焼酎蒸留廃液の処理について

—固液分離, 濃縮, 焼却, 凝縮液の生物処理—

焼酎蒸留廃液の約半量は海洋投棄によって処理されているが, 2001 年にはゼロにするとしており, 業界は処理法の開発を迫られている。そこで各種処理法を検討し燃焼法の採用に係わった著者にその概要を解説していただいた。

山 下 實

1. は じ め に

わが国固有の蒸留酒である焼酎の製造過程で発生する蒸留廃液は, かなりの割合で海洋投棄されている¹⁾。廃棄物の海洋投入処分については原則禁止した上で, 海洋投入処分が認められる廃棄物の種類を規定した所謂 Reverse List を採用し, 環境上影響がないと認められる廃棄物についてのみ許可を発給する制度 (WAF 方式: Waste Assessment Framework) の導入が 1996 年 11 月 8 日のロンドン条約締約国特別会合で決められた²⁾。今後 WAF での制約を受けることになるのは避けられない。一方, 焼酎業界は既に環境庁に対して

2001 年には海洋投棄をゼロにするとの約束から, この履行のためにも海洋投入処分から陸上処理への転換を急がなければならない状況にある。本システムを採用するまでに, 焼酎蒸留廃液の有効利用を図るために, 食品素材, 飼料, 肥料などとしての検討も行ったが, 結果として以下の 4 条件をクリアするシステムについて実施することとした。

- 1) 確実に処理が出来てリスクが小さいこと。
- 2) 低コストであること。[(金利+償却) 5,000 円/t 以下]
- 3) 高度な技術を必要とせず, 管理が容易であること。

第 1 表 乙類焼酎製造数量

(単位: 25 度換算)

平成年 県別	4		5		6		7	
	k l	%	k l	%	k l	%	k l	%
熊 本	16,962	6.4	18,620	6.7	21,551	6.9	24,415	7.8
大 分	34,650	13.1	36,020	12.9	38,020	12.2	50,901	16.3
鹿 児 島	116,873	44.1	118,105	42.3	131,175	42.2	119,092	38.0
宮 崎	56,135	21.2	61,136	21.9	72,143	23.2	71,481	22.8
累 計	224,621	84.8	233,881	83.8	262,889	84.6	265,889	84.9
全 国	264,730	100.0	279,189	100.0	310,829	100.0	313,075	100.0

(熊本国税局鑑定官室: しょうちゅう調査書、平成 7 年度)

Treatment of Wastewater Discharged from Shochu Distillery
—Solid•Liquid Separation, Concentration, Biological Treatment of Condensate—
Makoto YAMASHITA (Unkai Shuzo Co., Ltd.)

第1図 焼酎蒸留廃液処理装置フローシート

第2表 平成7酒造年度（'95）焼酎蒸留廃液処理の現状（南九州4県）

	海洋投棄	特殊肥料	飼 料	その他	合 計
熊 本	66.7 %	0.3	29.9	3.1	100
大 分	32.2	2.5	62.3	2.9	100
鹿児島	48.1	18.5	11.9	21.6	100
宮 崎	39.4	43.3	4.9	12.3	100
合 計	44.6	21.2	19.0	15.2	100
(kl)	171,100.7	81,229.8	72,697.8	58,301.3	383,329.6

（熊本国税局鑑定官室：しょうちゅう調査書、平成7年度）

4) 公害の先送りをせず、他力依存型でなく、自己完結型であること。

焼酎蒸留廃液処理システムとして固液分離、濃縮、焼却、凝縮液の生物処理による方法について説明する。なお、本システムによると、処理工程の中間生成物を食品素材、飼料、肥料などへ利用することも可能であり、自由度の高いシステムである。

2. 焼酎蒸留廃液処理システム

処理システムは第1図に示すとおりである。

1) 固液分離

焼酎蒸留廃液を濃縮、焼却処理するための前処理として、蒸留直後の熱い状態のままなんらの前処理をすることなくスクリュウデカンタ型遠心分離機（石川島播磨重工業㈱ IHI-HS-366 L）にて固液分離を行う。デカンタへの供給ポンプとして兵神装備㈱モノポンプ NE-40 PA 型を用いた。処理物の目標数値として、濾液の SS（懸濁物質）濃度は 10,000 ppm 以下。脱水ケーキ含水率は 80% 以下とした。各種原料毎の蒸留廃液のデカンタ処理における差速と濾液の SS の関係を第3図、通液量と濾液 SS の関係を第4図、差速と脱水ケ

①原液入口	⑧内胴吐出口	⑮防振装置
②駆動用プーリ	⑨外胴	⑯分離液出口
③主軸受	⑩内胴スクリュウ	⑰ケーシングドレン出口
④外胴軸	⑪オリフィスプレート	⑱ケーキ出口
⑤外胴吐出口	⑫ケーシング	⑲フレーム
⑥内胴	⑬ギヤボックス	
⑦内胴吐出室	⑭差速用プーリ	

第2図 スクリュデカンタ型遠心分離機の構造

第3図 差速と濾液SSの関係

第4図 通液量と濾液SSの関係

第5図 差速と脱水ケーキ含水率の関係

- 麦製 減圧
- 麦製 常圧
- そば製 減圧
- 米製 減圧
- △-- いも製 常圧

第3表 固液分離の最適処理条件

	遠心効果	差速	ダム	通液量	ケーキ含水率	SS回収率
	(G)	(rpm)	No.	(m³/hr)	(%)	(%)
麦製 減圧	3000	10	1	1.5	74~78	87.6
麦製 常圧	3000	7~10	1又は2	2.0~3.0	76~78	89.5
そば製減圧	3000	10	1	1.5	75~78	84.0
米製 減圧	3000	10	1	1.5~2.0	70~73	94.9
いも製常圧	3000~3500	7~10	1又は2	2.0~3.0	87~89	96.4

ーキ含水率の関係を第5図に示す。いも製以外は設定した目標数値をクリアした。いも製の脱水ケーキは元来保水性が高く、物性的には水分の少ないように見えるが、取扱いに特別問題はないのでこのまま使用することとした。以後のプロセスの前処理として操作性、連続安定性からみてデカンタの最適処理条件を第3表のとおりとした。

2) 濾液の濃縮及び濃縮液、脱水ケーキの焼却

濾液の濃縮はUBE-Sulzer 強制循環型濃縮システムを二重効用罐として用いるが、実証テストプラントでは単罐として用いた。濃縮液の含水率は自然可能な70%とした。この濃度では流動性は良好で燃焼に支障を来すことはない。濃縮装置は667時間連続運転した結果では、循環ヒーターのチューブへのスケーリングの発生も認められず、特に問題はなかった。

濃縮液と脱水ケーキの燃焼、焼却はUBE式浅層流動床形焼却システムを用いた。焼却装置は同じく667時間連続運転した結果、融点上昇剤の使用により、燃焼ベッド内でのクリンキングを生じることなく連続運転をすることができた。濃縮液、冷却水の噴霧ノズル及び、脱水ケーキの投入孔の閉塞もなく焼却を継続することができた。第4表に煤煙濃度測定データを示す。このデータは実証テストプラントの結果であるが、そば、いものダスト濃度を除いては全て規制値をクリアしている。テストプラントでは集塵機としてサイクロンを使用した。実装置ではバグフィルターを使用している。その測定値は平均0.011g/Nm³であり、規

制値をクリアしている。臭気については第5表に示すとおり問題はない。燃焼灰の分析結果を第6表に示す。燐酸、カリウム、マグネシウム、カルシウムが多く肥料としての有効成分が含まれている。各種原料毎の濃縮液、脱水ケーキの成分分析結果を第7表に示す。

各種焼酎蒸留廃液の濾液の濃縮と、濃縮液及び脱水ケーキの焼却処理が安定して連続運転することができた。

3) 凝縮液の生物処理

濾液の減圧濃縮に伴い発生する凝縮液を嫌気性及び好気性生物処理し、最終的に放流可能な処理水とすることができた。凝縮液の水質を第8表に示す。凝縮液のCODcrはBODと同じ値を示した。凝縮液は第6図に示すように、まず嫌気性処理装置によりCODの大部分が処理され、その後の好気性処理装置で残存有機物を河川放流基準以下（宮崎県綾町BOD 15ppm以下、SS 20ppm以下）となるまで処理して放流する。嫌気性処理装置としては中高濃度の有機性排水処理に、近年、我が国でも欧米諸国よりその導入は遅れたものの急速に普及しつつあるUASB(Upflow Sludge Bed)法を更に改良して、省スペース、省ランニングコストを実現した石川島播磨重工業㈱によるIHI-IC (Internal Circulation) システムを用いた。その理由として³⁾、①有機物の分解時に酸素が不要である。②副産物としての余剰汚泥の発生量が少なく、無機化が進行している。③処理の結果、エネルギー源となりうるメタンガスが回収できる。④運転停止後の再起動が容易で

第4表 煤煙濃度測定データ

処 理 物	条 件	単 位	規制値	そ ば	麦	い も	余剰汚泥
窒素酸化物濃度	測 定 値	ppm		76	38	18.6	120
	O ₂ :12%換算値	ppm	250	60	28.5	20.9	158
硫黄酸化物濃度	測 定 値	ppm		266	210	12	28
	排 出 量	Nm ³ /hr	2.5	0.22	0.18	0.008	0.02
ダ ス ト 濃 度	測 定 値	g /Nm ³		* 0.79	0.29	0.51	0.19
	O ₂ :12%換算値	g /Nm ³	0.5	* 0.79	0.29	0.51	0.19

* 集塵機としてサイクロンを使用
 実装置ではバグフィルター使用 (9.4.14 測定値 (平均) 0.011g/Nm³)

第5表 悪臭濃度測定結果

採取場所	焼却炉排出口（排出口高さ 8 m）	
データ採取日時	95.11.09.10：45～12：00	95.11.15.11：00～12：00
採取条件	余剰汚泥燃焼排ガス	そば焼酎残燃焼排ガス
気温	16℃	16℃
(物質名)		
アンモニア	28ppm	30ppm
トリメチルアミン	0.001ppm未満	0.001ppm未満
硫化水素	0.006ppm未満	0.009ppm
メチルメルカプタン	0.0007ppm未満	0.0007ppm未満
硫化メチル	0.059ppm	3.1ppm
二硫化メチル	0.017ppm	0.017ppm
アセトアルデヒド	0.01ppm未満	0.01ppm未満
スチレン	0.2ppm未満	0.2ppm未満
プロピオン酸	0.01ppm未満	0.01ppm未満
ノルマル酪酸	0.0005ppm未満	0.0005ppm未満
イソ吉草酸	0.0005ppm未満	0.0005ppm未満
ノルマル吉草酸	0.0005ppm未満	0.0005ppm未満

第6表 燃焼灰分析データ

化学成分	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅
単位	%	%	%	%	%	%	%
そば	4.27	1.20	4.01	4.26	14.26	1.65	47.81
麦	6.37	2.47	0.54	11.41	11.35	0.82	35.51
いも	4.44	1.74	0.62	13.12	7.56	16.52	21.21
余剰汚泥	6.15	1.14	9.44	24.30	9.33	10.53	21.90

化学成分	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	熱灼減量	発熱量
単位	%	%	%	%	kcal/kg
そば	0.06	0.85	20.23	6.1	210
麦	0.04	0.77	11.20	8.4	360
いも	0.01	1.15	34.19	2.6	0
余剰汚泥	0.05	2.15	5.93	4.6	70

本データは融点上昇剤混入の燃焼灰。

あるので断続操作が可能である。⑤窒素、燐等の必須栄養成分の添加量が少なく済む。このようなメリットを好気性処理法に対して有している。UASB法は従来型の嫌気性処理法の欠点である、①好気性菌と比較

して嫌気性菌の有機物の分解速度はかなり遅いので、反応槽が大きくなる。②微生物濃度を安定して保持することができないために処理が不安定になり、同規模の好気性処理法に比べて除去効率が落ちる。③それで、

M : モーター
 P : ポンプ
 pH : pHメーター
 B : ブローワー
 DO : 溶存酸素計
 H : ヒーター

第6図 凝縮液の生物処理フローシート

その対象排水としては比較的高濃度排水で分解性の良い排水ということになり用途が狭くなる、などに対して反応槽中の嫌気性微生物の高濃度に保持する事により解決を図っている。このUASB法に更に排水とグラニュール（メタン生成菌を中心とする嫌気性細菌の自己固定化能力を利用して得られるペレット状のバイオマスで、酸生成細菌群、酢酸生成細菌、メタン生成細菌が共生していると考えられる。）の接触効率を高める

ため内部循環を行いながらも、グラニュールを処理水、発生ガスから分離回収装置で分離して回収し、リアクター外への流出を防ぎ、高速、高効率処理を達成している。ここで得られたメタンガスは焼却炉の燃料として利用する。嫌気性処理装置のテスト結果を第9表、好気性処理装置のテスト結果を第10表に示す。IHI-ICリアクター処理におけるCODcr容積負荷の推移、CODcr除去率の推移、最終放流水の水質の経過を第

第7表 濃縮液，脱水ケーキ分析結果

分析試験項目	濃 縮 液			脱 水 ケ ー キ			余 剰 汚 泥 脱 水 ケ ー キ	分 析 方 法
	そば	麦	いも	そば	麦	いも		
水 分	74.1%	73.6%	73.5%	78.1%	77.9%	87.0%	94.1%	常圧加熱乾燥法 (70℃、15hr)
粗タンパク質	17.1%	15.1%	7.8%	9.0%	8.7%	3.3%	3.5%	ケルダール法
粗脂肪	4.6%	5.0%	6.1%	2.3%	2.5%	0.4%	0.2%	ジエチルエーテル抽出法
粗繊維	0	0	0	0.7%	0.6%	1.6%	0.2%	ろ過法
粗灰分	2.4%	1.6%	5.3%	0.8%	0.6%	0.8%	1.9%	直接灰化法 (融点上昇割合)
可溶無窒素物	1.8%	4.7%	7.3%	9.1%	9.7%	6.9%	0.1%	
カロリー (ボンカロリーメーターによる)	155kcal/100g	153kcal/100g	131kcal/100g	120kcal/100g	125kcal/100g	64kcal/100g	37kcal/100g	(湿分ベース)
(有機元素分析)								
炭 素	40.8%	46.1%	36.7%	49.3%	49.3%	45.7%	36.2%	
水 素	7.2%	7.0%	6.1%	7.3%	7.3%	6.6%	5.3%	
窒 素	8.0%	8.0%	4.0%	6.4%	5.8%	3.9%	5.4%	
酸 素	33.0%	31.0%	37.0%	30.0%	31.0%	37.0%	29.0%	
リ ン	415mg/100g	291mg/100g	307mg/100g	129mg/100g	122mg/100g	40.2mg/100g	244mg/100g	バナドモリブデン燐モリブデン法
ナトリウム	10.3mg/100g	14.0mg/100g	66.1mg/100g	7.57mg/100g	7.56mg/100g	9.23mg/100g	52.4mg/100g	原子吸光度法
カリウム	653mg/100g	370mg/100g	2.49%	137mg/100g	106mg/100g	169mg/100g	60.9mg/100g	原子吸光度法
マグネシウム	280mg/100g	151mg/100g	240mg/100g	71.0mg/100g	40.0mg/100g	28.7mg/100g	281mg/100g	原子吸光度法
イオウ	0.2%	0.19%	0.14%	0.15%	0.11%	0.08%	0.15%	硫酸バリウム重量法
アルコール分	0.2%	0.2%	0.3%	0.5%	0.5%	0.3%	検出せず	重クロム酸カリウム法

※日本食品分析センター分析値

第8表 凝縮液の水質

p H	3 . 7
C O D c r	1 6 0 0 0 mg/L
B O D	1 6 0 0 0 mg/L
S S	1 0 mg/L

7, 8, 9 図に示す。このように濃縮工程で排出される凝縮液は嫌気性及び好気性生物処理により，河川放流基準を満たす水質まで安定して処理することができる。

3. 処 理 コ ス ト

麦, そば, いもの各種原料毎の焼酎蒸留廃液を 100 t/日処理した場合の商業ベースでの試算例を第 11 表に示す。但し本試算には支払利息は考慮されていない。本処理システムによると安定して，しかも経済的に連続処理することが可能である。

4. お わ り に

焼酎蒸留廃液の処理法の一つとして，発生源での減

第9表 嫌気性処理装置のテスト結果

日付	7 / 2 5	8 / 3	8 / 2 1
運転日数 (day)	1 1	2 0	3 8
C O D c r 容 積 負 荷 (kg/m ³ /day)	2 4	3 4	3 6
溶解性 C O D c r 除 去 率 (%)	9 6	9 5	9 3
処理水	p H	7 . 4	6 . 3
	トータル C O D c r (mg/L)	8 2 0	1 0 0 0
	溶解性 C O D c r (mg/L)	6 5 0	8 9 0
	B O D (mg/L)	5 5 2	9 1 0
	S S (mg/L)	1 0 0	4 0
メタンガス発生量 (Nm ³ /day)	3 . 7	6 . 3	6 . 5

(処理水温35℃)

第10表 嫌気性処理装置のテスト結果

日付		8 / 3	8 / 16	8 / 29
運転日数(day)		9	22	35
BOD容積負荷(kg/m ³ /day)		0.35	0.45	0.46
BOD除去率(%)		99.9	99.9	99.9
嫌気性装置 処理水	pH	7.5	6.3	6.3
	BOD(mg/L)	827	1060	1100
	SS(mg/L)	40	100	180
最終放流水	pH	7.9	7.2	7.8
	BOD(mg/L)	1	1	2
	SS(mg/L)	10	2	2
放流基準	pH	5.8 ~ 8.6		
	BOD(mg/L)	15		
	SS(mg/L)	20		

(処理水温28℃付近)

第7図 CODCr 容積負荷の推移 (ICリアクター)

第8図 CODCr 除去率の推移 (ICリアクター)

第9図 最終放流水の水質（好気性装置）

第11表 商業ベース試算例

蒸留廃液処理量		100t/日	
蒸留廃液の種類		麦・そば	いも
設備費(百万円)		450	500
内 訳	水処理システム	120	
	焼却システム	180	
	濃縮システム	90	
	脱水システム	40	
	建築関連	20	
運転コスト	A重油(L/t)	11	24
	(円/t)	330	720
	電気(kW/t)	35	40
	(円/t)	525	600
	その他(円/t)	240	
	小計(円/t)	1,095	1,560
設備償却費(円/t)		1,350	1,500
人件費(円/t)		333	
合計(円/t)		2,778	3,393

・試算ベース

- 1)稼働時間：24時間/日×300日/年
- 2)上記には基礎工事は含まず。
- 3)設備償却は10年間定額、残存簿価10%
- 4)人件費は1直1名(4直3交代、他業務と兼務)とする。
- 5)A重油：30円/L、電気：15円/kW
- 6)その他費用：焼却灰処理、水処理薬品費、融点上昇剤を含む。

容化を図り、輸送経費を徹底的に圧縮することに努め、同時に省人、省エネにも配慮し、処理コストの低減化を進めることができた。焼酎製造メーカーとして、その目的は焼酎を安心して製造販売することであり、そのためのバックアップをすることが蒸留廃液処理の置かれたポジションであると思う。処理に際し極力有効

活用することを目指し、処理の最終的手段として焼却処理を考えたい。本システムは、処理工程の途中から脱水ケーキや濃縮液を取り出して利用することは可能であり、今後多方面に亘る活用法を研究していきたい。なお、処理システムの確立に当たり、宇部興産(株)、石川島播磨重工業(株)には直接実証テストプラントから、本プラントまで一貫して御協力頂きました事に深甚の謝意を表します。又、本処理システム確立に当たり、ご指導及びご援助頂きました日本酒造組合中央会、国税庁醸造研究所、熊本国税局鑑定官室、宮崎県酒造組合連合会及び同本格焼酎新技術開発研究会に深謝致します。

<雲海酒造(株)>

文 献

- 1) 熊本国税局鑑定官室：しょうちゅう調査書，平成7年度
- 2) 週刊廃棄物新聞：1996年11月18日，(株)日報
- 3) 石川島播磨重工業(株)水処理プロジェクト部，環境装置営業部：新世代型有機性排水処理設備 IHI-UASB による排水処理設備技術説明書 P. 1 平成7年10月