素材技術転換の地球環境防止に対する効果予測研究

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 原田 幸明・井島 清・芳須 弘・皆川 和己 垣澤 秀樹・山田 勝利・沢谷 精・島田 正典

(研究委託先)

(株)野村総合研究所 国土・環境コンサルティング部 山本 秀朗

平成13~15年度合計予算額1 1 7 ,6 0 0 千円(うち、平成15年度当初予算額3 9 ,2 0 2 千円)

[要旨]

素材産業部門は我が国内において 1/4 強の CO_2 を発生するのみならず、資源の獲得において海外での CO_2 発生にも大きく関与している。さらに、自動車など輸送機械の主たる重量を構成しており燃費などを通じて輸送部門、さらには民生部門での CO_2 発生と大きく係っている。しかしながら、これまでの CO_2 対策では素材産業内部の削減効果しか見積もることができず、素材技術が転換することにより他の分野に波及する影響をも見越した最適の対策になっていたとは言い難い。(ちなみに、自動車用高張力鋼板の 4%の軽量化は一台のライフサイクル当たり 1.2t の CO_2 削減につながり、この値は、一台の自動車に用いる鉄全ての製造時に出る CO_2 とほぼ同等である。)そこで、LCA 的に、製造段階だけでなく使用や廃棄の段階も含めた材料利用での環境負荷を把握することが重要である。また、それは個別製品の部分解ではなく、素材技術全般の転換を評価しうる総合的な方法であることも必要である。そのために、従来の製造単位毎の効果予測や、製品別の評価を超えた総合的な効果予測とそのためのデータ整備を行ない、総合的な見地からの防止対策の最適化に資する必要がある。

そのため、LCAの手法を生かして素材技術と他部門への連関を考慮し、二次原料の利用比率の増大など循環型への転換の効果、軽量化やインテリジェント・コンポーネント化などに係る素材技術の転換が CO₂ 削減に及ぼす効果を定量的に表現する予測技術を確立し、またそのためのデータ整備を行なう。これにより、我が国全体の枠組みでの温暖化防止を視野に置いた素材技術の転換の方向性の検討・評価に資する。

[キーワード]二酸化炭素、素材技術転換、ライフサイクル分析、素材分野、産業分野

1. 目的と方法

1.1 目的

1.2 方法

検討に当たり、まず、(1) 「地球温暖化防止への取り組みと素材技術」として、わが国の各分野での地球温暖化ガス削減の目標とその中での素材技術の役割がいかに認識されているかを検討した。すなわち、これまでに LCA や LCD(Life Cycle Design)のための検討例を対象とした文献調査を行い、

- (a) 組立産業からの素材利用の視点で行われた、環境適合素材化の技術に関連する既存の検 討例を主に素材技術の転換という視点から整理
- (b) 素材産業からの素材供給の視点で行われた、素材技術転換の地球温暖化防止に対する効果に関する既存の検討例を整理した。

ひきつづき、上記(a),(b)の視点から材料およびその利用製品・システム関係の専門家に委員会形式で意見を得つつ、素材転換による地球温暖化防止効果の概算を行った。その際、個別の製品などにおいては LCA による効果算定などの試みが多方面で行われているが、それらが国全体としての地球温暖化防止効果の中で果たす役割が不鮮明なため、個別の製品による効果ではなく国全体への効果と結びつけることを目指した。そのために、現時点での素材転換による地球温暖化防止効果への素材転換の影響力を見積もるために、単純な導入モデルによる将来での防止効果だけでなく、現在の時点で素材転換がどの程度地球温暖化防止に寄与しているかを算定し、その対比で将来の予防効果を論じる手法をとった。これは、将来の素材転換においては、単に素材が A から B に単純に置き換わるケースは少なく製品システムの改変が伴うため、それが素材転換の効果によるものか製品システム設計の変更の効果によるものか、さらにはその相乗効果なのかを議論することが難しいためである。他方で今回採用した方式のように、過去から現在にさかのぼることにより、現在のシステムを従来の素材技術で製品化しているケースが、新規素材技術の未適用部分として現実にも存在しており、そのケースが現在の需要の 100%となっていたケースを想定することで素材転換効果の大きさを概算することができる。なお、これらの解析の際に、地球温暖化への効果は CO₂に限定した。

まず、対象としたのが、素材の循環型への移行による CO_2 の削減効果である。特に金属系素材は、従来の天然鉱石を原料とする場合には、酸化物や硫化物などの化合物を還元して得られるケースがほとんどであり、その還元の際に還元剤として使用されるカーボンが酸化物の酸素と結びついて CO_2 を発生させる場合と還元に必要な多大なエネルギーを得るための化石燃料の使用による CO_2 の発生の二つの局面が考えられる。これに対し、素材システムが循環型に転換することにより、金属を金属のまま再溶解・精製して使用することから、基本的にこれらの還元プロセスが必要なくなり、結果としてそこで発生していた CO_2 を削減することができる。もちろん、リサイクル時の再溶解もある程度のエネルギー投入が必要であるが、その差を考慮することにより循環型に転換した場合の CO_2 の削減効果が得られる。

なお効果の大きさの概算に当たって、現在の素材需要をベースとしてマテリアルフローを算定し、それらをすべて天然鉱石から得る非循環型のケースを想定しゼロ・ケースとし、同様にマテリアル・フローから、使用後の素材の中で塗料や添加物などのように回収不能な使用方法のものを除いたリサイクル・ポテンシャルを割り出し、その段階までリサイクルが進んだ場合をポテンシャル・ケースとして、現在の現行ケースと比較できるようにした。

また、この概算に当たって、さまざまな金属のマテリアル・フローおよび製造時のエネルギー 投入と CO₂ の発生を調査し、整理している。

素材転換による CO_2 削減効果が期待されるもうひとつの側面は、素材の使用段階である。これは、素材自体が CO_2 を吸収するといった性格が期待されるのではなく、素材が自動車や家電製品、家屋など製品として使用される段階で消費されるエネルギー発生に伴う CO_2 があり、これが断熱材や軽量化材に代表されるように素材の転換や素材性能の向上によりエネルギーの効率的使用を可能をつうじて削減される。この削減量は、本来、すべての製品に対して LCA を行い、さらに、その普及度と普及能力の分析を重ねねばならない膨大なものになる。また、このばあい産業連関分析も重要段階で用いられる財に関しては本来的に対象とされておらず産業連関から直接これらの数字を得ることは難しい。そこで、本研究においては、素材技術および素材を利用した製品技術専門家を、自動車、家電、電力、建築関係から集めた委員会を組織し、先述の LCA の事例調査とともに CO_2 削減に影響力の大きい素材転換の可能性のある分野を抽出し、その分野に対して、素材転換によるエネルギー削減に伴う効果の算定を行った。

この場合も、素材の循環型への転換と同様に、現在の製品需要に対して素材が転換しない状態で使用された場合の CO₂ 発生をゼロ・ケースとし、対応する製品需要すべてに対して CO₂ 削減効果の高い素材が使用された場合をポテンシャル・ケースとして算定した。また、このように、従来の LCA とは異なり需要に対する普及という概念が重要になり、それに伴う素材原材料や素材プロセス、製品製造プロセスの波及効果を勘案すること、および、普及がどのように進んでいくかの時間モデルを考慮することが必要となる。そのため、現状の対応製品の中の新素材適用率の経年変化を考慮しさらに産業連関分析を加えることで国内の産業全体への影響をカバーしたソーシャルLCAの手法を用い、それによる解析を試みた。また、より動的な解析によって転換シナリオなどの検討が可能か否かを確認するために、上記の概算を通じてもっとも影響力の大きい分野について試行的に、経済的制約などによる新機技術の導入モデルも試みている。

2.地球温暖化防止への取り組みと素材技術

2.1 我が国の CO2と素材の役割

総排出量と部門別

我が国からの温室効果ガスの総排出量は CO_2 ベースで年間約 12 億トンである[1]。日本の部門別の排出量の内訳を図 2.1-1 に示す。産業(約4割) 民生(約2割) 運輸(約2割)で8割以上を占めている。産業、工業プロセス、エネルギー転換を合わせると約半分となる。

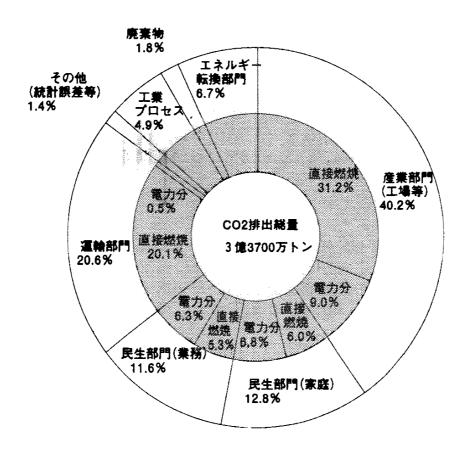


図 2.1-1 日本の CO₂排出量の部門別内訳(1996 年度)[1]

(1) 産業内の内訳

我が国の産業からの排出の内訳を示す。つまり、図 2.1-2 に示した「産業部門」と「エネルギー転換部門」に属する業種の排出量を、「工業プロセス」からの排出も含めて、図 2-2 に示す[2]。本データは経団連が行った第 3 回経団連環境自主行動計画フォローアップの結果であるが、本フォローアップには 34 業種が参加している。これら 34 業種の排出量は、わが国の産業部門およびエネルギー転換部門全体の排出量 (90 年度、6 億 2,600 万 t -c02) の約 76.5%を占めている。

(注) 工業プロセスからの排出とは、非エネルギー起源で製造プロセスから排出される CO_2 を指す。

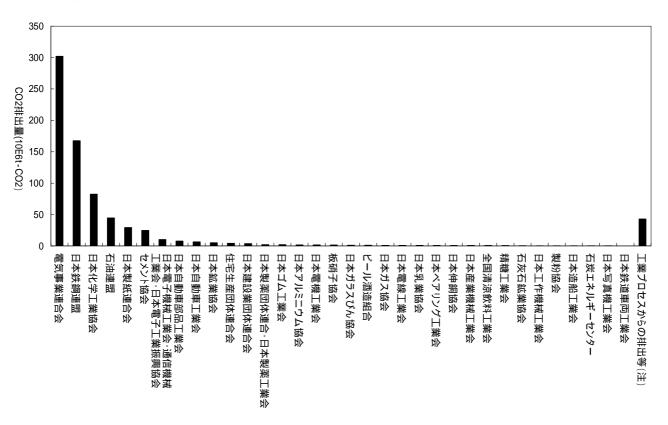


図 2.1-2 日本の 34 業種の CO₂排出量(1999 年度)([2]より作成)

2.1 章の参考文献

- [1] 環境庁:環境白書、平成 10 年版.
- [2] (社)経済団体連合会:第3回経団連環境自主行動計画フォローアップ結果(温暖化対策・個別業種版)」、2000.

2.2 製品を通じた素材転換による効果の抽出

2.2.1 これまでの素材転換に関するLCA的検討の現状

これまでの素材転換に係る LCA について文献を調査した。その結果194件のLCA例が集められた。それらをまとめて別紙1に示した。(別紙1参照)

そこではこれらの CO₂ 排出削減効果を持つ素材転換を、素材分野ごと、および、応用製品ごとに分類してそれら解析事例と共に示ている。なお、分類においては、必ずしも明確に素材転換に該当しないもの(例えば自動車用燃料の置換)もあったが、それも合わせて示している。また、CO₂ 等温暖化ガス防止に関するものでも明らかに技術的要素の少ないもの(例えばサマータイム制の導入と言った社会制度の転換)は含んでいない。

別紙に整理されている内容は、まず CO₂ 排出削減量の効果を算出した目的を の「効果算出の目的」項に記す。次いで、掲載されている文献の情報を の「文献情報」項に記す。さらに、以下に説明する表を用いてまとめた。表中の各項目は以下である。ただし、各項目で該当しない場合は、または該当する記述がない場合か、文献記述からは不明の場合には「 - 」を記している。

別紙一の項目の詳細は以下のとおりである。

- ・ 番号: 各転換の通し番号(委員会資料と統一するため本報告書での登場順とは異なる)
- ・ 分野:該当転換の属する分野
 - 大:対象とする主な CO₂ 発生部門。エネルギー (「エネ」と略す)、産業、民生、運輸、その他に分類した。
 - 小:対象とするいわゆる分野
- ・ 製品:該当転換の適用製品
- ・ 部位:製品内の適用部分
- ・ 素材:適用部分の従来の素材
- ・ 素材転換:該当転換が素材転換に該当する()か否()か。ただし、マテリアルリサイクルが含まれているか否かは下に示す「リサイクル」のカラムで示されるため、本カラムではマテリアルリサイクル以外の素材転換とした。
- 転換後の素材:(素材転換が含まれる場合)転換後の素材
- ・ リサイクル:転換にはリサイクル(マテリアルリサイクル)が含まれている()か否()か
- ・ CO₂排出削減量の効果:該当転換の CO₂排出削減効果(検討によって算出された定量的な結果)
- ・ 効果の時点:上記効果を見込んだ時点
- ・ 産業の制約:上記効果(算出された定量的な結果)に、自身の産業や関連する産業の生産能力といった制約が考慮されているか否か
- ・ 低減効果算出の設定
 - スコープ:上記効果の算出対象としたライフサイクルの段階。素材生産、生産、輸送、使用、廃棄、リサイクルに分類した。
 - 波及効果:効果の算出に、関連産業への間接効果が含まれているか否か
- · 備考:付加情報

2.2.2 これまでの素材転換関係LCAの分析

(1)素材転換LCA例の整理・検討

別紙1にまとめた194項目にわたるLCA的検討例を、電力、運輸、家電、建築の各産業分野および鉄、アルミニウム、複合材料の各素材分野から収集した。電力分野でのLCA的アプローチは58件、内、素材の転換を直接的に意識したもの20件、素材のリサイクル対応による削減効果を評価したもの2件で、残りは素材の効果を大きなCO2発生関連要因として分析しているものの転換としては意識されていないものであった。同様に、輸送分野では、自動車を中心に、素材転換39件、素材リサイクルによる削減8件、その他45件の計92件。また民生分野では、素材転換8件、リサイクル1件、その他7件の計16件と少なく、他方で素材を初めとする産業そのものの分野では、素材転換15件、リサイクル11件、その他11件、計37件であった。

図 2.2.2-1 に素材に関連する L C A の各分野間の比率を示した。エネルギー、運輸、産業、民生という分野分けは CO_2 発生量では、ほぼ同等であるにもかかわらず、素材関連の L C A としては、自動車を含む運輸関係がほぼ半分近くを占めている。この中で L C A のシステム比較の対象としてとらえられている素材の貢献部分を、素材転換そのものによるもの、素材は同じであるがリサイクルをして使用することにより素材製造時などの CO_2 を抑制するもの、それ以外のシステム設計やエネルギー利用形態をつうじての変化、の3者に分けてみた。図 2.2.2-2 はその検討件数を同心円状のグラフとして示すもので、エネルギー、輸送分野においては、その他のシステムを通じた削減例が約半数であり、素材単独での議論は難しいことがわかった。

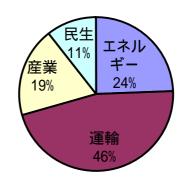


図 2.2.2-1 素材に関連する LCA の実施状況の 各分野間の比率

□素材転換 ■リサイクル素材 ■その他

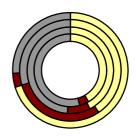


図 2.2.2-2 素材貢献の対象、図の円は、内から エネルギー分野、輸送分野、産業分野、民生分野



図 2.2.2-3 エネルギー部門で効果が意識されてい る素材領域

また産業部門ではリサイクルの貢献が大きいが、これは、産業の中にリサイクルの受用プロセスである素材産業をカウントしたためで、これは本来、それらの用途として運輸や民生にカウントすべきであろう。

各分野ごとにどのような素材転換が CO₂ 削減効果があると期待されLCAの対象にされているかを見てみる(図2.2.2-3)。エネルギー分野では、エネルギーの効率的発生に関る能動的な素材利用の部分と、エネルギーの伝達などの損失を低減させる部分が有る。太陽電池用のシリコンやタービン用の複合材、耐熱材料はこれらの分類に属し、特に近年、燃料電池用材料としてセラミクスが注目されている。エネルギー伝達のロスの削減では、現実的なものとしては電磁鋼板が重

要な役割を果たしている。同時に将来のエネルギー システムとの関連として、超伝導材料や水素吸蔵合 金の役割も期待されている。

運輸部門で CO。削減効果が期待される素材領域を 図 2.2.2-4 に示す。運輸部門で注目されているのは、 軽金属の利用である。これは比重が軽く剛性の有る マグネシウム合金やアルミニウム合金などを使用し たボディーの軽量化を通じての燃費削減での効果が 期待されている。同様の視点から軽量のポリマー類 の適用例も試みられているが、注目すべきものは高 張力鋼板と呼ばれる鉄鋼材料であり、強度を上げ材 料性能を向上させることにより使用量を適正規模に 押さえることにより高性能と燃費改善を通じて CO。 削減への貢献を意図している。これらの素材の適用 個所を図2.2.2-5に示してみた。ただし、「エネルギ - 」と記した部分は具体的な素材の転換を意識した ものではなく、燃料電池自動車や電気自動車などの エネルギー源の変換に関るシステムである。検討対 象となっている例としては、ボディの占める比率が 大きく、フェンダーや種々のカバー、外板、内装な どを含めて殆どが軽量化の視点で検討されている。 一方で、エンジンや駆動などの足回りといった、能 動的な部位での高機能の素材転換の検討例は相対的 に少ない。これは、実際のエンジンや駆動部分の技 術開発において材料およびその加工技術がネックと なっているケースの多い現実とは遊離している。そ の理由として、LCAが製品システムをターゲット にしているために個々の部材の役割がLCAの中に 組み込みにくく解析対象としにくいといった側面が あるとみなされ、今後の効果予測においては留意す べき点であると考えられる。

産業部門には、素材産業自体も含まれるため、図 2.2.2-6 に示すように、金属や、プラスチック、ガラスのリサイクルを通じて地域的なプロセスおよび全地球的な CO₂ の削減に貢献するというシナリオで



図 2.2.2-4 運輸部門で効果が意識されている 素材領域



図 2.2.2-5 自動車における転換素材適用部位の 検討例の数

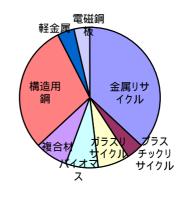


図 2.2.2-6 産業分野の CO2 削減としてLC Aで検討されている素材の貢献期待

の検討例が多い。他方で、構造用鋼のように性能向上や寿命延長による使用量の削減を通じて CO₂ 削減を意図している。これは「二倍強度二倍寿命によるファクター4 材料」などとも呼ばれている。また、電磁鋼板や軽金属の使用は、エネルギー伝送や自動車の軽量化と同様に使用段階を意図したものであるが、それらの解析例はまだ少ない。

民生部門は、家電製品や事務機器、コンピュータなど多くのLCAは行われているが、CO2削減でありかつ素材を意識したLCAとなるとその例は少ない(図2.2.2-7)。磁性材料、伝熱材料はエネルギーロスを意図したものであり、ステンレスは高効率の運転を可能とすることで全体の電力消費削減を通じて CO2削減に寄与すると分析されている。また建築分野でよく検討されているのはポリマーやガラスウール等を使用した断熱材である。しかし、他の家屋システムの中での論議などは少なく、今後アルミサッシやパッシブ暖房などともかかわった議論が必要であろう。

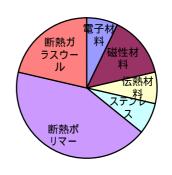


図 2.2.2-7 民生分野の L C A で検討されて いる素材転換

全体として、これらの個々のLCAは製品や部品の一

部を対象としているものが多く、また、分野の中でも対象によって集中的に行われている分野と、 殆ど手がつけられていない分野の偏りが激しく、全体を統一的なマップで表現できるまでは、 L CAの取組みは進んでいない。

しかし、その中でも、素材と CO₂ 削減の関係にはいくつかの特徴的なアプローチがあり、素材 転換として以下の3つの方向がある。それは、 素材の成分、 素材の特性、 素材の製造法で あり、

の例としては、テレビの筐体に利用する素材をプラスティックからマグネシウム合金に転換した事例が挙げられる。この例ではリサイクル性の高い素材の構成率を高めるだけではなく、熱伝導性を高めて品質の向上に寄与する側面も持っている。 の例としては、自動車車体に利用する素材を従来の鋼板から高張力鋼板に転換した事例が挙げられる。高張力鋼板は強度が強く、溶接性、靱性、加工性に優れた鋼材であり、自動車に使用することで、板材の厚みを薄くすることが可能になり、軽量化を実現できる。この例は自動車の軽量化を通じて環境適合性を高める。具体的に言えば、素材メーカーが製造する製品を組立メーカーが採用し、その製品を使用する段階において CO2 の発生を削減する。他方、この鋼板は衝突エネルギーの吸収能の大幅な向上を可能にし、自動車の構造部品の安全性の向上にも寄与している。 の例としては、素材製造の装置を換えること等による製造プロセスの転換、素材製造のための投入資源をバージン資源から再生材に転換すること等が含まれる。後者の具体例としては、高炉の還元剤をコークスから廃棄プラスチックに転換することも挙げられる。

2.3 各分野ごとの素材転換にかかわる温暖化防止対応事例

2.3.1 素材分野からの対応事例

2.3.1.1 アルミニウム産業と地球温暖化

以下は、本調査におけるアルミニウム産業分野からの対応の方向をまとめたものである。

(1) アルミニウム産業が目指すべき方向

アルミニウム産業は今後、アルミニウムの特性を活かした循環型産業、省エネルギー貢献等、 地球温暖化対応産業への転換を図るべきであろう。例えば、アルミニウムの軽量性、高比強度、 高耐食性、リサイクル性は輸送機器における省エネルギー効果、橋梁や建築構造物等の長寿命・ メンテナンスフリー性の解決策として有効である。

(2) 循環型材料としてのアルミニウムの特質

まず、循環型材料としてのアルミニウムの特質についてまとめる。

1997 年のアルミニウムリサイクル率は約 54%であった。表 2.3.1-1 に示すようにアルミニウムの回収率は印刷版 100%、自動車 90%、サッシ 80%、アルミ缶 73%であった。ただし食料品等は全体の 43%が非回収であった。

図 2.3.1-1 に我国のアルミニウムの用途ごとの需要の推移を示す。

表 2.3.1-1 アルミニウム含有使用済製品からのアルミニウム排出量、回収量、回収率 (1997年度)

| 分野 | 需要 | 排出量 | 回収量 | 回収率 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| | 千トン | 千トン | 千トン | % |
| 輸送 | 1,240 | 319 | 280 | 88 |
| (内、自動車) | (209) | (46) | (42) | (91) |
| 土木建設 | 887 | 261 | 209 | 80 |
| 電気機械器具 | 188 | 128 | 39 | 30 |
| 食料品 | 429 | 385 | 200 | 52 |
| (内、アルミ缶) | (410) | (275) | (199) | (73) |
| 金属製品 | 391 | 291 | 76 | 26 |
| (内、印刷板) | (53) | (43) | (43) | (100) |
| その他 | 775 | 278 | 91 | 33 |
| 計(電線等除き) | 3,910 | 1,662 | 896 | 54 |

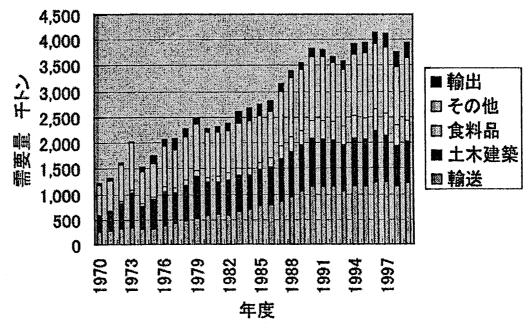


図 2.3.1-1 我国のアルミニウムの用途毎需要の推移

我国で生産されるアルミニウムの 90%は国内出荷されている。表 2.3.1-2 に主要製品のリサイクル率とライフサイクルを示す。リサイクルのための国内製品備蓄量を見積もると、サッシ 15百万トン、自動車用 7 百万トン、その他あわせて 27 百万トンとなり、これは我国の約 7 年分の需要量に相当する。

表 2.3.1-2 アルミニウム製品のライフサイクルとリサイクル率

| 需要分野 | 主要製品 | 平成9年度需要実績 | ライフサイクル | リサイクル率 |
|------|------|-------------|---------|--------|
| 輸送 | 自動車 | 1,241 千沙 | 約9年 | 80~90% |
| 土木建築 | サッシ | 888 | 25 年 | 70~80% |
| 金属製品 | 印刷版 | 34 | 1年以内 | 約 93% |
| | 熱交換器 | 154 (H8 年度) | 9年 | 約 22% |
| 食料品 | 飲料缶 | 429 | 約1か月 | 約 72% |

アルミニウムスクラップからの地金製造は新地金製造の3%程度のエネルギー消費で済むことから、リサイクル資源のさらなる利用促進を図る必要があることは言うまでもない。しかし、現在、異種アルミニウム合金が十分に区分けすることなく回収されているため、不純物の混入が多く、またアルミニウムスクラップの精製技術も十分開発されているとは言えない。従って、アルミニウムスクラップのほとんどが不純物をある程度許容できる鋳物地金として再生されており、軽圧製品の主原料になるまでには至っていないのが現状である。

そこで、循環型社会におけるアルミニウムの役割を十分認識し、

スクラップの全量再資源化を図る高度リサイクル技術の開発

新規需要開発のための高付加価値材料技術、新製造技術の開発

環境調和型アルミニウム製品の普及・発展による社会的貢献

を推進し、国際競争力および競合材料との競争力を高めてアルミニウム産業の活性化を図ることが必要である。

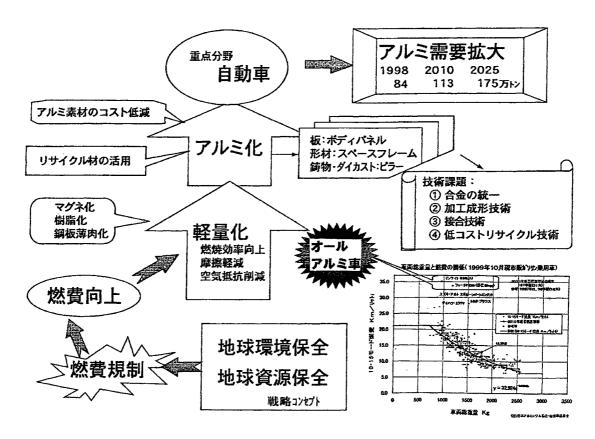
(3) アルミニウムへの素材転換のための技術課題

(3-1)自動車用材料の素材転換(需要拡大)のための技術課題

自動車に関しては、既に鋳物部品等のアルミ化の実績がある。よって現在は展伸材の自動車への展開を目指している。アルミニウムの採用によってボンネット、車体構造とも重量は 1/2 となる。しかしコストも 2 倍となる。よって、現状ではコスト高だが、車体重量制約、走行性能の点からアルミニウム材料が使用されているといった状況である。ロードホイールのアルミ化は重量低減にはあまり寄与せず、コストも 30%高となるが、ファッション性を需要家が重視しているためアルミ製ロードホイールの需要は拡大している。

アルミの材料価格低下と接合等、加工法上の問題解決により部品コストが低減されればさらなる需要拡大が期待できるが、コストの壁が最大の課題である。コスト低減への努力とともにライフサイクルコストをアピールすることが重要であろう。

図 2.3.1-2 にアルミ協会による自動車のアルミ化戦略を示す。また表 2.3.1-2、表 2.3.1-3 に自動車用アルミニウム需要拡大のための課題、自動車のアルミ化によるメリットの計算例を各々示す。また図 2.3.1-3 に展伸材から展伸材へのリサイクルコンセプトを示す。



出典: アルミニウム産業の技術戦略の策定に関する調査研究報告書:(社)日本アルミニウム協会, 平成12年3月

図 2.3.1-2 自動車のアルミ化戦略のコンセプト

表 2.3.1-3 自動車用アルミニウムの需要を拡大するための課題

| 戦略課題 | 技術課題 (具体的検討項目) |
|--|---|
| 目的・目標 | (条件的快的项目) |
| 自動車用材料の LCA 評価 | ①アルミニウム地金の製造に係る LCA 評価 |
| アルミニウム製品が地球環境 に優しいことを LCA の観点か | ②アルミニウム圧延品製造に係る LCA 評価 |
| ら立証する。一般消費者への PR効果を狙う。 | ③アルミニウム使用の自動車の 生涯に係わる LCA 評価 |
| アルミニウムリサイクルシステ ムの確立 | ①廃車回収・流通システムの確立 ②解体技術の確立 |
| (都市鉱山の確立) | ③低コストリサイクル技術の確立 1)シュレッダー材の固相選別 2)合金種の分別技術 |
| 原料を日本国内で還元型にし、 輸入に頼らず低コスト化を狙う。 | 3) 純化技術 4) 塗膜剥離技術 |
| 材料の標準化・統一化 | ① 6000 系合金の標準化(AA 登録) ②アウター・インナー材を 6000 |
| 材料の標準化・統一化をする事により材料費の低価格化は勿論、 | 系に統一化 ③6000系ダイキャスト合金開発(接 |
| 廃車後のリサイクルを容易にする。 部品 TO 部品材へのリサイクル を狙う。 | 続部分) |
| 安価な製造プロセスの開発・確立 | ①安価なリサイクルシステムの確立 ②革新的な新製造プロセスの開発 |
| 材料の製造を単純化し,スチールに対する競争力のある低価格を実現する。 | 溶湯(粗・仕上げ)圧延, 薄肉高速熱間圧延 等温等速押出技術の開発 ③品質予測モデル開発 |
| アルミニウムに適した成形方法の開発 | ①プレス成形技術 ②金型設計技術 |
| スチールと同等の作業性に対応 | ③高速超塑性成形技術 |
| すべく,アルミニウムに適した 成形方法の開発を目指す。自動 化への対応も必要。 | ④ハイドロフォーミング技術 |
| アルミニウムに適した接合方法の開発 | ① YAG レーザー溶接(スペースフレー ム接合部,テーラードブランク対応) |
| スチールと同等の作業性は達成 出来ないので,アルミニウムに 適した接合法の開発を目指す。 | ②三次元 FSW(押出材活用) |
| 周辺技術の確立 | ①可変断面形状押出 ②押出材の成形精度向上(スペ |
| その他技術(①, ②) の見極め と補修技術の確立。 | ースフレーム)③アルミ部分の補修技術・板金 ・接合 ・溶接 |

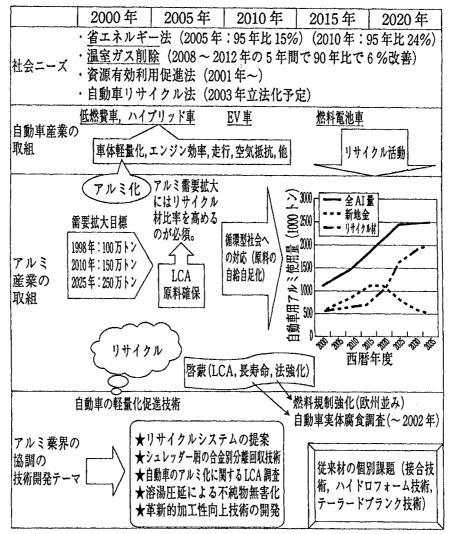
出典:大久保正男:アルミニウム, Vol.46, No.9, 2002, pp.19-24

表 2.3.1-4 自動車のアルミ化によるメリットの計算例 (乗用車)

| 乗用車 | アルミ 使用量 | 平均 燃費 | 国内CO ₂ 削減量 | アルミ 需要 |
|-------|------------|----------|--------------------------|-----------|
| | Kg/台 | Km/L | 万t-CO2/年 | 万t/年 |
| 1998年 | 105 | 12.9 | 基準 | 84 |
| 2010年 | 150 | 13.1 | 1133+2201 | 113 |
| 2025年 | 250 | 13.7 | 1441+2620 | 175 |

①燃費向上分②素材製造分

出典:大久保正男:アルミニウム, Vol.46, No.9, 2002, pp.19-24



※「社会ニーズ」のアンダーラインは、自動車のアルミ化促進に 重要な項目。

出典:大久保正男:アルミニウム, Vol.46, No.9, 2002, pp.19-24 図 2.3.1-3 展伸材から展伸材へのリサイクルコンセプト 自動車用材料の素材転換(需要拡大)のための技術戦略課題として以下のようなものが挙げられる。

自動車材料の LCA 評価:自動車の最終ユーザーが客観的に評価できるもの(鉄鋼、樹脂材料等の個々の材料メーカーがそれぞれの立場で報告したものでないもの)を目指す。

アルミニウムリサイクルシステムの確立:最終的には 100%リサイクル材利用を目指す。 固相分別、液相分別法の開発、塗料からの不純物の除去法の確立。

自動車材料の標準化・統一化:現状では外板は 5000 系と 6000 系、内板は 5000 系、スペースフレームは 6000 系押出材が用いられている。またスペースジョイントには 6000 系合金鋳物 やダイカストが使用されている。リサイクルを容易にし、鉄鋼材料との競合力強化のためには合金種の統一化、標準化が重要である。現在 6000 系へ統一の動きがある。我国独自の循環型アルミニウム合金を開発し、国際合金登録して世界的マーケットを目指す。

安価な製造プロセスの開発・確立:合金統一による量産化と生産効率のよい製造方法の開発 が必要である。薄肉高速熱間圧延、薄肉高速溶湯圧延等に関する研究・開発を積極的に進め る。

アルミニウムに適した成形方法の開発:アルミは傷付きやすい材料である。

テーラードブランク技術、ハイドロフォーミング技術、超高速超塑性成形技術の開発を進める。

アルミニウムに適した接合方法の開発:アルミニウムは抵抗スポット溶接性に劣るので、これに代わる YAG レーザ溶接、機械接合、接着接合の開発が必要である。

その他:アルミニウム板金は修理が難しいので、衝突・接触等による損傷を受けた部材の補 修方法についての検討が必要である。

欧米では、後述するようにアルミメジャーと自動車メーカーによる一部の量産車車体構造部材へのアルミニウム展伸材料の採用が実現しており、我国は遅れをとっている。今後は、自動車業界と協調し、構造部材の低コスト化、安定供給を図るとともに低コスト加工技術、成形加工、溶接接合、表面処理等の技術課題に取組むべきである。「安価なリサイクル材を用いた熱間圧延上がり等の安価な自動車材料の製造プロセスの開発」が急務である。

(3-2) 土木用材料の素材転換(需要拡大)のための技術課題

アルミニウムは現在、土木用材料として景観材料、照明ポール、水門等で年間約2万トン、約660億円の市場をもつが、構造用材料としてのアルミの知名度は低い。今後、素材転換が見込まれる用途には以下のようなものがある。

高規格道路防護柵:アルミニウムへの素材転換によりメンテナンスフリーとなる。しかし、 衝突衝撃緩和、耐久性改善、防護柵性能のデータ蓄積が重要である。

床板、人工地盤、橋梁:既設道路橋の多くは架け替えが必要な時期にきている。アルミニウム床板はコンクリート製の 1/5、鋼製の 1/2.5 の重量である。歩道橋、長大橋への展開が期待でき、軟弱地での建設も可能である。コストは鋼よりも高いが設計標準化により初期コストを下げ、さらに長寿命化によりライフサイクルコストを低減することが必要である。再塗

装等のメンテナンスコストを考慮すると鋼に比べ経済的に有利である。

(3-3)建築用材料の素材転換(需要拡大)のための技術戦略課題

アルミ材料は主としてサッシ、ドア等の非構造材として使用されている。現在約3000億円規模の市場であるが、非構造材としての市場規模拡大はこれ以上望めないと考えられる。そこでより強度を必要とする用途、すなわち強度部材としての応用が望まれるが、アルミの強度に関する認識不足、公的使用基準に不備あるいは標準化されていないことなどから、現在のところ素材転換はあまり進展していない。また鉄鋼材料に比べ高価であることがネックになっている場合も多い。しかし、今後はアルミ材料のメンテナンスフリー性、耐久性という利点を活かし、トータルコストの観点(工事費の軽減(軽量)、部材のユニット化、メンテナンス経費の大幅削減から優位性を主張すべき)からその優位性を主張するとともに、自然環境、地域景観との調和・共生に好適という特性を活かし、建築の工業化、標準化の基盤を整備し、新市場、リニューアル、リフォーム市場へ拡大参入を目指すべきであると考えられる。

素材転換のための技術課題としては、以下のようなものが挙げられる。

展伸材と鋳物材との分離技術:ジョイント部材に合金組成の異なる鋳物が増加しているので、 これを分離する技術が必要である。

原材料の低コスト化と安定供給:アルミサッシのスクラップは今後大量発生することが予測 されており、これらを元のサッシにリサイクルにすることができるか否かは最重要課題であ る。固相選別の徹底が鍵である。

素形材の低コスト化:アルミニウムハニカムパネルの低コスト化(屋根、壁、構造材への適用)を推進する。

耐熱材料の開発:火災発生の場合、6063 合金は防火用構造材としては高温時における 0.2% 耐力が低いことが指摘されている。押出性のよい耐熱性合金の開発とともに既存の 6000 系合金の耐熱性向上が必要である。

メンテナンスフリー:耐食性、耐久性に加え汚染防止を可能にしてアルミ建築材の普及を図る。

次世代接合:施工性に優れ、かつ解体が容易な接合法の開発が急務である。

施行の簡素化:建築構造部材としての標準化、接合部の標準化、設計・施行システムの見直 し等。

(3-4)アルミニウムへの素材転換のための研究活動

現在、アルミニウム関係の学協会を中心として行われている素材転換に関係する研究会・委員会活動について紹介する。

現在、締結部材と言えば、鉄鋼、ステンレス、銅合金であり、アルミ製締結部材は極めて少ないのが現状である。アルミボルトの JIS 規格にも AL1 ~ AL6 があるのみである。しかし、当然、アルミ製品の締結にはアルミ製のねじやビスを使う方が、リサイクルがより容易になる。そこで日本アルミニウム協会ではアルミ製締結部材の開発と応用研究委員会を設置し産学共同でアルミ製

締結部材の開発に着手している。ここでは建築分野への応用について述べる。

現在アルミサッシのビスには鉄鋼材料製のビスが使用されており、住宅本体への取り付けジグはステンレスである。さらにクレセント、戸車はステンレス製、鋳鍛造鋼製、鋼製、プラスチック製等、様々なものがある。

住宅解体の際にスクラップとして出てくるサッシのうち締結ビス等を除去したものは A サッシ、除去していないものは B サッシと呼ばれている。これらの価格差は 15 千円~20 千円 / トンであり、B サッシはもとのサッシへとリサイクルされていないのが現状である。これは B サッシを直接溶解した場合、溶解後の鉄の含有量が 1%を超え、リサイクル性が低下するためである。また B サッシを固相選別コストの安価な海外へ輸出し、A サッシとする手段もあるが、サッシが廃棄物であると考えられると問題が生じる。

これまで述べたように資源循環型社会に資する製品であるためには製品の単一素材化は必須検 討課題である。このようなことからアルミサッシにはアルミの締結部材が必要ではという観点か ら研究が進められている。

この他、日本アルミニウム協会 循環型素材委員会では 5000 系、6000 系の汎用合金中に含有されている遷移元素の Cr を Mn へ置き換えるための研究を行い、成果を上げている。

2.3.1.2 アルミニウム分野のまとめ

既存の L C A 調査の中で、上記にかかわる重点項目に対応する LCA 事例と思われるものを列挙すると表 2.3.1-5 のようになる。この中でも取り分けて重要だと思われるものは、自動車等の輸送機械の軽量化である。これについては、後半で新しい観点からの分析を行う。

具体的な素材転換技術を表にまとめた。表の各カラムは以下の情報を記す。

・ 番号:各転換の通し番号

・ 分野:該当転換の属する分野

- 大:対象とする主な CO₂ 発生部門。エネルギー (「エネ」と略す)、産業、民生、運輸、その他に分類した。

- 小:対象とするいわゆる分野

・ 製品:該当転換の適用製品

・ 部位:製品内の適用部分。「-」は特に限定しないことを意味する。

・ 素材:適用部分の従来の素材

・ 素材転換:該当転換が素材転換に該当する()か否(-)か。ただし、マテリアルリサイクルが含まれているか否かは下に示す「リサイクル」のカラムで示されるため、本カラムではマテリアルリサイクル以外の素材転換とした。

・ 転換後の素材: (素材転換が含まれる場合)転換後の素材

・ リサイクル:転換にはリサイクル(マテリアルリサイクル)が含まれている()か否(-)か

・ 実現可能性:現時点で該当素材転換が充分に実現可能()か、充分な量に対して実現されるためにまだクリアすべき課題があるか()

・ 課題:現在の実現可能性が高くないならばその課題(制約となっている要因)は何か。

・ 課題のクリア

- キーアクター:課題をクリアするために主に誰が鍵を握っているのか。

- 方法:課題をクリアするための方法。

・ 削減量の効果:該当素材転換によって CO2排出量が削減される量

• 備考:付加情報

表 2.3.1-5 アルミニウム分野の素材転換技術のまとめ (1)

| | | 野 | | | | | | リサ | | 実現 | | | 課題のクリア | 削減 | |
|----|----|-----|-----|---------------|-----------------|----------|------------|---------|------------|-----|---|----------------------------|---|----------|----------------------|
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 素材 転換 | | イク ル | 素材転換補 足 | 可能性 | 課題 | キーア クター | 方法 | 量の 効果 | 備考 |
| | 運輸 | | 電甲 | ボディ、 足回り | 鋼、 ステン レス | | アルミニウム | | | | 耐食性、耐塩性での評価(特に 他の合金と組み合わせで使用さ れる場合の接合部分の劣化等の 長期間) | | 新合金開発 | | 営団地下鉄での効果のLCA事 例有 |
| 6 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | エンジン | 鋼 | | アルミニウム | | | | 特になし | | | | |
| | 運輸 | | | 足回り部 品 | 鋼 | | アルミ ニウム | | | | ・一体ダイカストの場合:靭性 のクリア ・鍛造の場合:低コスト化 | | ・一体ダイカストの場合:データの整備、非熱処理型合金開発 | | |
| 8 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ホイール | 鋼 | | アルミ ニウム | | | | コスト高(主に原料価格) (乗用車ではファッション性、 大型車では低燃費というニーズ から実現) | | 広報、知的基盤の整備 | | |
| 9 | 運輸 | 自動車 | | ボンネット・車体 等 | 如此 | | アルミ ニウム | | | | ・コスト高(主に原料価格)(軽量性・走行性というニーズから一部実現) ・供給の安定性・規格、基準の不備(現行の材料基準、施工基準、製品現格等がデルミニウム材料あよびその最終製品を対象としていない)・スクラップの精製技術が十分開発されていない。・異種アルミニウム合金が十分に区分けすることなく回収され、不純物の混入多い。 | アルミ 業界品 メー (の 協同) | ・LCCの低さをアピール ・リサイクルシステム(分離回 収、不純物の前製、除去、不純 物の許容範囲の明確化)の確立 ・合金種の統一化(6000系 へ)、標準化 ・安価な製造プロセス(革新的 製造技術等)の開発 ・アルミに適した成形方法(プ レス成形技術等)の開発 ・アルミに適した接合方法 (YAGレーザー溶接等)の開発 ・補修方法(板金、接合、溶接 等)の開発 ・供給の安定性確立 ・供給の安定性確立 ・素界間の連携強化など | | |

表 2.3.1-6 アルミニウム分野の素材転換技術のまとめ (2)

| | | 野 | | | | | | リサ | | 実現 | | | 課題のクリア | 削減 | |
|----|----|---------------|------|----|------------|----------|------------|---------|------------|---------|--------------|-------------------|---|----------|----|
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 素材 転換 | 転換後 の素材 | イク ル | 素材転換補 足 | 可能 性 | 課題 | キーア クター | 方法 | 量の 効果 | 備考 |
| 10 | 産業 | 土木 | 橋梁 | 1 | 鋼 | | アルミ ニウム | | | | | | ・知的基盤 (需要家の信頼を得 るための技術的基盤を示す体 制)の整備 ・広報(召蒙)活動(寿命の長 さや再逢装等のメンテナンスストでは有利。景観の特性も も、) ・初期コストの低減 | | |
| 11 | 産業 | 小規 模建 築 | 構造部材 | 1 | 鋼 | | アルミ ニウム | | | | | メー カー(の 協同) | ・知的基盤の整備 ・施工の簡素化(構造部材としての標準化) ・広報(啓蒙)活動(工事費、 メンテナンスコストでは有利) | | |
| 12 | 産業 | 建築 | サッシ | | アルミ ニウム | , | アルミ ニウム | | | | ジョイント部の分離コスト | | 締結部材をアルミにする(建築 基準法で鋼のネジとされている 部分の再検討) | | |

2.3.2 素材使用分野における地球温暖化対策対応

2.3.2.1 建築分野

2.3.2.1.1 建築分野と地球温暖化

(1) 建築分野の温室効果ガス発生傾向

建築物の建設、運用および維持保全そして廃棄に起因する温室効果ガスの発生量は、日本建築 学会を中心とする調査研究の結果、わが国全体の 40%近く占めるものと、推定されている。

しかも、こうした建築物については、耐用年数が建築物の用途によっても異なるが、概ね 40 年程度であることから、様々な技術的な改善があっても、容易には建築物起源の温室効果ガスを排出する状況を改善出来ない。図 2.3.2.1-1 は今後建てられる新築の建築物については従来の平均的建築物の 30%、既存の建築物の改修ではそれまでの水準から 15%の省エネ対策を講じたとして、国全体の建築分野からの温室効果ガス発生量がどの程度の変化を見せるかを予測したものである。基本的には前述の条件は殆ど実施されないと考えられるが、電力側の環境負荷原単位が変らなければ、2010 年では 1990 年比で 2%増となってしまう。長期的に抜本的な対策を講じる必要性がこれからも知れるのである。

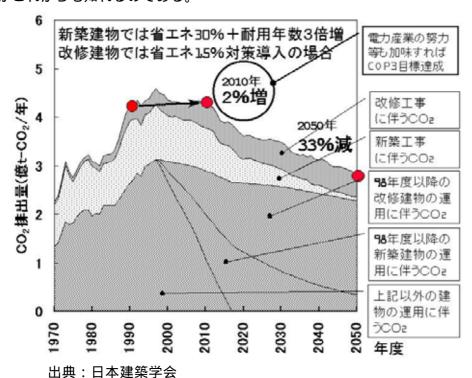


図 2.3.2.1-1 建築分野の CO₂排出量の推移

(2) 建築分野における CO₂排出原因

1985年段階での建築分野から排出される炭素の原因別排出量を図 2.3.2.1-2 に示す。この段階で建築分野はわが国の炭素排出量の 36.1%を占めていたが、更にその内訳を見ると建築物を生産する段階(補修、改修を含む)に起因するものがわが国全体の 12.1%に達している。これらは概

ね建設に用いられる部材、部品の生産過程で生じるものであると考えることが出来る。即ち、わが国の全炭素排出量の内8分の1程度は、建材あるいは建築用部品に用いられる材料、またはそれらの生産過程での温室効果ガス発生を抑制する対策の効果が見込まれる分野であると考えられる。

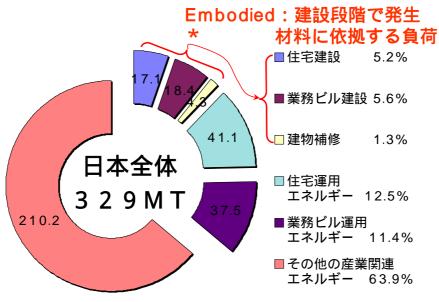


図 2.3.2.1-2 建築分野の CO₂排出原因

(3) 建築物の運用段階における CO₂排出要因

図 2.3.2.1-2 に見られるように、住宅や業務ビルの運用エネルギーが CO₂排出の大きな要因となっている。ここで、これらの運用エネルギーの要因を統計的データから抽出しておく。

民生(家庭)部門の用途別内訳を図 2.3.2.1-3 に、同部門の供給エネルギー源別内訳を図 2.3.2.1-4 に示す。図 の「照明・動力・その他」にはいわゆる家電製品も含まれる。

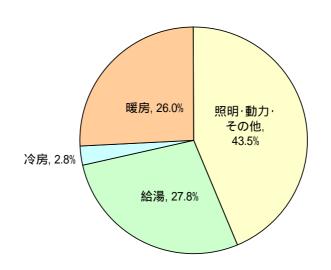


図 2.3.2.1-3 家庭用用途別 CO₂排出量(1997年)([1]より作成)



図 2.3.2.1-4 家庭用供給エネルギー源別 CO₂排出量(1997年)([1]より作成)

図 2.3.2.1-5 に民生(業務)部門の用途別内訳を示す。



図 2.3.2.1-5 オフィスのエネルギー消費の内訳([2])

2.3.2.1.2 建築分野での使用材料

(1) 建築分野での資材消費の状況

建築分野で一産業分野としては膨大な資源を消費している。表 2.3.2.1-1 は材料別の資源消費量とその全産業の中での割合、材料が投下される時期別の比率を示すものである。これを見ると多くの材料が産業の中で 10~30%台を占めるが、唯一木材は 6 割の水準であることは、依然として木造建築物がわが国では多いためであろう。砂利・石材が多いのは建築物の構造の中でコンクリートの比重が大きいことを示している。建設時の比率が多い材料は、建築物の基本的な構造部分に使われる材料とも考えられるが、陶磁器(瓦・タイルを含む)、木材や鉄はその最たるものである。セメントがその割に運用時が多いということは補修や改修にも便利に使われる、いわば小回りの利く材料となっているとも考えられる。

| 材料種別 | 単位* | 全産業の 中の割合 % | 建築の資源 消費量 ^{単位*} | 建設時 | 比率 | 運用時 | 比率 |
|--------|------------------|-------------------|--------------------------------|---------|----|--------|----|
| 砂利·石材 | チトン | 24 | 220,000 | 182,000 | 83 | 38,000 | 17 |
| セメント | 干トン | 34 | 26,000 | 18,400 | 71 | 7,600 | 29 |
| ガラス | チトン | 13 | 850 | 660 | 78 | 190 | 22 |
| 陶磁器 | チトン | 29 | 16,000 | 14,200 | 89 | 1,800 | 11 |
| 木材 | 土り | 62 | 22,000 | 20,500 | 93 | 1,500 | 7 |
| 紙製品 | 千り | 3 | 680 | 598 | 88 | 82 | 12 |
| 鉄 | 土り | 11 | 12,000 | 10,400 | 87 | 1,600 | 13 |
| 銅 | 千り | 16 | 150 | 97 | 65 | 53 | 35 |
| アルミニウム | 千り | 26 | 390 | 312 | 80 | 78 | 20 |
| その他の金属 | 千り | 9 | 120 | 89 | 74 | 31 | 26 |
| 繊維製品 | 千り | 1 | 110 | 54 | 49 | 56 | 51 |
| 塗料 | 百万m ³ | 27 | 640 | 490 | 77 | 150 | 23 |
| 合成樹脂 | 千り | 13 | 1,300 | 930 | 72 | 370 | 28 |

表 2.3.2.1-1 建築分野での資源消費量(日本建築学会

非鉄金属の使用量を見ると絶対値としては鉄より二桁少ない水準であるが、全産業の中での比率は銅、アルミ、その他の金属も無視しがたい。しかし、鉄に比べて運用段階での消費の割合が高いことが、建築物の利用・用途の変化に応じて消費される状況を伺わせる。その中でも銅の消費量が運用段階で多いのは、電力、通信ともにシーズとニーズの変化の激しさの結果でもあろう。

運用段階での利用が建設段階と同等なのは繊維製品であることは、内装改装に伴ってほぼ全面的に取り替えられて居るという実態を表している。

(2) 建築用材料とその使用部位

これらの建築用材料が、どのような建築の部位(部分)に使われているか、どのような機能・性能が期待されているかについて、概略の整理をしたのが表 2.3.2.1-2 である。ここで W は木造建築、S は鉄骨造、RC は鉄筋(鉄骨)コンクリート造であり、建築物の主要構造部分の種類を表わしている。即ち、建築では大きくはこの 3 種の主要構造の種類があり、これに従って使われる材料の体系に変化が見られることを示している。ただ、こうした傾向は絶対的なものではなく、技術開発やデザインの傾向によって次第に変っていくものでもある。

| | | 木 | 鉄 | セメント | 石・砂利 | 土・粘土 | 石膏 | 窯業製品 | 銅 | アルミ | 合成樹脂 | 繊維 |
|-----|---------------|------|--------|--------|----------|------|--------|----------|---|----------|----------|--------|
| 躯体 | 柱 | W | S | RC | | | | | | | | |
| | <u>柱</u> 梁 | W | S | RC | | | | | | | | |
| | 構造壁 | W | S、RC | S、RC | S, RC | | | | | | | |
| | 床 | W | S、RC | S、RC | S、RC | | | | | | | |
| | 基礎 | W | W、S、RC | W、S、RC | W、S、RC | | | | | | | |
| 仕上げ | 屋根 | W | W、S、RC | W、S、RC | W, S, RC | | | W, S, RC | W | W | W, S, RC | |
| | 外壁 | W | W、S、RC | W、S、RC | W, S, RC | W | W | W, S, RC | | | | |
| | 内壁 | W | S、RC | S, RC | S, RC | W | W、S、RC | W, S, RC | | | W、S、RC | W、S、RC |
| | 間仕切壁 | W | S | | | W | W、S、RC | W、S、RC | | | W、S、RC | W、S、RC |
| | 天井 | W | | | | | W、S、RC | W、S、RC | | | | |
| | 床 | W, S | | | | | | W、S、RC | | | W、S、RC | W、S、RC |
| 建具 | 天井 床 窓 | W | | | | | | | | W, S, RC | W、S、RC | W、S、RC |
| | 戸・扉 | W | | | | | | | | W、S、RC | W、S、RC | W、S、RC |
| | 開口 | W | | | | | | | | W, S, RC | W、S、RC | W、S、RC |

表 2.3.2.1-2 建築材料と使用部位

尚、この表には冷暖房や照明、そして給排水といった建築設備用の材料は含めていない。これらの用途に用いられる材料も少なくないが、概ね工業製品であり、建築外の産業での環境対策として取組まれているのでここでは除外している。

2.3.2.1.3 建築材料と環境負荷

(1) 建築材料と環境負荷原単位

日本建築学会では、建築に使われる材料を中心にして独自に LCA の計算体系を開発しているが、そこでは環境負荷原単位を表 2.3.2.1-3 に示すように算出している。この中で砂利・石材が桁違いに小さいのは、その原単位が概ね採取に要するエネルギー使用に起因するものであるためである。その一方で木材がセメントよりも大きいのは、これが廃棄段階で焼却されることを前提としているためである。

| ++ #7 12 Dil | Energy | CO2 | SO ₂ | NO ₂ |
|-------------------------|--------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 材料種別 | (GJ/t) | (t-CO ₂ /t) | (kg-SO ₂ /t) | (kg-NO ₂ /t) |
| 砂利・石材 | 0.13 | 0.01 | 0.02 | 0.05 |
| セメント | 4.73 | 0.84 | 0.30 | 1.76 |
| ガラス | 16.33 | 1.02 | 1.70 | 3.65 |
| 陶磁器 | 17.00 | 1.06 | 1.42 | 2.29 |
| 木材 | 5.93 | 2.45 | 0.61 | 1.24 |
| 紙製品 | 54.79 | 7.20 | 5.27 | 7.44 |
| 鉄 | 19.73 | 1.30 | 2.52 | 5.13 |
| 銅 | 41.99 | 2.92 | 7.54 | 5.97 |
| アルミニウム | 39.33 | 2.46 | 8.21 | 6.91 |
| その他の金属 | 31.58 | 19.71 | 25.68 | 44.26 |
| 繊維製品 | 160.50 | 10.20 | 14.81 | 21.96 |
| 塗料 | 37.15 | 2.44 | 3.35 | 5.72 |
| 合成樹脂 | 46.19 | 3.11 | 4.31 | 6.74 |

表 2.3.2.1-3 建築材料と環境負荷原単位

(2) 材料消費による環境負荷

このような環境負荷原単位を使い、前掲の建築分野での材料消費実態と合わせると図 2.3.2.1-4 のように建築分野での材料による環境負荷を算出することが出来る。これから、環境 負荷の項目によって順位が変るものの、セメント、陶磁器、木材、鉄が他の材料より抜きん出て

多いと言う傾向は変らないことが判る。また鉄が多いことは予想の範囲であるが、窯業系の製品材料、つまり瓦とかタイルに係る環境負荷がセメントや鉄と並ぶ水準にあると言うことは、所謂仕上げ材としての材料に課せられた今後の問題と言えよう。

また木材の環境負荷が大きいということは、環境負荷原単位の問題でもある。木材は廃棄段階で焼却を仮定して CO₂ を排出するとする考え方がこのような結果を招くのだが、この考え方は評価として適切かどうか

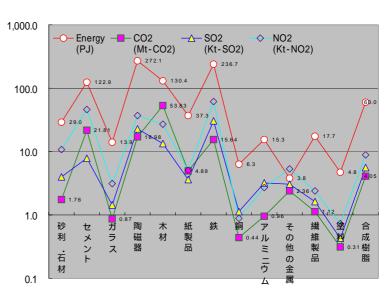


図 2.3.2.1-4 建築材料と発生環境負荷

検討する必要がある。

2.3.2.1.2 環境負荷低減のための材料開発

このような建築分野における材料による環境負荷の実態を基に、環境負荷を低減するための材料開発については、概ね次のような方法が考えられる。

(1) 材料の取り扱い方法の変更

これには、耐用年数についての考え方の問題と、環境負荷の扱い方の問題がある。

耐用年数の変更

建築物の耐用年数は、物理的耐用年数と社会的耐用年数とに分けられるが、わが国の現状は社会的耐用年数によって建築物の耐用年数が決定されている。これはわが国の社会状況が第二次世界大戦敗戦後大きく変動してなかなか安定しないことにも起因していると考えられるが、こうした状況が落着き価値観やライフスタイルの動揺が納まってくれば、社会的耐用年数と物理的耐用年数は近づいてくるものとも考えられる。そうした流れで考えるならば、材料の実耐用年数を物理的耐久性に近づけることが課題となる。

しかしながら社会の安定までには未だ時間がかかると見るならば、当面材料については再利用などによる、廃棄までの期間の延長を図ることが必要になってくる。これには当然易分解性設計、生産が求められるが、同時に故材を使い新たな建築物を作るための設計手法の普及も求められる。

環境負荷の扱い方法の変更

木材については漸くわが国の主張が認められ、炭素固定の実態を評価する方向が生まれてきたのは希望の持てる状況であるが、建築物に利用される木材については、育成期間より長い耐用年数を前提として、木材の CO_2 蓄積機能の評価を如何に合理的に行なうかが問われる。建築に用いられてきた木材については、伝統建築にあっては数百年使われている事例は枚挙に暇が無いが、近年開発されている木造住宅も耐用年数 100 年を謳ったものが出てきている。こうした木材が生長に要する期間は集成材に使われる間伐材としては $20 \sim 30$ 年、柱や梁と言った主要部材に使われるものでは $40 \sim 50$ 年程度の材である。従って耐用年数 100 年ということであれば、バイオマス生成期間を超えた期間を、 CO_2 の固定機能がある期間と見なすことはそれなりの合理性があるだろう。こうした観点から木材の環境負荷の実態を評価しなおす必要があると考えられる。

(2) 材料の製造方法の変更

既にセメント業界では環境問題の深刻化を受けて、従来のポルトランドセメントから高炉セメントへの対応が為されている。また鉄鋼業界でも、建築用鋼材を高炉材から電炉材という方向で対応がなされている。

こうした中で窯業分野の環境対策として注目されるのは、廃棄物処理過程から出てくる焼却灰を利用する方向である。図 2.3.2.1-5 は、わが国における廃棄物と建設分野での資源需要との関係を示すものであるが、問題なのは大量の廃棄物が発生する一方で、建設分野でも大量の建設資材需要があるにも拘わらず、その間を繋ぐ社会システムが完成していないために、多くの無駄を発生させていると言うことである。環境白書によれば、現状では一般廃棄物 5,000 万トンの内

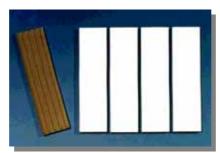
4,000 万トンが焼却施設に送り込まれ、1,300 万トンの灰を最終処分している、と言う。この間、 大量のエネルギーを消費しながら、有価材の生産には殆ど結び付いていないのである。



図 2.3.2.1-5 廃棄物の利用方法

こうした状況を克服する一つの活動として、焼却灰をクリスタル化することによりタイルや、舗装用骨材を生産する産業が興ろうとしている。図 2.3.2.1-6 に示すように、コンクリートやアスファルト用の骨材需要は4億トンと膨大であるので、一般廃棄物はもとより、産業廃棄物の中でこうした用途に利用出来る廃棄物の処理が、負の処理から脱して新たな有価物の生産に結び付く可能性があると言えよう。





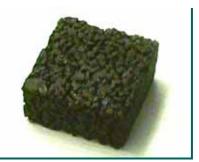


図 2.3.2.1-6 廃棄物焼却灰から製造された結晶化骨材、タイル、アスファルト骨材(左から)

(3) 材料の特性改良

建築分野での一つの大きな課題である耐用年数延伸への対策には、コンクリートの中性化を遅らせることもある。この分野での技術開発は、コンクリート内部への空気の進入によりコンクリート自体が中性化し鉄筋の錆びを招くのを如何に遅らせるかが課題であるが、コンクリートへの混和材により、課題解決への道が探られ、500年程度の耐用が期待出来ると言うコンクリートも提案されている(図 2.3.2.1-7参照)。

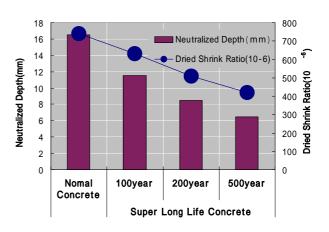


図 2.3.2.1-7 中性化速度の違い

また材料の圧縮や引張り強度を向上させることも、結果的に材料投入量を減らすことで環境負荷削減に結び付くと言う考え方の下に、セメントおよび鉄鋼分野での技術開発が進んでいる。

(4) 材料への新たな機能付与

現状の建築用材料に新たな機能を付加することで、環境対策に役立てようとする動きも数多くある。

建築物の屋根や外壁は外皮と称されるが、この部位については建築物内部への外界からの熱負荷を削減すると言う目的のために、可能な限り高い断熱性が求められる。今日ではグラスウール系とウレタンフォーム系の断熱材が多用されているが、出来るだけ薄くてより高い断熱性のある材料はまだ現れていない。

一方外皮については、その表面を緑化することにより太陽熱を吸収し、併せて断熱性を確保しようと言う材料の開発がなされている。セルロースファイバはその一つであり、軽量であり且つ保水性などを確保しながら、一定の断熱効果も期待出来る外壁緑化用材である。外壁を緑化するための材としては、前述の廃棄物利用の一環としてのアルミ複合パネルもある。

太陽光による建築物への熱負荷を遮断するには、ガラスに熱線反射機能を持たせることが必要であるが、これについてはオイルショック以降様々な研究開発が進んでいる。今後の技術開発の課題としては、これらの機能の制御性であろう。太陽光は必要とされる季節にあっては寧ろ室内に侵入することが求められる。太陽光を不要なときにはカットし、必要な時に透過するような機能は、現在ブランドとかルーバーで代替されているが、そうした部材の存在を前提無しに太陽光が制御できるならば、建築物の開口部からの熱負荷を大きく削減出来るようになる。

室内空間の熱的な快適性吸は湿度によって大きく左右される。相対湿度 30%を下回る乾燥、70%を越える湿っぽさに人間は不快を感じる。伝統的建築物で使われてきた土壁や漆喰は一定の調湿機能を有するものであるが、今日ではゼオライト、珪藻土漆喰壁といった材料がそうした機能要求へ応える材料として使われ始めている。夏場の冷房の負荷を低減するのに役立つ吸湿機能は非常に大きな吸湿量を要求するが、そうした機能性能を有する材料の開発が待たれる。

建築物が長期に利用されると言うことは、とりもなおさず長期の劣化環境に晒されることを意味する。天然材は年月を経ることにより一定の味わいを深める表情を持つが、工業材・工業製品は時間経過が直ちに劣化に結び付く。特に建築物の外皮は太陽光、風(塩を含む)、汚染空気にさらされるために、劣化外力は大きい。それに加えて汚れがある。汚れの多くは有機物の付着とこれへの水分の補給が拡大のメカニズムであるが、これらに対して光触媒技術が可能性を開きつつある。またハイドロホビック・レジンは外皮によらず、衛生陶器の内面への汚れ付着防止機能への期待が大きい。

(5) システム全体の構造変革への寄与

建築物の環境負荷削減には、建築物全体としてのシステムの変更に依る方法も多くある。冷暖 房に投下されるエネルギー削減には自然の風の導入が有効とされるが、これには通風性の良い建 築空間と開口部によってもたらされる。

最近普及し始めている免震構造は、建築物内部への地震力の進入を食い止めるためにゴムと鋼板をサンドイッチ状に複数層重ねた積層ゴムによって実現されているが、これによって構造部材

が5~10%削減出来るとも言われている。

2.3.2.1.4 まとめ

建築物に使われている主要な材料は木材、鉄、コンクリート、窯業製品である。地球温暖化防止を建築分野から眺めると、その最も効果的で直ぐにでも対応出来る対策は長寿命化である。ここで如何に空間に余裕を持たせ利用方法の変化(ライフスタイルの変化)に対応出来るような柔軟性を持たせることがポイントであるが、既にヨーロッパでは数世紀に亘る建築物の利用の継続下で現代生活活動がそれ程の困難もなく繰り広げられているという実態があることからも、充分に対策可能であると考えられる。そこでの問題は材料である。木材は、集成材の接着の耐久性が、鉄筋コンクリートはコンクリートの中性化が一つの大きな乗り越えるべき課題として横たわっている。

もう一つの課題は熱負荷対策である。材料面では断熱がポイントであるが現状の材料は断熱性と厚さの面から言って未だ充分とは言えないレベルであると考えられる。またガラスの機能についても断熱性を高めるために福層ガラスでの対応が主流となっているが、日本のように数センチの厚さを問題とする社会では、断熱材、窓ガラスに求められるのは出来るだけ薄い部材厚さの下での高い性能の確保である。

そこで、本研究においては、断熱材の適用の影響を後半部分で検討を行い、さらに、窓ガラスなどの部材使用も含む断熱型建築の導入シナリオによる影響についても検討することにした。 なお、LCA 事例と思われるものを表 2.3.2.1-4 に列挙した。

| 表 2.3. | 2.1-4 | 建築分野の素材転換技術のまとめ(| 1 ` |) |
|---------|-------|---------------------------------|-----|---|
| ጊላ ∠.∪. | | と 本 刀 刃 ひ 赤 竹 和 入 入 门 ひ ひ こ ひ し | | , |

| Г | 5 | 〕野 | | | | | | リサ | | 実現 可能 | | 課題のク | リア | 削減 | |
|----|----|----|-----|-----|---------------|----------|----------------|---------|---|----------|----|------------|----|----------|----|
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 素材 転換 | | イク ル | 素材転換補足 | 可能 性 | 課題 | キーアク ター | 方法 | 量の 効果 | 備考 |
| 1 | 民生 | 建築 | 建築物 | 全体 | 鉄筋コンク リート等 | | 使用済み | - | 材料の物理的耐久寿命に近 づける (材料の取り扱い方法の変更) | | | | | | |
| 2 | 民生 | 建築 | 建築物 | 全体 | 鉄筋コンク リート等 | | 使用済み | - | 再利用などによるライフタ イムの増加 (材料の取り扱い方法の変更) | | | | | | |
| 3 | 民生 | 建築 | 建築物 | 構造材 | セメント | | 使用済み | | (材料の製造方法の変更) | | | | | | |
| 4 | 民生 | 建築 | 建築物 | 構造材 | 鉄鋼 | | 使用済み | | (材料の製造方法の変更) | | | | | | |
| 5 | 民生 | 建築 | 建築物 | 壁面 | 窯材 | - | 焼却灰利用の窯材 | | (材料の製造方法の変更) | | | | | | |
| 6 | 民生 | 建築 | 建築物 | 壁面 | 窯材 | ١ | 建設汚泥利用の窯材 | | (材料の製造方法の変更) | | | | | | |
| 7 | 民生 | 建築 | 建築物 | 壁面 | 従来素材 | | アルミ複合材 | | | | | | | | |
| 8 | 民生 | 建築 | 建築物 | 床 | 従来素材 | | 結晶化石材 | | | | | | | | |
| 9 | 民生 | 建築 | 建築物 | 構造壁 | コンクリー ト | | 長寿命化コンクリー ト | | 中性化速度抑制による (材料の特性改良) | | | | | | |
| 10 | 民生 | 建築 | 建築物 | 柱・梁 | 鉄 | | 高強度鋼 | - | 使用量削減による効果 (材料の特性改良) | | | | | | |

表 2-4-1 建築分野の素材転換技術のまとめ(2)

| | | 野 | | | | | | リサ | | 実現 | | 課題のク | リア | 削減 | |
|----|----|----|-----|-----|--------------|----------|------------------|---------|---|-----|----|------------|----|----------|-------------------------|
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 素材 転換 | 転換後の素材 | イク ル | 素材転換補足 | 可能性 | 課題 | キーアク ター | 方法 | 量の 効果 | 備考 |
| 11 | 民生 | 建築 | 建築物 | 柱・梁 | コンクリー ト | | 高強度コンクリート | - | 使用量削減による効果 (材料の特性改良) | | | | | | |
| 12 | 民生 | 建築 | 建築物 | 外壁 | コンクリー ト | | セルロースファイバ | - | 断熱による効果 (材料への新たな機能付与) | | | | | | |
| 13 | 民生 | 建築 | 建築物 | 外壁 | コンクリー ト | | 緑化用材 | - | 断熱による効果 (材料への新たな機能付与) | | | | | | |
| 14 | 民生 | 建築 | 建築物 | 外壁 | 従来素材 | | 可視光線反射材 | - | 遮光性 (材料への新たな機能付与) | | | | | | |
| 15 | 民生 | 建築 | 建築物 | 内壁 | 従来素材 | | ゼオライト、珪藻土 漆喰壁 | - | 吸湿性・除湿性(冷房温度の 上昇) (材料への新たな機能付与) | | | | | | |
| 16 | 民生 | 建築 | 建築物 | トイレ | 従来樹脂 | | ハイドロホビック・ レジン | - | 撥水性・防汚性(トイレ使用 水の低減) (材料への新たな機能付与) | | | | | | |
| 17 | 民生 | 建築 | 建築物 | 基礎 | 鉄筋コンク リート | | 鋼板、免震ゴム、鉛 など | - | 免震構造による材料節減(シ ステム全体の構造変革に寄 与) | | | | | 3- | 効果は鉄・ コンクリー トの節約量 |

3.1 の参考文献

- [1] 住環境計画研究所:家庭用エネルギーハンドブック(1999年版)省エネルギーセンター、1999.
- [2] (社)日本エネルギー総合管理技術協会:オフィスビルにおける OA 機器のエネルギー消費調査結果(平成 10 年度)、1998.

2.3.2.2 自動車分野

2.3.2.2.1 自動車への要求と現状

自動車に求められる性能は、時代背景と周辺技術の進歩とに相互干渉しながら図 2.3.2.2-1 のように変遷してきた。

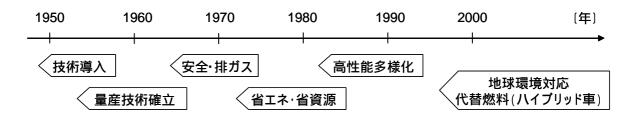


図 2.3.2.2-1 日本における自動車製造業への要求の変遷 [1]

現在の要求は、特に下記の4分野で強いものと認識できる。

・ 快適性:運動性能、乗り心地、操縦安定性、静粛性、イージードライブ、など

・ 安全性:衝突安全性、アクテイブセイフテイ、耐久性向上、など

・ 経済性:燃費低減、LCコスト低減、投資低減、工程短縮、など

・ 環境:排ガス低減、温暖化防止、リサイクル・省資源、騒音低減、など

環境の世紀ともいわれる 21 世紀では、地球環境保護がもっとも注目を浴びつつあり、環境の分野でさらに改善を実現するための技術開発に特に重点が置かれている。

このような重点性能と基本的な性能とを満足するために、自動車の部位別の要求性能をもっとも効率的に満足させるべく、現時点の技術を基盤として表 2.3.2.2-1 に示すように各種素材が適材適所で使用されているのが現状である。太字は部材の厚さを支配する要因であるが、これは、後述する軽量化に強く関係するために太字で記した。

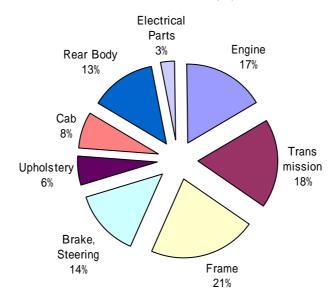
表 2.3.2.2-1 部位別の要求特性と適用素材現状

| 部位 | 駆動系 | パネル | 構造部材 | 足まわり部品 |
|--------|------|----------|-----------|---------|
| 項目 | | | | |
| 代表的な部品 | エンジン | ドア | メンバ | アーム類 |
| | トランス | ルーフ | バンパレインフォー | ホイール |
| | | フロア | スメント | |
| 要求特性 | 成形性 | 成形性 | 成形性・圧潰強度 | 成形性・圧潰強 |
| | 耐久強度 | 張り剛性 | 衝擊吸収能 | 度 |
| | | 耐デント性 | 部材強度・耐久強度 | 部材強度 |
| | | 耐食性 | 耐食性・溶接性 | 疲労耐久強度 |
| | | | | 耐食性・溶接性 |
| 主な適用素材 | 鋳鉄 | 表面処理鋼板 | 高強度鋼管 | 熱延鋼板 |
| | アルミ | (固溶強化型鋼 | 樹脂 | |
| | マグネ | 板、BH 鋼板) | | |
| | 樹脂 | | | |

太字:板厚支配要因 出典:[2]を改変

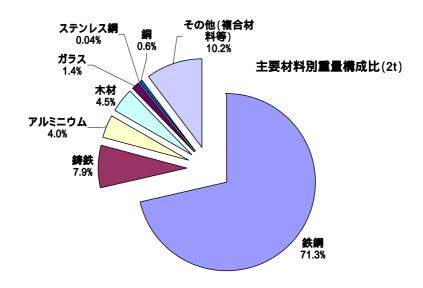
自動車 1 台の部位別の重量と素材別の重量の定量データを具体例を挙げて図 2.3.2.2-2 と図 2.3.2.2-3 に示す。ここではいすゞ社の中型トラックを例に示した。

部品別重量構成比(2t)



出典:いすゞ社資料

図 2.3.2.2-2 部位別の重量割合(トラックの事例)



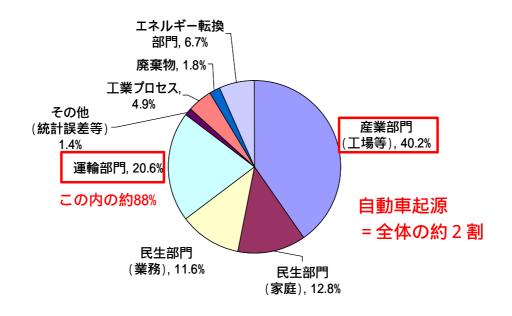
出典: いすゞ社資料

図 2.3.2.2-3 素材別重量割合(トラックの事例)

2.3.2.2.2 地球温暖化と自動車

各種統計データ(図 2.3.2.2-4~2.3.2.2-8)から、地球温暖化(二酸化炭素排出量)と自動車の関係を確認する。

日本の二酸化炭素排出量の約20%が運輸部門からの排出であり、そのうちの約90%が自動車起源である。(日本で排出されている二酸化炭素の約18%が自動車の走行によるもの)自動車の製造に起因するものを自動車のLCA 結果から推定すると、二酸化炭素排出量の約2割が自動車に関係しているものと考えられる。自動車起源の二酸化炭素排出量は、走行段階が支配的であり、その傾向は商業車(CV=トラック、バス)で顕著である(長期間使用されるバスや長距離輸送をになう大型トラックでは、98%以上が走行段階に排出される)。



出典:[3]に追記

図 2.3.2.2-4 日本の CO₂排出量分類と自動車起源の割合

運輸部門の内訳を図 に示す。約88%がいわゆる自動車によるものであることを指名している。

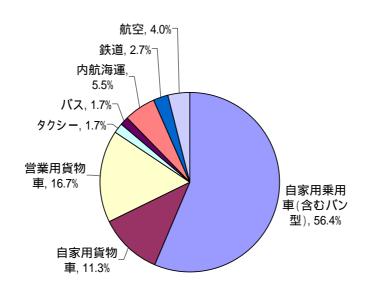


図 2.3.2.2-5 輸送機関別 CO₂排出量の内訳(平成 11 年度) [4]

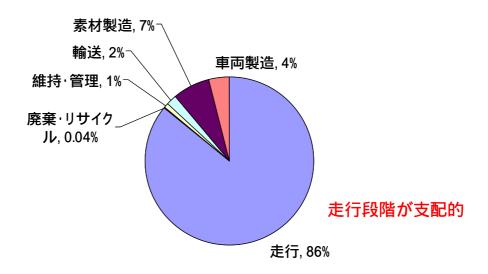
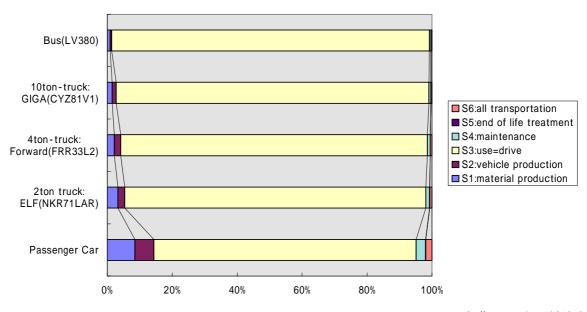
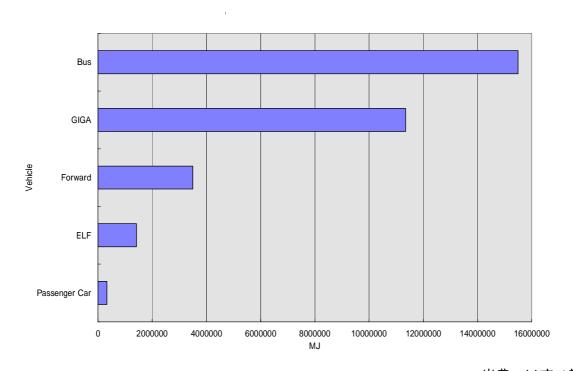


図 2.3.2.2-6 自動車のライフサイクルにおける排出 CO₂の分類 [5]



出典:いすゞ社資料

図 2.3.2.2-7 各自動車のライフサイクルにおける排出 CO_2 の分類



出典:いすゞ社資料

図 2.3.2.2-8 各自動車の一生涯における使用エネルギー

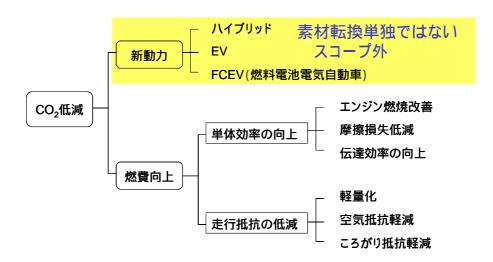
2.3.2.2.3 地球温暖化を低減する技術

自動車に関連した二酸化炭素排出量の内、最も大きい走行段階のものを削減するために、さまざまな施策が検討され実行に移されつつある。これらの施策には、交通システム改善による交通流の改善や、高効率車の優遇税制などの政策的な方策と、自動車そのものを高効率化する技術的な方策とに大別することができる(図 2.3.2.2-9 参照)。

- ▼交通システムとしての効率化
 例:都市計画 技術的手段ではない
 政策による低減促進 スコープ外
 例:高効率車の税制優遇
- 自動車単体の効率化(技術的手段) 例:燃料のクリーン化(代替燃料化)

図 2.3.2.2-9 走行時排出 CO₂低減の一般的手段

ここでは、本研究のスコープである「技術的な方策」に絞り込んでさらに議論を進める。 技術的な方策には、新動力源の開発・実用化(ハイブリッド車、燃料電池自動車、など)と、 燃費向上に区分することができる。本研究で扱う「素材転換」と直接関係するのは後者の燃費向 上技術である。燃費向上技術は、さらに動力源・伝達系の高効率化と、走行抵抗の低減に区別す ることができる。



出典:[6]に追記

図 2.3.2.2-10 自動車単体効率化の技術的手段

図 2.3.2.2-10 に示した手段を自動車の部位別に分類すると、表 2.3.2.2-2 のようになる。

表 2.3.2.2-2 ガソリン車燃費向上の技術的手段

| | 部 | エンジン | トランス | ボディ | フレーム | シャーシ | サスペン | 足回り | タイヤ |
|------|-----|--------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 位 | | | | | | | ション | | |
| 分類 | | | | | | | | | |
| 単体の | エネル | 直接噴射化 | 高強度軽 | | | | | | |
| ギー効果 | 率向上 | ピストンフリ | 量化 | | | | | | |
| | | クション低減 | CVT 化 | | | | | | |
| 抵抗 | 軽量化 | 薄肉化 | 高強度化 | 高強度化 | 高強度化 | 高強度化 | 高強度化 | 高強度化 | |
| 低減 | | アルミ化 | | 高剛性化 | マグネ化 | マグネ化 | アルミ化 | アルミ化 | |
| | | マグネ化 | | アルミ化 | | | | | |
| | | チタン化 | | | | | | | |
| | 軽量化 | | | フラット | | | | | 空気圧増 |
| | 以外 | | | サーフィ | | | | | 加 |
| | | | | ス化 | | | | | 抵抗低減 |

実際には、表の手段の全てが広く実用化、普及している訳ではなく、各々の制約条件などから 普及のレベルには大きな差異が存在する。ここでは、現在の普及レベルを説明するために図 2.3.2.2-3 の 3 種類に分類することとした。

表 2.3.2.2-3 CO₂排出を低減する素材転換技術の分類案

| 現在の適用 | 広く適用 | 広くは適用さ |
|--------------|-------|--------|
| 一般的認識 | | れていない |
| 素材転換技術として認識さ | クラス 1 | クラス 3 |
| れている | | |
| 素材転換技術としては余り | クラス 2 | |
| 認識されていない | | |

クラス 1 は、素材転換技術として認識され、広く適用されている技術であり、クラス 2 は世の中では素材転換技術としては認識されていないが広く適用されている技術である。クラス 2 は言い換えれば、素材転換のための補助的な役割とみなすことができる。クラス 3 は、素材転換技術として認識されているが広くは適用、普及していない技術である。

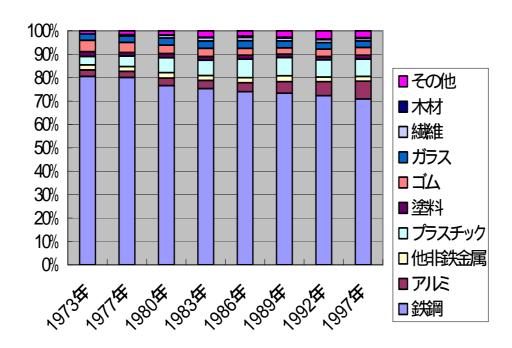
表の技術を上記のクラス分けに基づいて説明する。

高強度化による薄肉化・細径化など(軟鋼からハイテン、炭素鋼から合金鋼や焼き入れなどの 表面高強度化技術改善、など)の軽量化がクラス1の代表的な技術である。クラス1の具体的な 事例を以下に示した。

- ・ ボデーのハイテン化、亜鉛めっき鋼板化
- ・ ディスク・ホイールのアルミ化(マグネ化)

- ・ エンジン・ブロック&ヘッドのアルミ化
- トランスミッション・ケースのアルミ化
- ・ ラヂエータのアルミ化と樹脂タンク化
- ・ エンジン・ヘッド・カバーのアルミ化・マグネ化・樹脂化
- ・ 吸気ダクト軟・硬樹脂一体化 + マニホールド樹脂化
- ・ バンパ他エアロ・パーツの樹脂化
- ・ ハンドル類の樹脂化

図 2.3.2.2-11 に示す統計データからもこの種の素材転換が着実に進展していることを確認することができる。



(社)日本自動車工業会公表データ(小型・普通乗用車平均)

図 2.3.2.2-11 自動車の素材別重量構成比の経年変化

クラス2の技術は、補助的な役割を素材が果たす事例であり、連続可変式トランスミッション (CVT)という新構造装置に必要な機能を発現する構成部品(図 2.3.2.2-12 参照)の素材転換を例示することができる。

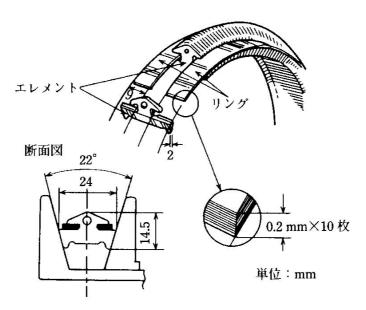


図 2.3.2.2-12 CVT化(クラス2の技術事例)[7]

アルミ化・樹脂化による軽量化がクラス3の代表的な技術である。これらの技術は、技術的難 易度が高かったり、生産設備などのインフラに多大な変更・投資が必要であったり、特殊な場合 (たとえば極少量生産の場合)のみに経済性が成立するものなど、さまざまな理由により、広く 適用され普及するに至っていない。

- ・ ボデーのアルミ化、樹脂化
- ・ フレームのアルミ化
- ・ ディスク・ホイールの樹脂化
- ・ ラヂエータの樹脂化
- ・ 歯車の樹脂化
- ・ 動弁系の樹脂化
- サスペンション(ばね)の樹脂化
- ・ プロペラシャフトのアルミ化・樹脂化
- ・ 電池の樹脂化

以上では、技術の普及のレベルの違いを説明したが、普及レベルの違いはあるにしても、軽量化に寄与する素材転換が自動車からの二酸化炭素排出量低減に貢献することは間違いない。また、クラス2に属する補助的な役割のための素材転換は、図3.2-10で示した新動力源の開発・実用化と同様に、素材転換単独で二酸化炭素排出量低減へ直接的に貢献を狙ったものではないため、本研究で取り上げるのは困難であるといえる。以降では、素材転換による軽量化で二酸化炭素排出量を低減する技術に限定して議論を進める。

なお、図 2.3.2.2-13 に示した(社)自動車技術会の 2002 年「温暖化対応のための戦略と重点

技術」にも、素材転換に関連するものとして、車両軽量化が戦略、超軽量・高強度材料技術が重 点技術として挙げられている。

- 「2Lカー」2025年の実現のための戦略
 - 1. 新動力源の開発 素材転換単独ではない
 - **CNGの開発・普及** スコープ外
 - 3. 車両軽量化
- 重点技術
 - □ 燃料電池関連技術
- 素材転換単独ではない
- □ 燃料供給関連技術
- スコープ外
- □ 超軽量・高強度材料技術 = 機能当りの重量軽減

図 2.3.2.2-13 温暖化対応のための戦略と重点技術 ((社)自動車技術会 2002年)

車両重量と 10・15 モード燃費の定量的な相関データを確認すると、車両重量が半分になると燃料消費効率は約 2 倍になり、二酸化炭素排出量は半減することがわかる(図 2.3.2.2-14 参照)。軽量化だけではこのような大きな効果を期待することはできない(エンジンの排気量が小さくて済み高効率化できる、走行抵抗やしゅう動抵抗が小さくなる、などの要素が軽量化効果に加算されて、総和として燃費向上に貢献するため)が、軽量化は素材転換が二酸化炭素排出量低減に貢献できる有望な技術であると、定量的なデータからも判断できる。

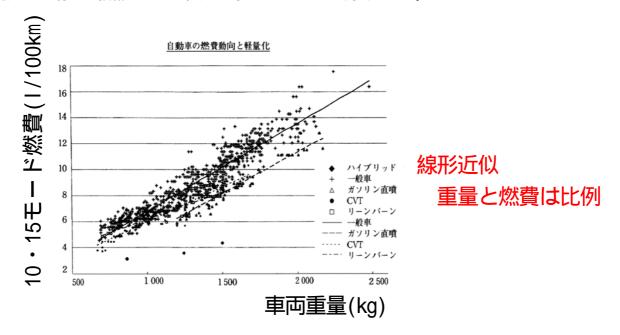


図 2.3.2.2-14 車両軽量化の定量的効果((社)日本自動車工業会調べ)

2.3.2.2.4 軽量化技術詳細

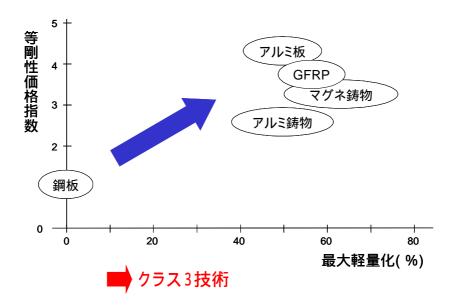
2.3.2.2.4.1 素材転換の必要条件

軽量化に限らず、一般にどのような素材転換の手段であっても、構造設計と材料技術・生産技術とが相互に協力し合って、要求特性を満足させる最適解を各部品・装置で具現化しなければならない。たとえば、鉄をアルミ化・マグネシウム化・樹脂化する場合、表 2.3.2.2-4 に示す部品が主な適用先として考えられる。しかし、単純に素材を置き換えるだけでは製品として成立しない。各素材の加工性や特性を考慮し、設計構造の見直し・変更、生産工法の見直し・変更とセットで最適な仕様を決定する必要がある。

| 項目 | 主な適用先 | 主なメリッ | 主な欠点 | 主な課題 |
|------|----------|-------|------|--------------|
| 技術 | | 7 | | |
| アルミ化 | 一体成形可能な部 | 軽量 | コスト | 接合技術の向上 |
| | 品 | | | |
| マグネ化 | インナー部品 | 軽量 | コスト | 低コスト化、表面処理技術 |
| | | | 耐食性 | 開発、耐熱性向上 |
| 樹脂化 | 内・外装部品 | 軽量、コス | 強度 | 熱膨張による寸法変化、リ |
| | | ۲, | | サイクル性 |
| | | 錆びない | | |

表 2.3.2.2-4 鉄以外への材料置換の現状

また、技術的な課題だけでなく、経済性(コスト)も同時に考慮する必要がある。自動車の車体を例に取り上げて経済性を理由に素材転換が実現されない事例を示す。表に示すように、車体の部位によっては降伏強度ではなく剛性(ヤング率、または肉厚)が要求特性となることがある。また、静粛性を確保するためエンジン・駆動系・路面からの透過音をさえぎるためには透過損失を大きくする必要があり、透過損失は質量則に支配されるため肉厚をかせいで重たくすることが要求される。さらに、こもり音はルーフやフロアの剛性不足を補うことで対策することが多いが、外板では耐デント性(ベコベコしないしっかり感)が必要で、剛性の高さが要求特性となる。従来車体は加工性の優れる軟鋼鈑をスポット溶接で組み立てて製造するのが一般的であったが、これらの要求特性に応じていたわけである。車体を鉄以外の素材へ転換する場合、以上に示した要求特性を満たす素材である必要があるが、剛性が要求される部分では鉄以外の素材に転換しようにも経済性が成立しない。なぜなら、等剛性価格指数(図 2.3.2.2-15 参照)に示すように、等しい剛性を得るための価格において鋼鈑に優る材料は存在しないからである。



出典:[8]に追記

図 2.3.2.2-15 鉄以外への材料置換の軽量化とコスト

以上に示した、素材転換に必要な 2 つの要素、つまり、部門間の協力とコストの考慮を図 2.3.2.2-16 にまとめる。

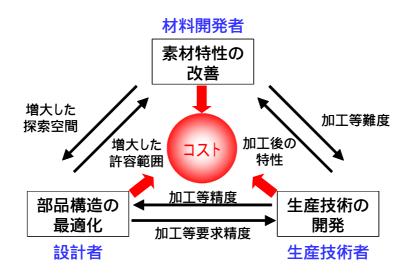
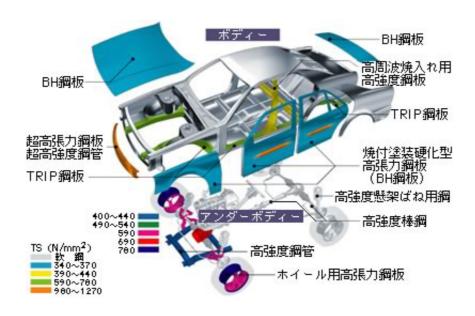


図 2.3.2.2-16 素材転換の基盤

2.3.2.2.4.2 軽量化に資する素材事例

高張力鋼鈑

高張力鋼鈑(ヤング率は軟鋼鈑と同じで、降伏強度と破断強度が高い)は、同一の強度を小さい質量の材料によって実現する鋼板であり、軽量化に資する。ただし、図 2.3.2.2-17 に示した様に、剛性ではなく、衝突安全性確保のために強度が要求される部位や、薄肉にして経済性を向上することができる部位に適用される。



出典:新日本製鉄資料

図 2.3.2.2-17 高張力鋼板の適用現状

組織制御による微細粒径鋼板

多結晶体を引っ張ったときの降伏点と結晶の粒径との間には、Petch の関係と呼ばれる関係があることが知られている(図 2.3.2.2-18)。つまり、多結晶体を引っ張ったときの降伏点 σ_s と結晶の平均直径dの間には、以下の関係がある。

$$\sigma_s = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

ただし、 σ_0 : 摩擦応力 (kとともに、その材料と引張条件で決まる定数)

つまり、結晶の粒径が小さいほど強度が高くなる。高強度が軽量化に資することは で説明したが、微細粒径の鋼板は、Petchの関係に基づいて、軽量化に資する。

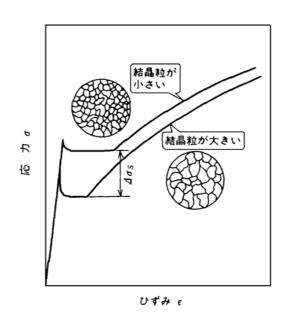


図 2.3.2.2-18 高強度化を実現する結晶粒径の低減 [9]

実際に、パネル用に微細粒径の高強度鋼板が開発中の事例が見られる。表 2.3.2.2-5 の下段に開発中のパネル用鋼板を記す。

表 2.3.2.2-5 従来型と開発中のパネル用鋼板

| | C量 | Nb量 | 粒径 | フェライト組織 | 強度増加 |
|---|-----------|------------|-----------|---------|--------|
| 従来型のIF (Interstitial Free Steel)鋼 | 20 ppm | 0.022 % | 12 µ m | | |
| 開発した鋼板 | 50 ppm | 0.068 % | 9 µ m | 50 mm | 約30MPa |

出典:[10]より作成

その他の鋼板など

高張力鋼板だけでなく、高強度化が可能で経済性も成立しつる技術は、パネル用微細粒径高強度鋼板、テーラードブランク化、各種の接合技術や表面高強度化(ショットピーニング)のように、当面もクラス1技術として適用が広まるものと思われる。

2.3.2.2.4.3 軽量化に資する生産技術事例

軽量化に資する生産技術として、ここでは特に高強度化に資するものを例に挙げて説明する。表 2.3.2.2-6 に示すような生産技術が例として存在している。

| _ | | |
|--------|--------------|--------------|
| 高強度化部品 | 生産技術 | 特徴 |
| 鋼板 | テーラードブランク技術 | 異なる素材の効果的な組 |
| | (板厚・強度の異なる素材 | 合せ |
| | を溶接後にプレス) | |
| | 連続接合 | 剛性確保 |
| | かしめ(機械接合) | 安価 |
| | | 疲労耐久性も遜色ない |
| | | (スポット溶接との比較) |
| 構造用鋼 | ショットピーニング | 圧縮残留応力を付与 |

表 2.3.2.2-6 高強度化を支える生産技術例

かしめ接合の外観を図 2.3.2.2-19 に示す。

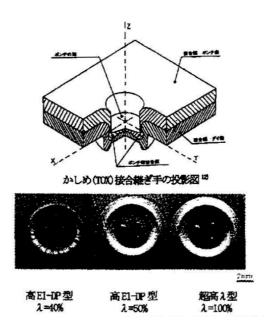


図 2.3.2.2-19 かしめ接合[11]

現在も、高強度化を計ってき たために生産技術現場で表 2.3.2.2-7 に示すような問題が生じており、生産技術の改善などが解決方策として期待されている。

表 2.3.2.2-7 高強度化のための現在の問題例

| 問題 | 発生時 | 原因 | 解決方策例 |
|-----------|--------|-----------|-------------|
| 適切な溶接条件特定 | 溶接時 | 合金元素が増した | 適切な溶接条件の選 |
| が困難 | | (素材特性) | 択や適切な溶接方法 |
| 剛性が損なわれる | アーク溶接時 | 大入熱を伴う(生産 | の開発 |
| | | 技術) | |
| 接合面間隔の高精度 | レーザ溶接 | 弾性回復量が大きい | |
| 制御が困難 | | (素材特性) | |
| スプリングバックに | 成形時 | | FEM による精度向上 |
| よる寸法不良 | | | |

実際に、溶接については、レーザ・アークハイブリッド溶接方法と呼ばれる方法が研究開発されている。本方法は、レーザ溶接とアーク溶接を組み合わせた方法であり、薄板でも剛性を確保(部材構造もそのまま)し、溶接可能範囲はレーザ溶接より格段に改善される点に特徴がある。(図2.3.2.2-20 参照)

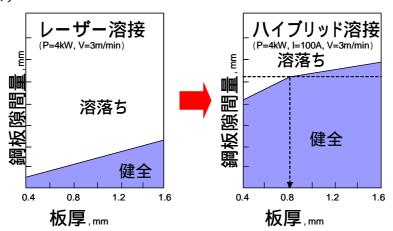


図 2.3.2.2-20 レーザ・アークハイブリッド溶接方法 [11]

具体的に材料技術に求められるのは、生産性、寸法精度、機械的な特性、耐久性、耐環境性、などのバランスと、設計構造・生産工法とのマッチングである。特に接合技術は、設計・材料・生産のすべての技術分野での最適化が重要であり、周辺技術とからめた技術改善などにより軽量化を大幅に加速できる可能性を持っている。

2.3.2.2.4.4 「夢の鋼材」

以上に説明してきたように、軽量化に資する素材転換を実現するためには、材料開発だけではなく、製品設計と生産技術設計を踏まえて検討することが必須である。ここでは、逆に「夢の鋼材」なるものを考えてみる。「夢の鋼材」とは、加工性が著しく良好で、製品になったときには高い剛性と強度を発揮する材料である。図 2.3.2.2-21 にこれをポンチ絵として示す。鉄鋼材料での技術開発により、夢の鋼材の出現を期待したいところである。

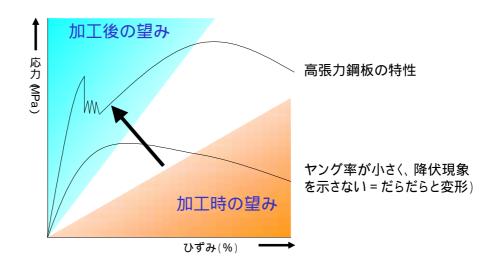


図 2.3.2.2-21 理想の鋼材

2.3.2.2.4.5 まとめ

二酸化炭素排出量を低減する技術として素材転換による自動車の軽量化はきわめて重要である。、特に将来にわたって有望な技術として位置付けることが出来るのは以下のものである。

- ・鉄鋼材料での技術開発により、夢の鋼材の出現を期待したい
- ・それまでは、各種の高強度化技術適用による各種素材の適用
- ・接合技術での設計・材料・生産+周辺技術最適化による技術改善
- ・ひと工夫で機能アップできるアルミ化・マグネシウム化・樹脂化技術

当面適用可能な技術としては、高強度化素材としての高張力鋼板の適用の拡大、およびアルミ化の推進などが上げられる。これらについては、後に分析を行う。

表 2.3.2.2-8 自動車分野の素材転換技術のまとめ(1)

| 100 | 5 | 狸 | | | | 1 | | リサ | | 実現 | | 課題のク | リア | 削減 | |
|-----|----|-----|-----|------------------|-----|----------|----------------|---------|-------------------------------------|-----|----|------|----|----------|----|
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | | 素材 転換 | 転換後の素材 | イク ル | 素材転換補足 | 可能性 | 課題 | ター | 方法 | 量の 効果 | 備考 |
| 18 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ボディ | 軟鋼 | | ハイテン | - | 高強度化され、薄肉化され る結果軽量化される | | | | | | |
| 19 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | - | 炭素鋼 | | 合金鋼 | - | 高強度化され、薄肉化され る結果軽量化される | | | | | | |
| 20 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 構造用鋼材 | 鋼 | | 高強度鋼 | , | ショットピーニングなどの 表面高強度化技術による | | | | | | |
| 21 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 動力伝達部 | 鋼 | | 高強度鋼 | - | CVTという新構造装置に必要な機能を発現する構成部 品の素材転換 | | | | | | |
| 22 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | パネル | 鋼板 | | 微細粒径高強度鋼板 | - | | | | | | | |
| 23 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 鋼板 | 鋼 | | 軽量化鋼板 | - | テーラードプランク技術(板厚・強度の異なる素材を溶接後にプレス)による | | | | | | |
| 24 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 鋼板 | 鋼 | | 軽量化鋼板 | • | 連続接合技術により、剛性 を確保することによる | | | | | | |
| 25 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ホイール | 鋼 | | アルミニウム | , | | | | | | | |
| 26 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | エンジンブロッ ク・ヘッド | 鋼 | | アルミニウム | , | | | | | | | |
| 27 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | トランスミッ ションケース | 鋼 | | アルミニウム | • | | | | | | | |
| 28 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ラヂエター | 銅 | | アルミニウム | | | | | | | | |
| 29 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | タンク | 鋼 | | 樹脂 | , | | | | | | | |
| 30 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | エンジンヘッド カバー | 鋼 | | アルミ、マグネ、樹 脂 | | 軽量性が生産ラインでもメ リットを生む | | | | | | |

表 2.3.2.2-9 自動車分野の素材転換技術のまとめ(2)

| | 5 | 分野 | | | | | | リサ | | 実現 可能 | | 課題のク | | 削減 | |
|----|----|-----------|-----|--|----------------|----------|----------|---------|--------------------------------------|----------|--|-------------------------|----|----------|----|
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 素材 転換 | 転換後の素材 | イク ル | 素材転換補足 | 可能性 | 課題 | キーアク ター | 方法 | 量の 効果 | 備考 |
| 31 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 吸気ダクト | 鋼、ゴム | | 軟・硬樹脂一体化 | - | マニホールド樹脂化も組み 合わせる | | | | | | |
| 32 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | バンパ他エアロ パーツ | 鋼 | | 樹脂 | - | | | | | | | |
| 33 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ハンドル | 鋼、亜鉛ダ イキャスト | | 樹脂 | - | | | | | | | |
| 34 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | - | - | | 軽量化材料 | - | 接合技術改善による | | 設計・材料・生産 + 周辺 技術最適化による技術改 ^差 | | | | |
| 35 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | | | | 軽量化材料 | - | 構造変更(例:曲面で剛性を 出す)による | | 兼 設計・材料・生産 + 周辺 技術最適化による技術改 華 | | | | |
| 36 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ボディ、フレー ム、プロペラ シャフト等 | 鋼 | | アルミニウム | - | | | ・技術的課題(例:接合技 | 構造設計部 門、材料設 計部門、生 | | | |
| 37 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | - | 鋼 | | マグネシウム | - | | | 術、表面処理技術、耐熱 性向上技術等) | 産部門(の 相互協力) | | | |
| 38 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ボディ、ホエ ル、ボエ リー、 ボル、 ボル、 ボル、 ボル、 ボル、 ボル、 ボル、 ボル、 ボル、 ボル | 圖 | | 樹脂 | - | | | ・生産設備投資等の低コ スト化 | | | | |
| 39 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | - | 鋼 | | "夢の"鋼材 | - | 加工性が著しく良好で、製品になったときには高い剛性と強度を発揮する鋼材に | | 鉄鋼材料の技術開発 | 鉄鋼材料開 発者 | | | |

2.3.2 の参考文献

- [1] 佐藤理通:「鋳造技術の発達と自動車技術とのかかわり』自動車技術』54巻1号、pp.46-51、 (2000)
- [2] 栗山幸久、橋本浩二、大橋浩、滝田道夫:「ULSAB 関連プロジェクトのその後の進捗」自動車技術会 2000 材料フォーラム、pp.17-23、(2000)
- [3] 環境省:環境白書(平成10年版) ぎょうせい、1998.
- [4] 環境省:環境白書(平成14年版) ぎょうせい、2002.
- [5] 自動車工業会資料、1996年.
- [6] 近田敏弘:「CAR(E) FOR THE EARTH 地球時代のクルマと材料 」自動車技術会 2000 材料フォーラム、pp.1-6、(2000)
- [7] 動力伝達系部門委員会監修:「自動車技術基礎講座 第2章 動力伝達装置」『自動車技術』54巻1号、pp.110-119、(2000)
- [8] 佐藤登:自動車と環境の化学,(株)大成社,1995.
- [9] 町田輝史:わかりやすい材料強さ学、オーム社, 1999.
- [10] 占部俊明、藤田毅、山崎雄司:「自動車パネル用微細粒型高強度鋼板の開発」『自動車技術』55 巻 10 号、pp.8-13、(2001)
- [11] 吉武明英、佐藤健太郎、小野守章、他:「自動車部品軽量化に対応した薄鋼板と適用特性」 自動車技術会シンポジウム (Vol. No.08-01)、pp.35-40、2001 年 11 月

3. 素材の循環型社会対応のマテリアルフローによる CO₂削減効果

素材転換は製品としての新しい素材が生み出されそれらが製品の使用段階を通じで電力やエネルギー投入の削減につながり温暖化ガスの排出を抑えるだけではない。素材自体が循環型社会に適応した素材に変化していくことでも CO_2 削減につながることが予測される。それは、金属などの製錬段階での大量のエネルギー投入にかかわる CO_2 等の発生を抑制したり、プラスチックなどの燃焼過程でのエネルギー利用で対 CO_2 効率を改善する効果として現れる。しかし、他方で、リサイクルで新たなエネルギー投入を誘発し逆にリサイクルと CO_2 発生のトレードオフを生み出すことも懸念される、。そのために、素材が循環型社会に適応していくことで、どのくらいの正負の CO_2 等の抑制効果があるかを定量的に見積もっておく必要がある。

まず、金属に関しては、製錬時に多大のエネルギー投入が行われそれにより CO₂ 等が発生しているが、そのデータが少ないため、基礎となる CO₂ 発生データを出来るだけ多くの金属に対して算定した。また、リサイクルはすべての金属が 1 0 0 %循環しているわけではなく、現実のマテリアルフローの中での一部としてリサイクルされている。そのために、リサイクルによる効果を算定するために基礎となるマテリアルフローデータが必要であり、それを求めた。

このような、「製錬段階での CO₂ 発生データ」およびわが国における「マテリアル・フローデータ」を整備しつつ、それらを用いて、循環型に転換して来たことによる CO₂ 削減効果、および、今後さらに循環型に移行していくことにより期待される CO₂ 削減効果について算定を行った。

- 3.1 素材製造等に伴う CO₂ 発生の算定のための基礎データの作成
- 3.1.1 金属元素の製錬・精製段階における環境負荷算定

本研究で必要な基本データであり、かつ、今後のさまざまな計算にも活用するために、金属元素の精製・製錬での CO2 発生の基礎数値を算定した。このデータは本研究では、我が国全体のマテリアルフローと結び付けて、循環型に素材が対応することによる CO_2 削減効果を一括して計算した。

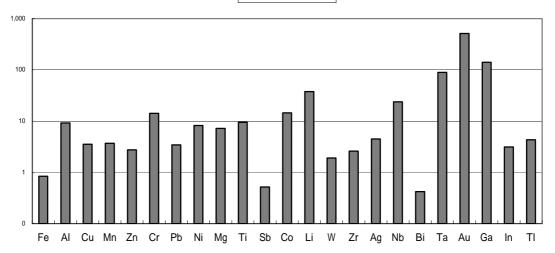


図 3.1.1-1 各種金属素材の製錬・精製に関る CO2の概算値

この各種素材の CO₂ 発生量に関しては、海外もしくは我が国においても未踏科学技術協会などの調査データがあるが、その多くは構造材料である。すでに電磁鋼板、超伝導材料、水素吸蔵材料や耐熱合金などのレアメタルと呼ばれる資源が少なく製造に多大のエネルギーを投入し CO₂ 発生に関る材料の適用が検討され始めており、これらの素材の使用による削減効果が精製製造段階での CO₂ 発生とトレードオフにならないかをチェックしておく必要がある。しかし、これらの金属類は溶媒抽出法などの特殊な手法を使うものが多く、一桁精度の推定値も与えられていない。そこで、本研究では文献などに紹介されているプロセスデータからそれぞれの金属の製錬プロセスをし、各プロセスで使用される単位操作と投入エネルギー、物質を列挙、それをもとに CO₂ 発生量の算定を行った。

具体的には、鉄やアルミ、亜鉛・鉛など比較的データの整備された主要金属を除いた金属元素を対象として、製錬・精製段階における主要なプロセスを対象として既存情報の収集・整理を行い、マテリアルフロー、そして環境負荷量の推計を行った。

本調査で整理した情報を以下に示す。

製錬・精製プロセスのフローチャート

各プロセスにおけるインプット(投入)・アウトプット(排出・生産)される物質名と量(マテリアルフロー)

プロセス別のエネルギー消費量、および CO₂排出量

その他、金属製錬で使用される機器等に関する情報

既に収集・推計したデータと今後入手が求められるデータの整理

調査の方法はまず金属製錬・精製プロセス全体像の整理をおこなった。

すなわち、既存の技術論文など各種文献の収集を行い、主要金属以外の金属について、製錬・精製における主要プロセスの一覧の作成。この一覧の作成により、元素の族などによる共通の精製方法など、それぞれの特徴の把握を可能にした。

さらに、主要プロセスにおける装置等の使用状況の整理をおこなった。そこでは、主要な製錬・

精製プロセスで使用される装置等の一覧を作成した。これは、エネルギー消費量を算出する際の、機器動力、重油使用量などについてまとめている。文献資料等には、動力などのデータが記載されていないことも多いことから、機器メーカーの製品情報などからデータを一部補足している。

次いで電解プロセスにおける消費電力量を求めた。金属製錬においては、最終段階として、電解精製、電解採取、あるいは溶融塩電解など、電解によるプロセスを取る例が多い。電解による消費電力は、金属元素の種類によっておおよそ必要量が決まるものである。本調査では、製錬・精製段階の消費電力量について把握する必要から、元素別の電解消費電力を、理論電力量および本調査で採用した値の一覧としてまとめた。

これらをもとに、各元素におけるデータシートを作成した。本研究では図 3.1.1-2 に示す 24種の金属元素についてデータシートを作成した。そこには、各製錬プロセスのプロセスフロー図、およびそれぞれのプロセスでの物質収支データをまとめた。

(1) プロセスフロー図

金属元素の製錬・精製のプロセスについて、エネルギー投入が行われ、物量の分配が行われる プロセスを主要プロセスとして抜き出し、フロー図として作成した。

以下、マテリアルバランスやエネルギー投入等の算定は、全てこのフロー図を基に行った。

(2)物質収支等データ

マテリアルフロー

主要プロセス毎に、インプット及びアウトプットされる物質の把握を行った。

把握した各物質について、物量がどのように流れていくか、マテリアルフローの作成を行った。 文献資料等には詳細なマテリアルフローが記載されていることはほとんどないことから、本調査 では原料や中間品、生成物などの濃度や品位を用いて推計を行っている。

マテリアルフローの単位については、固体は重量(トンもしくは kg) 液体(溶媒や溶液)については体積(リットル)で統一した。その際、物量の分配が明確となるように、液体については、必要に応じて重量を併記している。

エネルギー投入量

主要プロセス毎に、投入されるエネルギーの種類(電力、燃料)について把握を行った。

電力については、使用される機器の種類、台数、動力、稼働率をもとにして推計を行った。電力量からエネルギーへの換算は 1kWh=3.6MJ により行った (総合エネルギー統計より)。

燃料については、投入量の把握、推計を行い、発熱量原単位を用いて投入エネルギーの推計を 行った。エネルギーについては、単位はJ(ジュール)で統一している。

情報のソース

フロー図の作成や、マテリアルフロー、エネルギー投入量の算定に利用したデータの情報源を 記載した。

表 3.1.1-2 データシート作成対象とした元素一覧

| TA |] II A | III A | IV A | VA | VI A | VII A | VIII | VIII | VIII | IΒ | II B | III B | IV B | V B | VI B | VII B | |
|----|--------|-------------------|------|----|------|-------|------|------|------|----|------|-------|------|-----|------|-------|--|
| Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | | |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | | |
| Cs | Ba | ランタ | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | | | |
| | | 711 715 111 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 711 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ランタ | ノイド | La | Ce | | Nd | | Sm | Eu | | | | | | | | |
| | アクチ | ノイド | | | | U | | | | | | | | | | | |

データシートでカバーした元素

以上の内容の詳細は、別冊としてまとめてある。その概要を次ページの表 3.1.1-3 に示しておく。

図 3.1.1-1 に示したものは、その結果から得られた素材 1 t あたりの生産の CO_2 発生量であり、我が国の素材使用順に並べている。また、あまりにも素材による CO_2 発生量が異なるため縦軸は対数で表示しており、同一量の使用で数百倍の CO_2 発生に関る素材も存在している。このことは、微量で高機能をもたらす成分といえどもそのトレードオフ性をチェックしないと、最終的には地球全体での CO_2 増加につながる危険性もありうることを意味している。

表3.1.1-1 金属元素の精錬・精製時におけるCO2排出量

| リチウム Li かん水法 | 邊縮 | 沈殿・ろ渦 | ソーダ灰 添加・ろ渦 | (うちソーダ灰製造) | | | | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属リチウム |
|--|------------|---------------|--------------|------------|--------------|-----------------------|----------|---------------|----------|-------------|-----|----------|-----------|----------|-----------|
| 002 | 不明 | 不明 | 78. 6ton | 78, 6ton | | | | | | | | | 292ton | 118ton | 11. 4ton |
| リチウム Li 溶媒抽出法/硫酸法 | 比重選別、浮選 | 焙焼 | 溶媒抽出 | (うち硫酸製造) | 浄液 | (うちソーダ灰製造) | 溶融塩電解 | (うち塩酸製造) | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属リチウム |
| y y y = 121 Hrost Intelligaty white that | 不明 | 不明 | 1. 2ton | 1. 2ton | 3. 8ton | 3. 8ton | 6. 9ton | 1. 8ton | | | | | 11. 8ton | 6. 8ton | 0. 27ton |
| ナトリウ±Na ダウンズ法 | 溶解精製 | 蒸発 乾燥 | 溶融塩電解 | 精製 | | | | | | | | | 合計 | | 精製ナトリウム |
| | 0. 09ton | 1, 25ton | 3.65ton | 不明 | | | | | | | | | 5. 00ton | | 1000kg |
| マグネシ!Mg 電解法/Dow法 | 焼成 | 消化 | 反応・ろ過 | 中和 | (うち塩酸製造) | 蒸発・脱水 | 溶融塩電解 | 塩酸回収 | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 電解Mg |
| | 461ton | 不明 | 不明 | 2. 3ton | 2. 3ton | 365ton | 1076ton | 不明 | | | | | 1903ton | 2. 3ton | 124ton |
| チタン Ti Mg還元法 | 塩化 | (うち塩素製造) | 蒸留 | マグネシウム還元 | 精製 | マグネシウム電解 | | 1.22 | | | | | 合計 | (うち原料製造) | チタンスポンジ |
| | 514ton | 129ton | 不明 | 518ton | 345ton | 2072ton | | | | | | | 3450ton | 129ton | 500ton |
| クロム Cr 硫酸電解法/湿式法 | 炭素還元 | 溶解 | (うち硫酸製造) | 除鉄 | 電解採取 | | | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属クロム |
| | 47. 2ton | 12. 6ton | 0.002ton | 不明 | 253ton | | | | | | | | 313ton | 0.002ton | 39. 8ton |
| マンガン Mn 電解法/湿式法 | 還元焙焼 | 浸出 | 浄化 | 電解採取(隔膜使用) | | | | | | | | | 合計 | | 金属マンガン |
| | 317ton | 0. 54ton | 0.22ton | 921ton | | | | | | | | | 934ton | | 333ton |
| コバルト Co 溶媒抽出法/電解採取法 | 浸出 | (うち硫酸製造) | 溶媒抽出 | (うち塩酸製造) | (うちアンモニア水製造) | 電解採取 | | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属コバルト |
| (N i と併産) | 1. 2ton | 0. 07ton | 1.7ton | 0.05ton | 0.73ton | 5. 1ton | | | | | | | 8, ton | 0. 8ton | 4. 3ton |
| ニッケル Ni MCLE法 | 浸出 | 塩素浸出 | 脱Cu電解 | 塩素酸化 | 電解採取 | | | | | | | | 合計 | | 電気ニッケル |
| ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, | 1. 22ton | 0. 54ton | 120ton | 0.54ton | 1366ton | | | | | | | | 1488ton | | 1978ton |
| ガリウム Ga アマルガム法 | 浸出 | (うち硫酸製造) | 脱銅 | 溶媒抽出(1) | 逆抽出 | (うち塩酸製造) | 容媒抽出 (2) | 逆抽出 | 脱鉄・ろ渦 | (うち苛性ソーダ製造) | 逆中和 | 電解採取 | 合計 | (うち原料製造) | 金属ガリウム |
| | 1. 02ton | 0. 11ton | 0.54ton | 0, 46ton | 0. 22ton | 0, 03ton | 0. 12ton | 0.06ton | 1. 60ton | 1.60ton | 不明 | 1. 04ton | 5. 1ton | 1.7ton | 200kg |
| ジルコニ 'Zr 塩酸-M I B K法 | アルカリ溶融 | (うち苛性ソーダ製造) | 硫酸溶解 | (うち硫酸製造) | 溶媒抽出 | 沈殿・焙焼 | 塩化 | (うち塩素製造) | 還元・蒸留分離 | | | | 合計 | (うち原料製造) | ルコニウムスポン |
| | 10. 3ton | 10, 3ton | 0. 1ton | 0.004ton | 0. 1 ton | 不明 | 7.0ton | 7. 0ton | 不明 | | | | 17. 4ton | 17. 3ton | 7. 1ton |
| ニオブ Nb 溶媒抽出/N b C または | フッ酸溶解 | (うちフッ酸製造) | 溶媒抽出 | (うちMIBK製造) | 逆抽出 | 中和沈殿・か焼 | 還元 | | | | | | 合計 | | ニオブ粉末 |
| Cによる還元法 | 1. 8ton | 1. 8ton | 46ton | 46ton | 不明 | 不明 | 不明 | | | | | | 48ton | | 1. 0ton |
| モリブデンMo 焙焼/酸化抽出/ | 焙焼 | 酸化抽出 | (うちアンモニア水製造) | か焼 | 水素還元 | 1.22 | 1.77 | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | モリブデン粉 |
| 水素還元法 | 不明 | 0, 59ton | 0, 13ton | 不明 | 不明 | | | | | | | | 0.59ton | 0. 13ton | 10. 0ton |
| 銀 Ag 銅電解スライムからの製錬 | 溶媒抽出・ろ過・乾燥 | 焙焼(酸化精製) | 溶解(還元溶解) | 揮発 | 鉛の酸化除去 | 分銀 | 電解 | | | | | | 合計 | | 電解銀 |
| | 2. 9ton | 不明 | 47. 7ton | 15. 0ton | 不明 | 24. 6ton | 3.7ton | | | | | | 93, 9ton | | 21ton |
| カドミウ JCd 乾式・湿式法の組み合わせ | 浸出 | 濃縮沈殿 | (うちソーダ灰製造) | 溶媒による不純物除去 | 置換還元 | 溶解 | 溶融 | 蒸留 | アルカリ溶融 | | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属Cd |
| 焙焼なし | 不明 | 40. 1ton | 39.3ton | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | | | | 40.1ton | 39. 3ton | 30.7ton |
| カドミウ JCd 乾式・湿式法の組み合わせ | 焙焼 | 浸出 | 浄液 | 置換還元 | 溶解・蒸留 | | | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 製品Cd |
| 焙焼あり | 133. 1ton | 31.5ton | 不明 | 不明 | 不明 | | | | | | | | 164.6ton | 3.1ton | 40.0ton |
| インジウ』In 溶媒抽出法 | 浸出 | 溶媒抽出 | 逆抽出 | (うち硫酸製造) | 硫化物分離・置換 | うち水硫化ソーダ製 | 鋳造 | うち苛性ソーダ製 | 電解 | 真空精製 | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属In |
| | 456kg | 456kg | 327kg | 16kg | 80kg | 1. 4kg | 586kg | 586kg | 92kg | 7. 3kg | | | 2004kg | 604kg | 887kg |
| 錫 Sn 湿式法/電解法 | 焙焼 | 還元溶解 | 精製 | 鋳造ポット | 電解 | | | | | _ | | | 合計 | | 電気錫 |
| | 9. 1ton | 18.7ton | 不明 | 不明 | 12. 7ton | | | | | | | | 40.4ton | | 55ton |
| アンチモンSb 乾式法 | 乾燥 | 鉱石転炉 | 電気炉 | 還元 | (うちソーダ灰製造) | | | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属アンチモン |
| 酸化Sb還元法 | 34. 4ton | 不明 | 不明 | 1120kg | 82kg | | | | | | | | 1154kg | 82kg | 2. 2ton |
| ハフニウ JHf ジルコニウム製錬の | 沈殿・焙焼 | 酸化 | (うち塩素製造) | 還元・蒸留分離 | | | | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | ヘフニウムスポンシ |
| 副産物として | 不明 | 109. 3kg | 109. 3kg | 不明 | | | | | | | | | 109. 3kg | 109. 3kg | 219. 4kg |
| タンタル Ta フッ素溶解法/MIBK | フッ酸溶解 | (うちフッ酸製造) | 溶媒抽出 | (うちMIBK製造) | 逆抽出 | 晶出 | 金属還元 | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | タンタル粉末 |
| 抽出/アルカリ金属還元 | 1. 8ton | 1. 8ton | 46ton | 46ton | 不明 | 不明 | 不明 | | | | | | 48ton | 48ton | 3. 0ton |
| タングスラW APTを経て還元する | 焙焼 | 粉砕・溶解 | Ca沈殿 | 酸沈殿 | 溶解 | 晶出・分離・乾燥 | 還元 | | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 金属W |
| 精鍊法 | 不明 | 41.6ton | 0.19ton | 8. 5ton | 0.16ton | 5.4ton | 不明 | | | | | | 56ton | 8. 4ton | 30.0ton |
| 金 Au 青化法/電解法 | 祖砕・摩鉱 | 溶解 | 置換・脱水 | 乾燥・分金 | 精製 | 電解 | | | | | | İ | 合計 | | 電解金 |
| | 119.7ton | 24. 2ton | 不明 | 5. 5ton | 不明 | 0.01ton | | | | | | | 149. 3ton | | 52. 2kg |
| タリウム T1 アルカリ浸出/ | 浸出 | 置换 | 溶解・鋳造 | 電解精製 | | | | | | | | | 合計 | | 電解タリウム |
| 電解採取 | 547. 3kg | 30. 1kg | 0. 3kg | 29. 0kg | | | | | | | | | 606. 8kg | | 140kg |
| ビスマス Bi バークス・塩素法 | 一時精製 | 脱銀 | 脱亜鉛・脱鉛 | 二次精製 | | | | | | | | | 合計 | | 精製ビスマス |
| | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | | | | | | | | | 12.9ton | | 28.6ton |
| ビスマス Bi 電解法 | 一時精製 | 電解 | 二次精製 | | | | | | | | | | 合計 | | 精製ビスマス |
| | 不明 | 0.9ton | 不明 | | | | | | | | | | 14. 2ton | | 26.62ton |
| l | 浸出 | (うち硫酸製造) | 溶媒抽出 | (うち塩酸製造) | 電解還元 | (うち硫酸製造) | 弗化沈殿 | 脱水・転換 | | | | | 合計 | (うち原料製造) | 六フッ化ウラン |
| ウラン U PNC法 | DCITI | (プ・フ州ルロス362日) | MESKIMITI | | 电肝池儿 | () り M (放 3 代 1 旦) | かしん数 | 10U/IN #65396 | | | | | D'IT | (ソの原村製垣) | |

3.1.2 わが国のマテリアルフローの概算

循環型社会を社会システムとして取り入れる時に、リサイクル段階における CO₂ 削減量を定量的に把握しておかなければ無意味な循環型社会構築に成りかねない。そこで、現在のリサイクル量を把握することが重要であるが、そのリサイクル量がどのくらい天然鉱石の還元量を削減し、ひいては CO₂ 削減につながっているかを見なければならない。というのも、多くのリサイクルが工程くずのリサイクルであり、それは、直接的には需要の段階に達していない素材を工場内で循環しているだけになり、需要に対する天然鉱石投入の削減効果が見られなくなるからである。よって、単純に素材中の二次地金配合率でリサイクル率を定義してそこから CO2 削減効果を論じることは危険であり、的確なマテリアルフローの把握が必要となる。

これまでマテリアルフローをまとめたものとしては、レアメタル13、メタル経済研究所の「銅・亜鉛・鉛 国内マテリアルフロー調査」などがあるが、これらは、素材提供側からだけまとめたマテリアルフローであり、インゴットで産産された段階で製品として取り扱われ、後の加工、製品化工程での流れの把握に一貫性がなく、使用後の製品からのリサイクルやも加工端材のリサイクルを区別して今後のリサイクル可能性を議論するのには不十分であった。

そこで、本研究では、各金属のマテリアルフローを統一的な表記法の上に書き落とすこととした。すなわち、図3.1.2-1のように、金属のプロセスは、「製錬」、「素形材化」、「製品加工」の順に流れ、て各「最終製品」に至り、それが使用されて循環してきたものと「製品加工」から出てきたものが「リサイクル」により再生される。これは一見当たり前のことのように思われるが、従来の素材側からだけのマテリアル・フロー分析では、「製品加工」が「最終製品」と区別されず

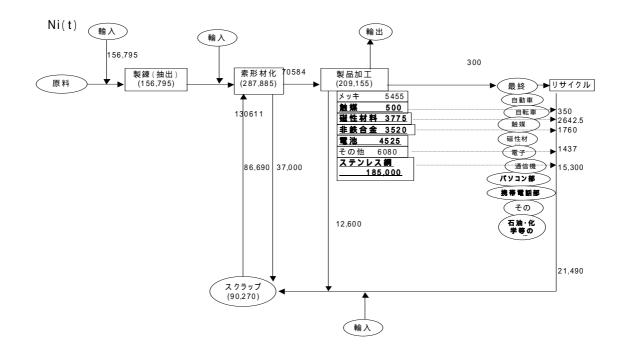
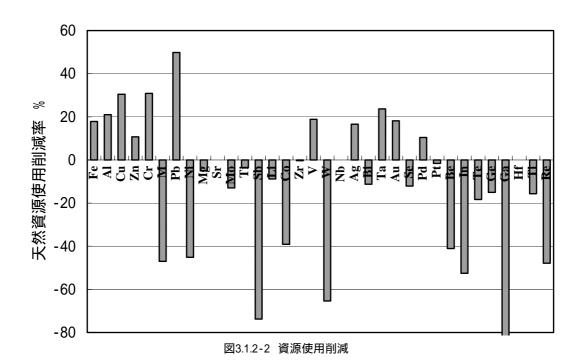


図 3.1.2-1 マテリアルフロー

に「需要」として取り扱われており、そのために「製品加工」で発生する「加工スクラップ」と「最終製品」の使用後に発生する「老廃スクラップ」が区別できなかった。これは、今後の循環型社会への移行で確実に増加していく使用後の「老廃スクラップ」のポテンシャルを見積もる上で致命的欠点である。そのため、本研究で作成したマテリアル・フローでは、製品の用途などの情報を活用して、製品加工へのマテリアルフローと最終製品に流れ着くフローを分けて記述するように努めた。

このようにして最終製品に至るマテリアルフローを得ることは、素材の最終需要両を的確に把握することにもつながる。たとえばガリウムは、最終需要の数十倍のガリウムが投入され端材として循環している。この場合の見かけのリサイクル率は高くなるが、基本的に必要とされている量の数十倍の資源を循環させるためにそのために発生する CO_2 の割合は大きくなっている。このような視点から、マテリアル・フローの整備は見掛けのリサイクル率ではなく、有効リサイクル率についても新たな知見を与えてくれる。すなわち、リサイクルの目的が、天然資源の利用の削減とそれに伴うエネルギー等の投入ひいては CO_2 発生の削減ならば、最終需要に対する、天然資源の投入率がどのくらい小さくなったかが、リサイクルを評価する最もたいせつなパラメータとなる。図 3.1.2-1 の右側の楕円で囲まれた最終製品へのフロー量を分母として、左端の天然資源量を割ったものが、最終需要に対する天然資源の投入率であり。その値が 100% からどのくらい減っているかが、天然資源使用削減率となる。

各種の金属に対してこの値を図示したものを図3.1.2-2に示した。



このようにしてマテリアルフローを得た金属を、表 3.1.2-1 に示す。

| Li | Ве | | | | | | | | | | | В | С | N | 0 | F | Ne |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Na | Mg | | | | | | | | | | | ΑI | Si | Р | S | CI | Ar |
| K | Ca | Sc | Ti | ٧ | Cr | Mn | Fe | Со | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Υ | Zr | Nb | Мо | Те | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Те | I | Xe |
| Cs | Ва | La | Hf | Та | W | Re | 0s | ۱r | Pt | Au | Hg | ΤI | Pb | Bi | Ро | At | Rn |
| Fr | Ra | Pa | | | | | | | | | | | | | | | |

表 3.1.2-1 マテリアルフロー調査対象

3 . 2 金属の循環型素材化による CO2 削減効果の算定

前記の各金属元素の製錬時の CO₂ およびマテリアルフローデータを用いて、金属素材の循環型への対応による CO₂ 削減効果を計算した。

金属系素材は、従来の天然鉱石を原料とする場合には、酸化物や硫化物などの化合物を還元して得られるケースがほとんどであり、その還元の際に還元剤として使用されるカーボンが酸化物の酸素と結びついて CO_2 を発生させる場合と還元に必要な多大なエネルギーを得るための化石燃料の使用による CO_2 の発生の二つの局面が考えられる。これに対し、素材システムが循環型に転換することにより、金属を金属のまま再溶解・精製して使用することから、基本的にこれらの還元プロセスが必要なくなり、結果としてそこで発生していた CO_2 を削減することができる。もちるん、リサイクル時の再溶解もある程度のエネルギー投入が必要であるが、その差を考慮することにより循環型に転換した場合の CO_2 の削減効果が得られる。

なお効果の大きさの概算に当たって、現在の素材需要をベースとしてマテリアルフローを算定し、それらをすべて天然鉱石から得る非循環型のケースを想定しゼロ・ケースとし、同様にマテリアル・フローから、使用後の素材の中で塗料や添加物などのように回収不能な使用方法のものを除いたリサイクル・ポテンシャルを割り出し、その段階までリサイクルが進んだ場合をポテンシャル・ケースとして、現在の現行ケースと比較できるようにした。

ゼロケースでは、現在の「最終需要」がすべて天然素材を原料としてまかなわれる状態を想定した。これは、加工ロスなどのプロセスでの損失も考慮しなければならないために、現在の「最終需要」に対する総資源要求量として、天然資源からのフローとリサイクルからのフローの両者を合算し、それがすべて、天然資源から発するとして天然資源の要求量を算定し、それに各製錬プロセスで発生する CO2 量を求めた。

現状ケースはいうまでなく、現状のマテリアルフローでの天然資源に対する製錬での CO₂ 発生とリサイクル資源に対する電気炉や二次溶解のようなリサイクルプロセスでの CO₂ 発生をそれぞれのマテリアルフローに対して算定して和したものである。

ポテンシァルケースでは、リサイクル可能となる最終製品量を見積もり、それに相当したマテリアルフローを立てて計算することになる。この場合、LCAなどのリサイクルの取り扱いでは

新たなマテリアルフローをたてずとも、得られる再生金属によって削減される金属分の環境負荷を差し引く手法が用いられる。すなわち、リサイクルである金属が×トン回収し再生されれば、全体のシステムとしては×トンの一次金属を得るための環境負荷からその分の金属のリサイクルに要する環境負荷を差し引けばよい。そこで、ここでも、リサイクル可能となる部分を見積もり、それらを現状の環境負荷から差し引く方法でポテンシァルケースを計算した。

リサイクル可能となる場合とそれを用いた計算過程の例をニッケルとニオブについて示す。

表3.2-1 CO2 排出量

| 電気Ni製造時CO2排 | 出量(t/t)(野 | 科 (総研) | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------------|---------------|------------------|--------------|----------------------|------------|----------|----------|---------|--------|
| 0.752 | | | | | | | | | | | |
| 製品 | | | | | | | | | | | |
| 20 00 | 製品総量(t) | メッキ(t) | 触媒 (t) | 磁性材料(t) | 非鉄合金(t) | 電池(t) | その他(t) | ステンレス鋼(t | 輸出(t) | | |
| 製品量 | 209155 | 5455 | 500 | 3775 | 3520 | 4525 | 6080 | 185000 | 300 | | |
| C O 2 排出量(t / t) | 157284.56 | 4102.16 | 376 | 2838.8 | 2647.04 | 3402.8 | 4572.16 | 139120 | 225.6 | | |
| 現リサイクル量 | | | | | | | | | | | |
| 元 フラー ノル里 | 総量(t) | メッキ(t) | 触媒(t) | 磁性材料(t) | 非鉄合金(t) | 電池(t) | その他(+) | ステンレス鋼(t | 輸出(t) | 製造歩留(t) | 製品歩留(|
| 製品量 | 90269.5 | 7.7-1 (1) | 350 | 2642.5 | 1760 | 电/6(+) | 1437 | 15300 | 19180 | 37000 | 12600 |
| C O 2 排出量(t / t) | 67882.664 | 0 | 263.2 | 1987.16 | 1323.52 | 0 | 1080.624 | 11505.6 | 14423.36 | 27824 | 9475.2 |
| リサイクル全可能量 | | | | | | | | | | | |
| ノノコノルエコ化里 | 総量(t) | メッキ(t) | 触媒(t) | 磁性材料(t) | 非鉄合金(t) | 電池(t) | その他(+) | ステンレス鋼(t | 輸出(t) | i | |
| 製品量 | 147720 | 7:21(0) | 500 | 3775 | 3520 | 4525 | C 42/15(1) | 185000 | -mu (1) | 1 | |
| CO2排出量(t/t) | 111085.44 | 0 | 376 | 2838.8 | 2647.04 | 3402.8 | 0 | 139120 | 0 | 1 | |
| ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, | | | | | | | | | | | |
| N b | | | | | | | | | | | |
| N D ニオプ粉末製造時C (| 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 | 1 | | | | | | | | | |
| ニオフ初不表追時で 48 | J 23非山里 (1 7) | | | | | | | | | | |
| | 製品総量(t) | 低合金高張力鋼 耐熱鋼 ステンレス鋼 | 超電導材 | Ni基耐食材 Ni基耐熱材 | Zr - Ni - Nb | セラミックコンデンサー 光学レンズ | サーメット | 含ニオブ触媒 | 輸入 | | |
| 製品量 | 3837.5 | 3500 | 33 | 100 | 0.5 | 170 | 10 | 0.5 | 23.5 | | |
| C O 2 排出量(t / t) | 184200 | 168000 | 1584 | 4800 | 24 | 8160 | 480 | 24 | 1128 | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 現リサイクル量 | 総量(t) | 低合金高張力鋼 耐熱鋼 ステンレス鋼 | 超電導材 | N:基耐食材 N:基耐熱材 | Zr - Ni - Nb | セラミックコンデンサー 光学レンズ | サーメット | 含ニオブ触媒 | 輸入 | | |
| 製品量 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| CO2排出量(t/t) | 96 | 0 | 96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, | | | | | | | | | | | |
| リサイクル全可能量 | 総量(t) | 低合金高張力鋼 耐熱鋼 ステンレス鋼 | 超電導材 | N:基耐食材 N:基耐熱材 | Zr - Ni - Nb | セラミックコンデンサー 光学レンズ | サーメット | 含ニオブ触媒 | 輸入 | | |
| 製品量 | 203.5 | | 33 | 100 | 0.5 | 70 | | | | | |
| CO2排出量(t/t) | 9768 | 0 | 1584 | 4800 | 24 | 3360 | 0 | 0 | 0 | | |

表 3.2-1 の第一段は各種の最終製品であり、第二行にそれぞれの年間需要量、第三行にその量に匹敵する金属が再生された場合に CO_2 を削減するに相当する量が記されている。第二段は、現状での回収状況である。その第二行は、それぞれの最終製品から使用後に現状で回収されている量を示している。たとえば、触媒では、第一段の需要は 50 t であるが、第二段の回収現状では 35 t であり、すべて回収し再生したならば 376t の CO_2 を削減できたものが 263t しか削減できていないことを意味している。第三段はリサイクルの可能性である。この判断は客観的な基準はなく著者らの判断によるが、たとえば、第三列の「めっき」に用いられるニッケルはほとんど回収不能と判断されるため、可能性はゼロとしている。他方で、触媒はプラントなどの管理下でしようされ、また電池においても回収システムなどの工夫で原則的には回収率を伸ばすことが出来るために、最大可能性として需要の 100%を想定している。下の段のニオブについても同様である。

このようにして検討したリサイクル可能な割合は、別紙2のマテリアルフローの図とともに表として示してある。

このようにして得られた、それぞれの金属のリサイクルに対する、ゼロケース、現状、ポテンシャルケースを図としてまとめたものが図 3.2-1 である。

この図で、棒グラフの全長がリサイクルをまったく行わずにすべてを天然資源から得て、それに大量のエネルギーを投入した場合のゼロケースでの CO₂ 排出予想量である。この棒グラフから白い部分を除いた2段までの部分が、現状の CO₂ 排出量に相当する。すなわち、この差である第一段の部分が、これまでのリサイクルの取り組みで排出を抑えてきた CO₂ の量を意味している。図では、アルミニウム、鉛で、このこれまでの努力分が大きくなっている。棒グラフの最下段はめっきなどの用途に使用されたり用途不明で最終製品からのリサイクルが困難な部分である。この二段目と最終段の差である棒グラフの黒い部分が、今後のリサイクル対応による CO₂ 削減のポテンシャルとなている。

これを素材全体で総和を取ると、全需要を天然資源からまかないすべて一次製錬で素材を得た場合の 2 3 9 Mt/y の CO_2 発生を、リサイクルを現時点まですすめてきたことで 1 6 9 Mt/y に押さえている。さらに素材をよりリサイクルしやすくし最終製品からのリサイクルを徹底して行えば約 80Mt/y の削減の可能性がある。すなわち、現時点でも、基盤構造材料のリサイクルが進んでいることで、リサイクルの無いケースを想定した場合の半分以下の CO_2 発生量になっている。また、使用済み製品のリサイクルは、まだ改善の余地が有りリサイクル対応の促進だけでも CO_2 削減に大きく寄与できる。

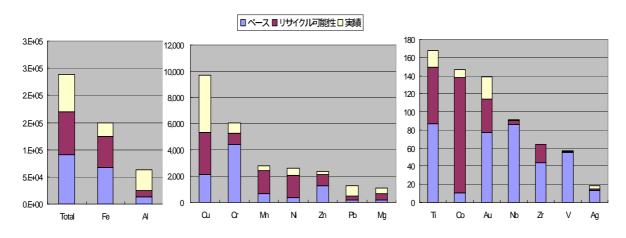


図 3.2-1 CO₂排出量の変化

3.3 プラスチックの循環型対応による CO₂削減効果

プラスチックは使用されている体積としては金属に匹敵し、かつ、その大部分を石油原料に依存していることから、素材としては無視できない存在である。しかし、金属のようにマテリアルリサイクルが行われている比率は小さく、むしろ、プラスチックの化学結合力をエネルギーとして回収するサーマルリカバリーや炭素源として高炉やコークス炉などに用いることがよく行われるようになっている。

本研究においても、プラスチックの専門家に対してヒアリングを行い、その CO₂ 削減に対する効果を調査した。

結果的には、熱回収やカーボン利用としての前提でプラスチックの素材が変わり、それによって CO_2 等が削減されるのではなく、現在のプラスチックをどのように処理・利用していくかの)代であり、基本的に、本研究の目的とする素材転換とは異なるとして、より深い分析には立ち入らなかったが、その専門家調査の内容は、プラスチック産業としての CO_2 削減の方向に言及しているため、ここで参考として紹介しておく。

吉岡らは、石炭代替として脱塩素廃プラスチックを業際的リサイクルによりエネルギー・素材産業において利用し、ゼロエミッション化を図るため、各産業における石炭利用の物質フローを解析し、新しい廃プラスチックリサイクルシステム構築によるゼロエミッションの効果を検討している。このアイデアでは、廃プラスチックのリサイクルを個々の生産プロセスに組み込むことにより、業種を越えたネットワークを形成しゼロエミッション化を図ることとなる。ゼロエミッションの要求を満たしつつ廃プラスチックのリサイクル効率を高めるための対象として、

製鉄業:高炉還元剤微粉炭の一部に廃プラスチックを利用

石炭火力:微粉炭の一部に廃プラスチックを利用

セメント工業:セメント焼成用石炭の一部として廃プラスチックを利用

の三つの基幹産業で石炭消費量と CO₂ の排出量の現状を把握し、脱塩素した廃プラスチックの利用可能量を概算している。ここで CO₂ 削減量は図 3.3-1 のように定義されている。

< C0₂削減量の定義 >

全量石炭利用によるCO2排出量

図 3.3-1 CO₂削減量の計算方法

石炭代替として混合廃プラスチックを炭素源に利用した場合の単位重量あたりの発熱量を概算し

た。混合廃プラスチックの平均組成を表 3.3-1 のように仮定すると、混合廃プラスチックと脱塩素混合廃プラスチックの単位重量発熱量はそれぞれ 9,148 [kcal/kg]と 9,774[kcal/kg]となる。

種類 熱量(kcal/kg) 混合割合(wt%) 脱塩素処理後の混合割合 (wt%) 11,000 PE26.76 28.50 PP 10,500 25.55 27.22 PS 9,800 23.84 25.39 **PVC** 4,300 0 10.46 脱塩素 PVC 11,000 4.63 PET 5,500 13.38 14.25 混合プラの熱量 (kcal/kg) 9774 9,148

表 3.3-1 プラスチックの熱量と混合廃プラスチックの組成(乾燥重量)

廃プラスチックの総排出量を 884 万トンとし、そのうち 37% が焼却、38% が埋立とすると、未利用分は 663 万トンになる。この未利用分または総排出量を石炭代替として、上記三つの産業で利用した場合の石炭消費量と CO2 削減量から見積もると、炭素換算で 1996 年に排出した CO_2 の削減率は、電力産業 3.2%、鐵鋼業 1.5%、セメント産業 14.4% と見積もられている。

先述したように、このプラスチックの炭素源としての利用は重要な取り組みではあるが、素材 転換とは異なるために、以後の分析の対象とはしなかった。参考のために。炭素利用も含むプラ スチックのリサイクルに関する LCA 的検討の例(表 3.3-2)も収拾したので、それを列挙してお く。

| Г | 5. | 野 | | | | | | IJĦ | | 実現 | | | 課題のクリア | 削減 | |
|----|----|------|--------------------|----|-----------|----------|------------|-----|----------------------------|-----|--------------------------|------------------------|---|----------|--|
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 素材 転換 | 転換後 の素材 | イクル | 素材転換補 足 | 可能性 | 課題 | キーア クター | 方法 | 量の 効果 | 備考 |
| 1 | エネ | 発電 | ノラント | - | 石炭 | | 使用済 み | - | 熱回収 発電用エネ ルギー生成 時 | | | 電力産 業 | ため、主な課題は回収である。 | 5.1% | 効果は、日本で発生している末 利用分の廃プラを火力発電で利 用した場合の電力産業に対する 割合(単純計算) |
| 2 | エネ | 発電 | 石炭火 力発電 プラント | - | 通常の 燃料 | | 使用済 み | - | 熱回収 廃棄物焼却 時 | | ・分別 ・回収 | 地方自 治体 | 工場内で発生する廃プラは発生 する量の計画性や成分につい て、不確実性が小さいが、市中 で発生するものについては不確 | | |
| 3 | 産業 | 鉄鋼 | 高炉プ ラント | - | 石炭 | | 使用済 み | - | 熱回収 | | ・脱塩処理の徹底 ・最適な回収ルートの設定 | 鉄鋼業 地方自 治体 | 実性が大きい。 ・回収に関連する課題を解決す るためには社会システムの整備 が最重要である。そのためには | 2.4% | プトで利用した場合の鉄輌業に 対する割合(単純計算) |
| 4 | 産業 | セメント | セメン トプラ ント | - | 石炭 | | 使用済 み | - | 熱回収 | | | セメン ト業 地方自 治体 | 法的な整備も必要と考えられる。 | | 効果は、日本で発生している未 利用分の廃プラをセメントプラ ントで利用した場合のセメント 工業に対する割合(単純計算) |

表 3.3-2 プラスチック分野の素材転換技術のまとめ

4. ソーシャル L C A による環境配慮型素材の導入による CO。削減効果の検討

4.1 はじめに

素材転換の効果を LCA で評価することは実は難しい。LCA の、とりわけてその算定の基本である LCI(ライフサイクル・インベントリー分析)の基本は、機能単位を一定に定めてかつ自己定義されたシステム境界の中で関連する諸プロセス(サブシステム)の環境負荷の総和をとることである。この基本から素材転換を LCA で評価する場合の問題を見ておく。

まず、機能単位の問題である。ここで機能単位は対象とする製品システムが使用される段階で使用者が得ることのできるサービスである。素材の場合は製品を通じて用いられるために、素材の性能変化とその結果得られるサービスの変化を得ることは難しい。特に、素材はさまざまな分野で使用されるために、新たな素材技術の提供が複数の分野の製品の機能単位を変化させるために、それらの機能単位の変化を総合的に扱うことは極めて困難である。この問題を仮に「機能単位の拡散の問題」と呼んでおこう。また、"自動車の燃費"などのように特定の分野に限定した場合にも、別種の機能単位の問題が生起する。すなわち、新たなエンジンシステムに新規の素材が使われた場合に、そこで得られたサービスすなわち機能単位の変化をエンジンシステムの設計として捉えるのか、新規の素材が使用することで可能となったものと捉えるのかということであり、この両者の間で役割をいかに分配するのかという問題である。これは「機能単位の配分の問題」となる。単純な LCA 的な手法では、「機能単位の配分の問題」を回避するために、むしろ機能単位は変化させず、かつ、構成素材の機能も変化することなく別種の素材を用いたケースとして対応されている。しかしこの場合は本検討で目指すような、省エネルギーなどの高機能化を目指しての新規素材の適用には有効ではない。むしろ機能単位を燃費レベルの直接性能とするのではなく、社会の需要などの大きな枠組みで捉えて「機能単位の配分問題」から抜け出す必要がある。

LCA の今ひとつの問題は、システム境界の問題である。実践的な LCA では解析のために影響を与えない部分はシステム境界の外部において、境界内部のみのインベントリー計算を行うが、素材転換のように社会的な影響範囲の大きいものはすべての影響を考慮せねばならず、いわゆる「システム境界の無限化」の問題に突き当たる。さらに、LCA の場合はその該当製品が本当に社会的に必要なものであるか否かを判断する根拠を与え得ないという「LCA の社会性の問題」がある。これは逆にいうと LCA は当該製品が存在しない場合を環境負荷ゼロとする自明の最適解を持つのである。

これらの問題を解決する試みとして、産業連関分析と経年分布変化を組み合わせた手法を試みて素材転換による CO2 削減の社会全体での効果をいくつかの典型的な素材転換に対して行った。これは、LCA 研究センターの稲葉らがかねてより提唱していたソーシャル LCA の具体化とも言える。

このソーシャル LCA では、機能単位を国レベルに設定し、各産業部門への総需要を一定の機能単位として設定することで、現在の多様な需要をまかなうという設定にし、「機能単位の拡散問題」および「機能単位の配分問題」を回避した。さらに、産業連関表を用いることですべての産業分野を覆い、「システム境界の無限化」の問題は基本的に解決できる。残された問題は「LCA

の社会性」の問題であるが、ここで、現在の総需要を一定の機能単位として設定するという部分が生きてくる。すなわち、新規のものが最終的に提供するサービスはこれまでのメカニズムの中に組み込みまれており、その一部が新たなものの生産量に合わせて代替されていくとして、既存の社会メカニズムの中の機能代替として取り扱うことができる。社会メカニズムの中の機能代替とは、産業連関の中の産業モデルに該当する列ベクトルを変更することであり、その代替の程度の大きさは、産業連関表からは直接現れていない、対象とする被代替製品の財の蓄積に対して新規の転換がどのくらいの比重を占めるかによって与えられる。この被代替製品の蓄積とそれによる各産業部門での投入量への影響を見るのが経年分布を考慮した解析である。

経年分布を考慮した解析では、ある産業分野において必要な設備が経年分布をもって存在し、 その設備の年次型式能力によって他産業への投入量が変化する。この設備が素材や構成の代替に より新規なものに変更され、経年分布と年次型式能力が変化していくとして取り扱う。

以下に、まず、経年分布を考慮する部分についてのべ、ついで、ソーシャル LCA として適用 した例について述べる。

4.2 経年分布を考慮した解析

ここまで見てきたように、従来の LCA はひとつの製品システムを対象に、その従来型もしくは比較型と対象システムとの違いを定量的に論じるものであった。すなわち、あるシステム A が従来型 B といかに異なっているかが問題であり、従来型 B がどのようなものかは任意に設定できるため、その B の取り方によって LCA 結果の持つ意味が異なってくる。このように、万一システム境界や機能単位が一緒であっても比較対照が任意性をもつ LCA の結果を総和しても意味を持たない。現実の社会では、比較対照 B 自体も刻々と変化しており、そことどのように入れ替わっていくかが問題となる。たとえば、y 年前の製品 B を B(y)と表現するなら、B から A への代替は、10 年を範囲としても

B(10) A, B(9) A, B(8) A, B(7) A, B(6) A,

が同時に起こるはずであり、そのときの対象件数 $\mathbf{n}(\mathbf{y})$ 、そのときの $\mathbf{B}(\mathbf{y})$ A 一件あたりの LCA のインベントリー分析の結果を $\mathbf{n}(\mathbf{y})$ とすると

 $Z = \{n(y) \cdot (y)\}$

が 本来の転換効果のインベントリー分析結果となりそれぞれの年式での変化とその対象となる n(y)を動的にとらえて追いかけていく必要があることになる。

ここで対象製品の製造 t 年後の存在確立が存在寿命関数 (t)として与えられ、y 年の生産量を m(y)とすると、この n(y)は、

 $n(y) = m(y)^* \quad (y)$

となる。動的に追跡するにはこの (y)が必要であるが、この (y)を推定するには多くの統計的情報が必要であり、むしろ、時間を現状で切ったアンサンブル平均を用いるのが容易である。

アンサンブル平均では、現時点における y 年前の形式の製品の占める割合 g(y)が与えられる。 a(y)は

g(y)dy = 1

の関係を持っており、経年分布と呼ぶことにする。

この経年分布 g(y)を離散的にとるならば、 $g(y)=n(y)/\{n(y)\}$ の関係になる。

ここで $\{n(y)\}$ は 現在の総製品数 Q であるから

$$n(y)=g(y)\cdot Q$$

となる。

また
$$(y)$$
も 現時点 $y=0$ のインベントリー $= (0)$ を 用いて $(y)= \cdot f(y)$

とあらわすと

全体のインベントリーは Z=Q・ $\{g(y)\cdot f(y)\}dy$

となる。

さらに、更新量を p として、対象となる生産年次の分布を h(y)とし、更新後の単製品のインベントリー改善比が であるとする。

なお h(y)dy=1 であり、改善後を-1 年と考えると f(-1)= $\cdot f(0)$ となる。 ここで f(0)=1 である。

以上の関係から

となり、おなじ g(y)や の設定でも代替対象シナリオの相違で h(y)の設定がことなり環境負荷が違ってくることがわかる。ここでは、この議論はあとにまわし、まず、

Z=Q・ $\{g(y)\cdot f(y)\}dy$ の 関係から 全体的な影響量の把握について述べる。

経年分布関数 g(y)は、アンサンブル平均で得られる経年分布であるが、この g(y)の形をかえることで、ある特殊な状態を設定して議論することができる。すなわち、yo 年には新規技術が導入されていなかった場合に、

g(yo)=1 g(y: y<>yo)=0 と することによって、 y=y0 年の技術水準で現在の需要をまかなっていたと想定した場合に生み出されたであろう仮想の環境負荷量 Z'を推算することができる。この無転換で現在の需要を満たした場合の環境負荷 Z'と現在の経年分布を考慮した環境負荷 Z とのさ Z'-Z は、転換対象としている技術の社会的役割の大きさを測るに適切な数値であると考えられる。

また、現状 g(y=0)=1 とし それ以外を g(y)=0 とした計算 Z" は、当該製品分野で現在使用されているすべての製品が最新の技術に置き換わった場合の環境負荷を推算するものとなる。 この Z"と現状の経年分布を考慮した値 Z の差 Z" - Z は、技術転換のポテンシァルを表すものとなる。

具体的に、素材転換の効果が大きいと期待される、以下の 4 者に対して、この Z,Z',Z"の三者を 算定して比較を行ったので、それを以下に記す。

方向性電磁鋼板の適用による電力損失分 CO2の削減

張力鋼板およびアルミニウムの適用による自動車軽量化に伴う燃費分 CO2 削減

鉄道車両のステンレス化、アルミ化による CO₂ 削減

一戸建て住宅の断熱材使用による冷暖房の CO。削減

4.2.1 方向性電磁鋼板の適用による電力損失分 CO2 の削減

方向性電磁鋼板は変圧器に使用されている素材である。電力の送配電においては送電損失を低減するために高電圧で送電し、需要端で変圧器を用いて使用電圧に落とすシステムが採用されている。しかし、この変圧の際にも電力損失が発生する。電力損失は2次側(負荷側)に電力負荷をかけた場合に発生する負荷損失(銅損)と2次側の負荷が無い状態でも一次側コイルが通電されていることにより発生する無負荷損失(鉄損)がある。後者はエネルギー利用と結びつかないまったくの損失であるため、この鉄損を改善することは意味の無いエネルギー消費を低減させるものとして重要である。鉄損の低減には鉄芯材料の電磁特性を改善することが有効であり、珪素鋼板は鋼板中の磁束密度を高めることができ、それにより漏れ磁束を減らし鉄損を大きく改善できる。さらに、この電磁鋼板の結晶方位に方向性を持たせることにより磁気特性をさらに改善したものが方向性電磁鋼板である。

方向性電磁後半は 1970 年代より用いられるようになっている。まず、現在用いられているトランスの経年分布を知ることが必要である。現在用いられているトランスの経年分布は、変電設備の点検データなどから得られる。

そのデータを経年数に対する累積のシェア率としてプロットしたものであり、そこに近似曲線を当てはめることで、現時点をゼロとし、そこから過去にさかのぼった年数を(y)とすると、各年次にさかのぼった累積のシェア率

$$G(y) = g(y)dy$$

が

G(y) = 0.03 y

として得られる。

ついで、現時点の製品に対するそれぞれの年次の効率に相当する部分を投入量比として求める必要がある。この効率の変化は、変圧器として使用した際の無付加損失の大きさに相当する。電磁鋼板技術が不十分な段階の古い型式の変圧器での無不可損失の推移を表 4.2.1-1 に表す。この表でも、各種変圧器に対して 2 0 0 0 年を 0 とし、 5 年前(1 9 9 5 年)を - 5 として表している。

| | X 7.2.1-1 | は人のほか | |
|-----|-----------|-------|------|
| | 発電 | 受電 | 大口 |
| -40 | 1.09 | 2.62 | 2.12 |
| -35 | 0.92 | 2.2 | 1.69 |
| -30 | 0.82 | 1.93 | 1.42 |
| -25 | 0.69 | 1.7 | 1.23 |
| -20 | 0.6 | 1.5 | 1.1 |
| -15 | 0.55 | 1.33 | 0.95 |
| -10 | 0.49 | 1.22 | 0.89 |
| -5 | 0.44 | 1.13 | 0.8 |
| 0 | 0.41 | 1.02 | 0.74 |

表 4.2.1-1 損失の推移

ここで、変圧器が、送電側、受電側さらに大口需要と使われる領域ごとに無付加損失の値が異なるため、平均的な損失にする必要がある。そのために、各年度ごとに生産された変圧器の、送電、 受電、大口への用途構成の容量の比率を機械統計年報のデータから得て、それをそれぞれの無負 荷損失に重みとして与えた加重平均で、それぞれの年次の平均的無負荷損失を得た。

この加重平均では、現時点の平均無負荷損失は、0.6323kw/MVA であり、それを基準値とした無負荷損失の比と過去にさかのぼった年次の関係であらわされる。

このデータから近似曲線により近似値を得、現時点の負荷を基準とした効率の逆数が

$$f(y)=4E-5 y3 - 0.0011 y2 + 0.0238 y + 1$$

となった。

ここで総需要 Q となる値は、現在のトランスを使用している総電力量であり、

Q= 2 7 6 1 1 3 MVA

である、

$$Z = 0.63253 \times Q \times \{f(y) \cdot g(y)\} dy$$

が現在の全損失量となる。なお、t0 はトランスの平均寿命であり、ここでは経年分布近似で100%となる33.3年となっている。

また、g(y)を y=y0 の時だけ1とし、ほかはすべてゼロとしたケースが、すべて従来技術で現在の需要をまかなったゼロケースとなる。このときの効率も一律に

逆に、現在の先端技術ですべてを置き換えた場合は、

が、現在の技術がすべてのトランスを置き換えた場合の損失となる。

この損失に、電力の CO_2 発生原単位をかけることで、発電源で最終需要に対して余分に発電することで発生させている CO_2 の発生量が得られる。その損失 CO_2 量を示したものが表 4.2.1-2 である。

表 4.2.1-2 トランス用電磁鋼板への転換の CO₂削減効果

| | CO ₂ [Mt/y] | 差 [Mt/y] |
|--------|------------------------|----------|
| 無転換 | 14.35 | 7.02 |
| 現状 | 7.33 | |
| ポテンシャル | 5.66 | -1.67 |

この結果から、現在進んでいるトランス材料の方向性電磁鋼板への転換は、もし素材転換がおこらずに現状の送電需要を保持した場合に対し702万トン/年のCO₂を削減してきたことに相当する。

また、現在の送電需要に対して、今後トランス素材の転換を進めれて現行の技術がすべてのトランスに普及すれば 167万トン / 年の CO₂を削減するポテンシァルを有している。

4.2.2 高張力鋼板およびアルミニウムの適用による自動車軽量化に伴う燃費分 CO2 削減

現代社会において、自動車の普及率が増大している。環境問題を考えると使用時の CO₂ 排出は膨大な量となってきている。使用時の CO₂ 排出低減を考えると、燃費の向上により使用エネルギー削減が CO₂ 排出低減に有望である。燃費向上のためには車体本体の高張力鋼板やアルミ使用による車体重量の軽量化により CO₂ 排出低減が考えられている。

まず、自動車の経年分布であるが、現時点での保有台数は自動車検査登録協力会の年毎の車検件数より得られる。これを簡略的にあらわし近似関係をとる。

これより

g (y) d y = 0.0861 y が得られる。

ついで、燃費効率を考える。

車体重量(g)は、ホワイトボディ重量(c)とそれ以外の重量(e)の和である。

ここでは、現在の自動車の構成をもとに、ホワイトボティ重量とそれ以外の重量に分け、対象外重量は変化しないものと簡略化して扱った。

その中からアルミニウムが既に用いられている分を差し引いた残りをスチール重量とした。 このスチール重量に、各年式でのハイテン化率をかける、先ほどのアルミ分を再度加える事 でことでホワイトボディ重量が得られる。

ホワイトボディ重量と各年式の関係は

hb = -0.0244y2 + 1.9251y

となり、これにボディ外の重量を加え戻す事で各年式の車体重量wが得られる。

車体重量wと燃費fの関係は両者の近似関係から

F= 26.9 e-0.72w の関係を得ている。

そこに仮想重量(g)を、代入することにより、仮想燃費(h)が得られる。 さらに、全走行距離(b)を仮想燃費(h)で割ることで

各年次のガソリン消費量(L) = 全走行距離(b) / 仮想燃費(h)

として、各年次のガソリン消費量(L)が推定される。

走行距離は、1台あたりの年間走行距離が「2010年までのガソリン需要見通し」全国石油商業連合会 自検連データのデータから、年間走行距離が10,497km/car・yearを採用した。

ここ 11 年のガソリン消費量の計算内容を表に示す。

g ガソリン WB 外 対象外 AI-Fe HB 重量 仮想重量 仮想燃費 アルミ分 重量 差 (ML) 2000 205.934 809.09 0.000 1100.000 12.229 3785.502 84.98 2.847 1101.930 12.212 3790.766 1999 206.697 83.30 809.09 1998 207.545 81.62 809.09 5.694 1103.945 12.195 3796.270 1997 208.481 79.94 809.09 8.541 1106.048 12.176 3802.023 1996 209.507 78.26 809.09 11.388 1108.242 12.157 3808.032 1995 210.626 809.09 14.235 1110.529 12.137 3814.307 76.58 12.116 3820.858 1994 211.842 74.90 809.09 17.082 1112.912 1993 213.158 73.22 809.09 19.929 1115.395 12.095 3827.695 1992 214.577 71.54 809.09 22.776 1117.981 12.072 3834.829 12.049 3842.274 809.09 25.623 1120.675 1991 216.104 69.86 1990 217.741 68.18 809.09 28.469 1123.480 12.024 3850.042 809.09 31.316 1126.400 1989 219.495 66.50 11.999 2370.452

表 4.2.2-1 CO2 発生量

このガソリン消費量は2000年のものを一とすると、

f(y) = 4E - 05y2 + 0.0013y + 1

となり、これと先述の g(y)dy により 電磁鋼板の場合と同様に、ゼロ、現状、ポテンシアルの 3 ケースが計算できる。

ポテンシアルケースについては、さらに、現時点での抗張力鋼板の利用にとどまらず、さらに機械的性質が向上している高張力鋼板の使用量を増やしにボディの板厚の削減や構想的材料の代替を行う試みが ULSAB プロジェクトとして追求されており、そこでは高張力鋼板への代替率は 6 0 %に達すると報告されている。

また、アルミを使用による軽量化が注目されているが、アルミの機械的特性は鉄鋼に比べ劣るため単純な比重比での代替には至らず、等価面剛性板厚は、鉄 1.0mm に対しアルミ合金は 1.4mm である。つまり、アルミ合金は鉄の 1.4 倍の板厚で同等の面剛性を得ることができる。板厚を厚くすることにより重量が増大されることが懸念されるが、比重は鉄の 1 / 3 であるため、軽量化が実現される。これらの数値を用いて、U L S A B およびアルミ化のホワイトボディ重量を算定し、前記と同様に前者対象量から燃費を算定して必要ガソリン量を計算した。これらをポテンシァル、ポテンシァル としている。

表 4.2.2-2 に現状・1 9 7 0 年 (無転換)・2 0 0 0 年の水準での普及・全車 U L S A B 化および、アルミボディ化に転換したときの CO_2 排出量をまとめた。

| | 説明 | CO ₂ [Mt/y] | 差 [Mt/y] |
|--------|------------|------------------------|----------|
| 無転換 | 1970 年水準技術 | 121.3 | 8.4 |
| 現状 | | 112.9 | |
| ポテンシャル | 2000 年水準普及 | 112.0 | -1.0 |
| ポテンシャル | ULSAB スチール | 109.7 | -3.2 |
| ポテンシャル | アルミボディ化 | 108.8 | -4.1 |

表 4.2.2-2 乗用車ボディの素材転換の CO。削減効果

現在進んでいる車両転換は、もし車両転換がおこらずに現状の自動車需要を 1970 年水準の素 材技術で保持しようとした場合に対し 840 万トン / 年の CO₂ を削減してきたことに相当する。

また、現在の乗用車需要に対して、今後車両素材の転換を進めすべてが 2000 年水準の素材構成になれば 100 万トン / 年の CO_2 を削減するポテンシァルを有しており、さらに ULSAB 鋼の使用、アルミボディ化はそれぞれ 320 万トン/年、410 万トン/年の CO_2 削減の可能性を有している。

4 . 2 . 3 鉄道車両のステンレス化、アルミ化による CO2 削減

鉄道は輸送という機能を単位としてみれば陸上交通機関の中では CO₂ の発生に対して効率よく輸送できる手段であり、特に日本では歴史的に社会的インフラの中に組み込まれてきた重要なシステムである。この鉄道に用いられる車両も自動車と同様に軽量化によるエネルギー効率の改善が可能であり、そのために従来のスチール車両からステンレスやアルミニウムをボディの主体とした車両へと材料の転換が図られている。

アルミニウムは、比重が鉄のほぼ 1/3 であるが、強度は鉄に劣るため、重量あたりの強度である比強度は鉄とほぼ同程度となり、単純な強度比較では軽量に相当する分、厚みが必要となり軽量化には結びつかない計算になる。しかし、鉄に比較すると低温で押し出し加工が可能であるた

め中空構造やハニカム構造等の軽量化設計を取り入れることが可能である点と、ボディ等に要求される面剛性が重量あたりで鉄より優れているため、スティール・ボディに対して数十%の軽量化設計が可能となる。また、ステンレスは鉄により比重の重いニッケルを加えるために合金比重としては鉄より大きくなるが、材料強度が高いため車両全体としては軽量化設計が可能となる。表4.2.3-1 に一般車両の素材構成例を示した。この表のようにアルミ車両といっても重量的にはスチール(鋼)が主体であり、構成比率としてアルミの量がわずかに増加しているに過ぎないように見える。しかし、比重を考慮すれば営団 9000

系の 4.7t のアルミ増は 13.7t のスチールに匹敵しており、スチールの減量がそのままアルミに置き換えられ、強度を保障するために若干のステンレスが付加されたと見ることができる。

| X ::-: | | | | | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| | スチール車両 | ステンレス車両 | アルミ車両 | | | | |
| | 山手線 103 系 | 山手線 205 系 | 営団 9000 系 | | | | |
| 鋼 | 30.5 | 17.6 | 16.7 | | | | |
| ステンレ | 0.2 | 6 0 | 2.9 | | | | |
| ス | 0.2 | 6.8 | 2.9 | | | | |
| アルミ | 0.6 | 0.2 | 5.3 | | | | |
| 銅 | 2.1 | 2 | 1.4 | | | | |
| その他 | 2.5 | 3.1 | 2.6 | | | | |
| 計 | 35.9 | 29.5 | 28.9 | | | | |

表 4.2.3-1 各種車両の構成素材量の例 (t/車両)

なお、計算にあたってスチール車両、ステンレス車両は表 4.2.3-1 の重量を用いたが、アルミ車両は日本鉄道車両工業会 LCE ワーキンググループ¹のデータから地下鉄営団 05 系の 26.7t を用いた。また新幹線は一般車両より大きくまた設計も異なっている。同じく日本鉄道車両工業会のデータでは 200 系で 57.1t となっており、それを新幹線アルミ車両として採用し、一般車両と同様の重量変化がおきたと仮定して一般車両の重量変化の比例計算から新幹線スチール車両の重量 76.8t を推定した。

走行原単位(kWh/km/car)はアルミ車、ステンレス車のものが上記の日本鉄道車両工業会 LCE ワーキンググループのデータにあり、それぞれ 1.24kWh/km/car、1.75kWh/km/car を採用した。スチール車両については、JR 東日本の山手線 103 系 (スチール車)と 205 系 (ステンレス車)の走行エネルギー比 100:66 から 2.13kWh/km/car とした。新幹線は鉄道総研報告 2 よりアルミ車両 5.55kWh/km/car およびスチール車両 7.29kWh/km/car とした。また、年間走行距離は日本鉄道車両工業会の在来線一般車両 12 万 km/year/car 新幹線 47.5 万 km/year/car を用いた。これらの値に電力の CO_2 原単位 0.37kg- CO_2 /kWh を乗ずれば各種車両の年間一両あたりの CO_2 発生関与量を得ることができる。表 4.2.3-2 は、ここまでの数値をまとめ、かつ計算された車両一台あたりの年間関与 CO_2 量を示したものである。

¹日本鉄道車両工業会 LCE ワーキンググループ、車両技術 213 号

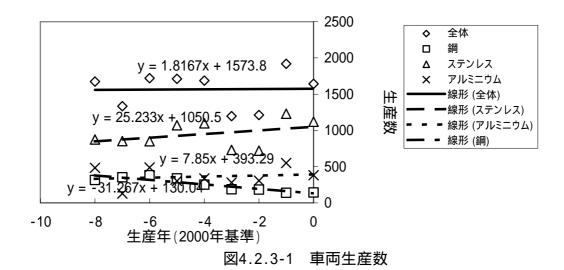
² 鉄道総研報告 1998.10

| | 単位 | 在来 | 在来 | 在来 | 新幹線 | 新幹線 |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | スチール | ステンレス | アルミ | スチール | アルミ |
| 車両重量 | t/car | 35.9 | 29.5 | 26.7 | 76.8 | 57.1 |
| 電力原単位 | kWh/km | 2.65 | 1.75 | 1.24 | 7.29 | 5.56 |
| 年間走行距離 | km/y | 120,000 | 120,000 | 120,000 | 475,000 | 475,000 |
| CO ₂ | t/y | 94 | 78 | 55 | 1300 | 980 |

この車両一台あたりの CO_2 関与量に、現在の保有量を乗じれば年間の関与 CO_2 量が得られる。表 4.2.3-3 現在の車両保有数

| | 在来 | 在来 | 在来 | 新幹線 | 新幹線 | | | |
|-----|-------|-------|------|-------|--------|--|--|--|
| | スチール | ステンレス | アルミ | スチール | アルミ | | | |
| 公民鉄 | 13809 | 4508 | 1320 | | | | | |
| JR | 21250 | 3177 | 4569 | (277) | (3677) | | | |
| 計 | 35039 | 7685 | 5889 | 277 | 3677 | | | |

表 4.2.3-3 に現在のわが国の鉄道旅客車両保有数を示したが、新幹線のスチール車両、アルミ 車両については、新幹線全旅客車両数 3954 両に対して、JR 東日本のアルミ車両の保有比 93%が 全 JR についても同様であると仮定して推計した。



これらの値より、現在の鉄道車両起因 CO₂ 発生量(現状)。また、もしこれまでの材料転換が行われずすべてスチール車と仮定したケース(無転換)、および、現状技術適用の最大ポテンシャルとしてすべてが転換されたケースを算定した。ポテンシァルケースを設定するに当たって、現在の

車両転換の動向を知るために、図 4.2.3-1 のように生産年(2000 年基準)と生産量の関係をプロ

ットし直線回帰してみた。その結果アルミ車両の生産数と車両全体の生産数はほぼ横ばいであり、スチール車両の減少分をステンレス車両が補う、スチール車両からステンレス車両への転換がすすんでいることが確認された。そのため、ポテンシャルケースとしては、アルミ車両はそのままで残りのスチール車両がすべてステンレス車両に置き換わるケースを想定した。また新幹線については、もはやスチール車両の生産は終了しアルミ車両のみが生産されているため、このまますべてがアルミ車両に置き換わるケースを設定した。

| ٠. | 5-5 数色半回のスプラレスのよりブルミュスの 002 F | | | | | |
|----|-------------------------------|------------------------|----------|--|--|--|
| | | CO ₂ [Mt/y] | 差 [Mt/y] | | | |
| | 無転換 | 9.67 | 1.49 | | | |
| | 現状 | 8.18 | | | | |
| | ポテンシャル | 7.51 | -0.67 | | | |

表 4.2.3-5 鉄道車両のステンレスおよびアルミ転換の CO。削減効果

表 4.2.3-5 がその結果であり、現在進んでいる車両転換は、もし車両転換がおこらずに現状の 鉄道需要を保持した場合に対し 149 万トン / 年の CO_2 を削減してきたことに相当する。

また、現在の鉄道需要に対して、今後車両素材の転換を進めれば 67 万トン / 年の CO₂ を削減 するポテンシァルを有している。

4.2.4 一戸建て住宅の断熱材使用による冷暖房の CO₂削減

民生部門の CO₂ 削減においては、家庭の冷暖房に投入されるエネルギーの削減が重要である。この冷暖房エネルギーは基本的に家屋の保温性に依存しており、近年の断熱材の使用は冷暖房エネルギーの削減に寄与することが期待される。断熱材にはポリスチレン・フォームや硬質ウレタン・フォームもしくはグラス・ウールが使用されているが、基本的にはそのポーラスな構造の内部に取り込まれた空気が断熱効果を発揮するため素材自体の重量は軽量で大きな断熱効果が実現できる。

この断熱材を使用した場合のエネルギーや CO_2 削減の効果は、「地球温暖化に対する断熱材の及ぼす影響」 3 で個別住宅に対する年間の削減効果としてシミュレーション・ソフトウエア SMASH を用いて検討されている。ここでは、その計算結果をもとに、現在の一戸建て家屋における断熱材適用率および現存家屋の経年分布を考慮して、現在の一戸建て家屋需要に対して、断熱材なしでそれらの家屋が建てられていた場合に現在より過剰に発生したであろう CO_2 の量を算定し現状技術の貢献度を明らかにするとともに、残された家屋において断熱材を使用することにより将来にわたって削減しうるポテンシャルを算定した。

SMASH シミュレーションによると一家屋あたりの断熱材使用とそれを使用しない場合の年間のエネルギー消費は表 4.2.4-1 のようになっている。

³地球温暖化に対する断熱材の及ぼす影響

表 4.2.4-1 国内の冷・暖房使用時のエネルギー(年間)

| | 暖房 Mca | l/y | 冷房 Mcal/y | | 年間 Mcal/y | |
|-----|---------|------------|-----------|---------|-----------|----------|
| | 断熱 | 非断熱 断熱 非断熱 | | 断熱 | 非断熱 | |
| 札幌 | 2926.97 | 11034.86 | 81.09 | 76.3 | 3008.06 | 11111.16 |
| 盛岡 | 2585.89 | 9231.06 | 311.67 | 326.58 | 2897.56 | 9557.64 |
| 仙台 | 2101.49 | 6794.01 | 226.49 | 222.54 | 2327.98 | 7016.55 |
| 東京 | 1336.06 | 4094.22 | 1024.3 | 939.88 | 2360.36 | 5034.1 |
| 鹿児島 | 869.31 | 2884.96 | 1506.86 | 1435.32 | 2376.17 | 4320.28 |

表 4.2.4-1 のように冷暖房は地域によって大きく影響を受けるが、本計算ではまず概算量を得ることが目的であるため、家屋の多くが集中している東京の数値を代表値として用いて計算した。ここで、冷房はほとんど電力と考えられるが暖房には灯油なども使用されており、 CO_2 発生量を求めるためにエネルギー構成を知る必要がある。表 4.2.4-2 は世帯のエネルギー消費構造であり、これより暖房における電力の割合は 9.3%とし、残りの 90.7%は灯油換算で計算した。

表 4.2.4-2 世帯のエネルギー消費構成 1000kcal/y⁴

| | 暖房 | 冷房 | 給湯 | 厨房 | 動力 | 合計 |
|-----|------|-----|------|-----|------|-------|
| 電力 | 264 | 193 | 271 | 146 | 3274 | 4148 |
| 都市ガ | 434 | 0 | 1233 | 333 | 0 | 2000 |
| ス | 101 | • | 1200 | | • | 2000 |
| LPG | 184 | 0 | 1036 | 437 | 0 | 1657 |
| 灯油 | 1959 | 0 | 798 | 32 | 0 | 2789 |
| 石炭 | 8 | 0 | 31 | 8 | 0 | 47 |
| 太陽熱 | 0 | | 244 | | | 244 |
| 合計 | 2850 | 193 | 3613 | 956 | 3274 | 10885 |

ここで灯油燃焼の CO_2 原単位を 6 8 . 5 gCO2/MJ 5 および電力の CO_2 原単位を 0.37kg- CO_2 /kWh とすると、断熱材使用および非断熱の一戸あたりの CO_2 発生量は表 4.2.4-3 のようにそれぞれ 1 8 7 7 kg- CO_2 および 2822kg- CO_2 となった。

表 4.2.4-3 断熱および非断熱の一戸建て住宅あたりの年間 002発生量

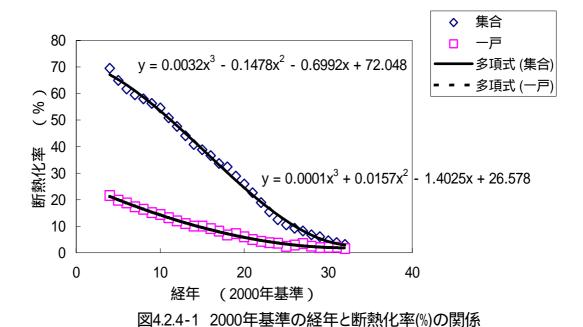
| | 暖房 | | 冷房 | | 計 | |
|------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kg- CO ₂ /y/house | 断熱 | 非断熱 | 断熱 | 非断熱 | 断熱 | 非断熱 |
| 電気 | 165 | 505 | 1,364 | 1,252 | 1,529 | 1,757 |
| 燃料 | 347 | 1,065 | 0 | 0 | 347 | 1,065 |
| 計 | 512 | 1,570 | 1,364 | 1,252 | 1,877 | 2,822 |

⁴家庭用エネルギー別消費 1992 エネルギー・経済統計要覧1994

⁵温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果 平成14年度 温室効果ガス排出量算定方法 検討会

現在使用されている家屋は経年分布があり、また、それぞれ建築年度によって断熱材の使用率も異なっている。住宅の断熱材使用率の推移は、住環境計画研究所「家庭用エネルギーハンドブック」。に統計が紹介されており、このデータをもとに回帰式を得ると、2000 年基準の経年と断熱化率(%)の関係は図 4.2.4-1 のようになり、一戸建て住宅に対して、

y(%)= 0.0001X³+0.0157X²-1.4023X+26.578 X= 2000年からみた経年の関係となる。



なお、集合住宅についても y(%)= 0 . 0 0 3 2 X^3 - 0 . 1 4 7 8 X^2 - 0 . 6 9 9 2 X + 7 2 . 0 4 8 の関係が得られている。

-

⁶住環境計画研究所「家庭用エネルギーハンドブック」省エネルギーセンター1999、および Web http://www.eccj.or.jp/databook/2000/22-3.html

次に一戸建て住宅の経年分布であるが、新設住宅数を統計データ⁷等より得、そこに住宅寿命モデル 8 から得られた回帰曲線を当てはめることにより推定した。寿命モデルからの回帰のグラフを図 4.2.4-2 に、また各年度の新設住宅数と計算結果から得られた推定現存住宅数のグラフを図 4.2.4-3 に示す。なお、住宅には非住居も含まれているため、住宅統計調査 9 の住宅数 5 0 2 4 . 6 万棟に対する同調査の「居住専用建築物」 2 8 0 4 万棟の比を用いて住居専用の住宅のみを対象に算出した。

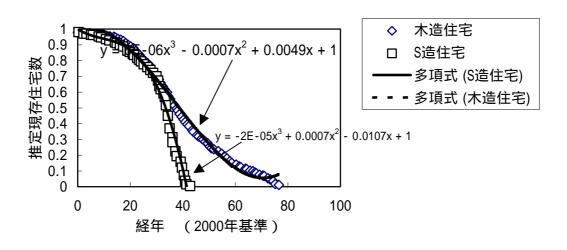


図4.2.4-2 住宅寿命モデルと三次回帰曲線

図 4.2.4-3 より得られた非断熱住宅の推定値は 2 0 3 5 万戸、断熱住宅の推定値は 2 3 6 万戸である。この値に、表 4.2.4-3 の断熱、非断熱の冷暖房による CO2 発生量を当てはめると、現在の冷暖房起因 CO2 発生量となる(現状)。また、もし断熱材がなかったケースとしてすべてを非断熱と仮定したケース(無転換)、および、現状技術適用の最大ポテンシャルとしてすべてが断熱になったケース(ポテンシャル)を算定した。

^{7 「}新設住宅着工数の推移(全国、神戸)」統計でみるこうべ No.22.3 月 2002

⁸「建築物の除却要因と残存率の推定」清水貴雄、東京工業大学卒業論文要旨、 http://www.os.mei.titech.ac.jp/pages/studies/shimizu/shimizu.pdf

^{9 1998}年住宅統計調査、総務省統計局、2000年

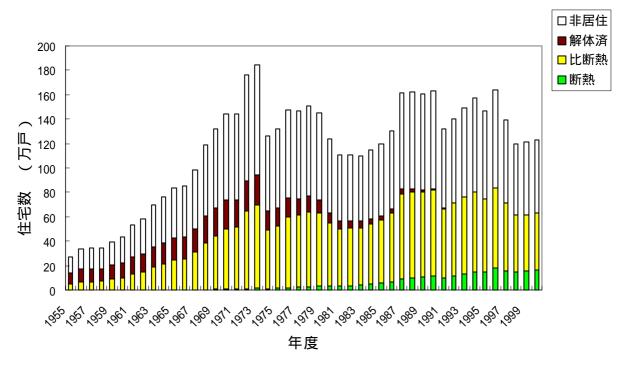


図4.2.4-3 各年度の建築住宅数、使用住宅数(非断熱、断熱) [万戸]

| ν _ε ς | 00213311703510 | |
|------------------|------------------------|----------|
| | CO ₂ [Mt/y] | 差 [Mt/y] |
| 無転換 | 64.1 | 2.2 |
| 現状 | 61.9 | |
| ポテンシャル | 42.6 | -19.2 |

表 4.2.4-4 断熱材使用の CO₂削減効果

表 4.2.4-4 がその結果であり、現在進んでいる断熱材の適用は、もし断熱材を用いずに現状の住宅状態を維持した場合 2 2 0 万トン / 年の CO_2 を削減してきたことに相当する。

また、現在の住宅状態に対して、今後断熱材の利用を進めれば 1,920万トン/年の CO₂ を削減するポテンシァルを有している。

ここまでをまとめれば、

表 4.2.4-5 トランス用電磁鋼板への転換の CO₂ 削減効果

| | CO ₂ [Mt/y] | 差 [Mt/y] |
|--------|------------------------|----------|
| 無転換 | 14.35 | 7.02 |
| 現状 | 7.33 | |
| ポテンシャル | 5.66 | -1.67 |

表 4.2.4-6 乗用車ボディの素材転換の CO₂削減効果

| | 説明 | CO ₂ [Mt/y] | 差 [Mt/y] |
|--------|------------|------------------------|----------|
| 無転換 | 1970 年水準技術 | 121.3 | 8.4 |
| 現状 | | 112.9 | |
| ポテンシャル | 2000 年水準普及 | 112.0 | -1.0 |
| ポテンシャル | ULSAB スチール | 109.7 | -3.2 |
| ポテンシャル | アルミボディ化 | 108.8 | -4.1 |

表 4.2.4-7 鉄道車両のステンレスおよびアルミ転換の CO₂ 削減効果

| | CO ₂ [Mt/y] | 差 [Mt/y] |
|--------|------------------------|----------|
| 無転換 | 9.67 | 1.49 |
| 現状 | 8.18 | |
| ポテンシャル | 7.51 | -0.67 |

表 4.2.4-8 断熱材使用の CO₂削減効果

| | CO_2 [Mt/y] | 差 [Mt/y] |
|--------|---------------|----------|
| 無転換 | 64.1 | 2.2 |
| 現状 | 61.9 | |
| ポテンシャル | 42.6 | -19.2 |

表 4.2.4-9 CO₂削減効果一覧

Mt/y

| | 電磁 | 自動車 | 鉄道 | 断熱 |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 現状 | 7.33 | 112.9 | 8.18 | 61.9 |
| 無転換 | 7.02 | 8.4 | 1.49 | 2.2 |
| ポテンシャル | -1.67 | -4.1 | -0.67 | -19.2 |

この 3 領域で 1 9 0 Mt/y の CO_2 発生だが、これまでに 1 9 Mt/y 相当の CO_2 削減に寄与してきた。 さらに 2 5 Mt/y の CO_2 削減が期待できることになる。

4.3 産業連関と経年分布を結合したソーシャル LCA による解析

ソーシャル LCA とは、LCA 研究センターの稲葉らが提唱している社会全体の影響をトータルで評価できる LCA である。社会全体に LC(ライフサイクル)という表現がなじむか否かは問題ではあるが、従来の LCA の持っていた社会性の欠如に対して答えていく方向であることは確かである。

しかし、このソーシャル LCA は必要性は強調されるものの具体的な手法は確立されていない。

本研究で対象とする素材転換の評価は、まさに、個別製品の議論の延長ではなく社会全体を対象にすべきであるため、ここでは、その手法も含めて検討を進める。

社会全体との関連付けでよく用いられる方法は産業連関表を用いる方法である。しかし産業連関表を用いた環境分析の多くは、需要モデルをシナリオ化したものや、エネルギー供給構造を変化させて議論するものが多く、LCAのように製品の部分構成の変化までも組み入れて議論できるものはなかった。素材転換の本研究では、この産業連関分析に、先述の経年分布を組み合わせ、部分構成の変化による他の投入関係への変化を記述することで、ソーシャル LCA 的な手法として計算できるようにした。

| | 需要部門 | 中間需要 | | | 最終 | 国内生 |
|--------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------|
| 供給部 | 8門 | 産業 1 | 産業 2 | 産業3 | 需要 | 産額 |
| 中間 | 産業 1 | X ₁₁ | X ₁₂ | X ₁₃ | D ₁ | X_1 |
| 投 入 | 産業 2 | X21 | X ₂₂ | X23 | D_2 | X_2 |
| | 産業 3 | X 31 | X ₃₂ | X 33 | D ₃ | X_3 |
| 付加值 | 西値 | V1 | V ₂ | V 3 | | |
| 国内生 | 主産額 | X_1 | X_2 | X_3 | | |

表 4.3-1 産業連関表の概略(3部門の場合)

まず、産業連関表から述べる。上の表 4.3-1 は単純化した産業連関表である。この産業連関表の バランス式は、中間投入を横に見ていった場合の

$$(x_{ij}) + F_i = X_i$$

および、縦方向に見た場合の

$$(x_{ij}) + v_j = X_j$$

の両者が成立していることである。ちなみに viの 全部門に対する総和は GDP になる。

ここで係数行列[A]の要素 aijを

$$a_{ij} = x_{ij} / X_i$$

として表すと、

$$[A]X + F = X$$

の関係が得られ、そこより、よく知られたレオンチェフの関係

$$X = (I - A)^{-1} F$$

が得られ、産業構造を反映したレオンチェフの逆行列に 総需要をかける事により それぞれの 部門がその需要を満たすために必要な国内生産額 Xj が得られる。

この産業連関分析を環境影響の波及効果の分析に用いる方法が、環境分析用産業連関表である。 環境分析用産業連関分析では、各産業部門jごとのi投入量xijに対して環境排出係数wijを与える。これによって総排出Wは

W= (wij・xij) となる。

CO2 などの場合排出係数は産業部門jに依存しない場合が多く、その際 投入物iに対する排出係数を $w^*i = wij$ とiに対して一定ととることができる。

これにより

$$W = \{w^*i \cdot xij\}$$
$$= \{w^*i \cdot Xi\}$$

となる。これに先のレオンチェフ行列を用いると、

 $W = (w_1, w_2, w_3, w_4, ...)[I-A]^{-1}F$

の関係が得られる。こうして得られた値が、部材、原材料製造などでの排出、および、その製品が社会で使用されることによる副次的効果など、産業間の連関を考慮した社会全体での環境負荷 因子の排出量に相当する。

この環境分析用産業連関表を LCA に結びつける方法としてよく用いられるのは、最終需要 Fを変化させるモデルである。そこでは、たとば産業部門 j1 で新たな最終需要が Fj1 だけ増加し、それによって、エネルギー消費などへの需要 j2 が Fj2 だけ変化するとして先の式の変化を見るという方式である。

しかし、本研究で対象とする素材技術は最終製品というより中間製品段階での技術転換である。 そこで、ここでは、産業連関の係数行列の列ベクトルは、それぞれの産業の産業モデルを数値的 に記述したものと考え、その産業モデルである列ベクトルを素材構成の変化に対応するように変 更させた技術転換後の係数行列 A' を作成し、それによるレオンチェフ行列を用いることによって、新たな技術転換に対応する環境排出を求めることとした。

さらに、省エネルギー等の改善効果の波及に関しても、最終需要が変化するのではなく、むしろ、総最終需要は国レベルの機能単位として一定として取り扱い、対応する部門でのエネルギー関係の投入係数の変化として取り扱った。

その際、産業連関表の既存の係数行列は、現状の技術, すなわち経年分布を考慮したモデルとして組み込み、径時的に代替が行われ、その分布関数 g(y)が変化していくことを反映できるようにした。

以下にその方法を述べる。

まず、新規の素材を係数行列に組み込むには、行列の拡張が必要である。これは、たとえば電磁鋼板という項目は産業連関表にはなく、分類としては冷延鋼板の中に含まれている。そのために、係数行列に電磁鋼板の行と列を新たに起こす必要がある。この行列の拡張の場合二つの方法が考えられる。ひとつは、類似産業モデル方式であり、他の一つは付加産業モデル方式である。類似産業モデル方式は、j産業と新たに拡張される j'産業が類似した産業モデルによって成り立っているとする方法であり、ほとんどの aij' = aij の関係をつけ、区別化すべき i 項目の投入に

関してのみ、他のプロセスデータから得られた値で j'を特徴付ける方式である。他方で、付加産業モデルは、j 産業の製品の上に新たなプロセスを付け加えることで j'を区別化する方式である。 この方式では、

$$a(j,j')=1$$

となり、付加的なエネルギー投入などの部門にそれらに相当する aij が与えられ、それ以外の列ベクトルの要素は 0 の値となる。この後者の付加産業モデルの方式が、他からのプロセスデータなどとの結合も容易であるため、本研究では電磁鋼板およびハイテン鋼に対して負荷産業モデルに基づいた行列の拡張を行った。なおいずれも aj'j の列ベクトルの要素はすべてゼロであるが、レオンチェフ行列では[I-A]を対象とするため正則性は失われない。

次に、製造段階での転換効果の組み込みである。これは、投入行列を価格ごとに配分することにより、以下のように一般化することができる。

製品 M で 素材を O から N に切り替えるとき、

切り替え比 すなわち Oの1kgが Nの μkgに相当し、

それぞれの単価が cO および cN であり

転換率を で すでにOの一部 oは 転換されているとき、

素材の生産量

 $X=(X_M+X_M)/X_M \ge U \subset$

= 1 + (- o)
$$\cdot$$
 a(O,M) \cdot (μ \cdot cN - cO) / cO

これにより、新たな係数行列は

$$a^*(I,M) = a(I,M) / X I <> O,N$$

$$a^*(N,M) = \{a(N,M) + (\quad \text{-} \quad \text{o}) \, \cdot \, a(O,M) \, \cdot \, \mu \, \cdot \, cN \, / \, cO\} \, / \quad X \qquad \quad I = N$$

$$a^*(O,M)=\{(1- + 0)\}a(O,M)/ X$$

となる。

次に、使用段階での効率改善効果の組み込みである。産業部門Jにおいて、分布も考慮した現在の平均的効率に対して、転換による改善でI部門への投入がの割合に変化するならば、

$$a^*(I,J) = \cdot a(I,J)$$

と表される。ここで は、 経年分布関数 g(y)と 年次効率関数 f(y) を使って、以前議論した

$$Z(t) = \begin{cases} to - t & t \\ [\{Q \cdot g(y) - p \cdot h(y)\} \cdot f(y)] dy + p \cdot dy \\ 0 & 0 \end{cases}$$

の関係から

$$= Z(t) / Z(0)$$

以上の方法に基づき、電磁鋼板の適用、および自動車の軽量化素材の適用について計算を行った。

(1) 電磁鋼板の適用例

まず産業連関の「行列」項目である冷間仕上鋼材 (3016847MY) の中に 冷間電気鋼帯 167779MYが含まれているので、それを拡張した。生産情報として 「LCA 的視点から見た鉄鋼 製品利用のエネルギー評価調査」(1997)によれば、冷延以降が 2000Mcal/t のエネルギー消費 原単位であり、産業連関表の付表よりそれぞれの単価は

冷間電気鋼帯 84710¥/t

冷間広幅鋼帯 59712¥/t

電力(自家発電) 5387000¥/百万 kWh= 5.387¥/kWh

であるから

a(冷延鋼板、電磁鋼板)=59712/84710=0.705

a(自家発電、電磁鋼板)=12510/84710=0.1476

X(電磁鋼板) は最終需要だから 0

X(冷延鋼板) は そのままとなる。

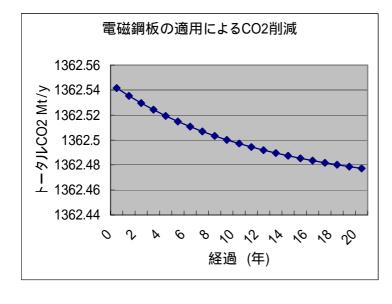
冷延鋼板は

変圧器から 16145M¥ 投入されており

a(電磁鋼板,变圧器)=a(冷延鋼板、变圧器)

a(冷延鋼板、変圧器) 0

に変更。これに、変圧器の置き換え数を最終需要に等しいとして変えていく。この場合、トランスの国内最終需要 Xj (j= 変圧器、)は変化させないものとした。



このようにして得られた結果が上図である。このように、トランスという製品の生産量は現状のままでも、現時点での最高技術の素材を使用したトランスで旧来のものを置き換えていけば、毎年年間の CO2 は削減されていき、そのトータルは 20 年間で、約 6.4Mt にも達する。しかし20 年後に達成されている年間のCO2 削減量は 0.095MT/y であり、ソーシャル LCA を用いない推算よりかなり下回っている。これは、現

在の生産量では 20 年ではすべてが古いものから代替できていないことによること、および、産業連関の中で他部門への波及が加速的ではなく減速的な効果として現れてきていることを意味していると考えられる。

(2) 自動車の軽量化素材の適用例

自動車の場合、自動車車体 冷延鋼板への投入は 142963M¥ (冷延鋼板全体の製造は

3016847M¥)。また冷延鋼板のハイテン化率は現在 3.5%で 最大の ULSAB 化で 60%である。また、生産データによると普通鋼板が 25.99MJ/kg の原単位に対して、ハイテンが 25.64MJ/kg で 0.65MJ/kg 増加する。そこで電磁鋼板と同様に ハイテンを 冷延鋼板に付加的処理として扱い、冷延鋼板の単価 59712¥/t、ハイテン 198860¥/t としてそこに自家発電 650/3.6*5.378=971¥/t が増加した付加プロセス型のモデルで行列の拡張を行った。

a(冷延鋼板、ハイテン) = 59712/(59712+971)=0.984

a(自家発電、ハイテン)=971/(59712+971)=0.016

ハイテン化率 を とすると 現状ですでに35%がハイテン化されているから

a(冷延鋼板, 自動車車体) = (1.35-) * a(冷延鋼板, 自動車車体)

a(ハイテン,自動車車体)= (-0.35)*a(冷延鋼板,自動車車体)

となる。最終需要 d(冷延鋼板)はそのままで d(ハイテン)=0 である。機能単位として d(自動車)も変更させていない。

なお、アルミ車の場合は、アルミ圧延との分離となるが

アルミ代替率 として 比強度で 0.59 の重量に相当するから

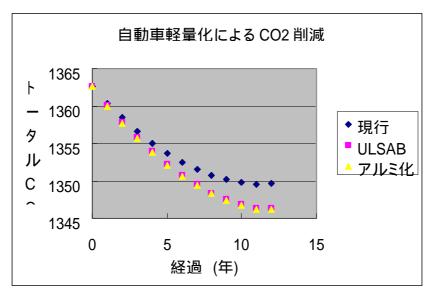
b*(アルミ圧延、自動車車体)=

すなわち

b(アルミ圧延、自動車車体)+ *(アルミ価格)*0.59*b(冷延鋼板,自動車車体) / (冷延鋼板 価格)

の関係になり、先述の素材転換による係数行列の変換を行うことになる。

このようにして、現状の 35%ハイテンへの全車両の切り替え、今後の生産をハイテン 60%で ULSAB 化したケース、同じくアルミ化したケースを計算した。



計算の結果が上図である。電磁鋼板の場合と同様に、現行の技術での代替を進めていっても従来のものが置き換わることによって CO₂ 削減の効果は出る。しかし、10 年程度でその効果はほぼ横ばいになる。これは置き換わるものがすでに現行技術にちかいものになっているためであり、それ以上の削減には新たな素材技術の転換が必要とされる。ULSAB 化やアルミ化についてはこ

こでは当初からすべて置き換えるシナリオで計算しているため、予想されるように現行のものよりも CO₂削減効果は大きい。しかし、現行技術での代替との差は、ソーシャル LCA を用いないケースよりも小さくなっている。これは、ソーシャル LCA によって供給側に遡及する部分が単純 LCA より広ろい領域に渡って組み込まれて計算されたためと考えられる。

(3) 加速生産のケースの検討

ここまでの計算では対象とする製品の需要は一定として取り扱ってきた。しかし、需要は見かけ上一定でありながらも、生産量を向上させ、かつ、従来のものを生産量と同じ速度で取り替えていき、代替速度を上げるケースも想定される。そこで、この加速生産による代替速度の上昇がどのように影響するかも見てみた。

ここで、年間の生産=代替量を p から vp へと増加させるとするとそこでは、まず対象製品 M の最終需要 d_M が $d^*_M = v \cdot d_M$ へと変化する生産関係の構造は基本的には変化はしない。

しかし、代替速度が速まるため、製品 M の使用段階で影響を受ける産業部門 J と I 間のの投入 効率は加速されて

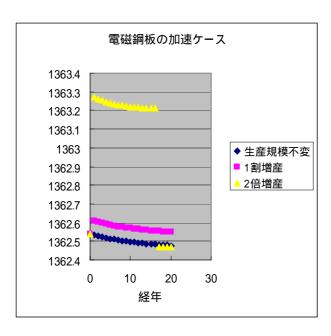
$$Z(t) = \begin{cases} to - t & t \\ Z(t) = \left[\{Q \cdot g(y) - p \cdot h(y)\} \cdot f(y) \right] dy + p \cdot dy \\ 1 & 0 \end{cases}$$

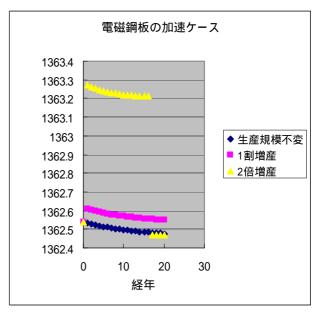
の関係から

$$* = Z(t) / Z(0)$$

が得られる。

これらを用いて、電磁鋼板と自動車軽量化を計算したものが、次の図である。





いずれのケースも加速生産は、増産なしの代替よりも全産業トータルでは CO_2 の発生が大きくなる傾向を示している。増産速度が大きい 5 割増産の場合には、早期に従来型が一層され新技術型による CO_2 低減レベルに到達するが、それ以前の増産による産業全体での CO_2 増加の影響のほうがはるかに大きい。これは、増産にはそれなりの他産業への需要の波及が起こり、それがソーシャル LCA によって捉えられたものと考えられる。しかしながら、現状のままの推移にゆだねるべきであると結論できることはできない。ここで用いたモデルは単純増産のモデルであり、代替シナリオをより綿密に検討し、最適の削減効果を得るシナリオに至る計算方法へと発展させていく必要がある。

次章に、代替シナリオにもとづく検討の可能性を、家屋の断熱材使用を対象に検討してみる。

4.4 代替シナリオを考慮した素材技術の選択についての分析

4.4.1 はじめに

現在、民生部門の活動に起因する CO_2 排出量の削減対策が求められており、住宅からの CO_2 排出量を如何に削減していくかは重要な課題である。住宅からの CO_2 排出量を削減するためには、設備やライフスタイルの観点からの検討のみならず、長期的視点から住宅自体が持つ性能を高めていくことも重要である(図 4.4-1)。住宅本体は、「住」におけるインフラと理解され、設備やライフスタイルにも大きな影響を及ぼす。また、住宅本体は、一度建てたら建て替えることが困難なだけに、先を見据えた建築計画が肝要となる。

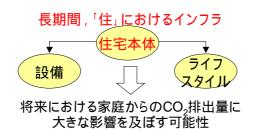


図 4.4-1 住宅からの CO₂排出量に影響を及ぼす 3 つの要因

過去において、高断熱性の住宅や長寿命住宅がライフサイクル CO_2 排出量の観点から優位であることが明らかにされてきた[1]など)。しかし、現実には様々な制約があり、ライフサイクル CO_2 排出量が少ない住宅が簡単に社会へ導入されるわけではない。現実に社会へ導入されなければ、その CO_2 削減能力を発揮できない。これらの導入は、「既に住宅が存在しており簡単には建て替えられない」「住宅のために支出可能な予算には制約がある」「消費者は雨露を凌ぐだけでなく快適な空間としての住まいを求める」などの経済社会状況や個人の価値観に依存している。

では、そのような現実の経済社会が持つ制約の基に、どのようなタイプの住宅が、いつ、どれだけ導入され、その結果、住宅からの CO₂ は最大限どのくらい削減できるのだろうか。加えて、どのような制約の変化が、そして、どのような対策が、住宅からの CO₂ 排出量にどの程度影響を与えるのだろうか。

5章の検討の主たる目的は、住宅のライフサイクルに伴う CO_2 排出量の長期的な最小化を社会目標とし、社会生活や個々人の価値観に基づく行動などの制約を考慮して、地球温暖化の対策に資するであろう住宅関連技術を評価するための基本的枠組みを提案し、それに基づいた評価モデルを構築することである。

4.4.2 評価の枠組み

4.4.2.1 評価思想と基本前提

LCA による評価結果を意思決定の支援情報として利用するためには、時間軸を考慮することの必要性が指摘され、いくつかの研究がなされてきた[2]など)。ここで開発を目指す評価手法では、時間情報に加えて、技術の導入に影響する経済社会的制約を考慮することの重要性を強調している。特に、住宅のように、我々自身が直接、技術を選択する場合には、個々人の価値観が大きく影響する。ところが、我々自身、自らの意思決定が社会全体へどのような影響を及ぼすかを知る術は多くはない。それ故に、社会全体の目標を考慮して我々自らが意思決定しようとしても、また、我々の技術選択に大きな影響を及ぼす政策の是非を判断しようとしても、それに資する情報が乏しいためにままならない。この状況の改善を多少なりとも貢献すべく、本分析は実施されている。以下では文献[3]に基づいて評価の枠組みなどについて説明する。

まず、評価枠組みの基本となる前提を述べる。

- ・ 地球温暖化防止(長期的な CO₂排出量の削減)は重要な社会目標の 1 つであり、その達成は社会 全体としての目的である。
- ・ 住宅の建設において、個人は、予算(金銭)制約下において、自らの価値観のみに従うのではなく、社会目標、すなわち地球温暖化の防止を念頭において行動する余地がある(するべきである)。つまり、温暖化防止ではなく使い勝手や見た目などの性能だけに予算をつぎこむ価値観を持つ個人でも、社会全体のことをある程度考え、自らの効用を少し下げて断熱化や長寿命化などに予算を配分する余地がある(すべきである)。
- ・ 政府は、地球温暖化の防止という以外の社会目標も勘案して政策を立案する。例えば、温暖化防止に寄与する性能(例えば断熱性)と共に他の性能も考えて良質住宅を蓄積していくことも社会目標のひとつである。さらに範囲を広げると、例えば、建設廃材の削減による固体廃棄物発生量の減量も社会目標といえる。

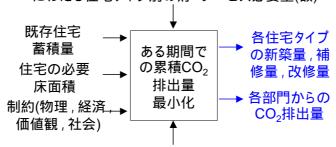
一般的に言い換えれば、ある公共的な目的を達することを最上位の目的として、個人の行動はある程度制御できるもの(すべきもの)と考える。つまり、個人は、各々の価値観に基づいて自分の効用を最大化するだけでなく、公共的な目的のために自らの行動をある程度は制御できる(するべき)主体であると考える。それに基づき、政府は、包括的視点から、望むべき社会へ向けて行動をとる主体と考える。

4.4.2.2 評価の枠組みとモデルの概要

(1) 評価の枠組み

上述した前提に立脚して、図 4.4-2 に示すような評価の枠組みを提案する。

ライフサイクル(新築,使用,補修,改修,廃棄) にわたる住宅タイプ別の財・サービス必要量(額)



産業連関表 + 部門別CO₂直接排出量 図 4.4-2 評価の枠組み

地球温暖化防止を達成すべき社会目標とし、各時点で住宅として必要な床面積が与えられた時、長期間にわたる累積 CO_2 排出量が最小化されるように、各時点において複数の住宅タイプの新築・補修・改修 10 が選択され(どの時点で、どの住宅を、どれだけ、新築、補修、改修、廃棄するかが推計され)、そして、累積 CO_2 排出量が決定される。

住宅からの CO_2 排出量は使用段階だけでなく、建設や廃棄段階における排出も無視できない。 それ故に、産業連関表を利用して間接的な CO_2 排出を漏れなく把握し、ライフサイクルにわたる CO_2 排出を計上する。また、各住宅タイプの新築、補修、改修、使用、廃棄に関する技術の物理的情報(建築仕様、立地、熱特性)に基づいて推計された必要な財・サービスの量が、 CO_2 排出量推計の基礎となる。

上記の選択・決定は、既存の住宅の蓄積状況に依存して実施されることになる。今回の評価では、特に、既存の住宅ストックを、何時、如何に入れ替えていくかという、30年程度先までの技術選択に注目している。

加えて、上記の選択・決定は、各種の制約の基に実施される。社会の技術構造に基づく財・サービスの需給バランスに制約される(物理制約)。家計は無制限に金銭的費用を出せるわけでなく一定の予算制約下において住宅の新築や補修などを実施する(経済制約)。それらの制約に加えて、個々人の価値観に基づく行動(例:断熱性よりも外観を重視する)や、政府による政策(例:雇用の確保)を制約として表現する、これらの制約、すなわち、個々人の行動や CO_2 削減以外を目的とした政策が、 CO_2 排出量に与える影響を観察することが可能となる。

(2) 線形計画モデル

上述した評価枠組みを以下のような線形計画モデルとして表現した。

- 目的関数: 計画期間内の累積 CO₂排出量の最小化。
- 制約
 - 各期 t において、必要床面積 既存 + 新築 取壊

¹⁰ 補修とは「陳腐化した機能を竣工時点のレベルまで回復させる工事」, 改修とは「竣工時点を上回るレベルにまで機能を高める、あるいは新たに付加する行為」[4]

- 各期 t において、各財・サービスの供給量 需要量
- 各期 t において、建築 (新築、補修、改修)に伴う費用 家計の住宅関連予算
- 個人の住宅に対する要求(例:外観、使い勝手)
- 社会(政府)の要求(例:雇用確保)

なお、制約条件の詳しい説明や設定については、以降で述べている。

4.4.3 計算前提と設定データ

上述した評価枠組みに基づき構築されたモデルを利用して、試算を実施するために設定したデータを示す。

4.4.3.1 モデル全体の前提

- ・ ステップと計画期間: 5年を1期として、計画期間20期で計算。
- ・ ライフサイクル検討範囲: 住宅の取り壊し・廃棄段階は今回検討対象外。
- ・ 使用段階: 空調(冷暖房)に伴うエネルギー消費のみを考慮。照明や給湯などは今回検討 範囲外。
- ・ 産業連関表: 1995年産業連関表を基に、鍵となる部門は詳細にし、それ以外は適宜集約して 作成した 29 部門表を作成。各部門からの直接 CO₂排出量は[5][6]のデータを利用。

4.4.3.2 想定した住宅モデル

標準問題[7]を参考にして、に示すような特徴を持つ3つの住宅タイプ(表4.4-1)を検討対象とした。 CO_2 排出量削減において住宅の長寿命化と断熱化は重要な要因である。高断熱住宅はウレタンフォームによる断熱と複層ガラスを採用し、低断熱住宅はグラスウールと単層ガラスを採用した。長寿命・補修型としては鉄造の枠組み壁工法を想定した。

| ス・・・ 技能対象とした任むテーク | | | | | |
|-------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|
| | Α | В | С | | |
| 特徴 | 長寿命 | 短寿命 | 短寿命 | | |
| 付取 | 高断熱 | 高断熱 | 低断熱 | | |
| 寿命 | 60年 (30年) | 30年 (30年) | 30年 (30年) | | |
| 計画内補修 | 1回義務 | 無 し | 無し | | |
| ÷1 == 51 | (30年目) | 4 (E) \$\frac{1}{2} \tag{7} | 4 (C) \$\frac{1}{2} \tag{7} | | |
| 計画外 | 1回許可 | 1回許可 | 1回許可 | | |
| 寿命延伸補修 | (60年目) | (30年目) | (30年目) | | |
| 計画外 | frr I | /m . l | 1回許可 | | |
| 断熱改修 | 無し | 無し | (15or30年目) | | |

表 4.4-1 検討対象とした住宅タイプ

[注] ()内は社会的寿命

3 つのモデルの住宅の熱負荷性能の差異は、断熱材、窓ガラス、構造材の素材に起因している。

3 つの違いをのように設定した。B の断熱材は、材質は A と同一で厚さは C と同一となるように設 定した。

表 4.4-2 断熱性能に関する設定

| 断熱材 | 窓ガラス | 熱 |
|-------------------|------|---|
| 辟・层根・硬質ウレタンフォール*2 | | |

| 断熱材 | 窓ガラス | 熱橋係数 |
|-------------------------------|--|--|
| 壁・屋根:硬質ウレタンフォーム ^{・2} | | |
| 床:押出法ポリスチレンフォーム 3 種 | 低放射複層 | 1.000*1 |
| 壁・屋根:硬質ウレタンフォーム 1 種 1 | | |
| 号 | | |
| 床:押出法ポリスチレンフォーム 3 種 | 低放射複層 | 1.000 |
| 住宅用グラスウール断熱材 10k 相当 | 透明単層 | 1.000 |
| | 壁・屋根:硬質ウレタンフォーム*2 床:押出法ポリスチレンフォーム3種 壁・屋根:硬質ウレタンフォーム1種1 号 床:押出法ポリスチレンフォーム3種 | 壁・屋根:硬質ウレタンフォーム*2低放射複層床:押出法ポリスチレンフォーム3種低放射複層壁・屋根:硬質ウレタンフォーム1種1号場床:押出法ポリスチレンフォーム3種低放射複層 |

- *1 断熱材を2層張り以上とする場合、下地材は熱橋とみなさくてもよいため。
- *2 Aの断熱材は、硬質ウレタンフォーム(現場発泡品)と硬質ウレタンフォーム保 温板1種1号を組み合わせて使用している。
- ・ モデル A は 30 年目に計画内補修を実施し、物理的寿命を満たすように補修が加えられると同 時に、残り30年における使い勝手が悪くならないように間取り等に関する比較的大きな改修 を加える。つまり、新たに改修を施すことで社会的寿命11がさらに30年延びると考える。
- ・ モデル A、B、C とも物理的寿命に達した後、新築(3 タイプの住宅)か計画外寿命延伸補修のい ずれかを選択することが出来る。ただし、延命期間においては使い勝手の良さは失われる。 つまり、当該住宅の社会的寿命は尽きたと考える。
- ・ モデルCは計画外改修により高断熱化が可能であり、15年目と30年目にその工事機会を持つ。 さらに、AからCに対しては、現実的なモデルを想定した。以下のものとする。
 - A:スチールハウス + 外断熱 + 複層ガラス データソース:現実の事例
 - B: 在来木造構法 + 内断熱(ウレタン等) + 複層ガラス データソース:標準問題を高断熱化したもの
 - C:在来木造構法 + 内断熱(グラスウール等) + 単層ガラス

データソース:標準問題

_ ~ ...

A に対してスチールハウスを取り上げたのは、評価手法を構築するという 4.4 章の作業目的に おいて、あくまで一例であり木造住宅で A の具体例を設定することも可能である。

また、モデル A だけは、2階の天井がなく、天井裏部分も合わせて一体空間として利用するよ うな構成になっているため、2階の部屋の気積が他のモデルよりも大きい。

詳細な設定を説明する。表 4.4-3 から表 4.4-5 に各モデルの層構成を記す。

¹¹ 住宅の機能として,第1に安全な物理的空間の提供を考え,その機能が保持できる期間を「物 理的寿命」とする.また,ある時点におけるライフスタイルに適合した間取りなど使い勝手を保 持できる期間を「社会的寿命」とする.

表 4.4-3 モデル A の層構成

| | 衣 4.4-3 | | V) 144/1% | 1 | 1 | |
|----------|-----------------------------|------------------------|----------------|----------------|------------------|-------------|
| 部位名 | 材料 | 表面熱伝達 係数 [W/m²K] | 熱抵抗 [m²K/W] | 熱伝導率 [W/mK] | 容積比熱 [kJ/m³K] | 材料厚 [mm] |
| 天井 | 室外側表面 | 11.1 | | | | |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 9.5 |
| | 室内側表面 | 11.1 | | | | |
| 外壁 | 室外側表面 | 25.0 | | | | |
| , | 木片セメント板 | | | 0.170 | 1678.606 | 12 |
| | 通気層 | | | | | 20 |
| | 硬質ウレタンフォーム(現場発泡品) | | | 0.028 | 49.814 | 25 |
| | 硬質ウレタンフォーム保温板 1 種 1 | | | | | |
| | 号 | | | 0.024 | 56.093 | 40 9 |
| | 合板 中容層(4 cm N b) | | 0.000 | 0.160 | | |
| | 中空層(1cm 以上) 石膏ボード | | 0.090 | 0 000 | 1.298 | 89 12.5 |
| | | 0.1 | | 0.220 | 904.187 | 12.5 |
| 間仕切 | 室内側表面 | 9.1 9.1 | | | | |
| 间江切 | 室内側表面 石膏ボード | 9.1 | | 0 220 | 904.187 | 10 5 |
| | | | 0.000 | 0.220 | | 12.5 |
| | 中空層(1cm 以上) 石膏ボード | | 0.090 | 0 220 | 1.298 | 89 42.5 |
| | ロード 室内側表面 | 0.1 | | 0.220 | 904.187 | 12.5 |
| 2 階床 | 室内側表面 | 9.1 6.7 | | | | |
| 2 哈 /木 | 上八門衣画 カーペット | 0.7 | | 0 000 | 217 602 | 15 |
| | | | | 0.080 | 317.682 | 15 |
| | 合板 空気層 | | 0.180 | 0.160 | 715.815 1.298 | 12 261 |
| | エメ僧 石膏ボード | | 0.160 | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | <u>口骨が一尺</u> 室内側表面 | 6.7 | | 0.220 | 904.107 | 12 |
| 1 階床 | <u> 室内側表面</u> 室内側表面 | 6.7 6.7 | | | | |
| I PEI/A | 床板 | 0.7 | | 0.160 | 715.815 | 10 |
| | 合板 | | | 0.160 | | 12 |
| | ロ' ◇ 押出法ポリスチレンフォーム 3 種 | | | 0.100 | 25.116 | 110 |
| | 室外側表面 | 6.7 | | 0.020 | 20.110 | 110 |
| 1 階農床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | 書 | 0.7 | | 0.110 | 527.442 | 60 |
| | | | | 0.160 | 715.815 | 12 |
| | '' | | | 0.028 | 25.116 | 83 |
| | 室外側表面 | 6.7 | | 0.020 | 20.110 | 00 |
| 屋根 | 室外側表面 | 25.0 | | | | |
|) 포 TK | 合板 | 20.0 | | 0.160 | 715.815 | 12 |
| | 口 1/X 中空層(1cm 以上) | | 0.090 | 5.100 | 1.298 | 50 |
| | | | 0.000 | 0.026 | 49.814 | 25 |
| | 硬質ウレタンフォーム保温板 1 種 1 | | | | | |
| | 号 | | | 0.024 | 56.093 | 40 |
| | 合板 | _ | | 0.160 | 715.815 | 12 |
| | 室内側表面 | 9.1 | | | | |

表 4.4-4 モデル B の層構成

| | | 表面熱伝達 | | | | |
|------|--------------------------|----------------------|------------|--------|----------|------|
| | | 係数 | 熱抵抗 | 熱伝導率 | 容積比熱 | 材料厚 |
| 部位名 | 材料 | [W/m ² K] | $[m^2K/W]$ | [W/mK] | [kJ/m³K] | [mm] |
| 天井 | 室外側表面 | 11.1 | | | | |
| | | | | 0.024 | 56.093 | 50 |
| | っ 石膏ボード | | | 0.220 | | 12 |
| | 室内側表面 | 11.1 | | | | |
| 外壁 | 室外側表面 | 25.0 | | | | |
| | モルタル | | | 1.500 | 1599.071 | 30 |
| | 合板 | | | 0.160 | 715.815 | 9 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 45 |
| | 硬質ウレタンフォーム保温板 1 種 1 号 | | | 0.024 | 56.093 | 50 |
| | っ 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| 間仕切 | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 45 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| 2 階床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | カーペット | | | 0.080 | 317.682 | 15 |
| | 合板 | | | 0.160 | 715.815 | 12 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 261 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| 1 階床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | 床板 | | | 0.160 | | 10 |
| | 合板 | | | 0.160 | | 12 |
| | 押出法ポリスチレンフォーム 3 種 | | | 0.028 | 25.116 | 50 |
| | 室外側表面 | 6.7 | | | | |
| 1階畳床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | 畳 | | | 0.110 | | 60 |
| | 合板 | | | 0.160 | | 12 |
| | 押出法ポリスチレンフォーム3種 | _ | | 0.028 | 25.116 | 50 |
| | 室外側表面 | 6.7 | | | | |

表 4.4-5 モデル C の層構成

| | | 表面熱伝達 | | | | |
|-------|---------------|----------------------|----------------------|--------|-----------------------|------|
| | | 係数 | 熱抵抗 | 熱伝導率 | 容積比熱 | 材料厚 |
| 部位名 | 材料 | [W/m ² K] | [m ² K/W] | [W/mK] | [kJ/m ³ K] | [mm] |
| 天井 | 室外側表面 | 11.1 | | | | |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 11.1 | | | | |
| 外壁 | 室外側表面 | 25.0 | | | | |
| | モルタル | | | 1.500 | 1599.071 | 30 |
| | 合板 | | | 0.160 | 715.815 | 9 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 45 |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| 間仕切 | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 45 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| 2 階床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | カーペット | | | 0.080 | 317.682 | 15 |
| | 合板 | | | 0.160 | 715.815 | 12 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 261 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| 1 階床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | 床板 | | | 0.160 | | 10 |
| | 合板 | | | 0.160 | | 12 |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| | 室外側表面 | 6.7 | | | | |
| 1 階畳床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | 畳 | | | 0.110 | | 60 |
| | 合板 | | | 0.160 | | 12 |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| | 室外側表面 | 6.7 | | | | |

表 4.4-6 ドアの熱性能

| | A 側表面 伝達率 [W/m²K] | B 側表面 伝達率 [W/m ² K] | 熱橋係数 [-] | 熱貫流率 (平均) [W/m²K] | 日射吸収率 | 長波放射率 |
|----------|-------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------|-------|-------|
| 外気ドア | 25.0 | 9.1 | 1.000 | 0.400 | 80 | 90 |
| 室内ドア | 9.1 | 9.1 | 1.000 | 2.779 | 80 | 90 |
| OD(A 限定) | 25.0 | 9.1 | 1.000 | 2.330 | 80 | 90 |
| ID(A限定) | 9.1 | 9.1 | 1.000 | 6.000 | 0 | 0 |

それぞれカーテンがある場合を考慮して熱負荷計算を行う。カーテンがある場合では、昼の熱 貫流率および遮蔽係数にはレースカーテンを想定し、夜の熱貫流率には厚手カーテンを想定する。 サッシは考慮しない。

表 4.4-7 各モデルの窓の熱性能

| | | 外気側表面 | 室内側表面 | 昼間熱貫流 | 夜間熱貫流 | | |
|------|------|------------|------------|------------|------------|-------|-------|
| | | 熱伝達率 | 熱伝達率 | 率 | 率 | 放射遮蔽係 | 対流遮蔽係 |
| モデル | カーテン | $[W/m^2K]$ | $[W/m^2K]$ | $[W/m^2K]$ | $[W/m^2K]$ | 数 [-] | 数 [-] |
| A, B | あり | 25.0 | 9.1 | 2.33 | 2.11 | 0.78 | 0.07 |
| | なし | 25.0 | 9.1 | 2.33 | 2.33 | 0.78 | 0.07 |
| С | あり | 23.3 | 9.3 | 5.10 | 4.70 | 0.59 | 0.04 |
| | なし | 23.3 | 9.3 | 6.00 | 6.00 | 0.99 | 0.01 |

北面以外の窓(台所や風呂場の窓を除く)にはカーテンがあり、夜間(17時~7時)は(厚手の)カーテンを閉じるスケジュールを採用している。

4.4.3.3 新築、補修、改修の技術係数ベクトルと単価

各モデルに関して、見積もり仕様書等を利用して、新築時および補修・改修時に必要となる財・サービス量、および単価を推計した(図 4.4-3)。それらの財・サービス量を 95 年産業連関表の各部門に割り当て、各住宅に関する新築、補修、改修の技術係数ベクトルを新たに作成した。

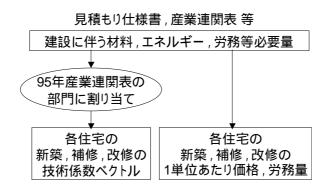


図 4.4-3 建設に伴う材料・エネルギー等の直接必要量の推計

4.4.3.4 各モデルの CO2 排出量計算方法

図 4.4-4 に住宅のモデルを特定した際のライフサイクルの CO_2 排出量を計算する手順の全体を記す。使用時の CO_2 排出量を求める際には、住宅が存在する地点の気候を選択する必要がある。なぜなら日本は地域によって気候が大きく異なるためである。

なお、「建設時環境負荷」は、ここでは素材の製造に伴う負荷も含める。

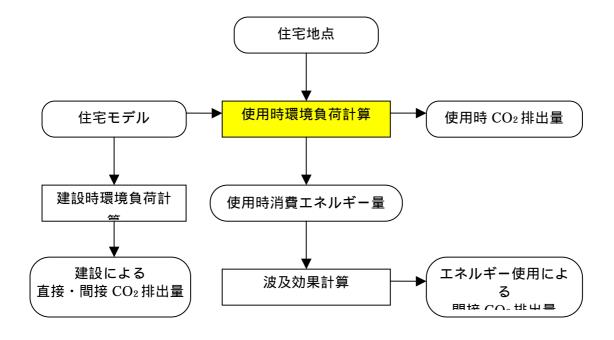


図 4.4-4 CO₂排出量の計算手順

また、これらの計算にあたっては、あらかじめ Appendix において計算を行っている。 図中の「使用時環境負荷計算」の方法と結果などについて以降で説明する。

4.4.3.5 使用時のエネルギー消費

(1)推計手順

住宅使用時のエネルギー消費量推計の手順は図 4.4-4 と同一である。熱負荷推計には、住宅用熱負荷計算プログラムである SMASH [9]を利用した。SMASH は多数室の熱回路網解析によって室温と熱負荷の計算を行なう機能を有する。

(2)熱負荷推計に関する主要な設定

熱負荷を推計する際の設定は、4.2.2(1)と同一である。

(3) エネルギー消費量

一次エネルギー消費量の推計結果を表 4.4-8 に示す。なお、使用段階のエネルギー消費は冷暖 房負荷のみを考慮し、他の用途(照明や給湯など)は含めていない。冷房には電力を用いるとし、 暖房は灯油と電力をそれぞれ 63%、37%の割合で利用するものとした。

表 4.4-8 一次エネルギー消費量の推計結果

| 住宅タイプ | Α | В | С | | |
|-----------|------|------|------|--|--|
| Mcal/m²/年 | 22.2 | 21.6 | 40.7 | | |

モデル A、B、C の各々に対する SMASH の計算結果は付録 A の表 A-7、表 A-8、表 A-9 に示した。

(3)使用した原単位

5章の分析では、4章のように適用技術の効果の大きさを把握することが目的ではないため、冷暖房機器の効率については出来るだけ現状に近い値(4.5.1で説明したもの)を採用した。

・ 電気による冷房: 2.6

・ 灯油ストーブによる暖房:0.9

・ 電気による暖房:2.0

4.4.3.6 制約の想定

本項では本評価モデルで想定する制約の各項目とデフォルトとして設定した値を説明する。

(1) 必要住宅床面積

住宅の必要床面積は、1 人あたりの住宅床面積と、人口との積で表される。したがって、将来の必要床面積を求めるためには、1 人あたり住宅床面積と人口の将来予測が必要となる。今回の試算では、[10]に基づき、2010年頃までに日本の1人あたり床面積は欧州水準(37~38m2/人)に収束する、との仮定をおいた。また、将来人口は厚生労働省国立社会保障・人口問題研究所[11]

の推計値を用いた。これらの推計値から求めた将来必要床面積は全住宅の合計値であるので、持家/貸家比率を用いて持家の面積を求め、そこに持家の中での戸建て住宅の面積比率を乗じて、持家戸建て住宅の将来必要床面積を推計した。

(2) 既存住宅の建築年別ストック量(面積)

t=0 における既存住宅の建築年別ストック量(面積)は、過去における各年の新築面積と、それらが t=0 において存在する確率を表す残存率を掛けあわせることで推計した。本推計では、住宅が[12]による残存率曲線にしたがって減少すると仮定して、過去に新築された住宅の t=0 における残存率を求めた。また、新築された戸建て住宅の建築年別床面積は、[13]によるデータを利用した。

(3)住宅関連予算

住宅関連予算の将来予測には、(1)の将来必要床面積と同様に、人口問題研究所[11]の推計値を利用した。平均世帯人数推計値と人口予測値から全世帯数の将来予測値を算出し、その値に住宅ローンを抱える世帯の比率を乗じてローン支払い世帯数を推計する。[14]からは、住宅ローンの年間返済額の平均値が得られるので、この金額にローン支払い世帯数を乗じて住宅ローン支払い合計額を求め、戸建て/集合住宅比率を用いて予算制約とした。

(4) 計画外補修比率

本モデルでは、計画外の補修を行って寿命を延伸するということは、すでに社会的寿命が尽き、使い勝手が悪いと感じているにもかかわらず、我慢してそこに住み続けている状態であると考える。そこで、ある割合の人々は、このような快適性という効用が満たされない状態を受け入れないと仮定し、計画外補修を行う住宅の比率に制約をおいた。今回の試算では、社会的寿命が尽きている住宅の各期における存在比率を30%以下とした。

(5) 建築業従業者数

ある期における建築業従業者数が、前期から急激に減少、もしくは増加することを回避するため、従業者数に上下限制約を設けた。具体的には、雇用表から得られる 1995 年住宅建築部門の従業者総数と、95 年に対する当該期の人口の変動比率、従業者数における戸建て比率から、当該期の従業者数を推計する。その値から上下 5%~10%程度の幅をもたせるように制約を設定した。

4.4.4 試算結果

本章の検討の主たる目的は、住宅のライフサイクルに伴う CO_2 排出量の長期的な最小化を社会目標とし、社会生活や個々人の価値観に基づく行動などの制約を考慮して、地球温暖化の対策に資するであろう住宅関連技術を評価するための基本的枠組みを提案し、それに基づいた評価モデルを構築することであった。

本評価モデルを検証するために、4.4.3.6 で説明した制約の項目に対して、以下の 2 つの設定を行なった上で試算した。

- ・ 4.4.3.6 で説明した値を設定する(以後「ケース1」と呼ぶ)
- ・ 4.4.3.6 で説明した制約項目に対して、予算制約だけを外す(以後「ケース2」と呼ぶ) 必要床面積、既存住宅量、雇用制約、補修比率などはケース1と同一である。具体的には、 高機能住宅の新築や既存住宅の断熱化に対して、税制面での優遇措置が取られるなどして、 住宅関連予算に十分な余裕が生じた場合を想定している。

以上の 2 つの設定に対して、計画期間中の累積 CO_2 排出量が最小となるような住宅建築スケジュールを求めた。ケース 1 の結果を図 4.4-5 に、それに伴う各期の CO_2 排出量を図 4.4-6 に示す。ケース 2 は同様に図 4.4-7 と図 4.4-8 に示す。

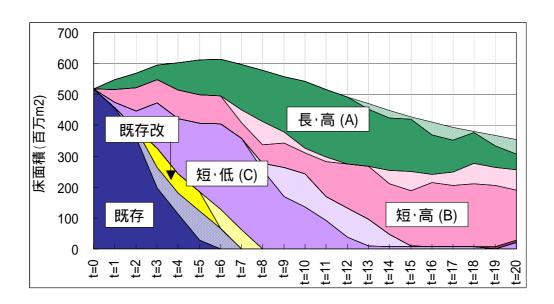


図 4.4-5 住宅建築スケジュール (ケース 1)

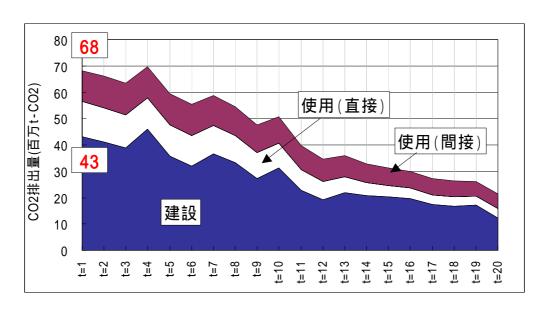


図 4.4-6 各期の CO₂排出量 (ケース 1)

図では、斜線でない部分が t 期に存在している各住宅タイプの床面積を表し、同じ色の斜線の部分は、それぞれの住宅のうち、計画外補修を行って寿命を延伸させている住宅面積を表している。試算では、計画期間前半には、既存住宅(青の部分)と同じタイプである短寿命・低断熱住宅(紫の部分)への建て替え・新規新築が大きな比率を占めるが、中盤から後半にかけて、徐々に長寿命・高断熱住宅(緑の部分)、短寿命・高断熱住宅(ピンクの部分)が増えていくという結果が得られた。特に、全ての既存住宅が新しい住宅に入れ替わる9期目以降は、住宅ストックに占める長寿命住宅の割合が高くなってきていることから予算に余裕が生じ、新築には全て短寿命・高断熱住宅が選ばれるようになる。また、1期目は、既存住宅の計画外補修はほとんど行われないが、2期目以降は寿命をむかえる既存住宅の3割程度が補修を選択した。3期目には15年目に行われる改修(高断熱化・黄色の部分)も選択されている。

図 では、建設段階における直接間接排出(青部分)、使用段階における直接排出(白部分)と間接排出(赤部分)に分けて CO_2 排出量を示している。使用に伴う直接排出は具体的には暖房用灯油の燃焼によるものである。使用に伴う間接排出は冷暖房エネルギーである灯油と電力の生産による CO_2 排出量であり、そのほとんどは発電時の排出で占められている。 CO_2 排出量は、全期を通して住宅建築に伴う排出量が約 6 割、運用エネルギーの消費と生産に伴う排出量が約 4 割であるという傾向がみられた。ただし、期を追うにしたがって住宅の高断熱化が進むため、運用時のエネルギー消費(つまり灯油燃焼)に伴う直接 CO_2 排出量の割合は全体として減少傾向にあり、計画期間前半では排出量全体の 20%程度を占めているが、後半では 13%程度まで小さくなった。

4期目、7期目、10期目の建築に伴う CO_2 排出量が他の期よりも多いのは、それら3期での新築住宅に占める長寿命・高断熱住宅の割合が特に高く、波及効果により鉄鋼部門や電力部門、自家用自動車部門からの CO_2 排出量が増えたためである。そして、これらの期において長寿命・高断熱住宅の新築割合が高くなっているのは、既存住宅の蓄積状況が影響しているためである。

なお、使用段階の CO_2 は冷暖房のみであり照明や給湯などの分は含まれていない 12 。また、今回の分析では、29 部門へ集約した産業連関表を利用しており、集約しない場合と比べて CO_2 排出量は 8%ほど過大評価されている。

図に示すように、ケース2では予算制約がないため、建て替え、新築需要に対して、1期目から全て短寿命・高断熱住宅(ピンクの部分)が選択されるようになる。したがって、計算上の終端効果を除いて、短寿命・低断熱住宅は建築されないという結果になる。15年目をむかえる既存住宅は、すべて改修されるため、高断熱化された既存住宅(黄色の部分)の割合が上昇する。また、30年目をむかえる既存住宅も、単なる寿命延伸のための補修ではなく、補修と同時に高断熱化のための改修を行う(ボルドー色の斜線部分)。その結果、前回の試算よりも、低断熱型の既存住宅(青の部分)は急激に減少するようになる。ケース1よりも長寿命・高断熱住宅(緑の部分)の比率は僅かに増加する。ただし一般に、予算に余裕が生じることが、長寿命・高断熱住宅の増加につながるとは言えない。

図 に示したが、計画期間内の合計排出量は、ケース 1 に比べて約 7%減少する。ケース 1 に比べて、住宅建築に伴う排出量(青部分)は若干大きくなる。しかし、計画期間の前半において、

^{12 [15]}によると冷暖房による CO2 は家庭における使用段階全体の 1/3 程度を締めている.

全住宅に占める高断熱住宅の比率が急速に高まるため、使用段階の直接排出量(白部分)が約 1/2 に抑えられ、その効果により全体の排出量は少なくなる。ケース 1 では、既存住宅の蓄積状況と予算制約の影響をうけ、特定の期に急激に長寿命・高断熱住宅が建てられていた。そのため、 CO_2 排出量が各期により大きく変動していたが、予算制約を外したことにより変動が小さくなっている。

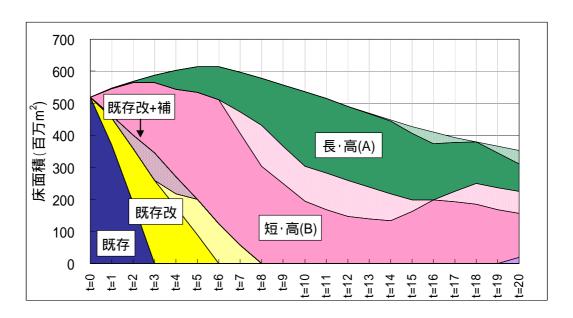


図 4.4-7 住宅建築スケジュール (ケース 2)

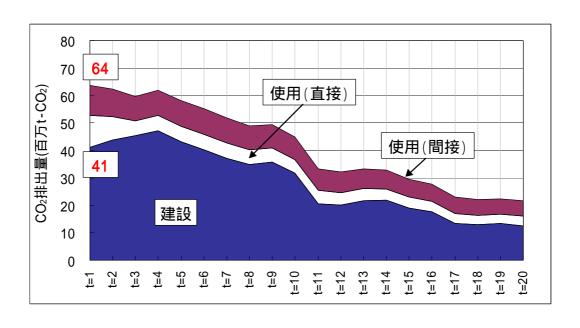


図 4.4-8 各期の CO₂排出量 (ケース 2)

4.4.5 まとめ

住宅のライフサイクルに伴う CO₂ 排出量の長期的な最小化を社会目標とし、社会生活や個々人の価値観に基づく行動や政府の政策などの制約を考慮して、地球温暖化の対策技術の削減可能性を評価するための基本的枠組みを提案し、それに基づきモデルを構築した。

ここでは、本モデルを利用した試算結果を 2 つのケースに対して示し、制約に応じて CO_2 排出量が変わることを示した。これによって本モデルが CO_2 排出量を低減することを目的として、制約に関する検討に応用出来ることを確認した。ただし、用いたデータ(既存の住宅ストック、将来の必要住宅面積、家計の住宅関連予算など)にはまだ不十分な点があり、今後さらなる検討が必要である。他方、より意義のあるモデルへ改良していくためには、住宅解体や資材リサイクルの廃棄段階の取り込み、対象とする住宅機能や住宅オプションの再検討、個人の効用の表現方法に関する再検討などが求められる。

4章の参考文献

- [1] (財)住宅・建築・省エネルギー機構「住宅次世代省エネルギー技術基準の策定検討 調査報告書」平成7年度建設省委託業務,1996年
- [2] 松橋,石谷,野村,吉田,疋田「動学ライフサイクルアセスメント手法の基本的枠組み とその発電システムへの適用」エネルギー資源学会第 18 回研究発表会講演論文 集,269-274,1999年.
- [3] 本藤祐樹、森泉由恵、坂尾知彦、原田幸明:地球温暖化からみた住宅建設の最適スケジュール-技術の時間的導入制約を考慮したライフサイクル評価の枠組み-,第20回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集,2004,pp.91-94.
- [4] 建設省建設経済局調査情報課「「新」建設市場 2010 年までの展望 リフォーム,リニューアルに関する将来予測」1998 年.
- [5] 本藤,森泉,外岡,神成「1995年産業連関表を用いた温室効果ガス排出原単位の推計」 日本エネルギー学会誌,81(9),828-844,2002年.
- [6] 本藤,森泉,外岡「1995 年産業連関表を用いたエネルギーおよび温室効果ガス原単位 の推計」電中研報告 Y01009,2002 年.
- [7] 宇田川「標準問題の提案 住宅用標準問題」日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回熱シンポジウム,23-33,1985 年.
- [8] 新日鐵(株)ホームページ:http://www.hq.nsc.co.jp/superframe/base/index2.html
- [9] (財)建築環境・省エネルギー機構「SMASH for Windows Ver.2 住宅用熱負荷計 算プログラム ユーザーマニュアル」2000 年.
- [10] 伊香賀,村上,加藤,白石「我が国の建築関連 CO₂排出量の 2050 年までの予測 建築・ 都市の環境負荷評価に関する研究 」日本建築学会計画系論文報告集第 535 号,53-58,2000 年
- [11] 厚生労働省国立社会保障・人口問題研究所 http://www.ipss.go.jp

- [12] 加藤,小松「木造専用住宅の寿命に関する調査研究 累積八ザード法による寿命推計 」日本建築学会計画系論文報告集第 363 号,20-26,1986 年.
- [13] 国土交通省「建築統計年報」
- [14] (財)住宅金融普及協会「平成13年度住宅需要動向調査」2002年.
- [15] 深澤大樹、外岡豊、村橋喜満、松井俊明、三浦秀一、「都道府県別住宅 CO₂ 排出実態の詳細推計その 2 暖冷房標準負荷計算による建て方別推計 」、第 21 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集(02年6月)、261~266ページ

5. まとめと総合化のための今後の課題

循環型社会を考える時に、リサイクルへの転換による地球温暖化ガス低減は大いに期待できる。 リサイクル素材への転換による温暖化ガス発生量の調査を行ないこれまでのリサイクルの効果および将来においてのリサイクル可能性を算出した。 わが国で使用している素材全体がリサイクル されていない場合の CO_2 発生量は約240M t / y に相当し、現実にはリサイクルにより約40%近くを抑えている。 さらに、 リサイクル適合設計などによりリサイクルの可能性を向上させるとさら に約5%の削減の可能性がある。

また、素材技術転換を適用した時の地球温暖化ガス削減効果を産業・運輸・家庭の3部門の中から影響の大きいと考えられる4事例を抽出して試算した。その際、現在、普及過程にある素材技術が存在しなかったケース、および100%普及したケースを設定して、素材の寄与の大きさを見た、これら4事例のかかわる CO_2 発生量は約200Mt/y程度であるが、対象とする素材技術が適用できなかったと想定すると、この3分野で約1割の CO_2 が多く発生していたと予測される。さらに今後、これら4事例の素材技術が100%適用された場合、さらにそれ以上の CO_2 削減が期待できる。なお、家庭部門における家屋の断熱材の利用は、これから普及すべきものとして期待できる。

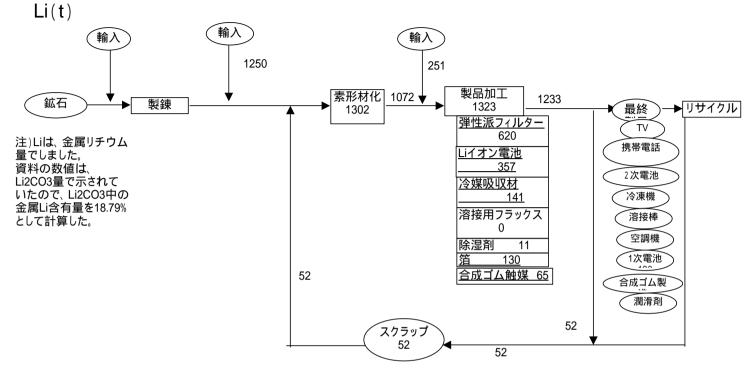
これらの解析に、自らのライフサイクルのみでなく、社会全体での影響や導入シナリオを組み込んで検討できるツールとしてソーシャルLCAを開発してその適用を試みた。社会全体への影響を考慮すると単独のLCAのケースよりも削減効果の大きさは、省エネルギー効果の波及よりも投入資材などの波及の影響が大きい場合には削減効果は小さくなる結果が、その逆の場合は削減効果がより有効に作用するという結果が得られたが、今後ソーシャルLCA手法の妥当性なども含めた検討が必要である。その中でも特に影響の大きい家庭部門における家屋に対して、産業連関と経年分布に加え、住宅立替スケジュールとその拘束条件による影響を考慮した場合の排出ガス低減効果を計算する手法を検討した。そこでは、エネルギー消費などの特に削減効果の影響の大きい家庭部門における家屋に対し、関連産業への波及の影響と住宅建替えスケジュールを考慮した時について素材転換による排出ガス低減効果を、構造物や冷暖房におけるエネルギー使用を機器高断熱・低断熱および長寿命・低寿命の組み合わせを設定して評価した。これにより、導入シナリオが最終的な削減効果に大きく影響することがわかった。また、建替えスケジュールにあっては、最適なシナリオの算出を行い建替えスケジュールのモデル化も確立されたといえる。

これら全体を通じて、これまで個々の LCA などで調査されている排出ガス削減を素材転換という視点から整理し、重要な適用ケースに対して個別の L C A ではなく社会全体の影響から評価を行った。その結果として、素材転換が CO_2 排出に対して明確な影響を持つことが確認されたが、ソーシャル L C A を含むその評価ツールは今後まだ発展させる必要があり、その意義は大きい。また、本研究を通じて、金属素材の製錬時の CO_2 データやわが国のマテリアル・フローが整理されたことは、今後のこのような社会的影響を検討する上での基礎データの整備としての意義は大きい。しかし、これらは、まだ限られた範囲と制度でしかなく、今後の組織的な取り組みとデータベース化が必要である。

| | 分野 | | | | | | | | | L C A | の設定 | | | | |
|-------|--------------------|--------------|---------|---------------|----|--|----------|-------------|-------------------------|--|------------|----------|-------------|------|---------------------------------|
| | | | | | 素材 | | リサ イク | | | 産業の制 | | 波及 | | | |
| 番号大 | <u>小</u> | 製品 | 部位 | 素材 | 転換 | 転換後の素材大粒系シリコンインゴッ | ル | C02排出削減量の効果 | 効果の時点 2010年で期 | <u>約 目的</u> - 1 | 子 明 | 効果 不明 | 文献 | 発行年 | i 備考 |
| 1 === | 7419075 | 太陽電池 | 不明 | 多結晶シリコン | | ト 酸化物半導体、色素、電 | X | 不明 | 待可能 2010年以降 | 不明 | 不明 | | [1];別紙2,1) | | |
| 2 = 2 | | 太陽電池 | 不明 | シリコン | 0 | 解質 | × | 不明 | に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,2) | _ | |
| 3 エ | | 固形化燃料 | | 塩ビ系プラスチック | × | | 0 | 不明 | 待可能 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,6) | _ | |
| 4 エ | 32314 14 1 4714 | 廃熱発電システム | 熱電変換素子 | 不明 | 不明 | 不明 | × | 不明 | に期待可能 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,7) | | |
| 5 X | | 化学燃料など | - | 未利用バイオ資源 | × | - | × | 不明 | 待可能 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,8) | | |
| 6 x | , | メタン発生装置 | - | 有機系廃棄物 | × | - | × | 不明 | 待可能 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,9) | | 素材の詳細は不明 |
| 7 エン | , | エタノール | - | 木質系バイオマス | × | - | X | 不明 | に期待可能 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,11) | _ | |
| 8 工 | | 電解質 | - | 不明 | 0 | セラミックス 炭酸リチウム、炭酸ナト | X | 不明 | に期待可能 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,12) | | |
| 9 エン | , = . = | 電解質 | - | 不明 | 0 | リウム混合物 | × | 不明 | に期待可能 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,14) | _ | |
| 10 エン | 燃料電池 水素利用燃料 | 燃料ガス | - | 不明 | 0 | 石炭 | × | 不明 | に期待可能 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,15) | | |
| 11 x | 水素利用 電池 水素利用 | 燃料ガス | - | 天然ガス等 | 0 | 水素 | × | 不明 | に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,16) | | |
| 12 エン | | 燃料ガス | = | 不明 | 0 | 水素 | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,17) | | |
| 13 エ | | 水素製造装置 | - | - | × | - | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,18) | | |
| 14 エン | 水素製造 | 水素製造装置 | - | = | × | = | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,19) | | 製造の際の使用熱をコークス炉ガス顕熱から取り出 す技術 |
| 15 エン | 水素製造 | 高温水素分離用無機膜 | - | - | × | - | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,20) | | 7.400 |
| 16 エン | 水素貯蔵 | 自動車 | 燃料タンク | 不明 | 0 | 水素吸蔵合金 | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,22) | | |
| 17 エ | 資源採掘 | メタンガス採掘 | - | - | × | - | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,24) | | メタンガス採掘、改修技術 |
| 18 工 | エネルギー転 | ガスタービン | 高温部品 | 不明 | 0 | 金属部品、セラミック部品 | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,25) | | |
| 19 エン | エネルギー転 | 超伝導発電機 | 不明 | 不明 | 0 | 超伝導界磁巻線と空隙電 気子巻線 | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,26) | | |
| 20 エン | エネルギー転 | ガスタービン | 高温部品 | 不明 | 0 | 液融成長複合材料(MGC) | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,27) | | |
| 21 エ | エネルギー転 | ガスタービン燃料 | _ | = | 0 | - | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,28) | | |
| 22 x | エネルギー貯 | 天然ガス貯蔵器 | 不明 | 不明 | 0 | 天然ガス吸着材 | × | 不明 | 2010年で期 待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,29) | | |
| 23 エン | エネルギー貯蔵 | 電力貯蔵器 | フライホイール | = | × | = | × | 不明 | 2010年以降 に期待可能 | 不明 温室効果ガスの排出量を削減 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,30) | = | 軸受摩擦のロスを無くす技術 |
| 24 x | /// | 送配電システム | 柱上トランス | 珪素鋼板 | 0 | ナノ結晶構造を改善した | × | 不明 | 2010年で期 | | 不明 | 不明 | [1];別紙2,31) | 2001 | ナノ結晶構造を改善 |
| 25 x | 送配電 | 送配電システム | 変圧器の磁芯 | 電磁鋼板 | 0 | もの 無機Si系化合物をコー | × | 不明 | 待可能 2010年で期 待可能 | | 不明 | 不明 | [1];別紙2,32) | | 電磁鋼板の表面に無機Si系化合物の薄膜をコーティング |
| 26 エ | 送配電 | 電力変換器 | 不明 | 不明 | 0 | ティングしたもの SiC等 | × | 不明 | 待可能 2010年で期 待可能 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,33) | | 29 |
| 27 x | 送配電 | 送電ケーブル | - | 不明 | 0 | 超伝導金属 | × | 不明 | 9010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,34) | | |
| 28 運 | | 電池 | 負極 | 不明 | 0 | 炭素材料 | × | 不明 | 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,35) | | |
| 29 民生 | | 携帯情報端末 | 不明 | 不明 | 0 | LSI | × | 不明 | 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,38) | | |
| 30 民生 | | 小型電子機器 | ACアダプタ | ケイ素鋼、フェライト | 0 | 低損失磁心用材料 | × | 不明 | 待可能 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,39) | | |
| 31 運車 | 前 自動車 | 自動車 | 車体 | | 0 | 炭素繊維強化プラスチッ | 0 | 不明 | 待可能 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,40) | | |
| 32 運車 | | 自動車 | 車体 | 鉄等 | 0 | ク 高品位アルミニウム | 0 | 不明 | 待可能 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,41) | | |
| 33 運 | | 自動車 | 不明 | 不明 | 0 | 中空アルミニウム | × | 不明 | 待可能 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,42) | | |
| 34 運車 | | 自動車 | 不明 | 不明 | 0 | 低コストマグネシウム合 | 0 | 不明 | 7010年以降 2010年以降 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,43) | _ | |
| 35 産美 | | 銑鉄 | _ | = | × | 金 - | × | 不明 | に期待可能 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,45) | | 粉鉄鉱石の塊成化と部分還元を同時に達成する焼結 |
| 36 産 | | 金属素材 | - | - | × | - | 0 | 不明 | 7010年以降 2010年以降 | - <u>- </u> | | 不明 | [1];別紙2,47) | | プロセスに転換 リサイクル時に融解プロセスを介さず再生するリサ |
| | * 化学プロセス | 不明 | 不明 | - | × | - | × | 不明 | <u>に期待可能</u> 2010年で期 | - <u>- </u> | | 不明 | [1];別紙2,48) | | イクルプロセス技術 超臨界流体を利用する技術 |
| 38 産 | | 不明 | 不明 | _ | × | - | × | 不明 | <u>待可能</u> 2010年で期 | | | 不明 | [1];別紙2,49) | | 新規触媒等を利用した化学プロセス技術 |
| 39 産 | | エンプラ・ポリエステル繊 | | 石油 | 0 | セルロース系資源 | × | 不明 | 行り能 2010年で期 | 不明 | | 不明 | [1];別紙2,51) | | |
| 40 産 | | 維 成形材料 | - | 金属、プラスチック | 0 | 木質系バイオマス | × | 不明 | 行り形 2010年で期 | 不明 | | 不明 | [1];別紙2,52) | | |
| 41 産 | | 食塩電解装置 | 電極 | = | × | | × | 不明 | 行り形 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,53) | | イオン交換膜法をガス拡散電極法に転換 |
| 42 産 | | メタノール、ホルムアルデ | | = | × | _ | × | 不明 | 行り形 2010年で期 | 不明 | 不明 | 不明 | [1];別紙2,55) | | メタンからメタノール、ホルムアルデヒドを直接製 |
| 14 座 | 山十糸州 | ヒド | | | ^ | | ^ | 71.47 | 待可能 | .151 | △1.4/J | 71,60 | [1] , | | 造するプロセス技術 |

| | | 分野 | | | | | | | | | LCA | の設定 | | | | |
|------------|----------|------------|--------------------------------|--------------------|---------------|----|---|--|----------|------|---|--------------------------|----|------------|------|--|
| | | | | | | 素材 | リサ イク | | | 産業の制 | | | 波及 | | | |
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 転換 | 転換後の素材ル | CO2排出削減量の効果 | 効果の時点 | 約 | 目的 | | 効果 | 文献 | 発行年 | 備考 |
| 126 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/1]) | 外板、足回り | 通常の素材 | 0 | 外板:鋼・アルミ、足回 り:鍛造アルミ × | 400 [Kg-C] | 不明 | × | | 生産~リサイクル | × | [i]; p.61 | | 12%軽量化したケース(燃費は12.2[km/1]))。削減 効果は10万km走行時。値は目測。 |
| 127 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/1]) | ボディー、外板、 足回り、部品 | 通常の素材 | 0 | ボディー・外板:アル ミ、足回り:鍛造アル ミ・鋳造、部品:マグネ シウム | 400 [Kg-C] | 不明 | × | | 生産~リサイクル | × | [i]; p.61 | | 25%軽量化したケース(燃費は13.1[km/1]))。削減 効果は10万km走行時。値は目測。 |
| 128 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/l]) | 不明 | 軽合金(新地金) | 0 | 軽合金(再生材) | 300[Kg-C] | 不明 | × | | 生産~リサイクル | × | [i]; p. 61 | | 軽合金の50%に再生材を使用。削減効果は10万km走 行時。値は目測。 |
| 129 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/1]) | 外板、足回り | 通常の素材 | 0 | 外板:鋼・アルミ、足回 り:鍛造アルミ | 700 [Kg-C] | 不明 | × | - - 自動車の軽量化をLCA的に考 | 生産~リサイクル | × | [i]; p. 61 | | 12%軽量化したケース(燃費は12.2[km/1]))。軽合金の50%に再生材を使用。削減効果は10万km走行時。値は目測。 |
| 130 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/1]) | ボディー、外板、 足回り、部品 | 通常の素材 | 0 | ボディー・外板:アル ミ、足回り:鍛造アル ミ・鋳造、部品:マグネ シウム | 700 [Kg-C] | 不明 | × | 毎期単の軽量化をLUARINE与 察する | 生産~リサイクル | × | [i]; p.61 | 1999 | 25%軽量化したケース(燃費は13.1[km/l]))。軽合 金50%に再生材を使用。削減効果は10万km走行時。 値は目測。 |
| 131 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/l]) | 不明 | 軽合金(新地金) | 0 | 軽合金(再生材) | 300 [Kg-C] | 不明 | × | | 生産~リサイクル | × | [i]; p. 61 | | 軽合金の100%に再生材を使用。削減効果は10万km走 行時。値は目測。 |
| 132 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/1]) | 外板、足回り | 通常の素材 | 0 | 外板:鋼・アルミ、足回 り:鍛造アルミ | 700 [Kg-C] | 不明 | × | | 生産~リサイクル | × | [i]; p.61 | | 12%軽量化したケース(燃費は12.2[km/1]))。軽合金の100%に再生材を使用。削減効果は10万km走行時。値は目測。 |
| 133 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (小型車:燃費は 11.2[km/1]) | ボディー、外板、 足回り、部品 | 通常の素材 | 0 | ボディー・外板:アル ミ、足回り:鍛造アル ミ・鋳造、部品:マグネ シウム | 1, 200 [Kg-C] | 不明 | × | | 生産~リサイクル | × | [i]; p.61 | | 25%軽量化したケース(燃費は13.1[km/1]))。軽合 金100%に再生材を使用。削減効果は10万km走行時。 値は目測。 |
| 134 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (電気自動車) | エンジン | - | × | - × | 約33%低減 | 不明 | × | 走行段階での燃費向上、排ガス低下の達成した自動車について、ライフサイクル全体の | 素材生産~廃棄 | × | [a] | 2001 | トヨタ社による発表論文。対象はRAV4EV。比較対象 は同クラスのガソリン自動車。リサイクル部分は含 んでいない。日本の電源構成を仮定。 |
| 135 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (ハイブリッド車) | エンジン | - | × | - × | 約33%低減 | 不明 | × | 環境影響も低減されているか を確認すること | 31(17.23.23 3)53(4 | | £3 | 2001 | トヨタ社による発表論文。対象はプリウス。比較対象は同クラスのガソリン自動車。リサイクル部分は含んでいない。日本の電源構成を仮定。 |
| 136 | 運輸 | 自動車 | 自動車 (電気自動車) | エンジン | - | × | - × | 消費エネルギー量約24%低減 | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | |
| 137 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ボディーなど | steel | 0 | 精錬アルミ × | 消費エネルギー量約8%低減 | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | |
| 138 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ボディーなど | steel | 0 | 精錬アルミ (50%はリサ | 消費エネルギー量約12%低減 | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | |
| 139 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | ボディーなど | steel iron | 0 | イクル品) steelを精錬アルミ(50% はリサイクル品)に ironをマグネシウムに | 消費エネルギー量約16%低減 | 不明 | × | - 代替エネルギー、材料置換の 比較 | 素材生産~リサイクル | × | [e] | 1995 | Ford社による発表論文。比較対照は同等性能のガソ リン自動車。 |
| 140 | 海岭 | 自動車 | 自動車 | ボディーなど | steel | 0 | ガラス強化FRP(リサイク | 消費エネルギー量約9%低減 | 不明 | × | _ 比較 | 素材生産~リサイクル | × | | | リン 日 |
| 140 | | 自動車 | 自動車 | ボディーなど | steel | | ル0%) ^ カーボン強化FRP × | | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | | | | |
| 142 | | 自動車 | 自動車 | ボディーなど | steel | 0 | steelをカーボン強化FRP に × | 消費エネルギー量約16%低減 | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | |
| | | 1 30/4 | 137 | 717 1 1 2 2 | iron | | ironをアルミに | 消費エネルギー量1.7× | | | | | | | | |
| 143 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 不明 | steel | 0 | HSS(High Strength Steel) | $10^8[J/kg] \sim 3.5 \times 10^8[J/kg]$ | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | |
| 144 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 不明(sheet) | steel | 0 | アルミニウム × | 消費エネルギー量 -4.8×10^7[J/kg]~2.9× 10^8[J/kg] | 不明 | × | - 軽量化素材の効果を定量化す | 素材生産~リサイクル | × | | | Ford社による発表論文。効果の下限が期待値で、上限は2次的な軽量効果などを見込んだもの。効果の単 |
| 145 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | パネル | steel | 0 | プラスティック × | 消費エネルギー量 5.8×10^7[J/kg]~2.8× 10^8[J/kg] | 不明 | × | 3c2 | 素材生産~リサイクル | × | [c] | 1982 | 位は代替素材重量当りの1台(生涯走行距離16万[km] を仮定)の省エネ値。リサイクルは現状を反映。 |
| 146 | | 自動車 | 自動車 | 不明(castings) | iron | 0 | アルミニウム × | 10 ⁸ [J/kg] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | | | | |
| 147 148 | | 自動車自動車 | 自動車 自動車 | フェンダーフェンダー | スチール スチール | 0 | アルミニウム × ポリウレタン × | | 不明不明 | × | _素材選択によるエネルギーバ ランスを把握すること | 素材生産~リサイクル 素材生産~リサイクル | × | [b] | 1990 | Dow Plastics社による発表論文。生涯走行距離15万 [km]を仮定。 |
| 149 | 運輸 | 自動車 | <u> </u> | オイール | ステール | 0 | | 消費エネルギー量9.0×10 ⁹ [J] | | X | | 素材生産~リサイクル | × | | + | Luni C XXC |
| 150 | 運輸 | 自動車 | 自動車 | 板ばね | スチール | ŏ | ポリマー× | 消費エネルギー量9.6×10 ^{9[J]} | 不明 | X | | 素材生産~リサイクル | × | | | |
| 151 | | 自動車 | 自動車 | ドライブシャフト | スチール | 0 | | 消費エネルギー量9.8×10^8[J] | 不明 | X | 4 | 素材生産~リサイクル | X | | | |
| 152 153 | 理輔 運輸 | 自動車 自動車 | 自動車 自動車 | バンパービーム 燃料タンク | スチール スチール | 0 | | 消費エネルギー量3.0×10 ⁹ [J] 消費エネルギー量1.1×10 ⁹ [J] | 不明不明 | × | _ 素材選択によるエネルギーバ | 素材生産~リサイクル 素材生産~リサイクル | × | | L. | Dow Europe社による発表論文。生涯走行距離15万 |
| 154 | | 自動車 | 自動車 | エンジンカバー/ | スチール | 0 | ポリマー × | | 不明 | × | ランスを把握すること | 素材生産~リサイクル | | [d] | 1991 | [km]を仮定。 |
| | | | | サンプ | | | | | | | _ | | ν× | | | |
| 155 156 | 運輸 | 自動車 自動車 | 自動車 自動車 | ボンネット | スチール スチール | 0 | ポリマー × | | 不明 不明 | × | - | 素材生産~リサイクル 素材生産~リサイクル | | | | |
| | 運輸 | 自動車 | 自動車 | フェンダー | スチール | Ŏ | ポリマー × | | 不明 | X | | 素材生産~リサイクル | | | | |

| | | 分野 | | | | | | | | | | LCA | の設定 | | | | |
|-----|----|----------|----------------------------|-----------|---------------|----|---------------------------------|----------|--------------------------------------|----------|------|-----------------------------------|--------------------|-------|----------------------------------|------|--|
| | | | | | | 素材 | | リサ イク | | | 産業の制 | | | 波及 | | | |
| 番号 | 大 | 小 | 製品 | 部位 | 素材 | 転換 | 転換後の素材 | ル | | 効果の時点 | 約 | 目的 | | 効果 | 文献 | 発行年 | 備考 効果は飲料容量11当りのC02排出量。リサイクル率は |
| | 産業 | 飲料缶 | スチール缶 | _ | - | × | _ | × | 排出量490[g-C02/1] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | 0%を仮定。値は目測。 効果は飲料容量11当りのC02排出量。リサイクル率は |
| 159 | 産業 | 飲料缶 | スチール缶 | - | = | × | - | × | 排出量320[g-C02/1] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | 100%を仮定。値は目測。 |
| 160 | 産業 | 飲料缶 | アルミ缶 | - | - | × | - | × | 排出量620[g-C02/1] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | 効果は飲料容量11当りのCO2排出量。リサイクル率は 0%を仮定。値は目測。 |
| 161 | 産業 | 飲料缶 | アルミ缶 | - | = | × | - | × | 排出量210[g-C02/1] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | 効果は飲料容量11当りのCO2排出量。リサイクル率は 100%を仮定。値は目測。 |
| 162 | 運輸 | 自動車 | 現行自動車 | - | - | × | - | × | 排出量2.1×10^4[kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産と使用 | × | | | アルミ使用量130[kg]、車体全重量1,505[kg]。アルミリサイクルは0%。効果は10万[km]走行時。生産とリサイクルはスコープに入っていない。 |
| 163 | 運輸 | 自動車 | 現行自動車 | - | - | × | - | × | 排出量2.0×10 ⁴ [kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産と使用 | × | | | アルミ使用量130[kg]、車体全重量1,505[kg]。アルミリサイクルは100%。効果は10万[km] 走行時。生産とリサイクルはスコープに入っていない。 ULSABを参考。アルミ使用量130[kg]、車体全重量 |
| 164 | 運輸 | 自動車 | 高張力鋼板を使用した自動 車 | - | - | × | - | × | 排出量2.0×10 ⁴ [kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産と使用 | × | | | にはある。アルミリサイクルは0%。効果は10万[km] ま行時。生産とリサイクルはスコープに入っていない。 |
| 165 | 運輸 | 自動車 | 高張力鋼板を使用した自動 車 | - | - | × | - | × | 排出量1.8×10^4[kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産と使用 | × | | | ULSABを参考。アルミ使用量130[kg]、車体全重量 1,405[kg]。アルミリサイクルは100%。効果は10万 [km] 走行時。生産とリサイクルはスコープに入って いない。 |
| 166 | 運輸 | 自動車 | アルミを多用した自動車 | - | ı | × | - | × | 排出量1.9×10 ⁴ [kg-C02] | 不明 | × | アルミ利用の温暖化への効果 を把握する | 素材生産と使用 | × | [27] | 1999 | アルミ使用 $(パネル、足周り部品等)量190[kg]、車体全重量1,325[kg]。アルミリサイクルは0\%。効果は10万[km]走行時。生産とリサイクルはスコープに入っていない。$ |
| 167 | 運輸 | 自動車 | アルミを多用した自動車 | - | - | × | - | × | 排出量1.8×10 ⁴ [kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産と使用 | × | | | アルミ使用(パネル、足周り部品等)量190[kg]、車体 全重量1,325[kg]。アルミリサイクルは100%。効果は 10万[km] 走行時。生産とリサイクルはスコープに 入っていない。 |
| 168 | 運輸 | 自動車 | 「オールアルミ」の自動車 | - | - | × | - | × | 排出量1.6×10 ⁴ [kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産と使用 | × | | | FordP2000を参考。アルミ使用(パネル、足周り部品、ボディー、サスペンションメンバー、インパネフレーム、シートフレーム等量320[kg]、車体全重量910[kg]。アルミリサイクルは0%。効果は10万[km] 走行時。生産とリサイクルはスコープに入っていない。 |
| 169 | 運輸 | 自動車 | 「オールアルミ」の自動車 | - | - | × | - | × | 排出量1.3×10 ⁴ [kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産と使用 | × | | | FordP2000を参考。アルミ使用(パネル、足周り部品、ボディー、サスペンションメンバー、インパネフレーム、シートフレーム等)量320[kg]、車体全重量910[kg]。アルミリサイクルは0%。効果は10万[km] 走行時。生産とリサイクルはスコープに入っていない。 |
| 170 | 運輸 | 電車 | 車両構体がアルミニウムの 車両 | - | - | × | - | × | 排出量1.65×10^6[kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | |
| 171 | 運輸 | 電車 | 車両構体が再生アルミニウムの車両 | - | = | × | - | × | 排出量1.58×10^6[kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | 効果の値は車両1個当り。効果は10年間走行時。 |
| 172 | 運輸 | 電車 | 車両構体がステンレス鋼の車両 | - | - | × | - | × | 排出量1.68×10^6[kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | × | | | WAY TELEVISION OF WAY INTO THE PROPERTY OF THE |
| 173 | 運輸 | 電車 | 車両構体が鋼の車両 | - | - | × | - | × | 排出量1.77×10 ⁶ [kg-C02] | 不明 | × | | 素材生産~リサイクル | X | | | |
| 174 | エネ | 送配電 | 全固体変圧器 | - | - | × | - | × | 7.2~7.7×10^2[t-C02/yr] | 不明 | × | 提案中の全固体変圧器の環境 負荷を事前に評価すること | 素材生産~廃棄 | × | [f] | 2001 | 寿命は30年を仮定。効果の差異は比較対象機器の差 異による。効果は最大となるケースの値。 |
| 175 | エネ | 発電 | 発電設備 | - | = | × | - | × | 19%低減 | 不明 | × | 石炭ガス化複合発電のCO2削減効果を把握すること。 | 素材生産~廃棄 | 0 | [h] | 2000 | 効果は従来型微粉炭火力発電プラントとの比較。 |
| 176 | エネ | 発電 | 発電設備 | ボイラー、タービン | 従来材料 | 0 | 高品位の耐熱材料 | × | 3~4%低減 | 不明 | × | 高品位の耐熱材料やリサイク ルが石炭火力の環境負荷低減 | 素材生産~廃棄 | 0 | [28];p. 157 | | 効果は従来型との比較。 |
| 177 | エネ | 発電 | 発電設備 | - | = | × | - | 0 | 0.2%低減 | 不明 | × | にどの程度有効かを定量的に 明らかにすること | 素材生産~廃棄 | 0 | [28];p. 157 | 1998 | 効果は従来型との比較。金属素材は全て完全にリサ イクルされるという条件。 |
| | エネ | 発電 | 発電設備(CCGT) 発電設備(LCCC) | - | - | X | _ | X | 710[kt-C02/TWh] | 不明不明 | × | 71-211-1 DCC | 素材生産~廃棄 素材生産~廃棄 | 0 | | | ロン / ア C4 レン C V・ ノ 本 IT 。 |
| 180 | エネ | <u> </u> | 発電設備 (IGCC) 発電設備 (SUPC) | - | <u>-</u> - | × | = | X | 340[kt-C02/TWh] 320[kt-C02/TWh] | 不明 | X | 発電設備のライフサイクルの | 素材生産~廃棄 |) O (| | | |
| 182 | エネ | 発電 発電 | 発電設備(SXC) 発電設備(Tide) | = | = | × | = | X | 1100[kt-C02/TWh] 1100[kt-C02/TWh] | 不明 不明 | × | 大気汚染物質の排出への連鎖を調べること | 素材生産~廃棄 素材生産~廃棄 | 0 | [g] | 1996 | 効果は従来型石炭火力発電との比較。 |
| | エネ | 発電 発電 | 発電設備(Wave) 発電設備(Wind) | - | - | × | - | × | 1100[kt-C02/TWh] 1100[kt-C02/TWh] | 不明不明 | × | を調べること | 素材生産~廃棄 素材生産~廃棄 | 00 | | | |
| | エネ | 発電 | 発電設備(Solar) | = | - | X | - | × | 1100[kt-C02/TWh] | 不明 | X | | 素材生産~廃棄 | ŏ | 5107 | | |
| 186 | エネ | 太陽熱利用 | 真空ガラス管型太陽熱温水器 | - | = | × | = | × | 460[kg-C02/yr] | 不明 | × | | 生産~使用 | 0 | [12]; pp. 20~23; pp. 54 ~65 | | |
| 187 | エネ | 太陽熱利用 | 真空ガラス管型ソーラーシ ステム | - | - | × | - | × | 530[kg-C02/yr] | 不明 | × | | 生産~使用 | 0 | [12]; pp. 20~23; pp. 54 ~65 | | |
| 188 | エネ | 太陽熱利用 | 平板型太陽熱温水器 | - | - | × | - | × | 340[kg-C02/yr] | 不明 | × | LCA的視点から石油代替効果 や環境負荷を比較検討し、他 | 生産~使用 | 0 | [12]; pp. 20~23; pp. 54 ~65 | 2000 | 効果はシステム単体(住宅1棟に設置)当りの削減 |
| 189 | エネ | 太陽熱利用 | 平板型ソーラーシステム | - | - | × | - | × | 440[kg-C02/yr] | 不明 | × | や環境負荷を比較使討し、他 の新エネと比較する | 生産~使用 | 0 | [12]; pp. 20~23; pp. 54 ~65 | 2000 | 量。比較対象はガス給湯器。 |
| 190 | エネ | 太陽熱利用 | 別置型ハイブリッドソー ラーシステム | - | - | × | - | × | 12,00[kg-C02/yr] | 不明 | × | | 生産~使用 | 0 | [12] ; pp. 20~23 ; pp. 54 ~65 | | |
| 191 | エネ | 太陽熱利用 | ー体型ハイブリッドソー ラーシステム | = | - | × | - | × | 1,300[kg-C02/yr] | 不明 | × | | 生産~使用 | 0 | [12] ; pp. 20~23 ; pp. 54 ~65 | 1 | |
| 192 | 産業 | エネルギー | 発電用大型タービン | 静翼 | 通常の素材 | 0 | MGC(Melt-Growth Composite)材料 | × | 約8%効率(発電端効率)向上 | 不明 | × | | 使用 | × | [25] ; p. 136 | | |
| 193 | 産業 | エネルギー | コージェネ用中小型ガスタービン | 静翼 | 通常の素材 | 0 | MGC(Melt-Growth Composite)材料 | × | 約7%効率(発電端効率)向上 | 不明 | × | - | 使用 | × | [25] ; p. 136 | 2000 | LCAは行っていない |
| | エネ | 太陽光発電 | 太陽光発電システム | - | - | × | Composite) 材料 | × | 34,000[kt-C02/yr] | 1997年 | | 太陽光発電の活用が、地球環境、経済等に与える価値を総合的に評価する | 素材生産~使用 | × | [9]; pp. 79, 90~92 | 1998 | 発電可能量(導入可能量の推定) に基づく石炭火力発電と比較した際の効果。 |



| 各種量 | 数量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 1696 | 生産量は、天然資源とリサイクルの合計 |
| 全天然資源量 | 1501 | 輸入品1250と251を天然資源と見なした |
| 需要量 | 1684 | 最終製品の合計とした |
| 現リサイクル量 | 195 | 現リサイクル量は、Liイオン電池の回収40%、合成ゴム触媒の回収80%とみなし、計算し |
| 使用済全可能量 | 1455 | 可能量は、最終製品から、現リサイクル量、溶接フラックス、除湿剤の量を引いて求めた 箔はLi一次電池に使用され将来は回収可能と考えた。 |

| リサイクル材使用率 | 11% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 89% |
| リサイクル材可能性率 | 75% |

出典 工業レアメタル No.116(2000) Mineral Commodity Summaries(1998)

箔はLi一次電池に使用され将来は回収可能と考えた。

(1)詳細説明

全量輸入の水酸化リチウムを原料とする、潤滑剤グリースと電池用電解質 については省略している。

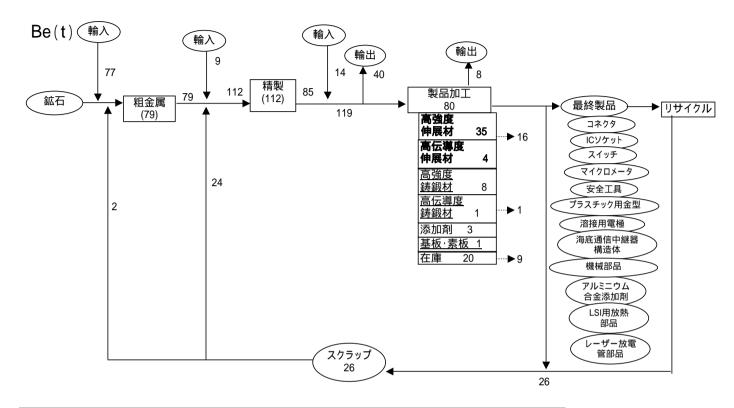
(2)仮定

弾性波フィルターの応用主要製品はTV、携帯電話、カーナビなどであり、 現在金や白金などのように経済性がないために、リサイクルがされていないが、潤滑剤グリースと電池用電解質については省略している。 将来的に、有効にリサイクルが出来るとして、使用済全可能量に含めた。 Liイオン電池に関しては、現在回収として40%のリサイクルがされているとなっているが、今後より効果的なリサイクル技術と経済性が出ると考え、 双方ともに使用済全可能量に含めた。

冷媒吸収材は、空調機及び冷凍機に使用されているが、経済性がないため に現在はリサイクルがされていないため、将来的にはリサイクルできるとして 使用済全可能量に含めた。

合成ゴム触媒に関しては、現在もリサイクルが行われており、今後も推進されるだろうと考えて、使用済全可能量に全て含めた。

現状のリサイクルとして、合成ゴム触媒65tの80%がリサイクルされているとして、52tを計上した。



| 各種量 | 数量(t) | 備考 |
|---------|-------|--|
| 生産量 | 126 | 生産量は、天然資源とリサイクルの合計 |
| 全天然資源量 | 100 | 輸入品77, 9, 14をすべて天然資源と見なした |
| 需要量 | 60 | 需要は、在庫を除いた国内最終製品量と製品輸出量の合計で示した |
| 現りサイクル量 | 26 | 現リサイクル量は、高強度伸展材、高伝導度伸展材の16、高強度鋳鍛材の1、及び輸入屑9の合計を用いた。 |
| 使用済全可能量 | 49 | 可能量は、最終製品60から輸出8と添加剤3を引いて求めた。 |

| リサイクル材使用率 | 21% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 167% |
| リサイクル材可能性率 | 38% |

US鉱山局 Mineral Facts and Problems 1985 輸入通関統計 業界統計

(1)詳細説明

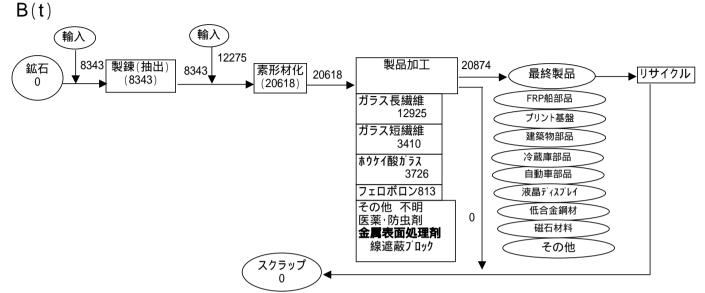
製品加工での輸出は、輸出品を製品加工で作成していて、加工した製品を輸出するのではないので、このような表現にして、製品加工量60tに加えてある。

(2)仮定

高強度展伸材及び高伝導度展伸材に関しては、電子機器用バネ材として使用されており、現在合金種による分別回収をしているのと銅スクラップとしてのリサイクル率向上を期待しており、将来的に有意義にリサイクルできるだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。

高強度鋳鍛材及び高伝導度鋳鍛材に関しては、リサイクル流通システムがなく、効果的なリサイクル技術がない為に現在リサイクルされていないが、今後、双方とも改善されるだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。

素板及び基板については、半導体用部品に使用されているが、Be含有量が36%と高いので、現在リサイクルはされていないが、リサイクルされるであろうと考えて、使用済全可能量に含めた。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|----|
| 生産量 | 20618 | |
| 全天然資源量 | 20618 | |
| 需要量 | 20874 | |
| 現リサイクル量 | 0 | |
| | | |
| | | |
| 使用済全可能量 | 0 | |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 99% |
| リサイクル材可能性率 | 0% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 輸入通関統計

Mineral commodity summaries(1998) 小柳卓治「強化プラスチック」Vol.40 No.8 P296(1994)

(1)詳細説明

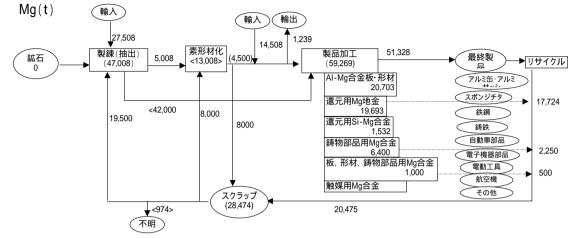
ホウケイ酸ガラスに関して、金属鉱業事業団の鉱物資源マテリアルフローには「リサイクルできる」と表記してあったが、 放射性ガラスとしての利用であり、リサイクルはできないと判断した。よって、リサイクル量は無いとした。

(2)仮定

他の素材に関しては、全てが添加剤であるために、使用済全可能量にも含めなかった。

金属表面処理剤に関して、リサイクルされていると表記されていたが、リサイクル量が不明であり、その他の分類に入っているものだったために、リサイクル量として含めなかった。

鉱石から製造までの輸入量を計算すると歩留りが100%だとしても、20618tなり、最終製品の20874tに及ばないが 在庫からの不足分追加や統計誤差とみなした。



| 各種量 | 数量(t) | 備考 | | |
|---------|--------|---|--|--|
| 生産量 | | 生産量は、天然資源とリサイクルの合計 | | |
| 全天然資源量 | | 天然資源量は、輸入27508、10713、3795の合計42,016tとした 需要は、最終製品量51,328tとした 現リサイウル量は、有効に使用されているMg金属製造用19500;とMg合金製造用8000 (の27500;と看做した。リサイクルの実態調査から、スポンジチタン用還元剤回収率 90%で17724に自動車、電動工具、航空機用Mg合金50%以上回収で2250、スポーツレ ジャーなど用Mg合金回収50%で500;と言われていて、合計39107;の回収があるとされ ている。これから、行方不明の量が974;と推定される。 | | |
| 需要量 | | | | |
| 現リサイクル量 | | | | |
| 使用済全可能量 | 28.474 | 可能量は、現状回収されているとされているスクラップ量28,474tは将来可能と看做し | | |

| リサイクル材使用率 | 40% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 82% |
| リサイクル材可能性率 | 2% |

出典 米国地質調査資料 大蔵省通産統計 通商産業省資源統計

(1)詳細説明

製錬されたマグネシウムと輸入マグネシウム金属の中の40396tは素形材化プロセスを 通過して、アルミニウム合金及び4塩化チタン還元用としてそのまま使用、又はマグ ネシウム合金やマグネシウム粉末として使用されるために、直接加工プロセスに投入 されている。

Mgは、その鉱石の生産も輸入もゼロである。

製品製造工程に入る量は、59761と前工程から計算される。それから、それぞれの製品が51328(生産されている。

Mg酸化物からの製品については、このマテリアル・フローからは省略している。

(2)仮定

アルミニウム合金については、主要製品としてはアルミニウム缶及びアルミサッシだが、 再溶解の際に、マグネシウムは飛んでしまいリサイクルは出来ない。

そのためにアルミニウム合金に関してはリサイクルは出来ないとした。

4塩化チタン還元用に使用されている主要応用製品は、スポンジチタンであり、現在有効にリサイクルがされているので今後もリサイクルされるだろうと考えて使用済全てをリサイクル可能量に含めた。

黒鉛球状化材は、添加剤として使用されており、Mg含有量も0.2~1%と低い為に、リサイクルは出来ないだろうと考えた。

成形用チップは、自動車部品として使用されており、現在経済性がな〈需要開発が十分にされていないということでリサイクルがされていないが今後リサイクルされるだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。

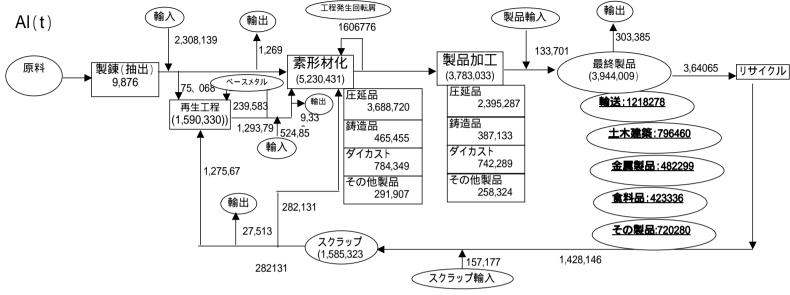
ダイカストは、電動工具として使用されており、現在需要開発が十分ではないということで、リサイクルされていないが、今後改善されるだろうと考えて使用済全可能量に含めた。

展伸材は、現在電子機器部品に使用されているが、解体技術がない為にリサイクルがされていない。今後リサイクル技術が解明されるだろうと考えて使用済全可能量に含めた。

鋳物は、航空機に使われているが、現在リサイクルがされていない。航空機に使用されているので、現在リサイクルはされていないが、リサイクルできるだろうと考えて使用済全可能量に含めた。

原料は、金属Mgとして27508:輸入されている。この大部分が、AI-Mg合金、還元用地金、 還元用SI-Mg合金に使用されており、それらの製品製造量41928:から42000:が使用され ていると推定した。歩留まりを考慮すると、42000:は少なすぎるかもしれない。残りが 鋳物製造用に使用され、スクラップからの8000:で13008:の原料で合金4500:が製造さ れていると看做した。

Appendix II



| 各種量 | 数量(T) | 備考 |
|---------|---------|--|
| 生産量 | 3903138 | 生産量は天然資源とリサイクル量の合計とした.。 |
| 全天然資源量 | 2317815 | 天然資源は新地金生産9876iと輸入2308139iの合計とした。 |
| 需要量 | 3944009 | 需要は製品輸入133701t、製品輸出303385tと最終製品出荷3640653tの合計とした。 |
| 現リサイクル量 | 1585323 | 現リサイクル量は、アルミ協会統計(平成11年度)から得られる回収1428146t、スクラップ輸入 |
| | | 157177tの合計とした。再生地金工程で発生する成分調整用ベースメタルと圧延生産工程で発生 |
| | | する回転屑はそれぞれの工程の原料として取り扱ったが、スクラップとは看做さなかった。 |
| 使用済全可能量 | 3774316 | 可能量は最終製品用製品出荷量から輸出を引いた値とした。 |

出典

| リサイクル材使用率 | 40% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 59% |
| リサイクル材可能性率 | 56% |

平成11年アルミニウム統計(アルミニウム協会) アルミニウム統計(平成11年度)

(1)詳細説明

1999年度アルミ協会統計によれば、生産量は、 3783013tであるが、出荷需要量は3810308tである。これに製品輸入量133701tを加えた量を需要量とした。 生産量(3783013t)の内、原料として投入した加工 層が1606776tで、全原料の約42%を占めている。

(2)仮定

生産量を天然資源量と現りサイクル量の合計としたので、その量は3903138tと成っているが、1999年度アルミ協会統計の製品生産量は3783013tで、統計生産量は97%と少ない。これは、それまでの前工程の歩留まりロスがあるためと看做した。

圧延生産工程において、回転屑をスクラップ扱いとせず、原料投入量とすると、圧延工程の歩留まりが65%と非常に低い値となる。この回転屑は、場合により、市販スクラップとして市販に売られた場合は、統計の回収量に加えられている筈であると見なした。

再生地金生産工程で、工程内でベースメタルとして 239583:が成分調整用原料として、繰り返し使用され ているが、スクラップとしては看做していない。

(3)問題点

回収量は、この統計では、途中の最終製品生産でのスクラップの回収か、最終消費製品のスクラップの回収かは明瞭にされていない。それが明瞭なのは、アルミ缶のような場合で、夫々の製品特性に依存していると考えられる。

2246

| | 重量(t) | 備考 |
|---------|--------|---|
| 生産量 | 17,729 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 15,483 | 全天然資源量は、ルチル鉱の輸入量55295tとした。 |
| 需要量 | 14,998 | 需要量は、製品出荷量14998tとした。 |
| 現リサイクル量 | 2,246 | 現リサイクル量は現在リサイクルされている量の総和とした。製品加工屑46tの発生ある。 |
| | | 各種純チタンの中のプレート式熱交換機(推定2500t)のうち60%である1500tがリサイクルされている。 |
| | | 各種純チタンの中の電極、電解槽(推定1000t)のうち70%である700tがリサイクルされている。 |
| 使用済全可能量 | 12,988 | 使用済全可能量は、鉄鋼添加剤とチタン粉末以外は今後リサイクルされるであろうと考えた。 |

| リサイクル材使用率 | 13% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 103% |
| リサイクル材可能性率 | 72% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団

財務省通関統計

(社)日本チタン協会資料

(社)日本酸化チタン工業会資料

(1)詳細説明

(2)仮定

各種純チタンは、現在もりサイクルされており、今後もそのリサイクルが推進されるだろうと考えて使用済全可能量に含めた。

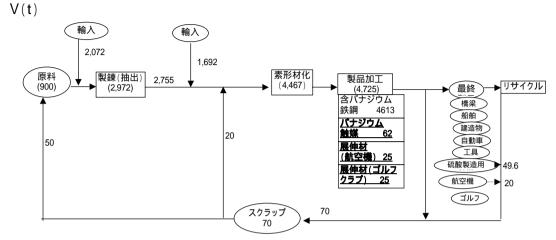
鉄鋼添加剤は、鉄鋼の再溶解過程でTi分は大半がスラグになってしまう為に、リサイクルは出来ないとした。

各種チタン合金は、国内のものは再利用されており、今後もリサイクルできると考えて、使用済全可能量に含めた。

問題点

ルチル鉱の輸入量55295tで、スポンジチタンの国内生産量が19475tであるとすると、歩留まりが約35%となり、非常に低いのが気がかりである。今回の統計数字に問題がないのか検討が必要である。

スポンジチタン生産量194571、輸入スポンジチタン4008tと回収スクラップ2246tの合計25711tに対して、製品の製品の出荷量は14998tで、歩留まりが約58%と低いのも同様に気になる。



| | | 重量(t) | 備考 |
|---|---------|-------|---|
| ı | 生産量 | 4,734 | 生産量は、全天然資源量と現りサイクル量の合計とした。 |
| | 全天然資源量 | 4,664 | 全天然資源量は、輸入五酸化バナジウム2072tと生産五酸化バナジウム900t,輸入フェロバナジウム1585 |
| | | | !と輸入バナジウムアルミ合金107!の総和4664!とした。 |
| | 需要量 | | 需要量は、含バナジウム鉄鋼4613t、バナジウム触媒62t、伸展材50tの合計4725tとした。 |
| | 現リサイクル量 | 70 | 現リサイクル量は現在リサイクルされている量の総和とした。バナジウム触媒(62t)のうち80%である50tが リサイクル。航空機用展伸材(25t)のうち80%である20tがリサイクル |
| | 使用済全可能量 | 112 | 使用済全可能量に関しては、現状ではリサイクルされていないが、今後リサイクルされるであろうと期待できる製品量(下線があるもの)と現リサイクル量(太字)の総和とした。 |

| リサイクル材使用率 | 1% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 99% |
| リサイクル材可能性率 | 1% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団

工業レアメタル No.116(2000) 日本メタル経済研究所「触媒レアメタルの動向分析と今後の展望」(2000) 牧野和孝ら「希少金属データベース」(1999)日刊工業新聞社

Mineral Commodity Summaries (1998)

(1)詳細説明

生産五酸化パナジウム9001と輸入五酸化パナジウム2072tの合計2972tからフェロバナジウム2755tが生産され、歩留まりとして約93%である。

製造工程に投入される原料は、フェロバナジウム2755t、輸入フェロバナジウム1585t、輸入バナジウムアルミ合金107tと航空機スクラップからサイクルされる20tの合計4467tであり、最終製品量は4725tである。製品量が多いのは在庫などの影響であるう。

(2)仮定

会パナジウム鉄鋼は使用済みの形態が鉄屑であり、添加量が少ないためパナジウムとしてのリサイクルは出来ないとして使用済全可能量には含めなかった。

硫酸製造用バナジウム触媒については、触媒入れ替え業者によってリサイクルされているため、

リサイクルできると考えて使用済全可能量に含めた。

航空機用の展伸材については、成分別の保管が進んでおりり サイクルもされており、今後その保管からリサイクルも可能にな るだろうと考えて

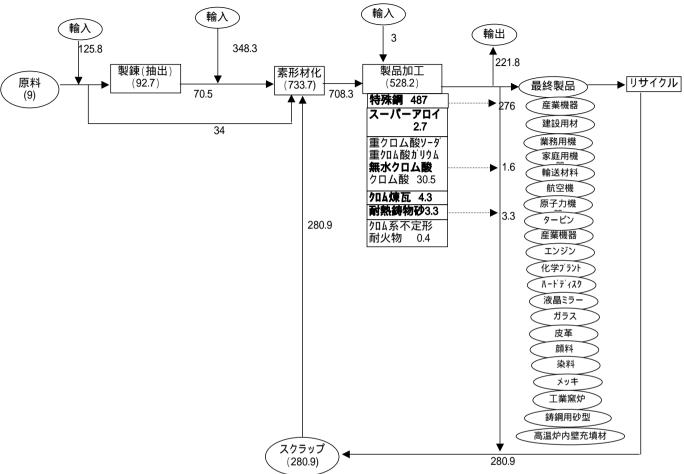
使用済全可能量に含めているが、V金属としてではなく材料中 の有効成分としてのリサイクルであると思われる

ゴルフクラブ用の展伸材に関しては、現在リサイクルはされていないが、クラブの寿命を考えれば、リサイクルできてもおかしくはないと考えて、使用済全可能量に含めた。

(3)問題点

図中に鉱石として示した、五酸化パナジウムの生産量は9001であるが、その原料はどこから来ているのであるか分からない。 一部501程度、硫酸製造触媒屑から来ているようであるが、大半が不明である。





| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 755 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 474.1 | 全天然資源量はクロム鉱石輸入125.8ktと合金クロム輸入348.3ktの合計。 |
| 需要量 | 528.2 | 需要量は輸出入を含む最終製品の全ての合計とした。 |
| 現リサイクル量 | 280.9 | 現リサイクル量は現在リサイクルされている量の総和とした。 |
| | | 特殊鋼487ktから276kt(推定)がリサイクル量として排出。 |
| | | 無水クロム酸から1.6ktのリサイクル量が排出。 |
| | | 耐熱鋳物砂3.3ktは繰り返し使用されているので3.3ktがリサイクル量となる。 |
| 使用済全可能量 | 527.8 | 使用済全可能量に関しては、現状ではリサイクルされていないが、今後リサイクルされるであろうと |
| | | 期待できる製品量(下線があるもの)と現りサイクル量(太字)の総和とした。 |

| リサイクル材使用率 | 37% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 90% |
| リサイクル材可能性率 | 47% |

出典 通産省鉄鋼統計、通関統計、合金鉄年鑑、日本ステンレス協会、 特殊鋼倶楽部、日本鋳鍛鋼会、耐火物協会、

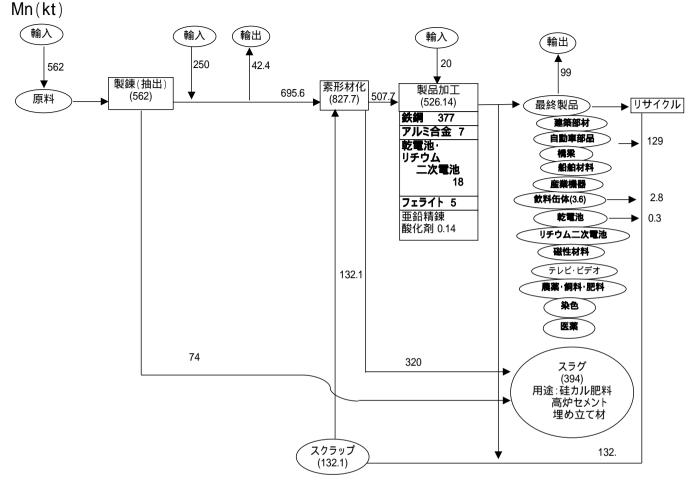
(1)詳細説明

生産工程への原料投入量は733.7ktに対して、生産量は708.7ktで、歩留は97%となる。

生産工程708.3ktと輸入38ktで供給合計746.3ktである。これに対して、最終製品528.2ktと輸出221.8ktで需要は750ktとやや多くなる。

(2)仮定

鉱物資源マテリアルフローには、リサイクルの現状が書かれていなかったために、使用済全可能量に関しては現在リサイクルしているものに関しては、全てリサイクルできるとし、他のものは推測で決めた。



| | 重量(kt) | 備考 |
|---------|--------|--|
| 生産量 | 944.1 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 812 | 全天然資源量は,輸入の高品位鉱(Mn45%)457kt、低品位鉱(Mn38%)25kt、含鉄マンガン鉱(Mn30%)62kt、炭酸マンガン鉱17kt、二酸化マンガン鉱(Mn55%)0.8ktの合計562ktと金属として定義した中間製品の輸入分高炭素フェロマンガン62kt、中低炭素フェロマンガン8kt、銑鉄5kt、電解金属マンガン40kt、電解二酸化マンガン0.7kt、過マンガン酸カリ0.5ktの合計250ktの総計812ktとした。 |
| 需要量 | 526.14 | 需要量は,最終製品工程を通過する製品407.14kt、輸入20ktと輸出99ktの合計526.14ktとした。 |
| 現リサイクル量 | 132.1 | 現リサイクル量は、市中回収品鉄スクラップ中のMn量129kt、飲料缶回収2.8ktと回収廃乾電池0.3ktの合計132.1ktとした。 |
| 使用済全可能量 | 407 | 将来鉄鋼377kt、アルミ合金7kt、電池18ktとフェライト5ktが回収可能と看做した。 |

| リサイクル材使用率 | 14% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 154% |
| リサイクル材可能性率 | 52% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 通産省鉄鋼統計 通関統計 合金鉄年鑑 レアメタルニュース、新金属データブック

鉄リサイクル工業会、日本アルミニウム協会、アルミ缶リサイクル協会

業界ヒアリング

電池工業会、日本鉱業協会

(1)詳細説明

Mnの特殊事情として、スラグで有効にリサイクルされている Mn分があることである。

プロセスへの原料投入量は、鉱石562ktと輸入中間製品250kt から合金鉄プロセスから出るスラグ中の74ktを引いた695.6ktとスクラップからの132.1ktを合計した827.7ktとした。

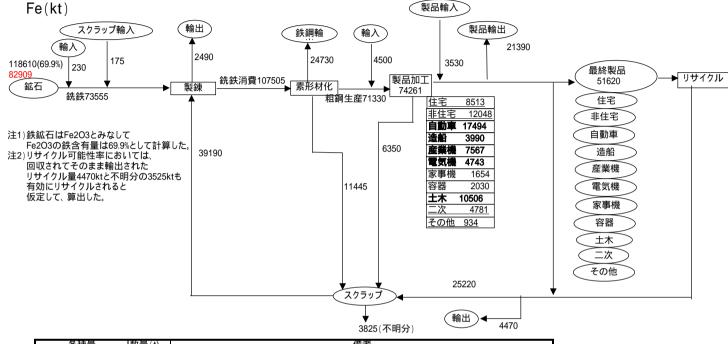
プロセスで生産された製品量は、507.7ktで、それに使用された原料は工程投入量827.7ktからスラグで排出された320ktを除いた507.7ktとした。

(2)仮定

アルミ合金のMnもアルミリサイクルシステムで回収されているが、金属Mnとしての回収とは看做さなかった。

乾電池、フェライトは、将来技術的に回収可能となるとみなした。

酸化剤、亜鉛精錬酸化剤は、将来も回収できないとみなした。



| 各種量 | 数量(t) | 備考 |
|---------|--------|----|
| 生産量 | 130358 | |
| 全天然資源量 | 91168 | |
| 需要量 | 74260 | |
| 現リサイクル量 | 43835 | |
| 使用済全可能量 | 52295 | |

| リサイクル材使用率 | 32% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 123% |
| リサイクル材可能性率 | 11% |

出典:クォータリー鉄2000年9月 (鉄源協会?)

場の海外移転に伴い減少傾向である

老廃スクラップは、高度成長期やバブル期に大量に投入された鉄鋼製品 の老朽化により増加傾向にある。

鉄源配合率を見ると現用では転炉スクラップ8%電炉95%鋳物89%となっ ており、鉄鋼生産の低減が続く中で老廃スクラップの増加に対応 するために転炉のスクラップ配合率の増加が望まれる。

スクラップの増加に備えて、輸出が300万tから500万tとなる時期がくるで あろう

スクラップからの不純物混入の問題。特に問題となるのは銅と錫である。 亜鉛は高温処理工程で除去できる。現在、棒鋼で銅0.4~0.6%、形鋼 0.3%深絞り鋼板0.06%となっており、市中老廃スクラップの平均成分が0.3~ 0.4%ぐらいになっており、形鋼原料として既に希釈が必要となっ ている。希釈材は銑鉄や新断屑で行われるが、高価であることが問題であ

(2)仮定(出典:林誠一:転換点に立つ日本の鉄リサイクル(日鉄技術情報セ

国内購入スクラップを業界自主調査で、加工スクラップ651万t(19%)、老 廃スクラップ2781万t(81%)と分けて推定している。

(3)問題点(出典:林誠一:転換点に立つ日本の鉄リサイクル(日鉄技術情 報センター)

2000年度国内スクラップ供給量は、4700万t、国内消費量は4370万t、こ の差330万は統計上の不備によるものである。

で述べた統計上の不備による供給量と消費量の差330万tは、高炉メー カーが系列電炉メーカーの分譲した自家発生屑が国内購入屑に含まれる ため供給量が過大となる。また、在庫は鉄鋼工場や鋳物工場の在庫は把 握されているが、流通やスクラップ業者の在庫が把握されていない。 この他、輸出は流通段階から船積みされるの別項目で把握されていない。

鉄スクラップの輸出量は、財務省の通関統計その他屑(コード No.HS720449900) で把握されてきたが、最近高炉リターン屑や中古のエン

ブロックなどが入り、市中屑だけでなくなった。2000年度輸出量308万tの 内、高炉リターン屑が112万t、エンジン屑が90万tで、市中屑は110万tに過 ぎない。

2000年度国内スクラップ回収の推定量の内訳は、以下の如く考えられて いる:

自家発生スクラップ 11445

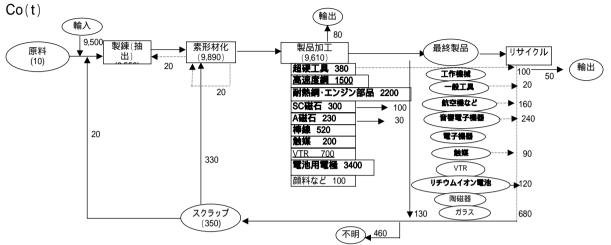
加工スクラップ 6350

土木(35) 2120

建築(27) 6050

機械(20) 7540

自動車(10) 4930



| | 重量(t) | |
|---------|-------|--|
| 生産量 | 9,870 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 9,500 | 全天然資源量は、輸入された地金7476t、水酸化コバルト197t、酸化コバルト1827tの総和とした。 |
| 需要量 | 9,610 | 需要量は、製品量9530tと輸出量80tの合計9610tとした。 |
| 現リサイクル量 | 370 | 現りサイクル量は、スクラップから地金として使用されている201、製造工程から地金として返される201、とスクラップから製造工程にリサイクルされている使用済み工具180tと使用済み磁石150tの合計370tである。 |
| 使用済全可能量 | | 使用済全可能量に関しては、現状ではリサイクルされていないが、今後リサイクルされるであろうと |
| | | 期待できる製品量(下線があるもの)と現りサイクル量(太字)の総和とした。 |

| リサイクル材使用率 | 4% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 96% |
| リサイクル材可能性率 | 87% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 輸入通関統計 通産省資源統計年報 工業レアメタル No.116 2000 金属時評 no.1773 Mineral Facts and Problems 1985 Edition Cobalt Availability-Market Economy Countries

(1)説明

工作機械は利用形態は超硬工具としてであり、含有率は10%で、使用済みチップとして専門業者が集荷している。

製造工程に投入さている原料は、9890tで、製品の生産量は 9610tである。歩留まりとして、約97%と見なされる。

(2)仮言

ニッケル水素リチウム電池の電極材料(Co含有量:5~20%)は、現在リサイクル流通システムがなく、また効果的なリサイクル技術もないため、

リサイクルされていないが、使用量が非常に大量であるので、現 在回収技術の開発がされていて、近い将来リサイクル可能とな ると考えた。

Ni-Cd電池の電極材料(Co含有量:5%)は、Cdの法的規制から全量回収されており、将来はCoも全量回収されると考えた。

一般工具は切削工具や炉製品、エンジン部品などに使用されており、含有率は4~40%で、使用済み工具や鋼材スクラップという形態で使用済みに

なっていて専門業者が集荷し、特殊鋼用の溶解原料として使用 しており、現在はリサイクルの流通が乏しい事と、経済性がない ことで、リサイクルが十分では

ないが、将来リサイクルが全てできるであろうと考えて、使用済全可能量に含めた。

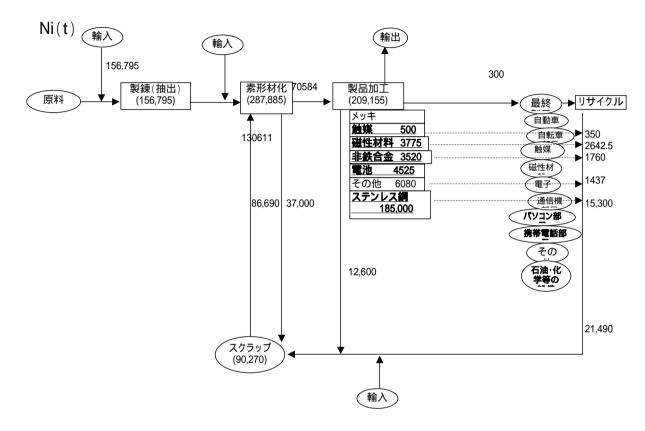
音響電子機器や、電子機器については、Co含有率が4~100%まであり、機械部品という形態で一部専門業者がリサイクルしているが

全体のリサイクルの流通システムが今後開発されるとして使用 済全可能量に含めた。

VTR磁気テーブのコーティング層添加剤としてかなりの量使用されているが、現在リサイクルはされていない。 将来経済性が改善されてリサイクルは可能と考えた

石油精製用触媒は、Co含有量2%と低く、現在経済性からりサイクルされていない。将来は可能であると仮定した。

/ 2 \ 問題占



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|---------|--|
| 生産量 | | 生産量は、天然資源量と現りサイクル量の合計とした。 |
| 全天然資源量 | | 天然資源量は、ニッケル精鉱92295kt、フェロニッケル輸入量9314kt、ニッケルで約k輸入量64500kt、及び中間 |
| | | 製品輸入量合計61270ktの合計とした。 |
| 需要量 | 208,448 | 需要量は輸出入を含む最終製品の全ての合計とした。 |
| 現リサイクル量 | 90,270 | 現りサイクル量は、ステンレス鋼の発生スクラップ37000kt、加工スクラップ12600kt、老廃スクラップ15300kt、輸 |
| | | 入スクラップ15600kt、ニッケル合金スクラップ6190kt、及びその輸入スクラップ3580ktの合計とした。 |
| 使用済全可能量 | 147,720 | 使用済全可能量に関しては、現状ではリサイクルされていないが、今後リサイクルされるであろうと |
| | | 期待できる製品量(下線があるもの)と現リサイクル量(太字)の総和とした。 |

| リサイクル材使用率 | 28% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 109% |
| リサイクル材可能性率 | 28% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 輸入通関統計 Mineral Commodity Summaries 1999 新金属データブック

生産工程に投入した量は291465ktであり、生産量は208855kt であるので、生産工程の歩留は約72%と見なされる。

(2)仮定

ラジオ、テレビのマグネットとして使用されているAl-Ni-Co磁 石は、Ni含有率1~28%で、現在は解体技術がなくリサイクルさ れていないが、

今後、その回収技術が向上して、100%回収できるとして、使用 済全可能量に含めた。

電子機器のリードフレームに使用されている、42ニッケルはNi 含有率は42%と高いが、現在経済性が無い理由で、回収されて いないが

今後、その回収技術が向上して、100%回収できるとして、使用 済全可能量に含めた。

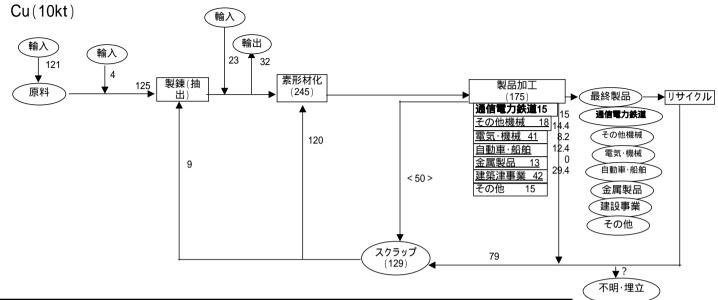
触媒は、石油化学のラネーニッケル触媒がNi含有量50~ 80%と高く、油脂加工のアルミナNi触媒も15%と高い、しかし石 油精製のNi触媒は

Ni含有量4%と低いが、触媒は技術的理由から全量リサイクル の努力がなされているので、将来100%可能とみなした。

(3)問題点

生産量を天然資源量と現りサイクル量の合計としたのは、新 金属投入量の合計である。実際の製品生産量はそれまでの前 工程の歩留を考慮する必要があであろう。

天然資源量は、原料として使用された量の合計を示しており、 需要量は、製品として製造された段階の量を示しているので、そ れまでの歩留を考慮しなければ、天然資源依存量が100%を超え る場合もありうることになる。



| | 数量(10kg) | 備考 | |
|---------|----------|--|--|
| 生産量 | 277 | 生産量は、天然資源とリサイクル量の合計とした | |
| 全天然資源量 | 144 | 天然資源は、鉱石輸入量121は輸入電気銅23tの合計とした | |
| 需要量 | 175 | 需要量は、最終製品175t、と電気銅輸出32tの合計175tとした | |
| 現リサイクル量 | 133 | 現りサイクル量は、回収スクラップ129tと屑4tの合計133tとした。リサイクル量は、現状電気・機械が20%の8.2t、自動車・船舶が40%の12.4t、通信・電力・鉄道が100%の15t、その他機械が80%の14.4t、建設事業が70%の29.4t回収されていて、金属製品は0%、その他は不明として回収からはずしたので、79tと推定される。しかし、スクラップ量としては、129tが使用されているとされているので、その差50tは、加工屑から供給されているものと推定した。推定量50tは、< > で示した。 | |
| 使用済全可能量 | 160 | 全可能は、最終製品175の中その他15が回収できないとし、その他以外の項目は全て将来的に回収可能とした。 | |

| リサイクル材使用率 | 48% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 82% |
| リサイクル材可能性率 | 15% |

出典 最終製品 資源統計月報

日本電線工業会資料 日本伸銅協会資料

フロー参考日本メタル経済研究所資料

⊤〕詳細説明

生産加工工程で、電気銅125t、スクラップ120tの合計245tが投入されているが、工程屑として50tが発生すると推定され、最終製品量は175tである。残り20tが電線、及び伸銅品での輸入量と推定される。加工屑の発生割合は20%である。

(2) 仮定

通信電力鉄道に使用されている形態は電線としてであり、現在はリサイクルが100%行われている状況であり、今後もこれは継続されるだろうと考えて、

使用済全可能量に含めた。

その他の機械及び電気・機械に関しては現在多くが処分されているが、この処分が将来減少するだろうと考えて

使用済全可能量に含めた。

自動車・船舶に関しては、廃車輸出や海外で再資源化されているため、 今後も出来るだろうと考えて使用済全可能量に含めた。

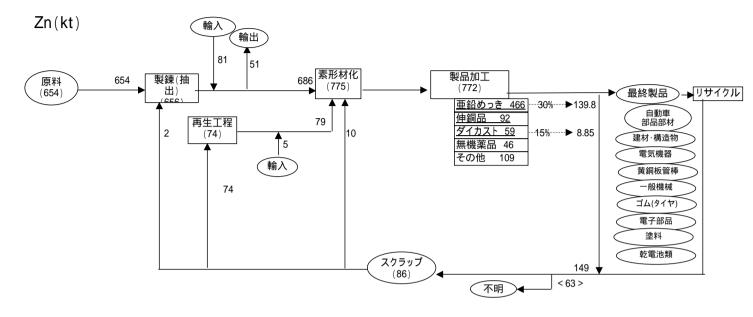
建築事業は補修系はリサイクルが盛んに行われており、解体系もかなりの割合でリサイクルされているので、今後も推進されるだろうと考えて使用済全可能量に含めた。

金属製品の日用品にかんしては、生産・排出・回収ともに不明な部分が多く、板金製品などの一部が回収されている。この回収が進み、将来全てリサイクルできるようになると考えて、使用済全可能量に含めた。

スクラップ量は、129tである。現状のリサイクルは電気機械41tの20%、自動車・船舶31tの40%、通信・電力・鉄道15tの100%、その他機械18tの80%、建設事業42tの70%を加えると79tとなる。従って、最終製品工程から加工屑を50tと推定した。

(3)問題点

最終製品の輸出がある。その量は、はっきりしていないがプロセス245tで、最終製品の国内需要が175tであるので、その差20tを輸出と推定することも出来るが、データがない。それで、今回は、生産と需要の置ける在庫の差として輸出としては取り扱わなかった。



| 各種量 | 数量(kt) | 備考 |
|---------|--------|--|
| 生産量 | 826 | 生産量は、天然資源とリサイクル量の合計 |
| 全天然資源量 | 735 | 天然資源は、鉱石654と輸入81の合計 |
| 需要量 | 823 | 需要は、最終製品772と地金輸出51の合計823tとした。 |
| 現リサイクル量 | 91 | 現状リサイクル量は、資源統計から再地金74、屑12、輸入5の合計91とした。 |
| 使用済全可能量 | 361 | 可能量は、最終製品772から無機薬品46、その他109、と亜鉛めっき回収40%まで可能とし、また伸銅品、ダイカストは100%回収と仮定して計算した。 |

| リサイクル材使用率 | 11% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 89% |
| リサイクル材可能性率 | 33% |

出典 資源統計月報 2000年1月~12月 日本メタル経済研究所資料

(1)詳細説明

(2)仮定

亜鉛メッキの主要製品は自動車部品部材や建材・構造物、電気機器であり、リサイクルはされやすいだろう考えて

40%までされると仮定して、使用済全可能量に含めた。

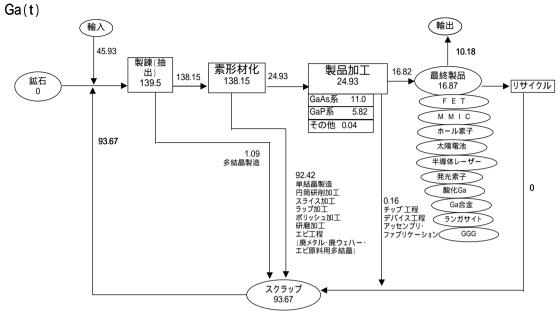
伸銅品の主要製品は黄銅板管棒であり、リサイクルはされや すいだろうと考えて、全てリサイクルされると仮定して、使用済全 可能量に含めた。

ダイカストの主要製品は、自動車部品、電気機械、一般機械 であり、伸銅品同様リサイクルは今後されやすいだろうと考え て、全てリサイクルできると仮定して 使用済全可能量に含めた。

製錬工程、再生地金工程の歩留は100%と仮定、加工工程の 歩留も99%と高い値を仮定している。

(3)問題点

現状リサイクル量は、後述のごと149tあると推定されているが、資源統計からスクラップは、再地金74、屑12、輸入5の合計91となっている。現状リサイクルは、亜鉛めっきが30%の39.8、ダイカストが15%の8.85tであることになっており、それで149tである。しかし、使用済み亜鉛めっき鋼板から30%もの回収がるのか疑問がある。むしろ製造工程での亜鉛ダストからの回収ではないか?また、149tのリサイクルの内資源統計では86tしかスクラップは使用されておらず、残り63tは不明である。この63tは<>をはけてテートで



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|--|
| 生産量 | 139.6 | |
| 全天然資源量 | 45.93 | |
| 需要量 | 16.87 | 需要量は輸出入を含む最終製品の全ての合計とした。 |
| 現リサイクル量 | | 左記のリサイクル材使用率は工程(加工)スクラップ時の値である。 |
| | | 現りサイクル量は、加工段階にできた加工屑がリサイクルスクラップとして回っている量を用いた。(老廃屑は0である。) |
| 使用済全可能量 | 6.66 | |

| リサイクル材使用率 | 67% |
|------------|--------------|
| 天然資源依存率 | 272% |
| リサイクル材可能性薬 | 経 39% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団

(1)詳細説明

工程スクラップ量は122.64t、集荷工程スクラップは93.67t、及び未集荷工程スクラップが28.96t存在している。

(2)仮気

本マテリアル・フローでは、スクラップの定義を工程スクラップ を加えず、老廃屑のみということにしているので、今回は未集荷 工程スクラップは使用済全可能量には含めず、スクラップとして 集荷スクラップ93.67:だけとした。

金属プロセスから製造プロセスに外目では138.41t流れていく 図になっているが、実際には0.26tの未回収スクラップが存在す る為に138.15tになっている。

製造プロセスから製品プロセスに外目では45.73t流れていく 図になるはずだが、実際には20.80tの未回収スクラップが存在 する為に24.93tになっている。

製品プロセスから最終製品量に外目からは24.77t流れていく 図になるが実際には7.95tの未回収スクラップが存在する為に 16.82tになっているが

実際の最終製品量は16.87tになっている。これは、統計誤差範 囲内とみなした。

使用済みリサイクル可能量は、生産量16.82tから輸出量10.18 tを引いた、国内消費量6.66tが、将来全量回収可能になると見なした。

(3)問題点

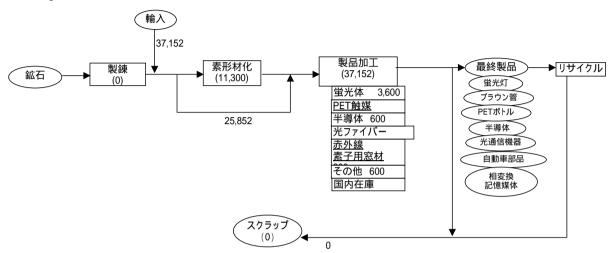
リサイクル材可能性率に関して、輸出の割合を示すだけの値になってしまっていることは問題として残る。

天然資源依存率が、272%と非常に大きくなるのも、工程歩留が悪く、良質の工程リサイクル材が輸入材の2倍も使用されているにもかかわらず、それを反映していない今回の取り扱いによるところにも関係していて、問題を残している。

FET = Field Effect Transistor

MMIC = Monolithic Microwave Intergraed Circuits アンプ・スイッチ・ミキサー・複合IC

Ge(kg)



| | 重量(kg) | 備考 |
|---------|--------|---|
| 生産量 | 37,152 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 37,152 | 全天然資源量は二酸化Geと金属Ge輸入量の総和とした。 |
| 需要量 | 32,100 | 需要量は在庫を除いた輸出入を含む最終製品の全ての合計とした。 |
| 現リサイクル量 | 0 | 現リサイクル量は現在リサイクルされている量の総和とした。 |
| 使用済全可能量 | 32,100 | 使用済全可能量は、Pet触媒20.7、赤外線素子0.6、が今後リサイクルされるであろうと見なした。 |
| | | |

出典

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 116% |
| リサイクル材可能性率 | 100% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 通関統計 新金属データブック2000 Mineral and Problems 1985 Edition

(1)詳細説明

塩化ゲルマニウムは、光ファイバーのドープ材として使用さ れ、光ファイバーにコーティングされている。

Ge原料は、金属Geとして6718kgと二酸化Geとして30434kgが 輸入されている。

(2)仮定

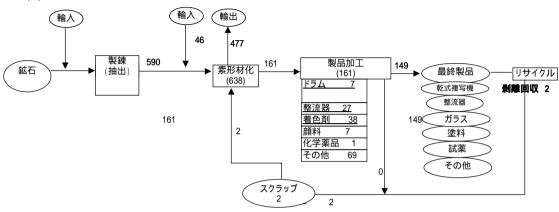
酸化ゲルマニウムの蛍光体は、蛍光灯にコーティングされる 膜として使用されており、今後剥離処理の経済性が出ればリサ イクルは出来るであろう。

PETボトル触媒は、全てリサイクルできるだろうと考えて、使用 済全可能量に含めた。これは集めて剥離処理が経済的に出来 るようになれば、リサイクルは可能である。

金属ゲルマニウムは、自動車の赤外線素子用窓材として使用 されており、現在はリサイクルされていないが、経済的に集積出 来ればリサイクルできるとして使用済全可能量に含めた。

その他の相変換記憶媒体も、今後経済的にリサイクル可能と 考えた。

Ge原料から、4塩化Ge10400kgとGe多・単結晶900kgを製造す る。4塩化Ge10400kgから2酸化Ge10400kgを製造するとあるが、 この歩留まり100%は理解できないし、何故再び2酸化Geを製造す るのかも理解できない。残り、輸入された2酸化Geの内25852kg はそのまま製品製造の原料として使用されている。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---------------------------|
| 生産量 | 161 | |
| 全天然資源量 | 159 | |
| 需要量 | 149 | |
| 現リサイクル量 | 2 | ドラムは剥離回収をしたのり、リサイクルされている。 |
| 使用済全可能量 | 72 | |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 1% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 107% |
| リサイクル材可能性率 | 47% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 工業レアメタル No.116 2000

資源統計年報(平成11年版)

鉱業便覧(平成12年版)

日本貿易月報(平成12年12月号)

レアメタルニュース

業界ヒアリング

出典

(1)詳細説

Seの鉱石としては、銅電解スライムとミスト・コットレルとなっているが、双方とも生産量及び輸入量は不明である。金属Seは590t精製されている。

また、金属Seは生産量590t全てが国内生産でまかなわれている。

(2)仮定

使用済み全可能量は、ドラム7、整流器27、着色剤38が将来 回収可能になると見て、その合計を示した。

整流器、顔料は、資料に「経済性がない」ので、現在リサイクルされていないとされている。整流器は将来経済性が出てくると考えて、使用済全可能量に含めた。顔料は使用後は回収不能なので含めなかった。

着色剤の応用製品はガラスであり、使用済みの形態は破損 ガラスとしてだが、ガラスの中のSeの含有量が多い場合回収す べきと考えて、

今回は使用済全可能量に含めた。

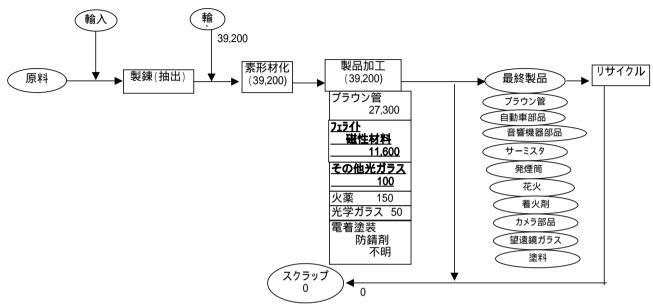
(3)問題点

金属Seを製造の段階で5251輸出していると記入されている工業レアメタルと、4771製造の段階で輸出しているという鉱物資源マテリアルフローとがあるが、

525tを採用すると国内向け最終製品162tの存在が、111tしか存在しなくなるという矛盾が生じる。

金属Seの生産量・輸出量は、日本鉱業資料に見られるが、輸入量46tの記述が現有の資料に見られない。業界ヒヤリングを含めてデータを纏めた金属鉱業事業団の判断であろう。





| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 39200 | 生産量は、天然資源量と現りサイクル量の合計とした。 |
| 全天然資源量 | 39200 | 天然資源量は、輸入炭酸ストロンチウム39,000tと輸入硝酸ストロンチウム200tの号kウィとしした。 |
| 需要量 | 39200 | 需要量は輸出入を含む最終製品の全ての合計とした。 |
| 現リサイクル量 | | 現りサイクルは、されていない。 |
| 使用済全可能量 | 11700 | 使用済み可能量として、フェライト磁性材料11,600tとその他光ガラス100tは、将来回収狩野と看做した。 |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 100% |
| リサイクル材可能性率 | 30% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 新金属データブック 00 工業レアメタル 00 レアメタルニュース 2001.2.24

(1)詳細説明

(2)仮定

フェライト磁性材料は、利用形態として炭酸塩で添加、成形焼 結されているものだが、資料にはリサイクル流通システムがなく 経済性がないという

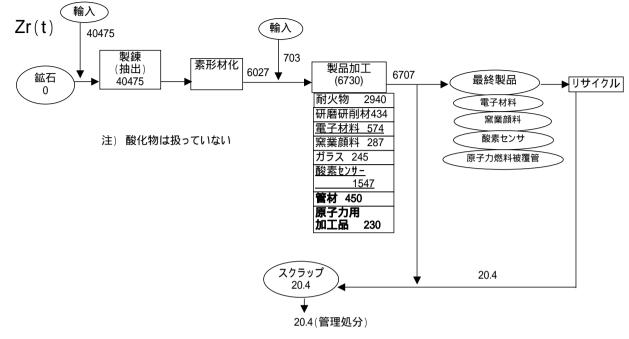
理由でリサイクルされていないということだったので、将来リサイクル流通システムが確立されれば、リサイクルできるとして、使用済全可能量に含めた。

その他光ガラスの主な応用製品はサーミスタとなっており、利用形態は、各種金属酸化物の混合焼結成形となっているが、資料によると

これも、リサイクル流通システムがなく経済性がないという理由でリサイクルされていないということだったので、将来、リサイクル流通システムができると

考えて、使用済全可能量に含めた。

()問題点



| | 重量(t) | 備考 |
|------------|--------|----|
| 生産量 | 6750.4 | |
| 全天然資源量 | 6730 | |
| 需要量 | 6686.6 | |
| 現リサイクル量 | 20.4 | |
| | | |
| (大田)立入 マル目 | 0.10.1 | |
| 使用済全可能量 | 2121 | |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 11% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 238% |
| リサイクル材可能性率 | 66% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 工業レアメタル No.116 (2000)

資源統計年報(平成11年版)

工業便覧(平成12年版)

日本貿易月表(平成12年12月号)

レアメタルニュース

(1)詳細説明()内はZr純分 業界ヒアリング

製造プロセスで出来たZrの内訳として、乾式法で製造された酸化Zrは2135t(3050t)、湿式法で製造されたZrは2954t(4220t)、それ以外に輸入酸化Zrが665t(950t)がある。

表記には生産量がこの三つの合計の6027t(8610t)となっているが、なぜ輸入された酸化Zr(ジルコニア)が生産量に含まれているのかは不明である。

管材(ジルカロイ被覆管)のうち、200tは国内で生産しており、 残りの250tは輸入に頼っている。また原子力用加工品(ジルカロイ)は230t全てが

輸入に頼っている。この際の管材の歩留りは89.6%となっている。

(2)仮定

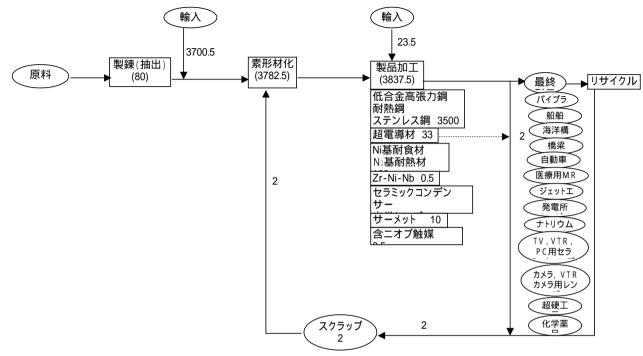
リサイクルから20.4t廃棄されているものは主要応用製品として原子力から出されているもので、最終廃棄物は放射性廃棄物として保管されており、今回はこれを現りサイクル量とみなした。

電子材料及び酸素センサに関しては、現在リサイクルされておらず、添加剤として使用されているが、センサーとしての回収は出来るとして使用済全可能量に含めた。

(3)問題点

原料の総輸入は40475tと大きいが、生産量は6027tと非常に少ない。今回は耐火物 < 鉄鋼用耐火煉瓦 > を省いているが、その耐火物 (鉄鋼用耐火煉瓦:10608t)を入れても生産量に追いつかない。理由の推測として、精製方法がアルカリ溶融法(乾式法と湿式法が存在いている)であり歩留りがかなり悪い製造方法という可能性があるために、このような状況が起きているのかもしれないが、今回はそこまで突き詰める事は出来なかった。(歩留り41%)

 $\mathsf{Nb}(\mathsf{t})$ Appendix $\mathrm{I\!I}$



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 3,783 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 3,781 | 全天然資源量は金属生産80%と輸入金属3700.5%の合計3780.5%とした。 |
| 需要量 | 3,838 | 需要量は国内消費量3814はと製品輸入量23.5tの合計3837.5tとした。 |
| 現リサイクル量 | 2 | 現りサイクル量はNb-Ti合金の線材加工くずとして約5%が発生するとして33x0.05=1.65tから2tとした。 |
| 使用済全可能量 | 204 | 使用済全可能量は、低合金高張力鋼、耐熱鋼、ステンレス鋼は含有率が0.003~0.6%で将来も回収しないと看做した。超硬工具も含有率1%で回収しないとした。超電導材は線材加工屑で回収される他、含有率が10%であり将来33 t回収されるとした。ジェットエンジン、発電用タービンのスーパーアロイは、含有率が5%であり、将来100t回収されるとした。ナトリウムランプは、含有率99%であり、将来0.5t回収されるとした。セラミックコンデンサーは含有率0.1~0.5%であり、回収されないと看做した。光学レンズは含有率10%で、将来光学レンズ用推定70t回収されるとした。触媒は含有率56%で、将来0.5t回収されるとした。 |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 99% |
| リサイクル材可能性率 | 5% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 通産省鉄鋼統計月報 大蔵省通関統計 (社)新金属協会レアメタル31 新金属データブック(金属時評2000年版)

(1)詳細説明

金属として生産された80tは、光学レンズ用酸化ニオプ70tと超硬材料用炭化ニオブ10tの合計である。

金属として輸入された3700.5tは、フェロニオブ3500 t、真空グレードニオブ合金100t、金属ニオブ10t、酸化ニオブ100t、水酸化ニオブ0.5tの合計である。

製品量は、リサイクルの現状の使用済み品の存在 形態・量から、鉄屑・ステンレス屑3500t、廃MRI, NMR33t、廃スーパーアロイ100t、ナトリウムランブ0.5 t、セラミックコンデンサー及びレンズ179t、廃超硬工具 10t、廃触媒0.5tのデータから求めた。これは、今後、 製品統計から求める必要がある。

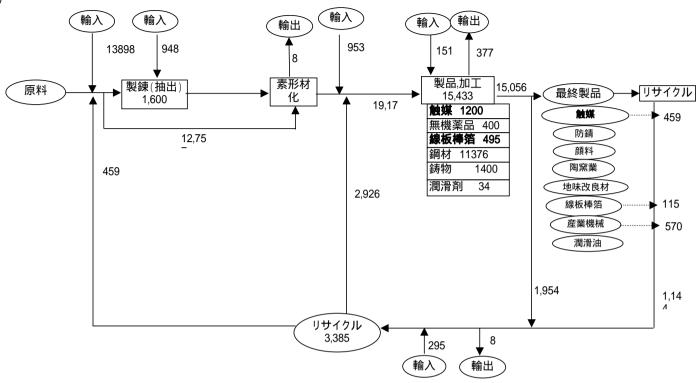
製品輸入量は、輸入されたNb-Ti合金20t、耐食材料3tとNb1%Zr合金0.5tから求めた。

(2)仮定

(3)問題点

ニオブ鉱石の輸入量が今回の資料に示されていない。

Mo(t)



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 17094 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 15950 | 全天然資源量は鉱物、加工、精製、最終製品時の純素材輸入量の総和とした。 |
| 需要量 | 15433 | 需要量は輸出入を含む最終製品の全ての合計とした。 |
| 現リサイクル量 | 1144 | 現リサイクル量は現在リサイクルされている量の総和とした。 触媒のリサイクル量は459t、線板棒箔のリサイクル量は115tである。 |
| 使用済全可能量 | 1318 | 触媒と線板棒箔の全量が可能とした |

| リサイクル材使用率 | 7% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 103% |
| リサイクル材可能性率 | 8% |

出典

工業材料 Vol.40 No.12 1992年10月号 輸入通関実績1989 Mineral Commodity Summaries 1989 工業レアメタル No.101 1990

(1)詳細説明

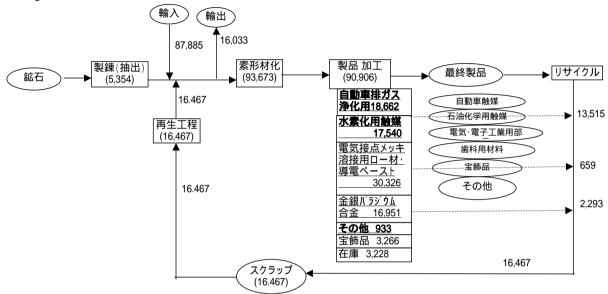
輸入原料は、モリブデン培焼鉱を示す。製錬工程は、モリブデン酸塩と高純度酸化モリブデンの生産量を示した。原料の大部分は、製錬工程を通らず、直接素形材化工程に使用される。素形材化工程は、金属モリブデン、フェロモリブデン、酸化モリブデンブリケット、モリブデン・クリンカーの生産量を示した。

(2)仮定

無機薬品に関しては、添加剤として使用されているのと、塗膜にした場合に製品全体に対して微量であるために、リサイクルはできないと仮定した。

触媒、線板棒箔は、将来技術的に全量リサイクル可能として 使用済全可能量に含めた。

鋼材、鋳物はMo金属としてのリサイクルではなく、夫々の材料としてリサイクルされ、有効成分としてリサイクルされているとみなした。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|---------|---|
| 生産量 | 109,706 | 生産量は、天然資源量と現りサイクル量の合計とした。 |
| 全天然資源量 | 93,239 | 天然資源量は、地金生産量5,354kg、輸入量87,885kgの合計93,239kgとした。 |
| 需要量 | 87,678 | 需要量は製品合計量90906kgから在庫量3228kgを除いた87678kgとした。 |
| 現リサイクル量 | 16,467 | 現りサイクルとして、自動車排ガス浄化用と水素化用使用済み廃触媒から合計して13、515kg、電気接点などからの発生スクラップ659kg、金銀パラジウム合金の特に歯科治療発生スクラップ2293kgがリサイクルされ |
| 使用済全可能量 | 68,626 | リサイクル可能量としては、宝飾品と在庫を除き全量可能と看做した。 |

| リサイクル材使用率 | 15% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 106% |
| リサイクル材可能性率 | 59% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 工業レアメタル No114~116 パラジウム輸入通関実績 使用済触媒資源化実績報告書(2000) 使用済触媒資源化協会 触媒工業協会報 第83号 触媒工業協会

(1)詳細説明

鉱石は、陽極スライムからであり、これから5,354kgの生産がある。 製造は、地金、再生地金から、化成品、特に塩化パラジウム、と各種合金、特にパラジウム-白金の生産である。

輸出は、地金としての輸出である。

(2)仮定

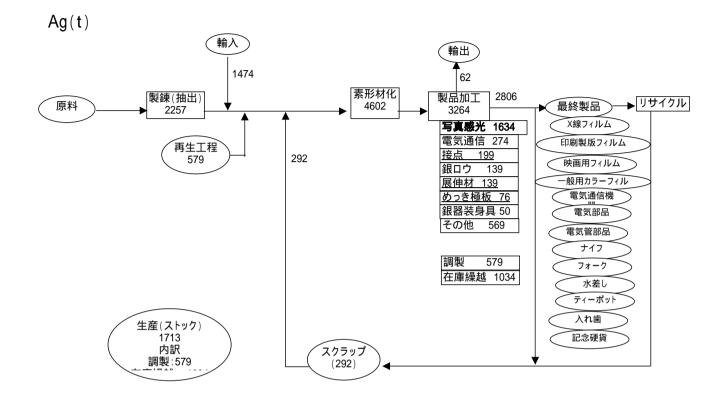
自動車排ガス浄化用及び水素化用触媒は、利用形態が触媒であり、現在リサイクルの実態として、白金、パラジウム、ロジウムと分離・精製して再使用されており、この効率が上がれば全てをリサイクルできると考えて、使用済全可能量に含めた。

電気接点、メッキ、溶接用ロー材、導電ペーストは、リサイクル実態が収集及び分別に難があるものの、

パラジウムを分離・精製して再生するということなので、現在は加工屑としてのみりサイクルされているが、

将来老廃屑もリサイクルされるだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。 金銀パラジウム合金の主な応用製品は歯科用材料であり、使用済の形態は切削屑や老朽金冠などであるが、リサイクル実態が、パラジウム、金、銀を

分離して精製されているため、収集に多少難しさがあるが回収及び再生で きると考えて、使用済全可能量に含めた。



| 各種量 | 数量(t) | 備考 |
|--------|-------|--|
| 生産量 | 4044 | 天然資源量と現りサイクル量の合計とした。 |
| 全天然資源 | 2741 | 天然資源は鉱石59t、輸入鉱石1474tと輸入地金1208tの合計 |
| 需要 | 3285 | 需要は、最終製品31000はと輸出1850の合計 |
| 現リサイクル | 1303 | 現リサイクル量は、リサイクル量292t、再生銀579tとその他432tの合計 |
| 使用済全可能 | 2067 | 可能量は、写真、接点、伸展材、極板100%可能とした |

| リサイクル材使用率 | 32% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 83% |
| リサイクル材可能性率 | 23% |

出典 貴金属の科学 新金属データブック 貴金属の回収と精製 工業便覧 通産省資源統計月報1999年度

(1)詳細説明

ここの数値とその表し方は、工業レアメタルの表現に従ってい る。

(2)仮気

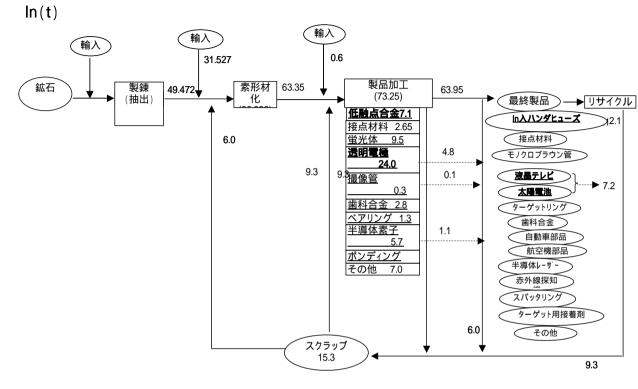
写真感光の応用製品はX線フィルムや印刷製版フィルム、映画用フィルム、一般用カラーフィルムと印画紙になっているが、現在もリサイクルされており、

今後も推進されるだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。 接点の応用製品はコネクターなどの電気部品であり、使用済 みの形態などは不明だが、リサイクルできる状態だろうと考え て、使用済全可能量に含めた。

展伸材及びメッキ極板に関しては、板ということで屑になっていたリスクラップ上になっているだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。

(3)問題点

在庫繰越量をどのように表現するかが問題で、ここでは生産、製造にその量を含めていない。また、調整という表現も理解しがたい表現であるが、ここでは再生工程に回る分と解釈して生産工程に加えている。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 96.3 | |
| 全天然資源量 | 81.0 | |
| 需要量 | 64.0 | |
| 現リサイクル量 | 15.3 | 現りサイクル量は現在リサイクルされている量の総和とした。 |
| | | 低融点合金、透明電極についてはリサイクル量が不明だった為、リサイクル率を30%として計算した。 |
| | | 透明電極、撮像管、半導体素子については加工屑としてされているが不明だった為に、歩留りを20%として |
| | | 計算した。(透明電極4.8t、撮像管加工屑0.1t、半導体素子1.1t) |
| 使用済全可能量 | 54.3 | |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 16% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 127% |
| リサイクル材可能性率 | 61% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 経済産業省資源統計 業界ヒアリング

レアメタルの高度リサイクル利用促進に関する調査研究報告書(新金属協会 1989/3)

粗Inの供給量は80.999t(経済産業省統計より)となっている が、実際に生産されているのは、普通純度用の54.65tと高純度 用の8.7tであり、

(共に業界からのヒアリングより)合計すると63.35tとなり、歩留り は78%となっている。

(2)仮定

低融点合金(In含有率4~52%)に関しての主要製品は、In入り ハンダヒューズが挙げられており、使用済みの形態として、 リボン、テープ、線、棒、板状で使用され、ハンダの使用済品は メーカーへ返却されているために、現在スクラップ市場には出 回っていないが、

今後出回るだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。

蛍光体の利用形態は、モノクロブラウン管でありIn含有量は 55%である。使用済みの形態は粉状かブラウン管内部の塗布膜 状であり、

現在リサイクルはされておらず、蛍光体の機密保持のため埋立 廃棄されているが、リサイクルできる状態にあるのは事実とみな

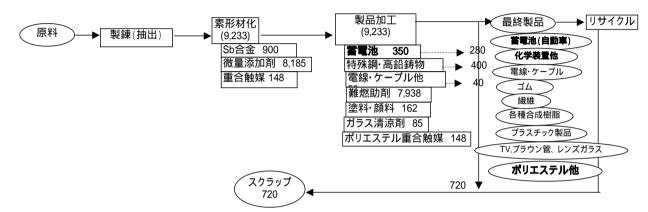
リサイクルできるとして使用済全可能量に含めた。

歯科合金は円筒状、丸形チップ状、平板状に加工されており、 使用済みの形態として、切削片や老朽王冠状などであるが、貴 金属を対象とし

専門業者がリサイクルしているようで、それを踏まえて、リサイク ルできるとした。

問題点

Inの鉱石は、鉛・亜鉛精錬副産物から産出されるが、その量及 び輸入されているのかどうかは不明である。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 15824 | 生産量は全天然資源量と現りサイクル量の和とした。 |
| 全天然資源量 | 15400 | 全天然資源量は鉱物、加工、精製、最終製品時の純素材輸入量の総和とした。 |
| 需要量 | 8863 | 需要量は輸出入を含む最終製品の全ての合計とした。 |
| 現リサイクル量 | 424 | 現りサイクル量は現在リサイクルされている量の総和とした。 |
| | | 蓄電池162t及び硬鉛鋳物98t及びその他(アンチモン合金270t)に関しては、現行のリサイクル率80%で |
| | | リサイクルされているとし、リサイクル剤使用率及びリサイクル可能性率に当てはめた。 |
| 使用済全可能量 | 530 | 使用済全可能量に関しては、現状ではリサイクルされていないが、 今後リサイクルされるであろうと |
| | | 期待できる製品量(下線があるもの)と現りサイクル量(太字)の総和とした。 |

| リサイクル材使用率 | 3% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 174% |
| リサイクル材可能性率 | 1% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 工業レアメタル No.116 (2000) 牧野和孝ら「希少金属データベース」(1999) 日刊工業新聞社 Mineral Commodity Summaries(1998)

(1)詳細説明

本フローを作成する上で設定した仮定

自動車用蓄電池、化学装置用特殊鋼、硬鉛鋳物、電線・ケーブルなどは、アンチモンを1~5%含有する合金としてとして使用されており、現在業者

により80%以上リサイクルされている。今後管理状況を改善して 100%回収可能に出来ると考えた。

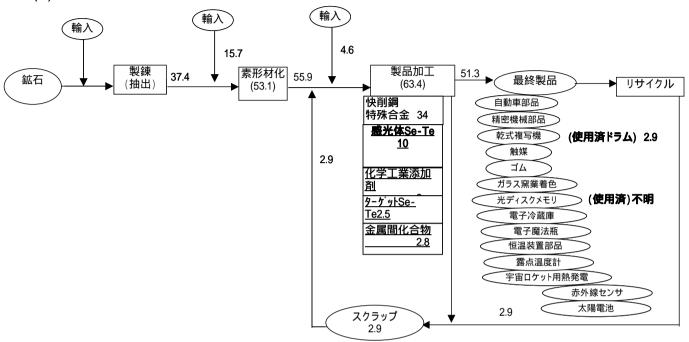
アンチモンは、最も多くは樹脂やゴムの難燃剤として使用されている。またプラスチックの塗料・顔料の添加剤、TVブラウン管、レンズなどガラス

の添加剤に使用されている、これらの用途は、リサイクルできないとみなした。

(3)問題点

ニオブ鉱石の輸入量が今回の資料に示されていない。 スクラップ720tが発生しているが、それが生産工程にどのよう に戻されているのか現在分からなかった。





| | 重量(t) | 備考 |] |
|---------|-------|---|---|
| 生産量 | 63.4 | | 1 |
| 全天然資源量 | 60.5 | 銅電解スライムとして生産及び輸入される37.4tと15.7tでは金属テルルとして生産される55.9tにならないが、 | 1 |
| | | 【これは統計データの誤差として考え、金属テルルが55.9t生産されるとして、金属テルル輸入量の4.6と加算し | た |
| 需要量 | 51.3 | | 1 |
| 現リサイクル量 | 2.9 | 感光体Se-Te最終製品量10tのうち2.9tは使用済みドラムとしてリサイクルされている。 | 1 |
| | | ターゲットSe-Teについてはリサイクルされていると表記しているが、リサイクル量は不明。 | |
| 使用済全可能量 | 17.3 | | 1 |
| | | | |

| リサイクル材使用率 | 5% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 118% |
| リサイケル材可能性率 | 28% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 大蔵省通関統計 日本鉱業協会資料 Mineral Commodity Summaries 89新金属データブック(金属時評)

(1)詳細説明

全天然資源量60.5は、租金属とその輸入量の和より統計誤差で多くなっている精製Te金属55.9とその輸入量4.6の和とした。

加工プロセスで、63.4t入っているが、実際に最終製品に使用されているのは51.3tとなっており歩留りは80.9%となっている。

(2)仮定

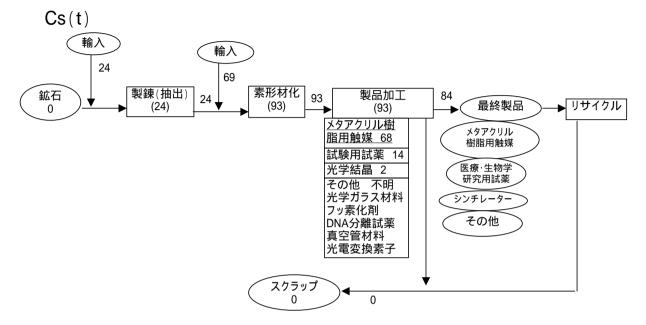
化学工業添加剤については、利用形態として「ゴム、触媒、ガラス着色に微量添加」と鉱物資源マテリアルフローに表記されていたので、

その触媒ごとリサイクルされるだろうと考えて、使用済全可能量に含めた。

使用済み全可能量は、将来も回収できないと考えた快削鋼34を最終製品量より引いて計算した。

問題点

Teの鉱石は生産量が存在している為に、多少なりとも有ると考えられるが不明である。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|------------------------|
| 生産量 | 93 | |
| 全天然資源量 | 93 | |
| 需要量 | 84 | |
| 現リサイクル量 | 0 | 現リサイクル量は現在リサイクルされていない。 |
| 使用済全可能量 | 68 | |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 111% |
| リサイクル材可能性率 | 81% |

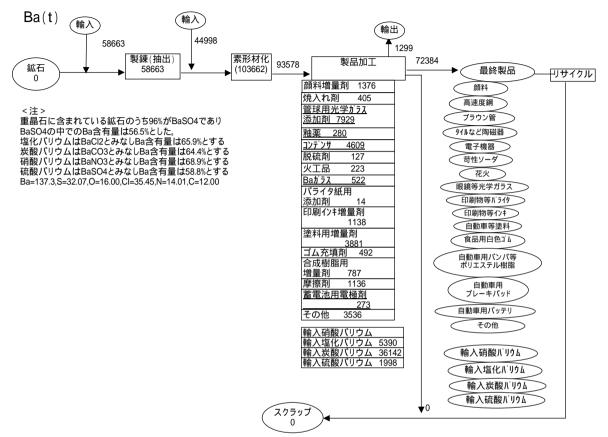
鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 Mineral Facts and Problems 新金属データブック'00

(1)詳細説明

(2)仮定

現在、メタアクリル樹脂用触媒は使用済み後秘密 保持のために保管されているが、将来それが解消されるとして、使用済全可能量に含めた。

それ以外の製品は、量が不明あるいは、使用状態が添加剤としての使用のため、リサイクルはできないとした。



| | 重量(t) | 備考 | |
|---------|--------|---|----|
| 生産量 | 103662 | | |
| 全天然資源量 | 103662 | | |
| 需要量 | | 資料に関しては重晶石に関しての最終製品の割り振りはしてあるが、鉱石として輸入している塩化パリウム、炭酸パリウム、硝酸パリウム、 硫酸パリウムに関しては、 | Δ, |
| 現リサイクル量 | 0 | | |
| 使用済全可能量 | 13613 | | |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 144% |
| リサイクル材可能性率 | 18% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 財務省輸入通関統計2000 日本無機薬品協会 U.S. Geologioal Survey

出典

(1)詳細説明

(3)パーパーパーパーパー では、 資料には重晶石の最終製品の割り振りはしてあるが、鉱石として輸入している塩化パリウム、炭酸パリウム、硝酸パリウム、硫酸パリウムは、最終製品に割り振っていなかった。そこでHPなどを参考にしてみたが、花火火工品や医療品パリウム原料及など

い 無機薬品やチタン酸バリウム反応剤などであり、回収及びリサイクルの可能性はないとした。よって、輸入されている塩化バリウム、炭酸バリウム・

硝酸パリウム、硫酸パリウムに関しては、純分のみを表記した。 またその計算方法としては上記の < 注 > を使用した。

(2)仮定

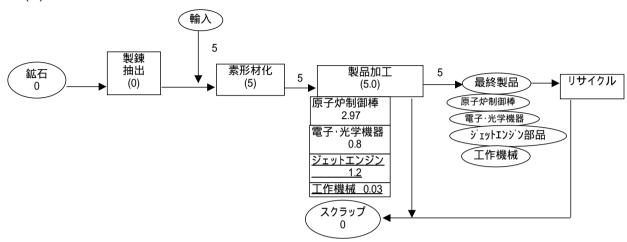
` 管球用光学ガラス添加剤およびBaガラスは主要応用製品がブラウン管やめがね等で、

ブラウン管は家電リサイクル法の施行によりリサイクルが促進されるとし、めがねは使用済みを回収できるものとして使用済全可能量とみなした。

コンデンサ(電子機器)は組み込まれたままの状態で回収されるが、それも回収できるとした。

タイル陶磁器では添加剤として使用されているが、そのタイル そのものがリサイケルできると考え、使用済全可能量とみなし

蓄電池用電極剤は、電極の骨材として使用されていると表記されていたので、将来リサイクルできるだろうとし使用済全可能量とみなした。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|----|
| 生産量 | 5 | |
| 全天然資源量 | 5 | |
| 需要量 | 5 | |
| 現リサイクル量 | 0 | |
| 使用済全可能量 | 1.23 | |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 100% |
| リサイクル材可能性率 | 25% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団

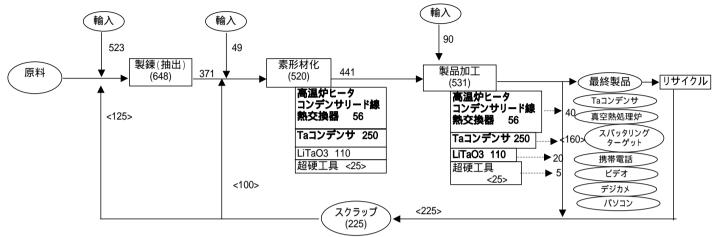
(1)詳細説明

(2)仮定

ジェットエンジン及び工作機械は、ハフニウム含有率は0.1~1.5%と小さいが、今後リサイクルは出来るだろうと考えて、使用済全可能量とみなした。

鉱石からの生産は0でありすべては輸入に頼っている。また、全てにおいて歩留りが100%であることに疑問が残る。





| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|--|
| 生産量 | 849 | |
| 全天然資源量 | 729 | 天然資源量は、5酸化タンタル生産量124tと輸入量33t、フッ化タンタルカリ523t、輸入タンタル粉末36t、輸入炭化物13tの合計729tとした。 |
| 需要量 | 571 | 需要量は、製品量481tと製品輸入量90tの合計571tとした。 |
| 現リサイクル量 | 120 | 現りサイクル量は、高温炉ヒーター、コンデンサーリード線、熱交換器、スパッタリングターゲットなどの回収40t、 コンデンサー回収120t、LITiO3回収30tと超硬工具回収5tの合計185tと看做した。 |
| 使用済全可能量 | 456 | 超硬工具以外は全量回収可能と看做した |

| リサイクル材使用率 | 14% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 128% |
| リサイクル材可能性率 | 59% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 通関統計 新金属協会資料 業界ヒアリング

(1)詳細説明

Ta粉末は、国内で233t生産されているが、その原料フッ化タンタルカリの輸入量は523tで、歩留まりは45%程度で非常に悪い

5酸化Ta生産124tと輸入量33tの合計158tから、LiTaO3が110tと炭化物14tが生産されている。

(2)仮定

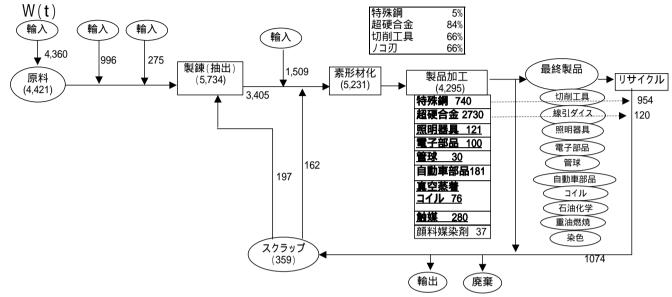
5酸化Taは、国内で124t生産されているが、原料鉱石の輸入 はなく、スクラップからの生産となっているので、歩留まりとして 良すぎるが、スクラップ125tからの生産と推定した。

コンデンサーは、Ta粉末生産量233tと輸入量36tの合計369tから250tの生産とみなした。

高温炉ヒーター、コンデンサーリード線、熱交換器、スパッタリングターゲットなど合計56tの生産は、スクラップからのTa塊から生産されているとなっているので、スクラップ100tの回収があるものと推定した。

超硬工具の生産が500tとなっているが、原料の炭化物は生産 14tで輸入が13tで合計27tしかない。そして、消費済み品の量が 13tとされている。そこで、500tは間違いであるとして、生産量を 25tと推定した。

リサイクルとして、高温炉ヒーターなどは40t、LiTaO3は20tは リサイクルの現状の資料によったが、、超硬工具は20%の回収と して5tとコンデンサー250tからの回収を原料の必要量を考慮し て、160tと推定した。これら推定値には、何れも<>で記してあ る。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 7,499 | |
| 全天然資源量 | 7,140 | 全天然資源量は,ヴォルフェラマイト輸入量996t、パラタングステン酸アンモン輸入量4360t、タングステン粉末輸入量275t、フェロタングステン輸入量431t、タングステン酸カルシュウム輸入量439t、タングステンカーバイト輸入量639tの総和7140tとした。 |
| 需要量 | 4,295 | 需要量は製品工程の合計4295tと同じにした。 |
| 現リサイクル量 | 359 | 現リサイクル量は使用済み切削工具120t、使用済み超硬合金工具類239tの合計359tとした。 |
| 使用済全可能量 | 4,077 | 使用済全可能量は、現状リサイクルされていないが、顔料媒染剤以外は、今後リサイクルされるであろうと期待して、その総和4077tとした。 |

| _ | |
|------------|------|
| リサイクル材使用率 | 5% |
| 天然資源依存率 | 166% |
| リサイクル材可能性率 | 87% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 タングステン・モリブデン工業会資料 超硬工具協会資料 通関統計資料 使用済触媒資源協会資料

(1)詳細説明

生産工程への原料投入量は5273tで、生産量は4295tとなる。 歩留は、約81%である。

特殊鋼の生産量は、14600tである。特殊鋼のW含有率を5%と 仮定して、W純分740tと計算した。

(2)仮定

< 53 >

切削工具及び超硬工具は、現在リサイクルがされており、将 来的にも全てリサイクルできるであろうと考えて、使用済全可能 量とみなした。

照明器具、電子部品、管球、コイル、触媒は、現在リサイクルはされているが、リサイクル量は不明であるため、現リサイクル量には含まれていないが、将来的に全てリサイク

ルできるであろうと考えて、使用済全可能量とみなした。

超硬合金の生産量は、W含有率66%の切削工具2653t、および超硬合金のW含有率84%として、耐摩・耐食材料965t、鉱山・土木材料208t、その他3tを超硬合金と見なして、W純分を計算して2730tとした。なお、これらの材料の原料であるタングステンカーバイトからの原料Wの投入量は、2880tであり、歩留は約95%と推定される。

| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|--------------------------------------|
| 生産量 | 2 | |
| 全天然資源量 | 1.7 | |
| 需要量 | 1.15 | |
| 現リサイクル量 | 0.3 | Rt-Re系接触改質触媒は、使用済み後100%リサイクルされている。 |
| 使用済全可能量 | 1.15 | 使用済み全可能量は、将来最終製品1.15全てがリサイクル可能と見なした。 |

| リサイクル材使用率 | 15% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 148% |
| リサイクル材可能性率 | 74% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 通関統計 金属時評 No.1777 レアメタルニュース No.2013 新金属データブック(2000年版)

(1)詳細説明

Rt-Re系接触改質触媒はリサイクルは現在されているものの、どのような経緯を経てリサイクルがされているのかが不明であり、

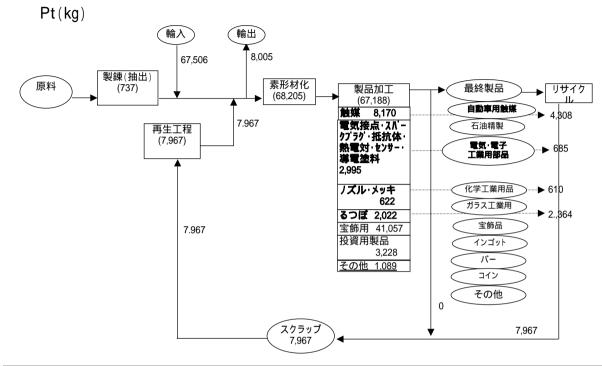
またリサイクルの時期に差があるのも事実である。ただ、不定期ではあるもののスクラップからリサイクルされている。

2)仮定

・//エーパーアロイ(火力発電のタービン)、電子部品材料(電子部品)、金属レニウム(化学プラント)は、経済性が無いという理由で

現在、リサイクルがされていないという事だったので、将来的に リサイクルできるとして使用済全可能量とみなした。

Rt-Re系接触改質触媒は使用済み後100%リサイクルされていると鉱物資源マテリアルフローに表記されていたので、全てリサイクルされているとして、現リサイクル量とみなした。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|--------|---|
| 生産量 | 76,210 | |
| 全天然資源量 | | 全天然資源量は地金生産量737kgと輸入量67506kgの合計68243kgとした。 |
| 需要量 | 67,188 | 需要量は、製品量合計59183kgとした。 |
| 現リサイクル量 | 7,967 | 触媒から4.308t 電気接点などから0.685t ノズルメッキから0.61t るつぼなどから2.364tリサイクル量として出ている。 |
| | | るつぼの最終製品量よりもリサイクル量が多いのは使用耐用年数における差である。 |
| 使用済全可能量 | 13,809 | 使用済全可能量は、宝飾用と投資用その他を除いた用途が今後リサイクルされるであろうと見なした |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 10% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 102% |
| リサイクル材可能性率 | 8.7% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 工業レアメタル No114 ~ 116 白金輸入通関実績 使用済触媒資源化実績報告書(2000) 使用済触媒資源化協会 触媒工業協会報 第83号 触媒工業協会

(1)詳細説明

触媒、電気接点など、ノズルメッキ、るつぼは、現状回収の欄にそれぞれ点線でしました量が回収されている。

鉱石は、Ptの場合、陽極スライムであり、これから国内で737kgの生産がある。

製造は、化成品、特に塩化白金酸、各種合金、特に白金ーパラジウムである。

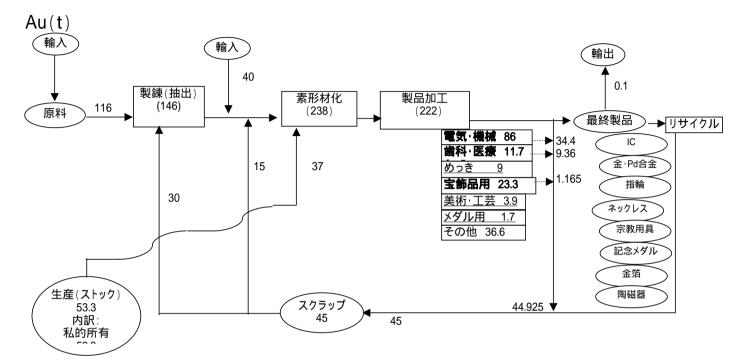
輸出8005kgは、地金での輸出である。

(2)仮定

宝飾品及び投資用製品は、ほとんどが退蔵されており、たまに売却されても量は不明な為、リサイクルは出来ないとみなした。

触媒、電気接点、スパークブラグ、抵抗体、熱電対、センサー、スパッタリングターゲット、導電塗料は、収集及び分別に難が、あるものの

ある程度新品に再生できるものと考えて、使用済全可能量とみなした。



| 各種量 | 数量(t) | 備考 |
|---------|-------|---|
| 生産量 | 238 | |
| 全天然資源量 | 156 | 天然資源は、鉱石116t、輸入40tの合計 |
| 需要量 | 222 | 需要は、最終製品工程の2221とした |
| 現リサイクル量 | 82 | リサイクルは、現状の回収量49tとした。回収は、電子通信機・機械部品が40%、歯科用材料が 90%、宝飾・武術工芸が5%の回収、めっき、メダル、その他、私的所有からの37tもリサイクルと見 |
| 使用済全可能量 | 134.8 | 可能性量は、電気、歯科、めっき,宝飾、メダル、美術の100%回収可能とした |

| リサイクル材使用率 | 30% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 70% |
| リサイクル材可能性率 | 40% |

出典 貴金属の実際知識 貴金属のはなし

Gold Survey 2000

Gold & Platinum No.21

金輸入通関実績

菱刈鉱山

貴金属流通統計調查[平成12年]

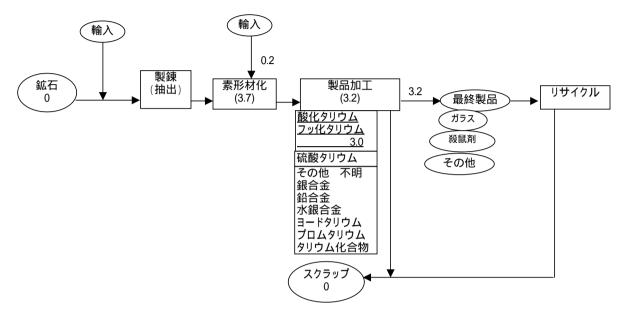
鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団

(1)詳細説明

(2)仮定

私的所有量が大きく、これは全く経済的な理由で量 が増減するため、スクラップとはみなさず、生産ストッ クという別の部類に含めた。

回収スクラップが45tあると推定されており、再生金 が15tあるので、残り30tは精製金となると推定した。 新産金146tの内30は、スクラップからで、残り116tは 鉱石からとみなした。もし146tを全て鉱石からとする と、スクラップ30tの行方が分からないことになり、問題 である。



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|----|
| 生産量 | 3.7 | |
| 全天然資源量 | 3.7 | |
| 需要量 | 3.2 | |
| 現リサイクル量 | 0 | |
| 使用済全可能量 | 3 | |
| | | |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 116% |
| リサイクル材可能性率 | 94% |

鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 Mineral Commodity Summaries 1989 BOM, USA.

(1)詳細説明

(2)仮定

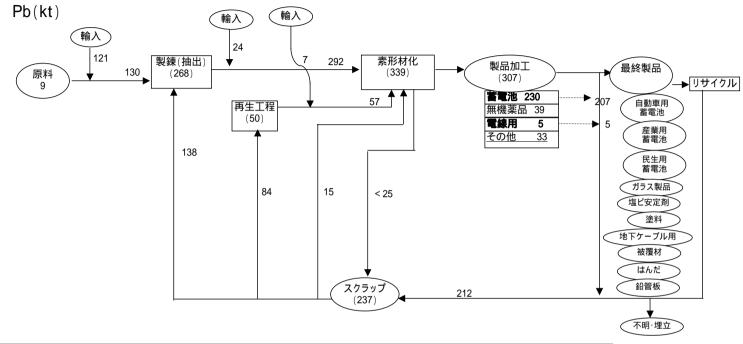
酸化タリウム、フッ化タリウムの主な応用製品は、 高屈折光学ガラス(研究開発用)があり、利用形態及 び使用済みの形態は

び使用済みの形態は ガラス・レンズ片であるため、現在は添加剤として使用されているためと、経済性がないためにリサイクルされていないが、経済性が無いという

ことを解消できるだろうと考え、添加剤として使用されていても使用済全可能量とみなした。

(3)問題占

精製段階の3.5tは、銅転炉灰、硫化鉛、亜鉛精鉱からの精錬副産物として出ているがどのくらい使用しているかは不明である。



| 各種量 | 数量(kt) | 備考 |
|---------|--------|---|
| 生産量 | 391 | |
| 全天然資源量 | 154 | 天然資源は、国内鉱石9と輸入鉱石121,及び新鉛地金輸入24の合計154tとした |
| 需要量 | 307 | 需要量は、製品307:を需要とみなした |
| 現リサイクル量 | | 現りサイクル量は、国内屑発生量が資源統計から237tの回収とされているのに対し、推定リサイクル量は 212tであるので、残り25tを加工屑からと推定した。推定リサイクル量は、鉛蓄電池が90%の207t、電線用が 100%の5tがリサイクルされているとし、無機薬品とその他はリサイクルされていないと見なした。 |
| 使用済全可能量 | 268 | 製品307tから将来的にも無機薬品39tが回収不可能として計算した |

| リサイクル材使用率 | 61% |
|------------|-----|
| 天然資源依存率 | 50% |
| リサイクル材可能性率 | 10% |

出典 資源統計月報 2000年1月~12月 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団

(1)詳細説明

(2)仮定

蓄電池の主要製品は鉛蓄電池としての自動車用蓄電池、産業用蓄電池、民生用蓄電池などがあり、リサイクルは出来るだろうと

考えて、リサイクル量とみなした。

電線用は地下ケーブルや被覆材として使用されており、今後もリサイクルが出来るだろうと考えて、使用済全可能とみなした。

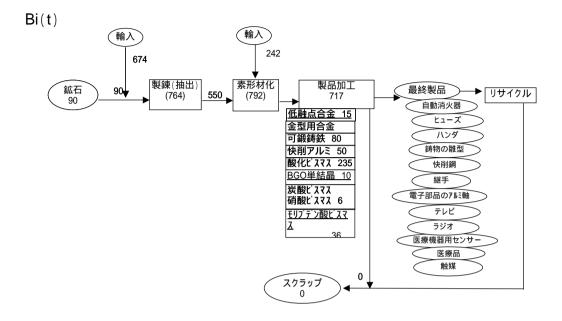
その他の主要製品ははんだと鉛板管などであり、もちろんこれだけではないが、リサイクルは可能だと考えて、使用済全可能量とみなした。

国内屑発生量237tから現状リサイクルで夫々の需要分野からの回収量212tを引いた25tを加工屑発生量とみなした。(歩留りは93%)

製錬工程の歩留は100%、再生地金工程の歩留まりは60%と推定されている。

加工工程への原料投入量は364であり、加工製品生産量は307である。この工程歩留は、84%と推定されている。

/小田昭上



| | 重量(t) | 備考 |
|---------|-------|--|
| 生産量 | 1006 | |
| 全天然資源量 | | 全天然資源量は鉱物、加工、精製、最終製品時の純素材輸入量の総和とした。 銅精鋼に関しては、鉛電解スライムになる前の段階で銅電解スライムになるが鉱物の段階からカウントした。 亜鉛精鋼に関しては鉛電解スライムになる前の段階で浸出残渣になるが鉱物の段階からカウントした。 |
| 需要量 | 712 | |
| 現リサイクル量 | 0 | |
| 使用済全可能量 | 61 | |

| リサイクル材使用率 | 0% |
|------------|------|
| 天然資源依存率 | 141% |
| リサイクル材可能性率 | 6% |

出典 鉱物資源マテリアルフロー 金属鉱業事業団 通関実績

日本鉱業協会統計

Mineral Commodity Summaries 2000

(1)詳細説明

需要量の一番多い金型用合金は、情報が十分でなく、現在リサイクル出来ないものとして処理している。

精製プロセスを通過する過程で、550tから475tになる。この際に歩留りは 86.4%程度である。

(2)仮定

スプリンクラーの口金、電気機器(ヒューズ、ハンダ)などに使用される低融点合金は、Bi含有量が30~60%であり、今後集積システムを改善してリサイクルできるとみなした。

次の量的に多い配管継ぎ手用可鍛鋳鉄、電気機器アルミ軸用快削アルミ、モータ用バリウムフェライト磁石、テレビ・ラジオ用バリスタ、コンデンサなどは、Biの添加量も少なく、今後ともリサイクルしないとみなした。

アクリロニトリル製造触媒として使用されているモリブデン酸ビスマスは、 Moは回収されているが、微量のBiは現在

回収されていない。今後、経済的に微量でも回収できる技術が開発され回収可能になるとみなした。

医療機器用センサーに使用されていBGO単結晶は、現在はスクラップ化されているが、将来経済性が改善されて

回収可能になるとみなした。

熱電素子に使用されている金属間化合物は、将来は需要開発がされてリ サイクル可能になるとみなした。

医薬品に使用される次炭酸ビスマス、化粧用のオキシ塩化ビスマスも、リサイクルは出来ないとみなした。

(3)問題点

住宅分野における素材技術転換事例の効果予測

1.1 効果予測の考え方

1.1.1 一般論

ここでは、住宅分野における素材技術転換の効果予測を行なう際の考え方を述べる。本プロジェクトの初年度で収集した素材技術転換の効果予測事例を引き合いに出すまでもなく、従来の効果予測事例の多くは、現状と異なる技術に対して設定を行ない、何らかの観点からの現状との差分を効果として見積もるに留まるものであった。

本研究では以下の2点を考え方として設定した。

効果の目標を設定する

本プロジェクトは地球温暖化への影響低減を最終的な目的としているが、地球温暖化の領域では我が国は京都議定書により温室効果ガスの排出に対して一定量の削減を達成することを義務付けられている。しかも、建築分野は我が国の温室効果ガス排出量において大きな割合を占めている¹³。以上から建築の主要分野の一つである住宅分野において京都議定書での削減量を参照して、温室効果ガス低減の目標を設定した上で、素材技術転換の効果を議論することに意義があると考える。

適用対象の量を強く認識する

従来の効果予測においても、技術を適用する対象製品の需要量を考慮することで、我が国全体での効果を求めることはなされてきた。しかしながら、 で設定した効果の目標を導入した結果、技術の適用対象量をより強く認識しなければならなくなる。なお、効果の量と適用対象の量の比を求めることによって、対象技術の改善効率を表現することが可能になる。

上記の2点の考え方を図1.1-1に記す。ただし、ここで対象技術の改善効率は、適用対象の量に対する効果の大きさを表すものであり、実際に製造業における開発において考慮される経済的な効率を表すものではない。図1.1-1の技術bでは、全需要量に適用しても目標値に届かないが、技術aならば目標値に届くことが例として示されている。

¹³具体的には、建築物の建設、運用および維持保全そして廃棄に起因する温室効果ガスの発生量は、日本建築学会を中心とする調査研究の結果、わが国全体の 40%近く占めるものと、推定されている

Appendix

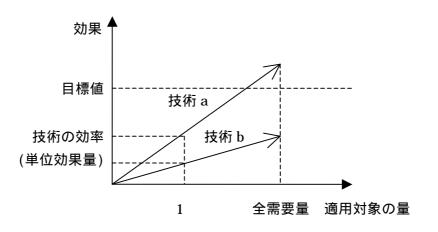


図 1.1-1 目標値、適用対象量、各技術の効率の表現

1.1.2 住宅の保温機能への適用

ここでは 4.1.1 で記した本研究での効果予測の考え方の一般論を住宅における保温機能に適用する。保温に焦点を当てる理由は、住宅に起因する CO_2 排出量の中で素材技術と強い関連を持っているものであるからである。文献 [1] には、家庭からの CO_2 排出量を日常の活動で分類した場合、冷暖房を超えるものとして、炊事・飲食、入浴が示されているが、冷暖房に比べてそれ程素材技術の関連が強いとは考えられない。

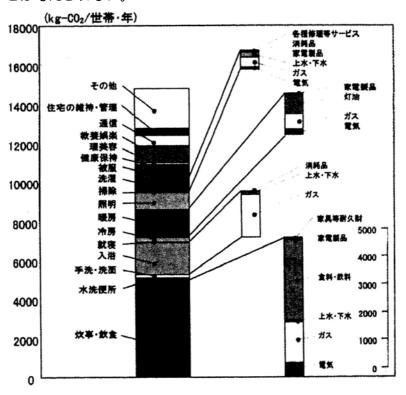


図 1.1-2 一世帯当たりの年間 002 排出量[1]

(1) 目標値

京都議定書で我が国の政府は 2012 年までに二酸化炭素など温室効果ガスの排出量を 90 年比で 6%削減することが義務づけられている。民生(家庭)については 1990 年において 129[Mt]の CO_2 排出量であるため、6%削減するならば、121[Mt]の排出量に抑える必要がある。現実には 2001 年において 154[Mt]であるから、2001 年比で 21% (33[Mt])の削減が必要になる。これを参照値として削減目標値を 90 年排出量の 21%とする。

(2) エアコン省エネ技術

住宅の保温のために用いられている主要な要素としてエアコンが存在する。エアコンの省エネ技術を対象とすれば、グラフの軸については、横軸をエアコンの仕事量、縦軸をエアコンの使用に伴って排出される CO_2 の削減量として、図 4-3 のように設定することができる。この場合技術の単位効果量は COP 値での改善量に相当する。図 4-3 の技術 b では、我が国の住宅のエアコン全てに適用しても目標値に届かないことが、技術 a ならば目標値に届くことが例として示されている。

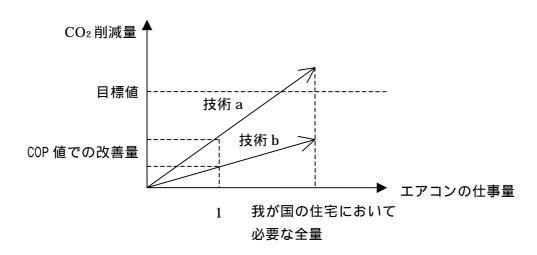


図 1.1-3 エアコンの省エネ技術のグラフへの適用

実際には、1996年時点で我が国で利用されているエアコンの COP の平均値は、暖房が 3.1、冷房が 2.6 と推定されている [2]。一方 2003年時点の家庭用エアコンにおけるトップランナーの COP 値は暖房、冷房共に 6程度のものがある (表 1.1-1 参照)。以上より、エアコンの置換によって 21%という削減目標値をクリアすることは可能性があると考えられる。

しかしながら、素材技術が住宅保温に関して貢献するのは、COP値の改善よりもむしろ断熱化技術であると考えられるため、4章ではこれ以降断熱化技術に焦点を当てる。

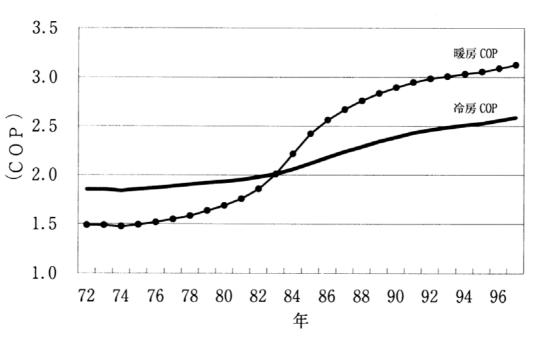


図 1.1-2 エアコンの平均 COP 値の推移[2]

(3) 断熱化技術

住宅の保温機能に関する主要なもう一つの要素は断熱化技術である。住宅分野においては、横軸を住宅の外壁(外界と接している部分)の量、縦軸をエアコン・ストーブ等の使用に伴って排出される CO_2 の削減量として、図 1.1-5 のように設定することができる。この場合、外壁、ガラス、サッシなどと言った住宅の壁面の部分によって適用可能な技術の選択肢が異なる。図 4-5 の技術 a と技術 b を組み合わせることによって目標値に届くことが例として示されている。

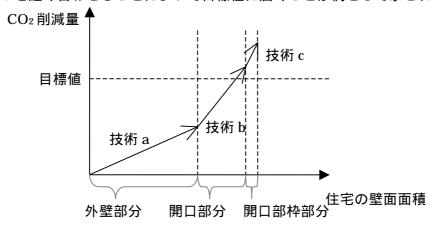


図 1.1-3 住宅の壁面製造技術のグラフへの適用

断熱化技術は素材後術が重要な位置を占めており、断熱化技術の効果予測は、本プロジェクト

初年度の調査結果や、3.2 で示した調査結果に示されるように幾つかの検討事例が存在する。しかしながら、断熱化技術の効果予測は住宅の設定が多様であることなどから、既存検討事例を横並びで比較することが困難であるなどの理由で充分な検討がなされているとは言い難い。そこで、4章の以降では住宅の断熱化技術に焦点を当てて、効果予測を行なう。

具体的に対象とする素材技術を以下に記す。

・ 外壁部分:高性能の断熱材製造技術

・ 開口部分:高断熱または高遮熱性能のガラス製造技術

・ 開口部分:樹脂サッシ製造技術

1.2 効果予測計算の方法

1.2.1 計算手順

住宅の使用段階の冷暖房による CO_2 排出量を算出する手順を図 1.1-6 にまとめる。年間の冷暖房負荷を求める部分までは、住宅用熱負荷計算プログラム (SMASH) [3]を利用した。

SMASH は、(財)建築環境・省エネルギー機構が作成したもので、日本住宅性能表示基準に従って表示すべき性能に関し、評価方法基準に従った方法に代わるものであることが認定されている。計算プロセスとしては、多数室の熱回路網解析によって室温と熱負荷の計算を行なっている。具体的には、壁体を2個の熱容量と1個の熱抵抗を有する熱回路で近似させる等の仮定によって形成される建物全体の熱回路網を一定時間ごとに前進させ、毎時の部屋の温度や熱負荷を算出している。建築の室温や熱負荷を求める手法の中では一般的な考え方や手法に基づくものである。

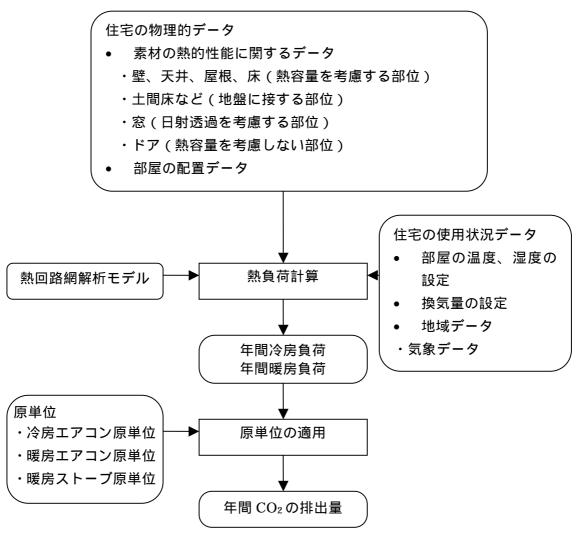


図 1.1-4 計算手順

1.1.3 住宅の共通設定

4.2.2では、4章で行なう分析で用いる全住宅に共通の設定を説明する。

地点

東京(IV 地域)を選定した。東京の気象データが SMASH 内のデータを用いて設定される。 住宅のモデル

住宅のモデルには、日本建築学会の住宅用標準問題[4]に準じたものを用いる。ただし、開口部率が全国の平均値25%[5]に一致するように東西面の窓面積を増やす。図1.2-1~図1.2-3に平面図、立面図、断面図を示す。また、表1.2-1に各室の床面積、気積、窓面積を示す。窓以外の開口部面積は、玄関ドア2.0[m²]、勝手口ドア[1.6m²]、室内ドア1.6[m²]とする。

表 1.2-2 住宅モデルの室構成

| 室名 | 床面積 | 気積 | 窓面積[m²] | | | | |
|--------|--------|---------|---------|------|------|-------|------|
| | [m²] | $[m^3]$ | 合計 | 東 | 西 | 南 | 北 |
| LD | 20.50 | 49.19 | 9.23 | | 2.43 | 6.80 | |
| 台所 | 7.25 | 17.39 | 1.38 | | 1.38 | | |
| MB | 20.50 | 49.19 | 5.30 | | 1.22 | 4.08 | |
| CB1 | 11.59 | 27.82 | 3.26 | 1.22 | | 2.04 | |
| CB2 | 11.59 | 27.82 | 3.26 | 1.22 | | | 2.04 |
| 洗面 | 4.97 | 11.92 | 0.60 | | | | 0.60 |
| 浴室 | 3.31 | 7.95 | 1.22 | 1.22 | | | |
| 1FHALL | 12.01 | 28.82 | 0.00 | | | | |
| 2FHALL | 7.45 | 17.89 | 0.60 | | | | 0.60 |
| 予備室 | 10.14 | 24.35 | 2.04 | | | | 2.04 |
| 和室 | 13.25 | 31.80 | 3.40 | | | 3.40 | |
| 1FWC | 1.66 | 3.97 | 0.60 | | | | 0.60 |
| 2FWC | 1.66 | 3.97 | 0.60 | | | | 0.60 |
| 全室 | 125.88 | 302.08 | 31.47 | 3.65 | 5.02 | 16.32 | 6.48 |

1.2 対象技術

ここでは本章で効果予測の対象とした技術を説明する。

既存の技術

対象技術の効果を表すために基準となるものとして、比較的一般的な既存住宅を建築学会の標準問題[4]を参考にして設定した。各部位の仕様を表 1.2-8 に示す。

表 1.2-3 住宅の各部位の仕様

| | | 表面熱伝 | | | | |
|-------|---------------|------------|------------|--------|-----------------------|--------|
| | | 達係数 | 熱抵抗 | 熱伝導率 | 容積比熱 | 材料厚 |
| 部位名 | 材料 | $[W/m^2K]$ | $[m^2K/W]$ | [W/mK] | [kJ/m ³ K] | [mm] |
| 天井 | 室外側表面 | 11.1 | | | | |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 11.1 | | | | |
| 外壁 | 室外側表面 | 25.0 | | | | |
| | モルタル | | | 1.500 | 1599.071 | 30 |
| | 合板 | | | 0.160 | 715.815 | 9 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 45 |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| 間仕切 | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | | 12 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 45 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 9.1 | | | | |
| 2 階床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | カーペット | | | 0.080 | | 15 |
| | 合板 | | | 0.160 | | 12 |
| | 空気層 | | 0.090 | | 1.298 | 261 |
| | 石膏ボード | | | 0.220 | 904.187 | 12 |
| | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| 1 階床 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | 床板 | | | 0.160 | | 10 |
| | 合板 | | | 0.160 | | 12 |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| 1. 階畳 | 室外側表面 | 6.7 | | | | |
| 床噌草 | 室内側表面 | 6.7 | | | | |
| | 畳 | | | 0.110 | 527.442 | 60 |
| | 合板 | | | 0.160 | 715.815 | 12 |
| | グラスウール断熱材 24K | | | 0.038 | 20.093 | 50 |
| | 室外側表面 | 6.7 | | | | |

壁面の熱橋係数は 1.0 を、窓ガラスは透明単層のものを設定した。窓ガラスの熱性能の詳細を表に示す。

表 1.2-4 窓の熱性能

| | 外気側表 面熱伝達 率 | 室内側表 面熱伝達 率 | 昼間熱貫 流率 | 夜間熱貫 流率 | 放射遮蔽 | 対流遮蔽 |
|------|-------------------|-------------------|------------|------------|--------|--------|
| カーテン | $[W/m^2K]$ | $[W/m^2K]$ | $[W/m^2K]$ | $[W/m^2K]$ | 係数 [-] | 係数 [-] |
| あり | 23.3 | 9.3 | 5.1 | 4.7 | 0.99 | 0.01 |
| なし | 23.3 | 9.3 | 6.0 | 6.0 | 0.59 | 0.04 |

(1) 外壁部分の高性能化技術

外壁部分に利用される断熱材を対象として行なった効果予測を説明する。具体的には以下を行なった。

現状得られる高性能の断熱材の効果の予測

(1)で示した既存住宅で利用されている断熱材(熱伝導率 0.038[W/mK]のグラスウール断熱材 24K)と同等の箇所に、硬質ウレタンフォーム保温板2種1号を適用し、効果の予測を行なった。 適用したウレタンフォームの熱伝導率は0.023[W/mK]である。

目標値(21%減)を実現する既存の断熱材の厚さの同定

(1)で示した既存住宅で利用されている断熱材(厚さ 50[mm])の性能を一定にした上で、厚さを変更して効果予測を繰り返し行ない、目標値(21%減)を実現する厚さを同定した。ただし簡便のため熱負荷総量で 21%減とした。

目標値(21%減)を実現する断熱材の性能の同定

(1)で示した既存住宅で利用されている断熱材(熱伝導率 0.038[W/mK])の厚さを一定にした上で、熱伝導率を変更して効果予測を繰り返し行ない、目標値(21%減)を実現する熱伝導率を同定した。ただし簡便のため熱負荷総量で 21%減とした。

(2) ガラス部分の高性能化技術

開口部分のガラス部分に利用される素材を対象とし、具体的には以下を行なった。

現状得られる高性能のガラスの効果の予測

現状得られる高性能ガラスとして空気層 12[mm]の低放射ペアガラスを利用した。窓ガラスの熱性能の詳細を表 1.2-10 に示す。

表 1.2-5 窓の熱性能

| | 外気側表 面熱伝達 | 室内側表 面熱伝達 | 昼間熱貫 | 夜間熱貫 | | |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| | 率 | 率 | 流率 | 流率 | 放射遮蔽 | 対流遮蔽 |
| カーテン | [W/m ² K] | [W/m ² K] | [W/m ² K] | [W/m ² K] | 係数 [-] | 係数 [-] |
| あり | 23.3 | 9.3 | 2.33 | 2.11 | 0.52 | 0.11 |
| なし | 23.3 | 9.3 | 2.33 | 2.33 | 0.78 | 0.07 |

外壁と同程度の断熱性能のガラスの効果の予測

(1)で示した既存住宅で利用されている外壁と同程度の熱性能にして、効果予測を行なった。具体的には、熱還流率を 0.593[W/m²K]と設定した。意図は、今後の技術開発の定量目標値設定の参考にすることである。

(3) サッシ部分の高性能化技術

現状得られる高性能のサッシの効果の予測

樹脂サッシの効果のポテンシャルを把握するために、開口部のサッシ部分を樹脂サッシに置き換えた場合の効果を試算した。具体的には、樹脂サッシ普及促進委員会が行なった分析事例[11]を参考にして寒冷地での適用を想定し、表 1.2-11 に示す熱性能の窓を使用した。ガラスには12[mm]の複層を用いているため、(1)との違いがサッシ部分だけではないため参考として計算を行なった。

表 1.2-6 設定した窓の熱性能

| | A 側表面 伝達率 | B 側表面 伝達率 | 昼間 熱貫流率 | 夜間 熱貫流率 | 放射遮蔽 係数 | 対流遮蔽 係数 |
|--------|----------------------|--------------|------------|----------------------|------------|------------|
| | [W/m ² K] | $[W/m^2K]$ | $[W/m^2K]$ | [W/m ² K] | [-] | [-] |
| カーテンあり | 23.3 | 9.3 | 2.33 | 1.98 | 0.3 | 0.12 |
| カーテンなし | 23.3 | 9.3 | 2.33 | 2.33 | 0.3 | 0.12 |

1.3 結果

高断熱化に資する技術の効果予測結果を記す。SMASH の詳細な計算結果は付録 A に記した。

(1) 既存の技術

年間の CO_2 排出量は $0.84[t-CO_2/yr]$ であった。4.2.3 で述べたように、COP 値を平均値ではなく現状得られる機器の最高レベルのものを採用したために、その分だけ小さい値が算出されている。 SMASH の計算結果は付録 A の表 A-1 に示した。

(2) 外壁部分の高性能化技術

現状得られる高性能の断熱材

年間の CO₂排出量は 0.75 [t-CO₂/yr]であった。SMASH の計算結果は付録 A の表 A-2 に示した。

目標値(21%減)を実現する既存の断熱材の厚さ

厚さが 180[mm] の場合、既存技術に比べて熱負荷総量が 21%減 $(0.18[t-CO_2/yr]$ 減) であった。この厚さは現在の住宅の構造では外壁部分に収まらないものである。 SMASH の計算結果は付録 Aの表 A-3 に示した。

目標値(21%減)を実現する断熱材の性能

熱伝導率が 0.011 の場合、既存技術に比べて熱負荷総量が 21%減 (0.18 [t-CO₂/yr]減) であった。

以上の結果を(1)で示した既存の技術も含めて表 1.2-12 にまとめる。

CO₂排出量低減量 厚さ 熱伝導率 $[t-CO_2/yr]$ [mm] [W/mK] 0.038 (1) 50 (2) 50 0.023 0.11 180 0.038 0.18 0.011 50 0.18

表 1.2-7 外壁部分の断熱材の効果予測のまとめ

(3) ガラス部分の高性能化技術

現状得られる高性能のガラス

年間の CO_2 排出量では、 $0.39[t-CO_2/yr]$ の低減効果があった。SMASH の計算結果は付録 A の表 A-4 に示した。

外壁と同程度の断熱性能のガラス

年間の CO_2 排出量では、 $0.59[t-CO_2/yr]$ の低減効果があった。SMASH の計算結果は付録 A の表 A-5 に示した。

(4) サッシ部分の高性能化技術

年間の CO_2 排出量では、 $0.18[t-CO_2/yr]$ の低減効果があった。ただし、ガラスの複層化による効果も含まれている。SMASH の計算結果は付録 A の表 A-6 に示した。

1.4 考察

CO₂排出量の考察

戸建住宅の総量

文献[12]では、日本の住宅の運用段階からの CO_2 排出量が表 1.2-13 のように推計されている。 現在の日本の戸建住宅のストックの平均床面積は約 $125[m^2]$ である[13]ので、日本の平均的な戸 建住宅の冷暖房使用による CO_2 排出量は約 $1.2[t-CO_2/yr]$ となる。

| | 集合 | 戸建 | 平均 | | | | |
|-------|------|------|------|--|--|--|--|
| 暖房 | 7.4 | 8.7 | 8.7 | | | | |
| 冷房 | 1.8 | 1.2 | 1.2 | | | | |
| 給湯 | 14.2 | 6.3 | 7.4 | | | | |
| 厨房 | 5.7 | 2.7 | 2.8 | | | | |
| 動力・照明 | 18.0 | 12.6 | 12.7 | | | | |
| 合計 | 47.1 | 31.4 | 32.8 | | | | |

表 1.2-8 99 年全国平均の年間 CO₂排出量[kg-CO₂/m²][12]

4.4(1)で示した既存住宅モデルの冷暖房使用による CO_2 排出量は 0.84 [t - CO_2 /yr]であった。これは、4.2.3 で説明したように高効率の冷暖房機器の利用を仮定したた分だけ低く見積もられている。以下のようにより現実に近い COP 値を適用した場合、 CO_2 排出量は 1.12[t - CO_2 /yr]となる。

・ 電気による冷房:2.6

冷房エアコンの COP の日本の平均値[9]を採用した。

・ 灯油ストーブによる暖房:0.9

4.2.3と同一。

・ 電気による暖房:2.0

暖房エアコンの COP は日本の平均値[9]が 3.2 であることと、電気ストーブについても灯油ストーブと同様に 0.9 を設定し、両者の値から、2.0 と仮定した。

4.4 で示した分析対象の住宅モデルの床面積は 126[m²]に設定したため、上記の分析事例[12] とほぼ同一である。

以上より4.4で示した結果は、現実の住宅と大きく乖離した値でないことが確かめられた。

適用技術間の違い

4.4 で示した結果を表 1.2-14 にまとめる。

| | | | 効果 | |
|---------------|-----------|------|------------|------------------|
| 技術 | 素材 | 対象部位 | [t-CO2/yr] | 備考 |
| - (既存の普及技術) | - | - | - | - |
| | | | | 現状の高性能ウレタン |
| 断熱化技術 | ウレタンフォーム等 | 外壁 | 0.09 | フォーム |
| | | | | 目標値(21%減)を達成 |
| | | | 0.18 | するもの |
| | 空気層や遮熱層付き | | | |
| 断熱化技術 | ガラス等 | ガラス | 0.39 | 現状の高性能ガラス |
| | | | | 外壁と同等の熱性能のガ |
| | | | 0.59 | ラス |
| 账验小块技术 | 樹脂 | サッシ | 0.18 | 租状の高性能サッシ |

表 1.2-9 効果予測結果のまとめ

表 1.2-14 に示されるように、外壁とガラス部分に対して、高性能なものを適用した場合、ガラス部分への適用による効果の方が大きいことが判った。設定したガラス部分の面積が外壁部分に対して 3 分の 1 であることを考慮すると、ガラス部分の効果が比較的大きいことが判る。

目標値(21%減)実現については、ガラス部分では現状で利用可能な最高性能のものであれば達成される。外壁部分で目標値実現のためには、既存の断熱材であれば構造上許される以上の厚さが必要であり、既存の暑さであれば現状で利用可能なものの性能では達成することが困難であることが判った。

冷暖房による負荷

一般に住宅の断熱性能を高めた場合に、暖房負荷は減るものの、冷房負荷が増えることが分かった。ただし、今回の分析結果は東京という地点の設定の下に得られたものであり、冷暖房による負荷の増減は一般には地点に依存する。住宅の冷暖房による消費エネルギーという、気候に敏感なものを分析するには、今後日本の各地に対して分析を広げることが課題である。

効果予測結果の利用

本章では、目標値を明確にした上での効果予測を行なってきた。ここでは効果予測結果の一つ の使い方を記す。

機械製品設計のフローは大よそ「役割の明確化」「概念設計」、「実体設計」、「詳細設計」という順序で進むとされている[14]。住宅の設計においても大きな差はないと考えられる。性能の文書化などは通常、詳細設計の段階で行なわれるため、本研究で言う効果予測も詳細設計の段階で行なわれると考える。一方、技術開発のフローは製品設計のフローと直交する関係にあると考えられる(図 1.2-10 参照)。効果予測の結果、技術開発の目標値が得られ、技術開発を経て新技術を開発し、次世代の製品設計に利用することが使い方として考えられる。

技術開発フロー 役割の明確化 役割の明確化 新技術 製品設計フロー 概念設計 概念設計 技術開発 実体設計 実体設計 詳細設計 詳細設計 技術開発 の目標値 (含効果予 (含効果予 第 N+1 世代の設 第 N 世代の設計

図 1.2-10 製品設計と技術開発のフローの関連

参考文献

- [1] 近田智也、井上隆:「住宅に係る地球温暖化影響の全体像」『日本建築学会総合論文誌』1号、pp.55-61、(2003)
- [2] 住環境計画研究所:家庭用エネルギーハンドブック(1999 年版) 省エネルギーセンター、 1999.
- [3] (財) 建築環境・省エネルギー機構: SMASH for Windows Ver.2 住宅用熱負荷計算プログラム ユーザーマニュアル、2000.
- [4] 宇田川光弘:標準問題の提案 住宅用標準問題 、日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回熱シンポジウム、pp. 23-33、1985.
- [5] 板硝子協会:「住宅窓の断熱化による省エネルギー効果 Low-E 複層ガラスによる CO2 排出 量削減 (SMASH によるシミュレーション計算結果)」、(2003)
- [6] (財) 省エネルギーセンター: 省エネ性能カタログ、2003. ストーブの性能の向上に関する製造事業者等の判断の基準等 、平成 14 年 12 月 27 日、 経

済産業省告示第 432 号.

- [7] 田中昭雄ら:住宅種別用途別エネルギー消費量推定に関する研究、日本建築学会計画系論文 集、No. 539、pp.67-74、2001.
- [8] 経済企画庁: 国民生活白書(昭和55年度)、1981.
- [9] 経済産業省:エネルギー源別発熱量表、2001.
- [10] 樹脂サッシ普及促進委員会、「住宅の窓の高性能化による省エネルギー効果」、平成 15 年 8 月.
- [11] 深澤大樹、外岡豊、村橋喜満、松井俊明、三浦秀一、「都道府県別住宅 CO₂ 排出実態の詳細推計その 2 暖冷房標準負荷計算による建て方別推計 」、第 21 回エネルギー・資源学会研究発 表会講演論文集(02年6月)、261~266ページ
- [12] 総務省統計局、「日本の住宅・土地 平成 10 年住宅・土地統計の調査の解説 」 Pahl, G. and Beitz, W., 工学設計 体系的アプローチ , 設計工学研究グループ訳, (培風館), 1995.

[研究成果の発表状況]

(1)誌上発表(学術誌・書籍)

中島 謙一,内山 洋司,原田 幸明:JOURNAL OF THE JAPAN INSTITUTE OF METALS, Vol.66, No.9, 917-920(2002)

"Investigation of Processing Scraps of Steel for the Developing Materials Flow of Recycling System"

(2)口頭発表

澤谷精,原田 幸明,谷村 洋一: The Fifth International Conference on EcoBlance (2002)

"Development of New Quantitative Methodology for Assessing Environmental Impact of Recycled Materiarls in LCI"

中島 謙一,内山 洋司,原田 幸明: The Fifth Inteenational Conference on EcoBlance (2002)

"Input-Output Analysis Environmental Effect of Newly Developing Steel Recycling"石川 恵子,北城 弘樹,井野 博満,中島 謙一,原田 幸明:日本金属学 (2003)「セメントにおける廃棄物再利用の評価」

井島 清,原田 幸明:日本鉄鋼協会 (2004)

「住宅の断熱材使用による冷暖房に関わるCO2削減効果」