

農業機械化研究所研究報告

第 39 号

Technical Report
of
the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusyo)
Saitama-city, Saitama, Japan
No.39 March 2010

平成 22 年 3 月

農機研報

Tech. Rep.,
Inst. of Agric.
Mach.
39 : 1-50
Mar. 2010

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所
埼玉県さいたま市北区日進町 1 丁目

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution
National Agriculture and Food Research Organization

編集委員会
Editorial Committee

水野 隆史 (委員長) (~H 21.12)	Takashi MIZUNO (Chief)
月山 光夫 (委員長) (H 22.1~)	Mitsuo TSUKIYAMA (Chief)
西村 洋	Yoh NISHIMURA
後藤 隆志	Takashi GOTO
宮原 佳彦	Sumihiko MIYAHARA
金光 幹雄	Mikio KANAMITSU
道宗 直昭	Naoaki DOSHU
高橋 正光	Masamitsu TAKAHASHI
高橋 弘行	Hiroyuki TAKAHASHI
落合 良治	Yoshiji OCHIAI
中村 利男	Toshio NAKAMURA

目次

梅田直円・金谷豊・井上英二・栗原英治

大豆のコンバイン収穫における穀粒損失および汚粒低減技術の開発

緒 言	1
第 1 章 序 論	2
1. 1 我が国における大豆栽培	2
1. 1. 1 大豆栽培の歴史	2
1. 1. 2 大豆栽培面積の推移	2
1. 1. 3 大豆収穫方法の推移	3
1. 2 研究の背景と目的	3
1. 2. 1 研究の背景	3
1. 2. 2 研究の目的と概要	3
1. 2. 3 本論文の構成	4
第 2 章 頭部損失発生要因の解明	4
2. 1 緒 言	4
2. 2 高速度ビデオカメラによる頭部損失発生要因の解明	5
2. 2. 1 刈取り工程の観察方法	5
2. 2. 2 観察結果および考察	5
2. 3 収穫シミュレータによる頭部損失発生要因の解明	6
2. 3. 1 解析方法	6
2. 3. 2 解析結果および考察	9
2. 4 摘 要	11
第 3 章 頭部損失発生要因の幾何学的解析	11
3. 1 緒 言	11
3. 2 刈取り工程の幾何学的解析	12
3. 2. 1 解析方法	12
3. 2. 2 解析結果および考察	15
3. 3 摘 要	17
第 4 章 茎稈飛び出し要因の解析	18
4. 1 緒 言	18
4. 2 切断モデル試験による茎稈飛び出し要因の解析	18

4.2.1	試験方法	18
4.2.2	試験結果および考察	20
4.3	摘要	24
第5章	茎稈飛び出し低減のための切断部設計技術の開発	24
5.1	緒言	24
5.2	頭部損失測定試験による最適設計寸法の解明	25
5.2.1	頭部損失測定試験方法	25
5.2.2	試験結果および考察	25
5.3	摘要	29
第6章	頭部損失低減効果の実証	29
6.1	緒言	29
6.2	切断部の試作	30
6.3	農家圃場試験による頭部損失低減効果の実証	31
6.3.1	試験方法	31
6.3.2	試験結果および考察	31
6.4	摘要	32
第7章	汚粒および脱穀選別損失低減技術の開発	32
7.1	緒言	32
7.2	脱穀試験による脱穀部性能目標の設定	33
7.2.1	実機による脱穀試験方法	33
7.2.2	試験結果および考察	33
7.3	コンケープの試作	34
7.4	通過性、漏下性試験による性能評価	34
7.4.1	試験方法	34
7.4.2	試験結果および考察	35
7.5	汚粒および脱穀選別損失測定試験による性能評価	36
7.5.1	試験方法	36
7.5.2	試験結果および考察	37
7.6	摘要	38
第8章	穀粒損失および汚粒低減技術の実証的評価	38
8.1	緒言	38
8.2	実証的評価試験	38
8.2.1	評価方法	38
8.2.2	評価結果および考察	39
8.3	摘要	41

第9章 総括	41
9.1 頭部損失発生要因の解明	41
9.2 頭部損失発生要因の幾何学的解析	41
9.3 茎稈飛び出し要因の解析	42
9.4 茎稈飛び出し低減のための切断部設計技術の開発	42
9.5 頭部損失低減効果の実証	42
9.6 汚粒および脱穀選別損失低減技術の開発	43
9.7 穀粒損失および汚粒低減技術の実証的評価	43
謝辞	43
引用文献	45
Summary	48

Technical Report of the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)
No.39, Mar. 2010

Contents

Naonobu UMEDA, Yutaka KANETANI, Eiji INOUE, Eiji KURIHARA

Development of Techniques to Reduce Grain Losses and Staining in Combine
Soybean Harvesting

Preface	1
1. Introduction	2
2. Clarification of the Generation Factors of Header Losses	4
3. Geometrical Analysis on Generation Factors of Header Losses	11
4. Analysis of the Factors of Forward Motion of Stalks	18
5. Development of Design Technique of a Cutter-bar to Reduce Forward Motion of Stalks	24
6. Verification of Header Loss Reduction Effect	29
7. Development of a Concave to Reduce Threshing-Separating Losses and Staining	32
8. Evaluation of Technique to Reduce Harvesting Losses and Staining by a Verification Test	38
9. Conclusion	41
Acknowledgement	43
References	45
Summary in English	48

大豆のコンバイン収穫における穀粒損失および汚粒低減技術の開発

梅田直円*・金谷豊**・井上英二***・栗原英治*

2009-9-1 受理

*生産システム研究部

**中央農業総合研究センター

***九州大学大学院

抄 録

大豆のコンバイン収穫における穀粒損失および汚粒の低減技術を開発した。頭部損失の発生部位であるヘッドと脱穀選別損失および汚粒の発生部位の一つである脱穀部に着目し、各部に対し問題発生要因の解明、大豆とコンバインとの相互作用の幾何学的解析、試作および圃場実証試験を行った。頭部損失低減技術の開発では、受刃・刈刃ピッチが 50mm、刈刃刃先角が 20° の狭ピッチ切断部を試作して試験した結果、頭部損失は低減し、特に主茎長が低い場合には標準切断部に対して約半分に低減された。脱穀選別損失および汚粒低減技術の開発では、コンケーブバーが 40mm 間隔に配置されているコンケーブを試作し試験した結果、汚粒および脱穀選別損失は現行のものと比較して低減した。さらに、試作切断部およびコンケーブを 16 戸の農家に貸与し評価試験を行った結果、切断部は「良かった」79%、コンケーブは汚粒低減について「良かった」44%と良好な評価を得た。

緒 言

本論文は、コンバインによる大豆収穫における穀粒損失および汚粒発生の問題解決のため、問題発生要因の解明、幾何学的解析を用いた設計手法の検討、圃場実証による技術開発の過程および農家による評価の結果をまとめたものであり、国産大豆を低コストで安定的に供給できる生産技術を構築するための一要素技術としてコンバイン収穫技術の高度化を図ることを目的とする。

本論文は、「汎用コンバインによる収穫ロス低減技術の開発」(2002~2007年)、「コンバイン収穫における作物体の運動力学的解析手法の開発」(2006年)、「出前技術指導「大豆収穫における穀粒損失、汚粒低減技術」」(2008~2009年)の研究成果を取りまとめたものである。各研究課題における、研究の背景および研究内容は以下の通りである。

研究課題「汎用コンバインによる収穫ロス低減技術の開発」

2002年に(独)農業技術研究機構(現:(独)農業・食品

産業技術総合研究機構(農研機構)を中心に大豆 300A 研究センターが発足し、収量 300kg、Aクラス品質の大豆生産技術の開発を目標に全国各地で大豆の栽培技術の研究が開始された。大豆のコンバイン収穫作業では、規模拡大による作業競合や生育むらにより適期に収穫できず、刈り遅れによる穀粒損失や高水分大豆の収穫による汚粒の発生によって収量低下や商品価値を下げている場合もあった。本研究課題では、問題発生要因の解明、頭部損失を低減する切断部、汚粒および脱穀選別損失を低減するコンケーブの試作を行い、ほ場試験を中心に実証試験を行った。

研究課題「コンバイン収穫における作物体の運動力学的解析手法の開発」

本研究課題は、中央農業総合研究センターと九州大学との共同で実施した。汎用コンバインでは様々な種類の作物を収穫する必要がある。しかし、各種作物は草高、茎の性状、重心位置等の物理的条件が異なり、特定の作物物性を基にしたコンバイン設計手法をそのまま他の作

物に適応することは困難である。そこで、各種作物に普遍的に適応できるコンバイン設計手法を開発するために、1) 作物体の物理モデル構築による動特性の解明、2) コンバイン作用力の数式化による作物体の運動力学的解析、について取り組んだ。本論文では、2) コンバイン作用力の数式化による作物体の運動力学的解析の研究成果をまとめた。

研究課題「出前技術指導「大豆収穫における穀粒損失、汚粒低減技術」

これまでの研究において、刈刃刃先角が小さく受刃ピッチが狭い狭ピッチ切断部によって頭部損失が低減できること、丸棒を平行に配置した開口率の高い大ピッチ平行棒式コンケーブによって汚粒を低減できることを明らかにした。しかし、大豆は地域によって品種、栽培様式、収穫条件が異なるため、普及に移しうる十分なデータ蓄

積されていなかった。一方、先進的かつ意欲的な農家に研究開発した新技術を試行・実証してもらい、新技術を直接体験してもらう制度として、出前技術指導がある。そこで、出前技術指導を活用し、品種、栽培様式、コンバイン型式等の異なる条件下での収穫データを蓄積するとともに問題点を抽出し、実証的試験による評価をまとめた。

本論文でまとめた大豆収穫技術は、大学、普及機関、農家の協力を得て開発され、穀粒損失および汚粒の低減効果があり、実用に耐えうるとの評価を得ることができた。今後、技術内容をさらに精査し、普及を目指す計画である。本技術の導入により、国産大豆を高品質で安定的に生産できる技術が構築され農家の収益の増加が図られれば幸いである。

第1章 序論

1.1 我が国における大豆栽培

1.1.1 大豆栽培の歴史

大豆は、日本食には欠かせない醤油やみそ、豆腐、納豆等の様々な原料として古くから利用されてきた。一般的に国産大豆から作られた豆腐は、輸入大豆から作られた物より色艶や食味が良いと言われており、国産大豆は、輸入大豆と比較して価格が高くてもその需要は大きい⁶⁹⁾。

大豆は、弥生時代 (B. C. 2~A. D. 3 世紀) に中国から渡来したと伝えられている¹³⁾。その後、みそや醤油、豆腐の製造方法が中国や朝鮮半島から伝わり高級貴族の食品として珍重されたが、江戸時代には庶民にも広く普及し、重要な食材の1つとなった⁶⁸⁾。そのため大豆は、明治から昭和初期まで米、麦に次ぐ主要な農作物であった。当時の主要栽培様式であったあぜまめ、間作、混作等は、複雑な地形での栽培であることや作業が煩雑であることからほとんどの作業が手作業であった⁶⁷⁾。その後、播種機やバインダ、ビーンハーベスタの導入によって機械化作業体系が徐々に確立し、規模拡大が図られた^{38) 40) 64) 66)}。

1.1.2 大豆栽培面積の推移

近年の全国作付け面積と一戸当たり作付け面積の推移を図 1-1 に示す⁵⁸⁾。全国作付け面積は、1980 年代には

15 万 ha あったが、冷害による米不足に伴う減反緩和の影響から 1994 年には 6 万 ha まで減少した。しかし、1999 年に施行された「新たな大豆政策大綱」、「水田を中心とした土地利用型農業活性化対策大綱」および 2000 年に制定された「食料・農業・農村基本計画」により大豆政策の方針が転換され、水田における大豆の本作化が本格化した。その結果、一戸当たり作付け面積は、1985 年には 10a 程度であったが 2005 年には 50a と約 5 倍の面積に増加した。また、作付け面積別農家戸数割合も 1ha を超える農家が急増している (図 1-2)。

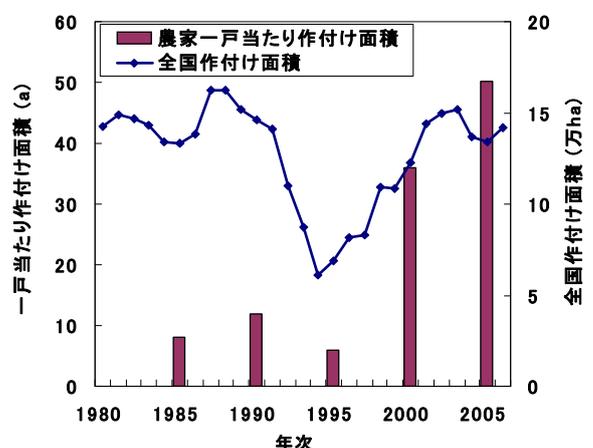


図1-1 大豆の一戸当たり、全国作付け面積の推移

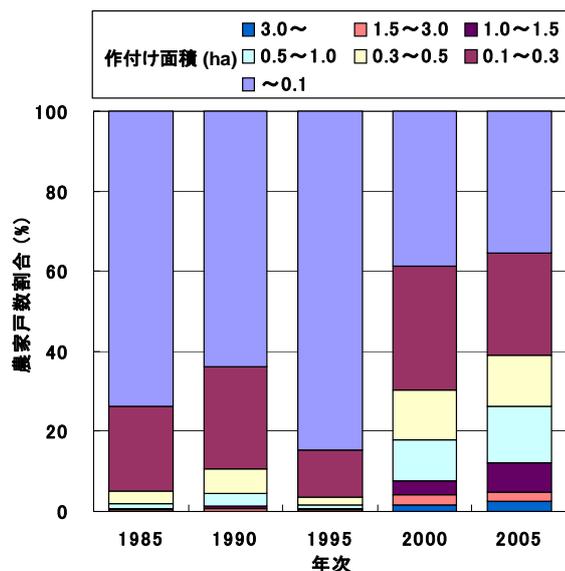


図1-2 大豆の作付け面積別農家戸数割合の推移

1. 1. 3 大豆収穫方法の推移

前述した作付け面積の変化に伴い作業方法も変化している。収穫機械別収穫面積割合の推移を図 1-3 に示す。1980 年代後半では、手刈り・抜き取り・カッターによる手作業の面積割合が 60%以上あり、コンバインによる収穫面積割合は 10%未満であった。しかし、コンバイン収穫面積は、一戸当たり作付け面積が増加し始める 1995 年頃から急増し、2005 年には 70%以上となっている。また、2003 年までは大豆専用コンバインの収穫面積が拡大したが、2005 年にはエンジン出力や作業幅がより大きい汎用コンバインの収穫面積が微増しており、さらに規模拡大傾向にあることが推察される。

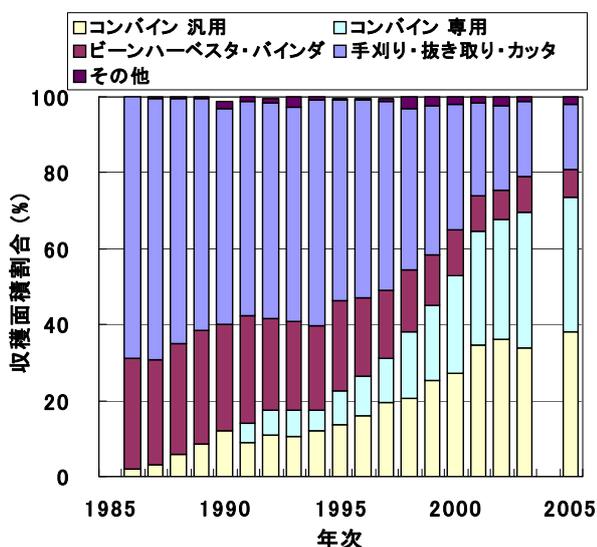


図1-3 収穫機械別大豆収穫面積割合の推移

1. 2 研究の背景と目的等

1. 2. 1 研究の背景

1830 年代に麦収穫を目的とし刈取部と脱穀部を結合した畜力のコンバインが開発され、1930 年代には米国で自走式普通コンバインが普及している¹⁰⁾。日本では1961 年から農事試験場が民間企業と協力し普通コンバインを試作し、水稻収穫への適性について検討している³⁶⁾⁵⁶⁾。1967 年に久保田鉄工(株)(現:(株)クボタ)から直流式普通コンバイン、石川島芝浦機械(株)(現:(株)I H I シバウラ)から軸流式普通コンバインが市販され、国内で製造されたコンバインによる大豆の収穫作業が開始された。

日本の大豆品種は、着莢位置が低く、熟期が揃わない等の特性がある⁵⁷⁾。また、茎が青く残り、莢だけが先に成熟してしまう莢先熟や莢が割れやすい易裂莢性の特性も報告されている⁵²⁾⁵³⁾⁵⁴⁾⁶⁵⁾。このような特性を有していても、ビーンハーベスタ・手刈り一島立て収穫体系では、莢水分 20%以上の時期に着莢位置に合わせて切断し圃場で十分に乾燥した後に脱穀することから、汚粒や裂莢損失、刈残し損失は問題とならなかった¹²⁾¹⁴⁾¹⁵⁾⁴¹⁾⁴⁵⁾。

しかし、これらの特性は、コンバイン収穫体系では次のような問題を誘発する。着莢位置が低い品種では、通常の刈高さでは刈残し損失が発生し、刈高さを低くすると土噛みによる汚粒が発生する¹⁶⁾⁶¹⁾。また、熟期がそろわず未成熟株が混じる品種や莢先熟で高茎水分株が混入する品種は、未熟莢や子実、茎の水分によって汚粒が発生する。逆に、茎水分が低下するまでは場で放置した場合には、裂莢による損失や倒伏の危険性が増加する⁶²⁾。

1. 2. 2 研究の目的と概要

本研究では、コンバインのヘッドおよび脱穀部の改良により頭部損失、汚粒および脱穀選別損失を低減させることを目的とする。

頭部損失の低減では、まず、高速度ビデオカメラによる刈取り状況の観察、リールおよび刈刃軌跡の幾何学的解析と圃場立毛大豆のデータに基づくシミュレーションにより頭部損失の発生要因を分析した。次に、刈取り工程を刈刃の茎稈に対する作用によって分類し、切断による茎稈の飛び出し要因と設計寸法および作業条件との関係を明らかにした。さらに、得られた最適設計寸法によ

って切断部を試作し、実証的実験条件下で頭部損失を測定し、その効果を検証した。

汚粒および脱穀選別損失の低減では、先ず、実機による脱穀試験から脱穀部に必要な性能を分析した。次に、コンケーブを試作し、脱穀部における茎莢の通過性および選別部への穀粒の漏下性について検討した。さらに、圃場試験によってコンケーブの汚粒および脱穀選別損失低減効果について検証した。

1.2.3 本論文の構成

第2章では、頭部損失の発生要因を明らかにするため、刈取り工程の観察および収穫シミュレータによるリールおよび刈刃の大豆への作用の解析を行った。具体的には、高速度カメラによりリール、刈刃の作用、大豆の挙動を観察し、頭部損失の発生要因について分析した。次に、リールタイムおよび刈刃の軌跡と大豆の圃場データから収穫シミュレータを構築した。リールの作用を評価するための指標として、掻込み率、前方倒伏率、掻込み作用角、有効掻込み切断率を定義し、収穫シミュレータで作業条件を変えてリールと刈刃の相互作用を評価した。

第3章では、切断による茎稈の飛び出し発生要因を明らかにするため、切断部の幾何学的解析を行った。刈刃が茎稈におよぼす作用によって刈取り工程を、移動工程、変位工程、切断工程に分類し、それぞれの工程において切断速度比等の作業条件や受刃ピッチ等の設計寸法などをパラメータとした茎稈の飛び出し発生要因を定義し、頭部損失低減に有効なパラメータを検討した。

第4章では、切断による茎稈の飛び出し発生要因を明らかにするため、実機を使った茎切断モデル試験を実施した。先ず、大豆茎稈の曲げ剛性を測定し、大豆の代替となる材料を選定した。次に、実機で茎を切断した時の

重心位置移動速度を測定し、茎を剛体と仮定した場合の理論値と比較検討した。さらに、茎に作用する運動エネルギーがすべてたわみエネルギーに変換されると仮定した時の重心位置移動速度補正式を導き、重心位置移動速度を低減するための最適な設計寸法、作業条件について検討した。

第5章では、切断による茎稈の飛び出し要因と頭部損失との関係を明らかにするため、圃場試験を行った。頭部損失を裂莢損失と落莢損失に分けて茎稈の飛び出し要因との関係を解析し、切断部設計への有効性について検討した。

第6章では、試作切断部の頭部損失低減効果を確認するため、農家圃場において実証試験を行った。先ず、解析結果より得られた設計寸法から切断部を試作した。次に、大豆品種、栽培方法が異なる農家圃場において頭部損失を測定し、切断部によって頭部損失を低減させるのに有効な作業条件を検証した。

第7章では、脱穀部性能目標の設定、コンケーブの試作、コンケーブの性能評価を行い、最適なコンケーブ形状を明らかにした。先ず、脱穀部内の裂莢状況を観察し、脱穀選別損失および汚粒低減のために脱穀部に必要な性能について考察した。次に、コンケーブを試作し、各コンケーブの茎莢の通過性および漏下性を評価した。さらに、農家圃場において各コンケーブによる大豆の汚れ指数および脱穀選別損失を測定し、大豆収穫に最適なコンケーブ形状を検証した。

第8章では、品種、栽培様式、コンバイン型式等が異なる条件下での収穫データを蓄積するとともに問題点を抽出し、穀粒損失および汚粒低減技術の普及を図るため実証的評価試験を行った。

第2章 頭部損失発生要因の解明

2.1 緒言

収穫損失は、発生工程別に頭部損失と脱穀選別損失に分類され、8割以上が頭部損失であることが報告されている⁸⁾。また、Lamp et al.³⁾は、普通コンバインによる大豆収穫時の頭部損失の内訳は、裂莢損失 55%、枝落

ち損失 28%、刈残し損失 18%と裂莢損失が多く、その原因は、a) デバイダと茎のしごき、b) 刈刃による莢の切断と剥離、c) リールのバットと茎のしごきと衝撃、d) 刈刃またはリールにより茎と莢に発生する加速度、e) 直近の株との摩擦としごきと考察している。当時のリールのバツ

トは、放射状に固定されたスラットリールであり、刈刃速度は、作業速度と関係なく一定であった。しかし、近年、日本で広く普及している大豆コンバインは、タインの向きが変わらないユニバーサルリールで、リール回転速度、刈刃速度は作業速度と連動しており⁶⁰⁾、当時の普通コンバインとは構造が異なるため、Quick⁸⁾やLamp³⁾らが報告した頭部損失の発生割合や内訳および発生原因を大豆コンバインにそのまま適応できない現状にある。

また、頭部損失の発生原因の解析については、以下に示す圃場および室内試験での結果がこれまでに報告されている。Dunn¹⁾は、圃場用試験装置を用いてヘッダ構成要素別の頭部損失発生割合を調査している。その結果、頭部損失発生割合は、切断部 81%、リール 6%、オーガ 13%で、切断部による発生割合が最も大きく、リールによる発生割合は小さいことを報告している。しかし、Quick⁷⁾は、ヘッダ部だけをレール上で操作可能な室内試験装置を使い、刈刃、リール、オーガ指数が頭部損失におよぼす影響を調査した結果、リール指数の影響が最も大きいことを報告している。Dunn¹⁾とQuick⁸⁾の報告から、リールの直接的な作用によって発生する頭部損失は少ないが、リールが適切に作用しない場合には他のヘッダ構成要素で頭部損失が発生することが推察される。すなわち、頭部損失を低減するには、リールを個別に解析するのではなく、他の構成要素との相互作用を考察することが重要であると考えられる。

そこで、本章では、高速度カメラによる刈取り状況の観察を行うとともに、リールおよび切断部と大豆との力学的相互作用を再現可能な収穫シミュレータにより頭部損失の発生要因について検討した。

2.2 高速度ビデオカメラによる頭部損失発生要因の解明

2.2.1 刈取り工程の観察

大豆収穫における頭部損失の発生要因を明らかにするため、コンバインのヘッダ上方に高速度ビデオカメラ(フォトロン FASTCAM-NET 500C)を設置し、リール、切断部等のヘッダ部構成要素が大豆におよぼす影響および大豆の挙動を観察した。

供試材料および試験条件を表 2-1 に示す。供試コンバイン(ヤンマー GS320GE)は大豆コンバインとして普及

している型式で、前処理部はリール式である。リール速度比、刈刃の切断速度比はメーカーの標準設定値とし、作業速度は0.4~0.8m/sの範囲とした。供試大豆は主茎型草姿品種のタチナガハで、栽培条件は試験地が位置する茨城県の定めた標準的な栽培基準に従った。ただし、頭部損失発生状況の観察を容易にするために、収穫作業を適期よりも1週間程度遅く実施した。ヘッダ部の撮影は、切断部の真上に高速度ビデオカメラを設置して行った(図 2-1)。撮影速度は250 fps とし、自然光下で撮影した。

表2-1 刈取り工程観察試験の材料および試験条件

試験日	2003/11/12, 13	
圃場	茨城県つくば市	
大豆品種	タチナガハ	
茎, 莢, 子実水分 (%)	19.8, 18.5, 15.4	
主茎長 (cm)	61.2	
最下着莢高 (cm)	21.6	
栽植密度 (本/m ²)	18.3	
コンバイン	ヤンマー	GS320GE
リール回転速度比	1.48	
刈刃切断速度比	1.03	
作業速度 (m/s)	0.4~0.8	
高速度カメラ	フォトロン	FASTCAM-NET 500C
撮影速度 (fps)	250	



図2-1 高速度ビデオカメラによる刈取りの撮影方法

2.2.2 観察結果および考察

大豆収穫では前処理部がリール式のコンバインが一般的であり、先ずリールで大豆を機体側に挿込み切断部で茎稈を切断し、プラットフォームに乗った大豆をオーガで集稈しながらチェーンコンベアに送るのが通常の工程である。高速度ビデオカメラによる観察では、リールが大豆を機体側に挿込み切断する通常の工程に加え、リール

ルが大豆を掻込まずに切断する工程の2種類について観察した。既往の研究で、リールによる衝撃が頭部損失の要因であることが報告されているが³⁾、通常の工程ではリールの衝撃による裂莢は観察されなかった。一方、リールで掻込まない場合には、茎稈が刈刃によって前方へ押されて飛び出すことによって発生する損失が観察された。枝落ち損失および裂莢損失の発生例を図2-2および図2-3に示す。枝落ち損失は、茎稈が切断されるまでにリールの掻込み作用がない場合、刈刃の作用によって頭頂部が前方に傾斜し、切断後プラットフォーム前方へ落下して発生した(図2-2)。また、枝落ち損失は、低主茎長等によってリールの掻込み作用を受けない場合に多く発生することがわかった。次に、裂莢損失は、刈刃の作用



図2-2 茎稈の前方への飛び出しによる枝落ち損失発生状況



図2-3 茎稈とティンバーの衝突による裂莢損失発生状況

によって前方へ傾斜した茎稈と前方より回転してきたリールティンバーの衝突によって莢が弾け発生した(図2-3)。また、裂莢損失は切断による茎稈の傾斜する時の速度が大きい場合にも多く発生することが観察により明らかとなった。

2.3 収穫シミュレータによる頭部損失発生要因の解明

2.3.1 解析方法

1) リールティン軌跡と作物への作用

リールティンの軌跡を図2-4に示す。リールには作物を引き寄せオーガへ掻込むのに適したリール速度比が設定されており、リール上の軌跡は閉トロコイド曲線となる。従って、リール上の点Aの軌跡は式(2-1)で表される。

$$\begin{cases} X_A = R_e \sin \omega_r t + V_a t \\ Z_A = R_e \cos \omega_r t + H_r \end{cases} \quad (2-1)$$

ただし、

$$\omega_r = \frac{K_r V_a}{R_e} \quad (2-2)$$

ここで、 (X_A, Z_A) : 点Aの座標、 R_e : リールの回転半径(mm)、 ω_r : リールの回転角速度(rad/s)、 V_a : 作業速度(m/s)、 t : 時間(s)、 H_r : リール中心高さ(mm)、 K_r : リール速度比である。

また、ティン先端の点Bの軌跡は、式(2-3)で表される。

$$\begin{cases} X_B = R_e \sin \omega_r t + V_a t + L_t \sin \delta_t \\ Z_B = R_e \cos \omega_r t + H_r - L_t \cos \delta_t \end{cases} \quad (2-3)$$

ここで、 (X_B, Z_B) : 点Bの座標、 L_t : リールティン長さ(mm)、 δ_t : リールティン取り付け角(rad)である。

リールティンが作物へ接触した点を点 $P_1(X, Z)$ とした。点 P_1 は、点Bの地表面からの高さが主茎長 H_s (mm)と同じになる点である。従って、 X_1 は、式(2-3)に $Z_B = H_s$ を代入し点Pが点 P_1 に達するまでの時間 t_1 を求めることで導かれる。

$$X_1 = R_e \sin \omega_r t_1 + V_a t_1 + L_t \sin \delta_t \quad (2-4)$$

ただし、

$$t_1 = \frac{1}{\omega_r} \cos^{-1} \frac{H_s - H_r + L_t \cos \delta_t}{R_e} \quad (2-5)$$

次に、閉ループの最大幅となる点を点 $P_2(X_s, Z_s)$ とした。点 P_2 のX座標は、点Bの前進速度が0となる点であり、式(2-3)を時間で微分し $X_s' = 0$ を代入することにより求められる。

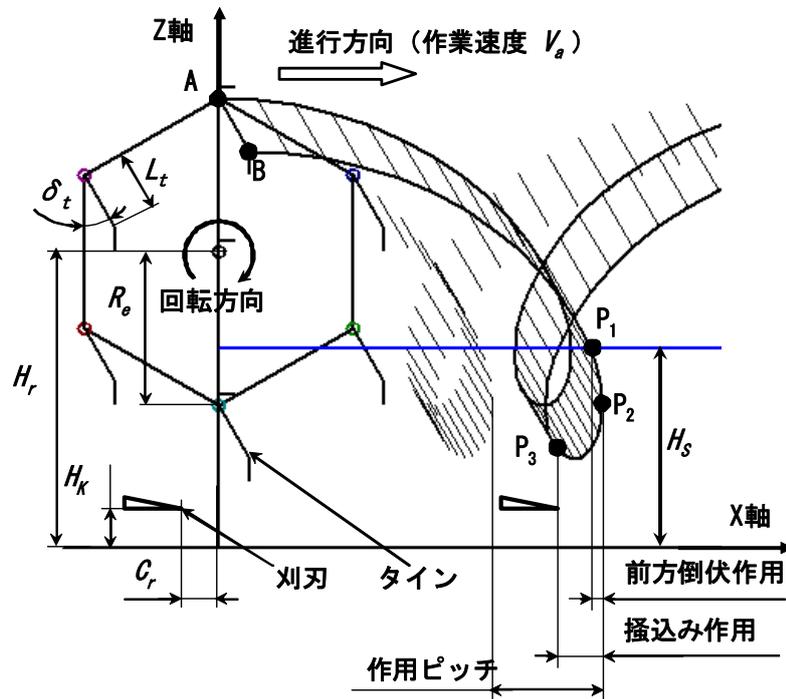


図2-4 リールタインの軌跡

$$X_2 = R_e \sin \omega_r t_2 + V_a t_2 + L_t \sin \delta_t \quad (2-6)$$

ただし,

$$t_2 = \frac{1}{\omega_r} \cos^{-1} \frac{-V_a}{R_e \omega_r} \quad (2-7)$$

また、点 B が刈刃先端の真上を通過する点を点 P₃(X₃, Z₃)とした。刈刃先端(X_k, Y_k)の軌跡は式(2-8)で表される。

$$\begin{cases} X_k = V_a t - C_r \\ Y_k = H_k \end{cases} \quad (2-8)$$

ここで、H_k:切断高さ(mm), C_r:刈刃先端とリール中心との差(mm)である。点 P₃は X_k = X_Bとなる点なので、X₃は、式(2-3)および式(2-8)から点 P が点 P₃に達するまでの時間 t₃ を求めることで導かれる。

$$X_3 = \frac{V_a}{\omega_r} \left(\frac{3\pi}{2} - \cos^{-1} \frac{C_r + L_t \sin \delta_t}{R_e} \right) - C_r \quad (2-9)$$

ただし、

$$t_3 = \frac{1}{\omega_r} \left(\frac{3\pi}{2} - \cos^{-1} \frac{C_r + L_t \sin \delta_t}{R_e} \right) \quad (2-10)$$

主茎長 H_sが点 P₂より高い場合、点 P₁から点 P₂まではタイン先端速度の X 成分は正で作物稈を前方へ押し倒す働きをするため、点 P₁から点 P₂の区間を前方倒伏区間と

定義した。また、点 P₂から点 P₃まではリールタイン先端速度の X 成分は負で作物稈を機体側へ掻込む働きをするため、点 P₂から点 P₃の区間を掻込み区間と定義した。ただし、主茎長 H_sが点 P₂より低い場合の掻込み区間は、点 P₁から点 P₃までとした。さらに、リールタインが大豆稈に接触を開始してから切断されるまでに回転したリール角度を掻込み作用角と定義した。

2) 偏心コマによって駆動される刈刃の軌跡

普通コンバインでは偏心コマによって刈刃が駆動されている場合が多い。偏心コマによって駆動される刈刃の模式図を図 2-5 に示す。偏心コマは角度 α_eで偏心して回転し、ロッドを揺動させる。ロッドは連結棒をかいしてナイフバーと接続しており、刈刃を駆動する。このときの刈刃の変位 D_kは、式(2-11)で表される。

$$D_k = L_1 \sin \alpha_e (1 - \cos \omega_e t) + \sqrt{L_2^2 - [H_e - L_1 \{1 - \cos(\alpha_e \cos \omega_e t)\}]^2} \quad (2-11)$$

ここで、ω_e:偏心コマ回転角速度(rad/s), L₁:ロッド長(mm), L₂:連結棒長(mm), H_e:連結部までの高さ(mm)である。式(2-11)で[H_e-L₁{1-cos(α_e cos ω_e t)}]は必ず正であり最大値は H_eである。従って、H_eが L₂と

比較して十分に小さい場合第2項の時間による変位は無視できる。また、進行方向に対して左端を刈刃の基準位置とすることで式(2-11)は第2項を省略できる。

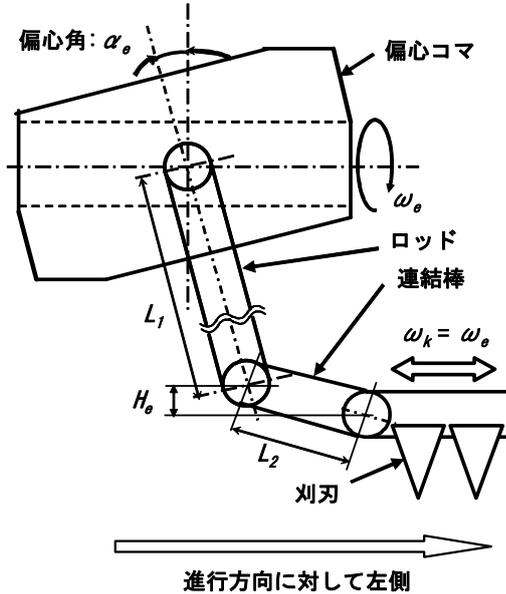


図2-5 偏心コマによる刈刃の駆動

第2項を省略した式(2-11)より刈刃の任意点(X_k, Y_k)の軌跡は式(2-12)で表される。

$$\begin{cases} X_k = V_a t \\ Y_k = P_f (1 - \cos \omega_k t) \end{cases} \quad (2-12)$$

ただし、 $L_1 \sin \alpha_e$ を P_f に、 ω_e を ω_k に置き換えた

P_f : 刈刃の振幅, 受刃ピッチ(mm)

ω_k : 刈刃の角速度 (rad/s)

3) 収穫シミュレータ

試作した収穫シミュレータによりリールの前方倒伏作用および掻込み作用, 刈刃の切断作用を再現し, それぞれの作用割合, 掻込み作用角を算出した。

収穫シミュレータの操作画面を図2-6に示す。収穫シミュレータは, リール作用画面, 刈刃作用画面, 入力・操作画面から構成されている。

リール作用画面では, 前方倒伏作用および掻込み作用が視覚的に確認できる。リールによる茎稈の変形については, 茎稈の一端が鉛直に固定された片持ち梁と仮定し, リールの水平方向の変位量からたわみを求めた。リール作用については, リールライン AB が株の直上に達した時点で主茎長が AB よりも高く前方倒伏区間であった場合に, 前方倒伏作用が働くと判断した。また, 掻込み作用が働く株については, 前方倒伏と判断された株以外で掻込み区間にあり, 主茎長が AB の軌跡よりも高い株とした。さらに, 前方倒伏率については, シミュレーションに用いた茎稈の数に対して前方倒伏作用が働いた茎稈の割合, 掻込み率は掻込み作用が働いた茎稈の割合と定義した。

刈刃作用画面では, 切断, 非切断が確認できる。刈刃の切断工程については, 1枚の刈刃の軌跡内に大豆が存在した場合に切断, 存在しない場合に非切断と判断し, 全体に対する非切断の割合を非切断率と定義した。また, 切断される場合で, リールによる掻込み作用が働いた後に刈刃が大豆を切断した場合を有効掻込み切断と定義し, 全供試大豆の数に対する割合を有効掻込み切断率と定義した。

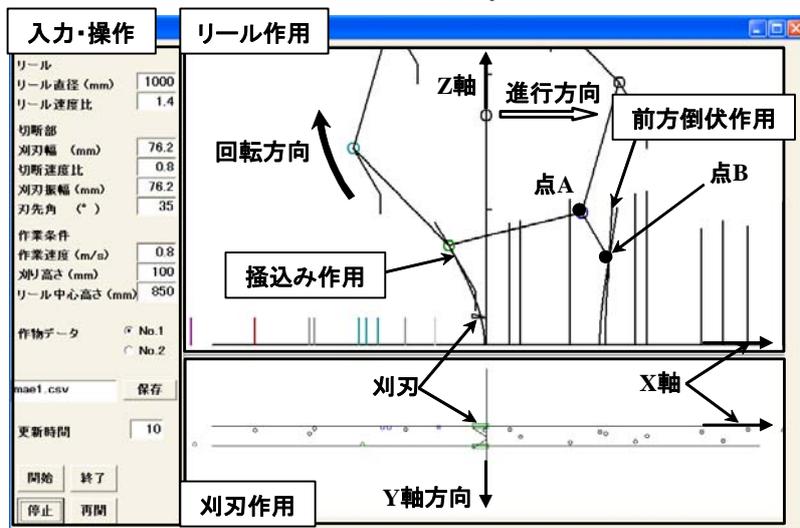


図2-6 収穫シミュレーションの例

入力・操作画面では、リール速度比等のコンバイン作業条件、リール直径等の寸法要素の入力と、シミュレーションの開始、一時停止等の操作ができる。大豆の主茎長、株間のデータは収穫時に圃場で測定したデータをデータベース化し用いた。シミュレーションで最初に出現する大豆はランダムとし、出現パターンを増やすことで解析の偏りを回避した。解析に用いた大豆の品種はタチナガハで、株間 150mm, 2 粒播きで播種しており、主茎長の平均値は 489 ± 53 mm, 株間の平均値は 109 ± 75 mm であった (±以降は標準偏差)。リール速度比は、供試コンバインの大豆収穫作業では 1.4 で設定されているため、1.2~2.0 の範囲でシミュレーションを行った。

2.3.2 解析結果および考察

1) リールの掻込み作用

リールの作用はリールの高さ大豆主茎長との相対的な高さによって変化する。そこで、リール中心高さ大豆主茎長平均値との差 ($H_r - H_s$) を「リール相対高さ」と仮称した。リール速度比別のリール相対高さ掻込み率との関係を図 2-7 に示す。最下端のティン先端が刈刃と接する高さから主茎長平均値の高さまでリールの高さを変位させた場合、リール中心高さは 750~1,150mm となりリール相対高さは 261~661 mm となる。掻込み率は、リール相対高さが 461mm 付近で最も大きくなり、リール相対高さが 461mm よりも大きい範囲ではリール相対高さが

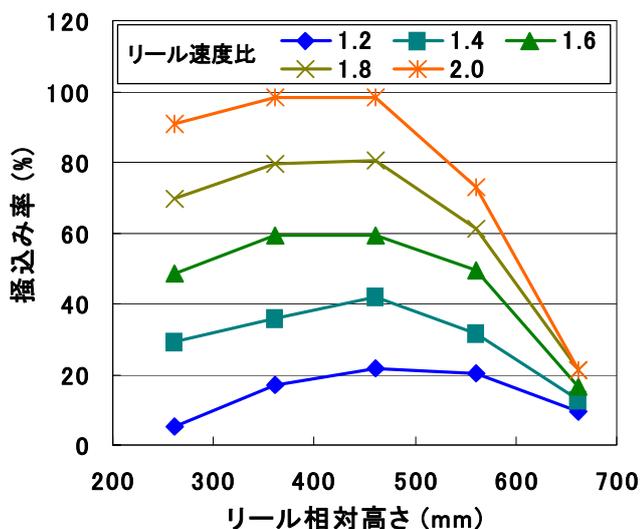


図2-7 リール速度比別のリール相対高さ掻込み率との関係 ($L_t: 200$ mm, $\delta_t: 30^\circ$, $R_e: 500$ mm, $C_r: 0$ mm)

高くなるに従って掻込み率は低下した。また、リール相対高さが同じ場合、リール速度比が大きくなるに従って掻込み率は大きくなり、リール速度比 2.0, リール相対高さ 461mm 付近で掻込み率は 98% となった。また、市販のコンバインで標準的に設定されているリール速度比 1.4 では、リール相対高さ 461mm で掻込み率は最も大きく 42% となった。すなわち、標準的な設定では 58% 以上の茎稈がリールの掻込み作用無しに刈刃で切断されることが明らかとなった。

リール速度比別のリール相対高さ掻込み作用角との関係を図 2-8 に示す。掻込み作用角はリール速度比が大きくなるに従って大きくなる傾向を示した。また、リール相対高さが 361mm で最も大きくなり、それよりもリール相対高さが大きい範囲ではリール相対高さが大きくなるに従って掻込み作用角は小さくなる傾向を示した。

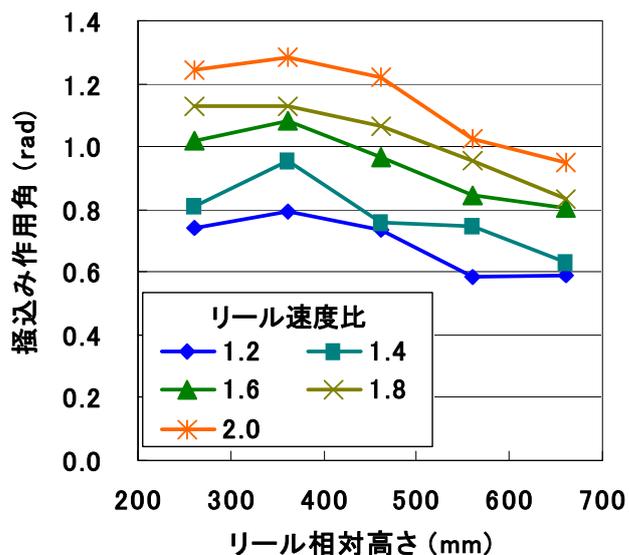


図2-8 リール速度比別のリール相対高さ掻込み作用角との関係 ($L_t: 200$ mm, $\delta_t: 30^\circ$, $R_e: 500$ mm, $C_r: 0$ mm)

2) リール前方倒伏作用

リール速度比別のリール相対高さ前方倒伏率との関係を図 2-9 に示す。前方倒伏率はリール速度比が大きくなるに従って小さくなり、リール相対高さが大きくなるに従って低くなる傾向を示した。また、リール速度比 1.4 の場合、前方倒伏率はリール相対高さが 261mm で 18% と最も大きくなり、561mm 以上では 0% であった。

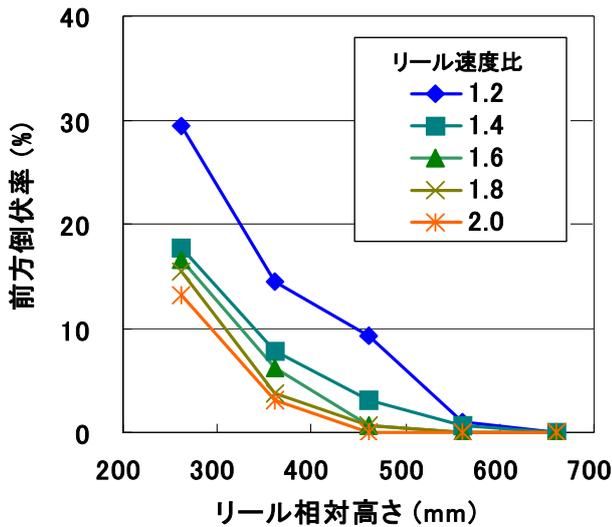


図2-9 リール速度比別のリール相対高さと前方倒伏率との関係
(L_t : 200 mm, δ_t : 30°, R_o : 500 mm, C_r : 0 mm)

3) 非切断率, 有効掻込み切断率

リール速度比別のリール相対高さと非切断率と関係を図 2-10 に示す。非切断率は、リール速度比およびリール相対高さに影響されず、13~16%の範囲であった。リール速度比別のリール相対高さと有効掻込み切断率との関係を図 2-11 に示す。有効掻込み切断率は、リール速度比が大きくなるに従って大きくなり、リール相対高さが 461mm で最も大きくなる傾向を示した。非切断率に対してリール速度比およびリール相対高さは影響が小さいため、有効掻込み切断率は、掻込み率と同様の傾向を示し

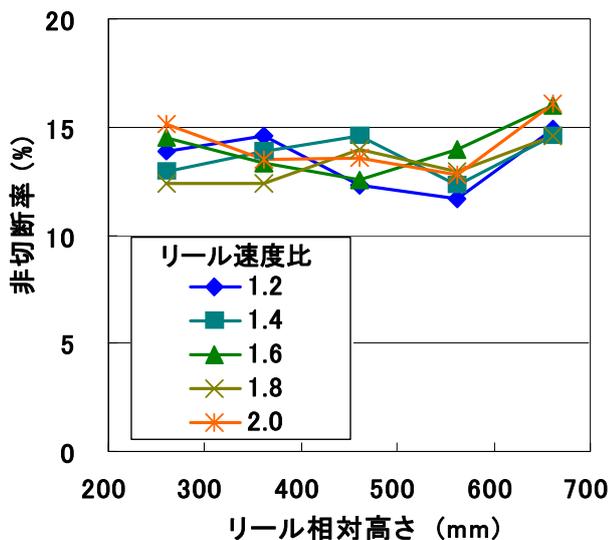


図2-10 リール速度比別のリール相対高さと非切断率との関係
(L_t : 200 mm, δ_t : 30°, R_o : 500 mm, C_r : 0 mm, K_k : 1.03)

たと推察される。リール速度比が 1.4, リール相対高さが 461mm の条件では、有効掻込み切断率は 38%, 非切断率は 14% となり、48% の大豆は、刈刃に接触した後にリールに掻込まれることが明らかとなった。

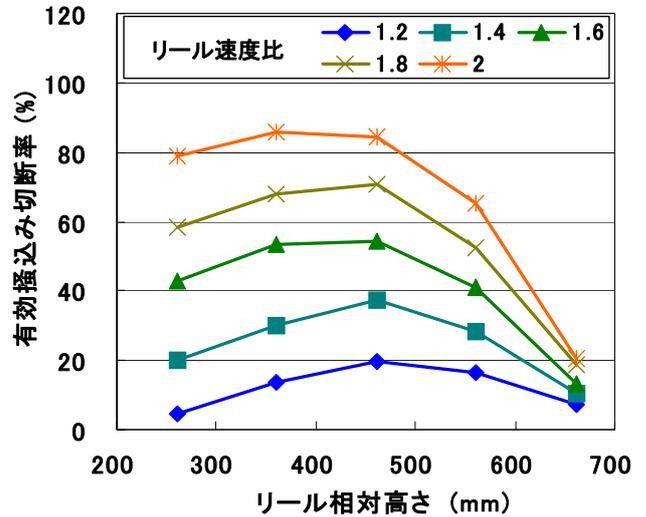


図2-11 リール速度比別のリール相対高さと有効掻込み切断率との関係
(L_t : 200 mm, δ_t : 30°, R_o : 500 mm, C_r : 0 mm, K_k : 1.03)

4) 頭部損失低減のための最適リール速度比

シミュレーションの結果から、リール速度比が小さくなるに従って、掻込み率と掻込み作用角は小さく、前方倒伏率は大きくなることが示された。高速度カメラによる観察により、掻込み作用がない場合に多くの枝落ち損失の発生が確認された。これらの結果から、掻込み率の大きい方が枝落ち損失が低くなるため、枝落ち損失低減にはリール速度比は大きい方が有利であると推察された。また、掻込み作用角が大きくなるとリールと大豆とのしごぎが大きくなり裂莢の危険性が高まる。このことから、裂莢損失低減にはリール速度比は小さい方が有利であると推察された。一方、前方倒伏率が大きくなることでリールによる前方への押倒しが増加し、倒伏損失発生の危険性が高まる。このことから、倒伏損失低減にはリール速度比が大きい方が有利であると推察された。以上より、頭部損失低減に有利となるリール速度比の条件については、本方法では一概に決定することはできなかつた。リール速度比は、既存の研究で 1.2~1.7 の範囲で頭部損失が最も少なくなることが報告されており⁷⁾⁴⁹⁾、供試コンバインの大豆収穫作業における標準リール速度比は

1.4 に設定されている。掻込み、しごきおよび前方倒伏作用が相互に作用した結果、リール速度比 1.4 付近で頭部損失が最も少なくなることが推察された。

5) 頭部損失低減のための最適リール相対高さ

リールタインはプラットフォーム上の大豆をオーガへ送り込む必要があるため、リールの最適高さは掻込みおよび前方倒伏作用のみから一概に決定できない。しかし、大豆の茎莢量が少ない場合など、プラットフォーム上で茎稈の滞留がなく、オーガへの送りがスムーズでタインによる送り込みが必要ない条件下では、リール高さの調節が有効となる。リール相対高さを 400~500mm とすることで、掻込み率が最も大きく前方倒伏率が小さい条件で作業できることが明らかとなった。

6) 頭部損失を低減するための作業条件およびヘッダ構成要素

高速度カメラによる観察によって、リールの掻込み作用がない場合に、切断によって茎稈が前方へ飛び出し、裂莢損失や枝落ち損失が発生していることが示された。シミュレーションによって、供試コンバインで設定されているリール速度比 1.4 では 48%の茎稈がリールによる掻込み作用無しに切断されていることが示された。頭部損失低減には、リールの掻込みが最適に作用する条件で作業するとともに、茎稈の飛び出しが低減される切断部の開発が重要であることが示唆された。

2.4 摘要

頭部損失発生要因を解明するために、高速度カメラによる刈取り状況の観察、収穫シミュレータによるリール

および刈刃の大豆への作用の解析を行い、以下の知見を得た。

1) 高速度カメラによる刈取り状況の観察から、主茎型草姿の品種を収穫する場合には、a) リールが刈刃よりも先に作用した場合には茎稈の落下および裂莢が少ないこと、b) リールが刈刃よりも後に作用した場合には茎稈が前傾し衝突の衝撃が大きく裂莢が多いこと、c) リールが作用しない場合には茎稈が前方へ飛び出し枝落ちが発生することが明らかとなった。

2) リールタインおよび刈刃の軌跡と大豆の圃場データから収穫シミュレータを構築した。また、リールの作用を評価するための指標として掻込み率、前方倒伏率、掻込み作用角、非切断率、有効掻込み切断率を定義した。

3) 頭部損失を低減するためのリール速度比は、掻込み率では大きいほど、掻込み作用角では小さいほど、前方倒伏率では大きいほど有利であった。したがって、リール速度比は頭部損失低減に一概に有利な傾向を示さず、頭部損失には各要素が相互に作用していることが推察された。

4) リール中心高さは、主茎長よりも 400~500mm 程度高い位置で前方倒伏を軽減でき掻込み率が最も大きくなり頭部損失を低減するのに有効である。

5) 大豆コンバインの標準仕様条件下では、58%以上の大豆はリールよりも先に刈刃に接触することが明らかとなった。リールの掻込み作用がない場合に茎稈の飛び出しが発生することから、頭部損失低減には、リールの掻込みが最適に作用する条件で作業するとともに、切断による茎稈の飛び出しが低減される切断部の開発が重要であることが示唆された。

第 3 章 頭部損失発生要因の幾何学的解析

3.1 緒言

江崎³³⁾、松田ら⁶³⁾は、刈刃の運動軌跡から作図した切断図によって刈刃が能動的に作用している面積と作用していない面積の比で表される切断効率から、切断部による作物への作用を考察しているが、損失との関係については言及していない。また、Lamp et al.³⁾は、茎稈の進行方向への最大変位は、作業速度が 0.45m/s より低下す

ると急激に大きくなることを報告している。しかし、対象としているコンバインは前進速度にかかわらず刈刃速度が一定で、刈刃がクランク駆動のため、現在日本で広く普及しているコンバインにそのまま適応することはできない。また、同氏は、切断による茎稈の加速度の増加が裂莢損失の要因であることを指摘しているが、切断速度比や刈高さ等の作業条件が茎稈の加速度におよぼす影

響についての解析的な考察には言及していない。

さらに、イネおよびムギの動切断では切断角 30° 付近で切断抵抗が最低となることが知られている³⁷⁾。これは、この角度より大きくなると茎稈が曲ってすべりを生じることがあり、刈刃から逃げる茎稈が発生するためであると報告されている。大豆でも同様の現象が生じることが考えられるが、本件に関する十分な検討は報告されていない。

そこで、本章では、刈取り工程を刈刃が大豆に作用する工程別に分類し、各工程毎に切断速度比、作業速度等の作業条件をパラメータとして幾何学的に解析することにより、頭部損失の発生要因を検討した。

3.2 刈取り工程の幾何学的解析

3.2.1 解析方法

1) 刈取り工程の分類と発生要因

刈取り工程を刈刃が茎稈に作用する工程毎に分類した。

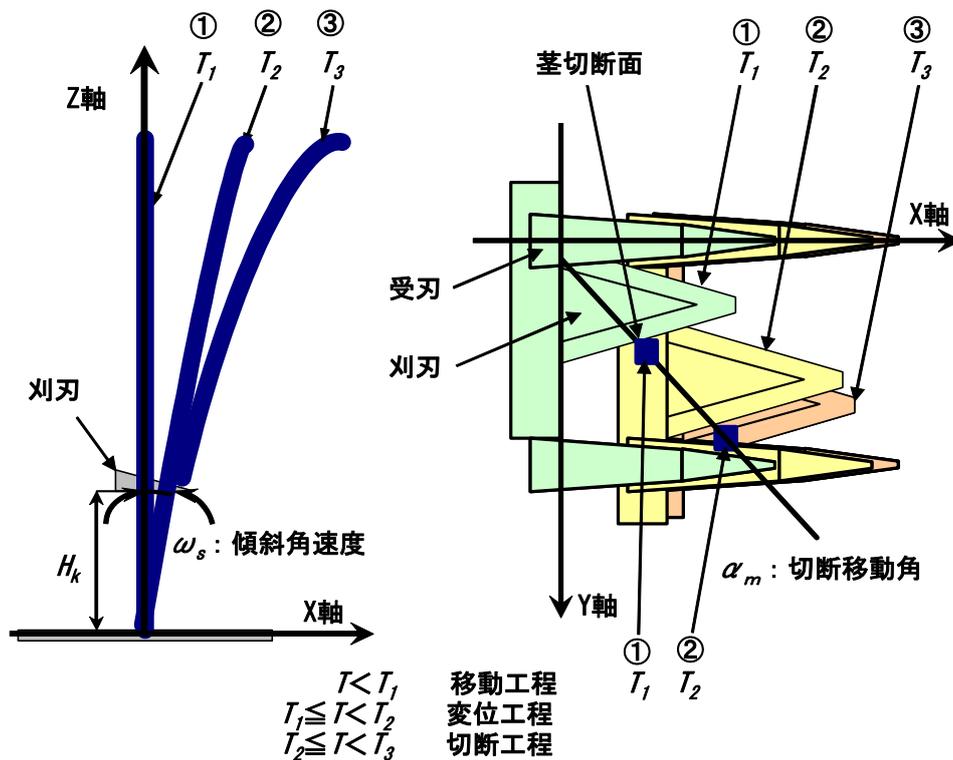


図3-1 刈取り工程の分類

2) 非有効面積割合、非切断面積割合

第2章で示した偏心コマで駆動される刈刃の軌跡を表す式(2-12)から作図した刈刃切断図を図3-2に示す。ここで、刈刃が能動的に働かない面を非有効面、受刃が通

刈取り工程における刈刃、茎稈切断面の動きを図3-1に示す。①の状態は刈刃が茎稈に接した瞬間(T_1)、②の状態は茎稈が刈刃によって斜め前方へ変位し、受刃と接した瞬間(T_2)、③の状態は茎稈が完全に切断された瞬間(T_3)である。刈刃が単独で運動する工程 $T < T_1$ (T :経過時間)を移動工程、刈刃が茎稈切断面を伴って運動する工程 $T_1 \leq T < T_2$ を変位工程、茎稈切断面が受刃によって静止し、茎稈が刈刃によって分離されるまでの工程 $T_2 \leq T < T_3$ を切断工程と定義した。

各々の工程で切断部による茎稈への作用は異なっており、頭部損失の発生要因も異なる。一方、梅田ら²⁹⁾は、切断による茎稈の飛び出しが頭部損失発生の一因であることを報告している。そこで、設計寸法や切断速度比等の作業条件をパラメータとした幾何学的解析により、各々の工程における茎稈の飛び出し要因について考察する。

過する面を受刃面とした。受刃内側で囲まれる面に占める非有効面の割合を非有効面積割合とした。さらに、受刃面内の株は受刃による前方への押し倒しや大きな衝撃の発生が推察され、効果的に切断できない。そのため、

非有効面と受刃面との合計を非切断面とし、受刃ピッチとした。
 で囲まれる面に占める非切断面の割合を非切断面積割合

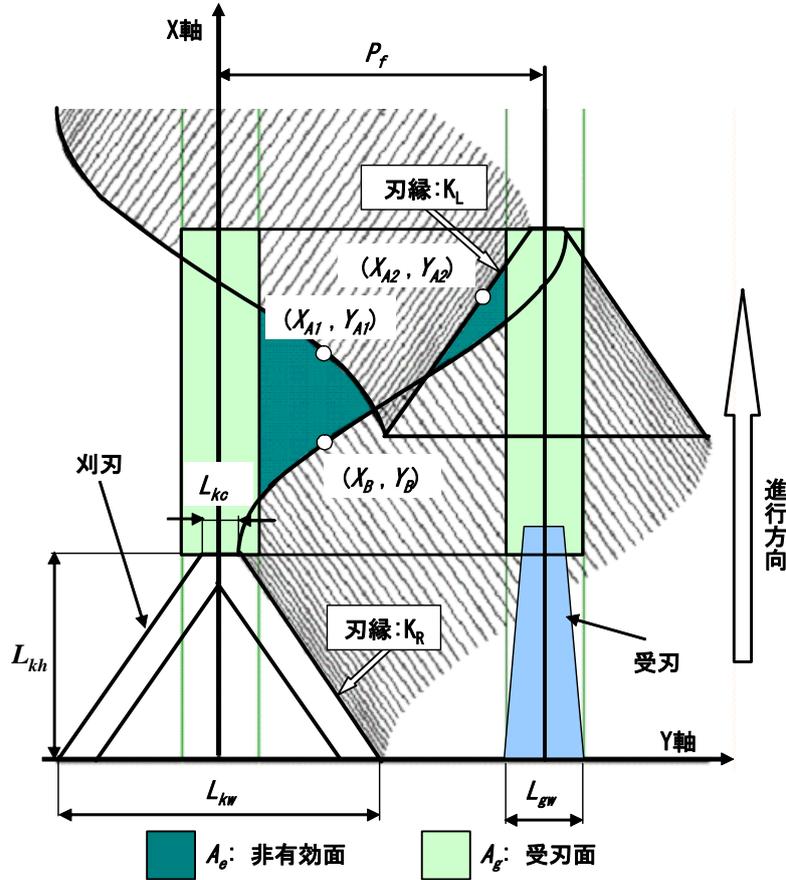


図3-2 刈刃切断図と非有効面

非有効面積 A_e は、刃縁 K_L が能動的に作用するときの刈刃終端 (X_{A1}, Y_{A1}) の軌跡、刃縁 K_L が能動的に作用するときの刃縁 (X_{A2}, Y_{A2}) 、刃縁 K_R が能動的に作用するときの刈刃先端 (X_B, Y_B) の軌跡で囲まれる面積である。それぞれの軌跡は、式(3-1)～(3-3)で表される。

$$\begin{cases} X_{A1} = V_a t + \frac{(L_{kw} - L_{kc}) \tan \beta_k}{2} \\ Y_{A1} = \frac{P_f}{2} (1 - \cos \omega_k t) + \frac{L_{kc}}{2} \end{cases} \quad (3-1)$$

$$X_{A2} = \frac{L_{kh} \tan \beta_k}{2} (Y_{A2} - P_f + \frac{L_{kw}}{2}) + \frac{\pi V_a}{\omega_k} \quad (3-2)$$

$$\begin{cases} X_B = V_a (t + \frac{\pi}{\omega_k}) \\ Y_B = \frac{L_{kw}}{2} - \frac{P_f}{2} (1 + \cos \omega_k t) \end{cases} \quad (3-3)$$

ただし、

$$\omega_k = \frac{\pi K_k V_a}{P_f} \quad (3-4)$$

ここで、 (X_{A1}, Y_{A1}) 、 (X_{A2}, Y_{A2}) 、 (X_B, Y_B) : 刈刃刃縁上の点、 L_{kw} : 刈刃幅 (mm)、 L_{kc} : 刈刃先端幅 (mm)、 L_{kh} : 刈刃長さ (mm)、 L_{gw} : 受刃幅 (mm)、 β_k : 刃先角 (rad) である。

従って、非有効面積 A_e は式(3-5)で表される。

$$A_e = \int_{\frac{L_{gw}}{2}}^{\frac{P_f - L_{kw}}{2}} (X_{A1} - X_B) dY + \int_{\frac{P_f - L_{kw}}{2}}^{\frac{P_f - L_{gw}}{2}} (X_{A2} - X_B) dY \quad (3-5)$$

ただし、 $(Y_{A1} - Y_{B1}) < 0$ の場合 $(Y_{A1} - Y_{B1}) = 0$ ($i=1, 2$)

従って、非有効面積割合 R_a 、非切断面積割合 R_k は、以下の式で求められる。

$$R_a = \frac{\omega_k A_e}{2 \pi V_a (P_f - L_{gw})} \quad (3-6)$$

$$R_k = \frac{\omega_k A_e}{2 \pi V_a P_f} + \frac{L_{gw}}{P_f} \quad (3-7)$$

3) 切断移動角, 傾斜角速度

変位工程では茎稈は刈刃によって斜め前方へ押され受刃に触れるまで変位する。茎稈の前方への飛び出し速度は、飛び出す方向と茎稈の根元の角速度から算出することができる(図3-1)。変位工程では刈刃刃縁上を茎稈が滑らないと仮定して、茎切断面の①から②への変位方向を切断移動角と仮称した。また、変位方向への株の根元の角速度を傾斜角速度と仮称した。

変位工程および切断工程における茎切断面の変位の模式図を図3-3に示す。初期の茎切断面の座標を $S(X_s, Y_s)$ とすると、刈刃が S から受刃内側まで移動するのに要する時間 T_m は、式(3-8)で求められる。

$$T_m = \frac{1}{\omega_k} \left[\cos^{-1} \left\{ 1 - \frac{L_{gw} + L_{kc}}{P_f} \right\} - \cos^{-1} \left\{ 1 - \frac{2Y_s - L_{kc}}{P_f} \right\} \right] \quad (3-8)$$

X軸方向への変位量 X_m は時間 T_m の間に作業速度 V_s で移動した距離から求めることができ、式(3-9)で表される。

$$X_m = V_s T_m \quad (3-9)$$

Y軸方向への変位量 Y_m は、切断部の設計要素から式(3-10)で表される。

$$Y_m = P_f - Y_s - \frac{L_{kc} + L_{gw}}{2} \quad (3-10)$$

切断移動角 α_m は X_m と Y_m の成す角度であり、式(3-11)で

求められる。

$$\alpha_m = \tan^{-1} \frac{X_m}{Y_m} = \tan^{-1} \frac{2X_m}{2P_f - L_{kc} - L_{gw} - 2Y_s} \quad (3-11)$$

切断面の移動距離 D_s は、式(3-12)で表される。

$$D_s = \sqrt{X_m^2 + Y_m^2} \quad (3-12)$$

傾斜角速度 ω_s は、刈り高さ H_k と切断面の移動距離 D_s とのなす角の角速度であり式(3-13)で求められる。

$$\omega_s = \frac{1}{T_m} \tan^{-1} \frac{D_s}{H_k} = \frac{1}{T_m} \tan^{-1} \frac{\sqrt{4X_m^2 + (2P_f - L_{kc} - L_{gw} - 2Y_s)^2}}{2H_k} \quad (3-13)$$

4) 終端切断角

江崎³⁷⁾は、刈刃の切断性能を把握するための指標として、刈刃の刃縁が刈刃の運動方向の垂線とのなす角を切断角と定義している。切断工程における刈刃の茎稈に対する相対的な切断方向を解析するために、刈刃の刃縁が受刃に隠れるときの切断角を終端切断角 λ_k と仮称した(図3-3)。

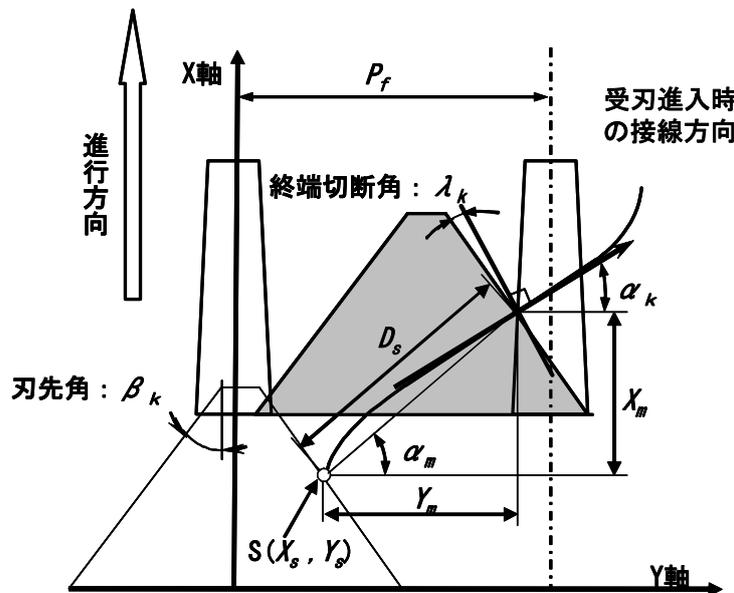


図3-3 終端切断角と角度要素

刈刃上の点 X_k の軌跡の接線と Y 軸とのなす角 α_k は、式(2-12)を微分することで求められる。

$$\alpha_k = \tan^{-1} \frac{2V_a}{P_f \omega_k \sin \omega_k} \quad (3-14)$$

$\sin \omega_k$ を茎稈が刈刃と接してから受刃までの Y 軸方向の移動距離 Y_m を用いて表すと λ_k は、次式で表される。

$$\begin{aligned} \lambda_k &= \beta_k - \alpha_k \\ &= \beta_k - \tan^{-1} \frac{2V_a}{\omega_k \sqrt{P_f^2 - (P_f - 2Y_m)^2}} \end{aligned} \quad (3-15)$$

ただし、

$$\begin{aligned} Y_m &= P_f - \frac{L_{kc} + L_{gw}}{2} - Y_s \\ &= P_f - \frac{L_{kc} + L_{gw}}{2} - (L_{kh} - L_{gh}) \tan \beta_k \end{aligned} \quad (3-16)$$

3. 2. 2 解析結果および考察

切断速度比別の受刃ピッチと非有効面積割合との関係を図 3-4 に示す。受刃ピッチが広く、切断速度比が小さいほど非有効面積割合は大きくなる傾向を示した。非有効面内の株は刃縁 K_k で切断されず隣の刈刃で押された後、刃縁 K_k で切断されるため、前方への変位が大きくなり飛び出し易い状態になると考えられる。次に、切断速度比別の受刃ピッチと非切断面積割合との関係を図 3-5 に示す。非切断面積割合は受刃ピッチが 50mm よりも狭い範囲で急激に大きくなる傾向を示した。これは、受刃面の占める割合が大きくなるためであり、極端に受刃ピッチが

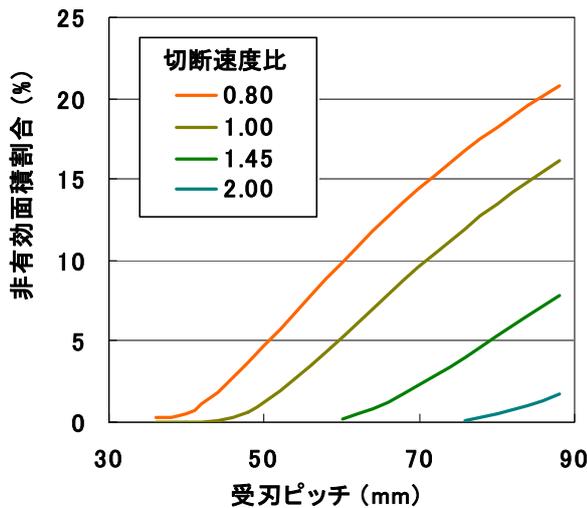


図3-4 切断速度比別の受刃ピッチと非有効面積割合との関係

$L_{kw}:76(\text{mm})$, $L_{kc}:8(\text{mm})$, $\beta_k:35(^{\circ})$, $L_{gw}:76(\text{mm})$

狭くなると受刃で茎稈を押し倒す危険性が高くなることが考えられる。

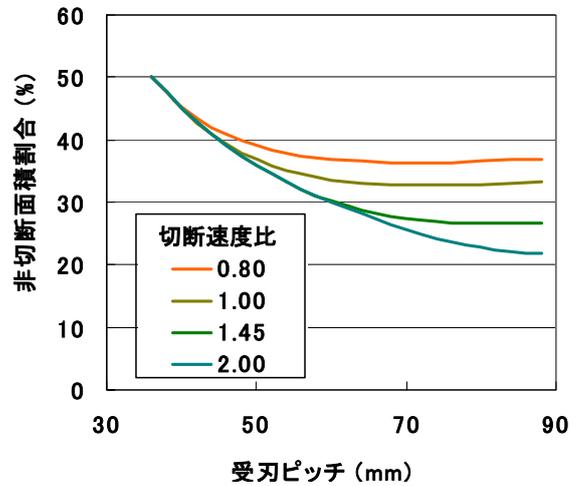


図3-5 切断速度比別の受刃ピッチと非切断面積割合との関係

$L_{kw}:76(\text{mm})$, $L_{kc}:8(\text{mm})$, $\beta_k:35(^{\circ})$, $L_{gw}:76(\text{mm})$

切断速度比別の受刃ピッチと切断移動角との関係を図 3-6 に示す。切断移動角は、切断速度比が小さく、受刃ピッチが広くなるに従って大きくなる傾向を示したが、受刃ピッチが 40~90mm の範囲では 0.04 rad 程度しか変動せず、切断速度比の影響の方が大きかった。切断移動角が大きくなるに従って茎稈の飛び出し速度の X 成分が大きくなり茎稈が前方へ飛びやすくなるため、切断速度比は小さい方が有利であると考えられる。

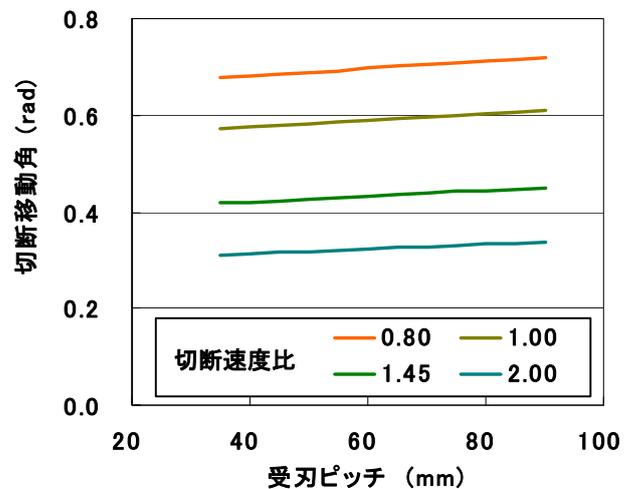


図3-6 切断速度比別の受け刃ピッチと切断移動角との関係

$L_{kw}:76(\text{mm})$, $L_{kc}:8(\text{mm})$, $\beta_k:35(^{\circ})$, $L_{gw}:76(\text{mm})$

切断速度比別の受刃ピッチと傾斜角速度との関係を図3-7に示す。傾斜角速度は、受刃ピッチが狭く切断速度比が大きいほど早くなる傾向を示した。ただし、切断速度比0.8~2.0の範囲で傾斜角速度は10 rad/s程度変動したが、受刃ピッチ40~90mmの範囲では2.5 rad/s程度しか変動せず、切断速度比の影響の方が大きかった。傾斜角速度が大きくなると着莢位置での変位速度が大きくなり、リールやデバイダ等のコンバイン構成要素との衝突によって裂莢し易くなるため、傾斜角速度は小さい方が有利である。また、作業速度が大きく、刈高さが低いほど、傾斜角速度は大きくなる傾向を示した(図3-8、

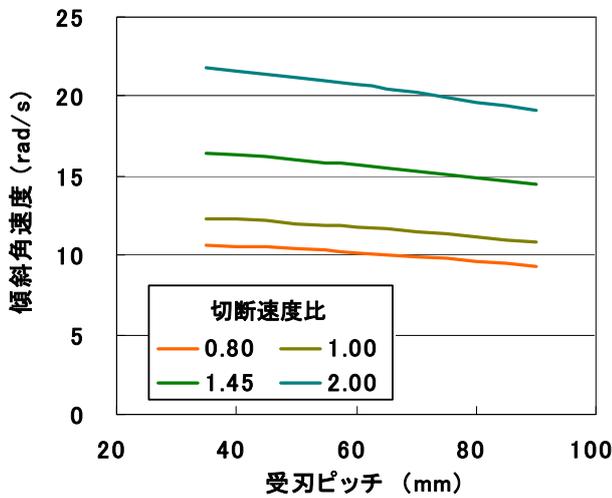


図3-7 切断速度比別の受刃ピッチと傾斜角速度との関係

L_{kw} :76(mm), L_{kc} :8(mm), β_k :35($^{\circ}$), L_{gw} :76(mm)

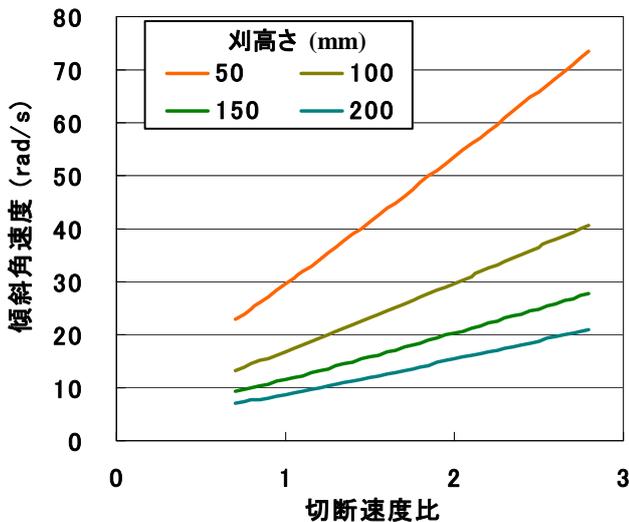


図3-8 刈高さが別の切断速度比と傾斜角速度との関係

L_{kw} :76(mm), L_{kc} :8(mm), β_k :35($^{\circ}$), L_{gw} :76(mm)

図3-9)。既往の研究では、最下着莢高に合わせて刈高さを低くすると頭部損失が増加すると報告されており、その原因として刈残し損失や刈刃による莢の切断などが指摘されている⁴⁸⁾。しかし、刈高さが低い場合には傾斜角速度が大きくなることで茎稈の変位速度が増し、裂莢損失増加の原因となり得ることが考えられる。以上より、傾斜角速度を小さくするためには切断速度比を小さく、刈高さを高く、作業速度を小さくした方が有利であることが明らかとなった。

Y軸方向への変位量別の切断速度比と終端切断角との関係を図3-10に示す。刃先角が小さく切断速度比が小さ

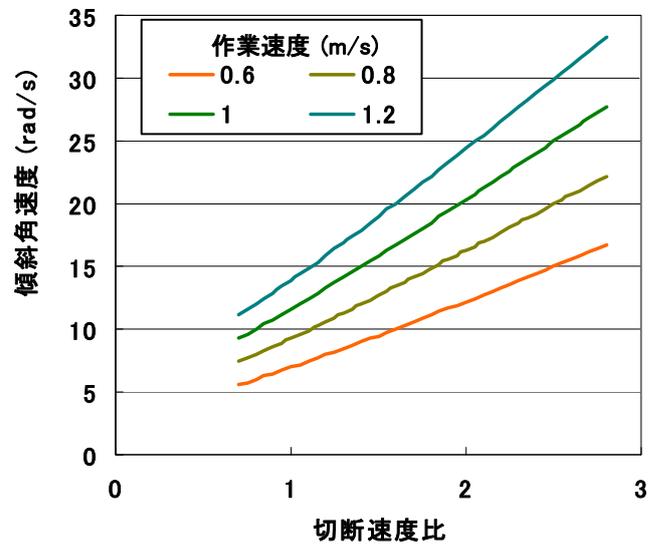


図3-9 作業速度別の切断速度比と傾斜角速度との関係

L_{kw} :76(mm), L_{kc} :8(mm), β_k :35($^{\circ}$), L_{gw} :76(mm)

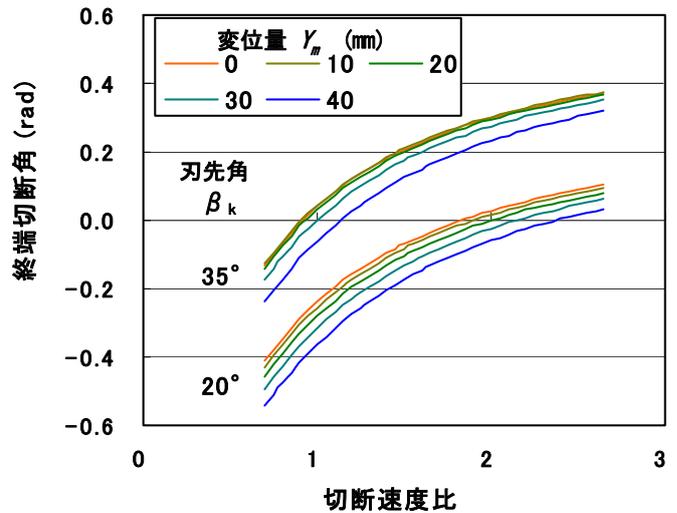


図3-10 Y軸方向への変位量別の切断速度比と終端切断角との関係

L_{kw} :76(mm), L_{kc} :8(mm), L_{gw} :76(mm)

いほど、終端切断角は小さくなる傾向を示した。コンバインで標準的に採用されている刃先角 35° 、切断速度比 1.03 の組み合わせにおいて、終端切断角は $-0.1 \sim 0.1$ rad の範囲にあり、先端の方が小さい傾向を示した。受け刃ピッチ別の切断速度比と終端切断角との関係を図 3-11 に示す。受け刃ピッチが狭いほど、終端切断角は小さくな

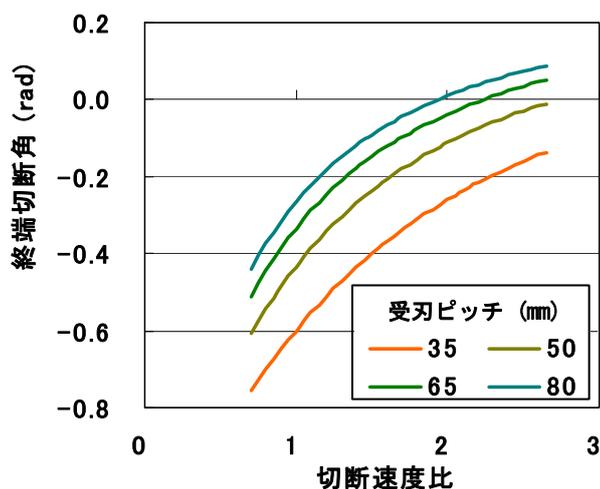


図3-11 受け刃ピッチ別の切断速度比と終端切断角との関係

$L_{kw}: 76$ (mm), $L_{ko}: 8$ (mm), $L_{gw}: 76$ (mm)

る傾向を示した。終端切断角は、切断時の刈刃と茎稈との相対的な運動方向を表しており、終端切断角が正の場合は刈刃が茎稈を前方へ押しながら切断し、負の場合は後方へ引きながら切断することになる。すなわち、正の場合は茎稈が前方へ滑り飛び出す要因となるため、終端切断角は小さい方が有利であると考えられる。したがって、茎稈の飛び出しを抑える終端切断角は、受け刃ピッチを狭く、刃先角を小さくする方が有利であることが明らかとなった。

提案した茎稈の飛び出し要因と要因を支配する作業速度等の作業条件との関係を表 3-1 に示す。作業速度、刈高さは傾斜角速度のみに影響しており、それぞれ小、大が有利である。また、刃先角は終端切断角のみに影響しており小さい方が有利である。切断速度比は、非有効面積、切断移動角が大、傾斜角速度、終端切断角が小で有利である。また、受け刃ピッチは、終端切断角が狭で有利であり、非切断面では 50 mm 以上で有利である。切断速度比、受け刃ピッチは工程毎に有利となる条件が異なるため、頭部損失の要因である茎稈の飛び出しを抑制するのに最適な条件を実験的に検討する必要がある。

表3-1 茎の飛び出し要因と設計寸法および作業条件との関係

現象	倒伏	変位方向	変位速度	すべり
要因	非切断面積	切断移動角	傾斜角速度	終端切断角
切断速度比	大	大	小	小
作業速度	—	—	小	—
刈高さ	—	—	高	—
刃先角	—	—	—	小
受け刃ピッチ	50mm以上	—	—	狭

大：大きい方が有利
狭：狭い方が有利
高：高い方が有利
小：小さい方が有利
—：影響しない

3.3 摘要

刈刃が茎稈におよぼす作用によって、刈取り工程を移動工程、変位工程、切断工程に分類し、それぞれの工程で頭部損失と関係が深い茎稈の飛び出しの要因について切断速度比や受け刃ピッチ等の作業条件、設計寸法などをパラメータとして幾何学的に解析し、以下の知見を得た。

1) 刈刃が茎稈におよぼす影響を明らかにするために、刈刃が単独で運動する工程を移動工程、刈刃が茎稈切断面を伴って動作する工程を変位工程、茎稈切断面が受け刃

によって静止し茎稈が刈刃によって分離されるまでの工程を切断工程と定義した。

2) 移動工程における茎稈の飛び出し要因は、刈刃が能動的に作用しない場合の茎稈の前方への変位であると仮定した。刈刃が能動的に作用しない面を非有効面、非有効面と受け刃面を合わせた面を非切断面と定義した。非有効面は切断速度比が大きく、非切断面は受け刃ピッチが 50 mm 以上で茎稈の飛び出しを抑制するのに有利であることが示唆された。

3) 変位工程における茎稈の飛び出し要因は、茎稈の変位の方向および速度であると仮定し、それぞれ切断移動角および傾斜角速度と定義した。切断移動角は切断速度比が大で有利となり、傾斜角速度は切断速度比が小で有利となることが明らかとなった。

4) 切断工程における茎稈の飛び出し要因は、刈刃と受刃の相対運動の差による茎稈のすべりであると仮定した。

刈刃が受刃に進入する時の切断角を終端切断角と定義し、終端切断角が大きくなると前方へのすべりが大きくなる。終端切断角は、切断速度比が小、刃先角が小、受刃ピッチが狭で有利であることが明らかとなった。

5) 切断速度比および受刃ピッチは各工程で有利となる条件が異なるため、茎稈の飛び出しを抑制するための最適条件を実験的に明らかにする必要性を指摘した。

第4章 茎稈飛び出し要因の解析

4.1 緒言

梅田ら²⁹⁾は、リールが正常に作用しない場合に、切断部による刈取りによって茎稈が前方へ飛び出し、茎稈の前方への落下や莢とリールとの衝突によって頭部損失が発生することを報告している。また、梅田ら³⁰⁾は、刈取り工程を刈刃の作用によって3工程に分類し、それぞれの工程毎に茎稈の飛び出し要因を考察し、切断速度比および受刃ピッチは茎稈の飛び出しにとって有利となる条件が工程毎に異なっており、試験的に最適な条件を求める必要があることを指摘した。

試験的に最適な条件を求めるには外乱要素を排除する必要がある。室内において均一な材料を供試し、収穫作業をモデル化した試験が有効である。コンバインによる大豆収穫を想定したモデル試験として、レール走行式ヘッダによってベルト上に整列した大豆を刈取るモデル収穫試験の報告がある⁶⁾⁷⁾。この報告では、損失を測定するだけでなく大豆が切断される様子や損失が発生する様子などをビデオ撮影し、解析している。また、刈残し高さの変動を測定する場合には、プラスチック棒を大豆茎稈に見立てて小さな変動を測定している。

モデル試験に供試する材料は作物と物性が同等である必要がある。切断によって茎稈が飛び出す運動を試験的に再現するためには、密度や曲げ剛性が重要な要素となる²⁴⁾³⁴⁾。また、曲げ剛性を測定することで固有振動数を理論上算出することができ、運動特性の把握も可能となる²⁾²⁷⁾。

そこで、本章では、モデル試験に供試するのに適した材料を選択するため、茎稈の曲げ剛性を測定した。次に、コンバインを使った茎切断モデル試験を行い、茎稈の飛び出しと刈取り工程毎の飛び出し要因との関係を明らか

にし、切断部の最適な設計条件について検討した。

4.2 切断モデル試験による茎稈飛び出し要因の解析

4.2.1 試験方法

1) 曲げ剛性測定試験方法

梅田³²⁾は、稲稈を剛性が長さに比例して変化する平等強さのはりとして近似式を求めている。また、井上ら²⁵⁾²⁶⁾は、麦稈の曲げ剛性について大たわみ式を適用して近似式を求めている。大豆の茎稈は根元から先端へ向かって細くなっているが、モデル試験に供試する材料は断面形状が一樣なため、本研究では大豆茎稈の断面形状が一樣と仮定し、稲や麦と比較して剛性が高いたわみ量が小さいために小たわみ式を用いた。従って、はりの先端に集中荷重が作用した場合の変位量 x 、荷重 P 、荷重までの距離 L の関係から茎稈の曲げ剛性 EI は次式で求められる。

$$EI = \frac{PL^3}{3x} \quad (4-1)$$

茎稈の曲げ剛性を測定するために、先端にフックを掛け変位量に応じて 1~1.5N 負荷し、先端の変位量を式(4-1)に代入し曲げ剛性 EI を算出した。大豆茎稈は、前年度に収穫し冷温庫で保存した品種タチナガハを供試した。主要物性は、主茎長 64.5±6.0cm、根元直径 7.2±0.7mm、先端直径 3.9±0.7mm、水分 13.2%、密度 453.8kg/m³であった(±以降の数字は標準偏差)。また、モデル試験の代替材料には、比重に近いことからヒノキを供試した。大豆茎稈と同様の方法でヒノキの弾性係数を測定し、曲げ剛性を算出した。ただし、ヒノキの断面は、材料の加工上の問題から正方形とした。

2) 茎の切断モデル試験方法

材料および試験条件を表 4-1 に示す。供試した刃先角 20° の刈刃は自脱コンバイン用（細刃）、 35° は普通コンバイン用（標準刃）である。受刃は普通コンバインの標準仕様で、ピッチが 76mm である。したがって、刈刃ピッチおよび振幅は 76mm とした。試験方法を図 4-1 に示す。大豆の主茎長の平均値 650mm となるように 700mm の茎を厚さ 50mm の台に鉛直に立てた。コンバインは茎に接触し

ないようにリールを上げた状態で 10m 走行し、走行速度が一定になった後に茎を切断した。刈刃が茎と接触してから切断するまでの茎の挙動を上方および側方からビデオカメラで撮影した。上方カメラには、高速度ビデオカメラ（フォトロン FASTCAM-NET 500C）、側方カメラは、家庭用ビデオカメラ（SONY Digital Handycam TRV30）を使用した。重心位置移動速度およびすべりの模式図を図 4-2 に示す。上方カメラの映像からパソコンに取り込んだ刈刃と茎が接触した画像（①の状態）および茎が受刃に接した画像（②の状態）から茎切断面の X-Y 方向の変位を測定し、切断移動角およびすべりを算出した（図 4-3）。また、側方カメラの映像からパソコンに取り込んだ茎が動き始める直前の画像（①の状態）と切断が確認された画像（③の状態）から茎の重心位置の変位量を測定し、茎の重心位置の前方への移動速度を算出した（図 4-4）。また、重心位置の変位速度を重心位置移動速度と定義した。

表 4-1 切断モデル試験の材料および試験条件

供試コンバイン	ヤンマー GS320GE
作業速度 (m/s)	0.40~0.82
切断速度比	0.8, 1.03, 1.45
刈刃刃先角 ($^\circ$)	20 (細刃) 35 (標準刃)
刈高さ (mm)	130
茎材質	ヒノキ
寸法 (mm)	5×5×700
曲げ剛性 ($N \cdot m^2$)	0.62
密度 (kg/m^3)	432.7

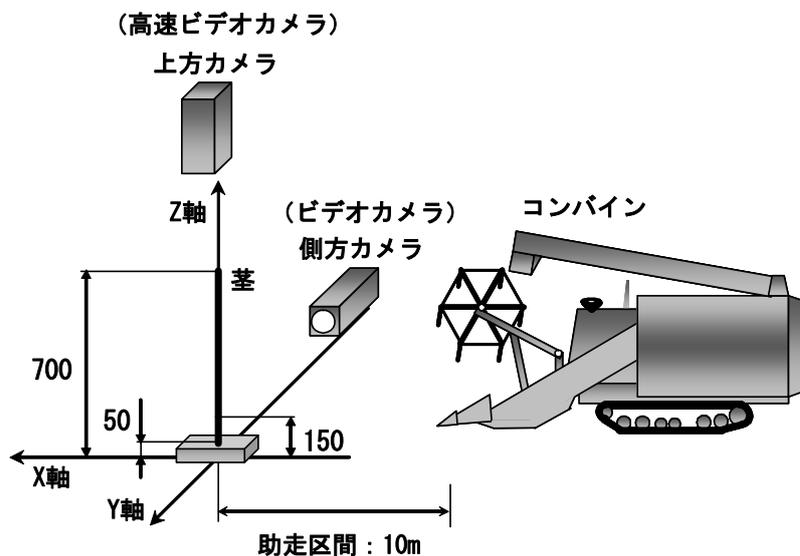


図 4-1 コンバインによる茎切断試験 (単位:mm)

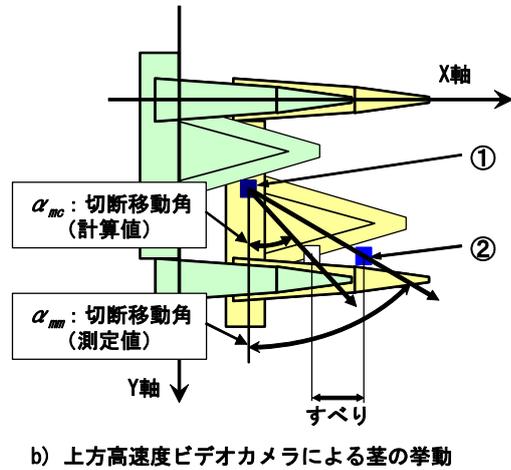
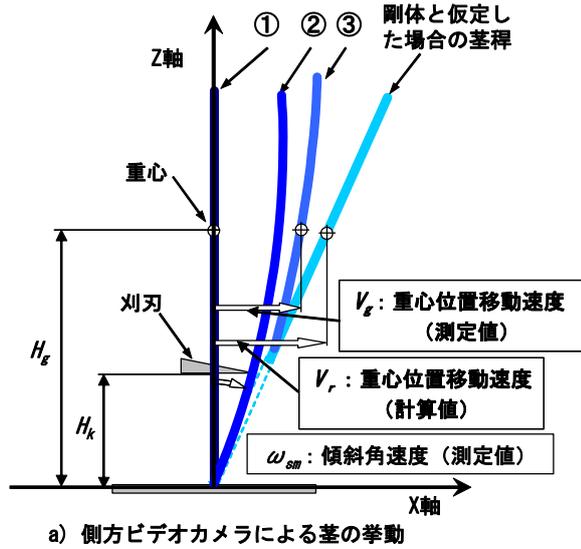


図4-2 重心位置移動速度およびすべり

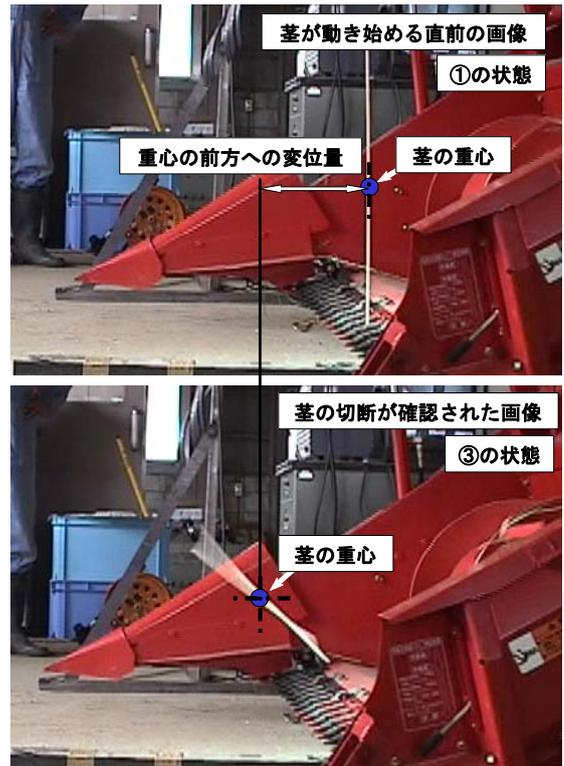


図4-4 側方カメラによる重心位置移動速度の測定例

4.2.2 試験結果および考察

1) 曲げ剛性

大豆茎稈の曲げ剛性の測定値とヒノキの曲げ剛性計算値を図4-5に示す。大豆の測定値は0.3~0.8N・m²の範囲にあり、直径の2乗に比例して大きくなる傾向を示した。

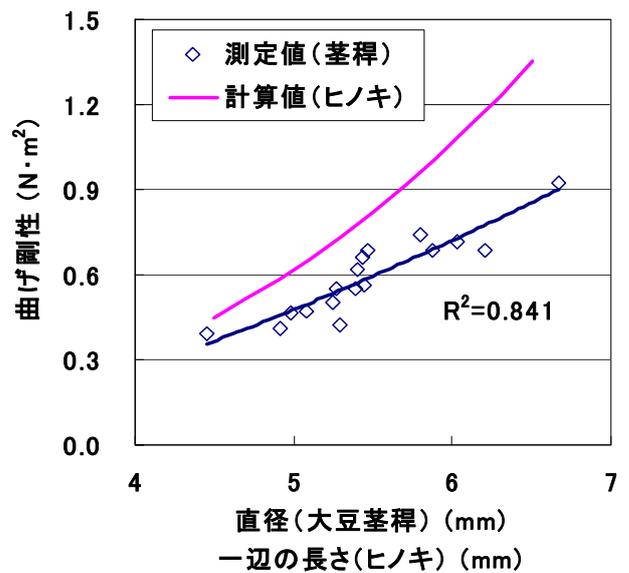


図4-5 大豆茎稈測定値およびヒノキ計算値と曲げ剛性との関係

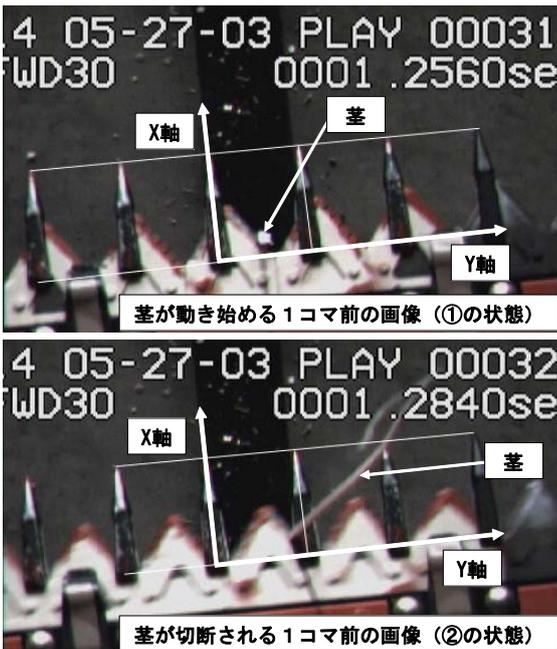


図4-3 上方カメラによる接触位置、切断位置の測定例

ヒノキは弾性係数が 29.6MPa で、式(4-1)に代入した結果 1 辺が 3.5~6.5mm における曲げ剛性は 0.3~1.3N・m² の範囲にあった。大豆の曲げ剛性の平均値 0.58N・m² とヒノキの曲げ剛性が同等となるには、1 辺が 4.9mm と算出された。そこで、製作が容易で迅速に入手可能であることから 5.0mm の材料を使用することとした。

2) 変位工程

変位工程における重心位置移動速度の変動要因は切断移動角と傾斜角速度である³⁰⁾。上方カメラで測定した茎断面の変位 (X_m, Y_m) を式(4-2)に代入し移動切断角 α_{mm} を算出した。また、式(4-3)から傾斜角速度 ω_{sm} を算出した。

$$\alpha_{mm} = \tan^{-1} \frac{X_m}{Y_m} \quad (4-2)$$

$$\omega_{sm} = \frac{1}{T_m} \tan^{-1} \frac{\sqrt{X_m^2 + Y_m^2}}{H_k} \quad (4-3)$$

ただし、 T_m : 刈刃が茎稈と接してから切断までに要する時間(s)

$$T_m = \frac{1}{\omega_k} \left[\pi - \cos^{-1} \left\{ 1 - \frac{4(P_f - X_m - L_{kc})}{P_f - L_{kc} - L_{gw}} \right\} \right] \quad (4-4)$$

作業条件、設計寸法から算出した移動切断角の計算値 α_{mc} と測定値 α_{mm} との関係を図 4-6 に示す。測定値は計算値よりも大きく、切断速度比が 1.03 では計算値との差がとくに大きくなる場合があった。測定値が計算値より大きくなったのは、切断工程においてすべりが生じたためであり、切断速度比 1.03 で大きな値が発生したのは、刈刃と茎との摩擦が小さいために変位工程においてすべり

が生じたためと推察された。傾斜角速度の計算値 ω_{sc} と測定値 ω_{sm} との関係を図 4-7 に示す。計算値は測定値と良く一致し、導出した計算式は茎の挙動を精度良く推定できた。

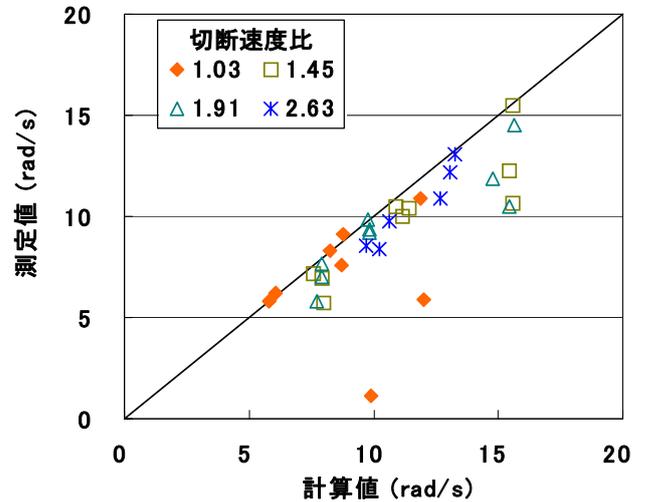


図4-7 傾斜角速度の計算値と測定値との関係

茎を剛体と仮定し、茎断面の変位から算出した切断移動角、傾斜角速度から算出される重心位置移動速度 V_r は、

$$V_r = H_g \omega_{sm} \sin \alpha_{mm} \quad (4-5)$$

で求められる。重心位置移動速度の計算値 V_r と側方カメラから測定した重心位置移動速度の測定値 V_g との関係を図 4-8 に示す。測定値は切断速度比が 1.03 では計算値よりも大きいですが、1.45, 1.91, 2.63 では小さい傾向を示した。1.91, 2.63 で低い要因は茎を剛体と仮定したため

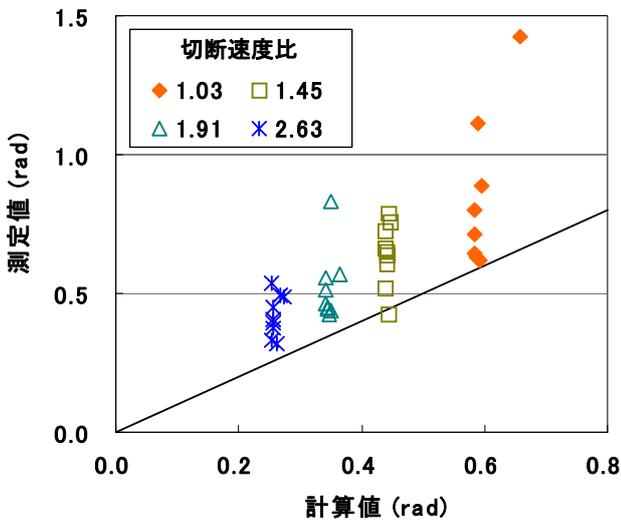


図4-6 切断移動角の計算値と測定値との関係

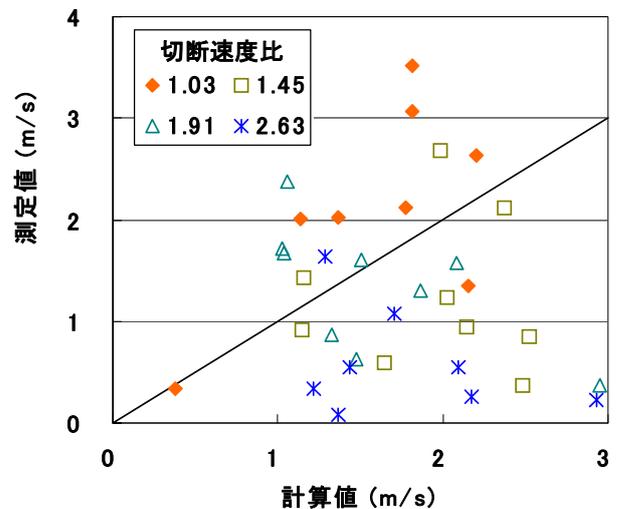


図4-8 切断移動角と傾斜角速度による重心位置移動速度の計算値と側方カメラによる測定値との関係

と考えられる。曲げ剛性測定試験の結果から、茎は曲げ剛性 $0.62 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ の弾性体であり、刈刃の衝突による慣性力の働きによって進行方向に対し負方向にたわみが生じ、重心位置移動速度の測定値が低くなったと推察される。

そこで、衝突時に茎が受ける運動エネルギーが全てたわみの位置エネルギーに変換されたと仮定し、重心位置のたわみを算出した。刈刃が衝突した瞬間と切断直後の茎の模式図を図4-9に示す。静止している茎 S_0 に刈刃が速度 V_k で衝突した時、慣性力によって茎全体に等分布荷重 q が働き S_1 の状態までたわみ、その状態のまま S_2 まで傾斜し切断されると仮定する。このときの重心位置のたわみを δ とする。運動エネルギーが全てたわみエネルギーに変換されると仮定すると

$$\frac{\rho A V_k^2}{2} = \frac{K \delta^2}{2} \tag{4-6}$$

となる。 K はバネ定数で荷重と変位量 X から

$$K = \frac{q L_s}{X} \tag{4-7}$$

で求められる。衝突時の茎は突出はりに等分布荷重が作用している状態なので、刈刃より上の茎上の任意点 (X, Z) のたわみ量は

$$X = \frac{qZ \{ [6(L_s - H_k)^2 - 4(L_s - H_k)Z + Z^2] - H_k \{ H_k^2 + (L_s - H_k)^2 \} \}}{24EI} \tag{4-8}$$

から求められる。式(4-7)を式(4-6)に代入し、重心座標を $Z = H_g$ として K を求めると、式(4-5)から重心位置の変位量は次式から算出できる。

$$\delta = \frac{V_k}{g} \sqrt{\frac{\rho A (L_s + H_k) (13L_s^3 - 40L_s^2 H_k + 31L_s H_k^2 - 27H_k^3)}{384EI}} \tag{4-9}$$

ただし、 A : 茎断面積 (m^2)、 g : 重力加速度 (m/s^2) である。したがって、茎を弾性体と仮定したときの補正後の重心位置移動速度 V_e は次式から算出できる。

$$V_e = V_r - \frac{\delta}{T_e} \tag{4-10}$$

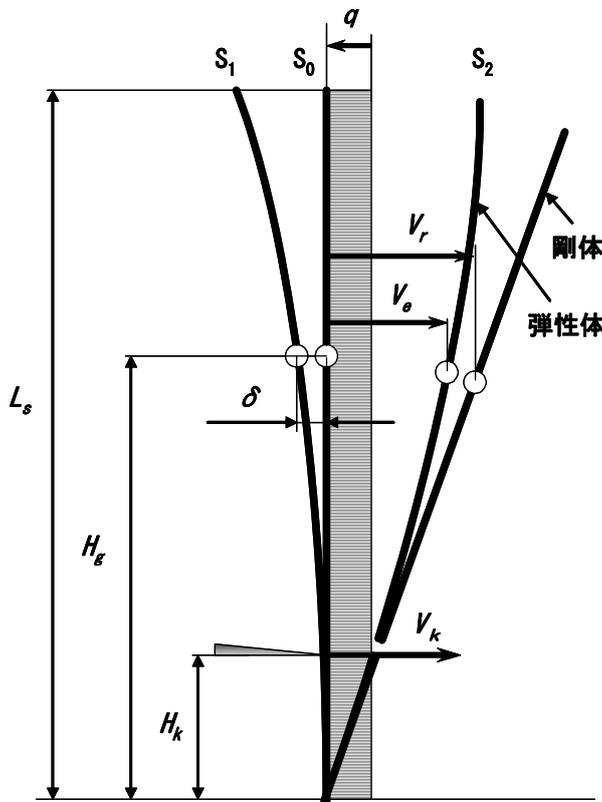


図4-9 弾性体と剛体の重心位置移動速度

補正後の重心位置移動速度の計算値 V_c と測定値 V_m との関係を図 4-10 に示す。補正後の計算値と測定値の精度は改善され、補正することで重心位置移動速度を比較的精度良く算出することが可能となった。ただし、今回の補正では機体側にたわむことを想定しており、計算値より測定値が大きい場合には補正しなかった。切断速度比 1.03 の場合には計算値よりも大きい測定値が多く、十分に補正できなかった。刈刃速度、切断までの時間等によって茎が前方へたわむことも想定されるため、切断速度比が小さい場合には時間を考慮したシミュレーションが必要であることが示唆された。

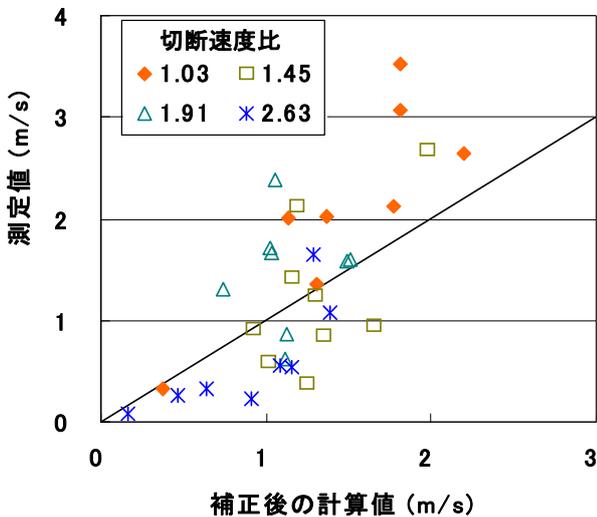


図4-10 重心位置移動速度の補正後の計算値と側方カメラによる測定値との関係

切断速度比別の受刃ピッチと補正後重心位置移動速度の計算値 V_c との関係を図 4-11 に示す。重心位置移動速度は切断速度比が大きいほど小さくなる傾向を示した。また、受刃ピッチが 80mm 以下の範囲では受刃ピッチが狭くなるほど重心位置移動速度は小さくなり、重心位置移動速度の傾きは大きくなる傾向を示した。大豆コンバインで標準的に設定されている切断速度比 1.03 では、重心位置移動速度は受刃ピッチ 65mm 付近から急激に低下しており、それ以下の受刃ピッチが頭部損失低減には有利であると推察された。

3) 切断工程

切断工程における重心位置移動速度の変動要因は終端切断角である。設計パラメータから算出した切断移動角

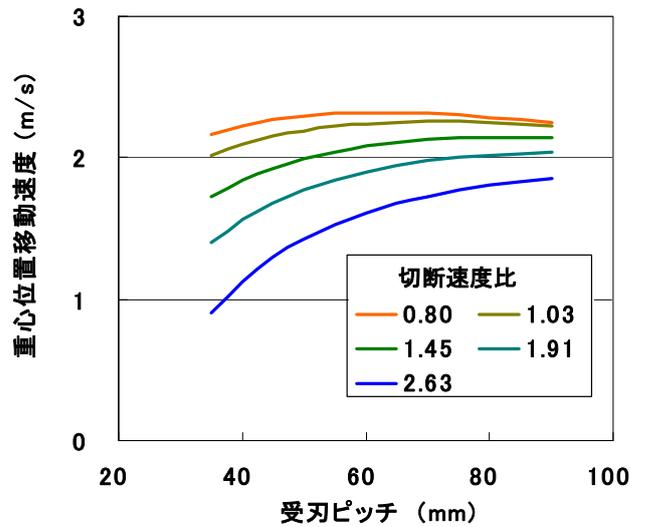


図4-11 切断速度比別の受刃ピッチと補正重心位置移動速度との関係

α_{mc} の方向に変位した場合の切断面②と上方カメラで測定した茎の切断面との X 方向の差をすべりと定義した (図 4-2)。すべりと重心位置移動速度測定値との関係を図 4-12 に示す。刃の形状に関係なくすべりが大きいほど重心位置移動速度は大きい傾向を示した。また、細刃のすべりの平均値は 3.6mm、標準刃は 5.5mm で細刃の方がすべりにくい傾向を示した。切断速度比と終端切断角、すべりの平均値との関係を図 4-13 に示す。終端切断角は切断速度比が大きくなるに従って大きくなり、標準刃では 1.03、細刃では 1.91 付近で 0° に最も近くなった。すべりは、標準刃では切断速度比が 1.03、細刃では 1.91

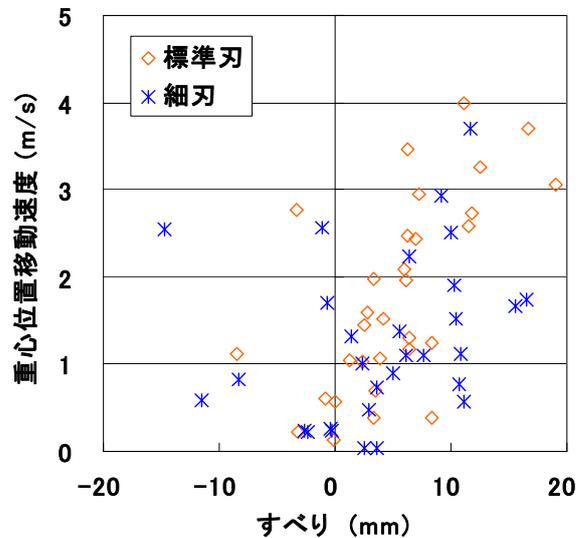


図4-12 すべりと重心位置移動速度との関係

で最も小さくなった。前述のようにこの切断速度比での終端切断角は 0° 付近で、この時にすべりは最も小さくなる傾向を示した。終端切断角が 0° より離れると刈刃は茎との相対的な変位が大きくなるとともに刃縁が茎を通過する時間が長くなる。その結果、前方へ押し出す作用が大きくなり、すべりが大きくなったと推察された。以上より、標準刃の場合には切断速度比 1.03、細刃の場合には切断速度比 1.91 付近が重心位置移動速度を低減するのに有効であることが示された。

4) 最適刃先角および切断速度比

変位工程における考察から重心位置移動速度を低減するためには、切断速度比を大きくし受刃ピッチを狭くすることが有効であることが示された。また、切断工程の考察から標準刃では切断速度比 1.03 が、細刃では 1.91 が適当であることが示された。以上より、茎を前方に飛ばさないための切断部を設計するためには、受刃ピッチを狭くし終端切断角が 0° に近くなる刃先角と切断速度比の組み合わせを選択することが重要であることが示唆された。

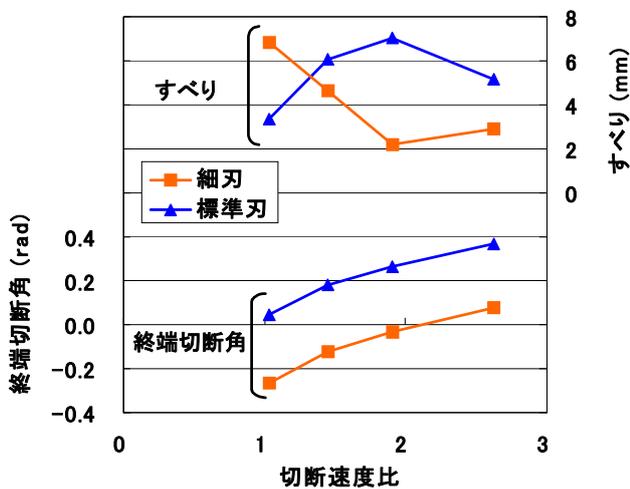


図4-13 切断速度比と終端切断角、すべりとの関係

4.3 摘要

刈取り工程における切断部の作用による茎稈の飛び出し要因を明らかにするために、実機を使った茎切断モデル試験を実施し、以下の知見を得た。

1) 茎稈切断モデル試験で大豆茎稈の代替となる材料を選定するため、大豆茎稈の曲げ剛性等の物性を測定した結果、曲げ剛性は $0.3 \sim 0.8 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ 、密度 453.8 kg/m^3 であった。ヒノキは密度が大豆茎稈と同程度で、長さ 700mm 程度、断面の 1 辺が 5mm 程度で曲げ剛性を再現できることを明らかにした。

2) 上方カメラで測定した切断移動角および傾斜角速度の測定値は、作業条件、コンバインの設計寸法から算出された計算値と良く一致した。しかし、茎を剛体と仮定した場合の重心位置移動速度の計算値は、切断速度比が大きい程、側方カメラによる重心位置移動速度の測定値よりも大きい値を示した。

3) 重心位置移動速度を補正するため茎の弾性を考慮し、刈刃が茎に衝突した時の運動エネルギーがすべてたわみエネルギーに変換されると仮定し、茎のたわみを算出した。たわみを考慮して計算した重心位置移動速度は、補正前に比べて改善された。

4) 補正後の重心位置移動速度の計算値におよぼす受刃ピッチと切断速度比の影響を調べた結果、受刃ピッチが狭いほど、切断速度比が大きいほど重心位置移動速度が小さくなることを明らかにした。

5) 茎のすべりが大きいほど重心位置移動速度が大きくなることが明らかとなった。すべりは終端切断角が 0° 付近で小さくなることから、標準刃では切断速度比 1.03、細刃では切断速度比 1.91 の組み合わせが適当であることが示唆された。

6) 茎稈を前方に飛ばさないための切断部を設計するためには、受刃ピッチを狭くし、終端切断角が 0° に近くなる刃先角と切断速度比の組み合わせを選択することが重要であることを明らかにした。

第5章 茎稈飛び出し低減のための切断部設計技術の開発

5.1 緒言

第2章では、高速ビデオカメラによる刈取り工程の観察と収穫シミュレータによる解析の結果、リールの搔

込み作用がない場合に茎稈が前方へ飛び出すことを指摘するとともに、頭部損失低減に有効なリール搔込み作用を実現しうる最適作業条件を見出した。また、第3章お

よび第4章では、切断による茎稈の飛び出し現象の発生要因を明らかにするため、刈刃が茎稈におよぼす作用別に、刈取り工程を移動工程、変位工程、切断工程に分類し、作業条件、設計寸法などをパラメータとした幾何学的解析と茎切断モデル試験によって検討した。幾何学的解析の結果、作業速度は小さく、刈高さは高く、刃先角は小さい方が有利であることを明らかにした。また、茎切断モデル試験の結果、受刃ピッチを狭くし終端切断角が 0° となるように刃先角と切断速度比を組み合わせることで重心位置移動速度が最も低くなることを指摘した。

本章では、受刃ピッチ、刃先角、切断速度比等を変えて頭部損失を測定し、切断による茎稈の飛び出し要因と頭部損失との関係を明らかにし、切断部設計寸法および最適な作業条件を検討した。

5.2 頭部損失測定試験による最適設計寸法の説明

5.2.1 頭部損失測定試験方法

切断による茎稈の飛び出し発生要因と頭部損失との関係から最適な設計寸法ならびに作業条件を明らかにするため、同一条件で栽培され倒伏の少ない圃場において受刃ピッチ、刃先角、切断速度比等を変えた刈取り試験を実施した。供試材料および試験条件を表 5-1 に示す。コンバインの作業速度は 0.40~0.92m/s の範囲で、切断速度比は刈刃側プーリを交換して 0.83, 1.03, 1.45 に変化させた。刈刃は刃先角 20° と 35° を供試した。刃先角 35° の刈刃は刃幅が 76mm, 刃先角 20° の刈刃は刃幅が 50mm であるため、受刃ピッチはそれぞれ 76mm および 50mm とした。受刃ピッチ 50mm のガードは、既製品がないため、

表5-1 頭部損失測定試験の材料および試験条件

コンバイン	ヤンマー GS320GE
作業速度 (m/s)	0.40~0.92
切断速度比	0.83, 1.03, 1.45
受刃ピッチ, 刃先角	76mm, 35° 50mm, 20°
測定日	2005/10/25, 11/1, 11/8
圃場	茨城県つくば市
大豆品種	タチナガハ
収量 (kg/10a)	305.4
水分(茎, 莢, 子実) (%)	28.8, 14.2, 16.6
主茎長 (cm)	66.2
最下着莢高 (cm)	23.8
栽植密度 (本/m ²)	18.3

76mm のガードの受刃間を切断し 26mm 狭めることによって製作した。刈刃振幅は、コンバインの構造上変更が困難であったため 76mm 一定とした。試験期間は供試圃場での収穫適期で、試験実施日はその内の 3 日であった。頭部損失の測定は、いずれも 10m 助走した後、試験区(25m)を作業速度一定で収穫した。また、試験区内で連続した欠株が無く自然落粒や倒伏した茎稈を排除した 3カ所を測定区(1.2m×1.2m)とし、裂莢損失、落莢損失(枝落ち損失を含む)、刈残し損失に分け収集した。

5.2.2 試験結果および考察

1) 頭部損失測定結果

頭部損失測定の結果、最下着莢高が 23.8cm と高かった

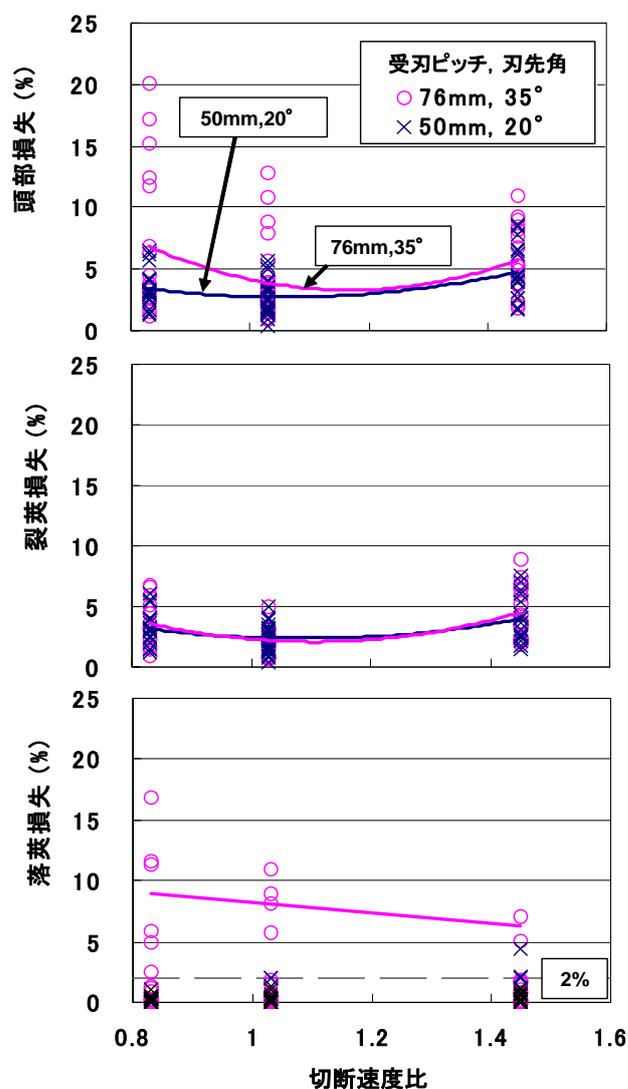


図5-1 切断部形状別の切断速度比と頭部損失との関係

ため刈残し損失は発生せず、頭部損失の内訳は、裂莢損失と落莢損失のみとなった。切断部形状別の切断速度比と頭部損失との関係を図5-1に示す。頭部損失および裂莢損失の実線は2次式の回帰曲線、落莢損失の実線は2%以上の値を示した落莢損失の回帰直線である。頭部損失の全試験区の平均は4.4%であったが、切断速度比が小さい場合に10%を超える高い値を示すことがあった。裂莢損失は切断部形状による差はなく、切断速度比が3段階のうちで1.45が最も大きくなる傾向を示した。落莢損失の測定点数の90%程度は、測定値が2%以下であったが、枝落ち損失が発生した場合に特に大きくなり、2%から5%までの測定値は少なかった。また、2%以上の落莢損失は、切断速度比が小さいほど大きくなる傾向を示した。

2) 受刃ピッチと刈刃振幅が一致しない場合の茎稈飛び出し現象の発生要因の計算式

切断による茎稈の飛び出し現象の発生要因として、非切断面積割合、切断移動角、傾斜角速度、終端切断角が報告されている³⁰⁾。しかし、これらの結果は、受刃ピッチと刈刃振幅が一致している条件での解析結果であり、刈刃振幅と受刃ピッチが一致しない条件下では上述の各要因の計算式を一部変更する必要がある。

受刃ピッチ変更後の刈刃切断面および非有効面を図5-2に示す。受刃ピッチが P_k から P_f に狭くなり、非有効面積 A_e は積分範囲が修正され式(5-1)で表される。

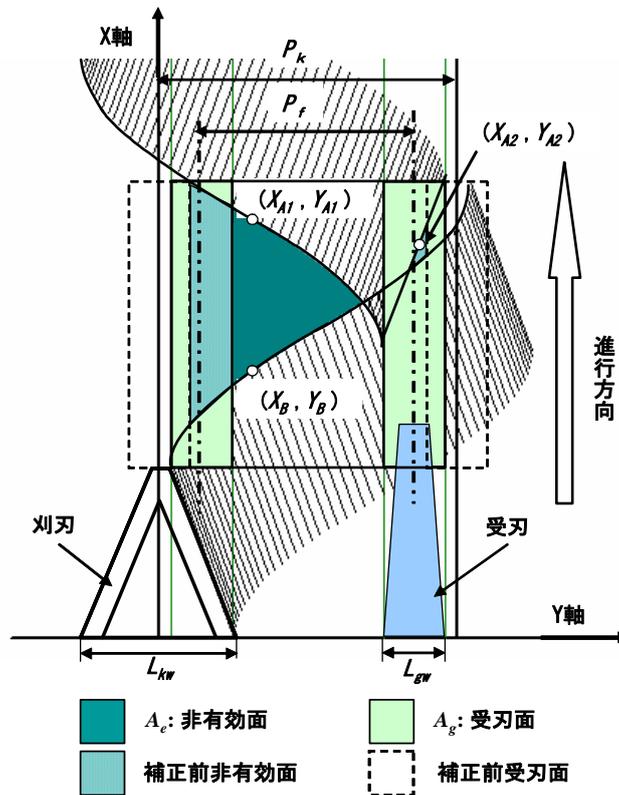


図5-2 刈刃切断図と非有効面

$$A_e = \int_{\frac{L_{gw}}{2}}^{\frac{P_f - L_{kw}}{2}} (X_{A1} - X_B) dY + \int_{\frac{P_f - L_{kw}}{2}}^{\frac{P_f + P_k - L_{gw}}{2}} (X_{A2} - X_B) dY \quad (5-1)$$

ここで、 (X_{A1}, Y_{A1}) , (X_{A2}, Y_{A2}) , (X_B, Y_B) : 刈刃刃縁上の点, L_{gw} : 受刃幅 (mm), L_{kw} : 刈刃幅 (mm), P_f : 受刃ピッチ (mm), P_k : 刈刃振幅 (mm) である。従って、非切断面積

割合 R_k は式(5-2)で表される。

$$R_k = \frac{\omega_k A_e}{2\pi V_s P_f} + \frac{L_{gw}}{P_f} \quad (5-2)$$

ここで、 ω_k : 刈刃の角速度 (rad/s), V_s : 作業速度 (m/s) である。

受刃ピッチを変更した場合の刃縁の軌跡を図5-3に示す。茎稈が刈刃と接した点を $S(X_s, Y_s)$ とする。ただし、

茎稈と刈刃が受刃間での位置で接するか特定できないため、圃場試験では点Sは明らかとならない。今回の解析では、刈刃と接した瞬間の茎稈は受刃内面に密着し、接触後は刈刃先端で切断されると仮定した。点Sから茎稈が切断されるまでの時間 T_m は式(5-3)で表される。

$$T_m = \frac{1}{\omega_k} \left\{ \cos^{-1} \left(1 - \frac{P_k + P_f - L_{gw} - L_{kc}}{2P_k} \right) - \cos^{-1} \left(1 - \frac{2Y_s - L_{kc}}{2P_k} \right) \right\} \quad (5-3)$$

また、その間の X 軸方向への移動距離 X_m および Y 軸方向への移動距離 Y_m はそれぞれ式(5-4)および式(5-5)で表される。

$$X_m = \frac{V_a}{\omega_k} \left\{ \cos^{-1} \left(1 - \frac{P_k + P_f - L_{gw} - L_{kc}}{2P_k} \right) - \cos^{-1} \left(1 - \frac{2Y_s - L_{kc}}{2P_k} \right) \right\} \quad (5-4)$$

$$Y_m = \frac{P_k + P_f - L_{gw} - 2Y_s}{2} \quad (5-5)$$

切断移動角 α_m は X_m と Y_m でなす角なので式(5-6)で表される。

$$\alpha_m = \tan^{-1} \frac{2X_m}{P_k + P_f - L_{gw} - 2Y_s} \quad (5-6)$$

また、傾斜角速度 ω_s は D_s と刈高さ H_k とのなす角の角速度であるから、式(5-7)で表される。

$$\omega_s = \frac{1}{T_m} \tan^{-1} \frac{\sqrt{4X_m^2 + (P_k + P_f - L_{gw} - 2Y_s)^2}}{2H_k} \quad (5-7)$$

また、茎稈が切断されるまでに Y 軸方向に移動する距離は Y_s であるから、終端切断角 λ_k は式(5-8)で表される。

$$\lambda_k = \beta_k - \tan^{-1} \frac{2Y_s}{\omega_k \sqrt{P_f^2 - (P_f - 2Y_s)^2}} \quad (5-8)$$

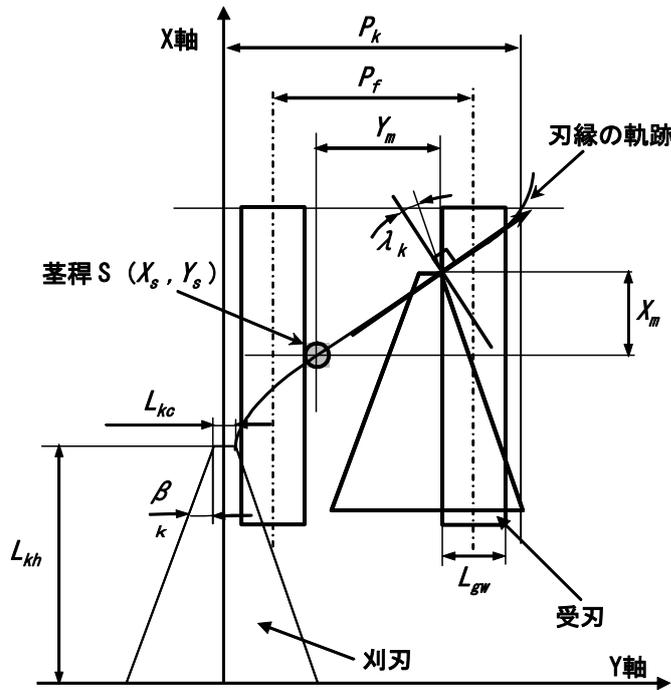


図5-3 刃縁の軌跡と茎稈の移動

3) 裂莢損失、落莢損失と茎稈の飛び出し要因との関係

茎稈の飛び出し要因と裂莢損失、落莢損失との関係を図 5-4～図 5-7 に示す。落莢損失については、枝落ち損失の発生があったと推察される 2%以上の値のみを抽出し相関を算出した。なお、相関係数 r^* は有意水準 1%で相関が認められたことを表す。

非切断面積割合および切断移動角は、落莢損失と正の

相関が認められた (図 5-4, 図 5-5)。非切断面積割合、切断移動角が小さいほど茎稈を前方へ飛ばさないと考えられており³⁰⁾、各要因の値が小さいほど枝落ち損失の発生が低減されたと推察された。傾斜角速度は、裂莢損失と正の相関、落莢損失と負の相関が認められた (図 5-6)。茎稈が剛体であると仮定した場合、茎稈の前方への変位速度は、傾斜角速度に従って大きくなる。落莢損失が負の相関を示し従来の考察と逆の結果になったのは、茎稈

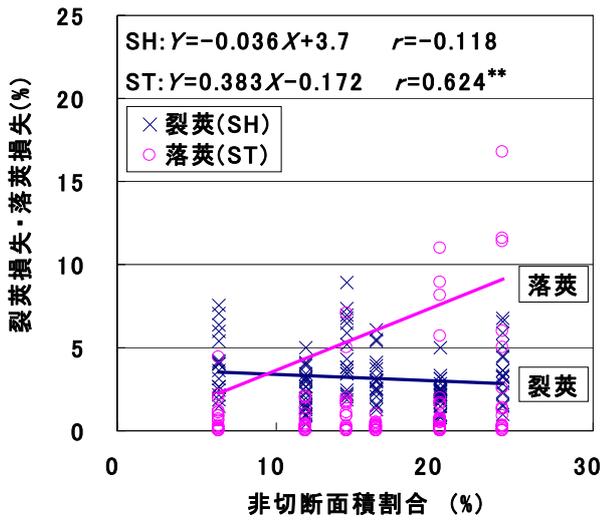


図5-4 非切断面積割合と頭部損失との関係

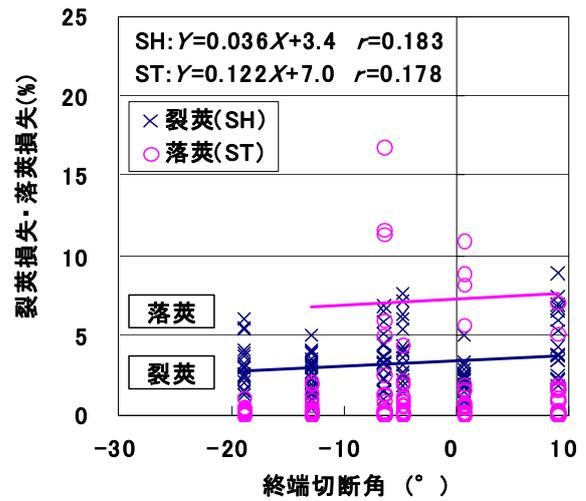


図5-7 終端切断角と頭部損失との関係

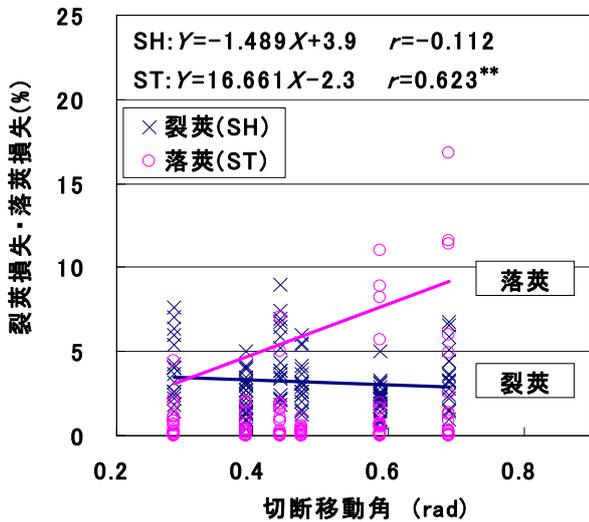


図5-5 切断移動角と頭部損失との関係

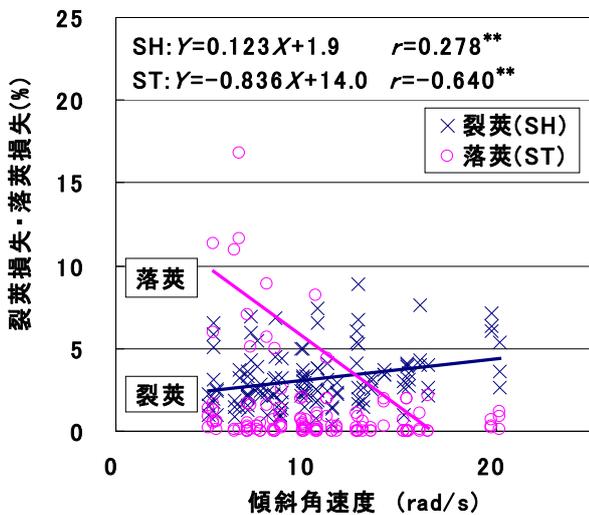


図5-6 傾斜角速度と頭部損失との関係

が弾性体であり刈刃の衝撃によってたわみが生じ、前方への変位速度が傾斜角速度に従わず茎稈が前に飛ばなかったためと推察される。また、裂莢損失が正の相関を示したのは、傾斜角速度が大きくなるに従って刈刃との衝突や切断による衝撃が大きくなり、裂莢が増加したためと考えられた。

そこで、切断移動角、傾斜角速度および刈刃が茎に衝突した時の運動エネルギーによるたわみの補正によって重心位置移動速度を算出した。重心位置移動速度と頭部損失との関係を図5-8に示す。落莢損失は重心位置移動速度と有意な相関は認められなかったが、重心位置移動速度が大きくなるに従って多くなる傾向を示した。切断速度比が小さい場合に重心位置移動速度をより精度良く算出するためには、刈刃と茎が接してから切断されるまでの経過時間に伴う茎稈の変形を考慮する必要があることが考察されている³¹⁾。重心位置移動速度と落莢損失との関係を考察するためには、時間をパラメータとした茎稈の変形を考慮した補正をすることでより精度の高い推定が可能であると考えられた。

一方、終端切断角は裂莢損失および落莢損失とも相関が認められなかった(図5-7)。切断時に発生したすべりが茎稈の挙動に影響すると推察され、傾斜角速度、重心位置移動速度と同様に経過時間に伴う茎稈の変形を考慮した補正が必要であると考えられた。

4) 最適設計寸法および作業条件

落莢損失は、非切断面積割合と正の相関があり、また、重心位置移動速度が小さいほど少なくなる傾向がある。茎稈の飛び出しを抑えるための受刃ピッチは、非切断面積割合では 50mm 以上、重心位置移動速度では狭い方が有利であり、受刃ピッチ 50mm が損失低減に有利であることが示唆された。また、裂莢損失は傾斜角速度と正の相関、落莢損失は切断移動角と正の相関が認められた。茎稈の飛び出しを抑えるための切断速度比は、傾斜角速度では小さいほど、切断移動角では大きいほど有利である。これは測定値の傾向とよく一致するが、損失低減に有利な条件は相反する結果となった。落莢損失と裂莢損失との合計である頭部損失は切断速度比が 3 段階のうちで 1.03 で最も少なくなることから、切断速度比は 1.03 が有利であることが示唆された。

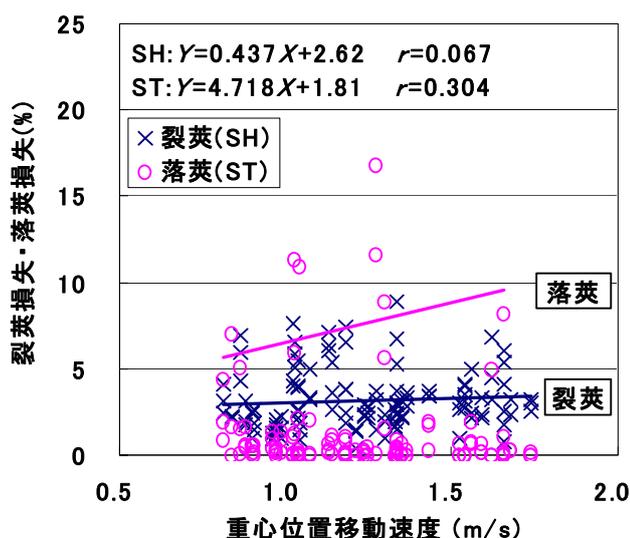


図5-8 重心位置移動速度と頭部損失との関係

以上、切断による茎稈の飛び出し要因を用いた解析により、供試した設計寸法、作業条件では受刃ピッチ 50mm、

切断速度比 1.03 が最も低減効果が高いことが示され、頭部損失測定試験結果とよく一致した。このことから、茎稈の飛び出し要因を解析することは、頭部損失を低減する切断部の設計に有効であることが示唆された。

5.3 摘要

頭部損失測定試験によって切断による茎稈の飛び出し発生要因と頭部損失との関係を明らかにした。以下に得られた知見を示す。

- 1) 切断面積割合および切断移動角が小さいほど枝落ち損失の発生が低減され、各要因と落莢損失とに正の相関が認められた。
- 2) 傾斜角速度は裂莢損失と正の相関、落莢損失と負の相関が認められた。落莢損失が負の相関を示したのは、茎稈が弾性体であるため刈刃の衝撃によってたわみが生じ前方への変位速度が傾斜角速度に従わなかったためと推察された。また、裂莢損失が正の相関を示したのは、傾斜角速度が高くなるに従って刈刃による衝突や切断による衝撃が大きくなり裂莢が増加したためと推察された。
- 3) 落莢損失は重心位置移動速度と有意な相関は認められなかったが、重心位置移動速度が高くなるに従って大きくなる傾向を示した。重心位置移動速度と落莢損失との関係を考察するためには、時間をパラメータとした補正をすることでより精度の高い推定が可能であることが推察された。
- 4) 切断による茎稈の飛び出し要因を用いた解析により、供試した設計寸法、作業条件では受刃ピッチ 50mm、切断速度比 1.03 が最も頭部損失の低減効果が高いことが示され、頭部損失測定試験結果とよく一致した。このことから、茎稈の飛び出し要因の解析は、頭部損失を低減する切断部の設計に有効であることが示唆された。

第 6 章 頭部損失低減効果の実証試験

6.1 緒言

第 5 章において、切断部の設計寸法、作業条件については、受刃ピッチ 50mm、切断速度比 1.03 の場合に頭部損失低減効果が最も高くなることを示した。他方、大豆の頭部損失は、品種、作業時刻、収穫時期、栽培様式

等と密接に関係しているという事実が過去に報告されている⁴⁾⁵⁾⁴⁸⁾。また、コンバインの機種によって変動すること⁴⁹⁾や、オペレータの技能によることも大きいこと⁶⁰⁾が知られている。以上に示すような多様な条件下において、切断部の頭部損失低減効果を明らかにする必要がある。

そこで、本章では、前章で得られた設計寸法に基づいて切断部を試作し、農家が保有するコンバインに装着するとともに、農家の圃場において頭部損失低減効果の実証試験を行った。また、得られた結果から、試作した切断部の頭部損失低減効果について検討した。

6.2 切断部の試作

試作した切断部の概要を図6-1に示す。試作切断部は、受刃および刈刃ピッチを標準の76mmから50mmに、刈刃刃先角を標準の35°から20°に小さく設計しており、以下、「狭ピッチ切断部」と仮称することとする。

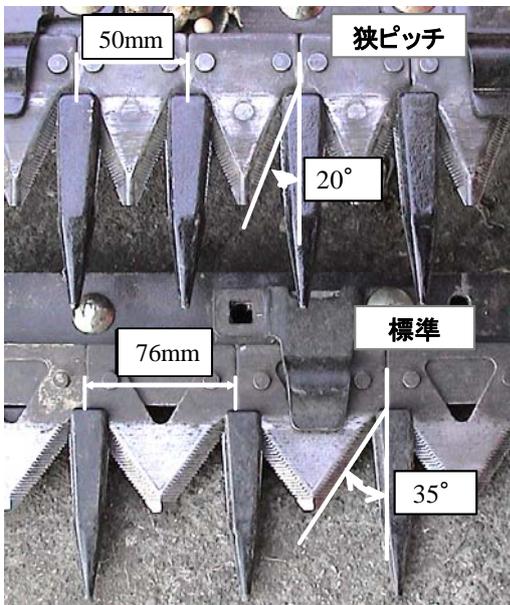


図6-1 試作切断部（上図）と標準切断部（下図）

標準切断部および狭ピッチ切断部の刈刃および受刃の諸元を図6-2および図6-3に示す。狭ピッチ切断部の刈刃は、刃先角20°、刃幅が50mmとなっており、自脱コ

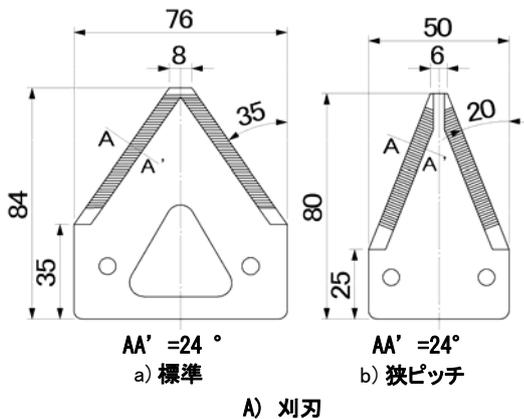
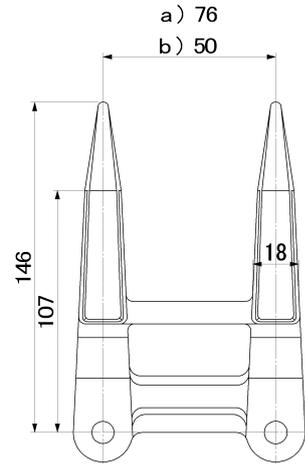


図6-2 刈刃の諸元 (mm, °)

ンバインで一般的に使用されているものと同じである。狭ピッチ切断部の受刃はフィンガの間隔が50mmで標準よりも狭いが、他の寸法は同じにしている。なお、狭ピッチ切断部の受刃は、標準の受刃と同程度の強度を確保するため、新たな鋳型から作製した。



B) 受刃 (a)標準, b)狭ピッチ)

図6-3 受刃の諸元 (mm)

切断部の取付け状況を図6-4に示す。狭ピッチ切断部は、刈刃、受刃、プラットフォームベース等の部品で構成されており、1つの部品として取り扱うことが可能である。これにより、機体を改造することなく、前板の交換、ナイフヘッド、フィンガバーのボルトの着脱のみによって標準切断部と交換することができる。ただし、刈刃を駆動する偏心コマは交換せず、刈刃の振幅は76mmとした。

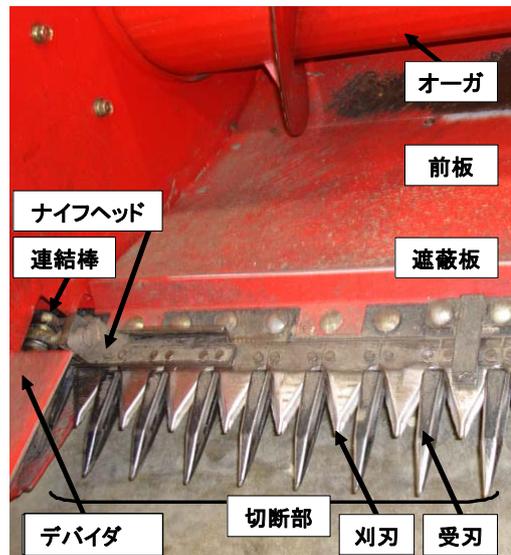


図6-4 狭ピッチ切断部取付け状況

6.3 農家圃場試験による頭部損失低減効果の実証

6.3.1 試験方法

2004, 2005 年度に関東および東海地域の農家圃場において実証試験を行った。供試圃場, コンバインおよび作物条件を表 6-1 に示す。コンバインは, 中央農業総合研究センターまたは農家が所有している 4 機種 (オペレータは 5 名) を供試した。作業速度は, 作物の状態等から

オペレータが判断して作業した結果, 0.8~1.2m/s の範囲であった。大豆は 3 品種を供試し, 収量は坪刈り収量で 160~357kg/10a の範囲であった。

頭部損失の測定は, 指定した測定箇所から自然落下粒を排除し, コンバイン排塵口にシートを上げ脱穀選別損失の混入を防いだ。頭部損失の測定区画は 1.2m×1.2m とし, 刈残し, 裂莢, 落莢損失に分類して収集した。ただし, 枝落ち損失は落莢損失に含めた。

表6-1 実証試験の供試圃場, 供試コンバインおよび作物条件

調査日	圃場	機種	品種	収量 (kg/10a)	水分 (%)			
					茎	莢	子実	
2004	10/29	茨城県	Y社 GS320	タチナガハ	235.8	66.8	20.5	17.6
	11/4	茨城県	Y社 CA750	タチナガハ	356.8	24.4	11.8	16.6
	11/9	茨城県	Y社 GS320	タチナガハ	207.4	41.7	17.9	18.2
	11/10	茨城県	Y社 GS320	タチナガハ	256.7	32.0	17.9	17.5
	11/17	茨城県	Y社 GS320	タチナガハ	159.6	33.3	24.5	25.2
	11/25	三重県	Y社 GS320	フクユタカ	192.9	33.2	17.8	15.4
2005	10/25	茨城県	Y社 GS320	タチナガハ	304.4	33.6	14.8	16.9
	11/1	茨城県	Y社 GS320	タチナガハ	328.7	25.8	14.1	16.2
	11/8	茨城県	Y社 GS320	タチナガハ	274.4	17.9	12.5	16.2
	11/9	茨城県	Y社 GC800	タチナガハ	243.7	26.3	16.9	15.6
	11/29	茨城県	Y社 GS320	納豆小粒	325.5	24.6	19.3	17.9
	12/2	茨城県	K社 AX85	納豆小粒	220.2	33.2	19.1	14.3
	12/5	愛知県	Y社 GS320	フクユタカ	292.6	28.3	16.9	15.5
	12/7	三重県	Y社 GS320	フクユタカ	326.2	43.4	20.8	14.9

6.3.2 試験結果および考察

切断部形状別の大豆主茎長と頭部損失との関係を図 6-5 に示す。ただし, 切断部の損失低減効果を明らかにするため, 頭部損失には刈残し損失は含めていない。頭部損失は, 主茎長 60cm 付近で最も少なく, 主茎長が 45cm よりも低くなると急激に増加する傾向を示した。標準と

狭ピッチを比較すると, 主茎長 55~65cm の範囲では頭部損失は, 同程度であったが, それ以外の範囲では狭ピッチの方が少ない傾向を示した。

切断部形状別の大豆主茎長と裂莢損失との関係を図 6-6 に示す。裂莢損失は狭ピッチの方が少ない傾向を示した。狭ピッチでは, 切断時の茎稈の根元の変位角度が

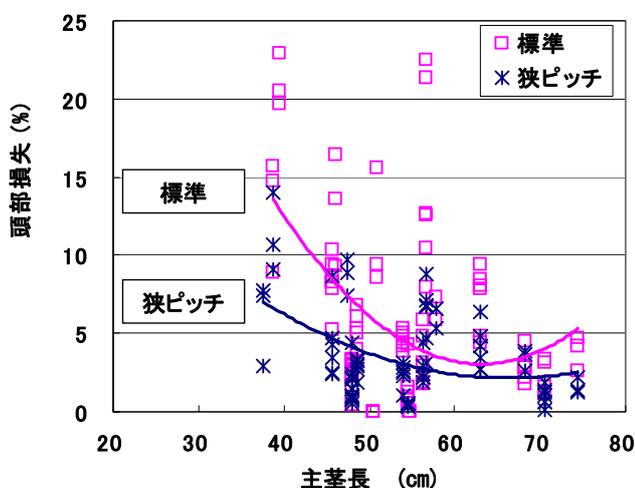


図6-5 切断部形状別の大豆主茎長と頭部損失との関係

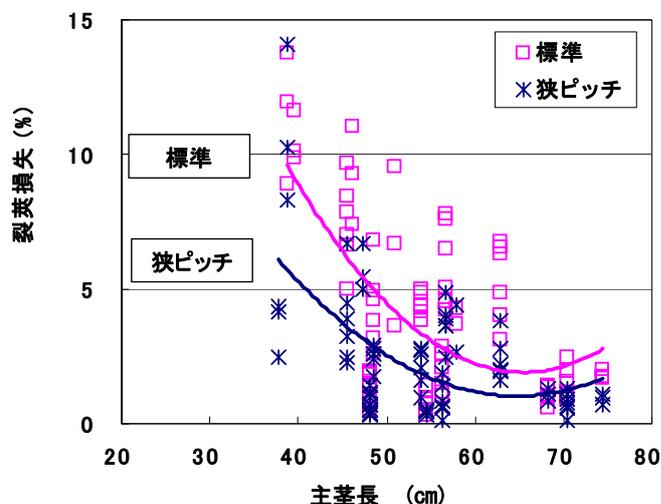


図6-6 切断部形状別の大豆主茎長と裂莢損失との関係

小さくなったため頭頂部の変位が抑えられ、リールおよび機体との衝突が減少し裂莢損失が低減したと推察された。また、裂莢損失は主莖長 60cm 付近で最も少なくなり、主莖長が低くなるに従って増加する傾向を示した。主莖長と最下着莢高は正の相関があることが報告されており⁶⁵⁾、供試大豆でも正の相関 ($r=0.645^*$: *は 1%水準で有意) が認められた。つまり、オペレータが最下着莢高に合わせて刈高さを下げることで傾斜角速度が大きくなり、裂莢損失が増加したものと推察された。

切断部形状別の大豆主莖長と落莢損失との関係を図 6-7 に示す。

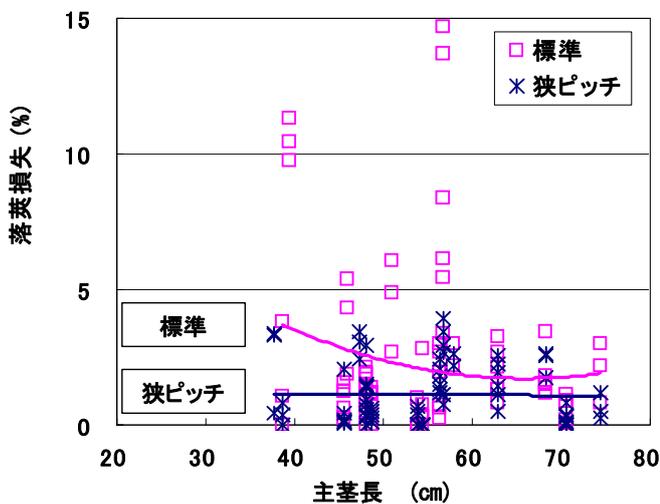


図6-7 切断部形状別の大豆主莖長と落莢損失との関係

枝落ち損失が含まれるために 2%よりも多い値を示した落莢損失と主莖長との関係について回帰式を求めた結果、落莢損失は狭ピッチの方が低い傾向を示した。受刃ピッチを狭くすることで非切断面積割合が小さくなり、刈刃による莖稈の前方への押し倒しが減少し、落莢損失が低減したと推察された。また、主莖長が低くなるに従って落莢損失は高くなる傾向を示した。主莖長が低い場

合にはリール中心と平均主莖長との差が大きくなり、リールの搔込み率が小さくなることが報告されている²⁹⁾。リールの搔込み作用がない場合に切断による莖稈の飛び出しが多く発生することから、落莢損失が多くなったと推察された。

以上より、狭ピッチ切断部によって裂莢損失および落莢損失が低減し、低主莖長の条件下では頭部損失は約半分に低減された。また、主莖長が 55~70cm の範囲で頭部損失は最も低くなることから、頭部損失低減には適切な主莖長を確保するための栽培技術も重要であることが示唆された。

6.4 摘要

狭ピッチ切断部による頭部損失低減効果を実証的に調査した結果、以下の知見を得た。

- 1) 受刃および刈刃ピッチが 50mm、刈刃刃先角 20° の切断部を試作し、狭ピッチ切断部と仮称した。
- 2) 狭ピッチ切断部によって頭部損失が低減し、低主莖長の条件下での頭部損失は約半分に低減された。また、主莖長 55~70cm の範囲では標準切断部でも頭部損失が 5%以下であることから、頭部損失を低減するためには適切な主莖長を確保するための栽培技術も重要であることが示唆された。
- 3) 裂莢損失は標準よりも狭ピッチの方が低い傾向を示した。受刃ピッチを狭くすることで切断時の莖稈の根元の変位角度が小さくなり、頭頂部の変位が少なくなりリールおよび機体との衝突が減少したためと推察された。
- 4) 落莢損失は標準よりも狭ピッチの方が低い傾向を示した。受刃ピッチを狭くすることで非切断面積割合が低くなり刈刃による莖稈の前方への押し倒しが減少し、落莢損失が低減したと推察された。

第7章 汚粒および脱穀選別損失低減技術の開発

7.1 緒言

日本では大豆を豆腐等の食品原料として使用する割合が高く、汚粒は日本固有の問題である⁶⁹⁾。汚粒は雑草や土砂の混入、高水分大豆莖莢によって発生する。汚粒のコンバイン部位別発生状況は、ヘッダ部では汚れ指数

0.0 であるが脱穀部では汚れ指数 0.5~0.8 となり、脱穀部で汚粒の発生が始まっていることが報告されている⁴²⁾。汚粒が発生した場合、クリーニングすることがあるが、労力が増加することや費用が高いこと等の問題があり、あまり普及していない²⁸⁾⁴⁷⁾。

脱穀選別損失は、大豆コンバインでは 0~7%の範囲にあり、高水分、高速度作業時に多くなることが報告されている⁴⁶⁾⁵⁰⁾。また、汎用コンバインでは、コンケーブの目開きに関係なく脱粒率は95%を超え、目開き18×18mm以上で穀粒漏下率は95%以上となることが報告されている¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾。しかし、扱ぎ歯式脱穀部を有する大豆コンバインでの穀粒漏下率が最適となるコンケーブ形状については報告された例がない。また、送塵弁を開くことによって排塵の通過時間は短くなることが報告されているが²¹⁾²²⁾²³⁾、脱穀選別損失が増加する問題があり、新たな技術開発が望まれている。

そこで、本章では、新たにコンケーブを試作し、コンケーブの茎莢の通過性、穀粒および茎莢の漏下性について調査した。さらに、水分条件を変えた場合の汚粒および脱穀選別損失低減効果について調査した。

7.2 脱穀試験による脱穀部性能目標の設定

7.2.1 実機による脱穀試験方法

汚粒および脱穀選別損失低減に必要な性能を把握するために、脱穀部内での裂莢状況等を観察した。コンバインはヤンマーGS320GE、コンケーブは大豆で標準的に使用されているパンチングメタル(φ25mm)構造のものを供試し(図7-1)、送塵弁角度は5°、20°、35°の3段階に設定した。大豆の品種はタチナガハで、水分は茎27.7%、莢17.7%、子実15.4%であった。試験は2004年12月8日に実施し、供試圃場での収穫適期よりも2週間程度遅かった。供試コンバインの脱穀部を図7-2に示す。脱穀

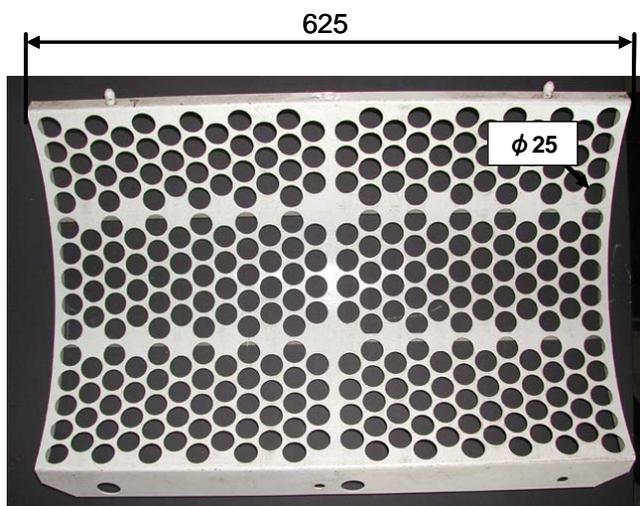


図7-1 コンケーブ(標準) (mm)

部入口よりも前方の区間(入口)、脱穀部入口から20cmまでの区間(0~20cm)、20cm以降の区間(20cm~)に脱穀部を分割した。コンバイン作業速度一定(0.8m/s)で15m程度作業した後急停止し、脱穀部の各区間から大豆を採取し脱穀状況を観察した。

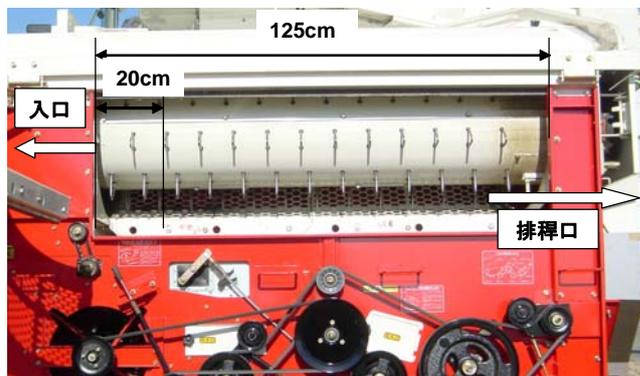


図7-2 供試コンバインの脱穀部

7.2.2 試験結果および考察

脱穀部各部位から採取した大豆の一例を図7-3に示す。送塵弁角度にかかわらず、脱穀部入口では脱粒は認められず、20cm以降では全て脱粒されていた。また、0~20cmでは脱粒した莢としていない莢が混在していることが分かった。



図7-3 コンバインから採取した大豆

コンバイン脱穀部には様々な性能が必要であるが、大豆収穫において求められる性能として、a)脱粒能力が高い、b)損傷粒が少ない、c)穀粒の漏下量が多く茎莢の漏下量が少ない、d)排塵が円滑に排出される等が挙げられる³⁷⁾。大豆コンバインでは入口から20cm程度でほとんど脱粒しており、a)については性能上問題がない。また、b)損傷粒については、全国的な調査から0.7%以下で低い

ことが報告されており⁵⁰⁾、重要な問題となっていない。

以上のことから、汚粒および脱穀選別損失を低減するために必要な脱穀部の性能としては、穀粒の漏下量が多く茎莢の漏下量が少ないこと、排塵の脱穀部通過時間が短いことが要求されることが明らかとなった。

7.3 コンケーブの試作

穀粒の漏下性と排塵の通過性が高くなることを目的とし、新たにコンケーブを試作した。試作したコンケーブを図7-4および図7-5に示す。図7-4は、シリンダ回転軸と平行なコンケーブバー（φ6mm）が28mm間隔で配置された構造である（PB28）。また、PB28は、排塵とコンケーブとの摩擦力によって排出効果が高めるために、支柱は回転方向に対して21°傾斜し、コンケーブバーよりも10mm突起している。図7-5は、PB28と同様にシリン

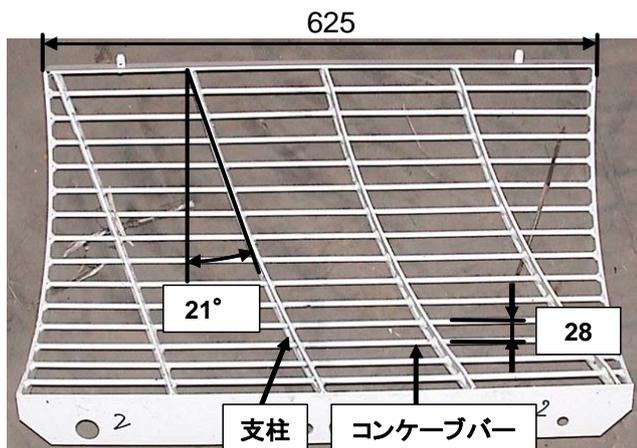


図7-4 試作コンケーブ (PB28) (単位: mm)

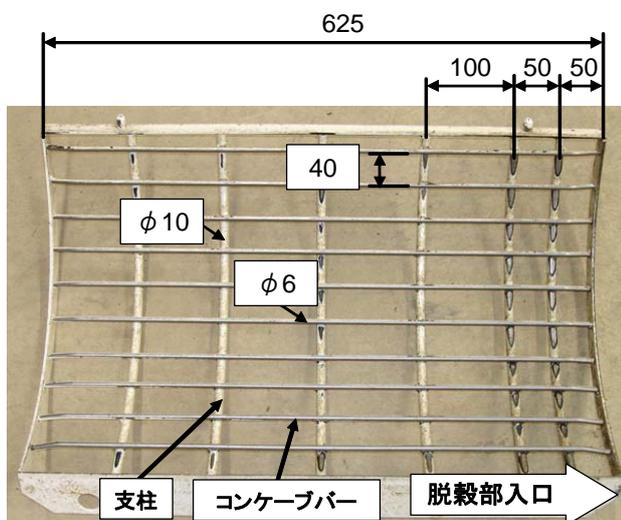


図7-5 試作コンケーブ (PB40) (単位: mm)

ダ回転軸と平行にコンケーブバー（φ6mm）が配置されているが、バーの間隔は40mmとなっている（PB40）。また、PB40は、排出方向への排塵の流れを遮らないように、支柱はコンケーブバーの裏側に固定されている。

7.4 通過性および漏下性試験による性能評価

7.4.1 試験方法

1) 通過性評価試験方法

脱穀部内の茎莢の通過性におよぼすコンケーブの影響を明らかにするため、立毛大豆にマーカを付けて収穫し、走行部、ヘッダ部、脱穀部を同時に停止させ、脱穀部内のマーカの分布を調査した。

大豆および試験条件を表7-1に示す。収穫には大豆コンバインを供試し、作業速度は1.24m/sで行った。コンケーブは3種類を供試し、送塵弁角度はメーカーが大豆収穫で推奨する20°とした。試験を実施した日は適期よりも2週間程遅れており、莢、子実水分は各々13.6%、14.9%で標準の範囲であったが、茎水分は18.1%と低めであった。大豆の品種は茨城県の奨励品種であるタチナガハ（栽培標準に従った栽培概要）であり、主茎長および最下着莢高はそれぞれ58.4cm、15.4cmで標準的な高さであった。

表7-1 通過性評価試験の試験条件

試験日	2004/12/2	
圃場	茨城県つくば市	
コンバイン	ヤンマー GS320GE	
コンケーブ	標準, PB28, PB40	
作業速度 (m/s)	1.24	
送塵弁角度 (°)	5, 20, 35	
大豆	タチナガハ	
水分 (%)	茎	18.1
	莢	13.6
	子実	14.9
重量 (g/m ²)	茎	174.1
	莢	167.3
	子実	207.4
栽植密度 (本/m ²)	12.8	
主茎長 (cm)	58.4	
最下着莢高 (cm)	15.4	

試験手順を以下に示す。立毛大豆50株に高さ15cm、40cmの位置に番号のついたマーカを貼付し（図7-6）、1株目からの進行方向距離を測定した。10m助走後、マーカ付き大豆を刈取り、最後のマーカ付き大豆が刈り取られた直後に機体および脱穀部を同時に停止させた。脱穀部掃除口を開け、マーカの脱穀部入口からの距離を測定

した。脱穀部入口に最も近いマーカを基準とし、マーカが貼付されていた株と基準となる株との立毛時の距離と作業速度から脱穀部通過時間を算出した。



図7-6 マーカが貼付された立毛状態の大豆

2) 漏下性評価試験方法

脱穀部から選別部への漏下性におよぼすコンケーブの影響を評価するため、全収穫穀粒に対する2番口へ還元される穀粒の割合(2番口穀粒割合)、全収穫茎莢に対する2番口へ還元される排塵割合(2番口排塵割合)、1番口穀粒に混入する排塵の重量割合(1番口排塵割合)を測定した。

大豆および試験条件を表7-2に示す。収穫には大豆コンバインを供試し、作業速度は0.84m/sであった。コンケーブは3種類を供試し、送塵弁角度は大豆収穫におけ

表7-2 漏下性評価試験の試験条件

試験日	2004/10/25		
圃場	茨城県つくば市		
コンバイン	ヤンマー GS320GE		
コンケーブ	標準, PB28, PB40		
作業速度	(m/s)	0.84	
送塵弁角度	(°)	20	
大豆	タチナガハ		
水分	(%)	茎	65.1
		莢	20.1
		子実	22.4
重量	(g/m ²)	茎	164.6
		莢	143.5
		子実	265.9
栽植密度	(本/m ²)	12.8	
主茎長	(cm)	62.3	
最下着莢高	(cm)	16.3	

るメーカ標準仕様である20°とした。脱穀部への還元口を塞ぎ還元口と反対側の掃除口に回収箱を装着し、2番口子実および排塵を採取した。また、排塵口に収集枠を設置し、3, 4番口排塵および子実を収集した。試験日は収穫適期であり、莢、子実水分は各々20.1%, 22.4%とやや高めであった。大豆の品種はタチナガハ(栽培標準に従った栽培概要)で、茨城県の奨励品種である。主茎長、最下着莢高は各々62.3cm, 16.3cmで標準的な高さであった。

試験手順を以下に示す。20mの助走区間を一定速度で作業し、作業速度および脱穀、選別工程が定常状態となった後、10mの測定区間で1番口、2番口および排塵口から子実および排塵を収集した。

7.4.2 試験結果および考察

1) 通過性評価試験結果

コンケーブ形状別の茎莢通過時間と通過距離との関係を図7-7に示す。図の縦軸はマーカの入口からの距離で、125cmが排塵口である。図中の直線は切片を0とした時の回帰直線である。各コンケーブ間には有意な差はなかったが、PB28, PB40, 標準の順に通過時間が短かった。PB28のマーカは約2秒, PB40は約3秒で排塵口に到達したが、標準の場合5秒経過後も排塵口に到達しなかった。脱穀部入口25cm付近における滞留は、標準の場合が4秒以上であったのに対し、PB40では約2秒, PB28では

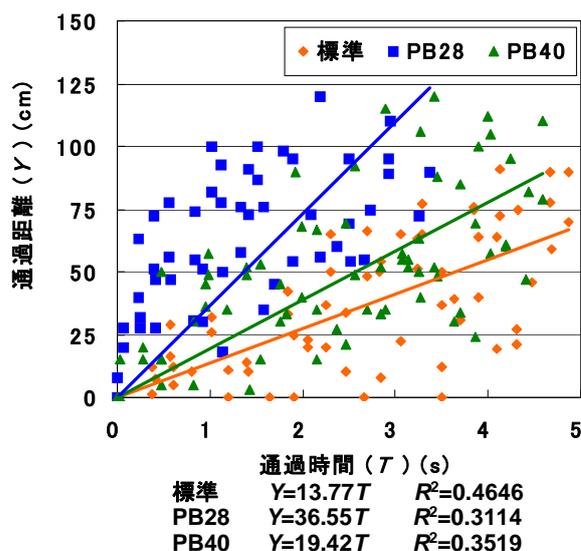


図7-7 コンケーブ形状別の茎莢通過時間と通過距離との関係

約1秒程度であった。

汚粒の低減には、排塵口到達時間と入口付近での滞留時間を短くすることが有効であり、PB28、PB40、標準の順で汚粒低減の可能性が高いことが確認された。

2) 漏下性評価試験結果

コンケーブ形状が2番口穀粒割合および脱穀選別損失におよぼす影響を図7-8に示す。2番口穀粒割合は、PB40で8%、標準とPB28では15%程度で、PB40が最も小さい傾向にあった。また、脱穀選別損失は、PB40で0.4%、PB28で1.5%、標準で2.3%とPB40が最も少なかった。従って、穀粒の1番オーガへの漏下はPB40で91%、PB28で83%、標準で82%となり、PB40が子実の漏下性が最も良いことが明らかとなった。

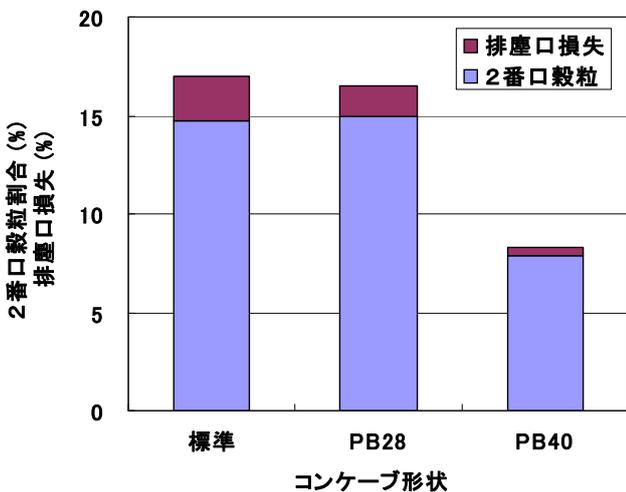


図7-8 コンケーブ形状が2番口穀粒割合等におよぼす影響

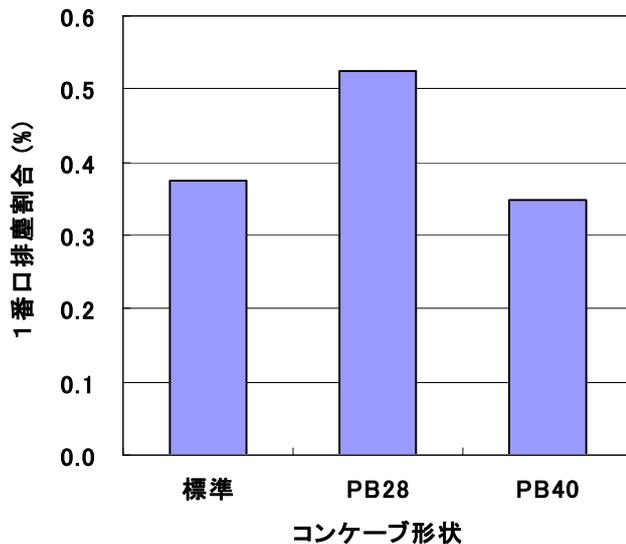


図7-9 コンケーブが1番口排塵割合におよぼす影響

コンケーブ形状が1番口排塵割合におよぼす影響を図7-9にそれぞれ示す。1番口排塵割合はPB40が0.3%、PB28が0.5%、標準が0.4%とコンケーブ形状による差は小さかった。

以上より、PB40、PB28、標準の順で漏下性が高いこと、また、収穫物への排塵の混入はコンケーブ形状による差は小さいことからPB40、PB28、標準の順で汚粒低減の可能性が高いと推察された。

3) 通過性および漏下性による総合的評価

脱穀部の茎莢通過時間はPB28が最も短く、PB28の通過性が良いことが明らかとなった。また、1番オーガへの穀粒の割合は、PB40が最も大きく、PB40の漏下性が良いことが明らかとなった。通過性と漏下性とで評価が異なっており、汚粒低減効果を一概に評価することはできず、圃場試験等によるさらなる検討が必要であることが示唆された。

7.5 汚粒および脱穀選別損失測定試験による性能評価

7.5.1 汚粒および脱穀選別損失測定試験方法

汚粒および脱穀選別損失におよぼすコンケーブ形状の影響を調査するため、農家圃場において実証試験を行った。試験条件を表7-3に示す。試験年度は2004~2006年度で、茨城県、愛知県、三重県の農家圃場で行った。収穫は大豆コンバインを供試し、作業速度は0.72~0.85m/sで行った。コンケーブは3種類を供試し、送塵弁角度は大豆収穫におけるメーカー標準仕様である20°とした。大豆は、タチナガハ、フクユタカ、納豆小粒の

表7-3 汚粒、脱穀選別損失測定試験の試験条件

試験年度		2004~2006		
圃場		茨城県, 三重県, 愛知県		
コンバイン		ヤンマー GS320GE		
コンケーブ		標準, PB28, PB40		
作業速度 (m/s)		0.72~0.85		
排塵弁角度 (°)		20		
大豆		タチナガハ, フクユタカ, 納豆小粒		
		平均	最高	最低
水分 (%)	茎	34.6	68.9	13.5
	莢	17.5	20.8	12.5
	子実	17.1	22.4	14.3
主茎長 (cm)	59.7	77.4	38.7	
最下着莢高 (cm)	16.7	28.9	11.7	

3 品種で、水分は茎 34.6%, 莢 17.5%, 子実 17.1%であった。

試験方法は以下の手順である。20m の助走区間を一定速度で作業し、作業速度および脱穀、選別状態が定常状態となった後、5m の測定区間で 1 番口から子実を収集した。また、排塵口に収集枠を設置し 3, 4 番口排塵および子実を収集した。1 番口子実を静置式乾燥機で通風乾燥後、汚れ指数を算出した。汚れ指数は、生物系特定産業技術研究機構（現：農研機構生物系特定産業技術研究支援センター）で作成した汚粒の指標（図 7-10）に従って大豆を 1 粒ずつ 0 から 4 まで汚染度を判定し、汚染度とその個数を式(7-1)に代入して汚れ指数 D を算出した。

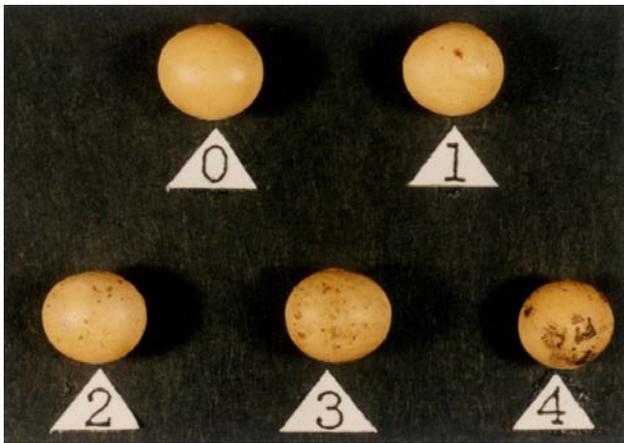


図7-10 汚粒の指標

$$D = \frac{N_0F_0 + N_1F_1 + N_2F_2 + N_3F_3 + N_4F_4}{N_0 + N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \quad (7-1)$$

ただし、 N_i ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) : 汚染度 i の個数,

$F_i = i$ ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) : 汚染度

なお、外観品質鑑定で 1 等となるためには汚れ指数は 0.4 以下である必要があり⁴³⁾、1.5 以上では等外となる⁵¹⁾。3, 4 番口の排塵は静置式乾燥機で通風乾燥後、子実重量を測定し、脱穀選別損失を算出した。

7.5.2 試験結果および考察

コンケーブが汚れ指数におよぼす影響を図 7-11 に示す。汚れ指数は、茎水分が高い程大きくなり、60%を超えると急激に大きくなった。茎水分 60%以上では、選別部、2 番バケットコンベア等で詰まりが発生し作業性を著しく低下させたため、コンケーブを評価する基準から除外するのが適切と判断した。また、茎水分 30%以下の範囲

では、汚れ指数が 0.4 以下でありコンケーブ間で顕著な差は見られなかった。茎水分 30~60%での汚れ指数の平均値は、PB40 で 0.24, PB28 で 0.41, 標準で 0.43 と PB40 が最も低く、汚粒低減に効果が高いことが明らかとなった。

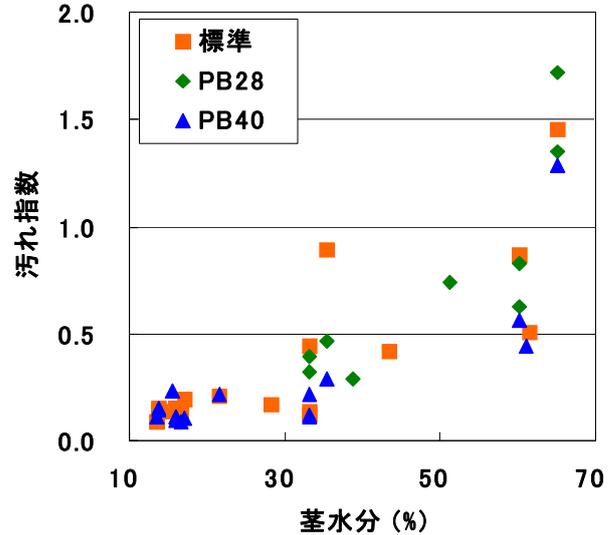


図7-11 コンケーブ形状別の茎水分と汚れ指数との関係

コンケーブ形状別の大豆茎水分と脱穀選別損失との関係を図 7-12 に示す。脱穀選別損失は茎水分が高くなるに従って増加する傾向を示した。茎水分 60%以上での脱穀選別損失は、PB28 で 3%を超える高い値を示す場合があったが、PB40 では 0.5%以下であった。収穫作業が可能で、

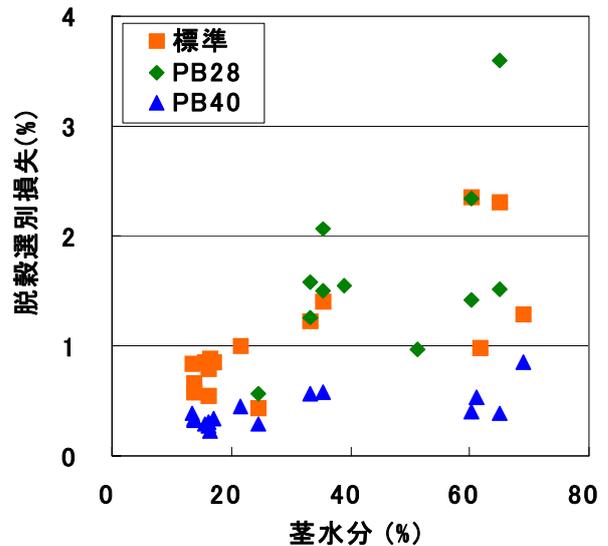


図7-12 コンケーブ形状別の茎水分と脱穀選別損失との関係

汚れ指数に差が見られる茎水分 30~60%の脱穀選別損失の平均値は、PB40 で 0.5%、PB28 で 1.6%、標準で 1.1%と PB28 が最も高く PB40 が少なかった。PB28 では脱穀部での茎莢の通過時間が短く、排塵と子実との分離が十分でなかったと考えられた。

以上のことから、PB40 が脱穀選別損失を増加させず、汚粒を低減するのに効果的であることが明らかとなった。

7.6 摘要

試作したコンケーブの収穫大豆の通過性および漏下性を評価し、農家圃場において汚れ指数、脱穀選別損失を測定した結果、以下の知見を得た。

1) シリンダ回転軸と平行にコンケーブバーを 28mm 間隔で配置し、支柱が回転方向に対して 21° 傾斜したコンケーブ (PB28)、コンケーブバーを 40mm 間隔で配置し、支

柱がコンケーブバーの裏側に固定されているコンケーブ (PB40) を試作した。

2) 茎莢の脱穀部通過性評価試験を行った結果、排塵口到達時間が短いこと、入口付近での滞留時間が短いことから、PB28、PB40、標準の順で汚粒低減の可能性が高いことが明らかとなった。

3) 漏下性評価試験を行った結果、穀粒の 1 番オーガへの漏下は PB40 が最も多く、1 番口排塵割合はコンケーブによる差は小さいことから、PB40 が汚粒低減の可能性が高いと推察された。

4) 汚れ指数、脱穀選別損失を測定した結果、PB40 は汚れ指数が 0.23、脱穀選別損失が 0.5%と最も低かったことから、PB40 が脱穀選別損失を増加させず、汚粒を低減するのに効果的であることが示唆された。

第 8 章 穀粒損失および汚粒低減技術の実証的評価

8.1 緒言

これまでの研究で、刈刃刃先角が小さく受刃ピッチが狭い狭ピッチ切断部によって頭部損失が低減できること、丸棒を平行に配置した開口率の高いコンケーブ (PB40、以下「大ピッチ平行棒式コンケーブ」とする) によって汚粒を低減できることを明らかにした。しかし、大豆は地域によって品種、栽培様式、収穫条件が異なるため、普及に移しうる十分なデータが蓄積されていない。また、脱穀部形状が異なるスクリュ式こぎ胴のコンバイン等での性能は明らかにされていない。

そこで、本章では、品種、栽培様式、コンバイン型式等の異なる条件下での収穫データを蓄積するとともに問題点を抽出し、穀粒損失および汚粒低減技術の普及を図るため実証的評価試験を行った。

8.2 実証的評価試験

8.2.1 評価試験方法

農家に狭ピッチ切断部および大ピッチ平行棒式コンケーブを貸与し、作業性および性能に関する評価をアンケートによって調査した。部品を貸与し試験を実施してもらう農家は、中央農研ホームページで募集した。ただし、部品の貸与は、公立試験研究機関および普及センター等

を通して行い、公立試験研究機関および普及センターの職員に部品の交換および作業精度調査等の補助をお願いした。また、部品の貸与と同時に、①切断部交換方法および実験方法、②現場での部品交換および頭部・脱穀選別損失調査方法、③技術の特徴をまとめたパンフレットを配布し、技術普及のための広報を行った。

評価試験を実施した地域、件数および収穫面積を表 8-1 に示す。評価試験は、2007 年および 2008 年に、16 地域で行った。供試したコンバインは、2007 年に 12 台 (うち汎用 2 台)、2008 年に 24 台 (うち汎用 8 台) で、収穫面積は、2007 年度は約 170ha、2008 年は約 240ha であった。また、試験に供試した大豆の品種は、9 品種であった。

評価方法は、使用した農家に狭ピッチ切断部および大ピッチ平行棒式コンケーブについて使用した感想を書いてもらい、その内容から頭部損失、脱穀選別損失および汚粒について標準の切断部およびコンケーブと比較して「良かった」、「普通」、「悪かった」の 3 段階に分類した。「良かった」および「悪かった」の意見がある場合には、どちらにもカウントした。また、操作性や耐久性、構造等に関するその他の具体的な意見は表にまとめた。

表 8-1 評価試験における地域別試験条件

	適用技術		台数				収穫面積 (ha)		品種
	切断部	コンケープ	2007年		2008年		2007年	2008年	
			大豆	汎用	大豆	汎用			
岩手県	○	○	1		1		10.0	8.0	リュウホウ
宮城県	○					1		3.0	キヌサヤカ
福井県	○	○	1		1		20.0	8.0	エンレイ
福井県	○				2			5.0	エンレイ
富山県	○	○	1		1		11.0	11.0	オオツル、エンレイ
栃木県	○	○	1		1		0.3	0.8	タチナガハ
栃木県	○				1	1		70.0	タチナガハ、納豆小粒
茨城県	○	○		1		1	20.0	18.0	タチナガハ、納豆小粒
茨城県	○					1		0.8	タチナガハ
茨城県	○					1		0.7	納豆小粒
茨城県	○					1		14.0	タチナガハ
埼玉県	○	○	1		3		17.0	20.0	タチナガハ
山梨県	○					1		0.5	ナカセンナリ
島根県		○	3		3		30.0	30.0	サチユタカ
島根県	○	○		1		1	37.0	37.0	サチユタカ、タマホマレ
兵庫県	○	○	2		3		28.0	12.0	サチユタカ
合計	15	9	10	2	16	8	173.3	238.8	9品種

8.2.2 評価結果および考察

1) 狭ピッチ切断部に関する評価

狭ピッチ切断部の頭部損失低減効果に対する評価を図 8-1 に示す。狭ピッチ切断部に関する回答は 29 件で、頭部損失低減に関する効果は「良かった」が 79%、「普通」が 18%、「悪かった」が 4%であった。

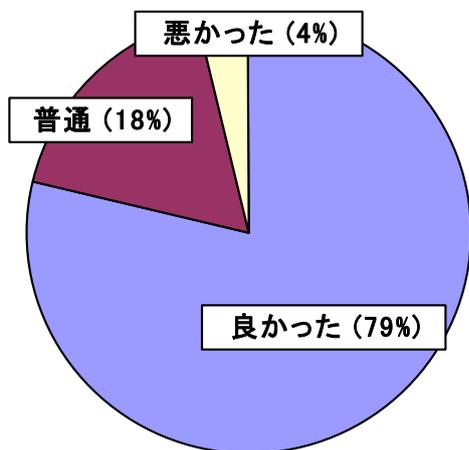


図8-1 頭部損失低減効果に対する評価

狭ピッチ切断部の主な評価理由を表 8-2 に示す。「良かった」では、「作業速度を上げても頭部損失が発生しにくい」が 4 件と最も多く、「作物列の終端で押し倒すことが減った」(1 件) や「主茎長が低い場合に低減効果が高い」(1 件) 等の回答があった。これは、切断時に茎を前

方に押さないという狭ピッチ切断部の特徴が現れ、農家に良い印象を与えたためと推察された。「悪かった」では、「刈刃が損傷した」(3 件)、「茎が太い場合に停止した」(1 件) 等の回答があった。刈刃の損傷は、石を噛んだことによる損傷が報告された。標準の切断部でも石による損傷は発生することから、狭ピッチの方が石を噛みやすい構造であるか検討する必要がある。また、大豆は品種や栽培様式によって茎径が大きくなるため、適応可能な茎径を示すなど使用上の注意を促す必要があった。設計または構造的な欠陥として「締められないボルトがあった」(2 件)、「遮蔽板と刈刃との間にたまった大豆が損失となった」(1 件) 等の報告があり、周辺部品を含めた形状を再検討する必要があった。

表8-2 狭ピッチ切断部に対する主な具体的評価

良かった点	件数
作業速度を上げても頭部損失が発生しにくい	4
狭畦密植栽培等で茎が細い場合に効果が高い	3
受刃の間に茎が入りやすく、茎の切断が容易である	2
刈り残し損失が少ない	2
作物列の終端で押し倒すことが減った	1
主茎長が低い場合に効果が高い	1
悪かった点	件数
刈刃が損傷した	3
締められないボルトがあった	2
茎が太い場合に停止した	1
右側に稈が残る	1
遮蔽板と刈刃の間に大豆がたまってロスになった	1
土が刃の上に乗ってしまう	1

購入希望については、「購入したい」が3件、「コンバイン購入時に導入したい」が2件、「金額が合えば購入したい」が4件あり、大量生産体制を整え部品を安く供給することで普及の可能性があることが示された。

2) 大ピッチ平行棒式コンケーブに関する評価

大ピッチ平行棒式コンケーブの脱穀選別損失および汚粒低減効果に関する評価を図8-2 および図8-3に示す。脱穀選別損失低減効果に関する回答は11件で、「良かった」が18%、「普通」が64%、「悪かった」が18%であった。脱穀選別損失は標準コンケーブで2%程度と小さく、また、目視で比較検討した所が多かったことから明らかな差異が認められず「普通」が多くなったと推察された。

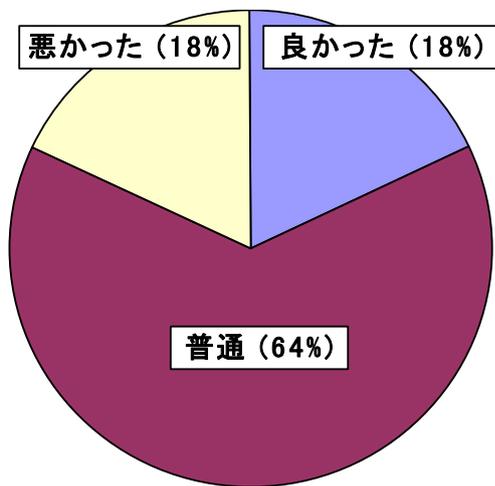


図8-2 脱穀選別損失低減効果に対する評価

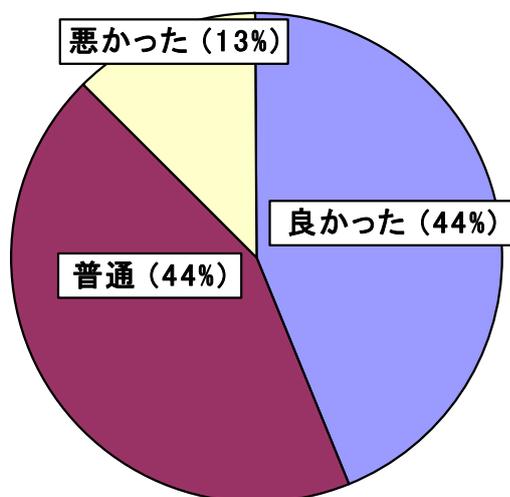


図8-3 汚粒低減効果に対する評価

大ピッチ平行棒式コンケーブの主な評価理由を表8-3に示す。汚粒低減効果に関する回答は16件で、「良かった」が44%、「普通」が44%、「悪かった」が13%であった。大ピッチ平行棒式コンケーブの評価理由を表8-3に示す。

「良かった」理由としては、「子実の選別部への漏下が標準コンケーブより良い」(2件)、「雑草が多い場合に汚粒が少ない」(1件)、「裂莢しやすい品種で効果が高い」(1件)等の回答があった。これらは、子実の漏下性が良いという大ピッチ平行棒式コンケーブの特徴による効果であると推察された。「悪かった」では、「コンケーブに茎が残りやすい」(2件)の回答があった。また、「収穫物に混入するゴミの量が増えた」(3件)、「水分が高い場合に脱穀部で詰まりが発生する」(1件)、「2番口で詰まりが発生した」(1件)等の回答があった。これらは、水分が高い場合に多く発生している。乾燥した茎莢は選別ファンによって機外へ排出されるが、湿った茎莢は機体内にとどまりやすいため収穫物への混入や詰まりの原因になったと推察された。また、脱穀部における茎莢の通過性が良く高水分大豆でも収穫作業が一時的に可能となるが、2番口搬送経路や選別部は高水分大豆に対応しておらず詰まりが発生しやすい条件となる。大ピッチ平行棒式コンケーブの普及には、高水分大豆収穫時における詰まりの発生について、注意を促す必要があることが示唆された。

表8-3 大平行棒式コンケーブに対する主な具体的評価

良かった点	件数
子実の選別部への漏下がよい	2
雑草が多い場合に汚粒が減少した	1
裂莢しやすい品種で汚粒低減効果が高い	1
標準より子実の漏下がよい	1
悪かった点	件数
収穫物に混入するゴミの量が増えた	3
コンケーブに茎が残りやすい	2
コンケーブ以外で汚粒が発生した	1
水分が高い場合に脱穀部で詰まりが発生した	1
易裂莢性品種で効果が高い	1
2番口で詰まりが発生した	1

購入希望については、「購入したい」が2件、「コンバイン購入時に導入したい」が1件、「金額が合えば購入したい」が1件あり、収穫に適した作業条件を明確にし、汚粒低減効果を示すことで普及を図る必要があることが示された。

8.3 摘要

品種、栽培様式、コンバイン型式等の異なる条件下での収穫データを蓄積するとともに問題点を抽出し、穀粒損失および汚粒低減技術の普及を図るため実証的評価試験を行った。

1) 関東を中心とする東北から関西までの 16 地域の農家（のべ収穫面積 412.1ha）に狭ピッチ切断部および大ピッチ平行棒式コンケープを貸与し、性能および作業性に関する評価をアンケート調査した。

2) 狭ピッチ切断部の頭部損失低減に関する効果は「良かった」が 79%と高い評価を得た。「作業速度を上げても頭部損失が発生しにくい」等の回答があり、切断時に茎を前方に押さないという狭ピッチ切断部の特徴が現れ、農家に良い印象を与えたと推察された。また、購入希望

もあり製造コストを抑えることによって普及の可能性があると示唆された。

3) 大ピッチ平行棒式コンケープの脱穀選別損失に関する評価は「普通」が 64%で最も多く、汚粒低減効果に関する評価は「良かった」が 44%であった。脱穀選別損失低減効果については目視で比較検討した所が多かったことから、明らかな差異が認められなかったためと推察された。汚粒低減効果は、「子実の選別部への漏下が標準コンケープより良い」等の回答があり、子実の漏下性が良いという大ピッチ平行棒式コンケープの特徴による効果であると推察された。ただし、高水分作業時に詰まりが発生する事例が生じたことから、適用作業条件を示し注意を促す必要性が示された。

第9章 総括

本論文は大豆コンバイン収穫における収穫損失、汚粒の問題解決のため、問題発生要因の解析、幾何学的解析を用いた設計手法の確立、圃場実証による技術開発の過程をまとめたものである。近年、農家の規模拡大等に伴いコンバイン収穫面積が拡大している。しかし、規模拡大による作業競合により、早期収穫による汚粒、刈遅れによる頭部損失が発生し問題となっている。本研究では頭部損失を低減する切断部および汚粒、脱穀選別損失を低減するコンケープを開発した。これらの技術を導入することにより頭部損失、脱穀選別損失および汚粒を低減できるのみならず、稼働時間の拡大、規模拡大、収益の増加等の効果が期待できる。

9.1 頭部損失発生要因の解明

頭部損失の発生要因を明らかにするため、高速度カメラによる刈取り工程の観察、リールラインおよび刈刃の軌跡と大豆の圃場データからなる収穫シミュレータの構築を行った。

高速度カメラによる刈取り工程の観察では、リールが大豆を通常の工程で掻込んだ場合には、損失の発生は確認されなかった。しかし、リールの掻込み作用がない場合には、刈刃による切断によって茎稈が前方へ飛び出し、プラットフォーム前方への落下やリールとの強い衝突が

起こり、枝落ち損失、裂莢損失が発生することが確認された。リールの作用効果を評価するための指標として、掻込み率、前方倒伏率、掻込み作用角、非切断率、有効掻込み切断率を定義した。収穫シミュレータで作業条件を変えてリール作用を評価した結果、リール速度比が小さいほど、掻込み率と掻込み作用角が小さく、前方倒伏率が大きくなる傾向を示した。リール速度比は頭部損失低減に一概に有利な傾向を示さず、頭部損失には各要素が相互に作用していることが示唆された。

以上より、頭部損失低減にはリールの掻込みが最適に作用する条件で作業するとともに、切断による茎稈の飛び出しが低減される切断部の開発が重要であることが確認された。

9.2 頭部損失発生要因の幾何学的解析

刈取り工程を刈刃が茎稈におよぼす作用によって分類し、それぞれの工程で頭部損失と関係が深い茎稈の飛び出し要因について幾何学的に解析した。刈刃が単独で運動する工程を移動工程、刈刃が茎稈切断面を伴って動作する工程を変位工程、茎稈切断面が受刃によって静止し茎稈が刈刃によって分離されるまでの工程を切断工程と定義した。

移動工程における茎稈の飛び出し要因を刈刃の能動的

作用と仮定し、刈刃が能動的に作用しない面を非有効面、非有効面と受刃面を合わせた面を非切断面と定義した。非有効面は切断速度比が大きく、非切断面は受刃ピッチが50 mm以上で茎稈の飛び出しを抑制するのに有利であった。変位工程における茎稈の飛び出し要因を茎稈の変位の方向および速度と仮定し、切断移動角および傾斜角速度を定義した。切断移動角は切断速度比が大きいほど、傾斜角速度は切断速度比が小さいほど茎稈の飛び出しを抑制するのに有利であった。切断工程における茎稈の飛び出し要因を刈刃と受刃の相対運動の差による茎稈のすべりと仮定し、刈刃が受刃に進入するときの切断角を終端切断角と定義した。終端切断角は、切断速度比が小さいほど、刃先角が小さいほど、受刃ピッチが狭いほど茎稈の飛び出しを抑制するのに有利であった。切断速度比および受刃ピッチは各工程で有利となる条件が異なるため、茎稈の飛び出しを抑制するための最適な条件を試験的に明らかにする必要があることが確認された。

9.3 茎稈飛び出し要因の解析

刈取り工程における切断部の作用による茎稈の飛び出し要因を明らかにするために、実機を使った茎切断モデル試験を実施した。

まず、切断モデル試験での大豆茎稈の代替となる材料を選定するため、大豆の曲げ剛性を測定した。曲げ剛性は $0.3\sim 0.8\text{N}\cdot\text{m}^2$ の範囲にあり、その曲げ剛性を再現するためにはヒノキでは長さ700mm程度、断面の1辺5mm程度が適切であった。切断モデル試験では、切断移動角および傾斜角速度の測定値は、作業条件、コンバインの設計寸法から算出された計算値と良く一致した。しかし、重心位置移動速度の計算値は、切断速度比が大きい範囲で測定値との差が大きくなった。そこで、刈刃が茎に衝突したときの運動エネルギーがすべてたわみエネルギーに変換されると仮定し、茎のたわみを算出した。補正後の重心位置移動速度の計算値は補正前と比較して改善され、測定値との差は小さくなった。受刃ピッチが重心位置移動速度におよぼす影響を調べた結果、受刃ピッチは狭い方が重心位置移動速度が小さいことが示された。また、切断工程における茎のすべりが重心位置移動速度におよぼす影響を調べた結果、すべりが大きいほど重心位置移動速度は大きいことが明らかとなった。すべりは終端切

断角が 0° 付近で小さくなることから、標準刃では切断速度比1.03、細刃では切断速度比1.91の組み合わせが良いことが明らかとなった。

以上より、茎稈を前方に飛ばさないための切断部を設計するためには、受刃ピッチを狭くし終端切断角が 0° に近くなる刃先角と切断速度比の組み合わせを選択することが重要であることが示唆された。

9.4 茎稈飛び出し低減のための切断部設計技術の開発

頭部損失測定試験によって、切断による茎の飛び出し要因と頭部損失、裂莢損失および落莢損失との関係を明らかにした。

切断面積割合および切断移動角が低いほど枝落ち損失の発生が低減され、各要因と落莢損失とに正の相関が認められた。傾斜角速度は裂莢損失と正の相関、落莢損失と負の相関が認められた。落莢損失が負の相関を示したのは、茎稈が弾性体であり刈刃の衝撃によってたわみが生じ前方への変位速度が傾斜角速度に従わなかったためと考えられた。また、裂莢損失が正の相関を示したのは、傾斜角速度が高くなるに従って刈刃による衝突や切断による衝撃が大きくなり裂莢が増加したものと考えられる。落莢損失は重心位置移動速度と有意な相関は認められなかったが、重心位置移動速度が高くなるに従って大きくなる傾向を示した。重心位置移動速度と落莢損失との関係を考察するためには、時間を考慮したパラメータで補正することで、より精度の高い推定が可能であることが推定された。

以上より、供試した設計寸法、作業条件では受刃ピッチ50mm、切断速度比1.03が最も低減効果が高いことが示され、頭部損失測定試験結果とよく一致した。このことから、茎稈の飛び出し要因の解析は、頭部損失を低減する切断部の設計に有効であることが示唆された。

9.5 頭部損失低減効果の実証

受刃および刈刃ピッチが50mm、刈刃刃先角 20° の試作切断部を「狭ピッチ切断部」と仮称し、狭ピッチ切断部による頭部損失低減効果を実証試験にて評価した。

その結果、狭ピッチ切断部によって頭部損失が低減し、特に低主茎長の条件下での頭部損失は約半分に低減され

た。また、主茎長 55~70cm の範囲では標準切断部でも頭部損失が 5%以下であることから、頭部損失を低減するためには適切な主茎長を確保するための栽培技術も重要であることが示唆された。一方、裂莢損失は標準よりも狭ピッチの方が少ない傾向を示した。これは、受刃ピッチを狭くし刃先角を小さくすることで切断時の茎稈の根元の変位角度と頭頂部の変位が小さくなり、機体との衝突が軽減したためと考えられた。落莢損失は標準よりも狭ピッチの方が少ない傾向を示した。これは、受刃ピッチを狭くし刃先角を小さくすることで非切断面積割合が小さくなり、刈刃による茎稈の前方への押し倒しが減少し、落莢損失が低減したためと考えられた。

9.6 汚粒および脱穀選別損失低減技術の開発

試作したコンケーブの通過性および漏下性を評価し、農家圃場で汚れ指数、脱穀選別損失を測定した。試作コンケーブ(PB28)は、シリンダ回転軸と平行にコンケーブバーを 28mm 間隔で配置し、支柱が回転方向に対して 21° 傾斜している。また、試作コンケーブ(PB40)は、コンケーブバーを 40mm 間隔で配置し、支柱がコンケーブバーの裏側に固定されている。

通過性評価試験をした結果、排塵口までの到達時間が短いこと、入口付近での滞留時間が短いことから、PB28 の汚粒低減効果が高いと推察された。漏下性評価試験の結果、穀粒の 1 番オーガへの漏下が最も良く、漏下性が良いことから PB40 が最も汚粒低減効果が高いと推察された。通過性および漏下性評価試験の結果は、コンケーブ形状に対して汚粒低減効果の評価が分かれたが、汚れ指数、脱穀選別損失を測定した結果、PB40 は汚れ指数が 0.23、脱穀選別損失が 0.5%と最も少なく、脱穀選別損失および汚粒の低減効果が最も大きいことが明らかとなった。

9.7 穀粒損失および汚粒低減技術の実証的評価

品種、栽培様式、コンバイン型式等の異なる条件下での収穫データを蓄積するとともに問題点を抽出し、穀粒損失および汚粒低減技術の普及を図るため実証的評価試験を行った。

狭ピッチ切断部の頭部損失低減に関する効果は「良かった」が 79%と高い評価を得た。購入を希望する意見も

あり、構造的な不具合を解消し生産コストを抑えることで普及の可能性があることが示唆された。大ピッチ平行棒式コンケーブ(PB40)の汚粒低減効果に関する評価は「良かった」が 44%であったが、高水分作業時に詰まりが発生する事例が生じたことから、適用作業条件を示し注意を促す必要があることが示された。

謝 辞

本論文をまとめる機会を与えて下さった(独)農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)・行本 修理事(農業機械化促進担当)に心より謝意を表します。

本論文をまとめるにあたり、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター(生研センター)・杉山隆夫前生産システム研究部長、宮原佳彦生産システム研究部長から温かい励ましを頂きました。深く感謝致します。また、本研究を取りまとめるにあたり生研センター生産システム研究部・日高靖之主任研究員に多大なるご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

本研究のデータ収集・解析に多大なる協力を頂きました農研機構中央農業総合研究センター(中央農研)・小林恭高度作業システム研究チーム長、長坂善禎主任研究員(現農林水産技術会議事務局)、国立卓生主任研究員、藤田綾子氏に深く感謝申し上げます。さらに、圃場試験でご協力を頂きました中央農研・南地原哲也氏、一石司夫氏、松井輝徳氏(現近畿中国四国農業研究センター)、中山拓郎氏に深く感謝します。また、データ解析手法について貴重な意見をいただいた(独)農業環境技術研究所・西田智子主任研究員に御礼申し上げます。

大豆研究一般についてご指導頂いた元大豆 300A 研究チーム長・有原丈二氏(現クボタ(株))に心より感謝申し上げます。また、農家ほ場での調査にご協力を頂きました中央農研・松尾和之上席研究員、九州沖縄農業研究センター・渡辺輝夫九州バイオマス利用研究チーム長、三重県科学技術振興センター・中西幸峰氏に深く感謝申し上げます。

本論文の執筆にあたり貴重なご意見をいただいた九州大学大学院農学研究院・森 健教授(現退職)、内野敏剛教授、岡安崇史准教授に心より感謝申し上げます。また、九州大学名誉教授・坂井 純氏から温かいご支援を頂くとともに、九州大学大学院農学研究院・光岡宗司助教、

田代克己氏（現退職）からご助言とご指導をいただきました。心より謝意を表します。

実験装置およびコンバイン部品を試作いただいたヤンマー株式会社に感謝申し上げます。同社の中矢昭彦氏、古田東司氏、木村桂一氏には貴重な助言をいただきまし

た。深く感謝申し上げます。

本研究は、たいへん大勢の方々にご協力を頂いたおかげでまとめることができました。ご協力、ご指導頂いた全ての皆様をここに記載できないことをお詫び申し上げますとともに、心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Dunn, W. E., Nave, W. R., Butler, B. J. : Combine Header Component Losses in Soybeans, Trans. ASAE, 1032-1035, 1973
- 2) Hirai, Y., Inoue, E., Matsui, M., Mori, K., Hashiguchi, K. : Reaction Force of a Wheat Stalk Undergoing Force Displacement, Journal of JSAM, 65(2), 47-55, 2003
- 3) Lamp, B. J., Johnson, W. H., Harkness, K. A. : Soybean Harvesting Losses - Approaches to Reduction, Trans. ASAE, 203-207, 1961
- 4) Nave, W. R., Cooper, R.L. : Effect of Plant Population and Row Width on Soybean Yield and Harvesting Loss, Trans. ASAE, 17(5), 801-804, 1974
- 5) Nave, W. R., Hoag, D. L. : Relationship of Sickle and Guard Spacing and Sickle Frequency to Soybean Shatter Loss, Trans. ASAE, 18(4), 630-632, 1975
- 6) Nave, W.R.; Hoag, D.L.; Hummel, J.W. : Sickle and Guard Design for Soybean Harvesting , Trans. ASAE, 22(1), 30-34, 1979
- 7) Quick, G. R., : Laboratory Analysis of the Combine Header, Trans. ASAE, 5-12, 1973
- 8) Quick, G. R., Buchele, W.F. : Reducing Combine Gathering Losses in Soybeans, Trans. ASAE, 1123-1129, 1974
- 9) Quick, G. R., Buchele, W. : The Grain Harvester, ASAE, Michigan., 1978
- 10) Quick, G. R., Mills, W. M. : High Capacity Narrow-Pitch Soybean Cutter Bar, Trans. ASAE, 21(2), 277-280, 1978
- 11) University of Arkansas Division of Agriculture : Arkansas Soybean Handbook, 98-108, 2001
- 12) 青木弘二, 沓名吉弘, 福永雅一 : 水田高度利用に関する研究 (第 1 報) , 愛知県農試研報, A6, 103-110, 1974
- 13) 安達巖 : 日本の食物史, 同文書院, 東京都, 1976
- 14) 市川友彦 : 大豆刈取り機の現状と問題点 : 農林水産研究ジャーナル, 3(7), 14-14, 1980
- 15) 市川友彦, 杉山隆夫, 三浦保, 鈴木正肚, 間中正雄 : 大豆刈取機の開発研究 (第 2 報) , 農機研報, 16, 25-42, 1981
- 16) 市川友彦 : 大豆収穫の機械化 : 農業機械学会誌, 43(4), 639-643, 1981
- 17) 市川友彦, 杉山隆夫, 間中正雄 : スクリュ型大豆脱穀機の開発研究 (第 1 報) , 農業機械学会誌, 46(1), 35-42, 1984
- 18) 市川友彦, 杉山隆夫, 間中正雄 : スクリュ型大豆脱穀機の開発研究 (第 2 報) , 農業機械学会誌, 46(2), 189-195, 1984
- 19) 市川友彦, 杉山隆夫, 間中正雄 : スクリュ型大豆脱穀機の開発研究 (第 3 報) , 農業機械学会誌, 46(3), 303-308, 1984
- 20) 市川友彦, 杉山隆夫, 間中正雄 : スクリュ型大豆脱穀機の開発研究 (第 4 報) , 農業機械学会誌, 46(4), 451-457, 1984
- 21) 市川友彦, 杉山隆夫, 高橋弘行 : 汎用コンバインの開発研究 (第 1 報) , 農業機械学会誌, 58(3), 77-86, 1996
- 22) 市川友彦, 杉山隆夫, 高橋弘行 : 汎用コンバインの開発研究 (第 2 報) , 農業機械学会誌, 58(4), 87-94, 1996
- 23) 市川友彦, 杉山隆夫, 高橋弘行 : 汎用コンバインの開発研究 (第 3 報) , 農業機械学会誌, 58(5), 71-77, 1996
- 24) 井上栄一 : 耕地風と作物耕地等との関係, 農業技術研究報告誌, A(10), 42-51, 1963
- 25) 井上英二, 金暎根, 橋口公一, 岡安崇史, 山口陽理 : 有限要素法による作物稈の撓み特性の解析, 九大農学誌, 52(1,2), 51-58, 1997
- 26) 井上英二, 金暎根, 橋口公一, 岡安崇史, 鹿島潤 : 稲稈の力学特性に関する一考察, 農業機械学会誌, 60(2), 97-102, 1998
- 27) 井上英二, 平井康丸, 橋口公一, 岡安崇史 : 稲稈の周波数応答特性に関する理論的考察, 農業機械学会誌, 62(2), 73-80, 2000
- 28) 井上慶一 : クリーニングを兼ねた損傷の少ない籾から混合乾燥法, 農学大系作物部門大豆編, 追録第 28号, 技198の12-技198の15, 養賢堂, 東京都, 2006
- 29) 梅田直円, 金谷豊, 長坂善禎, 井上英二 : 大豆収穫における頭部損失低減技術の開発 (第 1 報) , 農業機械学会誌, 69(4), 96-101, 2007

- 30) 梅田直円, 井上英二, 金谷豊, 長坂善禎: 大豆収穫における頭部損失低減技術の開発(第2報), 農業機械学会誌, 69(4), 102-108, 2007
- 31) 梅田直円, 井上英二, 金谷豊, 長坂善禎: 大豆収穫における頭部損失低減技術の開発(第3報), 農業機械学会誌, 69(4), 109-114, 2007
- 32) 梅田幹雄(1992): 自動脱穀機の脱粒機構の解析(第1報), 農業機械学会誌, 54(1), 47-55.
- 33) 江崎春雄: 刈取機の研究と実際(第二部, 第三部), (株)新農林社, 53-85, 1995
- 34) 江崎春雄: いね・麦稈を科学する(第1報), 農業及び園芸, 33(6), 893-896, 1958
- 35) 江崎春雄: いね・麦稈を科学する(第2報), 農業及び園芸, 33(7), 1023-1027, 1958
- 36) 江崎春雄: 刈取機とコンバインの試作研究, 農機研所報, 114, 1964
- 37) 江崎春雄: 穀類収穫機, (株)イセブ, 茨城県, 1986
- 38) 置塩康之, 岸本基男: 汎用コンバインを基幹とする大豆~麦栽培の機械化技術の確立に関する研究(第1報), 兵庫県立中央農業技術センター研報, 37, 95-100, 1989
- 39) 神谷清之進, 柴田俊美, 山本寅雄, 山影博晶: 普通コンバインによる大豆収穫法, 秋田県農業試験場研報, 24, 1-28, 1980
- 40) 斉藤洋, 岡田晃治, 神谷清之進: 輪換畑地高度利用作付け体系の確立, 東北農業研究, 40, 145-146, 1987
- 41) 斉藤亘: 畑作機械化に関する調査研究, 北海道立農研報, 15, 65-79, 1966
- 42) 下名迫寛: 汎用コンバインの作業特性と利用技術, 農業技術, 43(10), 483-441, 1988
- 43) 下名迫寛: 小麦, 大豆の収穫技術と品質, 農業技術, 46, 1-5, 1991
- 44) 杉原修, 北倉芳忠, 吉川嘉一: 福井県における大豆の機械化収穫作業体系の確立 第1報 機械化収穫のための大豆の形態的特徴と機械収穫条件の解明, 福井県農業試験場報告, 27, 1-19, 1990
- 45) 杉山隆夫, 江崎春雄, 鈴木正肚, 今園支和, 間中正雄: 大豆刈取機の開発研究(第1報), 農機研報, 15, 39-56, 1981
- 46) 杉山隆夫: コンバインを中心とするダイズ収穫の現状と留意点, 農学大系作物部門大豆編, 追録第27号, 技181-技188, 養賢堂, 東京都, 2005
- 47) 杉山隆夫: 選別とクリーニング, 農学大系作物部門大豆編, 追録第27号, 技199-技201, 養賢堂, 東京都, 2005
- 48) 瀬野幸一, 児玉憲司, 板垣善之助, 安達眞道: 大豆のコンバイン収穫技術, 山形県農業試験場研報, 25, 85-106, 1991
- 49) (社)全国農業改良普及協会: 大豆作業機マニュアル, 42-52, 東京都, 2001
- 50) (社)全国農業改良普及協会: 大豆乾燥調製マニュアル, 48-50, 東京都, 2000
- 51) 竹中秀行: 収穫適期の判断と収穫方法, 農学大系作物部門大豆編, 追録第27号, 技189-技198, 養賢堂, 2005
- 52) 土屋武彦, 砂田喜与志: 大豆品種の最下着莢位置と主要形質との関係, 北海道立農試集報, 40, 1-9, 1978
- 53) 土屋武彦, 砂田喜与志: ダイズの耐裂莢性に関する育種学的研究, 北海道立農試集報, 39, 19-26, 1978
- 54) 土屋武彦: ダイズの耐裂莢性に関する育種学的研究, 北海道立農試集報, 58, 1-53, 1986
- 55) 中原一郎: 材料力学, 養賢堂, 121-122, 東京都, 1965
- 56) 農業機械化研究所: 鑑定試験成績(No. 3), 44, 1963
- 57) 農林水産技術会議事務局編: 大豆一自給率向上に向けた技術開発一, 農林統計協会, 2002
- 58) 農林水産省: 大豆に関する資料, 農林水産省, 東京都, 1982-2006
- 59) 農林水産省: 国産大豆品種の事典, 農林水産省, 東京都, 2000
- 60) 農林水産省農産園芸局編: 汎用コンバイン導入マニュアル, 20-38, 2000
- 61) 原令幸, 竹中秀行, 関口建二, 原圭祐, 玉木哲夫: 大豆のコンバイン収穫と汚粒防止対策, 北海道立農試集報, 80, 45-54, 2001
- 62) 松井範義: コンバイン大豆の収穫について, 神大農研報, 10, 215-219, 1972

-
- 63) 松田良一, 江崎春雄:刈取機の研究, 関東東山農業試験場研報, 7, 120-154, 1955
- 64) 松森一浩, 富樫千之, 佐々木邦男, 斉藤満保:圃場の大区画化における作業量の変化について, 農作業研究, 29(3), 181-191, 1994
- 65) 村上昭一, 国分喜治郎, 長沢次男, 橋本鋼二:寒冷地向け主要ダイズ品種の最下着莢位置とその関連形質, 東北農業研究, 29, 119-120, 1981
- 66) 村田公夫, 沖嶋壽彦, 金子一也:大区画水田における稲・麦・大豆作機械化作業体系, 群馬県農試研報, 3, 7-13, 1997
- 67) 御子柴公人:農学大系作物部門大豆編, 基3-基13, 養賢堂, 東京都, 1956
- 68) 山内文男, 大久保一良, 鎌田慶朗, 山岸辰則, 星祐二:大豆の科学, 朝倉書店, 東京都, 1992
- 69) 渡辺篤二:やさしい豆腐の科学, フードジャーナル社, 東京都, 1987

Summary

Development of Techniques to Reduce Grain Losses and Staining in Combine Soybean Harvesting

Naonobu UMEDA, Yutaka KANETANI, Eiji INOUE, Eiji KURIHARA

Grain losses and staining of beans with soil and stem juices remain problems that combine harvesting of soybean in Japan still face with. This prompted us to develop a cutter bar designed to minimize header losses and a concave design to reduce threshing-separating losses and staining.

The details of the research on the development of the cutter bar to reduce header losses are as follows.

We observed the influence of the components of the header on soybean plants during harvesting by employing a high-speed video camera. The stalks fell forward when the reel did not gather them, resulting in shattered pods. We next constructed a harvesting simulator based on data on analysis of reel displacement, intra-row spacing, and the height of the soybean plants. The results showed the ratio of the stalks gathered to be 42% at the highest and the ratio of the stalks pushed forward to be 18% at the highest under normal combine operation, suggesting that it is important to clarify the optimum use conditions of reel and to classify the forward speed of stalks. These are important because high header losses are caused by a low overall gathering rate of stalks when the reel does not gather the stalks.

The gathering process was classified into the moving process, the displacing process and the cutting process for each action of the knife. The forward motion of the stalks was analyzed geometrically in each process into the parameters of advance ratio, cutting height, guard pitch and other working conditions.

We gave a provisional name of the "ineffective cutting area" for the area where the knife section did not cut effectively during the moving process, the "stalk motion angle during the displacement process" for the direction of the forward lean of the stalk, the "lodging angular velocity" for the angular velocity during the displacement process of the stalk while still rooted, and the "terminal cutting angle" for the cutting angle at the point where the knife edge is hidden behind the guard.

The results showed that to optimize each process, the advance rate should be low, the cutting height should be high and the knife angle should be small. However, the best advance ratio and

guard pitch varied with each process, suggesting that it is necessary to clarify conditions under which the forward speed of the stalk during the gathering process can be minimized.

In order to investigate the forward motion of the stalks during the gathering process, we set up an experiment model for cutting stalks with a combine harvester. The speed of movement of the stalk's center of gravity was provisionally termed as the center of gravity speed. The calculated center of gravity speed tended to be higher than the value actually measured with a side-mounted video camera, but it was observed when the stalk was assumed to be a rigid body. We then assumed that all motion energies were converted into potential energies of the deflection of the stalk, and corrected the center of gravity speed accordingly. The calculated center of gravity speed then agreed closely with the measured value. After calculating the center of gravity speed using our design parameters, it was shown that a narrower guard pitch led to a lower center of gravity speed.

Next, after examining the relationship between the slip of the stalk on the blade edge and the center of gravity speed during the cutting process, we found that a longer slip of the stalk tended to result in a higher center of gravity speed. The slip tended to shorten as the terminal cutting angle was closed to 0° , suggesting that a normal blade should be arranged at an advance ratio of 1.03 and for a slim blade be arranged at an advance ratio of 1.91. It was thus shown to be important in cutter-bar design that the guard pitch should be narrower and that the combination of knife angle and the advance ratio be selected so that the terminal cutting angle be close to 0° .

We measured header losses under varied experimental conditions to investigate the relationship between the forward motion of stalks during the gathering process and header losses, and then optimized the dimensions of the cutter bar as well as the combine settings. Next, in field tests on farms, we evaluated an experimental cutter bar designed to reduce header losses. The results showed header losses, shatter loss and stalk loss to be correlated to the ratio of anti-cut area, lodging angular velocity and stalk motion angle during the displacement process. We determined the conditions needed to reduce the forward motion of the stalk during the gathering process based on the center of gravity speed calculated from lodging angular velocity, and corrected for deflection during contact between knife and stalk. The results revealed the optimal guard pitch to be 50 mm, knife angle 20° , and advance ratio of 1.03. We provisionally named the experimental cutter bar a "narrow-pitch cutter bar." Header losses during use of the narrow-pitch cutter bar were approximately half of those sustained using a conventional cutter bar when they were applied for soybeans with lower stem heights.

The details of our research on the development of the concave to reduce staining are as follows. To clarify the necessary capability for the concave structure, we observed soybean pods in a

combine thresher. All the pods were threshed within 20 cm from the entrance. A thresher needs to demonstrate two capabilities for soybeans. One is that the amount of grain passing from the thresher to the separator must be high and the amount of chaff passing from thresher to separator must be low. The other is that the threshing time of stalks and pods must be short.

Next, we evaluated two experimental concaves: we measured the threshing time of stalks and pods and the amount of grain passing from thresher to separator. Experimental concave PB28 is composed of concave bars arranged with 28 mm in distance, to which pillars are fixed with 21 degree of inclination. The other experimental concave, PB40, is composed of concave bars arranged with 40 mm in distance, to which pillars are fixed at the back of the concave bars. Conventional concaves are made of punched metal. The threshing time of stalks and pods was the shortest with PB28, but the amount of grain passing from the thresher to the grain sieve was the greatest with PB40. We were thus unable to decide which was the most effective one.

Next, we measured the staining index, threshing and separating losses in the field. The staining index of PB40 was 0.23, with threshing and separating losses at 0.5 %. As a result, we decided that PB40 was the most effective concave to reduce staining as well as threshing and separating losses.

Therefore, adopting these technologies can reduce header losses, threshing and separating losses and staining. Increased combine operating time, expansion of land use and growth of farmer earnings are also assumed. We expect our design to facilitate increased cultivation of domestic soybeans.

本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製
(コピー) することを禁じます。
転載・複製に当たっては必ず原著者の許諾
を得て下さい。

農業機械化研究所研究報告 第 39 号

平成 22 年 3 月 印刷・発行
頒価 708 円(本体価格 675 円)

Technical Report of the Institute
of Agricultural Machinery No.39

〒331-8537
埼玉県さいたま市北区日進町 1 丁目 40 番地 2

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所

1-40-2, Nisshin, Kita, Saitama-city, Saitama
331-8537 JAPAN
URL: <http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/>

Institute of Agricultural Machinery
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution
National Agriculture and Food Research Organization

印刷・製本 / 文進堂印刷株式会社