

◆ 報文 ◆

下水道への厨芥受け入れが汚泥の嫌気性消化に及ぼす影響

落修一*

1. はじめに

下水道は、市町村や都道府県などの事業として建設、管理されている。これまで下水道に台所で発生する生ゴミ（以後、厨芥〔ちゅうかい〕という）は受入れてこなかった。しかし、昨今は、贅否両論があるものの各家庭の厨芥を下水道が受入れるようにすることへの社会的な要望が強まりつつある。この場合、各家庭で発生する厨芥は、各自が台所に厨芥を破碎するディスポーザを設置して、これまでの台所排水といっしょに下水道に流すことになる。

一方、下水道事業者においては破碎された厨芥の流入にともなう下水道システムへの影響を評価しておく必要がある。土木研究所では、このような時勢の到来を鑑み、これまでに厨芥流入による汚濁負荷量の増加について調査する¹⁾とともに、それによる高度処理への影響について研究している²⁾。

本報文は、厨芥の受け入れが汚泥の嫌気性消化に及ぼす影響を実験により調べ、エネルギー源としてのメタンガス生産についての評価を行ったものである。

2. 下水処理場における汚泥の嫌気性消化

嫌気性消化は、嫌気性微生物（生息場に酸素(O₂)が有ることを嫌う種類の微生物）の働きにより有機物を分解して二酸化炭素とメタンを主成分とするガスを産するものである。このようなことから嫌気性消化はメタン発酵とも称せられ、その現象は水圏の堆積層や泥炭地、ゴミの埋立地、あるいは牛や羊などの反芻動物の消化器官などの大気と遮断された自然界において普遍的に見られる微生物の営みのひとつである。

下水処理場では、下水を処理する工程の最初沈殿池と最終沈殿池から汚泥が発生する。最初沈殿

池から発生する汚泥を最初沈殿池汚泥と称し、最終沈殿池から発生する汚泥は余剰活性汚泥と称される。これらの汚泥は、有機物に富み、生物学的に不安定で腐敗しやすく、嫌気性消化に適した性状を有している。このようなことから、下水処理場では汚泥の生物学的な減量、安定化と同時にエネルギー源としてのメタンガスが生産できる嫌気性消化法の導入が進んできた。そして、下水道の分野ではメタン発酵を嫌気性消化、その方法を嫌気性消化法と称している。

本報文では「好気性消化」の用語も用いる。これは「嫌気性消化」が嫌気性微生物の働きを利用したものであるのに対して、生息に酸素(O₂)を必要とする好気性微生物の働きを利用して有機物を分解・安定化させるものである。

3. 厨芥混入汚泥の嫌気性消化実験

3.1 目的

下水汚泥の嫌気性消化法には消化温度が30～40°Cの範囲で運転される中温消化法と50～60°Cの範囲で運転される高温消化法がある。これらは、計画汚泥処理量に対して消化日数が中温消化法で20日、高温消化法で15日となるよう設計されている。

嫌気性消化法を用いている下水処理場は、厨芥流入にともなう消化処理すべき汚泥量の増加や質的な変化に対して当面は既存の消化槽容量・能力の中で対応して行かなければならない。しかし、中温消化法や高温消化法により設計された施設の厨芥流入に対する処理能力を評価するために必要な確度ある情報はほとんどなかった。

このために、実際の厨芥を下水汚泥に混入させた中温消化法と高温消化法による連続実験を行い、厨芥の混入による固形物の減量化への影響やメタンガスの生産性について調べたものである。

3.2 実験方法

実験は、消化温度が35°Cの中温消化法と55°Cの高温消化法について、それぞれ消化日数を20,

15, 10 日に設定して行った。また、下水汚泥に対する厨芥の混入率は、厨芥の流入が最大に達した状態を想定して設定した。実験で必要とした汚泥や水質の分析方法は下水試験方法(1997)³⁾に依った。

3.2.1 厨芥と下水汚泥の混合率

下水汚泥に対する厨芥の混合率は、それぞれの発生量原単位を下水汚泥:70g-TS^{注1)}/人/日、厨芥:250g(湿重量)/人/日(\approx 35g-SS^{注2)}/人/日)とし、この原単位の比率で混合されたものを、厨芥の流入量が最大に達した状態と想定した。

ここで、下水汚泥の発生量原単位は、全国の下水処理場の維持管理データ⁴⁾から過年度の推移を解析して全国平均値として求めたものである。厨芥発生量の原単位は、当所の調査¹⁾を含めて過去に多くの調査が行われ(例えば(財)日本建築センター(平成7年)⁵⁾)、一般的な値とされているものである。

3.2.2 下水汚泥と厨芥の準備

下水汚泥は、流域下水道の処理場から最初沈殿池汚泥と余剰活性汚泥が混合しているものを採取して重力濃縮を施し、固体物濃度を35g-TS/Lに調整した後、5°Cにて低温保存したものを用いた。

厨芥には、朝、昼、夕の三食を供用する土木研究所の職員食堂から発生したものを用いた。厨芥は、計量後、その全量をディスポーザにより破碎した後、これをベースに[生・厨芥]と[消・厨芥]の2種類を作成準備した。写真-1に収集した時点の厨芥の状況を、写真-2にディスポーザ破碎した厨芥の状況(実際は、水道水を流しながら破碎されるために、これとは異なる。)を示した。

[生・厨芥]は、破碎したものを直ちに2,000rpm-10minで遠心分離し、固体物を回収したものである。これは、最も新鮮な厨芥を意味し、台所から流下する時点の厨芥の固体物を表している。

[消・厨芥]は、厨芥が下水管渠を流下する間に好気性消化により有機物の安定化が進行することを想定したものであり、ここでは、下水管渠における最も安定した状態を想定した。すなわち、破碎した厨芥を容積で2倍量の水道水で薄めたものに少量の活性汚泥を植種して30°Cの恒温室にて空気を24時間連続供給しながら好気性消化を施

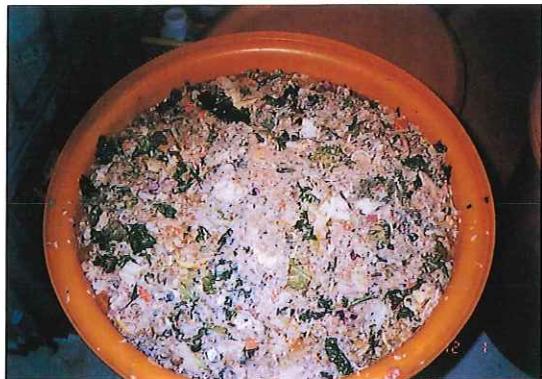


写真-1 実験のために収集した厨芥

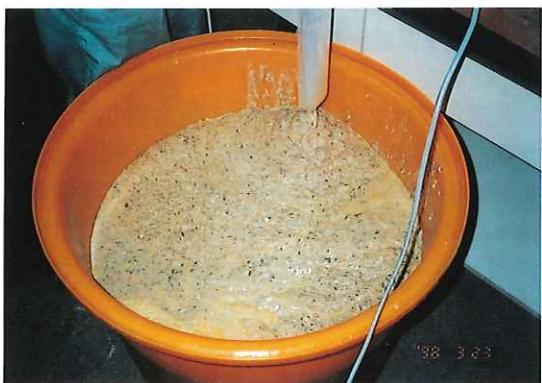


写真-2 ディスポーザ破碎した厨芥

した。その後、重力濃縮と2,000rpm-10minの遠心分離を行い固体物を回収したものである。

これら2種類の厨芥は実験に必要な数ヶ月分をまとめて準備し、冷凍保存した後、隨時、5°C以下で低温解凍して用いた。

厨芥は実験を通して4回収集・準備した。厨芥の準備操作における重量の変化は4回とも大差ないものであった。その変化率の平均値を表-1に示した。これより、実験に供した[生・厨芥]と[消・厨芥]は、台所で発生した時点の固体物量(TS)のそれぞれ47%と35%が下水汚泥と混合されたことになる。

なお、準備操作の段階において重力濃縮や遠心分離により上澄中の固体物(TS)として排除された分は、下水処理場の水処理工程で下水と一緒に表-1 準備操作による厨芥の重量変化率

	原料	生・厨芥	消・厨芥	
		脱水厨芥	消化濃縮液	脱水厨芥
湿潤重量	1	0.593		0.567
TS量	1	0.474	0.577	0.350
VS量	1	0.511	0.605	0.387

注1) TS : Total Solids (蒸発残留物)

注2) SS : Suspended Solids (浮遊物質)

処理され放流されることになる。

3.2.3 実験装置と運転方法

実験には3台の連続実験装置を用いた。それぞれ有効容積が100Lの消化槽とそれを間接的に温度制御する恒温水槽、汚泥投入ポンプ、汚泥引抜きポンプ、発生ガス計量器、及びこれらの制御装置からなる。各装置のポンプは、1日4回6時間間隔で汚泥の引抜きと投入を行うよう設定した。また、実験装置の1台では下水汚泥のみを処理し、他の2台で厨芥混入汚泥を処理した。消化槽に投入する厨芥混入汚泥は、下水汚泥の濃度と液量を各装置間で同一とし、それに[生・厨芥]と[消・厨芥]を混合して用いた。

消化温度が35°Cの実験装置の運転期間は、最初に消化日数：20日の条件で56日間を行い、消化日数：15日の条件で46日間、消化日数：10日の条件で34日間行った。消化温度が55°Cの実験では、消化日数：20日の条件で84日間、消化日数：15日の条件で49日間、消化日数：10日の条件で35日間行った。

3.3 実験結果

3.3.1 実験系の平均的な消化成績

実験条件に対する系の安定性は、消化汚泥のpHやTS, VS^{注3)}、発生した消化ガス量等の経日変化から判定した。

嫌気性消化の進行状況は、固体物量や消化ガスの日々の推移を累積変化量として表すことにより把握し易くなる。図-1に、その例を示した。投入汚泥の性状が変わらず同一の運転条件の基では、嫌気性消化が安定して進行するようになるとガス発生量や引抜かれる固体物量の累積変化はより直線に近づく。逆に、何らかの障害や変更が生じると累積変化の傾向に変曲点が現れる。

本実験では、投入汚泥に用いた下水汚泥と厨芥の採取・準備時期及びその使用期間を統一するよう努めたことから系の安定性は容易に判定できるものであった。実験系が定常状態に達していたと思われる期間の平均的な消化成績について、消化温度：35°Cの結果を表-2に、消化温度：55°Cの結果を表-3に示した。

一方、投入汚泥の濃度は実験を通じてほぼ一定に維持され、それぞれの実験条件下では安定した消化成績が得られたものの、実験全体を通じた

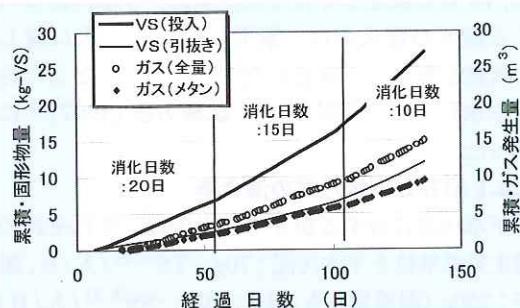


図-1 消化成績に係わる項目の累積変化量の例
(消化温度：35°C,[生・厨芥] 混入汚泥のケース)

消化汚泥の固体物量と消化ガス量の経日変化からは、日常の水質分析からは読み取れない嫌気性消化の難易性に係わる投入汚泥の性状が、季節的に大きく変化していたことが認められた。このために、表-2や表-3に示した結果を用いて絶対値で比較・議論する場合は、同一の消化温度における同一の消化日数の間でのみ可能であり、それ以外の条件間にはなじまないものである。

3.3.2 厨芥混入と消化成績

図-2と図-3は、厨芥混入に伴い投入固体物量が増加したことによる消化成績を、それぞれ消化汚泥の固体物量と消化ガスの発生量について、対照系で得られた従来条件の結果(=1)と比較したものである。また、図-4は、厨芥混入系における消化ガスの発生量の増加分が混入した厨芥から直接発生したものであると仮定して、厨芥混入系と対照系から得られたガス発生率の差額として求め、対照系の下水汚泥のみの結果と比較したものである。

図-2より、厨芥混入による投入固体物の増加分よりも消化汚泥の固体物分の増加率は低く、厨芥が従来の下水汚泥よりも消化し易い性状であり、図-3と図-4からは消化により減少した固体物の分は容易にガス発生、メタンガス生産に繋げられることを示している。

ここで、各消化条件下における結果を同列で比較するのは必ずしも適切ではないが、傾向として、図-2と3においては消化日数が短い場合の固体物消化割合が低いのに対してガスの発生割合は高く、一方、図-4からは厨芥のガス発生率は消化日数が長いほど高くなっている。これらの結果は、厨芥に含まれる或いはそれを構成している粒子群が下水汚泥よりも遙かに消化されやすい性状であることを

注3) VS : Volatile Solids (強熱減量)

表-2 消化温度：35 °C における平均的な消化成績

消化温度 実験系 消化日数(日)		35 °C											
		生・厨芥			対照			消・厨芥			対照		
投入汚泥	pH	4.45	4.49	4.72	4.75	5.01	5.24	4.57	4.57	4.80	4.75	5.01	5.24
	TS (g/L)	4.30-4.71	4.31-4.90	4.32-5.16	4.54-5.09	4.66-5.23	4.83-5.55	4.46-4.72	4.45-4.88	4.43-5.07	4.54-5.09	4.86-5.23	4.83-5.55
	VS/TS (-)	34.4	38.5	39.1	27.9	27.8	26.7	36.0	34.6	36.6	27.9	27.8	26.7
	VS/TS (-)	0.801	0.800	0.822	0.768	0.758	0.766	0.805	0.798	0.814	0.768	0.758	0.766
消化汚泥	pH	7.28	7.28	7.30	7.17	7.14	7.16	7.33	7.22	7.30	7.17	7.14	7.16
	TS (g/L)	7.26-7.29	7.23-7.31	7.19-7.42	7.16-7.18	7.10-7.17	7.01-7.22	7.31-7.35	7.17-7.25	7.27-7.34	7.16-7.18	7.10-7.17	7.01-7.22
	VS/TS (-)	13.73	21.3	23.6	19.96	19.17	18.31	17.13	19.68	22.8	19.96	19.17	18.31
	TOC (mg/L)	330	251	456	297	184	171	326	239	221	297	184	171
溶解性 溶浴	IC	729	894	669	516	652	614	749	803	759	516	652	614
	NH ₄ -N	905	888	730	682	678	639	952	860	786	682	678	639
	PO ₄ -P	27.0	16.80	17.91	24.7	24.4	22.5	31.6	27.2	25.1	24.7	24.4	22.5
	酢酸	0	0	212	74	0	0	0	0	0	74	0	0
消化ガス	プロピオ酸	0	68	312	53	0	0	0	7	0	53	0	0
	(i+o)-酪酸	609	733	703	494	358	437	637	492	573	494	358	437
	i-吉草酸	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	n-吉草酸	0	0	0	0	0	0	6	73	0	0	0	0
漂浮物	TS (%)	60.1	44.7	39.6	28.4	31.1	31.5	52.5	43.2	37.6	28.4	31.1	31.5
	VS	67.2	50.5	47.2	39.6	41.3	45.7	60.3	51.3	44.7	39.6	41.3	45.7
消化ガス	CH ₄ (v/v-%)	63.9	63.6	62.8	64.6	64.6	64.0	63.2	62.5	62.6	64.6	64.6	64.0
	CO ₂	36.1	36.6	37.1	34.7	34.9	32.9	36.6	37.2	36.4	34.7	34.9	32.9
ガス発生率	Total (m ³ /TS _o -kg)	0.611	0.517	0.451	0.429	0.340	0.279	0.498	0.513	0.460	0.429	0.340	0.279
	CH ₄	0.392	0.331	0.281	0.273	0.219	0.181	0.316	0.324	0.285	0.273	0.219	0.181
	Total (m ³ /VS _o -kg)	0.762	0.646	0.548	0.558	0.448	0.365	0.619	0.643	0.566	0.558	0.448	0.365
	CH ₄	0.489	0.414	0.342	0.356	0.288	0.236	0.392	0.406	0.350	0.356	0.288	0.236
ガス発生率	Total (m ³ /VS _{o-co₂} -kg)	1.134	1.279	1.161	1.410	1.086	0.978	1.026	1.253	1.268	1.410	1.086	0.978
	CH ₄	0.728	0.820	0.723	0.900	0.699	0.516	0.651	0.791	0.785	0.900	0.699	0.516

表-3 消化温度：55 °C における平均的な消化成績

消化温度 実験系 消化日数(日)		55 °C											
		生・厨芥			対照			消・厨芥			対照		
投入汚泥	pH	5.16	4.93	5.08	5.45	5.36	5.29	5.16	5.07	4.90	6.19	5.36	5.26
	TS (g/L)	4.70-6.10	4.76-5.14	4.84-5.31	5.04-5.99	5.04-5.99	5.16-5.46	4.77-5.52	4.63-5.91	4.82-5.03	5.31-7.40	5.04-5.99	5.14-5.38
	VS/TS (-)	36.5	37.3	36.7	28.2	28.2	30.4	34.8	33.9	34.5	27.2	28.2	30.4
	VS/TS (-)	0.809	0.792	0.772	0.764	0.764	0.717	0.826	0.803	0.792	0.788	0.764	0.730
消化汚泥	pH	7.65	7.43	7.45	7.54	7.47	7.52	7.38	7.43	7.38	7.25	7.47	7.4
	TS (g/L)	7.40-8.10	7.38-7.51	7.33-7.54	7.35-7.97	7.23-7.79	7.44-7.55	7.25-7.48	7.30-7.78	7.36-7.43	7.12-7.39	7.23-7.79	7.23-7.54
	VS/TS (-)	23.4	20.5	24.4	20.5	19.63	19.00	23.7	19.58	21.3	21.3	19.63	17.30
	VS/TS (-)	0.621	0.668	0.644	0.612	0.626	0.614	0.643	0.695	0.667	0.713	0.626	0.629
消化ガス	TOC (mg/L)	2.550	2.610	2.540	1.990	1.990	1.711	2.770	2.660	2.530	2.500	1.990	2.050
	IC	396	394	441	347	347	522	382	352	355	287	347	347
	NH ₄ -N	1.034	1.136	1.072	857	857	913	1.070	1.063	1.057	940	857	907
	PO ₄ -P	34.1	41.3	27.5	44.6	44.6	30.4	44.8	37.5	41.5	54.1	44.6	42.7
溶解性 溶浴	酢酸	185	639	122	49	49	106	457	286	446	853	49	296
	プロピオ酸	1.654	2.630	1.447	1.423	1.423	701	1.942	2.260	1.626	1.665	1.423	1.455
	(i+o)-酪酸	632	574	607	506	506	554	368	504	824	482	506	648
	i-吉草酸	0	0	55	0	0	32	0	0	0	0	0	0
	n-吉草酸	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
漂浮物	TS (%)	36.0	45.0	33.6	21.5	30.3	43.1	31.7	42.2	38.2	27.1	30.3	37.6
	VS	50.9	53.6	44.6	29.0	42.9	51.0	46.9	50.0	47.9	41.7	42.9	46.6
消化ガス	CH ₄ (v/v-%)	60.6	61.8	62.9	60.2	61.6	62.8	59.2	60.1	62.2	60.2	61.6	61.1
	CO ₂	38.5	38.4	37.8	37.7	36.0	37.3	41.6	39.2	38.5	37.7	36.0	37.8
	Total (m ³ /TS _o -kg)	0.505	0.477	0.491	0.219	0.390	0.301	0.308	0.469	0.440	0.375	0.390	0.357
	CH ₄	0.311	0.296	0.308	0.124	0.241	0.184	0.179	0.283	0.273	0.207	0.241	0.225
ガス発生率	Total (m ³ /VS _o -kg)	0.624	0.602	0.636	0.278	0.510	0.412	0.372	0.585	0.556	0.490	0.510	0.498
	CH ₄	0.384	0.373	0.399	0.158	0.315	0.251	0.217	0.353	0.345	0.270	0.315	0.314
	Total (m ³ /VS _{o-co₂} -kg)	1.226	1.123	1.425	0.960	1.189	0.807	0.794	1.169	1.160	1.176	1.189	1.069
	CH ₄	0.754	0.697	0.893	0.544	0.734	0.493	0.462	0.705	0.720	0.648	0.734	0.674

示している。

以上の結果より、実際の施設においては、消化日数が短いケースでは投入汚泥の増加分に近い消化汚泥固形物の発生があるものの消化ガスの発生は活発となり、消化日数が長い場合は従来と大差無い消化汚泥の固形物の発生量で従来よりも遙かに多いメタンガス生産が見込まれることを示唆している。

4. 嫌気性消化施設への影響評価

下水汚泥の嫌気性消化プロセスは一般的に図-5に示す構成となっている。消化槽の容量は、3.1項で述べたように消化温度と消化日数により設計されている。発生した消化ガスは脱硫塔を経てガスタンクに貯蔵される。ガスタンクの容量は、発生量の半日分程度と定められている⁶⁾。また、消化

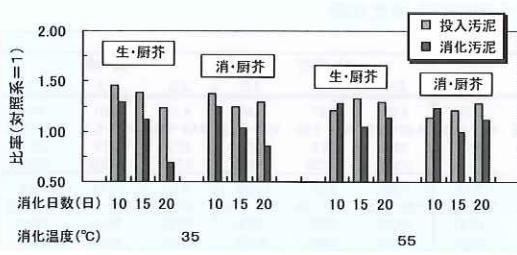


図-2 投入汚泥別の消化日数と TS の増減

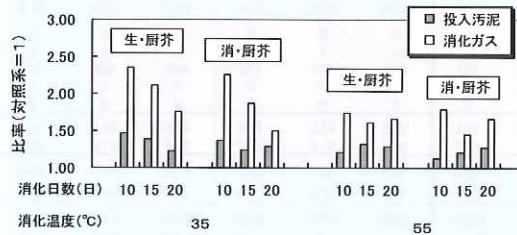


図-3 投入汚泥別の消化日数と投入 TS 及び消化ガス量の増減

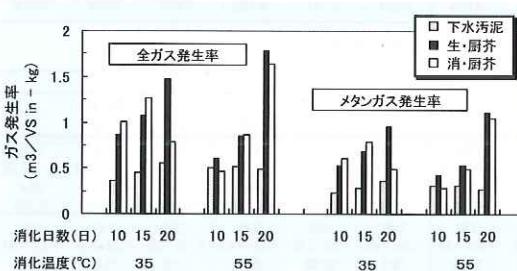


図-4 投入汚泥別の消化日数とガス発生率の比較 (推測値)

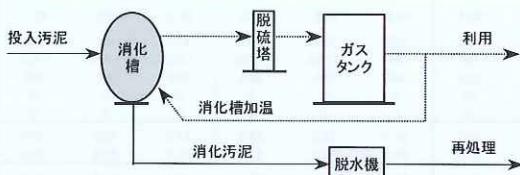


図-5 嫌気性消化プロセスの一般的なフロー

表-4 施設設計条件に相当する実験系の処理成績比較 (下水汚泥のみの成績=1.00)

プロセス		中温消化法		高温消化法	
消化温度		35 °C		55 °C	
消化日数		20 日		15 日	
消化汚泥 (濃度比)	生・厨芥	0.69	0.86	1.04	1.00
	NH ₄ -N	1.33	1.40	1.33	1.24
	PO ₄ -P	1.09	1.28	0.93	0.84
消化ガス (発生量比)	全量	1.76	1.50	1.62	1.45
	CH ₄	1.77	1.49	1.62	1.41

槽から引抜かれた消化汚泥は高分子凝集剤などによる凝集・造粒を受け機械脱水される。

嫌気性消化槽の設計条件に相当する本実験の結果について、厨芥混入系の成績を下水汚泥のみの場合 (=1) との比較値として表-4 に示した。

4.1 消化槽性能への影響

一定の消化温度の元では、消化槽の性能は投入する汚泥の液量と固体物量に左右される。

下水処理場に流入する厨芥由来の SS 分は沈降し易く、大部分が最初沈殿池汚泥となることが分かっている²⁾。これは、消化槽に投入する汚泥濃度を従来よりも高める方向に作用するものである。消化槽では、投入汚泥の固体物負荷は増加するものの、消化日数に大きく影響するような液量の増加はないものと考えられる。また、液量の増加があったとしても、厨芥由来の固体物流入量から、本実験で設定した最低の消化日数よりも短くなることは考えられない。

以上のことと本実験で設定した各系が良好に進行した結果を踏まえると、厨芥の流入が最大に達したとしても既設の消化槽の機能を損なうことはないと言える。また、施設が既に設計能力に近い状況で運転されている場合にあっても、少なく見積もって投入汚泥の液量で消化日数が 15 日から 10 日になる量の 1.5 倍、固体物量では液量増加の 1.5 倍に厨芥混入分を考慮すると 2 倍量となるまで処理できる余力を有していると言える。

4.2 消化汚泥の脱水への影響

脱水機の処理能力は脱水する汚泥の固体物量に左右される。表-4 より、消化槽の運転法が設計値に近い場合でも、消化汚泥中の固体物量 (TS) は現状と変わらないといってよく、脱水機への影響は少ないものと思われる。懸念材料としては、

凝集・造粒に用いる凝集剤がある。消化汚泥中には混入した厨芥の消化に由来するコロイド状の粒子が増加している可能性があり、コロイド粒子が消費する凝集剤量の増加に注意して行く必要がある。

一方、脱水工程を経た後の影響として、脱水分離液の水処理工程への返流がある。消化汚泥中に溶存している窒素やリン、中でも窒素は増加する傾向を示している。これらの大部分は脱水分離液中に存在して水処理工程に返流されることから、窒素やリ

ン除去の高度処理法を採用している下水処理場では、相応のエネルギーや薬品の消費が生じる。

4.3 ガスタンクへの影響

本実験より、厨芥の流入は多量の消化ガス発生をもたらすことが示された。厨芥流入が増すと明らかに現有のガスタンク容量では賄いきれなくなり、ガスタンクの増設は避けられない状況となる。また、脱硫塔における脱硫剤の交換頻度も増すことになる。このようなことから、増設に際しては、消化ガス中の硫化水素の除去と合わせて発生ガス量の60~65%を占めるメタンガスのみを選択貯蔵するなど、タンク容積当りの貯蔵効率を高めるとともに発生ガスを有効利用するための貯蔵方法を検討していくことが肝要となる。その際は、発生する消化ガスを膜分離する方法⁷⁾や、消化ガスを下水の処理水などで洗浄して貯蔵する方法^{8),9)}が有効となると思われる。

5. おわりに

厨芥が下水処理場に流入してきた際の下水汚泥のメタン発酵(嫌気性消化)プロセスへの影響を連続実験により調べ評価した。結果は、厨芥は下水汚泥に比べて遙かにメタン発酵し易いものであり、既存施設に悪影響を及ぼすものではなかった。むしろ、メタンガスの発生量が飛躍的に伸びることから、その高度利用を進めるためのプロセス改変についての検討が課題として示された。メタン発酵は、代替エネルギーの確保、資源のリサイクルの観点から益々重要視されていくものである。建設事業においても、その活用の可能性を更に追求していかなければならない。

最後に、ここで報告した実験は多くの方々の協力に基づいている。土木研究所食堂の皆様や茨城県霞ヶ浦湖北浄化センターの皆様には支援を仰いだ。また、児玉克子(旧姓:寺元)氏、吉野敦志氏、青柳洋子氏、滝口弥生氏には実際の実験に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹石和夫、塩路勝久、小沢登:下水道による住環境の改善に関する調査、土木研究所資料、第2787号、pp129-135、平成元年10月
- 2) 鈴木穂、吉澤正宏:ディスポーザ導入に対応した高度処理施設の開発に関する研究、土木研究所資料、第3528号、pp63-74、平成9年10月
- 3) (社)日本下水道協会:下水試験方法(1997)
- 4) (社)日本下水道協会:下水道統計—行政編—
- 5) (財)日本建築センター、給排水設備研究会:平成6年度ディスポーザによる「生ごみリサイクルシステムの開発」報告書、平成7年3月
- 6) (社)日本下水道協会:下水道施設計画・設計指針と解説—後編、1994年版—、p309
- 7) 建設省土木研究所、(株)タクマ:二酸化炭素還元型メタン発酵機構の解明に関する共同研究報告書(二酸化炭素還元型リアクターの開発)、共同研究報告書、第64号、平成3年9月
- 8) 中條都一郎:自動車燃料として汚泥瓦斯利用設備とその操作実績に就て、水道協会雑誌、No.118、pp15-24、昭和18年
- 9) (財)下水道新技術推進機構:長岡市の消化ガス有効利用基本計画に関する調査、1997年度下水道新技術研究所年報〔2/2巻〕、pp93-99、1998年9月

落 修一*



独立行政法人土木研究所
料地盤研究グループ(リサイ
クル)
Syuichi OCHI