

(42) 蘇生紙の物理および力学特性とその有効利用

Physical and mechanical properties of *sosei* paper and its effective utilization

山内正仁*、平田登基男*、松藤康司**、増田純雄***、前野祐二*、桃井清至****
Masahito YAMAUCHI*, Tokio HIRATA*, Yasushi MATSUFUJI*, Sumio MASUDA****,
Yuji MAENO* and Kiyoshi MOMONOI****

ABSTRACT: As an effective utilization of waste stillage which will be banned to dump into sea from the year of 2001, authors have studied and succeeded to make *sosei* paper by using waste stillage from *shochu* distillery.

This research is tried to compare the physical and mechanical properties of *sosei* paper produced by using sweet potato waste stillage (hereafter, SPWS), barley waste stillage (hereafter, BWS) and old newspaper, and to consider the weight and property of waste water after compressing samples (waste stillage + old newspaper). Further, this research is applied to the growth test of *Chingensai* in a pot made of *sosei* paper.

Following results were obtained;

- 1) Barley *sosei* paper was greater in density and less in strength than sweet potato *sosei* paper.
- 2) After compressing samples, in the case of the sample whose ratio of old newspaper to waste stillage is 1%, more than 70 % of the COD_{Cr}, TOC, T-N components can be removed from waste water in the case of SPWS, and so can more than 45 % of them in the case of BWS.
- 3) In the growth test of *Chingensai* in a pot made of *sosei* paper, the plant absorbed components in *sosei* paper, and the paper proved to be effective as a fertilizer.

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

KEYWORDS; *sosei* paper, sweet potato waste stillage, barley waste stillage, old newspaper, effective utilization, physicommechanical property, waste water quality, growth test of *Chingensai*

1. はじめに

我が国の本格焼酎生産の93%を占める九州では、年間44万4千トン（平成9酒造年度）の焼酎蒸留粕（以下、焼酎粕）が排出され、その約半分が鹿児島県で占められている¹⁾。九州本格焼酎協議会は、1995年度から、「廃棄物その他の投棄による海洋汚染の防止に関する条約（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量に沿って自主削減を行っている。しかしながら、九州全県から排出される焼酎粕の海洋投棄量は、現在においてもその量を上回っており、特に鹿児島県においては、削減開始時に比較して海洋投棄量が増加傾向にある¹⁾。これは、焼酎粕を陸上処理する方法がリサイクルを含め、未だ確固たるものが確立されていないためである。

現在、焼酎粕の陸上処理法は農地還元（肥料化）・飼料化と生物処理、焼却処理などのプラント処理に大別される²⁾。前者については焼酎粕は90%以上が水分であるため、放置しておくですぐ腐敗すること、またそれを肥料として農地に散布するには環境問題の高まりの中、その散布量が規制されていることなどの影響で海洋投棄分をそのまま地域内で循環再利用するには解決すべき問題が多い^{3、4)}。後者は、処理プラントの維持管理やコスト面、

*鹿児島工業高等専門学校 土木工学科 (Kagoshima National College of Tech.) 〒899-5102 鹿児島県姶良郡隼人町真孝 1460-1

**福岡大学工学部 (Fukuoka Univ.)

***宮崎大学工学部 (Miyazaki Univ.)

****長岡技術科学大学工学部 (Nagaoka Univ. of Tech.)

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ものであるため、資源の未利用、炭酸ガス発生などの多くの問題を有している⁵⁾。

そこで筆者らは、焼酎粕を有用な資源として活用することで上述の問題を解決し、循環型社会システムの構築に貢献すべく研究を進め、いくつかの成果を得たので報告する。まず、焼酎粕と新聞古紙（以下、古紙）から紙（以下、蘇生紙）を作製する技術とそのプロセスで得られたいくつかの知見および蘇生紙の物理・力学的特性について報告する。次に、蘇生紙は環境配慮型製品として市場性が多岐に期待されており、中でも植物育成に必要な肥料成分を大量に含む点において、植物栽培ポットや法面植生基盤材への活用が見込まれる。そこで、蘇生紙を用いて植物栽培試験を実施し、蘇生紙が植物育成に有効に機能することを確認したので報告する。なお、焼酎粕は主に甘藷と麦の2種類の原料に由来するため、本研究は両者由来の焼酎粕を常に比較検討しながら進めた。焼酎粕の問題は、南九州固有の課題であるが、昨今のライフサイクルアセスメント配慮型製品への世界的傾向を眺める時、本研究で得た知見は、非常に有意義であると思われる。

2. 蘇生紙作製方法^{6, 7)}と実験方法

2.1 蘇生紙作製

蘇生紙は、焼酎粕 300g に $105 \pm 3^\circ\text{C}$ で 24 時間乾燥させた 1cm 角の古紙 (0~21g) を加え、オスターブレンダー (16,800rpm、10 分間) により細片化し、さらにホモジナイザー (20,000rpm、30 分間) で微粉碎後、その試料 240g を金網の上に置いた直径 28cm、深さ 3mm のアクリル板雛型の中に流し込み、成型し、0.55kPa で 1 時間加圧後、 60°C で約 10 時間乾燥させ、作製した。なお、蘇生紙作製には、焼酎粕に古紙を重量比 [(古紙/焼酎粕) $\times 100$] 0~7% (古紙混合比 0~7%) の範囲内において、1%きざみで添加した。

2.2 焼酎粕および試料加圧後の廃液性状分析

焼酎粕の性状は製造事業所によってばらつきがあるため、その性状を把握する必要がある。本研究では民間の焼酎製造会社（甘藷粕、麦粕）から排出される焼酎粕をホモジナイザー (20,000rpm、10min) で分散したものを分析試料として用いた。焼酎粕の含水率、蒸発残留物、強熱減量、SS、COD_{Cr}、T-N、NH₄-N、NO₃-N の分析は、下水道試験法⁸⁾、リン酸 (P₂O₅)、酸化カリウム (K₂O)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、カドミウム (Cd)、水銀 (T-Hg)、砒素 (As) の分析は肥料分析法⁹⁾ にしたがった。pH、TOC の測定はそれぞれ pH メーター、全有機炭素計 (島津、TOC-5000) で行い、粘度の測定には回転粘度計 (HAAKE、VT550) を用いた。食物繊維のうち、リグニン、セルロース、ヘミセルロースは P.J.Van Soest 等の方法¹⁰⁾ を、ペクチンについては m-ヒドロキシジフェニル法^{11, 12)} を用いた。全糖、デンプン、タンパクの測定はそれぞれソモギー変法^{11, 13)}、酵素法¹⁴⁾、ローリー法¹⁵⁾ で行った。なお、試料加圧後の廃液性状分析についても上述の試験法によった。

2.3 蘇生紙の物理および力学試験^{7, 16)}

紙は吸湿性材料であり、周囲の湿度の変化に応じてその性質が敏感に変わる。したがって、蘇生紙を温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\%$ の条件下で 24 時間調整後、蘇生紙から試験片を採取し、JIS 規格に準じて面積 (m^2)、質量 (g) および厚さ (mm) を測定し、坪量 (g/m^2) と密度 (g/cm^3) を求めた。また蘇生紙の力学的性質を明らかにするために、JIS 規格に準じて、引張強さ (kN/m)、引裂き強さ (mN)、破裂強さ (kPa) を測定し、既存の一般的紙資材（新聞紙、PPC 用紙）と比較した。さらに、比引張強さ ($\text{N} \cdot \text{m}/\text{g}$)、比引裂き強さ ($\text{mN}/\text{g}/\text{m}^2$)、比破裂強さ ($\text{kPa}/\text{g}/\text{m}^2$) を求め、同様に比較した。なお、本実験は 10 回行い平均値で示した。

2.4 植物栽培試験

2.4.1 蘇生紙の成分分析方法

蘇生紙 100g (乾物) 当たりの全窒素 (T-N)、リン酸 (P₂O₅)、酸化カリウム (K₂O) 含量を測定した。全窒素は、熱伝導度検出器 (住化エンジニアリング) で測定した。リン酸、カリウムについては、 450°C にて乾燥試料を

完全に灰化後、塩酸で抽出した測定試料を、リン酸はモリブデン青法による比色法で、カリウムは原子吸光法で定量した¹⁷⁾。さらに、ブランク用として焼酎粕、古紙のみについても同様な分析を行った。その際、焼酎粕の水分を48時間真空凍結乾燥して除去した。

2.4.2 植物栽培方法

今回は、側面に直径 5mm の穴を 54 か所空けた黒ポリエチレンポット（以下、ポリポット；直径 10.5cm）の内側に蘇生紙を張り、これを紙ポットとして栽培試験に用いた。紙ポット当たりの紙の重量は甘藷粕の場合、古紙混合比（焼酎粕と古紙の重量比が 100：2）2％で 5g、7％で 10g、麦粕の場合、古紙混合比 2％で 4g、7％で 10g であった。培土には畑土：軽石：パーミキュライトを 20L：6.6L：6.6L の割合で混ぜたものをポット当たり 400g 用い、化学肥料には窒素 0.8g を含む肥料（CDUS555、ポット当たり 5g）を使用した。試験区分は無肥料区（ポリポットに培土）、化学肥料区（ポリポットに化学肥料と培土を混和）、紙ポット区（紙ポットに培土）、紙ポット+化学肥料区（紙ポットに化学肥料と培土を混和）の 4 通りとした。各ポットにチンゲンサイを 5 粒播種し、夏期（7～8 月）に 35 日間試験を行った。播種後 23 日目と 35 日目（栽培終了時）に葉緑素計（MINOLTA、SPAD-502）で SPAD 値（葉緑素含量を示す値）を測定し、さらに栽培終了時には、草丈、葉数の調査と土壌および作物体を採取後、跡地土壌の化学性及び作物体の養分吸収状況を調査した。作物体の分析は硫酸一過酸化水素水による湿式灰化後¹⁸⁾、窒素はセミマイクロ蒸留法で、リン酸は硫酸モリブデン法による比色法で、カリウムは炎光光度法で行った¹⁹⁾。また、土壌の pH および電気伝導率（EC）はそれぞれ pH メーター、EC メーターを用いて測定した。無機態窒素は 10％塩化カリウムで抽出後、蒸留法で、交換性カリウムは pH7 酢酸アンモニウムで抽出後、炎光光度法で、可給態リン酸はトルオーグ法で分析した²⁰⁾。なお、植物栽培試験に用いた蘇生紙原料の焼酎粕の含水率は甘藷粕 94.6％、麦粕 94.0％であった。

3. 実験結果と考察

3.1 焼酎粕の性状

Table1 に甘藷粕と麦粕の平均的な性状を示す。全体的な傾向として焼酎粕は pH が低く、窒素の大部分が有機態窒素で、固形分を多く含有する高濃度有機質廃液である。無機成分では甘藷粕が麦粕に比較して特にカリウム含有量が多い傾向にあった。食物繊維（Dietary fiber）としては、セルロースは両焼酎粕に含有されたが、ペクチンは甘藷粕のみに、ヘミセルロースは麦粕のみに含有された。食物繊維全体量（乾物％）では、甘藷粕（17.1％）が麦粕（10.3％）に比べやや多かった。糖、タンパクは、麦粕に多く含まれており、デンプンは甘藷粕、麦粕共に 3000mg／l であった。また、甘藷粕の粘度は非常に高く、水（0.001Pa・s；20℃）の約 80 倍、麦粕の約 10 倍であった。食物繊維以外で粘性を持つ成分としては糖、タンパクがあるが、これらは麦粕に多く含まれていたことから粘度に大きな影響を及ぼすとは考えにくい。そこで、甘藷粕が含有する粘性のある食物繊維として知られているペクチン²¹⁾を麦粕に重量比で 0.1％、0.2％、0.4％、0.6％添加して粘度を測定した。しかし、全サンプル（0.010～0.012Pa・s）共にペクチン添加前とほぼ同じような粘度であったことから、両焼酎粕に含まれるセルロースの物性の違いが粘度に大きな影響を及ぼしていると考えられる。焼酎

Table 1 Properties of waste stillage from
shochu distillery

Items	Sweet Potato waste stillage	Barley waste stillage
pH	4.08	3.89
Water Content [%]	94.6	92.6
Total Residue [mg/ g]	54915	75384
Volatile Solids [mg/ g]	50910	72054
Suspended solids [mg/ g]	34600	16830
TOC [mg/ g]	25458	37103
CODcr [mg/ g]	76800	113200
T-N [mg/ g]	2232	4100
NH ₄ -N [mg/ g]	348.2	130
NO ₃ -N [mg/ g]	23.8	4.2
P ₂ O ₅ [mg/kg]	480	960
K ₂ O [mg/kg]	2160	510
Ca [mg/kg]	300	100
Mg [mg/kg]	120	100
Cd [mg/kg]	<0.10	<0.10
T-Hg [mg/kg]	<0.01	<0.01
As [mg/kg]	<0.10	<0.10
Lignin [mg/ g]	N.D.	N.D.
Cellulose [mg/ g]	8000	4000
Hemicellulose [mg/ g]	N.D.	4000
Pectin [mg/ g]	1400	N.D.
Starch [mg/ g]	3000	3000
Glucose [mg/ g]	13000	25000
Protein [mg/ g]	14000	25000
Viscosity [Pa・s]	0.080	0.010

粕は粘度が高いため、ろ過性が悪く、固液分離が困難なことが知られている²²⁾。長濱ら²³⁾は、両焼酎粕を60～200メッシュに篩別し、通過液を遠心分離して沈殿物と上澄液にわけ、それらの性状を調べ、さらに篩別粕を水洗いして0.6%クエン酸に懸濁し、時間ごとのろ過性を調査している。その結果、甘藷粕では固液分離の阻害物質、つまり粘度の原因物質が甘藷細胞片(セルロース)であり、麦粕では上澄液の溶解成分(糖、タンパクなど)であると結論づけている。以上のことから、本実験では、両焼酎粕共に含まれるセルロースの物性の違いが粘度に大きな影響を及ぼしていることがわかった。

3.2 試料加圧後の廃液量と廃液の性状特性

Fig. 1 に古紙混合比と試料加圧後の廃液量の関係を示す。古紙を添加しない試料(古紙混合比0%)では蘇生紙が作製できないため、古紙混合比0%における廃液量は型枠に流し込んだ試料240gとした。

古紙混合比1%では甘藷粕、麦粕の廃液量はそれぞれ107g、142gとなり、この残留分(133、98g)が蘇生紙作製に利用されたことになる。さらに、古紙混合比を増加すると、廃液量は緩やかに減少した。甘藷粕では、古紙混合比を7%にすると廃液は排出されず、蘇生紙中に完全に保持された。麦粕では、甘藷粕に比較して含水率が2%小さいにも関わらず、各古紙混合比において廃液量が多かった。これは、甘藷粕に含まれる細胞片等のセルロース成分は水分保持力が極めて大きく、一方、麦粕のそれらの成分は水分保持力が弱く、圧搾され易いためと考えられる²³⁾。蘇生紙作製により、甘藷粕で作製した蘇生紙(以下、甘藷蘇生紙)で55.4～100%、麦粕で作製した蘇生紙(以下、麦蘇生紙)で40.8～87.5%の廃液が除去された。

Fig. 2 に古紙混合比と固形分除去率の関係を示す。固形分除去率は成型用試料240gに含まれる固形分量と試料加圧後における廃液中の固形分量の差から求めた。全体的な傾向として、固形分除去率は麦蘇生紙より甘藷蘇生紙を作製した方が高く、特に古紙混合比1%で甘藷蘇生紙77%、麦蘇生紙54%と顕著であった。また固形分除去率は古紙混合比1～3%までは急激に高くなり、古紙混合比3%では甘藷蘇生紙、麦蘇生紙それぞれ89%、77%であった。古紙混合比7%では甘藷蘇生紙中に固形分を完全に閉じ込めることができ、固形分の除去率は100%となった。

Table2 に古紙混合比2%における廃液中のSS濃度を示す。廃液中のSS濃度は甘藷粕で

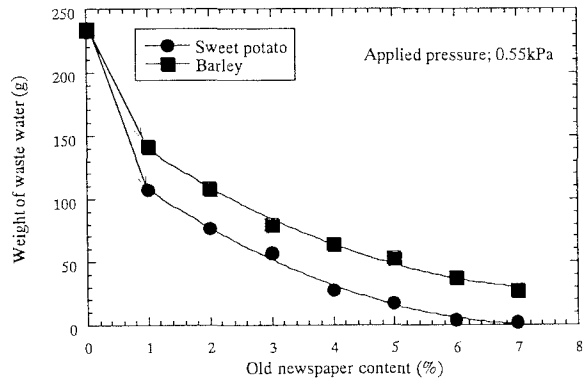


Fig.1 Relationship between ratio of old newspaper to waste stillage and weight of waste water after compressing samples at the applied pressure of 0.55kPa

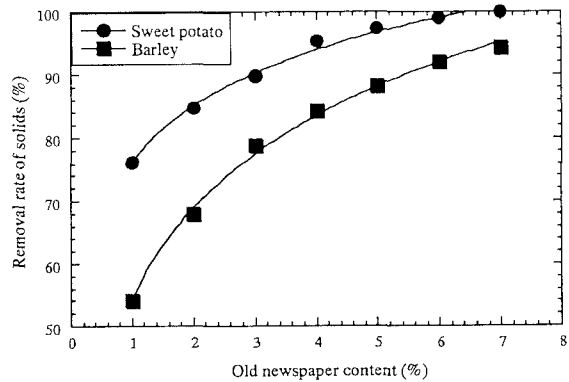


Fig. 2 Relationship between old newspaper content and removal rate of solids

Table 2 Suspended solids in waste water after compressing samples and mechanical treatments

	SS in waste water after compressing samples	SS in waste water after mechanical treatments
Sweet potato (mg/l)	3800	1000-3000
Barley (mg/l)	4100	3000-4000

3800mg/l、麦粕で 4100mg/l 程度となり、焼酎粕（原液）をスクリュウデカンタ形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。つまり、廃液の出る条件で蘇生紙を作製しても廃液の処理は、従来通りに、嫌気性処理法と活性汚泥法を組み合わせる方法で可能と思われる。

Fig. 3 に古紙混合比と COD_{Cr}、TOC、T-N の除去率の関係を示す。これらは Fig. 2 で示した固形分除去率と同様、甘藷蘇生紙を作製した方が高かった。また、古紙混合比 1% で蘇生紙を作製すると廃液中の COD_{Cr}、TOC、T-N 成分を甘藷粕の場合 70% 以上、麦粕の場合 45% 以上除去することができた。

以上の結果から、蘇生紙を作製することにより、蘇生紙中に焼酎粕の一部が保持され、廃水の量と有機物量が削減されるため、従来の廃水処理に比べて処理にかかる負荷を低減することができる。

3.3 蘇生紙の物理および力学特性

Fig. 4 に古紙混合比と蘇生紙の密度の関係を示す。甘藷、麦蘇生紙の密度は混合比 1% においてそれぞれ 0.46g/cm³、0.56g/cm³ を示し、これは PPC 用紙 0.70g/cm³、新聞紙 0.60g/cm³ より小さかった。古紙混合比が増加すると、両蘇生紙の密度は徐々に小さくなり、7% では甘藷 0.26g/cm³、麦 0.32g/cm³ であった。このような密度変化は、本法と従来の抄紙機による紙作製法が大きく異なるためである^{24, 25)}。また、麦蘇生紙は甘藷蘇生紙と比較して全体的に密度が大きかった。これは麦粕の固形分が圧搾され易い²³⁾ ためと考えられる。

Fig. 5 に古紙混合比と蘇生紙の引張り強さ、比引

張り強さの関係を示す。甘藷蘇生紙の引張り強さは古紙混合比 1~3% まで増加し、3.1kN/m の最大値を示した。それ以上の古紙混合比では引張り強さはやや減少する傾向にあった。一方、麦蘇生紙の引張り強さは甘藷蘇生紙に比べ非常に小さく、古紙混合比 3% で 1.4kN/m（最大値）であった。これらの結果を既存紙と比較すると、甘藷蘇生紙は新聞紙（2.4kN/m）より強く、麦蘇生紙は PPC 用紙（4.0kN/m）の 1/3 程度、新聞紙の 2/3 程度であった。

甘藷蘇生紙の比引張り強さは古紙混合比 2% で最大値 11.5Nm/g を示し、古紙混合比 3% 以上では減少した。麦蘇生紙の場合、古紙混合比による差は見られなかった。甘藷蘇生紙の最大値を既存紙と比較すると、PPC 用紙（75.2Nm/g）の 1/6 程度、新聞紙（55.5Nm/g）の 1/5 程度であった。一方、麦蘇生紙の場合、PPC 用紙の 1/19 程度、新聞紙の 1/14 程度であった。このように、両蘇生紙の比引張り強さが引張り強さに比べ非常に小さく、古紙混合比を大きくするにつれて減少するのは、焼酎粕に加える古紙量を増やすことで蘇生紙の坪量が大きくなるためである。また両蘇生紙において強度差が生じたのは、焼酎粕中のセルロースの物性、つまり、両焼酎粕の粘度の違いが蘇生紙の骨格をなす繊維全体の絡みに影響を及ぼしたためと推察される。さらに、両蘇生紙共に

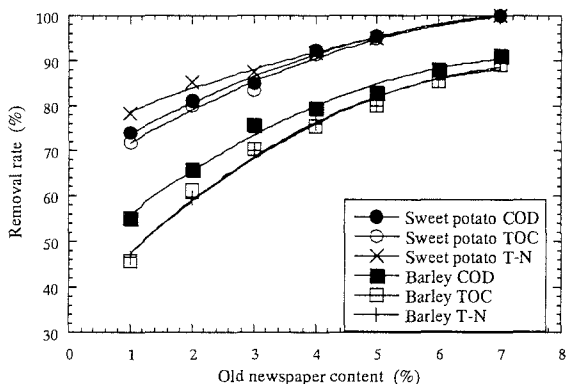


Fig. 3 Relationship between old newspaper content and removal rates of COD_{Cr}, TOC and T-N

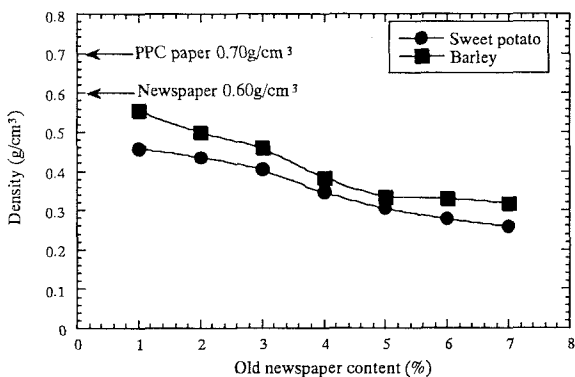


Fig. 4 Density of sosei paper varied with old newspaper content

古紙混合比が大きくなっても、強度増加が見られなかったのは、①蘇生紙作製時の、载荷圧力が弱かったため、繊維間結合が緩くなったこと、②繊維どうしを結合するバインダーすなわち“ねり”と呼ばれるものが不足したこと、③蘇生紙作製法が従来の抄紙機を利用した紙作製法と全く異なることなどが考えられる。

Fig. 6 に古紙混合比と蘇生紙の引裂き強さ、比引裂き強さの関係を示す。引裂き強さは両蘇生紙共に焼酎粕に添加する古紙量に比例して大きくなった。これは、古紙混合比の増加で蘇生紙の厚さが大きくなるとともに繊維間結合が緩くなったためである。引裂き強さは、古紙混合比1%で新聞紙(353.7mN)より、2%でPPC用紙(563.7mN)よりも強くなった。

比引裂き強さは、両蘇生紙共に古紙混合比1~3%までは増加傾向を示し、3%以上ではほぼ一定(甘藷蘇生紙、 4.3mN/g/m^2 、麦蘇生紙、 4.2mN/g/m^2)となった。この結果は、新聞紙(8.0mN/g/m^2)、PPC用紙(8.5mN/g/m^2)の1/2程度であった。なお、引裂き強さ、比引裂き強さについては使用原料による強度差は生じなかった。

Fig. 7 に古紙混合比と蘇生紙の破裂強さ、比破裂強さの関係を示す。破裂強さ、比破裂強さは甘藷蘇生紙の方が麦蘇生紙より全ての条件において大きい値を示した。破裂強さは、甘藷蘇生紙の場合、古紙混合比2%で180kPaを示し、それ以上の古紙混合比ではほぼ一定となった。古紙混合比2%における破裂強さは、新聞紙(123kPa)より大きく、PPC用紙(196kPa)より小さかった。一方、麦蘇生紙は全体的に強度変化は小さいが古紙混合比3%で新聞紙と同程度の最大値120kPaを示した。それ以上の古紙混合比ではばらつきはあるがほぼ一定となった。また、一般的に破裂強さは厚さに比例して大きくなるが、蘇生紙はその傾向を示さなかった。これは、本法と従来の抄紙機による紙作製法が大きく異なる理由による。

比破裂強さは、両蘇生紙共に古紙混合比が大きくなるにしたがい減少傾向を示した。こ

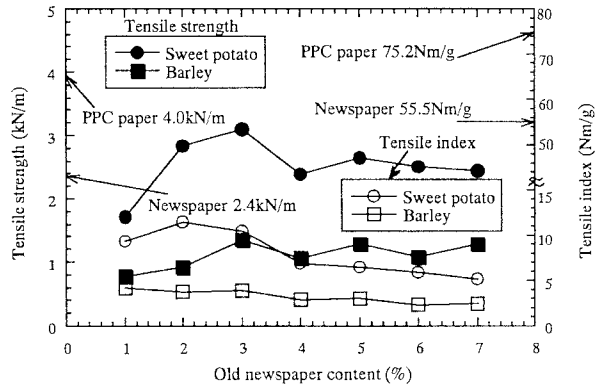


Fig. 5 Tensile strength and tensile index of *sosei* paper varied with old newspaper content

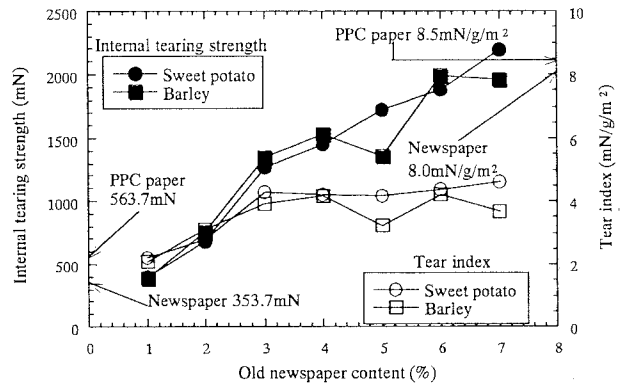


Fig. 6 Internal tearing strength and tear index of *sosei* paper varied with old newspaper content

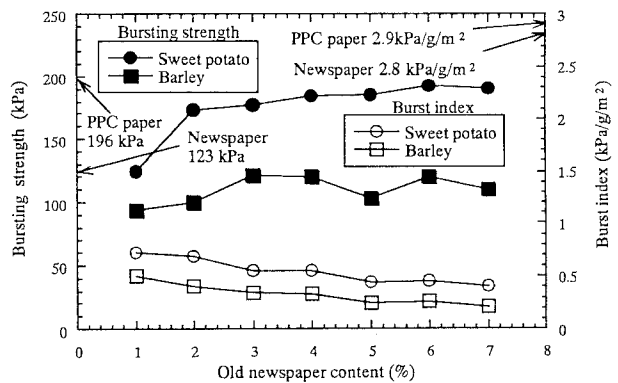


Fig. 7 Bursting strength and burst index of *sosei* paper varied with old newspaper content

れは、比引張り強さと同様、古紙混合比を大きくすると蘇生紙の坪量が増加するためである。また、両蘇生紙の比破裂強さは、新聞紙、PPC 用紙（それぞれ、2.8、2.9kPa/g/m²）に比較して甘藷蘇生紙で 1/5~1/7、麦蘇生紙で 1/7~1/15 程度であった。一般的に紙の破裂強さは引張り強さと同じような強度に対する影響因子を持つことが知られている²⁴⁾。本実験においても同様な結果が得られた。

以上の結果から、麦蘇生紙は甘藷蘇生紙に比較して密度は大きいが強度的に弱いことがわかった。このように両蘇生紙に強度差が生じた大きな要因としてセルロースの物性の違いが考えられた。また両蘇生紙共に既存紙に比べ物理・力学的に弱いものであるが、蘇生紙そのものの強さ（引張り強さ、引裂き強さ、破裂強さ）で既存紙との比較を行うと、古紙混合比 2~3% で作製した蘇生紙が力学的に最も良好な結果を示した。この結果より古紙混合比 2~3% の蘇生紙を数枚重ねて使用したり、蘇生紙の厚みを大きくし坪量を増加させ成型することで、規格を要さない段ボール緩衝材、卵パックなどのモールド製品への応用が可能であると考えられる。

3.4 植物栽培試験

一般に、焼酎粕は窒素分が高く、そのまま農耕地還元した場合、作物への肥料的効果は高いと考えられる。上村ら²⁶⁾は、焼酎粕の処理技術として堆肥化と直接農耕地に還元する方法を報告しており、その中で焼酎粕の肥料的効果を明らかにしている。同様に柯ら²⁷⁾も、焼酎粕は農地還元利用に適した良好な有機質資材であると報告している。したがって、焼酎粕を主原料として作製した蘇生紙においても肥料的効果は大きいと考えられる。

そこで、両蘇生紙中の窒素、リン酸、カリウム濃度を測定した。その結果を Table3、Table4 に示す。窒素含有率は古紙混合比 2%、7% において甘藷蘇生紙でそれぞれ 3.34%、2.11%、麦蘇生紙で 4.20%、3.25% といずれの混合比においても麦蘇生紙が高かった。リン酸含有率は甘藷蘇生紙で 0.82%、0.49%、麦蘇生紙で 0.93%、0.63% と両者の差は顕著でなかった。カリウム含有率は甘藷蘇生紙で 2.18%、1.44%、麦蘇生紙で 1.02%、0.81% といずれの混合比においても甘藷蘇生紙が麦蘇生紙の約 2 倍と高かった。以上の結果から、甘藷蘇生紙は麦蘇生紙に比較して窒素含有率が低く、カリウム含有率が高い傾向にあった。すなわち、蘇生紙の成分は、甘藷、麦蘇生紙で異なることがわかった。

栽培試験ではチンゲンサイを用い、7 月 13 日にポット当たり 5 粒播種して試験を行った。播種後 1 週間、曇天が続き、紙ポットの表面にかびが生えたが、チンゲンサイは全ての区において播種後 4 日目から 5 日目にかけて発芽し、順調に生育した。播種後 16 日目にチンゲンサイを 3 本に間引きし、播種後 23 日目に葉緑素計（SPAD-502）で SPAD 値を測定した。その後軟腐病が発生したため、播種後 35 日目に栽培を終了した。

栽培試験結果を Table5 に示す。播種後 23 日目の SPAD 値は化学肥料区が 48.0 と一番高く、次いで紙ポット + 化学肥料区；41.9~46.2、紙ポット区；34.6~37.5、無肥料区；23.9 であった。紙ポット区は無肥料区と比較して SPAD 値の差は大きかった。また紙ポット区における蘇生紙構成成分（甘藷粕、麦粕）の違いによる SPAD 値の差は見られなかった。栽培終了時の SPAD 値もほぼ同様な傾向であったが、紙ポット区では麦蘇生紙が甘藷蘇

Table 3 Chemical properties of SPWS*1 and SPSP*2
(weight ratio per 100g dry weight)

Mixing ratio	Content of chemical component (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 0 0 : 0 *3	4.4 3	1.0 9	3.4 2
1 0 0 : 2	3.3 4	0.8 2	2.1 8
1 0 0 : 7	2.1 1	0.4 9	1.4 4

N.B.) *1 : SPWS : sweet potato waste stillage
*2 : SPSP : sweet potato *sosei* paper
*3 : Means that the ratio of waste stillage from sweet potato *shochu* distillery to old newspaper is 100 to 0. Hereafter the same.

Table 4 Chemical properties of BWS*1 and BSP*2
(weight ratio per 100g dry weight)

Mixing ratio	Content of chemical component (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 0 0 : 0 *3	6.4 8	1.4 9	1.4 7
1 0 0 : 2	4.2 0	0.9 3	1.0 2
1 0 0 : 7	3.2 5	0.6 3	0.8 1

N.B.) *1 : BWS : barley waste stillage
*2 : BSP : barley *sosei* paper
*3 : Means that the ratio of waste stillage from barley *shochu* distillery to old newspaper is 100 to 0. Hereafter the same.

生紙より高く、古紙混合比では 7%が高かった。これは麦蘇生紙の窒素含量が甘藷蘇生紙に比べ高く、また紙ポットに用いた蘇生紙の重量が古紙混合比 7%では 2%の約 2 倍のため、紙ポット中の窒素含量も多かったためである。

草丈、葉数は無肥料区ではそれぞれ 5.9cm、4.9 枚であった。これは化学肥料区：11.3cm、8.6 枚、紙ポット区：10.1~12.1cm、7.7~9.8 枚、紙ポット+化学肥料区：10.6~11.2cm、7.3~8.9

枚に比べて極めて低かった。紙ポット区と化学肥料区、紙ポット+化学肥料区との差は見られなかった。

茎葉部の株当たりの乾燥重量は化学肥料区が 0.526g と最も重く、次いで紙ポット区（麦 100：7、0.472g）、紙ポット+化学肥料区（甘藷 100：7、0.440g）、紙ポット+化学肥料区（甘藷 100：2、0.423g）の順であった。また無肥料区では 0.083g であった。次に原料別に紙ポット区と紙ポット+化学肥料区を比較すると、甘藷では紙ポット+化学肥料区が紙ポット区より重く、古紙混合比では 7%の方が良好であった。一方、麦では紙ポット区が紙ポット+化学肥料区より重く、古紙混合比では 7%の方が良好であった。このような結果が得られた理由として、上述したように、甘藷蘇生紙の窒素含量は麦蘇生紙に比較して少ないため、甘藷紙ポットでは化学肥料を添加すると古紙混合比が大きいほどその効果が見られたが、窒素含量の多い麦紙ポットは化学肥料の添加で窒素による濃度障害を起こし、生育が抑えられ、その結果、茎葉部の重量は軽くなったと考えられる。根部の株当たりの乾燥重量も茎葉部と同様な傾向を示した。

Table6 に栽培終了時におけるチンゲンサイの株当たりの養分吸収量及び化学肥料区に対する吸収割合を示す。化学肥料からの養分吸収量は株当たり、N：28mg、P₂O₅：5mg、K₂O：33mg であった。紙ポットのみからの養分吸収量は株当たり、N：7~17mg、P₂O₅：3~4mg、K₂O：11~17mg であり、原料では麦が高く、古紙混合比では 7%が高かった。紙ポット+化学肥料区の吸収量は化学肥料区には劣るが、紙ポット区よりは高かった。つぎに化学肥料区を 100 とした紙ポット区の吸収割合を求めてみると N：25~61%、P₂O₅：60~80%、K₂O：33~52% であり、特に紙ポット区の麦蘇生紙で古紙混合比 7%が最も高い吸収率を示した。

Table 5 Results of growth test of *Chingensai*

Category	23 days after seeding		35 days after seeding (on completion of culture)			
	SPAD value	SPAD value	Height (cm)	Number of leaves	Stalk (dry weight g / plant)	Root (dry weight g / plant)
1 Non-fertilizer	23.9	25.0	5.9	4.9	0.083	0.002
2 Chemical fertilizer	48.0	46.2	11.3	8.6	0.526	0.067
3 Paper pot						
Sweet potato 100：2*	34.6	30.0	10.1	7.7	0.326	0.039
Sweet potato 100：7	37.5	34.6	11.1	8.3	0.390	0.041
Barley 100：2	36.6	35.9	10.7	8.2	0.407	0.060
Barley 100：7	37.5	39.1	12.1	9.8	0.472	0.071
4 Paper pot+Chemical fertilizer						
Sweet potato 100：2	44.8	44.6	11.2	8.3	0.423	0.054
Sweet potato 100：7	41.9	44.0	10.8	8.9	0.440	0.052
Barley 100：2	46.1	44.8	10.6	7.3	0.389	0.038
Barley 100：7	46.2	44.9	11.1	7.9	0.418	0.047

N.B.) * : Means that the weight ratio of waste stillage from sweet potato *shochu* distillery to old newspaper is 100 to 2. Hereafter the same.

Table 6 Nutrition absorption content and ratio per plant on completion of culture of *Chingensai*

Category	Absorption content (mg/plant)			Absorption ratio*1 (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 Non-fertilizer	0 (1)	*2 0 (1)	0 (3)	—	—	—
2 Chemical fertilizer	28 (29)	5 (6)	33 (36)	100	100	100
3 Paper pot						
Sweet potato 100：2*	7 (8)	3 (4)	11 (14)	25	60	33
Sweet potato 100：7	11 (12)	4 (5)	15 (18)	39	80	45
Barley 100：2	11 (12)	3 (4)	13 (16)	39	60	39
Barley 100：7	17 (18)	4 (5)	17 (20)	61	80	52
4 Paper pot+Chemical fertilizer						
Sweet potato 100：2	20 (21)	3 (4)	26 (29)	71	60	79
Sweet potato 100：7	20 (21)	4 (5)	25 (28)	71	80	76
Barley 100：2	18 (19)	2 (3)	21 (24)	64	40	64
Barley 100：7	21 (22)	3 (4)	24 (27)	75	80	73

N.B.) *1 : Absorption ratio = (nutrition absorption content in each category — nutrition absorption content in non-fertilizer) / (nutrition absorption content in chemical fertilizer — nutrition absorption content in non-fertilizer) × 100

*2 : The parenthesized numbers are plus the amount of each component in soil : N, P₂O₅ and K₂O.

*3 : Means that the weight ratio of waste stillage from sweet potato *shochu* distillery to old newspaper is 100 to 2. Hereafter the same.

Table7 にチンゲンサイが蘇生紙から吸収したポット当たりの養分吸収率を示す。1 ヶ月程度の栽培においてチンゲンサイは、蘇生紙に含有される N の 13～20%、P₂O₅ の 19～25%を養分として吸収していることがわかった。K₂O の吸収率は、甘藷蘇生紙で古紙混合比 2%、7%においてそれぞれ 30%、31%、麦蘇生紙で、95%、63%であった。これは、Table3、Table4 および Table7 から明らかのように、甘藷蘇生紙のカリウム含量が麦蘇生紙に比べ多いためである。

Table8 に栽培終了時の土壌 100g (乾土) 当たりの化学性を示す。栽培終了時の pH は無肥料区で 6.83 であるのに対して化学肥料区および紙ポット+化学肥料区では 5.16～5.48 であった。これらの区では添加した窒素量が多かったために土壌中に多量の硝酸態窒素が蓄積し、土壌が弱酸性化したためと思われる。紙ポット区の蘇生紙の pH は 4.0 前後であるが、土壌の pH は無肥料区と同じであった。EC も pH と同様に紙ポット区は無肥料区と変わらなかった。

化学肥料区の無機態窒素、トルオーグリン酸、交換性 K はそれぞれ 37.9mg (NH₄-N; 10.7mg、NO₃-N; 27.2mg)、68mg、1.72meq であった。この結果は、紙ポット+化学肥料区とほぼ同じであり、紙ポット区および無肥料区と比較して非常に高いものであった。また紙ポット区の無機態窒素は無肥料区より若干高く、紙ポットから土壌に溶出したことが示唆されるが、全体的に紙ポット区の土壌の養分含量は無肥料区と同等に低いことから、チンゲンサイは紙ポットから直接栄養分を吸収していることが判明した。

以上の結果から、蘇生紙を農業用の紙ポットとして使用することで、その中に含まれる成分（窒素、リン、カリウム）は、植物を栽培する際の肥料分として有効に働くことがわかった。

4. おわりに

2001 年 3 月に海洋投棄が禁止される産業廃棄物である焼酎粕の陸上での処理、処分問題の一解決策として蘇生紙を作製し、その物理および力学特性について既存紙と比較検討した。また、試料加圧後の廃液量とその性状についても調べた。さらに蘇生紙構成成分の有効利用の可能性を調査するために蘇生紙を用いた植物栽培試験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 古紙混合比 1% で蘇生紙を作製することにより、廃液量を減少させるとともに、廃液中の固形分を甘藷で 77%、麦で 54% 除去することができた。また廃液中の COD_{Cr}、TOC、T-N 成分も甘藷、麦それぞれ 70% 以上、45% 以上除去されるため、従来の廃水処理に比べて負荷を低減できることがわかった。

Table 7 Nutrition absorption ratio per *sosei* pot on completion of culture of *Chingensai*

Paper pot	Nutrient content per pot			Nutrient content from <i>sosei</i> paper			Nutrition absorption ratio*1		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(mg/pot)			(mg/pot)			(%)		
Sweet potato 100 : 2*2	167	41	109	21	9	33	13	22	30
Sweet potato 100 : 7	211	49	144	33	12	45	16	25	31
Barley 100 : 2	168	37	41	33	9	39	20	24	95
Barley 100 : 7	325	63	81	51	12	51	16	19	63

N.B.) *1 : (Nutrition absorption ratio = Nutrient content from *sosei* paper / Nutrient content per pot) × 100

*2 : Means that the ratio of waste stillage from sweet potato *shochu* distillery to old newspaper is 100 to 2. Hereafter the same.

Table 8 Chemical properties on completion of culture (per 100g dry soil)

Category	pH (H ₂ O)	EC (ms/cm)	NH ₄ -N (mg)	NO ₃ -N (mg)	P ₂ O ₅ (mg)	K (meq)
1 Non-fertilizer	6.83	0.10	0.02	0.12	2.8	0.36
2 Chemical fertilizer	5.16	0.80	10.7	27.2	6.8	1.72
3 Paper pot						
Sweet potato 100 : 2*	7.14	0.11	0.04	0.35	2.3	0.40
Sweet potato 100 : 7	7.10	0.11	0.04	0.49	2.3	0.39
Barley 100 : 2	7.08	0.08	0.06	0.38	2.3	0.32
Barley 100 : 7	6.75	0.14	0.10	0.95	2.4	0.30
4 Paper pot+Chemical fertilizer						
Sweet potato 100 : 2	5.48	0.63	9.70	22.41	6.4	1.84
Sweet potato 100 : 7	5.33	0.64	11.21	23.51	6.5	1.92
Barley 100 : 2	5.16	0.60	11.37	22.59	6.4	1.78
Barley 100 : 7	5.40	0.76	17.80	27.64	8.2	1.84

N.B.) * : Means that the ratio of waste stillage from sweet potato *shochu* distillery to old newspaper is 100 to 2. Hereafter the same.

- 2) 麦蘇生紙は甘藷蘇生紙に比較して密度は大きいが強度的に弱いことがわかった。これは焼酎粕に含まれるセルロース成分の物性、つまり、焼酎粕の粘性が両蘇生紙の骨格をなす繊維全体の絡みに影響を及ぼしたためと推察された。
- 3) 蘇生紙は既存紙に比べ低品位の紙であるが、蘇生紙そのものの強さ（引張り強さ、引裂き強さ、破裂強さ）で既存紙との比較を行うと、古紙混合比 2～3% で作製された蘇生紙が力学的に最も良好な結果を示した。特に甘藷蘇生紙は、新聞紙より強い強度が得られた。
- 4) 栽培試験においてチンゲンサイは、蘇生紙に含有される窒素、リン酸、カリウムを養分として吸収していることが判明し、蘇生紙は肥料的効果の大きい資材であることが明らかになった。

なお、本研究は財団法人クリタ水・環境科学振興財団（平成 9 年度萌芽的研究）と廃棄物学会（平成 10 年度奨励研究）の補助金の援助を受けた。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 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（1991-1997）
- 2) 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）
- 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、Vol.50、No.8（1996）
- 4) 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（1995）
- 5) 鹿児島県工業技術センター：焼酎蒸留粕の処理状況に関する研究開発や取り組みの現状について（1997）
- 6) 山内正仁、平田登基男、松藤康司、他：焼酎蒸留粕の有効利用に関する研究-蘇生紙の作製-、第 8 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.486-489（1997）
- 7) 山内正仁、平田登基男、松藤康司、他：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）
- 8) 日本下水道協会：下水試験方法（1984）
- 9) 越野正義：第二改訂詳解肥料分析法、養賢堂（1988）
- 10) P.J.Van Soest etc.：Proc. Nutr. Soc., 32, p.123（1973）
- 11) 小原哲二郎、鈴木隆雄、岩尾裕之監修：改訂 食品分析ハンドブック、建帛社、p.211-213、p.239（1982）
- 12) N.Blumenkrantz and G.Asboe-Hansen：Anal. Chem., 54, pp.484-489（1973）
- 13) 永原太郎、岩尾裕之、久保彰治著：全訂 食品分析法、柴田書店、pp.119-125
- 14) 中村道徳、貝沼圭二編：澱粉・関連糖質実験法、学会出版センター、p.12-13（1986）
- 15) Lowry, O.H., Rowebrout, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J.：J. Biol. Chem., 193, 265（1951）
- 16) 日本規格協会：JISP8111、JISP8112、JISP8113、JISP8116、JISP8118、JISP8124、日本規格協会（1997）
- 17) 日本規格協会：JISハンドブック-環境測定-、（財）日本規格協会、pp.1110-1112、p.1019（1994）
- 18) 水野直治、南松雄：硫酸-過酸化水素による農作物中 N、K、Mg、Ca、Fe、Mn 定量のための迅速前処理法、日本土壌肥料学会誌、第 51 巻、第 5 号、pp.418-420（1980）
- 19) 作物分析法委員会編：栽培植物分析測定法、養賢堂、pp.64-67、pp.71-73、pp.73-75（1980）
- 20) 土壌環境分析法編集委員会：土壌環境分析法、博友社、pp.215-218、pp.241-243、pp.247-249、pp.267-269（1997）
- 21) 日本栄養士会編：改訂新版食物繊維、社団法人、第一出版株式会社、pp.25-27、p.112（1995）
- 22) 財団法人 日本醸造協会：本格焼酎製造技術、p.311（1991）
- 23) 長濱伴紀、藤本滋生、菅沼俊彦：甘藷焼酎蒸留廃液の物理・化学的性質と固液分離に関する要因、地域システム技術開発事業研究成果報告書、鹿児島県、pp.92-107（1991）
- 24) 大江礼三郎 他：パルプおよび紙、文永堂出版、pp.159-160、pp.205-213（1996）

- 25) 王子製紙編：紙・パルプの実際知識、東洋経済新報社、pp43-54（1996）
- 26) 上村幸廣、鳩野哲也、西園直生子：甘しょ焼酎廃液の農耕地還元技術、鹿児島県農業試験場研究報告、第 22 号（1994）
- 27) 柯貴城、平井光代、正田誠、久保田宏：サツマイモ焼酎蒸留廃液の農地還元利用、土壤肥料学会誌、第 59 卷、第 2 号、pp.156-163（1988）