

## X線回折による都市ごみ焼却主灰に含まれる不溶性塩素の評価

飯野成憲・辰市祐久・小泉裕靖・寺嶋有史

\*\*\*\*\*

【要約】X線回折により都市ごみ焼却主灰の不溶性塩素（フリーデル氏塩）の生成状況を調査した。水と接触した灰ではフリーデル氏塩の存在が確認され、粒径が小さいほどピーク強度が大きかった。また、採取工場、採取箇所にかかわらずフリーデル氏塩のピーク強度が高いほど総塩素濃度が高く、一旦水と接触して生成されたフリーデル氏塩は乾燥後も残存することが示唆された。主灰のセメント原料化を進めるためには、主灰の乾式冷却によるフリーデル氏塩の生成防止や、主灰を水洗せずに主灰からエコセメントを製造するといった対策も検討する必要がある。

\*\*\*\*\*

### 【目的】

近年、最終処分場の延命化の手段の一つとして、都市ごみ焼却主灰（以下、「主灰」という）のセメント原料化が注目されている。主灰にはセメントの忌避成分である塩素が1%程度含まれているため、セメント原料化を一層進めるには、将来的に水洗等による脱塩が必要であると考えられる。主灰は排出後水冷されることが多いが、加水から1日間にわたりフリーデル氏塩と呼ばれる不溶性塩素が生成されることが知られ<sup>1)</sup>、炭酸ガスや薬品による除去が必要である。本研究では、国内における主灰のセメント原料化の推進を目指し、主灰の粒径と不溶性塩素の関連性に着目し、以下の調査を実施した。

### 【方法】

ストーカー式焼却炉（後述のA工場）の模式図を図1に示す。可燃ごみは、乾燥帯、燃焼帯、後燃焼帯を経て、主灰排出装置で水冷後、熔融炉稼働時は乾燥、磁選処理され、熔融炉停止時は乾燥することなく焼却炉底灰として埋立処分される。ストーカー（火格子）の隙間から落下する灰は落じん灰と呼ばれる。なお、B工場では、主灰排出装置以降に乾燥機はないが磁選機により鉄を回収している。表1に示すA清掃工場から2回、B清掃工場から3回、図1の採取可能な箇所より試料を採取した。各試料を乾燥後、<0.5mm、0.5-2.0mm、2.0-4.75mm、4.75-9.5mm、>9.5mmに篩い分け、破砕が困難な鉄屑等を除去した後に粉砕し、X線回折装置によるフリーデル氏塩の同定、蛍光X線装置による全塩素濃度の測定を行った。

### 【結果の概要】

(1) X線回折結果 A工場ではフリーデル氏塩が確認できたのは、焼却炉底灰(<0.5mm、0.5-2.0mm、2.0-4.75mm)、集合落じん灰(<0.5mm)、磁選前主灰(<0.5mm)、磁選後主灰(<0.5mm)であり、<0.5mmと比較すると焼却炉底灰が最もピーク強度が大きかった(図2)。また、焼却炉底灰は粒径が小さくなるほどフリーデル氏塩のピーク強度が大きいことが確認された。B工場ではフリーデル氏塩が確認できたのは、磁選前主灰(<0.5mm、0.5-2.0mm)、磁選後主灰(<0.5mm、0.5-2.0mm)であった。磁選前主灰及び磁選後主灰は、A工場と同様、粒径が小さい<0.5mmにおいてフリーデル氏塩のピークが大きいことが確認された(図3)。

(2) フリーデル氏塩生成と総Cl及び含水率の関係(図4) フリーデル氏塩生成と総Clの関係に着目すると、採取工場、採取箇所にかかわらずフリーデル氏塩のピーク強度が高いほど総塩素濃度が高くなった。また、フリーデル氏塩の存在が確認された試料を対象とした場合、近似直線の切片より約0.7%の総塩素、すなわち水溶性の塩素が存在することが示唆された。これは0.7%程度の塩素は水洗により脱塩することが可能であるが、不溶性塩素まで脱塩する場合には炭酸ガスや薬品処理等の特別な処理が必要ということを示している。一方、フリーデル氏塩生成と含水率については、関連性は見られなかった。特に、含水率がほぼ0で、フリーデル氏塩のピーク強度が340cps、410cpsのA工場の磁選後主灰(粒径<0.5mm)は、水冷後に乾燥された試料である。したがって、主灰排出装置で水冷された主灰には、乾燥後もフリーデル氏塩が残存していることが示唆された。

(3) 主灰のセメント原料化に向けた提言 主灰を水冷しなければフリーデル氏塩は生成されないことから、設計要領<sup>2)</sup>に示されている乾式法により主灰を冷却することを提言する。これにより、灰熔融処理前の乾燥工程の省略によるエネルギー使用量の削減、主灰中の水分低下による主灰の輸送コストの削減が期待できる。なお、乾燥状態で処理するのが困難な場合には、主灰を水洗せずにエコセメント原料とすることも検討すべきである。

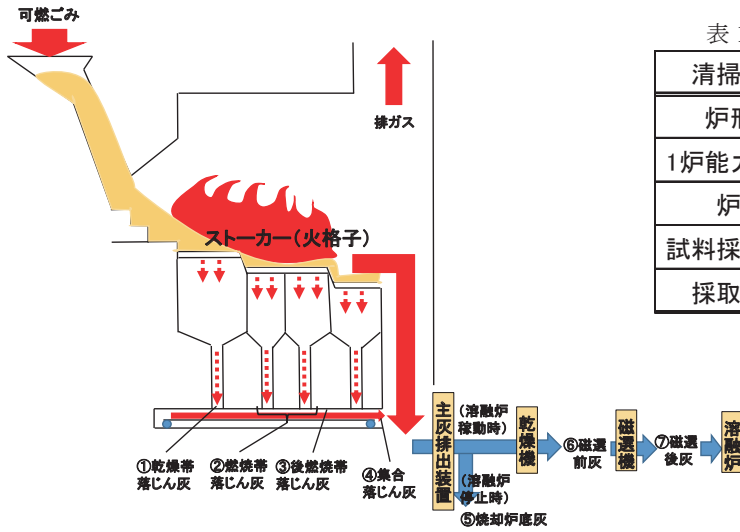


表 1 調査施設の概要及び分析試料

清掃工場	A工場	B工場
炉形式	火格子	
1炉能力[t/d]	250	100
炉数	2	3
試料採取回数	2回	3回
採取試料	④⑤⑥⑦	①②③⑥⑦

図 1 焼却炉模式図と採取箇所

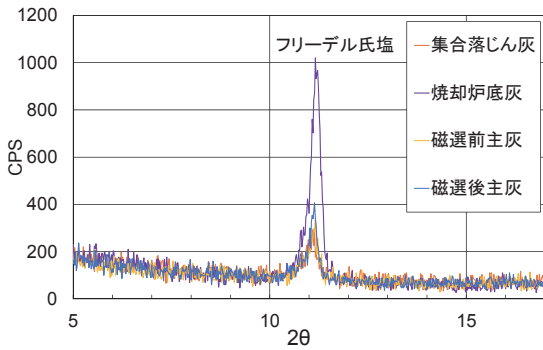


図 2 A 工場 <0.5mm の X 線回折パターン

- ・<0.5mm で比較すると焼却炉底灰が最もピーク強度が大きかった。
- ・図には示されていないが、焼却炉底灰は粒径が小さくなるほどフリーデル氏塩のピーク強度が大きかった。

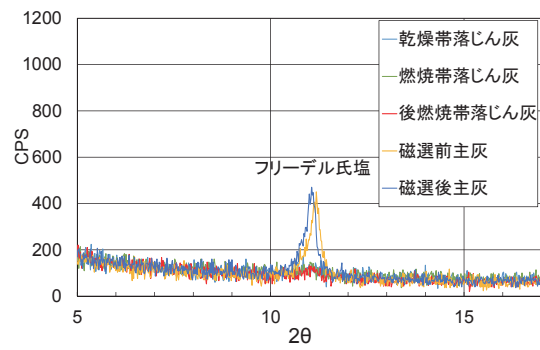


図 3 B 工場 <0.5mm の X 線回折パターン

- ・磁選前主灰及び磁選後主灰は、粒径が小さい<0.5mm においてフリーデル氏塩のピークが大きかった。
- ・落じん灰はいずれの粒径、採取箇所においてもフリーデル氏塩の生成は確認されず、乾燥状態で搬送されているためと考えられた。

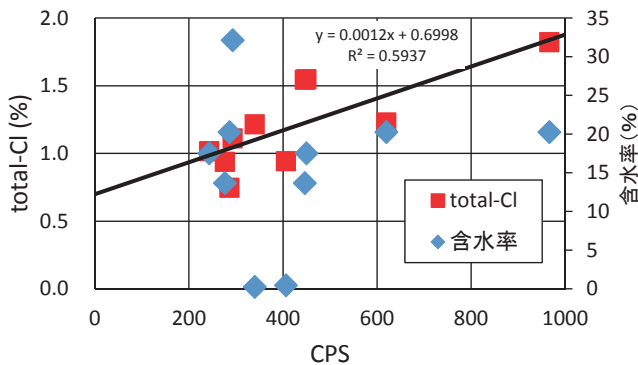


図 4 フリーデル氏塩最大ピーク強度と総 Cl/含水率の関係

【フリーデル氏塩生成と総 Cl】

採取工場、採取箇所にかかわらずフリーデル氏塩のピーク強度が高いほど総塩素濃度が高くなった。また、フリーデル氏塩の存在が確認された試料を対象とした場合、近似直線の切片より約 0.7%の総塩素、すなわち水溶性の塩素が存在することが示唆された。これは 0.7%程度の塩素は水洗により脱塩することが可能であることを示している。

【フリーデル氏塩生成と含水率】

関連性は見られなかった。含水率がほぼ 0 で、フリーデル氏塩のピーク強度が 340cps、410cps の A 工場磁選後主灰（粒径<0.5mm）は、一旦水冷された後、乾燥された試料である。よって、主灰排出装置で水冷された主灰には、乾燥後もフリーデル氏塩が残存していることが示唆された。

【参考文献】 1) 江藤次郎, 都留真哉, 崎田省吾, 張瑞娜, 島岡隆行: 一般廃棄物焼却残渣埋立地における不溶性塩素の挙動と生成メカニズム, 廃棄物学会論文誌, Vol. 19, No. 2, pp. 131-140, 2008 2) 社団法人全国都市清掃会議: ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版, p. 372, 2017