ミニロールベールラッピング処理技術の開発 第2報 トウモロコシサイレージへの適用

宮崎昌宏*・猪之奥康治*・石束宣明**・長崎裕司*・田中宏明*・角川 修*

Development of a Small-Bale Wrapping System for the Silage-making Operation

2. Making Whole Crop Silage of Corn

Masahiro MIYAZAKI *, Koji INOOKU *, Noriaki ISHIZUKA **, Yuji NAGASAKI *,
Hiroaki TANAKA * and Osamu SUMIKAWA *

1 緒 言

四国地域は耕地面積が狭いため、粗飼料の低コスト生産に当たっては、収量性に優れ栄養価の高いトウモロコシを中心とした飼料作物のホークロップサイレージ調製が望まれている。しかし四国4県の酪農経営は、1戸当たりの平均飼養頭数が約30頭と小規模であり（農林水産省統計情報部1998）、機械施設費の高い塔形サイロ等の施設型サイロによるサイレージ生産は困難な状況である。

一方、近年急速に普及しているベール直径が1 m前後のロールベールサイレージ体系は、梱包した牧草ベールをフィルムで密封してサイレージに調製できるが、細断を必要とする飼料作物には適用できない。さらに、1ベール当たりの質量が300~700 kgと重く（内田1999）、小規模経営では生産と給与作業の面で問題が大きい。

そこで本研究では、ミニロールベールを基軸として細断飼料作物を梱包・密封する技術を核とした作業体系を開発することにより、高品質で取り扱いが容易な小規模酪農経営向けホークロップサイレージ調製技術を確立することを目指した。

前報（宮崎ら1993）では車載式の細断物梱包装置を試作し、フォレージハーベスタで収穫した粗細断

の大麦や予乾牧草を収穫と同時に梱包する技術を開発した。本報告では、草丈が高く茎も太いため細断を必要とするトウモロコシやソルガムなどの長大飼料作物用のミニロールベールサイレージ体系を開発し、その作業特性を明らかにするとともに、発酵品質及び給餌作業時間の検討を通して得た本技術利用のための指針について報告する。

2 ミニロールベールサイレージ体系の概要

開発したトウモロコシ用のミニロールベールサイレージ体系は図1に示すように、トウモロコシをコーンハーベスタで細断収穫し、屋内に設置した調製装置を用いて梱包・密封し、ハンドラによって収納する。さらに、発酵が終了した後に牛舎へ運搬、給餌車を用いてサイレージを給与するものである。試作した調製装置、ハンドラ及び給餌車の機能と特徴を以下に示す。

1) 調製装置

調製装置は、荷受けホップ、搬送装置、梱包装置及び小型ベールラップから構成される。各装置の主要諸元を表1に示す。

(1) 梱 包

梱包には前報で報告した細断物梱包装置を改良して用いた。改良した梱包装置の概略図を図2に示す。

平成11年 5月28日受付

平成11年10月 2日受理

* 農林水産省四国農業試験場 〒765-0053 香川県善通寺市生野町2575

Shikoku National Agricultural Experiment Station 2575 Ikuno, Zentsuji, Kagawa, 765-0053, Japan

** 島根大学 〒690-0823 島根県松江市西川津町1060

Simane University 1060 Matue, Shimane, 690-0823, Japan

表1 調製装置の主要諸元

項 目	諸 元
全長×全幅×全高	11×3×1.8 m
荷受けホッパ	容量2 m ³
搬送装置	
スラットコンベア	機長2.2m, 幅55cm, 駆動モータ0.75kW
ベルトコンベア①	機長3.5m, 幅60cm, 駆動モータ1.5 kW
ベルトコンベア②	機長1.0m, 幅60cm, 駆動モータ0.04kW
梱包装置	
成形方式	定径チェーン成形方式
駆動エンジン	3.7 kW
結束方式	トワイン巻き付け式
小型バールラップ	
形式	回転テーブル式
駆動エンジン	1.6 kW
使用フィルム	幅25cmストレッチフィルム

図1 トウモロコシのミニロールパレットサイレージ体系

図2 梱包装置の概略図

梱包装置の受け口は水平軸より15度上向きとし、ベール成形中における受け口からの材料の落下を防止した。梱包材料の搬送には荷受けホッパ下部のスラットコンベア、機長3.5mのベルトコンベア①及び機長1mのベルトコンベア②を使用した。なお、スラットコンベアの駆動モータにインバータを取り付けて荷受けホッパからの搬送量が定量になるように制御した。

本装置は前報で報告したように、フォレージハーベスタで収穫した平均切断長6～10cmの大麦や予乾牧草では支障なく梱包することができる。しかし、コーンハーベスタで収穫した平均切断長1～2cmのトウモロコシやソルガムでは、結束ひも（トワイン）の結束ピッチが10cm程度と広いため、ベール放出時に梱包されずに機外へ落下する梱包ロスが供給量の10%にも達し、放出時の落下衝撃力でベールが割れ、小型ベールラップで密封できない場合もある。そこで、細断物の成形後に乾燥稲わらを梱包装置に投入してベール周囲に巻き付け、その上からトワインで結束する方法とした。なお、ベール1個当たりの乾燥稲わらの投入量は、ベール周囲を全て覆うことのできる量の2kgとする。

ベールの梱包密度を高めることは、サイレージの品質を向上させるために重要であるが、梱包装置への過剰な供給は成形負荷を急増させ、細断収穫物の成形ができなくなる。そこで、図2に示すように梱包装置の成形チェンを駆動しているスプロケットの回転数を磁気センサで検出し、成形負荷が急増して回転数が大幅に低下した直後にスラットコンベアおよびベルトコンベア①の駆動モータを切り、梱包材料の供給を停止させる供給量制御装置を試作して取り付けた。なお、成形後にわらを投入する必要があるため、コンベア②は常時稼働させる。

結束されたベールは開いた成形室から放出されるが、ベールの放出位置が高く、落下衝撃力によってベールの両端面から細断収穫物が崩れるので、図2に示すように、ベール放出位置付近でベールを受け取る昇降台を梱包装置の下部に取り付けた。昇降台はリミットスイッチ付きの空気圧シリンダで支持し、成形室が開くと同時に上昇し、ベールを受け取ると降下してローラコンベアに送り出す動きをする。

(2) 密封

ベールの密封には、回転テーブル式の小型ベールラップ（T社製WM-500E）を用いた。写真1に示すように足踏みペダルで作動する空気圧シリンダでベ

写真1 小型ベールラップへの積み込み

ールが乗っている台面の片側を押し上げ、ベールを転がして小型ベールラップへ送り込む。

供試した小型ベールラップは、フィルムを150%引き延ばしながらフィルム幅の50%を重ね合わせて、ベール全体を被覆する。フィルムの巻き付け数は自動設定できるが、フィルム端のベールへの結びと被覆終了後のフィルムの切断は手動で行う。使用したフィルムは、片面に粘着のりが付着した幅25cm、厚さ25 μ mのポリエチレンを主成分としたストレッチフィルムで、フィルム色は白と緑である。

2) ハンドラ

梱包・密封されたベールの1個当たりの質量は50～70kgになる。しかもベールの保管方法は、横置きより縦置きの方がベール端面のフィルムのずれが少なく気密性が高い（萬田1994）。そこで、一人作業で横置きのパールを縦置きに収納できる簡易なハン

図3 ハンドラの外観図

表2 ハンドラの主要諸元

全長×全幅×全高	830×860×1640 mm
機体質量	70 kg
リフト装置	バッテリー駆動油圧シリンダ
挟持方法	片開きアーム式
挟持装置	空気圧シリンダ
揚 力	981N
挟持力	981N
揚 高	1170mm
昇降速度	60 mm/s

ドラ（宮崎ら1998）を試作した。

試作したハンドラの外観図を図3に、主要諸元を表2に示す。本機は揚力が981Nのバッテリー駆動の手押し式ハンドリフタを改良したものである。リフト部に固定アームと空気圧シリンダで水平方向に移動できる可動アームを取り付け、バールを挟んで持ち上げる。両アームのバール挟持部はバール周囲のフィルムの破損を防止するためゴムマットを表面で覆った回転自在の回転板であり、横置きになっているバールの片側寄り部分を挟み上昇させると、写真2に示すようにバールはその自重により回転板を90度回転させ、縦方向に持ち上げられる。この状態で運搬し、可動アームを開くことによってバールを縦置きに積み上げることができる。アーム部の挟持力は981Nであり、揚高1170mm、リフト部の昇降速度は60mm/sである。

3) 給餌車

通路の狭い舎内での給餌作業を容易にするため、写真3に示すような簡易な一軸二輪の手押し式給餌車を試作した。本車は、箱形荷台の前側の仕切り板を長くしており、給餌車を前に倒して荷台の仕切り板にバールを転がして載せた後、給餌車をてこの原

写真3 給餌車

全長×全幅×全高：140×90×78cm、機体質量 44kg

理で元を起こすことによってバールを荷台へ収納することができる。荷台はバールの大きさより広く、荷台上でバールの被覆フィルムとトワインを取り除くことができ、バールを手でほぐして運搬しながら配餌する。

3 試験方法

本体系を評価するため、トウモロコシの細断収穫物を用いて、梱包・密封作業性、ミニロールバールサイレージの品質評価及び給餌作業時間を調査した。

1) 供試材料

四国農業試験場内で4月中旬に播種し、7月下旬の黄熟初期（刈取時含水率74～78％）と8月初旬の黄熟後期（同・65～70％）に収穫した平均切断長1.6cmのトウモロコシを用いた。供試材料は、土砂の混入や病虫害の被害はなく良質であった。収穫にはコーンハーベスタ（K社製KF900J）を前装した多輪型汎用作業車（K社製1350D）を用いた。また、バールの梱包用に用いた稲わらは十分乾燥したもので、平均長は97cmであった。

2) 梱包・密封作業性

梱包作業は、梱包装置の供給量制御装置をスプロケット回転数が成形負荷の上昇により無負荷時より20％低下した時に作動するように設定して作業を行い、梱包装置の梱包ロスと梱包形状、並びに梱包作業時間を調査した。密封作業では、小型バールラップによるフィルムの巻き付け数を2重巻き（4層）とし、密封したバールはハンドラを用いて、屋内のコンクリート面に縦置き2段で収納した。なお、小型バールラップと貯蔵場所までの平均搬送距離は5mであった。測定項目は、密封作業時間、収納作業時間等であり、バールの合計質量と材料供給開始から

写真2 ハンドラによる運搬作業

収納までの全作業時間から調製能率を算出した。なお、梱包・密封作業は収穫後3時間以内に行った。

3) ミニロールベールサイレージの品質評価

調製したサイレージについて、貯蔵期間中のサイレージ温度、排汁量及び発酵品質を調査した。サイレージ温度は、ベール表面から5cmの位置とベール中心部に熱電対を挿入して、30分間隔で計測しデータログで記録した。排汁量は密封時と開封時のベール質量から求めた。発酵品質については、密封したベール3個から分析用試料を取り出し、水分、pH、水蒸気蒸留法による全窒素(TN)に占める揮発性塩基態窒素(VBN)の割合、高速液体クロマトグラフ法による有機酸分析を行った。また、サイレージの評価は、粗飼料の品質評価ガイドブック(自給飼料品質評価研究会1994)のV-SCOREを用いた。なお、分析は香川県畜産試験場に依頼した。

4) 給餌作業時間

香川県観音寺市の酪農家(経営主石井善文氏)へ調製したミニロールベールサイレージを供給し、試作した給餌車を用いた給餌作業時間を調査した。給餌通路は幅が1.5mであり、幅1.5mのません棒式ストールの対尻式2列配置の乳牛46頭に1日1頭当たり2kgを給与した。なお、供給したミニロールベールサイレージは黄熟後期に収穫・調製したトウモロコシであり、供給量は1998～99年にかけて約12tであった。

4 試験結果及び考察

1) 梱包・密封作業性

本体系における梱包・密封作業の所要作業員は3人であり、それぞれの作業内容は①ローダによる荷受けホッパへの材料投入、②梱包装置へのわらの投入と梱包ベールの放出操作、③小型ベールラップの運転とハンドラによる密封されたベールの収納である。

梱包装置の梱包ロスと梱包形状を表3に示す。供給量制御装置により、梱包装置での詰まりはなく、細断されたトウモロコシは円滑にベールに成形された。また、わらをベール成形後に投入することで、梱包されず成形室に残る材料が少なくなり、しかも昇降台によってベールが受ける落下衝撃力が緩和され、ベール放出時の梱包ロスは投入量の4%以下になった。また、ベールの周面をわらで覆うことによってベール形状が整い、小型ベールラップによるフィルムの巻き付け損失がなく、フィルム被覆の仕上がりは良好であった。

表3 梱包装置の梱包ロスと梱包形状

材 料	トウモロコシ	
	黄熟初期	黄熟後期
刈取時期		
材料含水率(wb%)	76.2	67.4
梱包ロス(%)	3.2	3.6
梱包形状	円筒状・直径45cm×幅68cm	
梱包容積(m ³)	0.11	0.11
梱包質量(kg)	68	55
	(標準偏差2.3)(標準偏差2.5)	
梱包密度(kg/m ³)	618	500

注) 1. 材料の平均切断長16mm

2. 梱包形状及び梱包質量はベール55個の平均値

梱包されたベールの大きさは平均直径45cm、平均幅68cmの円筒状であり、容積は0.11m³であった。梱包質量は、材料の含水率が高いほど重くなり、黄熟初期の場合で68kg、茎葉が枯れ上がってくる黄熟後期では55kgであった。梱包密度は黄熟初期で618kg/m³、黄熟後期で500kg/m³と大型の塔形サイロには及ばなかった(高野ら1989)が、人力踏圧程度の梱包密度を得ることができた。なお、梱包質量の標準偏差は2.3～2.5kgと小さく、供給量制御装置により梱包量を制御するのに有効であることが確認できた。

試作したハンドラを用いることによって、ベール表面のフィルムを傷つけることなくベールを一人作業で収納することができた。また、ハンドラは小回りが効くため、狭い貯蔵場所でも容易に2段に積み上げることができた。

本体系の調製能率を表4に示す。材料の供給開始

表4 調 製 能 率

材料	トウモロコシ
材料含水率	68.8%
作業人員	3人
ベール個数	115個
ベールの合計質量	6405kg
全作業時間	5.22h
梱包時間	2.4分/個
密封時間	1.3分/個
収納時間	0.8分/個
1時間当たり調製個数	22個/h
調製能率	1227kg/h

注) 1. 貯蔵場所への運搬距離：5m

2. 全作業時間は梱包・密封・収納を含む

3. 調製能率＝ベールの合計質量/全作業時間

からベールを放出するまでの1梱包当たりの梱包時間は2.4分であり、小型ベールラッパへの積み込みからフィルム被覆（2重巻き）までの密封時間は1.3分、ハンドラによる2段縦積みまでの収納時間は0.8分であった。3人の組作業では梱包作業中に密封と収納作業をほとんど行うことができるため、調製能率は密封・収納作業の能率に影響を受けない。従って、本試験では6405kgの材料を5.22時間で梱包から収納まで処理することができ、1.2t/hの調製能率を得ることができた。なお、1時間当たりのベール調製個数は22個であった。

なお、本体系は施設型サイロに比べて広い貯蔵面積が必要になり、ベール100個当たりの貯蔵面積は2段縦積みで14m²であった。

2) ミニロールベールサイレージの品質評価

表5に収穫時期別のミニロールベールサイレージの品質を示す。なお、貯蔵期間中に虫やねずみ等によるフィルムの破損はなかった。

サイレージの温度は屋内貯蔵のため表面と中心部で差がなく23～31℃と急激な温度上昇は認められなかった。このことはベール内への空気の入りがなく、フィルムによる気密性が高いことを示している。黄熟初期に調製したサイレージでは、貯蔵後1～2日目から滲出液がフィルムから漏出し、梱包形状が変形した。なお、貯蔵90日間の排汁量は4～5kgであった。一方、材料の含水率が70%以下の黄熟後期では排汁が認められず、ベールの変形もほとんどなかった。

黄熟後期に調製したベールを開封した時の外観は、ベール周囲のわらの一部に白カビが認められた

が、サイレージは黄緑色の甘酸なる芳香をもっていた。一方、黄熟初期に調製したサイレージはベール底部の水分が高く、その部分は褐色のアンモニア臭を呈した。

発酵品質の分析結果では、刈取時期別の差はなく、pHが4以下と低く、VBN/TNの割合も5%以下であった。また、酪酸や酢酸の生成も少なく、V-SCOREの評点は87～93と高く、良質なサイレージであることが確認できた。

3) 給餌作業時間

給餌車を用いた給餌作業時間を表6に示す。ベールを運搬車へ収納するのに要する力は98Nと小さく、女性でも楽に行うことができた。トウモロコシは細断されているため、フィルムとトワインを除去するとベールは簡単にはぐれ、ベールの積み込みから配餌作業に入るまでのベール解体作業時間は1.5分/個と短時間であった。また、配餌作業時間は46頭当たり9分であった。従って、給与量2kg/頭/日のベール解体と配餌を含めた給餌作業時間は16秒/頭と能率的であった。

乳牛の採食性は良好であり、しかも細断物であるため採食時の引き込みや食い散らしがなく、梱包用に巻き付けたわらの嗜好性も高かった。酪農家からは、冬期に新鮮なサイレージを楽に給与できたと高い評価を得た。

4) 考 察

四国地域の酪農経営は小規模であり飼料畑も狭い。そのため、大型のトラクタと施設型サイロを組み合わせたホールクロップサイレージ調製技術では、大型過ぎたり過剰投資をまねく恐れがある。しかし、ここで開発したミニロールベールサイレージ体系は、細断収穫したトウモロコシを機械圧縮でミニロールベールに成形してわらと結束ひもで梱包し、フィルムで密封するため、施設型サイロやサイレージの取り出し作業に必要なサイロアンローダが

表5 ミニロールベールサイレージの品質

刈取時期	黄熟初期	黄熟後期
貯蔵期間(日)	97	90
サイレージ温度(℃)	23～30	23～31
排汁量(kg)	4～5	0
水分(%)	75.4	65.1
pH	3.75	3.93
VBN/TN(%)	4.33	4.37
酢酸+プロピオン酸(%)	0.89	0.88
酪酸～カブロン酸(%)	0.06	0.00
評点	87	93
評価	良	良

注) 評点・評価は「粗飼料の品質評価ガイドブック」のV-SCOREによる。

表6 給餌車による給餌作業時間

牛 舎	対尻式2列配置
給与頭数	乳牛46頭
給与量	2kg/頭/日
ベール解体作業時間	1.5分/個
配餌作業時間	9分/46頭
給餌作業時間	16秒/頭

注) 給餌作業はベール解体と配餌を含む

不要であり、サイレージ調製のための機械施設費を低く抑えることが可能となる。

細断したトウモロコシを安定して良質なサイレージに調製するためには、サイロ内に高密度で貯留する必要がある。塔形サイロでは、材料を高く積むことにより自重で高密度にし、バンカーサイロなどの水平サイロや小容量のバックサイロ及びドラム缶サイロ（高野ら1993）では、トラクタや人力による踏圧作業が行われている。しかし、本体系では、梱包装置によって機械圧縮が行われているため、小容量であっても踏圧作業を省くことができる。しかも、梱包したバールに直接フィルムを巻き付けているため気密性が高く、大型のサイロで調製したサイレージと遜色のない良質なサイレージに調製することができた。ただし、滲出液が生じる高水分材料（含水率が70%以上）では、バール底部の水分が高くなり、品質の低下をまねく恐れがある。このため、含水率が70%以下になる黄熟後期の収穫物を調製する必要がある。

ミニロールバールサイレージ体系が現地に定着するためには、高品質な粗飼料が簡単に調製できることに加えて、毎日の給餌作業が楽に行えることが大切である。本体系では、細断された材料が小容量のバールに梱包されているため運搬やバールの解体が容易であり、試作したような簡易な給餌車で舎内給餌が濃厚飼料と同様に楽に能率良く行うことができる。さらに、小容量であるため、飼養管理計画に応じた適量給餌がしやすい利点もある。

本体系における一連の収穫調製作業は、収穫1人、圃場からの収穫物運搬1人、調製作業に3人の計5人の組作業が必要になるが、取り扱いが容易で安定した良質なサイレージを調製できることから、小規模経営の畜産農家の共同生産に適合すると考えられ、粗飼料の自給率の向上に寄与し得る体系であると判断される。

5 摘 要

高品質で取り扱いが容易な小規模酪農経営向けのトウモロコシホールクロップサイレージ調製技術を確立するため、ミニロールバールサイレージ体系を開発し、本体系の作業性と発酵品質及び給餌作業時間について検討した。

1) 試作した調製装置は、コーンハーベスタで収穫したトウモロコシを機械圧縮でミニロールバールに成形してわらと結束ひもで梱包し、フィルムで密

封するものである。本体系の材料供給開始から収納するまでの調製能率は、3人の組作業において1.2t/hであった。

2) 本体系ではトウモロコシを良質なサイレージに調製でき、舎内での給餌作業も容易に行える。

キーワード

トウモロコシホールクロップサイレージ、ミニロールバール、ラッピング、発酵品質

引用文献

- 1) 自給飼料品質評価研究会編(1994)：粗飼料の品質評価ガイドブック，社団法人日本草地協会；79-83
- 2) 萬田富治(1994)：ロールバールサイレージシステムの基本と実際，酪農総合研究所；60-68
- 3) 宮崎昌宏・岡崎紘一郎・長崎裕司(1993)：ミニロールバールラッピング処理技術の開発 第1報 車載式細断物梱包装置の開発，農作業研究，28(2)；109-114
- 4) 宮崎昌宏・藤川益弘・関浩二・猪之奥康治・角川修・田中宏明(1998)：小型ラップサイロ用ハンドリング装置，特願平10-309896
- 5) 農林水産省統計情報部(1998)：畜産統計，農林水産統計報告10-6（構造-2）；22-23
- 6) 高野信雄・佳山良生・川鍋祐夫監修(1989)：粗飼料・草地ハンドブック，養賢堂；597-612
- 7) 高野信雄・大桃定洋・瀬川敬・土屋忠雄・荒智(1993)：サイレージ用ドラム缶サイロの活用と効果(4)，畜産の研究，47(2)；31-36
- 8) 内田仙二編(1999)：サイレージ科学の進歩，(株)デーリィ・ジャパン社；250-272

Summary

1) A small-bale wrapping system for making whole crop silage of corn was developed as a suitable system for small dairy farmers to produce packed silage of high-quality.

2) The system is composed of the small round baler, the bale wrapper and the handler of bales. Corn chopped by a forage harvester is carried to the system, then compressed and packed by the small round baler. Before winding twine around a bale, some rice straws are added due to bind the chopped corn. The bale wrapped by plastic films is highly handled by using the handler.

3) The operation of the system needs three workers and the rate of work was 1.2 t/h.

4) By investigation of products, it was concluded that the quality as silage was high.

5) The feeding time for 46 heads in a stanchion stall barn was only 9 minutes.

Key words

Corn Whole Crop Silage, Small Bale, Wrapping,
Fermentation Characteristics