

**製紙産業の発展に大きな影響を与えた技術：  
環境問題が製紙産業に求めた技術開発（1）：KP 漂白廃水の有機塩素化合物**

紙パルプ技術協会 製紙産業技術遺産保存・発信

**なぜ過去を振り返るのか**

現在の日本の製紙産業の環境に対する取り組みは世界の製紙産業の中でも高い水準にある。しかし、歴史的には、製紙産業は環境汚染産業とみなされた苦い記録があり、それを克服するための膨大な努力と技術開発があった。あらためてそれを振り返ることで、今後の環境への取り組みの参考とした

**1 . KP漂白廃水の有機塩素化合物**

KP は、薬品とエネルギー回収を組み込んだ閉鎖系のプロセスと言われるが、実は漂白廃水は回収されていない。KP は塩素系の漂白剤を使用するので、漂白廃水に塩素系の有機物が存在し、これが大きな社会問題となった。いわゆるダイオキシン汚染である。アメリカでは現実に汚染があり、漁業禁止等の処置がとられたが、日本では起きていなかった。この大きな違いがなぜ生じたのか。それを紹介することで、両国のパルプ化への取り組みの違いを考えてみたい。

**1.1 アメリカにおけるダイオキシン汚染とその取り組み**

アメリカの EPA（環境省に相当）が、1993 年に、製紙産業に対し、数百ページに及ぶ廃水・大気の大環境規制案を提出した。これはクラスタールールと称され、当時として画期的な考えとされた。環境問題は、クラスター（ぶどうの房のようにいくつかのものがまとまった状態）として廃水・大気をまとめて考えるべきとするものであった。

このなかで、ダイオキシン汚染について報告している。詳細は表 1 に示すが、1983 年から問題となり、10 年わたる実態調査で汚染が明らかとなり、これらの集大成として 1993 年 12 月にいわゆるクラスタールールが提案された。

この規制案は、排水口出口の AOX の規制値が当時として非常に低いことから（提案では最大 0.267kg/kkg、その後規制としては 0.40kg/kkg となる）衝撃を与えた。しかし規制の本質は、この AOX の値にあるのでない。まず、製紙工場の漂白プラントにおいて経済的に利用可能な技術（BAT：Best Available Technology Economically Achievable）の使用を求め、そのパフォーマンスの指標として、漂白プラント排水に有機塩素化合物の規制値を設ける。さらに、その追加的な規制として総排水出口の AOX を規制する。

BAT として、酸素脱リグニンの採用、または、ECF の extended delignification に置き代えることを求めている。

これは、規制値を満足していれば工場内のことは工場に任せるとするのではなく、環境のために採用すべき製造プロセスを指定し、かつ、工場内のプラントの出口で規制値を設けていることで、まったく新しい環境規制の方式であった。

もう一つわかることは、明らかにアメリカではダイオキシン汚染を起こしていたことである。とこ

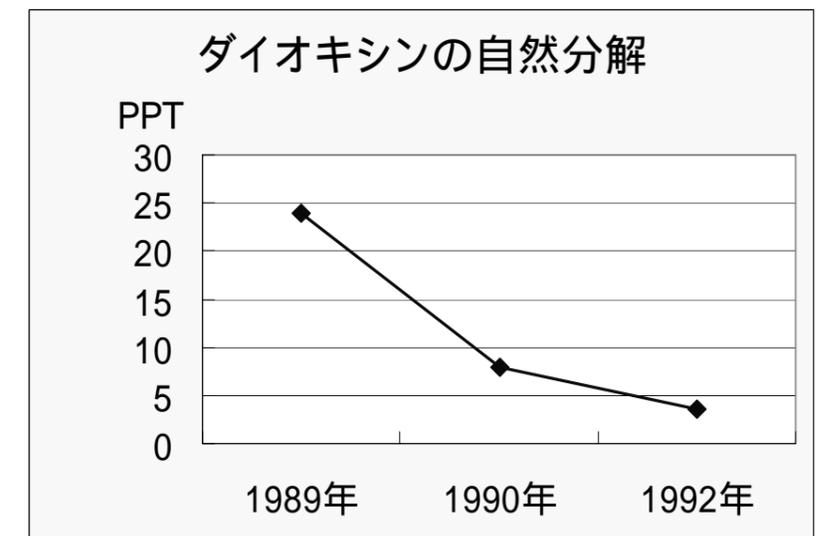
**表1 アメリカにおけるダイオキシン汚染調査**

1983	ダイオキシンの汚染状況を調査し、製紙工場の下流域の57%において、魚に2,3,6,8-TCDDを検出した。1985年に結果を報告。
1985	さらなる調査でスラッジ中にも存在し、KP工場においてそのレベルが高かった。
1986	Five mill study と称し、EPA と製紙産業は5つの工場を選び、6ヶ月にわたりfull scale sampling を行い調査した。その結果、すべての工場のスラッジと4工場の廃水からTCDD及びTCDFを検出した。その結果が1988年報告されている。
1988	ついでEPAと製紙業界は104工場について調査を行い、その実態を把握した(1990年報告)。1988年より、EPA は魚の組織がダイオキシンに汚染されている実態を調査。その結果、パルプ漂白に塩素を使用している工場がTCDD及びTCDFの汚染源のように見えた(1992年報告)。
1991	EPA はダイオキシンの危険性の再評価をはじめた。
1993	この時点で、29ヶ所の漂白パルプ工場の近くで、23の地域でダイオキシンに関連して魚類の禁止や勧告が出されている。
1993	製紙工場の大気・廃水に関する規制を提案(いわゆるクラスタールール)

**表2 ダイオキシンの自然分解の例**

ミシシッピ州のリーフリバー(Leaf River)では、近くの工場が1989年と1991年に設備を改善した結果、周辺の魚のダイオキシンが以下のように減少した。

1989年	24ppt
1990年	8ppt
1992年	3.6ppt



るが、日本では製紙工場周辺でダイオキシン汚染は起きていなかった。

## 2.2 日本の例

日本では1990年突然にダイオキシン汚染が取り上げられた。それまで、日本の製紙産業では、ダイオキシン汚染がアメリカで10年にわたって調査されていることを知らなかった。そして、1991年、環境庁が急きょ製紙工場周辺の調査を行い、製紙工場周辺の魚介類及び大気の調査結果は一般環境の魚介類及び大気の調査結果とほぼ同じレベルと判断され、人の健康に被害を及ぼすとは考えられないとされた。(表3)

## 2.3 なぜ違いが起きたのか

アメリカでの1980年代のKPは、針葉樹で酸素漂白のない漂白であり、日本では、広葉樹のKPで酸素漂白つきの漂白であった。おそらく、未漂白パルプ当たりの塩素使用量は、アメリカは日本の3-4倍であったろう。さらに、アメリカではCOD規制が多く、廃水を単なる曝気処理で放流している場合が多かった。一方日本では、凝沈処理が普通であった。このため、アメリカの方が有機塩素化合物を工場外へ多量に排出していたと推測される。

それとも一つ幸いしたのは、ダイオキシンは自然界で速くはないが分解することである。たとえば、先のクラスタールールの報告を表に示す。この自然分解を勘案すれば、日本でも、1980年代初めにはアメリカほどでないが、有意な汚染を起していたと推測される。それが1980年代の酸素漂白の導入により、それまで蓄積していたものが一気に減少したと考えられる。

日本では、偶然の僥倖で汚染をまぬがれたわけであるが、ここに環境問題の恐ろしさがある。その対策は、言い古され、かつ、あたりまえのことであるが、十分な情報収集と、真摯な環境対応であろう。

## 2.4 スウェーデンはどうであったか。

スウェーデンでは、1960年代からバルト海の汚染が問題になり、1970年にSSVL(Swedish Forest Industry Water and Air Pollution Research Foundation)を設立し、環境問題の研究を組織的に行ってきた。このR&Dの成果により環境対策を進めてきた。そして、産業としては15年間に9 billion S.Krの環境投資を行ってきた。1990年代に入ってから、大手需要家のドイツからの要求でTCF,ECFへの転換を進めている。SSVLは環境問題を科学的に研究する手法の確立にも力を入れておりその成果が報告されている。特に、環境への影響を段階的に順次実験室的なシミュレーションで予測する方法の確立に取り組んでおり、その成果が期待される。ダイオキシンを含む有機塩素化合物をAOXで代表することには疑問も出されているが、スウェーデンでは、ダイオキシンを特に取り上げるのではなく、有機塩素化合物を削減することに共通の理解をもっているようである。(2000年の資料)

(まとめ：飯田清昭)

表3 日本におけるダイオキシン調査

環境庁は急きょ製紙工場周辺のダイオキシンを調査し、1991年11月にその結果を公表した(環境庁:「紙パルプ製造工場に係わるダイオキシン緊急調査」結果について(Nov.25, 1991))。それによれば、製紙工場周辺の魚介類及び大気の調査結果は一般環境の魚介類及び大気の調査結果とほぼ同じレベルと判断され、人の健康に被害を及ぼすとは考えられないとされた。その測定結果を次に示す。ダイオキシンの数値は毒性当量換算値である。

	パルプ工場周辺水域 魚介類	一般水域 魚介類
検体数	75	35
検出範囲	0.0 - 3.5 ppt	0.0 - 8.5 ppt
平均値	0.23 ppt	1.19 ppt

さらに、1993年に化学物質環境安全性総点検結果(平成6年12月5日環境保健部環境安全課)を発表したが、この調査では、製紙工場はもはや特定の発生源とは見なされず、一般として扱われている。

結果として、製紙産業はダイオキシンの汚染源ではないが、業界としてはさらなる発生源対策として平成2年から平成9年の間に以下の対策を取っていた。

平成2年11月以降の対策 総額390億円

蒸解工程での脱リグニン、洗浄の強化	30	工場
酸素漂白新設または強化	20	
塩素段での二酸化塩素の一部置換	11	
排水処理強化	15	
汚泥焼却設備設置または強化	5	

このように、環境対策に前向きに取り組んでおり、決して、ダイオキシン汚染の源ではない。