

フォレンジハーベスタの吹き込み方向制御技術の開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): Forage harvester, Chute control, Relative position measurement, Laser scanner 作成者: 岡戸, 敦史, 石田, 三佳, 澤村, 篤, 住田, 憲俊 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001907

フォレージハーベスタの吹き込み方向制御技術の開発

岡戸敦史¹⁾・石田三佳・澤村 篤・住田憲俊

飼料生産管理部

¹⁾ 近畿中国四国農業研究センター

要 約

フォレージハーベスタ (FH) のシュート部に、伴走運搬車の位置を非接触で認識して自動で吹き込み位置制御を行う機構を付加し、その性能を評価した。この機構は市販の FH に相対位置検出機構と制御コンピュータを組み合わせた構成からなり、吹き込む対象となる運搬車にマーカとして再帰反射板を取り付けている。相対位置認識センサとして対象物の距離、方向を同時測定できるレーザスキャナを供し、これにより運搬車のマーカ位置を検出する。さらに制御コンピュータがマーカ検出位置をもとにシュート・ヘッド角度の制御を行うことで自動吹き込み位置制御を行う。シュート方向制御の精度確認試験の結果、許容誤差を 50cm とした場合、運搬車が FH 後方 1～5 m の範囲内であれば荷受け作業に十分な精度で追従できると考えられた。実際の収穫作業に供試した結果、良好な作業が可能であった。

キーワード：フォレージハーベスタ、相対位置計測、吹き込み制御、レーザスキャナ

緒 言

現在の飼料作物生産の収穫体系では、収穫と運搬の作業が同時に行われていることが多く、この場合複数の作業機械及びオペレータが必要となる。収穫作業は限られた期間内に大量の収穫物を圃場から搬出する必要があるが、収穫適期は多くの場合どの農家も同時であり、総じてオペレータが不足しがちである。近年の我が国におけるロールベール収穫体系の普及はこうした背景によるところが大きい。しかしロールベール収穫体系はワンマンオペレータで作業できる利点はあるが、ラップサイレージにした際は、個々の品質の不均一さ、貯蔵中の品質劣化リスクの高さ、解体・給与時の多労さが指摘されている。また作物によってはロールベール収穫体系では対応できず、依然としてフォレージハーベスタ細切体系の重要性は高い。このため複数機械を使用する収穫作業の省人化技術が要請されている。

この省人化を実現する方法として、フォレージハーベスタ (FH)、運搬車の完全な無人化も考えられるが、現状では運搬車が道路走行を行う際、あるいは作業の安全

確保の面から、結局オペレータが必要となる。そこで著者らは、自動運転する無人の FH と有人の運搬車の組み合わせによる、ワンマン収穫体系を想定した。この方法においては、オペレータは一人で、しかも運搬車に乗り続けたままで作業でき、省人化・軽労化が期待できる。その基礎となる技術としては(1)自動走行技術、(2)収穫物を運搬車へ移すための自動吹き込み制御技術、が挙げられる。これらのうち(1)の技術については近年多くの研究²⁾が行われ、一部の作業については実際の作業に適用可能な技術レベルに達しつつある。また、近年では無人車両の複数同時走行に関する研究も行われている³⁾。一方、(2)のような無人運転を前提とした作業に関する技術開発は、まだ始まったばかりである。

著者らは FH の自動化を達成するための基盤技術として、FH が伴走運搬車の位置を非接触で認識しつつ、自動で吹き込み位置を調整する機構を開発するとともに、その性能の評価を行ったので報告する。

方 法

1. 試験装置

1) 概要

本研究で扱う FH は、既存の自律走行トラクタ⁴⁾への

応用の容易さと広く用いられている収穫体系ということから、自走式ではなくトラクタ直装式とした。さらに図1に示すように、自動運転するFHの横を伴走する形で有人の運搬車を走らせて収穫・吹き込みを行う収穫体系を想定した。本研究で供試されるFHは、(1)本体、(2)相対位置検出機構及び(3)制御用コンピュータから構成される。搭載されたセンサ及びコンピュータにより、運搬車の位置を検出するとともに、荷台位置に収穫物が落下するよう吹き込み位置制御を行った。

2) FHの改造

試作した機構の構成を図2に、図3には自動吹き込み位置制御を行うよう改造されたFHを示す。ベースとなるFHとしては小型フレールハーベスタ(S社：MFH0900)を供試した。適用するトラクタ出力は15kW以上である。



図3. 試作フォレージハーベスタ

一般にFHは、ヘッド角度の調節により収穫物の飛距離が、シュート部の回転により吹き出し方向が、それぞれ調節できるようになっている。供試したFHでは、ヘッドはワイヤを介した人力操作、シュートは油圧シリンダにより回転する仕様であったが、自動制御への容易さからヘッドはモータ駆動に、シュートは電動シリンダとリンク機構による駆動に改造した。これらはリレーとI/Oボードを介してコンピュータで制御する。またヘッド・シュートの回転角度を検出するため、それぞれにポテンシオメータを装着している。これにより回転角度は電圧値に変換され、制御コンピュータはA/Dコンバータを介してこれを読みとることができる。

3) 相対位置検出手法

車両間の相対位置を検出する技術として、ワイヤを2台の車両間に渡して相対位置を検出する測距システムが開発されている⁹⁾。しかしこの方式では作業の度にワイヤを脱着する必要があるため、手間がかかる。作業の簡略化のためには、非接触方式でFHと運搬車との相対位置を検出するのが望ましい。本研究では非接触で物体の距離、方向を同時測定するセンサとして、レーザスキャナ(S社：LMS210)を供試した。供試センサはレーザ光を扇状に発射するとともにその反射光をとらえ、その方向と往復時間から反射点の向きと距離を算出する機能を持つ。供試センサの性能を表1に示す。供試センサは

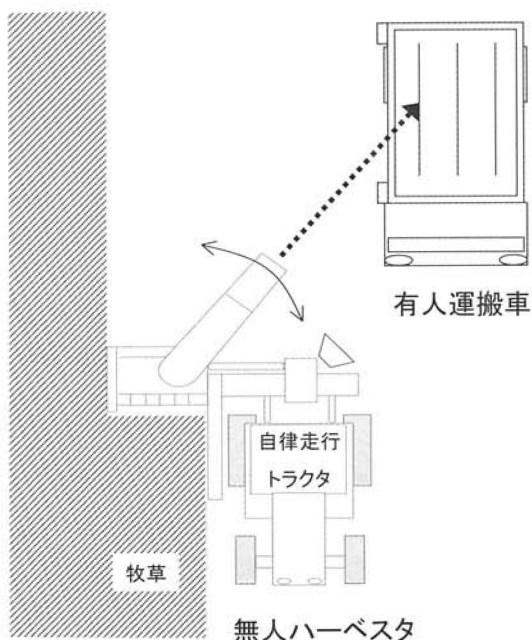


図1. 想定した収穫方式

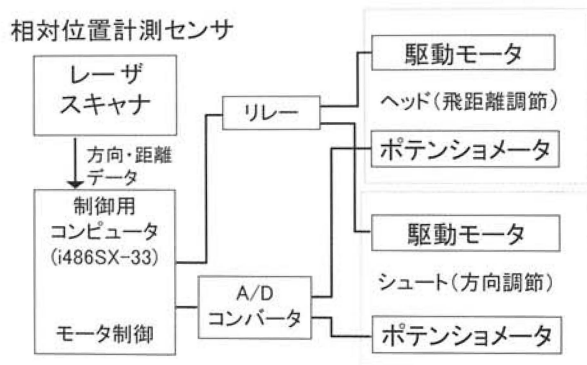


図2. 試作機構の構成

表1. 供試センサの仕様

型式	S社 LMS210
測定方式	反射型スキャナ (クラス1レーザ)
最大測定距離	50 m
角度分解能	0.5°
距離測定誤差	± 50 mm
スキャン時間	40 ms
データ出力	RS422

RS422 シリアル通信インタフェースを装備し、外部の制御装置からの制御コマンドの受信、及び測定データの出力を行うことが可能である。この外部の制御装置として、供試システムではRS422シリアル通信カードを装備したパーソナルコンピュータを使用している。

供試センサの通常の使用方法では、レーザー光が到達した物体表面の形状データが得られるが、形状データからその物体の位置及び向いている方向を正確に決定することは複雑な処理が必要となり、技術的に困難が多い。そこで、センサのレーザー感知部に黒色ポリエチレンフィルムを貼り感度を低下させるとともに、対象車両に高輝度の再帰反射板（再帰反射係数660：12'の時）をマークとして取り付け、センサはマーク位置のみを検出するようにした。図4にその原理を示す。車両の2カ所にマークを取り付けることで、その位置とともに車体の方向も検出することができる。なお供試センサのスキャン範囲は100°であるが、マークがFHの真横の位置でも検出できるよう、センサをFH左後方45度の方向に取り付けた。

4) 吹き込み制御

吹き込み制御フローチャートを図5に示す。まず制御コンピュータは、センサに対してデータ送信コマンドを送信し、その応答として測定データを受信する。このデータは反射レーザー光の方向及び距離情報を含んだ極座標データである。実際の制御においては、この極座標データはセンサ位置を原点とした直交座標上の座標値に変換して使用する。また何らかの理由でセンサがマークを検出できなかった場合には、制御を行わずに再びマークを検出するまでセンシングを繰り返すこととした。

次に運搬車の荷台方向にシュートを向けるためのシュート角度を計算する。しかしシュート回転部とセンサ取り付け位置が異なるため、まずセンサ座標系と制御

座標系を一致させるための座標変換が必要となる。この座標変換は両者の位置関係から幾何学的に算出される。これを図6に示す。これにより制御座標系でのマーク位置P1, P2が得られる。次にシュートのターゲットとなる点Tの座標を計算する。点Tは運搬車荷台中心線上の任意の位置に設定できる。図7より、マーク位置座標P1, P2を結ぶ直線と平行かつ車幅Wの2分の1だけ離れた直線を求め、これを荷台中心線とする。ターゲットTは計算された荷台中心線上のP3-P4間に設定される。設定されたTの座標値から図7の式①及び②より、シュート角度 θ と吹き出し距離Lが決定される。制御コンピュータは求められた θ , Lの値を元にシュート、ヘッドの角度制御を行う。

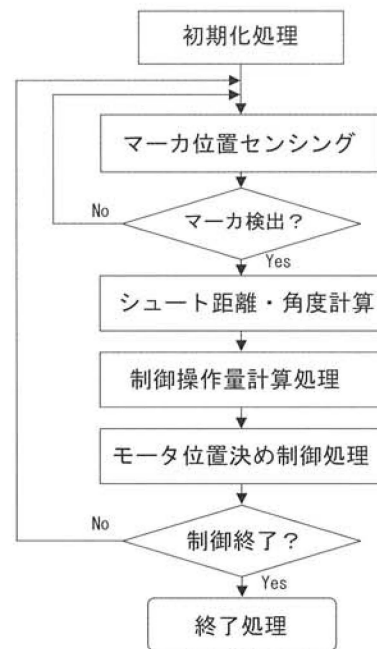


図5. 制御処理フロー

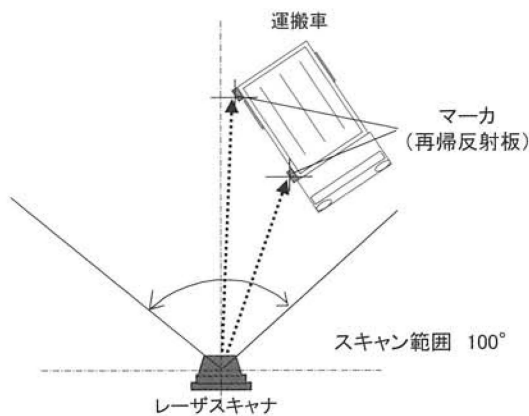


図4. 相対位置検出手法

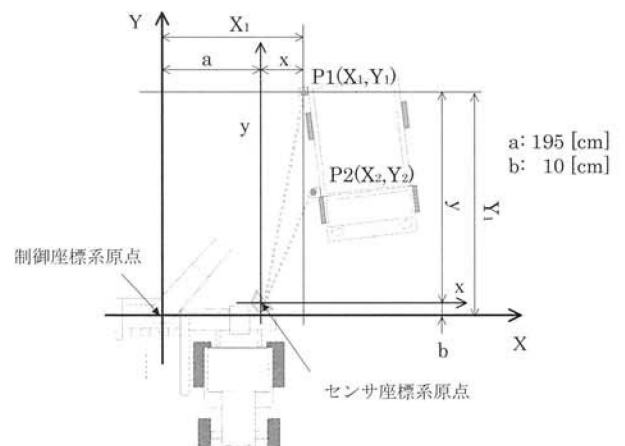


図6. センサと制御座標の関係

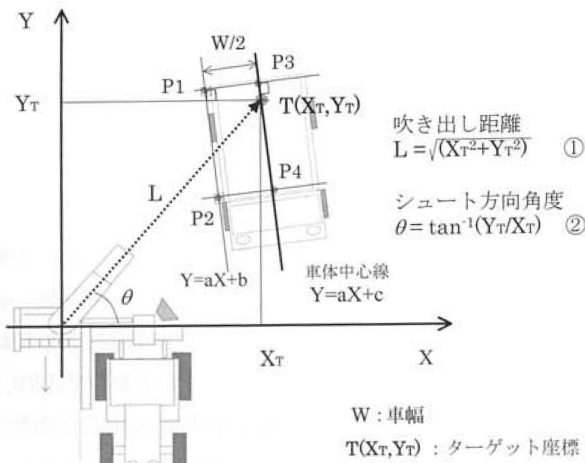


図7. ターゲット座標の決定

5) 吹き出し距離とヘッド角度との関係

ヘッド角度で収穫物の飛距離を調節する本方式では、制御のために両者の関係を把握する必要がある。供試FHより吹き出された収穫物の飛距離を計算で予測することは困難であるため、ヘッド角度と飛距離の関係式を実測により求めた。測定は数種類のヘッド角度を設定して実際に収穫作業を行い、ヘッド角度に相当するポテンシオメータ電圧、及び吹き出した収穫物の距離を計測した。結果を図8に示す。なお、供試FHの最大吹き出し距離は5m程度である。

2. 試験方法

1) シュート方向制御の精度確認試験

供試した相対位置検出手法とシュート方向制御の性能を確認するための試験方法を図9に示す。試験では、ターゲットである運搬車が荷受けのためにFHと併走する場合を想定しており、図中A及びB線の上に運搬車に見立てたマーカ（反射板）を設置した。このマーカは目盛りを書き込んだパネルに取り付けられている。またマー

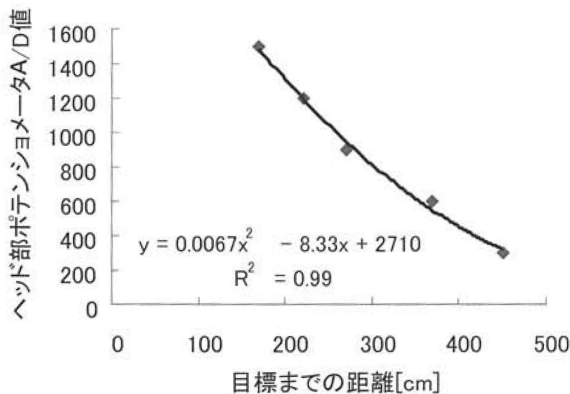


図8. 飛距離とヘッド角度の関係

カ方向へシュートが向くよう制御プログラムを設定すると共に、シュート先端部にレーザポインタを取り付けた。このレーザポインタのパネルへの投光位置とマーカ位置との差Eを、Lを変化させながら測定することで、シュート方向制御の精度を評価した。

2) 牧草収穫試験

試作システムが実際の収穫作業に適応できるかを検証した。アルファルファ圃場において、FHによる牧草刈り取りと運搬車への吹き込み作業を行った。運搬車は荷台幅1.1mの農業用小型運搬車を牧草積み込み用に改造したものを使用した。相対位置検出のためのマーカは基本的にどの部分に取り付けてもよいが、今回は荷台位置の算出を簡単にするため、荷台右側の前端部及び後端部の2カ所に取り付けた。

実際に吹き込み作業を行う際、収穫物が運搬車の一カ所に集中して積み上がると積載能力が低下する。そこで収穫物を荷台に均等に落とす機能を付加した。具体的には、吹き込み位置を荷台中心線上の4カ所に分散して設定し、ねらう位置を前後方向に絶えず変更していく制御を組み込んだ。

試験結果

シュート方向制御の精度確認試験における、運搬車がFH側方1m及び2mの位置で併走しつつ、前後方向に移動したと想定した場合のシュート方向精度を図10に示す。運搬車とFH間の距離が増大するに従い、シュートのねらい誤差（制御の際の目標位置と実際にねらった位置との偏差）が増大していた。また一部で誤差が大きく変動する箇所が見られた。また、ねらい誤差より幾何

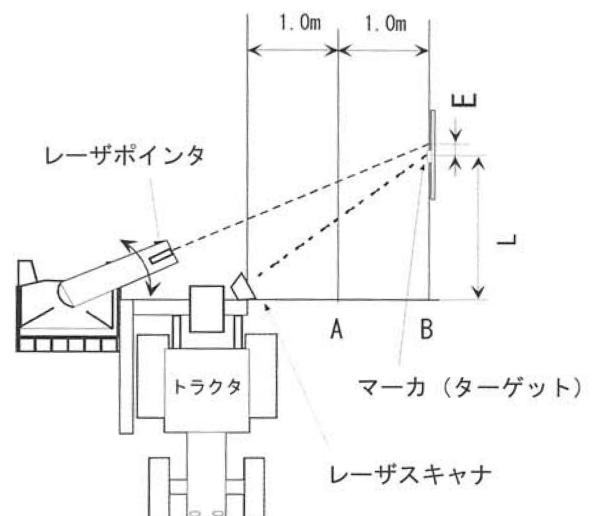


図9. シュート方向角度の測定試験

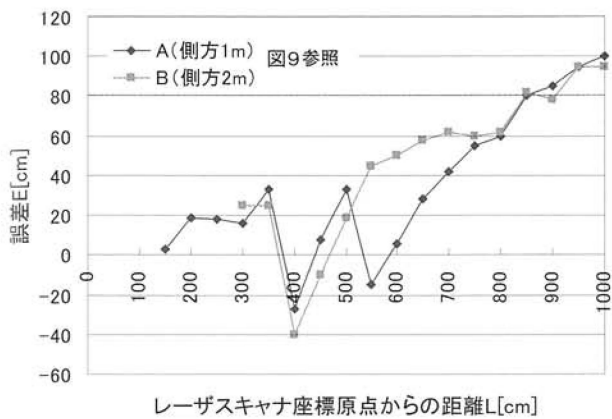


図10. シュート方向精度 (位置による評価)

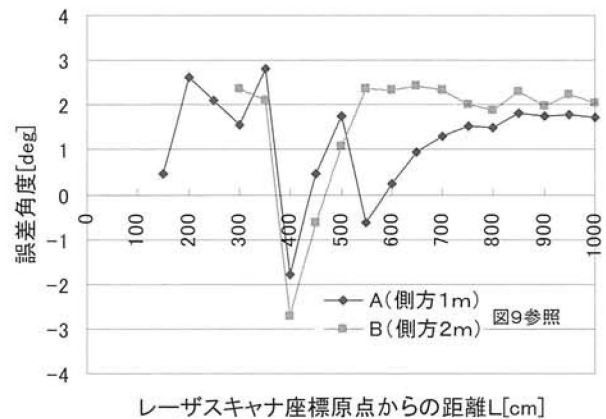


図11. シュート方向精度 (角度による評価)

学的に算出したシュート方向角度の誤差を図11に示す。なおAでLが100cm以下、BでLが250cm以下の場合においては、シュート可動範囲の制限や屋外光によるポイントの視認不良からデータが得られなかった。

収穫試験において、試作した作業機を用いてアルファルファを刈り取り、運搬車に吹き込む試験を行ったところ、良好に吹き込み作業を行うことができた。直線走行時だけでなく旋回時でも運搬車に追従した吹き込みが可能であった。また観察結果から、荷台上に収穫物を分散して積み込めることが確認された。しかし風の影響によりシュートより吹き出した収穫物が散乱して吹き込み精度が悪化することがあった。また散乱した収穫物がレーザ光を遮断し、センサがマーカを検出できなくなることもあったが、大半のケースでは再度のセンシングでマーカを検出できたため大きな問題とはならなかった。

考 察

1. 図10の試験結果より、吹き出し距離に対しねらい誤差は比例して増大する。一方、図11のシュート方向の角度誤差においては吹き出し距離に比例せず、800cm以上の遠距離においてはほぼ一定となる傾向が見られる。このことから、ねらい誤差が吹き出し距離に比例する大きな要因としては、センサの取り付け角度に約2度のずれが生じていたためと推測された。また距離400~700cmにおいて大きな誤差変動が生じるのは、制御のハンチングが発生して電動シリンダが伸縮動作した場合であり、加えてシュート駆動部のリンク機構のガタが作用して大きな誤差が生じたと推測された。吹き込みの誤差をどこまで許容しうるかは一概には決められないが、シュート方向の許容誤差を50cm程度とした場合、運搬車の荷台位置がFH後方1

~5mの範囲であれば、今回供試した機構においても十分な精度で追従できるといえる。

2. 実際に収穫試験を行った場合においてもほぼ問題なく作業可能であったが、風が吹き込み精度に影響する場合があります対策が必要である。風の影響としては、まず吹き出した収穫物の一部が運搬車からそれて散乱しロスになること、さらに散乱した収穫物により相対位置センサのレーザ光が遮断される場合が認められた。風で散乱する主な原因としては、フレール型の供試FHでは送風能力が不足しているためと推測された。
3. FHの収穫物自動吹き込みに関する本供試システムの有効性と問題点が明らかにできた。今後は風などの外部要因に対して自動吹き込み作業の信頼性をより向上させる必要がある。風の影響に対して吹き込み性能をさらに安定させるためには、フレール型でなくブローワを備えた吹き上げ能力の高いハーベスタをベースに用いる、運搬車により近い位置から吹き込みを行うシュート形状とする、運搬車の荷台側面に落下防止のための板を装着する、などの対策が考えられる。

引用文献

- 1) 飯田訓久・前川智史・工藤杜司・梅田幹雄(1999), 無人追走方式の研究(第2報), 農機誌, 61(6): 141-147.
- 2) 石田三佳・芋生憲司・岡戸敦史・竹永 博・本田善文・糸川信弘・澁谷幸憲 (1998), 飼料生産圃場における自律走行トラクタに関する研究, 農機誌, 60(2): 59-66.
- 3) 長坂善禎・谷脇 憲・大谷隆二・重田一人・佐々木泰弘 (1999), 自動走行田植機の開発 (第1報), 農機誌, 61(6): 179-186.

- 4) 西村秀司・本田善文・芋生憲司他 (1996). 牧草収穫作業のためのトラクタの自動操舵に関する研究 (第1報). 農機誌, 58(2): 31-38.
- 5) 岡戸敦史・本田善文・石田三佳・芋生憲司・竹永博・糸川信弘 (1999). 飼料作圃場作業における自律走行技術の開発. 草地試研報, 58: 26-37.
- 6) 玉城勝彦・瀬川 敬・澁谷幸憲・飯島 渡(2001). 傾斜草地における広幅施肥作業に向けた自動走行制御技術. 農機誌, 63(5): 109-115.
- 7) 行本 修・松尾陽介・野口 伸・鈴木正肚(1998). 耕うんロボットシステムの開発(第1報). 農機誌, 60(3): 37-44.
- 8) Niemien, T., Sampo, M. and Mononen, J. (1996). Development of a Control System for Autonomous Agricultural Vehicles. AgEng'96, Madrid Spain 1996, PAPER: 96A-094.
- 9) 山本聡史・行本 修・松尾陽介・横地 穩(2000). 自動追従技術の研究(第2報). 第59回農業機械学会年次大会講演要旨: 87-88.

Development of a Chute Control System for Forage Harvester

Atsushi OKADO¹⁾, Mitsuyoshi ISHIDA, Atsushi SAWAMURA and Noritoshi SUMIDA

Department of Forage Production

¹⁾ National Agricultural Research Center for Western Region

Summary

An automatic chute control system for a forage harvester is described. We developed a chute control system for a forage harvester to blow and load grasses automatically into the forage wagon. The forage harvester was a small and flail type in the field test. We modified the flail harvester for automatic loading. To get accurate relatively position of the forage wagon, a laser scanner was attached to the forage harvester. This sensor emits fan beam of laser and can get directions and distances to reflectors on the forage wagon. The computer calculates position of the forage wagon from this sensor. And it controls actuators for chute and deflector angles in order to load grasses into the forage wagon.

In the result, loading accuracy gets progressively worse with distance from the harvester to the wagon. We decided that possible distance from the harvester to the wagon in this system is less than 5 m. The control system has performed well in harvesting.

Key words: Forage harvester, Chute control, Relative position measurement, Laser scanner