

循環型社会の形成に向けたモデル的社会実験を通じた静脈物流に関する考察

Study on the reverse logistics towards a recycling-oriented society through the model demonstration experiments



秋山浩之：みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第1部 シニアコンサルタント

略 歴

1996年東京大学工学部都市工学科卒業。98年同大学院工学系研究科（都市工学専攻）修了。98年富士総合研究所（現みずほ情報総研）へ入社し、2011年4月より現職。

〔要約〕 静脈物流は、再生可能エネルギー設備や建設廃棄物等のリサイクル・適正処理の推進や、資源循環のビジネスモデルの再構築といった循環型社会形成の今日的課題と密接に結びついている。廃太陽光パネルについては、一次集積所から中間処理施設への効率的な輸送、建設廃棄物については、発生地・中間処理地と受入先との地域間需給ギャップを解消する広域共同海上輸送の重要性が、モデル的社会実験を通じて確認された。

1. はじめに

筆者が平成23年から事務局の一員となっている環境省のエコタウン等高度化モデル事業（以下、「モデル的社会実験」）は、既存の廃棄物処理・リサイクル施設を活用して、循環資源の収集・運搬・処理を実際に行い、地方及び国の循環型社会の形成に関する政策課題の解決に資することを目的としたものである。事業の名称にあるエコタウンは、容器包装リサイクル法をはじめとした個別リサイクル法と廃棄物処理問題解決の両輪となり、1997年以降、全国26地域が承認され、その施設整備の受け皿となってきたものである。現在は、当時のような大規模な取組は行われて

いないが、海外の行政関係者からは評価・関心の高い取組であると聞く。

さて、このモデル事業は、事業開始当初、エコタウン承認自治体からの申請が必要であったが、平成25年度以降、エコタウン承認地域以外の自治体、企業等でも応募が可能となった。特に最近は、循環資源の減少に伴い、その調達がりサイクル事業者にとっての課題になっている。そのため、モデル的社会実験では、循環資源の輸送効率化や排出者にとっての利便性向上など、静脈物流に関するテーマを取り上げ、課題の解決を図ろうとするものが少なくない。また、こうしたテーマは、循環型社会形成の今日的課題と密接に結びついていることから、本稿では、その取組の背景

とモデル的社会実験の内容及び成果を静脈物流の視点から再整理を行い、考察を加えたい。

2. 静脈物流の今日的意義

(1) 循環型社会の形成に資する今日的課題の解決

静脈物流の定義や概念の整理は、尹（2009）で詳細かつ包括的に行われている。尹（2009）は、既存研究のレビューなどから、1980年代までの静脈物流の概念は、ロジスティクスの逆向けのプロセスとして定義され、損傷・期限切れ・誤配などで製品が逆方向に移動することとして認識されていたが、その後、環境的側面と経済的側面を反映するように拡大されたと整理した上で、静脈物流を「原料・製造過程・完成財・使用済み製品・廃棄物・廃棄過程・関連する情報に対して、消費地点から発生地点又は処分地点までの全てのフローを、価値の再取得や適切な処理、広い意味では循環型社会の形成のため、効率的かつ費用効果的に計画・実行・コントロールするプロセス」と定義した。これは、「消費地点から発生地点に至るまで」とする企業の経済的側面に重点を置く定義と比較して、「廃棄物・廃棄過程」や「広い意味では循環型社会の形成のため」という環境的・社会的観点が強調されている。

100%リサイクルできない資源・製品は、必ず廃棄物としての中間処理・最終処分を適正に行うことが必要である。しかし、単に適正な処理・処分を効率的かつ費用効果的に行うのであれば、不法投棄等の不適正処理を行わない範囲でできる限り安く行うことで十分

であるが、「広い意味では循環型社会の形成」という文言が加わることによって、循環型社会の形成という目標を達成するために行う処理・処分を、効率的かつ費用効果的に行うことも含むことになる。

その社会的目標を記した第三次循環型社会形成推進基本計画では、その基本的方向の一つに、「循環型社会と低炭素社会との統合的取組」が掲げられている。これは、低炭素社会実現のため、廃棄物発電のように循環資源のエネルギー利用を進めることと、再生可能エネルギー等の利用が前提となった社会で、エネルギー利用の残渣や使用後の設備の処理を適正に行い最終処分量をできる限り削減することとの統合的実現を意味する。

このほか、同基本計画では、GDPを天然資源等投入量で割った資源生産性の向上が掲げられている。2010年頃までは資源生産性の上昇が見られたが、それ以降は横ばいである。天然資源等投入量の増減を種類別に見ると、非金属鉱物系資源（主に、土石系資源）と化石系資源がわずかに増加しており、前者の要因は、「建設需要の増加に伴い、岩石、砂利、石灰石の投入量が増加したことによる¹⁾」とされている。すなわち、建設廃棄物として多く発生する土石系資源の有効利用も、大きな今日的課題の一つである。

(2) 資源循環のビジネスモデルの変化に適合する静脈物流の再構築

企業の経済的側面から見た静脈物流について、再び尹（2009）では、使用済み製品の活用が企業の利益になりうるという認識の向上

とともに、サプライチェーンマネジメントの強化による費用削減及び利益の追求がリバースロジスティクス活動の増加を招いたことなどを背景として、静脈物流、あるいはリバースロジスティクスの研究が進み、Dowlatshahi (2000) は、既存の研究を「総論」、「計量モデル」、「流通、倉庫、輸送」、「企業における事例」、「適用範囲」の5つに分類して考察を加えたこと、Rogers & Tibben-Lembke (1998) は、既存の研究成果や具体的な事例、調査結果などを示しながら、静脈物流マネジメントにおける核心要素として「Gatekeeping」、「処理プロセス時間の制御」、「情報システム」、「Centralized Return Centers」、「ゼロ・リターン」、「RemanufactureとRefurbishment」、「Asset Recovery」、「交渉」、「ファイナンス・マネジメント」、「アウトソーシング」の10の項目を挙げて分析を行ったことが記されている。

最近では、2015年12月に欧州から「循環経済(Circular Economy) パッケージ」が発表されたことや、シェアリングエコノミーへの注目、さらに、電気自動車やハイブリッド自動車で使用される電池のメーカー等による回収、さらに、リチウムイオンバッテリーであ

れば、住宅用や系統連系との調整用の蓄電池に利用する、いわゆるカスケード利用の検討などから、リビルトやリマニュファクチャリング(再製造)など、調達・生産・販売のサプライチェーンを再構築するビジネスモデルへの関心も高まっているが、15年以上前から、こうした概念が使われていることが理解できる。

このように、静脈物流(リバースロジスティクス)の意義は、循環型社会形成に関する今日的課題の解決と、資源循環のビジネスモデルの再構築という2点から捉えることができる。このうち、モデル的社会実験は、前者の視点から行われているものである。以下では、平成27年度に行われたもののうち、静脈物流に関する2つを取り上げて、内容の紹介と考察を行いたい。

3. 廃太陽光パネルの回収・リサイクル

(1) 廃太陽光パネルの発生予測

急速に普及した再生可能エネルギーとして太陽光発電がある。環境省の推計によれば、導入から廃棄までの期間を、固定価格買取制度での買取期間である20年とした場合には、2030年代前半に排出量は急増し、70～80万

表1 廃家電と廃太陽光パネルの発生・引取台数と重量

	台数	重量
廃家電(4品目) (平成27年度)	1,088万台 (引取台数)	453,197トン (再商品化等処理重量)
廃太陽光パネル (2030年代前半)	175～200万台 (住宅用換算台数)	70～80万トン (排出量)

(出典)廃家電:環境省報道発表資料(平成28年6月24日)「平成27年度における家電リサイクル実績について(お知らせ)」,廃太陽光パネル(重量):使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する検討会「太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書」(平成27年3月)、台数は住宅用1軒当たり4kW、出力1kW当たり100kg、1軒1台として換算したもの。

トンに達する。これは、廃家電4品目の平成27年度の再商品化等処理重量の1.5～1.8倍に相当する規模である。

また、投資回収年数は買取期間よりも短く設定されているであろうから、投資の回収がなされたら、製品寿命に達する前に撤去・廃棄される可能性があるし、撤去・廃棄される前に販売される場合でも、EoL (End of Life) 管理の仕組みが確立されていれば、安心して販売・購入することでき、投資回収後も資産を有効に運用することができる。

こうした予見される将来に備えて、環境省²⁾は「太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書」(平成27年6月)を公表して、今後のロードマップを示すとともに、そのロードマップの一環として、平成28年3月に「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン(第一版)」を示している。

(2) リサイクルコストにおける物流の位置付け

一般的に、リサイクル・適正処理における物流コストの占める割合は低くなく、効率化が必要である。加えて、太陽光パネルの資源の構成を見ると、価値の低いものの構成が増えつつあり、ますます物流コストの削減が重要になると考えられる。

三菱総合研究所(2015)によれば、処理ケース(処理方式及び排出量)別の撤去・運搬・処理に関する費用構成は、以下のように試算されている。

まず、処理方式(埋立とリサイクル)別に

見ると、排出量が同量であれば、リサイクルを行った方が処理・リサイクル事業者の収入(廃棄部処理料及び有価物の売却益)が増えることになる。撤去コストは、屋根置き(主に住宅用を想定)は建設解体業者及び施工業者に対するアンケート調査に基づいて、平置き(メガソーラー等、非住宅用を想定)は、固定価格買取制度で、非住宅用について、買取価格に積まれているシステム価格の5%に相当する廃棄費用を割り当てている。撤去以外の費用便益を比較すると、例えば、排出見込量が10万トンの場合、埋立(ケース2)では、費用が3,170百万円、便益(中間処理成果物の売却)が1,032百万円で、収支はマイナス2,138百万円となる一方、リサイクル(ケース5)では、費用が6,804百万円、便益(中間処理成果物及び金属等の売却)が6,747百万円で、収支はマイナス57百万円となる。

廃棄物処理・リサイクル事業の視点から見ると、この仮定計算の上では、適正処理のためには、廃棄物処理料を払う必要がある。通常の廃棄物処理料の相場はおいておき、仮に費用と便益の差額を廃棄物処理料の原価と考えると、リサイクルを行う(ケース5を選択する)ことによって、追加的な費用を負担しても、それ以上の便益(収入)が得られることになり、それを廃棄物処理料を下げる原資とすれば、リサイクルを行う方が調達力(コスト競争力)で勝ることになる。

次に、費用の構成を見ると、撤去の費用が8割以上を占める。さらに、撤去費用を除くと、物流(一次～三次、保管も含む)に関する費用は28.8%を占める。

この費用対効果の分析は、モデル的な計算結果であり、リサイクル施設への回収場所、や発生量、さらに金属等の相場、回収製品などによって、様々なパターンが想定されるが、物流面でのノウハウは、事業の成否を大きく

左右する要因であることが分かる。さらに、事業の初期段階では発生量が少ないことから、中間処理・リサイクル施設への輸送を考慮した収集ポイントの配置も重要なテーマになる。

表2 太陽電池モジュールの撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析結果

		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
排出見込量(t)		10,000	100,000	10,000	50,000	100,000
回収⇒ 中間処理		埋立	埋立	リサイ クル	リサイ クル	リサイ クル
便益 (百万円) (B)	段階別収益	103	1,032	675	3,373	6,747
	撤去	0	0	0	0	0
	一次物流～保管	0	0	0	0	0
	二次物流	0	0	0	0	0
	中間処理	103	1,032	529	2,646	5,292
	三次物流	0	0	0	0	0
	金属等回収	0	0	145	727	1,455
	管理・運営	0	0	0	0	0
費用 (百万円) (C)	段階別費用	3,532	35,320	4,000	19,580	39,055
	撤去	3,225	32,250	3,225	16,125	32,250
	一次物流～保管	100	1,000	100	500	1,000
	二次物流	67	670	67	335	670
	中間処理	140	1,400	309	1,545	3,090
	三次物流	-	-	56	280	560
	金属等回収	-	-	138	689	1,379
	管理・運営	-	-	105	105	105
B-C		-3,429	-34,288	-3,325	-16,207	-32,308
	撤去	-3,225	-32,250	-3,225	-16,125	-32,250
	一次物流～保管	-100	-1,000	-100	-500	-1,000
	二次物流	-67	-670	-67	-335	-670
	中間処理	-37	-368	220	1,101	2,201
	三次物流	-	-	-56	-280	-560
	金属等回収	-	-	8	38	76
	管理・運営	-	-	-105	-105	-105
B/C		0.029	0.029	0.169	0.172	0.173
	撤去	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	一次物流～保管	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	二次物流	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	中間処理	0.74	0.74	1.71	1.71	1.71
	三次物流	-	-	0.00	0.00	0.00
	金属等回収	-	-	1.06	1.06	1.06
	管理・運営	-	-	0.00	0.00	0.00
最終処分場の延命効果 (m³)		1,896	18,959	12,250	61,252	122,504

(注1) パワーコンディショナー、架台は分析対象に含めていない。

(注2) 一次物流: 排出場所から一次集積所への運搬、二次物流: 一次集積所から中間処理施設への運搬、三次物流: 中間処理施設から金属製錬あるいはガラスリサイクル施設への運搬。

(出典) 三菱総合研究所(2015)

(3) モデル的社会実験の概要と結果

こうした背景を踏まえて、モデル的社会実験では、パネル回収のコスト評価と、主要な回収事業者として期待される工務店にとっての運用面での課題の把握が行われた。準備された回収ルートは、①一度の廃PVパネルの発生量が40枚を超える場合（主に発電事業者からの排出を想定）、②40枚に満たない場合（主に家庭からの排出を想定）の2つである。

①では、当該社会実験の事務局にパネル所有者が連絡を行い、その事務局が手配した工務店がパネルの撤去、さらにその事務局が手配した運搬業者が試験施設（処理施設）への運搬を行い、それらの費用はパネル所有者が負担する。

一方、②では、パネル所有者が工務店へ連絡し、連絡を受けた工務店が本モデル的社会実験で立ち上げたウェブサイトを利用して、最寄りの収集ポイントを特定した上で、パネル撤去、収集ポイントへの運搬、事務局への

連絡を行う。撤去費、収集ポイントへの運搬費はパネル所有者が負担する。さらに、試験施設への運搬は、事務局が手配した運搬業者が行い、その運搬費用はモデル事業の予算で負担する。

収集ポイントとなる一次集積所は、各収集ポイント間の距離や屋根付きの倉庫・フォークリフトの有無などを考慮し、秋田県、岩手県、山形県、福島県など7県の14ヶ所が選定された。

この②のケースは、積載率を上げるため、収集ボックスが満杯になったところで、試験施設に運搬するという点を工夫している。なお、この物流コストは、一次集積所から試験施設（処理施設）までなので、表2の二次物流のコストに該当するものである。

さて、この積載率向上と枠組み管理・運営対策によるコスト削減効果を見ると、4トントラックにおける輸送能力を最大限活用するようにすれば、2030年の家庭からの排出量に

表3 対策によるコスト削減効果の試算

	2020 年	2030 年	2039 年
1) 廃 PV パネルの排出量 ⁽¹⁾	2,808 トン	28,788 トン	775,085 トン
2) 1)のうち、家庭からの排出量 ⁽²⁾	700 トン	20,000 トン	380,00 トン
3) 対策なしの場合のコスト ⁽³⁾	53 百万円	1,500 百万円	28,500 百万円
4) 対策あり のコスト	a) 運賃 ⁽⁴⁾	18 百万円	500 百万円
	b) 枠組みの管理・運営 ⁽⁵⁾	105 百万円	105 百万円
	c) 計 (a)+b))	123 百万円	605 百万円
5) 対策の効果 (=3)-4))	-70 百万円	895 百万円	18,895 百万円

(1) 三菱総合研究所(2015)

(2) 2020年と2030年の値は三菱総合研究所(2015)p.114の図1-65から目視で同定した値。2039年の値は三菱総合研究所(2015)に未掲載であったため、廃PVパネルの排出量の約半分とした。

(3) 山形県酒田市の収集ポイントから大館市(220km程度)まで、廃棄物処理法に従って運搬することを想定(運賃:60,000円/収集ボックス)、40枚(0.8トン)の廃PVパネルを1個収集ボックスに入れて、4トン車のチャーター便1台での運搬を想定することから、単価は75,000円/トン(60,000円/車÷1収集ボックス/車÷0.8トン/収集ボックス)。

(4) 山形県酒田市の収集ポイントから大館市(220km程度)まで、廃棄物処理法に従って運搬することを想定(運賃:60,000円/収集ボックス)。加えて、収集ポイントを配置し、1つの収集ポイントで3つの収集ボックスまで保管し、3つが満杯になった時点で運搬するケースを想定。40枚(0.8トン)の廃PVパネルを1個収集ボックスに入れて、3つの収集ボックスを1台の4トン車のチャーター便で運搬することから、単価は25,000円/トン(60,000円/車÷3収集ボックス/車÷0.8トン/収集ボックス)。

(5) 三菱総合研究所(2015)p.178 表1-81 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析結果の費用の管理・運営の値(家電リサイクル法における管理コストを参考に試算された値)を引用。

(出典)イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社(2016)

相当する年間20,000トンの排出量があると、枠組みにおいて保管場所の管理を行うとしても対策によるコスト削減効果が生じる。ただし、この集積所が積替・保管施設に該当すると考えられるため、廃掃法上の保管期間で満杯になることが、こうした効果を生み出すための条件となる。

(4) 回収容器の活用

廃太陽光パネルの取扱いでは、破損ガラスによる負傷、パネルへの光照射に起因する感電などが生じる懸念もあるため、運搬の効率性に加えて、安全性も満たした回収容器を用意する必要がある。欧州では、2012年のWEEE指令の改正によって、家庭からの廃太陽光パネルには収集ポイントを配置することになったが、それ以前の2007年から太陽電池モジュールのリサイクルを手がけるPV CYCLEは、欧州規格ENにも合致する回収容器（収集ボックス）を用いて回収を行っている。

モデル的社会実験では、PV CYCLEの収集ボックスを取り寄せ、工務店などが指定された一次集積所から中間処理施設までの二次

物流で使用された。この収集ボックスは重さが50kg程度あり、4トン車には3つの収集ボックスを運搬することが可能である。安全管理のため、PV CYCLEが欧州で実際に使用している文書（米国の労働安全衛生マネジメントOSHAに基づき作成した文書）を和訳したものに補足事項を加えたものも用意された。

4. 建設廃棄物等の広域海上輸送

(1) 建設廃棄物の発生予測

今後、社会資本の更新に伴うコンクリートや骨材などの発生量が増大することが懸念されている。建設廃棄物の発生量ではないものの、若干の定義の違いも承知した上で、維持更新費の予測を見ると、2013年度の維持管理・更新費は約3.6兆円で、2023年度は約4.3～5.1兆円、2033年度には約4.6～5.5兆円となっている。なお、長寿命化やコスト削減などによって平成18年国土交通白書での予測値に比べて、2013年度という直近と、2033年度という長期での維持管理・更新費が抑制されているが、2023年度にかけての増加という見通しは、むしろ平成25年12月答申での予測値の方が強まっている。

表4 社会資本の維持管理・更新費用の推計結果(国土交通省所管分)

年度	平成 25 年 12 月 答 申 ⁽¹⁾	平成 17 年度 国土交通白書 ⁽³⁾
2013 年度	約 3.6 兆円 ⁽²⁾	約 5.2 兆円
2023 年度 (10 年後)	約 4.3～5.1 兆円	約 4.1 兆円
2033 年度 (20 年後)	約 4.6～5.5 兆円	約 7.3 兆円 ⁽⁴⁾

(1) 推計結果は国、地方あわせた事業費ベースの数値

(2) 2013年度の値(約3.6兆円)は、実績値ではなく、今回実施した推計と同様の条件のもとに算出した推計値

(3) 国:対前年度比マイナス3%; 地方:対前年度比5%のケース

(4) 推計期間の最終年度である2030年度の値

(出典) 社会資本整備審議会・交通政策審議会「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について(答申)」(平成25年12月)、平成17年度国土交通白書(平成18年4月)より作成

表5 平成25年12月答申における推計の前提条件

1. 国土交通省所管の社会資本10分野(道路、治水、下水道、港湾、公営住宅、公園、海岸、空港、航路標識、官庁施設)の、国、地方公共団体、地方道路公社、(独)水資源機構が管理者のものを対象に、建設年度毎の施設数を調査し、過去の維持管理、更新実績等を踏まえて推計。
2. 今後の新設、除却量は推定が困難であるため考慮していない。
3. 施設更新費の機能向上については、同等の機能で更新(但し、現行の耐震基準等への対応は含む。)するものとしている。
4. 用地費、補償費、災害復旧費は含まない。
5. 個々の社会資本で、施設の立地条件の違いによる損傷程度の差異や維持管理・更新工事での制約条件が異なる等の理由により、維持管理・更新単価や更新時期に幅があるため、推計額は幅を持った値としている。

(出典)社会資本整備審議会・交通政策審議会「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について(答申)」(平成25年12月)

また、人口減少・少子高齢化や行政サービスのニーズの変化に伴い、公共施設の解体撤去に伴う建設廃棄物の発生も予想される。全ての都道府県及び市区町村を対象(回答率99.8%)に、公営住宅、教育関係施設、職員宿舎、庁舎等、社会福祉関係施設、廃棄物処理施設、インフラ、その他といった公共施設の解体撤去の意向などについて行われた総務省(2013)の調査によれば、延床面積1,451万 m^2 の公共施設等が解体撤去の意向があるとされている。そのうち、その他360万 m^2 (25%)を除けば、教育関係施設が328万 m^2 (23%)で最も多く、インフラが253万 m^2 (17%)、公営住宅が158万 m^2 (11%)、廃棄物処理施設が126万 m^2 (9%)と続く。

また、首都圏は、こうした高度成長期に整備された社会資本や建築物の更新に加えて、東京オリンピック・パラリンピックの開催やリニア中央新幹線の建設によって、建設廃棄物が大量に発生する。さらに、工法の進化によって再生資源の需要量は減少し、東京都(2015)では、「リサイクル材としての利用量を上回る大量のコンクリート塊が発生し、需給ギャップが生じ始めている」と書かれている。

(2) 循環型社会の地域間需給ギャップを解消する広域物流の重要性

廃棄物処理の観点からは、セメント産業は重要な役割を果たしている。一般社団法人セメント協会によれば、様々な産業や自治体から排出される廃棄物・副産物をセメント原料、代替エネルギーとして受け入れた量は2013年度で3,000万トンで我が国の循環利用量の約9%を占め、このうち、発電所から出る石炭灰・副産石こう(9,726千トン、以下、いずれも2014年度)、製鉄所から出る高炉スラグ・製鋼スラグ(8,486千トン)に次いで、建設現場から出る建設発生土・建設汚泥・廃プラスチック・木くず(3,828千トン)が受け入れた廃棄物・副産物で多い。

受入先となるセメント工場は、クリンカ製造能力を尺度とすれば、中国・九州地域に全国の約50%が集中している。従って、首都圏から排出される建設廃棄物を西日本に輸送するためには海上輸送が必要となる。しかし、首都圏の建設廃棄物の中間処理施設の集積地の一つである東京都大田区城南島のスーパーエコタウンでは、輸送コストやスペースの制約から海上輸送が十分利用できていないため、同地域に立地する事業者が共同輸送を行

うモデル的社会実験を行うこととなった。

流能力がボトルネックになっている。

(3) モデル的社会実験の概要と結果

今回のモデル的社会実験への参加企業4社では、平成26年度で約27万トン/年が海上輸送により広域利用されている。さらに、今後は3箇所の新たな工場新設によって、土砂系・汚泥等の海上輸送貨物量は増加し、現在の2倍の約53万トンに達する見込みである。

さらに、東京スーパーエコタウンは、大都市型のリサイクル団地であるため、現在でも、循環資源の保管や荷捌き等のための敷地が不足していると言われており、次々と運び込まれる建設廃棄物の処理に当たって、保管・物

こうした現在・将来の物流面での問題点の解消に向けて、平成27年度のモデル的社会実験では、コンテナを利用して4社の資源を共同輸送し、①輸送に当たっての現場の状況、②各港湾別の積替保管等に係る行政調整、③輸送コスト(経済性)、④最終処分量の削減(環境性)という点を検証するため、実際に工場からの出荷、海上輸送、セメント工場等での受入れが行われた。

固有の課題である①輸送に当たっての現場の状況を除いた検討結果を見てみると、②行政調整については、運搬ができなかったわけではないが、可燃物、廃プラ(産業廃棄物)

表6 実験参加会社における海上輸送貨物量の現状と将来予測(単位:万トン/年)

	海上輸送量	内訳 ; () 内は現船種
現状 (4社4工場)	26.8 (平成26年度)	・土砂系・汚泥(バルク) 25 ・可燃物・廃プラ(フェリー) 1.6 ・非鉄精錬原料(バルク) 0.3
将来 (5社6工場)	53	・土砂系・汚泥(バルク) 51 ・可燃物・廃プラ(フェリー) 1.6 ・非鉄精錬原料(バルク) 0.3

(出典)成友興業株式会社(2016)

表7 経済性の評価

	輸送費(コンテナ) (実証後の調整)	輸送費(フェリー) (荻田港経由の場合)	備考 (コンテナ輸送費の内訳)
可燃物(高俊興業) [徳山下松港]	1.7万円/トン (8トン積載;補正)	1.1万円/トン (18トン積載) (現在は、不通)	・陸上輸送(第一区間) 25,000円 ・コンテナ輸送(荷役込) 100,000円 ・陸上輸送(第三区間) 13,000円
廃プラ(タケエイ) [門司港]	1.6万円/トン (12トン積載)	1.1万円/トン (想定18トン積載の場合) (現在は、不通)	・陸上輸送(第一区間) 25,000円 ・コンテナ輸送(荷役込) 100,000円 ・陸上輸送(第三区間) 70,000円

(注)事業実施時、事業者がコンテナ保有と想定(例:コンテナ賃料20,000円/本を除外)

(出典)第2回産業・地域共生のための動静脈ネットワーク会議資料

で港湾によって、積替・保管の許可を要するところと、環境省規制緩和通知に基づいて不要とするところがあることが確認できた。③経済性については、可燃物・廃プラの輸送単価は、コンテナ利用（1.6～1.7万円／トン）、フェリー船（1.1万円／トン）で後者のコスト競争力が高いが、利便性による集荷量の確保を考慮すると導入の可能性を残す結果となった。

さらに、④最終処分量の削減（環境性）については、廃プラ及び可燃物の41%の8,642t/年の削減量となった。

このように同地域で海上輸送の共同化を行うことによって、経済性と環境性（最終処分量の削減）の面で効果を有することが確認できた。

5. 考察（まとめ）

本稿では、静脈物流の定義を振り返りながら、循環型社会における今日的課題として、低炭素社会を支える再生可能エネルギー設備、建築物・社会資本の老朽化等による建設廃棄物等のリサイクルに関する事業について、モデル的社会実験の成果を紹介しながら、事業の成否における静脈物流の重要性を見た。それらをまとめると以下ようになる。

（1） 廃太陽光パネルの回収・リサイクルに関する考察

モデル的な計算であるとはいえ、表2で見たとおり、撤去費用をパネル所有者負担とするにしても、利潤が出ればリサイクル業者にとっての参入意欲が高まり、その結果、最終

処分量の削減、ひいては循環型社会形成へも寄与する。一次集積所までの一次物流、保管、及び二次物流の効率的な運用が重要である。

一次集積所や中間処理施設への運搬時には、様々なメーカーの廃太陽光パネルが混ざるため、メーカーが共同で負担するような枠組みの構築が望ましい。そうした枠組みのスキームは、これまでの静脈物流の経験が寄与すると考えられる。

（2） 建設廃棄物等の広域海上輸送に関する考察

共同化が行いやすい事業としてコンテナにおける輸送実験を行い、セメント工場等での利用により最終処分量が削減されるとともに、フェリー船に比べてやや経済性が劣るものの、バラ積み船・ガット船などを活用して輸送量を増大させれば経済性が向上すると期待される結果であった。

建設廃棄物のようなバルク貨物と、それ以外の混載をするよう、複数の中間処理・再資源化業者の連携を促進したり、多品目を扱うリサイクル工業団地に中間処理・再資源化施設を集約し、積替・保管・荷役施設、埠頭等の共同化を図るなど物流面での効率化を進めることも重要になるであろう。

（3） その他

過去のモデル的社会実験には、札幌市をはじめとする北海道の清掃工場の焼却灰の輸送を鉄道利用によって可能とし、セメント製造の原材料として利用できるようになった事例や、容器包装プラスチックと製品プラスチッ

クを合わせて回収することによって排出の利便性が増し、マテリアルリサイクル向けの原材料を増加させた事例など、他にも静脈物流に関するテーマがあり、今後も静脈物流のノウハウは循環型社会形成に貢献すると考えられる。

また、リサイクル事業は、代替されるバージン製品の生産時の化石燃料消費量が多いほど、CO2削減効果が生じる。そうした代替製品を生産するリサイクル施設は、広域的に分散しており、輸送距離増に伴うCO2排出量が増加してしまうこともあるが、LCA（Life Cycle Assessment）を用いることで、その効果が明らかになる。その基本的考え方について「循環資源のリサイクル及び低炭素化に関する効果算出ガイドライン」がまとめられ、「エコタウン等における資源循環社会と共生した低炭素地域づくり補助金事業」（平成26年度、平成27年度）、「地域循環圏・エコタウン低炭素化促進事業」（平成28年度）といった事業化可能性調査などで活用されている。輸送段階のCO2削減効果のみならず、材料・燃料を代替する施設への輸送を行うような事業では、そうした考え方をもとに、環境的価値を示すことも重要である。

一方、資源循環のビジネスモデルの再構築については、モデル的社会実験等を通じた情報収集・分析が待たれるところである。

本稿の執筆に当たっては、環境省リサイクル推進室（前職）谷貝氏、野崎氏、イーアンドイーソリューションズ株式会社白鳥氏、石塚氏、成友興業株式会社細沼氏、金子氏、株

式会社リーテム小林氏から、調査内容の引用を行うことについて快諾頂いた。この場を借りて御礼申し上げたい。

注

- 1) 中央環境審議会「第三次循環型社会形成推進基本計画の進捗状況の第2回点検結果について」（平成28年3月）
- 2) 使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する検討会

参考文献

- ・ Rogers & Tibben-Lembke(1998), “Going backwards; Reverse logistics trends and practices”, Reverse Logistics Executive Council
- ・ Dowlathshahi(2000), “Developing a theory of reverse logistics”, Interfaces, Vol.30, No.3, pp.143-155
- ・ 尹鍾進(2009), 「静脈物流に関する研究の動向と課題」『運輸政策研究』(Vol.12 No.3 2009 Autumn)
- ・ 河本桂一(2012), 「欧州における太陽電池モジュールリサイクルの動向」『産業と環境 2012年3月号』
- ・ 総務省(2013), 「公共施設等の解体撤去事業に関する調査結果」(平成25年12月)
- ・ 東京都(2015), 「『持続可能な資源利用』に向けた取組方針」(2015年3月)
- ・ 株式会社三菱総合研究所(2015), 「平成26年度環境省委託業務 平成26年度使用済再生可能エネルギー設備のリサイクル等促進実証調査委託業務報告書」(平成27年3月)
- ・ 山口裕司(2015), 「太陽光発電設備のリユース・リサイクル・適正処分の推進に向けた調査・検討について」『いんだすと』(Vol.30 No.12 2015)
- ・ みずほ情報総研株式会社(2016), 「平成27年度環境省請負業務 平成27年度エコタウン等高度化検討業務報告書」(平成28年3月)
- ・ イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社(2016), 「平成27年度エコタウン等高度化モデル事業『廃太陽光パネルの広域収集網の構築に係るモデル事業』報告書」(平成28年3月)
- ・ 成友興業株式会社(2016), 「平成27年度エコタウン等高度化モデル事業『東京エコタウン（特に城南島地域）で産出した産業原燃料の広域共同海上輸送システムの構築実証事業』報告書」(平成28年3月)