

機関番号：25406

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760420

研究課題名（和文）都市ごみ焼却残渣の炭酸化処理による二酸化炭素固定化に関する研究

研究課題名（英文） Absorption of CO₂ in Carbonated MSWI residues

研究代表者

崎田 省吾 (SAKITA SHOGO)

県立広島大学・生命環境学部・准教授

研究者番号：80398099

研究成果の概要（和文）：都市ごみ焼却灰に二酸化炭素を吸収させ（炭酸化処理）、上向流カラム通水試験によって浸出水水質と炭酸化処理の長期的な効果の持続性を検討した。炭酸化処理焼却灰の浸出水 pH は廃止基準（pH5.8-8.6）を初期の段階から満たし、pH4 の硝酸に切り替えて通水しても、大きな変化は認められず安定していた。また、埋立前処理として焼却灰に炭酸化処理を実施した場合における簡易 LCA 評価を実施した。炭酸化処理灰では、未処理灰と比較して LCC、LCCO₂ がそれぞれ約 6 割削減できると推定された。

研究成果の概要（英文）：It assimilated carbon dioxide into the MSWI bottom ash (carbonation), and the durability in a long-term effect of the pure water quality and processing of making to the carbonic acid was examined by the upward style column pass examination. The substantial change was not admitted and was steady though filled abolition standard (pH5.8-8.6) from an initial stage, switched to the nitric acid of pH4, and passed the ooze water pH of the processing of making to the carbonic acid incineration ash. Moreover, a simple LCA evaluation when processing of making to the carbonic acid was executed to the incineration ash as a preprocessing of reclamation it was executed. In the processing of making to the carbonic acid ash, it was presumed to be able respectively to reduce LCC and LCCO₂ by about 60 percent compared with the normal ash.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：都市ごみ、焼却残渣、炭酸化、二酸化炭素

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題への議論が高まりを見せている中、我が国においては、マイナス 6% の温室効果ガス排出削減目標を達成するため、様々な分野で対策が進められている。しかし、京都議定書の第一約束期間（2008～2012年）が始まったにもかかわらず、我が国の温室効果ガスの排出量削減は十分ではなく、基準年を上回る状態が続いている。したがって、長

期的・抜本的対策を含めて、排出削減策のさらなる充実が求められている。廃棄物部門における温室効果ガス排出量は約 4500 万トン-CO₂（2006 年度）であり、国内の総排出量に占める割合は約 3.3% と推計されている。産業部門（30.5%）、エネルギー転換部門（30.4%）や運輸部門（19.4%）と比較すると少量ではあるが、3R を中心とした循環型社会作りと地球温暖化対策との間には多くの接

点がある。例えば、焼却対象廃棄物量の削減は、直接的にCO₂排出量の抑制につながる。また、ごみ発電等のサーマルリサイクルにおける発電効率や余熱利用率の向上は、廃棄物処理施設からの温室効果ガス排出量を有意に削減可能であることが指摘されており、排出量削減を可能とする余地は多く残されていると考えられる。

2. 研究の目的

都市ごみ焼却残渣の炭酸化処理は、埋立前処理や有効利用を目的として、含有重金属(特にPb, Cd)を炭酸塩に変化させ、不溶化させることを主眼として研究が進められてきた。研究代表者も、湿潤焼却灰を用いたカラム通気実験や、実清掃工場におけるパイロットプラント試験等によって、十分なPb不溶化を生じさせる実験条件(焼却灰含水率, CO₂通気速度・濃度, 処理時間)を明らかにしてきた。その際の炭酸吸収量は20kg-CO₂/t-dried bottom ash程度であり、その他の関連研究結果もほぼ同様であった。しかし、これらの値は焼却残渣中の重金属を不溶化させることを目指した実験結果であり、十分なCO₂吸収量を達成させることを目的とはしていない。また、ドイツやオランダでは、湿潤焼却灰を大気中に3ヶ月程度暴露させて炭酸化反応を生じさせる方法(焼却灰のエージング)が既に実用化されているが、処理時間を短縮させるための炭酸化反応促進手法については十分に検討されていない。

本研究では、高アルカリ性である都市ごみ焼却残渣をCO₂固定化担体と捉え、清掃工場から排出されるCO₂を可能な限り吸収させ(炭酸化処理)、廃棄物部門からのCO₂排出削減に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 都市ごみ焼却灰の最大CO₂吸収量の検討

複数の焼却残渣を用いて十分に炭酸化反応を生じさせ、処理前のアルカリ度ごとにCO₂吸収量を整理した。都市ごみ焼却灰では、粒子内部の複雑な空隙構造に起因してCO₂吸収量が大きくばらつくことが考えられる。実際、急激な炭酸化は、焼却灰粒子表面に主としてカルサイトを多量に生成させ、粒子内部の炭酸化を物理的に阻害している可能性があることが報告されている。したがって、粒子径の影響が大きいと考えることから、焼却灰粒子を粒度分布ごとに検討するとともに、同一粒度試料を細粒度化してCO₂吸収量を多面的に検討した。

表-1 炭酸化処理前後の焼却灰のJLT46結果

		未処理灰	炭酸化処理灰
pH	—	11.2	8.3
EC	S/m	0.318	0.323
Ca		85.6	53.5
Pb		0.273	0.009
Zn		0.080	0.037
Cd	mg/L	0.078	<0.001
T-Cr		0.195	0.030
Cu		2.44	1.82

(2) 炭酸化処理残渣の長期的な効果の持続性の検討

都市ごみ焼却灰($d < 2\text{mm}$)を試料として用いた。炭酸化処理は、初期含水率が30%となるように純水を加えた後、試料をデシケータに入れ、流量が300ml-CO₂/minになるよう流量計で調整しながら、72時間CO₂ガスを通気させることによって行った。なお、本条件は、同様の試料を用いて炭酸含有量を測定した予備実験結果から決定した。処理前後の試料の環告46号法試験(JLT46)の結果を表-1に示す。

カラム試験(図-1参照)は、EU規格であるCEN/TS14429に準拠した。内径43mmのアクリルカラムに炭酸化処理、または未処理の試料を高さ300mmまで充填した(充填密度1.5t/m³)。通水前に、純水でカラム内を飽和させて3日間静置後、飽和状態を維持しつつ通水を開始した。通水速度は定量ポンプで12±2mL/hに設定し、上向流で行った。通水溶媒には純水を用いたが、液固比(以下、L/S)が累積で20以降は、pH4の硝酸に切り替えてL/S30まで通水した。浸出水を経時的に採水し、直ちにpH(東亜DKK, HM-30)、EC(東亜DKK, CM-30)を測定した。また、0.45μmのメンブレンフ

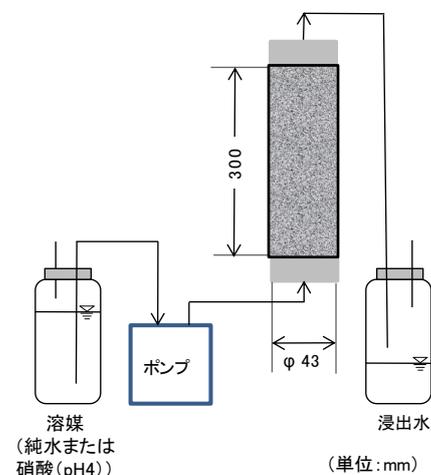


図-1 カラム試験装置図

フィルタでろ過し、ろ液を ICP (SII, SPS7800) で分析した。分析項目は K, Na, Ca, Pb, Zn, Cd, T-Cr および Cu とした。また、カラム試験前後における試料の全含有量、炭酸含有量を分析するとともに、Availability 試験、pH 依存性試験を行った。

(3) 最終処分場の早期安定化を目的とした埋立前処理としての炭酸化処理

①炭酸化処理せずに埋立、②炭酸化処理後に埋立、の2つのシナリオについて LCC および LCCO₂ を算出した。人口 20 万人規模の山間最終処分場(埋立容量:約 25 万 m³, 埋立深さ: 20m) で、焼却灰のみを 15 年間埋立処分した場合を想定し、閉鎖から浸出水 pH が廃止基準 (pH5.8-8.6) を満足するまで(維持管理期間)を検討した。考慮した項目は、維持管理作業における電力費、燃料費、薬品費、人件費および施設整備補修費である。維持管理期間は、(1) のカラム通水試験 (0<L/S≤20) で得られた pH 値と L/S の関係を、指数近似して推定した。

4. 研究成果

(1) 都市ごみ焼却灰の最大 CO₂ 吸収量の検討
pH は炭酸化が進むにつれて、粒径や含水率に関係なく減少し、CO₂ 通気をさせると短時間で 8 付近まで減少させることができた。

最大炭酸吸収量は、本研究の結果より 0.97 ~ 1.29mmol-CO₂/g (d=2mm) であった。粒径 d=2mm の結果で計算すると、日本の一廃、産廃の最終処分量の焼却残渣 2417 万トンに CO₂ を吸収させると約 78 万 7203 トン~137 万 2286 トンを吸収すると概算された。これは、廃棄物分野の CO₂ 排出量 2.6~4.5%にあたり、焼却による CO₂ 排出量の 5.9~9.7%を占めると見積もられた。

炭酸含有量とアルカリ度、Ca 溶出濃度には相関性があると考えられたが、炭酸吸収量とアルカリ度の関係性については更なる検討が必要である。

炭酸吸収量には含水率が影響しており、反応効率を良くするために最適な含水率があると考えられる。本研究の結果では、w=30%が最も反応効率が良く、w=30%付近が CO₂ 吸収のためにより良い条件であると予想された。

(2) 炭酸化処理残渣の長期的な効果の持続性の検討

浸出水 pH と累積 L/S の関係を図-2 に示す。まず、炭酸化処理灰では、通水開始直後に pH の上昇は認められたものの、その後は徐々に低下し、L/S 8 以降は排水基準を満足してい

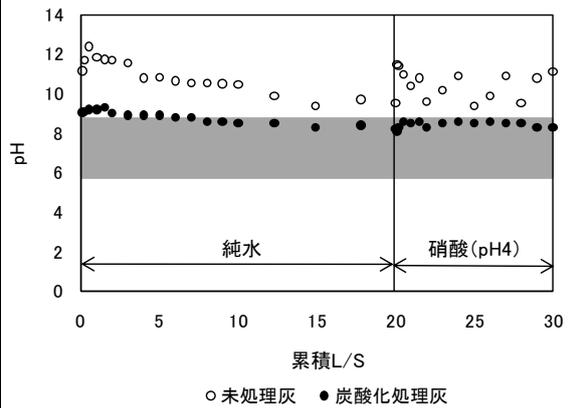


図-2 浸出水 pH と L/S (液固比) の関係 (灰色部は、pH の排水基準 (pH5.8-8.6) を表す。

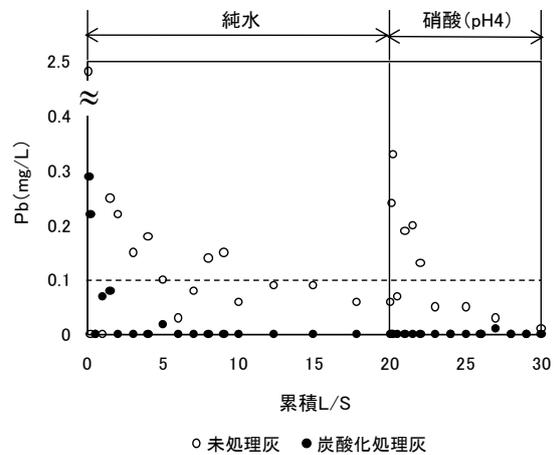


図-3 浸出水 Pb 濃度と L/S (液固比) の関係

た。通水溶媒を pH4 の硝酸に切り替えた 20<L/S の範囲においても、大きな変化は認められず pH は安定していた。一方、未処理灰については、実験開始後、pH 値は徐々に低下したが、硝酸 (pH4) に切り替えた後は、データのバラつきが大きく不安定になった。炭酸化処理の効果について、焼却灰では十分に二酸化炭素を吸収させることができ、pH や重金属等についても早期に排水基準値を満足することが認められた。したがって、炭酸化処理は廃棄物の埋め立ての前処理として用いることも可能である。しかし、pH によっては炭酸化の効果を得られない化合物もあり、今後は様々な条件下で試験を行うなど、更なる検討が必要である。

また、重金属の溶出濃度の一例として、Pb 溶出濃度の変化を図-3 に示す。炭酸化処理灰では、pH と同様、通水直後に排水基準 (0.1mg/L) を上回っていたが、その後は pH4

の硝酸に切り替えた後も、排水基準を満足していた。未処理灰については、初期 L/S で高い溶出濃度となり、その後は徐々に低下したものの、硝酸に切り替えた後は再び濃度の増加が認められた。Pb は両性金属であるため酸性領域では高濃度に溶出するが、炭酸化処理灰ではそのような現象は認められなかった。他の重金属も概ね同様の現象であったことから、量的に多い Ca が CaCO_3 となり、重金属の溶出を物理的に封じ込めた可能性が考えられた。

飛灰については、試料の関係上、当初予定していたカラム試験を実施できなかった。重金属等の含有量は焼却灰よりも多いこともあり、今後試料を変えて検討の余地がある。

本研究では、炭酸化処理の方法として二酸化炭素を通気する手法を用いたが、二酸化炭素を水分に溶解させて直接含水させる手法などを用いて炭酸化処理反応効率の向上を検討することも今後の研究課題となる。

(3) 最終処分場の早期安定化を目的とした埋立前処理としての炭酸化処理

カラム試験で純水を通水した際のデータを指数近似して (図-4)、廃止基準を下回るまでの累積 L/S を算出し、維持管理年数に換算した結果、未処理時で約 42.4 年、処理時で約 16.6 年と推定された。次に、維持管理期間中の LCC、 LCCO_2 をそれぞれ計算したところ、炭酸化処理を行うことで、ともに維持管理期間の短縮分だけ約 6 割削減できることが示された (表-2)。ただし、本結果は閉鎖から廃止までをシステム範囲としているので、炭酸化処理施設の建設・稼働分は考慮されていない。今後は、システム範囲を焼却処理まで広げて評価する予定である。

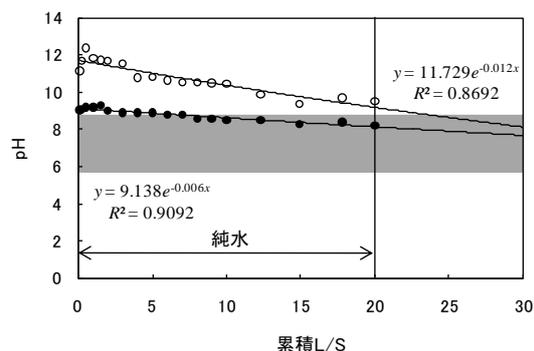


図-4 維持管理期間の推定

我が国の都市ごみ処理は焼却中心であり、これまで多くの技術的蓄積が存在する。一方、世界的にみると焼却処理は極めて少数の国々

表-2 維持管理期間におけるコスト、 CO_2 排出量

	コスト (億円)	CO_2 排出量 (万 t)
未処理灰	16.9	6.9
炭酸化処理灰	6.5	2.7

で行われてきたに過ぎない。これは、最終処分場の用地確保が可能であり、埋立処分は一般にコストが安いこと、ダイオキシン類等の排ガスによる環境影響、等による焼却回避が理由であると考えられる。しかし、現在、焼却処理は世界的に拡がりつつあり、直近 10 年間で都市ごみの焼却率が上昇した国は、例えば EU 諸国では、フィンランド (2→10%)、ドイツ (17→25%)、イタリア (5→12%)、ノルウェー (13→25%)、スウェーデン (41→50%)、オーストリア (16→21%)、ベルギー (25→34%) 等と、多く見受けられる。これは、1999 年公布の EU 埋立指令によって、生分解性有機物の直接埋立量を段階的に減少させることが義務付けられたためと考えられる。また、アジアでは、EU と同様の義務を定めた韓国が、5→14%とやはり上昇している。また、成長著しい中国においては、全土的には直接埋立が主流であるが、北京や上海等の大都市では、埋立用地の確保が困難となりつつあることから、焼却施設の導入が急速に拡がりつつある。今後は中国のみならず、他のアジアメカシテイにおいても、焼却処理を導入せざるを得ない状況になると予想される。したがって、灰処理についてもニーズが生じると考えられ、焼却熱回収やごみ発電等と合わせてパッケージ化し、日本ブランドとしての売り込みや、CDM (Clean Development Mechanism) 等を通じた国際技術協力も可能になると考えられる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1 件)

① 崎田 省吾, 都市ごみ焼却灰の炭酸化処理による浸出水 pH の低減効果, 平成 23 年度土木学会中国支部研究発表会 (CD-ROM), 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

崎田 省吾 (SAKITA SHOGO)

県立広島大学・生命環境学部・准教授

研究者番号: 80398099