

12. 中国における廃家電発生量の推計と リサイクルの展望 ： 山東省を対象としたケーススタディ

松本 亨^{1*}・鶴田 直²・江崎隆史³

¹北九州市立大学教授 国際環境工学部環境生命工学科（〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1）

²北九州市立大学 国際環境工学研究科環境工学専攻（〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1）

³佛教大学 通信教育部（〒603-8301 京都市北区紫野北花ノ坊町96）

* matsumoto-t@env.kitakyu-u.ac.jp

中国では、経済成長に伴い家電の保有率が上昇しており、廃家電の適正処理・リサイクルのための法体系の整備及び施設の整備等の必要性が高まっている。本研究では、家電の保有率の増加に伴って今後急増することが予想される廃家電の発生量について、中国山東省を対象に推計を行った。また、回収された廃家電を省内に1カ所あるリサイクル団地において全量リサイクルする場合の効果を評価するとともに、日本における家電リサイクルとの比較を行うことで、中国における現状のリサイクル体制に関する評価と、それをもとに今後の展望を考察した。

Key Words : China, home electric appliance, LCA, recycle, Shandong province

1. はじめに

近年、中国の経済成長に伴う消費水準の上昇から、特に沿岸部の家電保有率が著しく上昇している。その一方で、廃家電の適正処理・リサイクルのための法的枠組み及び施設の整備は先進国に比べ未整備な状況にある。リサイクルの現状として、個人経営の小規模請負業者による処理が処理量の多数を占めるため、多くの作業が手作業となり、処理過程からの各種有害物質の外部流出等による健康被害、環境汚染が生じている。

また、先進国から発展途上国への廃家電の国外流出が懸念されている。日本では家電リサイクル法が2001年に施行されたが、環境省の推計では約34%の家電が中国をはじめとした途上国に流出しているとされている¹⁾。これは、前述したような健康被害、環境汚染へと繋がる可能性があるだけでなく、フロン回収・破壊の実効性を低下させるため、オゾン層や地球温暖化への悪影響も懸念されている。

以上のような背景を受けて、本研究では中国山東省を対象に、今後増加することが予想される廃家電の発生量を予測するため、統計資料をもとに2030年度までの将来推計を行う。また、山東省内で発生した廃家電を省内に1カ所ある青島市の新天地静脈産業園においてリサイクルを行うケースを想定し環境評価を実施するとともに、日本における廃家電のリサイクルの環境評価との比較を

実施することで、中国におけるリサイクルの現状及び将来の展望について検討を行う。なお、対象とする家電は、日本のリサイクル法対象4品目（洗濯機、冷蔵庫、エアコン、テレビ）とPCとする。

2. 中国山東省の概要

山東省は中国東岸に位置し、日本の半分ほどの面積の中に2倍程度の人口を有する省である。経済面では、域内総生産が中国第2位の省であり、青島、威海など日本との繋がりの深い都市を有している。

また、中国全土で2カ所指定されている家電リサイクルのモデル工場の1つが青島市に立地しており、すでに廃家電の回収・リサイクルが開始されている。これが、山東省を研究対象とした最大の理由である。

中国における廃家電のリサイクルの状況については、2004年の日本メタル経済研究所の調査報告²⁾がある（表-1）。これによると、日本におけるリサイクル法対象4品目のうち、冷蔵庫、エアコン、洗濯機に関しては日本よりも高い再資源化率を有しているが、テレビに関しては20%と非常に低い値を示している。この原因として、テレビの半分程度を占めるブラウン管や有害な難燃焼剤を含むキャビネットがリサイクルされないことが挙げられている。また、冷蔵庫やエアコンに関しては、水銀、鉛、フロン等の有害物質は回収されずに、埋立や焼却処

表-1 中国における家電リサイクルの現状

品目	再資源化率	中国における現状
冷蔵庫	日本: 63% 中国: 75%	ウレタン・コンプレッサ廃油・水銀・鉛・フロンは回収されず、埋め立てもしくは焼却処分される。
エアコン	日本: 81% 中国: 85%	ウレタン・コンプレッサ廃油・水銀・鉛・フロンは回収されず、埋め立てもしくは焼却処分される。ほぼ全てが窓式(室外機無し)タイプ。破棄量事態が非常に少ない。
洗濯機	日本: 65% 中国: 90%	二層式・一層式洗濯機が主となる。全自動式はまだ使用されているものが多く、破棄量も少ない。解体工程において、少量のゴムや油は利用できないが、鉄・非鉄金属・廃プラスチック等、全て回収されるため、リサイクル率が全品目中、最も高い。
テレビ	日本: 78% 中国: 20%	ブラウン管や有毒な難燃焼剤を含むキャビネットがリサイクルされないために、リサイクル率が全品目中、最も低い。ブラウン管の重量は全重量の約53パーセント、ガラス部は47パーセント(素材構成比のみソースは日本)
全般		安い人件費をたのみに手作業にて解体を行うため、リサイクル率は高い。一方、有害物質に関しては利潤の追求や技術面の不足により、適切な処理を行わず、土壌に流出したり作業者の人体に被害を与える等、問題となっている。作業者は農村から来た農民が大半を占める。また、日本のような機械での粉碎・選別等の工程は現状では導入されていない。

分されているとされる。リサイクル処理に関しては、中国では安い人件費を活かし手作業で解体を実施しており、日本のような機械破砕や磁気選別等の処理は行っていない。

3. 廃家電発生量の推計方法および結果

(1) 推計の方法

図-1に、家電保有量の推計フローを示す。対象家電5品目（洗濯機、冷蔵庫、パソコン、エアコン、テレビ）について、中国の主要13都市の家庭平均純収入と、家電保有量データの関係を求め、これを用いて山東省の17市（済南、青島、煙台、淄博、日照、徳州、威海、荷沢、東営、維坊、済寧、泰安、聊城、萊蕪、棗庄、臨沂、濱州）の家電保有量を都市部・農村部別に推計する。さらに、家電の耐用年数と廃棄状況を考慮し、廃棄量を推計

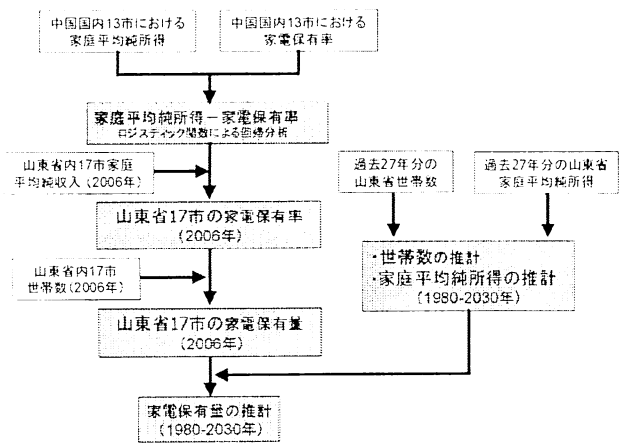


図-1 家電保有量の推計フロー

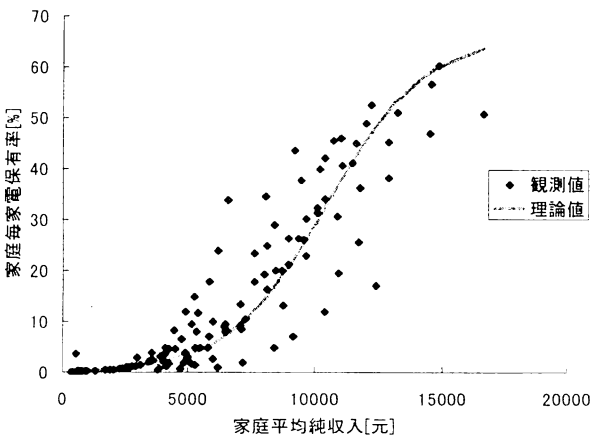


図-2 家庭平均純収入と家庭毎家電保有率の関係（パソコン：都市部と農村部の合計）

する。

(2) 家庭平均純収入と家電保有率の関係

中国各都市の統計年鑑における家電保有データは、世帯毎の家電保有率表記となっているため、それを以降の計算のベースとする。山東省17市における家電保有率は、青島市等、都市統計年鑑が存在する市以外は入手不可能であるため、推計にて不足データを補った。

推計方法は、山東省内及び中国国内において地域特性の類似性をも考慮の上、データを入手可能な地域を13市（青島、済南、武漢、杭州、台州、上海、沈阳、南京、蘇州、邦州、貴陽、重庄、天津、成都、福州）抽出し、家庭平均純収入と家庭毎家電保有率の散布図を作成した。それをもとにロジスティック関数より、家庭平均純収入と家庭毎家電保有率の関係式を求めた。都市部と農村部の相違が最も顕著であったパソコンの推計結果を図-2に示す。

(3) 家庭平均純収入及び世帯数の将来推計

山東省統計年鑑において入手可能な山東省17市の都市部・農村部別各年家庭平均純収入データは、7年分と推計に用いるには少ないため、本研究では、過去27年分のデータが存在する山東省全体の家庭平均純収入を用いて推計を行った。まず、過去27年のデータから時系列分析による推計式を取得し、2030年までの将来値を推計した。さらに、2006年度山東省内17市の家庭平均純収入を用いて、各年度の家庭平均純収入を17市に按分した。世帯数においても同様の方法で算出した。

(4) 家電保有量の将来推計

(3)により得られた山東省内17市の各年家庭平均純収入を、(2)で求めた家庭平均純収入と家庭毎家電保有率の関係式に代入することで、各年家電保有率を算出した。

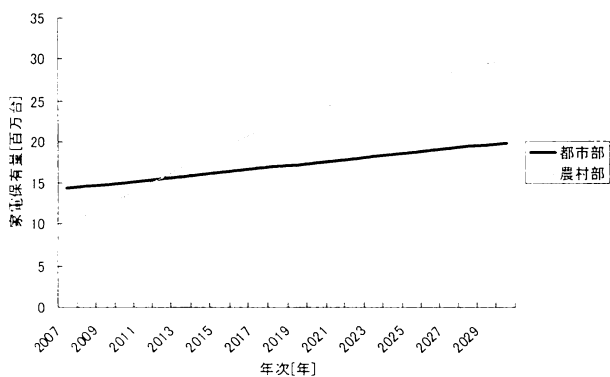


図-3 山東省の洗濯機保有量推計結果

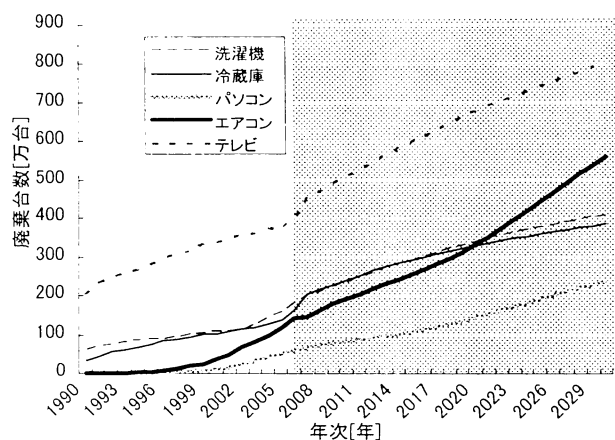


図-4 山東省農村部の品目別家電廃棄量の推計
(網掛部：将来推計)

続いて、算出値に(3)で求めた人口の将来推計値を掛け合わせることで、山東省17市毎、都市部・農村部別の各年家電保有量を算出した。図-3に山東省の都市部・農村部別の洗濯機保有量の将来推計結果を示す。これによると、農村部における家電の保有台数は、2020年までに都市部の4倍程度の増加率を示しており、2013年度には都市部・農村部の保有台数が逆転している。

(5) 家電廃棄量の算出

家電廃棄量の算出には、(4)において算出した家電保有量に毎年の廃家電発生率を掛け合わせ算出する「押し出し法」を用いた³⁾。青島市における家電廃棄状況⁴⁾および中国4都市における平均廃棄率の値⁵⁾から、毎年の廃棄家電発生率を家電保有量の8.25%として2007年の廃棄家電発生量を算出した結果が表-1である。この結果によると、洗濯機195万台、冷蔵庫197万台、パソコン63万台、エアコン143万台、テレビ413万台が年間に廃棄されていることがわかる。

また、(4)で算出した家電保有量の将来推計から家電廃棄量の将来推計を行った。その結果を図-4に示す。グ

ラフ中の網掛部が将来予測の結果で、それ以外の部分は過去の統計データからの推計値である。

4. 家電リサイクルの CO_2 による日中比較

(1) 評価手法

CO_2 評価にあたり、日本メタル経済研究所の報告書²⁾や、家電製品協会の家電リサイクル実績データ⁵⁾等、公表データを用いて算出を行った。

評価の対象として、中国は山東省全域から発生する廃家電を青島市のリサイクル団地においてリサイクルを行うケース、日本は北九州エコタウンを想定し、北部九州+山口県から発生する廃家電を回収・リサイクルするケースを考える。なお、評価にあたり輸送、リサイクル工程、資源回収による天然資源削減の3つのライフステージに分けて評価を行った。

表-2 山東省における廃家電発生量推計結果 (2007年)

洗濯機	済南	青島	淄博	枣庄	東營	煙台	濰坊	済寧	泰安	威海	日照	萊蕪	滨州	德州	聊城	臨沂	荷沢	合計
都市部	80.794	80.732	72.653	58.040	88.177	75.708	62.390	63.787	63.025	73.604	58.147	61.030	65.072	54.019	55.165	61.756	73.800	1,147.900
農村部	71.952	71.813	54.843	30.229	88.929	61.020	36.642	38.869	37.643	56.731	30.377	34.551	40.991	25.008	26.426	35.657	57.125	798.804
合計	152.747	152.545	127.496	88.269	177.106	136.727	99.032	102.656	100.668	130.335	88.524	95.581	106.063	79.027	81.591	97.412	130.925	1,946.705
冷蔵庫	済南	青島	淄博	枣庄	東營	煙台	濰坊	済寧	泰安	威海	日照	萊蕪	滨州	德州	聊城	臨沂	荷沢	合計
都市部	78.277	78.206	69.121	52.764	86.557	72.557	57.606	59.168	58.315	70.190	52.882	56.089	60.607	48.323	49.584	56.898	70.411	1,077.553
農村部	79.178	79.042	61.798	34.442	95.198	68.226	41.825	44.350	42.963	63.783	34.614	39.435	46.735	28.326	29.996	40.701	64.194	894.804
合計	157.455	157.248	130.919	87.205	181.756	140.783	99.431	103.517	101.278	133.973	87.496	95.523	107.342	76.649	79.579	97.599	134.605	1,972.358
パソコン	済南	青島	淄博	枣庄	東營	煙台	濰坊	済寧	泰安	威海	日照	萊蕪	滨州	德州	聊城	臨沂	荷沢	合計
都市部	46.581	46.532	39.541	23.020	52.034	42.345	28.392	30.060	29.155	40.437	23.153	26.735	31.558	18.050	19.445	27.623	40.619	565.279
農村部	6.534	6.514	4.353	2.003	9.299	5.080	2.541	2.739	2.630	4.569	2.015	2.361	2.934	1.599	1.706	2.455	4.614	63.946
合計	53.115	53.046	43.894	25.023	61.334	47.425	30.934	32.799	31.784	45.006	25.168	29.095	34.492	19.648	21.151	30.078	45.234	629.225
エアコン	済南	青島	淄博	枣庄	東營	煙台	濰坊	済寧	泰安	威海	日照	萊蕪	滨州	德州	聊城	臨沂	荷沢	合計
都市部	113.007	112.864	92.562	48.386	128.569	100.693	61.815	66.184	63.800	95.153	48.707	57.565	70.188	36.845	40.002	59.830	95.681	1,291.851
農村部	13.670	13.630	9.308	4.470	19.112	10.772	5.597	6.009	5.781	9.743	4.496	5.221	6.411	3.612	3.840	5.419	9.835	136.925
合計	126.677	126.495	101.870	52.856	147.681	111.464	67.412	72.193	69.581	104.897	53.203	62.785	76.599	40.456	43.843	65.248	105.517	1,428.776
テレビ	済南	青島	淄博	枣庄	東營	煙台	濰坊	済寧	泰安	威海	日照	萊蕪	滨州	德州	聊城	臨沂	荷沢	合計
都市部	134.405	134.264	116.205	84.596	151.048	123.004	93.799	96.796	95.158	118.317	84.819	90.898	99.572	76.299	78.639	92.443	118.753	1,789.015
農村部	181.259	181.041	153.518	107.173	207.142	163.802	120.392	124.749	122.364	156.701	107.490	116.199	128.805	95.473	98.751	118.429	157.360	2,340.649
合計	315.664	315.306	269.723	191.768	358.190	286.806	214.190	221.545	217.522	275.018	192.309	207.097	228.377	171.772	177.391	210.872	276.113	4,129.664

表-3 廃家電回収のための平均輸送距離とCO₂排出量の推計

		単位	山東省	北部九州
工場までの距離		km	399	135
輸送時排出量	洗濯機	kg-CO ₂ /台	1,005	292
	冷蔵庫	kg-CO ₂ /台	2,009	585
	エアコン	kg-CO ₂ /台	1,340	387
	テレビ	kg-CO ₂ /台	1,005	252
	4家電平均	kg-CO ₂ /台	1,340	379

(2) 輸送時における環境負荷

中国山東省における廃家電の輸送距離は、17市の市庁舎から青島新天地のリサイクル団地までの距離を地図より読み取った。CO₂排出原単位にはJEMAI（産業環境管理協会）のデータベース⁶⁾の中から車種別のCO₂排出量を用い、10トントラック・積載率50%で輸送する場合のCO₂排出量を算出した。なお、家電1台あたりの重量は、日本の家電製品協会の公表データ⁵⁾を用い、前章で算出した山東省における廃家電発生台数から1台あたりの輸送時CO₂排出量を求めた。

一方、日本における輸送時の環境負荷の算出には、中国と同様に地図及びJEMAIの原単位データ⁶⁾を用いた。また、廃家電の要処理量は、家電製品協会により公開されている平成17年度の実績データをもとに、都道府県別の家電保有量から按分して算出した。九州の場合は水俣市にも家電リサイクル工場があるため、収集の範囲は、北部九州（福岡県、佐賀県、長崎県、大分県）+山口県と仮定して推計した。

以上の結果を表-3に示す。これによると、山東省全域から発生する廃家電を青島のリサイクル団地へ収集した場合、1台あたりのCO₂排出量は日本のケースと比較して4倍近く排出量が多い結果となった。

(3) リサイクル工程による環境負荷

中国のリサイクル工程における環境負荷については、算定対象項目を電力消費のみとし、家電1台当たりCO₂発生量を求めた。推計方法は、図-5に示す通りである。浙江省寧波市再生資源工業団地における年間電力料金及び年間処理台数の実績データ³⁾より、1台あたりの使用電力量を算出した。なお、中国における電力消費量あたりのCO₂発生源単位は、発電に要する化石燃料消費量から独自に算出した原単位を用いた。

一方、日本におけるリサイクル工程の環境負荷については、西日本家電リサイクル(株)がWebサイトで公開している2005年度の電力、プロパン、軽油の使用によるCO₂排出量をグラフから読みとり、1台あたりの環境負荷排出量を推計した。なお、電力消費量あたりのCO₂発生源単位については、環境省のデータ⁷⁾（0.555kg-CO₂/

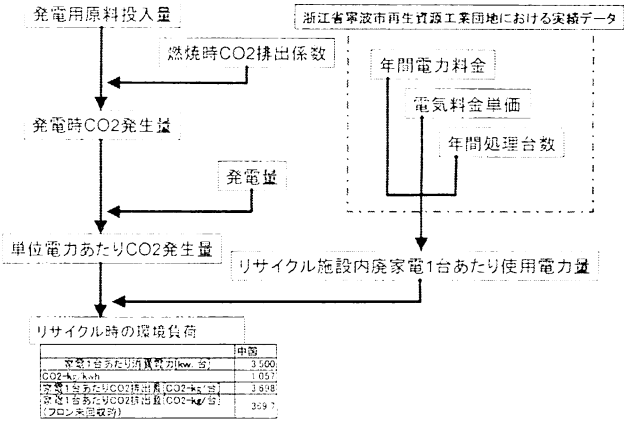


図-5 山東省における家電リサイクル時のCO₂推計フロー

表-4 日本における家電1台あたりリサイクル時CO₂排出量推計結果

電力	1.76 kg-CO ₂ /台
プロパン	0.14 kg-CO ₂ /台
軽油	0.06 kg-CO ₂ /台
合計	1.96 kg-CO ₂ /台

台)を用いた。

(4) 資源回収による天然資源削減効果

資源回収による環境負荷削減効果の算出にあたっては、先に示した日本メタル経済研究所の報告書²⁾や、家電協会の公開データ⁵⁾を用い推計した。

中国における家電製品別の資源回収量の算出には、中国における家電製品別原料構成比²⁾及び中国における資源回収率²⁾より推計した。算出結果を表-5に示す。この結果によると、テレビと冷蔵庫については、推計値と家電製品別のリサイクル率より算出した理論値の差が多いため、プラスチック類の割合を下げることで補正を行った。また、テレビのリサイクルにおいては、中国ではガラスの回収は行っていないとされるため、資源回収率を0と

表-5 中国における家電製品別資源回収量推計結果

単位[kg/台]				
	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	エアコン
鉄、鉄合金	2.62	26.46	15.04	16.52
銅、銅合金	0.41	1.84	0.78	6.66
アルミ、合金	0.08	0.59	0.38	3.10
その他合金	0.38	0.59	0.14	0.54
プラスチック	4.35	23.38	9.37	6.30
ガラス	19.26	0	0	0
気体	0	0	0	0
プリント基板	0	0	0	0
その他	0	0	0	0
合計	27.09	52.87	25.70	33.12
回収量(理論値)	6.00	45.00	27.00	34.00
理論値との差	21.09	7.87	-1.30	-0.88

した。以上の想定のもと補正した結果を表-6に示す。

日本における家電製品別の資源回収量は、日本における家電製品別の原料構成比⁸⁾と素材別資源回収率より算出を行った。算出結果を表-7に示す。

以上の算出結果に表-8に示す、資源回収による天然削減効果を示すCO₂排出量原単位を乗じることで、中国及び日本における家電製品別の1台あたりCO₂削減量を求めた。その結果を表-9に示す。日本と中国の資源回収に

表-6 補正後の中国における家電製品別資源回収量推計結果

	単位[kg/台]			
	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	エアコン
鉄、鉄合金	2.62	26.46	15.04	16.52
銅、銅合金	0.41	1.84	0.78	6.66
アルミ、合金	0.08	0.59	0.38	3.10
その他合金	0.38	0.59	0.14	0.54
プラスチック	2.42	16.89	9.37	6.30
ガラス	0	0	0	0
気体	0	0	0	0
プリント基板	0	0	0	0
その他	0	0	0	0
合計	5.90	46.37	25.70	33.12
回収率[理論値]	6.00	45.00	27.00	34.00
値論値との差	-0.10	1.37	-1.30	-0.88

表-7 日本における家電製品別資源回収量推計結果

	単位[kg/台]			
	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	エアコン
鉄鋼	2.33	28.44	14.37	20.83
銅	1.09	1.56	0.70	6.92
アルミ	0.12	1.16	0.50	2.35
プラスチック	0.43	5.57	2.55	0.63
ガラス	16.80	0.00	0.00	0.00
プリント基板	1.50	0.00	0.00	0.80
その他	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	22.27	36.74	18.12	31.54

表-8 素材別の天然資源削減によるCO₂削減効果

	kg-CO ₂ /kg
銑鉄	1.46
銅	3.01
アルミ	2.59
その他合金	0.45
その他のプラ製品	2.64
その他のガラス製品	2.36

表-9 資源回収によるCO₂削減効果の日中比較

	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	エアコン
日本	55.136	51.867	25.591	59.593
中国	7.238	54.786	29.879	56.370

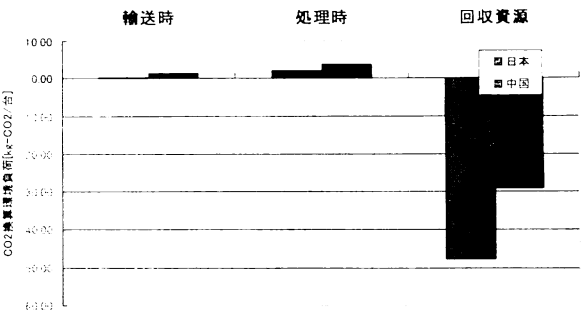


図-6 家電リサイクルによるLCO₂の日中比較

よる効果を比較すると、テレビ・エアコンが日本、冷蔵庫・洗濯機は中国が、1台あたりの効果が高いことが示された。これは製品別の資源回収率の違いによるところが大きい。

(5) LCO₂の日中比較

前節までで算出した結果を集計して、中国及び日本における廃家電リサイクルに係る環境負荷及び環境負荷削減効果の比較を行った。結果を図-6に示す。

これによると、中国における廃家電リサイクルによる環境負荷削減効果は24.2kg-CO₂/台であり、一方、日本における廃家電のリサイクルによる環境負荷削減効果は45.2kg-CO₂/台という結果が得られた。

4. まとめ

本研究では、中国山東省を対象に、家電5品目の保有量及び廃棄量の推計と、それをリサイクルする場合のLCO₂の算出を行った。また、この値を日本の家電リサイクルの環境評価と比較することで、中国のおかれている現状を明確にすることを試みた。

その結果、下記のようなことが明らかになった。

- ・今後中国の廃家電発生量は急激に増加すると予測された。
- ・山東省全域から1カ所に収集しようとする、日本の家電リサイクルの典型的なケースの約3倍の平均輸送距離となる。それに比例して、CO₂排出量も約4倍となる。
- ・中国は手選別が中心であり、電力の消費はあるものの、LPGや都市ガス等の使用は無い。ただし、発電のCO₂排出係数が高い(約2倍)ため、結果的にリサイクル工程におけるCO₂排出量は日本より多い。
- ・手選別が中心であることを含め、リサイクルの技術的要因により、資源回収による天然資源削減効果が日本より小さい(約6割)。

今回の結果から、さらに次のような分析が課題として

挙げられる。

- ・今後のさらなる経済水準の向上とともに、農村部の生活水準の向上は、廃家電フローに大きな影響を与えるであろう。その詳細な予測が必要である。
- ・今後のリサイクル技術の導入次第では、資源回収による環境負荷低減効果は日本に近づく可能性がある。元々、天然資源からの製造プロセスが非効率であるため、環境負荷削減効果はさらに高い可能性がある。
- ・廃家電の輸送については、既存の中小リサイクル業者ネットワークを利用すること、将来的に大量に発生することが予想される農村部における回収システムを強化すること、リサイクル拠点を増やすこと等の対策が必要であるといえる。その施策効果を示すことも重要な課題である。

るリサイクルのための最適化の調査・研究, 2004.

- 3) 国立環境研究所 寺園他：アジア地域における廃電気電子機器と廃プラスチックの資源循環システムの解析, p.69, 2007.
- 4) 青島市：廃旧電器回収利用的管理対策研究, 2006.
- 5) (財)家電製品協会：家電リサイクル情報
<<http://www.aeha.or.jp/05/c.html>>
- 6) LCA日本フォーラム：LCAデータベース
<<http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm>>
- 7) 環境省：温室効果ガス 算定・報告・公表制度について
<<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/>>
- 8) (財)家電製品協会 内部資料, 2003.

参考文献

- 1) 中央環境審議会：家電リサイクル制度の施行状況の評価・検討について（意見具申）, 2008.
- 2) 日本メタル経済研究所：日本及び中国の含銅廃棄物にかか

ESTIMATION OF AMOUNT OF END-OF-LIFE HOME ELECTRIC APPLIANCES GENERATION AND PERSPECTIVE OF RECYCLING SYSTEM IN CHINA : CASE STUDY OF SHANDONG PROVINCE

Toru MATSUMOTO, Tadashi TSURUTA and Takafumi EZAKI

In China, the possession rate of household electric appliances rises along with economic growth, and the necessities of the maintenance of the system of law for proper processing and recycling of discarded home electric appliances and the improvement of facilities have risen. In this study, the amount of generation of discarded home electric appliances was estimated in Shandong province in China. Moreover, the effect of the recycling of collected discarded home electric appliances at one-place recycling center in this province inside was evaluated. In addition, it compared with the Japanese case for the discussion of the current state and future direction of the recycling in China.