

都市ごみ焼却残渣中高濃度塩類の除去に関する調査研究

丹野 幹雄 清水 典徳 柳下 令子 小林 進

要 旨

焼却残渣を埋立処分する前に、簡便な方法による塩類除去システムが導入可能かどうかを検討するための基礎試料を得る目的で、都市ごみ焼却場23施設から排出された焼却残渣中の塩類濃度を把握するとともに、超音波を用いた塩類の抽出や抽出物の性状などに関する実験を行った。

その結果、焼却残渣中の塩類濃度に関しては、集じん灰中のCa・Na・Kなどは焼却灰に比べて数倍、Clは10倍程度濃度が高かった。

また、焼却残渣中塩類の超音波による水抽出に関しては、焼却灰、集じん灰ともに、Clではほぼ90%以上の抽出率が得られた。しかし、焼却灰からのCaの抽出率は極めて低く、当抽出方法ではシステム開発の実効性は薄いとみられた。

集じん灰の場合も、Caの抽出効果はあまり高くはなかったが、2回繰り返し抽出を行えばCaCl₂等の溶出し易い成分のほとんどを抽出できるとみられることから、埋立地におけるCaによる障害防止効果が期待できると考えられた。

さらに、超音波による水抽出残渣の減量率や減容率が高いこと、また、抽出溶媒のpH値を調整することにより、有害重金属のうち多量成分であるPbやZnの抽出抑制も可能であることなどから、この方法を用いた塩類除去システムを検討する意義は十分にあることがうかがえた。

1 はじめに

近年、埋立処分場の浸出水中には高濃度の塩類が含まれる例が多くなった。これらの塩類は、埋立処分場で稼働している一般的な排水処理装置では除去されずに公共用水域に放流されている。

このため、塩類を多く含む排水による周辺環境への悪影響¹⁾が心配されるほか、埋立処分場内の集水管の閉塞や機器の腐食、あるいは、排水処理施設の処理機能などに支障を来すことが指摘されている²⁾。さらには、集じん灰のセメント固化処理³⁻⁵⁾や熔融処理⁶⁾においても塩類による障害がみられる。

埋立処分場浸出水中の塩類濃度が高くなる大きな要因は、埋め立てられたごみ焼却残渣中に多量に存在する塩類が溶出するためとみられる。

そこで、まず最初に焼却残渣中の塩類濃度を把握す

るため、県内にある市町村等のごみ焼却場23施設の焼却残渣や灰出し水等を調べた。次いで、焼却残渣を埋立処分場に搬入する前の段階で塩類除去を行うシステムを検討する場合の基礎資料を得る目的で、これら23施設のうちから9施設を選び、超音波を用いた塩類の水抽出に関する実験を行った。

実験では、蒸留水によるClやCaの抽出を主とし、それらの抽出率、抽出後の残渣の減量率・減容率などを求めた。さらに、抽出条件を決めるための予備実験や抽出成分を明らかにするための蛍光X線分析法による定性および抽出物の処理処分を考慮した有害重金属（多量成分）の抽出抑制などについての実験も試みた。

2 方法

2・1 塩類濃度

2・1・1 調査対象施設の概要

調査対象施設としては、県内の市町村等のごみ焼却場63施設から、サンプリング可能な23施設をランダムに選定した。これらの施設の焼却炉形式別処理方式の内訳は、全連続燃焼式ストーカ炉が14、准連続燃焼式ストーカ炉7およびバッチ燃焼式機械炉が2施設である。炉内投入形態や排煙処理方法などは表1に示した。

2・1・2 試料採取および調製

塩類濃度測定のために採取した試料は、焼却灰が23、集じん灰18検体のほか、参考として灰出し水10、放流水9検体を追加した。採取量は、焼却灰を約2kg、集

じん灰1kg程度とし、また、灰出し水および放流水はそれぞれ約500mlとした。

採取した固体試料のうち、焼却灰の場合は、重量測定後60℃の熱風循環式の乾燥器を用いて乾燥後、ガラスや金属類等の夾雑物を取り除き、5mm目のふるいを通して試料とした。また、Ca、Mg等の含有量分析を行うため、さらにこのうちの適量を取り、自動乳鉢を用いて200メッシュ程度にまで粉碎した。他方、集じん灰については、粒子が微細で均一なため、採取した試料をそのまま分析に供した。なお、分析値を補正するため、試料の含水率も求めた。

2・1・3 分析項目および分析方法

分析項目としては、採取したすべての試料についてCa、Mg、Na、KおよびClの5種類をとりあげた。

表1 対象施設の概要

施設名	処理方法	炉内投入形態	排煙処理	排水処理	排水方式
A	全連 ス	一括	EP 全乾 消石	凝沈 中和	循環
B	" "	"	" 湿式 NaOH	" "	放流
C	" "	"	BF 全乾 消石	" ろ過	一部放流
D	" "	分別	EP	" 中和・ろ過	循環
E	" "	"	MC・EP	" 中和・ろ過	循環
F	" "	"	EP	" 中和・ろ過	一部放流
G	" "	一括	" 全乾 消石		
H	" "	分別	" 湿式 NaOH		
I	バッチ 機	"	SW・MC なし	凝沈 中和	一部放流
J	全連 ス	"	MC・EP湿式 NaOH	凝沈 中和	循環
K	准連 "	分別	MC・EP半乾 消石		循環
L	" "	"	EP 湿式 NaOH	凝沈 中和	一部放流
M	全連 "	"	MC・EP全乾 消石	ばっ気 沈澱	"
N	" "	"	EP	凝沈 中和	"
O	准連 "	分別	" 全乾 消石	" "	循環
P	" "	"	MC・EP " "		"
Q	" "	"	"・" なし		"
R	" "	"	"・" なし		"
S	全連 "	"	BF 半乾 消石	凝沈 中和	"
T	バッチ 機	"	EP 全乾 "	" "	"
U	准連 ス	一括	MC・EP なし	ばっ気 沈澱	"
V	全連 "	分別	EP 全乾 消石		"
W	" "	一括	" 湿式 NaOH		

注) 全連: 全連続燃焼式 准連: 准連続燃焼式 バッチ: バッチ燃焼式 ス: ストーカ炉 機: 機械炉

MC: マルチサイクロン EP: 電気集塵器 SW: 洗煙タワー BF: バグフィルター 全乾: 全乾式有害灰除去装置

半乾: 半乾式有害灰除去装置 湿式: 湿式有害灰除去装置 消石: 消石灰 凝沈: 凝集沈澱

循環: 排水の循環利用を行うもの

この他に、焼却灰では含水率と夾雑物を、また液体試料の場合はpHと電気伝導度（EC）を測定した。

試料の分解は、Clを除く項目で、固体試料と灰出し水については、HNO₃とHClの割合が1：1の混酸により、放流水ではHClを用いて、また、ClではHNO₃のみで湿式分解により行った。その後の定量操作は、JIS K0102に準じた方法によった。

2・2 塩類の抽出

2・2・1 試料

超音波による抽出実験に供した試料は、前項の塩類濃度調査で実施したもののなかから、焼却灰を8試料と集じん灰9試料を選定した。ただし、選定にあたっては、焼却灰に比べて排出割合は低いものの、塩類濃度が著しく高い集じん灰に着目した。

集じん灰は排煙処理に関連して発生することから、これらの試料に関しては、処理方式の違いにより、電気集じん灰（EP灰）とバグフィルター灰（BF灰）に区分して、それぞれ7試料および2試料を、さらに、このうちのEP灰については、排煙処理方式が乾式、湿式および排煙処理のない施設に分類し、それぞれ2～3試料を無作為に選定した。

2・2・2 超音波による塩類抽出法

塩類の超音波抽出実験のフローシートを図1に示す。

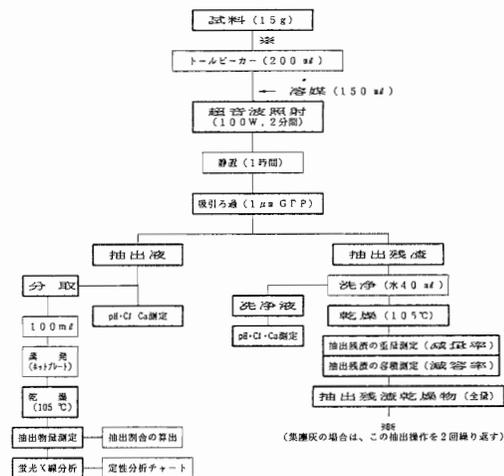


図1 超音波抽出実験フローシート

焼却灰あるいは集じん灰の各試料15gを200mlのトールビーカーに採り、水や希酸等の溶媒を150ml加え

た後、1/2カップ型ホーン付超音波発生装置（プランソンMODEL250 Sonifier）により、20KHz、出力100Wで2分間超音波を照射する。次に1時間静置後、1μmのグラスファイバーフィルターペーパーでろ過して抽出液と抽出残渣を得る。

ろ過後のろ紙上の残渣中および元のビーカーに付着している塩類がどの程度残存しているかをみるために、抽出残渣および元のビーカーを40mlの水を用いて洗浄し、この洗浄液とは別に回収した。これら回収した洗浄液は、抽出液と同様に分析に供した。

さらに、この抽出方法において、複数回抽出操作を行った場合の抽出効果をみるため、試料と抽出残渣の乾燥物について、合計3回の抽出操作を行った。

なお、抽出後のろ過の際は、その度ごとに上記の洗浄操作を行って、回収した洗浄液をそれぞれ分析した。

2・2・3 抽出物等の分析測定方法

1) 抽出物量：抽出液150mlから100mlを分取し、加熱蒸発後、105℃で乾燥して重量を測定した。

2) 試料減少量：抽出後のろ過残渣とろ紙を元のビーカーに回収し、105℃で乾燥後、重量を測定する。この重量から、ビーカーとろ紙の重量を差し引いた正味の乾燥残渣重量を更に試料重量15gから差し引いて求めた。

3) 試料容積：試料15gを25mlのメスシリンダーに入れ、2～3回軽くたたいて詰めた後、その容積を計量した。

4) 抽出残渣の容積：ろ過後の乾燥残渣をメスシリンダーに入れ、試料容積の場合と同様にして求めた。

5) 抽出液中ClおよびCaの定量：JIS K0102による方法で分析した。

6) 抽出物等の定性分析：抽出液乾燥物の一部または全部について、蛍光X線分析装置（理学電機ガイガーフレックス SX型）を用いて定性分析を行った。

この定性分析では、薬びんの金属製のふた（直径約30mm、高さ約10mm）に試料を入れ、10トンで加圧成型し、内径20mmのアルミニウムマスクまたはチタンマスクを使用して測定した。

なお、CaCl₂成分が多く潮解性の高い試料については、成型試料をコロジオン膜で覆うかまたは試料とコロジオン液とを混合し、乾燥後に成型した。これらの成型試料は真空にしたデシケーター中で保存し、測定に供した。

3 結果および考察

表3 集じん灰中の塩類濃度

単位: % (Dry)

3・1 焼却灰および集じん灰の塩類濃度

焼却灰中および集じん灰中塩類濃度の分析結果をそれぞれ表2, 3に示す。

焼却灰における最大値はCaが19.4%, 最小値はKが0.17%であった。集じん灰ではClが33.5%, Caで31.2%と高く、次にK, Na, Mgと続き、最も低いMgでも0.56%の値を示す。焼却灰, 集じん灰ともに, Caをはじめどの元素も最大値最小値の差が極めて大きく、また、各元素の変動係数も約30~90%と高い。

焼却灰と集じん灰の平均値を比較してみると、集じん灰の方がCa, Na, Kは数倍, Clでは10倍程度高い。しかし、Mgは逆に焼却灰の方が若干高いのが目に着く。焼却灰に含まれる成分のうち、平均値で高い元素はCaの9.59%が最高で、Mg, K, Naの順に低くなりClは約1.5%と最も低い。他方、集じん灰でも、Caが約16%で最も高い平均値を示した。

焼却灰では、最も低値を示したClがCaと同程度に高いが目立つ。

試料名	Ca	Mg	Na	K	Cl
A	18.6	1.4	6.0	7.2	20.4
C	26.2	0.77	2.7	4.4	19.3
F	15.4	0.56	5.6	8.4	15.8
G	11.2	3.50	5.7	7.8	9.9
H	7.0	1.6	1.9	7.6	20.5
J	7.7	1.7	8.7	15.4	15.1
K	20.6	2.6	4.5	7.8	15.8
L	8.9	4.6	2.0	9.8	12.3
N	27.6	0.87	1.9	5.1	6.9
O	19.0	0.91	1.9	3.7	9.1
P	19.4	2.0	6.2	7.4	17.2
Q	5.3	2.3	1.3	22.6	20.7
R	4.9	0.80	2.4	29.2	33.5
S	24.1	0.72	3.1	5.9	14.2
T	31.2	2.6	4.1	5.4	7.2
U	8.8	0.87	6.5	9.1	21.7
V	19.5	0.58	4.1	8.9	15.9
W	11.7	0.98	6.2	8.3	8.3
最大値	31.2	4.6	1.9	29.2	33.5
最小値	4.9	0.56	1.9	3.7	7.2
平均値	15.95	1.631	5.76	9.67	15.77
標準偏差	8.145	1.123	4.312	6.531	6.571
変動係数(%)	51.1	68.9	74.9	67.5	41.7
件数 18					

表2 焼却灰中の塩類濃度

単位: % (Dry)

試料名	Ca	Mg	Na	K	Cl	含水率	夾雑物
A	6.4	2.8	1.3	4.3	1.0	31.6	11.7
B	7.0	1.7	1.4	2.1	0.27	21.0	4.9
C	8.2	2.8	1.6	1.2	0.26	18.3	31.2
D	1.6	4.6	1.7	2.4	1.9	29.9	8.1
E	7.3	5.9	2.1	3.2	1.0	19.2	19.1
F	9.0	5.3	1.7	2.0	1.4	32.7	9.8
G	8.4	1.6	1.6	0.53	0.34	12.3	12.2
H	8.6	4.6	3.4	2.9	1.2	19.7	10.7
I	9.0	1.9	2.0	1.5	2.7	31.9	11.8
J	6.9	2.9	1.7	2.0	1.4	32.5	3.3
K	7.5	5.0	2.3	3.4	6.4	27.4	14.7
L	10.9	2.9	1.7	2.2	1.5	43.4	6.5
M	9.9	4.8	1.7	0.17	0.70	22.8	0.0
N	19.4	2.7	2.2	3.3	2.4	28.6	0.0
O	15.5	1.8	1.8	2.9	1.5	26.6	0.0
P	5.1	5.5	2.0	4.7	0.67	34.5	0.0
Q	11.7	1.7	2.4	5.4	1.7	31.6	1.6
R	14.9	2.7	3.9	6.1	3.0	31.3	10.2
S	12.0	4.5	1.8	3.4	0.48	24.8	8.1
T	13.2	1.6	2.2	3.3	0.91	46.4	4.5
U	9.6	2.0	1.3	2.3	0.32	19.8	1.5
V	12.5	5.6	2.1	2.7	2.1	27.7	0.0
W	5.9	5.7	1.7	2.7	0.80	22.1	0.8
最大値	19.4	5.9	3.9	6.1	6.4	43.4	31.2
最小値	1.6	1.6	1.3	0.17	0.26	12.3	0.0
平均値	9.59	3.50	2.01	2.81	1.476	27.66	7.42
標準偏差	3.868	1.566	0.613	1.411	1.3256	7.952	7.571
変動係数(%)	40.3	44.7	30.5	50.2	89.8	28.7	102.0
件数 23							

集じん灰でClが高いのは、排ガス中の塩化水素が、消石灰などを使用した排煙処理装置にCaCl₂として捕集され、これが集じん灰中に含まれてくるためとみられる。

3・2 灰出し水および放流水の塩類濃度

3・1で焼却灰の分析を実施した施設のうち、試料採取が可能であった10施設から灰出し水を、9施設から放流水を採取した。その試料について、Caなど5元素とpH、ECを分析測定した。それらの結果を表4および5に示す。

表4 灰出し水中の塩類濃度

試料名	単位 mg/ℓ (EC mS/cm)					pH	EC
	Ca	Mg	Na	K	Cl		
A	2,400	< 2	15,000	590	7,600	11.0	17.1
B	1,080	58	13,000	440	7,800	12.1	11.6
J	2,820	39	120,000	2,700	20,000	11.1	52.9
K	10,600	73	78,000	5,900	34,000	11.8	80.0
L	1,340	39	47,000	3,700	8,300	12.3	31.4
M	7,180	< 2	53,000	2,300	18,000	11.9	50.5
N	1,910	29	49,000	4,600	12,000	12.2	38.0
Q	5,400	24	110,000	13,000	27,000	10.1	73.4
R	3,240	< 2	200,000	24,000	82,000	11.9	111
S	1,460	63	44,000	2,900	9,400	12.3	33.2

表5 放流水中の塩類濃度

試料名	単位 mg/ℓ (EC mS/cm)					pH	EC
	Ca	Mg	Na	K	Cl		
B	48	4.9	55,000	1,100	6,100	7.8	18.3
C	480	9.7	8,000	2,400	14,000	7.4	5.26
F	2,200	146	16,000	4,800	6,900	7.2	16.4
G	44	9.7	5,500	1,100	810	7.6	2.8
I	186	< 2	600	340	540	7.8	1.45
L	24	2.4	3,000	180	470	7.9	1.38
M	192	3.9	1,300	820	570	7.2	1.58
N	12	2.4	2,800	230	470	7.7	1.29
W	124	40	17,000	500	19,000	7.8	48.7

灰出し水では、Na、Cl、Kの濃度が高く、とりわけ試料間の濃度差の大きいことが目立つ。また、元素間の濃度差も極めて大きい。全般的にはNa濃度が最も高く、最高で20%もあった。Clで8.2%、Kでは2.4%、Caが約1%の最高値を示し、高い値のものが多い。

しかし、Mgはすべて10mg/ℓのオーダーにあり、他の4元素に比べれば大幅に低い値であった。

灰出し水のpHは、最大値12.3、最小値10.1、平均値11.67、標準偏差0.7165、変動係数6.1%とばらつきが少なく、全体的に強いアルカリ性を示す。ECも全体的に高く、海水の値(20~50mS/cm)を越える試料が半数を占めている。

なお、灰出し水は循環再使用されており、放流されていない。

次に、放流水についてみると、灰出し水と同様にNa、Cl、Kの順に濃度は低くなるが、灰出し水と比べて全体的には低い濃度であった。Ca濃度は1例を除いては数10~数100mg/ℓのオーダーでかなり低いが、ClはCaに比較して相当高い値を示している。

なお、5試料(G、I、L、M、N)のCl濃度が100mg/ℓのオーダーで他の試料よりも低い値を示すが、これらの試料の大部分は生活系の排水によって占められているためである。このことは、ECの値にもみられる。

放流水のpHでは、最大値が7.9、最小値が7.2平均値7.60でどの試料もほぼ中性を示した。

3・3 抽出に関する予備実験

3・3・1 水による超音波抽出方法の検討

塩類抽出時の超音波出力は、強過ぎると抽出溶液が発泡状態になり抽出効果が悪くなるため、発泡直前の出力で超音波を照射する必要がある。この状態をテスト試料の水による超音波抽出で観察した結果、約100Wの出力が最適であった。そこで、この出力における照射時間(30秒、1分、2分~20分)と抽出効果の関係を調べた。実験には、BF灰の試料CとEP灰の試料Hを用いた。それらの実験結果を図2~4に示す。

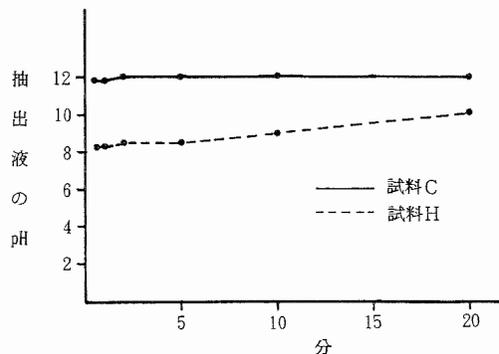


図2 超音波照射時間と抽出液pHの関係

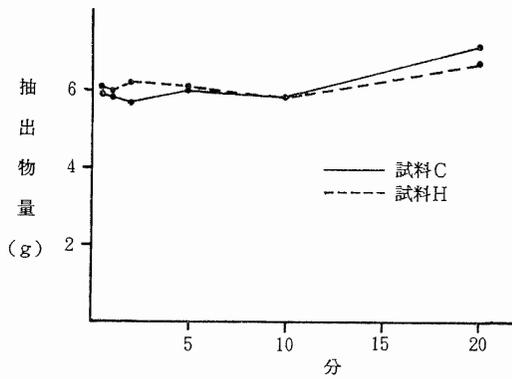


図3 超音波照射時間と抽出物量の関係

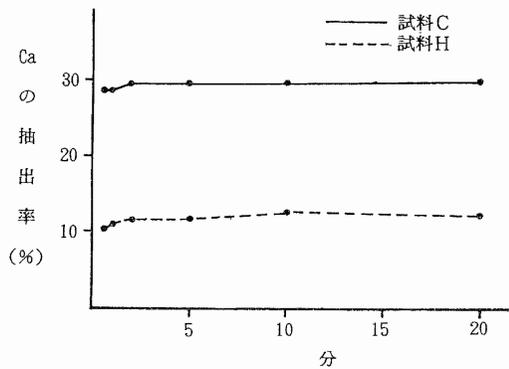


図4 超音波照射時間とCa抽出率の関係

図2～4にみられるように、抽出液pH、抽出物量およびCa抽出率は、照射時間が2分程度まではいずれも不安定であった。また、10分程度の超音波照射後から、抽出物量の増加は認められるものの、Caの抽出率は2分以後ほぼ一定であった。この実験では、塩類のうちClとCaの抽出を主体としたことから、Caの抽出率が一定となる抽出時間の少ない2分を照射時間

と定めた。一般にClの抽出が容易で、抽出率も極めて高いために、この実験ではClの分析を省略した。

なお、田中ら⁷⁾のPbの溶出実験でも、超音波の照射時間が2分までは、当実験と同様に溶出量にバラツキがみられる。

3・3・2 水による超音波抽出と振とう抽出との抽出効果の比較

超音波抽出法が本法の目的に添うものかどうかを検討するため、振とう抽出による方法⁸⁾と抽出効果の比較実験を行った。結果は表6に示す。

単純に超音波抽出法と振とう抽出法による抽出効果を比べると、抽出液pHは、ただ1例のBF灰である試料Cを除く6試料のEP灰では振とう抽出法の方が高かった。他方、抽出物量とCa濃度に関しては、超音波抽出法で、8試料中5試料が高い値を示している。Cl濃度では、同じ値の試料が多かった。また、各分析測定値を比較してみると、試料Oを除いては、目立った差はみられない。

なお、どの項目でも超音波抽出法の方がすべて低い値を示した試料Oは、他の6試料が灰色であるのに比べて著しく黒色を呈し、また、かなり粗い粒子であった。このように粒子が荒く大きいために、超音波抽出の効果が低下して低値を示したものと考えられる。

この実験から、全体的には超音波抽出法は振とう抽出法とほぼ同じかそれ以上の効果のあることが認められた。

超音波を用いた抽出方法には、操作が簡単であることや極めて短時間で塩類を抽出できるという大きな特徴がある。

表6 超音波抽出法と振とう抽出法との抽出効果の比較

試料名	C	O	P	Q	R	U	V
抽出液 (pH)	超音波 注1)	12.0	11.9	8.7	8.6	8.2	11.8
	振とう 注2)	11.6	12.2	9.1	9.1	8.9	12.0
抽出物量 (g) 注3)	超音波	6.30	1.35	7.43	7.02	11.25	0.87
	振とう	6.25	2.10	7.32	6.84	11.34	0.66
抽出液中Cl濃度 (%)	超音波	1.6	0.40	1.8	1.7	3.2	0.069
	振とう	1.6	0.53	1.8	1.8	3.2	0.069
抽出液中Ca濃度 (%)	超音波	0.83	0.15	0.12	0.10	0.17	0.083
	振とう	0.81	0.21	0.10	0.11	0.16	0.076

注1) 本報2・2・2の抽出方法
 注2) 環境庁告示13号による溶出試験
 注3) 抽出液 150ml当たりの乾燥物重量

表7 焼却灰中塩類の水抽出実験結果

試料名	O	P	V	B	H	Q	R	C
抽出液 pH	11.8	11.9	11.7	10.7	11.6	9.8	11.4	11.3
抽出物量 (g) 注1)	0.51	0.83	0.62	0.12	0.53	0.71	1.01	0.08
抽出割合 (%) 注2)	3.4	5.5	4.1	0.80	3.5	4.7	6.7	0.53
試料減少量 (g) 注3)	0.64	0.46	0.81	0.24	0.70	0.97	1.14	0.17
減量率 (%)	4.3	3.1	5.4	1.6	4.7	6.5	7.6	1.1
試料容積 (ml)	22.1	21.3	19.7	15.1	19.2	18.9	19.6	16.7
抽出後の容積 (ml)	14.5	16.5	17.5	15.0	14.0	16.0	15.5	14.5
減容率 (%) 注4)	34.4	22.5	11.2	0.7	27.1	15.3	20.9	13.2
試料中Cl濃度 (%)	1.5	0.67	2.1	0.27	1.2	1.7	3.0	0.26
抽出液中Cl濃度 (ml/l)	1,410	667	2,140	26.7	1,100	1,630	2,790	256
Cl抽出率 (%) 注5)	94.2	99.5	102	9.9	91.7	96.1	92.9	98.5
洗浄液中Cl濃度 (ml/l) 注6)	359	163	547	0.0	289	302	566	39.0
洗浄液Cl抽出率 (%)	6.4	6.5	6.9	0.0	6.3	4.7	4.8	4.0
試料中Ca濃度 (%)	15.5	5.1	12.5	7.0	8.6	11.7	14.9	8.2
抽出液中Ca濃度 (ml/l)	776	540	840	140	17.6	674	363	180
Ca抽出率 (%) 注7)	5.0	10.6	6.7	2.2	0.21	5.7	2.4	2.2
洗浄液中Ca濃度 (ml/l) 注8)	170	61.6	233	46.0	4.0	417	71.2	38.4
洗浄液Ca抽出率 (%)	0.21	0.31	0.43	0.15	0.01	0.78	0.11	0.11

注1) 表6のものと同じ

注2) 試料15g当たりの抽出液乾燥物重量の割合

注3) 試料15gから抽出残渣(乾燥物重量)を差し引いた重量

注4) 試料15gの見掛けの容積減少割合

注5,7) 試料中Cl量およびCa量に対する抽出Cl, Ca量の割合

注6,8) 洗浄液40ml中のClおよびCa濃度

3・4 焼却灰中塩類の水抽出実験

焼却灰中塩類の水による超音波抽出実験結果を表7に示す。

抽出液のpH値は、実施した8試料とも9.8%以上の強いアルカリ性であり、表4の灰出し水中のpH値と同様の高い値を示した。

抽出物量は、0.08～1gと少なく、これらの抽出物量を試料15gで除して求めた抽出割合は、0.5～6.9%であった。

塩類抽出後の残渣の処分としては、埋立処分あるいは有効利用といった方法がとられる。その場合には、焼却灰の減量率や減容率も性状と同様、処理効果を上げる大きな要素となることから、これについても測定を行った。

当実験の結果では、減量率が高い試料でも15g中1g程度が最大であり、7.6%にしか達しなかった。

減容率は0.7～34.4%の範囲にあり試料間のバラツキが大きかった。

次にClの抽出率では、試料Bを除き90%以上あり、これに洗浄液中のClを加えるとほぼ100%のClが抽出できる。

洗浄液中へのClの抽出率は、前述の試料Bが0%であったのを除けば4.0～6.9%の範囲にあり、平均して5.6%程度のClが洗浄により回収されてくる事が分かる。

他方、Caの抽出率は0.21～10.6%で、Clの場合に比べて極めて低く、試料間のバラツキも目立つ。洗浄液中へのCaの抽出率もClの1/10以下の値で、ろ過

の際の洗浄効果は全く期待できないといえる。

予備実験から予想されたことではあるが、この焼却灰の超音波抽出法による塩類の水抽出実験結果では、Clのほかはさしたる抽出効果は得られなかった。

3・5 集じん灰中塩類の水による超音波抽出実験

焼却灰に引き続いて、集じん灰（EP、BF灰）からの塩類の抽出実験を行った。

ただし、当実験では、一般に塩類の含有量や溶出量が多いことから抽出操作を2～3回繰り返した。

分析測定結果を表8に示す。抽出液のpHに関しては、1回目の抽出では、有害ガス処理方式が乾式の試料でpH値10を超える強いアルカリ性、湿式では8のオーダーを示した。また、有害ガス処理のない施設の試料については8以下と、有害ガス処理方式による違いがうかがえた。

しかし、2～3回目の抽出では、ほぼ一様にpH値は8のオーダーを示しているのが注目される。

実施した9試料のうち、抽出物量を試料量で除して求めた抽出割合は、最も低いもので13.5%、高い方では73.4%あり、その差が大きかった。これらの値を前述の焼却灰の場合と比べてみると、4～70倍高い値になる。ちなみに、乾式のEP灰では4～6倍、湿式と有害ガス処理のない試料が11～23倍、乾式のBF灰（試料C）では70倍程度高かった。

減量率も、21%から76%の範囲にあって抽出割合と同様かなり高く、単純平均すると約42%になる。この減量率においても、一桁オーダーである焼却灰のそれよりも極めて高い。

各項目の2回目以降の全般的な抽出状況を見ると、抽出割合では2回目抽出が2～3%程度、さらに3回目抽出ではほぼ1/100%のオーダーまで低下した。また、減量率も2回目で数%～1/100%になる。抽出操作を3回繰り返した場合の減容率は、極めて高い値となる。最小で20%、最大では90%も減容化しており、これは減量率と同程度の高い値であり、著しく容積が小さくなることが分かる。

次に、ClとCaの抽出に関する項目のうち、Clの抽出については、樋口ら⁹⁾の溶出実験でも同様であるが、いずれの試料でも1回目から極めて高い抽出率が得られる。なお、2回目の抽出では、抽出率が13.7%と高い値の1試料が認められるものの、他は数%～0.1%のオーダーになる。3回目までの抽出の合計では、す

べて91.9%以上の抽出率になる。

他方、Caの場合は、Clと異なり抽出率が全般的に低く、3回抽出の合計でも45.4%が最大であった。このCa抽出率の低さは、樋口ら⁹⁾が報告した結果と同様であった。

有害ガス処理が湿式のEP灰と有害ガス処理なしのEP灰とは、乾式のように反応生成物中のCaや未反応のCaがEP灰に混入するようなことはなく、排ガス処理の影響を受けない。このことは、当実験の湿式の2試料B、Hと処理なしの2試料Q、Rの場合でも、Ca含有濃度がともに低いことから分かる。

これら湿式の試料と有害ガス処理なしの試料を、1回目のCa抽出率の値で比べてみると、前者は著しく低いのに対し、後者は逆にかかなり高いが目立つ。この理由としては、表1に示したように、前者にはEPのみが設置されているあるが、後者にはEPの前にマルチサイクロン（MC）が稼働している。このため、後者の試料はCaCl₂のような抽出され易いCa成分が、MCにおいて相当量除かれていると考えられる。このことは、抽出割合や減量率などからもうかがえる。

Caは、CaCl₂、Ca(OH)₂、CaSO₄、CaCO₃等の状態で試料中に含まれている。これらのうち、溶解度の高いCaCl₂が初期に溶出し、次にCa(OH)₂が徐々に溶出する¹⁰⁾。溶解度の低いCaSO₄やCaCO₃はほとんど溶出していないとみられる。

当実験における1、2回目の抽出ではCaCl₂の大部分とCa(OH)₂の一部が抽出されていると考えられる。3回目の抽出では、試料Qの4.4%を除き2.8%以下に、また乾式でCa量の最も多いBF試料でも0.5%程度と2回目より更に低い抽出率になっており、溶出し易いCaは、ほぼ抽出されたものとみられる。したがって、2回抽出を行った方が効果が大きであるが、3回目の抽出は必ずしも有効ではないといえる。

ごみ焼却残渣主体の埋立処分場からのCaは、初期に濃度が高くかつ長期間にわたり溶出することが報告¹⁰⁾されており、これら埋立初期に高い濃度のCaは、ほぼ2回抽出で除去されると考えられる。なお、当実験での2回抽出後の残渣を埋め立てた場合に、溶出されないで残留するCaの溶出状況がどうなのかについては、今後、検討する必要がある。

ところで、埋立地において種々の障害を発生させるCa濃度はまだほとんど解明されていないが、少なくとも当実験のように、水を用いた短時間でしかも簡単な方法により、集じん灰中のCaを可能な限り抽出し

表8 集じん灰中塩類の水抽出実験結果

試料名	O	P	V	B	H	Q	R	C	S	
排煙処理方式	E P						B F			
	乾式(消石灰)			湿式(NaOH)		なし		乾式(消石灰)		
抽出液pH	1回目抽出	10.5	10.5	11.8	8.7	8.5	7.4	7.9	11.9	11.9
	2回目抽出	8.3	8.3	8.7	9.5	8.6	8.3	8.4	8.4	8.3
	3回目抽出	8.5	8.6	8.8	8.7	9.2	8.5	8.7	8.6	8.6
抽出物量(g)	1回目抽出	2.03	4.98	4.58	2.82	6.42	8.23	11.0	5.61	5.52
	2回目抽出	0.32	0.33	0.32	0.45	0.14	0.54	0.17	0.20	0.41
	3回目抽出	0.005	0.014	0.018	0.008	—	0.012	0.006	0.012	0.008
抽出割合(%)	1回目抽出	13.5	33.2	3.05	18.8	42.8	54.9	73.4	37.4	36.8
	2回目抽出	2.0	2.2	2.1	3.0	0.93	3.6	1.1	1.3	2.7
	3回目抽出	0.03	0.09	0.12	0.05	—	0.08	0.04	0.08	0.05
試料減少量(g)	1回目抽出	5.96	4.86	5.12	4.62	6.21	8.35	11.5	6.7	3.18
	2回目抽出	0.02	0.28	0.26	0.58	0.05	0.57	0.21	0.01	0.01
減量率(%)	1回目抽出	39.7	32.4	34.1	30.8	41.4	55.7	76.7	44.7	21.2
	2回目抽出	0.13	1.9	1.7	3.9	0.33	3.8	1.4	0.07	0.07
試料15gの容積(ml)		15.7	24.8	37.1	26.6	36.5	29.8	71.5	19.1	39.6
3回目の抽出後の容積(ml)		12.5	12.0	13.5	11.5	12.5	9.0	7.1	12.7	16.0
減容率(%)		20.4	51.6	63.6	56.8	65.8	69.8	90.1	33.5	59.6
試料15g中Cl量(mg)		1,385	2,580	2,385	1,200	2,580	3,105	5,025	2,670	2,145
抽出Cl量(mg)	1回目抽出	1,215	2,450	2,055	1,070	2,480	3,000	4,605	2,265	1,770
	洗浄液中Cl量(mg) 1回目抽出	128	148	108	52	72	132	162	204	140
抽出Cl量(mg)	2回目抽出	168	15	23	10	17	69	17	83	76
	洗浄液中Cl量(mg) 2回目抽出	25	2	2	1	6	4	0	8	8
抽出Cl量(mg)	3回目抽出	19	4	5	3	4	29	2	5	6
	洗浄液中Cl量(mg) 3回目抽出	2	0.5	0.8	0.6	0.5	2	0.1	1	0.6
Cl抽出率(%)	1回目抽出	87.7	100.7	90.7	93.5	98.9	100.9	94.9	92.5	89.0
	2回目抽出	13.7	0.66	1.0	0.92	0.89	2.3	0.34	3.4	3.9
	3回目抽出	0.8	0.17	0.24	0.30	0.17	1.0	0.04	0.22	0.31
Cl抽出率(%)	3回合計	102.2	101.5	91.9	94.7	99.9	104.1	95.3	96.1	93.2
試料15g中Ca量(mg)		2,850	2,910	2,925	1,635	1,275	795	735	4,275	3,615
抽出Ca量(mg)	1回目抽出	396	591	828	156	149	170	243	1,250	796
	洗浄液中Ca量(mg) 1回目抽出	46	59	71	26	8.0	27	21	118	74
抽出Ca量(mg)	2回目抽出	110	93	103	120	34	118	40	74	105
	洗浄液中Ca量(mg) 2回目抽出	18	20	23	13	7	11	4	11	15
抽出Ca量(mg)	3回目抽出	16	46	69	28	22	31	6	15	17
	洗浄液中Ca量(mg) 3回目抽出	3	9	14	5	4	4	1	5	3
Ca抽出率(%)	1回目抽出	15.5	22.3	30.7	11.1	12.3	24.8	35.9	32.0	24.1
	2回目抽出	4.5	3.9	4.3	8.1	3.2	16.2	6.0	2.0	3.3
	3回目抽出	0.66	1.9	2.8	2.0	2.0	4.4	1.0	0.46	0.55
Ca抽出率(%)	3回合計	20.6	28.1	37.8	21.2	17.5	45.4	42.9	34.5	28.0

(注) 抽出割合、減量率および減容率は、表7のものと同じ

てから埋め立てすれば、溶出し易いCaのほとんどは除去されているので、かなりの障害防止効果が期待できると考えられる。

ここで、当実験による方法で、集じん灰のみについて、Caの抽出処理を実施した場合、焼却残渣からはどの程度のCaが低減できるかを試算してみる。例えば、残渣1トンとし、集じん灰の割合を10%とすると、集じん灰は100kgとなる。集じん灰中Caの含有濃度の平均値は当抽出結果から16%、抽出率の平均値が実験から30%であるから、集じん灰100kgからCaは $100\text{kg} \times 0.16 \times 0.3 = 4.8\text{kg}$ が抽出されることになる。他方、残渣中焼却灰は900kg、濃度の平均値は10%、平均抽出率が10%であるから、焼却灰900kgからは $900\text{kg} \times 0.1 \times 0.1 = 9\text{kg}$ のCaが抽出される。したがって、残渣1トンから抽出される集じん灰中Caの割合は $4.8\text{kg} / (4.8 + 9)\text{kg} \times 100 = 34.8\%$ となり、約35%のCaが低減されることになる。しかも、前述したようにこの除去されるCaは、焼却残渣の埋立初期に溶出してくる成分がほとんどであり、Caによる障害防止効果がかかなり期待できると考えられる。

3・6 水による超音波抽出実験で抽出される塩類等の多量成分

集じん灰中塩類の抽出実験で得られた抽出物や抽出後の残渣などについて、蛍光X線分析を行った。これらのうち、PbやZnの存在が確認された試料Vの定性分析チャートを図5～9に示す。測定は、表9に示す条件で行った。

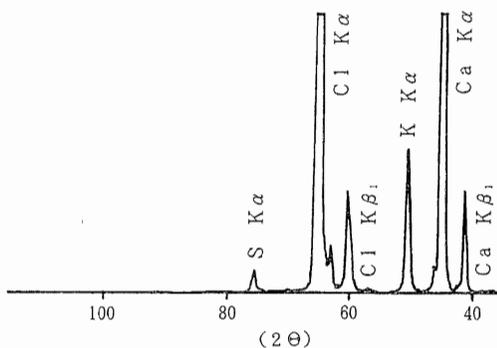


図5 試料Vにおける抽出物の定性分析チャート(軽元素)

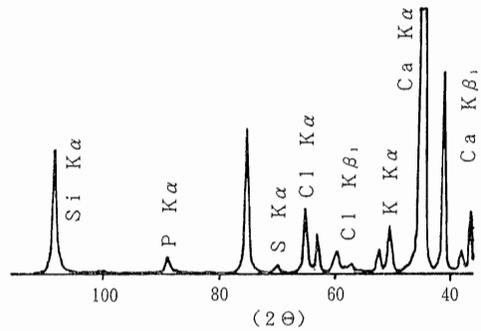


図6 試料Vにおける抽出残渣の定性分析チャート(軽元素)

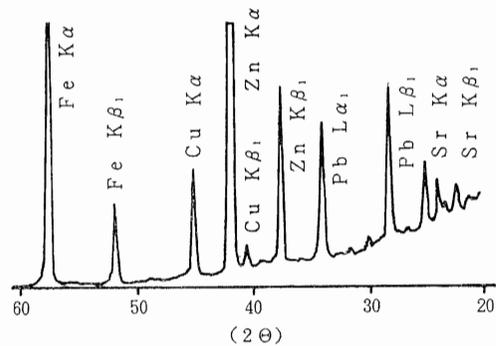


図7 試料Vにおける抽出残渣の定性分析チャート(重元素)

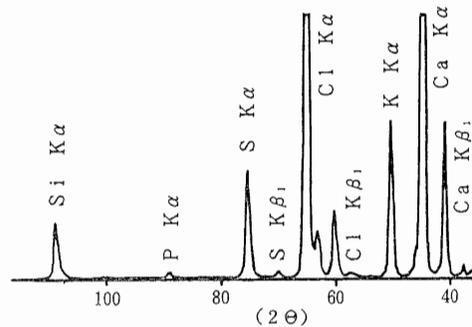


図8 試料Vの定性分析チャート(軽元素)

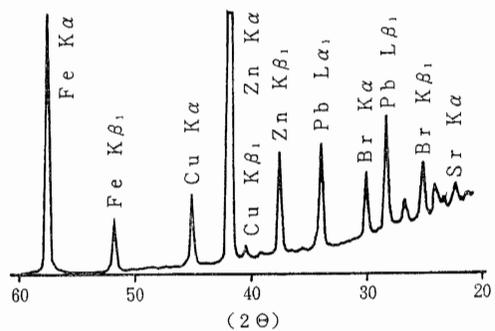


図9 試料Vの定性分析チャート(重元素)

表9 測定条件

Element	Heavy	Light
X-RAY TUBE	Rh	Rh
KV-mA	40-30	40-30
FULE SCALE	4×10 ³	4×10 ³
CRYSTAL	LiF	EDDT
DETECTOR	SC	PC
X-RAY PATH	VAC	VAC
P·H·A	DIFF×1	DIFF×1
SCAN SPEED	4°/min	4°/min

最初に、抽出物の軽元素としては、図5から、Ca・K・Cl・Sが多量成分として抽出されていることを示している。

次に、抽出残渣中の軽元素(図6)では、抽出物にみられたもののほかに、Ti・P・Siが多量成分として認められた。

抽出残渣中の重元素(図7)では、抽出物のそれ(図10)と同様の元素が検出されている。

また、抽出を行う前の試料の軽元素および重元素(図8, 9)では、ともに抽出残渣のものと同じ元素が多量成分となっている。なお、試料にみられる元素のピーク高さが、例えばCa・Si・Pb・Znなどのように、抽

出残渣のそれよりも低いものがみられる。これは、抽出残渣中の塩類が少ないのに対して、試料中には塩類が多いことおよび測定試料の成型状態が粒子の違などにより一様でないこと等のためと考えられる。

また、試料から検出された元素のうち、Clについては、抽出残渣中のピークが極端に低くなっている。このことから、ほとんどのClは抽出されていることがうかがえる。

3・7 pH調整溶媒による有害金属の抽出抑制実験

塩類の抽出に伴い、有害な重金属も共に抽出されてくることが考えられるため、抽出物の処理処分を考慮するときには無視できない問題となる。このため、焼却残渣の塩類抽出液から、更に有害な重金属を分離除去することが必要になってくる。そこで、抽出液の処分を簡便で安全なものとする観点から、有害な重金属の抽出抑制実験を試みた。

これまでの重金属の溶出に関する実験¹¹⁾や報告¹²⁾などから、pH値が10の領域で、重金属が最も溶出しにくいことが分かっている。そこで、抽出溶媒の水に酸あるいはアルカリを加え、抽出終了後の抽出液pH値が約10になるように調整することにより、PbやZnの抽出抑制効果を検討した。また、実験に供した試料は、再度水溶媒による抽出を行い、抽出抑制実験の効

表10 pH調整溶媒による抽出実験

試料名	Q		V	
	H ₂ O 148.2ml + NaOH(2N) 1.8ml	H ₂ O 150ml	H ₂ O 143ml + HNO ₃ (3N) 7ml	H ₂ O 150ml
抽出液のpH	9.93	7.3	10.5	11.6
抽出物重量(g)	8.48	8.22	7.43	6.61
抽出割合(%)	56.5	54.8	49.5	44.1
試料減少量(g)	7.84	7.96	5.18	5.16
減量率(%)	52.3	53.1	34.5	34.4
試料15g中Cl量(mg)	3,105		2,385	
抽出Cl量(mg)	3,100	2,985	2,160	2,130
Cl抽出率(%)	99.8	96.1	90.6	89.3
試料15g中Ca量(mg)	795		2,925	
抽出Ca量(mg)	156	174	1,155	840
Ca抽出率(%)	19.6	21.9	39.5	28.7

注) 抽出操作は1回のみ、また、ろ過後の残渣洗浄は省略した。

果をみた。

蛍光X線分析による定性分析から、PbやZnの存在が確認された2試料(V, Q)を実験に用いた。抽出溶媒の調整には、3N硝酸あるいは2N水酸化ナトリウムを加えた。なお、この場合、水抽出における超音波照射直後に、pH値を約10に調整するなどの予備実験を行って、薬品の添加必要量をあらかじめ決定した。

実験結果を表10に示す。調整溶媒による抽出液のpH値は、2試料とも約10を示した。また、分析測定したすべての項目において、水抽出の場合と比べて目立ったデータ値の差は認められなかった。しかし、試料Vの場合には、抽出割合とCa抽出率の項目で、調整溶媒による抽出の方が若干高い値を示している。これは、試料Vでは、pH調整によって、水抽出の場合の値よりも酸性側に移行したためと考えられる。

ここで、試料Vの調整溶媒による抽出液乾燥物に対して行った蛍光X線分析法による重元素の定性分析結果を図10, 11に示す。

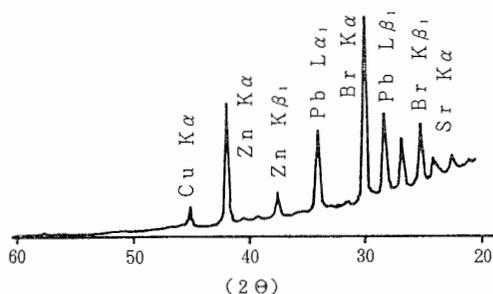


図10 試料Vの水抽出における抽出物の定性分析チャート(重元素)

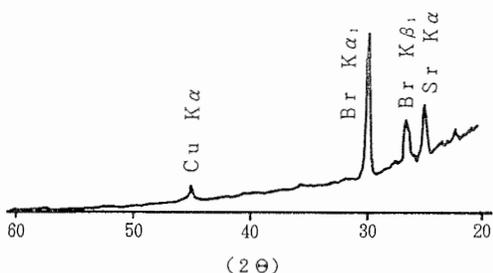


図11 試料VのpH調整溶媒抽出における抽出物の定性分析チャート(重元素)

図10に示す試料Vの水抽出実験の抽出物ではSr・BrおよびわずかのCu・Feのほか、PbとZnのピークが顕著に現われている。他方、図11に示すpH調整溶媒実験の抽出物ではPbとZnのピークは完全に消滅している。なお、抽出物の定性分析でZnの高いピークがみられた試料Qの場合も、pH調整溶媒実験のチャートにはZnのピークは全く認められなかった。

当実験結果から、抽出溶媒のpHを調整すれば、塩類の抽出率を低下させることなく、有害重金属の抽出を大幅に抑制できることが確認された。

ただし、ここで検討したPbとZnは多量に含有されているものであり、比較的含有量の少ないCd・Hg・Crなどの有害重金属がどの程度抽出されているかは明らかではない。しかし、恐らくは抽出されていないか、あるいは抽出されていたとしても微量と考えられる。

こうしたことから、pH調整溶媒による抽出液については、少なくとも多量成分である有害重金属の存在を考慮せずに、処理処分や有効利用などを行い得るものと考えられる。

3・8 酸添加溶媒によるCa抽出実験

集じん灰中塩類の水抽出実験では、Caの抽出率が最も高い場合でも45%程度と低く、水抽出の限界を感じさせた。そこで、抽出溶媒として酸性度の高いものを用いた場合に、Caの抽出率が、水溶媒のそれと比較して、どの程度高くなるかを明らかにするための実験を試みた。

試料としては、Caの含有量が比較的多かった(表3)EP灰(試料P)とBF灰(試料C)を用いた。これらは、乾式で、消石灰を使用している施設から排出されたものである。

抽出方法は焼却灰からの塩類の水抽出方法と同様であるが、抽出溶媒は HNO_3 (1+1)あるいは HCl (1+1)を段階的に水に加えて150mlとしたものである。

酸添加量とCa抽出率の関係を図12に、また、酸添加量と抽出液のpHとの関係を図13に示す。

酸添加量とCa抽出率の関係では、P, Cの両試料とも、酸添加量の増加とともに抽出率が増加する。酸添加量がほぼ20mlまでは急上昇した。この20mlの添加量においては、抽出率の低い試料P(HCl 添加)でも、抽出率は70%を超えた。特に、試料C(HNO_3 添加)では、30mlの添加量で94.7%まで達している。

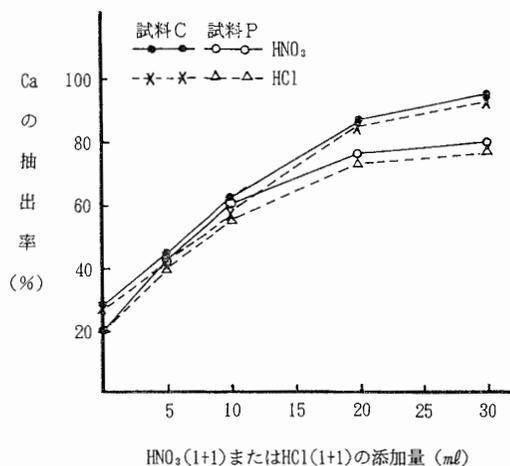


図12 酸添加量とCa抽出率の関係

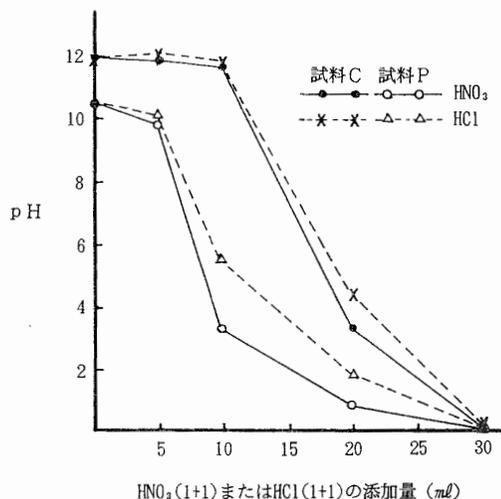


図13 酸添加量と抽出液pHの関係

次に、酸添加量と抽出液のpHとの関係では、酸添加量が5～10mlになると、pHは急激に低下する。さらに、20mlまで添加すると、pH値はすべて5以下に、また、30mlではpH値がすべてほぼ0まで低下した。

なお、添加する酸の違いをみると、図12にみられるように、HNO₃の方が若干Ca抽出率が高くなっている。これは、HNO₃の規定度がやや高く、図13から分かるように抽出液のpHがHClより低くなるためと考えられる。

図12からEP灰（試料P）とBF灰（試料C）につい

て、Ca抽出率の差をみると、酸添加量が10mlまではさほど認められない。しかし、このときの抽出液のpH値は、HNO₃添加の場合を例にとると、試料Pが3.3、試料Cでは11.6と極端に異なっている。また、酸の種類によらず、試料CのCa抽出率が試料Pよりも高い値を示すにもかかわらず、試料Cの抽出液pHは高くなっている。この理由は、例数が少なく、集じん方式の違いによるものかどうかを明らかににはできないが、試料中のCa成分の存在形態が異なっているためであろうと考えられる。

なお、この実験におけるpH値10での抽出率は、試料Pではほぼ40%、試料Cでは65～70%に達しており、水抽出のそれぞれ20%および30%の場合と比較すると、かなり高い値である。

抽出液のpHが酸性側に移行すれば、有害重金属が相当多量に抽出され、前述したように抽出液の処理処分の問題が大きいと予想される。このため、これら有害重金属の抽出や処理処分に関する検討は今後の課題である。

4 おわりに

上述した実験結果から、ごみ焼却残渣を埋め立てする前に、焼却場でCaを主体とした塩類の除去システムを開発・導入する場合を考えると、超音波を用いた水抽出方法では、焼却灰については、Caの抽出率が低く、難しいとみられた。他方、集じん灰では、超音波による水抽出方法は、振とうによる抽出方法と同じかそれ以上の抽出効率があると同時に簡便かつ迅速であるという大きなメリットがあることから、塩類低減化のシステム開発における抽出方法の一つとして応用できると考えられる。

この超音波抽出法を応用して、実用化する方法としては、バッチ式とフロー式の抽出方法が考えられる。例えば、バッチ式では、大きなポリ容器に集じん灰と溶媒の適量を入れ、大型の超音波発生装置を必要数使用して超音波を照射する。また、フロー式の場合は、横断面がU字形で細長く、底部にベルトコンベアーを備えた装置を作り、この中に超音波発生装置を複数回一定間隔に配置する。集じん灰と溶媒を少量づつ連続的にこの中に供給し、それらをゆっくり移動させながら抽出するなどの方法が考えられる。

なお、抽出の際、集じん灰によっては水抽出でも有害な重金属が抽出されることがあるため、これらが抽

出される集じん灰については、抽出液のpH値が約10になるように溶媒のpHを調整し、有害重金属の抽出を抑制すれば、抽出塩の処理・処分や有効利用が図られ易くなる。

また、抽出液と抽出残渣の分離方法としては、デカンテーションした後にプリコートフィルターでろ過する方法やフィルタープレスによる脱水分離などが適用できると考えられる。

抽出されてきた塩類の処理処分方法としては、Cl・Na・K・Caなどは高濃度であるため、資源化・有効利用が考えられる。この他に海洋投入や岩塩廃坑への投入などが挙げられる。このうち、比較的簡単な海洋投入は、海洋汚染防止の観点から、現在は難しい状況にある。とはいえ、抽出液の成分は海水のそれと著しく類似しており、海洋投入が可能とも考えられる。

また、抽出残渣の処理処分方法については、現在実施されているようなセメント固化を行った後に埋立処分する方法、あるいは、抽出残渣に対して、更に無害化処理や安定化処理の検討を加えることにより資源化・有効利用する方法などが考えられる。

なお、塩類除去についての開発に着手する場合は、ごみ焼却施設における集じん灰の発生量や塩類の含有量などに大きな違いがみられることから、各施設ごと、あるいは当報告で区分したような排煙処理方式別に検討することが合理的であると言える。

最後に、集じん灰は、平成4年7月4日に施行された改正廃棄物処理法により、特別管理一般廃棄物として定義され、平成7年度からは未処理のままの埋立処分はできなくなる。

当報告では、塩類に限って、その低減化の可能性を検討してきた。しかし、今後は、これら塩類の問題を含めた有害重金属の処理処分が、更に重要な課題になると考えられる。

5 まとめ

ごみ焼却残渣中塩類の分析や抽出に関する実験を行った結果、次のような知見が得られた。

- (1) 集じん灰中のCa, Na, Kの単純平均濃度は、焼却灰に比べて数倍、Clは10倍程度高かった。また、焼却灰、集じん灰ともに、Caをはじめどの元素も最大値と最小値の差が大きく、かつ、各元素の変動係数も30～90%と高かった。
- (2) 超音波を用いた塩類の抽出方法では、振とうによ

る方法とほぼ同じかそれ以上の効果が認められた。また、この方法には、操作が簡単なことや極めて短時間で塩類を抽出できる利点がある。

- (3) 焼却灰における減量率は、最大でも7.6%と低値であった。減容率では0.7～34.4%の範囲にあり、試料間のバラツキが大きかった。

集じん灰の減量率は21.2～76.4%（単純平均値で約42%）とかなり高かった。また、抽出操作を3回繰り返した場合の減容率は、20.4～90.1%と試料間の差が大きいものの、全体的には、著しく容積は小さくなることが認められた。

- (4) 焼却灰中Clの蒸留水による超音波抽出では、約90%以上の抽出率になるのに対し、Caの場合は10%が最高であり、極めて低い値であった。

- (5) 集じん灰中のClの抽出では、焼却灰と同様であったが、Caでは焼却灰に比べ2～3倍高い抽出率が得られた。また、抽出回数では、Caの場合には2回目までは抽出効果が大きいことが分かった。

- (6) 蒸留水による超音波抽出により抽出される多量成分は、Ca・K・Cl・S・Sr・Br・Pb・Znであった。

- (7) 抽出液のpH値を約10になるように調整した溶媒を用いた有害重金属の抽出抑制実験では、蒸留水では抽出されていたPbやZnは抽出されなくなることが認められた。

- (8) Caの抽出率が抽出溶媒の酸性度を上げることによりどうなるかを明らかにする実験では、酸添加量の増加とともに上昇し、pH値が約4.4では抽出率が約84%に達した。pH値が1以下ではほぼ90%以上になる場合もみられた。

文 献

- 1) 大橋文雄ら：水質保全計画，衛生工学ハンドブック，朝倉書店（第4版）921～923，（昭和46年6月）
- 2) 花嶋生孝ら：埋立地における高濃度無機塩類に関する研究，第1回廃棄物学会研究発表会講演論文集，337～340，1990.
- 3) 平山直道ら：ごみ焼却処理施設のアッシュ及びダストの処理処分に関する研究の概要，生活と環境，25（7），4～10，1980.
- 4) 羽田孝義：ごみ焼却灰の研究（1），環境技術，7，941～946，1978.
- 5) 木次恭一：都市ごみ焼却灰の皿型造粒機（パンペレタイザ）による造粒固化技術について：都市と廃

- 棄物, 12(9), 17~28, 1982.
- 6) 長岡欣之介ら: 重金属を含む廃棄物のガラス化処理に関する研究, 環境保全研究成果集(1), 78-1~78-13, 1990.
 - 7) 田中 勝ら: 廃棄物中の有害重金属の超音波溶出による迅速分析について, 廃棄物処理対策全国協議会, 第40回全国大会, 169~172, 1989.
 - 8) 「廃棄物に含まれる金属当の検定方法」(環境庁告示13号, 昭和48年2月)
 - 9) 樋口壮太郎ら: 焼却残渣埋立に伴う Ca^{2+} , Cl^- の溶出特性について(その2), 第11回全国都市清掃研究発表会講演論文集, 162~164, 1990.
 - 10) 村木 宏ら: 焼却残渣埋立地におけるカルシウム対策について, 都市清掃, 43, 265~269, 1990.
 - 11) 丹野幹雄ら: 埼玉県内の都市ごみ焼却炉ダストの性状等に関する調査研究(第4報)酸・アルカリによる重金属の溶出について, 埼玉県公害センター研究報告, [14], 124~129, 1987.
 - 12) 実近祐治ら: 廃棄物中の有害重金属に及ぼすpHの影響, 山口県衛生研究所業績報告, [8], 6~10, 1986.