

工場排水等に起因する着色の評価
方法と脱色に関する調査報告書
(その1)

昭和53年3月

建設省土木研究所下水道部

目 次

1. ま え が き	1
2. 水の着色の評価方法に関する調査	2
2.1 水の色	2
2.2 色の測定方法	3
2.2.1 色の表示方法	
2.2.2 測色の方法	
2.3 色差の表示方法	7
2.4 着色の測定方法	9
2.4.1 既存の測定方法	
2.4.2 本調査で評価の対象とした測定方法	
2.5 着色の測定方法の評価試験	18
2.5.1 Pt-Co 色度標準液と染料溶液	
2.5.2 河川水	
2.6 ま と め	39
3. 着色排水を含む下水の活性汚泥処理による脱色効果に関する実験	41
3.1 はじめに	41
3.2 実験に供した試料	41
3.2.1 一般下水	
3.2.2 混合下水	
3.3 実験装置ならびに実験方法	44
3.4 実験結果と考察	46
3.4.1 染色着色排水	
3.4.2 活性汚泥処理	
3.4.3 脱色効果	
3.5 ま と め	56
4. 着色排水を含む下水の2次処理水の脱色に関する物理化学的実験	59
4.1 実験概要	59
4.1.1 はじめに	
4.1.2 水質試験方法	
4.1.3 実験に供した試料	

4.2	活性炭吸着処理	62
4.2.1	はじめに	
4.2.2	実験方法	
4.2.3	実験結果と考察	
4.2.4	まとめ	
4.3	オゾン酸化処理	102
4.3.1	はじめに	
4.3.2	実験方法	
4.3.3	実験結果と考察	
4.3.4	まとめ	
4.4	凝集沈殿処理	121
4.4.1	はじめに	
4.4.2	実験方法	
4.4.3	実験結果と考察	
4.4.4	まとめ	
4.5	各脱色処理実験の比較	160
4.5.1	脱色効果	
4.5.2	処理費用の試算	
4.5.3	まとめ	

1. ま え が き

水の清浄さ、または汚なさの程度は、本質的には水に含まれている個々の汚濁物質の量によって規定すべきであるが、一方、人が水の清浄さを判断する場合には、水の色、濁り、泡立ち、臭気などの感覚的な要因が大きな意味を持つので、これらについても十分な考慮を払う必要がある。特に、水の着色に関しては、現在は環境基準、排出基準、あるいは除害施設基準のいずれにも直接的な規制はなく、また間接的にも殆んど規制されていないが、下水処理の分野においても、染色工場廃水その他の着色工場廃水を多量に受入れている下水処理場では、放流水に色が残存し、放流先水域に不快な外観を与えている事例もいくつかみられ、当面している大きな研究課題の1つといえよう。

現在の段階では、着色の程度を表示する方法も十分満足なものとはいえず、また、色の除去方法についても技術的、経済的な観点から解明すべき事項が多く残っている。このため、昭和51年度から下水道事業調査量により、下水道への工場廃水等の受入れに伴う処理水の着色への影響と、脱色処理法に関する調査を開始することとした。本調査の目的は、染色工場廃水などの着色廃水を対象として、都市下水と合併処理する場合の生物処理による脱色効果を調べると共に、3次処理としての脱色処理、着色廃水を単独で処理する場合の脱色処理などについて技術的、経済的な観点から検討し、着色工場廃水を公共下水道に受入れる際の基本的方針の策定に資することにある。本報告はその第1報であり、水の着色の評価方法に関する調査結果と、反応染料を主に含む染色工場廃水を都市下水と合併処理する場合の活性汚泥処理、および3次処理としての脱色処理に関する調査結果とをとりまとめたものである。

本報告書にとりまとめた成果は浜松市下水道部への委託調査によって得られたものである。浜松市においては、下水道区域内に多くの染色工場が存在しているため、下水処理場からの放流水がかなり着色しているという問題点を持っている。このため、従来から独自に脱色に関する調査を行なっているが、より一般的な観点からの調査を依頼すべく下水道事業調査費により調査委託した。浜松市および担当の職員の方々に深く感謝する次第である。

なお、本報告書においては実験に使用した機器、材料等の商品名を一部記載しているが、これは実験条件を明確にするために記載したものであり、それら特定の商品の使用を推薦したり、優劣を認定したりするためではない。

2. 水の着色の評価方法に関する調査

2.1 水の色

色は感覚の一種であり、通常、我々が見る物体（水）の色は光源から放射された光が物体に当り、反射または透過した光が目に入り、その光が視神経を動かすことにより色の感覚を生じ、そして物体の色として認識する。本来無色である水が着色しているように感じるのは、水の中に存在する何んらかの物質によるものと、あるいは海水のように周辺環境、すなわち光源の色、水深、水底の色などによる場合とに大きく区分することが出来るが、一般的には水の着色については前者を対象としている。

水の着色について次のような報告がある。¹⁾

水が着色する場合はその水の中に(1)溶解性、(2)コロイド性、(3)懸濁性の着色物質が存在しているため、溶解性物質はイオンあるいは可溶性の分子であるから有色透明な液となる。これらの物質は液中で白光の一部のスペクトルを選択的に吸収する結果、その余色の透過光線が人間の目に色として感じられるものである。コロイド性物質がブラウン運動をしながら懸濁している液の色は、粒子の大きさ、形状などによって複雑に変化する。コロイド液の色は一般に、光の散乱、回折、反射、吸収などのあわせ行なわれた結果である。一般下水の色などはこれに属する例が多い。懸濁性物質、すなわちSS等の粗大な粒子によって水が着色を呈している例としては雨天時などにおける河川水の土砂による着色が承げられる。懸濁液中における液（分散媒）と懸濁粒子（分散質）とが、おのおの色があるかないかによって表2-1-1のような組合せが考えられる。

表2-1-1 懸濁液の組成と色

	溶解性 液（分散媒）	コロイド、懸濁性 粒子（分散質）	外 観
A	無 色	無 色	有色（白濁）
B	〃	有 色	有 色
C	有 色	無 色	〃
D	〃	有 色	〃

Aはガラスの粉末のような無色の粒子が無色の液に懸濁している場合であり、液と粒子の屈折率が同じならば無色となるが、多くの場合屈折率の相違により白濁する。含油排水に多くみられる乳化現象がAに相当する。Bはピグメント懸濁液のようなもので、不透明なピグメント粒子の表面で強い選択吸収が行なわれており、その表面反射光が目に入るとして感じられるわけであるが、粒子が微

細であるため透過光も同じ色を呈する。しかし粒子の選択吸収が少ない場合には、粒子が細くなるほど乱反射により白っぽく見えてくる。また粒子が微細となりコロイドの領域に近づくときは液の色は粒子の物体色とは異ってくる。C、Dは実際の排水のタイプであり、より複雑な現象となる。

色という感覚は、「人間がスペクトル光の各波長ごとにそれぞれ特有の色を感じる」という事実が根拠になっているので、その感じ方については個人差があることから水の色は主観が含まれることになると考えられる。

2.2 色の測定方法

2.2.1 色の表示方法

色を表示する場合、色の感覚的性質と光の物質的性質が一義的に対応するような相関関係があれば、色を客観的に定量化して表現することが出来る。色を記号や数値で表示する方法を標準化するために、現在一般に使われている表色体系を大別すると表2-2-1のように分類される。²⁾

表2-2-1 色の表示方法と例

	表 色 系 の 例	表 示 方 法
色 名 体 系	JIS色名法 ISCC-NBS色名法 色研調査用カラーコード	さえた赤 U . R mR-1
顕 色 体 系	Munsell 色票系 DIN色票系 色の標準 Color Harmony Manual	50R4/14 8 : 5 : 3 1 - 1 4 - 1 0 7 P a
色材混合体系	M-P Dictionary of Color ICI Colour Atlas Pt-Co色度標準液	- N 2 , Y 6 , R 2 5 -
混 色 体 系	CIE(X, Y, Z) 表色系 (2 視野) CIE($\bar{X}_{10}$, $\bar{Y}_{10}$, $\bar{Z}_{10}$) 表色系 (10 視野)	$x = 0.573$ $y = 0.306$ $Y = 1.200$ $\bar{x}_{10} = 0.573$ $\bar{y}_{10} = 0.306$ $\bar{Y}_{10} = 1.200$
等 色 差 体 系	Hunter 色空間 CIE-UCS(1960) Adams Nickerson 色空間 修正Adams色空間	L = 34.6 a = 57.5 b = 20.8 W = 40.24 U = 11.220 V = 18.02

(1) 色名体系

色名と物体色などを対応させて、おおまかな色の範囲を定めて、色名またはその略号によって表示する方法である。

(2) 顕色体系

着色材の混色によって作られた物体色と色知覚との対応で体系化されたもので、物体色を表示するのに用いられる。

(3) 色材混合体系

着色材の種類、その混合量とそれによって施色された物体色とを対応させ、通し番号や混合量などを用いて、記号あるいは数値で表示する方法であるが、それに用いられている着色材と同等またはそれに準ずるもので施色されている色については活用度が多いが、それ以外の着色材について、色を測定するには不向きである。

(4) 混合体系

光の混色によって作られた開口色と色感覚との対応で体系化されたもので、おもに光の色を表示するのに用いる。光の色というのは光源色のみならず、物体色でも反射または透過した光の色として取扱いうる。

(5) 等色差体系

混合体系から得られた色の3刺激値より何らかの数値変換を行なって明度の等しい色の感覚差を色空間に変換して色を表示する方法である。

2.2.2 測色の方法

一般に物体色の測定は(1)分光測色による測定方法、(2)視感による測定方法と2種類に分類できる。

(1) 分光測色による測定方法

分光測色方法は分光光度計または分光色彩計によって物体色の分光分布を測定し3刺激値 X Y Z を求める方法で、その原理と表示方法は次の通りである。

一般に人間は分光されたスペクトル光について色を感じるのであるから、標準光源によるある物体の透過光、反射光の可視域の分光分布を求めることによって物体の色を表わすことが可能である。そしてその分光分布から3つの刺激量 X 、 Y 、 Z という色の3刺激値を算出することにより色の測定が行なわれる。 X 、 Y 、 Z は次式で計算する。その計算方法には(イ)等間隔波長方法、(ロ)選定波長方法があり選定波長方法では次式の $P(\lambda)\bar{x}(\lambda)$ 、 $P(\lambda)\bar{y}(\lambda)$ 、 $P(\lambda)\bar{z}(\lambda)$ がそれぞれ一定値になるように波長間隔をえらんである。

$$X = K \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda$$

但し, $K = 100 / P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$

$P(\lambda)$: 標準光の分光分布

$\bar{x}(\lambda): \bar{y}(\lambda): \bar{z}(\lambda)$: スペクトル 3 刺激値

$\tau(\lambda)$: 試料の分光透過率

このように物体色を X, Y, Z で表示できることになるが色は 3 次元の座標の 1 点で表示される。色には色相, 明度, 彩度の色の 3 属性とよばれるものがあり, 色相は赤, 黄赤, 黄とかと
 いうように循環移行性があるので, 円周に色相を配置し, 円の半径の長さに彩度を, また縦軸
 に明度を配置した円筒状の空間座標で色を表わすことを色立体による表現方法といい, 前述し
 た 3 刺激値 X, Y, Z より導いて一般的には色の表示を行なっている。そしてこの表示方法と
 しては Yx, y 方式で, 3 刺激値の Y で明るさ, x 軸, y 軸の直交座標 (色度図) によって色相
 と彩度を表わし, x, y は次式で求める。 x, y は色係数, または色度座標と呼ばれている。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

この表色が CIE (Commission International de l'Eclairage: 国際照明委員会) 表色
 方式といわれるもので図 2-2-1 のように x, y, Y で表わす 3 色表示方法と, 図 2-2-
 2 のように色度図上の x, y の値から主波長 λ_d および刺激純度 P_e を求め λ_d, P_e, Y で表
 わす単色表示方法の 2 つの表示方法がある。

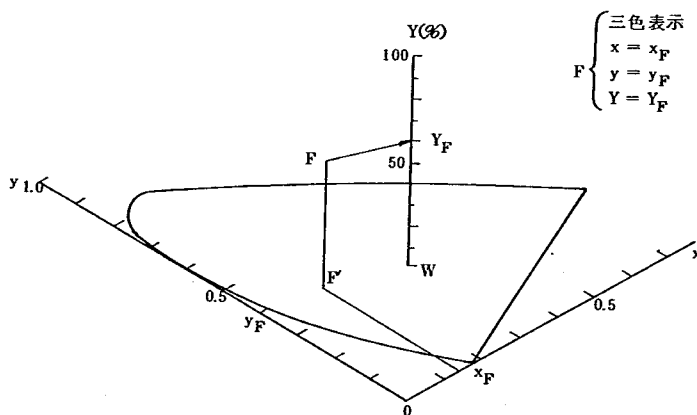


図 2-2-1 三色表示方法

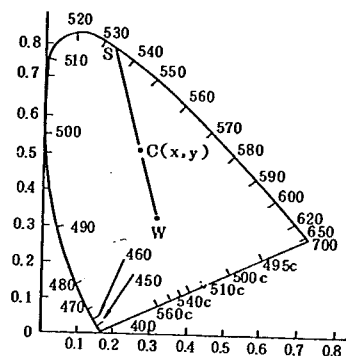


図 2 - 2 - 2 単色表示方法
- 刺激純度と主波長との関係図

色度座標上で標準の色（無色）の位置をWとし、点Wと検水を測点して得た点C（x, y）とを結ぶ直線WCを延長して、図上の曲線と交わる点をSとすれば、主波長 λ_d はSの位置より求まり、刺激純度 P_e は線分WCとWSとの比で示される。すなわち

$$P_e = \frac{WC}{WS}$$

分光測色方法は装置の操作、管理などの面で複雑であり、かつ測色計算を要するので、その変りの方法として刺激値直読方法がある。この方法は光電色彩計により、3刺激値XYZやそれから変換された等色差空間の座標値（例えば後述のUVWなど）をアナログ、デジタル表示で直読する方法である。この原理は図2-2-3に示すように光電色彩計（測色色差計）の光学部に備えている受光器が測定している試料の色のXYZ値に対応した電気出力が得られるような光学的特性をもっており、また光学部は光源、フィルター、受光器の3つの要素で構成されているが、それぞれの分光分布を総合した特性がX、Y、Zを規定された特性（ルーター条件という）と一致するように光学的に組合わされている。受光部は図2-2-4に示されているようにX、Y、Z用にそれぞれフィルターと組合わせて3個設けられていて受光器の出力を順次電気回路に接続し、可変抵抗器に連動したダイヤルに指示させるか、あるいはデジタル表示器で指示してX、Y、Z値を測定する。

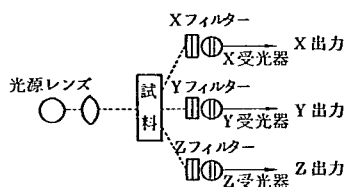
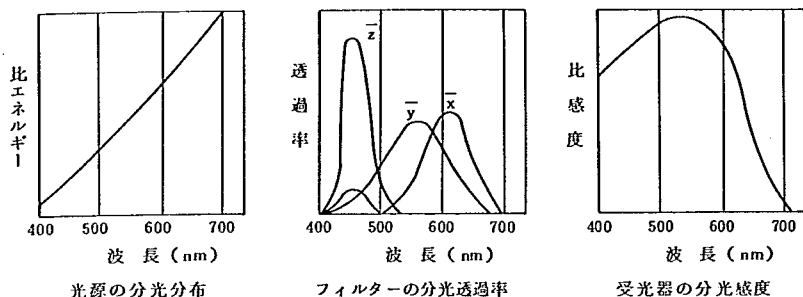


図 2 - 2 - 3 受光部の光学的特性

(2) 視感による測定方法

色を物体標準と人間の目によって比色し、等色させたときの物体標準の値から色の計測値を求める方法であり、ある器械を用いて比色する混色等色方法と標準色票等を用いて比色する直接比較方法に分類される。

混色等色方法は、物体標準として任意の色を作り出す装置と、比色する装置を合せもった器械（例えば視感混色色彩計など）を用いて測定する。

直接比較方法はあらかじめ色の体系に準拠して作られた物体標準と直接目で比色して測定する方法で、JISZ 8723の「表面色の比較方法」にもとづいて測定するものである。

2.3 色差の表示方法

色は3次元の座標系の1点で表示されるので、2つの色の差を定量的に求めようとするならば、その空間での2点間の距離を求めて色差量とすればよいが、色度座標 x 、 y と Y で2色の測定値から直ちに2点間の距離は求められない。それは、その色差値と色差感覚とが対応しないからである。そこで、視感で見た色の差と色差値がほぼ対応のつくように工夫された色空間に変換して、その色空間で2点を求める方法がある。その代表的な色差式は次の通りである。

(i) UVW (CIE 1960 - UCS)

$$\text{色差 } \Delta E(UVW) = \{(\Delta W)^2 + (\Delta U)^2 + (\Delta V)^2\}^{1/2}$$

$$W = 25 Y^{1/3} - 17, U = 13 W(u - u_0), V = 13 W(v - v_0)$$

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z} = \frac{6y}{-2x + 12y + 3}$$

X, Y, Zは3刺激値, x, yは色度座標, u_0, v_0 は照明に用いる標準の光により定まった値を示す。u, vは「CIE 1960-UCS色度座標」と呼ばれており、1959年のCIEの会議で暫定的に決議され、翌年から正式化するために1960という数字が付けられ、UCSとは Uniform Chromaticity Scaleの略号である。

(2) $V_x V_y V_z$ 系 (Adams - UCS)

$$\text{色差 } \Delta E(V_x V_y V_z) = 40 \{ \{0.23 \Delta V_y\}^2 + \{\Delta(V_x - V_y)\}^2 + \{0.4 \Delta(V_z - V_y)\}^2 \}^{1/2}$$

$$Y = 1.2219 V_y - 0.23111 V_y^2 + 0.23951 V_y^3 - 0.021009 V_y^4 + 0.0008404 V_y^5$$

$$0.101998 X = f(V_x), 0.84672 Z = f(V_z) \text{ で関数関係は上式に同じである。}$$

Adamsにより1942年に発表されたもので、上式では逆関数を解かなければならないがJIS Z 8730の表3にXYZ値から $V_x V_y V_z$ が求め得るようになっている。

(3) Lab系 (Hunter - UCS)

$$\text{色差 } \Delta E(Lab) = \{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2\}^{1/2}$$

$$L = 10 Y^{1/2}, a = 17.5 (1.02 X - Y) / Y^{1/2}$$

$$b = 7.0 (Y - 0.847 Z) / Y^{1/2}$$

Hunterにより1948年に発表されたものである。

(4) $L^* a^* b^*$ 系 (CIE 1975 - UCSI)

$$\text{色差 } \Delta E(L^* a^* b^*) = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}$$

$$L^* = 25 (100 Y / Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \{ (X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3} \}$$

$$b^* = 200 \{ (Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3} \}$$

X_0, Y_0, Z_0 は標準光の3刺激値を示す。(3)のLab系では標準光源としてはJIS Z 8720に定めた標準光Cについてのみ用いることができたが $L^* a^* b^*$ 系ではJIS Z 8720に定めているすべての光源に用いることができる。

(5) $U' V' W'$

$$\text{色差 } \Delta E(U' V' W') = \{(\Delta W')^2 + (\Delta U')^2 + (\Delta V')^2\}^{1/2}$$

$$W' = 25 (100 Y / Y_0)^{1/3} - 16, U' = 13 W'(u' - u_0')$$

$$V' = 13 W'(v' - v_0')$$

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = u$$

$$v = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} = 1.5v$$

2.4 着色の測定方法

2.4.1 既存の測定方法

水の色に関する既存の測定方法の概要を以下にとりまとめてみる。

(1) Forel-Ule の水色標準

Forel-Ule の水色標準による評価は色材混合体系に基づく水の表示方法で測色方法は視感による測定である。この方法は海水や湖水などの水面色を測定する方法で、これは水そのものの色を示すものではなく水面から垂直に透視したときの水の色を表わすものである。Forel-Ule の水色標準液は次の3種の液を表2-4-1の割合に混合してつくったものであり、標準液番号1の藍色から番号が増すにつれ緑を経て黄緑、褐色に変化している。この各番号の水溶液を一定規格のガラス管に封入したものを現場に携行し、水面の色をこれと比較して番号をきめる。

第1液：硫酸銅1g，25%アンモニア水10ml，蒸留水19ml

第2液：クロム酸カリウム1g，蒸留水200ml

第3液：硫酸第1コバルト0.5g，25%アンモニア水10ml

これを蒸留水に溶かして1ℓとし、水流ポンプで3時間通気して酸化させる。

表2-4-1 Forel-Ule の水色標準液

標準液番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
第一液%	100	98	95	91	86	80	73	65	56	46	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
第二液%	0	2	5	9	14	20	27	35	44	54	65	60	55	50	45	40	35	30	20	20	15
第三液%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	15	20	25	30	35	45	45	50

(2) 色 度

主として地質からくるフミン質などによる黄褐色の着色の強さを表示するために、白金・コバルト (Pt-Co) 溶液の色と比較して表わす色度が古くから用いられている。

色度とは、溶解性物質、コロイド性物質によって呈する類黄色～黄褐色をさし、蒸留水1ℓに色度標準原液1ml (白金1mgを含む) を含む場合に呈する色度を1度といい、比色管を用いて視感比色する方法である。色度標準原液は塩化白金酸カリウム2.49g，結晶塩化コバルト

2.00 g および塩酸 200 ml をとり蒸留水で全量を 1 ℓ にして調整したものである。

$$\text{色度} = a \times \frac{1000}{\ell}$$

a : 色度標準原液 ml

ℓ : 検 水 ml

(3) 色の単色表示の方法

単色表示とは 2.2.2 で述べたように色の主波長（色相），刺激純度ならびに明度により表示することをいい，上水試験法に着色排水の評価としてこの単色表示の試験法が述べられている。この表示方法は混色体系に基づくもので，測色は光電分光光度計による測色方法である。

この試験操作は検水を硫酸アルミニウム溶液で凝集処理した上澄液を pH 7.6 に調整したものとしないうちに分け，それぞれを遠心分離処理をし，その処理液に濾過助剤を加え，G 4 のガラス濾過器で濾過し，澄明な濾液を分光光度計にて 420～660 nm までの X 列，Y 列，Z 列の 10 分割における選定波長の検水の透過率より検水の 3 刺激値を求め 2.2.2 で述べた方法で色の主波長，刺激純度，明度を求める方法である。pH の調整は pH により色が変わることがあるから標準の pH に調整した検水についても色を測定している。

(4) 川崎市条例の方法

川崎市公害防止条例において色の規制基準を定めているが，その基準を定めている着色排水の評価方法であり，その表示方法，測色方法は(1)と同じである。この方法は試料を J I S R 1303 に定めている 300 ml の化学分析用磁器ビーカーに水深 8 cm まで入れ，その表面色を J I S Z 8723（表面色の比較方法）に準拠して J I S 標準色票と比較し，その試料の明度，彩度を求め次式で「色汚染度」を計算するが明度を 3 倍にしてあるのは，肉眼的感覚で，明度 1 の差が彩度の約 3 倍に相当することによる。

$$\text{色汚染度} = 3 (V_b - V_s) + (C_s - C_b)$$

V : 明度, C : 彩度

s : 試料についての値を示す添字, b : ブランクについての値を示す添字

(5) 色度測定を応用した方法

色度は前述したように Pt-Co 溶液との比色法にて測定するが，測定に主観がはいるので個人差があり，再現性に問題がある。佐藤³⁾らはこの点を改善する方法として Pt-Co の標準液を適当に希釈して，色差計にて 3 刺激値 X, Y, Z を求め主波長と刺激純度を算出した。Pt-Co 標準液の主波長は 575 nm であり，また色度と刺激純度とは図 2-4-1 に示すように 500 度以下では完全に直線関係を示していることから，主波長のほぼ等しい着色排水については刺激純度を算出することにより色度を求めている。

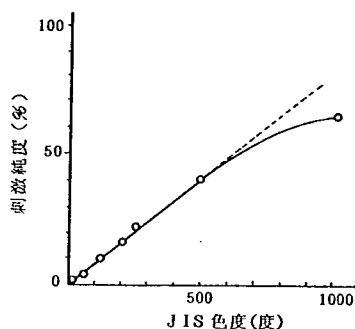


図 2 - 4 - 1 色度と刺激純度との関係

(6) 色差式を用いた測定方法

単色表示を改良した方法として、着色排水と純水との色差を求め、その色差によって着色の強さを表示する方法がある。^{2) 4) 6) 7)} 着色排水を JIS Z 8722 (2°視野 XYZ 系による物体色の測定方法) により着色排水の全透過率、正透過率を測定して 10 mm 等間隔波長方式により 3 刺激値 X , Y , Z を求め、2.3 で述べた色差式 (UVW 系, Lab 系, $L^*a^*b^*$ 系, $U^*V^*W^*$ 系) にて純水との色差 ΔE を求めて、その ΔE を着色排水における着色の尺度としている方法である。UVW 系色差式を用いて Pt-Co 標準液の純水との色差 ΔE (UVW) を比較した結果を図 2-4-2 に示す。 ΔE と色度とは 500 度以下ではほぼ直線関係となっている。

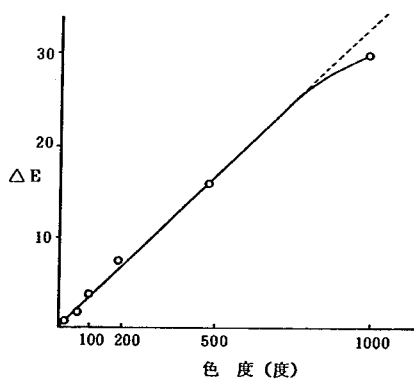


図 2 - 4 - 2 色度と ΔE との関係

ここでいう全透過率とは、積分球式の受光部を持つ分光光度計で測定した透過光と散乱光とをあわせた透過率であって、正透過率と全透過率との測定方法の相違を図2-4-3に示す。

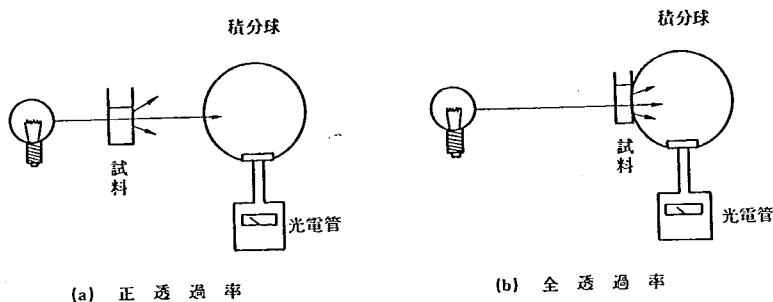


図2-4-3 分光透過率の測定方法

全透過率 T 、溶液の吸収係数 K 、散乱係数 S とすると、一般に次の様な関係式が成立する。

$$\log\left(\frac{1}{T}\right) = \log \{ P e^{qd} - (P-1) e^{-qd} \} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ただし } q = \sqrt{K(K+2S)}$$

$$P = \frac{(1+\alpha)^2}{4\alpha}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{K+2S}}$$

d : 測定の際の溶液の厚さ

今、濁りの影響のない場合、つまり $K \gg S$ の場合を考えると(1)式より

$$\log\left(\frac{1}{T}\right) \propto K \times d \quad \dots\dots\dots (2)$$

となり、 $\log\left(\frac{1}{T}\right)$ は濃度に比例することになる。又同様に $K \approx 0$ の場合を考えると

$$\frac{1}{T} \propto S \times d \quad \dots\dots\dots (3)$$

となり、 $(1/T)$ が濃度に比例することになる。従って、溶解性物質による着色と濁りとが必ずしも同じウエイトになっているとはいえないが、全透過率を用いることによって溶解性物質による着色と濁りとのあわせた影響を表わすことができる。

濁りの指標として用いられている透視度と全透過率との関係をモデル排水から求めてみると図2-4-4のようになり、全透過率 T (％) と、 $\log$ (透視度) は相関関係がみられる。⁷⁾ また視感評価との関係を求めてみると視感評価値・明度 (V) と全透過率のモデル排水における関係は図2-4-5に示す通りである。⁷⁾

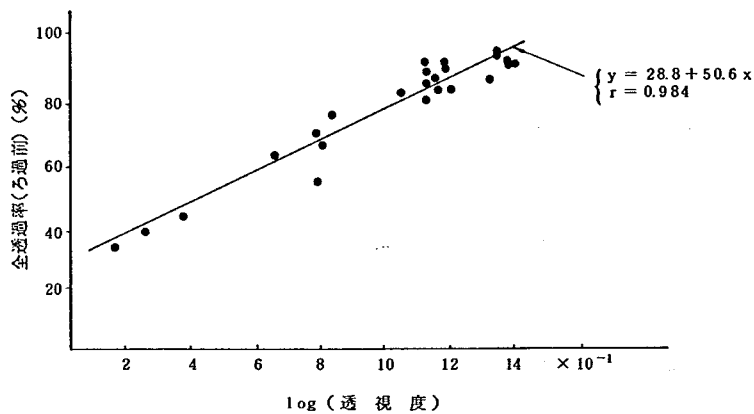


図 2 - 4 - 4 全透過率と透視度

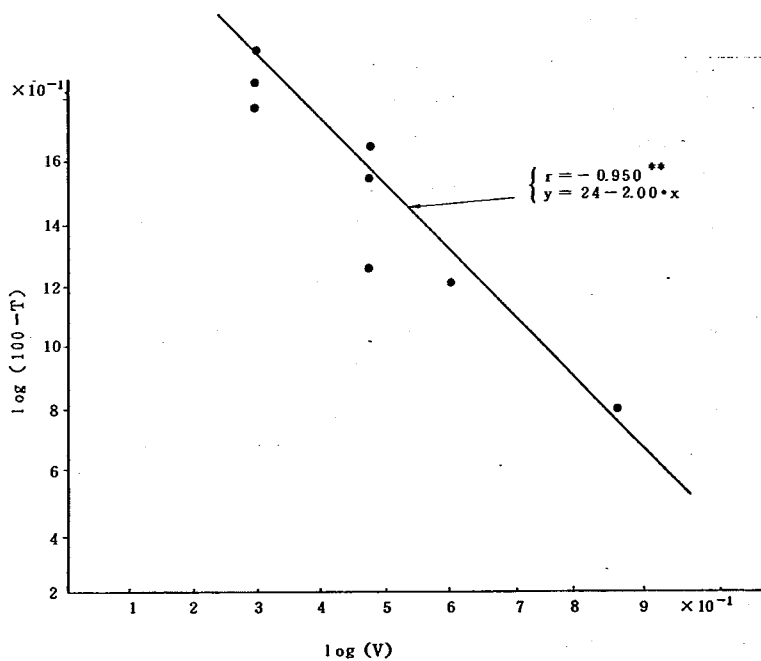


図 2 - 4 - 5 全透過率と明度

(7) 川崎市条例方法を応用した方法

川崎市条例方法では色度測定と同じように測定に主観がはいり個人差が生ずるので、この欠点を補うため、宮本⁸⁾は着色排水を JISZ 8722 の(2°視野XYZ法による物体色の測定方法)にて3刺激値X, Y, Zを求め、3刺激値よりx, y, Yを算出し、JISZ 8721の(三属性による色の表示方法)においてx, y, Yから標準色票のH(色相), V(明度), C(彩度)を求めて川崎市条例方法の色汚染度の公式にV, Cを代入し色汚染度を求めている。

(8) カラースケールによる方法

川崎市条例方法ではJIS標準色票を用いて比色しているが、標準色票ではあまりにも色数が多すぎて取扱いが難しく、着色排水の色と直接並置して比べにくいと、もう少し簡易的なカラースケールを作成し着色排水の評価を試みている例がある。平井^{2) 4) 9)}らはパルプ排水とその放流水域の着色を測定するため24の試料についてx, y, Yを求め、また川崎市条例方法によりH, V, Cを求めた。その結果、着色は色度図上からは黄色の方向に分布し、着色の度合が増すに従ってYが減少しており、また、色相は10R~5Y, 明度は8~1.5, 彩度は1~6の範囲にそれぞれあって、全体としてはN8(純水)から5Y 7/2, 10YR 5.5/3, 5YR 3/3, 10R 2/4を通る軌跡となることより、パルプ排水は色座標の上で一次的に分布していることから、簡易測定用標準の視感評価用スケールをこの軌跡上にとり、区分間隔は等比的区分とし5~10段階のカラースケール(DKスケール)を試作し、川崎市条例方法のJIS標準色票のかわりに用い評価している。

またこれとは別にカラースケールから明度と刺激純度(彩度)との比較を同時に求めようとしていることは無理があるので、カラースケールを2つに分け、色相は7種類程度、刺激純度は3段階程度に分けた明度の等しいカラースケールを作りそれにより刺激純度を求め、そして明度はグレースケールにより求めるという方法を提示している例もある。¹⁾

(9) 印象調査による方法^{6) 7)}

着色排水は人間がその排水に対して嫌悪感、不快感を覚えることが最大の問題点であることから、SD法(Semantic Differential Method)で着色排水を評価する方法である。水の色によって受ける印象を表わす形容詞を15対選び、各形容詞対に関して5段階評定で評価する方法で実際に調査した結果、官能レベルの構成尺度としては①濁度に関する用語(濃い、うすい)、②濁度に関する用語(澄んだ、濁った)、③総合評価に関する用語(きれいな、きたない)の3種の中で7形容詞対を抽出して評価すればよいということがわかったと報告されている。また印象調査による方法は実際の工場や公共用水域等に存在する水をその環境下で眺めたときと、試料を採取し試験室にて磁器ビーカー、透明ビーカーに入れて判定したときとは、評価が多少異なり、環境における水を印象レベルで評価するときが最も厳しく、次いで、透過色的に見る評価、表面色的に見る評価の順になるとされている。

2.4.2 本調査で評価の対象とした測定方法

前項において、現在用いられている水の色 の測定方法について述べたが、工場廃水などに起因する多種多様な着色を適正に評価するという観点からした場合、着色の測定方法は以下のような条件を満足していなければならないと考えられる。

- ① 人間の視覚による印象と概ね一致する結果が得られること。
- ② 溶解性物質による着色のみではなく、浮遊物質の影響も同等に評価して測定できること。
- ③ 異なる色相の色についても妥当な比較が可能なこと。
- ④ 定量的な測定結果が得られ、測定値と着色原因物質の濃度との間に強い相関、望ましくは一次関係があること。
- ⑤ できるだけ簡単な測定方法であって、測定に再現性があり、また、測定における個人差が少いこと。

上記の条件をすべて完全に満足するような測定方法は現在の所ないが、前項で述べた方法のうち、川崎市条例に定める方法と色差式を利用した測定方法の2つの方法は上記の条件を比較的よく満しているので、本調査においてはこれらの方法を若干改良し、以下に述べるような視感による測色方法と分光測色による方法とそれぞれ名付けて、適用性を調べることにした。前者によって測定した着色の強さを色汚染度と呼び、後者によるものを着色度と呼ぶこととする。

(1) 視感による測色方法

川崎市条例に定める方法では磁器製ピーカーに試料を入れ、この色をJIS標準色票と比較して明度および彩度を求めることとなっている。しかし、予備的な試験によると、このような測定方法では測定における個人差がかなり大きく出ることがわかったので、明度および彩度の測定条件をより厳密に規定することとした。すなわち、図2-4-6に示すように、2面に

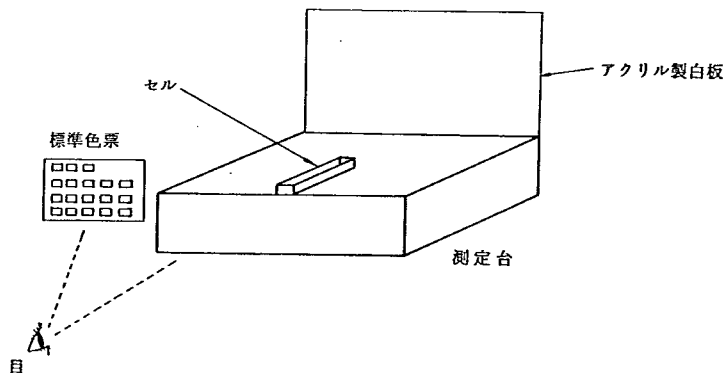


図2-4-6 標準色票との比色法

N10の標準白板（アクリル製白板など）を張った測定台の上に透明のアクリル製の測定用セル（内法：長さ100mm，巾10mm，高さ15mm）を置いて，試料をセルの中に水深10mm程度入れJIS標準色票とセルの前面とを比色し，色相，明度，彩度を求める方法である。なお，この際試料と標準色票との比較は試料の並べ方，照明の光等を規定したJISZ 8723（表面色の比較方法）に原則として準じ行なうものとする。

この方法によった場合，ブランク試験の明度は9となり，彩度はNであるから，色汚染度は次式によって求められる。

$$\text{色汚染度} = 3 \times (9 - V) + C$$

V：試料の明度

C：試料の彩度

又，この場合ブランクテストが常時N9になるように測定用セルの汚れを除いてから測定するものとする。また2.5.1にて後述するが，明度が大きい色相（例えば黄色など）の色は色素濃度の変化に対して色汚染度の値の変化が少ないので，これを補うため川崎市条例方法と同じく蒸留水で試料を1対1に希釈したものを加えて測定するものとする。

(2) 分光測光による方法

この方法における測定の手順を図2-4-7に示す。試料のpH調整については，pHが排水の放流先の公共用水域の水質基準で定まっている範囲に入っていれば，pH調整しないで着色の測定値にそのpH値を併記することとし，また基準値外の場合にはpH調整してから測色し，調整したpH値を着色の測定値に併記する。溶解性物質による着色の測定については，小林¹⁰⁾らによると0.45μmのメンブランフィルターにて濾過した濾液ならば正透過率が全透過率と一致すると報告しているが，今回の実験においても単色表示で用いているG4のガラス濾過器では濁質分が残ることが認められたので0.45μmのメンブランフィルターで濾過した濾液を試料とすることとした。透過率の測定は純水を100%として各波長における試料の透過率を求め，また3刺激値X，Y，Zを求める方法としてはJISZ 8722（2°視野XYZ系による物体色の測定方法）によるか，単色表示方法，Standard Method (Colour) による10ないし30分割選定波長方式により求めるものとする。そしてこれらの値から純水との色差ΔEを色差式（ $L^*a^*b^*$ 系）にて求め，その色差を着色度とした。また着色度は排水中のすべての着色物質を対象として測色する着色度(T)と溶解性物質による着色を対象として測色する着色度(S)とに分けて表わすこととした。測定用セルの長さは10mm，100mmを用いて測定し，着色度を示すときpHと同様セル長を併記することとした。

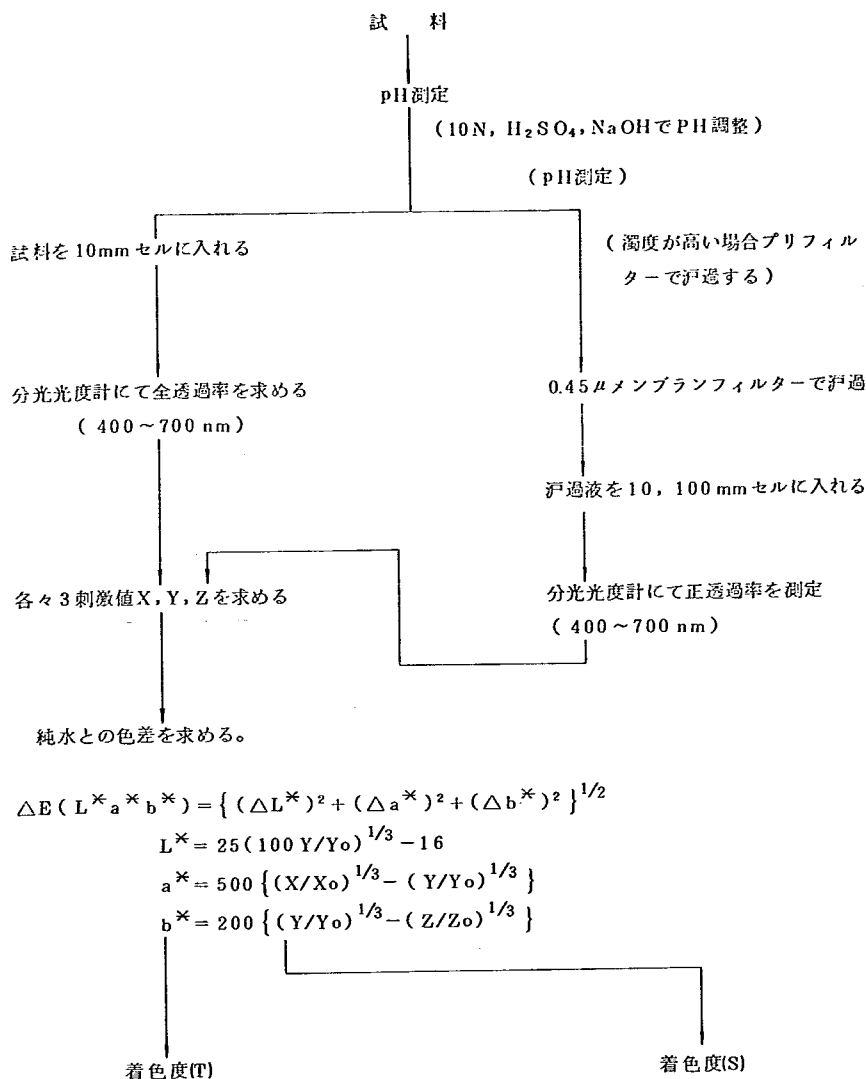


図2-4-7 測定の手順

2.5 着色の測定方法の評価試験

2.4.2において本調査において用いることとした着色の測定方法を示したが、この測定方法を用いて着色排水（モデル）を実際に評価し、その測定方法の妥当性について、また視感による評価結果と分光測色による評価結果との相関関係について調べた。着色排水（モデル）としてはPt-Co色度標準液、染料溶液、河川水を用いた。なお分光測色法において3刺激値X, Y, Zを算出する方式としては単色表示法の10分割選定波長方式を用いて行なった。使用した分光光度計は島津製-NEW 210 Aダブルビーム分光光度計である。

2.5.1 Pt-Co 色度標準液と染料溶液

(1) Pt-Co 色度標準液

色度標準液を2.4.2で述べた視感による評価法と装置による評価方法にて測定した結果を表2-5-1、図2-5-1～2に示す。なお色汚染度については4人で測定した結果の平均値で示した。

色度と色汚染度との相関関係は色度が大きくなれば色汚染度も大きな値を示すという単純な関係が認められるだけに対し、一方着色度(S)はセル10 mmの測定値は1,000 mg/ℓまで比例し、セル100 mmでは100 mg/ℓまではほぼ比例していることがわかる。色度は2.2.1で述べたようにPt-Coという1つの着色材量により着色排水を評価しているのに対し、色汚染度は着色排水の明度と彩度を測定し一定の公式でその着色を評価しているものであるから、色度と色汚染度、また着色度(S)についても同様に、根本的に評価の手段が異なっており、これらの間に1次関係がないのは当然である。この色度と着色度(S)との関係は一般的に着色排水の評価とし

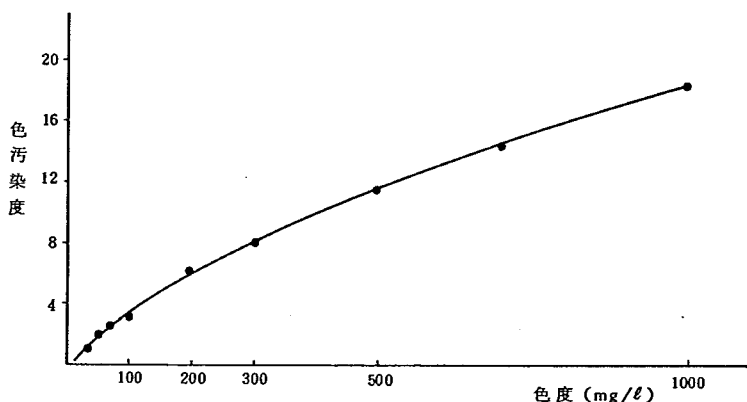


図2-5-1 色度と色汚染度との関係

表 2 - 5 - 1 測定結果

測定項目 Co-Pi 溶液濃度	色汚染度	着 色 度(S)	
		測定セル 10 mm	測定セル 100 mm
原 液	180	281	1318
700 (mg/ℓ)	14.4	20.4	116.9
500	11.3	14.7	99.6
300	7.8	9.2	72.2
200	6.0	5.9	53.6
100	3.1	2.7	29.0
70	2.3	1.8	21.3
50	1.8	1.2	15.5
30	1.0	0.7	9.7
20	0.5	0.4	6.6
10	0	0.2	3.4
5	0	0	1.6

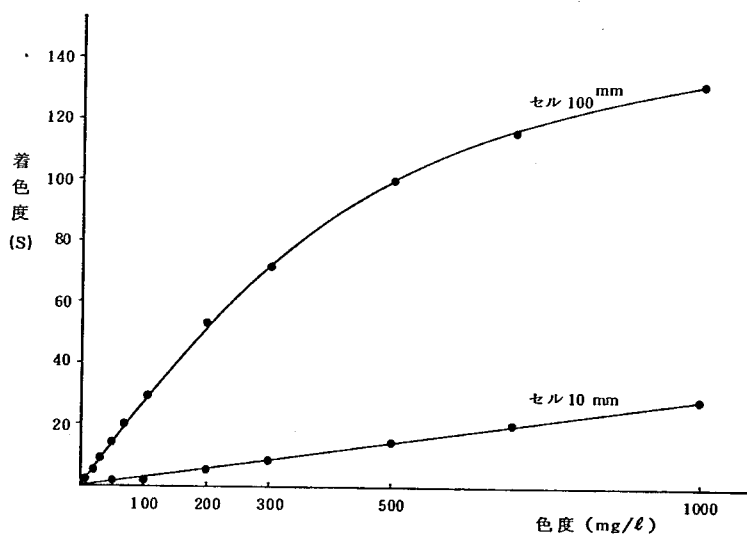


図 2 - 5 - 2 色度と着色度(S)との関係

て色度が多く用いられている関係上、色度から着色度を求める場合、あるいは逆の場合に応用できるだけであろう。また、今回の色度標準液の着色度(S)が図2-4-3の色差値と一致しないのは、色差式の違い、セルの汚れ等が原因と思われる。また色差式の相違による色差量の違いは10%程度と言われているが、¹¹⁾ 色差式による色差量の違いについては、色差量を算出した色差式を明確にしておけばどの色差式で着色度を求めてもよいと思われる。また、測定用セルの汚れによる誤差は低着色度水を測定する時生じる例が多いため、セルの汚れが透過率にあまり影響を与えない全透過率を測定するとか、セルの長さを100mmにするとかという方法で誤差を少なくすることが望ましい。

(2) 染料溶液

染料溶液としては色の5原色(黄、紫、緑、赤、青)の染料を蒸留水にて溶かしたものを試料として、各染料濃度と色汚染度、着色度(S)との関係を求めてみた。使用した染料は直接染料で親水性染料のため着色度(T)と着色度(S)とは同じ値を示す。色汚染度は4人で測定し、その平均値を色汚染度とした。使用した染料は下記の通りである。

日本化薬製 Kayarus シリーズ	Yellow PG	(黄)
	Violet 5BL	(紫)
	Green FBN	(緑)
	Right Red	(赤)
	Blue BRL 200	(青)

測定結果は表2-5-2、図2-5-3~7に示す通りである。なお図2-5-3~7においてAは色汚染度、Bはセル10mmの着色度(S)、Cはセル100mmの着色度(S)を表す。表2-5-2から色汚染度、着色度(S)とも染料濃度が濃くなれば、ある一定値まではほぼ比例して高くなるが、それ以降は増加傾向はゆるやかになり、濃度にかかわらず一定値を示したり、逆に減少する傾向となり、色汚染度では21、着色度(S)では116の値を示す。これは染料濃度が濃くなればなるほど色としての差がなくなり、最終的には黒に見えるようになることを表わしている。黄色の染料については黄色そのものの明度が高いことから濃度が濃くなっても黒にならないので黄色として色を認識出来るから紫、赤色などとは異なった傾向を示している。色汚染度と着色度(S)との関係についてみると相関がかなりないことがわかる。これは色の評価の方法が根本的に異なるからである。色汚染度の算出式で明度を3倍にしてあるのは肉眼的にみて明度1の差が彩度3に相当するということは前に述べたが、この肉眼的のなかには不快感、嫌悪感などの感覚的なものを加味していると思われる。このことから明度が高い色相(黄、緑)と明度が低い色相(赤、紫、青)では基本的に大きく色汚染度の値が変わってくる。着色という本来の観点からみれば純水との色差で排水の着色を評価している着色度(S)の方が評価方法としてはよいと思われる。前述したように着色排水の印象調査を行なった報告によれば着色と濁り

表 2-5-2 染料溶液の測定結果

mg/l	黄			紫			緑			赤			青		
	色汚染度	着色度(S)		色汚染度	着色度(S)		色汚染度	着色度(S)		色汚染度	着色度(S)		色汚染度	着色度(S)	
		セル 10 _{mg}	セル 100 _{mg}		セル 10 _{mg}	セル 100 _{mg}		セル 10 _{mg}	セル 100 _{mg}		セル 10 _{mg}	セル 100 _{mg}		セル 10 _{mg}	セル 100 _{mg}
1,000	20	1532	1386	21	1160	1160	21	914	1160	28	1295	1060	21	1041	1160
500	18	1435	1447	21	1160	1160	21	858	1121	28	1214	1132	21	1094	1160
250	18	1266	1490	21	1099	1160	21	600	1028	28	1019	1186	21	1342	1160
100	17	993	1535	21	1209	1160	22	308	884	28	761	1252	21	1258	1160
50	15	724	1430	24	1115	1160	21	170	788	27	522	1286	24	885	1407
20	15	384	1207	27	712	1117	17	58	509	24	260	961	28	454	1525
15	13	300	1121	28	581	1143	12	56	452	22	197	849	30	346	1492
10	12	208	1044	28	402	1180	10	36	343	18	136	720	30	242	1320
75	9	159	876	27	308	1201	7	30	274	17	106	640	27	185	1215
50	8	107	705	27	225	1126	6	20	196	16	71	497	22	127	920
25	5	60	432	22	118	853	3	08	104	9	38	304	14	63	503
10	2	15	172	13	47	448	2	04	45	4	14	129	7	23	239
05	1	04	95	7	24	235	1	01	15	2	07	75	3	13	130
02	1	0	36	3	07	110	—	0	—	—	04	—	2	06	57
01	—	0	—	1	0	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—

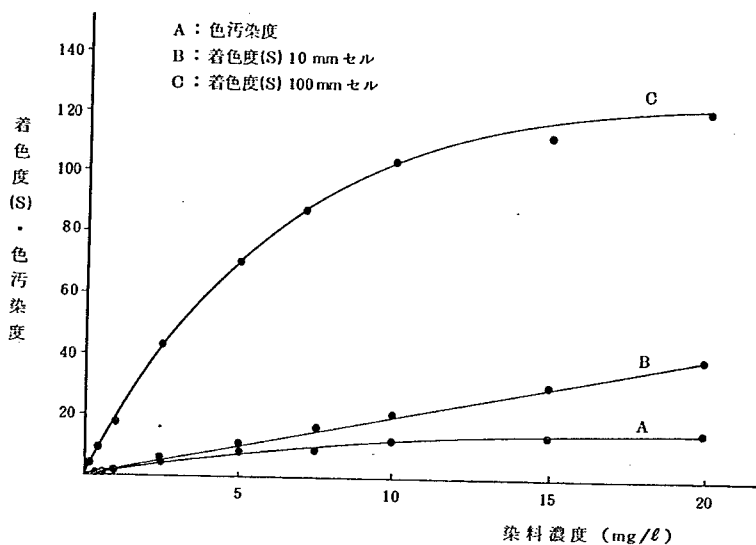


図 2 - 5 - 3 黄色系染料濃度と着色度(S)・色汚染度

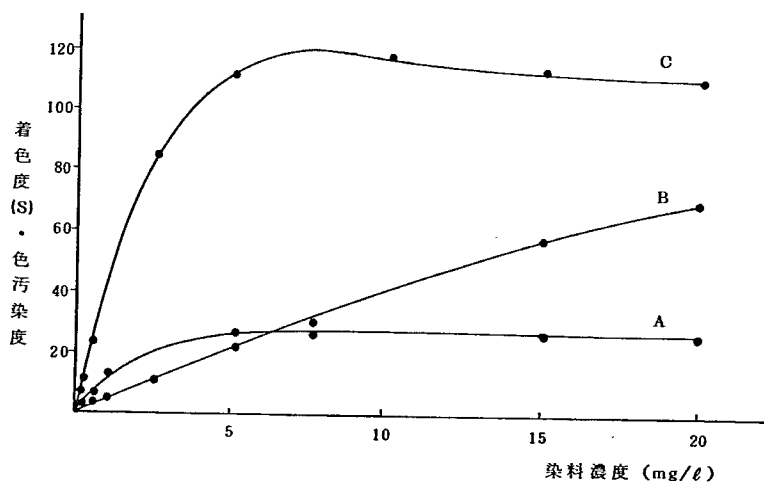


図 2 - 5 - 4 紫色系染料濃度と着色度(S)・色汚染度

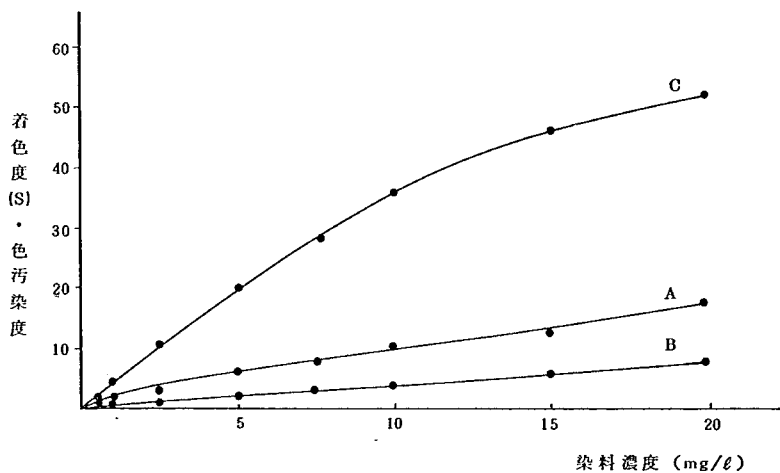


図 2 - 5 - 5 緑色系染料濃度と着色度(S)・色汚染度

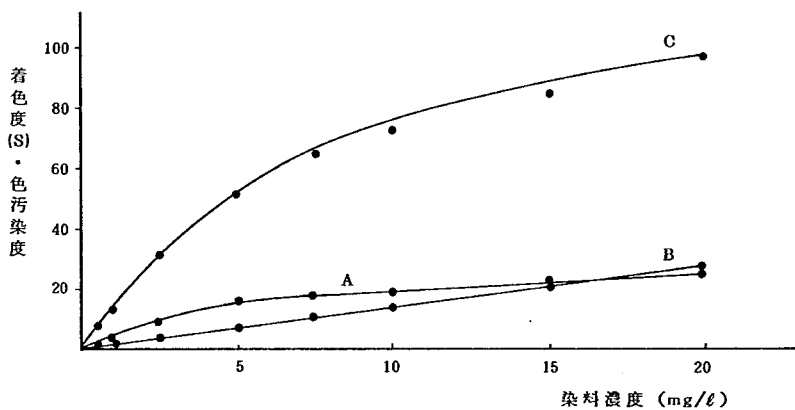


図 2 - 5 - 6 赤色系染料濃度と着色度(S)・色汚染度

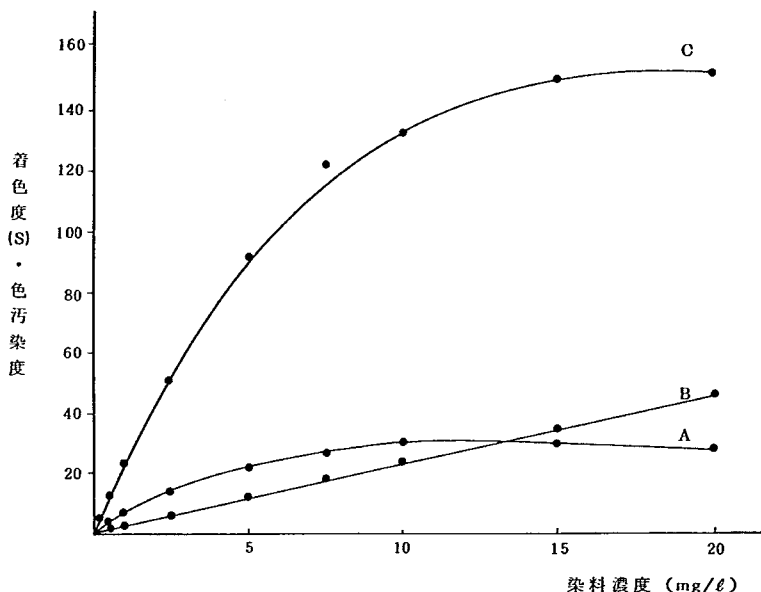


図 2 - 5 - 7 青色系染料濃度と着色度(S)・色汚染度

がその排水を評価する最も重要な因子であるが、明度、彩度、色相と色の3属性が全く異なり、着色度が同じである排水を印象調査した場合には色相、明度、彩度等がどう影響するかである。今回の実験ではそこまで明らかに出来なかった。しかし、色汚染度を着色度(S)と同じく色差を用いて表示して比較することも必要と考えられるので視感による方法も純水、すなわち標準白板との色差を求め、その色差を色汚染度とする方法の検討も試みた。その測定方法は図2-5-8に示す通りであるが、ここで2.4.2, (1)では測定用セルは100mmだけであったのを、10mmのセルも追加することとして排水の着色に応じて使い分けするものとする。条件等は2.4.2, (1)の方法と同様として測定する。

2.4.2, (1)の方法で色汚染度を算出したH, V, Cより図2-5-8の方法にて求めた色汚染度と着色度(S)とを比較してみると表2-5-3のようになる。

表2-5-3からも明らかなように視感による測定値は分光測色法による測定値とはかなりの違いがみられる。従って正確さの点からすれば視感による評価はあくまで参考程度にとどめるべきであろう。またJIS Z 8721の付表1においては彩度はすべて偶数だけに限ってY, x, yが表示してあることから標準色票にて比色する時は彩度の測定値は偶数で求めなければならない。表2-5-3の色汚染度が空欄になっているのは彩度が奇数値の測定結果によるため

排水（試料）を測定セル（10 mm, 100 mm）に入れる。

J I S 標準色票とセル前面の色と比色しH（色相），V（明度），C（彩度）を求める。
なおCの測定値は偶数だけとする。

測定したH，V，CよりJIS Z 8721（三属性による色の表示方法）の付表1よりY，
x，yを求める。

Y，x，yよりUVW系の色差式にて標準白板との色差を求める。求めた値を色汚染度とする。

$$W = 25 Y^{1/3} - 17 \quad u_o, v_o \text{ は標準光Cの色度座標}$$

$$U = 13 W (u - u_o) \quad u_o = 0.2009$$

$$V = 13 W (v - v_o) \quad v_o = 0.3073$$

$$u = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v = \frac{6x}{-2x + 12y + 3}$$

図2-5-8 視感による測色方法（その2）

表2-5-3 色汚染度と着色度

m/ℓ	黄		紫		緑		赤		青	
	色汚染度	着色度	色汚染度	着色度	色汚染度	着色度	色汚染度	着色度	色汚染度	着色度
20	705	1207	898	1117	646	509	1054	961	883	1525
15	628	1121		1143	499	452		849	906	1492
10		1044	779	1183	410	343	805	720	906	1320
7.5		876	779	1201	358	274		640	777	1215
5.0	550	705	634	1126		196	658	497	651	920
2.5		432		853		104	443	304	471	503
1.0	199	172	331	448	153	45	242	129	258	239
0.5		95	249	235		15	125	75		130
0.2		36	112	110	—	—	—	—	117	57

ある。

吸光度が着色物質と比例関係があるのに対し、着色度は着色物質の濃度と比例関係にはなく、着色排水の有している色を正確にそのまま表わしているにすぎない。実際、着色排水の脱色を考える場合、たとえば紫色の染料濃度 250 mg/l の排水を何んらかの処理をして 2.5 mg/l に染料の除去を行なったとしてもセル 100 mm で着色度を測定した場合、ほとんど着色度の除去は行なわれていないような結果となる。このように排水の色は臭気と同じように感覚量であるため、それを構成している物質との間には相関関係はあるにしても、極めて低濃度の部分を除くと一次比例関係にはない。従って排水の脱色と着色物質除去とは区別して考える必要がある。

また分光光度計にて測定する時のセルの長さに関しては、 10 mm セルの場合は着色物質の濃度が低い場合、実際には着色していても光の吸収がなく着色度は 0 となる場合が生じたり、また正透過率にて着色度を算出する時、セルの汚れ等が影響する。一方 100 mm セルは濃度が濃い場合着色度の変化があまりない。これは着色度が概ね濃度の対数に比例するからである。しかし、現実的に考えてみれば排水をみる場合は水深などは 100 mm 以上が普通であるから、排水の脱色率などを求める場合は着色物質の濃度が大きくても 100 mm セルで測定して何らさしつかえなく、その測定結果に測定セル長を明記しておけばよいであろう。

2.5.2 河川水

河川水としては浜松市内の代表的な公共用水域を 12 箇所選び色汚染度、着色度(S)、着色度(T)を測定するとともに、他の汚濁指標との関連性はないかどうかを調べるため SS、BOD 等も合わせて測定した。採水箇所は図 2-5-9 に示す通りである。同一地点における採水は 6 回行ない採水間隔は少なくとも 15 日以上とした。また試料採取に当っては雨天時、および雨水流出により河川に増水が認められる期間は避けて実施した。

分析項目と分析方法については下記の通りである。

P H：ガラス電極法による。

濁度：積分球濁度計による。

S S：ガラスファイバー濾紙法による。

COD：アルカリ法による。

BOD：大量希釈法による。

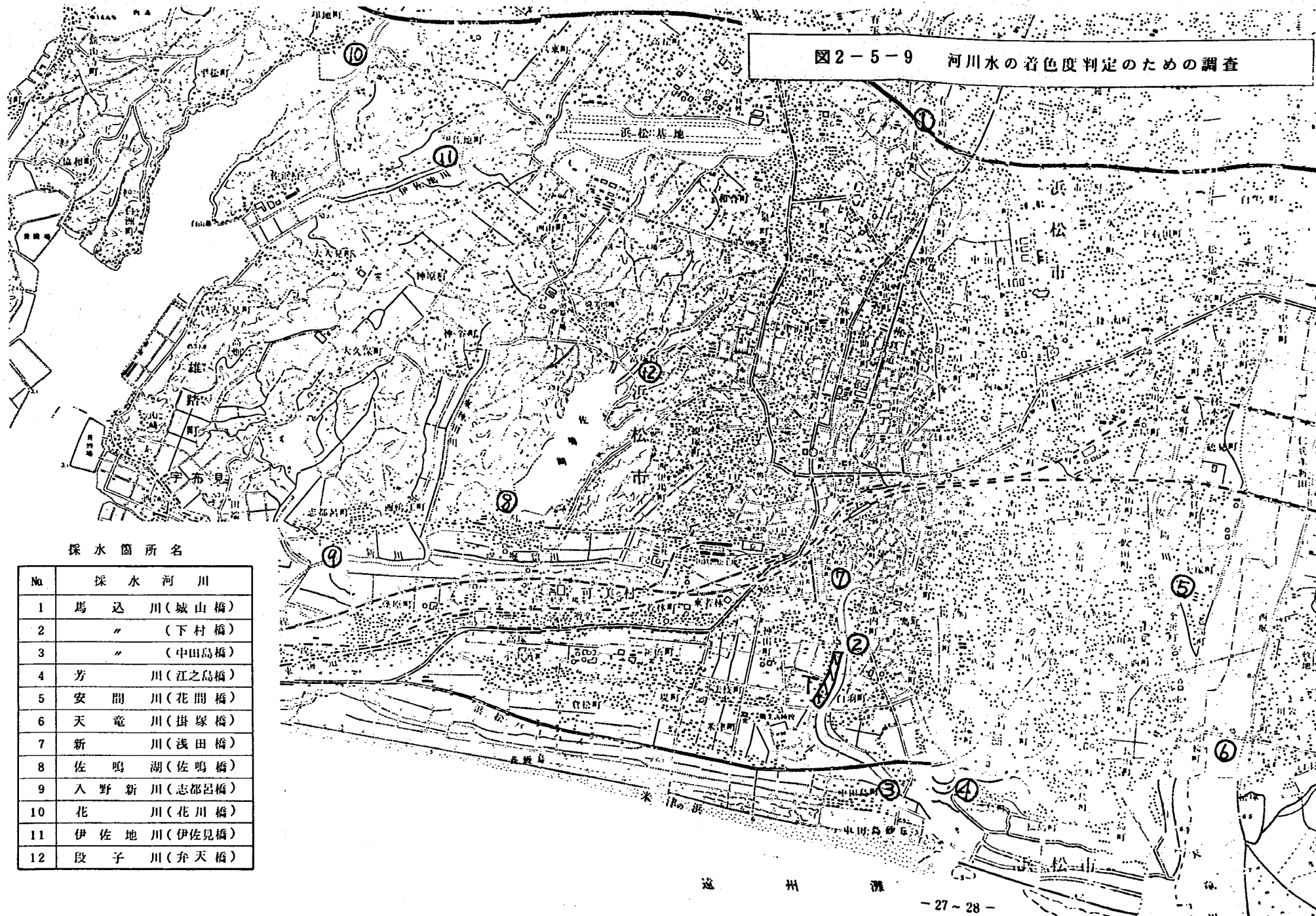
D O：ウィンクラーアジ化ナトリウム法による。

及び着色度(S)、着色度(T)、色汚染度である。着色度(S)のセルの長さは 100 mm で測定した。

色汚染度については 2.4.2、(1)の方法による。

調査結果については表 2-5-4、写真 2-5-1～4 (カラー写真は巻末) に示す通りである。浜松市内の汚濁の進んでいない清澄な河川、ならびに工場排水、生活排水等により汚濁して

図2-5-9 河川水の着色度判定のための調査



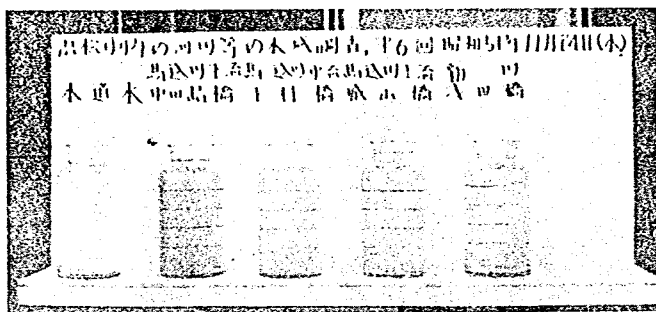
採水箇所名

No	採水河川
1	馬込川(城山橋)
2	"(下村橋)
3	"(中田島橋)
4	芳川(江之島橋)
5	安間川(花間橋)
6	天竜川(掛塚橋)
7	新川(浅田橋)
8	佐鳴湖(佐鳴橋)
9	入野新川(志都呂橋)
10	花川(花川橋)
11	伊佐地川(伊佐見橋)
12	段子川(弁天橋)

表2-5-4 河川水の調査結果

		水温(℃)	透視度(m)	P	H	DO(㎎/ℓ)	BOD(㎎/ℓ)	COD(㎎/ℓ)	SS(㎎/ℓ)	濁度(㎎/ℓ)	若色度(S)	若色度(T)	色汚染度
馬込川(城山橋)	1	22.0	22.5	7.6		8.5	0.9	3.2	9.2	6.2	2.6	0.7	0.5
	2	21.0	6.0	7.1		8.0	1.6	2.8	16.4	11.7	2.4	0.7	1.0
	3	17.0	30<	7.6		10.1	1.9	3.6	10.8	3.4	0	0	0
	4	19.5	30<	7.4		9.8	2.5	4.4	10.6	11.0	1.6	0.7	0.5
	5	17.5	13.0	7.5		8.4	3.0	3.6	8.7	7.1	1.9	0	0.5
	6	13.0	30<	7.3		9.4	4.8	2.6	4.3	2.7	1.5	0.3	0.5
	平均	18.3	-	7.4		9.0	2.4	3.7	10.0	7.0	1.7	0.4	0.5
馬込川(下村橋)	1	22.5	23.0	7.3		7.4	1.7	4.4	11.2	6.0	3.7	0.6	0.5
	2	21.0	7.0	7.4		7.8	1.7	3.2	22.4	13.5	2.7	1.0	1.0
	3	19.0	30<	7.8		8.9	4.3	6.7	7.0	2.5	2.8	0	0.5
	4	20.5	22.0	7.7		7.6	5.9	8.1	11.0	12.4	3.1	0.7	2.0
	5	18.5	11.0	7.6		5.5	7.4	7.9	13.8	7.7	4.0	0	2.5
	6	17.0	30<	7.3		7.5	5.6	5.9	8.6	3.3	2.3	0.5	0.5
	平均	19.8	-	7.5		7.4	4.4	6.0	12.3	7.6	3.1	0.5	1.2
馬込川(中田島橋)	1	23.0	18.0	7.5		6.4	3.1	4.0	11.4	5.5	4.9	0.8	2.5
	2	22.0	6.0	7.1		7.0	3.1	3.2	26.4	14.8	2.2	2.0	1.5
	3	18.0	20.0	7.4		4.7	4.7	7.5	16.7	5.2	4.3	1.6	2.0
	4	20.0	15.5	7.4		4.9	4.1	6.9	11.0	11.2	5.6	1.1	2.5
	5	18.5	13.0	7.5		4.7	5.8	10.3	10.2	6.3	10.3	1.0	7.0
	6	12.5	30<	7.4		6.6	4.4	7.7	16.3	4.4	5.0	0.8	2.5
	平均	19.0	-	7.4		5.7	4.2	6.6	15.3	7.9	5.4	1.2	3.0
芳川(江之島橋)	1	24.0	3.0	7.2		2.8	3.4	7.9	83.2	48.5	4.8	3.4	2.5
	2	23.0	8.0	7.0		5.2	1.8	3.6	21.6	11.4	2.2	1.7	1.5
	3	18.5	16.0	7.3		2.2	4.6	9.5	21.9	5.1	3.0	1.8	1.5
	4	20.0	11.0	7.4		1.3	5.2	12.5	27.5	14.7	5.4	1.8	4.0
	5	18.5	15.0	7.5		3.7	2.8	6.9	9.0	3.7	3.3	0.9	1.0
	6	15.0	30<	8.1		6.9	1.1	7.1	21.3	2.1	0.7	0.4	0
	平均	19.8	-	7.4		3.7	3.1	7.9	30.7	14.2	3.2	1.4	1.8
安房川(老田橋)	1	23.0	11.0	7.4		4.6	2.5	7.3	28.6	11.5	5.4	1.7	2.5
	2	20.0	15.0	7.3		6.4	1.4	3.6	13.2	5.7	3.4	0.9	1.0
	3	17.0	30<	7.6		6.7	1.3	4.8	4.9	1.7	0	0	0
	4	18.5	30<	7.4		4.6	3.0	6.7	10.3	7.5	3.3	1.4	1.0
	5	17.5	18.0	7.6		6.1	2.4	6.9	8.3	2.4	4.0	0.9	0.5
	6	12.5	30<	7.4		6.9	2.0	5.0	6.4	1.7	2.1	0.6	0.5
	平均	18.1	-	7.5		6.6	2.1	5.7	17.1	5.1	3.0	0.9	0.9
天竜川(掛塚橋)	1	22.0	23.0	7.9		8.5	0.9	1.6	14.8	7.6	2.1	0.6	0.5
	2	20.0	5.0	7.8		8.9	1.1	1.2	30.0	19.2	3.7	1.0	0.5
	3	16.0	30<	8.2		8.6	0.7	3.0	13.9	5.0	0	0	0
	4	17.0	30<	8.4		9.6	0.8	2.0	9.1	11.2	0.6	0.3	0
	5	14.0	24.0	8.0		10.4	0.8	1.2	5.4	3.2	0.7	0	0
	6	10.0	30<	8.0		10.7	1.2	1.2	6.5	2.8	0.1	0.3	0
	平均	16.5	-	8.1		9.4	0.9	1.7	13.3	8.2	1.2	0.4	0.2

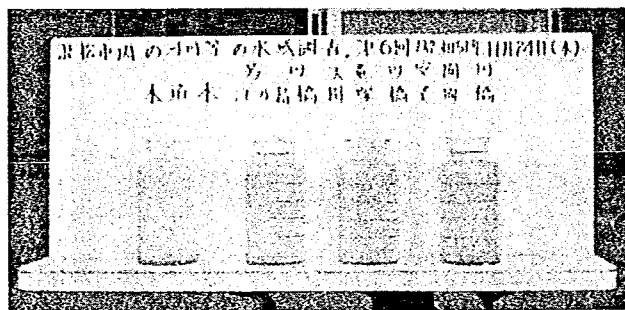
		水温(℃)	透視度(m)	P	H	DO(mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	SS(mg/l)	濁度(mg/l)	着色度(S)	着色度(T)	色汚染度
新 川 (浅田橋)	1	24.5	100	7.4		2.2	5.2	6.5	24.7	12.7	4.2	1.3	2.5
	2	23.0	280	7.4		4.1	5.5	6.3	5.6	4.2	4.2	0.5	2.5
	3	20.0	30<	8.1		9.5	8.6	6.7	10.6	3.2	2.1	0	1.5
	4	22.5	30<	7.6		4.7	7.1	4.8	6.0	9.0	2.0	0.5	2.0
	5	18.5	220	7.8		8.1	7.7	7.5	5.9	3.1	3.7	0	2.5
	6	14.0	30<	7.4		5.3	3.9	5.3	6.6	2.3	1.8	0.5	0.5
	平均	20.4	—	7.6		5.6	6.3	6.2	9.9	5.7	3.0	0.5	1.9
佐 鳴 湖 (佐鳴橋)	1	30.0	4.5	9.6		12.7	12.0	12.5	35.2	24.0	4.7	3.4	3.0
	2	24.0	6.5	9.0		11.8	5.4	8.7	29.4	17.9	2.5	3.2	4.0
	3	19.0	6.0	9.7		14.5	6.2	8.3	32.6	19.8	2.1	2.9	4.0
	4	19.0	5.5	8.8		9.6	6.2	6.5	34.5	19.6	2.5	2.7	4.5
	5	16.0	4.0	8.5		11.1	5.7	6.9	27.0	39.1	2.1	5.7	3.0
	6	10.0	4.0	9.1		12.9	6.6	7.5	30.0	39.8	2.4	2.6	3.5
	平均	19.7	—	9.1		12.0	7.0	8.4	31.4	26.7	2.7	3.4	3.7
入 野 新 川 (志都呂橋)	1	28.0	7.0	7.8		11.5	7.2	7.9	24.8	20.5	2.6	2.3	2.5
	2	23.0	9.0	7.4		6.1	5.5	6.7	34.0	13.9	1.8	1.9	2.0
	3	18.5	7.0	8.4		8.6	7.8	7.5	38.7	16.5	2.2	2.7	4.0
	4	18.0	8.0	8.3		9.3	9.5	7.5	28.4	16.9	2.4	2.8	4.5
	5	15.5	4.5	8.5		10.1	6.2	6.7	33.3	35.7	2.1	2.5	4.0
	6	10.5	4.0	8.9		12.2	6.9	7.5	42.7	41.0	2.2	2.3	4.0
	平均	18.9	—	8.2		9.6	7.2	7.3	33.6	24.1	2.2	2.4	3.5
花 川 (花川橋)	1	24.0	30<	7.5		8.4	2.3	2.8	3.6	3.4	1.3	0.3	0
	2	22.0	30<	7.6		8.8	1.5	3.6	5.4	3.3	1.8	1.1	0.5
	3	17.5	30<	8.3		9.6	3.6	3.6	5.5	2.4	0.6	0.6	0
	4	17.5	30<	7.8		8.5	2.5	2.8	5.4	3.5	1.4	0.9	0.5
	5	15.0	15.0	7.5		9.9	4.9	4.2	8.0	7.8	1.7	0.1	0.5
	6	11.5	30<	7.7		9.9	3.7	3.6	2.8	2.4	1.2	0	0.5
	平均	17.9	—	7.8		9.2	3.1	3.4	5.1	3.8	1.3	0.5	0.3
伊 佐 地 川 (伊佐見橋)	1	24.0	30<	7.4		8.5	1.5	2.0	2.8	2.4	0.9	0	0
	2	24.5	30<	7.4		12.7	1.7	2.4	4.4	2.8	1.7	1.4	0.5
	3	18.5	30<	7.5		9.4	0.9	1.4	4.0	1.7	0	0	0
	4	18.5	30<	7.6		9.1	0.7	1.8	2.5	1.4	1.4	1.1	0
	5	16.5	30<	7.4		10.4	1.7	1.6	1.8	1.6	0.9	0	0
	6	13.0	30<	7.4		10.2	0.8	1.2	1.6	1.4	0.7	0	0
	平均	19.2	—	7.5		10.0	1.2	1.7	2.8	1.9	0.9	0.4	0.1
段 子 川 (弁天橋)	1	26.5	7.0	7.5		9.5	5.2	5.5	29.2	26.8	2.0	1.3	2.5
	2	25.5	30<	7.5		9.8	4.8	5.7	9.4	4.5	2.1	1.4	1.5
	3	20.0	30<	7.6		11.5	7.8	6.9	10.6	5.0	1.6	1.1	2.0
	4	18.5	9.0	7.4		8.7	7.5	5.7	14.8	11.7	2.1	0.6	1.5
	5	16.5	10.0	7.3		9.6	17.1	12.3	11.7	15.7	3.0	1.8	2.0
	6	14.0	25.0	7.2		8.5	7.2	6.3	4.9	3.6	1.4	0.2	1.0
	平均	20.2	—	7.4		9.6	8.3	7.1	13.4	11.2	2.0	1.1	1.8



	馬 込 川 (中田島橋)	馬 込 川 (下村橋)	馬 込 川 (城山橋)	新 川 (浅田橋)
着色度(S)	5.0	2.3	1.5	1.8
着色度(T)	0.8	0.5	0.3	0.5
色汚染度	2.5	0.5	0.5	0.5

写 2 - 5 - 1 河川水調査(1)

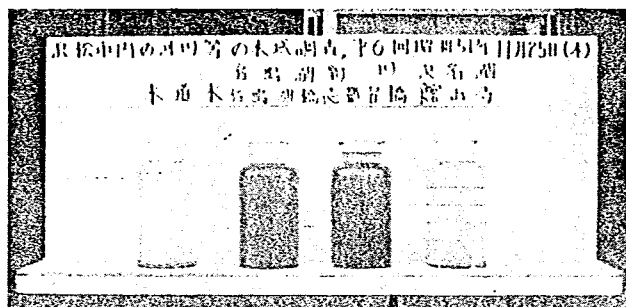
(カラー写真は巻末に添付)



	芳 川 (江之島橋)	天 竜 川 (掛塚橋)	安 間 川 (老間橋)
着色度(S)	0.7	0.1	2.1
着色度(T)	0.4	0.3	0.6
色汚染度	0	0	0.5

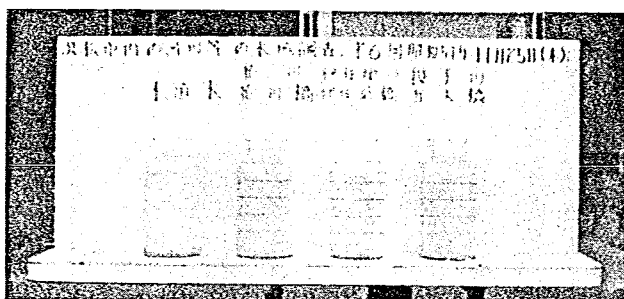
写 2 - 5 - 2 河川水調査(2)

(カラー写真は巻末に添付)



	佐 鳴 湖 (佐鳴湖橋)	新 川 (志都呂橋)
着色度(S)	2.4	2.2
着色度(T)	2.6	2.3
色汚染度	3.5	4.0

写 2 - 5 - 3 河川水調査(3)
(カラー写真は巻末に添付)



	花 川 (花川橋)	伊 佐 地 川 (伊佐見橋)	段 子 川 (弁天橋)
着色度(S)	1.2	0.7	1.4
着色度(T)	0	0	0.2
色汚染度	0.5	0	1.0

写 2 - 5 - 4 河川水調査(4)
(カラー写真は巻末に添付)

いる河川と採取箇所を変化に富んで選定したが、表2-5-4のうち馬込川についてみると上流の城山橋付近ではBOD等も低く、着色度、色汚染度も低い。そして浜松市の中央部を流下するに従って工場排水、生活排水が流入するため水質の悪化と共に着色度、色汚染度も上昇する。最も下流側の採取箇所である中田島橋とその上流の下村橋とを比較すると、BOD等の水質はほとんど変わらないのに対し、着色度、色汚染度も大きく上昇している。これは図2-5-9に示すように下村橋と中田島橋との間に120,000~150,000m³/日馬込川に放流している本市の下水処理場である中部浄化センターがあり、その放流水が染料などの着色物質により着色しているのが原因である。この馬込川の水質、着色度、色汚染度の変化を図2-5-10に示す。この調査結果の中で佐鳴湖と入野新川が他の河川と異なり着色度(T)の方が着色度(S)を上回っているのが注目されるが、これは佐鳴湖の富栄養化のため発生した緑藻類などによる湖水の着色が原因である。

表2-5-4からみると汚濁指標を示すBOD、SS等と着色度との相関関係はほとんどないように思えるが、それらを確かめてみるため今回の調査結果の着色度とBOD、COD、濁度との関係を図2-5-11~15に示す。これらの図から着色度(S)、着色度(T)とBOD等の関係につ

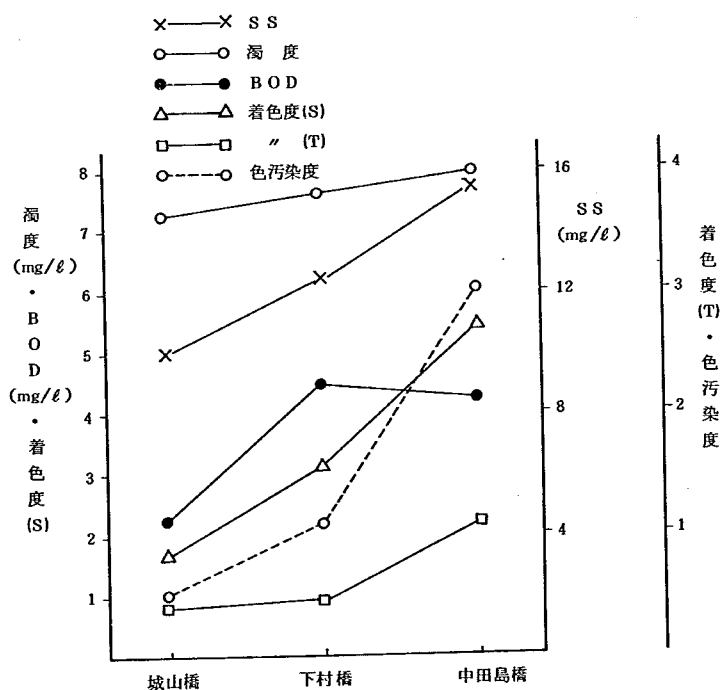


図2-5-10 馬込川の水質、着色の変化

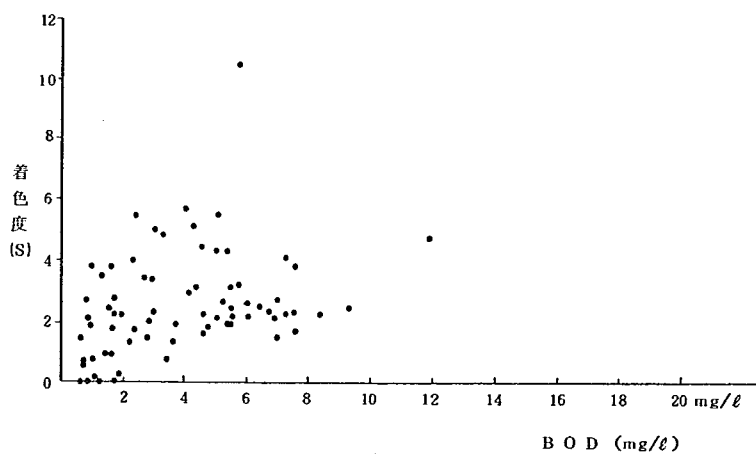


図 2 - 5 - 11 着色度(S)と B O D

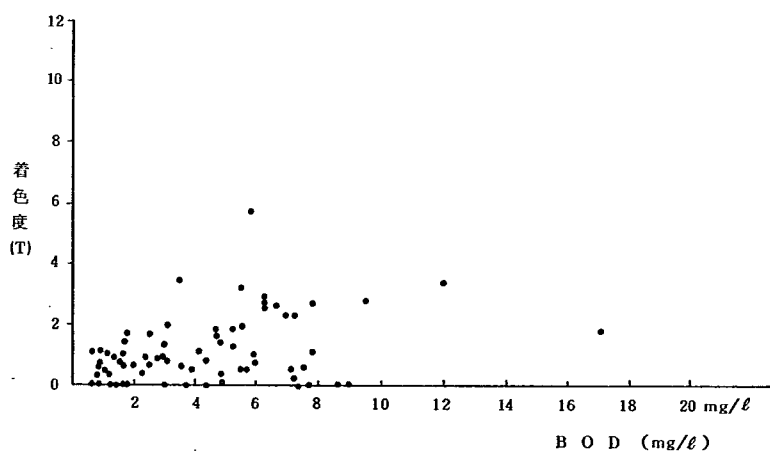


図 2 - 5 - 12 着色度(T)と B O D

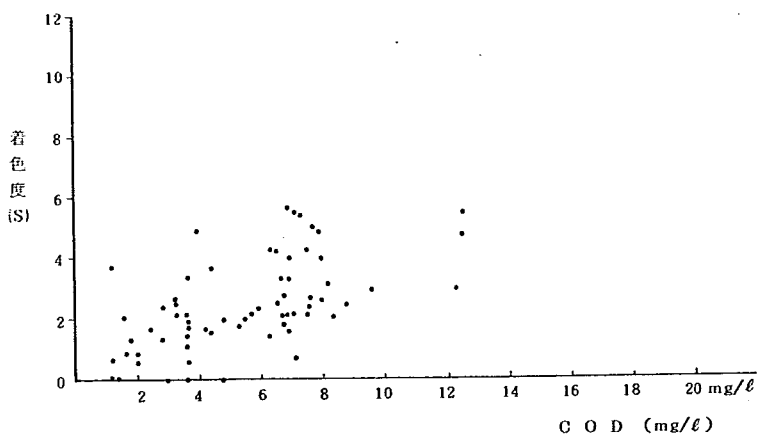


図 2 - 5 - 13 着色度(S)と C O D

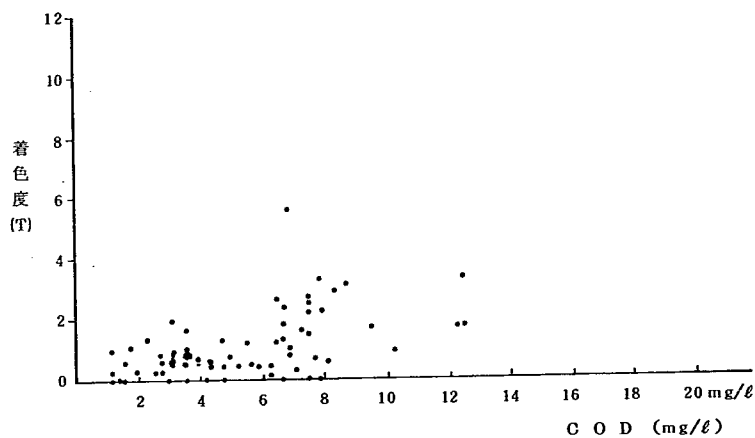


図 2 - 5 - 14 着色度(T)と C O D

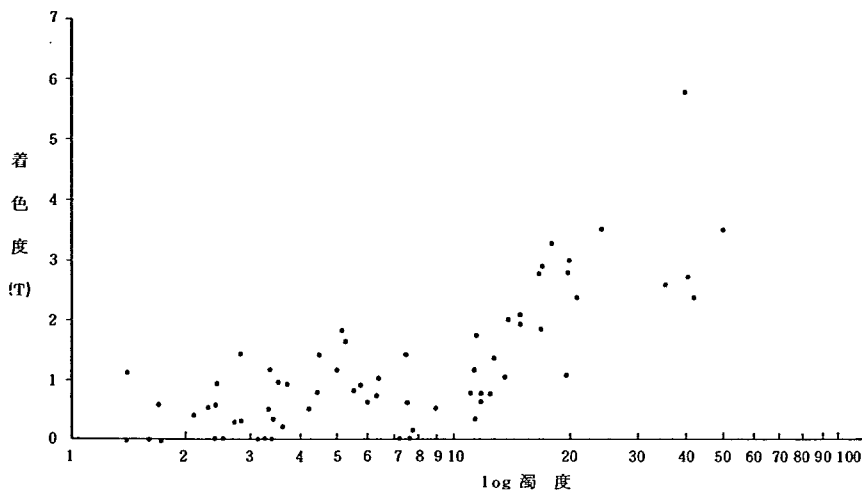


図 2-5-15 着色度(T)と log (濁度)

いては非常にバラツキがあり何んとも言えないが河川等の公共用水域では水質の悪化とともに着色度も増加する傾向は認められる。また、河川の水質を環境基準の類型別に分類し、それぞれの着色度等の平均値を求めた結果を表 2-5-5 に示す。

表 2-5-5 環境基準の類型分類による着色度・色汚染度

類 型	該 当 数	着 色 度 (S)			着 色 度 (T)			色 汚 染 度		
		最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均
A A	8	2.6	0	1.0	1.1	0	0.3	0.5	0	0.1
A	14	3.7	0	1.6	1.7	0	0.6	1.5	0	0.5
B	7	4.0	1.3	2.4	1.4	0	0.7	1.0	0	0.6
C	15	5.6	0.6	3.1	2.0	0	0.9	2.5	0	0.7
D	24	10.3	1.4	3.1	5.7	0	1.7	7.0	0.5	3.3

これらの河川について現場において数人で「きたない」、「普通」、「きれい」の3つの用語で印象調査を実施したところ、「きたない」には馬込川（中田島橋）、芳川、佐鳴湖、入野新川が、また「普通」には馬込川（下村橋）、安間川、新川、花川、段子川が、「きれい」には天竜川、馬込川（城山橋）、伊佐地川がそれぞれ該当した。これらの印象結果は周囲の環境、河川の水深等が微妙に影響を及ぼしているものと考えられる。「普通」という印象を与えた河川の平均の着色度等を求めてみると着色度(S)2.5、着色度(T)0.7、色汚染度1.2である。環境基準の類型からみれば河川Cが公共用水域において人間の視覚に悪い印象を与えない最低の基準であると思われる。

2.6 ま と め

工場排水等に起因する多種多様な着色の評価方法を検討するため、水の色の測定方法について種々の調査を行なった。既存の測色方法の中では、視覚による測色方法としては川崎市の条例で定める方法、分光測色による方法としては色差によって表示する方法が比較的妥当と思われたので、既存のこれらの方法に若干改良を加えた2つの方法を提示した。このうち、視覚による測色方法によって測定した値を色汚染度、分光測色によって測定した値を着色度とそれぞれ呼ぶこととし、更に、着色度については全透過率を測定することによって求めた値を着色度(T)とし、 0.45μ のメンブレンフィルターによって濾過した試料の正透過率を測定することによって求めた値を着色度(S)とした。

各種の染料を溶解した水についてこれらの方法で測定した結果、着色度は理論的に想定される通り、染料濃度が高くなると一定値に漸近するという結果が得られたが、100mmセルと10mmセルとを使いわけることによって広い濃度範囲で測定が可能であった。色汚染度も、ある程度までは染料濃度が高くなる程大きくなるが、染料濃度が非常に高くなると色汚染度が逆に小さくなるという傾向が著しかった。着色度と色汚染度の間にはある程度の関連はみられたが、相関関係は弱く、着色を評価することの困難さを裏づけた。

色汚染度の測定には、JIS標準色票と比較して色相、明度、彩度を求めるという作業にわずらわしさがあることはいなめず、また着色度に関しては、浮遊物質による着色が着色度(T)によってどの程度正當に評価されているかという問題が残る。

河川水の水質と着色度とを調査したところある程度着色度とBOD等の水質との関連性は公共用水域の場合は認められた。そして印象調査を実施して人間に不快感、嫌悪感を与えない河川水の着色度(S)は2.5、着色度(T)は0.7位であると思われる。従って着色排水を公共用水域に排出する場合は前述した基準に公共用水域の着色度が満足出来るかどうか検討することが視覚公害という着色排水による2次公害を未然に防止する手段となると考えられる。

最後に色の測定方法については参考文献にもあげてある「水の色に関する研究」、「工場排水の色規制の動向と脱色技術の総合研究」の中の一部を転載させていただいた事を付け加えておく。

参 考 文 献

- 1) (財)日本環境衛生センター：水の色に関する研究（環境庁委託調査研究）（1974）
- 2) 平井：工場排水の色規制の動向と脱色技術の総合研究（1974）
- 3) 佐藤ら：第11回下水道研究発表会講演集（1974）
- 4) 静岡県バルブ排水脱色研究会：バルブ排水の脱色等に関する中間報告書（1974）
- 5) 平井ら：昭和51年度照明学会全国大会講演集（1976）
- 6) 日本色彩研究所：有色排水に関する調査研究(Ⅱ)（環境庁委託調査研究）（1975）
- 7) " : " (Ⅲ) " (1976)
- 8) 宮本：静岡県浜松緑地試験場研究報告書（1976）
- 9) 平井ら：昭和49年度照明学会東京支部大会講演集（1974）
- 10) 小林ら：水処理技術 Vol 16, No 11（1975）
- 11) 川上：色の常識，日本規格協会（1974）

3. 着色排水を含む下水の活性汚泥処理 による脱色効果に関する実験

3.1 はじめに

公共下水道処理区域内に著しく着色している排水を一般の家庭下水と共に下水道へ流している工場が存在する場合、その混合下水は一般下水とは異なり、工場から排出される着色物質の量、濃度等にもよるが著しく着色を呈するものと予想される。このような工場から排出される着色物質を含む混合下水が活性汚泥処理によりその着色物質の除去（脱色）が可能であるかどうかを知るために実験を行なった。

この実験における着色物質とは染料、すなわち染色工場において染色工程以降の排水中に含まれている染料である。また、工場から排出される着色物質が下水に流入していない一般下水についても同様に活性汚泥処理により一般下水中に含まれている着色物質の除去（脱色）効果があるものかどうかあわせて実験することにした。

3.2 実験に供した試料

3.2.1 一般下水

工場からの着色排水が含まれてない一般下水としては浜松市遠州浜浄化センターの流入下水とした。遠州浜浄化センターは昭和50年度末で処理面積64.3ha、処理人口10,600人、日平均汚水量2,500m³/日の家庭汚水だけを処理している。遠州浜浄化センターの流入下水の着色度(S)の時間変動は図3-2-1に示す通りである。図3-2-1により流入下水の着色度(S)はAM8.00

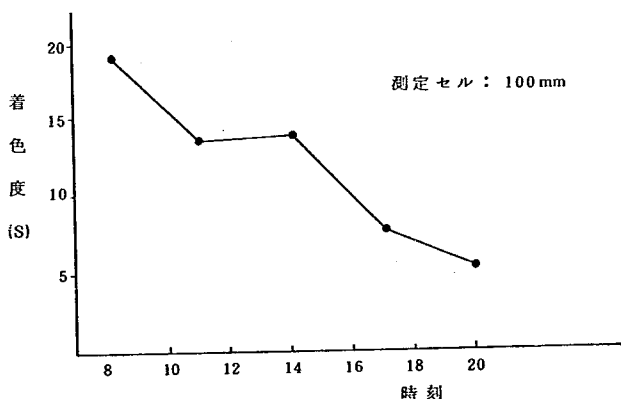


図3-2-1 遠州浜浄化センター流入下水の着色度(S)

～AM 9.00 ごろ最大となり時間の経過と共に減少する。

AM 8.00～9.00 ごろは BOD, SS 等も 1 日のうちで最大値を示す時刻であり、このことから着色度(S)と BOD, SS 等の関連性は充分考えられる。従って一般下水の脱色効果を実験する試料としては、着色度(S)が最大値を示す AM 9.00 ごろ採取した試料と、また平均的な下水の着色度(S)を示す AM 11.00 ごろ採取した試料と 2 種類の試料について脱色効果実験するものとした。また後述する混合下水における着色排水の混合比率を変化させるための希釈用の一般下水としては平均的な着色度(S)を示す AM 11.00 ごろ採取した遠州浜浄化センター流入下水を用いるものとした。

3.2.2 混合下水

一定の混合比率の染色着色排水を含んだ混合下水としては浜松市中部処理区の下水中継ポンプ場である南ポンプ場から採取するものとした。昭和 50 年度末で南ポンプ場の排水面積は 443ha, 実排水人口 46,500 人, 排水量は $60,000 \text{ m}^3/\text{日}$ である。浜松市が昭和 49 年度に調査した「浜松市内染色工場実態調査」によると南ポンプ場排水区域内には 28 の染色工場があり、その使用染料, 染色方法, 排水量については表 3-2-1～2 に示す通りである。このうち小巾染色というのは浜松地方の地場産業であるゆかた染が大部分であり、その染色方法は注染である。また広巾染色は合繊, 綿のプリントまたは無地染を, 糸染は綿糸, 合繊糸の染色を行なっている。

表 3-2-1 において末着色排水量とは染色工場において染色工程以前の前処理工程すなわち, 精練, 漂白工程の際に発生する染料により着色していない排水量を表わす。南ポンプ場の昼間時における流入下水量は $4,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ であり, 前述した「浜松市内染色工場実態調査」から工場における作業時間から昼間時における染色着色排水量は約 $1,100 \text{ m}^3/\text{hr}$ と予想される。従って全流入下水量に占める染色着色排水量の比率は 27.5% となる。南ポンプ場の昼間時における流入下水の着色度(S)の時間変動は図 3-2-2 に示す通りである。

表 3-2-1 染色工場の排水量

染色品	排水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)			
	工場数	末着色排水量	着色排水量	総合排水量
小巾	17	270	4370	4640
広巾	5	4850	9650	14500
糸	6	240	500	740
計	28	5360	14520	19880

図 3-2-2 より着色度(S)が最大になるのは PM 4.00～6.00 ごろであることから, 染色工場着色排水量が全下水量に占める比率が 27.5% である試料としては PM 4.30 ごろ採取するものと

した。

表 3 - 2 - 2 使用染料

	小 巾	広 巾	糸	(B)合計	(B)/(A)
硫 化	1,365	30	447	1,842	10.9%
建 染	2,082	30	340	2,452	14.5%
ナフトール	463	598	43	1,104	6.6%
分 散	—	—	110	110	0.7%
反 応	399	9,160	30	9,589	56.9%
酸 性	625	—	125	750	4.5%
直 接	50	530	197	777	4.6%
媒 染	197	—	30	227	1.3%
合 計	5,181	10,348	1,322	(A) 16,851	—
顔 料	210	10,250	—	10,460	—

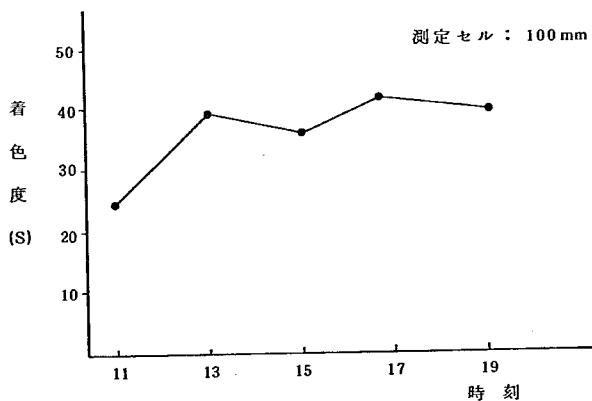
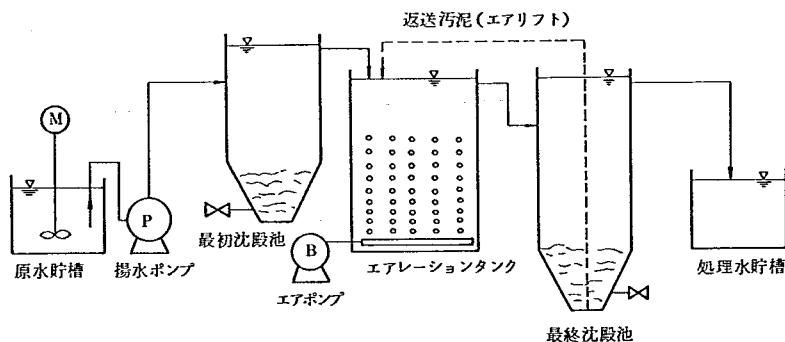


図 3 - 2 - 2 南ポンプ場流入下水の着色度(S)

全下水量に占める染色着色排水量の比率を1, 2, 4, 8, 16%と5段階に変化させた混合下水について活性汚泥処理による脱色効果を実験するため南ポンプ場で採取する染色着色排水を含んだ混合下水は混合比率が27.5%であるところから、混合比率を低下させるため前述したように遠州浜浄化センターの流入下水をAM 11.00ごろ採取した下水で希釈し混合比率の調整をした。

3.3 実験装置ならびに実験方法

3.2にて調整した試料は図3-3-1に示すような活性汚泥室内実験装置を用いて実験を行なった。実験中に原水貯槽において原水中の浮遊物質の沈降防止のため緩速撹拌を行なった。活性汚泥実験は連続的に行ないその処理条件、実験期間は表3-3-1に示す通りである。原水としては1日に必要とする90ℓを前日、あるいは当日南ポンプ場と遠州浜浄化センターの流入下水を採取したものを着色排水の混合比率がそれぞれ1, 2, 4, 8, 16%になるようにそれぞれ調整したものを使用した。



原 水 貯 槽 : 90 ℓ (原水撹拌用緩速撹拌機付)

揚 水 ポ ン プ : イワキ製マイクロベローズポンプ

最 初 沈 殿 池 : 4 ℓ

エアレーションタンク: 18 ℓ

曝気用エアポンプ: サンスイ製エアポンプ

最 終 沈 殿 池 : 7.5 ℓ (返送汚泥用エアリフトポンプ付)

処 理 水 貯 槽 : 90 ℓ

図3-3-1 実験装置

表 3-3-1 処理条件と実験期間

汚水ポンプ揚水量	55 ml/min
最初沈殿池沈殿時間	約 1.2 hr
エアレーション時間	約 5.5 hr
最終沈殿池沈殿時間	約 2.3 hr
エアレーションタンク内温度	20 °C
実験期間	13日間
エアレーション方式	標準活性汚泥法

最初沈殿池の生汚泥は最初沈殿池における汚泥の発生状況により間欠的に引抜いた。活性汚泥処理用の種汚泥としては混合下水の場合は流入下水の中に染色工場排水があり混合処理している中部浄化センターの活性汚泥を、一般下水の場合は浜松市の家庭汚水だけを処理している弥生浄化センターの活性汚泥をそれぞれ用いた。エアレーション用の空気量としてはエアレーションタンク流出混合液のDOを毎日測定して1 mg/ℓ位になるようにエアポンプからの空気量をバルブ調整して行なったが、本実験においては各試料とも1.0～1.5 ℓ/minの空気量でその条件を満足した。返送汚泥量の調整、余剰汚泥の引抜きはエアレーションタンクのSV、MLSS等を測定し、その結果から返送汚泥用のエアリフト用の空気量や最終沈殿池からの余剰汚泥の引抜き等の調整を行なった。またエアレーションタンク内水温は実験期間中20°Cに保持して実験を行なった。

水質試験としてはTr、pH、COD、SS、濁度、着色度(S)を原水と処理水について測定し、また採取した南ポンプ場流入下水については着色度(S)だけを測定した。エアレーションタンク内の水質試験は活性汚泥処理の安定化を保つため、pH、SV、DOについては毎日、MLSSについては1試料あたり2～4回測定した。分析方法は下記の通りである。着色度(T)は分析機器等の不備のため測定しなかった。

P H : ガラス電極法

C O D : アルカリ法

S S : ガラスファイバー濾紙法

濁 度 : 積分球濁度計による法

D O : ウィンクラーアジ化ナトリウム変法

M L S S : 遠心分離法

着色度(S) : 本報告書2.4.2, (2)の方法による。

(分光光度計：島津製NEW 210 Aダブルビーム分光光度計)
 測定用セル：100 mm
 3刺激値算出方式：単色表示10分割選定波長方式

3.4 実験結果と考察

実験結果については表3-4-1～6に示す通りである。

3.4.1 染色着色排水

染色工場からの着色排水としては南ポンプ場の流入下水としたが混合下水をつくるため1混合比率あたり連続13日間の実験で混合比率が5段階になっているから、延べ日数にすると65日間にわたってPM 4.30ごろ採取したわけだが、表3-4-6に示すようにその着色度(S)は大きく

表3-4-1 原水の水質

		一般汚水単独		混合下水 (混合比率 %)				
		AM 9.00採取	AM11.00 採取	1	2	4	8	16
T r (cm)	最大	2.5	6.0	3.0	3.0	4.5	3.0	2.5
	最小	1.5	1.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0
	平均	1.8	2.2	2.5	2.5	2.6	1.9	1.7
P H	最大	7.6	7.4	7.5	7.7	7.6	8.0	7.4
	最小	7.2	7.0	6.9	6.8	6.8	6.8	7.0
	平均	7.4	7.2	7.3	6.3	7.3	7.3	7.2
C O D (mg/l)	最大	61.2	65.1	53.5	62.1	52.5	70.6	62.7
	最小	41.8	19.4	31.7	30.4	27.1	37.6	35.3
	平均	52.1	39.7	44.1	43.6	42.0	47.8	46.3
S S (mg/l)	最大	168.0	171.3	108.0	146.0	190.0	218.0	213.8
	最小	70.0	25.0	57.0	48.8	45.0	60.8	39.1
	平均	121.9	94.7	81.6	78.5	80.7	94.9	93.0
濁 度 (mg/l)	最大	230.0	245.0	175.0	250.0	190.0	220.0	160.0
	最小	70.0	42.0	50.0	49.8	32.8	58.0	22.0
	平均	99.4	102.3	82.1	91.8	88.5	103.7	80.8
着色度(S) (測定セル100mm)	最大	24.2	18.8	20.6	19.5	23.6	37.1	42.3
	最小	14.1	11.1	13.4	9.9	10.6	13.2	12.9
	平均	17.3	13.9	15.9	14.0	15.1	18.7	24.8

表3-4-2 処理水の水質

		一般汚水単独		混 合 下 水 (混合比率 %)				
		AM9.00 採取	AM11.00 採取	1	2	4	8	16
T r (cm)	最大	30以上	30以上	30以上	30以上	30以上	30以上	30以上
	最小	15.5	4.5	9.0	9.0	10.0	23.0	6.0
	平均	24.8	25.7	20.8	22.1	25.2	27.0	21.7
P H	最大	7.5	7.7	7.4	7.6	7.7	7.7	7.7
	最小	6.6	6.7	6.9	7.0	7.2	6.6	7.2
	平均	7.3	7.2	7.1	7.4	7.5	7.4	7.6
C O D (mg/l)	最大	12.8	17.6	14.4	13.6	14.2	12.5	18.4
	最小	7.2	6.4	6.3	7.5	7.5	6.7	8.2
	平均	9.0	9.6	9.9	10.4	9.6	10.3	13.1
S S (mg/l)	最大	8.8	68.5	15.6	22.6	8.2	8.8	21.2
	最小	3.0	2.0	3.2	1.4	1.6	1.6	1.8
	平均	5.2	9.5	9.8	6.2	4.2	3.7	6.3
濁 度 (mg/l)	最大	7.0	25.0	11.5	17.0	7.5	9.8	10.8
	最小	1.5	0.3	2.8	1.7	1.8	1.2	1.4
	平均	3.8	5.3	5.4	7.2	4.0	4.2	4.9
着色度(S) (測定セル100 mm)	最大	13.0	12.0	13.1	14.6	19.9	21.4	37.2
	最小	10.2	8.2	9.8	4.4	8.2	8.8	11.2
	平均	11.2	9.5	10.9	10.2	12.6	14.9	21.6

表3-4-3 エアレーションタンクにおける水質

		一般下水単独		混 合 下 水 (混合比率 %)				
		AM9.00 採取	AM11.00 採取	1	2	4	8	16
P H	最大	7.3	7.4	7.3	7.4	7.4	7.3	7.6
	最小	6.5	6.1	6.7	7.0	7.1	6.2	6.8
	平均	7.0	7.0	7.0	7.2	7.2	7.1	7.2
S V (%)	最大	30.5	24.0	31.5	31.0	47.0	48.0	73.5
	最小	9.0	0	9.0	4.5	14.5	10.5	3.0
	平均	18.2	12.6	19.3	20.6	27.6	24.2	25.2

D O (mg/l)	最大	1.6	4.7	1.9	4.5	0.6	1.6	4.1
	最小	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3
	平均	0.7	1.5	0.9	0.9	0.4	0.8	1.1
MLSS (mg/l)	最大	1,656	1,738	1,424	1,328	1,862	2,300	2,398
	最小	1,430	1,376	1,226	1,070	852	1,174	1,400
	平均	1,543	1,557	1,325	1,199	1,217	1,494	1,740

表 3-4-4 脱 色 率

		一般下水単独		混 合 下 水 (混合比率 %)				
		AM9.00 採取	AM11.00 採取	1	2	4	8	16
着色度(S) (測定セル 100 程度)	最大	57.0	39.3	50.0	58.9	28.9	42.3	32.6
	最小	21.3	18.8	11.5	0	0	0	0
	平均	34.2	31.3	30.2	22.4	17.1	20.1	13.4

表 3-4-5 除 去 率

		一般下水単独		混 合 下 水 (混合比率 %)				
		AM9.00 採取	AM11.00 採取	1	2	4	8	16
C O D	最大	87.0	86.3	87.5	83.7	83.9	84.5	86.3
	最小	75.6	50.6	62.5	69.2	68.7	76.2	62.2
	平均	82.6	74.1	77.2	75.5	76.8	79.9	71.3
S S	最大	98.1	97.4	95.7	98.1	97.4	98.5	99.2
	最小	87.7	12.2	79.2	74.7	90.1	91.7	45.6
	平均	95.2	88.2	87.6	92.1	94.6	95.9	90.5
濁 度	最大	98.4	99.5	98.2	98.0	99.1	99.4	98.5
	最小	93.0	53.7	81.1	77.0	88.1	89.7	50.9
	平均	95.9	91.6	92.3	90.5	94.7	95.3	91.2

表 3-4-6 南ポンプ場流入下水の着色度(S)

		混 合 下 水 (混合比率 %)				
		1	2	4	8	16
着色度(S) (測定セル 100 程度)	最大	45.9	50.8	66.6	56.3	55.8
	最小	17.1	15.3	16.6	22.1	18.9
	平均	32.4	34.1	36.9	36.8	35.8

変動した値を示したが、各混合比率における平均値ではほぼ一定した値になった。

図3-4-1に南ポンプ場の流入下水を 0.45μ のメンブランフィルターで濾過した濾過液の色の3刺激値 X, Y, Z から色度座標 x, y を求めてプロットした結果を示したが主波長が590~530Cとなり色相ではだいたい色から赤紫色を呈し、明度は20~70%の間にあることがわかる。図3-4-2に南ポンプ場の流入下水を2.4.2, (1)で述べた方法でSS等の懸濁物質を含ん

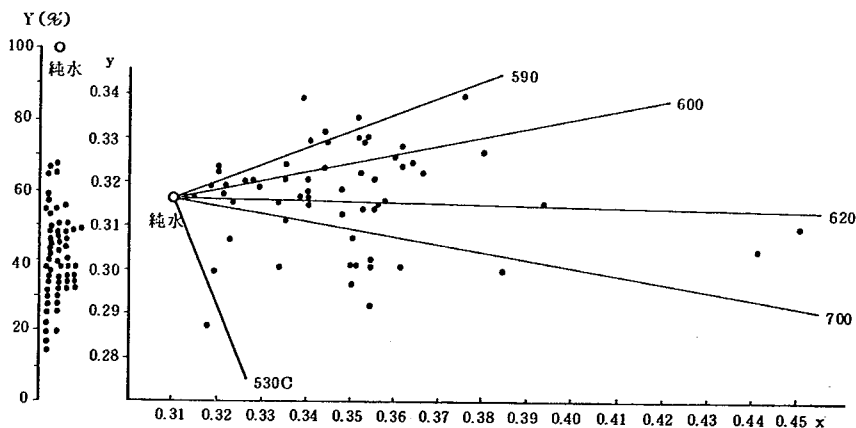


図3-4-1 南ポンプ場流入下水の色度図

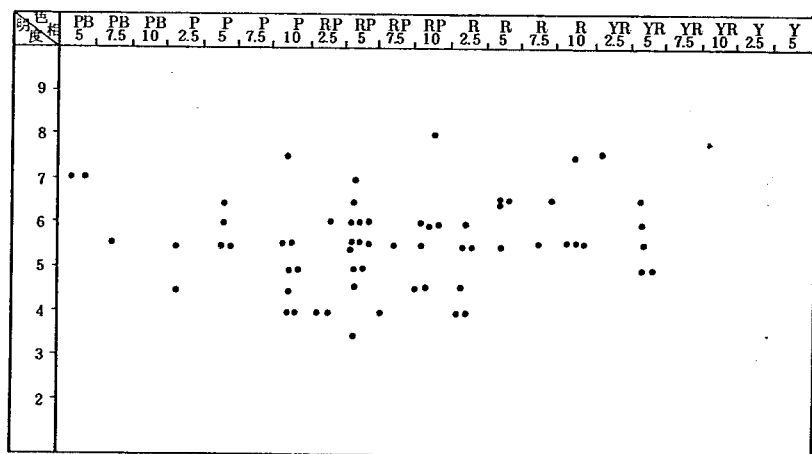


図3-4-2 南ポンプ場流入下水の色相と明度

だ原水のままで標準色票にて測定した結果を示したが、色相は大部分が10P～10Rの間にあり、これは前述した 0.45μ 以下の溶解性物質によると色相とはほぼ一致しており、南ポンプ場の流入下水の着色はSSが $40\sim 60\text{ mg/}\ell$ と少ないためSS分による着色は 0.45μ 以下の微細な物質によるものであることがわかる。染色工場においてはあらゆる色の染料を使用しているものと思われるが、このように赤色系が南ポンプ場の流入下水の色相であると言うことは排水区域内の染色工場において他の色の染料と比べ赤色系の染料を多量に使用しているためではないかと思われる。

3.4.2 活性汚泥処理

処理水量が $55\text{ m}\ell/\text{min}$ と非常に小規模な実験装置にて実験を行なったため、表3-4-3に示すようにエアレーションタンク内水質がpH 6.1, SV 0, DO $4.7\text{ mg/}\ell$ という測定結果にみられるように返送汚泥用のエアリフトの空気量の調整が微妙なことから返送汚泥管の閉塞等によるトラブルが発生したが、全体を通してみると表3-4-2に示すようにある程度満足した結果が得られた。

エアレーションタンクのBOD負荷を求めてみる。原水のCODは表3-4-1より平均すると $45\text{ mg/}\ell$ となり、浜松市の流入下水のBOD/CODは統計的に $1.5\sim 2.0$ であることから原水のBODは $70\sim 90\text{ mg/}\ell$ と推定される。最初沈澱池におけるBOD除去率を35%すると1次処理水のBODは約 $45\sim 60\text{ mg/}\ell$ となる。よって容積負荷は $0.2\sim 0.26\text{ kg/m}^3\text{日}$ となる。BOD-SS負荷は表3-4-3よりMLSSを平均すると $1.440\text{ mg/}\ell$ となり、これよりBOD-SS負荷は $0.14\sim 0.18\text{ kg/SS}\cdot\text{kg}\cdot\text{日}$ と求まる。従ってエアレーションタンクにおけるBOD負荷は非常に低負荷で実験していたことになる。

SVIを求めてみると一般下水単独の場合は $80\sim 120$ と正常な値を示しているのに対して混合下水は $150\sim 220$ と非常に高く活性汚泥の沈降性の悪さを示しているが表3-4-5、図3-4-6から処理水のCOD, SS, 濁度の除去率は一般下水単独処理と比較してもほとんど差が

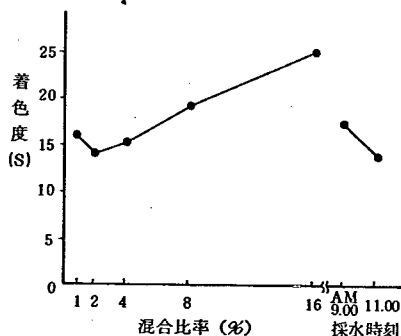


図3-4-3 原水の着色度(S)

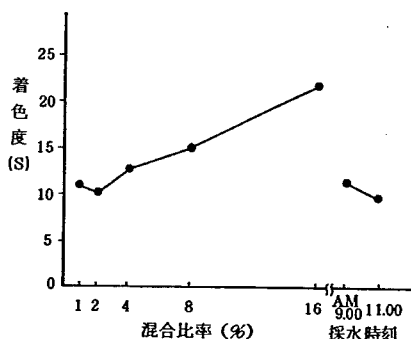


図3-4-4 処理水の着色度(S)

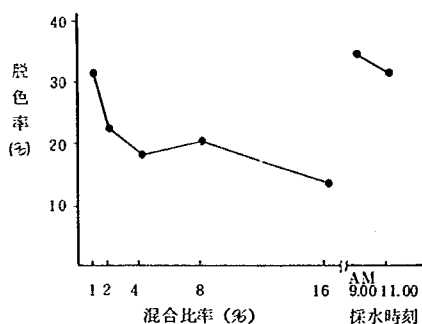


図3-4-5 脱色率

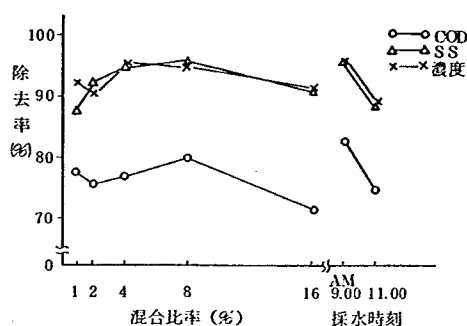


図3-4-6 除去率

ないことがわかる。柏谷¹⁾は染料排水と家庭汚水との共同活性汚泥処理実験において糸状菌の発生により活性汚泥の沈降性が悪く処理水中のSSが非常に高い値を示したと報告しているが、今回の実験において混合下水を処理する種汚泥として用いた中部浄化センター活性汚泥も通常の活性汚泥と比較すると非常に微細で比重が小さく沈降性が悪く柏谷の実験結果と一致しているが、今回の実験ではSVIが高いにもかかわらずSS等の除去が良好であったという点についてはどういう理由であるか明らかでない。

また原水と処理水のSSと濁度を測定したので、SSと濁度との相関関係をみるため図3-4-7~8に示したが原水、処理水ともSSと濁度との相関関係は見い出されなかった。

3.4.3 脱色効果

柏谷¹⁾、Jonesら²⁾は染色工場排水を活性汚泥処理することにより脱色効果があったと報告しているが、橋本ら³⁾の実験では全く脱色効果は認められなかったと報告している。今回の実験においても表3-4-4、図3-4-5に示すようにほとんど染料による着色の除去は認められなかった。

(1) 一般下水

一般下水の着色度(S)はAM 9.00採取試料で34.2%, AM 11.00採取試料で31.3%の脱色率が得られ、原水における着色物質除去はAM 9.00採取試料の方がAM 11.00より多いことが原因と思われ、表3-4-5、図3-4-6のCOD除去と非常に関連性があることがわかる。またSS、濁度の除去率が高いことから濁質分による着色の除去はかなり効果があることがわかる。

図3-4-9は一般下水の原水と処理水の色度座標であるが、その座標は純水からはほぼ直線関係にあることがわかる。これによると色相は主波長が575 nmであることから黄色で、活性汚泥処理することにより刺激純度は減少し明度は増加しているので脱色されていることがわか

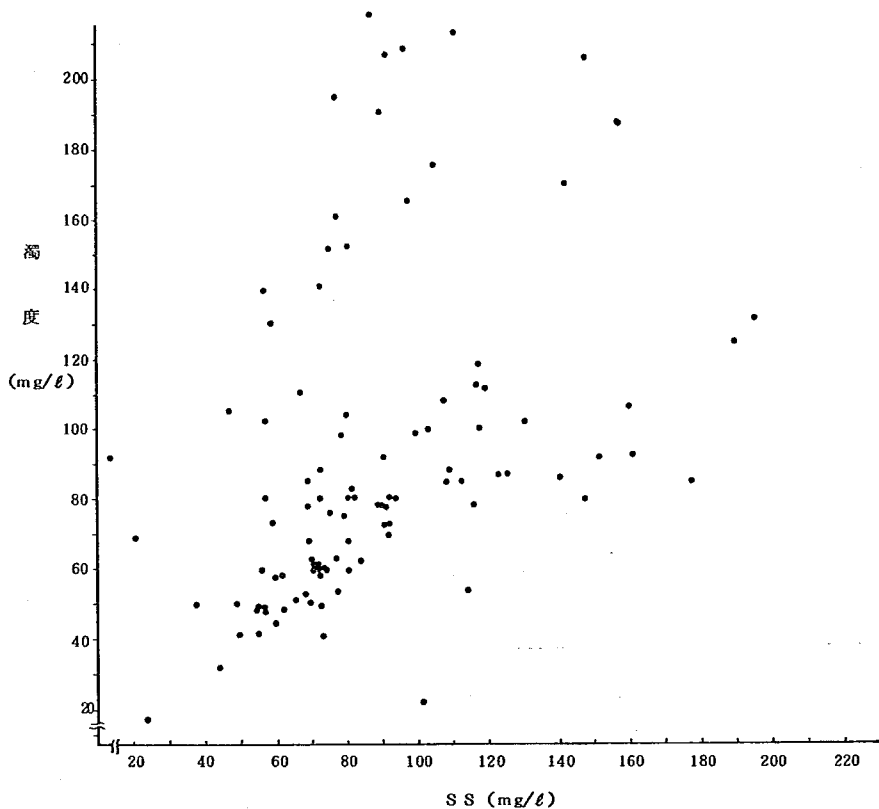


図3-4-7 原水のSSと濁度との関係

る。なお色度座標における一般下水の関係式は $y = x + 0.34$ となる。また標準色票による色相と明度の測定結果を図3-4-10に示す。5Y~10Yの間にあり原水はほとんど5Y(黄)で、処理するに従って7.5Y、10Yとだんだん黄色に緑色を帯びてくることがわかる。明度は7~9の間にあり処理することにより明度が大きくなることがわかる。

(2) 混合下水

表3-4-6、図3-4-5より混合下水における染色着色排水の混合比率が高くなるに従って、着色度(S)の脱色率が低下して行くことがわかる。このことは溶解性染料の除去はほとんど活性汚泥処理で行なわれていないものと思われる。

このことを確かめてみるため2.5.1で述べた赤色の染料「Kayarus Right Red」の染料濃

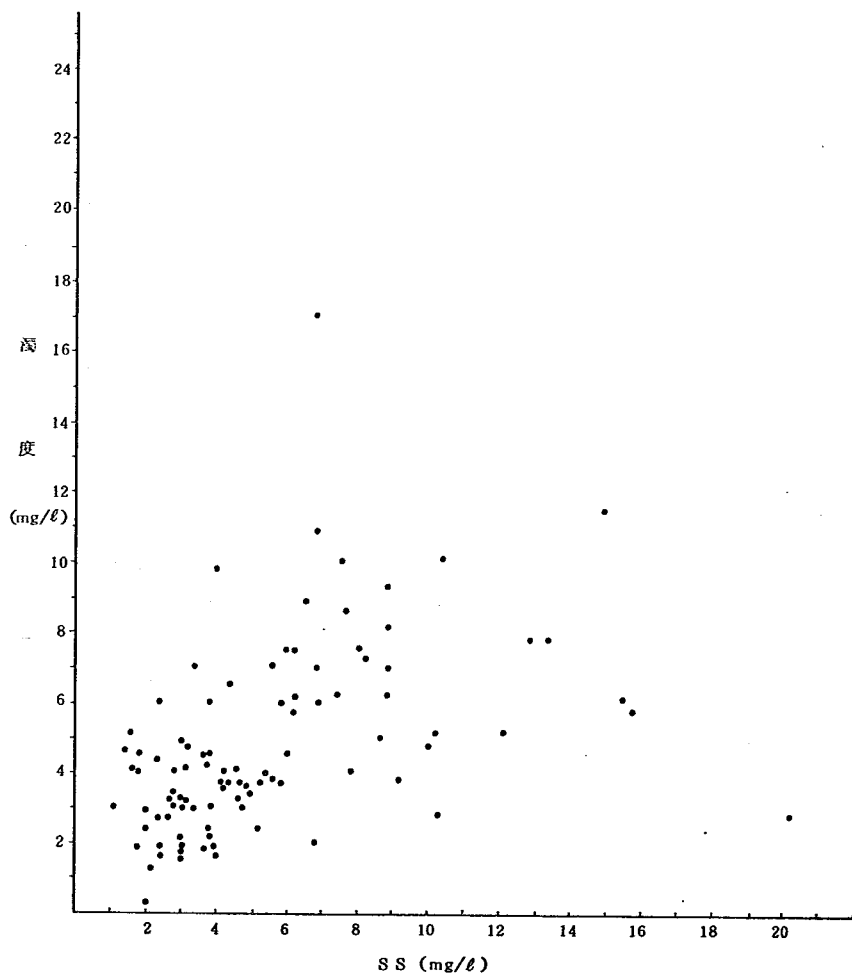


図3-4-8 処理水のSSと濁度との関係

度と着色度(S)との関係から実験試料の着色度(S)を染料濃度におきかえて検討してみることにする。混合下水としては染色着色排水の混合比率が最も高い16%の試料について計算する。一般下水の着色度(S)は表3-4-1より13.9でこれを染料濃度で表わすと図2-5-6より1.1mg/ℓとなる。処理水の着色度(S)は表3-4-2より9.5で同様に染料濃度では0.7mg/ℓとなる。従って一般下水では活性汚泥処理することにより染料は36.4%除去されることがわ

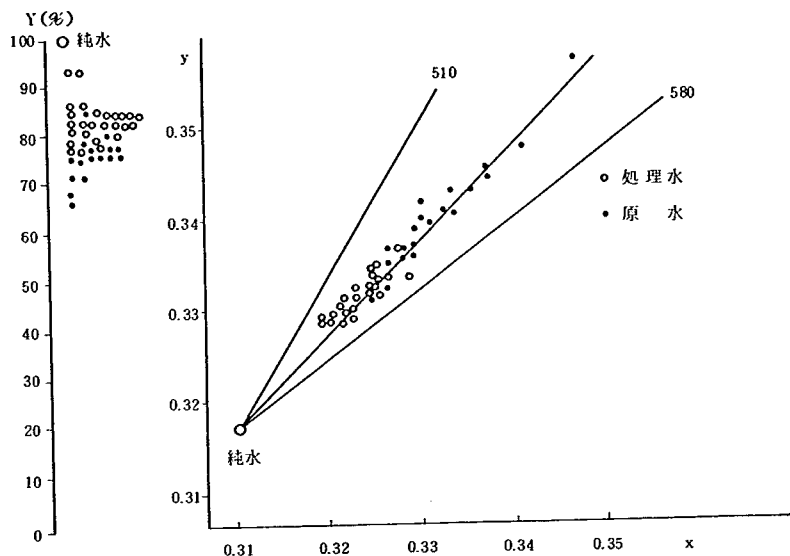


図3-4-9 一般下水の色度図

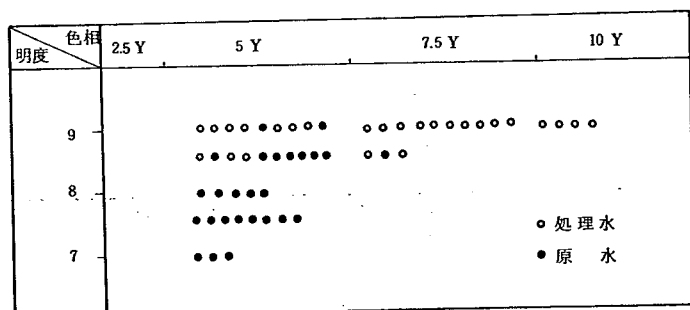


図3-4-10 一般下水の色相と明度

かる。また混合比率が16%の時の南ポンプ場の流入下水の着色度(S)は表3-4-6より35.8で染料濃度で表わすと2.65 mg/lとなる。南ポンプ場における染色着色排水の混合比率は27.5%で残りは一般下水でありその着色度(S)を遠州浜浄化センターでAM 11.00に採取した

ものと同じ値とすれば、染色工場からの染色着色排水の染料濃度を x とすると $0.275x + 0.725 \times 1.1 = 2.65$ $x = 6.74 \text{ mg/l}$ となる。染色着色排水の混合比率 16% における処理水の着色度(S)は表3-4-2より 21.6で染料濃度で表わすと 1.70 mg/l となる。一般下水の着色を染料で表わした場合の活性汚泥処理による染料除去は前述した通り 36.4%であるから染色工場の染色排水中に含まれる染料の活性汚泥処理による除去率を x とすると $0.16 \times 6.74 (1-x) + 0.84 \times 1.10 \times (1-0.364) = 1.70$ よって $x = 0$ となり、着色度を染料濃度に変換して染料除去率を求めてみると計算上からは 0.45μ 以下の溶解性染料については全く活性汚泥処理では望めないことが推察される。このことを図3-4-11の色度図によりみると、色度図上からは明度Yは活性汚泥処理により多少なりとも明度の上昇が見受けられる。色相、刺激純度は非常にバラツキがあり判断しにくい面があるが、色相では原水と処理水を比較すると原水の主波長が 600 nm 台のものは処理することにより主波長が 500 nm 台に移行する傾向がある。このことは赤色系の染料が活性汚泥処理されたことにより何んらかの反応を起していることが考えられるが、しかしこれは脱色されたとは言えない。何故ならば一般下水中の着色物質は活性汚泥処理により図3-4-9で明度の上昇と刺激純度の減少により着色度(S)が低下するので脱色効果があることは実証されたが、混合下水の場合は活性汚泥処理されたことにより処理水の刺激純度が原水より増加する傾向があり、このことは溶解性染料が何んらかの反応をし刺激純度の増加がかなりあることがわかる。従って着色度(S)としては何んらか変らないことになり、 0.45μ 以下の溶解性染料の除去(脱色)は活性汚泥処理ではほとんど期待出来ないことがわか

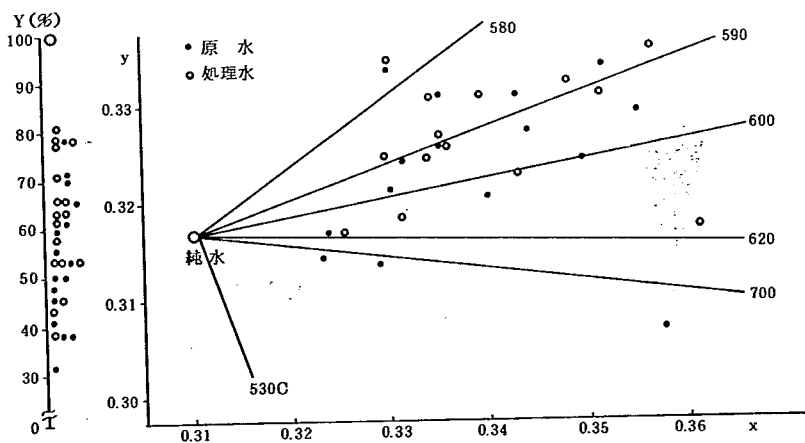


図3-4-11 混合比率16%の混合下水の色度図

る。このことから混合比率16%における混合下水の着色度(S)脱色率が13.4%あるのは一般下水の着色物質の除去によるものである。

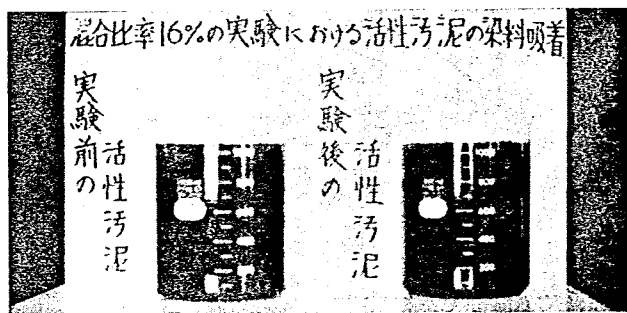
一方、 0.45μ 以上の濁質分による着色は一般下水と同じく濁度除去が活性汚泥処理により行なわれることから、かなり脱色されていると思われる。このことは分散、建築染料等の疎水性染料、ならびに顔料など染料の種類によっては活性汚泥処理することにより着色物質の除去（活性汚泥の吸着）が行われるが、このことを確認するため弥生浄化センターの活性汚泥を種汚泥にして混合下水を数日間処理したところ、だんだん着色物質を活性汚泥が吸着し黒ずんでくることから着色物質の除去が実証された。このことを写3-4-1（カラー写真は巻末）に示す。また、混合比率16%の混合下水、一般下水（採取時刻A M 9.00）を活性汚泥処理した実験結果を写3-4-2～3（カラー写真は巻末）に示す。

3.5 ま と め

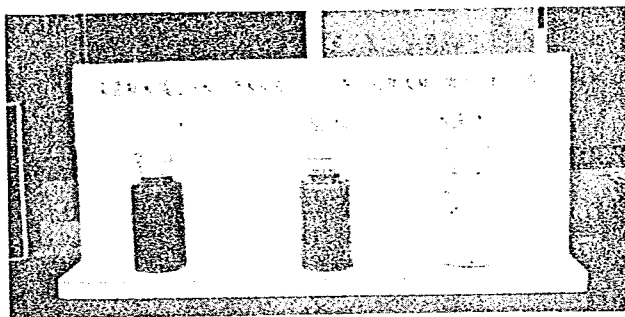
工場からの着色排水として染色工場からの染色着色排水を実験試料として、着色排水を含む下水が活性汚泥処理することにより脱色効果を得られるかどうかを実験し、また工場からの着色排水を含まない一般下水についても同様に実験してみた。

活性汚泥処理によるSS、濁度の除去率が80～90%と高いため、着色物質の中でもSSなどの大きな着色成分は除去され脱色効果が非常に高いことが明らかになった。また 0.45μ 以下の溶解性物質による着色は一般下水では活性汚泥処理で30～35%の脱色効果があるが、溶解性染料による着色は全く脱色効果は期待出来ないことがわかった。

また今回の実験における使用染料の内訳は表3-2-2に示すように反応染料が57%と非常に

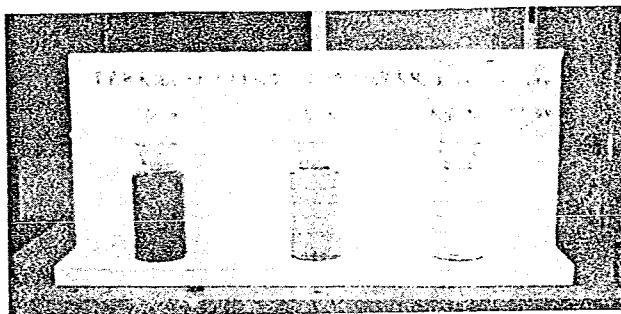


写3-4-1 活性汚泥による色素分の吸着
（カラー写真は巻末に添付）



	原 水	処理水
着色度(S)	2 4 8	2 1.6

写 3 - 4 - 2 混合下水の原水と処理水（混合比率 16 %）
（カラー写真は巻末に添付）



	原 水	処理水
着色度(S)	1 7.3	1 1.2

写 3 - 4 - 3 一般下水の原水と処理水（採取時刻 A M 9.00）
（カラー写真は巻末に添付）

比率が高く一般的に反応染料が脱色に関して最も難しいとされていることから 0.45μ 以下の溶解性染料についても染料によって活性汚泥処理による脱色効果は多少なりとも違いがあるかも知れない。このことについては今後の研究課題であろう。また染色工場以外の工場からの着色排水についても今回の実験結果がそのまま適応出来るか比較実験する必要があるだろう。

将来、公共用水域に色規制が実施されてくる時、今回のように染色工場が処理区域内にあり、そこからの染色着色排水が一般下水とともに処理場にて活性汚泥処理される場合、染料の種類により多少の違いはあろうが溶解性染料による着色は全く脱色できず処理水中に染料が残存し一般下水中に占める染色着色排水の比率が高い場合には非常に視覚的に不快感を与える可能性が十分考えられるので除害施設等による脱色処理が必要になるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 柏谷：土木研究所報告 133 号の 3 (1967)
- 2) Iones, E, L : Journal WPCF, 34, No 5 (1962)
- 3) 橋本ら：水処理技術 Vol 13, No 3 (1972)

4. 着色排水を含む下水の2次処理水の脱色に関する物理化学的実験

4.1 実験概要

4.1.1 はじめに

下水道処理区域内に染色工場等の着色排水を排出する工場が存在しそこから排出される着色排水が一般下水とともに下水処理場にて処理されている場合、その着色を呈している物質が活性汚泥処理では除去されず2次処理水中に残存すると、その2次処理水は一般下水処理場の2次処理水とは異なり着色物質により着色され、色相によっては非常に視覚的に不快感を感じさせるものとなり、放流先である公共用水域を着色させ住民に視覚公害という2次公害を発生させる恐れが十分考えられる。

この問題を解決するためには除害施設等により下水道に流入させる前での着色物質の除去（脱色）か、2次処理水から着色物質を除去（脱色）するという2つの処理方式が考えられ、今回は後者の2次処理水の脱色について実験することとした。下水の2次処理水の脱色を主目的としての実験はほとんどなく、3次処理として他の汚濁物質の除去の実験とあわせて色度の測定をして脱色効果について報告している例はある。1) 2)

脱色効果がある処理法としてはオゾン化、活性炭吸着、凝集沈殿処理の3つの処理方法が考えられ今回の実験ではこれら3つの処理にて脱色処理実験をし比較検討してみた。

4.1.2 水質試験の方法

水質試験としては、水の着色、実験条件等に影響を及ぼす項目として水温、pH、SS、濁度が考えられるので、それらの項目と着色度（S）、着色度（T）を原水と処理水について測定した。分析方法は下記の通りである。

水 温 : 0.50 目盛棒状アルコール温度計による。

p H : ガラス電極法による。

S S : ガラスファイバー濾紙法による。

濁 度 : 積分球式濁度計による。

着 色 度 : 本報告書 2.4.2 (2) に示す着色度（T）、着色度（S）測定法による。

分光光度計 : 島津製 NEW 210 A ダブルビーム分光光度計

測定用セル : 着色度（T）10 mm、着色度（S）100 mm

刺激値算出法 : 単色表示10分割選定波長方式による。

4.1.3 実験に供した試料

着色排水を含む下水の2次処理水としては浜松市中部浄化センターの2次処理水とした。浜松中部浄化センターは昭和50年度末で処理面積766 ha、人口92,400人、処理水量109,400

m³/日（うち工場排水量57,900 m³/日）の処理場で着色排水としては染色工場からの着色排水があり染色工場の染色品別工場数、工場排水量、使用染料については表4-1-1～2に示す通りである。

表4-1-1 染色工場の排水量

	排 水 量 (m ³ /日)			
	工場数	未着色排水量	着色排水量	総合排水量
小 巾	17	270	4,370	4,640
広 巾	5	4,850	9,650	14,500
糸	7	500	700	1,200
合 計	29	5,620	14,720	20,340

表4-1-2 使用染料

	小 巾	広 巾	糸	B) 合 計	B) / (A)
硫 化	1,365	30	1,047	2,442	140
媒 染	2,082	30	340	2,452	140
ナフトール	463	198	43	1,104	6.3
分 散	—	—	110	110	0.6
反 応	399	9,160	30	9,589	55.0
酸 性	625	—	125	750	4.3
直 接	50	530	197	777	4.5
媒 染	197	—	30	227	1.3
合 計	5,181	10,348	1,922	(A) 17,451	
顔 料	210	10,250	—	10,460	—

昼間時における中部浄化センター流入下水量は6,000～7,000 m³/hr で、染色工場からの着色排水量は工場の操業時間により昼間時では1,120 m³/hrである。従って全流入下水量に占める着色排水量は16.0～18.6%となる。中部浄化センターの2次処理水の着色度（S）の時間変動は図4-1-1に示す通りである。

図4-1-1から着色度（S）の最大値を示すのはAM 1.00であることがわかる。3.2.2で南ポンプ場流入下水がPM 16.00～18.00ごろ着色度（S）が最も高くなるということ述べたが、南ポンプ場から中部浄化センターまでの下水の流達時間、および中部浄化センターにおけ

る処理時間を考えると時間差は8～9時間となり、南ポンプ場の着色度(S)のピーク時の下水が処理水となるのはAM 0.00～AM 3.00となるはずであり、図4-1-1の結果とはほぼ一致する。従って実験用試料の2次処理水としては最終沈殿池に採水用ポンプを設置しタイマーでAM

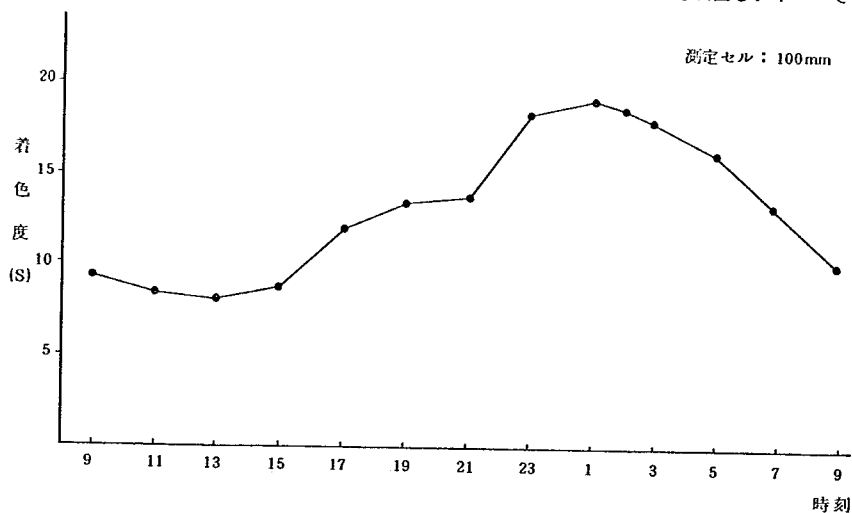


図4-1-1 中部浄化センター2次処理水の着色度(S)

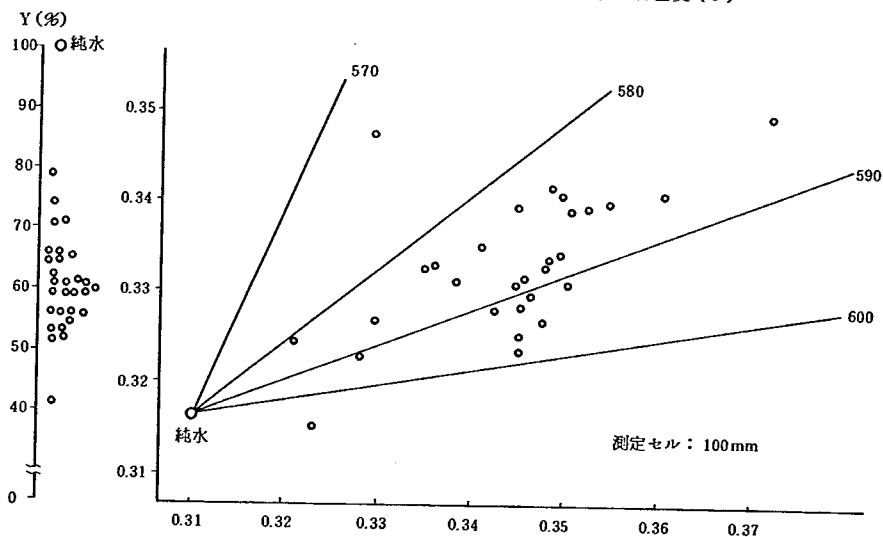


図4-1-2 中部浄化センター2次処理水の色度図

1.00 に必要量だけ採水してタンクに貯留しておいたものを用いることにした。

図4-1-2に実験の原水である中部浄化センター2次処理水の 0.45μ 以下の溶解物質による色度図を示した。この色度図によると主波長は $570\sim 600\text{nm}$ の間であり色相は黄色からだいたい色を呈しており、主として帯黄だいたい色である。南ポンプ場流入下水の色相は3.2.2で述べたようにだいたいから赤紫色を呈していたのに比べ黄色味を帯びているのは中部浄化センターにおいて尿、ならびに尿浄化槽汚泥の処理を $300\text{m}^3/\text{日}$ ほど行なっており、また染色着色排水の全下水量に占める比率が南ポンプ場流入下水より低下し、一般下水中に含まれている黄色の着色物質の増加などが原因であろう。また明度は $50\sim 70\%$ であることがわかる。

4.2 活性炭吸着処理

4.2.1 はじめに

活性炭は、水処理（排水処理、下水の高度処理）、糖液処理などを初めとして、あらゆる分野にわたり広く利用されているが、脱色を目的とした水の高度処理にも効果があるということは周知のとおりである。

しかし活性炭の液相吸着は吸着平衡と吸着速度で説明され、この両者は被吸着物質の濃度、液温度、溶解度、活性炭の粒子径・細孔分布など多くの諸因子によって影響されるため³⁾、どのような特性（物理・化学的性質）を有する活性炭が脱色に効果があるのかまだまだ未知な分野が多い。そこでピッツバーグ社製Calgon SGL, GALと国内メーカー品10種類計12種類を供試炭としたFreundlich等温吸着実験・Calgon SGLを供試炭として $LV=100\text{m}/\text{日}$ で $SV=2, 4, 6, 8, 10, 12$ と変化させたカラム連続通水実験、Calgon CALほか10種類の活性炭を供試炭とし、 $LV=100\text{m}/\text{日}$ 、 $SV=4$ のカラム連続通水実験等を行ない、各活性炭の脱色効果の比較及び最適な脱色条件の検討を行なった。

4.2.2 実験方法

(1) 実験に供した活性炭

供試炭として、ピッツバーグ社製Calgon SGL, CAL, タケダ薬品工業社製X-7000, X-7100, X-6000, クラレケミカル工業社製KW, GWC(I), GWC(II), 第一炭素工業社製DSW-1, 藤沢薬品工業社製A-CW, 三井コークス工業社製SL-1030F, 三菱化成工業社製Diahope 006, 計12種類を使用した。これらの供試炭は、すべて石炭系で、タケダX-7000, X-7100, X-6000, 三井SL-1030Fは球状炭、その他は破碎炭である。

又その特性（物理化学的性質）及び単価を表4-2-1に示す。ただしこの数値は各メーカーが提示した値である。

表 4-2-1 供試炭の特性及び単価

項目 供試炭名	粒 度 mesh or mm	乾燥減 量 (%)	見 掛 比 重 (ρ_{app})	硬 度 (%)	PH	比 表 面 積 (m^2/g)	強 熱 分 残 分 (%)	ヨウ素 吸着量 (mg/g)	メチレン ブルー 脱色力 (ml/g)	ベンゼン 吸着量 (%)	単 価 ($円/kg$)
ビツッパ ーグ社 Calgon SGL	0.65~ 0.80mm JIS K1412	2.0以下 JIS K1412	0.48 JIS K1412			950~ N ₂ BET法	8.0以下 JIS K1470	900 以上 JIS K1470			430
ビツッパ ーグ社 Calgon CAL	0.50~ 0.60mm JIS K1412	2.0以下 JIS K1412	0.44 JIS K1412			1000 ~1100 JIS N BET法	8.5以下 JIS K1470	1000 以上 JIS K1470			450
タケダ薬 品工業KK X- 7000	8~32 mesh JIS K1412	5.0以下 JIS K1412	0.45~ 0.5 JIS K1412	98以上 JIS K1412		900~ 1200 N ₂ BET法		900~ 1150 JIS K1470			415
タケダ薬 品工業KK X- 7100		X-7000を酸洗して精製したもの									465
タケダ薬 品工業KK X- 6000	8~32 mesh JIS K1412	5.0以下 JIS K1412	0.4~ 0.45 JIS K1412	90以上 JIS K1412		900~ 1200 N ₂ BET法		850 以上 JIS K1470			385
クラレケ ミカルKK KW	6~32 mesh JIS K1412	2.0 JIS K1412	0.430 JIS K1412	97.0 JIS K1412	7.8 JIS K1470	1100 N ₂ BET法	3.1 JIS K1470	1080 JIS K1470		36.8 JIS K1412	460
クラレケ ミカルKK GWC(I)	8~32 mesh JIS K1412	2.1 JIS K1412	0.442 JIS K1412	89.8 JIS K1412	8.0 JIS K1470	1070.4 N ₂ BET法	6.4 JIS K1470	924 JIS K1470		28.4 JIS K1412	400
クラレケ ミカルKK GWC(II)	8~32 mesh JIS K1412	1.8 JIS K1412	0.408 JIS K1412	90.9 JIS K1412	8.0 JIS K1470	754.3 N ₂ BET法	7.2 JIS K1470	785 JIS K1470		20.3 JIS K1412	400
第一炭 素工業KK ISW-1	8~32 mesh JIS K1412	2.0 JIS K1412	0.402 JIS K1412	99.0 JIS K1412	5.6 JIS K1470			1014 JIS K1470		41.2 JIS K1412	380
フジサワ 薬品工業 KK A-CW	8~32 mesh JIS K1412 改正案		0.40~ 0.50 JIS K1412 改正案	93以上 フジサワ 法	8~10 JIS K1470	1000 以上 N ₂ BET法	10以下 JIS K1470	1000 以上 JWWA K113		28以上 JIS K1412	370
三井コークス工業 KK	10~ 32 mesh	3.0以下	0.49~ 0.51	99以上	8.5~ 9.5	900	15~ 16	990	160		350

SL 1030F	(0.5~ 1.5) JISK 1412	JISK 1412	JISK 1412	JISK 1412	JISK 1470	N ₂ BET 法	JISK 1470	JISK 1470	JISK 1470		
三菱化成 工業 K.K. hofgo 006	0.5~ 1.5 JISK 1412		0.44~ 0.47 JISK 1412	88~ 92 三菱化成 法		1100 ~ 1250 N ₂ BET 法	3~5 JISK 1470	1000 ~ 1100 EPA法	200 ~ 220 JISK 1470		400

(2) 等温吸着実験

供試炭を乳鉢にて粉碎して、100 mesh のフルイに通過したものを105～110℃に調節した恒温乾燥器中で2時間乾燥し、デシケーター中で放冷した。そして容量500 ml の共栓三角フラスコにこの供試炭を0.01, 0.025, 0.075, 0.15 mg をおのおの測りとり、これにミリポアフィルター（孔径1 μ）で吸引濾過した供試料500 ml を加えよく振り混ぜ、20℃に調整した恒温室に一昼夜放置した後、メンブランフィルター（孔径0.45 μ）で吸引濾過した。つぎにその濾液を着色度（S）測定法に準じて測定し、その着色度吸着量を算出した。なお供試炭Calgon SGLは15回、他の供試炭は4～5回比較試験を行い算術平均した。

(3) カラム連続通水実験

実験装置は、図4-2-1、写4-2-1～写4-2-3に示すとおりである。浜松市中部浄化センター2次処理水は、SSとして通常20 ppm 前後含有しており、供試料として、SS濁度分を除き、目づまり防止と活性炭の寿命を伸ばすため、急速濾過したものを使用した。

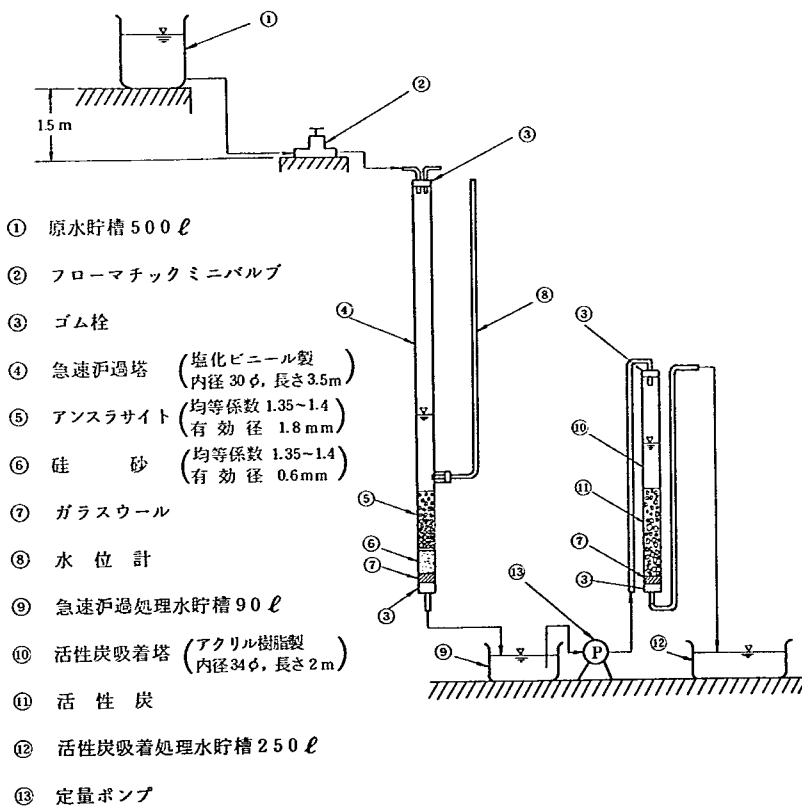
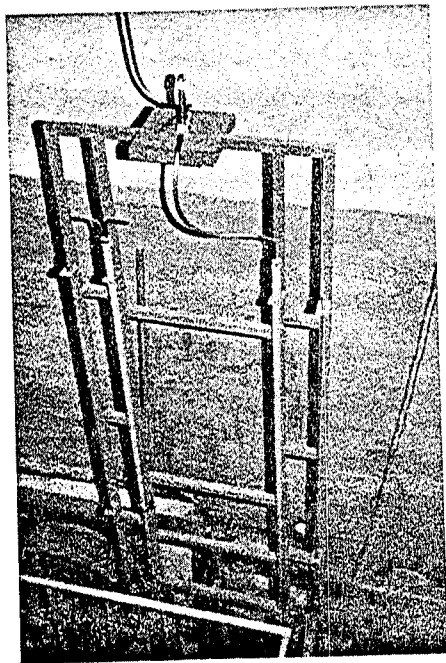
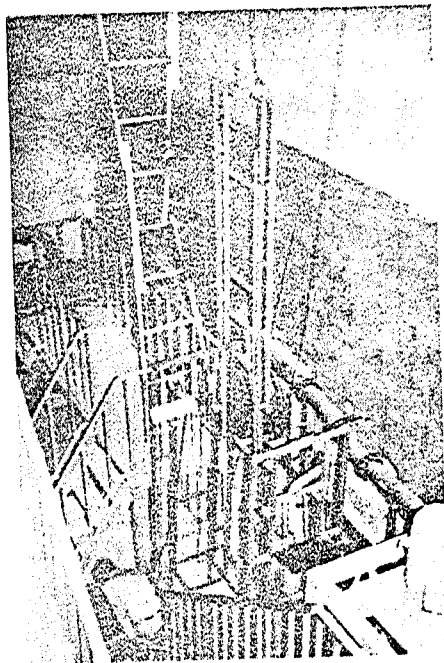


図 4-2-1 実験装置図



写 4-2-2 急速通過実験装置



写 4-2-1 実験装置全体

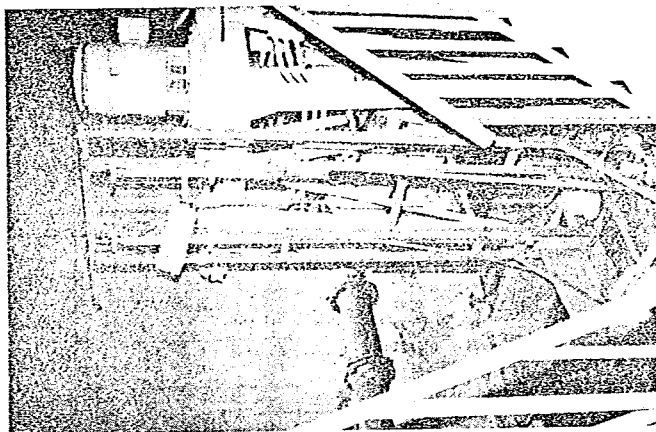


図 4-2-3 活性炭吸着実験装置

原水（2次処理水）を原水槽（500ℓ）に入れ、重力ろ過方式にて急速ろ過した後、所定の高さに供試炭を充填したカラムに圧力式下向流方法にて通水し実験を行なった。

なお、供試炭 Calgon SGL は、 $LV = 100 \text{ m/日}$ で $SV = 2, 4, 6, 8, 10, 12$ 、と変化させ、各 SV に対して 15 日間連続通水し、他の供試炭は $LV = 100 \text{ m/日}$ 、 $SV = 4$ のみ 12 日間連続通水した。ただしタケダ X-7100 は日数の関係上 5 日間の連続通水した。又急速ろ過の実験内容は表 4-2-2 に示すとおりである。

表 4-2-2 急速ろ過実験内容

塔内径，長さ，材質	30φ，3.5m，塩化ビニール製
最大損失水頭	2.5m
珪砂充填高さ	30cm
アンスラサイト充填高さ	70cm
珪砂均等係数，有効径	1.35～1.4，0.6mm
アンスラサイト均等係数，有効径	1.35～1.4，1.8mm
線流速（LV）	300m/日

4.2.3 実験結果と考察

(1) 等温吸着実験

活性炭吸着の場合、液相平衡では通常 Freundlich の式 $X/M = KC^{1/n}$ ($\log X/M =$

$\log K + \frac{1}{n} \log C$) が近似的に成立するとしてよい。

X : 着色度吸着量

C : 吸着後の溶液平衡着色度

M : 活性炭添加量 (重量)

K : 常数

X / M : 活性炭単位重量当りに吸着された着色度

n : 常数

浜松市中部浄化センター2次処理水と各供試炭との系における Freundlich 等温吸着線を求めた。その結果は表 4-2-3~14, 図 4-2-2~13, に示すとおりである。又それらをすべてまとめたものを図 4-2-14 に示す。

表 4-2-3 Calgon SGL

活性炭添加量 (g/l) M	平衡着色度 (S)			着色度吸着量			活性炭単位質量当りに吸着された被吸着着色物質量 X/M	脱色率 (%)		
	C _i			X = (C ₀ -C _i)						
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
0	27.8	15.6	21.7							
0.02	24.4	9.4	17.9	6.8	2.6	3.8	190	42.0	10.0	18.0
0.05	20.0	7.0	14.6	10.1	5.3	7.1	142	56.8	25.2	33.1
0.10	16.4	4.3	11.2	12.5	8.1	10.5	105	73.5	39.5	49.3
0.15	13.5	1.9	8.9	15.0	9.7	12.8	85.3	88.3	50.2	60.0
0.30	7.9	0	4.5	20.7	13.0	17.2	57.3	100	70.8	80.3

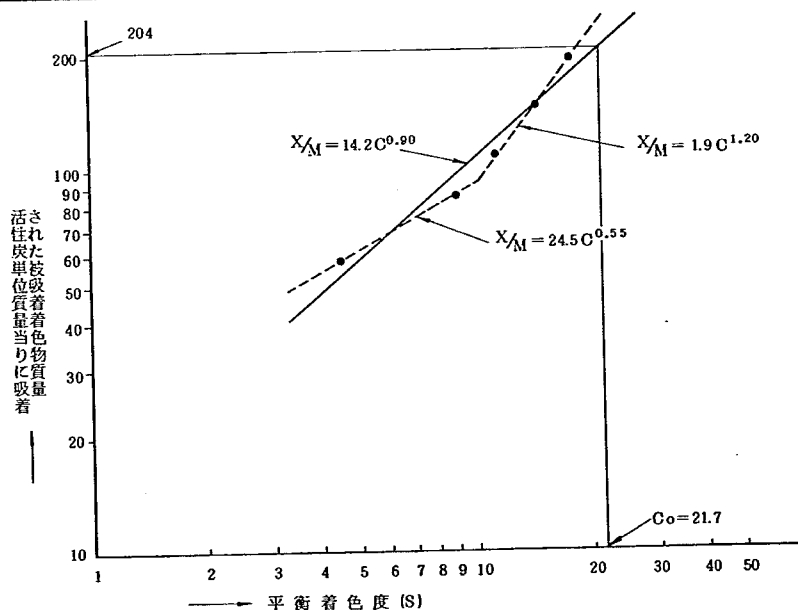


図 4-2-2 Calgon SGL

表 4-2-4 Calgon CAL

活性炭 添加量 (g/l) M	平衡着色度 (S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質質量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
0	27.8	15.6	21.5							
0.02	24.6	9.9	17.6	6.3	2.1	3.9	195	38.9	11.5	19.3
0.05	21.3	6.9	14.5	9.3	4.6	7.0	140	57.4	23.4	33.7
0.10	17.6	3.6	11.3	12.6	7.6	10.2	102	77.8	36.7	49.4
0.15	14.8	2.2	8.9	14.4	8.9	12.6	84.0	86.4	46.8	60.1
0.30	13.1	0	5.8	18.6	11.6	15.7	52.3	100	52.9	75.2

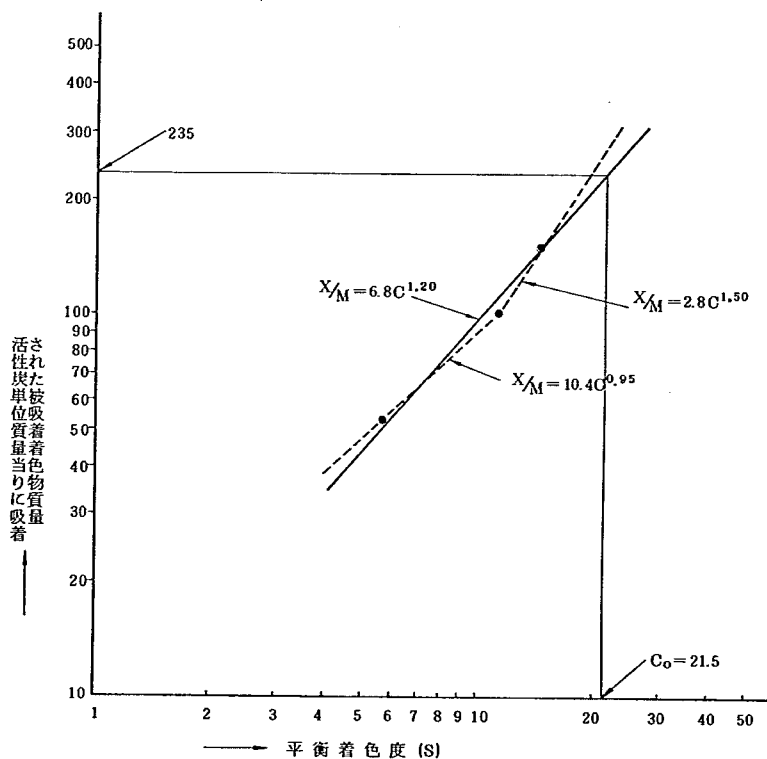


図 4-2-3 Calgon CAL

表 4-2-5 タケダ X-7000

活性炭 添加量 (g/l) M	平衡着色度 (S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質 量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
0	27.1	16.2	22.5							
0.02	25.4	11.5	19.9	4.7	1.2	2.6	130	29.0	6.3	12.5
0.05	23.5	8.7	16.9	7.5	3.6	5.6	112	46.3	13.3	26.6
0.10	19.2	6.4	13.6	9.9	7.9	8.9	89.0	60.5	29.2	41.5
0.15	17.5	3.8	11.1	12.7	9.6	11.3	75.3	76.5	35.4	52.7
0.30	12.5	0	6.2	19.3	13.8	16.3	54.3	100	53.9	74.9

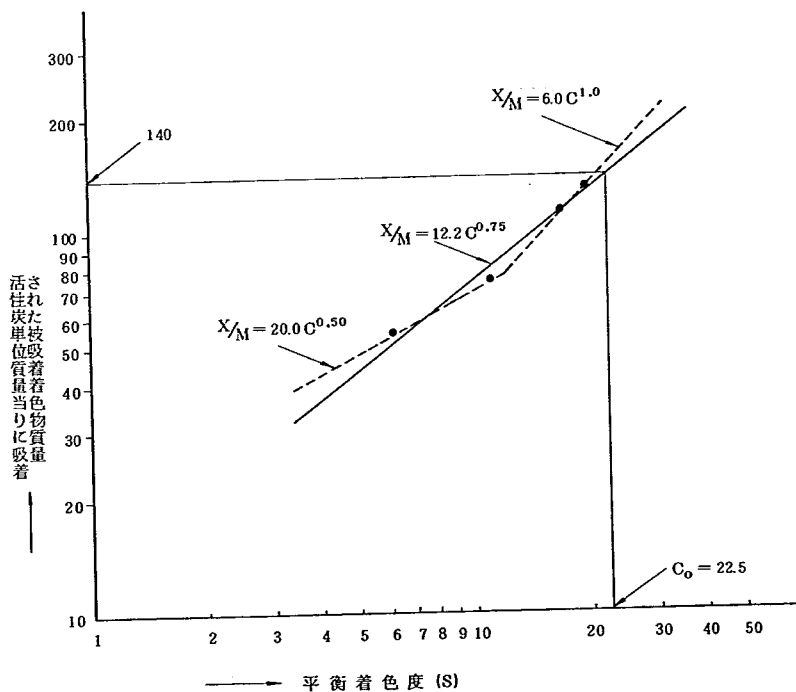


図 4-2-4 タケダ X-7000

表4-2-6 タケダX-7100

活性炭 添加量 (g/l) M	平衡着色度 (S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質質量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	平均	最大	最小	平均
0	27.1	15.6	21.0							
0.02	24.1	13.6	18.5	3.0	2.0	2.6	13.0	13.8	11.1	12.3
0.05	20.7	9.7	15.0	6.4	5.5	6.0	12.0	37.8	23.6	29.8
0.10	17.0	7.3	11.7	10.6	8.3	9.3	93.0	53.2	37.3	45.6
0.15	15.1	5.9	9.3	15.1	9.7	11.7	78.0	65.1	44.3	56.9
0.20	10.2	3.2	5.8	18.0	12.4	15.2	50.7	79.5	62.4	73.7

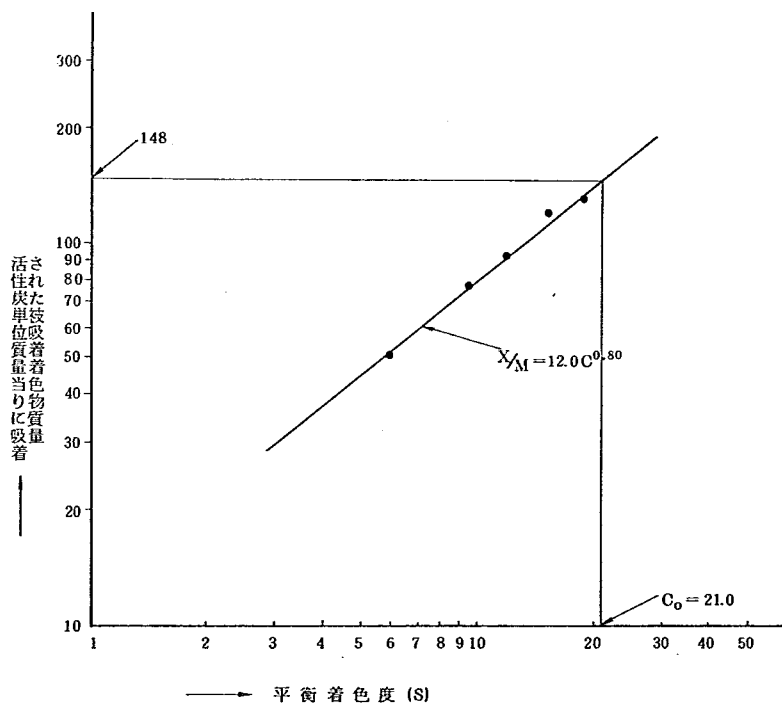


図4-2-5 タケダX-7100

表 4-2-7 タケダ X-6000

活性炭 添加量 (g/l) M	平衡着色度 (S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
0	27.8	15.6	22.4							
0.02	22.2	11.8	17.2	7.6	3.8	5.1	255	27.3	18.1	22.9
0.05	16.6	9.9	12.6	12.2	6.9	9.8	196	58.5	38.7	46.8
0.10	12.8	5.0	8.0	18.7	10.6	14.3	143	69.8	52.8	64.7
0.15	8.2	3.1	4.9	22.1	12.5	17.5	117	82.9	69.7	78.6
0.30	2.2	0.4	1.2	25.6	14.9	21.3	71.0	97.8	92.1	94.9

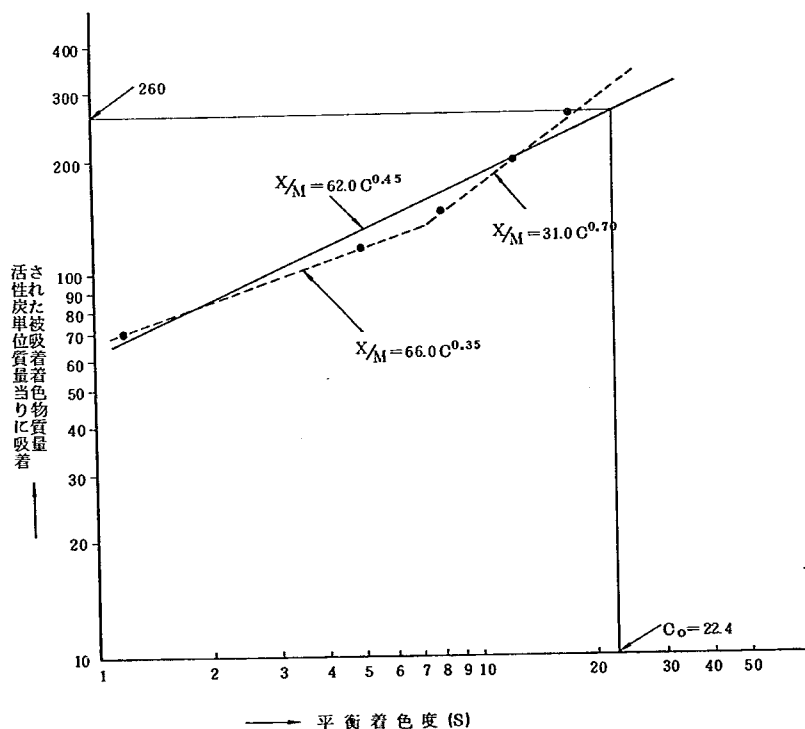


図 4-2-6 タケダ X-6000

表 4-2-8 クラレ KW

活性炭 添加量 (g/l) M	平衡着色度(S) Ci			着色度吸着量 $X=(C_0-C_i)$			活性炭単位質量 当りに吸着された被 吸着着色物質量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	平均	最大	最小	平均
0	26.0	16.2	21.2							
0.02	23.9	11.1	18.5	5.1	1.8	2.7	13.5	31.5	7.3	14.2
0.05	20.8	8.9	15.9	7.3	4.4	5.3	10.6	45.1	17.9	26.8
0.10	17.6	6.5	13.3	9.7	6.5	7.9	7.9	59.9	28.5	39.2
0.15	15.2	4.9	11.2	11.7	7.7	10.0	6.67	69.8	38.2	48.9
0.30	11.4	0	7.3	16.2	10.3	13.9	46.3	100	56.2	68.1

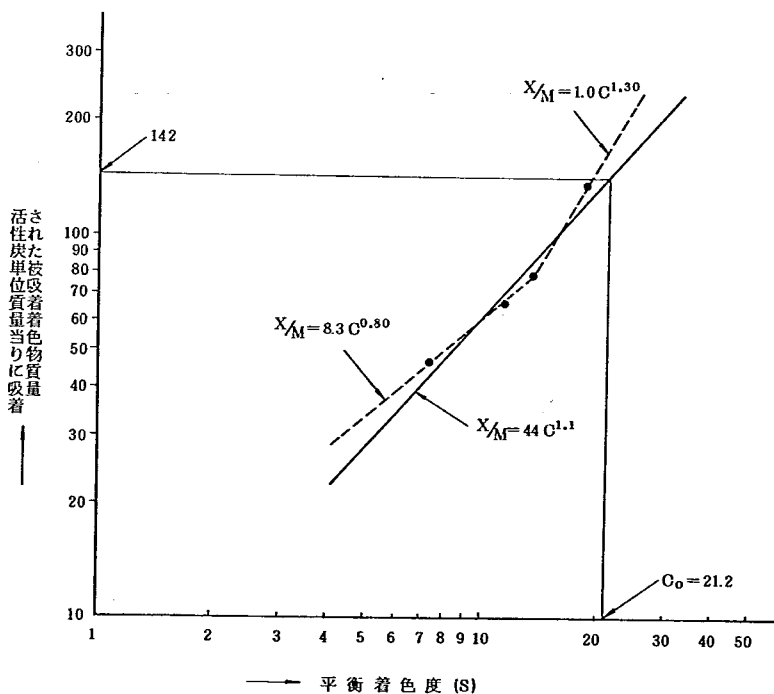


図 4-2-7 クラレ KW

表 4-2-9 クラレGWC (I)

活性炭 添加量 (g/l) M	平衡着色度(S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質質量 X/M	脱色率 (%)			
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	平均	最大	最小	平均	
0	27.8	16.8	21.7								
0.02	20.7	12.4	16.6	7.1	4.3	5.1	255	26.2	19.8	23.7	
0.05	16.5	8.4	11.4	12.7	8.4	10.3	206	53.1	40.6	47.8	
0.10	10.6	5.0	8.4	17.4	11.7	13.3	133	70.2	55.6	62.0	
0.15	7.3	3.4	5.1	20.5	13.4	16.6	111	81.4	69.6	76.9	
0.30	2.6	1.2	1.8	25.2	15.6	19.9	66.3	93.4	90.6	91.9	

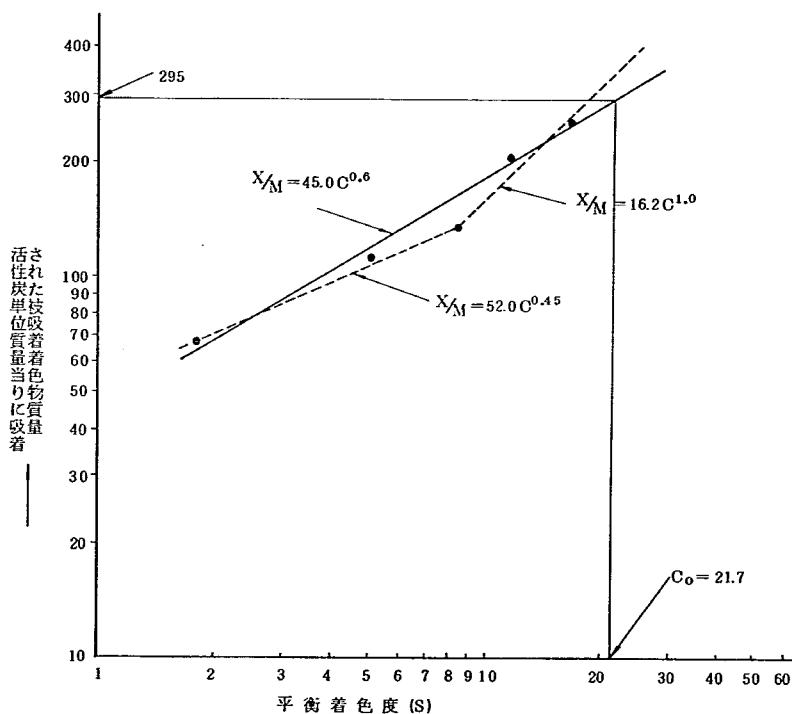


図 4-2-8 クラレGWC (I)

表 4-2-10 クラレGWC (II)

活性炭 添加量 (g/ℓ) M	平衡着色度(S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
0	27.8	15.6	23.5							
0.02	22.0	9.6	17.6	6.0	5.8	5.9	295	38.5	20.9	27.1
0.05	13.9	5.8	11.1	14.2	9.8	12.4	248	62.8	48.7	54.2
0.10	7.5	2.6	5.6	21.0	13.0	17.9	179	83.3	72.3	77.0
0.15	2.9	0.9	2.2	24.9	14.7	21.3	142	94.2	89.6	91.2

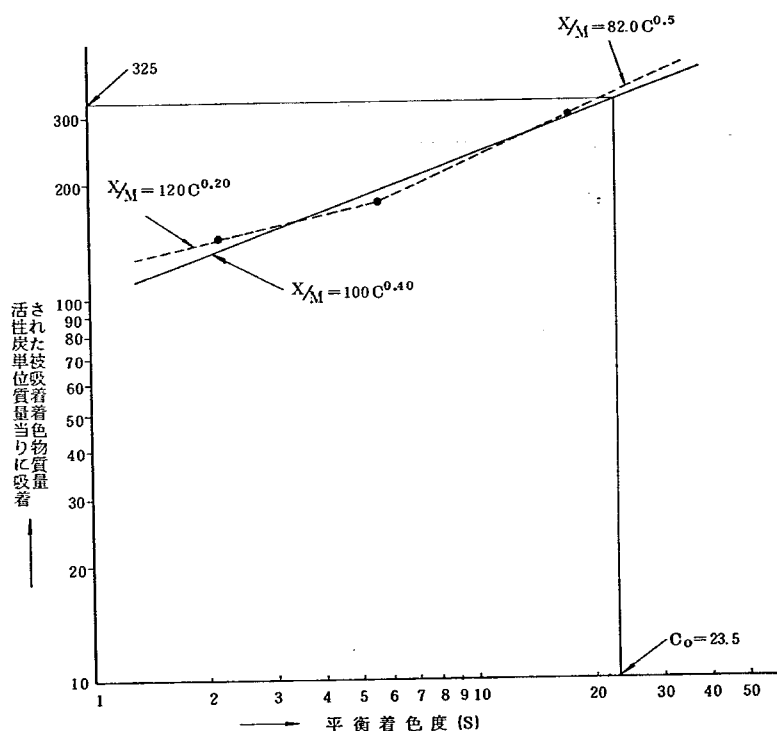


図 4-2-9 クラレGWC (II)

表 4-2-11 第一炭素 DSW-1

活性炭 量 (g/2l)	平衡着色度 (S) C_i			着色度吸着量 $X=(C_0-C_i)$			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
2	27.8	16.8	21.7							
10	21.0	13.1	17.2	6.8	3.2	4.5	225	24.5	16.3	20.5
15	16.2	8.7	12.7	11.6	7.2	9.1	182	48.2	39.3	42.0
20	11.3	5.0	8.1	16.5	10.5	13.6	136	70.2	57.4	63.1
25	6.3	3.3	5.1	21.5	12.6	16.6	111	81.7	68.9	76.1
30	2.7	0.6	1.9	25.6	16.2	19.8	66.0	96.4	88.8	91.4

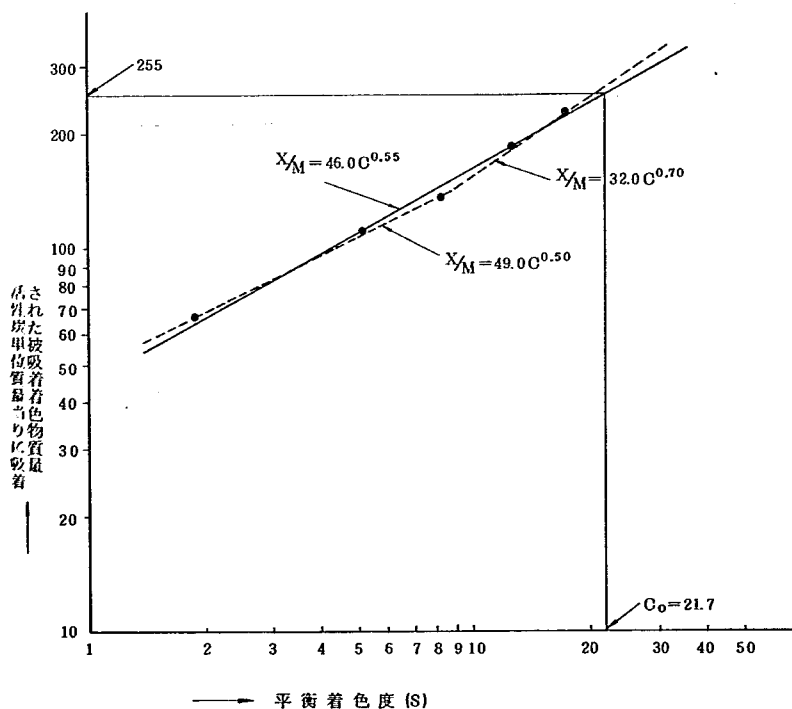


図 4-2-10 第一炭素 DSW-1

表 4-2-12 フジサワ A-CW

活性炭 添加量 (g/l) M	平衡着色度 (S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質質量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
0	27.8	23.0	24.8							
0.02	21.5	17.0	18.9	6.3	4.8	5.8	290	26.7	20.1	23.7
0.05	16.4	12.7	13.9	12.5	10.2	10.9	218	48.1	41.0	44.1
0.10	10.7	5.4	8.4	17.6	14.7	16.4	164	76.5	61.5	66.4
0.15	7.7	3.3	5.1	21.3	18.7	19.7	131	85.7	72.3	79.7
0.30	2.0	0.6	1.4	26.2	21.6	23.4	78.0	97.4	92.3	94.6

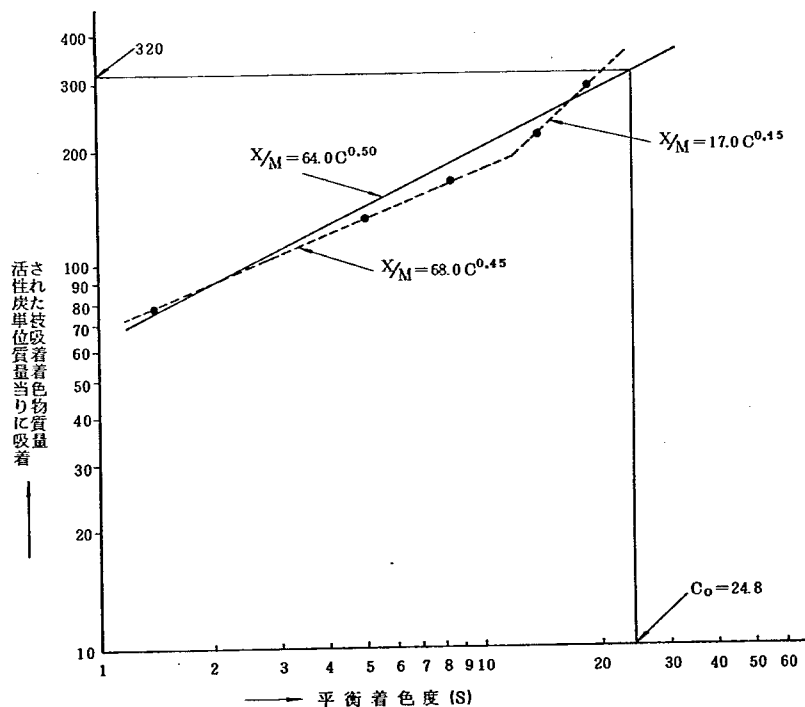


図 4-2-11 フジサワ A-CW

表 4-2-13 三井 S L-1030 F

活 性 炭 添 加 量 (g/l) M	平 衡 着 色 度 (S) C _i			着 色 度 吸 着 量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質量 X/M	脱 色 率 (%)		
	最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均	平 均	最 大	最 小	平 均
0	24.0	18.3	21.1							
0.02	20.6	15.6	18.0	3.5	2.4	3.1	15.5	18.3	13.1	14.8
0.05	17.8	12.6	15.0	6.7	5.2	6.2	12.4	34.0	25.8	29.3
0.10	14.2	9.8	12.0	9.9	7.6	9.2	9.2.0	48.7	40.8	43.5
0.15	11.8	7.3	9.5	12.9	9.6	11.6	7.7.3	61.8	50.8	55.3
0.30	7.3	3.5	5.3	17.9	13.2	15.9	53.0	81.7	69.6	75.3

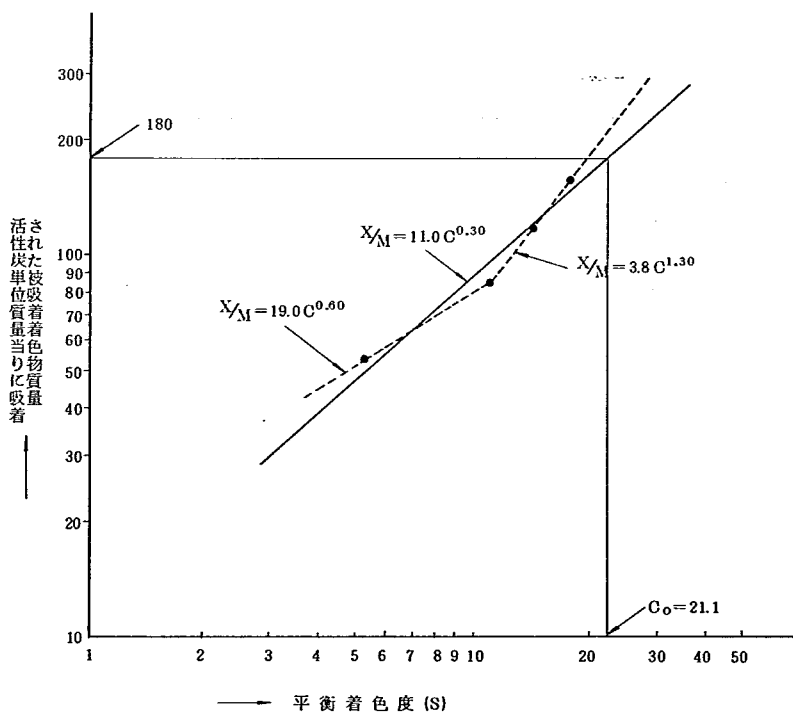


図 4-2-12 三井 S L-1030 F

表 4-2-14 三菱Diahope 006

活性炭 添加量 (g/ℓ) M	平衡着色度(S) C _i			着色度吸着量 X=(C ₀ -C _i)			活性炭単位質量当 りに吸着された被 吸着着色物質質量 X/M	脱色率 (%)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均		最大	最小	平均
0	24.6	16.8	21.1							
0.02	22.0	15.1	18.9	2.6	1.7	2.3	11.5	11.0	10.1	10.7
0.05	19.9	13.0	16.8	4.8	3.8	4.3	86.0	22.6	19.1	20.4
0.10	16.8	10.8	13.9	8.3	6.0	7.2	72.0	38.2	29.7	34.3
0.15	14.8	9.8	12.2	9.8	7.2	8.9	59.3	48.7	38.9	42.6
0.30	10.8	6.2	8.7	13.8	10.6	12.4	41.3	62.8	55.6	59.4

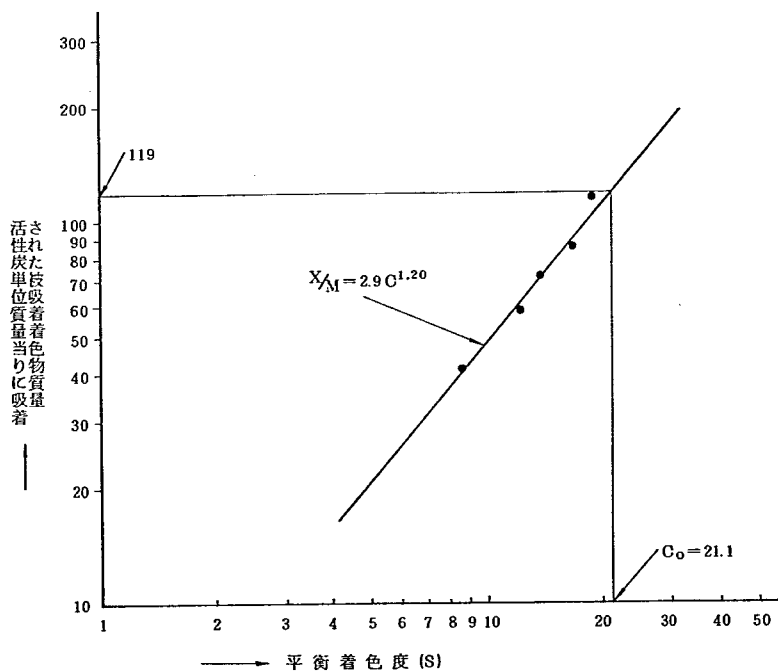


図 4-2-13 三菱Diahope 006

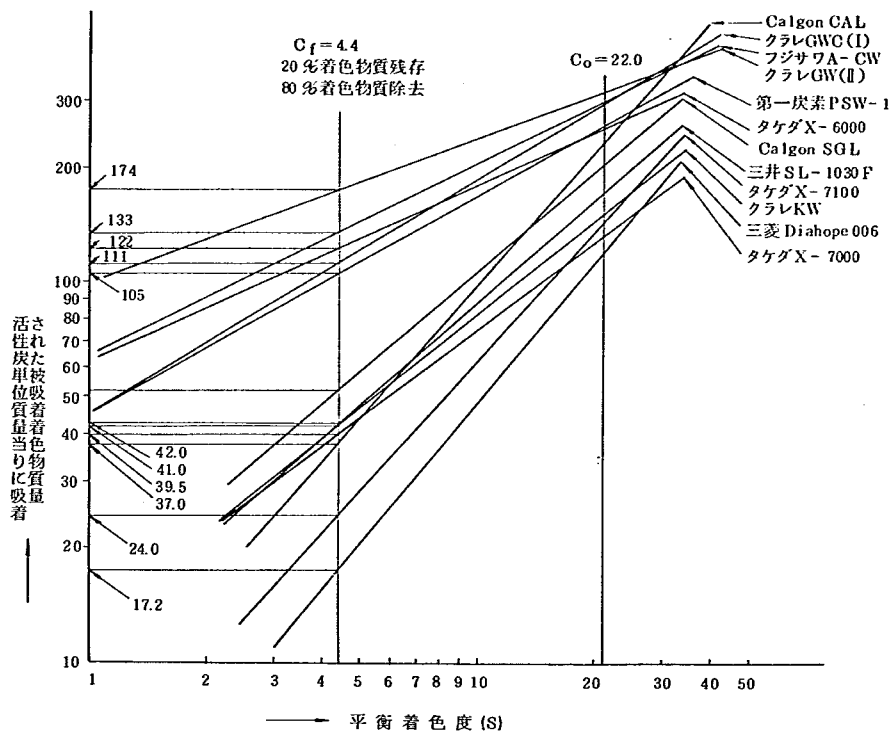


図 4-2-14 各供試炭の等温吸着線

得られた等温吸着線から、目視法で Freundlich の式における $\log K$, $1/n$ (実線の方) を求めた結果、表 4-2-15 のようになった。

表 4-2-15 等温吸着線の $\log K$ および $1/n$ 値 (実線の方)

活 性 炭 名	$\log K$	$1/n$
Calgon SGL	14.2	0.90
Calgon CAL	6.8	1.20
タケダ X-7000	12.2	0.75
タケダ X-7100	12.0	0.80
タケダ X-6000	62.0	0.45
クラレ KW	4.4	1.10
クラレ GWC (II)	45.0	0.60

クラレ GWC(Ⅲ)	100	0.40
第一炭素DSW-1	46.0	0.55
フジサワA-CW	64.0	0.50
三井SF-1030F	11.0	0.90
三菱Diahope006	2.9	1.20

一般に、前述の Freundlich の式の $1/n$ が $0.1 \sim 0.5$ のときは吸着されやすく、 2 以上ではされにくいとされている。⁴⁾ 実験結果をこの条件により、供試炭の吸着効果の簡易性を検討してみると、クラレGWC(Ⅲ) > タケダX-6000 > フジサワA-CW > 第一炭素DSW-1 > クラレGWC(Ⅰ) > タケダX-7000 > タケダX-7100 > Calgon SGL, 三井SL-1030F > クラレKW > Calgon CAL, 三菱Diahope の順になる。

又等温吸着線を得るためには、かなり厳格な実験及び分析を要するため、今回の実験でも相当細心の注意を払って行なったが、直線になりがたい結果もみられた。しかし吸着れやすさの異なる被吸着物質が混合していると直線にならないという見解があり^{5) 6)}、この原因によって、大きく2つのクニックが生じたとなると線上(点線の方)にプロットがよくのる等温吸着線がある。この等温吸着線の Freundlich の式における $\log K$, $1/n$ を求めると表4-2-16 のようになり、どのようになり、どの供試炭の等温吸着線も平衡(残留)着色度が低い方が $1/n$ が小さく、吸着されやすい傾向があるといえる。

表4-2-16 二つのクニックが生じた場合の $\log K$, $1/n$ 値(点線の方)

活 性 炭 名	平衡(残留)着色度が低い方		平衡(残留)着色度が高い方	
	$\log K$	$1/n$	$\log K$	$1/n$
CalgonSGL	24.5	0.55	1.9	1.2
CalgonCAL	10.4	0.95	2.8	1.5
タケダX-7000	20.0	0.50	6.0	1.0
タケダX-7100	クニックが生じない			
タケダX-6000	66.0	0.35	31.0	0.7
クラレ KW	8.3	0.80	1.0	1.3
クラレ GWC(Ⅰ)	52.0	0.45	16.2	1.0
クラレ GWC(Ⅲ)	120.0	0.20	82.0	0.5

第一炭素DSW-1	49.0	0.50	32.0	0.7
フジサワA-CW	68.0	0.45	17.0	0.95
三井 SL-1030F	19.0	0.60	3.8	1.3
三菱 Diahope 006	クニックが生じない			

下水のように汚濁（着色）物質が二成分以上存在し、表4-1-2のように多種の染料を使用している染色工場排水が混合している場合、その成分をいっそう複雑にし、吸着の様相が多分子吸着の要因の大なるものと考えられるので、その現象としてクニックが生じたとするのが妥当であろう。

log K値が大きいほど吸着容量が大きいといわれているが、表4-2-15よりその優劣をつけるとクラレGWC(Ⅲ)＞フジサワA-CW＞タケダX-6000＞第一炭素DSW-1＞クラレGWC(Ⅰ)＞Calgon SGL＞タケダX-7000＞タケダX-7100＞三井SL-1030F＞Calgon CAL＞クラレKW＞三菱Diahope 006の順に吸着容量が小さくなる。又図4-2-2～13より飽和吸着量を求めると表4-2-17のようになり、クラレGWC(Ⅲ)＞フジサワA-CW＞クラレGWC(Ⅰ)＞タケダX-6000＞第一炭素DSW-1＞Calgon CAL＞Calgon SGL＞三井SL-1030F＞タケダX-7100＞クラレKW＞タケダX-7000＞三菱Diahope 006の順に飽和吸着量が小さくなる結果となった。

表4-2-17 各活性炭の飽和吸着量

活 注 炭 名	飽和吸着量 (ℓ/g・活性炭)
CalgonSGL	204
CalgonCAL	235
タケダX-7000	140
タケダX-7100	148
タケダX-6000	260
クラレ KW	142
クラレ GWC(Ⅰ)	295
クラレ GWC(Ⅲ)	325
第一炭素DSW-1	255
フジサワA-CW	320
三井 SL-1030F	180
三菱 Diahope 006	119

そのほか等温吸着線より、活性炭の性能を比較す手段として、被吸着物質をあるパーセント吸着除去するのに必要な活性炭量を求める方法⁷⁾と一つの活性炭を標準炭とし、あるパーセント吸着除去するのに必要な標準炭重量をM、試験炭重量をM' とすると、下記の式より求める活性炭評価試験 (adsorbate relative efficiency test, RE)⁸⁾ による方法とがある。

$$RE = \frac{M'}{M} \times 100$$

図4-2-14より 原水(二次処理水)の着色(S)を図4-2-2~13のC₀の平均値22.0とし、80%脱色するのに必要な活性炭量を求め、Calgon SGLを標準炭としてREを算出した結果を表4-2-18に示す。

表4-2-18 80%脱色するのに必要な活性炭量とRE

活 性 炭 名	原水着色度(S)22.0を80%脱色するのに必要な活性炭量 (g/l)	R E
CalgonSGL	0.345	
CalgonCAL	0.476	138
タケダX-7000	0.446	129
タケダX-7100	0.733	212
タケダX-6000	0.144	42
クラレ KW	0.429	124
クラレ GWC(I)	0.159	46
クラレ GWC(II)	0.101	29
第一炭素DSW-1	0.168	49
フジサワA-CW	0.132	38
三井 SL-1030F	0.419	121
三菱 Diahope006	1.023	297

表4-2-18 からわかるようにクラレGWC(II)>フジサワA-CW>タケダX-6000>クラレGWC(I)>第一炭素DSW-1>Calgon SGL>三井SL-1030F>クラレKW>タケダX-7000>Calgon CAL>タケダX-7100>三菱Diahope 006の順に脱色効果が劣っている。

このように等温吸着線から、 $1/n$, $\log K$, 飽和吸着量, 80%脱色するのに必要な活性炭

量・R E等によって、供試炭の性能を比較検討してみたが、それら全部をまとめた供試炭の優劣を表4-2-19に示す。

表4-2-19 等温吸着線により検討した供試炭性能の優劣

比較項目	供試炭性能の優劣順位 (→性能が劣る)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1/n	クラレ GWC (II)	タケダ X- 6000	フジサ ワA- CW	第一炭素 DSW -1	クラレ GWC(I)	タケダ X- 7000	タケダ X- 7100	Calgon SGL	三井 SL- 1030 F	クラレ KW	Calgon CAL	三菱 Dia hope 006
logK	クラレ GWC (II)	フジサ ワA- CW	タケダ X- 6000	第一炭素 DSW -1	クラレ GWC(I)	Calgon SGL	タケダ X- 7000	タケダ X- 7100	三井 SL- 1030 F	Calgon CAL	クラレ KW	三菱 Dia hope 006
飽和吸着量	クラレ GWC (II)	フジサ ワA- CW	クラレ GWC (I)	タケダ X- 6000	第一炭素 DSW -1	Calgon CAL	Calgon SGL	三井 SL- 1030 F	タケダ X- 7100	クラレ KW	タケダ X- 7000	三菱 Dia hope 006
80%脱色 するのに 必要な活 性炭量と R E	クラレ GWC (II)	フジサ ワA- CW	タケダ X- 6000	クラレ GWC(I)	第一炭素 DSW -1	Calgon CAL	Calgon SGL	三井 SL- 1030 F	タケダ X- 7100	クラレ KW	タケダ X- 7000	三菱 Dia hope 006

すべての比較項目でクラレGWC(II)が一番性能がよく、三菱Diahope 006が一番性能が悪い結果になったが、他の供試炭については、多少その順位が比較項目によって入れ替わっている。しかしクラレGWC(II)、フジサワA-CW、タケダX-6000、クラレGWC(I)、第一炭素DSW-1は常に性能がよい方に入っている。

以上のように等温吸着線から活性炭の種類による脱色効果を比較検討した結果、飯田の実験結果⁹⁾と同様に活性炭の種類によりかなり差があることがわかった。

(2) カラム連続通水実験

浜松市中部浄化センター二次処理水を急速ろ過した後、Calgon SGLを供試炭として、LV = 100 m/日でSV = 2, 4, 6, 8, 10, 12と変化させ、各SVに対して15日間カラム連続通水した結果を表4-2-20に示す。

表4-2-20の原水、急速ろ過処理水、活性炭吸着処理水の平均pHより、急速ろ過活性炭吸着するとどのようにpHが変化するかを図4-2-15に示す。

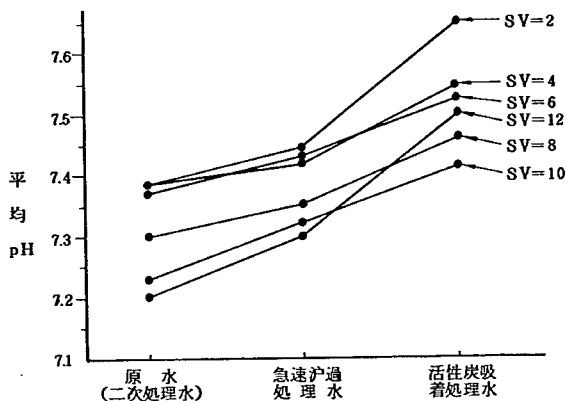


図 4-2-15 急速濾過、活性炭吸着処理することによる pH 変化(I)

図 4-2-15 より急速濾過、活性炭処理することによって pH が上がることがわかる。急速濾過することによる pH 上昇についての報告は例がなく、pH 上昇の原因を追求したところ、水質の経時変化であることがわかった。又活性炭処理による pH 上昇は、活性炭中の Na, K 塩等のアルカリ成分の溶出によるものと思われる。そして SV が小さくなれば単位時間に接触する活性炭量が多くなるのでその割合がより著しいはずである。しかしそのような傾向があまりない。その原因としては、pH が原水の水温、成分等いろいろな諸因子によって影響されるため、それらの因子を常に一定しておけば、その傾向が顕著に現われるのではないと思われる。

つぎに、原水に対する急速濾過水の着色度 (S), (T) の脱色率をみると、マイナスになっている場合がある。これは測定上の操作による誤差か、急速濾過することによって、濾層に生成した生物の分解作用により、着色度 (S), (T) が増加するのか、それともその他の原因によるのかはわからない。又各測定項目の平均除去率、平均脱色率 (活性炭吸着処理水 / 急速濾過処理水) と SV との関係を図 4-2-16 に示す。

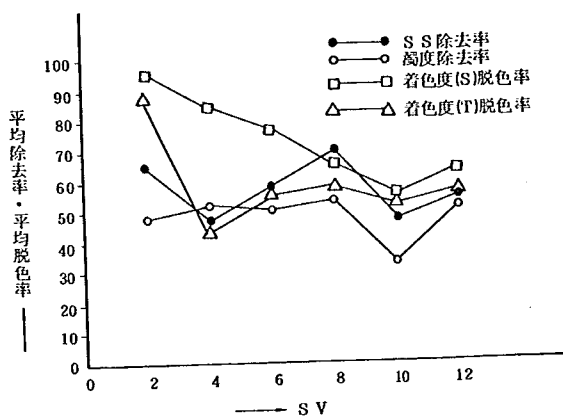


図 4-2-16 平均除去率・平均脱色率と SV との関係

これより SS 除去率は約 45 ~ 40 %, 濁度除去率は 50 % 前後で SV とあまり関係がないことがわかる。これは SS, 濁度分は吸着除去されるというより濾過除去されるため, ある粒子径以下の SS, 濁度分は Calgon SGL 活性炭層で濾過除去できないため, SV とあまり関係がない結果になったと考えられる。要するに SS, 濁度除去率は, 活性炭の粒子径及び LV によって決まるのではないかとと思われる。

表 4-2-20 活性炭Calgon SGLを使用し、LV=100m/日でSVを変化させた場合のカラム連続通水実験結果 (各15日間連続通水)

SV	試験項目	単位	原 水 (二次処理水)			急速濾過処理水			活性炭吸着処理水			除 去 率 , 脱 色 率 (%)								
			最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	急速濾過処理水/原水			活性炭吸着処理水/原水			活性炭吸着処理水/急速濾過処理水		
			最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
2	水 温	℃	17.0	10.0	12.0	14.5	12.0	13.3	15.0	12.0	13.4									
	P H	水素指数	7.5	7.2	7.4	7.6	7.3	7.4	8.5	7.4	7.7									
	S S	PPM	32.0	10.3	19.8	7.5	0	2.2	5.1	0	1.0									
	濁 度	度	40.8	9.8	18.1	8.0	1.2	2.9	2.2	0.7	1.2	100	74.0	88.0	100	80.8	94.6	100	24.0	64.6
	着色度(S)		26.2	17.2	21.1	27.3	16.9	22.1	1.8	0	1.0	91.7	64.0	84.2	97.4	86.3	92.8	81.9	30.4	48.6
	着色度(T)		5.4	1.9	2.9	3.8	1.9	2.7	1.0	0	0.4	20.5	-31.9	-6.4	100	89.7	95.3	100	91.0	95.6
4	水 温	℃	19.5	13.0	16.7	19.0	14.5	16.2	19.0	14.5	16.3									
	P H	水素指数	7.5	7.2	7.4	7.5	7.2	7.4	7.8	7.4	7.6									
	S S	PPM	22.4	8.8	14.5	3.9	0.6	2.0	2.3	0.3	1.0	95.0	77.6	86.2	96.9	82.6	93.1	71.4	-16.7	46.2
	濁 度	度	17.5	5.5	11.6	5.8	1.03	2.8	2.3	0.5	1.3	85.9	42.0	75.8	94.8	81.8	88.9	69.0	27.2	51.6
	着色度(S)		26.4	10.6	21.3	26.7	11.1	21.9	5.8	0.5	3.3	7.8	23.2	-3.6	97.8	68.6	84.4	97.8	69.6	85.1
	着色度(T)		3.6	1.6	2.4	3.9	1.6	2.5	1.9	1.0	1.4	29.6	18.2	-2.3	66.7	25.0	41.9	60.0	22.7	42.8
6	水 温	℃	20.5	15.0	18.0	20.5	16.0	17.8	19.5	16.0	17.8									
	P H	水素指数	7.5	7.2	7.4	7.5	7.3	7.4	7.7	7.4	7.5									
	S S	PPM	23.6	6.4	12.7	6.3	1.1	3.5	2.7	0	1.5	91.1	41.3	69.3	100	73.4	86.3	100	8.7	57.9
	濁 度	度	24.5	7.2	14.4	9.5	1.7	5.7	6.0	0.7	2.9	86.9	18.2	58.8	94.5	51.8	79.4	79.1	36.4	50.0
	着色度(S)		34.0	18.0	23.4	29.1	20.6	24.2	10.0	1.2	5.7	25.0	23.3	-5.0	95.0	56.3	74.9	95.3	57.6	76.3
	着色度(T)		4.1	2.3	3.2	4.2	2.9	3.5	2.5	0.9	1.5	7.3	39.3	9.2	72.2	17.9	52.1	72.2	30.6	56.4
8	水 温	℃	21.5	18.0	20.0	21.0	18.0	20.0	20.5	18.0	19.6									
	P H	水素指数	7.5	7.1	7.3	7.5	7.2	7.4	7.7	7.3	7.5									
	S S	PPM	55.0	10.4	19.5	4.4	0.4	1.9	1.8	0	0.5	97.5	71.1	88.0	100	89.5	97.1	100	25.0	69.8
	濁 度	度	32.0	12.2	19.4	8.0	1.0	4.1	4.0	0.7	1.7	96.9	40.9	75.6	97.9	81.5	90.1	79.2	15.8	52.5
	着色度(S)		27.8	14.0	22.5	28.5	14.4	23.0	10.6	1.4	7.6	3.7	-6.3	-2.4	95.0	45.7	63.9	95.1	47.2	64.7
	着色度(T)		6.3	1.4	3.5	4.0	1.9	3.0	1.6	0.9	1.2	49.2	35.7	9.0	83.6	21.4	60.3	77.5	42.1	57.6
10	水 温	℃	22.5	20.0	21.0	21.5	18.5	20.0	21.0	18.0	19.7									
	P H	水素指数	7.4	7.1	7.2	7.5	7.1	7.3	7.5	7.2	7.4									
	S S	PPM	59.0	8.4	25.2	5.5	0.4	1.9	3.8	0	1.1	98.9	55.6	88.0	100	69.4	93.9	100	10.0	47.1
	濁 度	度	33.0	9.3	18.0	4.6	0.8	1.9	4.2	0.5	1.3	97.5	55.3	85.6	98.0	69.6	91.0	66.4	23.5	31.5
	着色度(S)		37.0	11.2	24.1	37.1	11.7	23.6	15.5	2.1	10.2	16.5	-4.5	1.9	88.3	26.8	56.1	88.3	29.9	55.1
	着色度(T)		6.9	1.9	4.1	5.2	1.9	3.3	2.0	0.3	1.5	53.8	28.0	14.5	94.2	20.0	56.2	87.5	31.6	51.7
12	水 温	℃	26.0	22.0	24.4	26.0	21.0	23.7	26.0	20.5	23.3									
	P H	水素指数	7.3	7.0	7.2	7.5	7.0	7.3	7.8	7.2	7.5									
	S S	PPM	45.7	9.8	17.2	8.2	1.5	2.9	3.5	0	1.3	95.5	40.6	79.2	100	73.1	89.1	100	5.4	53.5
	濁 度	度	32.5	6.5	13.5	5.9	2.1	3.1	2.5	0.8	1.4	87.8	9.2	69.4	93.3	61.5	86.0	70.2	26.2	51.9
	着色度(S)		27.8	16.2	21.7	28.2	14.7	21.2	13.3	0	7.9	27.9	39.5	0.9	100	42.6	62.0	100	34.7	63.1
	着色度(T)		4.4	2.1	3.1	4.5	2.2	3.0	3.8	0.5	1.4	47.7	55.2	3.1	83.3	31.0	54.1	80.8	15.6	55.

着色度 (S) 脱色率は, SV が増加するにつれて低下する傾向になったが, これは SV が大きくなるということは単位時間に接触する活性炭量が少なくなることであるので当然な結果といえる。しかし着色度 (T) 脱色率も着色度 (S) 脱色率と同じ傾向になると思われたが, $SV=2$ のときは約 90 % とよく, SV が 2 から 4 になると急激に低下し, $SV=4 \sim 12$ では約 50 % 前後で SV に関係なくほぼ一定となっている。どのようにしてこのようになったかは不明である。

又着色度 (S) による破過曲線 (活性炭吸着処理水 / 急速汚過処理水) を図 4-2-17, 着色度 (T) による破過曲線を図 4-2-18 に示す。

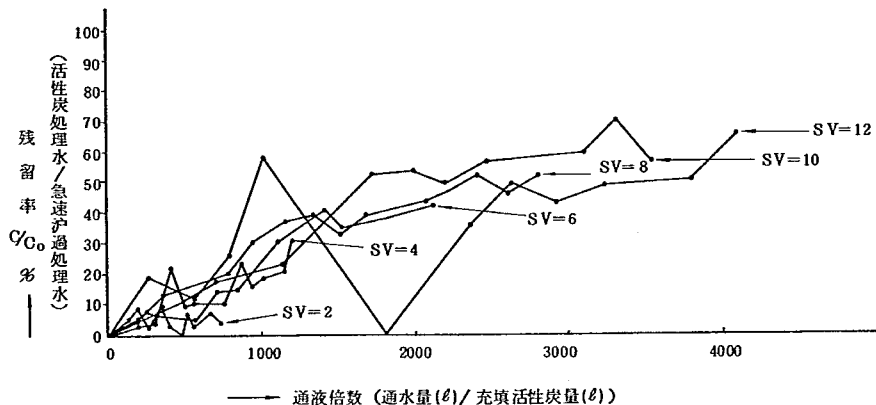


図 4-2-17 着色度 (S) による破過曲線

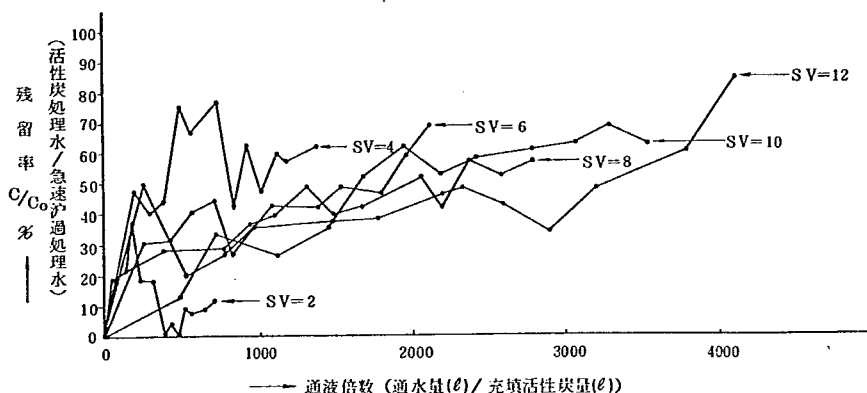


図 4-2-18 着色度 (T) による破過曲線

この破過曲線よりわかるように、平均脱色率の場合と同じく、着色度（S）による破過曲線はSVが増加するにつれて、同じ残留率になるまでの通液倍数が小さく、着色度（T）による破過曲線は、そのような傾向があまりない結果となった。これは平均脱色率と破過曲線との関係を考えれば当然のことである。

図4-2-17の着色度（S）による破過曲線より、S. T. Pointを残留率20%（脱色率80%）と仮にすると、B. T. CapはSV=12で1420 $\ell/\text{kg}-\text{C}$ 、SV=10で1830 $\ell/\text{kg}-\text{C}$ 、SV=8で1630 $\ell/\text{kg}-\text{C}$ 、SV=6で2000 $\ell/\text{kg}-\text{C}$ 、SV=4で2250 $\ell/\text{kg}-\text{C}$ 、SV=2ではまだB. T. Pointに達していない。このように通水速度の脱色能力に与える影響が非常に大きいことがわかる。

つぎにCalgon SGLと脱色能力を比較するためにCalgon CALほか10種類の供試炭をおのおのLV=100 m/日、SV=4でカラム連続通水した結果を表4-2-20に示す。

表4-2-21より、先の場合と同じく、急速ろ過、活性炭吸着処理することによるpH変化を求めた結果を図4-2-19に示す。

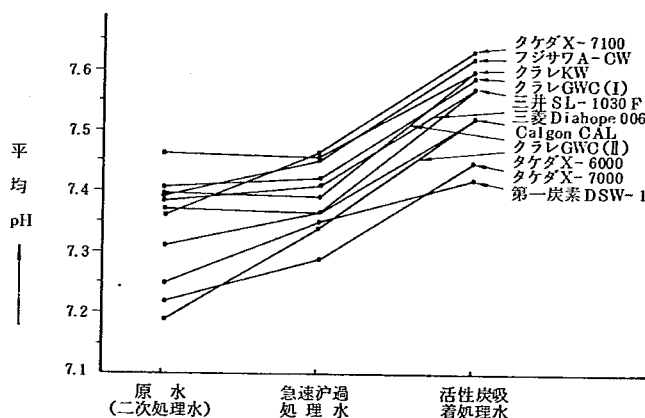


図4-2-19 急速ろ過、活性炭吸着処理することによるpH変化(2)

同様に、急速ろ過、活性炭吸着処理することにより、pHが上がっている。又原水に対する急速ろ過水の着色度（S），着色度（T）の脱色率もマイナスになっている場合がある。SS、濁度の平均除去率（活性炭吸着処理水/急速ろ過処理水）は40～70%で活性炭の種類による差はないと思われる。これは先に述べたように、SS、濁度除去率は活性炭の粒子径によるためである。このことは、表4-2-1の各供試炭の粒度にあまり差がないことからわかる。

つぎにCalgonSGLを供試炭として、 $LV=100$ m/日、 $SV=4$ のカラム連続通水実験を12日間おこなった。(表4-2-20の結果は15日間であるので、別に終りの3日間の結果を削除した)このときの着色度(S)による平均脱色率(急速汚過処理水/活性炭吸着処理水)は88.2%,着色度(T)による平均脱色率(急速汚過処理水/活性炭吸着処理水)は43.9%であるので、これを含めて活性炭の種類別に着色度(S)による平均脱色率(活性炭吸着処理水/急速汚過処理水)を比較すると、第一炭素DSW-1>クラレGWC(II)>クラレGWC(I)>CalgonSGL>フジサワA-CW>タケダX-6000、CalgonCAL>三菱Diahope006>クラレKW>三井SL-1030F>タケダX-7000の順に脱色率が低下し、着色度(T)による平均脱色率(活性炭処理水/急速汚過処理水)の方は、クラレGWC(II)>CalgonCAL>第一炭素DSW-1>三菱Diahope006>タケダX-6000>三井SL-1030F>フジサワA-CW>クラレKW>タケダX-7000>CalgonSGL>クラレGWC(I)の順に脱色率が低下している。ただしタケダX-7100は通水期間が短い(通液倍数が小さい)ため、この比較から除いた。これからわかるように着色度(S)による脱色率が良い供試炭が着色度(T)による脱色率が良いという関係に必ずしもなっていないものがあるし、又等温吸着線による優劣とも多少違っている。

つぎに着色度(S)による破過曲線を図4-2-20,着色度(T)による破過曲線を図4-2-21に示す。

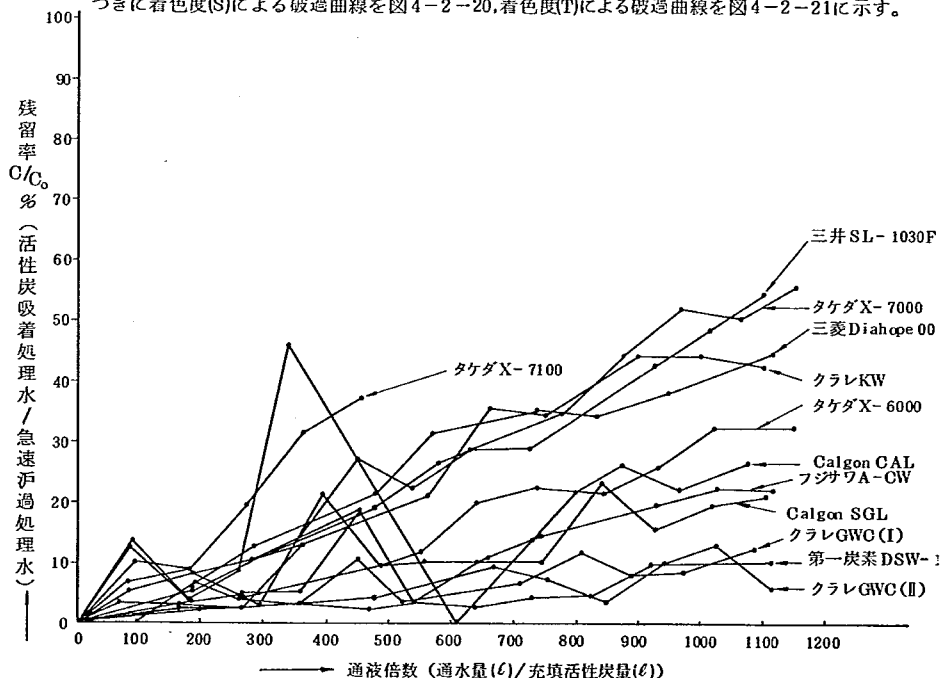


図4-2-20 着色度(S)による破過曲線

表 4-2-21 実験条件 LV-100m/日, SV-4 で各活性炭を使用した場合のカラム連続通水実験結果 (各12日間連続通水)

使用活性炭名	試験項目	単位	原水 (二次処理水)			急速濾過処理水			活性炭吸着処理水			除去率, 脱色率 (%)											
			最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	急速濾過処理水/原水			活性炭吸着処理水/原水			活性炭吸着処理水/急速濾過処理水					
												最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均			
CALCONCAL	水温	℃	26.0	22.0	24.8	26.0	22.0	24.2	26.0	20.5	23.6												
	PH	水素指数	7.3	7.0	7.2	7.5	7.0	7.3	8.2	7.1	7.5												
	SS	PPM	45.7	9.8	16.6	8.2	1.2	3.1	2.3	0	1.1	95.5	40.6	77.0	100	83.1	90.6	100	40.5	65.7			
	濁度	度	20.0	6.5	13.3	5.5	2.1	3.2	1.9	0.8	1.3	87.8	9.2	66.6	96.9	70.0	87.1	72.6	89.1	57.2			
	着色度(S)		27.8	14.7	21.8	28.2	14.7	21.3	7.3	0	8.9	27.9	-39.5	1.1	100	54.9	80.6	100	54.1	81.8			
	着色度(T)		4.4	2.1	3.1	3.3	2.2	2.7	3.1	0.1	0.6	47.7	-6.5	10.2	95.2	60.7	81.0	95.5	60.7	79.1			
タケダX17000	水温	℃	22.5	20.0	21.1	22.5	19.5	20.6	22.5	19.5	20.8												
	PH	水素指数	7.4	7.1	7.2	7.4	7.1	7.3	7.7	7.1	7.5												
	SS	PPM	59.0	8.4	27.9	2.6	0.6	1.6	1.2	0.1	0.7	98.9	87.7	90.5	99.5	89.3	95.6	94.1	0	49.6			
	濁度	度	27.2	10.2	17.6	3.0	0.8	1.6	1.8	0.5	1.1	96.5	81.4	89.3	97.6	84.8	92.8	63.6	-7.7	29.0			
	着色度(S)		37.7	16.8	26.0	37.1	17.0	25.5	16.2	1.3	8.9	16.5	-2.2	1.8	94.9	45.3	67.9	94.8	45.7	67.9			
	着色度(T)		6.9	3.4	4.5	4.8	2.4	3.7	2.0	1.1	1.7	53.8	-55.2	12.5	76.9	-6.9	57.2	70.3	31.1	52.8			
タケダX17100	水温	℃	15.0	11.0	12.6	14.0	12.0	13.1	14.0	12.0	13.1												
	PH	水素指数	7.5	7.4	7.5	7.5	7.4	7.5	7.6	7.6	7.6												
	SS	PPM	46.8	10.8	23.4	3.2	1.7	2.5	1.7	0.1	0.9	94.6	77.8	85.9	99.6	88.5	94.4	94.1	41.4	66.9			
	濁度	度	35.5	11.0	20.8	5.0	2.8	3.6	1.3	1.0	1.2	90.0	67.7	80.3	97.2	88.2	93.1	77.6	52.8	65.2			
	着色度(S)		25.3	17.8	20.5	26.7	17.4	21.7	10.0	1.4	4.6	4.4	-11.2	-5.7	92.1	60.5	78.2	92.9	62.5	79.0			
	着色度(T)		3.7	2.5	3.0	3.3	2.0	2.5	1.0	0.1	0.6	40.5	0	15.9	97.3	72.0	80.9	95.5	65.0	78.2			
タケダX16000	水温	℃	16.0	12.0	13.4	14.0	11.0	12.7	14.0	11.0	12.7												
	PH	水素指数	7.5	7.2	7.4	7.4	7.2	7.4	7.6	7.4	7.5												
	SS	PPM	27.6	9.2	19.6	5.5	1.3	2.8	2.2	0.1	1.5	93.8	72.5	84.9	99.5	85.3	91.9	92.3	-6.3	46.3			
	濁度	度	29.0	8.2	18.9	5.0	2.0	3.1	2.3	0.6	1.5	91.3	66.5	81.1	97.2	82.0	91.0	69.1	24.7	51.5			
	着色度(S)		26.1	14.7	20.0	28.6	15.8	21.4	6.9	0.6	3.8	17.6	-20.8	-7.2	95.9	60.7	80.2	96.4	67.5	81.8			
	着色度(T)		3.7	1.8	3.0	3.6	1.8	2.7	1.7	0.1	0.8	26.5	-11.1	9.3	94.4	41.4	74.9	94.4	26.1	71.1			
クラレKW	水温	℃	17.0	10.0	14.1	16.5	12.0	13.6	16.5	12.0	13.7												
	PH	水素指数	7.5	7.3	7.4	7.6	7.3	7.5	8.1	7.4	7.6												
	SS	PPM	32.0	10.3	17.8	3.7	0	1.39	1.1	0.1	0.6	100	81.1	92.1	99.6	92.0	95.9	93.3	16.7	46.4			
	濁度	度	27.0	5.5	14.0	8.0	1.0	3.4	1.5	0.7	1.0	91.7	16.0	74.4	96.3	83.5	91.2	81.3	29.1	44.6			
	着色度(S)		26.2	17.4	20.3	26.6	16.9	20.8	9.8	0.6	5.5	20.5	-23.2	-2.9	96.8	56.1	72.7	97.4	55.6	72.8			
	着色度(T)		3.3	1.8	2.3	3.2	1.9	2.2	1.1	0.5	0.9	36.7	-13.6	4.3	73.7	31.8	59.7	73.7	28.6	57.5			
クラレGWC(I)	水温	℃	19.5	13.0	16.9	19.0	14.5	16.2	19.0	14.5	16.3												
	PH	水素指数	7.5	7.2	7.4	7.5	7.2	7.4	7.7	7.3	7.5												
	SS	PPM	22.4	11.2	15.3	4.2	1.3	2.3	1.4	0.5	0.9	92.9	73.1	85.1	96.4	89.4	94.0	71.8	41.7	58.3			
	濁度	度	17.5	9.6	12.6	5.8	1.3	3.1	2.6	0.6	1.5	85.9	42.0	75.5	93.9	81.8	88.5	72.4	30.8	49.9			
	着色度(S)		26.4	10.6	21.9	26.7	11.1	22.1	3.3	0.6	1.6	7.8	-9.1	-1.7	97.5	87.0	92.7	97.5	87.6	92.8			
	着色度(T)		3.6	1.6	2.5	3.9	1.6	2.6	2.5	1.0	1.4	29.6	-18.2	-2.7	61.3	24.2	41.4	64.7	25.0	42.8			
クラレGWC(II)	水温	℃	15.0	11.0	13.0	14.0	11.0	13.0	14.0	11.0	13.0												
	PH	水素指数	7.5	7.2	7.4	7.5	7.2	7.4	8.0	7.5	7.6												
	SS	PPM	46.0	9.2	22.5	5.0	1.3	2.7	1.8	0.3	0.9	94.6	75.0	85.8	98.6	88.0	94.6	85.2	44.8	65.4			
	濁度	度	35.5	8.2	20.9	5.0	2.0	3.5	1.9	0.6	1.1	91.3	66.5	81.4	97.5	88.9	94.0	76.6	60.4	67.7			
	着色度(S)		25.3	14.7	19.8	26.7	15.8	21.3	2.3	0.8	1.3	4.4	-20.8	-7.9	98.5	87.4	93.2	98.5	86.8	93.7			
	着色度(T)		3.7	2.0	3.1	3.3	2.0	2.6	0.6	0	0.2	40.5	-10.0	15.5	100	70.0	91.5	100	72.7	90.5			
第一炭素DSW11	水温	℃	21.5	19.5	20.3	21.0	19.0	20.2	21.0	18.5	19.8												
	PH	水素指数	7.3	7.1	7.3	7.5	7.2	7.4	7.5	7.3	7.4												
	SS	PPM	18.0	10.1	13.7	4.4	1.1	2.2	1.7	0.1	0.6	98.9	71.1	83.0	99.4	83.2	95.3	95.2	26.1	72.7			
	濁度	度	21.5	7.2	14.7	8.0	1.9	4.3	2.3	0.8	1.6	90.5	40.9	68.5	95.3	81.5	88.0	75.4	31.6	59.6			
	着色度(S)		25.4	14.0	20.5	26.0	14.4	20.9	2.4	0.4	1.3	3.7	-6.3	-2.0	97.7	89.8	73.9	97.7	89.7	94.0			
	着色度(T)		3.6	1.4	2.7	3.5	1.9	2.7	0.9	0	0.6	18.8	-35.7	-2.5	100	64.3	78.2	100	71.9	79.0			
フジサワICW	水温	℃	20.5	15.0	17.6	19.0	16.0	17.5	19.0	16.0	17.6												
	PH	水素指数	7.5	7.3	7.4	7.5	7.3	7.5	8.3	7.4	7.6												
	SS	PPM	23.6	6.4	13.2	6.3	1.1	3.7	3.7	0.3	1.6	91.1	41.3	68.2	97.9	67.2	85.6	87.3	17.3	56.5			
	濁度	度	24.5	8.1	15.6	9.5	1.7	6.3	6.0	0.8	3.5	86.9	18.2	57.2	94.0	51.8	77.1	77.3	31.8	45.9			
	着色度(S)		34.0	18.0	23.5	29.1	20.6	24.4	5.5	0.8	3.3	25.0	-23.3	-5.7	96.2	76.4	86.6	96.2	77.7	86.4			
	着色度(T)		4.1	2.7	3.3	4.2	2.9	3.6	2.3	0.8	1.5	7.3	-39.3	-8.4	77.8	28.6	54.6	77.8	36.1	58.4			
三井SLL1030F	水温	℃	22.0	18.0	20.3	21.5	18.0	19.4	20.5	18.0	19.1												
	PH	水素指数	7.5	7.1	7.3	7.5	7.1	7.4	8.3	7.3	7.5												
	SS	PPM	55.0	11.7	21.6	5.5	0.4	1.9	4.2	0	1.1	98.2	55.6	88.5	100	66.1	93.2	100	12.5	58.6			
	濁度	度	38.0	9.3	21.1	7.0	0.8	3.0	4.6	0.6	2.0	97.5	55.4	81.4	98.1	76.4	88.7	72.0	4.9	34.3			
	着色度(S)		27.8	11.2	22.1	28.5	11.7	23.1	13.7	1.3	7.3	6.6	-5.2	-1.0	94.5	44.3	69.3	94.7	45.7	69.9			
	着色度(T)		6.3	1.9	4.0	4.0	1.9	3.3	1.8	0.3	0.2	49.2	-28.0	11.7	91.4	52.6	67.3	90.3	50.0	62.1			
三菱DIAPHOR000	水温	℃	16.0	12.0	14.1	14.1	12.0	13.2	15.0	12.0	13.3		</										

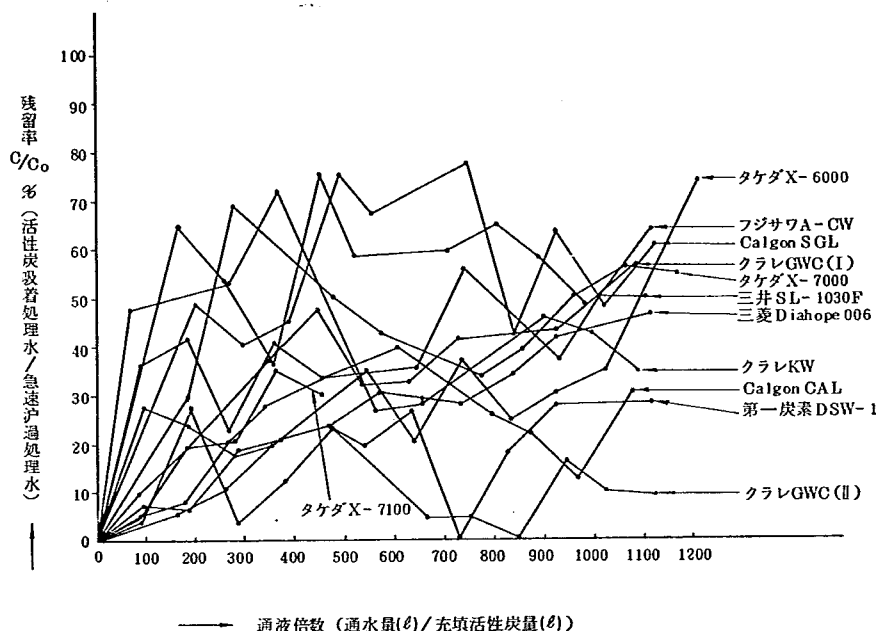


図 4-2-21 着色度 (T) による破過曲線

着色度 (S) による吸過曲線，着色度 (T) による破過曲線とも，各供試炭の平均脱色率による比較順位と同じように脱色性能が劣っている。又着色度 (S) による破過曲線より，B. T. Point を残留率 20% (脱色率 80%) と仮定すると，B. T. Cap. は タケダ X-7100 で $590 \ell / \text{kg-C}$ ，三井 SL-1030 F は $800 \ell / \text{kg-C}$ ，三菱 Diahope 006 は $950 \ell / \text{kg-C}$ ，タケダ X-7000 は $1030 \ell / \text{kg-C}$ ，クラレ KW は $1260 \ell / \text{kg-C}$ ，タケダ X-6000 は $1510 \ell / \text{kg-C}$ ，Calon CAL は $1770 \ell / \text{kg-C}$ ，フジサワ A-CW は $2070 \ell / \text{kg-C}$ ，クラレ GWC(I)，第一炭素 DSW-1，クラレ GWC(II) はまだ B. T. Point に達していないことになる。

このように等温吸着線と同様に，カラム連続通水実験からも活性炭の種類によりかなり脱色効果に差があることがわかる。この原因としては，活性炭の吸着能力は，細孔の内部表面（壁面積）が吸着の場を提供するものとされている点⁹⁾ から，活性炭の細孔分布が関係すると思われる。図 4-2-22 に各メーカーから提出してもらった細孔分布曲線を示す。

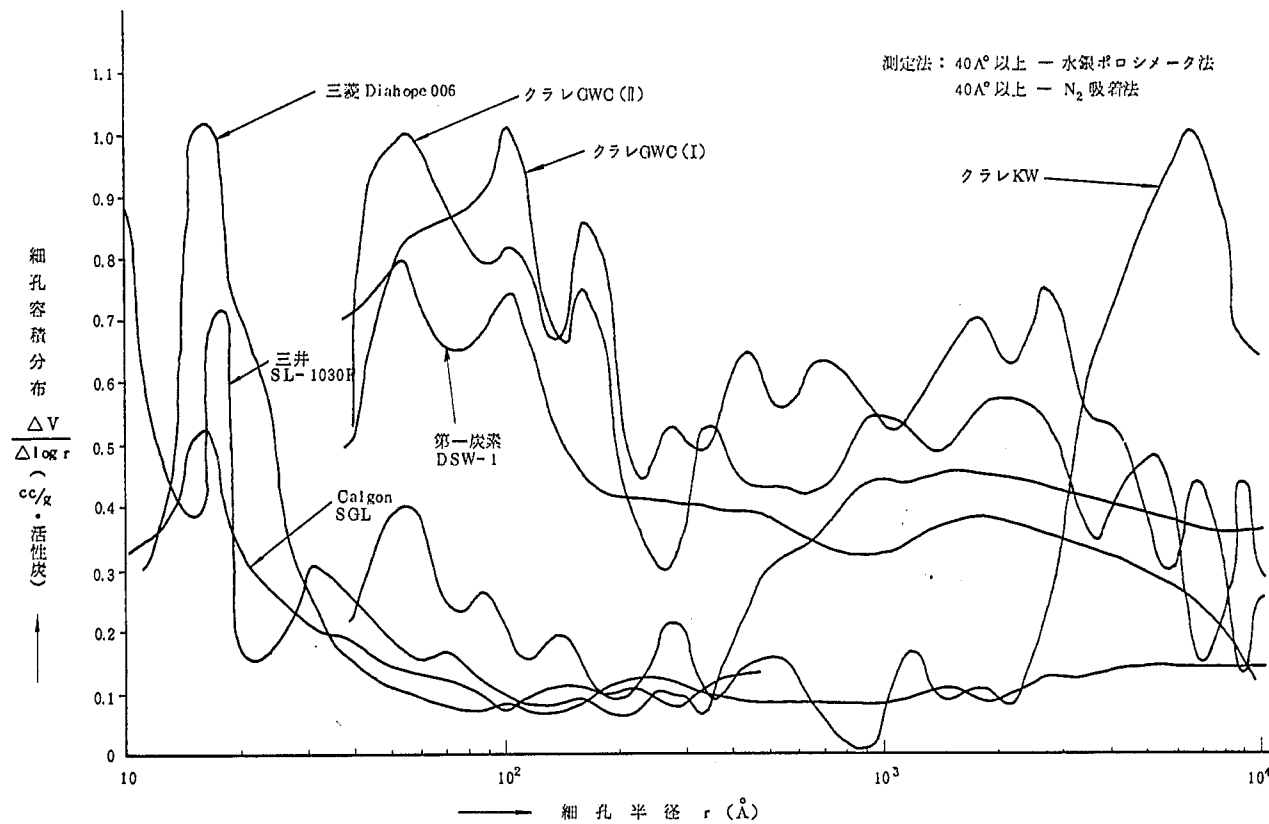
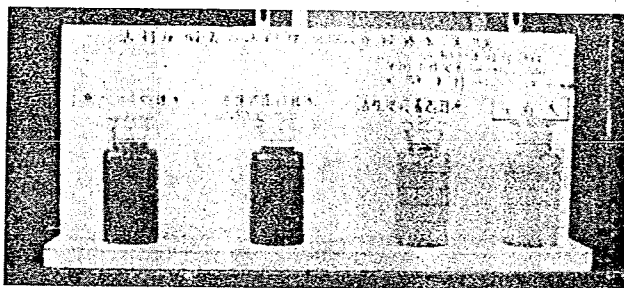


図 4-2-22 各供試炭の細孔分布曲線

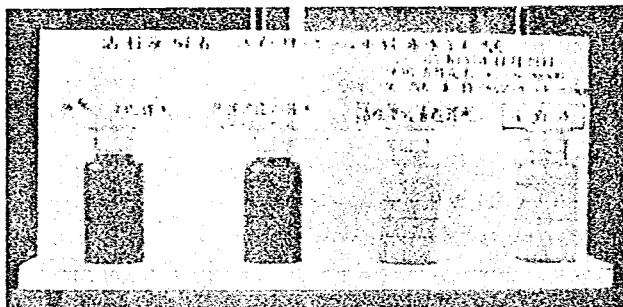
脱色率の良いクラレGWC(II)、クラレGWC(I)、第一炭素DSW-1の曲線とその他の脱色率のあまり良くない4種類の曲線と比較すると、最大に存在している細孔のピークが少し右にずれ(細孔半径の大きい方にずれ)、かつ $40 \sim 10^{30} \text{ \AA}$ の細孔が非常に多い。このことから、浜松市中部浄化センター二次処理水の着色成分の分子の大きさが $40 \sim 10^{30} \text{ \AA}$ のものが割合多く含まれているのではないかとと思われる。したがって活性炭の細孔分布が脱色率に与える影響は非常に大きいのではないかと考えられる。しかし、細孔が大きくなると硬度が低下しもろくなり、再生効率が悪くなる心配がある。

最後に、Calgon SGLを供試炭とし、 $LV=100 \text{ m/日}$ 、 $SV=4$ でカラム連続通水した時の結果を写4-2-4、脱色率の比較的良いクラレGWC(I)の結果を写4-2-5、脱色率が中ぐらいのタケダX-6000の結果を写4-2-6、脱色率のあまり良くない三菱Diahope 006の結果を写4-2-7に示す。又これらの写真の原水(二次処理水)、急速濾過処理水、活性炭吸着処理水の溶解性物質による着色(着色度S)が色度座標においてどこに位置し、各処理することによってどのように変位するかを図4-2-23に示す。



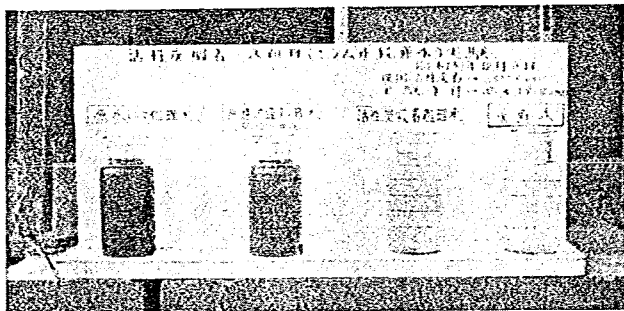
	原 水	急速濾過処理水	活性炭吸着処理水
着色度(S)	25.3	26.7	5.8
着色度(I)	2.0	2.3	1.4

写4-2-4 Calgon SGL (通液倍数 = 1122)



	原 水	急速濾過処理水	活性炭吸着処理水
着色度(S)	253	26.7	3.3
着色度(T)	2.0	2.3	1.3

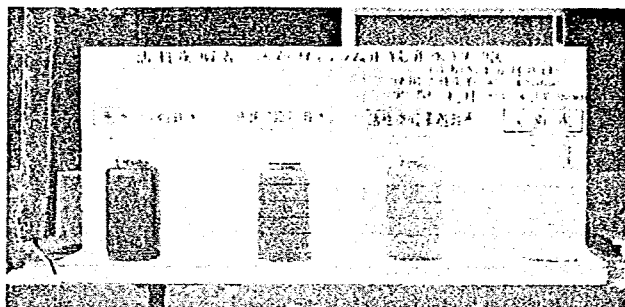
写 4-2-5 クラレGWC(I) (通液倍数=1085)



	原 水	急速濾過処理水	活性炭吸着処理水
着色度(S)	22.0	18.3	2.1
着色度(T)	3.2	2.6	0.9

写 4-2-6 タケダX-6000 (通液倍数=545)

(カラー写真は巻末に添付)



	原 水	急速濾過処理水	活性炭吸着処理水
着色度(S)	2 2.2	1 8.3	8.2
着色度(I)	3.2	2.6	1.2

写 4-2-7 三菱Diahope 006 (通液倍数 = 1116)

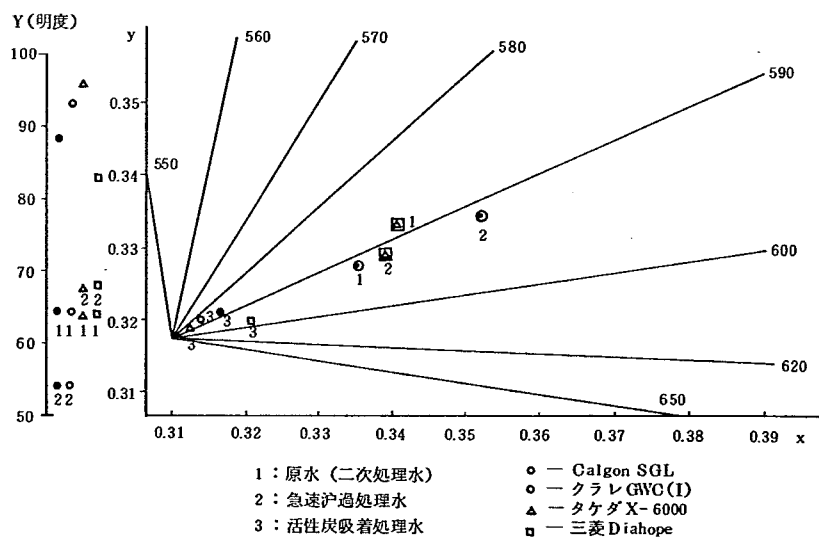


図 4-2-23 色度座標

4.2.4 ま と め

浜松市中部浄化センター2次処理水を供試料として、Calgon SGLほか11種類の活性炭を供試炭とした等温吸着実験、Calgon SGLを供試炭としてLV=100 m/日でSV=2, 4, 6, 8, 10, 12と変化させたカラム通水実験、Calgon CALほか10種類の活性炭を供試炭とし、LV=100 m/日、SV=4で行なったカラム通水実験等からつぎのような結果を得た。

- (1) 等温吸着実験において、相当細心の注意を払って実験及び分析を行なったが、直線になりがたい結果もみられた。しかし大きく二つのクニックが生じたとした場合、線上にプロットがよくのる等温吸着線がある。このことから、中部浄化センター2次処理水の着色成分が多分子であるため、多分子吸着が行なわれたと考えられる。
- (2) Calgon SGLを供試炭として、LV=100 m/日でSV=2, 4, 6, 8, 10, 12と変化させたカラム連続実験の結果、通水速度の脱色率に与える影響が、着色度(S)による場合は非常に大きく、着色度(T)による場合はそのような傾向があまりなかった。
- (3) 等温吸着線の $1/n$, $\log K$, 飽和吸着量, 80%脱色するのに必要な活性炭量, RE (直線とした場合)及びLV=100 m/日、SV=4で行なったカラム連続通水実験から得られた平均脱色率によって各供試炭の性能に優劣をつけると表4-2-21のようになった。表4-2-21から活性炭の種類による吸着性能順位は等温吸着実験結果とカラム連続通水実験結果とはほぼ一致し、今回の実験においては総合的に判断するとクラレケミカルGWC(II)が最も脱色性能が良いと思われる。

表 4-2-21 活性炭の脱色性能の順位

比較項目		供試炭性能の優劣順位 (→ 性能が劣る)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
等温吸着実験	$1/n$	クラレ GWC (II)	タケダ X- 6000	フジサ ワA- CW	第一炭 素DS W-1	クラレ GWC (I)	タケダ X- 7000	タケダ X- 7100	Cal gon SGL	三井 SL- 1030 F	クラレ KW	Cal gon CAL	三菱 Dia hope 006
	$\log K$	クラレ GWC (II)	フジサ ワA- CW	タケダ X- 6000	第一炭 素DS W-1	クラレ GWC (I)	Cal gon SGL	タケダ X- 7000	タケダ X- 7100	三井 SL- 1030 F	Cal gon CAL	クラレ KW	三菱 Dia hope 006
	80%脱色 するのに必 要な活性 炭量とRE	クラレ GWC (II)	フジサ ワA- CW	クラレ GWC (I)	タケダ X- 6000	第一炭 素DS W-1	Cal gon CAL	Cal gon SGL	三井 SL- 1030 F	タケダ X- 7100	クラレ KW	タケダ X- 7000	三菱 Dia hope 006

カラム連続 通水実験	着色度(S) による平均 脱色率	第一炭 DSW -I	クラレ GWC (H)	クラレ GWC (I)	Cal gon SGL	フジサ ワ- CW	タケダ X- 6000	Cal gon CAL	三菱 Dia hope 006	クラレ KW	三井 SL- 1030 F	タケダ X- 7000	
	着色度(I) による平均 脱色率	クラレ GWC (H)	Cal gon CAL	第一炭 素DS W-I	三菱 Dia hope 006	タケダ X- 6000	三井 SL- 1030 F	フジサ ワ- CW	クラレ KW	タケダ X- 7000	Cal gon SGL	クラレ GWC (I)	

しかし前述したように着色度(S)についての脱色効果は通水速度の与える影響が非常に大きいことを考慮すると、カラム連続通水実験ではLV=100m/日、SV=4しか行なっていない、他の条件で実験した場合、どのような結果になるか検討する必要があると思われる。又活性炭の評価をするにあたっては、活性炭の性能の点のみからではなく、再生炭の吸着性能の変化がないこと、機械的強度、耐摩耗性および耐熱衝撃性が大きく、再生時の損失が小でなければならないこと等の基本的問題などの経済的観点を含め、総合的に判定しなければならない。ただ今回の実験で少なくとも言えることは、活性炭の種類により、かなり吸着(脱色)性能に差があることである。その原因としては活性炭の細孔分布が非常に関係していると思われる。

- (4) 浜松市中部浄下センターにおいて脱色を目的とし、活性炭Calgon SGLを使用して活性炭吸着処理する場合、最低どのくらいの活性炭が必要か計算してみると、Calgon SGL を供試炭とし、LV=100m/日、SV=4で行なったカラム連続通水実験より得られた着色度(S)による破過曲線(図4-2-17)から、B.T. Pointを残留率20%(脱色率80%)とすると、B.T. Cap.は2250ℓ/kg-C(2.25m³/kg-C)となる。中部浄下センターの完成時の処理水量は25万m³/dayであるから、一日に必要な活性炭量は、

$$225000 / 2.25 = 110000 \text{ kg/day} = 110 \text{ t/day}$$

となる。

4.3 オゾン酸化処理

4.3.1 はじめに

オゾンの水処理への適用は、その強力な酸化力によって脱臭、脱色、殺菌をはじめ、ABS、フェノール、シアン、有機物の分解、また除鉄、除マンガン処理における酸化剤として広く効果が期待され、下水処理においては処理場の脱臭等にすでに実用化されている。

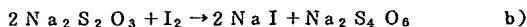
今回我々の行なったオゾン脱色処理実験は中部浄化センターの2次処理水を原水として、回分実験は2次処理中に含まれているSS分を急速濾過により除去した試料、ならびにSS分を除去しない試料の2つの試料について、また連続通水実験はSS分を除去しない試料について脱色処理実験を行ない、中部浄化センター2次処理水の脱色に必要な適正イオン添加量などを求めた。さらに脱色処理されたオゾン処理水は時間の経過等により還元作用を受け復色するという現象を調査するためにオゾン処理水の河川放流後の復色現象についての実験を行なってみた。

4.3.2 実験方法

(1) 回分実験

実験に供する試料としては2次処理水中に含まれているSS分によるオゾン消費が考えられるため、4.2.2、(3)で述べたSS分を除去した急速濾過処理水とSS分を含んだ未濾過処理水の2つを実験用の試料とした。実験装置は図4-3-1、写4-3-1に示す通りである。使用したオゾン発生機の仕様を表4-3-1に示す。またオゾン濃度測定法はヨウ化カリウム法によった。

測定原理は次式の反応で示される。



式a)の反応において、オゾンはヨウ化カリウムからヨウ素を遊離させ、その遊離したヨウ素を式b)によりチオ硫酸ナトリウム溶液を用いて滴定する。以上の操作により、式a)、式b)から明らかなように、1g分子のオゾンは2g分子のチオ硫酸ナトリウムに相当することから、オゾン濃度を算出することができる。

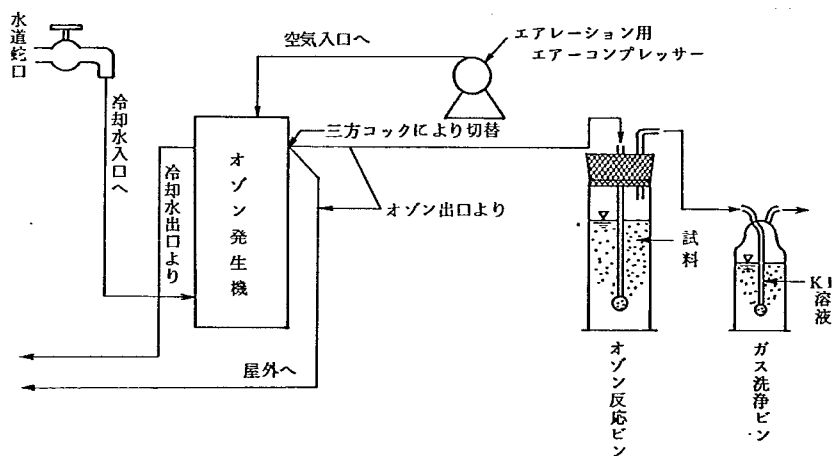
$$\text{オゾン (O}_3\text{) mg} = 2.4 \times 6 \times f \times a$$

$$\text{但し } 6 = \frac{\text{全量 (300mℓ)}}{\text{分取量 (50mℓ)}}, \quad f = 1/40 N - Na_2S_2O_3 \text{ のファクター}$$

$$a = 1/40 N - Na_2S_2O_3 \text{ の滴定量 (mℓ)}$$

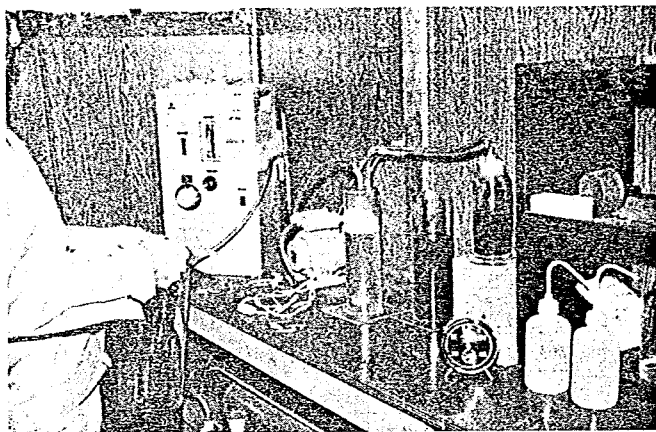
表 4-3-1 オゾン発生機

電源および容量	単相 100V 50/60 Hz 50VA	
	方 式	無 声 電 圧
オゾン発生量	原料ガスの種類	乾 燥 空 気
	〃 の 量	1.5 /min
	生 成 量	0.9 ℓ/Hr (50 Hz の場合は 5 / 6 倍)
	生成量可変範囲	0 ~ 100 % (電圧調整器による電圧調整)
	オゾンナイザ印加電圧および消費電力	12 K 25 W/Hr (50 Hz の場合は 5 / 6 倍)
冷 却 条 件	方 式	水 冷
	必要水量	0.1 ℓ/min 以上
原料ガスの乾燥	乾燥剤 (シリカゲル) による	



注) オゾン反応ビンのガラスフィルターの目の大きさ ~ G1
 ガス洗浄ビン " G2

図 4-3-1 回分実験装置図



写 4-3-1 回分実験装置

オゾン発生量の調整は通電時間を変えることにより行ない、急速ろ過処理水については通電時間份を 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 の 6 段階にわたって変化させ各々 30 回のオゾン酸化処理実験を行なった。そして、未ろ過処理水は 0.5 ~ 3 分までの間に 3 段階に適宜変化させ、7 回のオゾン酸化処理実験を行なった。エアレーション用の空気量としては 15ℓ/min とし、通電電圧は 110V で行なった。実験手順としては次の通りである。

(イ) オゾン発生機のオゾン発生量の測定

- a) KI 溶液 (2% 溶液) 300mℓ をガス洗浄ビン (500mℓ 用) に入れる。
- b) ガス洗浄ビンにオゾン発生機を通過した空気を通気し、空気流量を 1.5ℓ/min に調整する。
- c) オゾン発生機を通過した空気を屋外放出に切り替え、オゾン発生機のスイッチを ON にし、通電電圧を 110V に調整する。
- d) オゾン発生量が安定するまで屋外放出にしておく。このときの屋外放出時間は 20 秒程度である。
- e) 屋外放出からガス洗浄ビン内の通気に切り替え、 O_3 と KI 溶液を反応させる。
- f) 5 分間通電した後、オゾン発生機のスイッチを切り 10 分間程機内に残留したオゾンの追い出しをする。
- g) 反応した KI 溶液を測定する。

$$\text{オゾン発生量 (mg/min)} = \frac{0.6 \times 1/40 N - Na_2 S_2 O_3 \text{ 使用 mℓ 数} \times 6 \times f}{5} = A \text{ mg/min}$$

注) 図4-3-1よりオゾン発生量測定の場合はガス洗浄ビンを直接オゾン発生機に接続する。

(ロ) オゾン反応処理

- 試料1ℓをオゾン反応ビン(φ82mm×300mm)に入れる。
- 余剰オゾンを吸収するためKI溶液300mℓをガス洗浄ビンに入れ、図4-3-1に示すようにオゾン反応ビンと接続する。
- 以下オゾン発生量の測定と同じ手順にて、試料を一定時間処理し、また余剰オゾンはKI溶液に反応吸収させる。
- ガス洗浄ビン内のKI溶液に反応した余剰オゾン量を測定する。

余剰オゾン量(mg) = $0.6 \times 1/40 \text{ N-Ha}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 使用mℓ数 $\times 6 \times f = \text{Bmg}$

試料の反応O₃量は次式で求める。

反応O₃量(mg/ℓ) = A mℓ/min $\times$ 通電時間(分) - Bmg

(2) 連続通水実験

実験用試料としては図4-3-2に示すように中部浄化センター最終沈殿池より直接揚水ポンプで汲み上げた2次処理水とした。実験装置は図4-3-2、写4-3-2に示す通りである。使用したオゾン発生機の仕様、オゾン濃度測定法は4.3.2(1)で述べた通りである。

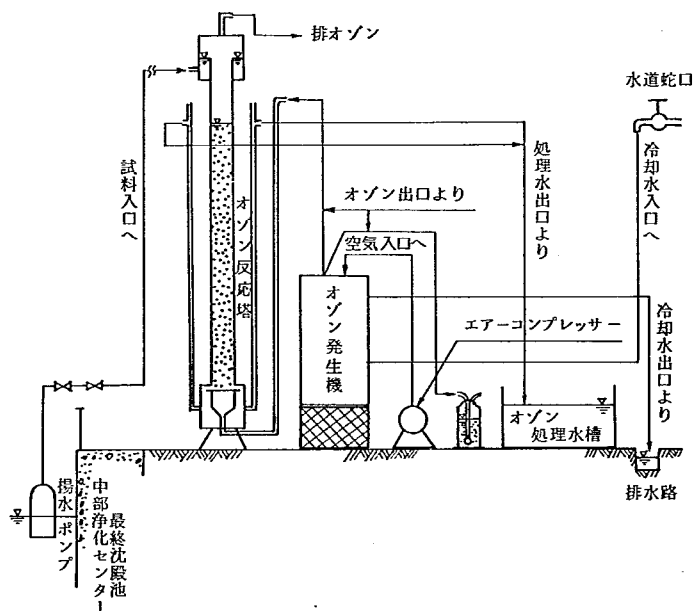


図4-3-2 連続通水実験装置図

オゾン発生量の調整は通電電圧を変えることにより行ない、通電電圧を80, 90, 100, 110Vの4段階にわたって変化させ各々2回のオゾン連続通水実験を行なった。尚、空気流量1.0ℓ/min, 原水流量76.3ℓ/hr, 水深3m(反応塔径φ90mm), 接触時間15分, 1回の連続通水の時間は3時間の条件で行なった。実験手順としては次の通りである。

a) オゾン発生機とオゾン反応塔を接続する前にオゾン発生量を測定しておく。

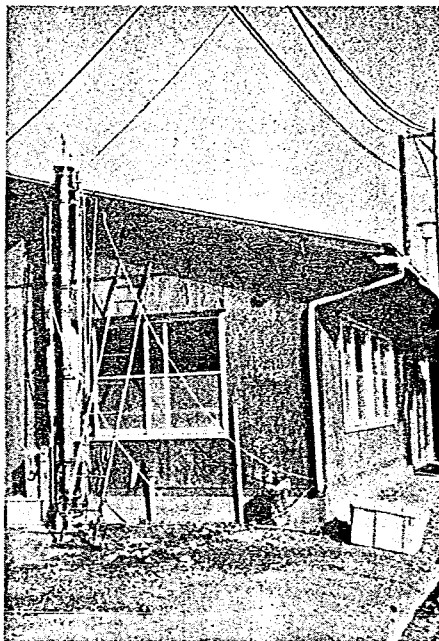
b) 揚水ポンプで試料を塔内

に揚水した後、原水流量を調整する。

c) オゾン発生機のスイッチをONにし、処理を開始する。

d) 3時間程運転した後オゾン発生機のスイッチをOFFにし、オゾン発生機内のオゾンを追い出す。追い出し時間は20分程度である。

e) オゾン発生機とオゾン反応塔の配管を取り外した後、再びオゾン発生量を測定する。着色度等を測定する試料としては、1回の連続通水実験中に各々3回づつ採取して混合したものをそれぞれ原水、処理水として用いた。



写4-3-2 連続通水実験装置

(3) オゾン処理水の復色調査

中部浄化センター2次処理水を1, 河川水(馬込川下村橋で採取)4の割合で混合する。同様に中部浄化センター2次処理水を処理水量1ℓ, 通電電圧110V, 空気流量1.5ℓ/min, 通電時間2分の実験条件でオゾン酸化処理した処理水1, 河川水4の割合で混合し、それぞれ着色度を測定した後、残りの試料を暗室で24時間放置する。

24時間経過後、着色度を測定し前日の着色度と比較した。

4.3.3 実験結果と考察

(1) 回分実験

(イ) 急速濾過処理水を対象とした回分実験

実験結果は表4-3-2, 図4-3-3~8, 写4-3-3に示す通りである。

表4-3-2 急速濾過処理水を対象とした回分実験結果表

通電時間		P H (水素指数)	濁度 (PPM)	S S (PPM)	着色度 (S)	着色度 (T)	反応O ₃ 量 (mg/l)	オゾン利 用率(%)
原 水	最 大 値	7.6	9.5	11.6	29.1	4.2	O ₃ 発生量 (mg/min) 17.2	
	最 小 値	7.3	0.7	0.9	15.9	1.7	O ₃ 発生量 (mg/min) 14.5	
	平 均 値	7.4	3.8	2.8	22.5	3.0	O ₃ 発生量 (mg/min) 15.9	
0.5分	最 大 値	8.1	7.5	7.2	25.8	3.8	2.1	29.0
	最 小 値	8.0	1.7	0.8	8.6	1.1	1.0	12.6
	平 均 値	8.1	3.4	2.9	18.6	2.4	1.5	18.7
1 分	最 大 値	8.2	10.0	14.2	21.3	3.2	3.8	22.5
	最 小 値	8.0	0.6	0	8.1	0.7	2.3	14.3
	平 均 値	8.1	2.7	3.2	14.2	2.0	3.1	19.3
2 分	最 大 値	8.2	8.0	14.0	14.8	2.5	7.3	22.5
	最 小 値	8.0	0.4	0	4.2	0.4	3.4	10.6
	平 均 値	8.1	2.0	3.0	8.3	1.4	5.6	17.5
3 分	最 大 値	8.2	6.0	10.7	10.7	2.1	9.8	20.2
	最 小 値	8.0	0.4	0	3.0	0	6.3	12.7
	平 均 値	8.1	1.6	2.6	5.5	1.9	8.1	17.0
5 分	最 大 値	8.2	5.8	8.2	7.5	2.0	15.8	20.0
	最 小 値	7.9	0.3	0	1.8	0	8.4	10.4
	平 均 値	8.1	1.6	2.6	3.3	0.8	12.5	15.7
10分	最 大 値	8.2	4.8	7.5	3.5	1.5	30.2	18.9
	最 小 値	7.9	0.3	0	0.2	0	10.9	6.8
	平 均 値	8.1	1.4	2.8	1.9	0.5	23.4	14.8

水温は最大 20.0℃, 最小 12.0℃, 平均は 15.5℃である。

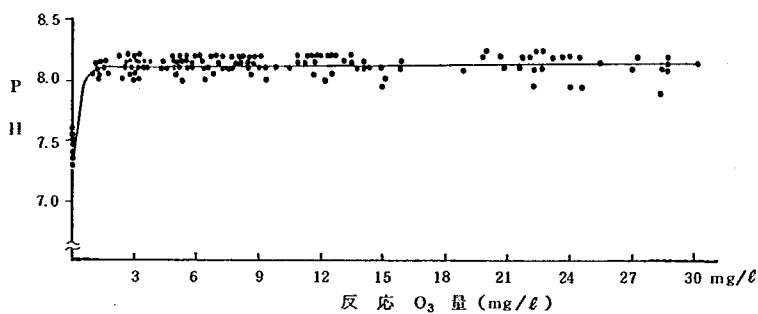


図 4-3-3 PH変化

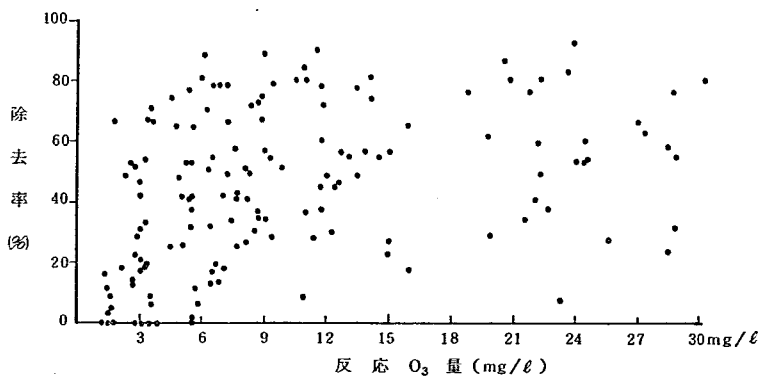


図 4-3-4 濁度の除去

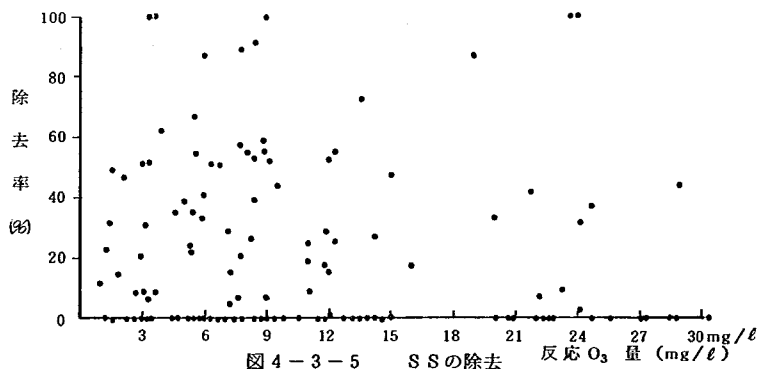


図 4-3-5 SSの除去

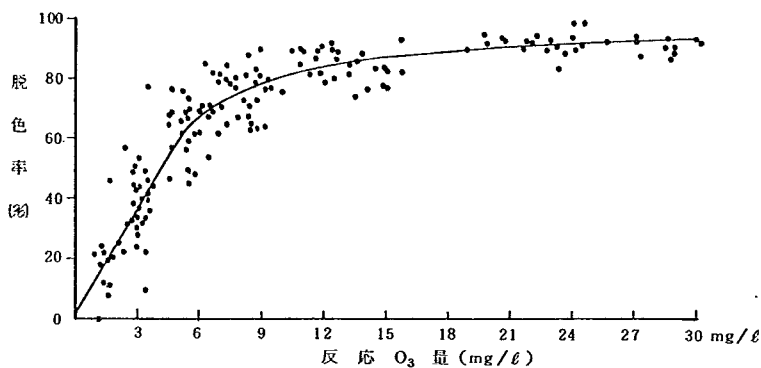


図 4-3-6 着色度(S)の脱色

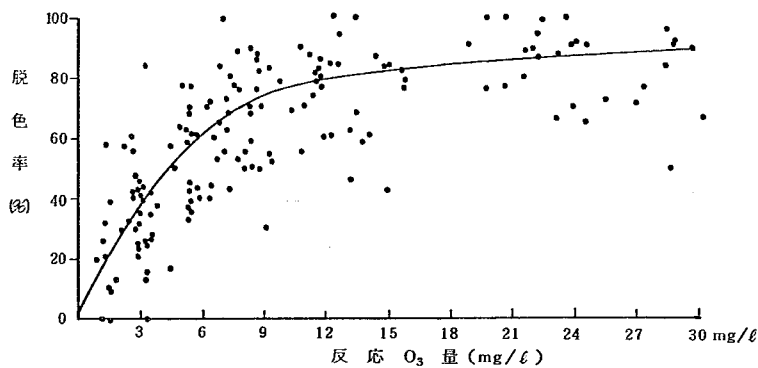


図 4-3-7 着色度(T)の脱色

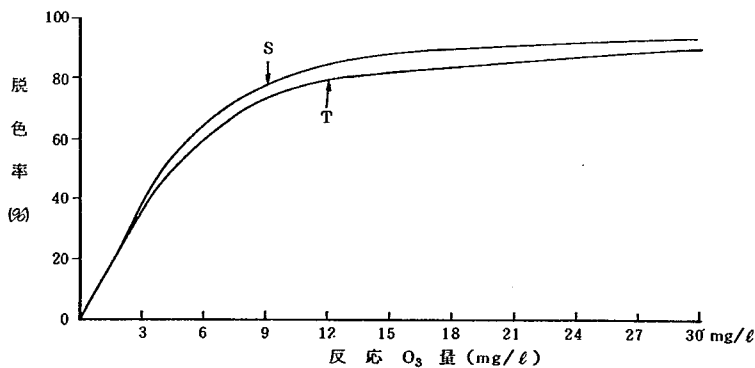
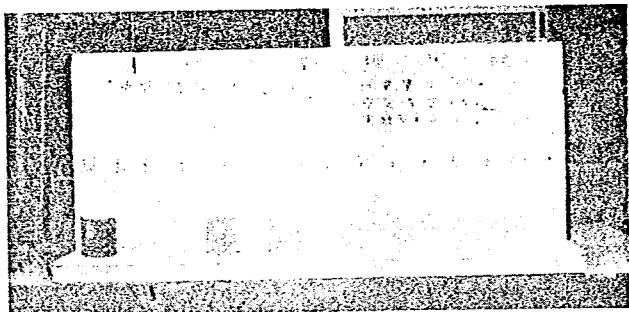


図 4-3-8 着色度(S), 着色度(T)の変化の比較

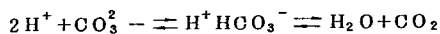


	原 水	0.5 分	1 分	2 分	3 分	5 分	10 分
反応O ₃ 量 (mg/ℓ)	—	1.0	2.8	5.3	8.4	15.8	21.5
着 色 度 (S)	27.3	21.0	18.6	11.9	7.9	5.0	2.8
着 色 度 (T)	3.5	2.8	2.5	2.2	1.1	0.8	0.7

写 4-3-3 急速濾過処理水を対象とした回分実験結果
(カラー写真は巻末に添付)

a) pH, 濁度, SS の変化

2次処理水をオゾン処理することにより合田¹⁰⁾らは pH が中性側に向って変化する結果を得ており、この現象については



① 曝気により炭酸ガスが放散されて上式の平衡関係を右に進み、その結果 pH を上昇させるように作用すること。

② 酸化生成物が pH を低下させるように作用すること。

の2つの相反する作用が働くためと推定している。

しかし、われわれの実験では表 4-3-2 より原水が 7.3 ~ 7.6 の範囲で変化しているがオゾン酸化処理されることにより図 4-3-3 に示すように、ほとんどが 8.1 前後に上昇している。これは中部浄化センター2次処理水をオゾン酸化処理(曝気)すると、①の作用の方が強く作用し pH 8.1 前後になり、酸化生成物による pH の低下はみられなかった。

SS の除去については図 4-3-5 に示すように反応 O₃ 量と除去率との関連性はほとんどないが、濁度の除去については図 4-3-4 に示すように反応 O₃ 量と除去率との関

連性は少しあるように思われる。しかし、着色度除去率との関連性ははっきり現われていない。このことは濁質分のうち $1\mu\text{m}$ 以下の微細な濁質分がオゾン処理されることにより酸化分解するのに対し、SS として測定される $1\mu\text{m}$ 以上の濁質分（浮遊物）までオゾンによる酸化分解作用があまり進んでいないということが言える。

b) 脱色効果

オゾンによる水中の着色有機物の酸化脱色能力は以前よりよく知られており、微量のオゾンで相当の効果が認められている。^{11) 12) 13)}

反応 O_3 量と処理水の着色度 (S), 着色度 (T) の脱色率の関係は図 4-3-6 ~ 8 に示す通りである。

図 4-3-9 に試料をオゾン酸化により脱色処理したときの 0.45μ 以下の溶解性物質による着色状態を色度図として示したが、オゾン処理されることにより、明度が増加し、刺激純度は逆に減少することから、原水が脱色されていることがわかる。また主波長も 588nm から 575nm へとだんだん原水の帯びているだいたい色から黄色への色相が変化し、赤色系染料の分解が行なわれていることを示している。

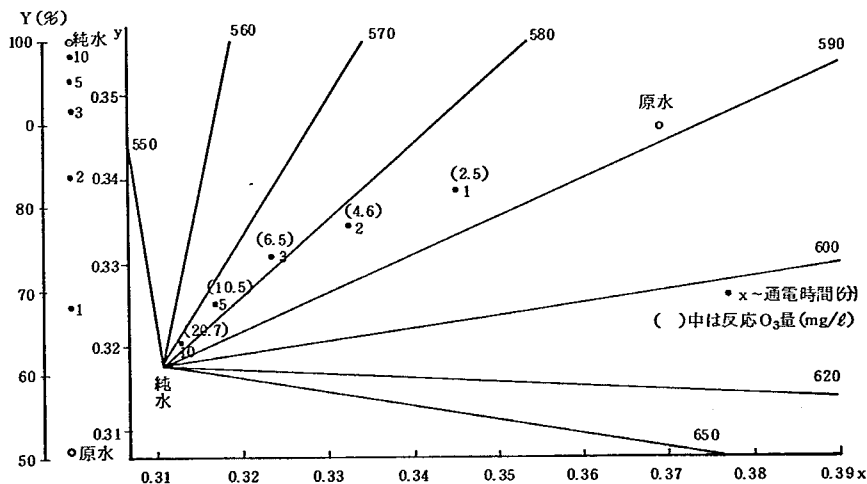


図 4-3-9 色度座標

反応 O_3 量 6.5mg/l で染料による着色は完全に脱色されているが、しかし一般下水中のし尿等による黄色系の着色は残り、反応 O_3 量が約 20mg/l 以上でないと脱色できない。

高柳⁴⁾によると酸含有水の脱色試験で、脱色反応は図4-3-10に示すように明らかに2段階の反応速度に分けられることを報告しているが、われわれの活性汚泥処理では除去できない染料を含んだ2次処理水を対象とした実験でも図4-3-6~7よりはほぼ同様な結果が得られた。反応 O_3 量6~7mg/lぐらいまでは1次反応のごとく直線的に脱色され、その後は徐々に脱色が行なわれる傾向を示している。このことは図4-3-9から、反応 O_3 量が増加するに従って刺激純度の減少、明度の増加が緩やかになることで実証される。

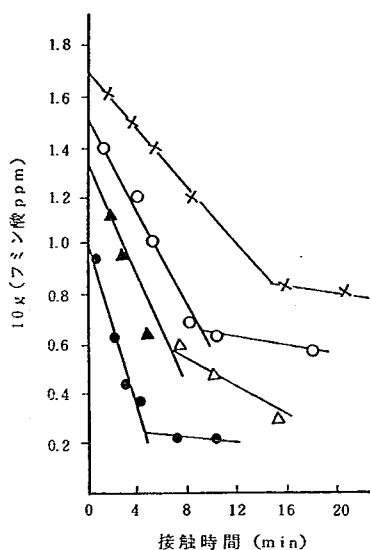


図4-3-10 フミン酸のオゾンによる脱色試験

(ロ) 未濾過処理水を対象とした回分実験

実験結果は表4-3-3、図4-3-11~16、写4-3-4に示す通りである。

表 4-3-3 未濾過処理水を対象とした回分実験結果表

試験番号	通電時間	P H (水素指数)	濁 度 (PPM)	S S (PPM)	着色度 (S)	着色度 (T)	O 発生量 (mg/分)	反応O ₂ 量 (mg/ℓ)	オゾン利用 率(%)
1	原 水	7.4	2 4.5	4 8.0	1 8.0	3.2	1 4.5		
	1 分	8.0	2 5.2	5 0.7	1 0.8	2.4		3.3	2 2.8
	2 分	8.0	2 6.5	5 0.0	6.3	1.7		5.7	1 9.7
	3 分	8.0	2 4.5	4 8.0	5.1	1.2		8.2	1 8.9
2	原 水	7.4	1 5.2	3 4.7	2 2.2	3.3	1 6.2		
	0.75分	8.0	1 5.0	3 6.0	1 5.4	2.3		3.0	2 4.7
	1 分	8.1	1 8.0	4 0.7	1 4.7	2.3		4.4	2 7.2
	1.5分	8.1	1 5.8	4 0.7	1 1.0	1.7		5.5	2 2.6
3	原 水	7.6	1 5.5	2 1.3	1 8.9	2.9	1 5.8		
	1 分	8.0	1 5.5	2 2.0	1 3.2	1.8		3.2	2 0.2
	1.5分	8.0	1 3.4	2 2.8	1 0.7	1.4		4.7	1 9.8
	2 分	8.2	1 7.5	2 0.0	8.6	1.2		5.2	1 6.5
4	原 水	7.4	2 7.0	3 1.0	2 5.8	4.7	1 6.0		
	0.75分	8.0	2 7.6	2 7.0	2 0.8	3.6		2.9	2 4.2
	1 分	8.1	2 7.5	2 6.0	1 9.1	3.3		3.7	2 3.1
	1.5分	8.1	2 7.7	2 8.0	1 6.0	3.0		3.4	1 4.2
5	原 水	7.2	3 0.8	5 5.3	1 9.9	3.5	1 5.9		
	1 分	7.9	3 0.5	4 4.0	1 1.8	2.5		3.7	2 3.3
	1.5分	8.0	3 1.7	4 0.7	7.2	2.4		4.4	1 8.4
	2 分	8.0	3 3.8	5 0.0	6.7	2.1		2.5	7.9
6	原 水	7.4	5.3	1 0.8	1 4.9	1.8	1 6.0		
	0.75分	7.9	5.0	1 0.4	1 0.6	1.1		2.4	2 0.0
	1 分	8.0	5.7	1 0.4	8.5	1.0		3.3	2 0.6
	1.5分	8.1	5.0	1 3.6	6.2	0.6		5.7	2 3.8
7	原 水	7.7	1 0 5.0	9 4.3	1 9.5	5.2	1 5.3		
	0.5分	8.0	9 0.0	9 2.2	1 4.6	4.1		1.4	1 8.3
	1 分	8.0	9 1.0	9 0.5	1 1.4	3.6		2.3	1 5.0
	2 分	7.9	1 0 0.0	9 3.0	6.6	3.0		4.6	1 5.0
	3 分	8.0	8 7.0	9 2.5	5.3	2.5		7.6	1 6.6

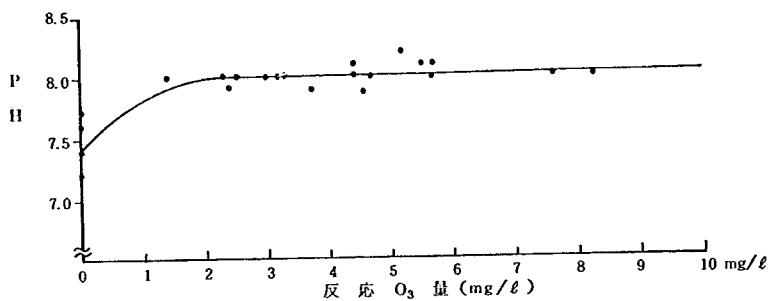


図 4-3-11 pH 変 化

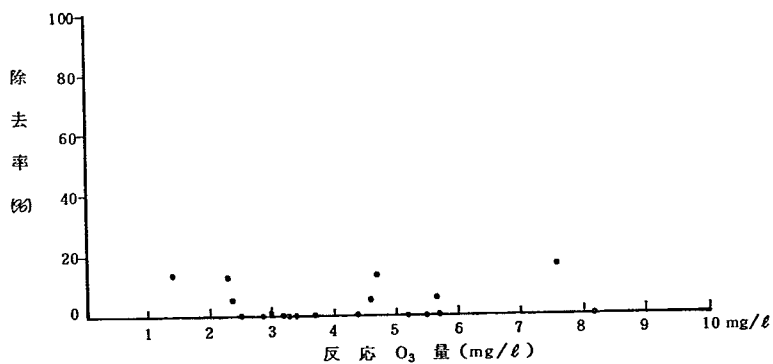


図 4-3-12 濁度の除去

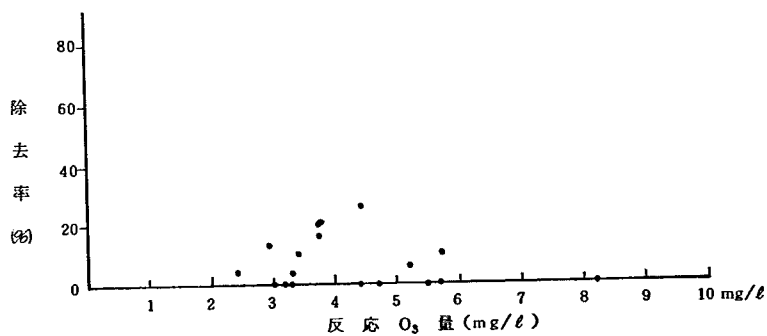
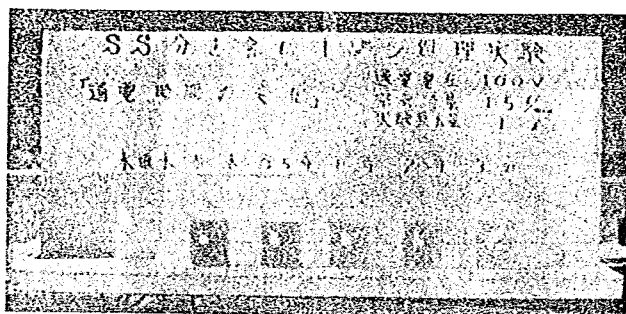


図 4-3-13 SSの除去



	原 水	0.5 分	1 分	2 分	3 分
反応O ₂ 量(㎎/ℓ)	—	1.4	2.3	4.6	7.6
着 色 度 (S)	19.5	14.6	11.4	6.6	5.3
着 色 度 (T)	5.2	4.1	3.6	3.0	2.5

写 4-3-4 未濾過処理水を対象とした回分実験結果
(カラー写真は巻末に添付)

a) pH, 濁度, SS の変化

pH の変化は図 4-3-11 より, 急速濾過処理水のオゾン酸化処理と同様に, 2 次処理水 (未濾過処理水) のオゾン酸化処理も原水 7.4 前後からオゾン処理されることにより, 8.1 前後に変化している。

濁度, SS については殆ど除去されていない。急速濾過処理水は濁度として現われるのは 1μ 以下の物質による場合が主に対して, 未濾過処理水の濁度は SS が主として起因しているため, 前述したようにオゾン酸化は 1μ 以下の物質をまず酸化分解するため, SS 同様濁度の除去はほとんどおこななかった。

b) 脱 色 効 果

図 4-3-14~15 に示すように今回の実験では反応 O₂ 量が少ないため, ほとんどが 1 次反応の範囲内にある。

図 4-3-16 に示すように急速濾過処理水をオゾン酸化処理したものと未濾過処理水をオゾン酸化処理したものの脱色効果はほとんど変わらない。このことは SS によるオ

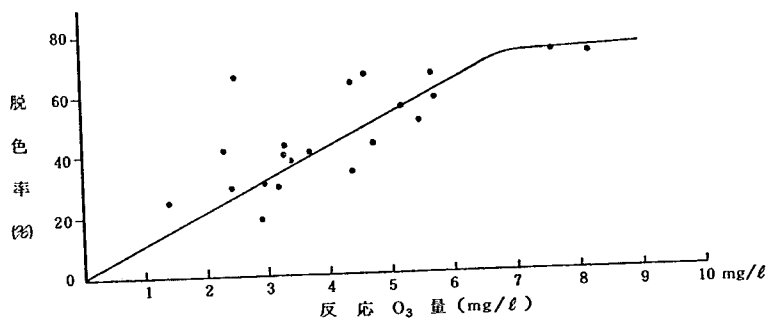


図 4-3-14 着色度(S)の脱色

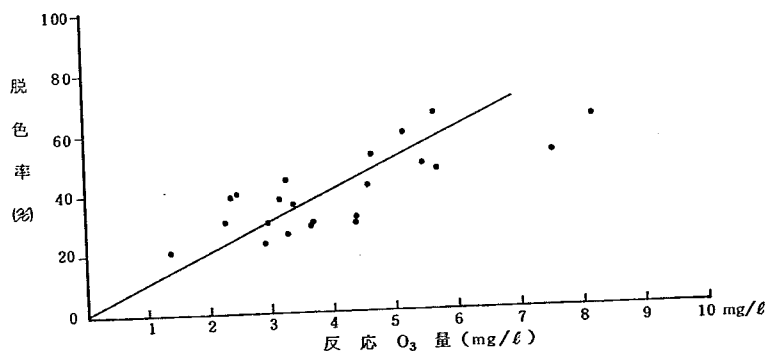


図 4-3-15 着色度(T)の脱色

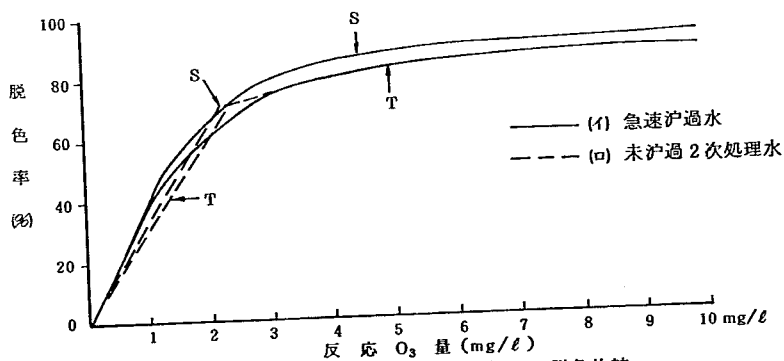


図 4-3-16 (I), (II) の着色度(S), 着色度(T)の脱色比較

ゾンの消費はほとんどないと思われるが、しかし、試料内に含まれている界面活性剤により泡沫分離がおき、SS分が処理の際水面際の壁に付着し、処理中はSS分が低下していることも考えられる。

小沢¹⁵⁾によると溶解度の大きな染料着色排水をオゾン処理すると、オゾンが染料分子の不飽和結合団を最も速く攻撃しその発色機構を破壊する反応が1段階におこり、その反応は3分程度であると報告しているが、今回我々が実験用試料とした中部浄化センター2次処理水に残存しているのは親水性の反応染料が大部分を占めていると思われるので、脱色反応もほぼ3分で終了している。このことはオゾンの酸化は2次処理水中にSSが存在していても、まず染料の破壊へO₃が消費し、SSによるO₃の消費は行なわれていないものと思われるので、脱色する場合はSSが存在していても何ら影響がないことがわかる。

(2) 連続通水実験

連続通水実験の結果は表4-3-4、図4-3-18~19に示す通りである。

表4-3-4 連続通水実験結果表

送電電圧	実験番号	原水 処理水	pH (色素指数)	濁度 (度)	SS (mg/l)	着色度 (S)	着色度 (T)	O ₃ 発生量 (mg/min)	O ₃ 吸収量 (mg/l)
80V	1	原水	7.2	17.5	20.0	18.2	2.5	5.9	4.7
		処理水	7.8	12.5	14.0	18.4	2.4		
	2	原水	7.5	7.8	10.8	20.0	2.3	5.5	4.3
		処理水	8.0	5.3	7.2	19.6	2.3		
90V	1	原水	7.0	13.6	20.8	12.1	1.5	10.1	7.9
		処理水	7.6	9.1	12.8	7.0	0.7		
	2	原水	7.3	8.8	11.2	13.7	2.0	10.4	8.2
		処理水	7.8	6.0	6.8	12.0	1.4		
100V	1	原水	7.4	9.0	16.0	22.4	2.5	12.5	9.9
		処理水	7.9	5.0	8.8	5.9	0.6		
	2	原水	7.3	7.1	9.6	19.4	2.0	12.7	10.0
		処理水	7.6	4.5	6.2	5.0	0.5		
110V	1	原水	7.5	9.0	19.6	27.5	2.5	15.2	12.0
		処理水	7.7	4.2	8.4	3.6	0.5		
	2	原水	7.5	21.0	14.0	22.5	2.5	15.0	11.8
		処理水	7.9	10.2	11.2	6.8	0.1		

オゾン酸化処理における連続通水実験では、オゾン添加量を変化させるには原水流量変化によって接触時間を変化させる方法と通電電圧変化によって変化させる方法、の2つの方法がある。我々の実験は、通電電圧を変えることによってオゾン添加量を変えた。

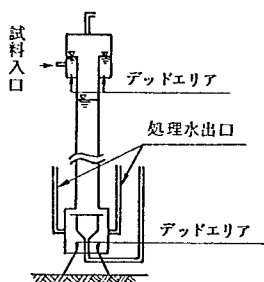


図 4-3-17 連続通水実験装置のデッドエリア

pH については表 4-3-4 で示すように、回分実験結果と同様に上昇することがわかった。

濁度、SS の除去は表 4-3-4 で示すように、回分実験に比べかなり除去されている。このことは図 4-3-17 で示すようにデッドエリアに SS 分が沈殿

し、実際的にはオゾンによる SS の除去はされていないと思われる。

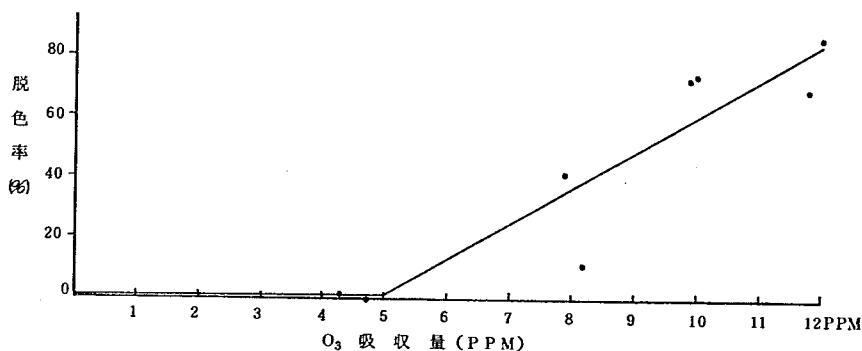


図 4-3-18 着色度(S)の脱色

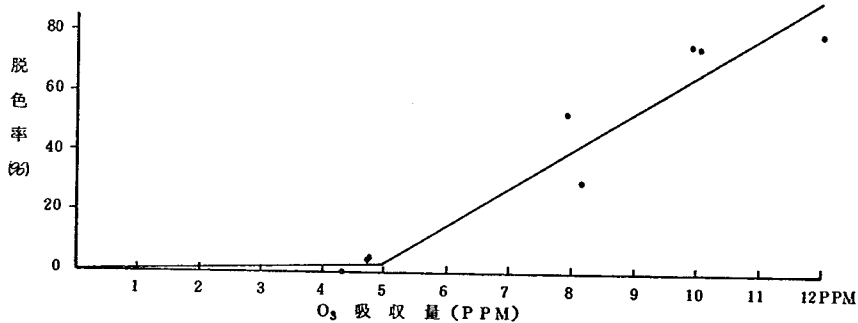


図 4-3-19 着色度(T)の脱色

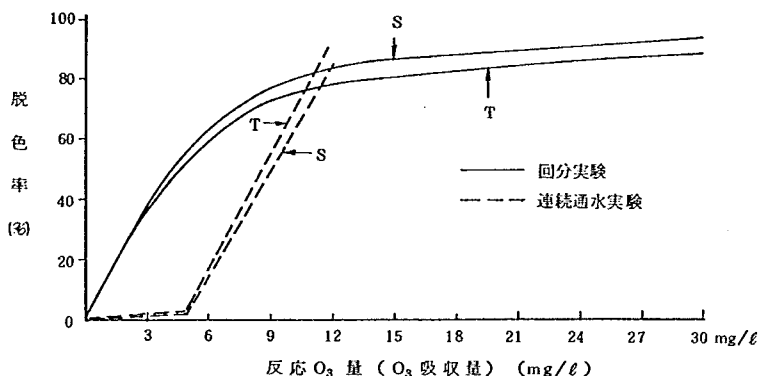


図 4-3-20 回分実験と連続通水実験の着色度(S), (T)の脱色比較

脱色については図 4-3-18~19 に示すように O_3 吸収量 (反応 O_3 量) が $5 \text{ mg}/\ell$ ぐらいまではほとんど脱色されていないことがわかる。すなわち通電電圧でいうと表 4-3-4 より 80 V である。この原因として考えられることは、水深 3 m と微細な孔径の散気板によりオゾン発生機に大きな背圧が加わったことによってオゾン発生能力が低下し、ガス洗浄ビンで測定した発生 O_3 量が実際には発生していないと考えられる。このことを立証するためガス洗浄ビンで発生 O_3 を測定する際、故意にオゾン発生機に背圧を加え、通電電圧 80 V の条件で行なった結果ではほとんど発生しないが通電電圧を除々に上げるとオゾンが発生してきて、110 V ではガス洗浄ビンで測定したオゾン量と同じオゾンを得るようになった。従って表 4-3-4 において通電電圧 100 V までは実際にはオゾン発生がゼロか少ししか発生しないので実験試料のオゾン吸収は行なわれてはいない。

高原¹⁶⁾によると注入オゾン濃度 $10 \text{ mg}/\ell$ のとき、2 次処理水を生物ろ過した試料を水深 3.2 m の条件でオゾン処理したときのオゾン消費率は 75% と報告しているが、今回の実験での余剰オゾンの発生はみられず 100% の消費率となったが、しかしオゾン処理するとき発生す泡により余剰オゾンの消費が考えられなくもない。

図 4-3-20 に回分実験と連続通水実験の脱色率の比較を示したが、通常では連続通水実験の方が効果が良いとされている。我々の実験で連続通水実験の脱色効果があまり良くない理由は、運転条件 (接触時間 15 分、空塔速度 38 m/hr など) は決して悪くなく、前述した背圧という実験上のトラブルによるものである。従って反応 O_3 量が $10 \text{ mg}/\ell$ (通電電圧 110 V) ではほとんど回分実験の脱色率と連続通水実験結果との差が認められないことから回分実験結果をそのまま装置等の計画に応用しても何ら問題はないと思われる。

(3) オゾン処理水の復色調査

実験結果は表 4-3-5 に示す通りである。

表 4-3-5 復色作用についての実験結果

		河川水 + 2 次 処 理 水		河川水 + オゾン処理水	
		当 日	2 4 時間後	当 日	2 4 時間後
着 色 度 (S)	最 大	1 6.2	1 5.7	1 2.6	1 0.1
	最 小	7.0	6.2	3.6	4.6
	平 均	1 1.0	1 0.4	8.2	7.3

表 4-3-5 より、24 時間後の復色はまったくみられない。復色の原因としては、放流先の BOD、COD が非常に高い場合酸化されたものが還元されたり、あるいは pH の変化によるもの等が考えられるが 2-5-3 の表 2-5-3 より、河川水採水箇所（馬込川の下村橋）の水質、着色度は表 4-3-6 に示すように河川水の BOD、COD は低く、pH の変化もあまりなく、これらの作用による復色はなかったと考えられる。

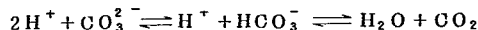
表 4-3-6 馬込川（下村橋）の水質、着色度調査結果

		水温 (℃)	PH 水 素指数	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	濁 度 (mg/L)	着色度 (R)	着色度 (T)
馬込川（下村橋）	平均値	19.7	7.5	7.4	4.4	6.0	12.3	7.6	3.1	0.5

4.3.4 ま と め

オゾン酸化による脱色効果を知るため中部浄化センター 2 次処理の濾過水、未濾過水を試料として回分実験、未濾過水を試料として連続通水実験を行ない、またオゾン脱色処理水の復色現象について調査した結果、次のようなことが明らかになった。

- ① オゾン酸化処理することにより原水の pH 7.2 ~ 7.5 から、処理水の pH は 8.0 以上に上昇した。これは曝気により炭酸ガスが放散されて次式の平衡関係が右へ進んだことによるものと思われ、酸化生成物による pH の低下の現象はみられなかった。



- ② オゾン処理による SS 除去はほとんど期待できないことがわかった。このことはオゾンが染料等の溶解性物質の分解に、より優先的に消費され SS の酸化分解は溶解性物質の分解がある程度進んでからでないと行なわれないことによるものと考えられる。濁度除去についてみれば濁質分が 1 μ 以下のものは割合とオゾンにより速く分解されることがわかったので濁度除去は

濁度に占める濁質分の大きさによって左右されることが明らかになった。

- ③ 溶解性染料により着色している2次処理水のオゾンによる脱色は非常に効果があり、6～7 mg/ℓ以上の添加量で染料による着色はほとんど除去されることが明らかになったが、一般下水中に含まれているし尿等による着色は20mg/ℓ以上添加しないと脱色されにくいことがわかった。
- ④ 溶解度の大きい染料（物質）により着色している2次処理水をオゾン酸化により脱色する場合は、オゾンが染料分子の不飽和結合団を最も速く攻撃し、その発色機構を破壊する反応が第1段階におこるため、2次処理水中のSS分にはほとんど影響されずに一定した脱色効果が得られる。
- ⑤ オゾン処理の回分実験による脱色効果と連続通水実験による脱色効果を比較したが、今回は背圧によるオゾン発生量の低下というトラブルの発生のため実験結果の比較検討がうまくできなかったが、基本的には回分実験結果と連続通水実験結果とは一致するものと考えられる。
- ⑥ オゾン脱色処理水の経時変化による色の復色作用は全くみられなかった。

4.4 凝集沈殿処理

4.4.1 はじめに

凝集沈殿法は排水処理として比較的簡単であることから水中の微細粒子等の除去の方法として広く用いられている。凝集沈殿による脱色処理は染色排水を対象として無機凝集剤（硫酸バンド、PAC）等を使用した実験、研究結果が報告されている。しかし、凝集沈殿法は、凝集剤の複雑な反応、水質・水量の変動による凝集剤の過不足、不適正が生じ適正な処理を難しくしている。

本実験は、凝集処理により着色した2次処理水の脱色処理を行ったものである。凝集剤の添加量は予備実験により選定し、ジャーテスターにより回分実験として行った。

4.4.2 実験方法

(1) 実験条件

凝集沈殿処理において凝集作用に影響を及ぼす因子として排水中の懸濁物質の種類、濃度、粒子径、あるいは溶解塩類、pH、温度等排水の特性によるものと、攪拌等による操作上の影響、そして、言うまでもなく凝集剤の種類、添加量等がある。

本実験は実験用原水として用いた原水の性状が日々違う為、排水の特性による実験、解析は困難あり、操作上の因子（攪拌）と、凝集剤の種類、添加量が設定する条件になってくる。そこで本実験において設定した条件を下記に述べることにする。

1) 使用凝集剤名

本実験に使用した凝集剤は、無機凝集剤4種、高分子凝集剤は表4-4-1に示す通り8社製品、カチオン性8種、アニオン性4種計12種である。

イ. 無機凝集剤

- a. 硫酸バンド (硫酸アルミニウム) 試薬特級
 b. PAC (ポリ塩化アルミニウム) 市販品 (アルミナ分10%)
 c. 塩化第二鉄 試薬一級
 d. 消石灰 (水酸化カルシウム) "

ロ. 高分子凝集剤

表 4-4-1 使用高分子凝集剤名

商 品 名	会 社 名	種 類	イオン性	適 用 P H
サンフロック	三 洋 化 成	700	カチオン	
		AB-100P	アニオン	
クリフロック	栗 田 工 業	LC-551	カチオン	2.0~9.0
アロンフロック	東 亜 合 成	C-10	カチオン	
		A-101	アニオン	6.0~8.0
コーナンフロック	興 南 化 学	K-10	カチオン	2.0~13.0
フロセットKP	三 晶	フロセットKP	カチオン	
アコフロック	三井サイアミッド	C577	カチオン	1.0~9.0
		A-100	アニオン	1.0~9.0
サンポリー	三 共 化 成	K-400	カチオン	3.0~9.0
		A-510	アニオン	2.0~9.0
ハイモロック	協 立 有 機	Q-105H	カチオン	1.0~8.0

2) 凝集剤使用濃度

本実験は、ジャーテスターによる回分実験の為、添加量が極めて少ない。正確な添加量を得るべく各凝集剤を適正濃度に希釈した。希釈水は全て蒸留水を使用した。各希釈濃度は下記の通りである。

㊴ 無機凝集剤

硫酸バンド-2 wt % ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 16 \sim 18 H_2O$)

消石灰-2 wt % 塩化第二鉄-2 wt %

㊵ 高分子凝集剤

カチオン性-1 Vol % アニオン性-0.1 wt %

3) 凝集剤の添加量・組合せ・搅拌条件

イ 添 加 量

凝集剤による実験の中で染色排水を対象とした実験は過去において多くの報告がなされているが、そのほとんどがモデル水によるものである。そこで我々は、本実験に入る前に予備実験を行い適用する添加量を求めた。各凝集剤の添加量を表4-4-2に示す。

ロ 組合せ（併用）

凝集沈殿処理において単独の凝集剤においても処理は可能だが、その組合せによって、より効果的な処理を得ることはすでに明らかになっている。本実験では、先に承けた無機、高分子凝集剤を単独及び組合せにより用い、その効果を求めた。適用した組合せを表4-4-2に示す。

ハ 攪拌条件

凝集沈殿処理において、凝集剤を添加してからの攪拌は処理効果に大きな影響があるとされている。

一般的には急速攪拌と緩速攪拌によって行なわれるが、本実験では凝集剤の併用処理も考慮し、中速攪拌を入れ、急速、中速、緩速攪拌にて行った。本実験で採用した攪拌速度、

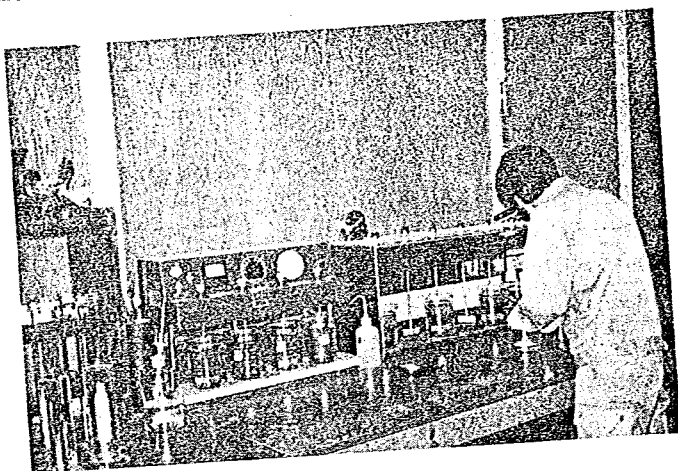
表4-4-2 凝集剤の添加量・組合せ・攪拌条件

実験条件 処理方法	凝集剤名及び組合せ		添 加 量 (mg/l)	攪 拌 条 件	実験 回数
単独処理	無機凝集剤	硫酸バンド	25. 50. 100 . 200. 400	急速攪拌(150 r p m) 1.5分	4
		P A C	〃	↓ 中速攪拌(80 r p m) 0.5分	〃
		消 石 灰	200. 400. 600. 800. 1000	↓ 緩速攪拌(40 r p m) 3.0分	〃
		塩化第二鉄	10. 25. 50. 100. 200		3
	高分子凝集剤	カチオン性	1. 5. 10. 25. 50		5
併用処理 (a)	高分子凝集剤	カチオン性	3 5. 7. 15. 30	高分子凝集剤(単独処理と同じ)	3
	無機凝集剤	硫酸バンド	25. 50. 100	↓ 無機凝集剤(単独処理と同じ)	
		P A C	〃		
		塩化第二鉄	5. 10. 25. 50		
併用処理 (b)	高分子凝集剤	カチオン性	1 5. 30	高分子凝集剤(単独処理と同じ) (カチオン性) ↓ 無機凝集剤(単独処理と同じ)	3
	無機凝集剤	硫酸バンド	50	↓ 高分子凝集剤 (アニオン性)	
		P A C	〃	急速攪拌－3.0分 中速攪拌－1.0分 緩速攪拌－6.0分	
	高分子凝集剤	アニオン性	0.5. 1. 2. 3		

時間を表4-4-2に示す。

(2) 実験手順

実験手順として原水1,000mlをビーカーにとり凝集剤を添加し、ジャーテスター（宮本製作所製）により所定時間攪拌した。攪拌後すばやく1,000mlのメスシリンダーにフロックがこわれないよう静かに移し30分間静置した。30分後フロック容量（SV）を測定し、上澄水700mlを処理水として採水し、各項目について測定した。



写4-4-1 実験風景

4.4.3 実験結果と考察

(1) 無機凝集剤による実験

無機凝集剤による単独処理は、前述のように硫酸バンド、PAC、消石灰、塩化第二鉄について行った。実験結果については、硫酸バンド、PAC、塩化第二鉄の無機塩類と消石灰のアルカリに分類される。

まず、硫酸バンドとPACの実験結果の平均値を、表4-4-3、除去率を表4-4-4、図4-4-1に示す。

表 4-4-3 硫酸バンドとPACの実験結果 (平均値)

添加量 測定項目		原 水	25 mg/ℓ	50 mg/ℓ	100 mg/ℓ	200 mg/ℓ	400 mg/ℓ
硫 酸 バ ン ド	P H	7.3	7.1	7.0	6.8	6.4	5.0
	S S	13.9	20.5	23.0	18.8	13.7	29.5
	濁 度	7.2	6.1	5.7	3.5	1.6	2.6
	着 色 度(S)	23.3	21.3	20.6	18.1	16.7	13.4
	" (I)	3.1	3.1	2.7	2.5	2.2	1.9
P A C	P H	7.3	7.4	7.3	7.2	7.0	6.7
	S S	13.9	12.0	9.9	9.7	10.6	5.7
	濁 度	7.1	6.5	5.7	4.0	2.0	1.9
	着 色 度(S)	23.3	19.4	20.6	19.1	17.7	15.8
	" (I)	3.1	2.7	2.8	2.6	2.3	2.4

※ 原水の平均水温は19.5℃である。

表 4-4-4 硫酸バンド, PACの実験による除去率 (%)

凝集剤 及び 添加量 測定 項目	硫 酸 バ ン ド					P A C				
	25 mg/ℓ	50 mg/ℓ	100 mg/ℓ	200 mg/ℓ	400 mg/ℓ	25 mg/ℓ	50 mg/ℓ	100 mg/ℓ	200 mg/ℓ	400 mg/ℓ
S S	-6.15	-104.7	-74.0	-39.8	-116.7	10.3	24.1	12.5	19.9	44.0
濁 度	-2.0	-1.8	36.2	71.8	69.9	-12.5	-1.3	34.3	65.4	63.9
着色度(S)	8.8	12.0	22.7	28.6	42.8	13.6	12.1	18.6	24.5	32.9
" (I)	-0.9	14.3	20.4	28.4	40.1	12.1	8.6	16.0	24.8	25.7

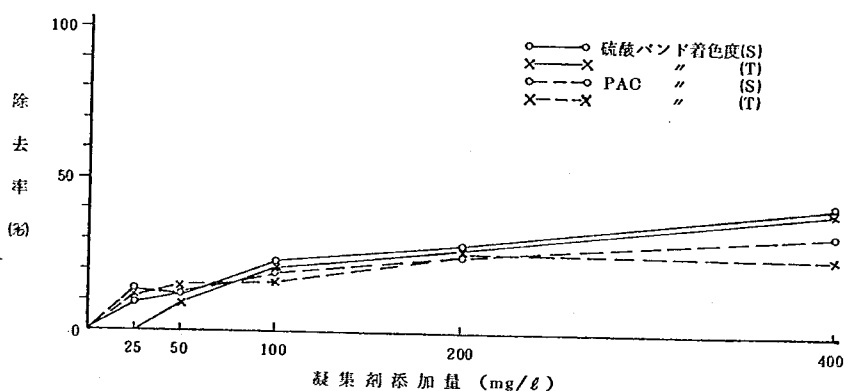


図 4-4-1 硫酸バンド, PAC による着色度(S), 濁度(T)の除去率

硫酸バンド, PACは陽イオンの凝集剤として負に荷電したコロイド粒子を清澄する為に多く用いられてきた。それはコロイド粒子の多くが負に荷電しているからである。また, アルミニウム塩は pH に対して中性付近でフロックを生成することから排水の適用 pH を考慮する必要がある。本実験での原水は表 4-4-3 で判る様に pH 7.3 とほぼ中性域にあり, フロックを生成する範囲である。

実験でのフロック生成は, 硫酸バンドで添加量 50mg/ℓ, PAC で添加量 100mg/ℓ で認められ, 容量として 1,000ml のシリンダーで確認されるのは, 硫酸バンド, PAC とも添加量 200mg/ℓ からである。容量は硫酸バンドで 200mg/ℓ で 40ml, 400mg/ℓ で 50ml, PAC では 200mg/ℓ で 50ml, 400mg/ℓ で 60ml であったが, 表 4-4-4 において硫酸バンドの S S の除去率が負になっている。これは本実験の原水が 2 次処理水である為, 原水の S S 値が低く, S S の比重が小さいことから, 生成した微細フロックが沈降しないことが原因と思われる。しかし, PAC においては添加量の増加に伴い, S S の除去率が上っている。濁度においては, 添加量で 200~400mg/ℓ で 60%~70% の除去率を両方とも示している。このことから硫酸バンドにおいて, S S の除去率が PAC に比較して劣るのは, 硫酸バンドが PAC より分子量が低く, 狭義で言う凝集作用が劣る為であると思われる。

着色度(S), 濁度(T)の除去については, 図 4-4-1 から硫酸バンド, PAC とも添加量の増加に伴い除去率は上っていくが, 添加量 400mg/ℓ で着色度(S)が, 硫酸バンド 4.28%, PAC 3.29%, 濁度(T)が, 硫酸バンド 4.01%, PAC 2.57%とあまり高い除去率を示していない。

着色度(S)における除去について硫酸バンド、PACを添加した時の溶解性物質による着色を示す色度図を図4-4-2に示す。

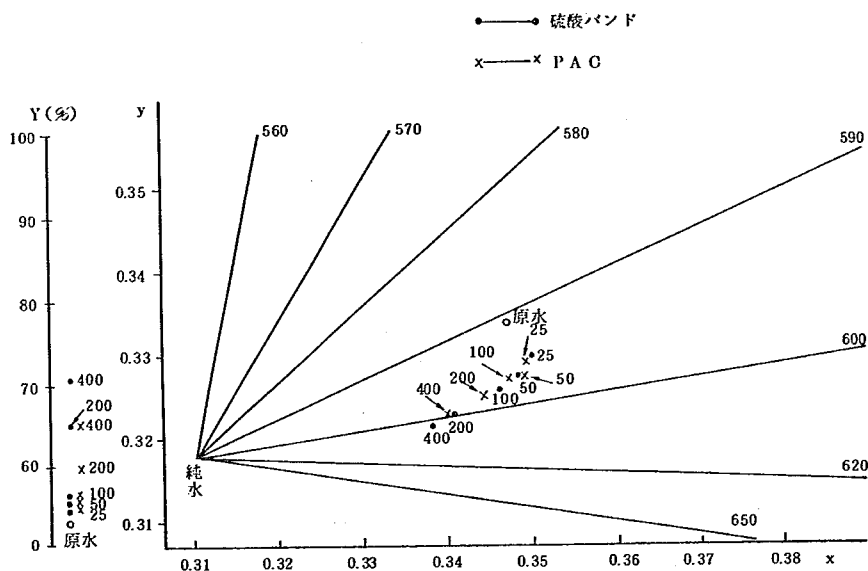
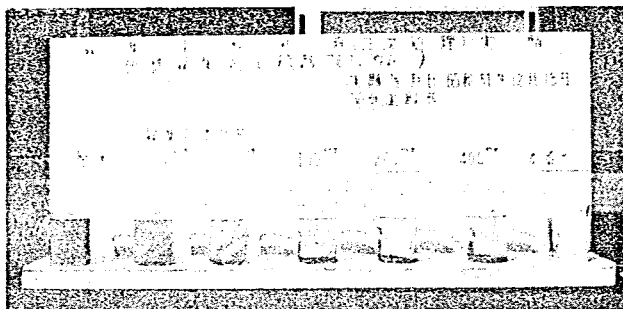


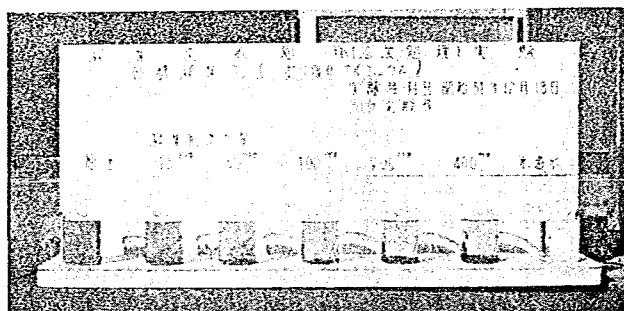
図4-4-2 硫酸バンド、PAC添加による色度図

図4-4-2で示す通り、添加量の増加に伴い、主波長が黄色から赤色に向っている。表4-4-4で得られた着色(S)の除去率は、原水に含まれている家庭排水(し尿)による着色の除去であり、染色排水によって着色された赤色は、ほとんど除去されていないことが判る。よって、硫酸バンド、PACによる単独処理は、溶解性染料による着色の除去にはほとんど効果がないと思われる。



添加量 測定項目	原 水	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	200 mg/l	400 mg/l
着 色 度 (S)	23.1	18.8	18.0	15.6	13.9	13.3
〃 (I)	2.6	3.1	2.1	1.5	1.4	1.4

写 4-4-2 硫酸バンドによる実験結果
(カラー写真は巻末に添付)



添加量 測定項目	原 水	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	200 mg/l	400 mg/l
着 色 度 (S)	23.1	18.3	18.6	17.9	15.6	14.4
〃 (I)	2.6	2.2	2.2	1.9	1.7	1.4

写 4-4-3 PACによる実験結果

次に塩化第二鉄により行なった実験結果の平均値を、表 4-4-5、除去率を表 4-4-6、
図 4-4-3 に示す。

表 4-4-5 塩化第二鉄による実験結果 (平均値)

添加量 測定項目	原 水	10 mg/ℓ	25 mg/ℓ	55 mg/ℓ	100 mg/ℓ	200 mg/ℓ
P H	7.5	7.3	7.1	6.9	6.4	4.6
S S	16.8	18.0	19.8	14.3	11.5	38.1
濁 度	16.2	7.2	6.2	4.3	3.0	9.4
着 色 度 (S)	19.2	15.4	15.3	14.6	13.5	13.1
" (I)	2.4	3.0	2.8	2.9	2.6	3.3

※ 原水の平均水温は 13.5℃である。

表 4-4-6 塩化第二鉄による除去率 (%)

添加量 測定項目	10 mg/ℓ	25 mg/ℓ	50 mg/ℓ	100 mg/ℓ	200 mg/ℓ
S S	-2.0	-12.2	15.7	32.0	-83.1
濁 度	55.2	61.6	73.0	82.6	50.4
着 色 度 (S)	19.8	21.4	25.2	29.1	23.2
" (I)	-22.7	-19.9	-21.3	-14.9	-46.4

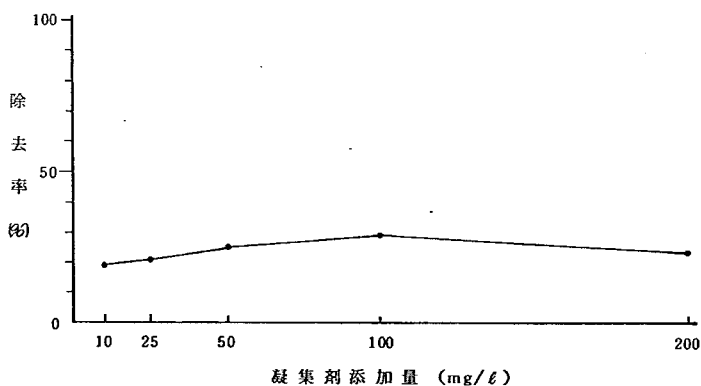


図 4-4-3 塩化第二鉄による着色度(S)の除去率

塩化第二鉄は、鉄塩として凝集沈殿処理に用いられてきた。特にアルカリ剤の pH 調整に使用した場合、染色排水の脱色除去に効果があるとされているので、本実験においても所定時間搅拌後、直ちに pH を測定し、pH 7.0 以下について pH 7.0 になる様、水酸化ナトリウムにて調整した。表 4-4-5 の実験結果において pH 7.0 以下の処理水の、SS、濁度、着色度(R)，着色度(T)は、調整後の値である。

各除去率を検討すると、SS、着色度(T)が極めて悪い。反面、濁度の除去率は添加量 100 mg/ℓ で 82.6%と非常に良い。これは、硫酸バンドと同じく処理水に微細なフロックが残残り、SS の値を高めている為と思われる。着色度(S)については、図 4-4-3 から判る様に添加量 100 mg/ℓ でピークを示しており、除去率も 29.1%と良くない。

塩化第二鉄を添加した時の色度図を図 4-4-4 に、溶解性物質による着色を示す色度図を図 4-4-5 に示した。

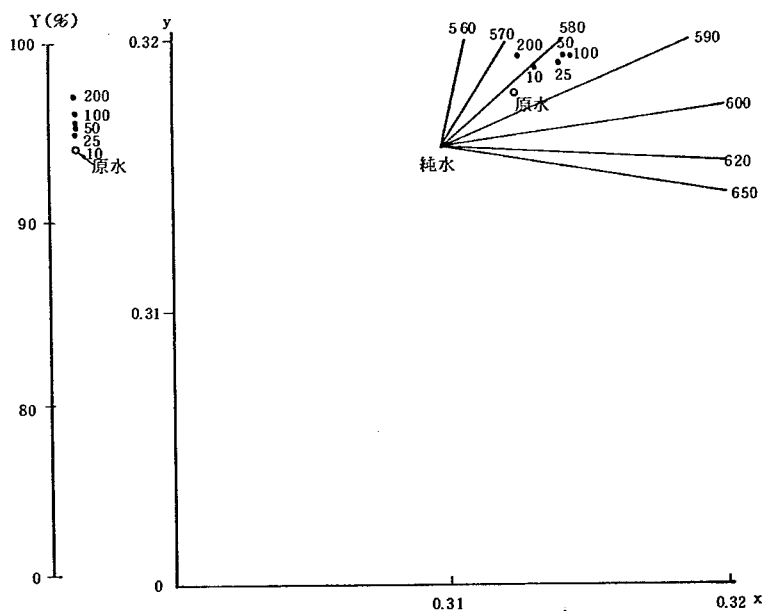


図 4-4-4 塩化第二鉄添加による色度図—その 1

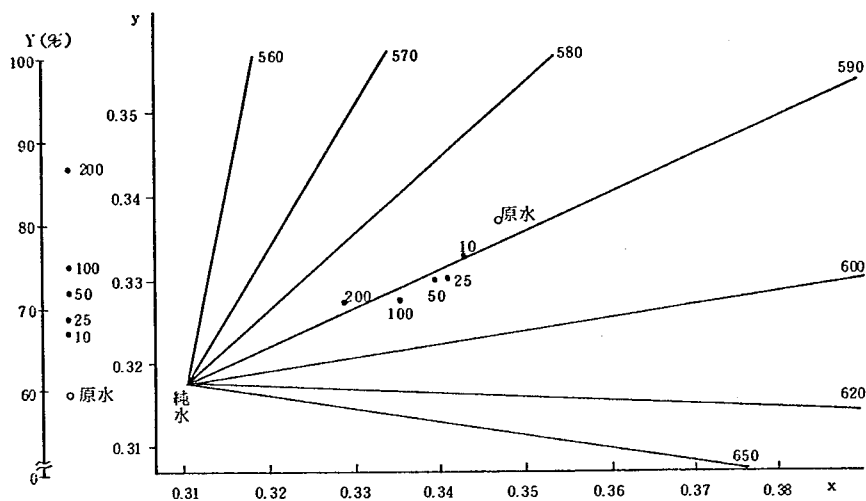
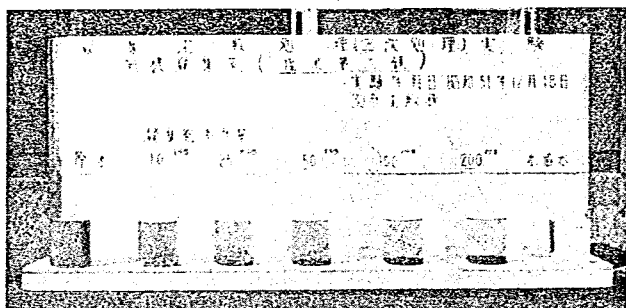


図 4-4-5 塩化第二鉄添加による色度図—その 2

図 4-4-5 から塩化第二鉄を添加しても主波長が、赤色を示していることから染色排水による着色の除去に効果がなかったことを示している。着色度(T)については、表 4-4-6 から除去率が負になっており、図 4-4-4 から判る様に処理水の主波長が、原水より黄色方向を示しており、刺激純度も原水より高くなっている。これは凝集剤として使用した塩化第二鉄の鉄分による影響と思われ、残存とした微細フロックと共に、着色度(T)の除去を妨げていると思われる。塩化第二鉄による単独処理は上述のことを考慮すると、脱色効果は期待出来ない。



添加量 測定項目	原 水	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	200 mg/l
着 色 度 (S)	23.1	19.6	18.5	16.9	14.9	9.8
" (I)	2.6	4.4	2.7	2.7	2.5	1.9

写 4-4-4 塩化第二鉄による実験結果

次に消石灰により行なった実験結果の平均値を表 4-4-7, 除去率を表 4-4-8, 図 4-4-6 に示す。

表 4-4-7 消石灰による実験結果 (平均値)

添加量 測定項目	原 水	200 mg/l	400 mg/l	600 mg/l	800 mg/l	1000 mg/l
P H	7.3	10.1	11.8	12.3	12.5	12.5
S S	14.3	8.5	7.4	6.2	9.2	8.2
濁 度	13.0	6.1	2.3	2.1	6.8	3.8
着 色 度 (S)	29.4	28.4	21.5	13.7	11.5	11.2
" (I)	3.7	3.3	2.4	1.5	1.4	1.2

※ 原水の平均水温は 13.5℃である。

表 4-4-8 消石灰による除去率(%)

測定項目 \ 添加量	200 mg/ℓ	400 mg/ℓ	600 mg/ℓ	800 mg/ℓ	1000 mg/ℓ
S S	5 4.9	4 5.1	6 4.5	5 2.7	5 7.2
濁 度	5 6.6	8 2.9	8 5.3	5 1.2	6 9.4
着 色 度 (S)	4.9	2 8.1	5 4.5	6 2.0	6 2.7
" (T)	1 1.2	3 4.6	6 0.1	6 0.4	6 8.7

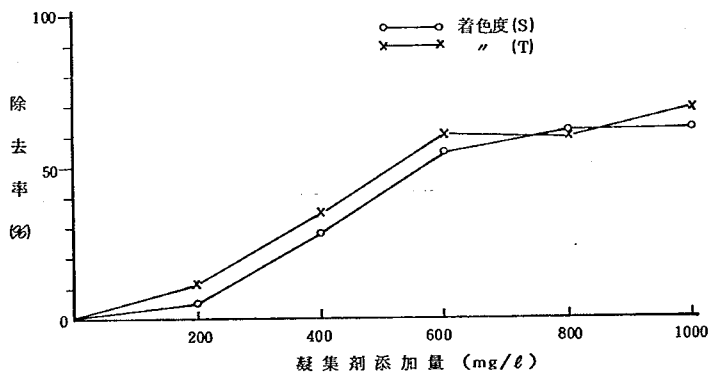


図 4-4-6 消石灰による着色度(S), 濁度(T)の除去率

消石灰による凝集沈殿処理は、2次処理水中のリン、浮遊物および有機物の除去の外、染色排水の脱色を目的とした実験等、多くの報告がなされている。

しかし、消石灰を凝集剤に使用すると、表 4-4-7 の実験結果から判る様に pH の値が非常に高くなる。そこで、我々は処理水として適正 pH 値に下げる為、炭酸ガスを使用した。これは石灰凝集沈殿システムにおける再炭酸塩化による方法¹⁷⁾から、沈殿処理水に炭酸ガスを吹込み、pH を下げるものである。装置を図 4-4-7 に示す。

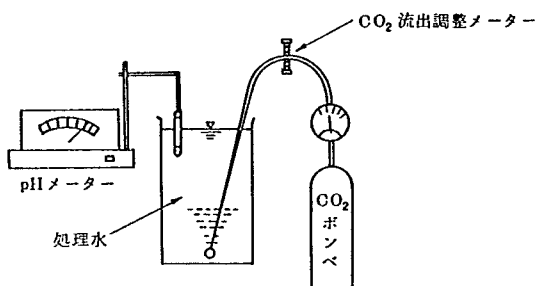


図 4-4-7 装 置 図

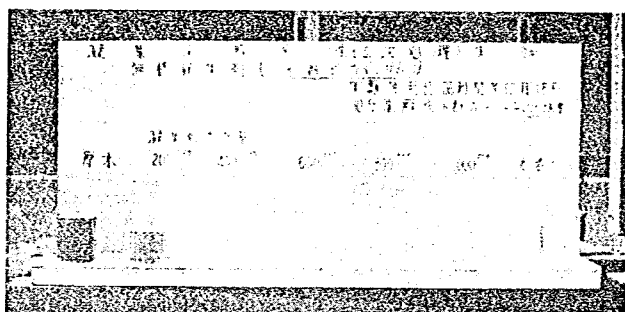
pH調整は沈殿処理水 700mℓに、pH 10.0になるまで炭酸ガスを吹込み、終了後 30 分間沈殿させ、上澄水 500mℓ を採水し、上澄水 500mℓ に対し、pH 7.0になるまで炭酸ガスを吹込んだ。

除去率を表 4-4-8 から検討すると、各除去率とも 60%以上の効果を得ている。特に SS の除去が、硫酸バンド、PAC、塩化第二鉄と比較すると優れている。これは pH調整において、炭酸カルシウムを最大に回収する pH範囲 9.5～10.0 で炭酸カルシウムを沈殿させ、その上澄水を pH 7.0 に調整した為で、すなわち、浮遊物としての炭酸カルシウムを除去したことである。表 4-4-9 に沈殿処理水の pHを直接 7.0 に下げた実験の SS を示す。表 4-4-9 から判る様に、pHを直接 7.0 に下げずに、pHを 9.5～10.0 におとし、炭酸カルシウムを沈殿させ、その上澄水を pH 7.0 に下げて処理水とするのが必要であると思われる。

表 4-4-9 pH値を 7.0 にいちどに下げた時の SS の除去率(%)

添加量 測定項目	200 mg/ℓ	400 mg/ℓ	600 mg/ℓ	800 mg/ℓ	1000 mg/ℓ
SS	1.2	1.8	4.9	11.6	19.6

添加量として検討すると、図 4-4-6 から 600mg/ℓ ～ 800mg/ℓ の範囲が望ましいと思われる。



添加量 測定項目	原 水	200 mg/l	400 mg/l	600 mg/l	800 mg/l	1,000 mg/l
着 色 度(S)	2 5.6	2 4.4	1 6.9	9.7	8.1	7.7
〃 (I)	3.3	2.6	1.7	1.1	1.2	0.9

写 4-4-5 消石灰による実験結果

以上行ってきた無機凝集剤 4 種について比較検討してみる。表 4-4-10 に無機凝集剤による除去率を示す。

表 4-4-10 無機凝集剤の除去率 (%)

凝集剤 測定項目	硫酸バンド	PAC	塩化第二鉄	消石灰
S S	39.8	44.0	32.0	64.5
濁 度	71.8	65.4	82.6	85.3
着 色 度(S)	42.8	32.9	29.1	62.7
〃 (I)	40.1	25.7	14.9	68.7

※ 各値は除去率の最高値である。

表 4-4-10 から、無機凝集剤の中で消石灰による処理が、良いことが判る。特に着色度の着色度の除去においても有効であることが判るが一方他の無機凝集剤については、着色度の除去はあまり効果がないことが判る。

図 4-4-8 に添加量の変化による着色度(S)の除去率を示す。

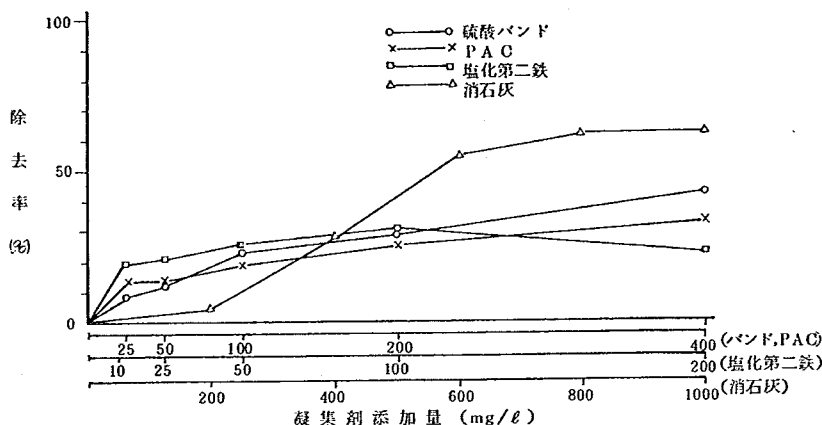


図 4-4-8 無機凝集剤の添加量の変化による着色度(S)の除去率

従って、無機凝集剤の単独処理で効果があるのは、4種の凝集剤の中で消石灰による処理のみであると言える。

(2) 高分子凝集剤 (カチオン性) による実験

高分子凝集剤 (カチオン性) による実験は、予備実験により脱色効果があったので、表 4-4-1 の 8 社 8 製品について行った。実験結果を表 4-4-11 に、除去率を表 4-4-12、図 4-4-9 に示す。

表 4-4-11 高分子凝集剤 (カチオン性) による実験結果

測定項目	添加量	原 水	1 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l
三洋化成 サンフロク700	pH	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.6
	S S	11.9	8.0	12.5	20.3	18.6	14.3
	濁 度	8.6	7.7	8.9	9.4	9.6	6.1
	着 色 度(S)	21.3	20.7	14.6	10.7	6.1	4.5
	" (I)	2.7	2.7	2.7	2.6	1.9	1.6
J(クリフロク)155 栗田工業	pH	7.4	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6
	S S	9.9	10.5	9.4	14.4	18.3	13.4
	濁 度	7.9	7.3	8.1	8.8	8.3	7.0
	着 色 度(S)	20.9	17.4	13.6	12.9	7.3	4.5
	" (I)	2.6	2.6	2.6	2.7	2.3	1.9

添加量 測定項目		原 水	1 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l
東 亜 合 成 (テロンフロクC-110)	pH	7.4	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
	S S	1 6.7	1 8.7	1 7.5	2 1.3	2 0.0	1 5.4
	濁 度	1 0.9	9.3	9.7	1 0.9	8.3	6.6
	着 色 度(S)	2 2.7	1 8.8	1 5.0	1 2.2	7.0	7.0
	〃 (I)	3.0	2.8	2.9	2.8	2.0	1.9
興 南 化 学 (ゴーナンフロクK-110)	pH	7.4	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
	S S	1 6.9	1 3.7	1 3.5	1 5.0	2 0.0	2 5.7
	濁 度	1 0.9	8.9	8.9	9.3	9.8	1 2.3
	着 色 度(S)	2 2.7	2 0.0	1 8.0	1 7.0	1 1.1	8.3
	〃 (I)	3.0	2.9	2.9	3.0	3.1	3.3
三 唱 (フロセトK)	pH	7.4	7.5	7.5	7.5	7.6	7.7
	S S	2 1.2	1 5.4	1 8.3	1 9.2	1 9.2	2 0.4
	濁 度	1 1.9	1 0.0	9.4	1 0.4	1 0.7	1 0.5
	着 色 度(S)	2 1.7	1 9.6	1 6.7	1 1.9	7.1	8.6
	〃 (I)	2.9	2.9	3.0	3.0	2.8	2.6
三井サイアナミッド (テコフロクC-157)	pH	7.4	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6
	S S	2 1.2	1 4.3	1 8.0	1 9.7	2 2.8	2 0.7
	濁 度	1 1.9	9.9	9.7	1 0.5	1 1.9	1 1.0
	着 色 度(S)	2 1.7	1 7.1	1 1.3	1 0.1	8.7	7.7
	〃 (I)	2.9	3.0	3.1	3.0	3.6	2.7
三 共 化 成 (サンボリーK-400)	pH	7.4	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
	S S	1 7.9	1 4.8	1 9.2	2 2.3	2 0.9	2 1.5
	濁 度	1 3.3	1 1.2	1 1.8	1 1.7	9.9	8.5
	着 色 度(S)	2 3.8	2 2.0	1 6.4	1 3.0	6.8	8.0
	〃 (I)	3.6	3.2	3.4	3.4	2.8	2.4
協 立 有 機 (ハイモロクG-105)	pH	7.4	7.5	7.4	7.5	7.5	7.6
	S S	1 5.3	1 4.6	1 9.5	2 0.5	1 4.0	1 6.7
	濁 度	1 0.1	1 1.4	1 1.0	1 0.0	7.8	7.9
	着 色 度(S)	2 2.7	1 8.4	1 4.1	1 1.2	8.2	7.0
	〃 (I)	3.1	3.0	3.0	2.8	2.3	2.1

※ 原水の平均水温は18.0℃である。

表4-4-12 高分子凝集剤(カチオン性)による除去率(%)

凝集剤名	測定項目	添加量		1 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l
		S	S					
三 洋 化 成 (サンフロック700)	濁 度			30.2	-18.2	-91.7	-55.0	-30.9
	着 色 度(S)			2.5	32.8	50.7	58.1	79.2
	" (I)			-1.5	-1.6	1.0	25.5	32.8
	S S			-18.0	-24.6	-85.1	-101.4	-44.6
栗 田 工 業 (クリフロックLC-551)	濁 度			10.2	-28.8	-26.2	-25.6	-6.0
	着 色 度(S)			17.0	35.1	39.7	65.5	78.3
	" (I)			-2.4	-0.7	-2.7	12.1	26.4
	S S			-39.1	-23.6	-61.2	-37.9	-1.5
東 亜 合 成 (アロンフロックC-10)	濁 度			11.9	8.4	-1.8	24.0	42.0
	着 色 度(S)			17.6	34.3	46.8	69.4	70.8
	" (I)			6.5	5.7	7.2	3.3	38.6
	S S			3.1	1.5	-10.8	-15.9	-45.6
興 南 化 学 (コナンフロックK-10)	濁 度			16.2	14.7	12.1	6.7	-19.8
	着 色 度(S)			12.6	20.4	25.7	50.9	64.3
	" (I)			5.4	3.7	0.1	-3.2	-8.1
	S S			25.0	4.2	8.9	1.9	-13.4
三 唱 (フロセット-KP)	濁 度			-4.4	3.2	1.0	-4.9	-3.2
	着 色 度(S)			10.4	24.0	44.8	66.4	59.7
	" (I)			0.9	-2.1	-2.7	5.1	11.2
	S S			27.3	-1.5	-7.3	-39.4	-18.8
三井サイアナミッド (アコフロックC-577)	濁 度			10.6	12.2	-2.2	-22.5	-11.8
	着 色 度(S)			20.0	47.0	52.6	59.4	65.1
	" (I)			-2.9	-6.5	-1.4	-19.1	8.6
	S S			15.3	-12.9	-34.5	-33.0	-43.8
三 共 化 成 (サンポリ-K-400)	濁 度			2.5	-4.6	-5.3	4.8	15.9
	着 色 度(S)			8.3	31.0	46.7	69.7	63.3
	" (I)			13.1	3.9	4.7	25.5	35.3
	S S			-7.7	-67.6	-90.4	-46.7	-43.9
協 立 有 機 (ハイモロックQ-105H)	濁 度			-33.9	-22.9	-39.1	-20.3	-23.0
	着 色 度(S)			19.6	38.7	56.9	64.6	69.6
	" (I)			4.9	2.5	9.9	28.7	35.2
	S S							

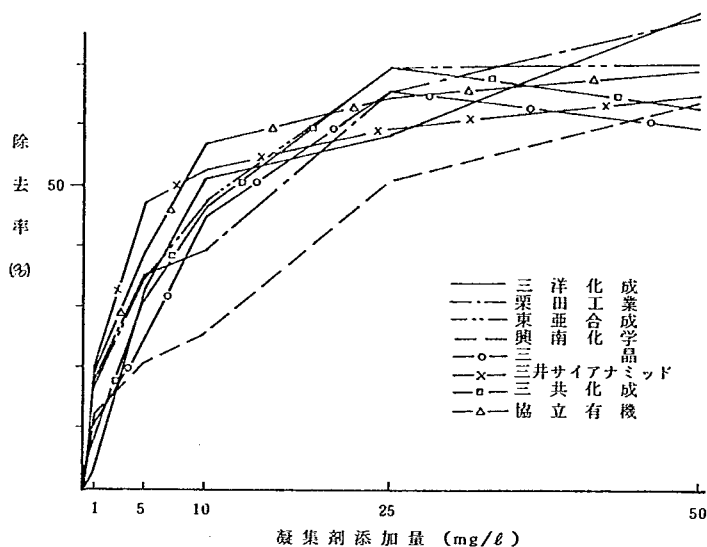


図 4-4-9 高分子凝集剤（カチオン性）による着色度(S)の除去率

次に、8社製品高分子凝集剤（カチオン性）の全体の平均除去率を、表 4-4-13、図 4-4-1 に示す。

表 4-4-13 8社製品高分子凝集剤（カチオン性）の全体平均除去率(%)

添加量 測定項目	1 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l
S S	4.5	17.8	46.5	40.9	30.8
濁度	3.3	4.5	10.4	8.3	0.7
着色度 (S)	13.5	32.9	45.5	63.0	68.8
〃 (I)	3.0	0.6	2.0	9.7	22.5

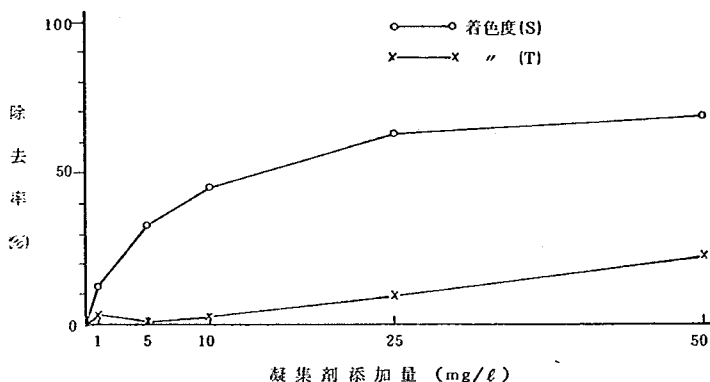


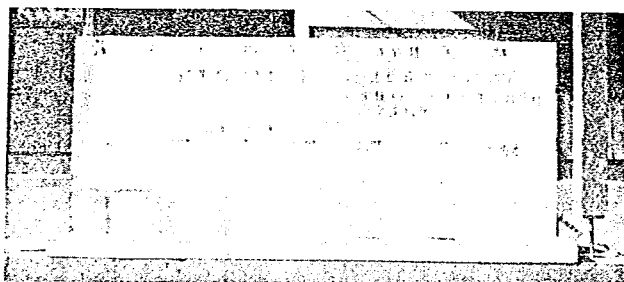
図 4-4-10 8 社製品高分子凝集剤（カチオン性）の着色度 (S)，着色度 (T) の平均除去率

高分子凝集剤は粗粒子の加橋吸着による凝集作用を有するものとして生成したフロックを大きくし、沈降させる為に広く使用されている。そして、分子量が高くなる程この作用は増大していく。

カチオン性の高分子凝集剤は高分子凝集剤の中では分子量の低い凝集剤である。よって比較的濁質物を多く含んだ排水には沈降性は良いが、下水 2 次処理水のように濁質分の濃度が低い排水には単独による処理水の清澄は望めない。これは、表 4-4-12 ~ 13 で判る様に、SS、濁度の除去率が非常に悪いことから言える。

しかし、カチオン性の高分子凝集剤は、染色排水、塗装工場排水等の着色を程した排水に、脱色効果があることが明らかになっている。本実験でも、図 4-4-9 ~ 10 で判る様に、着色度 (S) の除去率が、三洋化成（サンフロック 700）で添加量 50 mg/l のとき 79.2%，全体平均で添加量 50 mg/l で 68.8% と良い結果を得ているが、着色度 (T) の除去率は、東亜合成（アンソフロック C-10）で添加量 50 mg/l のとき 38.6%，全体平均で添加量 50 mg/l で 22.5% と低い。この原因は前述の SS、濁度の関係から判断できる。

以上の点からカチオン性高分子凝集剤は、溶解性染料を凝結するが沈降作用がないから単独での使用は無理と思われる。また、高分子凝集剤の毒性、価格の点を考慮すると、添加量に対して充分検討する必要があると思われる。



添加量 測定項目	原 水	1 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l
着 色 度 (S)	18.9	21.2	14.0	10.7	6.1	4.5
〃 (I)	2.2	2.3	2.2	2.2	1.2	0.7

写 4-4-6 高分子凝集剤（カチオン性）による実験結果

(3) 高分子凝集剤（カチオン性）と無機凝集剤による実験

凝集沈殿処理において凝集剤を併用することにより，単独処理より高い除去が得られることは先に述べたが，本実験では，高分子凝集剤（カチオン性）により，溶解している色素物質を粗粒子に形成させ，無機凝集剤（硫酸バンド，PAC，塩化第二鉄）により，より大きなフロクを形成し沈降させようと実験したものである。

実験では，高分子凝集剤（カチオン性）を4社製品（三洋化成・サンフロク700，東亜合成・アロンフロクC-10，三井サイアナミッド・アコフロクC-577，三共化成・サンポリーK-400）使用し，無機凝集剤として硫酸バンド，PAC，塩化第二鉄を使用した。

まず，高分子凝集剤（カチオン性）と硫酸バンド，PACの併用について述べる。実験結果は代表的なサンフロク700についての結果を，表4-4-13～14に示す。

また，除去率についてはサンフロク700について，表4-4-15に，全体の平均除去率を表4-4-16，図4-4-11～14に示す。

表 4-4-13 サンフロック 700 と硫酸バンドによる実験結果

硫酸バンド添加量 サンフロック 700 添加量		原 水	3.5 mg/l	7.0 mg/l	15.0 mg/l	30.0 mg/l
測 定 項 目	25 mg/l	7.3	7.2	7.2	7.3	7.3
	50 "	"	7.0	7.0	7.1	7.2
p H	100 "	"	6.8	6.8	6.8	6.9
	25 "	15.3	18.1	17.2	34.3	18.2
	50 "	"	17.7	20.3	20.7	21.2
濁 度	100 "	"	13.5	18.2	24.4	29.1
	25 "	9.7	7.6	7.2	7.6	7.4
	50 "	"	6.1	6.6	6.9	7.5
着 色 度 (S)	100 "	"	4.1	4.6	6.4	8.5
	25 "	21.8	14.2	12.1	7.7	4.6
	50 "	"	13.9	11.3	6.9	4.5
" (I)	100 "	"	13.1	9.4	5.2	4.1
	25 "	2.5	2.6	2.5	1.8	1.3
	50 "	"	2.5	2.5	3.1	1.4
	100 "	"	1.6	1.8	1.9	2.0

表 4-4-14 サンフロック 700 と PAC による実験結果

サンフロック 700 添加量 PAC 添加量 測定項目		原 水	3.5 mg/l	7.0 mg/l	15.0 mg/l	30.0 mg/l
p H	25 mg/l	7.3	7.3	7.3	7.5	7.5
	50 "	"	7.4	7.4	7.5	7.5
	100 "	"	7.3	7.3	7.4	7.5
S S	25 "	15.3	16.6	17.8	16.5	15.0
	50 "	"	13.0	18.3	12.3	13.1
	100 "	"	11.6	12.1	12.6	8.1
濁 度	25 "	9.7	7.6	7.2	5.4	6.3
	50 "	"	6.6	6.6	5.5	5.7
	100 "	"	5.7	4.6	5.2	3.9
着 色 度 (S)	25 "	21.8	15.1	11.5	7.6	4.5
	50 "	"	14.9	15.1	5.5	4.6
	100 "	"	14.5	8.5	6.8	4.4
" (I)	25 "	2.5	2.1	2.5	1.9	1.6
	50 "	"	1.8	2.4	1.6	1.7
	100 "	"	1.5	2.1	1.5	1.5

表4-4-15 サンフロック700と硫酸バンド、PACによる除去率(%)

サンフロック 添加量 700ク	測定項目 硫酸バンド・ PAC添加量	硫酸バンド			PAC		
		25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l
3.5 mg/l	S S	-28.5	-6.2	10.4	-9.7	14.3	24.6
	濁度	27.1	42.3	61.3	24.3	32.0	37.0
	着色度(S)	35.7	36.1	40.2	30.7	32.0	33.8
	// (I)	-10.8	-3.4	22.5	10.0	18.7	35.5
7.0 mg/l	S S	-17.7	-36.9	-24.1	-18.5	-23.6	19.7
	濁度	31.9	38.1	57.0	30.8	32.5	53.3
	着色度(S)	44.2	47.2	57.1	47.3	32.0	60.8
	// (I)	4.6	-3.1	37.2	-1.6	4.4	18.2
15.0 mg/l	S S	-132.1	-41.6	-67.1	-6.7	18.1	16.6
	濁度	27.1	35.4	40.5	49.5	42.8	45.6
	着色度(S)	64.7	68.1	75.9	65.3	75.6	68.7
	// (I)	22.9	-27.2	20.0	22.2	43.5	36.6
30.0 mg/l	S S	25.1	-46.6	-100.9	-2.5	11.1	44.9
	濁度	29.6	30.7	28.4	42.1	44.3	61.5
	着色度(S)	79.0	79.4	81.2	79.5	78.8	79.8
	// (I)	43.4	38.1	15.2	30.8	30.5	41.1

表4-4-16 高分子凝集剤(カチオン性)と硫酸バンドPACによる全体平均除去率(%)

カチオン性 添加量	測定項目 硫酸バンド・ PAC添加量	硫酸バンド			PAC		
		25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l
3.5 mg/l	S S	-68.1	-111.4	-71.7	-130.0	-84.7	-65.4
	濁度	16.0	30.0	54.1	11.0	28.2	45.5
	着色度(S)	21.4	31.7	36.1	28.7	30.1	33.4
	// (I)	1.1	7.2	25.9	6.5	13.4	28.2
7.0 mg/l	S S	-141.1	-120.6	-82.3	-62.8	-115.3	-26.3
	濁度	16.3	27.3	50.0	15.4	30.3	52.8
	着色度(S)	38.7	40.0	50.4	45.0	40.3	50.2
	// (I)	8.5	13.5	35.7	7.3	15.9	32.1
15.0 mg/l	S S	-126.8	-116.9	-71.1	-95.7	-37.1	-3.2
	濁度	18.1	24.6	40.6	34.2	45.0	57.3
	着色度(S)	53.5	59.7	67.2	60.4	61.3	60.3
	// (I)	23.1	16.0	36.7	23.4	39.2	47.1
30.0 mg/l	S S	-72.0	-118.6	-109.0	-37.4	-15.6	25.3
	濁度	26.3	32.6	33.8	39.7	49.2	60.4
	着色度(S)	71.0	72.2	68.7	69.4	72.6	72.6
	// (I)	37.7	40.8	38.6	37.6	42.0	47.9

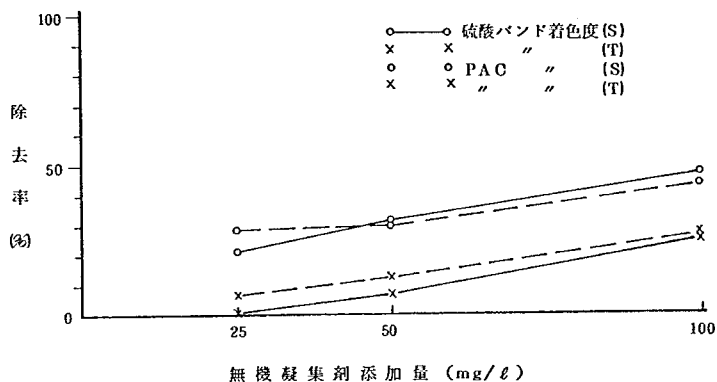


図 4-4-11 カチオン性 3.5 mg/l と硫酸バンド、PAC による着色度 (S), (T) の除去率

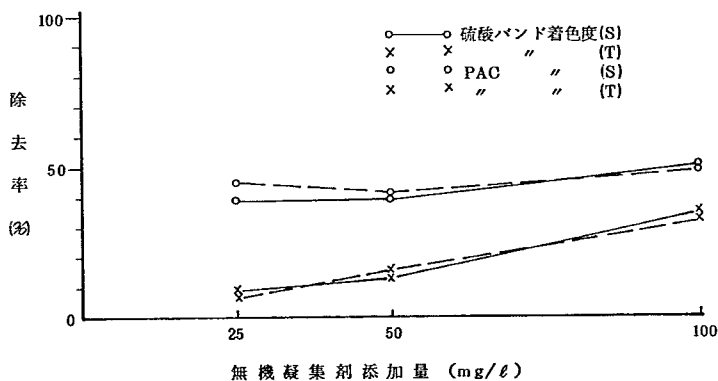


図 4-4-12 カチオン性 7.0 mg/l と硫酸バンド、PAC による着色度 (S), (T) の除去率

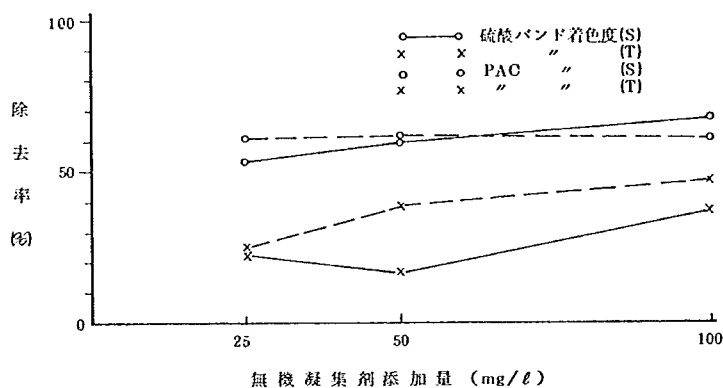


図 4-4-13 カチオン性 15.0 mg/l と硫酸バンド, PAC による着色度 (S), (T) の除去率

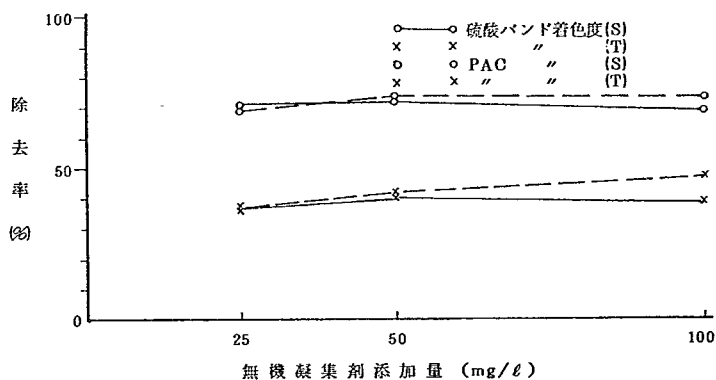


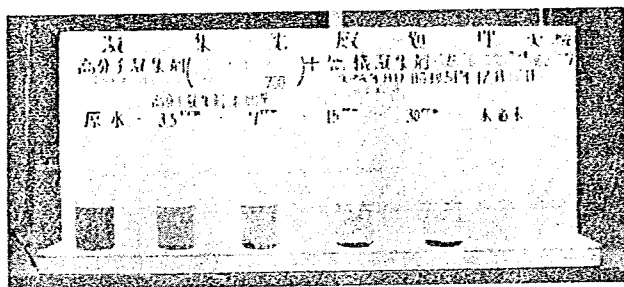
図 4-4-14 カチオン性 30.0 mg/l と硫酸バンド, PAC による着色度 (S), (T) の除去率

表 4-4-16, 図 4-4-11 ~ 14 から判るように, 高分子凝集剤 (カチオン性) の添加量に伴い着色度 (S) の除去率が上っている。硫酸バンド・PAC の添加量の増加に伴って除去率が上っているものもあるが, ほぼ横ばいになっている。これは, 無機凝集剤, 高分子凝集剤 (カチオン性) の単独処理の実験から充分考えられることである。また, 着色度 (T) については, 硫酸バンド・PAC の添加量の増加に伴って除去率が高くなっているのが判る。

SS は, 高分子凝集剤単独処理の場合と比較すると, 除去率がさらに悪くなっている。

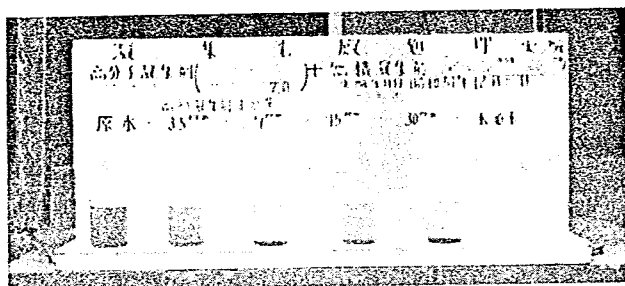
これは高分子凝集剤がカチオン性で、無機凝集剤も陽イオンであることが原因と思われ、所期のフロック形成がなされず沈降しないことがSSの除去に影響していると思われる。

フロック状態においても、無機凝集剤単独処理とはほぼ同じ状態であり、1,000mℓのシリンダーでは容量として確認できる量ではなかった。濁度については、逆に除去率が良くなっている。着色度(T)の除去については、高分子凝集剤単独よりも優れた結果が得られたけれども、SSの除去が期待出来ず残存する微細フロックを、より大きく形成させることが課題として残る。



添加量 測定項目	原 水	3.5 mg/ℓ	7.0 mg/ℓ	15.0 mg/ℓ	30.0 mg/ℓ
着 色 度 (S)	2 2.8	1 4.0	9.6	3.6	5.2
〃 (I)	3.1	0.6	1.7	1.9	1.9

写 4-4-7 高分子凝集剤（カチオン性）と硫酸バンドによる実験結果



添加量 測定項目	原 水	3.5 mg/l	7.0 mg/l	15.0 mg/l	30.0 mg/l
着 色 度 (S)	22.8	17.2	6.9	8.2	5.5
〃 (D)	3.1	1.5	3.0	1.6	2.2

写 4-4-8 高分子凝集剤（カチオン性）とPACによる実験結果

次に、高分子凝集剤（カチオン性）と塩化第二鉄による実験について述べる。実験結果は硫酸バンド・PACと同じく、代表的なサンフロック700についての結果を表4-4-17に示す。

また、除去率についてはサンフロック700について、表4-4-18に、全体の平均除去率を表4-4-19、図4-4-15～18に示す。

表 4-4-17 サンフロック 700 と塩化第二鉄による実験結果

測定項目	サンフロック 700 添加量 塩化第二鉄添加量	原 水	3.5 mg/l	7.0 mg/l	15.0 mg/l	30.0 mg/l
pH	5 mg/l	7.4	7.3	7.3	7.4	7.3
	10 "	"	7.3	7.3	7.3	7.3
	20 "	"	7.0	7.0	7.0	7.0
	50 "	"	6.8	6.8	6.7	6.7
SS	5 "	20.4	20.2	22.3	22.3	14.0
	10 "	"	24.6	25.2	21.6	15.0
	25 "	"	22.8	22.3	18.7	18.7
	50 "	"	22.1	18.3	16.0	14.3
濁 度	5 "	12.0	9.1	8.4	9.3	4.5
	10 "	"	8.1	8.5	8.2	4.4
	25 "	"	6.6	6.8	5.9	4.4
	50 "	"	5.1	4.7	5.7	4.2
着色度(S)	5 "	25.4	19.3	16.6	11.0	8.0
	10 "	"	18.7	15.0	10.9	6.7
	25 "	"	17.5	14.2	10.6	6.5
	50 "	"	16.6	12.4	9.5	5.9
" (I)	5 "	3.6	3.4	3.2	2.9	1.4
	10 "	"	3.4	3.3	2.8	1.5
	25 "	"	3.3	3.3	2.6	1.5
	50 "	"	3.7	3.0	2.8	1.9

表 4-4-18 サンフロック 700 と塩化第二鉄による除去率 (%)

サンフ 添加 量 700	測定項目	塩 化 第 二 鉄			
		5 mg/l	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l
3.5 mg/l	S S	-0.6	-22.9	-13.6	-8.3
	濁 度	22.8	32.4	44.0	57.0
	着 色 度 (S)	23.6	26.0	31.3	34.5
	" (I)	4.3	3.6	5.7	-5.5
7.0 mg/l	S S	-13.7	-32.3	-11.8	11.8
	濁 度	29.7	27.3	25.0	60.7
	着 色 度 (S)	34.6	40.8	44.1	51.3
	" (I)	9.7	7.0	5.0	14.0
15.0 mg/l	S S	-15.4	-15.0	3.8	21.6
	濁 度	19.9	29.2	49.8	51.3
	着 色 度 (S)	56.7	57.0	58.2	62.5
	" (I)	18.6	20.6	25.9	20.6
30.0 mg/l	S S	27.6	26.5	9.0	30.3
	濁 度	61.5	63.1	62.8	64.9
	着 色 度 (S)	68.8	73.5	74.4	76.9
	" (I)	58.6	58.0	56.5	46.6

表 4-4-19 高分子凝集剤 (カチオン性) と塩化第二鉄による全体平均除去率 (%)

カチ オン 性 添加 量	測定項目	塩 化 第 二 鉄			
		5 mg/l	10 mg/l	25 mg/l	50 mg/l
3.5 mg/l	S S	-6.3	2.5	3.6	16.8
	濁 度	23.7	33.4	48.8	60.1
	着 色 度 (S)	24.0	27.5	31.3	38.4
	" (I)	2.3	-3.8	-3.0	-7.7
7.0 mg/l	S S	-20.6	13.4	0	17.7
	濁 度	27.8	29.4	45.7	64.1
	着 色 度 (S)	38.1	41.2	46.3	52.9
	" (I)	8.2	-11.9	1.3	14.8
15.0 mg/l	S S	-12.7	2.3	15.0	24.4
	濁 度	26.0	40.1	55.9	61.1
	着 色 度 (S)	58.8	58.6	59.9	64.6
	" (I)	13.3	26.2	27.0	20.9
30.0 mg/l	S S	19.1	15.2	-2.6	-8.4
	濁 度	55.3	55.8	53.3	57.3
	着 色 度 (S)	70.6	72.0	72.6	73.8
	" (I)	44.7	40.5	24.5	12.8

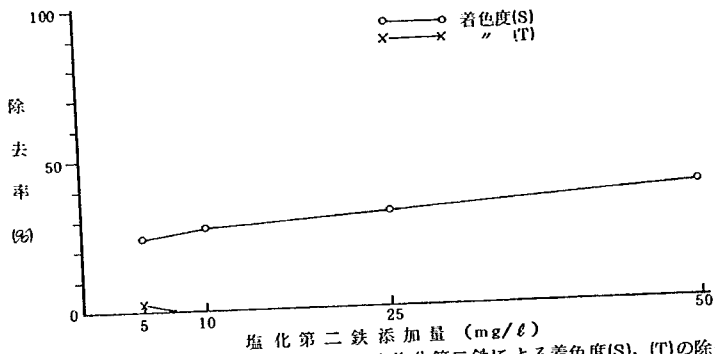


図4-4-15 カチオン性 3.5 mg/l と塩化第二鉄による着色度(S), (T)の除去率

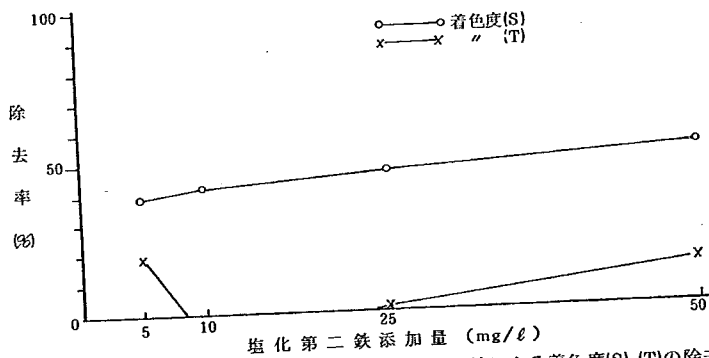


図4-4-16 カチオン性 7.0 mg/l と塩化第二鉄による着色度(S), (T)の除去率

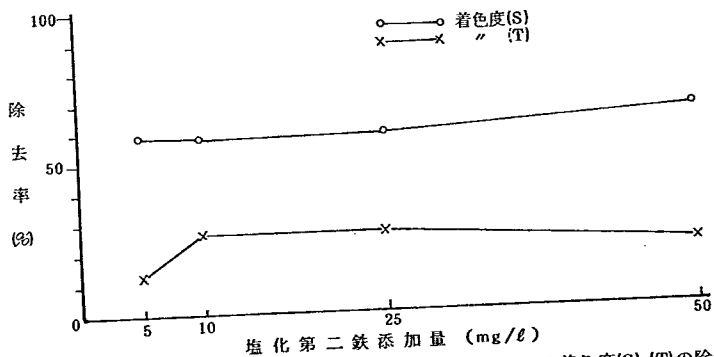


図4-4-17 カチオン性 15.0 mg/l と塩化第二鉄による着色度(S), (T)の除去率

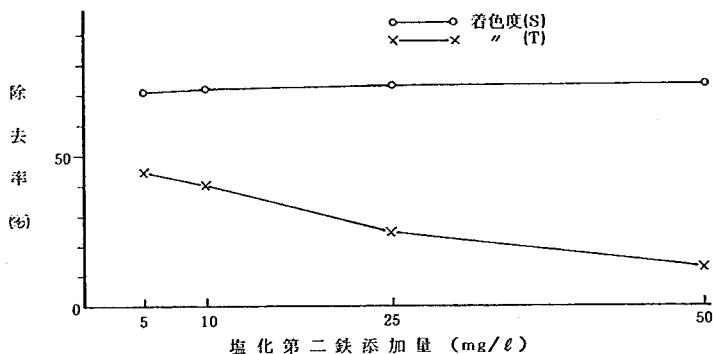


図4-4-18 カチオン性 30.0 mg/ℓ と塩化第二鉄による着色度(S), (T)の除去率

本実験でも塩化第二鉄単独処理同様 pH 7.0 以下については、水酸ナトリウムにて pH 7.0 に調整した。

表4-4-19 から単独処理同様濁度の除去率が硫酸バンド、PACと比較して良い。これは pH調整した水酸化ナトリウムにより反応してフロック生成に一因し、濁質分がフロックとして沈降した為と思われる。フロック状態も硫酸バンド、PACより良く、1,000 mlのシリンダーにおいても確認できる量である。SSの除去においても硫酸バンド、PACより優れた結果が出たが、除去率としては決して良くない。硫酸バンド、PACの添加の時と同様に着色度(S)は、高分子凝集剤の添加量の増加に伴い除去率が高くなっているが、着色度(T)については、塩化第二鉄の添加量の増加に伴い除去率が低下している。これは図4-4-19から塩化第二鉄の

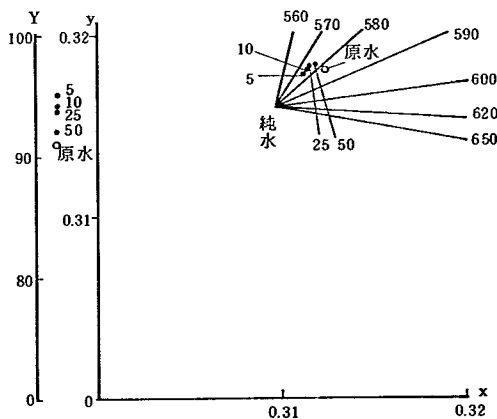
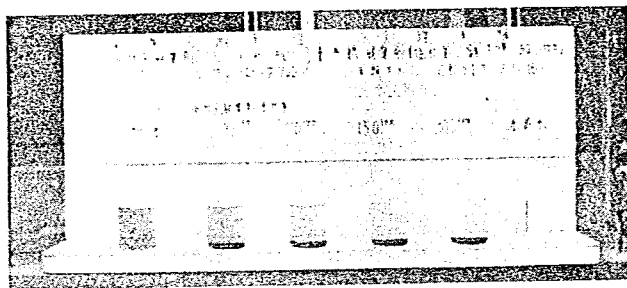


図4-4-19 サンフロック 700 30 mg/ℓ と塩化第二鉄添加による色度図

鉄分による黄褐色の色が処理水中に現われ、着色度(I)の除去を妨げていると思われる。



添加量 測定項目	原 水	3.5 mg/l	7.0 mg/l	15.0 mg/l	30.0 mg/l
着 色 度 (S)	2 5.0	1 3.8	1 0.4	7.3	5.0
〃 (I)	3.6	3.5	2.9	1.5	1.0

写 4-4-9 高分子凝集剤（カチオン性）と塩化第二鉄による実験結果
（カラー写真は巻末に添付）

以上行ってきた高分子凝集剤（カチオン性）と無機凝集剤（硫酸バンド、PAC、塩化第二鉄）による実験結果の比較検討を行ってみる。下記に、高分子凝集剤の添加量 30 mg/l における最高の除去率を表 4-4-20、着色度(S)について図 4-4-20 に示す。

表 4-4-20 高分子凝集剤 30 mg/l と無機凝集剤による除去率(%)

測定項目 無機凝集剤	S S	濁 度	着色度(S)	着色度(I)
硫 酸 バ ン ド	7 2.6	3 3.8	7 2.2	4 0.8
P A C	2 5.3	6 0.4	7 2.6	4 7.9
塩 化 第 二 鉄	1 9.1	5 7.3	7 3.8	4 4.7

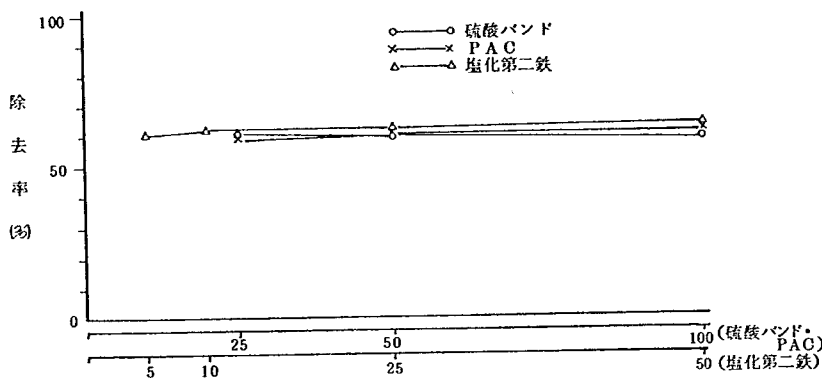


図 4-4-20 カチオン性 30 mg/l と無機凝集剤による着色度(S)の除去率

図 4-4-20 より着色度(S)の除去には無機凝集剤の添加がほとんど影響していないことが判る。表 4-4-20 から、PAC、塩化第二鉄と比較して硫酸バンドを添加したときは、SS、濁度の除去率が低いことが判るが、SS、濁度、着色度(T)の除去は、カチオン性高分子単独処理と比較して多少なりとも良い。しかしいずれの無機凝集剤との併用処理でも、まだ処理水中に微細なフロックが残存していることから、この微細なフロックを所期の大きさに形成させ沈降させることが必要と思われる。

(4) 高分子凝集剤(カチオン性)と無機凝集剤と高分子凝集剤(アニオン性)による実験

本実験は、高分子凝集剤(カチオン性)と無機凝集剤の併用によって行なった実験において、SS、濁度、着色度(T)の除去が良い結果を得られなかったため、フロックを所期の大きさに形成させ、沈降を助長する為に、アニオン性分子凝集剤をさらに添加し実験を行なったものである。

カチオン性高分子凝集剤は前実験と同じく 4 社 4 製品を使用し、無機凝集剤は硫酸バンド、PAC を使用した。また、アニオン性高分子凝集剤は 4 社 4 製品(三洋化成・サンフロック AB-100P、東亜合成・アロンフロック A-101、三井アイアナミッド・アコフロック A-100、三共化成・サンポリー A-510)を使用した。

代表的なものとして、三洋化成のサンフロック 700 と AB-100P で実験した結果を表 4-4-21 ~ 22 に、除去率を表 4-4-23 ~ 24 に、全体平均除去率を表 4-4-25 ~ 26、図 4-4-21 ~ 24 に示す。

表4-4-12 三洋化成(サンフロック700, AB-100P)と硫酸バンドによる実験結果

サンフロック700 硫酸バンド 添加量 測定項目		15 mg/l				30 mg/l			
		50 mg/l							
		0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l
pH	7.3	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
S S	7.9	8.1	4.7	3.5	4.7	8.4	5.2	5.5	5.6
濁 度	8.4	2.5	2.6	2.0	2.1	2.8	2.0	2.2	1.9
着色度(S)	21.1	8.0	7.9	6.4	8.5	5.4	5.3	5.4	5.3
〃 (T)	4.6	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.2	0.8	2.4

表4-4-13 三洋化成(サンフロック700, AB-100P)とPACによる実験結果

サンフロック700 PAC添加量 測定項目 原水 水質		1 5 mg/l				3 0 mg/l			
		5 0 mg/l							
		0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l
p H	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4
S S	7.9	9.1	7.2	2.5	4.5	6.8	4.8	5.7	4.7
濁 度	8.4	3.8	2.5	1.9	2.1	2.9	2.4	2.8	2.0
着色度(S)	21.1	8.5	8.2	8.5	8.0	5.9	5.7	5.7	6.7
〃 (T)	4.6	3.0	2.8	2.7	2.8	3.8	2.8	2.5	3.8

表4-4-23 三洋化成(サンフロック700, AB-100P)と硫酸バンドによる除去率(%)

サンフロック700 硫酸バンド 添加量 測定項目	15 mg/l				30 mg/l			
	硫酸バンド 50 mg/l							
	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l
S S	-14.7	42.2	55.7	48.8	-3.4	40.2	28.6	55.1
濁 度	71.2	68.8	76.1	75.9	64.6	76.1	74.0	78.4
着 色 度 (S)	61.8	55.6	68.7	59.3	73.9	74.5	74.0	74.6
〃 (T)	47.4	46.6	50.0	49.3	54.9	65.9	73.4	58.9

表4-4-24 三洋化成(サンフロック700, AB-100P)とPACによる除去率

測定項目	サンフロック 700 添加量	1 5 mg/l				3 0 mg/l			
	PAC 添加量	PAC 5 0 mg/l							
	サンフロック AB-100P 添加量	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l
S S		-11.5	0.6	70.9	49.3	14.0	32.1	26.9	34.5
濁度		52.2	68.8	79.6	77.0	63.4	68.7	65.9	75.9
着色度 (S)		59.3	60.6	59.3	61.7	71.8	72.5	72.5	68.3
〃 (T)		40.8	47.7	50.0	47.7	14.4	47.3	56.5	12.6

表4-4-25 カチオン性高分子凝集剤と硫酸バンドとアニオン性高分子凝集剤による全体平均除去率(%)

測定項目	サンフロック700 硫酸バンド アニオン性 添加量	15 mg/l				30 mg/l			
	添加量	硫酸バンド50 mg/l							
	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l	
S S		-11.0	15.4	42.0	30.7	-17.5	17.4	22.5	40.2
濁度		69.0	72.5	77.6	79.2	65.2	73.2	78.0	78.7
着色度(S)		57.9	56.4	59.6	56.9	70.7	71.6	69.7	70.0
" (I)		44.5	46.3	45.4	47.6	51.	57.2	60.9	57.0

表4-4-26 カチオン性高分子凝集剤とPACとアニオン性高分子凝集剤による全体平均除去率(%)

測定項目	カチオン性添加量	15 mg/l				30 mg/l			
	PAC添加量	PAC 50 ppm							
	アニオン性添加量	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l
SS		3.3	21.6	56.0	43.8	3.4	28.9	26.9	29.7
濁度		67.8	75.9	81.1	81.9	69.0	74.0	75.8	80.5
着色度(S)		59.0	55.3	56.4	58.0	69.1	68.9	70.4	67.5
”(T)		40.0	45.8	47.9	44.3	41.0	52.3	57.7	45.9

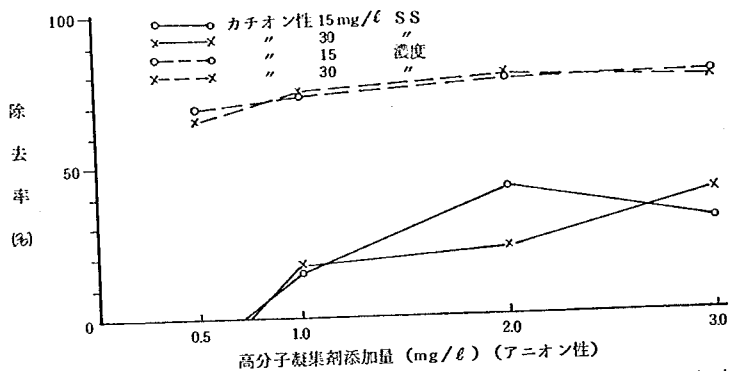


図 4-4-21 カチオン性高分子+硫酸バンド+アニオン性高分子による SS，濁度除去率

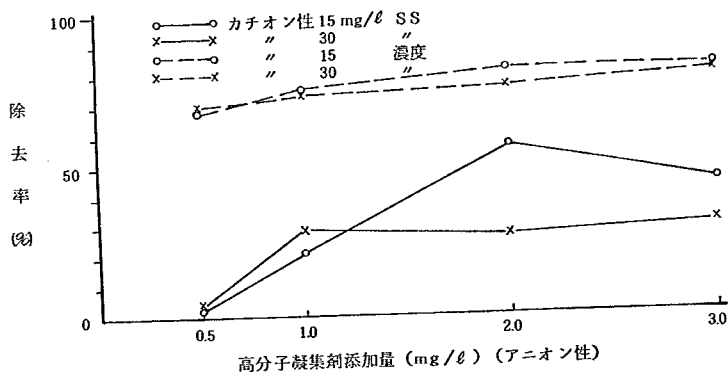


図 4-4-22 カチオン性高分子+PAC+アニオン性高分子による SS，濁度除去率

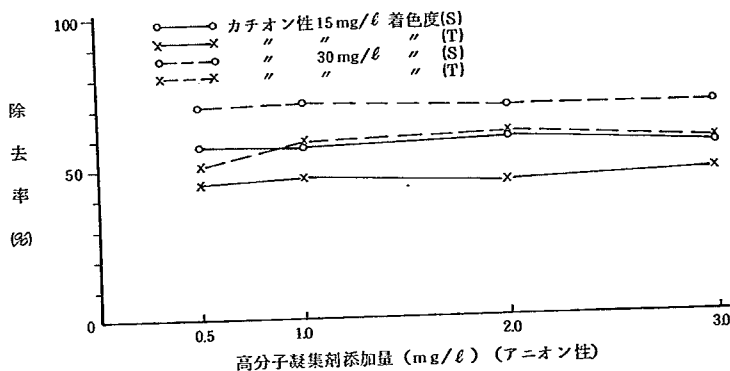


図 4-4-23 カチオン性高分子+硫酸バンド+アニオン性高分子による着色度(S)，(T)除去率

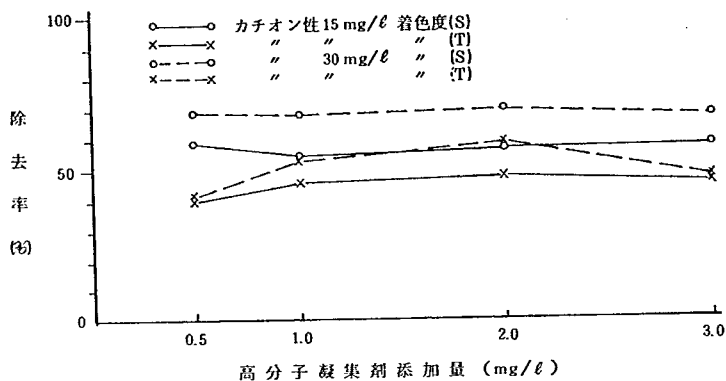
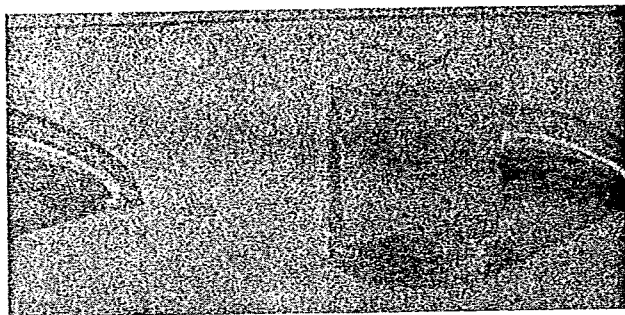


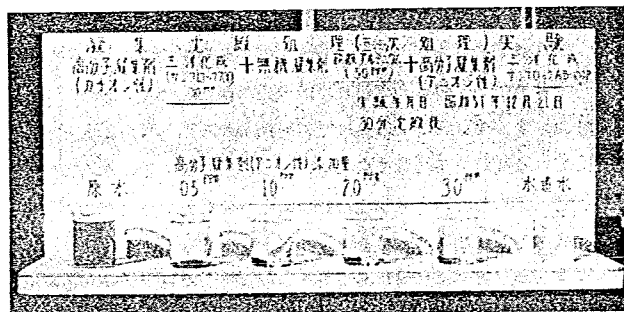
図 4-4-24 カチオン性高分子+PAC+アニオン性高分子による着色度(S), (T)除去率

表 4-4-25 ~ 26 から濁度、着色度(T)の除去が良くなっていることが判る。これはアニオン性高分子凝集剤により粒子間の架橋作用が行なわれ、大きなフロックを形成し沈降を促進した為と思われる。よって、高い濁度の除去率が得られたことから着色度(T)の除去率が上ったとも言える。S S の除去についても(3)の実験より除去率が上っているが、最高 56% の除去しか得られなかった。そして、図 4-4-21 ~ 22 に示す様に、アニオン性高分子凝集剤の添加量が 2.0 mg/ℓ で、除去率が平行ないし下降していくのは、アニオン性高分子凝集剤の添加量の限界を示していると思われる。また、図 4-4-23 ~ 24 から判る様に着色度(S)にアニオン性高分子凝集剤が影響を与えていない。つまり着色した懸濁粒子の除去だけで脱色そのものには効果がないと言える。

しかし、写真 4-4-10 で示すようにアニオン性高分子凝集剤を添加し沈降したフロックは大きく、容量も少なく、凝集沈殿処理後の汚泥処理を考慮したとき非常に有利であると思われる。

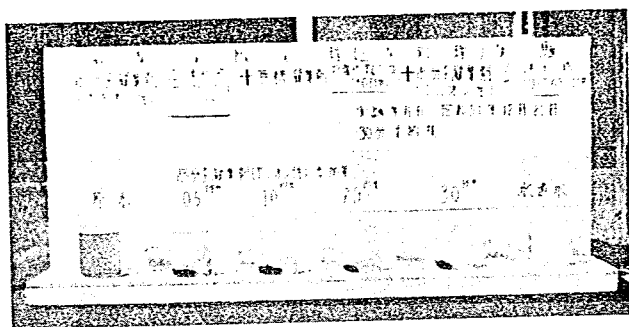


写 4-4-10 アニオン性高分子凝集剤を使用したときの沈降フロック



添加量 測定項目	原 水	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l
着 色 度 (S)	23.6	6.0	5.9	5.5	5.4
〃 (T)	2.7	0.5	0.4	0.6	0.5

写 4-4-11 カチオン性高分子凝集剤と硫酸バンドとアニオン性高分子凝集剤による実験結果



測定項目 \ 添加量	原 水	0.5 mg/l	1.0 mg/l	2.0 mg/l	3.0 mg/l
着 色 度 (S)	23.6	6.2	6.3	6.0	5.9
〃 (I)	2.7	0.4	0.5	0.5	0.4

写 4-4-12 カチオン性高分子凝集剤とPACとアニオン性高分子凝集剤による実験

4.4.4 ま と め

脱色を目的とした無機凝集剤、高分子凝集剤による凝集沈殿処理実験を行ったところ、溶解している染料により着色している2次処理水の脱色は、硫酸バンド、PAC、塩化第二鉄の添加による染色は期待出来ず、消石灰については非常に効果が認められた。一方、カチオン性高分子凝集剤は、溶解している染料を凝結して微細なフロックに生成することにより着色度(S)の脱色率は非常に高いが、逆にSS、濁度が増加するという悪い現象も起す。従ってカチオン性高分子凝集剤の添加により生成した微細なフロックをいかに大きなフロックに形成させ沈降させるかである。この目的を満足させる為、無機凝集剤との併用実験を行なったが、あまり効果がなかった。しかし、アニオン性高分子凝集剤をさらに添加することにより、SS、濁度、着色度(T)の除去は良くなった。

ただ、カチオン性高分子凝集剤の場合は毒性が心配される為、ある程度の脱色効果を上げる為には、10～20 mg/l 以上の添加が必要となり實際上での使用は無理があると思われる。従って凝集沈殿処理による脱色は、消石灰による方法が一番良いと思われる。

4.5 各脱色処理実験の比較

4.5.1 脱 色 効 果

中部浄化センター2次処理水を実験試料として活性炭吸着、オゾン酸化、凝集沈殿処理の3処理法にて室内実験を行なったところ、各処理法ともある程度の脱色効果を得られた。

活性炭吸着による脱色は活性炭の種類によって大きくその脱色能力には差が生じたが、活性炭の種類に応じて一定の処理条件で処理すれば図4-2-14、図4-2-20~21から着色度(S)、着色度(T)は100%の除去率が得られることがわかる。

オゾン酸化による脱色は今回の実験では活性炭吸着処理のように100%除去までの結果は得られなかったけれども O_3 添加量10 mg/ℓ程度で80%以上の除去率が得られた。オゾンによる脱色の特色の特徴は図4-3-9に示すように、まず2次処理中に溶解している染料を分解脱色してからし尿等による黄色系の着色物質の分解が行なわれる点である。

凝集沈殿による脱色効果は硫酸バンド、PAC、塩化第二鉄添加による脱色はオゾン処理とは逆にし尿等によ着色の除去だけ行なわれ、溶解性染料による着色の除去はあまり期待出来ない。また塩化第二鉄添加による脱色は添加量が多いと鉄分による着色が処理水中に残り表4-4-6に示すように着色度(T)が逆に増加する現象も認められた。従って無機凝集剤による脱色は期待出来ないことになる。消石灰添加による脱色効果は図4-4-6から600 mg/ℓ以上の添加で着色度(S)、着色度(T)とも50%以上の除去率が得られるが最大除去率としては70~75%程度が限度と思われる。カチオン性高分子凝集剤は2次処理中に溶解している染料を凝結するため10~20 mg/ℓの添加で着色度(S)の除去率は50%以上あるがフロックが微細なため沈降せず着色度(T)の除去率が悪い。この微細なフロックを大きなフロックに形成させ沈降させるには無機凝集剤だけでは無理でアニオン性高分子凝集剤をも添加しないと着色度(T)の高い除去率は得られなかった。しかしカチオン性高分子凝集剤にて溶解性染料を凝結し、他の凝集剤との併用で大きなフロックを形成させ沈降させ除去させるか、あるいは濾過して除去するにしても50%以上の除去率を得るには10 mg/ℓ以上のカチオン性高分子凝集剤の添加を必要とすることから、毒性の問題があり実際上では使用不可能であろう。このように凝集沈殿処理による脱色は消石灰添加による方法しか期待出来ないことがわかる。

以上、3処理法の脱色効果を比較すると活性炭吸着処理は2次処理水中のすべての着色物質を吸着除去するので最も効果があり、またオゾン酸化処理はまず2次処理水中の溶解性染料を分解するので僅かの O_3 添加で染料による着色の除去には効果があり活性炭吸着とあまり差はない。消石灰による脱色効果は活性炭吸着、オゾン酸化による脱色効果より少し劣ることが明らかになった。また表3-4-1~2の実験結果から明らかなように流入下水の着色度(S)は、時間、日、季節変動が大きく最大値は平均値の2倍程度と考えておかなければならない。着色度(S)の除去が活性汚泥処理ではあまり期待出来ないのも、流入下水の着色度(S)の変動がそのまま処理水に跳ね返ってくることから、例えば2次処理水の着色度(S)の平均脱色率を60%とするならば最大脱色率は80%以上期待出来るものでなければならず、その場合には脱色の処理法も限られてくるとに注意しなければならない。

4.5.2 処理費用の試算

3つの脱色処理法についての建設費、維持管理費を算出し比較検討してみる。算出する条件としては処理水量（処理能力）250,000 m³/日、着色度(S)平均除去率50%を得られるものとする。

(1) 建設費

活性炭吸着処理については前処理として急速濾過、活性炭吸着方式は圧力式とし、活性炭の再生炉を含めてメーカーに概算してもらったところ35億円となる。

オゾン酸化処理についてもメーカーに概算で算出してもらったところ余剰オゾン燃焼炉も含めて20億円となる。

消石灰添加による脱色処理の建設費は費用関数¹⁸⁾にて算出してみる。

$$C = 147,312 Q^{0.721}$$

但し C：建設費（百万円）

Q：計画処理水量（千m³/日）

（石灰再生施設建設費を含む）

$$C = 147,312 \times 250 = 7,890$$

従って約80億円となる。

(2) 維持管理費

活性炭吸着処理による維持管理費は吸着能力が表4-2-21で最も優れていたクラレケミカルGWC(Ⅱ)について算出してみる。図4-2-20からクラレケミカルGWC(Ⅱ)は残留率が50%に達していないけれども図4-5-1に示すように破過曲線を推定して求めてみる。

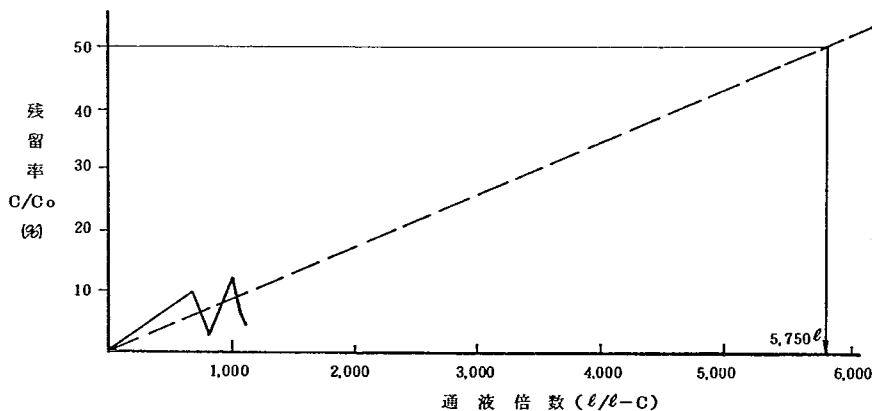


図4-5-1 クラレケミカルGWC(Ⅱ)の破過曲線

残留率50%の時の通液倍数は図4-5-1より5,750ℓ ℓ-Cとなる。GWC(III)の見掛比重は表4-2-1より0.408である。従って、 $5,750/0.408 \div 14,000 \text{ ℓ/Kg-C}$ となる。
250,000 m³/日処理するに必要な活性炭量は

$$250,000/14 \div 17,850 \text{ Kg/日となる。}$$

ここで活性炭の補給率を使用量の5%とすると1日の補給量は

$$17,850 \times 0.05 \div 890 \text{ Kg/日}$$

GWC(III)の単価は表4-2-1から400円/Kgであるから1日の活性炭補給費は

$$890 \times 400 = 356,000 \text{ 円/日} \cdots \cdots (イ)$$

また装置の運転、再生炉の運転に用いる電力量は80%稼働として約32,000 KWH/日となり、電力単価を10円/KWHとすると電力費は

$$32,000 \times 10 = 320,000 \text{ 円/日} \cdots \cdots (ロ)$$

活性炭再生用の燃料として灯油を使用し、再生の時に発生する悪臭、排ガス処理も含めた灯油の使用量を約480 ℓ/t-cとし、灯油単価を35円/ℓとすると燃料費は

$$17.85 \times 480 \times 35 \div 300,000 \text{ 円/日} \cdots \cdots (ハ)$$

(イ)、(ロ)、(ハ)を合計すると976,000円/日となる。従って処理水量1 m³当りのコストは
 $976,000/250,000 \div 3.9 \text{ 円/m}^3$ となる。

オゾン酸化処理については平均除去率50%を得る時のオゾン添加量は図4-3-6より約5 mg/ℓと求まるが、オゾンの有効利用率を90%と仮定すると注入オゾン量は5.6 mg/ℓ必要となる。オゾン1 Kg/Hr 発生するのに必要な電力を35 KWとし、その他揚水ポンプ等の電力量を250 KW/Hrとすると、1日の使用電力量は

$$(5.6 \times 250/24 \times 35 + 250) \times 24 \div 55,000 \text{ KWH/日}$$

電力単価を10円/KWHとすると電力費は

$$55,000 \times 10 = 550,000 \text{ 円/日}$$

従って処理水量1 m³当りのコストは $550,000/250,000 \div 2.2 \text{ 円/m}^3$ となる。

消石灰添加による処理コストは費用関数¹⁸⁾から求めてみる。

$$M = 6,512 Q^{0.782}$$

但し M: 維持管理費(百万円/年)

Q: 計画処理水量(千 m³/日)

(石灰再生費含む)

$$M = 6,512 \times 250 \div 488.5$$

従って処理水量1 m³当りの維持管理費は

$$488,500/250 \times 365 \div 5.4 \text{ 円/m}^3 \text{となる。}$$

以上、維持管理費について算出したけれども、この費用中には人件費、保守修理費、償却費は

含んでいない。

このように概算した建設費、維持管理費を表4-5-1にまとめてみる。

表4-5-1 各処理法によるコスト

	建設費(億円)	維持管理費(円/㎡)
活性炭吸着処理	3.5	3.9
オゾン酸化処理	2.0	2.2
凝集沈殿処理	8.0	5.4

表4-5-1から建設費と維持管理費の両方をみてもオゾン酸化処理による脱色処理が最も安価であることがわかる。

4.5.3 ま と め

3つの処理法による脱色効果とコストを比較検討してみたが、脱色効果については活性炭吸着、オゾン酸化が非常に効果があることが明らかになったが、反面、凝集沈殿処理による脱色は実用面からみると消石灰添加による方法しか効果が認められないことがわかった。コストについてはオゾン酸化処理による方法が最も安価であり、次いで活性炭吸着、消石灰添加による凝集沈殿処理の順となった。

従って脱色処理にはオゾンによる酸化処理が最も適当であると考えられる。また処理施設のメンテナンスの面からみても、はるかにオゾンが有利であると言える。ここでオゾン酸化処理により2次処理水の脱色をする際、他への波及効果を考えると、オゾンは強力な殺菌力¹⁶⁾¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾があるため現在液体塩素等で行なっている滅菌処理は不要となろう。今回の実験においても接触時間3分、オゾン添加量5mg/ℓで2次処理水中に大腸菌群数が 3.0×10^4 個/ccあったものが0個/ccとなった。オゾン処理の場合は余剰オゾン処理が最も問題となるが、余剰オゾンの有効利用を図るため余剰オゾンによる再エアレーション、また処理場全体の脱臭用のオゾンとしても利用することなどが考えられる。またオゾンによる3次処理の場合の欠点としては水質の向上があまり期待出来ない点である。合田ら²²⁾によると図4-5-2に示すように処理の初期においてBODが著しく増加していると報告しているが、今回の実験においてはBODは4回程度しか測定しなかったけれどもBODの増加はみられなかった。しかしBODの増加があるとすれば処理場の排水基準を上回る恐れも十分考えられオゾンによる脱色処理はこの面から不適当となる。従ってこのような場合には活性炭による脱色処理が考えられる。活性炭吸着処理の場合はBOD、栄養塩類等の除去効果もあり、また2次処理水の工業用水等への再利用計画があれば当然活性炭による脱色処理が最もよい処理法であろう。

このように2次処理水の脱色処理の処理法を考える場合、脱色効果、コスト、処理施設のメイ

メンテナンスだけをみて決めるのは早計で、その処理法が他へ及ぼす影響、処理場のおかれている環境、計画等を総合的に判断して処理法を決定すべきであろう。

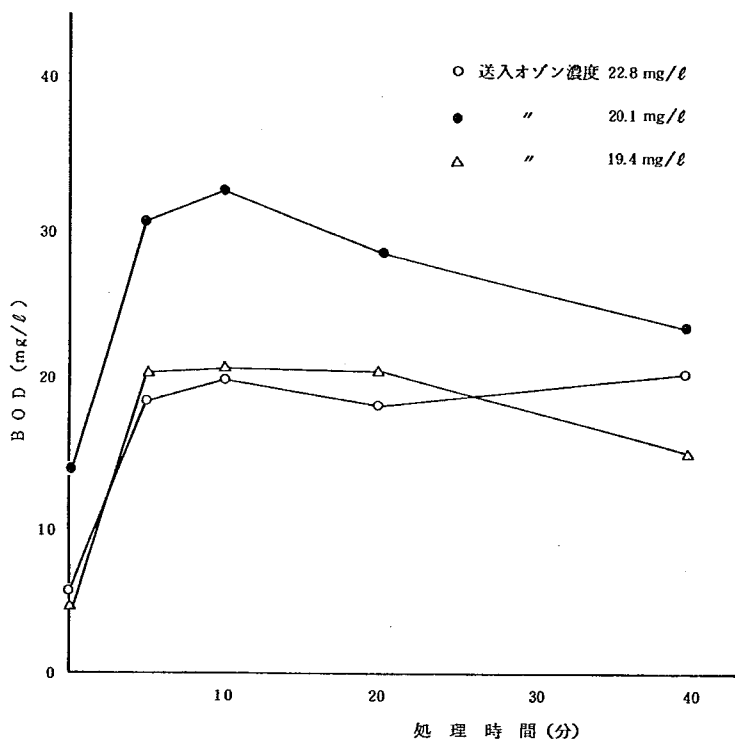


図 4-5-2 オゾン処理によるBODの増加

参 考 文 献

- 1) C. Nebel : JWPCF, Vol. 45, No 12, (1973)
- 2) Parkhurst, J. D ら : JWPCF Vol. 39, No 12, (1967)
- 3) 北川 : 水処理技術, Vol. 11, No 10, (1970)
- 4) 河添 : 新化学工学講座「吸着」, 1957, 日刊工業新聞社
- 5) 水内 : 用水と廃水, Vol. 11, No 11, (1969)
- 6) 北川 : 水処理技術, Vol. 16, No 7, (1974)
- 7) 飯田 : 第 12 回下水道研究発表会講演集, (1975)
- 8) 日本工業用水協会 : 水処理実験法, (1971) コロナ社
- 9) Schilow, N. ら, Z. Physik, Chem. A 149, (1930)
- 10) 合田ら : 土木学会第 28 回年次学術講演概要集, (1973)
- 11) 牧 : 用水と排水, Vol. 17, No 1 (1975)
- 12) 池畑 : 用水と排水, Vol. 15, No 2 (1973)
- 13) オルガノ : オゾンによる水処理技術
- 14) 高柳ら : 用水と排水, Vol. 9, No 8 (1967)
- 15) 小沢ら : 第 9 回下水道研究発表会講演集 (1972)
- 16) 高原ら : 第 11 回下水道研究発表会講演集 (1974)
- 17) 建設省土木研究所資料 No 893 : 下水の高度処理と再利用に関する調査報告書(2)
- 18) 日本下水道協会 : 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 (1975)
- 19) 田口 : 水処理技術 Vol. 3, No 8 (1961)
- 20) 辰野ら : 工業用水 53, (1963)
- 21) 鈴木ら : 用水と排水 Vol. 6, No 10, (1964)
- 22) 合田ら : 下水道協会誌 Vol. 11, No 123, (1974)