

埋立地における廃棄物焼却残渣の二酸化炭素吸収能の推定

九州大学大学院工学府 学生会員 ○福井 晋平
 九州大学大学院工学研究院 正会員 高橋 史武 島岡 隆行
 University of New Hampshire Kevin H. Gardner

1. はじめに

地球温暖化研究において、埋立地は有機性廃棄物の分解に伴う温室効果ガス(二酸化炭素、メタン)の発生源としてのみ着目されてきた。現在、日本や米国の一部では廃棄物を焼却処理した残渣を主に埋め立てており、日本では最終処分された廃棄物の62%が焼却残渣である¹⁾。廃棄物焼却残渣はその高いアルカリ度から二酸化炭素を吸収して鉱物的変化が生じる。^{2),3)} 埋立てられた焼却残渣は、大気中の二酸化炭素を吸収すると考えられる。埋立地内部への二酸化炭素吸収は進行が遅いため、埋立地による二酸化炭素吸収は着目されずにいた。

本研究では埋立焼却残渣における二酸化炭素吸収に着目し、二酸化炭素吸収量を定量的に評価することを目的とする。焼却残渣中の炭酸含有量測定法を検討し、飽和炭酸化量を求めるとともに炭酸化要因の検討を行った。

2. 実験概要

2-1 実験試料 表1に採取した埋立焼却残渣の試料一覧を記す。米国ニューハンプシャー州の焼却残渣主体の埋立地において、1995年(No.1)および1997年(No.2)に埋立てが終了した2箇所の焼却残渣層から採取した。採取深度は埋立地表面から深さ方向に0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5mの5点である。また、試料採取日に焼却工場から埋立地に搬入されてきた新鮮な焼却残渣(FBA)の採取も併せて行った。

2-2 炭酸含有量測定法の検討 各試料の炭酸含有量をTG-DTA法と水酸化バリウム吸収法でもって測定した。TG-DTA法では炭酸カルシウムの550~750℃で熱重量変動を生じる特性を利用し、この温度域での焼却残渣の熱重量変動から炭酸含有量を求めた。水酸化バリウム吸収法では粉末化した試料を硫酸存在下で加熱処理し、気化した二酸化炭素を水酸化バリウム溶液に吸収させて中和滴定により炭酸含有量を求めた。

2-3 埋立焼却残渣の炭酸化要因の検討 各試料の元素含有量および比表面積を測定した。比表面積を測定する際には、1.6mm篩いを通過した試料のみを用いた。

2-4 焼却残渣の飽和炭酸化量の検討 焼却残渣の飽和炭酸化量を把握するために、各試料の炭酸化試験を実施した。グローブボックス内の窒素濃度を85%、二酸化炭素濃度を15%、気温20℃、湿度65%の条件で一定期間維持し、75μm以下に粉碎した各試料を含水率10%に調整してグローブボックス内部に静置することで、試料を炭酸化させた。飽和炭酸含有量に達するまでの時間は、FBAの炭酸含有量の経時変化(0~148時間)を調べることで把握した。これらの結果をもとに他の試料の飽和炭酸含有量を測定した。

3. 結果および考察

3-1 炭酸含有量測定法の検討 図1にTG-DTA法と水酸化バリウム吸収法での測定結果の比較を示す。いずれの試料も傾き1の直線付近の値となったため、2つの測定方法で大きな違いは生じないとわかった。試料別に見るとNo.1試料(1995年埋立)は比較的良好一致を示し、No.2試料(1997年埋立)ではTG-DTA法が水酸化バリウム法より大きな値を示し誤差が大きくなる試料が一部で見られた。焼却残渣はその複雑な化学的・鉱物的組成から特定温度域(550~750℃)のみで脱炭酸反応が生じるわけではないため、TG-DTAにおいて誤差を生じたと考えられる。一旦すべての二酸化炭素を気化させる水酸化バリウム法の方が、より測定精度は高いと考えられ、以降の炭酸含有量データは水酸化バリウム法のものを採用した。

表1 実験試料

試料名	採取深さ(m)	備考
FBA		試料採取日に排出
No.1-0.5m	0.5	1995年埋立処分
No.1-1.5m	1.5	
No.1-2.5m	2.5	
No.1-3.5m	3.5	
No.1-4.5m	4.5	
No.2-0.5m	0.5	1997年埋立処分
No.2-1.5m	1.5	
No.2-2.5m	2.5	
No.2-3.5m	3.5	
No.2-4.5m	4.5	

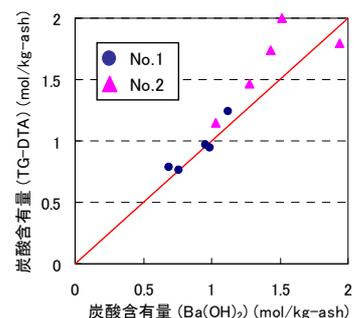


図1 炭酸含有量測定方法の検討結果

表2 各試料の含有量測定結果

元素	FBA	No.1-0.5~4.5m				No.2-0.5~4.5m		
	含有量(g/kg-ash)	平均含有量(g/kg-ash)	標準偏差(g/kg-ash)	変動係数(-)	平均含有量(g/kg-ash)	標準偏差(g/kg-ash)	変動係数(-)	
Si	190	120	28	0.23	92.6	15	0.16	
Ca	120	150	36	0.24	179	39	0.22	
Fe	83	170	63	0.37	155	36.9	0.24	
Al	68	71	12	0.17	71	15.2	0.21	
Na	26	9.2	3.3	0.36	7.72	1.98	0.26	
K	11	5.1	1.9	0.37	5.12	1.15	0.22	
Cl	13	2.4	1.0	0.42	2.53	2.2	0.87	

3-2 埋立焼却残渣の炭酸化要因の検討

表2に各試料の元素含有量を示す。いずれの試料もSi, Ca, Fe, Alが主成分であるが、いずれも標準偏差, 変動係数共に、大きな値を示し、試料間でばらつきがあることが示唆された。埋立焼却残渣であるNo.1, No.2の試料では、Na, KおよびClの含有量がFBAよりも小さく、埋立期間中に雨水浸透による溶出が進んでいると示唆された。

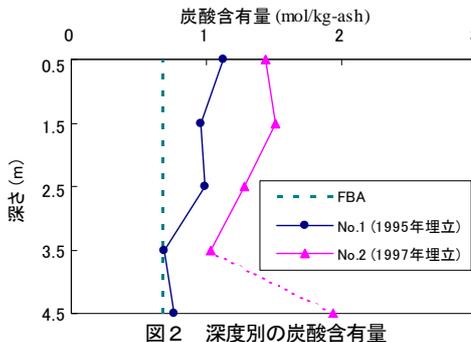


図2 深度別の炭酸含有量

図2に各試料の炭酸含有量を深度別に示すと、採取深度が大きいほど炭酸含有量値が小さい傾向が現われた。大気中の二酸化炭素は主に埋立地表層から拡散進入すると考えられ、予想された結果となった。No.2-4.5 mで炭酸含有量が特異的に大きい値を示した。No.2-4.5 mの含有量や鉱物形態などの試料性状は他の試料と特異な傾向はなかったため、埋立地内での通気性、保水性など環境条件の違いに起因したと考えられるが、明確な要因は不明である。埋立年度の古いNo.1 (1995年) 試料より埋立年度が新しいNo.2 (1997年) 試料の方が炭酸含有量は全体に大きい。試料性状の違いが主に関与していると考えられたことから、まず比表面積に着目した。齊藤⁴⁾は焼却残渣の炭酸化を促進すると比表面積が増加すると報告しており、図3のように比表面積と炭酸含有量には正の相関が認められた。元素含有量では特にCa含有量でNo.1試料とNo.2試料に違いが見られ、焼却残渣中のカルシウムが炭酸化反応に強く関与していることが示唆される。

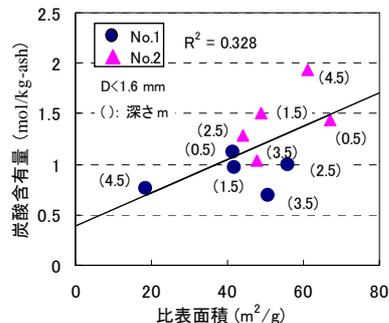


図3 炭酸含有量と比表面積の関係の検討

3-3 焼却残渣の飽和炭酸化量の検討 FBAの炭酸含有量の経時変化を図4に示す。炭酸含有量は炭酸化試験開始1時間で大きく増加し、72時間から148時間経過後には増加がほぼ認められなくなったことから、飽和炭酸含有量に達したと示唆された。このときの炭酸含有量は1.45 mol/kg-ashである。No.1およびNo.2試料の飽和炭酸含有量は1.25~2.60 mol/kg-ashを示し、飽和炭酸含有量においてもNo.1試料よりNo.2試料の方が大きい傾向にあった。3-1でCa含有量と炭酸含有量の関連を示唆したが、

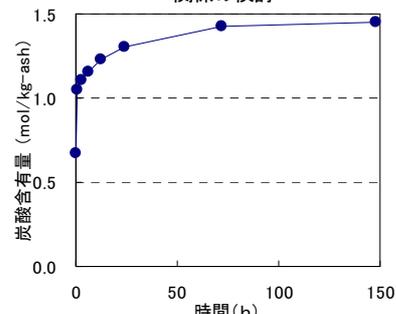


図4 炭酸化試験によるFBAの炭酸含有量の経時変化

図5よりCa含有量と飽和炭酸含有量には明確な正の相関が認められた。Na, K, Siなどの他の主要含有成分とは相関が認められず、カルシウムが炭酸化反応の主対象元素であると示唆された。X線回折分析(XRD)では、炭酸化前後で鉱物形態に明確な変化は認められず、炭酸化反応では主に非晶質の炭酸カルシウム系鉱物が生成されていると示唆された。

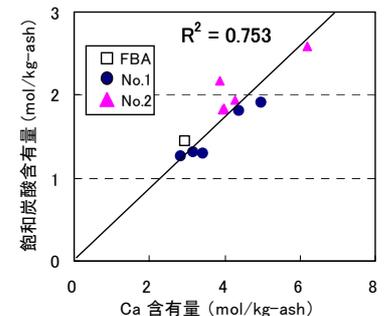


図5 飽和炭酸含有量Ca含有量の関係

3-4 焼却残渣による二酸化炭素吸収能 焼却残渣が飽和炭酸含有量に達するまでの二酸化炭素吸収量は実験結果より平均で1.09 mol/kg-ashとなり1tの焼却残渣当たり約47.9 kgと求められた。平成17年度における日本の一般廃棄物焼却残渣の埋立量は4,550 t¹⁾であることから、二酸化炭素吸収量は約218 tと見積られる。平成17年度における廃棄物埋立地から排出される温室効果ガス(二酸化炭素換算量)は5,670 t⁵⁾であり、二酸化炭素吸収量はその3.8%に相当する。長期的視点では埋立焼却残渣による二酸化炭素吸収量は排出量に対して無視できないことが示唆された。

4. まとめ

焼却残渣の飽和炭酸含有量は主要元素成分の中ではCa含有量のみと正の相関が認められ、焼却残渣中のカルシウムが炭酸化反応の主対象元素であることが示唆された。二酸化炭素は非晶質形態の炭酸カルシウム系鉱物として焼却残渣中に吸収されるものと考えられた。焼却残渣による二酸化炭素吸収量は平均して1.09 mol/kg-ashであり、日本全体での一年間の焼却残渣埋立量から推定すると約218 tの二酸化炭素が吸収されると見積られた。廃棄物埋立地から排出される温室効果ガスを二酸化炭素換算した量は5,670 tとなり、埋立地の二酸化炭素吸収量はこれの3.8%に相当することから、長期的視点では埋立焼却残渣による二酸化炭素吸収量は排出量に対して無視できないことが示唆された。

謝辞: 本研究は日本学術振興会「若手研究者インターナショナル・トレーニング・プログラム(地球資源・環境系国際的若手研究者育成のためのアジアにおける研究拠点形成)」の支援を受けたものである。ここに深く謝意を表す。

[参考文献] 1)平成20年度版環境統計集3章物質循環一般廃棄物ごみ処理フローシート 2)李政準, 崎田省吾, 島岡隆行: 焼却灰の炭酸化処理に関する基礎的研究, 土木学会第58回年次学術講演会, pp.257-258, 2003 3)江藤次郎, 原口崇, 島岡隆行: 埋立都市ごみ焼却残渣の炭酸化現象に伴う重金属溶出抑制, 第17回廃棄物学会研究発表会公演論文集, pp.825-827, 2006 4)齊藤啓輔: 都市ごみ焼却灰の炭酸化における鉛の不溶化現象の解明に関する研究, 九州大学修士論文, 2008 5) 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス編: 「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」