

鉄道用材料のLCAによる環境評価

相原 直樹
材料技術研究部
(主任研究員)

辻村 太郎
同
(主管研究員)



あいはら なおき つじむら たらう

はじめに

地球温暖化に代表される地球環境問題への懸念を受け、具体的で効果的な行動が、企業レベル、個人レベルで求められています。例えば、輸送事業者は輸送事業による環境負荷をいかに低減させるか、個人では輸送手段選択の際に環境負荷に対する考慮を行ったかなどが問われます。いずれの場合にも、ただ減らすという決意を示すのみならず、輸送による環境負荷を定量的に削減することが大切です。その定量化の手法の一つとしてライフサイクルアセスメント(LCA)があります。ここでは、鉄道に用いられる材料に着目し、LCAをどのような目的で鉄道用材料へ適用するのか、評価結果はどのように表現されるのかについて解説し、最後にコストと環境負荷について評価した事例を紹介します。

地球環境問題の深刻さ

近年は二酸化炭素(CO₂)等の排出による地球温暖化に代表される地球環境問題が深刻な懸念となっています。一例として、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第四次報告書等では、地球の平均気温が人為的要因により上昇していることはもはや確実と指摘されています。また、砂漠化、北極海の氷量の減少といった現象の顕在化や、これらに伴う今後の伝染病や洪水の増加についても報告されています。近年、日本においては台風の接近数の増加、集中的豪雨の増加が見られます。これらは、現在のところ地球温暖化が原因とまでは断定されていませんが、少なくとも温暖化の進行がこのような現象に寄与するとは言えるでしょう。

このようなことから、地球温暖化抑止に向けた具体的か

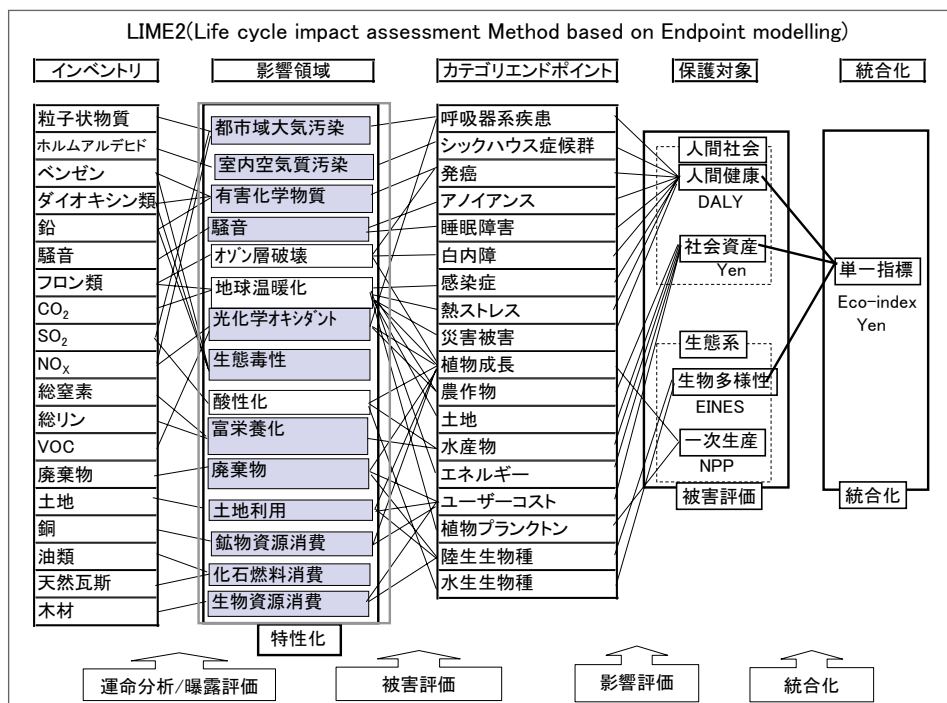


図1 LIME2における環境負荷の統合化の流れ²⁾

つ効果的な行動が、企業レベル、個人レベルでただちに求められています。日本においては、3R活動、すなわちリデュース(減量)、リユース(再使用)、リサイクル(再利用)という主に3つの考え方により、省資源、省エネルギーを推進していることは皆さんのご存じのところでしょう。輸送部門に絞って考えれば、輸送事業者は輸送事業による環境負荷をいかに低減させるか、個人では輸送手段選択の際に環境負荷に対する考慮を行ったかなどが問われるでしょう。

ところで、近年は、企業等組織には企業の社会的責任(CSR)と言われる考え方が普及しつつあります。従来、企業の責任と言えば、顧客に対するものであり、製品、サービスの提供とその対価に力点のほとんどが置かれていました。しかし、現在は、顧客に留まらないあらゆる利害関係者(ステークホルダー)への対応が求められつつあります。具体的に言えば、CSRとは、あらゆる利害関係者に対し、経済(経営)的側面、社会的側面、環境的側面等、多様な側面から対応するということになります。(輸送事業者であれば、これに安全的側面が加わるでしょう。)また、これらについて、利害関係者に誤解無く事柄を伝えるには、定量化された情報を持つことが望まれます。

このようなことから、輸送サービスの環境負荷の定量化は今後ますます注目されていくでしょう。その定量化の方法の一つとしてライフサイクルアセスメント(LCA)があります¹⁾。以下、LCAについて簡単に説明します。

インベントリと原単位

環境問題が難しいと言われる所以の一つですが、環境負荷には様々なものが存在します。一例として、図1に(独)産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センターが開発した被害算定型ライフサイクル環境影響評価手法(LIME2)手法の考え方を示します。この図には、環境負荷物質等(当図のインベントリ)とそれに伴う環境影響(当図の影響領域、カテゴリエンドポイント)が示されています。

「インベントリ」(環境負荷項目)としては、CO₂、SO_x、NO_xやPM(粒子状物質)、さらには騒音など19項目をあげています。それらによって引き起こされる「影響領域」として地球温暖化を始めとしてオゾン層破壊、有害化学物質や化石燃料消費など15項目が挙げられています。次の「カテゴリエンドポイント」には、例えば地球温暖化によって影響を受ける感染症、災害被害、農作物など18項目が

表1 製造時排出原単位の例

項目名	製造時排出原単位 (kg-inventory/kg)		
	CO ₂	NO _x	SO _x
冷延鋼板の製造	1.43	1.49 × 10 ⁻³	9.07 × 10 ⁻⁴
伸銅製品(電気銅製造および伸銅プロセス)	1.42	1.37 × 10 ⁻³	5.92 × 10 ⁻³
アルミ板大型型材(新地金)	10.16	3.12 × 10 ⁻²	7.72 × 10 ⁻²
亜鉛	2.76	3.14 × 10 ⁻³	3.26 × 10 ⁻³
高密度ポリエチレン	1.26	2.60 × 10 ⁻³	2.73 × 10 ⁻³
ポリ塩化ビニル	2.75	1.59 × 10 ⁻³	2.04 × 10 ⁻³
ナイロン6	3.91	1.89 × 10 ⁻³	2.61 × 10 ⁻³
エポキシ樹脂	5.30	2.44 × 10 ⁻³	3.14 × 10 ⁻³
ポリウレタン(硬質ウレタンボード)	2.94	1.59 × 10 ⁻³	1.83 × 10 ⁻³
ポリウレタン(発泡)	1.87	9.96 × 10 ⁻⁴	1.19 × 10 ⁻³
天然ゴム	0.203	2.71 × 10 ⁻⁴	3.80 × 10 ⁻⁴
スチレンブタジエンゴム(SBR)	3.11	1.48 × 10 ⁻³	2.93 × 10 ⁻³
ガラス	1.18	6.35 × 10 ⁻⁴	1.20 × 10 ⁻³
一般磁器	0.94	2.93 × 10 ⁻⁴	5.06 × 10 ⁻⁵
ポルトランドセメント	0.746	1.51 × 10 ⁻³	6.30 × 10 ⁻⁵

あります。次の「保護対象」は人間健康、生物多様性など4項目を挙げ、最終的にはそれらを重み付けして単一指標へと「統合化」しています。各ステップ間、例えばCO₂と地球温暖化の間は地球温暖化係数でその関係を定量化しています。

現在は、地球温暖化問題が大きな話題となっており、当面はこの解消に重点が注がれています。しかし、中長期的に見れば、私たちは、これらのどの環境影響についても継続的に注意を払うべきでしょう。

さて、これらの環境負荷物質等の発生は、大抵の場合、材料およびエネルギーの消費によって起こります。材料の場合、その製造時にエネルギーを使用するため、製造者側で環境負荷物質が発生します。材料を単位量(1kgなど)あたり製造するときに、発生する環境負荷物質の量を製造時排出原単位と呼びます。

表1に製造時排出原単位の例を示します。(なお、これらの値は複数の団体により異なる値が提案されており、実際の使用には慎重な検討が必要です。)

一般に、反応性に富む物質は製造するためにより多くのエネルギーを費やします。例えばアルミニウムは、鉱石から金属にする際のエネルギーが、鉄に比べて大きくなります。同じ機能を同じ重量で果たすならば、原単位の小さい

材料の方が環境負荷が小さくなります。

しかし、実際はそうではなく、各材料にはそれぞれ使用するための機能、利点があります。例えば、アルミニウムは鉄よりも比重が小さく、使用の仕方によっては軽量化の可能性があります。また、リサイクルのしやすさも考える必要があります。製造時排出原単位が大きくても、リサイクルを行えば、最終的な排出量は減ります。さらに、先端材料と呼ばれる材料を用いることにより、全体的な材料使用量、エネルギー使用量を減らせるのであれば、通常はその方がいいでしょう。

ライフサイクル評価の重要性

以上のことより、材料には様々な特性があります。一つの材料の一つの良いところを採り上げたとしても、全体として何がよくなっているかがわかりにくいことがあります。そこで、環境負荷の評価を行うには、原材料の採取から運搬、素材の製造、部品の組み立て、製品の製造、そして製品の使用やサービスの提供、最後の廃棄、リサイクルと言ったライフステージ（ライフサイクルの各段階）でどれだけの資源・エネルギーを投入し、廃棄物・排出物質を出しているかを集計することが必要です。これがライフサイクルアセスメント（LCA）です。

LCAにより、どこのライフステージで排出物質が多いかを特定し、今後の製品開発、またはメンテナンスなどで対策を講じることがたやすくなります。鉄道に限らず、産業を継続的に運営するためには、コストをはじめとする経営的な観点からの検討が当然求められます。各事業者の

経営事情に配慮しつつ、可能な限りにおいて環境負荷を削減していく、すなわち、経済と環境の両立を意識することが望ましいでしょう。

レアメタルの考慮

排出物質と話が少し変わりますが、材料について、今後さらに注意を払うべきこととして、レアメタルの問題があります。レアメタルにはいくつかの定義がありますが、狭義の意味としては鉄、銅、亜鉛、アルミニウム等のベースメタルや金、銀等の貴金属以外で、産業に利用されている非鉄金属31種を指します。³⁾

レアメタルは単体で大量に使うことはあまりなく、専ら、合金、添加剤に微量含まれていたり、化学合成用触媒として使われます。このため、製品中でどういうものが使われているか目立たないことがほとんどです。しかし、その製品を大量に使えば、当然レアメタルの使用量も比例して増えてきます。また、生産が追いつかなかったり、採掘できる量が減ってくれば、まず、価格の急激な上昇につながり、さらに、使用が困難になることも考えられます。従って、中長期的視点に立った場合、レアメタルが使われている材料、製品については、どのようにこれらを継続していくかに注意を払う必要があります。

材料変更のLCAの例

ある製品に新しい材料を導入しようとしています。これは、その材料を使うことにより、今までと比べて何かを良くするという目的、理由があります。例えば、コストの削減、

表2 PCまくらぎ用の各コンクリートの成分表(1 m³あたり)

原料	PCまくらぎ用 普通コンクリート	ジオポリマー コンクリート	使用した CO ₂ 原単位 ⁴⁾ (kg-CO ₂ /kg)
早強セメント	457kg	-	0.7455
石炭灰	-	545kg	0.0179
水ガラス	-	95kg	0.4330
苛性ソーダ	-	40kg	0.9076
水	160kg	115kg	(ゼロ扱)
細骨材	640kg	904kg	0.0034
粗骨材	1084kg	786kg	0.0028
混和剤	数kg	数kg	(ゼロ扱)
合計	約2350kg	約2490kg	

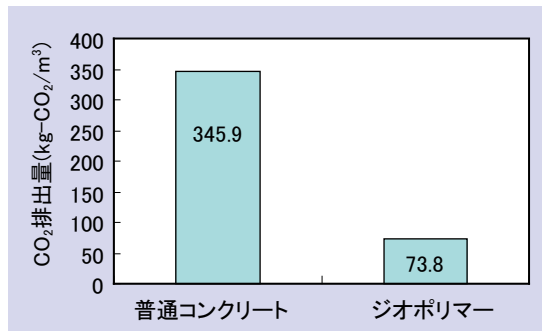


図2 各コンクリートのCO₂排出量 (1 m³あたり, PCまくらぎ用途を想定)

利便性の増加、環境負荷の削減などが挙げられます。これらの良さを評価する際には、ただ良いというだけでなく、既に述べたように、製造、使用、メンテナンス、処分等といったライフサイクルにおいて、以前より向上しているかを把握することが重要です。環境負荷については、実現可能な範囲において、LCAの観点から検討していくといでしょう。

以下、新しい材料の導入におけるLCAの事例を示します。

ジオポリマーコンクリートによる環境負荷低減の評価

材料を変更することによる、環境負荷への影響評価の一例として、実用化を検討中のジオポリマーコンクリートについて紹介します。ジオポリマーコンクリートは石炭灰及び水ガラスを用いたコンクリートで、製造時のCO₂排出量削減することができます。表2にPCまくらぎを想定した場合の1m³あたりコンクリートにおける各原料の量とCO₂原単位を示します。主な原料を比較すると、早強セメントに比べ、石炭灰のCO₂原単位が大変小さいことがわかります。これらのデータから、積算を行った結果を図2に示します。ジオポリマーコンクリート製造でのCO₂排出量は、普通コンクリートの約21%となり、大幅な排出抑制となります。なお、その後のメンテナンス、寿命は同等と考えられます。

カーボン系すり板導入による環境負荷低減の評価

環境負荷への影響評価のもう一つの例として、カーボン系すり板の導入について紹介します。在来線のすり板には、銅系焼結合金が使われてきていましたが、1990年ごろから相手トロッコ線に対する影響が少ないカーボン系すり板が

採用されるようになって来ています。導入の最大の目的は、トロッコ線の摩耗量減少や波状摩耗発生による張替え工事の減少による保守経費削減です。図3(a)に保守経費の評価結果の一例を示します⁵⁾。カーボン系すり板の導入前の電車線側とすり板側の保守にかかる合計の年間経費を100%とした場合、導入後のそれは70%強になっています。すり板材料の変更によって、すり板の経費が若干増加しますが、それ以上にトロッコ線の張替え減少による効果が大きかったことを意味しています。このときのトロッコ線、すり板等の投入量や張替え工事に使用した車両の燃料量等に基づいてCO₂排出量を評価した結果が、図3(b)です。経費とほぼ同様の傾向でCO₂排出量が減少していることがわかります。全体に占めるトロッコ線側の比率が大きいため、トロッコ線側の張替え量を大きく削減することにより、すり板側のCO₂排出量が若干増大しても全体としては20%以上の削減が達成されています。

おわりに

地球温暖化対策は洞爺湖サミットでの主要議題の一つとなった世界的な重要課題であり、2050年には世界のCO₂総排出量を半減する方向で進み始めています。鉄道を含む輸送分野でも半減以上の達成が求められていくと考えられ、今まで以上にきめ細かくかつ革新的な取組みが必要となります。また、CO₂以外の排出物質への関心もますます高まると考えられます。今後これらへの取組みを進めていくためには、LCA等の評価手法を使いこなし、環境負荷削減の目標を明確化し、技術開発を進めていくことが求められると考えています。[RRR]

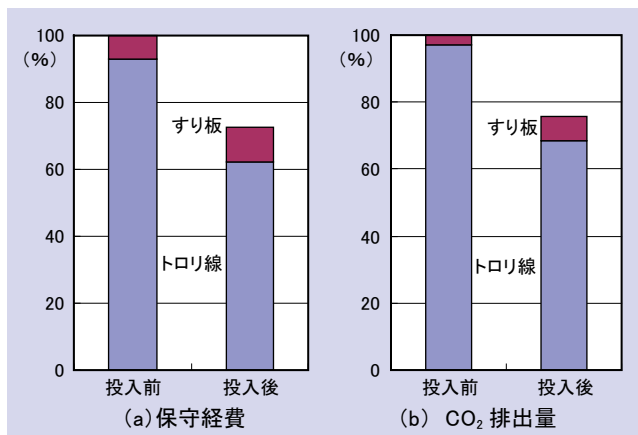


図3 カーボン系すり板導入による保守経費とCO₂排出量の変化

文献

- 1) 相原直樹, LCAによる鉄道環境負荷量の評価, JREA, 2003
- 2) (独) 産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター ホームページ
- 3) レアメタル備蓄データ集(31鉱種), 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2008
- 4) 河合研至, コンクリートの環境負荷, プレストレストコンクリート, vol.47, No.6, 2005
- 5) 針山他, JR東日本におけるカーボン系すり板の開発経緯と今後の取り組み, 電気車の科学, 1992