

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）

グリーン・スラッジ・エネルギー技術

下水汚泥とバイオマスの同時処理方式による

エネルギー回収技術に係る技術評価書

技術提案者 月島機械株式会社

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、「グリーン・スラッジ・エネルギー技術開発研究委員会」において開発研究された「下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術」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

グリーン・スラッジ・エネルギー技術開発研究委員会

委員長	東北大学大学院工学研究科土木工学専攻教授	大村 達夫
副委員長	京都大学大学院工学研究科附属 流域圏総合環境質研究センター教授	藤井 滋穂
委員	信州大学工学部社会開発工学科環境都市コース助教授	松本 明人
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	大阪府都市整備部下水道課課長補佐（計画グループ長）	稲垣 勝伸
委員	兵庫県県土整備部土木局下水道課主幹	戸島 透
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	横浜市環境創造局環境活動推進部部次長 （環境科学研究所担当課長）	小菅 博明
委員	大阪市都市環境局下水道部水質調査課担当係長	山本 高弘
委員	神戸市建設局西水環境センター西神施設課主幹	高場 徳就
委員	日本下水道事業団技術開発部総括主任研究員	島田 正夫
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 下水道委員会委員長	渡辺 清風
委員	月島機械(株) 水環境事業本部 ソリューション技術部ソリューショングループリーダー	三井 美典
委員	J F Eエンジニアリング(株) 水エンジニアリング事業部 水システム技術部第一技術室副課長	山本 勝一郎
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水処理システム技術統括部開発部長	江森 弘祥
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、下水処理場における消化ガス発電コストを買電価格以下に抑えるシステムの構築を目的としており、下水処理場を地域のバイオマス活用施設と位置付け、下水処理場外で発生する生ごみを下水汚泥とともに既設消化タンクで同時処理（混合消化）して消化ガスを取り出し、発電するものである。下水汚泥の可溶化（超音波処理）により汚泥の消化効率が向上するため、生ごみ投入の影響が抑制される。また、下水処理場のエネルギー自給率が大きく向上するため、二酸化炭素排出量が削減され、地球温暖化防止に貢献できる。

1.2 構成要素

本システムの概念図を図1-1に、構成要素の説明を表1-1に示す。

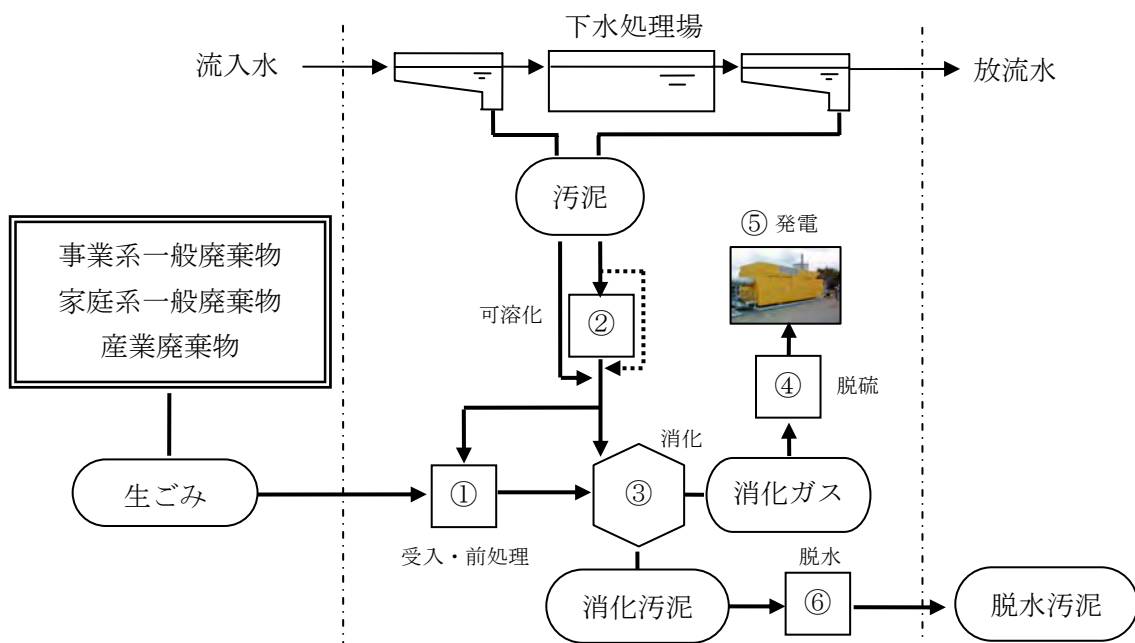


図1-1 システム概念図

表1-1 構成要素の説明

番号	名称	機能
①	受入・前処理設備	生ごみを場外から受け入れ、異物を除去した後、汚泥とともに混合・破碎し、混合物を既設消化タンクへ投入する。
②	汚泥可溶化設備	超音波処理により汚泥を消化されやすい状態にする。
③	既設消化タンク設備	汚泥と生ごみを同時処理（混合消化）する。
④	消化ガス精製設備	乾式脱硫方式により硫化水素を除去する（既設を含む）。
⑤	消化ガス発電設備	電力と熱（温水）を製造する。
⑥	既設脱水設備	消化汚泥を脱水する。

1.3 特徴

本システムの特徴（従来システムとの違い）は次のとおりである。

特徴① 生ごみを下水処理場外から受け入れ、既設汚泥消化タンクへ投入する。

特徴② 汚泥可溶化（超音波処理）により、下水汚泥の消化効率を向上させ、固形物減少、消化ガス発生量増加の効果を得る。

特徴③ 消化ガス発生量を増加させ、消化ガス発電設備のスケールメリットを得る。

特徴④ 生ごみの適正処理費用削減分をシステムの収入と見なし、発電コストの縮減を図る。

超音波処理による汚泥可溶化は濃縮余剰汚泥をキャビテーションにより可溶化する技術である。超音波処理により、汚泥の消化効率が向上するため、既設消化タンク的能力に余裕を生じ、生ごみ投入に伴う有機物負荷増加への対応能力が向上する。また、水処理工程における高度処理の普及に伴い余剰汚泥発生量の増加¹⁾が将来予想されるため、超音波処理による固形物減少効果が汚泥発生量の抑制に寄与すると期待される。

生ごみ投入に伴い消化ガス発生量が増加し、消化ガス発電設備が大規模になり、かつ生ごみの適正処理費用をシステムの収入と見なすことにより、発電コストの低減が可能となる。また、場外から消化ガスの原料を持ち込むことにより、下水処理場のエネルギー自給率が向上し、二酸化炭素排出量が削減される。

本システムを構成する要素のうち、受入・前処理設備、汚泥可溶化設備、消化ガス発電設備を新規に導入する。表 1-2 に新設する各設備の特徴を示す。

表 1-2 新規設備の特徴

名称	特徴
受入・前処理設備	ホッパー、破袋分離機、混合破砕タンクなどで構成される。 パッカー車などで運び込まれた生ごみから異物を取り除き、濃縮汚泥と混合し、既設消化タンクへ投入する。
汚泥可溶化設備	送泥ポンプ、超音波可溶化装置などで構成される。 濃縮余剰汚泥に超音波発振子を接触させ、キャビテーションによって汚泥を可溶化し、消化されやすい状態にする。
消化ガス発電設備	ガスコンプレッサ、シロキサン除去、ガスエンジン、熱回収の各ユニットで構成され、電力と熱（温水）を製造する。 電力は場内設備動力とし、熱は消化タンク加温として利用する。

<参考文献>

1) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2001年版-，p196

2. 技術評価対象の開発目標と評価の基本について

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	グリーン・スラッジ・エネルギー技術								
技術名称	下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術								
技術概要	場外バイオマスを受け入れ、超音波処理によって可溶化した下水汚泥と同時に消化し、消化ガス発生量を増加させ発電する技術。								
技術提案者	月島機械株式会社								
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	対象処理場の契約種別に応じた全国年間平均電力料金 9.32 円/kWh（高圧B，平成17年10月～平成18年9月）以下								
評価条件	規模	処理水量 42～200 千m ³ /日で消化設備のある下水道終末処理場							
	場所	全国							
	バイオマスの種類	食堂残渣，食べ残し等の有機性廃棄物を含む一般廃棄物（生ごみ）							
コスト算出条件	生ごみ受入価格 16,000 円/t，生ごみの有機物分解率 79.0%，生ごみの消化ガス転化量 0.772Nm ³ /kg-投入 VS，脱水汚泥含水率 80%，メタン濃度 59.1%，発電設備の発電効率 36.6%（発電端），可溶化による汚泥由来固形物減少率 5.67%，可溶化による汚泥由来ガス量増加率 3.18%								
評価結果	処理場規模	42,000m ³ /日	70,000m ³ /日	130,000m ³ /日	200,000m ³ /日				
	生ごみ投入量	20t/日	20t/日	20t/日	20t/日				
	濃縮汚泥投入量	209 m ³ /日	349 m ³ /日	647 m ³ /日	996 m ³ /日				
	可溶化の有無	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
	発電コスト [¥/kWh]	8.84	—	8.78	9.26	8.67	9.02	8.27	8.06
	上記条件においてコストが 9.32 円/kWh 以下と見込まれ、開発目標を達成したと見込まれる。								

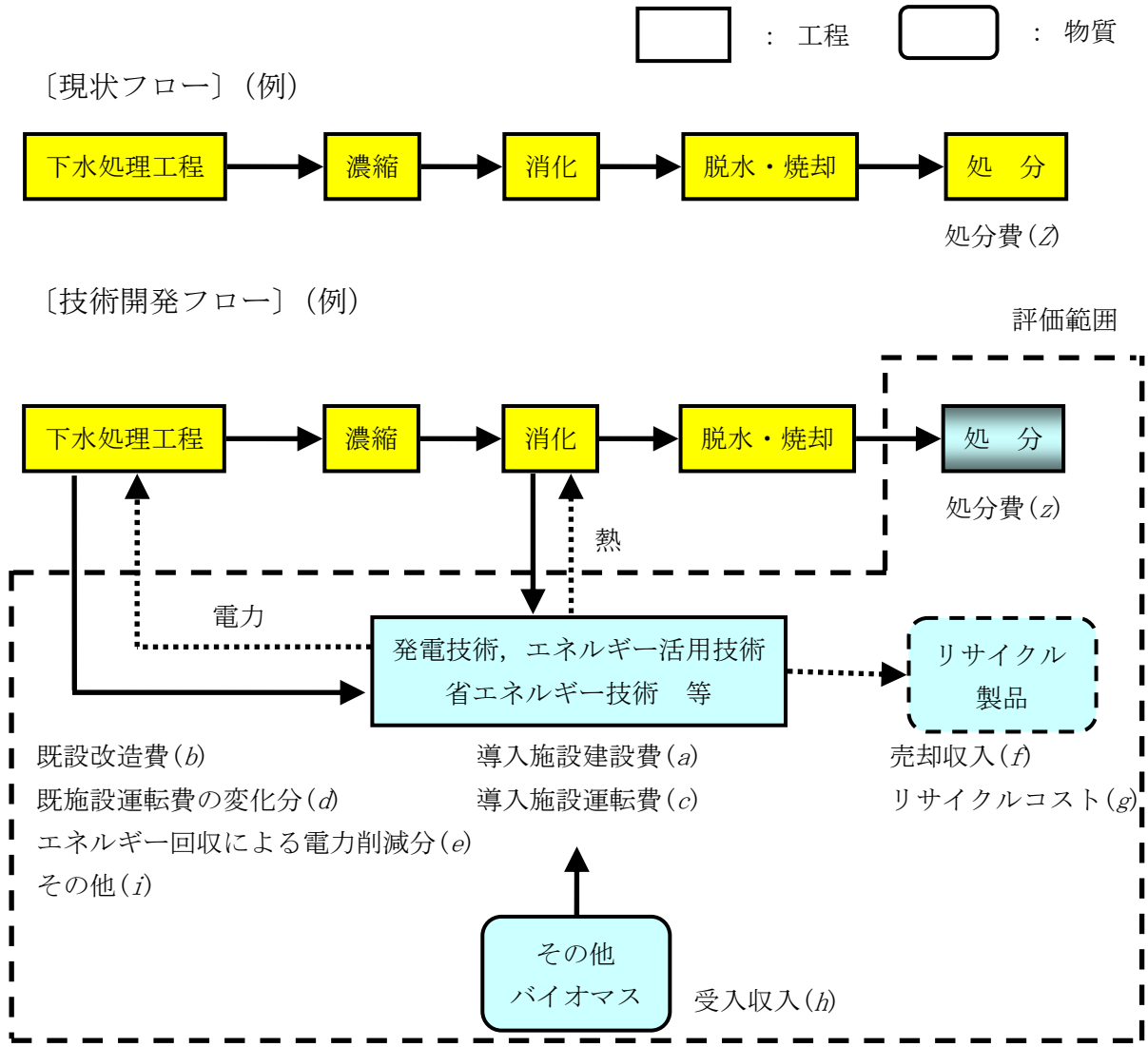
平成19年3月現在

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

コスト積算の範囲を図3-1に示す。



$$\text{電気エネルギー生産コスト} = a + b + c + d - e - f + g - h + i + z - Z < P \cdot Q$$

すなわち、

$$(a + b + c + d - e - f + g - h + i + z - Z) \div Q < P$$

全国年間平均電力料金 (目標コスト)

Q: 発電電力量 (送電端)

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。

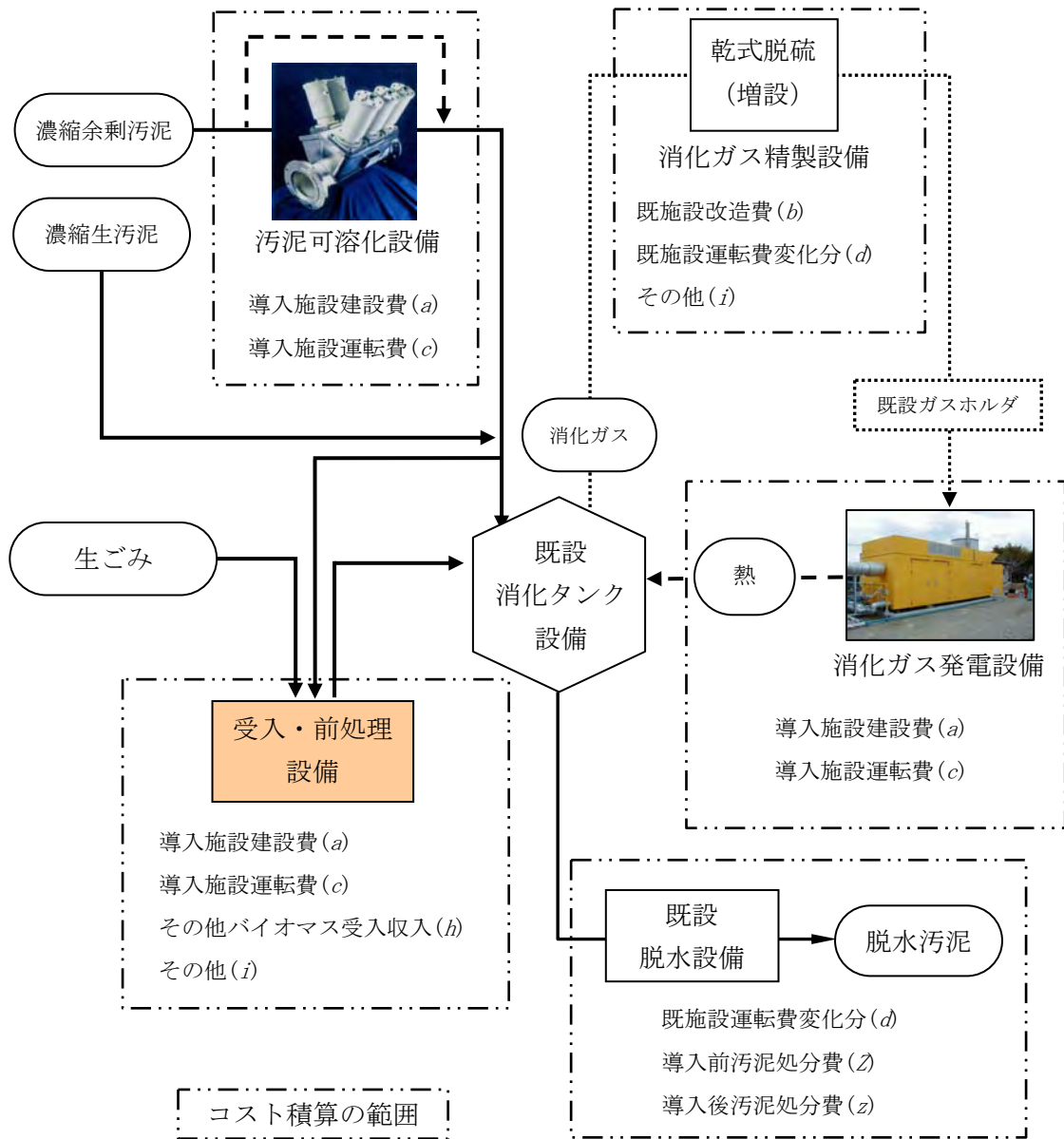
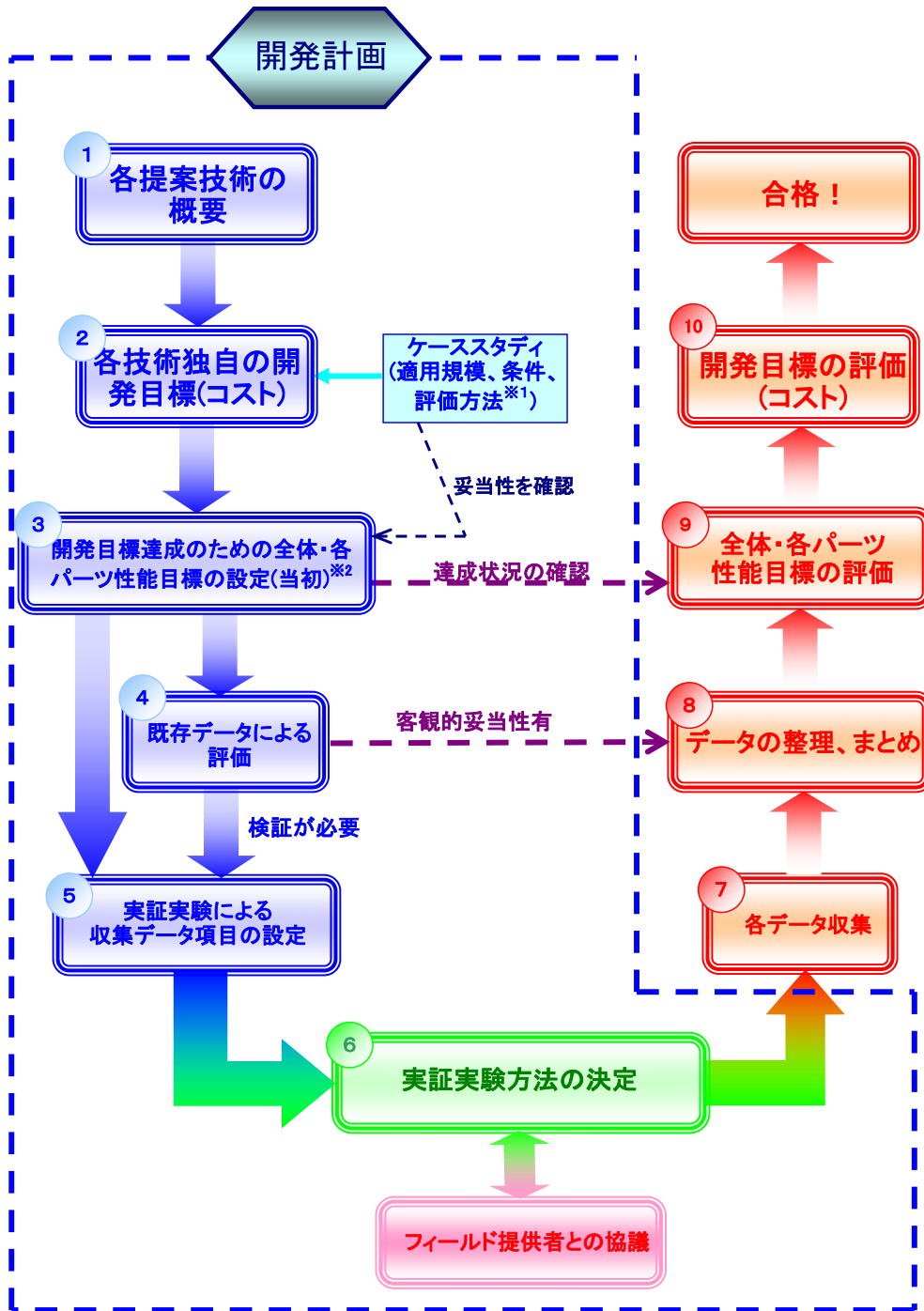


図3-2 コスト積算の範囲

3.3 評価の判断基準

LOTUS Project 評価までの基本フロー図を図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又は実証実験での検証結果を表4-1に示す。

表4-1 各パーツ目標及び結果

大項目	小項目	目標	目的	実証方法	結果
消化	混合物由来のガス発生量※ ¹	0.5~0.8 Nm ³ /kg-投入 VS	消化ガス量の確保	実証実験	平均 0.667Nm ³ /kg-投入 VS (0.591~0.733 Nm ³ /kg-投入 VS)
	混合物消化率※ ²	60%程度	消化ガス量の確保	実証実験	平均 64.3% (55.8~71.5%)
	消化ガス組成	メタン濃度 55~65%程度	消化ガスの質の確保	実証実験	平均 59.1% (57.5~61.3%)
可溶化	下水汚泥由来のガス発生量	15%以上の増加※ ³	消化ガス量の確保	既存データ	3.18% (余剰汚泥由来は 30%増加)
	下水汚泥由来の脱水汚泥量	4%以上の減少	汚泥処理費用の低減	既存データ	5.67%
発電	発電効率(発電端)	35 % (2.09kWh/Nm ³ -消化ガス相当)以上	発電量の確保	既存データ	36.6%
脱水	混合系※ ⁴ の脱水汚泥含水率	汚泥単独系※ ⁴ と同等	汚泥処理費用の把握	実証実験	汚泥単独系※ ⁴ と同等※ ⁵

※1 マテリアルバランス算出には次の数値を使用。

下水汚泥の消化ガス転化量：0.596Nm³/kg-投入 VS (平均値)

生ごみの消化ガス転化量：0.772Nm³/kg-投入 VS (平均値)

※2 マテリアルバランス算出には次の数値を使用。

下水汚泥の消化率：54.4% (平均値)

生ごみの消化率：79.0% (平均値)

※3 汚泥可溶化による下水汚泥由来ガス発生量の増加率が目標を下回ったが、その他の項目で目標を上回ったため、目標コストである9.32円/kWhを達成した。

※4 混合系：生ごみと下水汚泥を同時処理する系

汚泥単独系：下水汚泥のみを処理する系

※5 投入生ごみ1kgあたり薬品使用量が1.41g(平均値)増加した。

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	流入水量 42,000m ³ /日の下水処理場に本システムを導入し、20t/日の生ごみを既設消化タンクへ投入する場合、約 500 万 kWh/年の電力消費量が削減される。
地球温暖化ガス削減効果	流入水量 42,000m ³ /日の下水処理場に本システムを導入し、20t/日の生ごみを既設消化タンクへ投入する場合、約 1,800t-CO ₂ /年相当の地球温暖化ガス排出量が削減される。
その他の項目における技術の導入効果	<ul style="list-style-type: none"> ○発電設備による消化タンクの加温が可能となり、加温用ボイラが不要となる。 ○生ごみ投入に伴い発電設備の回収熱が余剰になることから、処理場における他の用途（冷暖房など）や場外への販売などが可能となる。 ○超音波処理により余剰汚泥由来の脱水汚泥量及び処分費が削減される。 ○既設消化タンクに汚泥重量比 9.6%の生ごみを投入する場合、処理場の消費電力の約 70%が賄える。
将来の展望	<ul style="list-style-type: none"> ○水処理工程における高度処理の普及に伴って、全汚泥量に占める余剰汚泥量の割合が増加すると予想され、超音波処理によるガス量増加効果や汚泥発生量の抑制が期待される。 ○汚水処理施設連携整備事業（MICS）において浄化槽汚泥などを受け入れた場合にも上記と同様の効果が期待される。 ○生ごみを廃棄物処理システムから除外できるため、同システムにおける処理コストや地球温暖化ガス排出量を削減するとともに、将来、同システムの更新、新設、増設に関わる費用の削減が期待される。 ○生ごみ投入に伴って増加する消化ガスを汚泥焼却炉や汚泥燃料化（乾燥、炭化等）設備の補助燃料とした場合、化石燃料使用量及び二酸化炭素排出量の削減が期待される。

<発電電力量について>

流入水量 42,000～200,000m³/日の処理場規模毎に処理場群を設定し、処理場群に含まれる処理場数、平均消費電力、既設消化タンクへ20t/日の生ごみを投入する場合の電力自給率(平均消費電力に占める発電電力量)を表5-2に示す。

表5-2 処理場群の規模と電力自給率

処理場群の流入水量	42,000m ³ /日	70,000m ³ /日	130,000m ³ /日	200,000m ³ /日
処理場の流入水量 [m ³ /日]	42,060～ 59,944	60,250～ 98,458	101,142～ 159,911	176,642 ～
処理場数 [箇所]	23	22	21	17
下水処理場の平均消費電力 [千 kWh/(年・箇所)]	7,916	11,291	20,088	45,170
発電電力量(可溶化あり) [千 kWh/(年・箇所)]	5,455	7,340	11,538	16,283
電力自給率 [%]	70.0	66.3	58.8	37.0

本システムの導入により、処理場の電力自給率は約40～70%になることが試算され、処理場全体の電力量から見た場合、維持管理費の大幅な低減が期待できる。

また同様に、本システムを導入し22t/日の生ごみを受け入れた場合の発電電力量とシステム導入前の潜在量との比較(発電電力量の増加)を図5-1に示す。ここで、システム導入前の潜在量とは、発電設備がないため電力として得られていないが、下水汚泥由来の消化ガス量から推算される潜在的な発電電力量である。

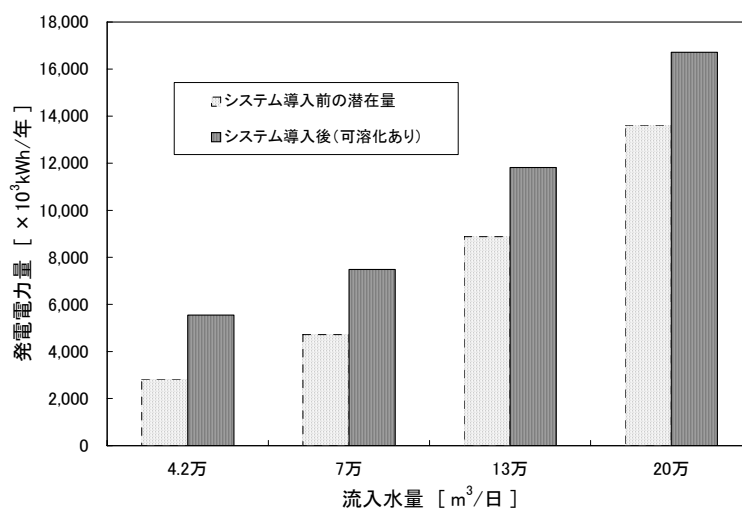


図5-1 システム導入による発電電力量の増加

図5-1に示すように、対象となる処理場規模が大きいほど、潜在量を活用する効果が大きく、システム導入に伴って省エネルギー効果が大きくなると考えられる。

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) 設備工事及び発電コストについて

- 施工条件がコスト積算条件と異なる場合には、費用の見直しが必要となる。
- 既設の状況や周辺環境を考慮し、装置の機種、仕様、設置台数などを見直しが必要となる場合がある。

(2) 手続き等について

- 生ごみの受入に関し、法令による手続き等が必要な場合には、環境部局との調整が必要である。
- 発電設備の系統連系については電力会社との事前協議が必要であり、既設条件によっては電力会社から受変電設備の改造を求められる場合がある。

(3) 国庫補助について

- 「発電」「脱硫」「可溶化」については下水道法施行令第24条の2第1項に定める公共下水道の補助率（10分の5.5）とする。「受入・前処理」については適切な補助率とし、今回の積算では、一例として3分の1を想定する。