

## ＜特集＞

# LOTUS Project の概要について

藤木 修

(財)下水道新技術推進機構 下水道新技術研究所研究審議役兼研究第一部長  
(東京都豊島区西池袋 1-22-8 E-mail: o-fujiki@jiwet.or.jp)

### 概要

下水汚泥はバイオマス資源として着目され、有機肥料や土壌改良材などのほか、消化工程において発生するメタンガスを回収し、これを使って発電することが可能である。このように下水汚泥は資源・エネルギーの宝庫と言える一方で、コストが高いなどの理由により、広く利用されていない状況にある。また、バイオマスニッポン総合戦略や京都議定書の目標達成に加えて、各自治体にとっても最終処分場の不足・リサイクルコスト負担・電気代などの処理エネルギーコストなどが厳しい課題となっており、下水汚泥の多様な資源化・エネルギー利用が求められている。このような状況から、誕生した LOTUS Project の概要及び提案技術について概説する。

キーワード: 下水汚泥, 資源化, 消化, メタン発酵, ガス発電

## 1. はじめに

下水道の様々な課題のうち特に重点的に技術開発を進めるべきテーマについて、産学官で短期的に研究開発・実用化を進める技術開発プロジェクト「SPIRIT21」が、国土交通省のリードにより平成 13 年度スタートした。SPIRIT21 の最初の課題である「合流式下水道の改善に関する技術開発」として 24 技術の研究開発が進められた。

平成 17 年 3 月 15 日、研究開発が進められていた最後の 1 技術が SPIRIT21 委員会において所定の性能を達成したと認められ、これにより 24 技術すべてについて実用化の研究開発が完了した。

2 番目のテーマとして、平成 15 年度に、「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)」が打ち出され、下水汚泥の有効利用促進のための「スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術」(以下「ZD 技術」という)の開発と、地球温暖化対策のために、バイオマスを利用して発電する「グリーン・スラッジ・エネルギー技術」(以下「GE 技術」という)の開発の2つが掲げられた。

## 2. LOTUS Project の概要

LOTUS Project の主な技術開発の経緯は以下のとおりである。

平成 15 年 12 月 技術公募

平成 16 年 9 月 開発目標(コスト)と評価方法の公表

平成 16 年 12 月 開発技術の選定

平成 17 年 9 月 開発研究計画の承認

平成 17 年 9 月以降 実証実験

LOTUS Project は、国土交通省が産官学の協力のもとに進める技術開発プロジェクト「SPIRIT21」の一環として行

われている研究開発プロジェクトで、下水汚泥を処分するより安く全量リサイクルできる技術(ZD 技術)及び下水汚泥などバイオマスを使って買電より安く発電できる技術(GE 技術)の開発を狙いとしている。提案技術は、ZD 技術が3技術、GE技術が3技術、両技術の一括開発が1技術の計7技術である。このうち ZD 技術の3技術、GE 技術の 2 技術が平成 18 年度末をもって評価を完了し、平成 19 年度以降実際の事業への導入が可能となった。

本稿では、LOTUS Project の 7 つの技術開発の内容を概説する。

## 3. 開発目標

### 3.1 ZD 技術

ZD 技術の開発目標は、以下のとおり設定している。

脱水汚泥: 16,000 円/t(現物量ベース)

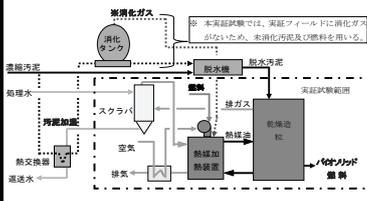
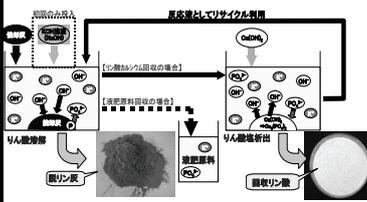
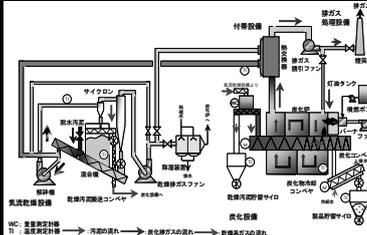
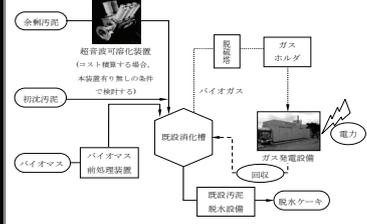
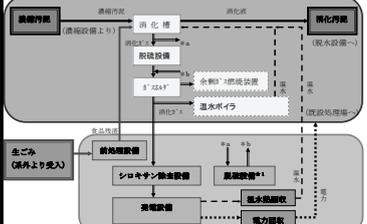
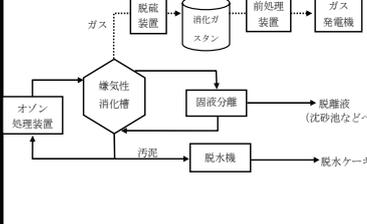
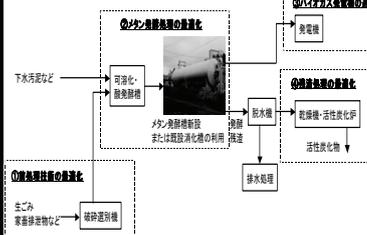
焼却灰: 8,000 円/t(現物量ベース)

評価にあたっては、処分価格の変動を考慮するものとする。(上記価格は平成 16 年度ベース)

### 3.2 GE 技術

GE 技術の開発目標は、対象処理場の契約種別に応じた全国年間平均電力料金(評価時の料金)以下とし、平成 17 年 10 月～平成 18 年 9 月の全国 10 社の単純平均電力料金は、高圧A10.84 円/kwh、高圧B9.32 円/kwh である。

Table 1 LOTUS Project 提案技術の概要

技術	No.	技術提案者名	技術名称	開発技術の概要	実証実験場所	概略フロー
ZD 技術	①	日立造船株式会社	下水汚泥のバイオソリッド燃料化	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てバイオソリッド燃料を製造する技術。	舞鶴市西浄化センター	
	②	日本ガイシ株式会社 岐阜市上下水道事業部	下水汚泥焼却灰からのりん回収技術	下水汚泥焼却灰にアルカリ性溶液を加えてりん酸を溶出させ液肥またはりん酸カルシウム塩として、高付加価値の肥料原料とする技術。	岐阜市北部プラント	
	③	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	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	脱水汚泥から活性炭化物を製造し、汚泥脱水助剤、汚泥改質剤又はゴミ焼却炉のダイオキシン吸着剤等とする技術。	<b>製造実証:</b> 七尾市 西部水質管理センター 木村製作所兵庫工場 <b>用途実証:</b> 松山市 北条浄化センター 綾部市西八田浄化センター (農集排)	
GE 技術	④	月島機械株式会社	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	下水汚泥を超音波可溶化するとともに、 その他バイオマスを受け入れて下水汚泥と合わせて消化し、 消化ガス発生量を増加させ発電する技術。	横浜市 南部汚泥資源化センター 猪名川流域下水道原田処理場	
	⑤	JFEエンジニアリング株式会社 アタカ大機株式会社 鹿島建設株式会社 ダイネン株式会社	低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム	その他バイオマスを受け入れて下水汚泥と合わせて消化し、 消化ガス発生量を増加させ発電する技術。生物脱硫設備の導入によるコスト低減等も検討	横浜市 南部汚泥資源化センター	
	⑥	日立プラントテクノロジー株式会社 栗田工業株式会社	消化促進による汚泥減量と消化ガス発電	下水消化汚泥をオゾン処理することにより消化を促進し、 汚泥の減量化を図るとともに消化ガス発生量を増加させ発電する技術。	十日町市下水処理センター	
両技術一括開発	⑦	カワサキ環境 エンジニアリング株式会社	湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム	その他バイオマスを受け入れて下水汚泥と合わせてメタン発酵・発電する技術及び発酵残渣から活性炭化物を製造し、 環境浄化剤とする技術。	ゼロディス実証 熊本市南部浄化センター 木村製作所兵庫工場  グリーン実証 熊本市南部浄化センター	

## 4. 技術評価完了技術の概要

### 4.1 下水汚泥のバイオソリッド燃料化

本技術は、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るバイオソリッド燃料を製造するものである。バイオソリッド燃料(Fig. 1)は、粒状で取り扱い性に優れ、石炭の代替燃料として利用することを想定しており、低位発熱量は消化汚泥由来のものが 14,023kJ/kg、消化汚泥由来のものが 18,793~19,591kJ/kg であり、石炭のほぼ 5~7 割程度の発熱量がある。

また、乾燥造粒装置から廃熱を回収するとともに、消化槽のある処理場では、消化ガスのエネルギーを熱媒加熱装置の加温に使い、運転コストを低減するとともに、バイオソリッド回収熱量よりも投入熱量を小さくなるような工夫をしている。

開発結果は、Fig. 2 に示す範囲において、50t-脱水汚泥の規模にて、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、開発目標を達成した。

### 4.2 下水汚泥焼却灰からのりん回収技術

本技術は、Fig. 3 に示すフローにより、下水汚泥焼却灰にアルカリ性溶液を加えてりん酸を溶出させ、高付加価値の肥料原料(液肥またはりん酸カルシウム塩(以下、りん酸塩))と脱りんされた焼却灰(以下、脱りん灰)を建設資材等原料として製品化しようとするものである。

また、焼却炉の廃熱を利用して、設備費と運転費の削減を図っている。

開発結果は、以下の条件により、Fig. 3 に示すコスト積算範囲において、りん酸塩回収の場合が 7,840 円/t、液肥原料回収の場合が 7,910 円/t となり、開発目標を達成した。

- ・焼却炉を有し、焼却灰発生量が 4t/日以上(下水処理量約 100,000m<sup>3</sup>規模以上)
- ・焼却灰りん含有量が P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>換算で 25%以上

焼却灰を本技術で処理することにより、土壤環境基準・土壤含有量基準を満たす脱りん灰となり、土壤にそのまま混入しても無害であり、土質改良材・アスファルトフィラー・下層路盤材として有効利用することが可能である。

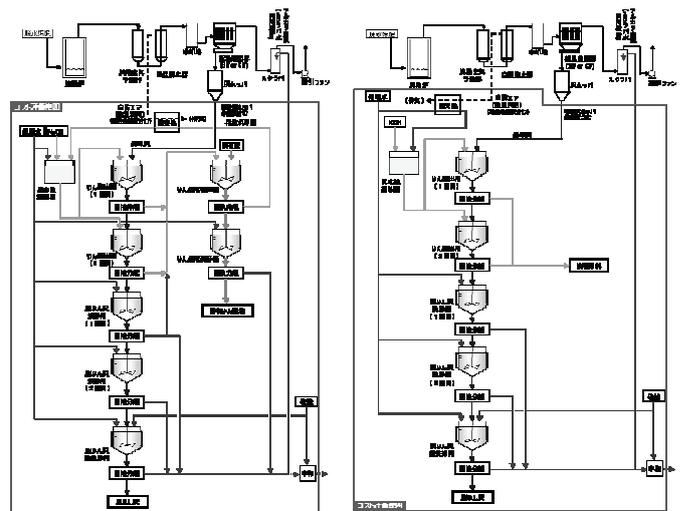


Fig. 3 概略フローとコスト積算範囲

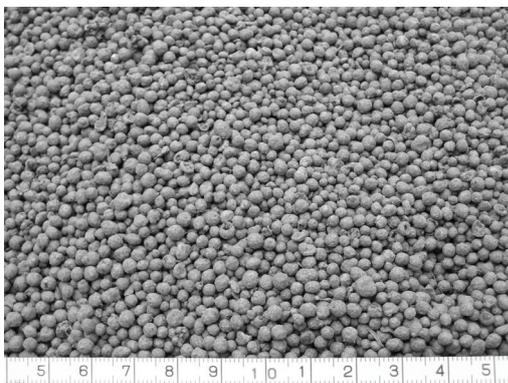


Fig. 1 バイオソリッド燃料製造例

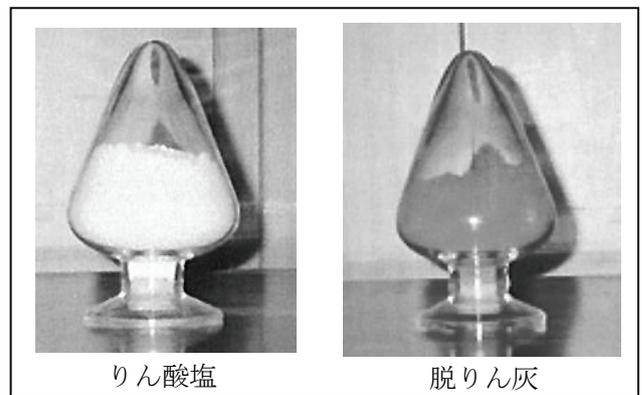
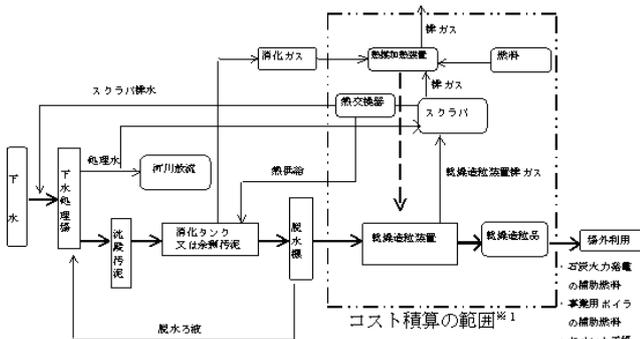


Fig. 4 りん酸塩と脱りん灰



※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。

Fig. 2 コスト積算範囲

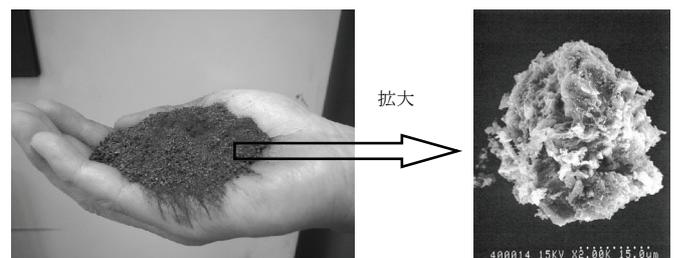


Fig. 5 活性炭化製品

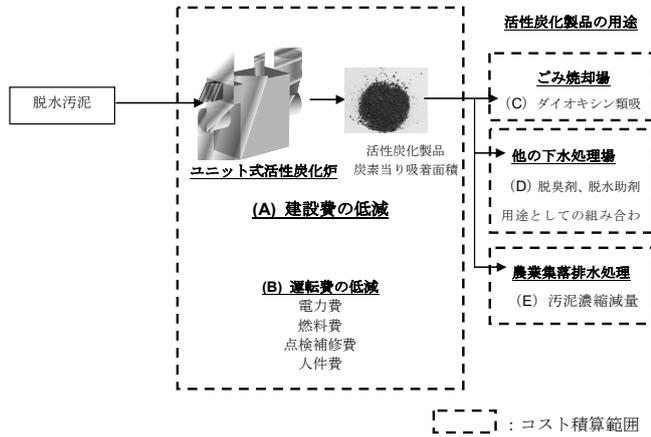


Fig. 6 コスト積算範囲

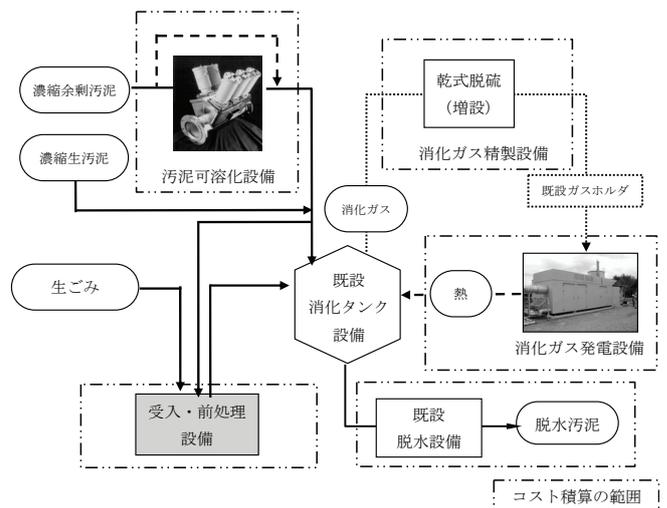


Fig. 7 コスト積算範囲

### 4.3 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

本技術は、脱水汚泥から Fig. 5 に示すような活性炭化製品を製造し、汚泥脱水助剤、汚泥改質助剤またはごみ焼却炉のダイオキシン類吸着剤等として有効利用する技術である。

また、設備をユニット化することにより、建設費を低減するとともに、インターネットを利用した遠隔操作により運転費の削減を図っている。

開発結果は、Fig. 6 に示す積算範囲において、処理水量 10,000m<sup>3</sup>/日程度の下水処理場において、14,000 円/t(消化ガス未利用)及び 10,700 円/t(消化ガス利用)となり、開発目標を達成した。

### 4.4 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

本技術は、下水処理場外からバイオマスを受け入れて下水汚泥と混合して消化し、消化ガス発生量を増加させて発電する技術である。また、対象とする下水処理場の規模に応じて、余剰汚泥を超音波可溶化装置により可溶化し、消化率を向上させ、ガス発生量を増加させる。

開発結果は、Fig. 7 に示すコスト積算範囲において、Table 2 に示すとおりであり、開発目標を達成した。

### 4.5 低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム

本技術は、外部のバイオマスを受け入れて下水汚泥と混合して消化し、消化ガス発生量を増加させて発電する技術である。

また、生物脱硫設備の導入によるコスト低減等も図っている。

開発結果は Fig. 8 に示すコスト積算範囲において、Table 3 に示すとおりであり、開発目標を達成した。

**Table 2 開発結果**

処理場規模	可溶化の有無	発電コスト (円/KWh)
42,000m <sup>3</sup> /日	なし	8.84
	あり	-
70,000m <sup>3</sup> /日	なし	8.78
	あり	9.26
130,000m <sup>3</sup> /日	なし	8.67
	あり	9.02
200,000m <sup>3</sup> /日	なし	8.27
	あり	8.06

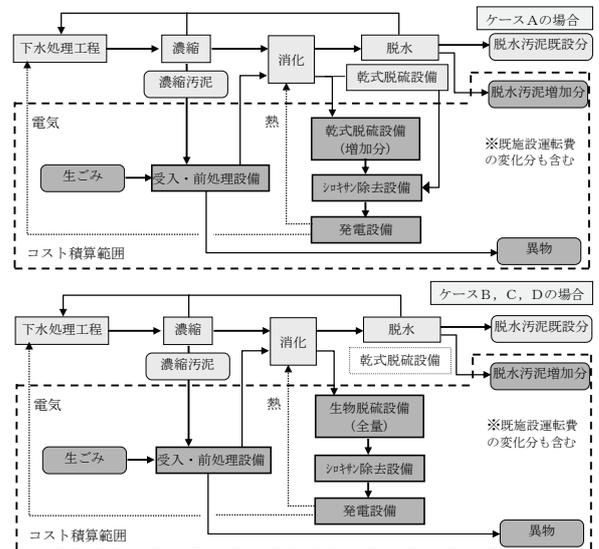


Fig. 8 コスト積算範囲

**Table 3 開発結果**

	処理場規模	ガス発電形式	脱硫方式	発電コスト (円/KWh)
ケース A	100,000m <sup>3</sup> /日	ガスエンジン	乾式脱硫	6.0
ケース B	100,000m <sup>3</sup> /日	ガスエンジン	生物脱硫	3.7
ケース C	50,000m <sup>3</sup> /日	ガスエンジン	生物脱硫	4.8
ケース D	20,000m <sup>3</sup> /日	マイクロガスタービン	生物脱硫	5.0

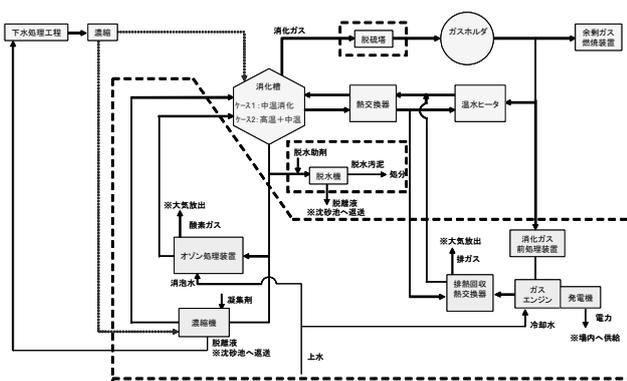


Fig. 9 コスト積算範囲(破線で囲んだ範囲)

Table 4 開発目標

	ZD技術	GE技術
ケース 1	8, 142円/t	0円/Kwh
ケース 2	14, 105円/t	3. 16円/Kwh

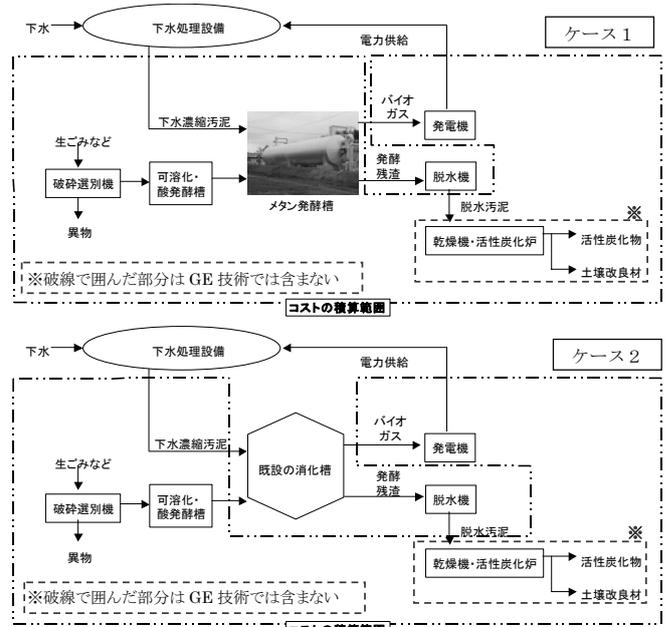


Fig. 10 コスト積算範囲

## 5. 技術評価継続技術の概要

### 5.1 消化促進による汚泥減量と消化ガス発電

本技術は、下水消化汚泥をオゾン処理することにより消化を促進して汚泥の減量化を図るとともに、消化ガス発生量を増加させて発電するものである。開発目標は、Fig. 9 に示すコスト算出範囲において、8.7 円/Kwh としている。

現在、十日町市下水処理センターにて、消化槽実設備(槽容量 1,800m<sup>3</sup>)とベンチスケール(1m<sup>3</sup>×2 槽)を用いて実証実験を行い、データを採取・整理しているところである。

### 5.2 湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム

本技術は、その他バイオマスを受け入れて下水汚泥と混合し、メタン発酵・発電する技術および発酵残渣から活性炭化物を製造し、環境浄化剤とする技術である。

開発目標は、消化槽がなくメタン発酵槽を新設する場合(ケース1)と既設消化槽を用いる場合(ケース 2)の 2 つを設定しており、流入下水量約 30000m<sup>3</sup>/日の下水処理場に生ごみを 15t/日を受け入れる条件において、Fig. 10 に示すコスト積算範囲で ZD 技術及び GE 技術を Table 4 に示す値に設定している。

現在、熊本市南部浄化センターにおいて、横型メタン発酵槽・縦型メタン発酵槽を用いた消化実験と脱水汚泥処理能力約 1t/日の活性炭化炉を用いた活性炭化製品製造実証実験を行い、データを採取・整理しているところである。

## 6. 今後の予定

平成 18 年度に技術評価を完了した 5 技術については、技術評価の内容をとりまとめた技術評価書を発刊し、今後、設計などを実施する際に参考となる技術資料を発刊する予定である。

また、技術評価継続中の 2 技術については、現在、鋭意実証実験を実施しているところであり、平成 19 年度内に技術評価を完了する予定である。