

資源化センター破砕物からの非鉄金属回収の事業性の検討

前田茂行 ・ 濱本哲郎 ・ 安永三浩*

福岡市保健環境研究所廃棄物試験研究センター

*株式会社テヅカ

Feasibility Study of Nonferrous Metals Recovery from Shredding and Sorting Center Shreds

Shigeyuki MAEDA , Tetsuro HAMAMOTO and Mitsuhiro YASUNAGA

Waste Research Center, Fukuoka City Institute for Hygiene and the Environment

*Tezuka Press Company, Limited

要約

福岡市では、燃えないごみ・粗大ごみについては、資源化センターで破砕選別処理後、有価物として、鉄・アルミを回収し、ごみの再資源化を図っている。また、回収した有価物を売却し処理費用の一部としている。近年、金属資源の価格高騰によりこの売却益が大きく増加しているため、新たな非鉄金属回収事業の事業性について検討した。結果としては、新規選別装置（メタルソータ）の導入による新たな有価物回収は費用対効果を得ることが難しく、搬入時（破砕前）にいかにも有価物を回収していくかが今後の課題と考えられた。

Key Words : 資源化センター shredding and sorting center, 燃えないごみ non-burnable garbage, 粗大ごみ oversized garbage, 有価物 valuable resource, 福岡市 Fukuoka city

1 はじめに

福岡市では、「福岡式循環型社会システム」構築の取り組みの一つとして、東部資源化センター及び西部資源化センターにおいて、図1に示すように「燃えないごみ・粗大ごみの破砕選別処理」により、「③鉄」「④アルミ」を回収し、ごみの再資源化を実施しているところである。

近年、この「鉄」「アルミ」等スクラップの市場での取引価格が、途上国の急速な経済発展による金属資源としての需要増加により上昇している。本市においても表1に示すとおり、平成17年度に実施した家庭ごみの有料化以後、処理量・回収量が減少しているにもかかわらず、契約単価の上昇により売却益が増加し、ごみの再資源化・循環利用といった当初目的を達成しているだけでなく、ごみ処理経費の縮減に貢献している。しかし、鉄・アルミ以外の非鉄金属は図1中の「①可燃物（焼却残渣）」「②不燃物」として埋立処理されている。

そこで、本市資源化センターにおいて現在回収している「鉄」「アルミ」以外の「銅」などの有価物について、

新規選別装置を追加導入し、回収することにより、更なる事業の収支向上の可能性（採算性）について検討した。

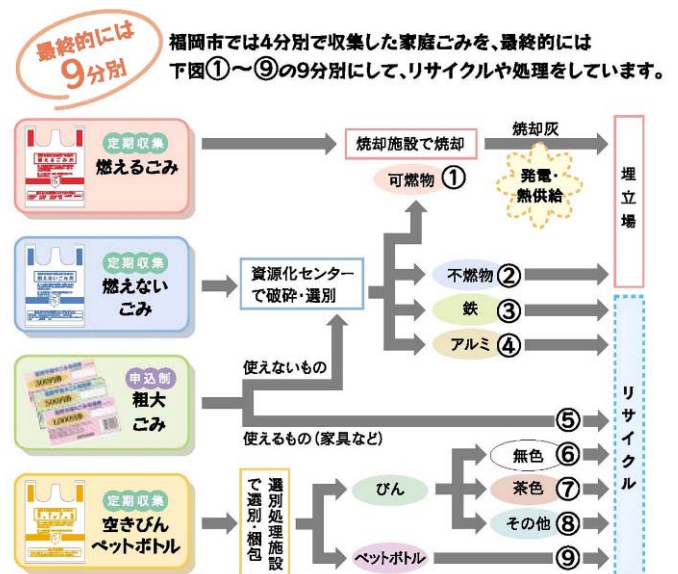


図1 福岡市のごみ処理の流れ
（「ごみルールブック FUKUOKA」より）

なお、新たな有価物の選別回収には、売却益以外にも、ごみ減量、埋立地延命等の効果が考えられる。

表1 資源化センター処理量・回収量・平均単価の推移

年度		H16	H17	H18	H19	H20
破碎選別処理量(t)	東部	15,851	16,582	14,621	14,845	14,642
	西部	17,388	16,030	14,359	15,205	11,424
	合計	33,239	32,612	28,980	30,050	26,066
資源化量(t)	東部	6,526	6,300	5,749	4,988	4,796
	西部	6,381	6,340	5,215	4,773	3,727
	合計	12,907	12,640	10,964	9,761	8,523
東部・西部合計)						
資源化量(t)	鉄	11,780	11,513	10,037	8,958	7,830
	アルミ	1,127	1,127	927	803	693
平均単価(円/kg)	鉄	20	21	26	36	44
	アルミ	52	58	77	78	64

2 調査方法

2.1 資源化センター概要

図2に本市資源化センターの破碎選別処理フローを示す。本市資源化センターでは、磁気型選別装置による「鉄」回収、渦電流型アルミ選別装置による「アルミ」回収を行っており、その他の金属には対応していない。この本市資源化センターの選別方法では、銅・ステンレス等の非鉄金属は、図2中の「①破碎可燃物」及び「②破碎不燃物」中に含まれている。この「破碎可燃物」及び「破碎不燃物」中の有価物の残存量（残存比率）を調査後、

「破碎可燃物」及び「破碎不燃物」の年間発生量から、残存している有価物量を推定し、その有価物量の市場取引価格、新規選別装置導入費、運転・管理費等から年間収益を予想した。また、費用対効果について考察した。

2.2 調査対象破碎処理物

- ・東部資源化センター 破碎可燃物 5件
- ・ " 破碎不燃物 5件
- ・西部資源化センター 破碎可燃物 4件
- ・ " 破碎不燃物 4件

2.3 調査方法

採取した検体を以下のとおりの手順により、手選別にて表2のと通りの有価物に分類し組成調査を行った。

- ①破碎可燃物・破碎不燃物を50Lサンプリング容器に満杯に採取後、重量を測定し単位容積重量を求めた。



図3 10mmメッシュふるいわけ作業

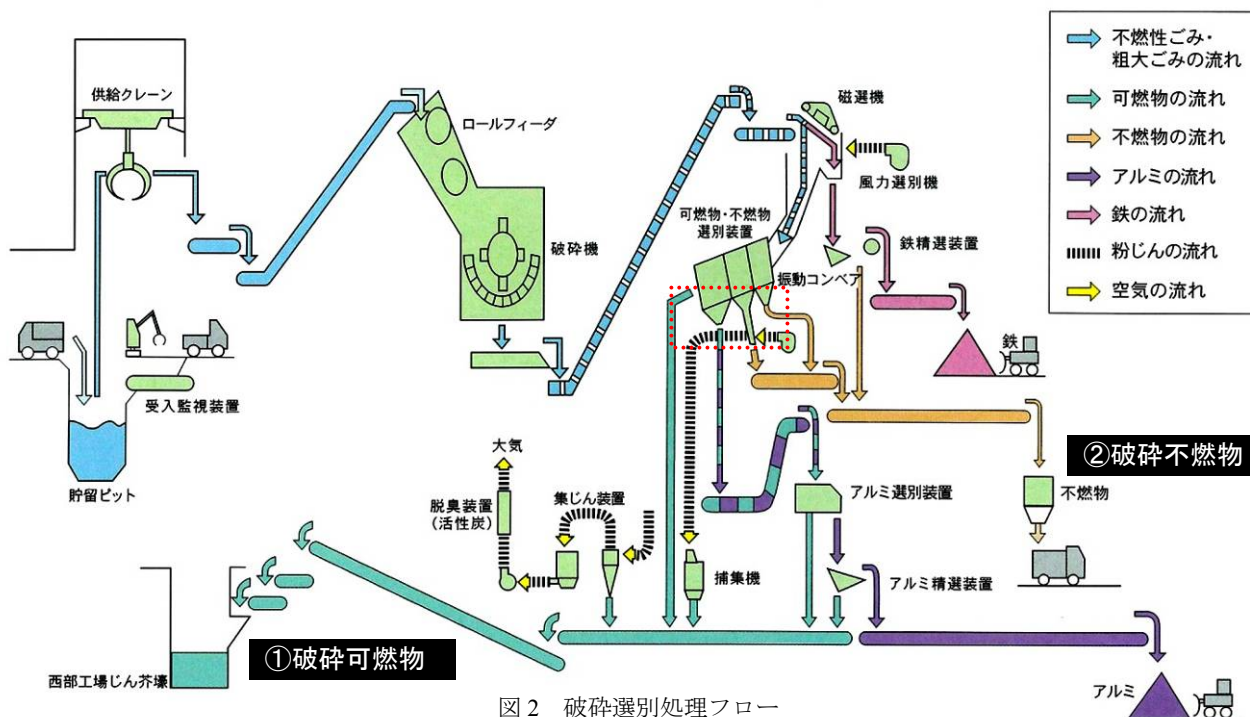


図2 破碎選別処理フロー
(クリーンパーク・西部 見学者用パンフレットより)

②採取した破碎不燃物は図3のように10mmメッシュのふるいにかけて、残留物を調査対象とし、10mm以下のものは、土砂・がれき・ガラス片が多いため、展開調査対象から除外した。

量を測定し残存率を求めた。

3 調査結果

③「破碎可燃物の全量」及び「10mm以上の破碎不燃物」をシート上に展開し各有価物に分類後、それぞれの重

東部・西部における資源化センター 破碎可燃物・破碎不燃物の組成調査結果を表2に示す。

表2 資源化センター 破碎可燃物・破碎不燃物の組成調査結果

東部 資源化センター		H20.6.12 10:00	H20.6.12 11:30	H20.6.12 13:30	H20.8.5 10:00	H20.8.5 13:30	最高	最低	平均	
破碎可燃物	単位容積重量 (t/m ³)	0.172	0.190	0.168	0.129	0.147	0.190	0.129	0.161	
	金属類	鉄系 (%)	4.9	3.6	0.8	5.1	8.4	8.4	0.8	4.6
		銅系 (%)	1.6	1.7	1.2	0.7	0.0	1.7	0.0	1.0
		アルミニウム系 (%)	2.7	0.7	1.7	1.9	4.1	4.1	0.7	2.2
		基板 (%)	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.2
		その他金属 (%)	0.0	0.8	1.5	5.1	0.0	5.1	0.0	1.5
		乾電池 (%)	0.9	1.3	1.8	0.0	1.3	1.8	0.0	1.1
	小計 (%)	10.5	8.1	7.0	13.2	13.7	13.7	7.0	10.6	
非金属類 (%)	89.5	91.9	93.0	86.8	86.3	93.0	86.3	89.4		
破碎不燃物	単位容積重量 (t/m ³)	0.800	0.894	1.101	0.961	0.842	1.101	0.800	0.920	
	金属類	鉄系 (%)	1.2	0.9	1.1	2.1	1.0	2.1	0.9	1.3
		銅系 (%)	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1
		アルミニウム系 (%)	1.6	1.3	0.4	1.3	1.4	1.6	0.4	1.2
		基板 (%)	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1
		その他金属 (%)	0.9	0.5	0.3	0.0	0.0	0.9	0.0	0.3
		乾電池 (%)	1.3	0.8	0.3	0.4	0.4	1.3	0.3	0.7
	小計 (%)	5.4	3.7	2.2	3.9	2.8	5.4	2.2	3.7	
	非金属類 (10mm 以下) (%)	60.2	63.2	76.9	83.2	86.9	86.9	60.2	74.0	
	非金属類 (10mm 以上) (%)	34.4	33.0	20.9	12.9	10.3	34.4	10.3	22.3	
西部 資源化センター		H20.7.22 10:00	H20.7.29 10:00	H20.8.7 10:00	H20.8.7 13:30		最高	最低	平均	
破碎可燃物	単位容積重量 (t/m ³)	0.133	0.182	0.144	0.102		0.182	0.102	0.141	
	金属類	鉄系 (%)	1.4	0.4	7.3	0.0		7.3	0.0	2.3
		銅系 (%)	2.7	1.9	4.3	3.5		4.3	1.9	3.1
		アルミニウム系 (%)	3.2	2.6	3.0	1.6		3.2	1.6	2.6
		基板 (%)	0.4	0.1	1.2	0.0		1.2	0.0	0.4
		その他金属 (%)	1.2	9.6	9.9	14.9		14.9	1.2	8.9
		乾電池 (%)	0.3	0.0	0.8	0.0		0.8	0.0	0.3
	小計 (%)	9.1	14.7	26.5	20.0		26.5	9.1	17.6	
非金属類 (%)	90.9	85.3	73.5	80.0		90.9	73.5	82.4		
破碎不燃物	単位容積重量 (t/m ³)	0.681	0.674	0.579	0.742		0.742	0.579	0.669	
	金属類	鉄系 (%)	1.2	0.4	1.1	2.8		2.8	0.4	1.4
		銅系 (%)	0.4	0.1	0.6	0.3		0.6	0.1	0.4
		アルミニウム系 (%)	0.7	0.8	2.4	1.4		2.4	0.7	1.3
		基板 (%)	0.3	0.3	0.0	0.1		0.3	0.0	0.2
		その他金属 (%)	0.5	0.8	1.5	0.0		1.5	0.0	0.7
		乾電池 (%)	2.3	1.6	1.5	1.7		2.3	1.5	1.8
	小計 (%)	5.5	4.0	7.2	6.3		7.2	4.0	5.8	
	非金属類 (10mm 以下) (%)	52.4	56.0	72.1	75.5		75.5	52.4	64.0	
	非金属類 (10mm 以上) (%)	42.2	40.0	20.8	18.2		42.2	18.2	30.2	

3.1 破碎可燃物

展開調査前破碎可燃物外観を図4に、破碎可燃物平均組成を表3に示す。



図4 展開調査前「破碎可燃物」

破碎可燃物は図2フローの選別工程で最終的に残ったもので、トロンメル^{※1}、アルミ選別・精選装置で除去選別されたものであり、高分子（ビニール袋・容器包装）・木片・布等が多い。これらに絡まる形で、鉄・アルミが選別されず、破碎可燃物中に合わせて約6%混入していた。これらを含め表3の結果から金属類は、15%前後残存していた。

※1 図2中の可燃・不燃選別装置で、円筒式の回転式選別装置。供給側からφ20mm・φ60mm・φ253mmの口径の開孔部が多数あり、回転力により攪拌、ほぐし効果を与えながら選別する装置¹⁾²⁾。

表3 破碎可燃物の平均組成（表2より抜粋）

破碎可燃物組成	東部	西部	平均	
単位容積重量 (t/m ³)	0.161	0.141	0.151	
金属類 (%)	鉄系	4.6	2.3	3.5
	銅系	1.0	3.1	2.1
	アルミニウム系	2.2	2.6	2.4
	基板	0.2	0.4	0.3
	その他金属	1.5	8.9	5.2
	乾電池	1.1	0.3	0.7
	小計	10.6	17.6	14.1
非金属類(%)	89.4	82.4	85.9	

残存している金属類の内、鉄・アルミは、図5のようにハンマ式破碎処理装置では破碎されにくい針金状のものが多かった。他の金属類では、同じくハンマ式破碎処理装置では破碎されにくいヒモ状のOA・電気ケーブル類（図6左側 銅系金属）が見られた。

また、西部では、東部に比べ比較的大径のステンレス類が見られ8.9%の割合であった（図7分類はその他金属）。



図5 破碎可燃物中に多い「針金状鉄（左）」・「アルミ（右）」

最近、貴重な鉱物資源として注目されている基板等の電子部品は、細かく破碎されているため、調査検体からの抽出が困難な状態であり、0.3%程度しか確認できなかった（図6写真中央）。金属リサイクルの際に障害となる乾電池は、約1%程度見られた（図6写真右側）。



図6 破碎可燃物中の「銅系金属（左）」・「基板（中）」・「乾電池（右）」



図7 西部の破碎可燃物中に多く見られた「ステンレス系金属」

3.2 破碎不燃物

破碎不燃物展開調査前外観を図8に、破碎不燃物平均組成を表4に示す。



図8 展開調査前「破碎不燃物」

今回の調査では、10mm以下のものは手選別が難しいため非金属類としている。10mmメッシュふるい分け後の10mm以下の外観を図9に、10mm以上を図10に示す。

表4 破碎不燃物 平均組成 (表2より抜粋)

破碎可燃物組成		東部	西部	平均
単位容積重量 (t/m ³)		0.920	0.669	0.795
金属類 (%)	鉄系	1.3	1.4	1.4
	銅系	0.1	0.4	0.3
	アルミニウム系	1.2	1.3	1.3
	基板	0.1	0.2	0.2
	その他金属	0.3	0.7	0.5
	乾電池	0.7	1.8	1.3
	小計	3.7	5.8	4.8
非金属類(10mm以下%)		74.0	64.0	68.9
非金属類(10mm以上%)		22.3	30.2	26.3

表4の結果から金属類は、約5%の残存率であった(破碎可燃物中の金属類は約15%)。破碎不燃物は図2フローの選別工程でトロンメルφ20・60mmを通過又は、鉄精選工程での選別物であり、図10のようにガラス片・土砂・ガレキが多かった。また硬質の高分子類も目立っていた。

残存している金属類で、鉄系のものは破碎可燃物に比べ、ボルト等の比重の大きな金具や金属片が多かった(図11写真左側)。アルミ系のは、飲料缶のプルタブやキャップ等が多かった(図11写真右側)。銅系のは、OA・電気ケーブル類以外にも、電気部品・金具・配管等が見ら



図9 破碎不燃物10mm以下 (ふるい分け後)



図10 破碎不燃物 10mm以上 (ふるい分け後)



図11 破碎不燃物中の「鉄系金属(左)」・「アルミ系金属(右)」

れた(図12写真左側)。基板等電子部品は、破碎可燃物中のものよりも更に細かくなっており、調査検体からの抽出が困難で、0.2%程度しか確認できなかった(図12写真右側)。また、破碎可燃物と同様に乾電池が、約1%程度見られた(図13写真左側)。ステンレス等のその他金属は、ボルト等の金具や金属片等が多かったが0.5%程度の残存

率であった。

全体的に破碎不燃物中の金属類は破碎可燃物中のものに比べ黒く細かい付着物(土砂・ガラス片)が多く売却価格の低下が懸念された。



図 12 破碎不燃物中の「銅系金属(左)」・「基板(右)」



図 13 破碎不燃物中の「乾電池(左)」・「その他金属(右)」

4 考察

4.1 非鉄金属回収の技術的可能性

破碎可燃物、破碎不燃物からの非鉄金属回収は、現在、家電・自動車・OA 機器等各種リサイクルセンターに導入されているメタルソータ(電磁波センサ等を利用した各種選別装置 参考: (株)テヅカホームページ

<http://www.tezuka-group.co.jp/>) を組み合わせれば、アルミ・ステンレス・銅・被覆銅線等の選別回収が可能と思われる。但し、本市資源化センターは、多種多様な廃棄物を破碎処理しており、家電リサイクルセンター等と比較すると選別対象物の性状が特殊であるため、次のような問題点が考えられた。

4.1.1 破碎可燃物

①選別対象物の大きさ

破碎可燃物は、3.1でも述べたとおりハンマ式の破碎機では破碎し難いものが多く残存している。このままの大きさでは、メタルソータでの選別が困難なため、更に細かく破碎する必要があり、軟質物・延性物の破碎が可能な「多軸式の低速回転破碎機等」が選別の前処理に必要と考えられた。

②乾電池の残存

乾電池が約1%程度残存していた。乾電池は、処理困難物であり、通常130円/kg程度の処理費用が必要なものである。外缶が鉄であるため、今回売却対象となる他の鉄と選別機での選別が不可能であり、手選別の工程が必要と考えられた。これを選別しなかった場合、電池の含有比率が高くなってしまいうため、売却単価が大きく下がるか又は売却出来ない可能性があると思われる。

③売却単価の高い有価物が少ない

比較的高価な売却単価が期待できる銅系金属は、コード状のものがほとんどであった。コード類は被覆部分が多いため、通常の銅屑よりも売却単価が半分以下になることが予想される。また基板類は選別可能な状態のものが非常に少なかった。

4.1.2 破碎不燃物

①ガラス片・土砂・ガレキの残存

破碎不燃物は、3.2でも述べたとおり、10mm以下のガラス片・土砂・ガレキ等が70%程度あり、メタルソータでの選別が困難な為、10mm以下のものを取り除く必要があり、「φ10mmの回転式選別装置等」が選別の前処理に必要と考えられた。

②乾電池の残存

破碎可燃物と同様に乾電池が約1%程度残存しており、手選別の工程が必要と考えられた。

③売却単価の高い有価物が少ない

銅系金属は、破碎可燃物に比べ金具片等の比重の高いものが多かったが、含有率が0.3%程度と非常に少なかった。また、基板類も破碎可燃物と同様に選別可能な状態のものが0.2%程度と非常に少なかった。

4.2 予想売却益

4.2.1 破碎可燃物

平成19年度の破碎可燃物量に、表3の破碎可燃物平均組成を乗じて予想した各有価物の発生量に、予想単価を乗じ予想売却益を算出したものを表5に示す。

予想売却益算出にあたっては、今回の検討結果が過大評価とならないように、予想単価は、金属価格が高騰する前の平成17年度スクラップ市場価格の50%程度の値を用いた。

市場価格の1/2とした理由としては、通常の破碎選別処理で回収売却している鉄(図14写真)・アルミ(図15写真)

表 5 破砕可燃物 選別後の予想売却益

破砕可燃物	予想発生量		予想単価	予想売却益	
	東部	西部		東部	西部
平成 19 年度実績値 (t/年)	2917	2510	—	—	—
単位	t	t	円/kg	万円/年	万円/年
銅系	29.2	77.8	50	146	389
アルミニウム系	64.2	65.3	25	160	163
基板	5.8	10.0	10	6	10
その他金属	43.8	223.4	5	22	112
小計	142.9	376.5	—	334	674
鉄系	134.2	57.7	10	134	58
乾電池	32.1	7.5	△130	△417	△98
合計	309.2	441.8	—	51	634



図 14 通常の破砕選別処理工程で回収される「鉄」



図 15 通常の破砕選別処理工程で回収される「アルミ」

は、飲料缶がほとんどを占め、単一金属としての純度が高いが、今回の検討で売却対象となる有価物は展開調査時の目視により純度が低いと思われた為である。表 5 より、今

回の調査結果(組成)で選別できたと仮定すると予想される売却益は、乾電池が高い混入率となってしまう鉄を売却対象から除くと、東部で 334 万円、西部で 674 万円となった。西部が東部の 2 倍の値となったが、西部の方が銅・その他の金属の残存率が高かった為である。

また、鉄も売却する場合は、乾電池を除去しなければならず手選別の人件費がかかる。また、その選別した乾電池を適正処理するため、再生処理業者に委託した場合、更に処理費用が必要になり鉄を売却しても大幅な赤字になると思われる。

4.2.2 破砕不燃物

平成 19 年度の破砕不燃物量に、表 4 の破砕不燃物平均組成を乗じて予想した各有価物の発生量に、予想単価を乗じ予想売却益を算出した。予想単価は 4.2.1 と同じ値を用いた。

表 6 破砕不燃物 選別後の予想売却益

破砕不燃物	予想発生量		予想単価	予想売却益	
	東部	西部		東部	西部
平成 19 年度実績 (t/年)	6408	6385	—	—	—
単位	t	t	円/kg	万円/年	万円/年
銅系	6.4	25.5	50	32	128
アルミニウム系	76.9	83.0	25	192	207
基板	6.4	12.8	10	6	13
その他金属	19.2	44.7	5	10	22
小計	108.9	166.0	—	240	370
鉄系	83.3	89.4	10	83	89
乾電池	44.9	114.9	△130	△583	△1494
合計	237.1	370.3	—	△260	△1034

表 6 より、今回の調査結果(組成)で選別できたと仮定すると予想される売却益は、乾電池が高い混入率となってしまう鉄を売却対象から除くと、東部で 240 万円、西部で 370 万円となった。

鉄も売却する場合は、破砕可燃物と同様に乾電池の処理費用が必要になり、鉄を売却しても大幅な赤字になると思われる。また、乾電池の処理費用は他の売却益でも相殺出来ないと思われる。

4.3 費用対効果

4.3.1 破砕可燃物

破砕可燃物から新たな有価物を回収するためには 4.1.1 でも述べたとおり、新規選別装置(メタルソータ)だけでなく新たな前処理装置が必要になる。現行のシステムに追加する形で、設置スペース等の問題は考慮せずに、試案した追加システムを図 16 に示す。

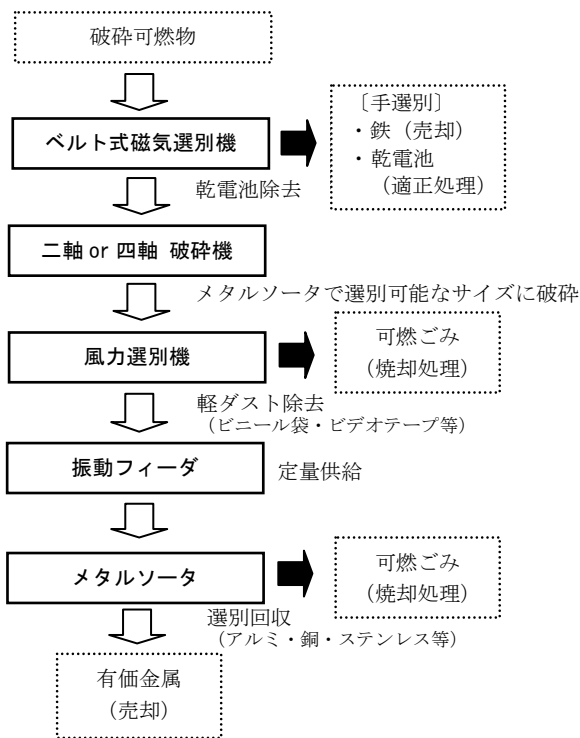


図 16 追加システム計画フロー

東・西資源化センターでは、年間各 3,000 t 弱の破碎可燃物が発生しており、年間稼働日数・必要日最大処理能力を考えると、1.5 t/h 程度の各種装置が求められ、手選別工程を除いた図 16 の設備投資費でも約 1 億円程度の費用が必要である。またその 5% 程度の運転・管理費が年間に予想され、これが有価物の売却益と相殺されることになり、収益面でのメリットはなく、設備投資費の回収が不可能と考えられる。

但し、収益面以外の効果に目を向けると、新たな有価物売却により、1 つの資源化センターで、年間破碎可燃物量の約 10% (約 300 t) のごみ減量・再資源化が出来、埋立地の延命化を図ることが可能と思われる。

4.3.2 破碎不燃物

破碎不燃物から新たな有価物を回収するためには 4.1.2 でも述べたとおり、破碎可燃物と同様に、新規選別装置だけでなく、現行のシステムに追加する形で、図 16 のような前処理装置が必要になる。

費用対効果を破碎可燃物と比較すると、破碎不燃物は 10mm 以下のガラス片・土砂・ガレキ等が約 70% あるため、新たな有価物をメタルソータで選別回収するには、この除去が必須である。つまり、図 16 に追加する形で「φ10mm の回転式選別装置等」が必要になり、破碎可燃物からの回

収よりも更に設備投資費が掛かる。

また、破碎可燃物からは有価物の回収量が 15% 程度見込めるのに対し、破碎不燃物は 5% 程度しか見込めず、効率が悪い。更に、破碎不燃物は、売却対象となる有価物に、ガラス片・土砂・ガレキ等の付着物が多く、不純物の割合が高くなるので、売却単価が大きく下がるか又は売却出来ない可能性がある。

これらのことから、破碎不燃物からの新たな有価金属回収は、費用対効果を考えると、検討に値しないと思われる。

5 まとめ

新規選別装置導入により「破碎可燃物」中からは、新たな有価物の回収は見込めるものの、その採算性は運転管理費と相殺される程度と予想され、設備投資費の回収は難しく、事業の収支向上の可能性はないと考えられた。但し、回収・売却により、年間約 300t のごみ減量が見込まれ、埋立地延命・循環型社会の構築と言った面での効果はあり、早急な対応ではなく、数年後の大規模な施設更新時等に検討の余地は若干残るとされる。^{※2}

「破碎不燃物」中からの回収については、10mm 以下の破碎物（ガラス片・土砂・ガレキ等）が約 70% を占め、更に有価物の残存率も低いため、費用対効果を得ることが難しく検討に値しないと考えられた。

資源化センター破碎物からの新たな有価物回収は、新規の選別装置導入により技術的には可能である。しかし、費用対効果を考えると、景気に大きく左右される非鉄金属回収売却事業への、高額な設備投資はリスクが高く、更なる財政圧迫に繋がる可能性もある。

今後は、如何に「経費を掛けずに、燃えないごみ中の有価物を回収していくか」、「資源化センターで破碎される前に如何に回収していくか」が課題と考えられる。

※2 本調査は非鉄金属市場価格が高騰していた平成 20 年度前期での調査報告のため、現在(平成 21 年 6 月)の経済情勢と大きく異なり、資源化センター破碎物組成への影響が懸念される。今後、追加システムを検討する際には、再度の組成調査が必要である。

文献

- 1) 全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領，528～565，1999
- 2) 工業技術会：廃棄物の処理・再資源化と有効利用，84～118，1992