

農業機械化研究所報告

第 22 号

Technical Report

of the

Institute of Agricultural Machinery

(Nogyo Kikaika Kenkyusho)

Omiya, Saitama, Japan

No.22 December 1987

農 機 研 報

Tech. Rep.
Inst. of Agric.
Mach.

22 : 1-67

1987

昭和62年12月

生物系特定産業技術研究推進機構

農 業 機 械 化 研 究 所

埼玉県大宮市日進町1丁目

農業機械化研究所報告第 22 号正誤表

ページ	行	誤	正
表紙	上 17	22:1- <u>67</u>	22:1- <u>68</u>
26	上 3 右	これよ必要	これより必要
34	上 35 左	$+\mu_2 l_1 \pm Wgh \}$	$+\mu_2 l_1 \pm Wgh \} \dots\dots (16)$

生物系特定産業技術研究推進機構
農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery

(Bio-oriented Technology Research Advancement Institution)

編集委員会

Editorial Committee

橋 本 寛 祐 (委員長)

Hirosuke HASHIMOTO (Chief)

篠 崎 浩 之

Hiroyuki SHINOZAKI

伴 敏 三

Toshizo BAN

桑 名 隆

Takashi KUWANA

三 浦 恭 志 郎

Kyoshiro MIURA

金 津 豊 彦

Toyohiko KANATSU

Technical Report of the
Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho Hokoku)

No.22 (December 1987)

CONTENTS

1. Kenzou SUSAWA · Sadao SASAYA · Kazutomo ICHITO · Hisashi
HOSOKAWA: Studies on the Development of Unloading and Feeding
Machines for Chopped Forage and Straw 1
2. Kenzou SUSAWA · Sadao SASAYA: Apparent Densities of Straws .. 55

細断粗飼料・藁稈類用排出・供給装置の開発研究

諏澤*・笹谷**・市戸***・細川****

1987-07-20 受理

抄 録

諏澤・笹谷・市戸・細川：細断粗飼料・藁稈類用排出・供給装置の開発研究。農機研報22：1-54（1987）

大家畜用に貯蔵した飼料の取り出しや運搬、給与は、現在でも人力作業に頼る部分が多い。そのため、作業能率、労働強度、作業環境、安全性などの立場から見て、多くの問題を残している。

本開発研究は、ビンやサイロに貯蔵した細断粗飼料・藁稈類等の取り出しと、供給をより簡易な方法で機械化し、これらの問題の解決を図るために行った。

支柱上に設置した円筒ビンやサイレージ用サイロの直胴底面に、材料切断長より広い間隔でスノコを張設した。架橋・閉塞現象を利用して、詰め込み、堆積時はスノコから材料が漏下するのを防ぎ、取り出し時は、スノコから少ない動力で材料を掻き出すことができる半自動下方取り出し装置を開発し実用化の見通しを得た。

さらに角型ビンにこの方式を応用して自動下方取り出し装置を開発し、細断した粗飼料・藁稈類等の乾・湿（生）材に対して定量性の高い取り出しができることを実証した。

より厳密で精度の高い供給を必要とする調製加工プロセスに適応できるように、S型フライトコンベヤをベースとした定流量供給装置を開発し、それと角型ビンを組み合わせることでその精度等を明らかにした結果、実用性が認められた。

これら開発した一連の排出・供給装置を使った応用事例を述べ、その効用を明らかにした。

1. 緒 論

大家畜経営農家が行う各種作業の中で、大きな比重を占めるのは、物を動かす荷役的な部門である^{1), 2)}。特に、飼養管理にこれが占める割合が非常に大きい。搾乳牛では年間1頭当たり163時間、肥育牛で39時間が飼養管理労働にさかれている。この内、飼料の取り出し、運搬、調理・給与にかかわる材料ハンドリングが、全労働時間の30～60%にも達する³⁾。しかも、取り扱う飼料の量は、年間1頭当たり最低でも5～6t（風乾換算）は必要とする^{4), 5)}労働集約型作業で、飼料給与システムの合理化、効率化が求められている²⁾。このような飼料

給与システムの確立には、できるだけ人手を使わず、効果的に物を動かすようにすることが重要である。特に、原料の取り出しという最初の工程の技術的確立が第1の関門である。大家畜飼養では、飼料の一時的あるいは長期的貯蔵が不可欠で、そのために一般に倉庫や貯槽が準備されている。ここより飼料を取り出し、直接給与、あるいは加工や各種の飼料を混合調理して給与される。このような施設で、粗飼料用の代表例がサイレージ用サイロと乾草舎である。

サイロからのサイレージ取り出しの機械化は、年間にわたって欠かさずこれを給与する通年給与方式の普及とともに、ますます重要度を増している^{6), 7)}。垂直円筒型サイロで容積50m³を越えるものの下方取り出し装置（Bottom unloader）や上方取り出し装置（Top unloader）に関しては、我が国でも開発研究が行われ^{8) ～11)}、国産・輸入装置共に利用されている。しかし、50m³以下の小型サイロからのサイレージ取り出しの機械化は遅れており、人力作業による取り出しが多い。しかも、

* 研究第3部（現農林水産省北海道農業試験場）

** 研究第3部（現検査部）

*** 研究第3部（現農林水産省草地試験場山地支場）

**** 研究第3部（現農林水産省九州農業試験場）

ここ2カ年間(昭和57、58年)の市販サイロの出荷状況¹²⁾からみると、全出荷台数に対して10~60m³の小型サイロが50%前後、さらに、10m³未満の超小型サイロが37%前後を占める。このようなことから、最近では小型サイロからのサイレージ取り出しの機械化の要望が非常に大きいと言える^{13), 14)}。

また、サイレージ用サイロ内、広くは穀物、飼料用サイロ内は、酸素欠乏症が発生する特定の作業場所であり¹⁵⁾、サイロ内作業は死亡という危険を伴う場合もある¹⁶⁾¹⁷⁾。サイロ内に立ち入る作業は、原則として排除すべきであり¹⁸⁾、サイレージ取り出しの機械化は、サイロ容積規模の大小にかかわらず極めて重要である。

一方、乾草倉からの材料の取り出しは、粗飼料の貯蔵形態が長ものでバラ、梱包、細断と種々あるため、現在でもほとんど機械化されていない。

これまで伝統的に粗飼料と濃厚飼料を分離給与していたのに対して、最近の給与技術の動きの中で、粗飼料と濃厚飼料を混合した完全飼料(Complete feed)の調製と給飼が、注目を集めている^{19)~21)}。この場合、粗飼料については、細断または粉碎しておくことが飼料混合の前提となる。また、完全飼料調製の作業からみて、細断粗飼料用の貯留ビンと、これからの取り出し、供給の機械化は欠かせないものである。

飼料自給基盤の弱い我が国においては、藁稈類に代表される未利用・低利用資源についても飼料化の要望が強い²²⁾。しかし、これらは粗剛で低質なために、積極的な利用に当たっては、嗜好性の向上、栄養価の向上が必要となる^{23), 24)}。同時に、飼料化のための調製・加工は必須である^{25)~27)}。このような藁稈類の飼料化のための調製・加工装置においても、材料貯蔵ビンと排出・供給の機械化を必要とする。しかも、これら脇役的なものが、調製・加工装置の性能、生産費に大きく影響を与えることは明らかである²⁸⁾。しかし、細断粗飼料、藁稈類用の貯槽や排出・供給のための機械化に関する研究は極めて手薄で、今後の開発研究に待つところも多い^{29)~31)}。

これまで述べたように、施設内では最初の作業プロセスとなる貯蔵飼料の取り出しや運搬は、現在でも人力作業による部分が非常に多い。それだけに、作業能率、労働強度、作業環境面から多くの問題が残されている。このような問題は、機械化以外には解決できないと言える。

しかし、これらの機械化を困難にしている条件が、細断粗飼料に多数潜在している。材料の種類、取り扱われ

る水分、荷姿、切断長など広範、多岐にわたり、しかも、物理的性質からみて取り扱いにくい材料であり、バルクハンドリング技術の体系化を一層困難にしている。

以上のような背景と条件のもとで、本研究は、将来の粗飼料給与技術、未利用・低利用資源の飼料化技術の展望を踏まえながら、新しい構想に基づき「細断材料の貯蔵と取り出し、供給を機械化」し、このような粗大物質のハンドリング時における作業能率、作業環境、省力等において当面する諸問題を解決しようとした。

すなわち、この研究では、細断材料のバルクハンドリングの際に、非常にやっかいな問題として取り扱われている物理的性質の架橋・閉塞現象に着目し、これらを積極的に利用して、スノコでの堆積、さらにスノコから少ない動力での材料の掻き出しを行おうとした。また、サイロからサイレージを機械的に下方から取り出す場合には、従来から大きな動力を要しており、このようなサイロにおいても、スノコと架橋・閉塞現象を利用して、少ない動力でサイレージを取り出そうとした。

第2章では、材料切断長より広い間隔のスノコで基礎的な実験を行い、材料がスノコで堆積できることを明らかにした。次に、この閉塞・架橋現象を利用し、少ない動力でスノコから材料を掻き出しできるかどうか、細断乾草用とサイレージ用の装置を試作して実証のための研究を行い、その可能性を明らかにした。しかし、これらの装置はいずれも半自動であった。

第3章では、これらを実用化に一步近付けるため、前章の装置を応用・発展させ、「自動取り出し装置付角型ビン」を開発し、スノコによる材料堆積と、自動取り出しによる機械化が達成されたことを述べた。

第4章では、調製加工プロセスにおいて、より厳密な排出・供給が要求されることがあるため、第3章で開発した装置を応用し、さらに定流量供給装置を開発した。これにより、安全確実に材料を排出・供給できるようになり、所期の目的を達成したことを述べた。

第5章では、開発した排出・供給装置が多面的に利用できることから、その応用例について紹介し、その効用を明らかにした。

なお、本研究で開発した一連の装置の内、種々の細断材料に適用し得る貯蔵ビン用下方取り出し装置は、粗飼料の取り出し装置として昭和56年に実用新案³²⁾に登録され、取り出し装置付貯蔵ビンと定流量供給装置を使って展開した飼料調製加工用機械の開発研究では、粉碎機、脱水機等が特許^{33)~36)}及び関連実用新案³⁷⁾に登録さ

れており、また、現在、関連する実用新案を出願中³⁸⁾であることを付記する。

2. 円筒ビン用下方取り出し装置の開発研究

底面に開口部のあるホッパ状貯蔵ビンでは、開口部を開けただけで細断粗飼料を連続して流出させることは困難である。これは材料の摩擦や絡み付きにより、材料が簡単に架橋や閉塞などの現象を起こすためであり、細断粗飼料は穀粒などに比較して、極めて流動性の悪い材料と言える^{39), 40)}。

ここではこのような細断粗飼料の物理的性質を利用して、貯蔵ビンの下方から細断粗飼料を強制的に取り出す方法を考案した。その基本構想は、円筒ビンの下面に、同心円状に一定間隔でスノコを張設し、これにより平常時は材料の閉塞現象を利用して、円筒ビンに堆積した材料のスノコからの漏下を防止する。排出時は、スノコ上に円筒ビン中心からビン内壁面に向かって配置したスイープロータを回転させるとともに、円筒ビン中心を軸として水平に回転させ、材料を下方から強制的に取り出す³²⁾。この方式は、従来のサイレージ用サイロの下方取り出し装置（ボトムアンローダ）^{41), 42)}などにみられる機構とは、全く異なるものと言える。

そこで本章では、この基本構想を踏まえ、材料切断長よりも広いスノコ間隔のもとで、細断材料の架橋・閉塞現象を利用したスノコによる材料堆積の可能性を明らかにするための基礎実験を行い、このことを確認した。

次いで、スノコに堆積した細断材料を少ない動力で機械的に取り出しできるのかどうか、実証のための研究を行った。これには、取り扱い易い種類の細断材料の代表例として乾草、取り扱いにくい材料として発酵粗飼料のサイレージを供試し、それぞれに設計・製作した装置で基礎的な検討を加え、その可能性を明らかにしようとした。

2.1 細断粗飼料の閉塞特性

スノコ（またはスリット）やオリフィスなどについて、粉粒体を用いた場合の閉塞限界流出口の大きさを求める各種の実験式、理論式が求められている^{43), 44)}。庄司ら⁴⁵⁾も非圧縮性の玄米、粳を用いた槽内流動に関する実験的研究により、これらのスリット流出時の限界幅を「粒子の流出限界比」で示すことを提唱し、この比の最小値は3.2内外であることを明らかにしている。しかし一方では、粒子の大きさ、形状、水分、圧縮性など複雑な

要因が絡むほど、この閉塞限界流出口の大きさについては、取り扱う粉粒体を実際に使用し、簡便な予備実験で求めた方がより正確な推定ができる⁴⁶⁾、と言われている。ここで対象とする細断粗飼料などの閉塞限界流出口の大きさに関しては、ほとんど明らかにされていない。従って本節では、スノコを底面に張設した実用的な円筒ビンを試作して基礎的な試験を行い、スノコ間隔と細断材料閉塞の関係性を明らかにしようとした。

2.1.1 実験装置

図1に示すように内径1870mm、高さ1890mmの支柱付円筒ビン（地上高2.49m）を試作し、円筒ビン底面にはビン中心から放射状に8本のスノコ支持棒を出し、これらをビン壁端で固定した。この上に配管用炭素鋼鋼管を使用し同心円状に等間隔でスノコを形成させた。スノコ間隔は50、100、200、300mmのそれぞれに調節できる。

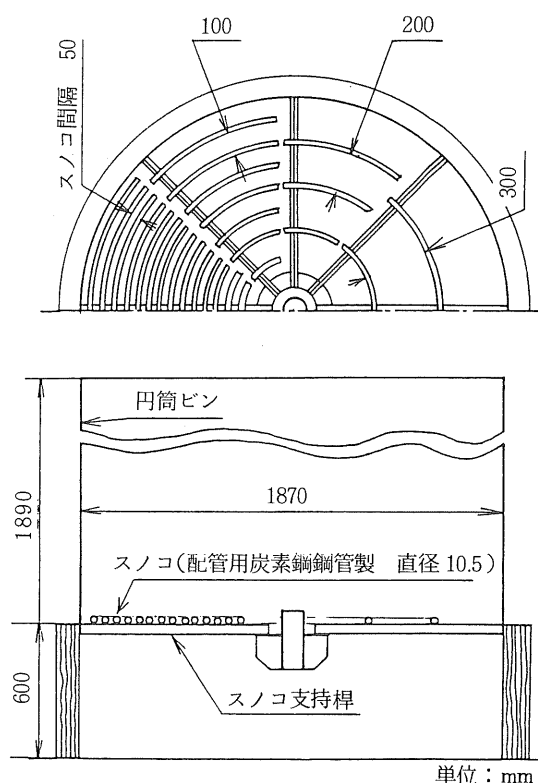


図1 閉塞特性実験装置

2.1.2 実験方法

それぞれに調節したスノコ間隔で、スノコから50 cm前後の堆積高さになるまで材料を投入し、材料表面を均平にした。その後、スノコから漏下した材料を取り除き、閉塞状態を調査した。

供試した材料は、ホイールカッターで細断した乾草（草種：イタリアンライグラスとオーチャードグラスの混播牧草、平均含水率11%）である。常法⁴⁷⁾により測定した材料切断長毎の本数及び質量分布を表1に示す。平均切断長は16.6 mmであった。

表1 供試材料の切断長分布と平均切断長

切断長 ℓ mm	切断長 中心値 mm	本数 割合 %	質量 割合 %
$0 < \ell \leq 5$	2.5	20.4	2.9
$5 < \ell \leq 10$	7.5	14.7	6.3
$10 < \ell \leq 15$	12.5	16.0	11.9
$15 < \ell \leq 20$	17.5	23.6	27.9
$20 < \ell \leq 25$	22.5	9.7	13.1
$25 < \ell \leq 30$	27.5	6.1	7.5
$30 < \ell \leq 40$	35.0	3.8	8.9
$40 < \ell \leq 50$	45.0	2.2	6.4
$50 < \ell \leq 75$	62.5	2.2	6.9
$75 < \ell \leq 100$	87.5	0.8	3.6
$100 < \ell \leq 150$	125.0	0.5	5.1
$150 < \ell$	—	0.0	0.0

平均切断長 mm	標準偏差 mm	変動係数 %
16.6	15.5	93

2.1.3 結果と考察

図2に示すように、材料投入初期はいずれのスノコ間隔でもスノコから材料が漏下することは避けられない。なお、各々のスノコ間隔において、初期の材料漏下量の再現性は高くなかった。これは円筒ビンへの材料投入に箕を使用したため、投入毎の量の多少、投入後の均平作業法等により、スノコ上の材料閉塞性が異なったためと思われる。しかし、材料投入初期におけるスノコからの材料漏下量は、スノコ間隔が最も狭い5 cmの場合が最も

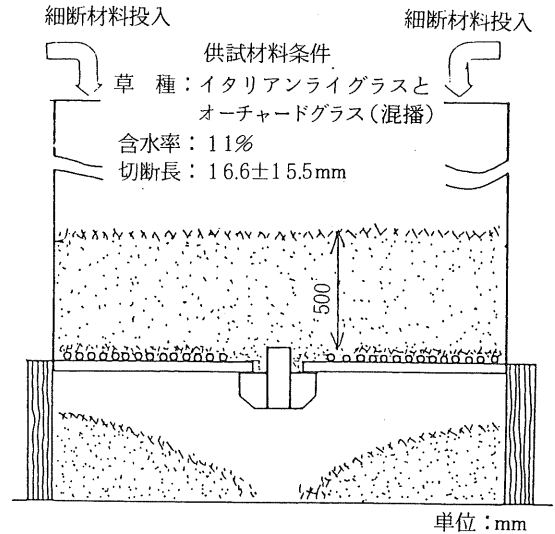


図2 細断材料投入時の様態

少なく、30 cmの場合が最も多くなる傾向にあった。これは、スノコ間隔が狭い程、スノコ上で部分閉塞が早く起き易く、これが核となってスノコ全面に閉塞が広がって行く場合が多かったことによる。これに対してスノコ間隔30 cmでは、投入初期の材料はスノコからはほとんど漏下し、スノコ直下まで材料で埋まる時もあった。

50 cm堆積後、スノコ下に漏下した材料を静かに取り除いた時の、各々のスノコ間隔における材料閉塞状態を図

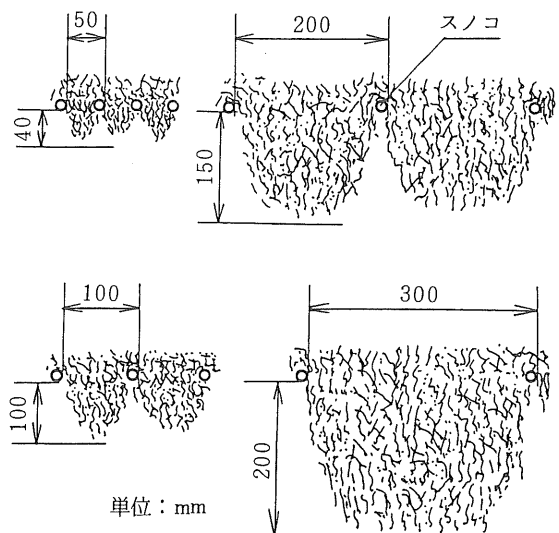


図3 スノコ間隔と材料閉塞特性の関係

3に示す。スノコ間隔が広くなる程、スノコからの材料の垂れ下がりが大きくなる現象が認められる。この程度は、ビン中心付近よりも壁面に近くなる程大きくなる傾向にある。図3にはこの時の最大垂れ下がり部分の長さを示している。特に、これは、20cmや30cmのスノコ間隔で全般的に大きいものであったが、この部分を掻き取って平らにしても、そのままの状態であった。このことは、平均切断長 16.6mmの細断乾草が、この長さの約18倍ものスノコ間隔でも十分閉塞を起こすことを示している。

以上から言えることは、いずれのスノコ間隔でも細断乾草は完全に閉塞現象を起こすことであり、スノコで堆積できることが明らかになった。

このような架橋・閉塞現象のもとでは、スノコ間の閉塞材料の応力は、垂直圧よりは側圧に分散されていることになる。このため、スノコ間で閉塞している材料は、僅かな力で取り出しできると考えられる。

2.2 円筒ビン用下方取り出し装置の試作と実験

前節では、スノコによる細断乾草の堆積が十分可能なることを明らかにした。このような堆積方法のもとで、スノコから安定してしかも少ない動力で堆積材料を取り出しできるかどうか、本節では、細断材料としては取り扱い易い種類に入る細断乾草を対象にした下方取り出し装置付円筒ビン进行設計・製作して、基礎的な実験によって検討し、このことを実証しようとした。

2.2.1 下方取り出し装置の構造と作用

1) 構造

円筒ビンから機械的に材料を取り出すための既存装置の基本プロセスでは、①材料を掻き取る、②掻き取った材料を1カ所に集める、③それをビン外へ取り出す、となる場合が多い⁴⁸⁾。この他、①と②または②と③を同時に行わせる場合もある。試作した実験装置は、スノコ下にホッパを装着し①～③を同時に行わせることを想定している。実験装置の概略構造を図4に、主な仕様を表2に示す。円筒ビンは材料閉塞特性把握実験に用いたものを代用し、これに下方取り出し装置を試作・装着した。

(1) スノコ

放射状スノコ支持棒を利用して、これより100mm上にスノコを取り付けた。スノコ間隔は、ビン中央の円板状フレーム外端から、最初の鋼管製リングまでの間隔を150mm、最外側リングと内壁面との間隔を40mmとし、他は100mm間隔にリングを張設し、リング数7本で同心円状にスノコを形成させた。

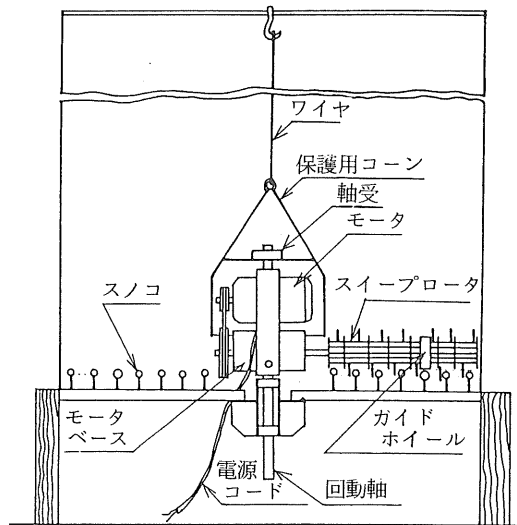


図4 実験用下方取り出し装置付円筒ビンの構造概要

表2 実験用下方取り出し装置付き円筒ビンの主な仕様

1. 円筒ビン	内径：1870mm、高さ：1890mm、有効容積：4.92m ³
2. スノコ（配管用炭素鋼鋼管、外径 10.5mm 及び 17.3mm）	リングを同心円状に張設、本数：7、リング基本間隔：100mm
3. スクリーンロータ	駆動方式：Vベルト駆動、回転数：400min ⁻¹ 、材料掻き取り作用長：650mm
1) 掻き取り板	形状：正六角形、対角長：80mm、個数：7
2) 掻き取り爪	形状：スプリングタイン（両爪）、線径：3mm（ピアノ線）、個数：13、爪本数：26、先端回転軌跡径：110mm、爪先端周速度：2.3m/s
3) ガイドホイール	外径：80mm、幅：20mm、個数：1
4. スクリーンロータ駆動用モータ	電源：単相 100V、定格出力：400W、回転数：1450min ⁻¹ （50Hz）
5. 保護用コーン	最大外径：500mm、高さ：500mm、円錐部内角：60°、懸吊用ワイヤロープ径：3.15mm

(2) スクリーンロータ

材料掻き落とし用スクリーンロータには単相 100V一定格出力 400Wのモータを搭載し、円筒ビン水平断面中心

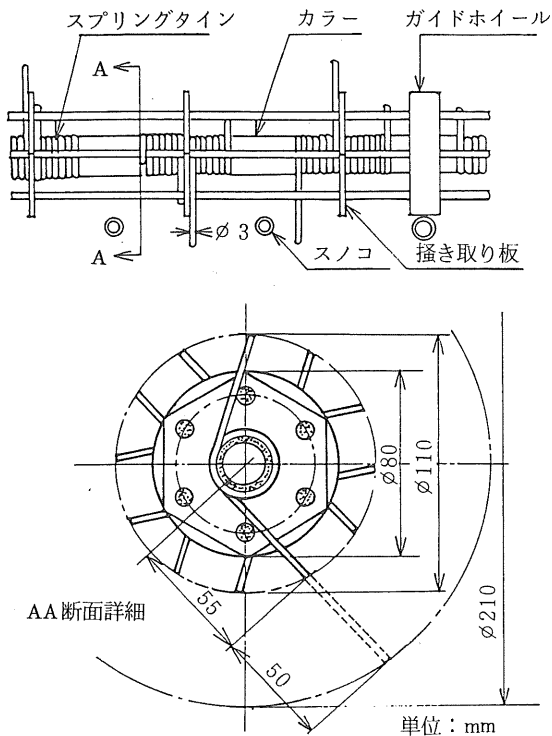


図5 スイープロータの構造概要

を回転軸としてスノコ上を自由に回転できる。スイープロータには材料掻き取り爪(スプリングタイン)、及び掻き取り板をスノコ間で作用するように一定間隔で配置するとともに、ガイドローラを取り付けてリング上を回転させる。スイープロータの詳細を図5に示す。この回転は回転下部軸端にラチェットハンドルを装着し、このハンドルを介して手で強制的に回転推力を与えて行う。

(3) 駆動部保護用コーン

モータ及びスイープロータ駆動部を保護する保護用コーンは、スイープロータ回転時も常に固定位置を保持するように、回転上部軸端に軸受を介して支持され、ワイヤーロープでサイロ上部から懸吊されている。

2) 作用

この装置で基礎実験データを得るため、先述した回転下部軸端にラチェットハンドルを装着し、これからスイープロータに一定トルクを付与した。

図6にラチェットハンドルの構造を示す。同じ位置でハンドルを左右に動かし一定方向にトルクを与えることができ、ラチェット爪を切り替えることにより、回転軸に左回りまたは右回りのトルクが与えられる。このハン

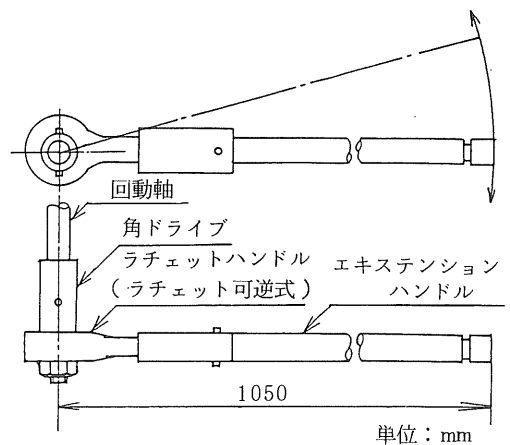


図6 手動用回転ハンドルの構造概要

ドルでスイープロータを強制的に回転させる。回転方式は、図7に示すようにスイープロータを回転させながら、ラチェットハンドルで一定方向に1周回転させた後、スイープロータの回転方向を切り換え、逆方向に1周回転させる往復回転方式とした。

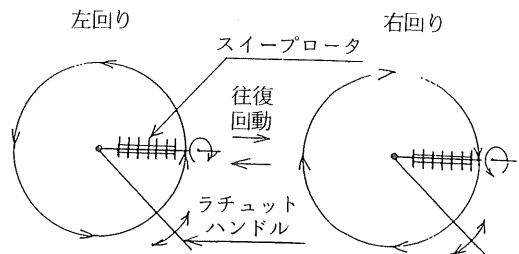


図7 スイープロータ回転のさせ方

以上のような回転で、スイープロータによる材料掻き取り・排出には、図8に示すように2通りの方式がある。一つは、スイープロータの回転による進行方向と同方向に回転トルクを与えて、材料を上から下に向かって掻き取り・排出するダウンカット方式である。これに対して、スイープロータの回転による進行方向とは逆方向に回転トルクを与え、下から上に向かって材料を掻き取り・排出するアップカット方式とがある。

アップカット方式による予備実験では、スイープロータが材料層中に異常侵入する不測の事態が発生すること

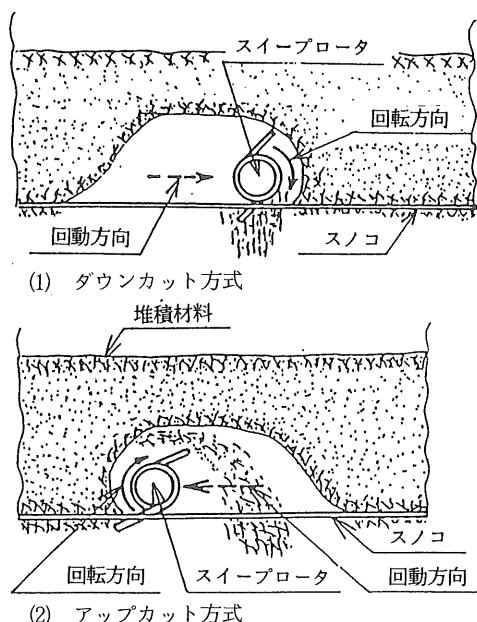


図8 スイープロータによる細断材料掻き取り・排出方法

があった。この時の材料掻き取り作用をスノコ下から眺めると、丁度、トラクタによるロータリ耕で、ダウンカット耕転を行っているのと同じ作用になる。ダウンカットロータリ耕は、トラクタの牽引動力を減少させる作用のあることが知られている⁴⁹⁾。すなわち、ロータリ自体に推力が発生している。これと同じように、アップカット方式では、材料掻き取りによりスイープロータ自体に推力が発生し、材料層中に侵入し易くなると考えられ、このような回動機構の場合においては、あまり好ましい方式ではなかった。このため、以降の実験ではダウンカット方式によることにした。

2.2.2 試作装置の性能試験

1) 実験方法

スノコに50cm前後まで材料堆積後、スイープロータを固定位置で回転させて、堆積材料の一部をスノコ下方に取り出し、スイープロータ上方周りに予め材料架橋を形成させる。次にスノコ下の材料を取り除いた。その後、所定の堆積高さ(1.1～1.6 m)になるまで材料を投入し、材料表面を均平にした。

下方取り出しに当たっては、ラチェットハンドル先端にバネ秤(最大秤量20 kg、最小目盛0.1 kg)をかけ、これを両手で引っ張って一定の回動トルクを与えるようにし、スイープロータの1周回動時間、その時の取り出し質量と毎時取り出し量を測定した。また、積算電力計

により消費電力を測定した。

下方取り出し試験は、材料堆積高さを1 m以上に行い、材料を追加投入時には、投入材料を秤量した。供試材料の細断乾草は第1節と同じ条件のものである。

2) 結果と考察

ラチェットハンドルにかけたバネ秤の指示値が、常に2.0～2.5 kgf(19.6～24.5 N)の範囲になるようにして、スイープロータを強制回動させた。この引っ張り荷重は、予備実験で回動速度の状態から決定した値である。この場合の回動軸トルクは、2.1～2.6 kgf・m(20.6～25.7 N・m)であり、スイープロータ先端での回動推力は2.3～2.8 kgf(22.0～27.3 N)である。スイープロータの駆動と同時に回動推力を与えた時の実験結果を表3に示す。

表3 ダウンカット方式(スイープロータ回動方向と同方向に回転による推力が付与される場合)による取り出し能力(1回目実験結果)

実験番号	回動方向	1周回動時間 min	取り出し質量 kg	毎時取り出し量 kg/h	初期堆積高さ cm	平均沈下量 cm
1		6.2	45.9	444	131	5
2		9.1	38.0	252	126	20
3						
		5.6	14.7	158	106	5

備考：推定堆積見掛け密度 88 kg/m³

実験番号1では安定した回動速度で、毎時取り出し量は444 kgであった。実験番号2は実験番号1に続く逆方向回動時で、1周回動時間が短かったにもかかわらず、毎時取り出し量は低下した。実験番号3では実験番号1と同程度の1周回動時間でも更に低下した。この実験で、スイープロータの回動とこれが通過後のスノコ上の材料の動きについて観察した結果を図9に示す。この図に示すように、スイープロータ通過後方は材料が架橋を形成しスノコ上は空間となる。更にスイープロータを回動させると、回動に従って後方材料は架橋を形成したまま、一定の長さでスノコまで重力沈下する。この重力沈

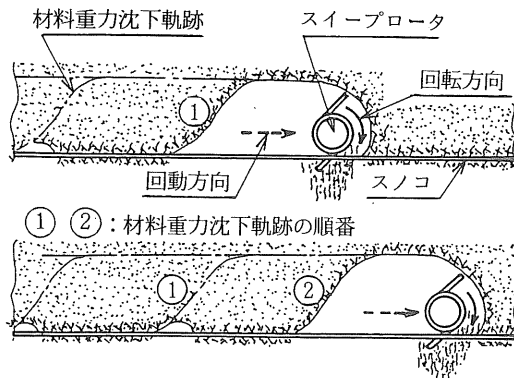


図9 スweepブロータの回転と材料重力沈下の関係

下は間欠的に起き、しかも、スweepブロータの直上にまで及ぶことはない。また、重力沈下時におけるこの部分でのスノコ下への材料漏下量は、極めてわずかでほとんど無視し得る量である。このように当初想定していた通りの架橋材料の重力沈下が得られた。

以上のような架橋材料の挙動からみて、回転1周当たりの時間は、スweepブロータ通過後方の材料架橋の長さに関係することになる。すなわち、材料架橋が長い場合、次のスweepブロータ逆方向回転時には、この架橋部分での材料掻き取り作用を行わずに急速回転する。このため、初回の1周回転時間より短くなる場合もある。実験番号2ではこのような現象が端的に起きたため、1周回転時間が短く、同時に取り出し量も低下したと思われる。

実験を重ねる度に毎時取り出し量が低下したのは、スweepブロータによって一度掻き取られた材料が排出されずに、何らかの理由によりスノコ間で圧密され閉塞を起

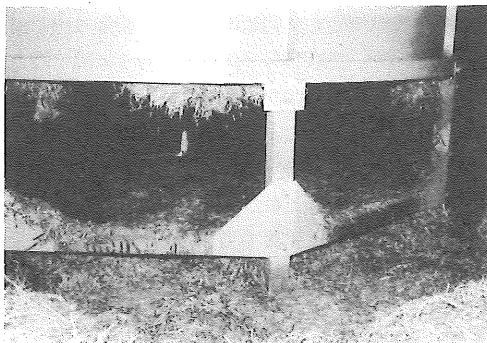


図10 スノコによる二次閉塞の状態

こすためである。ここではこの現象を二次閉塞と呼ぶことにする。図10は実際に二次閉塞を起こしている状況を示しており、特に壁面に近いスノコで多く起きている。この状況を更に模式的に図11に示す。

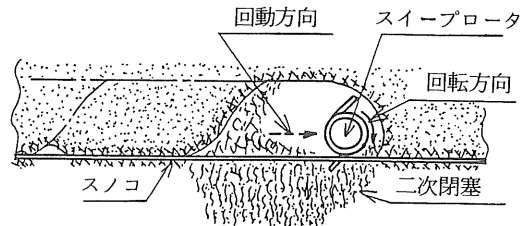


図11 スノコによる二次閉塞の模式図

二次閉塞はスweepブロータの回転に従って成長する傾向が認められるが、スノコ全周ではなく部分的である。このような二次閉塞を形成すると、掻き取られた材料はスノコを通過せず、閉塞材料を媒体として持ち廻ってスweepブロータ後方に送られ、スノコ上空間部に返されていた。このため、二次閉塞を形成した場合には、スweepブロータの回転にもかかわらず取り出し量、毎時取り出し量ともに低下している。

二次閉塞部分の材料には、切断長5~10 cm 前後のものが比較的多く、切断長が長くなる程、二次閉塞ができ易いと言えそうである。従って、二次閉塞防止のための材料側からの条件は、切断長が短く、しかも、揃った長さの材料に細断しておくことが重要である。これに対し、二次閉塞とならない条件で、装置を設計することでも解決できる。二次閉塞防止対策としては、図12に示すように二つの方法がある。一つはスweepブロータの掻き出し爪の選定である。もう一つはスノコ間隔を適切に選定することである。ここでは前者(a)の方法により、二次閉塞のでき易かったスノコ部位(壁面から1~2本目のスノコ間)で、掻き取り爪の長さを55mmから105mmに変更

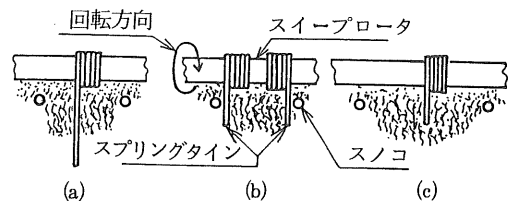


図12 スノコによる二次閉塞防止対策法

し、この問題を完全に解決することができた。

スイープロータ改良後の実験結果を表4に示す。往復回転による6回の実験を平均すると、1周回転時間12.8 min、取り出し量44.8 kg、毎時取り出し量は219 kgとなり、いずれも安定した取り出しであった。この実験では二次閉塞の形成もなく、スイープロータの強度にも問題はなかった。また、往復回転により、スイープロータは正・逆転を繰り返すため、ロータ部、掻き取り爪への材料の絡み付きはほとんど認められなかった。同時に測定した消費電力は平均149 Wであり、架橋・閉塞現象を利用することにより、極めて少ない動力で取り出し得ることが実証された。

表4 ダウンカット方式による取り出し能力
(2回目実験結果)

実験番号	回転方向	1周回転時間 min	取り出し量 kg	毎時取り出し量 kg/h	初期堆積高さ cm	平均沈下量 cm	平均消費電力 W
1		10.5	49.9	286	138	10	174
2		10.0	44.0	265	128	12	165
3		13.3	51.0	231	136	8	143
4		12.2	39.1	193	138	10	147
5		18.5	44.9	146	136	10	130
6		12.3	39.6	194	126	18	135
平均		12.8	44.8	219	134	11	149
標準偏差		3.0	5.0	52	5	4	17

備考：推定堆積見掛け密度 109 kg/m³

また、スイープロータ周りに一度架橋を形成させておけば、材料を追加投入後、円筒ビン内に人が立ち入って均平作業を行っても、架橋が崩壊することはなく、スイープロータ始動時のモータ過負荷も認められなかった。

次に、円筒ビンからの全量取り出し経過を明らかにするために、実験を行った。全量取り出しに供した堆積材料質量は、表5に示すように351 kgで、ほぼ圃場約5 a分の乾草収量に相当し、堆積高さは1.55 mであった。全量取り出し前後の状況を図13、14に、また、取り出し後の円筒ビン内の状況を図15、16に示す。ほぼ連続して取り

表5 ダウンカット方式による全量取り出し時の実験条件

1. 材料堆積質量	351 kg
2. 初期堆積高さ	155 cm
3. 堆積容積	4.26 m ³
4. 初期堆積見掛け密度	82 kg/m ³



図13 円筒ビンへの材料堆積

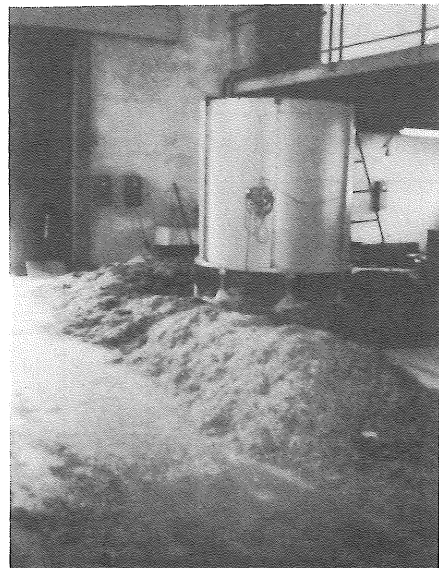


図14 円筒ビンからの材料取り出し

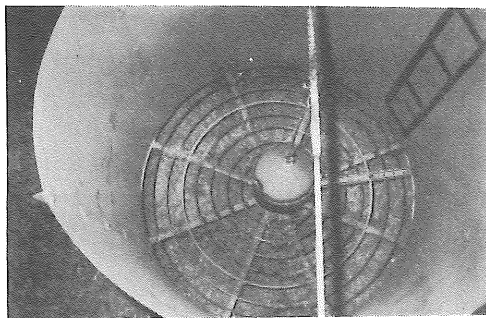


図15 材料取り出し後の円筒ビン内部

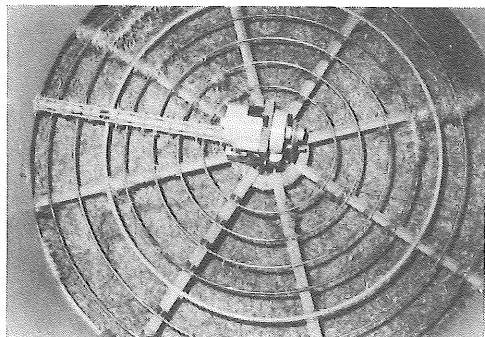


図16 保護用コーンを取り外した状態

表6 全量取り出し時の1周回転時間経過

累積 回転 回数	回 動 方 向	1周回 動時間 min	累積 回転 回数	回 動 方 向	1周回 動時間 min
1		9.1	6		10.9
2		2.7	7		3.6
3		8.7	8		3.7
4		9.3	9		1.9
5		7.5	合計回転時間 57.4min		

出した場合で、1周回転時間の測定のための結果を表6に示す。初回の1周回転時間9.1minに対して、累積2回目は2.7minで極端に短くなった。これは初回の1周回転終了時、スイープロータ後方の材料架橋が長かったことを示している。累積3～6回目までは、9min前後の安定した1周回転時間で推移している。累積7回目以降は堆積高さが30cm以下になった時である。スイープロータ上方周りに架橋が十分形成していない部分もあり、また、部分的にはスイープロータの作用によらず、スノコから材料が漏下する場合もある。全量取り出し終了直前の累積9回目では、スイープロータは材料から露出しながら、スノコ上に残った材料を掻き取り・排出した。以上のような取り出し経過時の材料堆積状態を図17に示す。図に示すように材料のフローパターンはマスフロー⁵⁰⁾で、材料の表面が水平に沈下しながら排出される非常に好ましい状態を示した。さらに、既存の下方取り出し装置ではあまり見られない堆積材料の完全排出ができる特徴を見出した。

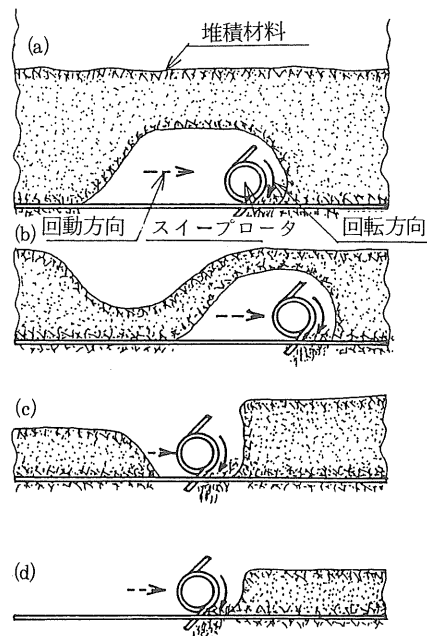


図17 全量取り出し時の材料堆積状態の経過

全量取り出しに伴う構造上の問題は特になく、累積9回目までを平均してみると、1周回転時間6.4min、取り出し量39kg、毎時取り出し量は367kgであった。これを表4と比較すると、見掛け密度が低く、毎時取り出し

量は148 kgも多く、取り出し易かったことを示している。

2.2.3 実用化の検討と問題点

これまでの実験を通じて、この方式で円筒ビンからの材料下方取り出しが十分可能なことを確認した。ここでは、この方式の実用化に当たっての材料条件、構造上からの設計条件を検討するとともに、問題点について整理する。

1) 材料切断長

取り出しを困難にする第1の要因は、材料切断長である。平均切断長が短くても、実際に長い材料が混入していると、スィープロータやスノコへの絡み付き、さらにスノコでの二次閉塞などにより、取り出し不能もあり得る。

細断材料の利用のされ方によって、切断長は制約を受けることもあるが⁵¹⁾、その制約の範囲内で、切断長が短く、その分布幅が小さくなるように細断するほど、取り出し時の機械的な問題を少なくすることができる。現在普及しているサイレージ用ボトムアンローダについても、このことが指摘されており、切断長を揃えることが重要である^{51)~53)}。スィープロータによる下方取り出しでも、材料切断長については例外ではない。

2) スノコ間隔

10 cmを基本間隔として、1部15 cmと4 cmにしたが、二次閉塞現象防止の面からは広くした方がよい場合がある。この時は、最初の材料投入時にスノコからの材料漏下量がより多くなることは避けられない。円筒ビンからの全量取り出しを必ず行うとすれば、この問題は回避できないが、材料追い詰め方式を採り入れれば、スノコからの材料漏下は最初の詰め込み時だけとなる。

スノコ間隔と材料閉塞現象は、材料の種類や切断長、含水率、堆積見掛け密度、その他材料の物理的諸特性などにより異なる可能性が十分ある。閉塞に関する限界条件の量的表示は極めて難しく、最適なスノコ間隔決定には、材料に応じて実験を行うことが必要となる。

3) 円筒ビン最小径

堆積材料によるスノコ閉塞とともに、材料取り出しにも架橋・閉塞現象を利用しているのが、この方式の大きな特徴である。スィープロータ通過後方は材料が架橋を形成し、スノコ上が空間となる。これが一定の大きさになると、架橋したままでスノコまで重力沈下する。もし、スィープロータの回動につれて材料が重力沈下しなければ、取り出しは実際上不可能となる。従って、このような圧縮性材料が重力沈下するかどうかは、壁面摩擦係数

や材料層の圧力分布などによるとともに、円筒ビン最小径も関係するものと思われる。

4) スィープロータ

(1) 構造

構造的には各種のものが考えられるが、実験に使用したもので、特に大きな問題はなかった。材料を掻き取り易く、さらに材料の絡み付きが少ない形状で、必要な強度を持っていることが条件となる。

(2) 回転数

回転数と回転速度は材料の毎時取り出し量に関係する。回転速度が一定とすれば、スィープロータ回転数が高い方が、1回転当たりの材料掻き取り量は少なくなる。この場合、材料に与える振動数は多くなるが振動の強度、振幅は少なく、材料の架橋形成上で有利となるため、所要動力は少なくなるものと考えられる。しかし、この回転数については、スィープロータの振動、材料の持ち回りと絡み付き現象などにより、おのずと限界があると思われる。この装置では 400 min^{-1} としたが、振動、材料持ち回りなどについて特に大きな問題は見られなかった。

(3) 回動推力

スィープロータの回転とともに、これに回動推力を与えることが材料掻き取り・排出の必須条件である。実験では人手で回動推力を付与し、しかも、往復回動方式にした。このような回動では電源コードの補強のみでよく、また、スィープロータ正・逆転による材料絡み付き防止に効果があることが挙げられる。一方向のみの回動にする場合は、回動軸で回転しながら、モータに電力を供給できる電給器 (Collector ring) について検討しなければならない。今後はこの方式も含め、機械的な回動についても検討する必要がある。

(4) 消費動力

スィープロータ上方周りに材料架橋を形成させておけば、通常材料掻き取り・排出に要する消費動力は約150 Wであり、定格出力400 Wのモータで十分である。人手によって回動に要した動力を計算すると、最高に見積っても $2 \times 10^{-4} \text{ W}$ であり、消費エネルギー的にはほとんど無視し得る値である。

5) 毎時取り出し量

この方式での毎時取り出し量は図18に示すような条件から、次式により推定され、設計指標として使用できる。

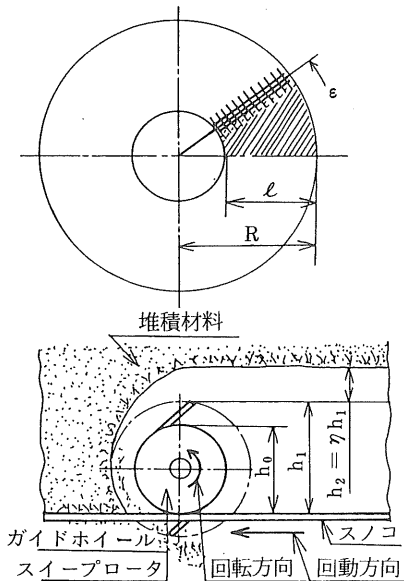


図18 下方取り出し量

$$W = (1/2) \omega \{ R^2 - (R - \ell)^2 \} h_1 (1 + \eta) \times \rho a \times 60 \quad (1)$$

ここで、

W: 毎時取り出し量 [kg/h]

ω : スイプロータ回転速度 [rad/min]

R: 円筒ビン半径 [m]

ℓ : スイプロータ作用幅 [m]

h_1 : スプリングタイン作用高さ [m]

η : 掻き取り倍率 [—]

ρa : 材料の堆積見掛け密度 [kg/m³]

スイプロータ通過後のスノコ上の空間高さは、掻き取り爪の作用高さ以上であり、この高さまで材料は取り出される。この部分については、作用高さに比例すると仮定し式(1)に入れた。式(1)から1周回転時の取り出し量 W_o (kg) は、

$$W_o = \pi \{ R^2 - (R - \ell)^2 \} h_1 (1 + \eta) \rho a \quad (2)$$

で示される。

ここで、実験装置の仕様により、

$$\ell = 0.685 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.095 \text{ m (ただし、掻き取り爪を長くした部分は考慮せず)}$$

とし、表5に示す結果を用い、式(2)より η について求めると、平均値 η は、

$$\eta = 0.70$$

となる。これは、スプリングタイン作用高さの1.7倍まで材料が掻き取られたことを示している。 η には材料条件と ρa が関係し、特に、 ρa が大きくなる程、 η は小さくなると考えられる。

2.3 塔型サイロ用下方取り出し装置の試作と実験

前節では、少なくとも、材料として扱い易い種類に入る細断乾草に対しては、取り出し装置付円筒ビンを開発できる見通しを得た。本節では、この方式によるスノコ堆積と取り出しが、取り扱いにくい材料のサイレージに利用できるのかどうかを鋼板製気密サイロに応用して一歩進めた研究を行い、その可能性を明らかにしようとした。

2.3.1 サイロ及び下方取り出し装置の構造

サイロは内径1.8 m、高さ3.6 m、内容積9.16 m³の直胴部と直胴下部のホッパ部からなり、これを6本の支基で支えた全高6.32 mの鋼板製気密構造である。このサイロの直胴基部にスノコを張設し、スイプロータを装着した。図19はサイロへの下方取り出し装置装着前の状態であり、図20は装着後にサイロ側壁ハッチから見た状態である。また、図21に下方取り出し装置付サイロの概略構造を示し、表7にサイロ及び取り出し装置の主な仕様を示す。細断した生草類をサイロの上部ハッチから投入後、一定期間密封しサイレージに調製する。

サイレージの取り出しは、ホッパ部の下部ハッチを開いて、スイプロータ回転軸端にラチェットハンドルを装着し、前節で述べたと同様な回転、取り出し方式で行う。

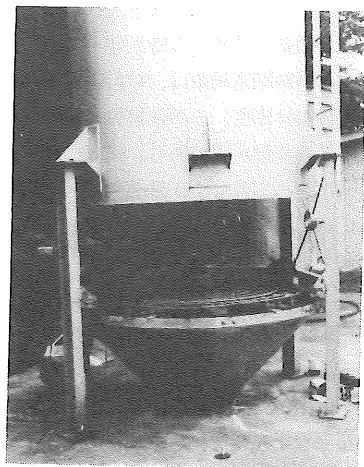


図19 塔型サイロへの取り出し装置装着作業

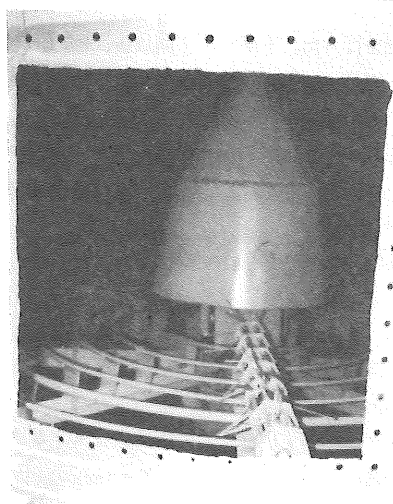


図 20 装着後の下方取り出し装置

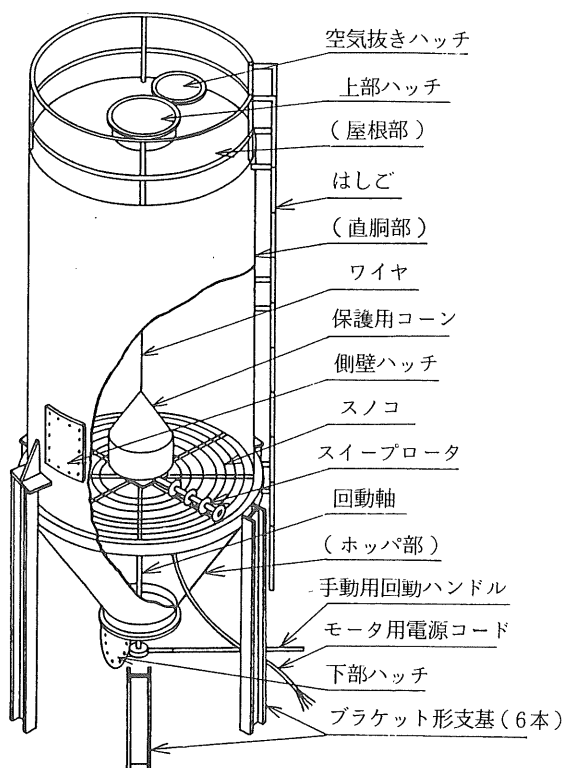


図 21 下方取り出し装置付塔型サイロの構造概要

表 7 サイロ及び下方取り出し装置の主な仕様

1. サイロ
 - 1) 直胴部
内径：1800mm、高さ：3600mm、容積：9.16m³
 - 2) ホッパ部
上部内径：1918mm、下部ハッチ口径：500mm、高さ：705mm、頂角の1/2：45°
 - 3) 材質
屋根・直胴・ホッパ部：SS41、厚さ：3.2mm
 - 4) 塗装
内面：エポシール2回塗り、外面：シルバー
 - 5) 支基
ブラケット型6本、脚長：1900mm
 - 6) 気密構造
屋根部と直胴部は全周溶接仕様、直胴部とホッパ部はフランジ、ゴムパッキン入りボルト締め
 - 7) サイロ全高 6320mm
2. 下方取り出し装置 (表 2 参照)
 - 1) スノコ (材質：配管用炭素鋼鋼管、外径：13.8及び17.3mm)
 - 2) スイープロータ
駆動方式：Vベルト方式、回転数：520min⁻¹
 - 3) 駆動モータ (全閉外扇形、3相かご形)
電源：200V、定格出力：0.75kW、回転数：1420min⁻¹
 - 4) 保護用コーン
円筒部外径：500mm

なお、装置試作にあたって配慮した事項は次のとおりである。

- ① 堆積サイレージの垂直圧力に耐えられるように、スノコ全体の強度増強を図った。
- ② 掻き取り爪の先端回転軌跡外径を細断乾草の場合よりも大きい200mmにした。
- ③ モータを3相200Vー定格出力0.75kWに変更し、スイープロータ回転数を520min⁻¹とした。

2.3.2 試作装置の性能試験

牧草サイレージの取り出し性能試験は2回行った。1回目は比較的高水分で、2回目は低水分で調製したサイレージを取り出しの対象にしたので、これらを第1実験、第2実験として述べる。

1) 実験方法

(1) 第1実験

農業機械化研究所の採草地でローズグラスを刈り取り、テッディング(転草)して予乾した。これをシリンダ型カッタブローで細断しながらサイロに詰め込み、直ちに密封した。この時の詰め込み作業状況を図22に示す。詰

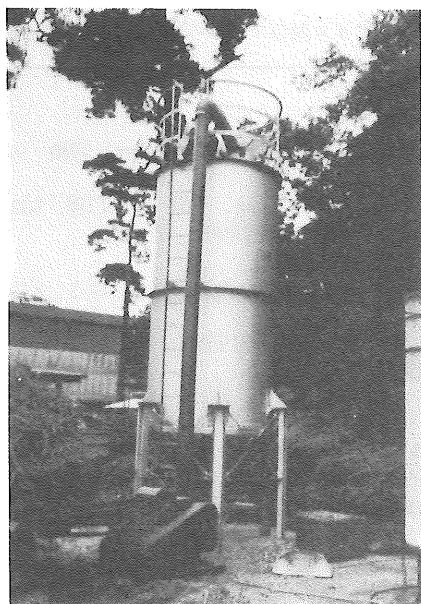


図2-2 サイロへの材料詰め込み作業

表8 供試材料の切断長分布と平均切断長

切断長 ℓ mm	切断長 中心値 mm	本 割 割合 %	量 割 割合 %
$0 < \ell \leq 5$	2.5	13.7	0.5
$5 < \ell \leq 10$	7.5	33.8	10.9
$10 < \ell \leq 15$	12.5	24.1	18.9
$15 < \ell \leq 20$	17.5	13.3	15.0
$20 < \ell \leq 25$	22.5	4.1	13.1
$25 < \ell \leq 30$	27.5	4.1	8.2
$30 < \ell \leq 40$	35.0	3.8	10.0
$40 < \ell \leq 50$	45.0	1.5	8.7
$50 < \ell \leq 75$	62.5	1.2	4.8
$75 < \ell \leq 100$	87.5	0.4	2.4
$100 < \ell \leq 150$	125.0	0.5	7.5
$150 < \ell$	—	0	0

平均切断長 mm	標準偏差 mm	変動係数 %
13.9	13.6	98

め込み量 629 kg、材料平均含水率 62.3%、詰め込み直後の堆積高さ 1.8 mで、堆積見掛け密度は 137 kg/m^3 であった。カッタの材料設定切断長は 9 mm で、切断長測定結果を表 8 に示す。平均切断長は設定切断長に対してやや長く 13.9 mm であった。サイレーズの取り出しに影響すると思われる切断長 100 mm 以上の本数割合は 0.5% であった。

詰め込み密封してから、約 4 ヶ月後に下部ハッチを開

いて実験を行った。下部ハッチ開放後、ここより人が入りスweepロータ上方周りの材料を取り除いて架橋を形成させ、その後、スweepロータ回転軸にラチェットハンドルを装着した。取り出しはダウンカットで、往復回転方式を採った。測定項目、測定方法は第 2 節に準じた。

(2) 第 2 実験

第 1 実験の結果を踏まえて次のような改良を行った。

- ① スノコ用リングの強度を更に高めるため、外径 21.7 mm、肉厚 2.8 mm の配管用炭素鋼鋼管を使用し、同心円状リングを 4 本張設して、スノコ間隔 15 cm とした。
- ② スノコ間隔を広げたことに伴い、スweepロータを再試作した。掻き取り爪は線径 3 mm のピアノ線を 4 mm に変更し、これを加工して使用した。

図 23 に改良後のスノコ、スweepロータなどの構造を示す。

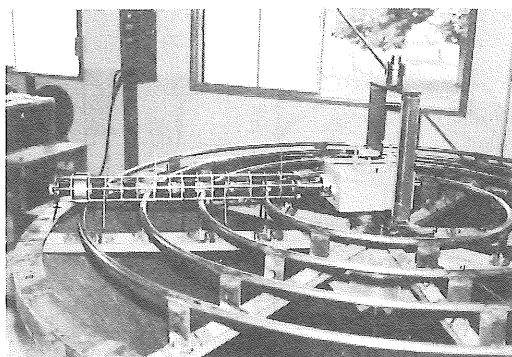


図2-3 改造後のスノコ及びスweepロータ

- ③ 保護用コーンの垂直支持方法に検討を加え、保護用コーンも新たに製作した。
 - ④ サイロへの材料詰め込みにあたり、スweepロータ上方周りに架橋を形成させること、スweepロータの防護も兼ねてカバーを製作し、この部分を覆うようにした。そして、サイレーズ取り出し開始直前に、サイロ直胴基部に設けた側壁ハッチを開き、このカバーを引き出せるようにした。
 - ⑤ サイロの気密を一層厳密にするため、直胴基部へのホッパの装着に当たっては、パッキン、シール剤などを使用し、空気漏れがないよう慎重に作業を行い、各部ハッチのゴムパッキンも更新した。
- 供試牧草の草種はイタリアンライグラスである。サイ

ロへの材料詰め込みは、2回に分けた追い詰め方式をとり、刈り取った牧草は圃場予乾をいずれも3日間ずつ行った。初回の材料含水率は20～30%、追い詰め時は29～68%（一部の材料についてはテッディング作業を行わなかった）であった。いずれの詰め込み時もサイロ天蓋まで（堆積高さ3.6 m）詰め込み、詰め込み量は762 kgと520 kg、合計1282 kgである。堆積見掛け密度は初回83 kg/m³、追い詰め後は140 kg/m³であったが、材料の詰まり方としては粗の状態であった⁵⁴⁾。初回詰め込み時の材料切断長分布を表9に示す。平均切断長9.3 mmで設定切断長9 mmに近い値であった。また、切断長100 mm以上の材料はサンプル中になかった。

表9 供試材料の切断長分布と平均切断長

切断長 ℓ mm	切断長 中心値 mm	本 割 数 合 %	質 割 量 合 %
$0 < \ell \leq 5$	2.5	20.9	10.9
$5 < \ell \leq 10$	7.5	48.1	41.0
$10 < \ell \leq 15$	12.5	18.4	21.2
$15 < \ell \leq 20$	17.5	7.7	12.9
$20 < \ell \leq 25$	22.5	2.2	4.9
$25 < \ell \leq 30$	27.5	1.3	2.8
$30 < \ell \leq 40$	35.0	0.8	3.3
$40 < \ell \leq 50$	45.0	0.2	1.0
$50 < \ell \leq 75$	62.5	0.3	1.5
$75 < \ell \leq 100$	87.5	0.1	0.5
$100 < \ell \leq 150$	125.0	0.0	0.0
$150 < \ell$	—	0	0
平均切断長 mm	標準偏差 mm	変動係数 %	
9.3	6.9	74	

10カ月後にサイロを開封して実験を行った。測定は第1実験に準じ、当日全量を取り出した。なお、取り出しサイレージはコンベヤで荷受け搬送し、サイロから約3 m離れたコンクリート盤面上に集積した。

2) 結果と考察

(1) 第1実験

調製したサイレージは、サイロ直胴基部とホッパとの接合部に一部カビの発生が認められ、感覚的にやや酸臭が強く、ベタついたものであった。なお、開封時の堆積高さは材料の圧密沈下により1.3 mとなり、堆積見掛け密度は190 kg/m³であった。

材料投入初期にスノコから漏下した材料は、ホッパ下部ハッチ上にはほとんど集積しており、ハッチを開くと

もにサイロ外へ落下した。その量は30.5 kgで当初の予想よりもはるかに少なく、この取り出しは何ら問題とならなかった。

サイレージによるスノコ閉塞状態は細断乾草以上に良好で、材料の垂れ下がり部分もほとんどなく、高水分牧草でもスノコで完全に堆積できることを追証した。

スイープロータ駆動と同時に、ラチェットハンドル（回転軸からのハンドル長さ1.5 m）先端に約2.0 kgf（19.6 N、回転軸トルク29.4 N・m）の力をかけ回転推力を与えたが、この程度ではサイレージの掻き取り・排出量はわずかであった。連続的な取り出しを行うためには、約20 kgf（196 N、回転軸トルク294 N・m）前後の力を必要とし、材料条件によって回転推力を変えなければならないことが判明した。

約20 kgfの力をラチェットハンドルに与えサイレージの取り出しを行っている状況を図24に示し、実験結果を

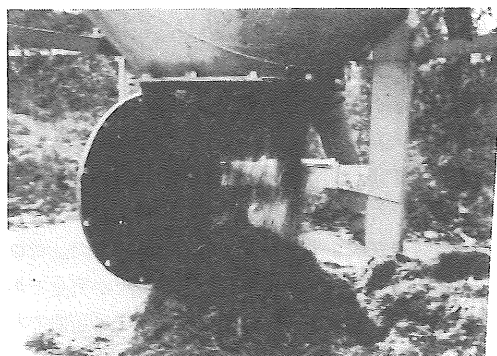


図24 サイレージの下方取り出し作業

表10 サイレージの取り出し能力

実験 番号	回 動 方 向	1周回動 時 間 min	取り出し 質 量 kg	毎時取り 出し量 kg/h	平均 消費電力 W
1		16	199	478	365
1'		9			347
2		14	160	686	340
3		12	120	600	351
平均		12.8	126.5	588	351
標準偏差		3.0	30.8	105	11

表10に示す。

実験番号1は初回の取り出しである。1周回転時間16 minで、回転終了時点でのスweepロータ通過後のサイレージは、サイロ内壁に沿って1.5 m程度(サイロ内壁周長5.65 m)にわたり架橋を形成していた。実験番号1の折り返し回転時の時間は9 minで、スweepロータ通過後方のサイレージは0.5 m程度の架橋を残してスノコまで重力沈下するようになった。初回の回転でサイレージの重力沈下が十分でなかったのは、発生したカビがサイロ内壁面とサイレージとの滑動を妨げたのではないかとと思われる。その後の取り出しでは、実験番号2、3の結果に見られるように安定した取り出しで、サイレージの重力沈下状態も良く、毎時600～686 kgを取り出すことができた。また、モータ消費電力はいずれの実験でも350 W前後に過ぎなかった。

この実験では、調製したサイレージにベタつきもあり、サイレージの絡み付きも大きく、掻き取り・排出が困難と思われるものであったが、以上のように、モータ消費電力350 W前後と少なく、毎時500～700 kgのサイレージが取り出されることを確認した。

(2) 第2実験

下方ハッチ開封時のサイレージは乳酸特有の臭いがあり、カビの発生も認められず、サラサラした感触で、サイレージとしては優れているものと判断された。このように、この方式のサイロにおいても、気密が完全であれば、良質なサイレージに調製することが十分可能であった。

スノコ間隔10 cmから15 cmに変更したにもかかわらず、スノコからの材料漏下量は38 kg(含水率31%)で、下方ハッチを開いた時にサイロ外にほとんど重力落下した。

第1、第2実験でスノコからの材料漏下量が予想に反して少なかった理由には、次の2点が考えられる。

- ① サイロ頂部からの材料詰め込み時に、材料は一度スノコに当たって緩衝作用を受け、スノコ下には粗な状態で堆積される。この場合に、ホッパ部(容積0.902 m³)に材料が満載したと仮定すれば、この部分の堆積見掛け密度は漏下量より見て42 kg/m³である。
- ② スノコ下がホッパ状のため、サイロ内壁面に近い部位では、スノコ下距離が短く漏下材料は早くスノコ下面まで堆積する。これを核として、スノコ上ではサイロ内壁面からサイロ中央に向かって材料による閉塞が進む。

以上のような相乗効果で漏下量が少なくなるものと思われ、ホッパ部への漏下材料は取り出し作業開始時の支障にはならないと言える。

次に、取り出し作業に先立って、側壁ハッチを開いてカバーを引き出した。引き出しは容易で、引き出し抵抗はほとんど問題とならなかった。図25に示すようにサイレージのスノコ閉塞はもちろん、カバー引き出し後のスweepロータ上方周りの架橋形成も極めて良好で、カバーの使用は材料の架橋形成に効果的であることを認めた。

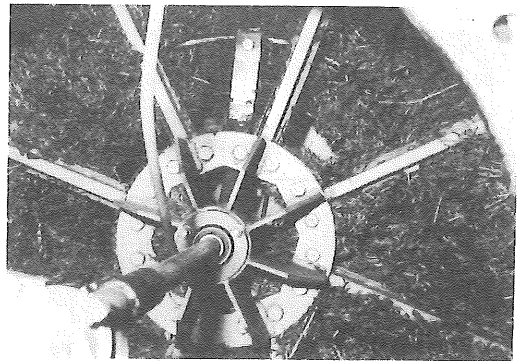


図25 スノコによる材料閉塞とスweepロータ周りの架橋状況

スweepロータを人力で回転させる、これまでどおりのサイレージ取り出し(ダウンカット方式)作業状態を図26に示す。取り出し作業は順調であったが、取り出し後のサイレージ堆積見掛け密度は粗な状態で容積が増大し、集積作業に多くの時間を要した。このため、累積回転回数の計測と、この間2回の取り出し量の計測を行ったに過ぎない。

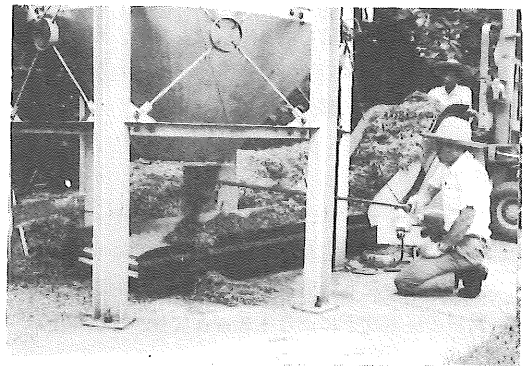


図26 サイレージの下方取り出し作業

実験結果は表11に示すように、1周回動当たりの時間9～10min、サイレージ取り出し量105～121kg、毎時取り出し量630～807kgであった。モータ平均消費電力は318Wで、第1実験と比較して更に少なかった。

表 1 1 サイレージの取り出し能力

実験 番号	回 動 方 向	1周回動 時 間 min	取り出し 量 kg	毎時取り 出し 量 kg/h	平 均 消費電力 W
1		10	105	630	325
2		9	121	807	310

調製したサイレージ全量の取り出しは、累積回動数13回で終了した。この間の1周回動時間は6～10min、平均8minを要している。これより平均毎時取り出し量を求めると740kgとなる。

以上のように、第1実験に続いて第2実験においても、モータ消費電力300W前後と更に少ない動力で、毎時600～800kgのサイレージが取り出されることが明らかになった。

2.3.3 得られた成果と問題点

開発したスィープロータ方式の下方取り出し装置を装着した容積約9m³の塔型サイレージ用サイロ(ホッパ付)で、サイレージ調製をすることは十分可能で、このサイロで調製したサイレージを使って下方取り出し実験を行い、連続、定量性のある下方取り出しができる見通しを得た。ここで、実験により得られた成果と、今後の問題点をとりまとめると以下のとおりである(ただし、第2節3と重複する事項は省略した)。

1) サイレージ取り出し能率

サイロ容積100m³以上の大型サイロで、スィープアーム方式のボトムアンローダの取り出し能率には、これを低速(回転角度)で運転した場合について、12.5～15.0kg・DM/min¹¹⁾、あるいは8～18kg・DM/min⁵⁴⁾、7～10kg・DM/min⁵⁵⁾などの測定事例がある。これに対して、第1実験での能率は4kg・DM/min 前後で、測定事例の1/3～1/2であり、装置改良後の第2実験では8kg・DM/min 前後であった。特に、第2実験で得られた能率は、測定事例と比較してそれほど劣るものではなく、小型サイロ用の下方取り出し装置の能率としては、ほぼ満足すべきものであると言える。

2) 所要動力

この方式の取り出しは、消費エネルギーが少ないことに特徴がある。既存のスィープアーム方式の下方取り出しでは、サイレージの分離、引張、搬送、サイレージの持ち回り、さらには無負荷時などにエネルギーが消費される⁵⁶⁾。

表12は、既存の下方取り出し装置について、サイロ径と使用されているモータ定格出力との関係を示す。定格

表 1 2 適用サイロ直径と市販ボトム
アンローダの使用モータ出力

No.	サイロ直径A m	モータ出力B kW	B/A kW/m
1	2.0	2.3	1.15
2	2.5	3.8	1.52
3	3.0	3.8	1.27
4	2.0	6.25	3.13
5	2.4	6.25	2.60
6	3.5	8.25	2.36
7	4.2	11.75	2.80
8	3.0	2.3	0.77
9	4.0	3.8	0.95
10	5.0	5.6	1.12
11	7.2	7.6	1.06
12	4.0	3.5	0.88
13	6.3	5.5	0.87
14	7.5	7.5	1.00
		平 均	1.53
		標準偏差	0.82

備考：各メーカーカタログから整理

出力がサイロ径に比例するとすれば、製作したサイロ直径1.8mでは1.3～2.4kWの動力を必要とする。これに対して、スィープロータ方式では無負荷時とサイレージ分離時のエネルギーだけである。分離後はホッパに集めて排出するため、300～350W前後の比較的少ない消費電力で、サイレージの下方取り出しを可能にしている。そのため、スィープロータ回動用推力は人手によっているが、最も簡単な構造の下方取り出し装置になっているとも言えよう。しかし半自動のため、回動推力を機械的に与えて、自動化することも必要と考えられる。

3) 耐久性

試作装置では、スィープロータ駆動に全閉外扇形モータを使用している。供試サイロで2回サイレージを調製して実験を行ったが、モータ自体になんら異常は認められなかった。しかし、このようなサイロに内蔵したモータは、強い酸性雰囲気のもとに置かれており、モータ内部の腐食等により故障などもあり得る。従って、長期間

の使用に耐えるようにするためには、防食形モータの採用が望ましい。さらに、スノコなど使用機材についても防食のための対策が必要である。

2.4 摘要

ビンに貯蔵した細断材料の下方取り出しの機械化にあたって、細断材料の架橋・閉塞現象を利用し、ビン下面に張設したスノコによる材料堆積と、さらに、スノコからの少ない動力での材料取り出しを実証するため、装置を設計・製作して基礎的な検討を加えた。結果を要約するとおおよそ次のとおりである。

(1) 円筒ビン下面に同心円状に一定間隔で張設したスノコにおいて、材料切断長の約18倍もの非常に荒いスノコ間隔でも、架橋・閉塞現象を利用して、細断乾草を完全に堆積できることを明らかにした。

(2) このスノコ上に円筒ビン中心からビン内壁面に向かって配置したスイープロータを回転・回動させ、材料としては取り扱いやすい種類に入る細断乾草の取り出しを行い、次の結果を得た。

① スイープロータによる材料掻き取り・取り出しには、ダウンカット方式とアップカット方式があるが、スイープロータ回動機構から見て、ダウンカット方式が好ましかった。

② 架橋・閉塞現象を利用してスノコ上の堆積材料を破壊するだけで、少ない動力で容易に材料を取り出すことができた。

③ 掻き取られた材料がスノコを通過しないで、スノコ間で閉塞を起こす二次閉塞現象が認められることがあった。これを防止するような構造設計が可能なことを明らかにし、材料条件からは、利用制約の範囲内で切断長を短く、そろった材料に細断することが重要なことを指摘した。

このようなことから、少なくとも細断乾草に対しては、スイープロータ方式の取り出し装置付円筒ビンを開発できる見通しを得た。

(3) この方式によるスノコ堆積、取り出しが、取り扱いにくい種類の材料に入るサイレージに利用できるのかどうかを見るため、鋼板製気密サイロに応用し、このサイロで実際にサイレージを調製して実験を行い、次の結果を得た。

① この方式のサイロにおいて、スノコによる堆積とサイレージ調製が十分可能であった。

② 取り出し動力は、サイレージ調製の仕方によって変動するが300～350 Wであり、少ない動力によって毎

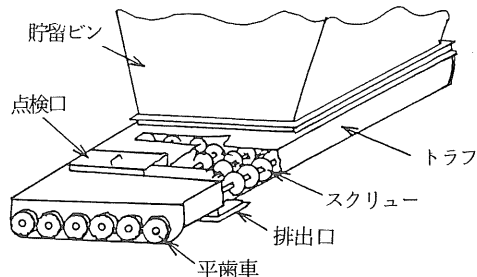
時500～800 kgのサイレージが取り出せた。

以上により、乾草でもサイレージでも、試作した装置でのスノコ堆積と、少ない動力での取り出しができることを明らかにした。

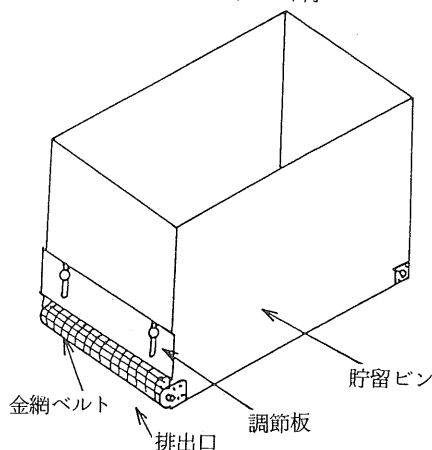
3. 角型ビン用下方取り出し装置の開発研究

前章では、物性の異なる乾草あるいはサイレージでも、スノコによる堆積と、少ない動力で取り出し可能な装置を開発できる十分な見通しを得た。この段階では、スノコからの材料取り出し用スイープロータは、人力で往復回動させる半自動であった。回動を自動化するためには、モータへの電源供給にコレクタリングなどを必要とし複雑な構造となる。そこで、更に実用化に一步近付けるため、人力で行っていたスイープロータの往復回動機構を応用・発展させ、機械的にも、機構的にも簡単にできるものとして、角型ビン用の自動下方取り出し装置の開発研究を行った。

粉粒体を取り扱う取り出し装置付貯留ビンには、多種



(1) スクリューディスチャージャ付



(2) 金網ベルトディスチャージャ付

図27 下方取り出し装置付貯留ビン

多様なものがある。しかし、与えられた粉粒体の適確な性状把握が困難なため、その選定は経験と実際技術が優先しているが^{57), 58)}、細断粗飼料用の下方取り出し装置付貯留ビンとしては、図27に示すように多列型スクリュディスチャージャ付と、チェーンまたは金網ベルトディスチャージャ付貯留ビンの2型式がある^{57)-59), 60)}。

多列型スクリュディスチャージャは、スクリュ軸に不連続的に大きな荷重が加わることがあり、ゲート部で材料との大きな剪断力が生ずることもあるため、回転スリップがないように確実な駆動系統にする必要がある⁵⁸⁾。また、チェーンディスチャージャでも、ゲート部には大きな剪断力が加わることがあり、特に、細断材料の切断長が長いほど、ゲート部に過大な剪断力が加わり易い。従って、取り出し動力も大きく、重構造にせざるを得ないと言う欠点がある。

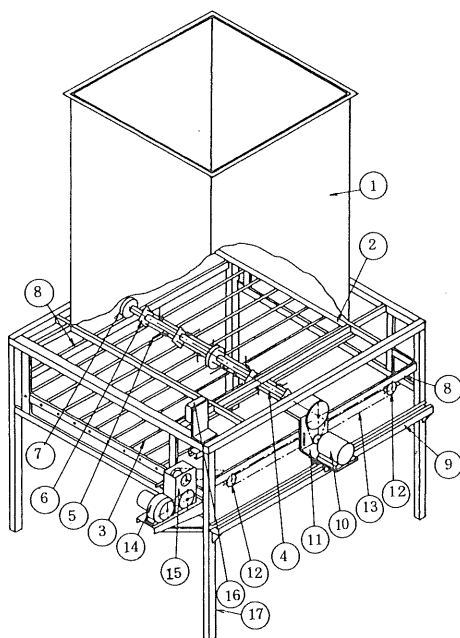
これに対して、試作した下方取り出し装置は円筒ビンでの研究結果を踏まえ、角型ビン直下に平行なスノコを張設し、ビンとスノコ空間部にスィープロータを配置した簡単な構造である。しかも、少ない動力で自動材料取り出しを可能にしている。

本章では、角型ビン用の下方取り出し装置の構造と作用、及び装置の運転指標を得るために行った実験結果について述べ、さらに、供試材料の対象範囲を広げ、その時の性能を明らかにした。

3.1 試作装置の構造と作用

3.1.1 試作1号装置

装置の構造概要を図28に、主な仕様を表13に示す。この装置の構造と作用を図28によって説明すると次のとおりである。



番号	品 名	番号	品 名	番号	品 名
1	貯留ビン	7	ガイド輪	13	チェーン
2	支持枠台	8	ガイドレール	14	変速モータ
3	スノコ	9	走行レール	15	減速機
4	スィープロータ	10	モータ	16	電源操作盤
5	掻き取り爪	11	走行ベース	17	支持枠
6	掻き取り板	12	スプロケット		

図28 試作1号装置の構造概要

表13 試作1号装置の主な仕様

1. 寸法
全高: 2930mm、全長: 1850mm(スweepロータ走行方向)、全幅: 1570mm
2. 貯留ビン
縦: 876mm(内のり)、横: 876mm(内のり)、高さ: 1800mm、有効高さ: 1980mm(スノコ上より)、有効容積: 1.56m³
3. スノコ
材質: 配管用炭素鋼鋼管、外径: 17.3mm、厚さ: 2.3mm、張設間隔: 100mm、本数: 10、地上高: 680mm(スノコ下まで)
4. スweepロータ
駆動方式: Vベルト駆動、スweepロータ回転数: 480min⁻¹、駆動モータ: 100V-4P-定格出力200W、回転数: 1500min⁻¹、材料掻き取り作用長: 845mm
 - 1) 掻き取り板
形状: 正4角形、対角長: 70.7mm、個数: 4
 - 2) 掻き取り爪
形状: スプリングタイン、本数: 18、爪先端回転軌跡径: 156mm、爪先端周速度: 3.92m/s
 - 3) ガイド輪
外径: 94mm、幅: 20mm、個数: 1、走行方式: チェン駆動、走行速度: 0.12~0.61m/min、走行用モータ: 200V-4P-定格出力200W、変速、回転数: 33~200min⁻¹(50Hz)、減速機付: 減速比 1/2

角型の貯留ビン①直下に10cm間隔で平行なスノコ③を張設し、貯留ビンとスノコの空間部にスweepロータ④を配置する。このスweepロータには掻き取り爪(スプリングタイン)⑤をスパイラル状に取り付け、さらに掻き取り板⑥を一定間隔で取り付けられている。

貯留ビン外側の走行レール(リップみぞ形鋼)⑨上を走行するモータ⑩付走行ベース⑪に、軸受けを設けてスweepロータを支持させ、このモータで回転させる。さらに、ガイドレール側支持枠⑧両端にスプロケット⑫を設けてチェーン⑬をかけ、チェーンの一部を走行ベースに固定する。そして、一方のスプロケットを変速モータ⑭で駆動し、チェーンの移動と共にスweepロータを走行させる。なお、スweepロータ走行駆動系の途中に、減速機⑮を組み込んでいるが、必要な材料取り出し流量が得られるような変速モータが選定できれば、これは不要である。

以上のような構造で、貯留ビンに投入された細断材料は、スノコで閉塞し貯留ビンに収容される。材料取り出しは、スweepロータを回転させながらスノコ長手方向の一方から他方に向けて走行させ、スweepロータ掻き取り爪で堆積材料の閉塞現象を破るように順次掻き取り、

スノコから排出する。スweepロータが貯留ビンをはずれ他端に到達すると、これをリミットスイッチで検出し、スweepロータ回転用、走行用モータの回転方向を逆方向に切り換える。そして、スweepロータの回転と同時に反対方向に走行させる。

以上のような動作を繰り返し、貯留ビンの材料を下方から定量ずつ排出させる。スweepロータが通過すると、その上部にあった材料は、架橋現象を保持したまま順次沈下してスノコを閉塞し、スweepロータの次の通過によって排出される。

3.1.2 試作2号装置

装置の構造概要を図29に、主な仕様を表14に、外観を図30に示す。本装置は試作1号装置の実験結果を検討し試作した改良型である。その理由と改良点は次のとおりである。

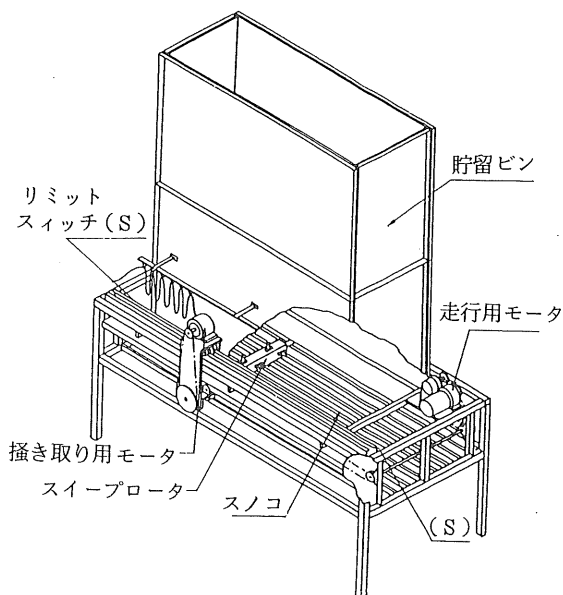


図29 試作2号装置の構造概要

表 1 4 試作 2 号装置の主な仕様

1. 寸法
全高：2760mm（標準、スノコ下高さ可変）、全長：2400mm（スイープロータ走行方向）、全幅：1185mm
2. 貯留ビン
縦：705mm（内のり）、横：1700mm（内のり）、高さ：1810mm、有効高さ：2110mm（スノコ上より）、有効容積：2.53m³
3. スノコ
材質：一般構造用角形鋼管、寸法：16×40×1.6mm（内部に角形鋼管入り）、張設間隔：50mm（100mmに調節可能）、本数：15（100mmの時は9）
4. スイープロータ
 - 1) 駆動方式：タイミングベルト駆動、スイープロータ回転数：437min⁻¹
 - 2) 駆動モータ：200V-4P-定格出力 400 W、回転数：1410min⁻¹
 - 3) 材料掻き取り作用長：690mm
 - 4) ロータ本体形状：角形（75×75mm）
掻き取り爪（形状：3角爪、個数：14、取り付けピッチ：スパイラル状・ピッチ 50mm、爪先端回転軌跡径：157mm、爪先端周速度：3.59m/s）
 - 5) 走行方式：チェーン駆動、走行速度：0.48m/min（標準）
 - 6) 走行用モータ：200V-4P-定格出力 100 W（ギヤモータ）、回転数：15min⁻¹
 - 7) 往復走行自動化電気回路付

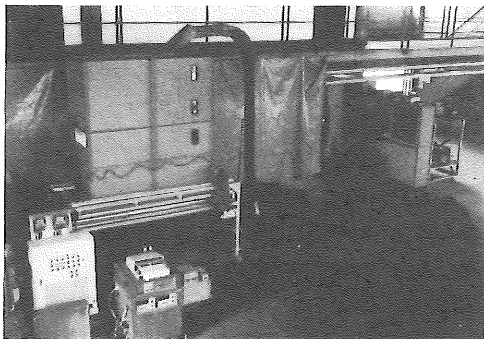


図 3 0 試作 2 号装置の外観

① 貯留ビン容量（1.56m³）が小さく、材料取り出しに伴いビンへの材料投入頻度が多くなることから、これを約 1.6 倍（2.53 m³）にスケールアップした。

② 生草最大堆積時にスノコの強度不足が認められたので、これを配管用炭素鋼鋼管から二重構造の角形鋼管

に変更した。

③ 小麦稈など材料の種類によっては、投入初期の材料漏下量が多くなる傾向を認めたため、スノコ間隔を最小 50mm（間隙 28mm）まで調整可能とした。

④ 単相 100 V-定格出力 200 W のスイープロータ回転用モータが生草供試時に過負荷気味と観察されたため、3相 200 V-定格出力 400W に変更した。スイープロータ走行用モータは減速機付で 3相 200 V-定格出力 100 W とし、走行速度の変更はスプロケット交換方式とした。

⑤ スイープロータの掻き取り爪は、材料が掻き取り易く、巻き付きが一層少なくなると考えられる 3 角爪を考案し採用した（図 31）。

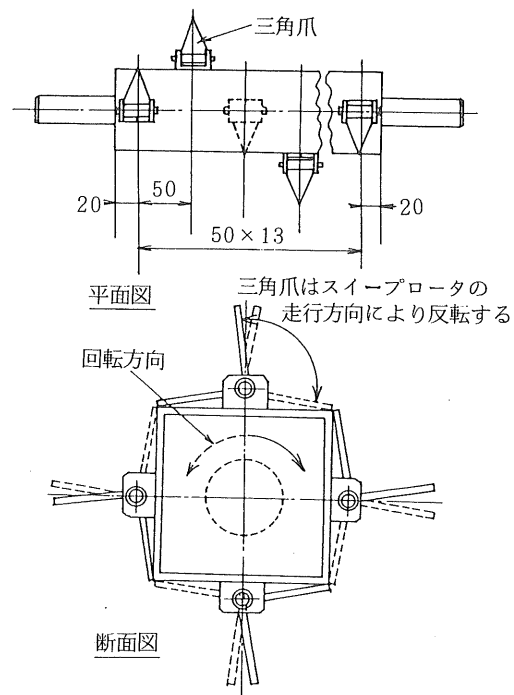


図 3 1 三角爪付のスイープロータ

⑥ スイープロータの往復走行の自動化を図った。この自動化用操作回路によると、繰り返し往復走行のみならず 1 回走行のみも設定できる。また、走行方向記憶回路により、運転再開時には停止前と同方向になるよう操作できるなど、各種の特徴を持たせている。操作回路は図 32 に示す。なお、作用の説明は試作 1 号装置とはほぼ同じため省略する。

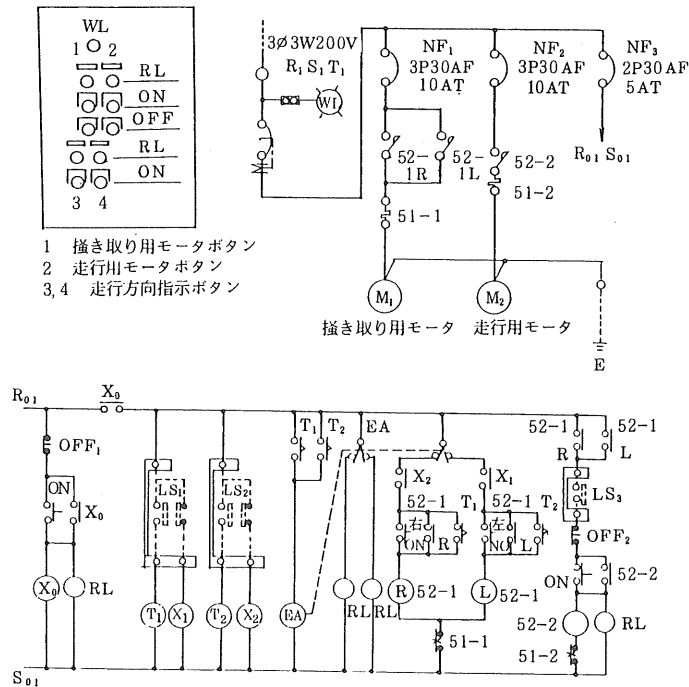


図3-2 試作2号装置電源操作回路図

3.2 下方取り出し量の計算

材料の下方取り出しでは能率が重要な要因になり、設計や取り出し操作にあたって、能率設定が要求されることが多い。これは実測ばかりではなく、計算によることも必要となる。従ってここでは、このための計算式を提示する。

角型ビンからの材料取り出し操作では、スワイプロータを貯留ビン外側から貯留ビン下に侵入、走行させ、貯留ビンを外れて他端まで走行させるため、取り出し作用を行わない非作用時間が生ずる。また、貯留ビン両端では必ず2台のモータを完全停止させ、回転方向を切り換えるため時間的ロスも生ずる。これらは図33に示すような関係にあり、下方取り出し量は次式で示される。

すなわち、スワイプロータ1回走行(貯留ビン下を一端から他端まで通過することをいう)当たりの取り出し量は、

$$q = \ell_1 \ell_2 h (1 + \eta) \rho a \quad (3)$$

また、毎時取り出し量は、

$$Q = q v \times 60 / \{ L + v (1 - 1/n) \theta \} \quad (4)$$

となる。

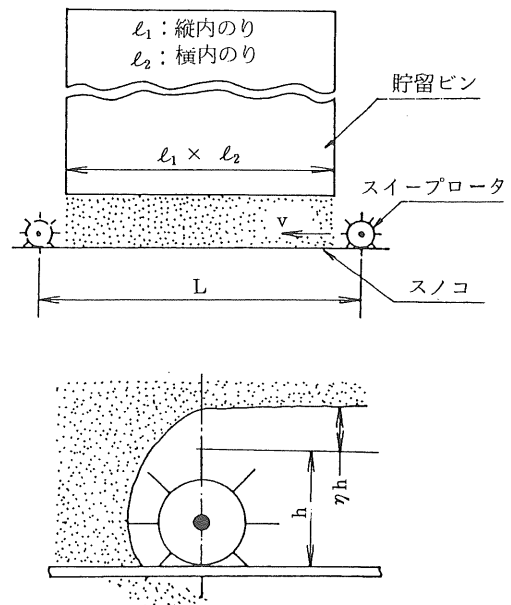


図3-3 下方取り出し量

ここで、

q : 1 回走行当たりの取り出し量 [kg]

Q : 毎時取り出し量 [kg/h]

ℓ_1, ℓ_2 : 貯留ビン縦、横の内のり [m]

h : スイープロータ作用高さ [m]

η : 材料掻き取り倍率 [—]

ρ_a : 材料見掛け密度 [kg/m³]

v : スイープロータ走行速度 [m/min]

L : スイープロータ走行区間 [m]

θ : スイープロータ走行停止時間 [min]

n : スイープロータ走行回数 [回]

ただし、式(3)、(4)ともスイープロータ通過後に、スノコまで材料が重力沈下しなければ、これらの式で求めた q 、 Q は、実測値よりも大きくなる。

なお、式(4)で貯留ビン両端でのスイープロータ走行停止時間 θ を無視すれば ($\theta = 0$)、次のような簡単な式で示される。

$$Q = q v \times 60 / L \quad (5)$$

以上の計算式で必要となるデータは、材料見掛け密度 ρ_a と材料掻き取り倍率 η である。

3.3 試作装置の性能試験

3.3.1 実験方法

試作 1 号装置では運転指標を得るために、試作 2 号装置では性能を明らかにするために実験を行った。

1) 供試材料

供試細断材料は、乾草 (草種：イタリアンライグラスとオーチャードグラスの混播)、生草 (草種：イタリア

ンライグラス)、稲わら (乾材、生材)、小麦稈 (乾材)、大豆稈 (乾材)、桑残条 (生材) などである。これらの内、試作 1 号装置の実験には、乾草と稲わら、試作 2 号装置では小麦稈と生草を用いた。

2) 材料の投入、調整法

吹き上げ式ホイールカッタで材料を細断しながら、貯留ビンへ直接吹き込み投入した。細断前の材料を秤量しておき、貯留ビンにはほぼ満杯になるまで投入後、残量を秤量して投入質量を求めた。その後、この材料は繰り返し実験に使用した。

3) 測定項目と測定方法

スイープロータの走行区間及び走行速度を予め設定しておき、この間を 1 回または往復走行させた時の、走行時間及び取り出した材料の質量、毎時取り出し量、材料沈下量を測定した。

消費電力の測定には、3 相用クランプ電力積算計またはデジタル電力測定器 (いずれも 2 電力計法による) を用いた。

細断材料の切断長は特に測定せずカッタの設定切断長で示し、含水率は常圧定温乾燥で 100℃ - 24 h 法によって求めた。また、堆積見掛け密度は、堆積材料質量と測定した堆積高さで計算した容積とから求めた。

3.3.2 結果と考察

1) 試作 1 号装置

表 15、表 16 にそれぞれ乾草及び稲わらを供試した場合の実験結果を示す。

表 15 乾草の下方取り出し能力

試験番号	堆積高さ m	見掛け密度 kg/m ³	スイープロータ		取り出し量 kg	毎時取り出し量 kg/h
			走行速度 m/min	走行時間 min		
1	1.76	136	0.12	7.20	39.6	330
2	1.73	138	0.19	4.83	33.5	416
3	1.68	142	0.41	2.18	29.0	798
4	1.73	138	0.61	1.48	35.9	1455
5-1	1.68	142	0.20	4.60	70	913
5-2	1.04	—	0.18	5.03	66	787
5-3	0.43	—	0.39	2.28	42	1104

備考：1) 材料含水率：11.9%

2) 材料の設定切断長：14 mm

3) 堆積高さは取り出し前

4) 見掛け密度は推定値

5) 試験番号 5 は全量取り出し時

6) 取り出しはダウンカット方式

表16 稲わらの下方取り出し能力

試験番号	堆積高さ m	見掛け密度 kg/m ³	スイープロータ		取り出し量 kg	毎時 取り出し量 kg/h
			走行速度 m/min	走行時間 min		
1	1.68	85	0.54	1.67	39	1401
2	1.20	76	0.54	1.77	30	1017
3	0.78	67	0.54	1.56	30	1154

備考：1) 材料含水率：9.4%
 2) 材料の設定切断長：10 mm
 3) 堆積高さは取り出し前、見掛け密度は推定値
 4) 取り出しはダウンカット方式

(1) 材料貯留量と堆積見掛け密度

貯留ビンの貯留量と取り出し量に関係する堆積見掛け密度について測定した。

堆積高さ約1.7 mでの材料貯留量は、細断乾草で約160 kg・DM(見掛け密度120 kg・DM/m³)、細断稲わらで約100 kg・DM(見掛け密度約77 kg・DM/m³)である。

乾草の堆積見掛け密度は、円筒ビンでの測定値67~99 kg・DM/m³よりも大きく、従来からの測定例として示されている密充填時の32 kg・DM/m³(平均切断長35mm)⁶¹⁾とは更に大きく異なっている。別に示されている短い乾草(切断長64mm以下)の堆積見掛け密度128~160 kg/m³⁶¹⁾に対しては、粗充填とみなされる128 kg/m³に近い値である。

しかし、既往の堆積見掛け密度から、貯留量を推定し得る段階になく、細断乾草については実測が優先するものであった。

細断稲わらは、筆者らが求めた通常の堆積見掛け密度^{62)、63)}にはほぼ一致する値であり、細断小麦でも同様であった(後掲、表18参照)。これからすると、稲わら、小麦稈については、設定切断長からこの貯留ビンでの通常の見掛け密度を、さらには貯留量を推定することが可能である。

しかし一方では、充填方法を一定にしてもバルクは変わる⁵⁷⁾と言われており、材料毎の堆積見掛け密度については、多くの実験を重ね経験的法則を見出して行く必要がある。

(2) 材料取り出し量

材料取り出し量は、各種の要因が複雑に絡み合い必ずしも一定しない。しかし、表15(試験番号1~4、5-1,2)に示すように、スイープロータ1回走行当たりの平均取り出し量は34.3 kg、標準偏差3.5 kg、変動係数10%で、

ほぼ満足し得る取り出し量精度であった。これは稲わらについても同様である。

(3) 貯留ビンへの材料追い詰め時期

材料が全量取り出される前に追い詰めを行い、スノコからの材料漏下を防止し、さらに安定した取り出しを行うためには、追い詰め時期が重要となる。

材料取り出し時は、材料表面が水平に降下し、乾草ではスイープロータ往復走行当たりそれぞれ64、61 cm、稲わらでは1回走行当たりそれぞれ43、42 cmの沈下量であった。これらからみると、スイープロータ走行毎にはほぼ均一な沈下量になる。従って、安定した取り出しを行うためには、堆積高さが0.5 m前後になる前に材料の追い詰めを行うのがよい。特に、乾草では堆積高さ30 cm前後、稲わらでは40 cm前後までに追い詰めを行う必要がある。この程度の堆積高さになると、スイープロータの次の通過で、貯留ビン中の材料はほぼ全量取り出される。このため、追い詰め時の材料漏下を防止する上で、最小堆積高さを守ることが重要となり、また、追い詰めにより取り出し量の変動を少なくすることができる。

(4) η の検討

スノコで材料閉塞現象が保持されている間は、安定した取り出しが可能である。この時、スイープロータ1回走行当たりの取り出し量、材料沈下量などは、材料の種類などにより異なっている。これは式(3)で示す堆積見掛け密度 ρ_a や、掻き取り倍率 η などが影響するためである。

ここで、試作装置の仕様から、

$$\ell_1 = \ell_2 = 0.876 \text{ m}, h = 0.125 \text{ m}$$

とし、式(3)から η は、

$$\eta = 10.43 \text{ q} / \rho_a - 1 \quad (6)$$

となる。表15、表16から乾草、稲わらについて η を求めた結果を表17に示す。

表17 材料の種類と η の関係

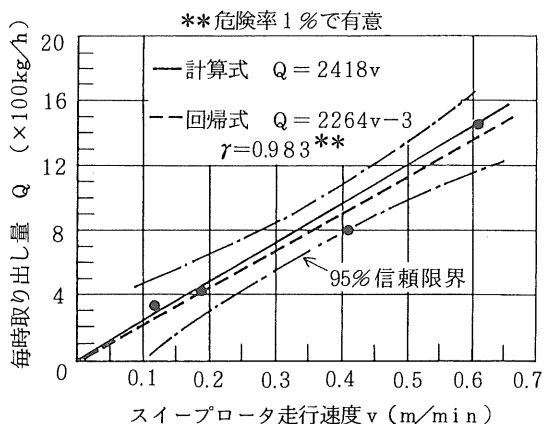
試 番	験 号	η	
		乾 草	稲 わ ら
1		2.04	3.78
2		1.53	3.12
3		1.13	—
4		1.71	—
平 均 $\bar{\eta}$		1.60	3.45
標準偏差 σ		0.38	—

η は材料によって大きく異なると言える。しかし、材料が同じであれば安定した取り出しで η も安定している。このことから、 η を測定しておけば、高い精度で取り出し量が計算できる。

また、測定した η よりスィープロータの材料掻き取り高さを求めると、乾草で33cm、稲わらで55cmとなる。これらの掻き取り高さは、スィープロータ1回走行当たりの材料沈下量にはほぼ一致することから、 η により材料追い詰め開始時の最小堆積高さも計算できる。

(5) 毎時取り出し量

図34に乾草を供試した場合についてスィープロータ走行速度 v と毎時取り出し量 Q との関係を示す。ただし、走行レール両端でのスィープロータ一時停止時間は無視した。この図から v と Q の関係は直線となり、回帰式は次のように示される。



$$Q = 2264v - 3 \quad (\text{相関係数 } r = 0.983) \quad (7)$$

式(7)の定数項は無視し得る値であり、 Q は v にほぼ正比例していることになる。

一方、表17の η を用い式(3)、(5)から Q を求めると、図34にも示すように、

$$Q = 2418v \quad (8)$$

となる。ただし、 $L = 0.86\text{m}$ 、 $\eta = 1.60$ 、 $\rho_a = 139\text{kg/m}^3$ とした。

ここで、式(7)、(8)による中央誤差⁶⁴⁾を求めると、それぞれ77、79kg/hで同程度となる。従って、 η を使用した式(8)によっても Q が十分推定し得ることがわかる。

また、式(7)は、スィープロータ1回走行当たりの材料取り出し量 q が、走行速度 v によらず一定であることを示し、このことから、本装置は取り出しの定量性がよいことを示している。

(6) 取り出し量の設定方法

材料取り出し量は、①材料の種類、②切断長、③含水率、④見掛け密度、⑤材料の摩擦角など、多くの要因が関係し、この内一つの条件が異なっても、再現性が少なくなることが考えられる。このため、定性的なことを明らかにしても、各種材料毎の取り出し量を推定することは困難な場合が多い。

設定した取り出し量の信頼性、再現性は、使用する材料を用いた実測値によるのが最も高くなる。その際には、これまでの結果から、スィープロータ1回走行当たりの取り出し量 q を、最低1回測定すれば、式(4)から Q を設定することができる。また、 q とともに堆積見掛け密度 ρ_a を測定すれば、 η を求めることができ、これは設計値、運転指標として活用できる。

(7) その他の材料についての取り出しの適用性

乾草、稲わら以外に、小麦稈(設定切断長18mm)、生草(設定切断長18mmまたは25mm)でも取り出しができることを明らかにした。

2) 試作2号装置

試作1号装置により実用性を認めた。2号装置では各種残稈類、牧草など、更に多くの細断材料を対象にしてビンへの堆積と取り出しを行った。その内、小麦稈と生草を供試して性能を明らかにした。

(1) 投入材料初期漏下量

材料追い詰め方式をとれば、スノコからの材料漏下は、最初の材料投入時だけとなる。作業上からは、漏下量が少ないほど好ましいため、小麦稈、生草供試時にこれを測定した。小麦稈の初期漏下量は、スノコ間隔50mm(間隔34mm)で5~10kgであった。生草でスノコ間隔100mm(間隔84mm)の時は、30~100kgと大きく変動した。この変動は、吹き上げパイプの吐出角度によるところが大きい。

初期漏下量はスノコ間隔が狭く、材料の投入流量、す

なわち、ホイールカッタによる処理流量が多いほど、材料切断長が長くなるほど少なくなる傾向にある。さらに、吹き上げパイプ吐出口からの材料吐出方向にも関係する。吐出方向を貯留ビン中央にすると、漏下量が多くなり、貯留ビン長手方向の内壁に向けると少なくなる。吐出材料を一度壁面に当てることにより、材料速度の減速と、材料の分散防止の効果により初期漏下量が少なくなるものと思われる。従って、初期漏下量の多少には種々な要

し量精度が高いことを確認した。

この時の平均取り出し量 $q = 20.04 \text{ kg}$ を用いれば、毎時取り出し量は式(5)から次式で示される。これよ必要な毎時取り出し量 Q は、スィープロータ走行速度 v を設定することにより容易に調整できる。

$$Q = (20.04 \times v / 1.8) \times 60 = 658v \quad (10)$$

次に、消費電力測定結果の例を図35に示す。材料掻き取り用モータの瞬時消費電力は150 W前後になる時もあ

表18 小麦稈の下方取り出し能力

試験番号	スィープロータ			取り出し量 kg	毎時取り出し量 kg/h	消費電力	
	走行方向	走行速度 m/min	走行時間 min			掻き出し用 W	走行用 W
1	←	0.57	3.15	20.0	380	122	54
2	←	0.58	3.13	22.0	421	123	54
3	→	0.59	3.07	20.8	406	—	—
4	←	0.58	3.08	20.5	399	—	—
5	→	0.75	※4.77	36.1	454	125	54
6	←	0.78	※4.61	37.8	491	—	—

- 備考：1) 材料含水率：12.2 %
 2) 材料の設定切断長：18mm
 3) 初期堆積高さ：1.7～1.8m
 4) 推定見掛け密度：39～54 kg・DM/m³ (平均 47 kg・DM/m³)
 5) スノコ間隔：50mm (隙間 34mm)
 6) 取り出しはダウンカット方式
 7) ※は往復走行時、スィープロータ停止時間を含まず

因が関係するが、これを少なくするためには、吹き上げパイプ吐出口の方向にも十分注意する必要がある。スノコで材料閉塞現象が起き、漏下が停止すれば、吐出口はいずれの方向でもよく、材料表面を均平になるように調整することに何ら問題ない。

(2) 下方取り出し性能

A 小麦稈供試の場合

性能測定結果を表18に示す。

スィープロータ1回走行当たりでの取り出し量(試験番号1～4)は平均20.83 kg、標準偏差0.85 kg、変動係数4%である。スプロケットを交換し、スィープロータ走行速度を早くして往復走行させても、取り出し量はほぼ一定であった(試験番号5～6)。全試験区でのスィープロータ1回走行当たりの平均取り出し量は20.04 kg、標準偏差1.41 kg、変動係数7%であり、小麦稈においても取り出

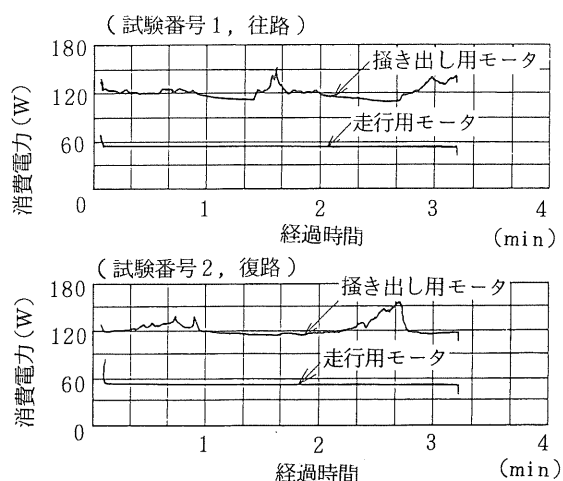


図35 小麦稈下方取り出し時の消費電力

るが、総じて低負荷である。スイープロータ作動時のモータ平均消費電力は、走行用は無負荷時とほとんど変化なく54W、材料掻き取り用は123Wで、無負荷時と比較して2～5W増加したのに過ぎなかった。以上により、総消費電力200W以下の、少ない動力での材料取り出しを再確認した。

B 生草供試の場合

予備試験の結果、スノコ間隔50mmでは一部二次閉塞

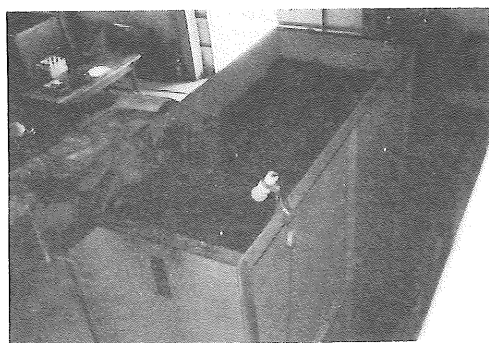


図3-6 生草投入後の状態
(投入後上表面を均平)

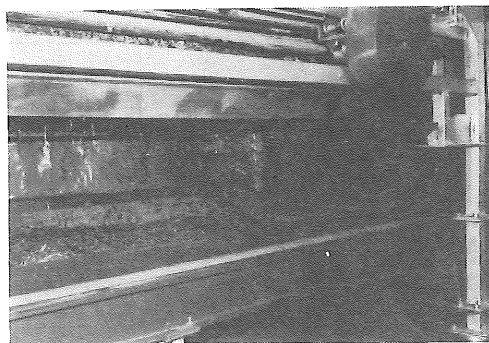


図3-7 生草の下方取り出しの状況

表1-9 生草の下方取り出し能力

試験番号	堆積高さ m	見掛け密度 kg/m ³	スイープロータ			取り出し量 kg	毎時取り出し量 kg/h	消費電力 (掻き出し用) W
			走行方向	走行速度 m/min	走行時間 min			
a 1	1.71	289	→	0.48	3.78	81.6	1295	235
2	1.76	281	←	0.48	3.77	103.1	1642	214
3※	1.56	317	→	0.48	3.77	74.1	1181	231
4	1.66	298	←	0.48	3.73	79.7	1281	177
b 5	1.71	289	→	0.48	3.73	64.1	1030	197
6	1.75	283	←	0.48	3.73	61.3	986	173

- 備考：1) 材料含水率：83.5 %
 2) 材料の設定切断長：9mm (平均切断長：12.4mm)
 3) aはダウンカット、bはアップカット方式
 4) ※は堆積上表面から材料を踏圧
 5) スノコ間隔：100mm (隙間84mm)

現象が認められたため、スノコ間隔100mmとし、ダウンカットとアップカットの両方式で実験を行った。図36、37にこの時の貯留ビンへの堆積状況と取り出し様態をそれぞれ示し、性能試験結果を表19に示す。

ダウンカット方式 (試験番号1～4) は、試験番号2

象は認めていない。

スイープロータはチェーンによって確実に走行させるため、アップカット方式でも、取り出し作用上での問題は発生しなかった。1回走行当たりの取り出し量 (試験番号5、6) は、ダウンカット方式に比較して10kg前後

少ない。この方式では、大部分の材料はスノコを通過して排出されるが、1部は走行後方の架橋空間部に投てきされ、再閉塞している。これがダウンカット方式と比較して、取り出し量を少なくする原因と思われる。

下の少ない動力で、毎時1tの能率で生草を取り出すことができた。

生草は下方取り出しに供試した材料の内でも、条件的に厳しいものであった。この場合は、スイープロータ走

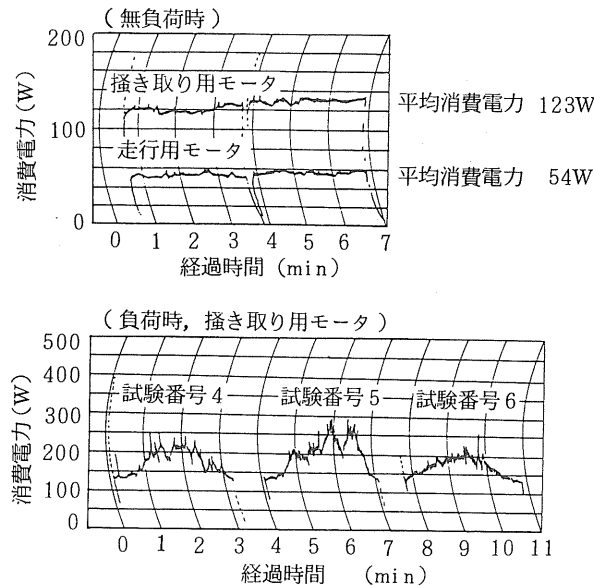


図38 生草下方取り出し時の消費電力

次に、材料撿き取り用モータの消費電力測定結果の例を図38に示す。これからすると、走行始・終端の壁面近くで消費電力は小さく、中央付近で大きくなる傾向にある。走行始・終端壁面近辺の堆積材料は、3壁面で支持され架橋現象が比較的強固であるのに対して、中央になるほどこの現象がゆるやかである。また、スイープロータ通過後の材料架橋現象は常に移動しており、スイープロータ直上の材料空間部分もほとんどないことが認められた。このようなことが、壁端部分より中央付近でのモータ負荷を大きくしている原因と考えられる。

しかし、材料撿き取り用モータの平均消費電力は、ダウンカット方式で214W前後、アップカット方式で182W前後に過ぎない。

走行用については無負荷時の54Wと比較してほとんど変化がなく、その動力は僅少である。以上のように、いずれの取り出し方式でも、モータ平均消費電力300W以

行途中で作動を全停止させると、材料架橋部分も圧密沈下しており再始動が困難となる。取り出しを一時停止させる場合、走行のみの停止に留める必要があるが、材料の圧密沈下が続くため、沈下分だけは常時取り出される。

スイープロータ操作方法の基本は、走行途中の一時停止は走行のみに留め、全停止はいずれかの走行終端とすることである。

乾草や乾燥した稲わら、麦稈類等については、走行途中にスイープロータ作動を全停止させても、再始動時にモータ過負荷となるような特段の支障はなかったが、生草など水分の高い材料をビンに貯留し、これを早い時期に取り出す場合は、取り出し操作に十分な注意が必要であった。

3.4 実用化の検討と問題点

細断した稲わら(乾材及び生材)及び麦稈類(乾材)、大豆稈(乾材)、桑残条(生材)、生草、スイートソル

ガム（生材）、青刈小麦などを供試した結果、ビンへの堆積と少ない動力による取り出しともに可能で、大きなトラブルはなかった。しかし、実用化にあたっては、なお検討の余地が残されている。これらを機構、使用面から整理すると次のとおりである。

1) 搬送コンベヤの設置

角型ビンからの下方取り出しでは、取り出された材料を1カ所に集める必要があるが、これは簡単に解決できる。スノコ下にコンベヤなどを設置し、一方に集めて材料を排出させればよい。どのような収集、排出・供給方法にするかは、材料の次の利用の仕方により異なる。

2) 一定量取り出しの自動化

スィープロータ1回走行当たりの下方取り出し量精度が高いことから、一定量の材料取り出しをスィープロータ走行回数より割り出すことができる。電気回路中にこのための制御カウンターを組み込めば、自動での一定量取り出しが可能となる。同時に、累積走行回数表示カウンタを組み込めば、この回数により取り出し総量が把握でき、材料の総量管理のための有効な手段になる。

3) 供給装置としての利用

バッチ式飼料混合機などへの材料供給においては、定流量供給より定量供給が要求される。このような機械への材料供給は、2)で述べた方法が有効になる。連続式の粉碎機や成形機への材料供給では、定流量供給が要求される。この装置のスノコ下に設置した搬送コンベヤで、取り出し材料を荷受けし排出・供給する場合は、下方取り出しの機構上から、スィープロータ走行方向による流量変動と、材料供給の一時停止が発生するため、供給精度の低下が考えられる。更に高精度の供給には、定流量機能を持つ搬送コンベヤとする必要があろう。

4) 装置のスケールアップ

スケールアップに際しての問題は、スィープロータによる材料掻き取り幅（スィープロータ作用長）と、その上部における材料架橋現象との関係が、十分に解明されていないことにある。従って、開発した装置をもとにスケールアップを考えるとすれば、次のような2通りと、これらの組み合わせがある。

① 角型ビンの堆積高さのみを高くする。

② スィープロータ走行方向のビン幅を大きくする。

以上のような方法によるスケールアップでは、スノコ強度などの再検討を必要とするが、スィープロータ及びこれを駆動するモータは、そのままの構成で使用できる。しかも、これまで供試した材料の内で、比較的厳しい条

件の生草でも、全消費電力300W以下の少ない動力で、毎時取り出し量1～2t前後は十分可能と思われる。

3.5 摘要

前章では、物理的性質を異にする細断乾草またはサイレーズでも、円筒ビンに設けたスノコに堆積できることを明らかにし、このスノコを利用して動力の少ない取り出し装置を開発できる十分な見通しを得た。しかし、これは、取り出し用スィープロータを人力で往復移動させる半自動であった。

更に実用化に一步近付けるため、人力で行っていたこの往復移動の機構を応用・発展させ、角型ビン用自動下方取り出し装置を開発し、その性能を明らかにした。結果の概要は次のとおりである。

(1) 装置は角型ビン直下にスノコを張設し、ビンとスノコの空間部にスィープロータを配置した簡単な構造である。スィープロータ回転用には400Wのモータを使用し、走行用は100Wで、チェーンを介してスィープロータを走行させる。スィープロータが一端に達すると、リミットスイッチが作動し、2台のモータの回転方向を切り替えて往復させ、材料を取り出す。

(2) 各種の細断材料が堆積・貯蔵でき、さらに、電源操作のみで自動による取り出しを確認した。

(3) スィープロータを確実に走行させているため、ダウンカットのみならずアップカット方式によっても、堆積材料を問題なく取り出すことができた。

(4) 毎時1.4～1.6t（乾材～生材）まで再現性の高い一定量取り出しができ、取り出しに要する動力は180～270W（乾材～生材）と少なかった。

(5) スィープロータによる材料取り出し倍率 η を測定しておけば、堆積材料の沈下量が推定でき、また、 η と堆積見掛け密度から取り出し量が計算できる。

以上により、この装置は自動で運転でき、しかも、定量で材料を取り出すことができる有効な装置であることがわかり、所期の目的は十分達成することができた。

4. 定流量供給装置の開発研究

第2章では、自動下方取り出し装置付角型ビンを開発し、物性の異なる多くの種類の細断材料を供試して実験を行い、ビンへの材料貯蔵と、自動運転による一定量取り出しを明らかにし、材料取り出しの機械化を達成したことを述べた。

その後、更に厳密な定量性を必要とする調製・加工ブ

ロセスに適應するため、これまでの開発研究結果を踏まえ、バルクハンドリングを前提とするプラント用、実験用の精密供給まで発展させることを狙った、定流量供給装置の開発研究を進めた。

そこで本章では、下方取り出し装置付角型ビンを基本とし、新構想のもとで開発した材料搬送部をS形フライトコンベヤとする定流量供給装置の構造と、作用及び研究経過を述べるとともに、必要な計算式を提示し、性能を明らかにした。

4.1 研究経過と装置の構造・作用

供給装置の多くは一定質量を供給することを目的としているが、簡単な構造でこれを連続して供給することは非常に困難なため、一定容積ずつ供給することで目的を達する方法が代用される場合が多い⁶⁵⁾。同一材料で、一定容積の見掛け密度が同じであれば一定質量となる。本研究で対象とした定流量供給装置もこの考え方による。

一般に使用されている粉粒体用供給装置のほとんどは原料ホッパが付随し、これを含めて供給装置とみてよい⁶⁵⁾。これらの供給装置を粗大物質の細断粗飼料・藁稈類などに使用した場合に共通する大きな問題は、材料架橋現象である。原料ホッパの大きさ、形状によっては、排出停止、一時的に架橋が壊れた時の供給過剰、材料剪断による消費動力の増大などの問題が発生する。これらの問題は、開発した下方取り出し装置付角型ビンと原料ホッパとみなし、これと供給装置とを組み合わせることに

により、解決できる。

しかし、粉粒体用供給装置は、粉粒体を取り扱う工場、あるいは、それらの工場を対象とする専門メーカーにより考案され、発展しており⁶⁶⁾その利用にあたっては、全て経験をもとにしている⁶⁷⁾。これは細断粗飼料・藁稈類を対象とする供給装置でも例外ではなく、開発研究といえども試行錯誤的な側面が多かったことは否定できない。この種供給装置の開発研究実績も、我が国では、農業機械化研究所^{68)~73)}、北海道農業試験場^{74)、75)}の2場所しかないのが実状である。装置の全体構成は、

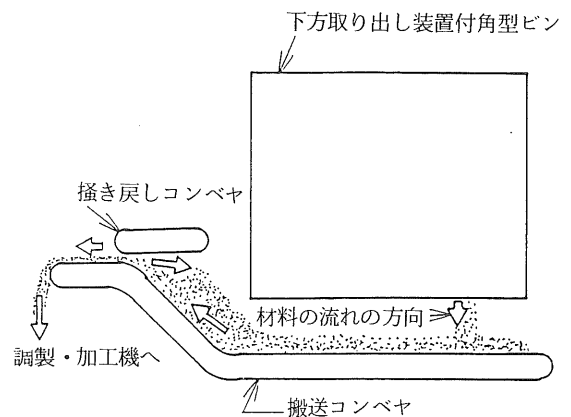
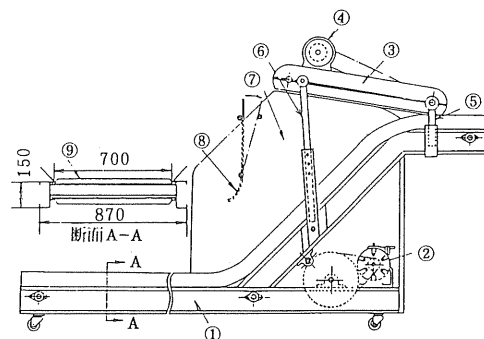


図39 定流量供給装置の基本構想



番号	品名	番号	品名
1	搬送コンベヤ	6	掻き戻しコンベヤ角度調整アーム
2	搬送コンベヤ駆動モータ	7	材料一時貯留部
3	掻き戻しコンベヤ	8	開閉ゲート (材料貯留量検出装置付)
4	掻き戻しコンベヤ駆動モータ	9	フライト
5	フライト間隙調整アーム		

図40 定流量供給装置の構造概要

下方取り出し装置付角型ビンを基本とし、図39に示すように定流量供給装置を配置した。搬送コンベヤ傾斜部に材料一時貯留機能を持たせ、角型ビンから取り出した材料をコンベヤで搬送し、さらに、余剰な材料を掻き戻して定容積にし排出・供給する。角型ビンからの材料取り出しは、傾斜部の材料一時貯留量の多少を検出し自動で行う。

定流量供給装置の構造概要を図40、主な仕様を表20に示す。

表20 定流量供給装置の主な仕様

- | |
|---|
| 1. 搬送コンベヤ |
| 1) 全長：4540mm |
| 下側水平部：2990mm, 傾斜部：985mm, |
| 上側水平部：565mm |
| 2) 全幅：870mm |
| 3) 揚程：830mm |
| 傾斜部傾斜角：45度, 傾斜面長さ：1363mm |
| 4) チェーン |
| 形式：ホローピンチェーン(Rローラ付), ピッチ：254mm |
| 5) フライト |
| 作用幅：700mm, 前傾角度：45度, |
| 作用高さ：35mm, 間隔：76.2mm |
| 6) 一時貯留部 |
| 容積：0.6m ³ , レベル検出：ゲート開閉をリミットスイッチで検出 |
| 7) 駆動モータ |
| 3相-200V-0.4kW, 無段変速機(減速機付), |
| 回転数：5.5~33.3min ⁻¹ (50Hz) |
| 2. 掻き戻しコンベヤ |
| 1) 全長：950mm |
| 2) 全幅：850mm |
| 3) チェーン |
| 形式：ホローピンチェーン(Rローラ付), ピッチ：254mm |
| 4) フライト |
| 作用幅：700mm, 作用高さ：110mm, 間隔：127mm |
| 5) 駆動モータ |
| 3相-200V-0.2kW, ギャーモータ, 回転数：60min ⁻¹ (50Hz) |

4.1.1 搬送コンベヤ

1) 構造

コンベヤは2条のチェーン間に一定間隔でフライトを取り付け材料を押し運ぶフライトコンベヤ⁷⁶⁾で、形状は連続輸送(コンチニアスフロー)コンベヤなどによく見られるS形である^{76), 77)}。S形にすることにより、同容積の角型ビンでは地上高が低く抑えられ、また、排出・供給側を高くすることにより調製・加工機へ直接供

給できる。

コンベヤ下側水平部は、角型ビンからの排出材料を荷受けするに足りるだけの長さとし、次に傾斜部を設けている。このため、輸送能力は低下する⁷⁸⁾が、余分な材料をここで貯留できる。

アンローディングボックス^{79), 80)}の例に見られるように、細断材料はスラット上堆積高さ1~1.5mでもそのまま全量搬送される。これは、粉粒体では見られない大きな特徴であり、材料のからみ付き、剪断力が非常に大きく^{39), 81)}、水平なコンベヤ上では、同じ位置で搬送材料を一時貯留することを困難にしている。これを簡単な調節ゲートのみで達成しようとすれば、コンベヤ自体を重構造にする必要があり、所要動力が増大するなどの問題もある。材料搬送途中での一時貯留は、材料の安息角を利用するのが好ましいとの考え方に基づく。

傾斜角度の取り方によっては、なお材料全量が搬送されたり、フライトから材料が抜け出し、ほとんど搬送されないことがある。フライトコンベヤでは最大傾斜角度40~45度が稀には採用されること^{76), 78)}、また、筆者らの「長もの材料の定流量化研究」で得た定流量化に必要な傾斜角度42~50度の知見⁸²⁾も総合しこれを45度とした。

一方、コンベヤ傾斜頂部にも水平部を設けている。これは図41に示すように、掻き戻しコンベヤによる材料掻き戻し先端を、傾斜部に位置させる(図41の①)より、水平部の位置(図41の②)から掻き戻した方が、より定量性が増すとの考え方による。

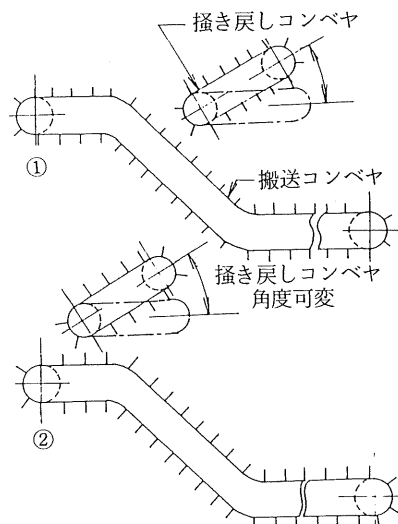


図41 掻き戻しコンベヤの取り付け位置

2) フライトの形状と間隔

2条のチェーンにバイピッチホローピンチェーン(Rローラ付、ピッチ25.4mm)を使用し、この間にピン付L形フライトを取り付け、トラフ上を走行させる。フライト高さ、取り付け間隔、角度は、フライトへの材料の詰まり方、排出・供給状態に与える影響が非常に大きい。最終的にはフライト高さ35mm、間隔76.2mmとし、材料搬送方向に45度前傾させている。

4.1.2 掻き戻しコンベヤ

搬送コンベヤ上側水平部位置で、余剰な材料を掻き戻し定容積にするために、従来からドラム⁸³⁾やビータ⁸⁰⁾が使われている。しかし、これらを使用すると、掻き戻し部分が大型になるため、フライトコンベヤを採用してこの部分の小型化を図った。フライトで搬送される材料を線的に掻き取ると、材料に剪断力が作用し、搬送コンベヤ側フライトに入っている材料の引き抜き現象が認められたので、掻き戻し側フライトは、図42に示すような特殊なノコ刃状とし、間隔76.2mmで山と谷とが交互に重なる軌跡に配列した。

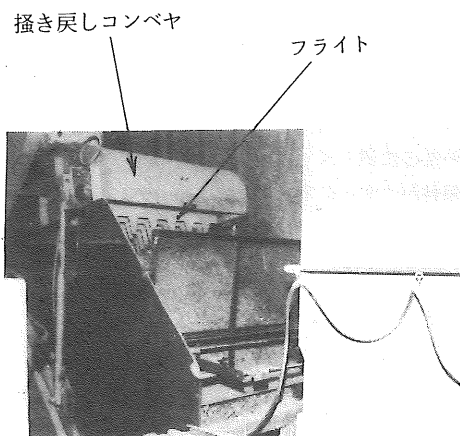
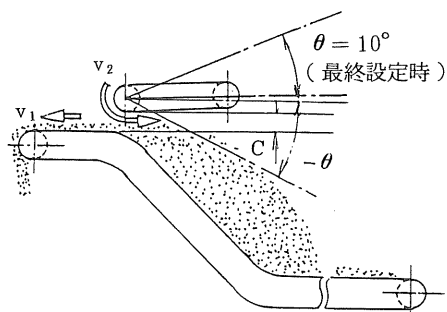


図42 掻き戻しコンベヤのフライト形状

この部分では、次のような要因が定流量化に影響したため、細部の仕様は試験結果を検討し決定した。

- ① 両コンベヤの相対速度比 $[v_2/v_1]$
- ② 両コンベヤフライト先端最小間隙 $[C \text{ mm}]$
- ③ 掻き戻しコンベヤ傾斜角度 $[\theta^\circ]$

なお、これらの要因の位置関係を図43に示す。



- v_1 : 搬送コンベヤ速度 (m/min)
- v_2 : 掻き戻しコンベヤ速度 (m/min)
- v_2/v_1 : 相対速度比
- C : 両フライト先端最小間隔 (mm)
- θ : 掻き戻しコンベヤ傾斜角度 ($^\circ$)

図43 掻き戻しコンベヤが定流量化に与える影響

4.1.3 材料一時貯留部

1) 貯留機能と貯留容積

定流量供給装置の排出・供給量と、角型ビンからの取り出し量を完全に同調させることは困難なため、バッファ用として材料一時貯留機能を持たせる必要がある。

傾斜部での材料一時貯留機能は、そのままの状態では非常に不安定である。すなわち、図44に示すようにその様態は様々となる。この結果は、傾斜部から下側水平部にかけて材料が滞留する。このような状態で貯留する場合

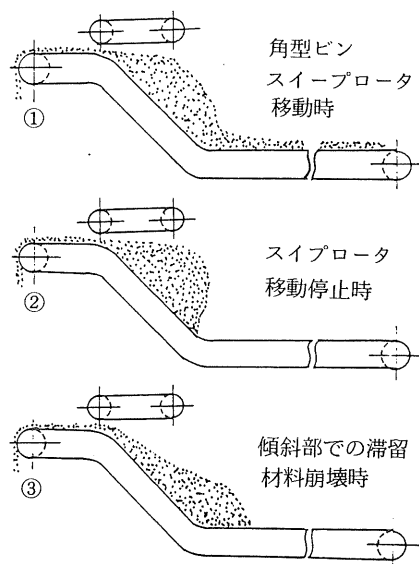


図44 搬送コンベヤ傾斜部における材料滞留状況

合は、水平部のコンベヤ自体を長くしなければならないこと、材料貯留量の検出方法などが問題となる。そこで、傾斜部始端上に、搬送材料厚さに応じて自由に開閉するゲートを設けることを検討し、これらの問題を解決した。

搬送材料が一旦このゲートを通過すると、傾斜部で崩壊しても逆流することがなく、掻き戻しコンベヤによる余剰材料も含め、ゲート上側傾斜部で徐々に材料を貯留する機能を持つ。

この部分の貯留容積は 0.6 m^3 で、細断稲わらの見掛け密度 $45 \text{ kg} \cdot \text{DM}/\text{m}^3$ (切断長 18 mm 、最粗充てん)、コンベヤ供給能力 $500 \text{ kg} \cdot \text{DM}/\text{h}$ とすれば、約3分間の貯留能力となる。

2) 材料貯留量の検出機構

角型ビンからの材料取り出しを自動制御するため、材料貯留量の検出を行う。

貯留量検出に、当初市販のレベルスイッチを用いた。図45の①に示すような位置に、型式中では最低圧で作動する回転羽根式⁸⁴⁾、またはピストン式⁸⁵⁾を取り付け作動状況を調査した。その結果、これらにかかる材料トルクまたは圧力が小さく、検出器の調整範囲で満足な作動は期待できないことがわかった。

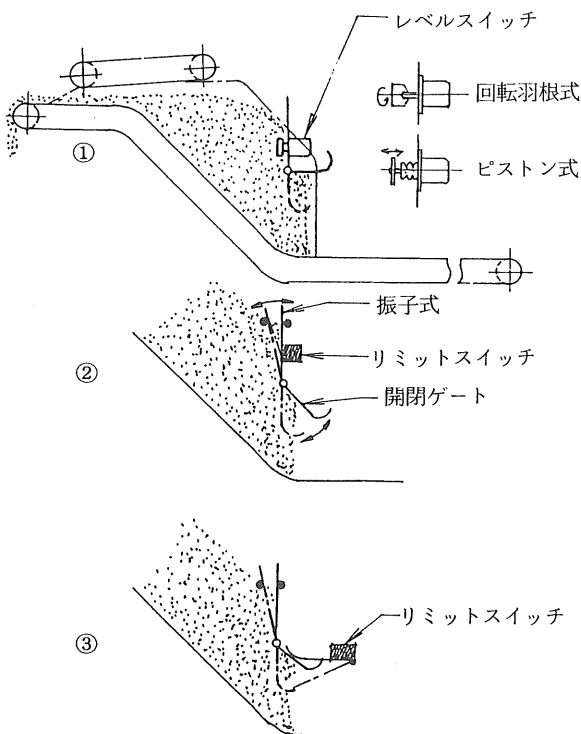


図45 レベル検出方法の検討経過

次に、図45の②に示すような上側振り子式で、リミットスイッチを作動させる方式について検討した。材料の種類に応じて振り子の重心位置を調整すれば、一定量以上の貯留量の検出はできたが、一定量以下になった時、材料の高低差による検出遅れが問題として残された。

最終的には、開閉ゲートの開閉程度をリミットスイッチで検出する方式を考案してこれを採用した。この検出法の原理を説明すると次のとおりである。

図45の③に示すように、開閉ゲートが最大開度となる材料搬送状態では、リミットスイッチがオフとなり、角型ビンのスィープロータの走行が停止する。この場合では、十分な量の材料搬送があり特に問題とならない。徐々に材料が貯留する場合についてみると、

① 搬送量、特に搬送厚が一定でも、開閉ゲートは徐々に開く。これは材料が逆流する結果であり、貯留量に応じた開度となる。

② 一定量以上の貯留量でリミットスイッチがオフとなり、スィープロータの走行が停止する。

③ 下側水平部からの材料搬送がなくなると、開閉ゲート下にある材料の搬送を開始する。この時、一定量まで材料の逆流が続き、開閉ゲートは開いたままである。一定量以下になると閉じてきて、リミットスイッチがオンとなり、スィープロータは材料取り出しを開始する。

以上のような方式で貯留量を確実に検出し、角型ビンからの材料取り出しを自動制御している。

4.2 計算供給能力・所要動力

供給能力及び所要動力は、計算により概略推定でき、これらは設計や運転操作の指標となるためここで検討する。

4.2.1 供給能力

掻き戻しコンベヤによる定容積後の供給量は、次式で計算できる⁷⁷⁾。

$$Q = 60 \cdot \gamma \cdot A \cdot v_1 \quad \text{..... (11)}$$

ここで、

Q : 供給量 (kg/h)

A : 搬送コンベヤ上の材料積載断面積 (m^2)

γ : 材料の見掛け密度 (kg/m^3)

v_1 : 搬送コンベヤ速度 (m/min)

また、 v_1 は次式によって求める。

$$v_1 = P_c \cdot N \cdot n / 1000 \quad \text{..... (12)}$$

ここで、

P_c : 搬送コンベヤチェーンピッチ (mm)

N : 駆動用スプロケット歯数 (枚)

n : 駆動用スプロケット回転数 (min^{-1})

式(11)による Q は、フライト間隔とは無関係であるが、ここに入っている材料質量 w (kg)から、次式で求めることもできる。

$$S = 1000 v_1 / (a \cdot P_c) \quad (13)$$

$$w = V \cdot \gamma \quad (14)$$

$$Q = 60 \cdot S \cdot w \quad (15)$$

ここで、

S : フライト通過枚数 $(\text{枚}/\text{min})$

$a \cdot P_c$: フライト間隔 (P_c の a 倍) (mm)

V : フライト間の材料容積 (m^3)

$a = 3$ (フライト間隔 7.62 mm)、搬送コンベヤ材料厚 5.0 mm に設定した時の、稲わら及び小麦稈供給量計算結果を図 4.6 に示す。ただし、両材料とも切断長 18 mm、見掛け密度をそれぞれ 45、38 kg・DM/ m^3 とした。

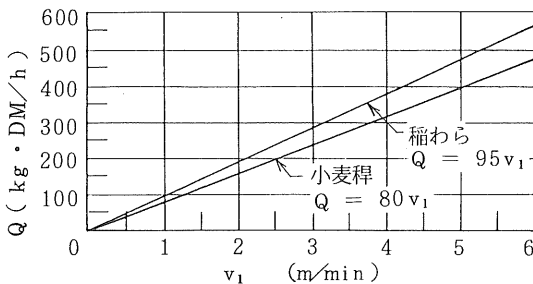


図 4.6 搬送コンベヤ速度と計算供給量の関係

これより、500 kg・DM/h の供給量では、搬送コンベヤ速度を 5 ~ 6 m/min にする必要がある。

4.2.2 所要動力

チェーンコンベヤの所要動力計算には幾つかの式が提示されている^{76)~78), 86)}が、ここでは次式⁸⁷⁾によった。

$$L = (1/6120) \cdot v_1 \cdot \{ \mu_1 \ell (W_g + 2.5 W_c) + \mu_2 \ell_1 \pm W_g h \}$$

ここで、

L : 所要動力 (kw)

v_1 : 搬送コンベヤ速度 (m/min)

μ_1 : チェーンとガイドレールの摩擦抵抗 (kg/m)

μ_2 : 搬送材料と底板、側板等の摩擦抵抗 (kg/m)

ℓ : コンベヤの機長 (m)

ℓ_1 : フライトの幅 (m)

W_g : 搬送材料 1 m 当たりの質量 (kg/m)

W_c : チェーン、フライト等の 1 m 当たりの質量 (kg/m)

h : コンベヤの揚程 (m)

試作装置のコンベヤの機長、揚程の基本寸法を図 4.7 に示す。これより、基礎数値を与えて所要動力を計算する。

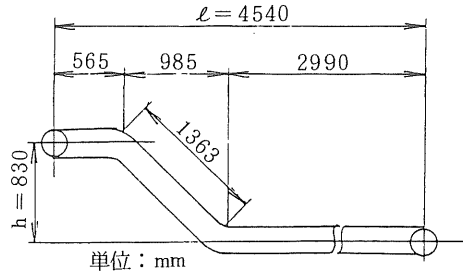


図 4.7 搬送コンベヤの基本寸法

1) 計算上の基礎数値

搬送材料：稲わら、切断長 18 mm, $\gamma = 45 \text{ kg} \cdot \text{DM}/\text{m}^3$, $\mu_2 = 0.5 \text{ kg}/\text{m}$

供給量： $Q = 500 \text{ kg} \cdot \text{DM}/\text{h}$, $v_1 = 5.3 \text{ m}/\text{min}$ (図 5.2 より), $\mu_1 = 0.25$ ⁸⁶⁾, $\ell = 4.54 \text{ m}$, $\ell_1 = 0.70 \text{ m}$, $W_g = Q \times (1/60) \times (1/v_1) = 1.57 \text{ kg} \cdot \text{DM}/\text{m}$, $W_c = 5.84 \text{ kg}/\text{m}$, $h = 0.83 \text{ m}$

2) 所要動力

$$L = (1/6120) \times 5.3 \{ 0.25 \times 4.54 (1.57 + (2.5 \times 5.84)) + 0.8 \times 0.7 + 1.57 \times 0.83 \} = 0.02 \quad (\text{kW})$$

以上により、500 kg・DM/h の稲わら供給時の所要動力は 20 W で、駆動部の伝動機効率を 80 % とすれば、電動機の容量は 30 W でよいことになる。

しかし、搬送傾斜部の材料と搬送コンベヤ間に剪断力が作用するため、この部分の所要動力は無視できないと考えられる。このような場合の計算方法は明らかにされていないので、次のように概算によって求める。

材料層のすべりには、次式の Coulomb の摩擦法則⁸⁸⁾が成立する。

$$\tau = \sigma \tan \phi + c \quad (17)$$

ここで、

τ : 剪断応力 (kgf/cm^2)

σ : 垂直応力 (kgf/cm^2)

ϕ : 内部摩擦角 $(^\circ)$

c : 粘着力 (kgf/cm^2)

剪断面積 A (cm^2) とすれば、剪断力 P (kgf) は次式と

なる。

$$P = \tau \cdot A \\ = (\sigma \tan \phi + c) \cdot A \quad \dots\dots\dots (18)$$

斜面での材料剪断時に、式(18)を単純に適用し、図48に示す関係より斜面における剪断力は次式となる。

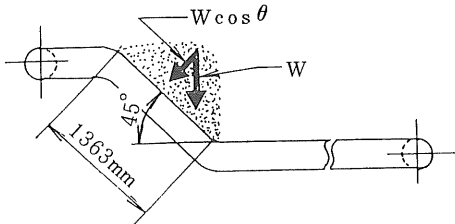


図48 斜面上への貯留材料垂直荷重

$$P = \tau \cdot A \\ = W \cos \theta \cdot \tan \phi + c \cdot A \quad \dots\dots\dots (19)$$

式(19)より、この部分での所要動力は次式で示される。

$$L = P \cdot v_1 / 6120 \quad \dots\dots\dots (20)$$

これより傾斜部の所要動力を求める。

基礎数値の前出1)と、

一時貯留部容積：0.6 m³

傾斜面の面積：A = 136.3 × 7.0 = 9541 cm²

傾斜面の角度：θ = 45°

及びφ = 32°³⁹⁾、c = 0.04³⁹⁾を用いると、

$$L = (1/6120) \times 5.3 (0.6 \times 45 \cos 45^\circ \times \tan 32^\circ \\ + 0.04 \times 9541) \\ = 0.34 \text{ [kW]}$$

以上により、供給装置駆動に必要な所要動力は、一時貯留部分により決定できると考えられる。この部分では、

安息角によるすべりも発生し、計算値よりは少なくなることが予想されるが、伝動機効率80%とし、定格出力400Wの電動機でよいと推定される。

4.3 試作装置の性能試験

本節では装置の適正諸元、運転指標を得るとともに、性能を明らかにした。

4.3.1 試験方法

1) 供試材料

カットによる材料設定切断長の範囲が12~18mmの稲わら、小麦稈及び生草を供試した。

2) 測定項目及び測定方法

(1) 供給量

電子天秤に乗せた容器に直接排出・供給材料を投入し、電子天秤(最大120kg、最小読み取り0.01kg)からの出力電圧(ボルト)をペンレコーダで測定記録し供給量を求めた。初期の測定では、ペンレコーダの読み取り精度(最小0.1kg)が低かったため、後半の測定では、自動ゼロサプレッション付ペンレコーダまたはデジタルプリンタを使用し、読み取り精度を高めた。

(2) 搬送及び掻き戻しコンベヤ速度

それぞれの駆動軸に電磁式ピックアップを取り付け、デジタルプリンタで回転数を記録測定し、平均回転数とスプロケット歯数からコンベヤ速度を求めた。

(3) 消費電力

搬送コンベヤ及び掻き戻し用モータの消費電力を、それぞれ3相3線式デジタル電力計で記録測定した。また、図49に示すような装置で、搬送コンベヤ駆動用モータの入出力校正を行った。

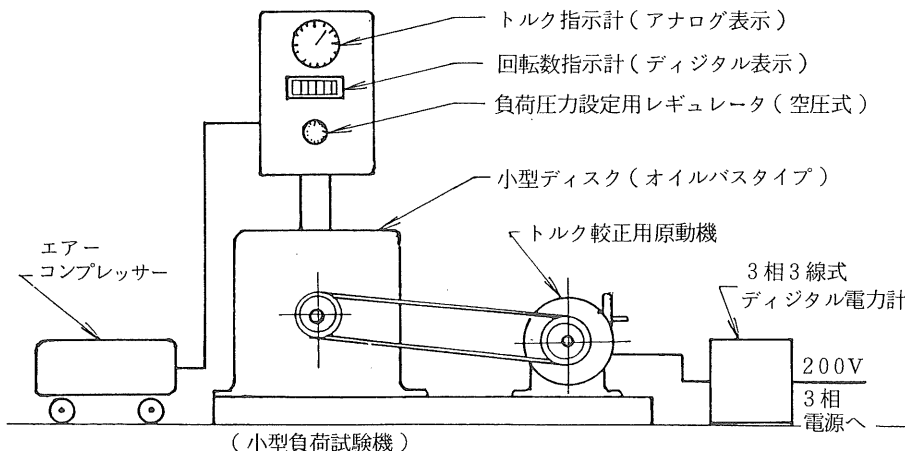


図49 原動機入・出力校正試験装置

3) 運転方法

供試材料はホイールカットで細断しながら角型ビンに吹き込み貯留する。予め供給装置を駆動しておき、次に角型ビンの取り出し装置を作動させる。供給装置からの材料排出・供給状態が定常になったと思われる時点で、電子天秤上の容器を交換し測定を開始する。この間、供給装置一時貯留部の材料レベルを検出して、角型ビンからの材料取り出しを自動制御し、供給装置への材料供給は無人運転とする。なお、累積質量測定時間は、容器の

ち、 $v_2 = 0$ では、搬送コンベヤに大きな負荷がかかり、材料排出・供給は不可能に近い。観察結果からは、 $v_2/v_1 \geq 2$ が望ましく、また、これ以上の相対速度比においては、特に問題点は発生しなかった。このため、搬送コンベヤ最高速度(約6m/min)時、 $v_2/v_1 = 3 \sim 4$ となる掻き戻しコンベヤ速度とし、搬送コンベヤ設定速度にかかわらず、この速度を17~20m/min にほぼ固定して以降の実験を行った。

(2) 両コンベヤフライト先端最小間隔C

1. 運転条件

表2-1 細断稲わらの供給能力と精度

試験番号	コンベヤ速度		相 対 速 度 比 v_2/v_1	C mm	備 考
	v_1 m/min	v_2 m/min			
1	2.10	17.04	8.11	2	①材料切断長：18mm ②材料含水率：11.0% ③1試験区の計量時間は4~12min
2	2.10	17.04	8.11	2	
3	2.10	19.56	9.31	2	
4	3.35	19.28	5.76	2	
5	4.19	17.04	4.07	2	
6	4.19	16.48	3.93	2	
7	4.19	16.48	3.93	10	
8	5.03	19.56	3.89	10	

2. 試験結果

試験番号	30秒間当たり供給量(現物)					1時間当たり流量	
	平均 kg	最高 kg	最低 kg	標準偏差 kg	変動係数%	現物 kg/h	乾物 kg/h
1	0.89	1.6	0.2	0.53	60	107	95
2	1.29	2.0	0.6	0.40	31	155	138
3	1.93	3.0	1.4	0.45	23	232	206
4	2.18	2.8	1.2	0.52	24	262	233
5	2.56	3.0	1.8	0.43	17	307	273
6	2.30	3.0	1.4	0.55	24	276	246
7	2.53	3.0	1.6	0.48	19	304	270
8	3.54	4.2	3.2	0.37	10	425	378

v_1 : 搬送コンベヤ速度

v_2 : 掻き戻しコンベヤ速度

C : 両コンベヤフライト先端最小間隔

容積(約0.8m³)分としたため、供給量の多少により異なった。

4.3.2 結果と考察

1) 相対速度比、両コンベヤフライト先端最小間隔などと供給精度の関係

掻き戻しコンベヤは水平で、両フライト先端最小間隔Cを2mmと10mmにし、細断稲わらを供試した時の実験結果を表2-1に示す。

(1) 相対速度比

搬送コンベヤ速度 v_1 (m/min) と掻き戻しコンベヤ速度 v_2 (m/min) との相対速度比 $v_2/v_1 = 0$ 、すなわ

Cが2mmの場合は、10mmと比較して変動係数が大きくなる傾向にある。このような狭い間隔で、搬送コンベヤフライト高さで材料をすり切り、定容積にさせようとすると、フライト高さ以下まで材料が掻き取られる現象が認められる。その状態はフライト間材料の中央で低く、凹面状になっている場合が多く、場合によっては、フライトに詰まった材料のほとんどが掻き戻されることも観察された。以上から、Cは一定値以上にすることが望ましく、10mm以上が目安となった。この程度の間隔にすると、定容積後の搬送コンベヤ上の材料表面も平になっていることが観察された。

さらにその後、掻き戻しコンベヤを多少上側に傾斜させることにより、材料の掻き戻し状態がより良好になることを観察したため、これを $+10^\circ$ 傾斜させることにした。

表 2 2 細断小麦稈の供給能力と精度

試験 番号	v_1 m/min	10秒間当たり供給量(現物)					1時間当たり流量	
		平均 kg	最高 kg	最低 kg	標準 偏差 kg	変動 係数%	現 物 kg/h	乾 物 kg/h
1	3.21	0.597	0.83	0.43	0.141	23.6	215	169
2	3.21	0.575	0.88	0.41	0.131	22.8	207	182
3	3.91	0.747	0.99	0.40	0.171	22.9	269	236
4	4.75	0.889	1.29	0.62	0.192	21.6	320	281
5	5.87	0.978	1.36	0.70	0.171	17.5	352	309

備考：1) 材料切断長：18mm
 2) 材料含水率：12.2%
 3) 両フライト先端最小間隙C：10mm
 4) $v_2 = 16.76$ m/min
 5) 1試験区の計量時間：4～6m/min

次に、これらの結果を踏まえ、細断小麦稈を供試し、掻き戻しコンベヤ傾斜角度 $+10^\circ$ 、 $v_2 = 17$ m/min、 $C = 10$ mmにして行った実験結果を表22に示す。これより、図50に示すように、供給量(計測時間10秒間での流量の平均値)と搬送コンベヤ速度の間には、非常に有意な直線関係が認められた。また、10秒間毎の供給量に対する変動係数は18～24%、平均22%で、既存の供給装置と比較して⁸⁹⁾も高精度な供給であった。

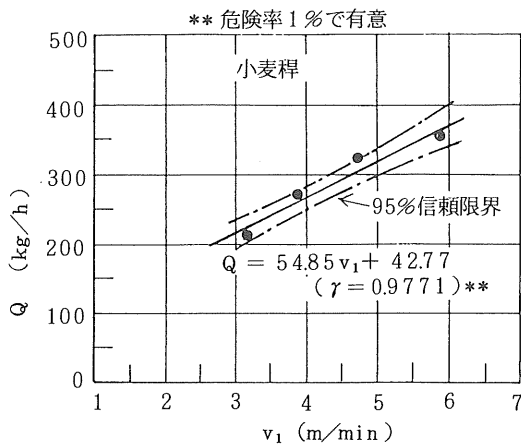


図 5 0 搬送コンベヤ速度と供給量の関係

2) 搬送コンベヤのフライト間隔・形状と供給精度の関係

更に供給変動係数を小さくし、供給精度を高めるため

に、搬送コンベヤのフライト間隔、形状について検討した結果を次に述べる。

(1) フライト間隔

図51は供給累積質量を自動ゼロサプレッション付べ

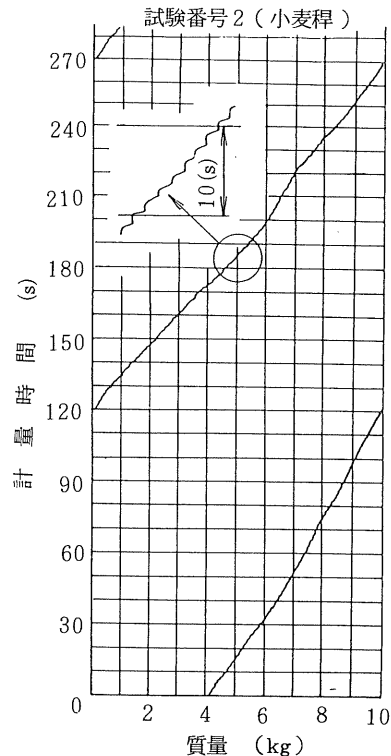


図 5 1 供給累積質量測定例

ンレコーダで測定した例である。フライト間隔76.2mmでも本装置の特徴である間欠的な材料の排出・供給、すなわち、段階的な質量増加が明確に示されている。この測定例では、フライトにより10秒間に平均7.04回、すなわち、1.43秒に1回の割合で材料の排出・供給が行われている。しかし、1.43秒間内でも供給停止時間は、なお数分の1程度ある。このような供給停止時間はフライト間隔が広がるほど大きくなる傾向にある。

当初、フライト高さ50mm、間隔254mm(チェーンピッチの10倍)とした。この間隔で定容積後にフライトに詰まっている材料は連続量と見せても、排出・供給段階では、これがマスとして一度に排出・供給されることはなかった。その状況は、

- ① 連続的な排出
- ② 材料の絡み付きにより引きずられる
- ③ 材料押し側のフライトに材料が片寄る

などが発生し、間欠になったりした。

従って、変動を小さくするには、フライト間隔を狭くしマスとして排出させること、搬送材料厚を薄くし、搬送コンベヤ速度を速くすることが好ましい。以上のことから、フライトに細断材料が均一に詰まる最小間隔として76.2mmを採用した。

2) フライト形状

試験結果の取りまとめは、10秒間毎の供給量と変動係数で示すことにしているが、単位測定時間内の供給量変動係数は、計量時間を短くするほど大きくなる^{57), 67)}。

小麦稈を供試し、計量時間間隔と変動係数との関係求めた例を図52に示す。この場合では10秒間以下になると変動係数が急増している。材料の滞留時間が短い粉砕機などでは、微少時間間隔での供給量変動が少ない

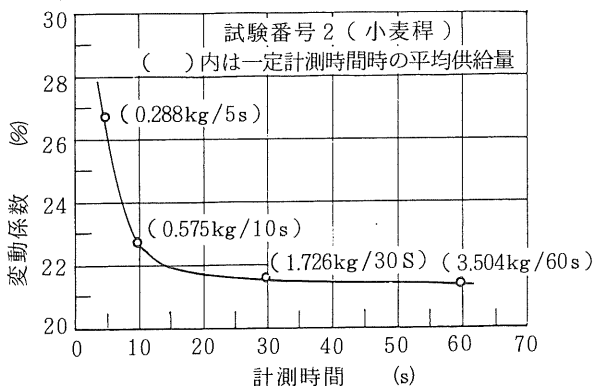


図52 計測時間間隔と変動係数の関係

ほどその能力を最大限に発揮させ効率的な運転ができるので、短い計量時間間隔でも変動係数が急増しないことが望ましい。

図53には10秒間ごとの供給量の変動例を示す。この変動傾向は、波うち現象を示しているが周期的でない。この試験では搬送コンベヤフライトをトラフに対して直

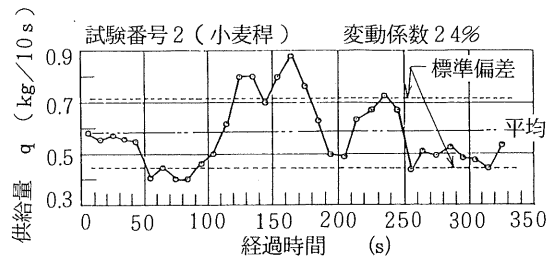


図53 供給量変動測定例

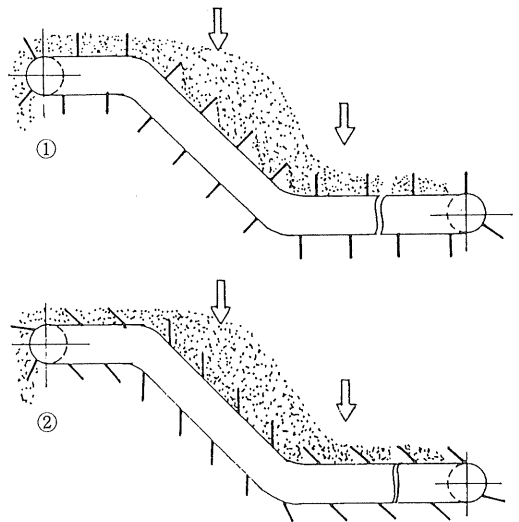


図54 搬送コンベヤフライト形状と材料の詰まり方

角としている(図54の①)。このような形状では、角型ビンから材料が取り出されている時は、その直下のフライトには材料が詰まり易いが、取り出しを停止し、一時貯留部からの材料搬送となると、材料はフライトに詰まりにくくなり、また、詰まった材料は抜け易い状態となる。以上のことから、供給変動は周期的になるが、実際には一時貯留部の材料も動的な状態にあり、フライト

への詰まり方が時々刻々に変化し、供給変動の周期性が明確に現れず、変動を大きくしていることが考えられた。

そこで、定量性確保のポイントは、一時貯留部にあると考え、この部分で材料が詰まり易いようにフライト形状を鉛直にし（図5-4の②）、全てのフライトを45度前傾させた。これにより次に示すように供給精度を更に高くすることができた。

3) 供給量と精度

この試験に先立ち、供給量をチャート紙から読み取る

表2-3 測定法の差異と供給量測定精度

比較 番号	測定法	10秒間当たり供給量		
		平均 kg	標準偏差 kg	変動係数 %
1	アナログ	0.855	0.116	13.5
	デジタル	0.855	0.118	13.9
2	アナログ	1.131	0.109	9.6
	デジタル	1.132	0.139	12.3
3	アナログ	3.362	0.530	15.8
	デジタル	3.380	0.503	14.9
4	アナログ	6.665	0.195	2.9
	デジタル	6.650	0.251	3.8

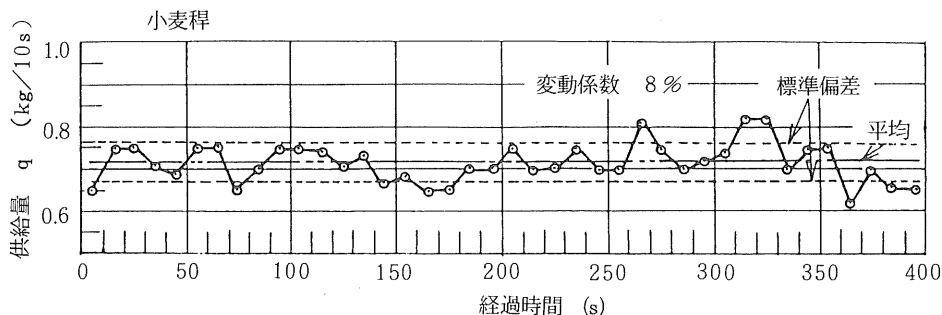


図5-5 供給量変動測定例

煩雑さを避けるため、デジタルプリンタの使用を前提に、電子天秤からの出力を自動サプレッション付ペンレコーダとデジタルプリンタに並列入力して同時に測定記録し、測定精度を比較検討した。結果は表2-3に示すように、測定法による供給量、変動係数等の差異は、統計的にも認められなかった。これから、供給量測定記録にはデジタルプリンタを使用した。

供給装置に要求される事項には、

① 高い供給精度

② 広い供給量調節範囲

③ 広範囲での供給速度と供給量との直線性

などが挙げられるため、次にこれらについて検討した。

(1) 供給精度

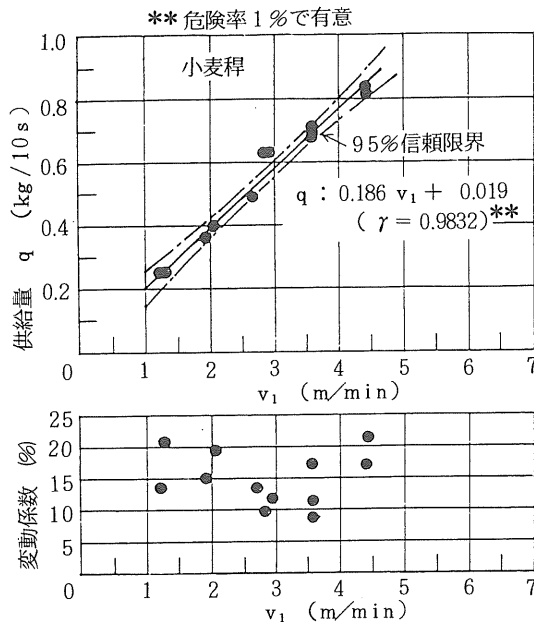
細断した小麦稈、稲わら、生草をそれぞれ供試して行った試験の内、小麦稈での供給変動測定例を図5-5に示す。角型ビンからの材料排出の有無が、10秒間毎の供給量の変動に与える影響はほとんど認められず、また変動範囲も図5-3に比較して小さくなっている。これはフライト前傾の効果が見れていると思われる。

次に、上記3種類の材料供試時について、搬送コンベヤ速度と供給量及び変動係数との関係を図5-6-1～3に示す。

小麦稈での変動係数は7～22%、平均15%で、これまでの実験結果と比較して供給精度は大幅に向上している。稲わら、生草での変動係数は更に小さく、平均値はそれぞれ12%、10%である。

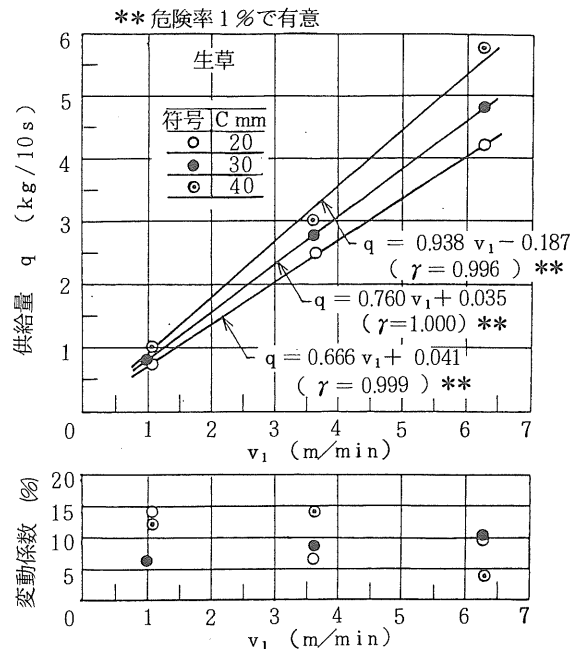
材料切断長は12～18mmと比較的等切断にもかかわ

らず、材料の種類により供給精度が異なるのは、物理的性質の違いに起因するもの大きいと考えられる。これによって、小麦稈、稲わら、生草の順に供給精度は高くなるが、少なくとも平均変動係数15%以下の供給精度で、次工程の加工機等へ材料を供給できると言える。



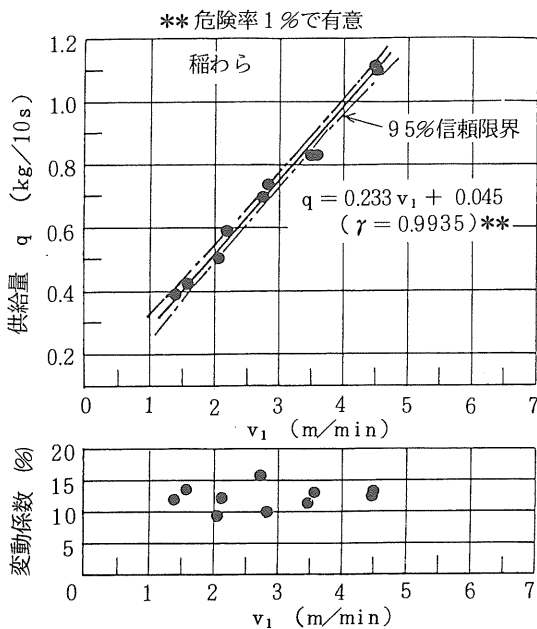
- ① 設定切断長 18mm, 測定切断長 19.3 ± 3.9 mm
- ② 材料含水率 13.8%
- ③ 両コンベヤフライト先端最小間隙 $C = 20$ mm
- ④ $v_2 = 16.76$ m/min

図 56-1 細断小麦稈の供給能力と精度



- ① 草種：イタリアンライグラス
- ② 設定切断長 12.2mm
- ③ 材料含水率 76.6%
- ④ $v_2 = 16.76$ m/min

図 56-3 細断生草の供給能力と精度



- ① 設定切断長 18mm, 測定切断長 16.6 ± 1.4 mm
- ② 材料含水率 17.9%
- ③ $C = 20$ mm, $v_2 = 16.76$ m/min

図 56-2 細断稲わらの供給能力と精度

(2) 供給量調節範囲

試験範囲の供給量は、小麦稈で $88 \sim 303$ kg/h、稲わらで $139 \sim 401$ kg/h、生草で $270 \sim 2100$ kg/h である。最低供給量からの調整範囲は小麦稈、稲わらで約 3 倍、生草は約 8 倍で最も広い。生草の約 8 倍は搬送コンベヤ最高速度を 4.5 m/min から 6.3 m/min までに増速したと、両コンベヤフライト先端最小間隙 C を 40 mm までに調節したことによる。その結果、更に広範囲な供給量設定が可能になった。

小麦稈、稲わらについても、実用的な供給量 500 kg・DM/h までは、生草と同様に、搬送コンベヤ速度及び C の調節により十分可能と思われる。ただし、 C の上限調整範囲は、掻き戻しコンベヤ位置まで搬送される材料厚に限界があるため、掻き戻しコンベヤが材料掻き戻し作用を行う範囲以内となる。

(3) 搬送コンベヤ速度と供給量の関係

いずれの供試材料でも、搬送コンベヤ速度 v_1 が増加するにつれて、供給量 q が増加し、高度に有意な回帰直線で示される。これらの関係から供給量が容易に設定で

き、好ましい操作特性を持っていることを確認した。

4) 所要動力

図57に搬送コンベヤ駆動に使用したヘリカルギヤ変速機付きモータ（定格出力3相200V-400W）の入出力較正值と効率を示す。通常の使用で入力（消費電力）400W前後とすれば、このモータの効率は40%程度である。

掻き戻しコンベヤ用モータの入出力較正は行わなかつ

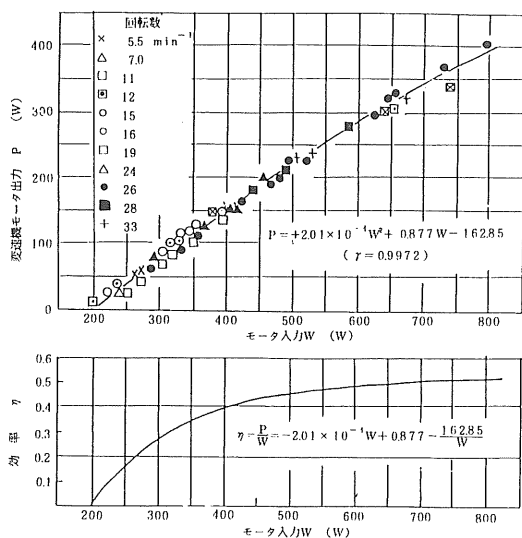


図57 モータの入・出力及び効率の関係

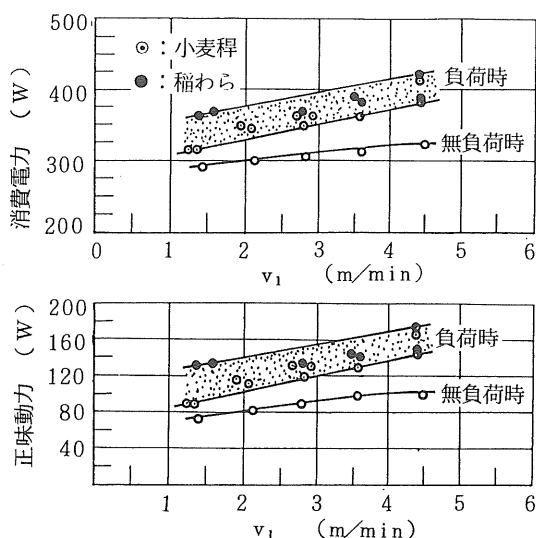


図58 搬送コンベヤ速度と消費電力及び正味動力の関係

たが、消費電力は無負荷、負荷時ともに120Wで、供給量の多少はほとんど影響しなかった。

次に、小麦稈及び稲わら供試時について、図58に搬送コンベヤ速度と搬送コンベヤ駆動用モータ消費電力及び正味動力との関係を示す。無負荷時消費電力は、搬送コンベヤ速度が増加するにつれて、わずかながら増加する傾向にあるが、それでも300W前後で、正味動力約90Wであった。

負荷時についても同様な傾向を示すが、稲わら、小麦稈ともに同じ搬送コンベヤ速度の時は、ほぼ同程度の消費電力であり、材料間の供給量の多少にはあまり影響を受けなかった。正味動力は160W前後で、式(20)による計算値は安全側で示されていることになり、供給装置駆動に要する正味動力は小さかった。

4.4 摘要

前章では、自動下方取り出し装置付角型ビンを開発し、物性の異なる種々な細断材料の貯蔵と、自動運転による定量取り出しを明らかにした。しかし、更に厳密な定量取り出し特性を要求する加工プロセスに適応するため、開発した角型ビンを利用し、プラント用、実験用に精密供給できる定流量供給装置の開発研究を行った。この結果を要約すると次のとおりである。

(1) 角型ビンを基本とし、これから取り出される材料を更に高い精度で次工程に排出・供給させるため、角型ビン直下に開発した定流量供給装置を配置している。定流量供給装置はS形のフライト付搬送コンベヤと掻き戻しコンベヤとで構成し、掻き戻しコンベヤで搬送材料を定容積とし排出・供給する。掻き戻された余剰材料は搬送コンベヤ傾斜部で一時的に貯留し、この量を検出して角型ビンからの材料取り出しを制御し、無人運転ができることを特徴とする。

(2) 供給精度を高めるための適正諸元を、明らかにした。

① 搬送コンベヤのフライト間隔をできるだけ狭くし、かつ材料搬送方向に前傾させる。

② 搬送コンベヤ速度に対し掻き戻しコンベヤ速度は2倍以上にする

③ 両コンベヤのフライト最小間隔は10mm以上にする

(3) 細断した小麦稈、稲わら、生草の供給精度は高く、10秒間毎の供給量の平均変動係数は10~15%であった。

(4) 細断生草の場合、毎時供給量は270~2100kgで、

供給量調節範囲は約8倍であった。

(5) 供給量と搬送コンベヤ速度とは、高度に有意な回帰直線関係が認められた。

(6) 搬送コンベヤの正味動力は160W前後で、少ない動力での供給が可能であった。

以上により、開発した定流量供給装置は定量性、供給量調節範囲、操作性、所要動力などからみて、目標を十分達成するものであった。

5. 開発した排出・供給装置の応用事例

前章までの開発研究において、細断した粗飼料・葉稈類などを対象にし、所期の目的であるビン等に設けたスノコによる材料貯蔵と、このスノコから少ない動力でかつ定流量で取り出すための機械化、更にこれらを用、発展させ、調製・加工プロセスで必要とする、より高精度な定流量供給の機械化を達成することができた。

開発した一連の装置は、単独でも、組み合わせ使用によってもその特性を発揮させることができる。次に、開発した排出・供給装置の応用事例の幾つかを紹介し、その効用を明らかにする。

5.1 飼料混合機への排出・供給事例

粗飼料と濃厚飼料、糖蜜等を飼料混合機に投入、混合し、これを乳牛・肉牛へ給与する一連の作業において、特に粗飼料ハンドリングは、適当な機械が無いために人力作業とならざるを得ない。粗飼料ハンドリングは、図59にも示すように粉塵の発生が多く⁹⁰⁾、その作業環境や作業強度、省力化に問題が残されている。このような



図59 納屋に収納した粉碎低質粗飼料(小麦稈、大豆稈等)の飼料混合機への投入作業(ベルトコンベヤ使用)。納屋内は塵あいがたちこめるようになる。

作業には、開発した装置を使用し、図60に示すようなレイアウトで、さらに必要な機械、装置を設置することにより、作業環境の改善はもとより省力化を図ることができる。これに角型ビンを使用すれば、自動で所要量の細断粗飼料を混合機に投入することができ、より省力化が期待できる。

細断粗飼料用
下方取り出し装置付き塔型ビン

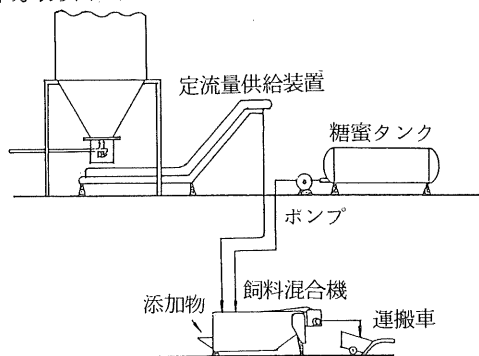


図60 粗飼料・糖蜜混合等の省力的作業のための装置レイアウト

5.2 粉碎プラントへの排出・供給装置の応用事例

図61に角型ビンと定流量供給装置を使用した粉碎ミニプラントの概要を示し、図62に実際の配置例を示す。貯蔵材料の排出・供給は無人運転により粉碎プラントで有効に活用されている事例である。

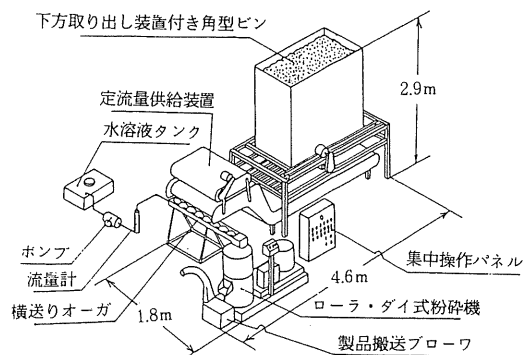


図61 ミニプラント構成概要

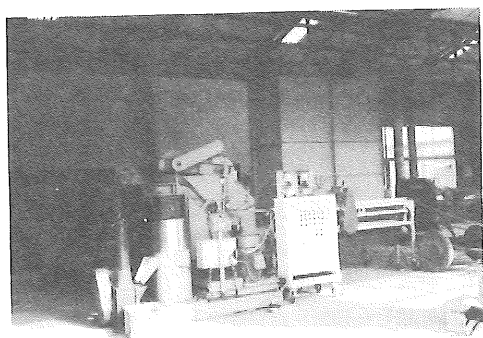


図 6.2 ミニプラントの配置例（島根県農業試験場にて）

角型ビンからの原料取り出し、定流量供給装置、粉碎機、糖蜜等水溶液添加装置は電源操作盤からの操作により運転・制御される⁹¹⁾。稲わら、麦稈、その他の藁稈類、剪定枝など各種の細断材料を使用し飼料化が行われており、このプラントでは開発した各装置の特性が遺憾なく発揮されている。

5.3 脱水機への排出・供給装置の応用事例

高水分牧草・飼料作物などをケーキとジュースに分離し、それぞれに有効に利用する成分分離^{92), 93)}のための脱水機⁹⁴⁾にも、排出・供給装置が活用されている。

図 6.3 にその事例を示す。

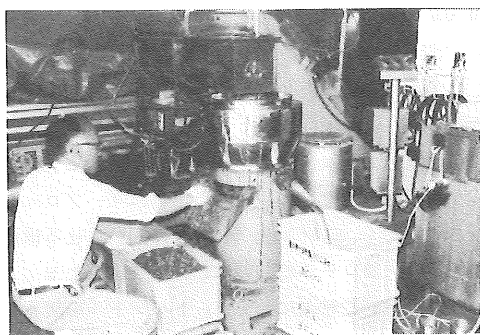


図 6.3 角型ビンと定流量供給装置を使用したローラ・ダイ式脱水機による高水分牧草の脱水風景

ここでは、イタリアンライグラス、ローズグラス、オーチャードグラスなどの牧草のみならず、スィートソルガム、青刈小麦も供試されており、角型ビンに貯留した高水分材料が問題なく排出・供給されている。

5.4 飼料調製・加工用実験機への排出・供給装置の応用事例

細断した粗飼料や藁稈類は、材料として同一なものでも、切断長、水分により見掛け密度、安息角、流動性などが異なる。その上、材料の種類ごとにこれらの物性も異なる。このため、各種の材料に汎用的に使用できる適当な供給装置がなく、従来、実験機への材料供給には人力作業を要する時間割合が非常に多かった。図 6.4 に示すように材料供給にはコンベヤが使用される場合が多く、コンベヤ上に材料を均等に並べる作業は全て人力で、しかも、供給時間は数分にも満たないという問題があった。

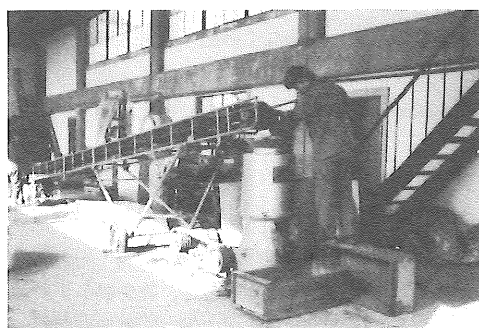


図 6.4 ベルトコンベヤを使用したローラ・ダイ式粗飼料成形機への材料供給例

しかし、このような実験においては、開発した排出・供給装置が効果的に利用できる。図 6.5 は、粉碎機の一つである実験用磨砕機⁹⁵⁾にこれらを使用している様態を示す。再現性の高い試験ができるようになり、この種実験の精密化に大いに役立っている。



図 6.5 角型ビンと定流量供給装置を使った磨砕実験機による粉碎試験

5.5 摘 要

前章までにおいて開発した一連の排出・供給装置の応用事例と、その効用を明らかにした。それらを要約すると次のとおりである。

1) 飼料混合機への粗飼料またはサイレージ等の供給レイアウトを示し、開発した各装置の使用により、作業環境の改善、省力化が図られることに言及した。

2) 藁稈類、剪定枝などを粉碎し飼料化するための粉碎ミニプラントに使用し、開発した各装置の特性が遺憾なく発揮されている。

3) 高水分牧草等をジュースとケーキに分離し、それぞれを有効に利用するための脱水機に使用し、高水分材料にもかかわらず、問題なく排出・供給されている。

4) 実験用調製・加工機へ使用することにより、再現性の高い試験が実施でき、試験の精密化に役立っている。

6. 要 約

大家畜経営農家が行う作業や飼料の調製・加工プロセスにおいて大きな比重を占めるのは、物を動かす荷役的な部門である。農家が行う作業の内、飼養管理作業ではこれが占める割合が非常に大きく、飼料の取り出し、運搬・供給、調理・給与など材料ハンドリングに属する作業時間が総管理作業時間の30～60%を占め、しかも、人力作業で行われることが多い。これは作業が人力で行い得る範囲のものであること、適当な機械・装置がないために人力作業に頼らざるを得ないこと等による。このような飼料の取り出し、搬送、給与にかかわるハンドリング作業や技術は、毎日の作業に不可欠な部分にもかかわらずとかく軽く見られ勝ちである。作業自体の強度は大きく、作業能率や精度が低くならざるを得ない。このような場所では、粉塵の発生や臭いが伴い作業環境も劣悪なため忌避的作業である。また、サイロ内に立ち入ったサイレージ取り出し作業では、酸素欠乏による死亡など人身事故の危険性があり、安全性にも問題が残されている。飼料調製・加工プロセスにおいても、材料ハンドリングを人力作業で行う場面が多く、同様な問題が指摘できる。このような問題の解決は、機械化以外ないと言える。

以上のような背景のもとで本研究は、施設内では最初の作業プロセスとなる貯蔵飼料、特に細断粗飼料等の取り出しと供給を機械化し、これらの問題の解決に寄与しようとした。この研究では、細断材料のバルクハンドリ

ングの際に、極めて厄介な問題として取り扱われている架橋や閉塞現象等の物理的性質を積極的に利用し、少ない動力で安定した排出を可能にし、これに続く高精度な供給の機械化を達成することができた。

本論文は、細断粗飼料・藁稈類用貯蔵ビンに用いることができる簡易な排出装置の開発研究を中心にし関連する開発研究を含め、緒論、本文4章と各章毎の摘要及び要約から構成されている。

1.1 細断粗飼料の閉塞特性

ビンに貯蔵した細断粗飼料等の下方取り出しの機械化に当たって、細断材料の架橋・閉塞現象を利用しスノコで材料の堆積ができれば、さらにこれらの現象を利用して、スノコから少ない動力で強制的に材料を取り出すことができると考えた。このことを実証するため、まず、スノコ間隔と細断材料の閉塞関係を検討した。実験装置の構造は、直径1.8mのスカート付円筒ビン下面に鋼管により同心円状に等間隔でスノコを張設しており、スノコ間隔は50～300mmまで調節できる。このビンに平均切断長16.6mmの乾草を投入した時、その初期にはいずれのスノコ間隔でも材料漏下は避けられないが、一旦閉塞を起してしまえば、切断長の約1.8倍もの非常に粗いスノコ間隔でも、細断乾草を完全に堆積できることを明らかにした。

1.2 円筒ビン用下方取り出し装置の試作と実験

円筒ビン下面に張設したスノコにより、正常時は材料の閉塞現象を利用して、このビンに堆積した材料のスノコからの漏下を完全に防止できることから、ここから材料を強制的に取り出すための装置を設計・試作し実験を行った。

試作装置は、スノコ上に円筒ビン中心から、ビン内壁面に向かって配置した材料掻き取り爪付スィープロータを回転させながら、スノコ面上を水平に回転させる構造である。スィープロータの回転はこれに搭載したモータで行い、回転は回転軸端にラチェットハンドルを装着し、人力により一方向に回転トルクを与え、1周回転毎に回転・回転方向を変える往復回転方式である。対象とする細断材料は、サイレージなども含めその種類、材料水分範囲など広範、多岐にわたるが、比較的取り扱い易い材料の代表例として細断乾草を用いた。スィープロータによる堆積材料の掻き取り・排出にはダウンカットとアップカット方式がある。この実験ではダウンカット方式で安定した回転が得られ、架橋・閉塞現象を利用してスノコ上の堆積材料を破壊するだけで、少ない動力で容易に

材料を取り出されることが実証された。しかし、掻き取られた材料がスノコ下に排出されずに、スノコ間で閉塞を起こす二次閉塞現象が認められることがあった。これを防止するような構造設計が可能なことを明らかにするとともにこの問題を解決した。また、材料は利用制約の範囲内で切断長を短くし、揃った長さに細断することが重要なことを指摘した。

1.3 搭型サイロ用下方取り出し装置の試作と実験

次に、取り扱いにくい材料の部類に入るサイレージにこの方式を適用できるか否か鋼板製気密サイロを用いて研究を行った。ホップ付きサイロの直胴基部にスノコを張設し、設計・製作した取り出し装置をスノコ上に装着している。サイレージ取り出し時は、ホップ下部のハッチを開き、スィープロータ回転軸端にラチェットハンドルを取り付け、これで回転させて取り出す。サイロ全高6.3 m、直胴部直径1.8 m、高さ3.6 mでこの部分の容積は約9 m³である。このサイロに天蓋まで水分の高い細断牧草を詰め、直ちに密閉してサイレージに調製した。調製後の観察によると、サイレージによるスノコの閉塞状態は完全で、細断乾草同様にスノコで堆積できることを明らかにした。また、スノコ下ホップ部に材料が詰まらないこの方式のサイロでも、気密が完全であれば品質良好なサイレージに調製できることを証明した。取り出し所要動力は300～350 Wであり、サイレージ調製時の材料水分などによって変動するが、少ない動力によって毎時500～800 kgのサイレージを取り出すことができた。

以上のように、物理的性質を異にする細断乾草またはサイレージでも、円筒ビン・サイロに張設したスノコで堆積でき、このスノコと材料の架橋・閉塞現象を利用することにより、少ない動力の取り出し装置を開発できる十分な見通しを得た。

2. 角型ビン用下方取り出し装置の開発研究

前章で開発した取り出し装置は、スィープロータの回転方向が逆転し、また往復回転させるため、掻き取り作用を阻害する材料の巻き付き・絡み付きが極めて少なくなるなどの特徴を有するが、人力で往復回転させる半自動式である。そこで、この往復回転機構を応用・発展させた角型ビン用自動下方取り出し装置を開発した。

装置は角型ビン直下に等間隔な平行スノコを張設し、ビンとスノコの空間部にスィープロータを配置した簡単な構造である。スィープロータ回転用に400 Wのモータを使用し、100 Wのモータでチェーンを介してスィー

ロータを走行させ、いずれかの走行端に達するとリミットスイッチが作動するようにし、2台のモータの回転方向を同時に切り替え往復走行させる自動取り出し方式である。このビンでは、スィープロータによる材料掻き取り倍率 η を測定しておけば、 η と材料堆積見掛け密度等から取り出し量が計算できることを明らかにした。細断粗飼料・葉稈類など材料水分の高低を問わず各種細断材料が堆積・貯蔵でき、スィープロータの確動作行により、電源操作のみでアップカット、ダウンカットのいずれの方式でも自動取り出しできることを確認した。また、取り出しに要する平均動力は180～270 W(乾材～生材)と少なく、毎時1.4～1.6 t(乾材～生材)まで再現性の高い定量取り出しができた。このように開発した装置は、自動運転でしかも、少ない動力で材料を取り出しできる有効な装置であることが判明し、所期の目的は十分達成することができた。

3. 定流量供給装置の開発研究

開発した取り出し装置付き角型ビンを用いると、定量性の高い取り出しができるが、更に厳密な定量性を要求する加工プロセスがあることから、この角型ビンを利用しプラント用、実験用に精密供給できる装置の開発研究を行った。

角型ビンから取り出される材料を、更に高精度で次工程に排出・供給させるため、角型ビン直下に開発した定流量供給装置を配置した。この供給装置は、S形搬送コンベヤと掻き戻しコンベヤとで構成され、掻き戻しコンベヤで搬送材料を定容積に排出・供給する。掻き戻された余剰材料は搬送コンベヤ傾斜部で一時貯留し、この量を検出して角型ビンからの材料取り出しを制御することを特徴とする。供給精度向上のための実験を繰り返して、適正諸元決定後の性能試験結果では、細断小麦稈・稲わら・生草の供給精度は高く、10秒間毎の供給量平均変動係数は10～15%であった。供給量調節範囲は生草で毎時270～2100 kgまでの約8倍と広く、いずれの材料でも搬送コンベヤ速度に比例した供給量で、高度に有意な回帰直線で示された。また、搬送コンベヤ駆動に要する正味動力は160 W前後で、少ない動力で供給することも明らかにした。このように開発した供給装置は、定量性、供給量調節範囲、操作性、所要動力から見て、目的を十分達成するものであった。

4. 開発した排出・供給装置の応用事例

開発した一連の排出・供給装置は、単独または併用で使用できることから、これらの応用事例とその効用を明

らかにした。貯蔵した粗飼料またはサイレージを飼料混合機へ供給するためのレイアウトを開発装置を使って示し、作業環境の改善、省力化が図れることに言及した。また、藁稈類飼料化用粉碎プラントに使用し、その特性が遺憾なく発揮されていること、牧草等の脱水機に使用し高水分材料にもかかわらず問題なく排出・供給されていること、さらに、実験用調製加工機へ使用し、試験の精密化に役立っていることについて述べた。

謝 辞

本研究を企画し、実施するにあたっては、農業機械化研究所(現生物系特定産業技術研究推進機構)渡辺鉄四郎元研究検査担当理事、小川浄寿元研究第3部長から貴重な助言と援助を戴いた。さらに、研究遂行途中では、前田耕一元研究検査担当理事、奥井和致元研究第3部長に終始ご懇切な指導、ご鞭撻と有益なご助言を賜った。また、取りまとめにあたり桑名隆研究第3部部长に有益なご助言とご指導を賜った。記して改めて深謝する。

この研究は、昭和51年から9年間にわたり農業機械化研究所において実施したものであり、その間、実験のための材料調達に農業機械化研究所付属農場竹村義一農場長に絶大なご協力をいただいた。さらに、試作した一連の排出・供給装置の現地試験では、島根県農業試験場服部昭三機械科長及び関係の方々のご協力を賜った。ここに記して関係各位に心から感謝の意を表する。

なお、本論文の取りまとめを強くお奨め戴き、激励を賜った前記前田耕一元理事、東京大学農学部木谷収教授に心からお礼を申し上げる。また、本論文の取りまとめにあたり、全般にわたる懇切なご指導とご校閲を賜った東京大学農学部森嶋博教授に深甚の謝意を表する。さらに、取りまとめに当たって有益なご助言とご指摘を賜った前記木谷収教授、同春原亘教授に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 酒井 学：粗大物質の量と質からみた乳牛作業の合理化，畜産試験場年報，p.127-138，(1968)
- 2) 高野信雄：「トウモロコシ」ホールクロップサイレージの調整作業について，「飼料作収穫関連機械化推進現地研究会資料」，No.530，日本農業機械化協会，(昭51.9)，p.1-7
- 3) 農林水産省畜産局畜産経営課編：昭和58年畜産経営の動向，中央畜産会，(昭58.9)，p.34-38，88-89
- 4) 須藤 浩：サイレージと乾草，養賢堂，(昭46.10)，p.174-180，268-271
- 5) 農林水産省農林水産技術会議事務局編：日本飼養標準・乳牛(1974年版)，中央畜産会，(昭55.6)，p.38
- 6) 高野信雄：粗飼料の貯蔵施設とサイロ、畜産の研究，31巻1号，p.194-200，(1977)
- 7) 草地試験場編：自給飼料の平衡給与，「第7回粗飼料利用研究会資料」，草地試No.55-4，p.1-92，(昭55.11)
- 8) 農林水産技術会議：高品質サイレージの大量調製と飼養技術に関する研究，研究成果67，p.155-184，(1973.3)
- 9) 田原虎次・ほか3名：気密サイロボトムアンローダに関する研究(1報)，農機誌，39巻1号，p.59-64，(昭52.6)
- 10) 同上：同上(2報)，同上，39巻2号，p.185-190，(昭52.9)
- 11) 高畑英彦・千場秀雄：国産ボトムアンローダの性能について，帯広畜大畜産機械研究室成績，p.1-15，(1980.4)
- 12) (社)日本畜産施設協会：昭和58年度主要畜産機械の出荷台数調査，農業機械化広報，No.177，p.14，(昭60.1)
- 13) 粗飼料生産施設研究会(北海道)：サイレージの取り出しと給餌作業，施設研報告書，p.37，(昭55.8)
- 14) 日本農業機械化協会編：今後飼料作物栽培で開発改良が必要な機械，施設，「飼料生産増強機械化推進資料」，No.913，(昭59.9)，p.102-109
- 15) 労働省安全衛生部労働衛生課編：酸素欠乏症防止の手引，中央労働災害防止協会，(昭52.6)，p.9-16
- 16) 森本 宏：改定増補 飼料学，養賢堂，(1977)，p.390，407-408
- 17) 全農施設・資材部：サイレージ用サイロの構造と利用のてびき，(昭57.6)，p.57-65
- 18) 藤岡澄行：瀬川 敬・権藤昭博：気密サイロとその利用，畜産の研究，31巻6号，p.774-778，(1977)
- 19) 西埜 進：乳牛の完全飼料と給飼システム，北海道家畜管理研究会編，18号，p.1-4，(昭58.12)
- 20) 村井信仁：コンプリートフィードの調製機械，同上，同上，p.18-47，(同上)
- 21) 梅津典昭：群管理牛舎と管理システム，同上，19号，p.48-56，(昭59.12)
- 22) 資源委員会編：未利用資源の飼料化と飼料の有効利用についての試験研究方向，農業機械化研究所，(昭52.9)，p.1-18

- 23) 田先威和夫：家畜飼養の基礎と応用，文有堂，（昭38.12），p.168-170
- 24) 菊池修二：稲わら飼料化の技術と研究，畜産の研究，30巻7号，p.20-26，（1976.7）
- 25) 全国農業共同組合中央会編：稲わらの飼料化，御茶の水書房，（昭52.3），p.43-51
- 26) 中川西尋：未・低利用粗飼料資源の飼料化について，「飼料作物機械化生産技術」，日本農業機械化協会，（昭60.3），p.116-122
- 27) 諏澤健三：バイオマスの機械加工，「柴田和雄・木谷収編，バイオマスー生産と変換（下）」，学会出版センター，（1981.10），p.149-153
- 28) 和崎皓三・田中明男：農業施設内の作業効率向上への接近，農業機械化研究所，（昭44.7），p.65
- 29) 奥井和致：飼料作物機械・施設の開発の現況と今後の方向について，「飼料作物機械化推進資料」，No.661，日本農業機械化協会，（昭54.9），p.115-117
- 30) 松山龍男：飼料における生産・調製機械体系について，「飼料作物機械化生産技術」，日本農業機械化協会，（昭60.3），p.34-37
- 31) 大塚 甫：養畜の機械化に関する研究課題，農業機械化研究所，（1964.7），p.67
- 32) 諏澤健三・笹谷定夫：粗飼料の取り出し装置，実用新案登録1398800号，（昭56.9）
- 33) 諏澤健三・笹谷定夫：もみがらの粗飼料化装置，特許第1158598号，（昭58.7）
- 34) 諏澤健三・笹谷定夫・市戸万丈：高水分粗飼料脱水装置，特許第1199913号，（昭59.4）
- 35) 諏澤健三・笹谷定夫・市戸万丈：高水分粗飼料脱水装置，特許第1199914号，（昭59.4）
- 36) 諏澤健三・笹谷定夫・市戸万丈：粉碎機，特許第1314838号，（昭61.4）
- 37) 諏澤健三・笹谷定夫：粗穀粉碎機，実用新案登録第1491126号，（昭58.6）
- 38) 諏澤健三・笹谷定夫・細川 寿：粉碎機，実用新案登録願第60-167290号，（昭60.11）
- 39) 酒井 学・瀬川 敬・山崎 稔：畜産における粗大物質の基礎的力学性に関する研究（3報），農機誌，30巻4号，p.257-263，（昭44.3）
- 40) 入江道男：サイロの構造に関する研究，昭和45年度事業報告，農業機械化研究所，（昭46.2），p.153-154
- 41) Udo Riemann und Peter Bruns: Luftdicht abgeschlossene Silobehälter mit Unten-entnahme, Landtechnik, Heft 7, p. 247-251, (1965)
- 42) 諏澤健三：サイロアンローダの種類と使い方，養牛の友，8月号，p.8-17，（昭56.8）
- 43) 三輪茂雄：粉体工学通論，日刊工業新聞社，（昭58.12），p.128-130
- 44) 田中達夫・篠原邦夫：粉体の静的挙動および現象，「別冊化学工業，粉粒体の貯蔵と供給」，化学工業社，（昭47.2），p.38-42
- 45) 庄司英信・小笠隆夫：穀粒の槽内流動の関する実験的研究，農機誌，1巻1号，p.16-41，（昭12.9）
- 46) 三輪茂雄：粉体の動的現象および挙動，同上，p.47
- 47) 農業機械化研究所：飼料作物用機械に関する試験法（未定稿），農業機械開発改良試験研究打合せ会議，資料No.5，（昭43.2），p.64-65
- 48) D.E.Bouman, J.E.Hoffman, Jr., and E.A.Henningson: New Direct-Drive Silo Un-loader, TRANSACTIONS of the ASAE, 10(5) p.648-651, (1967)
- 49) 金須正幸・ほか3名：乗用トラクタの走行・牽引および耕転性能に関する研究，研究所報告，農業機械化研究所，（昭41.9），p.92-95
- 50) (社)鋼材倶楽部鉄鋼製品普及委員会編：鋼製サイロ，JSSC, Vol.12, No.127, p.31-38, (1976.7)
- 51) 草地試験場編：粗飼料の切断長・二次発酵・品質評価について，「専門別（草地・飼料作）総括検討会議資料」，（昭56.5），p.1-23
- 52) 上野克美・前田昭二：気密サイロの使用とその問題点(2)，畜産の研究，27巻6号，p.751-754，（1973.7）
- 53) L.Maier und M.Wagner: Techniken für die Silageentnahme, Landtechnik 10, p.430-434, (1976)
- 54) 農林水産技術会議：サイレージ研究の成果と展望，研究成果72，p.70-77，（1974.2）
- 55) 同上：同上(3)，27巻7号，p.901-903，（1973.7）
- 56) Herman Josef Heege: Beiträge zur Unten-entnahme von Gärfutter aus Hochsilos, Landtechnische Forschung 14, p.135-139, (1964)
- 57) 川北公夫：粉粒体のトラブル対策，日刊工業新聞社，（昭55.7），p.37-42，153-165
- 58) 中村 豊：投入・排出装置，付帯装置，「日本粉体工業技術協会編，粉粒体のバルクハンドリング技術」，日刊

- 工業新聞社, (昭60.3), p. 143-166
- 59) H. B. Puckett: Automatic Feeding Equipment for Livestock and Poultry, U. S. GOVERNMENT Printing Office, (1977), p. 1-10
- 60) John B. Dobie and Robert G. Curley: Materials Handling for Livestock Feeding, California Agri., Experiment Station, Circular 517, (1963), p. 1-39
- 61) 農業機械学会編: 改訂 農業機械ハンドブック, コロナ社, (昭47.12), p. 983-985
- 62) 諏澤健三・笹谷定夫: 農作物残穂類の飼料化用機械に関する研究, 昭和53年度事業報告, 農業機械化研究所, (昭54.2), p. 125-126
- 63) 諏澤健三・笹谷定夫: 残穂類の堆積見掛け密度, 昭和60年度農機学会関東支部大会講要, p. 19, (昭60.9)
- 64) 沼倉三郎: 測定値計算法, 森北出版, (1971.6), p. 29-50
- 65) 高橋辰男: 粉粒体供給装置の分類とその選定, 「粉粒体供給装置委員会編, 粉粒体の貯蔵と供給装置」, 日刊工業新聞社, (昭40.8), p. 147-170
- 66) 横山藤平: 供給機, 「日本粉体工業技術協会編, 粉粒体のバルクハンドリング技術」, 日刊工業新聞社, (昭60.3), p. 187
- 67) 横山藤平: 粉粒体供給装置の型式と選定, 「別冊化学工業, 粉粒体の貯蔵と供給」, 化学工業社, (昭47.2), p. 67-89
- 68) 奥井和致: 収穫物の積換作業に関する研究, - 堆積牧草の定量掻き出し機構の研究 -, 昭和47年度事業報告, 農業機械化研究所, (昭48.2), p. 127-130
- 69) 奥井和致: 同上, 昭和48年度, 同上, (昭49.2), p. 121-122
- 70) 同上: 同上, 昭和49年度, 同上, (昭50.2), p. 131-132
- 71) 同上: 同上, 昭和51年度, 同上, (昭51.2), p. 103-104
- 72) 同上: 同上, - ビータ式排出機構の特性試験, 昭和51年度, 同上, (昭52.2), p. 93-94
- 73) 同上: 同上, 昭和52年度, 同上, (昭53.2), p. 71-72
- 74) 北農試機械化第1研究室: 牧草の荷受向量供給装置(フォーレージダンプボックス)の試作改良, (草地飼料作の機械化に関する研究, No 1, 1977年度試験成績), 北農試, (昭53.3), p. 115-123
- 75) 同上: 同上, (同上1978年度試験成績), 同上, (昭54.3), p. 153-166
- 76) 真島卯太郎: チェーン・コンベヤ, 工学図書株式会社, (昭42.6), p. 117-123, 189-211
- 77) 真島卯太郎: コンベヤ計算法, 工学図書株式会社, (昭45.11), p. 249-253
- 78) 青井静夫: チェンコンベヤ, 八雲書店, (昭39.11), p. 16, 119-123, 143-173, 247
- 79) 農用地開発公団編: 牧場建設要覧, 農業土木機械協会, (昭50.7), p. 242-246, 279
- 80) 中川西弘之・佐藤純一・下名迫寛: 牧草の貯留定量供給装置(アンローディングボックス)の利用実態, 全農建設部, (昭50.6), p. 65-105
- 81) ASAE STANDARDS 1984: ASAE Data: ASAE D 251.1, (1984), p. 75
- 82) 諏澤健三・笹谷定夫・市戸万丈: 稲わら類の飼料化用機械に関する研究, - 調製加工用定流量供給装置に関する研究, 昭和55年度事業報告, 農業機械化研究所, (昭56.2), p. 111-112
- 83) 牧草乾燥成形施設仕様書: 日本車輛製造株式会社, (昭46)
- 84) 小野拓章・岩井邦雄: 粉粒体供給装置の制御, 「粉粒体供給装置委員会編, 粉粒体の貯槽と供給装置」, 日刊工業新聞社, (昭40.8), p. 292-293
- 85) 安口正之: プロセスの計測と制御, 「日本粉体工業技術協会編, 粉粒体のバルクハンドリング技術」, 日刊工業新聞社, (昭60.3), p. 354-358
- 86) TUBAKI Power Transmission Products 1977 (総合カタログ), 椿本チェーン, (昭52.5), p. 310
- 87) 日本機械学会編: 機械工学便覧(改訂第5版), 日本機械学会, (昭45.9, 1968), p. 16-25
- 88) 河上房義: 土質力学, 森北出版, (昭35.4), p. 70-72
- 89) 香川県農業改良課編: 昭和58年度高水準農業生産流通技術開発事業(作物全体利用技術開発事業)報告書, 香川県農業改良課, (昭59.6), p. 4-5
- 90) 三浦恭志郎・石川文武: 農業粉塵の研究, 農業機械化研究所報告15号, (昭56.3), p. 20-24
- 91) 諏澤健三・笹谷定夫・市戸万丈: 残穂類の飼料化用機械に関する研究, 「昭和57年度研究報告会資料」農業機械化研究所, (昭58.3), p. 29-41
- 92) 松山龍男編: 牧草類の成分分析による有効利用技術の開発(文献収録1), 草地試験場, (昭57.3), p. 1-203

- 93) 松山龍男編：牧草類の成分分画による有効利用技術の開発（文献収録2），草地試験場，（昭58.3），p.1-229
- 94) 諏澤健三・笹谷定夫・細川 寿：ローラ・ダイ式脱水機の性能向上の研究，昭和60年度事業報告，農業機械化研究所，（昭61.2），p.103-104
- 95) 諏澤健三・笹谷定夫・細川 寿：残稈類飼料化用磨砕機の研究 - 試作実験機の磨砕機能について -，農機学会関東支部大会講要，p.17，（昭59.9）

SUMMARY

Studies on the Development of Unloading and Feeding Machines for Chopped Forage and Straw

Kenzou SUSAWA, Sadao SASAYA, Kazutomo ICHITO
and Hisashi HOSOKAWA

On livestock farms or in feed processing, much work is performed moving materials from one site to another.

Material handling for feeding and managing livestock takes a large part of labour time, 30 - 60 % of the total working hours are occupied by material handling such as unloading, transporting, cooking and feeding. And still the majority of these operations is human labour with hand tools: the fact is that this work can barely be executed with human labour and that appropriate alternatives have not yet been realized. Material handling is really essential for daily work, yet it is lacking in due attention to the amelioration of its techniques or work system. Further, due to the high intensity of this work, the rate and quality of work remains at a low level; and the working environment is rather poor because of dust and malodour. In case of silage unloading, work in silos is accompanied even with the danger of fatalities. The safety problems in material handling thus remain unsettled.

In feed processing too, handling materials needs manual labour and similar circumstances as above are prevalent.

These problems can be solved only by full mechanization of the working processes in material handling. With this background, the objective of our study was to contribute to the mechanization of unloading and feeding of roughages, particularly of forages which are chopped and stored in bins. After our researches, both stable unloading with low power requirement and feeding with high quantitative accuracy were achieved with developed machines, making good use of bridging or clogging which is usually seen as unfavourable phenomenon.

This paper describes our research on the development of mechanical unloaders applicable to storage bins for chopped forages and related research, and is composed of the Introduction, 4 Chapters and a Summary of all Chapters.

1. Development of Bottom Unloader for Round Bin

At the beginning of our research on the mechanizing bottom unloading of chopped forage and like from storage bins, our fundamental idea was as follows: if it is possible to utilize clogging or bridging properties of forages in some way, it would be also possible firstly to pile forage even on a slatted floor, and secondly to

unload it through the slatted floor with low power requirement. To realize this possibility, first of all, the relationship between the clogging / bridging phenomena and the spacings of slatted floor was investigated.

1.1 Clogging Property of Chopped Forage

The experiment apparatus was composed of a round bin of 1.8 m diameter and a slatted floor. This bin was settled at the height of about 600 mm on wooden props. The circular slats were made of steel pipes and they were aligned in concentric way, the spacings between them being adjustable from 50 to 300 mm.

When chopped hay of 16.6 mm mean cut length was loaded into the bin, the falling of material through the slatted floor could not be prevented in the earlier stage of the filling; but once the clogging phenomenon took place, chopped hay could be piled on the slatted floor which had the spacing as 18 times wider as the cut length of hay.

1.2 Design of Mechanical Unloader for Round Bin

Clogging phenomenon of materials, as stated above, could prevent chopped forage normally loaded in the bin from falling through the slatted floor. Utilizing this, the authors designed equipment to unload materials through the slatted floor.

The unloader designed is a sweep rotor type. The tined rotor, which length is nearly equal to the radius of the bin, is laid on the slatted floor, pivoting on the axis of the bin and powered by an electric motor. The rotor, while driven, can also be turned around the axis of the bin manually with a reversible ratchet handle, which allows the rotor to sweep the whole surface of the floor. The rotating and turning direction of the sweep rotor are changed every 360 degrees turn and this procedure is repeated.

For the sake of comparison tests, the rotating direction of the rotor concerning its turning direction was made selectable, by which upward or downward action of the tines to the material was to be realized. The upward / downward action of tines was expressed on analogy of the theory of rotary tillers as 'upcut' and 'downcut', respectively. Through the comparison tests, it was proven that the downcut method was preferable to fulfil the function of stable unloading of materials. Less power was required for the action, because the net power for the equipment was used only to disentangle materials from the bridge.

In some cases, the material once picked out by the sweep rotor, formed a clogging layer underneath the slatted floor: this 'secondary clogging' could be prevented by increasing the length of tines and spacing of slats.

Though these tests were conducted on chopped hay, which is usually seen as rather easy to handle, the shorter and even cutting length was preferable for our equipment.

1.3 Design of Mechanical Unloader for Gas-Tight Silo

An application test of this sweep rotor type unloader to a gas-tight silo was conducted with silage, which is seen as rather difficult to handle.

In this test, tines of sweep rotor were longer than ones before. The silo used has an overall height of 6.3 m, cylinder diameter of 1.8 m, cylinder height of 3.6 m. A cone-shaped hopper was joined to the lower end of the cylinder, and a slatted floor was settled at the joint of the cylinder and the cone-shaped hopper. After filling highly moist chopped grass into the silo thoroughly, the silo was sealed as quickly as possible.

When the fermentation was done, the seal was opened and it was observed that the silage on the slatted floor was clogged as well as chopped hay and its quality was good. After this visual examination, a reversible ratchet handle was attached to the turning shaft of the sweep rotor and the silage was unloaded. Mean energy requirement for unloading silage ranged from 300 to 350 W and the unloading capacity ranged from 500 to 800 kg per hour.

As stated above, by making use of a slatted floor and the clogging phenomenon of the material, the feasibility of the development of the mechanical unloader with a low power requirement was affirmed.

2. Development of Mechanical Unloader for Square Bin

The mechanical unloader developed in the preceding chapter has several merits: such as, the entwining of materials to the tines of the sweep rotor is extremely little by changing the rotating and turning direction of the sweep rotor and so on.

In order to improve this unloader, an automated mechanical bottom unloader for a square bin was designed. The equipment has a very simple structure and is composed of a sweep rotor and a slatted floor. The slatted floor is made of steel pipes arranged in equal parallel intervals.

It has two motors; one of 400 W is for the rotation of the sweep rotor and the other of 100 W is for its reciprocation. When the sweep rotor arrives at one end of the bin, the rotating direction of the two motors is changed at same time by a limit switch. This procedure is repeated and material is unloaded continuously.

It was made clear that the unloading capacity could be calculated by obtaining η , bulk density of material and other mechanical conditions: here, η is the ratio of distance between the lower surface of stored material just after the passing of the sweep rotor and the slatted floor to the maximum height of tine's tip from the slatted floor. Many kinds of materials such as hay, forage, straw and so on could be stored in this bin regardless of moisture content and unloaded automatically by the sweep rotor.

The mean electric energy requirement for unloading material ranged from 180 to 270 W. The unloading capacity of 1.4 - 1.6 t/h could be obtained. As stated above, it was found that the developed equipment was applicable for automatic and energy

saving unloading.

3. Development Research of Feeder with Constant Feed Rate

Accurate feeding was capable by this square shaped bin (Chapter 2). But more accurate feeding was required for the processing system, so a feeder with higher feeding accuracy for plants or experiments was developed by using of this square bin.

The developed feeder was settled under the square bin, in order to supply feed materials accurately by the following process. This feeder has two conveyors; one is an S-shaped flight conveyor, the other is a flight conveyor which returns excessive amounts of material to keep constant feeding. This excessive material is temporarily kept on the inclined part of the S-shaped flight conveyor and the unloading amount of material from the square bin is controlled by detecting the amount of excessive material.

Many tests were carried out to improve the feed accuracy and to determine the specifications. As a result of performance tests, the feed rate of chopped wheat straw, rice straw and high moisture forage was very accurate, and the coefficient of variation of mean feed rate per 10 seconds ranged from 10 to 15%. The feed rate was adjustable and ranged from 270 to 2100 kg per hour by high moisture forage. The feed rate of each material increased in proportion to the speed of the S-shaped flight conveyor and the relationships were expressed by regression lines with high significance. Moreover, net electricity consumption for driving the conveyor was about 160 W.

As mentioned above, the initial objectives, that is, high feeding accuracy, wide adjustable range of feed rate, good operation and less electricity consumption, were fully satisfied by using of this feeder.

4. Examples of Practical Application of Developed Equipment

A series of unloaders and feeders developed can be brought into practical operation by itself or as a part of certain facilities. In this Chapter, actual examples are given, with discussions on the utility of the equipment.

Example 1. The authors proposed a layout of installation with several machines, in which the developed unloader took the part of feeding chopped forage or silage to a feed mixer. The unloader secured smooth and labour saving operation of the installation with a better working environment.

Example 2. The developed unloader was used as the unloading and feeding part of a milling plant of straw for the preparation of livestock feed. In this case, the typical advantages of the developed mechanism were fully exhibited.

Example 3. The developed unloader was incorporated in a dewatering machine as the feeding unit of forage. In spite of a high moisture content, forage was unloaded and fed without trouble.

EXample 4. The developed feeder with constant feed rate was joined to an experimental feed processor. It helped remarkably towards the progress of precise and exhaustive experiments on feed processing.

Tech. Rep. Inst. of Agric. Mach. 22:1~54(1987)

藁稈類の見掛け密度

諏澤*・笹谷**

1987-07-20 受理

抄 録

諏澤・笹谷：藁稈類の見掛け密度。農機研報 22: 55-68 (1987)

藁稈類の利活用に当たっては、圃場に散在している状態のこれらを収集し、運搬し、貯蔵し、さらに供給するハンドリングにかかわる作業が重要である。と同時に、このような作業では、省力、省エネルギー、高能率、低コストなどが厳しく要求される。これらに大きく関係するのは、材料の取扱ひ量であり、一般に見掛け密度から検討される場合が多い。そこで本研究は、藁稈類の見掛け密度について、より精度の高い予測、推定を狙いとして行ったものである。主な供試材料は稲わら、麦稈、大豆稈とし、材料状態が長もの結束、梱包、細断の場合についてそれぞれ測定するとともに、既往の文献を調査し、合わせて検討した。

長もの結束の堆積見掛け密度は、稲わらが最も大きく、最高で 99 kg DM/m^3 であった。タイトベールによる梱包見掛け密度の概略平均値は、稲わら 82 kg DM/m^3 、小麦稈 70 kg DM/m^3 、大豆稈 95 kg DM/m^3 であった。細断材料の堆積見掛け密度は、材料切断長、容器への材料充てん方法による変動が大きかったが、切断長 30 mm 以下に細断することが堆積見掛け密度を高くする上で有利なことを明らかにし、また、推定値として使用可能な通常の堆積見掛け密度を提示した。

1 緒 言

稲わらなどの藁稈類は、大家畜用粗飼料としては言うに及ばず、敷料、堆肥原料としても有用である。一方、これらはバイオマス資源として把握されるようになり、特に、エネルギー用としても将来の有効利用が期待されている。

わが国の稲わら生産量は毎年 1000 万トンにも達し、さらに、昭和 53 年より実施された水田利用再編事業により、麦、大豆などの作付面積も増加し、麦稈、大豆稈の毎年の生産量は、それぞれ 122 万トン、 20 万トンに達するまでになっている。^{4) 5)}

藁稈類を粗飼料としてのみだけでなく、多用途に活用するためには、圃場に散在している状態のこれらを収集し、運搬し、貯蔵することが、まず前提になる。しかし、このようなハンドリング作業は、いくら行っても藁稈類の価値を増進させるものではない。集め、貯蔵した後に活用されてこそ、初めて価値が生まれるものである。

この面からは、活用技術の確立こそ先決であり、それまでハンドリング作業は脇役でしかない。しかし、最終的には主流の作業の一部とならざるを得ない。なぜならば、集めてこそ、集まってこそ利活用の場面が開けるからである。

藁稈類のような粗大物質のハンドリング作業に求められるものには、①省力、②省エネルギー、③高能率、④低コストなどがあり、これらはいずれも無視できない。しかも、これらに大きく関係するのは、ハンドリング作業での材料の取扱ひ量である。この取扱ひ量は、質量とその容積で表現され、これは一般に見掛け密度から検討される場合が多い。

材料の収集、運搬、貯蔵において、それぞれの機械、装置、施設などの設計にあたってはもとより、効率や経済性を検討する上でも、この見掛け密度を知ることが重要である。しかし、数値的な表示はできても、これを定量的に示すことは、現状では困難であるといわれている。事実、サイロにおけるサイレージの見掛け密度の研究は、現在でも行われており、³⁶⁾より正確な予測ができるよう努力が続けられている。これに対して、藁稈類の見掛け密

* 研究第 3 部 (現農林水産省北海道農業試験場)

** 研究第 3 部 (現検査部)

度の系統だった研究は少ない。⁷⁾⁸⁾また、測定値についてもそれぞれの文献によって大きな開きが認められる。³⁾³⁷⁾³⁸⁾

このため、なお測定値の集積が不足しているものと考えられる。

この研究は以上のような背景のもとで、藁稈類の利活用にあたって重要となる見掛け密度について、より精度の高い予測、推定をねらいとして行ったものである。見掛け密度測定の対象にした材料状態は、長もの結束、梱包、細断などである。それぞれに測定すると共に、既往の文献も調査し、合わせてとりまとめ検討したので、その結果をここで報告する。

なお、本研究を行うにあたって全面的な協力を得た当時研究所研修生細木俊樹氏(現島根県立農業大学校講師)に厚くお礼申し上げる。また、本研究で引用あるいは示唆を受けた文献の著者各位に対して厚く謝意を表するとともに、本論文をご校閲いただいた研究第3部桑名隆部長に深謝する。

2 実験方法¹¹⁾

2.1 供試材料

稲わらと麦稈3種類(小麦、6条大麦、2条大麦)大豆稈を供試した。その他、粗飼料にも利用できるものとして、養蚕で使われた桑残条も用いた。

稲わらはバインダによる刈取、架干・脱穀後のものとわら結束装置付自脱コンバインによる小束結束わらを圃場予乾燥したもので、含水率はそれぞれ20%、44~48%であった。

麦稈は自脱コンバインで列条に排出されたものを、そのまま圃場で乾燥した。含水率は小麦(品種:農林61号)稈で15%、6条大麦(品種:カシマムギ)稈で12%、2条大麦(品種:ニューゴールドン)稈で26~40%であった。

大豆(品種:タチスズナリ)稈は歩行型大豆刈取機で刈取り、島立て乾燥後、脱穀したものを用了。平均稈長36cm、含水率は12~13%であった。以上の材料はいずれも農業機械化研究所付属農場産のものである。

桑残条は埼玉県深谷市内の養蚕農家から入手したもので、枝の平均長さ126cm、枝の最大直径は8mm、含水率60%であった。

なお、含水率は常圧定温乾燥の100℃-24h法で測定し湿量基準で示した。

2.2 材料の調整方法

2.1で述べた供試材料は長もののままで結束、またはこれを細断し、それぞれの状態で見掛け密度の測定に用いた。

結束:小束結束稲わらは、さらにこれを12束前後、稲わらの穂先と根元を交互に組み込み、荒なわで大束に結束した。麦稈と大豆稈、桑残条はバラ長ものを根元を揃えて大束に結束した。結束稲わらの条件は表1に、他は結果の表中(後掲、表3参照)に示した。

表1 大束に結束した稲わらの平均的形状

束の長さ	100 cm
結束部周長	83 ± 2 cm (相当円直径 26 cm)
質量	5.23 kg (小束質量 0.44 kg)
含水率	20.2 %

細断:ホイールカッタ(吹き上げ型)で、設定切断長をそれぞれ45、15、5mmの3段階として細断した。細断後の平均切断長(本数分布)の測定は常法¹²⁾¹³⁾によった。

2.3 見掛け密度の測定法

見掛け密度はすべて乾物換算したもので示し、次式によって求めた。

$$\rho_a = \left(1 - \frac{M}{100}\right) \frac{W}{V} \quad (1)$$

ここで、 ρ_a : 見掛け密度 (kg/m³)

V: 材料が占める見掛けの全容積 (m³)

W: 材料の質量 (kg)

M: 材料の含水率 (% w.b.)

結束材料:稲わらは直角に交わる2壁面を背にして、麦稈と大豆稈、桑残条は、コンクリートの土間に、それぞれいねいに堆積した。以上は、堆積の大きさを1回から数回変え、その時の堆積材料の見掛けの容積と質量、含水率を測定した。

細断材料:粉粒体や細断した粗大物質の見掛け密度は容器に外力や、充てん材料に外圧を加えないで、容器に材料を充てんしたままの自然の状態での見掛け密度をいう場合が多い。しかし、この実験では、外圧や外力を加えた場合についても測定した。このような測定法としては、①容器をバイブレートの上に乘せて振動させながら材料を充てんする振動法¹⁴⁾、②容器に材料を充てんし、容器とも一定の高さから何回も落下させるタップ法¹⁴⁾¹⁵⁾、③充てんした材料に人工的に圧力を加える圧縮法などがある。外力や外圧を加えない場合には、漏斗やフルイを使って、

一定の高さから材料を容器に充てんする注入法¹⁴⁾がある。実験で用いた測定法は、このような測定法の変形的なものであり、次に述べる4通りの方法によった。

1) 最粗充てん 充てん材料を箕ですくい、容器の上から充てん面が常に平らになるように、静かに充てんした。

2) 吹き込み充てん ホールカッターで細断しながら容器に吹き込み、充てん面を時々平らにした。

3) 振動充てん 容器をローラコンベヤ上に乗せ、材料を箕で1回充てんするたびに、容器ごと柱に20回打ちつける方法を繰り返して充てんした。

4) 最密充てん 体重70 kg前後の人間が容器の中に入り、材料を箕で1回充てんするたびに、十分に踏圧する方法を繰り返して充てんした。

以上のような4通りの方法により、充てん終了後は充てん面を平らにした。容器中の材料質量は、あらかじめ充てん材料全量を秤量するか、充てん後に容器共に秤量

し、容器風袋質量を差し引いて求めた。見掛けの容積は堆積高さを測定し、計算により求めた。また、この時の材料含水率を測定した。

材料充てんに使用した容器は、図1に示すように内容積 0.515 m^3 のベニヤ製の箱(a)、5面に樹脂製網(商品名: トリカルネット)を張った内容積 2.276 m^3 のコンテナ(b)、内面に垂鉛引き鋼板を張った内容積 1.394 m^3 の角型ビン(c)、及び内容積 9.653 m^3 の鋼板製ホッパ付き円筒ビン(d)で、この内、主に(a)を用いた。

2.4 既往の見掛け密度測定結果の調査

農作業や農業機械の試験研究で測定された藁稈類の見掛け密度について、わが国の文献を中心に調査し、本測定結果と共にとりまとめた。なお、梱包麦稈などの見掛け密度については、筆者らも測定した。

3 結果と考察

3.1 結束材料の見掛け密度

大束結束した稲わらの堆積状態を図2に、また、測定及び調査結果を表2に示した。



図2 大束結束した稲わらの堆積状態

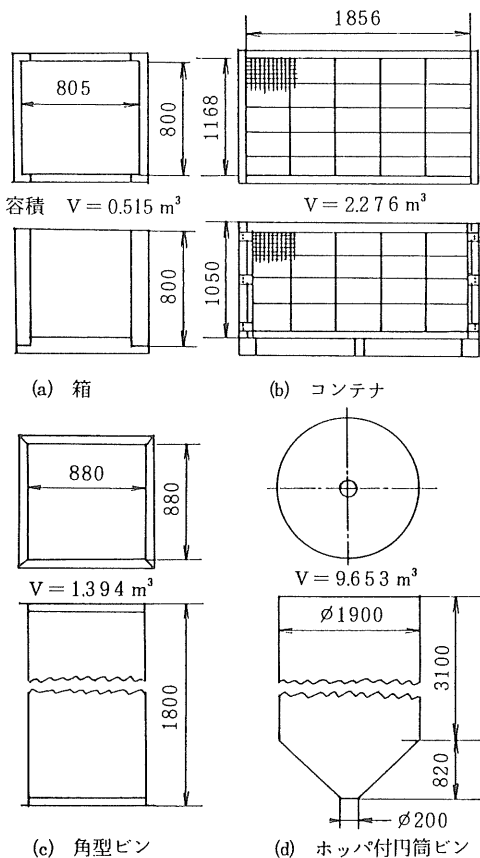


図1 充てん容器

小束の稲わらを堆積した時の最高見掛け密度は 99 kg DM/m^3 ¹⁷⁾、大束では 60 kg DM/m^3 であった。大束に対して小束の方が 40 kg DM/m^3 近く見掛け密度が大きく、小束の方が詰り易いことを示している。しかも、高く積むほど見掛け密度は増加する傾向にあった。しかし、小束についてみると堆積の仕方による見掛け密度の変動幅が大きく、少し乱雑に堆積すると、とたんに $23\sim 37\text{ kg DM/m}^3$ ²¹⁾に低下している。

大束堆積による見掛け密度は、表2に示す以外に酒井

表2 結束稲わらの堆積見掛け密度

整理番号	束の大きさ	堆積状態		堆積時含水率 %	堆積見掛け密度 kg DM/m ³	測定試験場所
		床面積 m ²	高さ m			
1	小束	5.4	2.0	15	99	東北農試 ¹⁷⁾
2	"	5.4	1.5	"	94	
3	"	2.4	1.4	"	90	
4	"	5.0	1.3	"	90	
5	"	2.2	1.2	64	78	草地試 ¹⁹⁾
6	"	1.4	1.8	49	88	
7	"	"	"	51	82	
8	"	"	"	48	64	
9	"	(容積 3.4 m ³)		63	37	九州農試 ²¹⁾
10	"			23	23	
11	"	1.9	0.5	15	49	木村ら ³²⁾
12	"	1.9	1.5	"	59	
13	大束	4.2	1.2	20	59	農機研
14	"	6.3	1.7	"	60	
15	"	8.4	2.0	"	60	

- 注：1. 小束はバインダまたは自脱コンバイン用の結束機、カッタ、ノッタ、立体放出機などによるもの。
 2. 大束は小束を12束前後にして結束したもの。
 3. 整理番号1-4、11-12はトレーラまたはトラックに積載時。
 4. 整理番号5-8はコンテナに堆積時。
 5. 整理番号9-10は収集機でワゴンに放出されたものをワゴンに適宜堆積。

による測定⁸⁾がある。バラ稲わらを根元を揃えて大束に結束したものと解されるが、見掛け密度 58 kg DM/m³ で、筆者らの測定値もほぼ同じ値であった。また、新版農業機械ハンドブック¹⁰⁾によると、「稲わらをゆるく堆積」した時 59~64 kg DM/m³ * が示されている。この値は、大束結束の見掛け密度とほぼ一致している。

表2に示した堆積高さは最高2mで、この高さは人が独りで束を積み上げられるほぼ限界である。この範囲で小束、大束とも整然としかもていねいに堆積すれば、それぞれに当然最高の見掛け密度が得られるはずである。また、この時の値が結束稲わらの基準になるものと思われる。したがって、堆積作業でていねいさを欠いた時、あるいは図3に示すように3~4人の組作業で、束稲わらを引き継いで高く堆積する場合で、整然と堆積しにくい時などでは、見掛け密度はこれらより低い値を用いる

*改訂農業機械ハンドブック⁹⁾では、単に「ゆるく積まれたわら」としてこの値が示されている。また、この値の引用文献は Agricultural Engineers Handbook (U. S. A., 1961) で、ここでは Loose Straw として示されている。

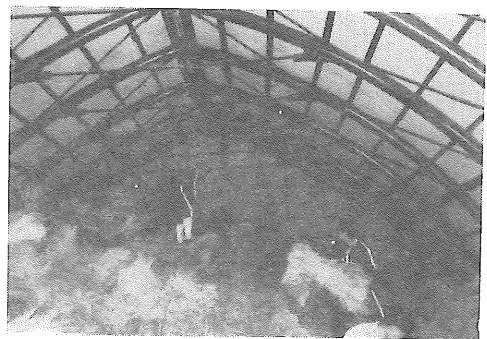


図3 高所への稲束の堆積作業

必要があろう。

結束麦稈、大豆稈、桑残条の見掛け密度は表3に示した。6条大麦稈では、結束稲わらと同じように1束の大きさが小さい方が見掛け密度は大きくなった。結束麦稈、大豆稈の見掛け密度は、結束稲わらの場合と対比して30~50%程度の低い値となり、平均は34 kg DM/m³であった。また、この値は、Structures and Environment

表 3 結束麦稈などの堆積見掛け密度

整理 番号	供試材	1束の大きさ		堆積時 含水率 %	堆 積 見掛け密度 kg DM/m ³
		稈長 cm	質 量 kg (乾物)		
1	大麦稈	82	1.9	29	29
2	"	82	1.0	"	47
3	小麦稈	73	0.55	15	27 ~ 33
4	大豆稈	36	2.0	12	30
5	桑残条	126	3.2	60	37 ~ 55

注：1. 整理番号1～4.5の一部は土間に堆積。

2. 桑残条の55 kg DM/m³はトラック積載時。

Handbook (U. S. A, 1977)³⁸⁾による「ゆるく積まれたわら (Loose Straw)」, 32～48 kg/m³とよく一致している。このハンドブック自体がアメリカ中西部、中北部地帯の農業を対象にしており、わらの主体が麦稈であると思われる。しかし、結束したものかどうか判然としない。

桑残条は37～55 kg DM/m³で、稲わらよりは小さく、麦稈、大豆稈よりはやや大きい値を示した。

以上を要約すると、結束わらの堆積見掛け密度は、大束よりも小束の方が大きく、また、麦稈、大豆稈よりも稲わらの方が大きかった。そして、稲わらの最高見掛け密度は小束で99 kg DM/m³、大束で60 kg DM/m³であっ

た。また、麦稈、大豆稈での最高は47 kg DM/m³、平均は34 kg DM/m³であった。いずれも整然とていねいに堆積した場合で、作業時にこのような注意を欠くと、見掛け密度はさらに低いものになると思われる。

3.2 梱包材料の見掛け密度

梱包稲わら及び麦稈等についての結果を表4、表5に示した。

藁稈類の圃場梱包に使われているのは、藁稈類梱包専用のベアラもあったが、多くはヘイベアラであった。使用機種はルーズベアラ、タイトベアラ及びビッグラウンドベアラ、その他、小型自走式のセミタイトベアラと称せられるもの、スモールラウンドベアラなどであった。結束には全機種ともトワイン（麻ひも）が使われていた。

いずれのベアラも梱包見掛け密度は、ある一定の範囲で、任意に調整できる機構で、またメーカー、機種、型式によっても梱包見掛け密度調整範囲は異なっている。したがって、梱包見掛け密度について一律に論ずることはできない。しかし、表に示した値は、高密度をねらいとした梱包作業ではなく、いずれも普通の梱包作業、すなわち、快適な作業、もしくは適度な負荷時の作業によるものであったと思われる。このような観点から、実際的な梱包見掛け密度はどの程度になっているか、次に考察してみる。

表 4 梱包稲わらの見掛け密度

整 理 番 号	供 試 機	梱 包 時 含 水 率 %	乾 物 換 算 梱 包 質 量 kg DM/梱包	梱 包 見 掛 け 密 度 kg DM/m ³	測定試験場所
1	タ イ ト ベ ア ラ	31	5.6	59	東北農試 ^{16) 17)}
2	"	"	7.9	82	
3	"	"	6.1	61	
4	"	15	14.0	123	
5	"	"	—	83(79～98)	
6	"	13	16.4	112	草地試 ¹⁹⁾
7	"	20	13.1	100	宮城県 農業センター ²²⁾
8	"	"	5.3	70	
9	"	"	6.1	75	
10	"	63	6.9	53	石川県農試 ²³⁾
11	"	21	14.0 ± 2.5	83	福島県農試 ²⁵⁾
12	"	23	—	219	岐阜県農試 ²⁸⁾
13	セミタイト (小型自走)	14	3.9	52	草地試 ¹⁹⁾
14	ル ー ズ ベ ア ラ	32	6.7	43	東北農試 ¹⁶⁾
15	"	"	10.9	57	
16	"	"	6.7	63	
17	"	"	12.1	78	

注：1. タイトベアラによる平均梱包見掛け密度93.3 ± 44.9 kg DM/m³

(整理番号12を除いた場合、81.9 ± 22.2 kg DM/m³)

2. ルーズベアラによる平均梱包見掛け密度60.3 ± 14.5 kg DM/m³

表5 梱包麦稈、大豆稈の見掛け密度

整理番号	供試材料 (供試機)	梱包時 含水率 %	乾物換算 梱包質量 kg DM/梱包	梱包 見掛け密度 kg DM/m ³	測定試験場所
1	小 (タイトベアラ)	40	9 (9~10)	75 (70~79)	農機研
2	"	15	8	68	
3	小 (ルーズベアラ)	14	8 (6~10)	32 (25~37)	
4	小 (スモールラウンドベアラ)	20	14 (9~17)	40 (31~50)	
5	小 (ビッグラウンドベアラ)	8	67 (46~69)	59 (42~68)	北農試 ^{20) 33)}
		14	49 (45~60)	48 (44~58)	
6	"	12	215 (183~270)	81 (66~111)	
7	大 (タイトベアラ)	50	9	93	石川県農試 ²⁴⁾
8	"	46	9	103	
9	大 (ルーズベアラ)	10	7	22	農機研
10	大 (タイトベアラ)	14	10 (4~20)	95 (50~132)	

稲わら：表4のタイトベアラによる梱包見掛け密度は最低53kg DM/m³、最高219kg DM/m³²⁸⁾で、大きな開きがあった。最高値は見掛け密度範囲が不明で平均値のみであるが、トウィン結束式タイトベアラによる梱包見掛け密度としては、梱包乾草で示される最高のものに匹敵している。^{10) 29) 39)}他の場合は100kg DM/m³前後かそれ以下であった。平均値は93.3kg DM/m³、最高値を除けば81.9kg DM/m³であった。平均値で示すことは、必ずしも妥当とは思われないが、この値からは100kg DM/m³を超えた梱包作業はあまりなされていないのではないかとと思われる。

タイトベアラによる梱包作業と、その後のバールハンドリングでよくいわれることは、バール1個当たりの質量である。普通、人力によるバールの扱いでは、10~15kg程度といわれている。¹⁰⁾稲わらも圃場乾燥ができにくく含水率20%前後か、それ以上の時に梱包作業が行われる場合が多い。梱包時の含水率で、実質1個当たり質量の平均値は13.1±5.0kgで、先に示した梱包見掛け密度で扱い易い質量範囲で作業が行われていることがうかがえる。ルーズベアラによる梱包見掛け密度は、測定例が少なかった。平均値は60.3kg DM/m³¹⁶⁾で、タイトベアラによる場合と比較して、20~30kg DM/m³低い値であった。

麦稈：タイトベアラによる小麦稈の梱包見掛け密度(表5、整理番号1、2)は、ベアラの機種も梱包時含水率も40%と15%と、異なる時のものであった。

機種により梱包見掛け密度の調整が可能としても、梱包時含水率が40%と高い場合は、含水率15%の時のものより高かった。天候に恵まれ、小麦稈の圃場乾燥が順調に進んだ含水率15%の時の梱包作業は、56kW(75PS)のトラクタを使用して快適に行われた。梱包総数506個総質量4060kg、梱包1個当たりの平均質量8.0kg、質量範囲は5.4~12.1kgであった。平均梱包見掛け密度68kg DM/m³で、梱包を持ち歩いたり、投げ上げたりの取扱い時に、これが崩れるということもなかった。

タイトベアラによる小麦稈の梱包見掛け密度の測定事例が少ないが、一応70kg DM/m³前後ではないかと考えられる。今後も測定事例を集めて検討する必要がある。ルーズベアラとスモールラウンドベアラ(梱包室の大きさ、直径:60cm、長さ:120cm)による小麦稈梱包見掛け密度はそれぞれ32.40kg DM/m³と、タイトベアラによるものより、かなり低い値であった。

ビッグラウンドベアラによる小麦稈の梱包では、機種などにより、梱包の大きさ(直径×長さ)にかなりの差がある。一般に梱包の大きさが大きい機種ほど、梱包見掛け密度は高くし得る可能性がある。1個当たりの質量50~70kg DMの機種では50~60kg DM/m³、また、215kg DMの機種では81kg DM/m³^{20) 33)}であった。もちろん、この値は平均であり、同じ型式でも梱包見掛け密度の範囲はかなりばらつくと思われるべきであろう。ビッグラウンドベ

ーラに関しては、我が国でも多くの機種が市販されている。

それぞれに梱包機構、梱包の大きさも異なっており、梱包見掛け密度も異なるものと思われる。機種、型式などによる梱包見掛け密度の測定事例が増え、かなりよい確度で利用できるようになることが望まれる。

タイトベラによる大麦稈の梱包見掛け密度は、 $93 \sim 103 \text{ kg DM/m}^3$ ²³⁾と小麦稈のそれに比較してかなり高い値になっている。これは、梱包時の材料含水率が高く、稈がしなやかで圧縮し易かったことが原因³⁴⁾と考えられる。

いずれにしても測定例が少なかった。ルーズベラによる場合は 22 kg DM/m^3 で、小麦稈より 10 kg DM/m^3 も低かった。

大豆稈：タイトベラによる梱包(圃場での定置脱穀後のもの)では、ベラの調整に問題があったと考えられ、梱包見掛け密度は $50 \sim 132 \text{ kg DM/m}^3$ と大きく変動した。 50 kg DM/m^3 では取り扱い時にトウィンがはずれ、梱包が崩れてしまうことがあった。平均は 95 kg DM/m^3 で、この前後のものは梱包崩れもなかった。

以上、藁稈類の実際的な梱包見掛け密度について検討してきた。その範囲については、梱包に使用する機種や型式により大きな開きがあり特定することは難しい。しかし、測定値の比較的多いタイトベラによる圃場梱包の見掛け密度についてみると、一般に稲わらの場合について示されている $107 \sim 128 \text{ kg/m}^3$ *¹⁰⁾よりは低い値で、むしろ、単にわらの梱包として示されている $64 \sim 84 \text{ kg/m}^3$ ³⁸⁾に近い値ではないかと思われる。

3.3 細断材料の見掛け密度

振動法による箱への細断材料充てん作業状況を図4に

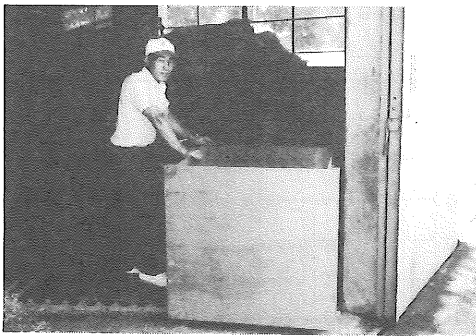


図4 箱への細断材料充てん作業

*この範囲の値は、むしろ乾草をは場梱包した時の標準的な見掛け密度として例示されている場合もある。⁴¹⁾

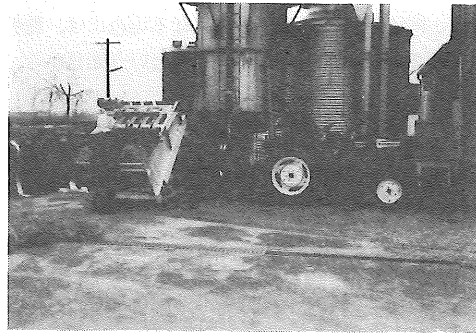


図5 ホッパ付円筒ビンへの充てん作業
(ホイールカッタによる稲わらの細断・吹き込み)

また、ホイールカッタによる材料細断、吹き込みで、ホッパ付円筒ビンへの充てん作業状況を図5に示した。いずれも見掛け密度測定に供した時のものである。

稲わら、麦稈、大豆稈について、平均切断長と見掛け密度の関係を図6～図10に示し、測定値が少ない桑残条、ナタネ稈²⁶⁾については、参考までに図11に示した。

これらの図に示したように、見掛け密度を材料含水率に関係なく、統一的に乾物換算で示す(式1)参照)ことの是非は、議論の分かれるところである。この研究では細

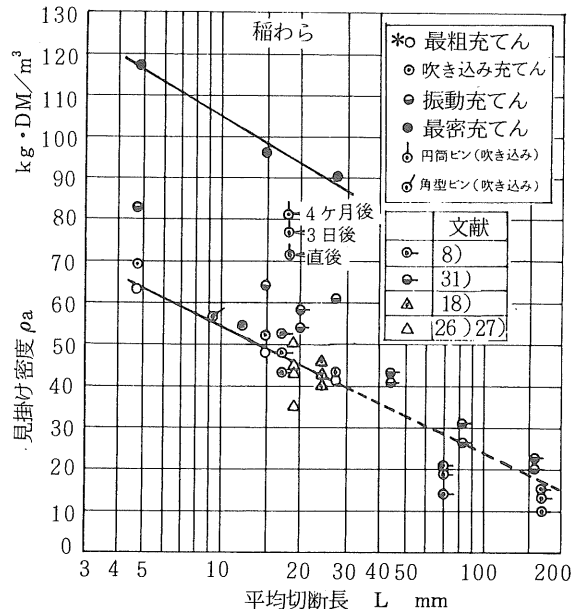


図6 細断稲わらの見掛け密度

注：*符号等は図5～図10に共通

断した牧草、青刈トウモロコシなどのサイレージ調製に当たって、同一材料で含水率のみ異なる場合には、乾物見掛け密度の差はほとんどない^{30) 40)}という知見から、藁稈類についてもこれを適用した。

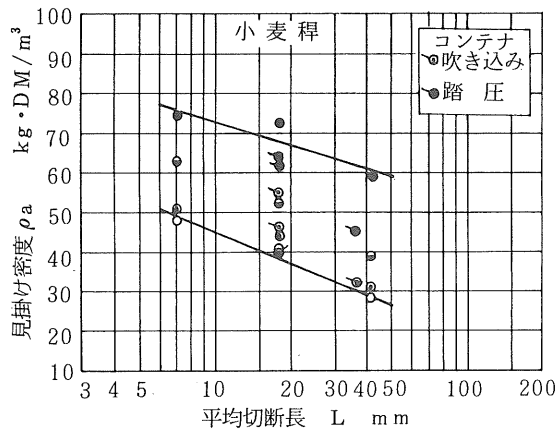


図7 細断小麦稈の見掛け密度

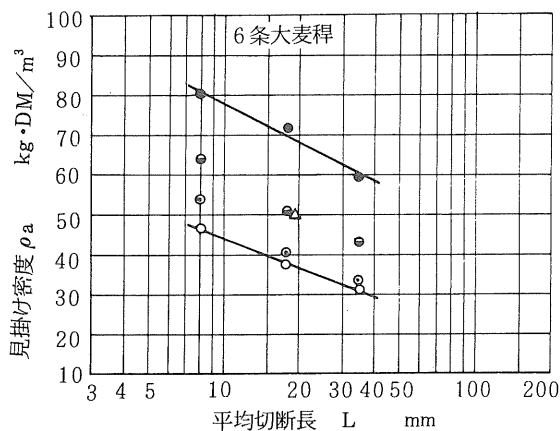


図8 細断6条大麦稈の見掛け密度

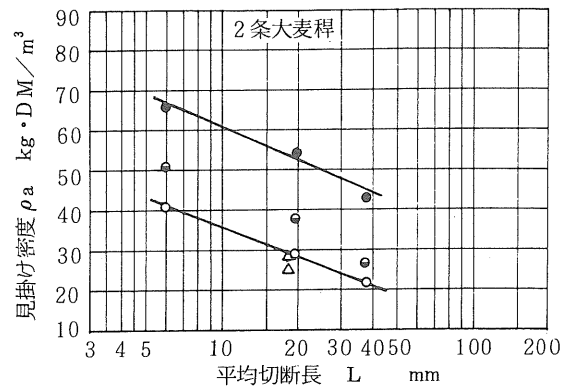


図9 細断2条大麦稈の見掛け密度

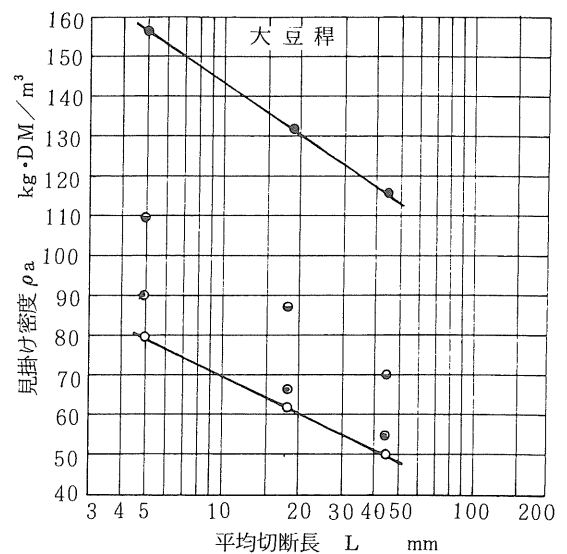


図10 細断大豆稈の見掛け密度

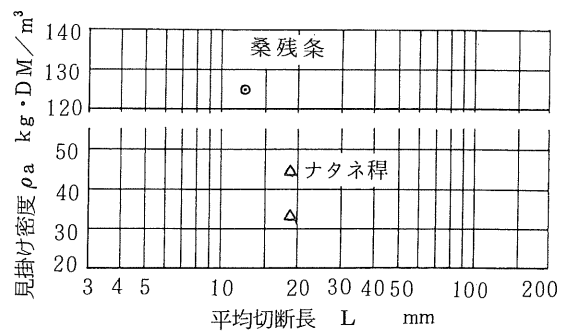


図11 細断桑残条、ナタネ稈の見掛け密度

3.3.1 平均切断長と見掛け密度

各充てん法において、平均切断長と見掛け密度の関係は、すでに明らかにされている^{8) 31)}ように、平均切断長が短いほど見掛け密度は高くなった。そして、これらの関係は片対数数グラフ上では直線となり、次の実験式で示された。

$$\rho_a = a + b \log L \quad (2)$$

ここで、 ρ_a ：見掛け密度 (kgDM/m³)

L：平均切断長 (mm)

a、b：供試材料、充てん法により決

まる定数

充てん容器として箱を使用した場合の最粗と最密充てんについて、式(2)の定数 a、b 及び相関係数 r について求めたところ、 r は小麦わらの最密充てんの時のみ -0.88 で、その他は -0.98 以上となり、測定値は式(2)で高い直線性を示した。図6～図10中に示す実線は、最粗と最密充てん時の式(2)による回帰結果を示したものである。

ここで、式(2)は L が 5～40 mm 程度の比較的狭い範囲に適用し得るものであった。このため、式(2)によってさらに長い L でも ρ_a を推定し得るかどうか、稲わらの場合で検討した。

L が 20～170 mm 前後の範囲では、振動法によった中国農業試験場 (充てん容器容積 0.10 m³)、³¹⁾ 圧縮法によった酒井 (充てん容器容積 0.02 m³)⁸⁾ などの測定値がある。これらの測定値と、式(2)による最粗充てんでの回帰結果を外挿して破線で示した (図6参照) のものと比較すると、次のような傾向が認められた。

1) 酒井による ρ_a は、L が 170 mm と長い場合、外挿値 17.4 kgDM/m³ よりも全般的に低かったが、17 mm と短い時は、回帰線の上、下にばらついた。

2) 中国農業試験場による ρ_a は、L が 160 mm の時、22.0 kgDM/m³ で外挿値 18.2 kgDM/m³ よりはやや高くなっていたが、L が短くなるにしたがって、筆者の行った振動充てんによる ρ_a に近付く傾向にあった。

3) 一連の測定値は、いずれも式(2)により直線回帰でき、相関係数 r は -0.97～-0.99 と高かった。

以上のことから、L が 160～170 mm と長い場合は、容器寸法が小さいために容器側壁などの影響を受けて、容器寸法が大きい時のものより粗充てんになっているようである。しかし、式(2)でいずれも直線回帰できることは、筆者らの求めた実験式で、L = 170 mm 前後までの ρ_a を十分推定し得るものと考えられる。

なお、L が 20 mm 前後の場合で、他の測定値^{18) 26) 27)}

についてみると、最粗充てん時の回帰線の上、下にばらついた。この原因は、充てん容器の寸法がいずれも小さかった (容積 0.01 m³ 以下) ことが原因とも考えられる。一方、筆者らが容器の大きさを変えて行った測定では、これらの値は、すべて最粗と最密充てんによる ρ_a の範囲内にあった。

次に、平均切断長が見掛け密度にどのように影響するのかについて、式(2)を微分して見掛け密度の変化率を調べた結果を図12に示した。

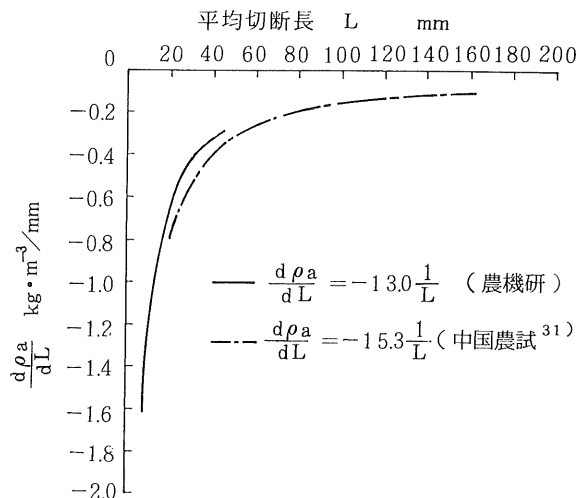


図12 見掛け密度の変化率 (稲わらの場合)

この図からいえることは、見掛け密度の変化率は、L が 160～80 mm 前後まではそれほど大きくないが、30 mm 以下になると、急激に大きくなることもある。このことは例えば、L が 160 mm に対して、この半分の 80 mm の時の見掛け密度増加割合より、30 mm に対して 15 mm の時の方が、はるかに大きくなることを示している。特に、見掛け密度を高めるということから、30 mm 以下の少しでも短い L にすることが、有利であると考えられる。

3.3.2 材料の圧縮性と通常の見掛け密度

細断材料を大容量の貯槽などに充てんすると、材料圧によって下層は圧密され、見掛け密度は増加する。^{30) 34)}したがって、材料の圧縮性を知ることが重要である。また見掛け密度は、最粗充てんと最密充てんによる値を両側として、充てん状態に応じた値をとることになる。実際の場合は平均的な値、すなわち通常の見掛け密度を知

ることも重要である。

ここでは、R. L. Carr の方法として紹介されている³⁵⁾以下の式を使用して、圧縮性、通常の見掛け密度について検討した。

今、最粗充てん時の見掛け密度を ρ_{a-1} 、最密充てん時の見掛け密度を ρ_{a-2} とすれば、圧縮性 C は、

$$C = \frac{\rho_{a-2} - \rho_{a-1}}{\rho_{a-2}} \quad (3)$$

で示される。また、通常の見掛け密度 $\bar{\rho}_a$ は、

$$\bar{\rho}_a = (\rho_{a-2} - \rho_{a-1}) C + \rho_{a-1} \quad (4)$$

を使うことが提唱されている。
稲わら、麦稈(3種類)、大豆稈について、式(2)による回帰式から、平均切断長 L と C 、及び $\bar{\rho}_a$ の関係を求めた結果を図13に示した。

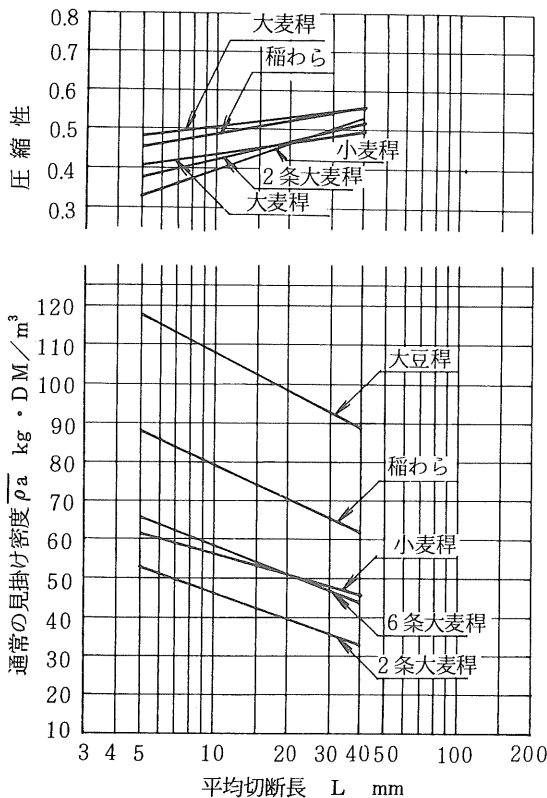


図13 圧縮性と通常の見掛け密度

C は L が短くなるほど小さくなる傾向を示し、 L が同じ時では、稲わら、大豆稈の方が麦稈よりも大きかった。
 C は稈が中空を形成している麦稈の方が、稲わら、大豆

稈よりも大きいものと考えられたが、結果は逆であった。
 $L=20\text{mm}$ の時、稲わら、大豆稈ともに $C=0.52$ 前後、麦稈で $C=0.45$ であった。また、このことは稲わら、大豆稈の方が圧密による材料沈下量が多いことを示しているものと思われる。

$\bar{\rho}_a$ は2条大麦稈、6条大麦稈＝小麦稈、稲わら大豆稈の順に大きくなった。これを $L=20\text{mm}$ の時で見ると、それぞれ概略40、50、70、100 $\text{kg DM} / \text{m}^3$ となり、単に「わら」として、見掛け密度を一律に取り扱うことには無理があるようである。

次に、ここで求めた $\bar{\rho}_a$ と、いろいろな充てん法によって求めた ρ_a との関係について検討すると、箱を使用し、振動充てんした時の値にはほぼ等しいか、やや高い値を示した。また、稲わらについてみると、図6に示したように、実験に使った内では最も大きな容器のホッパ付き円筒ビン(内容積9.768 m^3)への、吹き込み充てん直後の値、71 $\text{kg DM} / \text{m}^3$ ($L=18\text{mm}$)に対して、 $\bar{\rho}_a$ は72 $\text{kg DM} / \text{m}^3$ でよく一致した。このようなことから図13に示す $\bar{\rho}_a$ は、この程度の大きさの容器に吹き込み充てんした時の値として、使用できるのではないかと思われる。

4 総合考察

藁稈類の各種状態での標準的な見掛け密度として例示されているものを整理して表6に示した。³⁷⁾³⁸⁾見掛け密度は実際の測定をもとに使用するのが、はるかに正確であることに異存はない。しかし、現実的には、標準的な見掛け密度を知る必要がある場合が多いものと思われる。このことからいえば、表6に示す一連の値には、大きな開きがあり、いずれを使用するか問題となるところである。ここでは、これまでの結果をとりまとめ、再度、各種材料状態での標準的な見掛け密度の概略値について、表7に示した。この表に示す値は、なお測定事例の不足

表6 各種状態のわらの見掛け密度

(a) ³⁷⁾ (b) ³⁸⁾

種類と状態	見掛け密度 kg / m^3	見掛け密度 kg / m^3
ゆるく積まれたわら	59 ~ 64	32 ~ 48
梱包わら { 圃場梱包	107 ~ 128	64 ~ 80
固い梱包	160 ~ 214	—
細断わら	64 ~ 80	92 ~ 128

表 7 藁稈類の見掛け密度

わ ら の 状 態 条 件	材 料 の 種 類	見 掛 け 密 度 kg DM/m ³
1. 結 束 小 束 束 小束・大束	稲 わ ら " " 麦稈・大豆稈	99 以下 60 以下 47 以下(平均 34)
2. 圃 場 梱 包 タ イ ト ベ ー ラ " " " " ル ー ズ ベ ー ラ " " ビッグラウンドベアラ(小) " (大)	稲 小 大 稲 小 小 " " " " " " " " " "	82 70 95 60 32 55 81
3. 細 断 平均切断長 20 mm " " " " " " " "	2 条 大 麦 稈 6 条 大 麦 稈 小 麦 稈 大 麦 稈 小 麦 稈 大 麦 稈	a 粗 中 密 28 40 53 36 51 68 37 51 67 45 70 94 61 98 131

注：a 粗、中、密はそれぞれ最粗、通常、最密充てんを示す。

により、修正を要する場合もあると思われる。特に、梱包材料の見掛け密度については、ベアラそのものが機種、型式など多種多様であることから、場合によっては大きな開きがでる。しかし、一応普通の作業で得られた値として示した。

藁稈類の一層の利活用は、今後の技術開発に待つところも多い。このような技術開発と共に、材料のハンドリング技術が重要な位置を占めるようになる。その際、物性値としての見掛け密度は、材料の収集、運搬、貯蔵、供給など、実際の操作、作業と関係する現象（流動性、付着力、切断長の長短など）を多く含んでいる。また、見掛け密度を測定することにより、見掛け比容積、空げき率、充てん率などが計算できる。このため、見掛け密度のより正確な把握と見掛け密度の有効な利用を進める上でも、今後とも研究する必要があるものと思われる。

5 摘 要

藁稈類の利活用にあたっては、圃場に散在している状態のこれらを収集し、運搬し、貯蔵し、さらに供給するハンドリング作業が重要である。と同時に、ハンドリング作業では、材料の取り扱い量が問題となることであり、この時の物性値としての見掛け密度を、より正確に把握し、それらを利用することが重要となる。このよう

なことから、稲わら、麦稈（3種類）、大豆稈などにつ

いて、束、梱包、細断の3形態の見掛け密度を測定すると共に、国内外の測定事例を調査し、合わせて検討した。主な結果は次のとおりである。

(1) 長ものを結束し、これらを整然としかもていねいに堆積した時の見掛け密度は、麦稈、大豆稈よりは稲わらの方が高く、小束稲わらで最高99 kg DM/m³、大束で最高60 kg DM/m³であった。麦稈、大豆稈では平均34 kg DM/m³であった。

(2) 梱包した材料の見掛け密度は、使用したベアラの機種、型式により大きく変わった。タイトベアラでの快適な作業、または適度な負荷作業で得られたと思われる梱包見掛け密度の概略値は、稲わらで82 kg DM/m³、小麦稈で70 kg DM/m³、大豆稈で95 kg DM/m³であった。ルーズベアラによる梱包見掛け密度の概略値は、小麦稈で32 kg DM/m³、大麦稈で22 kg DM/m³であった。しかし、なお梱包見掛け密度については、測定事例が不足であった。

(3) 細断材料を容器に充てんした時の見掛け密度 ρ_a は、材料の平均切断長をLとした場合、 $\log L$ の片対数グラフ上で勾配が負の直線で示された。Lが170～5 mmの範囲では、Lが短いほど ρ_a は増加し、 ρ_a の変化率からみると、Lが30 mm以下になると急増した。このことより、Lが30 mm以下になるように細断することが、 ρ_a を高める上では有効と思われた。

(4) 細断材料の最粗と最密充てんの見掛け密度から求めた通常の見掛け密度は、Lが同じ場合は2条大麦稈、

6条大麦稈＝小麦稈、稲わら、大豆稈の順に大きくなった。そして、 $L=20\text{mm}$ の時では、それぞれ概略40、50、70、100 kg DM/ m^3 であった。

参考文献

- 1) 科学技術庁資源調査所：バイオマス資源の生産・転換及び利用に関する調査、資料76号、(昭55.5)、P22-24
- 2) 芝田和雄・木谷収編：バイオマス(上)、学会出版センター(1981.5)、P263-265
- 3) 同上：同上(下)、同上(1981.5)、P147
- 4) 農機研資源委員会：未利用資源の飼料化と飼料の有効利用についての試験研究方向、農機研(昭58.3)、P28
- 5) 諏澤健三・笹谷定夫・市戸万丈：残稈類の飼料化用機械に関する研究、農機研研究報告会資料、農機研(昭58.3)、P30-31
- 6) 久保輝一郎・水渡英二、他2名共編：粉体理論と応用、丸善(昭37.12)、P212
- 7) 酒井 学：粗大物質の量と質からみた乳牛作業の合理化、畜試年報、(1968)、P127-138
- 8) 酒井 学・瀬川 敬・山崎 稔：畜産における粗大物質の基礎的力学性に関する研究(3)、農機誌30-4、(1967)、P257-263
- 9) 農機学会編：改訂農業機械ハンドブック、4版、コロナ社(昭47.2)、P983-985
- 10) 同上：新版農業機械ハンドブック、1版、同上(昭59.3)、P57、731
- 11) 諏澤健三・笹谷定夫：各種残稈の見掛け密度、農機研昭和53年度事業報告No5-1-7、(昭54.2)、P125-126
- 12) 農機学会編：農業機械、施設試験方法便覧(1)、農機学会(昭52.9)、P243
- 13) 農機研：飼料作物用機械に関する試験法(未定稿)「農業機械開発改良試験研究打合せ会議資料No.5」、(昭43.2)、P64-65
- 14) 最新粉粒体プロセス技術集成編集委員会：最新粉粒体プロセス技術集成 基礎技術編 1版、産業技術センター(昭49.3)、P323-325
- 15) 日本粉粒体工業協会編：粉粒体計測ハンドブック、1版、日刊工業新聞社(昭56.5)、P23-27
- 16) 東北農試機械化作業1研：コンバイン排わら処理法、「農機総括検討会議成績概要集」(昭49年度)、農事試編(昭50.2)、P125-126
- 17) 同上：稲わら処理作業法、「同上」(昭51年度)、同上(昭52.2)、P159-160、233-234
- 18) 草地試機械化2研：稲わらの乾燥・圧縮成形技術の開発に関する研究、「同上」(昭51年度)、同上(昭52.2)、P274-275
- 19) 同上：同上、「同上」(昭和52年度)、同上(昭53.2)、P124-127
- 20) 北農試機械化1研：ビックベアラの利用試験(小麦わら)「同上」(昭53年度)、同上(昭54.2)、P139-140
- 21) 九州農試水田作機械化研：8輪汎用作業車による束わらの収集作業、「同上」(昭54年度)、同上(昭55.2)、P178-179
- 22) 宮城農業センター農機科：収穫機械化に伴う稲わらの有効処理法に関する研究、「農機開発改良試験研究打合せ会議資料No.1」、農機研(昭51.3)、P93-96
- 23) 石川県農試農機科：稲わらの能率的収集法と貯蔵「同上No.3」、同上(昭54.3)、P25-26
- 24) 同上：麦稈の能率的収集法と貯蔵、「同上No.3」、同上(昭55.3)、P29-30
- 25) 福岡県農試農機具研：稲わらの収集、搬出法に関する試験、「同上No.3」、同上(昭56.3)、P47-48
- 26) 島根県農試農機科：粉碎による農産物未利用資源の多目的利用、「同上No.3」、同上(昭57.3)、P19-20
- 27) 同上：同上、「同上No.3」、同上(昭58.3)、P15-16
- 28) 岐阜県農試機械科：コンバイン刈取生わらの乾燥収集試験、「関東東山東海地域農機試験研究打合せ会議成績概要」、農事試編(昭54.3)、P178・5-178・6
- 29) 全農農業機械部：図でみる飼料作物の機械化、講習会用テキストNo.20、全農農業機械部(昭57.7)、P62
- 30) 農林水産技術会議編：サイレージ研究の成果と展望中央畜産会(昭49.12)、P70-71
- 31) 中国農試機械化研：わらの搬出・乾燥・飼料化法、「昭53年度機械化に関する試験成績」、(昭54.3)、P63-66
- 32) 木村勝一、他5名：農用トレーラの運搬特性に関する研究、農機学会東北支部報No.3、(昭58.12)、P24
- 33) 北農試機械化1研：ビックベアラによる麦稈処理、「草地・飼料作物の機械化に関する研究、1978年度試験成績」、(昭54.3)、P53-62
- 34) 農林水産技術会議編：稲作転換推進のための粗飼料流通化技術の開発に関する研究、研究成果85、(昭51.2)、P11-15

- 35) 青木隆一：粉粒体の貯蔵・供給に関する展望、「粉粒体の貯蔵と供給」、別冊化学工業、化学工業社（昭47.2）、P 1-7
- 36) S.C. Negi, J.C. Jofriet, J. Buchanan-Smith: Densities, Pressures and Capacities of Corn Silage in Tower Silos, Canadian Agri. Eng. 26-1 (Summer 1984), p.43-47.
- 37) G.B. Richey, Paul Jacobson, Carl W. Hall: Agricultural Engineers Handbook, McGraw-Hill Book Company (1961), p.683-684.
- 38) Midwest Plan Service: Structures and Environment Handbook, Ninth Edition, (1977,9). p.371.
- 39) John Deere Service Publications: FMO (Fundamental Machine Operation), Hay and Forage Harvesting, Deere & Company (1976), p.91.
- 40) O.I. Berge, G.P. Barrington, L.A. Brooks, E.G. Bruns: Determining Silo Size and Location, Agri. Engi. Notes, Agri. Engi. Dept. Univ. of Wisconsin-Madison (1976,9), p.1-15.
- 41) Marshall F. Finner: Farm Field Machinery, American Printing & Publishing (1973), p.187.

SUMMARY

Apparent Densities of Straws

Kenzou SUSAWA and Sadao SASAYA

When utilizing straws, handling works such as gathering straws in the field, transporting, storing and feeding them are indispensable.

It is necessary for material handling to know characteristics of the material accurately. Therefore, an apparent density of material was chosen as a representative of characteristics and apparent densities of rice, wheat and barley straws and soybean stalk etc., were measured under three different conditions (bundled, baled, chopped). In addition, data in Japan and other countries were investigated.

The following results were obtained.

- (1) Apparent density of bundled long rice straw was higher than wheat and barley straws when they were stacked neatly. The maximum values were 99kg (Dry Matter)/m³ for small bundled rice straw and 60kg(DM)/m³ for large bundle.
- (2) Apparent density of baled material was different with the type of baler. Approximate apparent densities of tight bales were 82kg(DM)/m³ for rice straw and 70kg(DM)/m³ for wheat straw and 95kg(DM)/m³ for soybean stalk. Approximate apparent densities of loose bales were 32kg(DM)/m³ for wheat straw and 22kg(DM)/m³ for barley straw.
- (3) Apparent density(ρ_a) of chopped material filled in a container had a linear relationship with a logarithmic value of mean cut length(L). ρ_a increased with a decrease of L in the range of 5 - 170 mm.

The gradient of ρ_a to $\log L$ increased rapidly with less than 30mm mean cut length.

In order to increase ρ_a effectively, it seemed to be necessary to make L less than 30 mm.

- (4) The order of apparent densities of chopped materials under the conditions

of loose and dense filling was two-rowed barley straw < six-rowed barley straw = wheat straw < rice straw < soybean stalk and their values were 40kg (DM)/m³, 50kg(DM)/m³, 70kg(DM)/m³ and 100kg(DM)/m³ respectively at L=20mm.

Tech. Rep. Inst. of Agric. Mach. 22:55~68(1987)

農業機械化研究所報告 第22号

昭和62年12月4日 印刷・発行

Technical Report of the Institute of
Agricultural Machinery No.22

頒価 550円

〒331 埼玉県大宮市日進町1丁目
Nisshin, Omiya, Saitama, Japan
Tel. 0486-63-3901~4

生物系特定産業技術研究推進機構

農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

印刷・製本／ 株式会社 三元社