

## 有人車両とロボット車両の同時作業（協調）による サイレージ踏圧作業

試験研究計画名：有人車両とロボット車両の協調作業によるサイレージ踏圧作業体系の省力化

地域戦略名：有人車両とロボット車両の協調作業によるサイレージ踏圧作業体系の開発  
研究代表機関名：(国) 帯広畜産大学

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

近年の人口減少による労働力不足の状況下においては、今後、自給飼料の調製作業において必要なオペレーターを安定的に確保することはますます困難となり、将来にわたり自給飼料を安定的に調達・確保していくためには現行の自給飼料調製作業の見直しが最重要課題となっています。

そのため、今後酪農家による外部支援システムの中核となるコントラクターやTMRセンターの利用拡大や受託面積の拡大を図るためには、無人車両の導入による作業の自動化や、既存の有人作業と新たに導入する無人作業を効果的に組み合わせて作業の省力化を図るなど、自動化技術の現場への導入を効果的に進めていく必要があります。

そこで、本研究ではサイレージ調製作業を対象に踏圧作業に用いる車両をロボット化し有人車両と協調作業（分担作業）を行うことで、大型バンカーサイロ等におけるサイレージ調製の作業時間を削減する技術の開発を進めました（写真1）。



写真1 間口15mのサイロにおける有人車両(黄色)とロボットトラクターによる同時作業(協調)

## 技術体系の紹介：

### 1. ロボットトラクターと有人車両（ホイールローダー）による同時踏圧作業（協調）

具体的な技術体系として、サイレージ踏圧作業において有人車両は運ばれてくる原料草をバンカーサイロ内に広げる作業および壁際の踏圧を担当し、ロボット車両は、壁際以外の部分の踏圧を実施する作業体系を確立しました。

#### 有人車両の役割

有人車両は、トラックにより搬入される原料草をバンカーサイロ内に広げる役割と、左右のバンカーサイロの壁際から 1.5m 幅の原料草の踏圧を担当します。また、トラックの運転手に原料草をおろす位置の指示も行います。

#### ロボットトラクターの役割

ロボットトラクターは、図 1 に示すあらかじめ決められている走行作業経路に従い、バンカーサイロの中央部分の踏圧（壁際から 1.5m までの場所を除いた場所）を担当します。図 1 に示すとおり 50cm のピッチでジグザク走行をしながら踏圧します。ロボットトラクターは、次に説明する「サイレージパッカー」を牽引することで、3.7m の踏圧幅で均一に踏圧することが可能となります。

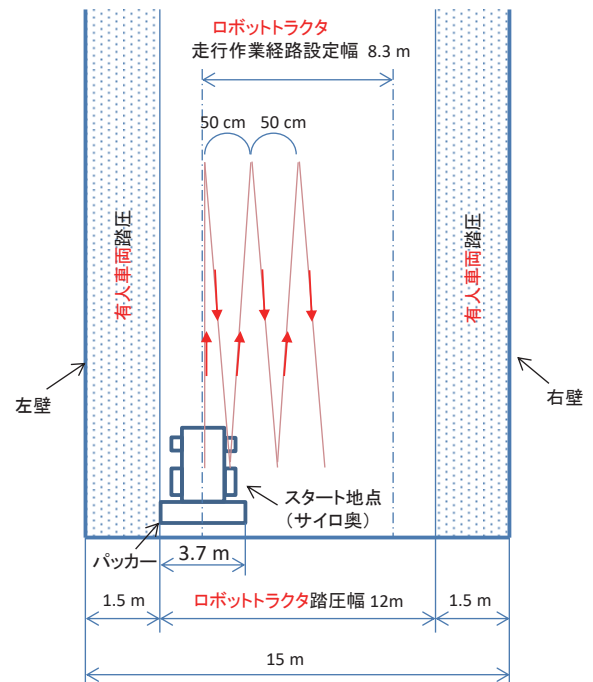


図 1 ロボットトラクターの走行作業経路

#### ロボットトラクターの投入にタイミング

バンカーサイロに原料草の投入を開始してから 5 時間程度は、サイロ内の原料草が少なく、スロープも小さいことから、ロボットトラクターによる踏圧はできません（ファームダンプ 10t により 3 分間隔で原料草搬入された場合）。

### 2. 最適な作業体系のシミュレーション（協調作業 2 台と 3 台の場合）

大型バンカーサイロ（間口 15m × 長さ 75m × 高さ 3m）におけるロボットトラクターによる踏圧を想定し、作業規模のシミュレーションを行いました。協調作業 2 台（ロボットトラクター 1 台と有人車両 1 台）、協調作業 3 台（ロボットトラクター 1 台と有人車両 2 台）の場合を想定しました。各車両の動きは上記（1. ロボットトラクターと有人車両（ホイールローダー）による同時踏圧作業）に示した通りです。前提条件として作業機が緩衝し合わない（横並びで作業できること）ことが必要です。サイレージ踏圧パッカーの作業幅は 3.7m、ホイールローダーの作業幅は 2.7m あります。このためバンカーサイロの間口 15m 以上の場合は、この導入要件を満たします。間口 20m の場合は、作業面積が大きくなるため、作業効率は高いことが予測されますが、1 日に取り出すサイレージの量が見合っていなければ、サイレージの品質が落ちることになるため注意が必要です。

具体的な作業体系のシミュレーションを行い、図 2 に示しました。原料草搬入のトラックが 3 分に 1 台投入されることを前提としました。サイレージ踏圧パッカーを牽引するロボット車両がバンカーサイロの右から左に移動して戻って来るまでの時間はおよそ 4 分かかります。その動きを避けるようにホイールローダーが左端、左、中央、右、右端に少しずつ移動するのが理想となります。サイレージ踏圧パッカー（ロボットトラクター）に合わせて、有人車両が柔軟に作業体系を変化させて同時作業（協調）体系を構築することが重要となります。

このシミュレーションによると、以下の経済性に示す通り労働時間の削減および作業機（バックホー）の削減による経費の削減につながることを示されました。

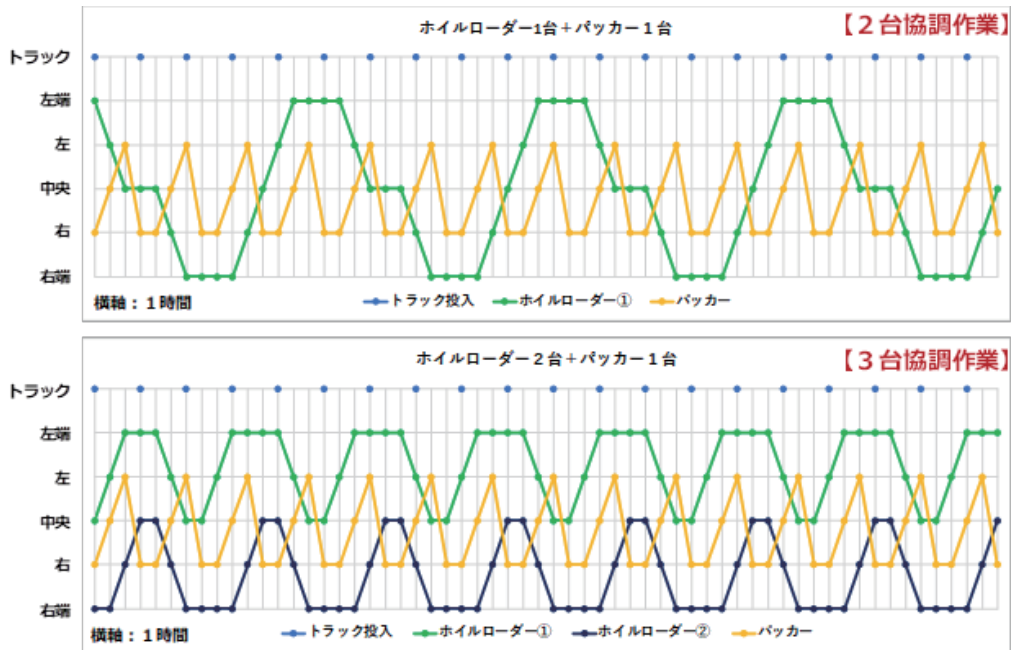


図2 ロボットトラクター(パッカー)とホイールローダーの動作シミュレーション

### 3. サイレージ踏圧パッカー利用によるサイレージ密度の向上

トウモロコシサイレージ調製において、サイレージ踏圧パッカーを用いた場合とホイールローダーのみで踏圧した場合の踏圧効果を比較した結果、①サイレージ踏圧パッカーの使用により詰め込み密度が高まり、②バンカーサイロ内の詰め込み密度の変動が小さくなり、③サイロ内全体のサイレージの発酵品質が向上しました(図3)。また、詰め込み密度が高まるためサイレージパッカーの使用によりバンカーサイロへ原料の詰め込み量を増加できることが示されました。ロボット車両によるサイレージ踏圧パッカーを自動走行することは、有人運転による踏圧作業車両数を減らすだけでなく、昼休みなどの詰め込み作業中断時でも踏圧作業が可能となります。これらのことからサイレージパッカーの利用により、従来よりも少ない労働時間で発酵品質の優れたサイレージをより多く調製できることが示されました。

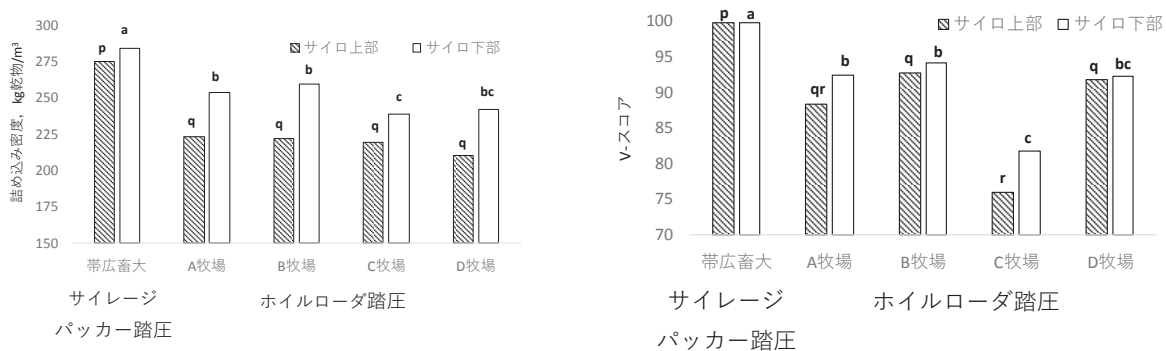


図3 バンカーサイロ上部と下部の詰め込み密度およびVスコアに対するサイレージパッカーの効果  
\* a, b, c 間、p, q, r 間の異なるアルファベット間では有意な差が認められた。

### 技術体系の経済性：

#### 経営改善効果

ホイールローダー3台とバックホーによる従来型の踏圧作業と、ホイールローダー2台とサイレージ踏圧パッカーを牽引するロボット車両を導入した際の労働時間削減効果(表1)および経費の削減効果(表2)にまとめました。大型バンカーサイロ(間口15m×長さ75m×高さ3m)1基の踏圧作業にかかる労働時間は、従来作業と比較すると28%の削減効果が認められ、経費は16%の削減効果が認められ

ました。サイレージ踏圧パッカーを導入することで、バックホーを使用せずにバンカーサイロの最終成型ができることもわかりました。なお、このシミュレーションは、実際に協調作業として稼働したロボット車両と有人車両の稼働時間を測定し、その結果をに基づいて分析しています。

表 1 労働時間削減効果

作業体系	作業機			労働力			労働時間削減効果	
	機械名	稼働時間	合計時間	人数	労働時間	合計時間		
従来作業	バンカーサイロ 3,375m <sup>3</sup>	ホイローダー①	24	67 ※約3日	3	24	67	-
		ホイローダー②	24			24		
		ホイローダー③	15			15		
		バックホー (成形)	4			4		
協調作業	トラック 442台 刈取面積 91.6 ha	ホイローダー①	24	67 ※約3日	2	24	48	28%
		ホイローダー②	24			24		
		パッカー (踏圧)	15			0		
		(成形)	4			0		

表2 経費削減効果

作業体系	機械名	1時間当たりの 利用経費	作業機 稼働時間	バンカーサイロ 1基当たりの利用経費	利用経費 合計	労働時間 削減効果
従来作業	ホイローダー①	¥8,575	24	¥205,800	¥576,225	-
	ホイローダー②		24	¥205,800		
	ホイローダー③		15	¥128,625		
	バックホー	¥12,000 ※1日当たりの レンタル費とする	4 ※3日とする	¥36,000		
協調作業	ホイローダー①	¥8,575	24	¥205,800	¥485,377	16%
	ホイローダー②		24	¥205,800		
	パッカー	¥3,883	15	¥58,245		
	パッカー	4	¥15,532			

\* 経費の算出は北海道農政部生産振興局技術普及課策定の「農業機械導入計画策定の手引き」に従った。

経済的な波及効果

ロボットトラクターより、サイレージ踏圧作業の一部が自動化されるだけに留まらず、この車両を活用し他の農作業（耕起、鎮圧等）の自動化も可能となることから、酪農地帯におけるロボットトラクターの導入により人手不足の解消につながる可能性があります。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

大型のTMRセンターおよびコントラクター事業者で、間口が15m以上のバンカーサイロを複数基持ち合わせている事業体における導入が期待できます。

技術導入にあたっての留意点：

大型のバンカーサイロ（間口が15m以上）において導入することが効率的ですが、一日のサイレージ取り出し量を計算し、取り出し口のサイレージ劣化に影響がないことを確認して下さい。

現時点では、自動走行プログラムの市販化にめどが立っていません。当面はサイレージ踏圧パッカーを導入し、効率的な踏圧作業を実施することから始めて下さい。

研究担当機関名：(国) 帯広畜産大学

お問い合わせは：(国) 帯広畜産大学産学連携センター

電話 0155-49-5786 E-mail crcenter@obihiro.ac.jp

執筆分担 ((国) 帯広畜産大学生命食品科学部門 花田正明・産学連携センター 藤倉雄司)