

# 琉球大学学術リポジトリ

サトウキビ収穫機に関する研究(第4報):  
茎幹の動切断抵抗に関する要因について(農業工学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 泉, 裕巳, 秋永, 孝義, Izumi, Hiromi, AKinaga, Takayoshi メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/4342">http://hdl.handle.net/20.500.12000/4342</a>

# サトウキビ収穫機に関する研究 (第4報)

## 茎幹の動切断抵抗に関係する要因について

泉 裕 巳\*・秋 永 孝 義\*

---

Hiromi Izumi and Takayoshi Akinaga: Studies on the sugarcane harvesters IV. The geometric and kinetic parameters that influence the cutting resistance of sugarcane stalk.

---

### I 緒 言

先に筆者は、試作した動切断抵抗測定装置で、サトウキビの茎幹を切断するときの動的切断抵抗を、回転刃駆動軸の所要トルクとして測定し、楔角が25度の刃を用いて、進行速度0.4 m/sの場合に、適正な回転刃の周速度は20 m/s、適正切断角は40度であることを報告した(1)。

現在、沖縄県下で使用されているサトウキビ収穫機のいくつかの機種では、切断角が0度のもの、回転刃周速度が11 m/s前後のものもあり、必ずしも、筆者らが実験結果から推定した適正条件を満足していない。これは、作業速度、切断部の構造、切断速度比(刃の周速度/進行速度)などの違いに起因するものと考えられる。サトウキビ収穫機の設計にあたって、作業効率を考慮すると、切断速度比と切断トルクの関係は、最も重要な問題である。また、サトウキビの茎幹の切断現象の解析も、切断刃の装着の点から重要である。しかし、実際の切断は高速で行われるため、肉眼で捕えることが困難であり、従来は、切断後のサトウキビの状態から、切断の良否を類推していたようである。より効率的な収穫機を設計するためには、切断現象の解明を行って、最適切断条件を決定する必要がある。

この報文は、沖縄本島産のサトウキビを用いて、その動切断抵抗に関係する多くの要因のうちから、切断角、回転刃の周速度(以下周速度)、進行速度、茎幹の径、収穫後の経過時間について実験検討した結果と、同時に行った高速度カメラによる切断現象の解析の結果について報告するものである。

### II 実験計画

サトウキビの茎幹の動切断抵抗に影響を与えられようと考えられる要因相互間の関係を知るために、切断角、周速度、進行速度、茎幹の直径、収穫後の経過時間を因子にとりあげた。切断角の楔角については、静切断試験(2)や江崎(3)の理論解析、さらに予備実験により角度が小さいほど、切断トルクが小さいという関係が確認されているので、試作した。楔角25度、23度、21度の3種類の切断刃の中から、楔角21度の刃を使用して、因子としてはとり上げなかった。そこで因子は、

A: 切断角                      B: 周速度                      C: 進行速度  
D: サトウキビの直径              E: 収穫後の経過時間

---

\* 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 22: 309~320 (1975)

本論文の一部は1975年4月農業機械学会(千葉県松戸市)において報告した。

として、交互作用は、 $A \times B$ 、 $A \times C$ 、 $B \times C$ を検出できるように、 $L_{27}(3^{13})$ の直交表(4)にTable 1のように割付けた。

Table 1. Table of orthogonal arrays  $L_{27}(3^{13})$

Factor	A	B	AxB	C	AxC	BxC	D	EE	BxC	e	e
Column	1	2	3 4	5	6 7	8	9	10	11	12	13
A: Inclination angle *				A1	10°	A2	30°	A3	50°		
B: Circumferential speed of knife				B1	17 m/s	B2	20 m/s	B3	23 m/s		
C: Travelling speed				C1	0.236	C2	0.500	C3	0.789 m/s		
D: Diam. of sugarcane				D1	below 23 mm	D2	23-28	D3	above 28 mm		
E: Days after harvest				E1	0	E2	1	E3	2		

\* inclination angle 切断角

それぞれの因子の水準は、従来の実験で最適と推定した値を中心値に、次のように配置した。

A: 切断角

$A_1 = 10$ 度                       $A_2 = 30$ 度                       $A_3 = 50$ 度

切断角は、実験に供した回転刃の切断刃装着用のボルト穴の位置から設定した。

B: 周速度

$B_1 = 17$  m/sec                       $B_2 = 20$  m/sec                       $B_3 = 23$  m/sec

前回の実験では20 m/sのときが、最も切断トルクが少なかった。

C: 走行速度

$C_1 = 0.236$  m/sec                       $C_2 = 0.500$  m/sec                       $C_3 = 0.789$  m/sec

台車駆動用の無段変速モーターの制御盤の目盛をそれぞれ、4, 7, 10にセットした。実測の結果進行速度の平均値は上記の通りであった。実用に供されている収穫機の作業速度が0.3 m/s ~ 1 m/sであるから、作業速度のほぼ全域をカバーしていると考えた。

D: サトウキビの直径

$D_1 =$  直径23mm以下                       $D_2 =$  直径24mm ~ 28mm                       $D_3 =$  直径29mm以上

直径は長径を採用し、小数第1位で四捨五入した。

E: 収穫後の経過時間

$E_1 = 24$ 時間以内                       $E_2 = 24 \sim 48$ 時間                       $E_3 = 48 \sim 72$ 時間

収穫後の経過時間は、実停の収穫作業では因子とならないが、室内実験の場合は測定に日数を要するので因子として取上げた。

測定の繰り返しは3回とした。

### III 実験装置と方法

#### 1) 供試材料

試料には、沖縄県島尻郡具志頭村字新城産のサトウキビ(品種 NCo 310, 1969年夏植, 5回株出)を用いた。サトウキビは、実際の作業で切断される位置に出来るだけ近い位置を実験装置の切断刃が通過するように、長さ40cm程度に調整した。試料は、4本を1組として、移動台車の試料装着部に、鉄筋とロープで固定した。(Fig. 1)

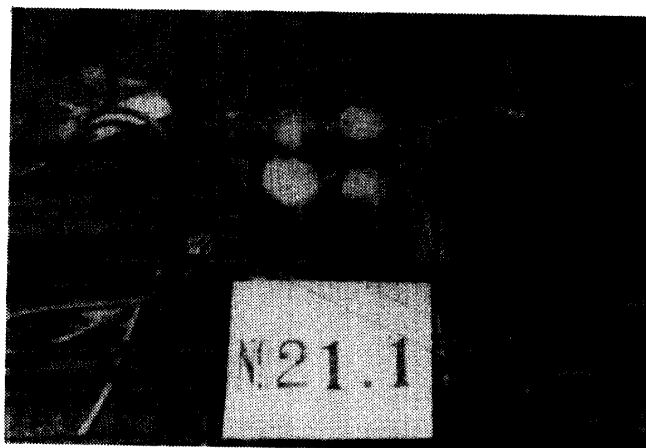


Fig. 1. Fixed sugarcane stalks using cord and steel rods

2) 実験装置

先に報告した(1)実験装置の台車駆動用モーターを、可変速度モーター（日立製HCB - 0.75型, 120 ~ 1,500 rpm）に変えて実験に供した。実験装置の概要をFig.2に示す。

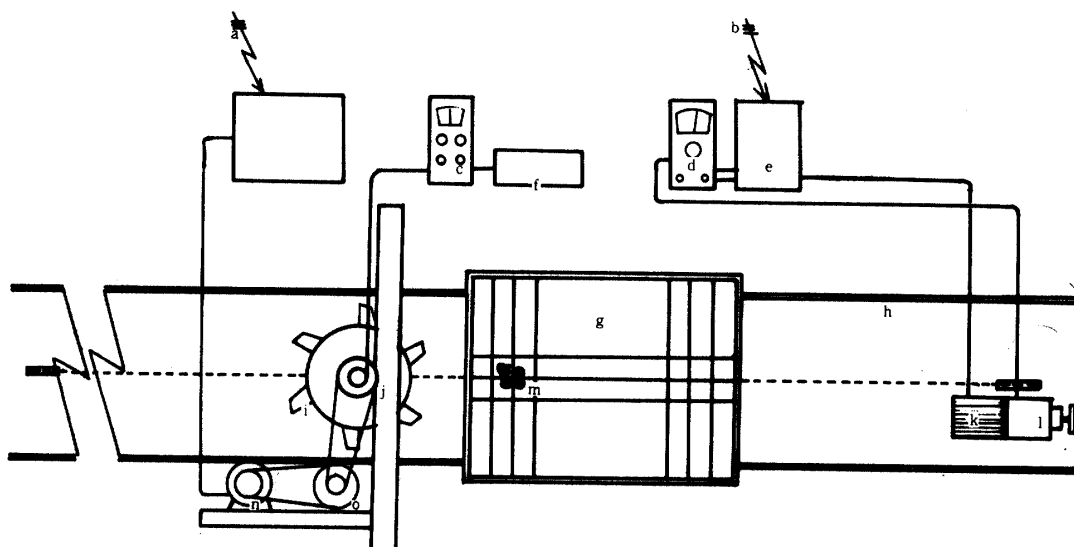


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus

- |                      |                      |                             |                       |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| a: AC 3 $\phi$ 200 V | b: AC 3 $\phi$ 200 V | c: strain amp               | d: HC operator        |
| e: HC controller     | f: visigraph         | g: cart                     | h: guide rail         |
| i: cutter            | j: torque pick-up    | k: HC motor                 | l: reduction gear box |
| m: sugarcane         | n: motor             | o: pulley type transmission |                       |

回転刃駆動軸の駆動トルクは、軸の中間に装置したトルクピックアップ（新興通信製TM-10型）で検出して、ストレインアンプ（新興通信製DS6/MTC）で増巾して、固有振動数 370Hz のガルバノメーターを持つビジグラフ（三栄測器製PR 101 A型）に自記させた。また、切断刃には、Fig.3に示す型式のものを用いた。この切断刃の硬度をショア式硬度計を用いて測定したところ、Fig.4のような結果が

得られた。

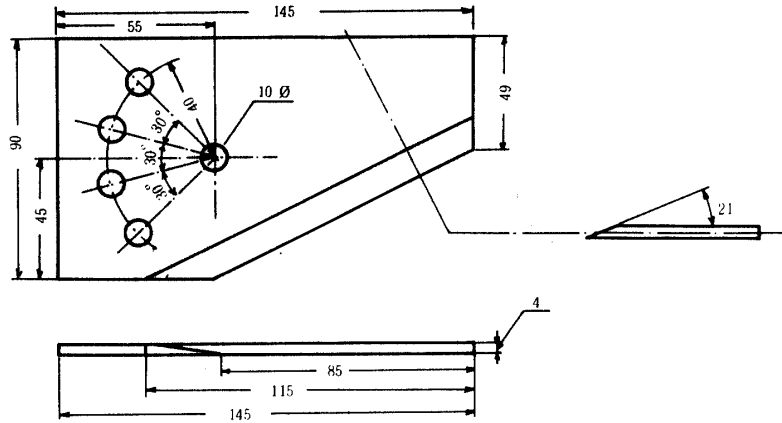


Fig. 3. The experimental cutting knife

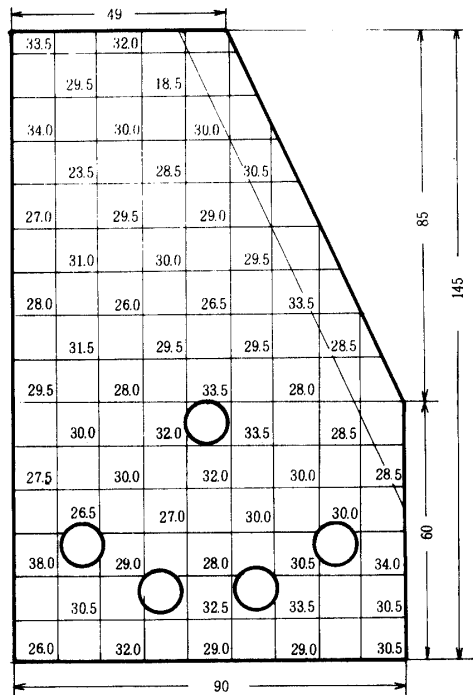


Fig. 4. Hardness distribution of the experimental cutting knife measured by Shore's hardness tester

3) 高速度カメラによる撮影

切断実験時に、適宜、高速度カメラ（日立精機製HIMAC-16HS型）を用いて、回転刃とサトウキビの茎幹の動きを撮影した。なお、フィルムには高速度カメラ用フィルム（コダック製タイプ7224、小西六写真工業製タイプ6162）を用いた。

## IV 実験結果および考察

## 1) 切断実験

測定結果の一例をFig.5に示す。図中の山型(a)部分が切断時の曲線である。それぞれのピークは、切断刃が茎幹に当たる点である。そこで、ピークの最高の点の値を、回転刃駆動軸の所要トルクが最大になる点の値として、このときのひずみ量を読み取った。

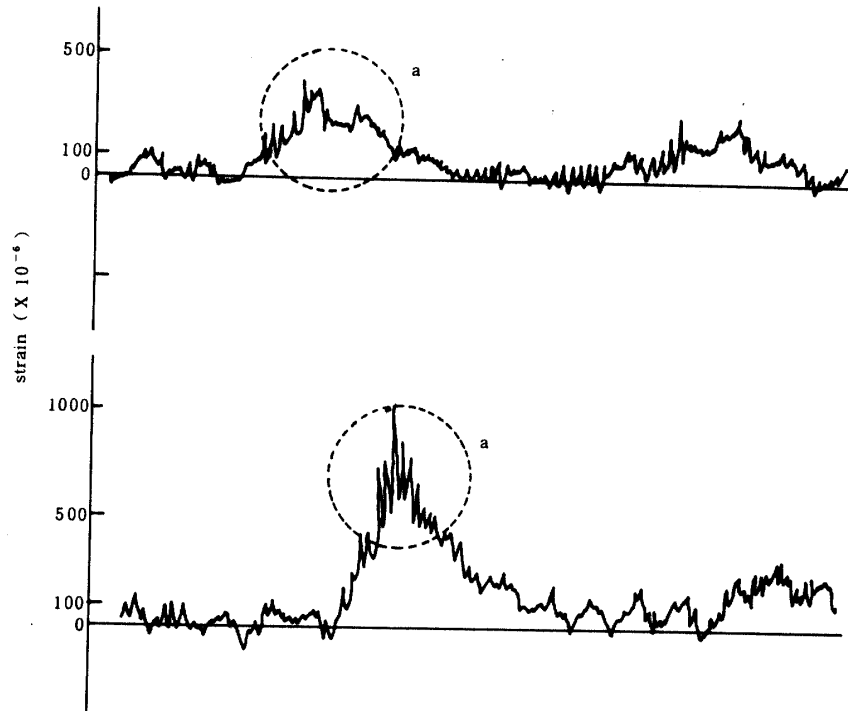


Fig. 5. Example for torque pick-up data on the recording paper of visigraph

ひずみ量は、さらに、トルクピックアップの特性曲線によりトルクに換算した。これらの値から、直交型実験の統計解析のために、Table 2に示す補助表を得た。この表から $L_{27}(3^{13})$ の直交表の解析法(4, 5などを参照)に従ってTable 3の要因分析表を得た。誤差 $e$ を測定のバラツキの要因 $res$ でF検定を行ったところ、有意差が認められなかったので、 $e + res$ でF検定を行った。その結果、A: 切断角, B: 周速度, C: 進行速度,  $B \times C$ : 周速度 $\times$ 進行速度が、危険率1%で有意であった。

それぞれの工程平均(4)は、

$$A_1 = 2.159 + 15.717/9 = 3.91$$

$$A_2 = 2.159 + 0.185/9 = 2.18$$

$$A_3 = 2.159 + (-13.873/9) = 0.62$$

以下同様に

$$B_1 = 3.11$$

$$B_2 = 1.95$$

$$B_3 = 1.64$$

$$C_1 = 1.43$$

$$C_2 = 2.02$$

$$C_3 = 3.25$$

交互作用については

$$B_1C_1 = 1.66$$

$$B_1C_2 = 2.38$$

$$B_1C_3 = 3.39$$

$$B_2C_1 = 1.77$$

$$B_2C_2 = 2.65$$

$$B_2C_3 = 1.86$$

$B_3C_1 = 2.33$                        $B_3C_1 = 1.31$                        $B_3C_3 = 2.31$   
 となった。

**Table 2. Subsidiary table for analysis of variance**

		1	2	3
A	1	15.717	0.185	-13.873
B	2	8.585	-1.903	-4.653
A × B	3	-0.613	1.805	0.837
A × B	4	-0.003	-0.303	2.335
C	5	-6.585	-1.233	9.847
A × C	6	-0.303	-0.045	2.377
A × C	7	-0.143	-0.053	2.225
B × C	8	-14.785	-0.303	17.117
D	9	-0.303	-0.305	2.637
E	10	-1.063	0.777	2.315
B × C	11	1.305	0.887	-0.163
e	12	0.647	2.125	-0.743
e	13	-0.343	4.297	-1.925

**Table 3. Analysis of variance of the torque required to cut sugarcane stalks**

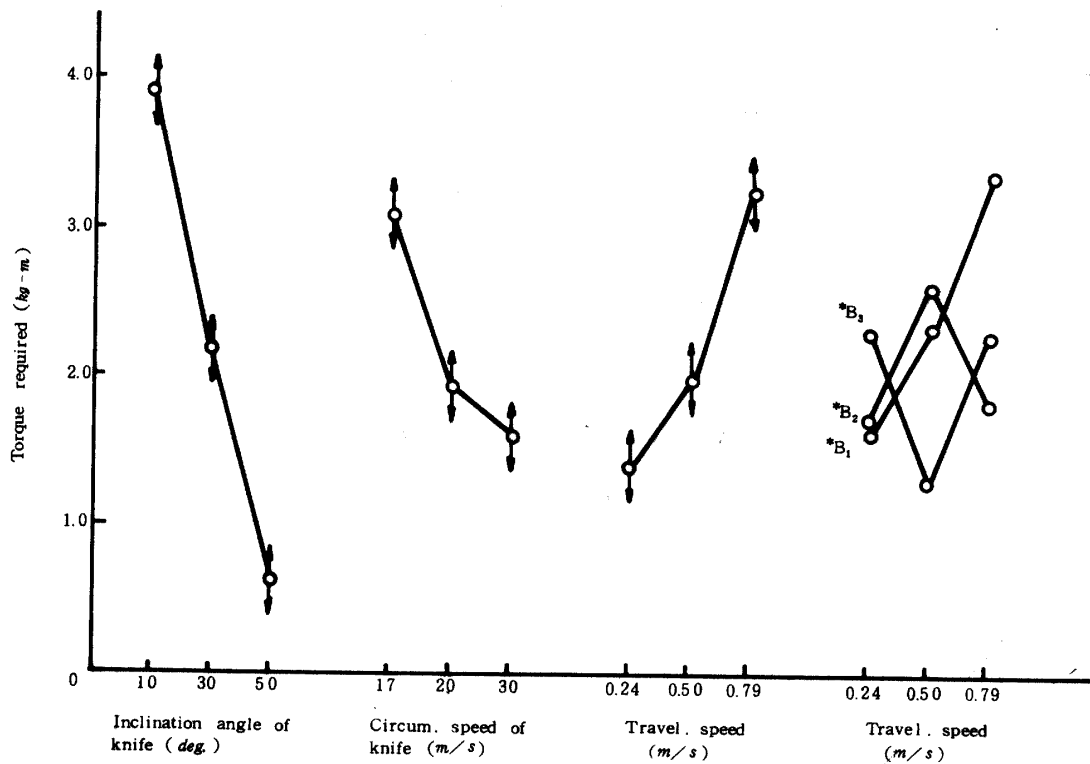
Source of variation	ss	d. f.	ms	
A: Inclination angle	16.23	2	8.12	47.77**
B: Circumferential speed of knife	3.61	2	1.81	10.59**
C: Travelling speed	5.20	2	2.60	15.29**
D: Diameter of stalk	0.21	2	0.11	0.65
E: Days after harvest	0.21	2	0.11	0.65
A × B	0.26	4	0.07	0.41
A × C	0.29	4	0.07	0.41
B × C	18.94	4	4.74	27.88**
e + res	9.79	58	0.17	

\*\* Significant at 1% level

また、工程平均の信頼限界は、信頼度を95%にすれば

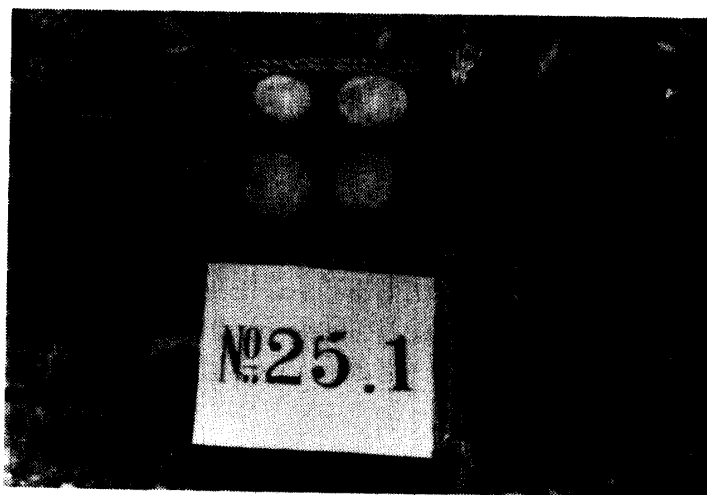
$$\pm \sqrt{(3.15 \times 0.169) / 9} = \pm 0.24$$

これらの結果から、それぞれの因子と回転刃駆動軸の所要トルクの関係はFig.6のようになる。



**Fig. 6. The factorial effect of the cutting conditions on the torque required to cut sugarcane stalks**  
 \*B<sub>1</sub>: circum. speed 17 m/s    \*B<sub>2</sub>: 20 m/s    \*B<sub>3</sub>: 23 m/s

サトウキビを回転刃で切断する場合には、回転刃駆動軸の所要トルクが小さいほど、切断抵抗が小さいことになる。また切口の状態は、切断面がより平らで美しいことが良好な切断だと考えられる。切断角は、50度のときが最も所要トルクが小さくなり、切口の状態が一番整っていることから、切断角の最良条件は50度と考えられる。(Fig.7)



**Fig. 7. Clean cut stubbles, which cut with 50 deg. inclination angle, 23 m/s in circumferential speed of knife and 0.24 m/s in travelling speed**



周速度については、周速度が大きいほど所要トルクが小さくなる傾向を示している。進行速度については、速度が遅いほど所要トルクは小さくなる傾向を示している。周速度と進行速度の交互作用については、周速度 $B_1$ では、進行速度に比例して所要トルクが大きくなっている。 $B_2$ については、 $C_2$ で所要トルクは最高に、 $B_3$ については、 $C_2$ で最低になっている。このように相反した結果なので、視点を変えてみる必要があると考えられる。周速度と進行速度の関係はとりもなおさず切断速度比である。したがって、周速度と進行速度の交互作用と所要トルクの関係は、切断速度比と所要トルクの関係として考察しなければならない。そこで、切断速度比を20から100まで変化させて追加試験を行った。試料には、琉球大学農学部附属農場(那覇市首里石嶺町4-21)産のサトウキビ(品種 NCo 376, 1972年夏植, 2回株出)を用いた。切断速度比, 周速度, 進行速度の関係と, その他の設定条件は, Table 4 に示す通りであった。

Table 4. Cutting conditions for additional cutting test

K	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C. S. (m/s)	15	15	20	25	15	17.5	20	22.5	25
T. S. (m/s)	0.75	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
S. R. (rpm)	466.6	466.6	622.1	777.6	466.6	544.3	622.1	699.9	777.6

K: C. S. / T. S.

C. S. : Circumferential speed of cutting knife

T. S. : Travelling speed of harvester

S. R. : Revolutions of cutter shaft

所要トルクは、ビジグラフのピークの点の値から、無負荷時のトルクの平均値を差引いた値を採用した。測定は8回繰り返し、試料2本を1本として供し、収穫後6時間以内に測定を完了した。得られた所要トルクを試料の長径の和で除した値を、切断速度比を要因として分散分析を行った。その結果、統計的有意差は認められなかった。Fig.8に切断速度比と所要トルクの平均値の関係を示す。切断速度比が60の時が、最も所要トルクが小さくなっている。そこで切断速度比と所要トルクの関係が、二次関数で表示できると仮定して、 $x$ 軸に切断速度比を、 $y$ 軸に所要トルクをとり、さらに、 $x$ 軸上の値を下記のように数値交換すると

切断速度比	30	40	50	60	70	80	90
数値変換値	-3	-2	-1	0	1	2	3

2次回帰式

$$y = 0.002x^2 - 0.001x + 0.156 \dots\dots\dots (1)$$

を得た。この曲線は、下に凸の放物線であり、切断速度比60に相当する $x=0$ にて最小値を持っている。このことから、切断速度比の最適の値は、60付近に存在するものと考えられる。最適な切断速度比が存在することは、回転刃の駆動方式の決定に重要な意味を持つ。つまり進行速度に比例した回転刃の回転数が得られる動力伝達機構を採用した方が、より良い作業性能が期待できると考えられる。しかし、追加実験は、前述の実験とは品種も収穫時期も異なるので、今後さらに検討を加える必要があると考えられる。

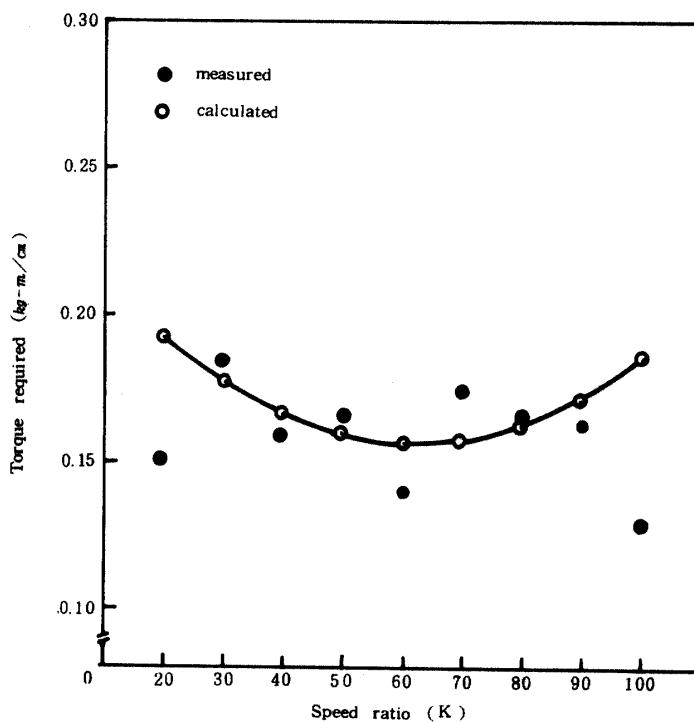


Fig. 8. Relationship between torque required and speed ratio (K)

2) 高速度カメラによる切断現象の解析

切断現象を解析するために、切断実験中に、適宜、撮影を行った。撮影結果から、1本のサトウキビが何枚の切断刃によって切断されるかをみると、条件によって異なるが、ほぼ3~5枚の刃で切断されている (Fig.9)。

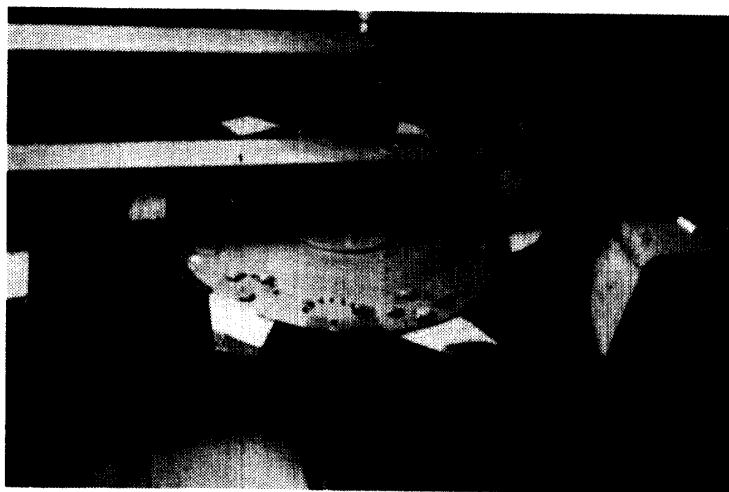
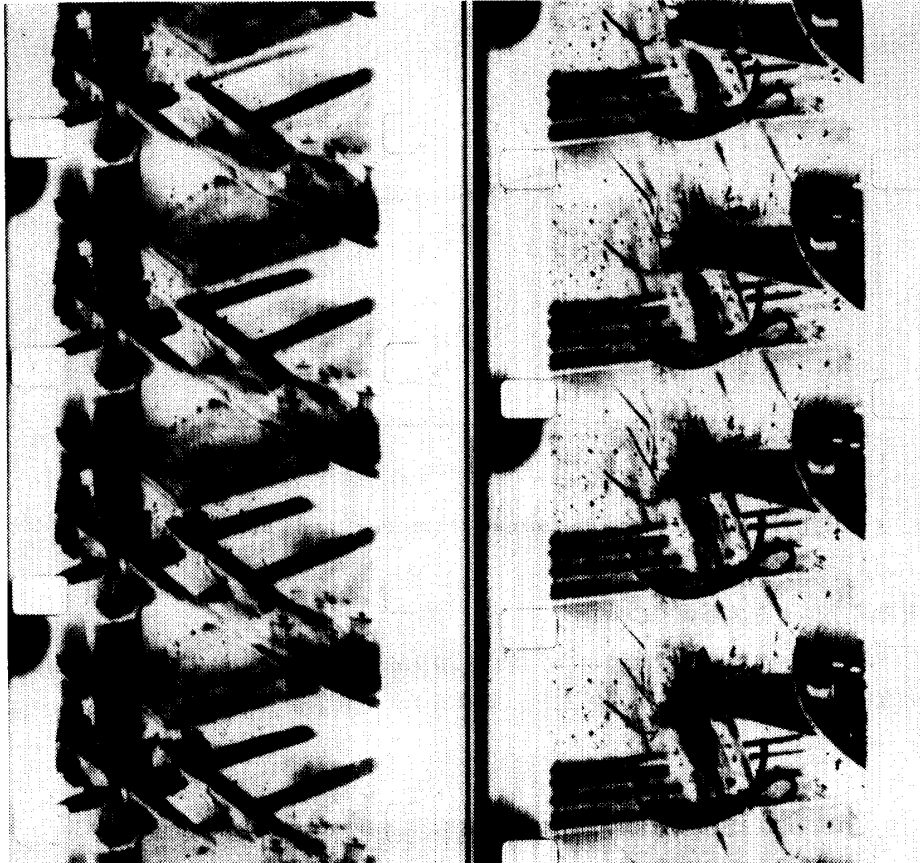


Fig. 9. Acted blades on sugarcane cutting, marked white chalk on knives disappeared

まず, Fig.10-a のように切断刃の先端で切断が始まり, 85mmある有効切断長のほぼ50%の長さの刃で切断を完了している。これらのことから, 切断刃は供試した刃のほぼ半分の有効長のもので十分であると考えられる。切断角が0度の場合は, Fig.10-b のように, 有効切断部以外の部分で, サトウキビの茎幹を打撃するために, 切口が乱れている。切口が整っている切断角は50度であった。これは所要トルクの測定の結果と一致している。



**Fig. 10. State of cutting sugarcane stalks with 50 deg. inclination angle (a), 0 deg. (b) 20 m/s in circumferential speed of knife, and 0.4 m/s in travelling speed respectively**

\* marker interval: 1000 Hz (black dot in left side)

Silveira (6)は, 衝撃試験機を改造して, サトウキビ収穫機の切断刃の楔角, 切断角の最良値を求める試みをして, 切断速度(周速度に相当)が2~6 m/s のとき, 楔角が20度で切断角が15度のときが最も小さな力でサトウキビを切断できたと報告している。楔角については, 著者らの結果と一致しているが, 切断角については異った結果となっている。これは, Silveira の場合は, サトウキビを固定して切断刃を動かして切断しているのに対して, 筆者らはサトウキビも移動し, かつ, 切断刃自体が回転円運動をしていることに相違点があるものと考えられる。

今後は, 刃の材質, 厚さなどの幾可学的な形や, サトウキビの摩擦特性と刃の摩耗の問題について, さらに研究を進めて検討を加える必要があると考えられる。

## V 摘 要

サトウキビ収穫機の設計に当っては、サトウキビの茎幹の理工学的な性質や、動切断抵抗に関する多くの要因の影響を知る必要がある。そのため、茎幹の動切断抵抗に関する要因のうちから、切断角、周速度、進行速度、茎幹の直径、収穫後の経過時間について実験検討を行った。また同時に、高速度カメラを用いて切断現象の解析を行った。供試材料には、沖縄県下で栽培されている、一般的な品種である NCo 310 と 376 を用いた。測定結果から得られたサトウキビの茎幹の動切断抵抗に影響する要因について、以下に要約する。

- 1) サトウキビの茎幹の動切断抵抗に影響を与えられようと考えられる要因相互間の関係を知るために、切断角、回転刃の周速度、進行速度、茎幹の直径、収穫後の経過時間を因子に  $L_{27}3^{13}$  の直交型実験を行った。その結果、切断角、周速度が大きくなるほど動切断抵抗が小さくなり、進行速度が速いほど動切断抵抗が増加することが認められた。
- 2) 切断角を0度から50度の間で変化させて、切断現象を高速度写真に撮影した。その結果、最もきれいに切断できる切断角は50度であることが解った。
- 3) 動切断抵抗の値のバラツキの要因分析の結果、回転刃の周速度と進行速度の間には交互作用が認められた。
- 4) この実験の結果から判断すると、切断抵抗が最も小さい切断速度比は、60付近にあると考えられる。
- 5) 今後さらに、切断刃の材質とサトウキビの摩擦特性について検討する必要があると考えられる。

本研究を実施するに当って、実験材料を提供していただいた具志頭村の諸見里真徳氏に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

1. 泉裕巳 1971 サトウキビ収穫機に関する研究Ⅱ，琉球大学農学部学術報告18：73～87
2. 泉裕巳・秋永孝義 1974 サトウキビ収穫機に関する研究Ⅲ，茎幹の材質について(2)，琉球大学農学部学術報告21：161～172
3. 江崎春雄 1959 刈取機の設計要素に関する実験並びに理論的研究，関東東山農試報告12：149～191
4. 田口玄一 1962 新版実験計画法（上）P 2～111，東京 丸善
5. 木村俊夫 1964 実験計画法の手ほどき P 40～43，東京 南江堂
6. Silveira, J. A. Remus 1974 Physico-mechanical properties of sugarcane and the geometric and kinetic parameters that influence sugarcane cutting. International society of sugarcane technologists proceedings XV congress, 1074 - 1087, Durban, South Africa, The executive committee of the I. S. S. C. T.

## Summary

This paper is a continuation of the initial work on the physical properties of sugarcane, performed during the 1971 sugar crop, of which the results were published by the college of Agriculture University of the Ryukyus.

To investigate the fundamental working units of sugarcane harvester, we hope to facilitate the adoption of mechanized sugarcane harvesting.

We describe the influence of the geometric and kinetic parameters on the cutting process by rotary cutter which are inclination angle of knife, circumferential speed of knife, travelling speed of harvester and diameter of sugarcane stalks. Sugarcane stalks were cut by the experimental rotary cutter, previously described, and the torque required to cut sugarcane stalks were measured by torque pick-up and ocilograph.

We took high speed photographs the state of cutting sugarcane stalks to investigate the cutting phenomena.

NCo 310 and 376 were used for these tests. The following results were obtained.

1. From the statistical result of the influence of geometric and kinetic parameters on the torque required to cut sugarcane stalks, it is found that the inclination angle, circumferential speed of knife increases, the torque required become smaller and the travelling speed increases, it becoming greater under these experimental conditions.
2. By observing the high speed photographs, we can tell that the best inclination angle is 50 *deg.* under these experimental conditions because of the most clear cut stubles.
3. By the statistic factorial analysis, the interaction was observed between circumferential speed of knife and travelling speed on the torque required.
4. We made an assumption that the most suitable speed ratio, circumferential speed of knife to travelling speed, was 60 in this work.
5. Further investigation is necessary for the relationships between the quality of knife materials and the frictional properties of sugarcane.