

サトウキビ株出し栽培における欠株状況と補植機の開発

玉城 磨^{*1†}・鹿内健志^{*2}・赤地 徹^{*1}・安谷屋賛^{*3}

要 旨

沖縄のサトウキビ株出し圃場の欠株率は25%以上になる場合もあり、減収を抑制するためには補植が必要であることが示された。機械収穫作業時の株の損傷には茎の倒伏方向が大きく影響する。特に向刈りを実施した場合の損傷率は萌芽数の35%以上、追刈り時の2倍以上になることが示された。補植作業は一般的に人力で行われているが、本研究では省力化を目的に小型トラクタ搭載型の補植機を開発した。本機はジャーガル、島尻マーヅ土壤の株出し栽培圃場で利用可能であり、作業能率は人力作業に比べて14%向上することが示された。

〔キーワード〕 サトウキビ、株出し栽培、収穫作業、欠株率、補植、補植機、土壤硬度

Investigation of Missing Plant for Cane Plant and
Development of Supplemental PlanterMaro TAMAKI^{*1†}, Takeshi SHIKANAI^{*2}, Toru AKACHI^{*1}, Akira ADANIYA^{*3}

Abstract

The missing plant rate of sugarcane stock in the field in Okinawa might reach 25% or more. Supplementary planting was found necessary to prevent decreased production. The stalk inclination greatly influences the damage to the sugarcane stock when harvesting by machine. In particular, the damage rate of sprouts in the field was 35% or more when machines harvest against the direction of lodging. This value became twice or more the damage rate from harvesting following lodging. Supplementary planting of sugarcane is generally done by human labor. In this study, we developed a tractor-pulled supplemental planter for reducing labor. This machine can be used with ratoon cane plant of Jagal and Shimajiri marji soil and was demonstrated to be 14% more efficient than human labor.

〔Keywords〕 sugarcane, ratoon cane plant, harvest, missing plant rate, supplementary, supplementary planter, soil hardness

I 緒 言

沖縄県のサトウキビ生産量は栽培農家の高齢化などの影響により10年前と比べて大幅に減少している。しかし、基幹作物であるサトウキビは、製糖工場や運送業など関連産業への経済的波及効果が極めて大きく、特に離島においては唯一の地域特産がサトウキビである場合も

あり、地域社会の存立を支える重要な品目としての地位を確立している(Suzuki and Kato, 2005)。ここ数年、増収のための方策がいくつか提案されてきたが、粗収益の低いサトウキビ作では生産に対する投資額も限られているため、基本的には生産費抑制を目標とした栽培体系が考案されてきた(Akachi, 1996)。そのような状況から近年のサトウキビ栽培においては、苗を準備する費用が

*1 会員、沖縄県農業研究センター(〒901-0336 沖縄県糸満市真壁820 TEL 098-840-8515)

Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Itoman-shi, 901-0336 Japan

*2 会員、琉球大学農学部(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 TEL 098-895-8771)

Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara-cho, 903-0213, Japan

*3 沖縄県農業研究センター

† Corresponding author: tamakimr@pref.okinawa.lg.jp

表 1 圃場条件と欠株率
Table 1 Field condition and missing plant rate

| 調査箇所 | 調査区 A 南城市佐敷 | 調査区 B 南城市佐敷 | 調査区 C 名護市呉我山 | 調査区 D 名護市呉我山 | 調査区 E 名護市我部祖可 |
|------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 調査日 | 2007. 3. 26 | 2007. 7. 27 | 2007. 4. 9 | 2007. 4. 9 | 2007. 4. 9 |
| 収穫作業日 | 2007. 2. 9 | 2007. 3. 14 | 2007. 3. 12 | 2007. 1. 30 | 2007. 3. 3 |
| 土壌の種類 | ジャーガル | ジャーガル | 国頭マージ | 国頭マージ | 沖積土壌(水田跡地) |
| 平均畦長 (m) | 43.8 | 49.5 | 82.5 | 22.9 | 89.3 |
| 平均畦幅 (m) | 1.41 | 1.46 | 1.18 | 1.21 | 1.21 |
| 圃場面積 (m ²) | 2047 | 1989 | 2335 | 1047 | 3572 |
| 株出し回数 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| 苗の植付方法 | 人力 | 人力 | 人力 | 人力 | 人力 |
| 収穫作業機 | さい断式小型収穫機 | さい断式小型収穫機 | 人力 | さい断式小型収穫機 | さい断式小型収穫機 |
| 収穫作業機種 | TS2001 | TS2001 | — | MCH-30 | UT-120 |
| サトウキビ品種 | Ni11, Ni17 | Ni11 | Ni8 | Ni8 | Ni15, Ni17 |
| 10aあたりの欠株個数 | 1004 | 865 | 560 | 325 | 321 |
| 欠株率 (%) | 27.7 | 25.4 | 26.4 | 15.6 | 4.4 |
| 栽培期間中における補植作業の有無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 有 |

必要となる新植栽培よりも、蔗茎を収穫した後に株から再生する分けつ茎を仕立てて原料茎とする株出し栽培の方が推奨されている。しかし、株出し栽培は一般的に新植栽培よりも収量が低い傾向にあり、その理由には害虫による株の食害や収穫作業時の株の損傷、株出し栽培の回数を重ねるごとに生じる株上がり（発芽位置の上昇）などが影響していると考えられる。従って、株出し栽培での減収抑制には補植が不可欠な作業と考えられるが、一般的な補植作業は鍬などを用いて穴を掘り、腰を屈めて植付ける人力作業が主であることから労働負荷が大きく、生産者が敬遠する作業の1つとなっている。

本報では、補植作業の必要性について確認するため、株出し栽培における欠株の現状と収穫時における株の損傷状況についての調査結果を報告する。また、トラクタ搭載型補植機を試作し、サトウキビ生産現場においての適応性について評価する。

II 欠株率の調査および試験方法

1. 株出し圃場における不萌芽状況の調査

宮里 (Miyazato, 1986) は株出し栽培 (品種: NCo310) における反収の年次推移を観測した結果、株出し回数を重ねるに連れて減収が進んだことを報告しており、泥灰質岩土壌 (ジャーガル) では4年次株出しの減収比は23%、サンゴ石灰土壌 (マージ) では3年次株出しの減収比が23%であったことから、適正な株出し回数は、ジャーガルでは3回まで、マージでは2回が限度と言及している。特にサンゴ石灰土壌は泥灰質岩土壌に比べて耕土が浅く、地力や保水力も低いことからハリガネムシ、アオドウガネ、メイ虫などの害虫が地下部の芽を食害する事例が多く確認されており、不萌芽現象の主要因となっている (Okinawa Prefecture Agriculture, Forestry and Fisheries Part, 2006a, Taroura, 2007)。虫害による減収分については補植によって補う必要があるが、補植作業の是非は萌芽した芽の間隔が40 cm以上離

れた場合を目安に判断され、その範囲内において実施することになっている (Okinawa Prefecture Agriculture, Forestry and Fisheries Part, 2006b)。沖縄県のサトウキビ圃場における欠株率に関しては定量的に明らかになっておらず、新里らによるとサトウキビ新植後または収穫機による収穫作業後の株出し圃場の欠株率は5~30%程度 (Okinawa Agricultural Research Center et al., 2007) と報告されているが、それ以外には農業散布による防除を行わない圃場での欠株率が19.5% (Yasuda and Hokyo, 1983) という特殊な事例の報告があるのみである。また、経験上補植を必要とする欠株率の許容限界は5%である (Yasuda et al, 1984)。そこで、本研究における欠株率の調査では沖縄の一般的な甘蔗栽培農家圃場であり、サトウキビ生産法人が収穫作業を請け負う5圃場を選抜して実施した (表1)。欠株率の算出は調査区内において株間が40 cmの場合を欠株1箇所とし、測定した欠株箇所数を圃場内の株間距離40 cmと仮定した場合の株数で除して求めた。10aあたりの株数の推定値は畦幅1.4 mの場合1786個、畦幅1.2 mでは2083個となる。株出し栽培における補植適期は明確にされていないが、夏植では2~3週間後、春植では4~5週間前後までに終了するとされていることから (Okinawa Prefecture agriculture, forestry and fisheries part, 2006b)、調査はサトウキビ収穫後1ヶ月以降に実施した。

2. 機械収穫作業による株の損傷状況の調査

(1) 背景

2004/05年製糖期の沖縄島のサトウキビ生産量は1989/90年製糖期の30%に、収穫面積は44%に減少している。その間、製糖工場の統廃合などが進み、生産農家のみならず、関係機関の経営状況にも深刻な影響を及ぼしている。対応策として株出し栽培の増加による増産、機械収穫の振興などの必要性が唱えられているが (Sugimoto, 2007)、未だ減収を抑制するには至っていない。減収の要因には生産者の高齢化などによる離農もし

表 2 圃場条件および収穫作業条件
Table 2 Field condition and harvesting condition

| 調査箇所 | 調査区 B 南城市佐敷 | 調査区 F 糸満市国吉 |
|------------------------|-------------------|--|
| 調査日 | 2007. 3. 14 | 2008. 1. 31 |
| 土壌の種類 | ジャーガル | ジャーガル |
| 平均畦長 (m) | 49.5 | 37.9 |
| 平均畦幅 (m) | 1.46 | 1.28 |
| 圃場面積 (m ²) | 1989 | 2036 |
| 土壌の含水比 | 35.3 | 36.7 |
| 株出し回数 | 3 | 3 |
| 収穫作業機 | さい断式小型収穫機 | さい断式小型収穫機 |
| 収穫作業機種 | TS2001 | MCH-15-W-E |
| 収穫作業機の質量 (t) | 5.8 | 4.05 |
| 収穫作業機の出力 (kW/rpm) | 91/2600 | 42/2200 |
| サトウキビ品種 | Ni11 | Ni11 |
| 10a あたりの収量 (t) | 4.02 | 11.25 |
| 収穫方向 | 向刈り | 追刈り 向刈り |
| 収穫機の作業速度 (km/h) | 0.48 | 1.89 0.15 |
| 1時間あたりの収穫機の作業能率 (a/h) | 3.4 | 7.8 1.4 |
| 圃場作業効率 (%) | 44.2 | 32.3 44.2 |
| 備考 | 調査前日の降水量 10 mm | 調査当日の降水量は 12mm, 調査 5 日前から 降雨を観測しており, 積算降雨量は 36 mm |

くは転作, 管理作業の簡素化などが上げられるが, これらの要因に加えて, 株出し栽培では収穫機を用いた収穫作業による株の引抜けや土壌踏圧も影響していると考えられている。収穫作業時の株の引抜け量については定量的な調査がなされていないにもかかわらず, この風評が収穫機による収穫率の向上を停滞させる要因の 1 つとなっている。そこで, さい断式収穫機を用いた収穫作業時の株の損傷状況について調査を実施した。

(2) 調査方法

供試機種には, 軽量であることから収穫作業の可否について降雨の影響を受けにくく, 沖縄県内で広く利用されている「さい断式小型収穫機」を用いた。また, 調査区の設営では土壌の含水比とサトウキビの倒伏方向に配慮した。圃場条件および作業条件を表 2 に示す。調査区は土壌の含水比が高い条件を選択した。含水比の高い土壌は, 比較的粘性が低いいため, 流動しやすい状況にあることから株の引抜けが生じるなど, 損傷しやすい状況にあると考えられる。サトウキビの収穫時期である 12 月から 3 月の降雨量は少ないとは言い難く, 2004 年から 2007 年の 4 年間における那覇の年間平均降雨量が 2015 mm であるのに対し, 収穫時期の平均降雨量は 515 mm であり (Japan Meteorological Agency, 2009), サトウキビ収穫時期の土壌は含水比が高い状態にあることが推測される。

サトウキビの倒伏方向が収穫作業に与える諸問題について説明する。一般に収穫機の進入する方向と同じ方向に茎が倒伏しており, 株もとから収穫できる茎の本数が比較的多い状態を「追刈り」という。反対に茎が収穫機の進入方向に向かって倒伏し, 収穫機のクロップリフタが梢頭部や茎を押し上げなければ, ベースカッターが株もとに届かないような状態を「向刈り」という。後者は前

者と比べて茎の折損や株の引抜けが生じるなど, サトウキビへの被害が生じるだけでなく, 作業能率の低下も引き起こすことから, 収穫作業は一般的に「追刈り」で行われる。しかし, 圃場が車両走行道路や民家に接していることなどを理由にやむをえず「向刈り」を行う場合もあることから, 株の損傷状況の調査では人力収穫作業と機械収穫作業時の比較を目的とした調査区と「追刈り」と「向刈り」収穫時の株の損傷状況の比較を目的とした調査区を設けた。調査区は調査圃場から任意に 3 畦を抽出し, その畦から長さ 2 m, 幅 0.9 m の調査区を 2 カ所ずつ設置した。

予備試験で株の損傷状況を確認したところ, 株の損傷は株全体が引き抜ける場合と株に裂壊が生じて一部の茎が引抜かれる場合があったことから, 株の損傷状況は茎の損傷率, すなわち, 測定範囲内の全茎数に対して, 引き抜かれたり, 折損が生じた茎の損傷数の割合で示す。

III トラクタ搭載型補植機の開発と性能の評価

1. 既存の補植作業方法

一般的な補植作業の方法には, 鍬や先端の尖った棒 (補植用ツール) で苗投入用の穴を開け, 開孔部に苗を投入する人力作業か, 油圧ショベルのショベル先端に取り付けた開孔器を用いて土壌に苗投入用の穴を開け, その穴に人力で苗を投入する作業方法の 2 種類があげられる。しかし, 前者は穴掘り作業を数多くこなすことが重労働であるために敬遠されており, 後者は油圧ショベルによる土壌踏圧がサトウキビの生育に悪影響を与えることが懸念されており, 利用されている地域も限定されている。そして, いずれの作業においても苗の運搬作業は人力で行われていることから, 補植作業時間が長引くほど作業能率が低下することが推測される。また, 開孔部

表 3 補植機の主要諸元

Table 3 The specification of supplemental planter for sugarcanes

| | |
|--------|---|
| 重量 | 143 kg |
| 動作方式 | 往復動式 |
| 対応トラクタ | 11.0 kW～14.7 kW |
| 所用動力 | トラクタ PTO 軸から確保 |
| 油圧シリンダ | T 社製 70H-8 最高許容圧力 11 MPa |
| 補植器 | 開孔器先端は円錐形、円錐底部直径：77 mm、円錐部長：90 mm |
| 適応苗 | セル成形苗（根鉢形状 上底 5.0 cm、下底 4.0 cm、高さ 5.0 cm） |

に苗を挿入する作業を人力で行う場合においては、屈み込む作業を繰り返し行うので、年輩の生産者からは長時間作業を実施することは困難との声も聞かれる。そして、今後のサトウキビ作においては、受委託作業が進むことが予想され、補植作業においても受託者が限られた時間で大規模な面積を補植しなければならない状況も想定される。そこで、省力化が図れる補植機を開発した。

2. 補植用の苗

本機では補植用苗にセル成形苗を用いる。サトウキビの補植苗には梢頭部や2節苗を用いる場合もあるが、比屋根らによると、2節苗よりもセル成形苗の方が収穫時の茎長、茎数、茎重ともに重く、茎長は1.2倍、茎数は1.6倍、茎重は1.7倍に増加し、統計的に優位差も認められている（Okinawa Agricultural Research Center et al., 2008）。また、新里らによると、NiF8, Ni15, Ni17, Ni21を用いて育苗したセル成形苗の発芽率は90%を超え、ハウスを利用する場合には10月頃から育苗しても十分なセル成形苗が確保されており、自家育苗も可能である（Okinawa Agricultural Research Center et al., 2007）。

3. 補植機構

補植作業の自動化はGPSセンサー（Tsuchiya et al., 2005）や画像センサー（Yamada et al., 2005）を用いることで技術的には十分に可能と考えられた。しかし、サトウキビ生産者や作業の受託者集団の経営状況を考慮した場合、作業者の削減よりも作業効率の向上と製品の価格低減を図る必要があることから、補植作業はトラクタのオペレータと植付け作業者の2名による組作業で実施することとした。補植機は11.0～14.7 kW程度の小型トラクタの3点リンクで支持できるように設計した（図1）。

補植機の主要諸元を表3に示す。開発した補植機は円錐状の器具を畦上に圧入することによって苗挿入用の穴を開孔することを特徴とする。この円錐状の器具を開孔器という。開孔器の上下作動は、植付け作業者が油圧シリンダ（株式会社TAIYO製70H-8）をレバー操作することにより行える。油圧シリンダの最高許容圧力は11 MPaである。開孔器はセル成形苗の形状を考慮し、円錐底部の直径は77 mm、円錐部の長さは90 mmに設定した。開孔器のストローク長は0～40 cmである。セル成形苗と肥料は補植機の両側にある長さ74 cm、幅38 cmの積載棚上に搭載する。本試験では長さ59 cm、幅30

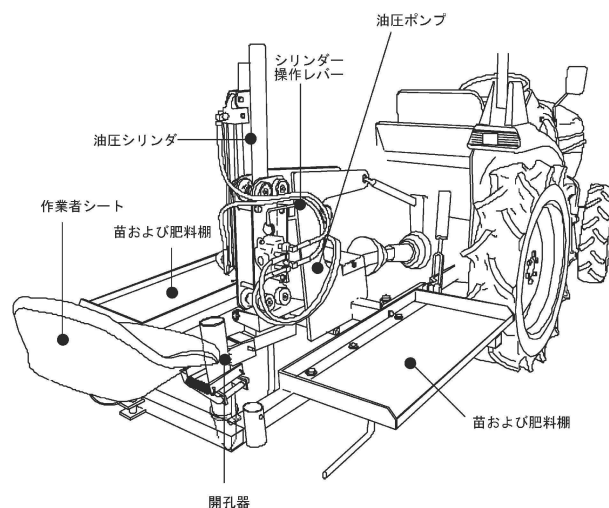


図 1 サトウキビ株出し栽培用補植機

Fig. 1 Supplemental planter for sugarcanes

cm、苗50個入りのトレイを用いたので、苗の積載個数は150個であった。

受委託作業では補植苗の確保のため補植作業の前に、補植箇所を確認し必要苗数を明らかにする必要がある。そのため、補植位置のマーキング作業により補植箇所と必要苗数を確認する作業が組み込まれる必要がある。従って、補植位置の確認作業は、あらかじめ補植位置にカラスプレーなどでマーキングを行うこととした。

補植作業の流れを説明する。開孔器が畦上部にある植付け位置に到達すると、植付け作業者がオペレータに合図を送り、トラクタは走行を停止する。植付け作業者は苗と肥料をあらかじめ挿入した開孔器を地中に圧入し、穿孔した後に開孔器を上昇させる。開孔部への苗の投入は、開孔器を地上に上昇させる過程で、図2に示すように開孔器の側にあるステップを足で押すことにより、開孔器を鉛直筒の下から開放し、植付け穴内部に苗と肥料を投入する。苗投入後の開孔部に覆土を行うことで作業は終了となる。なお、本試験では肥料の投入量を20 gに設定したが、散布量の適正值については栽培試験により確認する必要がある。

4. 性能試験

本機の性能は以下の2点に着目して評価した。開孔深さが土壌硬度の影響を受けることから、作業精度として

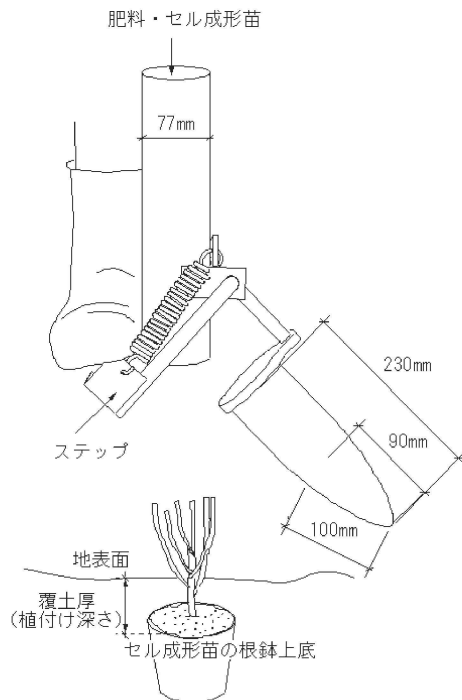


図2 開孔部への苗の投入方法

Fig. 2 Planting method of seedling into open hole part

補植用セル成形苗の植付け深さと土壌硬度の関係を導き、本機の適応性について評価した。また、生産現場におけるサトウキビ圃場の株配置状況を参考に試験圃場を作成し、補植機の作業能率を測定し、人力作業との比較を行った。

IV 結果および考察

1. 不萌芽状況の調査結果

調査結果を表1に示す。調査区Aの欠株率は27.7%、調査区Bは25.4%であり、目視でも株間距離が広く、補植の必要性が確認できた。人力収穫を実施した調査区Cの欠株率は26.4%であり、人力収穫でも収穫機を使用した圃場の欠株率と近い値が得られる場合があることが判明した。また、調査区Dの欠株率は15.6%と比較的低い値を示したが、虫害が芽数の15.3%に発生していたことから、生産者の話では株出し栽培を中断し、植替え作業を行うとのことであった。一方、調査区Eは欠株率が4.4%と最も低く、今後も株出し栽培を継続するとのことであった。調査区Eは比較的欠株率の高かった調査区Cおよび調査区Dから直線距離で3km程度しか離れていないにもかかわらず欠株率が低かった。その理由には生産者の圃場管理が行き届いていることに加えて、水田からの転作圃場であり、比較的水量も豊富であることが虫害の抑制に影響していると考えられた。畑地が水浸することによって虫害の発生率が抑制されることは過去にも報告されており、フローディングは虫害抑制技術の1つとしてあげられることから(Williams et al, 1969)、水

表4 収穫作業時における茎の損傷率
Table 4 Damage rate of stalk at harvesting

| 収穫方式と刈取方向 | 調査区B | | 調査区F | |
|-----------------|------|------------|------------|------------|
| | 人力 | 収穫機 向刈り | 収穫機 追刈り | 収穫機 向刈り |
| サトウキビの 倒伏方向別 | | | | |
| 比率(%) | | | | |
| −45°～45° | 38.9 | 0.0 | 76.0 | |
| 46°～135° | 11.1 | 12.5 | 4.0 | |
| −46°～−135° | 16.7 | 0.0 | 12.0 | |
| 136°～180° | 33.3 | 87.5 | 8.0 | |
| −136°～−180° | | | | |
| 試験区内の茎数(本) | 33 | 36 | 70 | 63 |
| 茎の損傷率(%) | 4.3 | 37.8 | 15.9 | 35.9 |

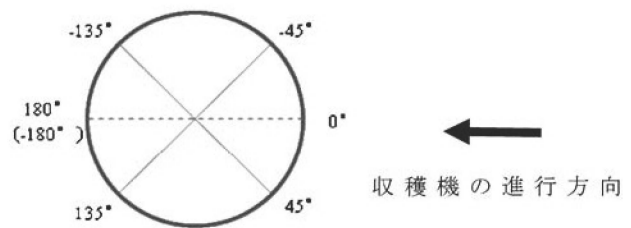


図3 収穫機の進行方向と株の倒伏方向

Fig. 3 Traveling direction of harvester and inclination angle of stalk

田跡地が虫害抑制に有利な環境にあることが推察された。

以上より、調査区Eのように欠株率が低い圃場も見受けられるものの、沖縄県の一般的な株出し圃場の欠株率は15～28%と高く、反収維持または増収のためには補植などの対応が必要であることが明らかになった。

2. 収穫機による収穫時の株の損傷状況

収穫作業時の株の損傷状況について調査した結果を表4に示す。収穫機の進入方向を図3に示すように矢印の方向(0°から180°)とした場合、試験区Bでは38.9%のサトウキビが45°～−45°の方向に倒伏、すなわち進行方向に向かって倒伏していた。この試験における茎の損傷率は37.8%となった。損傷した茎の状態を図4に示す。一方、人力収穫区においても茎に折損などの被害が確認されたが、損傷率は4.3%にとどまった。この結果、機械収穫作業において向刈りを実施した場合における茎の損傷率は人力作業の8倍以上になる可能性が示された。

図5は試験区Fにおける畦上の茎の位置を向刈り区(図5-①, ②)と追刈り区(図5-③, ④)に分けて示したものである。株から萌芽した茎の数は、図5-①では左から2本、3本、6本であったが、他の調査区においても株数は3カ所程度であることが確認できた。試験区Fの向刈り区では76.0%の茎が収穫機の進入方向(45°～−45°の範囲内)に向かって倒伏していた一方、追刈り区では87.5%の茎が収穫機の進入方向(136°～180°−136°～−180°)と同じ向きに倒伏していた。図に示すように向刈り区で株の一部の茎が引き抜かれる場合が多い。

向刈りにより生じる株の損傷状況を視覚的に確認する

ため、ビデオカメラで撮影した結果を図6-①から図6-⑥までの6枚の画像に編集した。収穫茎は収穫機の進行方向に向かって機体中央部あたりにあるが、図6のように機体側面から収穫状況を確認した場合は、茎の一部が機体に隠れてしまい視認しにくい。目視可能な部分を実線で、クロープリフタなどに隠れる部分は点線で表示した。サトウキビは図6-①で収穫機に向かって倒れている茎はクロープリフタのらせん突起により、最初茎



図4 収穫機で収穫した際に引抜けた茎

Fig. 4 Damaged sugarcane by harvesting against lodging

の先端部が上方に持ち上げられた。図6-②、③で収穫機の進行に伴い茎の株もと近くまで起こされた。図6-④で茎が収穫機に押されたような状態で、茎はほぼ直立した。図6-⑤で収穫機によりさらに進行方向に押され茎は初めの倒伏方向と反対側に傾いた。最終的には茎はベースカッターが株元に届く前に地面から抜けた(図6-⑥)。茎の引抜けは図6-⑤に示すような状況において、茎の引込口に入らなかった茎が車体に押し上げられることにより、茎にモーメントが作用したために生じたと考えられたが、追刈りにおいて茎が収穫機に押し曲げられる状況は向刈りと比べて少なかった。

調査の結果、追刈り区における茎の損傷率は15.9%であるのに対し、向刈り区は35.9%となり損傷率に2.26倍の差が示され、追刈りよりも向刈りの方が株の損傷率が高くなることが定量的に明らかになった。

なお、調査区Bと調査区Fは向刈りでの茎の損傷率がそれぞれ37.8%、35.9%と倒伏方向の比率が異なるにもかかわらずほぼ同じ値を示したが、両者は収穫機が異なる、株数が異なる、根の伸や茎長などの生育状況に関する要因も影響すると考えられるため、比較はできない。

3. 補植機の作業性能

(1) 土壌硬度と植付け深さの関係

現在のところ、セル成形苗を用いた補植作業時の覆土厚については明確にされていないが、新里らによるとセル成形苗を補植用苗として用いて収量調査を実施した際、苗の覆土厚は8cmに設定していた(Okinawa Agricultural Research Center et al., 2007)。一方、2節苗などを新植した場合の適正な覆土厚は3~5cmと示されている(Okinawa Prefecture agriculture, forestry and fisheries part, 2006a)、これらの報告を踏まえて、

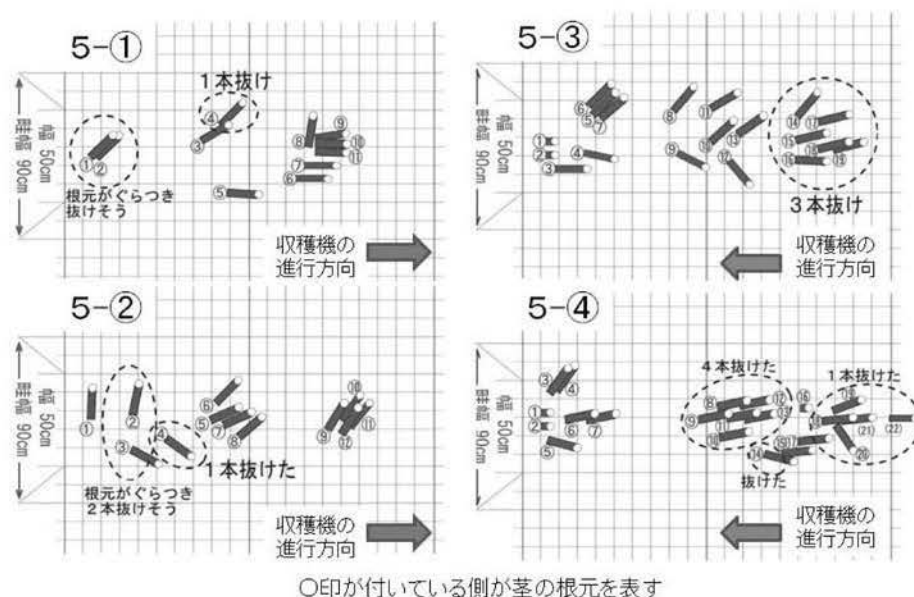


図5 株の倒伏方向と損傷状況の例(試験区F)

Fig. 5 Relation between lodging direction and stalk damage (Experimental field F)



図6 向刈りにてサトウキビが損傷する状況

Fig. 6 Process of damaging sugarcane by harvesting against lodging

表5 苗の植付け深さを確保するのに必要な土壌硬度の境界値と株揃え作業直後の土壌硬度

Table 5 Boundary value of hardness of soil which can secure planting depth of seedling and hardness of soil immediately after work of stock arrangement in fields

| 土壌の種類 | ジャーガル | 島尻マージ | 国頭マージ |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 測定期間 | 2008. 2. 4～ 2008. 2. 19 | 2008. 2. 20～ 2008. 2. 25 | 2008. 2. 15～ 2008. 2. 25 |
| 測定圃場個数 | 6 | 5 | 5 |
| 測定点数 | 29 | 20 | 20 |
| 株出し管理後の含水比(%) | 30.2～41.2 | 30.4～32.2 | 24.4～32.0 |
| 苗の植付け深さ5 cm以上が確保できる 積算土壌硬度の境界値(MPa) | 20 | 13 | 12 |
| 生産現場における株揃え作業直後の 積算土壌硬度の平均値(MPa) | 15 | 10 | 10 |
| 生産現場における株揃え作業直後の 積算土壌硬度の最大値(MPa) | 19 | 11 | 14 |

本試験では覆土厚が5 cm以上になるように設定した。覆土厚はセル成形苗の根鉢の上底と地表面間の距離(以下、植付け深さという)とする。しかし、開発した補植機は往復動式の開孔器を採用しているため、開孔深さは土壌硬度の影響を受ける。また、土壌水分が高いほど開孔部の頂角が増加する傾向が見られた。これは土壌水分が高いほど土壌の粘性が低下し、流動しやすくなるためと考えられた。従って、土壌の含水比が低い場合は、開孔部の頂角は小さく、根鉢が深く入らないことから、結果的に植付け深さが浅くなる。そして、土壌硬度と貫入深さの関係は土壌ごとに異なると考えられた。そこで、土壌硬度と開孔器による植付け深さの関係を求めるとともに、サトウキビ収穫後の圃場における土壌硬度を測定し、補植機の適応性と作業適期について検討した。試験期間はサトウキビの収穫時期内である2008年2月4日から25日までに設定した(表5)。苗の植付け深さは、開孔器を土壌に貫入した後、開孔部に根鉢高さ5.1 cm、上底5.1 cm、下底4.3 cmのセル成形苗を投入し、根鉢の上

底から地表面までの距離をノギスで測定して求めた。土壌硬度の測定範囲は地表面から20 cmまでとし、測定には土壌硬度計(Rimik社製CP-40)を用いた。開孔深さと土壌硬度の関係を示す際の土壌硬度(MPa)には1 cm間隔で計測した20点の値の積算値を用いた(以下、積算土壌硬度という)。なお、含水比は開孔部周囲の土壌を採取して求めた。図7に植付け深さと各種土壌の積算土壌硬度との関係を示す。植付け深さ5 cm以上が確保できる積算土壌硬度について近似曲線から求めた結果、ジャーガルは20 MPa以下、島尻マージ13 MPa以下、国頭マージ12 MPa以下であることが示された。そこで、これらの値を補植作業の可否を決定する境界値として定め、補植機の適応性について検討した。一方、サトウキビの生産現場における土壌硬度を測定した結果、株揃え後の株間の積算土壌硬度の平均値はジャーガル15 MPa、島尻マージ10 MPa、国頭マージ10 MPaとなり境界値を下回った。ジャーガルと島尻マージにおいては、測定データの最大値も境界値以下であったことから、両

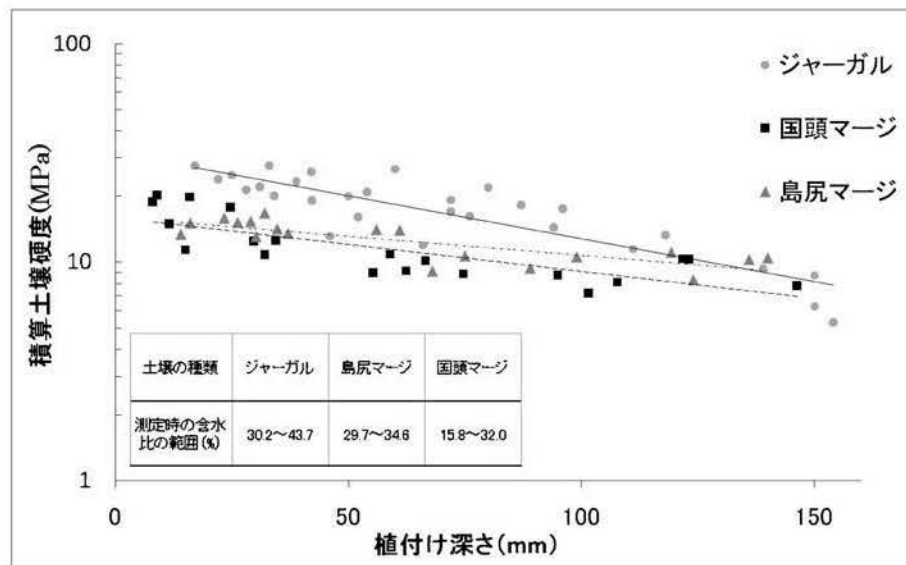


図 7 土壌硬度と植付け深さの関係

Fig. 7 Relation between soil hardness and planting depth

土壌においては本機が適応可能であることが確認できた。しかし、サトウキビの生産現場では、土壌の乾燥が進むと土壌表面が硬化し、土壌硬度が境界値を上回ることも考えられる。土壌の乾燥と土壌硬度の関係については土性も考慮する必要があるため、ここでは測定結果についてのみ述べるに留めるが、株出し管理後5日以上経過した積算土壌硬度の平均値はジャーガル22 MPa、国頭マーヅ15 MPaとなり境界値を上回った。生産農家の話によると、株出し管理後に数日経過した土壌では簡易作業ツールを使用した人力作業においても開孔作業が困難であるため、労働負荷が増大する畝を用いるということであった。以上より、補植作業に本機を使用する場合は株揃え作業終了後、迅速に実行することが望ましいと考えられる。

(2) 補植機の作業能率

補植機の作業性の優位性について評価するため、補植機と一般的な補植作業である人力作業の作業能率について比較した。

試験は沖縄県農業研究センター内のサトウキビ収穫後の圃場において、名護市呉我山にあるサトウキビ株出し圃場の株の配列および欠株の状況を再現して実施した。供試圃場の畦数は4畦、畦長33.5m、畦幅1.4mとした。株間40cm以上の空間を欠株とし、補植作業を行うこととし、補植が必要な位置には予めインクで目印をつけた。補植箇所は合計73カ所であった。10aあたりに換算すると補植箇所は389カ所となった。

補植機を用いた場合の作業の流れは前述したとおりであり、トラクタのオペレータと植付け作業者の2名体制で実施した。人力作業は一般的な補植作業体系である2名作業とし、1名が補植ツールを用いて開孔作業後、残

表 6 補植機の作業能率

Table 6 Work efficiency of development machine

| 項目 | 単位 | 補植機 |
|-----------|-------------------|-------|
| 作業面積 | (m ²) | 187.6 |
| 補植苗数 | (個数) | 73 |
| 作業速度 | (km/h) | 0.97 |
| 作業時間 | (min) | 23.1 |
| 開孔作業時間 | (sec) | 11 |
| 10a 当作業時間 | (h/10 a) | 2.0 |
| 1h 当作業能率 | (a/h) | 4.9 |
| 圃場作業効率 | (%) | 94.7 |

る1名がセル成形苗の植付けと肥料散布を実施した。人力作業についてはAとBの2グループを用意し、人的誤差の有無について確認した。BはAと同じ試験内容を2回連続で繰り返し実施した。試験測定の結果、補植機が補植作業に要する時間は1カ所あたり約11秒であり、作業能率は4.9 a/hであった(表6)。植付け深さの平均値は8.8 cmであり、許容限界である5 cm以上を得ることができた。また、ほとんどの開孔作業があらかじめ印を付けた地点の直上において行うことができ、本作業体系においては作業精度に問題がないことが確認できた。一方、人力作業AとBの作業能率に大きな差は見られず、両者の平均値は4.2 a/hであったことから(表7)、補植機の作業能率は人力作業と比較して14%向上することが示された。人力作業において最も重労働と考えられる開孔作業における1カ所あたりの平均所要時間は約13秒であったが、土壌硬度が高い場合においては補植ツールの利用が困難となる。例えばジャーガルの場合、積算土壌硬度が16 MPaの畦では補植機で開孔した時の植付け深さが7.8 cm程度になるが(図7)、補植ツール

表7 人力作業における作業能率
Table 7 Work efficiency of manual supplement

| 項目 | 単位 | 人力作業 | | |
|----------------|-------------------|-------|-------|---------|
| | | A | B | AとBの平均値 |
| 作業面積 | (m ²) | 187.6 | 375.2 | — |
| 補植苗数 | (個数) | 73 | 146 | — |
| 作業速度 | (km/h) | 0.30 | 0.33 | 0.31 |
| 作業時間 | (min) | 27.1 | 52.5 | — |
| 1カ所あたりの開孔作業時間 | (sec) | 12 | 15 | 13 |
| 1カ所あたりの植付け作業時間 | (sec) | 17 | 14 | 15 |
| 10a当作業時間 | (h/10a) | 2.4 | 2.3 | 2.4 |
| 1h当作業能率 | (a/h) | 4.1 | 4.3 | 4.2 |
| 圃場作業効率 | (%) | 98.6 | 93.0 | — |

では植付け深さ5 cmを確保することは困難であるため、鋤を利用することになる。さらに、植付け作業の平均所要時間は約15秒であったが、土壌水分が高い状態では乾燥状態の場合と比べて覆土に時間がかかる状況が伺えた。従って、補植機の作業では人力作業と比較して土壌条件(硬度や水分)が広い範囲で安定した作業を行うことが可能であると言える。なお、補植ツールの代わりに鋤を利用して開孔する場合、畦上を数回掘削しなければならないこと、掘削された土量が補植ツールを使用するときと比べて多いため、覆土作業にも時間を要することから補植ツールを使用する場合と比べて作業能率が低下する。さらに、補植作業を実施している複数の生産者に作業上の課題について聞き取り調査を実施したところ、開孔作業が労働上最も負担の大きい作業であり、苗の植付け作業においても腰を屈める作業を繰り返し実施することは負担が大きく、長時間行える作業ではないとの回答がえられた。本試験における人力作業の所要時間は、供試面積187.6 m²の時が27分、375.2 m²の時が53分であったため、経過時間に伴う作業能率の低下状況については確認できなかったが、労働時間が1日あたり8時間以上にもなることが想定される補植作業の受委託作業体系では、人力作業体系で対応することは極めて困難であり、実行した場合においても作業能率は本試験結果よりも大幅に低下すると推察される。

他方、既存の補植作業体系には油圧ショベルの先端に開孔器を取り付けて開孔作業を行う場合がある。本機の性能試験を実施した圃場が本試験の条件と異なるため、補植機や人力作業の作業能率と比較することができないことから、1カ所あたりの開孔作業の所用時間を算出して検討した。油圧ショベルでは圃場内での進行を停止する度に7畦程度(8.4 m)を対象に開孔作業を実行できる。沖縄県南城市にある作業面積183.5 m²、補植数73箇所で行った性能試験の結果では、開孔作業1カ所あたりの平均所要時間は13.9秒であった。また、苗の植付け作業は人力で行わなければならないことから、本試験における人力作業と同様に植付け作業には15秒程度を要すると考えられる。従って、油圧ショベルを用いた作業体系では人力作業体系と比較して開孔作業の労働負担は

軽減できるが、補植作業時間の大幅な短縮には至らないと推察された。油圧ショベルを用いた作業体系の導入範囲は沖縄県内の一部地域に限定され、普及範囲を拡大するには至っていない。この理由としては、重労働である植付け作業は人力で行わなければならないことから、長時間労働が可能な作業体系を構築しにくいことに加え、土壌踏圧などの栽培上の課題、オペレータや油圧ショベルの確保に要する資金的な課題もあると考えられる。

以上のように既存の補植作業体系では解決を要する複数の課題が上げられた一方、受委託作業体系を想定して本研究で開発した補植機は、労働が長時間に及んでも安定した作業能率を維持できることに加え、機体が軽量であることから軽トラックなどでの搬送も容易に行え、広範囲での利用が期待できる。

本研究では増収による収益向上が期待できる補植作業を対象に軽労化と作業能率の向上が図れる機械を製作したが、生産現場への導入のためには費用対効果の検証も必要である。今後の課題としたい。

V 摘 要

沖縄県の株出し圃場の欠株状況について調査し、収穫機の収穫作業によって生じる問題点について整理した。また、補植作業の作業能率を向上するために、トラクタ搭載型補植機を開発し、その機能と作業性について検討した。

- 1) 沖縄のサトウキビ株出し圃場の欠株率は15~28%と高いことが確認され、減収を抑制するためには補植が必要であることが示された。
- 2) 機械収穫作業時の株の損傷にはサトウキビの倒伏方向が大きく影響する。追刈り作業時の茎の損傷率は15.9%であったのに対し、向刈りでは35.9%以上となり損傷率に2.26倍の差が確認された。
- 3) 開発した小型トラクタ搭載型補植機の植付け機構は油圧駆動を採用している。地面に対してほぼ垂直に往復運動をする開孔器を用い、開孔部にセル成形苗と肥料を落下投入することの特徴としている。本機の作業能率は人力作業に比べて14%向上することが示された。
- 4) 人力作業では作業継続時間が増加した場合に作業能率

の低下が見込まれるが、補植機では作業能率を維持できるため長時間労働を考慮した作業体系が構築できる。

5) 本機の作業性能は土壌硬度の影響を受ける。本研究では根鉢高さ 5.1 cm, 上底 5.1 cm, 下底 4.3 cm のセル成形苗を用いて補植作業を試みたが、覆土厚 5 cm を確保するための土壌硬度の適応範囲について地表面からの深さ 20 cm までの土壌硬度 20 点の積算土壌硬度で検討した結果、ジャーガルでは 20 MPa 以下、島尻マージでは 13 MPa 以下、国頭マージでは 12 MPa 以下となることが示された。

6) 株揃え作業直後の積算土壌硬度は、ジャーガル 15 MPa, 島尻マージ 10 MPa, 国頭マージ 10 MPa となり、開発した補植機により補植作業が可能であることが示された。

7) 株揃え作業後は土壌の乾燥が進行し、土壌硬度が増大するため、補植作業は、株揃え作業後に速やかに実施することが望ましい。

謝 辞

本研究は平成 19 年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「生産法人・集落営農等を支援するさとうきび機械化システムの開発」の一環として実施されたものである。本研究の実施にあたり、農業研究センター農業技術補佐員宮平守邦氏、農業システム開発班非常勤職員白井高江氏、平良裕輔氏、吉村丈志氏には機器製作から圃場試験に至るまで多大なご協力を頂いた。また、同センター病虫管理技術開発班の安田慶次博士、新垣則雄博士、作物班の比屋根真一氏には欠株率の評価についてご助言を頂いた。これらの方々には心より感謝の意を表する。

References

- Akachi, T., 1996. The forefront of sugarcane mechanization. *Journal of JSAM*, 58 (3), 119-124.
- Japan Meteorological Agency., 2009. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- Miyazato, S., 1986. Cultivation of Sugarcane (in Japanese). Okinawa Prefecture Sugar Industry Promotion Society Co., Ltd. Okinawa, 225-237.
- Okinawa Agricultural Research Center et al., 2007. Technology to which germination of sugarcane seedling is stabilized

(Satoukibi kankeishikenseisekigaiyousyo) (in Japanese) Sugarcane relation examination result outline book, 256-259.

Okinawa Agricultural Research Center et al., 2008. Technology to which germination of sugarcane seedling is stabilized (Satoukibi kankeishikenseisekigaiyousyo) (in Japanese) Sugarcane relation examination result outline book, 258-259.

Okinawa Prefecture Agriculture Forestry and Fisheries Part., 2006a. Sugarcane Cultivation Indicator (Satoukibi Saibaishishin) (in Japanese). Okinawa Prefecture Agriculture Forestry and Fisheries Part, Okinawa, 41-49.

Okinawa Prefecture Agriculture Forestry and Fisheries Part., 2006b. Cultivation Indicator of Sugarcane (Satoukibi Saibaishishin) (in Japanese). Okinawa Prefecture Agriculture Forestry and Fisheries Part, Okinawa, 17-18.

Sugimoto, A., 2007. Sugarcane in all parts of the world (in Japanese). *Sugar Information*, No. 128, 42-49.

Suzuki, N., Kato, N., 2005. The importance of existence of the sugar and starch industries and the community which are observed in the farmers in Hokkaido, Kagoshima and Okinawa (in Japanese). *Agriculture and forestry economy*, JIJI PRESS, Ltd. No. 9678, 10-15.

Taroura, K., Arakaki, N., Uehara, K., Ishimine, M., Kobayashi, A., Nagayama, A., 2007. Control of the Sugarcane Wireworm *Melanotus sakishimensis* (Coleoptera: Elateridae) by a Fipronil Bait. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 51 (2), 129-133.

Tsuchiya, S., Konishi, T., Kubota, J., 2005. Study of control system adjusting quantity of seeding for rice transplanter (Part3). *Journal of JSAM*, 67 (4), 132-139.

Williams, J. R., Metcalfe, J. R., Mungomery, R. W., Mathes, R., 1969. *Pest of Sugar Cane*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 165-166.

Yamada, H., Shimizu, S., Kobayashi, K., Fujii, M., Sasaya, S., 2005. Development of aligning seeder for big and elliptical seeds (Part2) - A seeder equipped with image processing system-. *Journal of JSAM*, 67 (5), 117-123.

Yasuda K, Hokyo N., 1983. Abnormal rationing of summer-planted sugarcane in Minamidaitozima, Okinawa. Reprinted from *Bulletin of Okinawa Agricultural Experiment Station*. No. 8 5-12.

Yasuda K, Hokyo N, Sakamoto M., 1984. Prevention of wireworm infestations of sugarcane cuttings by dipping in isoxathion solutions. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 28 (3), 113-117.

(原稿受理：2008 年 7 月 10 日・質問期限：2009 年 7 月 31 日)

コ メ ン ト

[読者のコメント]

サトウキビ栽培における機械化の基礎的研究として評価できます。論文名に「補植機の開発」とありますが、開発のための基礎調査部分が多く補植機を開発するための機械的な研究が薄い印象を受けます。機械の開発であれば、開発機の特徴や性能、精度調査をもっと充実させるべきではないかと思います。著者の考えをお聞かせ下さい。

[コメントに対する著者の見解]

機械の特徴や性能については、Ⅲ. トラクタ搭載型補植機の開発と性能の評価の覧に、1. 既存の補植作業方法、2. 補植用の苗、3. 補植機構、4. 性能試験という項目を新たに設定し、補足いたしました。作業精度については、畦上の補植予定位置に対する開孔作業の正確性を評価すればよいと考えました。しかし、畦上にマーキングをすれば開孔作業はほぼ補植予定位置で行えることが目視でも明らかになっておりますので、今回は文言のみで整理させて頂きました。補植機については、今後も改良（開発）を進める考えであり、ご指摘の機械的な研究についても深化させていきたいと考えております。

[読者のコメント]

株出栽培における補植作業の機械化は作業能率の向上に非常に有効であると思います。ただ現状では使用するセル苗は高価で、補植機導入費用も必要なことから、今回の作業能率では一般農家が導入するのはやや難しいのではないかと考えます。今後の補植機の改良予定や利用体系などについて、見解・アイデア等ございましたらお聞かせ下さい。

[コメントに対する著者の見解]

沖縄県ではセル成形苗の自家栽培の普及に努めており、2008年2月15日に名護市で開催された「北部地区さとうきび株出管理推進大会」では栽培方法の説明がなされました。また、補植機は一般農家の利用ではなく、生産法人などの受託者集団が利用することを想定しております。従って、「サトウキビ生産法人」などの生産組織が購入し、大規模に作業を展開することで原価償却費についても対応できると考えております。ただし、費用対効果については今後確認する必要があると考えております。

また、補植機構については土壌硬度により作業域が限定されていますので、スクリュウを地中にねじ込むアースオーガーのような開孔機構について検討し、作業域の拡大に努めたいと考えております。