

学位（博士）論文要旨
(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 Ph. D. Candidate	生物システム応用科学府 <u>生物機能システム科学</u> 専攻 博士後期課程 <u>第一</u> 専修/グループ(Department Course) 平成 <u>30</u> 年度入学(Your Entrance Fiscal Year) 氏名 <u>伊東 賢洋</u> (Your Name(Family, First) and Seal)				
主指導教員 氏名 Chief Advisor's Name	神谷 秀博	副指導教員 氏名 Vice Advisor's Name	長津 雄一郎	副指導教員 氏名 Vice Advisor's Name	
論文題目 Title	下水汚泥焼却飛灰の高温付着性増加機構とその制御 Mechanism and Control on Adhesiveness Increase of Sewage Sludge Fly Ash at High Temperatures				
<p>論文要旨（和文要旨(2000字程度)または英文要旨(500words)） ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 Write a summary in Japanese (2000 characters) or in English (500words). If the abstract is written in Japanese, needed to translate into English.</p> <p>全国の下水道普及率は2019年度末時点で79.7%、下水処理場数は2143か所、処理に伴い年間484百万m³の汚泥が発生し、脱水汚泥500万トンが焼却処理されている。下水道処理により水環境は大幅に改善されたが、窒素・リンの水質環境基準が未達成で、富栄養化による赤潮等の発生や水道水の異臭味等は依然として続き、下水中の窒素・リンの高度除去処理が推進されている。その結果、下水汚泥中のリン含有率が増加している。下水および下水汚泥処理に消費される電力は、国内で消費全電力量の約0.8%で、省エネ・創エネ技術の推進・導入が図られており、2050年に向けてその動きは加速すると考えられる。</p> <p>近年、汚泥焼却炉の約9割（216基）を占める国内の流動焼却炉において、ダクト壁面や熱交換器に焼却灰が付着することによる閉塞や伝熱効率の低下および流動砂の塊化による流動不良などの発生事例が増加している。このような事象は、焼却炉の安定運転を妨げ、維持管理者に多大な負担をかけるとともに、その解消に伴い発生する費用は住民に負担を強いることになる。さらに熱交換器での伝熱効率の低下は、温室効果ガスの発生抑制を妨げることになる。このような現象の発生要因のひとつとして、汚泥中のリン濃度の増加が影響していると指摘されているが、その発生機構は明らかになっていない。</p> <p>本研究は、下水汚泥焼却炉における燃焼灰の付着に起因した事象の発生とその抑制機構を明らかにし、さらに付着性制御方法を提案することを目的とし、以下の5章で構成されている。</p> <p>第1章「序論」では、本研究の背景および灰の付着性の発生機構に関する既往の研究をまとめ、本研究課題を整理した。</p> <p>第2章「空隙効果による高温場での灰付着性の制御」では、空隙効果という物理的因子による高温場での灰の付着性の制御方法について検証した。実際の下水汚泥焼却飛灰に、粒径の異なるアルミナ（Al₂O₃）またはシリカ（SiO₂）粒子を添加することで空隙率など充填構造を制御し、付着性の指標となる粉体層の高温強度を評価した。Al₂O₃またはSiO₂のナノ粒子を添加した場合、粉体層強度は大きく低下した。一方、実飛灰の粒径に近いマイクロ粒子添加系は、Al₂O₃またはSiO₂に限らず強度低下はほとんど見られなかった。強度低下したナノ粒子を添加した系では空隙率の増加が認められた一方、マイクロ粒子添加系では空隙率増加現象は見られなかった。Al₂O₃、SiO₂の添加は、熱力学計算により付着性を増加させるスラグ相の生成温度を変化させなかった。以上の結果から、実飛灰の空隙率制御は粉体層の高温強度低減に効果があり、化学的なスラグ相生成には影響がないことから、強度低下は空隙効果によるものと結論付けた。</p> <p>第3章「合成灰を用いた高温場での粒子付着性におけるリンと鉄の役割」では、高純度-SiO₂を原料に合成したモデル灰を用い、高温場での灰粒子の付着性増大に果たすPとFeの役割を検討した。灰の付着性に</p>					

は、実灰中に含まれる多数の無機成分が複雑に作用して影響をおよぼしている。そこで、高純度 SiO_2 マイクロ粒子を母材とし、それに P を添加した P- SiO_2 合成灰を調製した。合成灰の付着性は、 600°C 以上の温度で増加し、実下水汚泥飛灰と同様の挙動を示した。P- SiO_2 合成灰に酸化鉄 (Fe_3O_4) ナノ粒子を少量添加すると、 900°C での付着性が劇的に低下した。灰中の P によって促進される高温での付着性増加抑制法として酸化鉄ナノ粒子添加の有効性を確認し、実際の下水汚泥焼却設備の運転改善法を提案した。

第4章「金属酸化物ナノ粒子による高温場での灰付着制御」では、合成灰と実下水汚泥飛灰を用いて、各種ナノ粒子添加による高温付着性制御法としての効果を系統的に検証した。P- SiO_2 合成灰に加え、アルカリ金属を添加した Na- SiO_2 および K- SiO_2 合成灰も用いた。それら合成灰に Al_2O_3 、 SiO_2 および Fe_3O_4 ナノ粒子を添加し、高温付着性を評価した。 Al_2O_3 ナノ粒子は N、K、P が誘発する付着性を抑制した。一方 Fe_3O_4 ナノ粒子は、P が誘発する付着性を特異的に抑制した。同様に、実下水汚泥飛灰に上記3種類のナノ粒子を添加したところ、いずれの場合でも粉体層の空隙率が増加し、飛灰の高温付着性は抑制された。これらの結果から、種々の焼却・燃焼灰の付着性の抑制には、ナノ粒子添加による粉体層空隙率の増加が有望であることが示唆された。灰は化学的に複雑な組成であり付着性増加原因は様々であるが、空隙率の増加による強度低下効果は、灰の化学成分に依存せず有効であった。以上の結果は、様々な灰の付着性を制御する添加剤を設計する上で、化学的・物理的の両方の効果が重要であることを提案した。

第5章「総括」では、本論文の結論を整理するとともに、課題と今後の展望を述べた。

(英訳) ※和文要旨の場合(300 words)

If the abstract is written in Japanese, needed to translate into English.(300 words)

In order to characterize and control adhesion behavior of sewage sludge combustion ash at high temperature, tensile strength of various ash powder bed was determined and discuss the mechanism of adhesion behavior control by the addition of some kinds of nanoparticles in this thesis.

In Chapter 1, the background and purpose of this thesis were introduced.

In Chapter 2, two kinds of controlling factors were discussed. 1st is a chemical effect, i.e., changing the composition of fly ash to prevent the formation of eutectic systems with relatively low melting points, 2nd is physical effect such as a porosity, which can be a key enabler for controlling fly ash adhesion at high temperatures. In particular, the addition of fine particles to fly ash powder beds is an effective method for increasing the porosity, which leads to the suppression of tensile strength.

In Chapter 3, the role of P in particle adhesion at high temperatures using synthetic ashes, which consist of P and Si were clarified. The tensile strength of synthetic ash powder beds was quantified using a specially developed device. Since synthetic ash has few components compared to incineration ashes collected from commercial incineration plants, evaluating the role of P is easier. Iron (Fe)-containing chemical species are used for water treatment as chemical conditioners, and Fe also is concentrated with P in the sludge-incinerated ashes. To determine the interactions between Fe and P, iron oxide nanoparticles were added to P-containing synthetic ashes and their adhesiveness was evaluated. A small addition of iron oxide nanoparticles significantly decreased the adhesiveness of P-containing synthetic ashes at high temperatures, information that can help to control adhesiveness of sewage sludge-incinerated ashes.

In Chapter 4, the ability of three types of nanoparticles (NPs: SiO_2 NPs, Al_2O_3 NPs, and Fe_3O_4 NPs) as additives to control the adhesiveness at high temperatures was investigated. Synthetic ashes served as model compounds because they exhibited adhesiveness properties while having relatively simple chemical structures. The controllability of each type of NP with respect to the adhesiveness of various synthetic ashes was evaluated to clarify the role played by the different NPs. To demonstrate the practical utility of the NPs as additives, ash samples derived from the incineration of sewage sludge were investigated. Given the chemical complexity of the ash systems, it was discovered that a chemical effect and an increase in the porosity of the powder bed can effectively decrease the adhesiveness of ash particles produced at high temperatures.

In Chapter 5, the conclusion of the thesis was described.