

資源循環を阻害する塩類問題

樋口 壯太郎*

1. はじめに

循環型社会の実現に向けて様々な分野で様々な取り組みがなされている。この中で産業活動に取り込まれた塩の廃棄と再利用が問題になっている。例えば焼却施設で塩化水素ガスの無害化処理に伴い回収される塩化合物、最終処分場浸出水中の塩素イオンや除去した場合の濃縮塩、飛灰や溶融飛灰の山元還元時の脱塩残渣あるいは焼却灰のセメント原料化に伴い除去された塩などがあげられる。このように処理やりサイクルのプロセスのなかでも最後に塩の問題が残されており、これらの副生塩は現時点で再利用の方法が殆どない状況である。真の循環型社会構築の上で解決しなければならない問題の一つである。このような背景下、適正処分或いは副生塩のリサイクルを確立する必要性が望まれている。今回、わが国で廃棄されている塩の量、排出源別廃棄塩の性状、および廃棄塩リサイクル方法等について考察したので紹介する。

2. 副生塩生成の流れ

副生塩は様々なプロセスで生成排出されるがここでは一般廃棄物処理プロセスにおける生成を説明する。

図-1 に副生塩生成フローを示す。可燃ごみの焼却処理過程では、可燃ごみ中の塩化物を燃焼することで、塩化水素が発生する。これらを除去するために、燃焼過程の後に消石灰等を吹き込み、塩化物 (CaCl₂ 等) となり、後続の集じん器に飛灰中の物質として捕捉される。飛灰はキレート等の薬剤で飛灰中の重

金属が固定された状態で排出され、最終処分される。最終処分場においては、飛灰処理物を降水等が通過し、同時に塩化物が浸透した水に溶解し、浸出水として排出される。浸出水中には高濃度の Cl⁻イオンが含まれているため、電気透析法や逆浸透法などの高度処理を行う場合がある。この過程で高度処理水が生成される一方、濃縮液 (脱塩残渣)、すなわち副生塩が発生する。

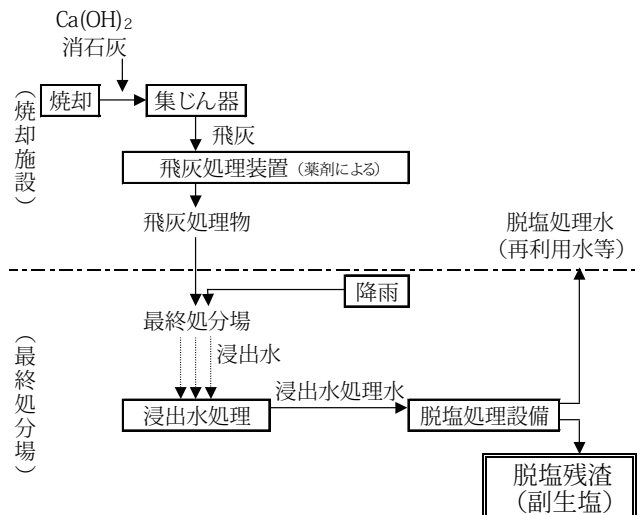


図-1 副生塩生成フロー

3. 廃棄物処理処分における Cl の物質収支¹⁾

(1) Cl の物質収支

我が国で生産・消費される塩化ナトリウム (以下 NaCl) の量は年間約 900 万 t でそのうち 85% 以上を輸入に頼っている。NaCl は様々な形に加工され製品として使用されたのち廃棄されている。また、製品や半製品としても輸出入されている。ここでは工業原料として供給された NaCl 由来の Cl の廃棄経路

*福岡大学大学院工学研究科資源循環・環境工学専攻 教授

を整理し、廃棄量を概算する。NaClの消費量、900万tをClに換算すると、549万t（国内生産79万t、輸入470万t）となる。NaClはソーダ工業塩等として1次加工される。1次加工品のうち、塩化ビニル樹脂や塩化カリウム等は別途、輸入され国内に入ってくるものもある。この量はCl換算で30万tと推定される。すなわち合計579万tのClが諸工業に用いられ、一部は2次加工され製品として流通、消費後、廃棄されることになる。2次加工から廃棄までの収支を把握することは、国内で消費、ストックされる量が明確でないため困難であるが、いずれにしても国内で生産される年間のCl量の79万tを上回る量が廃棄されていると考えられる。Clの廃棄は、一般廃棄物と産業廃棄物の系に分かれる。ここでは、産業廃棄物の質のデータの入手が困難なため一般廃棄物中のCl量を試算し、残りを産業廃棄物関連と考えることにする。一般廃棄物中のCl量は、一般廃棄物を構成するし尿、雑排水、生活ごみの排出量と濃度より推算した。①し尿中のCl：し尿の1人1日平均排出量は1.44～1.46L、Cl⁻濃度は3,200～4,200mg/Lである。1人1日平均排出量を1.44L、Cl⁻濃度を3,800mg/Lとし、日本の総人口を12,500万人とすれば、し尿として排出されるCl量は25.0万t/年と推定される。②家庭雑排水中のCl：家庭雑排水中のCl量を5g/人・日とすると、年間排出量は22.8万t/年と推定される。③生活ごみ中のCl：生活ごみ中のCl含有率を0.5%とすると、我が国の生活ごみ排出総量は5,030万t/年で、Cl量として25.1万t/年になる。うち焼却処理対象を4,000t/年とすると、この中のCl量は20.0万t/年と推定される。①、②、③より一般廃棄物として排出されるCl量は、合計72.9万t/年と推定される。ここで消費量、ストック量が一定であると仮定すれば加工後のCl量575万t/年が廃棄されていると考えられる。したがって、一般廃棄物として排出される72.9万t/年を差し引いた502.1万t/年が産業廃棄物として排出されていることになる。以上の結果をもとに、生産から廃棄にいたるClの物質収支を図-2に示す。これより原料として輸入あるいは生産さ

れたNaClは様々な製品に加工、消費されたのちClとして年間575万tが廃棄されていることになる。

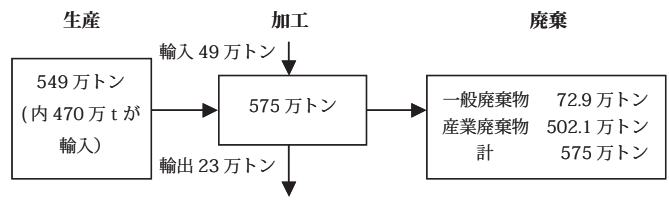


図-2 廃棄までの塩素のフロー（年間）

(2) 焼却に伴うClの物質収支

ごみ焼却に伴う残渣率を10%とし、主灰と飛灰の割合をそれぞれ7%（鉄くずを除く）、3%とする。さらに塩素含有率をそれぞれ2%、12%とすると焼却残渣中に含まれ埋立処分される塩素量は年間20万tとなる（4,000万t/年×7%×2%+4,000万t/年×3%×12%=5.6万t/年+14.4万t/年=20万t/年）。排出ガス中のHCl濃度は焼却を行う自治体の収集体制や地域特性により異なるが、ここでは平均濃度を600ppmとし、このうち550ppmを除去捕集し、残り50ppmが大気中に排出されるものと仮定する。排ガス量をごみ1kg当たり5.5Nm³とすると、総排ガス量は2.2×10¹¹Nm³となる。このうち大気中へ排出されるHCl量は49,050kgHCl/日となり、Clとして排出される量は1.7万t/年と推定される。すなわち、21.7万t/年がごみ焼却により埋立地と大気中に排出されることとなる。（図-3参照）

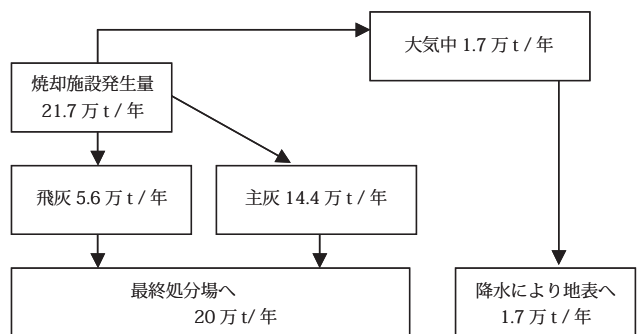


図-3 焼却残渣中のClの物質収支

4. 循環型社会実現を阻害する副生塩問題

廃棄物処理に伴い生成排出されるClは年間21.7万tに達している。特に最終処分場に埋立てされた

場合、浸出水中に高濃度に塩素イオンを含んで浸出してくる。塩素イオンは水質規制項目ではないが高濃度に水環境中に排出されると農業被害や生態系への影響をおよぼす（写真—1，2参照）。このため浸出水処理工程に脱塩処理設備を組み込む自治体が増



写真—1 正常な水稲



写真—2 塩害を受けた水稲

えている。脱塩処理を行うと濃縮塩（副生塩）が生成するが、リサイクルルートがないため埋立地へ貯留したり、産業廃棄物として委託処分することが多い。焼却施設で湿式排ガス処理により回収された副生塩も同様な状況であり、循環型社会実現の阻害要因の一つである。

5. 副生塩の再利用

ソーダ工業を中心とする塩消費企業は現在、輸入塩コストが安価であることや品質面から再生塩を使用することに消極的である。現時点で考えられる再生塩使用先としてソーダ工業の他、道路凍結防止剤、アルミ精錬フラックス剤などが考えられる

(1) 最終処分場浸出水からの再生塩の性状

表—1よりCa, Mg, Naなどについては、天然塩

と再生塩の差異は殆どないと判断できるが、K, SO_4 では含有量の差が大きい。更に、Pb, Cr, Cdなどの重金属類、あるいはダイオキシン類が微量ではあるが存在していることが、最終処分場からの副生塩の特徴であるといえる。

(2) 再生塩の利用可能性

再生塩の性状の特徴としては、上述した元素組成の他にも、脱塩処理の方法や、脱塩過程によって、粒度や形態（固体、液体）などの物理的性状に大きく幅がある。有害物質が微量ではあるが存在するために、再生塩としての利用可能性を検討すると、現状では以下の用途が想定される。

1) ソーダ工業への利用

ソーダ工業は、わが国における主要な塩の利用先である。ソーダ工業、特に電解ソーダ工業における塩の利用では、固化塩の状態で行き取られ、水溶塩の電気分解によって製品がつくられる。既存の生成ラインに回収塩を再生塩として適用することができれば、回収量を十分に吸収することが可能である。しかしながら、既存の電解ソーダシステムでは、Mg, Ca, SO_4 や重金属の原料への混入に対し、発生汚泥量の増加や、更にはシステムそのものが閉塞等で機能しなくなる可能性もあり、高度な再生塩の品質向上が必要である。併せて、電解方式にはいくつかの方式があるため、再生塩の性状に有利な方式を検討することも必要である。なお、再生塩のみを原料とした電解ソーダシステムを検討する場合には、量的および質的にも安定した再生塩確保が必要となる。

2) アルミ精錬におけるフラックスとしての利用

溶融したアルミニウムの純度を高めるために塩を投入するものである。しかしながら、わが国における需要は少ないため、塩再利用の普遍的なシステムとして構築することは難しい。

3) 皮革産業への利用

皮革を加工する初期の段階で、高濃度の塩水を多量に使用する。需要は少ないものの、地理的条件によっては再利用システムが成立する可能性もある。

4) 道路凍結防止剤への転用

道路凍結防止剤の市場は、再生塩生成量を全て吸収する規模とは言い難いが、北部日本を始めとする全国各地において、普遍的に市場が存在するため、塩再利用システム成立の有効な要素である。留意点としては、屋外に散布するため、再生塩に含まれる微量金属が、道路周辺の植生に影響を与える恐れがあるなど、環境影響を十分考慮した品質が求められる。

6. 副生塩の再生利用規格案

筆者らで構成する塩類再利用システム研究会（会長：花嶋正孝，事務局：福岡県リサイクル総合技術センター）では発生源別副生塩と再利用時の規格案を検討し表-1のような提案をおこなっている。既

存の塩利用産業は、天然塩を対象として設定された規格となっており、その産業に必要な品質や、安全面・環境面の検討から設定された規格ではないことが多いので、再生塩の利用促進を阻害する可能性がある。このため利用用途に応じた規格化が求められる。（注：ソーダ工業の場合、天然塩組成に準ずる。）

7. 再生塩の集中精製による新しい環境産業提案

再生塩は現在、最終処分場の浸出水処理等を通して発生するが、その場合、日量数t程度の塩が生成するのみで、個々の最終処分場単独で精製装置を設置することは非効率的である。これを解決する手法として再生塩回収利用センターや濃縮液集中処理センターの設置が考えられる（図-4）。すなわち、最終処分場浸出水処理施設に脱塩処理を組み込む場合、

表-1 再生塩規格案（文献2）を修正・加筆

項目	天然塩組成	浸出水脱塩濃縮液精製塩例	重曹脱塩溶融炉副生塩	凍結防止用再生塩(案)	アルミニウム精錬 フラックス用再生塩(案)
Ca	400	300	1,600	—	1,200
Mg	200	200	100	—	10,000
Na	383,000	280,000	385,000	—	100,000-400,000
K	200	138,000	100	—	50,000-300,000
Mn		1.3		—	—
Fe		1.0	2,000	—	—
Al		21.0	900	—	—
SO ₄	1,300	7,200		—	5,000-50,000
Cl	591,000	545,000	556,000	—	300,000-700,000
水分量	21,200	1,000	2,800	50,000	30,000
TOC	100	26		—	100
有害物質		含まれない	含まれない	含まれないこと 土壌環境基準	含まれないこと

(単位：mg/kg)

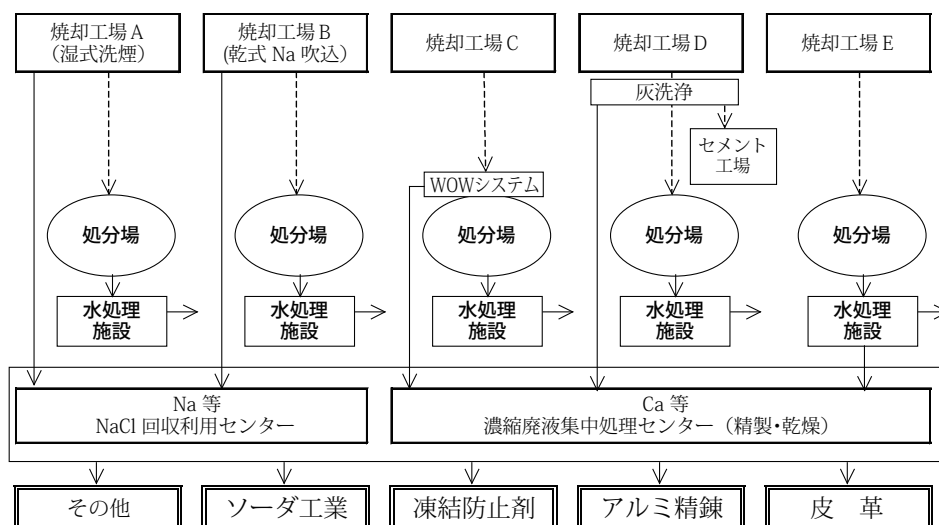


図-4 副生塩集中リサイクルセンター

濃縮液回収または乾燥施設までとし精製は広域で行うものである。このシステムを採用することによって、再生塩が集積されるだけでなく、最終処分場にも低濃度塩類の埋立物が搬入されることになり、処分場の安定化にも寄与するものと考えられる。また湿式排ガス処理や乾式ナトリウム法を採用している焼却炉から回収される塩化ナトリウムについても再生塩回収利用センターに集めることにより再利用別安定供給が可能となる。

8. 今後の課題

副生塩は元々浸出水の高度処理の残さとして発生するもので、元来生成コストが大きい。市場においては、天然塩との競争力がないと判断される可能性もある。したがって、低コスト化を目指すと同時に、消費エネルギーの大きい蒸発乾固過程を経ずに液状の凝縮塩の利用可能性を検討するなど、用途により

品質を設定することが必要である。また再生塩回収利用センター等へは再生委託費として応分のコスト負担が必要である。また塩利用の最大事業者であるソーダ工業においては副生塩を用いてエコアルカリ、エコ酸を生産し焼却施設や浸出水処理施設の中和剤として用いるなど新しい発想にもとづく循環型事業が求められる。副生塩は循環型社会形成を推進していく上での大きな障害のひとつであり、排出者、再利用者、行政、研究機関等が連携して解決すべき課題である。

参考文献

- 1) 樋口壯太郎：日本における塩収支と問題点，廃棄物学会誌，Vol.8,No.7,pp486-492(1997)
- 2) 花嶋，牛越他：浸出水膜濃縮水からの工業塩回収技術の開発，第20回全国都市清掃研究発表会講演論文集，pp332-334(1999)



夕焼けのアシニポイン峰 (3618 m)
(カナディアンロッキー)
2006年7月22日撮影，カメラ NIKON D50