

(12) 焼酎蒸留粕を用いた資源循環型製品の開発に関する研究

Study on the Development of Resource Recycling Goods using
Waste Stillage from Sweet Potato *Shochu* Distilleries

山内正仁*, 増田純雄**, 木原正人*, 平田登基男*, 米山兼二郎***, 前野祐二*, 松藤康司****
Masahito YAMAUCHI*, Sumio MASUDA**, Masato KIHARA*, Tokio HIRATA*,
Kenjiro YONEYAMA***, Yuji MAENO* and Yasushi MATSUFUJI****

ABSTRACT; As an effective utilization of waste stillage which will be banned from dumping into sea in the near future, the authors have studied and succeeded in making *sosei* paper by using waste stillage from *shochu* distilleries. This research is to develop *sosei* paper pots using sweet potato waste stillage (hereafter, SPWS) and waste newspaper as one of the resource recycling goods and to consider the weight and property of waste water after compressing samples (SPWS + waste newspaper). Further, this research is tried to compare the physical, mechanical and chemical properties of *sosei* paper pots and those of waste paper pots, and is applied to the growth test of the tomatoes in *sosei* paper pots.

Following results were obtained: 1) The method of making *sosei* paper pots by adding waste newspaper to SPWS was established. 2) After compressing samples, in the case of the sample whose ratio of waste newspaper to SPWS is 3%, more than 70 % of the COD_{Cr} and T-N components can be removed from waste water. 3) In the case of the sample whose ratio of waste newspaper to SPWS is more than 3%, the suspended solids in waste water after compressing samples were much about the same as mechanical treatments. Therefore, waste water after compressing samples can be treated biologically. 4) A *sosei* paper pot is about 1/3 to 7/10 of a waste paper pot in length direction compression strength. It was clear that *sosei* paper pots and waste paper pots have the same strength of tensile and side direction compression when the ratio of waste newspaper to SPWS is 3%. 5) It was found that a *sosei* paper pot contains 6 to 10 times the amount of T-N, 10 to 13.6 times the amount of P₂O₅ and 5 to 7 times the amount of K₂O compared with a waste paper pot. 6) While plants became well rooted, the *sosei* paper pots held their shapes and the roots were not affected at all.

N.B. *sosei* paper (*sosei* means reborn)

KEYWORDS; resource recycling goods, sweet potato waste stillage, waste newspaper, effective utilization, waste water quality

1. はじめに

我が国に於ける本格焼酎（乙類焼酎、以下、焼酎）の生産量は 1983 年（昭和 58 年）頃から焼酎消費量の急激な拡大により飛躍的に増大し、現在、九州地区での生産量は 34 万 5 千 kL（1999 酒造年度）に達している¹⁾。この量は全国で生産される焼酎の約 98%に相当する²⁾。一方、この生産過程で発生する焼酎蒸留粕（以下、焼酎粕）の量はアルコール分 25%を含む焼酎の場合、蒸留方法と原料により

* 鹿児島工業高等専門学校土木工学科 (Dept. of Civil Engineering, Kagoshima National College of Tech.)

** 宮崎大学工学部土木環境工学科 (Dept. of Civil and Environmental Engineering, Miyazaki Univ.)

*** 株式会社アシップ (Aship co., Ltd.)

**** 福岡大学工学部 (Dept. of Civil Engineering, Fukuoka Univ.)

違いがあるが、甘藷では焼酎製造量の約 2.1 倍、米や麦では約 0.9 倍である^{3, 4, 5)}。この焼酎粕の年間発生量は合計 45 万 8 千 ton (1999 酒造年度)であり、このうち 31.8%が海洋投棄されている¹⁾。

九州本格焼酎協議会は、1995 年度から、ロンドン条約の趣旨に沿い、「2001 年 3 月までに海洋投棄ゼロ」という目標を設定し、環境庁に提出した海洋投棄削減計画に沿って自主削減を行ってきた。しかし、自主削減を表明した時点では想定されなかった三度にわたる焼酎税率の引き上げの影響を受け、リサイクルを含めた陸上処理法の確立が遅れ、2001 年 3 月までの目標実現は宮崎県を除き、物理的に不可能となった。中でも、九州地区で発生する焼酎粕量の約半分量の 23 万 4 千 ton を占める鹿児島県では、焼酎の原料となるサツマイモを長期保存する技術が確立されず、生産時期が 9 月から 12 月に集中しているため、年間を通して麦や米などを使って操業できる他県に比べ、立ち遅れており、今尚 12 万 5 千 ton の焼酎粕が海洋投棄されている¹⁾。

焼酎粕の陸上処理法は肥料化・飼料化と生物処理、焼却処理等のプラント処理に大別される^{5, 6, 7)}。前者については焼酎粕は 90%以上が水分であるため、放置すると腐敗し易いこと、また農地に散布する場合、散布量が規制されていること等の理由で全発生量を地域内で循環再利用するには問題が多い^{3, 8)}。後者については、処理プラントの維持管理やコスト面の問題があり、さらに、農作物由来の副産物である焼酎粕を地上から消滅させることは、有効資源の未利用、二酸化炭素の発生等から問題が多い^{5, 7)}。したがって、九州、特に鹿児島県の焼酎粕を陸上で効果的に処理する方法の開発は、地域産業の活性化および環境保全の上から緊急の課題である。

筆者らは、平成 9 年から産業廃棄物である焼酎粕を有用な資源として活用することで焼酎粕問題を解決し、循環型社会システムの構築に貢献すべく研究を進め、蘇生紙（有効な資源として蘇らせるという意味）を作製する技術を開発した⁹⁾。そして、これまでに、作製した蘇生紙の物理、力学的特性および化学的特性を調べ、さらにこれらの基礎データを基に市場性について検討した。その結果、蘇生紙は植物育成に必要な肥料成分を大量に含む点において、植物栽培ポットや農業用資材、法面緑化基盤材への活用が見込まれることが示唆された^{10~15)}。

本研究は、これらの成果を踏まえ、焼酎粕の新規の処理・資源化技術として蘇生紙ポットを開発し、従来の石油系資材の代替品として活用することを目的に進めた。

2. 試験材料

蘇生紙ポットは甘藷焼酎粕と古紙を原料に作製される。ここでは、両原料の性状を調べた。

2.1 甘藷焼酎粕

焼酎粕の性状は製造事業所によって若干の差異が認められる。本試験では（株）〇酒造(鹿児島県大口市)から排出される甘藷焼酎粕を用いた。表-1 に甘藷焼酎粕の性状を示す。今回試験に使用した甘藷焼酎粕の COD_{Cr}、SS 及び T-N はそれぞれ 82,000mg/L、37,000mg/L 及び 2,100mg/L であった。アンモニア態窒素、硝酸態窒素は共に検出されなかった。これは、焼酎工場から排出された焼酎粕を冷却後直ちに分析したためである。

2.2 古紙

古紙に含まれるインクから重金属が検出されることが予想されたため、古紙中のカドミウム (Cd)、

表-1 甘藷焼酎粕の性状

分析項目	甘藷焼酎蒸留粕 (原液)
pH	4.1
含水率 [%]	94.4
BOD [mg/l]	49,000
COD _{Cr} [mg/l]	82,000
蒸発残留物 [mg/l]	55,900
強熱減量 [mg/l]	52,100
SS [mg/l]	37,000
T-N [mg/l]	2,100
NH ₄ ⁺ -N [mg/l]	not detected
NO ₃ ⁻ -N [mg/l]	not detected
P ₂ O ₅ [mg/kg]	664
K ₂ O [mg/kg]	1,320
CaO [mg/kg]	296
MgO [mg/kg]	248
粘度 [Pa・s]	0.090

水銀 (Hg)、ヒ素 (As)、鉛 (Zn)、総クロム (T-Cr) 含量を肥料分析法¹⁶⁾にしたがい測定した。古紙は回収率が最も高く、大量に入手可能で、かつ質が均一である新聞紙 (M 新聞紙：鹿児島県鹿児島市) を用いた。表-2 に重金属成分の分析結果を示す。古紙中の T-Cr は 1.1ppm であったが、Cd、Hg、As、Zn は全く検出されなかった。一般に乾燥土壌の平均 T-Cr 含量は 100ppm¹⁷⁾ であることから、古紙のインク成分には、土壌汚染につながる重金属成分は含有されていないことがわかった。

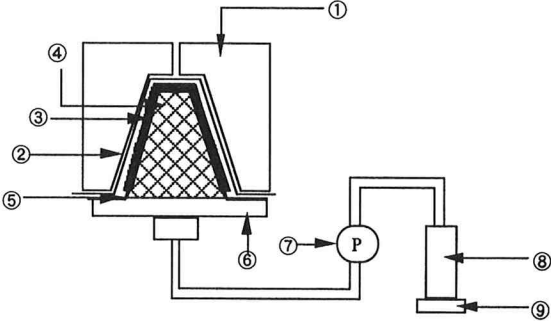
表-2 古紙の含水率及び
重金属含有量

項目	分析値
含水率	8.4%
カドミウム	not detected
水銀	not detected
ヒ素	not detected
鉛	not detected
総クロム	1.1ppm

3. 蘇生紙ポット作製方法

図-1 に蘇生紙ポット作製装置を示す。ポット作製プロセスは 1) 試料調製工程、2) 試料成型工程、3) 試料加圧工程、4) 乾燥工程からなる。以下に各々のプロセスについて説明する。

- 1) 試料調製工程：甘藷焼酎粕 500g に 1cm 角に切った古紙を甘藷焼酎粕 100g 当たり 1g、3g、5g、7g (以下、古紙混合比 1%、3%、5%、7%と表す) 添加後、フードカッター (松下電気産業 (株) MK-K57、2,900rpm、3min) で粉碎する作業を繰り返し、試料を約 25kg 調製した。
- 2) 試料成型工程：下金型 (①) の形状に作られた不透水性のシート (②) を金型の中に置き、その中に試料 (③) を 780g 入れ、上金型の内側に取付けられているステンレス製の網 (④; 厚さ 1.5mm、φ0.56mm×16 メッシュ) に脱型用の網 (⑤; 厚さ 0.2mm、21×18 メッシュ) を張り、上金型 (⑥) を下金型に合わせ、金具で固定し、ポット形状に成型した。
- 3) 試料加圧工程：金型を逆さにし、排水用ホースと真空ポンプ (⑦) をつなぎ、真空度を 0.05MPa に固定して、吸引した。
- 4) 乾燥工程：金型を元の状態にもどした後、金具をはずし、脱型用の網と不透水性シートを取り外し、試料 (ポット) を乾燥用ステンレス容器に入れ、60℃で 10 時間乾燥させた。乾燥後のポットは、デシケター内で保存した (写真-1 参照)。



①下金型、②不透水性シート、③試料、④ステン
レス製網、⑤脱型用網、⑥上金型、⑦真空ポンプ、
⑧廃液回収瓶、⑨電子天秤

図-1 蘇生紙ポット作製装置



写真-1 蘇生紙ポット

4. 試験方法

4.1 蘇生紙ポット成型後の廃液量と廃液性状分析

加圧工程で生じた廃液の重量を電子天秤で測定後、廃液中の BOD、COD_{Cr}、蒸発残留物、強熱減量、SS 濃度は下水試験法¹⁸⁾にしたがって測定した。また T-N、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 濃度は肥料分析法¹⁶⁾にしたがって測定した。

4.2 蘇生紙ポットの物性試験と化学試験

4.2.1 物性試験方法¹⁹⁾

紙は吸湿性材料であるため、周囲の湿度によって敏感に変化する。したがって、JIS P 8111 にしたがって、蘇生紙ポットを温度 20±2℃、湿度 65±5%の環境下で 24 時間調湿した。その後、蘇生紙ポット

ト側面を縦方向に長さ 100mm、幅 15mm に切り取り、試験片を 1 ポットにつき 10 片作成し、JIS P 8118 に準じて試験片の厚さ (mm) と坪量 (g/m^2) からポットの密度 (g/cm^3) を求めた。なお、試験片の表面は凹凸状になっていたことから、坪量は 5 つの蘇生紙ポットから採取した試験片 50 枚 (1 ポット当たり 10 片×5 ポット) の平均値を採用した。厚さはそれぞれのポットごとに、1 枚の試験片につき 20 箇所測定を行い、得られた測定値; 1000 (5 ポット×10 片×20 箇所) の平均値を求めた。また、JIS P 8141 に準じてポットの吸水度 (mm) も測定した。さらに古紙混合比による蘇生紙ポットの構造の違いを観察するために走査型電子顕微鏡 (SEM) でポット表面と内面を撮影した。

次に蘇生紙ポットの力学的特性を明らかにするため、圧縮強さ (N) と引張強さ (N) を JIS 規格に準じて測定した。圧縮強さの測定にはポット形状ものを、引張強さの測定には上述した試験片 (長さ 100mm、幅 15mm) を使用し、自動記録式引張り試験機 (シグマ-AGS 5kNB Type SBL-500K-350) で計測した。また、各々の試験を市販ポット ((株) R 社; 古紙 100% (新聞紙 30%、段ボール紙 70%)) で作製されたポット、以下、古紙ポット) についても行い、結果を蘇生紙ポットと比較した。なお、試験は 10 回行い、その結果は平均値で示した。

4.2.2 化学試験方法

蘇生紙ポットの化学的特性を明らかにするためにポットの性状分析を行った。特に肥料成分として有効な窒素全量、リン酸全量、加里全量、石灰全量、苦土全量を肥料分析法 (窒素全量; デバルダ合金-硫酸法、リン酸全量; パナドモリブデン酸アンモニウム法、加里全量、石灰全量、苦土全量; 原子吸光測定法) ¹⁶⁾ にしたがって測定した。また、古紙ポットについても同様な分析を行った。

4.3 蘇生紙ポットを用いた育苗試験

4.3.1 試験方法

本試験では、黒ポリエチレンポット (以下、ポリポット; (直径 12cm、高さ 10cm)) に培養土 (与作 N=0) 250g を詰めたポリポット区、ポリポットに化学肥料を含む培養土 (与作 N=150) 250g を詰めた化学肥料区、古紙混合比 3% で作製した蘇生紙ポット (直径 13.5cm、高さ 11.5cm) に培養土 250g を詰めた蘇生紙ポット区、蘇生紙ポットに化学肥料を含む培養土 250g を詰めた蘇生紙ポット+化学肥料区の 4 区をそれぞれ 12 個ずつ準備した。

4.3.2 試験経過

2000 年 3 月 13 日に育苗箱にミニトマトを播種し、本葉が 4 枚に展開した 4 月 7 日 (播種後 25 日目) に蘇生紙ポットとポリポットに鉢上げを行った。さらに 4 月 27 日 (播種後 45 日目) に根の生育状況を確認するためにそれぞれ 4 ポットを回収し、残りを鹿児島県農業試験場の圃場に 8 ポットずつ、蘇生紙ポットはポットごと、ポリポットはポットを取り除いた後、定植した。その後、5 月 30 日 (播種後 78 日目) まで栽培した。

4.3.3 調査項目

播種後 36 日目、45 日目、59 日目、67 日目、74 日目、78 日目にミニトマトの草丈、葉数を測定した。また、播種後 36 日目、45 日目、78 日目に葉緑素計 (MINOLTA, SPAD-502) で SPAD 値を測定した。さらに定植時 (播種後 45 日目) と栽培終了時 (播種後 78 日目) に根の生育状態を確認した。

5. 実験結果と考察

5.1 蘇生紙ポット成型後の廃液量と廃液の性状

図-2 に蘇生紙ポット成型時における加圧時間と廃液量の関係を示す。廃液量は、加圧後 1 分間で古紙混合比に関係なく急激に増加し、約 350g であった。それ以上の加圧時間では古紙混合比により

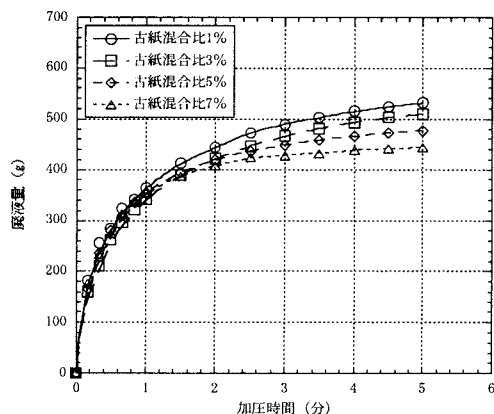


図-2 蘇生紙ポット成型時における
加圧時間と廃液量の関係

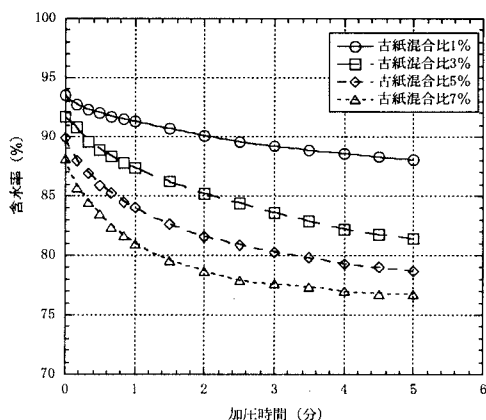


図-3 各加圧時間における蘇生紙
ポットの含水率

徐々に廃液量に差が生じた。これは古紙混合比が増加すると古紙による焼酎粕の保持量が多くなるためである。

図-3 に各加圧時間における蘇生紙ポットの含水率を示す。含水率は加圧後 1 分間で急激に減少し、古紙混合比 1%で 2.2%、3%で 4.3%、5%で 5.9%、7%で 7.2%と古紙混合比が大きくなるにつれてその変化量は大きくなった。

次に表-3 に成型加圧後の蘇生紙ポットの脱型のし易さを確認するためにポットの含水率が 90%、88%、85%、83%、80%に達した時点で加圧を停止し、脱型のし易さを定性的に評価した結果を示す。含水率 90%ではポットが非常に柔らかく、全く脱型できなかった。含水率 88%ではポットが柔らかく、形状を維持した状態でポットを脱型することは困難であった。含水率 85%以下では、脱型を容易に行うことができた。この結果は古紙混合比に関係なく、全ての蘇生紙ポットで同様であった。ただし、古紙混合比 1%では含水率が 85%まで達しないため、脱型し易い状態に至らなかった。

図-4 に各加圧時間における成型加圧後の蘇生紙ポットの含水率の変化量 Δw を示す。加圧後 1 分まではその変化は急であり、1 分から 2.5 分まで緩やかに減少し、2.5 分以降は全ての古紙混合比において時間当たりの変化量は 1 より小さくなった。本実験では、成型ポットが脱型の容易である含水率 85%以下で、かつ、その変化量が 1 より小さくなった時点を最適な加圧時間と考え、ポット加圧時間を 2.5 分としてポットを作製することとした。

図-5 に古紙混合比と固形分除去率、SS 濃度の関係を示す。固形分除去率は、成型用試料 780g に含まれる固形分量と成型加圧後の廃液中の固形分量との差を求めた上で、その値を成型用試料中の固形分量で除した。すなわち、固形分除去率とは、固形分が蘇生紙ポット中に保持された重量パーセン

表-3 蘇生紙ポットの脱型のし易さ

含水率 (%)	90%	88%	85%	83%	80%
脱型のし易さ	×	△	○	○	○

×：脱型できない。△：試料が柔らかく脱型しづらい。
○：脱型しやすい。

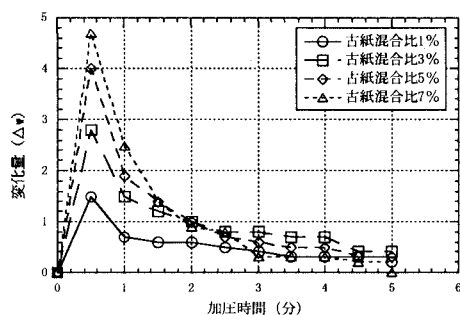


図-4 各加圧時間における蘇生紙ポット
の含水率の変化量 Δw

トの値である。全体的な傾向として、固形分除去率は、古紙混合比 1～3%にかけて急激に高くなり、古紙混合比 3%では 79.4%であった。3%以上の古紙混合比ではその変化は緩やかであった。このことから、古紙混合比 1%と 3%以上で蘇生紙ポットを成型加圧した場合、古紙混合比 1%では試料がポット作製装置の上金型内部に取付けられているステンレス製網を通過し易いことがわかった。

廃液中の SS 濃度は古紙混合比 1%では 6,420mg/L と高かったが、3%以上では 1,250～1,480mg/L であった。このことから、古紙混合比 3%以上で蘇生紙ポットを作製すると甘藷焼酎粕中の SS 分を 97.5～98.0%除去できることがわかった。なお、この結果は焼酎粕をスクリュウデカンター型の固液分離装置で分離した際に得られる SS 濃度と同程度であった²⁰⁾。

図-6 に古紙混合比と、BOD、COD_{Cr}、及び T-N 除去率の関係を示す。古紙混合比 1%と古紙混合比 3%以上で両者を比較すると、古紙混合比 1%では、BOD、COD_{Cr} 及び T-N 除去率はそれぞれ 54.7%、67.8%及び 63.7%であったが、古紙混合比 3%以上ではそれぞれ 63.6～65.2%、78.6～85.9%、および 70.7～72.0%であり、除去率の差は顕著であった。これは固形分除去率と同様、古紙混合比 3%以上では、試料中の古紙の繊維がフィルターの役割をはたし、焼酎粕中のこれらの成分を保持するためと考えられる。

以上の結果から、古紙混合比 3%以上で蘇生紙ポットを作製すると、焼酎粕に含まれる有用成分を効率良くポットに保持させることができ、かつ、廃水処理は従来通り、嫌気性処理法と活性汚泥法を組み合わせた方法で可能と思われる。

5.2 蘇生紙ポットの特性

5.2.1 密度、吸水度

図-7 に古紙混合比と蘇生紙ポットの密度の関係を示す。蘇生紙ポットの密度は古紙混合比 3%で 0.45g/cm³と最も高かったが、古紙混合比が増加すると徐々に減少し、7%では 0.35g/cm³であった。

写真-2、3 に古紙混合比 3%、7%の蘇生紙ポ

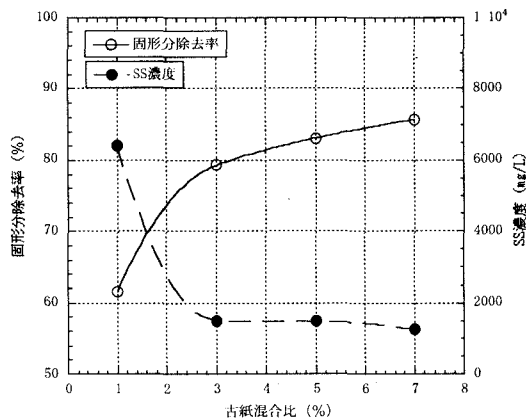


図-5 古紙混合比と固形分除去率、SS 濃度の関係

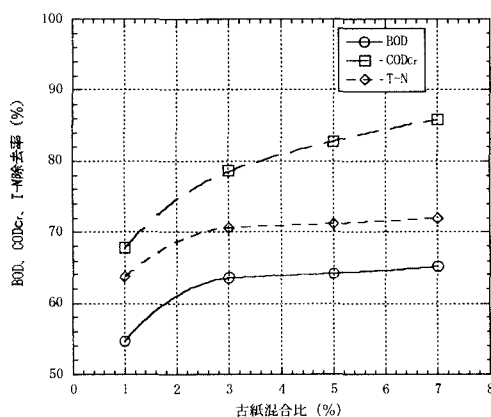


図-6 古紙混合比と BOD, COD_{Cr}, T-N 除去率の関係

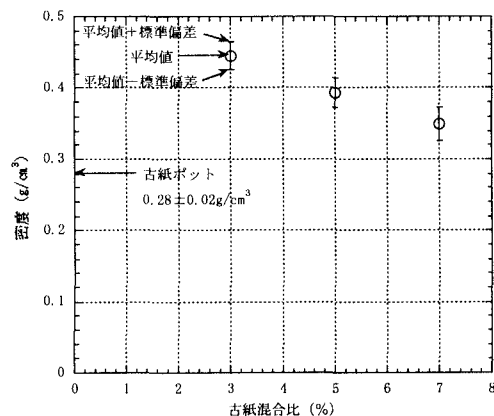


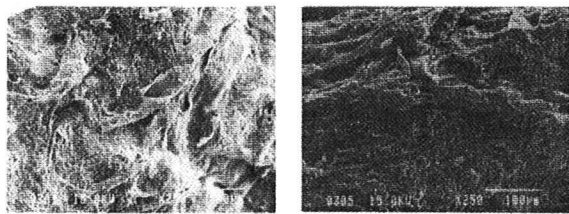
図-7 古紙混合比と蘇生紙ポットの密度の関係

ット表面と内面の SEM 写真を示す。写真から明らかなように古紙混合比 3% のポットは 7% に比較して繊維は少ないものの焼酎粕の成分が繊維間の空隙を均一に埋めており、ポットの表面、内面において空隙が見当たらなかった。一方、古紙混合比 7% のポットの表面は繊維間に空隙が見られたが、成型用金型と接している内面については、焼酎粕成分が繊維間を埋め空隙が少なかった。これらの差は金型のメッシュの目開きと試料の流動性が影響していると思われる。つまり、古紙混合比 3% の試料では試料が流動し易いため均一に混合できたのに対して、7% の試料では混合されにくく、吸引時にも焼酎粕成分が内面に集中し、このため表面に空隙が多くなったと考えられる。以上の結果から、前述した蘇生紙ポット成型後に生じる廃液の性状において、SS 分が古紙混合比 3% 以上で 1,250~1,480mg/L と低下したのは、繊維間の空隙に SS 成分が保持されたためと考えられる。なお古紙ポットの密度は 0.28g/cm^3 であり、蘇生紙ポットより小さかった。

図-8 に各古紙混合比で作製した蘇生紙ポットの表面、内面の吸水度を示す。蘇生紙ポットの吸水度は、古紙混合比の増加にともない表面、内面共に大きくなった。これは、古紙混合比が増加すると、古紙の繊維でより細かな網目構造が形成され、毛細管現象により吸水性が高まるためと考えられる。また、表面と内面で吸水度を比較した場合、全体的に内面の方が高くなった。これは、古紙繊維の網目構造に焼酎粕成分が充填され保水性、吸収性が加わったためと考えられる。なお、古紙ポットの吸水度は 0mm であった。これは、紙への吸収、浸透を遅らせたり防止したりするサイズ剤が添加されているためである²¹⁾。

5.2.2 圧縮、引張り強さ

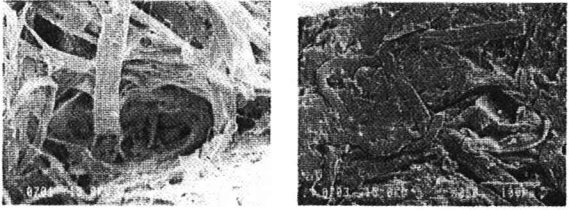
図-9 に古紙混合比と蘇生紙ポットの縦方向圧縮強さ、横方向圧縮強さの関係を示す。縦方向圧縮強さはポットを鉛直方向に加圧したものである。また、横方向圧縮強さは、側面側から加圧したものである。縦方向圧縮強さ、横方向圧縮強さは共に古紙混合比の増加に伴い大きくなり、古紙混合比 7% ではそれぞれ 1411N、666.3N であった。これは古紙混合比が増加するとポットの厚さが厚くなるためと考えられる。また、縦方向圧縮強さは横方向圧縮強さの約 2 倍の強度を持つことがわかった。次に蘇生紙ポットと古紙ポットを比較すると縦方向圧縮強さは古紙混合比 3% で古紙ポット (2048N)



蘇生紙ポットの表面

蘇生紙ポットの内面

写真-2 古紙混合比 3% で作製した蘇生紙ポットの SEM 写真 (250 倍)



蘇生紙ポットの表面

蘇生紙ポットの内面

写真-3 古紙混合比 7% で作製した蘇生紙ポットの SEM 写真 (250 倍)

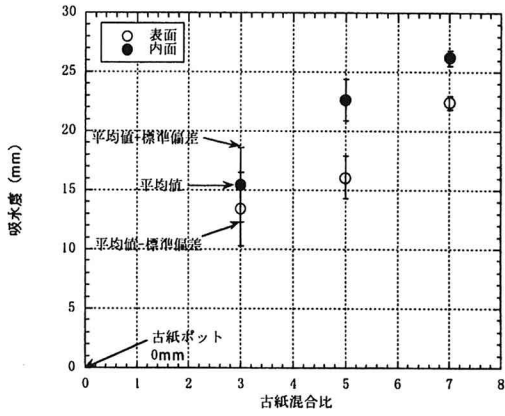


図-8 古紙混合比と蘇生紙ポットの吸水度の関係

の 1/3 程度、7%で 7/10 程度であった。一方、横方向圧縮強さは、古紙混合比 3%では古紙ポット（453N）とほぼ同じであり、古紙混合比 5%以上では古紙ポットより強度があることがわかった。

図-10 に古紙混合比と蘇生紙ポットの引張強さの関係を示す。引張強さは古紙混合比 3%で 120N の最大値を示した。この値は、古紙ポット（124.3N）と同程度であった。それ以上の古紙混合比では緩やかに減少し、古紙混合比 7%で 70N であった。このように古紙混合比の増加につれて引張強さが減少するのは、前述したように試料調整時の試料の流動性と蘇生紙の内部構造の違いが影響していると考ええる。つまり、古紙混合比 3%の試料では均一に混合できるため、繊維と焼酎粕成分が絡み易いのに対して、7%の試料では全体的に繊維は絡んでいるが、焼酎粕が均一に混合されていないため、蘇生紙内部に空隙が生じ、強度が低下すると考えられる。

以上の結果から、蘇生紙ポットは古紙ポットと比較して縦方向圧縮強さで 1/3～7/10 程度であるが、横方向圧縮強さ、引張り強さは古紙混合比 3%においてほぼ同程度の強度を持つことがわかった。

5.2.3 化学的特性

表-4 に蘇生紙ポットと古紙ポットの中に含まれる化学成分の乾物重量（%）を示す。全体的な傾向として蘇生紙ポットは古紙ポットと比較して肥料の三要素である窒素、リン酸、カリウムを多く含有していることが明らかとなった。また、その割合は古紙混合比が増加すると減少した。これは古紙混合比の増加にともない、単位重量あたりに占める焼酎粕含有量が減少するためである。しかし、ポット全体でこれらの成分含有量を比較すると古紙混合比が大きい程多くなった。次に各々の化学成分について両ポットを比較すると、窒素は古紙混合比 3%で 2.04%、5%で 1.64%、7%で 1.36%であり、古紙ポットより 6～10 倍程度含有していることがわかった。同様にリン酸で 10～13.6 倍程度、カリウムで 5～7 倍、カルシウムで 1.1～1.5 倍程度、マグネシウムで 1.2 倍程度多く含有していることがわかった。

以上のことから蘇生紙ポットは、従来の古紙ポットと比較して肥料成分を含有していることから、肥料的效果も期待できる。

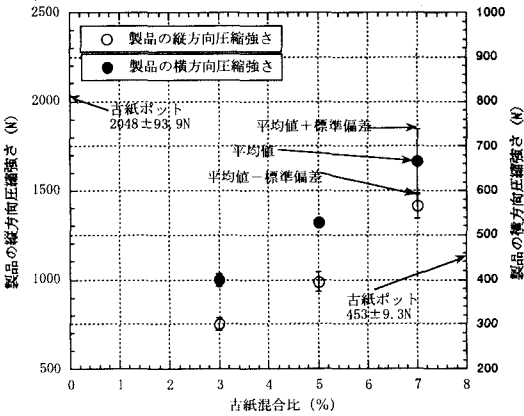


図-9 古紙混合比と蘇生紙ポットの縦方向、横方向圧縮強さの関係

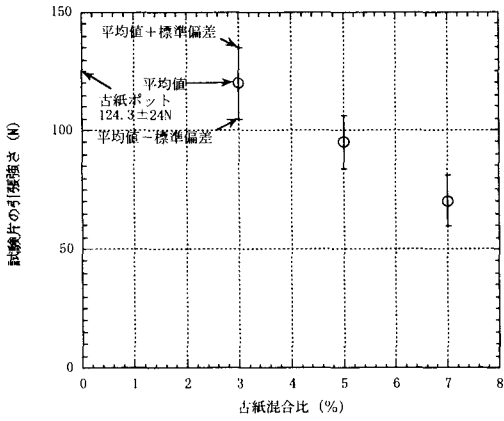


図-10 古紙混合比と試験片の引張強さの関係

表-4 蘇生紙ポットと古紙ポットの化学的特性

分析項目	古紙混合比3%	古紙混合比5%	古紙混合比7%	古紙ポット
T-N [%]	2.04	1.64	1.36	0.21
P ₂ O ₅ [mg/kg]	4,170	3,390	3,110	305
K ₂ O [mg/kg]	6,200	5,070	4,720	899
CaO [mg/kg]	3,850	3,190	2,820	2,510
MgO [mg/kg]	1,620	1,420	1,580	1,310

5.2.4 蘇生紙ポットを用いたミニトマトの生育試験

蘇生紙ポット作製における廃液性状特性と蘇生紙ポットの物性試験から、本試験では、古紙混合比3%の蘇生紙ポットを用いて、1) 蘇生紙ポットの耐久性、2) 蘇生紙ポットの根への生育阻害等を確認するためにミニトマトの生育試験を実施した。

4月7日(播種後25日目)に蘇生紙ポットとポリポットにミニトマトの苗を植替えた。移植後、全ての区に培養土が湿る程度に灌水し、さらに100mLずつ灌水した。その後、蘇生紙ポット区では、水分蒸発がポリポット区と比較して速かったため、4月18日(播種後36日目)から毎日、圃場に定植するまでの間、蘇生紙ポット区で200mL、ポリポット区で100mLずつ灌水した。また4月10日(播種後28日目)には蘇生紙ポット全体にカビが確認された。図-11に各ポット区の圃場定植位置を示す。左からポリポット区、蘇生紙ポット区、化学肥料区、蘇生紙ポット+化学肥料区とした。なお、蘇生紙ポット区と化学肥料区の間には波板を入れた。定植は2条植で行い、条間60cm、株間30cmとした。

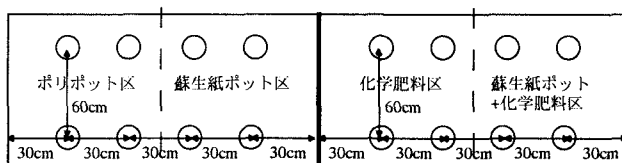


図-11 各ポット区の圃場定植位置

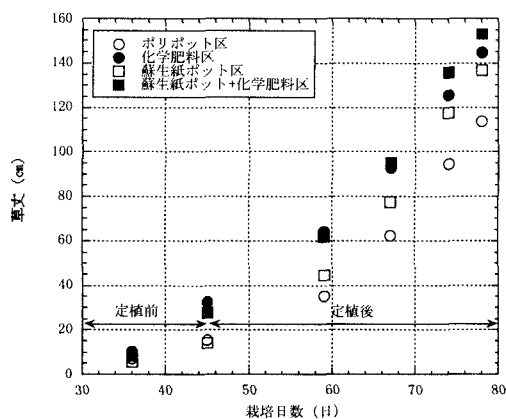


図-12 草丈の経日変化

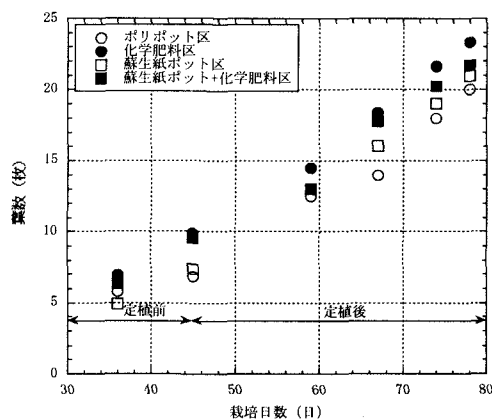


図-13 葉数の経日変化

図-12、図-13にミニトマトの草丈、葉数の経日変化を示す。ポットに移植して10日程は全ての区において生育に差は見られなかったが、定植時(播種後45日目)には化学肥料の添加の有無で生育に差が生じた。また、全ての区を4ポットずつ回収し、根の生育状況を確認した。その結果、全ての区において細根がポットの内面に接しており、根は白く、根腐れ等は見られなかった。また、圃場に定植するまでの間、蘇生紙ポットの形状はくずれることなく、維持できた。圃場に定植後は全体的な傾向として、草丈は蘇生紙ポット+化学肥料区が最も良く、次いで化学肥料区、蘇生紙ポット区、ポリポット区であった。特に、蘇生紙ポット区はポリポット区と比較して生育が良くなる傾向にあった。また、圃場に定植後、やや指数的生長がみられた。これは圃場に定植したことで、根の生育が良くなったためと考える。葉数については草丈ほど大きな差はなく、化学肥料区が最も良く、次いで蘇生紙ポット+化学肥料区、蘇生紙ポット区、ポリポット区であった。

図-14に各区における定植前のSPAD値と栽培終了時のSPAD値を示す。SPAD値は最大葉で測

定した。播種後 36 日目の SPAD 値は化学肥料区で 44.5、蘇生紙ポット+化学肥料区で 42.2 であり、蘇生紙ポット区、ポリポット区と比べ高かった。これは培養土に含まれる窒素成分が素早く土壌微生物により分解され、作物体が吸収できるアンモニア・硝酸態窒素に変わったためと考えられる。定植時（播種後 45 日目）における SPAD 値は蘇生紙ポット区とポリポット区で顕著な差が生じた。これは前述したように、蘇生紙ポットはポリポットと比べ乾燥し易い特徴があることから、栽培途中の灌水量の増加で蘇生紙の成分が土壌中に浸透し、この一部を作物体が吸収したためと考えられる。栽培終了時の SPAD 値は窒素含量の多い順に高くなる傾向を示したが、定植時に比べ無肥料区と他区との SPAD 値の差は小さくなった。

図-15 に各ポット区の栽培終了時のミニトマトの葉、茎、実の重量とその割合を示す。全重量では化学肥料区が最も重く、次いで蘇生紙ポット+化学肥料区、蘇生紙ポット区、ポリポット区の順であった。次に葉、茎、実の構成割合で各々の区を比較すると、化学肥料区と蘇生紙ポット+化学肥料区では実の占める割合がそれぞれ 28.1%、29.5%と高くなる傾向を示した。また、ポリポット区と蘇生紙ポット区を比較すると作物体の重量、実の占める割合に顕著な差があることから、蘇生紙ポットは肥料の効果も合せ持つことが唆された。

写真-4 に栽培終了時の蘇生紙ポットと根の分布を示す。栽培終了時に根の張り具合を観察したところ、根は紙を突き破り、放射状に土壌広く分布しており、ポットが根の生育を阻害することなく、根腐れも見られなかった。このことから、蘇生紙ポットは直接土壌に定植することができるため、従来のポリポットと比べ、苗を植替える手間が省け、ごみ問題にも対応できる。また、定植前と比べポリポット区と他区との SPAD 値の差が小さくなったのは、土壌広く分布した根が蘇生紙ポット区の養分を吸収したためと考えられる。

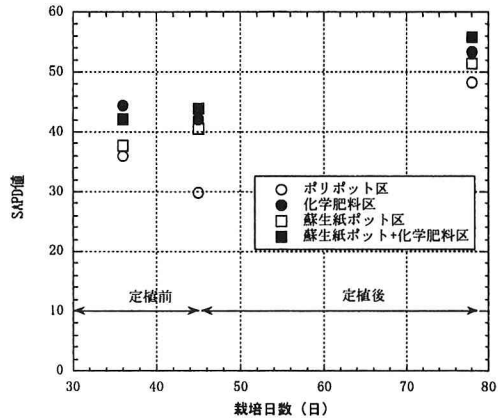


図-14 各区における定植前、栽培終了時の SPAD 値

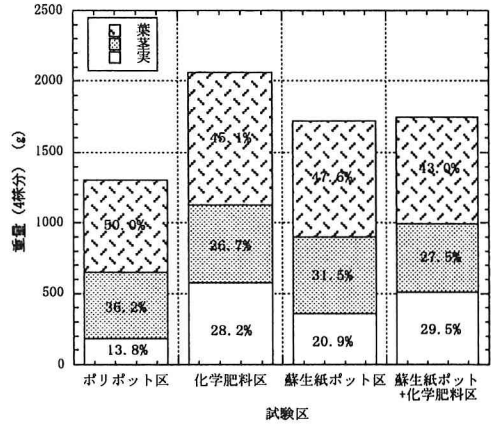


図-15 各区における栽培終了時の葉、茎、実の重量

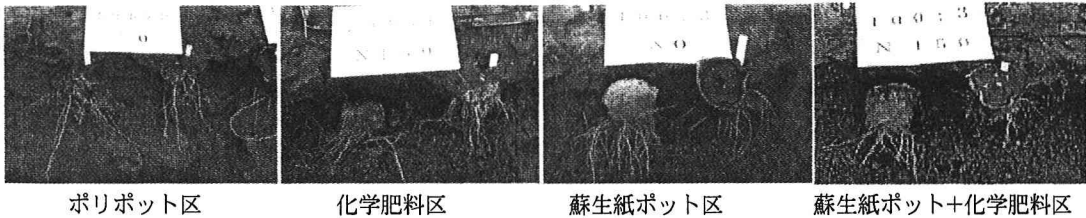


写真-4 各区における栽培終了時の根の分布

6. おわりに

本研究の最終目的は、焼酎粕を産業廃棄物の状態から付加価値のある市場流通型製品（蘇生資材）へと蘇らせ、蘇生資材市場を開拓することである。そのための当面の課題として、蘇生資材安定生産システムの構築と消費者のニーズに合致した製品への開発・改良が急務である。本論文では、市場流通型製品として蘇生紙ポットを開発し、その特性と有効性について明らかにした。以下、得られた知見を示す。

- 1) 蘇生紙ポット作製装置を開発し、蘇生紙ポットを作製できた。
- 2) 古紙混合比 3% 以上で蘇生紙ポットを作製すると、甘藷焼酎粕に含まれる固形分を 79.4% 以上、SS 分を約 98% 除去することができた。また、BOD、COD_{Cr}、および T-N 除去率もそれぞれ 63.6 ~ 65.2%、78.6 ~ 85.9%、および 70.7 ~ 72.0% であり、焼酎粕に含まれる有用成分を効率良くポットに保持させることができた。
- 3) 蘇生紙ポットは古紙ポットと比較して縦方向圧縮強さで 1/3 ~ 7/10 程度であるが、横方向圧縮強さ、引張り強さは古紙混合比 3% においてほぼ同程度の強度を持つことが明らかとなった。
- 4) 蘇生紙ポットは古紙ポットと比較して、窒素で 6 ~ 10 倍程度、リン酸で 10 ~ 13.6 倍程度、カリウムで 5 ~ 7 倍程度多く含有していることがわかった。
- 5) 圃場に定植するまでの間、蘇生紙ポットはくずれることなく、形状を維持できた。
- 6) 根は蘇生紙ポットを突き破り、放射状に土壤広く分布しており、ポットが根の生育を阻害することとはなかった。
- 7) 蘇生紙ポットでミニトマトを生育させることができた。また、ポリポット区と蘇生紙ポット区を比較すると作物体の重量、実の占める割合に顕著な差があることから、蘇生紙ポットは肥料の効果も合せ持つことが示唆された。

謝辞

本研究は NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の平成 12 年度即効型産業技術研究助成事業の助成を受けた（プロジェクト ID 00X42004x、研究代表者：山内正仁）ことを付記し、ここに関係各位に深謝致します。また、蘇生紙の物性試験及び植物の生育試験を実施するにあたり、鹿児島県工業技術センター、鹿児島県農業試験場の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 鹿児島県酒造組合連合会：平成 3、4、5、6、7、8、9、10、11 酒造年度本格焼酎原料別製成数量と蒸留粕の処理別・月別数量（1991-1999）
- 2) 国税庁統計年報告書（1999）
- 3) 外川健一、松永裕己：南九州における焼酎廃液処理の現状と課題、九州経済調査月報、50 巻、8 号（1996）
- 4) 外川健一、松永裕己：焼酎廃液処理問題の現状と課題、第 7 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.190-193（1996）
- 5) 小幡孝之：甘藷焼酎蒸留粕の生物処理方法の開発、日本醸造協会誌、89 巻、5 号、pp.349-350（1994）
- 6) 鹿児島県本格焼酎技術開発研究システム：平成 7 年度研究成果報告書、pp.118-127（1996）
- 7) 新村孝善：焼酎蒸留粕の処理状況に関する研究や取り組みの現状について、KIF 情報、（財）鹿児島県新産業育成財団、5 巻、pp.10-11（1996）
- 8) 鹿児島県農政部：焼酎廃液（粕）の農耕地施用のガイドライン、pp.1-9（1995）

- 9) 山内正仁、平田登基男、松藤康司 他 3 名：甘藷焼酎蒸留粕の有効利用に関する研究-蘇生紙作製とその物理的・力学的性質-、廃棄物学会論文誌、Vol.10、No.4、pp.204-213 (1999)
- 10) 山内正仁、清本なぎさ、平田登基男、増田純雄、花嶋正孝 他 3 名：甘藷および麦焼酎蒸留粕で作製した蘇生紙の化学的特性とチンゲンサイの生育試験、廃棄物学会論文誌 Vol.11、No.5、pp.231-240 (2000)
- 11) 増田純雄、山内正仁 他 3 名：動植物性産業廃棄物の飼料化に関する研究、土木学会環境工学研究論文集、Vol.37、pp.89-96 (2000)
- 12) 山内正仁、平田登基男、松藤康司、増田純雄 他 2 名：蘇生紙の物理および力学的特性とその有効利用、土木学会環境工学研究論文集、Vol.36、pp.379-389 (1999)
- 13) 山内正仁、平田登基男、松藤康司、増田純雄 他 2 名：焼酎蒸留粕を用いた蘇生資材の開発に関する基礎的研究、土木・材料論文集、第 15 号、pp.95-101 (1999)
- 14) 山内正仁、平田登基男、松藤康司、増田純雄 他 2 名：甘藷および麦焼酎蒸留粕で作られた蘇生紙の物理・力学的特性と廃液性状の比較検討、廃棄物学会論文誌、Vol.10、No.5、pp.284-292 (1999)
- 15) M.YAMAUCHI, T.HIRATA, Y.MATSUFUJI, Y.MAENO and M.MIHARA: How to make *Sosei* paper using Waste Stillage from Sweet Potato *Shochu* Distillery, Proc. of 7th. International Landfill Symposium, Vol.5, pp. 249-257 (1999)
- 16) 越野正義：第二改訂詳解肥料分析法、養賢堂 (1988)
- 17) 北野康：地球環境の化学、裳華房 (1984)
- 18) 日本下水道協会：下水試験方法 (1984)
- 19) 日本規格協会：JIS P 8111、JIS P 8112、JIS P 8113、JIS P 8116、JIS P 8118、JIS P 8124、JIS P 8132、JIS P 8141、日本規格協会 (1997)
- 20) 山下實：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-、醸造協会誌、第 92 巻、第 8 号、pp.563-572 (1997)
- 21) 原啓志：紙のおはなし、(財)日本規格協会、pp.94-95 (1994)