

製紙排水の特徴と排水処理の変遷

株式会社 日本紙パルプ研究所

岡田 比斗志

	頁
1. はじめに — 製紙業における水利用 —	2
2. 製紙排水の特徴と規制.....	3
環境規制と環境対策の変遷	
製紙排水の水質汚濁物質	
3. 製紙業を支える排水処理技術.....	7
排水処理設備概要	
各論	
ろ過、中和、沈降・浮上分離、	
凝集沈殿、活性汚泥、嫌気分解	
4. 新しい処理技術.....	15
磁化活性汚泥、光触媒、膜分離	
5. 将来の展望	16

この資料は、平成 22 年 10 月 5 日に開催された紙パルプ技術協会年次大会前日講演会「製紙産業技術 30 年の変遷」での講演記録を基にまとめたものである。資料中すべての図の著作権は作成者に属し、無断使用・複製等をご遠慮ください。

講師略歴

1986年	王子製紙株式会社入社
	日南工場 (情報用紙)
1994年	中央研究所 (調成)
2001年	苫小牧工場 (パルプ)
2004年	製紙技術研究所 (抄紙)
2007年	株式会社日本紙パルプ研究所 出向 (環境)

日本紙パルプ研究所の岡田です。これから、製紙排水の特徴と排水処理の変遷について話します。

初めに、日本紙パルプ研究所（紙パ研）を簡単に紹介します。同研究所は1968年から設立の準備を始め、1972年に国内の製紙会社5社の出資により設立されました。当初、東京大学に研究の拠点を持っていたのですが、現在は茨城県のつくば市に移っています。事業目的は、紙パルプ製造に関する環境保全技術の研究開発で、排水、大気、および製品などの環境影響の調査と研究を四つのグループで行っています。紙パルプ技術協会の研究発表会等で、メダカやミジンコを使った生物グループの発表、ダイオキシンなどの有機塩素化合物の評価、工場周辺の環境調査などの環境分析グループの報告等が行われてきました。それから、最近では環境に関する技術についても研究しています。本日は排水の特徴とあわせて処理技術についても紹介します。

初めに、製紙業における水利用の現状を紹介します。二つめが、製紙排水の特徴と規制（環境規制と環境対策の変遷及び製紙排水の水質汚濁物質）について話します。3番目が製紙業を支える排水処理技術（概要と各論）を紹介し、4番目が新しい処理技術、そして将来の展望という構成です。

1. はじめに

製造業における用水は、大きく塩水と淡水に分けることができます。塩水は主に冷却用です。ここでは淡水に絞って話します。図は、経済産業省の工業統計調査のデータからです。用水の総使用量1億3,900万トン/日のうち大部分を冷却用が占めています。排水を念頭にして考えますと、最も環境に負荷を与えると思われる洗浄用水は1日当たり2,400万トンです。その内訳を産業別に見てみますと、紙パは47%と、非常に環境に負荷を与える水の使用量が多いということを改めて認識します。次が水源別のデータです。同じく総使用量が1億3,900万トン/日で、水源の分け方として、上水道、井戸水、河川、工業用水、回収水に分けられています。回収水は何回もリサイクルして使うものなので、環境からとってくる回収水以外のもの、これを新水とみなすことができます。これが1日3,000万トンで、その内訳を見ると、紙パは26%で、最大のユーザーです。そしてさらに、この新水の中でも、私たちの身近にあるのは河川と湖沼の水ですが、これは1

製紙排水の特徴と排水処理の変遷

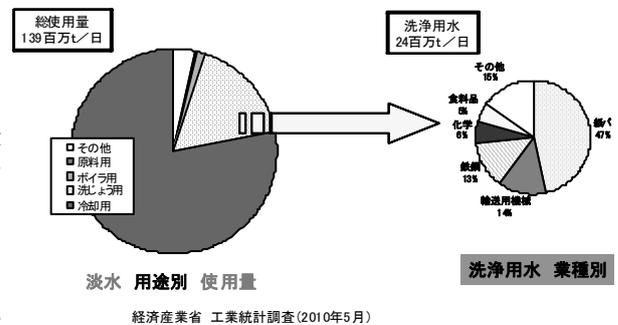
(株)日本紙パルプ研究所
岡田 比斗志

内容

1. はじめに 一製紙業における水利用一
2. 製紙排水の特徴と規制
環境規制と環境対策の変遷
製紙排水の水質汚濁物質
3. 製紙業を支える排水処理技術
排水処理設備概要
各論 ろ過、中和
沈降・浮上分離、凝集沈殿
活性汚泥、嫌気分解
4. 新しい処理技術
磁化活性汚泥、光触媒、膜分離
5. 将来の展望

1. はじめに 製紙業における水利用①

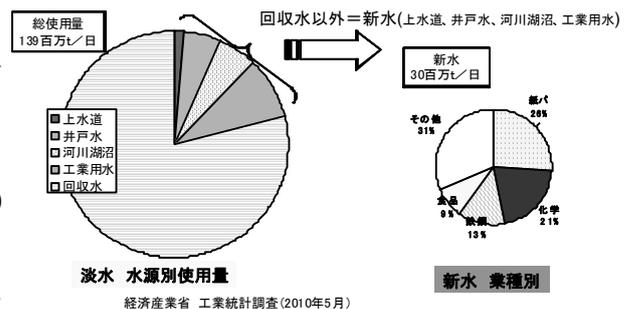
用水(淡水)の用途別での使用量は……



環境負荷の高い洗浄用水の使用量最大

製紙業における水利用②

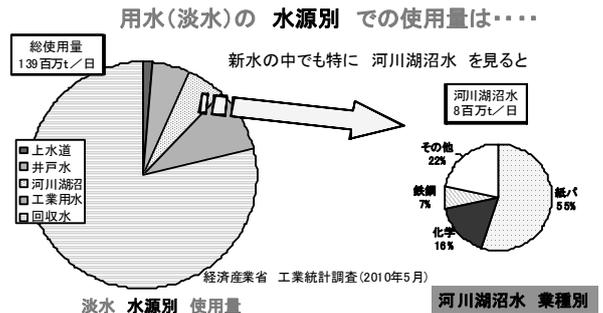
用水(淡水)の水源別での使用量は……



水源別で見ると、新水(回収水以外)の使用量も最大

日当たり 800 万トンで、その内訳を見ますと、何と紙パは 50%以上と非常に大きいことがわかります。紙パ産業が身の回りにある新水を大量に使っているということで、製紙業は水環境に重大な責任を負う産業であると考えることができます。

製紙業における水利用②'



河川、湖沼水の使用は全産業の半量以上
製紙業は水環境に重大な責任を負う

2. 製紙排水の特徴と規制

2 番目に、製紙排水の特徴と規制について話します。1958 年以前では、排水はほとんど垂れ流しの状態でした。その後いろいろな法律ができ、1971 年に水質汚濁防止法が制定されました。これは 5 年間の猶予が与えられていましたが、1976 年に全国一律基準が適用され、BOD と COD が 120ppm、SS が 150ppm (いずれも日間の平均値) で、この全国一律基準の値はいまだにそのまま使っています。それだけでは不十分ということで、地方公共団体が上乘せ基準 (さらにこの値を厳しくしたもの)、それから横出し基準 (これ以外の幅を広げた項目) の規制をかけています。一律基準あるいは上乘せ基準をクリアするために、業界を挙げての積極的な努力がこの時期に続きました。この水質汚濁防止法の規制を施行して実施することで、排水は非常に良好になりました。しかし、閉鎖性水域 (瀬戸内海を中心として東京湾や伊勢湾など) では環境がどうもよくならないということで、1978 年に瀬戸内海環境保全特別措置法が実施されました。これは総量規制の考え方といえます。1980 年代から 5 年ごとに第 1 次、第 2 次、第 3 次と続き、2011 年から始まる第 7 次総量規制が検討されています。環境規制は、どんどん厳しくなっていく、緩むことはまず今後もないと思います。そして、現在規制にないものも将来悪いとわかったときに、排出企業に責任が求められるでしょう。したがって、環境問題については将来を見越したリスクという考え方で取り組まなくてはならない企業が負わされている責任だと考えます。

1970 年代に環境対策に設備投資が盛んに行われました。右図は、縦軸が製紙業界全体での年間の投資額で、横軸が年代です。先ほどの水濁法が施行されてから、紙パ産業では 500 億円を超える多額な投資が行われました。75 年あたりのところで基準をクリアするこ

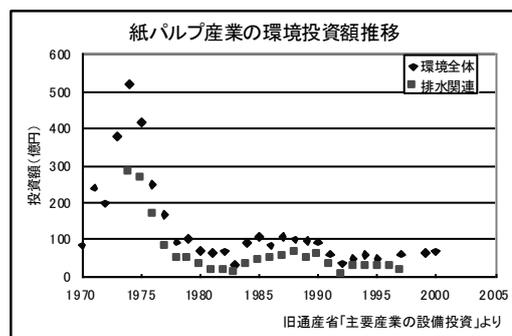
2. 製紙排水の特徴と規制

①環境規制と環境対策の変遷

年	法律	補足
1958	水質保全体法・事業所排水規制制定	
1967	公害対策基本法制定	
1971	水質汚濁防止法制定	1970年公布、1976年に全国一律基準が適用
1978	瀬戸内海環境保全特別措置法制定 水質汚濁防止法改正(総量規制制度化)	一律基準あるいは上乘せ基準をクリアするために業界を挙げての積極的な努力の連続 + 上乘せ、横だし
1979	東京湾・伊勢湾及び瀬戸内海における 総量削減基本方針の策定	投資設備額は少なくなってきたが、生物膜を利用する生物処理や限外ろ過などより効率的な方法を採用して規制の強化増設等への対応や排水処理のコストダウンを図る
1981	瀬戸内海の環境保全に関する計画策定	
1984	湖沼水質保全特別措置法制定	排水規制の強化、生産増、古紙利用の拡大、有機塩素化合物対策など排水処理を取り巻く環境は大きく変化
1985	湖沼に係る窒素、磷の規制基準策定	
1987	第二次総量削減基本方針の策定	環境投資額はパルプ時に一時ピーク
1991	第三次総量削減基本方針の策定	
1993	環境基本法制定	地球環境保全意識の高揚から法規制や地域行政指導も強化され、環境対応型焼却炉、EFC化進展
1996	第四次総量削減基本方針の策定	
2001	第五次総量削減基本方針の策定	N/Pを規制項目に追加
2006	第六次総量削減基本方針の策定	酸素消費速度の遅い有機物の検討
2011	第七次総量削減基本方針の策定	閉鎖性海域における溶存酸素濃度、透明度を検討

規制強化、将来を見据えたリスク も配慮

環境設備投資額の変遷



1970年代に大規模な環境関連投資が行われた
環境関連投資のうち排水処理設備が過半占める

とができて、その後下がっています。一時期、100 億円を超えたものの、その後年間 100 億円以下のところで推移しています。小さなひし形が環境投資全体で、四角が排水関連です。排水対策が環境全体の過半を占めるということがわかります。

製紙排水の水質汚濁物質の主要 3 項目、BOD、COD、SS について、環境省のデータを引用します。およそ 100 の産業別に分かれています。そこから、後で計算して出しました総排出量の多い代表的な産業十幾つに絞ってピックアップしました。それらの産業の中で、紙パ産業は SS と COD で最大となっています。BOD についてもかなり高いところにあります。畜産業はこの濃度はもっと高いのですが、排水量としては少ないので、ここの中には上がっていません。この濃度に事業者数を掛けて、さらに平均排水量を掛けたものが総排出量と考えて算出してみました。この計算の仕方が正しいかどうかは議論もありますが、1 日当たりのトンであらわされる単位で、紙パ業界は SS も BOD も COD も非常に高いレベルにあります。金属メッキはもっと高いところにありますが、いずれも 2 番、3 番ということで、製紙業は 3 項目の濃度、総排出量がいずれも高いとことになります。

外国と比べ、日本の製紙排水の特徴は BOD が高いことです。右図の外国のデータは Ekono という雑誌からの引用です。縦軸が原単位で、製品トン当たりの BOD のキログラム、COD のキログラムになっています。横軸が生産量のパーセントの累積です。例えば三角のフィンランド、これは十数社あると思いますが、十数社の中で BOD の原単位の低いものから、左から順に並べてあります。そして横幅は、その事業所の生産量に応じてパーセントを算出し、それを累積していきます。五つの国等について表していますが、それぞれの 50% のところが排出量の中央値、メジアンです。そうしますと、BOD は大体 1 ぐらいに対して COD は 10 から 30、低めをとっても 10 ぐらいです。言い換えると、諸外国では BOD 対 COD が 1 対 10 と考えられます。

一方、日本では、環境省の実績のデータで、BOD が 21.9ppm に対して COD が 34ppm です。比率をとると 6.4 対 10 になります。ただし、諸外国は COD_{Cr} で、日本は COD_{Mn} です。COD_{Cr} と COD_{Mn} は、いろいろなデータがありますが、大体 2 対 1 と仮定し、日本の COD を Cr に換算しますと 3 対 10 となり、諸外国の 1 に対して日本は 3 と、COD に対する BOD が高い

② 製紙排水の水質汚濁物質 主要3項目(BOD,COD,SS)の濃度、総排出量

代表特定施設	SS平均 mg/L	BOD平均 mg/L	COD平均 mg/L	事業場数	平均排水量 t/d	3項目総排出量(t/d) ※		
						SS	BOD	COD
砂糖製造業の用に供する施設	12.6	35.0	18.7	38	23,989	11	32	17
パルプ、紙又は紙加工品の製造業の用に供する施設	14.9	21.4	35.0	320	23,126	110	158	259
化学肥料製造業の用に供する施設	7.9	4.7	9.0	34	75,350	20	12	23
その他の無機化学工業製品製造業の用に供する施設	7.4	5.5	8.5	222	20,569	34	25	39
有機顔料又は合成染料の製造業の用に供する施設	9.1	10.1	21.4	18	327,248	54	59	126
合成ゴム製造業の用に供する施設	9.5	12.6	17.1	10	315,744	30	40	54
その他の石油化学工業の用に供する施設	6.1	7.1	10.2	49	78,778	23	28	39
石油精製業の用に供する施設	4.3	4.3	6.0	30	151,653	26	25	35
鉄鋼業の用に供する施設	6.9	3.9	5.1	130	133,713	121	68	88
石炭を燃料とする火力発電施設の汚濁ガス洗浄施設	2.1	1.9	3.0	23	2,285,595	112	98	156
電気めっき施設	6.1	9.9	13.6	813	30,934	154	250	343
共同調理場に設置されるちゅう房施設	9.4	5.8	9.7	197	23,305	43	27	44

環境省HP 2008水質汚濁物質排出量総合調査

※ 各項平均濃度で全事業場から放出しているとして求めた。(平均濃度×事業場数×平均排水量)

製紙業は 3項目の濃度、総排出量がいずれも高い

BODおよびCOD 外国との比較

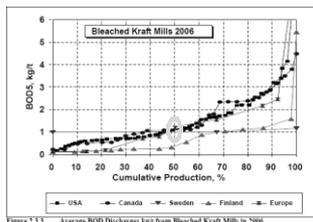


Figure 2.3.3 Average BOD Discharges in kg/t from Bleached Kraft Mills in 2006

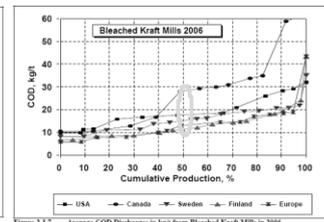


Figure 2.3.4 Average COD Discharges in kg/t from Bleached Kraft Mills in 2006

Ekono2007

諸外国では $BOD / COD_{Cr} \approx 1 / 10$

日本では $BOD / COD_{Mn} \approx 6.4 / 10$

※ $COD_{Cr} / COD_{Mn} \approx 2 / 1$ とすると
 $BOD / COD_{Cr} \approx 3 / 10$

(21.9/34.0 mg/L 環境省 2009実績)

日本の特徴としてBODが相対的に高い

と言えます。

ちなみに、環境基準に関しましても、日本は COD (CODMn ですが) と BOD が、1 対 1 になっています。外国では BOD が 1 に対して COD が 10 程度の排水の規制になっています。このことから、日本は BOD が高いことが納得できます。BOD が高いことは、分解されやすい、易分解物質が多いと考えられます。この原因として、日本では、主にパルプ系の排水を生物処理し、マシン系の排水は生物処理をバイパスして凝沈にかけることも原因の一つではないかと考えます。

今後の規制の方向性を見るために、主要国の排水の規制項目を比べてみました。多くの国で、SS、BOD、COD を採用していますが、日本は BOD と COD をそれぞれ河川と海域で分けています。なぜ BOD を河川でやるのか興味があったので、調べたのですが、河川の水は大体 5 日ぐらいたつと海に到達するだろうということで、BOD ファイブを使っているという説がありました。一方、海や湖などはもっと分解が進むはずなので、化学的にもっと分解させた COD を使うと聞いています。

AOX もいろいろな国で調べられています。日本では製紙連合会の自主基準として、パルプトン当たり 1.5 キログラムという AOX の自主規制を求めていましたが、各社がパルプ漂白設備へ ECF を導入したことで、AOX が大分低くなりました。元々はダイオキシンの関連性で規制したのですが、今、AOX が十分低くなって、ダイオキシンの関連性がほとんどなくなったので、自主規制をやめています。

その他として、ドイツは COD の総排出量に対し課徴金を課しています。この厳しさから、排水のクローズ化が行われています。

そしてもう一つが生物影響です。欧米の諸国では生物影響評価が結構行われています。アジアでも、韓国では生物影響が導入されています。日本では、これがどうなるか非常に興味を持たれるところです。人の健康に関連する項目、例えば水銀等はよくなってきています。OECD の 2002 年勧告もあり、一つの化学物質ではなくて多様な化学物質を総合的に評価できる生物応答を利用した排水管理として生物影響評価が広まりつつあります。これを J-WET (ジェイウエット) と呼んでいますが、ホール・エフルエント・テストの日本版ということです。排水を全部使ってテストしようと

③ 今後の方向性 主要国の製紙排水規制項目

	TSS	BOD	COD	AOX	他	生物影響
日本	○	△	△	自主規制	ダイオキシン	-
アメリカ	○	○	-	○	加口フェール、色度	○
カナダ	○	○	-	州規制	ダイオキシン	○
ドイツ	○	○	○	○	課徴金	○
フランス	○	○	○	○	課徴金	○
スウェーデン	○	-	○	○		-
フィンランド	○	○	○	○		-

生物影響評価が欧米で行われている

生物影響評価

排水規制: 健康関連項目 ⇄ 生活環境項目

多様な化学物質を相対的に評価 生物応答を利用した排水管理

- J-WET = Whole Effluent Test 日本版
- 2009 ? 2012 環境省、検討調査
- WET手法を活用した水環境管理手法
- 急性毒性(魚、ミジンコ)、亜急性毒性(魚、ミジンコ、緑藻)

[第7回今後の水環境保全に関する検討会] 8/3(火)

- 2年余りで制度、技術面の検討をおこない、
- 2012年度にはモデル的に試行をする予定 ?
- 生物検定による排水管理の手法は導入するが、企業の自主的取組として活用しては ?

するもので、2009年から環境省で調査が始まり、4年で確立させようとしています。この試験は、魚やミジンコを使って4日間でその生き物が死ぬかどうかを調べる急性毒性と、もう少し長い期間ですが、繁殖や成長に阻害がないかどうかを調べる亜急性毒性を調べます。現在の環境省の進行状況ですが、昨年8月に「第7回今後の水環境保全に関する検討会」が開かれ、事前に資料がインターネット上で公開されました。その中では「2年余りで制度・技術面での検討を行い、2012年にはモデル的に施行する予定」とあるのですが、その検討会が終わった後に出た議事録では少しトーンダウンして、「生物検定による排水管理の手法は導入するが、企業の自主的取り組みとして活用してはどうだろうか」となっていました。規制としてすぐに導入されるようなものではないのかなというニュアンスが伝わってきました。

次に、TOCについて話します。日本ではCODMnを1877年より水質の判定法で適用しています。CODの問題点は、中途半端なところで酸化反応をとめていいますのでばらつきがある、海外のCODCrと比較するとかかなり乖離がある、物によってその比率も違ってくるということです。TOCはトータル・オーガニック・カーボンの意味で、全有機炭素を検出するため、再現性が高く、分析する個人差が小さく、そして今は簡便な測定器があります。ということで、今、TOCを排水の判定法に導入することが検討されています。ただ、これまでのCODのデータ蓄積が非常に大きいので、それとの相関を見ながら移行していくことになるのではと思います。CODMnとはそれなりの相関もあり、CODCrとはもっと高い相関があります。

今後の動向としての最後は、先ほど話した第7次水質総量規制です。これは、人口、産業の集中により、汚濁が著しい広域的な閉鎖性海域の水質汚濁を防止する制度で、下水道、浄化槽等の生活系排水への対策、それから、われわれに関係してくる50立米/日以上の特定期事業所への総量規制基準、そして小規模事業所に対する削減指導ということを目的とします。今までの第1次から第6次まではCODを中心として、さらに、窒素やリンを追加し、そして第6次では大阪湾を除く瀬戸内海の規制を強化しました。瀬戸内海は比較的この第6次の規制でよくなってきたのですが、それ以外の東京湾、伊勢湾、大阪湾の環境がなかなかよくなる。赤潮や貧酸素水塊が発生し、底生生物が生息しにくい

TOC

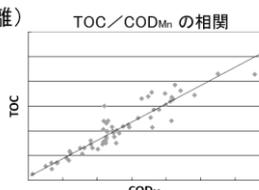
COD_{Mn} 我国では1877年より水質判定法に適用

COD_{Mn}の問題点

- ・水中有機物の指標として不十分
- ・有機物種類による変動大きい
- ・海外比較(COD_{Mn}とCOD_{Cr}の乖離)
- ・再現性

TOC(Total Organic Carbon)へ

- ・全有機物を検出
- ・再現性高い、個人差小さい
- ・簡便な測定器あり



TOCはCOD_{Mn}と相関あり

第7次水質総量規制

総量規制

人口、産業の集中により、汚濁が著しい広域的な閉鎖性海域の水質汚濁を防止する制度

- ・下水道、浄化槽等の生活系排水対策
- ・特定事業場(50? /d以上)への総量規制基準
- ・小規模事業場に対する削減指導

第1次～4次: CODを指定項目とした
 第5次: 窒素およびリン追加
 第6次: 大阪湾を除く瀬戸内海強化

第7次総量規制の在り方について (中央環境審議会)

- ・赤潮や貧酸素水塊の発生による底生生物が生息しにくい環境になっている
- ・特に 東京湾、伊勢湾、大阪湾 の環境が懸念されている
- ・平成26年度を目標とし、新たな水質目標として 底層DO、透明度 盛り込む

環境になっているということで、平成 26 年度を目標として、新たな水質目標として、底層の溶存酸素濃度、それから透明度を盛り込むことを現在検討しています。

3. 製紙業を支える排水処理技術

次に、製紙業を支える排水処理技術について話します。昔からある設備が依然として使用されていたりして、必ずしも時系列的に並べるのはふさわしくないと考えます。そのため、工程から出てくる排水をその濃度の高いところから 1 次、2 次、3 次と分けてまとめてみました。ただし、それぞれの処理技術が改良されると、必ずしも濃度の高いところだけではなくて濃度が低いところにも適した技術となって、1 次処理でまとめてあるものが 3 次に使われることもあることをあらかじめ承知願います。

右最上図は各業種における排水処理設備の現状です。数字は単位パーセントであらわしています。例えば、紙パルプ業界 100 事業所に活性汚泥の浮遊式をどれだけ持っていますかと聞いたところ、23 事業所が持っていますとの答えを得たことになります。紙パでは凝集沈殿が圧倒的に多数を占めています。活性汚泥と凝集沈殿以外の設備は余り持っていません。産業界全体を見ても、同じように凝集沈殿と活性汚泥が多いのですが、その他の活性炭やろ過はそれなりに多く使用されています。

右上図は、各技術の効果をまとめています。あえて○×△をつけてみました。製紙排水の特徴は非常に処理量が多いため、処理容量の欄が○である沈殿と活性汚泥を使っています。この二つを組み合わせることで、SS、DOC (COD と BOD)、難分解物質、色度、臭気等、エネルギー回収以外のすべてにこの二つで対応できることがわかります。オゾンや電気分解、膜分離等は、最近大分改良されているのですが、処理容量が小さいことで、紙パでは特殊な用途でしか向かないでしょう。

製紙業の排水処理の形態は事業所によって千差万別ですが、あえておおざっぱ話でまとめてみました。パルプ系は中和してから生物処理をします。マシン系はろ過をして、凝集沈殿をして総合排水へ流します。活性汚泥、凝集沈殿を核に予備処理を含め、工場ごとに最適化されたアレンジメントをとっています。このパルプ系排水のみを生物処理していることが日本の紙パ排水処理の特徴です。

3. 製紙業を支える排水処理技術

排水処理設備概要

製紙業等における排水処理施設普及状況 (単位:%)

	活性汚泥		凝集沈殿	活性炭	濾過	膜分離	オゾン	他 高度処理
	浮遊式	接触酸化						
紙パ	23	14	84	1	6	0	0	8
食料品	81	28	24	3	7	0.2	1	4
飲料調料	71	32	35	4	8	1	2	2
化学工業	47	22	56	13	16	2	1	10
鉄鋼業	25	10	89	10	30	0	1	11
電気機械	48	34	68	17	27	2	4	15
洗濯理容	63	35	19	9	13	2	1	5
廃物処理	52	19	40	25	27	1	0	6
全体	51	24	53	10	16	1	1	7

中央環境審議会水環境部会(平成17年度、抜粋)

- 紙パでは凝集沈殿法を多くの事業所で採用
- 全体では凝集沈殿の他、活性汚泥法も多い

各技術の効果

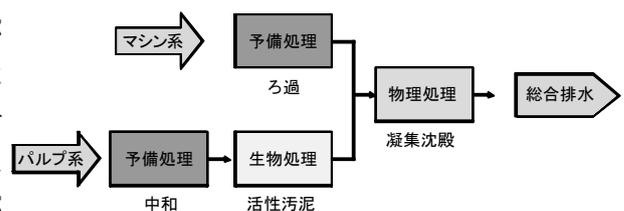
	処理容量	SS削減	DOC削減	難分解削減	色度臭気	エネルギー回収
沈殿・浮上	○	○	×	○	○	×
好気	○	×	○	×	×	×
濾過	△	○	×	×	×	×
嫌気	△	×	○	×	×	○
活性炭	△	×	○	×	○	×
オゾン	×	×	×	○	○	×
電気分解	×	×	×	○	○	×
膜分離	×	○	○	○	○	×

DOC: Dissolved Organic Carbon

好気、沈殿 の組み合わせで多くの対象を処理できる

製紙業の排水処理の特徴

製紙排水の特徴 希薄、大量、SS,BOD,CODが主な対象



- 活性汚泥、凝集沈殿を核に、予備処理を含めた様々な単位操作、フロー(工場ごとに最適化)
- パルプ系排水のみ生物処理される例が多い

次に、排水処理で BOD、COD、SS の主要 3 項目がどのように減少するかを示します。処理方法は、加圧浮上、活性汚泥、凝集沈殿、砂ろ過、活性炭を直列に持った系での濃度と減少率です。全体で COD では 400ppm あったものが 15ppm と、実に 96% も除去されています。その他 SS や BOD も 99% と、満遍なく削減されています。ユニット別では、SS は加圧浮上で大きく削減され、BOD と COD は活性汚泥で削減しています。

排水処理と主要3項目の動き

濃度(ppm)	排水	加圧浮上	活性汚泥	凝集沈殿	砂ろ過	活性炭	放流
SS	900	100	50	30	15	5	5
BOD	550	380	30	20	10	5	5
COD	400	250	80	55	40	15	15
減少率							total
SS	—	89%	50%	40%	50%	67%	99%
BOD	—	31%	92%	33%	50%	50%	99%
COD	—	38%	68%	31%	27%	63%	96%

紙パルプ技術協会 吉紙パルプ

・SSは加圧浮上、BODは活性汚泥で大きく低下する

3.1 ろ過

各論に入ります。1 次処理の中のまずろ過を取り上げます。ろ過の目的は SS 分の分離除去です。SS は水濁法の中にある項目で、これに対応するため、凝集沈殿や生物処理の前処理のところでよく使用されます。このろ過は排水の中でも比較的大きな浮遊物を除去し、工程内での発生源対策、歩留まり向上に利用されています。被処理水がスクリーンなどでろ過される時、表面にかすが残留します。かすが多量になると抵抗が増大し、処理能力が低下します。これを除去するためにさまざまな工夫がなされています。SS は COD としてもカウントされるため、ろ過により COD は大幅に削減します。このろ過の基本的な設備を挙げてみました。

3.1 ろ過

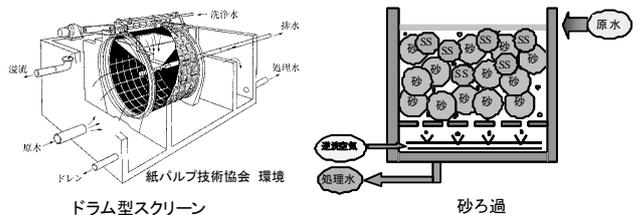
目的: SS 分の分離除去 (水濁法対策)
凝集沈殿、生物処理の前処理

概要

排水の中でも、比較的大きな浮遊物を除去する。工程内でも発生源対策、歩留まり向上に利用されている。被処理水がスクリーンなどでろ過される時、表面にかすが残留する。かすが多量になると抵抗が増大し、処理能力が低下する。これを除去するために、様々な工夫がなされている。SS (Suspendid Solids 1 μ ~ 2mm) は COD としてもカウントされるため、ろ過により COD は大幅に低下する。

右図の左はマイクロストレーナー (ドラム型スクリーン) です。ドラムのところにメッシュが張っており、内側に原水が入り、外に出ようとします。SS 分がメッシュでろ過され、ろ過された SS 分がぐるっと回って上に来ます。上に来たところで洗浄水のシャワーで洗い流されます。そしてきれいな面がまたでき、連続的に原水を処理していきます。SS 分を取り除いた処理水は、堰から越流して処理水として出ていきます。右側は砂ろ過です。原水を上から入れる方法や下から入れる方法などがありますが、これは原水を上から入れる方法です。原水に含まれている SS 分が砂に捕捉されます。この方式ですと、あつという間に詰まってしまうので、緩速ろ過、処理能力の小さいところでよく使われています。

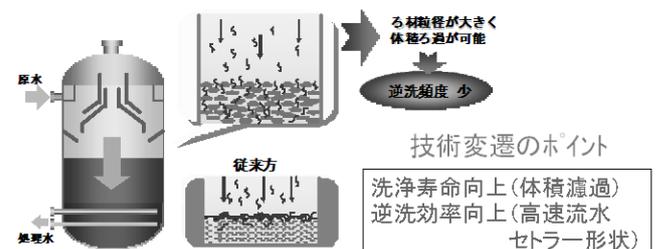
基本技術(ろ過)



いずれも排水処理のほか、白水回収装置など工程内でも利用されている

高速ろ過機

ろ材変更により従来の表面ろ過から体積ろ過に変更
高速流水による洗浄、セトラーの形状変更

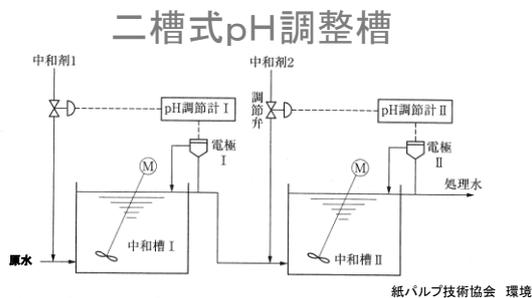


上がったときに処理水とろ剤がうまく分離されるようになっていて逆洗の効率が向上します。

3.2 中和

中和の目的は、水素イオン濃度の調整を行うことで、凝集沈殿や生物処理の前処理としてよく行われています。紙パ製造において、アルカリ、酸が使用されたり、古紙など原料由来の成分でpHが水濁法規制の範囲を外れることもあります。また、凝集沈殿や生物処理を最適化するための前処理として中和が必要となります。迅速に変動に対応するため、攪拌と薬品の選択、それから、適正な薬品添加を行うための制御が重要です。基本技術は、反応槽にpHをチェックするセンサーがあり、それをフィードバックして添加する薬品の量を調整します。中和の薬品は、酸に対してはソーダ系と石灰系が使われます。一般的にソーダ系のほうが瞬時に反応が進みますが、薬品は高価です。それに対して石灰系は時間がかかりますが、薬品が安価なので、両者を使い分けることとなります。

中和の改善技術として、2槽に分けることにより、薬品の完全混合、時間の短縮、薬品の添加量の適正化などがはかられます。



技術変遷のポイント

薬品完全混合、時間短縮
(二段添加)
薬品適正添加
(自動制御)

供回り、ショートパス防止
(バップル等)

3.3 沈降・浮上分離

3番目が沈降・浮上分離です。この目的は、SS、色度、それからCOD、BODの除去で、活性汚泥の後処理として排水と汚泥を分けるのにも用いられています。原理は、沈降・浮上の速度差を利用して固形分を分離します。薬剤を用いて強制的に粒子を成長させることもできます。製紙業のみならず排水処理において中心的な処理技術ですが、広大な面積を要することから、

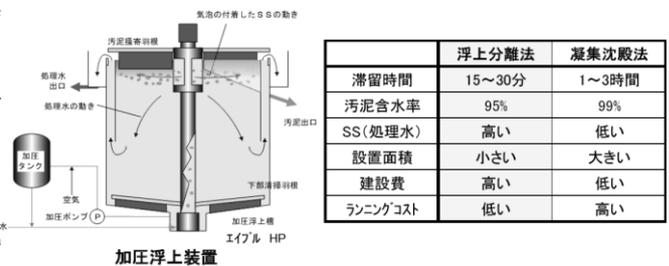
3.2 中和

目的： 水素イオン濃度の調整（水濁法対策）
凝集沈殿、生物処理の前処理

概要

紙、パルプ製造において、アルカリ、酸が使用されたり古紙など原料由来の成分でpHが水濁法規制の範囲（海域5~9、他5.8~8.6）を外れることもあるが、主に凝集沈殿や生物処理を最適化するための前処理として中和が必要となる。変動に対応するため、迅速な反応を行うための攪拌と薬品の選択、適正な薬品添加を行うための制御が重要となる。

基本技術（浮上分離）



特長

- ・分離速度が速い
- ・コンパクトな設備
- ・繊維など軽い場合に適す
- ・スラッジの含水率低い

課題

- ・処理水質は沈殿槽方式より悪い
- ・大きな空気泡が出ない工夫

3.3 沈降・浮上分離

目的： SS、色度、COD、BODの除去
生物処理の後処理

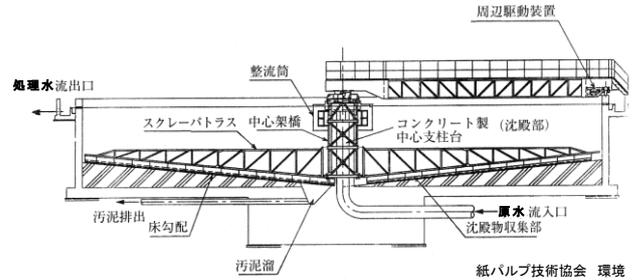
概要

前段処理でろ過されなかつたり工程を経て成長した微細粒子を除去するため、沈降・浮上の速度差を利用して固形分を分離する。その含有量や種類により、薬剤を用いて強制的に粒子を成長させることも出来る。製紙業のみならず、排水処理において中心的な処理技術であるが、広大な面積を要することから各種改良技術が考案されている。

各種改良技術が考案されています。右図は単純沈殿の基本技術です。排水は中心から外に出されます。この間、重い粒子が下に沈みます。きれいな水が処理水として排出されます。沈降した、主にSS分は、スクレーパーにより中央に集められ、汚泥として排出されます。

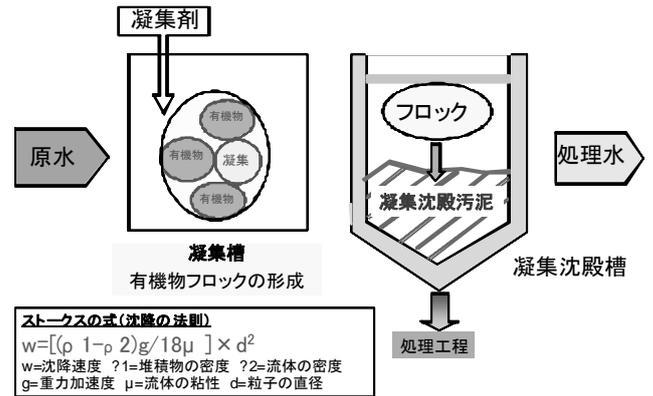
このクラリファイアの前で原水に凝集剤を加えることによって有機物をフロック化します。この沈降にはストークスの式があり、沈降速度(W)は、いろいろなものを掛け合わせまして、さらに粒子の直径を掛けます。粒形を大きくすることは、その2乗で沈降速度にきいてくるので、非常に大きな意味を持っています。

基本技術(単純沈殿)



周辺駆動式クラリファイアー

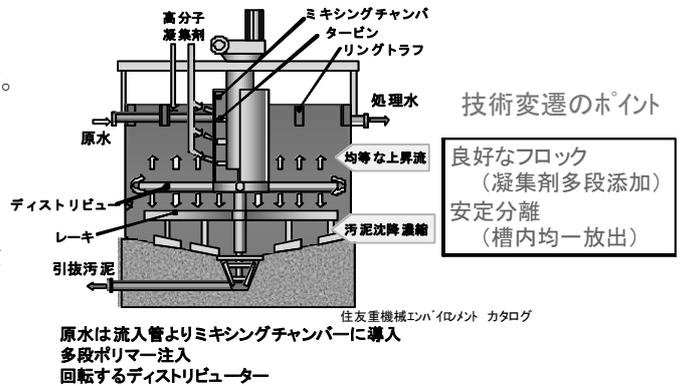
基本技術(凝集沈殿)



右図は改良技術の高速凝集沈殿装置です。原水のとこに凝集剤を分割添加します。高速ミキシングチャンパーで高分子凝集剤と原水を均一にかくはんします。そして、ディストリビュータから均一に出すことによって、SS分の沈降、きれいな清澄水の上昇が行われます。この技術のポイントは、凝集剤を多段展加することによって良好なフロックをつくり、槽内に均一に放出することによって安定な分離ができ、装置を小さくできるということです。

凝集剤は無機と有機に分けられます。無機凝集剤は19世紀後半から実用化され、有機凝集剤は20世紀前半にでん粉などの天然高分子系、そして1950年代からは合成高分子系が利用され始めました。無機の凝集剤として、硫酸バンドや塩化第二鉄というポピュラーなものの性能をアップさせるために、ポリ塩化アルミ(PAC)やポリ硫酸鉄が無機系としてあります。それから、合成高分子では、アニオン系、カチオン系、ノニオン系とあり、排水の性状によって使い分けます。この凝集という言葉の意味を狭めますと、凝結と凝集とに分けられます。排水の中にある小さな粒子をまず無機の凝集剤で会合させる、これを凝結と呼んでいま

高速凝集沈殿装置

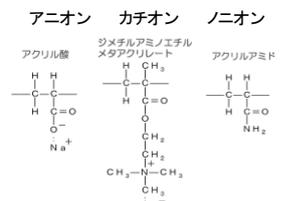


基本技術(凝集剤)

種類	記号	品名	分子式	PH	用途
アルミ	AB	硫酸バンド	Al ₂ (SO ₄) ₃	6.0~8.5	凝沈
	MC	含鉄硫酸アルミ	Al ₂ (SO ₄) ₃ + Fe ₂ (SO ₄) ₃	6.0~8.5	凝沈
	PAC	ポリ塩化アルミ	[Al ₂ (OH) ₂ Cl ₂] _n	6.0~8.5	凝沈
鉄	FC	塩化第二鉄	FeCl ₂	4.0~11.0	凝沈 脱水
	約鉄	硫酸第二鉄	Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 7H ₂ O	6.0~8.5	凝沈 脱水
その他	-	消石灰	-	-	脱水

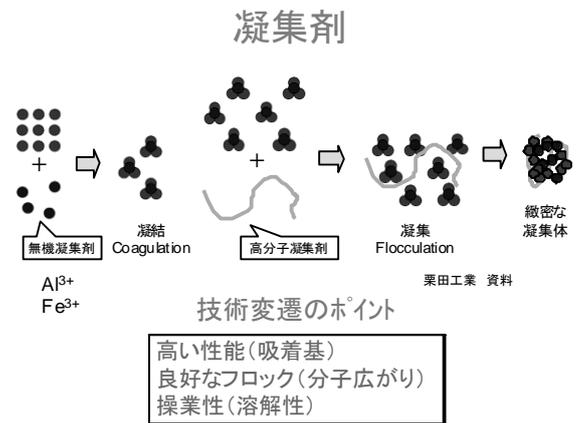
無機凝集剤は19世紀後半から実用化され(硫酸バンド)、有機凝集剤は20世紀前半に澱粉などの天然高分子系が、そして1950年代から合成高分子が利用された。

種類	品名	PH	用途
アニオン	アルギン酸ナトリウム	8以上	浄化で可、凝集
	ポリアクリル酸ナトリウム	8以上	凝集
	ポリアクリルアミド	6以上	凝集
カチオン	水溶性アミン樹脂	中性	凝集
	ポリオキシエチレン	中性	凝集
ノニオン	ポリアクリルアミド	8以上	凝集
	ポリオキシエチレン	8以上	凝集

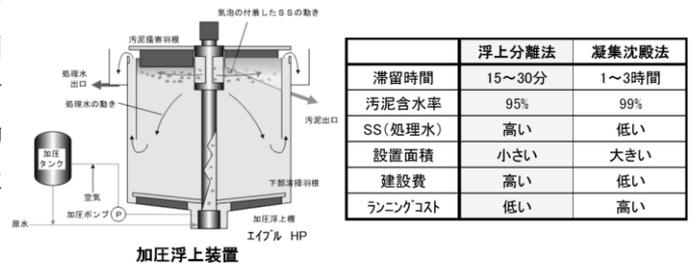


す。これは、粒子が大体負電荷を持っていますので、この大きな正電荷をもっているアルミや鉄が有効な無機凝結剤、凝集剤になります。その後、高分子系の凝集剤を用いることによって、この凝結したものをさらに大きなフロックにします。できれば、この集まった会合体をぎゅっと縮めて緻密な凝集体にするのがすぐれた高分子凝結、凝集剤です。吸着基をたくさん持ったものであること、分子が広がりを持っていること等が求められますが、実際に使うときは水に溶けるようにしたほうがいいので、エマルジョンタイプのものなど、いろいろ開発されています。

次は浮上分離です。浮上分離には加圧浮上がかなりポピュラーで、排水処理だけではなくてDIP工程などにも使われています。加圧水を入れ、圧力が低くなることによって、途中で気泡を生じます。その泡に固形物を付着させ上面に集めて、かき集めて外に排出する。加圧浮上と真空浮上とがあり、真空浮上も基本的には同じです。上のほうに真空ポンプをつけて、やはり泡をつくって上のところをかき出します。特徴は、凝集沈殿と比べ、処理時間が短く、汚泥の含水率が低い（汚泥濃度が高い）ことです。設置面積は小さく、建設費が高く、ランニングコストは低いです。課題は、処理水質は沈殿槽方式よりも悪く、それから、大きな空気泡が出ないような工夫をすることです。



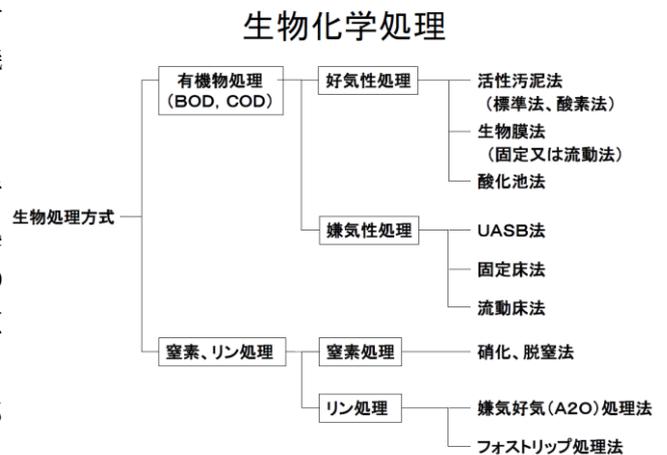
基本技術(浮上分離)



- | | |
|---|---|
| <p>特長</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分離速度が速い ・コンパクトな設備 ・繊維など軽い場合に適す ・スラッジの含水率低い | <p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・処理水質は沈殿槽方式より悪い ・大きな空気泡が出ない工夫 |
|---|---|

3.4 好気性生物化学処理(活性汚泥法)

次は、生物化学処理に移ります。生物処理では、活性汚泥法や嫌気汚泥法などが行われていますが、有機物の処理として好気性処理と嫌気性処理とに分かれます。好気性処理として活性汚泥、生物膜、酸化池など、嫌気処理としてUASB法などがあります。紙パ業界ではなじみはないのですが、有機物以外の窒素やリンを処理する方法などもあります。活性汚泥の目的は、BODを除去することです。活性汚泥は生き物ですので、原水をpH7近辺に調整します。その後、曝気槽に入れて、さらに、沈殿池で排水と汚泥を分離する。上澄みの部分を処理水として出し、沈殿した汚泥を一部は戻して、一部は余剰汚泥として出します。マスバランスとして、出ていくのは活性汚泥によって有機物から分解されたCO₂と、余剰汚泥として引き抜いた分と、残りが処理

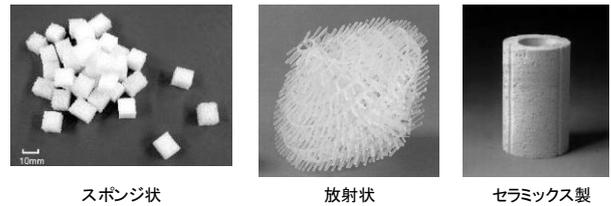


生物膜担体

あるので、CO₂ として分解される有機物量がふえ、余剰汚泥が少なくなると言われています。真ん中の放射状の担体は表面積が大きいという特徴があります。セラミックス製のものは表面積が大きいというのに、セラミックスの内部は酸素が届き難くなっていますので、ある程度嫌気性の菌もすむことで、幅広い種類の生物がすみ、分解も幅広い範囲で行われると言われています。ポイントは、表面積を大きくすることによって単位処理能力を高くする、磨耗の少ない素材を使うことで担体の補充を少なくすることです。

次は、曝気装置です。空気中の酸素を溶解させるためにかくはんします。シンプレックス型では、液を下から上に対流させるので、反応槽を深いものにできます。次の表面攪拌型は非常に単純な装置で、表面を波立たせることによって、そのしぶきに酸素を効率よく溶け込ませる方式です。変法としまして散気管があります。反応槽の下にこの散気管を設け、回転することで、曝気槽の中の汚泥と、その処理水を均一にします。穴の形状を少し工夫することによって、目詰まりも防止することができます。

次は、膜分離活性汚泥法です。汚泥と処理水を分離するために膜を使うものです。沈殿池の後に膜を置くもの、膜モジュールを使うもの、膜モジュールを反応槽の中に置くものに分けることができます。



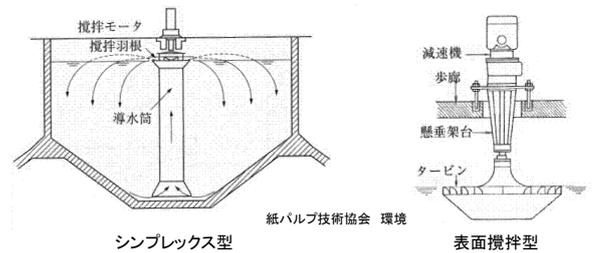
荏原エンジニアリングサービス、前澤工業、昭和環境システム カタログ

技術変遷のポイント

単位処理能力高い(表面積大きく)
担体補充少ない(磨耗少ない素材)
メンテナンス容易(閉塞少ない形状)

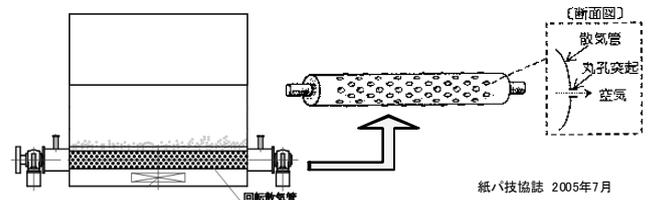
基本技術(曝気装置)

水面上に設置した攪拌羽を回転させて液を飛散させ、液中に酸素を溶解させる



紙パルプ技術協会 環境

ロータリー散気管

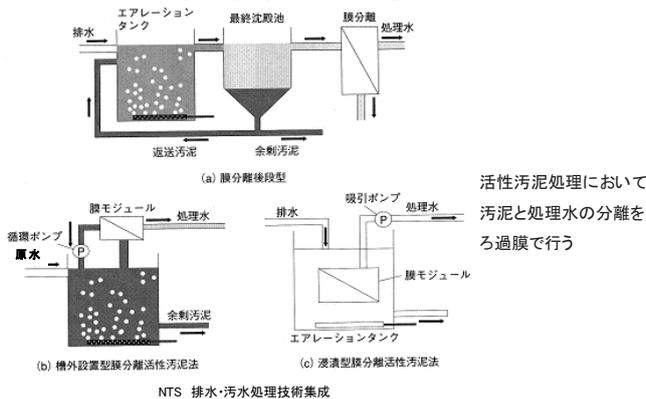


紙パ技協誌 2005年7月

技術変遷のポイント

均一な酸素溶解、汚泥堆積防止
(多孔性回転ドラム)
目詰まり防止 (孔部形状)

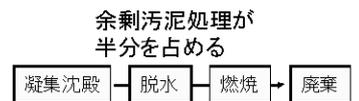
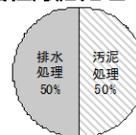
膜分離活性汚泥法



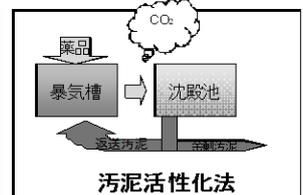
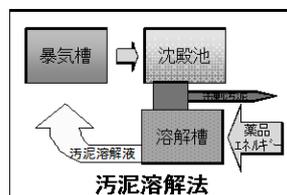
活性汚泥の処理コストの半分を汚泥の処理が占めていますので、汚泥を少なくすること(汚泥の減容化)が非常に重要です。沈殿池から出てきたところに溶解槽を設けて、そこに薬品を入れて汚泥を溶かす方法、曝気槽の中に活性汚泥の働きを活発にする薬品を入れることによって汚泥を少なくする方法などが提案されています。

汚泥減容化(活性汚泥周辺技術)

活性汚泥処理コスト



汚泥減容は重要



3.5 嫌気性分解法

目的: BODの除去 (エネルギー回収も重要)

3.5 嫌気性分解法

次は嫌気分解法です。この目的はBODを除去することです。嫌気分解の特徴として、メタンなどのエネルギー回収ができることで、最近、紙パルプ排水のエバドレン水を中心にして適応が始まっています。嫌気分解の反応のステップでは、まず、排水中の有機物の低分子化が起こります。その後、水素が発生したり、低級脂肪酸が生成します。そしてメタンが発生する。このような異なったステップに分かれて処理が進んでいきます。この嫌気処理と好気処理を比較してみますと、まず、基質の濃度ですが、好気処理では3,000ppm以下が必要ですが、嫌気処理では5,000ppm以上と、非常に高い濃度のものが処理できる。変法によって、もっと高い濃度まで可能です。それによって容積負荷が高くなります。有機物の除去率としては好気に対して低くなっています。動力はほとんどいりません。騒音もありません。それから、余剰汚泥が少ないという特徴があります。メタンガスという有用物質の回収ができることが大きな特徴です。

嫌気分解の代表的なのが、UASB法です。反応槽を酸発酵槽とメタン発酵槽の二つに分けて行います。メタン還元菌は酸性では活性が悪くなるので、二つに反応槽を分けてメタン発酵を活発に行わせることがねらいです。メタン発酵菌は、ある程度の大きさを持ったグラニュールを使うことによって、汚泥と処理水の分離を非常に効率よく行うことができます。上部のセパレーターの形状を工夫することによって効率よくガスと汚泥と処理水を分けることが行われています。

3.6 活性炭吸着法

活性炭吸着法は、製紙排水の中では高次処理で行われています。表にあるように活性炭法はほかの処理法と比べ一番処理コストがかかります。ですから、非常に環境規制が厳しいところでの最終段の処理法として使われる技術です。製紙排水は非常に汚濁物濃度が高いので、すぐに活性炭が汚れてしまい、再生して使うことが絶対的条件となってきます。それで、反応槽を三つに分けて、常時二つを使い、その間に他の反応槽の活性炭は再生することが行われています。

概要

嫌気分解はエネルギー回収、高負荷排水、余剰汚泥少ないこともあり、SP廃液やエバドレン水といった製紙工程水の高濃度部分で普及しつつある。規制の厳しい海外では多くの工場で採用されているが、我国では排水濃度が比較的低いことなどにより、未だ適用範囲は限定されている。セトラ構造にも各社が工夫をこらしている。汚泥が増殖しにくいので運転後の立ち上がりが課題。

基本技術(嫌気性分解)

反応のステップ
①低分子化
②水素、低級脂肪酸生成
③メタン生成

	嫌気性処理法式	好気性処理法式
基質濃度(BOD)	5,000mg/l以上	3,000mg/l以下
容積負荷(kg/m ³)	10以上	0.2~2.0
有機物除去率(%)	90以上	99以上
動力	曝気ポンプ(動力小)	曝気ブロウ(動力大)
騒音	ほとんど無し	大(防音要)
余剰汚泥の発生量	10~20%	100%
有機物の回収	メタンガス回収	無し

有機物を、メタン、二酸化炭素、その他に還元分解副生ガスのエネルギー回収できるため、食品関連産業を中心に広く採用

UASB法 Upperflow Anaerobic Sludge Blanket

技術変遷のポイント
高い分解効率(2槽式)
処理水と汚泥分離良好
(グラニュール汚泥)

二段反応層による役割分担
自己造粒化した沈降性優れたグラニュール使用
ガスと汚泥、処理水の完全分離

3.6 活性炭吸着法

目的: 希薄排水からの溶存有機物除去

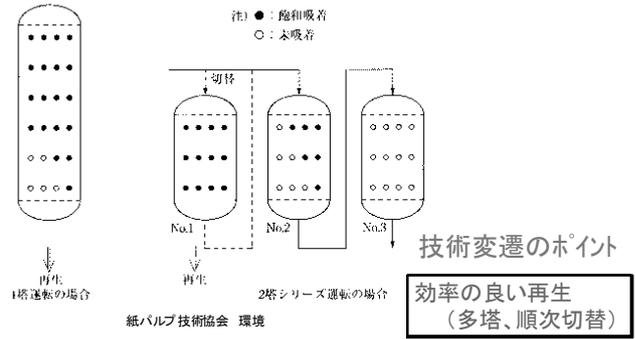
概要

排水規制が厳しい状況において、微量の溶存有機物や臭気まで除去可能な高次処理として実用化されている。コスト高い。

処理法	処理コスト(円/m ³)	COD除去率(%)	除去率当り平均コスト(円/m ³ ・%)
バント単独	5~15	30~60	0.22
特殊凝結剤	20~30	45~65	0.45
活性炭	30~50	65~70	0.59
酸化分解	30~60	80~90	0.53

紙パ技協誌 2009年12月

メリーゴーランド方式

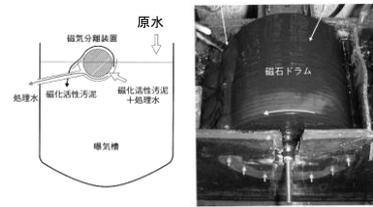


4. 新しい処理技術

次いで、新しい処理技術を三つ紹介します。まだ製紙業界では使われていません。一つが磁化活性汚泥法です。活性汚泥の課題の一つは、排水と汚泥を分離することです。汚泥に磁性を持った鉄粉をまぜることによって、磁石ドラムにその汚泥を付着させ、処理水と汚泥を完全に分離するという技術です。この課題は、少しでもこの汚泥が外に出ますと、鉄の補充をしなければいけない、あるいは、この鉄の上に繁殖する菌を育成することです。

4. 新しい処理技術 磁化活性汚泥

活性汚泥法の課題である処理水/汚泥の分離について、汚泥+強磁性フロックを形成させることにより、磁気による分離で効率よく行う。



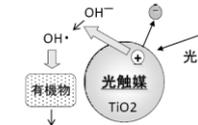
- 清澄な処理水が得られる
- 課題
- 余剰汚泥の減量
- 汚泥から鉄分の脱落
- 適した菌の育成
- ⋮
- ⋮
- ⋮

NTS 排水・汚水処理技術集成

次は、光触媒法です。紙製品の中でも光触媒が最近使われてきていると思います。光を当てることによって有機物を分解し、太陽光などの自然エネルギーを使える、難分解のものも強力な酸化力で分解できます。しかし、反応速度が遅いので、非常に大きな面積を必要とします。光が届かないところでは分解は起こりません。今のところ UV ランプなどを使っていますが、実用化もかなり先のことだと思います。

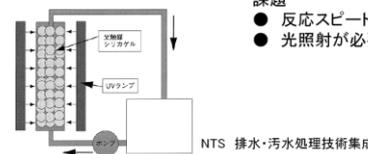
光触媒

光触媒に光が当たると、その表面で強力な酸化力が生まれ、接触してくる有機化合物や細菌などの有害物質を除去することができる。



- 自然エネルギー(太陽光)を利用した処理
- 強力酸化で難分解性有機物質が分解可能

- 課題
- 反応スピード遅く高濃度、大容量水処理に不適
- 光照射が必要であり3次元での反応効率低い
- ⋮
- ⋮
- ⋮

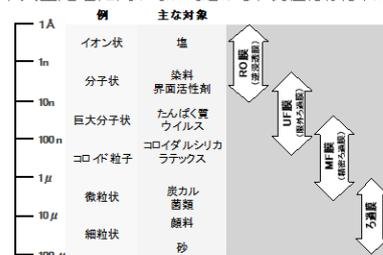


NTS 排水・汚水処理技術集成

3 番目が膜分離です。これは製紙排水の補助技術としてこれまでも使用されてきましたが、MF 膜、UF 膜、RO 膜と、処理する粒子の大きさに応じていろいろ使い分けられます。特徴は、高次処理に高い効果をあらわし、現状の設備へ付加することが可能で、非常に清澄な処理水が得られることです。しかし、コストダウン、処理容量のアップ、あるいは閉塞や寿命など操作性が課題として挙げられます。事例ですが、ニューウォーターシステムとしてシンガポールの下水处理場では非常に大規模な処理が行われていまして、RO 膜、FM 膜、UF 膜を使いこなすことによって下水を工業用水や飲料水にまで高めることが行われています。十数万トン/日の設備が来年稼動することになっています。

膜分離

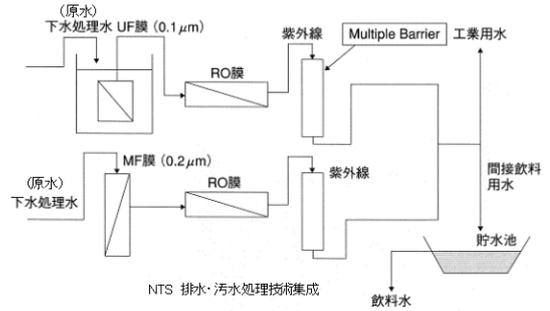
イオン領域の物質からコロイド状物質まで各種分離膜で対応できる。COD除去法として漂白排水への適用を中心に数多くの研究がなされてきたが、操作性の問題や大量処理に向かないなどから、現在は限られた範囲での利用になっている。



- 高次処理に高い効果
- 現状設備へ付加可能
- 清澄な処理水得られる
- 課題
- コストダウン、処理容量アップ
- 閉塞、寿命など操作性
- ⋮
- ⋮
- ⋮

膜(Membrane)の種類と分離対象

New Water System



シンガポールでは、膜処理技術を駆使して、下水から飲料水を製造

5. 将来の展望

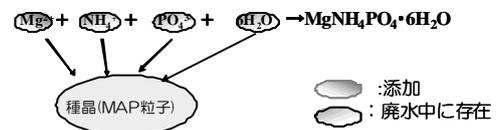
最後に、将来の展望を三つ話します。まず排水中の資源の回収です。例えば磷は、閉鎖性水域における水質総量規制の中で規制されていますが、中国から輸入している貴重な資源です。マグネシウムを添加することによって排水から磷を回収することが検討されています。さらに、好気汚泥は磷を吸収しやすく、嫌気汚泥は放出しやすいという特徴を使って、微生物による回収も検討されています。木材由来のいろいろな物質は、製紙排水の中に、非常に希薄ではありますが含まれています。このような有用物を回収することは将来おもしろいのではないかと思います。

2番目が、排水処理のアウトソーシングです。国際的に水メジャーが公共用水、排水処理にまで進出しています。その水処理のノウハウを持って、例えば運転維持管理のみを行ったり、既に設備を持っている製紙会社の設備を買い取ったりすることによって入り込んでいます。アウトソーシングのメリットは、コストを低減する、豊富な情報を持っている、あるいは蓄積技術によって個々の問題に対応できる等がうたわれています。日本の製紙業界にはなかなか入り込んでいないのは、日本の製紙産業が、多種多様な個別の問題に細かいノウハウを持って対応できているからではないかと考えています。

最後に、水処理施設の活用です。紙の生産量がもうあまり増えない、用水の原単位を下げる努力、あるいは排水処理の効率化を向上することによって、排水処理設備に余剰ができることが今後考えられます。北欧の例ですが、製紙メーカーが中心となり、製紙排水以外の、他の産業の排水を処理してあげることが行われています。日本の製紙メーカーも、もし余剰設備が将来できましたら、これまでに蓄積した工程水の変動に対応するノウハウを持って排水処理ビジネス、環境ビジネスに進出できたらということをご希望しています。以上、ご清聴ありがとうございました。

5. 将来の展望 排水中資源の回収

1. 閉鎖性水域における水質総量規制
2. 水処理施設におけるリン酸塩のスケール問題
3. リンは貴重な資源



MAP (Magnesium Ammonium Phosphate)
マグネシウム添加による回収法

微生物による回収法も検討されている

排水処理のアウトソーシング

水ビジネス ⇔ 水処理専門の水メジャーが成長
アウトソーシング事業の運営ノウハウ 重要

水処理設備について

- 水処理会社が
 - ・運転維持管理のみ行う 他
 - ・所有する(建設または買取) 方法あり

アウトソーシングのメリット

- ・排水処理コスト低減
- ・豊富な情報
- ・蓄積技術による対応 など

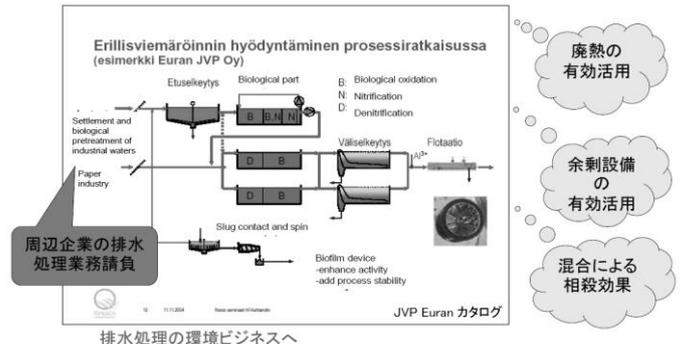
海外では既に製紙排水の処理に導入されている
 我国では製紙排水への適用進んでいないが
 「用水の供給」や「クローズド化(回収)された排水処理」で
 アウトソーシング化が進んでいる

課題

一般的な製紙排水では 放流水質の責任問題、それに伴う契約

水処理施設の活用

大規模排水処理設備を所有する ⇒ 技術進歩で排水処理に余裕できたら



質問 1： 水質汚濁物質の規制値に関し、日本の規制値は、諸外国に比べると大体どのぐらいのレベル、例えば非常に厳しいレベルなのか、中ぐらいのレベルなのか、どのぐらいのレベルにあるのでしょうか。

岡田 日本は水が豊富なこともあり、排水原単位がかなり違っています。ヨーロッパの、特に内陸国では、河川に流すことになるので、排水の濃度レベルは、外国に比べると日本のほうが緩やかな規制レベルにあると思われます。

質問 2： 日本の排水は BOD 値が高いとありました。これは、諸外国の処理水のほうがより高度な処理がされている、もしくは、より高度なシステムで処理され、処理費用としてもかかっていると考えてよいのでしょうか。

岡田 日本では主に沈殿処理か活性汚泥処理の二つで大体が済み、活性炭や単独の膜処理をつける例はあまりないと思います。日本では、工程内での処理は資源の有効利用からかなり行われていると思いますが、排水の処理ということになると、日本よりも外国のほうがより高度な排水処理を行っていると思います。海外では例えばマシン排水でも生物処理するのが当たり前というようなこともあります。

以上