

農産廃棄物（トウモロコシ茎）を原料としたパルプの製造

清水祐一*・遠藤俊二**・平野愛理香***・松本有芸****

Pulping of agricultural residue (corn bagasse)

Yuuichi SHIMIZU, Shunji ENDO, Erika HIRANO and Yuki MATSUMOTO

要 旨

農産廃棄物を非木材パルプ原料として有効利用する一環として、ソーダ法によるトウモロコシ茎の搾りかすのパルプ化および得られたパルプを用いた紙の作成を検討した。トウモロコシ茎の搾りかすはNaOH水溶液中、高温で蒸解されるが、紙の作成に適したパルプを得るにはNaOH濃度4%、蒸解温度100℃以上の条件が必要であった。NaOH濃度3%、蒸解温度120℃の条件で得られたパルプから作成した紙の列断長、比破裂度および比引裂度はそれぞれ7.87(km)、7.85(kPa・m²/g) および 6.96(mN・m²/g) であり、白色度は27.1%であった。白色度は各種漂白剤により向上した。紙の表面については走査型電子顕微鏡による観察を行った。

Abstract

Concerning utilization of agricultural residue as nonwood pulp material, pulping of corn bagasse by soda cooking and papermaking from the obtained pulp were studied. The corn bagasse could be cooked with NaOH solution at high temperature, but cooking conditions more than 4% NaOH and 100℃ were necessary to obtain the pulps suitable for papermaking. Breaking length, burst index and tear index of the paper, which was made from the pulp prepared by cooking at 3% NaOH and 120℃, were 7.87(km), 7.85(kPa・m²/g) and 6.96(mN・m²/g), respectively. And brightness of the paper was 27.1%. The brightness could be improved by bleaching agents. Surface of the paper was observed by scanning electron microscope.

1. 緒 言

我が国をはじめ世界のパルプ原料のほとんどは木材に依存している。しかし、森林資源の保護、CO₂による地球温暖化の防止などの観点から、今後は現状のような木材利用は困難になることが予想される。このような状況のもとで、パルプ原料として成長の速い樹種の開発やその植林、古紙リサイクルの向上などの対策とともに、近年、以前にも増して非木材繊維のパルプ原料として利用が

注目されている。非木材繊維には稲ワラ、麦ワラ、バガス（サトウキビの搾りかす）などの農産廃棄物のほか竹、葎などの野生植物、ケナフなどの栽培植物がある。現在、世界における非木材パルプの生産量は約2300万トン、全パルプ生産量のほぼ14%で、特に中国、インドなどでは大部分がワラ、バガスなどの非木材繊維を原料としている¹⁾。このように非木材繊維は今後もパルプ原料の一部を担っていくものと思われる。

トウモロコシ（スイートコーン）は本道の特産物であり、その生産量は日本全体の約半分、14万3千トン（1995年）²⁾ で全国一である。トウモロコシの実（穀粒）は農産物として食されるが、その茎や葉の大部分は廃棄物として処理されている。しかし、この茎の搾汁は糖類などの栄養素を含み微生物培養の培地成分として有効であること³⁾、さらに搾

* 教授 物質工学科
** 技官 (技術専門職員・物質工学科)
*** (株)セロテック
**** 新酸素化学(株)

りかすの大部分は繊維質であることから、著者らは搾汁を微生物セルロース合成の培地として、搾りかすを非木材パルプ原料として有効利用することを検討してきた。農産廃棄物の有効利用は廃棄物処理の観点ばかりでなく、未利用資源の資源化の面からも今後ますます重要な課題になるものと考えられる。

本研究では、トウモロコシ茎の搾りかすを非木材原料としてソーダ法によるパルプ化を検討した。また、得られたパルプから調製した紙の白色度や紙力などの諸性質、パルプの漂白特性についても検討した。

2. 実験方法

2. 1 試料

風乾したトウモロコシ（スイートコーン）茎の搾りかすを数cmに切断し蒸解に供した。別に粉末化したものを用いて、試料中のリグニンおよび灰分の含有量を測定した。

2. 2 蒸解

試料40 g を2～5%NaOH水溶液1600ml中に室温で30分間浸漬した。その後30分かけて80～120℃まで昇温し、その温度で30分間保持して蒸解した。終了後、試料を布袋に移し流水中で十分水洗して

パルプを得た。蒸解前後の重量差からパルプ化収率を算出した。

2. 3 紙の作成

得られたパルプを標準離解機で10分間離解後、J I Sに準じて標準パルプシート（紙）を作成した。作成した紙についてJ I Sに基づき白色度測定および各種紙力試験を行った。

2. 4 漂白

パルプ濃度を3%として、次の3種類の漂白剤を用い各処理条件にて漂白した。漂白後流水中で十分水洗した。

- 1) 酸素系漂白剤：花王ワイドハイター（主成分/過炭酸ナトリウム）
- 2) 過酸化水素系漂白剤：3% H_2O_2 /3%NaOH水溶液
- 3) 塩素系漂白剤：ネージュブリーチ（主成分/次亜塩素酸ナトリウム）

2. 4 電子顕微鏡観察

作成した紙および比較のため市販コピー用紙を試料台にセットし白金を蒸着した後、走査型電子顕微鏡（日本電子製JSM-6330F、以下SEM）にて表面の観察を行った。

表1. 各蒸解条件におけるパルプ化収率および紙の試験結果

蒸解温度 (℃)	NaOH濃度 (%)	パルプ化収率 (%)	白色度 (%)	列断長 (km)	比破裂度 (kPa・m ² /g)	比引裂度 (mN・m ² /g)
80	2	44.7	17.2	3.89	2.84	7.09
	3	41.9	16.4	3.54	3.06	6.54
	4	38.2	19.4	4.24	3.55	6.12
	5	37.9	18.4	4.51	4.13	6.41
100	2	44.0	19.4	4.52	5.61	6.60
	3	37.6	22.4	5.19	6.03	7.45
	4	36.0	23.1	6.65	5.81	5.81
	5	35.2	23.7	6.63	6.05	6.22
120	2	38.0	26.7	7.46	6.87	5.93
	3	35.7	27.1	7.87	7.85	6.96
	4	33.0	30.6	7.19	6.84	7.44
	5	30.1	30.5	6.05	6.64	8.43

3. 結果および考察

試料のリグニンおよび灰分含有量は、それぞれ17.7%、7.26%であった。リグニン量は稲ワラ⁴⁾（12~14%）より多いが、木材⁴⁾（針葉樹26~34%、広葉樹23~30%）に比べると少ない。一方、灰分は稲ワラ⁴⁾（14~20%）より少ないが、木材⁴⁾（1%）よりはかなり多い。パルプ化収率および作成した紙の白色度、紙力試験の結果をまとめて表1に示した。

3. 1 各蒸解条件によるパルプ化

図1に各条件で蒸解したときのパルプ化収率を示した。何れの蒸解温度においてもNaOH濃度の増加とともにパルプ化収率は低下する傾向を示し、NaOH濃度5%における収率は、80℃、100℃および120℃でそれぞれ37.9%、35.2および30.1%であった。80、100℃においてはNaOH濃度4ないし5%では収率に大差は見られなかった。得られたパルプは、蒸解条件が上がるにしたがってパルプ化が進行しているものの、80℃ではNaOH濃度5%の場合でも、また100℃においてもNaOH濃度が3%以下の場合には未蒸解部分が残っていた。したがって、良質なパルプを得るためには蒸解温度100℃、NaOH濃度4%以上の条件が必要であった。

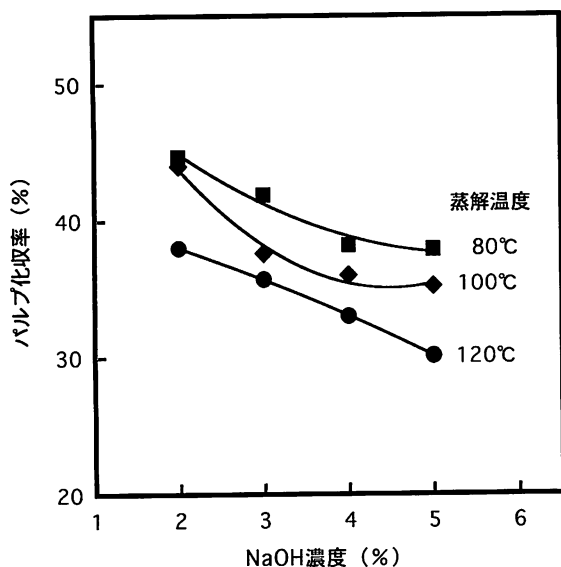


図1. 各蒸解条件におけるパルプ化収率

3. 2 白色度および紙力

各蒸解条件で得られたパルプから作成した紙の白色度および各種紙力試験の結果を図2~図5に示した。白色度（図2）は蒸解条件とともに向上し

蒸解温度80、100および120℃、NaOH濃度5%においてそれぞれ約19、24および31%であった。白色度31%は一般的な茶封筒と同程度の値である。なお、新聞紙の白色度は45%前後である。したがって、蒸解だけで十分な白色度を得るのは困難であると考えられ、後述するように各種漂白処理を検討した。

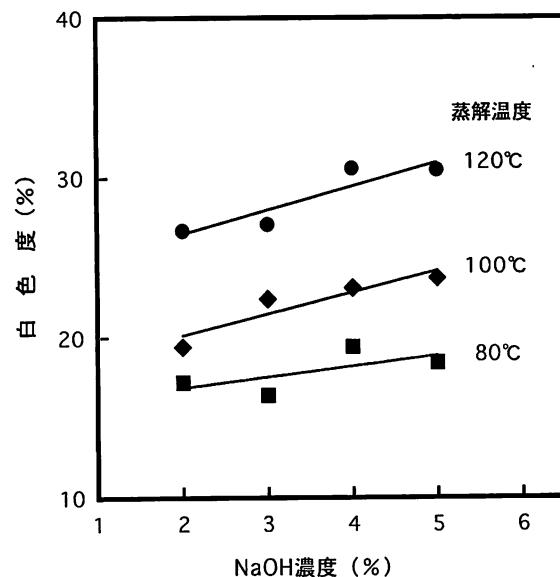


図2. 調製した紙の白色度と蒸解条件の関係

図3、図4にそれぞれに裂断長、比破裂度の結果を示した。全体的に見て蒸解温度、NaOH濃度が高くなるといずれの紙力も向上する傾向を示した。80℃の場合、NaOH濃度5%で裂断長4.51(km)、比破裂度4.13(kP・m²/g)を示したが、100、120℃の

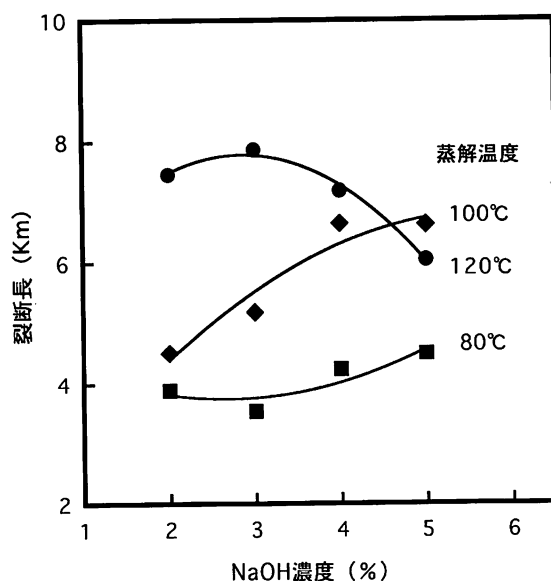


図3. 調製した紙の裂断長と蒸解条件の関係

結果と比べると相対的に低い値であった。これは、3.1で述べたように蒸解温度が80℃で得られたパルプ中には未蒸解部分の割合が相対的に多いことが主な原因と考えられる。また120℃の場合、NaOH濃度3%に紙力の最大値、列断長で7.87(km)、比破裂度で7.85($\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)、を持つ傾向が見られた。これはNaOH濃度4、5%の条件ではパルプ化収率が33、30%と低くなることから考えると、ヘミセルロースの溶出が紙力低下をもたらした可能性が高い。

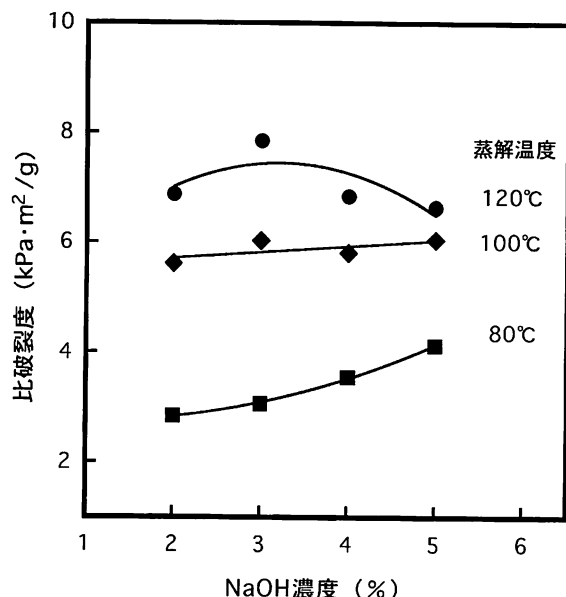


図4. 調製した紙の比破裂度と蒸解条件の関係

図5に比引裂度の結果を示した。比引裂度は120℃の場合NaOH濃度と共に増加する傾向が見られるが、数値的にはそれ以外の温度、NaOH濃度の場合と大差なく、前二者の紙力に比べると蒸解条件による影響は全体的に少ない。

一般の市販コピー用紙の紙力は裂断長が7(km)、比破裂度が3($\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)、比引裂度が10($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$)程度である。したがって、今回トウモロコシ茎から調製した紙は、比引裂度は多少低いものの、裂断長および比破裂度では市販コピー用紙と同等以上の紙力を持つことがわかった。また、ケナフ、竹、バガスなどの非木材パルプから調製した紙の列断長の例がそれぞれ6.2、5.1、5.4(km)であること⁵⁾から、これらと比べても十分な紙力を有している。

これらの紙力試験の結果は、得られたパルプを未叩解のまま抄紙して作成した紙についてである。叩解によりある程度の紙力の向上は期待できると思われる。

以上、得られたパルプの状態および紙力試験の結果から、本実験範囲内では蒸解条件として蒸解温度120℃、NaOH濃度3%が最適と考え、この条件で得られたパルプについて漂白処理を検討した。なお、このパルプのリグニンおよび灰分含有量はそれぞれ1.57%、2.14%であった。原料と比べると、蒸解によりこれらの成分の大部分が溶出したことがわかる。

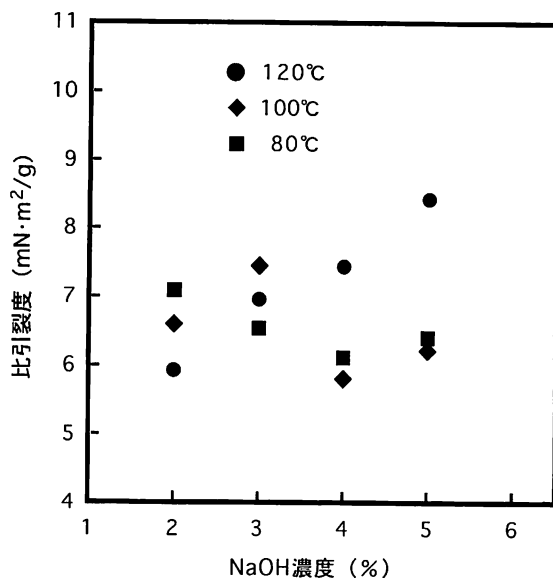


図5. 調製した紙の比引裂度と蒸解条件の関係

3. 3 パルプの漂白

蒸解温度120℃、NaOH濃度3%で得られたパルプを試料として、パルプ濃度3%で漂白処理を行い、その後2.3の方法により紙を作成して白色度を測定した。これらの結果を漂白条件とともに表2に示した。なお漂白前の試料の白色度は27.1%であった。

今回用いた何れの漂白処理条件においても白色度の向上が認められた。酸素系では漂白剤濃度0.5%、温度50℃、1時間の処理で12.2ポイント上昇し最高の39.3%を示した。過酸化水素系および塩素系ではさらに向上が見られ、それぞれの最高値は44.2および45.1%で同様の値を示した。これらの値は前述のとおり、一般の新聞紙に相当する値である。漂白後の紙力を測定した結果は比破裂度が若干低下する傾向を示したが、その他は大差なかった。パルプのリグニンおよび灰分含有量は、漂白前の1.57%および2.14%から漂白後は0.95%および0.92% (白色度45.1%) に低下しており、漂白処理によりさらに脱リグニン、脱灰分が進んだことがわかる。また、これら漂白処理の収率は、酸素系ではほぼ100%なのに対して、過酸化水素

表 2. 漂白処理

漂白剤	漂白剤濃度 (%)	処理温度 (℃)	処理時間 (h r)	白色度 (%)
酸素系	0.1	30	1	34.4
	0.5			36.8
	0.1	50		38.1
	0.5			39.3
過酸化水素系	3	30	0.5	40.7
			1	44.2
塩素系	0.5	50	1	39.9
	1			45.1

系では90数%、塩素系では90%前後であった。したがって、白色度の結果と収率を考慮すると、トウモロコシ茎パルプの漂白には過酸化水素系が望ましいと思われる。

3. 4 紙の表面観察

図6に、3.3において過酸化水素系漂白により白色度が44.2%まで向上した紙のSEM写真を示した。図7には比較のため、市販コピー用紙のSEM写真を示した。何れも繊維が絡み合って重層し、シートを形成しているのが、トウモロコシ茎から作成した紙の方が非繊維部分が多いのがわかる。繊維幅はともに10~20μmで大差は見られないが、繊維長は平均的に木材繊維の市販コピー用紙の方が長い。また、トウモロコシ茎の繊維表面は木材のそれに比べて平滑なのが特徴的である。

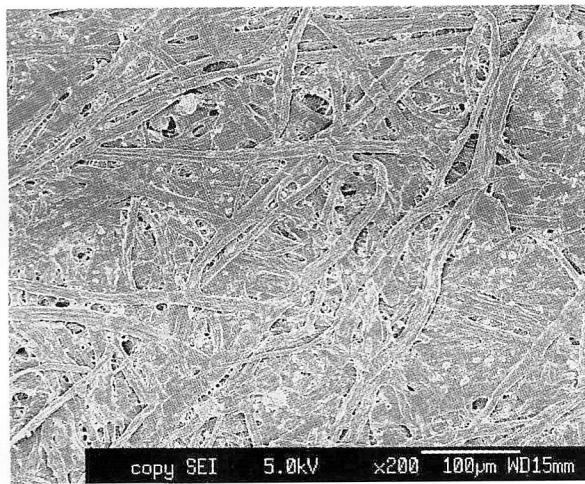


図 6. トウモロコシ茎から作成した紙のSEM写真

4. 結 論

トウモロコシ茎の搾りかすをソーダ法により蒸解し、得られたパルプの抄紙、漂白を行った結果、次のことを明らかにした。

- 1) トウモロコシ茎の搾りかすはソーダ法によりパルプ化が可能であるが、完全に蒸解するためには条件としては蒸解温度100℃以上、NaOH濃度4%以上が必要である。このときのパルプ化収率は30~30数%である。
- 2) 最適と考えられる蒸解条件、蒸解温度120℃、NaOH濃度3%で得られたパルプから調製した紙の白色度は27.1%、紙力は裂断長、比破裂度および比引裂度がそれぞれ7.87(km)、7.85(kPa・m²/g)および6.96(mN・m²/g)である。
- 3) 得られたパルプは、酸素系、過酸化水素系お

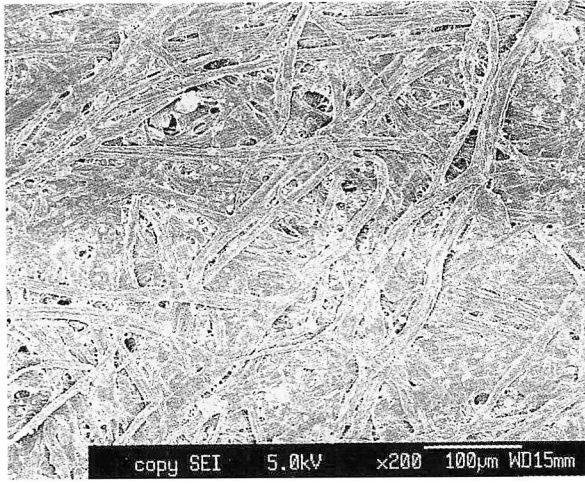


図 7. 市販コピー用紙のSEM写真

よび塩素系いずれの漂白剤でも漂白が可能であるが、効果と収率の面から過酸化水素系が最適である。

4) トウモロコシ茎の繊維は木材繊維と比べると、幅はほぼ同等であるが長さは平均的に短い。また繊維の表面は木材繊維に比べて平滑である。

5. 謝 辞

本研究にあたりトウモロコシ茎の搾りかす試料をご提供いただいた、JAおとふけ食品(株)・白川功氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 森本正和, 紙パ技協誌, 52, No.9, p71 (1998)
- 2) 農林水産統計 (1995)
- 3) 財団法人北海道科学・産業技術振興財団、産学官共同研究推進事業研究成果報告書“農産加工副産物による新製品開発”, p18 (1997)
- 4) 紙パルプ技術協会編, “クラフトパルプ・非木材パルプ”, p336 (1988)
- 5) 原 啓志, 紙パ技協誌, 51, No.10, p42 (1997)

(平成12年11月30日受理)