原著論文

ケーンハーベスタを利用したケナフ収穫機の開発 および性能特性

小林有一*・大塚寛治**・谷脇 憲*・杉本光穂***・小林 恭*

*中央農業総合研究センター, **九州・沖縄農業研究センター, ***中央農業総合研究センター・北陸研究センター

Development of Kenaf Harvester and Characteristics of the Performance

Yuichi KOBAYASHI *, Kanji OTSUKA **, Ken TANIWAKI *,
Mitsuho SUGIMOTO *** and Kyo KOABAYASHI *

* National Agricultural Research Center

** National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa region

*** National Agricultural Research Center, Hokuriku Research Center

1. 緒 言

ケナフは、代替パルプなどに利用でき、CO₂吸収量が高い (Alexopoulou et al., 2000, Amaducci et al., 2000), 水質の浄化作用がある (Abe et al., 1998, Yimrattaboven et al., 2000) などの面から近年注目を集めている。アオイ科フヨウ (ハイビスカス) 属の1年生の草作物である。生育が早く播種後100日程度でバイオマス量が最大となり、草丈は3~5mに達するのが特長である。ケナフの茎は靱皮とコアからなり、靱皮からは長くて丈夫な繊維が回収でき、住宅用建材などのボード (張, 2001) や、複雑な立体曲面を有す自動車のドアトリム (Hirata et al., 2001) など利用用途が広く、付加価値の高い工業製品への利用が研究されている。一方コアの部分は肌触りのよい紙やパーティクルボード、家畜の代替敷きワラ、オイル吸収剤など様々な利用が提案されている。コアと靱皮を分離して使用することが、有効活用につながる。

東南アジアなどでは古くから繊維作物として生産されている (Oka, 1992) が、国内でのケナフ生産

は、市民レベルの草の根運動による極めて小面積での栽培であり、栽培作物としての技術は確立していない。また収穫作業は刈り払い機等の利用による人力に負っており、収穫の機械化は進んでいない。機械によるケナフ収穫としては、作業効率等の面からフォーレイハーベスタあるいはコーンハーベスタなど飼料生産用機械を利用した技術が国内外で進められている (Kissel, 2001, 鈴木, 2002)。しかしながらコーンハーベスタでは、ケナフを細断してしまうため代替パルプ原料以外への用途が制限される (鈴木, 2000)。ケナフは、草姿がサトウキビに似ていることから、これまでもケーンハーベスタによる収穫の可能性が期待されていたが、刈り取り部および収穫機内部にケナフの靱皮が絡み付き作業が出来ないなどの問題が指摘されるにとどまっていた。本研究では、ケナフを付加価値の高い工業製品に利用することを前提として、靱皮繊維を細かく粉碎せず、繊維を長いまま回収することを目指し、ケナフ収穫機の開発とともに、その収穫性能について明らかにした。

2. 材料及び方法

1) 収穫機の概要

開発したケナフ収穫機は、小型ケーンハーベスタ (文明農機 HC-50 56.6kW) をベースマシンとして各部の改造・調整を行ったものである。図1に作業中の収穫機を、表1に諸元を示す。本機は (1) ケナ

平成14年7月30日受付

平成15年5月10日受理

Corresponding author

小林有一 Yuichi KOBAYASHI

〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki

E-mail: kobay@naro.affrc.go.jp

図1 開発したケナフ収穫機の作業風景
(上：ネットバッグ方式，下：伴走ワゴン方式)

表1 ケナフ収穫機の諸元

項目	規格
全長	6,070mm
全幅	3,900mm
(車体幅)	2,200mm
(コンベア張り出し幅)	1,700mm
全高	3,050mm
質量	4,900kg
走行形式	ゴム・クローラ
エンジン	ディーゼル
出力	56.6kW/2,500rpm
風選ファン排出口断面積	0.3m ²
ネットバッグ回収装置(容量)	1.95m ³
コンベア搬送装置(コンベア幅)	400mm
(長さ)	3,400mm
(高さ)	2,200mm

フを前方に倒しながらベースカッタで地際部を切断，(2) 収穫機内部の搬送ローラで後方に送りながら脱葉，(3) チョッピングカッタで茎を切断調製，(4) 風選ファンにより葉部および未熟部位を分別除去，(5) 切りそろえた茎を排出口から落下させる。

ケナフ収穫用に開発した刈り取り部を図2に示す。サトウキビ用と比して、刈り取り部の円筒ドラムの直径を20cmと大きくし、パットリフタの高さ

図2 開発したケナフ専用刈り取り部の概要

を15cmに抑え、ケナフの持ち上げ高さ並びにドラム間を通過する経路を制限した。またドラム背面の位置にドラム断面の接線に対し、45°の角度に鋭利な刃が付いたスクレーパを取り付け、切断したケナフの巻き込みを防止した。

ベースマシンは、排出口より落下した収穫物をネットバッグで回収する装置を装備している(図1上)。試作機には、着脱可能なベルトコンベアを取り付け、落下したケナフを伴走するワゴンに搬出する装置を付加した(図1下)。

2) ケナフの栽培様式

本研究ではケナフを2条刈りとするために、播種条間を収穫機に合わせるため、条間30cmと90cmの複条に設定した(図3)。株間は播種機の理論播種間隔を8cmに設定した。

播種を2000年では6月20日、2001年では5月28日、6月29日、7月23日に実施した。生育期間中には、草丈、葉と葉柄を合わせた葉部質量などの生育量、花芽分化、開花などの生育状況、各部の含水率の調査を任意に設定した1.2×1mの区画より抜き取り調査した。

供試品種には、青皮(チンピ)3号を用いた。試験は中央農業総合研究センター内畑作試験圃場(つくば市)で行った。

3) 収穫試験ならびに作業方式

収穫機の作業速度と、収穫機内部のチョッピングカッタで切断した茎の切断長分布の関係を、作業速度0.5m/s、1.0m/sで調査した。

収穫機では根元部分を切断し、風選ファンにより葉部を除去することから、根元部分の含水率、葉部

図3 ケナフ収穫機に合わせた播種条間と株間
単位：cm

の量が収穫に影響を与えと考えられる。そこでこれらの状況が異なる場合の収穫性能試験を、開花前の葉が繁茂している時期、開花している時期、落葉した時期、越冬し枯死した時期の4段階で実施した。収穫試験後には、各試験区に1.2m×2mの区画を設定し、収穫ロスを調査した。収穫ロスの内訳は、刈り取り部でのヘッドロス、搬送途中の機体内部での脱落および風選ファンによる吹き飛ばしである。

収穫・搬出試験を、後部のネットバッグで収穫物を回収するネットバッグ方式と、ベルトコンベアでワゴンに搬送する伴走ワゴン方式で行い、全作業終了までの作業時間を記録し、圃場作業量及び圃場作業効率を求めた。ネットバッグ方式による収穫試験は、97.5m×5行程で実施した。ネットバッグには約500kgのケナフを回収することができる。収穫中にネットバッグが一杯となると収穫機は圃場端に戻り、荷下ろしならびにネットバッグの交換を行う。ネットバッグ方式では、全作業を1名で行う。試験ではネットバッグの交換場所を、最初に収穫を開始した地点の一点に定めた。伴走ワゴン方式による収穫試験は、100mの往復とし、収穫を開始した地点に戻るまでの時間を作業に費やした時間とした。伴走ワゴン方式での作業人員は、収穫機のオペレータとワゴンのオペレータの計2名である。収穫作業は、ケーンハーベスタによるサトウキビの収穫作業に習熟したオペレータが実施した。

3. 結果及び考察

1) ケナフの生育状況

ケナフの生育状況について2000年度の結果を図4に示す。実際の苗立ちは、発芽不良、出芽後の立ち枯れ、播種精度などによる欠株で場所によりばらつきが生じ7.1～12.5本/m²で、平均9.9本/m²であった。播種後16週目(10月11日)に圃場内での一番花の開花が確認され、18週目には調査した区画内でも開花した個体を確認した。この時期は、草丈が最大となる時期とほぼ一致しており、1本当たりの葉部の質量も開花直前まで増加するが、その後は落葉により減少した。開花4週後の葉の質量は、ピーク時の約1/5で、茎部の収量は6.9t/10aであった。

茎の部位別含水率の経時変化を図5に示す。開花が含水率に与える影響は認められず、枯れるまでの含水率は根元部分から頂部まではほぼ一定の、80%w.b.以上で推移した。霜が降り、枯れ始めると含水率は頂部から下がり始めるが、根元部分の含水率は依然80%w.b.程度と高いままであった。越冬すると根元部分の含水率も大きく下がり、平均で47.9%w.b.となった。

実用的な収穫を実現するためには、ベースカッタによる茎根元部分での確実な切断と風選ファンによ

図4 ケナフの生長の経時変化
(2000年度)

図5 ケナフの部位別含水率の経時変化
(2001年度)

る葉部の適切な除去が重要であり、茎根元部分と葉部の物性が収穫機の作業能力に影響を与えられ、したがって茎根元部分と葉部に注目すると、ケナフの生育ステージは以下に示すとおりに分類できると考えられる。すなわち (1) 開花前の葉が茂っている時期 (繁茂期)、(2) 草丈が最大となる一方、落葉を始める開花時期 (開花期)、(3) 降霜し落葉するが含水率が比較的高い時期 (落葉期)、(4) 枯死し、ベースカッタで切断する部位である根元含水率が低下した時期 (枯死期)、の4段階であった。

2) ケナフ収穫機の基本性能

本研究に先立ちサトウキビ用刈り取り部を使用して試験したところ、円筒ドラムに繊維が大量に巻付き、20 m程度で作業を中断しなくてはならず実用に至らなかった。今回開発したケナフ専用刈り取り装置を用いた実際の収穫では、刈り取り部への巻付きがなくなり、円滑な作業が可能であった。実際の収穫は繰り返し行い、改良した刈り取り装置が良好に機能することを確認した。

収穫機の作業速度と、チョッピングカッタによる茎の切断長の精度について図6に示す。茎の切断長は、作業速度0.5m/s区、1.0m/s区ともに22cmを中心にした分布であり、平均は21.7cm、21.5cm、標準偏差 (S.D.) は2.6、3.0であった。尖度 (Kw) は3.1、2.6であり、中心への集中度が高く、21~24cmに切断された茎が、0.5m/s区で71.2%、1.0m/s区で68.6%であった。作業速度と茎切断長の分布には差異が見られず、切断長は作業速度に関係なくほぼ均一であった。ファイバーボードへの利用では、繊維長が60mm程度確保されれば、針葉樹ファイバーを用いたボードに匹敵する強度が確保できるとされ

ており (大西, 2000)、本収穫機で収穫したケナフは工業製品への利用に十分な長さが確保できている。

3) ケナフ収穫機による収穫可能期間

収穫機の生育ステージに対する収穫性能試験を2001年度に実施した。生育ステージを、前述した (1) 繁茂期、(2) 開花期、(3) 落葉期、(4) 枯死期の4段階として試験を行った。2001年度には播種日を5月下旬から7月下旬までに3回に分けて実施したところ、播種日が遅くなると草丈が低く、収量が低下する傾向が確認されたが、開花、落葉などその後の生育ステージの時期はほぼ一致した。2001年度は梅雨時期の降水量が少なかったために、2000年度と比較して、草丈、収量とも低く、開花期の草丈は2.8~3.5m、10 a当たりの収量は3.7~5.8 tであった。収穫試験の結果、生育量の違いが収穫機の動作に与える影響は認められなかった。一方ステージ間の違いが収穫機の動作に与える影響は大きく、収穫機の収穫可能期間を決定する要因となった。各ステージでの試験結果は以下の通りである。

繁茂期の収穫 (10月3日) では、刈り取り部、機体内部への巻付きは確認されなかったが、葉または頂部の未熟部位が大量に発生するため、これらが排出口で詰まり、作業が中断した。葉の排出量に注意しながら、機体内部へのケナフの供給量を制限すると、収穫は可能であったが、一時停止を繰り返す必要があり、試験機の現状では実用的な能率を確保することが困難であった。

開花期の収穫 (11月7日) は、良好であった。葉部と頂部の未熟部位は、風選ファンの排出口へ詰まることなく排出されたが、収穫物への混入が一部確認された。混入量を低減するために、風選ファンの風速を上げ試験した場合の混入状況を図7に示す。風速を約1.8倍にしたことで混入量は約半分減少したが、排出された茎の量は、収穫物に対する質量比で7.2%から10.2%に増加した。

落葉期の収穫 (12月11日) は、良好であった。この時期は、一部葉柄が残っている場合もあるが、風選ファンを稼働させなくても収穫が可能であった。機械収穫の点から考えると、最も収穫に適した時期であった。

枯死期の収穫 (3月25日) では、含水率が一様に低くなるため、刈り取り断面が粗くなり、機体内部の搬送ローラで茎が容易に粉碎された。粉碎した茎は、搬送ローラで十分に保持されないため傾斜している搬送ローラを滑り落ち、機体内部に滞留し、絡

図6 作業速度と収穫した茎の切断長分布

図7 風選ファンによる収穫物の分離状況

み付くことがあった。本機では収穫したケナフを根元部分から先に、排出口まで搬送するため、根元部分の含水率が低くなると搬送が困難となった。またこの時期のケナフは、根元近くから折れ、圃場に倒伏した割合が20.8%に達し、本機で引き起こせず回収できないものがあった。

以上の結果から本機での有効な収穫期間は、花が咲き始める時期から枯死し根元部分が乾燥するまでであった。これは越冬し気温が上昇する前の時期に対応していることから、当該地域においては10月中旬からおよそ2月下旬までが良好な収穫可能期間と考えられる。ケナフの靱皮は、高水分状態で皮剥が容易で、乾燥とともに困難となるため、収穫後の調製を考慮に入れ収穫時期を決定する必要がある。

4) ケナフ収穫機の収穫ロスと作業効率

収穫機の収穫ロスは、風選ファンにより吹き飛ば

されたものが大部分を占めた。収穫ロスは、風選ファンの風速と正の関係で増加し、今回実施した一連の試験での全体の収穫ロスは3～13%とばらつきが大きかった。この他のロスとしては、刈り取り時のヘッドロス、チョッピングカッターで調製されたが機体内部を滑り落ちたもの、排出口から落下した茎が回収できなかったもの、などがごく少量確認された。一方で収穫物への葉の混入量は、風選ファンの風速と負の関係にあり、収穫ロスと相反する関係にあることが判明した。

ネットバッグ方式と伴走ワゴン方式での各作業時間の内訳について表2に示す。作業速度はネットバッグ方式で、平均0.49m/s、伴走ワゴン方式で0.42m/sであった。ネットバッグ方式での荷下ろし時の移動、収穫する条の変更は、旋回するよりも短時間で行えるため後進で行い、ネットバッグ交換後の収穫は必ずしもその直前に収穫していた地点に戻らず、任意の場所から開始した。また圃場先端まで収穫した後は荷下ろし場所を目指して後進し、ネットバッグの余裕量分を途中で収穫することがあった。こうした収穫方式では収穫機が転回する事がないため、収穫する条を変更する際の移動時間について表中では、収穫場所と荷下ろし場所の移動に含めた。ネットバッグ方式では荷下ろしのための往復に要した時間の合計が全体の32.9%であり、ネットバッグの交換作業を含めると全体の約70%が収穫以外の作業であった。このため作業効率が低く、圃場作業量は6.6a/hに留まった。一方伴走ワゴン方式の圃場作業量は、今回の試験では収穫機の作業速度が若干低かったが、ネットバッグ方式の2.1倍の13.9a/hであった。

表2 作業方式と10a当たりの収穫・搬出時間

	ネットバッグ方式		伴走ワゴン方式	
	時間 (min/10a)	割合 (%)	時間 (min/10a)	割合 (%)
収穫	28.2	30.8	37.5	86.8
圃場内後進移動 (荷下ろし場所への移動等)	14.9	16.3	—	—
圃場内前進移動 (収穫場所への復帰)	15.2	16.6	—	—
ネットバッグ脱着	33.3	36.3	—	—
旋回 (次行程への移動)	—	—	5.7	13.2
合計	91.6	100	43.2	100
圃場作業量 (a/h)	6.6		13.9	

* 収量：4～7t/10a、収穫ロス：3～6% (質量割合)

4. 摘要

ケナフをボードや樹脂製品などの工業製品の代替原料として利用することを目的とし、繊維を細断しない機械収穫技術を開発した。ケーンハーベスタをベースマシンとした収穫機を開発し、その基本性能、収穫可能期間、作業効率を明らかにし、以下の知見を得た。

- 1) ケーンハーベスタをベースマシンとしたケナフ収穫機は、刈り取り部のドラム径、バトリフタ高さの変更およびセパレータの取り付けにより、ケナフの連続収穫が可能となった。
- 2) 収穫機で回収されるケナフの茎長は、作業速度に左右されず、約 22cm の長さに均一に切りそろえられる。
- 3) ケナフ収穫機による収穫は、開花期から根元含水率が低下する前までが可能であり、関東地域ではおよそ 10 月中旬から 2 月下旬までとみられる。
- 4) 圃場作業量をネットバッグ方式と伴走ワゴン方式で比較したところ、ネットバッグ方式で 6.6a/h、伴走ワゴン方式で 13.9a/h であった。

キーワード

ケナフ、収穫機、ケーンハーベスタ、収穫時期、作業効率

引用文献

- Abe, K., Ozaki, Y., Kihou, N., (1998): Comparison of Useful Terrestrial and Aquatic Plant Species for Removal of Nitrogen and Phosphorus from Domestic Wastewater, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44 (4), 599-607.
- Alexopoulou, E., Christou, M., Mardikis, M., Chatziathanassiou, A. (2000): Growth and yields of kenaf varieties in central Greece. *Industrial Crops and Products*, 11 (2-3), 163-172.
- Amaducci, S., Amaducci, M. T., Benati, R., Venturi, G. (2000): Crop yield and quality parameters of four annual fiber crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North Italy. *Industrial Crops and Products*, 11(2-3), 179-186.
- 張敏・大西兼司・奥平有三・川井秀一 (2001): 実大サイズのケナフ複合ボードの製造とその性質, 第 51 回日本木材学会大会講演要旨, 256-257.
- D. E. Kissel, W. Adkins, A. Kaldor (2001): Evaluation

of Windrow Harvesting of Kenaf, 2001 Forth Annual American Kenaf Society Conference; 21.

大西兼司・奥平有三・張敏・川井秀一 (2000): 非木材セルロース繊維を用いた配向性 MDF の製造と性質 (第 1 報), *木材学会誌* 46(2), 114-123.

Oka, H. (1992): The Kenaf Cultivation in Thailand. *Journal of Agricultural Science*, 47(5), 202-206.

Shinji Hirata, Toshihiro Iwata, Hironori Matsubara (2001): Development of automotive inner door panel (door trim) using kenaf, 2001 Forth Annual American Kenaf Society Conference; 32.

鈴木正肚・伊藤道秋・佐々木豊・高野 充 (2002): 資源植物ケナフの生産システム—既存農業機械の利用と問題点, *農作業研究* 37 (別 1), 7-8.

鈴木正肚・伊藤道秋・佐々木豊・高野 充 (2000): 資源植物ケナフの生産システム (第 1 報) 栽培様式と既存農業機械の適用, 第 58 回農業機械学会年次大会講演要旨, 263-264.

Yimrattanabovorn, J., Iwasaki, K., Cheng, Z., Ohtani, Y., Sameshima, K. (2000): A Combination System in Advanced Wastewater Treatment Consist of Charcoal, Kanuma Soil and Kenaf. *Proceedings of The 2000 International Kenaf Symposium*, 13-14 October 2000, Hiroshima, Japan. 160-164.

Summary

To harvest kenaf, a sugar cane harvester that was modified in some parts was used as kenaf harvester. The basic performance, the period when it can be harvested and the effective field capacity of this machine were cleared by the field test. The results were as follows.

- (1) A sugar cane harvester harvests kenaf well used by a developed kenaf special cutter.
- (2) This machine cut kenaf stems 22cm each regardless of the traveling speed.
- (3) This machine was able to harvest well from flowering stage to killing frosted stage. In this study area, it was from mid October to last February.
- (4) The effective field capacity of the net bag style was 6.6a/h, and the conveying style was 13.9a/h.

Keywords

kenaf, kenaf harvester, sugar cane harvester, harvesting period, effective field capacity