

下水道技術開発プロジェクト（SPIRIT21）
「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト」
（LOTUS Project）

スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術

下水汚泥のバイオソリッド燃料化

に係る技術評価書

技術提案者 日立造船株式会社

平成19年3月

下水道技術開発プロジェクト（SPIRIT21）委員会

まえがき

SPIRIT21 (Sewage Project, Integrated and Revolutionary Technology for 21st Century) は、下水道事業における種々の課題の中で特に重点的に技術開発を推進すべき分野について、民間主導による技術開発を誘導・推進するとともに、開発された技術の早期かつ幅広い実用化を目的とした産学官の強力な連携による新たな技術開発プロジェクトであり、平成14年3月にスタートした。

SPIRIT21の最初の課題として、国土交通省では、「合流式下水道の改善対策に関わる技術」を選定し、平成14年度～平成16年度の3年間で集中的に技術を開発した。さらに、SPIRIT21の第2の課題として、「バイオマス・ニッポン総合戦略」や地球温暖化対策を下水道事業において推進していくため、下水汚泥を安価に利活用できる新技術の早期かつ幅広い実用化を目指す「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト (Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge Project : LOTUS Project)」に取り組むこととなった。

また、下水道政策研究委員会下水道中長期ビジョン小委員会が、平成17年9月に「下水道ビジョン2100～下水道から「循環のみち」へ100年の計」を取りまとめた。本ビジョンでは、下水道は、持続可能な社会、或いは循環型社会構築の中核となる社会資本であり、このような21世紀型の新しい下水道を目指すべきであると提言している。また、本ビジョンで示された「資源のみち」の将来像の実現に向けて「資源のみち委員会」が設置され、下水道分野における資源・エネルギー利用、地球温暖化対策の中期的な施策のあり方等について審議が行われた。同時に、国土交通省は、下水道施設を活用した地域バイオマスの利活用を促進するため、新世代下水道支援事業制度（未利用エネルギー活用型）の拡充等を行ってきた。

LOTUS Project は、上記のような国が進める総合的な施策の一環として計画されたものであり、経済的に実現可能な技術を世に送り出すことによって、「資源のみち」を、目指すべき理想像から現実のものにすることを狙ったものである。

LOTUS Project は、下水処理に伴い必然的かつ永続的に発生する下水汚泥の資源化を推進するため、コストダウンを目標として掲げた技術開発プロジェクトであり、次の2つの技術開発を目指している。

①スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術の開発

汚泥の有効利用促進のため、下水汚泥を処分するコストよりも安いコストでリサイクルできる技術

②グリーン・スラッジ・エネルギー技術の開発

地球温暖化対策のため、下水汚泥等のバイオマスエネルギーを使って、商用電力価格と同等かそれよりも安いコストで電気エネルギーを生産できる技術

本プロジェクトは、平成15年12月に募集を開始し、選定された技術について、下水道技術開発プロジェクト (SPIRIT21) 委員会を中心に、スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技

術開発研究委員会及びグリーン・スラッジ・エネルギー技術開発研究委員会の2つの開発研究委員会を立ち上げ、平成17年度から集中的に技術開発を実施したものである。

本技術評価書は、「スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術開発研究委員会」において開発研究された「下水汚泥のバイオソリッド燃料化」について審議・審査して評価書としてまとめ、これを「SPIRIT21委員会」において評価したものである。

平成19年3月

下水道技術開発プロジェクト（SPIRIT21）委員会
委員長 松尾 友矩

委員会の構成

(順不同・敬称略)
(平成19年3月13日 現在)

下水道技術開発プロジェクト（SPIRIT21）委員会

委員長	東洋大学学長	松尾 友矩
委員	東北大学大学院工学研究科土木工学専攻教授	大村 達夫
委員	佐賀大学理工学部都市工学科教授	古賀 憲一
委員	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻教授	津野 洋
委員	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授	花木 啓祐
委員	国土交通省都市・地域整備局下水道部長	江藤 隆
委員	国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部下水道研究官	清水 俊昭
委員	大阪府都市整備部副理事兼下水道課長	北山 憲
委員	札幌市建設局理事	石倉 昭男
委員	東京都下水道局長	前田 正博
委員	横浜市環境創造局長	橋本 繁
委員	大阪市都市環境局理事	山口 登
委員	熊本市都市整備局長	松本 富士男
委員	日本下水道事業団技術開発部長	堀江 信之
委員	社団法人日本下水道協会理事兼技術部長	佐伯 謹吾
委員	社団法人全国上下水道コンサルタント協会専務理事	宮原 茂
委員	社団法人日本土木工業協会関東支部事務局長	阪本 修
委員	社団法人日本下水道施設業協会専務理事	小林 一朗
委員	(株)日立プラントテクノロジー 社会・産業システム事業本部 水処理システム事業部サービス部長	小林 茂樹

スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術開発研究委員会

委員長	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻教授	津野 洋
副委員長	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授	古米 弘明
委員	大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻教授	貫上 佳則
委員	国土交通省都市・地域整備局 下水道部下水道企画課下水道技術開発官	那須 基
委員	独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループリサイクルチーム上席研究員	尾崎 正明
委員	東京都下水道局計画調整部技術開発課長	川本 和昭
委員	札幌市建設局下水道建設部計画課事業担当課長	齋藤 雅美
委員	名古屋市上下水道局技術本部計画部主幹（技術支援）	齋竹 善行
委員	北九州市建設局下水道河川部水環境課長	田中 文彦
委員	岐阜市上下水道事業部技術統括審議監	後藤 幸造
委員	舞鶴市下水道部下水道建設課主幹	岡野 利明
委員	松山市下水道部下水道政策課課長	重松 邦昭
委員	熊本市都市整備局下水道部長	有働 幸正
委員	日本下水道事業団技術開発部総括主任研究員	山本 博英
委員	社団法人日本下水道施設業協会技術部長	松尾 英介
委員	社団法人全国上下水道コンサルタント協会 下水道情報小委員会委員	村上 雅亮
委員	日立造船(株) 新環境推進室担当課長	松本 智樹
委員	日本ガイシ(株) 環境装置事業部 環境技術部開発グループマネージャー	柳瀬 哲也
委員	カワサキ環境エンジニアリング(株) 水処理プラント部参与	澤井 正和
委員	カワサキ環境エンジニアリング(株) 技術企画部主事	楠田 浩雅

第 I 編 技術評価の要約

1. 開発技術の概要

本章では、開発技術の目的、構成要素、特徴について述べる。

1.1 目的

本技術は、下水汚泥を低水分まで乾燥することにより下水汚泥の持つ熱量を有効に利用し、かつ粒状で取扱い性に優れた「バイオソリッド燃料」として、石炭の代替燃料として活用することにより、下水汚泥のさらなる有効利用促進に資するとともに、カーボンニュートラルな下水汚泥を燃料化することにより、地球温暖化ガス削減に寄与することを目的とする。バイオソリッド燃料を有価物として売却することにより、脱水汚泥を処分するより安価にリサイクルできる。

本技術の概念図を図1-1、バイオソリッド燃料の製造例を図1-2に示す。

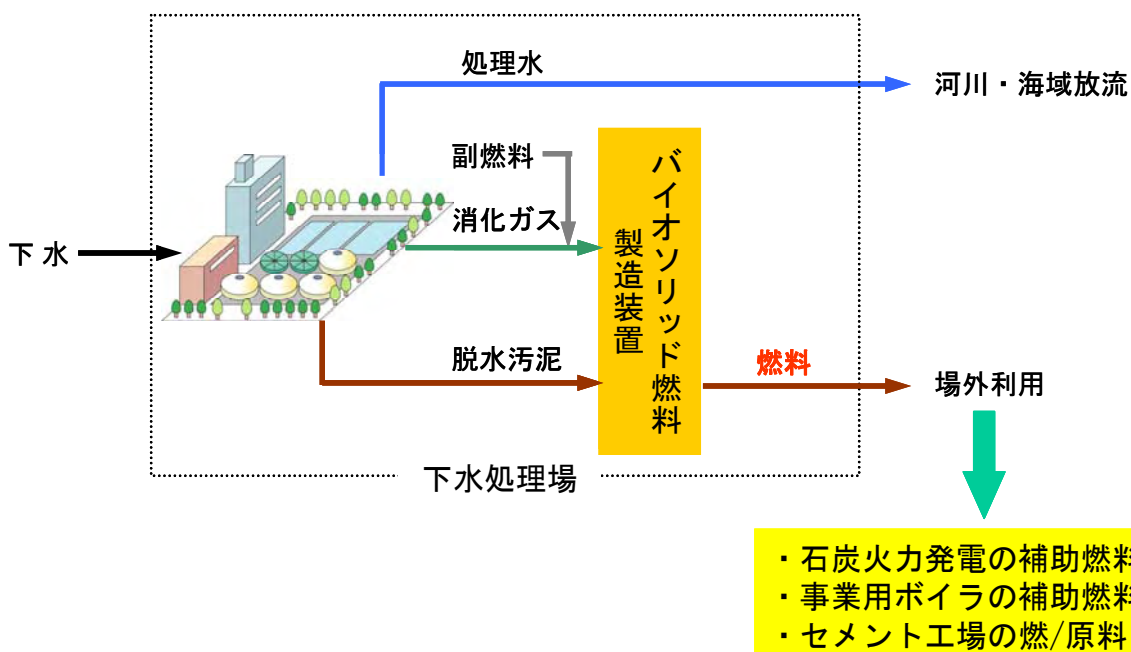


図1-1 本技術の概念図



図1-2 バイオソリッド燃料製造例

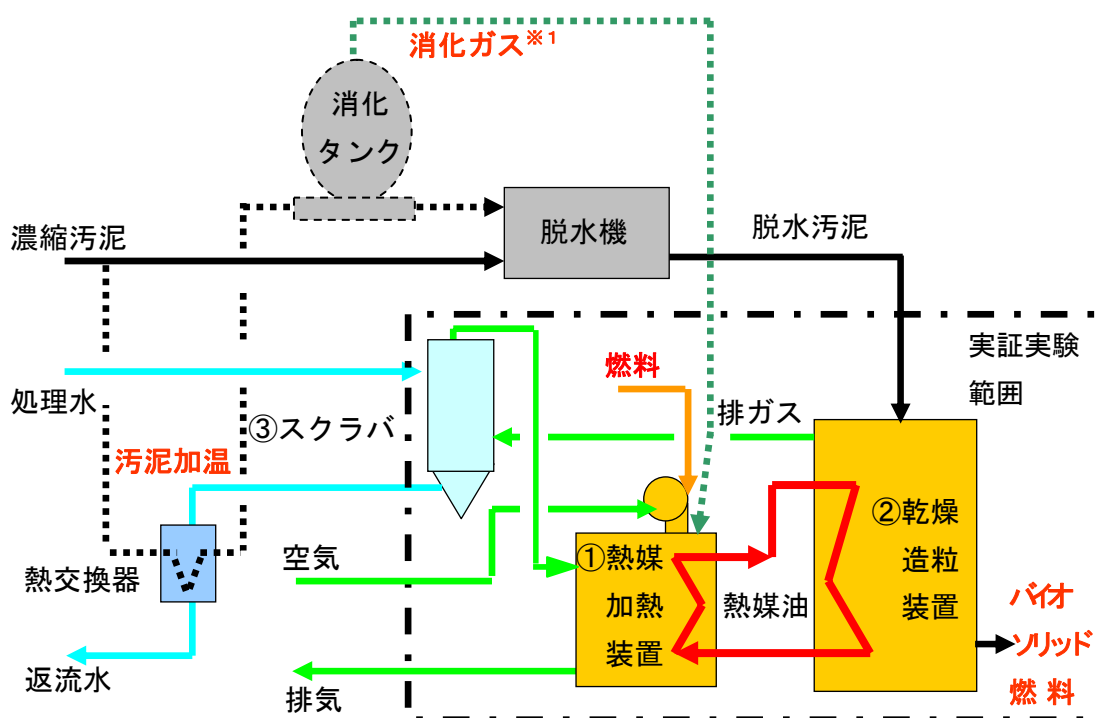
1.2 機器構成

本技術の概略フローを図1-3に示す。下水処理場の脱水汚泥を乾燥造粒することによりバイオソリッド燃料化するものである。本技術は主に以下の3つの機器で構成された処理システムである。

- ①熱媒加熱装置：熱媒体として利用する油（熱媒油）を加熱するとともに、乾燥造粒装置排ガスを取込み、燃焼脱臭を兼用する。
- ②乾燥造粒装置：間接加熱方式により脱水汚泥の乾燥及び造粒を同時に行う。
- ③スクラバ：乾燥造粒装置排ガスの冷却除湿を行う。

①によって乾燥に必要な熱量を発生させ、②によって汚泥を乾燥造粒させることにより汚泥の燃料化（バイオソリッド燃料）が可能となる。

さらに②で発生した排ガスを③スクラバにて熱回収し、汚泥の加温などに利用できるようにすることにより、下水処理場全体としての熱エネルギー収支の改善に資することができる。また、乾燥造粒システムの原理を図1-4に示す。



※1 下水処理場内に消化タンク等の汚泥消化設備がある場合、消化ガスを熱媒加熱装置の燃料として利用し、またスクラバ排水を濃縮汚泥の加温に利用する。

図1-3 概略フロー

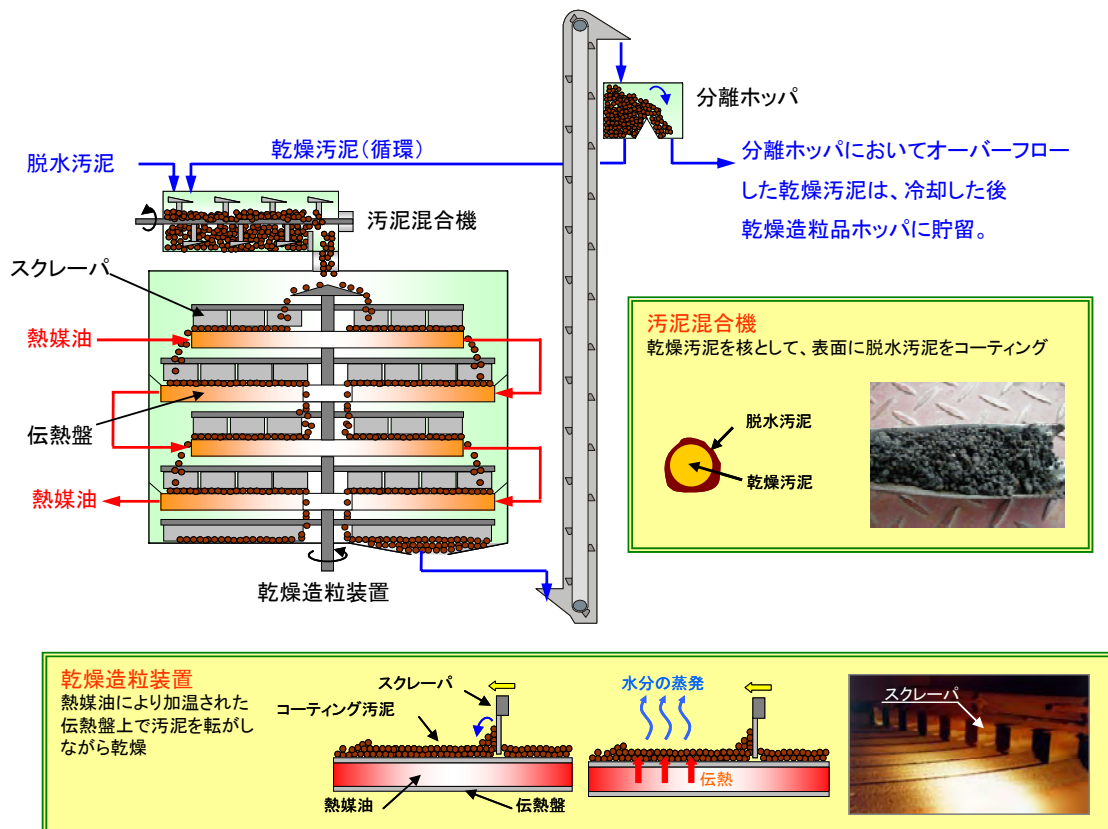


図 1 - 4 乾燥造粒の原理

1.3 特徴

本技術の特徴は、以下の通りである。

- ・脱水汚泥を処分するより安価にリサイクルできる技術
- ・乾燥造粒することにより取り扱いやすい燃料を製造
- ・乾燥造粒品をバイオソリッド燃料として利用し、二酸化炭素発生量の削減に寄与
- ・間接加熱方式による安全性の高い乾燥技術
- ・乾燥造粒装置排ガスの燃焼脱臭を熱媒加熱装置で兼用

1.3.1 乾燥造粒システムの特長

乾燥造粒システムの特長を下記に示す。

- ・低含水率（5～10％）の粒状の乾燥造粒品（バイオソリッド燃料）を製造できる。
- ・乾燥と造粒機能を併せ持つためシンプルで保守が容易。
- ・乾燥造粒品の循環により脱水汚泥の水分変動が緩和され安定した運転が可能。
- ・熱媒油により間接的に脱水汚泥を乾燥させることから、気流及び直接熱風式の乾燥方式と比較して、乾燥装置からの排ガス量が少なくなり、排ガス処理設備がコンパクトになる。

- ・熱媒油の利用により、配管の腐食やスケーリングの心配が無い。
- ・乾燥造粒品の表面に脱水汚泥を付着させ伝熱盤上をゆっくり転がして乾燥させる方式のため、粉塵の発生が少ない（バグフィルタ不要）。
- ・乾燥造粒装置内は負圧で運転され、さらに装置は密閉構造のため臭気が外部に漏れることはない。
- ・コーティングにより脱水汚泥の付着を防ぐため、乾燥装置の所要動力が少ない。
- ・熱媒油の利用により、蒸気方式に必要な水処理装置や薬品の添加が不要。
- ・**図1-5**に示すように、熱媒加熱装置が脱臭炉を兼用するため、燃料消費量を節約できる。
- ・プロセス用水はすべて場内の二次処理水が利用可能。

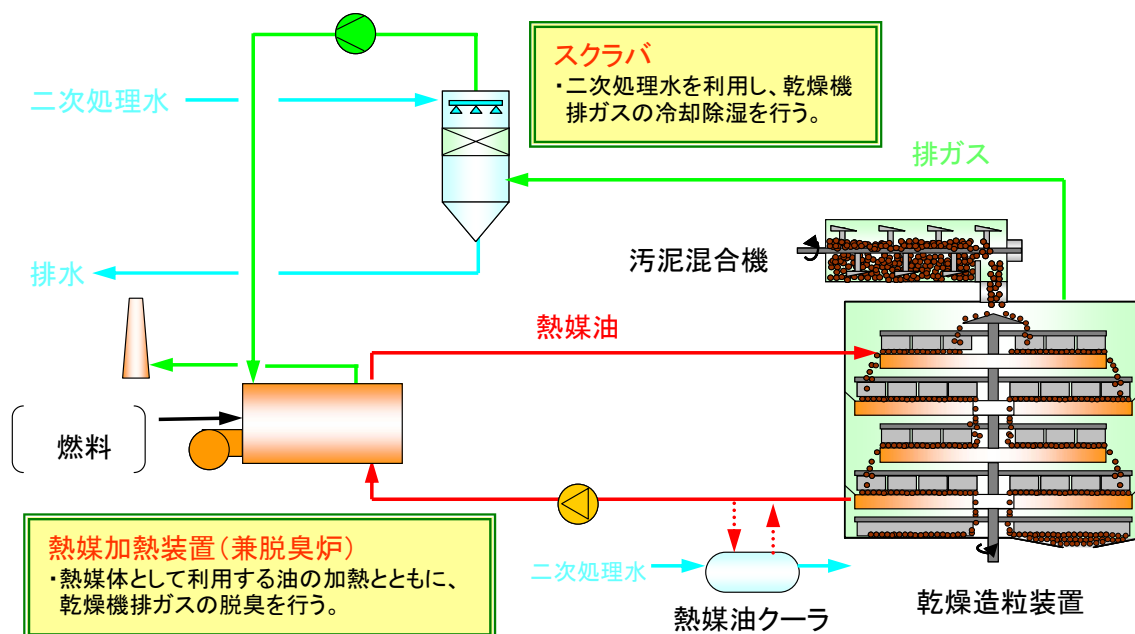


図1-5 熱源及び排ガスの流れ

1.3.2 乾燥造粒システムの安全性

本技術は、以下に示すような特徴を有しており、発火及び爆発の危険性が少なく安全性が高い。

- (1) 汚泥が長時間滞留しない。（発火等の危険性が少ない。）

脱水汚泥は乾燥造粒装置投入時に返送した乾燥造粒品と混合し水分調整を行うことから、脱水汚泥が乾燥造粒装置内で伝熱盤やスクレーパに付着しにくく、汚泥が長時間暴露されることによる発火等の危険性が少ない。

- (2) 熱媒温度が低い。（発火等の危険性が少ない。）

汚泥乾燥時の熱媒温度（200～260℃）が低く、汚泥の発火等の危険性が少ない。

(3) 酸素濃度が低い。(自然発火等の危険性が少ない。)

間接加熱式のため、乾燥造粒装置内部は汚泥からの水蒸気が主体であり、低酸素濃度（約2%）で運転されるため汚泥の自然発火等の危険性が少ない。

(4) 粉塵が少ない。(粉塵爆発の危険性が少ない。)

乾燥造粒品の表面に脱水汚泥を付着させ伝熱盤上をゆっくり転がして乾燥させる方式のため、粉塵の発生が少なく粉塵爆発の危険性が少ない。

2. 開発目標と評価結果

開発目標（必要性能）と評価結果を表2-1に示す。

表2-1 開発目標(必要性能)と評価結果

開発技術	スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術	
技術名称	下水汚泥のバイオソリッド燃料化	
技術概要	熱エネルギーの利用・回収技術と下水汚泥の乾燥造粒技術とを組み合わせ、バイオソリッド燃料を製造する技術。	
技術提案者	日立造船株式会社	
評価の基本	<p>①本プロジェクトの結果、開発目標に対しシステム全体として実用化できると判断され、国内に適用可能な下水処理場が複数想定しうる技術について、SPIRIT21委員会において、開発研究結果コスト(条件と根拠が明示されたもの)を、技術提案に基づき委員会が適切と認めた目標コスト及びその評価方法をベースに、評価する。</p> <p>②コストの積算は、公共事業に準じて行う。</p> <p>③開発者は、その技術によるPFI提案を合わせて行うことができる。</p> <p>④開発者は、評価後5年間、その技術の適用状況について委員会に報告する。</p>	
開発目標	<p>脱水汚泥：16,000円/t以下（現物量ベース） （上記価格は、平成16年度ベース）</p>	
評価条件	規模	日最大処理水量30～50千m ³ /日（20～30t-脱水汚泥/日）以上の下水道終末処理場
	場所	全国
	成果物	<p>低位発熱量が</p> <p>消化汚泥：12,560kJ/kg（3,000kcal/kg）以上</p> <p>未消化汚泥：15,490kJ/kg（3,700kcal/kg）以上</p>
コスト算出条件	<p>熱媒加熱装置の熱回収率：78.3%</p> <p>乾燥造粒装置の熱回収率：90.6%（50t-脱水汚泥/日処理時）</p> <p>スクラバ装置の熱回収率：85.9%</p> <p>乾燥造粒品の売却収入</p> <p>消化汚泥：100円/t-乾燥造粒品、未消化汚泥：500円/t-乾燥造粒品</p>	
評価結果	<p>開発目標（必要性能）である処理コスト16,000円/t（脱水汚泥）以下に対し、50t-脱水汚泥/日の規模にて結果13,900円/t（消化ガス未利用）及び9,000円/t（消化ガス利用）となり、目標を達成した。</p>	

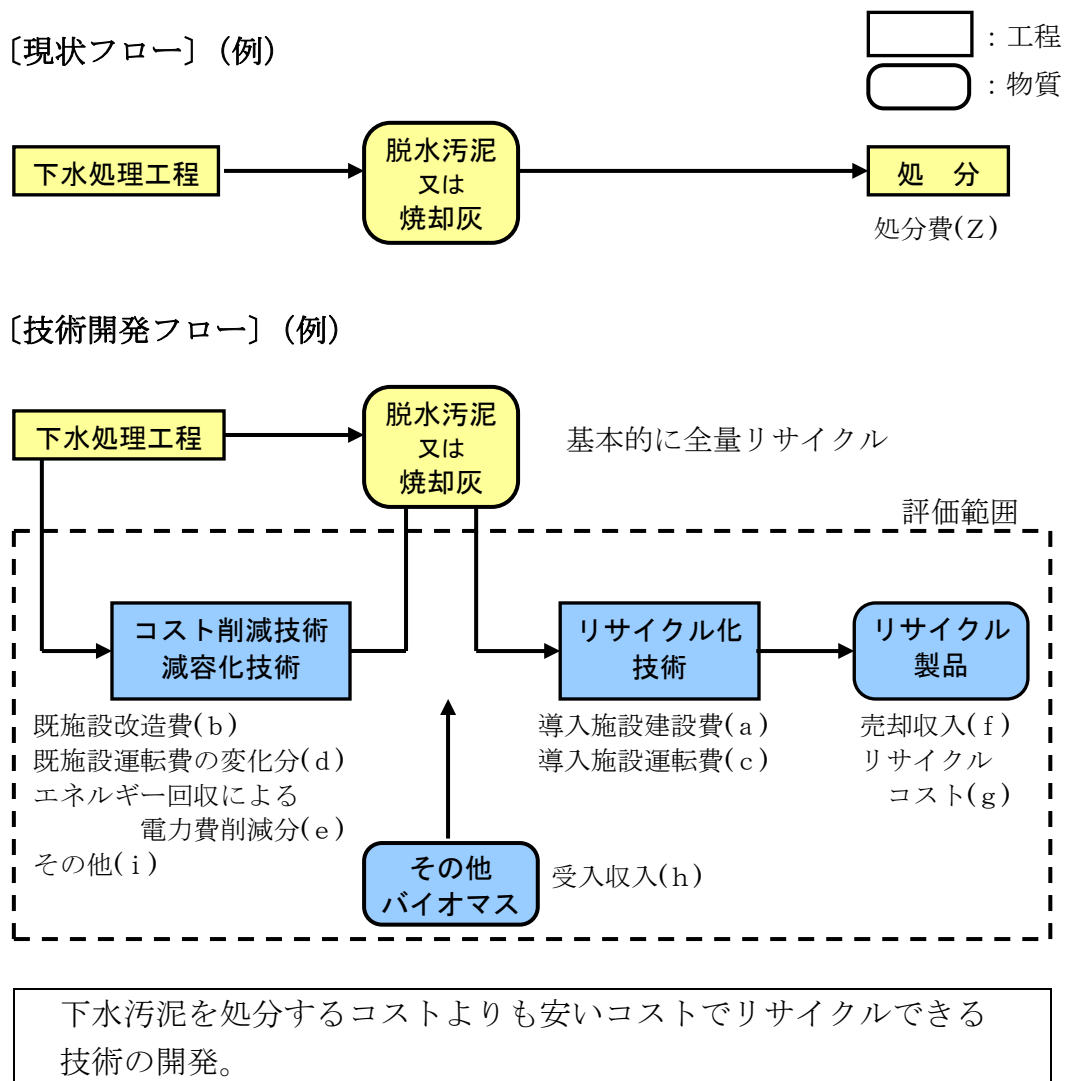
平成19年3月現在

3. 評価方法

本技術のコスト評価は、以下のとおりとした。

3.1 コスト積算の考え方

コスト積算の基本的な考え方を図3-1に示す。



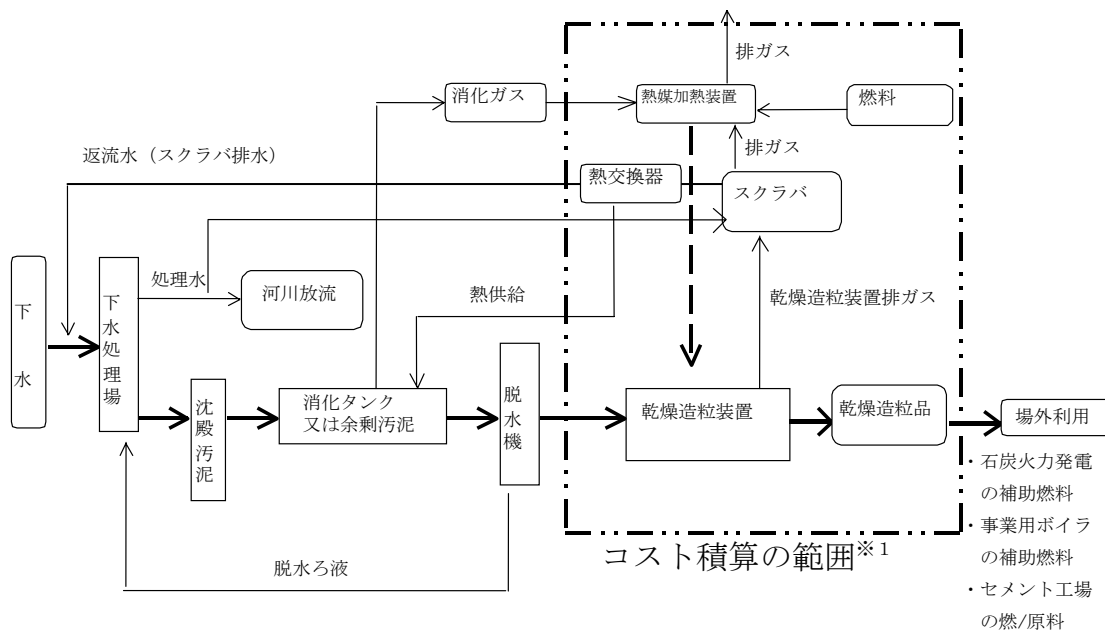
汚泥資源化コスト＝

$$a + b + c + d - e - f + g - h + i < Z \quad \text{現状の処分費 (目標コスト)}$$

図3-1 コスト積算の基本的な考え方

3. 2 コスト積算の範囲

コスト積算の範囲を図3-2に示す。

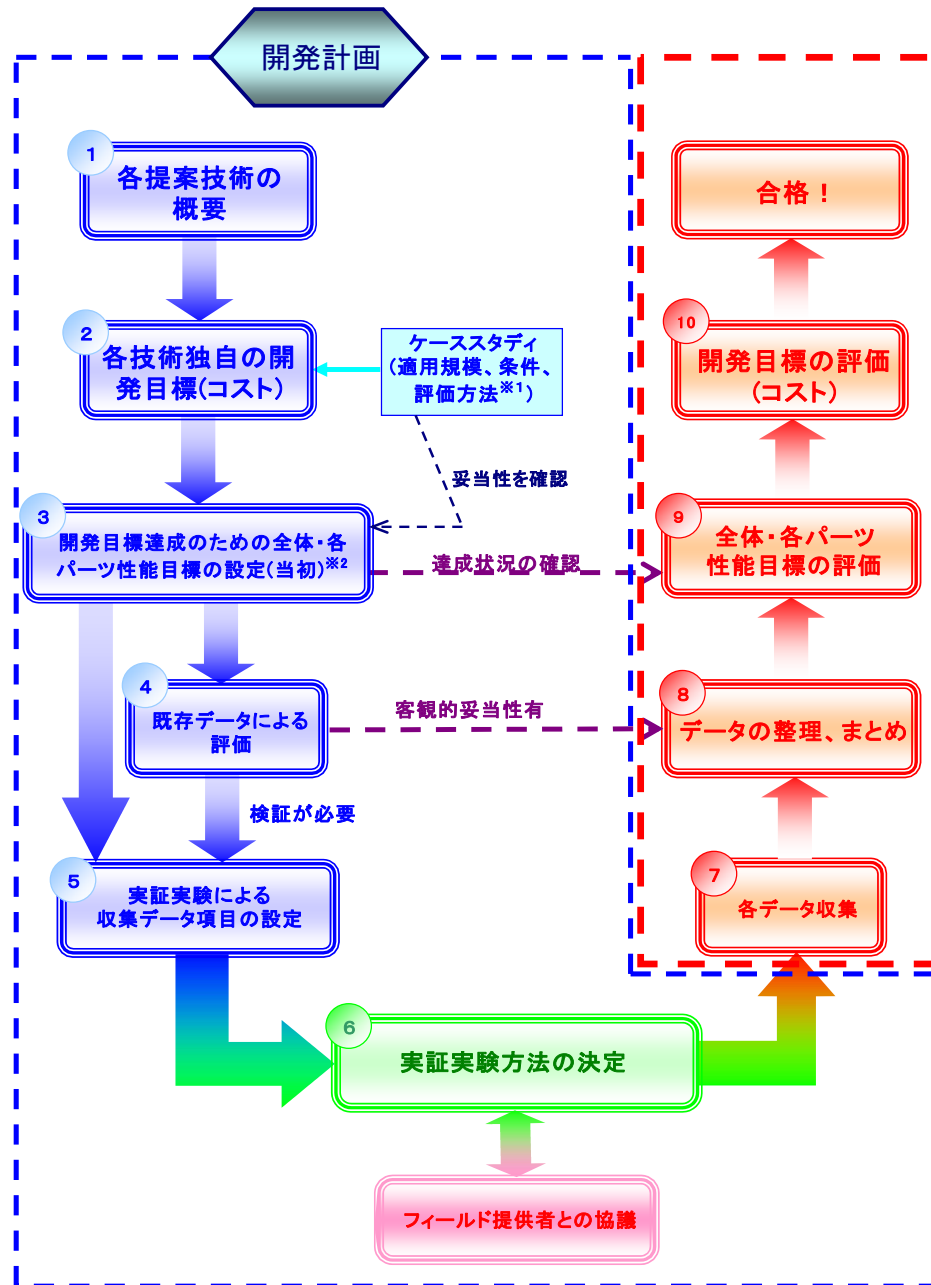


※1 臭気対策設備（乾燥造粒装置立下用、乾燥造粒品排出用等）を含む。

図3-2 コスト積算の範囲

3.3 評価の判断基準

LOTUS Project の評価までの基本フローを図3-3に示す。



注記: ① ※1 において各提案技術について、最終コスト評価時の具体的判断基準が必要。
 ② 記述されている妥当性の検討以外に、各ステップにおける妥当性の検討は必要。
 ③ ※2 において性能目標は当初の設定であり、実証実験等の結果により見直すことになる場合がある。この性能目標の見直しにより、目標コストを満足すれば、LOTUS Projectとしては合格となる。

図3-3 LOTUS Project 評価までの基本フロー図

4. 各パーツ目標及び結果

本技術の評価に当たっては、開発目標を達成するために重要となる項目や設備性能などの目安となるパーツ目標を設定し、検証する必要がある。各パーツの設定目標と既存データまたは実証実験での検証結果を表4-1に示す。

表4-1 各パーツの設定目標と検証結果

番号	項目	目標値	目的	実証方法	結果	備考
1	熱媒加熱装置の熱回収率	74.5%以上	燃料消費量の検証	実証実験	78.3~79.9%	
2	乾燥造粒装置の熱回収率(スケールアップ時)	90.0%以上		実証実験	90.6~92.1%	50t-脱水汚泥/日の規模にスケールアップ
3	スクラバの熱回収率	90.0%以上		実証実験	85.9~95.9%	
4	汚泥熱交換器による熱回収の可能性	熱回収可能		既存データ(実証実験のデータを一部利用)	1,800MJ/hの熱回収が可能	
5	バイオソリッド燃料(乾燥造粒品)の低位発熱量	消化汚泥: 12,560kJ/kg以上 未消化汚泥: 15,490kJ/kg以上	乾燥造粒品をバイオソリッド燃料として有価で売却	既存データ(消化汚泥) 実証実験(未消化汚泥)	消化汚泥: 14,023kJ/kg 未消化汚泥: 18,793~19,591kJ/kg	
6	バイオソリッド燃料の燃料特性	燃料利用		既存データ 実証実験	達成	石炭との混焼利用が可能
7	バイオソリッド燃料の価格設定	500円/t-乾燥造粒品		アンケート調査	消化汚泥(原料): 100円/t-乾燥造粒品 未消化汚泥(原料): 500円/t-乾燥造粒品	

5. 本技術の導入効果と将来の展望

本技術の導入効果と将来の展望を表5-1に示す。

表5-1 本技術の導入効果と将来の展望

<p>省エネルギー効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・表5-31 (p. 91)、表6-9 (p. 101) より 焼却施設の使用電力量は、100kW/t-脱水汚泥であるのに対して、本技術の使用電力量は、約 60kW/t-脱水汚泥^{※1}であり、省エネルギーとなる。 ・図5-51 (p. 87)、図5-52 (p. 87) より 回収熱量の算出において、製造したバイオソリッド燃料を回収熱量としてみなして算定すると、投入熱量 100%に対し未消化汚泥で 158.6%、消化汚泥時で 123.4%の熱回収となり、投入熱量よりも多くの熱回収ができるといえる。
<p>地球温暖化防止効果</p>	<p>図5-55 (p. 92) より 流動焼却炉と比較した場合、消化ガス未利用時で 10,103kg-CO₂/日 削減できる。また、消化ガスを全量乾燥熱量に利用できれば CO₂が 20,929kg- CO₂/日 削減できる。</p>
<p>その他の項目における 技術の導入効果 及び将来の展望</p>	<p>上記の通り、流動焼却炉に代わって本技術を導入することにより、N₂O 削減が大幅に見込めるため地球温暖化防止効果がある。また、消化ガスを乾燥燃料として利用した場合は、さらに CO₂削減に寄与できる。</p> <p>将来展望としては、下水処理場の消化槽に生ごみを投入した場合、乾燥熱量と消化槽保温熱量の全量を確保することが可能である。よって、グリーン・スラッジ・エネルギー技術とスラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術を併用したバイオマス有効利用施設としての普及も見込まれる。</p>

※1 算出根拠は、

時間当たりの消費電力：124.7kW/h

運 転 時 間：24h/日

脱 水 汚 泥 処 理 量：50t-脱水汚泥/日 より

$124.7\text{kW/h} \times 24\text{h/日} / 50\text{t-脱水汚泥/日} \approx 60\text{kW/t-脱水汚泥}$ となる。

6. 留意事項

本技術の導入にあたっては、以下のことを留意する必要がある。

(1) 乾燥造粒品貯留時の取扱

乾燥造粒品は再生資源燃料（「資源の有効な利用の促進に関する法律」第二条第四項）に該当し、指定可燃物（「危険物の規制に関する政令」）として取扱う。また指定可燃物の取扱について各市町村条例にて定められていることから、所轄消防署での確認が必要である。

(2) 建設費、運転費試算条件

建設費、運転費の試算条件を下記に示す。

①建設費、運転費に含まれていない項目

- ・ 消化ガス供給及び精製設備（脱硫設備等）
- ・ 造成、杭打ち、地盤改良工事等（材料費、工賃等）
- ・ 建設費に含まれる予備品
- ・ 消費税等試算条件に記載なきもの。

②費用変動要因

- ・ 材料費、工賃
- ・ 機器設置場所の制約（設置面積等）による機器配置
- ・ 機器輸送費
- ・ 気象条件（積雪量、外気温、脱水汚泥温度 等）

③消化ガス利用時及び消化ガス未利用時とも同じ設備、コストとする。

- ・ 熱媒油加熱装置のバーナーは消化ガス及びA重油兼用方式とする。
- ・ 消化ガス利用時、燃料供給設備（A重油用燃料タンク、燃料ポンプ等）は緊急時等のバックアップ用として使用するものとする。

④乾燥造粒品ホッパの容量は、1日分とする。

⑤建屋は「鉄骨+ALC構造」とする。

⑥予備機器は、常用機器が故障した場合でも、システムを安全に停止させることができる機器（熱媒油循環ポンプ、散布水ポンプ等）のみ設置する。

⑦定期点検（修繕含む）は年間35日とする。その内、最大連続停止日数は14日とする。