昭和53年度 日本澱粉学会賞受賞講演

馬鈴しょ澱粉排水の処理方法

山口 昇*・秋山 史郎**

(昭和53年10月5日受理)

Treatment of Waste Water from Potato Starch Plants

Noboru YAMAGUCHI* and Shiro AKIYAMA**

* The Federation of Agricultural Products Processing Cooperative Societies of Minami-Tokachi (Nakasatsunai-Mura, Kasai-Gun, Hokkaido 089-13, Japan)

** The Federation of Agricultural Cooperative Societies of Hokkaido (Kita-4, Nishi-1, Chuo-ku, Sapporo 060-91, Japan)

1. Several methods have been examined for utilization of fruit water exhausted from decanter. They are, recovery of protein content, production of cattle feed by concentration, spray irrigation on the farm, and so on. But, in potato starch industry, a nozzle-type separator has mostly been used and volume of waste water exhausted from the separator is too large; 7 to 8 times as much as that of potato. Until recently, any proper method for treatment of such a large volume of waste water to meet the government regulations for water pollution has not been established.

2. Test results of the methods are recapitulated as follows; a) Removal of fine fibers from original waste water was enough for practical use. b) Range of BOD loading was 0.1-0.3 kg/m³ D. In cold season and when the loading was less than 0.2 kg/m³ D, this method was carried out most efficiently. c) The equipment of the sedimentation tank for sludge and removal of precipitated sludge are indispensable.

3. This method was examined in the potato starch plant for the next three cases; a) Treatment of waste water exhausted from nozzle-type separators during operation. b) Decreasing BOD to prevent the incidence of bad odor. c) Treatment after stockpiling in the winter season (from May to August).

4. As the results, although there are still some unsolved problems about techniques for commercial operation, some pattern of waste water treatment could be obtained by combination of the surface aeration method and the other ones described above. By using one of these combination methods, it will be possible for potato starch plants to meet the government regulations for water pollution.

はじめに

北海道の馬鈴しょ澱粉工場は、昭和30年代より小規模で家庭工業的な在来工場が逐次統廃合され、品質の向上

と均一な製品を製造する合理化工場に集約され今日に至っているが、昭和52年に操業した工場は合理化工場30、在来工場15である。これら工場の道内での分布は、合理化工場30のうち網走地区12工場、十勝地区6工場、両地区で18工場を占め、道内で生産される馬鈴しょ澱粉の80%が両地区で生産されている。昭和52年度に操業した馬鈴しょ澱粉工場数は、表1のとおりである。

馬鈴しょ澱粉の原料である馬鈴しょは、北海道の寒冷

* 南十勝農産加工農業協同組合連合会 (089-13 北海道河西郡中札内村)

** ホクレン農業協同組合連合会 (060-91 札幌市中央区北4条西1丁目)

表 1. 昭和52年度に操業した馬鈴しょ澱粉製造工場数

支庁名		空知	上川	後志	胆振	十勝	釧路	根室	網走	計
工場区分										
合工 理 化場 在来工場 合 計	農協系	—	4	2	—	5	1	1	5	18
	商 系	—	—	1	2	1	—	1	7	12
	計	—	4	3	2	6	1	2	12	30
	在来工場	1	6	2	—	1	—	—	5	15
合 計		1	10	5	2	7	1	2	17	45

(道農務部調べ)

地に適合した畑作農業の安定作物として、ビート・小麦などと輪作体系のなかに組み込まれて栽培されている。昭和52年の北海道での馬鈴しょ耕作面積は 67,700 ha、馬鈴しょ生産量は2,409千トンで、このうち1,409千トンが澱粉に加工され、256千トンの馬鈴しょ澱粉が生産されている。

このような背景にある北海道の馬鈴しょ澱粉工場は、9月から操業を開始し、11月から12月にかけて終了する3～4か月間の季節産業であり、これが排水処理には寒冷期に向っての操業であることと、製造排水の汚濁負荷量が多く、なおかつ水量が多いため、最も処理困難な排水とされている。

このため、小規模な在来工場から大型の合理化工場に集約された昭和30年代から、いろいろな排水処理法が試みられてきた。しかしながら、排水の量が多いばかりでなく、澱粉工場が集約されている地区は、馬鈴しょ栽培の適作地であるとともに、北海道でも寒い地区であることが、排水の処理がより以上に困難性を増す要因となっている。本報告は、これら北海道の排水処理の実情と、寒冷地における好気性微生物による澱粉製造排水処理試験の実施例を紹介するものである。

1. 馬鈴しょ澱粉排水処理の経過

昭和30年代に北海道内で採用された排水処理法は、沈殿池を用いた自然沈殿による浄化方法であり、ほかに散水汙床法が多く採用された。この処理方法では、排水中の汚濁負荷量が多いため、清水で希釈散水するなどの手段を講じたが、除去率の不足から、多量の排水を処理するのに適応した処理設備とはいえず、昭和40年代に入り姿を消した。

昭和38年に北海道立工業試験場により、原料馬鈴しょを磨砕直後デカンターで脱汁、濃厚排水を抽出する方法が開発され、製造工程に採用された。このことにより、精製工程でのセパレーター排水の汚濁量が減少し、また

濃厚排水の利用面で以後の排水処理の方向を見いだす発端となった。現在北海道の大型合理化工場のほとんどが、このデカンターによる脱汁方式を採用している。デカンター導入後の澱粉工場の排水は、デカンター濃厚排水、セパレーター排水と馬鈴しょの洗浄排水（フリューム排水）の三つに大別されることになった。馬鈴しょ製造工程で排出される排水は、図1のとおりである。

昭和42年、合理化工場（士幌・芽室）が、デカンター濃厚排水より熱凝固蛋白質の回収を始め、同じく昭和42年（美瑛）、さらに昭和44年（南十勝）にデカンター濃厚排水を全量濃縮して飼料化する方法が導入され、その後、数か所の工場が蛋白回収、全量濃縮法を採用した。

しかしながら、多くの工場は、濃厚排水を一時貯留池に貯留して、河川への影響の比較的少ない1～3月の寒冷期に、河川へ放流する方法（制限放流）を昭和51年ま

図1. 馬鈴しょ澱粉製造工程（合理化工場）

で実施してきたが、水質汚濁防止法による暫定期間再延長の昭和52年以降は実施していない。

このほか地域事情により、浸透効率が良く浸透水が飲料水などに影響を及ぼさない地帯では、浸透池を利用している。また、濃厚排水は、肥効成分を多く含有していることから、昭和45年、東部十勝農工連で、デカンター濃厚排水と1次セパレーター排水の大規模な草地散布を始めた。その後、今日まで多くの工場が畑・草地散布を採用するに至った。

一方、デカンターで濃厚排水を抽出したあとの精製工程より排出されるセパレーター排水に対し、北海道立工業試験場が開発した噴射曝気法（排水をポンプで圧送、曝気槽の周囲に配管したノズルより噴射循環する方法）が、昭和38年（南十勝）、昭和44年（中斜里・芽室）にセパレーター排水の一部の処理に採用されたが、規制の強化とともに除去率の不足と、大型工場での採用が、一般基準対応には至難なため、昭和50年代に入って姿を消すことになった。

このような澱粉排水処理法の確立していない実態のなかで、昭和47年に水質汚濁防止法が施行されたが、馬鈴しょ澱粉排水の処理の困難性により、昭和51年6月まで

5年間の暫定基準が設定された。その後さらに、昭和54年6月まで暫定基準の見直し延長となり、昭和54年6月以降は一般基準に移行することになっている。

このような排水処理の経過のなかで、濃厚排水の処理には蛋白回収、全量濃縮、畑・草地散布、貯留浸透などが採用されていたが、原料馬鈴しょの7～8倍量が排出されるセパレーター排水の処理については、処理方法が確立しておらず、一般基準対応のため緊急の課題であったので、昭和48年よりセパレーター排水の処理法の検討を進めた。

2. セパレーター排水処理方法の設定

多量に排出されるセパレーター排水を処理するために、まず設定すべき条件として次の事項が考えられた。

(1)澱粉製造は寒冷期に向っての操業であるため、水温低下という悪条件があり、加えて原料馬鈴しょの変質（糖分増加）により水質が悪化する排水であることからこれに耐える処理方法であること。

(2)道内の多くの澱粉工場は、従来の排水処理設備として、貯留池を含め多くの大きな沈殿池を持っているので、これを活用できる処理方法であること。

図2. 長期間表面曝気池構造図

(3) 澱粉製造は季節産業で、従業員は季節工員が主力であるため、運転管理に高度の技術を求めることは困難であり、技術的に管理しやすい処理方法であること。

(4) 澱粉工場は、3～4か月の季節工場であるので、できるだけ処理コストが安い方法であること。

この四つの条件を満足させるものとして、好気性微生物処理方法の一つである大きな曝気池での長期間曝気は、水温水質の変動に比較的耐え、なおかつ従来の沈殿池を利用できることなどからコストも安く、技術的管理も比較的容易であることに着目し、長期間表面曝気処理試験を実施することとした。

3. 長期間表面曝気処理試験の概要

昭和48年5月にホクレン芽室澱粉工場において、前年度より貯留していた濃厚排水を試料として、小規模の曝気設備で曝気試験を行い、BOD 除去効果のあることを確認したので、同年9月の操業期に既存の貯留池を利用、セパレーター排水による大規模試験を開始した。昭和48年から昭和52年までの5年間の試験を大別すると、昭和48年から50年までの3年間は、原排水を連続流入して処理水を回分放流する連続回分方式による試験であり、昭和51・52年の2年間は、原排水を連続流入し、処理水を連続放流する連続方式による試験である。試験設備、処理方法、試験結果については次のとおりである。

(1) 連続回分方式による試験 (昭和48年～50年)

実施か所 南十勝農工連

1) 試験設備の概要

① 曝気池規模 (図2 参照)

表面積: 7,200 m² (上部 60 m × 120 m 深さ 2.7 m)
有効容積: 15,000 m³

② 曝気設備

形式: フローティングシグマ (神鋼製)

D-80 Fv-25- (16 S)

台数: 19 kW × 3 台

酸素溶解量: 1 台当り 37.8 kg/hr

回転数: 37 rpm

揚量: 1 台当り 79.5 m³/min

付帯設備: ポンプ, 流量計, 電気設備

③ 曝気池の構造

a. 従来貯留池として使用していた素堀り沈殿池を、内面被覆は行わず、表面の波が築堤に直接ふれる箇所にはビニールシートをつり下げ、直接波による侵食を防止した。

b. エアレーターの下 (池の底部) は土砂のかくはんを考慮して、コンクリート板を 7m × 7m に敷きつめた。

c. エアレーターは、曝気池を 3 等分して浮上据え付けし、回転方向は左回転 1, 右回転 2 とした。

d. 処理水の放流ゲートは、48年度は、幅 1m のセキ板による手動方式としたが、汚泥の流出が多いので、翌 49年には改造して、幅 3m, 長さ 5.5 m の懸垂式シェートを築堤より張り出し、水位の変動により、上下動可能な集水ゲートとして上澄水のための放流を図った。

e. 処理水の放流時には、放流口側のエアレーターを停止し、SS の沈降分離を図って上澄水を放流した。

2) 供試排水

南十勝農工連は、脱汁方式を採用しており、デカンタ

表 2. 原排水の水質分析結果 (50.9.3～50.12.11)

項 目			チャージ量 (m ³ /D)	水 温 (°C)	pH	COD (ppm)	BOD (ppm)	SS (ppm)
旬 別								
9 月	上 旬		1,273	18.6	6.1	866	1,113	391
	中 旬		1,567	16.2	6.4	814	1,120	
	下 旬		1,585	16.5	6.6	726	1,380	213
10 月	上 旬		1,740	15.7	6.7	894	1,240	
	中 旬		1,840	14.9	6.8	919	1,470	
	下 旬		1,840	14.3	6.8	1,045	1,515	
11 月	上 旬		1,759	13.5	7.1	1,198	1,423	572
	中 旬		1,706	14.0	6.5	1,231	1,185	
	下 旬		1,831	11.2	6.8	1,260	1,320	
12 月	上 旬		1,788	10.1	6.7	1,180	1,423	
平 均			1,693	14.5	6.6	1,013	1,319	392

表 3. 曝気池の水質分析結果 (50. 9. 3~50. 12. 11)

旬 別	項 目	水 温 (°C)	pH	DO (ppm)	SV30 (%)	MLSS (ppm)	SVI
9 月	上 旬	20.7	7.1	0.8	14.7	1,258	116
	中 旬	18.9	7.7	0.8	16.7	1,507	110
	下 旬	18.3	7.6	0.2	22.5	1,769	127
10 月	上 旬	15.5	7.5	0.5	41.5	1,986	209
	中 旬	13.2	7.3	0.4	58.6	2,364	248
	下 旬	12.0	7.4	0.3	79.0	2,700	293
11 月	上 旬	9.0	7.4	0.4	93.1	2,760	337
	中 旬	7.8	7.4	0.6	90.8	2,432	373
	下 旬	6.1	7.4	1.2	95.1	2,180	436
12 月	上 旬	2.8	7.5	5.0	96.7	2,109	458
平 均		12.4	7.4	1.0	60.8	2,107	271

表 4. 処理水水質分析結果 (50. 9. 3~50. 12. 11)

旬 別	項 目	気 温 (°C)	pH	DO (ppm)	SS (ppm)	COD (ppm)	BOD (ppm)
9 月	上 旬	20.5	6.9	0.8	63	67	54
	中 旬	15.0	7.7	0.6	65	78	
	下 旬	13.4	7.6	0.2	30	56	57
10 月	上 旬	10.6	7.6	0.3	14	31	13
	中 旬	5.4	7.0	0.2	17	26	12
	下 旬	3.5	7.6	0.2	11	25	22
11 月	上 旬	-0.3	7.6	0.3	11	23	9
	中 旬	-0.4	7.6	0.4	23	27	6
	下 旬	-2.0	7.6	1.0	26	27	13
12 月	上 旬	-5.7	7.7	4.7	18	27	23
平 均		5.9	7.6	0.9	27.8	38.7	23.2

分析試料は静置後の上澄液。

一排水は濃縮後澱粉かすと混合・乾燥して飼料を製造している。供試排水は脱汁後の1次セパレーター排水を主体とし、この排水に飼料製造工程で排出されるかす脱水排水を混合した。

3) 運転状況

澱粉工場の操業日数はおおむね100日である。操業当初の曝気池水温は20°Cであるが、10月中旬以降の後半50日間は、水温10°C以下の低温下での運転になる。試験開始の昭和48年は、曝気による処理の可能性を見いだすことができた。昭和49年は、水温低下とBOD除去率との関連を究明すべく試験を進めたが、操業が11月上旬に終了したため寒冷期試験ができなかった。昭和50年は、

操業日数が長かったので、寒冷期における試験結果を得ることができた。

4) 試験結果

例を昭和50年の試験成績で示せば表2, 3, 4, 5のとおりである。結果を要約すると、

①好気性微生物処理法である長期間表面曝気処理が、寒冷期における澱粉排水処理に採用できることが確認された。

②寒冷期運転においては、SVIの増加に伴いSSの分離は困難となるが、処理水の上澄水でBOD除去率の低下はなかった。SVIの高いことが、必ずしも処理水のBOD値の高低と直接関係しないことを明らかにした。

表 5. 曝気池負荷計算 (50. 9. 3~50. 12. 11)

項 目 旬 別		水 温 (℃)	BOD 容積負荷 (kgBOD/ m³/日)	BOD 汚泥負荷 (kgBOD/kg MLSS/日)	滯留日数 (日)	COD 除去率 (%)	BOD 除去率 (%)	O2/ COD	O2/ BOD
9 月	上 旬	20.7	0.09	0.075	11	92.3	95.1	2.35	1.82
	中 旬	18.9	0.12	0.077	9	90.4	—	2.03	1.48
	下 旬	18.3	0.15	0.082	9	92.3	95.8	2.25	1.18
10 月	上 旬	15.5	0.14	0.072	9	96.5	98.9	1.66	1.20
	中 旬	13.2	0.18	0.076	8	97.2	99.2	1.53	0.95
	下 旬	12.0	0.19	0.069	8	97.6	98.5	1.34	0.92
11 月	上 旬	9.0	0.17	0.061	8	98.1	99.3	1.23	1.04
	中 旬	7.8	0.14	0.055	8	97.8	99.4	1.23	1.28
	下 旬	6.1	0.16	0.074	8	97.9	99.0	1.12	1.07
12 月	上 旬	2.8	0.17	0.080	8	97.7	98.4	1.22	1.01
平 均		12.4	0.15	0.072	8.6	95.8	98.2	1.60	1.20

③SVIが増加した処理水の運転後期(11月10日以降)の汚泥は、沈降分離試験を行った結果、5時間でおおむね50%程度沈降することが解った。このことは、沈降槽による汚泥の分離の可能性を示した。試験結果は表6のとおりである。

④排水量の多い工場で、連続回分方式により1日2回の放流を行う場合、曝気機の長時間停止に伴うロスに加えて短時間に多量の排水を放流しなくてはならないため、運転後期には汚泥の流出が避けられない。したがって、コストは高くなるが沈降槽を設備して連続放流する方式を採用せざるを得ないとの結論を得た。排水量の少ない工場は、連続回分方式での処理は可能である。

(3) 連続方式による試験(昭和51年~52年)

南十勝農工連は、原料馬鈴しょ処理量が、1日900~1,000トンの大型工場であり、連続回分方式での処理はできないとの結論から、新たに沈降槽を設置するとともに処理を要する排水の全量処理を計画し、従来の設備を大幅に改造して対応することにした。

1) 改造設備の概要

①従来の曝気池に新たにエアレーター3台を増設、従来の3台と合わせ6台とし、池内の酸素供給とかくはん力の増大を図った。

②曝気池の処理水は、従来回分方式による1日2回の放流であったが、機械装置の沈降槽を設置して連続放流とし、エアレーターの連続運転による効率の向上とSSの除去を図り、沈降槽の汚泥は常時曝気池に返送する仕組みとした。

③澱粉の精製工程は、セパレーターによる3段返乳方式であるが、2次セパレーター排水の再使用を図り、3段目の精製をハイドロサイクロンで処理、従来精製工程に返乳していた脱水乾燥工程の戻り乳をセパレーターで濃縮後返乳し、排出されるBOD 100 ppm以下の排水は沈殿池経由放流とした。このことにより曝気処理を要する排水は、100 m³/hr程度となった。排水の内訳は

- かす脱水排水 5 m³/hr
- RO 排水 10 m³/hr
- 1次セパレーター排水 85 m³/hr

図 3. 曝気池構造と排水系統図

表 6. 寒冷期 (11/10~12/11) の沈殿汚泥の経時変化表 (50. 11. 10~50. 12. 11)

時 間			水 温	S V30	1 時間後	2 時間後	5 時間後	24 時間後
日 別			(°C)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
11 月	10 日		8.0	93	87	66	34	25
			7.6	92	84	67	35	25
			7.4	81	63	49	31	24
			7.5	84	69	52	32	25
			7.8	93	81	57	35	26
			7.8	94	87	57	35	25
			7.8	94	84	63	37	26
			8.0	94	83	71	42	27
			7.5	93	87	75	46	27
			8.1	93	84	68	40	26
			8.3	90	82	68	40	26
			7.6	95	87	72	40	26
			7.5	95	89	76	40	28
			7.8	95	88	71	46	27
			6.7	95	88	69	47	27
			5.0	95	88	77	47	28
			4.6	96	90	79	49	28
			4.8	96	92	81	53	28
			5.0	92	81	65	43	27
			5.5	96	89	76	52	28
			6.0	96	89	83	57	28
	12 月	1 日	4.9	97	93	88	60	32
		2	4.3	97	93	80	57	31
		3	3.9	97	96	84	60	30
		4	4.0	93	88	78	53	29
		5	4.0	97	94	88	67	32
		6	3.4	97	94	86	62	33
		7	3.2	97	94	88	65	33
		8	2.0	97	94	87	67	33
		9	1.3	97	94	85	65	33
		10	0.4	97	94	85	53	33
		11	-0.1	97	94	89	57	33

となり、混合排水の BOD は水量の減に伴い、当然のことながら、50年度平均の 1,300 ppm が51年度は、2,300 ppm、52年度は 1,800 ppm となった。

2) 曝気設備の概要

①曝気池規模

表面積: 7,200 m² (上部 60 m×120 m, 水深 2.7 m)
有効容積: 17,000 m³ 素堀池法面ビニールシート張り

②曝気設備

形式: フローティングシグマ (神鋼製)

D-80Fv-25 (16 S) 19 kW 3 台

Y-100-37N (24) 37 kW 3 台

酸素溶解量: D-80F-25 (16 S) 1 台当り 37.8 kg/hr

Y-100-37N (24) 1 台当り 72.1 kg/hr

③沈降槽

- 胴部鋼板製, 底部鉄筋コンクリート造り 1 槽
- 直径 18 m, 水深 3 m, 実容量 775 m³
- 汚泥かき寄せ機, 汚泥返送ポンプほか

④処理水池

表 7. 混合排水の水質分析結果 (51. 9. 1~51. 12. 23)

	流入量 (m ³ /D)	水温 (°C)	pH	COD (ppm)	BOD (ppm)
9 月 上 旬	2,188	17.1	6.4	360	1,280
中 旬	2,353	16.8	6.4	1,500	3,450
下 旬	2,154	16.1	6.7	1,151	2,608
10 月 上 旬	2,072	15.5	6.4	766	2,004
中 旬	2,040	15.1	6.5	680	1,910
下 旬	2,138	14.3	6.3	931	2,420
11 月 上 旬	2,086	13.6	6.7	837	1,921
中 旬	2,125	12.4	6.5	1,066	2,044
下 旬	2,151	11.8	7.3	1,234	2,315
12 月 上 旬	2,160	11.2	6.7	1,353	1,756
中 旬	2,018	10.7	6.8	1,690	3,592
下 旬	2,070	9.7	7.2	—	—
平 均	2,129	13.7	6.7	1,051	2,300

表 8. 曝気池の水質分析結果 (51. 9. 1~51. 12. 23)

	水温 (°C)	pH	DO (ppm)	SV30 (%)	MLSS (ppm)	SVI
9 月 上 旬	18.8	8.3		45.8	3,165	144
中 旬	18.2	8.3	0.8	72.7	4,496	162
下 旬	16.6	8.2	0.6	51.0	4,480	114
10 月 上 旬	14.4	8.1	2.3	87.9	4,330	203
中 旬	11.8	8.1	3.0	85.1	4,484	212
下 旬	10.5	8.0	1.5	96.5	4,470	216
11 月 上 旬	7.7	8.0	2.1	91.5	4,105	223
中 旬	5.2	7.8	1.8	90.6	4,375	207
下 旬	4.2	7.8	2.2	91.5	4,649	197
12 月 上 旬	4.2	7.7	2.2	83.0	4,412	188
中 旬	2.8	7.6	2.7	87.6	5,103	172
下 旬	1.1	7.6	2.7	—	5,859	—
平 均	9.6	8.0	2.0	81.2	4,494	185

フリューム排水と曝気処理水との混合池. 素堀池 60m
×120m, 水深 2.0 m

曝気池構造と排水系統は図 3 のとおりである.

3) 運転状況

①昭和51年度

処理を要する排水の, 全量処理運転の初年度であることと, 運転当初蛋白工場床排水を混合処理したことなどのトラブルが重なり, 9 月中は曝気池内の水質が不安定で経過, 処理排水は悪かったが後半はおおむね良好となり, 初期の目的どおりの運転をすることができた.

②昭和52年度

51年に引き続き設備のフル運転を行った. 操業前の汚泥の馴養は順調に推移し, 操業当初より良好な運転に入ることができた. しかしながら, 9 月下旬より約 1 か月間エアレーター 1 台 (37 kW) の故障により 5 台運転となり, 池内かくはん不十分により汚泥の一部に嫌気発酵を伴ったような現象が現われ, 沈降槽での SS の分離が困難になったが, 処理水の上澄水質には影響がなかった. 52年は51年に比べ, SS 分離の困難性を伴った運転であった.

表 9. 処理水質分析結果 (51. 9. 1~51. 12. 23)

	pH	SS (ppm)	COD (ppm)	BOD (ppm)
9 月 上 旬	8.3	153	167	186
中 旬	8.3	160	161	194
下 旬	8.2	20	165	190
10 月 上 旬	8.1	77	100	90
中 旬	8.1	65	66	60
下 旬	8.0	59	60	63
11 月 上 旬	8.0	81	67	99
中 旬	7.8	51	68	83
下 旬	7.8	67	77	88
12 月 上 旬	7.7	122	128	102
中 旬	7.6	135	150	114
下 旬	7.6	89	—	—
平 均	8.0	90	110	115

4) 運転結果

昭和51年度の運転成績は表 7, 8, 9, 10, 昭和52年度の運転成績は表 11, 12, 13, 14 のとおりである。50年までの連続回分方式と比較して列記すると次のとおりである。

①沈降槽の設置に伴い、MLSS濃度を高く運転したが曝気池のかくはんは良く、12月下旬の運転でも池の表面が結氷するようなことはなかった。気温、水温の経過は図 4 のとおりである。

②BOD 容積負荷は、51年は $0.30 \text{ kg BOD/m}^3/\text{日}$ 、52 年で $0.25 \text{ kg BOD/m}^3/\text{日}$ と高負荷運転であった(50年 $0.15 \text{ kg BOD/m}^3/\text{日}$)。

③曝気池内溶存酸素は、51年 2.0 ppm 、52年 2.5 ppm と上昇した(50年 0.9 ppm)。

④曝気池内 MLSS 濃度は、51年 $4,500 \text{ ppm}$ 、52年 $3,350 \text{ ppm}$ と高濃度運転を行った(50年 $2,100 \text{ ppm}$)。

⑤曝気池での滞留日数は、汚泥の常時返送に伴い 4.7 日となった(50年 8.6 日)。

5) 沈降槽の運転

51年の運転状況は表15, 52年は表16のとおりである。

51年は9月中の曝気池内の水質不安定により、処理水の SS は高い数値を示したが、10月以降は 150 ppm 以下を維持できた。11月下旬から返送汚泥の引抜き量の調整を行いながら運転した。引抜いた余剰汚泥は、一時貯留翌年の曝気処理とした。51年の沈降槽の負荷実績は、表面積負荷 $14 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ 、滞留時間5時間であった。汚泥の分離については、多分に汚泥の性状によるところが大きい、機械装置による沈降槽での SS 分離の可能性を確認することができた。

52年はエアレーター1台が故障したため、5台運転の状態で9月下旬から10月下旬まで続いたことと、負荷軽減のため、排水の混合割合の変更等を行ったことにより、汚泥の性状に変化があったと思われる事態が発生、沈降槽での汚泥の沈降は困難であった。52年の汚泥の経

表 10. 曝 気 池 負 荷 計 算 (51. 9. 1~51. 12. 23)

	気 温 ($^{\circ}\text{C}$)	水 温 ($^{\circ}\text{C}$)	BOD 容積負荷 ($\text{kgBOD/m}^3/\text{日}$)	BOD 除 去 率 ($\text{kgBOD/m}^3/\text{日}$)	滞 留 日 数 (日)
9 月 上 旬	21.8	18.8	0.17	85.5	4.7
中 旬	19.5	18.2	0.48	94.4	4.5
下 旬	16.9	16.6	0.33	92.7	4.7
10 月 上 旬	15.7	14.4	0.24	95.7	4.8
中 旬	11.2	11.8	0.23	96.8	4.9
下 旬	10.5	10.5	0.30	97.4	4.8
11 月 上 旬	6.8	7.7	0.24	94.8	4.5
中 旬	2.6	5.2	0.26	95.9	4.5
下 旬	0.0	4.2	0.29	96.2	4.5
12 月 上 旬	0.5	4.2	0.22	94.2	4.7
中 旬	-5.3	2.8	0.43	96.8	4.8
下 旬	-11.3	1.1	0.49	—	4.7
平 均	7.4	9.6	0.30	94.6	4.7

表 11. 混合排水の水質分析結果 (52.8.24~52.12.9)

	流入量 (m ³ /D)	水温 (°C)	pH	COD (ppm)	BOD (ppm)	SS (ppm)
8 月 下 旬	1,924	17.0	7.7	574	1,441	220
9 月 上 旬	2,564	17.2	6.5	662	1,353	—
中 旬	2,364	17.3	6.2	670	1,688	199
下 旬	2,831	16.8	6.6	719	1,614	270
10 月 上 旬	2,291	16.3	6.4	793	1,634	283
中 旬	1,473	15.6	6.0	917	1,735	110
下 旬	2,340	14.9	6.4	944	1,753	493
11 月 上 旬	2,486	14.1	6.6	1,058	1,836	243
中 旬	2,585	13.3	6.9	1,069	1,927	—
下 旬	2,585	13.5	6.6	1,224	2,098	—
12 月 上 旬	2,640	12.6	7.2	1,605	2,429	236
平 均	2,371	15.3	6.7	938	1,773	258

表 12. 曝気池の水質分析結果 (52.8.24~52.12.9)

	水温 (°C)	pH	DO (ppm)	SV30 (%)	MLSS (ppm)	SVI
8 月 下 旬	18.4	8.0	4.6	75.9	2,670	285
9 月 上 旬	19.9	7.7	1.6	93.3	2,846	285
中 旬	17.7	7.6	1.0	62.3	2,680	332
下 旬	16.7	7.7	1.5	94.4	3,310	192
10 月 上 旬	15.3	7.9	1.1	98.2	3,788	262
中 旬	13.1	7.7	1.2	98.1	4,021	246
下 旬	10.8	7.8	3.8	98.9	3,836	261
11 月 上 旬	10.5	7.8	2.8	95.3	2,729	351
中 旬	7.5	7.9	4.0	96.7	2,662	356
下 旬	8.6	7.8	2.4	98.8	4,178	241
12 月 上 旬	5.8	7.8	3.8	98.1	4,125	239
平 均	13.1	7.8	2.5	91.8	3,350	277

時沈降試験は表17のとおりであるが、50年に比べて沈降状態は良くない数値を示している。

4. 馬鈴しょ澱粉排水の長期間表面曝気処理における問題点

昭和48年から52年までの試験結果から、好気性微生物による長期間表面曝気法が、澱粉排水の処理法として北海道の寒冷地に対応できる排水処理法として組み込まれることになったが、運転管理上の問題点として次のものがあげられる。

(1) 操業前の汚泥の馴養

澱粉工場は季節工場であるので、毎年8月の操業期前に汚泥の馴養が必要である。このことはきわめて重要な要素を占め、馴養いかんによっては操業に支障を来すことになりかねない。したがって、前年度曝気池に発生した汚泥の利用方法と、操業前の曝気池の早期運転開始が必要である。馴養に当っては、前年度汚泥を河川水で希釈馴養を図るが、工場操業前は栄養になる排水がなく、工場は操業開始とともにフル運転になる実態から、操業当初曝気池の汚泥馴養に合わせて工場運転を調整す

図4. 曝気池の気温、水温およびチャージ水温 (51.9.1~51.12.17)

表 13. 処理水質分析結果 (52.8.24~52.12.9)

	pH	SS (ppm)	COD (ppm)	BOD (ppm)
8 月 下 旬	8.1	41	90	56
9 月 上 旬	7.8	78	64	46
中 旬	7.7	183	86	89
下 旬	7.8	137	74	67
10 月 上 旬	7.1	113	44	38
中 旬	7.9	56	45	39
下 旬	7.8	22	33	27
11 月 上 旬	7.9	56	30	23
中 旬	7.1	48	27	20
下 旬	8.0	47	34	22
12 月 上 旬	8.0	20	41	20
平 均	7.7	73	52	41

10月下旬以降の分析試料は静置後の上澄液.

ることができない悩みがあり、これの対応も将来の検討事項である。

(2) 処理水の SS の分離

前にも述べたが、澱粉工場の操業は後期の50日間は水温10℃以下の運転である。BOD の除去率は水温低下の影響もなく処理が可能であるが、汚泥のいかんによっては SS の分離困難を伴い、処理水に SS が流出するので、この防止対策として、運転管理上浄化能力があ

り、凝集性の良い汚泥をつくる必要がある。

(3) 曝気池の適正な運転管理

適正な運転管理はどの設備であってもいえることであるが、とくに澱粉排水は操業後半に水質が悪化、BOD が上昇するので、多少の水質・水量の変化に耐えうる設備であっても適正負荷による管理が必要である。

とくに種類の異なる排水を混合処理する場合は、混合割合の変動による水質の変化は極力さけ、常に一定の水質のものを処理するのが望ましい。一度微生物の状態を変化させると3~4か月の工場操業のなかで平常に戻るまでの期間がなく、大きな支障になり兼ねない。

同じ澱粉工場でも地域条件、気象条件が異なり、製造工程および用水量の相違、BOD の相違がある。したがって、自工場に適応した運転管理法、最良条件の把握が必要である。このためには年度ごとのデータの積み上げが必要であり、これの解析と微生物管理が重要な要素になる。

5. 長期間曝気処理の運転管理指針

運転管理の一般的指針を要約すると次のとおりである。

(1)原排水は、BOD 1,500~2,000 ppm のセパレーター排水である。RO (逆浸透) 排水とかす脱水排水は、セパレーター排水と混合処理は可能である。一時貯留した排水の翌年処理は、凝集性の弱い沈降の悪い汚泥が発生し、ブロックが細かく分離が悪い。

表 14. 曝 気 池 負 荷 計 算 (52. 8. 24~52. 12. 9)

	気 温 (°C)	水 温 (°C)	BOD 容積負荷 (kgBOD/m ³ /日)	BOD 除去率 (%)	滞 留 日 数 (日)
8 月 下 旬	18.9	18.4	0.16	96.1	6.5
9 月 上 旬	17.6	19.9	0.20	96.6	5.1
中 旬	13.4	17.7	0.23	—	4.8
下 旬	11.9	16.7	0.27	95.8	4.1
10 月 上 旬	10.2	15.3	0.22	97.8	4.9
中 旬	7.3	13.1	0.15	97.7	7.8
下 旬	6.9	10.8	0.24	98.5	4.3
11 月 上 旬	2.3	10.5	0.27	98.7	3.5
中 旬	1.4	7.5	0.29	99.1	3.6
下 旬	2.1	8.6	0.32	99.1	3.5
12 月 上 旬	— 5.1	5.8	0.38	99.2	3.5
平 均	4.1	13.1	0.25	97.9	4.7

表 15. 沈 降 槽 運 転 結 果 (51. 9. 1~51. 12. 23)

	流 入 水				返 送 汚 泥			
	流 量 (m ³ /D)	水 温 (°C)	MLSS (ppm)	SVI	返送量 (m ³ /D)	曝気槽 (m ³ /D)	引抜量 (m ³ /D)	SS (ppm)
9 月 上 旬	3,614	18.8	3,165	144	1,440	1,440		
中 旬	3,793	18.2	4,496	162	1,440	1,440		
下 旬	3,599	16.6	4,480	114	1,440	1,440		
10 月 上 旬	3,512	14.4	4,330	203	1,440	1,440		
中 旬	3,480	11.8	4,484	212	1,440	1,440		
下 旬	3,578	10.5	4,470	216	1,440	1,440		
11 月 上 旬	3,766	7.7	4,105	223	1,680	1,680		
中 旬	3,802	5.2	4,375	207	1,680	1,680		8,196
下 旬	3,831	4.2	4,649	197	1,607	1,502	105	10,566
12 月 上 旬	3,840	4.2	4,412	188	1,423	1,166	257	8,909
中 旬	3,518	2.8	5,103	172	1,550	1,425	125	11,236
下 旬	3,390	1.1	5,859	—	1,550	1,420	130	12,520
平 均	3,643	9.6	4,494	185	1,344	1,459	154	10,285

(2)原排水の前処理として、排水中の微細なかすの除去が必要である。繊維状の微細なかすは、曝気池内で分解はしないので、曝気池内への混入は極力避けなければならない。また、前処理池での長期間滞留は、嫌気発酵防止のため避けなければならない。

(3)曝気槽の BOD 容積負荷は、0.1~0.3 kg BOD/m³/日 が標準であり、0.2 kg BOD/m³/日以上の場合、余剰汚泥の引抜きが必要となる。したがって、汚泥の自己

消化の範囲内では 0.2 kg BOD/m³/日以下の運転が適正であり、MLSS 濃度は 2,000~3,000 ppm, DO 2 ppm, 滞留日数は 5~10日の範囲内であるが 7 日以上が好ましい。

(4) SS 除去のため沈降槽・沈殿池の併設が必要であり、沈降した汚泥は排出しなければならない。排出しないと、沈降した汚泥は長時間放置により、嫌気発酵を起し処理水を悪化させる原因となる。曝気池からの処理水の放流

表 16. 沈 降 槽 運 転 結 果 (52. 8. 24~52. 12. 9)

	流 入 量				返 送 汚 泥			
	流 量 (m ³ /D)	水 温 (°C)	MLSS (ppm)	SVI	返送量 (m ³ /D)	曝気槽 (m ³ /D)	引抜量 (m ³ /D)	SS (ppm)
8 月 下 旬	2,495	19.1	2,670	285	675	675		
9 月 上 旬	3,489	20.0	2,846	285	856	856		
中 旬	3,891	17.2	2,680	332	1,151	953	198	
下 旬	3,806	16.6	3,310	192	1,296	1,090	206	
10 月 上 旬	3,510	15.2	3,788	262	1,200	1,200		
中 旬	2,434	13.1	4,021	246	709	659	50	
下 旬	3,968	11.0	3,836	261	1,606	1,606		
11 月 上 旬	4,800	10.7	2,729	351	2,400	2,400		3,074
中 旬	4,614	7.5	2,662	356	2,130	2,130		6,637
下 旬	4,752	8.7	4,178	241	2,223	2,060	163	8,218
12 月 上 旬	4,787	6.1	4,125	239	2,163	1,528	635	6,625
平 均	3,841	13.2	3,350	277	1,492	1,378	114	6,139

表 17. 汚泥経時沈降状況 (52. 8. 24~52. 12. 9)

旬 別 \ 時 間	SV30 (%)	1 時間 (%)	2 時間 (%)	5 時間 (%)
8 月 下 旬	—	—	—	—
9 月 上 旬	—	—	—	—
中 旬	—	—	—	—
下 旬	96.3	93.2	86.7	66.2
10 月 上 旬	98.1	96.4	92.7	77.7
中 旬	98.1	95.2	93.3	79.9
下 旬	98.7	97.0	94.1	72.7
11 月 上 旬	95.3	83.0	65.5	48.0
中 旬	96.7	88.8	68.0	50.8
下 旬	98.8	97.5	94.2	85.6
12 月 上 旬	98.1	93.6	74.9	60.0
平 均	97.5	93.1	83.7	67.1

が、機械式沈降槽を設置した連続放流方式では、常時汚泥は曝気池に返送している。沈降槽能力により BOD 容積負荷 0.3 kg BOD/m³/日前後、MLSS 濃度 4,000 ppm 前後での運転は可能であるが、操業後半には余剰汚泥の引抜きが必要である。

6. 澱粉工場での長期間表面曝気処理の利用状況

長期間表面曝気処理は昭和49年以降多くの工場で採用

しているが、この方法の欠点は、土地面積を拡大に必要とすることである。道内の澱粉工場は、幸いなことに広い面積と多くの貯留池・沈殿池を持っていたことがこの方法の採用された大きな要因とされ、なおかつ曝気槽は、一部築堤のみビニールシート張りで、大部分は素掘りのまま使用可能であったことと、余剰汚泥の発生がないことが採用しやすかった要因としてあげられる。現在、北海道で使用しているエアレーターは、浮上式曝気機が多く、長期間表面曝気処理試験を契機に、各種曝気機が、澱粉排水用に導入され、表面インペラ型をはじめ、ドラフト管型・マンモスローターブラシ型が使用されている。ほかに水中曝気機による、長期間曝気も行われている。

(1) 長期間表面曝気法の利用方法

長期間表面曝気法の使用事例は次のとおりである。

1) 操業期間中にセパレーター排水を処理、河川に放流する。

2) 貯留池・浸透池の悪臭防止と汚濁負荷量の軽減を目的として、デカンター濃厚排水・セパレーター排水の曝気処理。

3) デカンター濃厚排水を一時的貯留し、翌年の5～8月の非操業期間に曝気処理を行い、河川に放流する。処理の方法として、処理水を原排水の希釈用にリサイクルすることが試みられている。

これらの曝気方法を排水処理の中に組み込ませている工場は道内に12工場ある。前にも述べたが、北海道の馬

図 5. 南十勝農工連排水処理工程図

鈴し 澱粉工場にデカンターによる脱汁方式が採用されて、濃厚排水の処理が方向づけられた。そして、汚濁源の減少したセパレーター排水が、長期間表面曝気処理法により処理可能であることは、今後運転管理の技術的問題点は残されているが、現時点で北海道の馬鈴し 澱粉工場としての排水処理の一つのパターンができたものと考えられる。

現在多くの工場が、この長期間表面曝気処理を組み込んで、地理的条件の異なる工場が、それぞれ自工場の環境に適合した排水処理法を組み合わせ、水質基準に対応している。

7. 南十勝農工連の排水処理の概要

長期間表面曝気処理を組み込んだ、排水別処理概要を紹介すると次のとおりである(図 5 参照)。工場全景は写真 1、図 6 を参照。

(1) フリューム排水

南十勝農工連の原料馬鈴し 集荷地域は、地帯の特殊性より石礫類が多いので、そのままポテトビンへの集積は流送に支障をきたすため、水による洗浄受け入れを実施している。すなわち、受け入れ時スクリーンで遊離土砂を分離したあと、水を利用して、除石装置により、石等比重の高いものを馬鈴しより分離し、さらに、洗浄

写真 1. 南十勝農工連全景

図 6. 南十勝農工連全量説明図

装置により洗浄後、ベルトスケールで秤量後ポテトビンに集積している。この際排出される受け入れ洗浄排水は、スクリーンで馬鈴しょの切片・皮等を除去したあと、沈殿池経由で浄化して、上澄水をリサイクル使用している。このことにより、以後の流送・洗浄排水の汚濁負荷量が減少し、フリューム排水の浄化処理を容易にしている。

南十勝農工連は、デカンター濃厚排水を全濃縮する蛋白飼料工場を併設しているので、蛋白工場より排出されるコンデンサー冷却水を馬鈴しょの洗浄用に使用し、排出される洗浄排水はスクリーンで馬鈴しょの切片・皮等を除去したあと、ポテトビンからの馬鈴しょ流送に再使用している。このフリューム排水は、沈殿池で沈殿浄化のあと上澄水を河川に放流している。リサイクル使用し

ている受け入れ洗浄排水は、若干の清水を補給しながら使用し、操業終了後土砂を沈降させ上澄水を浄化放流している。

(2) デカンター濃厚排水

デカンター濃厚排水は、全量濃縮して澱粉かすと混合飼料化しているが、濃縮工程は前処理で RO 装置を用い、あとは効用缶濃縮している。RO 装置よりの透過水は、BOD 濃度が低いので、セパレーター排水と混合し長期間表面曝気処理を行っている。澱粉かすの脱水工程で排出したかす脱水排水は、同じく長期間表面曝気処理を行っている。

(3) セパレーター排水

澱粉工場の一般的精製工程は、セパレーター使用によ

写真2. 南十勝農工連曝気池全景

写真3. 南十勝農工連長期間表面曝気

写真4. 南十勝農工連長期間表面曝気沈降槽

る3段返乳方式であるが、南十勝農工連は、昭和51年、この方式にハイドロサイクロンを導入し、従来の3次セパレーターをハイドロサイクロンに置き換え、昭和53年には2次セパレーターもハイドロサイクロンに置き換え

た。同時に、乾燥・精粉工程よりの戻り乳とハイドロサイクロンの上出乳をセパレーターで濃縮し、乳は精製工程に返乳、排水はBOD濃度が低いので、フリューム排水と混合沈殿浄化後河川に放流している。したがって、セパレーター排水は1次セパレーター排水のみで、これは長期間表面曝気処理を行い河川に放流している。タンパク工場床排水等の質の異なる排水については、一時貯留後翌年曝気処理を行っている。曝気設備は写真2, 3, 4を参照。

以上が排水処理の概要であるが、排水処理設備は完成したものではなく、まだまだ設備の改造が残されているのが現状である。

む す び

北海道の澱粉工場の排水処理の経過と、昭和48年から始めた長期間表面曝気処理による澱粉排水の試験結果と、これを組み合わせた北海道の排水処理の実態を紹介したが、今後これら排水処理技術が日進月歩し、ますます進歩するであろうことを期待するものである。なお、48年度の試験は北海道澱粉工業協会の研究開発事業の委託試験として、共同研究によったものであることを付記するとともに、協会ならびに“でん粉無公害製造方式の開発に関する研究会”で種々ご指導をいただいた食品総合研究所鈴木所長、微生物工業技術研究所太宰博士、北海道立工業試験場吉町博士および、北海道立公害防止研究所、ホクレン開発研究部、ともに取り組んでいただいた農協系統澱粉工場の各位に厚くお礼申しあげる次第であります。終りに日本澱粉学会の今後ますますの発展を祈念します。

文 献

- 1) 北海道澱粉工業協会：長期間表面曝気試験報告書 (1974)。
- 2) 矢木敏博：澱粉科学，21 (1)，70～80 (1974)。
- 3) 北海道澱粉工業協会：長期間表面曝気による馬鈴しょ澱粉セパレーター排水処理試験の成績について (1976)。
- 4) 日本澱粉学会北海道支部：十周年記念誌 (1977)。
- 5) 北海道農務部：でん粉工場排水の処理と利用 (1978)。
- 6) 北海道農務部：北海道における馬鈴しょの概況 (1978)。