参 考 資 料

紙パルプ産業における排水およびスラッジ処理の一例

加 茂 光 平*

Kohei Kamo

1. 紙パルプ産業の概要

日本の紙パルプ産業は典型的な用水消費型産業で、排水中に含まれる汚濁物質により各地で公害問題を引き起こして最近まで地域社会の批判を受けて来た。しかし、業界あげての技術改善・環境設備投資によって昭和51年6月の一律基準を各社が見事に達成、さらに改良を加えるべく努力しているのが現状である。

紙は文化のバロメーターといわれている通り、日本のGNPに比例して紙パルプの生産も著しく増加し世界有数の生産国になった。表1に最近の世界紙パルプ統計を示した。米国に次いで世界第2位を占める程になったが、原料である原木・チップは国内集荷だけでは不足し世界各国から輸入しており、その依存度は40%前後になっている。

衆知のように、紙パルプ産業は多量の水が必要で、その消費も最近工夫され改善されて来たとはいえ未だ用水多消費型の域を出ていない。上述の世界第2位の生産を可能にした要因のうち、わが国の豊かな水資源がこれを支えていたことは見逃せない。表2に各業種の用水量を示したが、化学・鉄鋼に次いで第3位の消費量で、全業種使用量の約16%に当る。その上、紙パルプ産業からの排水による汚濁負荷は全業種の中で、BODでは約37%、SSでは約17%という高い汚濁排水であるが、これは紙パルプ産業の用水は、冷却水としてでなく主として処理・洗浄用に消費されているためである。したがって工程内での回収がなかなか困難である。

工程から出された排水およびスラッジの処理は、その設備とエネルギーに莫大な費用が掛るばかりでなく、2次・3次の処理が必要となって来る。最近ではスラッジ処理を含めて各社が発生源対策（製造工程での内部処

表1 世界紙、パルプ統計

(1) 1976年紙・板紙生産量トップ20ヵ国 (単位: 千M/T)

	1975年	1976年		1975年	1976年
1.米 国	47,499	53,998	11.英 国	3,616	4,092
2.日 本	13,601	15,394	12.ス ペ イ ン	1,772	2,130
3.カ ナ ダ	10,066	11,967	13.ブ ラ ジ ル	1,688	2,010
4.ソ 連	8,583	8,916	14.オ ラ ン ダ	1,344	1,638
5.中 国	7,000	7,450	15.オーストリア	1,254	1,395
6.西 独	5,288	6,420	16.メ キ シ コ	1,185	1,331
7.スウェーデン	4,438	4,946	17.ポーランド	1,252	1,318
8.フ ラ ン ス	4,101	4,611	18.ノルウェー	1,164	1,257
9.フィンランド	3,994	4,550	19.東 独	1,205	1,204
10.イ タ リ ー	3,582	4,329	20.オーストラリア	1,070	1,189

(2) 1976年パルプ生産量トップ20ヵ国 (単位: 千M/T)

	1975年	1976年		1975年	1976年
1.米 国	39,279	43,928	11.ブ ラ ジ ル	1,369	1,564
2.カ ナ ダ	15,113	18,047	12.イ タ リ ー	1,093	1,212
3.日 本	8,693	9,518	13.オーストリア	976	1,047
4.ソ 連	8,723	9,079	14.ニュージーランド	921	1,038
5.スウェーデン	8,346	8,322	15.ス ペ イ ン	869	908
6.フィンランド	5,174	5,386	16.ポーランド	791	865
7.中 国	4,500	4,800	17.チェコスロバキア	747	822
8.フ ラ ン ス	1,760	1,824	18.イ ン ド	765	818
9.西 独	1,530	1,775	19.南アフリカ	822	806
10.ノルウェー	1,588	1,597	20.ルーマニア	689	700

(3) 1976年1人当たり紙・板紙消費量トップ20ヵ国 (単位: kg)

1.米 国	267.1(237.7)	11.オーストラリア	131.0(115.0)
2.スウェーデン	202.0(195.0)	12.ベルギー	127.0(102.0)
3.カ ナ ダ	195.0(158.8)	13.英 国	122.6(107.0)
4.デンマーク	160.0(134.0)	14.ニュージーランド	111.0(123.0)
5.オ ラ ン ダ	142.7(124.0)	15.フ ラ ン ス	105.0(89.4)
6.フィンランド	136.0(135.8)	16.オーストリア	94.6(79.0)
7.西 独	133.3(112.3)	17.東 独	80.5(80.9)
8.ス イ ス	133.0(110.0)	18.イ タ リ ー	76.4(61.1)
9.日 本	132.5(116.6)	19.アイルランド	76.0(71.0)
10.ノルウェー	132.0(135.0)	20.アイスランド	76.0(61.0)

(注) ()は1975年の数字

昭和53年2月9日受理

* 山陽国策パルプ(株)岩国工場 (〒740 岩国市飯田町2-8)
TEL 0827-22-1111

表2 各業種の用水使用量（昭和45年）

業 種	ボイラ	原 料	処理・洗浄	冷却・温調	その他	計
食 品	千m ³ /日 203	288	1,416	2,501	243	4,651
	(4.4)	(6.2)	(30.4)	(53.8)	(5.2)	(100)
織 維	229	—	1,385	2,374	310	4,298
	(5.3)		(32.2)	(55.3)	(7.2)	(100)
紙・パルプ	329	—	11,600	923	643	13,495
	(2.4)		(86.0)	(6.8)	(4.8)	(100)
化 学	627	52	2,352	25,871	762	29,664
	(2.1)	(0.8)	(7.9)	(87.2)	(2.6)	(100)
鉄 鋼	119	—	1,339	15,055	605	17,118
	(0.7)		(7.8)	(88.0)	(3.5)	(100)

理)や再用水の活用による節水などに努力しており、その効果が上って来ている。参考までに紙パルプの用水原単位の推移を表3に示した。

2. 紙パルプ産業における廃棄物の発生状況

紙パルプ産業は、前述のように「用水多消費型」産業であり、その産業廃棄物も多岐にわたっており、業界ではその対策に多額の投資と労力を消費しているのが現状

表3 紙パルプ用水原単位の推移（単位：m³/t）

	昭和34年	42年	45年	48年	49年
	紙パルプ技術協会原 単位委員会		紙パルプ廃水 処理基準書	産構審紙パ 部会答申書	紙パルプ廃水 処理指導書
USP	300	300	300	(高収率) 110	(高収率) 110
DSP	700	500~600	500	400	400
UKP	150	120	120	100	100
BKP	400	350	350	200	150
上質紙	195	130	(洋紙)180	(洋紙)140	150
新聞用紙	150	110	(洋紙)180	50	50
クラフト紙	155	100	(洋紙)180	(洋紙)140	140
段ボール原紙 (ライナー)	250	40~220		200	100
段ボール原紙 (中しん)	200	150			100

である。また一つの廃棄物対策が行なわれたにしろ量・質を変えて次の廃棄物を生み出すところに環境対策の難しさがある。

紙パルプ産業では、年間約 200 万トン（絶乾）の廃棄物が発生しているといわれており、大別すると有機物が約 80%、無機物が約 20% と推定される。工場によって、製造する品目・製造法などによってこれらの比率は変わるが、参考までに工程別の廃棄物原単位の一例を表 4 に

図1 紙パルプ工場における廃棄物処理の基本工程フローシート（その1）

表4 廃棄物発生原単位の一例

区 分	種 類	発生原単位(kg/t)	摘 要
パ ル プ	G P	8	クリーナー粕が主で、通常G Pton当り8~10kg。
	R G P	21	クリーナー粕及びチップウォッシュ水からのものが主である。
	C G P	6	廃液の濃縮燃焼によりC O D90%除去するとした。工程廃水は一貫工場製造工程で総合処理するものとして、そのスラッジ量は含まれていない。
	S C P	6	"
	U S P	21	廃液の濃縮燃焼によりC O D88%以上除去するものとし工程廃水は新聞用紙一貫製造工程で総合処理するものとしてそのスラッジ量は含めていない。
	D S P	39	排水のC O Dは120ppm目標とし、蒸解廃液漂白廃水のC O Dは95%以上除去することにした。なお、石灰を廃液の中和、廃水の凝沈処理に使用し、この石灰を、再生使用するものとした。
	L-BK P	43	廃水のC O Dは120ppm, S S65ppmを目標とした。
紙	古 紙 パ ル プ	137	脱墨のフローテーター、クラリファイヤーからのものが大部分である。
	新 聞 用 紙	29	クリーナー粕、プレスパート廃水などからのものが大部分である。
	ク ラ フ ト 紙	11	N-UKP100%使用の例で、クリーナー粕、クラリファイヤー沈降S Sが主である。
	上 質 紙	19	排水水質はC O D63ppmを目標。凝集沈殿によるスラッジが主である。
	コ ー テ ッ ド 紙	6	排水水量はC O D120ppm, S S80ppmを目標とした。
	薄 葉 紙	19	排水はクラリファイヤーで単純沈殿させるとして、排水の水質はC O D40, S S80ppmを目標とした。
	ティッシュペーパー	5	排水水質はC O D25, S S25ppmを目標とした。
	段ボール原紙		
	ラ イ ナ ー	80	排水水質はC O D110, S S80ppmを目標とし、パルプ30%古紙70%を使用した例である。
	中 し ん	81	排水水質はC O D110, S S80ppmを目標とし、古紙100%を使用した例である。
一貫製造	白 板 紙	27	排水水質はC O D80, S S40ppmを目標とし、表原料は購入パルプ、表下原料は脱墨精選済みパルプ、中裏原料だけを古紙処理設備を備えたものとした。
	新 聞 用 紙		
	調 木 工 程	267	原料はN, L丸太とし、N材は湿式バーカー、L材は乾式バーカーで皮はぎすることとした。
	そ の 他	33.4+ α	原料はR G P40%, C G P40%, S P20%の場合とした。但し、排水処理施設からのスラッジなどは含まない(α 分)。
	上 質 紙	62	購入チップからの一貫工場とした、C O D120, S S80ppmを目途とした。
	段 ボ ール 用 紙	69	木材チップを原料として、ライナー、中しんを併抄している工場の例であり廃棄物の約50%は、チップダストである。

図2 紙パルプ工場における廃棄物処理の基本工程フローシート (その2)

示した。工場から発生して来る各種廃棄物は、「廃棄物処理法」に基づいた処理が行なわれている。多量に発生する廃棄物は、工場によりその処理方法に特色があるが、比較的一般の基本処理フローシートを図1に示した。

図1は、原木をチップに加工する際発生する樹皮・木片・ソーダスト類の主として有機系の廃棄物と、KP工場の薬品回収工程から発生するグリット・ドレッグスの主として無機系の廃棄物の処理方法を種類別に示している。これらは、工場の燃料の一部として焼却されている例が多い。

図2は、環境規制に関するSSとCODに関連するもので、精選工程や調成工程から流失するパルプ粕で主として有機系の廃棄物と、精選工程や晒白工程から発生する排水に溶解した有機成分とセルローズ分の処理方法を種類別に示した。

この中で、排水処理設備は、工場による廃棄物の種類、量、質によってもっとも効果的で経済的な方法を選定する必要がある。

3. 廃水処理技術の動向

(1) BOD・CODの発生要因

排水処理については、製造する品種、品質、工程などによって各社一律に述べるができない。そこでわが国で作られている代表的なBKP(Bleached Kraft Pulp)

を例にとることにしたい。図3はBKP製造工程フローシートの一例である。

パルプの主原料である木材は、セルローズ・ヘミセルローズ・リグニンの3大要素から構成されており、紙パルプ産業はこのうちのセルローズ分を抽出利用しているが、表5に木材の化学的組成の代表例を示した。

蒸解工程では、薬品でリグニンを溶解させ、洗浄工程でできる限り高い濃度で抽出して回収工程に送り燃焼処理する。精選工程を経たセルローズ分は、若干のリグニン分が残っており、漂白工程で塩素・苛性ソーダ・ハイ

表5 木材の化学的組成

(単位%)

成分	樹種	針葉樹(N材)	広葉樹(L材)
セルロース		50~55(52)	47~53(51)
リグニン		28~32(30)	18~22(21)
ヘミセルロース		13.2~17.3(15.25)	20.5~24.6(23.55)
{	ペンタサン	8~10(9)	20~24(23)
	ヘキササン	5~7(6)	0(0)
	ガラクトン	0.2~0.3(0.25)	0.5~0.6(0.55)
樹脂		2~3(2.5)	3~4(3.5)
灰分		0.1~0.15(0.12)	0.1~0.15(0.12)

[注] *()内は代表値

図3 B K P 製造工程

表6 BKP工場漂白工程からの汚濁発生

発生汚濁種類		多 段 漂 白				計
		C	E	H	DED	
色度 (pt)	kg/T-pulp	1	124	5	1	132
	全体での%	1	95	3	1	100
C O D	kg/T-pulp	5.5	27	3	3.5	39
	全体での%	14	69	8	9	100
B O D	kg/T-pulp	4	6	1	1	12
	全体での%	34	50	8	8	100

注) C:塩素化、E:アルカリ処理、H:ハイポ処理、D:ClO₂処理

ポ・二酸化塩素などの薬品で除去精製されて BKP になる。この工程は洗浄用に清水または再利用水が利用されているため、発生する排水の濃度は薄く、リグニン分・セルロース分その一部は分解して誘導体となって溶出している。

このように汚濁の主原因は天然の木材の主成分であるリグニンとヘミセルロースで、このうち好気性微生物の増殖に有利なヘミセルロースやその分解物の糖類が BO

表7 木材成分の排水 COD 並びに色度に対する寄与率(%)

木 材 成 分	樹 種	C O D		色 度	
		SP	KP	SP	KP
アルコール・	アカマツ	3.4	12.7	15.5	8.8
ベンゼン抽出物	シラカバ	0.2	13.3	22.5	4.3
リ グ ニ ン	アカマツ	62.6	47.7	74.6	59.4
	シラカバ	59.6	48.2	70.6	68.9
ヘミセルロース	アカマツ	27.8	27.3	8.0	24.4
	シラカバ	36.2	34.3	3.9	24.2
セ ル ロ ース	アカマツ	6.2	12.3	1.9	7.4
	シラカバ	4.0	4.2	3.0	2.6

D の主たる要因で、リグニンまで含めたものが COD と考えることができる。参考までに、漂白工程のうち汚濁発生の一例を表6に示した。

また、表7に木材成分の排水 COD および色度に対する寄与率を、表8にパルプ品種別の COD 発生量を示した。

表8 パルプ品種別の収率と COD 発生量

項 目 パルプの種類	製品収率 (%)	COD発生量 (kg/パルプt)	BOD発生量 kg/パルプt
機械パルプ	RGP 92~94(93)	10~ 18(14)	8~ 12(10)
中 間 的	CGP 80~90(84)	210~ 300(250)	120~180(140)
パ ル プ	SCP 65~80(75)	250~ 700(400)	120~350(200)
化 学 パ ル プ	USP 65~70(67)	240~ 350(300)	150~210(180)
	UKP 40~55(52)	600~ 810(760)	330~450(425)
	BKP 37~53(48)	620~ 880(800)	350~500(455)
	DSP 35~40(36)	900~1,400(1,200)	450~700(600)

〔注〕 ()内は代表値を示す。

表9 排水処理技術一覧

処理法		第 1 グ ル ー プ		第 2 グ ル ー プ			
項 目	濃 縮 燃 焼	凝 集 沈 殿 凝 集 浮 上	活 性 汚 泥	湿 式 燃 焼	活 性 炭	合 成 樹 脂	逆 浸 透
内 容	通 常 法 流 動 焙 焼 水 中 燃 焼 熱 分 解	Ca	空 気 法 $\left\{\begin{array}{l} \text{標準} \\ \text{変法} \end{array}\right.$	湿 式 炭 化	2 次 処 理	イオン交換樹脂	高 圧 (逆浸透)
		Mg(+Ca) Fe(+Ca) Al Al(+電解)					
制 限 項 目		COD<500ppm } 2,000ppm (Ca)	freeCl<0.1pp <0.1ppm Cl ⁻ <1% 20<BOD<500 ppm pH=6~8 21000	Cl ⁻ <500ppm COD>20,000 ppm CaO<100ppm	COD<50~ppm pH≤7 S S 除去(ろ過)		COD <1,000ppm pH=3~9 S S 除去(ろ過) Caスケール
特 徴	・回収濃度が高 いほど有利 ・無公害パルプ 向流洗浄など のプロセスに 必要	・処理対象は高 分子有機物 ・脱色効果あり ・Caの場合は P、NH ₄ ⁺ 除去	・処理対象は低 分子有機物 ・脱色効果なし	・完全クローズ で2次公害少 ない	・糖類、無機物 に対して効果 なし ・脱 Cl ₂ に効果 あり	・脱CODより 脱色効果が著 しい ・B K P薬品 回収に有効	・脱CODより も脱塩効果
除 去 率 (%)	$\left\{\begin{array}{l} \text{COD} \\ \text{BOD} \end{array}\right.$	98 96	60 20	20~80 >80	90	80 70 50	90

(2) 処理計画で考慮すべき事項

工場から排出される排水を真水にする方法はあっても残念ながら経済的にも技術的にも不可能に近い状況である。したがって、処理計画を立てる場合、現在確立している処理方法の選定・組合せについては、排水の質・量を充分チェックして、ピーカースケールのテストから得られるデーターを検討して決定する必要がある。

そこで、処理計画を立てる場合、考慮すべき項目を列記してみると次のようになる。

- A) 除去すべき物質は何か……有機物・糖類・無機塩類などをどの程度カットするのか。有機物では高分子のものか、低分子のものか。
- B) 効果を期待する項目は何か……COD, BOD, 色度, SS がこれに当る。
- C) 処理適正濃度があるか……現在確立している処理方法は、ある場合には適正濃度範囲があるので注意が必要と思われる。
- D) 処理方法の組合せをどうするか……いかなる方法もスラッジの発生を招くため、当然後処理すべきスラッジ量の多少を検討する必要があり、環境対策のエネルギー費が大きく左右されることになる。
- E) 処理水の用途はどうか……大部分の工場では、河川または海に放流し、 reuse 水として回収している所は少ないが将来は考慮すべきことになろう。放流する場合 pH には注意すべきであろう。

現在まで開発研究され、実際に稼動している排水処理の技術を参考までに表 9 に示した。

4. 各種排水およびスラッジ処理法

表 9 のうちで、紙パルプ産業で代表的な凝集沈殿法と活性汚泥法についてその内容を説明して参考に供したい。

(1) 凝集沈殿法

この方法は、薬品注入によって生成するコロイド状物質のフロック生長により、排水中の SS ばかりでなく、COD や色度成分になっているリグニン溶解物質を除去する代表的な処理方法で、紙パルプ工場で水質管理上多く採用されている。

凝集剤として投入される薬品には、高価な有機性の高分子凝集剤はできるだけ補助的に使用し、多くの工場では、無機性凝集剤を主力として使用するのが普通である。一般には、石灰、硫酸バンド、ポリ塩化アルミ、活性シリカが使用されるが、沈降除去するスラッジの量・質を考えて脱水装置の選択が重要になる。

凝集沈殿装置には、排水と凝集剤を混合・かくはんしてクラリファイヤーに導きフロック生成の促進・沈降濃縮を行なわせるわけで、色々の形式があるが、その一例を図 4 に示した。凝集反応は pH が大きい因子であるため、この管理が必要である。

表 10 に KP 工場の総合排水を硫酸バンドと高分子凝集剤を使用してクラリファイヤー処理した例を示す。

(2) 活性汚泥法

この方法は、好気性微生物を利用したもので BOD 成分を除去するのに有効な方法で、BOD 成分の消化を早めるために栄養剤の添加・空気吹込み・pH 管理・水温調節で排水に馴致させた微生物の管理が必要である。

図 5 に一般的な活性汚泥処理のフローシートを示したが、紙パルプ排水の場合、曝気槽での泡立ちの問題があり消泡剤または水スプレーが必要である。

紙パルプ排水の活性汚泥処理の結果の数例を表 11 に示した。これからも分るように BOD の約 90% は除去できるが、COD は半分程度の除去率になっている。

最近では、空気の代りに酸素を使用した密閉式の曝気槽を使用する方法を採用する工場ができたが、これは滞

図 4 凝集沈殿装置の 1 例

表10 凝集沈殿クラリファイヤーの運転実績例

薬剤注入率		原 水				処 理 水			
硫 酸 パン土	高分子 凝集剤	pH	色度	S S	COD	pH	色度	S S	COD
ppm	ppm		(Pt)	ppm	ppm		(Pt)	ppm	ppm
200	12.5	6.5	400	255	181	6.5	80	14	72
200	12.5	6.1	800	268	232	8.6	200	13	91
200	12.5	8.6	400	174	179	7.8	70	7	60
200	12.5	7.0	900	395	304	7.7	90	4	60

図5 活性汚泥処理装置フローシート

表11 紙パルプ排水の活性汚泥処理結果例

	B O D			C O D		
	原廃水	処理水	除去率	原廃水	処理水	除去率
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%
K P末晒精選廃水+晒アルカリ廃水	210	19.5	90.7	458	325	29.0
K P晒塩素廃水+晒アルカリ廃水	136	10.1	92.6	391	221	43.5
K P末晒精選廃水+抄紙白水	198	31	84.3	161	58	64.5
K P晒廃水+抄紙白水	332	20	94.0	392	148	62.2
S C P廃水+古紙パルプ廃水	131	9.4	92.8	133	75	43.7
(K P + S C P + G P + 古紙パルプ)総合廃水	131	12.7	90.3	389	138	55.0
S P末晒精選廃水	487	10	97.9	550	235	57.3
S Pエバポレータードレン+晒アルカリ廃水	4,150	107	97.4	1,790	684	61.8

留時間の短縮、余剰汚泥の減少、汚泥の沈降性が良好、臭気の発生減少など設備面でコンパクトにできる利点がある。

(3) スラッジの後処理（一番の問題）

系外処理の代表的な凝集沈殿法と活性汚泥法の大略を述べたが、当然スラッジ処理の問題が発生して来る。各工場では、このスラッジを燃焼するか埋立てにするかその有効利用に頭を悩ましているのが現状である。いずれの場合をとっても、紙パルプ産業から発生するスラッジは含水率が高く、95～98%になっており二次的な濃縮装置をつけたとしても精々50～75%の含水率である。脱水手段が排水処理関係の最大のネックであるといっても過言でない。このため、各社はケース・バイ・ケースで対処しているのが現状で、ノウハウ的な問題もからみ記述しにくい。

紙パルプ産業で使用されている脱水機について、紙パ技術協会がアンケート調査した結果があるが、遠心脱水機・スクリーンプレス・ベルトフィルターが大半を占め

ており、その評価もスラッジの種類が異なるため一概には評価できない。

5. 結 語

紙パルプ産業の排水およびスラッジ処理の一端を述べたが、これは産業廃棄物としての排水の「系外処理」であり、環境汚染の問題から規制値を守るためにはこの系外処理を強化せざるを得ないのが現状である。このための設備投資や費用は、スラッジや余剰汚泥の後始末を考えると莫大なものであり、系外処理もさることながら系内処理、発生源対策としての工程のクローズド化が急務である。このための技術開発がすでに行なわれているが、なおスラッジは排出せざるをえず、スラッジ処理技術の体系化がぜひとも必要である。

本稿をまとめるに当たり、当社取締役環境保全部長 岡野昌生氏、環境保全部主席調査役 平松哲也氏に色々お世話になったことを感謝したい。

粉体関係の国際会議情報

1979年4月のエアロゾルシンポジウムについて

来年4月の始めハワイにおいて日米の化学会が化学会議を大々的に開催し、何千人かが集まるようであるが、その機会にアメリカ側で次の3つのエアロゾルに関するシンポジウムが開かれます。

1. Biological Studies of Environmental Pollutants.

- ・ Part 1: Aerosol Generation and Exposure Facilities. (4月2, 3日)

世話人: Assoc. Prof. K. Willeke

University of Cincinnati Department
of Environmental Kettering Laboratory
Cincinnati, Ohio, 45267

- ・ Part 2: NO_x について

(4月4, 5日)

世話人: Dr. S. D. Lee

Health Effects Research Laboratory
U.S. E.P.A., Cincinnati, Ohio, 45268

2. Sampling and Analysis of Ambient Aerosols, (日付は不明)

世話人: Dr. G. Gordon

University of Maryland, Department
of Chemistry, College Park, Maryland,
20742

プログラムにつきましては詳しい情報が入りしだい、お知らせいたします。

〔編集事務局〕