

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

下水汚泥の活性炭化と有効利用による汚泥処理費の低減
に係る技術評価書

技術提案者 カワサキ環境エンジニアリング株式会社
株式会社 木村製作所

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「下水汚泥の活性炭化と有効利用による汚泥処理費の低減」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、下水汚泥を乾燥処理した後、炭化-賦活することで、微細孔構造を発達させた活性炭化製品を製造するとともに、活性炭化製品の用途を確立し、下水汚泥の資源化を推進に資することを目的とする。

また、活性炭化製品の製造技術をユニット化し、工場での製作組立を可能にしてコストダウンを図ることにより、小規模な下水処理場に対しても適用できることを目指している。

1.2 構成要素

本技術のブロックフローを図1-1に示す。本技術の構成要素は、以下のとおりである。

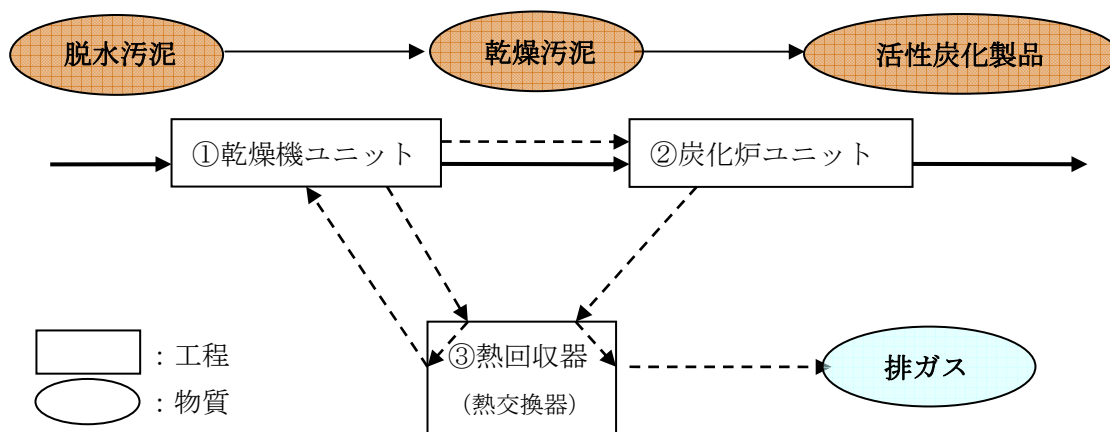


図1-1 活性炭化ブロックフロー

- ①乾燥機ユニット : 脱水汚泥から乾燥汚泥を製造するための気流乾燥設備とその付属設備
- ②炭化炉ユニット : 乾燥汚泥から活性炭化製品を製造する外熱スクリー式炭化設備とその付属設備
- ③熱回収器 : 炭化炉ユニットにおいて発生する燃焼ガスから乾燥機ユニットにおいて発生する循環乾燥排ガスへの熱回収を行うための熱交換器

本システムは①～③で構成されており、以下に脱水汚泥から活性炭化製品が製造されるまでの処理工程を示す。

脱水汚泥は、汚泥ポンプで乾燥機ユニットの気流乾燥設備に供給され、水分が蒸発し、含水率10～20%程度の乾燥汚泥となる。(乾燥工程)

乾燥汚泥は、炭化炉ユニットの炭化設備に供給され、高温に加熱されたスクリーケーシング内で、前半部の炭化工程により炭化物になった後、後半部の賦活工程により活性炭化製品となる。(賦活炭化工程)

本システムからは、乾燥機ユニットから「乾燥排ガス」、炭化炉ユニットから「燃焼排ガス」が発生する。乾燥排ガスは、循環乾燥排ガスと余剰乾燥排ガスに分類される。

それぞれのガスの流れは、以下のとおりである。

余剰乾燥排ガスは、スクラバにて洗浄処理された後、炭化設備において高温脱臭され、燃焼ガスとともに大気に排出される。

循環乾燥ガスは、熱回収器において、燃焼排ガスの熱を回収し、乾燥機ユニットに戻される。

1.3 特徴

1.3.1 システムの特徴

(1) 建設費の低減

図1-1に示した①から③を工場で製作組立が可能なユニット製品とすることにより、建設費を大幅に低減することができる。

(2) 運転費の低減

以下の3つの特徴があり、システムとしての総合熱効率を高め、運転費を低減できる。

- ① 汚泥の蒸発水分（水蒸気）を熱媒体として利用し、乾燥排ガスを抑制
- ② 乾燥排ガスを炭化炉へ導入して脱臭処理し、脱臭炉を省略
- ③ 乾燥排ガスと炭化炉排ガスを熱交換して熱回収

乾燥排ガスは、脱水汚泥中の水分が蒸発した水蒸気である。このため、水蒸気を熱媒体として利用し、高温の燃焼ガスから熱回収器を介して熱回収をすることにより、従来の気流乾燥機で必要であった熱風源が不必要であることから、熱効率が高く、運転費を低減することができる。

また、余剰乾燥排ガスは水蒸気濃度が非常に高いことから、スクラバでの洗浄での熱損失が小さいとともに、高温脱臭処理が必要な余剰乾燥排ガスを最小限にすることが可能である。

さらに、燃焼排ガスを抑制することができ、燃焼排ガスからの熱損失を最小限にして総合熱効率を高めることができ、省エネ効果による地球温暖化対策に寄与できる

1.3.2 炭化物製造工程における特徴

炭化物が吸着活性を有する賦活化反応は、化学エネルギーの平衡計算より600℃前後では進行せず、800℃以上で進行すると考えられている。本技術は伝熱鋼板の内面をスクリュウで絶えず更新して、スケールの発生を防止できるために、スクリュウコンベヤ内の材料と熱源の排ガスとの温度差は100℃以内である。このため、材料賦活部の燃焼ガス温度を900℃以上に制御する方法で、材料の温度を800℃以上に加熱することができる。このような高温

還元雰囲気中で固定炭素化物の水蒸気等との賦活反応により細孔が成長する。本技術の炭化物製造工程における特徴を箇条書きにて示す。

- ① 炭化-賦活工程を1つの炉で連続的に行うことが可能
- ② 炭化炉内スクリーの回転速度により、滞留時間を調整することが容易
- ③ スクリューコンベヤにより、コンベヤ内スケーリングの発生を防止することが可能
- ④ 気流乾燥汚泥は1mm以下の粉粒状のため、効率的な熱伝導が可能
- ⑤ 外熱伝熱方式で賦活反応雰囲気が安定しており、高品質の活性炭化製品を製造可能
- ⑥ 賦活化ガスとして、汚泥から発生する水蒸気や炭酸ガスを利用

1.3.3 成果物の特徴

本技術により製造される活性炭化製品の代表的な性状範囲を表1-1に、形状を図1-2に示す。

表1-1 活性炭化製品性状

項目	範囲
強熱減量	30～55%
かさ密度	0.4～0.8
平均粒径	100～300 μm
発火温度	300～400 $^{\circ}\text{C}$
固定炭素	25～50% (D S)
H/C (原子数比)	<0.2
比表面積	50～150 m^2/g (150～600 $\text{m}^2/\text{炭素 g}$)
平均細孔径	20～60 \AA



図1-2 活性炭化製品とその顕微鏡写真

本製品は、以下の特徴を有する。

(1) 吸着剤

① 吸着性

吸着比表面積が大きいいため、ダイオキシン類等の吸着材や臭気成分の脱臭剤として利用することができる。

② 安全性

発火温度が300 $^{\circ}\text{C}$ 以上と高く、貯留や搬送上で安全に取り扱うことができる。

(2) 凝集剤

① 凝集性

還元状態の重金属類を多く含んでおり、凝集効果が高い。

② 沈降性

比重が大きく、沈降性が高い。

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	下水汚泥の活性炭化と有効利用による汚泥処理費の低減技術	
技術概要	下水汚泥から吸着能力の高い活性炭化製品を製造し、ダイオキシン類吸着剤、脱臭剤、汚泥減量化剤として販売することで汚泥処理費を低減する技術。	
技術提案者	カワサキ環境エンジニアリング株式会社, 株式会社 木村製作所	
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	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）	
評価条件	規模	原水処理量で1万m ³ /日以上 of 下水処理場
	場所	全国
	成果物	吸着比表面積が炭素当たり150m ² /g以上の活性炭化製品
コスト算出条件	<p>設備規模：9.6t/日ユニット式活性炭化炉（設備稼働率：75%）</p> <p>設備建設費：3.5億円</p> <p>運転人員：昼間2名（夜間は遠隔監視による自動制御運転で現場無人運転）</p> <p>汚泥性状：（脱水汚泥含水率80%、汚泥中有機物80%）</p> <p>活性炭化製品販売費：粉碎炭として2万円/t以上の有価引き取り保証</p>	
評価結果	<p>混合生汚泥の場合：14,000円/t</p> <p>消化汚泥の場合：10,700円/t</p>	

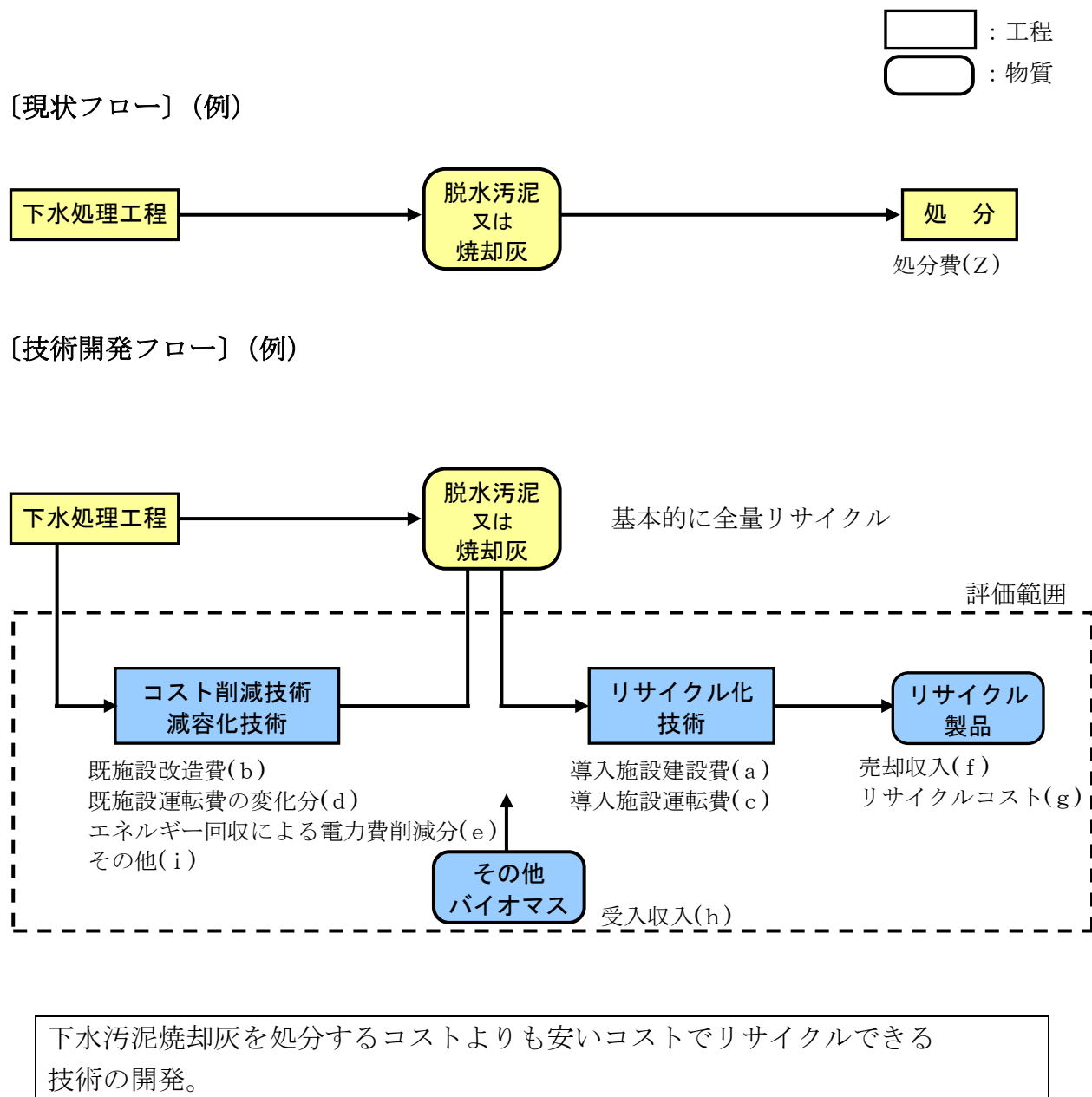
平成19年3月現在

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 コスト試算の考え方

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

コスト積算範囲を図3-2に示す。

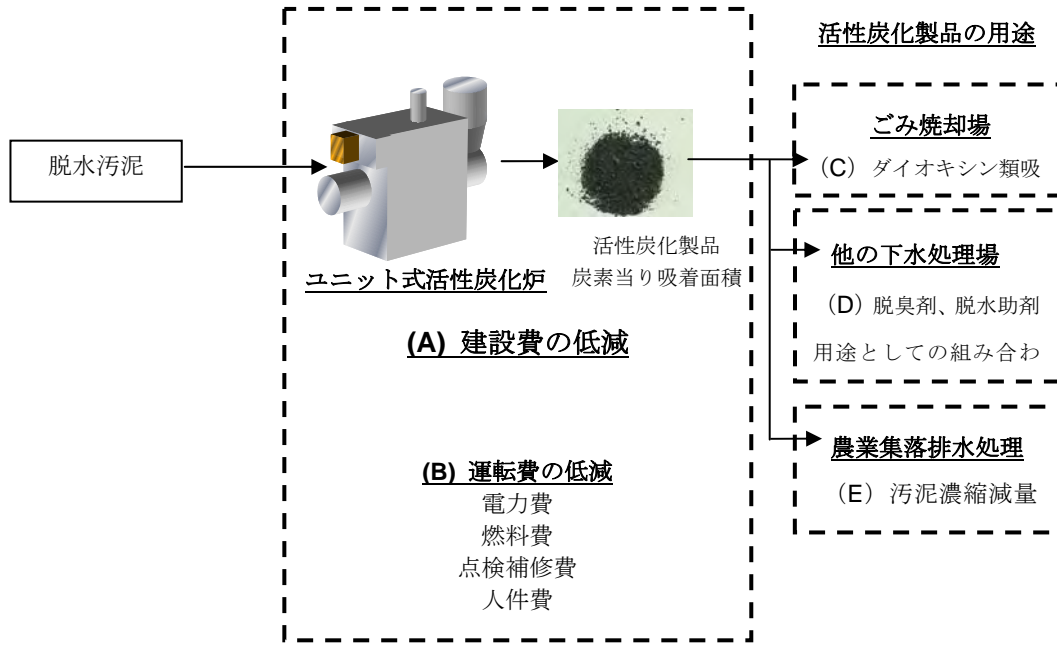
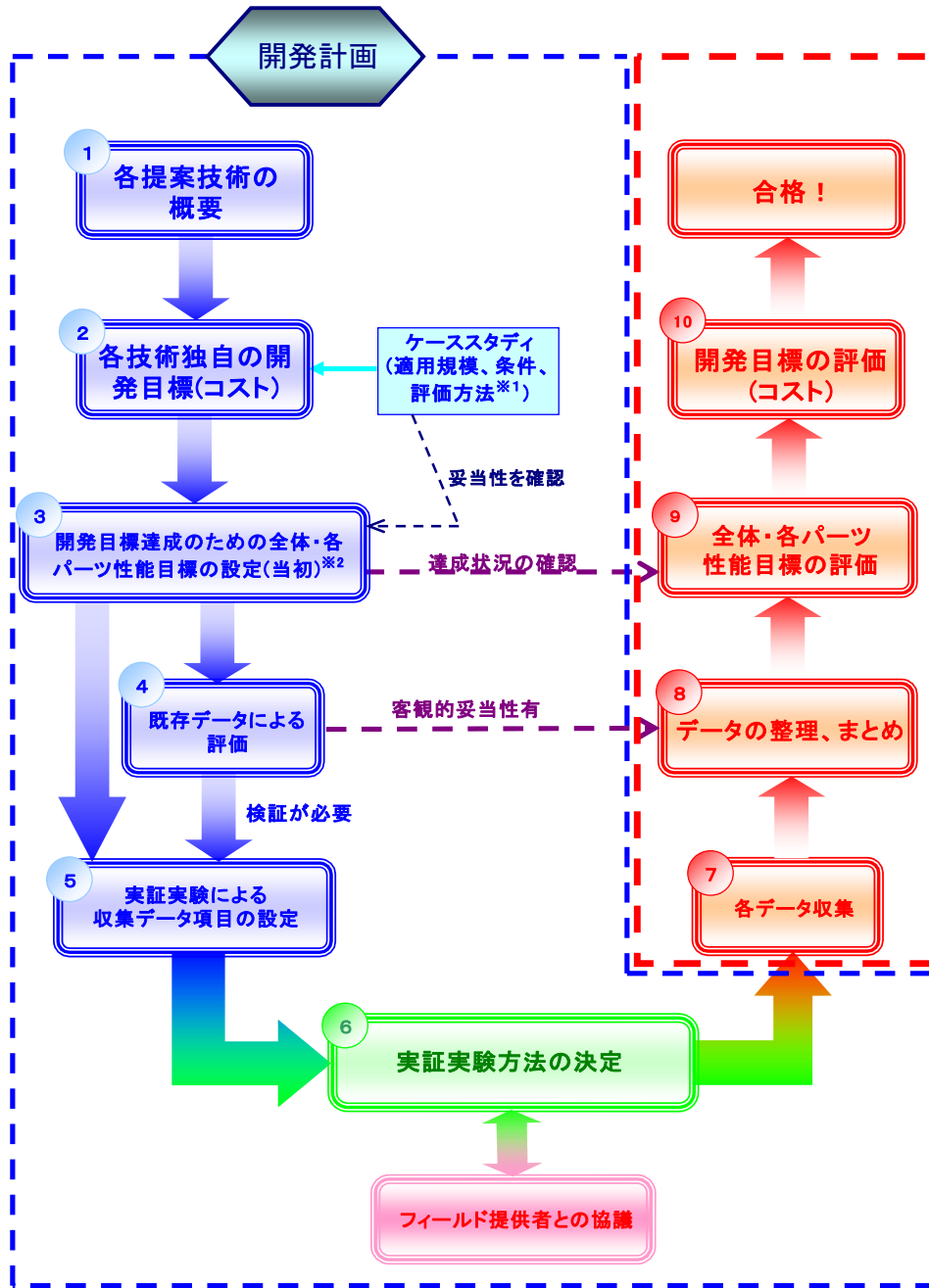


図3-2 コスト評価範囲

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. 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ハーツ目標を設定し、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 パーツ目標、目的及び結果

項目	目標値	目的	方法	結果	備考
設備費	3.5億円 以下	工場での製作組立てが可能なユニット化によるコストダウン	実証実験	3.5億円	
運転 人件費(人件費削減)	6,000円/t (夜間無人運転、昼間2名運転)	人件費の低減	実証実験	昼間の2名の労務費で運用可能となり、人件費を4,800円/t以下に抑制できた。	
ダイオキシン吸着剤としての性能	市販活性炭と同等以上	ごみ焼却炉の排ガス中のダイオキシン吸着剤の用途	既存データ	市販活性炭と同等以上のダイオキシン除去率を達成できた。	既に、2市に対して販売実績がある。
脱臭剤としての性能	炭素当たり、 $150\text{m}^2/\text{Cg}$ の吸着比表面積	市販粒状活性炭による脱臭装の代用としての、バクフィルタ式脱臭装置での粉末状活性炭化製品の脱臭性能評価	実証実験	$170\sim 600\text{m}^2/\text{Cg}$	
	市販活性炭の1/20以上の性能			市販活性炭の1/10以上の脱臭性能	
脱水助剤としての性能	固形物比で20%の添加率で3%以上の含水率低減	脱水汚泥の減量化	既存データ	未消化濃縮汚泥では約5%含水率が低下した。	どちらの汚泥も減量効果は認められなかった。
			実証実験	消化汚泥では約2%低下した。	
濃縮汚泥の減量化	固形物比で20%以下の添加率で原濃縮汚泥を1/3以下まで減量化	脱水機のない小規模処理場での長期貯留汚泥の減量化	既存データ及び実証実験	固形物比7.5%の活性炭化製品の添加で、汚泥発生量1/4。	
活性炭化製品の2万円/t以上の有価引取保証	2万円/t	有価引き取り保証事業化	販売実績及び市販活性炭販売価格との比較	バグ脱臭用脱臭剤、濃縮汚泥減量化剤、ダイオキシン吸着剤、等で2万円/t以上で販売できる。	

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

省エネルギー効果	<p>ユニット式活性炭化炉の脱水汚泥1 t当たりの消費エネルギーは、標準的な流動層炉での焼却処理と比較すると、電力は同等であるが、燃料については約10L低減できる。</p> <p>また、消化タンクがある場合には、乾燥排ガスで消化タンクを加熱できるため、脱水汚泥1 t当たり約40Lの燃料を低減できる省エネルギー効果がある。</p>
地球温暖化防止効果	<p>地球温暖化防止効果については、5.5で述べたように、標準的な焼却炉に比べて、炭酸ガス換算で地球温暖化ガスの発生を脱水汚泥1 t当たり295kg抑制できる。また、活性炭化製品は石炭から製造される市販活性炭の代替品として利用でき、製品の利用を通じて地球温暖化を防止できる。</p>
包括的業務委託との相乗効果	<p>本技術を導入していただいた際には、地元企業も含んだLLP（有限責任事業組合）を設立し、設備の維持管理を含めた製造事業（包括的業務委託）、活性炭化製品の有価引き取りを保証し、活性炭化製品の販売事業も実施する。</p> <p>この事業により、得られた利益はLLPより地元企業に配分するとともに、新たな事業が発生し、地域の活性化の一助になる。また、自治体においては、販売先を確保する必要がない。</p>
ユニット化製品の特徴	<p>ユニット式活性炭化装置は、段階的に経費削減効果を確認できる。したがって、大規模な下水処理場では、段階的な導入が可能であるとともに、整備途上の自治体では、汚泥量増加量に合わせて、施設を増設することが可能である。このため、過大な先行投資を必要としないことから、財政的に有利である。</p>
将来の展望	<p>「下水道ビジョン 2100」では、今までの下水道の機能に加え、健全な水循環及び資源循環を創出する「循環のみち」の一つの基本方針である、将来の資源枯渇への対応する・地球温暖化の防止などの資源回収・供給ネットワークを創出する「資源のみち」を実現することが必要であるとしている。</p> <p>このような状況を鑑み、今後本技術が広く適用検討されるものと考えている。</p>

6. 留意事項

本技術の導入に当たっては、以下のことを留意する必要がある。

(1) 活性炭化製品の貯蔵について

本設備は、3.0m³の製品サイロを設けている。これは、消防法の指定数量（活性炭化製品は10t）未満としている。なお、最大汚泥処理量での運転では、約2日程度の容量である。

(2) 建設費

積雪量により、建屋が必要となる場合があるが、本評価には含んでいない。

(3) 運転管理費

汚泥の含水率及び有機物比の違いにより、運転管理費は、大きく異なる。

(4) 有価物引取り保証と運転管理

本技術提案では、粉末活性炭化物を2万円/tで有価引取りすることを保証している。有価引き取り保証の条件は、以下のとおりである。

- ・ 運転管理支援機関と引き取り機関が同一であること。
- ・ 本設備内にある粉砕機で粉末状にした活性炭化製品であること。