

(69) 焼酎蒸留粕で作製した資源循環型ポットの土壌還元特性

Soil Reduction Characteristics of the Resources Recycling Pots made from *Shochu* Waste Stillage

山内正仁*、増田純雄**、木原正人*、下堂園昭信*、米山兼二郎***、稲永醇二****
Masahito YAMAUCHI*, Sumio MASUDA**, Masato KIHARA*, Akinobu SIMODOUZONO *,
Kenjiro YONEYAMA***and Shunji INANAGA****

ABSTRACT; The *sosei* paper pot made from *shochu* waste stillage which was industrial waste is expected to be realized in that it contains fertilizer ingredients and can be planted in the field.

In this research, the test paper taken from the side of the *sosei* paper pot was buried in the soil, and the ingredients analysis of that test paper and a material test and form investigation were conducted regularly to clarify the degradation characteristics of the pot in the soil.

The following results were obtained:1) It was clarified that the *shochu* waste stillage ingredients contained in the *sosei* paper buried in the soil were eluted into the soil, and or biodegradation was done in about five months. Furthermore, many hollows were observed in the fiber of the *sosei* paper when it was buried in the soil, and ten months later it was proved that the degradation of the fiber proceeded.2) It was buried in the soil, the *sosei* paper began to disappear about 360 days after, and after that showed an exponential change, and *sosei* paper did a disappeared (100%) completely on the 670th day. It found that about two years were needed so that *sosei* paper might disappear in the soil completely.

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

KEYWORDS; *shochu* waste stillage, resource recycling pots, agriculture materials, soil reduction

1. はじめに

九州で年間 36 万 5 千 kℓ 生産されている焼酎は諸類、穀類を主原料とした蒸留酒である。この蒸留酒を生産する際に発生する焼酎蒸留粕（以下、焼酎粕）は年間 48 万 ton（2001 酒造年度）であり、現在その 3 割が海洋投棄され、残りの 7 割が陸上処理されている¹⁾。海洋投棄については、産業廃棄物の適性管理を目指した国際的な動きが活発なことを受け、今後、我が国もロンドン条約を批准するとみられ、海洋投棄に替わる経済的にフィージブルで環境低負荷型の陸上処理技術を開発する必要に迫られている。

図-1 に 1996 から 2001 酒造年度までの九州全体における焼酎粕の処理状況を示す^{1, 2)}。図から明らかなように、海洋投棄の全焼酎粕発生量に占める割合は年々減少傾向にある。

図-2 に鹿児島県内における焼酎粕の処理状況を示す^{1, 2)}。鹿児島県内では、年間 25 万 1 千トンの焼酎粕が排出され、そのうち年間 13 万 3 千トンが海洋投棄で処理されている。この量は九州の海洋投棄量の 9 割に相当する。つまり、九州全体では海洋投棄量が減少し、陸上処理量が増加傾向にあるが、

* 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.)

**** 鹿児島大学農学部 (Faculty of Agriculture, Kagoshima Univ.)

鹿児島県内では焼酎粕の陸上処理法はリサイクルを含め、未だ確固たるものが確立されているとはいえない状況にある。

このような状況の中、筆者らは焼酎粕に古紙を混合し、成型・加圧することで焼酎粕を固、液部に容易に分離でき、かつ、固形部については肥料成分を多量に含有する紙（蘇生（有効な資源として蘇らせるという意味）紙）の作製技術を確認した^{3, 4)}。本技術によるとスクルーデカンター型（大型の遠心分離機）の固液分離装置と同等の処理性能が実現できる。さらに、本技術は次のような特徴がある。①焼酎粕のみならず古紙の有効利用につながる、②腐敗防止、廃水処理の負荷低減、③紙資材にすることで、植物栽培ポットや農業用資材、法面緑化基盤材等への活用が見込まれ、用途拡大、市場拡大につながる。

筆者らはこれまでに本技術を利用して蘇生紙の具体的製品のひとつである植物栽培ポット（蘇生紙ポット）を作製し、ポットの物理・力学的特性、化学的特性を明らかにした⁵⁾。さらにそのポットを用いてミニトマトの生育試験を実施した。その結果、蘇生紙ポットは、既存のポリポットに比べ、肥料成分を含有する点、ポットごと直接土壤に苗を定植できる点で優位性が高いことが明らかとなった。しかし、蘇生紙ポットを圃場に埋設した場合、蘇生紙ポットが土壤中で分解されるためにどの程度の期間を要するかは明らかにされておらず、環境に優しい製品として実用化するためには、さらに土壤中における分解特性を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、土壤中における蘇生紙ポットの分解特性を明らかにするためにポット側面から切出した蘇生紙を圃場に埋設し、定期的に物性試験、成分分析及び形状調査を行った。

2. 試験方法

2.1 試験概要

本試験は、学内に設置されているビニルハウス内（圃場）で実施した。まず、主原料の甘藷焼酎粕（0 酒造協業組合：鹿児島県大口市）に原料の全体質量に対して新聞古紙（M 新聞紙：鹿児島県鹿児島市）を 3% の比率（以下、古紙混合比 3% と表す）で添加して作製した蘇生紙ポットの側面から 10cm 四方の蘇生紙を切り取り、24 時間、60℃で乾燥後、蘇生紙の質量を測定した。つぎに、蘇生紙が分解後に断片化し、掘り出しが困難になることが予想されたため、市販の水切りネット（ポリエチレン

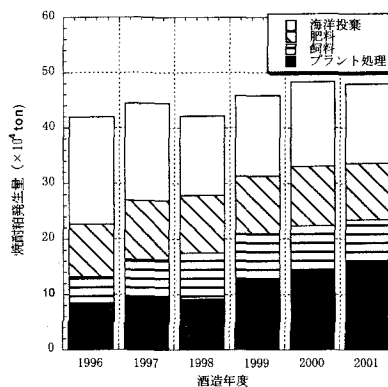


図-1 九州全体における焼酎粕の処理状況

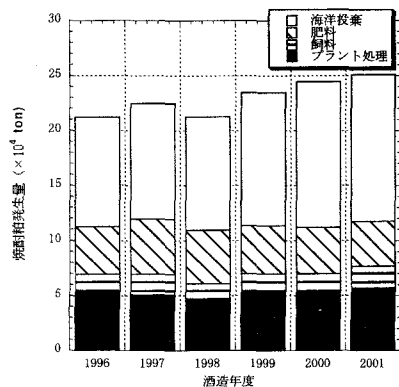


図-2 鹿児島県内における焼酎粕の処理状況

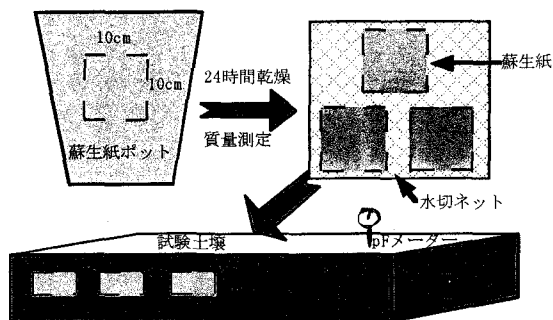


図-3 蘇生紙ポット分解試験の手順

製)を用意し、その中に蘇生紙を3枚ずつ重ならないように入れ、深さ10cmの土壤に20cm間隔で24セット(3枚1セット)埋設した(図-3参照)。また、蘇生紙の対照紙として蘇生紙の原料に利用した新聞紙(M新聞紙)も同様に埋設した。表-1に本試験で使用した伊集院産(鹿児島県伊集院町)の黒ボク土(未耕土)の化学性を示す。土壤のpHは6.20であり、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、T-N量はそれぞれ0.02mg、0.29mg、143.4mgN/100g乾土であった。また土壤のpF値が2.1になるように、灌水した。ハウス内外の温度、地温等については毎朝、灌水前に測定した。

表-1 試験土壤の化学性

分析項目	pH	EC	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	T-N
土壤		ms/cm	mgN/100g乾土		
伊集院産黒ボク土	6.20	0.019	0.02	0.29	143.4

また、蘇生紙の対照紙として蘇生紙の原料に利用した新聞紙(M新聞紙)も同様に埋設した。表-1に本試験で使用した伊集院産(鹿児島県伊集院町)の黒ボク土(未耕土)の化学性を示す。土壤のpHは6.20であり、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、T-N量はそれぞれ0.02mg、0.29mg、143.4mgN/100g乾土であった。また土壤のpF値が2.1になるように、灌水した。ハウス内外の温度、地温等については毎朝、灌水前に測定した。

土壤に埋設した試験紙(蘇生紙、新聞紙)を最初の6ヶ月間は1ヶ月間隔で、それ以降は1~4ヶ月間隔で回収した。回収直後の試験紙は水分を含み、水切りネットの中から取り出すことは困難であった。そのため、水切りネットごと60℃で24時間乾燥させた後、試験紙を取り出し、紙表面に付着した土をはけで除去した。その後、試験紙を2時間乾燥させて、デシケーター内に保存し、物性試験、成分分析及び形状調査に供した。

2.2 物性試験、成分分析及び形状調査

2.2.1 物性試験⁷⁾

回収した試験紙の物性を明らかにするために、まず、試験紙の質量を測定し、質量減少率((埋設前の試験紙の乾燥質量(BL) - 埋設後の試験紙の乾燥質量)/埋設前の試験紙の乾燥質量(BL)×100)を求めた。次に試験紙を温度20℃、湿度65%の条件下で24時間調湿後、試験紙の厚さをマイクロメーターで測定した。なお、試験紙の厚さは1枚につき30箇所で測定を行い、得られた測定値;90(3枚×30箇所)の平均値を求めた。また試験紙から長さ50mm、幅15mmの試験片を1枚につき3片作成し、自動記録式引張試験機(島津製作所製AGS 5kNB Type SBL-500K-350)で引張強さを計測した。新聞紙については、繊維方向(縦方向)の引張強さを測定した。なお、本試験は9回(3枚×3片)行い、その結果を平均値で示した。

2.2.2 成分分析

試験紙中の成分流出及び試験紙の微生物分解特性を明らかにするために試験紙のC、N含量を全窒素・全炭素分析装置(住化分析センター製NC-900H)を用いて測定した。

2.2.3 形状調査

試験紙の形状調査では、試験紙をスキャナーで読み込み、画像処理を行い、消失面積率(初期面積値 - 残存面積値)/初期面積値×100)を求めた。さらに電子顕微鏡(日本電子製、JSM840)を用いて、各試験紙の表面形状を調査した。

3. 試験結果と考察

3.1 ビニルハウス内外温度、地温

図-4、図-5にビニルハウス内外の温度変化を示す。全体的な傾向として、夏季はハウス内の気温が、外気温より4℃~10℃程度高く、40℃を越

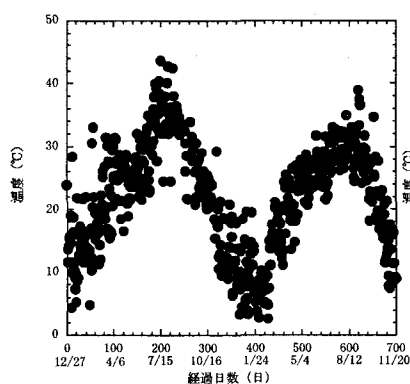


図-4 ハウス内温度の経日変化

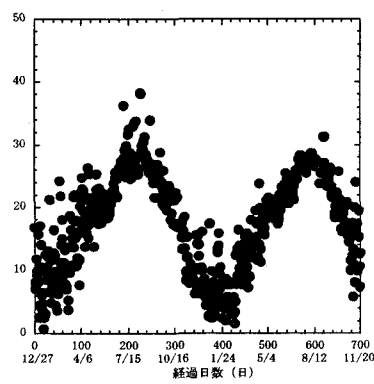


図-5 ハウス外温度の経日変化

える日が数日あった。冬季はハウス内が外より 2~3℃高くなる程度で内外での温度差は小さかった。またハウス内が 0℃を下回することはなかった。したがって、ハウス内の温度は試験期間中、2℃から 44℃の範囲で推移した。

図-6 にハウス内土壌の温度（地温）変化を示す。ハウス内土壌の温度変化はハウス内の温度変化よりも小さく、10℃から 30℃程度で推移した。

3.2 試験紙の質量減少率と C, N 残存率

図-7 に土壌埋設後の蘇生紙、新聞紙の質量減少率の経日変化を示す。蘇生紙の質量減少率は土壌埋設 31 日目で 33.4%であり、それ以後は、61 日目で 47.6%、89 日目で 58.1%、125 日目で 70.3%と直線的変化を示し、152 日目には 75.1%となった。この現象は、①蘇生紙が水分を吸収し易い（吸水度が高い）特徴⁵⁾を有することから灌水を繰り返すことで、蘇生紙中の焼酎粕成分が土壌中に溶出したため、②図-6 のハウス内土壌の温度変化から見て、地温の上昇にともない土壌微生物による蘇生紙の分解が進行したため、③蘇生紙表面に付着した土をはけで落とす際にその摩擦で表面の一部が剥離したため、と考えられる。152 日目から 518 日目までの質量減少率の変化は 75.1~80%と緩やかであった。埋設 518 日目を経過すると 561 日目で 91.4%、586 日目で 94.8%と質量減少率に大きな変化が見られた。これは埋設初期で見られた現象と同様に、地温の上昇にともない微生物分解が進行したためと考えられる。一方、新聞紙の質量減少は埋設初期では見られなかったが、39 日経過後から減少し始め、152 日間で 48.8%減少した。それ以後は蘇生紙と同様の傾向を示した。このように、蘇生紙の質量は 3 段階で、また新聞紙の質量は 4 段階で減少する傾向が見られた。

図-8 に各経過日数における蘇生紙中の C, N 残存率 (%)を示す。C, N 残存率は、各取出し日における蘇生紙の C, N 量を土壌埋設前の蘇生紙 (BL) の C, N 量で除して求めた。蘇生紙の C 残存率は埋設 31 日目で 66.4%、61 日目で 53.1%、89 日目で 42.8%と減少し、152 日目には 25.8%となった。それ以降は、518 日目まで緩やかに減少した。埋設 518 日目を経過すると 561 日目で 8.2%、586 日目で 7.8%と C 残存率は 10%以下となった。この傾向は図-7 の質量減少率と同様であった。一方、N 残存率は埋設 31 日目で 71.4%であり、C 残存率と同程度であった。それ以後は 61 日目で 77.0%、89 日目で 67.1%と C, N 残存率に顕著な差が見られた。これは、蘇生紙の微生物分解によるものと考えられる。埋設 125 日目を経過するとその差は小さくなり、244 日目以降は C, N 残存率に差は見られなかった。なお、244 日目以降の C/N 比は 22~24 であった。

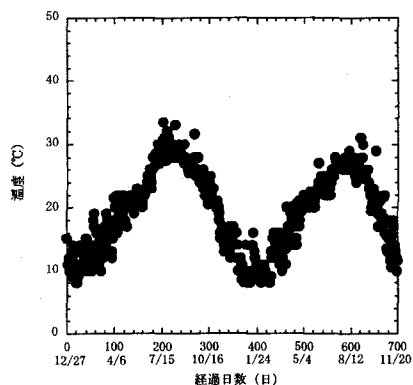


図-6 ハウス内土壌の温度変化

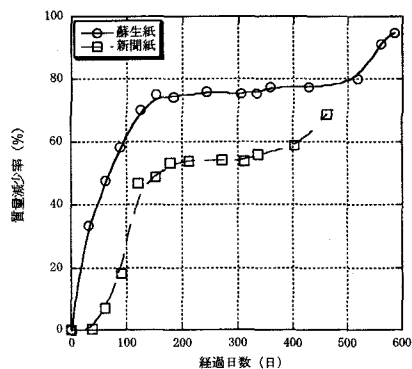


図-7 試験紙の質量減少率の経日変化

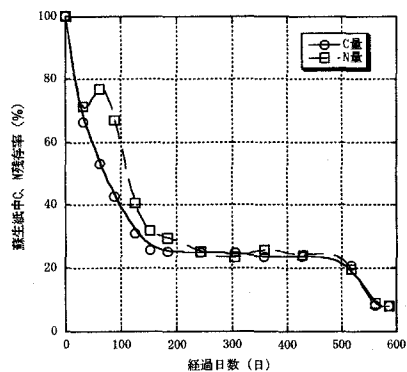


図-8 蘇生紙中の C, N 残存率の経日変化

図-9 に各経過日数における新聞紙中の C 残存率 (%) を示す。埋設 62 日目までは新聞紙中の C 残存率に差程大きな変化は見られなかったが、62 日目から 120 日目にかけて約半分まで急激に減少した。その後、120 日目から 404 日目にかけて緩やかな減少傾向が見られたが、404 日目から再び急激に減少し、461 日目に 31.9% となった。なお、新聞紙中の N 残存率については、新聞紙 (BL) から N が検出されなかったため、算出できなかった。しかし、埋設 62 日目を以て以降の N 分析では新聞紙から C 量の 1/60~1/100 程度の N 量を測定できた。以上の結果から、埋設初期における新聞紙の質量減少は蘇生紙と同様に説明できる。

3.3 埋設紙の形状調査

写真 1 に試験開始時 (BL) と埋設 3 ヶ月目 (新聞紙 90 日目、蘇生紙 89 日目)、写真 2 に埋設 5 ヶ月目 (新聞紙 152 日目、蘇生紙 152 日目) 及び 10 ヶ月目 (新聞紙 312 日目、蘇生紙 305 日目) の試験紙の SEM 写真を示す。試験開始時の蘇生紙は新聞紙と比較して繊維は少ないものの焼酎粕成分が繊維間の空隙を埋め、さらに繊維表面を覆っていることがわかる。また蘇生紙表面に酵母菌が付着していることがわかる。一方、新聞紙は軽量化や高速印刷に対応するためにシリカや有機高分子製の填料が使用されているため、表面の凹凸は少なく、また繊維も密になっていることがわかる。埋設 3 ヶ月目になると蘇生紙は新聞紙に比べ細菌や糸状菌が多く観察され、

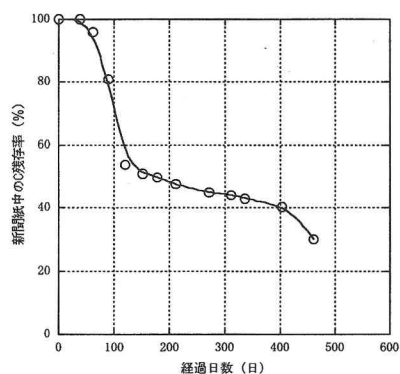
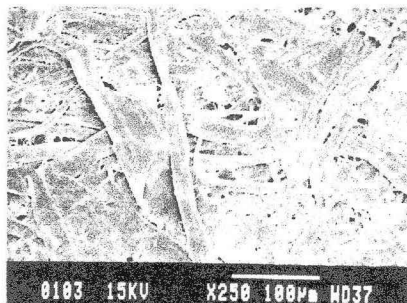
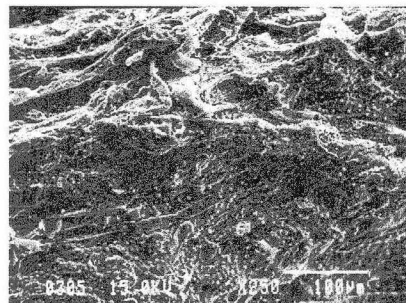


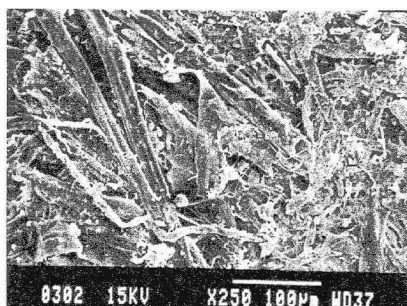
図-9 新聞紙中の C 残存率の経日変化



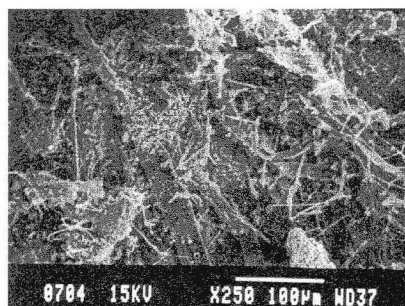
新聞紙埋設前 (BL)



蘇生紙埋設前 (BL)

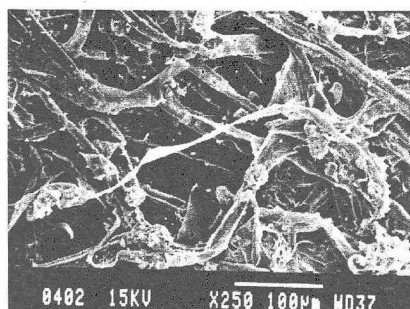


埋設 3 ヶ月目 (新聞紙 90 日目)

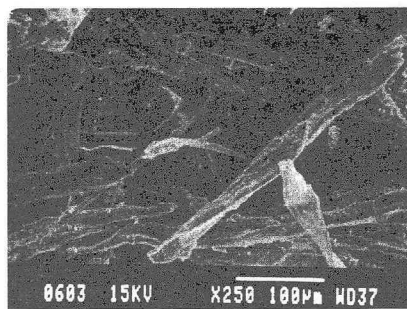


埋設 3 ヶ月目 (蘇生紙 89 日目)

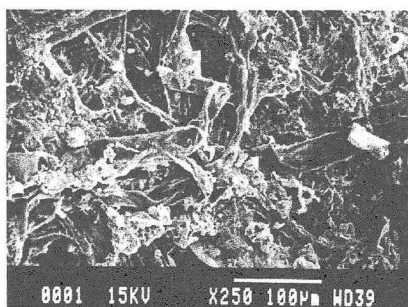
写真 1 試験開始時 (BL) と埋設 3 ヶ月目の試験紙の SEM 写真 (250 倍)



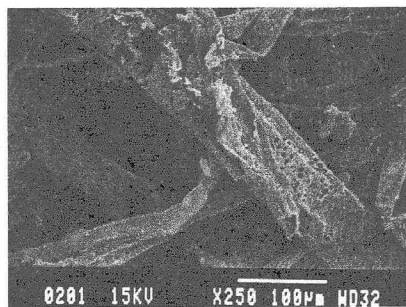
埋設 5 ヶ月目 (新聞紙 152 日目)



埋設 5 ヶ月目 (蘇生紙 152 日目)



埋設 10 ヶ月目 (新聞紙 312 日目)



埋設 10 ヶ月目 (蘇生紙 305 日目)

写真2 埋設 5 ヶ月目と埋設 10 ヶ月目の試験紙の SEM 写真 (250 倍)

また、埋設時、焼酎粕に覆われていた繊維の表面が目立つようになった。新聞紙についても表面に凹凸が見られるようになった。このことから、埋設初期における試験紙の質量減少は前節で考察したように、微生物分解によるものと試験紙表面に付着した土をはけで落とす際の摩擦による表面の剥離及び、灌水による紙成分の溶出が影響していることが明らかとなった。5 ヶ月経過後は両紙ともに繊維間を覆っていた焼酎粕成分や填料はなくなり、空隙が生じ、繊維のみの状態であった。また、繊維の一部に空洞が見られた。さらに、新聞紙では埋設 5 ヶ月目の繊維の大きさが埋設 3 ヶ月目と比較して、全体的に細くなっているように見えた。これらのことから、埋設 5 ヶ月程度で試験紙は骨格を形成する繊維のみとなり、その繊維も部分的に微生物分解されるものと考えられる。埋設 10 ヶ月目では蘇生紙は繊維に空洞が多く観察され、繊維質の分解が進んでいることが判明した。一方、新聞紙も全体的に繊維間が広くなり、空隙が多く見られ微生物分解が進行していることが明らかとなった。

以上の結果から、紙の骨格を構成する繊維質（セルロース）の分解は、蘇生紙では質量減少率の変化が緩やかになる埋設 152 日目から、一方、新聞紙では埋設 120 日目から徐々に進行すると考えられる。

3.4 試験紙の物性試験

図-10 に蘇生紙、新聞紙の引張り強さの経日変化を示す。蘇生紙の引張り強さは埋設前で 7.5N/m であったが埋設後は急激に低下し、31 日目で 3.1N/m、61 日目で 1.4N/m となった。これは、前述したように蘇生紙が水分を吸収し易い特性を持つことから、蘇生紙を構成する焼酎粕成分等が土壤中に溶出、分解され、繊維間の接着力が弱くなったためと考えられる。それ以降は、緩やかな減少傾向を示し、89 日目で 1.3N/m、125 日目で 1.0N/m、152 日目で 0.7N/m と埋設時の 1/11 程度まで低下した。また、埋

設 152 日経過後の蘇生紙で試験片を作成するとその段階で崩れるものもあった。これは、写真 2 から明らかなように繊維間に空隙が多く、紙の骨格を形成する繊維にも部分的に空洞が生じたためである。一方、新聞紙の引張り強さは、埋設後 39 日間は差ほど大きな変化はなく、39 日目から 62 日目にかけて急激な強度低下が見られた。これは、新聞紙の繊維間を覆っていたシリカや有機高分子製の填料等が剥離、溶出したためと考えられる。62 日目以降の強度変化は、蘇生紙と同様の傾向を示し、120 日目で 0.18N/m と埋設時の $1/14$ 程度となり、それ以降は、試験紙の作成が困難となった。以上の結果から、蘇生紙を土壤に埋設すると、急激な強度低下が起こり、埋設 152 日を経過すると繊維の絡みだけで形状を維持しているため崩壊し易い状態になることが明らかとなった。一方、新聞紙については、埋設 1 ヶ月程度は大きな強度変化は見られなかったが、それ以降は蘇生紙と同様、急激な強度低下が起こり、崩壊し易い状態になることが明らかとなった。

図-11 に蘇生紙、新聞紙の厚さの経日変化を示す。蘇生紙の厚さは埋設時で 2.74mm であったが、埋設後は、時間の経過とともに薄くなり、125 日目では 1.23mm となった。それ以降は、大きな変化は見られなかった。一方、新聞紙の厚さは、埋設時で 0.07mm であり、経過時間における変化は見られなかった。

図-12 に蘇生紙、新聞紙の面積消失率の経日変化を示す。蘇生紙の面積消失は埋設 360 日目頃から始まり、埋設 670 日目には完全に消失（100%）した。このことから、蘇生紙が完全に土壤還元されるためには約 2 年を要することがわかった。一方、蘇生紙に比べ厚さの薄い新聞紙の面積消失は埋設 180 日目頃から始まり、それ以降は、蘇生紙と同様に指数的变化を示した。以上の結果から、蘇生紙、新聞紙の面積消失は土壤埋設後すぐには起こらず、蘇生紙で約 1 年、新聞紙で 6 ヶ月程度膨軟な状態で残存するため、土壌中の通気性、保水性を長期的に維持させることが可能と考えられる。このことより、使用後の蘇生紙ポットは土壌改良材としての利用が期待できる。また、図-7 に示した紙の質量減少率と面積消失率の関係から、紙の面積消失は質量が徐々に減少し始める期間（蘇生紙で埋設 152 日目～518 日目、新聞紙で埋設 120 日目～312 日目）の後半において起こることがわかった。さらに、新聞紙で 404 日目以後、蘇生紙で 518 日目以後に見られた面積消失率の急激な変化は、質量減少率の変化と同様に地温の上昇にともない微生物が増殖する時に分解が促

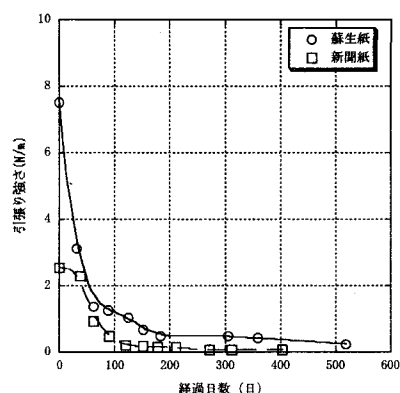


図-10 試験紙の引張り強さの経日変化

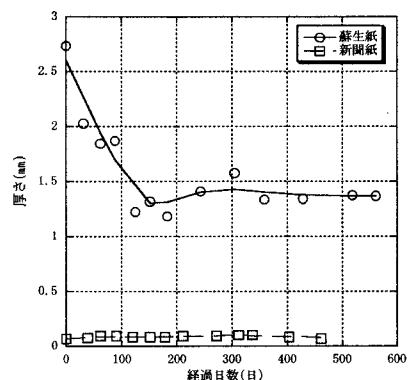


図-11 試験紙の厚さの経日変化

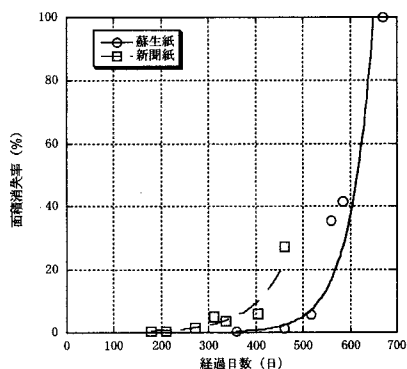


図-12 試験紙の面積消失率の経日変化

進されたためと考えられる。このことについては、今後さらに検討する予定である。

4. おわりに

蘇生紙、新聞紙を土壌に埋設して両試験紙の土壌分解試験を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 埋設後の蘇生紙の質量は3段階で、また新聞紙の質量は4段階で減少する傾向が見られた。
- 2) 埋設初期における試験紙の質量減少は、微生物分解によるものと試験紙表面に付着した土をはけで落とす際の摩擦による表面の剥離及び、灌水による紙成分の溶出が影響していることが明らかとなった。
- 3) 試験紙の骨格を構成する繊維質（セルロース）の分解は、蘇生紙では質量減少率の変化が緩やかになる埋設152日目から、一方、新聞紙では埋設120日目から徐々に進行すると考えられた。
- 4) 蘇生紙を土壌に埋設した場合、急激な強度低下が起こり、埋設152日を経過すると崩壊し易い状態になることが明らかとなった。
- 5) 蘇生紙の面積消失は埋設360日目頃から始まり、その後指数的变化を示し、埋設670日目には完全に消失（100%）した。このことから、蘇生紙が完全に土壌還元されるためには約2年を要することがわかった。一方、蘇生紙に比べ厚さの薄い新聞紙の面積消失は埋設後180日目頃から始まり、それ以降は、蘇生紙と同様の傾向を示すことがわかった。
- 6) 新聞紙で404日目以後、蘇生紙で518日目以後に見られた面積消失率の急激な変化は、質量減少率の変化と同様に地温の上昇にともない微生物が増殖する時に分解が促進されたためと考えられる。

参考文献

- 1) 鹿児島県酒造組合連合会：平成13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（2002）
- 2) 鹿児島県酒造組合連合会：平成8、9、10、11、12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（1997-2001）
- 3) 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）
- 4) 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）
- 5) 山内正仁、増田純雄、木原正人 他4名：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、土木学会環境工学研究論文集、Vol.38、pp.111-122（2001）
- 6) 山内正仁、増田純雄、木原正人 他2名：焼酎蒸留粕で作製した資源循環型ポットを用いたミニトマトの生育試験、土木学会環境工学研究論文集、Vol.39、pp.423-430（2002）
- 7) 日本規格協会：JISP8111、JISP8118、JISP8113、日本規格協会（1997）