

廃タイヤ、廃プラスチック再生資材の 舗装利用に関する LCA 評価

新田弘之¹・西崎到²

¹正会員 工修 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

E-mail : hnitta@pwri.go.jp

²正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

近年、資源の有効活用、最終処分場の枯渇などを背景として、再生資材の開発が盛んであり、中でも舗装用として他産業からの再生資材の開発が多く行われている。しかし、これらの他産業再生資材は、リサイクルにはなっているものの、製造時から廃棄に至るまでの全過程での環境負荷低減に寄与しているかが不明なのが現状である。そこで、廃タイヤ、廃プラスチックについて、舗装へ利用した場合の資源消費量や、環境負荷について試算を行い、LCA 評価を行った。その結果、舗装関連部分だけでは環境負荷が増大する場合もあるが、舗装以外での利用を考慮すると、トータルでの環境負荷が減少する可能性があることが分かった。

Key Words : Pavement, Recycle, Scrap tire, Waste plastics, LCA

1. はじめに

近年、資源の有効活用、最終処分場の枯渇などを背景として、再生資材の開発が盛んであり、中でも他産業の廃棄物発生者による舗装用再生資材の開発事例が多く行われている。しかし、これらの他産業再生資材は、リサイクルにはなっているものの、製造時から廃棄に至る全過程を考慮した場合でも環境負荷低減に寄与しているかが不明なのが現状である。これを解明するには、LCA (Life Cycle Assessment) 分析が有効と考えられる。

土木分野における LCA 解析事例としては、橋梁分野¹⁾やコンクリート材料分野²⁾においていくつか見られるが、全体としてはまだ少ないのが現状である。舗装分野における LCA 解析事例も少なく、CO₂ やエネルギーを算出したもの³⁾、コンクリート舗装とアスファルト舗装における維持修繕を含めた LCA を比較検討したもの⁴⁾などがあるものの、情報は限られている。このため、多くの場合、LCA 解析に必要な原単位をはじめとした多くのデータが不明なのが現状である。

そこで筆者らは、他産業再生資材の中でも、サーマルリサイクルなどの舗装以外のリサイクル方法がある廃タイヤ、廃プラスチックを利用した舗装について、材料、製造・施工等の原単位の作成を行い、舗装以外で利用した場合も含めて LCA 分析を行ったので、その結果を報告する。

なお、再生資材の利用方法としては、廃タイヤにおい

ては、国内での検討事例⁵⁾を参考に、通常の舗装と共通の部分が多いアスファルトの改質材として利用する方法を取り上げた。廃タイヤの再利用法の中には、多孔質弾性舗装⁶⁾のように特殊な製法で構築する利用方法も検討されているが、耐久性など不明な部分が多くあるため今回は対象としていない。廃プラスチックにおいては、アスファルト混合物の骨材への利用の検討事例⁷⁾があったため、これを取り上げた。

2. LCA 評価条件の設定

(1) 評価手順

LCA 評価は、以下のような手順で行った。

- ①評価モデルの設定（モデル空間の設定、舗装資材の需要量の算定等）
- ②資源需要量の算定、原単位補充
- ③環境負荷の算定

(2) 評価モデルの設定

a) 評価モデル

評価モデルは、廃タイヤ、廃プラスチックともに、舗装に利用しない場合は、電力としてエネルギーを回収するサーマルリカバリーが行われるものとし、これと廃タイヤ、廃プラスチック利用舗装を比較することとした。

モデル都市空間の条件は、都市部での利用を想定し、表-1 に示すように 14 の政令指定都市の平均値を用いることとした。

評価対象範囲は図-1 に示すとおり、道路舗装事業に関連する原材料生産、資材製造、資材輸送、舗装工事と、これに加えて廃タイヤ、廃プラスチックがサーマルリカバリーされた場合の発電に関するものとした。ただし、廃タイヤ・廃プラスチックは、再生利用の有無に関わらず、集積場に集められるものとし、その一次加工及び輸送は評価対象範囲外とした。なお、耐用期間を超えた舗装材は、ほぼ 100%再利用されることから最終処分場への廃棄については評価対象としなかった。

舗装に用いられる材料の平均的な輸送距離を設定する

表-1 モデル都市空間

	設定条件
対象面積	570 km ²
道路率	3.1 %
道路面積	17.67 km ²

備考 1) 道路率% = 250.32km² (道路面積合計)

+8006.87km² (都市面積合計)

備考 2) 道路面積 km² = 570km² (対象面積) × 3.1% (道路率)

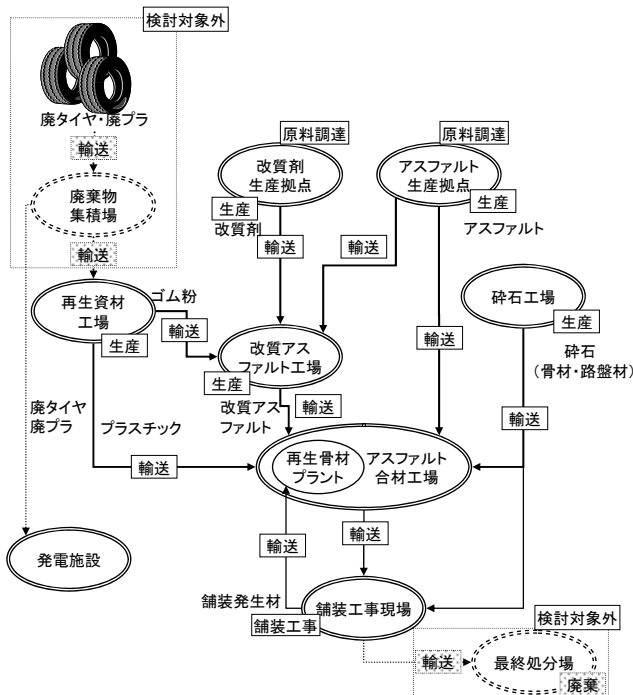


図-1 評価対象範囲

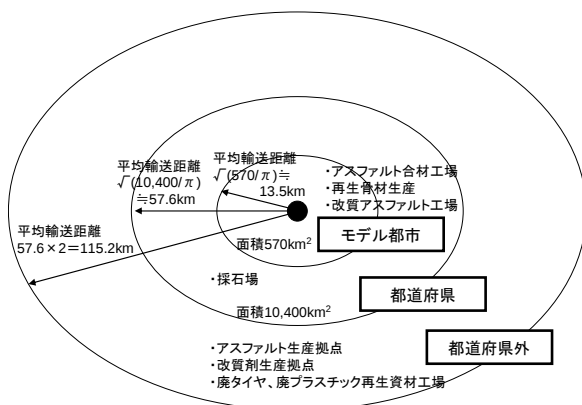


図-2 各種資材の生産地の配置と輸送距離の設定

ために、各資材の生産拠点の配置、分散状態を調査し、それらの配置を図-2 のように設定した。この結果、各材料の輸送距離は、表-2 に示すとおりとなった。

b) 検討ケースの設定

検討ケースとしては、文献調査の結果、廃タイヤも廃プラスチックもアスファルト混合物への利用の可能性が高く、特に廃タイヤはアスファルトの添加剤としての利用、廃プラスチックは混合物の代替利用の可能性が高いものと考えられた。そこで、検討ケースは表-3 のように設定した。

また、廃タイヤ、廃プラスチックは、現在のリサイクル状況では、エネルギーを回収するサーマルリカバリーが多いため⁸⁹⁾、舗装に利用しない場合は、全てサーマルリカバリーにより発電に利用され、都市内に供給されるものとした。また、舗装に使用する場合は、都市内全体で見れば、廃タイヤ、廃プラスチック発電で発電される電力量と同じ量の公共電力が必要になるため、これも設定した。

(3) 基本資材の需要量の設定

a) 舗装資材の需要量

再生資材の利用は混合物への利用に絞った。ストレー

表-2 材料輸送距離の設定値

経 路	輸送距離
アスファルト合材工場 → モデル都市	13.5km
再生骨材(モデル都市内生産)	13.5km
改質アスファルト工場 → アスファルト合材工場(モデル都市)	13.5km
採石場 → アスファルト合材工場(モデル都市)	57.6km
アスファルト生産拠点(製油所) → アスファルト合材工場(モデル都市)	115.2km
アスファルト生産拠点(製油所) → 改質アスファルト工場	115.2km
改質材工場 → 改質アスファルト工場	115.2km
廃タイヤ再生資材(ゴム粉)工場 → 改質アスファルト工場	115.2km
廃プラスチック再生資材(骨材)工場 → アスファルト合材工場(モデル都市)	115.2km

表-3 検討ケース

	ケース 1 (比較用)	ケース 2 (比較用)	ケース 3	ケース 4	ケース 5
舗装部分	表層 密粒度アスファルト混合物 13 (ストレートアスファルト)	表層 密粒度アスファルト混合物 13 (改質アスファルト II 型)	表層 密粒度アスファルト混合物 13 (ゴム粉 15% アスファルト)	表層 密粒度アスファルト混合物 13 (プラ骨材 5%)	表層 密粒度アスファルト混合物 13 (プラ骨材 10%)
	基層 粗粒度アスファルト混合物 20 (ストレートアスファルト)	基層 粗粒度アスファルト混合物 20 (改質アスファルト II 型)	基層 粗粒度アスファルト混合物 20 (ゴム粉 15% アスファルト)	基層 粗粒度アスファルト混合物 20 (プラ骨材 5%)	基層 粗粒度アスファルト混合物 20 (プラ骨材 10%)
電力	廃プラスチック発電	廃タイヤ発電	公共電力	公共電力 + 廃プラスチック発電	公共電力

表-4 舗装資材の需要量

混合物種	項目	設定値	単位	備考
ストリートアスファルト混合物	年間舗装面積	3,534,000	m ² /年	道路面積÷耐用年数
	アスコン需要量	353,400	m ³ /年	年間舗装面積×アスコン層厚
改質アスファルト混合物	年間舗装面積	589,000	m ² /年	道路面積÷耐用年数
	アスコン需要量	58,900	m ³ /年	年間舗装面積×アスコン層厚

表-5 各種基本資材のモデル都市内での需要量（表層）

	単位	ケース1 ストリートアスファルト混合物	ケース2 改質アスファルト混合物
需要量(容積)	m ³ /yr	176,700	29,450
表層材密度	t/m ³	2.37	2.37
需要量(質量)	t/yr	418,779	69,797
アスファルト	t/yr	21,832	3,457
改質剤	t/yr	0	182
粗骨材	t/yr	226,260	37,710
細骨材・石粉	t/yr	170,687	28,448
備考（配合）（ストラス混合物）（改質混合物）			
バインダー配合率(対骨材)	質量%	5.5	5.5
改質剤配合率(対アスファルト)	質量%	0.0	5.0
空隙率	容積%	4.0	4.0
粗骨材	質量%	57.0	57.0
細骨材・石粉	質量%	43.0	43.0

表-6 各種基本資材のモデル都市内での需要量（基層）

	単位	ケース1 ストリートアスファルト混合物	ケース2 改質アスファルト混合物
需要量(容積)	m ³ /yr	176,700	29,450
表層材密度	t/m ³	2.36	2.36
需要量(質量)	t/yr	417,012	69,502
アスファルト	t/yr	19,858	3,144
改質剤	t/yr	0	165
粗骨材	t/yr	285,951	47,659
細骨材・石粉	t/yr	111,203	18,534
備考（配合）（ストラス混合物）（改質混合物）			
バインダー配合率(対骨材)	質量%	5.0	5.0
改質剤配合率(対アスファルト)	質量%	0.0	5.0
空隙率	容積%	5.0	5.0
粗骨材	質量%	72.0	72.0
細骨材・石粉	質量%	28.0	28.0

トアスファルト使用の混合物の耐用年数は5年、改質アスファルト使用の混合物の耐用年数はこの6倍とした。アスファルト混合物層の厚さは10cmとした。この条件とモデル空間都市の条件（表-1）から舗装資材の需要量を算出すると、表-4のようになった。なお、耐用年数6倍の設定は、ストリートアスファルトと改質アスファルトは同じ交通条件下では使用しないことから、単純に耐用年数を割り出すことができないものの、比較検討のため同じ交通条件で使用したと仮定して計算することにした。「舗装の構造に関する技術基準・同解説」¹⁰⁾を参考にして、改質アスファルト混合物（改質アスファルトⅡ型）の動的安定度がストリートアスファルトのそれと比べて6倍程度以上が見込めることからそのように設定した。

b) 基本資材の需要量

前項で得られた舗装資材の需要量（表-4）をもとに、

表-7 トラック輸送量と燃料消費量（基本資材）

輸送量(行き先)	単位	ケース1 ストリートアスファルト混合物	ケース2 改質アスファルト混合物	輸送距離 (設定値)
アスファルト(プラント)	t	41,690	0	115 km
アスファルト(改質アス工場)	t	0	6,601	115 km
改質剤(改質アス工場)	t	0	347	115 km
改質アス(プラント)	t	0	6,948	13.5 km
砕石(プラント)	t	794,101	132,350	57.6 km
アスファルト合材(現場)	t	835,791	139,299	13.5 km
軽油消費量				
アスファルト(プラント)	L	276,153	0	
アスファルト(改質アス工場)	L	0	43,724	
改質剤(改質アス工場)	L	0	2,301	
改質アス(プラント)	L	0	5,394	
砕石(プラント)	L	2,630,063	438,344	
アスファルト合材(現場)	L	648,783	108,130	
合計	L	3,554,999	597,893	

必要な基本資材量を算出した。表層、基層はそれぞれ5cmとした。算出結果を表-5, 6に示す。

c) トラック輸送量と燃料消費量

トラックの燃費については経済産業省告示第66号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係わるエネルギー消費量の算定方法」より0.0575L/t・kmとした。算出結果を表-7に示す。

(4) 廃タイヤ、廃プラスチックの需要量の設定

a) 廃タイヤ、廃プラスチック舗装の需要量

廃タイヤ、廃プラスチックの再生資材を使用した舗装をモデル都市内で利用したときの各資材の需要量を算出した結果を表-8, 9に示す。なお、廃タイヤ利用混合物は、改質アスファルトⅡ型相当の性状が見込める¹¹⁾¹²⁾として改質アスファルトⅡ型と同じ耐用年数に、廃プラスチック利用混合物は、通常のストリートアスファルト利用の舗装と同じ程度の耐久性であると仮定して耐用年数も同じに設定した。

b) トラック輸送量と燃料消費量

(3)c)と同様に各ケースの燃料消費量を算出した。結果を表-10に示す。

(5) 検討ケースにおける発電量の設定

本検討では、廃タイヤ、廃プラスチックを舗装に利用しない場合、全て発電に使用するとした。使用する廃タイヤ、廃プラスチック量は表-8, 9の通りであるので、これと廃タイヤ質量当たりの発電量¹³⁾ $2.18 \times 10^3 \text{ kWh/t}$ 、廃プラスチック質量当たりの発電量¹⁴⁾ $1.79 \times 10^3 \text{ kWh/t}$ から、これら廃棄物から発電できる電力量が求められる。廃タイヤ、廃プラスチックを舗装に使用する場合、都市内全体で見れば、同じ電力量を公共電力から供給しなければならぬ。従って、比較対象毎に電力量を等しく設定した場合、図-3, 4のようになった。

3. 環境負荷原単位の作成

舗装用に使用される資材のほとんどの環境負荷原単位

表-8 再生資材等のモデル都市内での需要量（表層）

	単位	ケース3 廃タイヤ利用混 合物(アスファルト にゴム粉15%)	ケース4 廃プラ利用混 合物(骨材の 代替5%)	ケース5 廃プラ利用混 合物(骨材の 代替10%)
需要量(容積)	m ³ /yr	29,450	176,700	176,700
表層材密度	t/m ³	2.38	2.22	2.16
需要量(質量)	t/yr	70,091	392,274	381,672
アスファルト	t/yr	3,106	19,966	20,078
粗骨材	t/yr	37,869	186,073	165,258
細骨材・石粉	t/yr	28,568	156,098	156,126
ゴム粉(廃タイヤ)	t/yr	548	0	0
プラ骨材(廃プラ)	t/yr	0	10,038	20,078
備考(配合) (改質混合物) (ストアス混合物) (ストアス混合物)				
バインダー配合率	質量%	5.5	5.4	5.6
空隙率	容積%	4.0	4.0	4.0
粗骨材	質量%	57.0	50.0	45.7
細骨材・石粉	質量%	43.0	41.9	43.2
ゴム粉(対アスファルト)	質量%	15.0	0.0	0.0
プラ骨材	質量%	0.0	2.7	5.6

表-9 再生資材等のモデル都市内での需要量（基層）

	単位	ケース3 廃タイヤ利用混 合物(アスファルト にゴム粉15%)	ケース4 廃プラ利用混 合物(骨材の 代替5%)	ケース5 廃プラ利用混 合物(骨材の 代替10%)
需要量(容積)	m ³ /yr	29,450	176,700	176,700
表層材密度	t/m ³	2.37	2.19	2.15
需要量(質量)	t/yr	69,797	386,973	379,905
アスファルト	t/yr	2,812	18,055	18,250
粗骨材	t/yr	47,860	239,514	221,405
細骨材・石粉	t/yr	18,612	101,111	138,390
ゴム粉(廃タイヤ)	t/yr	499	0	0
プラ骨材(廃プラ)	t/yr	0	9,866	19,550
備考(配合) (改質混合物) (ストアス混合物) (ストアス混合物)				
バインダー配合率	質量%	5.0	4.9	5.0
空隙率	容積%	5.0	5.0	5.0
粗骨材	質量%	72.0	65.0	61.2
細骨材・石粉	質量%	28.0	27.4	38.2
ゴム粉(対アスファルト)	質量%	15.0	0.0	0.0
プラ骨材	質量%	0.0	2.7	5.5

表-10 トラック輸送量と燃料消費量（再生資材利用）

輸送量(行き先)	単位	ケース3 廃タイヤ利用混 合物(アスファルト にゴム粉15%)	ケース4 廃プラ利用混 合物(骨材の 代替5%)	ケース5 廃プラ利用混 合物(骨材の 代替10%)	輸送距離 (設定値)
アスファルト(プラント)	t	0	38,021	38,328	115 km
アスファルト(改質アス工場)	t	5,918	0	0	115 km
ゴム粉(改質アス工場)	t	1,047	0	0	115 km
ゴム粉入りアス(プラント)	t	6,964	0	0	13.5 km
砕石(プラント)	t	132,910	682,796	681,179	57.6 km
プラ骨材(プラント)	t	0	19,904	40,028	115 km
アスファルト合材(現場)	t	139,888	779,247	761,577	13.5 km
軽油消費量					
アスファルト(プラント)	L	0	251,852	253,883	
アスファルト(改質アス工場)	L	39,198	0	0	
ゴム粉(改質アス工場)	L	6,933	0	0	
ゴム粉入りアス(プラント)	L	5,406	0	0	
砕石(プラント)	L	440,197	2,261,421	2,256,066	
プラ骨材(プラント)	L	0	131,841	265,148	
アスファルト合材(現場)	L	108,588	604,890	591,174	
合計	L	600,322	3,250,006	3,366,272	

が公表されていない。これらは、詳細な生産方法などを調査することが難しいことから、土木研究所をはじめとして、これまで産業連関表の分析による原単位作成が行われてきた³⁾。しかし、産業連関法による原単位は、貨幣価値に基づき環境負荷を按分して求めたもので、様々な

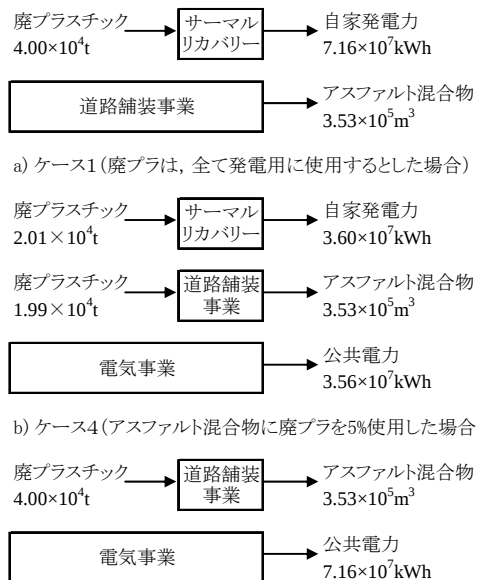


図-3 ストレートアスファルト舗装利用の場合

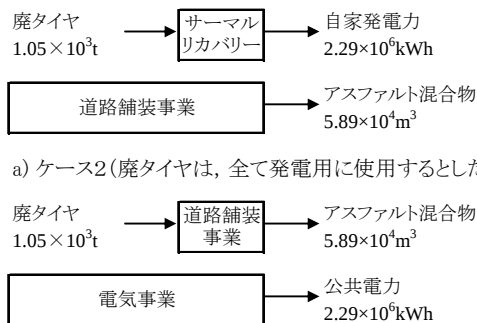


図-4 改質アスファルト舗装利用の場合

資材の総合物である大きな構造物の評価には有効であるが、同じ種類の資材同士を比較したり、舗装のような比較的資材の種類が少ない場合には実際との相違が大きくなる場合が多い。そこで、本検討では積み上げ法により原単位作成を行うことにした。

積み上げ法による原単位の作成は、各資材の原料調達・製造に係るエネルギー等を詳細に調査することにより実施した。結果を以下に示す。なお、舗装に関する原単位を作成する場合、利用可能な公表データが非常に少なく、適宜ヒアリング等を行い、データを補充した。このため、ここに示す結果は、必ずしも平均的な値となっていない場合もある。

(1) 燃料等の原単位

電力燃料等の原単位は、(財)産業環境管理協会のLCA算出ソフトJEMAI-LCAの値を用いた。表-11に値を示す。

(2) アスファルトの原単位

アスファルトの環境負荷原単位の算出結果を表-12に示す。算出にあたっては、原油生産から輸送、精油所での精製を考慮する必要があるが、石油精製によりアスファルトだけが生産される訳ではなく、複数の製品が同時に生産される。これらの製品に環境負荷を相応に負担させるが、全てが目的物であるため、負担率を簡単に決定できない。ここでは全ての石油製品を等分の負担率にして計算することにした。アスファルトの原油張込流量2.0%、原油100Lに対して全石油精製物の合計は91.4Lであることから、アスファルトの環境負荷の負担は、全体の2.2%（＝2.0÷0.914）である。原油1kLから得られるアスファルトは20.8kg程度であるので、石油製品全体の各環境負荷量に2.2%/20.8kgを掛け合わせることで環境負荷原単位を求めた。

改質アスファルトII型の生産に係わる環境負荷原単位の算出結果を表-13に示す。算出にあたっては、主な改質材であるSBS（スチレンブタジエンスチレン）の原単位が必要となるが、公表されているデータはない。しかし、SBSと製法に共通点の多いSBR（スチレンブタジエンゴム、合成ゴム）の原単位が公表されていたので、これをSBSの原単位として使用した。また、改質アスファルトの生産にあたってアスファルトとSBSを混合する工程が必要であったため、ヒアリング調査を行い、国内の主要な改質アスファルトメーカー6社のプラント運転状況の平均値をプラント消費量として環境負荷原単位を求めた。

(3) 砕石の原単位

砕石の環境負荷原単位の算出結果を表-14に示す。砕石についても公表されたデータがなく、適当な統計値も見あたらなかったため、ヒアリング調査を行い、製造に係る電力・燃料消費量について聴取することができた採石工場（規模：3500t/日）1工場のデータから求めた。

表-11 燃料等の環境負荷原単位

	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	出典
電力 kWh	9.09E+00	4.00E-01	5.17E-05	1.62E-04	1.72E-06	JEMAI-LCA
ガソリン L	3.51E+01	2.47E+00	7.57E-05	7.61E-04	8.62E-05	JEMAI-LCA
軽油 L	3.82E+01	2.69E+00	8.24E-05	8.29E-04	9.39E-05	JEMAI-LCA
重油 L	3.91E+01	2.77E+00	1.30E-05	8.07E-04	9.50E-05	JEMAI-LCA

表-12 アスファルトの環境負荷原単位

	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	出典
石油製品合計						
原油生産 kL	9.44E+02	5.24E+01	7.23E-01	1.15E-01	—	「石油製品のLCIデータの概要」石油連盟、平成15年1月
原油輸送 kL	4.63E+02	3.15E+01	6.87E-01	8.51E-01	—	
石油製品生産 kL	2.68E+03	1.50E+02	1.43E-01	1.16E-01	—	
石油製品合計 kL	4.09E+03	2.34E+02	1.55E+00	1.08E+00	—	
アスファルト（＝合計×2.2%/20.8kg） kg	4.33E+00	2.48E-01	1.64E-03	1.14E-03	—	

表-13 改質アスファルトII型の環境負荷原単位（輸送除く）

		エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NOx排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	出典	
改質アスファルト1tあたり								
プラント消費	A重油(L)	6.50	2.54E+02	1.80E+01	8.45E-05	5.25E-03	日本改質アスファルト協会へのヒアリング調査結果	
	灯油(L)	6.50	2.48E+02	1.75E+01	5.36E-04	5.39E-03		
	電力(kWh)	89.00	8.09E+02	3.56E+01	4.60E-03	1.44E-02		
原材料	アスファルト(t)	0.95	4.11E+03	2.35E+02	1.56E+00	1.09E+00	－	上記計算より
	改質剤(SBS)(t)	0.05	3.70E+02	1.50E+02	1.58E-06	6.65E-05	1.97E-05	JEMAI-LCAのSBRの値を流用
小計(1tあたり)			5.79E+03	4.57E+02	1.57E+00	1.11E+00	－	
改質アスファルトII型	kg		5.79E+00	4.57E-01	1.57E-03	1.11E-03	－	

表-14 砕石の環境負荷原単位（輸送除く）

			エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NOx排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	出典
砕石3500tあたり消費量								
重機消費 プラント消費	軽油(L)	263.55	1.01E+04	6.51E+02	2.00E-02	2.01E-01	2.27E-02	砕石工場へのヒアリング調査結果より
	ガソリン(L)	232.05	8.15E+03	5.73E+02	1.76E-02	1.77E-01	2.00E-02	
	電力(kWh)	4861.50	4.42E+04	1.94E+03	2.51E-01	7.88E-01	8.36E-03	
	小計(3500tあたり)		6.24E+04	3.17E+03	2.89E-01	1.16E+00	5.11E-02	
砕石生産 (=合計/3500t)		t	1.78E+01	9.05E-01	8.25E-05	3.33E-04	1.46E-05	

表-15 ゴム粉の生産に関する環境負荷原単位

	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	備考
ゴム粉生産（ビートワイヤ除去、切断、破碎、粉砕）	7.80E-01	3.00E-02	4.45E-06	1.39E-05	1.48E-07	電力消費量0.086kWh/tより算出

表-16 再生POペレットの生産に関する環境負荷原単位

	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	出典
再生POペレット(kg)	7.14E+00	5.90E-01	1.78E-05	1.86E-04	1.62E-05	JEMAI-LCA

表-17 アスファルト混合物生産に関する燃料等の消費

	ストレートアスファルト合材	改質アスファルト合材	再生アスファルト合材
生産割合	15 %	15 %	70 %
燃料消費率※1	100 %	115 %	110 %
電力消費率※1	100 %	100 %	110 %
重油消費量 L/t	8.88	10.21	9.77
電力消費量 kWh/t	4.11	4.11	4.52

※1燃料消費率、電力消費率は、ストレートアスファルト合材を100%とした場合の数値

(4) 廃タイヤ再生資材（ゴム粉）に係わる原単位

廃タイヤ再生資材の環境負荷原単位の算出結果を表-15 に示す。廃タイヤからゴム粉を生産するプロセスは、「ビートワイヤ除去」、「切断」、「破碎」、「粉碎」の4つの工程からなる。公表されたデータが見あたらなかったため、ヒアリング調査を行い、製造に係る電力・燃料消費量について聴取することができた1工場のデータから求めた。2t あたりビートワイヤ除去 11kWh、切断 11kWh、破碎 75kWh、粉碎 75kWh であったので、質量当たりの消費電力を $(11\text{kWh}+11\text{kWh}+75\text{kWh}+75\text{kWh}) \div 2\text{t} = 0.086\text{kWh/t}$ として計算した。

(5) 廃プラスチック骨材の生産に係わる原単位

再生POペレットの生産に関する環境負荷原単位の値を表-16 に示す。廃プラスチック骨材については、再生プラスチックペレットの生産と同様の工程で生産されるものと仮定し、「再生POペレット」として公表されているデータを流用した。

(6) アスファルト混合物生産に係わる原単位

アスファルト混合物生産に関する原単位を表-17 の下段に示す。アスファルト混合物生産における原単位については、(社)日本アスファルト合材協会より、混合物1tあたりの資源消費の統計値（電力消費量 10.2kWh/t、重油消費量 9.7L/t）が公表されている。しかし、これは新規合材、再生合材、再生骨材の生産が全て混ざったものであり、これらを分離しないと使用できない。

そこで、まず、いくつかのプラントに対しヒアリング調査を行い、再生骨材の生産を除いた資源消費を調査したところ、回答が得られた3プラントにおける重油/電力比の平均値は2.2となった。重油消費が全て合材生産に使用されたとすれば、統計値の重油消費量から合材生産分のエネルギー消費が求められ、電力消費 4.4kWh/t、重油消費 9.7L/t となった。これをもとにして、さらに表-17 に示すようにストレートアスファルト合材、改質アスファルト合材、再生合材の3つの生産割合、燃料消費率、電力消費率を設定し、それぞれの資源消費を求めたところ、表-17 の下段の値となった。各種合材生産の環境負荷原単位は表-11 と表-17 から求めて使用した。

(7) 舗装工事に係る原単位

舗装工（表層、基層の施工）で使用する重機は、国土交通省「土木工事標準積算基準書」を基に、アスファルトフィニッシャー（ホイール型 2.4～6.0m）、ロードローラ、タイヤローラを各1台とした。ただし、舗装は2層として計上した。

表-18 舗装工に関する環境負荷原単位

	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	備考
舗装工	4.63E+00	3.26E-01	9.99E-06	1.00E-04	1.14E-05	軽油消費量 0.121L/m ² より 算出

表-19 廃タイヤ発電に関する環境負荷原単位

	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	出典
廃タイヤ発電 (t当たり)	3.32E+04 ※1	1.77E+03 ※2	—	—	—	※1 文献15) ※2 文献16)

表-20 廃プラスチック発電に関する環境負荷原単位

	エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	出典
廃プラ発電 (t当たり)	2.93E+04 ※1	2.83E+03 ※2	1.40E-01 ※2	1.63E+00 ※2	—	※1 文献15) ※2 文献14)

- ・1日の燃料（軽油）消費量=65+35+41=141（L）
- ・1層 1000m²あたりの施工日数=1/2.300=0.43 日

- ・1層 1000m²あたりの燃料（軽油）消費量
=141×0.43=60.6（L/1000m²）
- ・2層 1000m²あたりの燃料（軽油）消費量
=60.6×2=121.2（L/1000m²）

これらより、舗装工に係わる軽油消費原単位は 0.121（L/m²）となることから、環境負荷原単位は表-18 のようになった。

(8) 廃棄物発電に係わる原単位

廃タイヤ、廃プラスチックによる発電に係わる原単位としては、様々な文献¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾に分散していたので、これらを収集して、表-19, 20 のように設定した。ただし、廃タイヤ発電に関しては、エネルギー量、CO₂ 排出量以外の原単位について情報が得られなかったため、これら二つのみとなっている。

4. 再生資材利用舗装の環境負荷量の算定

上記までの調査を基に、廃ゴム、廃プラスチックを舗装に使用した場合の環境負荷量を算定した。結果を表-21 に示す。各環境負荷量を比較すると、エネルギー量、CO₂ 排出量と比べて、SO_x、NO_x 排出量は概ね3桁以上小さく、また SPM では概ね4桁以上小さい。これらの指標は数値が小さいばかりでなく、一部には原単位が収集できずに、未計上の部分もあるため、考察はエネルギー量、CO₂ 排出量に絞って行うこととした。

エネルギー消費量および CO₂ 排出量について図示すると図-5, 6 のようになった。なお、通常材舗装である、ケース1とケース2はアスファルトの違いだけであるが、使用条件や寿命の設定などを簡略化して設定しているため、実際と異なることも予想される。このため、直接の比較は行わない。

廃プラスチック利用舗装のケース4, 5は、ストレートアスファルトタイプ利用であることからケース1と比較する。図-5, 6より、舗装部分（材料、舗装工、輸送）で見ると廃プラスチックを利用することによりエネルギー消費、CO₂排出量ともに増大している。しかし、トータルで見ると、サーマルリカバリーによる発電の負荷が大きくなり、廃プラスチック利用舗装の環境負荷は小さくなっている。

廃ゴム利用舗装のケース3では、改質アスファルトタイプの利用であるため、ケース2と比較する。図-5, 6より、舗装部分だけを見ても改質アスファルトを利用するよりゴム粉を利用したほうがエネルギー消費、CO₂排出量が若干減少している。これは、改質アスファルトに用いられる改質材（SBS）の原単位（表-13）が大きいのに対し、ゴム粉はリサイクル品のため原料の調達などが環境負荷として含まれず、原単位（表-15）が小さいためと考えられる。サーマルリカバリーによる発電まで考慮すると、環境負荷低減効果はさらに大きくなった。

これらの結果より、廃タイヤ、廃プラスチックを利用した舗装では、舗装部分だけを見ると環境負荷が増大している場合もあるが、舗装以外での利用までを考慮するとトータルでは環境負荷が減少する可能性があることが示された。

なお、これらの結果は、廃プラスチック利用舗装はストレートアスファルトを用いた舗装と同じ耐久性、廃ゴム（ゴム粉）利用舗装は改質アスファルトⅡ型を用いた舗装と同じ耐久性があり、通常の舗装と同様にリサイクル可能と仮定した場合であり、舗装に利用しない場合は、サーマルリカバリーに使用するとした場合に得られる結果である。

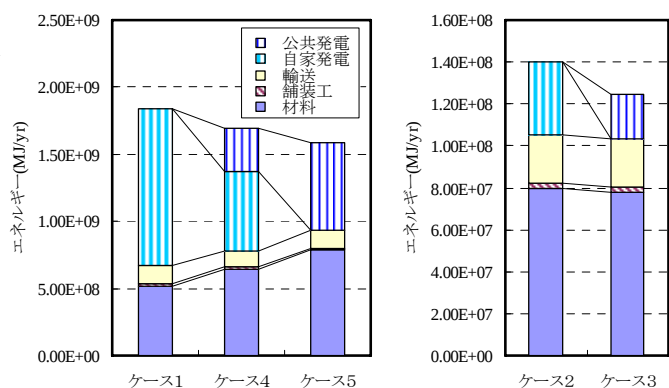
5. まとめ

本研究では、再生資材利用の舗装の環境負荷を評価することを目的に、国内の平均的な都市内で利用した場合を想定し、LCA 評価を行った。その結果、廃タイヤ、廃プラスチックを利用した舗装では、舗装部分だけを見ると環境負荷が増大している場合もあるが、舗装以外での利用まで考慮するとトータルでは環境負荷が減少する可能性があることが示された。

本研究で得られた主な知見をまとめると次のとおりで

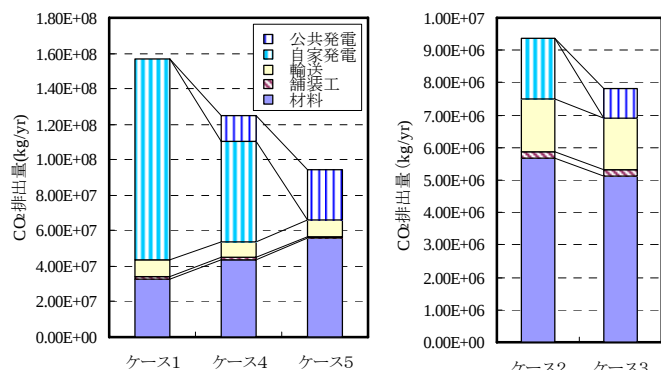
表-21 環境負荷量の算定結果

		エネルギー量 (MJ)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	SO _x 排出量 (kg-SO _x)	NO _x 排出量 (kg-NO _x)	SPM排出量 (kg-SPM)	備考 (使用データ)
ケース1	材料計	5.16E+08	3.30E+07	6.88E+04	5.45E+04	7.23E+02	表-5, 6, 11, 12, 14, 17
	舗装工	1.64E+07	1.15E+06	3.53E+01	3.55E+02	4.02E+01	表-4, 18
	輸送(軽油)	1.36E+08	9.56E+06	2.93E+02	2.95E+03	3.34E+02	表-7, 11
	自家発電	1.17E+09	1.13E+08	5.60E+03	6.53E+04	0.00E+00	図-3, 表-20
	公共電力	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	図-3, 表-11
ケース2	材料計	7.95E+07	5.69E+06	5.79E+03	5.48E+03	2.10E+02	表-5, 6, 11, 13, 14, 17
	舗装工	2.73E+06	1.92E+05	5.88E+00	5.92E+01	6.70E+00	表-4, 18
	輸送(軽油)	2.29E+07	1.61E+06	4.93E+01	4.96E+02	5.61E+01	表-7, 11
	自家発電	3.49E+07	1.86E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	図-4, 表-19
	公共電力	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	図-4, 表-11
ケース3	材料計	7.77E+07	5.11E+06	5.17E+03	4.86E+03	1.39E+02	表-8, 9, 11, 12, 14, 15, 17
	舗装工	2.73E+06	1.92E+05	5.88E+00	5.92E+01	6.70E+00	表-4, 18
	輸送(軽油)	2.29E+07	1.61E+06	4.95E+01	4.98E+02	5.64E+01	表-10, 11
	自家発電	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	図-4, 表-19
	公共電力	2.08E+07	9.16E+05	1.18E+02	3.71E+02	3.94E+00	図-4, 表-11
ケース4	材料計	6.40E+08	4.37E+07	6.31E+04	5.40E+04	1.04E+03	表-8, 9, 11, 12, 14, 16, 17
	舗装工	1.64E+07	1.15E+06	3.53E+01	3.55E+02	4.02E+01	表-4, 18
	輸送(軽油)	1.24E+08	8.74E+06	2.68E+02	2.69E+03	3.05E+02	表-10, 11
	自家発電	5.89E+08	5.69E+07	2.81E+03	3.28E+04	0.00E+00	図-3, 表-20
	公共電力	3.24E+08	1.42E+07	1.84E+03	5.77E+03	6.12E+01	図-3, 表-11
ケース5	材料計	7.85E+08	5.57E+07	6.40E+04	5.81E+04	1.37E+03	表-8, 9, 11, 12, 14, 16, 17
	舗装工	1.64E+07	1.15E+06	3.53E+01	3.55E+02	4.02E+01	表-4, 18
	輸送(軽油)	1.29E+08	9.06E+06	2.77E+02	2.79E+03	3.16E+02	表-10, 11
	自家発電	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	図-3, 表-20
	公共電力	6.51E+08	2.86E+07	3.70E+03	1.16E+04	1.23E+02	図-3, 表-11



(a)ストレートアスファルト
タイプ利用 (b)改質アスファルト
タイプ利用

図-5 エネルギー消費量の算出結果



(a)ストレートアスファルト
タイプ利用 (b)改質アスファルト
タイプ利用

図-6 CO₂排出量の算出結果

ある。

(a) 舗装に関する環境負荷原単位は、アスファルトをは

はじめとしてほとんど整備されておらず、LCA 分析を行う際に、多くの原単位作成を行わなければならない。

- (b) 再生資材の原単位も整備が不十分であり、統計的なデータも不足しているため、生産方法の聞き取り調査などから原単位作成を行う必要がある。
- (c) 廃プラスチックをアスファルト混合物層へ利用する場合は、舗装に関する部分では環境負荷は増大するが、舗装以外での利用まで考慮すると、トータルでは環境負荷が減少する可能性が示された。
- (d) 廃ゴムは改質アスファルトと同程度の性能が得られれば、わずかではあるが環境負荷を低減させられる可能性が示された。

また、今回の検討では、以下に示すいくつかの課題があり、今後これらの解決が必要と考えられた。

- (e) 廃プラ、廃ゴムを利用した舗装の耐久性の確認
- (f) 廃プラ、廃ゴムを利用した舗装がリサイクル不可能な場合は、環境負荷が増大するため、リサイクルの可否の確認
- (g) 輸送距離の設定の妥当性の確認

謝辞：本研究においては多くの原単位を作成しているが、作成にあたり日本改質アスファルト協会、(社)日本自動車タイヤ協会、(社)プラスチック処理促進協会等の諸団体から数多くの製造工程データ等を提供していただいた。ここに深甚なる感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 例えば、大脇、木元、新藤：環境保全・改善に向けての取り組み 建設工事における LCA と環境保全・改善への取り組み、コンクリート工学、Vol.45, No.5, pp.109-113, 2007.5
- 2) 伊藤、梅田、岩田：橋梁のライフサイクル環境負荷および建設副産物発生量に関する研究、構造工学論文集 A, Vol.47A, No.3, pp.1109-1118, 2001.3
- 3) 例えば、片脇、寺田：資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書（その 2）、土木研究所資料、第 3256 号、1994.3
- 4) 天野、牧田：舗装道路の建設と維持修繕に伴う環境負荷とコストのライフサイクル評価、土木学会論文集、No.657, pp.57-64, 2000.8
- 5) 例えば、帆苅：日本におけるアスファルトラバーの開発と普及への取り組み、アスファルト合材、No.79, pp.40-45, 2006
- 6) 例えば、明嵐：多孔質弾性舗装の原理と実際、土木施工、Vol.44, No.11, pp.7-11, 2003.11
- 7) 山田、稲葉：廃プラスチックのアスファルト混合物用材料としての利用、舗装、Vol.29, No.7, pp.17-22, 1994.7
- 8) (社)日本自動車タイヤ協会：タイヤリサイクルハンドブック、p.25, 2007
- 9) (社)プラスチック処理促進協会：プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況、p.3, 2007.12
- 10) 日本道路協会編：舗装の構造に関する技術基準・同解説、日本道路協会、p.59, 2002.7
- 11) R. Souza, 姫野、平川、小澤：乗用車タイヤゴム粉を添加した AR 密粒度混合物の性状、土木学会第 60 回年次学術講演会、2005.9
- 12) 小野、向後、姫野：アスファルトラバーを用いた密粒度混合物の疲労破壊特性、土木学会第 61 回年次学術講演会、2006.9
- 13) ブリヂストン：社会・環境報告書 2005, p.66, 2005.7
- 14) プラスチック処理促進協会：プラスチック製容器包装の処理に関するエコ効率分析 2006 年度, p.102, 2006.9
- 15) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計 2006 年度, 2008.5
- 16) 環境省、経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル, p.II-62, 2008.5

LCA EVALUATION OF RECYCLE PAVEMENT USING SCRAP TIRE AND WASTE PLASTIC

Hiroyuki NITTA and Itaru NISHIZAKI

Recently, the development of the recycled resource is active in the background of effective use of the resource and the depletion of the final disposal dump, etc. Especially, the development of the technology used for the pavement of those recycled resources is active. Using these recycled resources comes to recycle certainly. However, whether it has contributed to the environmental load decrease in total until abandoning since using these manufactures it is not clarified. Then, the resource consumption, the saving resource, and the environmental load when using it for pavement were provisionally calculated for scrap tire and waste plastics, and LCA evaluation was examined. As a result, it was shown overall might decrease the environmental load though the recycled resource pavement might partially increase the load.