

硫化水素の生物学的除去技術の開発 に関する共同研究報告書

平成10年8月

建設省土木研究所
下水道部下水道研究室
石川島播磨重工業(株)

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

硫化水素の生物学的除去技術の開発 に関する共同研究報告書

建設省土木研究所	下水道部	下水道研究室	室長	笹部 薫
			主任研究員	岡本 誠一郎*)
石川島播磨重工業(株) 技術研究所	環境開発部		課長	福永 栄
				佐藤 健治
	環境事業部	水処理プロジェクト部	課長	中村 進
				大川 勝

要旨

近年、下水道施設内で発生する硫化水素によるコンクリートの腐食が問題となっており、その経済的な対策の確立が求められている。

本研究では、圧送管等における硫化水素除去技術として、単体硫黄を細胞内に蓄積する硫黄酸化細菌を用いて圧送管等において生成した硫化水素を高速酸化、除去する方法について検討し、除去効果やそれに及ぼす影響因子を明らかにするとともに、経済性の検討を行った。

キーワード：下水道、硫化水素、コンクリート腐食、圧送管、硫黄酸化細菌、硫化物除去技術

*)現 建設省都市局下水道部 公共下水道課課長補佐

目 次

1. はじめに	1
2. 研究目的及び概要	2
2. 1 研究の背景と目的	2
2. 2 研究期間	2
2. 3 研究の概要	2
3. 実験施設の概要	3
3. 1 腐食防止対策実験施設	3
3. 2 硫化物生物酸化システム	3
3. 2. 1 接触ばっ気式運転	3
3. 2. 2 散水ろ床式運転	4
3. 2. 3 硫黄酸化細菌	5
4. 接触ばっ気式運転と散水ろ床式運転の比較	7
4. 1 試験条件	7
4. 2 充填材付着微生物	8
4. 3 硫化物除去率の比較	9
4. 3. 1 接触ばっ気式運転	9
4. 3. 2 散水ろ床式運転	11
4. 3. 3 散水ろ床式運転における動力学的解析	11
4. 4 S Sの蓄積性の比較	12
4. 5 まとめ	12
5. 接触ばっ気式運転における詳細検討と実証試験	13
5. 1 長期連続試験による性能評価	13
5. 1. 1 実証プラント	13
5. 1. 2 試験条件	14
5. 1. 3 硫化物生物酸化システムの除去性能	15
(1) R30,R1000 の硫化物除去率	15
(2) 接触ばっ気式運転における動力学的解析	18
(3) 硫化物除去率に及ぼすばっ気量の影響	20

(4) 生物脱臭塔の硫化水素除去能力	21
(5) 維持管理性	22
(6) 処理水中の硫酸イオン濃度	23
5. 2 間欠運転試験	23
5. 3 まとめ	24
6. ケーススタディによる経済性の検討	26
6. 1 試算条件と硫酸化リアクタの容積	26
6. 2 接触ばっ気式運転と散水ろ床式運転の消費電力試算	28
6. 3 接触ばっ気式運転におけるLCC試算	28
6. 4 まとめ	30
7. おわりに	31
参考文献	33
資料編	34

1. はじめに

我が国における下水道整備は、昭和30年代から目覚ましい勢いで進展してきており、下水道普及率は平成8年度には55%に達した。こうした整備の結果、下水管路施設の管きょ布設総延長は25.5万km（平成7年度施工済み）と膨大なものとなっている。一方、こうした整備の普及に伴って、近年、既存の下水道施設における老朽化や劣化・腐食等が深刻な問題となり、補修・更新を必要とするケースが増加してきている。今後、この傾向は更に加速するものと予想される。

下水道施設の機能を損なうことなく保全するためには、施設の適切な保全手法や更新手法の確立が重要な課題であるが、施設のストックが膨大であることから、特に経済的な対策技術の開発が望まれている。

2. 研究目的及び概要

2. 1 研究の背景と目的

近年、下水道施設内の特定環境下で発生する硫化水素による施設の腐食が問題となっている。このような硫化水素による腐食は、次の二つの過程を経て起こる。まず、圧送管路など、嫌気的な部分において、下水中に含まれている硫酸イオンが硫酸還元菌の作用で硫化水素に還元される。下水は、最終的にはコンクリート管路を好気的に流れるため、コンクリート表面で硫酸酸化細菌の作用で硫化水素は再び硫酸に酸化され、腐食の原因となる。腐食が進行すれば、都市の重要なライフラインである下水道施設の機能に重大なダメージを与える事となるため、下水中の硫化水素を効果的に除去する技術の確立は極めて重要な課題である。そこで、1995～1997年度には圧送管路施設における経済的な腐食防止対策技術の開発に関する民間6社との共同研究が行われた¹⁾。ここで研究された手法は、空気注入や薬剤注入法といった物理化学的な方法で、いずれも硫化水素の発生を抑制する手法である。これに対し、もう一つの硫化水素対策技術として、発生した硫化水素を除去する方法が考えられる。石川島播磨重工業(株) (以下、IHI) では、1988～1989年度に実施された共同研究“バイオフィーカスWT”以来、UASB処理水中の硫化物を生物学的に酸化・除去に関する研究^{2,3)}を行っている。この技術は、下水管路の腐食対策技術としても応用可能と考えられたため、土木研究所はIHIと硫化水素の生物学的除去技術の開発に関する共同研究を行う運びとなった。

本共同研究では、経済的な硫化水素対策技術として、生物学的に硫化物を除去する硫化物生物酸化システムの開発を目的とする。

2. 2 研究期間

1996年8月5日～1998年3月31日

2. 3 研究の概要

硫化物生物酸化システムの中核である硫酸化リアクタの運転方式には、接触ばっ気式、及び散水ろ床式が考えられる。そこで、1996年度は、2つの方式の比較を主な検討課題とし、それぞれの運転方式で硫化物除去試験を行い、性能の比較を行った。1997年度は、接触ばっ気式運転における詳細な性能試験やスケールアッププラント(接触ばっ気式)を用いた実証試験、及び平均的管路を想定してのケーススタディによる経済性評価を行い、硫化物生物酸化システムの有効性を評価した。

3. 実験施設の概要

3. 1 腐食防止対策実験施設

本共同研究における試験は、建設省土木研究所が所有する茨城県霞ヶ浦流域下水道霞ヶ浦浄化センター内に設置された腐食防止対策実験施設の実験用圧送管路（以下、実験管路）で実施した。実験管路は、 $\phi 100\text{mm} \times 1800\text{m}$ （内面モルタルライニング鋳鉄管）の管路勾配がほとんどない圧送管路で、同浄化センターに流入している下水が通水されている。圧送管路の出口付近で管路を分岐し、下水の一部を原水として硫化物生物酸化システムに通水した。

下水の水温は、月平均で最も高いのが9月で約 25°C 、低いのが2月で約 16°C である。管路内の硫化物濃度は下水水温に大きく影響される。8月～9月は最大で 10mgS/L 以上に達する一方、冬季には 1mgS/L 以下の場合もある。年平均の硫化物濃度は約 4mgS/L である。pHは月平均で $7.4 \sim 7.9$ と弱アルカリ性で変動は小さい。

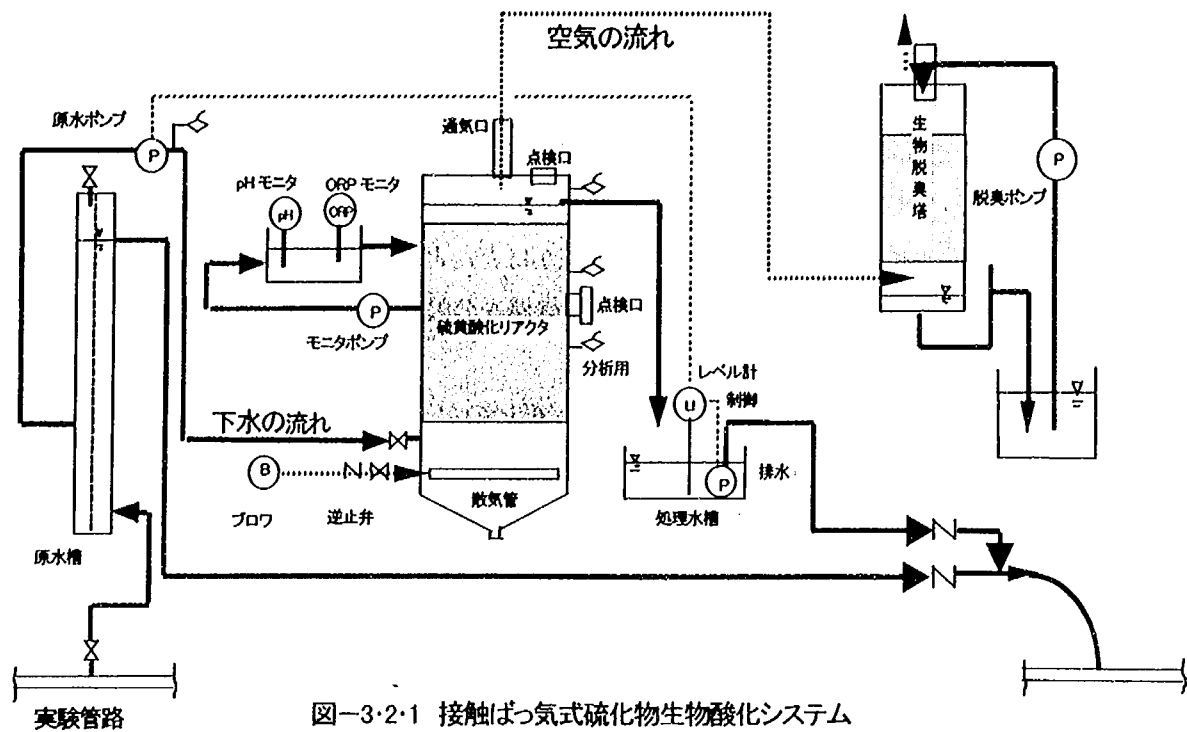
3. 2 硫化物生物酸化システム

下水中に溶存している硫化水素及びその他の硫化物を除去する硫黄酸化リアクタと、気相に逃げ出した硫化水素を除去する生物脱臭塔で硫化物生物酸化システムを構成した。本研究では、最大処理量 $8.6\text{m}^3/\text{d}$ （以下、R30）、及び最大処理量 $400\text{m}^3/\text{d}$ （以下、R1000）の硫化物生物酸化システムを用いて試験を行なった。なお、R30の硫黄酸化リアクタは散水ろ床式と接触ばっ気式の二つの運転が可能である。

1995～1996年度の共同研究¹⁾で実施された手法（空気注入法、酸素注入法、硝酸塩注入法、キノン系薬剤注入法）は、物理化学的に硫酸塩還元菌の活性を低下させ、硫化水素の発生を抑制する方法である。このため、長い管路ではコストアップになるほか、下流側でも硫酸イオンが残留しており、複数のポンプ場を経由する場合は、その都度、対策を実施する必要がある。しかし、本システムは、下水道施設等で硫酸イオンや有機酸が消費された段階で生成した硫化物を除去するため、下流側における硫化水素生成の可能性を低下させる事が期待できる。その反面、本技術は、硫黄酸化リアクタや生物脱臭塔の建設のため、上述した硫化水素の抑制技術に比べて場所的な制約を受けやすい。このためイニシャルコストは大きくなるが、ランニングコストは薬剤注入法よりも小さくなると予想される。

3. 2. 1 接触ばっ気式運転

硫化物生物酸化システムR30により接触ばっ気式で運転したときのフローを図-3.2.1に示す。実験管路を出口付近で分岐させ、実験管路を流れている下水（原水）の一部を硫黄酸化リアクタに通水した。原水は、原水槽（目開き 20mm の網がセットされている）を経て、原水ポンプで充填材（ $\phi 55 \times 50\text{L}$ ヘアーカーラー状、写真-3.1.1）が詰められた硫黄酸化リアクタに下部から供給される。原水は、充填材の層を上昇流で流れるが、この時下水中の溶存硫化物は、充填材表面に付着している微生物（硫黄酸化細菌）によって酸化・除去される。処理水は、硫黄酸化リアクタの上部から流出し、処理水槽を経て放流される。ブロワによって硫黄酸化リアクタに供給された空気は、充填材の層を通過して排出され、生物脱臭塔を経て大気中に放



出される。気相中の硫化水素は、生物脱臭塔の上部から散水される水（循環水）と対抗流で接触し、吸収される。生物脱臭塔には25mm角のスポンジ（ウレタンフォーム）が充填されており、この表面で繁殖している微生物（硫黄酸化細菌）によって、循環水に吸収された硫化水素が酸化・除去される。

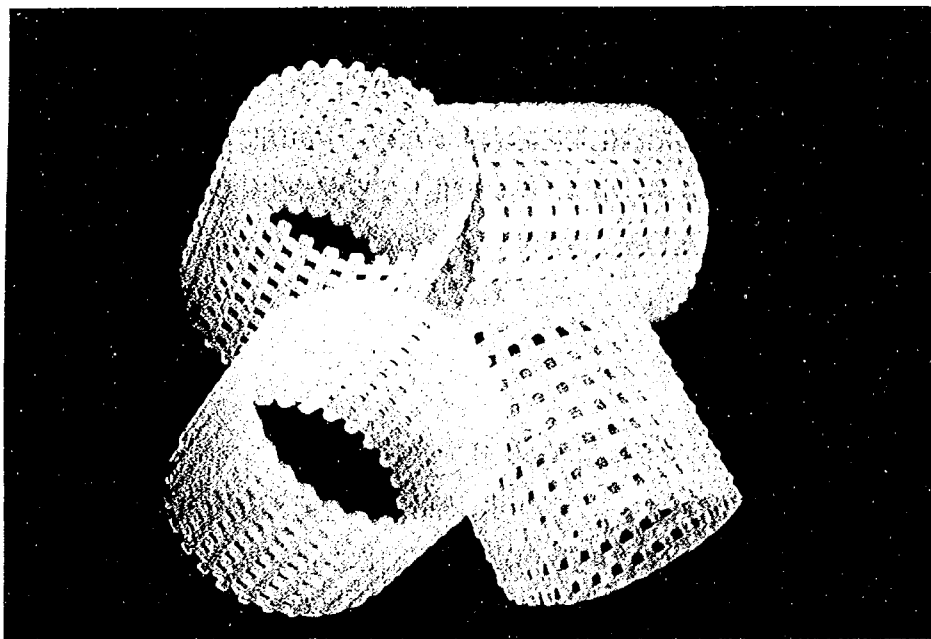


写真-3・1・1 硫化物生物酸化システム充填材

3. 2. 2 散水ろ床式運転

R30における散水ろ床式運転のフローを図-3・2・2に示す。原水は原水槽を経て原水ポンプで硫黄酸化リアクタの上部から供給・散水される。原水が充填材の層を下降流で流れるとき、充填材表面に付着した微生物の作用を受ける。この方法では、気液接触面積が大きく、排気ファンによって置換される硫黄酸化リアクタ内の空気はばっ気なしで液相に溶解する。従って、接触ばっ気式運転よりも省エネルギーが期待できる(6章参照)。排気ガスは、生物脱臭塔を経て大気中に放出される。

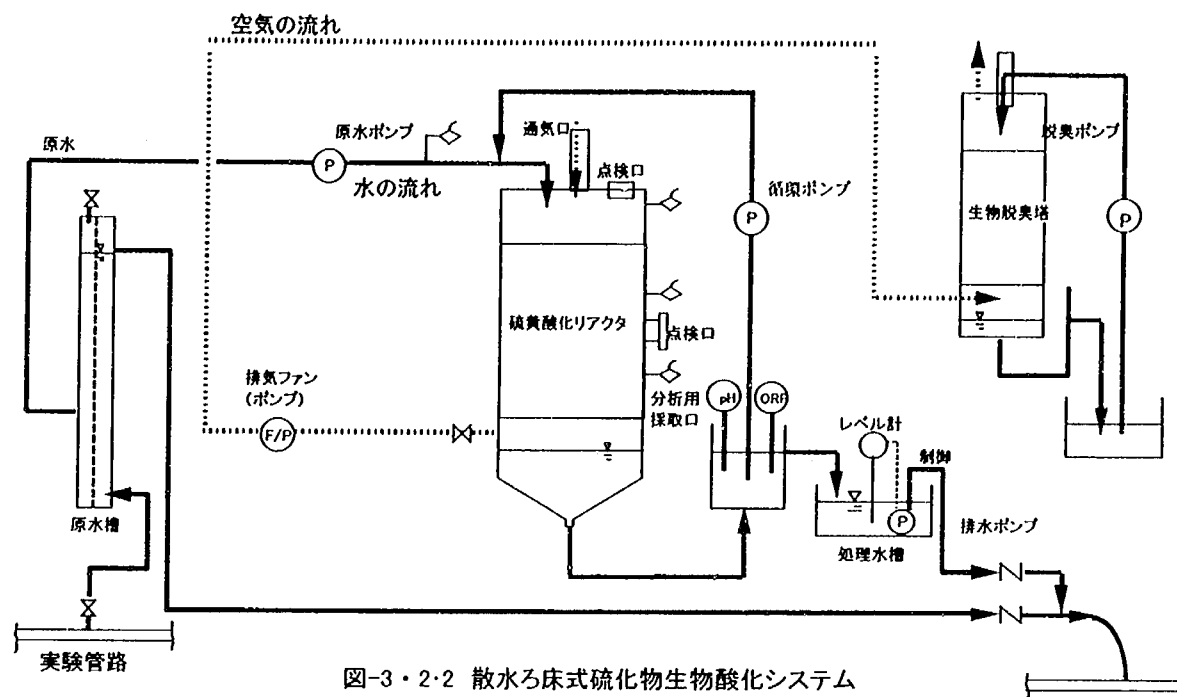


図-3・2・2 散水ろ床式硫化物生物酸化システム

3. 2. 3 硫黄酸化細菌⁵⁾

硫黄酸化細菌は、硫化物を栄養源とする独立栄養型の好気性細菌で、硫化水素を元素状硫黄に酸化して硫黄を細胞内に蓄積する滑走細菌(表-3・2・1)と、細胞中に硫黄を沈着しない小型の単細胞性の細菌(表-3・2・2)に大別される。硫化物の生物酸化は、図-3・2・3の経路で進行すると考えられている。硫黄を細胞内に蓄積する菌が硫化物生物酸化システム内で増殖する事によって下水中から硫黄分が除去されるため、下

表-3・2・1 硫化物を酸化して細胞内に硫黄を蓄積する大型の細菌

繊維状滑走菌	<i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i> , <i>Thioploca</i>
大型単細胞性滑走菌	<i>Achromatium</i>
大型の単細胞性桿状	桿菌, 非運動性: <i>Thiobacterium</i>
又は螺旋状の細菌,	桿菌, 極べん毛: <i>Macromonas</i>
非運動性,	球形または卵型菌:, 周毛: <i>Thiovulum</i>
またはべん毛で運動	らせん菌, 極べん毛: <i>Thiospira</i>

流側では硫化水素対策が必要なくなることが期待される。

表-3・2・2 硫化水素を酸化して細胞外に硫化物を形成する小型の細菌

	<i>Thiobacillus</i>	<i>Thiomicrospira</i>
細胞の形態	桿菌状	らせん状
べん毛	極毛性	極毛性
DNA塩基組成(G+C%)	34~70	48
増殖のpH範囲	—	5.0~8.5
独立栄養性	—	偏性

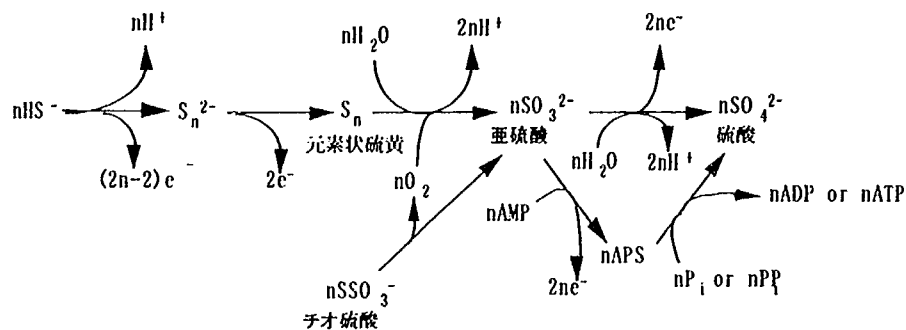


図-3・2・3 硫化物の生化学的酸化経路

4. 接触ばっ気式運転と散水ろ床式運転の比較

4. 1 試験条件

1996年10月末より1997年3月末までの約5ヶ月間、硫化物を含む原水を通水し、平均滞留時間(HRT)と温度(秋から冬にかけて自然に変動)を変動パラメータとして散水ろ床式、接触ばっ気式運転による硫化物除去試験を行った。散水ろ床式においては、処理水を再び散水する循環式運転も試みた。処理水を再びリアクタに戻す事によって水量負荷を大きくできるため、この試験は模擬的なスケールアップ試験となる。試験の詳細は表-4.1.1に示す通りである。主な分析項目と測定方法を表-4.1.2にまとめた。下水の滞留時間、硫化物負荷、硫化物除去速度を式(3.2.1)~(3.2.4)の様に定義し、硫化物生物酸化システムの性能評価を行った。

表-4.1.1 試験条件及び日程

No.1	方式	循環比 ^{*1}	HRT(min)	10月	11月	12月	1月	2月	3月
③	接触ばっ気	—	15		←→		←→		
②	散水ろ床	—	15		馴養	◆			
④	接触ばっ気	—	7.5					◆	
①	散水ろ床	—	30		◆	◆		◆	
⑤	散水ろ床(循環)	1:1	30						◆
⑥	散水ろ床(循環)	2:1	15						◆

*1 原水流速:循環処理水流速

表-4.1.2 主な分析項目、分析方法

分析項目	分析方法
水温	ハンディメータにて測定
溶存硫化物濃度	散気管に試料、中性リン酸塩溶液を入れ、窒素ガスで試料中の硫化水素を気相に、放散させ、検知管で測定した ¹⁾ 。
気相中H ₂ S濃度	検知管により測定
SS	下水道試験法による

$$\text{滞留時間} = \frac{\text{硫黄酸化リアクタ空塔容積}}{\text{下水流速}} \quad (3.2.1)$$

$$\text{硫化物負荷} = \frac{\text{原水硫化物濃度}}{\text{滞留時間}} \quad (3.2.2)$$

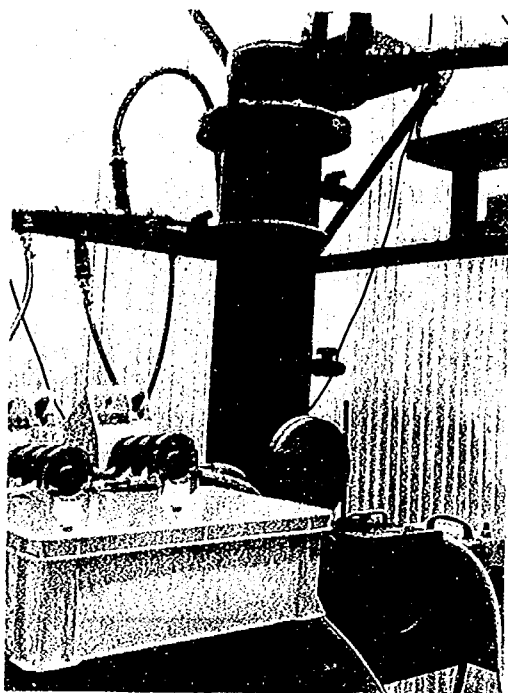
$$\text{硫化物除去速度} = \frac{\text{原水硫化物濃度} - \text{処理水硫化物濃度} - \text{脱臭ガス硫化水素濃度(下水換算)}}{\text{滞留時間}} \quad (3.2.3)$$

$$\text{硫化物除去率} = \frac{\text{硫化物除去速度}}{\text{硫化物負荷}} \times 100 \quad (3.2.4)$$

4. 2 充填材付着微生物

写真-4.2.1はR30の硫化物生物酸化システム(硫黄酸化リアクタ)である。写真-4.2.2は、馴養運転から試験①に移行(接触ばっ気式から散水ろ床式に移行)する時点で採取した充填材である。この充填材表面の付着物を蒸留水に懸濁し、顕微鏡写真撮影したのが写真

－4・2・3 である。単体硫黄と見られる顆粒を無数に含む菌糸（硫黄酸化細菌）が多数認められた。この時の微生物付着量は、956mgSS/充填材、708mgVSS/充填材であった。試験⑤の終了時にも同様の観察を行い、充填材表面に微生物相が形成されていたこと（2790mgSS/充填材、2253mgVSS/充填材）を確認した。この菌は、形態的特徴から *Beggiatoa* 属と考えられる。



写真－4・2・1 硫化物生物酸化システム R30（硫黄酸化リアクタ）



写真－4・2・2 微生物膜が形成された充填材



写真-4・2・3 充填材着微生物 (*Beggiatoa* 属と考えられる)

4. 3 硫化物除去率の比較

R30 における各試験条件での結果を図-4・3・1 に示す。また、この結果を各試験区毎に平均値でまとめたのが表-4・3・1 である。下水の硫化物濃度は $1.5 \sim 5.0 \text{ mgS/L}$ で変動した。110 日目に原水硫化物濃度 8.0 mgS/L が検出されたが、この時、実験管路の流速が低下していたため、管路での嫌気化が進行した結果と考えられる。

表-4・3・1 R30における試験結果

運転方式	No.	HRT (min)	処理量 (m ³ /d)	確認時間 (d)	水温度 (°C)	風量 (L/min)	溶存硫化物			硫化水素		除去速度 (kgS/m ³ /d)	除去率 (%)
							原水 (mgS/L)	負荷 (kgS/m ³ /d)	処理水 (mgS/L)	排ガス (mgS/L 下水)	脱臭排ガス		
散水ろ床	①	30	1.4	15	16.3	1	3.0	0.14	0.5	0.03	0.00	0.12	81.2
	⑤	30	1.4	14	18.0	1	2.6	0.12	0.1	0.01	0.00	0.12	97.6
	②	15	2.9	21	17.5	1	3.2	0.31	0.8	0.03	0.00	0.23	74.8
	⑥	15	2.9	7	18.2	1	1.6	0.15	0.1	0.01	0.00	0.14	92.9
接触ばっ気	順養	15	2.9	14	21.5	5~20	4.4	0.42	0.0	0.12	0.00	0.42	100
	③	15	2.9	14	16.3	20	3.6	0.35	0.0	0.10	0.00	0.35	100
	④	7.5	5.8	16	16.0	20	3.3	0.63	0.2	0.16	0.00	0.60	95.4

4. 3. 1 接触ばっ気式運転

HRT=15min (平均硫化物負荷 $0.42 \text{ kgS/m}^3/\text{d}$) , 風量/下水量=2.5~10 のとき (順養運転) , 100%の硫化物除去率が得られた。風量/下水量=10 では、平均水温が 21.5°C (順養運転) から 16.3°C (③, $0.35 \text{ kgS/m}^3/\text{d}$)) に低下しても 100%の硫化物除去率は維持された。また、HRT=7.5min (平均硫化物負荷 $0.63 \text{ kgS/m}^3/\text{d}$) , 平均水温 16°C の場合 (④) においても、95%以上の平均硫化物除去率が達成された。③, ④は年間を通じて最も水温が低下する時期であるが、非常に高い除去率が得られている。これらの結果は、水温 16°C 以上、風量が下水量の 2.5 倍以上であれば、少なくとも硫化物負荷が $0.6 \text{ kgS/m}^3/\text{d}$ 以下の場合においては平均 95%以上の硫化物除去率が達成されることを示している。硫黄酸化リアクタから

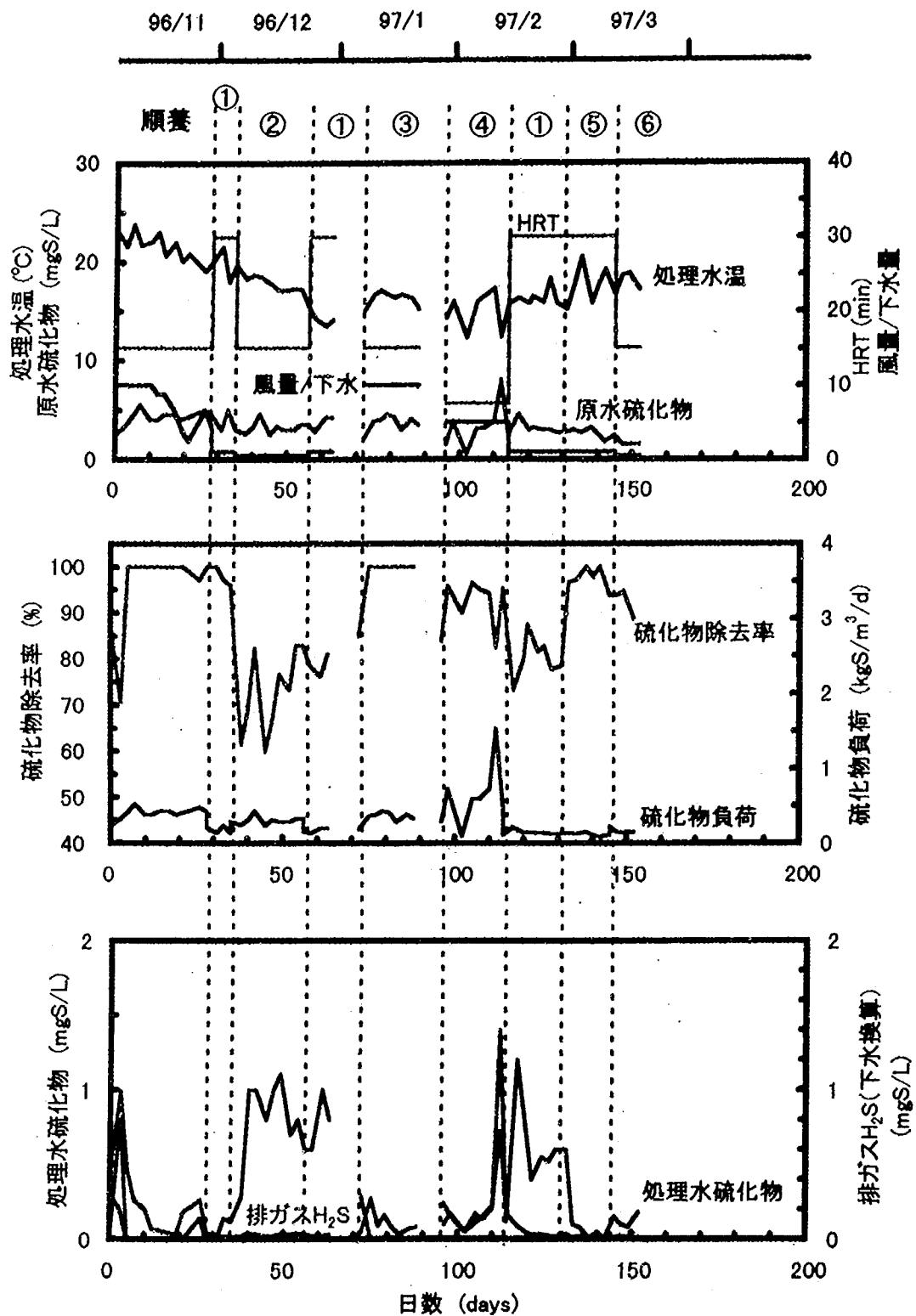


図-4.3.1 接触ばっ気式、及び散水ろ床式運転時の処理能力 ('96/10~'97/3)

①②⑤⑥: 散水ろ床式運転, ③④: 接触ばっ気式運転

① → ③: 年末年始休暇により実験中断(9日間)

③ → ④: 実験間の送水停止により実験中断(8日間)

の排ガスは、5～55ppm の H_2S を含んでいたが、生物脱臭塔で処理された排ガスからは H_2S は検出されなかった。

4. 3. 2 散水ろ床式運転

HRT=30min (平均硫化物負荷 $0.14\text{kgS}/\text{m}^3/\text{d}$) , 平均水温 16.3°C のとき (①) の平均硫化物除去率は 81.2% であった。処理量を 2 倍 (HRT=15min, 平均硫化物負荷 $0.31\text{kgS}/\text{m}^3/\text{d}$, 17.5°C , ②) に場合, 硫化物除去率は 74.8% に低下した。これに対し, 処理水を硫黄酸化リアクタに戻す散水ろ床・循環式運転では, HRT=30min (循環比 1:1, ⑤) , 15min (循環比 2:1, ⑥) における硫化物除去率は, それぞれ 97.6% , 92.9% に向上した。なお, 硫黄酸化リアクタからの排ガスは, 5～70ppm の H_2S を含んでいたが, 生物脱臭塔で処理された排ガスからは H_2S は検出されなかった。

4. 3. 3 散水ろ床式運転における動力学的解析

原水と処理水の物質収支から, 硫化物除去速度 (V) は式 (4.3.1) で表現される。また,

$$V = -\frac{dS}{dt} = \frac{S_0 - S}{\text{HRT}} \quad (4.3.1)$$

硫黄酸化リアクタが完全混合であるとし, 硫化物が細胞内に取り込まれる過程には酵素が関与していることが予想されるため, V は Michaelis-Menten の式に従うと仮定する。ここで

$$V = -\frac{dS}{dt} = V_{\max} \frac{S}{K_m + S} \quad (4.3.2)$$

$V_{\max}$ は最大除去速度, K_m は除去速度の飽和定数で, ともに温度に依存する定数である。S は処理水中の硫化物濃度である。式 (4.3.1) , (4.3.2) から, 定常状態では式 (4.3.3) が

$$\frac{S_0 - S}{\text{HRT}} = V_{\max} \frac{S}{K_m + S} \quad (4.3.3)$$

成り立ち, Lineweaver-Burk プロット (L-B プロット) で $V_{\max}$, K_m が求められる。今回の散水ろ床試験における水温は HRT=30min (①) では $15.2 \sim 18.3^\circ\text{C}$, HRT=15min (②) では $15.4 \sim 18.7^\circ\text{C}$ であった。そこで $16.5 \pm 1^\circ\text{C}$ のデータについて L-B プロットし,

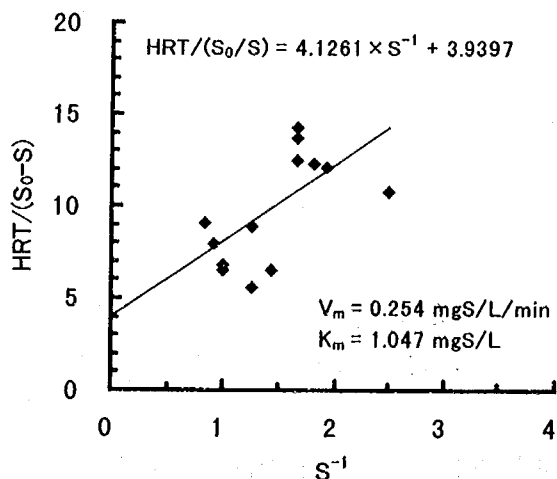


図-4.3.2 L-Bプロットによる定数の決定

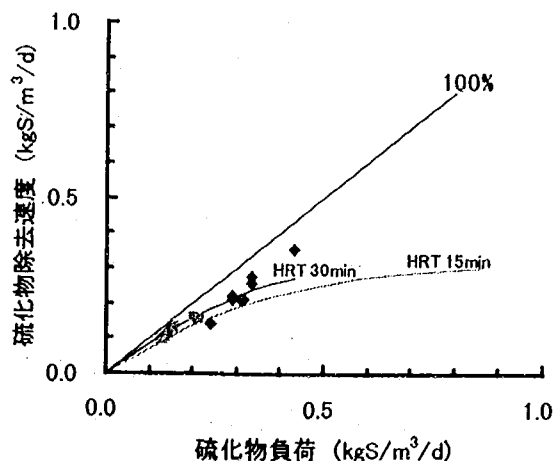


図-4.3.3 硫化物負荷と除去速度の関係

$V_{\max}=0.366\text{kgS/m}^3/\text{d}$, $K_m=1.507\text{kgS/m}^3$ を得た(図-4.3.2). 式(4.3.3)は式(4.3.4)

$$S = \frac{-(K_m - S_0 + V_{\max} HRT) + \sqrt{(K_m - S_0 + V_{\max} HRT)^2 + 4K_m S_0}}{2} \quad (4.3.4)$$

に変形されるため, 原水硫化物濃度と HRT から処理水硫化物濃度, 硫化物除去速度が予測可能(気相に放散した H_2S は生物脱臭塔で除去される)となる. 図-4.3.3 に任意の硫化物負荷(S_0/HRT)に対する硫化物除去速度の計算結果を実験結果(①, ②)と合わせて示す. 硫化物負荷が同じであれば, HRT が大きい方が硫化物除去速度は大きい.

接触ばっ気式運転におけるこの様な解析は, 水温の影響も合わせて次章で詳しく論ずる.

4. 4 SS 蓄積性の比較

運転期間中は, 両方式の運転で, 共に目詰まりなど, 維持管理面でのトラブルはなく, 順調に試験が行えた.

接触ばっ気式運転では原水中と処理水中に含まれる平均 SS 濃度差が $13 \sim 130\text{mgSS/L}$ であるのに対し, 散水ろ床式運転では $93 \sim 427\text{mgSS/L}$ であった(図-4.4.1). これは, 散水ろ床式で長期間連続運転した場合, リアクタに SS が蓄積して目詰まりする可能性を示すと考えられる.

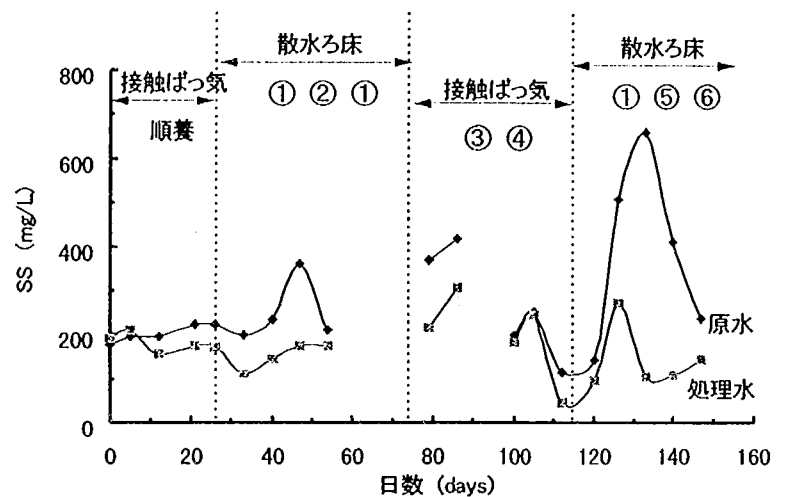


図-4.4.1 SS の経時

4. 5 まとめ

- (1) 接触ばっ気式運転では, 硫化物負荷 $0.42\text{kgS/m}^3/\text{d}$ 以下, 風量/下水量 $= 2.5$ 以上で 99% 以上の平均硫化物除去率が得られた.
- (2) 風量/下水量 $= 10$ の接触ばっ気式運転では, 平均水温が 21.5°C から 16.3°C に低下しても硫化物除去率は維持された.
- (3) 接触ばっ気式では, 水温 16°C , 硫化物負荷 $0.6\text{kgS/m}^3/\text{d}$ でも 95% 以上の平均除去率が達成された.
- (4) 散水ろ床式運転において, 硫化物負荷が $0.14, 0.31\text{kgS/m}^3/\text{d}$ の時の平均除去率は, それぞれ $81.2, 74.8\%$ であった.
- (5) 散水ろ床式運転において, 硫黄酸化リアクタが完全混合で硫化物除去速度が Michaelis-Menten の式に従うと仮定した場合, 水温 16.5°C のときの最大硫化物除去速度は $0.366\text{kgS/m}^3/\text{d}$ である.
- (6) 処理水の循環(スケールアップ)によって, 除去率が向上する事が確認された.
- (7) 散水ろ床式運転は, 接触ばっ気式に比べて SS が蓄積しやすいと考えられる.

5. 接触ばっ気式運転における詳細検討と実証試験

散水ろ床式運転は、省エネルギー的には接触ばっ気式運転よりも優れていると予想される。しかし、少なくとも90%以上の硫化物除去率が得られるような条件で運転する場合、処理量は接触ばっ気式運転の1/2以下である(表-4・3・1)。実際には、より高い硫化物除去能力が要求されるケースも多いと考えられる。散水ろ床式の場合、接触ばっ気式に比べて硫酸化リアクタや生物脱臭塔の建設に要するスペースの確保が余計に必要なため、よりコンパクトなシステムとするためには、接触ばっ気式の方が優れている。また、SSの蓄積(維持管理性)の点からも接触ばっ気式の方が優れている。この様な観点から、硫酸化リアクタの運転方式は、接触ばっ気式の方が実際の下水道施設への適用範囲が広いと考えられる。ここでは、接触ばっ気式運転において、詳細な検討、及びスケールアップしたプラントによる実証試験を行い、本システムの性能評価を行った。

5. 1 長期連続試験による性能評価

5. 1. 1 実証プラント

前章で示したR30の結果をもとに、実証プラントR1000(処理量400m³/d:φ900mm×1,500mmH硫酸化リアクタとφ500mm×1,000mmH生物脱臭塔)を製作した(97/8完成)。R1000の概要を図-5・1・1、写真-5・1・1に示す。

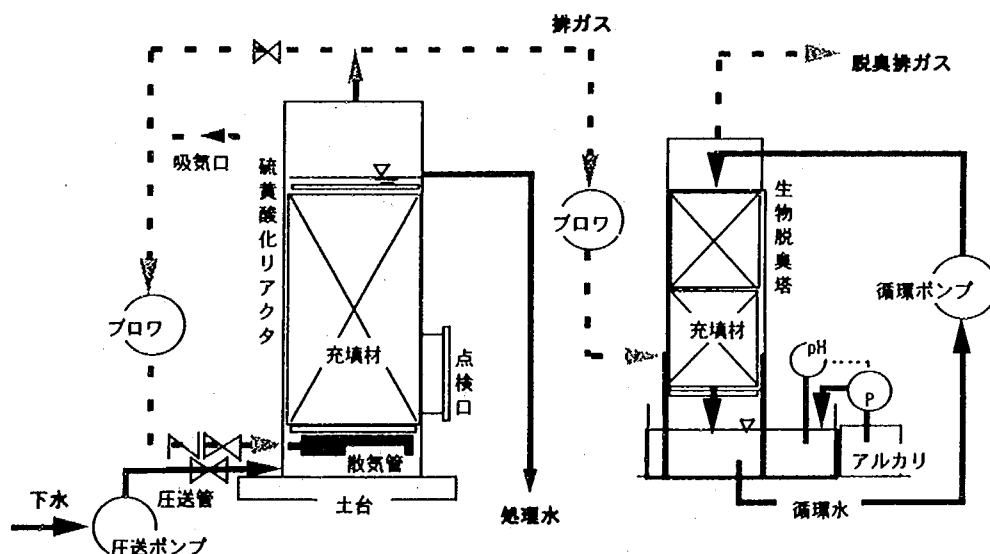


図-5・1・1 硫化物生物酸化システム R1000

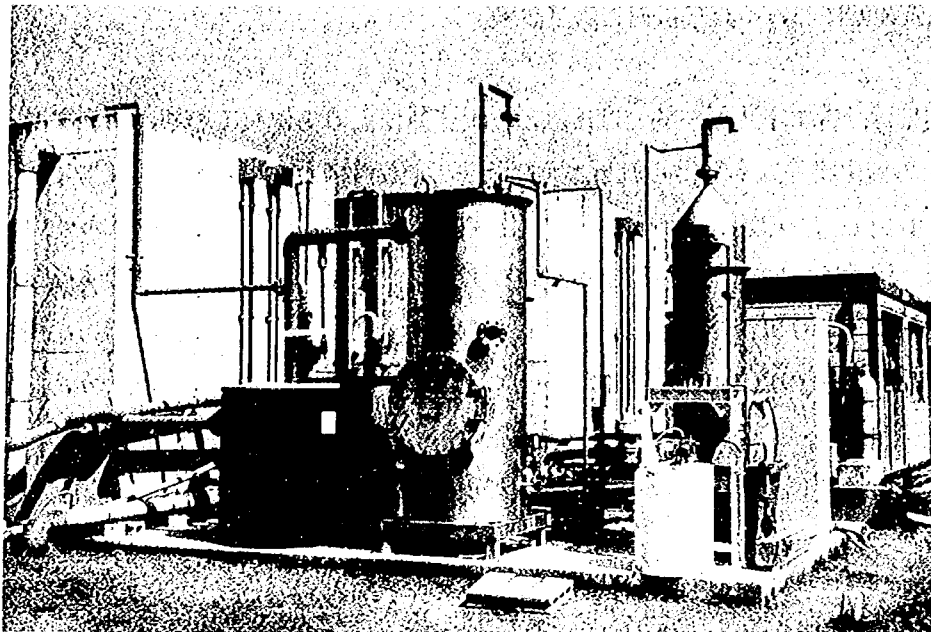


写真-5・1・1 硫化物生物酸化システム R1000

5. 1. 2 試験条件

R30 は 1996 年度の試験に引続き, 1998 年 3 月まで, R1000 は 1997 年 5 月～1998 年 3 月の間, 下水を通水し, 滞留時間 (HRT), ばっ気量, 季節による温度変化, 硫化物負荷をパラメータに溶存硫化物の除去試験を行なった. 実験条件を表-5・1・1 に示す.

表-5・1・1 硫化物生物酸化システムの試験条件
(接触ばっ気式運転)

硫化物生物酸化システム	No.	滞留時間 (min)	風量/下水量	水温 (°C)	年度
R30	③	15	10.0	16～18	1996
	④	7.5	5.0	16～26	
	⑦	7.5	2.5	22～30	1997
	⑧		1.3	24～28	
	⑨	5.0	1.7	14～28	
	⑩		3.3	18～20	
	⑪		0.8	16～18	
	⑫	7.5	1.8	14～19	
R1000	⑬	10	5.0	26～28	1997
	⑭	5	1.7	14～26	
	⑮		0.8	17～19	
	⑯	6	2.0	16～18	
	⑰	10	1.7	14～18	
	⑱		3.0	14～16	
	⑲	3.3	1.7	14～18	

夏季は下水中の硫化水素濃度が高く自然に高負荷となるが、冬季の下水は硫化水素濃度が低く、負荷を大きくできない。そこで試験⑨では水温 15～18℃の時に Na_2S 水溶液を原水ラインに注入し、低温高負荷 (2～4 $\text{kgS}/\text{m}^3/\text{d}$) の試験を行った。また、実際の中継ポンプ場は、間欠的に稼動している場合も多いため、試験⑨、⑭の一部では間欠運転も試みた。分析項目と分析方法は表-4.1.2 の通りである。滞留時間、硫化物負荷等は、式 (4.1.1) ～ (4.1.4) で求めた。

5. 1. 3 硫化物生物酸化システムの除去性能

R30, R1000 における試験結果をそれぞれ図-5.1.2, 5.1.3 に示す。

(1) R30, R1000 の硫化物除去率

HRT=5min, 風量/下水量=1.7 で R30 (⑨) を運転したときの硫化物負荷と除去速度の関係を図-5.1.4 にまとめた。R1000 については、上述の条件の⑭に加えて、HRT=10min (⑰) または 3.3min (⑱) としたときの結果も合わせて示した (図-5.1.5)。

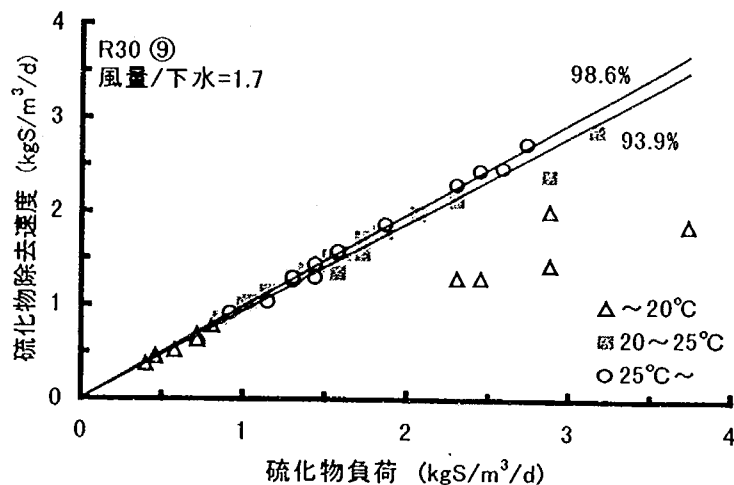


図-5.1.4 硫化物負荷と除去速度の関係 R30

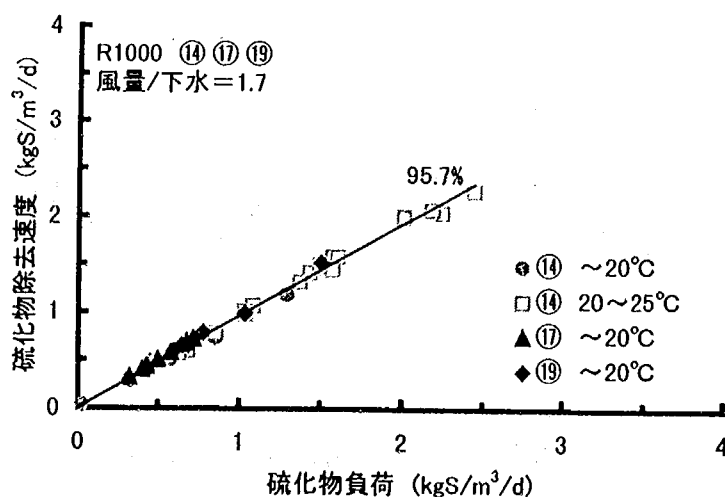


図-5.1.5 硫化物負荷と除去速度の関係 R1000

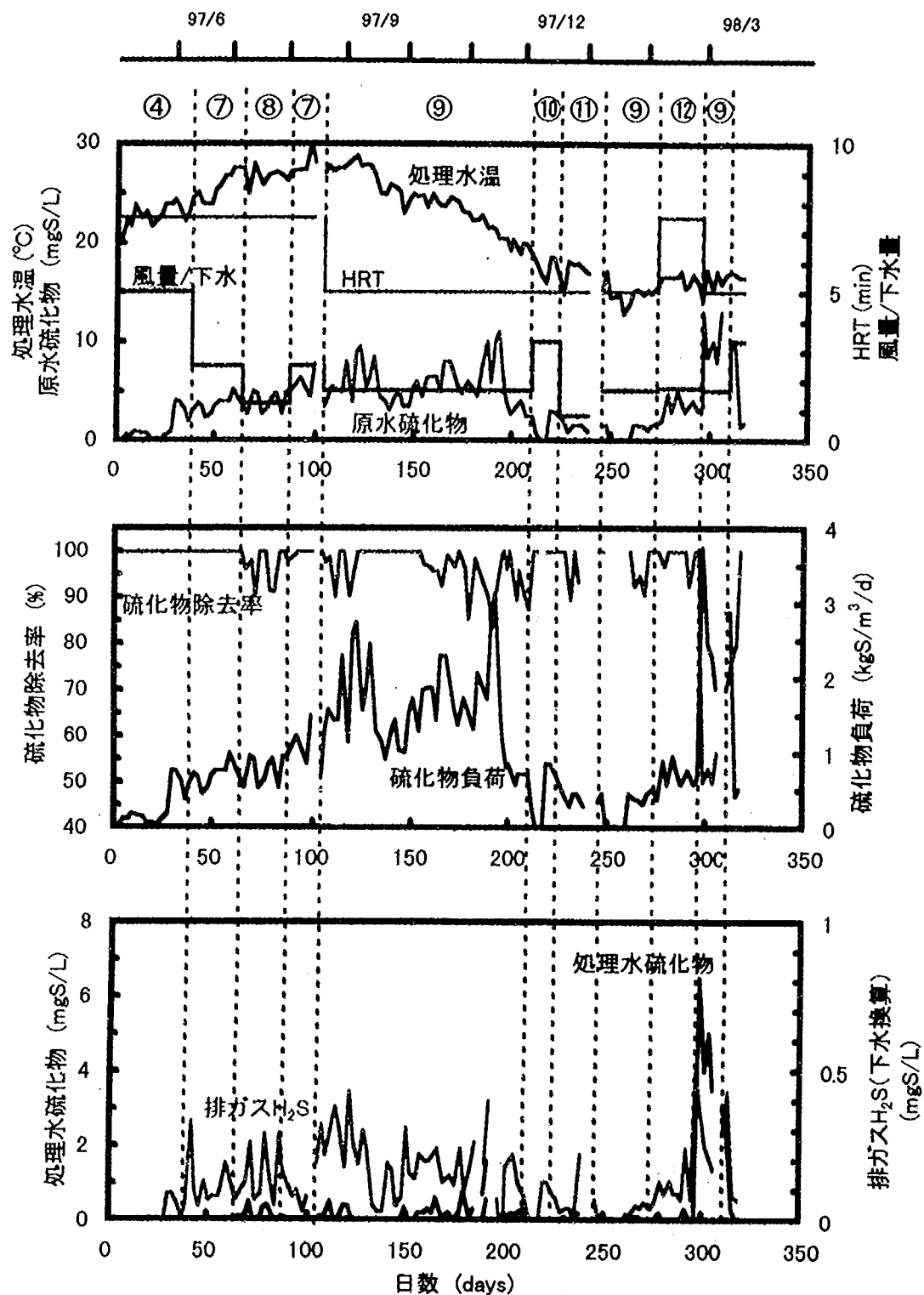


図-5.1.2 R30における試験条件と処理能力 ('97/5~'98/3)

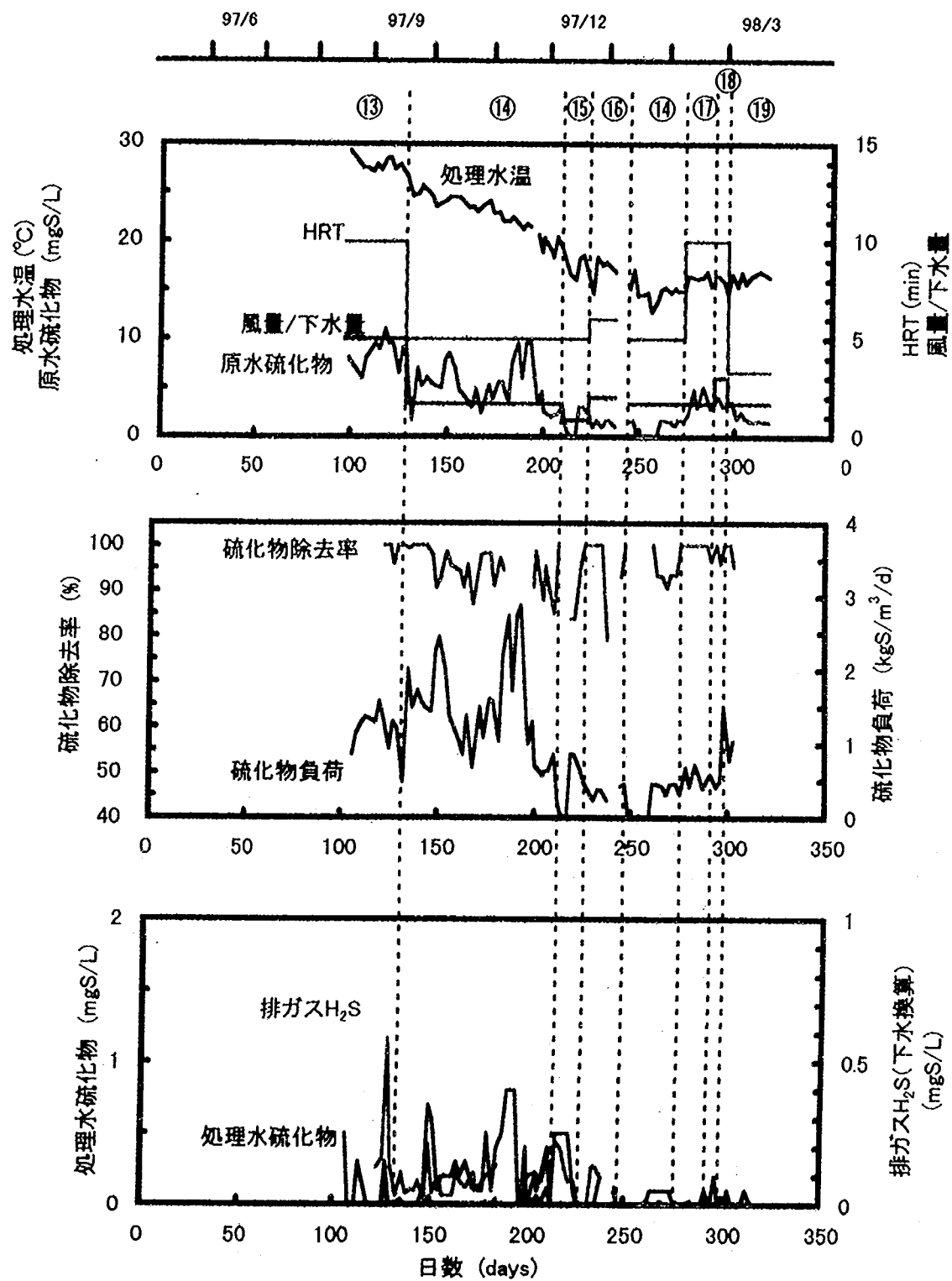


図-5.1.3 R1000における試験条件と処理能力 ('97/8~'98/3)

水温を 25℃以上, 20~25℃, 20℃以下の三つに分けてプロットした。R30 で水温が 25℃以上の場合 (硫化物負荷が 2.8kgS/m³/d 以下), 99%の平均硫化物除去率が得られた。水温が 20~25℃のときの平均除去率 (硫化物負荷 3.1kgS/m³/d 以下) は, R30 で 94%, R1000 で 96%であった。R30 と R1000 の硫化物除去率には特に差が認められない。この結果は, 硫黄酸化リアクタの容積が 33 倍になっても硫化物除去性能に影響がなかった事を示している。一方, 水温 20℃以下では, 1kgS/m³/d までの硫化物負荷であれば, 94%の硫化物硫化物除去率を維持したが (R30), 2.3kgS/m³/d 以上の高負荷 (原水ラインへの Na₂S 注入) がかったときは除去率は 50~70%に低下した。

(2) 接触ばっ気式運転における動力学的解析

4. 3. 3 節で述べたときと同様, 硫黄酸化リアクタが完全混合であるとし, T℃における硫化物除去速度 $V(T)$ が Michaelis-Menten の式に従うと仮定すると, 式 (4.3.3) の L-B プロットから水温 T℃における最大硫化物除去速度 $V_{\max}(T)$ と飽和定数 $K_m(T)$ が求められる。試験条件⑨, ⑭ (風量/下水量=1.7) において 19, 23, 25±1℃で処理水中に硫化物が検出された (これらの水温のとき, 比較的多く処理水中に硫化物

$$V_{\max}(T) = V_{\max}(20) \times \Theta^{T-20} \quad (5.1.1)$$

$$K_m(T) = K_m(20) \times \Theta^{T-20} \quad (5.1.2)$$

が検出された) データをもとに各水温ごとの $V_{\max}(T)$, $K_m(T)$ を求め, 次いで式 (5.1.1), 式 (5.1.2) で温度の影響を近似したところ, $V_{\max}(20)=1.56\text{kgS/m}^3/\text{d}$, $\Theta_v=1.10$, $K_m(20)=0.02\text{gS/m}^3$, $\Theta_K=1.06$ を得た。ここで, Θ_v , Θ_K は最大硫化物除去速度, 飽和定数の温度補正係数である。式(5.1.1), (5.1.2) から温度毎に求めた $V_{\max}(T)$, $K_m(T)$ を式 (4.3.4) に代入し, ある HRT における各水温に対する原水と処理水との硫化物濃度の関係を求め, これから硫化物負荷 (S_0/HRT) と硫化物除去速度 ($(S_0-S)/\text{HRT}$) の関係を得た。

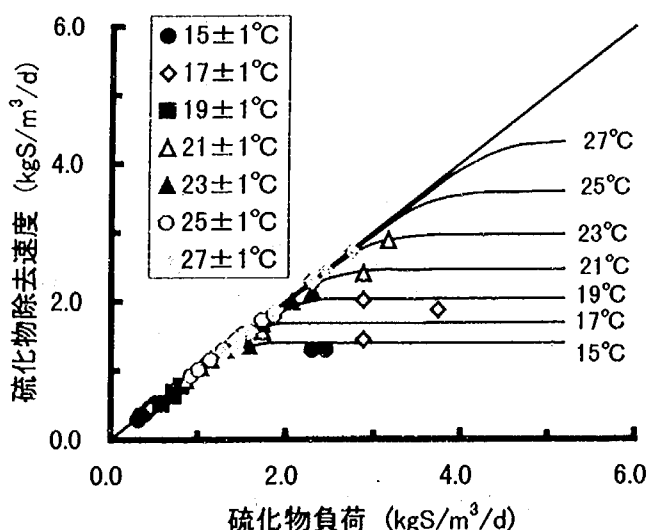


図-5.1.6 硫化物除去速度に及ぼす温度の影響(R30)

図-5.1.6 は, R30 を $HRT=5\text{min}$, 風量/下水量 $=1.7$ として接触ばっ気式で運転したときの硫化物負荷に対する温度別硫化物除去速度である. 図-5.1.7 は R1000 における温度別硫化物除去速度である. 各プロットは試験の温度別 ($T\pm 1^\circ\text{C}$) 実測値で, 実線は上述の解析結果を用いて式 (4.3.3) から求めた計算値で

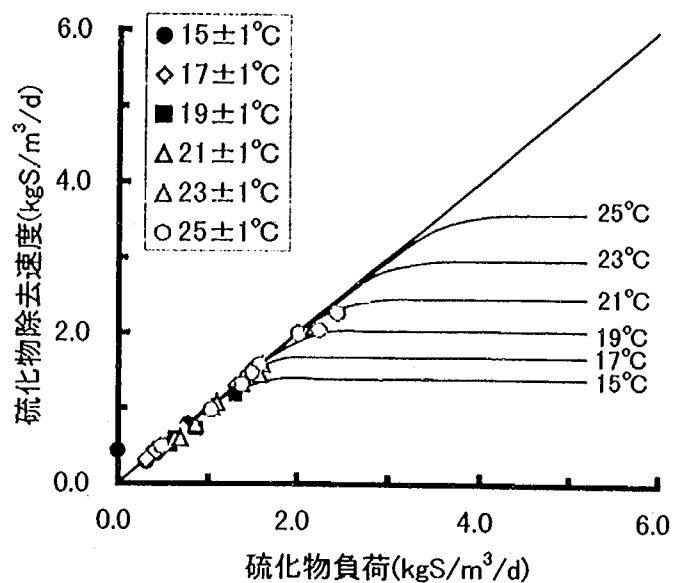


図-5.1.7 硫化物除去速度に及ぼす温度の影響(R1000)

ある. 水温 $15, 17^\circ\text{C}$ の試験区は, Na_2S をライン注入した試験結果も含むが, 計算値と実測値は概略対応している.

硫化物負荷が等しい場合, 散水ろ床式では滞留時間が長い方が硫化物除去には有利になるというシミュレーション結果を得たが, 接触ばっ気式の場合では, 図-5.1.8 に示す通り, HRT は除去速度に影響しないというシミュレーション結果を得た. 水温 20°C のときを例に図示したが, 計算上は水温が変化しても硫化物除去速度は HRT の影響を受けない.

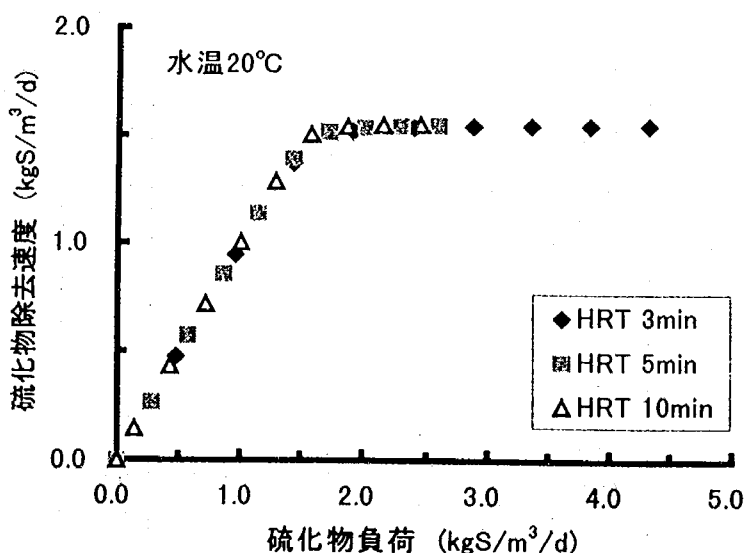


図-5.1.8 硫化物除去速度に及ぼす滞留時間の影響

(3) 硫化物除去率に及ぼすばっ気量の影響

図-5・1・8のシミュレーション結果から、HRT=5～7.5minではHRT違いを無視できるとして、試験④、⑧、⑩、⑪、⑮、⑯の実測値について、その時の原水硫化物濃度と水温から求めた硫化物除去速度（風量／下水量=1.7）の計算値との比較を試み（表-5・1・3）、ばっ気量の影響を検討した。

硫化物除去速度の計算値に対するばっ気量の異なる条件での実測値の比を除去速度比とすると、風量／下水量=2以上の条件では、大部分が1.0以上を示すのに対し、風量／下水量=1.3以下では、多くのケースで除去速度比が1.0以下である。これは、ばっ気量の増大によって硫化物除去率が大きくなる事を示唆すると考えられる。特に、試験④の12.4℃や、⑩の16.9℃など、低温期に高負荷がかかったケースで除去速度比が非常に大きいのは、ばっ気量の影響と考えられる。低水温期に高硫化物負荷がかかる場合は、HRTを操作す

表-5・1・2 硫化物除去率に及ぼすばっ気量の影響

システム	原水硫化物 (kgS/m ³ /d)	水温 (℃)	硫化物負荷 (kgS/m ³ /d)	硫化物除去速度 (kgS/m ³ /d)						除去速度比*2
				④	⑩	⑯	計算値	⑧	⑪, ⑮	
				風量／下水量						
				5.0	3.3	2.0	1.7*1	1.3	0.8	
R30	3.8	16.0	0.73	0.70			0.67			1.0
	3.1	16.0	0.60	0.57			0.58			1.0
	3.1	16.5	0.60	0.57			0.58			1.0
	3.8	17.3	0.73	0.69			0.71			1.0
	8.0	12.4	1.54	1.27			0.50			2.5
	2.5	15.7	0.48	0.46			0.47			1.0
	3.0	18.5	0.86		0.86		0.85			1.0
	3.0	18.5	0.86		0.86		0.85			1.0
	2.5	16.3	0.72		0.72		0.71			1.0
	10.0	16.9	2.88		2.16		1.15			1.9
	1.5	16.5	0.43		0.35		0.43			0.8
	1.8	16.5	0.52		0.52		0.51			1.0
	2.8	25	0.54				0.54	0.52		1.0
	5.0	28	0.96				0.96	0.94		1.0
	4.8	27.4	0.92				0.92	0.83		0.9
	2.8	25.9	0.54				0.54	0.54		1.0
	3.4	27.5	0.65				0.65	0.65		1.0
	4.4	27.4	0.84				0.84	0.77		0.9
	4.8	27.9	0.92				0.92	0.84		0.9
	2.8	27.8	0.54				0.54	0.54		1.0
	5.0	26.3	0.96				0.95	0.96		1.0
	5.0	27.8	0.96				0.96	0.94		1.0
	2.0	14.8	0.58				0.57		0.23	0.4
	1.6	18.1	0.46				0.46		0.46	1.0
	1.0	17.8	0.29				0.29		0.26	0.9
	1.6	17.9	0.46				0.46		0.46	1.0
	1.6	17.5	0.46				0.46		0.43	0.9
	1.0	16.9	0.29				0.29		0.23	0.8
R1000	2.0	14.7	0.48			0.48	0.47			1.0
	1.6	18.4	0.38			0.38	0.38			1.0
	1.0	17.6	0.24			0.24	0.24			1.0
	1.6	18	0.38			0.38	0.38			1.0
	1.6	17.5	0.38			0.38	0.38			1.0
	1.0	16.6	0.24			0.19	0.24			0.8
	3.0	18.3	0.86				0.85		0.72	0.8
	3.0	18.6	0.86				0.86		0.72	0.8
	2.3	16.4	0.66				0.66		0.63	1.0

*1 式(4・3・3)から求めた計算値

*2 硫化物除去速度(風量/下水量=3.3, 2.0, 0.8)／硫化物除去速度(風量/下水量=1.7計算値)

る事は事実上不可能であるため、ばっ気量の増大によって高い硫化物除去率が期待される。

一方、風量/下水量=0.8のときの除去速度比は0.8~1.0であることから、ばっ気量が1/2に低下しても硫化物除去速度への影響は小さいとも考えられる。この結果は、ランニングコストの一層の低下のニーズにも応えられる可能性を示唆する。

(4) 生物脱臭塔の硫化水素除去能力

R30⑨, R1000⑭⑰⑱の試験において、硫黄酸化リアクタからの排ガス中に含まれる硫化水素濃度(下水換算)は、水温に関係なく硫化物負荷の1~5%に相当していた(図-5・1・9)。また、④~⑱における排ガスの硫化水素含有率の平均値を風量/下水量に対してプロットしたところ、排ガス中の硫化水素濃度には風量の影響は認められなかった。R1000はR30に比べて排ガス中硫化水素濃度が小さい傾向にあった。

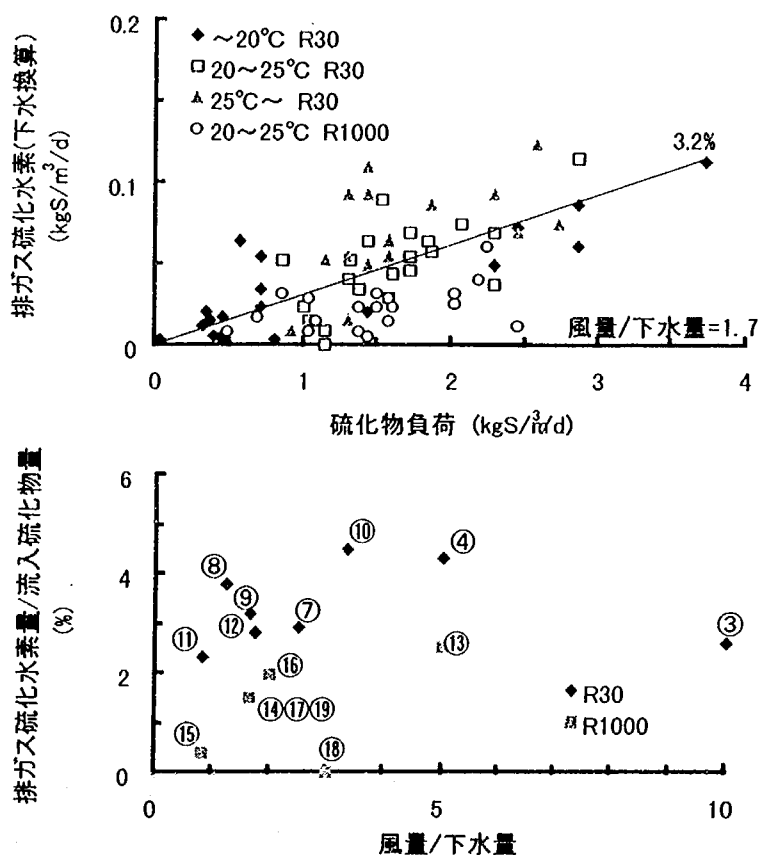


図-5・1・9 排ガス中のに含まれる硫化水素

図-5・1・10 は、生物脱臭塔の硫化水素除去能力を示した図である。排ガス中の硫化水素は、ほとんどの場合 1ppm 以下（測定限界）にまで処理されており、脱臭排ガス中に硫化水素が検出されたのは、R30 で 1 回、R1000 では 6 回であった。この時の排ガスの滞留時間は、R30 で 2～3min, R1000 では 1～2min であった。

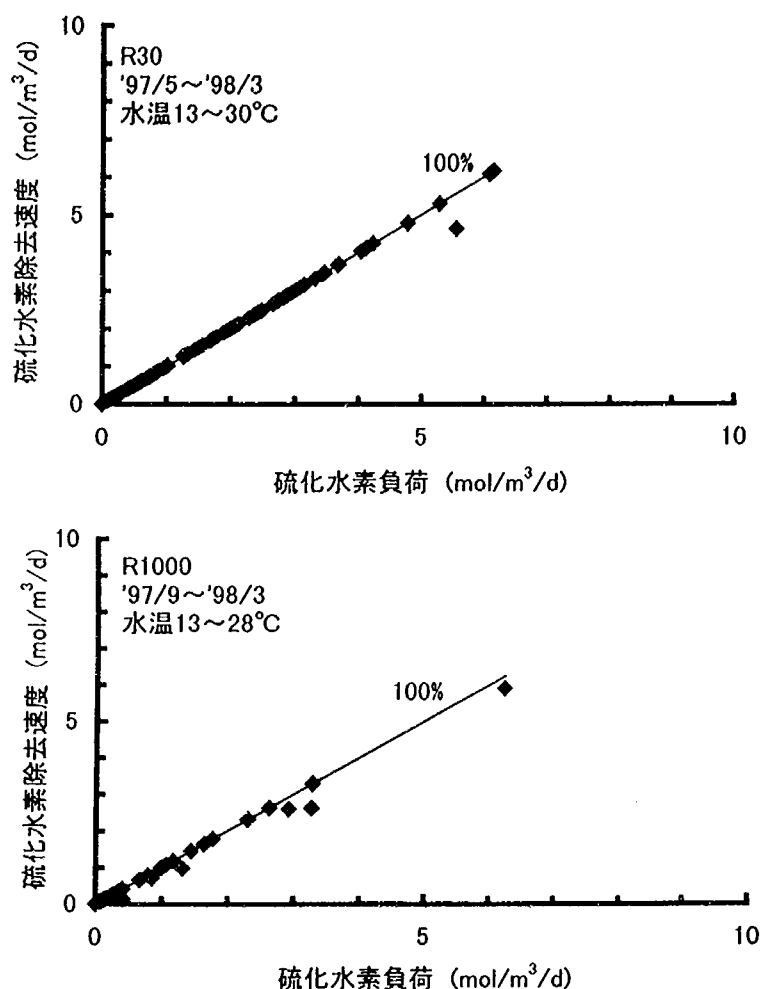


図-5・1・10 生物脱臭塔における硫化水素の除去

(5) 維持管理性

R30, R1000 共に、滞留時間やばっ気量に関係なく原水と処理水の SS 濃度はほぼ同じであった (図-5・1・11)。硫黄酸化リアクタへの SS の蓄積はほとんどないものと考えられる。ただし、今回の試験では、下水が硫黄酸化リアクタに入る手前に原水槽が設けてあり、この中には網 (R30 は目開き 20mm, R1000 は目開き 30mm) が設置されている。このため、大きな浮遊物が硫黄酸化リアクタに入らないようになっている (R30 では 2～3 週間に一度清掃したが、R1000 では清掃は一度もしなかった)。実機には原水槽を設けないため、今後、大きな浮遊物が流入した場合の対処法の検討も必要である。

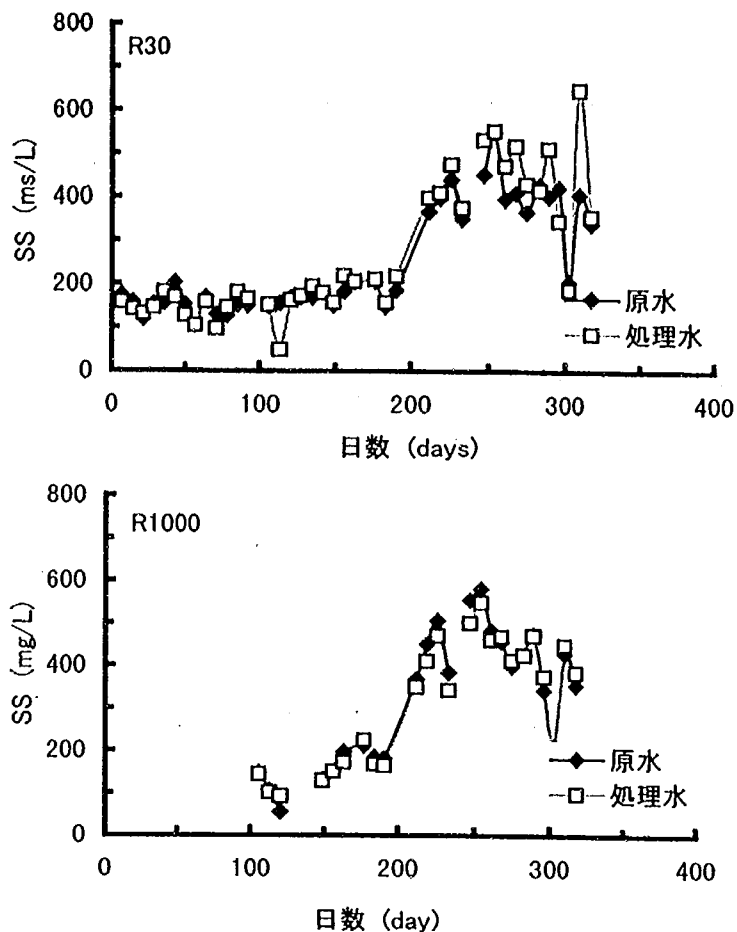


図-5.1.11 原水、処理水のSSの経時変化

(6) 処理水中の硫酸イオン濃度

圧送管の入り口、R1000 の入り口、及び処理水の硫酸イオン濃度を測定した（9月24日採水，試験⑭）。圧送管入り口では約 30mgS/L であったが，R1000 入り口では 15mgS/L，処理水では 14mgS/L であった。この時の原水，処理水の溶存硫化物濃度は，それぞれ 5.5mgS/L，0.1mgS/L 以下（測定限界以下）であった。実験管路には未還元の硫酸イオンが認められたが，実験管路が短かったためと考えられる。

原水と処理水の硫酸イオン濃度の比較から，硫黄酸化リアクタ内に繁殖していた硫黄酸化細菌は，顕微鏡観察の結果通り，取り込んだ硫化物を硫酸に酸化・放出せず，細胞内の蓄積していたと考えられる。

硫黄酸化細菌の細胞内に蓄積された単体硫黄は，いずれ硫酸イオンとして細胞外へ放出されと考えられるが，今回の研究では，これに関する検討は行っていない。今後は，どのような形態で単体硫黄が細胞から流出するかも検討する必要がある。

5. 2 間欠運転試験

実際のポンプ場は，日中は運転—稼動を頻繁に繰返すが，夜間は下水の流入が少ないため数時間停止した状態が続くことがある。夜間のポンプ停止を想定し，システムを 3～9 時間停止させ（⑨，⑭の一部），再

起動後の硫化物除去率を測定し、表-5.2.1 にまとめた。この時、水温は約 19℃で、硫化物負荷は 0.6～1.4kgS/m³/d であった。システム停止直前の硫化物除去率は 89～100%，再起動後 20min の除去率は 80～96%であったが、停止時間と除去率の回復との間には特に相関は認められなかった。一方、60min 後には、停止直前と同等、あるいはそれ以上の除去率が得られた。このため、送水が数時間停止しても除去率に与える影響は小さいものと考えられる。

表-5.2.1 停止時間の影響

システム	停止時間 (h)	停止直前		再起動後			
		硫化物負荷 (kgS/m ³ /d)	除去率 (%)	硫化物負荷 (kgS/m ³ /d)	除去率 (%)		
					20min	40min	60min
R30	3.0	0.7	89.1	1.7	86.1	86.3	89.2
	3.5	0.9	100	2.0	83.8	91.2	92.6
	8.0	0.6	90.0	0.9	81.3	93.3	95.0
	9.0	1.4	100	2.0	94.3	94.3	—
	9.0	0.8	96.4	1.4	95.0	—	100
R1000	3.0	0.6	90.7	1.6	91.4	93.4	92.8
	3.5	0.7	99.1	2.0	79.7	95.9	97.5
	9.0	0.9	86.3	1.3	89.3	89.9	89.5

一方、日中のポンプの稼動を想定し、R1000 (④の一部) を 15min 稼動、45min 停止のサイクルで断続運転を 25 時間継続した。この時の水温は約 19℃で、システム稼動時の硫化物負荷の平均は 0.9kgS/m³/d であったが、約 98%の平均除去率が安定して得られた (図-5.2.1)。下水の送水と停止とが頻繁に繰返され

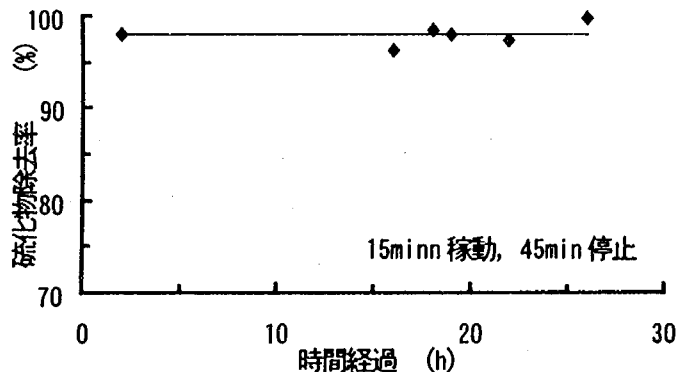


図-5.2.1 断続運転時の硫化物除去率

た場合の除去率への影響は、無視し得ると考えられる。

5. 3 まとめ

- (1) 硫化物負荷が 2.8kgS/m³/d までの範囲において、水温が 25℃以上では約 99%，20～25℃では約 94%の硫化物除去率が達成された。20℃以下では、1kgS/m³/d 以下の低負荷の場合は約 94%の平均除去率であったが、2.3kgS/m³/d 以上の高負荷では 50～70%に低下した。

- (2) R30 と R1000 との間に、性能の差は認められない。
- (3) 硫黄酸化リアクタを完全混合槽とし、硫化物除去速度が Michaelis-Menten の式に従うと仮定した場合、 $V_{\max}(T)=1.56 \times 1.10^{T-20} \text{kgS/m}^3/\text{d}$ 、 $K_m(T)=0.02 \times 1.06^{T-20} \text{gS/m}^3$ とシミュレートされた。
- (4) 実測値とシミュレーションの結果は概略対応している。
- (5) 5min 以下の滞留時間でも硫化物生物酸化システムは硫化物除去性能を発揮することが分かった。
- (6) 排ガス中には、水温やばっ気量に関係なく硫化物負荷の 1~5%に相当する硫化水素が含まれていたが、生物脱臭等で、ほぼ完全に除去された。
- (7) SS は、硫黄酸化リアクタにはほとんど蓄積しない。
- (8) 硫化物負荷が $0.6 \sim 1.4 \text{kgS/m}^3/\text{d}$ のときの 9 時間以内の送水停止、及び、硫化物負荷 $0.9 \text{kgS/m}^3/\text{d}$ の負荷のときの 15min 送水—45min 停止の繰返しは、本システムの除去率には影響しなかった。

6. ケーススタディによる経済性の検討

平成7～8年度の共同研究では、各手法において実験管路と想定した圧送管路によるケーススタディで経済性の評価を行なっている。個々の方法は、それぞれ特徴があり、適用範囲も異なる。そこで、経済性を総合的に評価するため、実験管路におけるコスト試算（設備費及び維持管理費）に加えて、日本で採用されている圧送管をもとに平均的な管路を想定し、ケーススタディとしてライフサイクルコスト（LCC）の試算が行なわれた。LCCとは、ここでは管路施設の1ライフサイクルに要する費用と定義され、一般には原価累計法（投資額、毎年の維持管理費等を1ライフサイクル間に要する一切の費用を原価に換算して加算し、その合計で判断する方法）と年平均コスト法（取得コストとその施設使用全期間に必要な維持費の合計を年平均として求める方法）で試算される。本研究においても、経済性の評価としてコスト試算を行うが、この試算結果がその技術の経済性を総合的に示すものではなく、あくまでも評価法の一例に過ぎないことに留意する必要がある。

6. 1 試算条件と硫酸化リアクタの容積

試算のための管路条件を表-6.1.1に示す。試算に先立ち、表に示した条件より管路において発生する硫化物濃度を求め、硫化物生物酸化システムの大きさを求める必要がある。簡素化のため、管路流量は常に一定であると仮定すると、管路における硫化物生成速度は、次式によって求められる⁹⁾。ここで $Flux(T)$ とは、

表-6.1.1 コスト試算のための管路条件

項目	
管径及び延長	実験管路: $\phi 100\text{mm} \times 900\text{m}$, 想定管路: $\phi 400\text{mm} \times 4320\text{m}$
管路形状	ほぼ平坦
流速(流量)	実験管路: $0.6\text{m/s}(407\text{m}^3/\text{d})$, 想定管路: $1.2\text{m/s}(13029\text{m}^3/\text{d})$
汚水温度	夏季(92日): 25°C , その他の季節(273日): 19°C

$$Flux(T) = Flux(20) \times \Theta^{T-20} (gS / m^2 / h) \quad (6.1.1)$$

$$= 0.172 \times 1.065^{T-20}$$

$$\frac{dS}{dt} = Flux(T) \times \frac{4}{D} (mgS / L / h) \quad (6.1.2)$$

水温 $T^\circ\text{C}$ における圧送管の単位面積当たりの硫化物生成速度、 D は管径、 S は硫化物濃度である。従って、管路において生成する硫化物濃度は、表-6.1.2 の通りとなる。

一方、 19 と 25°C において、接触ばつ気式運転（風量/下水量=1.7）で95%以上の硫化物除去率を得ようとした場合、シミュレーションによると硫化物負荷は、それぞれ $2.0, 3.5\text{kgS}/\text{m}^3/\text{d}$ までとなる。また、散水ろ床式では、 19°C における能力が 16.5°C と同じとして $\text{HRT}30\text{min}$ としてシミュレーションした場合、硫化物除去率を80%としても硫酸化リアクタにかけられる硫化物負荷は $0.2\text{kgS}/\text{m}^3/\text{d}$ までである（90%以上の硫化物除去率を得ようとした場合は $0.05\text{kgS}/\text{m}^3/\text{d}$ 以下となる）が、循環式運転では平均の硫化物負荷

表-6.1.2 管路で生成する硫化物濃度

管路	水温 (°C)	Flux(T) (g/m ² /h)	硫化物生 成速度 (mgS/m ³ /d)	管路滞留 時間 (h)	硫化物濃度 (mgS/L)
実験管路	19	0.16	6.46	0.42	2.69
	25	0.24	9.43	0.42	3.93
想定管路	19	0.16	1.62	1.00	1.62
	25	0.24	2.36	1.00	2.36

0.12kgS/m³/d に対して、97.6%の平均硫化物除去率を得ており、実機においては、この程度の負荷が妥当かもしれない。

表-6.1.3 に硫黄酸化リアクタ容積を示す。接触ばっ気式では、管路で生成が予想される硫化物濃度と最大負荷から HRT を算出し、これをもとに硫黄酸化リアクタの容積を求めた。一方、散水ろ床式の場合は、

表-6.1.3 試算条件より要求される硫黄酸化リアクタの容積

管路	水温 (°C)	接触ばっ気式			散水ろ床式		
		最大負荷 (kgS/m ³ /d)	HRT (min)	容積*1 (m ³)	最大負荷 (kgS/m ³ /d)	HRT (min)	容積 (m ³)
実験管路	19	2.0	1.9	0.5	0.20	30.0	8.5
	25	3.5	1.1	0.3			
想定管路	19	2.0	1.2	10.6	0.20	30.0	271.4
	25	3.5	1.0	8.8			

*1 要求される硫黄酸化リアクタの容積

HRT=30min として容積を求めた。負荷を 0.2kgS/m³/d とした場合、式 (4.1.2) より 19.4min となるが、シミュレーションでは除去速度は HRT によって変化する可能性が示唆されたため (図-4.3.3)、ここでは HRT=30min とした。

実際に実験管路に設置した硫化物生物酸化システム R1000 の硫黄酸化リアクタ容積は 1m³ (HRT=3.5min のときの処理量が 400m³/d) である。今回のコスト試算に用いた硫化物生物酸化システムの構成は表-6.1.4 の通りとした。

表-6.1.4 コスト試算に用いた硫化物生物酸化システム

管路	運転	システム		容積 (m ³)	直径 (m)	高さ (m)
実験管路	接触ばっ気式	R1000	硫黄酸化リアクタ	1.0	0.9	2.0
			生物脱臭塔	0.3	0.5	1.5
実験管路	散水ろ床式	R8500	硫黄酸化リアクタ	8.5	2.1	2.5
			生物脱臭塔	0.3	0.5	1.5
想定管路	接触ばっ気式	R12500	硫黄酸化リアクタ	12.5	2.3	3.0
			生物脱臭塔	4.0	1.6	2.0

R8500の生物脱臭塔はR1000と同じ(処理量が同じ)

R12500の硫黄酸化リアクタは、表-6.1.3で求めた容積の1.2倍(安全係数)

接触ばっ気式と散水ろ床式運転におけるランニングコスト（消費電力）の比較は、R1000 と R8500 で行ない、また、想定管路における LCC 試算は R12500 で行った。

6. 2 接触ばっ気式運転と散水ろ床式運転の消費電力試算

硫化物生物酸化システムの運転に費やされる動力は、主に下水供給のためのポンプの動力（硫黄酸化リアクタに供給するためのの揚程差）、及び酸素供給のためのばっ気ブロワ／排気ファン電力である。

ポンプの軸動力 P_{S1} は式 (6・2・1)、原動機出力 P_1 は式 (6・2・2) で与えられる⁹⁾。ここで、 γ は揚水の単位

$$P_{S1} = 0.163 \frac{\gamma FH}{\eta_1} \quad (6\cdot2\cdot1)$$

$$P_1 = (1 + \alpha) P_{S1} \quad (6\cdot2\cdot2)$$

位体積当たりの重量（ただし、下水は $\gamma=1\text{g/cm}^3$ ）、 F はポンプの吐出量 m^3/min 、 H は全揚程 m 、 η_1 はポンプ効率、 α は電動機余裕率である。

一方、ブロワの動力 P_{A2} は式 (6・2・3) で与えられ、所要動力 P_{S2} 、電動機出力 P_2 は式 (6・2・4)、(6・2・5) で与えられる¹⁰⁾。ここで、 h は平均有効圧力（水柱） mmAq 、 Q は空気量 m^3/min 、 η_2 は送風効率であ

$$P_{A2} = \frac{hQ}{6120} \quad (6\cdot2\cdot3)$$

$$P_{S2} = \frac{P_{A2}}{\eta_2} \quad (6\cdot2\cdot4)$$

$$P_2 = (1.1 \sim 1.2) \times P_{S2} \quad (6\cdot2\cdot5)$$

る。 $\eta_1=0.5$ 、 $\alpha=0.2$ 、 $\eta_2=0.4$ とした^{9,10)} ときの消費電力の試算結果を表-6・2・1 に示す。散水ろ床式では、硫黄酸化リアクタが大きくなるため揚程差によってポンプ動力が接触ばっ気式の場合よりも大きくなる。し

表-6・2・1 接触ばっ気式、散水ろ床式運転における消費電力試算

方式	処理量 (m^3/d)	システム	ポンプ動力 (kWh/m^3)	送風動力 (kWh/m^3)	消費電力 (kWh/m^3)
接触ばっ気式	407	R1000	0.013	0.027 ^{*1}	0.040
散水ろ床式	407	R8500	0.016	0.002以下 ^{*2}	0.018以下

*1 風量を下水処理量の1.7倍として

*2 小型送風機、100V、風量 $2.2\text{m}^3/\text{min}$ 、27W、科学機器総合カタログ96/97、p498

かし、ファンによるリアクタ内の換気は、ばっ気に比べて非常に動力が小さく、トータルの消費電力は散水ろ床式の方が小さくなっている。散水ろ床式の場合は、硫化物生物酸化システム設置スペースの確保、硫化物除去率、SSの蓄積性など、接触ばっ気式に比べて適応範囲が限定されるが、省エネルギーの観点からは優れている。

6. 3 接触ばっ気式運転における LCC 試算

硫化物生物酸化システムは、その設置に際し、スペースの確保が問題となる。また、地上に設置が不可能

な場合もあるだろう。地上設置と地下埋設とでは、システムの建設費に大きな差が生じると考えられる。LCC試算におけるイニシャルコストは、製作・購入、据付費とし、設置は地上設置と地下埋設の2つのケース（図-6・3・1）を想定した。R12500の建設費は表-6・3・1に示す様に見積もった。

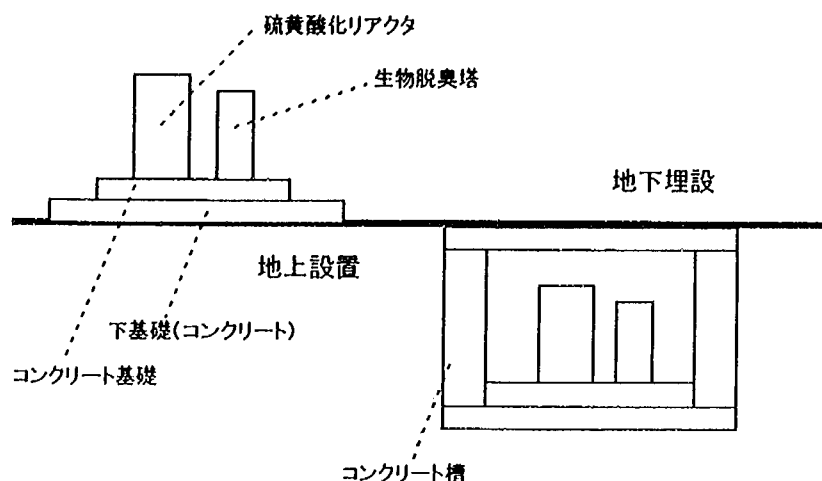


図-6・3・1 硫化物生物酸化システムの設置条件

表-6・3・1 R12500(表-6・1・4参照)の建設費

項 目	内 訳
R12500一式	13,880千円
① 硫黄酸化リアクタ	12.5m ³ =φ2.3×3.0mH, SUS304
② 生物脱臭塔(架台付き)	4.0m ³ =φ1.6×2.0mH, SUS304
③ ばっ気ブロワ	風量=22,150m ³ /d, 23kW
④ 循環水槽	2.3m ³ , SUS304
⑤ 循環ポンプ	送液量=2m ³ /h, 45W
⑥ pH制御系	薬注ポンプ, アルカリ貯槽
コンクリート基礎	1,755千円
① 下基礎	6.0m×8.0m×0.2m
② 基礎	4.6m×6.5m×0.3m
掘削	13,155千円
掘削	6.0m×8.0m×5.5m=188m ³
コンクリート槽	31,149千円
① コンクリート槽	4.6m×6.5m×4.5m, 壁厚0.3m, 基礎高0.3m
② 下基礎	5.0m×7.0m×0.2m
据付け	15,000千円

ただし、設置地盤の地耐力等は考慮しない。

一方、維持管理費は、表-6・3・2に示す通り。ブロワ動力費、苛性ソーダ、保守費（その他消耗品費）と考えた。風量を処理量の1.7倍とすると、式(6・2・4)～(6・2・5)から要求されるブロワの出力は23kWとな

る。電気料を夏季（92 日）と、それ以外の季節（273 日）についてそれぞれ 11.05、10.05 円/kWh とすると、

表－6・3・2 R12500の維持管理費

項目	費用 (千円/年)	備考
ブロワ動力費	2,039	夏季 ^{*1} (551千円) その他の季節 ^{*2} (1,488千円)
苛性ソーダ ^{*3}	24	0.08gNaOH/m ³ ^{*4}
保守費	160	機器点検(2回/年)
合計	2,223	

*1 電力費単価を11.05円/kWhとする

*2 電力費単価を10.05円/kWhとする

*3 60円/kg(工業用)

*4 実験管路(R1000)における実績

551 千円/夏季, 1,488 千円/その他の季節となり, 年間では 2,039 千円/年である。苛性ソーダ使用量は, 実験管路における R1000 の実績より求めた。保守費は機器の保守点検費用のみとした。

実質利子率（割引率）を 3%, 及び 5%, 物価上昇率を 1%とし, LCC 試算を試みた。使用期間を 20 年としての試算結果を表－6・3・2 に示す。硫化物生物酸化システムを地上に設置した場合, 及び地下に設置した場合の 20 年後（利子率 3%）の下水 1m³当たりのコストは 0.94, 1.54 円と試算された。

表－6・3・3 R12500のLCC試算結果

設置場所	利子率 (%)	物価上昇率 (%)	設備費 (千円)	維持管理費 (千円/年)	原価累計 (千円)	年平均コスト (千円/年) (円/m ³)	
地上	3	1.0	30,635	2,223	66,733	4,485	0.94
	5				60,264	4,836	1.02
地下	3		73,184		109,282	7,345	1.54
	5				102,813	8,250	1.73

6. 4 まとめ

- (1) 散水ろ床式は, 接触ばっ気式に比べて硫化物除去速度が小さいため, 硫黄酸化リアクタの容積が大きくなってしまう。このため, 下水の揚程差が大きくなり, 接触ばっ気式よりも大きなポンプ動力が必要とされる。反面, 換気のためのファン動力は非常に小さく, 全体の消費電力は散水ろ床式の方が小さく, 省エネルギー的と考えられる。
- (2) 利子率を 3%, 物価上昇率を 1%として想定管路（日本における平均的な圧送管路）における接触ばっ気式の LCC 試算を試みたところ, 20 年後の年平均コストは下水 1m³当たり, 地上設置では 0.94 円, 地下埋設では 1.54 円となった。

7. おわりに

1996年8月～1998年3月までの20ヶ月間にわたり、下水道施設における硫化水素対策として生物学的な除去技術の開発に関する共同研究を行った。本共同研究で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- (1) 硫黄酸化リアクタを接触ばっ気式（風量は下水量の1.7倍）運転で運転したとき、硫化物負荷が $2.8\text{kgS/m}^3/\text{d}$ までの範囲において、水温が 25°C 以上のときの平均硫化物除去率は約99%、 $20\sim 25^\circ\text{C}$ では約94%、 20°C 以下では $1\text{kgS/m}^3/\text{d}$ 以下の低負荷であれば約94%を維持するが、 $2.3\text{kgS/m}^3/\text{d}$ 以上の高負荷では50～70%に低下する。
- (2) 散水ろ床式で運転した場合は、水温 20°C 以下で平均硫化物負荷が0.14, $0.31\text{kgS/m}^3/\text{d}$ のときの平均硫化物除去率は、それぞれ81.2, 74.8%であった。また、処理水を循環させた場合、0.12, $0.15\text{kgS/m}^3/\text{d}$ の負荷に対して90%以上の除去率が得られており、水量負荷の増大によって除去率が向上する事が期待される。
- (3) 接触ばっ気式（風量は下水量の1.7倍）運転における硫化物除去速度がMichaelis-Mentenの式に従うと仮定して動力学解析を行い、任意の原水硫化物濃度、水温、HRTに対しての処理水の硫化物濃度の予測を行ったところ、予測値と実測値は概略一致しており、この方法の有効性が確認できた。
- (4) 接触ばっ気式において、硫黄酸化リアクタ容積を33倍としても除去性能に差は認められなかった。
- (5) 接触ばっ気式では、HRTを5min以下としても、負荷が $1.5\text{kgS/m}^3/\text{d}$ 以下であれば、硫化物生物酸化システムは十分に能力を発揮する事が確認できた。
- (6) 接触ばっ気式（風量は下水量の1.7倍）において、負荷が $0.6\sim 1.4\text{kgS/m}^3/\text{d}$ のときの9時間以内の送水停止、及び $0.9\text{kgS/m}^3/\text{d}$ の負荷の時の15min送水－45min停止の繰り返しは、硫化物除去率に影響しなかった。
- (7) 省エネルギー的には散水ろ床式の方が優れているが、システムのコンパクト化、硫化物除去速度、維持管理性（SSの蓄積）の点においては接触ばっ気式の方が優れている。
- (8) 利率を3%、物価上昇率を1%として想定管路における接触ばっ気式のLCC試算を試みたところ、20年後の年平均コストは下水 1m^3 当たり、システムの地上設置では0.94円、地下埋設では1.54円となった。

実際の下水道施設において、本硫化水素対策技術を適用する際には、接触ばっ気式、散水ろ床式運転を比較検討するのはもちろん、1995～1996年度に検討された硫化物抑制技術¹⁾などの技術も含めて、各施設に応じた最適な方法を選定することが必要となるであろう。本技術は、物理化学的手法ではコストアップが予想される長い圧送管路、繰り返し圧送される管路など空気注入設備設置が難しい既存管路などに適用の場があると考えられる。

一方、本研究では十分に検討できなかった課題も残っている。散水ろ床式運転については、温度依存性の検討や、水量負荷の増大による除去速度の向上に関する検討などが必要である。リアクタの目詰まり対策等の維

持管理性の問題、生物脱臭塔の性能に関する検討は、本研究では十分に行なう事ができなかった。また、実際にシステムを設置する場合について、地上設置の仕様や、地上設置が困難な場合は地下埋設とするか、あるいは圧送管の末端を硫酸化リアクタの機能を持たせるよう加工するのか、など、検討課題は多く、今後これらに対する研究が望まれる。

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所, 「下水道施設における経済的な硫化水素対策技術の開発に関する共同研究報告書」, 土木研究所共同研究報告書 (第 194 号) (1998)
- 2) 福永栄, 茂木浩一, 松本徹, 「硫化水素除去機構を組み込んだ下水の嫌気処理プロセス」, 第 29 回下水道研究発表会講演集: 338-340 (1992)
- 3) 久野智明, 福永栄, 茂木浩一, 「UASB リアクター処理水に含まれる硫化物の生物処理に関する研究」, 第 30 回水環境学会講演集: 431 (1996)
- 4) 高橋正宏, 「多段反転流式バイオリアクターパイロットプラント運転状況」, 第 27 回下水道研究発表会講演集: 314-316 (1990)
- 5) R. Y. スタニエ, J. L. イングラム, M. L. ウイリース, R. R. ペインター共著, 高橋 甫, 斎藤日向, 手塚泰彦, 水島昭二, 山口英世共訳, 「微生物学 (下)」 (第 5 版), p70, 1995
- 6) 合葉修一, 永井史良, 「生物化学工学」 (化学出版社), p157
- 7) 橋本 奨, 鳥山明夫, 「活性汚泥の浄化機能に及ぼす水温の影響に関する動力学的研究 (第 2 報) - Monod 型動力学式による回分実験の水温影響解析 -」, 下水道協会誌, Vol.14, No.161, 26-36 (1977)
- 8) 田中修司, 北川三夫, 越智孝敏, 「圧送管路内での硫化水素生成速度について」, 第 33 回下水道研究発表会講演集: 411-413 (1996)
- 9) (社) 日本下水道協会, 「下水道施設設計指針と解説」 (第 3 章 ポンプ場施設), p210 (1972)
- 10) (社) 日本下水道協会, 「下水道施設設計指針と解説」 (第 4 章 処理場施設), p364 (1972)

資料編

測定データ集

(測定データ)

表-1 接触ばっ気式運転-R30- 風量変化試験: 風量20L/min

測定日	日数	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風量/ 下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0509曇	2	4	7.5	20.6	0.0	0.00	20	5.00	20.2	0.0	0	0.00	0.00	—	0	0.00	0.00	—
0512晴	5	4	7.5	22.4	0.7	0.13	20	5.00	22.4	0.0	0	0.00	0.13	100.0	0	0.00	0.13	100.0
0516晴	7	4	7.5	21.7	0.6	0.12	20	5.00	21.7	0.0	0	0.00	0.12	100.0	0	0.00	0.12	100.0
0519曇	9	4	7.5	23.1	1.0	0.19	20	5.00	23.8	0.0	0	0.00	0.19	100.0	0	0.00	0.19	100.0
0521曇	12	4	7.5	22.4	0.9	0.17	20	5.00	22.6	0.0	0	0.00	0.17	100.0	0	0.00	0.17	100.0
0526晴	15	4	7.5	22.4	0.8	0.15	20	5.00	23.1	0.0	0	0.00	0.15	100.0	0	0.00	0.15	100.0
0523曇	17	4	7.5	21.5	0.3	0.06	20	5.00	21.7	0.0	0	0.00	0.06	100.0	0	0.00	0.06	100.0
0526晴	20	4	7.5	21.9	0.3	0.06	20	5.00	22.3	0.0	0	0.00	0.06	100.0	0	0.00	0.06	100.0
0528晴	22	4	7.5	22.3	0.2	0.04	20	5.00	22.8	0.0	0	0.00	0.04	100.0	0	0.00	0.04	100.0
0530晴	24	4	7.5	23.0	0.6	0.12	20	5.00	23.9	0.0	0	0.00	0.12	100.0	0	0.00	0.12	100.0
0602曇	27	4	7.5	23.8	1.0	0.19	20	5.00	23.9	0.0	0	0.00	0.19	100.0	0	0.00	0.19	100.0
0604曇	29	4	7.5	24.2	4.0	0.77	20	5.00	24.3	0.0	13	0.09	0.75	97.9	0	0.00	0.77	100.0
0606曇	31	4	7.5	23.4	4.0	0.77	20	5.00	23.7	0.0	13	0.09	0.75	97.9	0	0.00	0.77	100.0
0609晴	34	4	7.5	22.0	3.3	0.63	20	5.00	22.2	0.0	7	0.05	0.62	98.6	0	0.00	0.63	100.0
0611雨	36	4	7.5	23.1	2.0	0.38	20	5.00	23.0	0.0	1	0.01	0.38	99.7	0	0.00	0.38	100.0
0613晴	38	4	7.5	24.1	3.0	0.58	20	5.00	24.5	0.0	7	0.05	0.57	98.5	0	0.00	0.58	100.0

(測定データ)

表-2 接触ばっ気式運転-R30- 風量変化試験: 風量10L/min

測定日	日数	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風量/下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (°C)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (°C)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0616晴	41	4	7.5	24.4	3.8	0.73	10	2.50	25.1	0.0	100	0.33	0.67	91.4	0	0.00	0.73	100.0
0618晴	43	4	7.5	24.0	3.6	0.69	10	2.50	24.1	0.0	30	0.10	0.67	97.3	0	0.00	0.69	100.0
0620雨	45	4	7.5	23.9	2.4	0.46	10	2.50	23.9	0.0	15	0.05	0.45	97.9	0	0.00	0.46	100.0
0623曇	48	4	7.5	23.8	2.8	0.54	10	2.50	23.9	0.0	40	0.13	0.51	95.3	0	0.00	0.54	100.0
0625晴	50	4	7.5	25.1	3.7	0.71	10	2.50	25.3	0.0	22	0.07	0.70	98.1	0	0.00	0.71	100.0
0627晴	52	4	7.5	25.0	4.0	0.77	10	2.50	25.8	0.0	25	0.08	0.75	98.0	0	0.00	0.77	100.0
0630晴	55	4	7.5	26.1	4.0	0.77	10	2.50	26.8	0.0	25	0.08	0.75	98.0	0	0.00	0.77	100.0
0702晴	57	4	7.5	26.1	4.0	0.77	10	2.50	26.8	0.0	40	0.13	0.74	96.7	0	0.00	0.77	100.0
0704晴	59	4	7.5	27.1	5.2	1.00	10	2.50	27.6	0.0	58	0.19	0.96	96.4	0	0.00	1.00	100.0
0709晴	64	4	7.5	26.9	3.5	0.67	10	2.50	27.6	0.0	22	0.07	0.66	98.0	0	0.00	0.67	100.0
0806晴	92	4	7.5	27.2	6.4	1.23	10	2.50	27.4	0.0	25	0.08	1.21	98.7	0	0.00	1.23	100.0
0808晴	94	4	7.5	27.1	5.6	1.08	10	2.50	27.4	0.0	30	0.10	1.06	98.3	0	0.00	1.08	100.0
0811晴	97	4	7.5	28.6	4.5	0.86	10	2.50	30.0	0.0	9	0.03	0.86	99.4	0	0.00	0.86	100.0
0813晴	99	4	7.5	27.8	7.8	1.50	10	2.50	28.2	0.0	25	0.08	1.48	99.0	0	0.00	1.50	100.0
盆休み																		
0818曇	104	4	7.5	26.4	3.5	0.67	10	2.50	27.1	0.0	60	0.19	0.63	94.4	0	0.00	0.67	100.0

(測定データ)

表-3 接触ばっ気式運転-R30- 風量変化試験: 風量5L/min

測定日	日数	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風量/ 下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ⁸³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ⁸³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0711雨	66	4	7.5	24.9	2.8	0.54	5	1.25	25.0	0.1	60	0.10	0.50	92.9	0	0.00	0.52	96.4
0714晴	69	4	7.5	27.4	5.0	0.96	5	1.25	28.0	0.1	80	0.13	0.92	95.4	0	0.00	0.94	98.0
0716晴	71	4	7.5	26.9	4.8	0.92	5	1.25	27.4	0.5	160	0.26	0.78	84.2	0	0.00	0.83	89.6
0718曇	73	4	7.5	25.5	2.8	0.54	5	1.25	25.9	0.0	40	0.07	0.53	97.7	0	0.00	0.54	100.0
0721晴	76	4	7.5	26.9	3.4	0.65	5	1.25	27.5	0.0	55	0.09	0.64	97.4	0	0.00	0.65	100.0
0723晴	78	4	7.5	27.0	4.4	0.84	5	1.25	27.4	0.4	180	0.29	0.71	84.3	0	0.00	0.77	90.9
0725晴	80	4	7.5	27.1	4.8	0.92	5	1.25	27.9	0.4	100	0.16	0.81	88.3	0	0.00	0.84	91.7
0728雨	83	4	7.5	26.8	2.8	0.54	5	1.25	27.8	0.0	30	0.05	0.53	98.3	0	0.00	0.54	100.0
0730雨	85	4	7.5	26.3	5.0	0.96	5	1.25	26.3	0.0	175	0.29	0.91	94.3	0	0.00	0.96	100.0
0801晴	87	4	7.5	27.2	5.0	0.96	5	1.25	27.8	0.1	100	0.16	0.91	94.8	0	0.00	0.94	98.0

(測定データ)

表-4 接触ばっ気式運転-R30-

測定日	日数	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風速/ 下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0820晴	106	6	5	27.5	4.5	1.30	10	1.67	27.8	0.1	150	0.32	1.17	90.6	0	0.00	1.27	97.8
0822曇	108	6	5	27.1	5.5	1.58	10	1.67	27.3	0.1	100	0.22	1.49	94.2	0	0.00	1.56	98.2
0825曇	111	6	5	27.5	5.0	1.44	10	1.67	27.6	0.5	150	0.32	1.20	83.5	0	0.00	1.30	90.0
0827晴	113	6	5	27.3	5.0	1.44	10	1.67	27.6	0.0	175	0.38	1.33	92.4	0	0.00	1.44	100.0
0829晴	115	6	5	27.8	8.0	2.30	10	1.67	27.9	0.0	150	0.32	2.21	95.9	0	0.00	2.30	100.0
0901晴	118	6	5	28.3	4.0	1.15	10	1.67	28.5	0.4	85	0.18	0.98	85.4	0	0.00	1.04	90.0
0903晴	120	6	5	28.5	9.0	2.59	10	1.67	28.8	0.4	200	0.43	2.35	90.8	0	0.00	2.48	95.6
0905晴	122	6	5	27.8	9.5	2.74	10	1.67	27.8	0.0	120	0.26	2.66	97.3	0	0.00	2.74	100.0
0908雨	125	6	5	27.6	5.5	1.58	10	1.67	27.9	0.0	90	0.19	1.53	96.5	0	0.00	1.58	100.0
0910晴	127	6	5	27.7	6.5	1.87	10	1.67	27.8	0.0	140	0.30	1.78	95.3	0	0.00	1.87	100.0
0912曇	129	6	5	26.9	8.5	2.45	10	1.67	27.0	0.0	110	0.24	2.38	97.2	0	0.00	2.45	100.0
0915晴	132	6	5	24.9	4.5	1.30	10	1.67	25.0	0.0	25	0.05	1.28	98.8	0	0.00	1.30	100.0
0917晴	135	6	5	24.8	4.0	1.15	10	1.67	24.9	0.0	15	0.03	1.14	99.2	0	0.00	1.15	100.0
0919晴	137	6	5	25.9	3.2	0.92	10	1.67	25.9	0.0	13	0.03	0.91	99.1	0	0.00	0.92	100.0
0922雨	140	6	5	25.4	4.5	1.30	10	1.67	25.6	0.0	85	0.19	1.24	95.9	0	0.00	1.30	100.0
0924曇	142	6	5	25.1	5.0	1.44	10	1.67	25.2	0.0	80	0.17	1.39	96.5	0	0.00	1.44	100.0
0926雨	144	6	5	24.0	3.6	1.04	10	1.67	23.0	0.0	25	0.05	1.02	98.5	0	0.00	1.04	100.0
0929晴	147	6	5	24.1	3.5	1.01	10	1.67	24.4	0.0	35	0.08	0.99	97.8	0	0.00	1.01	100.0
1001晴	149	6	5	24.6	5.3	1.53	10	1.67	24.9	0.0	140	0.31	1.44	94.2	0	0.00	1.53	100.0
1003晴	151	6	5	24.6	6.0	1.73	10	1.67	24.7	0.0	75	0.16	1.68	97.3	0	0.00	1.73	100.0
1006晴	154	6	5	24.4	4.5	1.30	10	1.67	24.8	0.0	65	0.14	1.26	96.8	0	0.00	1.30	100.0
1008晴	156	6	5	25.2	6.4	1.84	10	1.67	23.6	0.2	100	0.22	1.72	93.5	0	0.00	1.79	96.9
1011晴	159	6	5	24.1	6.5	1.87	10	1.67	24.9	0.2	90	0.20	1.76	93.9	0	0.00	1.81	96.9
1013晴	161	6	5	23.3	6.5	1.87	10	1.67	24.2	0.3	90	0.20	1.73	92.4	0	0.00	1.79	95.4
1015晴	163	6	5	23.5	5.0	1.44	10	1.67	23.8	0.2	100	0.22	1.32	91.6	0	0.00	1.38	96.0
1017晴	165	6	5	23.5	8.0	2.30	10	1.67	23.7	0.6	110	0.24	2.06	89.5	0	0.00	2.13	92.5
1020晴	168	6	5	23.8	8.0	2.30	10	1.67	24.6	0.1	60	0.13	2.24	97.1	0	0.00	2.28	98.8
1024晴	172	6	5	23.9	5.6	1.61	10	1.67	24.2	0.2	70	0.15	1.51	93.7	0	0.00	1.56	96.4
1026晴	174	6	5	22.9	4.8	1.38	10	1.67	23.2	0.0	55	0.12	1.35	97.5	0	0.00	1.38	100.0
1029晴	177	6	5	22.8	6.0	1.73	10	1.67	23.0	0.2	110	0.24	1.60	92.6	0	0.00	1.67	96.7

(測定データ)

表-4 接触ばっ気式運転-R30- (続き)

測定日	日数	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風速/ 下水	処理水		排気ガス		硫化物		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)
1031晴	179	6	5	22.4	5.5	1.58	10	1.67	22.3	0.8	45	0.10	1.33	83.7	0	0.00	1.35	85.5
1103晴	182	6	5	22.0	4.6	1.32	10	1.67	22.3	0.1	80	0.18	1.25	94.0	0	0.00	1.30	97.8
1105晴	184	6	5	22.1	7.2	2.07	10	1.67	22.8	0.3	120	0.26	1.91	92.2	0	0.00	1.99	95.8
1108晴	187	6	5		10.0	2.88	10	1.67	21.5	4.0	400	0.88	1.47	51.2	70	0.15	1.68	58.5
1110晴	189	6	5	21.3	6.0	1.73	10	1.67	21.6	0.6	85	0.19	1.50	86.9	0	0.00	1.56	90.0
1112晴	191	6	5	20.4	10.0	2.88	10	1.67	21.4	1.6	180	0.40	2.30	80.0	30	0.07	2.40	83.3
1115	193	6	5		11.0	3.17	10	1.67	20.5	1.0	210	0.47	2.75	86.7	0	0.00	2.88	90.9
1117雨	196	6	5	16.5	5.0	1.44	10	1.66	16.2	0.0	30	0.07	1.42	98.7	0	0.00	1.44	100.0
1118晴	197	6	5	20.6	4.0	1.15	10	1.67	20.4	0.0	0	0.00	1.15	100.0	0	0.00	1.15	100.0
1120雨	199	6	5	18.3	2.8	0.81	10	1.67	19.3	0.1	5	0.01	0.77	96.0	0	0.00	0.78	96.4
1121曇	200	6	5	20.0	3.0	0.86	10	1.67	20.3	0.0	80	0.18	0.81	94.1	0	0.00	0.86	100.0
1125晴	204	6	5	18.9	2.0	0.58	10	1.67	18.0	0.2	100	0.22	0.45	78.8	0	0.00	0.52	90.0
		6	5	19.1	4.0	1.15	10	1.67	18.9	0.2	110	0.24	1.02	88.9	0	0.00	1.09	95.0
		6	5	19.6	2.5	0.72	10	1.67	19.4	0.1	85	0.19	0.64	88.4	0	0.00	0.69	96.0
		6	5	20.0	3.8	1.09	10	1.67	19.9	0.1	130	0.29	0.98	89.8	0	0.00	1.07	97.4
1126雨		6	5	19.6	3.8	1.09	10	1.67	19.9	0.2	115	0.26	0.96	88.0	0	0.00	1.04	94.7
		6	5	20.1	4.0	1.15	10	1.67	19.9	0.0	80	0.18	1.10	95.6	0	0.00	1.15	100.0
		6	5	20.5	2.5	0.72	10	1.67	19.9	0.2	55	0.12	0.63	87.1	0	0.00	0.66	92.0
1128晴	207	6	5	20.5	2.5	0.72	10	1.67	19.9	0.2	55	0.12	0.63	87.1	0	0.00	0.66	92.0
1201曇	210	6	5	19.4	2.5	0.72	10	1.67	18.8	0.3	35	0.08	0.61	84.9	0	0.00	0.63	88.0

11月8日 原水ライン閉塞により原水供給ストップ

(測定データ)

表-5 接触ばっ気式運転-R30- 低温期試験, 風量変化試験

測定日	日数	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風量/ 下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)
1203晴	212	6	5	17.8	0.8	0.23	20	3.33	18.0	0.0	3	0.01	0.23	98.3	0	0.00	0.23	100.0
1210晴	219	6	5	18.3	3.0	0.86	20	3.33	18.5	0.0	30	0.13	0.83	95.5	0	0.00	0.86	100.0
1212晴	221	6	5	18.5	3.0	0.86	20	3.33	18.5	0.0	30	0.13	0.83	95.5	0	0.00	0.86	100.0
1215晴	224	6	5	16.7	2.5	0.72	20	3.33	16.3	0.0	19	0.09	0.70	96.6	0	0.00	0.72	100.0
1217晴	226	6	5	14.6	2.0	0.58	5	0.83	14.8	1.2	60	0.07	0.21	36.6	0	0.00	0.23	40.0
1219晴	228	6	5	18.3	1.6	0.46	5	0.83	18.1	0.0	30	0.03	0.45	97.9	0	0.00	0.46	100.0
1222晴	231	6	5	17.7	1.0	0.29	5	0.83	17.8	0.1	35	0.04	0.25	86.1	0	0.00	0.26	90.0
1224晴	233	6	5	17.6	1.6	0.46	5	0.83	17.9	0.0	35	0.04	0.45	97.6	0	0.00	0.46	100.0
1226晴	235	6	5	17.4	1.6	0.46	5	0.83	17.5	0.1	4	0.00	0.43	93.5	0	0.00	0.43	93.8
1229晴	238	6	5	16.7	1.0	0.29	5	0.83	16.9	0.2	20	0.02	0.22	77.8	0	0.00	0.23	80.0
年末年始休み																		
0105晴	245	6	5		1.2	0.35	10	1.67	14.9	0.0	30	0.07	0.33	94.4	0	0.00	0.35	100.0
0107晴	247	6	5		1.6	0.46	10	1.67	16.6	0.0	5	0.01	0.46	99.3	0	0.00	0.46	100.0
0109晴	249	6	5		0.0	0.00	10	1.67	14.4	0.0	0	0.00	0.00	—	0	0.00	0.00	—
0112晴	252	6	5		0.0	0.00	10	1.67	14.6	0.0	3	0.01	(0.00)	—	0	0.00	0.00	—
0114晴	254	6	5		0.1	0.03	10	1.67	14.4	0.0	5	0.01	0.03	88.7	0	0.00	0.03	100.0
0116晴	256	6	5		0.0	0.00	10	1.67	13.1	0.0	0	0.00	0.00	—	0	0.00	0.00	—
0119晴	259	6	5		0.0	0.00	10	1.67	14.2	0.0	0	0.00	0.00	—	0	0.00	0.00	—
0121晴	261	6	5		1.6	0.46	10	1.67	15.5	0.0	9	0.02	0.45	98.7	0	0.00	0.46	100.0
0123晴	263	6	5		1.4	0.40	10	1.67	15.1	0.1	10	0.02	0.37	91.2	0	0.00	0.37	92.9
0126晴	266	6	5		1.3	0.37	10	1.67	14.1	0.1	20	0.05	0.33	88.8	0	0.00	0.35	92.3
0128晴	268	6	5		1.1	0.32	10	1.67	14.5	0.1	18	0.04	0.28	87.2	0	0.00	0.29	90.9
0130晴	270	6	5		1.6	0.46	10	1.67	14.8	0.0	25	0.06	0.44	96.5	0	0.00	0.46	100.0
0202晴	273	6	5	15.0	1.8	0.52	10	1.67	15.6	0.0	18	0.04	0.51	97.7	0	0.00	0.52	100.0

(測定データ)

表-6 接触ばっ気式運転-R30- 滞留時間変化試験, 高硫化物負荷試験

測定日	日数	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風速/下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{※3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{※3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0204晴	275	4	7.5	15.9	2.0	0.38	7	1.75	16.6	0.0	25	0.06	0.37	97.1	0	0.00	0.38	100.0
0207晴	278	4	7.5	15.6	4.7	0.90	7	1.75	16.6	0.2	55	0.13	0.85	94.1	0	0.00	0.87	96.8
0209晴	280	4	7.5	16.2	3.0	0.58	7	1.75	16.6	0.0	40	0.09	0.56	96.9	0	0.00	0.58	100.0
0212晴	283	4	7.5	16.2	5.0	0.96	7	1.75	16.6	0.0	57	0.13	0.93	97.3	0	0.00	0.96	100.0
0214晴	285	4	7.5	16.7	4.0	0.77	7	1.75	17.1	0.0	37	0.09	0.75	97.8	0	0.00	0.77	100.0
0216晴	287	4	7.5	15.2	3.0	0.58	7	1.75	15.4	0.0	40	0.09	0.56	96.8	0	0.00	0.58	100.0
0218晴	289	4	7.5	15.6	3.5	0.67	7	1.75	15.8	0.0	30	0.07	0.66	98.0	0	0.00	0.67	100.0
0220晴	291	4	7.5	16.5	4.0	0.77	7	1.75	16.8	0.3	100	0.24	0.67	86.6	0	0.00	0.71	92.5
0223晴	294	4	7.5	15.6	3.0	0.58	7	1.75	16.0	0.0	28	0.07	0.56	97.8	0	0.00	0.58	100.0
0225雨	296	4	7.5	14.6	3.5	0.67	7	1.75	14.2	0.0	210	0.50	0.58	85.7	0	0.00	0.67	100.0
0227晴	298	6	5	17.5	13.0	3.74	10	1.67	17.3	6.5	175	0.39	1.76	47.0	0	0.00	1.87	50.0
0302晴	301	6	5	15.4	8.5	2.45	10	1.67	15.3	4.0	110	0.25	1.22	50.0	0	0.00	1.30	52.9
0304晴	303	6	5	16.9	10.0	2.88	10	1.67	17.1	5.0	95	0.21	1.38	47.9	0	0.00	1.44	50.0
0306晴	305	6	5	15.6	8.0	2.30	10	1.67	15.9	3.5	75	0.17	1.25	54.1	0	0.00	1.30	56.3
0309晴	308	3	10	17.1	13.0	1.87	5	1.67	16.8	8.0	160	0.36	0.67	35.7	5	0.01	0.72	38.4
0311晴	310	6	5	16.8	10.0	2.88	10	1.67	17.0	3.0	135	0.30	1.93	67.0	0	0.00	2.02	70.0
0313晴	312	6	5	16.8	10.0	2.88	20	3.33	16.9	2.5	95	0.43	2.04	70.7	0	0.00	2.16	75.0
0316晴	315	6	5	16.5	1.5	0.43	20	3.33	16.5	0.3	18	0.08	0.32	74.6	0	0.00	0.35	80.0
0318晴	317	6	5	16.2	1.8	0.52	20	3.33	16.5	0.0	15	0.07	0.50	96.3	0	0.00	0.52	100.0

3月9日 原水ポンプ1台故障につき流量半減

(測定データ)

表-7 接触ばっ気式運転-R1000- 硫黄酸化細菌の順養

測定日	日数	流量 (m ³ /h)	HRT (min)	原水			風量 (m ³ /min)	風量/下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0811晴	97																	
0813晴	99	6	10	28.3	8.0	1.15	30	5	29.3	0.0	8	0.05	1.14	99.4	0	0.00	1.15	100.0
盆休み						0.00												
0820曇	106	6	10	28.0	6.0	0.86	30	5	27.6	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
0822曇	108	6	10	27.2	8.0	1.15	30	5	27.2	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
0825曇	111	6	10	27.7	9.0	1.30	30	5	27.9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
0827晴	113	6	10	27.5	9.5	1.37	30	5	27.4	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
0901晴	118	6	10	28.7	9.0	1.30	30	5	28.5	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
0903晴	120	6	10	26.8	11.0	1.58	30	5	28.6	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
0905晴	122	6	10	27.5	9.5	1.37	30	5	27.5	0.0	20	0.13	1.35	98.6	0	0.00	1.37	100.0
0908雨	125	6	10	27.6	6.5	0.94	30	5	27.9	0.0	25	0.16	0.91	97.5	0	0.00	0.94	100.0
0910晴	127	6	10	27.4	9.0	1.30	30	5	27.3	0.3	90	0.58	1.17	90.2	10	0.06	1.24	95.9
0912曇	129	6	10	26.9	8.5	1.22	30	5	26.8	0.0	22	0.14	1.20	98.3	0	0.00	1.22	100.0

8月20～9月3日 脱臭ブロワ故障

(測定データ)

表-8 接触ばっ気式運転-R1000-

測定日	日数	流量 (m ³ /h)	HRT (min)	原水			風量 (m ³ /min)	風速/下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
				水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0915雨	132	12	5	24.4	1.7	0.49	20	1.67	24.7	0.0	15	0.03	0.48	98.1	0	0.00	0.49	100.0
0917曇	135	12	5	25.1	7.0	2.02	20	1.67	24.9	0.0	50	0.11	1.98	98.4	10	0.02	2.01	99.7
0919曇	137	12	5	25.6	5.2	1.50	20	1.67	25.7	0.0	18	0.04	1.49	99.2	0	0.00	1.50	100.0
0922雨	140	12	5	25.1	6.0	1.73	20	1.67	25.1	0.0	25	0.05	1.71	99.1	0	0.00	1.73	100.0
0924曇	142	12	5	24.6	5.5	1.58	20	1.67	24.7	0.0	22	0.05	1.57	99.1	0	0.00	1.58	100.0
0926雨	144	12	5	23.7	5.2	1.50	20	1.67	23.6	0.0	35	0.08	1.48	98.5	0	0.00	1.50	100.0
0929晴	147	12	5	23.8	5.0	1.44	20	1.67	24.0	0.1	10	0.02	1.40	97.6	0	0.00	1.41	98.0
1001晴	149	12	5	24.0	7.8	2.25	20	1.67	24.2	0.7	95	0.21	1.98	88.4	5	0.01	2.04	90.9
1003晴	151	12	5	24.2	8.5	2.45	20	1.67	24.6	0.6	20	0.04	2.26	92.4	5	0.01	2.27	92.8
1006晴	154	12	5	24.4	7.0	2.02	20	1.67	24.6	0.1	40	0.09	1.96	97.3	0	0.00	1.99	98.6
1008晴	156	12	5	24.6	4.8	1.38	20	1.67	24.5	0.2	12	0.03	1.32	95.3	0	0.00	1.32	95.8
1011晴	161	12	5	24.1	3.6	1.04	20	1.67	24.2	0.2	12	0.03	0.97	93.7	0	0.00	0.98	94.4
1013晴	163	12	5	23.2	3.0	0.86	20	1.67	23.5	0.3	50	0.11	0.75	86.3	0	0.00	0.78	90.0
1015晴	165	12	5	23.5	4.8	1.38	20	1.67	23.6	0.2	35	0.08	1.30	94.2	0	0.00	1.32	95.8
1022晴	168	12	5	23.7	2.4	0.69	20	1.67	23.7	0.3	27	0.06	0.59	85.0	0	0.00	0.60	87.5
1024晴	172	12	5	24.1	5.2	1.50	20	1.67	24.2	0.1	50	0.11	1.44	96.0	0	0.00	1.47	98.1
1026晴	174	12	5	22.5	3.8	1.09	20	1.67	22.9	0.1	25	0.05	1.05	95.9	0	0.00	1.07	97.4
1029晴	177	12	5	22.7	5.6	1.61	20	1.67	23.0	0.1	35	0.08	1.56	96.8	0	0.00	1.58	98.2
1031晴	179	12	5	22.3	5.5	1.58	20	1.67	22.1	0.5	45	0.10	1.41	89.1	4	0.01	1.44	90.7
1103晴	182	12	5	21.8	3.6	1.04	20	1.67	22.1	0.1	50	0.11	0.98	94.2	2	0.00	1.01	97.1
1105晴	184	12	5	22.5	7.6	2.19	20	1.67	22.5	0.4	65	0.14	2.03	92.9	10	0.02	2.07	94.4
1108	187	12	5	21.1	9.5	2.74	20	1.67	21.8	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1110晴	189	12	5	21.1	6.0	1.73	20	1.67	21.3	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
1112晴	191	12	5	21.1	9.5	2.74	20	1.67	21.8	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
1115晴	193	12	5	21.4	10.0	2.88	20	1.67	21.5	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
1117雨	196	12	5	16.6	4.5	1.30	20	1.67	16.9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
1118晴	197	12	5	20.7	3.5	1.01	20	1.67	20.7	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-

10月31日～12月1日 循環水のライン閉塞

11月8日～18日 脱臭ブロワ故障

(測定データ)

表-8 接触ばっ気式運転-R1000- 続き

測定日	日数	流量 (m^3/h)	HRT (min)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	原水 溶硫 (mgS/L)	負荷 ($\text{kg}/\text{m}^3\text{d}$)	風 量 (m^3/h)	風量/ 下水	処理水		排気ガス		硫酸酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
									水温 ($^{\circ}\text{C}$)	溶硫 (mgS/L)	H_2S ppm	下水換算 (mgS/L 下水)	除去量 ^{*3} ($\text{kg}/\text{m}^3\text{d}$)	除去率 (%)	H_2S ppm	下水換算 (mgS/L 下水)	除去量 ^{*3} ($\text{kg}/\text{m}^3\text{d}$)	除去率 (%)
1120雨	199	12	5	19.0	4.5	1.30	20	1.67	18.9	0.4	30	0.07	1.16	89.6	5	0.01	1.18	90.9
1121曇	200	12	5	20.3	2.5	0.72	20	1.67	20.4	0.0	45	0.10	0.69	96.0	10	0.02	0.71	99.1
1125晴	204	12	5	19.5	2.0	0.58	20	1.67	19.0	0.2	50	0.11	0.49	84.4	10	0.02	0.51	88.9
		12	5	18.9	3.0	0.86	20	1.67	19.5	0.0	80	0.18	0.81	94.1	25	0.06	0.85	98.1
1126雨	205	12	5	18.6	2.2	0.63	20	1.67	18.4	0.1	45	0.10	0.58	90.9	15	0.03	0.60	93.9
		12	5	19.6	3.0	0.86	20	1.67	19.5	0.0	55	0.12	0.83	95.9	20	0.04	0.85	98.5
		12	5		3.2	0.92	20	1.67	19.5	0.0	60	0.13	0.88	95.8	25	0.06	0.91	98.3
		12	5	19.0	3.6	1.04	20	1.67	19.6	0.1	70	0.16	0.96	92.9	20	0.04	1.00	96.0
		12	5	20.3	3.0	0.86	20	1.67	20.4	0.0	60	0.13	0.83	95.6	4	0.01	0.86	99.7
1128晴	207	12	5	20.1	2.2	0.63	20	1.67	20.5	0.2	35	0.08	0.55	87.4	3	0.01	0.57	90.6
1201曇	210	12	5	19.1	3.0	0.86	20	1.67	19.3	0.4	80	0.18	0.70	80.7	28	0.06	0.73	84.6

(測定データ)

表-9 接触ばっ気式運転-R1000- 低温期試験, 風量変化試験

測定日	日数	流量 (m ³ /h)	HRT (min)	水温 (℃)	原水 溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)	風 量 (m ³ /h)	風速/ F/W	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
									水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 [※] (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 [※] (kg/m ³ d)	除去率 (%)
1203晴	212	12	5	17.8	0.8	0.23	30	2.5	17.9	0.0	15	0.05	0.22	93.7	0	0.00	0.23	100.0
1205晴	214	12	5	16.9	0.0	0.00	10	0.83	16.7	0.5	0	0.00	-	-	-	-	-	-
1208雨	217	12	5	16.0	0.0	0.00	10	0.83	16.1	0.5	0	0.00	-	-	-	-	-	-
1210晴	219	12	5	17.9	3.0	0.86	10	0.83	18.3	0.5	10	0.01	0.72	83.0	0	0.00	0.72	83.3
1212晴	221	12	5	17.9	3.0	0.86	10	0.83	18.6	0.5	10	0.01	0.72	83.0	0	0.00	0.72	83.3
1215晴	224	12	5	16.5	2.3	0.66	10	0.83	16.4	0.1	5	0.01	0.63	95.4	0	0.00	0.63	95.7
1217晴	226	10	6	14.5	2.0	0.48	20	2	14.7	0.0	6	0.02	0.48	99.2	4	0.01	0.48	99.5
1219晴	228	10	6	18.0	1.6	0.38	20	2	18.4	0.0	1	0.00	0.38	99.8	0	0.00	0.38	100.0
1222晴	231	10	6	17.4	1.0	0.24	20	2	17.6	0.0	1	0.00	0.24	99.7	0	0.00	0.24	100.0
1224晴	233	10	6	17.6	1.6	0.38	20	2	18.0	0.0	7	0.02	0.38	98.8	0	0.00	0.38	100.0
1226晴	235	10	6	16.9	1.6	0.38	20	2	17.5	0.0	4	0.01	0.38	99.3	0	0.00	0.38	100.0
1229晴	238	10	6	16.4	1.0	0.24	20	2	16.6	0.2	0	0.00	0.19	80.0	0	0.00	0.19	80.0
年末年始休み																		
0105晴	245	12	5	15.4	1.5	0.43	20	1.67	15.2	0.1	25	0.06	0.39	89.6	4	0.01	0.40	92.7
0107晴	247	12	5	16.9	1.6	0.46	20	1.67	17.1	0.0	2	0.00	0.46	99.7	0	0.00	0.46	100.0
0109晴	249	12	5	14.2	0.0	0.00	20	1.67	14.5	0.0	0	0.00	0.00	-	0	0.00	0.00	-
0112晴	252	12	5	14.7	0.0	0.00	20	1.67	14.6	0.0	0	0.00	0.00	-	0	0.00	0.00	-
0114晴	254	12	5	14.8	0.1	0.03	20	1.67	14.7	0.0	0	0.00	0.03	100.0	0	0.00	0.03	100.0
0116晴	256	12	5	13.0	0.0	0.00	20	1.67	12.8	0.0	0	0.00	0.00	-	0	0.00	0.00	-
0119晴	259	12	5	14.0	0.0	0.00	20	1.67	13.9	0.0	0	0.00	0.00	-	0	0.00	0.00	-
0121晴	261	12	5	15.3	1.6	0.46	20	1.67	15.1	0.0	5	0.01	0.46	99.3	0	0.00	0.46	100.0
0123晴	263	12	5	15.5	1.6	0.46	20	1.67	15.3	0.1	0	0.00	0.43	93.8	0	0.00	0.43	93.8
0126晴	266	12	5	14.9	1.5	0.43	20	1.67	14.8	0.1	0	0.00	0.40	93.3	0	0.00	0.40	93.3
0128晴	268	12	5	14.9	1.1	0.32	20	1.67	15.2	0.1	3	0.01	0.29	90.3	0	0.00	0.29	90.9
0130晴	270	12	5	14.9	1.6	0.46	20	1.67	14.9	0.1	0	0.00	0.43	93.8	0	0.00	0.43	93.8
0202晴	273	12	5	15.2	1.6	0.46	20	1.67	14.9	0.1	0	0.00	0.43	93.8	0	0.00	0.43	93.8

(測定データ)

表-10 接触ばっ気式運転-R1000- 低温期試験, 風量変化試験

測定日	日数	流量 (m ³ /h)	HRT (min)	水温 (°C)	原水 溶硫 (mgS/L)	負荷 (kg/m ³ d)	風 量 (m ³ /h)	風速/ 下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
									水温 (°C)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kg/m ³ d)	除去率 (%)
0204晴	275	6	10	16.3	2.2	0.32	10	1.67	16.5	0.0	3	0.01	0.32	99.7	0	0.00	0.32	100.0
0207晴	278	6	10	16.4	4.7	0.68	10	1.67	16.3	0.0	0	0.00	0.68	100.0	0	0.00	0.68	100.0
0209晴	280	6	10	16.2	3.0	0.43	10	1.67	16.2	0.0	0	0.00	0.43	100.0	0	0.00	0.43	100.0
0212晴	283	6	10	16.4	5.0	0.72	10	1.67	16.4	0.0	3	0.01	0.72	99.9	0	0.00	0.72	100.0
0214晴	285	6	10	16.9	4.0	0.58	10	1.67	16.9	0.0	0	0.00	0.58	100.0	0	0.00	0.58	100.0
0216晴	287	6	10	15.5	2.8	0.40	10	1.67	15.4	0.0	0	0.00	0.40	100.0	0	0.00	0.40	100.0
0218晴	289	6	10	15.6	3.5	0.50	10	1.67	15.8	0.0	0	0.00	0.50	100.0	0	0.00	0.50	100.0
0220晴	291	6	10	16.6	4.0	0.58	30	3.0	16.5	0.1	0	0.00	0.56	97.5	0	0.00	0.56	97.5
0223晴	294	6	10	15.7	3.0	0.43	30	3.0	15.9	0.0	0	0.00	0.43	100.0	0	0.00	0.43	100.0
0225雨	296	6	10	14.5	3.5	0.50	30	3.0	14.6	0.2	0	0.00	0.48	95.7	0	0.00	0.48	95.7
0227晴	298	18	3.3	16.9	3.5	1.51	30	1.67	16.7	0.0	0	0.00	1.51	100.0	0	0.00	1.51	100.0
0302晴	301	18	3.3	15.2	1.8	0.78	30	1.67	15.4	0.0	0	0.00	0.78	100.0	0	0.00	0.78	100.0
0304晴	303	18	3.3	16.7	2.4	1.04	30	1.67	16.8	0.1	4	0.01	0.99	95.5	0	0.00	0.99	95.8
0306晴	305	18	3.3	15.4	1.8	0.78	30	1.67	15.7	0.0	0	0.00	0.78	100.0	0	0.00	0.78	100.0
0309晴	308	18	3.3	16.5	1.5	0.65	30	1.67	16.5	0.0	2	0.00	0.65	99.7	0	0.00	0.65	100.0
0311晴	310	18	3.3	16.8	1.5	0.65	30	1.67	16.7	0.0	0	0.00	0.65	100.0	0	0.00	0.65	100.0
0313晴	312	18	3.3	16.7	1.6	0.69	30	1.67	16.9	0.1	0	0.00	0.65	93.8	0	0.00	0.65	93.8
0316晴	315	18	3.3	16.5	1.5	0.65	30	1.67	16.6	0.0	0	0.00	0.65	100.0	0	0.00	0.65	100.0
0318晴	317	18	3.3	16.4	1.4	0.60	30	1.67	16.4	0.0	10	0.02	0.60	98.4	0	0.00	0.60	100.0

表-11 間欠運転試験 I ～ R30 ～

測定日時	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風量/ 下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kgS/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量*3 (kgS/m ³ d)	除去率*4 (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 (kgS/m ³ d)	除去率 (%)
0806晴																	
9:30	4.0	7.5	27.2	6.4	1.23	10	2.5	27.4	0.0	40	0.13	1.20	98.0	0	0.00	1.20	98.0
停止・排水9:40	1時間停止																
始動10:40																	
10:50	4.0	7.5	27.2	5.5	1.06	10	2.5	29.1	0.4	40	0.13	0.95	90.4	0	0.00	0.95	90.4
11:00	4.0	7.5		5.8	1.11	10	2.5	28.4	0.1	25	0.08	1.08	96.9	0	0.00	1.08	96.9
11:10	4.0	7.5		5.8	1.11	10	2.5	28.4	0.1	20	0.06	1.08	97.2	0	0.00	1.08	97.2
11:20	4.0	7.5		5.8	1.11	10	2.5	28.5	0.4	25	0.08	1.02	91.7	0	0.00	1.02	91.7
11:40	4.0	7.5	28.1	6.0	1.15	10	2.5	28.7	0.0	30	0.10	1.13	98.4	0	0.00	1.13	98.4
停止・排水12:00	3時間停止																
始動15:00																	
15:10	4.0	7.5	27.4	7.0	1.34	10	2.5	29.2	0.2	60	0.19	1.27	94.4	0	0.00	1.27	94.4
15:20	4.0	7.5	23.4	6.8	1.31	10	2.5	28.1	0.1	60	0.19	1.25	95.7	0	0.00	1.25	95.7
15:30	4.0	7.5	22.0	6.8	1.31	10	2.5	27.9	0.0	65	0.21	1.27	96.9	0	0.00	1.27	96.9
15:40	4.0	7.5	23.1	6.8	1.31	10	2.5	27.8	0.2	65	0.21	1.23	94.0	0	0.00	1.23	94.0
16:00	4.0	7.5	24.1	6.5	1.25	10	2.5	27.7	0.0	80	0.26	1.20	96.0	0	0.00	1.20	96.0

除去量（処理水）＝ 原水溶存硫化物－処理水溶存硫化物

除去率（処理水）＝（原水溶存硫化物－処理水溶存硫化物）×100／原水溶存硫化物

硫化物除去量＝ 原水溶存硫化物－処理水溶存硫化物－下水換算排ガスHS

硫化物除去率＝（原水溶存硫化物－処理水溶存硫化物－下水換算排ガスHS）×100／原水溶存硫化物

表-12 間欠運転試験 II ～ R30 ～ その1

測定日時	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風量 (L/min)	風速/ F/D	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
			水温 (°C)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kgS/m ³ d)			水温 (°C)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{*3} (kgS/m ³ d)	除去率 ^{*4} (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 (kgS/m ³ d)	除去率 (%)
1117雨曇雨																	
8:30	6.0	5.0	16.5	5.0	1.44	10	1.7	16.2	0.0	30	0.07	1.42	98.7	0	0.00	1.42	98.7
停止・排水9:00	9時間停止																
始動17:55																	
18:10	6.0	5.0		7.0	2.02	10	1.7	19.2	0.4	25	0.06	1.88	93.5	0	0.00	1.88	93.5
18:40	6.0	5.0	19.6	7.0	2.02	10	1.7		0.4	25	0.06	1.88	93.4	0	0.00	1.88	93.4
1118晴																	
8:50	6.0	5.0	20.6	4.0	1.15	10	1.7	20.4	0.0	0	0.00	1.15	100.0	0	0.00	1.15	100.0
停止・排水9:00	24時間停止																
1119晴																	
9:00始動																	
9:30																	
10:00	6.0	5.0	18.9	0.0	0.00	10	1.7	18.2	0.0	5	0.01			0	0.00		
1120曇雨																	
8:30	6.0	5.0	18.3	2.8	0.81	10	1.7	19.3	0.1	5	0.01	0.77	96.0	0	0.00	0.77	96.0
停止・排水9:00	9時間停止																
始動17:50																	
18:10	6.0	5.0		5.0	1.44	10	1.7		0.3	70	0.17	1.32	91.7	0	0.00	1.32	91.7
18:50	6.0	5.0	19.4	5.0	1.44	10	1.7	19.0	0.0	60	0.13	1.40	97.3	0	0.00	1.40	97.3
1121曇																	
10:00	6.0	5.0	20.0	3.0	0.86	10	1.7	20.3	0.0	80	0.13	0.81	94.1	0	0.00	0.81	94.1
停止・排水12:00	3.5時間停止																
始動15:30																	
15:50	6.0	5.0	19.5	6.8	1.96	10	1.7	19.4	1.1	240	0.53	1.49	76.0	0	0.00	1.49	76.0
16:10	6.0	5.0		6.8	1.96	10	1.7	19.4	0.6	210	0.47	1.65	84.3	0	0.00	1.65	84.3
16:30	6.0	5.0		6.8	1.96	10	1.7	19.9	0.5	180	0.40	1.70	86.8	0	0.00	1.70	86.8

表-12 間欠運転試験 II ～ R30 ～ その2

測定日時	流量 (L/min)	HRT (min)	原水			風 量 (L/min)	風速/ 下水	処理水		排気ガス		硫酸酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kgS/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kgS/m ³ d)	除去率 ¹⁴ (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 (kgS/m ³ d)	除去率 (%)
1122																	
1123																	
1124																	
1125晴																	
8:30	6.0	5.0	18.9	2.0	0.58	10	1.7	18.0	0.2	100	0.22	0.45	78.8	0	0.00	0.45	78.8
停止-排水9:00																	
始動17:00																	
17:20	6.0	5.0	19.0	2.5	0.72	10	1.7	18.3	0.4	250	0.56	0.44	61.7	30	0.07	0.42	59.0
17:40	6.0	5.0		3.0	0.86	10	1.7	18.4	0.2	100	0.22	0.74	85.9	0	0.00	0.74	85.9
18:00	6.0	5.0	19.0	3.0	0.86	10	1.7	18.5	0.2	100	0.22	0.74	85.9	0	0.00	0.74	85.9
19:00	6.0	5.0	19.1	4.0	1.15	10	1.7	18.9	0.2	110	0.24	1.02	88.9	0	0.00	1.02	88.9
1126雨曇雨																	
8:00	6.0	5.0	19.6	2.5	0.72	10	1.7	19.4	0.1	85	0.19	0.64	88.4	0	0.00	0.64	88.4
11:00	6.0	5.0	20.0	3.8	1.09	10	1.7	19.9	0.1	130	0.29	0.98	89.8	0	0.00	0.98	89.8
14:00	6.0	5.0	19.6	3.8	1.09	10	1.7	19.9	0.2	115	0.26	0.98	89.3	0	0.00	0.98	89.3
18:00	6.0	5.0	20.1	4.0	1.15	10	1.7	19.9	0.0	80	0.18	1.10	95.6	0	0.00	1.10	95.6
1127晴																	
1128晴																	
8:50	6.0	5.0	20.5	2.5	0.72	10	1.7	19.9	0.2	55	0.12	0.64	89.1	0	0.00	0.64	89.1
停止-排水9:00																	
始動12:00																	
12:20	6.0	5.0	19.6	6.0	1.73	10	1.7	20.1	0.5	150	0.33	1.49	86.1	0	0.00	1.49	86.1
12:40	6.0	5.0		6.0	1.73	10	1.7	20.4	0.4	190	0.42	1.49	86.3	0	0.00	1.49	86.3
13:00	6.0	5.0		6.0	1.73	10	1.7	20.1	0.3	180	0.40	1.54	89.2	0	0.00	1.54	89.2

表-13 間欠運転試験 II ～ R1000 ～ その1

測定日時	流量 (m ³ /h)	HRT (min)	原水			風量 (m ³ /h)	風速/ 下水	処理水		排気ガス		硫黄酸化リアクタ		脱臭排気ガス		全システム	
			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kgS/m ³ d)			水温 (℃)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ^{※3} (kgS/m ³ d)	除去率 ^{※4} (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 (kgS/m ³ d)	除去率 (%)
1117雨曇雨																	
8:30	12.0	5.0	16.6	4.5	1.30	20	1.7	16.9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
停止・排水9:00	9時間停止																
始動17:45																	
18:00	12.0	5.0		5.0	1.44	20	1.7	19.4	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
19:00	12.0	5.0	19.6	5.0	1.44	20	1.7		0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
1118晴																	
8:50	12.0	5.0	20.7	3.5	1.01	20	1.7	20.7	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
停止・排水9:00	24時間停止									ブロー復旧							
1119晴																	
始動9:00																	
9:30																	
10:00	12.0	5.0	19.0	0.0	0.00	20	1.7	18.7	0.0	3	0.01	-	-	0	0.00	-	-
11:20曇雨																	
8:30	12.0	5.0	19.0	3.0	0.86	20	1.7	18.9	0.4	30	0.07	0.73	84.4	5	0.01	0.73	84.1
停止・排水 9:00	9時間停止																
始動18:00																	
18:20	12.0	5.0		4.5	1.30	20	1.7		0.4	60	0.14	1.14	87.9	35	0.08	1.12	86.1
18:40	12.0	5.0	18.3	4.5	1.30	20	1.7	18.3	0.4	70	0.16	1.14	87.6	25	0.06	1.12	86.4
19:00	12.0	5.0		4.5	1.30	20	1.7		0.4	80	0.19	1.13	86.9	30	0.07	1.11	85.3
1121曇																	
10:00	12.0	5.0	20.3	2.5	0.72	20	1.7	20.4	0.0	45	0.10	0.69	96.0	10	0.02	0.68	95.1
停止・排水12:00	3.5時間停止																
始動15:30																	
15:50	12.0	5.0	19.3	7.0	2.02	20	1.7	18.9	1.2	210	0.47	1.54	76.2	100	0.22	1.47	73.0
16:10	12.0	5.0		7.0	2.02	20	1.7	19.2	0.2	150	0.33	1.86	92.4	40	0.09	1.84	91.1
16:30	12.0	5.0		7.0	2.02	20	1.7	19.5	0.1	100	0.22	1.92	95.4	35	0.08	1.90	94.3

表-13 間欠運転試験 II ～ R1000 ～ その2

測定日時	流量 (m³/h)	HRT (min)	原水			風量 (m³/h)	風速/下水	処理水		排気ガス		硫化物		脱臭排気ガス		全システム	
			水温 (°C)	溶硫 (mgS/L)	負荷 (kgS/m³d)			水温 (°C)	溶硫 (mgS/L)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 ¹³ (kgS/m³d)	除去率 ¹⁴ (%)	H ₂ S ppm	下水換算 (mgS/L下水)	除去量 (kgS/m³d)	除去率 (%)
1122	連続運転																
1123																	
1124																	
1125晴																	
8:30	12.0	5.0	19.5	2.0	0.58	20	1.7	19.0	0.2	50	0.11	0.50	86.9	10	0.02	0.49	85.8
停止・排水9:00	7.5時間停止																
間欠始動16:30																	
16:40	12.0	5.0	18.6	2.0	0.58	20	1.7	17.6	0.2	40	0.09	0.49	85.5	10	0.02	0.49	84.4
18:40	12.0	5.0	18.9	3.0	0.86	20	1.7	19.5	0.0	80	0.18	0.81	94.1	25	0.06	0.80	92.2
1126雨曇雨																	
8:20	12.0	5.0	18.6	2.2	0.63	20	1.7	18.4	0.1	45	0.10	0.59	93.2	15	0.03	0.58	91.6
10:20	12.0	5.0	19.6	3.0	0.86	20	1.7	19.5	0.0	55	0.12	0.83	95.9	20	0.04	0.82	94.4
11:20	12.0	5.0		3.2	0.92	20	1.7		0.0	60	0.14	0.88	95.5	25	0.06	0.86	93.7
14:20	12.0	5.0	19.0	3.6	1.04	20	1.7	19.6	0.1	70	0.16	0.98	94.3	20	0.04	0.96	93.1
18:20	12.0	5.0	20.3	3.0	0.86	20	1.7	20.4	0.0	60	0.13	0.83	95.6	4	0.01	0.82	95.3
1127晴																	
1128晴																	
8:50	12.0	5.0	20.1	2.2	0.63	20	1.7	20.5	0.2	35	0.08	0.55	87.4	3	0.01	0.55	87.1
停止・排水9:00	3時間停止																
連続始動12:00																	
12:20	12.0	5.0	19.8	5.4	1.56	20	1.7	19.9	0.4	130	0.29	1.36	87.3	30	0.07	1.34	86.0
12:40	12.0	5.0		5.7	1.64	20	1.7	19.8	0.3	140	0.31	1.47	89.3	35	0.08	1.44	87.9
13:00	12.0	5.0	19.5	6.0	1.73	20	1.7	19.7	0.3	160	0.36	1.54	89.1	60	0.13	1.50	86.9

除去量(処理水) = (原水溶存硫化物 - 処理水溶存硫化物) × 100 / 原水溶存硫化物

硫化物除去量 = 原水溶存硫化物 - 処理水溶存硫化物 - 下水換算排ガスH₂S

硫化物除去率 = (原水溶存硫化物 - 処理水溶存硫化物 - 下水換算排ガスH₂S) × 100 / 原水溶存硫化物

～11月18日 10:00 脱臭ブロワ故障

11月26日 生物脱臭塔循環水の流量不良発覚 → 生物脱臭塔の能力低下と関係あり?