

# ビル及び生活廃水処理と再利用

## Wastewater Treatment, Reuse of Office Building & Municipal Sewage

近年、人口の都市集中化、生活水準の向上などによる都市用水の需要は増大の一途をたどっており、この解決の手段として、一度使用された水を処理し、用途に応じて再利用するシステムが要望されており、その技術開発の確立が要求されている。

この論文では日立環境グループ各社が開発した生活廃水再利用システムのうち、代表的な生物処理法と物理化学法について述べる。生物処理法については、活性汚泥法と回転式接触酸化法について触れ、物理化学法については、限外濾過法と活性炭電解法を紹介する。実施例として、株式会社イトーヨーカ堂四街道店での方式と運転状況について述べた。

今後、水不足対策技術としての生活廃水再利用システムは、省力化、信頼性の向上が望まれており、いっそう研究開発を進める必要がある。

藤原 功一\*      Fujiwara Kōichi  
 塚原伸一郎\*\*      Tsukahara Shinichirō  
 宮城 透\*\*\*      Miyagi Tōru  
 岩前 猛久\*\*\*\*      Iwamae Takehisa  
 沢 俊雄\*\*\*\*\*      Sawa Toshio

### 1 緒 言

人口の都市集中化、生活水準の向上などによる都市用水の需要は増大の一途をたどっており、水資源をむだなく利用するための供給側の努力にもかかわらず需給のギャップは広がりつつある。

これらに対応するために、一度使用された水を処理し用途に合った水にして再利用する廃水再利用システムが切望されている。

この論文では、日立環境グループ各社が開発した廃水再利用システムについて生物処理、物理化学処理を中心に述べる。

### 2 廃水の特性と再利用

ビルなどの生活廃水水質は、時間的変化が大きいことを特長としており、その変動は最高値と最低値の比で2~3倍と変わることが通常である。図1に生物化学的酸素要求量(BOD)の変動について示した。廃水処理システムは、この変動に対応できるものでなければならない。廃水処理システムで処理された排水が、再利用可能かの検討は十分な使用箇所での調査をなすべきである。表1に河川協会<sup>1)</sup>、東京都首都整備局<sup>1)</sup>及び日本住宅公団<sup>1)</sup>が発表した再利用水水質を示したが、各機関により若干の相違点が見られる。今後、用途に応じた再利用水の水質基準を確立する必要がある。

### 3 処理システム

#### 3.1 生物処理

##### 3.1.1 活性汚泥法+物理処理法

株式会社イトーヨーカ堂四街道店で稼動しているシステムについて紹介する。この施設は、当店から排出される厨房系廃水、トイレ汚水を主とする総合廃水を、千葉県印旛沼水系の許容排出基準に適合させるとともに、その一部を再利用するものである。

特に再利用化に当たっては、再利用水をトイレ洗浄水のほかに冷凍機の冷却水に使用しており、このため熱交換機材料の腐食対策として処理プロセスの主体を生物処理とした点にある。

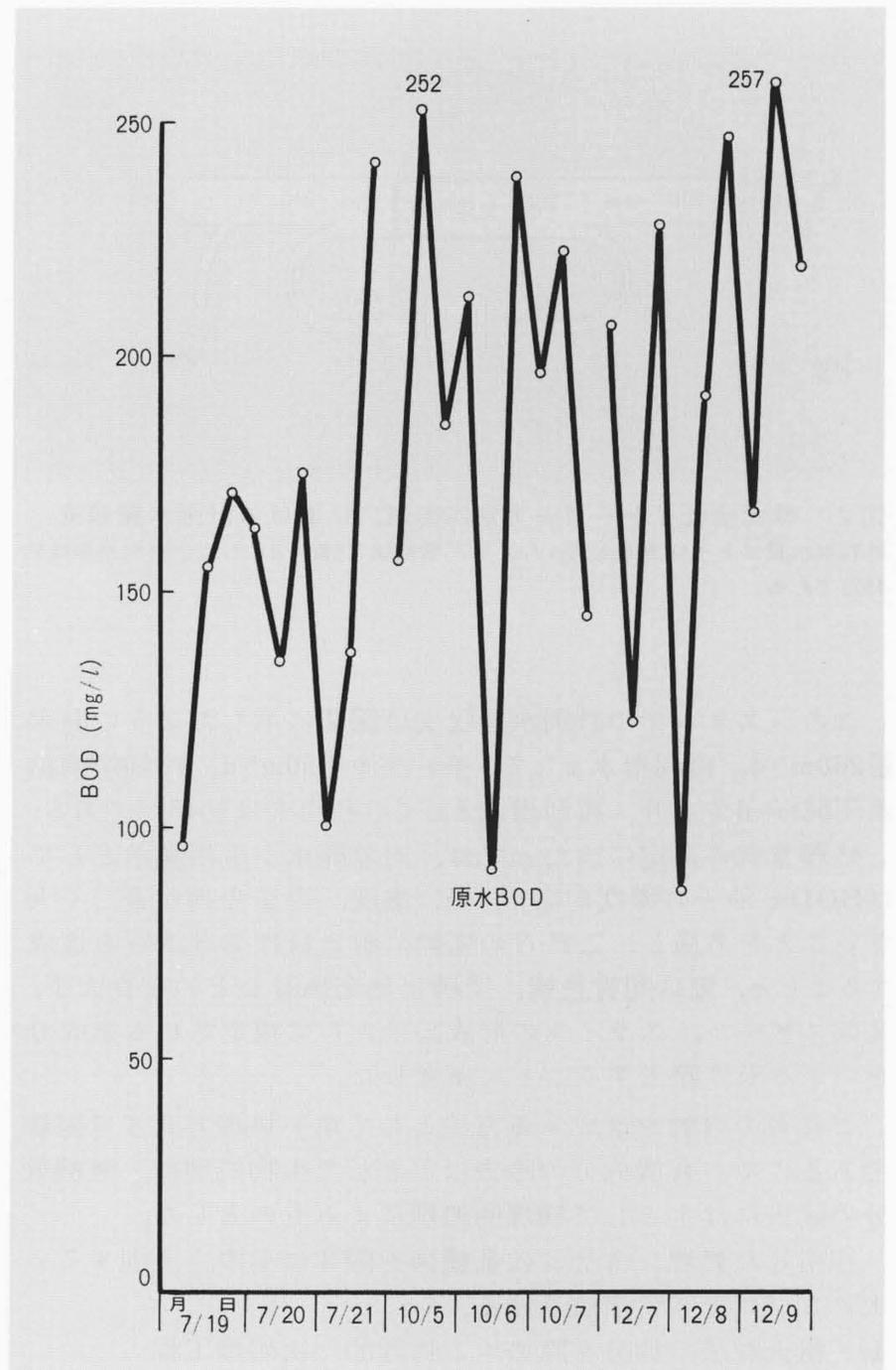


図1 生活廃水の時間変動例 生活廃水は時間変化が激しいので、廃水処理システムはこの変動に対処できるものでなければならない。

\* 日立製作所機電事業本部    \*\* 日立プラント建設株式会社    \*\*\* 日立化成工業株式会社    \*\*\*\* 新明和工業株式会社  
 \*\*\*\*\* 日立製作所日立研究所

表1 用途別再利用水質基準 各種の水質基準が、再利用水に対して公表されている。水質基準の一体化が今後予想される。

項目	単位	トイレ洗浄水			空調用水
		河川協会	首都整備局	住宅公団	首都整備局
pH	—	5.8~8.6	6.5~9.0	5.8~8.6	6.5~9.0
BOD	mg/l	—	20	10	10
COD	"	—	40	20	20
SS	"	—	30	5	—
n-ヘキサン抽出物	"	2	2	—	—
NH <sub>4</sub> -N	"	—	20	—	20
蒸発残留物	"	1,000	—	1,000	1,000
硬度	"	500	400	200	300
Mアルカリ度	"	—	—	—	—
電導度	μΩ/cm	—	—	—	—
色	—	50	不快感を伴わない。	10	不快感を伴わない。
臭気	—	—	"	不快感を伴わない。	"

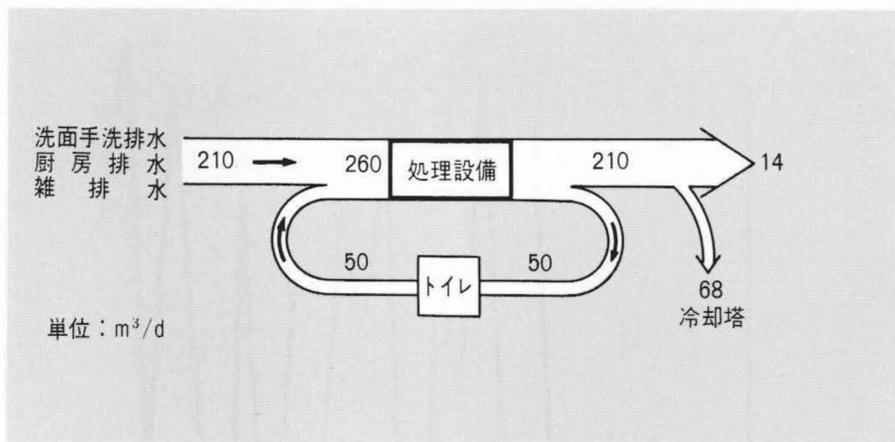


図2 株式会社イトヨーカ堂四街道店における計画水量収支 再利用水量はトイレ洗浄水50m³/d、冷却塔補給水68m³/dとした。再利用率は約45%である。

このシステムでの計画水量収支は図2に示したように廃水量260m³/d、再利用水としてトイレ洗浄用50m³/d、冷却塔補給水68m³/dであり、再利用水としての利用率は約45%である。

処理方式の選定に当たっては、対象廃水が生活廃水としてはBODと油分の濃度が高く、更に濃度、流量変動が著しく大きいことを考慮し、これらの変動に耐え目標処理水質を達成することと、更に配管系統、空調用熱交換器などの腐食因子、又はスケール、スライムの形成因子として規定される組成成分をできる限り除去することに留意した。

これらの目的を達成する方法として単一処理方式では困難であるので、有機成分の除去は主として生物処理に、無機成分の除去には主として物理的処理によるものとした。

採用した処理システムの系統図を図3に示す。大別すると次の3プロセスで構成される。

- (1) 粗大粒子、油分を除去する物理的二次処理工程
- (2) BOD、化学的酸素要求量(COD)などで表わされる高濃度有機質を除去する生物的二次処理工程
- (3) 残留する有機質、浮遊固形物(SS)、色及び臭気を除去する物理的三次処理工程

現在稼動している処理設備の外観を図4に、また処理水を利用した冷凍機の外観を図5に示す。

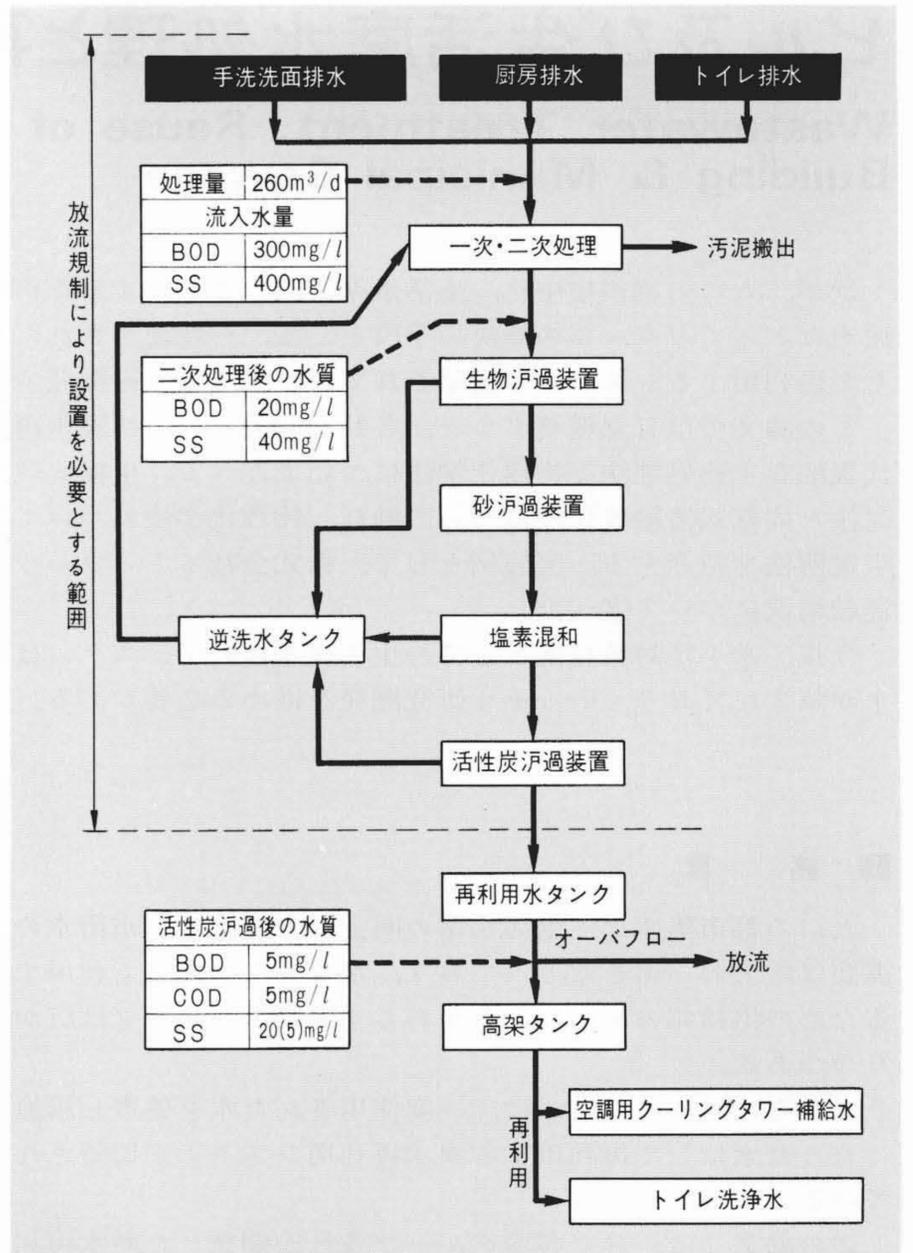


図3 生物処理+物理処理法の系統図 一次処理は、粗大粒子及び油分の分離を行なう固液分離設備を設けている。二次処理は、流量調整後、一般の活性汚泥処理設備を設けている。

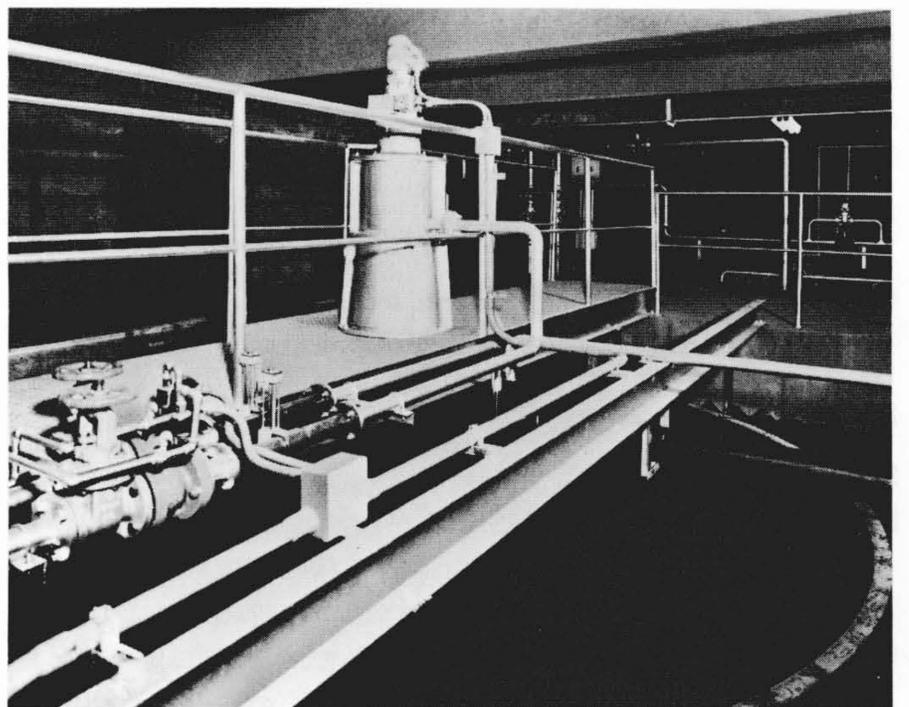


図4 生物処理+物理処理法処理設備全景 地下1階にすべて設置している。中央にあるのは生物ろ過槽で、寸法は直径6,600mmである。

この施設の運転結果について、昭和52年4月の運転開始から昭和53年8月までの17箇月にわたる処理水質の測定結果を図6、7に示す。

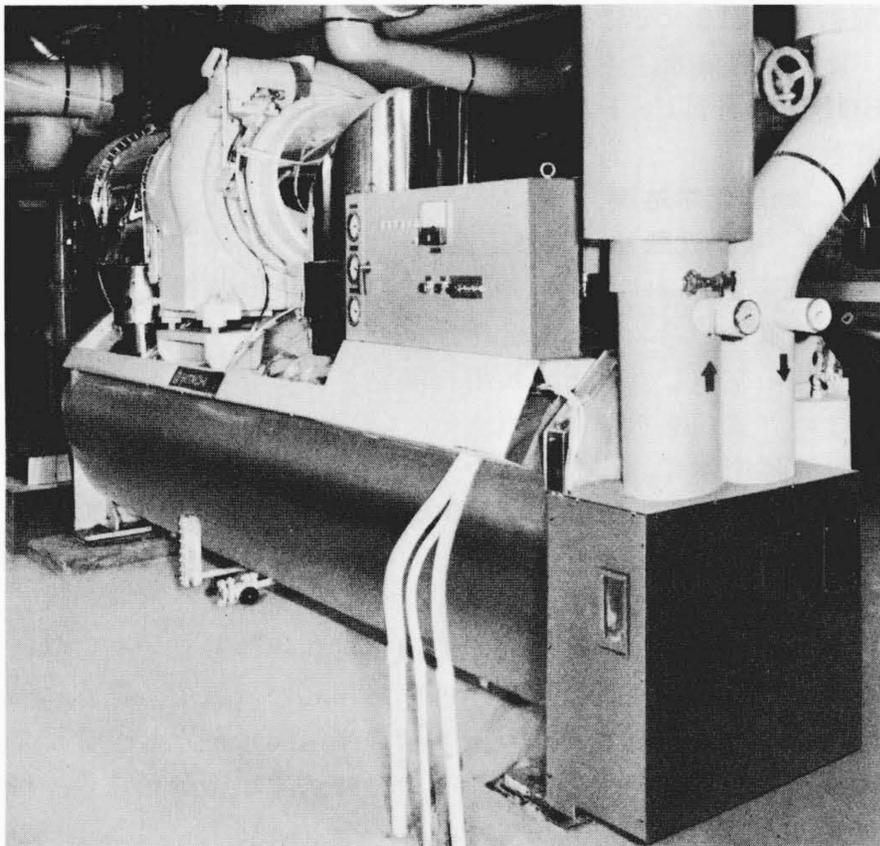


図5 生物処理+物理処理法の処理水を使用した冷凍機 HS形ターボ冷凍機の外観を示す。冷凍容量は350RTで、寸法は幅1,300×高さ2,500×長さ4,600(mm)である。

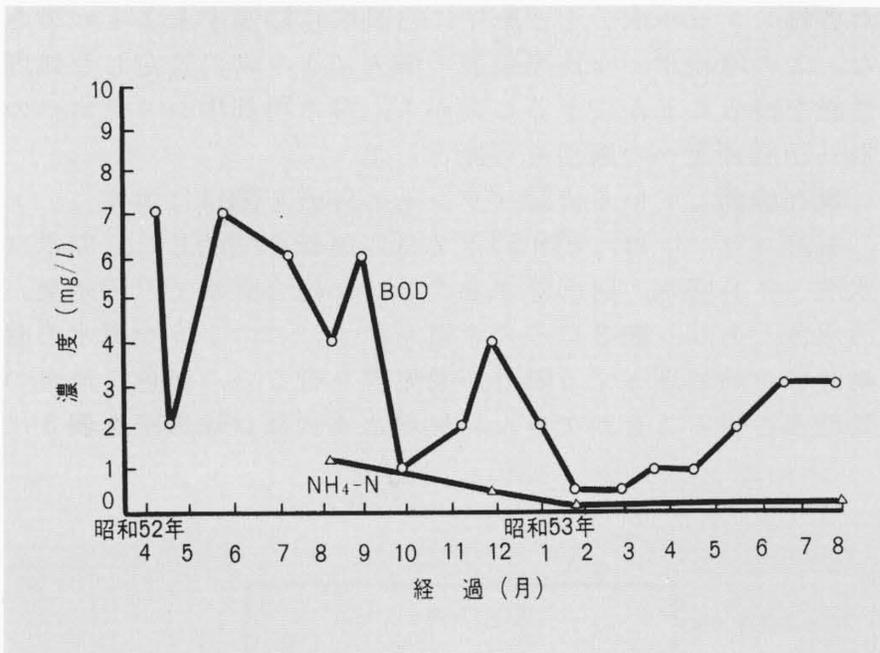


図6 有機系処理水質変化 処理水質は運転開始後数箇月は不安定な傾向を示したが、その後は安定している。

図6に有機質系処理水質の変化を示した。BODの除去特性は、運転開始後数箇月は、生物的処理機能が安定状態に達していないこともあり不安定な傾向を示しているが、10月以降は5 mg/l以下と安定している。

また銅系伝熱管をもつ熱交換器に対して腐食作用の大きいとみられるアンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-N)はほぼ1 mg/l以下の低濃度で安定している。SS、n-Hexane抽出物は各々5 mg/l以下、1 mg/l以下で全く安定している。

図7に無機系処理水質の変化を示した。カルシウム硬度は約70mg/lで比較的安定しているが、電導度、蒸発残留物は大きく変化している。電導度は一般的に蒸発残留物に大きく関係し、一般的に比例的關係にあると言われているが、明確な傾向は認められなく処理水の色も無色、また臭気も感じられない。今後もこの施設の適切な管理を続けて最適な再利用水

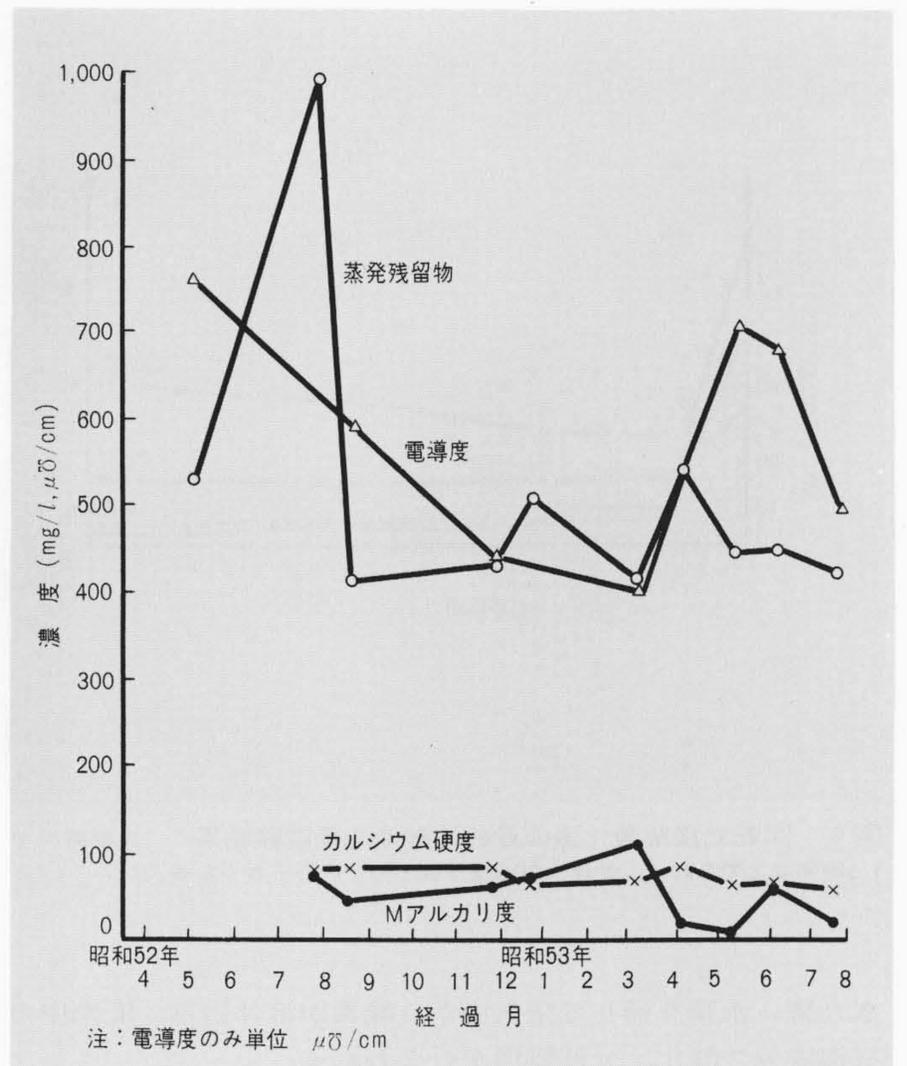


図7 無機系処理水質変化 無機物は大きく変動している。また電導度と蒸発残留物の相関は明確でない。

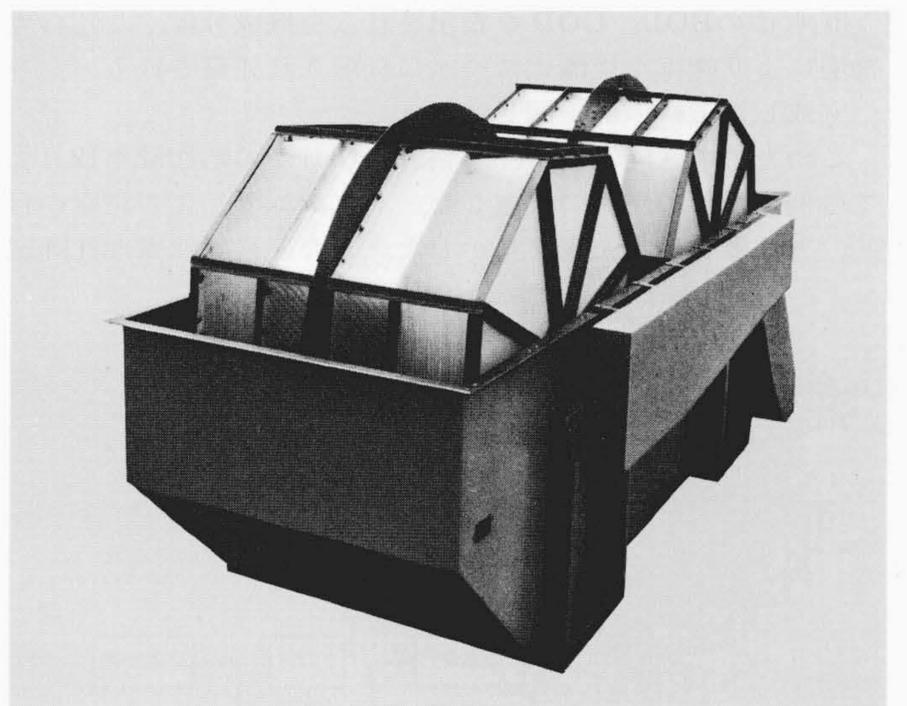


図8 ハニーローター実機 回転体寸法は対辺2m×長さ2m×2軸で、回転体中央部に段数効果を上げるため支切板を取り付けている。

を供給するよう監視していきたい。

### 3.1.2 回転式接触酸化法(ハニーローター)

生物処理法の一つとして処理量が比較的少量であり、有機物濃度が低い廃水に適した方法を開発した。

この方法は、ハニカムチューブのブロックを回転時の水抵抗が小さくなるように配列して処理槽の中で下部を汚水中に浸漬したまま低速で回転させることにより、酸素の供給と汚水の処理を行なう方式である。

ブロックが空気中を通過する際、付着微生物群の表面にで

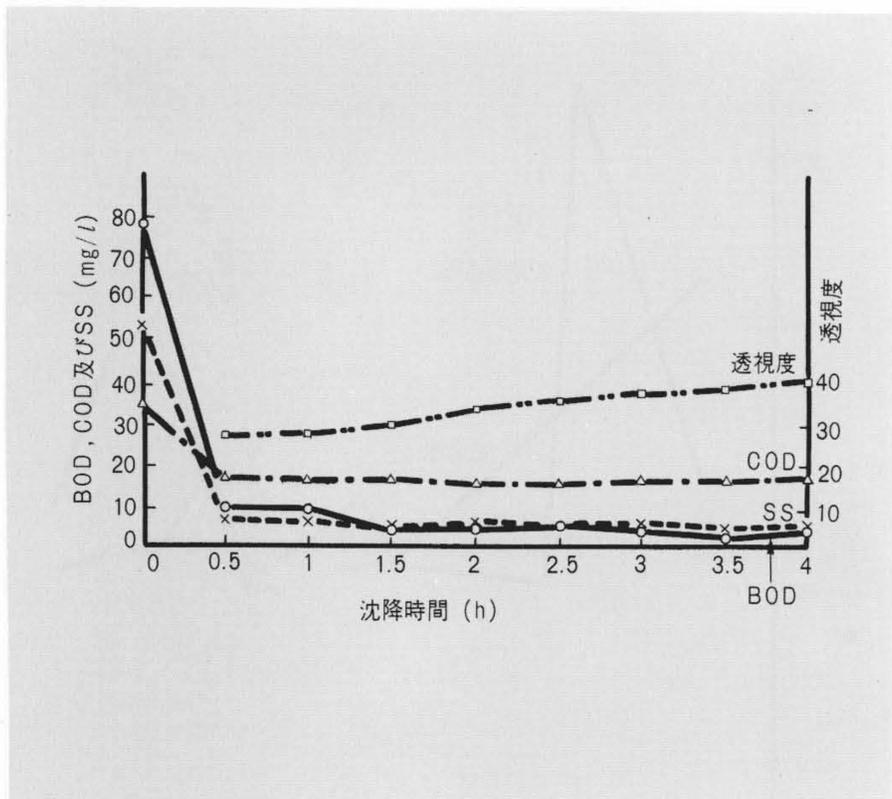


図9 回転式接触酸化法の最終沈殿池沈降試験結果 沈殿時間が1.5時間以上であれば、処理水BOD値はほとんど変わらなくなる。

きた薄い水膜を通して空気中から酸素が溶け込み、廃水中の有機成分の酸化、分解処理が行なわれる。

この過程で、ハニカムチューブの表面に好気性微生物群が繁殖し、生物層を形成する。

層の厚さが増してくると層の深部では嫌気性微生物群が繁殖し、好気性微生物層と嫌気性生物層を形成する。

廃水中のBOD、CODで表示される有機成分は、これら生物層により無害な炭酸ガスや水に分解され処理される。

完成した実機の例を図8に示す。

この方法の性能試験は、昭和51年10月から昭和52年12月までの間に種々の条件で実施した。システムとしての試験の目的、方法及び結果を表2に示した。また、最終沈殿池沈降試

験結果を図9に示した。これらの試験の結果、ハニーローターは、厨房廃水、水洗トイレ廃水などの合併汚水を処理して、BOD 20mg/l以下とする性能をもった装置であることが実証できた。

### 3.2 物理化学処理

#### 3.2.1 凝集沈殿法+限外濾過法

このシステムは、化学処理方式の凝集沈殿装置と物理処理方式の限外濾過装置とを組み合わせた廃水再利用システムで、下水道の完備した都市ビル用に開発されたものである。

この方式の廃水源は、水洗トイレ、厨房、手洗などから排出される雑廃水で、再利用水は水洗トイレの洗浄水に利用する。

このシステムの系統図を図10に示した。凝集沈殿装置では、廃水中の懸濁物質を沈殿分解し、後段の限外濾過装置への負荷の低減を図っている。

限外濾過装置は、産業廃水処理・再利用の分野で高い評価を得ている逆浸透装置同様半透膜を用いた装置で、廃水に一定圧力を加え、酢酸セルロース製の半透膜に送水し、分子量の大小により透過水と濃縮水とに分離する精密濾過法の一種であり、透過水を再利用する。

限外濾過装置の廃水再利用システムへの適用可否のポイントは、限外濾過膜内面に付着するスケールの除去方法であり、スケール除去法として連続ボール洗浄装置を採用している。

連続ボール洗浄装置は、内圧チューブラ形逆浸透装置に採用され、これまで不可能とされていた半透膜内面に付着した各種スケール成分を運転中に自動的に除去することができた。この連続ボール洗浄装置の導入により常に安定した処理性能を得ることができることから、排水再利用システムへの限外濾過装置への適用を可能とした。

現在稼動している実証プラントの外観を図11に示す。

実証プラントは、昭和53年7月に運転を開始した。原水は水洗トイレ廃水、厨房廃水を含むビル総合廃水で、汚水臭、汚水色があり、表3にその水質を示す。このような原水を凝集沈殿を前処理とする限外濾過処理を行ない、無色、無臭の処理水を得ることができた。処理水水質及び除去率を表3に

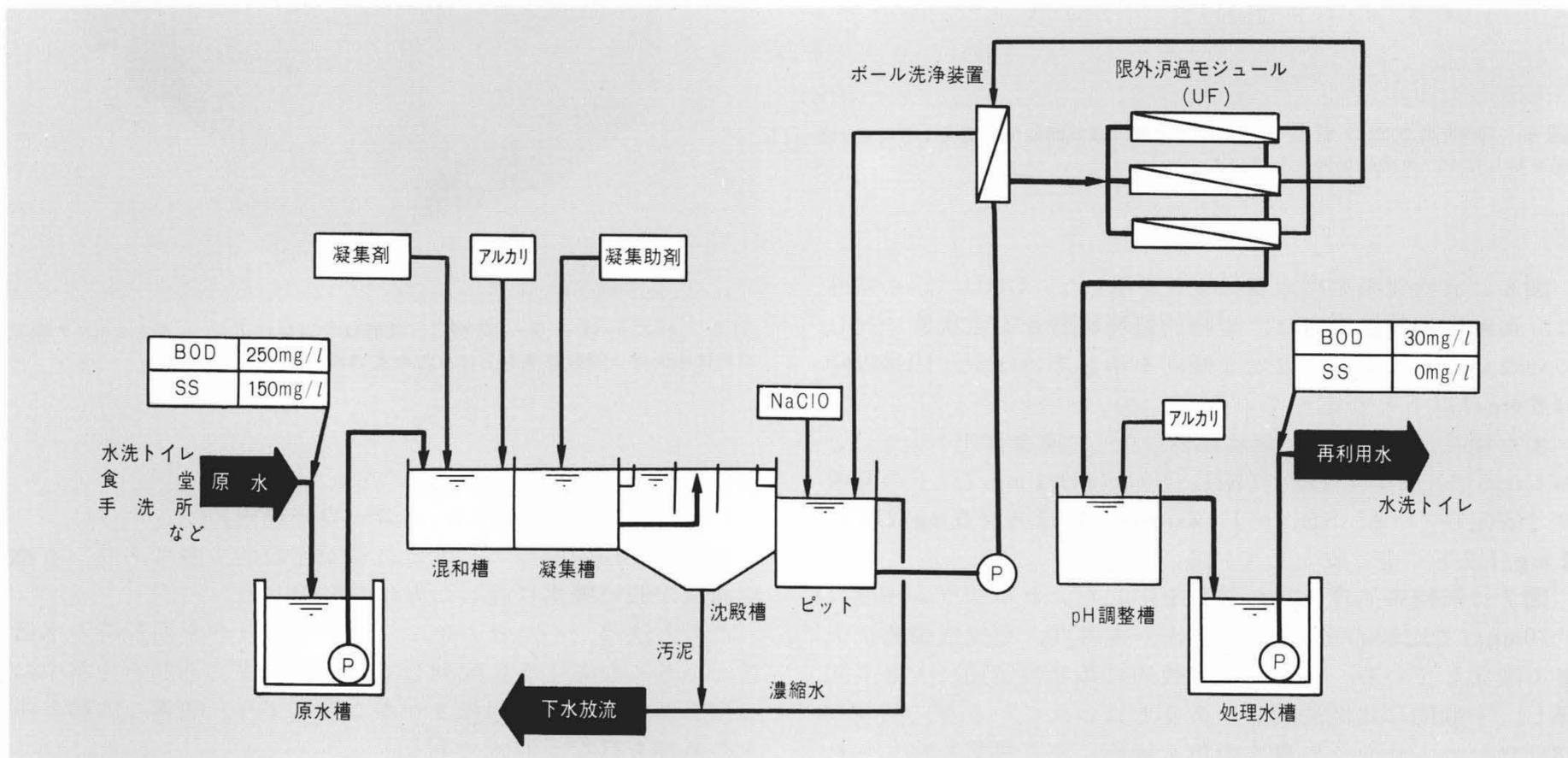


図10 物理化学処理法の系統図 ボール洗浄式限外濾過を主体とし、前処理として凝集沈殿を設けている。

表2 回転式接触酸化法の性能実証試験結果 性能判定は処理水BODの80%出現値で行なわれる。回転式接触酸化法はすべての試験に合格している。

項目	定量負荷試験(通年)			定量負荷試験(日間)			変動負荷試験(調整槽)			参考試験 変動負荷試験(ハニーローター)										
	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率								
1.試験期間	昭和52年4月~同年12月			昭和52年4月~同年8月			昭和52年7月~同年12月			昭和52年5月~同年12月										
2.試験の目的	四季を通じての性能変化の調査			1日の水質変動に伴う性能変化の調査			流量調整タンクに、家庭廃水パターンに合わせた水量変動を与えたときの性能変化の調査			第一沈殿池以後に直接家庭廃水パターンに合わせた水量変動を与えたときの性能変化の調査										
3.試験の方法	(1)流量調整タンクへの流入は自然のままとした。 (2)第一沈殿池以後は一定水量			同 左			(1)流量調整タンクに下記の流量変動を与えた。 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>流量</th> <th>時間帯</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3Q</td> <td>8:30~10:30</td> </tr> <tr> <td>1Q</td> <td>10:30~14:30</td> </tr> <tr> <td>2Q</td> <td>14:30~18:30</td> </tr> </tbody> </table> 他の時間帯は、自然のまま。 (1)第一沈殿池以後に左表の変動を与えた。			流量	時間帯	3Q	8:30~10:30	1Q	10:30~14:30	2Q	14:30~18:30			
流量	時間帯																			
3Q	8:30~10:30																			
1Q	10:30~14:30																			
2Q	14:30~18:30																			
4.試験の結果	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率								
5.データ点数	72	72	—	3回(3日)	3回(3日)	—	27	27	—	36	36	—								
6.BOD80%出現値	—	16mg/l	—	—	—	—	—	16mg/l	—	—	—	—								
7.平均BOD	189mg/l	15mg/l	92%	160mg/l	14mg/l	91.3%	177mg/l	12mg/l	93.2%	177mg/l	16mg/l	91%								
8.平均COD	110mg/l	19mg/l	82.7%	98mg/l	20mg/l	79.6%	104mg/l	18mg/l	82.7%	113mg/l	19mg/l	83.2%								
9.平均SS	126mg/l	9mg/l	92.9%	119mg/l	8mg/l	93.3%	130mg/l	9mg/l	93.1%	121mg/l	9mg/l	92.3%								
10. pH	6.8~7.5	6.6~7.4	—	6.8~7.2	6.6~7.2	—	6.9~7.4	6.8~7.4	—	6.3~7.4	6.6~7.6	—								

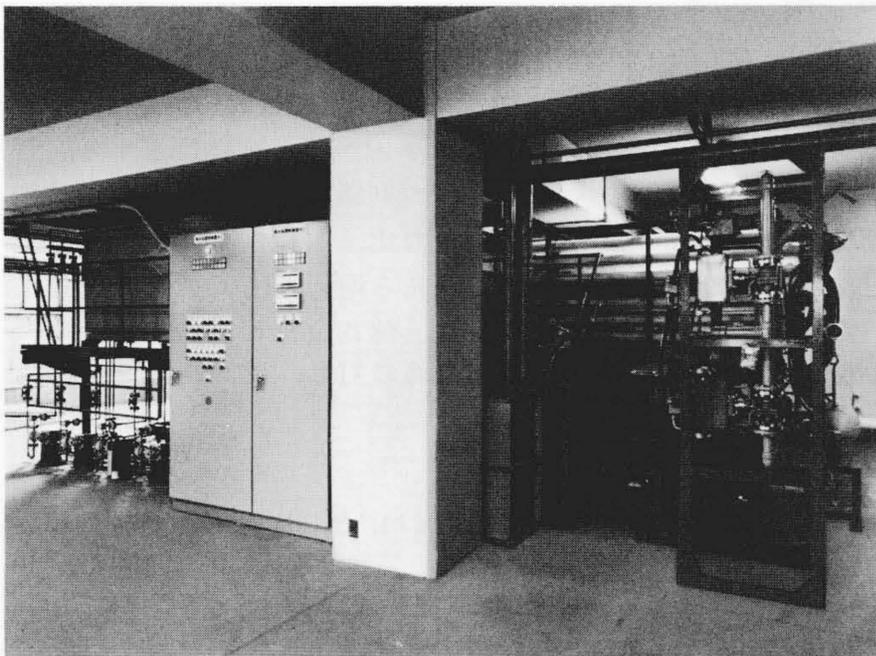


図11 物理化学処理法実証プラントの外観 処理水量5m³/hの実証プラントで、再利用水は水洗トイレに使用している。寸法は幅5m×長さ7m×高さ2.5mである。

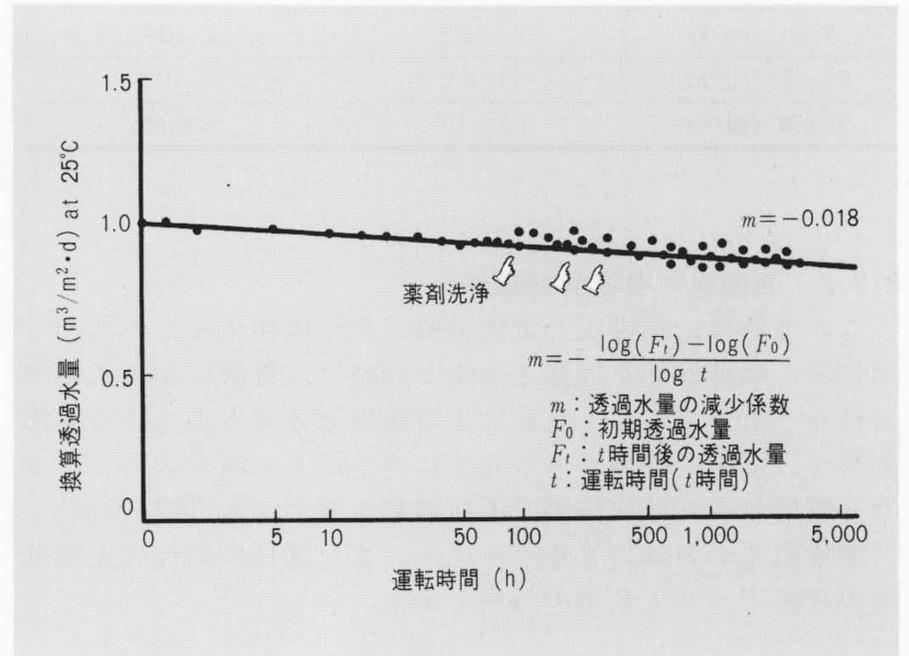


図12 物理化学処理法再利用水量の経時変化 再利用水量は時間とともに減少する。設計当初には、この減少係数設定が重要になる。

表3 物理化学法実証プラントにおける平均処理水水質 原水水質が大幅に変動しても、処理水水質は安定したものが得られる。

種類 測定項目	原水水質 (mg/l)	処理水水質 (mg/l)	除去率 (%)
pH	5~8	6.8~7.2	—
SS	100~300	0	100
色	50度以上	<1度(無色)	100
臭気	汚水臭	無臭	—
BOD	150~350	30以下	平均90以上
COD	100~250	20以下	平均90以上
ABS	10~20	1以下	平均90以上

示す。

一方、膜処理法による透過水は、長時間の運転により減少する傾向がある。一定時間後の透過水と初期透過水との傾きを減少係数( $m$ 値)で表わし、この値の小さいほど膜の汚れが少ないとされている。

凝集沈殿法を前処理とした限外汚過中水システムは、図12に示すとおり減少係数( $m$ 値) $-0.018$ と極めて小さな値となっており、膜面への汚れが付きにくいことを示している。また、CODの経時変化を図13に示した。

原水CODは、150~250mg/lの幅で大きく変動しているが、処理水COD<sub>Mn</sub>は、原水水質変動に左右されず10~20mg/lの安定した処理が行なわれている。

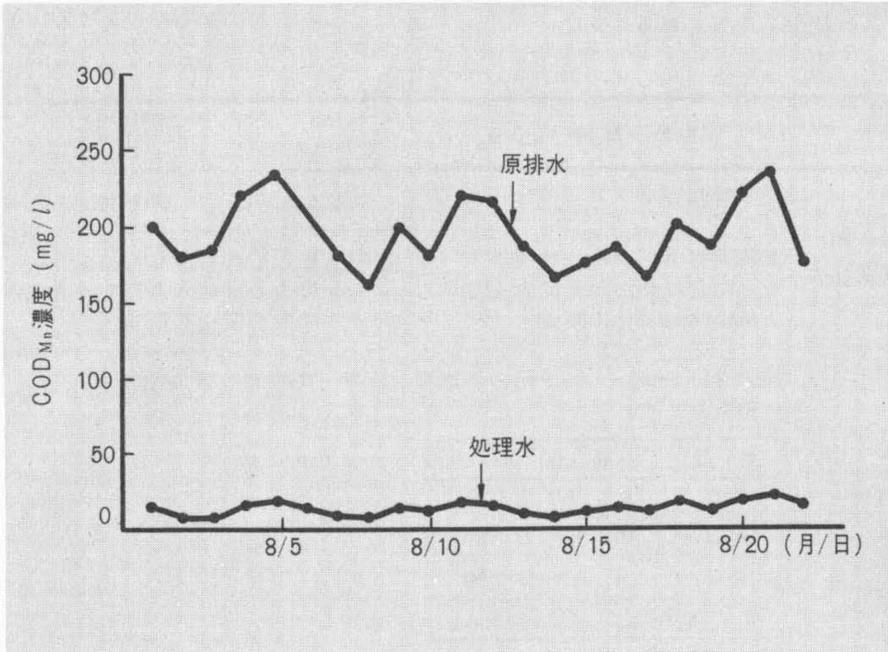


図13 物理化学法における処理水CODの経時変化 原水のCOD変化に対し処理水CODの変動は少ない。

表4 活性炭電解法の処理例 原水は下水の二次処理水である。殺菌、TN除去に活性炭単独処理と比べ相違点がある。

項目	原水	処理水
SS (mg/l)	10	5
COD (mg/l)	20	10
ABS (mg/l)	2	< 1
TN (mg/l)	20	10
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	1	0
大腸菌 (個/ml)	2 × 10 <sup>4</sup>	< 1,000

### 3.3.2 活性炭充填電解処理法

この方法は、活性炭と電気分解とを一体化することにより、活性炭の吸蔵性能を促進させると同時に、電解による水処理を行なうものである。電解による塩素ガス発生のための殺菌効果や、水素、酸素ガスの発生に伴う浮上分離が起こる。また、電解による酸化作用や電析現象も発生する(図14参照)。

表4にこの方法によるデータを、また図15に活性炭充填電解処理法のテスト装置の外観を示す。

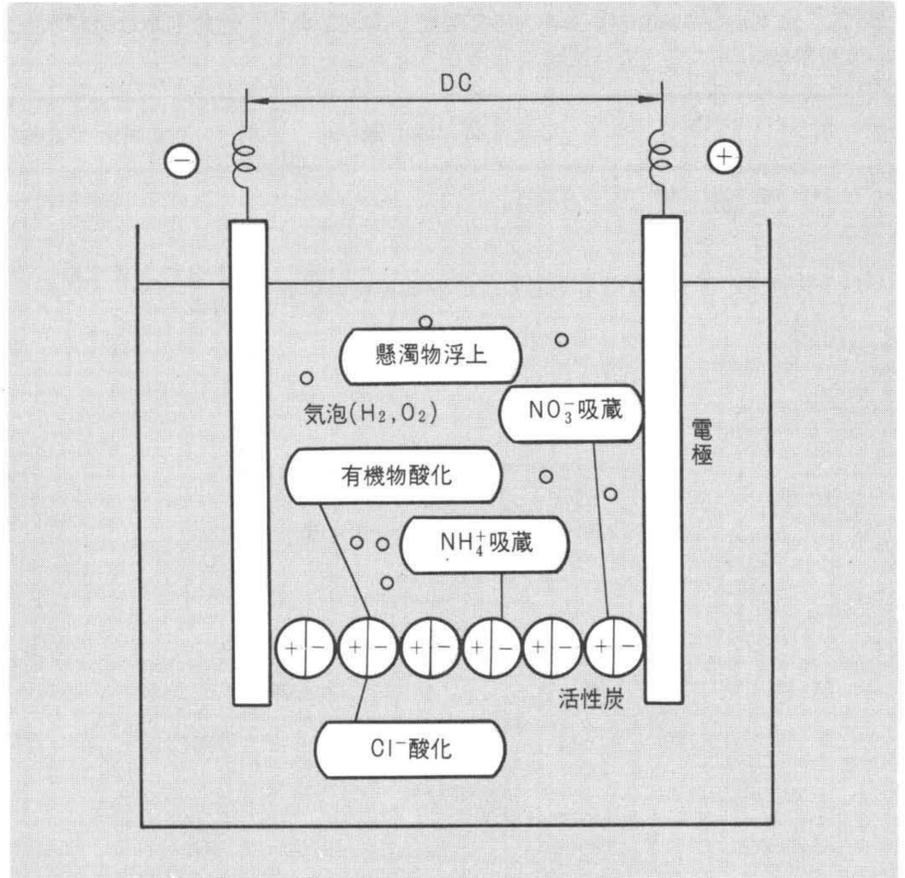


図14 活性炭電解法の機能図 活性炭電解法は吸蔵、酸化及び浮上分離の作用をもっていることを示している。

## 4 結 言

以上、ビル及び生活廃水処理と再利用について述べた。水不足に対する技術としての廃水再利用技術は、用途に応じた水質の設定が重要であり、多くのノウハウを必要とする。日立グループでは、多くの水処理の実績により廃水再利用技術を確立しているが、今後共、省力化、信頼性の向上のほか、社会ニーズを取り入れた技術開発を進める考えである。

最後に、この論文作成に際し、株式会社イトーヨーカ堂及び関係各位から寄せられた御指導に対し、感謝の意を表わす次第である。

### 参考文献

- (1)河川協会, (2)東京都首都整備局, (3)日本住宅公団:「建築物に設ける汚水循環利用のための処理装置等に関する研究」, 日本住宅設備システム協会, p.247, 252 (昭52-3)

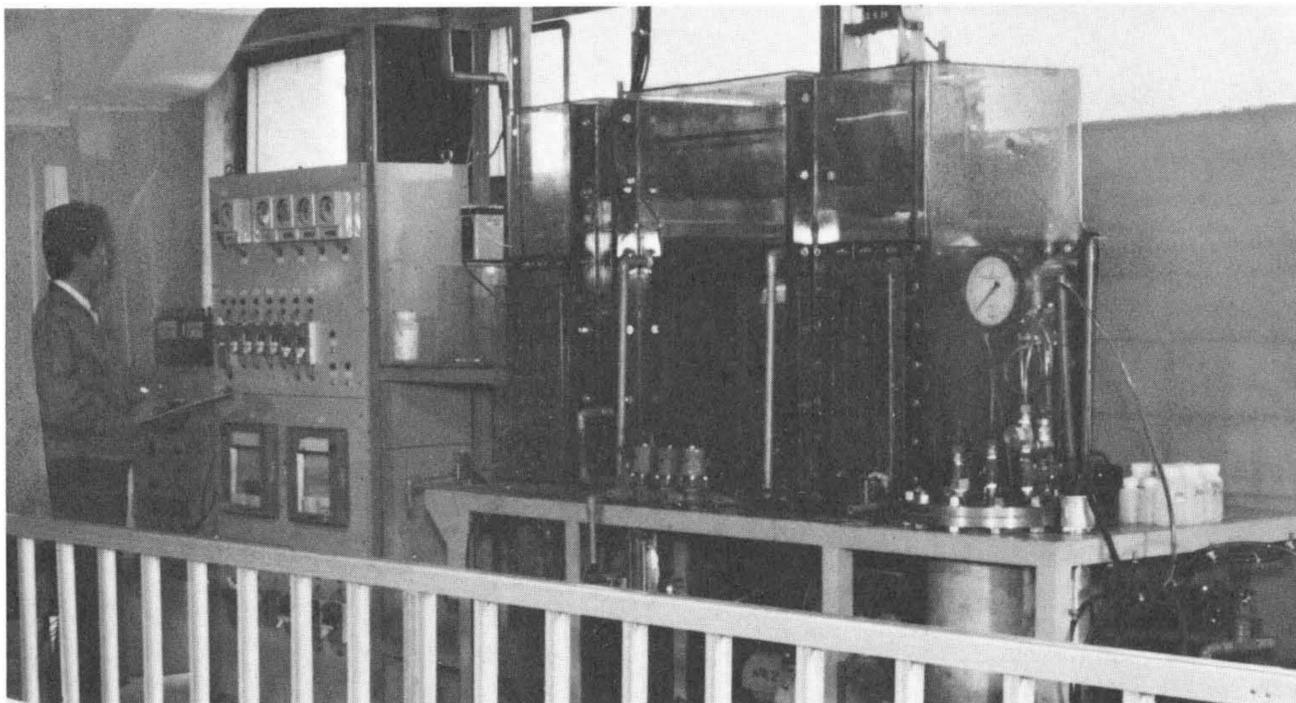


図15 活性炭充填電解法テスト装置 下水処理場でテスト中のもので、処理量10m<sup>3</sup>/dである。