

(12) 工場排水の分類——下水道への受け入れに関して——

東京大学工学部

"

藤沢市下水道課

○中西 準子

益永 茂樹

杉淵 武

1. はじめに

下水道において工場排水をどう扱うかは、公害対策の上で重要な意味を持っている。この問題を考えるため、1975年4月から翌年2月にかけて横浜市にある工場において聞き取り及び採水調査を行ない、その結果に基づいて工場排水の分類を試みたので報告する。

2. 工場調査

表一 1 調查工場一覽

調査工場は横浜市にあり、水質汚濁防止法に規定される特定施設を持つ17工場で、調査時点では、内15工場が排水を直接河川に放流し、残り2工場が下水道に放流していた。調査工場一覧を表-1に示した。分類記号は後に述べる工場排水の分類によったものである。

2-1. 水使用の実態

各工場の水源と水使用の内訳を表-2にまとめた。使途のうち一番多い冷却水についてその使用実態を調べると、十分に循環使用されている工場は僅かで、すべての工場が完全

工場付号	分 類	業 種 (製 品)	特 定 施 設 米	従 業 員 (人)	敷地面積 (ha)
T-1	B-6	食品(清涼飲料水)	10-ロ,ニ	269	1.9
T-2	B-5,6	食品(かまぼこ,はんぺん)	3-イ,ロ,ハ,ホ	150	1.1
T-3	B-6	食品(パン)	8,13	563	1.75
T-4	B-4,6	食品(米糖油)	12-イ,ロ,ハ,ニ	49	1.0
T-5	B-6	クリーニング	67	60	0.08
T-6	B-3,5	化学(化粧品)	46-イ,ロ	300	4.13
T-7	B-4	化学(樹脂)	33-イ,ロ,トリ	960	8.2
T-8	B-3	化学(ゴム製品)	34-ロ,ハ	2,000	15.0
T-9	B-4	化学(塗料)	33-イ,ロ,リ	380	11.0
T-10	A-2	化学(アセチレン)	28-イ	30	0.57
T-11	A-1	化学(カドミ製品)	63-ハ,65	360	0.85
T-12	A-1	メッキ	65,66	58	0.49
T-13	A-1	機械(カメラ)	53-イ,65,66	1,000	3.3
T-14	A-1	機械(テレビ)	65,66	3,000	22.0
T-15	A-1	機械(通信機)	65,66	3,000	29.0
T-16	A-1	電気(電線)	63-イ	1,700	38.0
T-17	A-2	窯業(軽量骨材)	54-イ,ロ,ハ	240	4.4
				14,119	142.77

＊ 水質汚濁防止法施行令の別表第一の付号で表示した。

に循環使用すれば、1/3以下で足りることがわかった。製品処理水と洗浄水は汚濁物を含む排水となるので、この水を節約することは単に節水の効果にとどまらず排水処理をも容易にする。しかし、工場内をみると向流洗浄方式などの採用はまだ一部に過ぎない。工場における生活用水の管理は全くなされていないようで、従業員1人当りの使用量が1日に1 m³にも達する工場が存在する。このように、工場での水管理はまだまだ改善される余地が残されており、排水処理対策の前に再検討がなされなければならない。

2-2. 無機系工場の排水処理と物質収支

有機性排水の処理からの汚泥は焼却などにより、その汚濁負荷をゼロに近づけられるが、無機性排水からの汚泥は減少させることができない。この意味において、無機性排水処理では処理水質の向上を目指すだけでは理想的な公害対策とはならず、汚泥の発生しないようなプロセスにしていくことが根本的解決である。

今回調査した工場のうち4工場（T-12～15）にメッキ工程があるので、ここではメッキ工程を例として検討する。現在採用されているメッキ排水対策としては大きく分けて次の3通りがある。

A方式：排水を含有金属別にイオン交換処理して循環使用し、イオン交換樹脂の再生廃液からは金属の回収をする。今回の調査工場ではこの方式はなかった。

B方式：排水をイオン交換処理して循環使用し、イオン交換樹脂再生廃液は凝集沈殿処理して放流する。調査工場ではT-12がこの方式であった。

C方式：排水を系統別に凝集沈殿して放流する。調査工場のT-13～15がこの方式。

同一の作業をする場合に放流する水量は、AとBがCに比べて大巾に少なくなる。T-12では、放流量が

表－２ 各工場の水使用実態

工場付号	総使用水量 m ³ /日	用 水 源 m ³ /日			使 途 m ³ /日						従 業 員 の 生活用水 m ³ /人・日
		上 水	工業用水	井 戸 水	冷 却	洗 浄 製品処理	原 料	空 調 ボイラ	生 活	不 明 そ の 他	
T-1	1,300	1,300	0	0	90	790	260	60	100	0	372
T-2	600	600	0	0	100	400	0	0	100	0	667
T-3	450	450	0	0	0	300	80	20	50	0	89
T-4	250	250	0	0	50	24	6	150	20	0	408
T-5	175	50	0	125	125	50	0	0	0	0	0
T-6	196	196	0	0	38	29	7	7	115	0	383
T-7	2,510	510	2,000	0	800	800	210	250	170	280	177
T-8	5,200	900	4,300	0	1,850	225	0	645	400	2,080	200
T-9	830	300	530	0	550	10	0	40	145	85	382
T-10	411	0	0	411	341	0	65	0	5	0	167
T-11	90	90	0	0	10	10	0	0	70	0	194
T-12	118	40	0	70	0	23	0	25	70	0	1,207
T-13	985	985	0	0	98	754	0	35	98	0	98
T-14	2,665	1,665	1,000	0	670	385	0	45	1,565	0	522
T-15	4,060	2,300	1,750	0	750	1,940	0	250	1,110	0	370
T-16	1,500	650	850	0	710	0	0	?	125	665	74
T-17	1,893	0	0	1,893	1,059	74	311	317	132	0	550
合 計	23,223	10,286	10,430	3,499	7,241	5,814	939	1,844	4,275	3,110	303

15 m³/日であるのに対し、工程での循環水量は 400 m³/日であった。排水基準が濃度規制である現在、Cの方がAやBより多くの汚濁負荷を放流しがちである。汚泥の発生量については、Aが基本的にゼロに近く、BとCは同じ程度になる。しかし、現実にはBがCより少なくなる傾向にある。さて、調査工場の実例について検討しよう。表－3にメッキ工程と排水処理における金属に収支を示した。使用金属量は薬品としての補充量(a₁)と電極としての補充量(a₂)の和となる。金属の行先は、製品へ(b₁)、排水処理で汚泥へ(b₂)、放流水に残存(b₃)の3つになる。これらのうち、a₁、a₂は信頼性が高いが、bの方は精度が落ち特にb₁の信頼性が低い。放流水中に漏出していく金属の割合(b₃/Σa_i)は、NiについてみるとB方式のT-12が0.03%であるのに対し、C方式のT-15は0.74%で一桁違っている。次に汚泥移行率(b₂/Σa_i)を比べてみると、同様にNiについてT-12が7.3%に対し、T-15が33.7%と、やはりC方式で高くなっている。他の金属については比較できないが、いずれの場合もNiのB方式での値より高くなっている。以上の検討からも、C方式よりB方式の方がよいプロセスであり、また、A方式の方がさらによいことは明らかである。環境への汚濁負荷のより少ないプロセスの採用を押し進めるために、ここに使った放流水への漏出率や汚泥移行率、また、それらを合わせた排水移行率などを指標とした規制が検討されるべきである。

2－3. 有機系工場の汚濁負荷

有機系工場のBODと油分(n-ヘキサン抽出物)の処理前の発生負荷を表－4に示した。同時にその負荷の人口当量と人口密度当量を求めている。食品工場(T-1～3)の負荷が大きいことや、クリーニング(T-5)の人口密度当量が高いことがわかる。工場からの汚濁負荷は、住宅地とは桁違いに大きいことが多い。

表－3 メッキ工程と排水処理における金属の収支

次に、この発生負荷が原料のどのくらいになっているか、すなわち原料の排水移行率を検討した。原料をBOD等の水質指

金 属	処 理 方 式	工 場	インプット(kg/月)			アウトプット(kg/月)				汚泥移行 率 (%) $\frac{b_2}{\Sigma a_i}$	放流水へ の漏出率 (%) $\frac{b_3}{\Sigma a_i}$	排水移行 率 (%) $\frac{b_2+b_3}{\Sigma a_i}$
			薬 品	電 極	合 計	製 品	汚 泥	放 流 水	合 計			
Ni	B	T-12	151	1,238	1,389	1,773	102	0.36	1,875	7.3	0.03	7.3
	C	T-15	400	637	1,037	429	349	7.7	786	34	0.74	34
Zn	C	T-14	0	550	550	385	74	12	471	14	2.18	16
	C	T-15	47	1,381	1,428	938	597	6.6	1,542	42	0.46	42
Cu	C	T-14	254	60	314	116	157	7.8	281	50	2.48	52
	C	T-15	46	56	102	246	68	6.6	321	67	6.47	73
Cr	C	T-15	348	0	348	50	445	3.9	499	128	1.12	129

標に換算して求めたのが表－５である。排水移行率が１～２％の工場が多いが、生産管理の悪かったＴ－２では高く、容器洗浄を溶媒で行っていたＴ－９では低くなっている。このように、排水移行率は、生産工程とその管理の良し悪しを反映した数字となっている。有機系工場に対しても排水移行率を指標とした規制が考えられるべきであろう。

2－4. 有機系工場の排水処理

有機系工場の排水処理状況を表－６にまとめた。Ｔ－５は敷地がないため、Ｔ－８は活性汚泥ではうまく処理できない排水であるために凝集沈殿処理がなされている。Ｔ－８はそれでも十分な処理ができず、生産工程の変更を計画中であった。その他の工場は生物処理で、Ｔ－３が散水ろ床である他は活性汚泥であった。これら４つの活性汚泥の運転条件を下水処理場のそれと比較してみると次のような大きな違いが見られる。

(1)曝気時間が長い。(2)MLSSが高い。(3)BOD／MLSS負荷が低い。(4)余剰汚泥の発生が少ない。(5)汚

表－４ 有機系工場の発生汚濁負荷

工場	BOD			油 分		
	負 荷 量 kg/日	人口当量 人	人口密度 人/ha	負 荷 量 kg/日	人口当量 人	人口密度 人/ha
T-1	309	6,180	3,250	5.2	520	273
T-2	435	8,700	7,910	85.7	8,570	7,790
T-3	216	4,320	2,469	—	—	—
T-5	17.5	350	2,054	5.0	500	2,934
T-6	94	1,880	455	30.5	3,050	738
T-7	280	5,600	680	—	—	—
T-8	119	2,380	159	—	—	—
T-9	58.3	1,170	105	0.6	60	5

* 人口当量の算出に当っては、BOD 50g/人・日、油分 10g/人・日の値を使った。

** 人口密度当量は、人口当量を工場敷地面積で割って求めた。

表－５ 有機系工場における原料の排水移行率

工場	指 標	原料負荷 kg/日	排 水 へ の 負 荷 kg/日			原料の排水移行率 (%)	排水以外への廃棄経路
			工 程 系	生 活 系	合 計		
T-2	BOD	6,760	432	2.5	435	6.4	固体廃棄
	油 分	608	85.2	0.5	85.7	14.0	大 気
T-3	BOD	11,920	206	14	222	1.7	固体廃棄
	COD _{cr}	10,700	169	10	179	1.6	
T-6	VS	3,550	47.2	7	54.2	1.3	
	油 分	1,690	29.5	1	30.5	1.7	
T-7	BOD	18,900	246	15	263	1.3	大気、焼却
T-9	BOD	33,000	52	6.3	58	0.16	大気、焼却

表－６ 有機系工場の排水処理状況

工場 (処理法)	処理装置と容量・ 滞留時間 m ³ hr	流入水量 (設計値) m ³ /日	BOD 流入→放流 ppm	SS 流入→放流 ppm	油 分 流入→放流 ppm	BOD 容積負荷 kg/m ³ ・日	MLSS ppm	MLSS 負 荷 kg/kg 日	汚泥発生量 ss,kg/日	汚泥発生量 除去BOD量 kg/kg
T-1 活性汚泥	ストレーナ 中 和 槽 曝 気 槽 1170 沈 殿 槽 437 27	1,030 〔1,800〕	300→20	15→10	5→5	0.26	2,000 ～3,000	0.09 ～0.13	40	0.14
T-2 活性汚泥	調 整 槽 400 曝 気 槽 400 沈 殿 槽 16	600 〔600〕	666→18	291→16	104→2	0.81	6,500	0.12	72	0.20
T-3 散水ろ床	貯 留 槽 沈 殿 槽 フロアタワー 3段	360 〔500〕	600→50	—	—	3.6	—	—	14	0.07
T-5 凝集沈殿	薬品混合槽 50 フロック形成槽 9 沈 殿 槽 23 濾 過 2	50	350→60	200→90	100→60	—	—	—	8	—
T-6 活性汚泥	調整槽、中和槽 第一曝気槽 247 第一沈殿槽 141 第二曝気槽 243 第二沈殿槽 113 凝沈、砂濾過 26 25	230 〔350〕	390→2	334→0	142→0.4	0.19	第1 13,000 第2 10,000	0.017	5	
T-7 活性汚泥		600 ～700 〔1,000〕	300 ～600→ ⁵ 10	—	—	0.35	4,000 ～5,000	0.079	—	—
T-8 凝集沈殿		150	300 ～400→150	400→ ⁵⁰ 70	Tr→Tr	—	—	—	—	—
標準活性 汚泥設計 値	6～8					0.3 ～0.8	1,500 ～2,000	0.2 ～0.4		

泥令が長い。

これらの違いの原因を明らかにするため、T-2及びT-6の工場排水にそれぞれの工場の汚泥を用いて下水処理場の条件（MLSS≒3,000mg）でバッチ処理実験を行なった。食品工場のT-2の排水は、4時間の曝気でほぼ工場の処理水と同じ水質が得られたが、化学工場のT-6の排水は、4時間ではもちろん24時間でも工場の第二沈殿池上澄水に及ばなかった。このことから、工場の処理条件が異なっているのは単に安全性を見込んでいるからだけでない場合があることが明らかとなった。すなわち、T-6の場合、(1)や(2)のような運転条件によって処理しにくい排水に対処しているといえる。他の相違点(3)～(5)は、(1)、(2)の結果としてこうなっているのである。このように、同じ活性汚泥法といっても多様であり、それぞれ処理能力も異っている。また、T-7では揮発性有機物の多い排水を活性汚泥により処理し、処理水はよいにもかかわらず、悪臭のために工場の移転を余儀なくされているという事実がある。多様な有機性工場排水を、単一の運転条件の活性汚泥法である下水処理場で処理していくことが不可能なことは、これらのことから明らかである。

2-5. アンケート調査

調査工場に対しては、下水道の完成時に工場排水の受け入れを望むかなどについてアンケートを行なった。その結果、受け入れ希望が15社中9社で、その内2社は無機系でメッキとカドミウムを扱う工場であった。これらの場合、基準を満たした放流水に対してもまだ不安を持っていて、責任の転嫁をしようとしているといえよう。全体としては、料金が低いなら入れたいという工場が多いが、下水処理に多くを期待するという考え方はさほどでなかった。むしろ、どちらになるか早く決めて欲しい、途中で方針を変えないで欲しいなどの意見が多かった。

3. 工場排水の分類と下水道

3-1. 工場排水と下水道の基本的な考え方

工場排水を家庭下水と混合して下水道で処理しようという考え方は古くからあり、またその有効性が多い論文で主張されてきた。しかし、著者らは独自の調査研究により、工場排水は基本的には下水道に入らず個別に処理すべきであるとの結論に達している。その理由を列挙しておく。

- ① 工場排水は、それぞれ特性をもっており、それに応じた処理方式を採用した方が効率的である。下水道に入れると垂れ流しにつながりやすい。
- ② 工場排水処理は生産工程から考えるという視点がない限り根本的対策になっていかない。排水処理のみを自治体が請け負うことは、抜本的対策を遅らせる。
- ③ 下水管渠は暗渠であり、監視がほとんど不可能である。したがって下水道への放流水質に規制があったり、除害施設の設置が義務づけられても実効が保証できない。
- ④ 排水処理の最終責任が、企業者から自治体に移行し有効な規制ができなくなる。
- ⑤ 様々な有害物の混入が、有害物を濃縮した汚泥を作り、汚泥処理過程からの二次公害を引き起こし、かつ、汚泥処分ができなくなる。
- ⑥ 工場排水中の物質の中には、家庭下水の処理を妨害するようなものが含まれることがある。

以上のような点から工場排水の下水道への受け入れは基本的には行なわない方がよい。

3-2. 工場排水の混合の意味

3-2-1. 無機性排水

無機性排水の処理は生産工程の見直しを含めて、汚泥の出ないようなプロセスに改められなければ抜本的対策とならない。そのためには、異なった汚濁物質を混合しないうちに処理していく必要がある。下水道へ放流することは、混合を進めることであり、逆行である。下水道に入れても、無機物は放流水にそのまま残るか、沈殿又は吸着により汚泥となり、結局は汚泥処理処分段階で環境に出るかのいずれかでしかない。

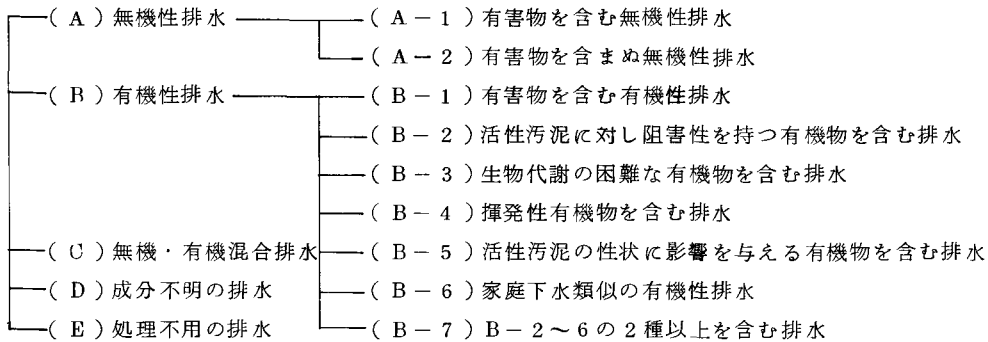
3-2-2. 有機性排水と活性汚泥法のメカニズム

有機性工場排水を下水道で活性汚泥処理することの是非は、無機性排水の場合のように簡単ではない。そこで、この点に関連する活性汚泥法のメカニズムについて述べておく。

- ① 物質に特有な菌の存在——ある特定の物質を代謝するのに必要な菌というものがしばしば存在する。混合系の中では、その物質の濃度が低くなるとその菌が姿を消す可能性が大きい。
- ② ジオキシン現象——微生物により代謝されやすい物質Aと代謝されにくい物質Bが同時に微生物に与えられた場合、Aが先に代謝され、その完了を待つてBの代謝が進むという現象が起こることがある。これはジオキシン現象と呼ばれ、活性汚泥においても観察されることがある。この現象の存在は、二種類以上の混合排水を短時間の曝気で処理しようとする時間問題になる。
- ③ 活性汚泥の吸着現象——活性汚泥は代謝と吸着の2つの機構により汚濁物質を除去している。著者らはこれら2つの機能を分離した活性汚泥法の解析を進めているが、(1,2,3) 其中で次のような除去機構についても調べている。すなわち、全く生物代謝されない物質であっても汚泥に吸着しやすければ、他の代謝しやすい物質を同時に与え、汚泥を増殖させることにより、吸着させて余剰汚泥と共に引き抜くという除去機構が働き得るというものである。この機構が現実にとどのくらいの意味をもつかは更に詳しい研究により明らかにせねばならぬが、実際に生かされるならば、混合が処理効率を上げることになる。

3-3. 工場排水の分類と各論

工場調査及び以上の考察に基づき、下水道との関連において次のように工場排水を分類した。



以下では、この分類の各項目について、下水道との関連を論じていく。

(A-1) 有害物を含む無機性排水——メッキ排水などがこの例である。ここで有害物と呼ぶものには、すでに法律において規制されているものだけでなく、有害性の疑われているものも含めて考えるべきである。下水道へ受け入れれば、下水処理場を二次公害源とするので受け入れるべきではない。

(A-2) 有害物を含まぬ無機性排水——セメント製品製造や窯業などからの排水は土砂やセメント粉末を含んでいる。これらの排水は下水管や処理装置内に沈積物を生じ、障害の原因となる。原料ヘリサイクルできる物質の場合も多いので個別処理がなされるべきである。

(B-1) 有害物を含む有機性排水——農薬、有機顔料などの合成化学工場からの排水にこれに属するものがある。新しい合成化合物の場合、有害物としての認識がなされるのは常に遅れてであるから注意を要する。この種の物質は生活汚泥法で完全に分解されるとは限らず、汚泥の濃縮されることもある。有害性の疑われている物質は下水道のような開放的処理系に入れるべきではない。

(B-2) 活性汚泥に対して阻害性を持つ有機物を含む排水——人間に対する有害性が証明されていなくても、活性汚泥に対して阻害効果をもつ物質がある。染料などがその例で、染色排水の流入は各地の下水処理場でトラブルの原因となっている。この種の排水は受け入れるべきではない。

(B-3) 生物代謝の困難な有機物を含む排水——有機合成化学の進歩により生物代謝を受けにくい物質が数多く生産されるようになってきている。これらの物質を含んでも活性汚泥により十分な処理がなされている工場もあるが、運転条件が特殊であって、下水処理場に入れたのでは処理されずに放流されることになる。

橋本⁽⁴⁾も最大比増殖速度の違いから、従来の活性汚泥処理では難分解性物質の処理は不可能と結論している。したがって、この種の物質を含む排水を下水道へ入れるべきではない。

(B-4) 揮発性有機物を含む排水——石油化学工業や有機溶媒を使う工程からは揮発性成分を含む排水が出る。活性汚泥処理すれば揮発性成分が大気中に飛散し、悪臭、大気汚染の原因となる。また、下水管に入れば管内が危険な状態になる。したがって、この種の排水は下水道へ入れるべきではない。

(B-5) 活性汚泥の性状に影響を与える有機物を含む排水——これに当たる物質は主として油分で、活性汚泥は油分をよく吸着するが、大量に吸着すると沈降性が悪化する。EPAのレポート⁽⁵⁾によれば油分負荷は $0.1\text{ g/g} \cdot \text{MLSS} \cdot \text{日}$ 以下が望ましいとされており、下水処理場($\text{MLSS} = 2,000\text{ mg/l}$ 6時間曝気)では流入油分濃度 50 mg/l に相当する。分解しにくい油分ならさらに数分の一になることと、家庭下水でも油分が 30 mg/l 程度はあることを考えると、工場からの油分を下水処理場が受け入れる余裕はない。

(B-6) 家庭下水類似の有機性排水——食品工場やクリーニング業においてこの種の排水が存在する。基本的には下水道に入れてもそれに見合った処理能力があれば問題がない。しかし次の点に留意する必要がある。①負荷変動が激しい。時間変動に加え季節変動もある。②負荷が大きい。③食品工場であっても、特殊な物質を大量に含むことがあり、しばしば工場では特殊な活性汚泥の運転がなされている。④下水道計画が立てにくい。計画は20年後を目標とするが、工場排水の予測は難しく、計画に盛り込むことは無駄な投資をすることになりかねない。以上の点を考えに入れると、水質的に受け入れ可能であっても慎重に対処していく必要がある。

(B-7) B-2～6の2種以上を含む排水——パルプ排水中の糖類とリグニン、染色排水中の糊料と染料は、活性汚泥で除去できる物質とできない物質の組み合わせである。このような場合、後者を工場で除去してから下水道に入れようという議論がある。パルプ排水は一般に下水道に入れられてこなかったが、その間工場は黒液の回収率を高めることにより排水負荷を減らしてきた。この変化は工場に処理責任があったため起ったのであり、また現在の法律下ではある種の有機物の除去を義務づけられぬこともあり、曖昧な形でこの種の排水を受け入れることは根本的な解決を遅らせることになりかねない。

(C) 無機・有機混合排水——皮革排水などは重金属と有機物を共存している。この種の排水に対しては、工場で無機物を除去してから下水道に入れようという議論がなされている。しかし、現在の下水道への放流基準まで重金属類を前処理除去しても、下水処理場での汚泥の重金属汚染は防げないので、受け入れるべきではない。

(D) 成分不明の排水——企業秘密等で成分の解からぬ排水も存在する。成分が不明な以上、安全性の面から下水道へ受け入れるべきではない。

(E) 処理不用の排水——意外なことにBOD 200 mg/l 以下の工場排水(特に冷却水)を受け入れることになっている下水道計画がしばしば存在する。無駄であるばかりでなく処理効率をも低下させることになる。

以上、工場排水を分類し、下水道への受け入れの是非を検討してきた。結論として下水道へ放流してもよいと考えられる排水は、特殊な物質を含め家庭下水類似の排水のみで、それも水量の少ない工場に限るべきである。結局、家庭生活の延長ともいえるべき町の中の小規模食品工場やクリーニング屋のみに限るのが妥当であろう。

4. おわりに

工場排水処理のあり方について考える場合、工場の内側に立ち入って調べていかなければ正しい答はでてこない。その意味で、今回の調査とそれに基づく検討は有意義であった。本論文が現実に生かされることを希望すると共に、調査に協力して下さった方々に感謝します。

〔参考文献〕(1)中西他、第14回下水道研究発表会講演集p.467(1977)、(2,3)益永他、土木学会第33回年次講演会概要集p.219, 221(1978)、(4)橋本他、活性汚泥法によるPVA等難分解性物質の処理実用化に関する研究(1976)(5) Barnhart et al., The Impact of Oily Materials on Activated Sludge Systems, Hydrosience 1971