

OD法から標準法への水処理方式 の移行に関する検討調査 (その4)

1. 調査目的

秋田湾・雄物川流域下水道横手・大曲処理センターでは、当初計画において流入水量の少ない供用初期の対応としてオキシデーショondiッチ法（以下、OD法）での運転を行い、流入水量増加に伴い順次最初沈殿池（以下、初沈）を設置し、標準法の運転に移行して処理能力増加を見込む予定としていた。

横手・大曲処理センターでは、平成8年度より現系列について初沈が稼働し、初沈を付加したOD法（初沈付加型低負荷活性汚泥法）での運転を開始した。

OD法の運転では、有機物除去を含め窒素除去に対しても良好な処理が行われてきているので、今後の水量増に対してもN-BODの発現による処理水質悪化の防止や脱窒による処理の安定化を図り、現状の処理水質レベルの維持が望まれる。

秋田県では、次系列以降の水処理方式については、現行のOD法の評価、OD法を活かした硝化促進法の可能性、標準法に移行した場合の対応策等について調査・検討し、次期以降の望ましい水処理方式を選定することとした。

本調査は、このような状況に鑑み、現施設での適正な運転方法に関する検討、及び次期以降の水処理方式選定のための基礎検討を行うことを目的とした。本報は、平成8年度に得られた結果を中心に報告するものである。

2. 調査内容

2.1 調査の経緯

本調査は、平成5年度から平成8年度の4年間にわたり実施してきた。各年度の調査概要を以下に示す。

(1) 平成5年度調査

OD法から標準法に移行したときの留意点と、維持管理への影響等について、施設の能力評価を含めて検討した。

(2) 平成6年度調査

OD法の処理機能の現地詳細調査と機械曝気方式の能力評価を行った。

(3) 平成7年度調査

将来の流入負荷増に対する運転方法に関して、流入負荷の状況に応じたローターの運転方法を検討し、硝化・脱窒効率の向上と省エネルギー運転に関する調査を行った。

2.2 平成8年度の調査内容

本年度は、横手処理センターを対象として現地調査を実施し、初沈が稼働した現有施設に対する処理性能の調査・評価を行うとともに、次系列以降の水処理方式に対する基礎検討を行った。

(1) 現地調査

① 処理状況調査

初沈稼働による処理状況の変化を調査した。

② 汚泥性状調査

汚泥処理前後の汚泥の成分調査および返流水負荷に対する調査を行った。

- (2) 次系列以降の水処理方式の検討
技術的, 社会的な諸条件を考慮し検討を行った。

3. 調査結果

3.1 現地調査結果

3.1.1 調査時期

- ・ 第1回調査 (夏季) : 平成8年7月11日~12日
 <目的> 初沈稼働直後の状況把握
- ・ 第2回調査 (冬季) : 平成8年12月11日~12日
 <目的> 初沈稼働後, MLSS=2000mg/l程度を目標に調整した際の処理状況把握

3.1.2 運転状況

項目	夏季調査	冬季調査
流入水量	約2,880m ³ /日 (約120m ³ /hr)	約3,311m ³ /日 (約138m ³ /hr)
初沈水面積負荷 (2池稼働)	11.7m ³ /m ² ・日/池 (滞留時間=6.1hr)	13.5m ³ /m ² ・日/池 (滞留時間=5.3hr)
反応槽内MLSS	3,000mg/l	1,820mg/l
曝気時間	22時間 (5.5時間運転 -0.5時間停止)	16時間 (2時間運転 -1時間停止)

調査時の流入水量の経時変化を図-1, 2に示す。流入水量パターンは, ポンプ運転による流入のため夏季・冬季ともにほぼ同様であった。

1日当たりの流入水量は漸増傾向にあり, 平成7年度調査時に比較して1割程度の増加であった。

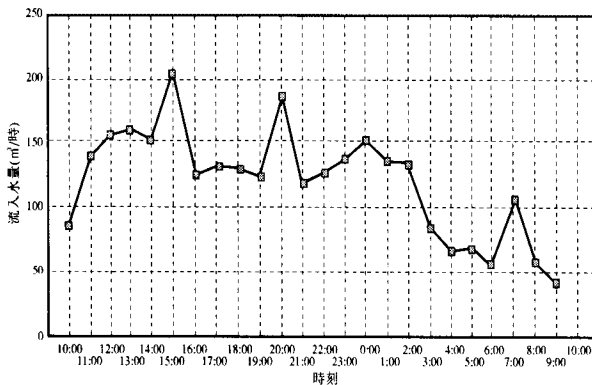


図-1 流入水量の経時変化 (夏季)

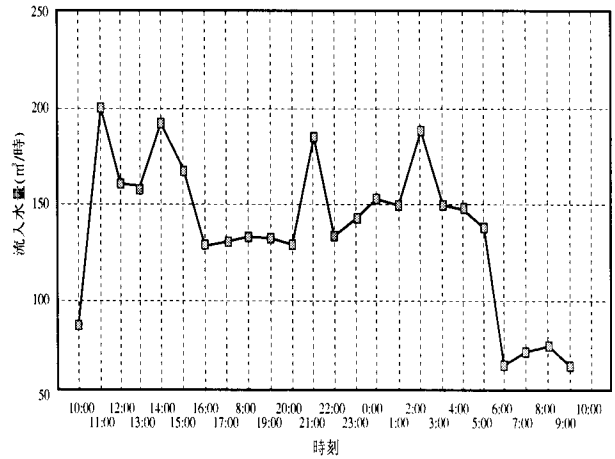


図-2 流入水量の経時変化 (冬季)

3.1.3 反応槽内DOの挙動

ローターの稼働, 停止による反応槽内DOの挙動を把握するために槽内DOの連続測定を行った。DOの測定箇所は, 1系OD槽で2基あるローターの中間地点とした。

図-3, 4に夏季・冬季のDO連続測定結果をそれぞれ示す。夏季の反応槽内DOの挙動をみると, DOは最大でも0.5mg/l以下と低い状況であった。冬季では, 流入水量の多い昼間時には夏季と同様に0.5mg/l以下と低い状況がみられたが, 夜間では4mg/l程度まで増加していた。

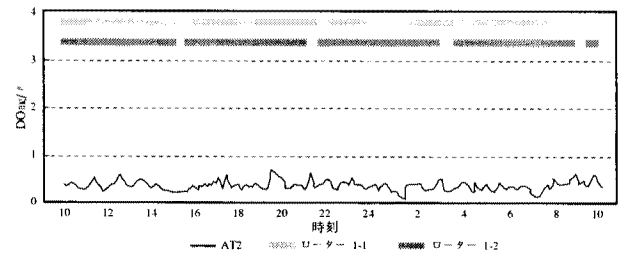


図-3 反応槽内のDO経時変化 (夏季)
 <水面下1.5m地点>

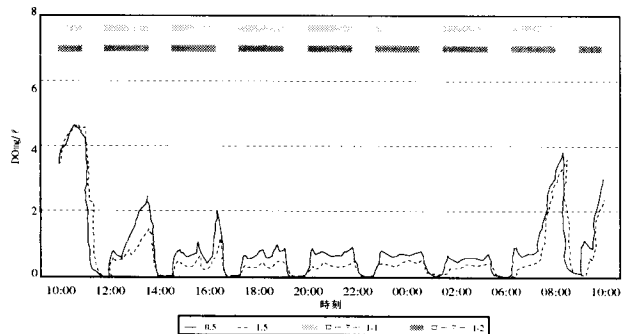


図-4 反応槽内のDO経時変化 (冬季)
 <水面下0.5m, 1.5m地点>

3.1.4 処理状況

(1) 水質

実態把握のため、OD流入水、OD流出水、処理水について2時間ないしは4時間毎に採水し水質分析を行った。表-1に夏季・冬季それぞれの平均水質を示す。

① 流入水質

OD流入水の平均的な水質は、夏季ではSS=49mg/l, BOD=132mg/l, T-N=24.4mg/l, T-P=3.1mg/l, 冬季ではSS=45mg/l, BOD=110mg/l, T-N=29.8mg/l, T-P=3.1mg/l とほぼ同様であった。

初沈の除去率は、SSで60%程度、BOD、CODは20~30%であり、SS成分の沈殿によりOD槽への負荷は低減されていた。一方、初沈前後の溶解性成分比率(S/T比)は、BOD、CODともに0.4から0.5程度と若干高くなっていた。(表-2参照)

② 処理水質

処理水質の平均値をみると、SS、BODともに95%以上の除去率で10mg/l以下を維持しており、良好な結果であった。

NH₄-Nは、夏季・冬季ともに1mg/l以下(除去率96%以上)で良好な結果であった。前項で示したDOの挙動をみると槽内DOは不足気味とみえるが、硝化は十分に進んでいたことがわかる。

NO₃-Nについてみると、夏季は0.3mg/lと低く、槽内で脱窒反応が進行していたことがわかる。一方、冬季では14.1mg/lと高いことから、槽内での脱窒反応はあまり進行していなかったといえる。

3.1.5 汚泥調査

(1) 初沈引抜き汚泥調査

初沈の汚泥引き抜きは、約15m³/回を夏季調査時には3回/日、冬季調査時には4回/日行っていた。

図-5に冬季調査時の引抜き汚泥濃度の経時変化を示す。引抜き開始時には3000~8000mg/l(0.3~0.8%)程度と濃度は高く、その後は徐々に低下して4分以降は横ばいで推移していた。

初沈のSS沈殿量と引抜き量の収支関係を表-3に示す。これをみると、ともに100kg/日程度で沈殿分はほぼ引抜かれている収支となることから、汚泥引抜き量・頻度は適当であることが確認された。

また、強熱減量(有機分)を調べた結果、生汚泥であるため90%と高かった。

表-1 流入水・処理水の平均水質

上段：夏季調査時
下段：冬季調査時

項目	流入下水	OD流入	処理水	除去率(%)	
				初沈	全体
水温(°C)	18.9 15.1	19.1 15.0	19.9 14.3	-	-
pH	7.3 7.3	7.1 7.1	6.9 6.4	-	-
アルカリ度(mg/l)	147 139	139 141	56.7 17.4	-	-
SS(mg/l)	127 101	49.0 45.1	4.5 4.4	61.4 55.3	96.5 95.6
BOD(mg/l)	170 118	132 110	7.1 2.8	22.1 6.8	95.8 97.6
S-BOD(mg/l)	62.6 50.5	60.6 56.7	1.0 0.5	3.2 -	98.4 99.0
COD(mg/l)	82.1 -	58.1 -	6.8 15.1	29.2 -	91.7 -
S-COD(mg/l)	31.1 -	30.2 -	5.2 -	2.9 -	83.2 -
T-N(mg/l)	30.1 31.0	24.4 29.8	2.1 15.1	18.9 3.9	93.0 51.3
NH ₄ -N(mg/l)	21.7 20.6	23.0 21.5	0.84 0.22	- 4.4	96.1 98.9
NO ₃ -N(mg/l)	0.03 0.04	0.04 0.03	0.31 14.12	-	-
NO ₂ -N(mg/l)	0.00 0.00	0.01 0.00	0.07 0.08	-	-
Org-N(mg/l)	8.39 10.3	1.36 8.2	0.88 0.64	83.8 20.4	89.5 93.8
T-P(mg/l)	3.8 3.3	3.1 3.1	1.04 1.82	18.4 6.1	72.6 44.8
PO ₄ -P(mg/l)	1.7 1.7	1.7 1.8	0.81 1.67	-	52.4 1.8

※OD流入は最初沈殿池流出と同じ

表-2 初沈の除去特性(流出水濃度)

夏季調査

項目	流入水		初沈による除去率(%)	初沈流出水		S/T比	
	トータル	溶解性S		トータル	溶解性S	流入水	初沈流出水
SS(mg/l)	127	-	61	49	-	-	-
BOD(mg/l)	170	63	107	22	132	61	71
COD(mg/l)	82	31	51	29	58	30	28
T-N(mg/l)	30	23	7	19	24	23	1
T-P(mg/l)	3.8	1.7	2.1	1.8	3.1	1.7	1.4
BOD/T-N	5.7	-	-	5.5	-	-	-

※平均値による除去率を用いた。

冬季調査

項目	流入水		初沈による除去率(%)	初沈流出水		S/T比	
	トータル	溶解性S		トータル	溶解性S	流入水	初沈流出水
SS(mg/l)	101	-	55	45	-	-	-
BOD(mg/l)	118	51	67	7	110	57	53
T-N(mg/l)	31	21	10	4	30	22	8
T-P(mg/l)	3.3	1.7	1.6	6	3.1	1.8	1.3
BOD/T-N	3.8	-	-	3.7	-	-	-

※平均値による除去率を用いた。

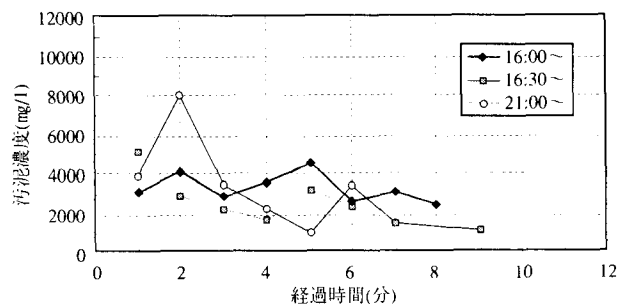


図-5 初沈汚泥濃度の経時変化(冬季)

表-3 初沈の発生汚泥量と引き抜き汚泥量

	①SS沈殿量 kg/日	②引き抜き量 kg/日	①-② kg/日
夏季調査	112	109	3
冬季調査	93	92	1

※①は最初沈殿池でのSS除去率と水量から算出、
②は引き抜き汚泥濃度と引き抜き量から算出した

(2) 返流水水質

昨年度までに行った施設改造や、汚泥脱水設備の増設等によってOD槽流入部に返流水が流入しており、今回、この返流水水質について調査を実施した。

表-4に返流水水質を示す。夏季調査において、かなり高濃度の返流水水質が確認されたため、冬季調査において採水点数を増やし実態を調査した。

冬季の採水データ平均値は、BOD=196mg/l、SS=339mg/lと冬季調査でも高濃度の返流水負荷があることが確認されたが、夏季にみられた大きな変動については、冬季では見られず概ね一定濃度であった。

表-4 返流水水質

調査時期	測定時間	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	T-P (mg/l)
夏季調査	10:00	235	457	130	45.1	20.2	25.5
	14:00	325	2,240	1,300	259	29.5	77.6
冬季調査	11:40	350	194	-	37.6	9.21	10.9
	14:02	357	194	-	41.6	10.8	11.7
	14:47	340	103	-	39.0	13.7	11.3
	14:52	293	136	-	38.7	13.8	10.9
	14:57	300	113	-	38.0	13.4	13.5
	〃	396	436	-	39.3	13.1	12.9
	冬季平均	339	196	-	39.0	12.3	11.9

(3) 汚泥の沈降性について

調査期間中は、初沈稼働前より沈降性が悪化するような状況は見られなかった。汚泥の沈降性については、今年度より汚泥処理能力が増加したことから、MLSSを下げる運転を行っているため、SV30、SVIともに徐々に低下する傾向であった。

3.2 現有施設の評価

3.2.1 初沈のOD槽への影響

初沈の稼働によって以下の変化が見られた。

- ① SS成分の沈殿によりOD槽への負荷が低減された。

- ② OD槽流入水の溶解性成分比率がやや高くなった。

- ③ BODとSS比が変化した。

流入性状の変化による汚泥沈降性の悪化が懸念されたが、初沈稼働前より沈降性が悪化するような状況は見られていない。しかしながら、今後、流入水量が増加して溶解性成分が多く流入すれば、汚泥沈降性の低下等への影響が懸念されるので、日常の監視項目のうちSVI、検鏡等の重要度を上げる必要があると考えられる。

3.2.2 処理水質の評価

(1) BOD, SS

初沈運転によって処理水質に大きな変化は見られず、BOD, SSともに10mg/l以下を維持しており、現状では特に問題はない。

(2) 硝化, 脱窒

硝化については、処理水NH₄-N=1mg/l以下であり、良好な処理が行われていた。一般的に、硝化率80%以上を確保するのに必要なA-SRTと水温の関係は(a)式で定量化されており、調査時の水温からA-SRTを算出すると、夏季5.9日、冬季8.3日となる。調査時のA-SRTは夏季9.5日、冬季9.1日であり、硝化には十分な条件であったといえる。

$$Y = 20.6 \exp(-0.0627 \cdot X) \dots\dots(a)$$

ここで、X:水温(°C)

Y:A-SRT(日)

次に、脱窒について、夏季はMLSS=3000mg/lとやや高く、反応槽内DOは曝気中でも0.5mg/lと微好気な状態であったこと、また、ローター停止後の嫌気状態への移行が比較的速やかに進行したこと、によって脱窒が促進されて窒素除去率が高まったと考えられる。

一方、冬季には処理水T-Nが10mg/l以上と夏季よりも高く、脱窒があまり進行していない状況であった。この原因としては、MLSS濃度が1800mg/l程度と夏季の6割の濃度であったことからOD槽内全体としての脱窒量が少なくなったこと、また、夜間の流入負荷の小さい時間帯にも昼間と同様に曝気しているため、この時間帯では酸素供給が過剰となり、ローター停止後の嫌気状態への移行に時間を要したことで脱窒が進まず、夏季よりも窒素除去率が低下したものと考えられる。

表-5 平均水質に基づく総括表

項目	平成8年度調査結果	
	夏季	冬季
流入水量 (m ³ /日/1池)	1,440	1,655
水温 (°C)	19.9	14.4
実滞留時間 (hr)	14.5	12.8
MLSS (mg/ℓ)	3,000	1,820
Kr (g/g・時)	0.073	0.097
曝気時間 (hr)	曝気	22
	停止	2
SRT (日)	10.4	13.7
A-SRT (日)	9.5	9.1
BOD負荷 (kg/kg・日)	0.04	0.06
T-N負荷 (g/kg・日)	7.4	17
BOD (mg/ℓ)	反応槽流入水質	132
	処理水質	7.1
	除去率	95%
T-N (mg/ℓ)	反応槽流入水質	24.4
	処理水質	2.1
	除去率	91%
Kj-N (mg/ℓ)	反応槽流入水質	24.3
	処理水質	1.72
	除去率	93%
NH ₄ -N (mg/ℓ)	反応槽流入水質	23.0
	処理水質	0.84
	除去率	96%
NO ₃ -N (mg/ℓ)	反応槽流入水質	0
	処理水質	0.31
脱窒速度 (mg-N/g-MLSS・時)	0.51	0.63

表-7 混合水質の推定

項目	流入負荷 (kg/日)	返流負荷 (kg/日)	合計水量 (m ³ /日)	推定水質 (mg/ℓ)	初沈出水質 (mg/ℓ)	
夏季調査	BOD	380	270	3,080	211	132
	T-N	70.3	30.4	3,080	32.7	24.4
冬季調査	BOD	364	39	3,511	115	110
	T-N	98.7	7.8	3,511	30.3	29.8

3.3 現有施設の最適運転方法

本調査で得られた知見に基づき、現有施設において適正な運転方法として考えられる事項をあげると以下のとおりである。

〈初沈〉

- ① 適切な汚泥引抜き(生汚泥の長時間放置は防ぐ)
- ② 日常監視項目のうちSVI, 検鏡等の重要度を上げる

〈反応槽〉

- ① MLSSを一定(2,000~2,500mg/ℓ程度)に維持する
- ② 水温に応じたA-SRTを確保する
- ③ 必要酸素量に応じたローター運転時間を設定する

〈汚泥処理〉

- ① 発生汚泥量に応じた汚泥処理を行う
- ② 適切な返流水返送(負荷の小さい時間帯に返送)

3.2.3 返流水の影響

表-6に水質分析結果に基づき算出した返流水負荷を示す。BOD負荷としては流入負荷(380kg/日)の10~40%を占めており、返流水負荷がOD槽に与える影響は小さくないことが明らかとなった。

また、初沈流出水に返流水が混合された場合における1日当りの平均水質を算出すると、BODについては夏季と冬季では差が見られ、夏季211mg/ℓ、冬季115mg/ℓとなった。T-Nについては夏季、冬季ともに30mg/ℓ程度となり、初沈前の流入下水に相当する濃度となっている。

返流水の影響については、今後も調査を継続し正確な実態をつかむ必要があると考えられる。

表-6 返流水負荷の算出結果

項目	SS	BOD	NH ₄ -N	T-N	T-P	備考		
流入負荷	夏季	平均水質 (mg/ℓ) 流入下水	127	170	21.7	30.1	流入水量 = 2,880 m ³ /日	
		沈後水	49	132	23.0	24.4		
		負荷量 (kg/日) 流入下水	366	490	62.5	86.7		
	沈後水	141	380	66.2	70.3			
	冬季	平均水質 (mg/ℓ) 流入下水	101	118	20.6	31.0		流入水量 = 3,311 m ³ /日
		沈後水	45	110	21.5	29.8		
負荷量 (kg/日) 流入下水		334	391	68.2	102.6			
沈後水	149	364	71.2	98.7				
返流水負荷	夏季	平均水質 (mg/ℓ)	280	1,349	24.9	151.9	= 200 m ³ /日	
	負荷量 (kg/日)	56	270	5.0	30.4			
	冬季	平均水質 (mg/ℓ)	339	196	12.3	39.0		
負荷量 (kg/日)	67.9	39	2.5	7.8	2.4			

3.4 現有施設の限界

現有施設の限界の予測は、流入負荷(BOD, T-N)を除去するために必要な酸素量を算出し、これまでのローター運転時間の実績を考慮して行った。

現況施設の運用形態は以下の3ケースに分けて受入限界水量を算出した。検討結果を表-8に示す。

- ① ローターは現行のケース
現状施設のまま水量増加となった場合の限界水量
- ② 曝気装置を増設したケース
曝気装置を増設し、酸素供給能力の増強を図った場合(37.5kgO₂/hr→50kgO₂/hr)の限界水量
- ③ 計画どおり移行したケース
当初の計画どおり「標準法」で運転し、有機物

表-8 現有施設の運用形態別受入れ水量

検討ケース	受入れ限界水量(日最大: m ³ /日)				
	有機物除去のみを対象	硝化までを考慮		脱窒時間も考慮	
		MLSS	MLSS	MLSS	MLSS
① 現行のまま	10,000	4,200	5,200	3,500	4,500
② 曝気装置の増設	10,000	7,500	8,000	6,000	7,000
③ 計画どおり移行	10,000	-	-	-	-

除去までを対象した場合の限界水量

表-8より、有機物除去および硝化・脱窒までを目標とした場合、現行の施設のままでは4,000m³/日程度、曝気装置増設で7,000m³/日程度が受入水量の限界である。また、硝化まで考慮した場合には現行施設のままでは5,000m³/日程度、曝気装置増設で8,000m³/日程度が受入水量の限界である。一方、当初の計画どおり移行した場合（有機物除去のみを対象）には、10,000m³/日程度まで受入が可能であると試算された。

4. 次系列以降の処理方式の検討

現有施設は反応タンクを無終端水路型の迂回流式とし、機械式の表面曝気方式を採用した標準活性汚泥法として計画された。この方式の特徴は、供用初期の流入水量が少ない期間には初沈を建設せず、OD法の運転が可能であり、初期投資を抑える経済性に重点を置いた施設計画となっている。

しかし、その後の活性汚泥法に関する研究開発等、設計当時と現在では設計に関する考え方が異なってきた点もある。また、放流水域の水質環境についても処理水に含まれるN、P等に関する配慮等、将来的には計画当初とは設計条件が変化する可能性も

考えられる。

したがって、次系列以降の処理方式については既存施設計画の見直しを含め、技術的、社会的な諸条件を考慮して処理法の検討を行う必要がある。

次系列以降の処理方式の検討フローを図-6に示す。

4.1 次系列の施設の検討

4.1.1 処理法の選定

増設施設の処理法の検討に当たっての前提条件は、下水道全体計画の諸元については現計画に変更がないものとした。処理法の選定は、既設処理法の運転に関して得られた知見、放流条件、処理法に関する技術動向、地域性等を考慮して、

- ① 標準活性汚泥法（無終端水路型反応タンク）
- ② 標準活性汚泥法（分割型反応タンク）
- ③ 長時間エアレーション法（ステップ流入槽 分割型反応タンク）
- ④ 初沈付加型低負荷活性汚泥法

の4方式を選定した。

〈選定条件〉

- ① 活性汚泥法を基本に検討する。なお、今後の流入水量増加による運転法の変更、硝化、脱窒性についても考慮する。
- ② 処理性に関しては、現有施設の計画時点以降に得られた新たな知見や、技術動向を踏まえ選択する。
- ③ 敷地条件は基本的に変更がないものとする。
- ④ 低負荷運転にも対応できる処理法を検討する。
- ⑤ 増設における経済性を考慮する。（例えば、水量の増加に対して柔軟な対応ができ、段階建設などが可能な処理法とする。）

4.1.2 評価

選定した4方式についての総合評価を表-9に示す。ここで、配置計画、経済性については、概略容量計算に基づくモデル設計により検討した。

選定した4処理法については、それぞれに得失があり、選定条件、方針の設定により異なった結論となっていく。そこで、次系列以降の処理方式の選定にあたっては、今後、選定するために重点を置くべき条件を様々な角度から検討していく必要があると考えられる。

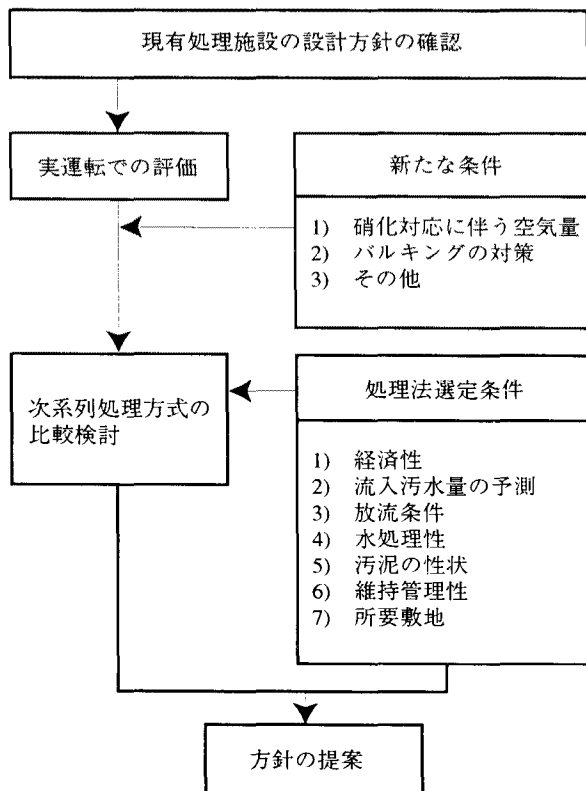


図-6 水処理方式の検討フロー

表-9 次系列施設の比較表

(全体計画52,000 m³/日)
(次系列 8,800 m³/日)

評価項目	標準活性汚泥法		長時間エアレーション	
	標準活性汚泥法 (無終端水路)	標準活性汚泥法 (槽分割型反応タンク)	長 時 間 エアレーション	初沈付加型低 負荷活性汚泥法
最初沈殿池	有	有	無	有
送風設備	無	有	有	無
曝気制御性	○	◎	◎	○
終沈容量	◎小	◎小	○大	○大
水質	BOD除去	◎	◎	◎
	硝化	○	◎	◎
	脱窒	○	◎	◎
汚泥処理性	○	○	△	△
維持管理性	◎	○	○	◎
敷地	○	○	△	×
経済性	建設費	○	△	△
	維持費	◎	○	△
低負荷時対応	初沈無しOD法	初沈無し長時間エアレーション嫌気、好気運転可	長時間エアレーション嫌気、好気運転可	初沈無しOD法
評価	・現況施設と同様な形状 ・運転管理方法が同じ対応が容易 ・建設費、維持管理費ともに最も経済的	・送風設備が必要 ・運転管理方法異なる	・所要敷地に余裕がない ・窒素除去が期待できる ・送風設備が必要 ・運転管理方法異なる	・現敷地に収容できない ・窒素除去が期待できる ・現況施設と同様な施設 ・運転管理方法が同じ

5. まとめ

本調査で得られた主要な結果を以下に示す。

- (1) 現地調査を実施し、現有施設の評価を行うことにより現有処理施設の最適運転方法を示した。また、現有施設の処理限界について検討し、運用形態別受入れ水量を算出した。
- (2) 次系列以降の処理方式について検討対象処理方式を選定し、次期以降の水処理方式決定の基礎検討を行った。

●この研究に関する問い合わせは 研究第一部長 山根 昭
 研究第一部主任研究員 磯野 益美
 研究第一部主任研究員 市野 繁明
 研究第一部主任研究員 細谷 守生