

プラチナシステムを用いた脱炭素化技術の開発に関する共同研究

資源循環研究部 研究員
沖口 裕真



1 研究の概要

1.1 背景

我が国は、2050年までにカーボンニュートラルの実現を宣言し、脱炭素社会の構築に向けた取り組みを加速させることが求められています。下水道事業では、年間約600万t-CO₂の温室効果ガス（以下、「GHG」という。）を排出しており、省エネ化及び創エネ化の促進が強く求められています。その打開策として、嫌気性消化と消化ガス発電の導入が挙げられます。しかし、嫌気性消化の過程で発生する消化汚泥は、混合生汚泥と比較して脱水ケーキの含水率が高く、有機分が少ないため、脱水汚泥を焼却する際に多くの焼却補助燃料を必要とします。その結果、発生した消化ガスの大部分が焼却補助燃料として使用されるケースが多く、期待されるほどの創エネルギー効果が得られないケースがあります。

1.2 本研究の目的

本研究では消化汚泥の脱水性を大幅に向上できる下水汚泥由来繊維利活用システム（以下、「プラチナシステム」という。）に着目し、以下の脱炭素化技術の開発を目指しました。

- ① 消化汚泥を自然可能な含水率まで低減
- ② 焼却補助燃料の大幅な削減
- ③ 発生した消化ガスを発電に最大限利用

また、本システムを導入済みの処理場における効果を示すとともに、処理規模の異なる複数の仮想処理場を対象にケーススタディを行いました。消化ガス発電でのエネルギー回収及び焼却設備での自燃化等を検討し、創エネルギーおよび省エネルギーによる脱炭素効果を示すことを目的としました。

2 研究体制

2.1 研究体制

熊本市上下水道局、(株)石垣、(公財)日本下水道新技術機構

2.2 研究期間

令和5年2月～令和6年3月

3 プラチナシステムの概要

プラチナシステムの概要を図-1に示します。本システムは、初沈汚泥または重力濃縮汚泥に含まれる下水汚泥由来繊維を回収ユニットにより回収助材として効率的に回収し、これを脱水機に供給する汚泥に添加することで、消化汚泥の脱水性を大幅に改善するものです。このシステムは、最初沈殿池を有し、水処理方式を採用する下水処理場のうち、消化槽を備え、脱水性の改善が望まれる下水処理場を対象としています。

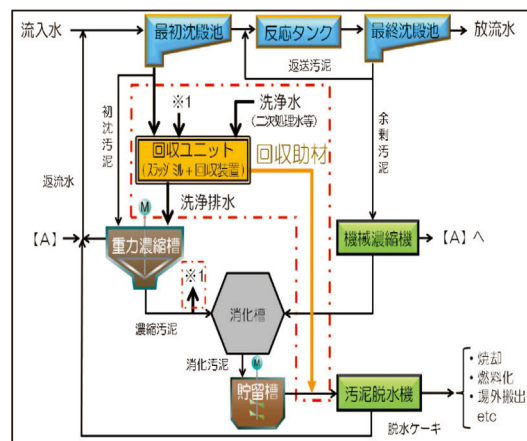


図-1 プラチナシステムの概要

4 プラチナシステムの実機導入事例 (熊本市南部浄化センター)

熊本市が令和3年2月に南部浄化センターに新たに導入したプラチナシステムは、南部浄化センターで発生する消化汚泥全量を含水率75%まで低減できる能力を有し、汚泥処理・利活用の過程で生じるコストや温室効果ガス削減が期待されています。南部浄化センターへのプラチナシステム導入後（令和3年度及び令和4年度）運転データと導入前（平成30年度～令和2年度）運転データを比較し、導入効果を整理しました。

① 脱水ケーキの含水率と発生量

南部浄化センターの脱水ケーキ含水率について導入前3カ年と導入後2カ年の比較では、図-2に示す通り、安定して脱水ケーキ含水率を低減できていることが確認されました。その効果により、図-3に示した実発生量（湿ベース）の平均値の比較では、導入前3カ年平均18.68 t-wet/日から導入後平均14.72 t-wet/日まで、21%減少する結果となりました。

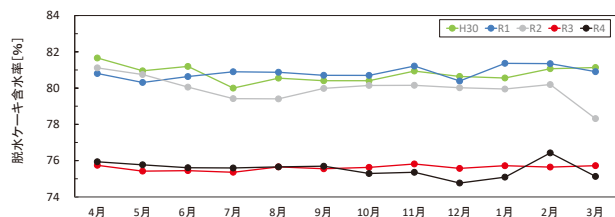


図-2 脱水ケーキ含水率の推移

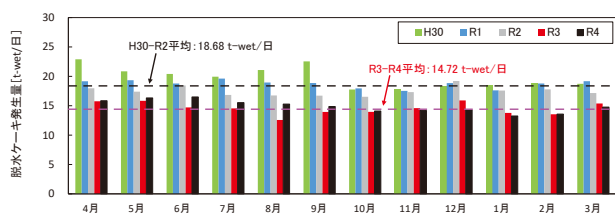


図-3 脱水ケーキ発生量の推移

② 高分子凝集剤添加率と使用量

プラチナシステム導入後は、図-4に示す通り、高分子凝集剤添加率は減少しました。導入前3カ年平均1.57%から、導入後2カ年平均は1.42%となり、0.15ポイント低下しました。また、繊維状物回収によって、消化槽投入汚泥が減少し、それに伴って消化汚泥発生量が減少しました。その結果、実使用量の平均値

の比較では、図-5に示す通り、導入前3カ年平均64.99 kg/日から導入後平均50.46 kg/日まで22%減少しました。

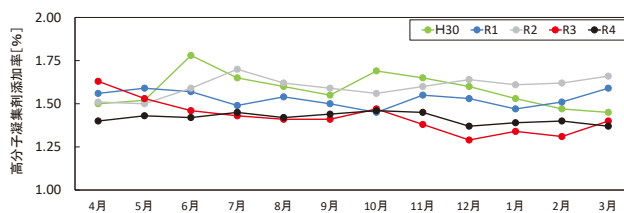


図-4 高分子凝集剤添加率の推移

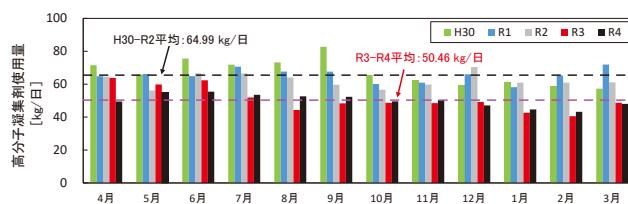


図-5 高分子凝集剤使用量の推移

③ 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量に関して、図-6に示すように、プラチナシステムの導入により、年間20%の削減（約500t-CO₂削減）が確認されました。特に脱水ケーキ量の削減によって、処理場外でのセメント原料化過程で必要な補助燃料の削減効果が大きくなります。

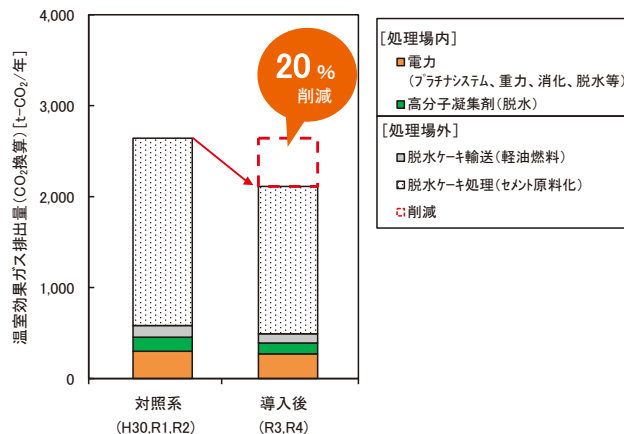


図-6 温室効果ガス排出量の比較

④ 維持管理費

図-7に示すように、プラチナシステム導入後の維持管理費は、脱水ケーキ処分に掛かる費用の削減額が大きく、今後予定している補修に掛かる費用を含めても年間約37百万円の削減となりました。これは、プラチナシステムの導入に要した費用を事業費ベースで7

年程度、国庫補助控除を考慮した場合では3年程度で回収できるほどの縮減額に相当します。

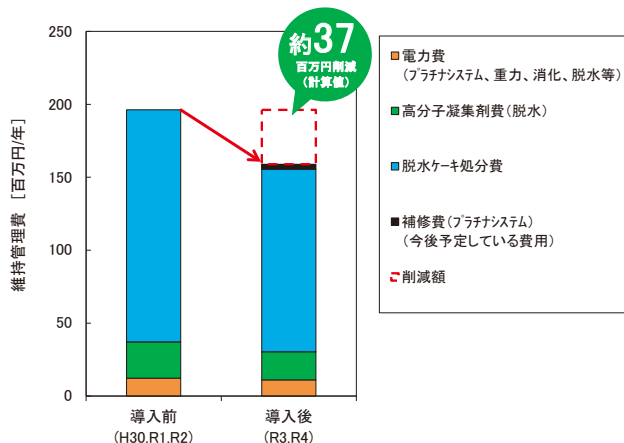


図-7 維持管理費の比較

5 ケーススタディ

プラチナシステムの導入による脱炭素効果を分析するため、ケーススタディを実施して導入前後の汚泥処理における電力使用量、温室効果ガス排出量及びLCCを検討しました。

5.1 ケーススタディ A, B, C

モデルケースの処理場規模は、日平均流入水量が異なる以下の3ケースを設定しました。ケーススタディ A, B, Cについては、いずれも消化と焼却を有する下水処理場を対象としました。

- (1) 50,000m³/日 (ケーススタディ A)
- (2) 100,000m³/日 (ケーススタディ B)
- (3) 200,000m³/日 (ケーススタディ C)

1) 自燃含水率の条件

ケーススタディ A, B, Cの自燃含水率の条件は、表-1に示す通りの結果となりました。流動床炉 (高温) における自燃含水率は、「循環式流動汚泥焼却炉技術資料-2003年3月-」(財団法人 下水道新技術推進機構) に示す計算結果より求め、新型流動炉における自燃含水率は複数の焼却炉メーカーにヒアリングした結果より求めました。流動床炉 (高温) と新型流動炉を比較すると、自燃含水率の値は同じであり、処理場規模が大きくなるにつれ自燃含水率は高くなる傾向

を示しました。これは、焼却炉の規模が大きくなるにつれて、炉の表面積当たりの放射熱の値が小さくなることが影響していると考えられます。

表-1 ケーススタディ A, B, Cの自燃含水率条件

焼却炉	ケーススタディ A 日平均流入水量 50,000m ³ /日	ケーススタディ B 日平均流入水量 100,000 m ³ /日	ケーススタディ C 日平均流入水量 200,000 m ³ /日
流動床炉 (高温)	72%	73%	74%
新型流動炉	72%	73%	74%

2) 汚泥処理における電力使用量

ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理における電力使用量について、脱水ケーキ含水率を3条件 (プラチナシステム導入前 (82%), 中間含水率, 自燃含水率) で比較検討しました。焼却設備に関して、流動床炉 (高温) を対象とした検討結果を表-2に、新型流動炉を対象とした検討結果を表-3に示します。

表-2に示した流動床炉 (高温) における電力使用量、表-3に示した新型流動炉における電力使用量の検討結果は、どちらも自燃含水率においては全ての処

表-2 ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理における電力使用量 (焼却設備が流動床炉 (高温) の場合)
(単位: 千kWh/年)

日平均流入水量	プラチナシステム 導入前	プラチナシステム導入後	
	含水率82%	中間含水率	自燃含水率
50,000 m ³ /日 (ケーススタディ A)	1,983	5	-597
100,000 m ³ /日 (ケーススタディ B)	3,461	-378	-1,264
200,000 m ³ /日 (ケーススタディ C)	5,408	-474	-2,584
備考		ケーススタディ A: 77% ケーススタディ B: 77% ケーススタディ C: 78%	ケーススタディ A: 72% ケーススタディ B: 73% ケーススタディ C: 74%

表-3 ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理における電力使用量 (焼却設備が新型流動炉の場合)
(単位: 千kWh/年)

日平均流入水量	プラチナシステム 導入前	プラチナシステム導入後	
	含水率82%	中間含水率	自燃含水率
50,000 m ³ /日 (ケーススタディ A)	2,198	344	-219
100,000 m ³ /日 (ケーススタディ B)	3,040	-503	-1,394
200,000 m ³ /日 (ケーススタディ C)	3,447	-2,073	-4,139
備考		ケーススタディ A: 77% ケーススタディ B: 77% ケーススタディ C: 78%	ケーススタディ A: 72% ケーススタディ B: 73% ケーススタディ C: 74%

理規模において余剰電力が発生する結果となり、中間含水率では、日平均流入水量100,000 m³以上において、余剰電力が発生する結果となりました。

3) 汚泥処理におけるGHG排出量

ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理におけるGHG排出量について、脱水ケーキ含水率を3条件（プラチナシステム導入前（82%）、中間含水率、自然含水率）で比較検討しました。焼却設備に関して、流動床炉（高温）を対象とした検討結果を表－4に、新型流動炉を対象とした検討結果を表－5に示します。

表－4に示した流動床炉（高温）におけるGHG排出量の検討結果について、プラチナシステムを導入し、脱水ケーキ含水率を低減することで、GHG排出量は減少する傾向を示し、プラチナシステム導入前と比較すると、6割程度減少する結果となりました。

表－5に示した新型流動炉におけるGHG排出量の検討結果についても、同様の傾向を示し、自然含水率の時のGHG減少量は、プラチナシステム導入前と比較すると、7割～8割程度減少する結果となりました。

4) 汚泥処理におけるLCC

ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理におけるLCCについて、脱水ケーキ含水率を3条件（プラチナシステム導入前82%、中間含水率、自然含水率）で比較検討しました。焼却設備に関して、流動床炉（高温）を対象とした検討結果を表－6に、新型流動炉を対象とした検討結果を表－7に示します。

表－6に示した流動床炉（高温）におけるLCCの検討結果について、脱水ケーキ含水率を低減することで、LCCは減少する傾向を示し、プラチナシステム導入前のLCCと比較すると、1割程度減少する結果となりました。

表－7に示した新型流動炉におけるLCCの検討結果についても、同様の傾向を示し、自然含水率の時のLCC減少額は、プラチナシステム導入前と比較すると、1割程度減少する結果となりました。

5.2 ケーススタディD

ケーススタディDでは、固形燃料化設備を有する処理場へプラチナシステムを導入するものとし、熊本市の中部浄化センター、東部浄化センター、及び南部浄

表－4 ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理におけるGHG 排出量（焼却設備が流動床炉（高温）の場合）
（単位：t-CO₂/年）

日平均流入水量	プラチナシステム導入前	プラチナシステム導入後	
	含水率82%	中間含水率	自然含水率
50,000 m ³ /日 （ケーススタディ A）	2,790	1,586	1,139
100,000 m ³ /日 （ケーススタディ B）	5,270	3,002	2,305
200,000 m ³ /日 （ケーススタディ C）	9,872	6,326	4,723
備考		ケーススタディA：77% ケーススタディB：77% ケーススタディC：78%	ケーススタディA：72% ケーススタディB：73% ケーススタディC：74%

表－5 ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理におけるGHG 排出量（焼却設備が新型流動炉の場合）
（単位：t-CO₂/年）

日平均流入水量	プラチナシステム導入前	プラチナシステム導入後	
	含水率82%	中間含水率	自然含水率
50,000 m ³ /日 （ケーススタディ A）	1,900	891	564
100,000 m ³ /日 （ケーススタディ B）	3,047	1,256	734
200,000 m ³ /日 （ケーススタディ C）	4,933	2,115	927
備考		ケーススタディA：77% ケーススタディB：77% ケーススタディC：78%	ケーススタディA：72% ケーススタディB：73% ケーススタディC：74%

表－6 ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理におけるLCC（焼却設備が流動床炉（高温）の場合）
（単位：千円/年）

日平均流入水量	プラチナシステム導入前	プラチナシステム導入後	
	含水率82%	中間含水率	自然含水率
50,000 m ³ /日 （ケーススタディ A）	578,054	521,198	520,537
100,000 m ³ /日 （ケーススタディ B）	817,346	751,029	740,598
200,000 m ³ /日 （ケーススタディ C）	1,178,860	1,136,449	1,078,165
備考		ケーススタディA：77% ケーススタディB：77% ケーススタディC：78%	ケーススタディA：72% ケーススタディB：73% ケーススタディC：74%

表－7 ケーススタディ A, B, Cの汚泥処理におけるLCC（焼却設備が新型流動炉の場合）
（単位：千円/年）

日平均流入水量	プラチナシステム導入前	プラチナシステム導入後	
	含水率82%	中間含水率	自然含水率
50,000 m ³ /日 （ケーススタディ A）	582,410	526,500	526,211
100,000 m ³ /日 （ケーススタディ B）	811,632	750,268	738,655
200,000 m ³ /日 （ケーススタディ C）	1,151,947	1,113,635	1,054,840
備考		ケーススタディA：77% ケーススタディB：77% ケーススタディC：78%	ケーススタディA：72% ケーススタディB：73% ケーススタディC：74%

化センターをモデルに試算を行いました。各浄化センターの日平均流入水量は以下の通りです。

- (1) 64,500m³/日（中部浄化センター）
- (2) 138,400m³/日（東部浄化センター）
- (3) 52,300m³/日（南部浄化センター）

1) 脱水ケーキ含水率の条件

ケーススタディDの脱水ケーキ含水率の条件を表-8に示します。ここで、CASE【D】-1は令和3年度実績をモデルとしたケース、CASE【D】-2は中部浄化センターと東部浄化センターに、新規にプラチナシステムを導入したケース、CASE【D】-3は東部浄化センターにおける脱水機への助材添加率を増加したケースを示します。

表-8 ケーススタディDの脱水ケーキ含水率の条件

	CASE【D】-1			CASE【D】-2			CASE【D】-3		
	中部	東部	南部	中部	東部	南部	中部	東部	南部
プラチナシステム※1	×	×	○	○	○	○	○	◎	○
脱水ケーキ含水率[%]	81.1	80.0	75.6	75.0	73.0	75.6	75.0	69.0	75.6

※1 ×：プラチナシステム未導入，○：プラチナシステム1台導入，

◎：プラチナシステム2台導入

2) 汚泥処理におけるGHG排出量

ケーススタディDの汚泥処理におけるGHG排出量の検討結果を表-9に示します。プラチナシステムを導入して脱水ケーキ含水率を低減することで、GHG排出量は減少する傾向を示し、CASE【D】-1に対するCASE【D】-2、3のGHG減少量は、それぞれ1,166t-CO₂/年、1,433t-CO₂/年となり、20%以上減少する結果となりました。

表-9 ケーススタディDの汚泥処理におけるGHG排出量

	CASE【D】-1	CASE【D】-2	CASE【D】-3
GHG排出量 [t-CO ₂ /年]	5,351	4,185	3,918

3) 汚泥処理におけるLCC

ケーススタディDの汚泥処理におけるLCCの検討結果を表-10に示します。最もLCCが安価になるケースはCASE【D】-2でした。

表-10 ケーススタディDの汚泥処理におけるLCC

	CASE【D】-1	CASE【D】-2	CASE【D】-3
LCC [千円/年]	621,501	594,004	619,395

6 結論

本研究では、プラチナシステムの導入前後での運転データの分析と、ケーススタディによる導入効果の分析を行い、脱炭素効果を確認しました。

①プラチナシステムの導入処理場の導入前後での運転データの分析の結果、脱水ケーキ発生量と高分子凝集剤使用量は20%程度減少し、消化ガス発生量は7%程度減少しました。また、年間で、温室効果ガス発生量は20%、維持管理費は37百万円減少する結果となりました。

②プラチナシステムと焼却炉の組み合わせについてのケーススタディの結果、プラチナシステムを導入し、脱水ケーキ含水率を自然条件にすることで、全ての処理規模で汚泥処理に関しては余剰電力が発生する結果となり、電力使用量の削減に大きく貢献できることが示されました。また、含水率の低下に伴いGHG排出量も減少する傾向を示し、自然含水率の条件では、汚泥処理におけるGHG排出量を50%以上減少できることが確認され、大きな脱炭素効果が示されました。加えて、含水率の低下に伴いLCCも減少する傾向を示し、自然含水率の条件では、汚泥処理におけるLCCを1割程度減少できる結果が示されました。主な要因として、余剰電力が増加することで消化ガス発電便益が増加したことに加え、発生する脱水ケーキ量が減少することによる焼却炉の建設費減少が挙げられます。

③熊本市にプラチナシステムを導入した場合のケーススタディの結果、GHG排出量の減少およびLCCの減少が示されました。なお、今回の検討では、固形燃料化設備において使用する補助燃料は、脱水ケーキ含水率にかかわらず一定として計算しました。実際には、固形燃料化設備を有する処理場にプラチナシステムを導入した場合、脱水ケーキ含水率の低下に伴い補助燃料が減少することが予想されるため、GHG排出量やLCCはさらに減少するものと考えられます。一方、CASE【D】-3では、東部浄化センターの脱水ケーキ含水率は69%となるため、脱水ケ

ーキの搬送方式について十分に検討する必要があります。

7 おわりに

本稿では、プラチナシステムにおける脱炭素化について導入実績とケーススタディを交えて紹介しました。下水処理場の省エネ化及び創エネ化、GHG排出量低減、LCCの低減への効果が期待できると考えます。下水処理場へのプラチナシステムの導入にあたって、本研究成果を利用いただければ幸いです。

