

氏 名	友 田 勝 博
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	工博甲第244号
学位授与の日付	平成18年9月30日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目	新飛灰資源化プロセスの開発に関する研究 － キルン焼成法による飛灰処理技術の開発 －
論 文 審 査 委 員	主 査 教 授 長谷部 光 弘 ” 寺 崎 俊 夫 ” 西 道 弘 助教授 野 口 文 男 ” 高 須 登実男

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

日本において、都市ごみ焼却飛灰および溶融飛灰は鉛等の重金属を多量に含有することから特別管理廃棄物に指定され、処分に際して無害化が義務づけられている。近年、これらの飛灰はセメント原料としての活用や非鉄金属製錬技術による金属回収と無害化等、資源化の試みがなされているが、大半は依然としてキレート処理やセメント固化など、国で指定された方法によって鉛、カドミウム等重金属を安定化処理後、埋立て処分されている。しかし、これらは指定された方法ではあるが、言わば簡易無害化技術であり、基本的に有害物質を分離除去する方法ではない。一方、埋立て処分場が逼迫していることも大きな社会問題となっている。そのため飛灰中の鉛、カドミウム等有害物質を徹底的に分離し、微量残留する重金属は安定化を図り、かつ残渣を有効利用可能な資材に改質する技術の確立が待たれるところである。

本研究では、飛灰の資源化を目的とし、キルン焼成法による新しい飛灰処理技術の開発に関して研究を行った。本プロセスの新規なところとして、飛灰に含まれる塩分を塩化剤として活用し、揮発分離をする点、および原料組成を調整することで高強度のペレットを得る点が挙げられる。焼却飛灰に対しては、焼成炉（ロータリーキルン；100kg/h 処理）を使用し、1000～1200℃で塩化揮発あるいは還元揮発により鉛、カドミウム等の重金属を徹底的に除去し、残渣を骨材として使用するための処理技術の開発を行った。また、塩分や石灰分が高く、鉛含有量も高い難処理物である溶融飛灰の処理技術開発においては、新たに処理設備（45kg/h 処理）を建設し、数種類の溶融飛灰を原料として無害化、骨材化の試験を行い、本焼成法が溶融飛灰処理技術として実用化できるための研究開発を行った。また、飛灰処理技術の1つの重要な課題は回収残渣の有効活用方法の開発および市場の開拓であり、これら廃棄物処理に伴い産出される回収物が確実に活用されるならば、環境安全性の高い処理技術は確実に採用されるであろう。さらに、本焼成法で得られた焼成骨材の用途開発についても検討を行った。

以上の研究開発の結果、焼却飛灰の処理技術開発では以下のことを明らかにした。

- ① 鉛を塩化揮発させ、カドミウムおよび亜鉛を金属状で揮発させて無害化できる。
- ② 残留した鉛および、塩化揮発も還元揮発もしないクロムは溶出しない形態で固定化され、溶出の土壤環境基準を満足する。
- ③ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ 三元状態図における試験組成と得られた圧潰強度の関係から、適正組成領域に調合することで、高強度の骨材が得られる。
- ④ 焼結を促進するためには6%以上の鉄分が必要であり、鉄源として製錬スラグが有効利用できる。
- ⑤ 本プロセスで発生する2次飛灰を湿式処理し製錬原料化できる。

溶融飛灰の実用化研究開発では、以下の点を明らかにした。

- ① 焼成骨材は土壤環境基準を満足する結果が得られ無害化を達成した。
- ② 飛灰中の鉛はキルン内で発生する HCl によって塩化されて揮発する。
- ③ 飛灰中の鉛の揮発率は約 99.5%であった。
- ④ 鉛ガラスは十分粉碎して飛灰と混合焼成処理することで、鉛の 99.5%を揮発させることができることがわかった。
- ⑤ 焼成骨材、排ガス、排水ともにダイオキシン類の濃度は低く基準を満足する。

さらに、骨材化のメカニズムの検討により、以下の成果を得た。

- ① 飛灰比率 60%以上でも、原料を適切に調合することで、高強度の骨材を得ることができる。
- ② 溶融飛灰の骨材化における CaO 比およびヘマトイト添加量の影響が非常に大きく、特に CaO 比の高い飛灰処理ではヘマトイト添加量は低いほうが望ましいことがわかった。
- ③ 原料組成と適正な焼成温度および骨材強度の関係を定量的に把握した。

そして、得られた焼成骨材の用途について基礎物性の評価とそれらの応用の観点から研究開発を行った結果、飛灰処理の既存技術であるセメント固化、キレート処理、酸洗浄、溶融固化法と比較して、本飛灰焼成技術は重金属類の無害化が格段に優れており、その製造された焼成ペレットは、軽量コンクリート骨材、コンクリートブロック、路盤材、園芸用材料、水処理用ろ過材、ドレーン材など多くの用途への有効利用が期待できることがわかった。

以上、重金属の資源化、残渣の有効利用を図る飛灰資源化プロセスを新たに提案し、プロセスの有効性と信頼性を実証するとともに、本技術の本質である、キルン焼成法における重金属除去機構や焼結機構を明らかにした。なお、本論文の第 2 章および第 3 章の研究内容が認められて、焼成法は厚生労働省の焼却飛灰の指定処理方法として認定されることにつながった。本研究の成果は環境技術の更なる発展に大きく寄与し、社会的な貢献が期待できる。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

材料のリサイクルは資源の節約と環境保全の観点から益々重要となっている。消費後の製品の個別回収が難しいものについては混合されリサイクルの対象となる元素の濃度が低くなりまた形態が不均一となる一方で処理すべき全体量は大きくなるため材料のリサイクルは一般に難しい。その代表として都市ごみがあり、減容化のために焼却あるいは溶融処理が行われ飛灰が発生する。日本において、都市ごみ焼却飛灰および溶融飛灰は鉛等の重金属を多量に含有することから特別管理廃棄物に指定され、処分に際して無害化が義務づけられている。近年、これらの飛灰はセメント原料としての活用や非鉄金属製錬技術による金属の回収と無害化等、資源化の試みがなされているが、大半は依然としてキレート処理やセメント固化など、国で指定された方法によって鉛、カドミウム等重金属を安定化処理後、埋立て処分されている。しかしながら、これらは言わば簡易無害化技術であり、基本的には有害物質を分離除去する方法ではない。一方、埋立て処分場が逼迫していることも大きな社会問題となっている。そのため飛灰中の鉛、カドミウム等有害物質を徹底的に分離し、微量残留する重金属は安定化を図り、かつ残渣を有効利用可能な資材に改質する技術の確立が待たれるところである。

本論文では、飛灰の資源化を目的とし、キルン焼成法による新しい飛灰処理技術の開発に関して研究を行っている。本プロセスの新規なところとして、飛灰に含まれる塩分を塩化剤として活用し、揮発分離をする点、および原料組成を調整することで高強度のペレットを得る点が挙げられる。焼却飛灰に対しては、焼成炉（ロータリーキルン； 100kg/h 処理）を使用し、1000～1200℃で塩化揮発あるいは還元揮発により鉛、カドミウム等の重金属を除去し、残渣を骨材として使用するための処理技術の開発を行っている。また、塩分や石灰分が高く、鉛含有量も高い難処理物である溶融飛灰の処理技術開発においては、新たに処理設備（45kg/h 処理）を建設し、数種類の溶融飛灰を原料として無害化、骨材化の試験を行い、本焼成法が溶融飛灰処理技術として実用化できるための研究開発を行っている。また、飛灰処理技術の 1 つの重要な課題は回収残渣の有効活用方法の開発および市場の開拓であり、これら廃棄物処理に伴い産出される回収物が確実に活用されるならば、環境安全性の高い処理技術は確実に採用されることになる。そのため、本焼成法で得られた焼成骨材の用途開発についても検討を行っている。

以上の研究開発の結果、焼却飛灰の処理技術開発では以下のことを明らかにしている。

- ① 鉛を塩化揮発させ、カドミウムおよび亜鉛を金属状で揮発させて無害化できる。
- ② 残留した鉛および塩化揮発も還元揮発もしないクロムは溶出ししない形態で固定化され、溶出の土壤環境基準を満足する。
- ③ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ 三元状態図における試験組成と得られた圧潰強度との関係から、適正組成領域に調合することで、高強度の骨材が得られる。
- ④ 焼結を促進するためには 6%以上の鉄分が必要であり、鉄源として製錬スラグが有効利用できる。
- ⑤ 本プロセスで発生する 2 次飛灰を湿式処理し製錬原料化できる。

溶融飛灰の実用化研究開発では、以下の点を明らかにしている。

- ① 焼成骨材は土壤環境基準を満足する結果が得られ無害化を達成できる。
- ② 飛灰中の鉛はキルン内で発生する HCl によって塩化されて揮発する。
- ③ 飛灰中の鉛の揮発率は約 99.5%である。
- ④ 鉛ガラスは十分粉碎して飛灰と混合焼成処理することで、鉛の 99.5%を揮発させることができる。
- ⑤ 焼成骨材、排ガス、排水ともにダイオキシン類の濃度は低く基準を満足する。

さらに、骨材化のメカニズムの検討により、以下の成果を得ている。

- ① 飛灰比率 60%以上でも、原料を適切に調合することで、高強度の骨材を得ることができる。
- ② 溶融飛灰の骨材化における CaO 比およびヘマタイト添加量の影響が非常に大きく、特に CaO 比の高い飛灰処理ではヘマタイト添加量は低い方が望ましい。
- ③ 原料組成と適正な焼成温度および骨材強度との関係を定量的に示している。

さらに、得られた焼成骨材の用途について基礎物性の評価とそれらの応用の観点から研究開発を行った結果、飛灰処理の既存技術であるセメント固化、キレート処理、酸洗浄、溶融固化法などと比較して、本飛灰焼成技術は重金属類の無害化が格段に優れており、その製造された焼成ペレットは、軽量コンクリート骨材、コンクリートブロック、路盤材、園芸用材料、水処理用ろ過材、ドレーン材など多くの用途への有効利用が期待できることを示している。

以上、重金属の資源化、残渣の有効利用を図る飛灰資源化プロセスを新たに提案し、プロセスの有効性と信頼性を実証するとともに、本技術の本質である、キルン焼成法における重金属除去機構および焼結機構を明らかにしている。なお、本論文の第 2 章および第 3 章の研究内容が認められて、焼成法は厚生労働省の焼却飛灰の指定処理方法として認定されることにつながっている。本研究の成果は環境技術の更なる発展に大きく寄与し、社会的な貢献をなすものとみなすことができる。

なお、審査委員および公聴会における出席者からいくつかの質問がなされたが、いずれも適切に回答し、質問者からの理解が得られた。

以上により、論文調査および最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。