



NIMS-EMC 材料環境情報データ No.10
関与物質総量(TMR)の算定
—資源および工業材料のTMR—

独立行政法人 物質・材料研究機構
エコマテリアル研究センター

NIMS-EMC 材料環境情報データ No.10
関与物質総量(TMR)の算定
—資源および工業材料のTMR—
2006年 3月

執筆者

中島 謙一

井島 清

原田幸明

(独) 物質・材料研究機構
エコマテリアル研究センター

環境の世紀とも呼ばれる21世紀になって、経済活動や生活のあらゆる局面で地球環境を考慮した変化が進んでくるようになってきています。そのような中で素材や材料は、あらゆる製品をかたちづくっている存在であり、かつ、資源として地球環境圏から取り出され、廃棄物として地球環境圏に戻される、地球環境に密接に係わった存在でもあります。それゆえ素材の製造者だけでなく、製品の製造者、使用者、さらには処理に係わる人達すべてが、使用されている素材に対して、その素材に係わる環境負荷やリサイクルのしやすさ・状況等を的確に知り資源生産性の向上や持続可能な社会に向けた選択に生かして行くことが重要です。

しかし、そのために必要な材料の環境負荷や循環に対する情報はまだあまり整備されておられません。中には一部の側面だけを肥大化させた情報などが散見され判断に困る場合も出てきています。

このような状況に対し、エコマテリアル研究センターでは、信頼性における材料環境情報の整備が物質・材料研究の中核機関として欠くことのできない努めであると判断し、ここに、NIMS－EMC材料環境データをシリーズとして発行する事にしました。なお、NIMSは物質・材料研究機構 (National Institute for Materials Science) の略、EMCはエコマテリアル研究センター (EcoMaterials Center) の略です。データ集やデータベースとは若干赴きは異なりますが、専門家による綿密な聞き込み調査などをもとに統計資料などでは得られない材料の製造や循環に係わるデータや、LCA的な考察に不可欠の材料データなどを提供して行きたいと考えております。

2006年

物質・材料研究機構

エコマテリアル研究センター長

原田 幸明

目 次

1. はじめに
2. 本研究の目的
3. 関与物質総量 (TMR: Total Material Requirement)
4. 関与物質総量 (TMR) の算定
 4. 1. TMR の算定方法
 4. 2. エネルギー資源の TMR
 4. 3. 非金属鉱物資源の TMR
 4. 4. バイオマス資源の TMR
 4. 5. 工業材料の TMR
5. 関与物質総量 (TMR) を用いたリサイクルフロー解析
6. 考察
7. おわりに

REFERENCE

1. はじめに

近年、深刻化しつつある地球環境問題を受けて、循環型社会の形成が求められている。日本においては、2000年に循環型社会形成推進基本法が施行され、循環型社会の形成に向けて歩みだしている。この循環型社会の形成を進めていく上で、重要視されているのが、「物質循環」の効率的な促進である。日本においては、環境省から3つの物質フロー指標が示され、2010年に向けた数値目標が定められている。3つの物質フロー指標とは、(1)資源生産性(=GDP/天然資源等投入量)、(2)循環利用率(=循環利用量/(循環利用量+天然資源等投入量))、(3)最終処分量である。「物質循環」のひとつの理想的な姿は、物質の流れが閉鎖ループになることである。現実的には、現在の生活水準をほぼ維持しながら入口側の天然資源等投入量を絞り(資源生産性の向上)、循環利用ループを可能な限り太くして最終処分量の極少化を図ることであると考えられる。

しかしながら、このような視点に立った場合、見落とされがちな点が、ヒドウンフロー(隠れたフローもしくはエコリュックサック)である。例えば、銅について考えてみる。一般的な銅鉱石(硫化鉱)の品位は0.8%程度であり、国内で銅1tを製造しようとするとなら125t必要であるが、通常は山元で中間処理によって40%程度まで銅品位を上げた精鉱を輸入しているので、必要量は2.5tで済む。品位を高めた精鉱を得ることによって、その後の国内における製錬工程での資源・エネルギー投入量も格段に低減できているので、計算上は資源生産性が50倍以上も向上していることになる。しかしながら、その向上分は資源産出国での負荷分と等価である。このヒドウンフローに関する研究は、国内外において積極的に実施されている。海外においては、ドイツのWuppertal Instituteが先駆的に研究¹⁾²⁾を進めており、日本においては、著者の一人である原田らが金属のTMR(Total Materials Requirement)の概算³⁾を実施している。なお、これらの指標は、上記の資源の質を評価するための1つの指標としても注目を浴びている。

2. 本研究の目的

本研究では、(1)資源および工業材料のTMRの算定を実施すると共に、(2)使用済み自動車(ELV)リサイクルを取り上げ、資源指標としてTMRを用いたリサイクルフローの解析手法の検討を実施する。対象資源としては、産業活動において必要不可欠である石炭、石油、天然ガス等のエネルギー資源、木材や農作物のバイオマス資源、石灰石など非金属鉱物資源を取り上げた。そして、対象材料としては、アルミニウム、プラスチック、紙、スチールを取り上げた。本研究で対象とした資源をTable 2-1に、工業材料をTable 2-2に示した。

Table 2-1 対象とした資源の種類

(a) Energy resource and Power generation

エネルギー資源	石油
	石炭
	天然ガス
	石油(燃焼)
	石炭(燃焼)
発電	天然ガス(燃焼)
	石油火力
	石炭火力
	天然ガス火力
	原子力

(c) Biomass resource

バイオマス資源	稲
	小麦
	二条大麦
	六条大麦
	裸麦
	大豆
	小豆
	いんげん
	らっかせい
	馬鈴薯
	かんしょ
	かんしょ(でんぷん原料)
	牧草
	青刈りとうもろこし
木材	

(b) Non-Metallic ore

非金属鉱物資源	けい石	白けい石	
		天然けい砂	
		蛙目けい砂	
	ろう石	石灰石	
		ドロマイト	
		耐火粘土	カオリン
			頁岩粘土
		木節粘土	
		蛙目粘土	

Table 2-2 対象とした工業材料の種類

分類	工業材料
プラスチック	・ポリエチレン(PE): 高密度ポリエチレン粒(HDPE), 低密度ポリエチレン粒(LDPE), 直鎖状低密度ポリエチレン粒(LLDPE)
	・ポリプロピレン粒(PP)
	・ポリスチレン(PS): ポリスチレン一般(GPPS), 耐衝撃ポリスチレン(HIPS)
	発泡ポリスチレン(EPS)
	・ポリ塩化ビニル粉(PVC)
	・ポリ塩化ビニリデン粒(PVDC)
	・ポリエチレンテレフタレート粒(PET)
アルミニウム	・酸化アルミニウム、アルミニウムインゴット、アルミ箔、アルミニウム(再生)
ガラス	・ガラス茶色、ガラス緑、ガラス無色
印刷用紙	・紙(無木材)
	・紙(木材)
	・リサイクル紙
	・新聞用紙
厚紙	・グレーボール紙(GK)
	・2重/3重ボール紙(GD/GT)
	・Chromo board(GC)
	・パルプボール紙(GZ)
	・液体包装ボール紙(LPB)
段ボール	・再生段ボール(紙)
	・段ボール(紙)
	・再生段ボール(繊維)
	・段ボール(繊維)
	・段ボール(混合)
包装用紙	・クラフト紙
	・クラフト紙(表面加工)
	・スイスクラフト紙
	・製袋紙
鋼板	・クロムメッキ鋼板(ECCS)
	・ブリキ

3. 関与物質総量 (TMR: Total Materials Requirement)

TMRの日本語訳は未だ合意が得られておらず、環境背後量や関与物質総量等と呼ばれている。本研究では、TMRをその性格付けから関与物質総量と呼ぶ。この関与物質総量 (M_{TMR}) は、以下の式により定義される。

$$M_{TMR} = \sum M_{DI(i)} + \sum M_{II(i)} + \sum M_{HF(i)} \quad (1)$$

ここで、 $M_{DI(i)}$ は直接物質投入量を、 $M_{II(i)}$ は間接物質投入量を、 $M_{HF(i)}$ は隠れた物質フロー量を表す。なお、添え字*i*は、素材もしくは製品に含まれる対象物質の成分を表す。直接物質投入量および間接物質投入量は、人間の経済的行為として、直接的に、もしくは間接的に投入された物質の量である。これらはまとめて、経済フローとも呼ばれ、さまざまな経済統計資料などで入手可能な量である。そして、隠れた物質フロー量は、関与物質総量に不可欠な概念である。隠れた物質フロー量は、直接および間接的な経済行為に伴う物質以外にその行為に伴って起こる物質の移動や攪乱の量であり、採掘に伴う岩石や土砂の移動、森林の伐採、石油採掘 (水攻法) などに必要とされる水を含めた変更された水系、さらには土地の再生や景観の保護のために必要な物質の総量も含める。なお、本評価では、土および水のTMRを対象としており、その算定根拠が不明確であることから空気のTMRについては、算定対象としていない。また、水力発電のTMRについては、未だ検討の余地はあるものの本研究ではゼロとした。

4. 関与物質総量 (TMR) の算定

4. 1. TMR の算定方法

Figure 4-1 に示したプロセスフローの例を用いて、本研究における製品のTMR ($TMR_{product}$) の算定方法を以下に示す。図中のflowは、物質もしくはエネルギーの流れを、processは製造や処理などのプロセスを意味する。ここで、 $w_{s,jk}$ をプロセス*j*からプロセス*k*へのフロー*s*のフロー量、 t_s を投入フロー*s*の単位質量あたりのTMRとすると、製品のTMRは (2) 式により表される。

$$TMR_{product} = \sum_{s=1}^n w_{s,jk} t_s \quad (2)$$
$$w_{s,jk} = 0 \quad (j \neq 0)$$

ここで、 $j=0$ は、Figure 4-1 中の破線で示された境界の外部のプロセスを意味する。すなわち、本研究では、評価対象となる製品システムへの投入フローの TMR の総和を取ることで TMR を算定する。これは、原単位型の LCA において、システム境界外部から入力される物質やエネルギーに関して環境負荷を割り付ける手法と同様である。

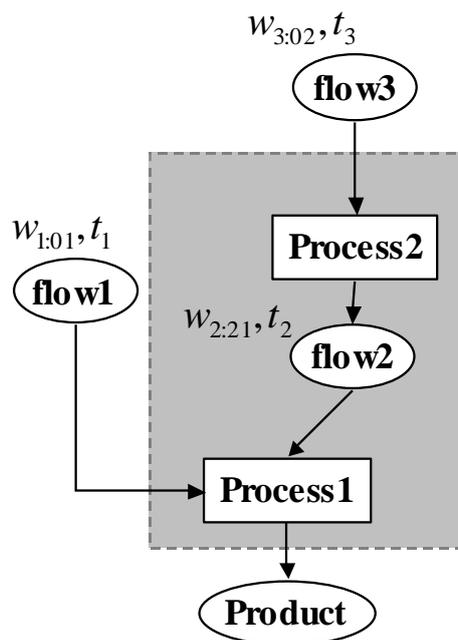


Figure 4-1 製品製造のプロセスフロー図の例

製品製造プロセスにおいて、目的としている主製品の他に、共製品や副産物が産出される場合がある。その場合、LCAにおいては、未だ明確な取り扱い方法が確立されてはいないものの、算出根拠を明確にした上で、システムの拡張やアロケーション⁴⁾を実施することが妥当とされている。一方で、TMRにおいても同様の手法を取ることが妥当か否かは今後の議論が必要な点である。なお、本研究では、石油製品については、生産量に基づいてアロケーションを実施すると共に、スクラップ等の他の物質については、ゼロとした。

4. 2. エネルギー資源の TMR

エネルギー資源および電力のTMRについては、著者の一人である原田らが、既に算出⁵⁾している。本研究では、既報のデータを精緻化すると共に、一部のデータについては修正を加えて、改めて算出を実施した。算出に当たり、原田らの既存研究と同様に、エネルギー原単位については総合エネルギー統計（平成 12 年度版）⁶⁾を用いると共に、発電のインベントリデータについては内山ら⁷⁾のデータを参考にした。

(1) 石油資源および石油火力発電の TMR

石油資源にかかわる関与物質総量は、油井の最盛期においては地中圧により原油が噴出するケースが多いため、過剰な関連物質はほとんどないとみなされてきた。しかし、油井のライフサイクルを考えると、地中圧が減少し生産性が低下してきた際に、水圧をかけて原油を押し出す「水攻め」、さらに爆発などの圧力をかけて押し出す「火攻め」などの採掘法がとられており、この段階になると 100%の原油ではなく、水と原油の混じった混合液体が採掘

される。この採油物の中の水と原油成分の比は水油比（WOR）と呼ばれ、原油 1 に対する水の量であらわされる。この水油比は、油井の経年に従って増加していき、油井の寿命が尽きる段階では 100 近くになるケースも報告されている。ここで、油井の寿命を T として t の時点での生産量を $y(t)$ 、WOR を $w(t)$ として表すと、全資源量である TMR は、以下の式により表される。

$$TMR_{oil} = \frac{\int_0^T y(t) \cdot (w(t) + 1) dt}{\int_0^T y(t) dt}$$

この生産量と水油比の関係は Purvis ら（Analysis of production-performance graphs, R.A.Purvis, The J.of Canadian Petroleum, July-August 1985）などにより考察されているが、Baker (Richard Baker: “Reservoir Management for Water Floods II” J Canadian Petroleum Technology, Vol.37 (1998) No.1,12-17) が、実操業のデータをもとに累積生産量と水油比の関係を表している。グラフを読み取り積分して平均することにより、TMR が 7.4 kg/L として得られる。なお、この WOR 曲線が一旦上昇した後一時減少しているのは、「水攻め」などによる生産性の向上によるものである。このようにして得られた石油の採掘の TMR = 7.4kg/L に燃焼のエネルギー原単位 38.7MJ/L（資源エネルギー庁長官官房企画調査課：総合エネルギー統計（平成 12 年度版））を掛けることで、石油燃焼の TMR = 0.19kg/MJ が得られる。先の原田らの算出では、石油燃焼の TMR について転記の際に誤りがあった。

さらに内山らのデータによると、石油火力発電の場合、6169GWh の発電に 1448.8ML の石油が必要であり、そこから石油火力発電の TMR = $7.40 \times 1.4488 / 6.169 = 1.74 \text{kg/kWh}$ すなわち、0.48kg/MJ が得られる。

（2）石炭資源および石炭火力発電の TMR

石炭の燃焼によるエネルギーは石炭 1kg あたり 32.2MJ である。つまり、1MJ の燃焼エネルギーを発生するのに 0.03kg の石炭が必要になる。石炭については、すでに第一期において実石炭鉱山データから 12.4t/t の値を得ており、そこから石炭燃焼 1MJ 当たりの TMR（関与物質総量）は 0.39kg/MJ となる。先の原田らの算出では、石炭燃焼の TMR 算出の際に石炭の TMR の転記に誤りがあったために算出結果が異なる。

さらに内山らのデータによると、石炭火力発電の場合、6084GWh の発電に 2.336Mt 石炭が必要であり、そこから石炭火力発電の TMR = $12.4 \times 2.336 / 6.084 = 4.76 \text{kg/kWh}$ すなわち、1.32kg/MJ が得られる。

（3）天然ガス資源および天然ガス発電の TMR

天然ガス火力の場合も天然ガスの採掘にともなう TMR を求める必要がある。天然ガスの場合は得る物質が気相であるため TMR の推定は難しいが、日本および日本が取引している天然ガス田では石油と同時に得られていることから、天然ガスに随伴する石油量の平均値を得て、

そこに石油のTMRをかけて天然ガスのTMRを近似的に推算する手法をとった。天然ガス田の天然ガス/石油比は、日本石油開発事業団のHP⁸から、次のようなデータを得て生産量で加重平均をとった。JAPEX.U.S. 石油 20.7kL/d: 天然ガス 700Km³/d, JAPEX Galf 4.77kL/d: 868Km³/d, Gebang (スマトラ) 51kL/d: 364Km³/d, SangaSanga 6.3ML/d: 33.6Mm³/d, 勇払 241.8KL/d: 256.1Km³/d, 申川 77.8KL/d: 5.7Km³/d, 由利 49.4kL/d: 27.4Km³/d, 岩船沖 661.7KL/d: 306.2Km³/d, 東新潟 240.7KL/d: 658.5Km³/d, 吉井 101.0KL/d: 578.4Km³/d, 片貝 83.9KL/d: 813.9Km³/dであり、平均すると4.88m³/Lすなわち0.2L/m³の原油と共存していることになる。原油の比重を0.85とし、さらに原油のTMRである7.4をかけることにより、 $0.2 \times 0.85 \times 7.4 = 1.26$ として1.26kg/m³のTMRが得られる。この天然ガスをメタンとして9,700Kcal/m³ = 40.6MJ/m³の燃焼熱で計算すると、天然ガスの1MJ当たりのTMR = 0.031 kg/MJとなる。

さらに内山らのデータによると、天然ガス発電の場合、6169GWhの電力発生に1.1145Mtの天然ガスが必要とされているので、これもメタン換算により $1.1145 \times 22.4/16 = 1.56$ Gm³の体積の天然ガスから63,300TJ = 1963Gt-TMRが必要ということになり、0.088kg/MJが天然ガス発電のTMRとして得られる。

(4) 原子力発電のTMR

原子力発電の場合、内山らのデータによると、5868Gwhの発電に127tのU分がUF₆の形で消費される。Uの鉱石のTMRは11000であるから、 $127K/5868G \times 11000 = 0.238$ kg/kWhとなり、0.066kg/MJが原子力発電のTMRになる。先原田らの算出では、転記に誤りがあったために算出結果が異なる。

なお、Uの鉱石のTMRとしての11000の値は、実鉱山データや鉱床データが乏しいことから地殻データから推算したものであったが、市民オンブスマン岡山のHP⁹で公開された2001年3月23日にすべての施設が操業終了した人形峠の情報によると、露天掘採掘場でウラン鉱石採掘量55,650tに対して約55,000m³のウラン鉱さい、製錬廃さいを投棄し、ダムには34,000m³の鉱さいが投棄、また敷地内のウラン残土は251,000m³が投棄、との情報より、鉱石あたり鉱さいと残土を比重を1とみなしても $(251+34+55+55.65)kt/(55.65)kt = 7.11$ の比率となり、内山「発電プラントのエネルギー収支分析」より、1GW軽水炉(6347GWh/y)にUO₂が25.4t/y使用され、その際のU鉱石57,800t/yのデータから、鉱石品位を $25.4 \times (285/317)/57800 = 0.04\%$ となり、 $7.11/0.04\% = 35500$ と、比較的條件の悪い日本の鉱山においてもほぼ同じオーダーの値となっており、地殻データからの推算も一次近似としては妥当なものといえる。

Figure 4-2 およびFigure 4-3 に、それぞれ、本研究によるエネルギー資源のTMRおよび電力のTMRの算出結果を示した。ここでTMR(s)は土砂や尾鉱などの固形分を、TMR(aq)は水分を示す。さらに、Table 4-1 およびTable 4-2 には、それぞれ、本研究によるエネルギー資源のTMRおよび電力のTMRの算出結果と合わせて既存研究⁵⁾の算出結果を示した。なお、

OECDの電力については、電源構成(石油火力発電 50%、石炭火力発電 19%、天然ガス 13%、原子力 16%) より算出した。

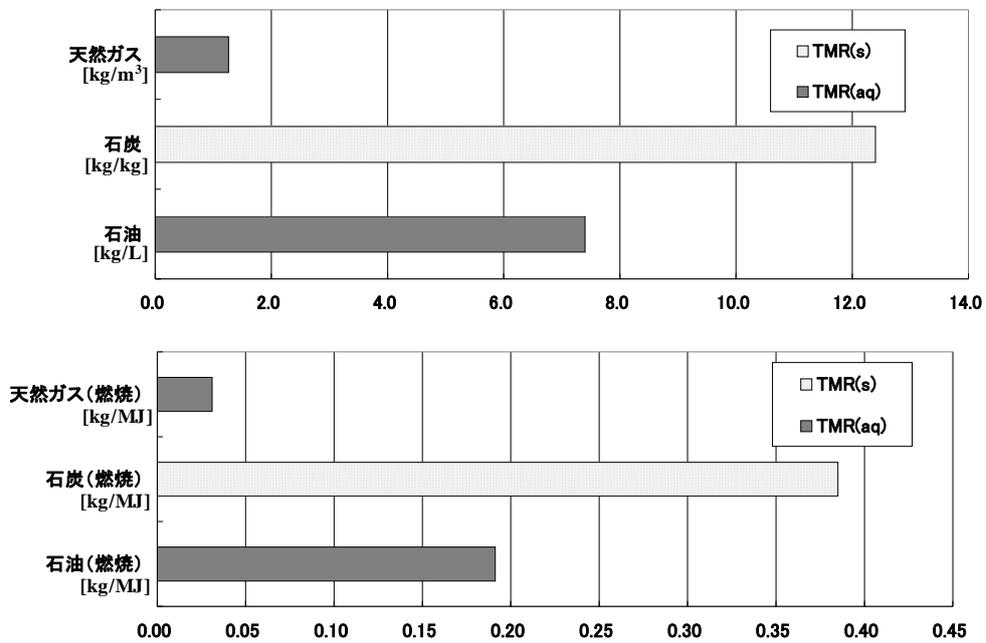


Figure 4-2 エネルギー資源の TMR

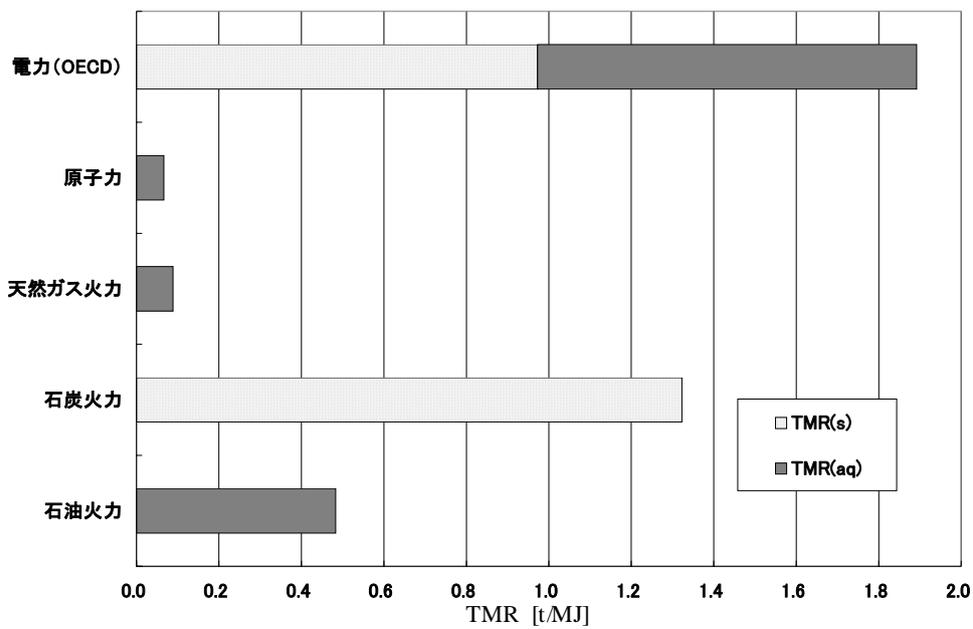


Figure 4-3 電力の TMR

Table 4-4 非金属鉱物（耐火物）の埋蔵鉱量¹⁰⁾

5. 耐火粘土					(1) カオリン (16年4月1日現在)					(3) 木節粘土 (16年4月1日現在)				
					調査鉱山数 6					調査鉱山数 35				
	埋蔵鉱量 (千t)	可採粗鉱量 (千t)	採鉱 実収率 (%)	ズリ 混入率 (%)		埋蔵鉱量 (千t)	可採粗鉱量 (千t)	採鉱 実収率 (%)	ズリ 混入率 (%)		埋蔵鉱量 (千t)	可採粗鉱量 (千t)	採鉱 実収率 (%)	ズリ 混入率 (%)
確定	2,787	2,193			確定	3,253	3,084			確定	8,625	6,886		
推定	1,731	1,413			推定	1,889	1,772			推定	4,666	4,038		
予想	2,214	1,478			予想	8,501	8,193			予想	13,422	12,649		
計	6,732	5,085	79.9	6.2	計	13,643	13,049	95.6	0.0	計	26,713	23,573	88.2	0.0

(2) 頁岩粘土 (9年4月1日現在)					(4) 蛙目粘土 (16年4月1日現在)									
					調査鉱山数 3					調査鉱山数 33				
	埋蔵鉱量 (千t)	可採粗鉱量 (千t)	採鉱 実収率 (%)	ズリ 混入率 (%)		埋蔵鉱量 (千t)	可採粗鉱量 (千t)	採鉱 実収率 (%)	ズリ 混入率 (%)					
確定	746.5	435.5			確定	8,625	6,886							
推定	1,604.0	997.0			推定	4,666	4,038							
予想	3,185.0	2,107.0			予想	13,422	12,649							
計	5,535.5	3,539.5	46.9	26.7	計	26,713	23,573	88.2	0.0					

ここで、埋蔵鉱量とは地殻中に存在する鉱床の質量を、可採粗鉱量とは現存する鉱床の採鉱によって出鉱すべき粗鉱の質量（すなわち、埋蔵鉱量のうち採鉱し得る量に混入すべきズリの量を加えた出向予定量）を意味する。また、採鉱実収率 = (可採粗鉱量 × (1 - ズリ混入率) / 埋蔵粗鉱量) × 100% により得られる。

これらのデータを用いて、非金属鉱物の TMR の算定を実施した。白けい砂を例に、以下に金属鉱物の TMR の算定方法を示す。白けい砂の採鉱実収率は、58.6%であることから、白けい砂鉱石の $TMR = 1/0.586 = 1.71t/t$ が得られる。さらに、採鉱される鉱石の品位が90.9%であることから、白けい砂鉱石の成分あたりの $TMR = 1/0.586/0.909 = 1.88t/t$ が得られる。他の非金属鉱物の TMR についても同様の手法により算出した。Table 4-5 に非金属鉱物の TMR の算出結果を示した。なお、今回の算出では、鉱床からの採掘に至るまでの土砂などの量が考慮されていない。したがって、より正確には、それらの量を考慮した TMR の算出が必要である。

Table 4-5 非金属鉱物の TMR

		Ore-TMR(t)	
		per ore(t)	per component(t)
けい石	白けい石	1.71	1.88
	天然けい砂	1.36	1.80
	蛙目けい砂	1.09	2.14
ろう石		2.52	-
石灰石		1.71	3.18
ドロマイト		1.66	9.66
耐火粘土	カオリン	1.41	1.99
	頁岩粘土	2.13	4.55
	木節粘土	1.05	1.09
	蛙目粘土	1.13	1.29

4. 4. バイオマス資源の TMR

(1) 農作物の TMR

農作物は食用としてだけでなく、紙などをはじめバイオプラスチック、バイオフェューエル等、各種の工業材料および工業燃料の原料としても利用されている。本研究では、バイオマス資源である農作物のTMRを、農林水産統計月報¹⁾を参考に算出した。Table 4-6 に農林水産統計を集計した各種の農作物の作付面積および収穫量を示した。

Table 4-6 農作物の作付面積および収穫量 (2004 年)

	Planted area	Yield per 10a	Production
	ha	kg	t
稲	1,701,000	513	8,730,000
小 麦	212,600	405	860,300
二 条 大 麦	37,200	355	131,900
六 条 大 麦	17,600	291	51,200
裸 麦	5,060	306	15,500
大豆	136,800	119	163,200
小豆	42,600	212	90,500
いんげん	11,800	231	27,300
らっかせい	9,110	234	21,300
馬鈴薯	-	4,504	-
かんしょ	40,300	2,500	1,009,000
かんしょ(でんぷん原料)	5,510	3,110	171,500
牧草	788,300	3,897	30,723,000
青刈りとうもろこし	87,400	5,330	4,659,000

これらの上記のデータおよび土壌の TMR を用いて農作物の TMR の算定を実施した。土壌の TMR については、以下の仮定により算出した。野菜耕作用の土壌の仮比重 1.2、耕深 5cm より 60t/a、稲作用の土壌の仮比重 1.6、耕深 12cm より 192t/10a が得られる。稲を例に、以下に、農作物の TMR の算出方法を示す。稲の作付面積 10a あたりの生産量は 513kg より、稲の TMR = $(10/0.513) \times (192/10) = 374.2t/t$ が得られる。他の農作物の TMR についても同様の手法により算出した。Table 4-7 に農作物の TMR の算出結果を示した。

Table 4-7 農作物の TMR

	TMR (t/t)		TMR (t/t)
稲	374.1	いんげん	259.7
小 麦	148.3	らっかせい	256.4
二 条 大 麦	169.2	馬鈴薯	13.3
六 条 大 麦	206.3	かんしょ	24.0
裸 麦	195.9	かんしょ(でんぷん原料)	19.3
大豆	504.2	牧草	15.4
小豆	283.0	青刈りとうもろこし	11.3

(2) 木材の TMR

木材の TMR については、京都市市民活動総合センター内 薪く炭く KYOTO の HP¹²⁾ を参考にして算定した。Table 4-8 に HP から入手したスギ、ヒノキ素材の生産量および間伐実施量を示した。Table 4-8 より、木材の間伐材比が約 50% であることが解る。また、HP によると 1 本の木のうちで木材としての利用比率が 25% であることから、木材の $TMR = 1/0.5/0.25 = 8t/t$ が得られる。

Table 4-8 スギ、ヒノキ素材生産量・間伐実施量（平成 12 年度）⁹⁾

区 分	京都南部	京都中部	中 丹	丹 後	京都府計	
エリア森林面積(ha)	27,502	149,109	94,503	60,949	332,064	
資 源 量	素材生産量(m ³)	1,328	60,092	8,357	6,269	76,046
	間伐実施材積(m ³)	5,825	48,200	16,642	4,204	74,871
	合 計(m ³)	7,153	108,292	24,999	10,473	150,917

地域区分は「京都府森林林業振興構想」の区分を準拠

4. 5. 工業材料の TMR

エネルギー資源および電力の TMR、非金属鉱物資源の TMR、バイオマス資源の TMR、および金属鉱物資源の TMR³⁾ を用いて工業材料の TMR の算出をおこなった。以下にデータ等の前提条件を示した。

本研究で対象とした各種の工業材料および関連材料の関与物質総量の算定に際して、製造工程のインベントリデータについては SAEFL のデータ¹³⁾ を参考にした。原田らが既に示している金属鉱物資源の TMR³⁾ は、金属鉱石に含まれる各金属 1 単位あたりの鉱石の TMR である。したがって、ズリなどを含めた鉱石の TMR として用いるためには換算する必要がある。そこで、鉄鉱石（精鉱）、ボーキサイト（精鉱）および亜鉛鉱石（粗鉱）の TMR については、以下の換算方法により換算して利用した。鉄鉱石については、鉱石の組成を Fe_2O_3 と仮定した。鉄鉱石（金属あたり）の TMR は $5.1t/t$ 、また、 Fe_2O_3 の原子量は 160 であり、そのうち Fe_2 は 112 であることから、鉄鉱石（精鉱）の $TMR = 5.1 \times 112 / 160 = 3.57t/t$ とした。同様にボーキサイト（精鉱）の $TMR = 10 \times 27 / 78 = 3.46t/t$ とした。亜鉛鉱石については、粗鉱であることから、品位を 1.08% と仮定して、亜鉛鉱石(粗鉱)の $TMR = 81 \times 0.0108 = 0.87t/t$ とした。

(1) アルミニウム材料の TMR

Figure 4-4 に 1 次アルミニウム塊製造のプロセスフローを示した。アルミニウム 1 次地金は、ボーキサイト鉱石を原料として、バイヤー法によりアルミナを製造した後、ホールエール法により製造される。一方、再生地金は、スクラップを原料として製造される。ここでは、再生アルミニウムは、全量がスクラップを原料として製造されるものとして TMR を算出した。

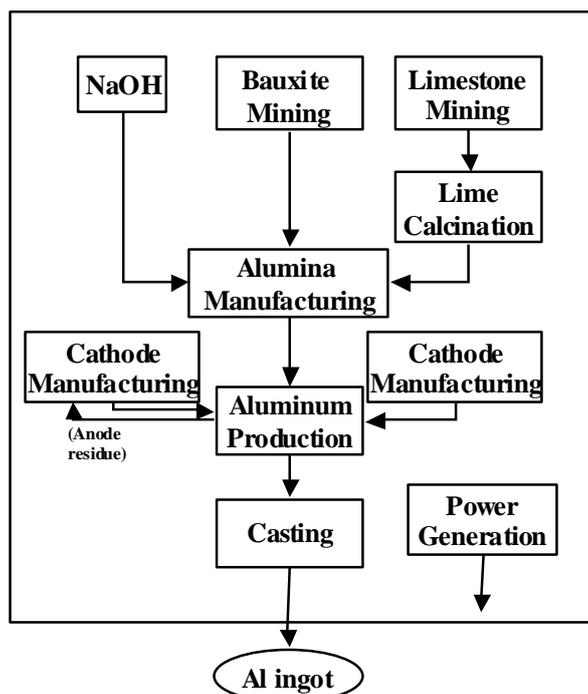


Figure 4-4 アルミニウム 1 次地金塊製造のためのプロセスフロー

各種アルミニウム材料製造に投入される資源の単位量あたりの TMR を Table 4-9(a)に、これらの前提データをもとに算出したアルミニウム材料の TMR を Table 4-9(b)に示した。結果、アルミニウム材料の TMR は、それぞれ、アルミニウム酸化物: 10.24t/t、アルミニウム塊: 47.73t/t、アルミ箔: 346.23t/t、再生アルミニウム地金: 2.32t/t であった。アルミニウム 1 次地金製造には、電解のために多量の電力を投入するため、エネルギー資源由来の TMR が大きな割合を占める。一方、アルミニウム再生地金は、スクラップを溶解する事により製造されるため、その電力投入が削減される。

Table 4-9 アルミニウム材料の TMR

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m ³	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	酸化アルミ 1t	アルミニウム塊 1t	アルミニウム箔 1t	再生アルミニウム1t
石炭 (Raw brown coal)	t 0.53	1.50	2.69	0.42
天然ガス	t 0.08	0.43	0.57	0.13
石炭 (Raw hard coal)	t 0.57	19.10	19.96	0.41
石油	t 2.15	8.35	8.61	0.21
ウラン鉱石	t 0.04	0.83	0.86	0.04
木材	t 0.00	0.12	0.13	0.00
水力発電用水	t 0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t 3.36	30.32	32.82	1.21

	unit	TMR per unit
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
石炭	t/kg	1.2E-02
SO ₂ (二次利用)	t/kg	1.0E-03
アルミ屑	t/kg	1.0E-03
塩	t/kg	1.0E-03
合金	t/kg	1.0E-03
アルゴン	t/kg	1.0E-03
塩素	t/kg	1.4E-03
CaF ₂ *	t/kg	1.0E-03
断熱板	t/kg	1.0E-03
断熱石	t/kg	1.0E-03
その他 (fluxes and gases)*	t/kg	1.0E-03

資源(原材料)	酸化アルミ 1t	アルミニウム塊 1t	アルミニウム箔 1t	再生アルミニウム1t
ボーキサイト	t 6.68	12.84	12.84	
鉄鉱石	t 0.00	0.00	0.00	
石灰石	t 0.15	0.30	0.30	
砂、粘土	t 0.00	0.00	0.00	
岩塩	t 0.04	0.08	0.08	
石炭	t 0.00	0.13	0.13	
SO ₂ (二次利用)	t	0.02	0.02	
アルミ屑	t			1.08
塩	t			0.00
合金	t			0.02
アルゴン	t			0.00
塩素	t 0.00	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ *	t 0.03	0.03	0.03	
断熱板	t 0.00	0.00	0.00	
断熱石	t 0.01	0.01	0.01	0.00
その他 (fluxes and gases)*	t 0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, feedstock)	t 6.88	13.40	13.40	1.11

TOTAL	t 10.24	43.73	46.23	2.32
-------	---------	-------	-------	------

(2) 鉄鋼材料の TMR

Figure 4-5(a) にクロムめっき鋼板 (ECCS Steel sheet) 製造、Figure 4-5(b) にブリキ (Tin plate) 製造のプロセスフローを示した。鉄鋼製品の素材である粗鋼生産は、転炉法と電気炉法に大別される。後者の電気炉法は、鉄スクラップが主原料であるのに対して、前者の転炉法は、高炉により鉄鉱石から製造された銑鉄を主原料とする。本研究では、転炉法によるクロムめっき鋼板およびブリキ製造のための TMR を算定した。

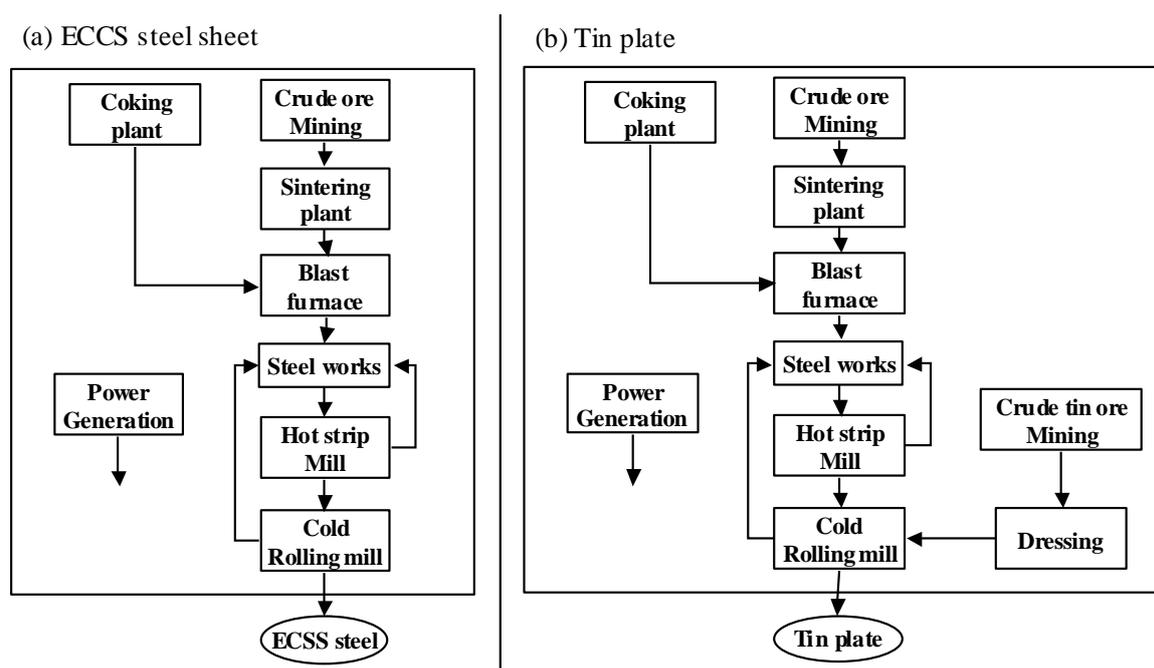


Figure 4-5 鉄鋼材料製造のためのプロセスフロー

各種鉄鋼材料製造に投入される資源の単位量あたりの TMR を Table 4-10(a)に、これらの前提データをもとに算出した鉄鋼材料の TMR を Table 4-10(b)に示した。結果、鉄鋼材料製造の TMR は、クロムメッキ鋼板: 26.25t/t、クロムメッキ鋼板(再生): 7.43t/t、ブリキ: 122.47t/t、ブリキ(再生): 103.34t/t であった。同じく金属素材であるアルミニウムに比べて総 TMR に占めるエネルギー資源由来の TMR の割合が低い。なお、クロムメッキ鋼板に比べてブリキの TMR が大きいのは、原料である錫鉱石由来分が大きいためである。

Table 4-10 鉄鋼材料の TMR

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	クロムメッキ鋼板	クロムメッキ鋼板 (100% recycled)	ブリキ	ブリキ (100% recycled)
石炭 (Raw brown coal)	t	1.31	3.47	1.31	3.47
天然ガス	t	0.16	0.16	0.16	0.16
石炭 (Raw hard coal)	t	14.76	2.24	14.76	2.26
石油	t	0.58	0.16	0.58	0.16
ウラン鉱石	t	0.06	0.13	0.06	0.13
木材	t	0.11	0.01	0.11	0.01
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	16.98	6.18	16.99	6.20

	unit	TMR per unit
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
工程水	t/m3	1.0E-03
合金	t/kg	1.0E-03
スクラップ	t/kg	1.0E-03
クロム	t/kg	2.6E-02
脱脂材	t/kg	1.0E-03
副資材	t/kg	1.0E-03
酸	t/kg	1.0E-03
錫鉱石	t/kg	8.7E-04
機械油	t/kg	1.0E-03
添加剤	t/kg	1.0E-03

資源(原材料)	unit	クロムメッキ鋼板	クロムメッキ鋼板 (100% recycled)	ブリキ	ブリキ (100% recycled)
鉄鉱石	t	8.57	0.00	8.57	0.00
石灰石	t	0.48	0.00	0.49	0.00
工程水	t	0.02	0.01	0.02	0.01
合金	t	0.01	0.01	0.01	0.00
スクラップ	t	0.12	1.19	0.12	0.00
クロム	t	0.02	0.02	0.00	0.00
脱脂材	t	0.00	0.00	0.00	0.00
副資材	t	0.00	0.01	0.00	0.01
酸	t	0.01	0.01	0.01	0.01
錫鉱石	t	0.00	0.00	96.23	97.10
機械油	t	0.00	0.00	0.00	0.00
添加剤	t	0.03	0.00	0.03	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	9.27	1.26	105.48	97.14

TOTAL	t	26.25	7.43	122.47	103.34
-------	---	-------	------	--------	--------

(3) プラスチック材料の TMR

Figure 4-6 はプラスチック材料製造のプロセスフローである。プラスチックは、主に炭素と水素からなる高分子化合物で、石油や天然ガス等から製造される。日本では、原油を精製してできる「ナフサ」を原料にしている。製造方法は、まず、原油を蒸留して得られたナフサを加熱・分解し、エチレン、プロピレンなどの簡単な構造の物質（低分子化合物）に変えて取り出す。次に、得られた分子と分子を化学的に結合させ（重合）、ポリエチレンやポリプロピレンなどの合成樹脂や重合体（ポリマー）を作る。これらに添加剤などを加えペレットに形を整える。これらを材料としてプラスチック製品が製造される。

各種のプラスチック材料 (plastics) 製造に投入される資源の単位量あたりの TMR を Table 4-11(a), 4-12(a) に、これらの前提データをもとに算出したプラスチック材料の TMR を Table 4-11(b), 12(b) に示した。

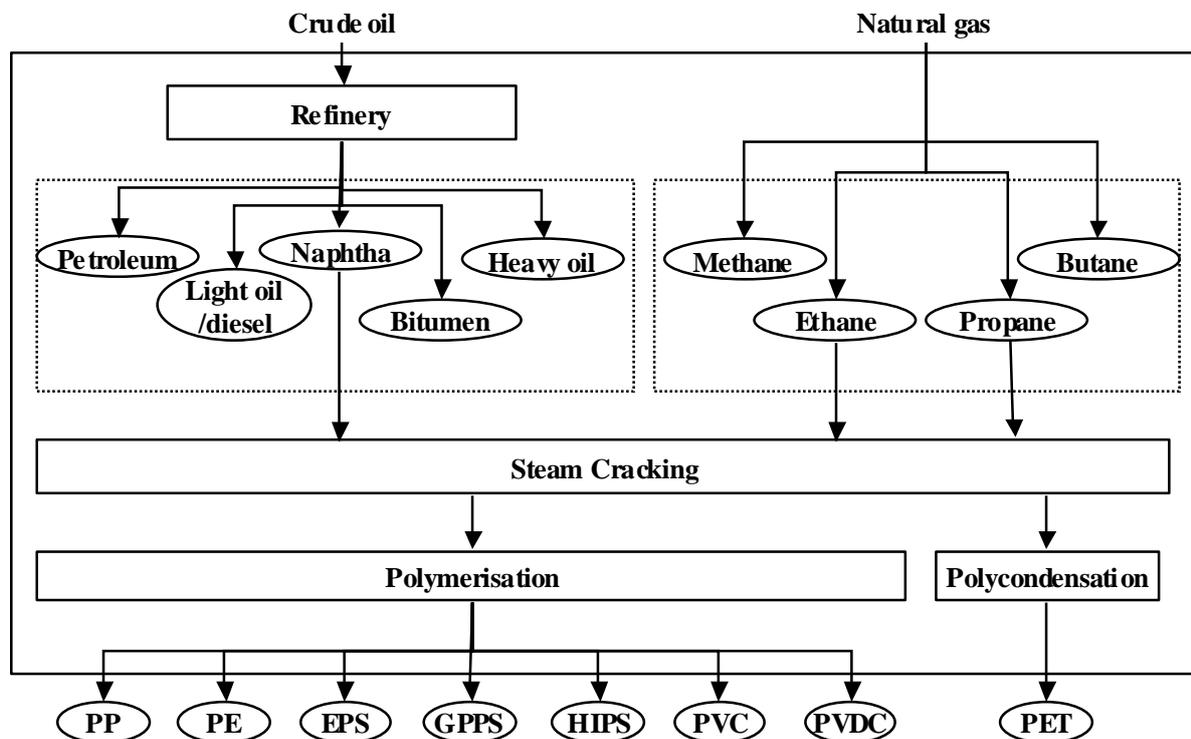


Figure 4-6 プラスチック材料製造のためのプロセスフロー

Table 4-11 プラスチック材料の TMR (1)

(a) 投入資源のTMR

		TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

		TMR per unit
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石油	t/kg	7.4E-03
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
硫酸カルシウム	t/kg	1.0E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
硫黄	t/kg	1.0E-03
硫黄 (SO2)	t/kg	1.0E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
工程水	t/m3	1.0E-03

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	PE	HPDE	LPDE	LLPDE	PP
石炭 (Raw brown coal)	t	1.18	0.94	1.36	0.32	0.71
天然ガス	t	0.68	0.59	0.71	0.81	0.39
石炭 (Raw hard coal)	t	1.20	0.95	1.49	0.33	0.73
石油	t	1.79	1.59	1.92	1.19	2.45
ウラン鉱石	t	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	4.89	4.11	5.52	2.69	4.31

資源(原材料)	unit	PE	HPDE	LPDE	LLPDE	PP
天然ガス	t	0.78	0.73	0.76	1.08	0.32
石油	t	3.83	4.05	3.90	2.28	6.11
ボーキサイト	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫酸カルシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫黄	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫黄 (SO2)	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
工程水	t	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00
total(Resources, feedstock)	t	4.64	4.80	4.70	3.38	6.44

TOTAL	t	9.53	8.91	10.22	6.07	10.74
-------	---	------	------	-------	------	-------

Table 4-12 プラスチック材料の TMR (2)

(a) 投入資源のTMR

		TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

		TMR per unit
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石油	t/kg	7.4E-03
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
硫酸カルシウム	t/kg	1.0E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
硫黄	t/kg	1.0E-03
硫黄 (SO2)	t/kg	1.0E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
工程水	t/m3	1.0E-03

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	GPPS	HIPS	EPS	PVC	PVDC	PET(アモルファス)	PET(部分結晶)
石炭 (Raw brown coal)	t	0.14	0.14	0.36	0.78	1.86	1.36	1.61
天然ガス	t	0.55	0.57	0.53	0.50	0.78	0.50	0.54
石炭 (Raw hard coal)	t	0.83	1.39	1.15	4.09	8.06	1.61	1.74
石油	t	3.29	3.36	2.43	0.86	1.86	2.25	2.32
ウラン鉱石	t	0.04	0.05	0.03	0.19	0.46	0.02	0.02
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	4.84	5.51	4.49	6.43	13.02	5.75	6.23

資源(原材料)	unit	GPPS	HIPS	EPS	PVC	PVDC	PET(アモルファス)	PET(部分結晶)
天然ガス	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石油	t	5.36	5.57	5.22	2.72	2.28	5.37	5.37
ボーキサイト	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫酸カルシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
土砂	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫黄	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫黄 (SO2)	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.00	0.00	0.00	1.04	2.03	0.01	0.01
工程水	t	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02
total(Resources, feedstock)	t	5.37	5.58	5.23	3.78	4.34	5.40	5.40

TOTAL	t	10.21	11.09	9.72	10.20	17.36	11.15	11.63
-------	---	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------

(4) ガラス材料の TMR

ガラスは、けい砂、ソーダ灰、石灰石、そしてカレットを原料として製造される。調合された原料は、溶解炉へ投入される。約 1500°C の熱で溶けたガラスの原料は、成形に適した温度に調整されビンや各種のガラス製品に成型される。

各種のガラス (glass) 製造に投入される資源の単位量あたりの TMR を Table 4-13(a) に、これらの前提データをもとに算出したガラスの TMR を Table 4-13(b) に示した。

Table 4-13 ガラス材料の TMR

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

	unit	TMR per unit
鉄鉱石	t/kg	3.5E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
工程水	t/m3	1.0E-03
SO ₂ (2次利用)	t/kg	1.0E-03
ガラス屑	t/kg	1.0E-03
ドロマイト	t/kg	1.7E-03
長石	t/kg	1.0E-03
石英	t/kg	1.0E-03
Calumite *	t/kg	1.0E-03
Portachrome/Portafer *	t/kg	1.0E-03
輝石	t/kg	1.0E-03

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	ガラス(緑色)	ガラス(茶色)	ガラス(透明)	ガラス(GB)
石炭 (Raw brown coal)	t	0.10	0.16	0.16	0.00
天然ガス	t	0.03	0.02	0.02	0.20
石炭 (Raw hard coal)	t	0.15	0.54	0.61	2.05
石油	t	1.11	1.25	1.21	0.85
ウラン鉱石	t	0.04	0.05	0.05	0.03
木材	t	0.00	0.00	0.00	0.00
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	1.44	2.02	2.06	3.14

資源(原材料)	unit	Green glass	Brown glass	White glass	Glass(GB)
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.01	0.16	0.19	0.47
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.02
岩塩	t	0.01	0.13	0.16	0.37
工程水	t	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₂ (2次利用)	t	0.00	0.00	0.00	0.00
ガラス屑	t	1.05	0.68	0.63	0.00
ドロマイト	t	0.00	0.11	0.13	0.06
長石	t	0.00	0.00	0.04	0.00
石英	t	0.00	0.22	0.25	0.58
Calumite *	t	0.00	0.01	0.01	0.00
Portachrome/Portafer *	t	0.00	0.00	0.00	0.00
輝石	t	0.00	0.03	0.00	0.00
total(Resources, feedstock)	t	1.07	1.34	1.40	1.51

TOTAL	t	2.51	3.36	3.46	4.64
--------------	----------	-------------	-------------	-------------	-------------

(5) パルプの TMR

パルプの製造方法は化学パルプ製造法と機械パルプ製造法の 2 つに大別される。機械パルプは機械的な力をかけて木材からパルプを作る製造法で、樹脂分をほとんど残したままでパルプ化するため、白色度が低く、主に中質紙や新聞用紙などに使われる。一方、化学パルプはリグニンなどの樹脂分を薬品で溶かし、木材繊維だけを取り出してパルプにする方法である。

各種パルプ (pulp) 製造に投入される資源の単位量あたりの TMR を Table 4-14(a), 15(a) に、そして、これらの前提データをもとに算出したパルプの TMR を Table 4-14(b), 15(b) に示した。

Table 4-14 パルプの TMR (1)

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
蒸気	t/MJ	0.0E+00
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	木材パルプ	硫酸パルプ 漂白	硫酸パルプ 非漂白	硫酸パルプ 漂白 Mg(HSO3)2
蒸気	t	0.00	0.00	0.00	0.00
石炭 (Raw brown coal)	t	0.37	0.14	0.03	3.05
天然ガス	t	0.01	0.01	0.00	0.02
石炭 (Raw hard coal)	t	0.50	0.18	0.03	1.97
石油	t	0.55	0.14	0.11	0.13
ウラン鉱石	t	0.20	0.05	0.01	0.11
木材	t	0.00	9.08	8.34	10.14
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	1.63	9.59	8.51	15.43

	unit	TMR per unit
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
SO2(二次利用)	t/kg	1.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
塗料原料 (as S)	t/kg	1.0E-03
消泡剤	t/kg	1.0E-03
錯化剤	t/kg	1.0E-03
人工肥料	t/kg	1.0E-03
硫化マグネシウム	t/kg	1.0E-03
二クロム酸ナトリウム	t/kg	1.0E-03
酸化マグネシウム	t/kg	1.0E-03

資源(原材料)	unit	木材パルプ	硫酸パルプ 漂白	硫酸パルプ 非漂白	硫酸パルプ 漂白 Mg(HSO3)2
ボーキサイト	t	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.00	0.19	0.19	0.00
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.00	0.02	0.00	0.00
SO2(二次利用)	t	0.00	0.09	0.09	0.06
木材	t	7.62	7.24	6.70	6.66
塗料原料 (as S)	t	0.00	0.00	0.00	0.00
消泡剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00
錯化剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00
人工肥料	t	0.00	0.00	0.00	0.00
硫化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00
二クロム酸ナトリウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00
酸化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.03
total(Resources, commercial fuels)	t	7.62	7.55	6.99	6.75

TOTAL	t	9.26	17.14	15.50	22.18
-------	---	------	-------	-------	-------

Table 4-15 パルプの TMR (2)

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
蒸気	t/MJ	0.0E+00
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	硫酸パルプ 漂白 カナダ	硫酸パルプ 軟材、漂白 スウェーデン	硫酸パルプ 硬材、漂白 スウェーデン	硫酸パルプ 非漂白 スウェーデン
蒸気	t	0.10	0.05	0.05	0.03
石炭 (Raw brown coal)	t	0.02	0.01	0.01	0.12
天然ガス	t	2.07	0.27	0.26	0.08
石炭 (Raw hard coal)	t	0.27	0.37	0.30	0.43
石油	t	0.08	0.06	0.05	0.09
ウラン鉱石	t	0.48	0.08	0.01	0.00
木材	t	10.37	10.22	10.84	8.14
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	13.39	11.06	11.51	8.88

	unit	TMR per unit
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
SO2(二次利用)	t/kg	1.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
塗料原料 (as S)	t/kg	1.0E-03
消泡剤	t/kg	1.0E-03
錯化剤	t/kg	1.0E-03
人工肥料	t/kg	1.0E-03
硫化マグネシウム	t/kg	1.0E-03
二クロム酸ナトリウム	t/kg	1.0E-03
酸化マグネシウム	t/kg	1.0E-03

資源(原材料)	unit	硫酸パルプ 漂白 カナダ	硫酸パルプ 軟材、漂白 スウェーデン	硫酸パルプ 硬材、漂白 スウェーデン	硫酸パルプ 非漂白 スウェーデン
ボーキサイト	t	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.07	0.06	0.05	0.03
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.10	0.05	0.05	0.01
SO2(二次利用)	t	0.00	0.02	0.02	0.01
木材	t	7.23	7.38	6.94	6.54
塗料原料 (as S)	t	0.00	0.01	0.01	0.00
消泡剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00
錯化剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00
人工肥料	t	0.00	0.00	0.00	0.00
硫化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00
二クロム酸ナトリウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00
酸化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	7.40	7.52	7.07	6.59

TOTAL	t	20.79	18.59	18.58	15.47
-------	---	-------	-------	-------	-------

(6) 段ボールの TMR

各種段ボール (Corrugated board) 製造に投入される資源の単位量あたりの TMR を Table 4-16(a), 17(a)に、これらの前提データをもとに算出した段ボールの TMR を Table 4-16(b), 17(b)に示した。

Table 4-16 段ボールの TMR (1)

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
バイオマス	t/kg	2.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

	unit	TMR per unit
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
SO2(2次利用)	t/kg	1.0E-03
古紙	t/kg	1.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
堆肥	t/kg	1.0E-03
馬鈴薯	t/kg	1.3E-02
トウモロコシ	t/kg	1.1E-02
塗料原料	t/kg	1.0E-03
ニクロム酸ナトリウム	t/kg	1.0E-03
粘土鉱物	t/kg	1.0E-03
尿素	t/kg	1.0E-03
除草剤	t/kg	1.0E-03
人工肥料	t/kg	1.0E-03
Peroxitan*	t/kg	1.0E-03
農薬	t/kg	1.0E-03
Extruded rod*	t/kg	1.0E-03
Retention agent*	t/kg	1.0E-03
Synth. adhesive*	t/kg	1.0E-03

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	Fluting	クラフトライナー 茶色(A)	クラフトライナー 茶色(B)	クラフトライナー 白色	Schrenz	テストライナー	Medium
石炭 (Raw brown coal)	t	0.06	0.78	0.03	0.05	0.13	0.16	0.17
天然ガス	t	0.01	0.10	0.01	0.02	0.21	0.17	0.14
石炭 (Raw hard coal)	t	0.12	0.42	0.08	0.24	0.15	0.19	0.19
石油	t	0.45	0.68	0.36	0.50	0.16	0.18	0.21
ウラン鉱石	t	0.08	0.01	0.09	0.15	0.05	0.12	0.15
バイオマス	t	0.10	0.00	0.16	0.09	0.00	0.00	0.00
木材	t	2.06	4.99	2.78	8.49	0.00	0.00	0.00
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	2.87	6.98	3.51	9.54	0.70	0.82	0.86

資源(原材料)	unit	Fluting	クラフトライナー 茶色(A)	クラフトライナー 茶色(B)	クラフトライナー 白色	Schrenz	テストライナー	Medium
ボーキサイト	t	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.00	0.07	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.02	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
SO2(2次利用)	t	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
古紙	t	0.18	0.24	0.28	0.02	1.11	1.07	1.06
木材	t	5.66	4.75	5.19	7.00	0.00	0.00	0.00
堆肥	t	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.08	0.11
馬鈴薯	t	0.00	0.14	0.01	0.07	0.00	0.23	0.30
トウモロコシ	t	0.00	0.18	0.01	0.09	0.00	0.31	0.40
塗料原料	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ニクロム酸ナトリウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
粘土鉱物	t	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
尿素	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
除草剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
工肥料	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peroxitan*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
農薬	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Extruded rod*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Retention agent*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Synth. adhesive*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	5.90	5.51	5.54	7.37	1.11	1.70	1.87

TOTAL	t	8.77	12.49	9.05	16.91	1.81	2.52	2.73
-------	---	------	-------	------	-------	------	------	------

Table 4-17 段ボールの TMR (2)

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
バイオガス	t/m3	1.0E-03
バイオマス	t/kg	2.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

(b) 製品のTMR

Resources, commercial fuels	unit	段ボール 再生繊維1	段ボール 再生繊維2	段ボール	段ボール 混合1	段ボール 混合2	段ボール 混合2 2重
石炭 (Raw brown coal)	t	0.22	0.20	0.68	0.20	0.21	0.21
天然ガス	t	0.22	0.25	0.12	0.16	0.16	0.19
石炭 (Raw hard coal)	t	0.25	0.22	0.45	0.24	0.30	0.23
石油	t	0.28	0.26	0.73	0.35	0.40	0.32
ウラン鉱石	t	0.14	0.09	0.05	0.14	0.16	0.13
バイオガス	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
バイオマス	t	0.00	0.00	0.04	0.06	0.03	0.03
木材	t	0.00	0.00	4.20	0.98	3.02	0.58
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	1.11	1.03	6.26	2.14	4.28	1.69

	unit	TMR per unit
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
SO2(2次利用)	t/kg	1.0E-03
石油	t/kg	1.0E-03
古紙	t/kg	1.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
堆肥	t/kg	1.0E-03
馬鈴薯	t/kg	1.3E-02
トウモロコシ	t/kg	1.1E-02
二クロム酸ナトリウム	t/kg	1.0E-03
粘土鉱物	t/kg	1.0E-03
Basic brown*	t/kg	1.0E-03
ホウ砂	t/kg	1.0E-03
尿素*	t/kg	1.0E-03
除草剤	t/kg	1.0E-03
人工肥料	t/kg	1.0E-03
Bonding agents*	t/kg	1.0E-03
Peroxitan*	t/kg	1.0E-03
農薬	t/kg	1.0E-03
Extruded rod*	t/kg	1.0E-03
Retention agent*	t/kg	1.0E-03
接着剤	t/kg	1.0E-03

Resources, feedstock	unit	段ボール 再生繊維1	段ボール 再生繊維2	段ボール	段ボール 混合1	段ボール 混合2	段ボール 混合2 2重
ボーキサイト	t	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.00	0.00	0.05	0.01	0.02	0.00
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00
SO2(2次利用)	t	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
石油	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
古紙	t	1.11	1.14	0.23	0.83	0.74	0.95
木材	t	0.00	0.00	5.28	1.84	2.49	1.09
堆肥	t	0.10	0.04	0.04	0.07	0.08	0.06
馬鈴薯	t	0.27	0.10	0.10	0.19	0.21	0.18
トウモロコシ	t	0.84	0.62	0.62	0.73	0.76	0.72
二クロム酸ナトリウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
粘土鉱物	t	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
Basic brown*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ホウ砂	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
尿素*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
除草剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
人工肥料	t	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Bonding agents*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peroxitan*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
農薬	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Extruded rod*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Retention agent*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
接着剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	2.33	1.92	6.38	3.69	4.35	3.03

TOTAL	t	3.44	2.95	12.65	5.83	8.62	4.72
-------	---	------	------	-------	------	------	------

(7) その他の紙類の TMR

その他の紙類 (Cardboards, Graphic papers, Packaging papers) 製造に投入される資源の単位量あたりの TMR を Table 4-18(a), 19(a), 20(a)に、これらの前提データをもとに算出したその他の紙類の TMR を Table 4-18(b), 19(b), 20(b)に示した。

Table 4-18 厚紙 (Cardboards) の TMR

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
バイオマス	t/kg	2.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

	unit	TMR per unit
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
SO2 (2次利用)	t/kg	1.0E-03
石油	t/kg	1.0E-03
古紙	t/kg	1.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
堆肥	t/kg	1.0E-03
馬鈴薯	t/kg	1.3E-02
トウモロコシ	t/kg	1.1E-02
塗料原料	t/kg	1.0E-03
消泡剤	t/kg	1.0E-03
Complexing agent*	t/kg	1.0E-03
人工肥料	t/kg	1.0E-03
硫化マグネシウム	t/kg	1.0E-03
ニクロム酸ナトリウム	t/kg	1.0E-03
酸化マグネシウム	t/kg	1.0E-03
粘土鉱物	t/kg	1.0E-03
尿素*	t/kg	1.0E-03
Peroxitan*	t/kg	1.0E-03
農薬	t/kg	1.0E-03
Extruded rod*	t/kg	1.0E-03
コロホニウム	t/kg	1.0E-03
除草剤	t/kg	1.0E-03

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	グレーボール紙 (GK)	2重/3重ボール紙 (GD/GT)	Chromo board (GC)	パルプボール紙 (GZ)	液体包装ボール紙 (LPB)
石炭 (Raw brown coal)	t	0.14	0.16	1.71	0.09	0.05
天然ガス	t	0.02	0.27	0.12	0.03	0.01
石炭 (Raw hard coal)	t	0.11	0.23	1.55	0.38	0.22
石油	t	1.40	0.30	1.99	0.72	0.55
ウラン鉱石	t	0.01	0.02	0.19	0.13	0.16
バイオマス	t	0.00	0.00	0.06	0.23	0.03
木材	t	0.63	0.26	3.72	10.99	8.58
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	2.31	1.23	9.34	12.56	9.60

資源(原材料)	unit	グレーボール紙 (GK)	2重/3重ボール紙 (GD/GT)	Chromo board (GC)	パルプボール紙 (GZ)	液体包装ボール紙 (LPB)
ボーキサイト	t	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.02	0.09	0.14	0.06	0.03
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01
SO2 (2次利用)	t	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
石油	t	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
古紙	t	0.96	0.91	0.00	0.00	0.00
木材	t	0.51	0.30	6.44	5.74	6.62
堆肥	t	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00
馬鈴薯	t	0.00	0.00	0.06	0.17	0.00
トウモロコシ	t	0.00	0.00	0.07	0.23	0.00
塗料原料	t	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
消泡剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Complexing agent*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
人工肥料	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ニクロム酸ナトリウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
酸化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
粘土鉱物	t	0.00	0.13	0.18	0.43	0.25
尿素*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peroxitan*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
農薬	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Extruded rod*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
コロホニウム	t	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
除草剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, feedstock)	t	1.51	1.46	6.96	6.76	6.93
TOTAL	t	3.82	2.70	16.30	19.33	16.53

Table 4-19 印刷用紙 (Graphic papers) の TMR

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
蒸気	t/MJ	0.0E+00
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m3	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウランニウム鉱石	t/g	1.1E-02
バイオマス	t/kg	2.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	紙 非木材 非コート	紙 非木材 コート	紙 木材含有 非コート	紙 木材含有 コート	再生紙 非インク除去	再生紙 インク除去	新聞用紙
蒸気	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石炭 (Raw brown coal)	t	0.25	0.32	0.67	0.40	0.11	0.33	0.43
天然ガス	t	0.36	0.26	0.03	0.31	0.34	0.03	0.02
石炭 (Raw hard coal)	t	0.58	0.50	1.01	0.63	0.09	0.62	0.67
石油	t	0.38	0.32	0.47	0.32	0.06	0.50	0.32
ウランニウム鉱石	t	0.08	0.08	0.38	0.14	0.01	0.15	0.24
バイオマス	t	0.07	0.02	1.38	0.02	0.00	1.68	0.97
木材	t	8.69	5.37	0.42	3.62	0.00	0.42	0.00
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	10.40	6.87	4.37	5.45	0.62	3.75	2.65

資源(原材料)	unit	紙 非木材 非コート	紙 非木材 コート	紙 木材含有 非コート	紙 木材含有 コート	再生紙 非インク除去	再生紙 インク除去	新聞用紙
ボーキサイト	t	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.40	0.76	0.01	0.46	0.00	0.04	0.03
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.04	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05	0.03
SO2(2次利用)	t	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
石油	t	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
木材	t	6.02	3.83	7.30	4.57	0.00	0.32	2.98
堆肥	t	0.14	0.10	0.16	0.12	0.15	0.16	0.00
古紙	t					1.01	1.00	0.79
馬鈴薯	t	0.39	0.27	0.45	0.32	0.42	0.44	0.01
塗料原料	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
消泡剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Complexing agent*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ニクロム酸ナトリウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
粘土鉱物	t	0.00	0.25	0.30	0.42	0.00	0.31	0.02
人工肥料	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
農薬	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Extruded rod*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
コロホニウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
輝石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
total(Resources, commercial fuels)	t	7.03	5.28	8.24	5.93	1.59	2.34	3.89

TOTAL	t	17.43	12.16	12.62	11.38	2.21	6.09	6.54
-------	---	-------	-------	-------	-------	------	------	------

Table 4-20 包装用紙 (Packaging papers) の TMR

(a) 投入資源のTMR

	unit	TMR per unit
石炭 (Raw brown coal)	t/kg	1.2E-02
天然ガス	t/m ³	1.3E-03
石炭 (Raw hard coal)	t/kg	1.2E-02
石油	t/kg	6.6E-03
ウラン鉱石	t/g	1.1E-02
バイオマス	t/kg	2.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
水力発電用水	t/MJ	0.0E+00

	unit	TMR per unit
ボーキサイト	t/kg	3.5E-03
鉄鉱石	t/kg	3.6E-03
石灰石	t/kg	1.7E-03
砂、粘土	t/kg	1.2E-03
岩塩	t/kg	1.5E-03
SO ₂ (2次利用)	t/kg	1.0E-03
石油	t/kg	1.0E-03
古紙	t/kg	1.0E-03
木材	t/kg	8.0E-03
堆肥	t/kg	1.0E-03
馬鈴薯	t/kg	1.3E-02
トウモロコシ	t/kg	1.1E-02
塗料原料	t/kg	1.0E-03
消泡剤	t/kg	1.0E-03
Complexing agent*	t/kg	1.0E-03
人工肥料	t/kg	1.0E-03
硫化マグネシウム	t/kg	1.0E-03
ニクロム酸ナトリウム	t/kg	1.0E-03
粘土鉱物	t/kg	1.0E-03
ホウ砂	t/kg	1.0E-03
Peroxitan*	t/kg	1.0E-03
農薬	t/kg	1.0E-03
Extruded rod*	t/kg	1.0E-03
コロホニウム	t/kg	1.0E-03
除草剤	t/kg	1.0E-03

(b) 製品のTMR

資源(燃料)	unit	クラフト紙 片面コート	クラフト紙 漂白	クラフト紙 無漂白	スイスクラフト	製袋紙 スウェーデン 一貫生産	製袋紙 オーストリア 一貫生産
石炭 (Raw brown coal)	t	0.44	0.38	0.34	0.13	0.04	0.06
天然ガス	t	0.33	0.32	0.43	0.35	0.01	0.06
石炭 (Raw hard coal)	t	0.94	0.95	0.48	0.12	0.13	0.06
石油	t	0.47	0.51	0.62	0.11	0.67	0.31
ウラン鉱石	t	0.19	0.20	0.24	0.03	0.16	0.00
バイオマス	t	0.11	0.14	0.04	0.00	0.00	1.36
木材	t	7.73	10.78	8.30	1.58	8.50	8.51
水力発電用水	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	10.20	13.28	10.46	2.32	9.52	10.37

資源(原材料)	unit	クラフト紙 片面コート	クラフト紙 漂白	クラフト紙 無漂白	スイスクラフト	製袋紙 スウェーデン 一貫生産	製袋紙 オーストリア 一貫生産
ボーキサイト	t	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02
鉄鉱石	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石灰石	t	0.25	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04
砂、粘土	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
岩塩	t	0.04	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01
SO ₂ (2次利用)	t	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
石油	t	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
古紙	t	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00	0.00
木材	t	5.23	7.31	6.70	1.27	7.24	6.37
堆肥	t	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
馬鈴薯	t	0.05	0.05	0.05	0.08	0.03	0.04
トウモロコシ	t	0.07	0.07	0.07	0.00	0.04	0.06
塗料原料	t	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
消泡剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Complexing agent*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
人工肥料	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硫化マグネシウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ニクロム酸ナトリウム	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
粘土鉱物	t	0.54	0.06	0.06	0.00	0.00	0.02
ホウ砂	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peroxitan*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
農薬	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Extruded rod*	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
コロホニウム	t	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
除草剤	t	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total(Resources, commercial fuels)	t	6.24	7.65	6.96	2.28	7.39	6.58

TOTAL	t	16.44	20.94	17.41	4.61	16.91	16.95
-------	---	-------	-------	-------	------	-------	-------

5. 資源指標を用いたリサイクルフロー解析

ここでは、資源指標としてTMRを用いたリサイクルフローの解析手法の検討を行う。対象としては、使用済み自動車のシュレッダー処理型リサイクルシステムを取り上げた。使用済み自動車（ELV）の材料構成およびリサイクルフローについては、船崎ら¹⁴⁾の研究を参考にした。

従来の「リサイクル率を向上させる」、「リサイクル量を増やす」といった視点に基づいた物質管理では、微量な構成量である白金族等はほとんど注目されてこなかった。自動車の材料構成においても同様である。そこで、触媒に用いられているPtのデータについては、NIMSエコマテリアル研究センターの資料¹⁵⁾を参考に、自動車一台あたり 0.8gとした。Figure 5-1 は、1 台あたりのELVのリサイクルフローを重量ベースで示したものであるが、Figure 5-2 に示されるように、このフローはTMRを用いることにより全く異なった視点で捉えることができる。なお、繊維やゴム等を含めたその他のTMRについては、データが得られなかったため 1t/tとした。

重量ベースのリサイクルの観点からは、ELV リサイクルの主要なプロセスは多量の鉄スクラップを回収するシュレッダー工程であり、シュレッダーダスト（ASR）の主成分は、プラスチックである。これに対して、資源の質として TMR を取り上げた場合には結果が異なる。TMR の観点からは、リサイクルの主要なプロセスはシュレッダーの手解体であり、Pt を含めた TMR の大きい多くの金属が回収されている。そして、ASR の主成分は銅である。したがって、非鉄金属精錬等の設備を利用して ASR から金属分を回収すると共に、可燃分を燃料代替する技術は、資源利用の観点からみて有効であることが、TMR を用いたリサイクルフロー解析の結果から示された。

さらに、有効な資源循環のための物質管理の方法として、従来の量的に大きなデータの把握のみならず、白金族などのように量的には小さくても影響を与える物質に関してもデータを把握していく必要が明らかとなった。

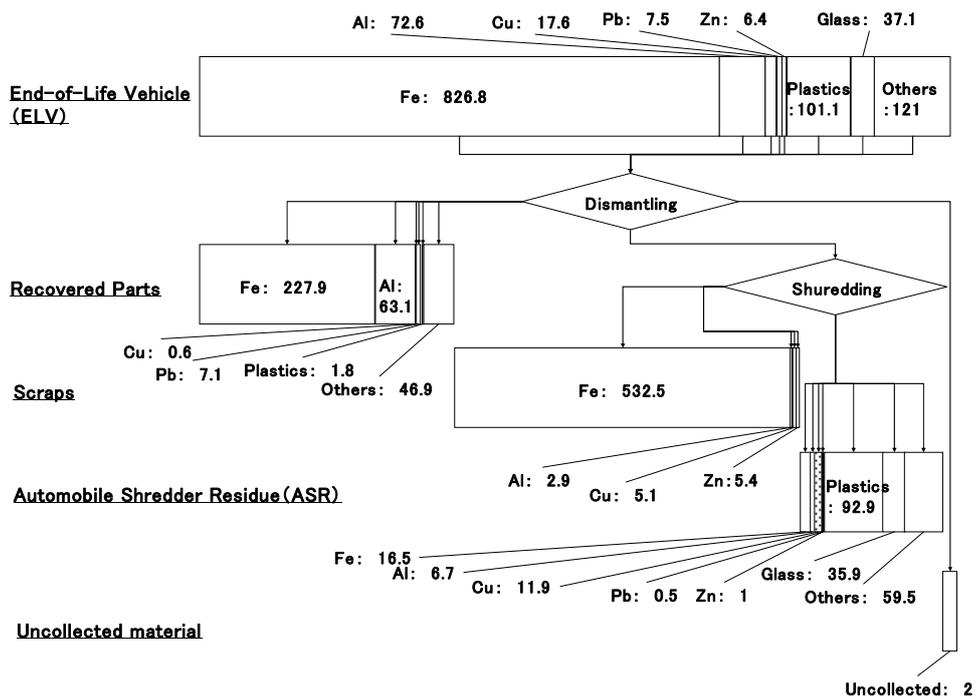


Figure 5-1 使用済み自動車(ELV)のリサイクルフロー（重量ベース）

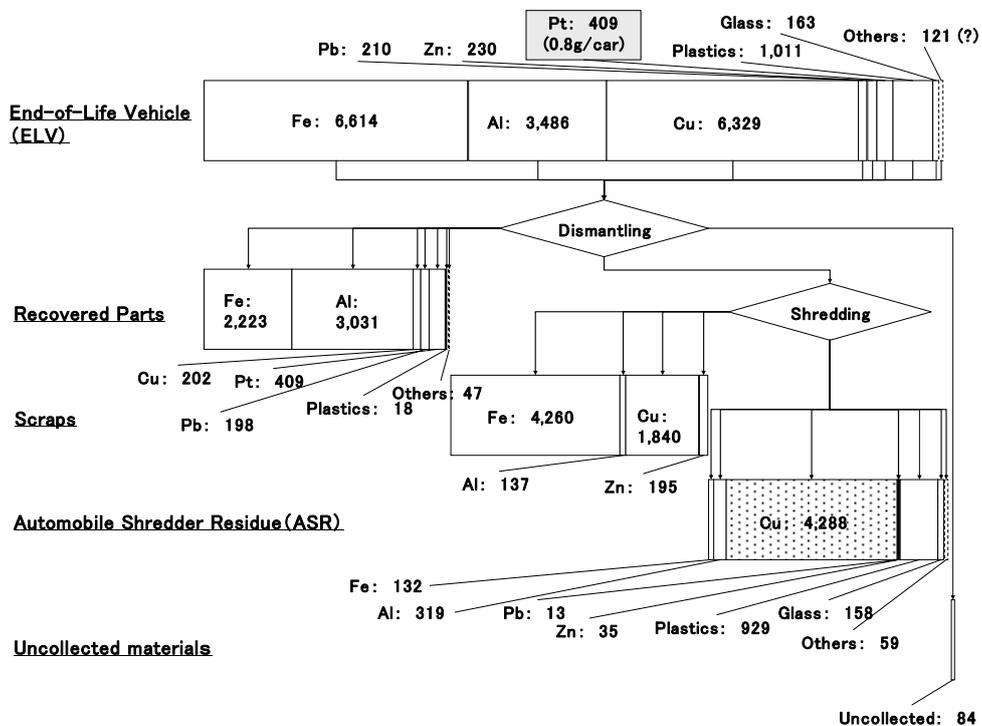


Figure 5-2 使用済み自動車(ELV)のリサイクルフロー（TMR ベース）

6. 考察

本研究では、エネルギー資源および工業材料の TMR データの算定を実施した。ここでは、TMR 指標、データの精度、TMR リサイクルフローの解析について、それぞれ考察を行う。

はじめに、TMR 指標についてである。TMR は、材料や製品を製造する際に背後に抱えている物質の移動量を示す指標であり、その物質の移動に伴う潜在的な環境影響を評価するための指標としても期待されている。したがって、TMR を用いて、物質の枯渇性や毒性を議論することはできない。現在、資源指標として、TMR の他に資源枯渇性係数や物質の毒性など様々な指標が議論されており、評価目的に応じた指標の利用が必要となる。

つぎに、算出データの汎用性など精度についてである。TMR の必要性は、認識されつつあるものの、算出のための基礎的なデータが不十分なのが現状である。本研究における結果は、内山らのデータおよび SAEFL のインベントリデータに基づくものであり、より正確には、当該プロセスの存在する条件のものに入れ替えるべきである。

最後に、TMR を利用したリサイクルフロー解析手法についてである。本手法では、物質に対する重み付け係数として TMR を利用した。リサイクルシステム全体における環境負荷の変化や TMR の変化を議論するためには、LCA 的な視点に基づいたシステム解析が別途に必要となる。

7. おわりに

本研究では、エネルギー資源と発電の TMR および包装材料とその関連材料の TMR の概算を実施すると共に、資源指標としての TMR を用いたリサイクルフローの解析手法の検討を実施した。以下に本研究の成果をまとめる。

- ・エネルギー資源および発電の TMR として 10 種類（エネルギー資源: 6 種類（3 品目）、発電: 3 種類、電力: 1 種類）、バイオマス資源として 15 種類、非金属鉱物資源として 10 種類、そして、工業材料の TMR として 63 種類、総計 98 種類のデータを作成した。
- ・資源指標を用いたリサイクルフローの解析手法を提案した。ELV リサイクルフローを解析した結果、TMR の観点からは、手解体のプロセスが主要なプロセスであり、Pt などを含めた TMR の大きい多くの金属が回収される。そして、ASR の主成分は銅である。
- ・資源指標を用いてリサイクルフローを解析することにより、従来の解析では欠落していた資源の質を考慮した検討が可能である事が示された。

今後は、国際的な議論を実施して行くうえで TMR の算定のための国際的な算出手法の確立、より詳細な TMR 算出のための基礎データの精査、産業連関表などを用いることによる全ての産業活動を網羅した TMR データベースの構築が課題であると考えられる。

謝辞

本報告書は、文部科学省 科学技術振興調整費研究（物質・材料系科学技術）「材料の低環境負荷ライフサイクルデザイン実現のためのバリアフリープロセッシング技術に関する研究」（Ⅰ期：平成 11 年－13 年度，Ⅱ期 14 年度－15 年度）、平成 16 年度 環境省 地球環境研究総合推進費「物質フローモデルに基づく持続可能な生産・消費の達成度評価手法に関する研究（第 4 サブグループ：隠れた物質フローの算定に関する研究）」、および、独立行政法人科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業「サステナビリティ指標としての物質・材料フロー」（平成 15 年度採択課題）における研究内容の一部である。研究を推進するにあたり、調査にご協力いただいた関係各位、ご支援いただいた皆さまのご厚意に感謝いたします。

REFERENCES

- 1) Wuppertal Institute: “Material Intensity of Advanced Composite Materials” (1999)
- 2) S.Bringezu, H.Schutz, S.Steger and J.Baudisch, *Ecological Economics*, 51, (2004), pp.97-124
- 3) K.Halada, K.Ijima, N.Katagiri and T.Okura: “An Approximate Estimation of Total Material Requirement of Metals”, *J.Japan Inst. Metals*, 65(7), (2001), pp.564-570
- 4) K.Nakajima, H.INO and K.Halada: “Methodology of Material Recycling in Life Cycle Inventory”, *J.Japan Inst. Metals*, 66(7), (2002), pp.701-707
- 5) K.Halada and K.Ijima: “Resource Productivity of Magnesium”, *Materia Japan*, 43(4), (2004), pp.264-269
- 6) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課：総合エネルギー統計（平成12年度版）
- 7) 内山 洋司, 山本 博巳: “発電プラントのエネルギー収支分析”, *電力中央研究所報告*, (1991), pp.8-31
- 8) 日本石油開発事業団(オンライン),
〈<http://www.japex.co.jp/infomation/jigyot/index4.html>〉
- 9) 市民オンブスマン岡山(オンライン),
〈<http://www.icity.or.jp/ombud-oka/sub10-8a.htm>〉
- 10) 資源エネルギー庁：埋蔵鉱量統計調査(オンライン),
〈<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/image/050622maizo.pdf>〉 (参照 2006年1月15日)
- 11) 農林水産省統計部：“農林水産統計月報”, (2005)
- 12) 農林水産部：“標準山村集落における木質バイオマス資源を活用した山村振興”, 薪く炭く KYOTO(オンライン), 〈<http://sinktank.kdn.jp/rep/chapter2.pdf>〉 (参照 2005年5月20日)
- 13) SAEFL: “Life Cycle Inventories for Packagings Volume1”, (1998), pp.1-320
- 14) A.Funazaki, K.Taneda, K.Tahara and A.Inaba, *Energy and Resources*, 24(6), (2003), pp.443-448
- 15) (独)物質・材料研究機構エコマテリアル研究センター：“我が国における自動車用白金族金属触媒のリサイクル動向”, (2004), pp.15-19

NIMS-EMC 材料環境情報データ

- | | | |
|--------|---|-----------|
| No. 1 | 金属元素の製錬・精製段階における環境負荷算定に関する調査 | (2003年3月) |
| No. 2 | 鉛マテリアルフロー作成のための基礎調査 | (2004年3月) |
| No. 3 | 我国における自動車用白金族金属触媒のリサイクル動向 | (2004年3月) |
| No. 4 | 鉄スクラップの消費動向とその拡大技術シナリオのLCA的検討 | (2004年3月) |
| No. 5 | 我が国のアルミニウムマテリアルフロー調査 | (2004年3月) |
| No. 6 | バイオマスの利活用に関する調査 | (予定) |
| No. 7 | 中国の非鉄金属リサイクル動向と日本の「廃家電を中心とするリサイクル6法のその後の状況」 | (予定) |
| No. 8 | 「鉱物資源使用」カテゴリーの特性化係数 | (2005年3月) |
| No. 9 | 中国の鉄 | (予定) |
| No. 10 | 関与物質総量 (TMR) の算定 ―資源および工業材料の TMR― | (2006年3月) |
| No. 11 | マテリアルフロー | (予定) |
| No. 12 | 社会蓄積量の把握に関する専門家意見調査 | (2006年3月) |

独立行政法人物質・材料研究機構

エコマテリアル研究センター

〒 305-0047

茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL 029-859-2668

FAX 029-859-2601

e-mail emc@wotome.nims.go.jp

home page <http://www.nims.go.jp/emc/>

