

MICS 事業における汚濁負荷変動を考慮した既存水処理能力への一考察

オリジナル設計株式会社

施設本部 東日本施設部 施設 2 課 小林 空子

〇町における下水道区域外の汚水処理は合併浄化槽並びにし尿汲み取りであり、浄化槽汚泥及びし尿は同町内のし尿処理施設で処理されている。しかし、し尿処理施設は老朽化が進んでおり、今後人口が減少していくと予想される中で、将来的にし尿処理施設を廃止し、下水終末処理場で共同処理する計画としている。共同処理にあたっては、既存施設への高負荷により水処理能力に影響が出ることが想定されるため、共同処理における水処理能力への影響を検討し、平準化した投入方法を提案した。

Key Words : 汚泥共同処理、し尿、公共下水道、BOD/T-N 比、流入水量の時間変動

1. はじめに

北海道〇町は行政人口約 6,000 人の自治体である。汚水処理人口普及率は 80.5%、うち 73.2%は公共下水道、7.3%は合併浄化槽で処理されており、その他はし尿汲み取りを行っている。下水道は約 270ha が整備済みであり、終末処理場はオキシデーションディッチ法（現有処理能力 2,540m³/日、全体 2 系列）を採用している。

合併浄化槽の汚泥およびくみ取りし尿（以下、「汚泥等」とする）は、同町内のし尿処理施設に運搬され、Y 町の汚泥等と合同で処理されているが、し尿処理施設は供用開始より 30 年近く経過しており、機械・電気設備に関して老朽化による不具合や機能停止等へのリスクが懸念されている。一方、〇町および Y 町の公共下水道事業においては、人口減少や節水意識の向上等により処理水量の伸びが鈍化しており、各々の処理場において処理能力に若干の余裕が生じている状況にある。

こうした背景から、2 町で汚泥等の収集体系を見直し、将来的にし尿処理施設を廃止、汚泥等を各終末処理場で共同処理する計画としている（図 1）。本事例は〇町の汚泥等共同処理において、「汚水処理施設共同整備事業」（以下、「MICS 事業」とする）を活用し、汚泥等を受入れる前処理施設（以下、「MICS

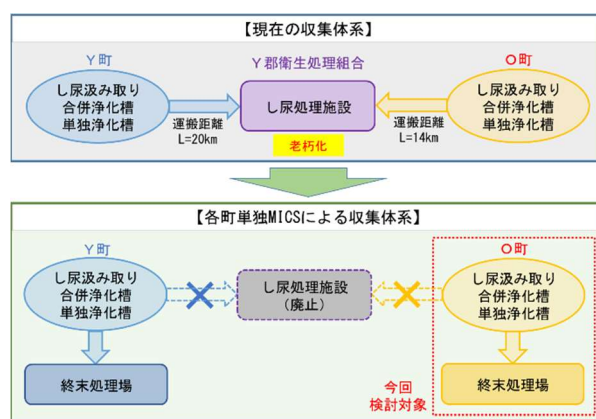


図 1. 各町における汚泥等の収集体系

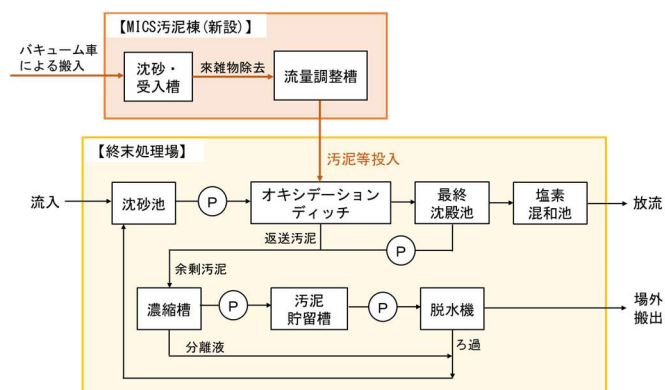


図 2. 汚泥等共同処理フロー

汚泥棟」とする)を新設するものであり、本報では共同処理による既存水処理能力への影響を考察する。なお、**汚泥等**はMICS汚泥棟で夾雑物を除去し、流量調整槽において質の均一化をしてから既設水処理へ投入するものとする(図2)。

2. 共同処理導入の経緯

共同処理導入に際しては、MICS事業に関する協議の中で、事前に**汚泥等**受入れの可否や受入方式を検討している。なお、MICS汚泥棟供用開始は令和2年度である。

受入れの可否については、**汚泥等**を流入下水水質相当の水量へ換算し、計画流入水量に加算した水量が、現有処理能力以下であるかを確認した。流入水量は減少傾向にあり、想定されるピーク水量は供用開始の令和2年度計画水量であることから、これに**汚泥等**の換算水量を加算した。結果、現有処理能力以下であったことから、汚泥の受入れは可能であると判断された(図3)。

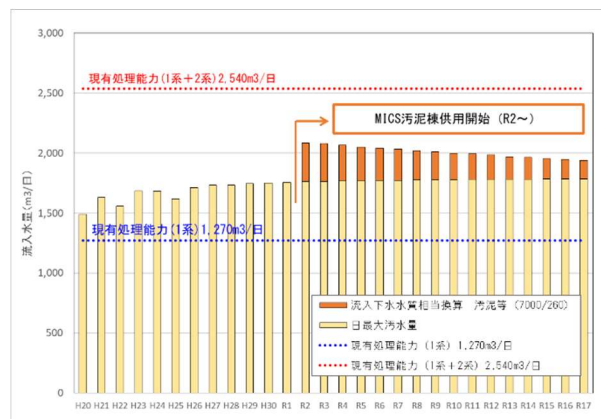


図3. 下水水質に換算した汚泥投入の処理能力対比

受入方式については、①し尿処理施設を改築更新しながら維持し、現状の収集体系で**汚泥等**を処理する場合、②終末処理場において水処理系に**汚泥等**を投入し共同処理する場合、③既存汚泥系へ投入し共同処理する場合の3パターンに対し、建設費・維持管理費・汚泥処理費を対象として経済比較を行った。結果、②終末処理場において水処理系に**汚泥等**を投入し共同処理する場合が経済的に最も有利であることを確認している。

3. 基本条件

3.1 投入量の設定

汚泥等の投入量は、過去の実績を参考に原単位を設定し、し尿・浄化槽の各将来人口を乗じることで算出した。本町においてはパーキングエリア(以下、「PA」とする)の大口受入があり、これについては費用面・維持管理性を考慮して別途加算した。

また、本町は寒冷地であり、積雪時には収集作業が中断されることから、これに備えた冬季前の収集量増加、並びに融雪時の収集量増加が想定されたため、こうした季節変動を補完するため投入量に計画月最大変動係数を乗じた。

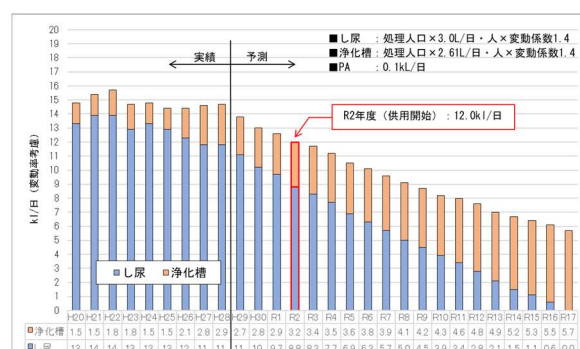


図4. 計画汚泥量将来予測

計画月最大変動係数は、年間の各月収集量と年平均収集量との比の、当該年度における最大値であり、本計画における計画月最大変動係数は、過去 5 カ年の実績最大値である 1.4 とした。

以上より、投入量は次式より算定した。

$$\text{投入量} = \text{計画汚泥量 } 8.6\text{kL/日 (令和 2 年)} \\ \times 1.4 = \underline{12.0\text{kL/日}}$$

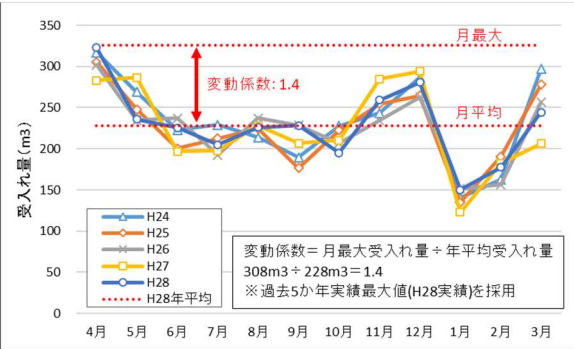


図 5. 月別収集量実績

3.2 投入汚泥等水質の設定

汚泥等水質実績は月間変動が大きく、ばらつきがあった。O町では年に 2 回、PA より浄化槽汚泥を収集しており、受入れ月の水質は特に高濃度になる傾向にあった。

「汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領(2006 改訂版)」では、「浄化槽汚泥のようにデータが比較的ばらついている場合は、非超過確率 75%値を採用する」としているが、本業務では、水質変動が大きいこと、定期的に受入れる PA 浄化槽汚泥が高濃度であり、今後も継続的にこれを受け入れることから、施設処理機能の安定性を考慮し、過年度（平成 24～28 年）の月平均値における最大値を設計水質とした。

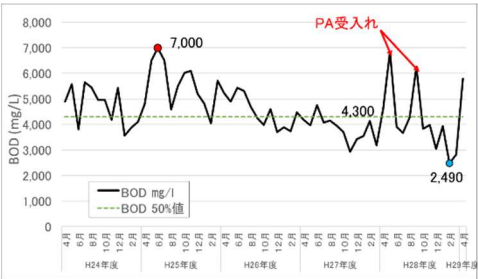


図 6. 受入汚泥 BOD 実績

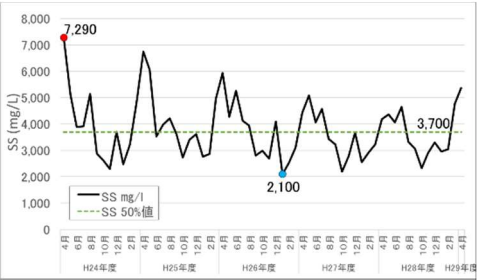


図 7. 受入汚泥 SS 実績

4. 汚泥等投入による終末処理場への影響検討

4.1 設計基準値による確認

終末処理場の諸元は現行の事業計画に基づくものとし、計画水量は全体計画年次の水量とした。ここで、**汚泥等**は MICS 施設棟から投入ポンプにより終末処理場の水処理施設に投入されるため、**汚泥等**投入後の水質は全体計画上の流入水質に対し、11～13%程度の負荷増と想定された。これによる終末処理場への影響は以下に示す通りであり、場合によっては投入する**汚泥等**の希釈設備の導入を検討する必要があった。

表 2. 投入汚泥等諸元

項 目	汚泥等条件	備 考
計画処理量(m³/日)※	12.0	R2 受入量(変動率考慮)
SS 濃度(mg/L)	7,300	過年度実績 (最大値)
BOD 濃度(mg/L)	7,000	過年度実績 (最大値)
T-N(mg/L)	2,300	過年度実績 (最大値)

※1 kL/日を m³/日に単位変換

表 3. 計画流入水質

項 目	下水のみ	汚泥等投入後
日最大計画水量 (m³/日)	2,254	2,266
流入 SS 濃度 (mg/L)	220	261
流入 BOD 濃度 (mg/L)	274	312
流入 T-N(mg/L)	48.7	60.6

- ①水処理施設：汚泥等は SS・BOD 濃度が高いため、水処理施設への負荷が増加する。
- ②重力濃縮槽：汚泥等投入により、余剰汚泥量が増加する。
- ③脱水設備：余剰汚泥量が増加するため、脱水機の運転時間が増加する。

上記の想定される影響を踏まえ、設計基準値による影響検討を行った。結果を表 4 に示す。

表 4 より、本町の場合は既存施設規模に余裕があることから、汚泥等投入後においても OD 槽の滞留時間や最終沈殿池水面積負荷、塩素混和池接触時間等は設計基準値を満たす結果となった。よって、汚泥等投入による既存施設への影響は、水処理並びに脱水設備等の汚泥処理含め、軽微であると判断した。また、汚泥等の希釈は行わないこととした。

表 4. 既存施設への影響検討結果

設 備 名		設計基準※1	下水のみ	汚泥投入後	判定
除去率 BOD		15mg/l (除去率 95%)	13.7mg/l	15.6 mg/l (参考値)	OK※5
S S		40mg/l (除去率 95%)	11.0mg/l	13.0 mg/l	OK
OD 槽滞留時間		24 時間	45.8 時間	45.6 時間	OK
BOD-SS 負荷		0.067 Kg-BOD/kg・SS・日	0.04 Kg-BOD/kg・SS・日	0.05 Kg-BOD/kg・SS・日	OK
必要酸素供給量 kgO ₂ /日/池※2		上段：必要 下段：供給	361 1 系:646 2 系:1,300	435 1 系:646 2 系:1,300	OK
計算による 放流 BOD		15 mg/l 以下※3	2.2 mg/l	3.2 mg/l	OK
最終 沈殿池	沈殿時間	10.5 時間	15 時間	15 時間	OK
	水面積 負荷	8 (m ² /m ² ・日)	6.38 (m ² /m ² ・日)	6.41 (m ² /m ² ・日)	OK
塩素混和池 滞留時間		15 分	47.2 分	46.9 分	OK
重力濃縮 固形物負荷		30～50 (kg/m ² ・日)	18.1 (kg/m ² ・日)	21.2 (kg/m ² ・日)	OK
脱水時間※4		6 時間/日	2.1 時間/日	2.6 時間/日	OK

※1・・・オキシデーションディッチ法標準設計（第 1 次改訂）本編 平成 22 年 10 月 日本下水道事業団
※2・・・1 系：散気装置・水中攪拌機、2 系：横軸型曝気装置
※3・・・現行事業計画の放流水質を上限に設定
※4・・・既設能力 7m³/h×1 台
※5・・・除去率を超過するものの、SRT および C-BOD の関係式より算出した放流 BOD の照査において十分な処理が確認されることより、処理機能（除去率）は満足できると判断する

4.2 BOD/T-N 比の比較

汚泥等は含有する T-N が高いことから、前述の各設計基準値に加え、汚泥等投入後の BOD/T-N 比を確認した。なお、本処理場では窒素の放流規制は設定されていないが、硝化反応に起因する酸素消費量の増加、pH 低下等、水処理への影響が懸念されるため、脱窒によるアルカリ度の生成を一つの指標とし、BOD/T-N 比を他処理場と比較した。なお、酸素消費量については後述する。

図 8 に、北海道内のし尿投入を行っている処理場における流入 BOD と流入 T-N の関係を示す¹⁾。各処理場における BOD/T-N 比は 4.2～6.5 であり、平均は 5.4 である。また、(公社)日本下水道協会の「下水道施設計画・設計指針と解説」（以下「設計指針」）では、「脱窒には流入水の BOD/T-N 比として 3.0～3.5 以上が一般的に必要とされる」としている。

本計画における BOD/T-N 比は 5.1 であり、他処理場の BOD/T-N 比の平均値と近似値であること、設計指針に示される 3.0～3.5 以上を満たしていることから、脱窒反応は支障なく進行し、pH 低下は緩和されると判断した。

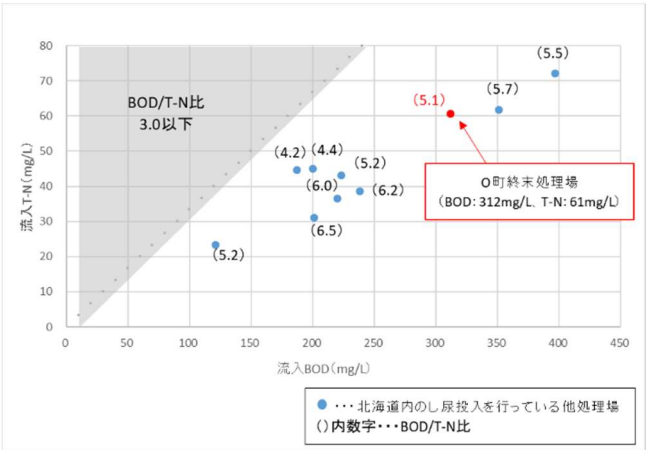


図 8. BOD/T-N 比の比較

5. 投入時間の検討

前項より、汚泥等投入後もオキシデーションディッチの必要滞留時間は確保されているものの、処理場の流入水量は時間帯により大きく変動することから、高濃度の汚泥等を集中的に投入した際に水質が悪化し、水処理に影響を及ぼすことが懸念された。

こうした流入水量の変動を考慮し、時間帯別の流入水量並びにその時間帯に汚泥等を投入した場合の影響を「汚水に対する汚泥等の投入率」、「必要酸素供給量」、「T-N」および「BOD/T-N 比」を用いて整理した。

ここで、汚泥等投入量は 12.0 kL/日とし、その投入率が流入水量の 1%以下の場合には水処理に影響がないものとした²⁾。また、必要酸素供給量は汚泥等の投入により増加する必要酸素量を時間当たりで算出し、通常運転時の酸素供給量（既存ばっ気装置能力）を上限として検証した。

(1) 時間帯別流入水量の予測

○町終末処理場における通日試験結果（2 時間毎）より日流入量に対する割合を抽出し、MICS 汚泥棟供用開始年度である令和 2 年に想定される流入水量に乗じることで時間帯別流入水量を予測した。なお、通日試験結果より最も流入が少ない時間帯は 3:00～4:59 で日流入量に対する割合が 2.6%、流入が多い時間帯は 9:00～10:59 であり 12%であった。また、朝夕の流入量が多い傾向にあった。

図 10 に○町終末処理場における 2 時間毎の流入水量予測を示す。これに対し、汚泥等投入時間を①24 時間、②昼間（9:00～17:59）：8 時間投入、③夜間（23:00～6:59）：8 時間投入、④流入水量の多い時間帯（9:00～22:59）：16 時間投入とし、4 ケースについて検討を行った。

(2) 検討結果

表 6 に投入時間毎の水質を、以下に検討結果を示す。

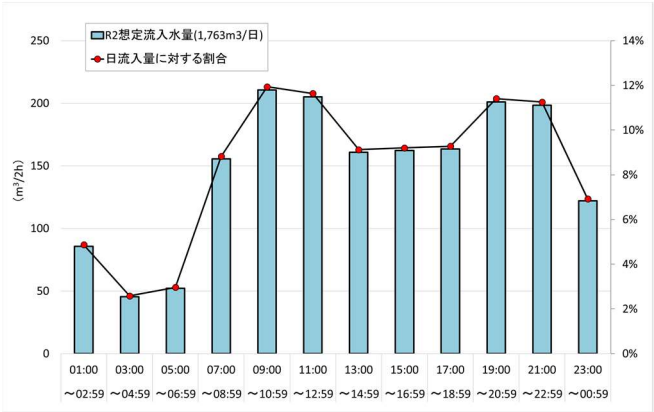


図 10. 時間帯別流入水量の予測

表 5. 採用した水量および水質

	流入水量 (m³/日)	BOD 濃度 (mg/L)	SS 濃度 (mg/L)	T-N 濃度 (mg/L)
流入下水	1,763※1	280	230	48.7※2
汚泥等	12.0	7,000	7,300	2,300
下水+汚泥等	1,775	261	312	60.6

※1 流入水量は R2 年の計画水量に対し水洗化率を考慮した 1,763m³/日とした。
※2 T-N 濃度は過去 5 年の水質試験結果における平均値とした。

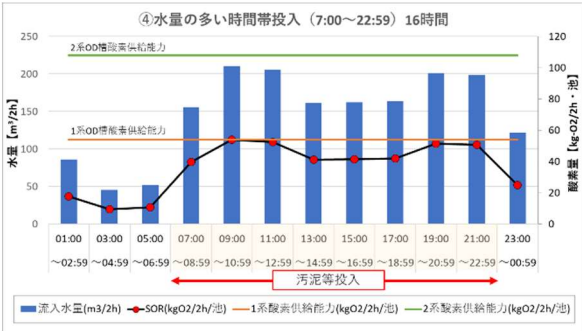


図 11. 流入水量と必要酸素供給量（ケース④）

①24 時間投入

…流入水量が少ない深夜帯（1:00～6:59）に投入率 1 %を超過する。必要酸素供給量はすべての時間帯で既存曝気装置の能力以内だった。

②昼間（9:00～17:59）：8 時間投入

…すべての時間帯で投入率 1 %を超過する。また、必要酸素供給量が高く既存曝気装置では能力不足となる。

③夜間（23:00～6:59）：8 時間投入

…すべての時間帯で投入率 1 %を超過する。必要酸素供給量はすべての時間帯で既存曝気装置の能力以内だった。

④流入水量の多い時間帯（7:00～22:59）

：16 時間投入

…すべての時間帯で投入率 1 %を下回る。必要酸素供給量もすべての時間帯で既存曝気装置の能力以内だった。

表 6. 投入時間の比較

時間帯	時間帯別 投入水量 (m ³ /2h)	流入比	投入量 (m ³ /2h)	投入率 (%)	投入後水質（下水＋汚泥等）				SOR (kgO ₂ /2h/ 池)	【参考】 下水のみ SOR (kgO ₂ /2 h/池)
					BOD (mg/L)	SS (mg/L)	BOD/T-N比	T-N (mg/L)		
①24時間投入										
01:00～02:59	85.8	4.9%	1.0	1.2%	357	311	4.8	74	21	18
03:00～04:59	45.6	2.6%	1.0	2.2%	424	382	4.4	96	11	9
05:00～06:59	52.3	3.0%	1.0	1.9%	406	363	4.5	90	13	11
07:00～08:59	155.5	8.8%	1.0	0.6%	323	275	5.2	62	38	32
09:00～10:59	210.5	11.9%	1.0	0.5%	312	263	5.3	58	52	43
11:00～12:59	205.1	11.6%	1.0	0.5%	313	264	5.3	59	51	42
13:00～14:59	160.9	9.1%	1.0	0.6%	322	274	5.2	62	40	33
15:00～16:59	162.2	9.2%	1.0	0.6%	321	273	5.2	62	40	33
17:00～18:59	163.6	9.3%	1.0	0.6%	321	273	5.2	61	40	33
19:00～20:59	201.1	11.4%	1.0	0.5%	313	265	5.3	59	50	41
21:00～22:59	198.4	11.3%	1.0	0.5%	314	265	5.3	59	49	41
23:00～00:59	122.0	6.9%	1.0	0.8%	335	287	5.1	66	30	25
判定					✕					
②昼間投入（9:00～16:59）8時間										
01:00～02:59	85.8	4.9%							18	18
03:00～04:59	45.6	2.6%							9	9
05:00～06:59	52.3	3.0%							11	11
07:00～08:59	155.5	8.8%							32	32
09:00～10:59	210.5	11.9%	3.0	1.4%	352	305	4.4	80	64	43
11:00～12:59	205.1	11.6%	3.0	1.5%	354	307	4.4	81	63	42
13:00～14:59	160.9	9.1%	3.0	1.8%	376	330	4.2	90	49	33
15:00～16:59	162.2	9.2%	3.0	1.8%	375	329	4.2	90	49	33
17:00～18:59	163.6	9.3%							33	33
19:00～20:59	201.1	11.4%							41	41
21:00～22:59	198.4	11.3%							41	41
23:00～00:59	122.0	6.9%							25	25
判定					✕					
③夜間投入（23:00～6:59）8時間										
01:00～02:59	85.8	4.9%	3.0	3.5%	507	469	4.1	123.9	38	18
03:00～04:59	45.6	2.6%	3.0	6.6%	695	667	3.7	188.9	20	9
05:00～06:59	52.3	3.0%	3.0	5.7%	645	614	3.8	170.0	23	11
07:00～08:59	155.5	8.8%							32	32
09:00～10:59	210.5	11.9%							43	43
11:00～12:59	205.1	11.6%							42	42
13:00～14:59	160.9	9.1%							33	33
15:00～16:59	162.2	9.2%							33	33
17:00～18:59	163.6	9.3%							33	33
19:00～20:59	201.1	11.4%							41	41
21:00～22:59	198.4	11.3%							41	41
23:00～00:59	122.0	6.9%	3.0	2.5%	441	400	4.3	101.9	55	25
判定					✕					
④流入水量の多い時間帯投入（7:00～22:59）16 時間										
01:00～02:59	85.8	4.9%							18	18
03:00～04:59	45.6	2.6%							9	9
05:00～06:59	52.3	3.0%							11	11
07:00～08:59	155.5	8.8%	1.5	1.0%	344	298	5.0	69	40	32
09:00～10:59	210.5	11.9%	1.5	0.7%	328	280	5.1	64	54	43
11:00～12:59	205.1	11.6%	1.5	0.7%	329	281	5.1	64	52	42
13:00～14:59	160.9	9.1%	1.5	0.9%	342	295	5.0	69	41	33
15:00～16:59	162.2	9.2%	1.5	0.9%	342	295	5.0	68	41	33
17:00～18:59	163.6	9.3%	1.5	0.9%	341	294	5.0	68	42	33
19:00～20:59	201.1	11.4%	1.5	0.7%	330	282	5.1	64	51	41
21:00～22:59	198.4	11.3%	1.5	0.8%	330	283	5.1	65	51	41
23:00～00:59	122.0	6.9%							25	25
判定					○					
合計	1,763m ³ /日	100%	12m ³ /日						435kgO ₂ /日 /池	361kgO ₂ /日 /池
…NO値を示す										

以上より投入時間は、④流入水量の多い時間帯が望ましいと考えられた。また、負荷変動により水処理能力を上回る高負荷が掛かることが示唆されたため、投入ポンプの運用については水量変動に柔軟に対応できるようタイマー設定可能な方式とした。

6. おわりに

汚泥等を終末処理場で共同処理する場合、汚濁負荷には時間毎に変動があるため水処理能力への影響が懸念された。今回、設計基準値、BOD/T-N 比による評価では水処理能力への影響は軽微であると判断した。また、汚泥等を集中的に投入した際の高負荷に対しても、流入水量の変動を考慮し投入時間を決めることで、対応できると考えられた。

中小規模の下水処理場においては処理施設能力の余裕が顕著となる傾向にあり、下水処理場での共同処理は経費削減を行う上で有効な事業である。本報の MICS 汚泥棟については供用後に維持管理状況の調査を行い、計画の妥当性を検証することで、今後他都市の類似案件に活用していくことが望まれる。

7. 参考文献

- 1) 平成 26 年下水道統計
- 2) 月刊下水道 Vol. 21 No. 16