

Development of a Novel Processing Technique for Using Sweet Potatoes for Feed

深澤, 秀夫
九州大学大学院生物資源環境科学府

<https://doi.org/10.15017/21696>

出版情報：九州大学, 2011, 博士（農学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

廃棄サツマイモの飼料化調製技術の構築

Development of a Novel Processing Technique for Using Sweet Potatoes for Feed

深澤秀夫

2012

Summary

About 2-3% of sweet potatoes are wasted annually. In this study, I report a few drying techniques to convert waste sweet potatoes into useful feed. The process involves a few steps, with a sun drying technique as the central step in the procedure, followed by a heated air flow drying, and an oil heated decompression drying steps to retain the desirable characteristics of sweet potatoes. These processing techniques were implemented in an eco-feed field setting.

The sun drying technique costs less, has few processing steps and yields high-quality sweet potatoes for feed. It captures all requirements of the natural sun drying process in a plastic green house. An effective way for this method is to shred the sweet potatoes. The carrying capacity of the shredded sweet potatoes is 30% of the plastic container and the containers can be stacked up on multiple racks, utilizing less space. They can be dried for 7 or 8 days in normal or winter weather conditions and their moisture content is reduced from 70% to 8% w.b.

This step is followed by a heated air flow technique to retain betanized starch during processing from raw potato to dried matter. Research on drying characteristics, such as temperature and moisture ratio, has led to the determination that a constant drying rate period is necessary for fine cut roots of sweet potatoes during heated air flow drying. The best air moisture ratio for retaining the good quality of the elements without deterioration is determined as $0.015 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}$ (water) at an air blow temperature of $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Reducing the air blow temperature gradually from an initial temperature of $80 \text{ }^\circ\text{C}$ to $55 \text{ }^\circ\text{C}$ is an effective method to retain betanized starch.

The third step is to subject the shredded sweet potatoes to oil heating and decompression. This technique has high mean moisture reduction rate

(94.8%w.b./hr) and yields good quality feed.

In summary, sweet potatoes can be processed from a raw form to dried matter by a low-cost sun drying method, followed by a gradual heated air drying and an oil heating technique. These techniques have been proposed to small pig farmers with a workable plan.

Key Words : feed, heated-air drying, oil heating and decompression drying, plastic green house, sun drying, sweet potato

目 次

緒 言	1
第 I 章 従来の技術, 先行研究と技術目標	4
1. 国内におけるサツマイモの乾燥方法	5
2. アフリカにおけるキャッサバの乾燥方法	6
第 II 章 サツマイモの天日乾燥技術の開発	10
1. 材料形状選択のための基礎実験	10
1) 実験方法	10
(1) 供試材料	10
(2) 実験装置	10
(3) 設定条件	12
2) 結果	12
(1) 細切いもの形状, 積載量	12
(2) 乾燥過程, 乾燥後見かけ密度	14
3) 考察	17
2. 実用化実験	20
1) 実験方法	20
(1) 供試材料	20
(2) 実験装置	20
(3) 設定条件	22
(4) 成分分析, 嗜好性	22
2) 結果	22

(1) 積載容量の違い	22
(2) 攪拌操作の有無による違い	26
(3) 飼料成分, 嗜好性	29
3) 考察	29
第Ⅲ章 サツマイモの通風加熱乾燥法	44
1. 静置式乾燥による基礎実験	45
1) 実験方法	45
(1) 供試材料	45
(2) 実験装置	45
(3) 設定条件	47
(4) アントシアニンの定量測定	47
2) 結果および考察	47
(1) 送風量, 送風温度と乾燥特性	47
(2) 乾燥工程での品温	50
(3) アントシアニン含有率	53
(4) アントシアニンを保持する送風温度操作	55
2. 回転通気乾燥機による実験	57
1) 実験方法	57
(1) 供試材料	57
(2) 実験装置	57
(3) 設定条件	57
2) 結果および考察	60
(1) 基礎実験と異なる条件	60
(2) 効果的な運転条件	60

(3) 実用施設の処理工程	64
第IV章 油温減圧乾燥法によるサツマイモ飼料の開発	69
1. 実験方法	69
1) 供試材料	69
2) 実験装置	71
3) 設定条件	71
4) 成分分析, 嗜好性	71
2. 結果および考察	73
1) 運転経過	73
2) 乾燥経過	73
3) 嗜好性, 飼料成分	78
4) 油温減圧式乾燥システム	80
第V章 総合考察	84
第VI章 総括	89
謝辞	92
文献	93

緒 言

わが国のサツマイモの栽培面積は 4 万 500ha, 生産量は 103 万 t 弱である (2009 年)。消費者の食生活の変化によって需要は減少傾向にあるが, 栽培面積, 生産量とも横ばい状況を維持している。そのなかで, 九州南部の鹿児島県, 宮崎県の両県合わせた生産量は, 全国の半分を占めている (2009 年)。その主な用途は, 青果用 39%, 焼酎用 22%, でん粉原料用 16%, 加工食品用 9% (2007 年) で, 焼酎用, 加工用が横ばい, 青果用, でん粉原料用は漸減の現状にある。さらに世界では中国が最大の生産国で, 世界の生産量の約 8 割を産出しており, その用途も飼料用に半分が供せられている。サツマイモは飼料として極めて優れた作物で, 国内でも茎葉や塊根の生食給与やサイレージの形で自給飼料として利用されてきた。しかし, 飼料として給与するには, 収穫から貯蔵に至るまで多くの労力を要し, 購入飼料よりも割高になるため, サツマイモの飼料利用は, ほとんど行われなくなった。

かつて有畜農業の時代には多くの農家で, 豚の餌としてサツマイモの茎葉, 塊根が広く利用されていた (島袋 1989)。豚にとってサツマイモは嗜好性の高い餌で, 甘いサツマイモは生でも煮てもよく食べた (兵頭 2009)。人間の保存食としてのサツマイモ塊根の利用をみると, 蒸し切干し甘しょ (干しいも, 蒸し切干し) や生切干し甘しょ (生切干し) といった塊根切片の天日干し製品が慣行法として存在していた。干しいもは, 一旦蒸煮しているのでデンプンが糊化 (α 化) している。生切干しの製法は, いもを

輪切りかサイコロ状に切って、10日ほど天日に干すと出来上がる。しかし、農家の家内生産物で品質が劣るため衰退傾向にある（野本 2005，江間 2008）。飼料としても蒸し切干しと生切干しがあり、前者の方がデンプンの消化性が高い（祐森 2004）が、工程数や労力がかかるためコスト面で不利である。したがって、飼料としては生切干しの形態が多かった。

今日、サツマイモ塊根を家畜の飼料として利用する場合、貯蔵性、流通性、取扱い性などの是非を考えると乾材として調製加工することが現実的である。慣行法としては前述例のとおり天日乾燥法があるものの、加熱乾燥による機械的調製法は、食品用としては存在するが、飼料用としては知られていない。中国から輸入されている飼料用乾燥サツマイモの製法も明らかではない。加熱乾燥での調製は、天日乾燥に比べて短時間で乾燥調製できるが、燃料費、動力費を必要とする。また、機械施設に対する初期投資に資金を要し、規模の大きさによっては過大なコスト負担となり、生産費に見合わないという危惧がある。

そこで本論では天日干しに範を求めて、運転経費のほとんどかからない農業用プラスチックハウス（以下、ハウスと称す）を利用したサツマイモ塊根の乾燥調製を主として扱い、気象条件等により天日乾燥のみでは乾燥に至らない状況を考慮して、補助的に加熱乾燥を併用することを想定して実験を組み立てた。但し、加熱乾燥法は食品用として実験した。また、エコフィードの製造手法の一つである油温減圧法のサツマイモへの適用の可否についても検討した。

農林水産統計（2000～2008年）によれば収穫されたサツマイモの1.8～3.4%は、利用されずに減耗、廃棄されており、商品性に乏しい小さいものなどは畑に取り置かれることもしばしばで、これらを含めると約2～4万tが利用されないまま廃棄されている。これら利用されないサツマイモ塊根を家畜の飼料として、低コストで省工程、高品質に加工するための乾燥飼料化技術の可能性について報告する。

第 I 章 従来の技術，先行研究と技術目標

本研究の着想は，九州沖縄農業研究センター都城研究拠点においてサツマイモ品種育成過程で産出，廃棄される 10 t トラック 3 台分に相当する産業廃棄物としてのサツマイモを有効利用することにあった。さらに，筆者が 2001 年にナイジェリア連邦共和国国際熱帯農業研究所（IITA）に滞在した際，キャッサバの乾燥技術開発に関わり，乾燥保全技術の未熟から生じるキャッサバの損耗を防ぐため，スティック状に切断したキャッサバを雨期ではロータリードライヤーを主に使い，乾期にはハウス温室を使った乾燥方法を提案したことにある。この二つの事例に通底することは，コストを低く抑えて品質の高い乾燥物をどのように作るかにあった。そこで，化石燃料等の使用は必要最低限として，太陽光による乾燥調製を現在の技術で再構築することを目標とした。また，不適な気象条件の場合を考慮して加熱乾燥法を補助的に使うことを想定し，現実的対応を検討した。サツマイモの加熱乾燥は昭和 20 年代の食糧不足の時期を除いて（江間 2008）実用的場面が見いだせないこともあって，先行研究がほとんどなく，自ら試行錯誤を行った。

以下，国内ではほとんど消滅してしまったサツマイモの天日乾燥法についての先行研究を取り上げるとともに，同じいも類であるキャッサバの乾燥方法が本研究にとって有益であるとの観点から，現地調査を含めて概観した。

1. 国内におけるサツマイモの乾燥方法

生切干しの慣行製法は、富田ら（1981）によれば約 4 ～ 5 mm 程度の厚さに輪切りし、これを一枚ごとに重ならないように広げるか、あるいはムシロ上に広げ、多段式に行うかの方法がとられる。しかし、天候に左右されること、均質なものが得られ難いこと、かなりの面積を必要とすることがネックとなって処理量が限られることが指摘されている。

いもの洗浄、切断、天日干し、収納などの一連の作業は、人力で行われる。野本（2005）によれば、サツマイモといも切り機を草原に運び、現地でいもを輪切りにし、傾斜地を利用した干し棚で天日干ししたとあるように、木と竹製の干し棚が唯一の施設であった。いもの切断に動力切断機を利用する程度の機材しかなかった。さらに、屋外で天日干しにされるので、突然の降雨のときの取り込みや覆いかけも労力を要した。そこで、本論ではハウスを利用した天日乾燥で、降雨のリスクを回避することを考えた。

富田ら（1981）は品質の劣化をある程度無視し、省力的に自然乾燥させる方法として、ハウス内で材料の機械的攪拌を行った天日乾燥による予乾材料を、灯油式火力乾燥機で仕上げ乾燥する試験を実施した。この試験では、天日乾燥に比べ工程数が多く、機械的攪拌に要する電力、火力乾燥に係る燃料が付加されてコスト高となる欠点があった。また、飼料として需要量に足る量を確保するため、ハウス内に細切したサツマイモを重層に広げるため均一に乾燥せず、微生物の増殖なども問題となった。乾燥作業のみに要する労働時間は、本論と同等規模に換算して予乾 4 日、火力

乾燥 2 日の合計で 28 時間であった。これらの研究を踏まえ、本論では乾燥に要する工程を減らし、品質を犠牲にすることなく化石燃料を使わずに天日のみでサツマイモを乾燥することで、飼料用乾燥サツマイモ調製技術の開発を目指した。

2. アフリカにおけるキャッサバの乾燥方法

全世界でサツマイモに比類する生産量をもつキャッサバは、主にアジア、ラテンアメリカ、アフリカで栽培、消費され、とくにアフリカでは根茎作物のなかでも最も重要な位置を占めている。キャッサバは、さまざまな形態で処理され、食用に供されるため、その処理工程は多様である。煮たものは生食用として、また、生いもを切断、乾燥、粉碎して粉にしたり、すりつぶし、炒るとガリと呼ばれる粒状製品となる。また、飼料用として鶏餌等に供用されている (Ntawuruhunga 2010)。

調理や加工においては青酸毒性を下げる必要がある。このシアン化物は、根塊組織の細胞の破裂により生成されるものである。キャッサバの代表的な加工品は、ガリとフフと呼ばれるものである。ガリ生産では、収穫直後の根塊を皮剥きし、洗浄、すりつぶして、3～5日間発酵させた後、篩で細かくしてから釜で水分が 10% w.b.になるまで炒る。フフ生産では、根塊を皮むきし、薄片に切断、水漬けして柔らかくなるまで 3 日間ほど発酵させ、篩で漉した篩下物を食用に調理したり、保存用に乾燥させる。一般的に乾燥作業は、材料の初期水分 60～70% w.b.を 10% w.b.になるまで天日乾燥するか釜の加熱処理によって行われる。主な一次加工

食品の形状は、ペースト、チップス、粉、粒である。

発酵させずに青酸毒性を下げるため 1 日間の水漬け後、あるいは水漬けせずに乾燥させてチップス、粉にするキャッサバ粉も広く使われている。その作業工程を図 1, 図 2 に示す。図 1 にある手動式の細切機は構造が簡易で、先進地では徐々に普及されつつある。市中の天日乾燥場は、4 m 四方のコンクリート地面にシートを敷いたうえで材料を薄層に並べたもので、降雨があってもすぐに取り込めるようになっていた。そのために、小学校に隣接して立地し、降雨のときに生徒の労力を取り込みに活用する。また、腰高さ～胸高さの乾燥棚を設け、その上で天日乾燥することで労力負担を軽減する工夫もされている (Mussagy et. 2009)。キャッサバを細切せず、小塊根のまま乾燥させた一次加工素材も市場で流通している。しかし、キャッサバ塊根は乾燥しにくく、乾燥小塊の表面が乾燥していても中心部は乾燥不十分であることも多い。したがって、一旦、細切して加工調製することが高品質化の条件とされており、天日乾燥機材の整備とともに細切作業の機械化が進められている。



図1 キャッサバの皮剥きと細切作業

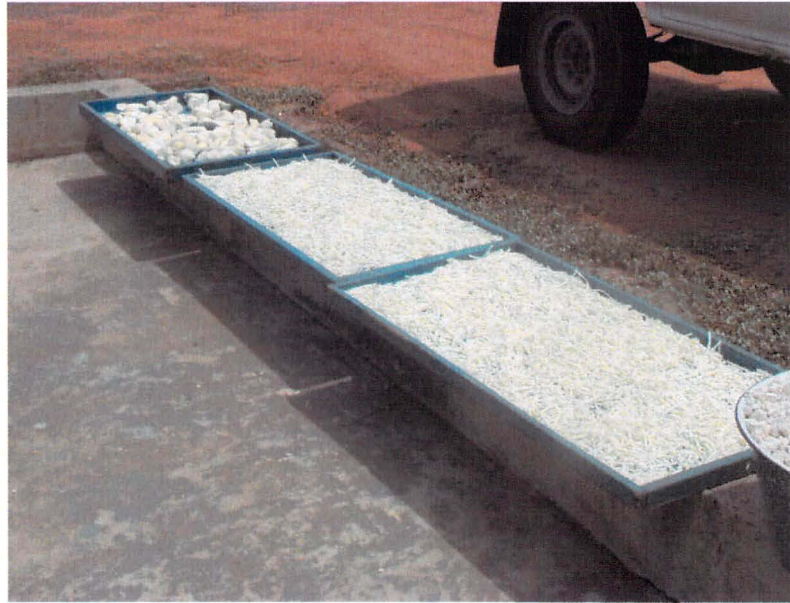


図2 キャッサバの天日乾燥

第Ⅱ章 サツマイモの天日乾燥技術の開発

1. 材料形状選択のための基礎実験

基礎実験では乾燥させるのに最適な細切形状を選択するために、異なる細切処理をした材料3種類を用いて行った。

1) 実験方法

(1) 供試材料

サツマイモは九州南部の主力品種であるコガネセンガンで、九州沖縄農業研究センター都城研究拠点で収穫した1個300g前後のいもを供試した。根菜洗浄機（イワセ鉄工，DUWSL75-6）で水洗洗浄後，合成調理機（日本調理機，GO-41）の角千切りプレート，輪切りプレートで，千切り，輪切りとし，サイノ目切機（日本調理機，CBM-40）でダイス（サイコロ状）に細切した（表1）。慣行の細切方法は，処理が簡易な輪切りであることが多い。

(2) 実験装置

使用したハウスは，棟が東西方向，サツマイモ苗育苗用で換気扇付き，大きさは奥行19m，間口7.4m，天高3mで，実験開始時ごとに一般農ビ透明フィルムを張った。ハウス底面にはブルーシートを敷き，土間からの影響を軽減した。

材料を載せるパレット（ヤンマー，ナプラトレイ）の内寸は，595mm × 300mm × 26mmで内容積4.6Lである。

温湿度の測定は温湿度ロガー（日置電機，3641）を用い，外気は地上高1.5mで30分間隔で記録した。ハウス内の温湿度は，試料の配置高さに準じた地上高30cmで30分間隔で記録した。実験

表 1 切断形状の比較

形 状	タテ (mm)	ヨコ (mm)	厚さ(長さ) (mm)	重さ (g)
ダイス	14.2	14.2	15.0	3.0
輪切り*	66.4	75.3	3.3	15.4
千切り	3.6	2.6	65.0	0.7

* 輪切りのタテとヨコは，短径と長径を示す

地は，九州沖縄農業研究センター都城研究拠点（都城市，北緯 31 度 45 分 6 秒 東経 131 度 0 分 47 秒）で行った．

含水率は，湿量基準の質量百分率である湿量基準含水率（% w.b.）で表した．学術的には乾量基準含水率（% d.b.）で表すべきだが，日本飼料成分表など農業分野では湿量基準含水率が慣用的に使用されている状況を踏まえ，湿量基準含水率とした．含水率の測定は，105 °C - 24 h 炉乾法（農業機械学会 1987，村田 1993）で行った．見かけ密度は，5 L のプラスチックビーカーに材料を満たし，正味重量から求めた．

（3）設定条件

パレットに材料が重層とならないように内容積のほぼ 1/3 の量の材料を載せ，コンテナ箱を土台にした地上高 30 cm の金属網の上に置き，ハウス内で天日のみによって乾燥させた．積載量は，ダイス 260 g，輪切り 210 g，千切り 180 g とした．

2）結果

（1）細切いもの形状，積載量

表 1，図 3 に示すようにダイス，輪切り，千切りとも大きさ，形，重さに大きな差異がある．輪切りは慣行で 4～5 mm 厚とするところを，3.3 mm 厚とした．慣行での野ざらしの通風環境下では 5 mm 厚でも乾燥できるが，ハウス内では難しいため 5 mm 厚より薄く，かつ単体容量を確保するために 3.3 mm 厚と設定した．重量比で見ると，輪切りは千切りの 22 倍，ダイスは 4 倍となっている．乾燥前の見かけ密度は，ダイス 553 g/L，輪切り 395 g/L，



ダイス



輪切り



千切り

図3 サツマイモ切断形状

千切り 301 g/L で、千切りが最もかさがあった。ダイスは、サイノ目切り機（ダイサー）でサイコロ状に細切したが、ところてんの天突きのように格子状の受け刃に押し付ける切り方なので、粒状の切りくずほかの切断損失が重量比で 33 % 発生した。ほかの輪切り、千切りでは、切断損失はほとんどなかった。さらに、輪切り、千切りでは、切断機で連続的に細切作業が可能で、ダイスで発生した詰まりもなかった。

（２）乾燥過程，乾燥後見かけ密度

サツマイモの収穫が終了した 12 月中旬に実験を実施したが、天候は曇り、晴れを基調とする時期にあたり、ハウス内の温度は夜間は 0 °C 近くまで下がり、日中は 30 °C 近くまで上昇した（図 4）。その間の相対湿度は夜間において高く、日中は 20 % 以下になることもあった。したがって、乾燥材料は日中の低湿度条件のもとで乾燥し、夜間に吸湿することを繰り返しながら徐々に乾燥していく。図 5 に示すように、細切いもの含水率変化をみると、乾燥初期に雨天日があったため減り方が鈍いが、その後は順調に減少をつづけ、どの切断形状でも 5 日後の 12 月 19 日には 10 % w.b. 以下になった。初期含水率は 67 % w.b. で、目標の含水率 8 % w.b. までは千切りでは 3 日、輪切りでは 4 日、ダイスでは 8 日を要した。乾燥のしやすさは、千切り > 輪切り > ダイスの順であった。比表面積は、ダイス 4.2 cm²/g、輪切り 5.6 cm²/g、千切り 11.8 cm²/g で、この値の大きい形状ほど乾燥しやすかった。乾燥後の製品は、いずれも褐変やカビの発生もなく良好であった。

乾燥後の形状は、ダイスは全体的に収縮した状態で、輪切りは

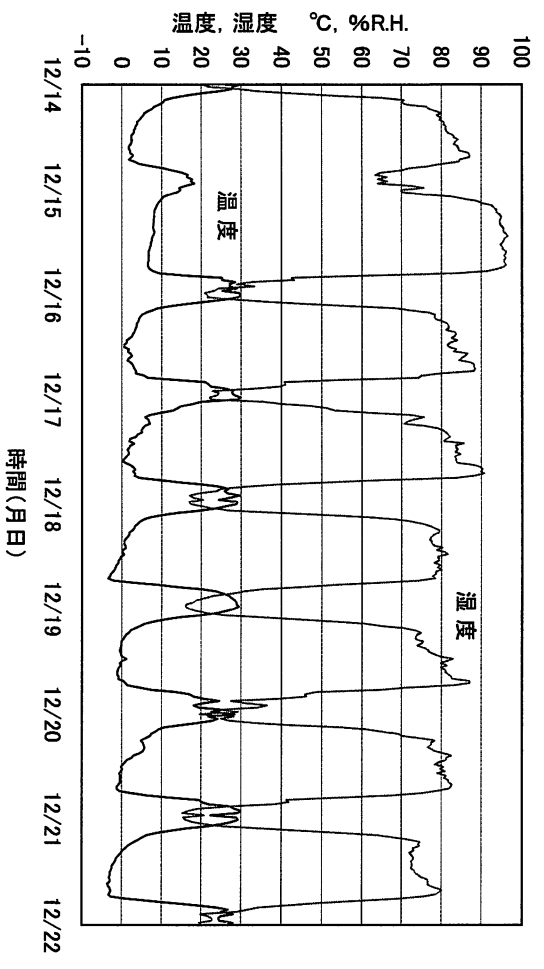


図 4 ハウス内の温湿度

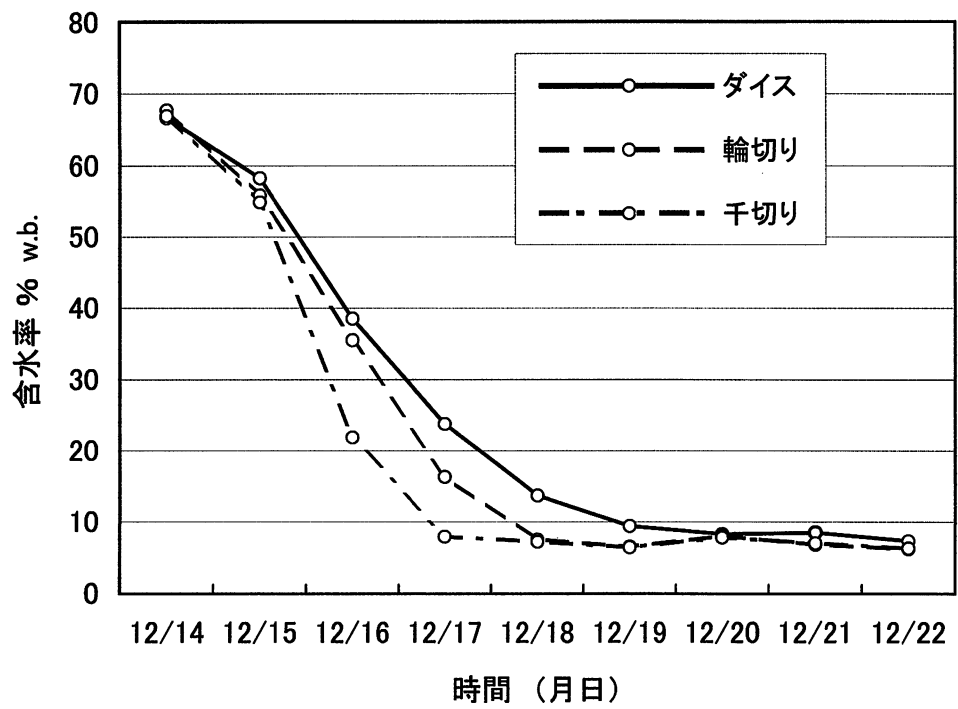


図5 切断形状別の含水率経時変化

湾曲し、千切りも多少の曲がりが見られた。したがって、湾曲の程度の大きい輪切りは、図 6 にみるとおり乾燥後の見かけ密度がほかの 2 種より低下の割合が大きかった。また、千切りは乾燥前でも曲がりがあるため、大きな変化とはいえない。乾燥後の見かけ密度（かさ）の比較を図 7 に示した。

3) 考察

比表面積の大きい形状ほど乾燥しやすいことがわかったが、天日乾燥では粉粒形状では適用できない。また、この実験では材料を 1 層～3 層に並べた薄層状態であったが、ある程度の厚層状態とした場合は、材料単体の周囲に空隙がないと乾燥せず、表層のみが乾燥することになるため、静置した状態では乾燥が進まず、攪拌等の処理を行う必要が生じる。

見かけ密度は、3 種のうちで千切りが最も小さく、かさがあるため容量が大きくなるが、厚層状態としたときに他の 2 種に比べ材料単体の周囲に均一に空隙があるので、乾燥に対して正に働くと考えられる。一方、見かけ密度の大きい方が、貯蔵、搬送の点で有利であり、ダイスが該当する。しかし、14 mm 角の大きさのダイスは本実験の薄層状態では目標含水率 8 % w.b. に乾燥したが、乾燥するまでに 8 日かかり、千切り、輪切りに比べて 2 倍以上の時間を要した。また、実用化実験での厚層状態を想定した場合は、ダイスの中心部まで十分に乾燥できないと判断された。したがって、乾燥しやすい千切り、輪切りの形状で乾燥後に破碎し、見かけ密度を大きくすることも考慮できる。

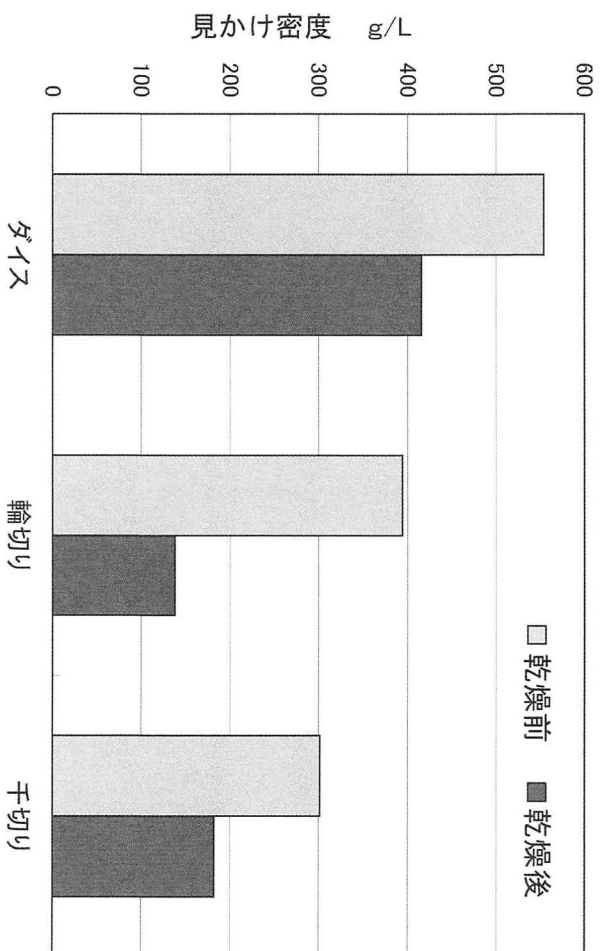


図 6 見かけ密度



図7 トレーでの天日乾燥と乾燥後の見かけ密度比較

切断損失と乾燥のしやすさ，細切時の作業性を考慮すると，ダイス，輪切り，千切りのうち千切りの形状で乾燥させるのが適当であることがわかった．この結果をもとに，実用に供し得るようパレット等の積載法や多くの処理量に対処する方法が課題として明らかになった．

2. 実用化実験

1) 実験方法

(1) 供試材料

基礎実験と同じ1個 300 g 前後コガネセンガンを供試し，合成調理機（日本調理機，GO-41）の角千切りプレートで厚さ 2.6 mm，幅 3.6 mm，長さ 50 ～ 75 mm の千切りとした．

(2) 実験装置

供試したハウスと設置場所は，基礎実験のものと同様である．材料を載せるコンテナ箱（三甲，サンテナー TF-260）の内寸は，579 mm × 367 mm × 115 mm で内容積 25.7 L，底面は 5 mm 角のマス目があり側面にもマス目がある．コンテナ箱に材料を積載する量を，内容積の 50 %，30 %，15 % の 3 段階を設け，それぞれ 3900 g，2340 g，1170 g とし，大盛，中盛，小盛と称する．このコンテナ箱を 5 段に収容する棚は，棚板がスリット状になっているメタルラック（アイリスオーヤマ，MR-1818）で，幅 1800 mm，奥行 460 mm，高さ 1785 mm である．棚は，最下段が地上高 200 mm で最上段が 1750 mm とし，等間隔で 5 段の棚を設けコンテナ箱を置いたが，便宜上，下段，中段，上段の 3 箇所を測定箇所とした（図 8）．



積載容量 左から 50 %、30 %、15 %



図 8 コンテナ積載状況

温湿度の測定は温湿度ロガー（日置電機，3641）を用い，外気は地上高 1.5 m で 30 分間隔で記録した．ハウス内温湿度の測定高さは，下段 170 mm，中段 935 mm，上段 1700 mm で 30 分間隔で記録した．

（３）設定条件

材料を充填したコンテナ箱をメタルラックの 5 段の棚上に配置したものを 1 棚とし，ハウス内に 5 棚設置した．コンテナ箱内の材料は，日中に毎日 1 回，全量をまんべんなく攪拌した．また，攪拌しない試験区も設けた．

（４）成分分析，嗜好性

飼料成分は粗蛋白質，粗脂肪，粗繊維，粗灰分を宮崎県 JA 食品開発研究所に依頼して分析した．

豚に給餌した場合の嗜好性は，2010 年春の口蹄疫の発生以降，部外者は豚舎域に入場できないため，萩原養豚生産組合（都城市）に給餌を依頼したのち，聞き取り調査をした．供試豚は，ランドレース種と大ヨークシャー種の雑種，2 歳の母豚である．給餌法は，通常の配合飼料を給餌した後，サツマイモスティック状乾燥物をそのままと水でふやかした状態のものを与えた．

2）結果

（１）積載容量の違い

予備実験の結果を受け，千切り材料を使って実験した．外気温湿度とハウス内温湿度を図 9 に示す．12 月中旬～下旬に実施し，天候は 7 日間のうち 5 日は晴れだった．夜間の外気湿度は飽和状

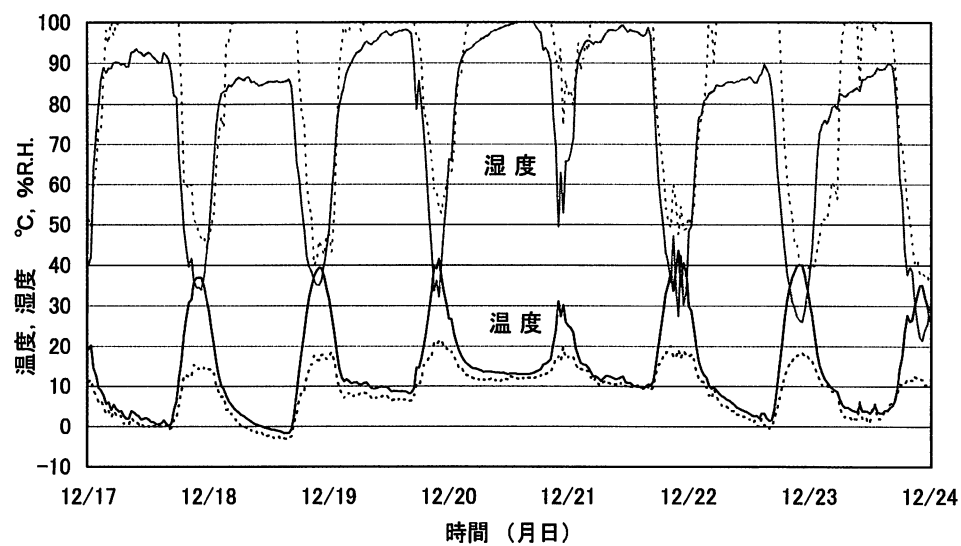


図9 ハウス内・外気の温湿度

実線はハウス内 点線はハウス外

態になることが多かったが、ハウス内では 90 ~ 100 % R.H.で推移した。ハウス内温度は、好天日では 40 °C前後となっており、この間に乾燥が進んだ。予備実験では 30 °Cまでしか上昇しなかったが、これはそのときの天候に依拠するものと考えられる。

細切した千切り材料をコンテナ箱に積載し、毎日 1 回全量攪拌して乾燥させた。積載容量の大小による含水率の経時変化を図 10 示す。大盛、中盛、小盛の別では、大盛が最も乾燥しにくいことが明らかであった。図 10 によれば、中段、上段、下段の順に乾燥しやすく、中段、上段の差は小さく、下段と中段、上段の差は大きいことがわかった。後述するが、ハウス内温度の上下差は小さいが、ハウス内湿度の上下差は最大 13 %と大きく、日中は上段、中段が下段より湿度が低いことによると推察できる。乾燥開始 4 日後の 12 月 21 日は降雨があったため、乾燥速度が停滞した。乾燥後の見かけ密度は中盛で 248 g/L で、予備実験での 183 g/L より大きくなった。これは、攪拌操作により長めの材料が折れたり、湾曲程度が小さくなったことによると判断した。

初期含水率 69 % w.b.の大盛、中盛、小盛のいずれも 7 日目の 12 月 24 日には所定の含水率 8 % w.b.になったが、好天に恵まれたことと攪拌操作を行ったことによって大盛でも乾燥が可能であった。しかし、冬期においては常に好天条件が続くとは限らないので、大盛での乾燥は不測の危険性があると考えられる。中盛では乾燥 5 日後には含水率が 10 % w.b.以下になったが、大盛では 31 % w.b.であった。この間の乾減率は、中盛で約 12 % w.b./日、大盛で 7.6 % w.b./日であった。したがって失敗なく乾燥させるには、乾減率

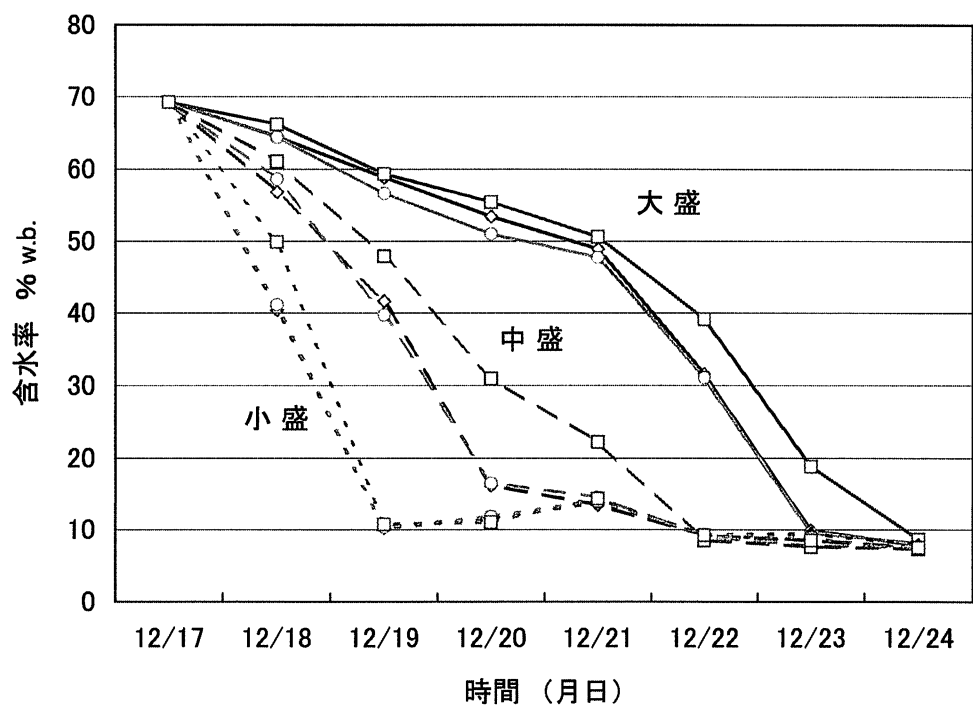


図 10 積載量別の含水率経時変化

◇ 上段 ○ 中段 □ 下段

を指標とすると 12 % w.b./日以上が目安となる。また、小盛では積載量が少ないので、実用上の取り扱い量が小さく、ハウス当たりの処理量が減る。したがって、乾燥上のリスクが少なく、ハウス当たりの処理量が確保できる中盛を選択することにした。

(2) 攪拌操作の有無による違い

コンテナ箱への材料積載量の中盛として、材料の攪拌の有無による乾燥度合いを実験した。攪拌に対し、攪拌しないものを「静置」と呼ぶ。ハウス温室内温湿度の経時変動を図 11 に示す。1 月下旬に実施し、天候は 8 日間のうち 4 日が晴れだった。棚上のコンテナ箱の設置位置の上下における温度差は 3 °C と小さいが、湿度の上下差は日中で 8 % R.H.、夜間で 13 % R.H. と大きかった。

乾燥させた材料の含水率の経時変化を図 12 に示す。攪拌と静置を比べると攪拌の方が乾燥しやすいことがわかる。乾燥開始直後の 1 月 19 日～ 21 日の天候は曇りであったため、乾燥速度が遅く、乾燥の戻りも一部にみられた。乾燥期間の後半は晴れの割合が高かったため、乾燥が進んだ。コンテナ箱位置の上下差で乾燥のしやすさをみると、攪拌では上段が最も乾燥し、中段と下段の差はほとんどなかった。静置では乾燥開始後 3 日間では下段、中段、上段の順、4 日目以後では上段、中段、下段の順で乾燥が進んだ。このように攪拌、静置とも上段と下段の乾燥しやすさの差が確認できた。この原因は図 11 にみられるように下段より上段の湿度の振れ幅が大きく、夜間は上段の方が下段に比べ 10 % R.H. ほど高く推移するが、日中は反対に最大 10 % R.H. ほど低いので、この間に乾燥が進むものと推察された。当然、ハウス内の空気の

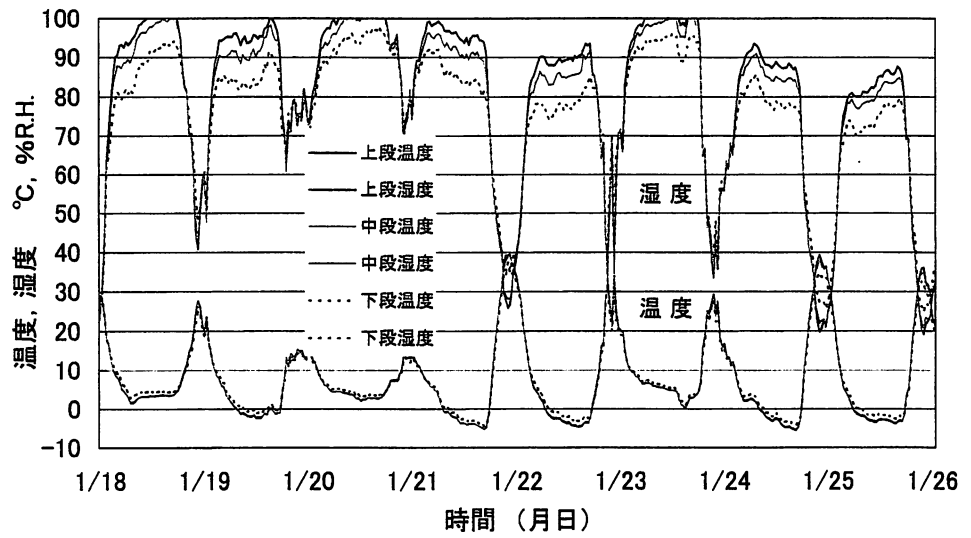


図 11 ハウス内高さ別温湿度

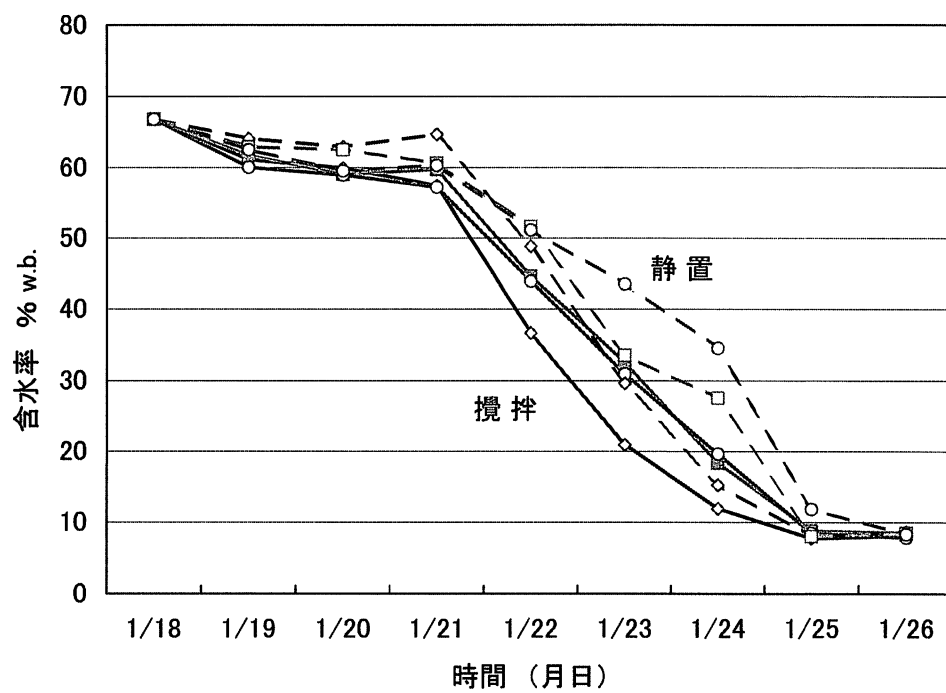


図 12 攪拌操作と静置での含水率経時変化

◇ 上段 ○ 中段 □ 下段

強制流通はないものの、ハウス内微気象としてみるならば上層ほど温度は高かった。

図 12 に示す中段で乾燥過程を比較してみると、前述のように乾燥開始後 3 日間は乾燥の進みが遅く、4 日目以降に乾燥が進んだことが明らかである。攪拌、静置のいずれも初期含水率 67 % w.b.が最終的には 8 日間で目標の含水率 8 % w.b.に至り、乾燥が終了した。

(3) 飼料成分，嗜好性

乾燥材料の飼料としての有効性の有無を調べた。表 2 に飼料成分分析の一般成分について示した。粗蛋白質，粗脂肪，粗繊維，粗灰分を日本標準飼料成分表と比較すると，粗蛋白質，粗脂肪，粗繊維，含水率が下回り，粗灰分は上回った。これらの値は，サツマイモの品種，製法等が日本標準飼料成分表とは自ずと異なるので，参考値として考えると許容範囲内の数値と判断した。

嗜好性の聞き取り調査によれば，豚に対する供試乾燥物の食い込みは極めてよかった。水でふやかした状態（図 13）でも同じで，差はなかった。したがって，手間のかからないスティック状乾燥物のままで給餌できることがわかった。

3) 考察

生切干しの慣行製法は，天候に左右されること，均質なものが得られ難いことなどの問題点を解決するため，富田ら（1981）はハウス内で天日乾燥による予備乾燥の後，火力乾燥で仕上げ乾燥する方法を提案している。著者らは生切干しを低コスト，省労力

表 2 飼料成分分析値

一般成分	12月24日分	1月26日分	日本標準 飼料成分表
粗蛋白質(%)	2.2	3.3	4.2
粗脂肪(%)	0.4	0.4	0.6
粗繊維(%)	1.9	1.5	2.1
粗灰分(%)	4.3	4.4	3.0
含水率(%w.b.)	8.0	9.6	12.0



図 13 嗜好性試験での加水した餌

で飼料向けに調製することを主眼に技術開発を行った。

予備実験において天日乾燥に適する細切形状を検討した。その結果、切断損失が少なく作業性が損なわれず、乾燥速度の大きかった千切りを選択した。これを受けて、棚での多段方式によるコンテナ箱積載で検討を行ったところ、コンテナ箱の適切な材料積載量は箱容積の 30 % であること、材料の攪拌の有無を問わず 8 日間で目標の含水率 8 % w.b. に乾燥できることがわかった。富田ら (1981) は細切した材料を 11 月末から 12 月の 16 日間でも含水率は、20 ~ 30 % w.b. までしか下がらなかったとしている。原因はハウス内に平面に広げたため材料厚 (充填深さ) が 50 mm と深くなったためと思われる。慣行法では輪切りした材料を重ねられないように一枚ごとに広げる方法だが、富田らのハウス内乾燥試験では重層の方法を採用している。実用化実験で積載量の最適値である容量 30 % (中盛) としたときの充填深さは 35 mm、不適であった 50 % (大盛) では 55 mm であったので、55 mm 以上の充填深さでは適正な乾燥は不可能であり、35 mm が適当と判断できた。

渡辺 (1995) は、家畜ふん尿の乾燥において堆積高さ 100 mm で、ハウス内の乾燥床面積当たりの水分蒸発量を冬期の南九州域で 1.5 ~ 2.0 kg/m²・日と推計している。1.5 kg/m²・日として 5 日間での乾減率を算出すると 13.6 % w.b./日となり、本実験 (中盛) での 12 % w.b./日を上回る。家畜ふん尿乾燥ハウスでは、ハウスのすそを開放して通風しているため、乾減率が大きいと考えられる。

次に富田ら (1981) は畜糞乾燥用ハウスの機械式攪拌装置を用

いて前述の改良を行って乾燥した結果，11月下旬の晴天日3日を含む6日間で1日当たり9% w.b.の含水率の減少が認められ，予備乾燥を終了している．これに対比して，本実験の実用化実験での攪拌操作の有無について検討する．図11，図12に示すとおり，乾燥開始後3日間は天候が曇りであったため，この間の含水率の1日当たりの減少率は攪拌で2.9% w.b.，静置で1.6% w.b.であったのに対し，4日目以降の5日間は天候が晴れを基調とするものであったので，攪拌で10.0% w.b.，静置で10.7% w.b.であった．したがって，秋冬期に晴れの天候条件では，10% w.b./日程度の乾減率を得ることができると判断された．また，この結果から攪拌操作の必要はないといえる．サツマイモ材料の初期含水率は約70% w.b.であるので仕上げ含水率8% w.b.にするには，晴天日が続けば6日前後で乾燥できる．実際には，雨天，曇天，晴天が交錯するので，本実験のように乾燥期間を8日間とした場合，4日間以上の晴天日が必要である．12月～1月の2カ月間で，日中に晴れた日を九州沖縄農業研究センター都城研究拠点業務日誌から拾い出して，1日を単位として晴れの日の出現割合を求めた(表3)．その結果，年ごとのばらつきはあるものの，晴れの出現割合は50.0～80.6%で，この10年間の平均では66.3%となった．したがって，想定する乾燥期間8日間のうち4日以上晴れる割合が高いことが明らかである．また，都城の平年値から降水量が最も少ない月が12月で，1月がそれに次いでいることは，雨天の出現割合が低いことを示している．年間でも低温期に当たるにもかかわらず，晴れの割合が比較的高いので，ハウス内天日乾燥に

表 3 晴れの出現割合

西暦年	晴れ (%)	曇り (%)	雨 (%)
2001	59.7	25.8	14.5
2002	58.1	30.6	11.3
2003	80.6	14.5	4.9
2004	75.8	17.7	6.5
2005	75.8	12.9	11.3
2006	66.1	19.4	14.5
2007	50.0	33.9	16.1
2008	67.8	17.7	14.5
2009	66.1	22.6	11.3
2010	62.9	29.0	8.1

2001 ~ 2010	66.3	22.4	11.3

各年 12 ~ 1 月の 2 カ月間の 1 日単位 (日中)

としては好条件となることがわかった。

第Ⅲ章の通風加熱乾燥法で後述するように乾燥初期において、恒率乾燥期間が存在すると考えられるが、天日乾燥においては、①ハウス内での空気の流れがほぼ停滞している ②温度、湿度が周期的に変動し、連続した一定の温湿度条件にないことによって、他の乾燥方法に比べ乾燥期間が比較的長期にわたるため、全乾燥過程に対する恒率乾燥期間は実質的に無視できる。したがって、天日乾燥においては、①材料内部の水分が表面へ移動する ②表面から水分が除去される過程を経る減率乾燥期間にあるものと判断された。

乾燥終了後の目標含水率を 8 % w.b.と設定したのは、日本標準飼料成分表によればサツマイモ乾燥物の含水率は 12 % w.b.となっているが、より乾燥させて貯蔵性を高めることを考慮したことによる。また、紫サツマイモの千切り乾燥物の含水率が約 7 % w.b.であることも考慮した。

乾燥終了後の材料の品質は、褐変もなく良好で、前述のとおり飼料の一般成分も日本標準飼料成分表に準じており、十分実用性に耐えるものと判断された。

九州南部地域の秋冬期間という限定条件ではあるが、ハウス内でのサツマイモ細切物の乾燥ができることが明らかになったので、労力と生産性を試算した。調製工程は、収穫、運搬、洗浄、細切、搬入、乾燥、搬出である（図 14）。これに基づき行った試算を表 4 に示す。作業時間は根菜洗浄機、合成調理機を用いた実測値に基づいて算出した。ハウス内での乾燥棚の配置の概念図を

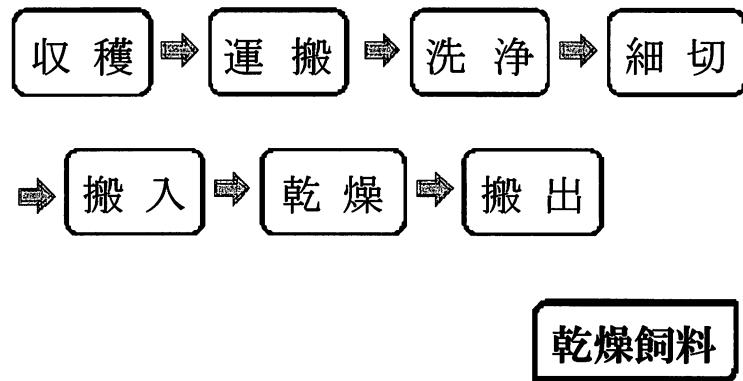


図 14 調製工程流れ図

表 4 調製作業の試算

ハウス外寸	奥行 19 m	間口 7.4 m	天高 3 m
棚配置面積	18 m × 6 m		= 45 棚
棚面積(1 棚)	1.9 m × 1.24 m		
45 棚 = 5 列 × 9 行			
収納量	[生いも]	[乾燥物]	
1 棚当たり	46.8 kg	16.9 kg	
ハウス当たり	2106 kg	760 kg	
作業時間	[洗浄]	[細切]	[搬入出]
ハウス当たり	8.2 時間	7.0 時間	15.0 時間

図 15 に示す．隣接した棚の間を作業者が通れることを考慮し作業面での易化性を優先して，実際の平面図上に投影すると図 16 となる．富田ら（1981）は材料をハウス内のほぼ全面に敷き詰めていることから，生の細切いもの処理量は $20 \sim 25 \text{ kg/m}^2$ であったが，この試算では 15 kg/m^2 であった．作業は基本的に 2 人作業とし，洗浄，細切断は同時並行して行う．飼料であっても品質のよいものが求められるため，洗浄は十分に行う必要がある（図 17，図 18）．ハウス当たりの作業時間は 30.2 時間で，生いも 1 t 当たり 14.3 時間となった．乾燥中や終了後にコンテナ箱から落ちる材料片は乾燥重量の 4 % で，それらを回収すれば 2 % に抑えることができる．富田ら（1981）による試験での労働時間は，材料の攪拌や火力乾燥作業などの乾燥関連のみで 28 時間を要し，洗浄，細切，搬入出は含まれない．本論では天日乾燥中の作業時間はカウントされないので，富田らの労働時間との比較はできないが，乾燥関連作業がないため大幅な労力の縮減になる．

ハウス棟内に 5 棚を設置した本実験ではハウス容積が相対的に大きいため排気の必要はなかったが，ハウス内にくまなく棚を設置した場合は材料から発生する水分量が多くなるので，換気等の手段によって空気中に含まれる水分のハウス外への排出が必要となる．以下，本実験のデータから排気条件を推計する．

①晴天日の日中のデータからハウス内温湿度の概略値として， $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ， 30 \% R.H. を採用した場合，湿り空気線図より重量絶対湿度は $0.00792 \text{ kg/kg (DA)}$ である．この条件を維持しなければ乾燥は持続しない． $30 \text{ }^\circ\text{C}$ で露点となる 100 \% R.H. での重量絶対湿度は

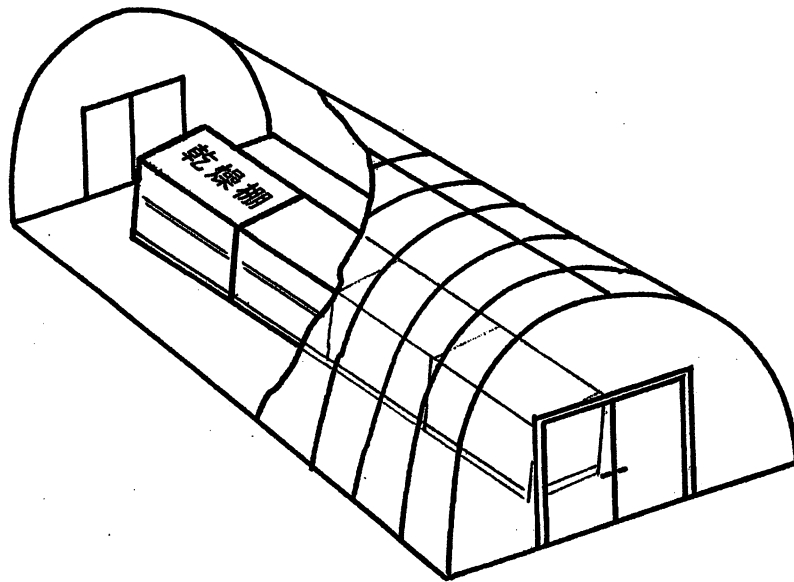


図 15 ハウス内での乾燥棚配置概念図

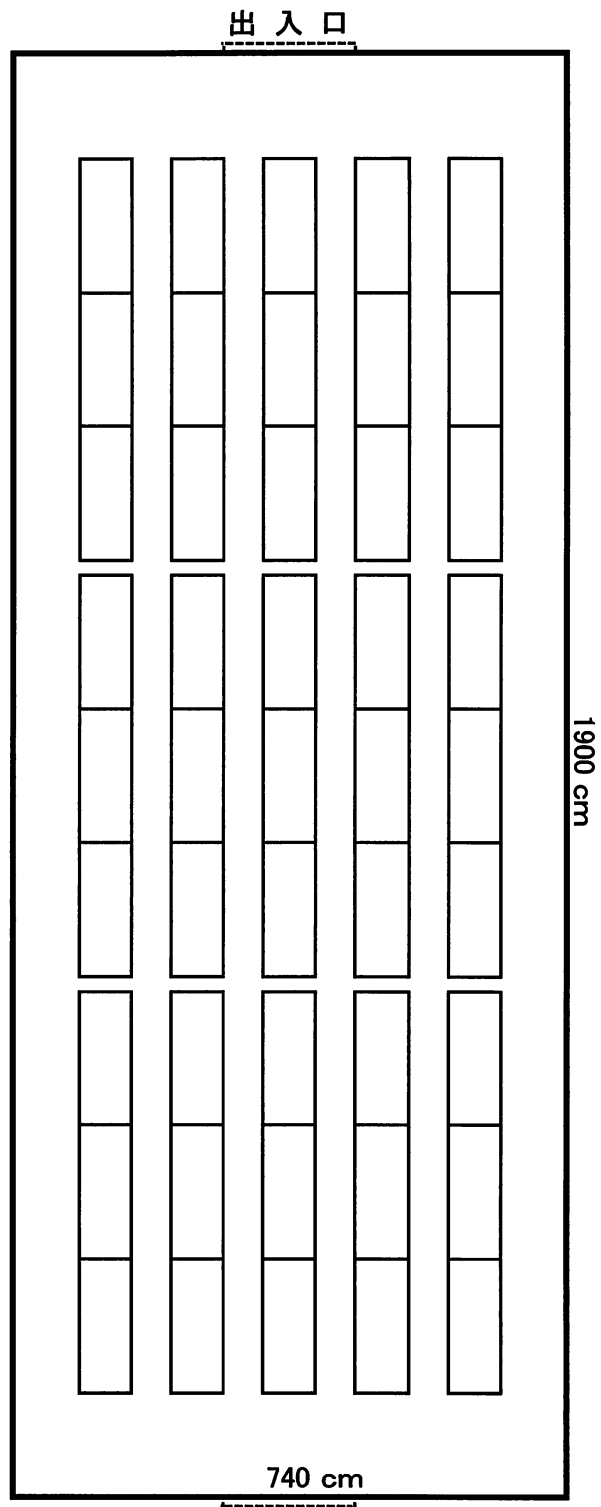


図 16 ハウス内の棚配置案



図 17 洗浄作業

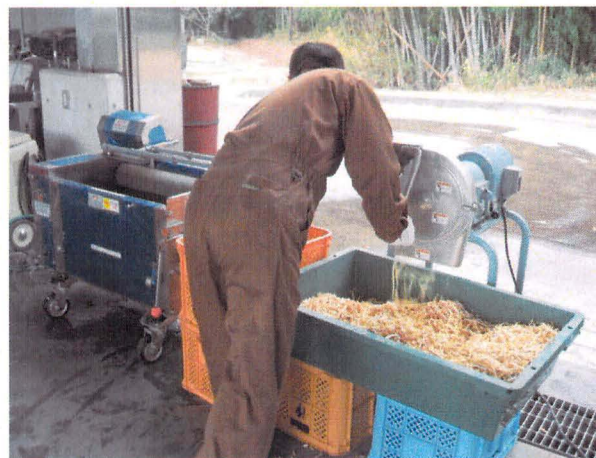


図 18 細切作業での洗浄機・細切機の組み合わせ

0.0272 kg/kg(DA)である。相対湿度 30 %と 100 %の間に材料から発生する水分が含まれるので、乾燥を持続して進めるためにはハウス内空気から重量絶対湿度の差 0.01928 kg/kg(DA)を除く必要がある。また、ハウス棟の内容積は 359.5 m³ で、その乾き空気(DA)の重量は 463 kg となる。したがって、相対湿度 30 %を保持するために排出すべき水分量は露点に達した場合、0.01928 kg/kg(DA) × 463 kg(DA) = 8.9 kg となる。

②ハウス内全域に棚を配置した場合の材料からの水分発生量は、乾減率 10 % w.b./日の場合 210 kg/日で、9時から15時までの6時間で上記の水分量をハウス外に排出させるとすると 35 kg(水)/時となる。

③この空気中に含まれる時間当たり 35 kg の水分をハウス外に排出するには、最大 3.9 (35/8.9) 回/時の換気が必要となる。換気扇の換気容量が 350 m³/分で、ハウス内容積が 359.5 m³ なので、換気時間は約 1 分/回となる。したがって、日中の換気は 1 時間当たり 4 分程度実施すれば、相対湿度 30 %を保持しながら乾燥が進展する。しかし、実際は材料から発生する水分は、一度に露点に達するわけではなく徐々に発生するため、間歇的に 1 時間当たり数分程度の換気で必要な水蒸気を排出できると推定できる。

第Ⅲ章 サツマイモの通風加熱乾燥法

千切りにしたサツマイモの通風加熱乾燥における適正条件を求め、より効率的な方法を見いだすことを目的に実験を行った。

サツマイモの一次加工素材であるサツマイモペーストは、皮を剥いたサツマイモを蒸煮して、ミキサーで磨砕、裏ごしの後、加糖調製したものである。また、サツマイモフレークは、皮を剥いたサツマイモを蒸煮して、磨砕後、裏ごしせずにドラム乾燥機でシート状に整形して乾燥させたものである。このフレークを粉末にすると在来型のサツマイモパウダーとなる。いずれも蒸煮工程を経ているので、デンプンは一旦、糊化し、 α デンプンの状態である。サツマイモペーストは、常温での保蔵ができないため冷凍状態で流通される。これに対し、蒸煮工程を経ないで皮付きの生いもを細切し、加熱通風乾燥後、粉末にすることにより β デンプン状態のサツマイモパウダーとなる。蒸煮によりデンプンが α 化するとパンに用いる場合には発酵が悪くなることから実需者は使いにくい面があり、生産コストも高くなる。これらを改善するために、生いもを蒸煮しないで乾燥する方法に着目した。製品のデンプン質が α 化しないため、食品加工素材として用いたとき、最終製品がべとつかず、生いも本来の持ち味や食感を生かすことができる。乾燥飼料とした場合も保存性に優れる。想定する最終製品は保存性、流通での取扱い性を考慮すると粉末が適当と考えられる。本研究では、それに至る調製加工の前段階において高水分のサツマイモを対象に、慣行の生切干しに準じて細切したいもの

乾燥法を検討した。

有色サツマイモ塊根に含まれるアントシアニン色素（紫色素）は，耐熱性や耐光性に優れていることが明らかになり（小竹・室井 1994，津志田 2003），天然色素として利用されるようになった。九州農業試験場（現九州沖縄農業研究センター）で育成された“アヤマラサキ”は，アントシアニン色素含量が高く，天然色素抽出用，ペースト用，パウダー用，醸造用として適する品種で，収量性とセンチュウ抵抗性に優れている（山川ら 1997）。このアントシアニンは，加工・貯蔵の段階で熱，酸素，光，食品添加物などの影響を受け退色することが知られている。有色サツマイモの加熱乾燥工程で，できるだけ高いアントシアニン含有率を保持したまま，デンプンを糊化させない乾燥法を検討した。

1. 静置式乾燥による基礎実験

1) 実験方法

(1) 供試材料

供試したサツマイモは，九州沖縄農業研究センター都城研究拠点圃場産のアヤマラサキで，皮付きのまま使用した。いもを洗浄後，フードプロセッサ（VA-20，日本調理機）で厚さ 3.2 mm，幅 4.0 mm，長さ 15～70 mm の角千切りにして供試した。

(2) 実験装置

静置直交式通気乾燥装置（自作，図 19）で，乾燥筒は内径 312 mm，長さ 310 mm である。

送風温度，排気温度，槽内温度は温度センサ（CS12 型，横河

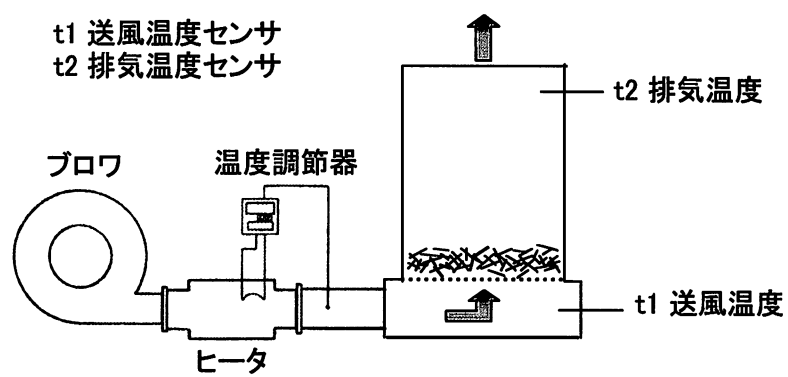


図 19 静置直交式通気乾燥装置略図

乾燥筒内径 312mm, 長さ 310mm

供試材料：サツマイモ「アヤムラサキ」角千切り

電機，E5BX-A，オムロン）で，材料表面温度（品温）は放射温度計（505型，MINOLTA）で計測した．

含水率の測定は，105℃－24h炉乾法で行い，含水率は湿量基準（% w.b.）で表した．送風量は，被乾燥材料に含まれる水分量に対する風量である風量水分比（ $\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ ）で表した．

（3）設定条件

開始から終了まで一定温度とし，50，60，70，80℃の4区を設けた．

材料1500gを乾燥筒内に入れ，送風量を5.3，16.0 L/s（320，960 L/min）の2段階とした．風量水分比で示すと，それぞれ $0.005 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ ， $0.015 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ であった．

（4）アントシアニンの定量測定

①角千切りしたいもを凍結乾燥させた後，粉砕器で粉末にして，その1.5gに0.5%硫酸98.5gを加え，16時間室内に放置する．

②10mlを採取し，遠心分離器で3000rpm，10分間の処理を行った後，粗抽出液5mlにpH3.0のマッキルベイン緩衝液を加えて20mlに定容する．

③分光光度計（UV-3000，島津製作所）で波長530nmにおける吸光度を測定し，生いもの値と比較して残存量を算出した．なお，アントシアニン含有率は，乾燥前の含有率を100%として乾燥工程における残存量を割合（%）で示した．

2）結果および考察

（1）送風量，送風温度と乾燥特性

設定送風温度をパラメータとして、送風量（風量水分比、以下同じ）0.005, 0.015 m³/s・kg(水)の各条件における含水率の経時変化を図 20 に示す。乾燥製品の含水率が 7.5 % w.b.とされる（薬師堂ほか 1998）ことをもとにして、本研究では安全のために仕上げ含水率を 6.5 % w.b.とした。送風温度 60 °Cでは、乾燥終期の含水率が 6.5 % w.b.になるのに、0.005 m³/s・kg(水)では 4 時間を要するのに比べ、0.015 m³/s・kg(水)では 2 時間に半減した。50, 70, 80 °Cにおいても同様に 1/2 ~ 1/3 の時間で 6.5 % w.b.に到達した。

いずれの送風量でも適当な乾燥材料が得られた。乾燥時間を短くするためには送風量 0.015 m³/s・kg(水)が有利であった。また、送風温度と乾燥時間は、送風量 0.015 m³/s・kg(水)では、80 °Cで 1.5 時間、60 °Cで 2 時間、50 °Cで 3 時間と、送風温度が高いほど早く乾燥した。

野菜などの高水分材料では、熱風乾燥時に材料予熱期間、恒率乾燥期間、減率乾燥期間の 3 段階があることが知られている。いもについて送風量 0.005 m³/s・kg(水)でみると、恒率乾燥期間は 50 °Cで 2.5 時間、80 °Cで 1.0 時間であり、0.015 m³/s・kg(水)では、いずれの送風温度でも 0.5 時間であった。

村田ら（1993,1994）によれば、千切大根では、乾燥期間が恒率乾燥から減率乾燥へ移るときの含水率である限界含水率は 50 % w.b.であり、輪切りした馬鈴薯では、57 % w.b.である。いずれの材料もサツマイモの初期含水率 67 % w.b.に比べると、千切大根は 95 % w.b., 馬鈴薯は 80 % w.b.であり、かなり高い値である。送風温度 80 °Cでは、送風量 0.005 m³/s・kg(水)で限界含水率は 53 %

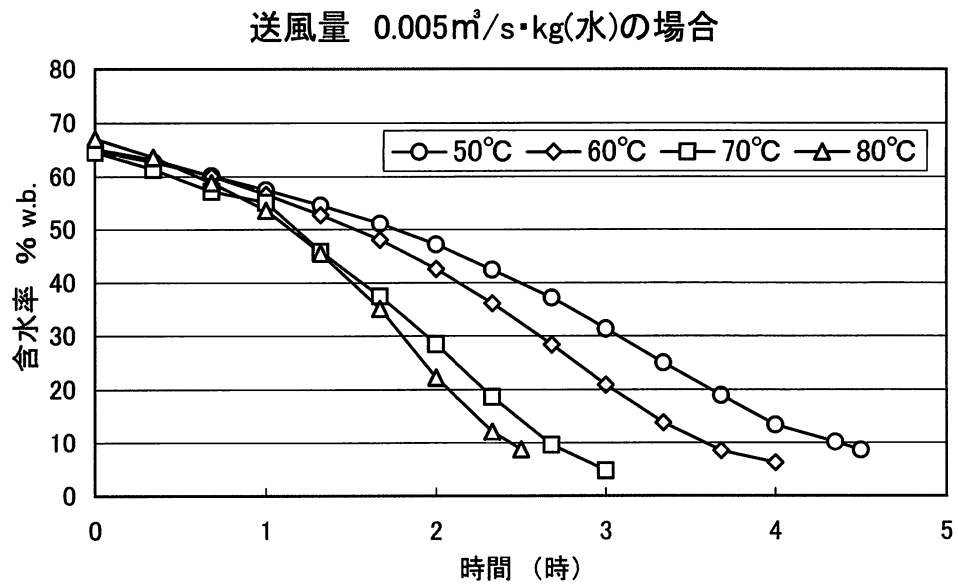
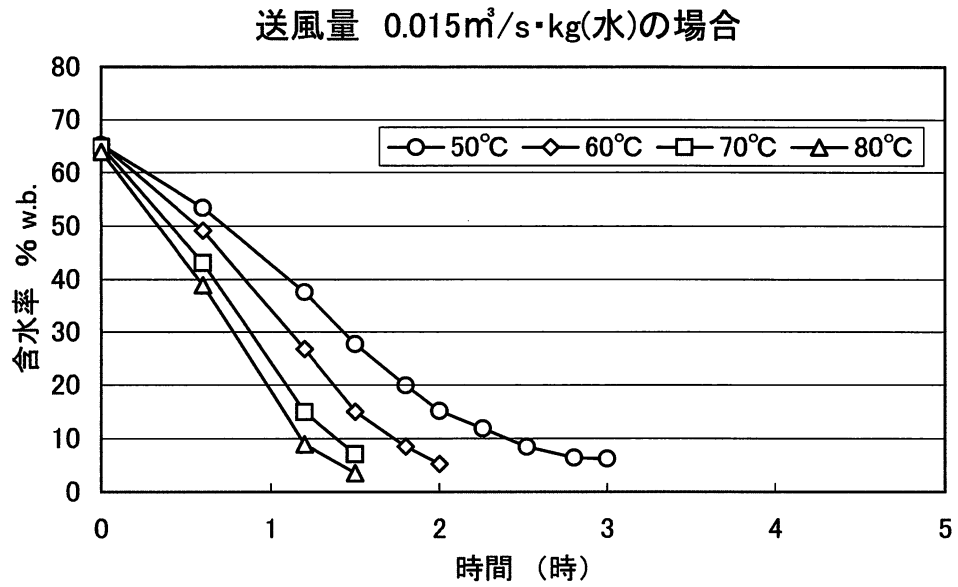


図 20 含水率の経時変化

w.b., $0.015 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ で 39 % w.b.であった。しかし、折笠ら (2005) によれば、サツマイモは乾燥開始から終了まで一貫して減率乾燥期間にあるとされる。折笠らが供試した材料の形状は、 $50 \times 20 \times 10 \text{ mm}$ と比較的大きく、体積比で 11 ~ 52 倍ある。本実験での材料は、前述の千切大根とほぼ同じ大きさの形状であるので、サツマイモにおいても恒率乾燥期間があるとみても問題ないと考えられる。

(2) 乾燥工程での品温

送風量 $0.015 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ のときの排気温度を図 21 に示す。この図のみ測定器の設定要件により含水率の表示が % d.b.であることに留意されたい。また、送風温度 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ のときの排気温度と品温 (表面) を図 22 に示す。含水率が 40 % d.b.まで排気温度は緩やかな上昇をつづけるが、含水率が 40 % d.b.以下になると急激な上昇が認められた。なお、図 21 で排気温度が急激に低下している箇所がみられるが、これは乾燥中に通気配管を外して重量測定を行ったことに起因するものである。乾燥工程中、品温 (表面) と排気温度との差は高々 $3.5 \text{ }^\circ\text{C}$ であることから、排気温度を品温の指標とすることができると判断した。減率乾燥期間以降 (0.5 時間以降) では、排気温度は材料品温の上昇とともに上昇する。したがって、品温は乾燥が進むにつれて徐々に上昇したものと推察される。また、供試品種のデンプン糊化開始温度は、約 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ である (野田 2001) ので、 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ の品温でデンプンが糊化することはない。

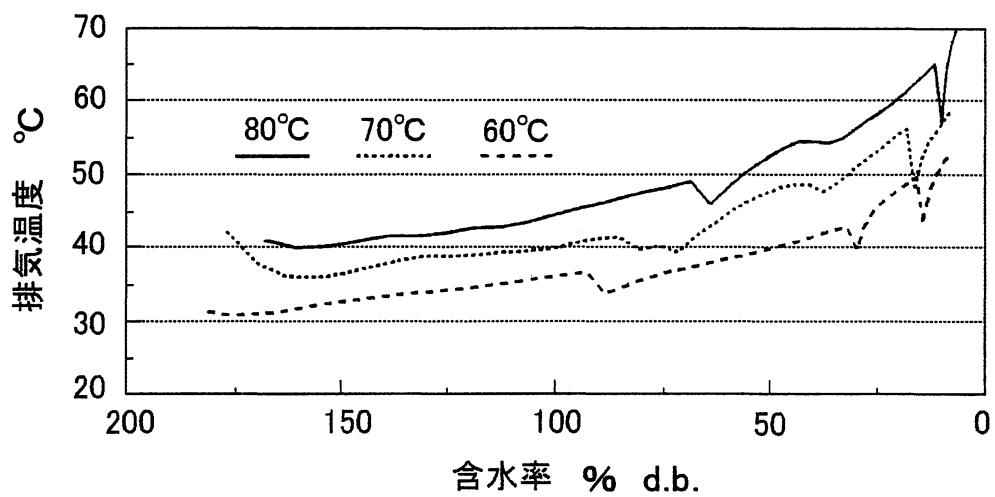


図 21 含水率と排気温度

送風量 : $0.015\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$

測定点は乾燥筒終端部, 筒中心

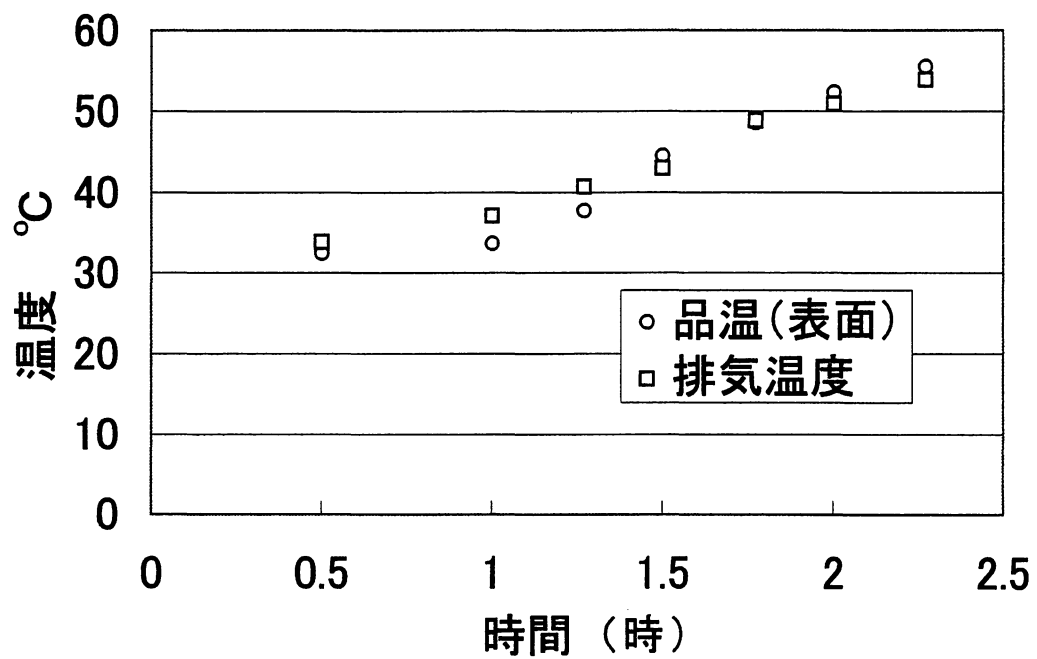


図 22 排気温度と品温の経時変化

送風温度 60 °C

(3) アントシアニン含有率

①送風量

2つの送風量について、材料のアントシアニン含有率と含水率の関係を設定した送風温度をパラメータとして図 23 に示す。含水率が低下するに従ってアントシアニン含有率も下がる傾向にある。なお、アントシアニン含有率が一旦下がった後、上昇している箇所については、サンプルを採取する際に堆積層を攪拌して行うが、その際のサンプリング誤差と考えられる。送風量 $0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{kg}(\text{水})$ での乾燥終了後のアントシアニン含有率は、75 ~ 87 %の範囲にあった。しかし、送風量 $0.005 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{kg}(\text{水})$ では乾燥終了後のアントシアニン含有率は、いずれの送風温度でも 49 ~ 69 %の範囲で、送風量 $0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{kg}(\text{水})$ に比べ小さかった。これは送風量 $0.005 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{kg}(\text{水})$ の方が乾燥に要する時間が長いため酸化が進んだことによるものと考えられる。したがって、送風量の大きい方が乾燥終了までの時間も短くなり有利である。

②送風温度

アントシアニン含有率は、送風量 $0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{kg}(\text{水})$ では、送風温度 60 °C, 80 °C, 70 °C, 50 °Cの順で大きく、送風量 $0.005 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{kg}(\text{水})$ では、60 °C, 70 °C, 80 °C, 50 °Cの順で大きかった。この結果から、定常送風温度としては 60 °Cがアントシアニン含有率を高く保持するうえでは適温と判断された。

アントシアニンの加熱に対する安定性は由来原料によって異なり、紫サツマイモ由来のアントシアニンは、野菜や果実のそれらに比べ非常に安定しているとされる。たとえば、80 °C 18 時間加熱

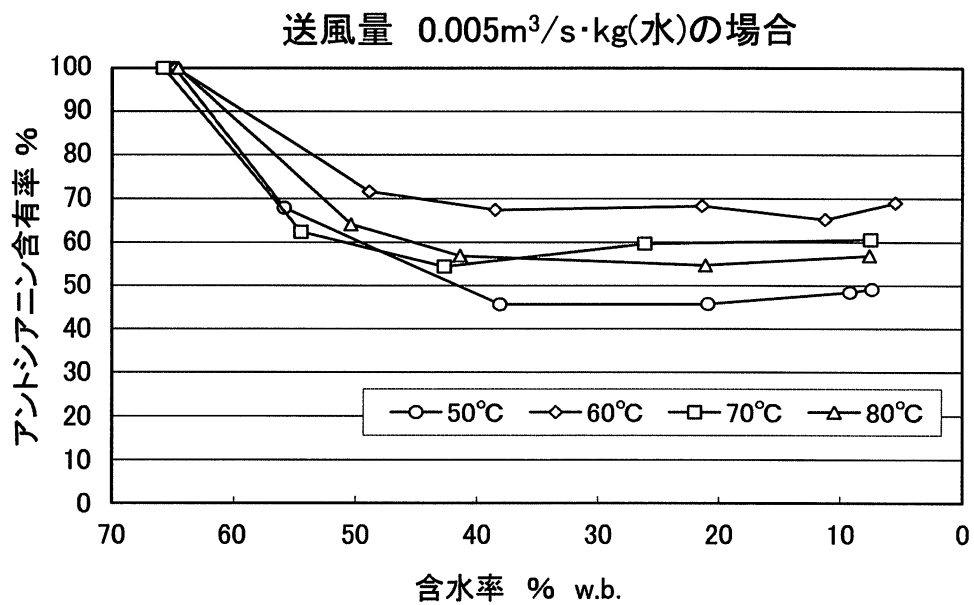
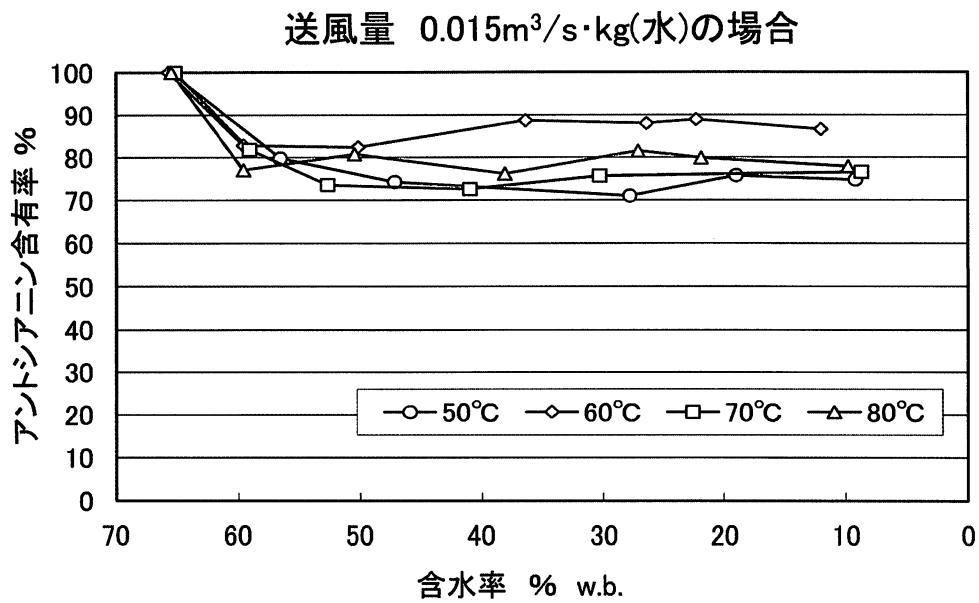


図 23 アクトシアニン含有率の変化

した場合のアントシアニン色素残存率は 63 ~ 75 %，また，90 °C 5 時間加熱での残存率は約 80 % と高い値が示されている（津久井・林 2000）．したがって，50 ~ 80 °C の温度条件の範囲内であれば，アントシアニンの加熱耐性が実用上十分確保できると考えられる．

（４）アントシアニンを保持する送風温度操作

アントシアニンは熱，酸素，光，有機酸や糖などの影響を受け，加工過程で退色や変色をきたすとされる（津久井・林 2000）．退色を抑え，アントシアニンの含有率をできるだけ低下させずにアントシアニンを安定的に得るには，速やかに水分を排除する必要がある．そのためには高温で乾燥するのが有効である．しかし，乾燥終了まで高温で乾燥させるとアントシアニンの退色も進むので，乾燥工程の始めから終わりまで高温で乾燥するのを回避する方法が必要である．

乾燥が進んで材料含水率が低くなると，それに伴い品温が上昇してくる．品温上昇によってアントシアニンの退色が進む．先に述べたように品温が上昇してもアントシアニンは熱損が比較的少ないので，損耗度合いは低いとはいえ，品温が上昇するとアントシアニンの退色は避けられない．また，アントシアニンの退色を抑えるうえで，定常送風温度を 60 °C とする基礎試験の結果は，乾燥終期の送風温度を決定する手がかりとなる．乾燥初期の送風加熱によって速やかに品温を上昇させ，水分排除を促進することと，乾燥後期の送風加熱によってアントシアニンの退色が促進されるという相反した条件を解決する方法として，送風温度の段階

的降温操作を取り入れた。すなわち、被乾燥材料が水分を多く保持している乾燥初期から減率乾燥期に入る中期にかけては、十分な送風量で高温条件下で速やかに水分を除去し、乾燥後期では、材料の品温を上昇させないように適温とされた 60 °C の送風温度で乾燥させ、乾燥終了まで継続させる。アヤマラサキのデンプンの糊化開始温度は約 70 °C なので、この条件による操作でデンプンが α 化することはないといえる。

一般的に、材料の乾燥後の品質を上げるためには、熱風乾燥中に送風温度を操作する方法として、低温から昇温する方法、高温から降温する方法、昇温と降温を繰り返す方法の三つがある。たとえば、花きの乾燥の場合は、乾燥中に花卉に生じる斑点を回避するために初期温度 40 °C から徐々に昇温し 55 °C で終了する（田部・佐藤 1998）。多段式バンド乾燥機による小魚の乾燥の場合は、乾燥終了時に生じる過熱による色焼けを防止するために、60 ~ 70 °C から 5 °C ずつ降温し、5 段階で 25 °C 降温して終了する（山下・吉田 1996）。また、ニンジン等の葉の場合は、緑色を保持するため、低温から設定した温度まで昇温した後、槽内排気をしつつ低温に戻すことを繰り返しながら、徐々に設定する高温にする（佐久間 2002）。いずれも、乾燥後の品質が要求水準を上回るように品質の基準を設定し、送風温度操作を行っている例である。そこで、アントシアニンの損耗を抑えながら、サツマイモ塊根中のデンプンの糊化を回避する方法として、送風温度の段階的降温による乾燥方法が有効と考え、実用化試験では本方法により実施した。

2. 回転通気乾燥機による実験

アントシアニンの損耗を抑えて、効率よく乾燥させる基礎試験結果から、実際の乾燥施設を想定した乾燥方法として回転通気式乾燥機による運転条件を求めた。

1) 実験方法

(1) 供試材料

供試したいもは、基礎実験で用いたアヤマラサキで皮付きのまま使用した。いもを洗浄後、フードプロセッサ（GO-41，日本調理機）で2.8 mm角，長さ15～100 mmの菱形千切りにして供試した。

(2) 実験装置

回転通気式乾燥装置（SRTA-2，大川原製作所，図24，図25）は，側面吹込み型で，ドラム寸法φ570 mm×L500 mm，ドラム回転速度5 rpmで行った。

(3) 設定条件

品温と連動する槽内温度を60℃以下になるよう制御した。乾燥の進行とともに温度を段階的に下げることとし，初期設定温度を80℃とし，70℃，60℃と下げていき，55℃で終了した。

材料のホールドアップ（内容積に対する張り込み割合）を25%と設定して，材料10 kgをドラム内に入れた。送風量は225 L/s（13500 L/min）一定で，風量水分比で示すと，0.035 m³/s・kg(水)であった。

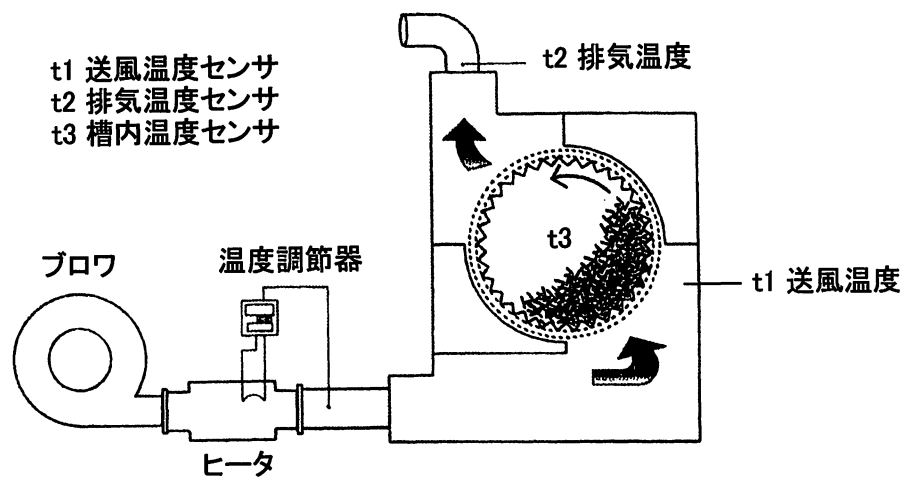


図 24 回転通気式乾燥装置略図

ドラム径 570mm, 長さ 500mm

ドラム回転速度 5 rpm

供試材料：サツマイモ「アヤマラサキ」菱形千切り



図 25 回転通気式乾燥装置外観

2) 結果および考察

(1) 基礎実験と異なる条件

乾燥初期は材料に含まれる水が多く存在し、材料の比熱容量が大きいと相対的に高い送風温度であっても品温は上昇しにくい。一方、乾燥後期は材料の比熱容量が小さくなっているため、送風温度と品温は同じとみなせるようになる。先の基礎試験においても品温（表面）と排気温度の差は、乾燥初期では 3℃あるものの乾燥後期では 1℃前後に小さくなっていた。ここでは、排気温度に代わり槽内空気温度（槽内温度）を品温の指標として用いた。すなわち、乾燥初期を除いた減率乾燥期間においては、乾燥材料の温度（品温）は槽内空気温度（槽内温度）と同一とみなせることから、槽内温度を品温の代替値とした。また、送風量については、 $0.035 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ であったが、これは基礎試験で検討した風量水分比 $0.015 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ に比べて 2 倍強の値であった。50～80℃の範囲内の送風温度で 2 時間程度で乾燥させるためには、実験に使用した乾燥機では、製造メーカーの推奨値から求めると槽内風速が 1.0～1.5 m/s が適当であることから $0.035 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ とした。

(2) 効果的な運転条件

基礎試験から得られた結果は、送風温度 60℃で品温は 60℃以下、送風量は $0.005 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ より $0.015 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg}(\text{水})$ とした送風量大の方がよいというものであった。この温度条件は、アヤマラサキのデンプンの糊化開始温度が約 70℃であることから、アントシアニンを高く保持するとともに、併せて材料中のデンプン糊化を回避できる温度である。実用化試験では前述のとおり供試条件が

基礎試験とやむを得ず異なる点があるが、品温を 60 °C 以下に抑えることを主眼として送風温度の段階的降温操作による運転条件を設定した。

送風温度を段階的に 10 °C ずつ降温した場合の含水率、槽内温度、送風温度の経時変化を図 26 に示す。また、アントシアニン含有率の経時変化を図 27 に示す。品温が 60 °C 以上にならないよう槽内温度（品温に近似）を 60 °C 以下で制御し、かつ槽内温度を 40 ~ 50 °C を目安にして送風温度を徐々に下げるように操作した。材料の初期含水率は 66 % w.b. で、乾燥開始時の送風温度は 80 °C である。乾燥開始 10 分経過後の槽内温度は 30 °C 前後で、放射温度計で計測した品温も 30 °C を下回った。この状態で乾燥を継続すると槽内温度は徐々に上昇するが、第一の目安温度 40 °C になる直前の時点（ここでは約 30 分経過後）で 10 °C 降温して送風温度を 70 °C にし、槽内温度が急激に高まることのないように制御した。

さらに、70 °C に降温してから 10 分経過後、槽内温度を 40 °C に保つため 60 °C に降温して 15 分間乾燥を続けた。その後は槽内温度を 40 ~ 50 °C に保つように、送風温度を 55 °C に降温して乾燥終期まで通風乾燥を行い、含水率 6.5 % w.b. となった時点で終了した。乾燥終期においても槽内温度は 50 °C を上回ることはなかった。先にアントシアニン含有率をできるだけ低減させないで保持する定常送風温度を 60 °C としたが、ここでは安全を見込んでそれを 5 °C 下回る 55 °C とした。降温操作時の材料の含水率は、第 1 段階の 70 °C では 47 % w.b.、第 2 段階の 60 °C では 36 % w.b.、

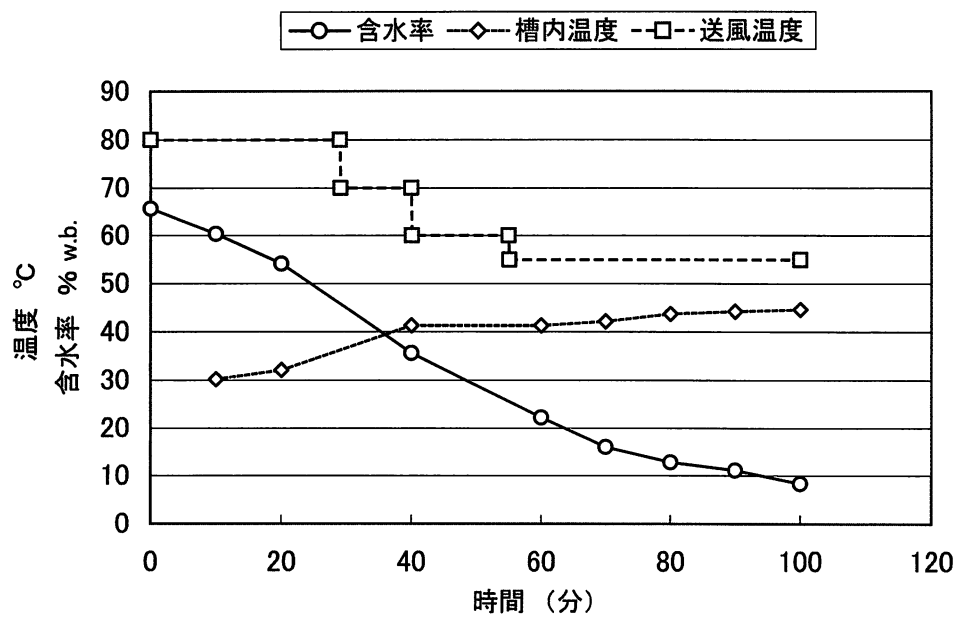


図 26 降温操作における指標値の経時変化

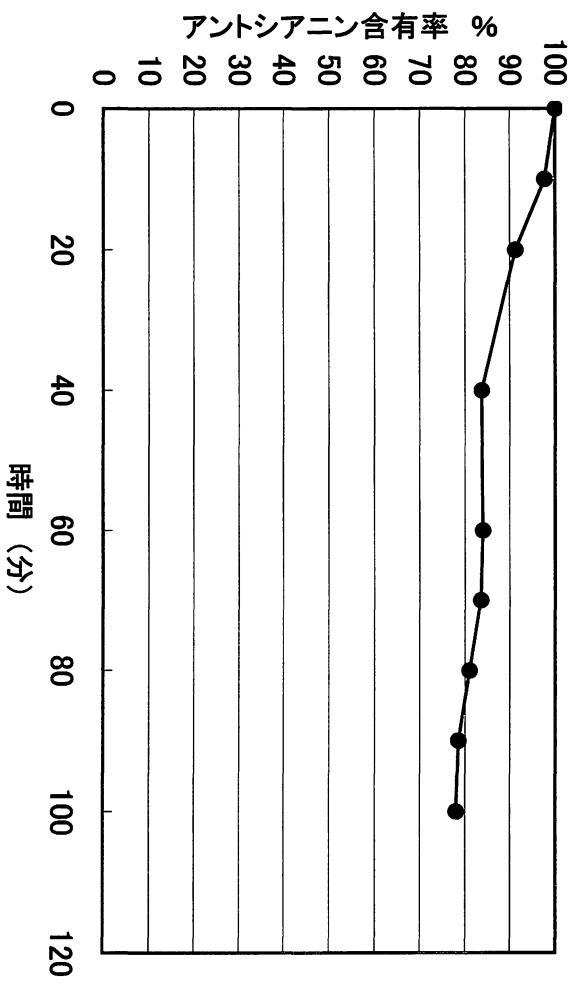


図 27 アントシアニン含有率の経時変化

第3段階の55℃では26% w.b.であった。回転型乾燥機での一般的な乾燥後品温は、食品で55℃、圧扁大豆で70℃（篠原・今坂1966）であるので、細切サツマイモの45～50℃はこれらの事例と比較して同程度の品温といえる。

図26の含水率の乾燥特性曲線によれば、恒率乾燥と減率乾燥の境界点である限界含水率は、乾燥開始後20分における54% w.b.と判断され、そのときの恒率乾燥速度は $2.25 \text{ (kg-(水))/(h}\cdot\text{kg-DM)}$ で、乾燥開始後20分以降を減率乾燥期間とすれば、その平均減率乾燥速度は $0.80 \text{ (kg-(水))/(h}\cdot\text{kg-DM)}$ であった。アントシアニン含有率は、乾燥開始直後は比較的高い値を保持していたが、最終的には乾燥終了時で78%であった。送風温度を変えずに一定温度で乾燥させた基礎試験での結果が75～87%（送風量 $0.015 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{kg(水)}$ ）であったことと比べると、特に高い含有率ではなかった。

静置直交式乾燥装置に比べ、回転通気式は材料を転動させながらドラム内を絶えず移動させるため、乾燥時間の短縮と均一な乾燥が可能になる。一般に、高水分材料を静置して乾燥すると形状が湾曲することが多い（村田ら1993）。これに対して、本方法による乾燥では湾曲する割合は小さかった。見かけ密度は、乾燥前には 355 kg/m^3 であったが、乾燥後には 380 kg/m^3 と大きくなった。

（3）実用施設の処理工程

実際の乾燥加工施設においてサツマイモは連続した加工工程の中で処理・乾燥され、乾燥機には回転型通気乾燥装置が通常用いられる。

図 28 に示すように，加工処理工程は大きく三つからなる．まず，原材料となるサツマイモの洗浄を主とする前処理工程，次に材料を細かく切断する細切工程，そして乾燥工程である．トラック等で畑から搬入されたサツマイモは，荷受けヤードに貯留された後，順次洗浄機に導かれて水洗される．次に大きなサツマイモは処理効率を低下させるので，荒切り工程で半切りされる．さらに人力によっていもの傷部分や汚れた端部等を切除(トリミング)した後，一次貯留される．いもの外皮は洗浄工程で部分的に剥けることがあるが，特に皮剥きの処理は行わない．一次貯留ホッパから細切工程に運ばれたサツマイモはスライサーで細切断されて，角千切りの形状になり，そのまま乾燥機に投入される．乾燥機内で乾燥された材料は排出口からベルトコンベアにのり空気で冷やされて，乾燥品ヤードに貯留される．その後，必要に応じて製粉処理が行われる．図 29 に生いもから粉末になるまでの各工程における材料の様態を示した．

角千切り状態で乾燥された製品は，一旦フレキシブルコンテナ等に収納されるが，見かけ密度が 380 kg/m^3 あり，かさがあるため大きな収納場所が必要となる．いも粉末の見かけ密度は 700 kg/m^3 程度まで大きくなる．したがって，乾燥後引き続き製粉する方がかさを縮減できるので有利である．乾燥材料をハンマーミルで荒粉碎した後，ターボミルで微粉碎すると，平均粒径 $50 \mu\text{m}$ の粉末製品となる．

通常，色付き粉末を大気条件下に放置すると色抜けが起こるが，アヤマラサキ由来のアントシアニンは紫外線に対しても安定して

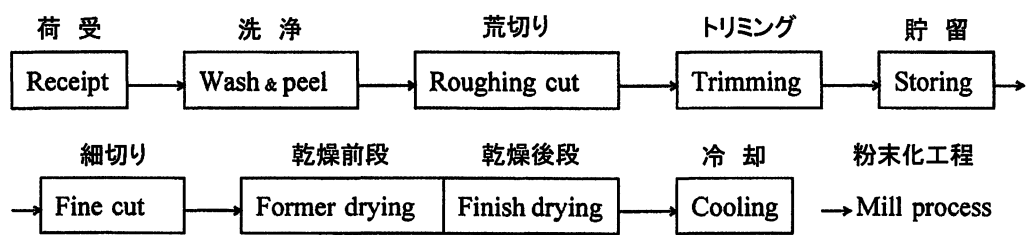


図 28 サツマイモ乾燥処理施設の加工処理工程図

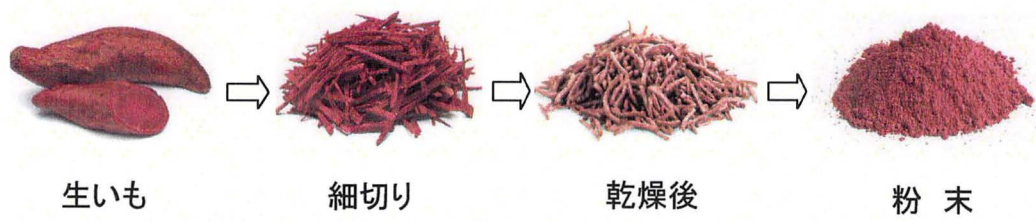


図 29 サツマイモ材料の様態

いる（津久井・林，2000）ので，小麦粉のように袋で包装した流通が可能である．

本研究で得られた成果は，宮崎県都城農協が事業主体となって設置した農産物処理加工施設におけるサツマイモ乾燥粉末化施設の設計指針として実用されている．当該施設の生いも処理能力は1日18 t，約60 a分であり，都城地域のアヤマラサキ栽培面積約100 haを処理することが出来る．

第IV章 油温減圧乾燥法によるサツマイモ飼料の開発

食品残さ等を原材料としたエコフィードの製造方法の一つである油温減圧乾燥法を用いて、サツマイモでの適用の可否を見いだすために実験を行った。油温減圧乾燥法の動作原理は次のとおりである。原料は必要に応じて破砕等の前処理を行った後、予め熱媒体として食用廃油を所定量投入した圧力容器内に投入し、減圧状態で攪拌されながら加熱される。原料は熱媒体の食用廃油と十分に混合されて原料中の水分を急激に蒸発させ、原料からの脱水が行われる（図 30）。天ぷら状になった材料の油分を遠心分離または圧搾により脱油すると乾燥物が得られる。油を熱媒体とするため、水溶性蛋白を溶出させることなく、また、100℃程度で乾燥させるため、高品質の乾燥物が得られる。減圧下で加熱投入された油は極めて短時間のうちに、材料に均一に熱を伝達するので、水分を含む材料を短時間で均一に脱水することができる。熱源は一般的に蒸気で、圧力容器内の回転フィンによって熱媒体に伝えられる（図 30）。また、材料から発生した水分、水蒸気は、減圧環境下で容器外に排出される。熱媒体の油は回収されて繰り返し使用できる。

1. 実験方法

1) 供試材料

供試したいもは、九州沖縄農業研究センター都城研究拠点圃場産のコガネセンガンで、皮付きのまま使用した。いもを洗浄後、

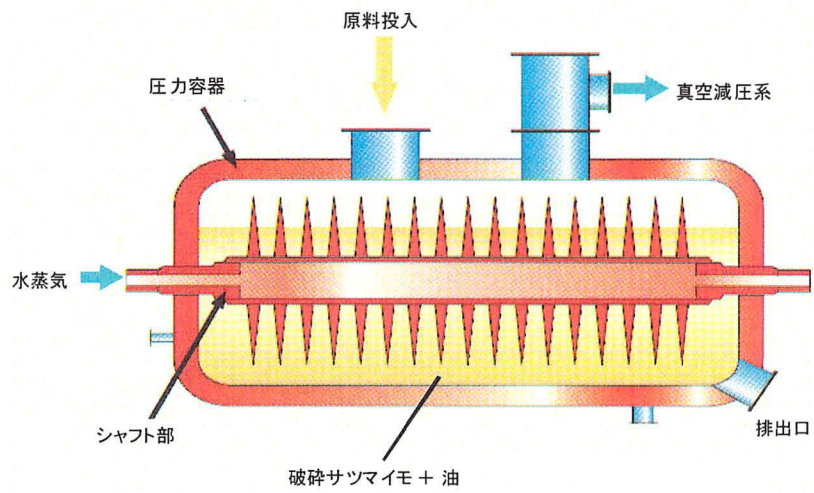
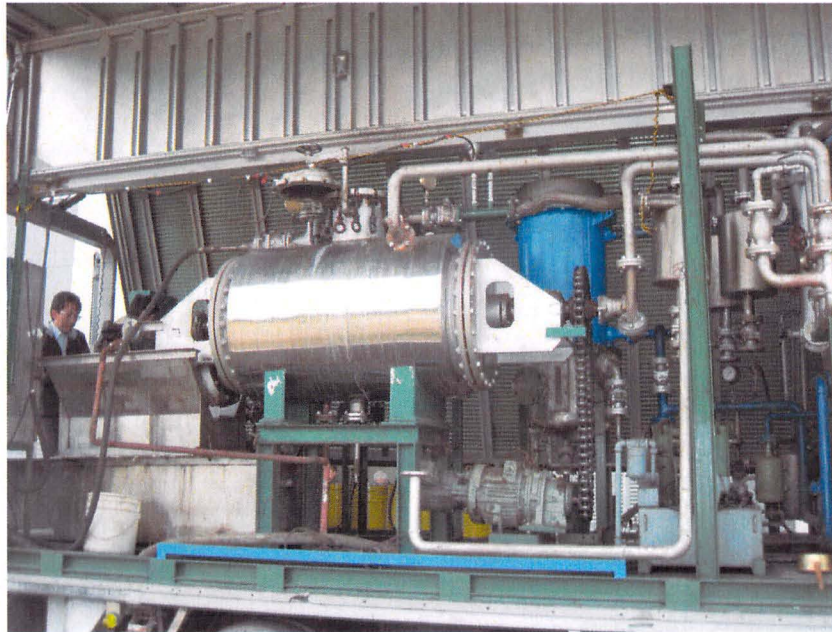


図 30 油温減圧乾燥装置機構図

写真は乾燥装置の該当部

合成調理機（GO-41，短冊切りプレート，日本調理機）で厚さ 11.8 mm，幅 17.6 mm，長さ約 57 mm の短冊切りにしたものを，チョッパー（52K-5G，林鉄工所）で厚さ 5.4 mm，幅 7.8 mm，長さ約 10 mm のミンチ状に破砕して供試した。

2) 実験装置

実験に用いた装置は，トラック積載型実験機（0.4m³ライン，エコステージェエンジニアリング，図 31）で，主要仕様は，回分式（以下，バッチ式と称す）最大処理量 100kg，蒸気発生用水使用量毎分 9L，ボイラー蒸発能力毎時 500kg，所要処理時間 60～90 分である。品温（油温），ガス温度（水蒸気温度），真空圧等は，装置に設置された計器の数値を読み取って計測した。実験地は，九州大学伊都キャンパス内アグリ・バイオ研究施設（福岡市西区）で行った。

含水率の測定は，105℃－24 h 炉乾法で行い，含水率は湿量基準（% w.b.）で表した。

3) 設定条件

生いも 100kg を 2 回に分けて，1 バッチ 50kg ずつ材料を投入し，熱媒体となる大豆白絞油 66kg を開始時油温 110～120℃の運転条件で行った。

4) 成分分析，嗜好性

飼料成分は粗蛋白質，粗脂肪，粗繊維，粗灰分を宮崎県 JA 食品開発研究所に依頼して分析した。

豚に給餌した場合の嗜好性は，萩原養豚生産組合（都城市）に給餌を依頼したのち，聞き取り調査をした。供試豚は，ランドレ



図 31 トラック積載型油温減圧乾燥装置外観

ース種と大ヨークシャー種の雑種，2歳の母豚である．給餌法は，通常の配合飼料を給餌した後，圧搾後乾燥物をそのままの状態を与えた．

2. 結果および考察

1) 運転経過

運転開始時油温は，1回目 118℃，2回目 110℃であった．材料を投入すると 28～37℃の油温の低下をきたし，それぞれ 81.0℃，81.9℃となった（表 5）．その後，5分ほどで油温は 100℃の定常状態で推移し，120℃になったところで仕上げ段階に入り 5～20分継続して終了した．

ガス温度は，開始時 20℃台で，開始後 10～15分で 60℃台に上昇し，30分で 70℃台，40分で 80℃台（2回目のみ）になり，終了時には 60℃であった．真空圧は，-82～-98 kPa G の範囲（表 5）にあり，常に小さな変動を繰り返しながらも一定の減圧状況下にあった．

圧力容器から取り出された材料は，天ぷら状で油分を含むため，一旦，ステンレス網上に受け油分を落下させる．その後，数回に分けて圧搾機によって油分を極力抜いて，フレーク状の製品（図 32）が得られた．

2) 乾燥経過

材料の生いもを 50kg ずつ，2回に分けて乾燥させた．1回目の所要時間は 40分で，2回目は 75分と1回目よりも時間を要した（表 6）．これは，乾燥工程後半に低温乾燥状態で管理したこと

表5 油温減圧乾燥の経時値

時刻	品温 (°C)	ガス温度 (°C)	真空圧 (kPa G)*
12 : 00	81.0	22.0	-96
05	101.5	46.3	-87
10	101.8	63.7	-70
15	97.1	61.4	-97
20	96.9	61.4	-97
25	97.1	59.1	-97
30	105.8	62.8	-97
35	122.3	71.0	-95
40	122.3	60.0	-95
13 : 15	81.9	29.5	-92
20	101.4	37.7	-97
25	101.9	56.6	-94
30	102.2	62.7	-90
35	102.5	67.9	-97
40	102.0	69.1	-98
45	101.2	70.4	-98
50	101.1	73.8	-98
55	100.0	80.8	-98
14 : 00	101.4	82.6	-96
05	105.0	84.1	-97
10	119.1	88.8	-96
15	120.2	79.9	-91
20	120.0	73.9	-88
30	116.8	67.5	-82

* 大気圧をゼロとしたゲージ圧



図 32 圧搾後サツマイモのフレーク状乾燥製品

表 6 調製作業の概略

材料含水率	66.5 % w.b.		
製品含水率	3.3 % w.b.		
材料 100 kg	乾物重 33.5kg	水分 66.5kg	
製品 17.1kg	乾物重 16.5kg	水分 0.6kg	
作業時間	[1回目]	[2回目]	[合計]
細切破碎作業	30分	30分	60分
乾燥作業	40分	75分	115分
圧搾作業	25分	35分	60分

によると考えられた。材料含水率 66.5 % w.b., 製品含水率 3.3 % w.b.であったので, 時間当たり乾減率は, 1 回目 94.8 % w.b./時, 2 回目 50.6 % w.b./時とほかの乾燥方法に比べても極めて大きかった。乾燥途中のサンプリングが行えない半密閉構造なので, 乾燥特性曲線は得られなかった。材料 100kg に対して得られた製品は 2 回分合わせて 17.1kg であったので, 乾物重で比較すると 1/2 に減少していた (表 6)。この主たる原因は, 乾燥装置内の圧力容器の構造上, 乾燥後の残留物が底部に留まり, 全量が排出できなかったことによるものと考えられる。実験方法を改善することにより, ほぼ全量の回収は可能と考えられ, 今後の検討課題である。

作業時間は, 2 回に分けて実施したこともあって 100kg を処理するのに合計約 4 時間を要した。ここでは実作業を想定せず, 乾燥実験に重きを置いたため作業人員の多寡は考慮しなかったが, 実際には作業人員は 2 名として算出するのが適当である。生ごみ, 農畜産廃棄物を原料として稼動している大規模プラントと対比できる条件ではなかったが, 今後も供試されるであろう種々の原料に対しての基礎資料データとしての意味があった。ちなみに後述するように種々の農産廃棄物等が供試されているが, そのなかで海藻であるアオサは 30 ~ 50 分と比較的短時間で乾燥できるのに対し, キャベツ, バレイショは 130 分と 2 倍以上の時間を要している (中司 2011)。この原因は, アオサが藻状であるため, 適切に水分を切ってあれば容易に乾燥するのに対し, バレイショ等は前処理の形状を極力均一に細切する必要があるため, この前処理が不十分であると乾燥に時間を要することになる。

3) 嗜好性, 飼料成分

嗜好性試験には, フレーク状の製品を小さく分割して給与した. 豚の嗜好性は普通であった. 2kg を与えたところ, はじめは好食したが, 食べ残しがあった. これは, 通常の配合飼料を給餌した後の給与であったこともあるが, 油分のほとんどないスティック状乾燥物に比べると嗜好性が劣ると判断できた. 肥育豚では, 脂肪分がある餌は原則的に給与しないことになっている. この嗜好性試験では対象が母豚なので問題はなかった. 一方, 肥育豚に対しては給餌開始初期の短期間の馴致によって, 嗜好性は同等となり, むしろ食い込み量が増加するとの報告がある.

表 7 に示すように乾燥製品には粗脂肪が多く含まれる. この点が他の乾燥方法と大きく異なる. 天日乾燥したものは粗脂肪が 0.4 % であるのに対し, 油温減圧乾燥では 7.0 % と 10 倍以上の値を示した. 通常は乾燥製品は粉碎され, 粗い粒状形態となり, 飼料の配合材として利用されている. したがって, 単体で利用することは例外的であり, ほかの飼料と混ぜて給餌する方法を採用するのが現実的である. その配合割合等を含めた給餌方法については, 今後の研究展開に期待したい. さらに, 食品残さ由来の油温減圧乾燥製品は, 原料に含まれる多量の油分が乾燥工程で抽出され, 乾燥製品の油分は原料よりも少なくなることが知られている. よって, 乾燥製品の油分が 7.0 % であったことは油温減圧乾燥手法としては, 一般的な数値の範囲にあると判断でき, 問題ないといえる.

今までに本装置を用いて油温減圧乾燥法で飼料に調製加工され

表 7 飼料成分分析値

一般成分	油温減圧法	天日乾燥法*	日本標準 飼料成分表
粗蛋白質(%)	3.3	3.3	4.2
粗脂肪(%)	7.0	0.4	0.6
粗繊維(%)	2.9	1.5	2.1
粗灰分(%)	4.9	4.4	3.0
含水率(%w.b.)	3.3	9.6	12.0

* 1月26日実施分

た原料としては、タケノコ徒長体、廃棄バレイショ、ニンジン残さ、キャベツ残さ、バレイショ残さ、カボチャ残さ、魚のアラ、アオサ、廃棄牡蠣、ムラサキイガイ、牡蠣殻、学校給食残さ、規格外サツマイモ、オリーブ搾り滓など多岐にわたっている（中司 2011）。農作物に由来するものが多いが、水産物由来の魚のアラや給食残さのように内容物が雑多で明確に分類できないものも含まれる。ここに列記された原料に比べ、本論文で供試したサツマイモは、飼料原料としては成分的にも優れており、その製品は適当な甘さをもち、豚の嗜好性も良好であったことから九州南部地域での利用拡大が期待される。

乾燥工程で食用油を使っていることから、製品成分中の粗脂肪含量が多いことは前述のとおりであるが、第Ⅱ章での天日乾燥製品やほかの飼料との配合を工夫することにより油分の多さを相殺できるように、飼養豚に対する最適配合割合が見いだされる可能性がある。

4) 油温減圧式乾燥システム

油温減圧乾燥法の乾燥に関わる部位について述べてきたが、再生型と呼ばれる油温減圧式乾燥システムの周辺設備を含めた全体について概観し、その汎用的利用を展望する。

この乾燥システムは、原料受け入れ設備、乾燥設備、減圧設備、油分離設備、脱臭設備、蒸気設備の六つの主要設備から構成されている（図 33）。この図 33 では食品廃棄物を原料した例が載せてあるが、農産物や畜産物、水産物にも同様の工程で共通して供試できる。

原料受け入れ設備では、原料となる生ごみ、汚泥、農畜産廃棄物を遠心脱水機、ベルトプレス脱水機によって含水率約 80 % w.b. まで脱水したケーキ状流動物が圧送され、ホッパに投入される。乾燥設備では、原料ホッパから混合タンクに脱水原料を投入し、媒体油と混合される。混合物は予備加熱タンクを経て、乾燥機に投入され、減圧下で約 85 °C に媒体油とともに加熱され、原料中の水分を効率よく蒸発させる。

減圧設備は、真空ポンプにより乾燥機内の圧力を大気圧から約 - 40 kPa G ほどの減圧状態にする。原料から発生した水分は、ミストキャッチャ及びコンデンサで除去する。油分離設備では、乾燥機から排出された乾燥物と媒体油の混合物がそれぞれに分離される。油はさらに油再分離機で精製し、媒体油として再利用される。

脱臭設備では、原料系臭気と油混合臭気の 2 系統の臭気ガスが処理される。原料系臭気は生物脱臭塔によって酸化脱臭され、さらに活性炭吸着塔により吸着脱臭される。油混合臭気は臭気燃焼炉により燃焼脱臭されて、排出される。いずれも周辺環境に対して厳しい基準が設定されているため、本システムの要点の一つである。蒸気設備は、乾燥に必要な熱源である蒸気を発生させる。燃料としては、原料から発生する消化ガスを利用する方法と、灯油等の化石燃料を利用する方法がある。

これらのシステムは、バッチ式で 1 日当たり処理量が数十～百数十 t の装置であり、本論文で取り扱った試験装置とは規模が異なるが、その基本構成は同様である。すなわち、供試したバッチ

式試験装置では、主要設備のうち乾燥設備、減圧設備、油分離設備、設蒸気設備は装備されているが、原料受け入れ設備はなく、実験では別途、サツマイモをミンチ状に破碎した。原料に由来する乾燥時に蒸気化された凝結水は、水冷式シェルとチューブ型コンデンサを経て系外に排出される。

第 V 章 総合考察

飼料としてのサツマイモ、ジャガイモ、キャッサバなどのいも類は、デンプン含量が高く、消化率、可消化養分総量（TDN）も高く（祐森 2004）、肥育豚にサツマイモを給与すると、脂肪のキメやしまりが向上する（勝俣 2009）とされている。鹿児島豚は肥育後期に飼料の 20 % のサツマイモ給与が義務づけられている（兵頭 2009）ように、豚の飼料全量ではなく、15～30 % をサツマイモで給与すると、硬く粘りのある脂肪を有する高品質豚を生産できることが知られている。そこで、肥育後期の体重 70 kg の豚を出荷体重 95 kg になるまでの間、乾燥サツマイモの配合割合を 20 % として給与すると仮定すると、0.5～0.67 kg/日・頭、通期で 17.3 kg/頭の乾燥サツマイモを使う。ハウス 1 棟当たり得られる乾燥サツマイモ 760 kg では、配合割合 20 % の飼料として肥育後期の豚 44 頭分に相当する。この数値は、企業的養豚や多頭飼養の現況では小さいが、黒豚などの特徴ある豚を小規模で経営するにあたっては、有力な選択肢の一つになり得ると考えられる。厳密な生産費の試算までは言及しがたいが、生産労賃のみを取り出して以下に試算した。調製作業時間は合計 30.2 時間で要員は 2 人なので総計 60.4 時間を要し、時間当たり賃金を 900 円（都城市農業委員会 2011）とすると 54,360 円となる。生産物が 760 kg であるから生産労賃のみで 71.5 円/kg となる。サツマイモ乾燥飼料が中国等から 45 円/kg 程度で輸入、販売（鈴木 2009）されている現状では価格競争力はないが、国内産飼料の確保の点で意義はある。

近年，コンプリートフィード，エコフィードの観点から食物残さの飼料への利用が行われている．本論文で取り扱ったサツマイモの天日乾燥製品，油温減圧乾燥製品は，このエコフィードの範疇に入るといえる．現段階では製造規模，コスト等で市場価格に対抗できないが，新しい技術的萌芽の一つとして実現化に向かっていくものと確信する．

エコフィードとは，食品残さ等を利用して製造され，国内の未利用資源を有効活用することで飼料自給率の向上に資する飼料をいう（配合飼料供給安定機構）とされており，現在約 18 %の養豚農家が利用しているといわれている．その飼料化の方法によって，乾燥飼料，サイレージ，リキッド飼料の三つに分類されている．また，エコフィードの供給者別では，製造プラントをもつ業者か自家調製する農業者に分かれる．流通しているエコフィードの多くは前者である．このエコフィード製造業者の原料を地域別に概観すると，北海道はテンサイ，バレイショ等の農産物残さ，都市近郊では余剰食品残さ，九州では焼酎粕を扱う業者が多いといった地域的特色がある（農林水産省 2009）．

この点で，地域の主幹産品であるサツマイモ，廃棄サツマイモを原料にした飼料調製は，地域資源を活用した資源循環型畜産の実現への理想的な形態といえる．また，原料がサツマイモ単品であるために原料が食品残さ等とは明確に区別できるとともに，実需者，消費者ともにその由来を納得のうえ利用できる利点がある．さらに，飼料の取り扱いの点から，養豚農家は乾燥飼料の利用を望んでおり，本研究での成果の活用が期待される．

エコフィードの平均価格は、乾燥飼料で 26 円/kg, サイレージ（豆腐粕等）21 円/kg, リキッド飼料 6 円/kg となっており（農林水産省 2009）, いずれも重量比であるので、乾物換算すると三種に大きな差はないといえる。例えば、リキッド飼料の乾物換算値は 30 円/kg となる。この価格は配合飼料の約 1/2 であり、実需者にとっては歓迎すべきことではあるが、企業的業態で生産されないと難しい。本論文での天日乾燥製品は、生産労賃のみで 71.5 円/kg であったので、同等に論ずることはできないが、現段階では自家調製する農業者向けの技術的指針としての位置付けにあると考える。一方、油温減圧乾燥製品は、すでに商業的製造プラント段階にあるものも存在するので、市販のエコフィード系に乗ずることは可能であろう。

サツマイモと同じいも類であるキャッサバの乾燥でも千切り形状で行われている。東アフリカ域での現地調査（Pheneas Ntawuruhunga・Joseph Okidi 2010）によると手動式の細切断機で千切りにし、ポリエチレンシートやパレット上に広げ、天日干しで2日間で乾燥している。恵まれた条件下では乾燥後含水率は 10 % w.b.で、もっぱら食品素材として保蔵するため品質の高いものが求められる。収穫後のキャッサバはサツマイモより貯蔵性が劣るため、直達日射による短期間での乾燥が必要条件となる。本実験でのハウス内天日乾燥でもサツマイモにかびの発生はなかったが、製品に変色等の兆候があると養豚農家は給餌を取りやめるので、品質の高い飼料としての調製が必須である。

本研究はサツマイモ収穫後の 10 月以降の秋冬期の 3 ～ 4 か月

間のうち、気象条件のよい数日間でハウス内天日乾燥を実現しようとするものである。渡辺（1995）によれば、夏期でのハウス内水分蒸発量は冬期の約3倍であるため、夏期での実施には乾燥するうえでの問題は生じないと考えられる。しかし、現実的には夏まで前年の秋に収穫したサツマイモを貯蔵することが適切かどうかという問題がある。さらに2月から5月までの間、供試ハウスはサツマイモの育苗用として使われるため、秋冬期の天日乾燥に使えるのは11月から1月までの期間となる。したがって、サツマイモの育苗に限らず春夏期のハウスの利用は夏秋キュウリ等の栽培に供し、秋冬期に天日乾燥に利用することでハウスの通年利用につながる。

ハウス内全域に棚を配置した場合の水分蒸発量は、乾減率10% w.b./日の場合210 kg/棟・日となるので、日中に換気扇による短時間の通風換気を行い、ハウス内の水蒸気を排出させることが必要になるが、換気回数、換気時間等の換気方法は今後の検討課題である。

秋冬期の気象条件のすぐれない場合の補助的手段として加熱乾燥を併用すれば、乾燥調製は問題なく実施できる。しかし、加熱乾燥を行うには、すでに何らかの形で乾燥機が設置されていなければ初期投資が大きく、飼料用としては実現は難しい。乾燥機として静置式乾燥機が既設されている場合などは、最も利用しやすい形態と考えられる。回転通気式乾燥で行ったように静置式乾燥機でも送風温度を段階的に降温し、エネルギーの低減を図ることも考慮の対象であるが、適正送風温度として導き出された60℃で

の乾燥工程通期の送風で可能であると考える。さらに本論文でも述べたように、回転通気式乾燥機での送風温度を段階的に降温させる乾燥方法は、商業的加工施設で実用に供せられている。

油温減圧乾燥によるサツマイモの飼料化は、飼料の配合素材としての有効性が立証されれば、将来的に大いに期待される実用技術であると考える。すなわち、廃棄サツマイモや未利用サツマイモばかりではなく、加工用サツマイモの加工残さ等も原料として利用できるからである。しかし、油温減圧乾燥システムは、比較的大きな施設整備を必要とすることから、一定量の原料の確保等の地域内循環の条件が揃わないと実用が困難である。天日乾燥や加熱乾燥と違って現状では農家段階での技術ではないので、個別農家での導入は難しい。今後、天日乾燥、加熱乾燥での飼料調製を含めて、サツマイモ－飼料（エコフィード）－家畜－糞尿－（サツマイモ）といった耕畜連携による循環のなかで、農家は原料供給と飼料需要の当事者としての役割を担うことが考えられる。

本研究で得られた成果がサツマイモの国産自給飼料の提供の一助となり、資源に乏しいわが国のエネルギー節約へと結びつき、化石燃料に依存しない飼料生産へと向かうことを期待する。

第VI章 総括

サツマイモ塊根を家畜の飼料として活用するために、低コストで省工程、高品質に加工するための天日乾燥飼料化技術と補助的乾燥手段について検討した。

慣行法として乾燥サツマイモを豚に給与することが行われていたが、飼料調製自体が多労で、多頭飼育には不向きなことから、一部を除き廃れてしまった。そこで、農業用プラスチックハウス内での天日乾燥による乾燥サツマイモの調製条件を捉えるために実験したところ、サツマイモの細切形状は千切りが適切で、コンテナ箱内容量の30%を積載して多段式に設置する方法が有効であることがわかった。これにより晴天日を含む秋冬期間の7～8日で、初期含水率70% w.b.から乾燥含水率8% w.b.まで乾燥することが可能であることを示した。また、一旦、コンテナ箱を多段式に設置すれば、乾燥期間中の操作は不要であるため省力的で、作業時間は生いも1t当たり14.3時間と試算された。乾燥サツマイモの飼料としての品質も標準的であった。したがって、サツマイモの収穫が終了した後の秋冬期間に、有効利用されない廃棄いも等を飼料用にハウス内で乾燥調製できる可能性が明らかにされた。

次に天日乾燥で乾燥できない状況を考慮し、補助的に加熱乾燥を行う場合の乾燥条件と乾燥方法を検討した。サツマイモの千切り形状での加熱通風乾燥では恒率乾燥期間があることがわかり、短時間で乾燥できる送風量は $0.015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{kg}(\text{水})$ が適した。また、こ

の送風量においては送風温度が高いほど早く乾燥した。材料中に含まれるアントシアニン（紫色素）の損耗を抑制することとデンプンを糊化させない品温を保つため、送風温度は 60℃が適した。さらに、材料の品温上昇が緩慢な乾燥初期において送風温度 80℃から開始し、短時間で品温を上げ、段階的に送風温度を降下させて送風温度 55℃で終了する降温操作が有効であった。これらの知見をもとに農産物加工施設における乾燥処理工程を提案した。

さらに、食品残さ等を原材料としたエコフィードの製造方法の一つである油温減圧乾燥法を用いて、サツマイモでの適用の可否を見いだすためにバッチ式装置で実験を行った。材料の生いも 50kg の乾燥所要時間は 40 分で、材料含水率 66.5 % w.b.、製品含水率 3.3 % w.b.であったので、時間当たり乾減率は 94.8 % w.b./時とほかの乾燥方法に比べて大きいことがわかった。油温減圧乾燥製品には粗脂肪が多く含まれ、天日乾燥したものは粗脂肪が 0.4 %であるのに対し、油温減圧乾燥では 7.0 %と 10 倍以上の値を示した。通常は乾燥製品は粉碎され、粗い粒状形態となり、飼料の配合材として利用されている。したがって、単体で利用することは例外的であり、ほかの飼料と混ぜて給餌する方法が現実的であるので、優良な飼料素材の一つとして位置付けられた。

本論文で供試したサツマイモは、飼料原料としては成分的にも優れており、いずれの乾燥加工手法を用いてもその製品は適当な甘さを持ち、豚の嗜好性も良好であったことから九州南部地域での利用拡大が期待される。

以上要するに，本研究においてサツマイモの細切形状での天日乾燥，加熱乾燥条件と実用的乾燥方法およびサツマイモの油温減圧乾燥への適用が明らかになり，サツマイモの飼料化調製技術が進展した．

謝 辞

本研究は 1994 ～ 1997 年，2009 ～ 2011 年にかけて九州沖縄農業研究センター都城研究拠点において行った一連の研究をとりまとめたものである。

本研究を遂行するにあたり，九州大学大学院農学研究院中司敬教授には，多くの貴重なご助言と温かいご支援を賜った。心から感謝申し上げます。また，九州大学大学院農学研究院内野敏剛教授ならびに，井上英二教授には論文作成に当たり多大なるご激励とご鞭撻を賜った。

本研究において，共同研究者として中央農業総合研究センター薬師堂謙一上席研究員，細川寿水田利用研究領域長ならびに，九州沖縄農業研究センター渡辺輝夫主任研究員には懇切丁寧なご助言をいただいた。実験実施にあたっては，九州沖縄農業研究センター業務第 3 科本村正光技術専門職員，畠中幸一技術専門職員，吉留克彦技術専門職員，三池徳近技術専門職員のご協力をいただいた。さらに元九州沖縄農業研究センター澤村宣志畑作研究部長ならびに，九州沖縄農業研究センター富樫辰志畑作研究領域長には，本研究の推進にあたり様々なご援助をいただいた。心より感謝の意を表する。

文 献

- 有元暢紀. 2010. リキッド式エコフィード給与による資源循環システムの成立要件. 共済総合研究. 58 : 75-102.
- Clapp, C.E., S.A. Stark D.E. Clay, and W.E. Larson. 1986. Sewage sludge organic matter and soil properties. P.209-253. In Y. Chen and Y. Avnimelech (ed.) The role of organic matter in modern agriculture. Developments in plant and soil sciences. Martinus Nijhoff Publ., Dordrecht, the Netherlands.
- Ekwue, E.I., and R.J. Stone. 1997. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. Transaction of the ASAE 40: 317-323.
- 江間三恵子. 2008. 乾燥食品の文化と変遷. p.76-79. 五月書房. 東京.
- 配合飼料供給安定機構・日本食肉消費総合センター. 2010. リサイクル飼料利用畜産物の評価調査の成績
- ヘンダーソン・ペリー. 1972. 農業プロセス工学. p.250-266. 東京大学出版会. 東京.
- Hong-Wei Xiao et.. 2009. Effects of Different Pretreatment on Drying Kinetics and Quality of Sweet Potato Bars Undergoing Air Impingement Drying. International Journal of Food Engineering. 5(5):19.
- 兵頭 勲. 2009. 豚の飼料としてのサツマイモ. サツマイモ事典. p.318-319. 全国農村教育協会. 東京.
- 藤田重文. 1967. 化学工学 I (岩波全書 216). p.224-242. 岩波書

店．東京．

深澤秀夫・薬師堂謙一・細川 寿．1997．細切カンショの乾燥特性．九州農業研究．59：144．

深澤秀夫・薬師堂謙一・細川 寿・奥村晃美・渡辺輝夫．1998．加工用有色カンショの高品質保持乾燥技術．平成9年度総合農業研究成果情報．290-291．

深澤秀夫．1998．Present Status and Future Trends of Mechanized Farming for Sweetpotato．甘しょの21世紀型生産システムの技術開発戦略に関する国際ワークショップ報告書：225-230．

深澤秀夫・薬師堂謙一・細川 寿．1998．回転通気式乾燥機による細切カンショの乾燥方法．九州農業研究．60：143．

深澤秀夫・山川 理．2000．蒸切干し甘藷の製造方法．特許3066492．

深澤秀夫・渡辺輝夫・奥村晃美・細川 寿・岩瀬政雄・岩瀬幸雄．2001．甘藷切断装置．特許公開2001-170887．

深澤秀夫・薬師堂謙一・細川 寿・渡辺輝夫・中司 敬．2012．有色サツマイモの乾燥技術の開発．農作業研究．47(1)：印刷中．

深澤秀夫・中司 敬．2012．サツマイモの天日乾燥技術の可能性．農業生産技術管理学会誌．18(4)：159-166．

勝俣昌也．2009．未利用カンショを活用した高品質豚肉生産技術．畜産草地研究所ニュース．29：4．

川井田博・実吉弘文・福本守衛・安田三郎・湯之口幸一．1983．甘しょ等の飼料価値向上に関する研究．鹿児島畜試研究報告．

15 : 177-187.

金城鉄男． 2009． 沖縄甘藷ものがたり． p.40． 農山漁村文化協会．
東京．

Kozempel, M.F. et. 1986. Drum Drying Potato Flakes - a predictive
Model. *Lebensm Wiss Technol Food Sci Technol.* 19(3):193-197.

Lindsay, B.J., and T.J. Logan. 1998. Field response of soil physical
properties to sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 27: 534-542.

Matsui, S., H. Yabushita, M. Shima, and H. Yamada. 1996. A study on the
extraction and removal of trace hazardous substances in the sewage
sludge processed with edible oil. *Gesuido Kyokaishi (J. of Japan
Sewage Works Association.* 34; *Research Journal.* 17): 53-62.

都城市農業委員会． 2011． 平成 23 年度標準農作業料金及び賃金
表． J A 都城広報誌まど． 429 : 3.

村田 敏・小出章二・宮内樹代史． 1993． 千切大根の乾燥特性．
農業機械学会誌. 55(4) : 83-89.

村田 敏・田中史彦・アマラトウンガ． 1994． 馬鈴薯の乾燥特性
の研究（第 1 報）． *農業機械学会誌.* 56(4) : 45-52.

Mussagy, M.D., L.O.Sanni, O.O.Onadipe, P.Ilona, and A.G.O.Dixon. 2009.
Viability of commercializing cassava in districts covered by the
Common Fund for Commodities in West Africa. 20pp. International
Institute of Tropical Agriculture. Ibadan, Nigeria.

中司 敬． 2011． 地域資源と地場技術による資源循環型バイオマ
ス・プロジェクト． 産業技術総合研究所・九州大学バイオマス
セミナー．

- Nakazono, S. 1998. Technology development for recycle of municipal waste processed using dehydration system with heated oil under decomposition. Proceedings of the 9th Annual Conference of the Japan Society of Waste Management Experts. P.366-369.
- Nakazono, S., E. Nakazono, N. Tokutome, K. Nakaji, K. Okano, S. Yamanaka, J. Chikushi, and M. Ohtsubo. 1999. Drying of sewage sludge by using wasted edible oil under heating and decompression. Geoenvironmental Engineering Ground Contamination: Pollutant Management and Remediation. P.551-558. Thomas Telford Ltd. London, England.
- 野田高弘. 2001. サツマイモ澱粉特性と品種ならびに栽培環境要因に関する研究. 日本応用糖質科学会誌. 48(2) : 233-238.
- 野本寛一. 2005. 栃と餅. p.137-142. 岩波書店. 東京.
- 農業機械学会. 1987. 農産物の測定と計測方法の基準化に関する総合的研究. p.105.
- 農林水産省. 2009. エコフィールド推進のための平成 20 年度取組実績. 農林水産省. 東京.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2010. 平成 21 年度産かんしょの作付面積及び収穫量. 農林水産省ホームページ (PDF 版).
- 農林水産省大臣官房統計部. 2006. ポケット農林水産統計平成 18 年版. p.255. 農林統計協会. 東京.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2007. ポケット農林水産統計平成 19 年版. 農林統計協会. 東京.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2008. ポケット農林水産統計平成 20

- 年版．農林統計協会．東京．
- 農林水産省大臣官房統計部．2009．ポケット農林水産統計平成 21 年版．農林統計協会．東京．
- 農林水産省大臣官房統計部．2010．ポケット農林水産統計平成 22 年版．p.206．農林統計協会．東京．
- 奥村晃美・深澤秀夫・渡辺輝夫．1999．白色カンショパウダー加工における乾燥条件と品質について．九州農業研究．61：150．
- 奥村晃美・顧 炯炎・深澤秀夫．2004．ドラムドライヤによるサツマイモ茎葉ペーストの乾燥．九州農業研究．66：160．
- 奥村晃美・顧 炯炎・深澤秀夫・吉元 誠・高垣欣也・森 貞夫．2005．甘藷茎葉処理物の製造方法．特許公開 2005-278596．
- Opara, L.U. 1999. Cassava Storage. CIGR Handbook of Agricultural Engineering Vol.IV.157-182. ASAE.MI, USA.
- 折笠貴寛・田川彰男・相馬真哉・飯本光雄・小川幸春．2005．青果物の熱風乾燥特性と硬化．農業機械学会誌．67(6)：62-70．
- 小竹欣之輔・室井てる子．1994．山川紫（紫甘しょ）の食用色素としての品種改良．FFI ジャーナル．161：36-44．
- Pheneas Ntawuruhunga. 2010. Strategies, choices, and program priorities for the Eastern Africa Root Crops Research Network. 57pp. International Institute of Tropical Agriculture. Ibadan, Nigeria.
- Pheneas Ntawuruhunga and Joseph Okidi. 2010. Eastern Africa Root Crops Research Network Legacy. 46pp. International Institute of Tropical Agriculture. Ibadan, Nigeria.
- 佐久間和夫．2002．植物葉乾燥粉末の大量生産方法とその産物．

- 特許公開 2002-205952.
- Shaw, R.. 1981. Solar drying potatoes. Appropriate technology. Appropriate Technol. 7(4):26-27.
- 島袋正敏. 1989. 沖縄の豚と山羊. p.41. ひるぎ社. 那覇.
- 篠原 久・和田正雄. 1955. 芋類の乾燥について. 化学工学. 19 (11) : 568-573.
- 篠原 久・今坂正典. 1966. 回転乾燥装置. 乾燥装置. p.203-204. 日刊工業新聞社. 東京.
- 祐森誠司. 2004. 動物の飼料. p.103. 文永堂出版. 東京.
- 鈴木貞美. 2009. サツマイモの流通・加工・利用. サツマイモ事典. p.215. 全国農村教育協会. 東京.
- 田部要市・佐藤充弘. 1998. 草花の乾燥装置. 実用新案 3050964.
- 寺原典彦・沖 智之・松井利郎・福井敬一・杉田浩一・松本 清・須田郁夫. 2007. 紫甘しょに含まれる主要アントシアニンの一斉定量. 日本食品科学工学会誌. 54(1) : 33-38.
- 富田裕一郎・楠元薩男・宮内泰千代・恒吉利彦・原田満弘・黒江秀雄. 1980. 甘藷等の乾燥化による飼料価値向上に関する試験. 鹿児島畜試研究報告. 12 : 75-93, 114-128.
- 富田裕一郎・折田安行・恒吉利彦・原田満弘・黒江秀雄. 1981. 甘藷等の乾燥化による飼料価値向上に関する試験. 鹿児島畜試研究報告. 13 : 99-106.
- 桐栄良三. 1966. 乾燥装置設計の基礎. 乾燥装置. p.12-27. 日刊工業新聞社. 東京.
- 月川雅夫・井上寿子・大坪藤代・片寄真木子・栗木千代香. 1985.

- 聞き書 長崎の食事．農山漁村文化協会．東京．
- 津久井亜紀夫・林 一也．2000．アントシアニンの原料および食品加工利用．アントシアニン．p.58-59．建帛社．東京．
- 渡辺輝夫．1995．プラスチックハウス乾燥方式．畜産環境対策大事典．p.217-225．農山漁村文化協会．東京．
- 薬師堂謙一・深澤秀夫・細川 寿・山川 理．1998．甘藷の乾燥方法．特許 2866918．
- 山川 理・吉永 優・日高 操・熊谷 亨・小巻克巳．1997．カンショ新品種”アヤムラサキ”の育成．九州農業試験場報告．31：1-22．
- 山下 恵・吉田英和．1996．降温装置付き多段式バンド乾燥機．特許公開平 8-14752．