使用済み自動車に着目した日本からの資源流出*

布施正暁¹ 中島謙一² 八木田浩史³

¹産業技術総合研究所安全科学研究部門

²国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター

³日本工業大学工学部

J. Japan Inst. Metals, Vol. 72, No. 8 (2008), pp. 557-564
© 2008 The Japan Institute of Metals

Outflow of Resources from Japan Focusing on End-of-Life Vehicles

Masaaki Fuse¹, Kenichi Nakajima² and Hiroshi Yagita³

¹Research Institute of Science for Safety and Sustainability, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba 305-8569

²Research Center for Material Cycles and Waste Management, National Institute for Environmental Studies (NIES), Tsukuba 305-8506

³Faculty of Engineering, Nippon Institute of Technology, Minamisaitama-gun Saitama 345-8501

In order to examine the risk to resource security in Japan, this paper quantifies the outflow of base metals (iron, aluminum, copper, lead, and zinc) through export of end-of-life vehicles (ELVs) from Japan from 1988 to 2005 using the Trade Statistics of Japan and vehicles composition data. Estimates were also made for engine-related rare metals (manganese, nickel, chromium, and molybdenum) under statistical restrictions. This analysis shows that 45% of iron, 68% of aluminum, 27% of copper, 70% of lead, 25% of zinc, and 67% of rare metals in ELVs in Japan were not recycled and flowed out of the country, mostly in the form of used vehicle and parts. The destinations of these metals were mainly developing countries with rudimentary recycling technology. These results strongly indicate that many metal resources that could be utilized domestically from automobiles in Japan were instead scattered and lost overseas.

(Received April 11, 2008; Accepted April 17, 2008)

Keywords: Japan, outflow of resources, end-of-life vehicles, engines, base metals, rare metals

1. はじめに

資源の多くを海外に依存する日本において、製品消費・インフラ建設を通じて国内に蓄積される資源ストック(国内ストック)は、潜在的な資源供給源として注目を集めている¹⁾。一方、国内ストックが供給する使用済み製品・廃棄物が、国内でリサイクル処理されずに国外で中古製品・二次資源として利用されている現状が報告されている²⁻⁶⁾。国内ストックからの資源回収可能性を高めることは、わが国の資源供給の安定性を確保する上で重要な命題である⁷⁾。資源回収可能性の議論の出発点として、国内ストックから使用済み製品・廃棄物輸出を通じて、どのくらいの量の資源が流出しているかを把握する必要がある。同時に、流出した資源の回収可能性について検討することも重要である。

そこで本稿は、資源価値の高い使用済み自動車(End-of-Life Vehicle: ELV)を取り上げ、その輸出に伴う主要金属の流出量を推計する。さらに、各金属の流出先および流出形態を明らかにすることで、国外での回収可能性について予備的

な検討を行う。

本稿の構成は次のとおりである。まず対象となる金属とその流出の捉え方について定義する(2)。次に、貿易統計と組成データを用いた流出量の推計法を説明する(3)。続いて、資源流出量の推計結果および流出資源の回収可能性の検討結果を示す(4, 5)。最後に得られた成果を整理する(6)。

2. 対象金属と流出の捉え方

推計対象として、ELVを構成するベースメタルの内、鉄、アルミニウム、銅、鉛、亜鉛を取り上げる。レアメタルに関しては、統計的な制約から、ELV中のエンジンを構成する、マンガン、ニッケル、クロム、モリブデンを対象とする。以上の対象金属の流出状況は、ELVのリサイクル処理状況に大きく依存する。ELVの国内におけるリサイクル処理フローとその輸出状況の関係をFig. 1に示す。ELVのリサイクル処理は、解体工程での中古部品回収、破碎工程での金属回収、シュレッダーダスト(Automobile Shredding Residues: ASR)の再資源化・焼却・埋立処理など、複数の工程から成る。そして、各工程に応じて、ELVは「中古車」「中古部品」「二次資源」といった形状で輸出される。つま

* Mater. Trans. 48(2007) 2436-2444 に掲載

Fig. 1 Recycling flow of ELVs and their export forms.

り、対象金属は、中古車または中古部品内に付随して流出する、または二次資源の一つとして流出する。本稿では、流出形態として、中古車、中古部品、二次資源を取り上げる。また、流出先と時点間の傾向を把握するため、国別流出量を推計すると共に、推計期間として、貿易統計の入手可能な1988年から2005年の17年間を対象とする。ただし、統計制約上、取引額が少ない貨物、燃料用のタイヤチップ、ミックスメタル(破碎時に発生するハーネス等)は、推計対象から除外する。

3. 金属流出量の推計法

対象期間における対象金属の形態・国別流出量は、年・形態・国別ELV輸出量に、対応する形態別金属組成を乗じて推計する。ELV輸出量の推計法および組成の作成法は3.1, 3.2で述べる。

3.1 ELV 輸出量

ELV輸出量は、基本的に税関が整備する貿易統計⁸⁾を用いて推計される。貿易統計から、2001年4月以降の中古車(特殊車を除く)と対象期間中の中古タイヤの輸出量入手することは可能である。しかし、それ以外のELVに関わる輸出量については推計する必要がある。推計にあたっては、以下の貿易統計が有する制約に対応する必要がある。

- 制約(1): 一部の品目を除いて、新品と中古品の区別がない。
- 制約(2): 輸出品目と輸出先での利用形態が一致しない(例えば、ELVを切断したハーフカットボディを「部品」として輸出し、輸出先で結合して「自動車」として利用している。)
- 制約(3): 携帯品の輸出が計上されていない(例えば、ロシア船員は組織的に中古車を携帯品として輸出して

Fig. 2 Calculation flow of the estimation method 1.

いる。ただし、2005年7月より中古車の携帯輸出は禁止されている。)

まず、制約(1)に対応するため、貿易統計の税関別輸出データ(輸出量、輸出金額)を活用した推計法(1)を開発した。推計法(1)の計算フローチャートを、Fig. 2に示す。まず、入手可能な中古車、中古タイヤの税関別輸出データから、新品または中古品を多く輸出する税関(新品税関、中古品税関と呼ぶ)を特定化する(Fig. 2の1)。次に、新品・中古品の区別がな

い貿易統計の対象品目について、新品・中古品税関の輸出データから、新品・中古品価格(=輸出金額/輸出量)を推計する(Fig. 2 の 2)。続いて、両価格を用いて、新品と中古品の結合した輸出量を分割する(Fig. 2 の 3)。さらに、分割した新品・中古品輸出量を周辺分布、新品・中古品税関の輸出量から得られる国別輸出割合を内部分布として扱い、交通量の配分計算によく用いられるフレーター法⁹⁾を用いて、中古品輸出量を国別に配分する(Fig. 2 の 4-7)。

次に、制約(2)への対応法(推計法(2))について説明する。貿易統計の提供する品目の内、輸出先での利用形態と一致しないものを、既存文献^{10,11)}および関連業界へのヒアリング調査より特定化する。そして、特定化した品目の輸出量を貿易統計から直接抽出する。特定化した品目が新品・中古品の区別がない場合は、推計法(1)を用いて推計する。

最後の制約(3)への対応として、2005 年 7 月の中古車携帯輸出の禁止の影響結果を基に推計する(推計法(3))。まず式(1)より、携帯輸出禁止による影響台数を推計する。税関へのヒアリング・アンケート調査結果¹²⁾より、携帯輸出を行うロシア船は木材を輸入している知見を得ている。そこで、式(1)から得られる影響台数にロシアからの木材輸入量を割ることで、木材輸入量あたり携帯輸出台数の原単位を作成する。この原単位を用いて、対象期間でのロシアへの携帯輸出台数を推計する。

$$RBE_{7-12}^{2005} = \sum_i \{RNE_{7-12,i}^{2005} - (RNE_{7-12,i}^{2004} / RNE_{1-6,i}^{2004}) \cdot RNE_{1-6,i}^{2005}\} \quad (1)$$

ここで、式(1)の添字の*i*は貿易統計の中古車に関わる品目(Table 1を参照)、2004 と 2005 は年、1-6 と 7-12 は、1 月から 6 月までと 7 月から 12 月までの集計、*RBE* はロシア向けの携帯輸出禁止による影響台数、*RNE* はロシア向け中古車輸出台数を示す。

以上の 3 推計法と貿易統計の対象品目との対応関係を Table 1 に示す。また、ELV 輸出量の単位は重量で統一するため、台数を単位に持つ中古車輸出量は、筆者が作成した原単位¹²⁾を用いて重量に変換した。また、タイヤ・バッテリーの輸出量は、使用時の交換発生分が含まれているため、既存文献^{13,14)}から得られる交換発生比率を用いて、その分を控除した。

3.2 組 成

今回使用する流出形態別の組成は参考文献^{12,15-17)}より作成される(Table 2)。中古車の組成は、乗用車と貨物車の違いを考慮した。特殊車は、貨物車の組成を代用した。中古部品の組成では、エンジン系、足回り系、電装系、車体系、タイヤの違いを考慮した。二次資源では、バッテリーと A プレス(ELV から部品を回収した後、プレス加工されたもの)の

Table 1 Estimation methods and corresponding items in the Trade Statistics of Japan.

Form	Estimation method	Corresponding items in the Trade Statistics		
		Contents	No	Code
Used vehicles	Estimation method 1	Passenger car ¹	12	870310000, 870321910, 870321920, 870322900, 870323910, 870323920, 870324900, 870331000, 870332910, 870332920, 870333900, 870390000
		Bus ¹	2	870210900, 870290900
		Truck ¹	11	870410000, 870421910, 870421920, 870422910, 870422920, 870423900, 870431910, 870431920, 870432910, 870432920, 870490000
		Special-purpose vehicles	5	870510000, 870520000, 870530000, 870540000, 870590000
	Estimation method 1	Knockdown exports	12	870210100, 870290100, 870321100, 870322100, 870323100, 870324100, 870332100, 870333100, 870421100, 870422100, 870423100, 870431100
	Estimation method 2	Chassis with engine	3	870600100, 870600900, 870600200
	Estimation method 3	Hand-carried export ²		
Used parts	Actual value	Tire ³	3	401211000, 401212000, 401219000, 401220000
	Estimation method 1	Engine system	6	840732900, 840733900, 840734900, 840820000, 840991100, 840999100
		Brake and steering system	13	681310100, 870831000, 870839000, 870840000, 870850000, 870860000, 870870000, 870880000, 870891000, 870892000, 870893000, 870894000, 870899900
		Body system	16	732010100, 830120000, 830230000, 841430100, 851220000, 851230000, 851240000, 851290000, 851840200, 853910100, 853929100, 870710000, 870790000, 870810000, 870821000, 940120000
		Erectrical system	5	851110100, 851120100, 851130100, 851180100, 851190100
	Estimation method 2	Engine system	1	720449900
Secondary materials	Estimation method 1	Battery ³	1	850710000
	Estimation method 2	A press	1	720449900
		Lead scarp	1	780200000

¹ This paper can obtain actual data for used vehicles from April, 2001 for the change of the item classification in trade statistics.

² Used vehicles exported by hand-carrying have been accounted in the trade statistics from July, 2005 by the prohibition of hand-carried export.

³ As the amounts of tires and batteries exported include those that are to be replaced during use, we need to exclude that amount.

組成¹²⁾を取り上げた。加えて、製造年による組成の変化についても検討した。ここでは、乗用車の製造年別組成データ¹⁶⁾を用いて各金属組成の上下限幅を設定した(Table 3)。ただし、統計的な制約より、レアメタル、A プレスの組成の変動は考慮対象から除いた。

4. 金属流出量の推計結果

資源流出量の推計結果を説明する前に、そのベースとなる ELV 輸出量の推計結果について概観する(Fig. 3)。ELV 輸出量は、1988 年の 73 万トンから 2005 年の 260 万トンまでと急増している結果が得られた。輸出に占める中古車・中古部品の割合が極めて高いことが分かる。主要な輸出先を見る

と、中古車はロシア、ニュージーランド、フィリピンなど、中古部品はアメリカ、インドネシア、マレーシア、二次資源は韓国、台湾、中国に多く輸出されている。このことから、中古車、中古部品、二次資源の順に、近隣国または低所得国への輸出が増加する傾向が確認できる。

以上の 1988 年から 2005 年での ELV 輸出に伴い国外に流出した金属量の推計結果を、Table 4 に示す。対象 17 年間において、国内で廃棄された自動車のベースメタルのなかで、鉄 19 百万 t、アルミニウム 270 万 t、銅 23 万 t、鉛 38 万 t、亜鉛 68 千 t が、国内で回収されずに国外に流出している結果が得られた。エンジン由来のレアメタルでは、マンガ 22 千 t、ニッケル 43 百 t、クロム 34 千 t、モリブデン 12 百 t が、国外に流出している結果が得られた。また、製

Table 2 Composition of base and rare metals (unit : mass%).

(a) Base metals		(Range)						
		Iron	Aluminum	Copper	Lead	Zinc	Others	Total
Used vehicles	Passenger car	69 (65-73)	6.2 (3.7-8.6)	1.5 (1.1-1.9)	0.64 (0.49-0.79)	0.54 (0.41-0.68)	22	100
	Truck	70 (66-74)	4.9 (3.0-6.8)	0.53 (0.40-0.66)	0.71 (0.55-0.87)	0.020 (0.015-0.025)	24	100
Used parts	Engine system	73 (63-83)	20 (12-28)	0.33 (0.25-0.40)	0.19 (0.15-0.23)	0 (-)	6.1	100
	Brake and steering system	86 (80-91)	12 (7.4-17)	0 (-)	0.10 (0.074-0.12)	0 (-)	1.9	100
	Body system	74 (67-82)	0 (-)	0 (-)	0.017 (0.013-0.020)	0.93 (0.70-1.4)	25	100
	Erectrical system	24 (11-38)	3.9 (3.0-4.8)	27 (21-33)	0.39 (0.29-0.49)	1.2 (1.1-1.3)	43	100
	Tire	14 (10-18)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	86	100
Secondary materials	Battery	0 (-)	0 (-)	0 (-)	55 (42-68)	0 (-)	45	100
	A press	73 (-)	4.3 (-)	1.5 (-)	0.30 (-)	0.04 (-)	21	100
(b) Rare metals		Manganese	Nickel	Chromium	Molybdenum	Others		
Engine		0.24 (-)	0.047 (-)	0.38 (-)	0.013 (-)	99		

Table 3 Composition by product year and the variation rate.

	Composition by car product year (unit : mass%) : X						Variation rate ¹	
	1977	1980	1983	1986	1989	1992	Upper	Lower
Iron Cast iron	3.2	2.8	2.2	1.7	1.7	2.1	1.3	0.69
Hot rolled common steel sheets	15	14	14	12	12	12	1.1	0.87
Cold rolled common steel sheets	38	34	29	26	23	15	1.4	0.57
high tensile strength common steel	0.5	1.4	4.1	7.3	6.4	3.9	1.9	0.13
Galvanized common steel	4.4	7.2	7.8	8.2	13	20	1.6	0.36
Common steel pipes	2.2	2.3	2.3	2.7	2.4	2.0	1.1	0.85
Common bar steel	1.8	2.2	2.0	1.3	1.2	1.4	1.3	0.71
Carbon special steel	6.8	6.1	6.0	6.1	6.0	5.8	1.1	0.92
Alloy special steel	4.6	3.8	3.6	3.4	3.5	3.7	1.2	0.85
Free-cutting special steel	0.70	1.00	1.00	1.4	1.9	2.1	1.5	0.50
Stainless steel	0.90	0.90	0.90	1.0	1.0	1.4	1.2	0.78
Spring special steel	2.0	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	0.79
Other special steel	1.1	1.4	1.3	1.6	1.3	1.0	1.2	0.77
Aluminum	2.6	3.3	3.5	3.9	4.9	6.0	1.4	0.60
Copper	0.90	0.80	0.90	1.00	1.30	1.00	1.2	0.76
Lead	0.60	0.80	0.60	0.60	0.60	0.50	1.2	0.77
Zinc	0.50	0.30	0.40	0.40	0.40	0.30	1.3	0.75
Non metals	15	17	19	20	19	20		
Total	100	100	100	100	100	100		

¹ Upper variation rate = $X_{upper} / \{ (X_{upper} + X_{lower}) / 2 \}$, Lower variation rate = $X_{lower} / \{ (X_{upper} + X_{lower}) / 2 \}$

Fig. 3 Export amounts of ELVs from Japan.

Table 4 Total outflow amounts of metals from ELVs between 1988 and 2005.

	Resources outflow (ton)
Base metals in ELVs	
Iron	$(1.9 \pm 0.2) \times 10^7$
Aluminum	$(2.7 \pm 1.0) \times 10^6$
Copper	$(2.3 \pm 0.5) \times 10^5$
Lead	$(3.8 \pm 0.3) \times 10^5$
Zinc	$(6.8 \pm 1.7) \times 10^4$
Rare metals in engines	
Manganese	2.2×10^4
Nickel	4.3×10^3
Chromium	3.4×10^4
Molybdenum	1.2×10^3

Table 5 Comparison of resources outflow with corresponding generation and direct export in 2005.

	Resources outflow (ton) : A	Generation (ton) : B	Direct export (ton) : C	A/B	A/C
Base metals in ELVs					
Iron	1.9×10^6	4.1×10^6	5.3×10^6	0.45	0.35
Aluminum	2.5×10^5	3.7×10^5	9.6×10^4	0.68	2.6
Copper	2.4×10^4	8.9×10^4	4.2×10^5	0.27	0.057
Lead	2.7×10^4	3.8×10^4	8.9×10^3	0.70	3.0
Zinc	8.0×10^3	3.2×10^4	3.9×10^3	0.25	2.1
Rare metals in engines					
Manganese	2.0×10^3	3.0×10^3	1.0×10^3	0.67	1.9
Nickel	3.9×10^2	5.9×10^2	1.1×10^3	0.67	0.35
Chromium	3.2×10^3	4.7×10^3	4.9×10^2	0.67	6.5
Molybdenum	1.1×10^2	1.6×10^2	9.0×10	0.67	1.2

造年による組成変化がベースメタルの推計結果に与える影響を見ると、鉄、鉛の変動幅は $\pm 10\%$ 以内に収まるものの、他の金属は $\pm 20\%$ を超える結果となった。特に、アルミニウムの変動幅は $\pm 40\%$ 近くの値となり、製造年による組成変化の影響を強く受けることが分かる。

続いて、2005年に着目して、金属流出量の推計結果と、対応する金属の国内発生量および二次資源としての輸出量との比較結果を、Table 5に示す。2005年においては、鉄 190 万 t、アルミニウム 25 万 t、銅 24 万 t、鉛 27 万 t、亜鉛 80 万 t、マンガン 20 万 t、ニッケル 390 万 t、クロム 32 万 t、モリブデン 110 万 t 流出している結果が得られた。これらの流出量は、自動車廃棄に伴い国内で発生した各金属の内、鉄 45%、アルミニウム 68%、銅 27%、鉛 70%、亜鉛 25%、レアメタル 67%の割合を占めている。二次資源として直接的に輸出した量と比較すると、アルミニウム、鉛、亜鉛、クロム、マンガンの流出量は、2.1 倍から 6.5 倍の値となり、国全体から見ても無視できない量であると言える。

5. 流出金属の回収可能性の検討結果

4の結果は、国内ストックから供給される ELV 中の有用金属の多くは国内で回収されずに国外に流出していることを意味している。ここでは、国外に流出した金属の回収可能性について、流出先および流出形態に着目して検討する。

まず、Fig. 4に、対象期間における対象金属の流出先での蓄積量と、日本から流出先までの距離¹⁸⁾と流出先の一人あたり GDP (2005 年の値を使用)¹⁹⁾の関係を図示する。このとき、流出先までの距離は回収コスト、一人あたり GDP は回収技術水準の代理指標として用いている。ただし、エンジン由来に限定されるレアメタルは、金属間での傾向と同様になるため、合計した結果を示す。この図の見方として、流出先までの距離が短く(回収コストの低い)、一人あたり GDP が高い(流出先の技術水準が高い^{20,21)}場所に蓄積量が多く分布する場合、その金属の国外での回収可能性が高いと判断す

Fig. 4 Relationship between the outflow amounts of metals from Japan by the destination, distance, and GDP per capita.

る。反対の場合は、資源拡散リスクが高いことになる。

以上の判断基準に基づいて図を解釈すると、まず、アルミニウム、レアメタルの回収可能性が他の金属と比較して高いと言える。続いて、鉄、鉛、銅、亜鉛の順で回収可能性が落ちていく(または資源拡散リスクが高くなる)傾向がある。ただし、回収可能性が相対的に高いアルミニウム、レアメタルに関しても、日本からの距離が3千km以上、かつ一人あたりGDPが1万ドル未満の国が占める割合は60%を超えている。このことから、自動車に関しては、国内ストック中の有用金属の資源拡散リスクが高い状況にあると言える。

続いて、Fig. 5に、流出形態に着目した金属流出量の時系列傾向を示す。Fig. 5と同様に、レアメタルは合計した結果を示す。

結果として、亜鉛、銅、鉄、アルミニウム、レアメタルの順で、中古車としての形態での流出量は減少し、反対に中古部品としての流出量が増加している傾向が確認された。以上の金属は、二次資源の形態で流出することは少なく、また流出量は年々増加する傾向にある。一方、鉛は他の金属と異なり、二次資源としての形態での流出割合が大きく、また、その時系列傾向も年によって大きく変動する傾向を得た。中古

車・中古部品の形態で流出する金属の回収は、中古車・部品が廃棄されるまで待つことになる。よって、それらの金属は、回収まである程度のタイムラグが生じる。また、中古車・中古部品輸出量は、流出先での自動車需要に依存する。よって現在の国際的なモータリゼーションの進展を勘案すると、今後も中古車・中古部品を通じた金属流出量は増加することが予想される。

以上より、Fig. 4で得られた現状での資源拡散リスクが高い状況も踏まえると、早急に流出金属への対策を講じることが可能であると言える。このとき、日本から近距離かつ回収技術を持たない国には国際的な回収システムの構築、また遠距離かつ回収技術を持たない国には日本からの技術移転など、流出先の状況に応じた対策が求められる。

6. おわりに

国内ストックからの資源の回収可能性を議論するにあたっては、使用済み製品・廃棄物の輸出に付随して国外に流出する資源量を把握することが不可欠である。そこで本稿は、資

Fig. 5 Outflow amounts of metals from Japan by the export form.

源価値の高い ELV を取り上げ、その輸出に伴うベースメタル(鉄、アルミニウム、銅、鉛、亜鉛)、レアメタル(マンガン、ニッケル、クロム、モリブデン)の流出量を推計した。さらに、各金属の流出形態および流出先を明らかにすることで、国外での回収可能性について予備的な検討を行った。

その結果、1988 年から 2005 年の 17 年間で ELV 輸出の急増に伴い、22 百万 t を超える大量の金属が国外に流出していること、2005 年では自動車廃棄に伴い発生した鉄、アルミニウム、鉛、レアメタルの 45% から 68% は国外に流出していることを明らかにした。また、アルミニウム、鉛、亜鉛、クロム、マンガンの流出量は、対応する金属の二次資源輸出量の 2.1 倍から 6.5 倍となり、無視できない量であることを確認した。さらに、国外に流出した金属の多くは、日本から遠距離かつ適切な回収技術を持たない低所得国に蓄積しているため、資源拡散リスクが高いことを示した。同時に、鉛を除く金属が中古車・中古部品の形態で流出しているため、その回収に向けた対策を講じる時間的猶予があることも把握した。

本稿は、環境省廃棄物処理等科学研究費補助金「物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物・資源管理戦略

研究(K1930)」の成果の一部をまとめたものである。本研究の推進に際して、George Mason University の Danilo Pelletiere 博士には、貴重かつ有益な情報・意見の提供や参考資料の紹介等において多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) National Institute for Materials Science: NIMS Press release (Jan. 20, 2008).
- 2) S. K. Clerides: Discussion Paper 4859 (Centre for Economic Policy Research, London, 2005).
- 3) D. Pelletiere and K. A. Reinert: J. Asian. Econ. **20**(2006) 161-171.
- 4) A. Terazono, A. Yoshida, J. Yang, Y. Moriguchi and S. Sakai: J. Mater. Cycles. Waste Manag. **6**(2004) 82-96.
- 5) A. Yoshida, A. Terazono, T. Aramaki and K. Hanaki: J. Mater. Cycles. Waste Manag. **7**(2005) 8-15.
- 6) M. Fuse and S. Kashima: J. Waste Manag. Exp. **18**(2007) 305-313.
- 7) Ministry of Economy, Trade and Industry: Report of Natural Resource Strategy Study Group (2006).
- 8) Ministry of Finance: Trade Statistics of Japan http://www.customs.go.jp/toukei/info/index_e.ht
- 9) T. Sasaki and K. Iida: Transport Engineering, Ohmsha (in Japanese) (1992).
- 10) S. Hayashi: Japanese iron recycling in a turning point, Japan

- Technical Information Services Corporation (in Japanese) (2001).
- 11) M. Sato and Y. Muramatu: Recycling business, Nihon Hyouron Sha (in Japanese) (2000).
 - 12) M. Fuse: Doctoral Thesis of Chuo University (2005).
 - 13) THE Japan Automobile Tire Manufacturers Association: tire yearbook (2006).
 - 14) Y. Hirai and S. Sakai: J. Waste Manag. Exp. **17** (2006) 404-415.
 - 15) LCA inventory database of Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. (2003).
 - 16) Japan Automobile Manufactures Association, Inc. The Motor Industry of Japan (2002).
 - 17) Special Steel Association of JAPAN, Special Steel Fact-finding Result Report with the Technical Change of Vehicles (in Japanese) (2002) 24-117.
 - 18) This paper use the distance data obtained from Dr. Danilo Pelletiere in Ref. 3).
 - 19) The World Bank, World Development Indicator (2006).
 - 20) N. D. Quang, E. Yamasue, H. Okumura and K. N. Ishihara: Pro. SEE2006 (2006) 998-1001.
 - 21) M. Streucher-Porte, H. Bader, R. Scheidegger and S. Kytzia: Clean. Techn. Environ. Policy. **9** (2007) 325-345.