

飛灰供給による酸性ガス低減効果

Reduction in Acidic Gas Emissions Using Fly Ash



岩本典之*
Noriyuki Iwamoto
技術士（衛生工学）



篠原良平*
Ryohei Shinohara

飛灰循環は、廃棄物処理プラントにおいて未反応薬剤成分を含む飛灰をバグフィルタ上流に戻すことでアルカリ薬剤の使用量を低減する技術である。当社ではバグフィルタろ布のダスト層に存在するフレーク状の凝集体に着目し、未反応薬剤成分と酸性ガスとの接触効率を向上させ、少ない循環量で効果を発揮するコンパクトな飛灰循環システムの確立を目指した。発生量の一部のみを循環する部分飛灰循環を模擬した実プラントでの基礎試験を行い酸性ガスの除去率向上を確認した。バグフィルタ差圧および飛灰中の重金属類濃度への影響は確認されず、既存設備への追設が容易な装置として製品化を完了した。

At a waste treatment plant, fly ash circulation is a technique for reducing the amount of alkali chemicals used, by returning fly ash containing unreacted chemical components to a point upstream of the bag filter. We focused on the flake-like agglomerates in the ash layer on the filter bag cloth, and made it a goal to establish a compact fly ash circulation system that would be effective even if a small amount of ash was circulated. An improvement in acidic gas removal rate was confirmed by basic tests in an actual facility simulating partial fly ash circulation, which circulated only a part of the generated amount of ash. Influences on the differential pressure of the bag filter and the concentration of heavy metals were not detected in these tests, so we have completed marketable equipment that can be easily added to existing facilities.

Key Words :

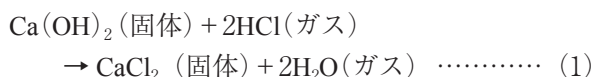
排ガス処理	Exhaust gas treatment
部分飛灰循環	Partial fly ash circulation
アルカリ薬剤	Alkali chemicals
酸性ガス	Acid gases
未反応薬剤	Unreacted chemical

【セールスポイント】

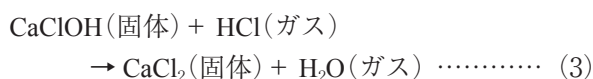
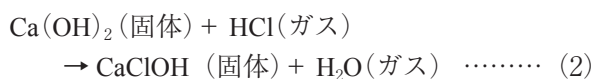
- ・コンパクトで既存施設への追加も可能な簡易飛灰循環システム

まえがき

燃焼排ガスに含まれる塩化水素（HCl）や硫黄酸化物（SOx）などの酸性ガスを中和除去するため、廃棄物処理プラントではバグフィルタ上流煙道に消石灰等のアルカリ薬剤を吹込んでいる。バグフィルタに到達した薬剤はろ布表面で飛灰とともにダスト層を形成し、酸性ガスとの気固反応はダスト層内で進行する。このような中和反応は、HClと消石灰を例にすると、総括反応としては式（1）で表される。



式（1）は化学量論式であり、実際の反応は式（2）、式（3）の二段反応で進行することが知られている¹⁾。



最終的にCaCl₂まで反応が進行した場合には、1 molのCa(OH)₂で2 molのHClを中和できるが、式（3）に優先して式（2）の反応が進行すると考えられており、この場合式（1）で表される総括反応での量論比よりも多くの消石灰を必要とし、接触頻度も踏まえた反応効率を考慮して通常、量論比の2倍から3倍の消石灰が供給されている。したがって逆洗でろ布から払い落とされバグフィルタより排出される飛灰中には最終反応まで完了していない薬剤成分と反応機会を得なかった未反応薬剤成分が混在して残っている。排出された飛灰をバグフィルタ上流に戻し未反応薬剤および反応余地を残した薬剤成分（以降、まとめて未反応薬剤成分と呼ぶ）に再度反応機会を与えることで排ガス処理薬剤と飛灰の発生量および飛灰処理薬剤を低減しようとするのが飛灰循環技術である。

当社では未反応薬剤成分と酸性ガスとの接触効率を向上させることで既存設備へ追設可能なコンパクトな飛灰循環システムを製品化した。本稿では製品化開発のための基礎試験結果について報告する。

1. 接触機会増加と期待される効果

飛灰循環はバグフィルタに流入する飛灰の量を増加させ、ろ布上のダスト層を厚くすることで、薬剤成分に酸性ガスとの反応機会を多く与えようとする

ものである。ダスト層を厚くすることだけであれば、循環せずとも逆洗による払落し間隔を延ばすことででも同様な効果を期待できるはずである。しかし、単にダスト層を厚くするだけでは十分な効果が期待できないことをろ布のダスト層性状が示唆している。

バグフィルタろ布上での中和反応では、堆積したダスト層内を排ガスが一様に通過して薬剤粒子と満遍なく接触することが理想的である。一方で飛灰の粒径は1 μm～100 μm程度まで広く分布しており²⁾、図1に示す模式図のようにろ布上のダスト層は様々な粒径の粒子で形成されており均一ではない。また、図2に示すようなろ布に堆積したダストには不均一を助長するようなフレーク状の凝集体が多くみられる。粉体層を通過する流体の圧力損失ΔPは式（4）に示すように粒径d_pと空間率ε、粒子の形状φ_sに依存する³⁾。

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{1-\varepsilon}{\varphi_s d_p \varepsilon^3} \left[150 \frac{(1-\varepsilon)\mu u_0}{\varphi_s d_p} + 1.75 \rho_f u_0^2 \right]$$

φ_s: 粒子と同体積球の表面積／粒子外部表面積

μ: 粘度, u₀: 空塔速度, ρ_f: 流体密度

L: 粉体層高 …………… (4)

ダスト層を形成する粒子の粒径および空間率は均一ではなく凝集体も影響するため、各部でのΔPは不均一となる。図1に示すように、圧力損失の小さい部位に選択的な流れができてミクロ的に偏流することになり、酸性ガスと接触することのできる粒子は限定的になる。また、未反応薬剤成分が凝集体内部に存在する場合には酸性ガスとの接触機会はなくな

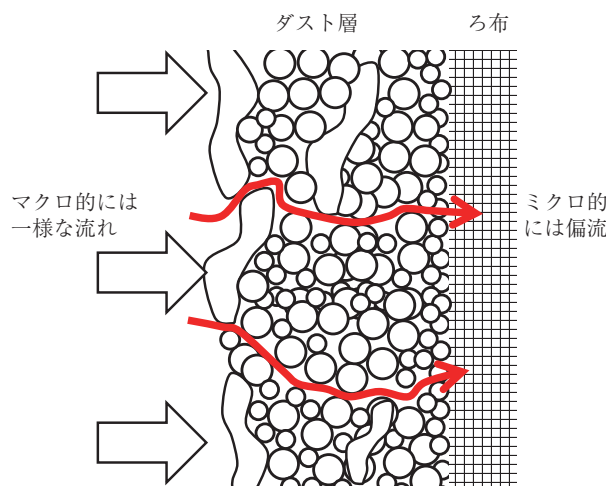


図1 ダスト層の模式図



図2 ろ布ダスト層の表面の例

る。粒子径の不均一性が小さくなればミクロ的な偏流が緩和され、未反応薬剤成分と酸性ガスとの接触機会が増加して反応効率が向上することになる。

ろ布ダスト層にみられる凝集体は逆洗で払落とされロータリーバルブを通過して飛灰搬送用コンベヤに到達する段階まで崩れずに残っているものもある。当社では、粒径分布の改善、分散性の向上によるろ布ダスト層内での偏流低減を目的に、循環用飛灰中の凝集体を解砕することとした。解砕により凝集体内部の未反応薬剤成分が露出し、酸性ガスとの接触機会が増加することで反応効率の改善が期待できる。解砕手段としては、コンパクトで可動部がなく、摩耗消耗しないことをコンセプトにしていくつかの方式を考案し、今回の基礎試験では図3に示すような空気を利用した解砕・分散供給装置を使用した。

未反応薬剤成分と酸性ガスとの反応効率が改善すれば、発生量の一部のみを循環させるだけでも次のような効果が見込める。

(効果1) 酸性ガスのバグフィルタ出口濃度管理を変更しない場合には、循環飛灰中の未反応薬剤成分の量だけ投入薬剤が減少し、発生する飛灰の量も低減する。

(効果2) 投入薬剤の量を変更しない場合には、未反応薬剤成分により実際の当量比が増加することで酸性ガスの除去率が向上する。

上記の効果1について、薬剤使用量および飛灰発生量の低減効果を推計した。

飛灰循環なしの時、バグフィルタに流入する飛灰は焼却灰（新規焼却灰）と投入された薬剤（新規未反応薬剤）で構成される。これに対して、飛灰循環

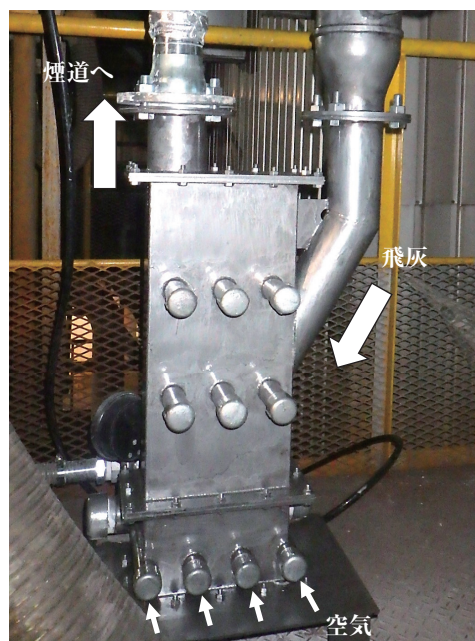


図3 解砕・分散供給装置

を行うと前記の焼却灰と薬剤に循環飛灰由来の焼却灰（循環灰中焼却灰）と薬剤（未反応薬剤成分）および反応済み薬剤が加わる。前述のとおり、消石灰によるHClの中和反応は式(2)および式(3)のような二段階の反応であることが知られているが³⁾、今回の推計では投入された薬剤の中和が最終反応まで進行する理想的な条件を想定し、中間生成物であるCaClOHは考慮せずに反応済み薬剤をCaCl₂、未反応薬剤成分をCa(OH)₂としてバグフィルタ入口と出口でのバランスを計算した。

表1に計算の条件を示し、計算結果により得られた収支を図4に示す。バグフィルタ入口および出口における酸性ガス濃度を一定として、飛灰を循環させた場合の投入薬剤と未反応薬剤成分との合計値が循環なしの場合の投入薬剤（0.60）と同量になるように計算したものである。薬剤の削減量は0.3倍循環、0.6倍循環でそれぞれ15%、25%となった。同様に排出飛灰の削減量は5%、9%と見込まれた。

循環量が増加すると排出される飛灰中の未反応薬剤が減少し、循環灰中では未反応薬剤と反応済み薬

表1 薬剤および発生量低減効果推計の条件

項目	推計条件
焼却飛灰：薬剤 ^{*1}	10：6
循環量	0.3倍、0.6倍
薬剤当量比	2.6
薬剤反応率	90%

^{*1} 薬剤＝新規投入薬剤＋循環飛灰中未反応薬剤

剤の割合が増加してバランスする結果となった。重金属等も基本的には反応済み薬剤と同様な挙動をして、循環灰中での濃度はバランスする。

また、効果2については実機における基礎試験で薬剤投入量はそのままとしてバグフィルタ出口での酸性ガス濃度の低減効果を確認することとした。

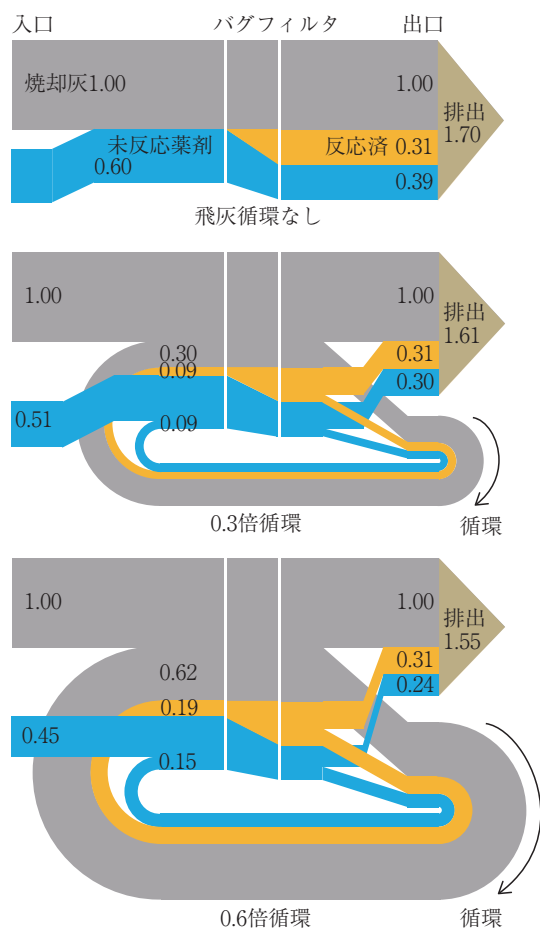


図4 飛灰循環 重量収支推計

2. 試験概要

2.1 施設概要

基礎試験として、産業廃棄物処理の実施設にて飛灰循環を模擬した飛灰供給試験を実施した。表2に施設の概要を示す。焼却炉は回転式ストーカ炉であり、産業廃棄物として汚泥や廃油、廃プラ、廃液などを処理している施設である。

2.2 試験方法

施設には飛灰循環システムが未実装であるため、事前に飛灰搬送コンベヤから飛灰を採取し定量供給用のスクリーコンベヤのホッパに投入した。そして解砕・分散供給装置を介してバグフィルタ上流の煙道に吹込むことで飛灰循環を模擬した。解砕・分散供給装置にはルーツブロワから空気を送り込み凝集体を解砕しながらバグフィルタ上流煙道に飛灰を供給した。図5に試験のフローを示す。

2.3 試験条件

供給した飛灰量は、発生飛灰の0.2倍から0.3倍に相当する量である。試験中は操業に影響の無いよう処理する廃棄物によって消石灰投入量を適宜変更する通常どおりの運用を継続した。バグフィルタ入口、出口の酸性ガス濃度については、飛灰供給なし（供給開始前と試運転中）の条件で2回、飛灰供給

表2 施設概要

焼却炉方式	回転式ストーカ炉
処理能力	187 t/d/ 炉
排ガス処理方式	減温塔：苛性ソーダ バグフィルタ：消石灰
処理対象物	産業廃棄物

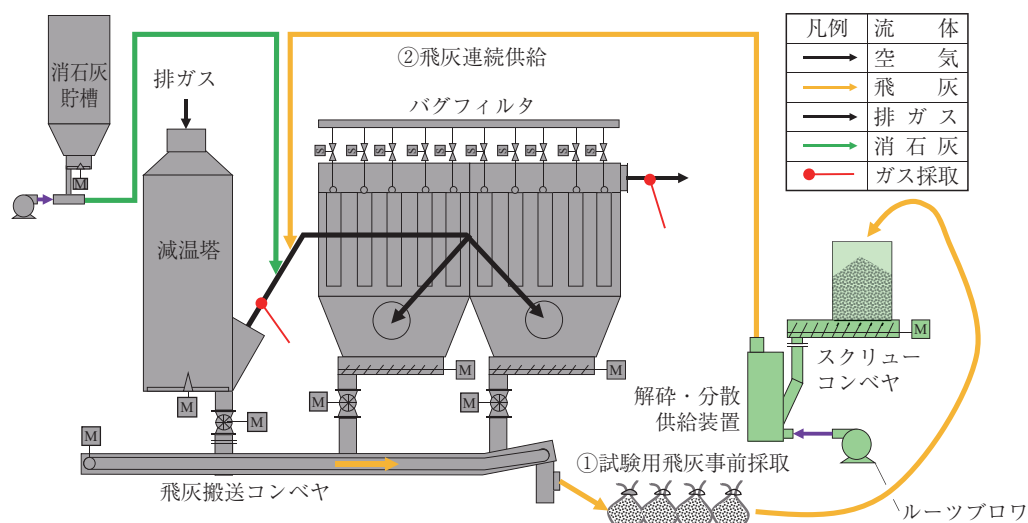


図5 試験フロー

中に3回の計5回の排ガスサンプリングを行って、HClとSOxの濃度を分析した。

3. 試験結果と考察

3.1 バグフィルタ出口酸性ガス濃度

本試験での初回のサンプリングにおける濃度を1として、各サンプリング時の濃度を比で表した濃度比の推移についてHClを図6に、SOxを図7に示す。HCl濃度、SOx濃度ともに変動はあるが、出口濃度は飛灰供給を開始してから低下し、平均値では飛灰供給前に比較して供給中は60 %から70 %程度低減した。

前述の図4における推計では、HClの入口および出口濃度を一定にした時の薬剤使用量の低減効果を計算した。同様な推計式にて本基礎試験における入口HCl濃度、投入消石灰量、供給飛灰中の未反応薬剤成分の推定量などからHCl出口濃度を計算すると、平均値で供給前に比較して供給中は54 %程度低減する結果となった。試験結果とは10 %ほど

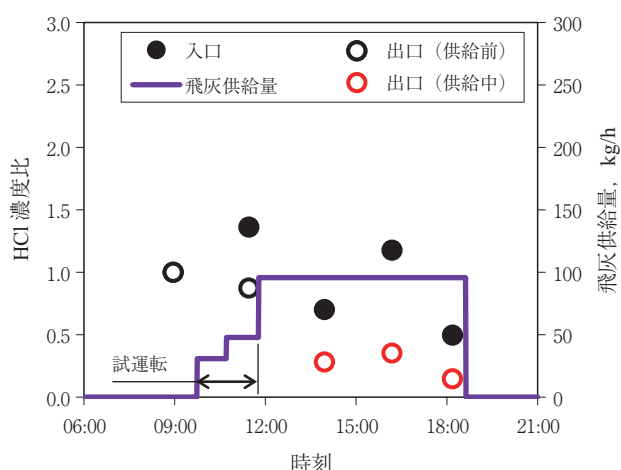


図6 バグフィルタ入口／出口排ガスのHCl濃度比

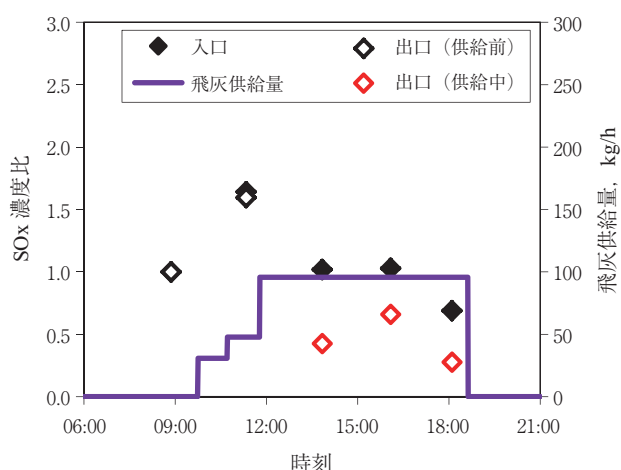


図7 バグフィルタ入口／出口排ガスのSOx濃度比

の差異があるが、計算には考慮していない炭酸化した灰の中和効果などが差異の要因となったものと思われる。

図8には酸性ガス除去率の推移を示す。HClについては、飛灰供給前に70 %程度であった除去率が上昇し、傾きが時間とともに緩やかになって90 %程度に達した。SOx除去率は、飛灰供給開始前には55 %程度であったが供給開始後に上昇し、上昇の傾きはHClよりも大きくなった。

3.2 バグフィルタ差圧への影響

バグフィルタ差圧の推移を図9に示す。バグフィルタでは所定の周期でパルスジェットによるろ布からのダスト払落しを行っており、高差圧時には周期を短くしている。飛灰供給前の差圧は概ね1.4 kPaから1.5 kPaの範囲であった。飛灰供給中はその前後と比較して低差圧側への変動がやや大きく、変動周期は長くなっている。ろ布面上の捕集粉じん層内では、ろ布表面に近づくほど空間率が小さくなり見かけの密度が増加する⁴⁾。飛灰供給によりダスト層が厚くなり、逆洗により圧密されたダストが落下したためと考えられる。

飛灰供給によってバグフィルタの差圧に異常を来すような現象は認められなかったが、飛灰循環においては差圧の変動に注意が必要であり予測評価が重要となるため、式(4)を用いて圧力損失の推移を予測する計算を行い、本基礎試験時の飛灰供給中差圧と比較した。ろ布の差圧となるろ布へのダスト蓄積量 m_t の時間変化は飛灰量 m_g と払落し量 $\eta_d \cdot m_d$ の差で与えられるが、払落し効率 η_d に対する影響因子は様々あり一定にはならない⁵⁾。そこで逆洗時のダスト払落し量の不規則性を乱数 f で設定し、ろ布へのダスト蓄積量を式(5)で求めて適用した。

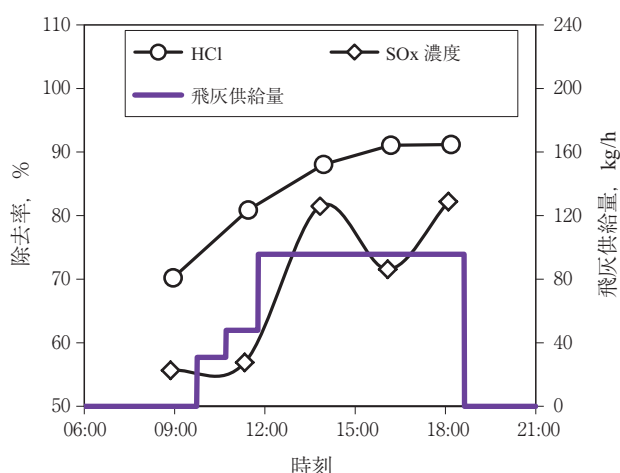


図8 バグフィルタ前後での除去率

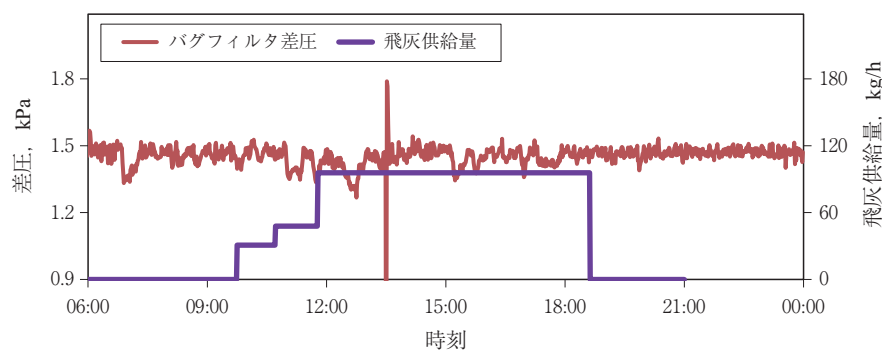


図9 バグフィルタ差圧の推移

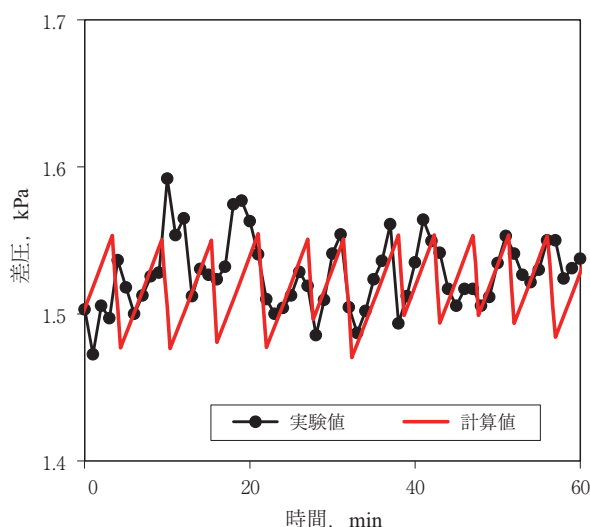


図10 バグフィルタ差圧の予測

$$\frac{\Delta m_t}{\Delta t} = m_g - \eta_d f m_d \dots\dots\dots (5)$$

その結果、図10に示すように実験値をほぼ再現できることがわかり、設計ツールとしての有効性を確認した。

3.3 重金属の挙動

バグフィルタ出口の飛灰を分析し、飛灰供給による重金属の挙動を調べた。飛灰サンプリングは試験前2回、試験終了時1回の計3回とした。検出下限未満のものなどは省略し代表的な成分のみを抜粋した分析結果を図11に示す。各重金属とも変動はあるものの、試験前の飛灰と比較して試験終了時の飛灰中濃度に濃縮傾向は確認されない結果となった。

む す び

排ガス中酸性成分の薬剤による中和除去機構におけるろ布ダスト層のフレーク状凝集体に着目し、接触および反応効率の改善による飛灰循環システムの高効率化、コンパクト化技術を開発した。

飛灰中の凝集体を解砕し分散性を向上させる供給装置を用いて飛灰循環を模擬したバグフィルタ煙道

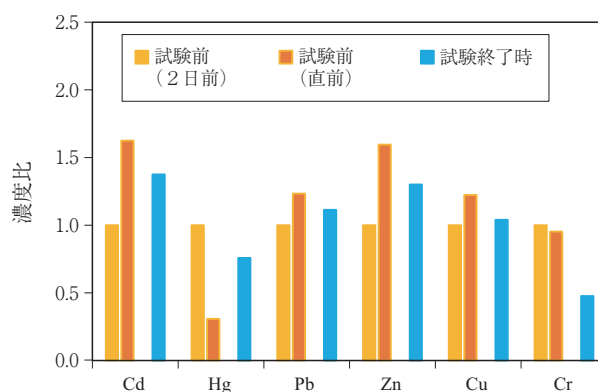


図11 重金属濃度の推移

への飛灰供給試験を行い、酸性ガス除去率の改善を確認した。

飛灰供給によるバグフィルタ差圧および重金属濃度への影響は確認されなかった。

本基礎試験の結果、発生量の一部の飛灰を循環する部分的飛灰循環システムの実機化を進め、製品化を完了するに至った。当社の部分飛灰循環システムは、飛灰搬送用のコンベヤや貯槽の設置が不要で既存施設への追設も容易なシステムである。廃棄物処理のLCC低減の一つの方法として本システムを提供し、循環型社会の一層の推進に貢献していく所存である。

謝 辞

試験の実施においては、ツネイシカムテックス株式会社の多大なるご協力を賜りました。ここに感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) Jacquinet Bernard ら：PVC.P.007E, p1-96
- 2) 平岡ら：廃棄物学会誌, 5 (1), p3-17
- 3) 鞭ら：流動層の反応工学, p14, 培風館
- 4) 山田ら：化学工学論文集, 13 (1), p13-19
- 5) 鮑力民ら：日本機械学会論文集 (C 編), 77巻773号, p179-186