

下水道施設からの有用物回収技術 に関する基礎調査

1. 調査目的

下水道システムで扱われる下水・下水汚泥等には、多くの有用な物質が含まれていることが考えられる。これらの有用物を回収することは、資源のリサイクルとなり、さらには処理水や汚泥の性状を改善することにもつながる。

本調査は、平成4年度より開始し、平成4年度には

- ・下水道システムにおいて活用可能な資源・エネルギーの整理と分類
- ・下水及び下水汚泥に含有される有用物の種類、存在量、存在形態等に係る調査
- ・下水及び下水汚泥に含有される有用物回収技術の現状把握と有用資源の回収に関する技術資料の収集、整理、分析

について行った。しかし、既往の調査や資料において、資源回収という視点からの下水、下水汚泥の成分把握はほとんど行われていないのが実態であった。

従って、本年度の調査では、

- ・下水及び下水汚泥に含まれていて有用と考えられる物質についての含有量の把握
- ・社会的背景や時代のニーズを考慮した、存在物質の資源としての有用性と経済性からの回収する物質とその優先順位の選定

を中心に基礎調査を行い、さらには、

- ・選定された有用物の回収技術について、他の分野での技術面の調査と適用性の検討

等について検討した。

2. 調査内容

2.1 下水処理場における実態調査

2.2.1 実態調査の内容

実態調査は、家庭排水を中心に受け入れる現有処理能力40万 m^3 /日の東京都葛西処理場の表1に示す下水及び下水汚泥を対象として行い、表2の物質について行った。

表1 調査対象の下水及び下水汚泥

調査対象試料		調査物質	
		有機物	無機物
下水	流入下水	○	○
	一次処理水	○	○
	汚泥返流水	○	○
	二次処理水	×	○
下水汚泥	初沈汚泥	○	△
	余剰汚泥	○	△
	濃縮汚泥	○	△
	脱水汚泥	○	△
	焼却灰	×	○

○…定量調査 △…定性調査 ×調査無し

表2 実態調査の物質

有機物	炭水化物（単糖・少糖類、分解性多糖類、デンプン、セルロース、グルクロン酸、難分解性多糖類）
	蛋白質物質（蛋白質物質、アミノ酸 遊離アミノ酸組成、蛋白質構成アミノ酸組成）
無機物	脂質（脂肪酸、遊離脂肪醇、有機酸、有機酸組成、フィチン酸、ビタミンB ₁ 、ビタミンB ₁₂ 、パントテン酸、エタノール、ポリビニルアルコール、インドール酢酸）
	* Li, * Na, * K, Rb, Cs, * Be, * Mg, * Ca, * Sr, * Ba, * Y, * Ti, * Zr, Hf, * V, * Nb, * Ta, * Cr, * Mo, * W, * Mn, Re, * Fe, Ru, * Co, * Rh, * Ir, * Ni, * Pd, * Pt, * Cu, * Ag, * Au, * Zn, * Cd, Hg, * B, * Al, Ga, In, * Tl, * Si, Ge, * Sn, * Pb, N, * P, * As, * Sb, * Bi, * S, * Se, * Te, F, Cl, * La, * Ce, CN, NH ₄ -N

*は、定性分析を行った物質

2. 1. 2 実態調査の結果

(1) 有機物質

有機物質の主な成分組成の結果を図1に示した。

全体的な傾向として、

- ・流入下水は、多種多様の物質が含まれるが、最初沈殿池での重力沈殿処理の結果、一次処理水は高分子系の物質（多糖類、蛋白質、高級脂肪酸）が減少する。
- ・汚泥返流水は固形物の量が多く相対的な含有量は多いが、他の下水と比べると相対的に低分子系の物質（単糖・少糖類、アミノ酸）が多かった。
- ・初沈汚泥は、家庭排水由来の分解性多糖類、高級脂肪酸が多かった。
- ・余剰汚泥は、微生物由来の蛋白質の多い汚泥であり、微生物の分解生成物であると想定される難分解性多糖類、結合脂肪酸が他の汚泥と比較して相対的に多かった。
- ・濃縮汚泥と脱水汚泥は、初沈と余剰の混合の組成を示し、濃縮汚泥は濃縮槽での貯留によるも

のと思われる有機酸等が多い傾向にあった。脱水汚泥の高分子凝集剤の添加の影響としては、難分解性多糖類の相対的な含有量が多い他は顕著な傾向は見られなかった。

個々の有機物質の濃度はいずれも微量であるが、有用物回収の視点からみると、回収対象物質としては微量でも付加価値の高い物質か、セルロースや蛋白質のように含有率が高く付加価値の高い物質の原料となる物質が選択される。

蛋白質は加水分解によるアミノ酸の回収が考えられる物質で、分解後のアミノ酸の組成を図2に示した。下水では汚泥返流水、汚泥では余剰汚泥が比較的濃度が高い。

微量でも付加価値の高い物質として、ビタミン類があるが、図3にビタミン類の調査結果を示した。ビタミンB₁₂は、全ての試料より検出され、特に余剰汚泥での含有量が多かった。

(2) 無機物質

無機物質は、個別元素基準での実態調査を行った。含有量の多い物質（下水 1 mg / ℓ 以上、焼却

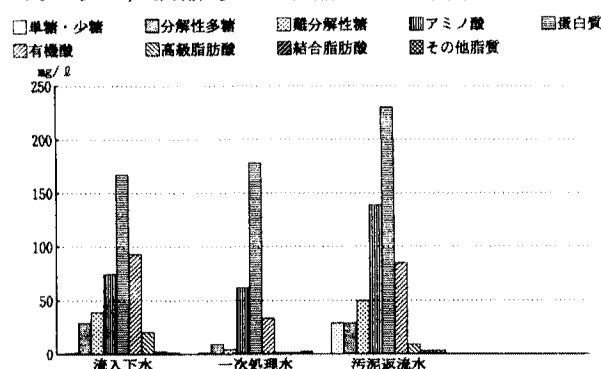


図1 主な有機物質の組成比較図

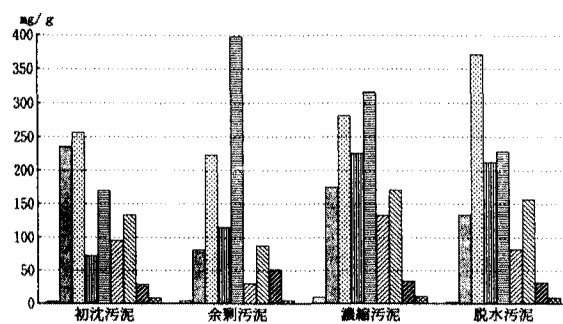


図2 蛋白質構成アミノ酸の組成の比較

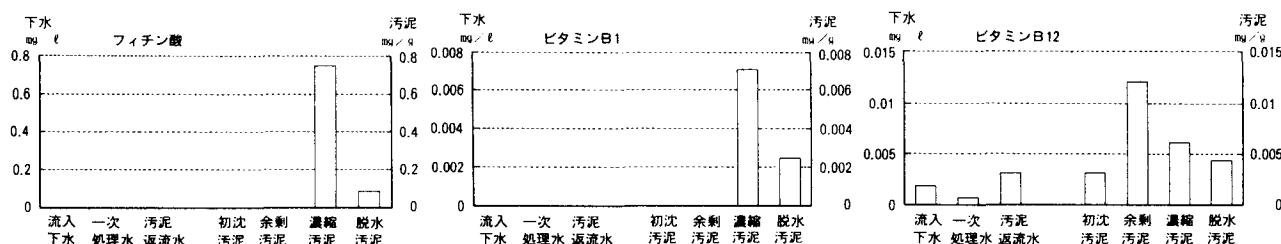


図3 ビタミン類の含有量の比較

灰1000mg/kg以上)を図4に示した。下水処理過程を考慮した無機物の含有量の特性は、以下のよう
にまとめられる。

- 最初沈殿池で沈殿分離される物質
ケイ素 (Si), アルミニウム (Al), 鉄 (Fe), 亜鉛 (Zn), バリウム (Ba), ニッケル (Ni), クロム (Cr), 銅 (Cu), ヒ素 (As)
- エアレーションタンク又は最終沈殿池で除去される物質
リン (P), アルミニウム (Al), 鉄 (Fe), 亜鉛 (Zn), マンガン (Mn), バリウム (Ba)
- イオンとして存在し、処理されない物質
塩素 (Cl), ナトリウム (Na), カルシウム (Ca), マグネシウム (Mg), カリウム (K),

イオウ (S), フッ素 (F), ホウ素 (B)、ストロンチウム (Sr)

なお、カドミウム、水銀、セレン、シアンなどの人の健康の保護に関する環境基準項目は、今回の調査では下水試料では検出されなかった。

有用物回収の視点から微量でも付加価値の高い無機物として図5に検出されたレアメタルを濃度の高い物質から順に並べて比較した。焼却灰からは19種のレアメタルが検出された。

2.2 回収対象物質の選定

有用物回収における物質の絞り込みは、図6に示す方針で行い、実態調査の結果、表3に示す物質が選定された。

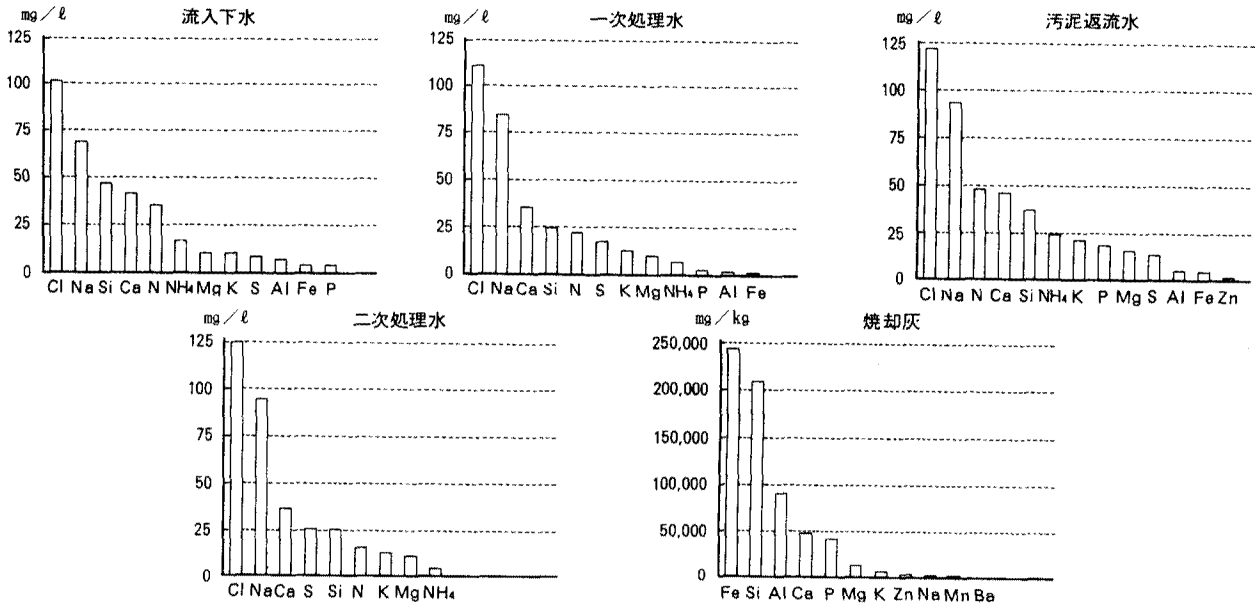


図4 含有量の多い無機物質の比較

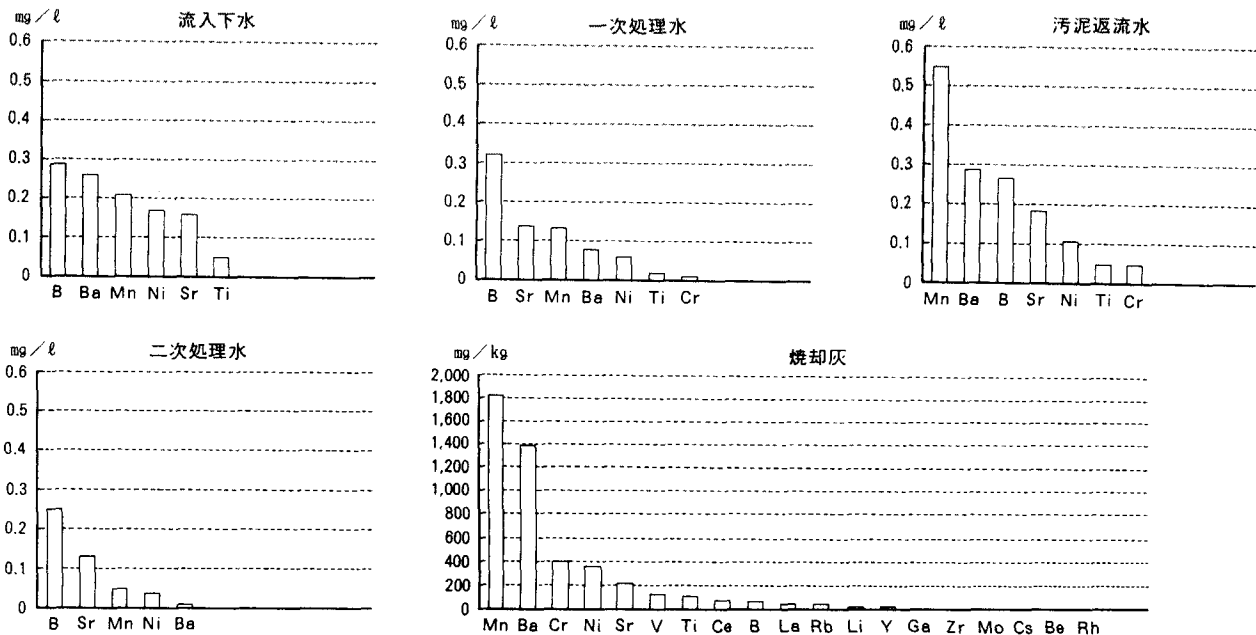


図5 検出されたレアメタル元素

下水道分野における過去の回収研究事例やその後の研究経過等を参考に、本調査で回収技術を検討する物質として以下を選定した。

- ① 下水からのビタミンの回収
 - …… 過去の研究事例が少なく、又事例があっても年代が古く現状技術での検討が必要。
- ② 焼却灰からの含有量の多いコモンメタルの回収
 - …… レアメタルと同時回収での検討。
- ③ 焼却灰からのリンの回収
 - …… 含有量が多いのは下水汚泥の特徴であり、リン資源の回収の価値は高い。
- ④ 焼却灰からのレアメタルの回収
 - …… 微量でも付加価値が高く事例も無い
- ⑤ 流入下水からの有機酸の生産及び回収
 - …… 事例はあり、下水道システムでの利用は有効。
- ⑥ 余剰汚泥の蛋白質からのアミノ酸の生産及び回収
 - …… 微量でも付加価値が高く事例も無い。

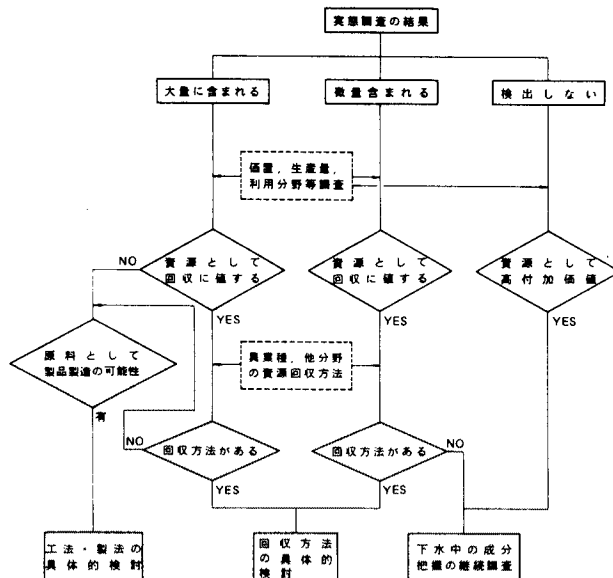


図6 有用物回収における物質の絞り込みの方針

表3 対象物質の選定

	大量に含まれる	微量含まれる	検出しない
流入下水	Si, N, NH ₄ -N, Al, Fe, P *有機酸	ビタミンB ₁₂ B, Ba, Mn, Ni, Sr, Ti	
一次処理水	Si, N, S, NH ₄ -N, P, Al, Fe	ビタミンB ₁₂ B, Sr, Mn, Ba, Ni, Ti, Cr	
汚泥返流水	N, Si, NH ₄ -N, P, S, Al, Fe, Zn	ビタミンB ₁₂ Mn, Ba, B, Sr, Ni, Ti, Cr	
二次処理水	S, Si, N, NH ₄ -N	B, Sr, Mn, Ni, Ba	
初沈汚泥	*セルロース	ビタミンB ₁₂	
余剰汚泥	*蛋白質 *生分解性プラスチック	ビタミンB ₁₂	
濃縮汚泥		ビタミンB ₁₂ ビタミンB ₁ フィチン酸	
脱水汚泥		ビタミンB ₁₂ ビタミンB ₁ フィチン酸	
焼却灰	Fe, Si, Al, P, Zn, Mn, Ba, Cu	Cr, Ni, Sr, V, Ti, Ce, B, La, Rb, Li, Y, Ga, Zr, Mo, Cs, Be, Rh	Pd, Pt, Ag, Au その他のレアメタル

* 流入下水沈殿物から有機酸の製造の研究例がある
セルロースは、原料として製品製造の可能性がある
(アルコール等)
蛋白質はアミノ酸の原料として可能性がある
余剰汚泥から生分解性プラスチックの生産の研究例がある

2.3 回収技術の基本案とアンケート調査

他分野における希薄資源からの物質回収事例、回収に利用可能な単位操作技術より、以下の回収技術の基本案を作成し、水処理メーカーへのアンケート調査を行った。

回収技術基本案

- ① 下水からのビタミン類の回収
 回収点：曝気槽流入前及び余剰汚泥上澄液
 回収技術：イオン交換樹脂を用いた濃縮分離、脱着後、精製
- ② 余剰汚泥からのアミノ酸の回収
 回収技術：蛋白沈殿剤による煮沸沈殿
 回収蛋白質の酸加水分解
 シリカゲル又は分子吸着樹脂によるアミノ酸の濃縮分離、脱着後、精製
- ③ 焼却灰からのコモンメタル及びレアメタルの回収
 回収技術：酸抽出
 キレート樹脂による選択吸着溶離、溶媒抽出、逆抽出
 バイオリーチング

具体的な吸着剤や回収技術及びリン、有機酸の回収技術については次年度以降の開発課題とした。

アンケートの調査の結果、回収技術基本案については十分可能性があるとの意見が得られたが、物質の希薄性による技術開発の困難性、経済性、安全性（特にビタミン、アミノ酸の生体物質）、回収源のイメージの悪さ等が課題として示された。

2.4 回収技術検討を行う物質の選定

6種の回収対象物質について、次年度からの回収技術検討を行う物質の選定の為、下水・汚泥中での含有量、回収物質の発生源の安定性、回収物の下水道での活用、技術開発費用、現段階での回収技術、回収物質の市場価格、市場性及び関連法規の規制、回収時に予想される廃水の各項目について表4に評価した。

評価の結果、いずれの物質も長所及び短所を有し、本年度の調査では絞り込みができなかったため、次年度以降に並列に回収技術の検討を行って最終的に物質を選定することとした。

表4 回収物質選定の為の評価

	下水・汚泥中の含有量	回収物質の発生源	下水道での活用	技術開発費用	現段階での回収技術	回収物質の価格	市場性及び関連法規	回収により発生する廃液等	備考
下水からのビタミン回収	△	●	○	○	△	●	△	○	価値からいえばビタミンB ₁₂ が妥当
焼却灰からのリンの回収	●	●	△	○	○	△	●	○	下水からの回収技術が違んでいる。
余剰汚泥からのアミノ酸の回収	△	●	○	○	△	●	△	△	加水分解後の単離回収を目標とする。
焼却灰からのレアメタルの回収	△	△	○	○	○	●	●	○	物質の絞り込みは実験レベルで行なう。
焼却灰からのコモンメタルの回収	●	●	△	○	●	△	△	○	レアメタルとの同時分離回収を前提とする。
流入下水からの有機酸の回収	○	●	●	○	○	△	●	●	脱窒工程での炭素源としての利用を目的とする。
	微量物質は、濃縮、回収が難しい	事業所系廃水に含まれる物質は処理場差が大きい	現段階では有効な利用分野は少ない	大学の研究室への委託で1課題に係る開発費用は同額総費用は何年で目度立つかによる	他分野等での事例を参考にした	試薬としての価格を参考にした	有機物は法的規制が厳しい	廃液は回収方法により異なる	

凡例 ●：回収物質として評価大
 ○：中
 △：小

3. まとめと今後の課題

平成5年度の調査は、以下のようにまとめられる。

- 過去に下水及び下水汚泥の有用物回収の視点からの物質含有量の調査事例がほとんど無いため、実態調査を行った。
- 回収物質の選定としては、微量でも付加価値の高い物質、下水道分野での再利用が可能な物質、下水における含有が他の廃棄物に比較して顕著である物質、過去の研究事例の少ない物質等の評価より、以下の6種の回収を選定した。
 - ① 下水からのビタミンの回収
 - ② 焼却灰からの含有量の多いコモンメタルの

回収

- ③ 焼却灰からのリンの回収
 - ④ 焼却灰からのレアメタルの回収
 - ⑤ 余剰汚泥の蛋白質からのアミノ酸の生産及び回収
 - ⑥ 流入下水からの有機酸の生産及び回収
- また、次年度からは、
- ① 6種の回収技術の具体的検討
 - ② 回収対象物質に絞込んだ下水・下水汚泥の補足実態調査
 - ③ 回収物質の市場性（需要，供給）の調査
 - ④ プラント建設に係る関連法制度の調査
- を行っていく予定である。

● この研究に関する問い合わせは

研究第一部長	佐藤 和明
研究第一部主任研究員	鈴木 茂
研究第一部研究員	森 正治
研究第一部研究員	高木 克也