

バンカーサイロ作業の自動化を基幹とした自給粗飼料 生産利用技術の確立に関する研究

矢 治 幸 夫*)

抄 録：我が国の大家畜生産において課題とされる担い手の高齢化、飼料自給率低下、家畜糞尿処理などの問題を解決するには、自給粗飼料を基盤とした省力的な飼料供給技術を開発する必要がある。そこで、高品質な自給粗飼料を低コストで省力的に周年供給するために、長大作物収穫・麦類施肥播種同時作業機を開発し、同時作業により可能となる一年二作周年作付け体系を採用して、トウモロコシ-ライ麦体系やソルガム-大麦体系における長大作物と麦類の単収向上、適期播種・適期収穫実現による粗飼料品質向上を図りつつ機械化による作業の省力化を実現した。さらに、粗飼料調製・貯蔵施設として安価で材料の制約が少ないバンカーサイロに着目し、バンカーサイロに設置する装置としてサイレージ詰め込み・取り出し装置を開発した。本装置を用いて、バンカーサイロを基幹とした材料の詰め込みとサイレージの取り出し作業の機械化とコンピュータによる自動化を図った。サイレージ詰め込み・取り出し装置の小型バンカーサイロを供試した材料の詰め込み作業能率は 645 kg/h、サイレージ取り出し作業能率は 453 kg/h を示した。

キーワード：自給粗飼料、長大作物、麦類、同時作業機、周年作付け体系、バンカーサイロ、サイレージ、自動化、機械化

Studies on the Mechanization of Domestic Roughage Production and Utilization using an Automatic Silage Loading and Unloading Device for Bunker Silos : Yukio Yaji *)

Abstract: This thesis describes the procedures to culture, ensile and utilize domestic roughage using a combined seeder and a silage loading and unloading device. A combined seeder was developed for dent corn-barley cropping systems, which comprised a forage harvester, a rotary tiller, a fertilizer and a seeder. The working efficiency of the seeder was 12 a/h when the working speed was 0.76 m/s. This efficiency indicated a labor saving of 30% compared with the conventional methods carried out by separate machines. A prototype loading and unloading device for a small test bunker silo was developed. Both the traveling device running on rails installed on the walls of the bunker silo and the working device suspended from the traveling device performed well. The sensing parts, limit switches, rotary encoder, motor inverters control program that controlled the loading and unloading device were coordinated by a micro computer. In the case of automatic working, the loading efficiency was 645 kg/h and the unloading efficiency was 453 kg/h.

Key Words : domestic roughage, sorghum, dent corn, barley, rye, combined seeder, bunker silo, automatic, mechanization

I 序 論

1 研究の背景

1) 大家畜生産における自給粗飼料生産利用の必要性

我が国の食料の自給率は毎年低下傾向をたどり、1998年のカロリーベースで40%程度にまで低下している。そこで、2000年3月に国の政策として自給

率の向上のための施策を決定するとともに、食料生産における作物別の具体的な数値目標を掲げた(農林水産省2000)。現在、ミニマムアクセスによる輸入を除けば自給率が100%である主食用の米を除いては、大豆3%、麦9%、飼料作物25%と自給率が低く、畜産物も55%と例外ではない。大家畜生産である肉牛生産や酪農においても、輸入飼料の増加を抑えるために自給粗飼料の生産と利用が推奨され

*) 東北農業研究センター(National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan.)
2002年6月20日受付, 2002年12月25日受理

ているが、なかなか進まないのが現状である。

大家畜生産における自給粗飼料生産の増大は、後述するように二つの点でメリットがある。一つは、家畜糞尿による環境汚染問題への解決策となることである。二つ目は、牛の生理機能を生かした健全な飼養管理を行えることである。

肉牛や乳牛生産では、安価であることと取り扱いが容易であるために、大豆などマメ類やトウモロコシなどの穀実を主体とした輸入濃厚飼料の利用が増加しつつあり、そのため飼料自給率は酪農で34.6%、肉用牛では繁殖で57.8%、肥育で3.3~6.7%と低くなっている(農林水産省畜産局自給飼料課1997)。このことは、餌として給与された飼料の未利用分として毎日排出される家畜糞尿のかなりの部分が輸入飼料に由来することとなり、家畜糞尿処理の問題も生じている。

家畜糞尿処理の問題を概括すると、牛の飼養頭数は乳牛と肉牛を合わせて約480万頭であり、乳牛一頭から排泄される糞尿は1年当たり約20tであるから、合計糞尿量は約9,600万tとなる(農林水産省畜産局自給飼料課1997)。飼料作物作付け面積約97万haに対してその圃場に還元できる糞尿量は、1ヘクタール当たり最大100t程度と言われており、豚などの他の動物を除いた牛の糞尿だけで還元に必要な面積とほぼ拮抗した値となっている。また、北海道以外の都府県では飼料作物作付け面積が少なく、糞尿量が還元可能量を上回る状態を示すなど地域的な偏りも示している。今後、家畜糞尿処理についての規制が強まることから、家畜糞尿の輸入ともいえる飼料の輸入を減らすとともに、糞尿の圃場還元による有効利用を図ることができる自給粗飼料生産を増大して環境保全を進める必要がある。

一方、肉牛や乳牛ではその生物学的な消化系として反芻胃を持っており、特に第一胃は一種の発酵槽とされ、微生物の発酵活動により粗飼料の炭水化物が分解されて揮発性脂肪酸(VFA)になる。このように、発酵の過程で胃内pHが低下するが、一定pHに保つためにはアルカリ性である唾液の分泌が重要な役割を果たしている。唾液の分泌を増加させるためには、食べるのに時間がかかり反芻時間が長い飼料すなわち粗飼料が必要となる。乳牛が最大のエネルギーを摂取するためには第一胃が正常に機能する必要があり、そのためには飼料中の粗繊維量が14~16%必要と考えられている。とくに、濃厚飼料

を多給する場合には消化器障害が発生しやすく、粗繊維含量が高い粗飼料給与の必要性が示されている(石田1998)。しかし、粗飼料給与率は低下傾向を示しており、酪農で49.2%、肉用牛の肥育で8~14%程度となっている(農林水産省畜産局自給飼料課1997)。このことは、牛の生理機能を維持発揮させて健全発育させるためには、さらに粗飼料の給与を増加させることが必要であることを示している。

2) 機械化による自給粗飼料生産量増大と低コスト化の可能性について

我が国の肉牛や乳牛の飼養管理で主に使われている飼料は濃厚飼料である。濃厚飼料はほとんどが外国から輸入されている大豆、麦類、トウモロコシなどの穀実であり、可消化栄養含量が多く給与量が少なく済み、水分含量が低い軽量で容積が少なく取り扱いが容易であるというメリットがある。これに対して、自給粗飼料生産には、作付けのための圃場、栽培・収穫・調製・利用のための機械と労力を必要とする。従って、自給粗飼料生産技術に求められる命題は、低コスト・省力生産である。

低コスト生産のためには、土地生産性の向上すなわち単収の増大や二毛作など土地利用率の向上が必要となり、生産・調製作業に使用される機械の汎用利用など生産コスト低減のための方策も重要である。また、農業の担い手の高齢化が進行しており、後継者確保のためにも作業の軽労化や省力機械化技術の開発が求められており、播種や収穫の作業能率の向上や作業のワンマンオペレーション化が必要となる。

さらに、自給粗飼料生産は地域的な気象条件にも大きな影響を受ける。本研究が対象とする北東北地域は、寒冷地であり、春から秋にかけての作物生育期間が短い。とくに、秋冷の訪れが早い夏作物の収穫と冬作物の播種適期が短くなる。このため、福島県以南では可能な大豆-小麦の一年二作体系(酒井ら1982)も、二年三作体系あるいは前作物の収穫前に条間に後作物を播種する間作栽培方式をとる必要がある。このように、北東北では作物切り替え時の作業の合理化を図ることが、前後作物の収量と収穫物の品質を向上させるために重要である。

3) 自給粗飼料調製・貯蔵施設としてのサイロの現状

大家畜生産用の自給粗飼料としては、貯蔵中の品質低下もなく軽量でハンドリングし易い特徴を持つ

風乾物としての乾草を利用するのが理想的である。しかし、乾草に仕上げるためには3～4日の晴天が必要とされる。圃場における予乾中に降雨に当たると品質低下や損失の増大が大きく、天候が変わりやすく降雨が多い我が国においては高品質な乾草を得ることが難しい。これまでに、細川ら（1965）の半乾燥粗飼料を人工乾燥させる技術や中ら（1976）の半乾燥粗飼料成形利用技術なども開発されたが、コスト的に問題を残し実用化されていない。また、予乾牧草をベールに梱包してから堆積し、フィルムで密封しサイレージ貯蔵する技術（我妻ら1976）や密封したベールにアンモニアを添加して品質を維持する技術（小泉ら1981）などが開発された。近年、我が国と同様に比較的乾草を得にくい北ヨーロッパで、ロールベアラで梱包した半乾燥牧草をサイレージにするために、ロールベールをストレッチフィルムで包むためのラッピングマシンが実用化され、ロールベールサイレージ調製技術が開発された。梱包能率が高いロールベアラとの組み合わせで、調製・貯蔵施設無しで予乾牧草を高効率でサイレージ化する技術として、我が国においても農機メーカーによる小型機械の開発などにより普及が進んでいる。さらに、トウモロコシ用のロールベアラとしてカッティングベアラの開発も試みられている（志藤ら2000）。しかし、ベールの密封のためにストレッチフィルムを使用し、この使用済みフィルムの処理などに問題を残している。

現在実用化されている自給粗飼料の調製・貯蔵施設としては水平型サイロと垂直型サイロがあり、それぞれ取り扱うことができるサイレージ材料や作業の機械化に特徴がある。垂直型サイロとしては塔型サイロ、気密サイロ、地下型サイロがある。とくに気密サイロは気密性が高く材料密度も高いので、高品質のサイレージ調製が可能であり普及が進んだが、サイロ施設費が高いことや取り出し作業を行うボトムアンローダやトップアンローダにトラブル発生があった場合に対処法が難しいなどの点に問題を残しており、田原ら（1997）によって新しいボトムアンローダの開発研究も進められた。地下型サイロは、掘込み式なため材料の投入が容易で、取り出し作業について富樫ら（1993）や瀬川（1991）によって機械化研究が進められ、瀬川らが開発したサイロクレーンが地下水位が低いなどの立地条件に合致した一部地域の酪農家を中心に普及が進んでいる。

水平型サイロとしては、バンカーサイロ、トレンチサイロ、スタックサイロなどがある。これらはサイロ施設費は安い空気に触れる開放面が多く、堆積高さが低く材料の自重による高密度化が図れないため踏圧作業と密封作業が必要であり、サイレージ品質や機械化作業体系に問題を残している。

詰め込む材料についてはサイロ形式毎に材料の切断長や水分条件に制限がある。気密サイロの場合は、サイロ内でブリッジを起こさないためや取り出し作業が容易なように切断長を10 mm以下、材料水分60%以下とすることが必要である（内藤1978）。一方、バンカーサイロなど水平型サイロでは、切断長や材料水分には気密サイロよりも制限は少ないなどのメリットはあるが、気密サイロで実用化されているような給餌までの自動取り出しシステムは実現されていない。このように、垂直型サイロでは気密サイロを基幹とした詰め込み・取り出し作業の自動化が実現されているが、バンカーサイロなど水平型サイロでは個別の機械化に止まっており、サイロ構造物と一体となった自動化が遅れている。

4) バンカーサイロと詰め込み・取り出し作業機械化の現状

バンカーサイロに関する研究は、重量車両による材料踏圧時のサイロ壁面に対する力学的な解析研究（Ahmets et al.1994,ASAE 1997,Darby et al.1993,Jofriet et al.1990,Messer et al.1977,Zhao et al.1988,Zhao et al.1991,Zhao et al.1992）、サイレージ発酵にともなう有機酸のコンクリートに対する影響や保護のための塗料など構造物に対する研究（Blocker 1991,Razl et al.1988）、空気に触れる面が大きいために、埋草密度と品質や好気的変敗、好気的変敗防止のための添加剤など品質や変敗に関する研究（Ashbell et al.1987,Ashbell et al.1988,Ashbell et al.1992,Bursewitz et al.1991,Furll et al.1990,Haigh 1992,Muck et al.1995,Pitt et al.1993,Ruppel et al.1995,Ruxton et al.1994,Weinberg et al.1994）が行われてきた。また、バンカーサイロの詰め込み作業や取り出し作業の機械化については、フォレージワゴンやサイロアンローダなど個別の作業機が開発が進められ、少量ハンドリングのための小型機械や器具から、大量処理用の大型専用機械まで実用化されて、作業性能の調査やハンドリングシステムの確立がなされている（Bengtsson et al.1981,Decker 1960,Ebbinghaus 1958,Flada 1990,Hendrix 1960,

Maier et al.1976, Muck et al.1994, Muck et al.1996, Weghe et al.1983)。しかし、気密サイロで行われているように、スイッチを入れるだけで詰め込みから取り出し・給餌までの作業を行える自動化システムの確立のための研究は少なく、イギリスで行われた取り出し作業の施設化・自動化研究 (Benson et al.1982, Lindsay 1971, Lindsay et al.1973, Lindsay 1980) と電力中央研究所で行われた自動取り出し・給餌システムの開発 (吉野ら 1976) があるにすぎない。近年バンカーサイロはその設置費の安さから見直されており、省力・自動化が一層の課題となっている。

2 研究の目的および論文の構成

1) 研究の目的

本研究の目的は、北東北の寒冷地において、高品質な自給粗飼料を低コストで安定的に周年供給するために、粗飼料生産の機械化体系の改善とバンカーサイロを基幹とした詰め込みと取り出し作業の自動化を図ることである。

自給粗飼料生産の機械化体系の改善は、トウモロコシなど長大型飼料作物 (以下、長大作物と称する) と麦類を対象とした長大作物収穫・麦類施肥播種同時作業機 (以下、同時作業機と称する) の試作とそれにより可能となる一年二作の周年作付け体系を採用して、機械化による省力化を図るとともに、単収の向上と適期播種・適期収穫の実現による粗飼料品質の向上をねらいとする。

また、バンカーサイロ作業の自動化では、独特のサイレージ臭を持ち水分が高く重量物であるサイレージのハンドリングについて、大型のサイレージアンローダによる現行作業の改善の可能性を検討し、その問題点の摘出を行う。また、サイロ構造と一体となった装置を用いた作業の自動化を実現するために、サイレージ詰め込み・取り出し装置 (以下、サイロ装置と称する) の設計・試作を行い、試作機の性能試験を行うとともに、バンカーサイロ作業の自動化の可能性とサイレージの品質低下防止を追求する。

2) 論文の構成

本論文の構成と内容は以下のとおりである。Ⅱ-1においては、北東北地域の転換畑における自給粗飼料生産技術の効率化のために試作した同時作業機の構造の概要と作業方法を示す。さらに、開発した同時作業機の性能について圃場試験を行い、長大作

物収穫と麦類の施肥播種作業を同時工程化したことによる省力効果と粗飼料の取量向上の可能性を明らかにするとともに、自給粗飼料の生産性向上について考察する。Ⅱ-2においては、寒冷地である北東北地域において同時作業機の使用により可能となる一年二作体系について、作業シミュレーションにより同時作業機の評価を行う。

Ⅲ-1においては、自給粗飼料の調製・貯蔵装置として、水平型サイロの一つであるバンカーサイロの特徴を調査するとともに、サイレージ調製から給与までの詰め込み作業と取り出し作業について機械化の問題点を文献調査から明らかにする。Ⅲ-2においては、バンカーサイロにおけるサイレージ取り出し作業の機械化について、大型サイレージアンローダを導入・供試して、サイレージ材料を異にした性能と問題点を示し、バンカーサイロ作業における問題点を考察する。

Ⅳ-1においては、バンカーサイロ用の自動化装置として試作開発すべきサイロ装置の設計目標を明確にし、設計目標に従って小型試験バンカーサイロ用に試作開発した1号機の性能試験結果を示す。さらに、Ⅳ-2においては、試作1号機の性能試験結果で問題とされた点を改良した試作2号機の性能試験とサイレージ調製結果を示す。Ⅳ-3では、マイクログコンピュータを使ったサイロ装置運転の自動化を図り、バンカーサイロの詰め込み・取り出し作業の新しい可能性を示す。

Ⅴ-1においては、Ⅳまでの内容を自給粗飼料の省力・低コスト生産のための同時作業機と、粗飼料の調製・貯蔵のための作業の省力化・自動化を図るためのサイロ装置の特徴と有利性を中心に総合的に検討し、Ⅴ-2において本論文の結論を示す。

本論文を作成するにあたり、東京農工大学渡辺兼五教授にはご多忙中にも関わらず懇切なご指導とご校閲を賜った。ここに衷心より感謝を申し上げる。また、茨城大学農学部森泉昭治教授、宇都宮大学農学部志賀徹教授、東京農工大学農学部塩谷哲夫教授、東京農工大学農学部東城清秀助教授には論文のご校閲と貴重なご助言を賜ったことに深く感謝する。

本研究は農林水産省農事試験場 (現独立行政法人農業技術研究機構中央農業総合研究センター) および東北農業試験場 (現独立行政法人農業技術研究機構東北農業研究センター) において実施したものである。農事試験場畑作部機械化研究室我妻幸雄室

長、東北農業試験場企画連絡室総合研究第2チーム滝本勇治チーム長（現独立行政法人農業技術研究機構理事）には本研究に着手する機会を与えて頂いた。機械化研究室今園支和主任研究官（前九州農業試験場総合研究部総合研究第2チーム長）、雁野勝宣研究員（現独立行政法人農業技術研究機構野菜茶業研究所果菜研究部作業技術研究室長）、細田英二技官（現埼玉大学教育学部）、群馬県畜産試験場塚田大策氏、同金子信夫氏にはサイレージアンローダの研究の実施において、総合研究第2チーム萩野耕二主任研究官（現独立行政法人農業技術研究機構九州沖縄農業研究センター畜産飼料作研究部上席研究官）、同チーム篠田満主任研究官（現東北農業研究センター畜産草地部栄養飼料研究室長）、同チーム関野幸二主任研究員（現独立行政法人農業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター総合研究部園芸経営研究室長）、東北農業試験場生産工学部生産施設研究室古川嗣彦室長（現九州沖縄農業研究センター所長）、同屋代幹雄主任研究官（現東北農業研究センター野菜花き部野菜花き作業技術研究室長）には、同時作業機の研究とサイロ装置の研究実施において、東北農業試験場企画連絡室業務第3科四戸忠男技官、山口和美技官（現東北農業研究センター企画調整部業務第3科）をはじめ多くの科員の方々にはこれら試作機の試作・改良と圃場試験、サイレージ調製試験や取り出し試験に多大なる協力を頂いた。

なお、本研究の一部は科学技術庁振興調整費重点基礎研究費を使用して行った。ここに記して、関係各位に謝意を表す。

II 転換畑における自給粗飼料生産技術の効率化

1 作物切り替え時の作業効率化のための同時作業機的设计・試作と性能試験

1) 目的

我が国の大家畜生産は、牛乳はもとより、近年の輸入自由化により牛肉においても低コスト化が必須となっている。1998年の畜産物生産費調査（農林水産省統計情報部1999）によれば、牛乳の生産費に占める飼料費は41.5%で第1位となっている。牛肉の生産費に占める割合では、去勢若齢肥育が27.2%、乳用おす肥育が47.8%と、それぞれ2位、1位と高い割合を示している。この飼料費に占める牧草、わら、サイレージなどの粗飼料の割合は、現状では牛乳生産で約50%（東北地域平均）、牛肉生産で約

11%（去勢若齢肥育、全国平均）、約9%（乳用おす肥育、全国平均）と低下する。これは、とくに牛肉生産では必要最少限の粗飼料を給与しているのが実態であり、牛乳や牛肉の低コスト生産には、良質な自給粗飼料の低コスト生産の実現が必要である。

一方、米の自給率はほぼ100%を達成しており、現有水田約200万haでの稲の作付けを30%程度制限して大豆、麦などの畑作物や牧草など飼料作物の作付けを進めている。しかし、寒冷地である北東北地域における転換畑の飼料作物生産は、雪融けがおそい、秋冷が早く来るといった厳しい気象条件や、圃場の区画が小さい、排水が悪いといった圃場条件の厳しさから、その収量が低位にとどまるとともに品質が不安定であり、これらの克服が大きな課題となっている。

我が国で生産される粗飼料、いわゆる自給粗飼料の低コスト生産のためには、単位面積当たりの収量向上と合わせて労働生産性の向上が求められる。この実現のためには、圃場の土地利用率の向上と作業の省力化が重要となり、一年二作といった周年作付け体系を省力機械化で行う必要がある。しかし、寒冷地である北東北では、夏作物の収穫作業と冬作物の播種作業が時期的に競合し、いわゆる作物切り替え時の作業期間が限定されて、一年二作体系を行うことは困難である。代表的な一年二作体系である大豆-小麦体系（酒井ら1982）は、北東北地域では現行品種では不可能となり、二年三作体系あるいは間作体系をとることを余儀なくされている。

これまでに、作物切り替え時の収穫作業と播種作業を同時作業機として一工程で行う技術開発は、いくつかの作業や作物の組み合わせについて試みられている。一例として、水稻-麦類体系における水稻収穫と麦類施肥播種については、入江ら（1987）が開発した自脱コンバイン刈り取り部前面に施肥播種機を装着して行う方式の収穫同時条播機、柴田（1984）や柴田ら（1989）、高橋ら（1984）、寺山ら（1985）、馬場崎ら（1986）が試みた麦-大豆体系における麦類の収穫と大豆の施肥播種の同時工程化などが挙げられる。しかし、飼料作物生産におけるトウモロコシやソルガムといった長大作物と麦類の栽培体系においては、同時工程化や同時作業機の開発などの試みは行われていない。

そこで、自給粗飼料生産における収量と品質の向上を実現するために、一年二作体系の適期収穫、適

期播種が可能となる同時作業機を設計・試作する。さらに、試作した同時作業機の収穫部、耕耘部、施肥播種部の圃場における作業性能の把握と、操作性など問題点の摘出ならびに作業能率の把握、および麦類の生育について検討するために、東北農試圃場において性能試験を実施する。

2) 同時作業機の設計目標

長大作物・麦類の一年二作体系を二年以上継続する場合、長大作物収穫・麦類播種を行う秋作業と麦類収穫・長大作物播種を行う春作業の2回が同時作業として想定される。しかし、トウモロコシやソルガムなど長大作物では根圏が広く分布し、養分の収奪も大きいと萩野ら(1996)が指摘しており、収量の向上と品質の確保の観点からは堆厩肥や土壌改良材の投入とプラウ耕による十分な作土層の確保を行い地力の増進を図ることが重要である。また、堆厩肥については、家畜糞尿の還元と有効利用の観点からも投入を図りたい。従って、長大作物の播種作業は、麦類の収穫後約一週間程度の作業期間を確保して、堆厩肥や土壌改良資材の散布とプラウによる反転耕を行い、同時作業化は行わないこととした。そこで本研究においては、秋作業である長大作物収穫作業と麦類施肥播種作業に限定した技術開発を行う。

長大作物の収穫作業機は、フォレージハーベスタとしてフレール型、ダブルチョップ型、シリンダ型があるが、バンカーサイロでの調製・貯蔵を前提とすると、取り出し作業の容易さからも切断長を10mm以下と短くできるシリンダ型フォレージハーベスタとする必要があると考えた。また、麦類施肥播種作業は、耕耘しない土壌表面にバラ播きする不耕起散播方式、圃場全面に散播した後ロータリ耕を行う全面全層播種方式、耕耘整地後の圃場に条播するドリル播種方式などいくつかの方法が考えられる。深澤らの北東北における大豆-小麦の間作作業体系の結果によると、不耕起散播では小麦播種後の降雨の有無により発芽が不安定となるので、できれば耕耘作業により土壌を膨軟にして播種時に覆土を行うことが望ましいとしている。また、麦類の収量を確保するためには、条間が18cm程度と狭いドリル播種が一般的に推奨されている。これらの結果を検討し、本研究の同時工程化においては、長大作物の収穫はシリンダ型フォレージハーベスタ、刈り株の処理と播種床の耕耘のためにロータリを用い、麦類の播種はドリル播方式を採用することとした。

以上の検討結果から、同時作業機の設計目標は以下のとおりとした。

①一年二作体系における秋期作業を省力化するために、長大作物の収穫作業と麦類の施肥・播種作業を同時工程化する。

②長大作物刈り株の埋没と麦類の発芽苗立ちを安定させるために、ロータリによる耕耘作業を行うこととする。

③長大作物収穫部は10mm以下の微細断が可能なシリンダ型フォレージハーベスタとする。

④麦類の耕耘・施肥・播種部は長大作物収穫部(フォレージハーベスタ)へ簡単に着脱できる構造とする。

⑤同時作業機の操作性は個別の作業機械より低下しない構造とする。

3) 同時作業機の構造と諸元

Ⅱ-1-2)の設計目標に従って試作した同時作業機の概要は図1、写真1に、主要諸元は表1に示した(矢治ら1996)。同時作業機は長大作物収穫部と麦類施肥播種部で構成した。なお、同時作業機による長大作物の収穫条数は1条(条間75cm程度)で、麦類の播種は耕耘幅75cmに4条(条間18.5cm)のドリル播きとした。収穫部は、長大作物のサイレージ調製における高品質化を図るために、切断長10mm以下の微細断可能なシリンダ型フォレージハーベスタ(ロックロップアタッチメント付き、NH-718)を使用した。耕耘部は、ロータリ耕耘方式(K社RS900)として、動力は空冷ディーゼルエンジン(Y社L90SES最大出力6.75kW)を用いた。エンジンによる耕耘部の駆動はVベルト伝達として、ロータリ上部に搭載したエンジンからVベルトプリー径

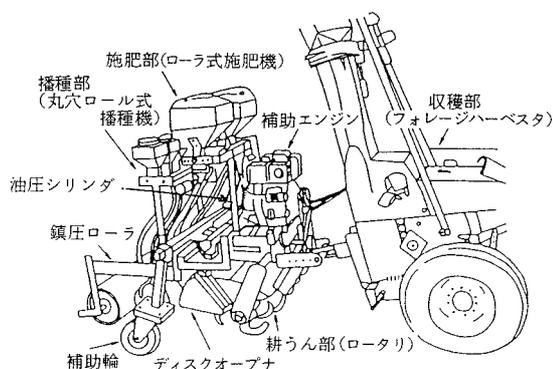


図1 収穫・施肥・播種同時作業機の概要

Fig. 1 Prototype seeder combined with rotary-tiller and forage harvester



写真1 試作した収穫・施肥・播種同時作業機
Photo 1 Prototype seeder combined with rotary-tiller and forage harvester



写真2 補助車輪
Photo 2 Assistant wheel

表1 同時作業機の主要諸元
Table 1 Dimensions of prototype seeder

項目	諸元
全長(m)	6.2 (収穫部 4.2, 耕うん施肥播種部 2.0)
全幅(m)	2.2 (耕うん施肥播種部 1.5)
全重(kg)	1,506 (収穫部 1,276, 耕うん施肥播種部 230)
収穫部	牽引式シリンダ型フォレージハーベスタ 1条用ロックロップアタッチ付き (NH-718)
耕うん部	ロータリ 作業幅 0.75m 駆動用エンジン 空冷ディーゼルエンジン (最大出力 12kW)
施肥部	ローラ式施肥機 4条用 DCモータ駆動
播種部	丸穴ロール式播種機 4条用 DCモータ駆動 Wディスクオープナ, 鎮圧ローラ付き

注：トラクタの所要動力は使用するフォレージハーベスタによる

の違いにより回転数を1/3に減速しロータリを駆動した。施肥部は溝ロール式施肥機、播種部は丸穴ロール式播種機を使用し、それぞれトラクタの12V直流電源によるDCモータ（O社 DM80PF12V80W）駆動とした。播種部の作溝器は、長大作物の刈り株や根があっても播種溝形成が可能なダブルディスクオープナ（直径30cm）とした。さらに、塩化ビニル製の平滑鎮圧ローラ（直径34cm）を装着して、播種された麦類を鎮圧して発芽苗立ちの改善を狙った。また、同時作業機が枕地で旋回する時にオペレータが運転席より耕耘・施肥・播種部の昇降を可能とするために、補助車輪（ゴムタイヤ 3.5×5インチ、写真2）と油圧シリンダ（T社 ストローク150mm、複動型）を装着してトラクタ外部油圧回路から駆動した。

収穫部と耕耘・施肥・播種部との連結は、フォレージハーベスタ後部の連結棒と耕耘・施肥・播種部の連結棒を一本の連結ピンを介して行った。このた

め、収穫部と耕耘・施肥・播種部との着脱は容易に行われた。

4) 同時作業機による作業方法

試作した同時作業機は、収穫部でトウモロコシやソルガムなど長大作物の刈り取り、微細断、伴走トレーラへの吹き込みを行うとともに、耕耘部で長大作物の残渣の切断処理と埋没、土壌の耕耘を行い、施肥・播種部で大麦やライ麦など麦類の施肥播種と鎮圧を一工程で行う。トラクタは4輪駆動型（F社 6600, 最大出力 59.25kW）を使用した。作業方法は、収穫部がトラクタ右側に位置するので右回りの作業となり、最初の作物畦の左側に枕地を必要とする。枕地での旋回は、オペレータが運転席から油圧を操作して同時作業機の補助車輪を下降させ、耕耘・施肥・播種部を上昇させて旋回動作に入る。なお、収穫した長大作物は、同時作業機に伴走するトレーラ（最大積載量 2 t）に積み込む。

5) 圃場性能試験の方法

1989年は、35a（100m×35m）を使用して、同時作業機を用いて10月6日にトウモロコシ（品種：XL61）を収穫しながら、ライ麦（品種：春一番）を播種した。1990年は改良した同時作業機を用いて、30a（100m×30m）を使用して、10月12日にトウモロコシ（品種：XL61）を収穫しながら、ライ麦（品種：春一番）を播種した。なお、土壌は厚層黒ボク土である。調査項目は、作業能率、作業精度（耕深、肥料・種子使用量）、操作性である。なお、ライ麦の苗立ち数については、越冬前に調査した。

6) 圃場性能試験結果

同時作業機の作業性能試験結果を表2（1989

表2 作業性能試験結果(1989年)

Table 2 Performance test of prototype seeder (1989)

作業精度	耕深(cm)	8.9
	施肥量(化成304)(kg/10a)	96.1
	播種量(ライ麦「春一番」)(kg/10a)	13.2
	燃料使用量(耕うん部駆動用エンジン)(L/10a)	1.1
作業能率	作業速度(m/s)	0.51
	作業時間(min/10a)	67.4
	収穫施肥播種作業時間 旋回時間 肥料・種子補給時間	43.7
		14.6
		9.1
	圃場作業効率(%)	64.8
	圃場作業量(a/h)	9.0

(供試圃場 35a : 100m × 35m)

表3 作業性能試験結果(1990年)

Table 3 Performance test of improved prototype seeder (1990)

作業精度	耕深(cm)	8.6
	施肥量(化成304)(kg/10a)	67.2
	播種量(ライ麦「春一番」)(kg/10a)	8.6
	燃料使用量(耕うん部駆動用エンジン)(L/10a)	0.9
作業能率	作業速度(m/s)	0.76
	作業時間(min/10a)	49.3
	収穫施肥播種作業時間 旋回時間 肥料・種子補給時間	29.3
		14.7
		5.3
	圃場作業効率(%)	59.5
	圃場作業量(a/h)	12.2

(供試圃場30a : 100m × 30m)

年), 表3(1990年)に, 作業状況を写真3, 4にそれぞれ示した。

1989年の試験では, 収穫部, 耕耘部, 施肥播種部の各部動作は順調で, 作業速度0.51 m/sで作業能率は約9 a/hとなった。作業時の耕深は8.9 cmで, トウモロコシの刈り株や根はほぼ埋没され, ライ麦の播種に支障はなかった。作業上の問題点としては, 耕耘用ロータリの駆動用エンジン出力の制限から, 作業速度0.51 m/s以上の高速作業ができなかった点があげられた。なお, 播種後のライ麦の越冬前生育調査によると, 出芽も良好で平均茎数は1,430本/m²を確保した(写真5)。

1989年の試験では耕耘部の作業速度約0.5 m/sが制限要因となり, 収穫部が通常行う長大作物収穫作業の作業速度0.7 m/sを達成できなかった。そこで, 1990年には, 作業能率向上のために, 耕耘用ロータリの外側の爪を取り外して, 作業幅を90 cmから必要最小限の75 cmへ狭めた。この結果, 作業速度は0.76 m/sと約1.5倍の高速化を図ることができ, 作業能率も約12a/hと約36%向上した。



写真3 収穫・施肥・播種同時作業機の作業状況(その1)
Photo 3 Harvesting and seeding work by prototype seeder



写真4 収穫・施肥・播種同時作業機の作業状況(その2)
Photo 4 Harvesting and seeding work by prototype seeder



写真5 ライ麦の越冬前の生育状況
Photo 5 Growth of rye seeded by prototype seeder before winter

7) 同時作業機を使用した一年二作体系による自給粗飼料生産性の向上

試作した同時作業機を使用した一年二作体系における飼料作物の生産性向上については, 図2に示し

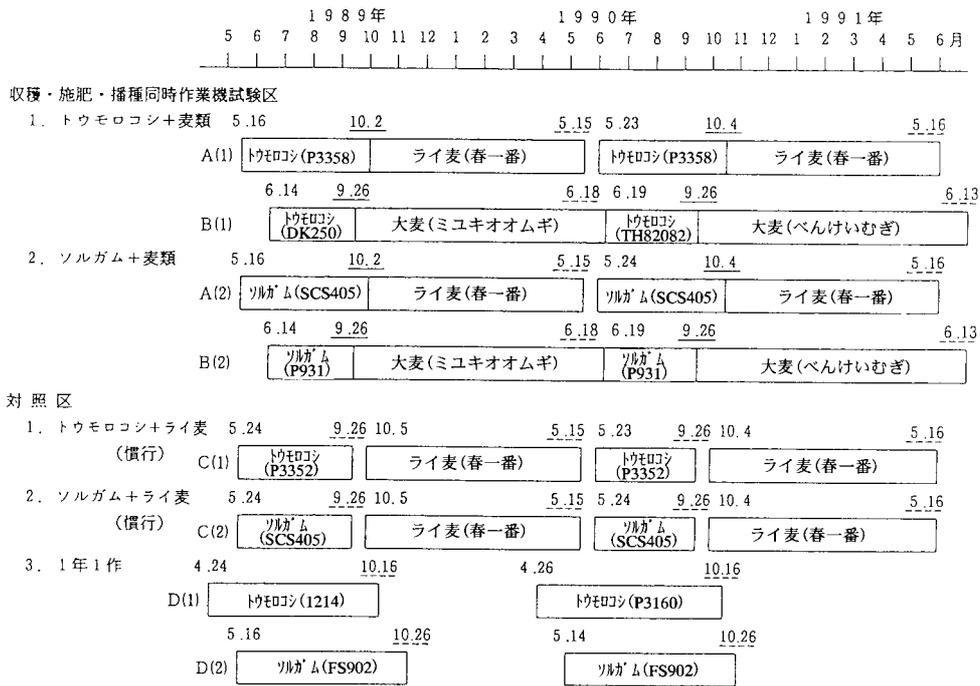


図2 各作付体系の供試品種と播種及び収穫日（東北農試：盛岡市）
 作物名（品種名），数字：播種日，数字：収穫・播種日，数字：収穫日
 Fig. 2 Varieties, seeding and harvesting date of each cropping systems (Morioka, Iwate)
 crop (variety), seeding date, seeding & harvesting date, harvesting date

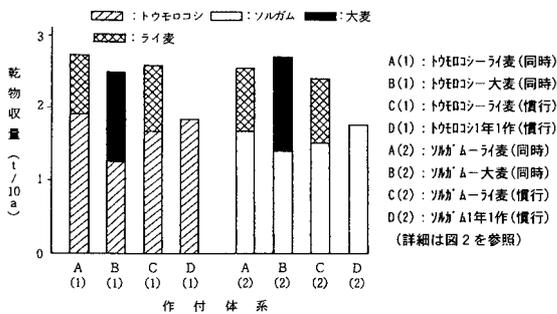


図3 各作付体系の年間乾物収量（各2回転、延べ3年の平均）
 Fig. 3 Dry matter yields of the culture systems (average of 3 years)

た長大作物（ソルガム，トウモロコシ）－麦類（大麦，ライ麦）体系について試験を行った。同時作業機を用いることにより，乾物収量は一年一作対照比136～155%，同時作業機を用いない慣行一年二作体系（トウモロコシ・ソルガム－ライ麦体系）比105%と増収を示した。

年間最多乾物収量は，図3に示したようにトウモロコシ－ライ麦，ソルガム－大麦の2体系で得られ，

それぞれ2.74，2.72t/10aとなった。また，飼料作物の品質については，作物切り替え期間が短縮されることにより，慣行の一年二作体系に比して同一品種であれば長大作物の穂重が増加し乾物率が向上するなど，サイレージ材料としての品質向上効果が認められた。このように，同時作業機を用いることによって，作付け期間が延長され増収効果が認められるとともに，一年二作体系の安定化と品質の向上が図られ，作物の安定多収栽培及び他作業との競合の緩和を図ることが可能となった。

8) 考察

同時作業機の問題点としては，耕耘・施肥・播種部の付加により，機体の全長が6.2mと約2m程度長くなるために枕地を長く必要とすること，旋回時間が多くかかるなど操作性が良くないことなどが挙げられる。同時作業機の実用化にあたっては，機体全長を短くする工夫が必要である。このためには，フォレージハーベスタの後ろに牽引されている施肥播種部をフォレージハーベスタへ直接搭載するなどの改良とともに，トラクタ3点リンク装着式のコーンハーベスタをベースとした同時作業機とすることなども有効であると考えられる（図4）。

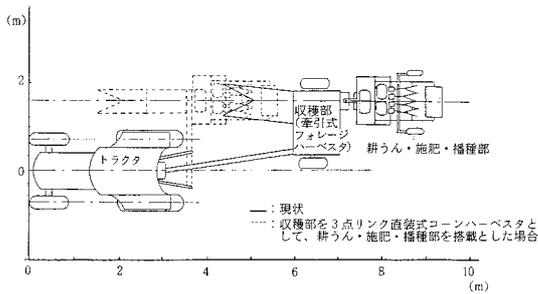


図4 同時作業機全長短縮の可能性

Fig. 4 Possibility to shorten prototype seeder

表4 個別作業による作業能率(試算)と同時作業機との比較

Table 4 Work efficiency comparison between prototype seeder and individual works

作業名	使用機械(作業条件)	作業能率(min/10a)(%)
長大作物収穫	フォレージハーベスタ(1条用) (作業速度: 0.76m/s、 圃場作業効率: 67%)	44
耕うん	ロータリ(作業幅: 2.4m 作業速度: 0.5m/s 圃場作業効率: 80%)	17.5
播種	グレーンドリル(作業幅 2.4m 13条用、作業速度: 0.7m/s 圃場作業効率: 80%)	12.6
合計		74.1 (100)
同時作業機		49.3 (66.5)

また、施肥播種部の肥料と種子のホッパは、容量が4.5 L程度と少なく、肥料、種子の補給回数が多くなり作業効率を低下させているので、容量を2倍程度大きくすると、資材補給時間が短縮されて作業効率と作業能率の一層の向上が可能と考えられる。さらに、耕耘部の駆動方式を現在の補助エンジン駆動方式からトラクタの外部油圧回路を利用した油圧モータ駆動とすると、同時作業機の軽量化が可能となると考えられる。しかし、この場合、長大作物収穫作業にトラクタのPTO出力として多くの動力を必要としており、かつ所要動力の変動が大きいため、トラクタ出力に余裕が必要となる。さらに、トラクタの外部油圧回路は、使用可能な流量に制限があるので事前の確認が必要である。

本同時作業機は、長大作物収穫作業を行うと同時に麦類の施肥播種作業を完了することを目的に開発した。ここで、長大作物収穫作業、耕耘作業、麦類の施肥播種作業を個別作業として行った場合の作業能率を試算して、同時作業機による能率との比較を行って、その省力効果を検討する。

表4に示したように、個別作業では圃場内作業時

間のみで74分を必要とするのに対して、同時作業機では49.3分となり30%以上の省力化となった。個別作業において、トラクタ1台、オペレータ1人で長大作物収穫から麦類の施肥・播種を行うとすると、フォレージハーベスタ、ロータリ、施肥播種機と3種類の作業機を付け替えるための時間や作業機の調整等の準備作業にさらに時間を必要とする。

作物切り替え時のこれらの作業を遂行するために、3組のオペレータとトラクタを用意して、同時並行作業を行うことも想定できる。しかし、長大作物収穫作業には、伴走トレーラを2組以上、サイレージ詰め込み作業に数人の人員を必要としており、さらに耕耘作業と施肥播種作業のために2組の機械と要員を確保することはかなり難しいと思われる、同時作業機の省力効果は高いと考えられる。

なお、トウモロコシ以外の長大作物としてのソルガムと、ライ麦以外の麦類としての大麦を組み合わせた体系については、栽培試験のための小区画について作業を行い、ソルガムが倒伏した場合には、収穫作業の作業能率の低下や損失の増大につながる点は考慮する必要があることを明らかにしている。

さらに、同時作業機による一年二作体系は、作物の選択範囲が拡大され、ソルガム-大麦体系も可能となった。得られる最大収量は、トウモロコシ-ライ麦体系で乾物約2.7t/10aと慣行で可能な一年二作体系の5%増を示し、穂重や乾物率の増大などの品質向上効果が認められた。

9) 摘要

寒冷地の粗飼料生産の低コスト化をねらいとして、長大作物収穫と麦類施肥播種作業において、同時作業機の開発による作業の省力化の効果を明らかにするために、長大作物収穫麦類施肥播種同時作業機を設計・試作し、トウモロコシ-ライ麦体系における作業性能試験を行った。その結果、次の知見を得た。

(1)同時作業機はシリンダ型フォレージハーベスタ、空冷ディーゼルエンジン駆動ロータリ、溝ロール式施肥機、丸穴ロール式播種機を組み合わせで製作した。

(2)麦類の発芽を良好にするために播種床のロータリ耕耘と平滑ローラによる播種後の鎮圧を行うこととして、収量確保のために播種方式にはドリル播方式を採用した。

(3)同時作業機は、収穫部でトウモロコシなど長大

表5 作業シミュレーションに使用した作業機の諸元と能率

Table 5 Dimensions and working efficiencies of machines for simulation

作業名	作業機	諸元	作業能率 (a/h)	実作業率 (%)	作業可能降水量上限値 (mm)
堆肥散布	マニユアスプレッダ	2 t	65	60	20
石灰散布	ライムソフ	3 m	66	75	20
耕うん	ロータリ	2.4m	46	75	15
長大作物施肥播種	吸引式播種機	4条	71	75	20
長大作物収穫	フォレージハーベスタ	シリンドラ型 1条	12,18,24	65	15
麦類施肥播種	ドリルシーダ	2.6m (17条)	50	65	20
同時作業	試作同時作業機	1条 (75cm)	12, 24	65	15

同時作業機の作業能率 12a/h は実測値、その他は試算値

作物の刈り取り・細断を行って、耕耘部で長大作物残茎の切断・埋没と播種床の耕耘を行うとともに、施肥播種部で大麦などの施肥・播種・鎮圧を行い、すべての作業を一工程で完了した。

(4)同時作業機はトラクタの右側に装着するために、作業は右回り法となり、最初の作物列の左側に枕地を必要とした。

(5)各部の機能は良好で、トウモロコシの収穫作業、ライ麦の施肥播種作業ともに順調に行われ、ライ麦の初期生育も良好であった。作業性能は、作業速度 0.76 m/s で作業能率 12a/h となり、長大作物収穫作業と麦類の施肥播種作業を個別で行う場合と比較して 30%以上の省力化が図られた。

(6)同時作業機は、全長の短縮化、軽量化、肥料・種子ホッパの大型化による操作性の改善と作業能率の向上が可能と考えられた。

(7)同時作業機を利用したトウモロコシ-大麦、ソルガム-ライ麦の一年二作体系で、乾物収量 2.7t/10a 以上を得て、サイレージ材料としての品質向上も可能となることが明らかとなった。

2 作業シミュレーションによる同時作業機の評価

1) 目的

試作開発し、圃場利用試験を行った同時作業機の性能について、耕耘、施肥、播種、収穫などをそれぞれの作業機を用いて行う個別作業法を対照として、気象データに基づいた作業体系化シミュレーション(矢治ら 2001)を行い、作業上のメリットを評価する。

2) 試験方法

使用したシミュレータは、金谷ら(2000)が作成した農作業シミュレータである。入力項目は、圃場に関連して圃場面積、圃場枚数、圃場の分散度、装備機械に関連して機械名とその作業能率、作業時間、実作業率、作業に関連してその作業の降水量上限値、作業開始日、作業終了日である。なお、シミュレーション条件として、圃場分散を加味するかどうか、

作業可否条件として前日の降水量が影響するかどうか、後作業の処理面積は前作業の処理面積を上回らないなどがある。本シミュレーションでは、圃場分散は小さい、前日の降雨も影響する、後作業は前作業の処理面積を上回らないとした。

シミュレーションで使用した同時作業機や他の作業機の規格、能率、制限条件は表5に、各作付体系の供試品種と播種及び収穫日は図2に示した。また、シミュレーションにおける飼料作物の作付面積は、一年二作体系で長大作物と麦類を合わせた飼料作物の生草収量を約 10t/10a (乾物収量約 2.5t/10a)、乳牛や肉牛でのサイレージ給与量を 1頭当たり 20 kg/d と設定して、50頭程度の飼養が可能となる 5 ha (1 ha × 5 枚) を基準とした。

長大作物の播種作業に際し、地力維持や家畜糞尿処理の観点から堆肥散布作業および石灰散布作業を加え、耕耘はロータリ耕耘作業、播種は収量確保をねらいとして正確な株間を得られる吸引式播種機による播種作業とした。作業期間はそれぞれ 2 日間で合計 8 日間とした。なお、耕耘作業は作業可能降水量上限値を 15 mm/d、その他の作業では 20 mm/d とした。

長大作物収穫作業は、サイレージの品質向上をねらいとして、微細断が可能なシリンドラ型フォレージハーベスタを使用し、作業期間は 5 日間、作業可否の降水量上限値は 15 mm/d とした。

麦類の施肥播種は、17条用のドリルシーダを使用し、耕耘はロータリで行った。耕耘作業と播種作業は各 2 日間、合計 4 日間の作業期間とした。

同時作業機は、長大作物収穫作業 5 日、麦類の施肥播種作業 4 日の合計 9 日間を作業期間として、実際の圃場試験から得られた作業能率 12a/h を基準とした。また、同時作業機の降水量上限値はフォレージハーベスタと同じ 15 mm/d とした。

トウモロコシ-ライ麦体系では、トウモロコシの堆肥散布作業、石灰散布作業、耕耘作業、施肥播種作業までを 5 月 15 ~ 22 日までの 8 日間とした。トウ

表 6 シュミレーション結果 (トウモロコシ-ライ麦体系)

Table 6 Simulation result of dentcorn-rye cropping system

年	トウモロコシ				ライ麦			トウモロコシ			ライ麦			トウモロコシ-ライ麦 同時作業機 (12a/h)
	堆肥散布 (65a/h) ^{a)} (5/15-16) ^{b)}	石灰散布 (66a/h) (5/17-18)	耕うん (46a/h) (5/19-20)	施肥播種 (71a/h) (5/21-22)	収穫 I (12a/h) (9/26-30)	耕うん (46a/h) (10/1-2)	施肥播種 (50a/h) (10/3-4)	収穫 II (18a/h) (9/26-30)	耕うん (46a/h) (10/1-2)	施肥播種 (50a/h) (10/3-4)	収穫 III (24a/h) (9/26-30)	耕うん (46a/h) (10/1-2)	施肥播種 (50a/h) (10/3-4)	
1985	5.0	5.0	5.0	5.0	2.5	2.5	2.5	3.8	3.8	3.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1986	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
1987	5.0	5.0	5.0	5.0	1.9	1.9	1.9	2.9	2.9	2.9	3.8	3.8	3.8	4.4
1988	5.0	5.0	5.0	5.0	2.5	2.5	2.5	3.8	3.8	3.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1989	5.0	5.0	5.0	5.0	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1990	5.0	5.0	5.0	5.0	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1991	5.0	5.0	5.0	5.0	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1992	3.1	3.1	3.1	3.1	1.9	1.9	1.9	2.9	2.9	2.9	3.1	3.1	3.1	3.1
1993	5.0	5.0	5.0	5.0	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1994	3.1	3.1	3.1	3.1	1.9	1.9	1.9	2.9	2.8	2.8	3.1	2.8	2.8	3.1
1995	5.0	5.0	5.0	5.0	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	4.8	5.0	2.8	2.8	5.0

a) : 作業能率
 b) : 作業予定期日
 なお、作業終了期日は予定より早く終了した場合のみを記入しており、記入がない場合は予定日に終了した。
 ** は降雨により作業終了面積が計画の5haあるいは前の作業面積よりも減少したものを。

表 7 シュミレーション結果 (ソルガム-大麦体系)

Table 7 Simulation result of sorghum-barley cropping system

年	ソルガム				大麦			ソルガム			大麦			ソルガム-大麦 同時作業機 (12a/h)
	堆肥散布 (65a/h) ^{a)} (6/13-14) ^{b)}	石灰散布 (66a/h) (6/15-16)	耕うん (46a/h) (6/17-18)	施肥播種 (71a/h) (6/19-20)	収穫 I (12a/h) (9/23-27)	耕うん (46a/h) (9/28-29)	施肥播種 (50a/h) (9/30-10/1)	収穫 II (18a/h) (9/23-27)	耕うん (46a/h) (9/28-29)	施肥播種 (50a/h) (9/30-10/1)	収穫 III (24a/h) (9/23-27)	耕うん (46a/h) (9/28-29)	施肥播種 (50a/h) (9/30-10/1)	
1985	5.0	5.0	5.0	5.0	3.2	2.8	2.8	4.8	2.8	2.8	5.0	2.8	2.8	5.0
1986	5.0	5.0	0	3.7	3.2	3.2	3.2	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
1987	5.0	5.0	5.0	3.7	1.3	1.3	1.3	1.9	1.9	1.9	2.5	2.5	2.5	3.7
1988	5.0	5.0	5.0	5.0	2.5	2.5	2.5	3.8	3.8	3.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1989	5.0	5.0	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
1990	5.0	4.0	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
1991	5.0	5.0	5.0	5.0	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0
1992	5.0	5.0	5.0	5.0	1.9	1.9	1.9	2.9	2.9	2.9	3.8	3.8	3.8	4.4
1993	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
1994	5.0	5.0	5.0	5.0	1.3	1.3	0	1.9	1.9	0	2.5	2.5	0	2.5
1995	5.0	0	5.0	3.7	3.2	3.2	3.2	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7

a) : 作業能率
 b) : 作業予定期日
 なお、作業終了期日は予定より早く終了した場合のみを記入しており、記入がない場合は予定日に終了した。
 1986年、1995年は降雨のためソルガムの施肥播種作業、石灰散布作業において作業不可能となったため、その後の作業は [] で試算してある。
 ** は降雨により作業終了面積が計画の5haあるいは前の作業面積よりも減少したものを。

モロコシの収穫作業は、関村ら (1987) が示したライ麦の播種晩限である 10 月 5 日を前提として、9 月 26 ~ 30 日の 5 日間とした。ライ麦の耕耘作業はロータリを用いて 10 月 1 ~ 2 日、シードドリルの施肥播種作業は 10 月 3 ~ 4 日で、それぞれ 2 日間とした。

ソルガム-大麦体系では、ソルガムの堆肥散布作業、石灰散布作業、耕耘作業、施肥播種作業を 6 月 13 ~ 20 日までの 8 日間で、それぞれ 2 日間ずつとし

た。ソルガムの収穫作業は、関村ら (1987) が示した大麦の播種晩限である 9 月末を前提として、9 月 23 ~ 27 日の 5 日間とした。大麦の耕耘、施肥播種作業は 9 月 28 日 ~ 10 月 1 日の 4 日間として、それぞれ 2 日間とした。

同時作業機では、トウモロコシ-ライ麦体系においては、長大作物の収穫作業期間を 9 月 26 ~ 30 日までの 5 日間、ライ麦の耕耘、播種期間を 10 月 1 ~ 2 日、10 月 3 ~ 4 日、同時作業機の作業期間を 9 月

26日～10月4日の9日間とした。なお、トウモロコシ、ソルガムの播種時期は、一年二作体系を継続できる期日を前提とした。

シミュレーションに使用した降水量は、1985～1995年まで11年間の盛岡市のデータを使用した。

3) シミュレーション結果

同時作業機と個別作業の降水量に基づいた作業シミュレーション結果を表6, 7に示した。

トウモロコシ-ライ麦体系では、表6に示したように、5 ha 作付けの場合は1作目のトウモロコシの施肥播種作業が11年中8年可能となった。2作目のライ麦作付けまでは、同時作業機体系は11年間で7年作業可能となった。基準とした5 haの作業面積を処理できなかった原因は、1987年は同時作業機、1986年、1992年、1994年は堆肥散布作業の処理面積が降雨のために3.1haと減少したためである。個別作業体系ではトウモロコシの収穫作業能率に大きく影響を受けて、作業能率12a/hおよび18a/hの場合はすべて5 haの収穫が出来ず、作業能率が24a/hの場合に7年、ライ麦播種までは6年可能となった。このように同時作業機体系は、フォレージハーベスタの収穫能率が24a/hと高い収穫Ⅲの体系とほぼ同じ面積を処理できた。

ソルガム-大麦体系では、表7に示したように、1作目のソルガム施肥播種作業から施肥播種作業まで5 haの播種が出来たのは11年で5年と少なく、作業期間内に全く作業が出来なかった例が、1986年および1995年と2年あり、盛岡では6月中旬に雨が多い傾向が影響した。ソルガム収穫作業では、作業能率24a/hの場合でも5 ha作業できたのは11年中3年であった。さらに、2作目の大麦施肥播種作業では5 ha作付けできたのは2年のみであった。これに対して、同時作業機では、作業能率12a/hで3年は5 haの面積を処理できた。

4) 考察

寒冷地において、自給粗飼料の単収を向上させるために長大作物と麦類の一年二作体系を行う場合には、長大作物の収穫作業をできるだけ遅くして粗飼料としての品質を確保しつつ、麦類の越冬前の生育を確保するために麦類播種作業を晩限までに終了する必要がある。また、春や秋に降雨が多い我が国の気象条件下では、降雨による作業の中断や延期が避けられない。このような条件では、作業可能な圃場条件となったら迅速に全ての作業を完了することが

重要となる。長大作物の収穫から耕耘、施肥、播種作業を同一工程で行うことができる同時作業機を用いた作業体系は、それぞれの作業を個別で行う作業体系と比較して、作業可能面積の拡大や適期内作業の遂行に効果があると考えられた。しかし、同時作業機は、個別の作業機と比較して構造が複雑で機体全長が大きくなるため旋回性能など操作性が低下する可能性があること、機体質量が増大するため降雨の影響による作業可能な圃場条件がより厳しくなることがあるなどのデメリットも予想される。同時作業機の実用化にあたっては、機体質量の軽量化、構造の簡素化などを十分検討する必要がある。

5) 摘要

寒冷地における長大作物-麦類一年二作体系において、同時作業機による作業体系と個別作業の組み合わせによる作業体系を対象とした作業シミュレーションによる降雨量を基準とした作業シミュレーションを行い、次の知見を得た。

(1)トウモロコシ-ライ麦体系では、作付け面積5 haの場合、トウモロコシの施肥播種作業は11年中8年作業可能であった。さらに、トウモロコシ収穫とライ麦播種が完了したのは、同時作業機は11年中7年となったのに対して、個別作業ではトウモロコシ収穫作業能率が12a/hおよび18a/hでは作業不可能で、24a/hの場合に6年となった。

(2)ソルガム-大麦体系では、作付け5 haの場合にはソルガム播種が降雨で制限されて11年中5年の達成で、ソルガム収穫と大麦播種が完了したのは、同時作業機が3年であるのに対して、個別作業では収穫作業能率12a/hおよび18a/hでは作業不可能で、24a/hの場合は2年であった。

(3)同時作業機の体系では、長大作物収穫作業能率が2倍のフォレージハーベスタを中心とした個別作業体系と同程度の作業可能性を示すとともに、作業期間の短縮などの効果が期待された。

Ⅲ バンカーサイロ作業の機械化

1 バンカーサイロ詰め込み・取り出し作業の機械化における問題点の解明

1) 目的

乳牛飼養管理における給餌作業に要する時間は25.9%を占めており、搾乳作業時間に次いで労力を要する。また、肉牛飼養管理においては68.3% (去勢若齢肥育)、64.1% (乳用おす肥育) と第1位を

占める（農林水産省統計情報部1999）など省力化が求められる作業である。このように労力を要する給餌作業において、年間を通して利用可能な自給粗飼料であるサイレージは通年サイレージ給与といった方向で利用拡大されているが、サイレージ材料の詰め込みや取り出しと給与にかかる作業の機械化・省力化が求められている。

サイレージは、タワーサイロやバンカーサイロなどいくつかの型式のサイロに詰め込み・調製されるが、垂直型のサイロでは施設型の機械化・自動化が、水平型のサイロではトラクタ装着の作業機や専用機等、走行型の機械化が進められてきた。ここでは、バンカーサイロにおけるこれらの機械や作業の特徴について、諸外国を含めた現状を調査して問題点を明らかにする。

2) バンカーサイロにおける材料詰め込み作業

バンカーサイロにおける詰め込み作業は、圃場で収穫したサイレージ材料をダンプトレーラなどの運搬車に積み込みサイロまで運搬する。運搬車がサイロ内に入って材料を荷下ろしした後（写真6）、人力やローダなどで平らに均しながら車輪を用いて自重で踏圧する（写真7）。サイロが一杯になるまで材料の詰め込み、均平、踏圧の操作を繰り返す。最後に、サイロ上面とサイロ端面をビニールフィルムで覆い、空気を遮断する。この時、気密を保つために壁際へフィルムを差し込む、あるいは、壁にフィルムを留めるなどの操作が必要である。

詰め込み作業における材料の踏圧は、サイレージ材料の間に存在する空気をできるだけ排除し嫌気条件にして、サイレージ調製における乳酸発酵の開始を早めて良質のサイレージとするために必要であ

る。踏圧作業は、サイレージ発酵が終わり給与のために開封した後に、開封面からサイレージ内部への空気の侵入をできるだけ防いで好気的変敗を防止し、品質を低下させないためにも重要である。踏圧後の埋草密度をできるだけ高くするためには、踏圧のために専用の建設車両など重量車両を用いる場合もある。また、バンカーサイロの場合は、壁面際から空気の侵入があるので、特に壁面近傍の踏圧は重要である。

3) バンカーサイロにおけるサイレージ取り出し作業

バンカーサイロで調製されたサイレージの取り出し作業は、牛に自由採食させる方法から、大型のアンローダを用いる方法まで工夫されている。牛の自由採食法には、バンカーサイロを開封し、柵や電気ショックを与えるカーテンなどを設置して牛が必要以上に入らないように制限しながら自由に採食させる方法（目黒2000）がある。この方法は省力的であるが、同時に利用する頭数に制限があり、サイレージの喰いこぼしや踏みつけによるロスが多い特徴がある。人力取り出し作業では、フォークやサイレージナイフを使用するが、取り出し量が多くなると水分が高い重量物を扱うことやサイレージ独特の臭いがあることなどから、重労働である。機械化作業では、トラクタのフロントローダにフォークを取り付けて行う方法があるが、サイレージを崩しながら取り出すために取り出し断面を荒らす、空気が侵入し好気的変敗が発生するなど品質低下に問題を残している。

そこで、サイレージの取り出し断面をきれいにすることや空気侵入を抑えるために、いくつかの取り出し方法が工夫されてきた。垂直型サイロの取り出



写真6 バンカーサイロにおける材料の詰め込み作業
Photo 6 Forage loading work in bunker silo



写真7 バンカーサイロでのトラクタによる踏圧作業
Photo 7 Forage compressing procedure by tractor in bunker silo

表8 サイレージ取り出し機の種類と性能の概要
Table 8 Working efficiencies of silage unloaders

適応サイロ	機械名	能率 ²⁾ (t/h)	所要動力 ³⁾ (kW)	細断の必要性	機械の形式	給餌方法	備考
垂直型サイロ	グラーブケット式取出機 (Greifer)	12-14	—	有	サイロ施設	自動給餌可能	運搬距離で能率は異なる
	上部取出機 (Obentnahmefrasen)	コン:~9 グラス:~6	最大 11.25	"	"	"	
	下部取出機 (Untenfrasen)	"	"	"	"	"	
	フロントローダ (Frontloader)	—	—	"	トラクタ装置	運搬車	従来から行われていたが、 2次発酵等の問題が多い。
水平型サイロ	サイレージ切断機	5~8	37.5kW以上の トラクタに適應	無	トラクタ前部・ 後部装着	切断したブ ロックを人力で 給餌する	切断するサイレージの大きさ (0.8-1.8m ²)により適應 桁が異なる。
	水平型サイロ取出機 (Flachsilofrasen)	コン:20-30 グラス:6-8	30kW以上の トラクタに適應	有	トラクタ装着・ トラクタ3点リク装着	運搬車、給 餌車(サイレージ ミキサー等)	能率が高く、供試サイレ ージも含まれる。
	給餌装置付取出機 (Fraswagen)	コン:6-12	22.5-37.5kW のトラクタに適應	有	3点リク又は 牽引式	給餌車も兼 ねている	ホッパーが2-5m ² まであり適 応桁が異なる。
	水平型サイロ取出機	8程度	7.5程度	必要なものと 無いものがある	サイロ施設	自動給餌可能	研究段階

1) 引用文献 10) に加筆して作成した。

2), 3) 能率、所要動力はその範囲が広いので大まかな数字を示した。

し機と合わせて作業能率や問題点を表8に示した。サイレージ切断機は、サイレージをブロックで取り出すときに、サイレージブロックの側面と奥の面にレシプロ刃で切り込みを入れて切り出すブロックカタ方式である。

また、バンカーサイロでは、材料の踏圧を十分に行くと空気を排除して嫌気条件となり乳酸発酵が迅速に行われるため、高品質のサイレージ調製が可能となる。これを実現するためには埋草密度を高くする必要がある。この場合、材料の自重のみで高密度を達成するためには、タワーサイロのように10mを超えるように高く堆積する必要があるが、サイロ高さが低いバンカーサイロといえどもある程度堆積高さを高くすることも重要である。このため高さが4~5mのバンカーサイロもあり、取り出し可能高さが高いバンカーサイロ用サイレージアンローダも実用化されている。

サイレージ取り出し作業は、材料水分や材料切断長など、材料の違いによる作業のトラブルや能率低下の問題が大きい。微細断されたトウモロコシやソルガムなど長大作物は、フォレージハーベスタやコーンハーベスタなどの収穫機で茎を挟みながら細断するので10mm程度と切断長が短く、長いものは含まれない。しかし、牧草や麦類などは、収穫時の水分が80%以上と高く、サイレージ調製のための最適水分である40~70%に低下させるために、刈り取り後に予乾作業が必要となる。このため、予乾後の拾い上げ・細断作業では、ウインドローに集められ

た材料をピックアップ装置付きのフォレージハーベスタで作業することになる。この作業では、予乾する過程で行われる転草作業や集草作業で材料の並ぶ方向が乱れていること、牧草や麦類では茎の直径が細くフォレージハーベスタのフィードローラによる挟持が十分でないこと、などのために平均切断長が長くなるとともに長い材料が混入するようになる。

さらに、細断後の材料の形状は、長大作物では、茎の直径が20mm程度と大きく切断長が10mm程度の円筒状となるが、牧草や麦類では、扁平な茎葉が主体であり切断長も長く層状に堆積されたマット状となる。このように、材料の特性に合わせた取り出し方法を工夫する必要があり、機械の機構にも違いがある。

サイレージトップアンローダやイギリスの試作取り出し機(Benson et al.1982, Lindsay 1971, Lindsay et al.1973, Lindsay 1980), 我が国の試作アンローダ(生研機構(富樫ら1993), 電力中央研究所(吉野ら1976)など)でも、サイレージ上層から剥がすような機構が考案されている。また、切断刃によりサイレージをブロックとして切り出す機構を付けたサイレージブロックカタが、トラクタのフロントローダやリアマウント作業機として実用化されている。

開封後の給与時において問題となる好気的変敗は、前述したように材料詰め込み時に踏圧を十分に行って埋草密度900kg/m³以上を確保すると、空気の侵入が極めて少なくなり対策はほとんど不要となる。しかし、取り出し方式によっては、取り出し断面を乱したり膨軟にすることで空気が侵入したり、

材料詰め込み時の踏圧が十分に行われなかった場合には、好気的変敗が発生する可能性がある。一般的には、1日の取り出し量が断面の移動距離として30cm以上あれば変敗量が少なく済むと言われているが、取り出し断面に空気遮断操作を行うことが出来れば、踏圧や取り出し方法に関わらずサイレージ品質低下を減少させることが可能と考える。

4) 摘要

バンカーサイロにおけるサイレージ材料の詰め込み作業、サイレージの取り出し作業、使用される機械等を調査し問題点を明らかにした。その結果、次の知見を得た。

(1)バンカーサイロにおける詰め込み作業は、ダンブトレラなどの運搬車による材料の荷下ろし後、人力やトラクタなどによる均平作業と踏圧作業を行い、ビニールフィルムなどで表面を覆い密封する。この過程では、材料の踏圧がサイレージ品質保持や開封後の品質低下を抑えることとなるので、材料の運搬労力と均平や踏圧のための機械や労力を必要としている。

(2)バンカーサイロの取り出し作業は、労力をほとんど必要としない自由採食から高能率な専用アンローダによる取り出し作業まで、多くの実用化技術が確立されているが、タワーサイロに見られるような自動化作業は実現されていない。とくに、開封後の取り出し作業では、取り出し面からの空気の侵入による好気的変敗の発生を防止することが必要となる。

2 サイレージアンローダによるバンカーサイロ取り出し作業の機械化

1) サイレージ材料別の取り出し性能

(1)目的

バンカーサイロにおけるサイレージ取り出し作業の省力機械化の一例として、アメリカにおいて実用化されており高能率な取り出しが可能と考えられる大型サイレージアンローダを導入・供試して、材料を異にしたサイレージの取り出し性能を検討するとともに、作業上の問題点を明らかにする。

(2)試験方法

①供試機械

供試したサイレージアンローダの構造の概要と主要諸元は、図5、表9に示した(我妻ら1977, 我妻ら1978)。供試機は30kW以上のトラクタを原動機として組み込む方式を採用した取り出し作業専用機で

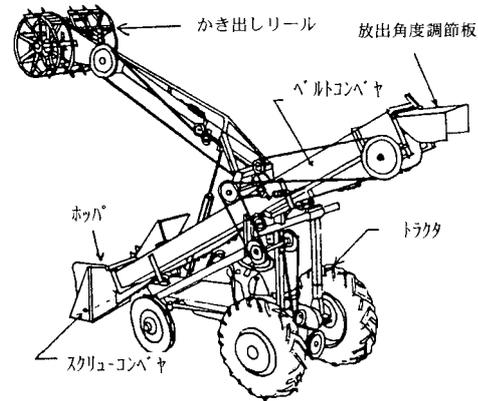


図5 サイレージアンローダ概要図 (Beef型)
Fig. 5 Sketch of silage unloader (Beef type)

表9 サイレージアンローダの主要諸元
Table 9 Dimensions of silage unloader

項目	仕様
形式	Beef型(米国Butler社)
全長(mm)	6,560
全幅(mm)	1,470
全高(mm)	3,510
全質量(kg)	800(トラクタは除く)
リール揚程(mm)	4,600
リール幅(mm)	1,450
リール直径(mm)	880
ベルトコンベヤ幅(mm)	355
掻き出し刃	
ディガースプリング(個)	34
ナイフ刃(個)	41

ある。主要な構造は、掻き出し部、集積・搬送部、動力伝達部および油圧操作部からなる。

掻き出し部は、図6にその展開図を示した直径880mm、幅1,450mmの掻き出しリールと、リールフレームに螺旋状に配置・装着されたナイフ刃、ディガースプリングの2種類の掻き出し刃からなり、掻き出しリールの回転作用によってサイレージを取り出す。掻き出し刃のうち、ディガースプリングが主として掻き出し作業を行い、ナイフ刃はディガースプリングによってできる溝を崩して、掻き出し作用を助ける働きを持っている。本機による作業は模式図を図7に示した。

集積・搬送部はホッパ、スクリュウコンベヤとベルトコンベヤで構成される。掻き出されたサイレージは、ホッパで確実に受けてスクリュウコンベヤで横方向へ送り、ベルトコンベヤで後上方へ搬送し運搬車へ積み込む。ホッパは油圧操作により地上高0~40cmの範囲で上下調節可能である。

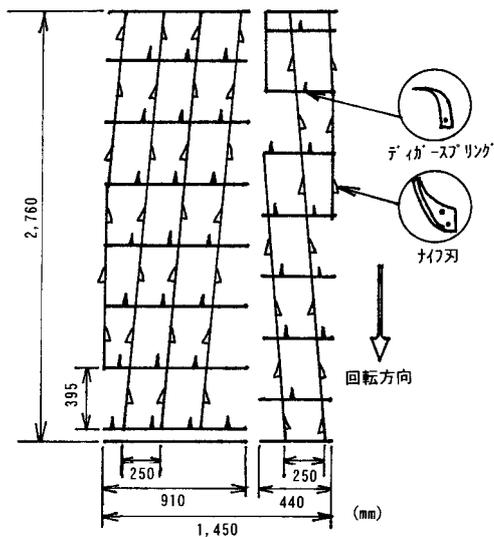


図6 掻き出しリール展開図と掻き出し刃
Fig. 6 Unfolded figure of scratching reel and arrangement of scratching knives

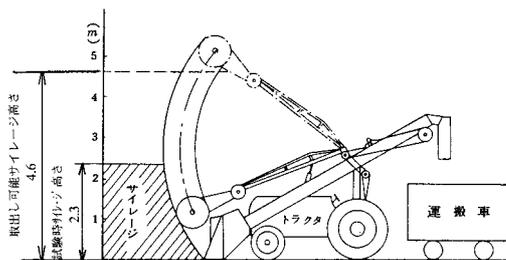


図7 サイレージアンローダ作業模式図
Fig. 7 Working scheme of the silage unloader

動力伝達部は、原動機であるトラクタのPTO軸へ取り付けられたVベルトプーリーを動力源として、C型Vベルトを使用した伝達が主である。また、掻き出しリールとホッパは、それぞれ油圧シリンダを備えて、運転席の操作レバーから別個に昇降可能である。

②作業法と特徴

本アンローダによるサイレージの取り出し作業は、掻き出しリールをサイレージ上面まで上げた後、ホッパをサイロ床面まで降ろしながらサイレージ取り出し面まで前進する。トラクタの前進を停止して掻き出しリールを回転させた後、リールを下降させながらサイレージ取り出し作業を進める。掻き出したサイレージは、ホッパで受けてスクリュコンベヤでホッパ横方向へ集め、ベルトコンベヤで後ろ上方へ搬送・放出し、運搬車へ積み込む。本サイレージアンローダによる取り出し可能なサイレージ高さは、掻き出しリール下部到達高さである4.6 mとなる。



写真8 サイレージアンローダ (トラクタマウント型)
Photo 8 Silage unloader (Tractor mounted type)



写真9 サイレージアンローダ (トラクタリアマウント型)
Photo 9 Silage unloader (Tractor rear mounted type)

本機の構造的な特徴は、①動力源にトラクタを用いて掻き出し部や集積・運搬部を組み込む方式で、トラクタ前向き作業である(写真8)。(トラクタ3点リンク装着式作業機は後ろ向き作業である(写真9))。②掻き出し方式がリール回転式であり、リールの揚程が高く取り出し可能高さが4.6 mと高い(写真10)。スラットコンベヤに刃を付けた方式もあるが、トラクタ3点リンク装着方式であり取り出し可能高さは低い(写真9)。③取り出したサイレージの搬送にベルトコンベヤを使用しており、ブロワによる搬送と比較すると、Lindsay (1971) が指摘するように所要動力が少なくて済む、などである。

③試験材料

供試材料は、牧草、トウモロコシの2作物をフレール型ダイレクトカット式、フレール型ダブルカット式およびシリンダ型の3種類のフォレージハーベスタで収穫して、バンカーサイロで調製した。踏圧は、



写真 10 サイレージアンローダ (トラクタマウント型)
(搔き出しリールを上げた状態)
Photo 8 Silage unloader (Tractor mounted type)
(Upper scratching reel position)



写真 11 サイレージアンローダによるコーンサイレージ取り出し作業
Photo 11 Corn silage unloading work by silage unloader

表 10 サイレージ材料の性状
Table 10 Characteristics of grass and corn before ensiling

サイレージ材料	サイレージ水分 (%) ^{a)}	材料切断長質量割合 (%)							平均切断長 (mm)	密度 (wb, (db)) (t/m ³)	備 考	
		0-10mm	10-25	25-50	50-100	100-200	200-300	300-			収穫機 ^{b)}	踏 圧
牧 草	47.3		9.8	10.0	31.7	25.6	23.0	212	-	F	人力 ^{c)}	
	82.8	13.4	18.8	20.7	26.9	20.2	0	62	1.0(0.172)	W	トラクタ ^{d)}	
	45.9	6.2	31.6	28.6	19.2	14.4	0	53	0.3(0.162)	C	トラクタ	
トウモロコシ	74.3		17.9	17.9	37.3	24.9	2.1	143	-	F	人力	
	62.0		70.7	16.6	10.4	2.3	0	46	0.3(0.114)	W	人力	
	90.7	10.4	76.2	8.7	4.7	0	0	21	0.8(0.074)	C	トラクタ	

a) 80℃ - 48時間乾燥

b) F: フレール型ダイレクトカット式フォレージハーベスタ

W: フレール型ダブルカット式フォレージハーベスタ

C: シリンダ型フォレージハーベスタ

c) 人力 (約 60kg), d) トラクタ (約 1,500kg)

細断した材料についてはトラクタで十分に行った。これら 6 種類のサイレージについて、試験時における材料水分、切断長、埋草密度を表 10 に示した。

④ 試験方法

試験は表 10 に示したように、材料と収穫方法を異にしてバンカーサイロで調製した 6 種類のサイレージについて行った。なお、調製後のサイレージについて土壌硬度計 (SR - 2 型) による硬度測定を行った。さらに、一定時間における取り出し量を計測して作業能率を調査するとともに、搔き出しリールや搬送コンベヤなど各部の動作や取り出し面の状態などを含めた作業上の問題点を検討した。

(3) 試験結果

詰め込み後、踏圧し、調製したサイレージの高さ

別の材料密度、貫入深さの測定結果を表 11 に示した。埋草密度が高いサイレージほど貫入深さが低下する傾向、すなわち硬度が大きくなっていることが明らかとなった。また、供試サイレージ堆積高さは 2.5 m 程度で、中層・下層の貫入深さに一定の傾向は見られなかったが、サイレージ上面から 50 cm 程度までの表層部分は貫入深さが大きくなり、密度が低下し膨軟になる傾向が見られた。

供試したサイレージアンローダによる材料別、収穫方法別のサイレージ取り出し作業性能調査の結果、表 12 に示したように取り出し作業能率は材料の切断長や踏圧程度 (埋草密度) に大きく影響を受けることが明らかとなった。しかし、サイレージの高さと取り出し能率には一定の傾向は見出せなかつ

表 11 サイレージ材料・高さ別貫入深さ
Table 11 Characteristics of grass and corn silage

サイレージ材料	サイレージ水分 ^{a)} (%)	平均切断長 (mm)	収穫機 ^{b)}	堆積密度(wb,(db)) (t/m ³)	踏圧方法	高さ別貫入深さ ^{c)} (cm)					備 考
						0.5m	1.0	1.5	2.0	2.5	
牧 草	82.8	62	W	1.0 (0.172)	トラクタ ^{d)}	1.0	1.0	2.0	-	-	サイレージ高さは 1.8m
	45.9	53	C	0.3 (0.162)	トラクタ	6.0	4.5	4.4	3.5	8.7	
トウモロコシ	90.7	76	C	0.8 (0.114)	トラクタ	1.0	1.8	1.3	4.3	9.5	
	62.0	21	W	0.3 (0.074)	人力 ^{e)}	貫通	貫通	貫通	貫通	貫通	大コーンでも貫通

a) 80℃-48h
 b) W：フレール型ダブルカット式フォレージハーベスタ
 C：シリンダ型フォレージハーベスタ
 c) SR-2型土壌硬度計に小コーン（断面積2cm²）を取り付けてサイレージ断面に196Nの力で貫入させた時の貫入深さを示した。
 d) トラクタ(約1,500kg)
 e) 人力(約60kg)

表 12 サイレージアンローダの作業性能
Table 12 Performance of silage unloader

サイレージ種類	収穫機	エンジン		掻き出しリール		取り出し量 (wb,(db)) (kg/min)	備 考
		回転数 (rpm)	回転数 (rpm)	作業幅 (cm)	作業幅 (cm)		
グ ラ ス サ イ レ ー ジ	F ^{a)}	1800	67	150	-	-	作業不能
		2000	72	150	161(27.7)	161(27.7)	作業順調
	W ^{b)}	1800	65	150	121(20.8)	121(20.8)	作業順調
		1800	65	150	150(81.2)	150(81.2)	作業順調
		2000	72	150	162(87.6)	162(87.6)	作業順調
コ ー ン サ イ レ ー ジ	F	1800	65	150	-	-	作業不能
		1600	59	150	166(63.1)	166(63.1)	作業順調
	W	1800	67	150	200(76.0)	200(76.0)	作業順調
		1800	67	75	93(35.3)	93(35.3)	リール作業幅1/2
		1600	57	150	900(83.7)	900(83.7)	作業順調
C	1600	57	150	800(74.4)	800(74.4)	ディガー・スプリング 取り外し	

a) F：フレール型ダイレクトカット式フォレージハーベスタ
 b) W：ダブルカット式フォレージハーベスタ
 c) C：シリンダ型フォレージハーベスタ

た。以下に材料別の性能を示す。

①コーンサイレージ

ロックアップアタッチメント付きフォレージハーベスタで収穫して、トラクタによる踏圧を行ったコーンサイレージの取り出し能率は、掻き出しリール、スクリュウコンベヤ、ベルトコンベヤの作用が順調で、900 kg/min (wb) , 84 kg/min (db) を示した(写真 11)。また、掻き出しリールのディガースプリングを取り外してナイフ刃のみで作業を行うと、800 kg/min (wb) と約 10%程度能率が低下し、ディガースプリングが掻き出し面を崩して切断刃の作用を助ける効果が認められた。

フレール型ダブルカット式フォレージハーベスタで収穫し、人力踏圧を行い調製したコーンサイレージは、取り出し能率が 166 ~ 200 kg/min (wb) , 63 ~ 76 kg/min (db) と乾物重と比較するとシリンダ型よりもやや低下した。これは、掻き出しリールの作用により一度に多量のサイレージがホッパに落と

されるとスクリュウコンベヤが詰まるので、調節しながら掻き落とす必要があったためである。

さらに、フレール型ダイレクトカット式フォレージハーベスタで収穫し、人力で踏圧を行い調製したサイレージは、サイレージアンローダによる作業はほとんど不可能であった。これは、踏圧が不足して掻き出しリールの作用で一度に多量のサイレージがホッパに掻き出されることによって、切断長が長く流動性の悪いサイレージがスクリュウコンベヤ部に詰まったことによる。

このように、コーンサイレージの場合は、材料の切断長が短いほど作業が順調に行われて取り出し作業能率も高くなった。材料の切断長が長いもの場合は、フレール型ダブルカット式フォレージハーベスタで収穫した程度の切断長であれば、踏圧を十分に行いサイレージ調製し、リール降下速度を低速で行うことで、能率はやや低下するが作業は可能であると判断された。

②グラスサイレージ

ピックアップアタッチメント付きシリンダ型フォレージハーベスタで収穫し、トラクタで十分踏圧を行って調製した予乾グラスサイレージの取り出し能率は、150 ~ 162 kg/min (wb) , 81 ~ 88 kg/min (db) を示し、乾物基準ではコーンサイレージとほぼ同様の能率を示した(写真 12)。しかし、フレール型ダブルカット式フォレージハーベスタで収穫し、トラクタで十分に踏圧したグラスサイレージの取り出し能率は、121 ~ 161 kg/min (wb) , 21 ~ 28 kg/min (db) と乾物基準ではシリンダ型と比較して 1/3 ~ 1/4 と低下した。この場合は、写真 13 に示したように爪でサイレージを梳る状態となり、ディガースプリングなどにサイレージが絡みつくこと(写真 14) も加わり能率が低下した。



写真 12 サイレージアンローダによるグラスサイレージ取り出し作業

Photo 12 Grass silage unloading work by silage unloader



写真 14 掻き出し爪に付着したグラスサイレージ
Photo 14 Grass silage caught by scratch knives



写真 13 掻き出しリールが作用したグラスサイレージ表面

Photo 13 Grass silage face scratched by silage unloader reel

また、フレール型ダイレクトカット式フォレージハーベスタで収穫し、人力で踏圧を行い調製したグラスサイレージは、コーンサイレージの場合と同様にスクリーコンベヤ部に詰まりが発生し作業不能であった。

(4)考察

供試サイレージアンローダの取り出し能率について、平均切断長、密度、貫入深さの違いを含めて考察した。平均切断長については、シリンダ型で収穫した場合、トウモロコシが 21 mm、牧草が 53 mm と牧草

で 2 倍以上の長さを示した。これは、Finner (1966) や Law (1976) が指摘するように、予乾牧草の細断ではフォレージハーベスタにウインドローアタッチメントを装着して行うが、トウモロコシに比べて牧草の場合は保持が確実でないために、理論切断長の 2 倍あるいはそれ以上のものが発生する可能性があることによると考えられる。

ダブルカット式で収穫した場合にはトウモロコシ 46 mm、牧草 62 mm とそれぞれシリンダ型と比較して 2.2 倍、1.3 倍と長くなった。これは、ダブルカット式の場合には、シリンダ型の材料を保持しながら切断する機構がないため、切断長が長くなるのである。供試サイレージアンローダのこれらを材料としたサイレージの取り出し能率は、平均切断長が 2.2 倍と長くなったトウモロコシではやや低下した程度であったが、1.3 倍となった牧草では 1/3 以下と低下した。これは、表 11 に示したように、ダブルカット式で収穫し、トラクタで踏圧した材料は、材料水分が高く、サイレージの貫入深さが小さく、サイレージが硬く締まっていることを示している。したがって、Decker (1960)、Lindsay (1971) や Willcocks (1968) が述べているように、牧草はトウモロコシとは異なり葉が扁平で茎も細く、材料の絡み合いが大きく、堆積・踏圧されたときに層をなすマット状となり、掻き出しのための引き抜きエネルギーがトウモロコシと比較して増大するためと推察される。これに対して、トウモロコシでは茎の直径が 20 mm 以上あり、切断長 46 mm 程度でも、材料が層とならずに流動性が維持されたためと考える。

したがって、予乾牧草の場合は、シリンダ型で収穫した場合であっても切断長がトウモロコシより長

くなり、十分な踏圧を実施するとマット状となり、供試サイレージアンローダのようなサイレージを掻き落とす取り出し方式では取り出し能率が低下することが予想された。

(5) 摘要

高能率な取り出し性能を持つバンカーサイロ用サイレージアンローダを供試し、材料および収穫法を異にしたサイレージの取り出し性能を検討した結果、以下の成果を得た。

①コーンサイレージの取り出し作業では、切断長が短いサイレージほど取り出し能率が高く、シリンダ型フォレージハーベスタで微細断したサイレージでは900 kg/min (wb) , 84 kg/min (db) の能率を得た。しかし、フレール型ダブルカット式では166 kg/min (wb) , 63 kg/min (db) とやや能率が低下し、フレール型ダイレクトカット式では作業が不可能となった。

②グラスサイレージの取り出し作業では、フォレージハーベスタで収穫した時の切断長が長い傾向となるが、シリンダ型で収穫し十分踏圧した材料では150～162 kg/min (wb) , 81～88 kg/min (db) と、乾物基準ではコーンサイレージと同等の能率を示した。しかし、ダブルカット式で収穫して十分踏圧した材料では、コーンサイレージの能率と比較して1/3～1/4に低下した。サイレージアンローダの取り出し性能と切断長、踏圧による材料密度との関係は、コーンサイレージと同様に切断長が短いほど作業能率が高くなった。

2) サイレージアンローダの理論処理量の試算

(1) 目的

供試したサイレージアンローダの作業能率は、掻き出し部、集積部、搬送部の能率のうち最少の値に制限される。II-2-1)の結果から、供試機の作業能率はサイレージ材料の性状によって大きく変化することが明らかとなった。そこで、供試サイレージアンローダの問題点となったスクリュコンベヤを中心とした各部構造・諸元から、基本的な各部の処理能力を試算し、理論処理量を算出して作業上の問題点を明らかにする。

(2) 試験方法

供試サイレージアンローダのスクリュコンベヤ部とベルトコンベヤ部の構造を調査し、処理量算出のための基礎データを収集するとともに、各部の基準回転速度を測定して理論処理量を算出した。

(3) 試験結果

①スクリュコンベヤの運搬能力

スクリュコンベヤの運搬量の理論値は以下の式で表される。

$$Qt = 60 \eta \cdot \psi (\pi \cdot D^2 / 4) p \cdot \gamma \cdots (1)$$

ここで、 Qt : 運搬量 (t/h)

η : 回転数 (rpm)

ψ : ケーシングの充填率

D : スクリューの直径 (m)

p : スクリューのピッチ (m)

γ : 運搬物の見かけ比重 (t/m³)

上式に、 $\eta = 260$ 、 $\psi = 0.3$ 、 $D = 0.31$ 、 $p = 0.31$ を入れると、

$$Qt = 109 \gamma \text{ (t/h)}$$

となる。

②ベルトコンベヤの運搬能力

ベルトコンベヤの運搬量の理論値は、下記の理論式で示される。

$$Qt = 60A \cdot v \cdot \gamma \cdots (2)$$

ここで、 Qt : 運搬量 (t/h)

A : 運搬物の積載断面積 (m²)

v : ベルト速度 (m/min)

γ : 運搬物の見かけ比重 (t/m³)

積載断面積は、ベルト幅：0.35 m、堆積高さ：0.09 mより、 $A = 0.03$ となる。上式に、 $A = 0.03$ 、 $v = 290$ を入れて計算すると、

$$Qt = 548 \gamma \text{ (t/h)} \cdots (3)$$

となる。これは、スクリュコンベヤの運搬量の値109 γ の約5倍となった。これらの試算から、供試サイレージアンローダの理論処理量は最小値であるスクリュコンベヤの運搬量に制限されることを示している。

③スクリュコンベヤの処理能力と材料切断長

理論式で計算されたスクリュコンベヤ運搬量を確認するために、切断長15 mm、48 mm、60 mmに切断したトウモロコシを供試して運搬量を測定し、結果を図8に示した。運搬量は材料切断長が長いほど低下したが、切断長60 mmのものもスクリュコンベヤのフィンに詰まることもなく処理可能であった。

また、切断長18 mmにおける運搬量は、99 γ (t/h) となり、ほぼ理論値109 γ (t/h) に近い値が得られた。同様に、シリンダ型で収穫したコーンサイレージ(平均切断長21 mm)の運搬量は、約115 γ (t/h) と推定され、ほぼ理論値に近い値であった。

(4)考察

細断された材料ではほぼ理論運搬量に近い値が得られたが、切断長が長くなると運搬量は低下した。フレール型ダブルカット式フォレージハーベスタで細断したコーンサイレージは、平均切断長46mmにもかかわらず、若干トラブルが生じた理由は、材料切断長が不均一で100mm以上のものが13%も含まれていること(表10)が原因と考えられた。従って、スクリーコンベヤの能力を發揮させるためには、材料の切断長が短くかつ均一であることが必要であると考えられた。

(5)摘要

大型サイレージアンローダの取り出し能率に影響を与えた各部の構造を基にした理論処理量を試算し、実際の材料搬送試験の結果と合わせた検討から以下の結論を得た。

①供試したサイレージアンローダでは、かき落としたサイレージを側方に搬送しベルトコンベヤに渡す機能を持つスクリーコンベヤが、アンローダの全体としての能率を規制することが明らかとなった。

②スクリーコンベヤは、細断されたトウモロコシではほぼ理論運搬量に近い能率が得られたが、平均材料切断長が長くなると運搬量が低下した。従って、材料切断長と切断長の均一性が取り出し能率を規制する要因であることが示された。

3) 現地におけるサイレージアンローダの性能と問題点の解明

(1)目的

米国で実用化されているバンカーサイロアンローダについて、サイレージ給与を行っている現場における適応性の調査、人力による取り出し作業との作業能率などの比較を行い、その性能を明らかにするとともに作業上の問題点を摘出する。

(2)試験方法

①試験期間および場所

試験期間 1974年11月～1977年1月

試験場所 群馬県畜産試験場

②試験方法

試験場所の群馬県畜産試験場では120頭の乳牛、肉用牛を飼育し、毎年10月～4月頃まで約半年間にわたって日量約800kgのサイレージを給与している。本場で1974年11月から翌年1月までの約3ヶ月間、Ⅲ-2-1)で供試したサイレージアンローダを用いて、細断したコーンサイレージとグラスサ

イレージの取り出し、積み込み作業を行い、現場における性能や利用上の問題点の解明を行うとともに、人力取り出し作業との比較を行った。

(3)試験結果

使用したバンカーサイロとサイレージアンローダの関係は、図9に示した。このように、サイロ間口が3mとアンローダ全幅1.45mの2倍程度しかないので、サイロ内でのアンローダの走行が不便であったが、取り出し作業において側壁部にサイレージを残すこともなく作業できた(写真15)。

サイレージアンローダによる取り出し、積み込み作業と人力作業との比較を表12、13に示した。作業時間から見ると、供試サイレージアンローダは、人力取り出し作業と比較して、コーンサイレージで1/8～1/14、グラスサイレージでは1/4～1/6に短縮された。また、聞き取り調査によれば、サイレージアンローダの利用は、コーンサイレージの取り出し作業よりもグラスサイレージの取り出し作業に多く利用されたとのことであった。

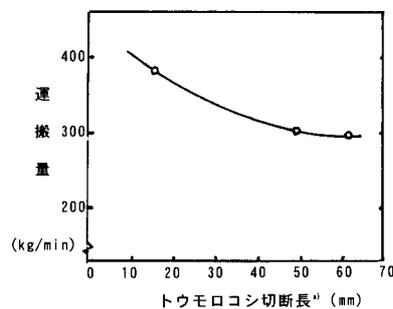


図8 トウモロコシ切断長とスクリーコンベヤ運搬量

Fig. 8 Transport ability of screw-conveyor plotted against cut length of maize

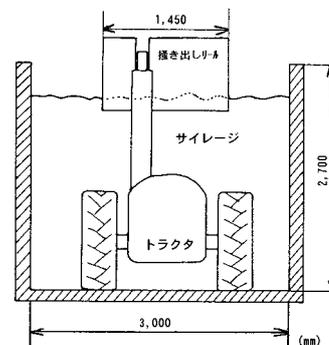


図9 供試バンカーサイロとサイレージアンローダ

Fig. 9 Working operation of silage unloader in a bunker silo



写真 15 サイレージアンローダと運搬車

Photo 15 Silage unloader and transportation vehicle

サイレージのアンローダによる取り出し断面は、掻き出しリールの爪の作用で均一な断面となっており、断面からの空気の侵入は少ないと考えられた。一方、掻き出されたサイレージは、掻き出し作用や搬送作用で空気にさらされており、長時間放置すると好気的変敗による品質低下が問題となることも予想されたが、11月から1月の間は冬季で気温が低いこともあり、給餌における品質低下の問題は発生しなかった。

(4) 考察

コーンサイレージの取り出し作業では、サイレージアンローダを使用することによって取り出し作業の時間が1/10に短縮されるが、①1日の取り出し量が800 kg程度とサイレージアンローダの取り出し能率と比較してあまり多くないこと、②給餌先が数ヶ所に分かれており試験牛に応じて個々に秤量して給餌する必要があること、③細断されたコーンサイレージは人力による取り出しが比較的容易であることなどから、サイレージアンローダの使用は少なかったと考えられた。

グラスサイレージの取り出し作業では、サイレージアンローダの操作に不慣れであったこともあり、能率が十分発揮されず省力効果は1/5程度と限られたが、グラスサイレージの人力取り出し作業が重労働であるため、サイレージアンローダが積極的に使われて使用回数が多くなった。このように、グラス

表 13 人力によるサイレージ取り出し作業

Table 13 Work efficiency of manual silage unloading

サイレージ種類 (収穫機)	作業人員 (人)	取り出し時間 ^{a)} (min)	取り出し量 (wb(db)) (kg)	能率 (wb(db)) (kg/min)	備考
グラスサイレージ (W ^{b)})	2	19.42	670(115.2)	34.5(5.9)	サイレージナイフ
" (C ^{c)})	2	6.83	450(243.5)	32.0(17.3)	"
コーンサイレージ (C)	2	9.33	840(78.1)	45.0(4.2)	取り出し高さで 能率は異なる

a) サイレージを運搬車に積み込むまでに要した時間

b) W：フレール型ダイレクトカット式フォレージハーベスタ

c) C：シリンダ型フォレージハーベスタ

サイレージの取り出しの機械化、能率向上が重要であることが明らかとなった。

(5) 摘要

群馬県畜産試験場において、大型サイレージアンローダを約3ヶ月間使用し、サイレージ給与現場での作業上の問題点を究明し、以下の成果を得た。

①供試機の取り出し作業能率はコーンサイレージでは人力の10倍と高いが、給与量が800 kg/d程度の場合には、人力やフロントローダなど他の方法でも容易に作業が可能で、高効率なアンローダを使用するメリットが少なかった。

②グラスサイレージでは、供試アンローダの取り出し能率は約1/5とコーンサイレージと比較して低い、フロントローダでは作業不可能であり、また人力での取り出し作業は重労働となるので、サイレージアンローダが積極的に利用された。

③サイレージ取り出し作業の機械化では、グラスサイレージの取り出し機械化、作業能率の向上が重要であると判断された。

IV サイレージ詰め込み・取り出し装置によるバンカーサイロ作業の自動化

1 サイレージ詰め込み・取り出し装置の設計と1号機の性能試験

1) 目的

バンカーサイロにおける材料の詰め込み作業、取り出し作業の自動化と、サイレージ調製品質向上ならびに開封後の品質低下防止をねらいとしたサイレージ詰め込み・取り出し装置（以下、サイロ装置と称する。）の設計目標を提示し、基本構造を設計する。

さらに、設計目標に基づき、サイロ装置試作1号機各部の構造と機構を決定し試作するとともに、各部の性能を検討する。

2) バンカーサイロ作業の特徴

バンカーサイロの特徴は、①サイロ施設費が気密

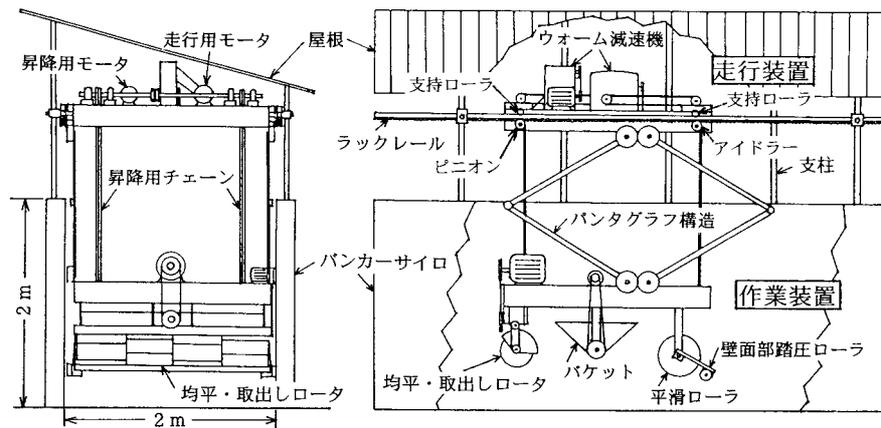


図10 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作1号機

Fig. 10 Silage loading and unloading device prototype 1

サイロと比較して安価である、②材料の種類、切断長や水分等の条件に対する適応性が大きく、70%以上の高水分材料なども調製可能である、③取り出し装置が故障してもローダを利用するなどの他の方法で代替が可能である、などのメリットがある。しかし、①サイロ上面と取り出し面に開口部がある、②サイロ上面をプラスチックフィルムで被覆するのが難しい、③開封後の変敗が発生しやすいなどに問題が残されている。

バンカーサイロにおけるサイレージ材料の詰め込み作業は、Ⅲ-1-2)で概括したように、一般的にはダンプトレーラやフォレージワゴンに積載した材料をサイロ内へ排出し堆積した後、フロントローダやブレッドを装着した大型トラクタを使用して均平を行いながら車輪を用いて踏圧する方法が主流である。これらの方法では、均平・踏圧専用の車両と労力を必要としており、忙しい秋の収穫作業の中でさらに多くの組作業員を必要とする点に問題を残している。

バンカーサイロにおけるサイレージの取り出し作業の特徴は、①サイレージ水分が40~70%と高いために乾草などと比較して約2倍の重量物のハンドリングとなる、②サイレージ発酵過程で発生する有機酸によるサイレージ独特の臭いがある、③近年は多頭飼養により給餌の取扱量が増大する、などの理由から自動化への要請が強い。このため、Ⅱ-1-3)で概括したように、サイレージカッターを利用した人力取り出しから、サイレージを掻き出す方式や切り出す方式などのトラクタ用作業機が欧米諸国において実用化されているのが現状である。さらに、

イギリス (Benson et al.1982,Lindsay 1971,Lindsay et al.1973,Lindsay 1980) や日本 (吉野ら 1976) においてバンカーサイロを装置化して自動取り出しの研究が行われたが実用化には至っていない。

3) サイレージ詰め込み・取り出し装置の設計目標

バンカーサイロの構造上の特徴やバンカーサイロの詰め込み・取り出し作業の特徴を検討し、装置の汎用利用による粗飼料生産コストの低減、作業の自動化による人力作業の排除、詰め込み・取り出し作業の高精度化によるサイレージ品質の維持をねらいとして、サイロ装置の開発目標を以下のように設定した (矢治ら 1991, 矢治ら 1991)。

①装置の汎用利用によるコストの低減をめざして、サイレージの詰め込み作業と取り出し作業の両作業に使用可能な基本構造とする。

②詰め込み作業では、埋草密度を向上させてサイレージ品質の向上を図るために、踏圧作業を改善する。

③取り出し作業では、好気的変敗を防ぎ品質の維持と損失の低減を図るために、貯蔵サイレージ内部への空気の侵入を減少させる。

④作業者の重労働の解消とサイレージ臭からの開放を図るために、マイクロコンピュータを使用した詰め込み・取り出し作業の自動化を実現する。

4) 試作1号機の構造と諸元

サイロ装置試作1号機の概要は、図10、写真16、表14に示した (矢治ら 1998)。

①基本構造

サイロ装置試作1号機は、試験用小型バンカーサ



写真 16 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作 1号機
Photo 16 Silage loading and unloading device prototype 1

表 14 試作 1号機の諸元
Table 14 Specifications of prototype 1

項 目	諸 元
全 長(mm)	2,170
全 幅(mm)	2,250
全 高(mm)	3,300
全 質 量(kg)	820
作業装置質量(kg)	520
最大上昇高さ(mm)	1,500
最大積載量(kg)	80
水平移動速度(mm/s)	40
垂直移動速度(mm/s)	40

イロ（間口 2 m × 高さ 2 m × 奥行 10 m）の左右の壁上部に設けたラックレールと走行装置、作業装置で構成する。

ラックレールは、果樹園モノレール用（50 mm × 50 mmの角パイプに幅 18 mm、高さ 23 mm、ピッチ 35 mmの波状ラックを溶接したレール：以下レールと称する）を使用し、バンカーサイロの左右の壁上部に約 1 m毎に立てた鋼管（直径 34.8 mm）を支柱として設置した。支柱は、コンクリートサイロ壁に取り付け金具とアンカーボルトで固定した。左右 2本のレールの設置にあたっては、レール間を走行装置が走行するので、レール間距離を正確に設定する必要がある。なお、レールの支柱はレール高さより長く設



写真 17 試験バンカーサイロに設置した屋根
Photo 17 Roof attached to test bunker silo

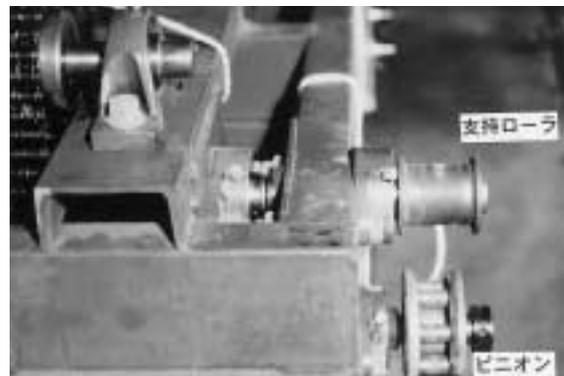


写真 18 前部支持ローラとピニオン
Photo 18 Front supporting roller and pinion gear

定し、バンカーサイロの屋根を保持させて、サイレージ品質低下の一因となる壁際からの雨水の浸入防止を図った（写真 17）。

②走行装置

走行装置は、フレーム、走行駆動部、昇降駆動部、パンタグラフ構造（図 10）からなり、作業装置を懸架するとともにサイロ内所定位置へ水平移動、垂直移動させる機能を持つ。走行装置のレールへの支持は、フレームの左右に取り付けた前後それぞれ 2個、合計 4個の支持ローラで、走行装置と作業装置を合わせた全重を支える方式とした。支持ローラ（モノレール部品：直径 63 mm、幅 65 mm、高さ 7 mmの鍔付き）はレール上面（波状ラックがないレールの平滑部）に位置し、走行装置と作業装置の全重を支えつつ回転走行する（写真 18）。装置の水平移動においては、前部支持ローラの下方にレールを挟むように位置し、レール下面の波状ラックと噛み合う左右一組のピニオン（モノレール部品：直径 100 mm、幅 48 mm、6 歯）を一本の駆動軸に取り付けて（写真 18）、

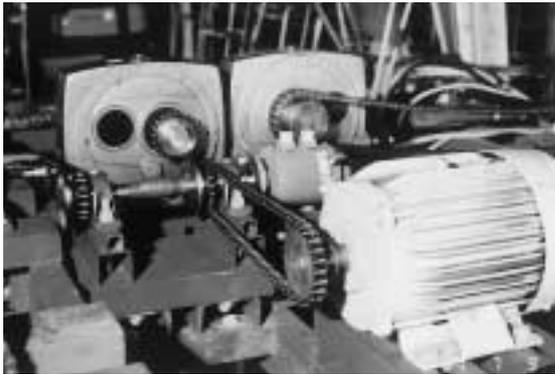


写真 19 走行装置水平移動用モータと減速機
Photo 19 Motor and reduction gear for back and forward movement of moving device



写真 21 試作 1 号機の作業装置
Photo 21 Working device of prototype 1



写真 20 作業装置昇降用モータと減速機
Photo 20 Motor and reduction gear for up and down movement of working device



写真 22 試作 1 号機のかご形リムに取り付けた爪
Photo 22 Knife welded to driving harrow limb

1/200 の減速機を介してモータ（3 相 200V, 3.7kW）で正逆転させることにより前進、後退して所定位置まで移動する（写真 19, 図 10）。なお、後部には走行装置がレールから外れることを防止するために、ピニオンの代わりにアイドラー（モノレール部品：直径 100 mm, 幅 48 mm）を取り付けた（図 10）。

作業装置の垂直移動においては、走行装置と作業装置を繋ぐ 4 本のローラチェーン（50 番 2 連）を、前部と後部の 2 本の巻き上げ軸にそれぞれ左右 2 個ずつのチェンホイールを取り付けて、減速機（1 / 200）を介してモータ（3 相 200V, 1.5kW）により巻き上げ、巻き降ろして、所定高さへ昇降させる（写真 20）。なお、減速機はラックとピニオン方式のものを使用して、モータ電源を切った時に作業装置が自重により落下することを防止した。さらに、作業装置が水平移動時に慣性力を受けた時や均平や取出し作業中に水平方向の力を受けた場合に、常に水

平姿勢を保つように、上下の節点を歯車で噛み合わせたパンタグラフ構造（図 10）を設けた。

③作業装置

作業装置は、材料の詰め込み作業に使用する装置、サイレージ取り出し作業に使用する装置と両作業に使用する共通部から構成した（写真 21）。

均平・取り出しロータは、詰め込み作業では材料の均平に使用し、取り出し作業ではサイレージの掻き出しに使用する。均平・取出しロータは、かご形リムに爪（高さ 70 mm, 厚さ 6 mm, 幅 45 mm, 写真 22）を溶接した水田用ロータリハロー（S 社製, BG-180, サイドドライブ式）を利用し、作業装置前部に取り付けた。駆動は、ロータリハロー PTO スプライン軸に V ベルトプーリを取り付けて、モータ（3 相 200V 7.5kW）で駆動した。

バケットは、詰め込み作業では材料の搬入のための運搬装置として、取り出し作業では取り出したサ

イレージ搬出のための運搬装置として使用する。バケットは断面が三角形で容積約 0.1 m³として、底部に設けた軸を中心にモータ（単相 100V, 120W DC モータ）により排出のための回転を可能にするとともに、前端部に排出ロータ（直径 160 mm, 3 相 200V 1.5kW モータ駆動）を設けて強制的な掻き出し作用による均一な排出が可能となるようにした。

なお、装置各部に使用したモータは各種試験条件にも対応できるように出力に余裕を持たせてある。

バンカーサイロに詰め込む材料の踏圧は、サイレージの品質を向上させるためには重要な作業であり、迅速にかつ材料密度を高くする必要がある。機械による踏圧作業は、従来からのトラクタを用いる方法や大規模サイロではブルトザや広幅タイヤローダなど建設用車両も用いられている。しかし、開発したサイロ装置試作 1 号機の作業装置質量は 500 kg 程度とトラクタ等の車両に比較して軽量なため、搬入した多量の材料を一度に踏圧することは出来ない。したがって、材料を薄い層としてかつ均平な条件で踏圧作業を行う必要がある。さらに、機械による踏圧では、サイロ壁際の材料の踏圧を十分に行うことが品質低下や損失増大を防ぐために重要である。そこで、まず、踏圧ローラと左右一組の壁面部踏圧ローラを組み合わせた方法を検討した。

壁面部踏圧ローラは、左右のサイロ壁近傍を踏圧するために、直径 100 mm, 幅 150 mm の鋼製で、質量は 15 kg とした。平滑ローラは直径 340 mm, 幅 1800 mm の塩化ビニル製である。なお、壁面部踏圧ローラの支持は、平滑ローラ左右端から平行リンク方式で常に左右に張り出すとともに、独立して上下する構造である（写真 23）。



写真 23 壁面踏圧ローラ
Photo 23 Side compression roller

5) 試験方法

① 走行装置・昇降装置の性能と詰め込み作業

走行装置・昇降装置各部の動作を確認し、作業速度を調査した。詰め込み作業では、圃場から収穫した材料のバンカーサイロ内へ搬入し均平・踏圧する作業装置の各部動作の確認と、一連の作業方法の手順ならびに材料の散布と均平の状態、踏圧ローラによる踏圧程度などの検討を行った。

サイロは、試験用小型バンカーサイロ（間口 2 m × 高さ 2 m）の一区画（奥行き 2 m）を使用した。材料の詰め込みは、厚さ約 20 cm に散布して層毎に踏圧する方法を繰り返す層別踏圧法とした。材料は、長大作物としてソルガム、牧草として予乾オーチャードグラスを用い、これらの材料水分と平均切断長は表 15 に示した。

表 15 サイレージ材料と調製結果
Table 15 Materials of silage and ensiling results

材料種類	オーチャードグラス	オーチャードグラス	ソルガム
品 種	キタミドリ	キタミドリ	FS902
材料含水率 (%wb)	56.1 (予乾)	60.9 (予乾)	76.1
平均切断長 (mm)	66.2	49.3	
埋草密度 (wb (db), kg/m ³)	318 (139.6)	334 (130.6)	490 (117.1)
取り出し時全質量 (kg, wb)	1,207	1,424	4,181
良品質量 ^{a)} (kg) (割合%)	1,152 (95.4)	1,238 (86.9)	3,813 (91.2)
pH	4.8	4.9	4.2
詰め込み日	90.7.24	90.8.7	90.10.31
取り出し日	90.9.3	90.9.3	90.12.17

a) カビ、腐敗を除いた給与可能なサイレージ

② 取り出し作業

取り出し作業は、試作した均平・取り出しロータの動作と取り出し作業手順の確認を行うとともに、サイレージの種類と、作業装置の取り出し性能である取り出しロータ回転数と取り出し能率を検討した。サイレージは、試験用バンカーサイロで調製した材料（表 15）を用いた。

6) 試験結果

① 走行装置・昇降装置の性能と詰め込み作業

走行装置は、支持ローラによる装置全質量の支持とピニオンによる装置の水平移動は順調に行われ、走行駆動部のモータ回転数の調整により、作業速度 40 mm/s までの前進後退が可能であった。昇降装置は、昇降駆動用のモータ回転数の調整により、速度 40 mm/s までの作業装置の昇降が可能であった。従って、バンカーサイロ壁面に設置したレール等の施設、ならびにラックとピニオンによる走行、ギヤとチェーンによる昇降については、本方式が有効であ



写真 24 アンローディングボックスと試験バンカーサイロ

Photo 24 Unloading box and test bunker silo



写真 25 試作 1 号機の詰め込み作業

Photo 25 Loading work by prototype 1



写真 26 搬入口と取り出し口に設置した仕切り板

Photo 26 Partition boards attached to bunker silo

ることを確認した (矢治ら 1991)。

材料詰め込み作業時には、アンローディングボックスに一時貯留した材料を、ベルトコンベヤからバケツに積み込み、サイロ搬入口から材料を排出しながら均平・取出しロータで均平にしつつ取出口へ移動する (写真 24)。次に、戻り工程で再度均平を



写真 27 サイロ装置で詰め込まれたソルガムサイレージ

Photo 27 Sorghum silage loaded by silage loading and unloading device prototype 1

行うとともに材料を踏圧する。所定の高さには達するまでこの動作を繰り返す (写真 25)。

バンカーサイロの両端 (搬入口と取り出し口) は、踏圧する材料の高さに応じた仕切板を設置して垂直な端面を形成する (写真 26)。これにより、サイロの容積効率が高まるとともに、本装置が端面まで十分に踏圧することにより、変敗による品質の低下や損失を抑えることが可能となった。

本方式で堆積貯蔵したサイレージは、良品比率が予乾オーチャードグラスサイレージで 95.4 および 90.1 %、ソルガムサイレージで 91.2 % を示し、pH はそれぞれ 4.8、4.9、4.2 と品質は良好であった (表 15、写真 27)。

②取り出し作業

サイレージ取り出し作業時には、均平・取り出しロータでサイレージを掻き出しながらバケツに受ける。バケツが一杯になったら掻き出しを停止して、作業装置を上昇させながらサイロ後方へ移動し、給餌装置へつながるベルトコンベヤにサイレージを排出する (写真 28, 29)。

均平・取り出しロータによる取り出し能率は表 16 に示したように、予乾オーチャードグラスサイレージで 20 ~ 46 kg/min (wb)、8 ~ 17 kg/min (db)、ソルガムサイレージで 68 ~ 226 kg/min (wb)、23 ~ 77 kg/min (db) であった。下降速度と切り込み深さが同じ条件では、ソルガムサイレージが 3 倍以上能率が高く、グラスサイレージが取り出しにくい傾向を示した (矢治ら 1992)。

7) 考察

サイレージ詰め込み・取り出し装置試作 1 号機



写真 28 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作 1 号機によるソルガムサイレージの取り出し作業

Photo 28 Sorghum silage unloading work by silage loading and unloading device prototype 1



写真 30 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作 1 号機によるグラスサイレージ取り出し作業

Photo 30 Grass silage unloading work by silage loading and unloading device prototype 1



写真 29 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作 1 号機によるソルガムサイレージ取り出し面

Photo 29 Sorghum silage unloading surface by silage loading and unloading device prototype 1

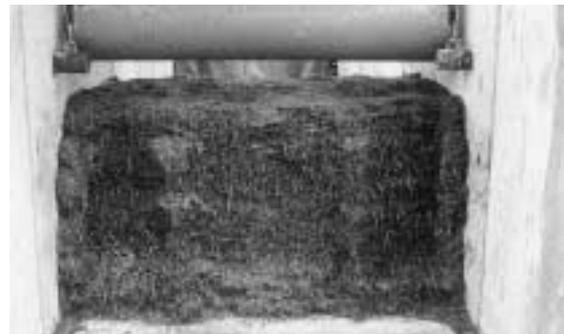


写真 31 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作 1 号機によるグラスサイレージ取り出し面

Photo 31 Grass silage unloading surface by silage loading and unloading device prototype 1

表 16 サイロ装置試作 1 号機によるサイレージ取り出し性能

Table 16 Silage unloading efficiency by prototype 1

サイレージ種類	オーチャードグラス			ソルガム	
	242	242	323	181	181
取り出しロータ回転数 (rpm)	242	242	323	181	181
下降速度 (mm/s)	40	20	20	20	40
切り込み深さ (mm)	100	50	100	50	150
取り出し能率 (wb (db) (kg/min))	45.6 (23.1)	20.3 (10.3)	29.1 (14.8)	68 (23.1)	226 (76.6)

は、走行装置については各部機能等に問題はなかったが、レール端や昇降チェーン端に暴走防止のための安全装置として、リミットスイッチを取り付けることが必要と考えられた。作業装置については、詰め込み時の踏圧ローラと取り出し作業時の均平・取り出しロータに作業精度上の問題が残った。

機械踏圧を行うための壁面部踏圧ローラは、切断長が短いソルガムでは順調な作業が可能であったが、予乾オーチャードグラスでは、切断長が長く膨軟な条件でローラ沈下量が大きく材料を引きずることがあった。これはローラ（直径 100 mm、幅 150 mm、質量 15 kg）が未踏圧の材料にめり込むことが原因と考えられた。このため、試作 2 号機では、壁面部踏圧ローラを取り外してサイロ全幅の 1 本のローラとすることとした。

ソルガムサイレージの取り出し作業では、材料の切断長が短く掻き出しが容易であるため、均平・取り出しロータ回転数、回転方向による取り出し量の変化はほとんどなく、下降速度が速くなると能率が高くなった。

オーチャードグラスサイレージの取り出し作業では、予乾牧草のため材料切断長が長く材料のからみつきが大きいことなどから、均平・取り出しロータによる掻き出し作用のみでは掻き出す量が限られ、取り出し方式や爪の形状の改良が必要と考えられた(写真 30, 31)。

また、本均平・取り出しロータは、サイドドライブ方式のためにチェーンケース部に掻き出すことが出来ない部分がある点に改善が必要と考えられた。

8) 摘要

バンカーサイロの詰め込み・取り出し作業の機械化・自動化のために、バンカーサイロの特徴や詰め込み・取り出し作業の機械化の現状を検討するとともに、自給粗飼料を前提としたサイレージ生産コスト低減、自動化による作業の省力化、高精度化をねらいとした設計目標を設定した。さらに、試験用小型バンカーサイロ用のサイレージ詰め込み・取り出し装置試作1号機を開発し、その性能を検討した。結果の要約は以下の通りである。

(1)設計目標は、①詰め込み作業と取り出し作業に汎用利用できる構造、②踏圧精度改善によるサイレージ品質の向上、③好気的変敗の防止による品質の維持、④自動化による作業の省力化と軽労化、の4点である。

(2)サイロ装置は、左右のバンカーサイロ壁上部に設置したラックレールを走行する走行装置と走行装置に懸架された作業装置で構成する。作業装置は均平・取り出しロータとバケットからなり、材料の詰め込み作業と取り出し作業の両方に使用する。

(3)詰め込み作業は、バケットに積んだ材料を均平・取り出しロータで掻き出しながらサイロ内に散布し、戻り工程で均平にしながら踏圧を行う。層別踏圧で埋草密度 $318 \sim 490 \text{ kg/m}^3$ (wb), $117 \sim 140 \text{ kg/m}^3$ (db) を示し、サイレージ調製品質は良好であった。

(4)取り出し作業は、均平・取り出しロータでサイレージを垂直に掻き出しながらバケットに積み込む方法である。最大取り出し能率は、ソルガムサイレージ 226 kg/min (wb), 77 kg/min (db) 予乾オーチャードグラスサイレージ 45 kg/min (wb), 18 kg/min (db) を示した。

(5)1号機の改良を必要とする点は、走行装置に暴走防止のリミットスイッチを取り付けること、壁面部踏圧ローラと均平・取り出しロータをグラスサイ

レージにも対応できるように取り出し方式や爪の形状を改良すること、などであった。

2 サイレージ詰め込み・取り出し装置2号機の試作と性能試験

1) 目的

IV-1-7) で考察したように、踏圧ローラ、均平・取り出しロータ、切断装置などの改良を行い製作したサイロ装置試作2号機について、各部の動作と性能を究明する。

2) 試作2号機の構造と諸元

サイロ装置試作2号機の構造と諸元は表17、写真32、図11、に示した(屋代ら1993)。

表17 試作2号機主要諸元

Table 17 Dimensions of prototype 2

項 目	諸 元
全 長(mm)	2,170
全 幅(mm)	2,250
全 高(mm)	3,300
全 質 量(kg)	1,200
作業装置質量(kg)	900
最大上昇高さ(mm)	1,500
最大積載量(kg)	120
水平移動速度(mm/s)	10,20,40
垂直移動速度(mm/s)	10,20,40
均平・取り出しロータ回転数(rpm)	200
排出ロータ回転数(rpm)	50
搬送コンベヤ移動速度(mm/s)	0-10



写真32 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作2号機(サイレージ上部に上昇した状態)

Photo 32 Silage loading and unloading device prototype 2 (Upper position over silage)

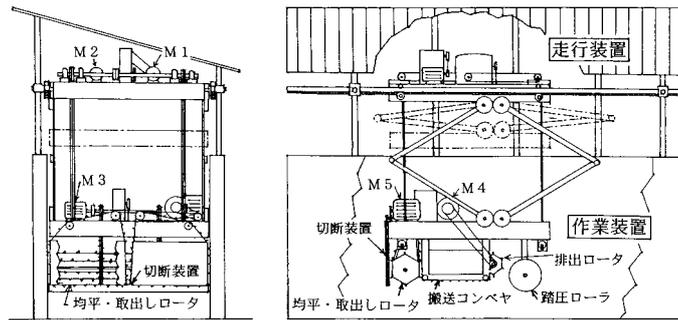


図 11 サイレージ詰め込み・取り出し装置試作 2 号機 (M1 ~ M5 は図 13 に対応するモータ)
 Fig. 11 Silage loading and unloading device prototype 2 (M1 ~ M5 : Motors correspond to Fig 13)

(1)試作 2 号機

①踏圧ローラ

IV-1-7) で指摘したように、バンカーサイロ壁際の踏圧用に製作した壁面部踏圧ローラは、質量が大きく直径が小さかったために、切断長が長い予乾牧草ではローラ沈下量が大きく牧草を引きずり、十分な踏圧性能を発揮しなかった。また、壁面部踏圧ローラが中央の踏圧ローラの後方に位置することは、装置全体を長くして自動作業を難しくする。このため、踏圧ローラはサイロ幅一杯の 1 本の平滑ローラとすることにした。ローラ直径は 340 mm で塩化ビニル製とした。なお、作業装置への支持は後端から 200 mm の位置とした。

②均平・取り出しロータ

試作 1 号機の均平・取り出しロータは、市販のサイドドライブ方式のロータリハローを利用したため、サイレージ取り出し作業で駆動チェーンケース部分が掻き出し不可能となった。このため駆動方式を含めて均平・取り出しロータの構造を変更した。

駆動方式の変更は以下の 2 点である。まず、ロータ径とほぼ同じ直径 (340 mm) のチェーンホイール (写真 33) を 2 ヶ所に設置するとともに、駆動用のチェーンとしてアタッチメント付きローラチェーン (40 番, 6 ピッチ毎にアタッチメントを取り付けるためのフィンがリンクプレートについている) を使用し、取り出し刃を取り付けて駆動力の伝達と同時に掻き出し作業を行えるようにした (写真 34)。

さらに、ロータを作業装置フレームに懸架するためのアームを、チェーンが走行する内側へ配置し、駆動と懸架を兼用させて取り出し不可能部分を無くす構造とした。また、取り出し時の負荷変動を少なくするために、かご形ロータを中央から左右に 2 分割し、取り出し刃を螺旋状に配置する構造とした。



写真 33 均平・取り出しロータ駆動用チェーンホイール

Photo 33 Driving chain wheel of leveling and unloading rotor

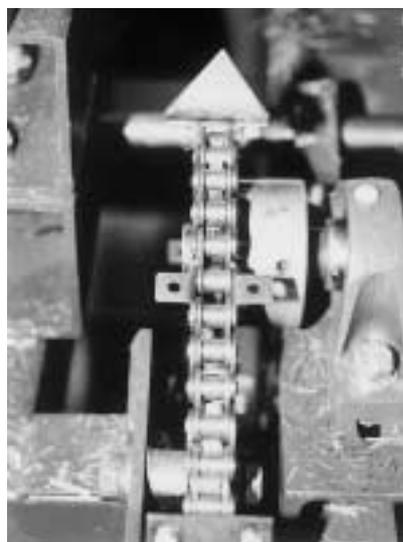


写真 34 駆動用チェーンと取り出し刃
 Photo 34 Driving chain and unloading knife



写真 35 取り付け刃のねじれ状態
Photo 35 Twisted knife of unloading rotor

さらに、取り出し時にはダウンカットでサイレージが運搬装置中央に集中して装置外への飛散が少ないように、均平時には作業方向に対してアップカットで材料が壁際へ分散されるように、左右外側の取り付け刃にねじれ角をつけて（写真 35）、飛散方向を制御した。取り付け刃は、硬鋼板を用いた三角形状のもので、刃をつけた後に焼き入れを行った。バンカーサイロ壁際への対応として、壁面用ブラシ（線径 2.5 mm ナイロン製）を取り付けて、ブラシが壁面に常に接触してサイレージを掻き落とす方式とした。

③切断装置

予乾牧草を材料としたサイレージでは、細断されたソルガムなどと比較して材料の絡みつきが大きい。このため、均平・取り出しロータの爪による掻き出し作用だけでは牧草サイレージの取り出しが困難であった。そこで、グラスサイレージ用の切断装置を設計試作した（図 12）。

グラスサイレージ取り出し用の切断装置は、絡みつきが大きいサイレージに切断面を入れて、均平・



写真 36 チェーン切断方式の切断装置
Photo 36 Cutting device using chain cutting mechanism

取り出しロータの掻き出し作業を順調に行わせるとともに、取り出し断面を齊一にかつ垂直に形成する作用を持つ。切断装置は左右に 2 分割して作業装置前面に配置し、チェーン切断方式とした。左右それぞれのチェーンはアタッチメント付きローラチェーン（40 番）に切断刃を取り付けた構造である（写真 36）。なお、切断装置は、チェーンの幅約 15 mm に相当する切断溝を作成するために、切断刃は直刃と左曲がり・右曲がりの掻き出し刃を 3 枚 1 組として、それぞれチェーン 6 ピッチ（約 76 mm）毎に装着した（写真 37）。さらに、切断したサイレージを上部へ排出するために、左右の切断刃は中央部で重複させるとともに、互いに干渉しないように一定間隔でチェーンに配置し、同一のモータ（3 相 200V、

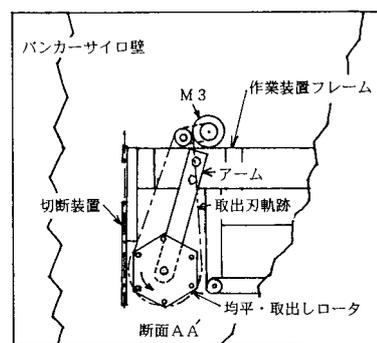
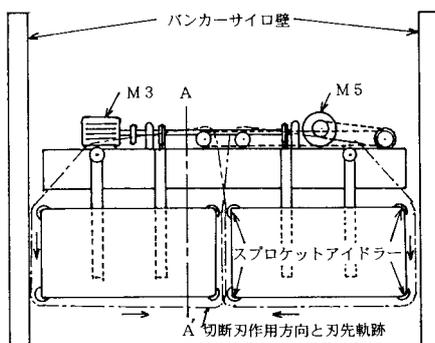


図 12 改良均平・取出しロータと切断装置
Fig. 12 Improved unloading rotor and cutting device

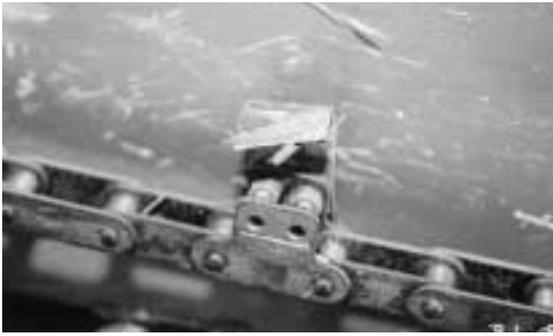


写真 37 チェーンと切断刃
Photo 37 Chain and cutting knife

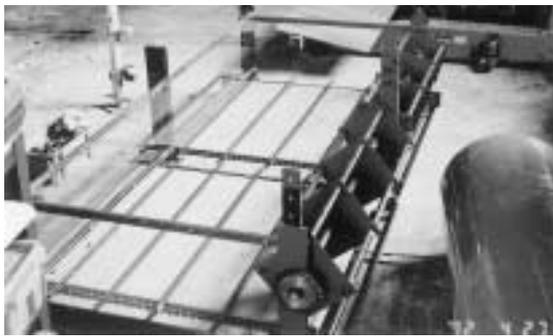


写真 38 搬送コンベヤ
Photo 38 Transport conveyer

3.7kW) からギヤ列を介して同期して駆動した。

④搬送コンベヤ

試作 1 号機のバケットは、バケット傾斜角度調節と排出ロータの掻き出しによる作用で均一に散布しようと試みた。しかし、バケット傾斜角度の変化による排出では、材料が間欠的に落下することが避けられなかった。このため、試作 2 号機では堆積した材料を強制的に排出口へ移動させるためのスクレーパコンベヤと、排出ロータからなる搬送コンベヤを設計試作して用いた。

搬送コンベヤは、詰め込み作業時には材料をサイロ内へ運搬・排出する作用を、取り出し時には取り出されたサイレージを受けて堆積し運搬する作用を持つ。構造は、スクレーパコンベヤ（幅 1,940 mm、スクレーパ取り付けピッチ 160 mm、コンベヤ速度 0 ~ 10 mm/s）及び三角形の爪（底辺 15 mm、高さ 20 mm）を付けたアングル鋼材をかご形に配置し、回転させて材料を強制的に排出する直径 240 mm の排出ロータ（3 相 200V、0.4kW モータ駆動）を備えている。容量は約 0.8 m³（縦 850 mm、横 1,950 mm、深さ 500 mm）である（写真 38）。



写真 39 試作 2 号機によるグラスサイレージ取り出し作業
Photo 39 Grass silage unloading work by prototype 2

⑤安全装置

装置の走行及び昇降時の暴走を防止するために、リミットスイッチ（O社製 WLCA12）を走行レールの前後端、昇降チェーンの上下端に取り付けた。

3) 試験方法

改良した踏圧ローラ、均平・取り出しロータ、切断装置、搬送コンベヤを装着した試作 2 号機について、各装置の動作の確認と予乾グラスサイレージを用いた性能の検討を行った。

4) 試験結果

サイロ装置試作 2 号機の諸元は表 17 に示した。走行装置は、作業装置の質量が 1 号機の約 2 倍の 900 kg と増加したが、順調な走行が可能であった。作業装置は、駆動方式を変更し、バンカーサイロの間口 2 m の作用幅を持つ均平・取り出しロータに改良したことにより、取り出し不可能部の発生が解消された。また、グラスサイレージの取り出し作業は、試作切断装置の付加により順調に行われた（写真 39）。切断装置は均平・取り出しロータの取り出し爪が作用する直前部に切断面を形成する（図 12 右側）。このため、均平・取り出しロータは、グラスサイレージを引き出す必要が無くなり、掻き落とすのみでよくなった。取り出し能率は、表 18 に示し

表 18 グラスサイレージ取出し能率
Table 18 Grass silage unloading efficiency

切り込み深さ(mm)	100	160	230	230
均平・取り出しロータ回転速度(m/s)	2.2	2.2	2.2	2.2
切断装置切断速度(m/s)	1.1	1.1	1.65	1.65
下降速度(mm/s)	7.6	7.6	11.6	15.5
取り出し量(wb)(kg/min)	15.8	25.9	51.7	73.3

a)各区とも 3 反復の平均値

b)材料は予乾オーチャードグラス

(埋草密度：319kg/m³(wb)、材料含水率：42.6%、平均切断長：57mm)

たように、切り込み深さや下降速度により変化して、最大73 kg/min (wb), 42 kg/min (db) と乾物基準で試作1号機の2.4倍を示した。

なお、本装置は1994年にドイツ特許(Yaji et al.1994)、イギリス特許(Yaji et al.1994)、1995年に日本国特許(矢治ら1995)を取得した。

5) 考察

サイレージ詰め込み・取り出し装置試作2号機は、詰め込み作業では、搬送コンベヤ、踏圧ローラ等の作用は順調であった。

取り出し作業では、問題であった予乾グラスサイレージの取り出しに切断装置が有効となり試作1号機の能率と比較して2.4倍となった。この切断装置は、サイレージ端面に平滑な切断面を形成するため、均平・取り出しロータの爪がサイレージ表面に凹凸を形成し表面積が増大することを回避できた。この作用は、コーンサイレージの取り出し作業でも認められ、開封後の好気的変敗防止に役立つと考えられる。

試作2号機を基本として、マイクロコンピュータを制御装置とした自動化を図ることが可能であると判断した。

6) 摘要

サイレージ詰め込み・取り出し装置2号機を試作し、性能試験の結果、以下の成果を得た。

(1)平滑踏圧ローラ、スクレーパコンベヤと排出ロータからなる搬送コンベヤ、支持・駆動と掻き出しを両立させた均平・取り出しロータ、チェーンに刃を取り付けてサイレージに切断面を入れる切断装置を新設した試作2号機を製作した。

(2)サイレージ詰め込み作業では、新たに製作した搬送コンベヤと改良した踏圧ローラの作用が順調に行われることを確認した。

(3)サイレージ取り出し作業では、試作切断装置の付加と均平・取り出しロータの改良により順調に行われ、作業能率が約2.4倍の42 kg/min (db)の能率を示した。

(4)試作2号機を基本として、マイクロコンピュータを利用した詰め込み・取り出し作業の自動化を図ることが可能と判断した。

3 サイレージ詰め込み・取り出し装置の自動化

1) 目的

IV-2で試作改良したサイロ装置試作2号機について、各部にセンサを取り付けるとともに、マイク

ロコンピュータによりその運転を自動化し、より省力効果の高いバンカーサイロシステムとする。

2) 試験方法

(1)サイレージ詰め込み・取り出し装置の制御システムの開発

サイロ装置の各駆動部分のそれぞれのモータについて、回転方向や速度制御の必要なものはインバータを付加して最適制御ができるようにした。さらに、運転プログラムに基づいて、各種センサの計測データを参照しながら装置を制御するためのシステムを開発した(矢治ら1998, 屋代ら1993)。

(2)自動運転プログラムの開発

簡易な運転コマンド体系で、サイロ内走行位置、装置の高さの制御ならびに均平・取り出しロータの始動・停止と回転方向・速度の制御、切断装置、搬送コンベヤの排出ロータ等の各駆動用モータを制御し、自動的に詰め込み作業と取り出し作業を行うための自動運転プログラムを開発した。

(3)自動運転試験

試験用バンカーサイロにおいて、切断したソルガムを用いて人力による堆積と踏圧を行う人力詰め込み方式と、サイロ装置試作2号機と自動運転プログラムによる自動詰め込み方式について、作業能率、埋草状態の比較を行うとともに、サイレージ調整試験を行った。

取り出し作業は、試験用バンカーサイロで調製したソルガムサイレージを使用し、サイロ装置の自動運転による作業について、作業精度や作業能率を検討した。

3) 試験結果

(1)サイレージ詰め込み・取り出し装置の制御システムの開発

各部駆動用のモータには、それぞれインバータを取り付けた(走行装置:M社FR-2220-3.7kW, 昇降装置:同-0.75kW, 均平・取り出しロータ:同-7.5kW)。

コンピュータ(N社製PC-9801A)及び信号の入出力を行うためのリモートI/Oユニット(N社製PC-9814)を用い、リレー、スイッチ等で構成した制御盤を製作して、サイロ装置の各モータと接続し、装置全体を制御するシステムを開発した(図13)。走行装置のサイロ内走行位置と作業装置の高さは近接センサ(S社製GX-8ML)を用いて駆動プロペラの回転数を検出して計測した。また、材料詰め込

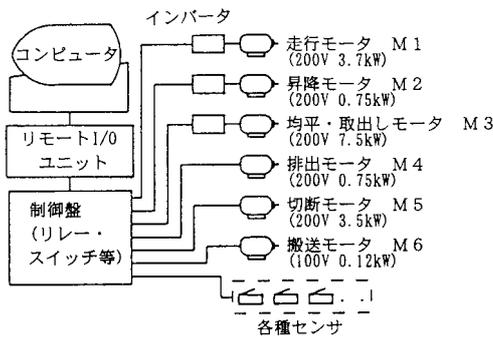


図 13 制御システム構成
Fig. 13 Automatic control system

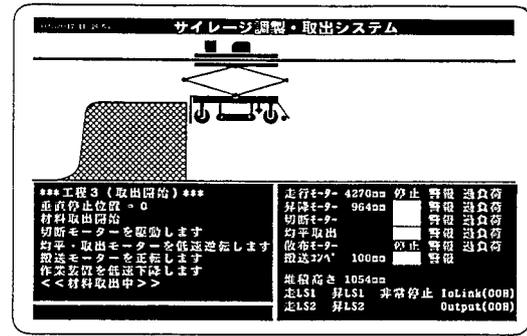


図 15 システムモニター画面 (取り出し作業時)
Fig. 15 Display monitor image (unloading work)

```

?? "---- (( 詰め込み作業 )) ----\r\n";
/*1*/
?? "***工程1 (上端へ移動)***\r\n";
垂直停止位置 = 装置2 上昇限界;
昇降(3); /* 高速上昇 */
while(垂直進行方向 != 0);
while(1) {
/*2*/
?? "***工程2 (一時停止位置移動)***\r\n";
水平停止位置 = 一時停止位置;
走行(3); /* 高速東行 */
while(水平進行方向 != 0);
}
    
```

図 14 システム制御プログラム
Fig. 14 Automatic system control program

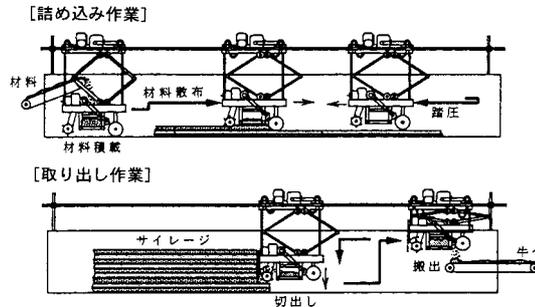


図 16 自動詰め込み・取り出し作業の概要
Fig. 16 Automatic loading and unloading work

み作業時及び取り出し作業時の材料堆積高さの計測は、ローラ付きロールバーを試作し、その傾き（N社製ポテンシオメータ）で計測した。

(2)自動運転プログラムの開発

自動運転プログラムの開発を容易にするために、C言語（B社製 Turbo-C）を用いて簡易言語処理プログラムを作成した（図 14）。自動運転プログラムはこの簡易言語処理プログラム上で動き、作業者は取り出し量など必要な数値を入力するなど比較的簡易な入力操作で、サイロ装置を制御することができる。また、コンピュータのモニターディスプレイ上には、現在のコマンド受付状態、装置位置、各種モータの運転状況及び材料の堆積高さを常に表示するとともに、装置位置や材料の堆積高さはグラフィック表示できるようにした（図 15）。

材料詰め込み作業では、初期位置より材料堆積位置へ装置を移動させ材料を積載する。その後、サイレージ堆積開始位置へ移動し、材料を放出しながら堆積して、戻り行程で材料を踏圧しつつ材料高さを測定しながら初期位置へ戻る。2行程目からは、測

定した材料堆積高さに基づき、装置高さを上昇させながら、所定堆積高さになるまで材料の堆積と踏圧を繰り返す（図 16）。

サイレージ取り出し作業は、まずサイレージの堆積高さの測定から始める。これは、貯蔵中にサイレージが自重により沈下し、詰め込み時の堆積高さより低くなるために必要である。その後、初期位置より装置を上昇させ、サイレージの高さを測定しながらサイレージ前端から後端へ進み、設定切り込み位置まで装置を戻す。その後、均平・取り出しロータと切断装置を起動させて、装置を下降させながらサイレージを取り出す。搬送コンベヤの最大積載量になったら掻き出しを中止し、後退して給餌コンベヤへサイレージを搬出する。この操作を必要取り出し量に達するまで行った後、初期位置へ戻って作業を終了する（図 16）。

(3)自動運転試験結果

自動運転プログラムを用いて、詰め込み作業と取り出し作業を自動で行った結果を表 19、20 に示した。詰め込み作業では、搬送装置への材料の積載量

表19 詰め込み作業能率

Table 19 Loading work efficiency

	人力詰め込み	装置詰め込み
詰め込み材料	ソルガム	
材料含水率(%wb)	78	
詰め込み形状(mm)	2,200×2,200×1,200	2,600×2,000×1,100
埋草量(kg)	2,370	2,440
埋草体積(m ³)	5.28	5.8
埋草密度(wb(db))(kg/m ³)	453(99.7)	419(92.2)
積載量(kg/1行程)		111
詰め込み行程数(回)		22
1行程時間(min)		10.33
積載(min)		3.72
		2.25
		4.37
詰め込み・踏圧(min)		4.37
1ヶ月後pH	3.64	3.72
作業能率(wb(db))(kg/h)		645(141.9)

表20 取り出し作業能率

Table 20 Unloading work efficiency

	人力詰め込み	装置詰め込み
詰め込み材料	ソルガム	
材料含水率(%wb)	78	
詰め込み形状(mm)	2,200×2,200×1,200	2,600×2,000×1,100
埋草量(kg)	2,370	2,440
埋草体積(m ³)	5.28	5.8
埋草密度(wb(db))(kg/m ³)	453(99.7)	419(92.2)
積載量(kg/1行程)		111
詰め込み行程数(回)		22
1行程時間(min)		10.33
積載(min)		3.72
		2.25
		4.37
詰め込み・踏圧(min)		4.37
1ヶ月後pH	3.64	3.72
作業能率(wb(db))(kg/h)		645(141.9)

約110 kgで、積載、移動、詰め込み・踏圧を含む一行程の所要時間が約10分、作業能率は645 kg/h (wb)、142 kg/h (db)を示した。詰め込み終了後の埋草密度は419 kg/m³ (wb)、92 kg/m³ (db)となり人力踏圧と同程度の密度となった。詰め込み・踏圧後にビニールフィルムで密封しサイレージ調製した結果、約一ヶ月後のpHは約3.7となり品質は良好であった。

取り出し作業は、切り込み深さ350 mm、降下速度20 mm/sで、取り出し、移動、排出を含む一行程の所要時間は14分で、作業能率は453 kg/h (wb)、100 kg/h (db)を示した。

4) 考察

試作2号機の作業装置質量は、切断装置や搬送装置の付加により900 kgと試作1号機の約2倍となった。しかし、試作2号機の材料詰め込み作業後の埋草密度は人力踏圧と同程度の419 kg/m³ (wb)であり、サイレージ品質の安定化や開封後の好气的変敗

を抑えるために推奨されている埋草密度900 kg/m³とするためには、踏圧方法の改善や密封後サイレージ上面に重石を載せるなどの方法により、さらに密度向上の方策を検討する必要がある。

切断装置は、切断長が短く取り出しの容易な長大作物サイレージにおいても、取り出し断面を均一にして空気接触面積を減少させるために有効であった。また、装置の自動運転による詰め込み作業、取り出し作業の能率は、さらに向上させる必要があると考える。とくに、詰め込み作業においては、サイレージの品質向上のために迅速な詰め込み・踏圧、密封が重要である。そのためには、作業装置水平移動速度の向上、搬送装置の最大積載量増加、堆積や排出時間の短縮などさらなる改良が必要と思われる。

5) 摘要

サイレージ詰め込み・取り出し装置試作2号機の運転を自動化するために、マイクロコンピュータとセンサ等による各部の制御システムの製作と自動運転プログラムの開発により、装置運転の自動化を図り、以下の成果を得た。

(1)近接センサ、リミットスイッチ、駆動モータ用インバータ、ポテンシオメータなどのセンサや制御機器、マイクロコンピュータによる制御システムとC言語による自動運転プログラムを開発し、詰め込み作業と取り出し作業の自動運転を可能とした。

(2)サイレージ調製・取り出し装置試作2号機の自動運転による詰め込み作業能率は、645kg/h、埋草密度は419 kg/m³ (wb)、92 kg/m³ (db)、サイレージ取り出し作業能率は453 kg/h (wb)、100 kg/h (db)を示した。

(3)サイロ装置のさらなる性能向上、サイレージの品質向上のためには、材料の踏圧法の改善、装置の水平移動速度向上などを行う必要がある。

V 総合論議および結論

1 総合論議

1) 同時作業機による自給粗飼料生産の有利性
本研究では、土地利用率向上や土地生産性向上のために、夏作物と冬作物の一年二作体系を前提とした自給粗飼料の生産・調製・貯蔵を、省力的にかつ高品質に生産するための具体的方策を検討した。まずⅡでは、長大作物収穫・麦類施肥播種同時作業機を設計・試作して、長大作物の収穫作業と麦類の施肥播種作業を同時工程化してその効果を検討すると

ともに作業シミュレーションによる評価を行った。寒冷地における秋の作物切り替え時期は、降雨が多い気象条件であり、麦類の播種適期と長大作物の収穫適期が重なり、とくに麦類の播種晩限が迫るため迅速な作業が求められる。このため、同時作業機を使用することにより個別作業と比較して省力効果が高いこと、個別作業と比較して作業可能面積の増大と作業期間短縮の可能性が高いこと、長大作物の収量と品質が向上し、年間の最多乾物収量が2.7t/10aを超えることを示した。

畑作物の輪作で一般的なダイズ-麦体系では、同時工程化をさらに進めた間作作業体系が研究されて、ハイクリアランストラクタを利用した立毛間播種機の実用化が進められている。しかし、長大作物では2mを超える草丈があり、大下ら(1989)の畦間ロボットの研究で長大作物畦間を自動走行する可能性は示されたが、作業速度は低く間作作業に使用できる能率を実現できていないなど、長大作物収穫・麦類施肥播種作業に間作作業の実現は難しいと考えられる。

また、長大作物の収穫作業と麦類の施肥播種作業を個別作業として行い、高能率化により同時平行作業として適期内作業を可能とすることも考えられる。しかし、秋の収穫シーズンは比較的降雨が多く、さらに粗飼料収穫作業とサイロへの調製貯蔵作業などに人力を必要としており、個別作業にそれぞれオペレータを張り付けることは難しいと思われる。また、高能率作業を可能とする大型作業機は、圃場区画が小さい我が国の圃場条件では導入が困難である。

これらの条件から見ると、長大作物の収穫と麦類の耕耘・施肥・播種作業が同時に完了する同時作業機は、個別作業の作業能率を落とすことなく、むしろ個別作業より高い作業可能性を示し、その効果は高いと考えられる。

2) バンカーサイロにおける自給粗飼料調製・貯蔵の特徴と問題点

Ⅲ-1においては、水平型サイロとしてバンカーサイロに着目し、自給粗飼料のサイレージ調製・貯蔵について新たな視点から検討を進めた。バンカーサイロは、タワーサイロと比較して施設費が安価であるという特徴があり、さらにサイレージ材料の水分や切断長などの制約が少ないという自給粗飼料の調製・貯蔵・利用として利点がある。このため、ト

ウモロコシやソルガムなどの長大作物をはじめ、オーチャードグラスなど予乾牧草や大麦など麦類のサイレージ調製についても、切断長や材料水分の制限が少ないと考えられる。

また、70%を超える高水分材料をサイレージ調製する場合には、踏圧などで高密度に圧密されると物理的に圧縮・搾汁され、材料から排汁が出てしまう。このため、タワーサイロでは、サイレージの調製品質保持のために排汁をサイロ外へ排出させる構造を備えている。しかし、従来捨てられて環境汚染の根源ともなっている排汁には、可溶性ミネラルなどの栄養分が含まれており(Jofreit et al.1988)、できれば家畜へ与えることが望ましい。バンカーサイロにおいては、筆者らが試験を実施した高水分材料の下層に低水分材料、例えばヘイキューブなどを堆積する層別堆積法(矢治ら1992)により水分調整と排汁の防止が可能となり、サイレージ品質も向上することが示されている。この層別堆積法によって調製されたサイレージは、サイロ上面から下面に向けて垂直に取り出す方法のサイレージアンローダやサイレージ詰め込み・取り出し装置などを使って取り出すと、取り出し時に2種類の材料が混合されて均一なサイレージとして家畜に給与することができる。

このように、バンカーサイロは様々なサイレージ材料の調製が可能で、材料の水分や切断長、埋草密度などの制約が少なく、サイレージの詰め込み法や取り出し法の工夫により材料の適応性が拡大し、一年二作体系などの高度土地利用体系から生産される自給粗飼料としての長大作物、麦類、牧草など多様な粗飼料についても調製可能である。このことは、我が国が農地面積が少ない現状において、土地利用率の向上を図り単位面積当たりの収量を向上させて低コスト生産を図るためには、バンカーサイロが最も適したサイロであると考えられた。

3) バンカーサイロ用アンローダの特徴と問題点

Ⅳ-2においては、水分が高く重量物であり独特の臭いを持つサイレージのバンカーサイロにおける取り出し作業を機械化する方策の一つとして、大型のサイレージアンローダを導入しその性能を検討するとともに、我が国におけるバンカーサイロ取り出し作業での問題点を明らかにした。供試アンローダは、微細断されたコーンサイレージでは取り出し能率900 kg/min (wb)、84 kg/min (db)と高能率を示したが、切断長が長い材料や踏圧が不十分な材料、

予乾グラスサイレージでは詰まりが発生して能率が低下した。したがって、供試したアンローダは、トウモロコシやソルガムなどの長大作物では切断長が長い材料、大麦やライ麦などの麦類、さらに予乾牧草など多種多様な材料を想定した自給粗飼料の取り出し作業に使用するには、取り出しや搬送などの基本構造から見て不可能であると考えられた。

また、供試サイレージアンローダを給餌作業に使用する場合、組作業として運搬・給餌車が必要となる。このことは、担い手が減少し省力化が求められている状況の中で、取り出し作業についても給餌を含めたサイロ作業全体の自動化を図る必要があることを示している。

専用機である供試したバンカーサイロ用サイレージアンローダは、トウモロコシなど長大作物を微細断し高密度で調製したサイレージに対する適応性は高く、とくに多頭飼養している大規模経営には適しているが、予乾グラスサイレージなど長大作物以外のサイレージ取り出し作業や組作業人員を減らすための作業の自動化などについては、新たな機械や装置の開発が必要と考えられた。

4) サイレージ詰め込み・取り出し装置の特徴と性能

前述した長大作物と麦類の一年二作体系から高い生産性で栽培される自給粗飼料の有効利用の必要性、バンカーサイロが持つ様々なサイレージ材料に対する適応性、バンカーサイロにおける詰め込み・取り出し作業の機械化の現状と自動化の必要性に基づき、Ⅳ-1からⅣ-2においてはバンカーサイロ用のサイレージ詰め込み・取り出し装置を設計試作し、性能試験を行った。

サイレージ詰め込み・取り出し装置は、作業の省力化実現、装置の汎用利用と低コスト化の観点から、その基本構造はバンカーサイロにおける詰め込み作業と取り出し作業の両方に使用可能な装置として設計・製作した。装置は、バンカーサイロの壁面上部に取り付けたラックレールを跨いで走行する走行装置と、詰め込み作業や取り出し作業に使用する作業装置で構成した。バンカーサイロへの材料の詰め込みは下層から上層へ順次堆積する方法、サイレージの取り出し作業はサイレージの上方から下方へ垂直に取り出す方法を採用した。本方式は、高水分材料の水分調整や排汁を出さない層別堆積方式へ対応が可能である。また、予乾グラスサイレージの取り出

し能率向上と取り出し時のサイレージ断面からの空気侵入による好気的変敗を防ぐため、取り出し断面に切り込みを入れるための切断装置を付加した。

このように、サイレージ詰め込み・取り出し装置による機械化で、サイレージ材料の詰め込み作業とサイレージの取り出し作業を、自動化することが可能となった。さらに、切断装置によりサイレージの取り出し面を齊一にして、空気侵入を防止してサイレージ品質保持の点も改良される可能性が示された。

5) サイレージ詰め込み・取り出し装置による作業の自動化と汎用利用の可能性

Ⅳ-3においては、サイレージ詰め込み・取り出し装置にリミットスイッチ、ロータリエンコーダなどセンサの取り付けと、開発した運転制御プログラムにより、マイクロコンピュータをベースとした運転の自動化を実現した。

試験用バンカーサイロにおける詰め込み作業は作業能率 645 kg/h (wb) , 142 kg/h (db) , 取り出し能率は 453 kg/h (wb) , 100 kg/h (db) を示し、バンカーサイロにおける詰め込み・取り出し作業の自動化が可能となった。さらに、バンカーサイロにおいて、開封後のサイレージ品質低下の一因として問題となる取り出し面からの空気の侵入については、筆者らにより、取り出し面に空気遮断のためにケラチン泡を塗布することで防止する可能性(矢治ら 1992) が示され、取り出し作業の装置化や自動化の機能に加えることを検討する必要がある。

バンカーサイロとサイレージ詰め込み・取り出し装置によるサイロ作業システムの発展の可能性については、バンカーサイロを複数設置して、レールの延長と切り替え方式などの工夫を行うことにより、長大作物と麦類の年2回のサイレージ調製が可能となると考える。さらに、装置の汎用利用については、作業装置の付け替えにより、例えばビニールハウスにおける太陽熱利用の家畜糞尿乾燥作業への利用なども可能であろう。このように、サイレージ詰め込み・取り出し装置は、大家畜生産における自給粗飼料の調製・給与から家畜糞尿処理までの利用拡大が可能と思われる。

6) 環境問題と自給粗飼料生産について

これまでは、自給粗飼料の生産と利用について新しい機械、装置の開発による省力機械化や自動化の観点から考察してきた。さらに、試作した同時作業機とサイロ装置について、ここでは家畜糞尿処理に

関連した環境問題を含めて、広く大家畜生産の観点からそれらの効果を考えてみる。

これまでの我が国の大家畜生産において、酪農、肉牛生産いずれも飼料基盤を外国産の濃厚飼料に置いてきた。この原因は、価格が比較的安くハンドリングが容易であること、自給飼料生産を行うためには狭隘で排水が悪い我が国の圃場条件、労働力事情に合致した栽培体系が確立されていないことなどのためと考えられる。自給飼料のうちでも、とくに粗飼料については、サイレージの通年利用体系なども一部で実用化され普及しているが、粗飼料生産基盤である農耕地の確保や生産のための機械装備、さらにサイロ関連装置などの投資が必要となるなどの点で問題となり、広く普及するにはいたっていない。しかし、飼育する乳牛や肉牛の餌としての飼料生産だけでなく、家畜から排出される糞尿の処理問題が顕在化している現在は、粗飼料生産と糞尿処理の問題をトータルとして解決できる技術開発が最も重要であると考えられる。

とくに、N成分利用の観点では、長大作物と麦類の一年二作体系は、長大作物播種前に堆肥や土壌改良材の施用が可能な体系としており、大家畜と飼料作物の間で循環が可能となる。

また、バンカーサイロは、トウモロコシなどの長大作物だけでなく麦類や予乾牧草の調製が可能で、さらにタワーサイロで必要とされる微細断や材料の水分条件の制約などが緩和される。また、我が国の降雨が多い気象条件を考慮すると、高水分材料の調製貯蔵において低水分材料と交互に堆積する層別堆積法を用いてサイレージ調製に適した材料水分にできることから、これまでは踏圧など埋草密度を向上させる過程で捨てられていた排汁を吸収・利用し、自給粗飼料の有効利用と環境保全を両立させる可能性がある。

2 結論

我が国の農業従事者、とくに中核的な担い手が減少する傾向の中で、大量の自給粗飼料が必要とされる大家畜生産において今日求められる解決すべき課題は、①自給粗飼料生産の省力化・低コスト化、②自給粗飼料の調製・貯蔵・取り出し作業の自動化、③これらによる自給粗飼料の生産拡大と積極的な利用による食料自給率の向上、④家畜糞尿処理の解決による環境問題への対応、である。この四つの問題

は互いに深く繋がっている。すなわち、大家畜生産における飼料が50%近くも外国産に依存しており、このことが、飼料の未利用部分として排泄される家畜糞尿が我が国の農耕地に処理不可能な程に排出されているのである。

この現状を解決するためには、自給粗飼料の生産性を向上し、機械化や装置化により省力作業を可能とすることが必要で、このことによりコストや労働力不足の制約から脱却することが可能で、粗飼料生産と家畜糞尿処理問題のバランスが改善されると考える。

本研究においては、これらの問題の解決のために、自給粗飼料の効率的生産とその調製・貯蔵・利用についてのいくつかの解決策を示すものである。

ⅡからⅣおよび以上の論点を整理すると、次のように集約できる。

1) 試作開発した長大作物収穫・麦類施肥播種同時作業機を用いた長大作物-麦類一年二作体系では、長大作物から麦類への作物切り替え時の労働時間が約30%削減されて省力化が可能となり、北東北においても自給粗飼料としての長大作物の収量と品質の確保、麦類の適期播種による収量確保が可能となった。

2) 自給粗飼料の調製・貯蔵施設としてバンカーサイロに着目し、詰め込み作業では材料の踏圧や均平などの補助労力を必要としていること、取り出し作業では牛の自由採食から人力取り出し、サイレージアンローダによる高能率取り出しまで可能であるが自動化は実現されていないことを明らかにした。

3) バンカーサイロの取り出し作業の省力化の可能性について、大型サイレージアンローダを導入して自給粗飼料としてのトウモロコシや予乾牧草の材料性状を異にした性能を検討し、微細断したトウモロコシサイレージでは高い能率を実証したが、切断長が長いトウモロコシや予乾牧草では能率が低下する、あるいは踏圧が十分でない場合には作業が困難となり、新しい取り出し方式を検討する必要が確認された。

4) バンカーサイロ用のサイレージ詰め込み・取り出し装置を設計・試作し、バンカーサイロ壁上に設けたラックレールを走行する走行装置、均平・取り出しロータ、バケット、踏圧ローラからなる作業装置を備えた試作1号機を開発した。さらに均平・取り出しロータ、踏圧ローラを改良し、切断装

置、搬送コンベヤを付加した試作2号機を開発し、順調な運転が可能であることを示した。

5) サイレージ詰め込み・取り出し装置を基幹として、リミットスイッチ、ロータリエンコーダやモータ用インバータなどセンサの取り付けと、マイクロコンピュータと開発した制御用ソフトを使って、運転の自動化を図った。詰め込み作業能率は645 kg/h (wb), 142 kg/h (db), 取り出し作業能率は453 kg/h (wb), 100 kg/h (db)を得た。

6) 自給粗飼料の生産性の拡大と省力化を図るためには、長大作物収穫・麦類施肥播種同時作業機による一年二作体系での収量や品質の向上、調製貯蔵施設としてのバンカーサイロを基幹としたサイレージ詰め込み・取り出し装置を利用することが有効である。

引用文献

- 1) Ahmets,H.P.; Isensee,E. 1994. On compaction of wilted grass in horizontal silos. Landtechnik 49(3):126,146-147.
- 2) ASAE Standards. 1997. Design loads for bunker(horizontal) silos. ASAE Standard No.Ed:767-768.
- 3) Ashbell,G.; Kashanchi,Y. 1987. In-silo losses from wheat ensiled in bunker silos in a subtropical climate. J. of the Science of Food and Agric. 40(2):95-103.
- 4) Ashbell,G.; Linsker,N. 1988. Aerobic determination in maize silage stored in a bunker silo under farm conditions in a subtropical climate. J. of the Science of Food and Agric. 45(4):307-315.
- 5) Ashbell,G.; Weinberg,Z.G. 1992. Top silage losses in horizontal silos. Canadian Agric. Eng. 34(2):171-175.
- 6) 我妻幸雄,柿沼計,矢治幸夫,今園支和,雁野勝宣. 1976. 流通化のための梱包サイレージ調製作業について-第1報 タイトベアラを利用した梱包サイレージ調製作業の改善.農作業研究 25 : 57-62.
- 7) 我妻幸雄,矢治幸夫,今園支和,雁野勝宣,塚田大策,金子信夫. 1977. サイレージローダによるサイレージ取出し・積み込み作業の機械化について. 農作業研究会第12回講要: 34.
- 8) 我妻幸雄,矢治幸夫,今園支和,雁野勝宣,塚田大策,金子信夫. 1978. サイレージローダによるサイレージ取出し,積み込み作業について. 農作業研究 31 : 85-93.
- 9) 馬場崎一俊,松尾要,坂本五十夫. 1986. 同時作業播種機の試作とその性能. 九州農業研究 48 : 217.
- 10) Bengtsson,N.; Nilsson,E. 1981. Uttagning och utfodring av ensilage ur plansilor. JTI-rapport 32 Swedish Institute of Agricultural Engineering.
- 11) Benson,J.A.; Neal,M.A. 1982. Design and testing of an automatic bunker silo top unloader. Division Note 1121 National Institute of Agricultural Engineering.
- 12) Blocker,J. 1991. Repairing floors horizontal silos. Landtechnik 46(1/2):57-60.
- 13) Bursewitz,G.H.; Huhnke,R.L.; Barnes,E.M. 1991. Performance of nutri-shield in protecting bunker-stored silage. Applied Engineering in Agriculture 7(5):515-519.
- 14) Darby,D.E.; Jofreit,J.C. 1993. Dencity of silage in horizontal silos. Canadian Agric. Eng. 35(4):257-280.
- 15) Decker,M. 1960. Unloading silos mechanically. Agric. Eng. 41:378.
- 16) Ebbinghaus,J.H. 1958. Silage handling techniques. Agric. Eng. 39:556-557.
- 17) Finner,M.F. 1966. Harvesting and handling low-moisture silage. Trans. of ASAE 9:377-381.
- 18) Flada,J. 1990. The unloading, transporting and distribution of silage from horizontal silos. FAO Agri/Mech Report No.122.
- 19) Furl,C.; Oberbarnscheidt,B.; Wenske,E. 1990. CCM-Silos richtig bemessen-Bestimmung der Lagerungsdichten von CCM. Landtechnik 45(6):229-230.
- 20) 萩野耕司,矢治幸夫,篠田 満,滝本勇治,関野幸二. 1996. 北東北地域の転換畑における長大型飼料作物収穫,麦類施肥播種用同時作業機による周年作付体系の確立 第二報 飼料作物の周年安定多収技術. 東北農試研報 91 : 33-44.
- 21) Haigh,P.M. 1992. The effect of an acid salt-type additive on the fermentation of grass silage made in bunker silos on commercial dairy farms

- in Wales. Grass and Forage Science 47(4):353-357.
- 22) Hendrix,A.T. 1960. Equipment and labor requirements for storing and feeding silage. Agric. Eng. 41:165-167.
- 23) 細川明,野村喬. 1965. 牧草の熱風乾燥機に関する研究 (3) 大型牧草熱風乾燥機の使用例と熱風三角架. 農機誌 27(1) : 33-38.
- 24) 入江道男,窪田昌綱,後藤美明,吉村靖生,和田学,長峰司,廣川文彦,江口久夫,金尾忠志. 1987. 温暖地における直播水稻-麦の作付方式と技術の体系化. 中国農試研報 1 : 15-49.
- 25) 石田元彦. 1998. 牛になぜ粗飼料が必要か.DAIRYMAN 臨時増刊号 : 20-23.
- 26) Jofriet,J.C.; LeLievre,B. 1988. Juice from silages. Canadian Agric. Eng. 30(1):99-106.
- 27) Jofriet,J.C.; Yao,Z. 1990. Silo design loads for wet silage. Paper-American Society of Agric. Eng. No.90-4010.
- 28) 金谷豊,佐々木豊,建石邦夫. 2000. インターネット利用による農作業シミュレータの開発. 農作業研究 35(別1) : 9-10.
- 29) 小泉武紀,深澤秀夫,矢治幸夫,吉原徹,加茂幹男,月館鉄夫. 1981. ラウンドベアラの利用法に関する研究.農機学会第40回大会講要 : 145.
- 30) Law,T.W.M. 1976. How to choose a forage harvester. Power Farming 55:14-19.
- 31) Lindsay,R.T. 1971. An unloader for horizontal silos. J. of Agric. Eng. Res. 16:157-171.
- 32) Lindsay,R.T.; Neal,M.A.; Westgate,G.R.; Messer,H.J.M.; Hawkins,J.C. 1973. Unloading and Filling in a Deep Bunker Silo. Department Note National Institute of Agric. Eng..
- 33) Lindsay,R.T. 1980. Self-feed complete diet. Big Farm Management July:85-87.
- 34) Maier,L.; Wagner,M. 1976. Techniken fur die Silage-entnahme. Landtechnik 10:430-434.
- 35) 目黒良平. 2000. のれん状電柵によりバンカーサイロで牛の採食を管理する.東北農試たより 93 : 8.
- 37) Much,R.E.; Rotz,C.A. 1994. Bunker silo unloaders An economic analysis. ASAE winter meeting paper No.941525:1-17.
- 38) Muck,R.E.; Huhnke,R.E. 1995. Oxygen infiltration from horizontal silo unloading practices. Tran. of the ASAE 38(1):23-31.
- 39) Muck,R.E.; Rotz,C.A. 1996. Bunker silo unloaders an economic comparison. Applied Engineering in Agriculture 12(3):273-280.
- 40) 内藤元男. 1978. 畜産大事典.養賢堂 : p.796-799.
- 41) 中精一,川村五郎,山内敏雄,加茂幹男. 1976. 半乾燥粗飼料の圧縮成型化技術に関する研究.東北農試研報 53 : 63-171.
- 42) 農林水産省. 2000. 食料・農業・農村基本計画 : 6-11.
- 43) 農林水産省畜産局自給飼料課. 1997. 飼料作物関係資料 : 114-123.
- 44) 農林水産省統計情報部. 1999. 畜産物生産費 : 18,24,25,26,2740-41,130-131,146-147.
- 45) 大下泰生,古川嗣彦,屋代幹雄,矢治幸夫. 1989. 自動走行管理機の開発 (第2報). 農機学会東北支部報 36 : 89-94.
- 46) Pitt,R.E.; Muck,R.E. 1993. A diffusion model of aerobic deterioration at the exposed face of bunker silos. J. of Agric. Eng. Res. 55(1):11-26.
- 47) Razl,I.; Bellman,H.E.; Turnbull,J.E. 1988. Evaluation of sealers and mortars for protection of concrete silos. Canadian Agric. Eng. 30(1):179-183.
- 48) Ruppel,K.A.; Pitt,R.E.; Chase,L.E.; Galton,D.M. 1995. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. J. of Dairy Science 78(1):141-153.
- 49) Ruxton,G.D.; Gibson,G.J. 1994. Effect on deterioration of spraying the open face of a silage bunker with propionic acid. J. of Agric. Eng. Res. 58(3):159-168.
- 50) 酒井孝雄,高橋信一. 1982. 福島県における小麦-大豆 (1年2作) 体系の確立に関する研究.東北農業研究 31 : 149-150.
- 51) 瀬川敬. 1991. 草地畜産における技術革新(4)サイレージ取出し装置 (サイロクレーン等) と連続混合システムの開発. 畜産の研究 45(5) : 632-636.
- 52) 関村栄,萩野耕司,太田顕,名久井忠,目黒良平,桂勇,高橋鴻七郎. 1987. 飼料作物の周年多収栽培 第1報 麦類の作期と飼料価値. 東北農業研究

- 40 : 203-204.
- 53) 柴田洋一. 1984. 麦収穫同時大豆播種作業について. 近畿中国農業研究 68 : 32-36.
- 54) 柴田洋一, 田坂幸平, 河本恭一, 天野憲典, 後藤美明, 井尻勉. 1989. 麦の収穫と同時に大豆を播種する技術の開発研究. 農作業研究 67 : 223-229.
- 55) 志藤博克, 山名伸樹. 2000. トウモロコシ収穫用カッティングロールベアラの開発. 農機誌 62(3) : 157-159
- 56) 高橋康利, 畠山貞雄, 折坂光臣, 岡島正昭, 石山伸悦. 1984. 岩手県における小麦・大豆を基幹とする新体系化技術に関する研究 - 小麦収穫大豆同時播種機による1年2作体系 -. 東北農業研究 35 : 127-128.
- 57) 田原虎次, 藍房和, 渡辺兼五, 成東鴻. 1977. 気密サイロ-ボトムアンローダに関する研究(第1報) ボトムアンローダ試作1号機とその運転試験. 農機誌 39(1) : 59-64.
- 58) 田原虎次, 藍房和, 渡辺兼五, 成東鴻. 1977. 気密サイロ-ボトムアンローダに関する研究(第2報) ボトムアンローダ試作2号機とその運転試験. 農機誌 39(2) : 185-190.
- 59) 寺山豊, 佐々木章悟, 沓野芳彦. 1985. 麦刈取り同時大豆播種作業. 山口県農業試験場研究報告 37 : 29-34.
- 60) 富樫辰志, 市戸万丈, 佐々木泰弘. 1993. 地下角型サイロ用2軸オーガ式トップアンローダの開発. 農機誌 55(3) : 125-131.
- 61) Weghe, H. von den; Kadner, K. 1983. Maschinen und Gerate zur Entnahme, Transport und Vprlage von Grundfutter aus Flachsilos-Bauarten. Landtechnik 38(9):369-372,377-379.
- 62) Weinberg, Z.G.; Ashbell, G. 1994. Changes in gas composition in corn silages in bunker silos during storage and feedout. Canadian Agric. Eng. 36(3):155-158.
- 63) Willcocks, T.J. 1968. Investigation into the ultimate tensile strength of laminated silage fibers. J. of Agric. Eng. Res. 13:103-119.
- 64) 矢治幸夫, 滝本勇治, 萩野耕司, 古川嗣彦. 1991. バンカーサイロにおける高精度機械化作業技術の確立(第1報) サイレージ調製・取出装置の試作. 農機学会第50回大会講要 : 359-360.
- 65) 矢治幸夫, 滝本勇治, 萩野耕司, 古川嗣彦. 1991. バンカーサイロにおける高精度機械化作業技術の確立(第2報) サイレージ調製・取出装置によるサイレージ調製・取出作業. 農機学会第50回大会講要 : 361-362.
- 66) 矢治幸夫, 滝本勇治, 萩野耕司. 1991. バンカーサイロにおける層別踏圧についての一考察. 農機学会東北支部平成3年度講要 : 65-66.
- 67) 矢治幸夫, 滝本勇治, 篠田満. 1992. バンカーサイロにおける高精度機械化作業技術の確立(第3報) グラスサイレージ取出し作業. 農機学会第51回大会講要 : 231-232.
- 68) 矢治幸夫, 篠田満, 滝本勇治, 屋代幹雄, 大下泰生, 伊澤敏彦. 1992. バンカーサイロにおける高精度機械化作業技術の確立(第4報) ケラチン泡によるサイレージの好気的変敗防止法. 農機学会第51回大会講要 : 233-234.
- 69) Yaji, Y.; Takimoto, Y.; Hagino, K.; Furukawa, T.; Shinohe, T.; Yamaguti, K. 1994. Vorrchtung zum Bedienen eines Bunkersilos. ドイツ国特許 No.4103417.
- 70) Yaji, Y.; Takimoto, Y.; Hagino, K.; Furukawa, T.; Shinohe, T.; Yamaguti, K. 1994. Ensiling and unloading device for a bunker silo. イギリス国特許 No.2241934.
- 71) 矢治幸夫, 滝本勇治, 萩野耕司, 古川嗣彦, 四戸忠男, 山口和美. 1995. サイレージ調製・取出装置. 特許第 1946385 号.
- 72) 矢治幸夫, 萩野耕司, 篠田満, 滝本勇治, 関野幸二. 1996. 北東北地域の転換畑における長大型飼料作物収穫, 麦類施肥播種用同時作業機による周年作付体系の確立 第一報 長大型飼料作物収穫, 麦類施肥播種作業の同時行程化のための同時作業機の試作. 東北農試研報 91 : 25-31.
- 73) 矢治幸夫, 屋代幹雄. 1998. バンカーサイロ作業の自動化(第1報) サイレージ詰込み・取出し装置の設計目標と試作1号機の性能. 農機学会誌 60(4) : 23-28.
- 74) 矢治幸夫, 屋代幹雄. 1998. バンカーサイロ作業の自動化(第2報) サイレージ詰込み・取出し装置試作2号機の性能とコンピュータによる自動化. 農機学会誌 60(5) : 45-51.
- 75) 矢治幸夫, 萩野耕司. 2001. 長大型飼料作物収穫・麦類施肥播種用同時作業機による飼料作物1年2作体系のシミュレーションと実証. 農作業研究

- 36(2)：69-78.
- 76) 屋代幹雄,篠田満,滝本勇治,矢治幸夫. 1993. バンカーサイロにおける高精度機械化作業技術の確立(第5報)サイレージ調製・取出装置の改良と作業性能の検討. 農機学会第52回大会講要：157-158.
- 77) 屋代幹雄,篠田満,滝本勇治,矢治幸夫. 1993. バンカーサイロにおける高精度機械化作業技術の確立(第6報)サイレージ調製・取出装置における自動制御システムの開発. 農機学会第52回大会講要：159-160.
- 78) 吉野昭朗,藤原徹夫,上原毅,古館敬一,井上莞爾. 1976. 酪農におけるサイレージ給餌の自動化に関する研究. 電力中央研究所報告 No.475006.
- 79) Zhao,Q.; Jofriet,J.C.; Darby,D.E. 1988. Wall loads on a large bunker silo. Paper-American Society of Agricultural Engineering No.88-4006.
- 80) Zhao,Q.; Jofriet,J.C. 1991. Structural loads on bunker silo walls experimental study. J. of Agric. Eng. Res. 50(4):273-290.
- 81) Zhao,Q.; Jofreit,J.C. 1992. Wall loads on bunker silos due to compaction. Canadian Agric. Eng. 34(1):83-94.

Studies on the Mechanization of Domestic Roughage Production and Utilization using an Automatic Silage Loading and Unloading Device for Bunker Silos

Yukio YAJI

Summary

In Japan, about 75% of roughage for cows is imported from foreign countries. Although the production cost of home-grown roughage is lower than the purchase price of imported roughage, farmers are reluctant to culture and ensile domestic roughage because it needs space, labor, machines and silos. Roughage is an indispensable feed for cows that have ruminant digestive systems to keep them in a healthy condition. Because roughage and feeds are imported from foreign countries, a large amount of manure from cows is produced and spread on domestic fields. But excessive manure spread on fields can cause water pollution. From these stand points, roughage should be cultured in domestic fields. This thesis describes procedures to culture, ensile and utilize roughage in domestic fields. The three component chapters of the thesis are summarized as follows:

1. Development of a combined seeder

- 1) A combined machine comprised of a forage harvester, a rotary tiller, a fertilizer and a seeder for dent corn-barley cropping systems was developed to reduce the working hours needed for harvesting and seeding.
- 2) The working efficiency of the combined seeder was 12 a/h when the working speed was 0.76 m/s. This efficiency indicated a labor saving of 30% compared with the same tasks performed by separate machines.
- 3) The simulation results of 11 years (1985-1995) using precipitation data for Morioka in a field area of 5 ha showed that the combined seeder, with the working efficiency of 12 a/h completed harvesting and seeding of 5 ha of dent corn/sorghum-rye/barley cropping systems, as the same rate as a forage-harvester with a work efficiency of 24 a/h. The combined seeder will finish rye or barley seeding earlier than individual harvesting and seeding machines.

2. Mechanization of bunker silos

- 1) Loading, leveling and compression of bunker silos affect silage quality and need machines and manpower. Various practices and machines are in practical use in unloading of bunker silos, ranging from free feeding to high-efficiency mechanized unloaders.
- 2) To increase labor-saving during silage unloading work, a tractor mounted silage unloader was tested for performance. The unloading efficiency was affected by the kind, cut length and density of silage material. The shorter cut length made for easier work and higher unloading efficiency.
- 3) The unloading efficiency of dent-corn silage harvested by a cylinder-type forage harvester was 900 kg/min (wb), 84 kg/min (db). The unloading efficiency of the same silage harvested by a double-cut-type forage harvester was 166 kg/min (wb), 63 kg/min (db). Unloading of the silage harvested by a

flail-type forage harvester was impossible. The silage with long cut lengths often made an auger clogged.

- 4) The unloading efficiency of grass silage harvested by a cylinder-type forage harvester was 162 kg/min (wb), 88 kg/min (db). The unloading efficiency of the silage harvested by a double-cut-type forage harvester was 161 kg/min (wb), 28 kg/min (db), which was 1/3 that of the cylinder-type harvester. The longer grass leaves made it difficult to remove and the working efficiency became lower than that of dent-corn silage harvested by a double-cut-type forage harvester. Unloading of the silage harvested by a flail-type harvester was impossible because of the longer cut length and lower volumetric density.
 - 5) The theoretical unloading efficiency calculated from the specification of the unloader was about 900 kg/min, which is the same as the measured unloading efficiency for corn silage harvested by a cylinder-type forage harvester.
 - 6) The performance tests were carried out at Gunma Prefectural Livestock Research Station for about three months. The unloader was mainly used to unload grass silage because unloading grass silage was labor consuming work.
3. Automatic loading and unloading work in a bunker silo using a silage loading and unloading device
- 1) A prototype 1 loading and unloading device for a small test bunker silo was developed and its performance investigated. Both the traveling device running on rails installed on the walls of the bunker silo and the working device suspended from the traveling device performed well.
 - 2) The density of partly dried grass and raw dent corn in the silo after loading and compressing work was 318-490 kg/m³ (wb), 117-140 kg/m³ (db), and the unloading efficiency of sorghum silage was 226 kg/min (wb), 77 kg/min (db).
 - 3) The performance of prototype 2, which consisted of an improved bucket, a compressing roller and a new cutting device, was tested. The new cutting device for grass silage worked well and prototype 2 was able to unload silage with an efficiency of 73 kg/min (wb), 42 kg/min (db).
 - 4) The sensing parts, limit switches, rotary encoder, motor inverters and control program that controlled the loading and unloading device were coordinated by a micro computer. In the case of automatic working for sorghum, the loading efficiency was 645 kg/h (wb), 142 kg/h (db), and the unloading efficiency was 453 kg/h (wb), 100 kg/h (db).