

H-4 東アジア諸国での日本発の使用済み自動車及び部品の不適切な使用・再資源化による地球環境負荷増大の実態とその防止策の検討

(6) LCAによる日本からの使用済み自動車及び部品の適切な使用・再資源化システムの設計

独立行政法人

産業技術総合研究LCA研究センター

稲葉敦

産業技術総合研究LCA研究センター

八木田浩史

産業技術総合研究LCA研究センター

布施正暁

〈研究協力者〉 財団法人日本自動車研究所 船崎敦

平成15～17年度合計予算額（予定） 4,375千円  
（うち、平成17年度予算額 1,432千円）

[要旨] 地球温暖化に加え複数の環境問題を引き起こしながら対応が遅れているわが国発の使用済み自動車および部品を、流出先で適切に使用・再資源化していくため適切な使用・再資源化システムを設計することが必要となる。本研究はそのシステム設計のための評価手法として製造から使用、廃棄までのライフサイクルを評価するライフサイクルアセスメント（LCA）に注目し、日本発の使用済み自動車の東アジア諸国における第二ライフサイクル、第三ライフサイクルを考慮できるように既存の自動車LCA手法の拡張を行った。平成15年度は、東アジア諸国のなかで日本発の使用済み自動車の中古車として利用し、その後国内で再資源化する代表的な国の1つであるインドネシアを例に日本からのガソリン車とディーゼル車の第二ライフサイクルを対象に途上国における自動車の環境負荷増加要因を抽出しLCAインベントリ分析を用いて定量化し、さらに産業技術総合研究所が開発した日本版被害算定法（LIME法）を用いて社会的な外部コストを推計することで環境影響を評価した。平成16年度は、前述のLCAモデルの改良・拡張をおこない、低年式の輸出中古車が第二、第三ライフサイクルを全うするシステムと第二、第三ライフサイクルに対してそれぞれ新車を供給し、自国でライフサイクルを全うするシステムを比較し、環境対策の効果を外部コストから評価した。平成17年度は、さらなるLCAモデルの改良・拡張をおこない、モデルを精緻化するとともに、インドネシア、タイを対象に、自動車国際使用・再資源化システム（使用済み自動車自体の輸出入に制約を設けず各国の使用・再資源化状況に応じた最適な個別防止策を講じる）と自動車国内使用・再資源化システム（各国が自国内で排出された使用済み自動車を自国内で全て再資源化する）の比較を行った。

[キーワード] ライフサイクルアセスメント、第二・第三ライフサイクル、自動車国際使用・再資源化システム、自動車国内使用・再資源化システム、日本版被害算定法（LIME法）

1. はじめに

日本発の使用済み自動車が発東アジア諸国での中古車及び部品あるいは材料として使用・再資源

化される際に発生する地球環境問題とそれを防止する対策を検討するためには、日本からの使用済み自動車及び部品の適切な使用・再資源化システムを設計する必要がある。

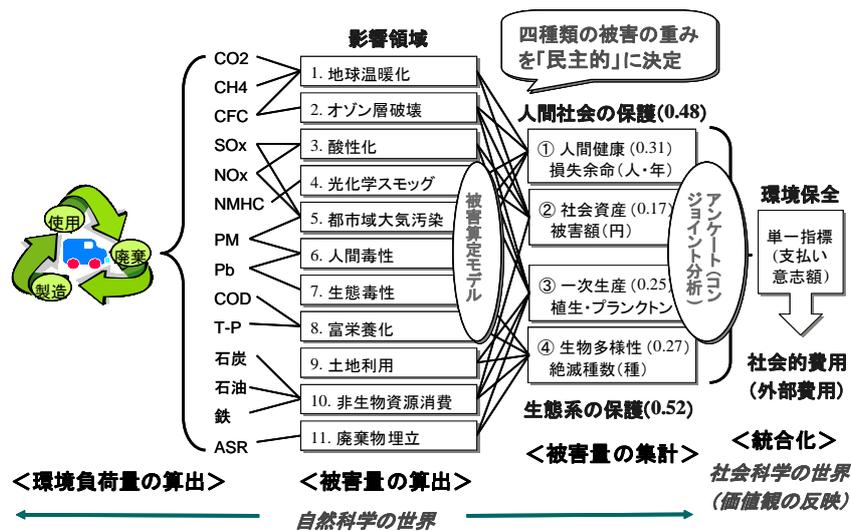
## 2. 研究目的

本研究は、地球温暖化に加え複数の環境問題を引き起こしながら対応が遅れているわが国発の使用済み自動車および部品を流出先で適切に使用・再資源化していくために必要な体制を構築することを目指し、そのためにLCAを用いて日本からの使用済み自動車および部品の適切な使用・再資源化システムを設計することを目的としている。

## 3. 研究方法と結果・考察

平成15年度は、日本発の使用済み自動車のアジアにおける第二ライフサイクルを考慮できるように現存のLCA手法を拡張した雛形を開発した。具体的には、途上国における自動車の環境負荷増加要因を分析して定量化し、産業技術総合研究所が開発した日本版被害算定法（LIME、図1）を用いて社会的な外部コストの考え方を輸出中古車に適用することにより、海外（インドネシア）における輸出中古車の第二ライフサイクルの環境影響を評価した。現状のLIMEでは、被害算定モデルは日本の状況を土台に作成されており、統合化の重み付けにも日本人の環境観や貨幣価値が反映されているため、そのまま海外に適用することには異論があると考えられる。しかし、日本と海外の影響評価結果を系統的に同じ土俵で比較することを目的とした場合、有効な示唆も得られるものと考えられ、敢えてLIMEの適用を試みることにした。

平成16年度は、上記LCAモデルの改良・拡張をおこない、低年式の輸出中古車が第二・第三ライフサイクルを全うするシステム（1台の総走行距離は50万kmを想定、広域リサイクルと呼ぶ）と第二・第三ライフサイクルに対してそれぞれ新車を供給し、自国内でライフサイクルを全うするシステム（中古車の輸入を禁止し、現地生産に切り替える。1台の寿命や総走行距離は各国で異なる。個別リサイクルと呼ぶ）の考え方を示し（図2）、典型的な海外の第二・第三ライフサイクル（タイ・ベトナム）の環境対策の効果を外部コストから評価した。



※ LIME: Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling

図1 日本版被害算定法（LIME法）のイメージ



本研究では典型的なケースのLCAモデルの作成が主目的である。LCAモデルの作成上（環境負荷・影響度の計算上）、携行品扱いと通関経由の違いは本質的なものではなく、むしろ、排出ガス規制や使用年数に関する自動車の製造年が重要である。

また、典型的な第二ライフサイクルのLCAモデルをつくることにより、他の諸国および第三ライフサイクルに適用できるようにするため、いくつかの典型的な対象国を選定する。対象国を選定するにあたり、東アジア諸国の現状を表1にまとめた。一人あたりの所得、一台あたりの乗用車保有台数とも各国で二桁の格差があり、排気ガス規制や燃料性状のレベルも様々である。ここでは、乗用車の普及レベルが中程度であり、排出ガス規制および燃料性状の改善が遅れているインドネシア、および、比較的環境対策が進んでいるタイを第二ライフサイクルの典型国として分析する。

表1 東アジア諸国の国勢、自動車普及、自動車関連規制の現状

国名	人口 (万人)	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	国民総所得 (ドル/人)	乗用車保有 台数(万台)	1台あたり 人口(人)	乗用車排出 ガス規制	ガソリン 無鉛化	ガソリン硫 黄分(wt%)	軽油硫黄 分(wt%)
日本	12,765	338	36,610	5,354	2.3	新短期	無鉛化	0.010%	0.050%
韓国	4,770	481	9,460	889	5.3	STEP 3	↑	0.013%	0.043%
台湾	2,260	628	12,876	483	4.5	Tier 1	↑	0.018%	0.035%
中国	133,427	139	890	751	173	STEP 1	↑	0.080%	0.250%
北朝鮮	2,266	188	757	—	—	—	—	—	—
フィリピン	7,800	267	1,030	210	35	—	無鉛化	0.200%	0.200%
インドネシア	21,988	115	690	295	68	—	有鉛	0.200%	0.500%
ブルネイ	35.8	62	12,500	18	1.7	—	—	—	—
ベトナム	8,138	245	410	25	301	STEP 1	無鉛化	0.500%	1.000%
カンボジア	1,414	78	270	4.3	245	—	—	—	0.200%
ラオス	566	24	300	1.0	504	—	—	—	—
シンガポール	425	6,227	21,500	42.0	6.5	STEP 2	無鉛化	0.050%	0.050%
マレーシア	2,443	74	3,330	462	4.7	STEP 2	↑	0.100%	0.050%
タイ	6,283	122	1,940	259	9.9	STEP 3	↑	0.050%	0.050%
ミャンマー	4,949	73	300	18	259	—	—	—	—
米国	29,404	31	34,280	13,481	2.0	NLEV	無鉛化	0.006%	0.050%
EU-15	37,983	117	21,557	18,519	2.1	STEP 3	↑	0.015%	0.035%

\*1) 面積, 人口, …, 乗用車1台あたり人口の出典: データブック オブ ザ ワールド 2004年版, 二宮書店, (2004)

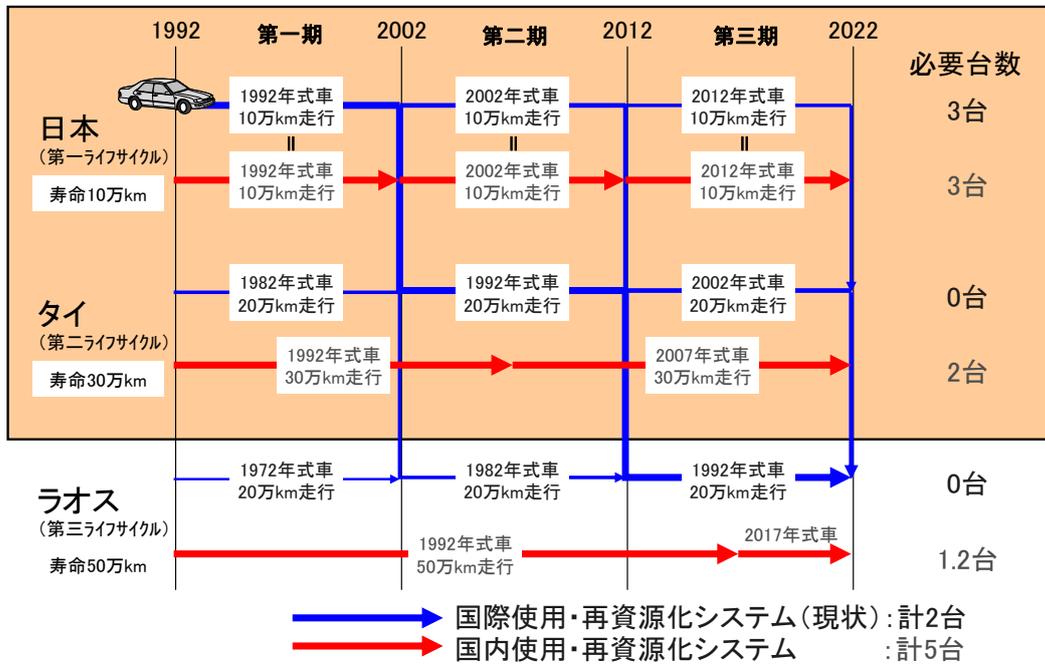
原則として, 人口関連は2003年データ, 所得関連や自動車保有関連は2001年データ

\*2) 乗用車排気ガス規制, ガソリン無鉛化, ガソリン/軽油硫黄分規制値の出所: 湊清之氏, 原則として, 2002年データとした。  
なお, 米国の規制値は, カリフォルニアの場合

\*3) EU-15 (15か国)の加盟国は, ベルギー, スペイン, ドイツ, フランス, ギリシャ, イタリア, オランダ, フィンランド,  
ルクセンブルグ, ポルトガル, デンマーク, スウェーデン, イギリス, オーストリア, アイルランド

第一から第三ライフサイクルのシステム境界の一例（日本・タイ・ラオス）を図3に示す。日本国内の乗用車の平均的な使用条件は10年使用、10万km走行であるが、海外の輸出中古車では10年使用、20万km走行（年間2万km）とした。一方、海外の新車では、第二ライフサイクルは15年使用、30万km走行（年間2万km）、第三ライフサイクルは25年使用、50万km走行（年間2万km）とした。ただし、実際の分析・評価では、情報不足から、第三ライフサイクルは対象外とした（実際、第三ライフサイクルに流れる乗用車はあまり多くないと考えられる）。なお、国際使用・再資源化

システムと国内使用・再資源化システムでは、必要とされる自動車の台数が異なることに注意する必要がある。これは、自動車単体（1台）のLCAを考えた場合、製造段階および廃棄段階に影響を与える。なお、第二ライフサイクルをインドネシアとした場合、第三ライフサイクルは南洋諸島とする。



※ 第一、第二ライフサイクル（塗りつぶし領域）の第一期から第三期が今年度の計算範囲

図3 国際／国内使用・再資源化システムの基本的な考え方（日本・タイ・ラオス）

## ②対象車両の主な諸元

輸出中古車（乗用車）の平均像は、ガソリン車で1700ccと設定した。日本、インドネシア、タイ向けの新車の主な諸元をそれぞれ、表2から4に示す。

1992年のガソリン車は、JARI-AISTモデル車（2000cc、4ドアセダン、FF・AT仕様）を適用した。1982年車、1997年車および2002年車のガソリン車は、自動車ガイドブック またはグリーン購入ネットワーク（GPN）の情報から、それぞれ3車種を選び、車両重量や燃費を設定した。2012年車は予測値であり、2007年車は2002年車と平均値である（詳細は脚注を参照のこと）。各年度の排出ガス規制値については既存文献から設定した。

表2 日本で製造する乗用車の主な諸元（4ドアセダン、ATを想定）

車両区分	製造年	排気量 (cc)	車両重量 (kg)	エアコン用冷媒フロン		バッテリー 液 (kg)	オイル類 (kg)	(輸出中古車として)
				種類	充填量 (g)			
ガソリン 乗用車 (実車)	1982年	2,000	1,143	CFC-12	700	3.7	13.7	1992年の輸出を想定
	1992年	2,000	1,220	CFC-12改	700	3.7	13.7	2002年の輸出を想定
	1997年	2,000	1,223	HFC-134a	630	3.7	13.7	5年落ちの輸出を想定
	2002年	2,000	1,250	↑	513	3.7	13.7	2012年の輸出を想定
	2007年	2,000	1,250	↑	482	3.7	13.7	
	2012年	2,000	1,250	↑	450	3.7	13.7	

車両区分	製造年	理論燃費 (km/L)	排出ガス規制値 (g/km)				排出ガス基準 の適用時期	2005年以降、JE08モード (EURO規制との関係)
			CO	HC (NHC)	NOx	PM		
ガソリン 乗用車 (実車)	1982年	12.0	2.10	0.25	0.25	—	1978年(S53)	S53規制 (EURO2相当)
	1992年	11.5	2.10	0.25	0.25	—	↑	↑
	1997年	13.2	2.10	0.25	0.25	—	↑	↑
	2002年	16.0	1.15	0.14	0.11	—	2000年(H12)	新短期(混合モード)
	2007年	16.6	1.15	0.05	0.05	—	2005年(H17)	新長期(混合モード)
	2012年	17.2	1.15	0.05	0.05	0.005	2009年(H21)	ポスト新長期

\*1) ガソリン乗用車の車両重量、冷媒フロン充填量(セダンタイプ)、燃料消費率(10・15モード)の出典:

1982年車: 対応年の自動車ガイドブックから、複数の代表車の平均値とした。

抽出した車名は、チェイサーE-GX61, ビスタE-SV11, ローレルE-UJC31JF の3車種。

1982年の燃費は10モードなので、燃費は10%増として10・15モード値とした。(自動車ガイドブックの解説)

排ガス値については、10モード=10・15モードとした。(規制値、諸元表の値とも差がないため)

フロン漏れ量を低減していない従来型カーエアコンとする。(初期充填量 700g のとき、50g/年)

1992年車: JARI-AIST モデル、船崎、ほか、エネルギー・資源、24-6 (2003) p443-448

1992年車以降、フロン漏れ量を低減した改良型カーエアコンとする。(初期充填量 700g のとき、15g/年)

1997年車: 対応年の自動車ガイドブックから、複数の代表車の平均値とした。

ただし、冷媒フロン充填量は、トヨタ環境報告書(1997年版)から、1992年車の90%と仮定した。

抽出した車名は、ビスタE-SV41, コロナ・プレミオE-ST210, ブルーバードE-HU14 の3車種。

2002年車: 対応年の自動車ガイドブック、および、グリーン購入のためのGPNデータブック 2001/2002 から、複数の代表車の平均値とした。

抽出した車名は、ビスタTA-AZV50, プレミオTA-AZT240, ブルーバードGH-TG10 の3車種。

2007年車: 2002年車と2012年車の平均と仮定、新長期規制対応(2005年10月以降)。

2012年車: 車両重量は2002年車と同じ、G燃費は1997年車の30%アップ、フロン充填量は第二世代プリウス並の450gと仮定した。

新長期の排ガス規制(2005年)では、 $88\% \times 10 \cdot 15 \text{モード} + 12\% \times (11 \text{モード} / 4.083 \text{km})$

ここでは、年2万km以上の走行を想定するので、燃費も含め、11モード(冷機)の影響は小さいと考えられる。

排ガス規制値として、ポスト新長期(2009年以降)を用いる。PM規制は直噴エンジン向け。

表3 インドネシアで製造する乗用車の主な諸元（4ドアセダン、ATを想定）

車両区分	製造年	排気量 (cc)	車両重量 (kg)	エアコン用冷媒フロン		バッテリー 液 (kg)	オイル類 (kg)
				種類	充填量 (g)		
ガソリン 乗用車	1992年	2,000	1,220	CFC-12改	700	3.7	13.7
	2007年	2,000	1,250	HFC-134a	513	3.7	13.7

車両区分	製造年	理論燃費 (km/L)	排出ガス規制値 (g/km)				排出ガス基準 の適用時期
			CO	HC	NOx	PM	
ガソリン 乗用車	1992年	11.5	2.72	0.29	0.68	—	未規制
	2007年	16.6	2.20	0.25	0.25	—	EURO2(2006~)

\*1) インドネシアでは、2006年から EURO2 を導入予定。未規制は EURO1 と仮定。

\*2) 欧州と日本の規制値の関係:

GVでは EURO1 ≒ 1976年(S51)規制, EURO2 ≒ 1978年(S53)規制

DVでは EURO1 ≒ 1994年(短期)規制, EURO2 ≒ 1997・98年(長期)規制

\*3) 2007年車の燃費は、2002年式と2012年式の日本車の平均と仮定。

表4 タイで製造する乗用車の主な諸元（4ドアセダン、ATを想定）

車両区分	製造年	排気量 (cc)	車両重量 (kg)	エアコン用冷媒フロン		バッテリー 液 (kg)	オイル類 (kg)
				種類	充填量 (g)		
ガソリン 乗用車	1992年	2,000	1,220	CFC-12改	700	3.7	13.7
	2007年	2,000	1,250	HFC-134a	513	3.7	13.7

車両区分	製造年	理論燃費 (km/L)	排出ガス規制値 (g/km)				排出ガス基準 の適用時期
			CO	HC	NOx	PM	
ガソリン 乗用車	1992年	11.5	2.72	0.29	0.68	—	未規制
	2007年	16.6	1.00	0.10	0.080	—	EURO3(2005~)

\*1) タイでは、2005年から EURO3、2010年から EURO4 を導入予定。未規制は EURO1 と仮定。

\*2) 欧州と日本の規制値の関係：

GVでは EURO3 ≒ 1978年(S53)規制(混合)と新短期規制(混合)の間、EURO4 ≒ 新短期(混合)と新長期の間

DVでは EURO3 ≒ 新短期規制レベル、EURO4 ≒ 新短期(混合)と新長期の平均

\*3) 2007年車の燃費は、2002年式と2012年式の日本車の平均と仮定。

### ③環境負荷増加要因とモデル化

途上国における自動車の環境負荷増加要因を表5にまとめる。以下、各項目について説明する。

- 1989年以降、冷媒フロンの漏れ量を抑制した改良型カーエアコンが装備されている。改良型の漏れ量は15 g/年（初期充填量700 g時）を基準とし、サイズが異なるエアコンの漏れ量は初期充填量に比例すると仮定した。なお、改良前の漏れ量は50g/年（同上）とした。特定フロンCFC-12（1992年車）は地球温暖化とオゾン層破壊に影響し、代替フロンHFC-134a（1997年車以降）は地球温暖化に影響する。
- エンジンオイルの品質による燃費向上幅は1～3%である。また、聞き取りから、エンジンオイルの劣化により、走行1万kmあたりで燃費は1%ほど低下すると言われている。走行1.5～2万kmから急速に劣化の影響が現れ、走行3万km以上ではエンジン焼き付けなど損傷の要因となると考えられる。ここでは走行1万kmあたりで燃費は1%低下とする。したがって、1万kmごとにエンジンオイルを交換するならば、燃費低下率は平均で0.5%となり、2万kmごとに交換するならば、燃費低下率は平均で1%となる。ここで、エンジンオイル交換頻度を2万km毎から1万km毎に改善する場合を考える。燃費を10km/L、年間走行距離を2万kmとすると、一年間の燃料消費量は2000Lであり、その燃費低下率は1%から0.5%に減るため燃料は約10L節減できる。一方、エンジンオイルの消費が4Lほど増えるので、差し引き6L程度の節減に止まる。廃オイルの処理量が2倍に増える一方で、燃費効果は  $6L/2000L = 0.3\%$ 程度となり、総合的にみて特に優れた効果とは言えないかもしれない。ここでは、エンジンオイルの交換は日本並みに1万km毎とし、燃費効果は無視する。
- 長期間の使用により、排出ガス（CO、HC、NOx、PM）を低減する（浄化する）触媒機能は劣化する。ここでは、メーカー届出値（自動車諸元表に記載）ではなく規制値を適用することにより、触媒機能の劣化を表現する。ただし、LIME法ではCOは評価対象外になっている。HCは光化学スモッグ、NOxは酸性化と都市域大気汚染、PMは都市域大気汚染（ディーゼル排気のPMはPM2.5に区分）に影響する。
- 途上国の高硫黄燃料（ガソリン、軽油）は排出ガス（SO<sub>2</sub>、PM）の増加要因となる。SO<sub>2</sub>は酸性化

および都市域大気汚染に影響する。一方、硫酸塩としてのPMの増加も想定されるがモデル化のための情報が不明であり対象外とし、燃料中の硫黄分はすべてSO<sub>2</sub>になると仮定する。なお、LIME法では都市域大気汚染の影響領域においてSO<sub>2</sub>の二次汚染として硫酸塩（PM）の影響を評価しているため、高硫黄燃料の使用によるPMの増加モデルは不要とも考えられる。

- 5 燃料の硫黄分は触媒被毒を促進し、排出ガス（CO、HC、NO<sub>x</sub>、PM）を増加させる。ここでは、後述するように文献データ<sup>14)</sup>の外挿および触媒未装着データから、触媒被毒における排出原単位を推定する。付着物は不定期に燃焼し、ある程度浄化機能が回復するが、ここでは考慮しない。なお、ディーゼル車については、高硫黄燃料に関するデータが不明なため、触媒被毒モデルを適用していない。
- 6 インドネシアでは有鉛ガソリンが使われている。有鉛ガソリンに含まれる鉛含有量は0.3 g-Pb/Lを適用し、有鉛ガソリン燃焼に伴い鉛化合物（PbSO<sub>4</sub>）が浮遊状微粒子（PM<sub>2.5</sub>）として大気中に排出されるとする。
- 7 硫黄を含む有鉛ガソリンの燃焼により、PbSO<sub>4</sub>が触媒表面に付着し、触媒被毒が促進される。系統的かつ定量的なデータは少ないが、いくつかの文献から、浄化率が40%まで低下すると仮定する。Pb触媒被毒では、アンモニア水溶液を用いて洗浄しないと、触媒機能の回復はない。（自然回復はない）
- 8 整備不良による排出ガス（CO、HC、NO<sub>x</sub>、PM）の増加についても系統的かつ定量的なデータはほとんどない。故障時のアイドリング等の排出ガス濃度が正常時に比べ1桁ほど多いことから、故障時の排出ガス原単位を1973年規制の上限値と仮定する。
- 9 廃バッテリーの鉛溶融において、鉛蒸気の放出が懸念される。ここでは欧州の鉛精錬工場の排出原単位を用いる。ただし、途上国では、周辺環境というより、作業員の健康被害という極めて局所的な問題（労働環境）と捕らえることも必要であろう。
- 10 未回収のバッテリー液の流出により、希硫酸（鉛含有の可能性あり）が水圏または土壤に浸出する。LIMEでは人間毒性の評価対象になっておらず、廃棄物（廃酸）の埋め立てとしてのみ評価される。使用段階の保守交換時の処理状況は不明である。ここでは保守交換時およびELV解体時とも未回収とする。
- 11 未回収のオイルの流出も廃棄物（廃油）の埋め立てとして評価される。使用段階の保守交換時の処理状況は不明である。ここでは部品交換時、ELV解体時とも未回収とした。
- 12 未回収のLLCについても、オイルと同じ扱いである。
- 13 乗用車保有台数がまだ少ないことから、途上国ではまだシュレッダーが導入されない。しかし、将来の破砕機導入を見越し、最悪の状況として自動車シュレッダーダスト（ASR）の不適正処理（不法投棄、安定型最終処分場への埋立）が想定される。この場合、ASR中の鉛成分が最も影響が大きいと考えられる。ASR重量は車両重量の約18%であり、鉛成分比率については0.2%と仮定する。（廃バッテリーの鉛が含まれていない場合）

表5 途上国の第二（第三）ライフサイクルにおける環境負荷増加要因

区分	環境負荷の増加原因	環境負荷物質	環境負荷量の算出モデル	影響評価(LIME法)
気候変動	1 冷媒フロンへの漏れ、解体時の放出	CFC-12 HFC-134a	改良前の漏れ量 50g/年(充填量 700g), 1989年以降の改良型の漏れ量 15g/年(同)	地球温暖化, オゾン層破壊(CFC-12)
	2 整備不良による燃費の低下	化石燃料消費 CO2	エンジンオイルの汚れにより、走行1万kmで燃費1%低下と仮定。3万km以上でエンジン損傷の可能性	資源枯渇, 地球温暖化,
大気汚染	3 長期使用による触媒機能の劣化	CO, HC, NOx, PM の増加	排出原単位は、諸元表の届出値ではなく、規制値を適用する。(届出値 < 規制値)	酸性化, 光化学スモッグ, 都市域大気汚染, CO未対応
	4 燃料の高硫黄分による排出ガス	SOx(as SO2), PM (as Sulfate)	硫黄分はすべてSO2になると仮定する。 (一部をPM(硫酸塩)として算出しない。)	酸性化, 都市域大気汚染では硫酸塩(二次粒子)も考慮
	5 燃料の高硫黄分による触媒被毒(回復あり)	CO, HC, NOx, PM の増加	触媒被毒によるCO, HC, NOx排出量は、実験値から外挿。(ディーゼル車のデータなし) 付着物燃焼による機能回復は無視する。	酸性化, 光化学スモッグ, 都市域大気汚染, COの被害係数なし(未対応)
	6 有鉛ガソリンによる汚染ガス	PbSO4(粒径1.5μm以下) → PM2.5	インドネシアのみ有鉛ガソリンを使用。 調査結果から、0.3g-Pb/Lとおく。	都市域大気汚染(PM2.5) 気圏の人間毒性(Pb)としない
	7 有鉛ガソリンによる触媒被毒(回復なし)	CO, HC, NOx, PM の増加	実験値より、触媒なしの排出原単位×50%と仮定。 NOxの劣化データは未入手。上記と同じ仮定。	酸性化, 光化学スモッグ, 都市域大気汚染, CO未対応
	8 整備不良(故障)による排出ガス増加	CO, HC, NOx, PM の増加	故障時のアイドリング等のデータから、正常時の10倍以上とし、S48年規制上限値と仮定。	酸性化, 光化学スモッグ, 都市域大気汚染, CO未対応
水質・土壌汚染	9 バッテリーの鉛再生による鉛中毒	Pb 蒸気	鉛製造時の排出量は、1.6g/kg (TEAM/SimaPro-DBより、EUデータ)	人間毒性(気圏), 作業場での局所的な被害と考えられる
	10未回収バッテリー液の流出	希硫酸(約30%) (Max. 37%)	Pb含有量は不明。(理論上、Pbなし) 交換時・解体時に流出。	人間健康(水圏, 地圏) 被害係数なし(未対応)
	11未回収オイル流出	廃油	交換時・解体時に流出。	同上
	12未回収LLC流出	LLC	交換時・解体時に流出。	同上
	13シュレッダーダストの投棄	埋立地不足, Pb等有害物質	廃車処理台数が年1万台規模を想定。 ASR重量は車両重量の18%とし、Pb含有率を0.2%とする。(ASR 200kg → Pb 400g)	人間毒性(水圏, 地圏), 埋立地占有(主土地利用) 廃棄物埋立

次に、高硫黄ガソリンによる触媒被毒モデルを考える。ガソリン硫黄分による触媒被毒モデルを図4に示す。モデルでは次のように排出ガス原単位を推算する。

$$\text{排出ガス原単位 (g/km)} = \text{グラフの傾き} \times \text{硫黄分 (ppm)} + \text{規制値}$$

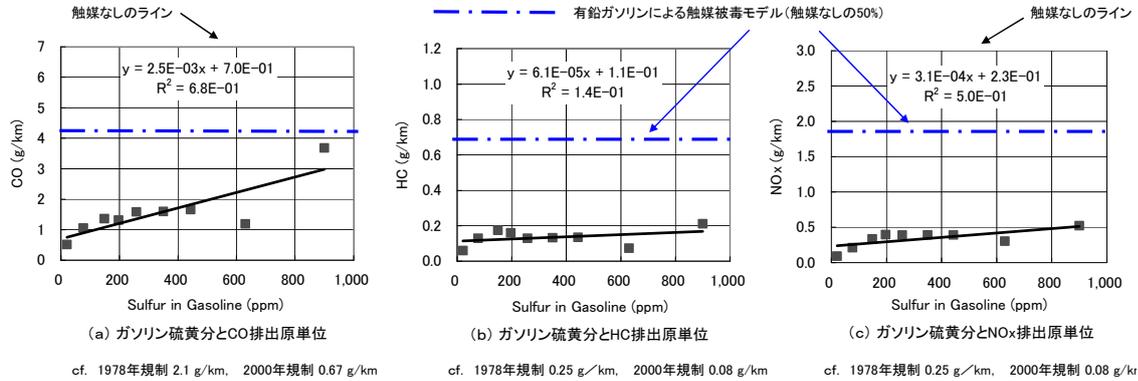
すなわち、規制値を基準に、硫黄分の悪化は下記のグラフの傾きに依存すると仮定する。例えば、1978年規制対応車および2002年（新長期）対応車のCO排出原単位は、それぞれ以下のように表される。

$$1978\text{年対応車： CO排出原単位 (g/km)} = 0.025 \times \text{硫黄分 (ppm)} + 2.10$$

$$2005\text{年対応車： CO排出原単位 (g/km)} = 0.025 \times \text{硫黄分 (ppm)} + 1.15$$

項目	日本	日本	日本	日本	米国C	米国D			米国E
S分 (ppm)	21	77	149	197	900	258	350	443	630
CO (g/km)	0.52	1.06	1.37	1.32	3.68	1.58	1.59	1.66	1.19
HC (g/km)	0.06	0.13	0.18	0.16	0.21	0.13	0.13	0.13	0.07
NOx (g/km)	0.09	0.21	0.34	0.40	0.52	0.39	0.39	0.39	0.30
					1980年車	1989年車			1997年車

触媒なしの排出原単位とおく↓					有鉛ガソリンの排出原単位↓	
日本A	日本B	平均	米国C	米国D	平均	
触媒無しの場合						
7.2	6.8	<b>7.0</b>	8.8	8.5	60%	
0.9	1.5	<b>1.2</b>	1.3	1.2	<b>4.20</b>	
3.0	3.0	<b>3.0</b>	1.8	1.7	<b>0.72</b>	
				1980年車	1989年車	
					<b>1.80</b>	



※ 日本のデータは、二つの車両の平均値

図4 ガソリン硫黄分による触媒被毒モデル

有鉛ガソリンによる触媒被毒のモデルは次のように考えた。日米のデータから、表6に示すように、ガソリン中の鉛量、COおよびHCの浄化率の低下について、被毒モデルでは走行距離に依らず、一律、浄化率を40%と仮定した（残り60%が排出されると仮定）。このときの鉛量は約0.3g/Lである（インドネシアの実勢値）。ただし、NOxについては実験データがなく、COおよびHCと同じと仮定した。

表6 有鉛ガソリンによる触媒被毒のデータと被毒モデル

項目	米国A	日本A	日本B	日本B	日本B	被毒モデル
鉛量 (g/L)	0.50	0.27	0.19	0.19	0.19	
走行距離 (km)	15時間	8,000	13,000	13,000	17,000	—
CO浄化率	—	70%	40%	50%	50%	40%
HC浄化率	60%	40%	—	40%	40%	40%
NOx浄化率	—	—	—	—	—	40%

\*1) 米国のデータ: Gerald J. Barnes, Kenneth Baron, and Jack C. Summers, "Scavenger and Lead Poisoning of Automotive Oxidation Catalysts, SAE 741062

\*2) 日本のデータ: 酒井文子, 榎戸はる, 徐錫洪, 金栄吉, 高橋浩, 自動車用排気浄化触媒の鉛被毒とその再生, 自動車技術論文集, No.15, (1978), p18-22

走行距離に依らない↑

④ ライフサイクルインベントリ分析の考え方

ここでは、日本および途上国におけるライフサイクルインベントリ分析の全般的な考え方について述べる。

#### ア. 輸出車、素材、部品の外航輸送

輸出中古車の外航輸送（日本～海外）と現地生産のための重要な素材・部品の外航輸送の環境負荷については、両者の差が小さく概ね共通項と考えられること、ライフサイクル全体に与える影響も小さいと考えられることから、評価対象外とした。

#### イ. 自動車製造

日本の自動車製造インベントリは、既発表の1992年車（ガソリン乗用車）の製造インベントリを基準に、重量比例から算出する。なお、環境負荷項目は、エネルギー、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>に限る。途上国については、環境負荷の比率の高い材料やエンジン等の重要部品の多くが日本から輸入されることから、近似的に日本と同じ自動車製造インベントリとした。

#### ウ. 燃料製造

日本の燃料製造インベントリはPECレポートの値を用いた<sup>24)</sup>。このインベントリは1997年頃のものであり、2005年以降の硫黄分10ppmの燃料製造に比べ過小評価ではあるが、ライフサイクル全体に与える影響はあまり大きくはないと考えられる。

途上国（インドネシア、タイ）については、上記のPECレポートの値を修正して用いた。

#### エ. 走行条件

日本では、新車の場合、使用年数10年、走行距離10万kmとした。第二ライフサイクルの途上国では、輸出中古車の場合、使用年数10年、走行距離20万km、新車の場合、使用年数15年、走行距離30万kmとした。タイヤ摩耗分および走行巻き上げ粉じん（PM10相当）は考慮されていない。燃料の硫黄分、鉛分については、内部調査（JARI・湊氏）および既存文献を活用した。燃費（km/L）については、理論燃費を平均乖離率1.4で割った実燃費相当を用いた。このとき、排出ガスが増加すると考え、排出ガス原単位に平均乖離率を乗じた。

#### オ. エアコン用冷媒フロン

輸出中古車については、現地でフル充填されるものとした。ただし、フロン製造インベントリは計上されていない。

#### カ. 交換部品

交換部品の製造インベントリは計上されていない。バッテリーとエンジンオイルの交換頻度については、日本の製造年にさかのぼって、途上国での交換回数を算出した。バッテリー交換頻度は3年に1回、エンジンオイル交換頻度は1万kmに1回とした。

#### キ. 使用済み自動車の再資源化

使用済み自動車の再資源化工程は、原則として計上されていない。ただし、エアコン用冷媒フロンの放出、廃オイル、廃バッテリー液、廃バッテリーのリサイクルにおける鉛精錬の鉛蒸気は計上されている。

#### ⑤ライフサイクル影響評価の考え方

ライフサイクル影響評価として、平成15、16年度では、**図1**に示すLIMEの四つの保護対象（人間健康、社会資産、一次生産、生物多様性）に係わる外部コスト（支払い意志額）の合計を用いた。平成17年度は、四つの中で人間健康に係わる損失余命（DALY）のみを用いた。ここで外部コストを使わなかった理由は、社会資産の被害額や支払い意志額は日本人の環境感や貨幣価値を反映しており、途上国の人々の環境感や貨幣価値と大きく異なることにある。一方、日本人もアジア人も一人一人の損失余命は同じ価値とみることに違和感は少なく、共通の評価指標となり得ると考えられる。さらに、平成15、16年度の研究結果から、四つの保護対象の影響度の中で人間健康と社会資産の外部コストが95%以上を占めること、各ケーススタディにおいて社会資産の被害額の違いはあまりないことがわかっている。すなわち、各ケーススタディの比較において、人間健康に係わる損失余命が最も支配的と言える。これは、算出された環境負荷項目の多くが汚染ガスであり、人間健康に大きく関わっていることが主な要因と考えられる。LIMEで用いられている損失余命は障害調整生存年（DALY： Disability Adjusted Life Years）と呼ばれ、障害の程度（生活の質）を重み付けすることにより、死亡と障害を統合化している。死亡が1、健常が0で、重度障害ほど1に近づく。また、WHOで採用された本来のDALYでは、年齢の重み付け（ピークは25歳時で1.52、80歳時は0.54と約1/3）や時間割引（割引率3%）が導入されているが、LIMEでは導入されていない。すなわち、LIMEのDALYでは年齢や世代間の格差をつけていない。

#### ⑥算出条件

各国における算出条件（各々3ケース）を**表7**にまとめる。

表7 ライフサイクルインベントリ算出の条件

項目	日本(第一ライフサイクル, 第一期から第三期:1992~2022年), 4ケースとも同じ		
	現状	国際使用・再資源化システム	国内使用・再資源化システム
使用年数	10年	←	←
走行距離	10万km	←	←
ガソリン車排ガス規制	1978年規制(1999年まで), 新短期(2004年まで), 新長期(2005年以降)		
有鉛/無鉛ガソリン	無鉛	←	←
ガソリン硫黄分	35ppm(2004年まで), 10ppm(2005年以降)		
ディーゼル車排ガス規制	1994年規制(1997年まで), 長期規制(2001年まで), 新短期規制(2004年まで), 新長期規制(2008年まで), ポスト新長期規制(2009年以降)		
軽油硫黄分	1400ppm(1996年まで), 350ppm(2002年まで), 35ppm(2004年まで), 10ppm(2005年以降) ... 2004年まで, 規制値・目標値の70%と仮定		
解体時のフロン放出	10%放出	←	←
交換・解体時のオイル流出	なし	←	←
鉛精錬時の鉛蒸気	なし	←	←

項目	インドネシア(第二ライフサイクル, 第一期から第三期:1992~2022年)		
	現状	国際使用・再資源化システム	国内使用・再資源化システム
使用年数	10年	←	15年
走行距離	20万km	←	30万km
ガソリン車排ガス規制	日本車と同じ(中古車)		未規制:EURO1相当と仮定(2004年まで), EURO2(2005年以降)
有鉛/無鉛ガソリン	有鉛(0.3g-Pb/L)	無鉛(0.013g-Pb/L)	有鉛(0.3g-Pb/L)
ガソリン硫黄分	1400ppm(規制値の70%)	1400ppm(2004年まで), 350ppm(2005年以降)	1400ppm(規制値の70%)
ディーゼル車排ガス規制	日本車と同じ(中古車)		未規制:EURO1相当と仮定(2004年まで), EURO2(2005年以降)
軽油硫黄分	3500ppm(規制値の70%)	3500ppm(2006年まで), 350ppm(2007年以降)	3500ppm(規制値の70%)
解体時のフロン放出	100%放出	10%放出	100%放出
交換・解体時のオイル流出	100%流出	なし	100%流出
鉛精錬時の鉛蒸気	あり	なし	あり

項目	タイ(第二ライフサイクル, 第一期から第三期:1992~2022年)		
	現状	国際使用・再資源化システム	国内使用・再資源化システム
使用年数	10年	←	15年
走行距離	20万km	←	30万km
ガソリン車排ガス規制	日本車と同じ(中古車)		EURO1(1998年まで), EURO2(2004年まで), EURO3(2009年まで), EURO4(2010年以
有鉛/無鉛ガソリン	無鉛	←	←
ガソリン硫黄分	350ppm(規制値の70%)	2004年まで 350ppm, 2009年まで 105ppm, 2010年以降 35ppm	350ppm(規制値の70%)
ディーゼル車排ガス規制	日本車と同じ(中古車)		EURO1(1998年まで), EURO2(2004年まで), EURO3(2009年まで), EURO4(2010年以
軽油硫黄分	1998年まで 1750ppm, 1999年以降 350ppm	1998年まで 1750ppm, 2004年まで 350ppm, 2009年まで 245ppm, 2010年以降 35ppm	1998年まで 1750ppm, 1999年以降 350ppm
解体時のフロン放出	100%放出	10%放出	100%放出
交換・解体時のオイル流出	100%流出	なし	100%流出
鉛精錬時の鉛蒸気	あり	なし	あり

⑥国際使用・再資源化システムと国内使用・再資源化システムの比較

現状と国際使用・再資源化システムと国内使用・再資源化システムの第一期（1992～2002年）から第三期（2012～2022年）について、日本とインドネシアにおけるガソリン乗用車の累積DALYの比較を図5に示す。国際使用・再資源化システムの方が、国内使用・再資源化システムより効果的である結果が得られた。特に現状と比較した場合の国際使用・再資源化システムの改善効果は30%もあり、主にインドネシアでの2007年以降の燃料性状の改善（無鉛化，硫黄分350ppm）の影響が大きい（大気汚染関連が95%以上を占める）。

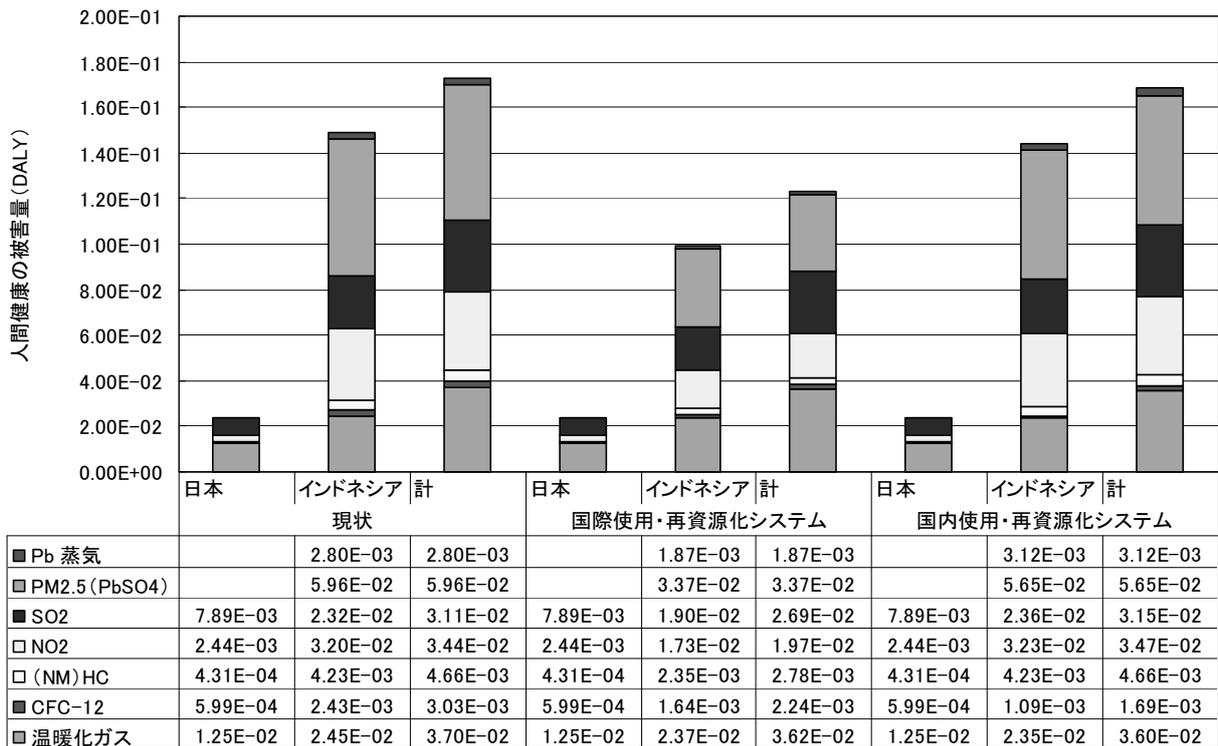


図5 日本とインドネシアにおけるガソリン乗用車の累積DALY  
（第一期～第三期：1992～2022年）

現状と国際使用・再資源化システムと国内使用・再資源化システムの第一期から第三期について、日本とタイにおけるガソリン乗用車の累積DALYの比較を図6に示す。日本とタイに関しても、前述のインドネシアの場合と同様に、国際使用・再資源化システムの方が、国内使用・再資源化システムより効果的である結果が得られた。しかし、タイでは、元々ガソリン車については日本の状況に近いので、国際使用・再資源化システムの改善効果は5%前後に止まっている。

以上より、各国の状況に応じて最適な防止策を講じる国際使用・再資源化システムの方が、自国内で使用済み自動車を再資源化する国内使用・再資源化システムより環境側面では有効である知見が得られた。一方で、タイのように、比較的の使用時の関連諸制度が整備され環境負荷が少ない国では、環境改善効果が少なくなることも確認した。

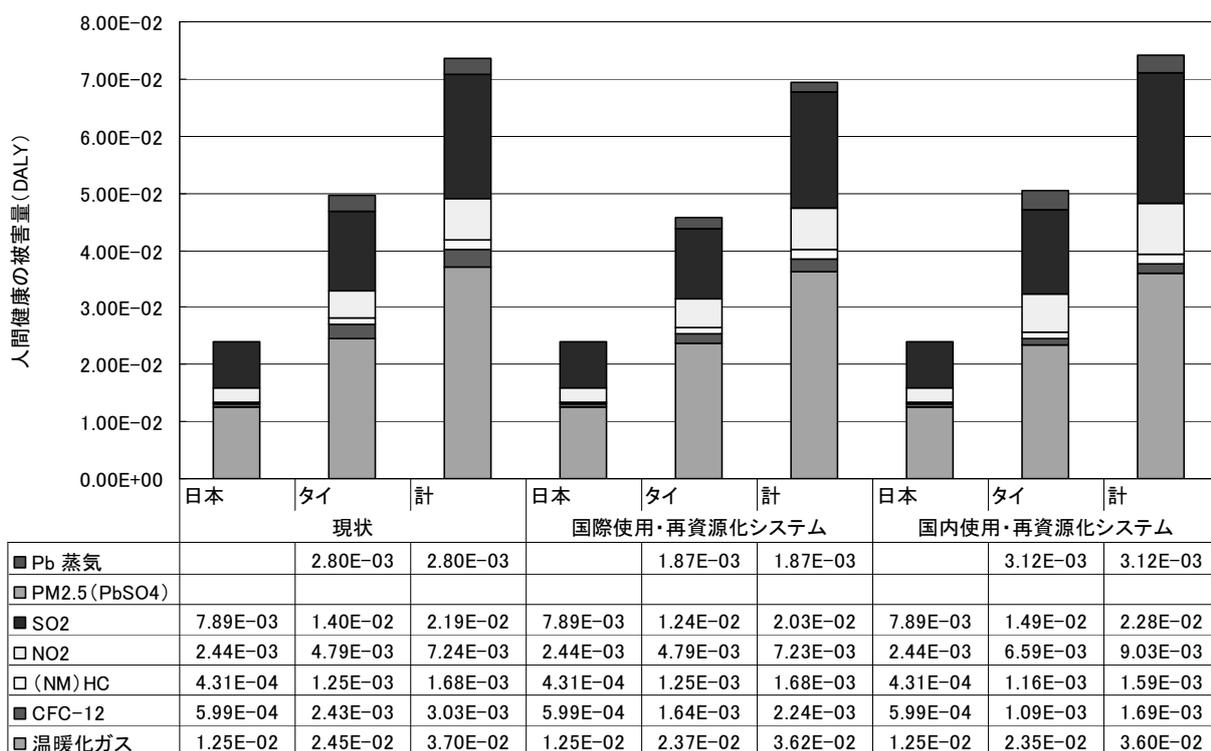


図6 日本とタイにおけるガソリン乗用車の累積DALY  
(第一期～第三期：1992～2022年)

#### 4. 本研究により得られた成果

平成15年度の成果を以下に整理する。

- (1) 同クラスの1992年、1997年、2002年製造の乗用車（2000ccガソリン車、2400ccディーゼル車）が2002年を起点として、中古車または新車としてインドネシアで第二ライフサイクルを想定したLCAモデルを作成し、LIME法によるライフサイクル外部コストを用いて環境影響度を評価した。
- (2) インドネシアにおける1992年ディーゼル車のライフサイクル外部コストは125万円と算出され、中古車車両価格の6倍に及ぶ結果を得た。影響領域別でみると、都市域大気汚染の影響度が最も顕著である。
- (3) 年式の古いディーゼル車の輸出中古車は低価格であり途上国の人々にとって魅力的であるが、中古車車両価格をはるかに超える大きな外部コストを与えるため、輸出禁止を含めた何らかの環境対策が必要である。途上国における高硫黄燃料は触媒被毒をもたらし、年式の新しいクリーンな車両であっても旧型車と同じく触媒未装着レベルの排出ガス特性にまで悪化させると考えられる。このため、燃料の低硫黄化を促進する必要がある。

平成16年度の成果を以下に整理する。

- (1) ガソリン車を対象に第二、第三ライフサイクルを含む広域／個別リサイクルについて、LCAモデルを作成し、タイとベトナムでの環境対策の効果を外部コストから評価した。

- (2) 広域リサイクルと個別リサイクルの外部コスト差よりも、日本並みの環境対策を施した方が効果的と考えられる。特にシュレッダーダストの適正処理が重要である。
- (3) 途上国への中古車輸出は止められない。環境に優位な新車を供給するだけよりは、途上国の環境対策への支援の方が効果的と考えられる。

平成17年度の成果を以下に整理する。

- (1) 国際使用・再資源化システム（使用済み自動車自体の輸出入に制約を設けず各国の使用・再資源化状況に応じた最適な個別防止策を講じる）と国際使用・再資源化システム（各国が自国内で排出された使用済み自動車を自国内で全て再資源化する）について乗用車に関するLCAモデルの作成・改良を行った。
- (2) 第一期から第三期（各々10年、計30年間）の長期にわたる第一ライフサイクル（日本）から第二ライフサイクル（インドネシア、または、タイ）までの人間健康の被害量を示す損失余命（DALY）により、国際使用・再資源化システムと国際使用・再資源化システムを比較した。
- (3) 結果として、各国の状況に応じて最適な防止策を講じる国際使用・再資源化システムの方が、自国内で使用済み自動車を再資源化する国内使用・再資源化システムより環境側面では有効である知見が得られた。一方で、タイのように、比較的に使用時の関連諸制度が整備され環境負荷が少ない国では、環境改善効果が少なくなることも確認した。

## 5. 引用文献

- (1) 日本自動車工業会（2003）「2003年版日本の自動車工業」
- (2) 日本自動車研究所（JARI）（2003）「平成14年度経済産業省委託 高度技術集約型産業等研究開発調査報告書」
- (3) 湊清之：自動車研究、Vol. 23、No. 1、65-70頁（2001）「21世紀のアジア諸国の交通・環境問題」
- (4) 産業環境管理協会（2002）「平成14年度NEDO委託 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書」
- (5) 二宮書店：（2004）「データブック オブ ザ ワールド 2004年版」
- (6) 船崎敦、種田克典、田原聖隆、稲葉敦：エネルギー・資源、24-6、p443-448（2003）「自動車シュレッダーダスト処理に関するライフサイクルアセスメント（第一報）」
- (7) 自動車工業振興会：Vol. 48（2002～03）、Vol. 44（1997～1998）「自動車ガイドブック」
- (8) グリーン購入ネットワーク（GPN）（2001、2002）「グリーン購入のためのGPNデータブック 自動車編（GPNB-0901、GPNB-0903）」
- (9) 日刊自動車新聞社（1997）「1998年版 自動車産業ハンドブック」
- (10) デンソー（2003）「排出ガス・燃費関連 法規制動向 第10版」
- (11) 環境省ホームページ「国家CFC管理戦略」
- (12) 日本自動車工業会（2001）「SPM浮遊粒子状物質－浮遊粒子状物質と微小粒子の知識と対策－」
- (13) 亀岡敦志・敦賀文子・細井賢三：自動車技術会論文集、Vol. 30、No.1、11-14頁（1999）

「ガソリンの芳香族および硫黄分が排出ガスに及ぼす影響」

- (14) 杉本隆義・山崎均・福家紀子・徐錫洪：自動車技術会論文集、No. 5、33-47頁（1973）「自動車用ガソリンエンジンの排出する微粒子の研究」
- (15) 酒井文子・榎戸はる・徐錫洪・金栄吉・高橋浩：自動車技術会論文集、No. 15、18-22頁（1978）「自動車用排気浄化触媒の鉛被毒とその再生」
- (16) Edgar Furuholt: Conservation and Recycling 14、p251-263(1995) “ Life cycle assessment of gasoline and diesel、Resource”
- (17) 石油産業活性化センター：PEC-1999R-13（2000）「石油製品油種別LCI作成と石油製品環境影響評価調査報告書」

## 6. 国際共同研究等の状況

なし

## 7. 研究成果の発表状況

- (1) 誌上発表（学術誌・書籍）

<論文（査読あり）>

なし

<査読付論文に準じる成果発表>

なし

<その他誌上発表（査読なし）>

なし

- (2) 口頭発表

① H.Yagita、 M.Fuse : Global Warning 5th Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technologies、 Wellington. New Zealand (2005) “Evaluation of Environmental Impacts of 2nd Life Cycle Automobiles from Japan by Life cycle”

- (3) 出願特許

なし

- (4) マスコミ等への公表・報道等

なし

## 8. 成果の政策的な寄与・貢献について

今回開発したLCA手法は、従来の国内での使用・廃棄を前提とした既存の手法では評価できない海外での第二、第三ライフサイクルの影響に加え、国際使用・再資源化システムや国内使用・再資源化システムといった製品でなくシステムを評価することができる有用な評価ツールである。このため東アジア全域で広域的に自動車を使用・再資源化することの妥当性に加え、使用・再資源化に関する個別対策を総合的な評価する際に、政策決定支援ツールとして貢献することが期待できる。