

4 ケーススタディ

4.1 モデルケースの設定・計算方法

標準活性汚泥法または循環式硝化脱窒法を実施している施設に関して、本技術を導入する場合の各種ケーススタディを行い、風量、消費電力量の試算を行った。

(1) 検討条件

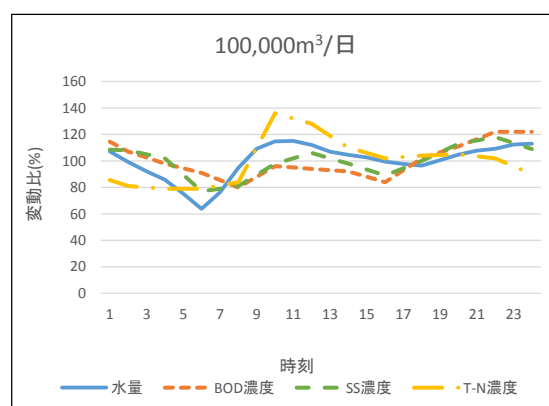
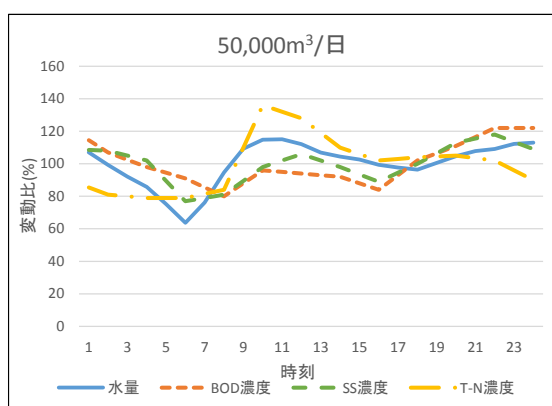
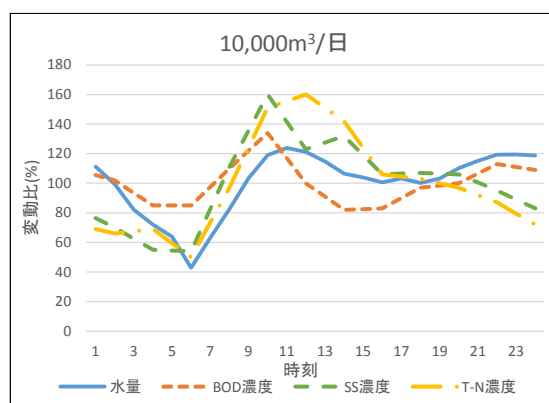
処理場規模は計画日最大汚水量が、10,000 m³、50,000 m³、100,000 m³ の 3 パターンを想定し、風量制御方法は本技術と、従来技術として風量一定制御、DO 一定制御の計 3 パターンとした。技術の導入を検討する下水処理場の諸元について下記の表資 4-1 に示すとおり設定した。また流入水質、流出水質の条件表資 4-2 に示した。流入水量、流入水質(BOD 濃度、SS 濃度、全窒素濃度)に関しては時間帯による変動を考慮するため、それぞれの日平均値に対する各時間帯の変動比(%)を図資 4-1 に示すとおり設定した。

表資 4-1 導入検討する下水処理場の設定条件

項目	設定条件		
流入汚水量 (計画日最大値)	10,000 m ³ /日	50,000 m ³ /日	100,000 m ³ /日
流入汚水量 (日平均値)	8,000 m ³ /日	40,000 m ³ /日	80,000 m ³ /日
水処理系列数	2 系	2 系	4 系
反応タンク池数	4 池	4 池	8 池
送風機常用台数	2 台	2 台	4 台
送風機種	ルーツブロワ	多段ターボブロワ	多段ターボブロワ
風量制御機構	インバータ制御	インレットベーン制御	インレットベーン制御
散気装置	散気板		
好気タンク HRT	8 時間		
反応タンク水深	5.0 m		
散気装置設置水深	4.5 m		
MLSS 濃度	1500 mg/L		

表資 4-2 導入検討する下水処理場の流入・流出水質条件

流入水質項目	水質条件(日平均値)
BOD 濃度	118 mg/L
S-BOD 濃度	BOD 濃度の 66.7%
SS 濃度	49 mg/L
全窒素濃度	28 mg/L
流出水質項目	水質条件
BOD 濃度	標準活性汚泥法：5.0 mg/L 循環式硝化脱窒法：3.0 mg/L
全窒素濃度	2.0 mg/L
DO 濃度(反応タンク末端)	2.0 mg/L



図資 4-1 流入水質の時間変動条件

(2) 試算方法

1) 必要酸素量

必要酸素量は「下水道施設計画・設計指針と解説(2009)¹⁾」に基づいて、①有機物の酸化に必要な酸素量(= D_B)、②硝化反応に必要な酸素量(= D_N)、③内生呼吸に必要な酸素量(= D_E)、④DO の維持に必要な酸素量(= D_O)の和から各時間帯で計算した。算出に必要な下記項目は設計指針の値を参考とした。各設定値は表資 4-3 に示す。

①有機物の酸化に必要な酸素量 D_B

- ・ 無酸素槽 $\text{NO}_x\text{-N}$ 負荷量
- ・ 無酸素槽 $\text{NO}_x\text{-N}$ 流出量
- ・ 脱窒に消費される BOD 量
- ・ 除去 BOD あたりに必要な酸素量

②硝化反応に必要な酸素量 D_N

- ・ 硝化反応に伴い消費される酸素量
- ・ 溶解性 BOD の汚泥転換率
- ・ SS に対する汚泥転換率
- ・ 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数
- ・ 余剰汚泥の窒素含有率

③内生呼吸に必要な酸素量 D_E

- ・ 単位 MLVSS あたりの内生呼吸による酸素消費量
- ・ MLVSS/MLSS

④溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 D_O

- ・ 返送水量
- ・ 循環水量比

表資 4-3 AOR 算出のための設定値 (1 / 2)

名称	単位	設定値	
		標準活性汚泥法	循環式硝化脱窒法
①有機物の酸化に必要な酸素量 D_B			
循環水量比	—	-	1.8
脱窒に消費される BOD 量	kgBOD/kgN	2.86	2.00
除去 BOD あたりに必要な酸素量	kgO ₂ /kgBOD	0.60	
②硝化反応に必要な酸素量 D_N			
硝化反応に伴い硝化される酸素量	kgO ₂ /kgN	4.57	
溶解性 BOD の汚泥転換率	gMLSS/gS-BOD	0.5	

表資 4-3 AOR 算出のための設定値（2 / 2）

名称	単位	設定値	
		標準活性汚泥法	循環式硝化脱窒法
活性汚泥微生物の内生呼吸による 減量を表す係数	ℓ/d	0.04	
余剰汚泥の窒素含有率	%	8.0	
③)内生呼吸に必要な酸素量 D_E			
単位 MLVSS あたりの内生呼吸による 酸素消費量	kgO ₂ /kgMLVSS・d	0.1	
MLVSS/MLSS	—	0.8	
④溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 D_O			
返送汚泥比	—	0.50	

2) 必要空気量

風量の算出は 1)で計算した下水での AOR を、一旦清水での酸素供給量(SOR)に換算し、酸素移動効率から必要空気量を求めた。算出に必要な下記項目は上記の「下水道施設計画・設計指針と解説(2009)」¹⁾より設定した。各項目の設定値を表資 4-4 に示す。

- ・ 20℃における酸素飽和濃度
- ・ エアレーション装置性能の前提となる清水温度
- ・ 反応タンク内水温
- ・ 清水中 20℃での飽和酸素濃度
- ・ 清水中 13℃での飽和酸素濃度
- ・ K_{la} の補正係数
- ・ 酸素飽和濃度の補正係数
- ・ 大気圧
- ・ 散気水深による CS₂ の補正係数

表資 4-4 風量算出のための設定値（1 / 2）

名称	単位	採用値	
		標準活性汚泥法	循環式硝化脱窒法
20℃における酸素飽和濃度	mg/ℓ	8.84	
エアレーション装置性能の前提となる清水温度(T_1 ℃)	℃	20.0	
反応タンク内水温 (T_2 ℃)	℃	13.0	
清水中 T_1 ℃での飽和酸素濃度	mg/ℓ	8.84	
清水中 T_2 ℃での飽和酸素濃度	mg/ℓ	10.20	
反応タンク内の DO 濃度	mg/ℓ	2.0	

表資 4-4 風量算出のための設定値（2／2）

名称	単位	採用値	
		標準活性汚泥法	循環式硝化脱窒法
Kla の補正係数	—	0.83	
酸素飽和濃度の補正係数	—	0.95	
大気圧	kPa	101.3	
酸素移動効率	%	12.0	
空気密度	kg/m ³ -AIR	1.293	
酸素含有量	kgO ₂ /kg-AIR	0.232	

3) 風量および送風機消費電力

- 送風機は 2) で求めた必要空気量の最大値に余裕率 10% を考慮し、表資 4-1 で示した常用台数で除した風量を定格風量とした。また多段式ターボブロワに関してはメーカーヒアリングにより得られた表資 4-5 の 3 機種のパフォーマンスから、設定した定格風量の機種の性能線を仮想設定した。設定した性能線は次式にて消費電力へ換算した。

$$(\text{消費電力}) = (\text{入力動力}) = (\text{軸動力}) / (\text{効率}^*)$$

※効率にはターボブロワには電動機効率として 93%、インレットベーンではインバータ効率として 95% を採用した。

表資 4-5 ヒアリングにより得られたブロワのパフォーマンス

送風機種	定格風量	吐出圧	性能曲線
ルーツブロワ	50m ³ /min	5800 mmAq	軸動力(kW) = 1.064 × 風量(m ³ /min) + 9.565
多段式ターボブロワ	92m ³ /min		軸動力(kW) = 0.875 × 風量(m ³ /min) + 32.88
	110m ³ /min		軸動力(kW) = 0.936 × 風量(m ³ /min) + 32.89
	300m ³ /min		軸動力(kW) = 0.665 × 風量(m ³ /min) + 132.1

- 風量の制御方式として、風量一定制御、DO 一定制御、本技術による制御の 3 パターンとし、台数制御も併せて行う条件で試算を行った。台数制御における運転台数変更の方針は以下とした。

台数制御方針：運転台数を減らした場合に、送風機 1 台あたりの風量が定格風量の 90% 以下となり、3 時間以上同一台数で運転できる時間帯は運転台数を減らす。

- DO 一定制御は各時間帯の必要空気量を風量とした。
- 風量一定制御では必要空気量の最大値を一定の風量とした。
- 本技術による風量制御では実証試験により得られた結果を反映し、DO 一定制御の風量に対して 16.9% 低減した値を風量とした。

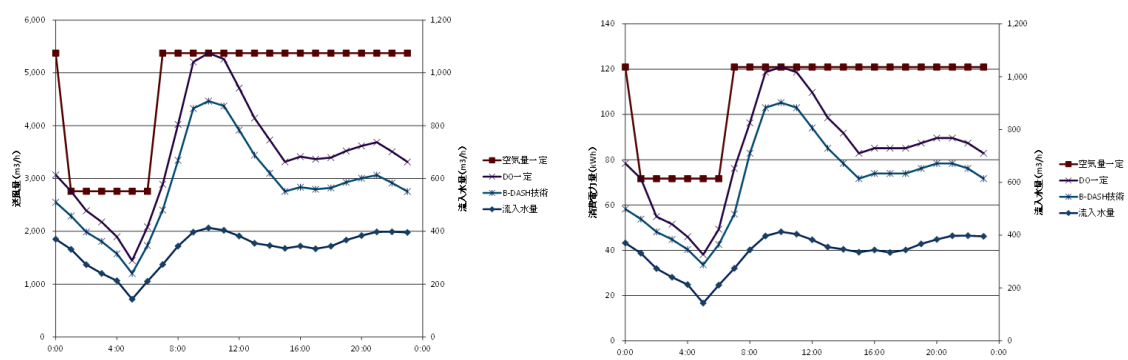
(3) 試算結果

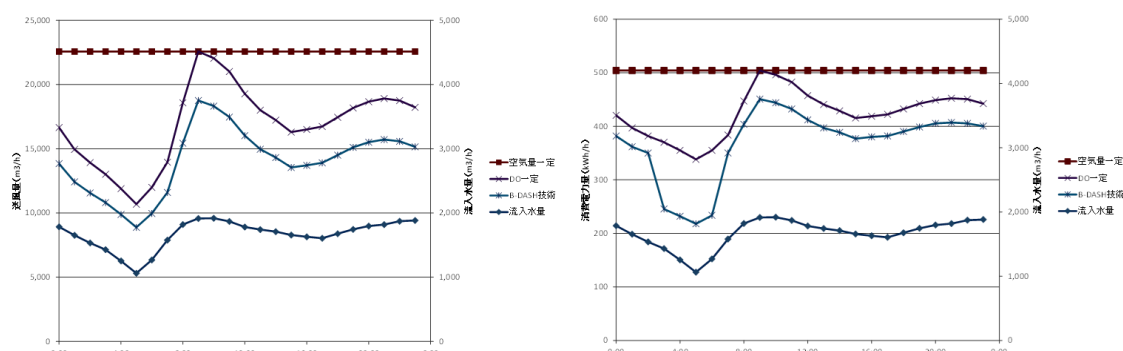
1) 標準活性汚泥法

表資 4-6 に標準活性汚泥法を実施している処理場を想定した試算結果を示す。また次頁の図資 4-2～図資 4-4 に時間帯での風量・消費電力量の試算結果の時間推移を示す。

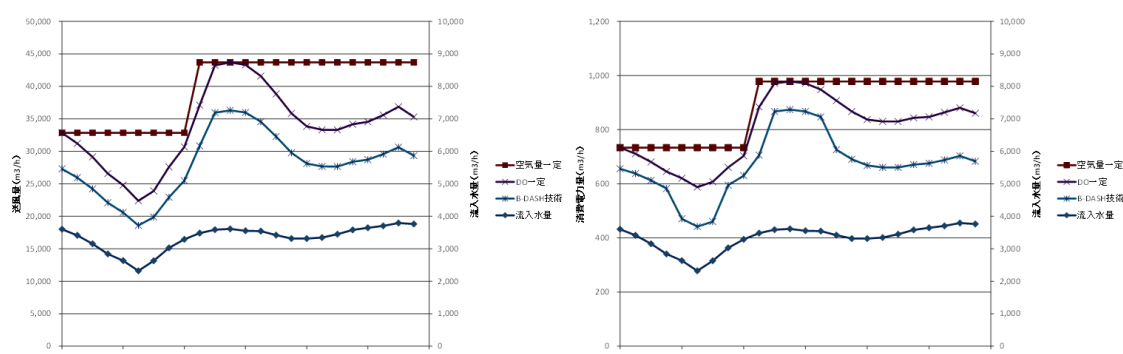
表資 4-6 標準活性汚泥法の試算結果

計画日 最大流量	処理方式	制御方法	風量 [m ³ /日]	消費電力量 [kWh/日]
10,000 m ³	標準法	風量一定	113,000	2,610
		DO 一定制御	82,300	2,000
		本技術	68,400	1,700
50,000 m ³	標準法	風量一定	542,000	12,100
		DO 一定制御	405,000	10,200
		本技術	337,000	8,850
100,000 m ³	標準法	風量一定	951,000	21,300
		DO 一定制御	810,000	19,300
		本技術	673,000	16,100

図資 4-2 標準活性汚泥法・10,000 m³/日の試算結果 (左)風量 (右)消費電力量



図資 4-3 標準活性汚泥法・50,000 m³/日の試算結果 (左)風量 (右)消費電力量



図資 4-4 標準活性汚泥法・100,000 m³/日の試算結果 (左)風量 (右)消費電力量

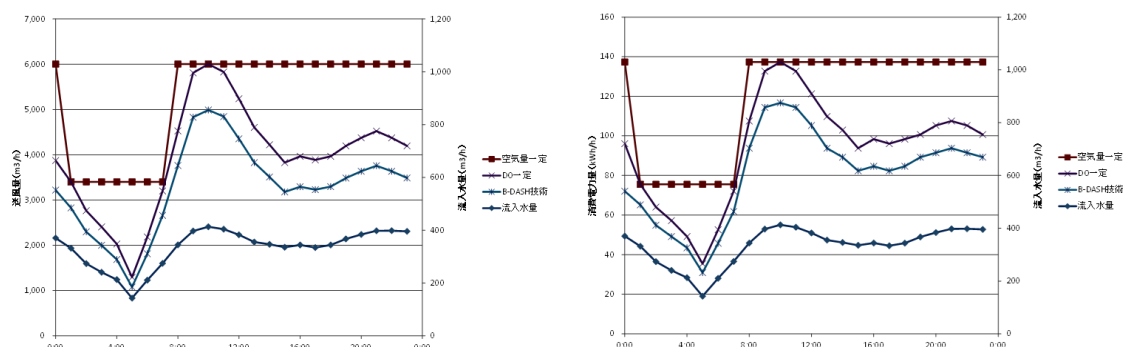
2) 循環式硝化脱窒法

表資 4-7 に循環式硝化脱窒法を実施している処理場を想定した試算結果を示す。また次頁の図資 4-5～図資 4-7 に時間帯での風量・消費電力量の試算結果の時間推移を示す。

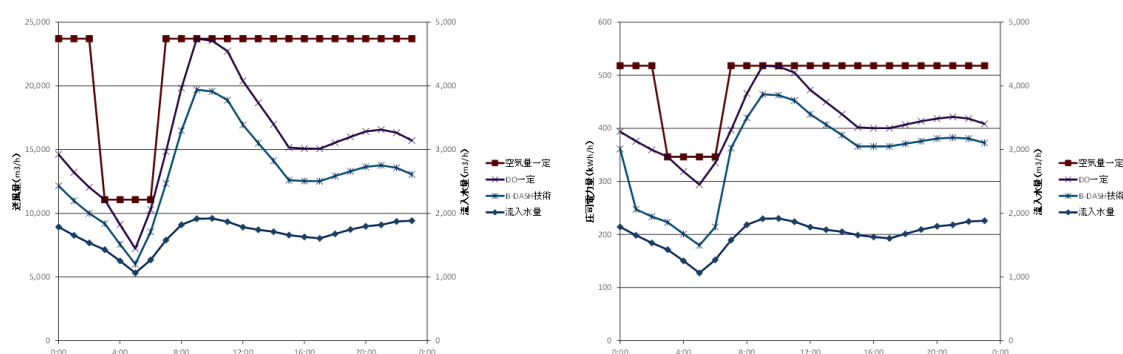
表資 4-7 循環式硝化脱窒法の試算結果

計画日 最大流量	処理方式	制御方法	風量 [m ³ /日]	消費電力量 [kWh/日]
10,000m ³	循環法	風量一定	130,000	2,970
		DO 一定制御	103,000	2,460
		本技術	85,700	2,080
50,000m ³	循環法	風量一定	643,000	14,100
		DO 一定制御	512,000	12,400
		本技術	426,000	10,800
100,000m ³	循環法	風量一定	1,120,000	24,600
		DO 一定制御	1,020,000	23,200
		本技術	847,000	19,900

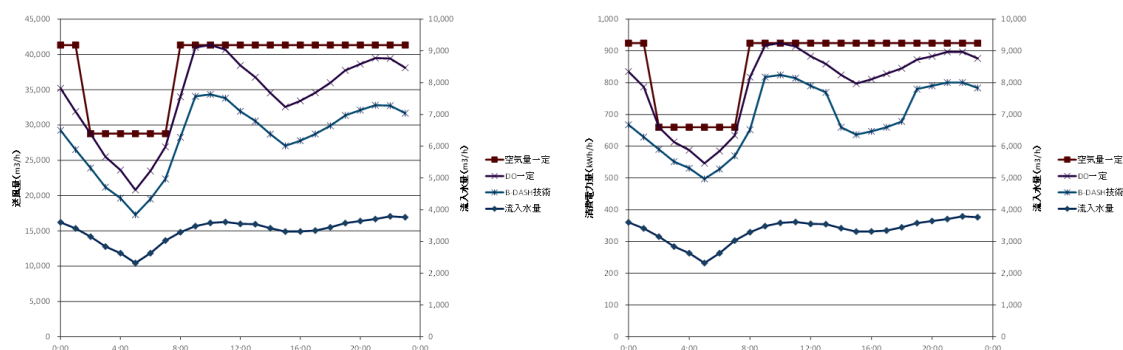
4. ケーススタディ



図資 4-5 循環式硝化脱窒法・10,000 m³/日の試算結果 (左)風量 (右)消費電力量



図資 4-6 循環式硝化脱窒法・50,000 m³/日の試算結果 (左)風量 (右)消費電力量



図資 4-7 循環式硝化脱窒法・100,000 m³/日の試算結果 (左)風量 (右)消費電力量

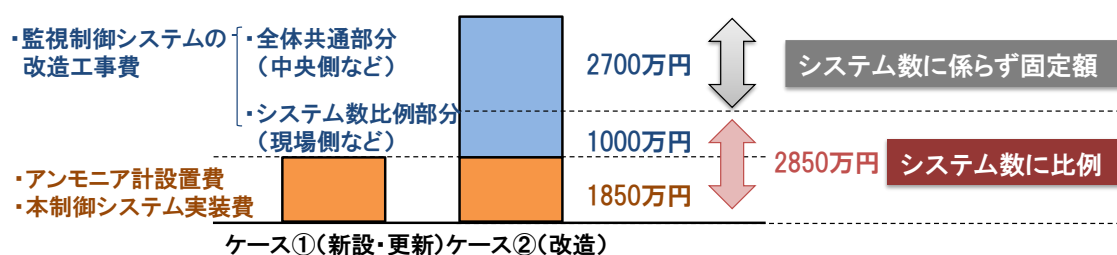
4.2 導入コストの試算

(1) 建設費

本編 § 19 導入効果の検討において設定した建設費の考え方を図資 4-8 に示す。本技術の導入に際しては、導入タイミングとして、監視制御設備の新設・更新工事に合わせて導入する場合（ケース①）と、既存設備を改造して導入する場合（ケース②）が考えられるため、2 つに分けて検討した。両ケースとも本技術導入に必要な増額分のみを建設費とした。ケース①はエンジニアリング、ハードウェア、設置工事、現地作業、現場代理人費用などは新設・更新工事と共通でかかる費用のため、積算対象外と仮定し、本技術を導入する際には、NH₄-N センサーおよびその設置工

事費、硝化制御ソフトウェア実装費が追加となる。このため、ケース①ではこれらの追加分を建設費とした。ケース②は既存の監視制御設備を改造して本技術を実装するため、ケース①に加えて改造費が追加となる。改造費はエンジニアリング、ハードウェア、設置工事、現地作業、現場代理人費用、既設システム側改造費他などである。なお、既設システムの改造費は既設システムの構成、メーカー等によって大きく異なるため参考値である。

建設費は1年当り費用とし、耐用年数、設置数、単価より算出した。1制御システムあたりの建設費は、ケース①で1850万円、ケース②で5500万円となった（表資 4-8 参照）。追加の制御システムに関しては、システム数に比例する部分を追加する。



図資 4-8 本技術導入に伴う建設費の考え方

表資 4-8 建設費の内訳

(a) ケース①：監視制御システムの新設・更新時

制御システム1つ当たりの費用

15年当たり費用 = 設置数*単価*15/耐用年数

対象	耐用年数 [年]	単価 [百万円]	設置数	小計 [百万円]	15年当たり [百万円]
アンモニア計設置費 (本体+付属物、工事費)	10 (一部15年)	3.7	2	7.4	11.0
硝化制御ソフトウェア 実装費	15	7.5	1	7.5	7.5
監視制御システムの 改造工事費※	-	-	-	-	-
合計					18.5

※エンジニアリング、ハードウェア、設置工事、現地作業、現場代理人費用他

・・・新設・更新工事と共通でかかる費用のため、積算対象外

(b) ケース②：既存の監視制御システムの改造時

制御システム1つ当たりの費用

15年当たり費用 = 設置数*単価*15/耐用年数

対象		耐用年数 [年]	単価 [百万円]	設置数	小計 [百万円]	15年当たり [百万円]
アンモニア計設置費 (本体+付属物、工事費)		10 (一部15年)	3.7	2	7.4	11.0
硝化制御ソフトウェア 実装費		15	7.5	1	7.5	7.5
監視制御 システム 改造工事費 ※1	システム数比 例※2	10 (一部15年)	7(参考)	1	7(参考)	10(参考)
	全体共通※3	10 (一部15年)	18(参考)	1	18(参考)	27(参考)
合計						55(参考)

※1 エンジニアリング、ハードウェア、設置工事、現地作業、現場代理人費用、既設システム側改造費他

特に既設システム側改造費は既設システムの構成、メーカー等によって大きく異なるため、参考値とする

※2 現場側などシステム数に比例する部分

※3 中央側などシステム数に寄らない部分および固定費

(2) 維持管理費

維持管理費についても建設費と同様に、本技術導入のために追加される費用のみとした。制御に係るシステムの維持管理費は監視制御システムの維持管理費に含まれていると仮定し、維持管理費は $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーに係る電極等の消耗品交換費、校正作業や点検等の保守作業費のみとした。追加になる維持管理費は 137 万円となった(表資 4-9)。 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの消耗品に係る維持管理費は 1 年当たりの費用とし、年間の実施回数または交換回数、設置数、単価より算出した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーの校正作業費については、試算上の設定は下記のとおりとした。

- ・校正は月に 2 回の頻度で実施する(実証研究での実績)
- ・作業は二人作業とする

- ・校正作業はNH₄-Nセンサー1台につき1.5時間要するとする
- ・人件費の単価は公共工事設計労務単価における電工費⁵⁾の全国平均より18,500円/8hとする

表資 4-9 維持管理費の内訳（制御システム1つ当たり）

対象	年間 実施・交換回数	設置数	単価 [百万円]	1年当たり費用 [百万円]
NH ₄ -N センサー 日常点検・校正	24	2	0.01	0.33
NH ₄ -N センサー メーカー定期点検	1	2	0.08	0.16
NH ₄ -N センサー 消耗品(電極等)	2	2	0.21	0.85
NH ₄ -N センサー その他交換部品	1	2	0.01	0.03
合計				1.37