

小規模な乳製品工場の排水

—— 酪農学園大学乳製品実習室を事例として ——

岡崎 良生*・竹田 保之*・安藤 功一*
加藤 勲**・廣瀬 敏男***

Waste water of a small scale of the milk plant

—— The case of the milk practical training plant of Rakuno Gakuen University ——

Yoshio OKAZAKI*, Yasuyuki TAKEDA*, Kohichi ANDOH*,
Isao KATOH** and Toshio HIROSE***
(October 2001)

緒 言

21世紀に入り産業社会構造の急激な発展は、その製品の製造に伴う排出物または廃棄物によって、人類等が生活している地球環境に大きな被害を与えている。近年では、廃棄物循環型社会として、ゼロエミッション社会の構築が提案されてきている。これは、生活環境または地球環境の保全そして資源有効利用の見地から、ゴミを限りなく少なくするゴミゼロ社会を目指したものである。具体的には、廃棄物の排出の抑制に努め、リサイクル可能なものは極力リサイクルし、それでもなお排出する可燃性物質は消却処理するとともに、その時発生する熱エネルギーを積極的に利用し、ゴミの減量化と再生利用を図る社会システムを構築しようとするものである。再生利用については、例えば、汚泥中の多糖類を乳酸菌の作用でL-乳酸に変換し、これを重合させて生分解性プラスチックであるポリ乳酸を作成することで、汚泥をプラスチックの原料として再利用する研究^{6,7)}がある。地球環境に影響をおよぼすのは廃棄物だけでなく、排出物、すなわち、排水も多大な影響をおよぼす原因のひとつである。昭和33年(1958年)に「公共用水域の水質の保全に関する法律」と「工場排水等の規制に関する法律」の水質2法が制定された。その後昭和45年(1970年)、公共水域の水質汚濁の防止をはかり、生活環境を保全するために

前述の水質2法が廃止され、新たに「水質汚濁防止法」が成立し、表1に示した排水一律基準⁸⁾として翌年より施行された。多量の排出物や廃棄物を伴う製造工場、その中のひとつである乳製品工場から排出される排水も例外ではなく、環境汚濁防止のため排水処理施設(処理施設)を設けて排水中に含まれる乳固形分等を物理学的、化学的および生物学的な処理方法によって出来る限り除去して排水の水質管理を行っている。乳製品工場の規模は、主に乳処理量で表されることが多い。年間の乳処理量が多いほど大きな(大規模)工場として位置づけられる。

そこで、我々は年間乳処理量が約20kl(牛乳類約10kl, チーズ, バターアイスクリームなどの加工品約10kl)の小規模ではあるが種々の乳製品を製造(学生実習等)し、処理施設を設けて処理水を公共下水道に放流している本学食品科学科付属施設である乳製品実習室から排出される排水についてpH, 生物化学的酸素要求量(BOD), 浮遊物質(SS)およびn-ヘキサン抽出物質を調べた。

実験方法

1. 試料の採取

乳製品実習室から排出される排水が処理施設(凝集分離法による加圧浮上装置, ㈱クリタス)に流入する原水と処理された処理水を各500ml採取し、これを試料とした。

* 酪農学園大学酪農学部食品科学科, 乳製品製造学研究室

* Department of Food Science, Milk Science and Technology, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

** 酪農学園大学環境システム学部地域環境学科, 環境科学研究室

** Department of Regional Environment Studies, Environment Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

*** 株式会社クリタス北海道支店

*** Hokkaido Branchi Office, KURITAZ Corp

表1 我が国における排水一律基準

項 目	許容限度	項 目	許容限度
カドミウムおよびその化合物	0.1mg/l	生物化学的酸素要求量 (BOD)	160(日間平均120)mg/l
シアン化合物	1.0mg/l	化学的酸素要求量 (COD)	160(日間平均120)mg/l
有機りん化合物	1.0mg/l	浮遊物質 (SS)	200(日間平均150)mg/l
鉛およびその化合物	鉛0.1mg/l	n-ヘキサン抽出物質	
六価クロム化合物	六価クロム0.5mg/l	動植物油脂類含有量	30mg/l
ヒ素およびその化合物	ヒ素0.1mg/l	鉱油類含有量	5mg/l
水銀およびアルキル水銀その他の水銀化合物	水銀0.005mg/l	フェノール類含有量	5mg/l
アルキル水銀化合物	検出されないこと	銅含有量	3mg/l
PCB	0.003mg/l	亜鉛含有量	5mg/l
トリクロロエチレン	0.3mg/l	溶解性鉄含有量	10mg/l
テトラクロロエチレン	0.1mg/l	溶解性マンガン含有量	10mg/l
ジクロロメタン	0.2mg/l	クロム含有量	2mg/l
四塩化炭素	0.02mg/l	フッ素含有量	15mg/l
1, 2-ジクロロエタン	0.04mg/l	窒素含有量	120(日間平均60)mg/l
1, 1-ジクロロエチレン	0.2mg/l	りん含有量	16(日間平均8)mg/l
シス-1, 2-ジクロロエチレン	0.4mg/l	大腸菌群数	日間平均3000/ml
1, 1, 1-トリクロロエタン	3.0mg/l	水素イオン濃度	
1, 1, 2-トリクロロエタン	0.06mg/l	海域以外の公共用水域に排出されるもの	5.8~8.6
1, 3-ジクロロプロペン	0.02mg/l	海域に排出されるもの	5.0から9.0
チウラム	0.06mg/l	ベンゼン	0.1mg/l
シマジン	0.03mg/l	セレンおよびその化合物	0.1mg/l
チオベンカルブ	0.2mg/l		

2. 分析

pHは工業用水試験法⁹⁾に示された方法、BODは下水道法関係資料⁹⁾に示された方法、SSとn-ヘキサン抽出物質は環境庁告示に示された常法^{2,3)}によった。

実験結果および考察

本学食品科学科付属施設である乳製品実習室(実習室)から排出される排水の原水と処理施設によって処理された処理水(放流水)を、平成12年(2000

年)4月から平成13年(2001年)3月までの毎月1回不定期に採取し、分析した結果を表2に示した。また、昭和33年(1958年)に制定された我が国における下水道法から今回分析した項目に対する放流基準値⁴⁾を表3に示した。

いずれの月においても処理水のpH、BOD、SSおよびn-ヘキサン抽出物質は、我が国で定めた下水道法の放流基準値以下であった。原水のpHでは、全ての月において放流基準値内のpH5.2からpH6.6であった。BODでは7月と3月においてそれぞれ

表2 原水および処理水の分析値

年 月	PH		BOD		SS		n-ヘキサン抽出物質	
	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水
2000年 4月	6.6	7.0	150	69	30	27	30	11
5月	5.6	6.5	570	130	120	36	26	6
6月	6.1	6.7	350	77	65	21	34	6
7月	5.5	6.1	820	320	380	110	190	1
8月	6.1	6.3	480	200	230	25	93	7
9月	6.1	9.3	340	160	90	44	38	16
10月	6.5	6.8	260	150	56	38	65	9
11月	6.6	7.1	490	150	120	41	4	1
12月	5.2	6.0	580	190	130	44	1	2
2001年 1月	6.4	6.6	290	94	46	28	3	2
2月	6.1	6.5	450	100	54	22	37	10
3月	6.0	6.4	760	210	24	57	45	22

BOD、SSおよびn-ヘキサン抽出物質の単位はmg/l、BOD：生物化学的酸素要求量、SS：浮遊物質。

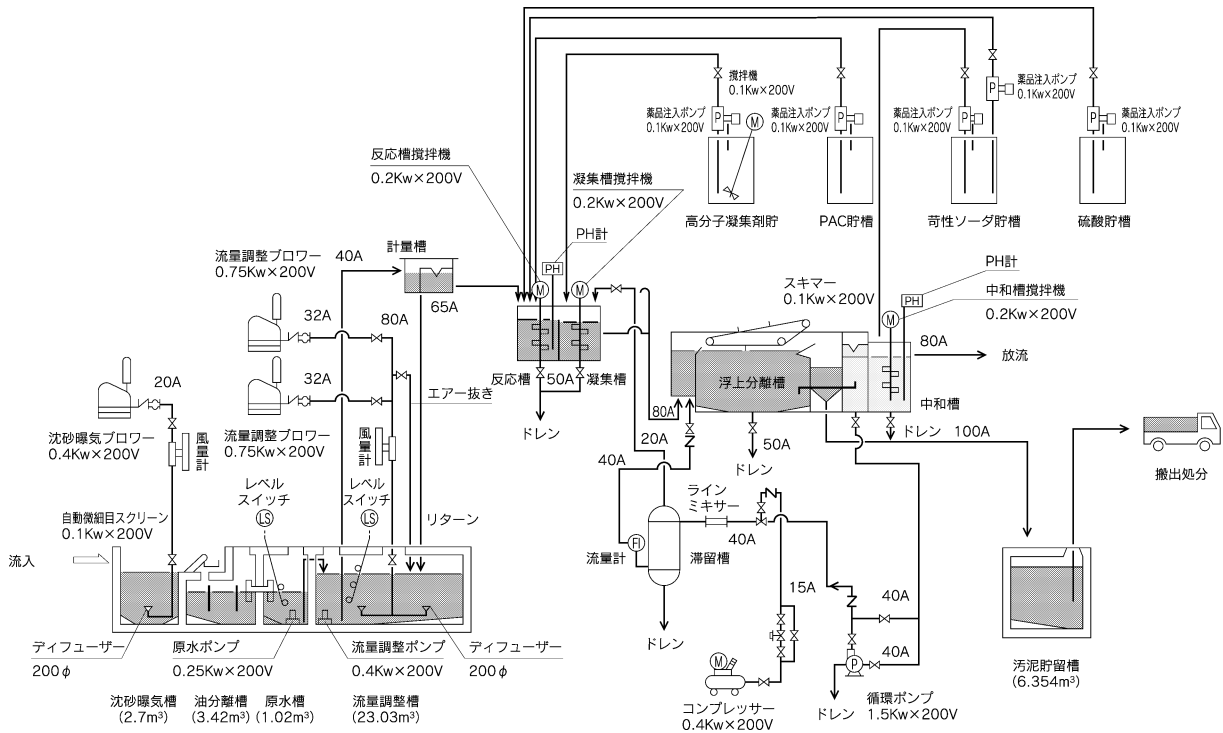


図1 排水施設のフローシート
PAC：凝集剤

820,760 mg/l と高かった。SS では 7月に 380 mg/l と高く、n-ヘキサン抽出物質では 6月から 10月までと 2月、3月がそれぞれ 34, 190, 93, 38, 65, 37, 45 mg/l と高かった。

実習室から排出される排水は別棟にある処理施設に入り、図1に示したような経路をたどる。すなわち、最初に沈砂曝気槽(2.7 m³)に入り、次に油分離槽(3.42 m³)、原水槽(1.02 m³)、流量調整槽(23.03 m³)、計量槽(0.14 m³)、反応槽(0.37 m³)、凝集槽(0.25 m³)、浮上分離槽(4.23 m³)および中和槽(0.37 m³)へと順次通り、その後放流される。この間、沈砂曝気槽には3基、流量調整槽には9基の200φディフューザーが設置されており、曝気(ブロー)される。また、油分離槽には3枚の潜流板が施され、浮上する油分を除去する。反応槽ではpH調整(pH6.0からpH7.0)され凝集剤PAC(主な成分はポリ塩化アルミニウム)、凝集槽では高分子凝集剤(主

な成分はアクリルアミド系ポリマー)が添加されて攪拌される。この時に乳固形分等がフロックとして生成される。生成したフロックは浮上分離槽への流入管内で高分子凝集剤によってより大型化し、同時に管内で空気溶解加圧水(3.0 kg/cm²から4.0 kg/cm²)と混合される。このためにフロックは多数の気泡が付着し、見かけの比重が著しく低下して浮上分離槽において浮上する。浮上したフロックはスクイマーにて汚泥貯留槽(6.354 m³)へ流入される。フロックが除去された排水は中和槽にてpH調整(pH5.0からpH9.0)された後、処理水として公共下水道へ放流される。この処理施設の能力は15 m³/日であり、排水が1日当たり15 m³以下の小規模な工場には適した処理方法である。

原水のpHがBOD, SSおよびn-ヘキサン抽出物質の濃度変化に係わらずpH5.0からpH9.0の放流基準値内であったことは、主たる原料乳成分である牛乳のpHは通常pH6.6であり¹⁰⁾、乳製品工場の機器および器具類の洗浄にはアルカリ性洗剤と酸性洗剤が併用され、また、殺菌剤として次亜塩素酸ナトリウムなども使用され、排水が極端なアルカリ性または酸性にならないということが考えられる。原水のBOD, SS, およびn-ヘキサン抽出物質が高かった7月においては、全固形分と脂肪分の高い排水で

表3 我が国における下水道法による放流基準

項目	放流基準値
pH	5.0~9.0
生物化学的酸素要求量 (BOD)	600mg/l
浮遊物質 (SS)	300mg/l
n-ヘキサン抽出物質	30mg/l

表4 牛乳および乳製品の平均組成 (%)

製 品	脂肪	タンパク質	乳糖	固形分	BOD
全乳	3.9	3.2	5.1	12.9	10.3
練乳	7.9	6.7	10.0	25.9	20.8
脱脂乳	0.1	3.3	5.3	9.5	7.2
脱脂粉乳	0.9	36.9	50.5	96.7	73.7
脱脂加糖練乳	0.3	10.4	16.8	70.0	50.2
バターミルク	0.4	3.4	4.3	9.4	7.2
ホエー	0.3	0.9	4.9	6.9	3.5
クリーム	40.0	2.2	3.0	45.6	39.9
アイスクリームミックス	12.0	3.9	5.9	37.7	29.2

BOD：生物化学的酸素要求量。

あったことが考えられる。また、BODとSSが共に高い値を示したが、*n*-ヘキサン抽出物質が低かった12月においては、全固形分は高いが脂肪分の少ない脱脂乳系が多く含まれた排水であったことが考えられる。乳製品工場では、排水中の乳固形分が水質環境の汚染原因にならないために、このような様々な濃度の排水に対応して一定のフロック等を生成させて油分や乳固形分等を除去して放流するための管理が重要である。そのために乳製品工場では表4に示した主な乳製品の平均組成¹²⁾などを活用し、処理施設に流入する原水のおおよそのBOD量などを算出して添加剤の濃度等の調整をおこなっている。このため製造する品種や製造量などの情報を処理施設担当者へ伝えるということが特に重要な要素となる。また、日々の排水の汚染度を比較したり、処理施設の負荷を予想する場合にBODkgという数値を使うことが知られている¹²⁾。これは、工場排水(主に大規模な工場)のBOD値からおおよその乳固形分損失量に換算することができる方法である。例えば、ある工場で1日に10BODkgの排水であるとすれば、これは表4から全乳では $10/0.103=97$ kg、練乳では $10/0.208=48$ kgの乳固形分が排水中に存在することを意味している。すなわち、乳固形分の損失になる。

排水の水質管理には前述した実習室に設置された方法もあるが、大規模な乳製品工場では活性汚泥法を中心とした処理が行われている¹⁾。断続的に排出する排水が50m³/日以上以上の汚水、温度40℃以上、pH5.7以下pH8.7以上、BOD300mg/l以上、SS300mg/l以上および*n*-ヘキサン抽出物質30mg/l以上の条件を満たしているのならば下水道法の適用を受けることができる。また、これらの条件に加えてヨウ素消費量220mg/l以上であれば「使用開始等の届けを要する下水の水質」であり、温度45℃以上とpH5.0以下9.0以上であれば「除害施設

の設置を必要とする」水質になる¹¹⁾。様々な条件下で1日当たりの排水量が50m³以下の小規模な乳製品工場において、乳処理量の数十倍の単位で清水等が混入する場合の条件下での製造ならば、流入量に見合った貯留槽(ピット)を複数設置し、ある1つの槽には複数の潜流板を施して油分離を行い、その後は順次貯留槽を通過するたびに希釈され、公共下水道に放流する場合には表3に示した放流基準値、河川等に放流する場合には表1に示した放流基準値以下に最終的にはなる可能性があることも考えられる。また、極めて小規模な乳製品工場では、各製造工程ごとに排出される排水が一時的には高濃度のBOD等になるが、1日の排水量に換算してみると基準値以下ということで、直接公共下水道に放流している場合も考えられる。それぞれの小規模な乳製品工場特有の条件に見合った処理方法によって、公共水域の水質汚濁防止と環境保全に努めることが望まれる。

要 約

小規模な乳製品工場から排出される排水について、加圧浮上装置によって排水処理管理を行って公共下水道に放流している酪農学園大学乳製品実習室を事例として、平成12年(2000年)4月から平成13年(2001年)3月までの1ヵ月ごとの原水と処理水について調べた。原水は放流基準値を越える場合もあるが、処理水では基準値以内で放流されていた。しかし、排水中の乳固形分が水質汚染の原因になっている。水合理化使用(水の循環利用)のため、一定の水質管理には流入する原水に含有する乳固形分等の情報が重要であると思われた。

文 献

- 1) 石岡要造, 1978. 乳業技術綜典, 林 弘道編, pp. 493, 酪農技術普及学会, 東京.

- 2) 環境庁告示第 59 号, 1971. 付表 8 水質汚濁に係る環境基準について.
- 3) 環境庁告示第 64 号, 1974. 付表 4 排水基準を定める総理府令の規定に基づく環境長官が定める排水基準に係る検定方法.
- 4) 環境法令研究会編, 2000. 環境六法平成 12 年版, pp. 1356-1376, 中央法規出版, 東京.
- 5) 建設省都市局下水道部編, 1971. 改正 下水道法関係資料, 日本下水道協会, 東京.
- 6) Nakasaki, K., N. Akakura, T. Adachi, and T. Akuyama, 1999. Use of waste water sludge as a raw material for production of L-lactic acid. *Environ. Sci. Technol.*, 33: 198-200.
- 7) 中崎清彦・安達友彦, 2000. ゼロエミッションのための汚泥の工業原料化技術, *環境科学会誌*, 13: 570-578.
- 8) 日本工業標準調査会, 1998. JIS K 0101 工業用水試験方法, pp. 10, 日本規格協会, 東京.
- 9) 日本工業標準調査会, 1998. JIS K 0102 工場排水試験方法, pp. 21, 日本規格協会, 東京.
- 10) 仁木良哉, 1996. 乳の科学, 上野川修一編, pp. 15, 朝倉書店, 東京.
- 11) 鈴木俊央, 1999. 最新ダイヤモンド環境 ISO 六法, pp. 278-341. ダイヤモンド社, 東京.
- 12) 高橋利惣治編, 1982. 食品技術ハンドブック, 第 3 改訂版, pp. 518, 雪印乳業, 東京.

Summary

Waste water treatment control was done by pressure floatation plant and treated water was discharged to the public sewerage system at the milk practical training plant of RakunoGakuen University. The levels of pH, biochemical oxygen demand(BOD), suspended solid (SS) and n-hexane extracted chemicals in the effluent and treated waste water were studied. Those levels of effluent were sometimes over the basic standards. In this plant, total amount of waste water was treated to bring down these values below the standard level. But when the solid content in the wastewater is increased, these levels are also increased. Therefore, basic information of the wastewater was important.