

第 6 章 残渣处理計画

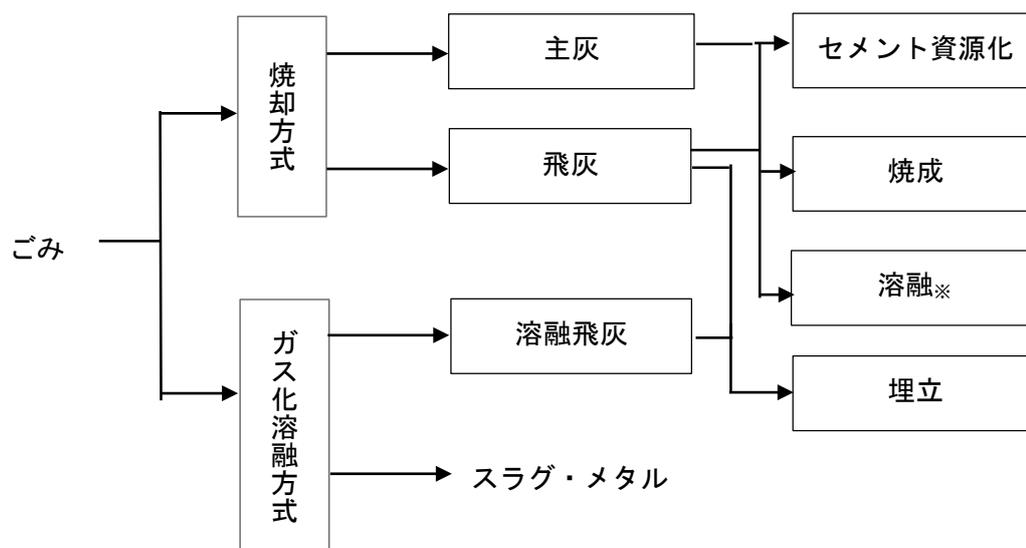
第6章 残渣処理計画

第1節 焼却灰の種類

ごみを焼却処理することに伴い、主灰及び飛灰が発生する。

また、ごみ、主灰、又は飛灰を溶融することで、スラグ・メタルが得られ、溶融飛灰が発生する。

本項では、焼却灰の処理方法について整理する。



※溶融後、溶融飛灰、スラグ・メタルが発生する。

図 6-1 焼却灰等の種類

第2節 焼却灰の処理方法の分類

焼却灰の処理方法の分類を表 6-1 に示す。

表 6-1 焼却灰の処理方法の分類

処理方法	回収資源	処理対象		
		主灰	飛灰	溶融飛灰
セメント資源化	普通セメント	○	△	△
焼成	人工砂	○	○	△
溶融	溶融スラグ、溶融メタル	○	○	△

※△：受入条件は、民間事業者によって異なることが想定されるため、処理委託できない可能性がある。

第3節 焼却灰の処理技術の概要

3.1 普通セメント化技術の概要

処理方法	普通セメント化							
処理フロー								
技術概要	<p>焼却灰を前処理として、金属や大塊物等の異物除去や脱塩素処理等を行った焼却残渣(焼却主灰、焼却飛灰)の主成分は、酸化カルシウム(CaO)、二酸化ケイ素(SiO₂)、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化第二鉄(Fe₂O₃)、三酸化硫黄(SO₃)の5つのセメント主原料(石灰石、粘土、けい石、酸化鉄、せっこう)と同じ化学組成成分を含むため、セメント原料として、主原料と混合、焼成し普通セメントとするものである。</p> <p>普通ポルトランドセメントは、一般の土木・建築工事をはじめとするあらゆる用途のコンクリートに使用されている最も汎用性の高いセメントである。普通ポルトランドセメントは、JIS R 5210「ポルトランドセメント」として規格化されており、物理的性状、化学成分等が規定されている。特に、コンクリート中の鉄筋の腐食を防止する目的で、セメント中の塩素量は350ppm以下と規定されている。</p>							
効果	<p>従来、最終処分場に埋め立て処分される焼却残渣を普通セメント化するため、埋め立てられる焼却残渣の削減が可能となる。セメント原料の最大3%程度まで受入処理可能。</p>							
課題	<p>普通セメントはJIS規格により品質が規定されており、重金属や塩素分を含む焼却灰(焼却主灰、焼却飛灰)の処理については、セメント焼成規模に対して投入可能量の制限を設けて、セメント品質を確保する必要がある。</p> <p>セメント製品の利用先の確保が重要となる。</p> <table border="1" data-bbox="363 1608 1393 1776"> <tr> <td>焼却施設での前処理設例</td> <td>主灰に含まれる金属や異物を取り除く技術(大塊除去装置、磁力・ふるい選別機等)、飛灰に含まれる塩素を水洗により取り除く。</td> </tr> <tr> <td>セメント工場での前処理例</td> <td>セメント製造プロセス中から塩素を抽気してバイパスして取り除く。</td> </tr> </table>				焼却施設での前処理設例	主灰に含まれる金属や異物を取り除く技術(大塊除去装置、磁力・ふるい選別機等)、飛灰に含まれる塩素を水洗により取り除く。	セメント工場での前処理例	セメント製造プロセス中から塩素を抽気してバイパスして取り除く。
焼却施設での前処理設例	主灰に含まれる金属や異物を取り除く技術(大塊除去装置、磁力・ふるい選別機等)、飛灰に含まれる塩素を水洗により取り除く。							
セメント工場での前処理例	セメント製造プロセス中から塩素を抽気してバイパスして取り除く。							
コスト	<p>主灰：約 25,000～約 32,000 円/トン 飛灰：約 30,000～約 63,000 円/トン 出典：「民間施設を活用したごみ焼却灰のリサイクルに関する調査研究報告書(その2)(平成22年4月)」(財団法人クリーンジャパンセンター)</p>							

3.3 熔融技術の概要

処理方法	灰熔融技術(焼却方式との組み合わせによる)	
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 灰熔融炉は、焼却により排出された灰を 1,300℃以上に高温化し、熔融する技術であり、灰熔融炉によりスラグを生成することが出来る。高温化させるには、重油等の燃焼による燃料燃焼方式と、アーク熔融炉やプラズマ熔融といった電気方式に分けられる。 	
原理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 灰熔融技術とは、ストーカ炉等でごみを燃焼させた後の炉底より排出する焼却灰及びバグフィルタ等で捕集される飛灰等のばいじんを熔融固化することにより、無害化・減容化し、資源化可能なスラグ(ガラス質状の物質)を生成する技術である。 ・ 灰熔融炉の特徴は、ごみ焼却処理の根幹を従来型焼却炉とすることにより、信頼性と安定性を有することである。 ・ また、電気方式では多量の電気を消費するため、施設自らが発電した電気を使用の方が経済的であり、発電設備を有する大型の施設で採用する傾向にある。一方、燃料燃焼式については、比較的小型の施設に導入する傾向がある。 ・ 熔融温度は、約 1,300~1,500℃ ・ スラグ発生量は、ごみあたり約 5%である。 ・ メタル発生量は、ごみあたり約 0.2%である。 ・ セメント・キレートを含む搬出飛灰量(熔融飛灰処理物)は、ごみあたり約 3%である。 	
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不燃分・灰分のスラグ化によって、最終処分量を小さくできる。 ・ 金属等不燃物類は少量であれば処理可能。 	
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気方式は、消費電力が大きいので、焼却で発電した電力の多くを消費してしまう。燃料燃焼方式では熔融に燃料を使用するため、燃料費の高騰の影響を直接受ける。 ・ かなりの高温状態での利用となるため、炉の耐火材等の消耗も激しく、維持管理費が高くなるだけでなく、熔融灰の排出口のこびりつきなどの課題がある。 	
コスト (外部処理委託の場合)	<p>主灰:約 38,000~約 48,000 円/トン 飛灰:約 38,000~約 46,000 円/トン 出典:「民間施設を活用したごみ焼却灰のリサイクルに関する調査研究報告書(その2)(平成22年4月)」 (財団法人クリーンジャパンセンター)</p>	

第4節 焼却灰の処理・資源化状況

4.1 焼却灰の処理・資源化状況

焼却灰の処理方法としては、従前、主灰はそのまま埋め立て、飛灰はセメント固化あるいは薬剤処理後埋め立てる方法が一般的であった。しかし近年は、最終処分量を最小化するため様々な方法で焼却灰の資源化が行われており、平成20年度実績において焼却灰のリサイクル率は18%である。

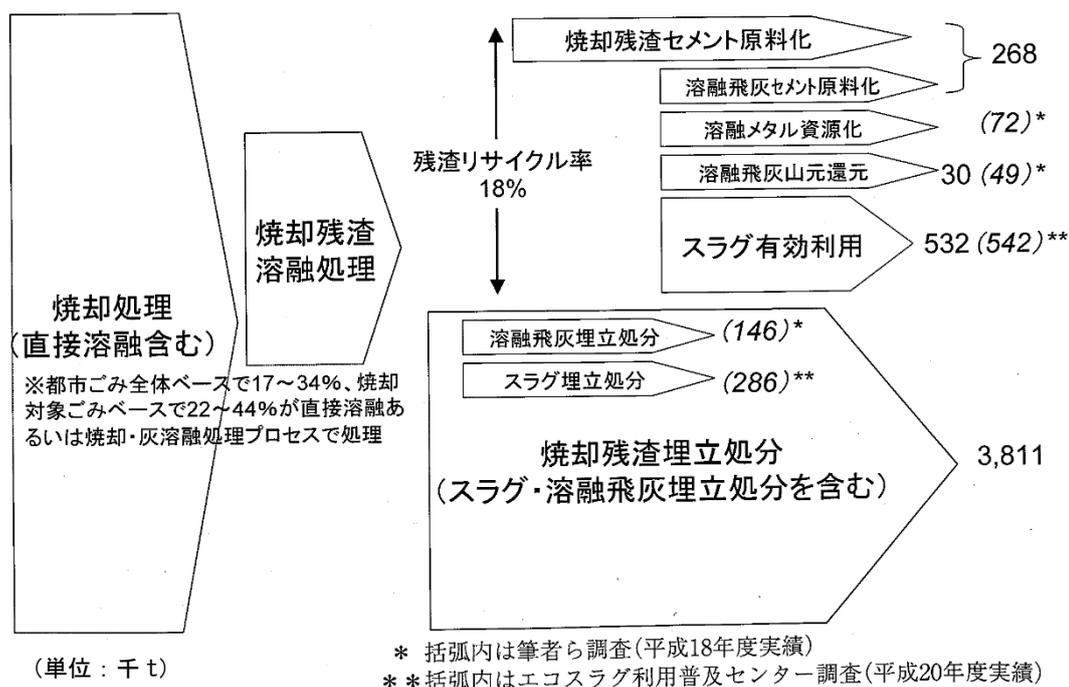


図 6-2 焼却残渣（一般廃棄物）の処理フロー（平成20年度実績）

※出典：大迫政浩，肴倉宏史：都市ごみ焼却残さの処理及びリサイクルの行方，都市清掃，第63巻297号 pp422-426 (2010)

4.2 普通セメント資源化

(1) 普通セメント資源化の概要

普通セメントは、一般の土木・建築工事等のあらゆる用途のコンクリートに使用されているセメントである。普通セメントは、JIS R 5210「ポルトランドセメント」として規格化されており、物理的性状、化学成分等が規定されている。特に、コンクリート中の鉄筋の腐食を防止する目的で、セメント中の塩素量は350ppm以下と規定されている。焼却灰には塩素分が含まれるため、使用に当たっては脱塩処理が必要となる。脱塩処理は、主に2つの方法があり、主灰及び焼却飛灰を水の入った貯留槽に投入し、塩素分を溶液側に抽出させる水洗処理と呼ばれるものと、セメント工場側でロータリーキルン内のプレヒーターの予熱段階で系外に塩素分を抽出させる方法の塩素バイパス等がある。

普通セメントの製造では、原料の一部として焼却灰が利用されているが、3%程度が上限といわれている。

表 6-2 セメントと都市ごみ焼却灰の組成例

単位:%

種類	酸化カルシウム	二酸化珪素	酸化アルミニウム	酸化鉄	塩素
普通セメント	60~66	21~25	5~8	3~5	0.005~0.01
主灰	23	27	14	6	1.1
飛灰	36	11	6	1	15

※出典：「都市ごみ焼却灰のセメント資源化（エコセメント、普通ポルトランドセメント）への現状と今後の展望」都市清掃，第63巻297号 pp469-475（2010）

表 6-3 普通セメントの特徴整理

		普通セメント※
原料	主灰の処理方法	異物除去の上資源化
	飛灰の処理方法	水洗して資源化
	混合灰の処理方法	不可
	処理割合	セメント原料の3%程度
前処理設備	規模	小規模（1000㎡以上）
	設置場所	既存セメント工場に設置
	投資金額	30億円程度
重金属処理		重金属は回収→資源化を検討中

※普通セメントは太平洋セメント熊谷工場の例

※出典：「都市ごみ焼却灰のセメント資源化（エコセメント、普通ポルトランドセメント）への現状と今後の展望」都市清掃，第63巻297号 pp469-475（2010） に一部加筆修正

(2) セメント工場における廃棄物受入状況

近年のセメント生産量とセメント製造における廃棄物・副産物使用量（一般廃棄物及び産業廃棄物を含む）を以下に示す。近年のセメント生産量は減少傾向にあったが、2012年度においては、増加傾向にある。廃棄物・副産物使用量は、ほぼ横ばいであり、セメント1t製造するために使用する廃棄物・副産物の使用量は増加傾向にある。

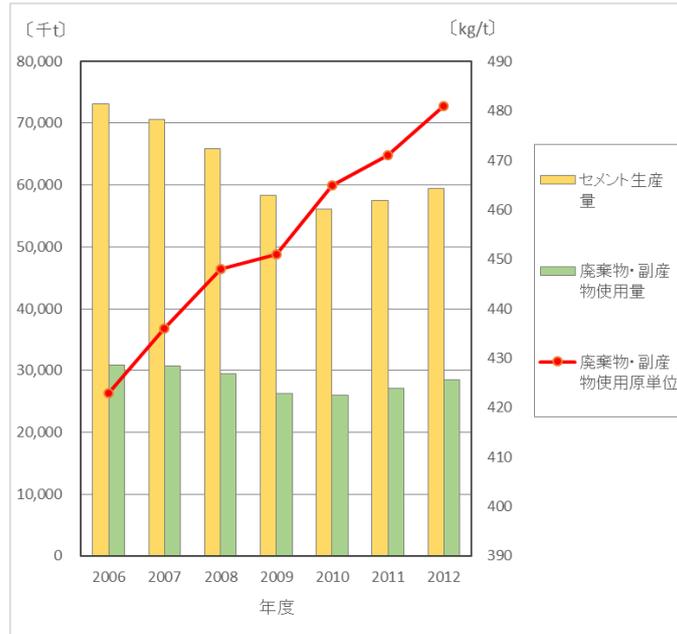


図 6-3 セメント生産量とセメント製造における廃棄物・副産物使用量

※出典：社団法人セメント協会 HP

4.3 焼成

焼成は主に主灰を対象として、溶融点以下にて加熱し、焼成物を生成する。実施施設は、全国で下記の2施設にて行われている。現状の受入能力は、約15万t/年となっており、文献資料等によると今後、整備が進むものと考えられ、77万t/年程度になると想定されている。

受入基準については、各社の独自の基準にて管理されている状況である。

活用方法については、JISの整備がされていないため、天然骨材の規格を準用しなければならず、人工砂として、他の骨材と混ぜ合せ下層路盤材として活用されている。これが使用方法のほぼ9割となっている。

表 6-4 焼成物資源化施設

施設名	処理能力	将来想定受入量※	処理コスト
(株)埼玉ヤマゼン	90,000t/年	770,000t/年	約20,000円/t
三重中央開発(株)	64,000t/年		約20,000円/t

※出典：財団法人クリーンジャパンセンター「平成22年3月 ごみ焼却灰リサイクルの温室効果ガス排出削減・ライフサイクル管理に関する調査研究」

4.4 溶融

溶融処理を行った場合、処理方法により、スラグ、メタル、溶融飛灰、金属類が発生する。

溶融スラグの資源化状況について、以下に整理する。

(1) スラグの種類

スラグは、溶融炉で溶融し出滓した後の冷却方式によってその性状が異なり、水で冷却する水砕スラグと、空気等で徐々に冷却する徐冷スラグに分類される。水砕スラグは砂状であり、設置スペース、設備費、処理の容易さより、公共が設置する一般廃棄物処理施設では採用例が多い。また、徐冷スラグは塊状であり、砕石等と同等の骨材を得られる。

表 6-5 溶融スラグの種類

	水砕方式	徐冷方式
方式	溶融物を直接水中に落とし急冷すると、ガラス質の砂状の水砕スラグができる。針状のスラグが混じり、摩砕等の改質が必要である。	溶融物を耐熱容器に入れ、自然冷却等により徐々に冷却することで、ガラス質の塊状の徐冷スラグができ、それを破碎・粒度調整することで徐冷スラグができる。
特性	強度的に砂等の JIS と比較して弱い場合があり、他の材料と混合して利用することが基本となる。	一般的に強度は強く、一般的な砕石骨材 (JIS) と同等の品質の骨材ができる。

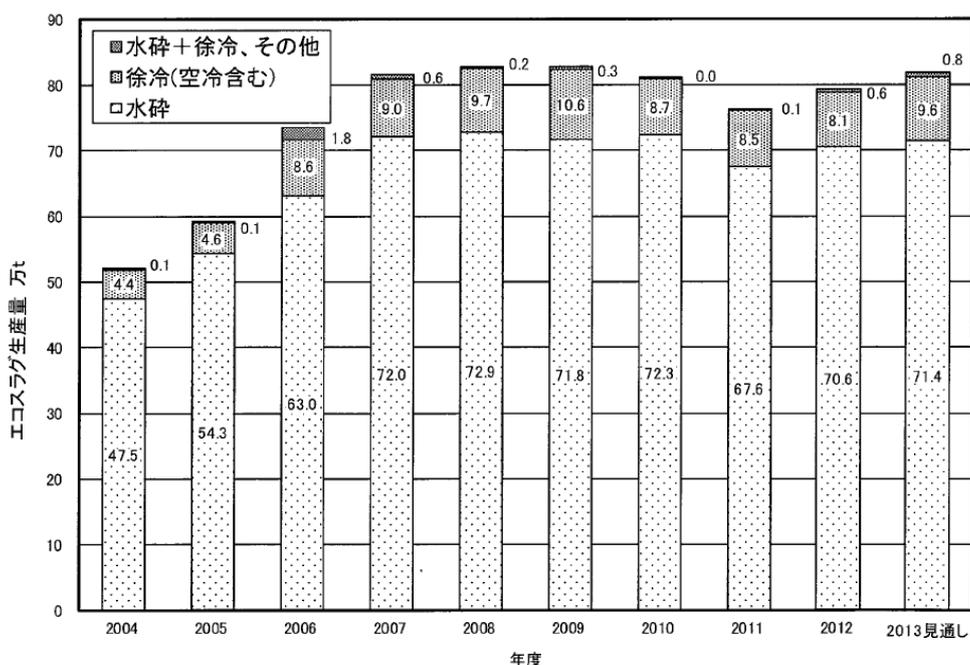


図 6-4 溶融スラグの種類別生産量 (ごみ)

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

(2) スラグの JIS 規格

焼却後の主灰・飛灰を溶融して製造した溶融スラグに関して、平成 18 年 7 月 20 日に、以下の二種類の JIS が制定されている。(うち、JIS A 5031 は、平成 22 年 7 月 20 日に一部改正)

表 6-6 溶融スラグに関する J I S 規定

規格番号	JIS A 5031	JIS A 5032
規格名称	一般廃棄物, 下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材	一般廃棄物, 下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ
適用範囲	この規格は、一般廃棄物, 下水汚泥又はそれらの焼却灰を 1200℃以上の高温で完全な融解状態に溶融し、冷却固化して製造されたコンクリート用溶融固化骨材について規定する。	この規格は、一般の道路用材料としての加熱アスファルト混合物用骨材及び路盤材として用いる溶融スラグの品質, 試験方法, 検査, 表示, 報告などを規定する。

(3) 溶融スラグの有効利用方法

溶融スラグは、JIS に規定されたコンクリート用スラグ骨材（コンクリート二次製品等の骨材）と道路用スラグ骨材（アスファルト混合物用骨材、路盤材等）の他に、盛土材や埋戻材等に利用される。

スラグの有効利用促進には、JIS 規格にもとづく含有量試験等の品質の安全性を確保することが重要である。また、品質を確保した上で、量的にも、安定的して需要と供給のバランスを確保し、購入者を確保することが重要となる。

さらに、品質管理体制の信頼性を得るために、全国の 11 施設においては、JIS マーク表示認証を取得する溶融施設もある。なお、JIS マーク表示認証を取得するためには、工業標準化法、JIS マーク省令、JISQ1001、JIS A 5031、JIS A 5032、JQA の定める適合性評価指示書及び品質試験指示書に基づいて申請施設が全て適合しなければならない。

各自治体における取組みとしては、独自にスラグの利用促進に関する指針や使用基準等を制定している動きもある。三重県では、三重県リサイクル製品利用促進条例が制定されている。

表 6-7 溶融スラグの用途

用途	概要
コンクリート用スラグ骨材	コンクリート二次製品用骨材（天然砂，砕砂）等の代替品として利用される。インターロッキングブロック（ILB）が主流となっている。
道路用スラグ	アスファルト用細骨材（天然砂，砕砂）の代替品として利用される。
路盤材，埋戻材	路盤材，埋戻，覆土，盛土，管渠基礎材等は天然または砕石との配合使用，配管敷設時等の埋め戻し用の天然砂等の代替品として土木基礎材として利用される。
その他の利用	地盤・土質改良材としての用途もあり，凍上抑制材等へ利用される。

(4) スラグの利用動向

1) 溶融処理施設整備の動向と溶融スラグの年間発生量

全国の溶融処理施設整備の実績及びごみを原料として溶融したスラグ生産量又は下水汚泥を原料として溶融したスラグ生産量を整理したグラフを下図に示す。対象とした施設数は，全 247 施設であり，内，地方自治体以外の施設は 25 施設（内 6 施設はし尿汚泥及び下水汚泥も処理）である。なお，ここで「ごみ又は下水汚泥」を原料としたスラグをエコスラグという。ごみの溶融スラグの生産量は平成 20 年度がピークであり，その後減少傾向に転じている（H25 年度の値は現時点では見込み値）。また，溶融処理施設数は微増傾向にある。

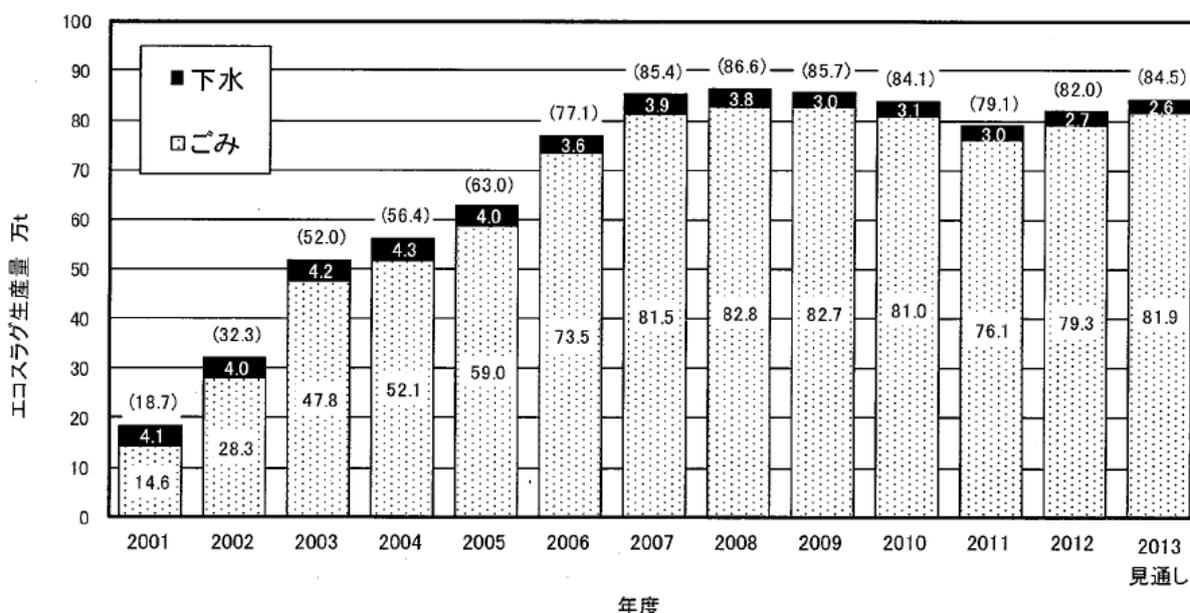


図 6-5 溶融スラグの年間生産量（ごみ+下水）

※出典：日本産業工業会「2013 年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

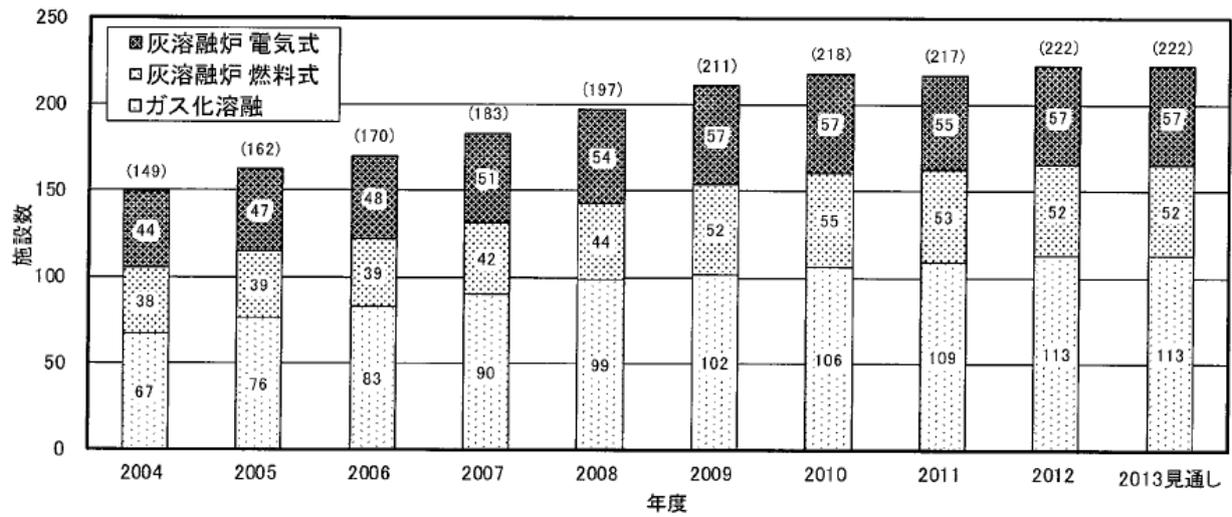


図 6-6 全国の溶融処理施設整備の実績（ごみ）

出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

都道府県別の溶融スラグの生産量を下図に示す。

三重県は、全国で35位に位置している。

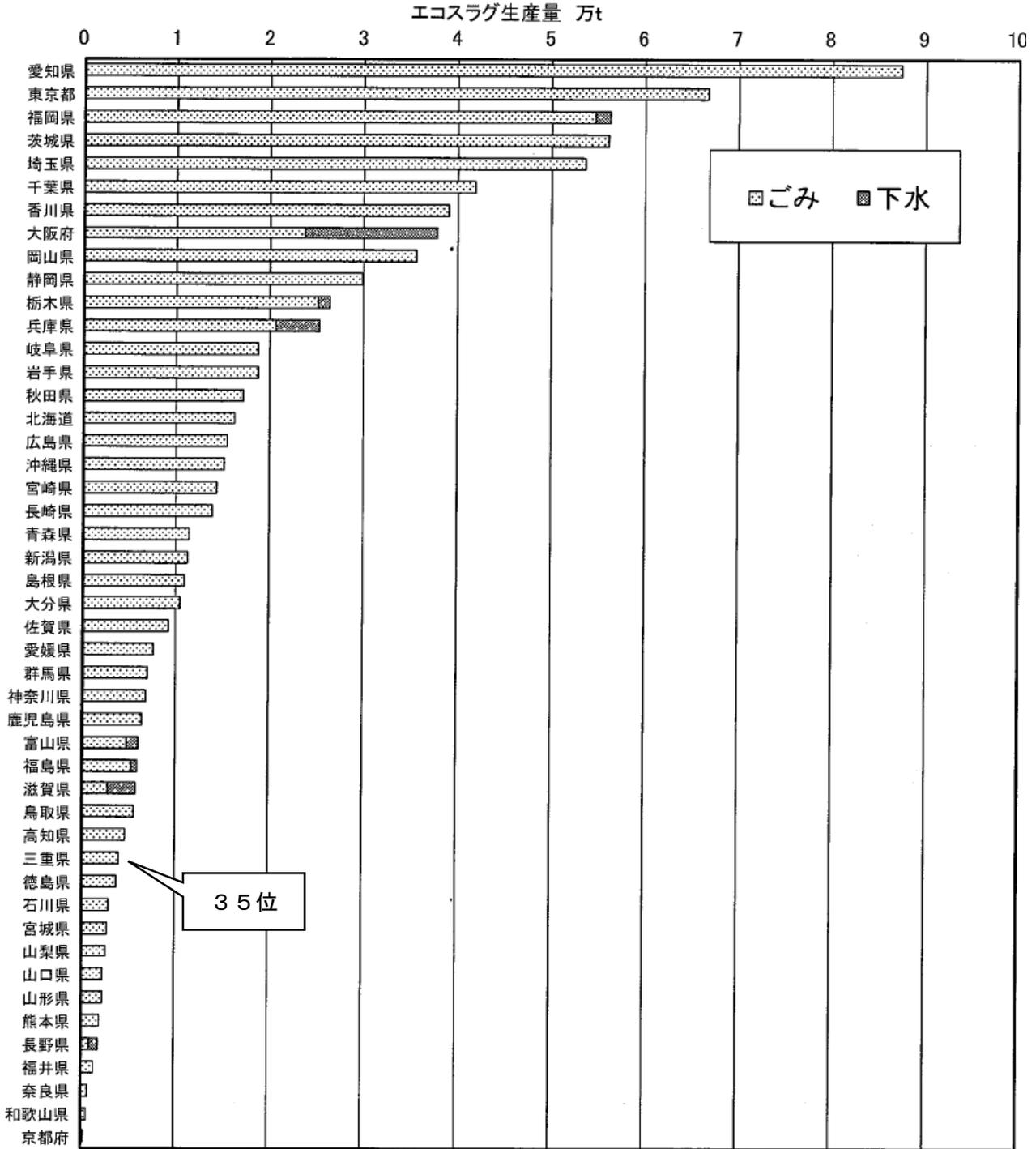


図 6-7 都道府県別溶融スラグ生産量（ごみ+下水）

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

都道府県別の人口当たりの溶融スラグの生産量を下図に示す。

全国的に見ても三重県は、少ない状況であり、下位に位置している。

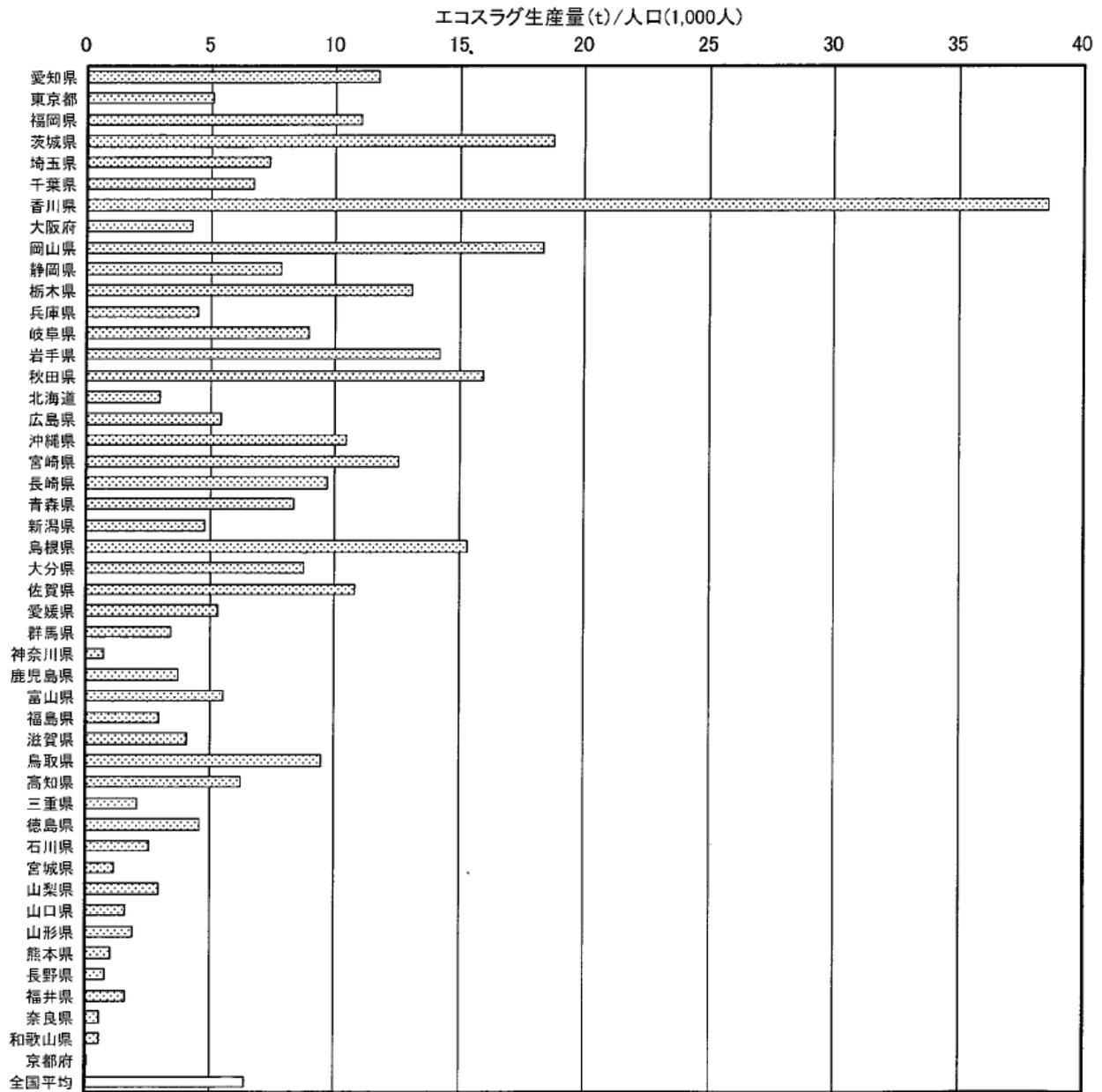


図 6-8 都道府県人口当たり溶融スラグ生産量（ごみ+下水）

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

2) 有効利用量と処分量の割合

溶融スラグの有効利用量・ストック量・処分量の推移を、下図に示す。溶融スラグの有効利用量は平成20年度までは増加傾向にあったが、それ以降は減少傾向に転じている。

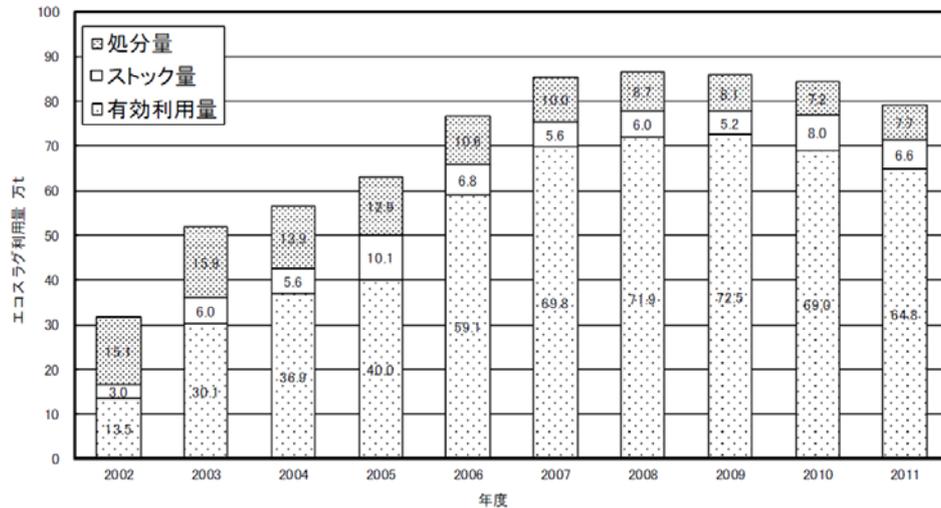


図 6-9 溶融スラグの有効利用量と処分量の割合の経年変化

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

3) 有効利用率

有効利用比率，ストック比率，処分比率の推移を下図に示す。溶融スラグの有効利用量が減少傾向であるものの，有効利用比率は，横ばい傾向である。

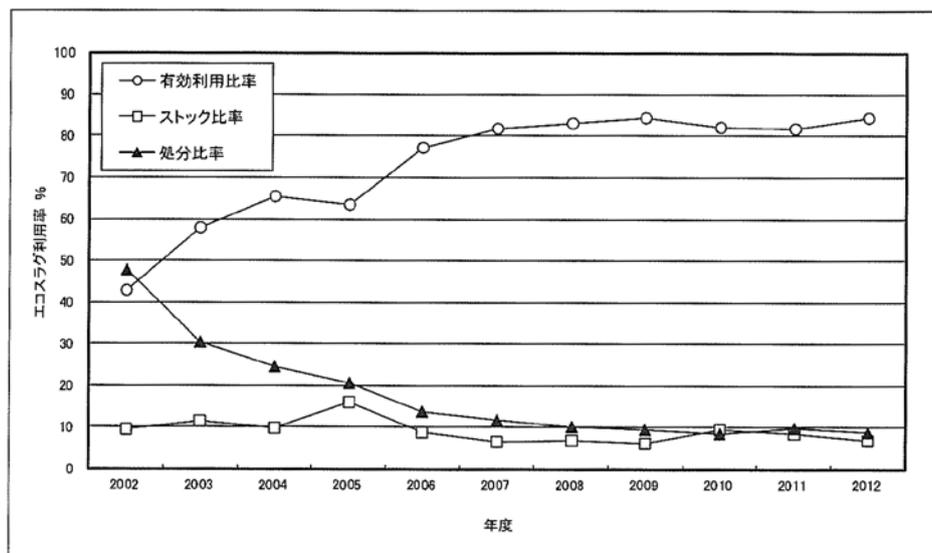


図 6-10 溶融スラグの有効利用量と処分量の割合の経年変化

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

4) 有効利用先

溶融スラグの有効利用の用途別利用先及び出荷形態等について、下図に示す。利用状況は、「道路用骨材」が37.2%と最も多く、次いで「コンクリート用骨材」, 「地盤・土質改良材」, 「埋戻、盛土など」の順で多くなっており、これらで全体の約8割を占めている。

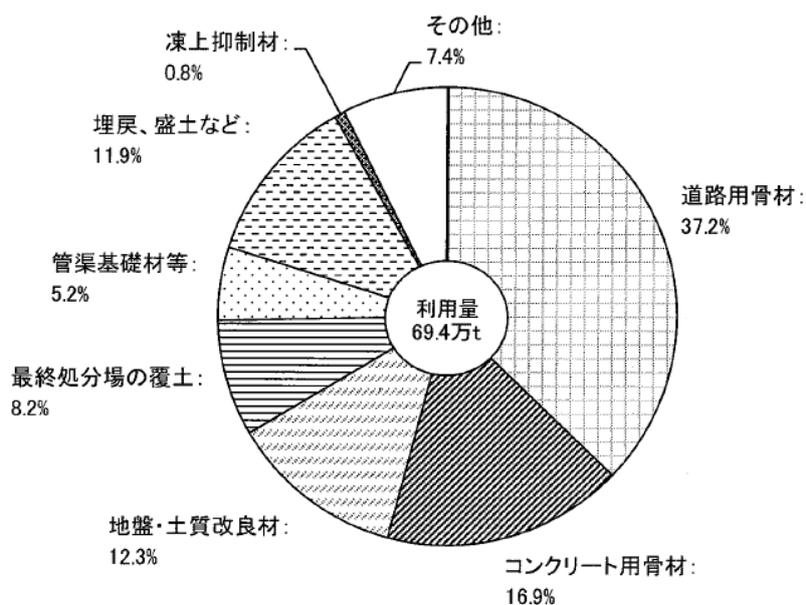


図 6-11 エコスラグの用途別利用状況（平成23年度）

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

また、出荷形態は、出荷量の約82%が有償となっており、その割合は2006年度に比べて13%増となっている。

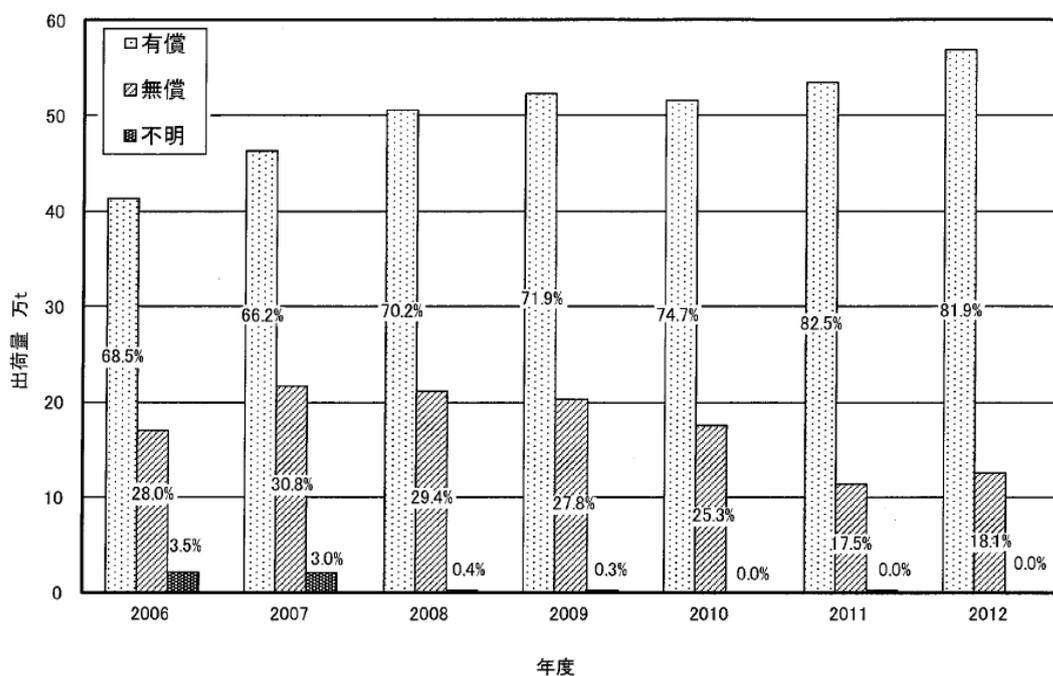


図 6-12 溶融スラグの出荷形態別出荷量

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

出荷価格の単価は、101～200円/tの範囲が最も多く（約34%）、51～300円/tの範囲が全体の約66%となっている。

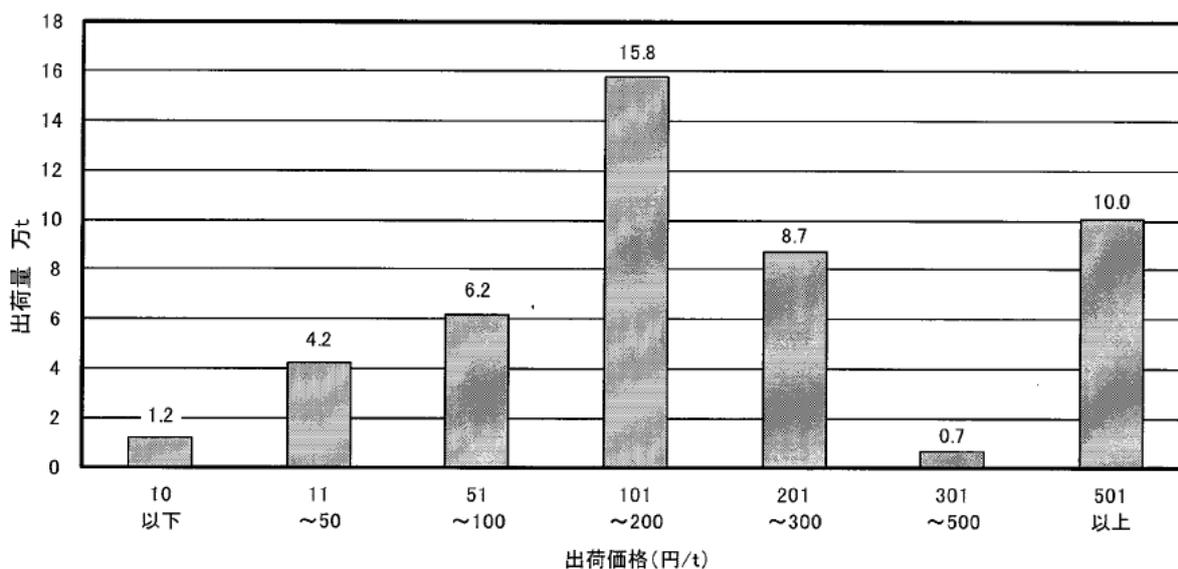


図 6-13 溶融スラグの出荷価格帯別出荷量

※出典：日本産業工業会「2013年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集」

(5) 溶融メタル資源化

溶融方法では、溶融スラグの他に溶融メタルが副生成物として生成される。処理方法を溶融方法とした場合の溶融メタルの有効利用方法を下表に示す。

表 6-8 溶融メタル資源化方法

利用用途	利用先等
カウンター ウェイト充填材	溶融メタルは嵩比重が大きく成型性が良いことなどの特長を生かして、カウンターウェイト等の重量骨材として利用。
非鉄金属精錬用 還元剤	溶融メタルは金属鉄を多く含み、粒状物で比表面積が大きいため溶解性が良好である特徴を生かして、非鉄金属精錬所の精錬工程での還元剤として利用。
製鉄原料	溶融メタルは金属鉄を多く含むため、製鉄所の製鋼工場（転炉）でスクラップ鉄と共に一定量使用し、スクラップ鉄の代替として利用。

4.5 埋立

飛灰，ガス化溶融又は溶融処理からは溶融飛灰の2種類の飛灰が発生する。

本項においては，埋立処理する場合の処分方法を整理する。

飛灰，溶融飛灰（集じん設備によって集められたもの）については，人の健康又は生活環境に係る被害が生ずるおそれのあるものとして，特別管理一般廃棄物に指定されている。

飛灰は，分離排出，分離貯留すること，無処理のまま埋立処分してはいけないこと，海洋投棄してはいけないことが義務付けられている。また，その処理は，「特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物の処分又は再生の方法として厚生大臣が定める方法」により，①溶融固化，②焼成処理，③セメント固化，④薬剤処理，⑤酸その他の溶媒による安定化のいずれかの中間処理等を行うことが指定されている。これらの処理を行うことで，灰中に存在する重金属類等を処理し安定化，不溶化，無害化を図ることになる。溶融飛灰に関しては，上記の方法の③～⑤の方法にて，処理を行うことが義務付けられている。

なお，「特別管理一般廃棄物又は特別管理産業廃棄物を処分又は再生したことにより生じた廃棄物の埋立処分に関する基準」に基づき，表に示す溶出基準に適合するよう中間処理されたものは，一般廃棄物として管理型処分場に埋め立てることができる。

表 6-9 ばいじんの溶出基準

項 目	基 準 値
アルキル水銀化合物	不検出
水銀またはその化合物	0.005mg/l 以下
カドミウムまたはその化合物	0.3mg/l 以下
鉛またはその化合物	0.3mg/l 以下
六価クロムまたはその化合物	1.5mg/l 以下
ひ素またはその化合物	0.3mg/l 以下
セレンまたはその化合物	0.3mg/l 以下

①から⑤の特徴を以下に示す。

① 溶融固化

燃料あるいは電気を加熱源として，飛灰を溶融流動する高温（1,300～1,500℃）まで加熱することによりスラグ化するものである。

② 焼成処理

飛灰を融点に達しない高温で処理することにより，焼き固めて成型物とするものである。

③ セメント固化

セメント成分であるケイ酸カルシウム等の組成鉱物が水和反応を起こして硬化する過程にて、重金属類等の有害物質の吸着・固溶化やアルカリ成分による難溶性化合物を形成し、重金属が溶出しない化学的安定化物を生成するものである。

④ 薬剤処理

キレート剤・無機系薬剤等により、飛灰中の重金属類とこれら薬剤の反応による難溶性化合物を形成して、重金属類が溶出しない化学的安定化物を生成するものである。

⑤ 酸その他の溶媒による安定化

飛灰に含まれる重金属類を酸性溶液中に抽出し、抽出した重金属類をキレート剤・水酸化剤、硫化剤等により、安定化した沈殿物として除去するものである。

また、ダイオキシン類対策特別措置法に基づいた「廃棄物焼却炉に係るばいじん等に含まれるダイオキシン類の量の基準及び測定の方法に関する省令」により、飛灰、熔融飛灰等（集じん施設によって集められたばいじん等）は、ダイオキシン類を 3ng-TEQ/g 以下にしなければならない。

第5節 まとめ

本事業の各検討方式における焼却灰の処理方法としては、普通セメント資源化、焼成処理及び溶融処理が想定される。以下に各処理方法に関するメリット・デメリットを整理した。なお、埋立ては、どの方式においても採用されるため、ここでは、整理しないものとする。

表 6-10 処理方法のメリット・デメリット

処理方法	対象となる検討方式	メリット	デメリット
普通セメント資源化	A	<ul style="list-style-type: none"> セメント 1t 製造するために使用する廃棄物・副産物の使用量は増加傾向。 JIS 規格にて品質が規定されており、一般的に活用されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 灰の受入量は、セメント需要に影響される。 処理コストは、焼成よりも高い。
焼成	A	<ul style="list-style-type: none"> 処理コストが他の方法比べ安価 	<ul style="list-style-type: none"> JIS 規格等がないため、使用方法が限定される。 全国に 2 社しかない。
溶融	A, B, C, D	<ul style="list-style-type: none"> JIS 規格にて品質が規定されており、一般的に活用されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部処理委託コストは、焼成よりも高い。 有効利用率は横ばい。

※検討方式 A：ストーカ方式+灰の外部資源化委託，B：ストーカ方式+灰溶融，
C：シャフト炉式ガス化溶融方式，D：流動床ガス化溶融方式

また、民間で資源化する（普通セメント資源化、焼成、外部委託の溶融処理）場合は、灰の受入量の変動対策として、複数の受入先の確保等が必要になる。公共で資源化を行う場合は、公共事業において優先的に有効利用される規定を設けることや JIS 規格の取得、有効利用を焼却施設の整備・運営事業の業務範囲として規定するなどの方策が必要になる。

今後、地域特性を踏まえ、本施設の処理方法を検討していく必要が考えられる。