

セメント硬化体を用いた N_2O および CO_2 の同時削減技術

日本ヒューム（株） 正会員 ○武藤あかね

日本ヒューム（株） 正会員 早野 博幸

日本ヒューム（株） 正会員 田中 敏嗣

1. はじめに

下水処理場の汚泥焼却時の高温な排気ガス（以下排気ガス）には、化学的に安定しており分解が難しい、亜酸化窒素（ N_2O ）と二酸化炭素（ CO_2 ）が含まれる．とくに N_2O は CO_2 の約 300 倍の温室効果があるため、 CO_2 を含めた両ガスの削減は地球環境保全のために重要である¹⁾．一方で、建造物の解体等によって生じた廃コンクリートや戻りコンクリート等の発生量は膨大で、これらの有効利用が社会的課題となっている．

N_2O は石灰石中の CaO を触媒として分解することが報告²⁾されており、コンクリート中の CaO でも同様の効果が期待される．近年、コンクリートに CO_2 を固定させる研究³⁾が進んでおり、両ガスの同時処理の可能性も考えられる．

本稿は、高温な N_2O 、 CO_2 ガスの分解・固定にセメント硬化体を用いたときのガス削減量を実験によって温度別に確認した．さらに、ガス処理に使用したコンクリートの再利用方法を検討するため、ガス処理後のセメント硬化体をモルタルの細骨材に置換した場合の物性を確認した．

2. ガス透過実験

【実験概要】 試料作製の手順は、セメントペースト（早強セメント、 $\text{W/C}=0.5$ ）を封かん養生し、材齢 21 日でジョークラッシャーを用いて 0.6～5mm 程度に粉碎した．これを戻りコンクリートのスラッジを模擬した「未炭酸化物」とした．さらに槽内において 4 日間常温で炭酸化させたものを、廃コンクリートのセメント微粉末を模擬した「炭酸化物」とした．

実験の概要図を図 1 に示す．実験には外熱式キルン（炉内寸法：内径 15cm×長さ 70cm）を用いた．ガスは実際の排ガスを模擬して、 N_2O 500ppm、 CO_2 10%、水蒸気量 40vol%とし⁴⁾、流量は 2L/min とした．ガス温度は 400、500、600、700、850℃の 5 水準とし、反応方法は、静置したステンレスバット 4 個に試料を各 100g ずつ置

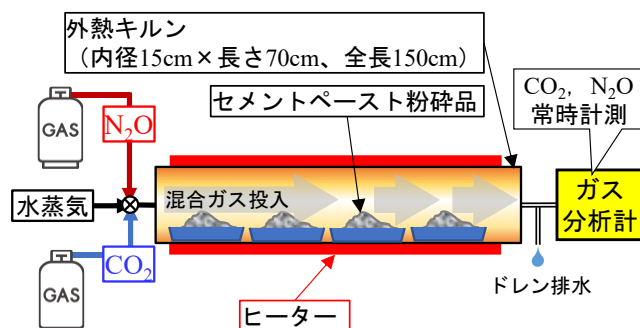


図 1 ガス透過実験の概要図（400g 静置）

く方法（以下 400g 静置）と、試料 2000g をキルン内で回転させる方法（以下 2000g 回転）の 2 種類とした．

実験方法は以下のとおりである．まず、大気で満たされたキルン炉内を指定温度まで熱し、試料を投入する．その後ガスの流入を開始し、このときを経過時間 0 分とした．経過時間 30 分で実験を終了し、試料を炉内から取り出す．なお、試料を投入しないガスのみの反応（以下ブランク）による削減量は 600℃と 850℃で確認し、削減率を算出する際の標準状態とした．流出ガスの濃度はガス分析計で常時計測した．

【実験結果および考察】 実験結果は、経過時間 10 分以降の傾向に着目した．これは、キルン炉内のガスの入れ替わりの所要時間の考慮と、初期の反応で生じる脱水が多い場合は分析計を一時的に外しているためである．ガスの削減率はブランク時のガス濃度と比較したときの削減率とし、400～700℃の実験は 600℃のブランクと、850℃の実験は 850℃のブランクとそれぞれ比較した．なお、高温のガスは膨張するため、流入前に調節した濃度よりも大きくなることがわかっている．

図 2 に、各ガスの削減率が最も安定して高い、600℃、700℃の実験結果を示す．700℃のとき未炭酸化物は両ガスともに削減率は 40～60%程度であるのに対し、炭酸化物の CO_2 のみが-10%、つまり増加している．これは、高温による脱炭酸の発生が原因と考えられる．一方で 600℃のとき、未炭酸化物を 2000g 回転で反応させた

キーワード 温室効果ガス、 N_2O 、 CO_2 、下水汚泥焼却、スラッジ、廃コンクリート

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋 5-33-11 日本ヒューム(株) TEL:03-3433-4114 FAX:03-3436-3275

ときに最も高い削減率となり、 N_2O は 50%， CO_2 は 90% 削減できることがわかった。

図 3 に示す温室効果ガス総計削減率は、各ガスの濃度を CO_2 換算した合計（ N_2O を 300 倍）を温室効果ガス総計の濃度とし、削減率を算出した。これをみると、炭酸塩化品は温度が変化すると削減率は 10～30%程度変動し、未炭酸塩化品では温度が 100°C 高くなると削減率は約 10%上昇することがわかった。

よって、炭酸塩化品および未炭酸塩化品の温室効果ガス総計の観点からみて、削減率が最も安定して高いのは、 600°C であることがわかった。

3. モルタル強度試験

【実験概要】 JIS R 5201 セメントの物理試験に準拠し、配合、フロー試験、曲げ試験および圧縮試験を実施した。ガスの削減率が最も高く安定していた 600°C に使用した試料を、標準砂に置換率 5%，10%で絶乾状態のまま使用し、水中養生で材齢 28 日強度を確認した。ブランクとして、試料を置換しない条件も作成した。

【実験結果・考察】 表 1 に 600°C のガス透過実験とモルタル強度試験の結果を示す。ブランクと比較すると、全体的に圧縮強度は約±5%程度変動する。置換率を大きくすると、圧縮強度は約 5%程度減少する。これは、置換した試料が吸水し、実質的な W/C が小さくなり強度が増加する現象よりも、供試体が密実にならず強度が低下する影響が大きかったためと考えられる。また、フロー値はブランクと比較して 20～40%小さくなり、流動性が低下することがわかった。

4. まとめ

本実験の範囲内で得られた成果を以下に示す。

- (1) セメント硬化体を高温ガス環境で用いることにより、 N_2O および CO_2 の同時削減が可能であることがわかった。とくに、 600°C が最も削減率が高く、 N_2O は 50%， CO_2 は 90%の削減を確認できた。
- (2) ガス処理後のセメント硬化体をモルタルの細骨材に 5～10%置換した場合の強度は、ブランクの場合と概ね同等であり、再生細骨材として利用できることが認められた。ただし、表面水率等を調節しなければ吸水によって流動性が低下しやすいため、留意する必要がある。

今後は実用化に向けて、最適な処理条件、処理後のコンクリート硬化体の利用技術等を検討する予定である。

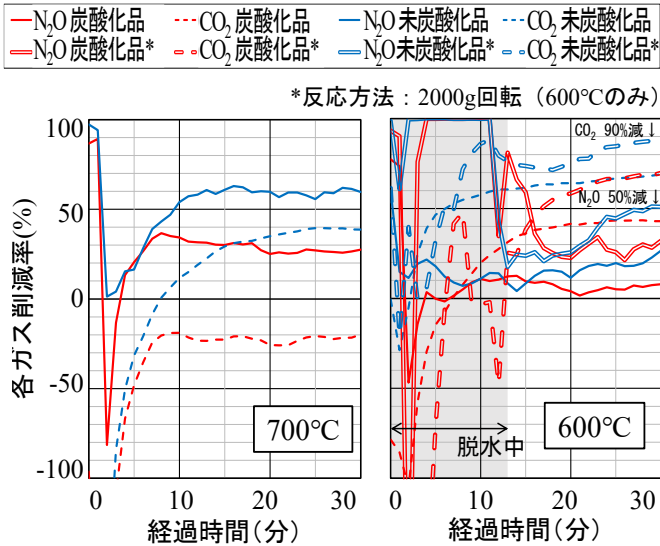
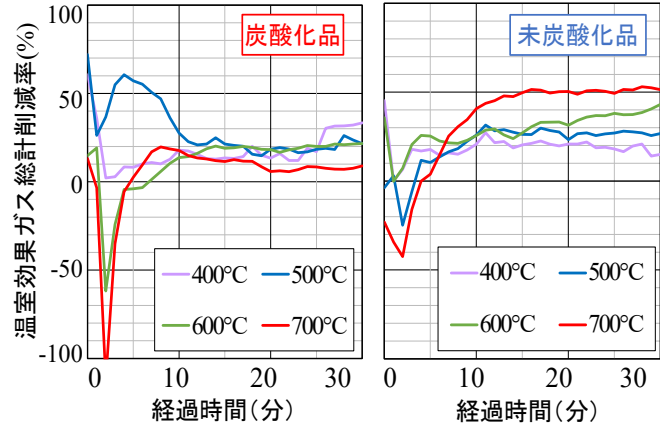


図 2 各ガスの削減率（ 600°C ， 700°C のみ）



※ 850°C は傾向から逸脱するため割愛
図 3 温室効果ガス総計削減率

表 1 実験結果まとめ

実験結果	条件	試料種類	炭酸塩化品				未炭酸塩化品				ブランク
		反応状態	静置		回転		静置		回転		
		置換率	5	10	5	10	5	10	5	10	
温室効果ガス総計削減率(%)※			21.6		46.8		43.2		65.4		-
材齢28日強度 (N/mm ₂)	圧縮	76.0	71.6	73.8	74.7	77.0	72.1	71.6	71.0	73.1	
	曲げ	9.3	9.4	9.7	9.6	9.8	9.0	9.1	8.2	10.0	

※ 600°C のガス透過実験の結果

参考文献

1) 環境省，国交省：下水道における地球温暖化マニュアル，2016.3
2) 例えば，清水忠明ほか：カルシウムルーピングプロセス吸収器条件下での CaO による亜酸化窒素分解，日本エネルギー学会大会講演要旨集，25 (0)，pp.180-181，2016
3) 例えば，池尾陽作ほか：セメント系廃材への CO_2 固定プロセス及び副産物の有効利用の研究 その 1 コンクリート塊から発生した微粉への CO_2 固定，日本建築学会大会学術講演梗概集，1599，pp.1198-1199，2022
4) 東京都下水道局：汚泥処理における温室効果ガス排出量削減調査，2004