４－１　既存流動焼却システムの高効率化技術の開発

施設管理部　施設保全課　原島　光雄

１．研究目的

近年の汚泥処理集約化に伴う長距離送泥などにより汚泥や脱水ケーキの性状に変化が見られるようになった。そのため、焼却炉の定格能力での運転が困難な状況になるなど、運転への影響が生じることがある。そのうえ、将来的にしさ混合焼却等による被焼却物の高カロリー化も考慮しておく必要があり、焼却設備には今まで以上に広範囲な汚泥性状に対応した、安定的な運転を可能とする焼却システムが求められる。

一方、維持管理経費の低減も当局の重要な課題であり、焼却設備の補修工事や点検の周期を延長し、長期連続稼働を可能とすることで、維持管理経費の縮減を図ることも重要である。

本研究は、既存の流動焼却設備において小規模の改造で、汚泥性状の変動に柔軟に対応でき、安定的な運転や維持管理費の低減を実現する流動焼却システムの開発を行うものである。

２．研究目標

本研究を推進するにあたり、前述の研究目的を受け、具体的な目標を以下のように立てて方向性を明確化した。

目標 1：広範囲な性状の汚泥が安定的に焼却可能なシステムの開発

目標 2：2 年以上、補修工事や点検が必要のないシステムの開発

３．研究の全体計画

３．１　研究期間

平成 12 年 5 月～平成 15 年 3 月の 3 カ年

３．２　研究の手順（全体計画）

(1) 現状の把握

研究を進めるに当たり、被焼却物である脱水ケーキや焼却炉の補修経歴など、流動焼却設備にかかわる現状の調査。

(2) 燃焼改善・広範囲性状汚泥への対応

広範囲な汚泥性状に対応した安定的な運転が可能な焼却システムの開発。

(3) 既存流動焼却設備の稼働率の向上

2 年以上の長期にわたって、補修工事や点検が必要のないシステムの開発。

(4) システムの最適化

本研究開発結果を通して、あるべき最適なシステムの構築。

３．３　研究内容

前述の研究目標を達成するため、実施した項目は以下のとおりである。

「目標 1：広範囲な性状の汚泥が安定的に焼却可能なシステムの開発」に対して

砂層燃焼率制御及び砂層温度制御を基本とした処理方式の確立

「目標 2：2 年以上、補修工事や点検が必要のないシステムの開発」に対して

流動焼却設備の補修頻度・内容調査・具体策の検討

４．研究成果

研究で実施した項目の結果を目標 1、目標 2 の順に示す。

４．１　目標 1：砂層燃焼率制御及び砂層温度制御を基本とした処理方式の確立

(1) 砂層燃焼率制御（高含水率脱水汚泥への対応）

補助燃料を必要とする高含水率汚泥の場合、砂量（砂層）に対する水分負荷が増加し、砂層温度の低下とともに砂層燃焼率が低下する。ここでいう燃焼率は、脱水ケーキ及び補助燃料が砂層部で燃焼する割合をいう。一方、可燃分がフリーボードで燃焼することにより､相対的にフリーボードが高温化する｡排ガス処理機器の温度制約上、排ガス温度には上限があるため、場合によっては投入汚泥量を減らさざるを得なくなる。このような現象を防ぐため、砂量の増加や空気量の増加あるいは空気温度の調節によって砂層での燃焼率をコントロールし、砂層燃焼率を上げることで定格投入汚泥量を維持しようとする方法が砂層燃焼率制御である。

(2) 砂層温度制御（低含水率脱水汚泥への対応）

自燃可能な低含水率汚泥の場合、炉内に投入される熱量（熱負荷）が増加する。これにより炉内全体が高温化する。排ガス処理機器の温度制約上、排ガス温度には上限があるため、場合によっては投入汚泥量を減らさざるを得なくなる。このような現象を防ぐため、炉内の砂を抜き出し冷却したのち再び炉内へ戻すことによって炉内温度をコントロールし、炉内全体の温度を下げることで定格投入汚泥量を維持しようとする方法が砂層温度制御である。

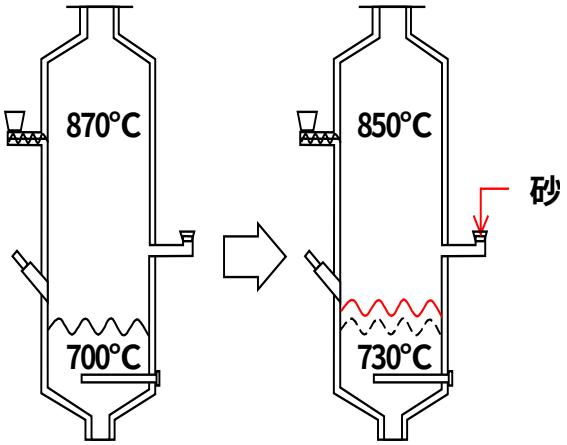


図１　砂層燃焼率制御
（高含水率脱水汚泥への対応）

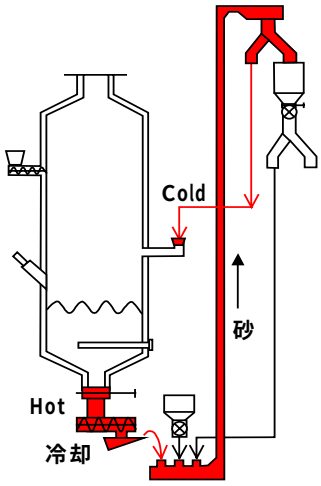


図２　砂層温度制御概略
（定含水率脱水汚泥への対応）

砂層燃焼率制御及び砂層温度制御の制御概念図を図３に示す。

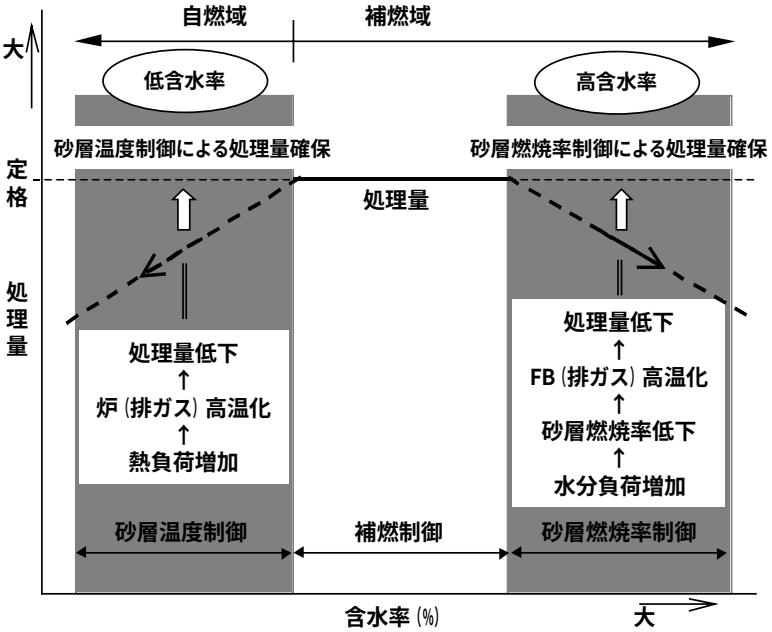


図３　制御概念図

４．１．１　テストプラント確認実験

(1) 実験方法

砂層燃焼率制御の基本特性を確認するためにテストプラントを用いた実験を行った。実験に用いたテストプラントの概略フローを図４に、仕様並びに実験条件を表１に示す。なお、実験では汚泥含水率の変化を汚泥投入機に水を加えることで模擬した。

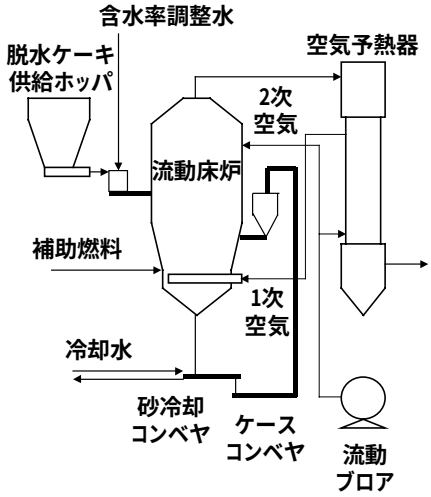


図４　テストプラント概略フロー

表１　テストプラント仕様及び実験条件

流動炉仕様	実験条件
処理量	8.0t/d
炉床径	645mm
テーパ高さ	1370mm
フリーボード径	1380mm
フリーボード高さ	5070mm
汚泥性状	**実験条件**
含水率	78.9～81.0%
可燃分	77.8～82.6%-ds
発熱量	18,300～19,920kJ/kg-ds

燃焼にかかわる因子である砂量、含水率、空気顕熱（空気量、空気温度）、2 次空気量割合、補助燃料量をそれぞれパラメータとし、砂層温度、汚泥投入量を固定し実験を行った。

(2) 実験結果

実験結果を図５、６に示す。図５から砂量の増加及び流動空気量の増加（2 次空気量の減少）により砂層燃焼率が向上することが確認できた。また図６から、水分負荷が減少（砂量増加）する場合にも同様なことが確認できた。砂層燃焼率向上の主な要因は、砂量増による燃焼場の増加や流動

空気量増による混合撹拌の活発化により、燃焼物と流動媒体との接触機会が増えることであると推察される。このように今回、砂層燃焼率制御により、フリーボード温度の高温化を避け、処理量を維持する可能性について手掛りが得られた。

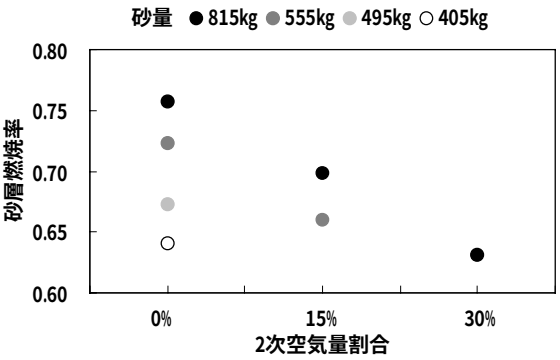


図５　砂層燃焼率制御実験結果（その 1）

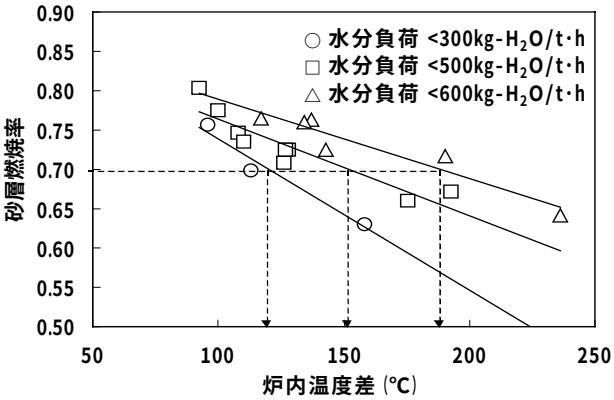


図６　砂層燃焼率制御実験結果（その 2）

４．１．２　実機試験

テストプラントでの実験結果を踏まえ、流域下水道本部南多摩処理場の実機（60t/d 炉）において砂層燃焼率制御及び砂層温度制御実験の基本特性を確認する手掛かり試験を行った。南多摩処理場の汚泥性状は含水率 72~76%、可燃分 80~85%でほぼ自燃域にある。しかしながら、砂量が不足気味であったため低含水率の汚泥を焼却しているにもかかわらず、フリーボードと砂層温度が乖離していたため、砂量増加による砂層燃焼率の改善を試みた。

(1) 砂層燃焼率制御（砂量増加）

図７、８に実験結果を示す。砂を 2t 増やしたところ、流動空気温度を下げても砂層温度を維持したままフリーボード温度のみを下げることができ、燃焼の安定化が図られた（図７参照）。また、砂追加前後で砂層燃焼率を算出したところ、砂追加前に比べて砂層燃焼率が 5%程度向上しており（図８参照）、砂を増やすことで砂層での燃焼状態が改善されることが確認できた。

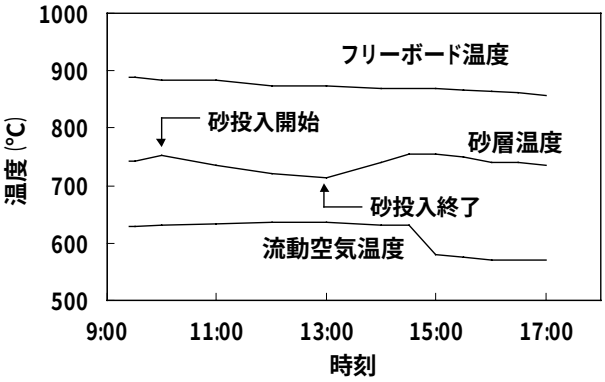


図７　トレンドグラフ

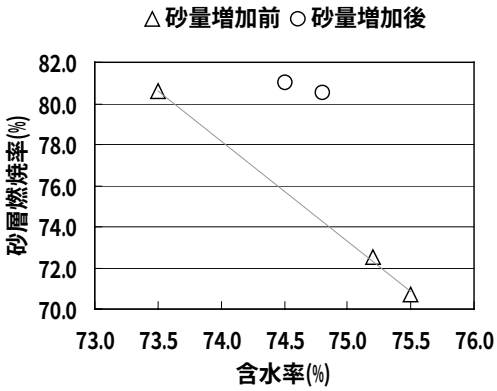
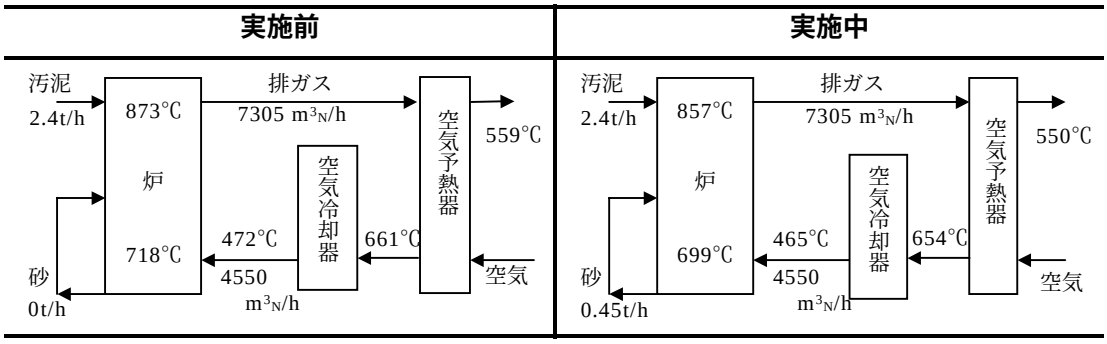


図８　砂層燃焼率

(2) 砂層温度制御（砂冷却）

表２に実験結果を示す。途中で汚泥性状が大きく変化したため短時間（約１時間）での実施となったが、砂冷却コンベヤによる砂冷却（抽熱）を行った結果、砂層温度とともにフリーボード温度も低下した。

表２　砂層温度制御実験結果



４．２　目標2：流動焼却設備の補修頻度・内容調査・具体策の検討

平成 12 年度に実施した既存流動炉の補修実績・停止頻度調査より、汚泥焼却炉のケーキ供給ポンプである一軸偏心ねじポンプが、補修費用の増加及び長期連続稼動に対する阻害要素の１つであることが判明した。そのため、本研究ではケーキ供給ポンプに往復動複列型容積ポンプ（以下低圧型ピストンポンプと記す。）を採用し、補修頻度削減による長期連続稼動及び維持管理費用の大幅低減を検討する。また、既存一軸ねじポンプについては、交換頻度が高く補修費用も大きいステータ・ロータの延命化を検討した。さらに補助燃料を砂層内に吹き込むガスガンの着火方式の変更による延命化についても合わせて検討した。

４．２．１　低圧型ピストンポンプ

(1) 目標

補修費用が大きく長期連続稼動に対する阻害要素の１つである既存の一軸偏心ねじポンプに替わるケーキ供給ポンプに低圧型ピストンポンプを採用し、2 年間（8,000 時間）ノーメンテナンス、ノートラブルを目標とした長期連続稼働及びコスト縮減について検討する。

(2) 研究内容

本研究では、H13 年度から H14 年度にかけて、既存一軸偏心ねじポンプをその 1 試験機（パイロット機）とその 2 試験機（プロトタイプ機）の低圧型ピストンポンプ試作機に置換えて、現地実証試験を実施し、安定供給運転の確認並びに消耗部品の補修頻度の確認を実施した。

試作機は、砂町水処理センター東部スラッジプラント 3 号焼却炉に設置した。

図９に試験機設置概要図を示す。

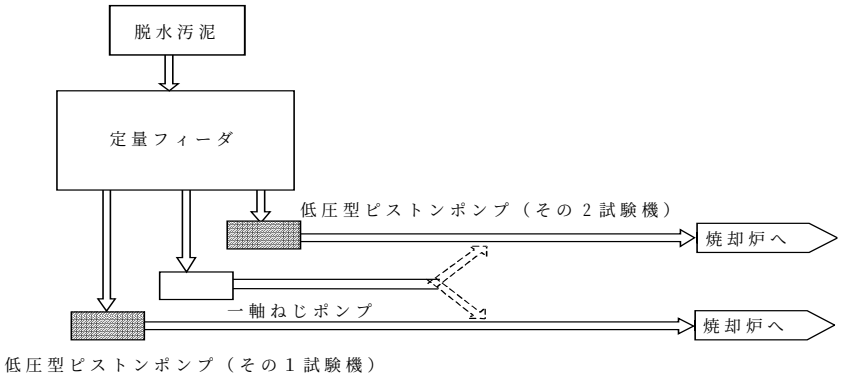


図９　試験機設置概要図

1)　その１試験機（パイロット機）

従来の高圧型ピストンポンプをベースに試作した。主要な構造は高圧型と同一であるが、油圧ユニット動力の低減により低圧型仕様とした。摩耗部品の摩耗度の計測を行うとともに、プロトタイプ機であるその２試験機開発のための基礎データの取得も行った。

2)　その２試験機（プロトタイプ機）

その１試験機から得られたデータを基にして、機器構造、材質、寸法などの機器仕様を改良し、プロトタイプ機として低コスト化を図り、その２試験機を開発した。

表３に低圧型ピストンポンプと一軸ねじポンプの仕様の比較を示す。

表３　仕様の比較表

機種	ピストンポンプ		一軸ねじポンプ
	その１試験機	その２試験機	
設置スペース	7.8m²	7.5m²	8.7m²
定格搬送量	6.25t/h	6.25t/h	6.25t/h
最大吐出圧力	1.96MPa	1.96MPa	1.96MPa
動力	33.5kW	33.5kW	48kW
稼働試験開始	平成 14 年 3 月	平成 14 年 10 月	―
備考	油圧ユニット、制御盤は本体と別置	油圧ユニット、制御盤は本体と一体型	電動駆動のため油圧ユニットなし

図１０に低圧型ピストンポンプの図を示す。

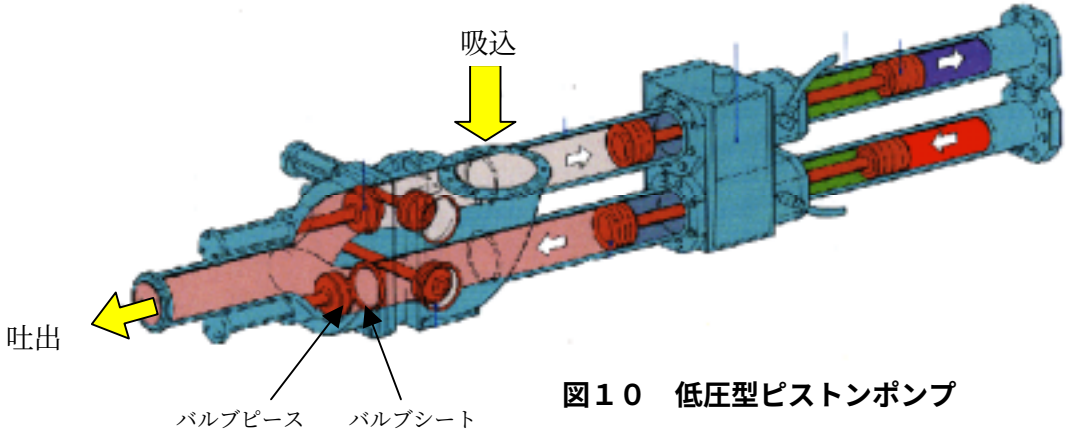


図１０　低圧型ピストンポンプ

(3) 試験結果

ポンプ据付完了後、平成 14 年 3 月 13 日から連続安定運転を開始し、12 か月間弱(約 7,200 時間)経過したが、問題なく安定供給運転が継続１された。

1)　運転試験結果

ポンプ及びケーキ供給配管の圧力変動を図１１に示す。図より、ポンプ出口においてはピストンポンプ特有の脈動によりパルス的な圧力変動が見られるが、焼却炉配管出口付近では圧力変動もなく、焼却炉への定量供給が行われることがわかる。

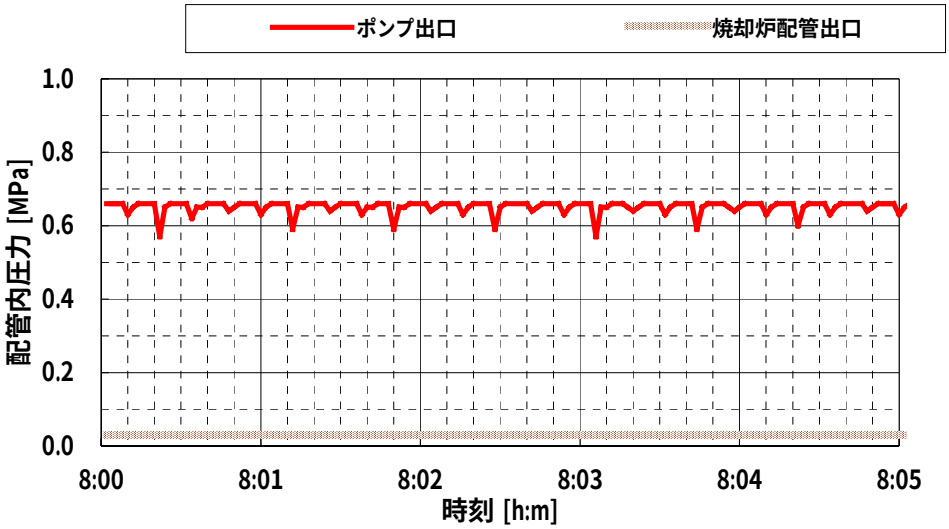


図１１　供給配管圧力変動図

図１２にケーキ供給配管中の電磁流量計によるケーキ供給量のトレンドデータを示す。図に示すとおり、吐出量の大きな脈動も見られず、既存の一軸偏心ねじポンプと同等又はそれ以上の安定供給がなされている結果となった。

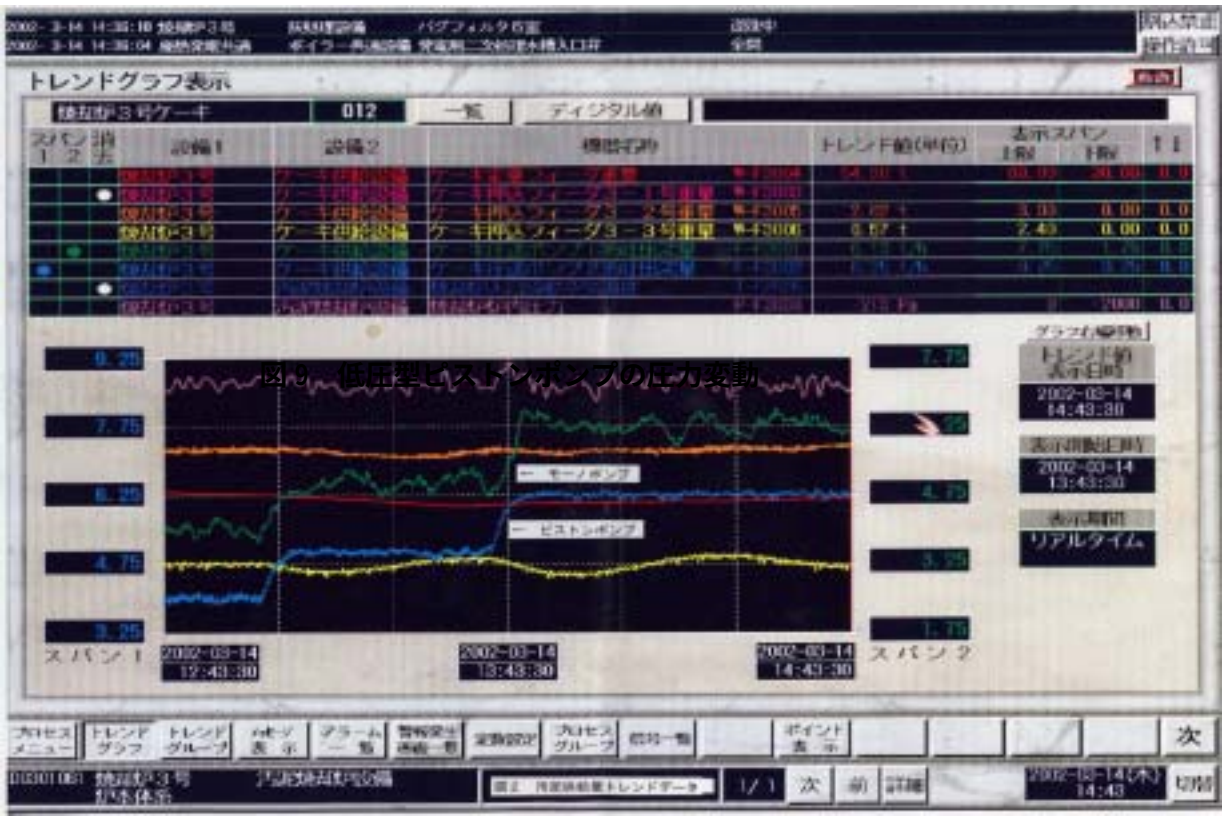


図 8　低圧型ピストンポンプの圧力変動

図１２　ケーキ供給量のトレンドデータ

2)　開放点検結果

長期連続運転中に計 3 回（1 回目 1,224h、2 回目 3,882h、3 回目 5,694h）開放点検を実施し、バルブシート、バルブピース、搬送ピストンの摩耗量を測定した。

図１３、１４に示すようにバルブシート、バルブピースの摩耗量は、運転開始段階において接触面が馴染んでないため大きいが、その後はほぼ安定している。安定した後の摩耗速度を定常的なものとして、限界摩耗量である 5㎜ に達する時間を推定した。その結果、17,000h 以上となり、目標である 8,000h は充分達成でき、交換時間は、1 年から 3 年に変更可能と判断した。

図１５に示す搬送ピストンの摩耗量は、バルブシート、ピースと同様に、運転初期段階が大きい。その後 1 回目から 2 回目の測定では摩耗はほとんど進行していないが、2 回目から 3 回目の測定では再び増加している。これは、摩耗の要因として、摺動によるほかに、ゴムの劣化が加わったものと考えられる。2 回目から 3 回目の摩耗速度を定常的なものとして、前側リップ外形の使用限界寸法 168㎜ に達する時間を推定した。その結果、約 8,000h となり、交換時間を 1 年から 2 年に変更可能と判断した。

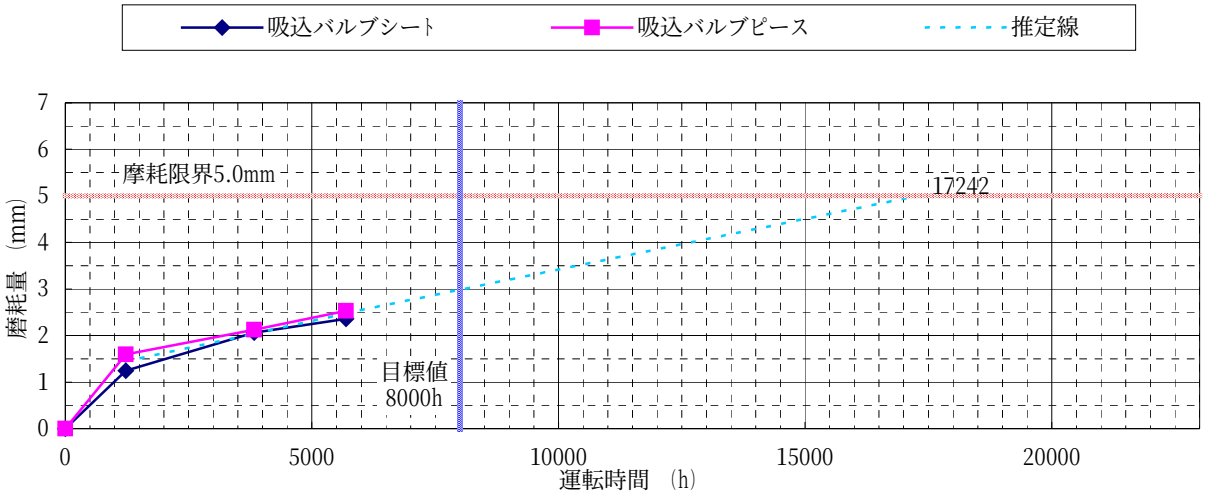


図１３　バルブピース、シート磨耗進行状況

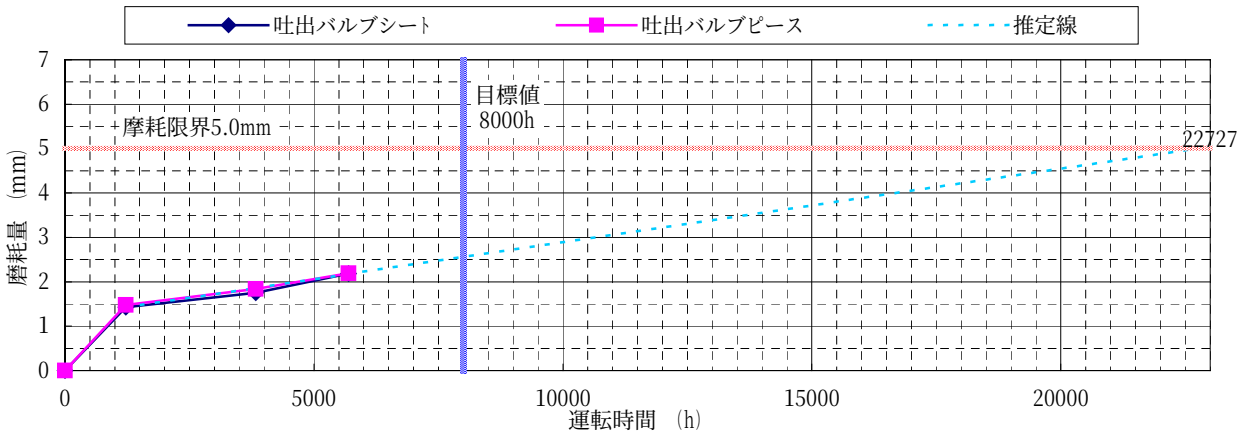


図１４　吐出バルブピース、シート磨耗進行状況

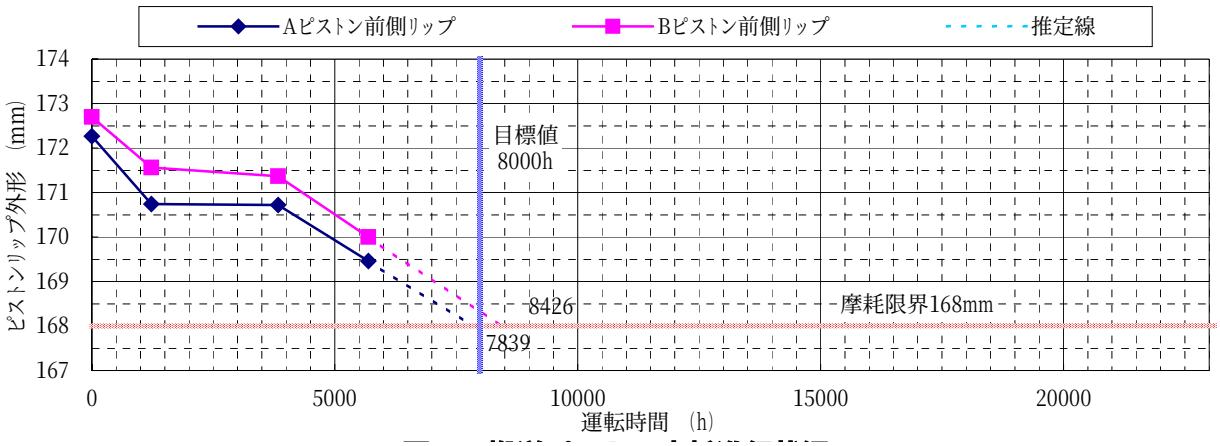


図１５　搬送ピストン磨耗進行状況

４．２．２　既存一軸ねじポンプ

(1) 目標

一軸ねじポンプにおいて交換頻度が高く補修費用も大きいステータ及びロータについて検討した。ステータについては、新開発のウレタンステータの採用、ロータについては、交換品の再メッキ処理によるロータを再利用し実証試験を行い、補修頻度削減による維持管理費用の低減を目的とした延命化対策を検討した。

(2) 試験内容

本研究では、一軸ねじポンプに新ウレタンステータ及び再メッキ処理を施したロータを導入し、現地実証試験を平成 14 年 1 月～12 月の約 12 か月間実施後既存のステータ、ロータとの比較調査を行った。

実証試験は、砂町水処理センター東部スラッジプラント 1 号焼却炉を実験対象とした。

実証試験概略図を図１６に示す。

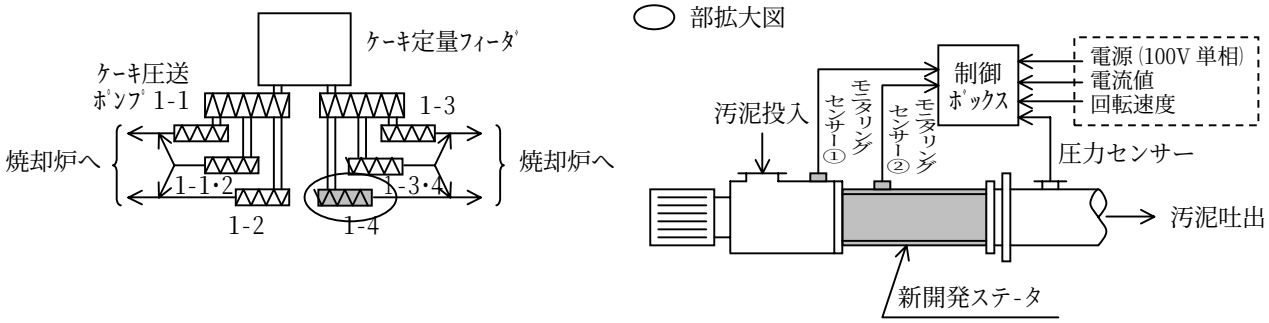


図１６　実証試験設備概略図

(3) 試験結果

新ステータと既設ステータの比較調査の結果は、表４に示すとおりである。新ステータは、耐熱性能の向上により約 6,000h 運転後においても、ステータ内表面の材質の溶融化・クラックがほとんど認めらない。これは、新ウレタンの耐熱性・耐摩耗性向上が有効に作用したものと考える。また、内表面の材質劣化が抑制され、初期状態が維持されている。材質劣化（溶融化・クラックなど）に伴い発生する脱水ケーキ中に含まれる異物の食い込み、突き刺さりは数か所程度であった。このことにより、食い込み箇所や突き刺さり箇所と接触する部分のロータの損傷や摩耗が発生せず、ステータ材質の向上がロータの延命化にも寄与する結果となった。さらに 6,000h 運転後の摩耗量が

0.75㎜で、一般的な許容摩耗代1.2㎜に達する時間を計算すると9,600hとなり、東部スラッジプラントにおける年間平均運転実績4,500ｈから2年以上使用可能と判断した。

再めっきロータと既設ロータの比較調査の結果は、表５に示すとおりである。再めっき品のロータは、約 6,000h 運転後もめっきの浮き上がりや剥離はなかった。従って、従来のロータの交換を行っていた場合でも、ロータの母材まで至らない損傷であれば、再めっき処理により再使用が十分可能と判断できる。以上のことから新ウレタンのステータ、ロータ共2年以上運転継続が可能であり、さらにロータの再めっき処理を施すことにより交換時期を4年まで延長することが可能であると判断した。

表４　新ステータと既設ステータの比較調査の結果

		新ステータ （新ウレタン）	既存ステータ （ウレタン）
外観	ステータ内表面の材質の溶融化・クラック	ほとんど確認できない 	ステータ全般にわたって無数発生
	異物の食い込みや突き刺さり	数か所	同上
	ステータ内表面	全般にわたって黒く変色 	同左
寸法等	ステータの内径（ロータが回転する部分）	初期寸法とほぼ同一 	内径が大きく広がる
	ステータの内径の硬度	初期状態に比べて1割程度軟化	溶融化･クラックによる劣化により計測不可
補修（交換）周期		2年	1年
運転時間		約6000時間運転後	約6500時間運転後
評　価		◎	×

表５　再めっきロータと既設ロータの比較調査の結果

		再めっきロータ	既存ロータ
外観	異物による局部的な損傷、母材が露出する摩耗	ない	損傷は数箇所あるが、母材まで至る損傷はない
	めっき状態	摺動痕がうっすらと確認できる程度 	めっき表面が削れている箇所が数箇所あり
寸法等	摩耗による細り	細りは認められない	めっき表面が削れている箇所のみ
補修（交換）周期		4（2 年毎再めっき）年	2 年
運転時間		約 6000 運転時間	約 6500 運転時間
評　価		◎	○

４．２．３　ガスガン

(1) 目標

ガスガンは、焼却設備の中で非常に補修頻度高い部品である。特にガスガンは損傷により１年ごとに交換している例が多い。ガスガンの損傷は失火に繋がり、失火するガスガンの本数が増えると焼却炉における汚泥処理が不可能になるほど重大な影響を及ぼす機器である。ガスガンは小さな、価格的にも高価ではないが、その焼損が汚泥処理に重大な影響を与え、焼却炉の長期連続稼動の妨げる要因となっている。そこでガスガンの延命化を検討する。

(2) 研究内容

マトリックスを含むガスガンの延命化を図るために、炉内温度等によりパイロットを消火する「時限パイロット方式」を導入している南部スラッジプラント５号炉の運転状況を確認しの有効性を探る。

時限パイロット方式と現在までの着火方式の比較フローは、表６のとおりである。

表６　時限パイロット方式と現在までの着火方式の比較フロー

現在の着火方式

着火指令 → パイロットガン着火 → パイロット火炎検出 → メインガン着火

常時パイロットガン着火、火炎検出

時限パイロット方式

着火指令 → パイロットガン着火 → パイロット火炎検出 → メインガン着火 → パイロット消火

パイロットガンは、一定時間着火後、炉の温度条件等により着火・消火する。

(3) 試験結果

ガスガンの時限パイロット方式を採用している南部スラッジプラント５号炉の定期修繕時（運転開始後約 1.5 年経過）にガスガンを取り外し、導入後の運転状況の確認検証を行った（図１７参照）。マトリックスの損傷はなく、全数清掃のみで継続使用可能な状況であった。保炎筒については、若干の摩耗が認められたが、十分継続使用可能な状況であった。以上のことから従来損傷の激しかったマトリックスの交換数量が減少し、時限パイロット方式が良好である結果が得られた。従来、マトリックスの大半は損傷により失火が発生し１年間で交換していたが、時限パイロット方式では、1.5 年間の運転においても失火が発生せずマトリックスの交換が不要なことを確認した。

1.5 年経過したガスガンの状況を踏まえると、2 年間の連続運転は可能であると推定された。

図１７　ガスガン廻りの耐火物の状況（時限パイロット方式・稼動後約 1.5 年）

５．まとめ

(1) 目標１の広範囲な性状の汚泥が安定的に焼却可能なシステムの開発については、テストプラントでの実験を経て実機を用いた手掛かり試験を行った結果、定性的にではあるが、砂層燃焼率制御・砂層温度制御ともにその効果を確認することができた。

(2) 目標 2 の 2 年以上、補修工事や点検が必要のないシステムの開発については、補修費用も大きく長期連続稼動に対する阻害要素である汚泥焼却炉のケーキ供給ポンプである一軸ねじポンプのかわりに、低圧型ピストンポンプを開発し 2 年間の連続運転及びコスト縮減を可能とした。また同様に既存機の改良による運転時間の長期化及びコスト縮減策も開発した。補修頻度の高いガスガンについては、着火方式の変更により補修頻度を１年から 2 年に延長できる結果が得られた。

今後は、改良、補修工事により、低圧型ピストンポンプへの更新又は既設一軸ねじポンプの新開発高耐久部品への交換、及びガスガンの着火方式の変更を順次行う。

謝辞

本研究は、公募型共同研究として、焼却炉メーカー4 社の JV（日本ガイシ株式会社、月島機械株式会社、三菱重工業株式会社及び株式会社クボタ）との間で実施したものである。関係者の多大なご協力に感謝する。