

都市ゴミ焼却灰のセメント原料化技術の開発

麻生セメント株式会社	阿邊 浩市
株式会社麻生	吉瀬 寛
九州大学大学院	島岡 隆行

1. はじめに

廃棄物の埋立容量が逼迫し、最終処分場の新設もままならない昨今、大量に発生しつづける都市ごみを将来的にどのように処理して行くかは、我が国の持続的な経済発展において極めて重要な問題である。発生焼却残渣に対しては、新設のプラントによる土木資材化やエコセメント化等の資源化の試みがなされているが、最終製品の市場開拓という新たな課題が発生しつつある。よって、最終処分されつづける焼却残渣は、依然として増加しつづけている。この現状は、福岡県においても変わりはない。

そこで、福岡県下に事業所や研究所を有する産学官が協力して研究開発を行うことでこの問題の解決を試みた。福岡県リサイクル総合研究センター設立と同時に、「焼却残渣の資源化研究会（会長：島岡隆行九州大学教授、事務局：福岡県リサイクル総合センター）」が設立され、焼却灰をセメント原料に有効利用することを目標として産学官の参加による研究開発が開始された。本報告では、その研究成果のうち焼却残渣中の塩素の挙動を中心に調査した結果を報告する。

2. 研究の経過

研究会においては、産学官それぞれの立場で議論を重ね、課題の絞込みから開始した。セメント工場では、これまでに塩素濃度が 1,000ppm 以下の電力石炭灰などの焼却残渣を、受入設備とセメント焼成炉への投入設備を整備することで既にセメント資源化を実現している。しかしながら、都市ゴミ焼却残渣をセメント資源化する場合は、残渣の塩分濃度が極めて高いために高度な水洗などの前処理を実施して除塩する必要がある。この際に、大量の排水の処理が必要となり追加設備投資を余儀なくされる。一方、埋立処分場は、県内に数多く存在するが、九州大学等の研究では、処分場のなかには自然降雨によりかなりの塩分が溶脱しているという研究成果が得られていた。

そこで、これらの各々の既存成果を発展研究させることで、資源循環型のシステムがいきなりかを検討することとなった。そこで提案された概念が「埋立処分場に既存のセメント資源としてのリサイクルを促進する機能を持たせ、かつ自らも有効スペースとしてリサイクルされる Recyclable Landfill System（以下、R/L）」である。具体的には、「処分場と同様な貯蔵設備」と「簡易な分別設備」及び「既存セメント工場」の各要素技術のさらなる開発を実施することで、経済性と資源循環の 2 つの大きな課題の解決を目指すこととなった。

2 年目の研究は、システムの具体化に向けて経済課題及び技術課題に分けて調査及び研究に移行した。多くの検討項目のなかで、開発の鍵となる事項は、「脱塩」、「貯留期間」、「経済性」に絞られた。

まずは、独創的開発に先駆け、各機関が持ち合わせた技術資料と追加室内試験により、民間を中心とした研究会賛同者で本システムの特許出願を行った。

次に、セメント会社を中心とするワーキンググループ（以下、WG）では、脱塩を目的とした分離分級の実証レベルの設備開発を行った。同時に、九州大学を中心とする産学官の地域研究機関の WG では、分担連携して処分場での脱塩メカニズムの解明研究を行った。さらに、現状の処分場事業に携わる民間会社と福岡県リサイクル総合研究所を中心とした行政調査機関の WG では、連携して地域での本システムの経済性と適合性の検討を行った。

3 研究成果

3 - 1 乾式分離分級設備開発

本研究会の基礎試験等により、埋立地内に長期貯留した焼却残渣の塩分濃度は、著しく低下していることがわかった。図1にその調査した結果の一例をしめす。また、残渣は40mm以上の粒度の金属片等の異物を除くと、埋立年代に関係なく類似した粒度分布を有していることが明らかとなった。図2にその調査した結果の一例を示す。

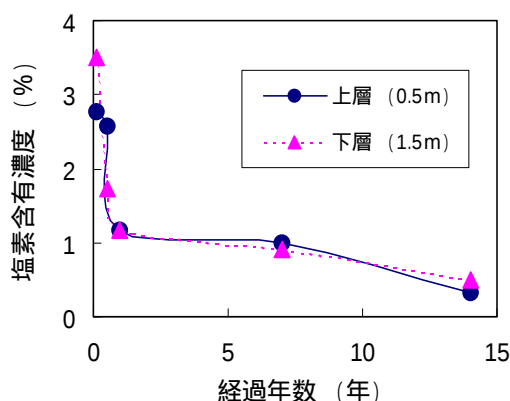


図 1. 経過年数による塩素含有量の推移

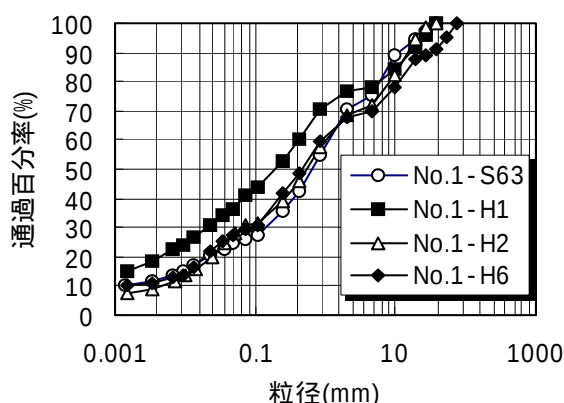


図 2. 年代別埋立焼却残渣の粒径加積曲線

そこで、粒子を粉砕することなく分離分級して、相対的に塩分濃度の高い粒子をR / Lによる再処理に、相対的に塩分の低い粒子を直ちにセメント資源化する装置の開発を試みた。

開発した装置を図3に示す。装置は、異物分離部分と乾燥分級部分に大別される。異物分離部分は、塩分はほとんど含有しないがセメント資源化の際に輸送機等を破損する恐れのある金属異物やレキを取り除く工程である。当然、異物のみを分離して出来る限り付着残渣は乾燥分離工程へ送るほうが好ましい設備といえる。

乾燥分級部分は、残渣のうち微粒子のみを粉砕することなく分離することを目的とし、まず乾燥して直ちに分級する構造となっている。凝集した粒子は塩分濃度の高い粒子の集合体であり解砕の必要があるが、焼成された粗い粒子まで粉砕すると、微粒子量が増えてセメント資源化量が低下するので、できるだけ粉砕を避けて解砕のみ実現する必要がある。

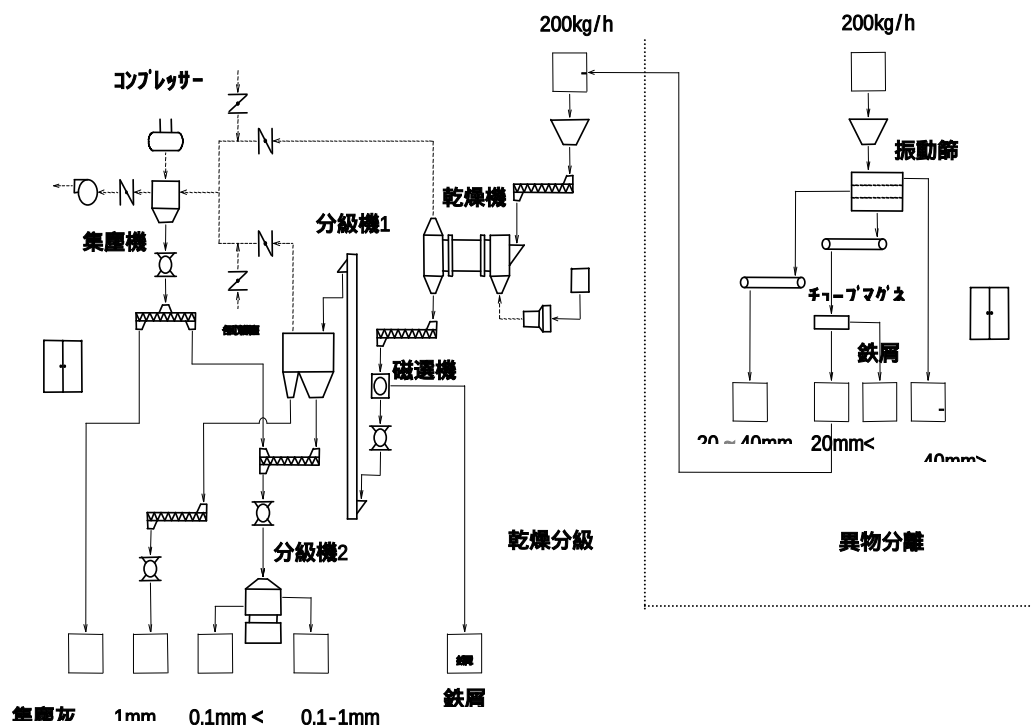


図3.異物分離及び乾式分級実証設備

このような点を考慮し、分級目標を 1mm 及び 100 μm に設定して実証試験した結果、発生焼却残渣及び埋立貯留残渣のいずれの残渣においても 90%以上の歩留まりで分級残渣を得ることが出来た。また、分級残渣の塩分濃度は図 4 に示すとおり、埋立焼却残渣及び発生焼却残渣の両方で分級品の明らかな濃度差が確認された。

3 - 2 埋立地内の脱塩メカニズムの解明

発生残渣をセメント資源化するためにはその極めて高い塩分濃度を低減する必要から水洗による高度な脱塩が一般的である。既存の報告及や本研究会での試験結果からも、特殊な薬剤処理や熱処理を施さない限り、その脱塩の限界はおよそ 0.5%程度であった。つまり、0.5%は難溶解性塩分が残存するといえる。一方で、埋立地中に長期貯留された残渣を採取して塩分を調査した結果、その全塩分濃度は極めて低くしかもその形態は大部分が水洗浄にて溶脱する可溶性塩分であった。

そこで、 $(\text{難溶性塩分}) = (\text{全塩分}) - (\text{可溶性塩分}) \dots (1)$

と難溶性塩分を定義して、各塩分濃度を調査した。

図 5 は、実際に埋立地内から、注水せずに乾式ボーリングを実施して採取した既埋立残渣の塩分濃度変化を調査した結果である。1 及び 2 はボーリング地点を意味する。また、比較として同一試料の Ca の溶出及び pH の変化を図 6 に示す。A~F は同年発生の焼却残渣を意味し A→F の順に古い。

図 6 より、層が深くなるにつれ、Ca 溶出量は減少している。これは残渣中の可溶性 Ca が減少していることから、pH が高い時期は CaOH が溶出している可能性が推定された。さらに埋立地上層部と下層部のサンプルの X 線回折により残渣の鉱物を調査した結果より、上部と底部で構成される鉱物に変化はなく、新たな Ca 鉱物の生成は認められなかった。以上より長期の貯留により可溶性の Ca はほとんどが溶出していると推定された。

一方で、全塩分濃度について、必ずしも上層部から脱塩が進行し塩分濃度が低下する結果とはならなかった(図 5 参照)。そこで原因解明のため、陽イオンである Na 及び K の溶出特性を調査し、塩素の溶出特性と比較すると、Na 及び K の溶出量と可溶性塩分の間には相関が認められた。これより、一度溶脱した塩分が下層部に行くに連れて濃縮されて NaCl 及び KCl となり再析出していることが考えられる。ただし、上層部と下層部では Ca 溶出量や pH に違いが生じていることから、塩分溶脱を阻害する原因は、埋立構造等による物理的原因のほかに、pH の変化に関連する化学的な原因を精査する必要がある、今回の調査のみでは原因の断定

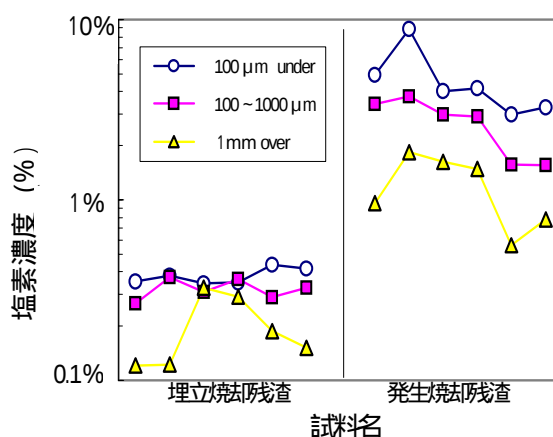


図 4. 分級後の焼却残渣中の塩分濃度

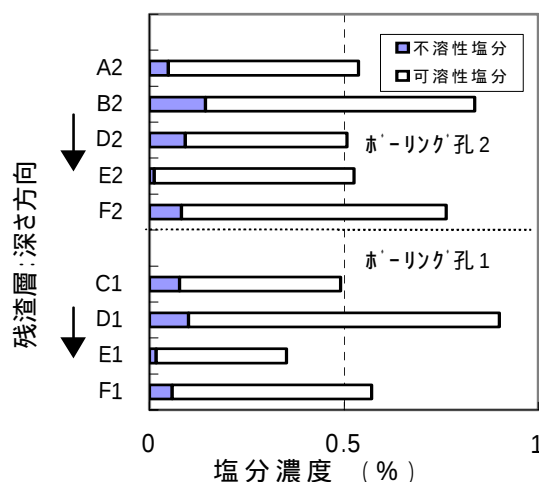


図 5. B 処分場残渣中の塩分の状態

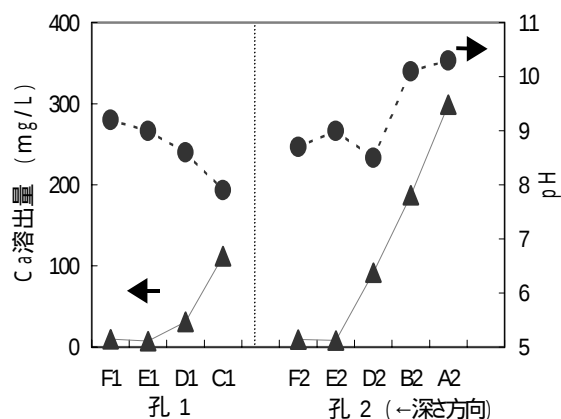


図 6. Ca 溶出量及び pH の推移

はできなかった。

また、難溶性塩分の濃度は全層において0.1%以下となっていることがわかった。この数値は、同地区の発生主灰中の平均難溶性塩分濃度0.4%の約1/4であり貯留中の難溶性塩分の分解を意味する。

そこで、難溶性塩分として既報文献（例えば第10回廃棄物学会講演論文集、pp.531、1999）にも報告されているフリーデル氏塩との関係を調査した。同埋立地の各層埋立残渣からサンプリングを実施し、化学分析結果よりその難溶性塩分濃度を（1）式により算出した結果と、同一条件にて測定したX線回折結果よりフリーデル氏塩の固有ピークの回折強度とを測定した結果を図7に示す。埋立焼却残渣中の難溶性塩分濃度とXRD強度の間に高い相関が認められた。これより、フリーデル氏塩の分解が難溶性塩分の低減として現れていることが推定された。

このような埋立地内の効率の良い脱塩のメカニズム解明を目的として、処分場内に存在する有機物の好気性分解あるいは嫌気性分解を実験室において再現し、塩素イオンの溶出挙動の調査を現在行っている。期間を要する試験のため、本報告には間に合わないが、有益なデータが得られると考えている。同時に、結果として埋立処分場内部の非常に高いCO₂濃度の環境を再現するために、コンクリートの中性化促進装置（強制的にコンクリート供試験体の炭酸화를促進進行させる実験装置）を利用して、焼却残渣を絞固めた試料を用いて難溶性塩の挙動を調査した。図8に示めすとおり、CO₂浸入深さと焼却残渣中のフリーデル氏塩の分解には一定の関係があることがわかった。ただし、本試験は必ずしも先の有機物分解や湿分量、土質工学的粒子特性を再現したものではないので、さらに多くの条件下における他の試験結果と合わせて総合的に考察を実施する必要がある。

3 - 3 セメント資源化の可能性

現在、国内では焼却残渣の資源化が検討開始され始めたが、発生焼却残渣のごく一部に対してである。関東圏を例にとると、リサイクル施設による発生抑制だけでは追いつかず輸送費をかけ遠路他県に埋立処分委託しなければならない実態と関東臨海部には既存のセメント工場が極めて少ないという現実を踏まえて、緊急事態と認識し、巨額投資を伴う新設エコセメントプラントを合理的経済的なシステムとして位置付けている。

一方で、北部九州圏、特に福岡県域では、リサイクルを推進できる人的な下地と組織（例えば大牟田エコタウン、北九州エコタウン、九州地域環境リサイクル産業交流プラザ・K-R I P、公害対策に特化した地方試験機関、理工系環境系の大学）が十分にあり、しかも臨海及び内陸に日本一セメント工場が集積しているなど、既にインフラがととのっており既存産業活用が経済的にも好ましいと言える。

産業界においては、セメント市場が低迷する昨今、各メーカーの競争はさらに激化し製品である普通ポルトランドセメントの品質維持に力を注いでいる。現在のセメント中の塩素規制は、J I S規格では上限200ppmである。仮に、塩素1%の残渣を直接リサイクルできる技術をセメント工場が

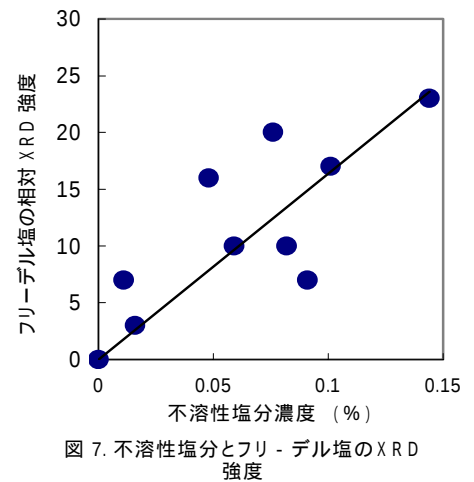


図7. 不溶性塩分とフリーデル塩のXRD強度

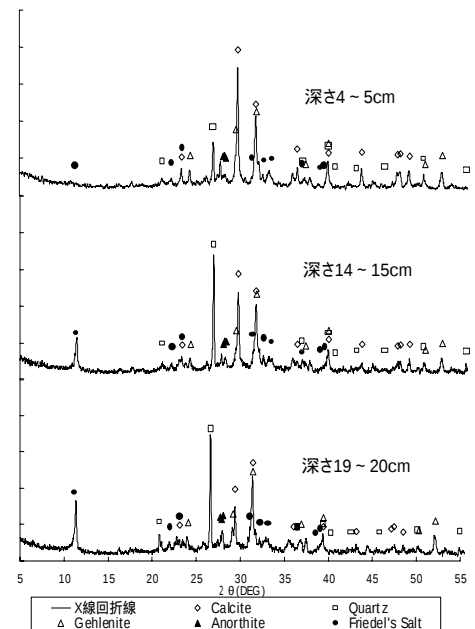


図8. CO₂浸入深さと残渣中のフリーデル氏塩分解

確立したとしても、規制の 50 倍の塩素濃度をセメントキルンに持ち込むことは、その取扱量の制約と処理にかかるコストから汎用的でない。つまり、仮に 1 自治体の処理を請け負うと飽和状態となり、次に同一条件の提示を他から受けても応諾出来ない状況が生ずる。

このような制約を解決するためには、焼却残渣（* 焼却残渣 = 飛灰 + 焼却灰）の塩分濃度を、既存セメント工場が従来からリサイクルを推進している産業系の廃棄物の許容塩分濃度（概ね 1,000ppm 以下、セメント規格の 5 倍程度）に限りなく近づけることで、飛躍的に数量及び処理コストをともに向上することが期待される。

今回の調査では、福岡県内から排出される焼却灰の塩分濃度は、最も高いもので飛灰で 15.4%、最も低いもので、焼却灰 1.0% であり、混合灰（* 焼却残渣）平均で 4.6 ~ 10.9% であった。これは、全国的な調査例（廃棄物学会誌, Vol.10, No.5, pp.239, 1999）とほぼ同程度であった。よって、本システムが十分に適応できる範囲であると考えられる。

一方、管理型埋立地に埋め立てる際の受け入れ費用は、例えば関西の同規模自治体である兵庫県の場合の 1/2 ~ 1/3 でありはるかに安価であり、全国的にみても安価である。これは、地域自治としては、非常に好ましい状態であるが、これを長期に渡り持続させることは全国の情勢からみて難しい。そこで、今のうちにこそ、他地域ではなし得ない既存インフラを活かした産学官一体となったサステナブルなシステム構築を実施することが望ましいと考える。

4. おわりに

本研究のうち、平成 14 年度の開発の一部は平成 13 年度補正経済産業省新規産業創造補助金「セメント工場を活用した既埋立残渣の資源化技術」の成果であり、期間を通じて、福岡県リサイクル総合センター焼却残渣の循環資源化研究会（会長：九州大学島岡隆行教授）の協力により実施できた。また、福岡市及び福岡県内自治体の皆様の貴重な助言及び試料を御提供頂いたことに感謝致します。

本報告は、研究成果の中間報告であり、蓄積されつつある多くのデータは、さらに活用され、地域発の循環型社会が早期実現することに引き続き開発の意が注がれることを祈念致します。

以上

（ 添付資料 ）

焼却残渣循環資源化研究会 （平成 13 年 7 月 16 日 ~ 平成 15 年 3 月 30 日）

会 長	九州大学	教授	工博	島岡	隆行
事務局	福岡県リサイクル総合研究センター		工博	徳永	隆司
				立木	喜久生（旧）
				中尾	芳美
会 員	九州大学 環境科学センター			崎田	省吾
	福岡県 保健環境研究所		理博	宇都宮	彬
	電源開発株式会社		工博	鳥羽	峰樹
				三宅	淳一
	栗田工業株式会社			櫻井	隆喜
	株式会社麻生			内田	敏仁
	麻生セメント株式会社			吉瀬	寛
				山内	一夫（旧）
				阿邊	浩市
オブザーバー	福岡県 環境部リサイクル推進室				

大牟田市 環境リサイクル推進室
財団法人日本環境衛生センター