1990 年代にそれらの付加価値のシェアが増加したことが、同年代の全体の環境効率を悪化させる結果となった。

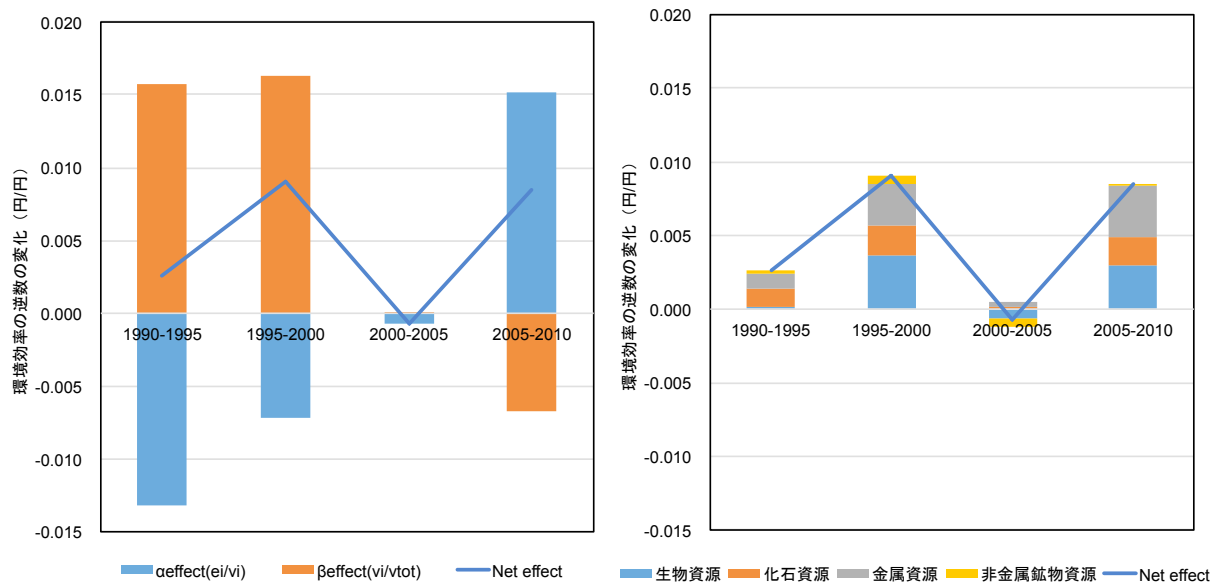


図 II.4.4(2)-a 日本の物質利用に係る環境効率の逆数の変化に対する各因子の影響

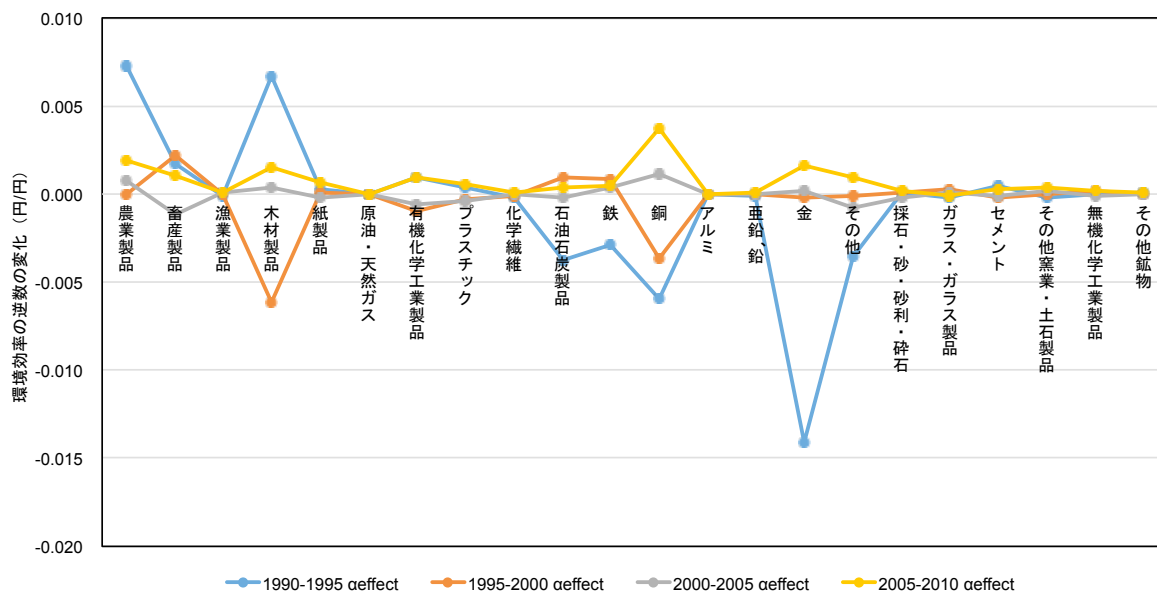
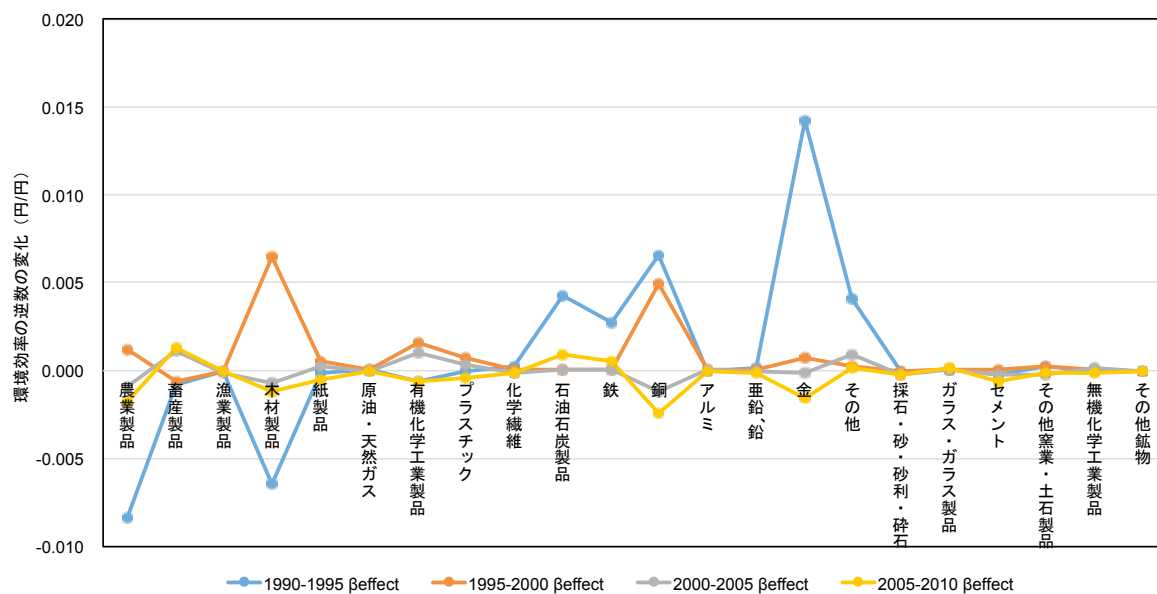


図 II.4.4(2)-b 日本の物質利用に係る環境効率の逆数の変化に対するα因子の影響(物質グループ別)



図II.4.4(2)-c 日本の物質利用に係る環境効率の逆数の変化に対する β 因子の影響(物質グループ別)

4.5 本研究の成果のまとめ

本研究の各項目に対応した主な成果は以下の通りである。

- ① 物質利用に着目した国レベルの環境効率の算定に関する既存研究において、環境影響のダブルカウントや物質生産以降の環境影響の考慮等の手法上の課題があることを整理した。
- ② 物質利用に着目した国レベルの環境効率の算定において、論理性・網羅性のある対象物質選定方法を構築するとともに、ある対象物質が別の対象物質の原材料となる場合の環境影響の配分方法、対象物質が使用される下流側で発生する環境影響の配分方法を提示した。
- ③ 日本の天然資源等消費量は1990～2010年の間約40%減少し、資源生産性も約100%向上したが、日本の物質利用に伴う環境影響はこの間ほぼ横ばいで推移し、物質利用に係る環境効率も減少していることを示した。
- ④ 日本の物質利用に係る環境効率の減少は、1990年代は各対象物質の付加価値のシェアの変化、2000年代後半は各対象物質の環境効率の変化によるものであることを示した。

これらの結果はさらなる検討・検証を要するものの、天然資源等消費量の減少が環境影響の減少に寄与していない状況が示唆されたことは、今後の環境政策の対象を再考する必要性を示唆している。例えば、通常の「資源生産性」よりも「土石系資源投入量を除いた資源生産性」をより重視することなどが考えられる。

なお、環境省が2016年度に設置した「循環基本計画分析・新指標検討ワーキンググループ」では、(1)第3次循環基本計画の進捗状況の点検・分析、(2)次期基本計画に向けた指標の検討、(3)次期循環基本計画の目標検討のためのモデル及び2030年・2050年の循環型社会の検討が行われたが、この第3回会合において、本研究プロジェクトの進捗報告を行い、指標検討の議論に貢献した。

III 添付資料

参考文献

EC (2010a) ELCD core database version II. May 2010. <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>

EC (2010b) ILCD Handbook – General guide for Life Cycle Assessment – detailed guidance. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability

EC (2012) Life cycle indicators framework: development of life cycle based macro-level monitoring indicators for resources, products and waste for the EU-27. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability

Sun, J. W. (1998) Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model. *Energy Economics*, 20, pp.58-100

van der Voet, E., L. van Oers, and I. Nikolic (2003) Dematerialization: Not just a matter of weight, CML report 160, Leiden University

van der Voet, E., L. van Oers, and I. Nikolic (2004) Dematerialization: Not just a matter of weight, *Journal of Industrial Ecology*, 8(4), pp.121-137

WRI and WBCSD (2011) Corporate Value Chain (Scope3) Accounting and Reporting Standard

伊坪徳宏・稲葉敦 (2014) LIME2—意思決定を支援する環境影響評価手法、産業環境管理協会

環境省 (2012) 2010 年度(平成 22 年度)の温室効果ガス排出量(確定値)

環境省・経済産業省 (2015) サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン(ver 2.2)

産業技術総合研究所・産業環境管理協会 (2017) LCI データベース IDEA version 2

平成二十九年

環境経済の政策研究

資源循環に係る環境効率に関する調査・検討

研究報告書

平成三〇年三月

立命館大学