

廃棄物処理処分に伴い排出される副生塩の リサイクルに関する研究*

樋 口 壯 太 郎 *

Study on Recycling of Salt the By-product according to Waste Management

Sotaro HIGUCHI*

In The amount of generation of by-product salt of normal trash would be approximately 14.4 ten thousand ton in chlorine conversion. These were disposed and affect a variety of problems to environment. In this research, sodium hypochlorite was generated as recycling use of these by-product salts and research uses it as sterilizing agent was performed. Because by-product salt includes potassium and generated sterilizing agent includes potassium hypochlorite, the sterilizing agent generated from by-product salt is called as "Eco sodium hypochlorite".

(1) Production of Eco sodium hypochlorite using methods of non-diaphragm and diaphragm.

It was confirmed that methods of non-diaphragm is possible to operate for long-term and to generate Eco sodium hypochlorite of 0.2-0.5%, and availability was confirmed after experiment of long-term operation was performed. As for methods of diaphragm, Eco sodium hypochlorite of 3-5% was generated after pretreatment coagulating sedimentation and increase of current was performed but long-term operation was impossible due to scale barrier.

(2) Sterilization effect of Eco sodium hypochlorite

Confirming experiment of sterilization effect of Eco sodium hypochlorite and commercial sodium hypochlorite was performed using a colon bacillus and normal bacterium. As a result, sterilization effect was equal and it was found out that these are possible to use as a sterilizing agent.

(3) F/S (Fusibility study)

Eco sodium hypochlorite was generated with methods of non-diaphragm and fusibility study which supposes that a sterilizing agent is used at sewage treatment plant was performed. As a result, ecumenical merit was found in both waste-treatment plant and sewage treatment plant.

Key Words : recycle, by-product salt, sodium hypochlorite

1. 研究目的

最近、廃棄物処理処分に伴い排出される塩類に起因する公共用水域の塩素イオン上昇により農業被害や水産資源への影響が顕著化している。これは焼却施設におけるHCLガスの高度処理により高濃度の塩類を含む焼却残渣が埋立処分されることが主要因と考えられる。このため塩類除去設備を導入する施設も普及し始めている。しかしこれらの設備導入により回収された塩（以下、「副生

塩」と称する。）の適正な処理、再利用の方法が確立されておらず、最終処分場に保管または産廃処分されているのが現状である。本研究は副生塩から電気分解により次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)を生成し、滅菌剤利用するリサイクルシステムを構築することを目的として実施した。なお副生塩中には塩素(Cl)とカリウム(K)が含まれ、現時点でKの分離ができないため、電気分解にかけると次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)に次亜塩素酸カリウム(KClO)が混在することになる。しかし滅菌効果には支障がないため、以下「エコ次亜」と称する。

* 平成 25 年 5 月 31 日受付

** 資源循環・環境グループ

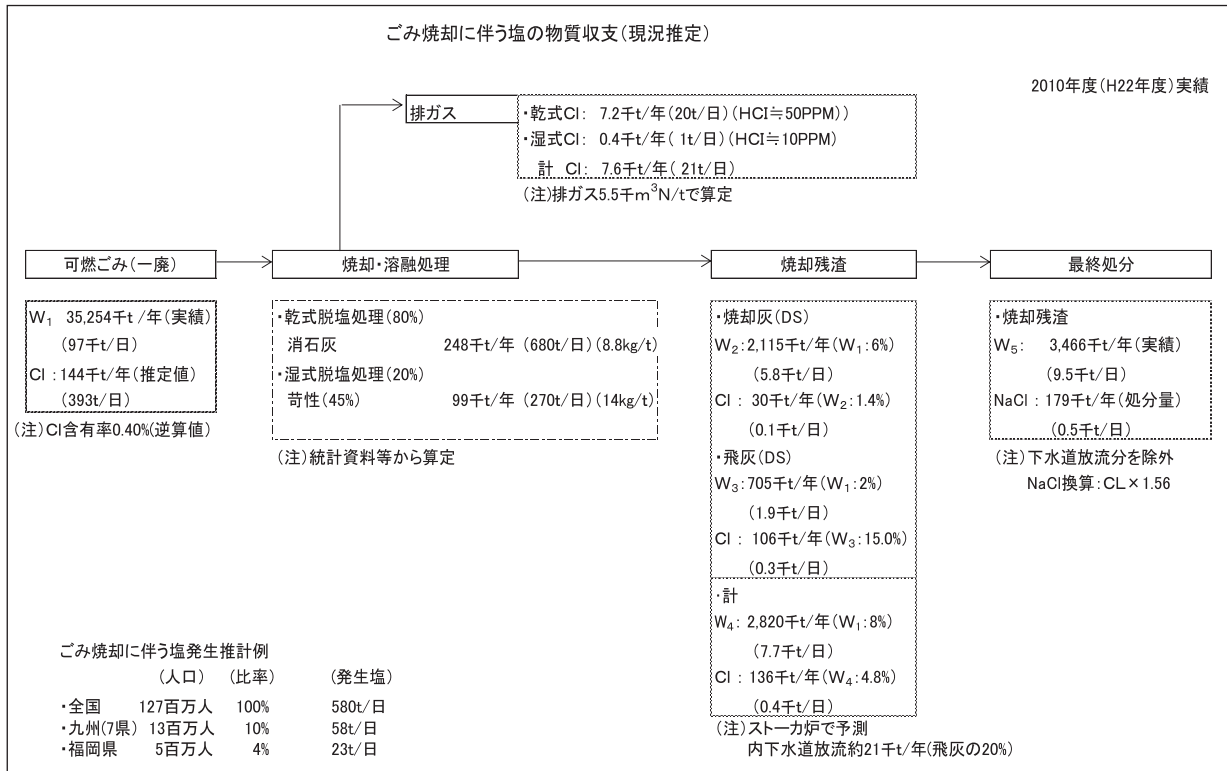


図 3-1-1 ごみ焼却に伴う塩の物質収支

2. 研究方法

本研究は4つの研究テーマで構成されている。以下にそれぞれの研究方法を示す。

2-1 副生塩の排出実態調査

文献調査により我が国の一般廃棄物処理施設から排出される副生塩の量を推計する。また焼却施設、最終処分場浸出水処理施設にアンケート調査を行い、副生塩の処理実態について調査を行った。

2-2 エコ次亜生成研究

副生塩の排出源として逆浸透膜法 (RO) による浸出水脱塩処理、電気透析膜法 (ED) による浸出水脱塩処理、焼却施設湿式洗煙設備および焼却施設乾式ナトリウム排ガス処理設備から排出される副生塩を用いて、無隔膜法 (3%塩水) および隔膜法 (26%塩水) によるエコ次亜生成実験を行なった。

2-3 エコ次亜滅菌効果確認実験

無隔膜電解法により生成したエコ次亜を用いて、下水道滅菌前処理水、最終処分場浸出水を用いて一般細菌と大腸菌群数を指標に滅菌効果実験を行い、滅菌剤として使用できるかどうかの確認を行った。

2-4 下水道終末処理場でのエコ次亜利用を想定したフィジビリティスタディー

副生塩を無隔膜電気分解法を用いてエコ次亜を生成させ、下水道終末処理場で滅菌剤として利用した場合の経

済性を確認するため、都市規模 (副生塩発生量) を変動させたフィジビリティスタディーを実施した。

3. 研究結果と考察

3-1 副生塩の排出実態調査

(1) 一般廃棄物の焼却による副生塩の発生量

2010年時点での可燃系一般廃棄物の処理過程における塩の物質収支を求めた。調査結果を図3-1-1に示す。2010年時点での日本における一般廃棄物の総排出量は年間約4536万tで、そのうち可燃系の一般廃棄物は年間約3525万tとなっている。¹⁾ その後、最終処分される焼却残渣が年間約347万t発生している。廃棄物が焼却溶融処理される過程で、熱分解を受け、塩化水素ガスが発生し、大気中に排出されたり、石灰等の薬剤と反応させ塩化カルシウム等にして除去し、焼却残渣とともに埋立処分されたりしている。2010年時点での焼却残渣発生量は年間約282万t発生しており、内訳は主灰が年間約211.5万t、飛灰が年間約70.5万tである。この数値はごみ処理施設整備の計画・設計要領 (改訂版) に準拠し、ごみ質の灰分から算定した(灰分の90%が焼却灰、残りの2倍量が消石灰による飛灰)。灰分は日環センター調査の全国平均値(H8~17年度)6.7%から算定し、焼却灰6%、飛灰2%(6.7×0.1×3)計8%とした。なお、乾灰8%に水分25%を見込むと10.7%、焼却残渣実績10.0%とほぼ整合する。また、焼却残渣中の塩分濃度の平均は、乾

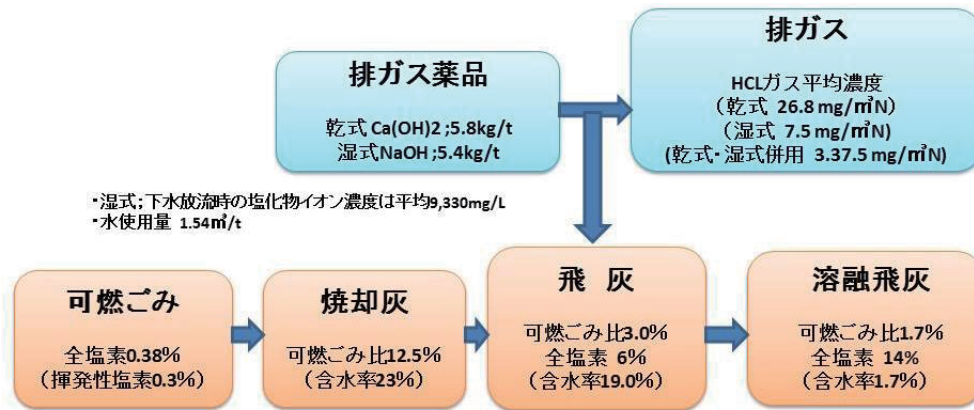


図 3-1-2 アンケート結果概要

灰で6.6%(塩素4.0%)湿灰(水分25%)で5.0%(塩素3.0%)程度と予測される。また、日環センター調査では可燃物(44.5%)中の塩素は0.45%となっており、消石灰吹き込み量8.8kgから算定する飛灰量(1.7%)ともほぼ整合する。消石灰吹き込み量は日環センター精密機能検査全国平均値(H14～16年度108施設)から、ごみ1t当たり8.8kgを使用した。主灰および一部の飛灰は最終処分場で埋め立て処分される。塩素は浸出水中に溶出するため水処理を行った後、公共用水域に排出される。最終処分される焼却残渣の中の塩分は塩化ナトリウムと塩化カリウムの混合塩(副生塩)として発生するが、ここでは塩素を塩化ナトリウム換算(1.65倍)した。なお、飛灰においては湿式洗煙による排ガス処理を行うと、その排水中に塩素が溶けており、年間約3.3万tが下水道放流されている。湿式洗煙で下水道放流される塩類を除いて、これら焼却残渣に含まれる塩類の量(塩化ナトリウム換算)は年間約18万tと推定され、1日当たり約500tの塩類が埋め立て処分されていることになる。

日本の年間焼却量の内、ごみ焼却施設台帳によると70施設、年間約656万t(19.1%)が湿式洗煙法を導入した焼却施設によって発生しており、今回は20%としている。ここから排ガス発生量を湿式洗煙焼却施設20%、乾式洗煙焼却施設80%とし、以下の計算によって排ガス中の塩素量を求める。なお、排ガスは1t当たり5.5千m³Nで算定を行っている。

乾式: $33,799 \text{千t/年} \times 0.8 \times 5.5 \text{千m}^3/\text{t} \times 50 \text{mg/m}^3 \times 35.5/36.5 \div 7.2 \text{千t/年}$

湿式: $33,799 \text{千t/年} \times 0.2 \times 5.5 \text{千m}^3/\text{t} \times 10 \text{mg/m}^3 \times 35.5/36.5 \div 0.4 \text{千t/年}$

以上の計算により、乾式で年間約0.72万t、排ガス中には湿式で年間約0.04万t、合計で年間約0.76万tが大気中に排出され、降雨と共に地上に降下してきていることが推察された。

(2) 焼却施設へのアンケート調査

東北地方を除く副生塩を発生させる111施設にアン

ケートを送付した。調査は郵便法で実施し、回答は78施設で回答率は70%であった。アンケート回答数78施設の平均を求めた。その結果を図3-1-2に示す。可燃ごみ中の塩素量は0.39%であった。焼却・熔融処理では、乾式脱塩処理で用いる消石灰は、ごみ1t当たり5.8kg、湿式脱塩処理で用いる苛性ソーダの量は、ごみ1t当たり5.4kgであった。乾式排ガス中の塩化水素ガス平均濃度は26.8mg/m³Nであった。

(3) 最終処分場浸出水処理施設へのアンケート²⁾

1) 調査目的・方法

脱塩処理設備を要する最終処分場浸出水処理施設に対してアンケート調査を実施した。

2) 調査結果

表3-1-1に調査概要を示す。2010年11月から12月にかけて全国の浸出水処理施設1343設の内、副生塩を生ずる27施設(2%)にアンケートを送付した。16施設から回答を得られ、回答率は59%であった。なお、回答の得られた16施設のうち7施設は脱塩処理設備が停止や廃止などで副生塩発生施設が稼働していなかった。

調査で回答を得られた施設を形式別に分類する。図3-1-3に処分場の形式別の施設割合を、図3-1-4に処理水放流先別の施設割合を、図3-1-5に脱塩処理方式別の施

表 3-1- 1 アンケート調査概要

項目	内容
調査対象	副生塩を生じる 浸出水処理施設
対象数	27 施設
調査期間	2010年11月～12月
回答数	16 施設
回答率	59%

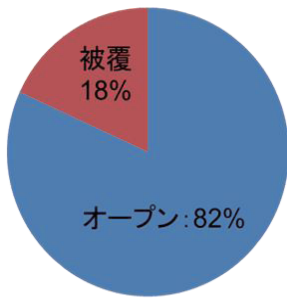


図 3-1-3 処分場形式別施設割合

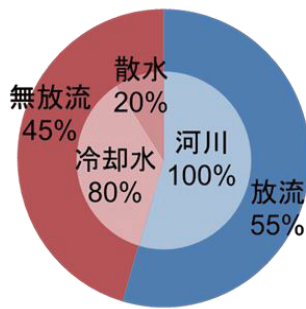


図 3-1-4 処理水放流先別施設割合

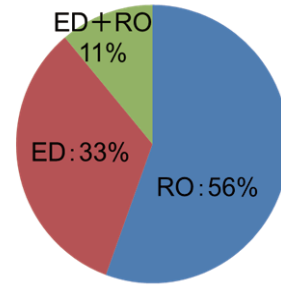


図 3-1-5 脱塩処理方式別施設割合

割合を示した。まず、管理している処分場の形式をオープン型、被覆型（クローズド型）で分類すると、オープン型が82%、被覆型が18%であった。次に、処理施設によって処理した排水の放流先別で分類すると、放流と無放流がほぼ半数となった。放流先として河川と海洋が考えられるが、今回の調査ではすべてが河川放流であった。無放流の場合、処分場または併設する施設での再利用となるが、焼却施設における冷却水として8割が利用され、残りの2割は処分場での散水に利用していることが確認された。また、脱塩処理方式別に分類すると、逆浸透膜が半分以上を占め、3割が電気透析法、残りの1割がROとEDを併用して脱塩処理を行っていることが確認された。

次に、副生塩の処理方法及び処理費用についての結果を述べる。図3-1-6に副生塩の処理方法、処理費用のグラフを示す。副生塩の処分方法として、一般廃棄物として処理、産業廃棄物として処理、場内埋立、再利用、保管が考えられる。このうち、一般廃棄物または産業廃棄物として委託処分が41%、場内埋立処分が46%、合計し

た87%、年間約832万tが埋め立て処分されていることとなる。保管量は約18t、2%程度であり、現時点で再利用されているのは、11%に過ぎない。再利用の用途であるが、場内の雑草の抑制剤、凍結防止剤、皮のなめし業用であることが確認された。副生塩の保管についてであるが、量は少ないものの、施設数では16施設中、3施設が行っており、保管を行っている施設自体は多いと考えられる。副生塩の処分にかかる費用については、安いもので1t当たり15,000円から高いもので1t当たり63,000円と差が大きく、施設ごとに大きく差が出ることが確認された。

3-2 エコ次亜生成研究

(1) 実験概要

海水の無隔膜電解法(以下無隔膜法と呼ぶ)による次亜生成装置は船舶関係では多くの実績があり、下水処理場では小樽市で実施されている。また、この装置は浄水場やプールでも、食塩を溶解して次亜を生成し消毒用に使用されており、技術的には確立している。しかし、浸出

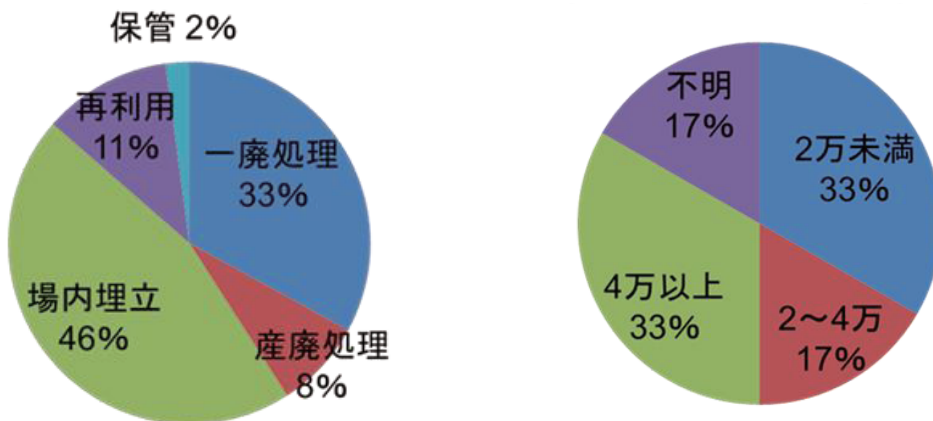


図 3-1-6 副生塩の処分方法、処分費用

水からの副生塩についてはラボテストしか行われていない。そのため継続して運転するための問題把握がなされていないことや、生成次亜の濃度が低い欠点がある。

隔膜電解法(以下隔膜法と呼ぶ)はソーダ会社が食塩から苛性ソーダや塩素を製造する技術である。隔膜に使用するイオン交換膜は劣化し易く高価な製品のため、不純物を十分に除去しないと使用できない。しかし、高濃度エコ次亜が生成されるため市販次亜の代替として利用できる。そのため、副生塩のリサイクルをより推進できるシステムとして期待されている。実験は、電気透析膜、逆浸透膜による浸出水脱塩に伴う副生塩と焼却施設で乾式ナトリウムによる排ガス処理に伴う副生塩の3種類を用いて、連続稼働実験を行った。

(2) 実験装置

電解実験の原理図を無隔膜法を図3-2-1、隔膜法を3-2-2に示す。

電解槽の面積は1dm²で電流は直流15Aで実施した。電解槽内の供給流量は無隔膜法で3L/hr、隔膜法で300ml/hrを標準に実施した。実験に使用した装置を写真3-2-1に示す。無隔膜法では、電解水を入れて、陰極側、陽極側でそれぞれ反応が起こり、エコ次亜が生成される仕組みである。隔膜法では、陽極側から電解水、陰極側から苛性ソーダを入れて、それぞれの反応から塩素、苛性ソーダ、水素が生成される。この時、陽極側からナトリウムイオンが陰極側にイオン交換膜を経て移行するため、高濃度の苛性ソーダが生成される。塩素と苛性ソーダは、電解槽の外で反応し、エコ次亜が生成される仕組みになっている。

無隔膜法は、副生塩を溶解した電解水の濃度を3%、5%、10%と設定した。電解水が低濃度であるため、低濃度のエコ次亜が生成される。高濃度のエコ次亜生成に向けて、現在検討している。隔膜法ではカルシウムの析出がごく少量になるようにカルシウム濃度を下げる必要があるため、電解水を飽和状態にすることが望まれる。

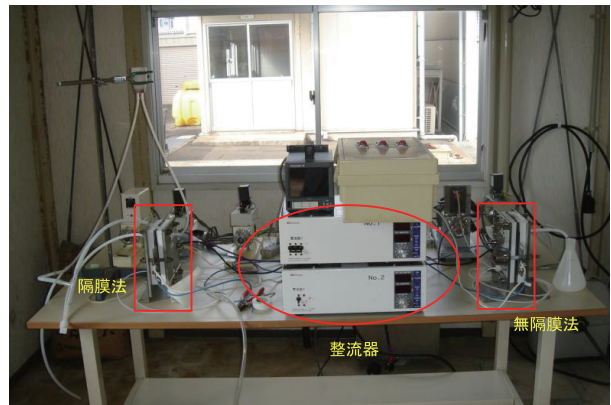


写真 3-2-1 実験に使用した装置

実験で用いた電解水は、電気透析膜、逆浸透膜による浸出水脱塩に伴う副生塩と焼却施設で乾式ナトリウムによる排ガス処理に伴う副生塩である。

(3) 実験結果

1) 副生塩の組成分析

表3-2-1に実験に用いた副生塩の組成を示す。カルシウム、マグネシウムは、逆浸透膜法が一番高いことが確認できる。また焼却施設の副生塩は乾式ナトリウム排ガス処理方式を採用しているためナトリウムの含有量が多い。

2) 無隔膜法による実験結果

無隔膜法を用いて、副生塩の電解試験(連続試験)を行った。その結果を表3-2-2に示す。電気透析膜、逆浸透膜による浸出水脱塩に伴う副生塩では、実験条件として塩水濃度3%と設定し、有効塩素濃度が最大で5,000ppm程度が得られた。これは当初予想していた1,000~2,000ppmを上回る高濃度のエコ次亜が得られた。塩水濃度3%では、カルシウム濃度を数十mg/kgに設定すると、電解電圧が上昇せず、連続運転が可能であることが確認された。乾式ナトリウム排ガス処理方式を

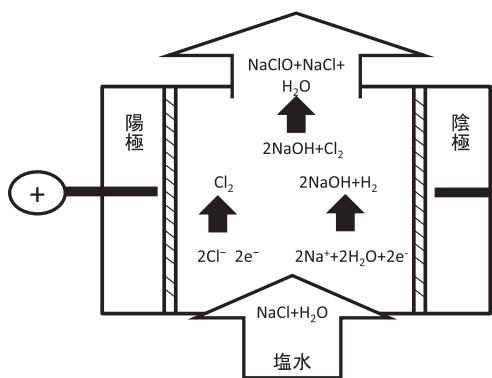


図 3-2-1 無隔膜法装置概要

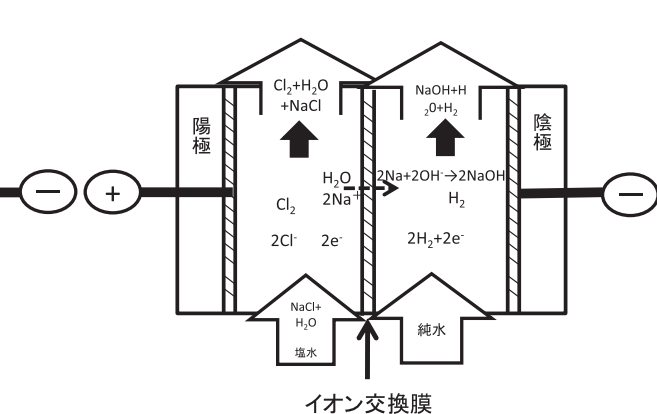


図 3-2-2 隔膜法装置概要

表 3-2-1 副生塩の分析結果²⁾

項目	電気透析法	逆浸透膜	乾式ナトリウム塩	試験方法
水分	9.8 wt%	10.2 wt%	0.9 wt%	-----
Ca	475 mg/kg	6.1 wt%	244 mg/kg	標準添加
Mg	0.34 wt%	654mg/kg	0.05wt%以下	- ICP発光分析法
Na	30.4 wt%	18.4wt%	40.5 wt%	
K	5.4 wt%	12.1 wt%	0.02wt%	
Mn	2mg/kg以下	2 mg/kg以下	2 mg/kg以下	
Al	5mg/kg以下	7 mg/kg	2 mg/kg以下	
Si	53 mg/kg	6 mg/kg	5 mg/kg以下	
I	-----	9 mg/kg	5 mg/kg以下	
Cl	46.9 wt%	47.0 wt%	60.4 wt%	自動滴定
SO ₄ ²⁻	41 g/kg	16 g/kg	0.42 g/kg	イオンクロマト法
NO ₃ ⁻	1.3 g/kg	1.2 g/kg	0.05 g/kg以下	
Hg	0.01mg/kg以下	0.01 mg/kg以下	0.01 mg/kg以下	還元気化金アマルガム - 非分散二光束式冷原子吸光法

採用している副生塩では、塩水濃度を5%と設定した場合、有効塩素濃度が最大で5,400ppm程度のエコ次亜が得られ、電解電圧が上昇せず、連続運転が可能であることが確認された。塩水濃度を10%と設定した場合は、現段階で4,500ppm程度のエコ次亜が得られた。

3) 隔膜法による実験結果

隔膜電解法を用いて、回収塩の電解試験（連続試験）を行った。その結果を表3-2-3に示す。塩水濃度26%での隔膜電解法では、有効塩素濃度が最大で5%程度が得られた。しかし、回収塩中に含有するカルシウムもしくはマグネシウムにより電解槽中に沈殿物が生成し、数百時間（条件によっては数十時間）で電解電圧が上昇することが確認された。電圧上昇の原因はカルシウム、マグネシウムによる膜の閉塞が原因と考えられる。今回、前処理としてカルシウム5mg/L以下にしたがスケールが生成してしまった。

電解電圧上昇の原因はカルシウム、マグネシウムによるイオン交換膜の閉塞が原因と考えられる。装置の解体時を写真3-2-2、3-2-3に示す。今回、数十ppmでスケールが発生したため、今後はキレート剤等によるppbレベルまでの前処理が必要であると考えられる。

4) 結果のまとめ

無隔膜法では、電気透析膜、逆浸透膜による浸出水脱塩に伴う副生塩と焼却施設で乾式ナトリウムによる排ガス処理に伴う副生塩の3種類では、最大5,000ppm程度のエコ次亜が得られた。生成される次亜は低濃度ではあるがカルシウム濃度を数十mg/kgに設定すると、長期稼働が可能であり、実用化の目途がついた。

隔膜法では、最大で5%程度のエコ次亜が得られたが、回収塩中に含有するカルシウムもしくはマグネシウムにより電解槽中に沈殿物が生成し、数百時間（条件によっては数十時間）で電解電圧が上昇することが確認された。電圧上昇の原因はカルシウム、マグネシウムによ

表 3-2-2 無隔膜法による実験結果²⁾

副生塩	塩水濃度 (wt%)	Ca濃度 (mg/kg)	有効塩素濃度 (mg/L)	電圧	結果
				(V)	
電気透析膜	3	3.2	2,500~3,300	4.1~4.4	797時間通電で強制停止
逆浸透膜	3	25.9	3,700~5,200	4.1~4.6	773時間通電で強制停止
乾式ナトリウム塩	5	15	3,300~5,400	3.3~3.6	960時間通電で強制停止
乾式ナトリウム塩	10	30.5	4,400~4,900	3.7~4.0	現在稼働中 (200時間)

副生塩	塩水濃度 (wt%)	Ca濃度 (mg/kg)	有効塩素濃度 (mg/L)	電圧 (V)	結果
電気透析膜	26	4.4	37,400~42,700	4.2→8V	電圧上昇により停止 (42時間)
逆浸透膜	26	79.4	46,000~48,200	4.7→8V	電圧上昇により停止 (307時間)



写真 3-2-2 イオン交換膜 (陰極側)

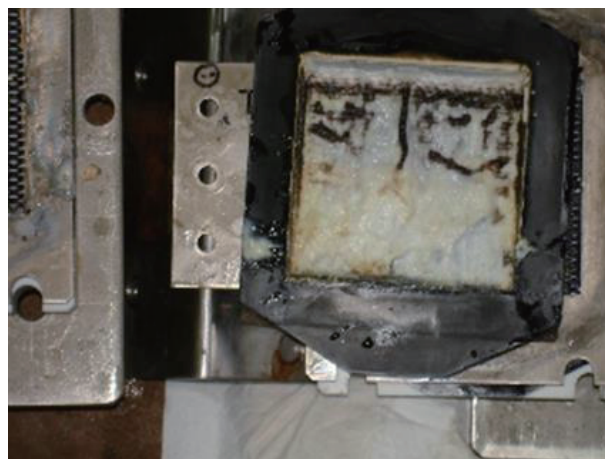


写真 3-2-3 イオン交換膜 (陽極側)

る膜の閉塞が原因と考えられる。今回、前処理としてカルシウム5mg/L以下にしたがスケールが生成してしまったため今後はキレート剤等によるppbレベルまでの前処理が必要であると考えられる。

3-3 エコ次亜滅菌効果確認実験

(1) 実験概要

無隔膜電解法で生成したエコ次亜と比較対象とする市販次亜 (特級) の有効塩素を希釈してエコ次亜の有効塩素と同じにし、JWWA K 120の7項目分析を行った。表 3-3-1に分析結果を示した。また表3-3-2にエコ次亜および市販次亜の重金属類の分析結果を示した。

滅菌実験で使用する試験液は以下の3種類とし、それぞれの塩素消費量を事前に測定した。その結果を図3-3-1, 3-3-2に示した。

- 試験液A: A市下水処理場の滅菌前処理水
- 試験液B: B市下水処理場の滅菌前処理水
- 試験液C: C市にある民間の安定型最終処分場浸透水

(2) 実験結果

図3-3-3にエコ次亜と市販次亜の各試験液に対する一般細菌と大腸菌群数の滅菌効果を示した。これよりエコ次亜は市販次亜とほぼ同等の滅菌能力を有することが分かった。

表 3-3-1 JWWA K120 にもとづく分析結果

	有効塩素 (w/v%)	外観	密度	遊離アルカリ (w/w%)	臭素酸 (mg/kg)	塩素酸 (mg/kg)	塩化ナトリウム (w/v%)
エコ次亜	0.378(0.360)	かすかに淡黄色の透明の液体	1.048	<0.04	200	<300	6.31(6.01)
市販品次亜	0.376(0.373)	かすかに淡黄色の透明の液体	1.008	<0.04	<3	1100	0.25(0.25)

※カッコ内の結果の単位はw/w%。

表 3-3-2 次亜の重金属類分析結果

	カドミウム (mg/kg)	鉛 (mg/kg)	六価クロム (mg/kg)	砒素 (mg/kg)	水銀 (mg/kg)	アルキル水銀 (mg/kg)	セレン (mg/kg)
エコ次亜	<0.5	<0.5	<1	<0.5	<0.01	<0.01	<0.5
市販品次亜	<0.5	<0.5	<1	<0.5	<0.01	<0.01	<0.5
	ほう素 (mg/kg)	ふっ素 (mg/kg)	銅 (mg/kg)	亜鉛 (mg/kg)	溶解性鉄 (mg/kg)	溶解性マンガン (mg/kg)	クロム (mg/kg)
エコ次亜	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
市販品次亜	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

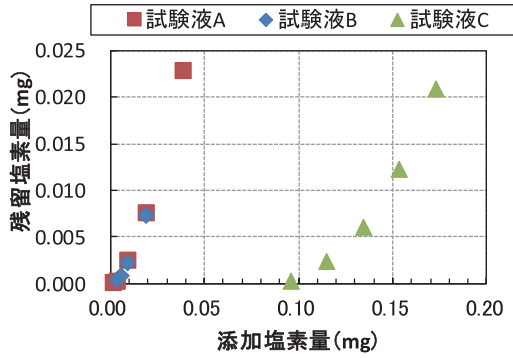


図 3-3-1 添加塩素量と残留塩素量

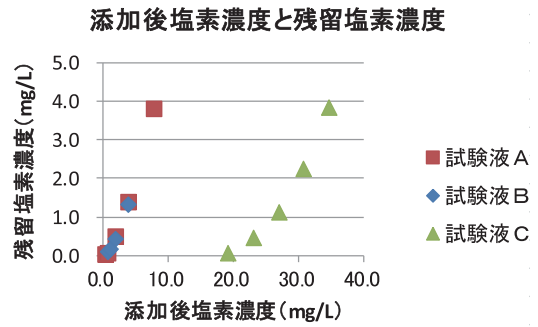


図 3-3-2 添加後塩素濃度と残留塩素濃度

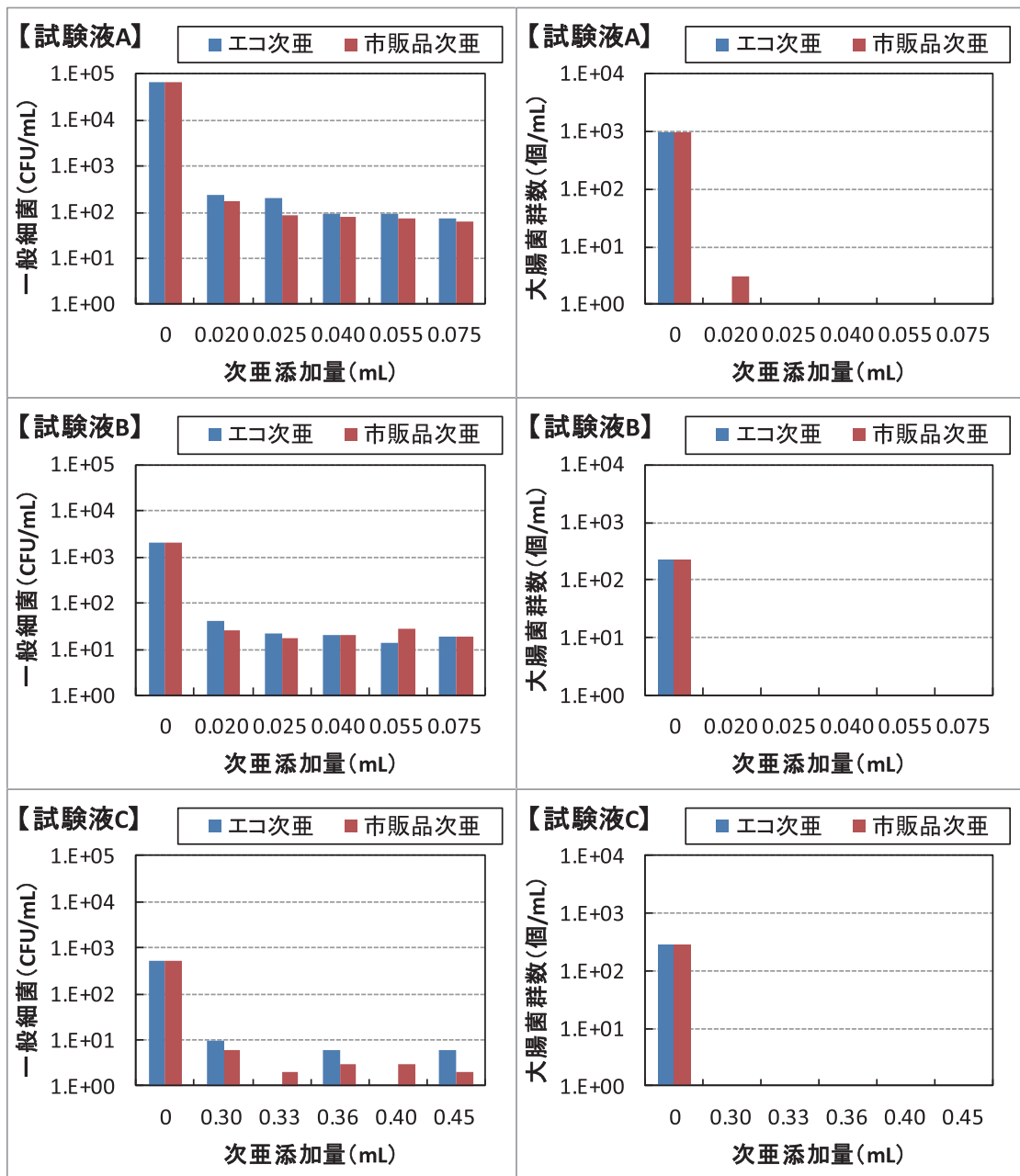


図 3-3-3 エコ次亜の滅菌効果

3-4 下水道終末処理場でのエコ次亜利用を想定したフィジビリティスタディー

副生塩の回収方法はごみ焼却施設の排ガス処理設備が湿式の場合は塩水として、乾式の場合は飛灰を洗浄脱塩するか埋立処分して浸出水脱塩処理濃縮塩から回収される。ここでは埋立処分し脱塩濃縮塩として回収することを前提としてエコ次亜を生成、滅菌剤利用することを前提として経済性の検討を行った。

(1) 副生塩の発生量

最終処分場などから環境中に流出する副生塩は、主に焼却残渣から溶出する。ごみ焼却に伴い発生する副生塩は、可燃ごみに含まれる塩素分に起因している。焼却炉の形態により発生する箇所などが異なる。ストーカ炉の場合は焼却灰(主灰)と焼却飛灰に残留し、一部は排ガスとして大気に排出される。ごみ焼却に伴う塩素の物質収支をマクロ的にみると次のようになっている。

可燃ごみ	→	焼却灰(主灰)	→	焼却飛灰	→	排ガス
Cl : 0.40%		Cl : 0.08%		Cl : 0.30%		Cl : 0.02%
(100%)		(20%)		(75%)		(5%)

なお、この焼却飛灰は排ガス処理でバグフィルタに石灰などのアルカリ剤を吹き込み、捕捉された反応生成物中の塩素分である。集じん装置の後段で苛性ソーダによる除去を行う湿式洗煙では、主に洗煙排水中に捕捉され、また、二段バグ後段に重曹を吹き込む方式では、主に捕集飛灰中に捕捉されることから、焼却残渣に含まれる塩素量は少なくなる。

塩素の物質収支から副生塩の発生量を食塩 (NaCl) 換算 (NaCl/Cl= (23+35.5) /35.5=1.65) すると次のように算定される。

	可燃ごみ	→	焼却灰(主灰)	→	焼却飛灰
NaCl 換算	0.66%		0.13%		0.50%

すなわち、可燃ごみ100 t を焼却すると副生塩は0.6~0.7 t 程度発生し、その内排ガス処理から約8割の0.5 t が発生すると予測される。なお、排ガス系から発生する副生塩はほぼ100%NaClとして回収できるが、主灰系はKClとの混合物として回収される。

(2) 焼却施設の規模と副生塩発生量

わが国のごみ排出量は1人1日1,000 g、その内可燃ごみが800 gである。これは事業系の一般廃棄物も含んだ総排出量の実績値である。この排出量から10万人都市の可燃ごみ量は1日80 t、50万人都市で400 tとなる。前述した副生塩の発生量から算定すると80 t 焼却で0.5 t となる。1 t の副生塩は20万人都市、5 t は100万人都市からの発生量に相当する。また、焼却施設の規模はこの年間平均発生量に対して、季節変動や炉の稼働率などを考慮して設定されている。通常は平均焼却量の1.35倍(稼働率0.74)程度の値が用いられている。これらをまとめると次のようになる。(表3-4-1参照)

(注)・排ガス処理の副生塩を対象とする場合は0.8掛け程度となる。

・焼却施設の規模はこの値より大きく設定されるところが多い。

(3) FS検討ケースと条件

副生塩の発生量の多少により、次の4ケースについてFS検討する。検討ケースおよび検討条件は以下のとおりである。(表3-4-2参照)

1) 電解装置の設置場所

エコ次亜生成装置用の無隔膜電解装置は、下水処理場

表 3-4-1 施設規模と副製塩量

副生塩(t/d)	平均焼却量(t/d)	施設規模(t/d)	都市規模
0.1	16	22	2 万人
0.5	80	110	10 万人
1.0	160	220	20 万人
5.0	800	1,100	100 万人

表 3-4-2 FS 検討ケース

ケース	副生塩 (t/d)	塩水量(m ³ /d)	有効塩素(kg/d)	有効塩素(kg/h)
ケース I	0.1	2	6	0.25
ケース II	0.5	10	30	1.25
ケース III	1.0	20	60	2.5
ケース IV	5.0	100	300	12.5

の消毒槽付近に設置する。これは、生成エコ次亜がアルカリを添加しないと短時間で分解するためである。ただし、下水処理場が近距離にある場合は、生成したエコ次亜を運搬し利用することもできるので、下水側との合意形成が難航する場合などは有効な手法といえる。

2) 副生塩の運搬

副生塩は固化塩(紛体)を運搬して、電解装置側で溶解して使用方法が一般的な考え方である。しかし、本検討では2次濃縮・乾燥固化の省エネなどを重視して、1次濃縮水(5%程度の塩水濃度)をタンクローリー車で運搬する案で計画する。通常、下水処理場は5~15km程度離れており、量が少ない場合は委託運搬が一般的と考えられる。濃縮塩水の運搬は産廃業者に委託することになるが、大規模で運搬距離など大掛かりになる場合、2次濃縮水(20%程度の塩水濃度)を運搬し希釈して利用する案もある。また、直営で運搬する案もあるので、これらを含めて別途検討して最適案を選定することが望ましい。

3) 塩水濃度とエコ次亜生成濃度

当初は塩水濃度を海水と同様の3%程度で生成次亜濃度0.15% (有効塩素) で計画していたが、本研究で色々な濃度で実証試験を行った結果、5~6%でこれより濃厚なエコ次亜が長期間安定して生成できることが判明した。これらの結果を受けて、本検討では安定処理を重視して、塩水濃度5%、生成次亜濃度0.3%で計画する。なお、実証試験では生成次亜濃度0.5~0.6%も確認できたが、長期間の運転を行っていないため、高濃度で計画する場合はスケール発生について再チェックが必要である。カルシウム濃度が低く(30mg/L程度以下)、スケール発生の少ない塩水については、塩水濃度10%で生成次亜濃度0.6%で計画することも可能と考えられる。

4) 無隔膜電解装置

無隔膜電解装置は供給ポンプ、電解槽、整流器、操作盤、次亜濃度計などから構成され、屋外式で無人運転が可能となっている。電解槽の陽極から発生する塩素はアルカリと反応してエコ次亜となるが、陽極から発生する水素ガスは大気拡散を行う必要がある。エコ次亜生成濃度は整流器の電流値で任意に設定できるが、電流値を上げすぎると効率が下がり、電極スケールの発生が早まる。スケールが付着すると装置を停止し、塩酸による電極の清掃が必要となる。このため、電極清掃は年間2、3回の定期点検時に行うよう計画されている。また、系列も1系列で設置できるよう配慮されている。電極のスケール以外の故障はほとんどないが、警報は下水の管理側へ発信する必要がある。

5) 下水道消毒システム

このシステムは浸出水処理施設などに設置される脱塩装置からの一次濃縮水を、次に示すように下水処理水の消毒用に利用することにより、下水道の購入次亜を節減

するものである。下水側の次亜注入量は水量変動や処理法により異なっているが、既存の次亜注入装置で従来どおり制御できるため、エコ次亜の注入量は一定量とする。なお、多量にエコ次亜を使用する場合は下水側と十分協議し、平均次亜使用量の70%以下の供給量が望ましい。

また、副生塩の発生側では二次濃縮装置・乾燥固化装置・産廃処分は廃止または不要となる。

【副生塩発生側：供給運搬】

一次濃縮水・・・濃縮水受水槽・・・**タンクローリー車**・・・
5%塩水 下水処理場へ

【下水側：エコ次亜生成注入装置】

濃縮水貯留槽・・・**電解装置**・・・**エコ次亜貯留槽**・・・
有効塩素 0.3%
次亜貯留注入装置
↓有効塩素 10.5%
注入ポンプ・・・消毒槽・・・放流
有効塩素 1.5 mg/L
(平均注入量)

(4) FS計算

浸出水処理水を濃縮固化し産廃処分している副生塩発生側では、次のような経済的な収入(メリット)と支出(負担)が発生する。

【収入】

A：1次濃縮水を2次濃縮、乾燥固化するための燃料費・電気代・点検補修費などが不要となる。(規模・方式により差異があるが、本検討では1次濃縮水5.5% (TDS) を蒸気により22%まで2次濃縮しその後乾燥するシステムについて、用役量を調査した。燃料は灯油で90円/L、電気15円/kWh、冷却水10円/m³、清水100円/m³を用い算定した。それに点検補修費を含んで、ケースIで7,000円/m³、ケースIIで6,000円/m³、ケースIIIで5,000円/m³、ケースIVで4,000円/m³を用いる。)

B：固化塩の産廃処分費が不要となる。

(地域により産廃処分費は異なるが、本検討では運搬費込みで40,000円/tを用いる。)

C：下水側からエコ次亜の売却料金が入る。

(本検討では下水側のメリットを考え、購入次亜削減費の6割程度を目安に算定する。)

【支出】

D：1次濃縮水の運搬費が必要となる。(10m³タンクローリー車で、10km程度を運搬する前提で1,400~2,000円/m³を用いる。)

E：エコ次亜生成装置の設置が必要である。(電解装置は屋外式で設置することを原則とし、雨よけ程度の屋根を

設ける。この設置費はケース毎に貯留・注入設備を含めた見積もりにより算定した。年間の設備償還費は設備の償還期間を7年間とし、金利や物価上昇を見込み設備費の1.25倍で算定する。）

F：エコ次亜生成装置の電気料金が必要である。（電気料金は地域や契約形態により異なっている。本検討では電力料金は基本料金と値上げも考慮して17円/kWhを用いる。なお、提示された電力原単位は最大設備電力のため、料金算定では0.8掛けとする。）

G：エコ次亜生成装置の点検整備費が必要である。（定期点検と調整を年間2、3回実施する。なお規模の大小により点検調整回数を考慮する。また、3年に1回電極の補修などが必要のため、平均値を加算する。）

下水側では次のような経済的な収入と支出が発生する。

【収入】

H：市販次亜購入費が節減できる。（市販次亜の購入単価は地域や使用量などにより異なっているが、本検討では40円/kgを用いる。なお、12%市販次亜は有効塩素10.5%で比重1.2の製品である。市販次亜の節減量はエコ次亜発生量を有効塩素換算して算定する。）

【支出】

I：エコ次亜の購入料金が発生する。（前述したように、購入次亜節減費の6割をエコ次亜料金とする。）

4-1 ケース I 収支

条件：濃縮水2m³/d(5%)、固化塩0.1 t/d、次亜生成量6kg/d (2万人都市)

(1)発生側収入

A(濃縮・乾燥費)：

$2\text{m}^3/\text{d} \times 7,000\text{円}/\text{m}^3 \times 365\text{d} \doteq 5,100,000\text{円}/\text{年}$
B(固化塩処分費)：

$0.1\text{t}/\text{d} \times 40,000\text{円}/\text{t} \times 365\text{d} \doteq 1,500,000\text{円}/\text{年}$

C(エコ次亜売却費)：I参照 500,000円/年
小計 7,100,000円/年

(2)発生側支出

D(運搬費)： $2\text{m}^3/\text{d} \times 2,000\text{円}/\text{m}^3 \times 365\text{d} \doteq 1,500,000\text{円}/\text{年}$
E(設備償還費)：

$25,000,000\text{円} \times 1.25 \div 7\text{年} \doteq 4,500,000\text{円}/\text{年}$

F(設備電力費)：1式 700,000円/年
G(点検調整費)：1式 1,200,000円/年
小計 7,900,000円/年

(3)発生側収支計(1)-(2) -800,000円/年

(4)下水側収入

H(次亜購入費)：

$6\text{kg}/\text{d} \div 0.105 \times 40\text{円}/\text{kg} \times 365\text{d} \doteq 800,000\text{円}/\text{年}$

(5)下水側支出

I(エコ次亜購入費)：800,000円/年 $\times 0.6 \doteq 500,000\text{円}/\text{年}$

(6)下水側収支計(4)-(5) +300,000円/年

(7)全体合計(3)+(6) -500,000円/年
(注)

- ・電解装置設置費22,000千円、付帯工事費3,000千円
- ・設備電力費 = $6\text{kg}/\text{d} \times 22\text{kWh}/\text{kg} \times 0.8 \times 17\text{円}/\text{kWh} \times 365\text{d} \doteq 700,000\text{円}/\text{年}$

以下同様にケースII～ケースIVについて計算を行った。

表 3-4-3 統括表

単位：千円/年

項目	ケース I	ケース II	ケース III	ケース IV	備考
副生塩	0.1 t/d	0.5 t/d	1.0 t/d	5.0 t/d	
濃縮塩水	2m ³ /d	10m ³ /d	20m ³ /d	100m ³ /d	
都市規模	2 万人	10 万人	20 万人	100 万人	
a 濃縮乾燥費	5,100	21,900	36,500	146,000	A
b 固化塩処分費	1,500	7,300	14,600	73,000	B
c 塩水運搬費	1,500	6,600	11,700	51,100	D
d エコ次亜生成費	6,400	12,300	19,100	55,600	E+F+G
e エコ次亜売却費	500	2,500	5,000	25,000	C
f 次亜購入節減費	300	1,700	3,300	16,700	H-I
発生側収支	-800	+12,800	+25,300	+137,300	a+b+e-c-d
下水道収支	+300	+1,700	+3,300	+16,700	f
全体収支	-500	+14,500	+28,600	+154,000	

(5) まとめ

浸出水処理施設などで脱塩施設を設置し、副生塩を産廃処分するところが増加している。今回は塩分濃度5%程度に濃縮した1次濃縮水を、付近の下水処理場に運搬し処理水の消毒用に利用する案でF S検討を行った。

検討ケースとして2万人から100万人都市を想定し4ケースを選定した。副生塩の発生量も1日0.1 tから5 tを想定している。

F S計算としては、1次濃縮水を2次濃縮・乾燥・固化し産廃処分する費用と、濃縮水をタンクローリー車で運搬し、無隔膜電解装置でエコ次亜を生成し購入次亜費を削減する費用を算定した。算定結果と収支は次のとおりである。

これによると、規模が小さいと赤字になり、大きくなるほど発生側及び下水側のメリットが大きくなっている。内容的には濃縮乾燥の費用が大きく影響している。この処理費用は方式・規模・油代などで大きく変動するので、実情に合わせて補正する必要がある。中小規模施設の事例は多くあるが、1日5 tの副生塩を発生する稼働実績はない状況である。

また、100万人都市になると下水処理場も複数設置される場合が多いので、エコ次亜電解装置の施設規模としては1日10~40m³ (0.5~2 t)程度が現実的といえる。すなわち、ケースⅢ程度を標準に実現化すると、発生側の経済的メリットが大きく表れることが明らかとなった。このリサイクルシステムは、経済性のみならず、同一地域内での循環利用が推進でき、地球温暖化防止(油や電気の節減)にも寄与できるので、今後の普及が期待される場所である。

4. 結論

副生塩を無隔膜電解法によりエコ次亜生成を生成させると、塩水濃度3%、Ca濃度を数十mg/kgに設定すると、濃度0.25~0.54%のエコ次亜が得られ、かつ連続運転が可能であることが確認された。またエコ次亜を用いた滅菌実験では市販次亜と同等の効果があることが確認され、質的にも実用可能であることを検証した。さらにエコ次亜を下水道終末処理施設で滅菌剤として利用することを想定したフィジビリティスタディーを行った結果、人口10万人以上の都市では廃棄物処理処分側、下水道終末処理施設側双方に経済的メリットをもたらすことが分かった。研究成果の実用化により副生塩の最終処分による塩害や外部委託搬出による経費負担を解消し、経済的で効率的な廃棄物管理が可能となることが判った。今後の課題として隔膜法のスケール対策を解決することにより、さらに経済性を高めることが考えられる。

本研究は環境研究総合推進費補助金研究事業(平成22年~24年度)により実施した。

参考文献

- 1) 環境省：「一般廃棄物の排出及び処理状況等(平成23年度実績)について」(2012)
- 2) 矢羽田聡彦：修士論文、副生塩排出量実態調査と塩類溶出制御システム研究, pp62-64