農研機構
「食」を未来につなぐ責任と覚悟

令和８年度　自給飼料利用研究会
2026年11月18日

フレコン内袋法による
トウモロコシ子実の簡易調製

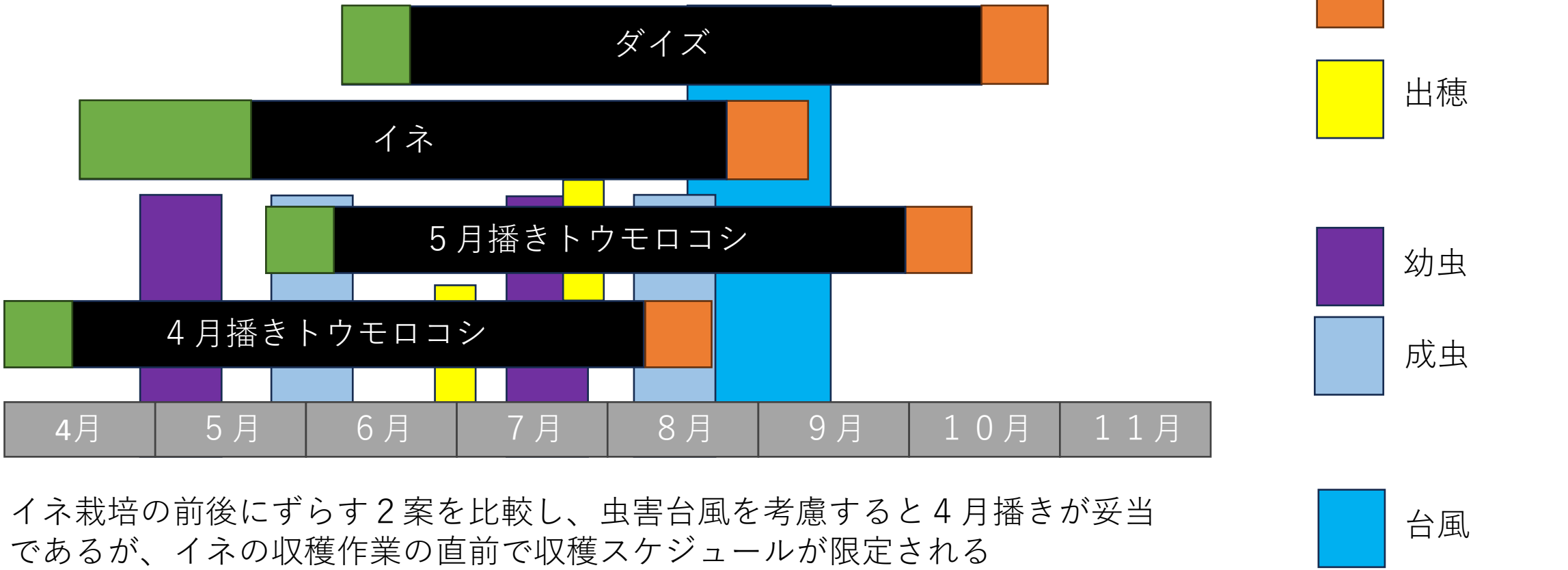
農研機構　畜産研究部門
国産飼料研究領域　飼料生産体系化グループ
住田憲俊
sumida.noritoshi549@naro.go.jp

配付先限り

背景

1．収穫作業に費やせる期間が限られる

関東地方を主とする都府県の水田転作での競合
虫害や台風による折損や倒伏、雌穂の脱落を受けやすい



イネ栽培の前後にずらす２案を比較し、虫害台風を考慮すると４月播きが妥当であるが、イネの収穫作業の直前で収穫スケジュールが限定される

配付先限り

背景

2．機械の汎用利用、スペックをそろえることが必要（低コスト化）

＜農業機械を新規購入することはハードルが高い＞
収穫を汎用コンバインで行うことから、収穫から商品の荷姿になるまでは水田農家を想定する。

汎用利用による低コスト化を踏まえると、
【トウモロコシを播種できるダイズ用畝たて播種機（目皿交換）】
【汎用コンバインでトウモロコシ用のアタッチ】
【トウモロコシ対応の乾燥機】の導入で播種、収穫を可能とし、

機械本体はダイズと兼用で
部分的にトウモロコシ用に交換

収穫後は、（トラック）（フォークリフト）（計量装置）によって貯蔵、輸送が可能となる。

配付先限り

背景

３．機械を汎用利用する場合に起きる問題点

◎収穫能力と乾燥能力のミスマッチ
　現在導入できる汎用利用機械の能力は必ずしも一致しておらず、乾燥能力以上の日生産は難しい



コンバイン収穫
25t/機･日



乾燥処理
10t/機･日

◎収穫乾燥期間が限られている
　雨天、単収増による収穫作業の遅れ（一日の処理量を増やせない）　→　乾燥する期間が不足

＜結果＞早播き子実トウモロコシの収穫完了前にコメの適期を迎えてしまう。
（乾燥機を追加するにしても、設置スペースやコストが問題となる。）

配付先限り

背景

栽培期間、収穫期間に作業集中が起こる場合がある

コスト低減のために機械の汎用化が必要だが、能力にミスマッチがある

灯油、乾燥機などの価格高騰で単純に乾燥機の追加で解決は困難

作業集中の回避や低コスト化の観点からも、収穫した子実を乾燥調製するほかに簡易に調製貯蔵できる技術が求められる。

配付先限り

子実の低コスト保存方法

低コスト保存で考えられる方法

乾燥

【天日、送風】

天日利用の場合、広げる場所、集める機械、作業など、コストがかかる

収穫後、コンテナ等に貯留し、**送風**して乾燥させる
この後紹介

【サイレージ】

乾燥なし

収穫後、サイロ等に貯留し密封する
14枚目から紹介

簡易通風乾燥（加温せず送風だけでの乾燥）



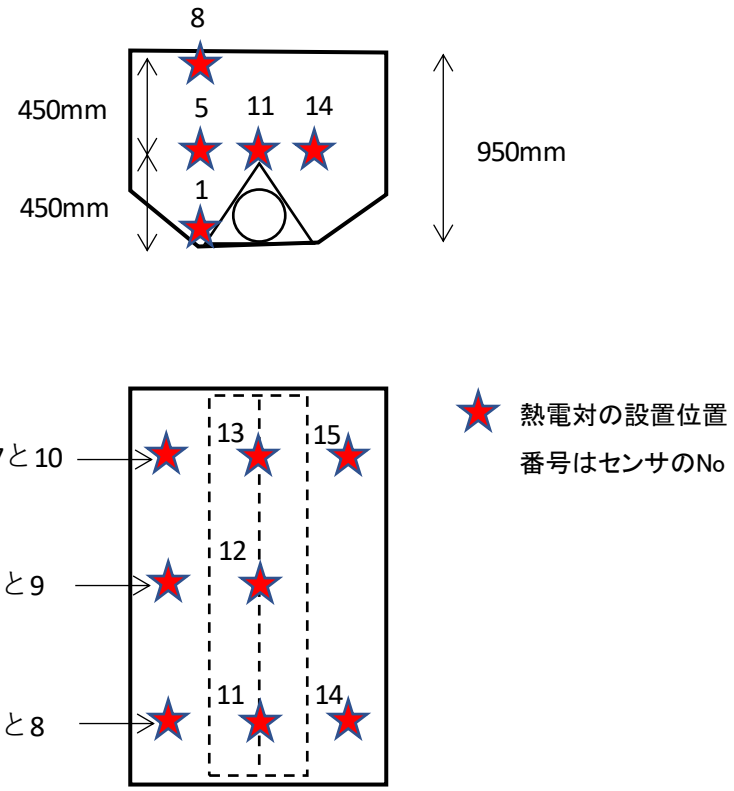
可能性の検討：通風乾燥
コメやダイズの通風乾燥に使える吸引通気方式の穀物コンテナ

満タン張り込み後、吸入口以外を密封で風量比0.05以上
空気を通風して乾燥する可能性について検討

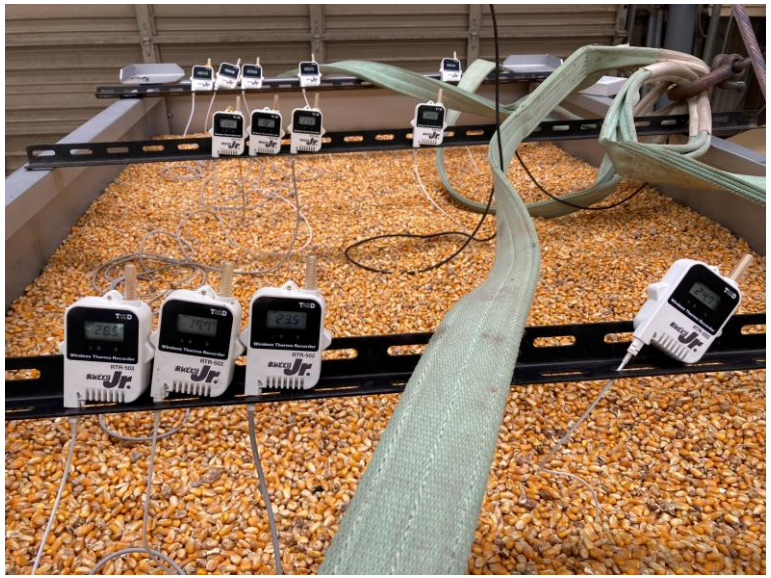
	送風機	送風量	風量比
	V	m3/min	m3/s・t
無充填時	3相200	6.7	
	単相100	4.9	
子実トウモロコシ張り込み時	3相200	5.5	0.083
	単相100	4.3	0.065

配付先限り

簡易通風乾燥（乾燥の進み具合と品質確認）



温湿度計の設置場所



温湿度の記録



天井クレーンとロードセルによる重さの計量

穀物コンテナ内のトウモロコシ子実の温度とセンサ周辺の相対湿度をチェック
定期的に、全体の重さを計測することで、水分を算出

配付先限り

簡易通風乾燥







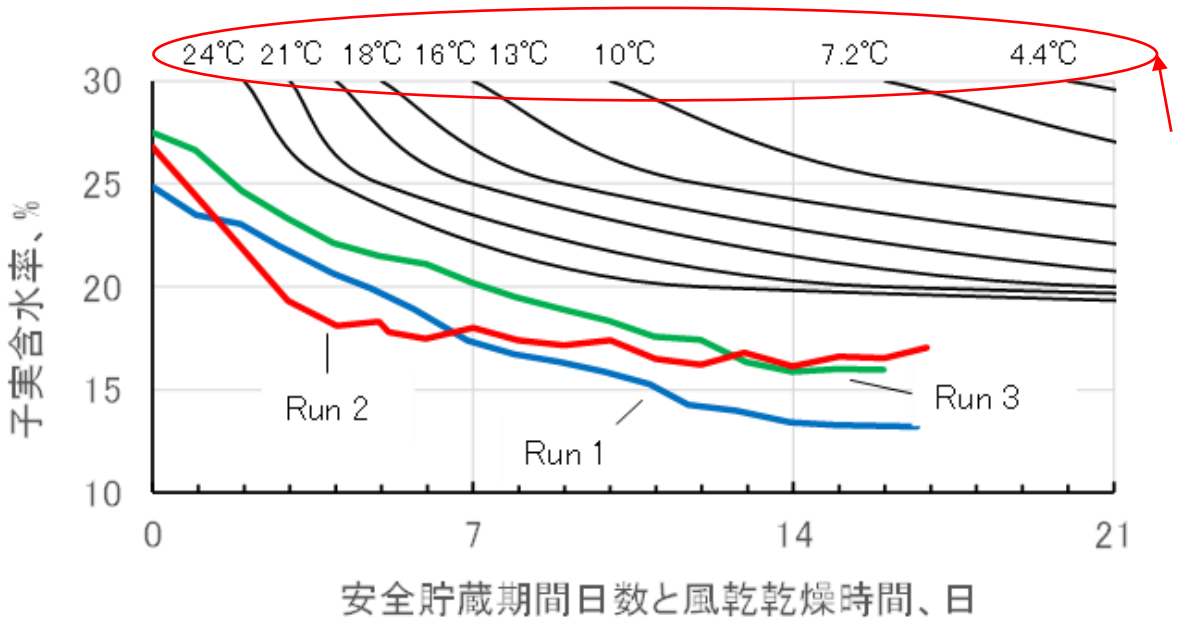
ビニールハウス内（土間）での乾燥

毎日の降雨でハウス内の相対湿度は９０％以上、乾燥の進みは遅かった。

簡易通風乾燥



穀物コンテナに満載した子実
側面底部の送風機で排風する



乾燥特性のグラフの子実含水率は、初期子実含水率と質量変化からの計算値
凡例の数字は周辺雰囲気の温度と相対湿度の期間平均

図中の黒実線は、これら気温の時に腐敗の危険性がある子実含水率と貯蔵日数の境界を示す

試験No.	調査日時	貯蔵条件						通風条件			
		周辺温度			相対湿度			張込量	堆積高さ	子実含水率	風量比
		平均	最高	最低	平均	最高	最低				
		℃			% RH			t	m	%	$m^3/s \cdot t$
Run1	3/4～3/24	6.5	25.5	−2.6	46	83	9	1.10	0.95（最深部）	24.9	0.065
Run2	6/24～7/11	27.7	42.1	19.3	61	83	27	0.99		26.8	0.072
Run3	10/18～11/5	17.6	30.2	7.6	70	92	26	1.12		27.5	0.064

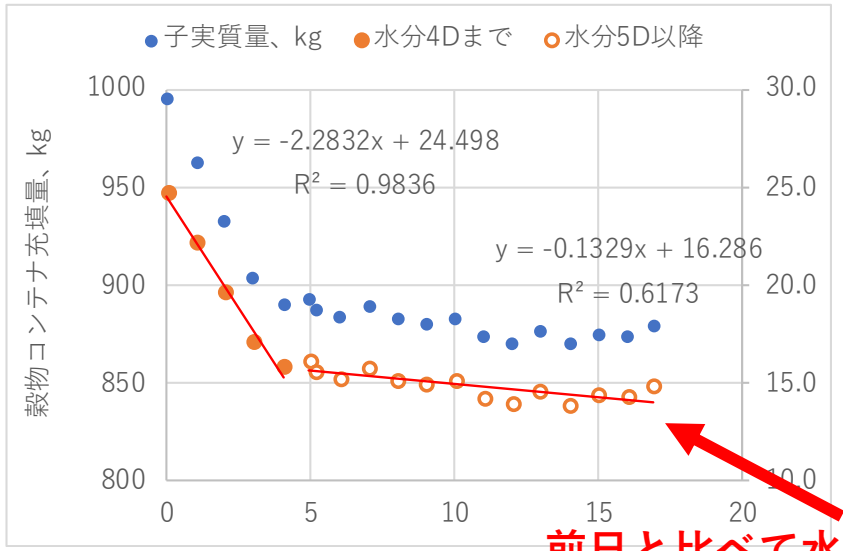
1．全ての条件で腐敗の境界を超えなかった。

2．開始一週間では、気温が高い条件で乾燥速度は高いが、どの時期でも１７％を下回るまで乾燥は進まなかった。

3．１４日以上で乾燥はほとんど進まなくなり、夏や秋の通風は１７％まで冬は１４％以下まで水分低下した。

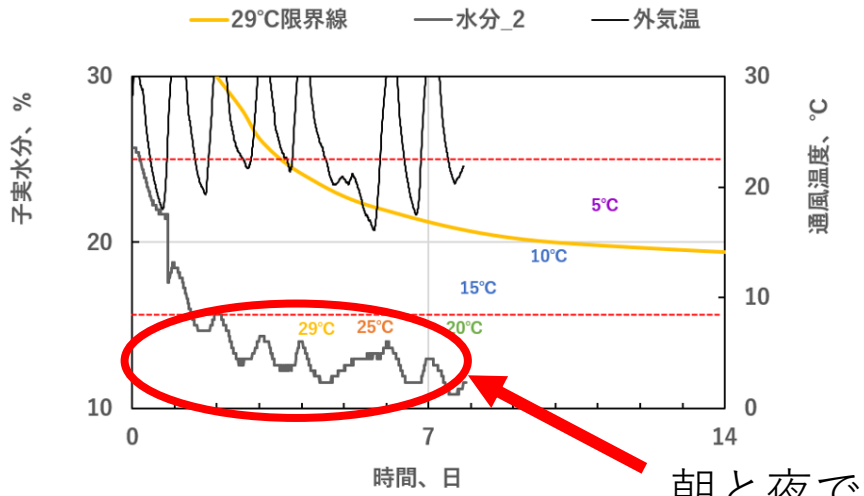
配付先限り

簡易通風乾燥（水分、温湿度の動き）



前日と比べて水分が上がるときがある

図　乾燥経過日と子実重量、水分



朝と夜で湿度が上下する

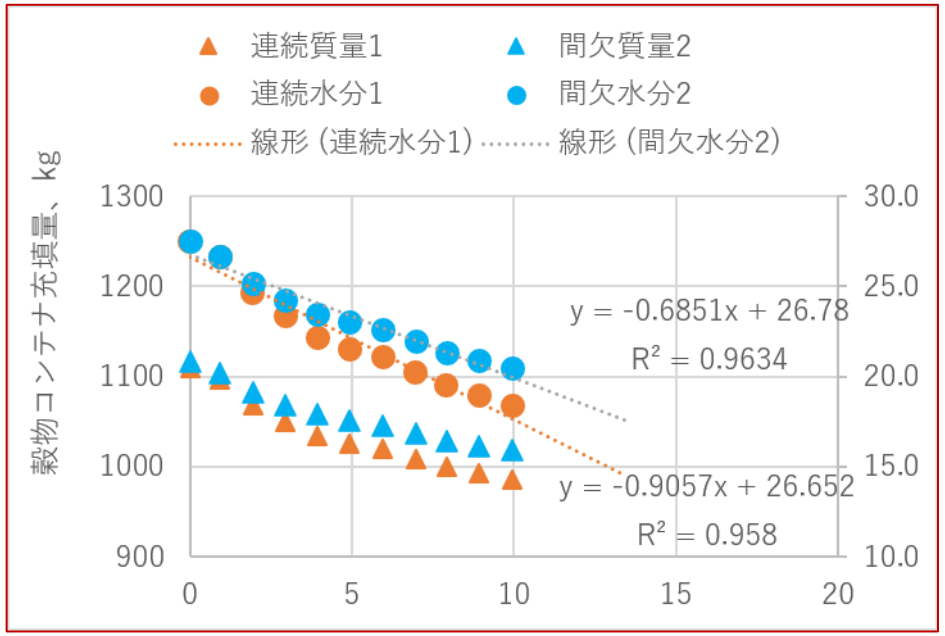
図　経過日数と子実付近の温湿度

- トウモロコシ子実は乾燥開始から４日までは乾燥速度は高い。日中の湿度が低いときに水分が蒸発し、夜の湿度が高いときは吸水する時もあった。
- 長期的な保存はできないが、収穫直後の腐敗しやすい状態を一時的に回避する技術として利用の可能性が見いだせた。

配付先限り

簡易通風乾燥（間欠送風の検討）

➢ 夜に吸湿している可能性が高いため、電力消費量を抑える目的から、日中のみの送風で乾燥能力がどの程度低下するかを調べた。



経過日数（日）

➢ 連続送風の方が水分低下効果は高く、
乾減率では
連続が0.91％/日
間欠が0.69％/日だった。

品質保持を一番に考えるなら、連続送風が望ましい結論に至った。

配付先限り

簡易通風乾燥（まとめ）

水分を下げる効果の面では
穀物乾燥機の乾減率1%/hに対して、穀物コンテナは１%/day程度、ゆっくり乾燥は進むが14%以下まで下げることは難しい

処理量の面では
1機1t程度の処理量、穀物コンテナのみで100tの収穫量を乾燥させることは場所や取り扱いの数で難しい

考えられる活用法
毎日の収穫で多く収穫する必要があり、乾燥機で乾かすことができなかった収穫物を緊急避難的に乾燥、保存する。

配付先限り

フレコン内袋法とは



1．フレコンを展開し、スタンド等で自立状態にする

2．フレコンの内部に袋（内袋：空気を通しにくい素材）を装着

3．装着した内袋に穀物（トウモロコシの子実）を充填

4．内袋の口を閉じて酸素の出入りを制限

5．フレコンの口を閉じて輸送可能状態へ

好気性の雑菌繁殖を抑制し、品質を維持した状態で長期間保存

配付先限り

内袋法（必要条件）

内袋法

1．嫌気状態 → 内袋で密封する

2．乳酸発酵 → 子実に乳酸菌が存在している

3．**子実水分が２０～３０％**

＜日本での収穫実績＞
千葉県や茨城県の例では、４月上旬播種のRM100やRM110タイプであれば、
８月の中旬収穫で**水分２０～３０％**（2024，2025）。

早生（RM110）の場合、８月の中旬収穫で子実水分が２０％以下にはなりにくく、
多収を目指すために必要な条件である【確実な播種】と【早生品種の利用】から考えると
水分を飛ばす必要がある乾燥より、内袋法によるサイレージ調製の方がメリットは大きい。

ちなみにアメリカ（U.S.GRAINS）では、
2024収量1149kg/10a程度、収穫時水分15.3％（５年間平均は16.4％）
アメリカは乾燥流通に適しているが、日本に適した保存利用方法の検討は必要

配付先限り

フレコン内袋法

籾米サイレージで行われている技術をトウモロコシ子実に応用
トウモロコシ子実は水分２０～３０％で収穫するため、加水不要
圃場で収穫したコンバインから直接フレコン内袋に投入して保存でき、
丸粒保存（収穫時作業）できるので、収穫者とトラック運搬者で対応可

収穫量、時期は柔軟に対応





ベールラッパなど
畜産装備は不要



内袋を密封・搬出して**その場で作業完了**

フレコン内袋法（貯蔵場所、ハンドリング）



屋外で保存

鳥やネズミ対策は必要

吊り紐やパレットを利用して



クレーンやフォークリフト等の

機械でハンドリングが可能

フレコン内袋法（貯蔵が進むと）

内袋が膨張する場合があり



＜対応＞内袋を開封してガスを放出し、
再密封が必要。
乳酸発酵が進み発酵が落ち着くと
ガスの発生は抑えられる。

酵母が増える場合があり



＜対応＞密封する前に市販の
乳酸菌製剤（ヘテロ発酵型乳酸菌）を
表面に万遍なく散布する。

配付先限り

フレコン内袋法（内袋の素材）

素材：一般的なポリエチレンで可能
注意：ひっかきや突っつきによる袋の破損

厚み：強度が高い方がよいが、取り扱い性
　　を考慮して0.08mmを推奨

対策：密封後２，３日は、膨張具合、匂いなど
チェックして、異常があれば破損個所を探す。
　早期発見ならば、補強テープでふさいだり、
新たな内袋に詰めなおすことで貯蔵継続できる。

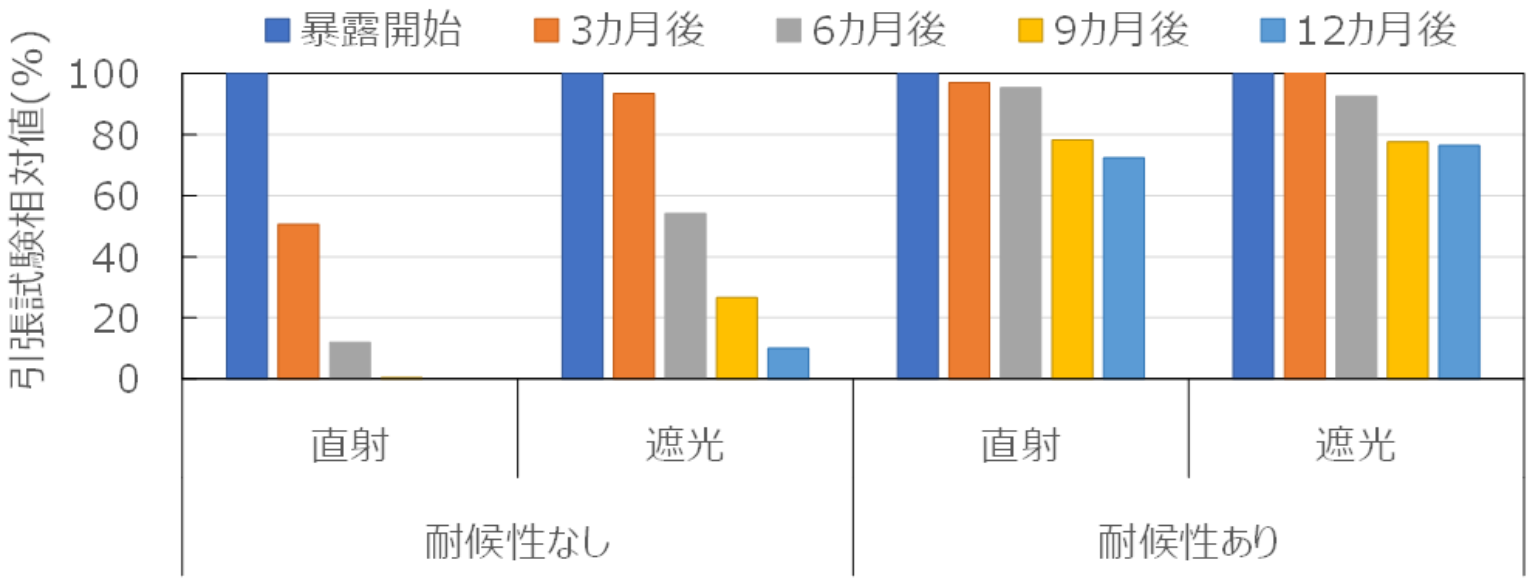
ピンホールを発見できず長期保存すると
トウモロコシ子実に明らかな異常（変色、かび臭等）が
生じる。この場合は飼料として利用できない。



ピンホールで部分的にカビが発生
部分的であってもカビが発生したら廃棄

配付先限り

フレコン内袋法（使用するフレコンの種類）



耐候性が付与されていない通常品の断片に遮光率80％の遮光ネットを被せた場合でも、6カ月経過後には強度が半減したケースがあった。

通常品で屋外貯蔵する必要がある場合は、遮光ネット等で覆うなどの対策を取った上で、使用は3カ月以内。



フレキシブルコンテナ断片を使った屋外での暴露試験

トウモロコシ子実を詰め込んだフレコンを屋外で貯蔵する場合は、耐候性を推奨。
日射による劣化で吊りベルトが割けるなどハンドリング不能によるロスを避ける。

配付先限り

フレコン内袋法（獣害）

フレコン内袋法による子実トウモロコシの屋外貯蔵は事例が少ないが、フレコンの開口部の絞りが甘かった場合にネズミが入り込んで内袋を破るなどの事例あり。

嗜好性の高さから誘引の可能性があるため、電気牧柵やテグス等による防除対策が必要。

イネホールクロップサイレージ（イネWCS）では密集せずに広々と配置することでネズミの被害を軽減する方法が示されている（農研機構2009）

配付先限り

フレコン内袋法　脱気と密封

好気性微生物の活動による炭酸ガスと水分が発生し、内圧が高まることで袋が損傷する

【脱気】 ➡ 密封する前に、脱気をして好気性微生物の活動を押さえる。

【問題点】

1．圃場に脱気装置と電源が必要
2．トラックの荷台にフレコンを設置すると作業スペースがない
3．地面で作業する場合、トラック荷台へのハンドリング機械が必要
4．低圧状態を保持したままホースを抜いて封をする技術は高度

（内袋をホースに押し付ける力が強いとホースを抜くときにこすれる等）





配付先限り

フレコン内袋法　結び方

＜一つ結び＞
　人が端をまとめてひも状にして結ぶ。内袋の厚みによっては、輪を作ることが難しい。後で解くために緩めに結んでも内圧できつく締まりほどけなくなる。

＜紐や結束バンドなどでの縛り＞
　ひも状にした端を折り曲げて、２本になっている部分を縛る。内圧により抜けてしまう事例が多数発生

ビニール素材（ポリエチレン等の低価格素材）そのものが完全なバリア素材でないため、
縛り部分の密封性能にこだわる必要はないのではないか





一つ結び：捻じってひも状にして縛る



内圧上昇で膨れる

簡易的に封印・開封できる方法が適している

フレコン内袋法（巻き付け法の手順）



単管パイプ等で内袋の上端を巻き取る（①）、巻き取った内袋が解けないように押さえつつ左右の手を入れ替え捻じって内袋の口を絞る（②）、絞った状態でパイプ等を内袋の上に置く（③）。簡易な密封方法を考案（**特願2025-175766**）

巻き取った単管パイプを捻じることで空気の通り道がほぼ遮断され、パイプの重さで内圧程度の復元力では解けない

配付先限り

フレコン内袋法（詰め替え）

＜内部のサンプリング＞

岩手県二戸市で現在保管されているフレコンを開封してサンプリングした時の様子
10月収穫で6月開封、8カ月後でもきれいなまま、そして再密封

ピンホールが見つかった時など、同様の操作で簡単に詰め替えできる。



フレコンの吊り紐を使用新しいフレコンと内袋を充填されたフレコンの下に設置する。



フレコン底部を開放受けフレコンに投入子実が流れている間にサンプリングし、内部の状態を確認する。



内袋を巻き付け法で再密封

この後問題が発生することなく現在も貯蔵中

配付先限り

フレコン内袋法（巻き付け方式、一年後）

表　貯蔵前後の子実の変化（１年貯蔵）		
調査項目	貯蔵前	貯蔵後
子実水分、%	31.1	35.4
粗タンパク質、%乾物	9.8	9.9
デンプン、%乾物	65.5	66.3
粗脂肪、%乾物	3.9	3.8
pH	6.3	4.4
乳酸、%原物	nd*1	0.63
酢酸、%原物	nd*1	0.19
酪酸、%原物	nd*1	0.04
かび、log cfu/g原物	3.2	nd
酵母、log cfu/g原物	5.5	4.1

貯蔵後は、茨城県筑西市で通年貯蔵後に開封した結果

密封翌日に内袋のガス抜きをしたフレコンを開封して、
飼料成分やかびの消長などを調査

貯蔵前後の飼料成分そのものに大きな変化なし。

pHは貯蔵前6.3→貯蔵後は4.4へ
酪酸はほぼ検出されなかった

密封による嫌気条件下で**乳酸発酵が順調に進み**飼料品質を
良好に維持できた。

巻き付け法でも【カビは不活化】【乳酸発酵】をする。
フレコン内袋法の密封方法として問題なく使用できる。
１年以上、屋外で貯蔵しても使用上の問題はなかった。

配付先限り

フレコン内袋法

表２ フレコン内袋法に要するコスト（2022年計算）

調製方法	フレコン内袋法		乾燥調製 *3	
項目	コスト（円/kg）*1	備考	コスト（円/kg）*1	備考
労働費	0.7	1人（密封作業や運搬等）	0.5	1人（子実の運搬、乾燥機の操作等）
減価償却費 *2	0.6	フォークリフト	7.1	穀物乾燥機、フォークリフト等
資材費	3.2～5.2	フレコン、内袋、遮光ネット、防草シート、防鳥ネット	1.1	輸送貯蔵のフレコン
その他	0.6	燃料費（フォークリフトの軽油）、修繕費	1.6	燃料費（乾燥用の灯油等）、修繕費
通年貯蔵費	–		10	倉庫料金等 *4
合計	5.1～7.1	7.1円は耐候性のフレコンを使った場合	20.3	

*1 子実水分15 %に換算した質量ベース。
*2 作業には汎用コンバインやトラックを使用するが、これらのコストは含んでいない。
*3乾燥調製コストについて、現地での栽培事例より収量909 kg/10aとして子実1kgあたりに換算。
*4 本件とは別の調査で得られたトウモロコシ子実の通年貯蔵を倉庫への委託を参考。

子実トウモロコシ1 kg当たりのコスト

◎フレコン内袋法◎

フレコンや内袋などの資材費
密封作業などの労働費
フォークリフトなどの減価償却費
合計**7.1円/kg**

◎乾燥調製◎

乾燥機の減価償却費
燃料費等で約10円/kg

倉庫保管費用で約10円/kg
合計**20.3円/kg**

乾燥経費（乾燥機の減価償却や燃料等）、フレコン資材費などが２０２２年と比べて高騰しているが、フレコン内袋法のコストが低いことに変わりはない

配付先限り

フレコン内袋法（フレコン関連の情報）

準備するもの
【A：フレコン】　【B：内袋】　【C：フレコンスタンド】　【D：巻き付けパイプ】

【A：フレコン】
1,000 L容量であれば、1袋に500～600kg詰められる。
倉庫などで保管可能な場合は安価なもの、屋外で保管する場合は耐候性が付与されたものが必要

【B：内袋】
内袋（厚み0.08 mm）はフレコンのサイズに合わせて選定し（1,000 L容量の場合、幅1,900 mm×長さ3,000 mm程度）、販売店で1枚500円程度。

【C：フレコンスタンド】
金属枠あるいは樹脂製シートを組み立てる簡易なものから、キャスター付きの台座をベースに頑丈に製作されたものまで数万円～10万円程で販売

【D：巻き付けパイプ】
足場パイプを１m程度に切断したもので、内袋に傷をつけないように両端に専用のキャップを装着

配付先限り

TMRの原料としての利用事例



ハンマーミルなど

















トウモロコシ子実水分30%を粉砕し、TMRとして細断ベーラで梱包密封して保管、利用

配付先限り

TMRの原料として利用事例

それぞれのTMRの自由採食に加え、搾乳ロボットで配合飼料2kgを給与

通常TMR	コーンサイレージ 輸入乾草 大豆粕(2.5%) 市販配合(34%) ミネラル類
子実利用TMR	コーンサイレージ 牧草サイレージ 大豆粕(12%) 子実トウモロコシ(19%) 市販配合(6.5%) ミネラル類

18.2頭
(搾乳日数
275日)

22.8頭
(搾乳日数
308日)

牛群検定の５か月間平均

標準乳量：34.4kg
乳脂肪率：4.47%
蛋白質率：3.51%
無脂固形分率：8.79%
MUN：8.2mg/dL
リニアスコア：2.7

標準乳量：36.5kg
乳脂肪率：3.85%
蛋白質率：3.22%
無脂固形分率：8.56%
MUN：11.5mg/dL
リニアスコア：2.7

子実トウモロコシを利用したTMRに切り替えても**乳量や乳質に問題は見られなかった！**



給与したTMR



TMRの採食の様子

配付先限り

まとめ

子実トウモロコシの内袋法による保存は、密封が必須であり手軽な巻き付け法であっても一年間の保存は可能だった。

丸粒のままトウモロコシ子実を保存して、乳牛のエサとして使用する前に粉砕し、ほかのエサと混ぜた後ロールベールとして短期間保存可能。

内袋への傷が品質劣化につながることから、頻繁な移動や広域流通はできる限り避けて、できるだけ早く利用することが望ましい。

配付先限り

謝辞

本稿の研究成果の一部は、

農林水産省委託プロジェクト研究「畜産生産の現場に濃厚飼料を安定・低コストに供給できるシステムの開発（JPJ009818）」（令和3～7年）、

農林水産省委託プロジェクト研究「子実用とうもろこし（国産濃厚飼料）の安定多収生産技術の開発」（JPJ011278）」（令和4～6年）

により得られたものである。関係各位に厚く御礼申し上げる。

配付先限り