

サザングリーン協同組合 焼酎副産物リサイクル設備の運転結果

Operation Result of Shochu Co-Product Recycling Plant for Southern-Green Unions

久 野 智 明 エネルギー・プラント事業本部電力事業部エネルギーソリューション部
 庄 野 統 夫 エネルギー・プラント事業本部電力事業部エネルギーソリューション部
 北 野 誠 エネルギー・プラント事業本部電力事業部エネルギーソリューション部 課長 工学博士

鹿児島県を始めとする南九州 4 県は焼酎の生産地として知られている。その製造過程で発生する焼酎粕は、これまで特殊肥料化や海洋投棄で処理されていた。近年、海洋への投棄を禁じた「ロンドン条約」の批准、国内における「食品リサイクル法」の施行を背景に、陸上処理に向けた対応がとられてきた。サザングリーン協同組合に納入した設備は、地域で発生する粕の大規模処理、小エネルギーで有価物の再資源化、環境との調和を目指し、2002 年 3 月に完成した。本稿では、これまでの運転結果について紹介する。

Shochu is produced mainly on the island of Kyushu. In the past, the residue of distillation containing organic matter had been discharged into the ocean. However, land treatment technologies for such waste have become necessary due to the London treaty and domestic laws. More efficient, environmental, and cost-saving technologies are needed. It was believed that a methane fermentation and hydrothermal liquidization system would meet these needs if an efficient methanogenic reactor would be used. The full-scale plant comprising screw decanters for SS control, an IC (internal circulation) reactor for methane fermentation, post-treatment reactors for the removal of residual BOD, nitrogen, phosphorus species and hydrothermal reactor for solid reduction was applied to shochu distillery waste in May 2002. The result of operation is reported here.

1. 緒 言

鹿児島県を始めとする南九州 4 県は焼酎の生産地として知られている。その製造過程における副産物である焼酎粕は、年間約 40 万トン発生しており、特殊肥料化や海洋投棄などで処理されていた。近年、海洋への投棄を禁じた「ロンドン条約」の批准、「循環型社会形成促進基本法」に基づく「食品循環資源の再利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」の制定が背景となり、新たなコンセプトによる焼酎粕の処理設備の導入気運が高まっていた。そして、2000 年度の国の補正予算に盛り込まれた「食品リサイクル施設先進モデル実証事業」をきっかけに、南薩摩地域でサザングリーン協同組合（以下、組合と呼ぶ）が設立され、焼酎副産物の再資源化への取組みは具体的に動き始めることになった。組合の中心となった薩摩酒造株式会社（鹿児島県枕崎市）の顔娃工場内に設置された焼酎副産物リサイクル設備はその先駆けであり、基本的なコンセプトは以下のとおりである。

（１）地域で排出される焼酎粕を集約し、大規模に処理するメリットを得る。

（２）省エネルギー化、エネルギーの回収、有価物の再資源化を最大限行う。

（３）環境と調和し、コンパクトな設備であること。

本設備は 2002 年 3 月に完成し、2002 年 5 月から運転を開始した。本稿では当社のこれまでの焼酎粕処理への取組みと、今回導入された設備の運転結果について紹介する。

2. 焼酎粕（焼酎副産物）処理への取組み

焼酎粕の処理方式を大きく分けると、焼却、濃縮、乾燥、コンポスト、排水処理がある。焼却は環境問題上敬遠されがちで、濃縮、乾燥処理を行うだけでは外部からのエネルギー投入に依存することになり処理コストも掛かる。コンポストとした場合は年間を通して焼酎粕発生量が大きく変動するため、安定した肥料供給は難しい。また、従来のメタン発酵処理は分解速度が遅く、焼酎粕大量発生時期の対応は困難と考えられていた。しかし、近年、処理性能が飛躍的に向上したメタン発酵リアクタが開発され、焼酎粕処理への適用化に向けた試験が行われた。その結果、粕液部の安定した水処理が可能で、利用可能なメタンガスが回収できることが確認された⁽¹⁾。そして、最終的に河川な

どへ排水処理液を放流するうえでの窒素やりん除去システムの導入，良質な飼料として期待される粕固形部はメタン発酵で得られるメタンガスを乾燥用熱源に利用してリサイクルすることが考慮された．

また，水処理の過程で発生する余剰汚泥に対しては亜臨界反応を利用して可溶化処理できることが確認された⁽²⁾．最終的に，これらの要素技術を組み合わせることで焼酎粕からエネルギーと有価物を回収しながら，廃棄物の発生を限りなくゼロにしていけることが志向されるようになってきた．

3. 焼酎粕（焼酎副産物）リサイクル設備のシステムフロー

第1図に本設備のシステムフローを示す．焼酎粕は固形分 30 000 mg/l 程度，有機物 57 000 ~ 82 000 mg-CODcr/l を含有し，高い温度であることが特徴である．焼酎粕の性状を第1表に示す．まず，固形物を有価物として回収するため，焼酎粕は遠心式の固液分離機で脱水ケーキ（固形分）と分離液に分けられる．脱水ケーキは乾燥機に移送され水分を除去し飼料となる．分離液は高温で，SS（浮遊物質）がまだ高い濃度で残存するため，希釈用のほかの排水などと混合され，処理に適した性状となるように調整後，IC リアクタでメタン発酵処理される．メタン発酵処理液は後処理（脱りん，脱窒素・好気分解）され，活性炭で色度を除去してから河川放流される．メタン発酵過程で発生したメタン（バイオガス）は，脱水ケーキ乾燥機の熱源として利用される．脱りんは MAP（Magnesium Ammonium Phosphate）反応を利用して行われ，得られた MAP 粒子は肥料となる．好気処理で発生する余剰汚泥は，水熱反応を利用して減量化された後，乾燥され肥料にされる．

システムの主要な機器構成と，運転で確認された処理結

第1表 焼酎粕の性状
Table 1 Data of shochu distillery residue

分 析 項 目	単 位	種 別	
		芋焼酎粕	麦焼酎粕
温 度		90	90
固形物濃度	mg/l	28 000	20 000
CODcr	mg/l	57 000	82 000
ゲルタール窒素	mg/l	1 900	4 400
トータルりん	mg/l	250	480

果は次のとおりである．

3.1 水 処 理

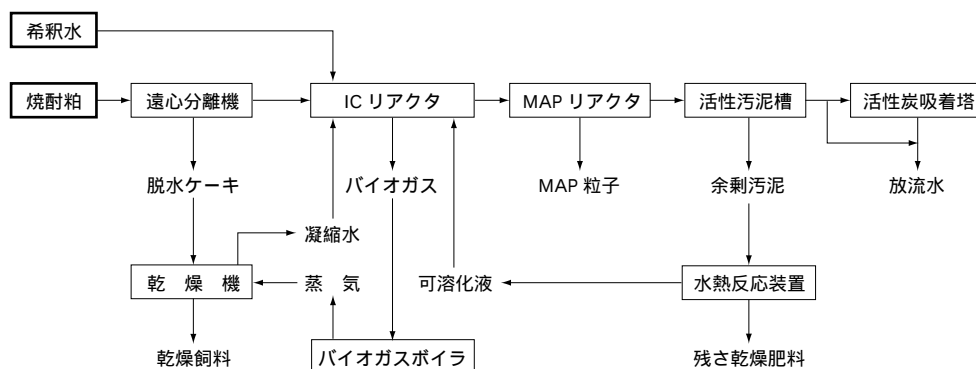
(1) 遠心分離機

遠心分離機は高速回転する外胴ボウル内に供給された焼酎粕を遠心分離することによって，固形分を内壁部に沈降たい積させ内胴スクリューによって外部へかき出し，上澄みの液体と分離する装置である（第2図）．下水処理場などで発生する余剰汚泥の脱水処理への適用例は多いが，焼酎粕処理への適用に当たっては有価物再利用の観点から薬品注入なしで，良好な脱水ケーキと分離液を得られるように内胴スクリューの構造に改良を加えた．

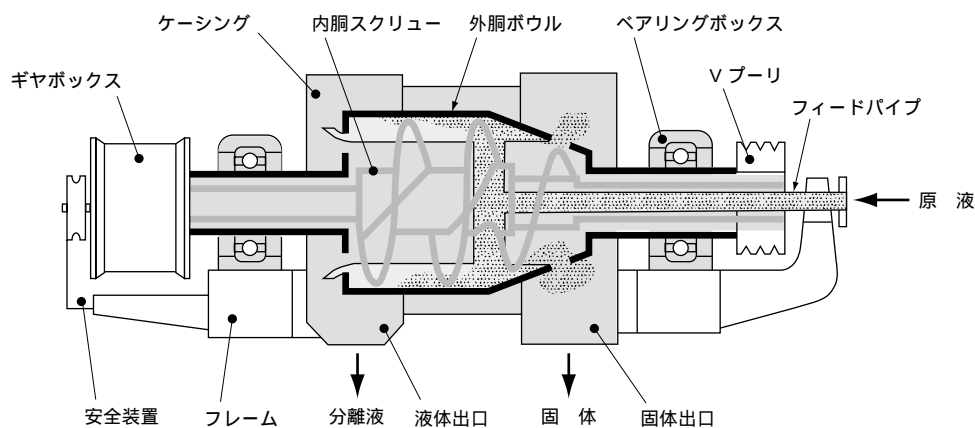
第2表に遠心分離機の運転条件と結果を示す．20 000 ~ 40 000 mg/l の固形物濃度で遠心分離機に送られた焼酎粕から，含水率 80 ~ 85 % 程度の脱水ケーキと固形物濃度 3 000 ~ 5 000 mg/l 程度 of 分離液が得られている．分離液の SS 濃度が高いと後段の処理の負荷が高くなるので，運転条件を変えて除去率を上げたり，希釈水を多く使うなどの操作が必要となってくる．

(2) メタン発酵（IC リアクタ）

IC（Internal Circulation）リアクタはグラニュールと呼ばれる自己集塊化した嫌気性微生物群をリアクタ内に高濃度に保持し，高効率でメタン発酵処理を行う



第1図 焼酎粕（焼酎副産物）リサイクル設備のシステムフロー
Fig. 1 System flow of shochu co-product recycling plant



第 2 図 遠心分離機
Fig. 2 Screw decanter

第 2 表 遠心分離機の運転条件と結果
Table 2 Operating conditions and results of screw decanter

項 目	単 位	種 別	
		芋焼酎粕	麦焼酎粕
運転条件	遠心効果	G	3 000
	粕処理量	m ³ /h/台	~ 3.5
	差 速	rpm	6 ~ 8
結 果	脱水ケーキ含水率	%	85
	分離液 SS 濃度	mg/l	3 000

装置である。産業排水処理で最も適用例の多い UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Bed : 上向流嫌気性汚泥床) リアクタを改良・発展させたものである⁽³⁾。リアクタ内で発生したバイオガスを駆動源とした循環流によって反応部のグラニュール床は膨張・流動化し、排水との混合・接触の効率が向上し、UASB リアクタと比較して 2 ~ 3 倍の高速処理が可能になった。原水の投入を行うポンプ以外の動力源は不要なので、小エネルギーで処理が可能である。また、バイオガスは上下 2 段のセトラで効率的に捕集され、発生ガスによる処理水越流部付近の流れの乱れを少なくすることができた。この結果、処理流速を速くすることができ、グラニュールを選択的にリアクタ内で保持する一方で、排水に含まれる比較的高い SS は、リアクタを通過させることが可能になった。

排水処理設備の運転結果を第 3 表に示す。容積負荷 18 ~ 25 kg-CODcr/m³/d 程度の運転条件下で CODcr 除去率 84% が得られた。このときメタンガス発生量は 3 400 ~ 6 000 m³/d であった。

(3) MAP リアクタ

MAP リアクタはメタン発酵処理液中のりん成分を結

第 3 表 排水処理設備の運転結果
Table 3 Operating conditions and results of wastewater treatment equipment

項 目			単 位	種 別	
				芋焼酎粕	麦焼酎粕
処 理 量			t/d	300	120
IC リアクタ	容積負荷		kg-CODcr/m³/d	25	18
	処理温度			35	35
	原水 CODcr 濃度		mg/l	23 000	17 000
	処理水 CODcr 濃度		mg/l	3 700	2 800
	除 去 率		%	84	84
	バイオガス発生量		m³/d	6 000	3 400
MAP リアクタ	原水 PO₄-P 濃度		mg/l	76	28
	処理水 PO₄-P 濃度		mg/l	10	12
活性 汚泥槽	原 水	CODcr 濃度	mg/l	4 000	5 100
		T-N ^{*1} 濃度	mg/l	580	640
	処理水	CODcr 濃度	mg/l	380	150
		SS ^{*2} 濃度	mg/l	130	110
		T-N 濃度	mg/l	38	40

(注)*1 : T-N (Total-Nitrogen)
*2 : SS (Suspended Solid)

晶化して回収するための装置である。焼酎粕には窒素とりんが多く含まれている。これらの物質が自然水系に放出されると植物プランクトンの増殖を促し水質の悪化原因となることが知られている。放流水に対してりん濃度の規制が設けられるようになってきており、りん濃度を基準値以下に、また、将来枯渇の懸念があるりん資源を回収していく必要もある。MAP リアクタでは、アンモニア態窒素とりん酸態りんを含むメタン発酵処理液にマグネシウム塩を加え、pH を 8.5 付近に調節すると MAP 生成反応が起こる。そして生成された MAP 粒子をリアクタ内から抜き出すことで、液中のりん酸を結晶体として回収することが可能になる。

メタン発酵処理水中のりん酸態りんは、10 mg/l 程度まで処理されている (第 3 表参照)。また、リアク

タからは粉状の MAP 粒子径 (0.2 ~ 1.0 mm 程度) を回収することができる。

(4) 硝化液循環活性汚泥装置

メタン発酵処理液を MAP リアクタで処理した後も、窒素分と有機物は残存する。従来の活性汚泥法では窒素分の除去を行うことはできないので、放流基準値を達成するためには技術的に確立された処理設備の導入が必要であった。窒素濃度が比較的高濃度であるため、硝化反応によるアルカリ度の大量消費と pH の低下が予想された。そこで pH 調節用のアルカリ剤の消費が抑えられるように硝化液を循環する脱窒素活性汚泥法を採用した。また、脱窒槽を硝化槽の前段に配置する方式とし、排水中の有機物を脱窒反応に必要な水素供与体として利用し、添加する薬品を不要とした。

窒素濃度は、芋焼酎粕および麦焼酎粕処理とともに 40 mg/l 程度まで、CODcr はそれぞれ 380 mg/l、150 mg/l 程度まで処理された (第 3 表参照)。

硝化液循環活性汚泥の処理水には色度が残るケースがあるので、必要に応じて活性炭吸着塔に通して着色成分を除去している。

3.2 水熱反応装置

水は温度、圧力をそれぞれ 374℃、22 MPa まで上げると、水でも蒸気でもない均一な流体となる。この温度・圧力点を臨界点といい、この流体による反応を超臨界反応、臨界点より低い温度・圧力条件下の反応を亜臨界反応 (水熱反応) という。従来、排水処理設備から出される余剰汚泥は脱水されて産業廃棄物として埋め立てられたり、焼却処分などされてきた。前者は最終処分場の残余年数の問題が、後者はダイオキシン類発生の問題が議論されている。

前節で述べた硝化液循環活性汚泥装置では、メタン発酵の前処理が行われているので活性汚泥槽からの余剰汚泥は少なくなるが、さらに汚泥を減量化してコンポストの排出量が少なくてすむよう水熱反応装置を導入した。水熱反応では、固体の有機物を低分子化して可溶化させることができるので、この反応には有機溶媒などの化学物質を一切用いる必要がない。

水熱反応装置の運転結果を第 4 表に示す。余剰汚泥は 4 ~ 8% 程度まで濃縮された状態で水熱処理され、7 割程度が可溶化された。

3.3 焼酎粕脱水ケーキ乾燥機

乾燥機は遠心分離機で回収した焼酎粕の固形分 (脱水ケーキ) を乾燥する装置である。焼酎粕の含水率は 95% 程度

第 4 表 水熱反応装置の運転結果
Table 4 Results of hydro-thermal reactor performance

項 目	単 位	運転結果
余剰汚泥原液 T-S 濃度 ^{*1}	%	4 ~ 8
処 理 量	kg-DS/h	35
処理液 SS 濃度 ^{*2}	mg/l	12 700
可 溶 化 率	%	76

(注) *1 : T-S (Total-Solid)

*2 : 原液濃度が 5.4% のときの値を示す

あり、遠心分離機で一度脱水することで乾燥機が必要とする熱エネルギーの削減を図った。乾燥飼料とするため、焼酎粕脱水ケーキの含水率 80 ~ 85% を、10% 以下まで下げることにした。乾燥機には余剰汚泥などで適用実績のあるパドルドライヤ方式を採用した。脱水ケーキは粘性が高く、乾燥機内部での固着を防止し安定した乾燥状態にするためには、乾燥品の一部を再循環して脱水ケーキと混合させるなどの工夫が必要であった。運転の結果、得られた乾燥品は飼料として有効利用されている。

4. 今後の課題と展開

本設備は最大負荷運転時には 500 t の芋焼酎粕から、15 t の粕乾燥飼料、約 5 500 m³ のメタンガス量、0.4 t の MAP 肥料、0.2 t のコンポストが得られる焼酎粕のリサイクル設備であり、環境に与える負荷が非常に少ないゼロエミッションシステムといえる。

その一方で、水処理の部分に微生物反応を利用していることで、原水の組成変動によってグラニュール活性度、活性汚泥の固液分離性などが日々変化していく。また、サーマルリサイクルとマテリアルリサイクルのバランスをとり、焼酎粕処理を安定化していくうえで、運転ノウハウの蓄積が必要である。リサイクル設備の普及に当たっては、日常の運転管理を簡素化し、容易にするため、遠隔監視システムの充実を図ることが有効である。また、建設からオペレーション、メンテナンスまで一貫して当社が受託する方法なども期待できる。

5. 結 言

本リサイクル設備を運転した結果、焼酎粕を有価物ととらえ、陸上で安価に処理し、環境負荷の低い再資源化システムを構築できる見通しがついた。

本リサイクル設備は、焼酎粕に対してだけでなく、家畜ふん尿、下水汚泥、食品加工廃棄物などの処理分野にも応用可能である。バイオマス資源の有効利用に関するゼロエ

ミッション技術として発展させていく所存である。

- 謝 辞 -

本焼酎副産物リサイクル設備の運転データの取得に当たっては、サザングリーン協同組合の関係各位から多くのご協力をいただきました。ここに記し、深く感謝いたします。

参 考 文 献

(1) 鮫島吉廣ほか：メタン発酵による焼酎蒸留粕の処

理実証試験 鹿児島県本格焼酎技術開発システム
編 本格焼酎技術開発事業研究成果報告書（平成 8
年度） 1997 年 3 月 pp.15 - 34

(2) 山下雅治ほか：有機性廃棄物の水熱可溶化とバイ
オガス回収システム 石川島播磨技報 第 41 巻
第 5 号 2001 年 9 月 pp.235 - 239

(3) 茂木浩一ほか：第 5 次水質総量規制対応 食品
工場排水の最適処理ハンドブック 株式会社サイエン
スフォーラム 2002 年 pp.223 - 232