松山圏域における下水汚泥共同処理事業の可能性調査

日本水工設計(株)　広島支社　○上野紘明
村上　広

本調査の対象である愛媛県松山市、伊予市、東温市、久万高原町、松前町、砥部町は、松山圏域を形成し、平成 28 年度には「まつやま圏域未来共創ビジョン」を策定している。この計画では、「汚泥の共同処理に係る調査研究」を具体的取組みの 1 つとしており、本調査では効率的な汚泥処理を行うため、松山圏域に適する下水汚泥の広域共同処理の可能性について検討を行った。具体的には、発生汚泥量の将来予測、輸送方法や処理方法の検討を行い、松山圏域の市町の各処理場から発生する汚泥を 1 つの処理場に集約し、民営方式による固形燃料化を行う方法を推奨案としてとりまとめた。

Key Words　：　下水汚泥、広域共同処理、民営方式、固形燃料化

1. はじめに

下水道事業では、人口減少や関係職員の減少が顕在化する中、持続可能な運営体制を確立するため、一層の広域化・共同化の推進が必要とされており、また、「水防法等の一部を改正する法律」の一部施行（平成 27 年 7 月 19 日）により、公共下水道管理者に対し、発生汚泥等を燃料又は肥料として再生利用するよう、努力義務を課すことが規定された。

このような状況を踏まえ、本調査の対象である愛媛県松山市、伊予市、東温市、久万高原町、松前町、砥部町の 3 市 3 町（位置は、図－1 参照）は、連携中枢都市圏（松山圏域）を形成し、平成 28 年度には「圏域全体の生活関連機能サービスの向上」などに取り組む『まつやま圏域未来共創ビジョン』を策定している。この計画では、「汚泥の共同処理に係る調査研究」を具体的取組みの 1 つとしており、本調査では効率的な汚泥処理を行うため、松山圏域に適する下水汚泥の広域共同処理の可能性について検討を行った。

図－1　松山圏域の市町及び処理場の位置

2. 中・長期的な下水汚泥共同処理方法の検討

各市町の発生汚泥量の将来予測等を基に、中・長期的（10 年程度・20～30 年）な下水汚泥の共同処理方法について検討した。

なお、本検討では、立地や運搬距離などの条件から松山市の西部浄化センターに他の 10 処理場から発生する下水汚泥を集約処理すると仮定した。

2.1. 汚泥輸送方法の検討

(1) 汚泥輸送方法の特性比較

下水汚泥の輸送方法として多く用いられている「トラック」、「バキューム車」、「移動脱水車」及び「送泥管」について、その特性を整理し、松山圏域への適合性（経済性除く）について比較した。（表－１参照）

その結果、「トラック」が最も適していると判断された。

表－１　汚泥輸送方法の比較

方法	トラック	バキューム車	移動脱水車	送泥管
概要	トラックを購入し、各市町の汚泥を収集し、集約処理場に搬入する。	バキューム車を購入し、各市町の汚泥を収集し、集約処理場に搬入する。	移動脱水車を購入し、各市町の汚泥を収集しながら脱水し、集約処理場又は最終処分場に搬入する。	各処理場に送泥ポンプを設置し、圧送管により集約処理場まで送泥する。
輸送する汚泥性状	脱水汚泥等の含水率が低い汚泥（固形性状汚泥）の運搬に用いる。	濃縮汚泥、未処理汚泥等の含水率が高い汚泥（液状汚泥）を対象とする。		
輸送対象汚泥量（対脱水汚泥）	1	約10倍前後		
運搬頻度車両台数	他の車両案より汚泥量が少なく、頻度・台数を抑制できる。	トラック案より頻度・台数が増大する。		常時大量の汚泥を輸送できる。
周辺環境への影響	現況とほぼ同様の輸送方法のため、現況から大きな変化はない。	臭気がトラック案より大きいため、現況より悪化する可能性がある。		建屋内のポンプと管渠で送泥するため、車両案より周辺への影響が少ない。
既存汚泥処理施設への影響	既存施設を活用することができる。	脱水機に関連する施設が不要となり、集約処理対象となる市町の償却処分等が必要となる。		
松山圏域下水汚泥共同処理への適合性	現況からの変更事項が少なく、最も適している。	現況からの変更事項が多く、また輸送量も増大するため、適していない。		
評価	◎	△	△	△

(2) 汚泥の性状を基にした汚泥輸送方法の費用比較

各市町の脱水機を「更新する案（ケース 1)」と「廃止する案（ケース 2)」の 2 ケースに分け、ケースごとの汚泥の性状を基に汚泥輸送方法の費用比較を行った。（表－２～３参照）

表－２　検討ケース

検討ケース	内容	汚泥の性状
ケース1	各処理場の脱水機を更新し、それぞれの処理場で脱水処理し、脱水汚泥を集約処理場に運搬する案	脱水汚泥
ケース2	各処理場の脱水機更新時期に脱水機を廃止し、バキューム車で濃縮汚泥を収集し、集約処理場で脱水施設を建設して脱水処理する案	濃縮汚泥

表－３　費用比較の結果

単位：百万円

項目	脱水施設		輸送		LCC
	年換算建設費 ①	年間維持管理費 ②	年換算購入費 ③	年間輸送費 ④	①+②+③+④
ケース1	62	71	3	25	161
ケース2	25	34	23	248	330

※年換算建設費：建設費を耐用年数で除した金額。
※年換算購入費：ケース1トラック、ケース2バキューム車の購入費を耐用年数で除した金額。
※LCC：建設費を耐用年数で除した金額と年間維持管理費の合計値。

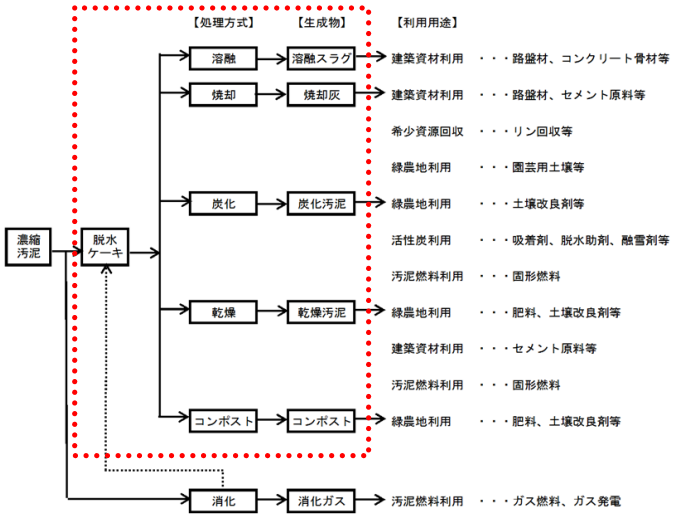
《結果》
汚泥の輸送は、ケース１の脱水汚泥の方（トラック輸送）が LCC が安く、適している。

2.2. 汚泥共同処理方法の検討

(1) 汚泥共同処理方法の特性比較

汚泥の処理方法については、前項で整理した汚泥の運搬方法を考慮し、「脱水汚泥」を収集することを前提に検討した。

本検討では、図－２の点線内の処理方法を「①焼却→焼却灰」、「②コンポストまたは乾燥→肥料」、「③炭化または乾燥→固形燃料」、「④溶融→溶融スラグ」に区分して比較した。その結果を表－４に示す。

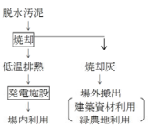
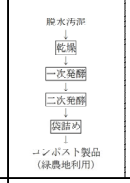
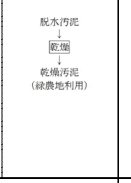
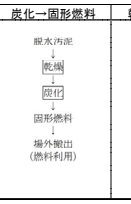
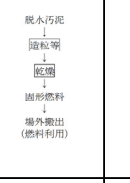
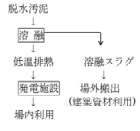


図－２　汚泥の処理方法

表－４の経済性を除く比較検討の結果、「①焼却→焼却灰」が最も現実的な案と判断され、次いで「③炭化または乾燥→固形燃料」、「②コンポストまたは乾燥→肥料」の順となった。「④溶融→溶融スラグ」については、平成 29 年 9 月 15 日に国土交通省より通知された「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」において、「溶融炉の設置・改築は、溶融による有害物質の封じ込めなど特段の理由がある場合に限り交付対象とする」とされていることから、国の交付金を受けられない可能性が高く、採用が難しいと考えられる。

以上の事項を踏まえ、「④溶融→溶融スラグ」を除く 3 案について、次項で費用比較を行った。

表－４　下水汚泥処理方法の比較

項目		①焼却→焼却灰	②コンポストまたは乾燥→肥料		③炭化または乾燥→固形燃料		④溶融→溶融スラグ
概要		処理場において脱水汚泥を焼却処分する。低温排熱利用にて発電し、発電した電気を場内に利用する。発生する焼却灰は建築資材、緑農地利用として利用可能。	処理場において脱水汚泥をコンポストまたは乾燥処理にて堆肥化させ、肥料等を緑農地利用する。		処理場において脱水汚泥を炭化または乾燥処理し、固形燃料として利用する。		処理場において脱水汚泥を溶融、減量化する。低温排熱利用にて発電し、発電した電気を場内に利用する。発生する溶融スラグは建築資材として利用可能。
製造フロー			コンポスト 	乾燥→肥料 	炭化→固形燃料 	乾燥→固形燃料 	
全国の実績と技術的安定性		・実績は多く、技術的安定性に問題はない。 ・近年の実績数は横ばいである。 ・松山市西部浄化センターで採用されている。 ◎	・実績は多く、技術的安定性に問題はない。 ・近年の実績数は減少傾向にある。 ○		・現時点の実績は少ないが、公的機関との共同研究、評価等に基づく技術導入が行われており、安定性に問題はない。 ・近年の実績数は増加傾向である。 ・松山市の西部浄化センターでも乾燥→固形燃料技術の実証実験で採用されている。 ○		・実績は多くあるが、今後の新設は減少する見込み。 ・溶融炉の設置・改築は、有害物質の封じ込めなどの特段の理由がある場合に限り交付対象とする。（平成29年9月15日付 国土交通省 通知） → 設置に対する補助対象が限定的。 △
製品の需要と安定性等	有効利用用途	・セメント原料、土壌改良材、路盤材等への利用が行われるケースが多い。 ・松山市では、リン含有量の関係から埋め立て処分を行っている。 ・焼却灰からリンを回収して緑農地へ還元することも可能である。（但し、事業採算性の課題がある。） △	・肥料として利用するため、下水汚泥の8割以上を占める有機分を有効利用できる。 ◎		・火力発電等の燃料として利用するため、下水汚泥の8割以上を占める有機分を有効利用できる。 ・肥料としても利用可能である。 ◎		・コンクリート骨材、路盤材、タイル等に利用する。 ○
	製品品質	－	・肥料取締法等関連法令に基づく、品質管理が必要である。 ・下水汚泥に重金属等が混入するリスクがあるため、下水汚泥の品質管理が必要である。 △		・燃料の利用先で要求する品質を確保する必要がある。 ○		・ガラス質で強度が小さくもろいものが多いため、ハンドリング性に課題が残る。 △
	需要	－	・我が国の農業の衰退に伴い、今後の需要減が懸念される。 △		・固形燃料を長期間、安定的に引き取り、利用する企業の有無等を調査する必要がある。 △		・建築資材は公共事業での需要が見込まれるが、減少傾向に向うものと考えられるため、需要先の確保に努力が必要と考えられる。 △
周辺環境（臭気対策）		・焼却灰に臭気はほぼなく、周辺環境に配慮した、臭気対策を行うことで対応できる。 ◎	・コンポストの場合、最終製品も臭気を発するため、製造過程だけでなく、製品保管の際も臭気対策が必要である。 △		・炭化汚泥の場合、臭気が低減された製品に改質されている。 ・乾燥汚泥の場合、最終製品も臭気が残るため、保管、輸送や利用先においても臭気対策が必要となる。 ○		・溶融スラグに臭気はほぼなく、周辺環境に配慮した、臭気対策を行うことで対応できる。 ◎
省エネルギー温暖化対策		・約850℃の高温で焼却するため、エネルギー消費が大きく、温室効果ガスの発生量が多い。 ・排熱回収を行うことで温室効果ガス発生量を低減できるが、エネルギー回収を行う固形燃料利用と比べると多い。 △	・焼却に比べ、エネルギー消費が少ない。 ・製造時の発酵により温室効果ガスが発生するものの、汚泥（炭素系）由来であるため、カーボンニュートラルである（CO2が循環する）。 ◎		・固形燃料による火力発電等も含めて考えた場合、温室効果ガスの発生量を低減できるため、有効利用の形態として望ましい。 ・下水道事業としては、現状よりも温室効果ガス発生量は多くなる。 ○		・約1300℃の高温で溶融するため、エネルギー消費が大きく、温室効果ガスの発生量が多い。 △
将来性		・エネルギー消費が大きいが、全国の有効利用している下水汚泥の約6割を占める技術であり、今後も安定して採用される技術であると考えられる。 ◎	・有効利用の形態では望ましい技術であるが、農業の衰退による需要量の減少が懸念されるため、今後の採用は減少すると考えられる。 △		・有効利用の形態では望ましい技術である。また、国としても固形燃料化によるエネルギー利用を推進しており、今後採用が増加すると考えられる技術である。 ◎		・エネルギー消費が大きく、有害物質対策等が前提で、採用における課題は大きい技術であると考えられる。 △
松山圏域への適合性		・松山市で採用している技術で、既存施設の活用も可能と考えられることから、当面の処理方法としては現実的な案である。 ・関連市町の汚泥全量を松山市の西部浄化センターに投入する場合には、既存焼却施設の能力を超過するため、施設の増設が必要。 ・汚泥の有効利用の観点からは、焼却灰を有効利用する業者の選定が課題となる。 ◎	・採用事例が多く、汚泥を循環利用（緑農地利用）するため、有効利用の形態では望ましい案である。 ・長期的な需要先の確保が課題となる。 ・臭気対策を考慮した設置場所の選定が課題となる。 ・工場排水を受入れている市町が多いため、重金属等の混入に対するリスク管理が必要である。 △		・松山市の実証実験では、現時点まで大きな問題は発生していない。 ・長期的に燃料を利用する企業等を選定する必要がある。（松山市の実証実験では、固形燃料を処理場内の焼却燃料として使用） ○		・国の交付金対象事業の要件も厳しくなり、現時点での採用は難しいと考えられる。 ×

(2) 汚泥共同処理方法の費用比較

費用比較の結果を表－５に示す。

表－５　費用比較の結果

項目			焼却	堆肥化		固形燃料化		一般値
				コンポスト	乾燥	炭化	乾燥	
輸送	トラック購入費　（百万円）	①	20	20	20	20	20	
	トラック年価　（百万円/年）	②=①/耐用年数	2	2	2	2	2	
	維持・輸送費　（百万円/年）	③	32	32	32	32	32	
	輸送年価　（百万円/年）	④=②+③	34	34	34	34	34	
処理施設	建設費　（百万円）	⑤	1,853	1,121	1,835	1,759	1,204	
	建設費年価　（百万円/年）	⑥=⑤/耐用年数	89	56	79	88	60	
	維持管理費　（百万円/年）	⑦	303	195	154	297	276	
	処理年価　（百万円/年）	⑧=⑥+⑦	392	251	233	385	336	
計	LCC　（百万円/年）	⑨=④+⑧	426	285	267	419	370	
	処理単価　（千円/t）	⑩=⑨/年間処理量	14	9	9	14	12	15～20

《結果》
経済性の観点からは、堆肥化（コンポストまたは乾燥）が最も有利となった。

各案の処理単価には、堆肥化、固形燃料化等の販売による収入を計上していないことを勘案すると、汚泥処分費の一般値（15～20 千円/t）と比較して共同処理による経済的効果が十分に期待される結果となった。

しかし、どの処理方法も長期的・安定的な受け入れ企業（需要先）等の確保が課題となる。そのため、次項で民間活力の導入も踏まえた建設・運営方針を検討する。

2.3. 汚泥共同処理施設の建設・運営方式の検討

松山圏域下水汚泥の共同処理施設の建設・運営方式について、民間活力の導入も踏まえた比較を行った。建設・運営方式については、次の 2 案とした。

○直営：共同処理施設を設置する位置の市町が事業主体となり、建設・運営を行う。
○外部委託（DBO、PFI 等）：共同処理施設の建設・運営を市町と民間企業が連携して行う。

これらの方式と先に整理した汚泥処理方法等との組み合わせにより、共同処理施設の建設・運営について比較した結果を表－６に示す。

表－６　汚泥共同処理施設の建設・運営方式の比較

処理方法	方式	松山圏域への適合性	評価
焼却	直営	・松山市西部浄化センターで現在実施している処理の拡張である。 ・焼却灰の有効利用先の確保が必要である。 ・有効利用のためには、松山市西部浄化センターで確認されている焼却灰へのリン含有量の問題への対策が必要である。	○
	DBO、PFI等	・民営方式実施に向けた評価・準備作業の期間が必要となる。 ・運営も含めた契約を行えば、最終処分先の確保・処分単価等の調整は民間側の創意・工夫に委ねることができる。 ・運営も含めた長期契約が可能な場合には、直営方式より経営の安定化を図ることができる。 ・有効利用のためには、松山市西部浄化センターで確認されている焼却灰へのリン含有量の問題への対策が必要である。	○
堆肥化 （コンポスト化・乾燥）	直営	・堆肥化施設は、臭気が強いため、周辺環境への影響が懸念される。 ・臭気の影響の他に、堆肥の将来的な需要減が考えられ、事業の継続性の観点から課題が残る。	△
	DBO、PFI等	・堆肥化施設は、臭気が強いため、周辺環境への影響が懸念される。 ・運営も含めた長期契約が可能な場合には、需要先の確保の課題は直営方式より緩和される。ただし、臭気の影響の問題は残される。	△
固形燃料化 （乾燥・炭化）	直営	・松山市西部浄化センターで現在実施している処理の拡張である。 ・松山市西部浄化センターの固形燃料は、場内利用しているが、共同処理による固形燃料の増加により、外部で安定的な需要先を確保する必要がある。	○
	DBO、PFI等	・民営方式実施に向けた評価・準備作業の期間が必要となる。 ・運営も含めた契約を行えば、最終処分先の確保・処分単価等の調整は民間側の創意・工夫に委ねることができる。 ・運営も含めた長期契約が可能な場合には、直営方式より経営の安定化を図ることができる。	◎

《結果》
固形燃料化を外部委託し、民間が建設・運営を行う方法が最も適している。

3. まとめ

以上の各種検討結果を踏まえ、松山圏域の中・長期的な下水汚泥共同処理について考察すると、以下のとおりとなる。

《結果》

○経済性を考慮すると、堆肥化（コンポストまたは乾燥）が有利となる。（処理単価：約 9 千円/t）

○堆肥化以外の処理方法（固形燃料化、焼却）については、ほぼ同等の処理単価（約 12～14 千円/ｔ）となっており、有効利用等に関する収入が確保されれば、一般的な汚泥処分費（約 15～20 千円/ｔ）より経済的になると想定される。

○長期的な需要先確保の観点からは、固形燃料化を民営方式（DBO、PFI 等）で行うことが適している。

《課題》

○堆肥化については、長期的な安定供給先の確保（脱水汚泥ベースで現況約 11m^3/日の堆肥化を約 85m^3/日まで増加する）及び臭気による環境の悪化対策が課題となる。

○固形燃料化については、需要先の確保が課題となる。

○焼却については、松山市西部浄化センターの現有処理プロセスを活用でき、現実的な方法であるが、焼却灰の有効活用（建設資材、緑農地利用）先の確保が課題となり、困難な場合には、算定した金額に民間委託による処分費が加算される。

○民営方式（DBO、PFI 等）の導入については、四国での採用事例がないため、候補企業選定に関する市場調査等が必要である。

《結論》※推奨案

○中・長期的な対策として、松山圏域の汚泥を集約し、西部浄化センターにて固形燃料化を行う。

○運営方式は、市場調査等を行った上で、民営方式（DBO・PFI 等）を導入する。