

下水汚泥のセメント資源化技術の 性能評価に関する研究

1. 研究目的

本技術は、内陸に位置し汚泥の処分地の確保が困難であるとともに、焼却炉の設置が許容されにくい奈良県における汚泥の有効利用システムとして開発された方式である。

焼却過程がなく、廃棄物の発生が無い汚泥の有効利用システムとして下水汚泥のセメント原料化を前提に生石灰を用いた汚泥乾燥システム（以下セメント資源化設備）の性能評価を目的とした。

なお、本研究は平成15、16年度の2ヵ年にわたり、新世代下水道支援事業制度の機能高度化促進事業（新技術活用型）として性能評価研究を行った。

2. 研究内容

2.1 技術の概要および特徴

脱水汚泥に生石灰を混合すると、脱水汚泥中の水分と生石灰が反応して発熱し、水分を蒸発させ脱水汚泥を乾燥させることができる。例えば水分78%の脱水汚泥約1 tに生石灰約1.1 tを混合することで約42%の水がCaOと結合し約41%の水が蒸発して、含水率7.5%の乾燥汚泥（以下カンブと呼ぶ）が約1.8 t生成する（図-1参照）。



生成したカンブは、その有機分がセメント製造で必要とするエネルギーの一部に、無機分がセメント原料の石灰石の代替原料としてセメント製造ラインでの

利用が可能である（図-2参照）。

下水処理場内に設置されたセメント資源化設備の施設フローと各機器の機能を図-3に示す。

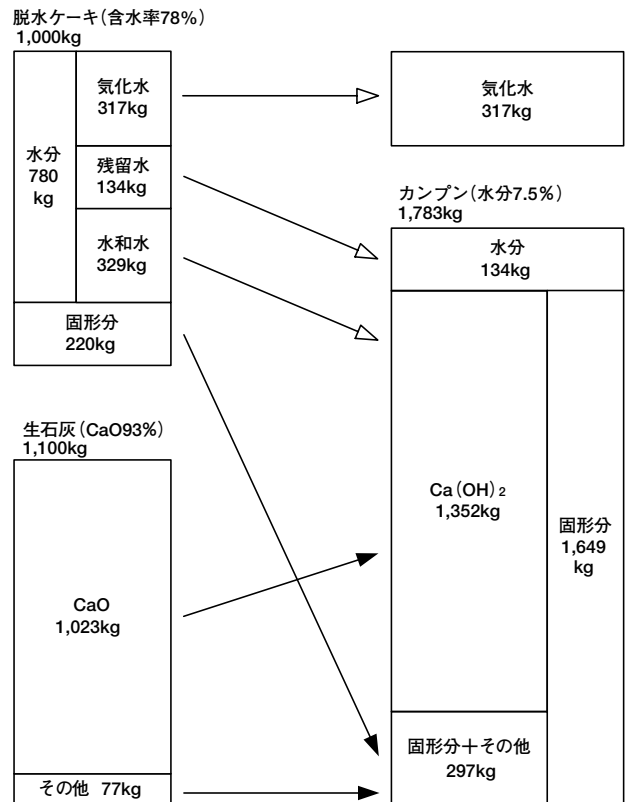


図-1 カンブ製造時の物質収支 (例)

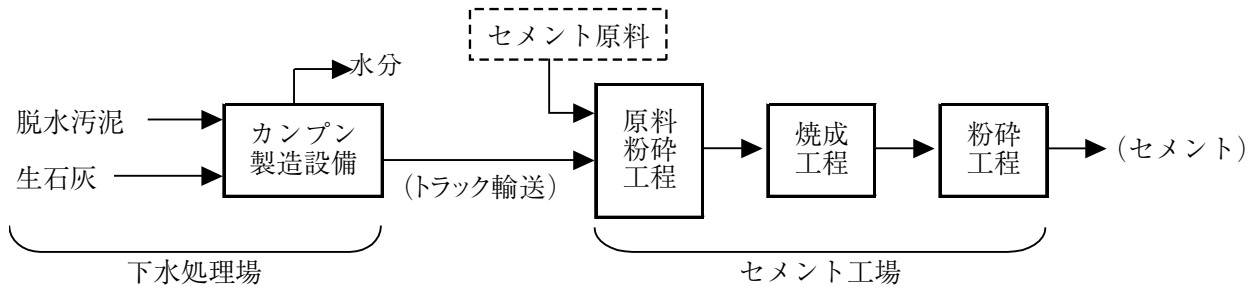
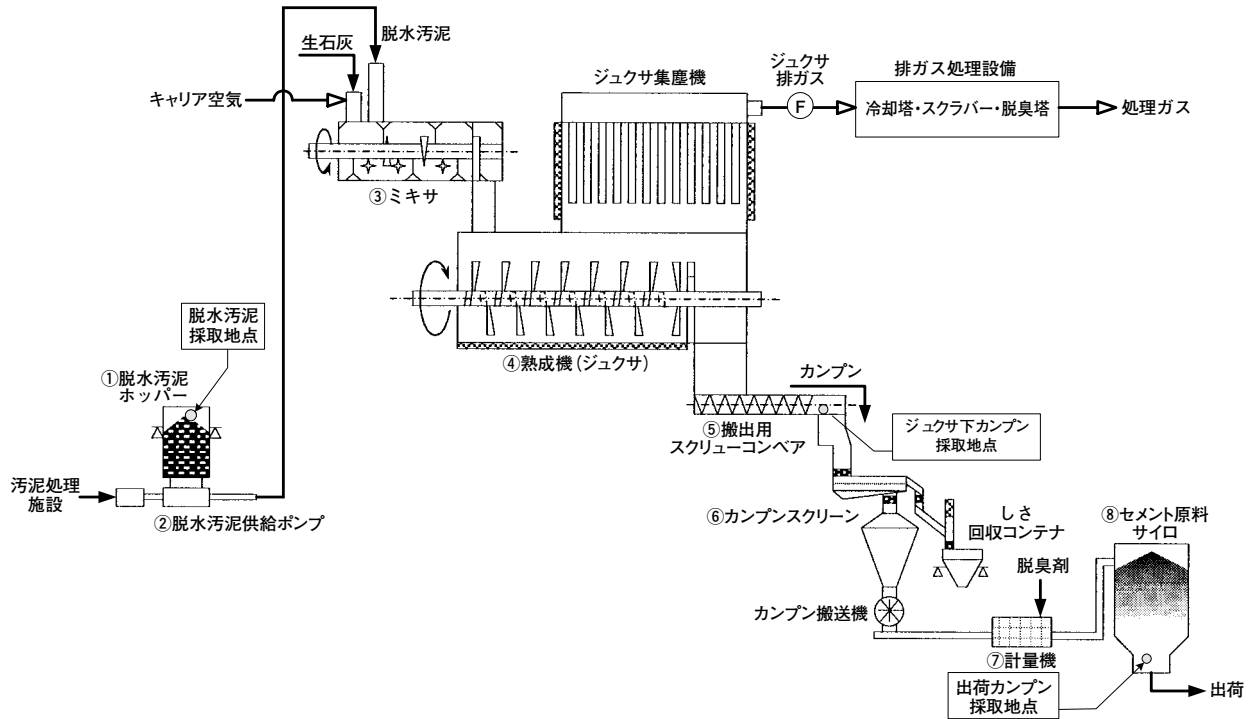


図-2 下水汚泥セメント資源化フロー



機器名	機能
①脱水汚泥ホッパー	汚泥処理施設より供給される脱水汚泥を貯留する。 [脱水汚泥の採取地点]
②脱水汚泥供給ポンプ	ホッパー内の脱水汚泥をミキサに供給する。
③ミキサ	脱水ケーキと生石灰を高速で攪拌、混合する。 石灰系凝集物の解砕を同時に行う。
④熟成機 (ジユクサ)	生石灰と水との消化反応を促進させるため、反応が終了するまでの間、緩速攪拌させながら混合物を熟成してカンプンを生成する。
⑤搬出用スクリュウコンベア	カンプンをコンベアによりスクリーンに送る。 [ジユクサ下カンプンの採取地点]
⑥カンプンスクリーン	カンプン中のしさ (スクリーン残渣) を選別、分離する。
⑦計量機	生成したカンプンの重量を計量する。 計量されたカンプンには所定の割合で脱臭剤が添加される。
⑧セメント原料サイロ	カンプン (セメント原料) を貯蔵する。 [出荷カンプンの採取地点]

図-3 セメント資源化施設の概略フロー

本技術の特徴をまとめると以下のとおりである。

- ① 脱水汚泥が全量有効利用されるので、埋立地が不要となる。
- ② セメントは需要規模が大きく、下水汚泥の長期的有効利用が可能である。
- ③ 下水処理場に焼却炉などの建設が不要であり、周囲の環境への影響が少ない。
- ④ 汚泥中の有機物の発熱量は、セメント製造工程においてエネルギーの一部として有効に利用される。
- ⑤ 脱水汚泥に生石灰を添加し乾燥するシステムであるため、設備は汚泥焼却システム等に比べ比較的簡便である。

表－1 乾燥性能目標

	確認項目	乾燥性能目標値
乾燥性能目標	カンブンプン含水率	7.5%以下 (日平均)
乾燥条件	脱水汚泥処理量	2 t/hr
	脱水汚泥含水率	含水率70～80%程度
	生石灰混合比	脱水汚泥：生石灰 =1：1.1程度 (年間平均値)

し、②乾燥性能が満足されていることを確認した上で、③カンブンプンの品質確認、④カンブンプン添加セメントの品質確認、⑤環境への影響確認、⑥維持管理性の検討、⑦経済性の検討を行い、とりまとめを行った。表－2 に各調査項目の調査時期を示す。調査は冬季、夏季に重点的に行うこととしたが、乾燥性能の確認については、季節毎に行った。

2.2 乾燥性能目標

実用化研究時に得られた成果を乾燥性能目標とした(表－1 参照)。

2.3 下水汚泥セメント資源化設備の評価

本研究ではセメント資源化設備の①運転状況を確認

表－2 性能評価のための調査項目

		調査項目	冬季①	春季	夏季	秋季	冬季②
性能評価	乾燥性能確認	ミキサテスト	○	○	○	○	
		実施設での検証実験	○	○	○	○	○
	カンブンプンの品質確認	カンブンプンの成分分析	○		○		
		カンブンプンの物理的性状試験	○		○		
		カンブンプン輸送時の性状把握	○		○		
	カンブンプン添加セメントの品質確認	セメント含有成分分析			○		
		セメント性能分析(強度試験) 溶出試験			○ ○		
環境への影響確認	排ガス処理設備性能調査 作業環境における臭気調査 周辺環境における臭気調査	○		○ ○ ○	○		
維持管理性検討	維持管理データの収集、整理			○			
	維持管理性の検討			○			
経済性検討	維持管理費用データの収集、整理			○			
	経済性の検討			○			
コスト低減方案の検討	乾燥性能向上方法の検討		○		○		○
	運転時間の検討				○		
	脱臭剤の検討		○		○		

※ 冬季調査：①平成16年3月に実施、5時間運転

②平成16年12月に実施、10時間運転

春季調査：平成16年4月～5月の定期点検後の6月に実施、10時間運転

夏季調査：平成16年8月～9月に実施、10時間運転、24時間運転(9/7～8, 9/14～15)

秋季調査：平成16年11月に実施、10時間運転

3. 研究成果

3.1 乾燥性能

性能評価運転期間におけるカンプン製造設備の運転結果を表-3、図-4に示す。

各季節とも乾燥性能目標をほぼ満足した。

- ① 混合比は、夏季に低くなっていた。冬季①の5時間運転時には高かったが、10時間運転では春季、秋季と同等であった。10時間運転での年間平均値は1.06であり、乾燥条件の目標値（年間平均1.10）を満足した。

表-3 カンプン製造設備運転結果

項目	冬季① (5 hr)	春季 (10hr)	夏季 (10hr) ^{※1}	秋季 (10hr)	冬季② (10hr)
調査期間	H.16/3/8 ~ H.16/3/26	H.16/6/7 ~ H.16/6/25	H.16/8/30 ~ H.16/9/17	H.16/10/25 ~ H.16/11/12 ^{※2}	H.16/12/6 ~ H.16/12/17
運転時間 (hr/day)	4 : 59 3 : 20 ~ 5 : 30	8 : 22 1 : 07 ~ 10 : 02	9 : 14 1 : 01 ~ 16 : 00	8 : 18 4 : 08 ~ 10 : 00	9 : 10 3 : 40 ~ 10 : 00
脱水汚泥処理量 (t/hr)	2.00 1.92 ~ 2.05	1.99 1.92 ~ 2.03	1.97 1.92 ~ 2.08	1.99 1.94 ~ 2.03	2.00 1.96 ~ 2.05
脱水汚泥含水率 (%)	77.1 75.4 ~ 77.9	78.5 76.8 ~ 80.7	79.3 77.3 ~ 81.8	78.0 74.3 ~ 80.2	79.5 78.5 ~ 80.7
生石灰混合比	1.19 1.14 ~ 1.25	1.08 1.03 ~ 1.15	1.00 0.93 ~ 1.09	1.10 1.04 ~ 1.15	1.07 0.97 ~ 1.17
カンプン含水率 (%) (出荷時)	4.4 1.9 ~ 10.5	2.3 0.3 ~ 4.3	3.4 1.3 ~ 5.0	4.4 1.0 ~ 6.0	3.9 2.6 ~ 5.4
カンプン含水率 (%) (ジユクサ下)	5.5 2.2 ~ 7.7	3.3 0.8 ~ 5.4	5.7 3.2 ~ 8.2	5.6 2.7 ~ 8.9	5.5 3.8 ~ 8.1

上段：平均値，下段：変動範囲

※1：夏季調査の値は24時間運転（9/7～8，9/14～15）の値を含む

※2：秋季調査期間中の11/8～12は排ガス処理設備点検のため運転を停止

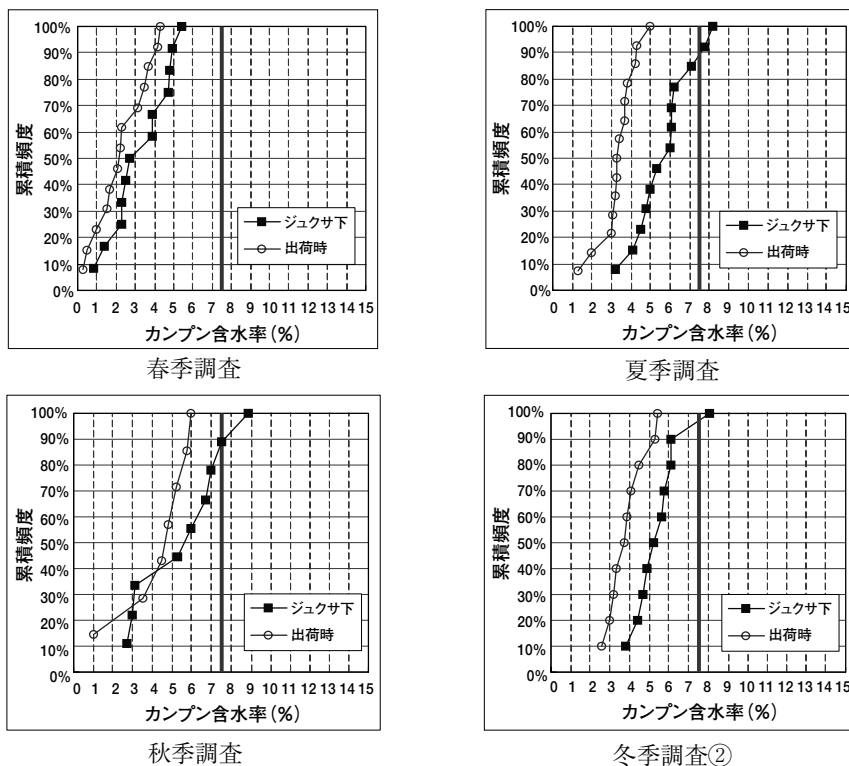


図-4 カンプン含水率（ジユクサ下・出荷時）の累積頻度

② 乾燥性能目標であるカンプン含水率は、ジューサ下および出荷時の測定で目標値（7.5%）をほぼ達成できた。各季節ともに90%以上の達成率が得られた。

3.2 カンプンの品質

セメント資源化設備で生成したカンプンの成分はセメント工場の受入基準を十分に満足し、トラック輸送におけるカンプン品質の変化は認められなかった。

カンプンの流動特性および噴流特性について測定し、分析した結果、流動特性は「あまりよくない」、噴流特性は「非常に強い」と判断された。この結果から、カンプンは、流動性があまりよくないため流れにくい性質であるとともに、噴流性が非常に強いため一旦崩れだすと流れが止まりにくい性質も持ち合わせていると判断された。

3.3 カンプンを添加したセメントの品質

実設備で生成されたカンプンを添加したセメント原料を用いて製造したセメントの成分分析およびモルタル強度試験（JIS R5210）を行った。

また、溶出試験を行った（環境庁告示第13号法、環境庁告示第46号法）。

その結果、カンプンを添加したセメント品質は、成分および強度、溶出ともに問題ないことが確認できた。

3.4 セメント資源化設備の環境への影響

排ガス処理設備から排出されるガスの成分分析を行

った結果、全項目で悪臭防止法の規制基準値以下であった。

熟成機側より1mの地点および敷地境界線における臭気の成分分析した結果、いずれも基準範囲（臭気強度2.5～3.5）の下限值以下であった。

セメント資源化設備の排ガス処理設備は十分に機能しており、作業環境および周辺環境への影響に問題が無いことを確認した。

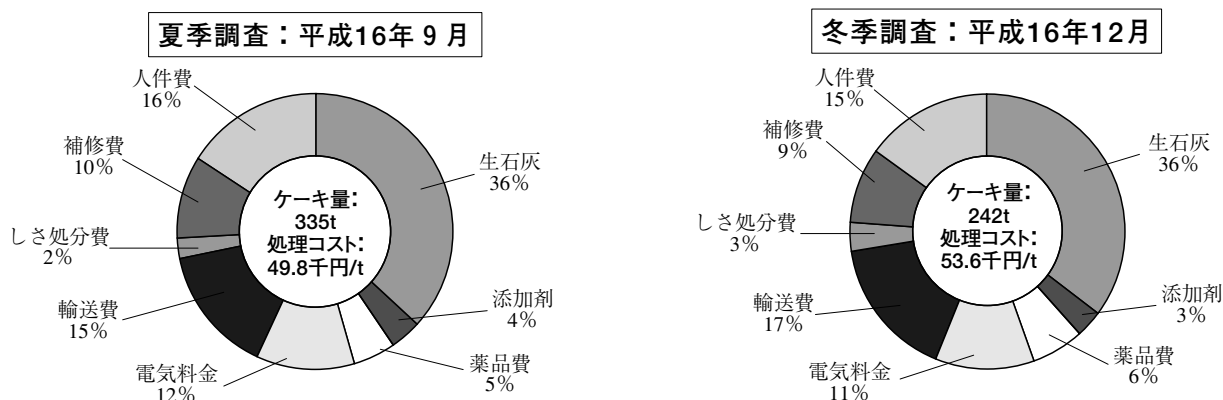
また、排ガス処理設備からの排水の水処理設備への影響も、返流量の割合が流入水量に対し1.2%程度であり問題はなかった。

3.5 維持管理性

セメント資源化設備の性能目標を確保するために、主要機器の日常点検や保守点検等の点検管理項目や安定運転のためにカンプン含水率の管理方法について維持管理表として整理した。また、主なトラブル（フラッシュ現象、塊化現象）回避のための管理方法についてまとめた。

3.6 経済性

夏季調査および冬季調査におけるセメント資源化設備の脱水汚泥処理量当たりの処理コスト実績を図一5、表一4に示す。処理コストの内訳では生石灰が約40%程度、次いで人件費、電気料金が大きな割合を占めていた。また、実用化研究時と比較すると、想定していた項目についてはほぼ同等であったが、想定していなかった添加剤（脱臭剤）、しき処分費、補修費を含めた分高コストになっている。



図一5 脱水ケーキ1t当たりの処理コスト（夏季、冬季）

表-4 処理コストの比較（維持管理コスト）（単位：円/t）

項目	実用化研究		性能評価研究				
	処理量 100 t/日	処理量 30 t/日	H16年6月 処理量20 t/日	H16年9月 処理量20 t/日	H16年10月 処理量20 t/日	H16年12月 処理量20 t/日	
ユー ティ リ テ イ	生石灰	20,000	20,000	19,517	18,344	18,820	18,723
	添加剤(脱臭剤)	—	—	1,959	1,822	1,868	1,836
	薬品費	1,795	1,957	2,615	2,449	2,745	3,378
	電気料金	1,670	2,170	5,468	5,879	5,769	6,163
	小計	23,465	24,127	29,559	28,493	29,202	30,100
輸送費	8,670	8,670	8,439	7,478	8,193	9,014	
しき処分費	—	—	933	1,085	1,657	1,682	
補修費	—	—	4,850	4,850	4,850	4,850	
カンブン販売費	—	—	-125	-125	-125	-125	
人件費	2,300	7,670	8,050	8,050	8,050	8,050	
処理コスト合計	34,435	40,467	51,706	49,956	46,664	53,571	

※ 実用化研究での運転条件：施設能力 100 t/日および 30 t/日、24時間連続運転

性能評価研究での運転条件：施設能力 40 t/日、10時間運転

※ 電気料金に関しては、周辺環境対策を考慮し、全設備を建屋内に収納したことが大きな要因である。

また、建屋内に設備 2 基設置の予定の内、第 1 期分として 1 基だけの設置であり、主要機器以外の 2 系列に分割されていない設備や換気・照明等の電力料金が余分に発生していることによるものと思われる。

4. まとめ

平成 4 年に、焼却過程をもたない需要先が確保された汚泥有効利用システムとして実用化研究が開始され、奈良県第二浄化センターに導入されたセメント資源化設備について平成 15、16 年度に性能評価研究を行った。

以下にその知見を示す。

- ① セメント資源化設備は、年間を通して乾燥性能目標をほぼ満足した。
- ② セメント資源化設備で生成したカンブンの成分はセメント工場の受入基準を十分に満足した。
- ③ カンブンを添加したセメントの品質は、成分およ

び強度、溶出ともに問題ないことが確認できた。

- ④ セメント資源化設備は、業環境および周辺環境への影響に問題が無いことを確認できた。
- ⑤ セメント資源化設備の性能目標を確保および安定運転のために、主要機器の日常点検や保守点検等の管理方法について維持管理表として整理できた。
- ⑥ 実用化研究時と比較すると、想定していた項目についてはほぼ同等であったが、想定していなかった添加剤（脱臭剤）、しき処分費、補修費を含めた分高コストになっている。
- ⑦ セメント資源化設備は脱水汚泥の約 1.8 倍のカンブンを生成するため、カンブンの需要と供給や全体コストについて、事前検討を十分に行う必要がある。

●この研究を行ったのは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一研究員

堀江 信之
駒井 篤
怒木 茂

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一研究員
研究第一研究員

堀江 信之
坪田 恵介
怒木 茂