

スマート技術を応用したTMRセンターにおける飼料生産

1. はじめに

農林水産省「飼料生産組織をめぐる情勢」¹⁾によると、全国のTMRセンター組織数は2008（平成20）年の85組織から2022（令和4）年には163組織と、14年間で1.9倍に増えています。地域別で見ると、関東33、九州19、東北17組織などとなっていますが、最も多いのは北海道の89組織で全組織数の55%を占めています（2022年）。北海道のTMRセンターは、酪農と肉用牛の両者を供給対象とする組織も一部ありますが、それらを含めて全組織が酪農を対象としています。肉用牛のみ、および酪農と肉用牛を供給対象とするセンターが53%を占める都府県と対照的です。とりわけ、北海道のTMRセンターは飼料を自給している組織が多くを占める点でも、都府県TMRセンターと異なります。

このように、酪農に特化し、自給飼料に依拠する北海道のTMRセンターは、家族労働酪農経営における飼料生産・TMR製造に要する労働力の軽減に寄与しています。また、新規就農を促進する役割も実際に担っています。家族経営を支え、国産飼料の生産を支える組織として、重要性が一層高まっています。

しかし、その一方で、TMRセンターやTMRセンターの飼料生産を請け負うコントラクターでは、労働力の確保が困難になっています²⁾。飼料生産・調製に関する技術の継承が危ぶまれる現場もあります。中には、将来にわたってセンター運営を継続することが難しいと感じるといった声を聞くこともあります。北海道のTMRセンター1組織当たり構成酪農家戸数は、北海道農政部（2023）³⁾に基づいて計算すると平均9戸です。もし1つのセンターが経営を中止すると、構成酪農家が他のセンターを利用できない条件の場合、その9戸の経営継続が困難になりかねません。

このように、TMRセンターにおける飼料生産は大きな課題に直面しています。この状況を打破する

手段として、スマート技術に対する期待が高まっています。本稿では、筆者が携わったプロジェクト研究の成果を中心に、スマート技術を応用したTMRセンターにおける飼料生産について概説したいと思います。

2. スマート農業実証プロジェクト実証課題における取り組み

本稿における内容は、農林水産省「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」（事業主体：農研機構）において実施した「TMRセンター利用型良質自給飼料生産利用による高泌乳牛のスマート牛群管理体系の実証」（2019年度・2020年度）の課題に基づいています。この課題には、農研機構北海道農業研究センター、地方独立行政法人北海道立総合研究機構（道総研）酪農試験場、農協、民間企業などがそれぞれの得意分野を活かし連携して取り組みました。筆者は、本課題の実証代表者として参加しました。

当課題では、TMRセンターにおける自給飼料生産・TMR製造から構成酪農家におけるTMR給与・生乳生産にわたる一連の生産場面に各種スマート技術を導入し、その効果を検証することを目的としました。実証地となったTMRセンターアクシスは、北海道標津郡中標津町にある、牧草地・飼料用トウモロコシ圃場約1,000haを管理して、TMRを1,300頭超に供給するといった規模でした。

本稿では、当課題において得られた成果のうち、飼料生産・TMR製造に関する技術を取り上げます。すなわち、（1）空撮画像解析による飼料用トウモロコシ圃場の雑草繁茂状況および栽植密度の推定、（2）UAVを用いた薬剤散布作業、（3）画像解析によるトウモロコシ収量・収穫適期の推定、（4）収穫調製作業自動記録・リアルタイムモニタリングシステム、（5）IoT活用型TMR製造システム、（6）QRコード型TMR製品管理システムについて検討して得られた成果の一部を紹介します。

3. 各スマート技術の特徴

(1) 空撮画像解析による飼料用トウモロコシ圃場の雑草繁茂状況および栽植密度の推定

飼料用トウモロコシ生産における除草作業の省力化を図りたいとの意識から、圃場の雑草状況を定量化する技術の開発に取り組みました。その結果、ドローン空撮情報に基づいて、雑草繁茂状況を圃場内の位置情報とあわせて可視化することに成功しました。また、圃場単位面積あたり雑草繁茂箇所（雑草スポット数、1m²単位）を算出し、雑草の多い圃場、少ない圃場を定量的に示すこともできました（図1）。これによって、当該圃場に対して除草剤の全面施用が必要か、一部に集中的に散布する方が適するか、客観的に判断できるようになります。

また、欠株率の実態を的確に把握するために、トウモロコシの発芽後の状況を上空からドローンで撮影して得た画像から、各圃場の栽植密度を推定しま

した。地上調査による実測値との誤差は2%と高精度で推定できることを確認しました。ドローン空撮画像に基づき推定された栽植密度の順に圃場を一覧にすると（図2）、平均を大きく下回る圃場が特定できます。なぜ当該圃場では栽植密度が低くなったか、圃場図と照らし合わせて振り返ると、圃場の形状がいびつだったり一筆の面積が狭かったりという特徴があることや、播種時に土壌が乾き過ぎていたことなどが浮かび上がりました。オペレータ内でこのような情報を共有することで、播種時のトラクター運転速度を推奨通りに順守するとか、播種状況をこまめにチェックするとか、改善策が徹底できます。作業者からは、経験の浅いオペレータに対する教育訓練効果を期待する声も聞かれました。

(2) UAVを用いた薬剤散布作業

飼料用トウモロコシに対するすす紋病の被害は、著しい場合では栄養収量の損失が20%以上に達します⁴⁾。そのため、殺菌剤散布による防除が必要になる場合があります。しかし、殺菌剤散布に適する8月頃にはトウモロコシの草丈が高く、圃場内に大型散布用機械が入りません。そこで近年は、すす紋病の防除のために、無人ヘリコプターによる殺菌剤散布が行われることがあります。本課題では、その経済性を含めて無人ヘリによる殺菌剤散布効果を検証することを目的の一つとしました。

しかし、実証期間中は、多湿条件になることがほとんどなかった上、すす紋病抵抗性のあるトウモロコシ品種を選択したこともあり、すす紋病の発生はきわめて限定的でした。そこで実験的にフライトさせて、散布の準備や実作業に要する時間、必要資材の消費量などを調査して1ha当たり必要経費などを概算しました。その結果を、すす紋病による被害に伴う養分収量ならびに経済的損失に関する報告⁴⁾と照らし合わせると、被害の発生程度が軽微な場合には無人ヘリによる殺菌剤散布は経済的でないこと、減収程度が正常比1割程度以上と予測される場合には実施するべきであることが判明しました。

また今後は、飼料作物・牧草を対象とした除草剤散布にドローンの利用が期待されます。そこで当課題では、自動航行型ドローンを用いて、牧草地におけるスポット除草を模したデモフライトを行い、作業効率について検証しました。研究実施時点では、薬剤の補給を頻繁に行う必要があるなど課題が抽出されましたが、上記(1)のドローンによる雑草状況の定量的把握と連係したスポット除草の実用化へ

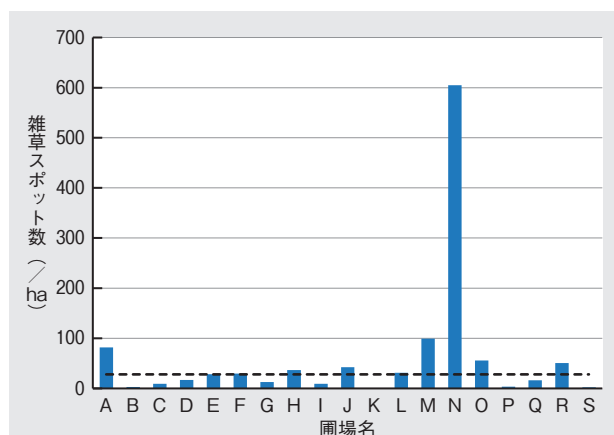


図1 ドローン空撮画像に基づく飼料用トウモロコシ圃場の雑草スポット数
アルファベットは便宜上の圃場名。雑草スポット数：圃場を1m²のスポットに分けたときに雑草が含まれるスポットの数。横破線：中央値。

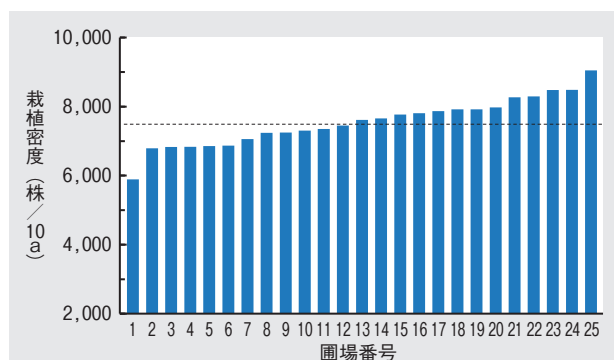


図2 ドローン空撮画像に基づく飼料用トウモロコシ圃場の栽植密度推定値
圃場番号はデータが小さい値となった圃場から順に機械的に割った。横破線は平均値。

の応用が期待されます。

(3) 画像解析によるトウモロコシ収量・収穫適期の推定

TMRセンターは広範囲にわたる草地・飼料畑を有しており、バンカーサイロの準備開始日や、分散する圃場の収穫時期・順序を決定することは、収穫期間中における一連の作業をスムーズに進める上で重要です。この調整は多くの場合、熟練者の経験に依っています。技術の継承が危ぶまれるケースさえある現状では、熟練者に頼らず作業計画が進められることが望まれます。そこで、画像解析情報に基づいて飼料用トウモロコシの収量および収穫適期を予測する手法を導入して実用性を検証しました。

収量予測については、ドローン空撮画像によって草高の積分値から地上部体積値を推定し、それと実収量（ダンプ積載平均重量×ダンプ台数）との関係を解析しました。その結果、調査対象31圃場のうち1圃場では、草高が平均10m以上と計算されましたが、それを除いて解析したところ、各圃場の地上部体積推定値と実収量との間に強い正の相関関係が認められました（図3）。また、地上部体積推定値から収量を予測する場合の誤差は約16%と計算されました。1圃場ながら草高が異常値を示した原因については不明ですが、おおむね実用的な収量予測が可能であることが確認されました。

収穫適期予測については、衛星画像を解析し、正規化植生指数（NDVI）に基づいて登熟度合いの圃場間差と、同一圃場内での変化の様相を可視化することができました。しかし、年次によっては収穫適期予測を行いたい時期に曇天が続いてデータがほとんど取得できないこともありました。この点で課題が残されています。

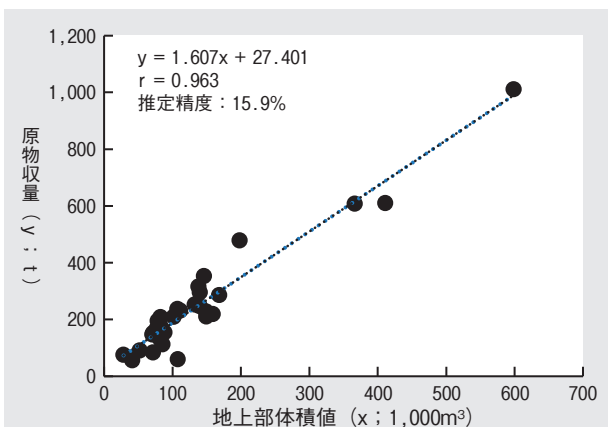
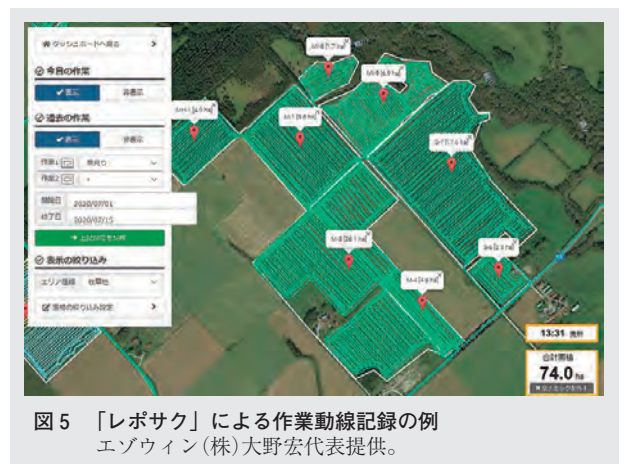


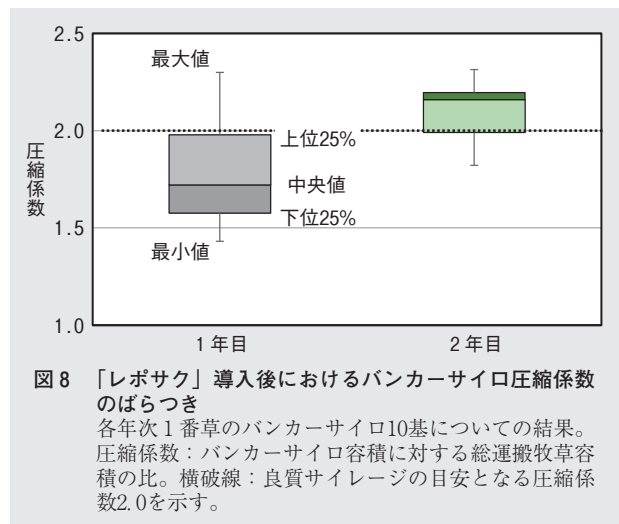
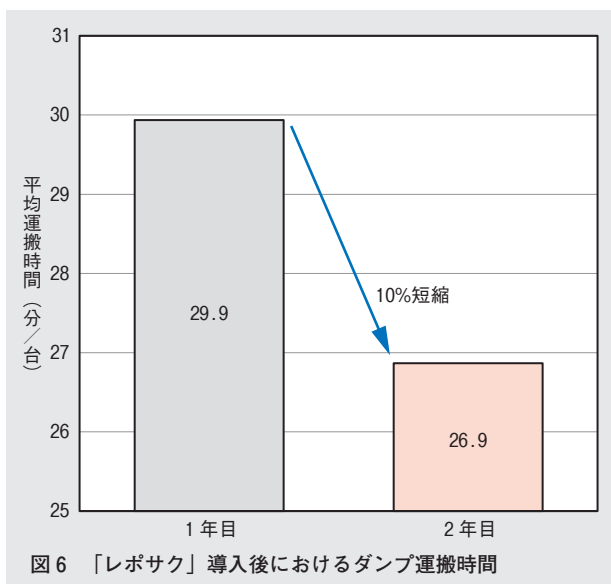
図3 ドローン空撮画像解析に基づく飼料用トウモロコシの1圃場当たり地上部体積推定値と原物収量の関係

(4) 収穫調製作業の自動記録・リアルタイムモニタリングシステム

収穫調製時には、フォレージハーベスタによる収穫、ダンプによる収穫物の運搬、ホイールローダーなどによるバンカーサイロでの詰め込みが広範囲で同時に進行します。大規模なTMRセンターでは数十台のダンプが同時に稼働することもあります。作業中には、ハーベスタ待ち状態のダンプが何台か待機する圃場があれば、ダンプ待ち状態のハーベスタが収穫作業をしばらく中断する圃場のある場合もみられます。省力化を図るには、このような作業時間のロスをなるべくなくして、作業が遅滞なく並行して進むことが望まれます。そこで、作業状況を自動記録しリアルタイムでモニタリングするシステム「レポサク」（エゾウィン(株)、北海道標津郡標津町）（図4、5）を導入し、その効果を検証しました。実証1年目は、TMRセンター管理室で「レポサク」情報をモニタリングして、待機ダンプ運転手に別の圃場への移動を携帯電話で指示するなど対応



しました。実証2年目は、さらに迅速化を目指して、各車両に搭載したタブレットによって各オペレータが作業状況を確認できるようにしました。センターからの指示を介さないで相互に連絡することで、2年目におけるダンプ作業時間は1年目に比べて約10%短縮できました(図6)。また、バンカーサイロにおける重機による踏圧作業を可視化することで(図7)、詰込み密度が高まるとともに踏圧ムラが少なくなるというように(図8)、調製作業が適切に行えるようになりました。適切な踏圧によって、嫌気条件で活発になる乳酸発酵が順調に進みます。乳酸発酵が優位的に進むとpHが急速に低下し、酸性条件を好まない酪酸菌の活動が抑制できます。この可視化によって、バンカーサイロ内で踏圧の不十分な場所が確認できるとともに、場所によ

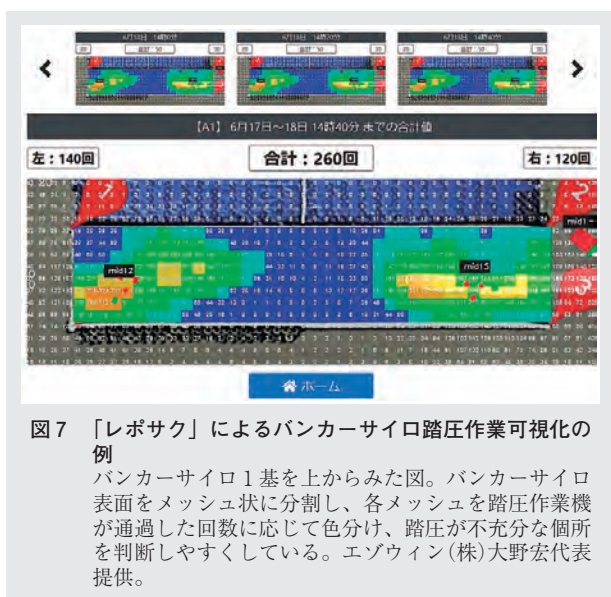


ては過剰ともいえるほど踏圧が繰り返されている様子もよく分かります。無駄を省くとともに、経験の浅いオペレータでも良質サイレージを作るために何をすればよいか把握しやすいという効果も期待されます。

なお「レボサク」は2024年から、センチメートル単位にまで精度が向上した新タイプに変わる予定です。

(5) IoT活用型TMR製造システム

このようにして調製されたサイレージをベースとしてTMRが製造されますが、大規模なTMRセンターの場合、TMR製造には飼料混合ミキサーを搭載した大型トラックを使うことが多くあります。トラックがTMRセンター内を移動して、濃厚飼料タンクやバンカーサイロなどから荷受けしながら材料を混合します。この工程では、◇トラック運転手が濃厚飼料のタンク位置で降車、◇手作業でタンクの蓋を開く、◇トラックに付設された計量器を確認しながら所定量を投入、◇タンクの蓋を閉じる、◇トラックに乗車、◇次のタンクへ移動、という作業を必要な回数反復します。しかし、運転席の高さは地上から1.4mほどあり、その乗降を繰り返すため、身体的な負担が生じます。高齢者ではその程度はより著しくなる傾向があります。また、計量器を確認しながら投入するものの、見逃しや蓋を閉めるタイミングによっては投入量が設定量を上回るなど、誤差が生じることも少なくありません。そこで、トラックが所定位置に停止すると、TMRセンター管理室でオンライン入力した設定量が濃厚飼料タンクから自動排出されるシステムを構築しました。その結果、濃厚飼料タンク位置で降車して行う作業が全



く不要となり、運転者の歩行数（45%減）、乗降回数（55%減）が大幅に減少し、濃厚飼料荷受けに要する作業時間が12%削減されました。また、導入前の手作業操作では無視できなかった計量誤差がなくなりました。さらに、夏季の暑熱時や冬季の寒冷時には、快適な車室内から気温差の大きい車室外へ出るとは戻ることの繰り返しを避けることができました。冬季の路面凍結時に荷受け作業中の転倒事故が発生しなかったことに代表されるように、労働安全面での利点も認められました。

（6）QRコード型TMR製品管理システム

このようにして製造されたTMRが構成酪農家など利用者へ配送される際には、センターにおいて製品管理を行います。多くの場合、手書きの伝票によっています。TMRの種類、配送先、数量などのデータを配送運転手が手書きで記録し、その伝票を担当者が回収して確認しながらコンピュータで手入力するケースが一般的です。しかし、配送TMRの種類を運転手が確認する際に時間を要したり、記録の誤記や文字が読みにくいため入力時に再確認を要したりするなど、トラブルが発生しやすい状況です。そこで、配送TMRの製品管理にQRコードによるシステムを導入しました。その結果、製品管理の作業に要する時間は伝票準備が不要となり売上票作成が大幅に削減されたことで約3分の1に減少しました。また、製品の取り違えや、文字の再確認、転記ミスなどのトラブルが完全になくなり、管理作業の正確性を期すための心理的負担が解消されました。

4. おわりに

以上のように、TMRセンターにおけるスマート技術導入によって、飼料生産・TMR製造工程に多くのメリットがもたらされることが実証されてきています。

北海道における酪農の形態をみると、協業大型法人などメガファームの経営体数が増加しているものの、家族経営体が9割強を占めています³⁾。また、出荷乳量水準別にみると、1戸当たり年間1,000トン未満の酪農家による出荷乳量は近年減少傾向にあ

りますが、道内全出荷乳量に占める割合は依然4割以上を占めています³⁾。家族経営が生乳出荷において一定以上の役割を果たすという構造は、少なくともしばらくは続くと思います。スマート農業技術は、家族経営が生乳生産を持続するために必要とされます。しかし、現状の技術は初期投資やランニングコストが高くなりがちです。規模の大きくない経営では導入が困難な技術が少なくありません。その点で、家族経営を支援するTMRセンターやコントラクターを支えるスマート技術は、間接的ながら家族経営を支えるものといえます。コスト低減は不可欠ながら、個々の経営体が導入するのは難しい技術でも、TMRセンターなどではより容易に導入できる面もあります。スマート技術が飼料生産外部支援組織で展開し、家族酪農経営が持続的に発展できるよう、技術開発サイドとして今後も取り組んでまいりたいと思います。

なお、本稿で紹介した技術の一部は、令和4年度（第23回）民間部門農林水産研究開発功績者表彰において農林水産技術会議会長賞・民間企業部門の受賞対象（TMR利用型酪農における生産プロセス一元管理システムの普及）になったことを申し添えます。

参考文献

- 1) 農林水産省（2023）飼料生産組織をめぐる情勢 令和5年6月, <https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/attach/pdf/siryoseisannsosiki-13.pdf>（2023年11月13日閲覧）。
- 2) 浜村寿史（2022）TMRセンターの雇用導入が自給飼料費用価に及ぼす影響と人材確保の課題—北海道草地酪農地帯を対象に—, 農業経済研究94, 197-202.
- 3) 北海道農政部生産振興局畜産振興課（2023）北海道の酪農・畜産をめぐる情勢 令和5年6月, <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/tss/71810.html>（2023年11月13日閲覧）。
- 4) 林拓（2014）すず紋病による飼料用とうもろこしの減収程度—実態と推定法—, 根釧農試研究通信, 23: 5-6.