

### 3. 下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究

下水処理研究室 室長 山下 洋正  
 主任研究官 重村 浩之  
 研究官 板倉 舞  
 交流研究員 前田 光太郎

#### 1. はじめに

近年、アンモニアはエネルギーキャリア（水素キャリア）として実証研究が進められている<sup>1),2)</sup>。アンモニアは17.8%の水素量を保有し、常温、1MPa以下で圧縮することによって容易に液化する。アンモニアの利用用途については、尿素や硫酸等として肥料に利用されたり、アクリルニトリル等として化学繊維用の原料に利用されたり、アンモニア水として廃棄物の焼却処理工程で発生する窒素酸化物の脱硝剤に利用されたりと、多岐にわたっている<sup>3)</sup>。今後、アンモニアをエネルギーキャリアとした社会インフラが整備されることで、アンモニアの需要が拡大することが予想される。

一方で、下水処理場において、嫌気性消化汚泥の脱水工程から発生する消化汚泥脱水分離液には高濃度のアンモニアが含まれている<sup>4)</sup>が、一般的には資源として利用されずに処理されている。

今後、アンモニアの需要が拡大した場合、消化汚泥脱水分離液から分離回収した下水道由来のアンモニアを資源利用する可能性について検討が必要となる。図1にエネルギーキャリア導入時におけるアンモニア市場と下水道由来のアンモニアの市場供給イメージを示す。下水道由来のアンモニアを資源利用する可能性の検討を行うためには、アンモニアの回収方法や市場の要求品質・規模等について把握し、課題を整理しておく必要がある。

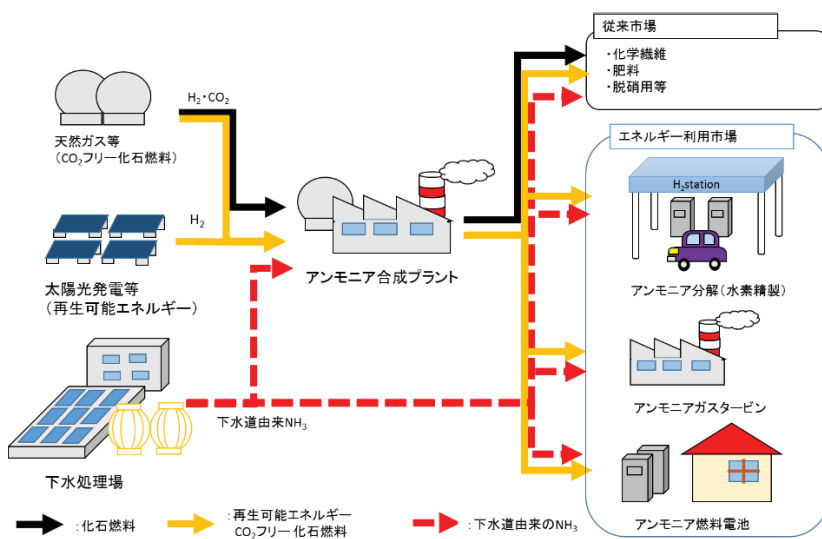


図1 エネルギーキャリア導入時におけるアンモニア市場と下水道由来のアンモニアの市場供給イメージ

本研究は、下水道由来のアンモニアについて、既存のアンモニア除去回収技術の特性や市場性を踏まえた、有効利用の可能性を提示するものである。平成28年は、①下水道由来のアンモニア回収に関する検討として、従来のアンモニア除去回収技術であるアンモニアストリッピングの運転条件（実験条件）がアンモニアガス濃度と処理水水質へ与える影響について確認を行った。また、②下水道由来のアンモニアの市場性に関する調査として、アンモニア製造メーカーに下水道由来のアンモニアの要求品質等についてヒアリング調査を行った。

## 2. 下水道由来のアンモニアの除去回収に関する検討

### 2.1 アンモニア除去回収技術について

下水消化汚泥脱水分離液からのアンモニア除去技術については、横浜市や大阪市などの汚泥集約処理を行っている下水処理場で、返流水処理施設として既にいくつかの技術導入がされている<sup>4)</sup>。大阪市の舞洲スラッジセンターで導入されているアンモニアストリッピングは、蒸気と脱水分離液を放散塔内で気液接触させ、液中からアンモニアを除去している<sup>5)</sup>。一方で、アンモニアストリッピング技術はもともと化学工学の分野でアンモニアを分離回収するための技術である。アンモニアストリッピングで分離回収されるアンモニアガス濃度については、高橋は家畜糞尿の消化汚泥脱水分離液からアンモニアストリッピングを用いて分離回収した濃度は、約1,000ppmと報告している<sup>6)</sup>。しかし、下水汚泥の消化汚泥脱水分離液からアンモニアストリッピングを用いて分離したアンモニアガス濃度に関する知見は十分ではない。そこで、本研究では、下水消化汚泥脱水分離液を用いてアンモニアストリッピングの実験的検討を行い、pHおよび水温条件がアンモニアガス濃度および処理水水質へ与える影響について把握した。

### 2.2 試料

平成28年10月3日にA市のBセンターより消化汚泥脱水分離液と消化汚泥のサンプリングを行った。表1に消化汚泥脱水分離液と消化汚泥の水質を示す。Bセンターではリン酸アンモニウムマグネシウム（MAP）の析出対策として脱水工程でポリ鉄を用いている。そのため、消化汚泥脱水分離液中のPO<sub>4</sub>-P濃度は消化汚泥と比べて低くなっており、溶存態FeおよびSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が高くなっていた。

表1 消化汚泥と消化汚泥脱水分離液の組成

	水温 (°C)	pH	EC (S/m)	SS (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	溶存態Fe (mg/L)	溶存態Ca (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	TOC (mg/L)
消化汚泥脱水分離液	33.2	7.15	0.677	1130	840	33	5.81	32.1	514	50.7
消化汚泥	27.6	7.01	0.614	19000	894	141	1.38	48	0.1	92.4

### 2.3 実験方法

#### 2.3.1 アンモニアストリッピング予備実験（pH調整）

アンモニアストリッピングでpH条件を決めるに当たり予備実験として1mol/L水酸化カルシウムの添加量とpHの変化について確認を行った。実験方法は300mlのビーカーに消化汚泥脱水分離液または消化汚泥200mlを加え、スターラーで攪拌しながら、1mol水酸化カルシウム溶液を1mlずつ加えた。図2に予備実験結果を示す。予備試験において消化汚泥脱水分離液はpH8か

ら10までは緩やかに上昇した。また、pH10を超えたところでpHが急に立ち上がりpH12程度まで上昇した。以上から、pH条件はNot control(NC)および、カルシウム添加量によるpHの急変動が少ない領域のpH9およびpH12と設定した。

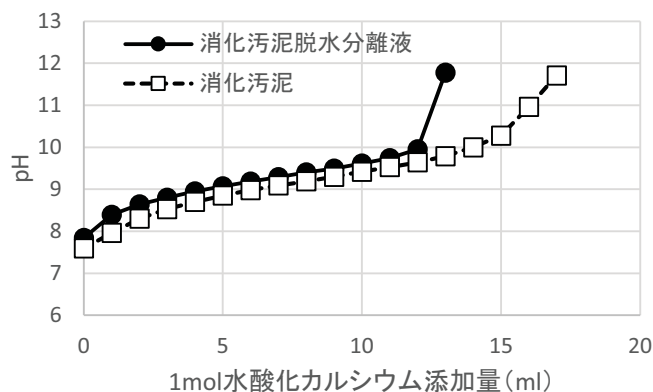


図2 予備実験 (pH調整)

### 2.3.2 アンモニアストリッピング

消化汚泥脱水分離液中のアンモニアの除去回収に用いたアンモニアストリッピングの実験装置を図3に示し、アンモニアストリッピングの実験条件を表2に示す。アンモニアストリッピング槽はサージタンク (2L) を用い、1mol/Lの水酸化カルシウム溶液を用いてpH調整した消化汚泥脱水分離液を槽内に1L入れて、ウォーターバスにより加温可能とした。アンモニアストリッピング槽の後にはアンモニア捕集びん (容量1L、硫酸 (1+17) 500ml) を配置した。アンモニアストリッピング槽とアンモニア捕集びんの間に三方バルブを設置し、所定の時間でガスサンプリングを可能とした。

### 実験条件

表2 アンモニアストリッピング実験条件

水温 (°C)	30, 50, 70
pH	Not control(NC), 9, 12
送風量	0.5 NL/min

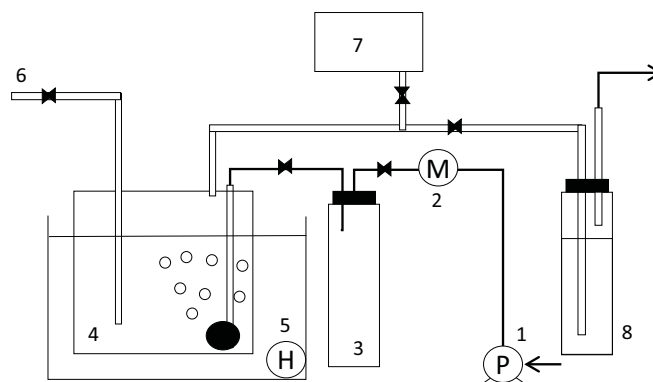


図3 アンモニアストリッピング装置

(1)Air pump, (2) Mass flow meter, (3) Water trap, (4) Ammonia stripping tank, (5) Water Bath, (6) Sampling port, (7) Gas sampling port, (8)Sulfuric acid(1+17)

### 2.3.3 分析方法

分析項目は水温、pH、EC、SS、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、溶存態 Fe および溶存態 Ca を下水試験方法に準拠して測定を行った。TOCはTOC計 (SHIMADZU、TOC-L) で測定した。NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>およびTOCは0.2μmフィルターでろ過したろ液を測定した。溶存態 Fe と溶存態 CaはGFBフィルターでろ過したろ液を測定した。アンモニアガスはガステック社のガス検知管を用いて測定した。

### 2.4 結果および考察

各実験条件にてアンモニアストリッピングを1回 (n=1) 行った。アンモニアガス濃度が最も高かったpH12、水温70°Cについては確認のため再度アンモニアストリッピング (n=1) を行い、2回の平均値とした。

各実験条件におけるアンモニアガス濃度の時系列変化を図4に示す。アンモニアストリッピ

ングガス中のアンモニアガス濃度は実験条件pH12、水温70℃の時に最大となり約6,500ppmであった。1時間後には約5,500ppm、3時間後には2,000ppmまで低下した。pH12、水温70℃では曝気開始直後からアンモニアガス濃度が高い値であった。アンモニアの水温とpHを考慮した気液分配係数は式(1)<sup>7)</sup>で求められる。例えば、pH12、水温70℃のとき気液分配定数は5.1となる。アンモニアガス濃度6,500ppmのとき処理水中のNH<sub>4</sub>-N濃度との比は気液分配係数と同程度となった。坪田らはアンモニーストリッピングについて、液中曝気と気相循環におけるアンモニーストリッピング効率を確認しており、液中曝気の方が気相循環よりも効率が良いと報告<sup>8)</sup>しており、接触効率や送風量、溶存物質等の影響を受けて値は変動すると考えられた。

$$K = \frac{1.441 \times 10^5 \times e^{-3513/T}}{1 + 2.528 \times 10^{-pH} \times e^{6054/T}} \quad (1)$$

pHNCとpH9の実験条件では、アンモニーストリッピング開始から1時間から3時間程度経過してからアンモニアガス濃度のピークが見られた。この理由としては、pHの経時変化について図5に示すとおり、これらの条件ではアンモニーストリッピング開始後にpHが上がっていることから、式(1)の気液分配係数が変化し、アンモニアガス濃度が上昇したものと考えられる。

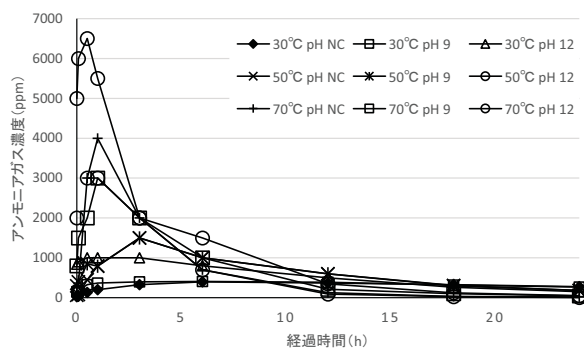


図4 アンモニアガスの経時変化

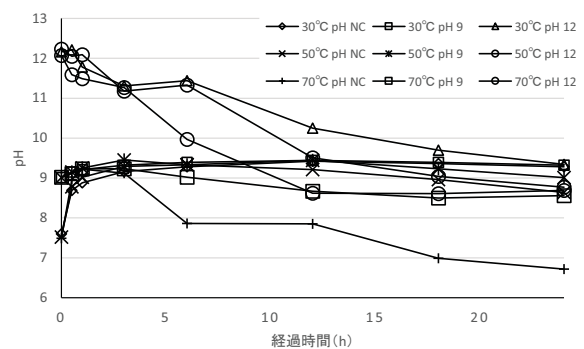
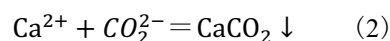


図5 pHの経時変化

pH12の実験条件では水温条件に関係なくpHは右肩下がりで低下し、水温70℃と50℃では運転終了後(24時間後)にpHが9まで低下した。その他の実験条件ではpHが一端上昇してから低下もしくは横ばいとなった。pH低下の理由としてはアンモニアの除去による影響と大気中のCO<sub>2</sub>の吸収による影響の2つが考えられた。そこで、大気中のCO<sub>2</sub>の吸収によるpHへの影響を確認するため、TOC計を用いてIC濃度の経時変化を測定した結果を図6に示す。すべての実験条件において経過時間とともにIC濃度は低下していることから、pHが低下した原因は大気中のCO<sub>2</sub>吸収によるものではないと考えられた。逆に、pHNCとpH9の実験条件においては、IC濃度が低下したことが原因でpHが上昇したと示唆された。IC濃度は水温によって除去速度が異なり、pHNC、水温70℃では、初期濃度582mg/Lから30分後には249mg/L(除去率57%)まで低下した。なお、実験条件がpH12のときIC濃度が低い原因は、式(2)に示すとおりCa<sup>2+</sup>とCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>が反応し炭酸カルシウムとして沈殿したためと考えられる。



アンモニアストリッピングにおける処理水水質について、NH<sub>4</sub>-N濃度の経時変化を図7に示す。アンモニアはpH12、水温70℃の実験条件において最も効率良く除去され、6時間後にCセンターの処理水的设计値である100mg/L以下<sup>5)</sup>となった。式(3)により求めたアンモニア除去率は87.8%であった。従って、アンモニアストリッピングの処理時間は、運転条件pH12、水温70℃、曝気量0.5NL/minのとき6時間程度で良いことが示された。その他の実験条件についても、pH9、水温70℃では18時間後にNH<sub>4</sub>-N濃度54mg/L(アンモニア除去率93%)、pH12、水温50℃では24時間後にNH<sub>4</sub>-N濃度82mg/L(アンモニア除去率90%)となった。

$$\text{アンモニア除去率} = \left(1 - \frac{\text{終濃度}}{\text{初期濃度}}\right) \times 100 \quad (3)$$

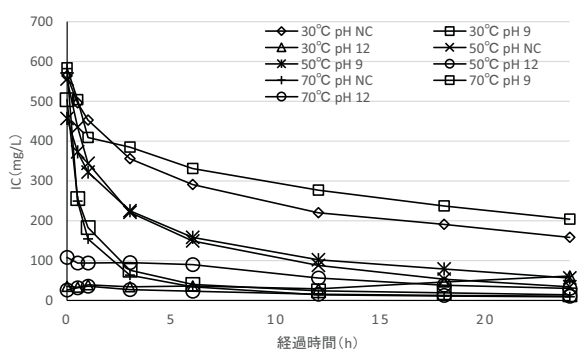


図6 IC濃度の経時変化

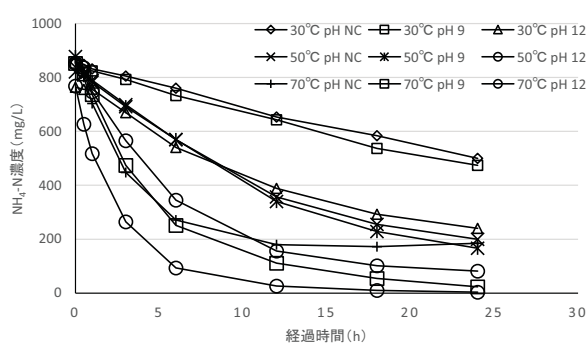
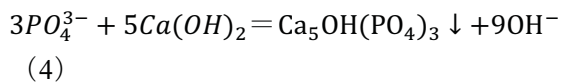


図7 アンモニア濃度の経時変化

アンモニアストリッピングにおけるPO<sub>4</sub>-P濃度の経時変化を図8に示す。水酸化カルシウムは石灰凝集法として式(4)に示す反応により、PO<sub>4</sub>-Pを不溶性にし、沈殿することができる<sup>9)</sup>。水酸化カルシウムを添加した実験系ではスタート時点でPO<sub>4</sub>-Pが低い値を示しており、pH9は2mg/L、pH12は定量下限値以下となっていた。アンモニアストリッピング処理水もpH9で2~3mg/L、pH12は検出下限値または0.6mg/Lであった。一方で、pHNCは一端PO<sub>4</sub>-P濃度が低下したが反応時間が進むとPO<sub>4</sub>-P濃度が高くなった。



アンモニアストリッピング処理水中の溶存態CaとSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度を表3に示す。実験時のpH調整として水酸化カルシウムを添加したため、アンモニアストリッピング開始時はpHが高い条件ほど溶存態Caが高くなる傾向にあった。一方で、アンモニアストリッピング終了時の溶存態Ca濃度は水温が高い条件ほど高くなる傾向にあった。また、アンモニアストリッピング終了時の溶存態Caはアンモニアストリッピング開始前より低下していることから、槽内で凝集もしくは析出していることが示唆された。

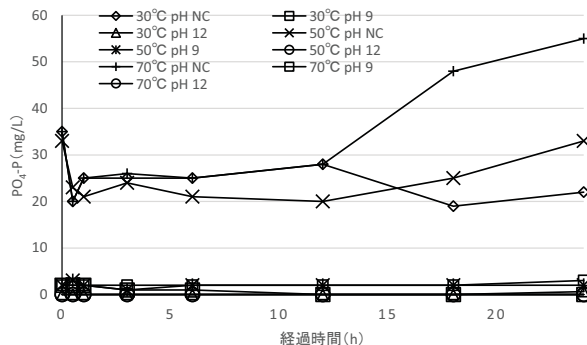


図8 PO<sub>4</sub>-P濃度の経時変化

これは、処理水中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は水温が高くなるほど濃縮されて高濃度となったと考えられる。

表3 アンモニアストリッピング処理水中の溶存態CaとSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度

		30°C			50°C			70°C		
		pH NC	pH 9	pH 12	pH NC	pH 9	pH 12	pH NC	pH 9	pH 12
溶解性Ca (mg/L)	0h	32.7	85	660.4	33.2	77.5	695.3	32.4	37.5	512.5
	24h	19	30.2	19	10.2	47.1	94.1	26.8	188.5	152.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0h	529	479	402	518	492	383	516	515	365
	24h	546	494	405	535	546	413	718	684	410

アンモニアガスを硫酸アンモニウムとして回収した結果を表4に示す。アンモニアの回収率は式(5)で求めた。アンモニア回収率はアンモニア除去率と同様にpH12、水温70°CとpH9、水温70°Cの実験条件において高かった。一方で、高水温条件では、水蒸気が捕集されNH<sub>4</sub>-N濃度が低下するが多かった。今後、運転時間や水分除去等も含め、NH<sub>4</sub>-N濃度の低下対策の可能性も検討が必要である。PO<sub>4</sub>-Pについては全て検出下限値以下であった。

$$\text{アンモニア回収率} = \left( \frac{\text{捕集液の終濃度} \times \text{捕集液量}}{\text{処理水の初期濃度} \times \text{初期処理水量}} \right) \times 100 \quad (5)$$

表4 アンモニアガス回収結果

	30°C			50°C			70°C		
	pH NC	pH 9	pH 12	pH NC	pH 9	pH 12	pH NC	pH 9	pH 12
捕集液量(ml)	505	505	505	550	545	550	700	715	650
NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	613	668	983	1099	1052	1297	975	1120	1137
アンモニア回収率(%)	36	40	65	74	65	84	79	94	94
PO <sub>4</sub> -P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

アンモニアストリッピングによって分離回収したアンモニアガスのエネルギー利用について、アンモニアをエネルギーキャリアとした研究では、高純度(99.9%)の工業用液体アンモニアを用いて100%アンモニアガスを得ているのと比較して、本研究ではアンモニア濃度が1,000mg/L程度の消化汚泥脱水分離液を用いているため、分離回収で得られたアンモニアガス濃度は6,500ppmとかなり低かった。よって、消化汚泥脱水分離液からアンモニアストリッピングによって分離回収したアンモニアガスを直接エネルギー利用することは現実的難しいと考えられ、今後は分離回収したアンモニアスガスの濃縮方法等について検討する必要がある。また、アンモニア水として回収し、脱硝剤や肥料の原料として利用出来ないか検討することも有用である。

### 3. 下水道由来のアンモニアの市場性に関する調査

#### 3.1 アンモニア市場と下水道由来のアンモニアについて

世界のアンモニア生産量(2012年)は1億6,500万tで、そのうち、化学肥料が約84%占めている<sup>3)</sup>。日本におけるアンモニアの生産量は約90万t/年(2015年)<sup>10)</sup>で、国内で生産されるアンモニアは1990年時点で、12プラント、生産能力約200万t/年、工業用が81%という調査結果があり、工業用比率が極めて高い傾向は現在でも大きく変化がない<sup>3)</sup>と考えられている。JSTと内閣府で進めている戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)では、エネルギーキ



キャリアとしてアンモニア利用の実証研究を進めている。平井らはアンモニアのエネルギー利用を考えた場合、アンモニアの生産規模は1桁ないし2桁大きな数字に膨れ上がると想定している<sup>3)</sup>。

下水道由来のアンモニア生産については、下水汚泥を乾式アンモニア・メタン二段発酵や超高濃度嫌気性消化を用いたアンモニア生成と分離回収の研究が行われている<sup>11)、12)</sup>。一方で、下水道由来のアンモニアについて、一般市場の要求品質や利用に関する情報が整理されていない。そこで、下水道由来のアンモニアの要求品質について情報を収集整理しておく必要がある。

本研究では、①アンモニアのエネルギーキャリアとしての要求品質についてSIPの運営機関への確認と、②アンモニア市場と下水道由来のアンモニア利用についてアンモニア製造メーカーへのヒアリング調査を行った。

### 3.2 アンモニアのエネルギーキャリアとしての要求品質

現在、SIPでは、エネルギーキャリアとしてアンモニアの利用検討を行っている。そこで、エネルギーキャリアとしてのアンモニアの品質について関連団体に確認を行った。

エネルギーキャリアとしてのアンモニア品質は、表5に示す工業用液体アンモニアの品質規格のものを用いて検討が行われていた。また、現在開発されている技術を本格的に実用化するには、工業用液体アンモニアほどの品質は不要であり、規制緩和される可能性があることが示された。

表5 液体アンモニアの品質規格例

項目	濃度	分析法
純分	99.9wt%以上	100－(水分＋蒸発成分)
水分	0.08wt%以下	JIS K-0068
油分	0.001wt%以下	JIS K-0117

### 3.3 アンモニア市場と下水道由来のアンモニア利用について

アンモニア市場と国内流通および下水道由来のアンモニアに対する要求品質を把握するため、関東地方に本社または営業所を持つ民間企業2社にヒアリング調査を行った。

#### 3.3.1 アンモニア市場と国内流通への影響

アンモニアをエネルギーキャリアとして導入した場合におけるアンモニア市場と国内流通への影響についてヒアリング調査結果を表6に示す。アンモニアをエネルギーキャリアとして導入した場合において、アンモニアの流通品質は、2社ともにアンモニアの品質は現状を保持して生産供給することを想定しており、アンモニアの市場価格は維持もしくは上昇する可能性がある。また、アンモニアの原料価格への影響については、アンモニアの原料は天然ガスが大部分を占めており、アンモニアをエネルギーキャリアとして利用する場合、原料価格が上昇することが想定された。そのため、国内のアンモニア製造を止め、海外で安価な褐炭を購入製造するメーカーも出てくる可能性があることが示唆された。エネルギーキャリアとしてのアンモニア製造については、アンモニア製造プロセスで大量のCO<sub>2</sub>を排出することから、化石燃料以外の原料を用いて生産すること、もしくはCO<sub>2</sub>の再利用が必要となることが想定されていた。

表6 アンモニアをエネルギーキャリアとして導入した場合の国内流通に与える影響

項目	内容
アンモニア流通品質	・化学繊維用や発電所のNOx処理等の場合と同じと考えている。
アンモニア需要への影響	・キャリアガスとして需要の増加が見込まれ、不足分は輸入が必要な場合や必要量が確保されなければ、化学繊維用や肥料用のアンモニア価格上昇が予測される。 ・キャリアガスとして大量に利用されればアンモニア需要への影響が出る可能性はあるが、活用量が不明のため、需要への影響も不明であり、化学繊維用や肥料用のアンモニア価格は維持されると想定される。
アンモニアの原料価格への影響	・アンモニアの大部分は、天然ガス原料から製造されており、天然ガス需要が増加して価格も上昇することが予想される。 ・安価な褐炭を使用することを考えて、海外で工場を作るメーカーも出てくることが予想される。
アンモニアの製造への影響	・アンモニア製造時に大量のCO <sub>2</sub> を排出している。そのため、CO <sub>2</sub> を排出しないアンモニア製造プロセスの開発や発生するCO <sub>2</sub> の再利用が必要と考えている。また、アンモニア製造には大量のエネルギーを必要とするため、より小さなエネルギーで生産できる新製法が望ましい。 ・エネルギーキャリアとして利用するアンモニアについては化石燃料を原料としない。

### 3.3.2 下水道由来のアンモニア利用

下水道由来のアンモニア利用についてヒアリング調査結果を表7に示す。なお、ヒアリングにおける下水道由来のアンモニア濃度は1%程度を前提として行った。

下水道由来のアンモニア利用について、液体アンモニアもしくは25%アンモニア水として回収し、市場に供給することを想定した場合、アンモニアの最低生産量は10tローリー車を毎日運用可能な規模が目安になることが示唆された。

アンモニアの形態について、一般市場に流通しているアンモニアは低濃度のもので25%アンモニア水である。今回のヒアリングでは、下水道由来のアンモニア濃度は1%を前提としているが、この1%アンモニア水はアンモニアとして評価されず、希釈水として利用されることになる。そのため、下水道由来のアンモニアを工業用に利用するためには、アンモニアの濃縮方法等について検討する必要がある。

また、下水道由来のアンモニア水の取引を検討するためには、不純物に関する情報等を収集整理しなければならない。工業用のアンモニア製造工程では、不純物として硫黄や塩素を除去している。日本工業規格（JIS）において、アンモニア水（試薬）や尿素水における不純物質の規格値や許容値が定められており<sup>13)</sup>、<sup>14)</sup>、規格値には蒸発残分、炭酸塩、塩化物、リン酸塩等が、許容値にはアルカリ度や不溶解分、リン酸、カルシウム等が定められている。また、下水道由来のアンモニアを硫酸アンモニウムとして回収することも考えられるが、粉末化設備が必要となり、設備費用が増加することが示唆された。

以上より、下水道由来のアンモニア利用について、1%アンモニア水の形態では濃度が低いため工業利用は難しいことが示唆された。一方で、地方公共団体は、運営する清掃工場の排煙に含まれる窒素酸化物除去のために25%アンモニア水を購入しており、下水道由来のアンモニアを使用用途に合わせた濃度で回収することができれば、地方公共団体の薬剤購入費を削減に貢献できる可能性があることがわかった。



表7 下水道由来のアンモニア利用について

項目	内容
最低生産量	・事業性を考慮して液体アンモニアもしくは25%アンモニア水で10t/日以上(ローリー1台分の出荷が必要と想定される)。
アンモニアの必要濃度	・液体アンモニアは化学繊維用の品質を満たすことが条件。 ・アンモニア水の場合は25%溶液で不純物がないことが条件。
アンモニアの形態	・25%アンモニア水 市場で流通しているアンモニア水は25%である。 ・硫化アンモニウム 硫酸アンモニウムとして回収する場合、硫酸購入費と粉末化する設備投資費も必要となりコストが増加する。
不純物について	・塩素はプロセスの途中でアルカリ水を用いて中和除去。 ・硫黄は脱硫装置で除去。 ・シロキサンは検討したことがない。 ・ストリップング工程で分離できない揮発成分が、利用先で問題になる可能性がある。
下水道由来のアンモニア利用に関する意見	・アンモニア水自体は、地方公共団体が購入しているため、使用用途に合わせた品質で回収することができれば、薬剤購入費の削減に貢献できる可能性がある。 ・下水道由来のアンモニア水については、廃棄物としてお金を受け取るかと有価物としてお金を支払うかで検討が大きく異なる。 ・下水道由来のアンモニア利用検討を行うため、ガス組成や不純物の情報を整理が必要である。
下水処理場の優位性	・アンモニア濃度が1%と低い場合はアンモニア水を製造するための希釈水として評価することになる。 ・CO <sub>2</sub> とアンモニアを利用して尿素を合成できるメリットがある可能性がある。尿素は脱硝、樹脂として活用する場合がある。

### 3.3.3 考察

下水道由来のアンモニアは非化石燃料由来であり、新たなアンモニアの供給源として期待される。一方で、下水道由来のアンモニアは濃度が低いことや不純物に関する情報が少ないことが課題としてあげられた。今後、分離回収技術の改善により下水道由来のアンモニアの濃度を高くするとともに、不純物に関する情報を収集整理していくことで、下水道由来のアンモニア利用が促進される可能性が示唆された。

## 4. まとめ

下水道由来のアンモニアのエネルギー資源利用を目的として、アンモニア除去回収技術であるアンモニーストリッピングにおいて水温とpHの条件が回収アンモニアガス濃度に与える影響についての実験的検討および下水道由来のアンモニアの利用可能性についてのアンモニア製造メーカー等へのヒアリング調査を行った。結果は以下のとおりである。

- (1) アンモニアのエネルギー利用は99.9%と高濃度のもので検討されており、アンモニーストリッピングで分離回収した低濃度の下水道由来アンモニアガスをエネルギー資源として直接利用することは現実的に難しく、濃縮方法について検討する必要がある。
- (2) 消化汚泥脱水分離液からアンモニーストリッピングで分離したアンモニアガス濃度にpHと温度が影響した。また、脱水分離液中のCO<sub>2</sub>濃度がpHに影響し、アンモニースト

リッピングで分離したアンモニアガス濃度にも影響を与えることが示唆された。

- (3) エネルギーキャリアとしてのアンモニアは化石燃料を原料としないため、本格的に導入された場合、下水道由来のアンモニアは非化石燃料由来のアンモニアの新たな供給源として期待できることが示唆された。一方で、製造工程で出るCO<sub>2</sub>の再利用、製造工程の省エネ化等が必要といった課題も抽出された。
- (4) 下水道由来のアンモニア利用については、アンモニア濃度が1%と低いアンモニア水の形態では市場価値が低い。一方で、地方公共団体に利用しているアンモニア水の要求品質に調整することが可能ならば、地方公共団体に購入している薬剤費を削減できる可能性があることがわかった。

今後は、下水道由来のアンモニアに適した利用方法等について、検討を進める予定である。

#### 【参考文献】

- 1) George Thomas and George Parks : Potential Roles of Ammonia in a Hydrogen Economy -A Study of Issues Related to the Use Ammonia for On-Board Vehicular Hydrogen Storage-, U.S. Department of Energy、2006
- 2) 小島由継、アンモニアを用いた水素エネルギーシステム、pp.1~12、CMC出版、2015
- 3) 平井晴己、呂正、高木英行、村田晃伸：アンモニアの需要および輸入価格の現状について-アンモニアのエネルギー利用に関する予備的調査-、一般財団法人 日本エネルギー経済研究所HP、[https://eneken.ieej.or.jp/report\\_detail.php?article\\_info\\_\\_id=6317](https://eneken.ieej.or.jp/report_detail.php?article_info__id=6317)、2015
- 4) 財団法人 日本下水道協会、下水道施設計画設計指針と解説 後編、p.310、財団法人 日本下水道協会、2009
- 5) 窪田光一、アンモニアストリッピング法を用いた脱水分離液処理設備の実稼動運転報告、pp.719~721、第43回下水道研究発表会公演集、2006
- 6) 高橋潤一、アンモニアを用いた水素エネルギーシステム、pp.164~176、CMC出版、2015
- 7) G.Sarcco and G Genon、High temperature ammonia stripping and recovery from process liquid wastes、pp.191~206、Journal of Hazardous Materials、Vol.37、1994
- 8) 坪田潤、角新支朗、津野洋：コーヒー滓を主体とした食品工場残渣の無希釈メタン発酵—超高温可溶化/アンモニアストリッピング技術の導入効果—、廃棄物学会論文誌、pp.51~60、Vol.19、No.1、2008
- 9) 藤田賢二、水処理薬品ハンドブック、p.111、技報堂出版、2003
- 10) 日本肥料アンモニア協会、アンモニア需給実績、日本肥料アンモニア協会HP、<http://www.jaf.gr.jp/>
- 11) 余剰脱水汚泥等の乾式アンモニア・メタン発酵による減量化及びエネルギー回収、再生と利用、pp.6~15、Vol.37、No.139、2013
- 12) 下水汚泥の超高濃度嫌気消化とアンモニア除去/回収、土木学会論文集G（環境）、pp.117~124、Vol.72、No.7、2016
- 13) 日本規格協会、アンモニア水（試薬）JIS K 8085、p.2、日本規格協会、2006
- 14) 日本規格協会、ディーゼル機関—NO<sub>x</sub>還元剤AUS32—第1部：品質要件JIS K 2241-1、p.3、日本規格協会、2009