

第4回:「改良土型PFI事業におけるリスク配分とコスト管理 ～Value For Moneyを中心に～」

エクステンション講座:横浜市における下水道事業の民営化と経済・環境効果を考える!

2015年12月9日(水) 12:50～14:20

会場:さくらWORKS

主催:横浜市立大学地域貢献センター

後援:横浜市政策局

講師:大島 誠(横浜市立大学)

構成

構成

1. はじめに
2. 導入の背景
3. 改良土型PFI事業の事業概要
4. 実態と今後の改善点
5. リスク配分とコスト管理
6. むすびに

1. はじめに ①

課題

- ①横浜市(市)が下水道事業に係る改良土事業に「PFI方式」を適用した「横浜市下水道局改良土プラント増設・運営事業」(改良土型PFI事業)を分析。
- ②この方式の導入前に試算されそして1つの重要な指標であるVFM(Value For Money)の妥当性やリスクとそれを既定する事業契約書を検証。
- ③一連の検証ならびに分析を通じて、市の単なる1事業に留まることなく全国の地方公共団体に本方式導入の是非に関する一定の判断基準を与えることを試みる。

1. はじめに ②

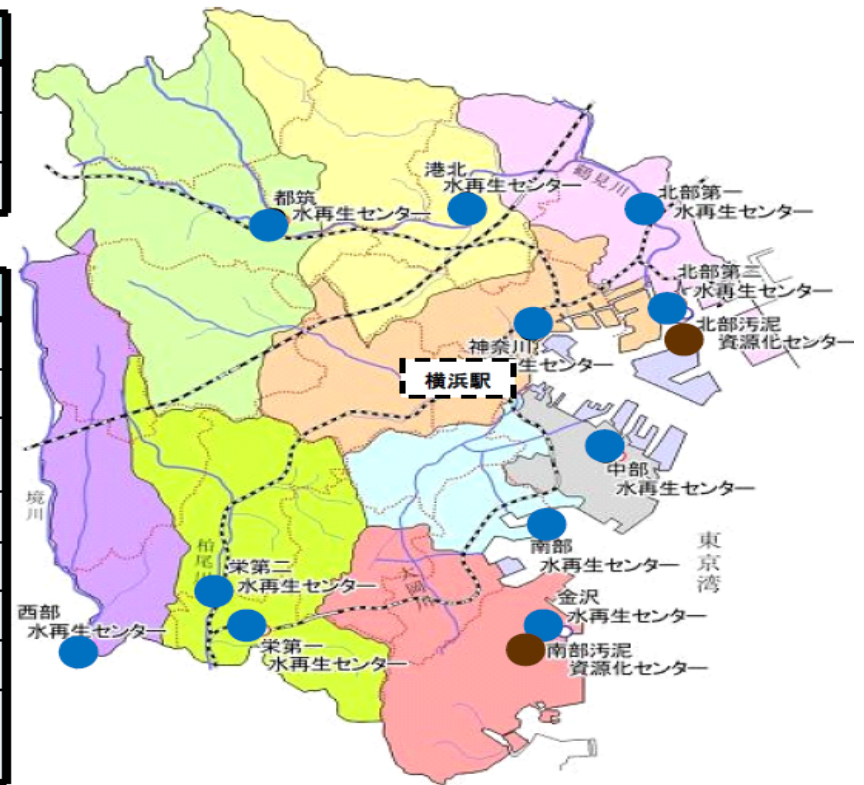
■ 横浜市の下水道の現状



下水道施設等の諸元

一般	数量／規模
人口	約370万人
行政区	18区
下水道普及率	99.7%

下水道施設	数量／規模
処理区	9
● 水再生センター (下水処理場)	11
● 汚泥資源化センター (各水再生センターで発生する汚泥を集約処理)	2
ポンプ場	26
管渠延長	約11,600 km
マンホール	約530,000
固定資産	約3兆2千億円
下水処理量	約5億8千万 m ³ /year (= 約160万 m ³ /day)



(平成23年度)

図. 1 横浜市の下水道の現状

出所: 横浜市環境創造局(2013)『下水道事業運営におけるPPP/PFIの活用方針について 資料3』p.3

1. はじめに ③

■ 下水道の資源・エネルギーの有効活用



図. 2 横浜市における下水道の資源・エネルギーの有効活用

出所:横浜市環境創造局(2015)『横浜市下水道事業「中期経営計画2014」(平成26-29年度)概要版』p.7

1. はじめに ④

<背景>

➤ 資源の有効活用(焼却灰量、毎年約1万5千t)、高い技術と民営化

・行政では難しく、プラントの増設ならびに運営の高度な技術の導入や焼却灰を再利用して製造する改良土の販売先の開拓を図るため、民営化手法の導入を検討。

・プラントの増設ならびに運営や焼却灰を再利用して製造する改良土の販売先の開拓そして循環型社会の形成を図るために民営化の手法を活用検討。

➤ 社会経済(財政)状況の変遷

・『新成長戦略』「21世紀の日本の復活に向けた21の国家戦略プロジェクト」「14.公共施設の民間開放と民間資金活用事業の推進」

・平成22年から平成32年度までの11年間で事業規模を約10兆円以上へ拡大。

➤ 市も中央政府と同様にPFI方式を含む民営化手法の導入

例)横浜市(2009)『共創推進の指針～共創による新たな公共づくりに向けて～』

横浜市(2012)『横浜市Private Finance Initiativeガイドライン 第6版』

横浜市環境創造局(2013)『下水道事業運営におけるPPP/PFIの活用方針について資料3』

横浜市政策局(2011)『横浜市PFI事業の概要について 資料2』

横浜市・みずほ証券株式会社(2011)『公共施設・インフラの改修、維持保全へのPPP(Public Private Partnership: 公民連携)』

1. はじめに ⑤

< 先行研究 >

- 市がこれまで実施してきたPFI事業をまとめた横浜市政策局(2011)
- 一連の改良土型PFI事業を取り上げた小浜(2003)、小菅(2004)、下村(2005)、渡邊(2004)、脇本(2003)、西山・小幡(2003)
- 市以外の他の地方公共団体の下水道PFI事業を井上・臼田(2010)、澤井(2008)、安田(2009)
- 特定の下水道事業に限定せず一般的な観点から石田(2007)、新井(2008)、山内(2003)で下水道PFI事業を導入する場合の論点整理や現状分析が展開

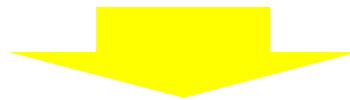
2. 導入の背景 ①

■ 取り組みの背景

- 平成元年度から稼働している改良土プラントにおける施設の老朽化
- 下水道工事から生じる建設発生土(改良土の原料)の減少やセメント利用等の限界が表面化



- 他方、下水汚泥焼却灰の100%有効利用の目標
- プラントの増設ならびに運営の高度な技術の導入や焼却灰を再利用して製造する改良土の販売先を図るため、民営化手法を検討



- 庁内・当時の下水道局局長のリーダーシップの下、実施を決定

2. 導入の背景 ②

■ 事業の経緯

年度	事項
平成13年度	内部検討開始
平成14年4月	事業の発案
平成14年9月	実施方針の公表
平成14年10月	特定事業の選定
平成15年3月	優先交渉者選定
平成15年6月	本契約
平成15年7月	改良土プラントの計画・設計・建設
平成15年内	施設の引き渡し、共用開始
平成16年1月	事業の実施
平成26年3月	事業の終了
平成31年3月まで(予定)	5年間の延長

表. 1 事業経緯

出所:横浜市(2002b)p.2およびp.3、国土交通省ホームページ(www.milt.go.jp 2013年12月8日閲覧)『改良土プラントのPFI事業化』p.26、横浜市ホームページ(www.city.yokohama.lg.jp/ 2014年4月17日閲覧)から筆者作成。

2. 導入の背景 ③

■PFI方式とは(仕様発注と性能発注の視点から)?

PFI (Private Finance Initiative)とは

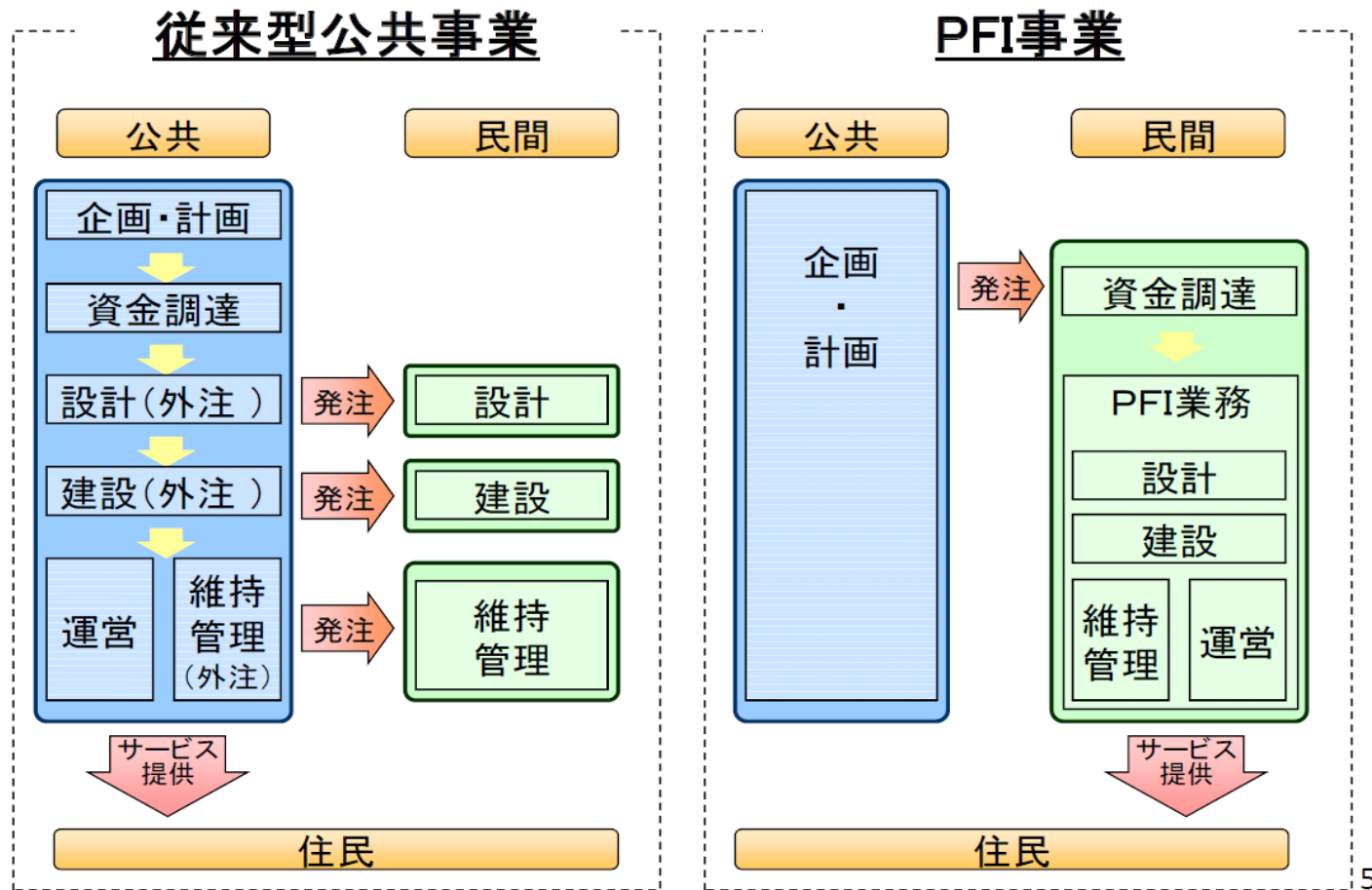


図. 3 従来型公共事業とPFI事業

出所: 内閣府民間資金等活用事業推進室(2011)『PFI法改正法に関する説明会』p.5

2. 導入の背景 ④

■VFMとは？

PFI (Private Finance Initiative) とは

VFM(Value For Money)

公共がサービスを直接提供するよりも、民間に委ねた方が効率的
＝同一水準のサービスをより安く 同一価格でより上質のサービスを

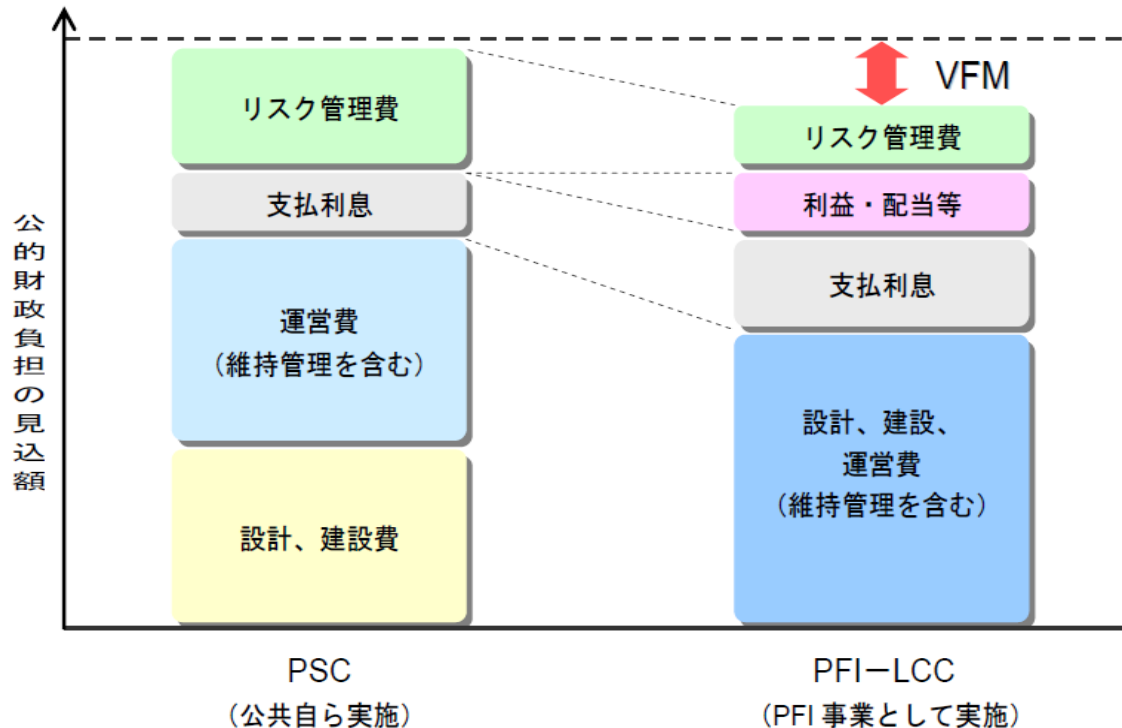


図. 4 PFI方式におけるVFMの構図

出所: 内閣府民間資金等活用事業推進室(2011)『PFI法改正法に関する説明会』p.6

2. 導入の背景 ⑤

■VFMの算定

	PFI方式	PSC(包括的民間委託方式)
共通条件	割引率 3.3% インフレ率 0.75% 焼却灰添加量 70DSkg/t 消費できなかった焼却灰のセメント原料への処分費19,000円/t	
焼却灰購入単価(円/t)	9,500	856,425
改良土生産量(m ³)	1,080,500	
焼却灰の購入量(t)	68,130	
焼却灰の支払額(千円)	669,136	
市の収入(千円)	(焼却灰販売収入等) 676,644	(改良土処理販売収入) 2,640,206
市の支出(千円)	(既存施設の減価償却 費等) 300,696	(施設増設・維持管理費等) 2,418,056
市の収支(千円)	375,949	222,151
市の収支(千円)(現在価値)	312,553	207,942
VFM(千円)	104,611	
業務委託方式との差額		
VFM(千円) (セメント原料化処分費を考慮)	239,833	

表. 2 VFMの算定
出所: 渡邊(2004)p.15

3. 改良土型PFI事業の事業概要 ①

■改良土型PFI事業の概要と事業方式

事業名	横浜市下水道局改良土プラント増設・運営事業
目的	下水汚泥焼却灰の一層の有効利用を図り、もって地球環境に配慮した循環型社会への貢献に資することおよび民間の資金、技術、経営ノウハウ等の活用による効率的な事業の推進を図ること。
事業範囲	(1)改良土プラントの増設に関する計画・設計・建設 (2)改良土プラントの運営 ア 市からの下水汚泥焼却灰の購入(有償) イ 改良土プラントの運転 ウ 市公共工事、公益工事、その他民間工事等における改良土処理・販売 エ 下水汚泥焼却灰を有効利用する改良土処理事業の一層の拡大 (3)改良土プラントの維持管理
担当課	環境創造局下水道施設管理課
事業形態・方式	独立採算型・BTO方式
事業収入	事業者は、改良土プラントの増設に関する計画、設計および現有施設を含めるすべての施設に関する維持管理、事業運営に要する費用を改良土料金収入により賄う。
事業期間	平成15年6月から同26年3月まで(平成31年3月まで延長予定)。
契約金額	414百万円
VFM	240百万円

表. 3 事業概要

出所:横浜市ホームページ(www.city.yokohama.lg.jp 平成26年3月24日閲覧)から筆者作成。

3. 改良土型PFI事業の事業概要 ②

■事業のフレームワーク

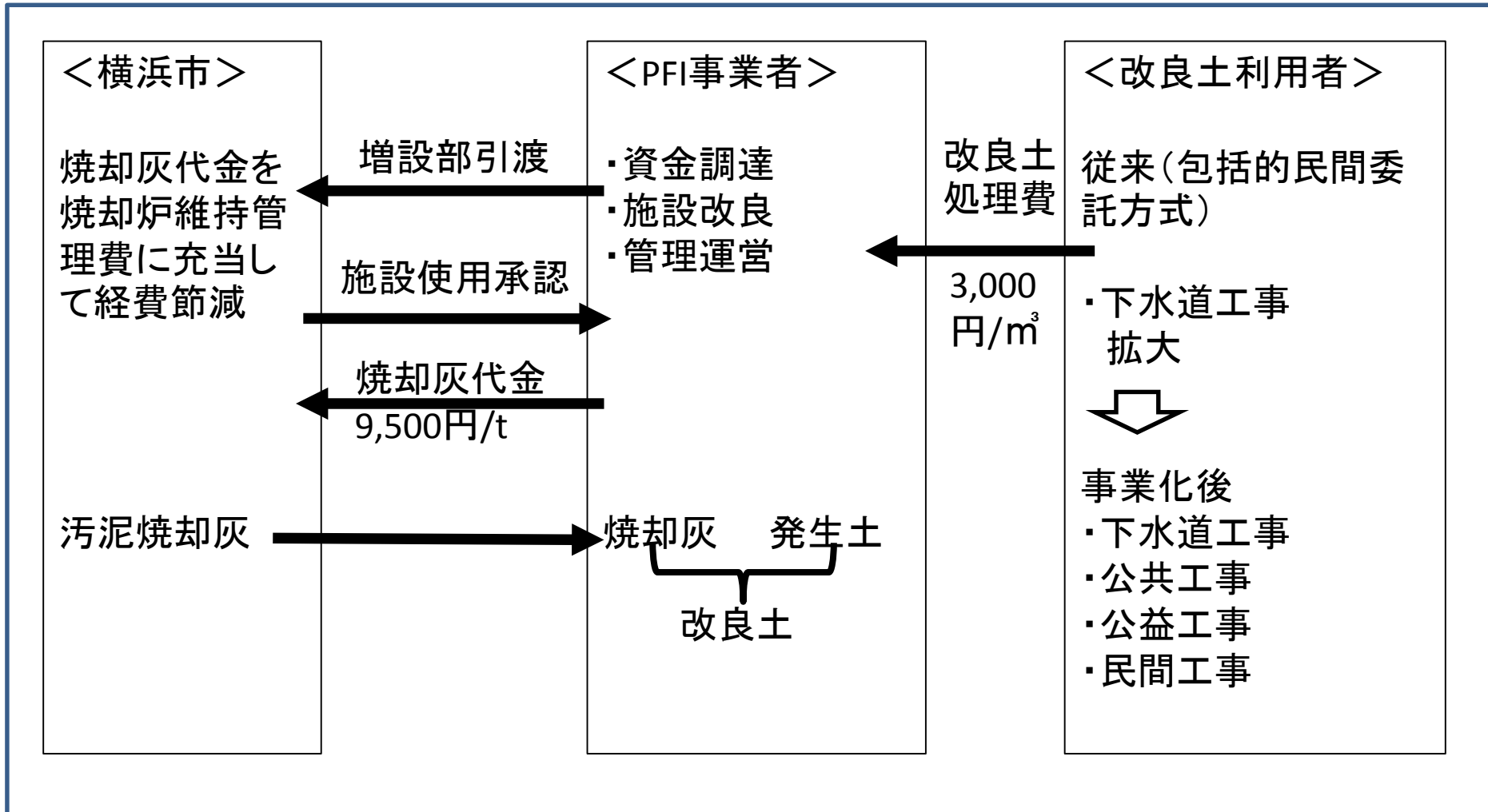


図. 5 事業のフレームワーク

出所:横浜市環境創造局(2013)p.15を引用

3. 改良土型PFI事業の事業概要 ③

■改良土プラント全景



図. 6 改良土プラント全景

出所:国土交通省ホームページ(www.milt.go.jp. 最終閲覧日2015年4月14日)横浜市環境創造局『改良土プラントのPFI事業化』p.5

3. 改良土型PFI事業の事業概要 ④

■ 下水道処理フロー



図. 7 下水道処理フロー

出所: 国土交通省ホームページ (www.milt.go.jp. 最終閲覧日2015年4月14日) 横浜市環境創造局『改良土プラントのPFI事業化』p.3

4. 実態と今後の改善点 ①

＜横浜市の評価＞

■PFI導入のメリット

- ①平成16年1月から順調に運営を続けている。
- ②運営業務の効率化につながる民間ノウハウが活用
- ③市職員の事務作業の負荷を削減

■PFI導入のデメリット

今のところ、特段のデメリットは見当たらない。

■当初の事業契約期間終了後も再度、延長

出所：内閣府ホームページ(www8.cao.go.jp 2015年4月16日閲覧)「事例4 横浜市下水道局改良土プラント増設・運営事業」

4. 実態と今後の改善点 ②

■VFMと損益計算書

単位:円

科目/事業年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度
売上高	352,211,980	374,704,660	483,658,550	352,611,000	250,722,900	261,456,300
売上原価 当期製品 製造原価	300,102,237	311,805,985	405,663,051	289,826,121	202,687,432	211,306,056
売上総利益	53,551,496	61,971,404	77,101,551	58,901,174	46,227,875	53,167,447
販売費および一 般管理費 主な科目	61,134,204	61,827,721	73,231,582	58,675,992	48,496,510	57,316,138
給与手当	12,290,646	12,751,221	14,188,400	11,233,061	11,056,687	17,069,121
販売手数料	40,356,930	43,386,930	52,820,190	41,075,460	32,067,180	33,436,890
営業利益	▲7,582,708	143,683	3,869,969	225,182	▲2,268,635	▲4,148,691
営業外収益	10,816,314	3,012,467	191,192	90,238	134,684	91,380
営業外費用	2,126,370	1,714,854	1,312,699	840,218	521,051	125,024
経常利益	1,107,236	1,441,296	2,748,462	▲524,798	▲2,655,002	▲4,182,335
当期純利益	927,236	353,896	2,748,462	▲524,798	▲2,805,002	▲4,362,335

表. 4 損益計算書

出所:大島(2014)p.8を引用

4. 実態と今後の改善点 ③

■改良土の販売先

- 事業者には焼却灰の有効利用と改良土の新たな販路先の拡大を期待
- しかしながら、平成16年度改良土出荷量(109,600m³)である販売先の内訳は下水道局46.4%、水道局42.2%、交通局8.2%、その他の局2.9%、民間0.4%であり公共工事が99.6%
- 本来、事業者が自ら市場を開拓しなければならないにもかかわらず、市が販路を確保していた。将来の改良土需要変動リスクを低減し事業の安定化に寄与しているという構図

4. 実態と今後の改善点 ④

■VFMと事業方式①

- 事業者と親会社の関係から、販売手数料は出資者である従前の事業者に支払われたと考えられる。コーポレート・ファイナンスの事業形態→名目的にはPFI方式であるが、実際はPFI方式ではない。
- BOT(Build Operate Transfer)方式では都市計画税や固定資産税等を半減。施設整備費への国庫補助金等の補助金が受けられない→本事業もBTO方式
- 事業者に従来型公共施設整備方式よりも高いサービス提供を求められるが、表.3の通り本事業は独立採算方式であり、事業者へそのインセンティブが生じない。

4. 実態と今後の改善点 ⑤

■ 関連事業のVFM

東京都	消化ガス発電	発電設備整備・運営	43%
横浜市	消化ガス発電	発電設備整備・運営	8.4%
	汚泥燃料化	汚泥燃料化施設整備・運営	20.8%
黒部市	消化ガス発電	バイオマス利活用施設整備・運営	15.1%
	汚泥燃料化		
大阪市	消化ガス発電	消化ガス発電設備整備・運営	18.2%
	汚泥燃料化	汚泥燃料化施設整備・運営	4.4%

表.6 下水道 PFI 事業の VFM

出所：国土交通省（2013）『下水道施設の運営における PPP/PFI の活用に関する検討会中間整理』 p.14 より引用。

■ 3つの留意点

- 1つは、VFMの単位が異なること。「%」ではなく「円」
- 仮に期待通りの成果を挙げたならば、市は他の施設の改良土事業はもちろん、関連施設にもこの方式を積極的に適用すべき
- 3つめは、他の地方公共団体の導入である。市で一定の効果を期待可能ならば、なぜ他の自治体でも導入しないのか

5. リスク配分とコスト管理 ①

■ 関連事業も含む維持運営段階リスク

リスクの種類	リスクの概要	改良土		一般的な場合		横浜市南部		大阪市平野	
		発注者	事業者	発注者	事業者	発注者	事業者	発注者	事業者
維持管理リスク	現有施設を含めた全施設の維持管理(用地内)		●		●		●		●
需要変動リスク	改良土需要が事業者が提案した計画を下回ることによるもの		●	●			●	●	
焼却灰引取量リスク	焼却灰の購入量が引き取り義務量を下回った場合		●		●	●		●	

表. 5 維持運段階におけるリスク分担表

出所: 大島(2014)p.12の一部抜粋

備考: 改良土・・・「横浜市下水道局改良土プラント増設・運営事業」

一般的な場合・・・杉本幸孝監(2006)において日本のPFI事業を体系化したリスク配分表に基づく。

横浜市南部・・・「横浜市南部汚泥資源化センター下水汚泥燃料化事業」

大阪市平野・・・「大阪市平野下水処理場汚泥固形燃焼化事業」

共通事項・建設段階における発注者と事業者のリスク配分はすべての事業でほぼ同一。

- 改良土事業・・・ハードおよびソフトの両事業に関するリスクのほとんどを事業者負担(共通事項、建設段階のリスク配分は、すべての事業でほぼ同様。)

→事業者のリスクテイクに対する追加的な支払いスキームが確立されていない。

5. リスク配分とコスト管理 ②

■リスクと事業方式①

- PFI方式では「リスクをもっともコントロールすることが可能な者がそのリスクを管理する」と定められている。
- しかしながら、実質的には先述したように事業者は市から所与の価格で焼却灰を一定量買い取らなければならないが、販売先の大半は市の部局である。また、各部局に対して改良土を積極的に使用するよう内部の規定を変更
- 発注者である市の立場からは改良土事業を包括的民間委託方式ではなくPFI方式で運営すればVFMを期待できる。他方、事業者の立場からはVFMではなく契約金額や追加的なサービスに対する追加的なサービス移転料の有無が設定されているかが重要

5. リスク配分とコスト管理 ③

■ 関連事業のリスク配分②

- 「運営型PFI事業」ではなく「施設整備型PFI事業」事業者の努力や創意工夫からリスクを軽減するインセンティブが作用したのではなく、市が事前にリスク削減の方策を準備し、それを事業者に実行させただけ

■ 事業契約と事業スキーム①

- 発注者が事業者にVFMを実現させる具体的な手段である事業契約書を対象
- 表.8を概観すると事業方式の大きな相違がある。改良土型PFI事業のみ独立採算型であり、他の事業はサービス購入型である。なお、増設や新設する施設に補助金を得るためにほとんどの事業でBTO方式

5. リスク配分とコスト管理 ④

■ 事業契約と事業スキーム②

①事業名	横浜市下水道局改良土プラント増設運営事業	横浜市南部汚泥資源化センター下水汚泥燃料化事業	横浜市環境創造局北部汚泥資源化センター消化ガス発電設備整備事業	大阪市平野下水処理場汚泥固形燃料化事業	豊川浄化センター汚泥処理施設等整備・運営事業	北総浄水場排水処理施設設備更新事業
②契約期間	平成15年6月～同26年3月	平成24年7月～同48年3月	平成20年8月～同42年3月	平成23年4月～同46年3月	平成26年12月～同48年3月	事業契約日～平成3年3月
③事業方式	独立採算型	・サービス購入型 ・燃料化物販売	サービス購入型	・サービス購入型 ・炭化燃料化物の販売	・サービス購入型 ・生成物の販売収入 ・補助金	サービス購入型
④支払いスキーム	独立採算性	・SPCの燃料化物販売 ・設計・建設・管理運営の対価 ・補助金	・設備の更新工事に伴う対価並びに電力及び温水供給 ・補助金	・SPCの炭化燃料物の販売収入 ・設計・建設・維持管理・運営に係る対価 ・補助金	汚泥処理施設 ・サービス購入型 ・バイオガス利活用施設 ・生成物の販売収入 ・サービス購入型	排水処理 ・設備更新等業務 ・維持管理運営業務 ・脱水ケーキの再生利用等に関する対価
<div style="border: 2px dashed red; padding: 5px; display: inline-block;"> イセンティブと支払いスキーム </div>						

5. リスク配分とコスト管理 ⑤

■ 事業契約と事業スキーム②

①事業名	横浜市下水道局改良土プラント増設運営事業	横浜市南部汚泥資源化センター下水汚泥燃料化事業	横浜市環境創造局北部汚泥資源化センター消化ガス発電設備整備事業	大阪市平野下水処理場汚泥固形燃料化事業	豊川浄化センター汚泥処理施設等整備・運営事業	北総浄水場排水処理施設設備更新事業
⑤事業形態	BTO方式	BTO方式	BTO方式	BTO方式	汚泥処理事業: RO方式 バイオガス利活用事業: BTO方式	BTO方式
<p style="color: red; border: 1px dashed red; padding: 5px;">補助金を得るためにBTO。事業者のリスク負担軽減、経営改善のインセンティブ低下。</p>						
⑥事業の特性・目標	<ul style="list-style-type: none"> 下水汚泥の焼却灰の有効活用 循環型社会への貢献 改良土を公共工事・公益工事及び民間工事等への販売 	<ul style="list-style-type: none"> 地球温暖化対策 資源の有効活用 市の代わりに燃料化施設の整備・運営 	<ul style="list-style-type: none"> 建設及び維持管理コストの低減 消化ガスの有効利用による環境負担の軽減 消化ガス発電設備の更新及び消化ガスを効率的に利用し、発電及び温水供給 	<ul style="list-style-type: none"> 炭化燃料物の全量有効利用 化石燃料の使用を減らし環境負荷の軽減 効率的で経済的また環境にやさしい施設の実現 汚泥固形燃料化設備の整備 	<ul style="list-style-type: none"> 消化層の再稼働 良好な水処理を維持 下水汚泥の安定的な処理 汚泥処理費の低減 温室効果ガス排出量の削減 	<ul style="list-style-type: none"> 設計及び更新等業務 排水処理全体の維持管理・運營業務 脱水ケーキの再生利用業務 上澄水の返送業務

5. リスク配分とコスト管理 ⑥

■ 事業契約と事業スキーム③

⑦運営に関するリスク負担者	需要変動リスク:SPC	管理運営の要求使用不適合リスク及び要求水準不適合による損害リスク:SPC	事業者の責めに帰すべき事由による電力及び温水の供給停止、供給能力の低下:SPC	条件不適合及び市の責めに帰すべき以外の維持管理費の増大:SPC	運営・維持管理費増大事業者の行う運営・維持管理業務の内容が要求水準を満たさなかった場合:SPC	排水処理・発生汚泥の費用、要求水準不適合、維持管理コスト増大リスク:SPC
⑧VFMの源泉	<ul style="list-style-type: none"> ・改良土利用量の推進 ・下水汚泥焼却の有効利用 ・市の事業リスクの低減 ・サービス水準の低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業の効率的な実施と最適なサービスの提供 ・長期安定的な有効利用先の確保 ・循環型社会の構築 ・リスク分担の明確化による安定した事業運営 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者と市のリスク分担 ・汚泥消化ガス及び処理水の効率的利用 ・事業者への一括発注による費用削減、最適な維持管理サービスの提供 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚泥固形燃料化設備の整備 ・石炭代替燃料の有効利用 ・化石燃料の使用を減らし環境負荷を軽減 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚泥処理事業及びバイオガス利活用事業の効率的実施 ・温室効果ガスの排出量の削減 ・一括、長期発注による効率的な運営 	財政資金の効率的活用
⑨事業分野	廃棄物処理施設	廃棄物処理施設	汚泥処理センター消化ガス発電設備	廃棄物処理施設	汚泥処理施設・バイオガス利活用施設	下水道施設

表. 6 下水道関連PFI事業における事業契約とリスク配分の比較

出所:大島(2014)pp.15-17の一部抜粋

6. むすびに ①

- 事業を概観すると維持管理や運営といったソフト事業は、市からの焼却灰の買い取りと改良土の製造そして市の各部局への販売といった一部の業務のみを事業者へ委託する民営化に留まっている。
- 施設整備に関するハード事業は施設の所有権は行政に、他方使用権は事業者へあり指定管理者制度と大差ない内容である。結果的に当初の導入の目的と異なりコスト削減に終始してしまった。
- 一方、この方式は市にとって大幅なリスク削減につながった点を指摘しなければならない。具体的には維持管理や運営といったソフト事業の大半のリスクを事業者へ転嫁することができた。しかしながら、改良土市場の拡大や販路の確保はほとんど市が準備していた。

6. むすびに ②

- VFMに関して事前・事業中・事後の網羅的な情報の収集および共有化が必要となる。第三者の独立した評価機関や事業の実施をサポートする等の公的な組織の設置である。
- 環境も配慮した「環境保全型VFM」を構築すべき。

【参考文献】

- 新井智明(2008)「下水道事業におけるPFI事業の現状」『再生と利用』Vol.32、No.121、pp.15－21.
- 石田直美(2007)「環境事業分野におけるPFIの動向と今後の展望」『環境技術』Vol.36、No.6、pp.387－393.
- 井上雅夫・臼田利之(2010)「大阪市の下水道事業におけるPFI手法の活用に向けた新たな取り組みについて～民間発案を活用した下水道資源有効利用事業の実施～」『新都市』Vol.64、No.5、pp.33－37.
- 大島誠(2014)「横浜市改良土型PFI事業における期待された効果と課題について－VFMとリスク配分を中心に」mimeo.p.23.
- 小浜一好(2003)「横浜市における改良土プラントのPFI事業化について」『月刊下水道』Vol.26、No.12、pp.16－19.
- 小菅博明(2004)「横浜市における改良土プラントPFI事業について」『再生と利用』Vol.27、No.104、pp.93－96.

【参考文献】

澤井幸次(2008)「大阪市における下水汚泥有効利用の現状と将来展望について」『再生と利用』Vol.31、No.118、pp.49－52.

下村八郎(2005)「横浜市における改良土プラントPFI事業」『下水道協会誌』Vol.42、No.517、pp.28－30.

杉本幸孝監(2006)『PFIの法務と実務』金融財政事情研究会

安田冬時(2009)「大阪市における下水汚泥有効利用の現状と将来展望について(その2)」『再生と利用』Vol.33、No.124、pp.48－51.

山内弘隆(2003)「公共事業における民間活力:PFIの事例」『下水道協会誌』Vol.40、No.489、pp.4－11.

【参考文献】

横浜市(2002a)『横浜市下水道局改良土プラント増設・運営事業 公募要項』

横浜市(2002b)『横浜市下水道局改良土プラント増設・運営事業 実施方針』

横浜市環境創造局(2013)『下水道事業運営におけるPPP/PFIの活用方針について資料3』

横浜市政策局(2011)『横浜市PFI事業の概要について 資料2』

脇本景(2003)「PFIによる改良土プラント事業への取組み—横浜市での下水汚泥焼却灰の有効利用—」『土木施工』44巻10号、pp.54—57.

渡邊聡(2004)「横浜市における改良土プラントのPFI事業化と経営上の意義」『月刊下水道』Vol.27、No.6、pp.11—16.

横浜市ホームページ(<http://www.city.yokohama.lg.jp/>.最終閲覧日.2015年4月8日)

ご静聴有難うございます。

【謝辞】

本研究は「JSPS科研費 研究課題番号15K13023」の研究助成を受けたものである。