

第3章 有機系廃棄物の循環技術調査

プラスチック資源を中心に有機系廃棄物の再資源化状況を整理するとともに、循環資源の大きな受け皿としての石炭代替を想定した産業側での潜在的需要を整理し、本研究における循環資源利用施設の調査対象を選定した。(3.1 参照)

首都地域における循環資源の発生状況を踏まえ、大量に発生し、かつ今後循環利用のポテンシャルが大きいと考えられるプラスチック類及び食品廃棄物を循環資源の対象とする循環技術を抽出し、技術インベントリデータの収集・整理を行った。(3.2 参照)

一般廃棄物中の主としてプラスチックと古紙を、再生樹脂と固形原・燃料に転換するスマート資源循環拠点について、メーカー等へのヒアリング調査を通して単位プロセス別にプロセス設計を実施し、プロセスの入出力に関するインベントリやコストを算定した。加えて、費用対効果に優れたリサイクルシステムを構築するため、ある程度簡易でなおかつ高い資源循環効果の得られるプロセスフローを検討した。また、スマート資源循環地域拠点を具体的な地域への導入を検討する前段階として、グリッドモデルシミュレーションを行い、既存の焼却施設や選別保管施設の規模を一定とした適性評価モデルによって、人口と人口密度を変化させた場合のCO₂排出量とごみ処理コストを算出し、クラスターの最適規模を検討した。(3.3 参照)

3.1 循環資源利用施設の調査対象の選定

3.1.1 循環資源の再資源化状況

(1) 容器包装プラスチックの再資源化量

容器包装プラスチックの再資源化量は、表3-1のとおり。材料リサイクルによる再商品化量が、年々増加している。材料リサイクルに使われるプラスチックの約半分は、再商品化の過程で残渣となり、RPF化、セメント原燃料化、焼却エネルギー回収等に使われる。

表3-1 容器包装プラスチックの再資源化量の推移(単位:1000t/年)¹⁾²⁾

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1)容リ法に基づく 分別収集量 ^(※1)		279.0	397.5	467.6	554.4	604.9	639.2	-	-
2)年間再商品化量 ^(※2)		288.9	364.7	467.0	574.7	592.4	629.3	668.1	679.0
内訳	材料リサイクル	55.5	87.2	114.9	189.6	285.5	324.1	396.8	384.3
	油化	44.8	22.4	17.7	17.0	9.5	10.2	4.8	14.3
	高炉還元剤化	160.9	164.3	133.8	78.8	60.4	50.2	25.1	38.0
	コークス炉化学 原料化	285.2	233.6	236.3	230.9	207.1	179.3	176.5	165.0
	合成ガス化	57.0	97.1	124.3	129.0	75.4	90.3	69.3	77.4

※1 出典：平成19年度容器包装リサイクル法に基づく市町村の分別収集及び再商品化の実績(白色トレイを除く)(環境省) <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=10335>

※2 出典：中央環境審議会プラスチック製容器包装に係る再商品化手法専門委員会(合同会合)第8回会議資料3より算出

表 3-2 材料リサイクル製品の用途別内訳³⁾

用途分野	2006		2007		2008	
	販売量 (t)	%	販売量 (t)	%	販売量 (t)	%
パレット	42,863	33	58,302	40	59,009	34.2
プラスチック板	11,201	9	8,806	6	10,221	5.9
再生樹脂	45,953	36	43,738	30	69,033	40
棒・杭・擬木	11,388	9	16,372	11	11,453	6.6
電力・通信用資材	1,796	1	2,585	2	3,745	2.2
土木建築用資材	10,832	9	10,604	8	11,481	6.7
園芸農業用資材	2,787	2	2,090	1	2,471	1.4
工業用部品	31	0	199	0	62	0.1
日用雑貨品・その他	1,639	1	2,913	2	4,946	2.9
合計	128,491	100	145,609	100	172,421	100

(出典：(財)容器包装リサイクル協会)

<http://www.jcpra.or.jp/recycle/recycling/recycling13/index.html#link-target03>

(2) プラスチック製品の再資源化量

(社)プラスチック処理促進協会の推計によれば、平成 19 年度のプラスチック製品・廃棄物の再資源化量は、表 3-3 のとおり。ここには、容器包装プラスチック以外のプラスチック製品も含まれる。

表 3-3 プラスチック製品の再資源化量 (単位：千 t)⁴⁾

		産業廃棄物	一般廃棄物	合計	排出係数 (kg/人)
廃プラ総排出量		4920	5020	9940	77.8
内訳	埋立	390	860	1240	9.7
	単純焼却	590	880	1470	11.5
	熱利用焼却	890	430	1320	10.3
	廃棄物発電	990	1900	2890	22.6
	固形燃料	520	80	600	4.7
	高炉コークス炉原料/油化/ガス化	70	230	290	2.3
	再生利用 (MR)	1470	660	2130	16.7

※排出係数：には、平成 19 年度 10 月 1 日現在推計人口（総務省）を用いた。

(出典：社団法人プラスチック処理促進協会：プラスチックリサイクルの基礎知識(<http://www.pwmi.or.jp/pk/>))

(3) 容器包装廃棄物の価格情報

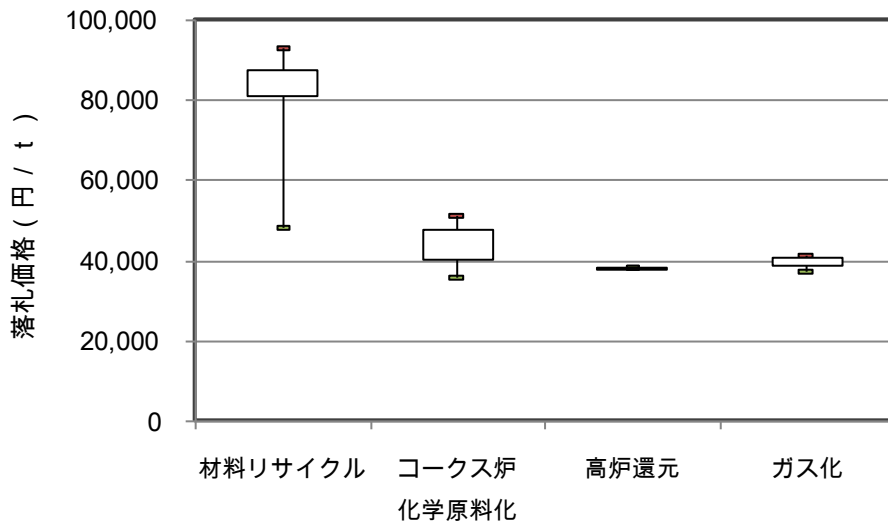
容器包装リサイクル法に基づき市町村が収集した容器包装は、市町村が管理する指定保管施設ごとに、一般競争入札によって再商品化事業者が決定される。特定事業者からの再商品化委託単価の推移を図 3-1 に示すが、ペットボトルやその他プラスチック製容器包装の委託単価は下落傾向にある。



出典：(財)日本容器包装リサイクル協会

図 3-1 特定事業者からの再商品化委託単価の推移

特に、その他プラスチック製容器包装について、一都三県（島嶼部を除く）における容器包装の落札価格を図 3-2 に示す。材料リサイクル向けの落札価格が 8 万円/t 以上であるのに対し、コークス炉化学原料化、高炉還元、ガス化についてはその約半分の 4 万円/t 程度となっている。



(平成 21 年度。実線：落札価格の最小値、最大値の範囲、白枠：第 1 四分位数、第 3 四分位数の範囲)

出典：(財)日本容器包装リサイクル協会のデータをもとに作成

図 3-2 一都三県（島嶼部を除く）における容器包装の落札価格

(4) リサイクル認定製品の価格情報

平成13年のグリーン購入法の施行により、地方公共団体等には、環境物品等の調達方針の作成および当該方針に基づいて物品等の調達を行うよう努力義務が課せられている。これを受けて各都道府県では、環境物品等の普及促進および環境物品等に関する情報の提供を行うことを目的として、独自にリサイクル製品認定制度の構築が進められている。

リサイクル製品の認定は全国36道府県において行われており、関東圏においては栃木県と茨城県で制定されている。

ここでは、「栃木県リサイクル製品認定制度 ～とちの環エコ製品～」にて認定されている有機循環資源を利用した再生製品の価格についての情報を整理した。

表 3-4 リサイクル認定製品の価格⁵⁾

区分	用途	原材料となる循環資源	製品の規格	製品の価格
日用品	ごみ袋	廃ペットボトル	①45L	① 156 円
			②70L	② 293 円
			③90L	③ 426 円
肥料	普通肥料	下水汚泥、汚泥、動植物性残さ	①粗粒品 ②造粒品	① 1,240 円/20kg 袋 ② 2,260 円/20kg 袋
	普通肥料	下水道汚泥、汚泥、植物性残さ、動物性残さ、チップ	0～7mm	袋詰：315 円/15kg バラ：3,150 円/t
	特殊肥料	食品残さ(菌体コンポスト)、植物油かす、脱脂菓子粉、植物草木灰(発酵促進材)	①粒状タイプ ②粉状タイプ	① 1,100～1,300 円/20kg ② 476 円/3kg 袋
	特殊肥料	家畜ふん尿、生ごみ、もみ殻、おが粉、枯れ葉	①ばら ②袋詰め	① 5,000～7,000 円/t ② 500 円(10kg、36L)
	特殊肥料	牛ふん、鶏ふん、生ごみ、刈草、もみがら、おが粉、バーク	①バラタイプ ②ペレットタイプ	① 315 円(36L、10kg 以上) ② 525 円(36L、20kg 以上)
土壌改良材・緑化材 材・培養土	培養土、緑化材	スギ、ヒノキの樹皮	—	10～40 円/L
	土壌改良材、緑化基盤材、透水性舗装材	スギ、ヒノキの樹皮	—	28,000 円/m ³
造園材	人工造園資材(ブロック)	廃瓦	380mm×330mm(一辺190mm六角形)	500 円/個 (5,250 円/m ²)
	ガーデニング用品(敷石)	廃瓦	5-0、20-0、40-0、20、40mm	800 円/t(工場渡し)
	ガーデニング用品用資材	廃プラスチック類を原料とした再生原料	板、丸杭、角材、植木鉢、プランター	板：400～800 円 丸杭：500～900 円 角材：600～1,000 円
	ガーデニング	廃プラスチック類(ポリエチレン)	ベンチ、テーブル、	700～60,000 円

	グ用品	レン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ABS、PET)を原料とする再生原料	すのこ、プランター、花壇枠、境界フェンス、樹脂デッキ、犬小屋、他	
建築用製品	断熱材	廃プラスチック類 (ポリスチレン)	1種(M1F/MTS) 2種(M2F) 3種(MKS/M2RS)	M1F : 1500円 M2F : 1800円 MKS : 2100円 M2RS : 2400円
路盤材	舗装用材 (路盤材)	廃コンクリート、廃アスファルトコンクリート	RC10-0、RC40-0 RC80-0、RC100-0 RM40-0	700円～1500円/t (工場渡し)
加熱アスファルト混合物	舗装用材 (アスファルト混合物)	廃アスファルトコンクリート	—	8,000～11,000円/t
盛土材・路盤材等	路盤材	燃え殻・ばいじん (一般廃棄物、産業廃棄物)、汚泥、がれき類	粒径 40-0	50円/t (工場渡し)
	盛土材、路床材、グラウンド用資材など	建設汚泥	細粒 : 0.15～10 粗粒 : 10～40	1,000円/t (工場渡し)

出典：「栃木県リサイクル製品認定制度 ～とちの環エコ製品～」の製品情報を基に作成

3.1.2 産業側の循環資源の潜在需要状況

(1) 石炭の国内需給量の推移⁶⁾

石炭の国内需給量を表 3-5 に示す。2002 年以降、国内需給量の全量が、海外から輸入されている。石炭の消費量は、若干増加する傾向がみられ、特に燃料用に使われる一般炭の消費量が増えている。

表 3-5 石炭の国内需給量の推移 (単位 : 1000t)

年	一般炭				原料炭			
	生産	輸入	輸出	消費	生産	輸入	輸出	消費
2000	2964	93,628	0	96,480	0	56,699	0	56,699
2001	3208	98,699	0	101,907	0	55,901	0	55,901
2002	0	103,274	0	103,274	0	58,123	0	58,123
2003	0	109,018	0	109,018	0	57,216	0	57,216
2004	0	119,970	0	119,970	0	60,837	0	60,837
2005	0	114,341	0	114,341	0	63,375	0	63,375

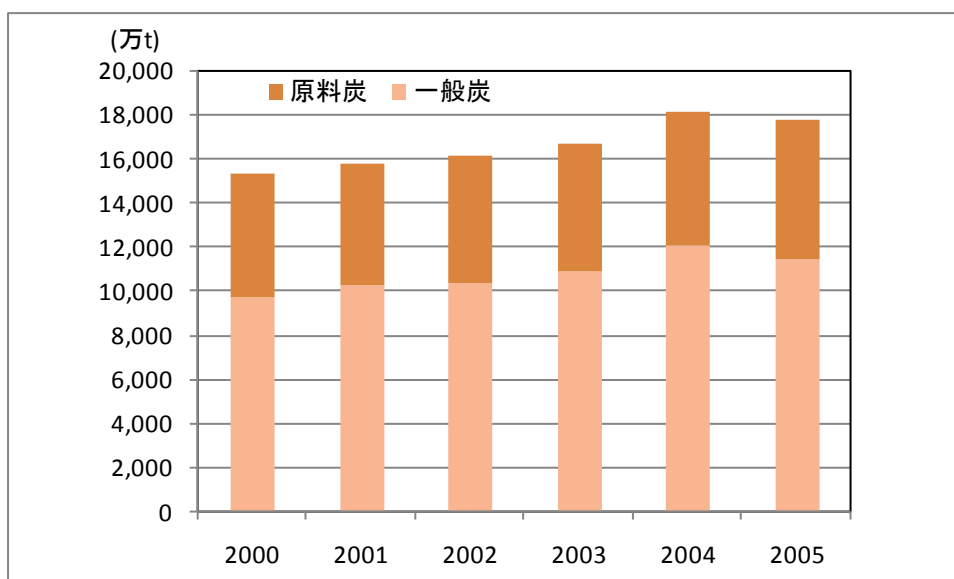


図 3-3 石炭の国内消費量の推移 (万 t/年)

(出典：(財)石炭エネルギーセンター：石炭情報システム (Coal Information 2006))

(2) 業種別石炭消費量⁷⁾

業種別の石炭消費量 (カロリーベース) を表 3-6 に示す。

カロリーベースでは、エネルギー転換 (電気事業者や自家発電) 用と、鉄鋼業用で 9 割以上を占める。

表 3-6 業種別石炭消費量 (単位：1010kcal)

年度		1998	1999	2001	2003	2005	2007
①一次エネルギー 国内供給		89,335	95,295	101,189	108,267		118,860
②エネルギー転換 および自家消費	合計	34,078	37,557	45,134	51,999		61,428
(内訳)	電気事業者	28,457	31,947	39,228	46,033		52,081
	自家発	5,606	5,595	5,893	5,951		9,313
	熱供給事業者	15	15	13	15		14
	その他	-	-	-	-		20
③業種別直接使用	合計	109,105	112,031	109,076	111,082		111,650
(内訳)	紙・パルプ	1,176	1,216	1,377	1,519		962
	化学工業	428	746	1,054	978		1,612
	窯業土石	5,191	4,935	4,737	5,063		4,538
	鉄鋼	50,889	52,238	50,650	51,451		51,987
	(鉄鋼コークス)	41,771	42,719	41,600	42,178		41,944
	(コークス以外)	9,118	9,519	9,050	9,273		10,043
	その他製造業 (繊維、非鉄金属、 金属機械等)	266	329	304	310		282

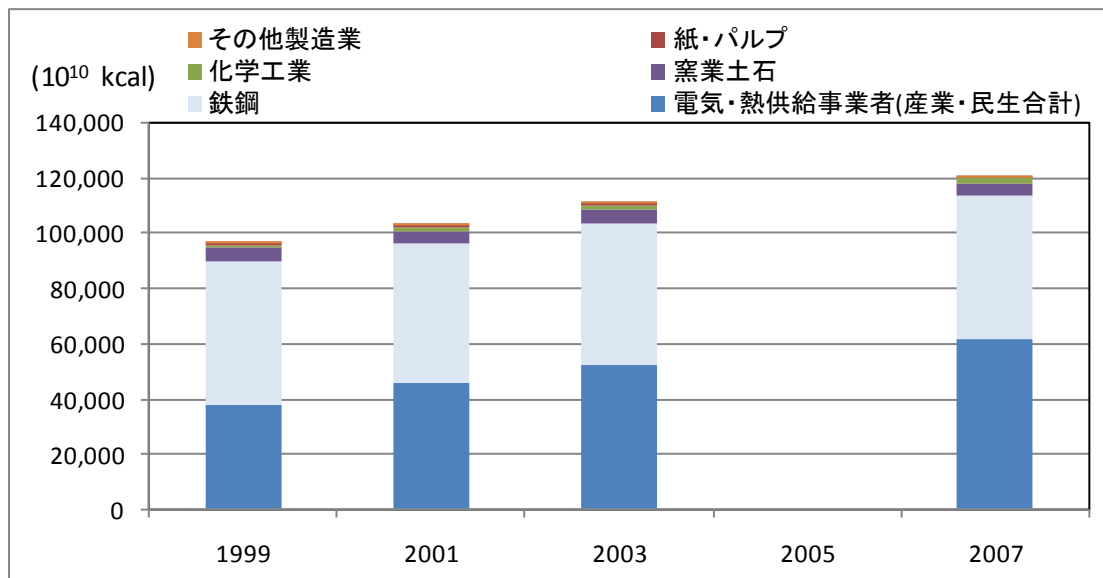


図 3-4 業種別石炭消費量

(出典：日本エネルギー経済研究所、エネルギー・経済統計要覧)

(3) 業種別の石炭使用量（日本）

電力業、鉄鋼業、セメント製造業における石炭の消費量は、次の通り。

表 3-7 電力業石炭消費量（単位：1000t）⁶⁾

年度	石炭消費量
2000	57,785
2001	62,325
2002	67,759
2003	73,460
2004	77,876
2005	82,460

(出典：(財)石炭エネルギーセンター：石炭情報システム（コールノート 2006 年度版）)

表 3-8 鉄鋼向け石炭・コークス需給量⁸⁾

年度	コークス製造用 石炭消費量 (千 t)	高炉銑トン当り 消費量		コークス消費量		
		コークス (kg)	微粉炭(kg)	焼結用(千 t)	高炉用(千 t)	その他(千 t)
2000	51,026	385	136	4,205	31,213	820
2001	51,108	385	139	4,252	30,341	792
2002	51,518	384	138	4,283	31,101	797
2003	52,101	381	133	4,345	31,263	846
2004	51,757	382	128	4,254	31,671	833
2005	51,339	378	125	4,041	31,402	763

(出典：鉄鋼統計要覧 2006)

表 3-9 セメントの原材料消費高・原単位（発電用の消費量を除く）⁹⁾

年度	石炭 (千 t)	石油コー クス (千 t)	重油類 (千 kL)	その他 (千 kL:重油換算)	合計 (千 t:石炭換算)	原単位 (kg/t-セ メント)
2000	6,955	898	55	296	8,718	104.6
2001	6,465	967	56	306	8,277	104.2
2002	6,173	908	57	338	7,982	104.5
2003	6,090	766	48	346	7,669	103.9
2004	6,010	707	51	371	7,490	103.5
2005	6,068	766	52	367	7,573	103
2006	6,052	845	50	435	7,770	106.1
2007	5,902	748	46	588	7,755	108.5

(出典：セメント新聞社：セメント年鑑、第 60 巻、平成 20 年版)

(4) 一都三県での石炭消費量の推定

(a) 鉄鋼業

全国の鉄鋼向け石炭消費量 : 31402 千 t

全国の高炉容積（稼働中のみ） : 89786m³

一都三県の高炉容積（稼働中のみ） : 23767m³ (26%)

よって、一都三県の鉄鋼向け石炭消費量 : 8312 千 t

表 3-10 一都三県の高炉¹⁰⁾

施設名称	施設所在地	稼動中の炉数	総炉容積 (m ²)
新日本製鐵(株)君津製鉄所	千葉県君津市君津 1 番地	3	13,614
JFE スチール(株)東日本製鉄所千葉地区	千葉県千葉市中央区川崎町 1 番地	1	5,153
JFE スチール(株)東日本製鉄所京浜地区	神奈川県川崎市川崎区扇島 1 番地 1	1	5,000

(出典：鉄鋼新聞社：鉄鋼年鑑、平成 20 年度版)

(b) セメント製造業

全国のセメント向け石炭消費量：5902 千 t

全国のセメント製造能力：69783 千 t

一都三県の製造能力：6736 千 t (約 10%)

よって、一都三県のセメント向け石炭消費量 (推計値)：590 千 t

表 3-11 一都三県のセメント製造施設⁹⁾

施設名称	施設所在地	生産能力 (千 t/年)
秩父太平洋セメント(株)秩父工場	埼玉県秩父市大野原 1800	800
太平洋セメント(株)熊谷工場	埼玉県熊谷市大字三ヶ尻 5310	2,077
太平洋セメント(株)埼玉工場	埼玉県日高市原宿 721	1,473
三菱マテリアル(株)横瀬工場	埼玉県秩父郡横瀬町大字横瀬 2270	1,171
(株)デイ・シイ川崎工場	神奈川県川崎市川崎区浅野町 1-1	1,215
計		6,736

(出典：セメント新聞社：セメント年鑑、第 60 巻、平成 20 年版)

(c) 石炭火力発電所

磯子火力発電所 1・2 号機：1360 千 t×2=2720 千 t

表 3-12 一都三県の石炭火力発電所¹¹⁾

施設名称	施設所在地	最大出力 (kw)
電源開発 磯子 新 1 号機、新 2 号機	神奈川県横浜市磯子区新磯子 37-2	600,000×2 機

(出典：環境影響評価情報支援ネットワーク アセスメント事例 磯子火力発電所 事業概要)

3.1.3 循環資源利用施設の調査対象の選定

(1) 研究の対象とする循環技術

産業活動と都市活動の集中する首都地域においては、動脈側と静脈側の産業システムの連携を図ることをはじめ、既存の都市資本ストック（循環拠点、都市インフラ）を最大限活用した循環圏システムを形成することが望ましいと考えられる。廃棄物系バイオマスやプラスチック類の循環利用に際しても、資源・エネルギー消費の多い首都地域においては、産業施設における産業原燃料代替や都市活動におけるエネルギー利用に主眼をおいた循環をまず第一に考えることとした。すなわち、首都地域の循環圏形成に考慮が必要な要素は、①産業活動と消費活動の連携（動脈・静脈連携）、②大量の廃棄物の効率的な処理（資源循環拠点の活用と連携）、③既存都市インフラの活用、④循環資源の効率的な輸送であり、それぞれの内容と選定の根拠を表 3-13 に示す。

表 3-13 首都地域の循環圏形成に考慮が必要な要素とその内容等

要素	内容	選定の根拠
産業活動と消費活動の連携 (動脈・静脈連携)	<ul style="list-style-type: none"> ・動脈側と静脈側の産業システムの連携（鉄鋼やセメント製造など素材産業に代表される産業施設と連携した資源循環） 	<ul style="list-style-type: none"> ・世界有数の臨海工業地帯 ・リサイクル産業の集積 ・莫大な資源・素材・エネルギーの消費と循環資源による代替可能性
大量の廃棄物の効率的な処理 (資源循環拠点の活用と連携)	<ul style="list-style-type: none"> ・産業施設や都市ごみ発電施設を活用したケミカルリサイクル及びサーマルリカバリーによる効率的な処理 	<ul style="list-style-type: none"> ・一都三県それぞれの高効率かつ先進的な循環拠点のポテンシャル ・循環拠点連携による次世代型循環拠点モデルの検討
既存都市インフラの活用	<ul style="list-style-type: none"> ・都市ごみ処理施設の効率的活用 ・エコタウン等の既存の循環拠点の最大限の活用および循環施設間の相互補完的な有効利用による効率的循環 ・下水処理施設を活用したバイオマスエネルギー回収（※今回は対象外） 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市資本ストックの活用による社会資本活用の最大化 ・下水汚泥と生ごみの併せ処理の可能性と下水処理施設のエネルギー需要
循環資源の効率的な収集と輸送	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物等の発生場所と資源化施設や利用場所の適正な関係 ・効率的な循環拠点配置 	<ul style="list-style-type: none"> ・広く浅く分布する循環資源の効率的な分別と運搬 ・スケールメリットのある資源循環と広域物流による環境負荷のトレードオフ

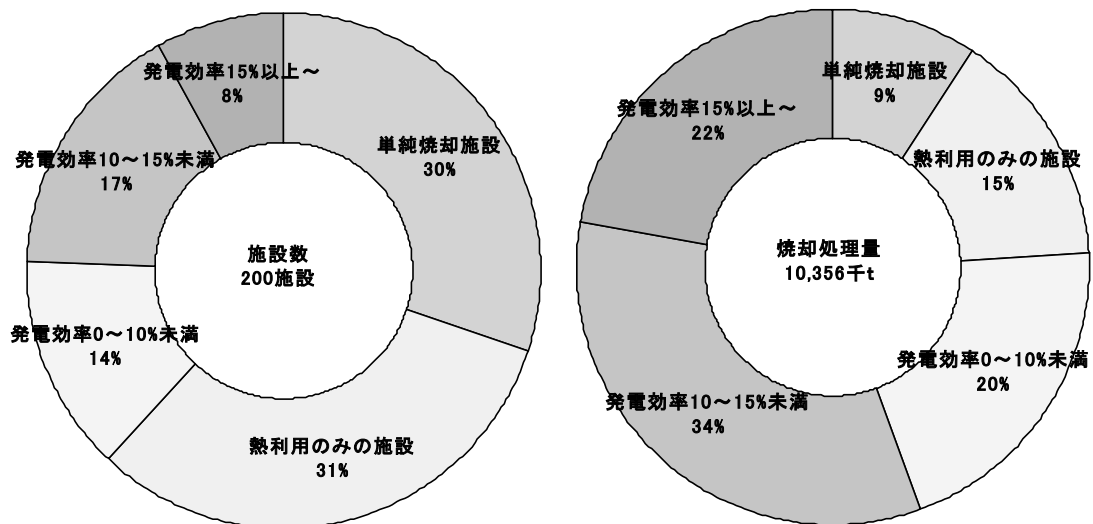
その上で循環資源の種類に応じて、首都地域に適した循環技術の抽出を行った。すなわち、首都地域における循環資源の発生状況を踏まえ、大量に発生し、今後循環利用のポテンシャルが大きいと考えられるプラスチック類（容リプラおよび産廃プラ）およびバイオマス（食品廃棄物）を循環資源の対象とし、その上で表 3-14 に示す循環技術を抽出した。

表 3-14 研究の対象とする循環技術

対象とする循環資源	着目する循環技術	導入技術の視点
廃棄物全般 (分別しない場合)	○焼却処理施設 ・高効率焼却発電	◇発電効率向上への流れ(効率:最大20%程度) ◇効率の高い施設への集約
プラスチック類 (容リプラ、 産廃プラ)	○スマート地域循環拠点 (資源化施設の集約化) ・MR原料製造 ・RPF製造	◇MR需要に見合ったMR利用 (高品質な循環資源の選択的利用) ◇RPFの動脈産業への供給 ◇焼却ごみ削減による焼却施設統廃合(合理化)
紙類 (MR以外)	○コプロセッシング施設 (動脈連携循環技術) ・鉄鋼製造施設 (高炉・コークス炉) ・セメント製造施設	◇石炭・コークス代替(発電効率換算で40%程度) (一都三県の石炭消費量推計値) 鉄鋼向け: 830万t(全国の約26%) セメント向け: 59万t(全国の約10%) ◇多量排出地域と多量受入可能施設の近接 ◇首都圏の中での地域的特性 臨海部: 高炉・コークス炉 ←→ 内陸部: セメント製造施設
バイオマス (食品廃棄物) ・家庭・事業系 一廃 ・産業廃棄物	○バイオガス(高効率ER) ・バイオガス発電 ・産業ガス利用 ○農業飼料化	◇未利用エネルギー活用 ◇資源排出場所とエネルギー需要場所の近接 ※都市ガスへの直接導入はまだハードルはある。 ガス精製(バイオガス側もしくはガス会社)の後に、 都市ガス利用できることを将来的に構想

(2) 既存焼却施設の更新と連携した循環技術の導入可能性

一都三県に設置されている都市ごみ焼却施設について、廃棄物発電の導入状況を図 3-5 に示す。



(データ)「環境省：一般廃棄物処理実態調査結果(平成18年度調査結果)」より算出

図 3-5 都市ごみ廃棄物発電の導入状況(一都三県：施設数ベース、焼却処理量ベース)¹²⁾

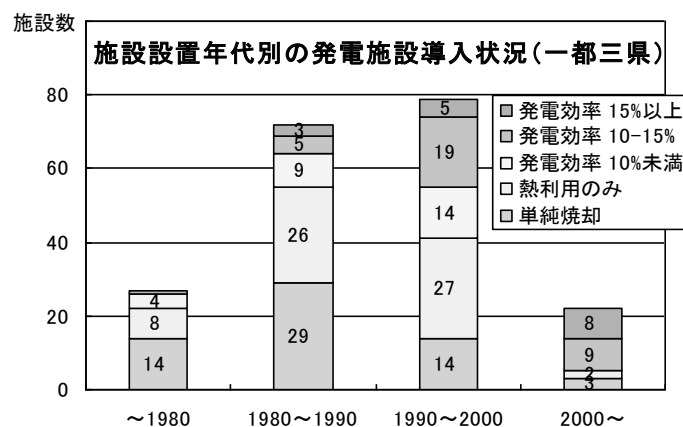
施設数ベースで見ると、単純焼却や熱利用のみの施設も含めて発電効率が 10%未満の施設が全体の 75%を占めている。一方、焼却処理量ベースで見ると、発電効率が 10%以上の施設の割合は全体の半分以下となる。すなわち施設数ベースで 75%、焼却処理量ベースで約半分の焼却施設は発電効率の低い施設であり、これら施設においては廃棄物の持つエネルギーの有効利用において改善の余地が十分にあると考えられる。

また、設置年代別に見た焼却施設の発電効率の度数分布を図 3-6 に示す。2000 年以降に建設された焼却施設の約 8 割が発電効率 10%以上の比較的効率の良い施設であるのに対し、1990 年までに設置された焼却施設の 9 割が発電効率 10%未満の施設となっている。

通常、焼却施設は 20～30 年の耐久年数を経た後に、当該自治体の計画対象区域における将来焼却ごみ量を勘案して、建て替え（更新）が行われる。そのため、前述の設置年代が古く発電効率が低い施設については、現状の処理体制が維持されるのであれば、今後の更新の際に順次発電効率の高い施設へと建て替えられていくものと考えられる。その際には、より発電効率の高い焼却施設の導入が望まれる。

一方、今後、循環型社会の形成に向けて更なる資源循環の取り組みが進められ、焼却処理量そのものが減少することを想定するならば、焼却施設の更新そのものが不要となる場合もでてくると考えられる。さらに言えば、焼却施設の更新の必要なくなるまで焼却対象ごみ量を削減するよう徹底した資源循環を進めたり、あるいはそれが単独自治体で困難であれば合わせて地域におけるごみ処理広域化を図るということも選択肢の一つとなると考えられる。

これらのことから、1990 年以前の発電効率の低い施設は更新を行わず、産業活用による資源促進と焼却対象ごみの発電効率の高い施設への集約化により、社会資本の効率的な配分を図れる可能性が示唆される。



(データ)「環境省：一般廃棄物処理実態調査結果(平成 18 年度調査結果)」より算出

図 3-6 施設設置年代別の廃棄物発電の導入状況

3.2 循環資源利用施設の技術インベントリ

前節で抽出した循環技術について、既存文献・研究成果等の調査およびメーカーや廃棄物処理業者等へのヒアリングによって当該技術を工程ごとに整理し、技術インベントリデータとして取りまとめを行った。

3.2.1 焼却施設（次世代型ストーカ炉）

(1) 技術の概要

ストーカ炉は、特別な前処理を必要とせず、性状が不均等かつ変動のある一般廃棄物を安定的に中間処理することができるため、中間処理施設に占める割合は全国的にも高い。首都圏においては中間処理施設の75%（施設数ベース）を占めており、今後も一般廃棄物処理の中心的な役割を果たしていくと考えられる。次世代型ストーカ炉とは、既存のストーカ炉に適応されてきた各種の技術に加え、排ガス再循環システム（排ガスの熱利用システム）、火格子水冷技術等の新技术を組み合わせることにより、ごみ質の変動に対する安定性などの従来のストーカ炉の特徴に加え以下のような特徴を有している。

- ・熱回収効率が高い
- ・設備がコンパクト（火格子、排ガス施設のコンパクト化）
- ・ダイオキシン類の発生抑制
- ・低コスト

(2) システムフロー

次世代型ストーカ炉のシステムフローを図3-7に示す。システムフロー自体は従来型のストーカ炉と大きく変わるものではなく、原料投入ホップ、一次燃焼炉、二次燃焼炉、熱回収施設（ボイラー）、排ガス処理施設において構成される。

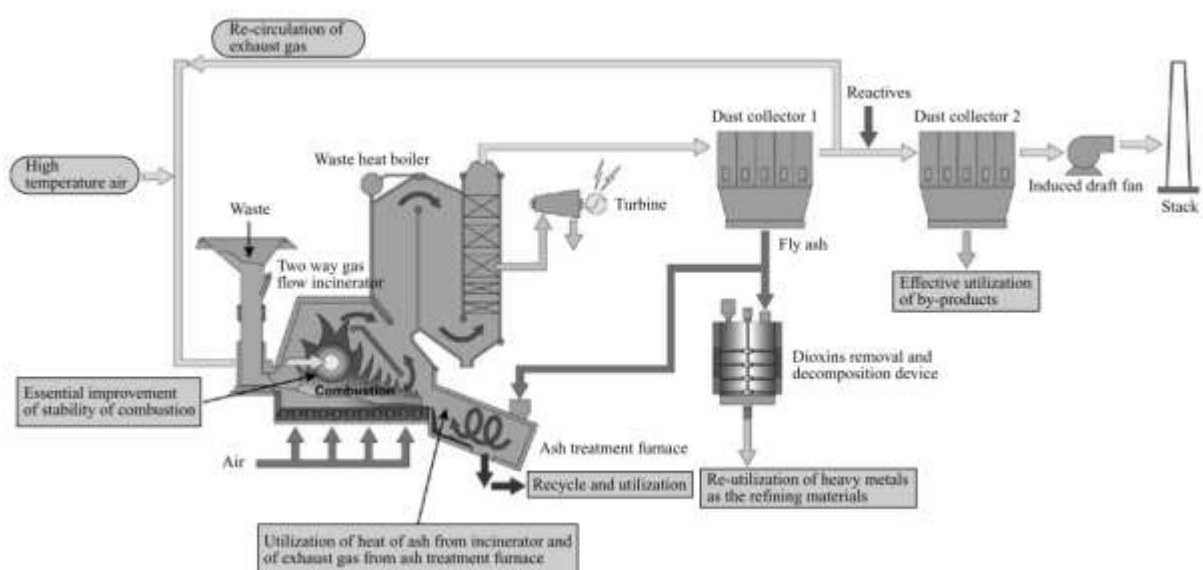


図3-7 次世代型ストーカ炉（高温空気燃焼）のシステムフロー

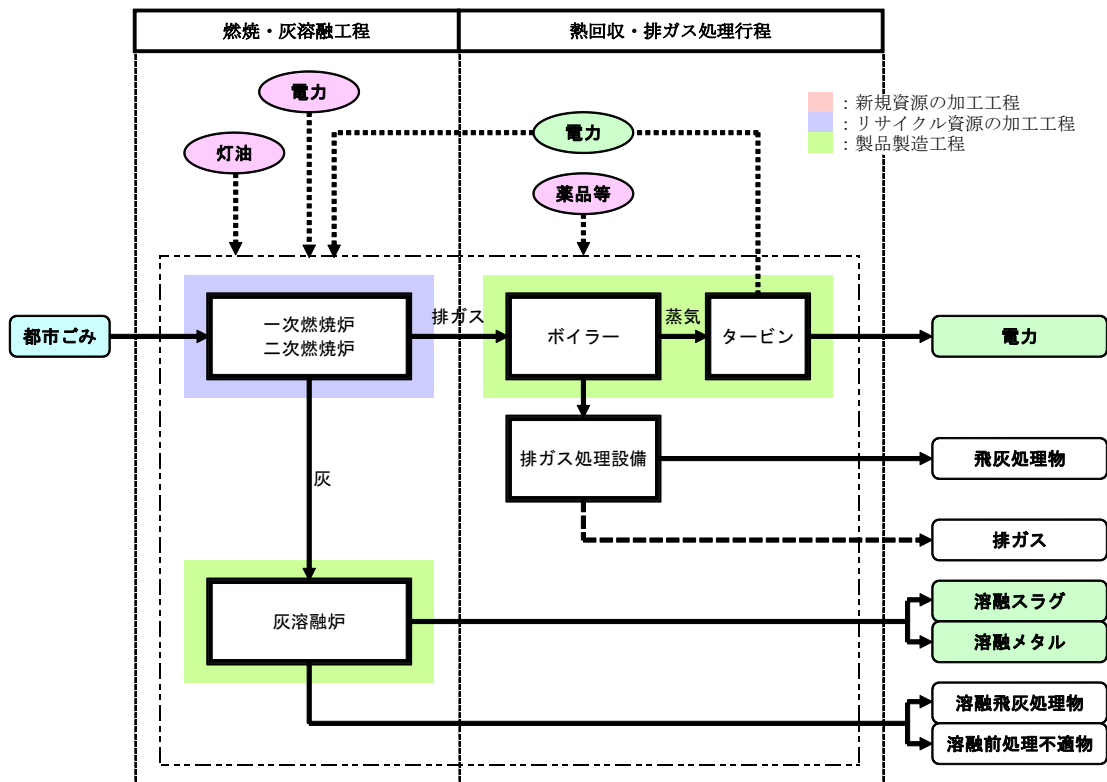


図 3-8 焼却施設（次世代型ストーカ炉）のシステムフロー（灰溶融炉ありの場合）

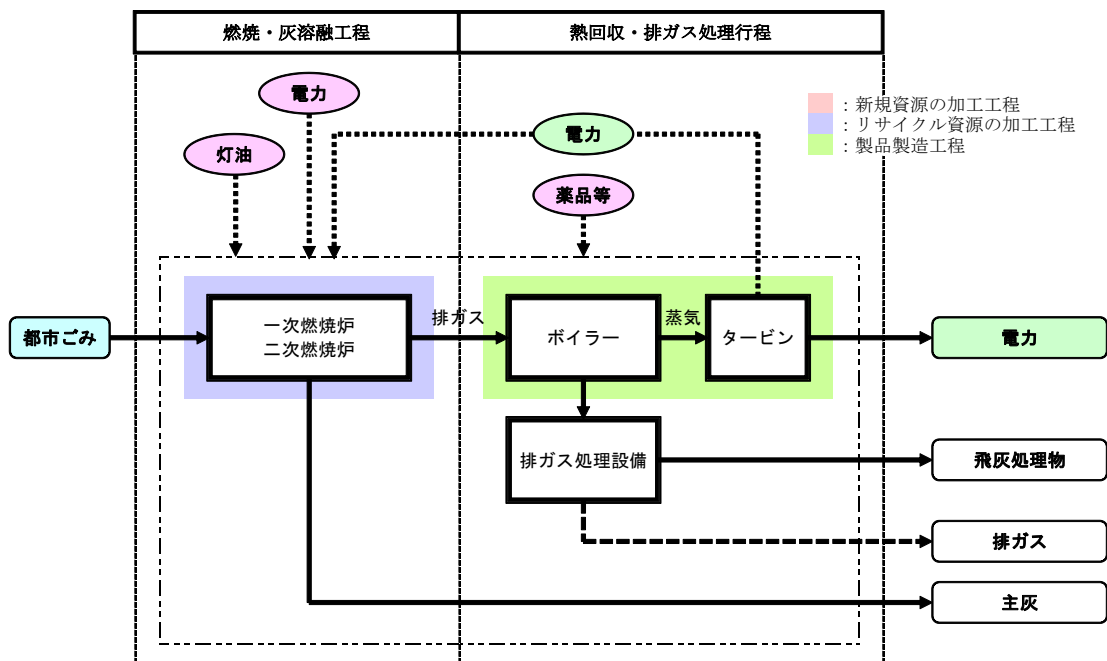


図 3-9 焼却施設（次世代型ストーカ炉）のシステムフロー（灰溶融炉なしの場合）

(3) 資源の代替関係の整理

次世代型ストーカ炉は、従来型のストーカ炉と同様に、発電電力を外部に供給することによって、電力の製造に係る天然資源（石油、石炭、天然ガス等）を削減する。

次世代型ストーカ炉は、燃焼空気比を下げたり、従来排ガスに伴って損失していた熱を吹き込み空気の予熱に用いることによって、焼却炉の発電効率向上・省エネ化に貢献する。そのため、従来型ストーカ炉と比較すると、その発電電力量の差に相当する電力の製造に係る天然資源を削減することとなる。

(4) CO₂ 排出削減効果

上述した個別技術を適応することによって、排ガス量に伴う熱損失の軽減、それに伴う燃焼用空気予熱の効率化、燃焼の安定化が達成される。これによって、ボイラーでの蒸気回収量が約 10% 増加し、発電端の効率は 17% になるとされている。

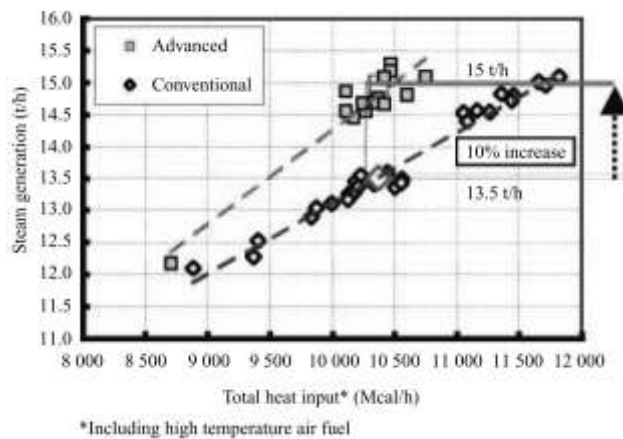


図 3-10 総投入熱量に対するボイラーでの蒸気量の関係

また、次世代型ストーカ炉および従来型ストーカ炉について、プラントメーカーからの得られたインベントリデータをもとに焼却ごみ t あたりの CO₂ 排出量を算出すると、図 3-11 のとおりとなる。ここでは、施設規模は 200t/日（100t/日×2 炉）、280t/日（140t/日×2 炉）、400t/日（200t/日×2 炉）の 3 とおりを設定し、また、それぞれ灰溶融施設を併設する場合としない場合のケースを設定した。なお、廃棄物の燃焼に伴って発生する温室効果ガスについては、ごみ組成によって変動することと、ごみ t あたりでは施設規模によらず一定となることから、ここでは考慮に入れていない。

発電電力を外部に供給することによって、電力の製造に係る天然資源（石油、石炭、天然ガス等）が削減され、焼却ごみ t あたりの CO₂ 排出量は負の値となる。また、スケールメリットが働くため、施設規模が大きくなるほど発電効率も向上し、CO₂ 排出量は少なくなる。特に、次世代型ストーカ炉は従来型ストーカ炉と比較して、発電効率が向上した結果、CO₂ 排出量がさらに少なくなっていることがわかる。このとき、次世代型ストーカ炉と従来型

ストーカ炉の CO₂ 排出量の差が、次世代型ストーカ炉を用いることによる CO₂ 削減効果となる。

ただし、灰溶融施設を併設する場合は、灰溶融施設での電力消費が大きくなり外部に供給できる電力量が減少することから、CO₂ 排出量は大きくなる。特に、施設規模の小さい従来型ストーカ炉の場合は、発電電力以上の電力が消費されるため、焼却ごみ t あたりの CO₂ 排出量は正の値となる。

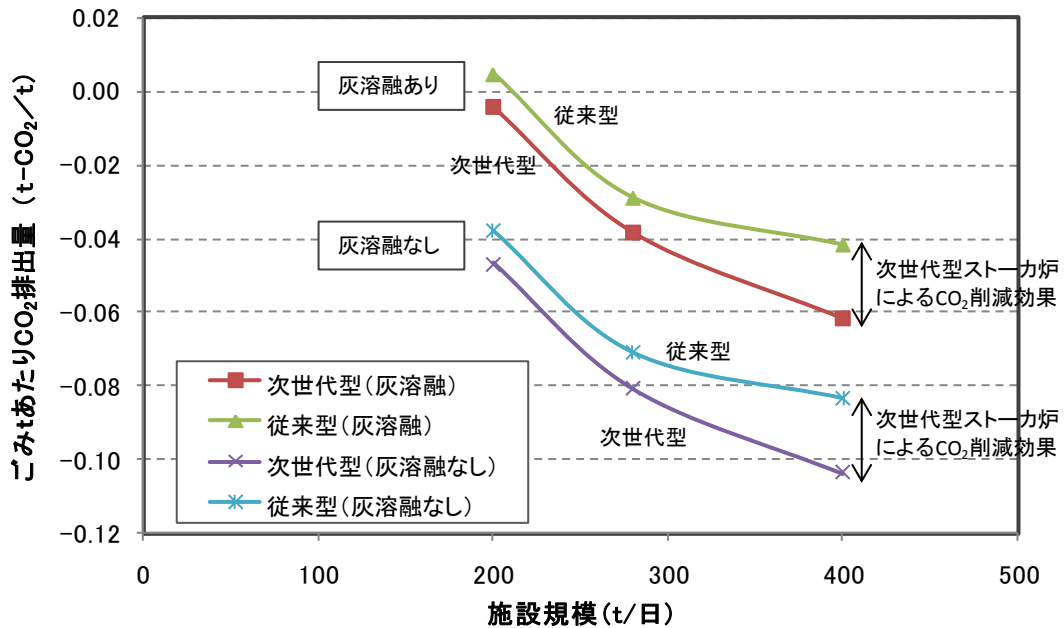


図 3-11 焼却ごみ t あたり CO₂ 排出量の比較 (次世代型ストーカ炉、従来型ストーカ炉)

表 3-15 次世代型ストーカ炉による CO₂ 削減効果 (従来型ストーカ炉との比較)

		200t/日	280t/日	400t/日
灰溶融あり	t-CO ₂ /t	0.009	0.009	0.020
灰溶融なし	t-CO ₂ /t	0.009	0.010	0.020

(5) 技術の特徴、課題等

次世代型焼却炉は主に以下のような個別の技術システムによって構成されている。

特に「高温空気吹き込みと排ガス再循環」は、従来排ガスに伴って損失していた熱を吹き込み空気の予熱に用いることによって、焼却炉の発電効率向上・省エネ化に貢献する。

表 3-16 次世代型ストーカ炉の特徴

高温空気吹き込みと排ガス再循環	高温の空気と燃焼排ガスを混合した混合気を燃焼室内のごみ層上部に吹き込むことで、ごみ層上部に安定な燃焼領域が形成され、ごみの熱分解が促進される。このために、低空気比であっても安定な燃焼を行うことができる。これにより、NO _x 、CO、ダイオキシン類の発生が抑制された上に、 排ガス量が減少するため熱損失が低減し排熱回収効率が向上 する。
-----------------	---

灰処理 一体化	灰溶融炉を別置きにすると灰の移送設備、溶融排ガスの処理設備が必要となる上、灰の移送時に放熱に伴う熱損失が生じる。このため焼却炉の灰シュート部にバーナ加熱式ロータリーキルンを直結させた焼却炉一体型の灰処理炉にすることにより、灰移送時の熱損失が低減し、灰処理排ガスの廃熱も焼却炉ボイラーで回収されるためエネルギー効率が大幅に向上する。
ハイブリッド ACC (自動燃焼制 御)	長期的な燃焼安定性を目的としたフィードバック制御系に加えて、短期的な安定化を図るために2次空気（炉内の冷却と未燃性ガスの燃焼用に吹き込む空気）量を制御する制御系を組み合わせたハイブリッドシステムによる自動燃焼制御の方法。ごみ燃焼の安定化の他、NO _x やダイオキシン類の生成につながるCOの生成を抑制できる。また、蒸気発生量の安定化に効果がある。
二回流 ガス流れ炉	炉内に設けた中間天井で未燃焼ガス（COを多く含む）と燃焼ガス（O ₂ を多く含む）を二分し、ガス混合室で正面衝突させて混合攪拌燃焼する。ガス燃焼の安定化の他、主燃焼段で生成されたNO _x の自己脱硝、ダイオキシン類の生成抑制などに効果がある。
水冷 ハイパー 火格子	火格子裏面に水管を施して冷却水を加圧強制循環させる火格子水冷化システムを採用することで、火格子の長寿命化を図ることが出来る。通常火格子は燃焼用空気によって空冷されるが、排ガス再循環による低空気比燃焼を行う場合、送風空気量が減少し空冷効果が低下するため水冷システムが必要となる。

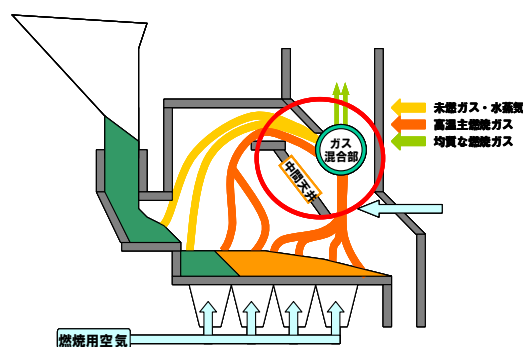


図 3-12 二回流ガス流れ炉

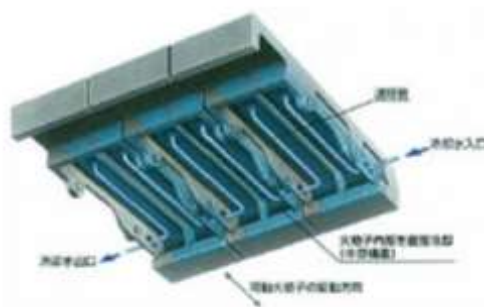


図 3-13 水冷ハイパー火格子

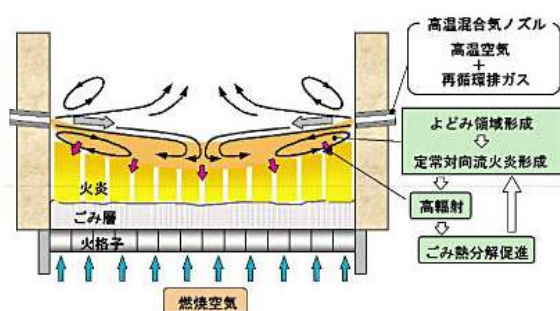


図 3-14 高温空気吹き込みと排ガス再循環

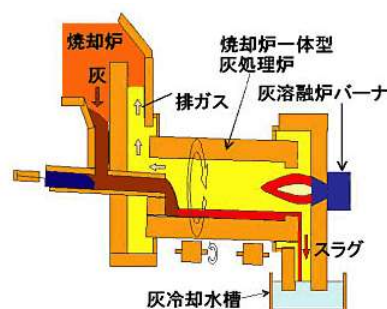


図 3-15 灰処理一体化

資料：JFE エンジ HP： http://www.jfe-eng.co.jp/technology/technology_stoker.html より

(6) コスト・作業員数

施設規模あたりの建設単価は、プラントメーカーからの得られた情報をもとにすると、図 3-16 のとおりとなる。ここでは次世代型ストーカ炉と従来型ストーカ炉の価格差はなく、

スケールメリットによって施設規模が大きくなると建設単価は低下している。また、灰溶融施設を併設する場合は、当然建設単価は上昇する。

また、施設の運転・維持管理に要する人員数は、次世代型・従来型とも施設規模によらず焼却炉は22名、灰溶融炉は8名（いずれも管理・事務人員を含めず）とのことであった。

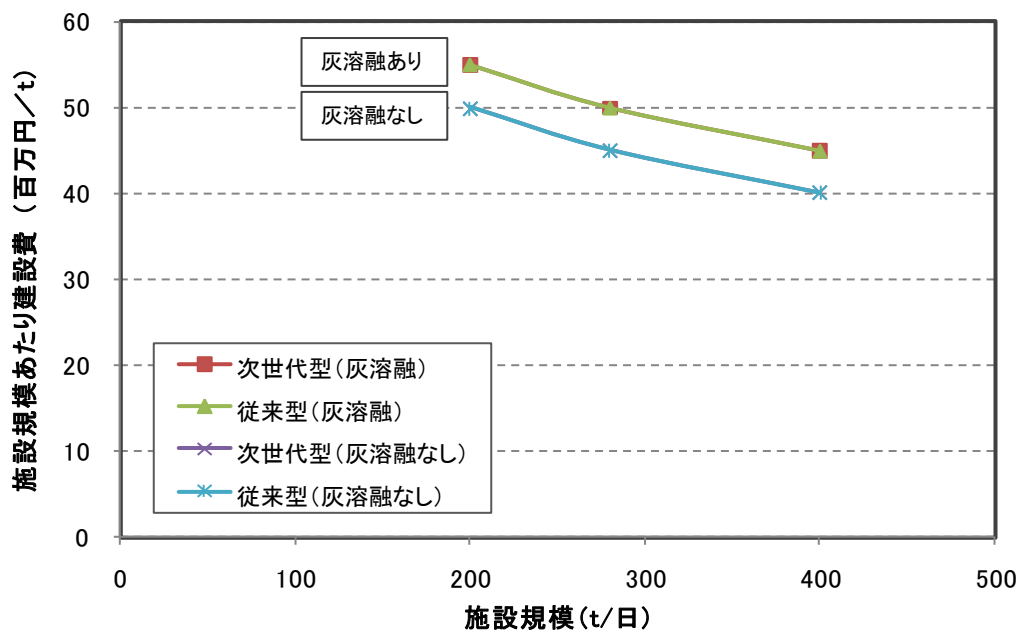


図 3-16 施設規模あたり建設単価

参考までに、2004年～2008年に自治体から発注された焼却施設および灰溶融施設の施設規模あたり建設単価を図 3-2-10 に示す。図には、ストーカ炉以外の焼却炉の情報も含む。

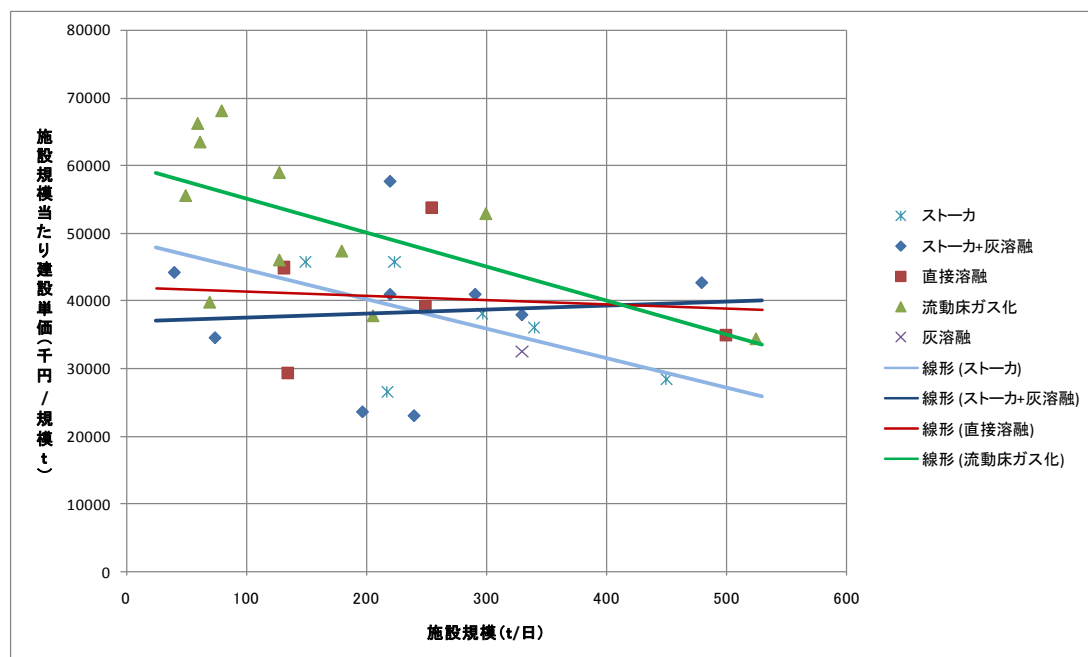


図 3-17 焼却施設および灰溶融施設の施設規模あたり建設単価 (2004～2008年)

表 3-17 2004～2008 年発注施設一覧（焼却・溶融施設） ※一部、2004 年以前の実績を含む 出典：環境施設、関連 HP、パンフレット、環境省資料（交付金関係）

NO	都道府県	事業主体	規模 t/d	処理方式	工期始年	受注企業名	建設費 千円	単機千円/d	備考
1	新潟県	三条市	160	流動床ガス化	2009	三菱重工エンジニアリング	4,422,000	52,828	DBO方式、RC(11t/50)併設含む。
2	埼玉県	松平治南町環境事務組合	147	重積溶融	2008	新日鉄エンジニアリング	9,700,000	65,986	DBO方式、RC併設含む。
3	茨城県	ひたちなか市・東浦町	220	ストローカー-灰溶融(電気式)	2008	タクマ	12,690,000	57,682	DBO方式
4	新潟県	新潟市	330	ストローカー-灰溶融(電気式)	2008	JFE環境ソリューションズ	17,500,000	53,079	DBO方式
5	石川県	金沢市	340	ストローカー	2008	タクマ	12,240,000	36,029	
6	兵庫県	西宮市	297	ストローカー	2008	JFE環境ソリューションズ	11,330,000	38,148	
9	栃木県	日光市	135	重積溶融	2007	川崎技術・西松建設・大石石材工業JV	3,960,000	29,333	
11	長野県	川崎市	450	ストローカー	2007	在野製作所	12,770,000	28,378	
12	埼玉県	鹿北広域行政組合	35	ストローカー	2007	アランチック・北野・満原JV	1,785,951	51,027	RC(6t/d)含む。
13	岐阜県	山県市	38	ストローカー-灰溶融(表面溶融)	2007	日立造船	3,588,700	99,831	灰溶融(6t/d)・7t/d・12t/d併設(5t/50)含む。
14	静岡県	松田市	224	ストローカー	2007	日立造船	9,370,000	41,830	
17	高知県	松江市	255	重積溶融	2007	新日鉄エンジニアリング	13,714,000	53,780	
19	秋田県	八戸地区広域行政事務組合・八戸地区広域相模	60	ストローカー	2008	三機工業・清水組JV	44,667	44,667	RC(15t/50)併設含む。
20	栃木県	那須地区広域行政事務組合	140	ストローカー	2008	JFE環境ソリューションズ、アジタ、石川JV	6,370,000	45,500	灰溶融(14t/d)・RC(20t/d)含む
21	神奈川県	相模原市南・清瀬工場	525	流動床ガス化	2008	神鋼環境ソリューションズ	18,089,000	34,455	焼却・最大1万kW
22	静岡県	静岡市・新田ヶ谷清掃工場	500	重積溶融	2008	新日鉄エンジニアリング	16,600,000	33,200	14,000kW
23	岐阜県	南濃衛生施設利用事務組合・養老地域	80	流動床ガス化	2008	ユニテカ	5,450,000	68,125	
24	三重県	伊賀新田環境衛生組合・名張市伊賀市相模	90	流動床ガス化	2008	三機工業	4,208,000	45,242	RC(45t/d)併設含む。
25	和歌山県	橋本屋広域市町村圏組合	101	ストローカー	2008	川崎技研	4,910,000	44,653	RC(46t/d)併設含む。
26	和歌山県	栗田市	60	流動床ガス化	2008	神鋼環境ソリューションズ	3,975,000	66,250	
28	兵庫県	姫路市・新美化センター	402	重積溶融	2008	新日鉄エンジニアリングほか	21,000,000	52,239	DBO方式、再生资源化施設(100t/d)含む、基本設計費3465000千円。
29	宮崎県	延岡市・延岡西日本ブロック地域	218	ストローカー	2008	JFE環境ソリューションズ、達沼組、増田、宮井謙	5,800,000	26,608	
30	鹿児島県	姶良郡西部衛生処理組合	74	ストローカー-灰溶融	2008	エスエス環境テクノロジーズ	2,951,500	34,480	灰溶融併設。
31	福島県	福島市	220	ストローカー-灰溶融(フラマ)	2008	あらかわササビース(在野製作所、在野エンジニアリングサービス)	8,550,000	38,864	
32	茨城県	水戸市環境管理事務組合	206	流動床ガス化	2008	神鋼環境ソリューションズ	7,787,000	37,850	
33	静岡県	浜松市浜町広域行政組合	132	重積溶融	2008	新日本製鐵	5,930,000	44,924	
34	静岡県	浜松市	480	ガス化キルン	2008	三井造船	13,080,000	28,000	新築設備整備含む。
35	東京都	刈谷知立環境組合	291	ストローカー-灰溶融(ア-方式)	2008	在野製作所、清水建設、角文建設JV	11,910,000	40,928	灰溶融(20~28t/d)
36	大阪府	吹田市	480	ストローカー-灰溶融(ア-方式)	2008	タクマ	20,470,000	42,846	
38	福岡県	筑紫野・小郡・基山清掃施設組合	250	重積溶融	2008	JFE環境ソリューションズ	9,800,000	39,200	4990kw
39	鹿児島県	肝属地区一倉集落処理施設組合	128	流動床ガス化	2008	日立造船	7,582,000	59,000	RC(17t/d)含む。
40	北海道	北見市べしし集落処理施設組合	197	ストローカー-灰溶融(フラマ)	2004	日立造船	4,627,000	23,487	RC(36t/80)灰溶融(19t/d)含む、1990kw
41	北海道	根室北部集落処理広域連合	62	流動床ガス化	2004	神鋼環境ソリューションズ	3,938,000	63,816	
42	福島県	田村広域行政組合	40	ストローカー-灰溶融(表面溶融)	2004	日立造船	1,766,900	44,173	エコパーナー式灰溶融(6.4t/d)含む、公設民営(201.3まで)
43	新潟県	佐野市	128	流動床ガス化	2004	日立造船	5,900,000	46,084	
44	東京都	東京23区・世田谷清掃工場	300	流動床ガス化、灰溶融(フラマ)	2004	川崎重工JV	15,880,000	52,633	単機灰溶融(7t/50)・プラズマ式(20t)含む。
45	神奈川県	藤沢市	150	ストローカー	2004	タクマ	6,860,000	45,733	公設民営、4000kw
47	千葉県	中野清掃組合	180	流動床ガス化	2004	在野製作所	8,533,333	47,407	
48	京都府	枚方市	330	灰溶融	2004	住友重機械工業	10,710,000	32,455	
49	大阪府	堺市	240	ストローカー-灰溶融(表面溶融)	2004	川崎重工	22,817	95,000	灰溶融(24t/42)・(2戸)含む。
50	兵庫県	淡路市川上広域行政組合	235	ストローカー-灰溶融(表面溶融)	2008	JFEエンジニアリングJV	15,571,428	66,261	灰溶融(26t/42)・(2戸)、リサブ(135t/d)含む。
51	徳島県	鳴門市	70	流動床ガス化	2004	三機工業	2,790,000	39,857	
52	熊本県	有明広域行政事務組合	50	流動床ガス化	2004	日立造船・ハザマJV	2,780,000	55,600	
53	東京都	東京23区・豊洲清掃工場	500	ストローカー-灰溶融(フラマ)	2003	タクマ	15,700,000	31,400	灰溶融(55t/42)・(2戸)含む、13,500kw
54	東京都	東京23区・品川清掃工場	600	ストローカー-灰溶融(表面溶融)	2002	日立造船	21,500,000	45,033	灰溶融(90t/42)・(2戸)含む、15,000kw
55	広島県	安芸地区衛生施設管理組合	130	流動床ガス化	2001	神戸製鋼	7,014,000	53,954	
56	徳島県	豊後市	400	ガス化キルン	1998	三井造船	18,100,000	45,250	粗大破砕(70t/50)含む、8,700kw
57	埼玉県	東埼玉資源環境組合・第一工場	800	ストローカー-灰溶融(ア-方式)	1991	日立造船	40,487,540	50,822	灰溶融(160t/d)含む。
58	兵庫県	東播磨資源環境組合・第一工場	160	灰溶融(ア-方式)	1991	日立造船	4,489,040	28,119	建物狭く
59	兵庫県	神戸市・東クリーンセンター	900	ストローカー	1985	川崎重工	47,000,000	52,222	
60	神奈川県	川崎市・宮崎処理センター	900	ストローカー	1991	日本製鋼	39,781,000	44,179	粗大ごみ処理(50t/d)含む。
61	千葉県	千葉市	405	ストローカー-灰溶融(フラマ)	1991	日本製鋼	27,000,000	66,667	スーパーごみ焚置
62	福岡県	北九州市・豊島清掃工場	810	ストローカー	1990	タクマ	34,500,000	42,593	スーパーごみ焚置

3.2.2 ガス化改質炉

(1) 技術の概要

- ・ ジャパン・リサイクル(株)は、JFE スチール東日本製鉄所内の敷地内にある千葉リサイクルセンターで、サーモセレクト方式ガス化改質炉を使い、産業廃棄物と容器包装リサイクル系プラスチック廃棄物（一般廃棄物）のガス化熔融処理および再資源化を行っている。
- ・ ガス化改質炉では廃棄物を加熱熔融し、生成する燃料ガス及びスラグ・メタル等を資源化、回収する。
- ・ 燃料ガスは JFE スチール(株)東日本製鉄所（千葉地区）に売却され、製鉄所内の発電設備などで工業用燃料として利用される。

(2) システムフロー

ガス化改質炉のシステムフローおよび処理プロセスを図 3-18、表 3-18 に示す。

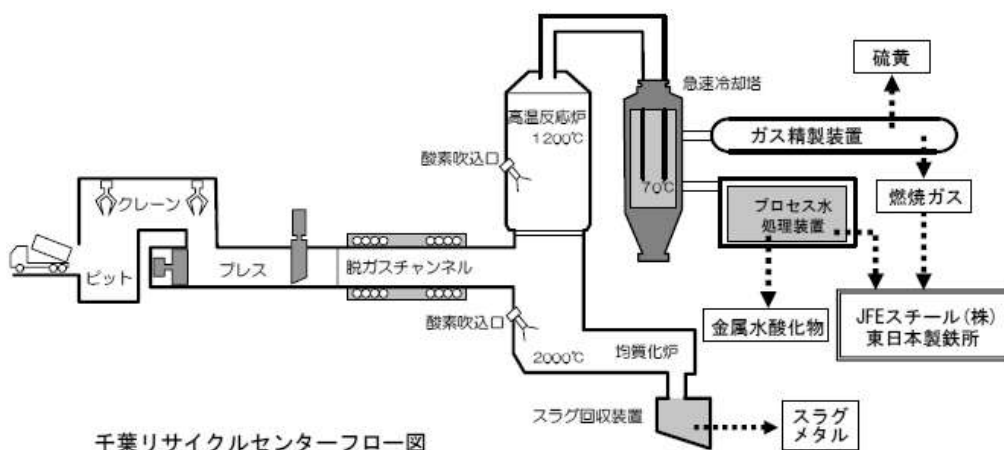


図 3-18 ガス化改質炉のシステムフロー

表 3-18 ガス化改質炉の処理プロセス

① 廃棄物の受け入れ	産業廃棄物などを収集車からピットに投入する。
② 廃棄物の圧縮	廃棄物を一定量ずつ約 1/5 に圧縮して廃棄物の中の空気を除去し、電熱効率を向上させる。
③ 乾燥・脱ガス	外熱式の脱ガスチャンネルでごみを乾燥、脱ガスする。脱ガス後の廃棄物は順次高温反応炉へ押し出される。
④ ガス化／熔融	高濃度の酸素を反応炉へ吹き込み、熱分解カーボンとの反応熱によって、がれき、金属などが熔融される。
⑤ ガスの改質	熱分解ガスを 1200℃で 2 秒以上保持することで、ダイオキシンやタールなどを分解。ガスを改質する。

⑥ スラグ・メタルの均質化	溶融した瓦礫や金属は、均質化炉を通った後に水冷され、メタルやスラグになる。
⑦ ガスの急速冷却	ガスを 1200℃から 70℃に急速冷却して、ダイオキシンの再合成を抑止。非灰の発生も防ぐ。
⑧ ガス精製	回収したガスを脱硫、除湿して、クリーンな燃料ガス（H：35%、CO：35%、CO ₂ ：30%、約 2000kcal/m ³ ）を精製する。
⑨ 水処理	急速冷却で使用された水は循環利用され、さらに一部は水処理装置によって金属水酸化物を取り出した後、再利用される。

(3) 資源の代替関係の整理

容り協会¹⁵⁾では、サーモセレクト方式ガス化改質炉を用いたリサイクルシステムと、リサイクルシステムによる生成品が代替していると考えられる製品を生産する一連の流れ（オリジナルシステム）についてそれぞれエネルギー資源消費量と CO₂ 排出量を求め、2つのシステムの差異からリサイクルの効果（環境負荷低減効果）を算定している。

<非循環システム>

非循環型システムについては、リサイクルシステムで生成される合成ガスと同等の熱量を保有するガスを製造するために重油を燃料とした重油焚ボイラーを対象とする。重油焚ボイラーの効率は90%と設定する。

また製造されるスラグが代替しているのは、砕石・砕砂とする。

$$\cdot C \text{ 重油} = 19.104\text{MJ} (\text{合成ガス量}) \div 0.9 (\text{ボイラー効率}) \div 41.7\text{MJ/L} = 0.509\text{L}$$

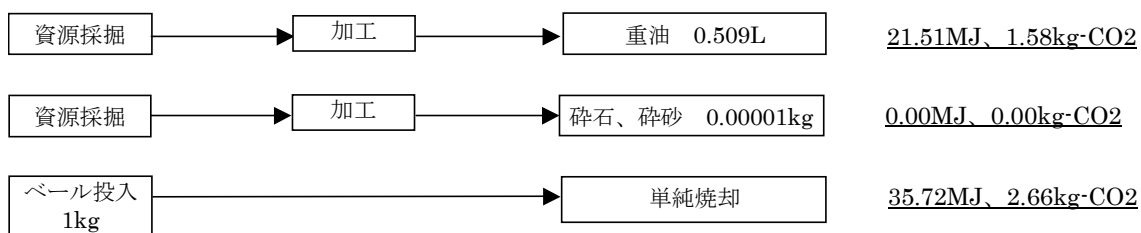


図 3-19 非循環システムにおける資源の代替関係（ガス化改質炉）

<循環システム>

溶融炉で生成された合成ガスは製鉄所内の製鉄所副生ガス配管に導かれ、最終的に発電設備などで工業用燃料として利用される。

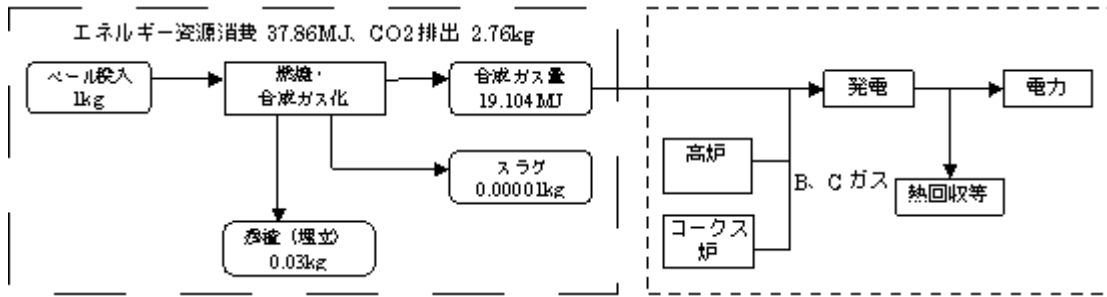


図 3-20 循環システムにおける資源の代替関係（ガス化改質炉）

(4) CO₂ 排出削減効果

以上を比較すると、ペール 1kg のガス化改質による環境負荷低減効果は表 3-19 のようになる。

表 3-19 ガス化（燃焼）の環境負荷低減効果（ペール 1kg あたり）

		リサイクルシステム	オリジナルシステム	環境負荷低減効果
天然ガス	kg	0.01	0.01	0.00
原油	kg	0.01	0.47	0.46
石炭	kg	0.02	0.00	-0.02
エネルギー資源消費	MJ	37.86	57.24	19.38
CO ₂	kg	2.76	4.24	1.48

(5) 技術の特徴、課題等

合成ガスを重油に換算して算定しているが、最終的に合成ガスは電力（ガスエンジンにより発電）や熱として使われることに注意する必要がある。

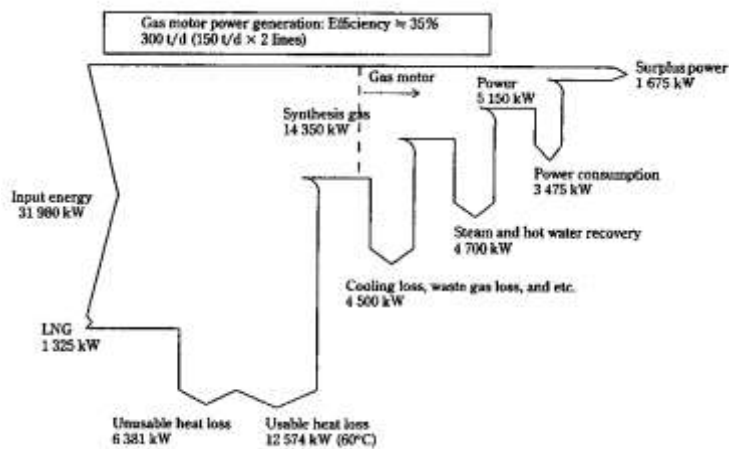


図 3-21 合成ガスの熱収支例¹⁶⁾

3.2.3 廃プラスチックの高炉原料化

(1) 技術の概要

- ・ 廃プラスチックのケミカルリサイクル技術のひとつ。
- ・ 製鉄の際に、鉄鉱石の脱酸素（還元）工程で用いられるコークスの一部を廃プラスチックで代替する。
- ・ 微粒化して高炉に吹き込み、その焼却（脱酸素）反応を利用。
- ・ 理論的には、コークスの40%までを廃プラスチックで代替可能。
- ・ 天然資源（コークス）代替によってCO₂排出量を削減できる。
- ・ 日本では、日本鋼管株式会社（NKK）（当時、現JFE）が、平成8年10月に京浜製鉄所内に廃プラスチックの一貫リサイクルシステムを構築した。

(2) システムフロー

廃プラスチック高炉原料化施設の非循環型のシステムを図3-22に、循環型のシステムを図3-23に示す。

<非循環型システム>

- ・ 鉄鉱石および石灰を原料として銑鉄を生産する。
- ・ 還元剤としてコークスを使用。
- ・ エネルギーとして電力、微粉炭を投入する。

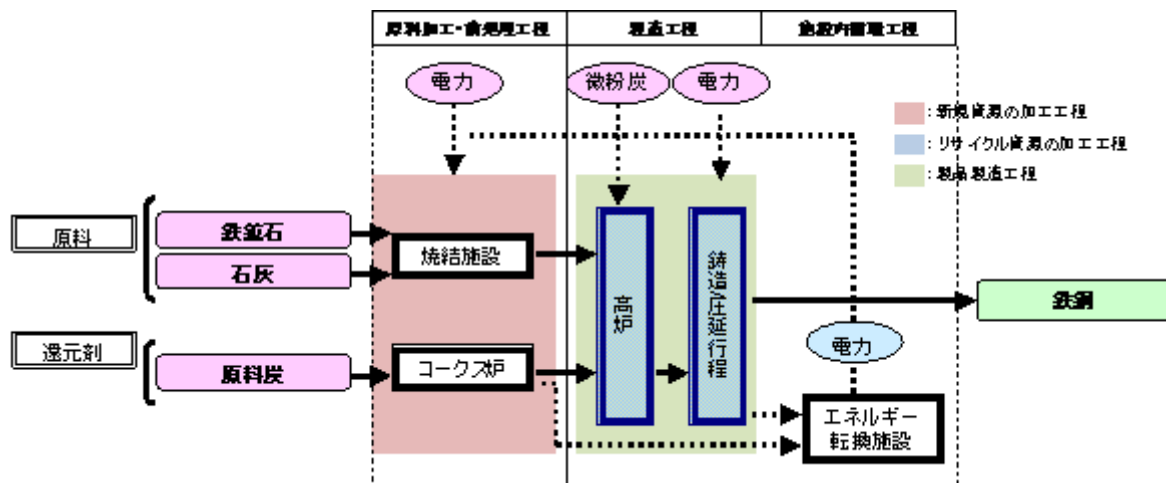


図 3-22 非循環型の高炉原料化システム

<循環型システム>

- ・ 原料は非循環型システムと同様に鉄鉱石、石灰を投入する。
- ・ 還元剤として、コークスの他に、産廃プラやその他プラを使用する。
- ・ 産廃プラやその他プラの焼却処理回避によるCO₂排出削減効果が見込める。

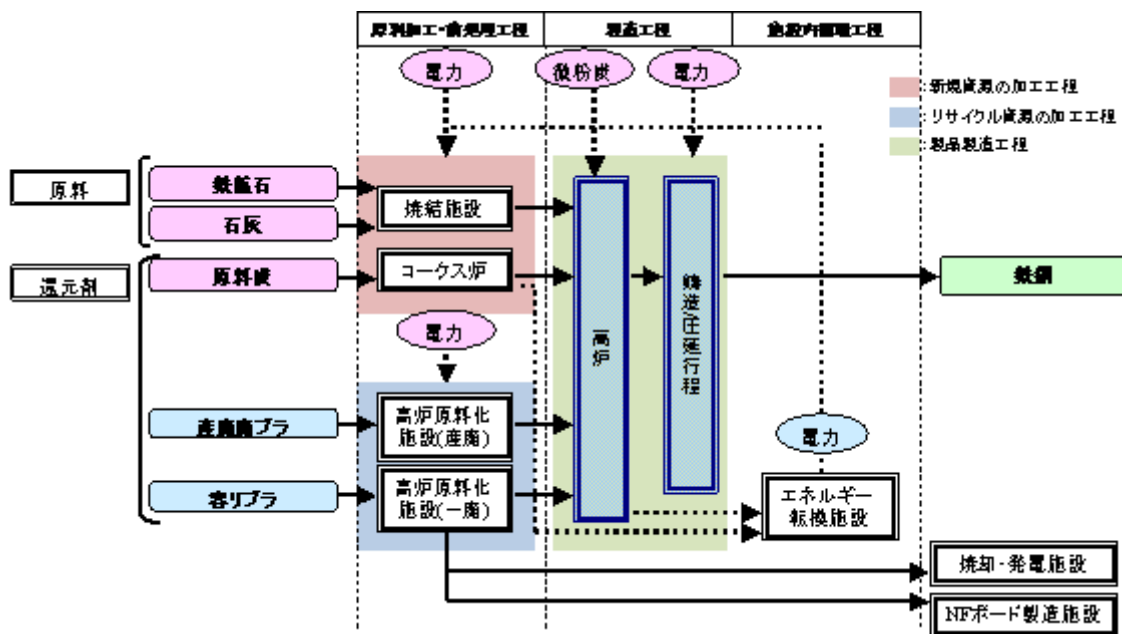


図 3-23 循環型の高炉原料化システム

(3) 資源の代替関係の整理

- ・ 高炉減量化システムにおける天然資源と循環資源の代替関係を表 3-20 に示す。
- ・ 高炉原料化システムでは、1t の廃プラで 1t の原料炭を代替することが出来る。

表 3-20 高炉原料化システムにおける資源の代替関係(燃料代替)

投入する循環資源	代替される天然資源	代替関係
産廃プラ、その他プラ	原料炭(コークス原料)	1 (t-原料炭/t-循環資源)

(4) CO₂ 排出削減効果

- ・ 表 3-21 に高炉原料化システムの、非循環型システムと循環型システムの CO₂ 排出量の比較と CO₂ 排出削減効果を示す。
- ・ 循環資源 1t 当たりの CO₂ 排出削減効果は 0.597t-CO₂ であった。
- ・ さらに、産廃プラ、その他プラの焼却回避による CO₂ 排出削減効果が見込まれる。

表 3-21 高炉原料化施設における CO₂ 排出削減効果

		温室効果ガス合計 (CO ₂ 換算)
温室効果ガス排出量 (従来システム)	[t-Gas]	7,424,613.9
温室効果ガス排出量 (循環システム)	[t-Gas]	7,398,329.0
循環資源投入量	[t]	44,000
循環資源投入量当たり排出削減量	[t-Gas/t]	0.597

(5) 技術の特徴、課題等

- ・ 受け入れのポテンシャルが高く、現状よりもさらに廃プラスチックなどを受け入れることが出来る。

- 原料炭の使用量が多いため、代替によるCO₂排出削減効果は大きい。

3.2.4 廃プラスチックのコークス炉化学原料化

(1) 技術の概要

- コークス炉化学原料化は、コークス原料の石炭の代替として廃プラスチックを利用する技術。
- コークス炉内部の炭化室の上部装入口から装入された廃プラスチックは還元雰囲気中で熱分解され、上昇管を経て炭化水素油（タール、軽油）、コークス炉ガスとして回収される他、カーボン残渣等は炭化室内にコークスとして生成され回収される。
 - コークス → 鉄鉱石の還元剤
 - コークス炉ガス → 製鉄所の燃料ガスや発電所等で利用
 - 炭化水素油 → 容器包装樹脂、電子材料や塗料の化学原料
- 炭化室は両側の燃焼室から間接加熱される空間であり、通常の操業において1000~1200℃の温度領域に維持される。
- 廃プラスチックの添加率は、配合炭に対して1 mass%程度であり、廃プラスチックの乾留歩留は、油生成物：ガス生成物：コークス=4：4：2程度とされている。

(2) システムフロー

廃プラスチックのコークス炉原料化のシステムフローを図3-24に示す。

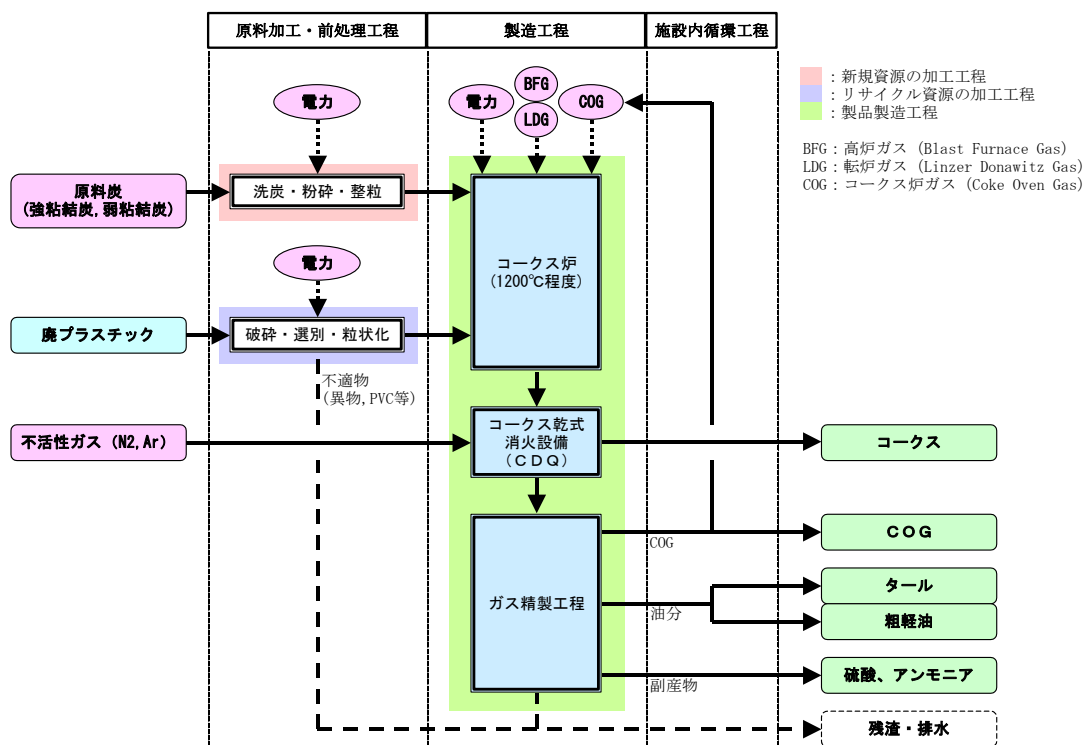


図3-24 廃プラスチックのコークス炉原料化のシステムフロー

(3) 資源の代替関係の整理

廃プラスチックはカーボン等量の原料炭を代替する。

(4) CO₂ 排出削減効果

上記において代替した原料炭相当の CO₂ 排出削減効果となる。

(5) 技術の特徴、課題等

- ・ 乾留炉による高温分解処理であるため、有害物質の排出がない。
- ・ 高炉還元利用は脱塩に対して厳しい（含有率 0.5%-Cl 以下）が、コークス炉は比較的高濃度のもので受入可能である（新日本製鐵君津事業所における受入プラの塩素含有率は 2%-Cl 程度）。
- ・ 今後、老朽化したコークス炉のリプレースに伴って、石炭高度転換コークス製造技術（SCOPE21）やその要素技術である低 NO_x 燃焼システムの導入が進むと考えられる。ただし、その場合、廃プラスチックの受入や CO₂ 低減効果にはどのような変化が生じるかは明らかではない。

3.2.5 セメント原燃料化

(1) 技術の概要

a) 原料代替

- ・ セメントの主要成分は CaO、SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃ であるため、これら元素を多く含む廃棄物等はセメント原料として使用することが可能（石炭灰、焼却灰、下水汚泥、鋳物砂、廃タイヤ、高炉スラグ等）
- ・ ただし受け入れにあたっては、製品品質に問題がないよう、それぞれの元素の配合を考慮する必要がある。
- ・ 二次廃棄物は発生しない（灰もセメントの原料としてクリンカに取り込まれるため）。

b) 燃料代替

- ・ セメント製造に必要な熱エネルギー源として、発熱量の高い可燃性廃棄物を利用（石炭、重油などの一部を代替）。

(2) システムフロー

セメント製造施設の非循環型のシステムを図 3-25 に、循環型のシステムを図 3-26 に示す。

<非循環型システム>

- ・ 原料として、石灰石、粘土、珪石、鉄原料などを投入。

- ・ 燃料としては、都市ガス、コークス、C重油、石炭などを投入。
- ・ 焼成工程、成分調整工程を経て普通ポルトランドセメントが製造される。

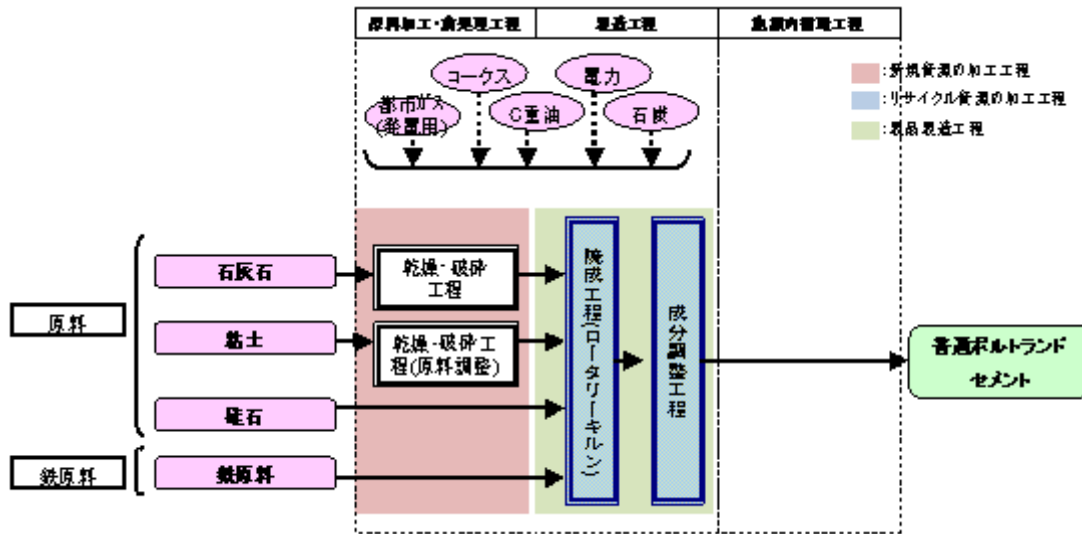


図 3-25 非循環型のセメント製造システム

<循環型システム>

- ・ 原料代替の循環資源として、汚泥、鉍滓、ばいじん、燃え殻、建設発生土、などを投入。
- ・ 粘土、鉄原料は 100%循環資源に代替されている。
- ・ 燃料としては、産廃プラなどを投入。
- ・ 産廃プラなどの投入分だけ石炭の使用量が減少する。

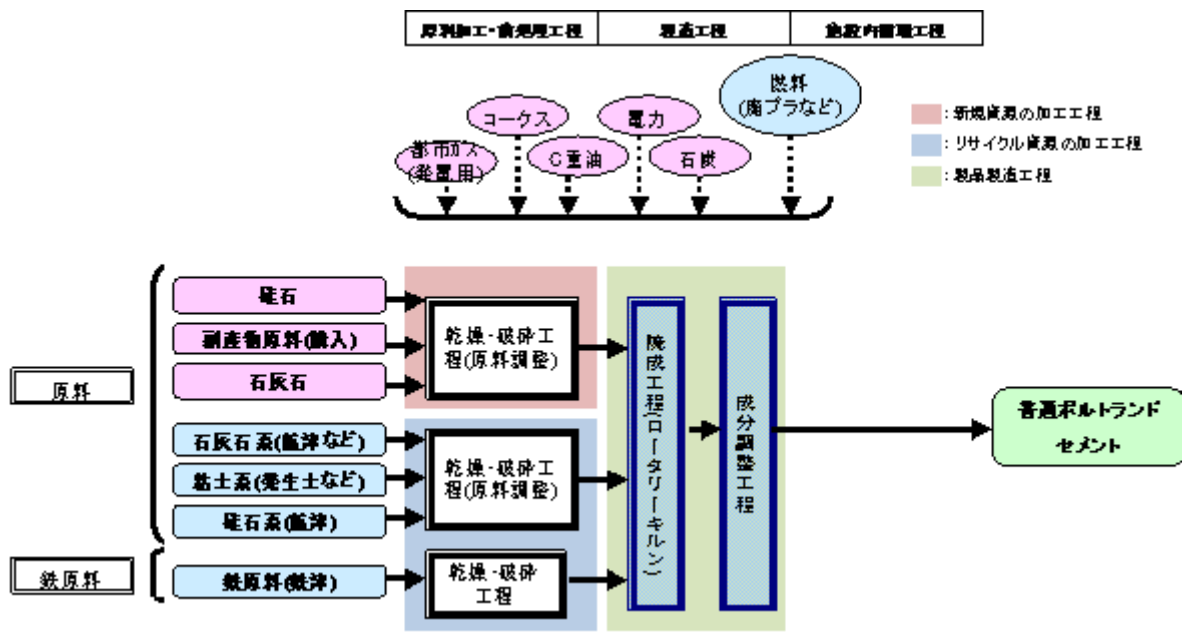


図 3-26 循環型のセメント製造システムフロー

(3) 資源の代替関係の整理

a) 原料代替

原料代替の場合の、天然資源と循環資源の代替関係を表 3-22 に示す。循環資源は最終的な製品の性能に問題がないよう、個別に成分を分析して受入量を調整している。

表 3-22 セメント製造施設における資源の代替関係(原料代替)

投入する循環資源	代替される天然資源
鉍滓	石灰石、珪石、鉄原料
汚泥	石灰石、粘土
ばいじん	粘土
燃え殻	粘土
建設発生土	粘土
ガラス陶器屑	石膏
副産石膏	石膏

b) 燃料代替

燃料代替の場合の、天然資源と循環資源の代替関係を表 3-23 に示す。

- ・ 再生油 1kL は重油 1kL を代替する。
- ・ 廃プラの場合、投入する廃プラと同カロリーの石炭を代替する。なお、廃プラの発熱量は 10000kcal/kg で、石炭の発熱量は 6354cal/kg とした。
- ・ 年間を通して見ると、概ね廃プラ 1t が 1.3t の石炭を代替している。

表 3-23 セメント製造施設における資源の代替関係(燃料代替)

投入する循環資源	代替される天然資源	代替関係
再生油	重油	1.0 (kL-重油/kL-再生油)
廃プラ	石炭	1.3 (t-石炭/t-廃プラ)

(4) CO₂ 排出削減効果

a) 原料代替

表 3-24 に原料代替の場合の、非循環システムと循環システムの CO₂ 排出量の比較と CO₂ 排出削減効果を示す。

原料代替の場合、粘土の採掘・輸送に伴う CO₂ 排出量などの削減により、循環資源 1t 当たり 0.050t-CO₂ の CO₂ 排出削減効果がある。

表 3-24 セメント製造施設における CO₂ 排出削減効果(原料代替分)

		温室効果ガス合計 (CO ₂ 換算)
温室効果ガス排出量 (非循環システム)	[t-Gas]	454, 446
温室効果ガス排出量 (循環システム)	[t-Gas]	420, 239
循環資源投入量	[t]	687, 900
循環資源投入量当たり排出削減量	[t-Gas/t]	0. 050

b) 燃料代替

- ・ 表 3-25 に燃料代替の場合の、非循環型システムと循環型システムの CO₂ 排出量の比較と CO₂ 排出削減効果を示す。
- ・ 燃料代替で投入する循環資源を廃プラスチックとした場合、循環資源 1t 当たりの CO₂ 排出削減効果は -0.079t-CO₂ であり、排出量が増えるという結果であった。
- ・ これは廃プラスチックの前処理などにエネルギーが必要なこと、循環資源の処理回避による CO₂ 排出削減効果を考慮していないことなどが理由である。

表 3-25 セメント製造施設における CO₂ 排出削減効果(燃料代替分)

		温室効果ガス合計 (CO ₂ 換算)
温室効果ガス排出量 (非循環システム)	[t-Gas]	334, 071
温室効果ガス排出量 (循環システム)	[t-Gas]	335, 914
循環資源投入量	[t]	23, 210
循環資源投入量当たり排出削減量	[t-Gas/t]	-0. 079

(5) 技術の特徴、課題等

- ・ 原料代替では、すでに天然資源の多くを循環資源で代替しているため、新たに循環資源を受け入れると、他の循環資源の受け入れ量を減らすことになる。
- ・ 焼却灰を受け入れる場合、焼却灰中の塩素が製品性能に影響を与える可能性がある。
- ・ 燃料代替では、まだ受け入れる余力があり受け入れ量を増やす計画がある。

3.2.6 バイオガス化施設

(1) 技術の概要

- ・ 有機物が嫌気性条件で微生物の活動により分解し、最終的にメタンと二酸化炭素を生成するプロセス。
- ・ 古くから汚水処理での汚泥減量化技術として用いられてきた。

(2) システムフロー

a) 非循環システム

- ・ 技術の性質上非循環システムは存在しない(バイオガス化技術の比較対照は生ごみの焼却に当たる)。

b) 循環システム(図 3-27)

- ・ 固形又は高分子有機物から低分子有機物に分解する可溶化・加水分解する。
- ・ 低分子有機物から有機酸、アルコール類などを生成する(酸生成)。
- ・ 有機酸などから酢酸と水素などを生成する(酢酸生成)。
- ・ 酢酸や水素などからメタンと二酸化炭素を生成する(メタン生成)。
- ・ 製造したメタンは発電や熱供給に用いられる。

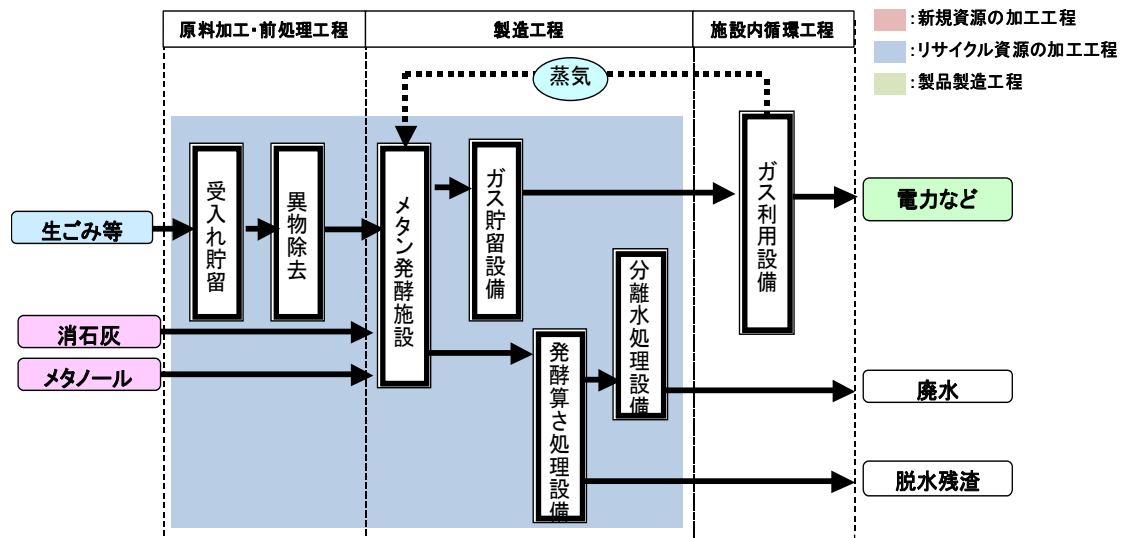


図 3-27 生ごみのバイオガス化システム

(3) 資源の代替関係の整理

- ・ 特に代替される天然資源は存在しない。
- ・ 生ごみ 1 t から約200kWhの電力を発電できる。

(4) CO₂ 排出削減効果

- ・ 表3-26に生ごみ処理にメタン発酵技術を適応した場合のCO₂排出削減効果を示す。
- ・ 生ごみ処理にメタン発酵技術を適応した場合、生ごみ1t当たり、0.063t-CO₂の排出削減効果がある。

表 3-26 生ごみ処理にメタン発酵技術を適応した場合の CO₂ 排出削減効果

		温室効果ガス合計 (CO ₂ 換算)
温室効果ガス排出量 (従来システム)	[t-Gas]	0.70
温室効果ガス排出量 (循環システム)	[t-Gas]	-1.8
循環資源投入量	[t]	40
循環資源投入量当たり排出削減量	[t-Gas/t]	0.063

(5) 技術の特徴、課題等

- ・ 行政などによって新たに施設を建設する必要がある。
- ・ ガス化後の残渣の処理が必要になる。
- ・ 熱回収まで含めた場合、表3-26に示したCO₂排出削減効果が見込まれるが、熱の利用先の確保が問題となる。

(6) 実施設のごみ t 当り CO₂ 排出原単位

メーカーヒアリングにより得られた、湿式・中温方式のメタン発酵施設（30t/日）における2年間の運転実績によるごみ t 当たり CO₂ 排出量原単位を示す。

当該施設は、製鉄所およびガス化溶融炉と併設されており、蒸気の供給を受け汚泥の乾燥を行い、汚泥、残渣の処理はガス化溶融炉、排水処理は製鉄所の排水処理設備で行っている。

有機系廃棄物 1t から約 200Nm³ の精製ガス（メタン約 65%）が得られ、製鉄所の燃料として利用している。

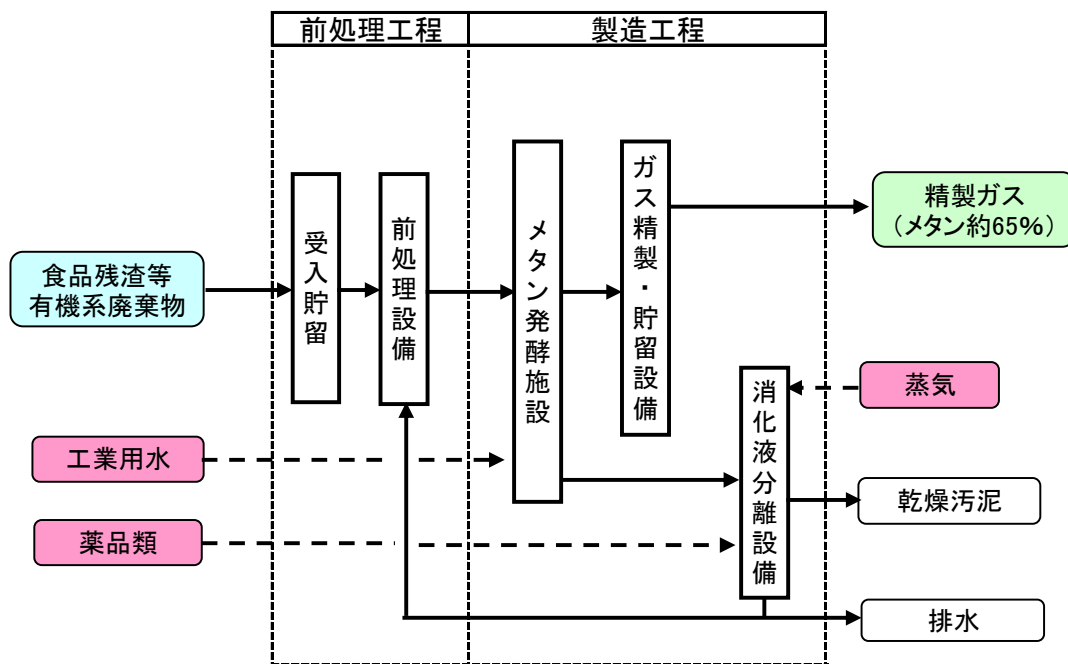


図 3-28 有機系廃棄物バイオガス化システム

(循環資源投入量あたり CO₂ 排出量削減効果)

メタン発酵技術を適応した場合、有機系廃棄物 1t 当たり、0.135t-CO₂ の排出削減効果がある。

3.3 スマート資源循環地域拠点のプロセス設計と評価

3.3.1 スマート資源循環地域拠点の構成単位プロセスとヒアリング対象等

(1) 施設構成と規模の設定

スマート資源循環地域拠点施設については、雑紙とプラスチック（プラスチック容器包装及びそれ以外のプラスチック）を分別収集し、RPF、コークス・還元剤及び再生ペレットを製造する施設を想定した。

また施設は、再生ペレットの製造（マテリアルリサイクル）の有無により表 3-27 のとおりシステム（A）及び（B）に区分してシステム構成を設定した。また、施設の規模（能力）別に表 3-28 のとおり 25t/日～200t/日の 4 段階の施設を設定した。

表 3-27 システム構成と分別収集区分

	再生ペレット ラインの有無	分別収集区分		
		雑紙	プラ (プラ容器以外)	プラ容器
システム (A)	有	○	○	○
システム (B)	無	○	○	○

表 3-28 設定施設規模

	ケース	対象品目	日量(t/日)	稼働時間 (hr/日)	時間当たり 能力 (t/h)	系列数			1系列当たり能力(t/h)		
						RPFライン	コークス・ 還元材ラ イン	再生ペ レットラ イン	RPFライン	コークス・ 還元材ラ イン	再生ペ レットラ イン
(A)	1	雑紙+プラ	19	25	8	2.375	1		2.375		
		プラ容器	6			0.75		1	1	0.2625	0.75
	2	雑紙+プラ	38	50	8	4.75	1		4.75		
		プラ容器	12			1.5		1	1	0.525	1.5
	3	雑紙+プラ	76	100	16	4.75	1		4.75		
		プラ容器	24			3		1	1	1.05	3
	4	雑紙+プラ	152	200	16	9.5	2		4.75		
		プラ容器	48			3		1	1	1.05	3
(B)	1	雑紙	17.75	25	8	2.219	1		2.22		
		プラ+プラ容器	7.25			0.906		1		0.91	
	2	雑紙	35.5	50	8	4.438	1		4.44		
		プラ+プラ容器	14.5			1.813		1		1.81	
	3	雑紙	71	100	16	4.438	1		4.44		
		プラ+プラ容器	29			3.625		1		3.63	
	4	雑紙	142	200	16	8.875	2		4.44		
		プラ+プラ容器	58			3.625		1		3.63	

(2) システムフロー

システム (A) 及び (B) のフローは以下のとおりである。

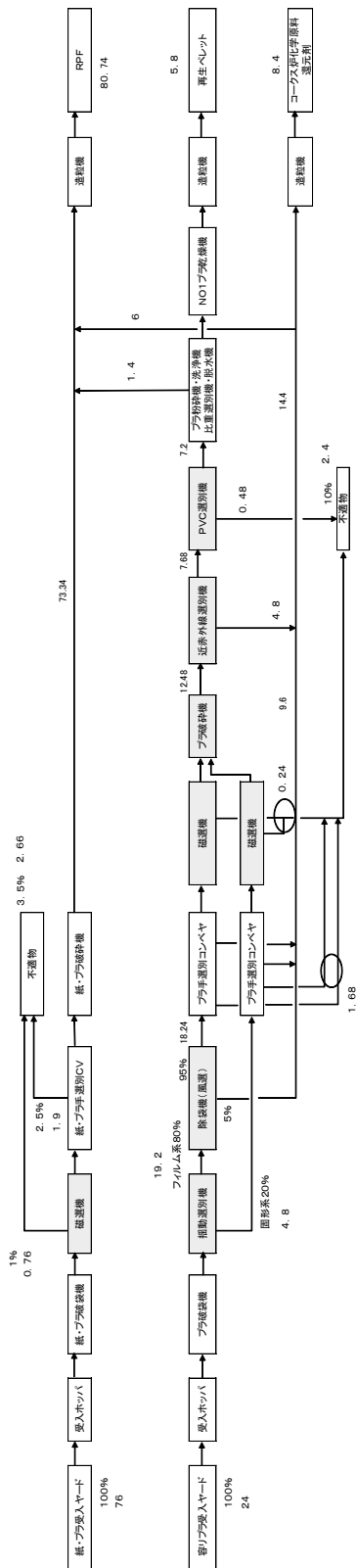


図3-29 システムフロー (A)

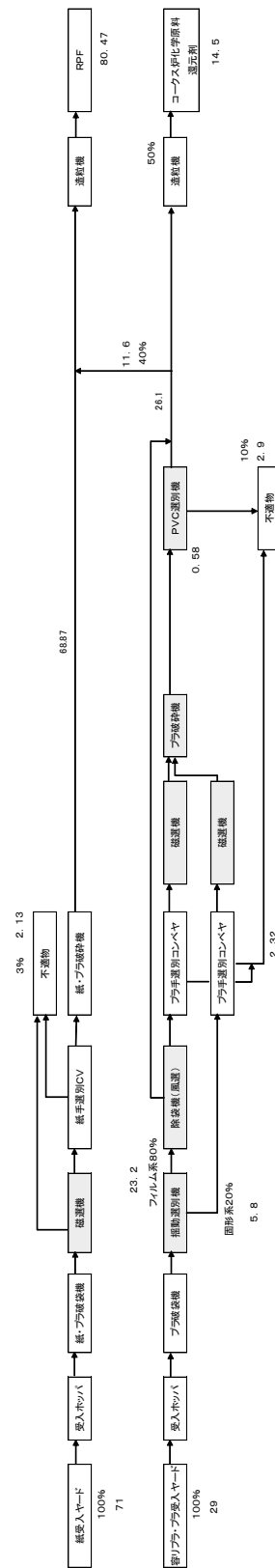


図3-30 システムフロー (B)

(3) 施設規模別費用およびCO₂排出量の検討

設定したシステムフロー及び施設規模ごとの建設・運転管理に係る費用、要員、用役量等をメーカーヒアリングにより、入手し施設規模ごとの費用およびCO₂排出量を検討整理した。その結果は表3-29～表3-34及び図3-31～図3-36に示すとおりである。

=システム(A)=

表3-29 スマート循環施設(A) 施設規模別費用 (施設償却年数:25年)

	ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
紙・プラ	19T/D	5,700T/Y	38T/D	11,400T/Y	76T/D	22,800T/Y	152T/D	45,600T/Y
容リプラ	6T/D	1,800T/Y	12T/D	3,600T/Y	24T/D	7,200T/Y	48T/D	14,400T/Y
施設規模	25	T/D	50	T/D	100	T/D	200	T/D
運転時間(h/日)	8		8		RPF:16、その他:8		16	
系列数 RPFライン	1		1		1		2	
還元材ライン	1		1		1		1	
再生ベルトライン	1		1		1		1	
運転日数	300		300		300		300	
①年間処理量	7,500	t/Y	15,000	t/Y	30,000	t/Y	60,000	t/Y
(建設費)								
施設建設費								
プラント工事	900,000 千円		900,000 千円		900,000 千円		1,320,000 千円	
土木建築工事	600,000 千円		600,000 千円		600,000 千円		880,000 千円	
合計	1,500,000 千円		1,500,000 千円		1,500,000 千円		2,200,000 千円	
②建設費年間費用	60,000 千円/年		60,000 千円/年		60,000 千円/年		88,000 千円/年	
重機(ショベルローダー)	2 台		4 台		5 台		7 台	
	15,200 千円		30,400 千円		38,000 千円		53,200 千円	
③重機年間費用	2,171 千円/年		4,343 千円/年		5,429 千円/年		7,600 千円/年	
④=②+③建設費(年間費用)	62,171 千円/年		64,343 千円/年		65,429 千円/年		95,600 千円/年	
(運転維持管理費)								
管理人員	3 人		3 人		3 人		3 人	
運転人員								
日勤	1 人		2 人		2 人		2 人	
1直	18 人		29 人		43 人		59 人	
2直	0 人		0 人		16 人		59 人	
計	22 人		34 人		64 人		123 人	
⑤要員人件費	99,000 千円/年		153,000 千円/年		288,000 千円/年		553,500 千円/年	
⑥施設補修点検費	21,000 千円/年		21,000 千円/年		21,000 千円/年		30,800 千円/年	
⑦運転用役費								
⑧電力基本料金	21,175 千円/年		21,175 千円/年		21,175 千円/年		25,790 千円/年	
⑨電気料金	24,663 千円/年		24,663 千円/年		31,335 千円/年		60,075 千円/年	
⑩上水道費用	106 千円/年		196 千円/年		470 千円/年		1,057 千円/年	
⑪工業用水費用	462 千円/年		911 千円/年		1,823 千円/年		3,645 千円/年	
⑫下水道料金	4,746 千円/年		9,951 千円/年		20,801 千円/年		42,479 千円/年	
⑬薬品費	2,425 千円/年		4,850 千円/年		9,700 千円/年		19,400 千円/年	
⑭排水汚泥処理費	5,472 千円/年		10,800 千円/年		21,600 千円/年		43,200 千円/年	
⑮重機燃料費	1,200 千円/年		2,400 千円/年		4,800 千円/年		9,600 千円/年	
⑯運転用役費 計	60,248 千円/年		74,947 千円/年		111,703 千円/年		205,246 千円/年	
⑰=⑤+⑥+⑦+⑧+⑨+⑩+⑪+⑫+⑬+⑭+⑮	154,386 千円/年		221,884 千円/年		384,568 千円/年		719,871 千円/年	
⑱=⑧+⑭	25,863 千円/年		27,063 千円/年		36,135 千円/年		69,675 千円/年	
⑲=⑱+⑰	180,248 千円/年		248,947 千円/年		420,703 千円/年		789,546 千円/年	
(建設費+運転管理費)年間費用								
⑲=⑱+⑰	216,557 千円/年		286,227 千円/年		449,997 千円/年		815,471 千円/年	
⑳=⑱	25,863 千円/年		27,063 千円/年		36,135 千円/年		69,675 千円/年	
㉑=⑲+⑳	242,420 千円/年		313,290 千円/年		486,131 千円/年		885,146 千円/年	
(建設費+運転管理費)ごみ1t当たり								
㉑/①	28,874 円/t		19,082 円/t		15,000 円/t		13,591 円/t	
㉒/①	3,448 円/t		1,804 円/t		1,204 円/t		1,161 円/t	
㉓/①	32,323 円/t		20,886 円/t		16,204 円/t		14,752 円/t	

表 3-30 運転要員内訳：システム(A)

配 置	業 務 内 容	ケース-1:25t/日/8h			ケース-2:50t/日/8h			ケース-3:100t/日/16h			ケース-4:200t/日/16h		
		人 員			人 員			人 員			人 員		
		日勤	1直	2直	日勤	1直	2直	日勤	1直	2直	日勤	1直	2直
事務室	所長・事務員	3			3			3			3		
プラットホーム	搬入車の誘導	1	-	-	2	-	-	2	-	-	2	-	-
	ショベルローダ運転操作 (投入作業)	-	1	-	-	2		-	2	2	-	3	3
中央操作室	プラント運転操作・監視	-	2	-	-	2		-	2	2	-	2	2
手選別室	不適物の除去、破袋補助	-	12	-	-	21		-	34	8	-	48	48
プラント全般	機器類の点検 プラント全般の監視	-	2	-	-	2		-	2	2	-	2	2
搬出室	ショベルローダ運転操作	-	1	-	-	2		-	3	2	-	4	4
合 計		4	18	-	5	29		5	43	16	5	59	59
		22			34			64			123		

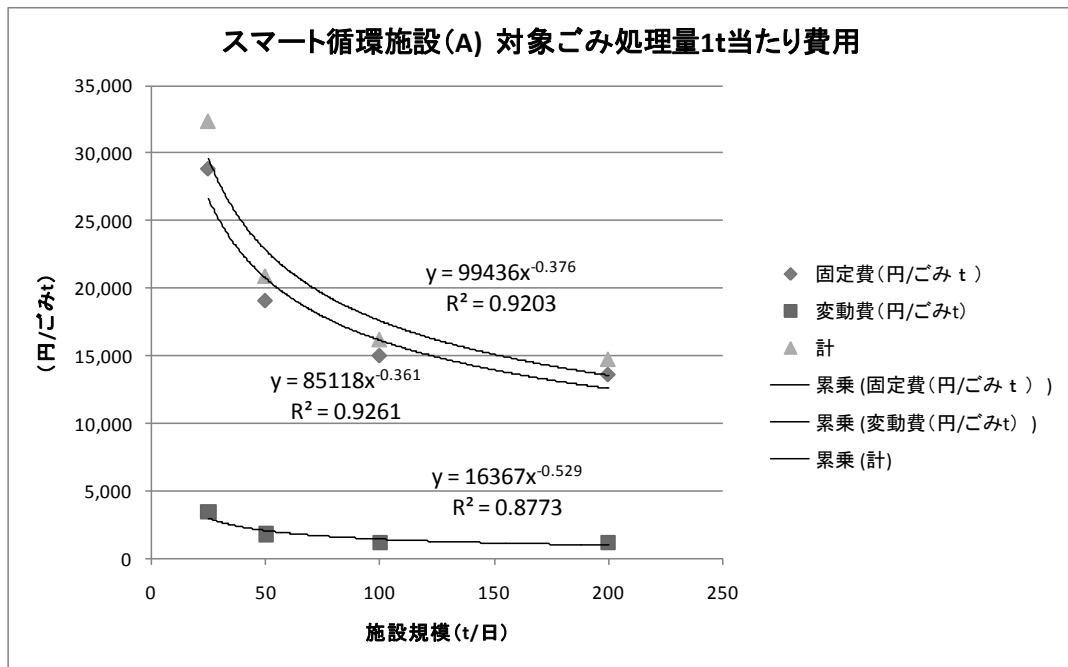


図 3-31 スマート循環施設 (A) ごみ処理量 1t 当たり費用関数

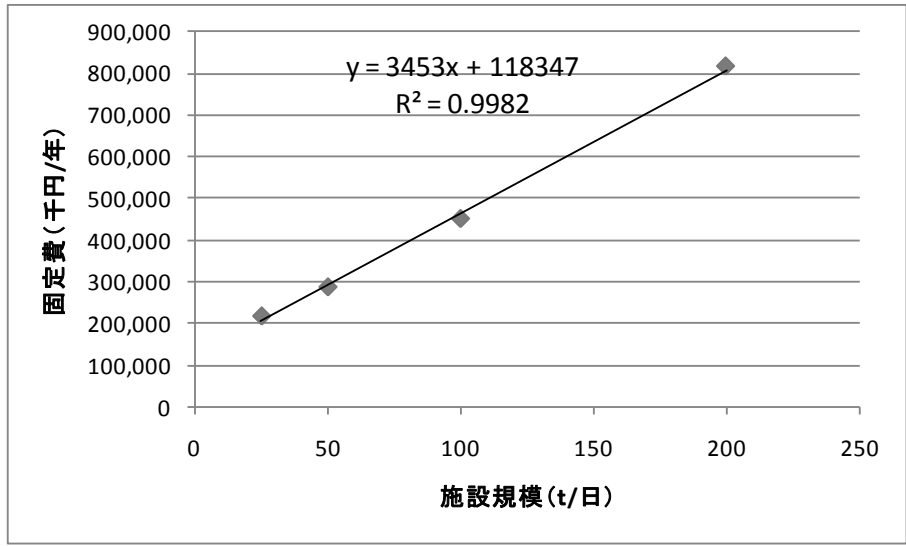


図 3-32 スマート循環施設 (A) 年間固定費用関数

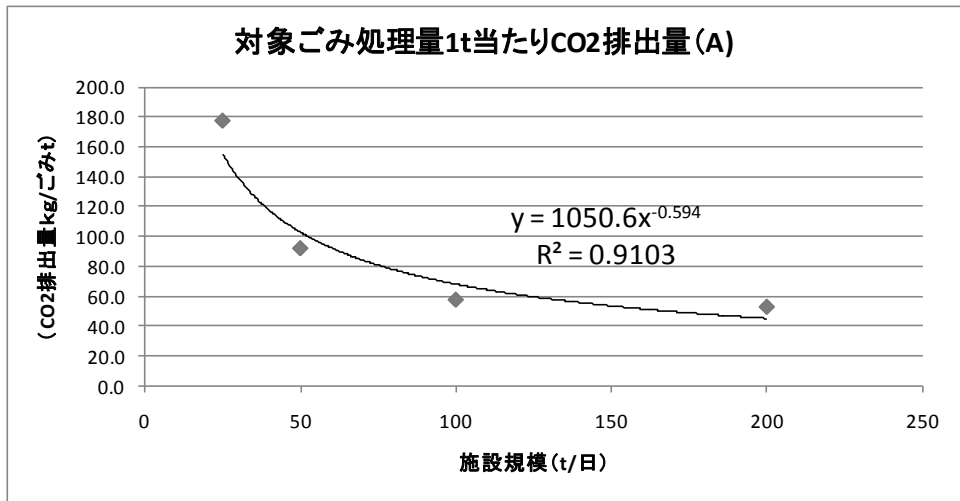


図 3-33 スマート循環施設 (A) ごみ 1t 当たり CO₂ 排出量関数

表 3-31 システム (A) CO₂ 排出量内訳

	ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
	187.0	5,700T/Y	387.0	11,400T/Y	787.0	22,800T/Y	1527.0	45,600T/Y
処理能力	8T/D	1,800T/Y	12T/D	3,600T/Y	24T/D	7,200T/Y	48T/D	14,400T/Y
施設規模	25	T/D	50	T/D	100	T/D	200	T/D
運転時間(h/日)	8		8		RPF:16, その他:8		16	
系列数	RPFライン: 1		1		1		2	
	還元材ライン: 1		1		1		1	
	真空ベルトライン: 1		1		1		1	
運転日数	300		300		300		300	
年間処理量	7,500	t/Y	15,000	t/Y	30,000	t/Y	60,000	t/Y
施設設備費	年間費用	ごみ1t当たり	年間費用	ごみ1t当たり	年間費用	ごみ1t当たり	年間費用	ごみ1t当たり
建設費(千円)	2,242,080	299	2,242,080	149	2,848,608	357	5,461,344	91
上水(m ³)	768	0.10	1,194	0.08	2,274	0.08	4,398	0.07
工業用水(m ³)	11,400	1.52	22,500	1.50	45,000	1.50	90,000	1.50
下水放流量(m ³)	12,168	1.62	23,694	1.58	47,274	1.58	94,398	1.57
物持ソーダ(24%) (kg)	4.0		4.0		4.0		4.0	
電気燃料(軽油)	1.8		1.8		1.8		1.8	
施設運営費	年間費用	ごみ1t当たり	年間費用	ごみ1t当たり	年間費用	ごみ1t当たり	年間費用	ごみ1t当たり
施設運営費(千円)	80,000	8.0	80,000	4.0	80,000	2.0	88,000	1.5
施設補修費(千円)	21,000	2.8	21,000	1.4	21,000	0.7	30,800	0.5
電費(千円)	2,171	0.3	4,343	0.3	5,429	0.2	7,800	0.1

*1: 都市ごみ処理システムの分析・計画・評価(技報堂出版)
 *2: 3EID1995データ(1-(1-M/A))-1: 150円/m³ × 2.330Mg-CO₂/百万円 = 0.35kg-CO₂/m³(生産者価格ないので150円/m³とした)

ごみ1t当たりCO₂排出量

排出源原単位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
0.425 kgCO ₂ /kWh	122.1	62.5	40.4	38.2
0.84 kgCO ₂ /m ³	0.1	0.1	0.0	0.0
0.35 kgCO ₂ /m ³	0.5	0.5	0.5	0.5
0.069 kgCO ₂ /m ³	0.1	0.1	0.1	0.1
0.138 kgCO ₂ /kg	0.6	0.6	0.6	0.6
2.82 kgCO ₂ /t	4.2	4.2	4.2	4.2
4.40 kgCO ₂ /千円	35.2	17.6	8.8	6.5
3.08 kgCO ₂ /千円	8.6	4.3	2.2	1.6
3.15 kgCO ₂ /千円	0.8	0.9	0.6	0.4
計(kgCO ₂ /ごみt)	177.2	81.8	57.3	52.8

*0: 算定報告マニュアルH21.3(東京電力)
 *1: 0.175 × 44/12
 *2: *0: 0.00088kgCH₄/m³ × 21 + 0.0081kgN₂O/m³ × 310
 *1: 150 × 44/12 / 1000 × 0.25
 *0: 算定報告マニュアルH21.3
 *1: 1.54 × 44/12(土木建築工事)
 *1: 0.84 × 44/12(整備補修)
 *1: 0.659 × 44/12

＝システム(B)＝

表 3-32 スマート循環施設 (B) 施設規模別費用 (施設償却年数:25年)

	ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
雑紙	17.75T/D	5,325T/Y	35.5T/D	10,650T/Y	71T/D	21,300T/Y	142T/D	42,600T/Y
プラ+容リプラ	7.25T/D	2,175T/Y	14.5T/D	4,350T/Y	29T/D	8,700T/Y	58T/D	17,400T/Y
施設規模	25	T/D	50	T/D	100	T/D	200	T/D
運転時間(h/日)	8		8		RPF:16、その他:8		16	
系列数	RPFライン		RPFライン		RPFライン		RPFライン	
	1		1		1		2	
	還元材ライン		還元材ライン		還元材ライン		還元材ライン	
	1		1		1		1	
	再生ペレットライン		再生ペレットライン		再生ペレットライン		再生ペレットライン	
	-		-		-		-	
運転日数	300		300		300		300	
①年間処理量	7,500	t/Y	15,000	t/Y	30,000	t/Y	60,000	t/Y
(建設費)								
施設建設費								
プラント工事	720,000	千円	720,000	千円	720,000	千円	1,080,000	千円
土木建築工事	480,000	千円	480,000	千円	480,000	千円	720,000	千円
合計	1,200,000	千円	1,200,000	千円	1,200,000	千円	1,800,000	千円
②建設費年間費用	48,000	千円/年	48,000	千円/年	48,000	千円/年	72,000	千円/年
	2台		4台		5台		7台	
重機(ショベルローダー)	15,200	千円	30,400	千円	38,000	千円	53,200	千円
③重機年間費用	2,171	千円/年	4,343	千円/年	5,429	千円/年	7,600	千円/年
④=②+③建設費(年間費用)	50,171	千円/年	52,343	千円/年	53,429	千円/年	79,600	千円/年
(運転維持管理費)								
管理人員	3人		3人		3人		3人	
運転人員								
	日勤		日勤		日勤		日勤	
	1人		2人		2人		2人	
	1直		1直		1直		1直	
	13人		21人		28人		35人	
	2直		2直		2直		2直	
	0人		0人		13人		35人	
計	17人		26人		46人		75人	
⑤要員人件費	76,500	千円/年	117,000	千円/年	207,000	千円/年	337,500	千円/年
⑥施設補修点検費	16,800	千円/年	16,800	千円/年	16,800	千円/年	25,200	千円/年
⑦運転用役費								
⑧電力基本料金	9,425	千円/年	9,425	千円/年	9,425	千円/年	14,039	千円/年
⑨電気料金	10,977	千円/年	10,977	千円/年	16,779	千円/年	32,703	千円/年
⑩上水道費用	71	千円/年	136	千円/年	306	千円/年	577	千円/年
⑪工業用水費用	12	千円/年	12	千円/年	24	千円/年	49	千円/年
⑫下水道料金	213	千円/年	289	千円/年	668	千円/年	1,393	千円/年
⑬薬品費	725	千円/年	1,450	千円/年	2,900	千円/年	5,800	千円/年
⑭排水汚泥処理費	0	千円/年	0	千円/年	0	千円/年	0	千円/年
⑮重機燃料費	1,200	千円/年	2,400	千円/年	4,800	千円/年	9,600	千円/年
⑯運転用役費 計	22,623	千円/年	24,690	千円/年	34,902	千円/年	64,161	千円/年
⑰=⑤+⑥+⑦+⑧+⑨+⑩+⑪+⑫+⑬+⑭+⑮	103,746	千円/年	145,113	千円/年	237,123	千円/年	384,558	千円/年
⑱=⑧+⑭	12,177	千円/年	13,377	千円/年	21,579	千円/年	42,303	千円/年
⑲=⑱+⑰	115,923	千円/年	158,490	千円/年	258,702	千円/年	426,861	千円/年
(建設費+運転管理費)年間費用								
⑲=④+⑲	153,917	千円/年	197,455	千円/年	290,551	千円/年	464,158	千円/年
⑳=⑱	12,177	千円/年	13,377	千円/年	21,579	千円/年	42,303	千円/年
㉑=⑲+⑳	166,094	千円/年	210,833	千円/年	312,131	千円/年	506,461	千円/年
(建設費+運転管理費)ごみ1t当たり								
㉑/①	20,522	円/t	13,164	円/t	9,685	円/t	7,736	円/t
㉒/①	1,624	円/t	892	円/t	719	円/t	705	円/t
㉓/①	22,146	円/t	14,056	円/t	10,404	円/t	8,441	円/t

25年償却

7,600千円/台

7年償却

4,500千円/人年

建設費の1.4%

表 3-33 運転要員調書

配 置	業 務 内 容	ケース-1:25t/日/8h			ケース-2:50t/日/8h			ケース-3:100t/日/16h			ケース-4:200t/日/16h		
		日勤	1直	2直	日勤	1直	2直	日勤	1直	2直	日勤	1直	2直
事務室	所長・事務員	3			3			3			3		
(B) プラットホーム	搬入車の誘導	1	—	—	2	—	—	2	—	—	2	—	—
	ショベルローダ運転操作 (投入作業)	—	1	—	—	2	—	—	2	2	—	3	3
中央操作室	プラント運転操作・監視	—	2	—	—	2	—	—	2	2	—	2	2
手選別室	不適物の除去、破袋補助	—	7	—	—	13	—	—	19	5	—	24	24
プラント全般	機器類の点検 プラント全般の監視	—	2	—	—	2	—	—	2	2	—	2	2
搬出室	ショベルローダ運転操作	—	1	—	—	2	—	—	3	2	—	4	4
合 計		4	13	—	5	21	—	—	5	28	13	5	35
		17			26			46			75		

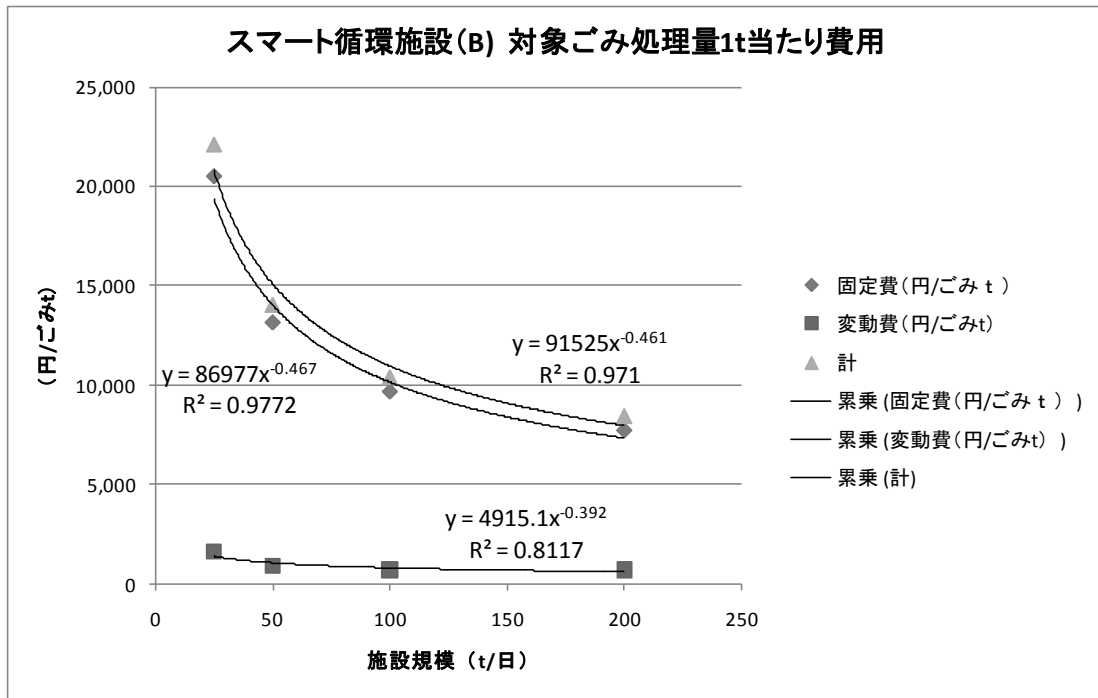


図 3-34 スマート循環施設 (B) ごみ処理量 1t 当たり費用関数

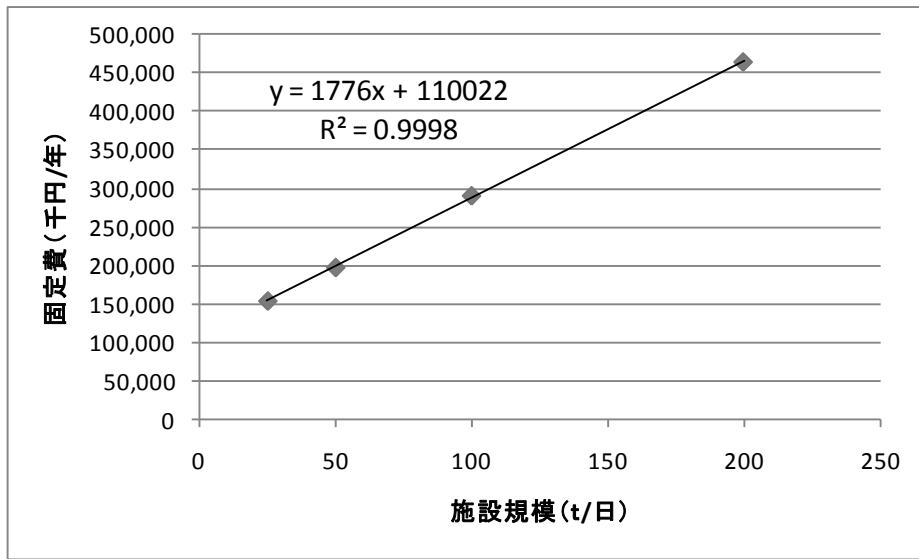


図 3-35 スマート循環施設 (B) 年間固定費用関数

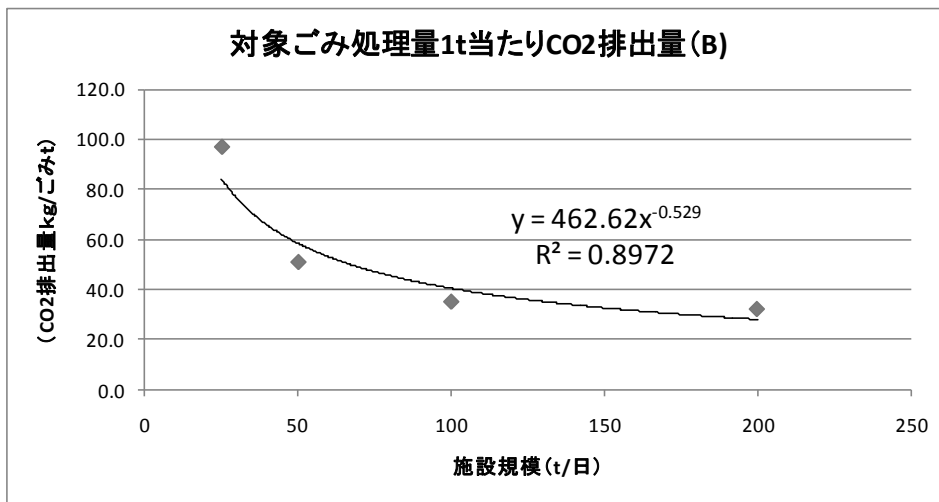


図 3-36 スマート循環施設 (B) ごみ 1t 当たり CO₂ 排出量関数

表 3-34 システム (B) CO₂ 排出量内訳

	ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
	年間使用量	ごみ1t当たり	年間使用量	ごみ1t当たり	年間使用量	ごみ1t当たり	年間使用量	ごみ1t当たり
運転日数	300	300	300	300	300	300	300	300
年間処理量	7,500 t/Y	15,000 t/Y	30,000 t/Y	60,000 t/Y	30,000 t/Y	60,000 t/Y	60,000 t/Y	60,000 t/Y
固定費(千円)	28,000	48,000	48,000	72,000	16,800	25,200	16,800	25,200
変動費(千円)	2,171	4,343	4,343	8,686	4,343	8,686	4,343	8,686

*1: 都市ごみ処理システムの分析・計画・評価(技術堂出版)
 *2: 3EED1995第一号1-(1-M/A)-1: 150円/m³ × 2.330Mg-CO₂/百万円=0.35kg-CO₂/m³(生産者価格なので150円/m³とした)

ごみ1t当たりCO₂排出量

排出量原単位	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
0.423 kgCO ₂ /kWh	56.5	28.3	21.8	21.1
0.84 kgCO ₂ /m ³	0.1	0.0	0.0	0.0
0.33 kgCO ₂ /m ³	0.0	0.0	0.0	0.0
0.069 kgCO ₂ /m ³	0.0	0.0	0.0	0.0
0.138 kgCO ₂ /kg	0.0	0.0	0.0	0.0
2.82 kgCO ₂ /t	4.2	4.2	4.2	4.2
4.40 kgCO ₂ /千円	28.2	14.1	7.0	5.3
3.08 kgCO ₂ /千円	6.8	3.4	1.7	1.3
3.15 kgCO ₂ /千円	0.9	0.9	0.9	0.4
合計(kgCO ₂ /ごみt)	94.8	51.0	35.2	32.8

*1: 1.54 × 44/12(土木建築工事)
 *1: 0.84 × 44/12(整備補修)
 *1: 0.859 × 44/12

3.3.2 スマート資源循環地域拠点のプロセス設計と評価

(1) グリッドシティモデル

スマート資源循環は、資源代替量の向上による原燃料コストの削減や、その利用に伴うCO₂排出の削減、焼却処理コストの削減等が期待される一方、地域循環拠点の整備や運用、また分別収集の増加による収集・運搬費用の増加、拠点から動脈産業への長距離輸送などのコストが追加的に必要となる。輸送プロセスがCO₂排出に与える影響は多くの場合軽微であるため、主な検討要素は、コストがどのように増加・減少するかである。これには、適切な規模でスマート資源循環の地域拠点を導入するための検討が必要である。

具体的な地域への導入を検討する前段階として、グリッドモデルを作成し、地域拠点をどのようなスケールの地域（地域クラスター）に導入すると、収集・運搬距離がどのように変化するかを求める。このとき、地域拠点導入以前の焼却処理や、既の実施されているリサイクルのための、収集運搬距離からの変化を算出する。同時に、リサイクルや処理に伴う環境負荷を算定する。収集運搬距離の導出に当たっては、Ishikawa(1996)によるグリッドシティモデル（GCM）をベースに使用する。GCMは収集エリアの形状を正方形に仮定するが、グリッドモデルにおいては、複数の既存焼却処理施設にまたがる地域を地域クラスターに想定する可能性がある。正方形の集合体は正方形とは限らないため、計算が離散的とならないための仮定をした上で計算を行う。

図 3-37 にグリッドモデルの計算フレームを示す。

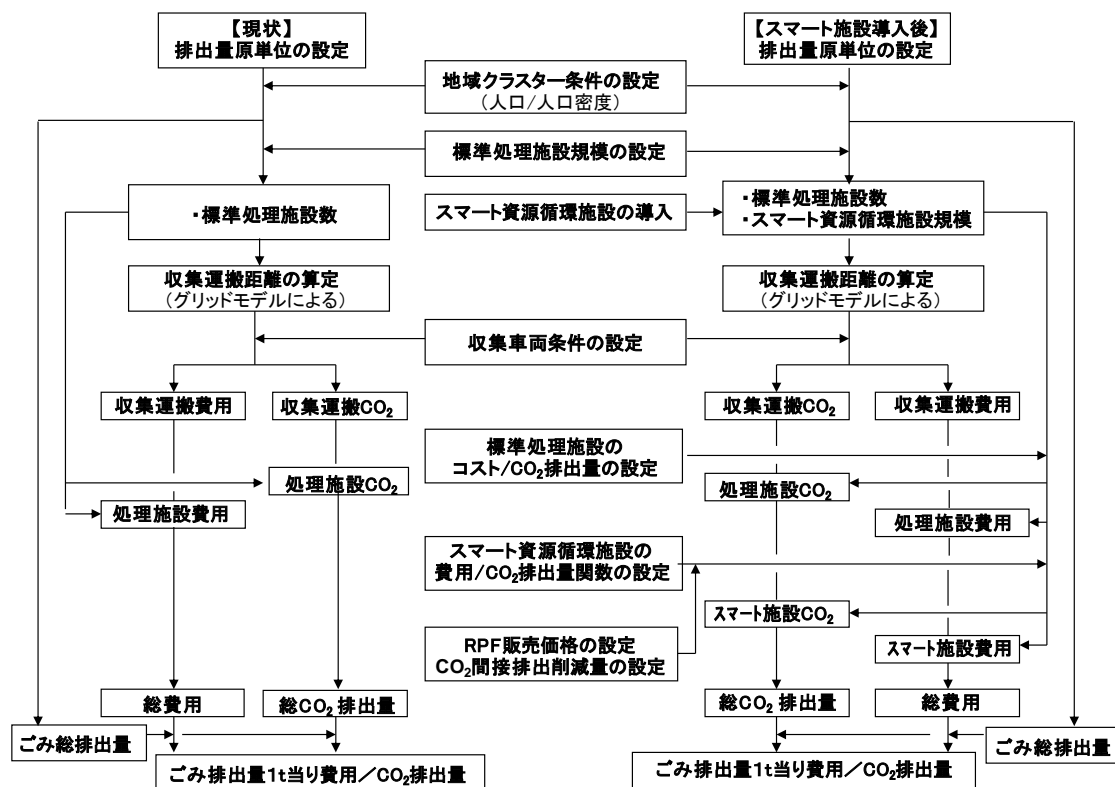


図 3-37 グリッドモデルの計算フレーム

① グリッドモデルシミュレーション条件

グリッドモデルにおけるシミュレーションは、クラスター内における可住地面積当りの人口密度と人口を変化させて、クラスターの最適規模を検討する。

シミュレーションパラメーターは下記のように設定した。

表 3-35 シミュレーション条件

(設定条件)

地域循環圏基礎条件		
地域循環圏人口		25~800 万人
地域循環圏人口密度: 可住面積当り		500~8000 人/km ²
地域循環圏面積		31~16,000 km ²
ごみ排出量		
家庭系ごみ排出量原単位		310 kg/人・年
地域循環圏内ごみ排出量		77,500~2,480,000 t/年
ごみステーション1ヶ所当り人口		50 人
処理施設		
焼却施設		
標準能力		150 t/日
稼働率		0.7
収集可燃ごみ受入割合		0.9
紙(分別)選別・梱包施設		
標準能力		15 t/日
稼働率		0.7
プラ容器(分別)選別・圧縮・梱包施設		
標準能力		5 t/日
稼働率		0.7
プラ+雑紙(分別): RPF施設		
標準能力		36 t/日
稼働率		0.7
収集 頻度	可燃ごみ (2回/週)	3.5
	紙(分別) (2回/月)	15
	プラ容器(分別) (1回/週)	7
	プラ+雑紙(分別) (2回/週)	3.5
処理 施設 受入 能力 (t/年)	可燃ごみ: 焼却施設	34,490 t/年
	紙(分別): 梱包施設	3,830 t/年
	プラ容器(分別): 圧縮梱包施設	1,280 t/年
	プラ+雑紙(分別)	9,200 t/年

CO₂排出原単位

軽油	2.62	CO ₂ -kg/円	排出係数一覧 参考1
プラ焼却	2.69	CO ₂ -t/プラt	排出係数一覧 別表4
紙圧縮梱包	10	kg-CO ₂ /ごみt	川崎: 入江崎の値
プラ圧縮梱包	19	kg-CO ₂ /ごみt	川崎: RPあさおの値
RPF施設	25	kg-CO ₂ /ごみt	仮定値
施設建設	4.4	kg-CO ₂ /千円	1.2kg-c/千円 × (44/12)

再商品化によるCO2削減量

材料リサイクル	0.3	kg-CO ₂ /容リ7kg	プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討(概要版) 平成19年6月 (財)日本容器包装リサイクル協会
油化	1.2	kg-CO ₂ /容リ7kg	
高炉還元剤	2.5	kg-CO ₂ /容リ7kg	
コークス炉化学原料	3.2	kg-CO ₂ /容リ7kg	
ガス化	0.8	kg-CO ₂ /容リ7kg	
RPF(セメント)	2.7	kg-CO ₂ /容リ7kg	

可燃ごみ中のプラ混入率

	混入率(%)	(プラ)kg/人年	(可燃ごみ)kg/人年
導入前(現状)	10.4	29	278
導入後	3.3	6	184

排出原単位内訳(kg/人年)

	導入前	導入後
可燃ごみ	278	184
紙(分別)	26	69
プラ容器(分別)	6	24
プラ+雑紙(分別)		33 (プラ5、紙28)
計	310	310

収集車諸元

	積載量(t/台)	燃費(l/km)	
収集車諸元	1.2	0.25	2t/パッカー車
	1.8	0.25	2t平ボディ
	0.5	0.25	2t/パッカー車
	1.2	0.25	2t/パッカー車
	7.9	0.5	10tコンテナ

中間処理施設運転管理費

施設種別	施設規模(t/d)	人件費(千円/年)		補修費(千円/年)		用役費(千円/年)	重機償却費(千円/年)	売電収入(千円/年)	計(千円/年)
		要員数(人)	1人当たり人件費(千円/人・年)	建設費(百万円)	補修費率(%)				
焼却施設	150	234,000		262,040		72,248		57,764	510,524
		39	6,000	6,551	4.0				
紙類圧縮梱包施設	18	24,000		10,027			1,586		35,613
		4	6,000	271	3.7				
プラ圧縮梱包施設	5	60,000		18,144			1,586		79,730
		10	6,000	1,296	1.4				

中間処理施設建設費

施設種別	施設規模(t/d)	建設費算出施設規模(t/d)	建設費(百万円)	規模単価(千円/t)	耐用年数	施設建設固定費(百万円)(建設費/耐用年数)
焼却施設	150	150	6,551	43,673	25	262
紙類圧縮梱包施設	18	18	271	15,056	25	11
プラ圧縮梱包施設	5	32	1,296	40,500	25	8

プラ・紙分別後 焼却施設運転管理費

人件費 (千円/ 年)	補修費 (千円/ 年)	用役費 (千円/年)	重機償却 費 (千円/年)	売電収入 (千円/年)	計 (千円/ 年)
234,000	262,040	62,577			558,617

ペレット化施設運転管理費

ペレット化	52,000	円/t
-------	--------	-----

スマート資源循環施設運転管理費

スマート	算定式	円/t	施設償却・補修費含む
------	-----	-----	------------

② 計算モデル

- ・地域クラスター（1つのスマート資源循環施設で統合化する範囲）の設定

地域クラスター面積（可住地面積）：S（km²）

人口密度：D（人/km²）=P/S

人口：P（人） P=D×S

- ・受入施設の設定

焼却炉、選別施設などそれぞれに設定。

受入施設キャパシティ：C_{j_fac}（kg/年） j:施設の種類の

- ・ごみ発生（回収）量の設定

分別収集するごみの種類ごとに設定。

ごみ排出原単位：W_{i_per}（kg/年/人） i:ごみの種類 ⇒ 年間排出量/人口

地域内のごみ排出量：W_i（kg/年） W_i=W_{i_per}×P=W_{i_per}×D×S

- ・収集頻度、ステーション、収集車の設定

分別収集するごみの種類ごとに設定

収集頻度：f_{i_col}（1/年）

ステーション構成人数：P_{i_sta}（人）=ステーション数/人口

地域クラスター内ステーション数：n_{i_sta}（-）
$$n_{i_sta} = \frac{P}{P_{i_sta}} = \frac{D \times S}{P_{i_sta}}$$

ステーション間距離：l_{i_sta}（km）
$$l_{i_sta} = \sqrt{\frac{S}{n_{i_sta}}} = \sqrt{\frac{P_{i_sta}}{D}}$$

収集1回、1ステーションあたりごみ排出（収集）量：W_{i_sta}（kg）

$$W_{sta} = \frac{W_i}{f_{col} \times n_{sta}} = \frac{W_{i_per} \times P_{i_sta}}{f_{i_col}}$$

収集車積載量： B_{i_ct} (kg)

収集1回(1トリップ)あたり収集車移動ステーション数： m_{i_ct} (-)

$$m_{i_ct} = \frac{B_{i_ct}}{W_{i_sta}} = \frac{B_{i_ct} \times f_{i_col}}{W_{i_per} \times P_{i_sta}}$$

年間収集車総トリップ数： T_{i_col} (1/年) $T_{i_col} = \frac{W_i}{B_{i_ct}} = \frac{W_{i_per} \times D \times S}{B_{i_ct}}$

・施設数の計算

複数のごみ区分を受け入れる施設は、それらの総和をキャパシティで割り算する。
施設数には少数値を許容する。

地域クラスター内の施設数： N_{j_fac} (-) $N_{j_fac} = \frac{\Sigma W_i}{C_{j_fac}} = \frac{\Sigma W_{i_per} \times D \times S}{C_{j_fac}}$

・収集運搬距離の計算

分別収集するごみの種類毎に計算する。

パッカー車等が収集ブロック内の各ステーションを回る“収集”と収集ブロックから施設まで輸送する“運搬”とに分けて計算する。グリッドシティモデルに倣って、ステーションは碁盤の目状に等間隔に並んでいるものとする。地域クラスター内の各施設に対応する収集エリアの、1トリップの平均運搬距離(片道)は、正方形を仮定したエリア面積の1辺の長さとする。(1、4、9など、地域クラスター内の施設数が自然数の2乗になる場合以外でも、この想定は近似的に成り立つものと仮定する。)

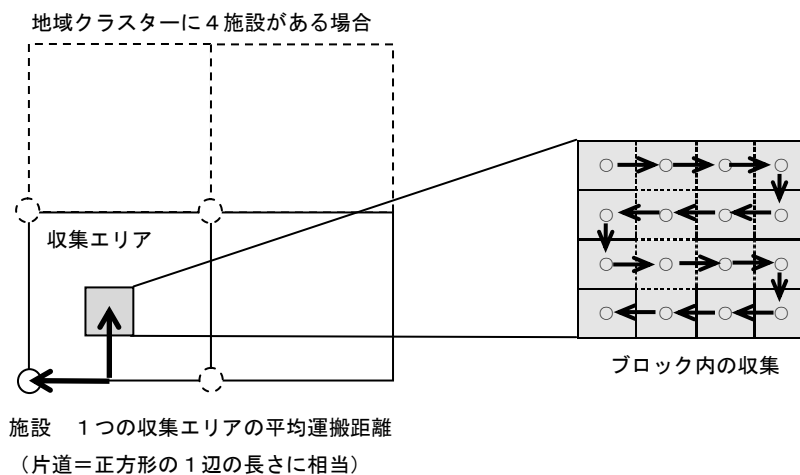


図 3-38 モデルの概念図

年間収集距離： L_{i_c} (km/年) $L_{i_c} = l_{i_sta} \times m_{i_c} \times T_{i_col} = \sqrt{\frac{D}{P_{i_sta}}} \times f_{i_col} \times S$

年間運搬距離： L_{i_t} (km/年)

1つの施設に対応する面積 $\frac{S}{N_{j_fac}} = \frac{C_{j_fac}}{\Sigma W_{i_per} \times D}$ (km²)

1つの施設の1トリップ平均運搬距離(往復)は $2 \times \sqrt{\frac{C_{j_fac}}{\Sigma W_{i_per} \times D}}$ (km)

従って、

$$L_{i_t} = 2 \times \sqrt{\frac{C_{j_fac}}{\Sigma W_{i_per} \times D}} \times T_{i_col} = 2 \times \sqrt{\frac{C_{j_fac} \times D}{\Sigma W_{i_per}}} \times \frac{w_{i_per} \times S}{B_{j_ct}}$$

【スマート資源循環施設導入“前”】

総収集・運搬距離： L_i (km/年)

$$L_i = L_{i_c} + L_{i_t} = \sqrt{\frac{D}{P_{i_sta}}} \times f_{i_col} \times S + 2 \times \sqrt{\frac{C_{j_fac} \times D}{\Sigma W_{i_per}}} \times \frac{w_{i_per} \times S}{B_{j_ct}}$$

単位ごみ量あたりの収集・運搬距離： L_{i_gar} (km/kg)

$$L_{i_gar} = \frac{L_i}{W_j} = \sqrt{\frac{1}{P_{i_sta} \times D}} \times \frac{f_{i_col}}{w_{i_per}} + 2 \times \sqrt{\frac{C_{j_fac}}{\Sigma W_{i_per} \times D}} \times \frac{1}{B_{j_ct}}$$

【スマート資源循環施設導入“後”】

地域クラスターに1つのスマート資源循環施設を導入した場合、 $N_{i_fac} = 1$ より、

$C_{j_fac} = \Sigma W_{i_per} \times D \times S$ であるため、

$$L_i^{smt} = L_{i_ch} + L_{i_th} = \sqrt{\frac{D}{P_{i_sta}}} \times f_{i_col} \times S + 2 \times \sqrt{S \times (D \times S)} \times \frac{w_{i_per}}{B_{j_ct}} \text{ (km/年)}$$

単位ごみ量あたりの収集・運搬距離は、

$$L_{i_gar}^{smt} = \frac{L_i^{smt}}{W_j} = \sqrt{\frac{1}{P_{i_sta} \times D}} \times \frac{f_{i_col}}{w_{i_per}} + 2 \times \sqrt{S} \times \frac{1}{B_{j_ct}} \text{ (km/kg)}$$

収集・運搬に伴う CO₂ の排出量等の計算には、上記“ごみ量あたりの輸送距離”の差を用いる。

これにより、全体の計算もごみ量あたりの原単位で実施し、比較検討することが可能となる。

(2) スマート資源循環地域拠点の評価

既存の焼却施設や選別保管施設の規模を一定とした適正評価モデルによって、人口と人口密度を変化させた場合の CO₂ 排出量とごみ処理コストを算出した。

スマート循環施設導入により主にプラスチック類の焼却回避による CO₂ 削減効果が得られ、コストについては施設整備費のスケールメリットと収集運搬効率から、高人口密度地域ほど低コストとなり、かつ最適な規模が存在することが明らかとなった。

表 3-36 クラスター面積当りの CO₂ 排出量

収集・処理・再商品化		(kg-CO ₂ /ごみ排出t)				
面積(km ²)	500	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000
現状(人口密度500)	292.9	292.9	292.9	292.9	292.9	292.9
現状(人口密度1000)	287.1	287.1	287.1	287.1	287.1	287.1
現状(人口密度2000)	283.0	283.0	283.0	283.0	283.0	283.0
現状(人口密度4000)	280.1	280.1	280.1	280.1	280.1	280.1
現状(人口密度8000)	278.0	278.0	278.0	278.0	278.0	278.0
導入後(人口密度500)	-138.6	-140.4	-136.8	-127.5	-111.6	-87.3
導入後(人口密度1000)	-148.3	-152.0	-151.0	-145.5	-134.9	-118.2
導入後(人口密度2000)	-155.1	-160.2	-161.1	-158.2	-151.5	-140.1
導入後(人口密度4000)	-160.0	-166.0	-168.2	-167.3	-163.2	-155.6
導入後(人口密度8000)	-163.4	-170.0	-173.2	-173.6	-171.5	-166.6

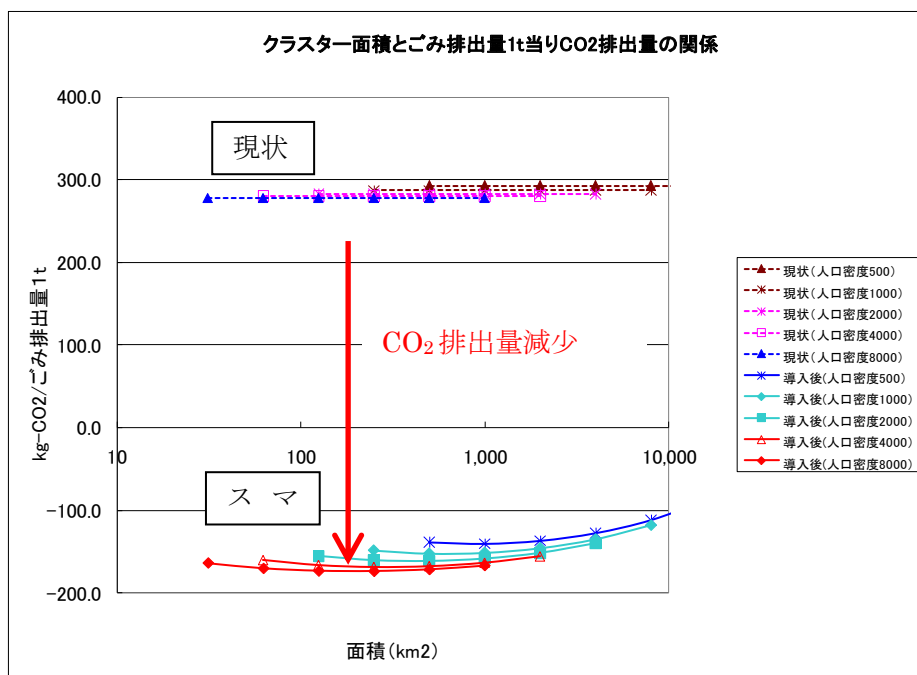


図 3-39 クラスター面積とごみ排出量 1t 当り CO₂ 排出量の関係

表 3-37 ごみ排出量当りのコスト

人口(万人)	ごみ排出量1t当たり年間収集運搬費+中間処理施設建設・維持管理費					
	25	50	100	200	400	800
現状(人口密度500)	32,215	32,213	32,213	32,213	32,213	32,213
現状(人口密度1,000)	29,992	29,992	29,992	29,993	29,992	29,992
現状(人口密度2,000)	28,445	28,446	28,446	28,446	28,446	28,446
現状(人口密度4,000)	27,348	27,347	27,345	27,346	27,346	27,346
現状(人口密度8,000)	26,552	26,552	26,552	26,552	26,552	26,552
導入後(人口密度500)	33,187	33,681	35,287	38,250	42,858	49,920
導入後(人口密度1,000)	30,061	30,012	30,827	32,679	35,831	40,585
導入後(人口密度2,000)	27,884	27,425	27,698	28,759	30,801	34,099
導入後(人口密度4,000)	26,308	25,589	25,450	25,969	27,220	29,409
導入後(人口密度8,000)	25,221	24,291	23,893	24,001	24,710	26,107

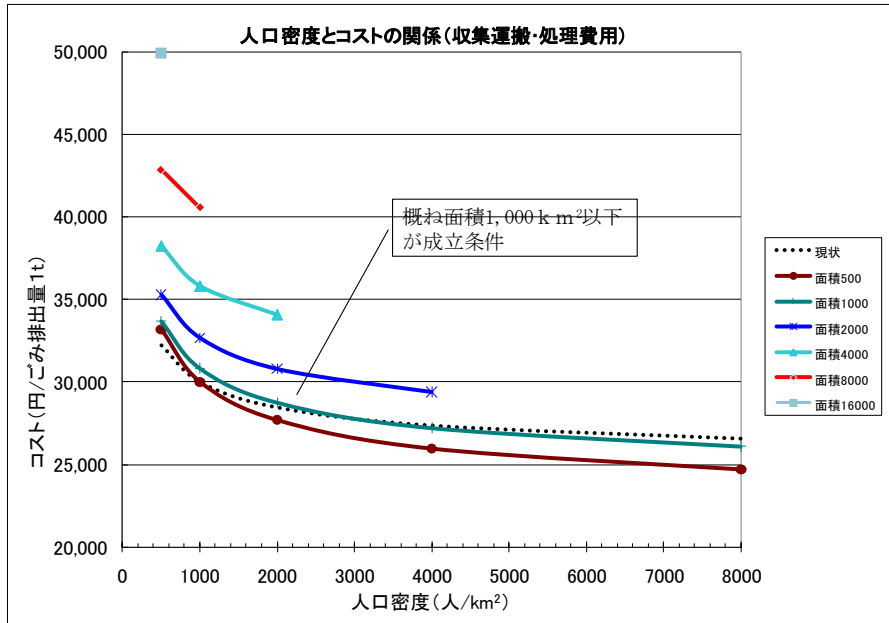


図 3-40 人口密度とコストの関係

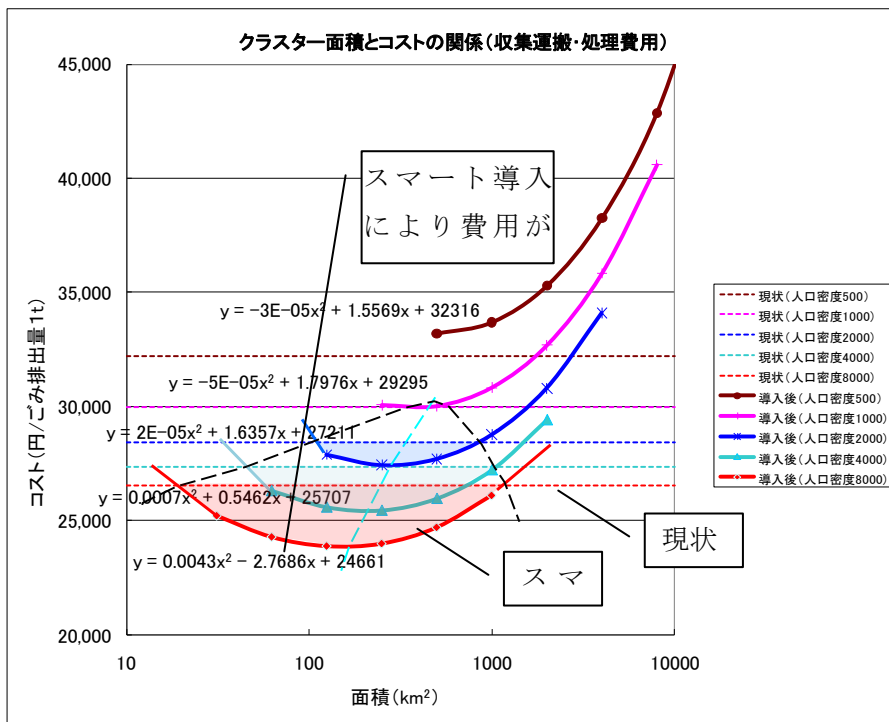


図 3-41 クラスタ面積とコストの関係

我が国の平成 20 年度の GHG 総排出量は 12 億 8200 万 t/年、一般廃棄物の総排出量は 48106 千 t/年である。

スマート施設を人口 100 万人、可住地面積当たりの人口密度 4000 人の都市（千葉市が近似）に導入したとすると、スマート施設導入によるごみ t 当たりの CO₂ 削減量は約 450kg/t である。これを我が国の一般廃棄物総排出量に乗じると、CO₂ 削減量は 2164 万 t となり、

GHG 総排出量の約 1.7%に相当する削減効果が得られる。

現状ではスマート施設を低人口密度地域に導入することはコスト的に難しいものと考えられるが、仮に我が国の総人口に占める 60%の地域でスマート施設が導入されたとすると、日本の GHG 排出量の約 1%が削減されることとなる。

スマート施設導入により、最大で日本の GHG 排出量の約 1%に相当する追加的削減効果が得られ、費用は可住地当りの人口密度やクラスター面積の違いによる地域特性に依存するものの、スマート施設導入前後で概ね同程度である。

図 3-42 にスマート施設導入による費用構造の変化を示す。

- リサイクルのための費用増と、焼却処理費の削減は概ね同等である。
- 輸入資源である石炭の削減分だけ国内に経済的メリットが生ずる。
- 固形原・燃料の買い取り制度等による利益の適切な配分によって、地域経済を活性化することが可能となる。

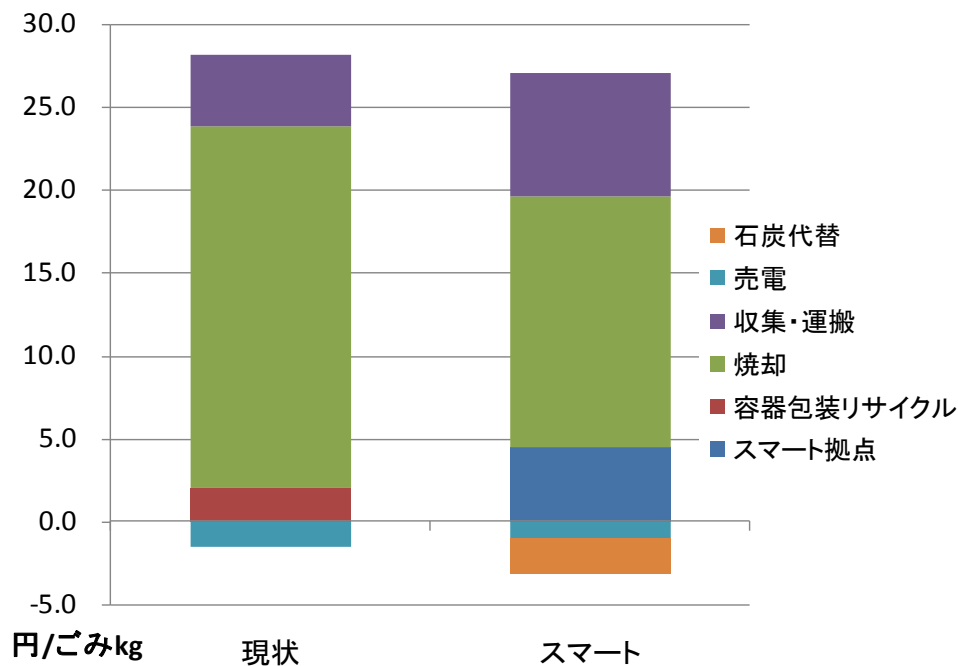


図 3-42 スマート施設導入による費用構造の変化

参考文献

- 1) 平成 19 年度容器包装リサイクル法に基づく市町村の分別収集及び再商品化の実績（白色トレイを除く）（環境省）<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=10335>
- 2) 中央環境審議会プラスチック製容器包装に係る再商品化手法専門委員会（合同会合）第 8 回会議資料 3
- 3) (財)容器包装リサイクル協会 HP

<http://www.jcpra.or.jp/recycle/recycling/recycling13/index.html#link-target03>

- 4) (社)プラスチック処理促進協会：プラスチックリサイクルの基礎知識
<http://www.pwmi.or.jp/pk/>
- 5) 栃木県リサイクル製品認定制度 HP
- 6) (財)石炭エネルギーセンター：石炭情報システム (Coal Information 2006)
- 7) 日本エネルギー経済研究所、エネルギー・経済統計要覧
- 8) 鉄鋼統計要覧 2006
- 9) セメント新聞社：セメント年鑑、第 60 巻、平成 20 年版
- 10) 鉄鋼新聞社：鉄鋼年鑑、平成 20 年度版
- 11) 環境影響評価情報支援ネットワーク アセスメント事例 磯子火力発電所 事業概要
- 12) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果 (平成 18 年度調査結果)
- 13) 西野雅明、立福輝生、宮越靖宏：JFE 次世代ストーカ炉「ハイパー21 ストーカシステム」、JFE 技報 No.3 pp.6-13 (2004 年 3 月)
- 14) JFE エンジ HP：http://www.jfe-eng.co.jp/technology/technology_stoker.html
- 15) (財)日本容器包装リサイクル協会：プラスチック容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討 (平成 19 年 6 月)
- 16) 三好史洋、清水益人、丸島弘也：川鉄サーモセレクト方式による廃棄物ガス化溶融プロセス、川崎製鉄技報、Vol.32, No.4, pp.267-291 (2000)
- 17) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価～マテリアルフロー・LCA 計画プログラム～、技報堂出版 (2005)
- 18) 環境省：容器包装廃棄物の使用・排出実態調査