遠赤外線プレートヒーターを用いたドライフード作り

長野工業高等専門学校　機械工学科
石野雄也，北村陽平，山本紘太，山﨑俊紀

1.　はじめに

近年の健康ブームを反映し，フルーツグラノーラや野菜グラノーラなどの乾燥食品が数多く市販されている．これらは，気軽に食べることができ非常食としても利用できる便利な食品である．

また，バナナやりんごなどの果物を乾燥させたチップ菓子や乾燥させたイチゴやさくらんぼに砂糖を付けた菓子も市販されている．乾燥させたバナナは β カロテンが増大し老化防止や美肌に効果的であり，また食物繊維が豊富になるので便秘解消にも効くようである[(1)]。そのほか表 1[(2)]に示すように乾燥食品には健康に対して多くの効能がある．

ところで，このような乾燥食品を自宅で作る装置はすでに市販されているが，もう少し簡単な方法で乾燥食品を作ることができれば便利と思われる．たとえば，ホットプレートを利用して乾燥食品を作るような装置ができないものかと考えた．

そこで，本報告ではホットプレートの代わりに遠赤外線プレートヒーターを用いて食品を乾燥させ，各種食品の乾燥に関する基礎資料を得ることにした．

表１　乾燥食品の効能

生活習慣病(成人病)関係	
高血圧	いちじく、さんざし、松の実、くるみ、クコの実、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、バナナ、キウイ、ひまわりの種、ドライ納豆、りんご、竹炭豆、トマト、ゴーヤー茶、ゴーヤチップス、ジャイアントコーン、黒豆、バナナチップス、蓮の実甘納豆、メロン，ピスタチオ、桃、ココナッツ、干し柿
動脈硬化	ブルーベリー、松の実、くるみ、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、ひまわりの種、ドライ納豆、りんご、竹炭豆、トマト、ゴーヤー茶、ゴーヤチップス、ジャイアントコーン、黒豆、蓮の実甘納豆、メロン、ピスタチオ、桃、干し柿
糖尿病	プルーン、あんず、かぼちゃの種、ひまわりの種、マンゴー、ゴーヤー茶、ゴーヤチップス、黒豆、干し柿
ガン	ブルーベリー、プルーン、いちじく、パパイヤ、パイナップル、マンゴー、さんざし、なつめ、クランベリー、バナナ、さくらんぼ、レーズン
脳卒中	ブルーベリー、松の実、くるみ、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、黒豆、ひまわりの種、さくらんぼ、ドライ納豆、りんご、竹炭豆、トマト、ゴーヤー茶、ゴーヤチップス、ジャイアントコーン、ピスタチオ、桃
心臓疾患	松の実、くるみ、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、ひまわりの種、さくらんぼ、ドライ納豆、竹炭豆、ピスタチオ、ココナッツ
コレステロール	いちじく、松の実、くるみ、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、ひまわりの種、ドライ納豆、りんご、竹炭豆、ゴーヤー茶、ゴーヤチップス、ジャイアントコーン、黒豆、メロン、ピスタチオ、干し柿
呼吸器関係	
喉痛	いちじく、キンカン、しょうが糖、キウイ、ラフランス、エキナセア、黒豆、蓮の実甘納豆、メロン、ハイビスカス
風邪	キンカン、しょうが糖、なつめ、キウイ、ラフランス、エキナセア、黒豆、蓮の実甘納豆、メロン、凍頂烏龍茶、ハイビスカス

咳	キンカン、しょうが糖、なつめ、キウイ、ラフランス、エキナセア、黒豆、蓮の実甘納豆、メロン、凍頂烏龍茶、ハイビスカス
喘息	パイナップル、松の実、エキナセア
痰	キンカン、しょうが糖、エキナセア
声がれ	キンカン、しょうが糖、エキナセア
内臓関係	
消化不良	パイナップル、マンゴー、パパイヤ、しょうが糖、干し梅、キウイ、ラフランス、りんご、竹炭豆、トマト、桃、干し柿、ハイビスカス
胃弱	いちじく、キンカン、さんざし、しょうが糖、干し梅、トマト、桃、干し柿、ハイビスカス
胃潰瘍	ブルーベリー、トマト
便秘・下痢・痔	ブルーベリー、プルーン、いちじく、あんず、パパイヤ、パイナップル、マンゴー、干し梅、いちご、クランベリー、バナナ、キウイ、さくらんぼ、レーズン、ラフランス、ドライ納豆、竹炭豆、ローズヒップ、ラズベリー、バナナチップス、蓮の実甘納豆、桃，干し柿、ハイビスカス
肝臓疾患	プルーン、いちじく、クコの実、レーズン、ローズヒップ、トマト、ハイビスカス
むくみ	あんず、桃、ココナッツ、ハイビスカス
ホルモン・代謝関係	
疲労	プルーン、あんず、パイナップル、松の実、くるみ、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、干し梅、キウイ、ひまわりの種、さくらんぼ、レーズン、ラフランス、ローズヒップ、ゴーヤー茶、ゴーヤチップス、ジャイアントコーン、ピスタチオ、ココナッツ干し柿、ハイビスカス
冷え性	松の実、あんず、しょうが糖、ドライ納豆、竹炭豆
リウマチ・神経痛	松の実、くるみ、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、ひまわりの種、さくらんぼ、ドライ納豆、りんご、ピスタチオ
精力減退	松の実、いちじく
月経前症候群	ブルーベリー、プルーン、いちじく、さくらんぼ、ローズヒップ
更年期障害	いちじく、松の実、くるみ、かぼちゃの種、アーモンド、カシューナッツ、ひまわりの種，竹炭豆、ピスタチオ
その他	
眼精疲労・視力低下	ブルーベリー、クコの実、キウイ、さくらんぼ、ローズヒップ
美肌	ブルーベリー、プルーン、あんず、パパイヤ、干し梅、桃、バナナ、キウイ、ローズヒップ、トマト、エキナセア、ラズベリー、バナナチップス、蓮の実甘納豆、メロン、桃、干し柿、ハイビスカス
感染症	ブルーベリー、いちじく、エキナセア
貧血	プルーン、いちじく、なつめ、さくらんぼ、レーズン、ココナッツ
粘膜力低下	プルーン、キンカン
骨粗しょう症	プルーン、パイナップル、マンゴー
膀胱機能障害	かぼちゃの種、クランベリー、エキナセア、ハイビスカス

２　実験装置

2-1　実験装置の基本構成

食品の乾燥には遠赤外線プレートヒーター（八光電機製，W200×L200　100V　340W　特注品）の熱を利用する．その熱を利用しアルミニウム製の円筒内の温度を上昇させ，円筒内に置いた食品を乾燥させる方法で行う．円筒内の温度を上昇させる方法について 6 種類検討したが，その基本構成は図 1 のとおりである.遠赤外線プレートヒーターの表面温度をほぼ一定にするために，温度コントローラー（八光電機製，FINE　THERMO　DG2-100）を用いた．温度コントローラーはプレートヒーター表面の中央部に貼り付けた直径約 2mm のクロメル･アルメル（K 型）熱電対に接続されている．熱電対温度が設定値を超えるとヒーターへの供給電力が Off になり，ヒーターの温度が低下する．また，その温度が温度コントローラーの設定値を下回ると供給電力が On になり,ヒーターの温度が上昇する．その結果，ヒーターの表面温度がある値以内で制御される．

このヒーターの上に直径約 160mm，高さ 190mm，厚さ 2mm のアルミニウム製円筒を置く．アルミニウム製円筒の下端から高さ 70mm の位置に設置したネジの上にステンレス鋼製のふるいを置き，その上に乾燥対象の食品を置いた.

ヒーター表面温度と円筒内の食品下側（ふるい付近）の温度の時間変化を測定するため，直径 0.2mm の銅・コンスタンタン熱電対（T 型）を，ヒーター表面のほぼ中央部およびアルミニウム製の円筒のほぼ中央部のふるいの下面から数 mm の位置にそれぞれ設置した．それらの出力をデーターロガー（キーエンス製，NR-TH008）を介し，パソコンに記録した．サンプリング間隔は，5 秒または 1 秒間とし，最大 9 時間ほどのデーターを保存した.

果物を乾燥させる際,ビタミンや酵素を壊さないためには，40～50℃で乾燥することが望ましいようである[(3)]．そのため円筒内の空気の温度は，最大で 50℃程度になる条件を検討することにした.

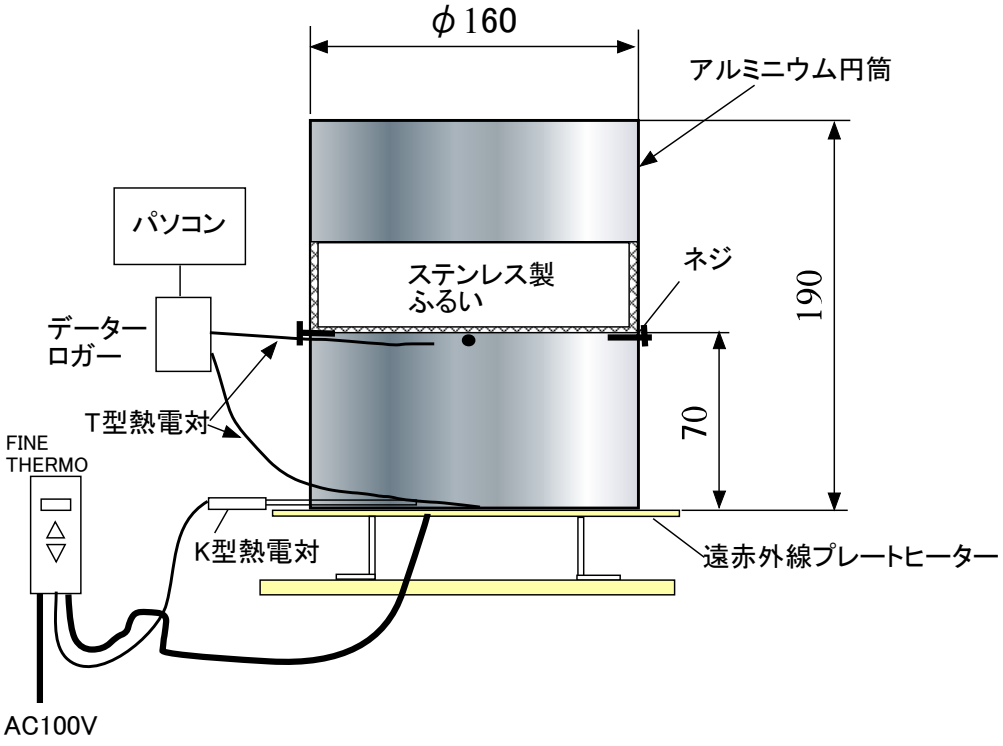


図１　実験装置の基本構成

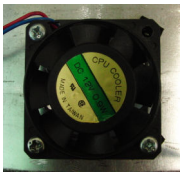
2-2　予備実験装置および実験方法

図 1 に示した実験装置の基本構成のもとで，図 2～図 7 に示す実験装置で予備実験を行い食品の乾燥時間を比較し，その結果に基づき本実験を行った．装置の違いを以下に示す.

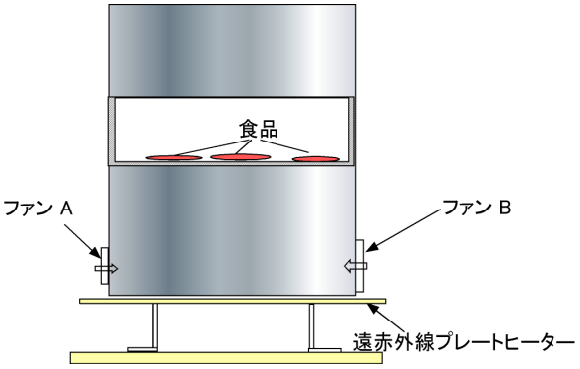
(1)　実験装置 A

図 2 に実験装置 A を示す.アルミニウム製円筒の側面下部に 2 種類のファン（図中のファン A,B）を取り付け，そのファンを定格電圧 12V で作動させ，外部から空気を取り込むことによって，ヒーターの熱を円筒内に伝えるようにした.温度コントローラーの設定温度は 50℃である．

この装置での実験結果を実験条件 A とする．



ファン A



ファン B

図２　実験装置 A（円筒側面にファン設置）

(2)　実験装置 B

図 3 に実験装置 B を示す.ファン A のみ 12V で作動し，ファン B は無作動とした.

ヒーターの中央部に正方形の一辺約 50mm，厚さ 3mm のアルミニウム板を二枚重ねその上にヒートシンク（intel　RTS2011AC）のみを置き，ヒーターの熱をヒートシンクに伝えるようにした．ヒートシンク用ファンは取り外し，ファン A からの流れによってヒートシンクの熱を円筒内に伝えるようにした.この場合の温度コントローラーの設定温度は 75℃である．

この装置での実験結果を実験条件 B とする．

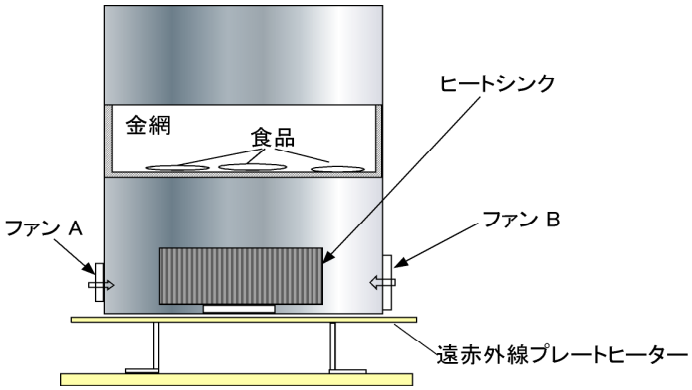


図３　実験装置 B　（ヒートシンク，側面ファン設置）

(3) 実験装置 C

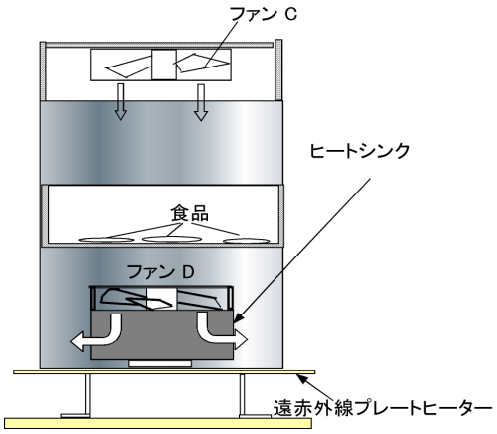
図 4 に実験装置 C を示す.図 3 と同じようにヒーターの中央部にヒートシンクを設置し, ヒートシンクに取り付けたファン D を 12V で作動させた.また，円筒の上側（食品の上側）にファン C（DATECH 製　9232-12HBTL-2）を取り付け下向きの流れを生じさせた．この場合の温度コントローラーの設定温度は 60℃である．

この装置での実験結果を実験条件 C とする．

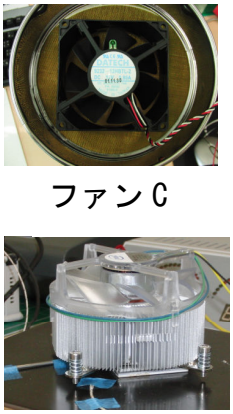
(4) 実験装置 D

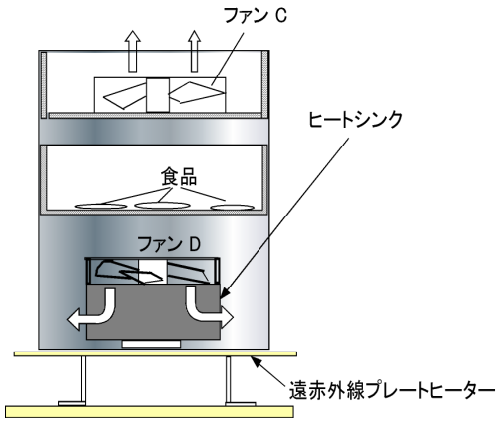
図 5 に実験装置 D を示す.図 4 との違いは, 円筒の上側に取り付けたファン C を逆向きにし，上向きの流れを生じさせたことである．この場合の温度コントローラーの設定温度は 60℃である．

この装置での実験結果を実験条件 D とする．

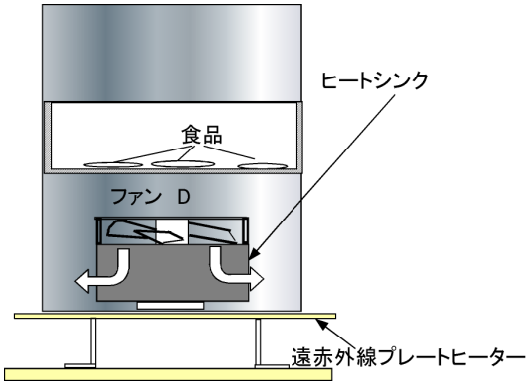


ファン C を下方向に送風
図４　実験装置 C

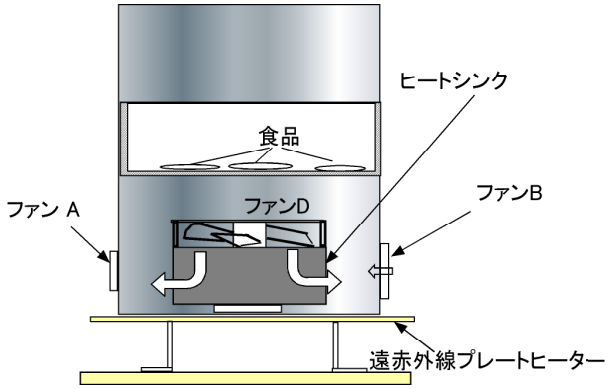




ファン C を上方向に送風
図５　実験装置 D



（ヒートシンク（ファン使用））
図６　実験装置 E



（ヒートシンク（ファン使用），ファン B 使用）
図７　実験装置 F

(5)　実験装置 E

図 6 に実験装置 E を示す.図 4, 5 との違いは円筒の上側にファン C を設置していない点である．ヒートシンクに設置したファン D の作動電圧と温度コントローラー設定温度を変えた場合の乾燥時間の相違を検討した. ファン D の作動電圧と温度コントローラー設定温度の実験条件は，（8V,70℃）,（10V,70℃）,（12V，50℃）,（12V,60℃），（12V，70℃）の 5 種類である.

なお, ヒートシンク（intel 製　RTS2011AC）のファンが破損した後は, ヒートシンク（intel 製　X Dream P775 (RR-LIE-L9E1-GP)）において，ファン D の作動電圧と温度コントローラー設定温度の実験条件を（12V，60℃）,（12V,65℃），（12V,70℃）にして，追加実験を行った.

この装置での実験結果を実験条件 E とする.

(6)　実験装置 F

図 7 に実験装置 F を示す.この場合には，ヒートシンク用ファン D を 12V で作動させながら，さらに円筒下部に取り付けたファン B を作動させた．温度コントローラー設定温度は 60℃と 75℃の 2 種類である.

この装置での実験結果を実験条件 F とする.

以上の条件をまとめて表 2 に示す.

予備実験に用いた食品はすべて厚さ約 5mm に切ったパイナップル片である．市販品（KI-10071　マリン商事)で作った乾燥果物の乾燥後の重さを検討し，乾燥の目安としては乾燥前のパイナップルの重さ Mo に対する乾燥後の重さ m との比を $m/Mo=0.2$ とした．この比にいたるまでの乾燥時間を検討することにした.

乾燥前にパイナップル片の総重量を最小目盛 0.01g のはかり（AND 製　HL-100）で測定し，乾燥開始から 1～2 時間の間隔をあけて，パイナップルの総重量を測定した.

時間に対する m/Mo 値変化が小さく，$m/Mo=0.2$ になるのに 10 時間以上を要する可能性がある実験条件については数時間以内で実験を打ち切った場合もある.

表２　予備実験項目

実験条件	ヒートシンク	ヒートシンクのファンD	ファンA	ファンB	ファンC	温度コントローラー設定温度
A	無	無	作動電圧（12V）	作動電圧（12V）	無	50℃
B	有	無	作動電圧（12V）	未使用	無	75℃
C	有	有 作動電圧（12V）	無	無	有（下向き） 作動電圧（12V）	60℃
D	有	有 作動電圧（12V）	無	無	有（上向き） 作動電圧（12V）	60℃
E	有	有 作動電圧（8，10，12V）	無	無	無	50,60,65, 70℃,
F	有	有 作動電圧（12V）	無	作動電圧（12V）		60,75℃

3　予備実験結果

3-1　温度の時間変化

図 8 には，ヒーター表面温度と食品の下側の温度の時間変化を測定した結果を例示する.実験結果は条件 E の場合であり，温度コントローラーの設定温度を 50,60,70℃とした場合である.温度コントローラーに接続した熱電対の感温部は直径約 2mm であり，図に示したヒーターの表面温度は 0.2mm の T 型熱電対で測定した結果のため，温度コントローラーの設定温度よりモニターした温度は高くなっている.ヒーターの供給電力が On の時間は，測定時間の 25%～30%であるため，ヒーターの実際の消費電力は約 115Wh と見積られ，この値は市販品の消費電力の約半分である.

ヒーター表面が設定温度になった後は，食品下部の温度は比較的一定値となっている.先に述べたとおり，果物を乾燥させる際,ビタミンや酵素を壊さないためには，40～50℃で乾燥することが望ましいようである[(3)].予備実験では，温度コントローラーの設定温度を最高で 70℃程度までなら，食品付近で空気の温度は 50℃程度になることがわかった.

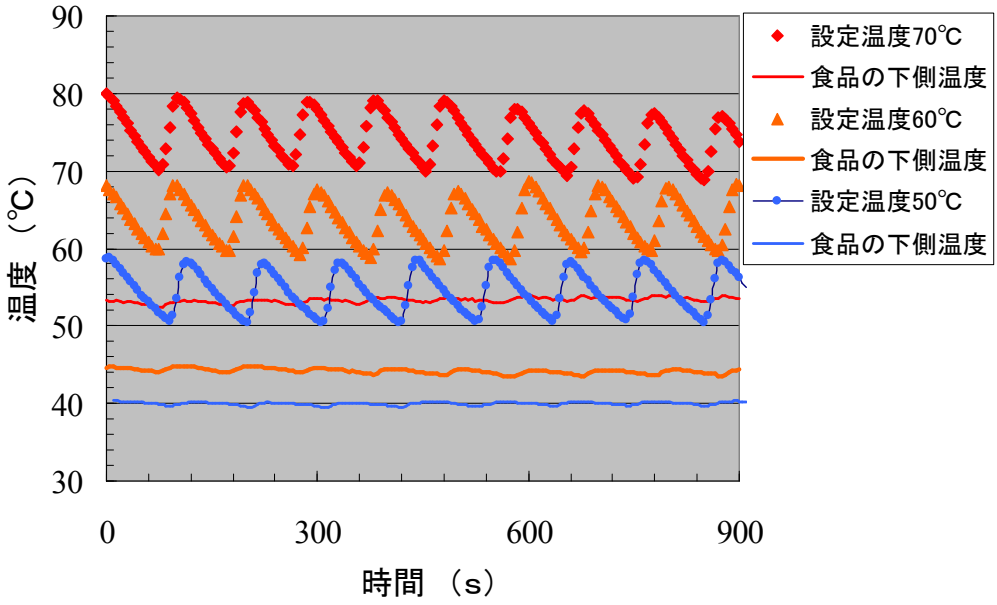


図 8　ヒーター表面と食品下側の温度変化

3-2　乾燥に伴うパイナップルの重さの時間変化

図 9 に実験条件 A～D において，乾燥前のパイナップルの重さ *Mo* に対する乾燥後の重さ *m* との比 *m/Mo* の時間変化を示す.ヒートシンクのファンを作動し，それに加えて円筒の上面から下向きに流れを生じさせた場合でも，*m/Mo*＝0.2 になるには 9 時間以上を要することがわかる．また，75℃に温度コントローラーの温度を設定し円筒側面から風を送った場合（条件 B）も，ほぼ同様に乾燥が進むことがわかる.

図 10 には実験条件 E で温度コントローラーの温度を 70℃に設定し,ヒートシンクに取り付けたファンの作動電圧を 8，10，12V にした場合の *m/Mo* 値の時間変化を示す.ファンの作動電圧を 10V および定格の 12V にすると，8 時間以内に *m/Mo* =0.2 まで達することがわかる．なお,この場合，食品下側の時間平均温度は 48～52℃であった.

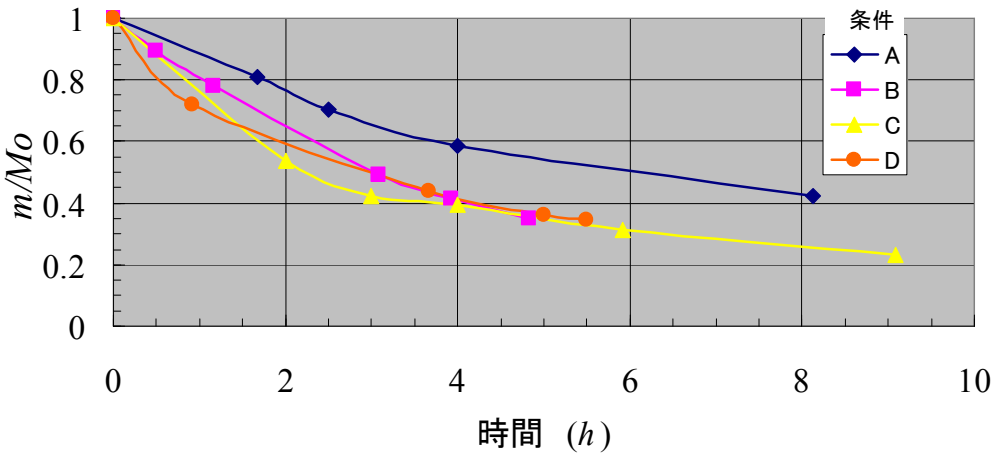


図９　実験条件による乾燥食品の重さの時間変化の違い（条件 A,B,C,D）

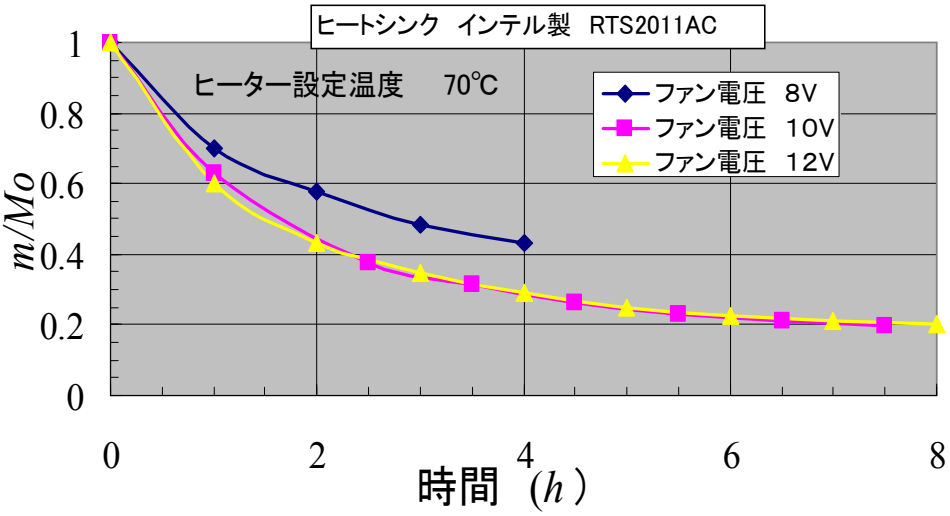


図 10　ヒートシンクのファン作動電圧による乾燥食品の重さの時間変化の違い（条件 E）

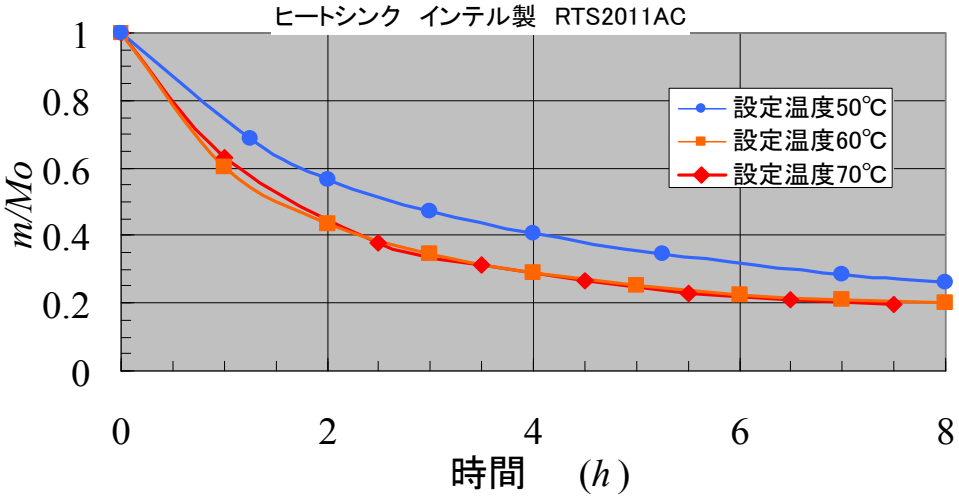


図 11　設定温度による乾燥食品の重さの時間変化の違い（条件 E）

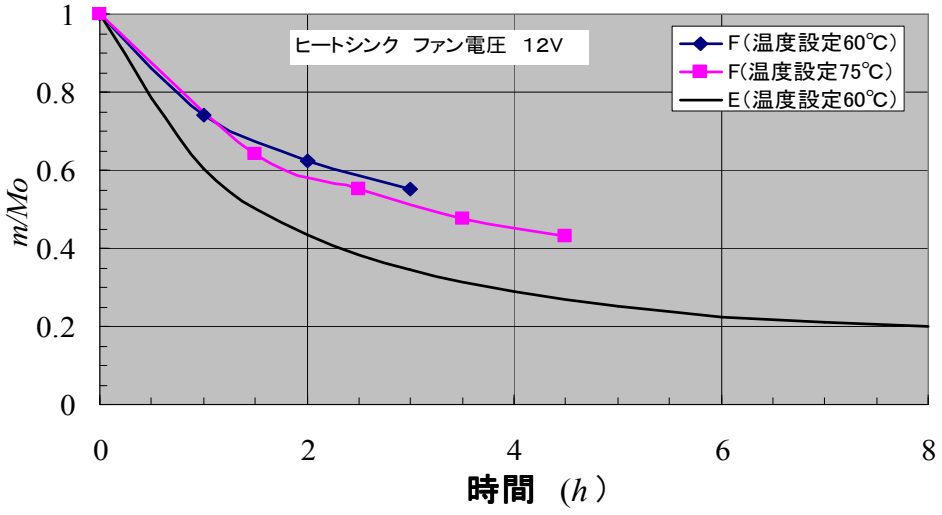


図 12　実験条件による乾燥食品の重さの時間変化の違い（条件 F）

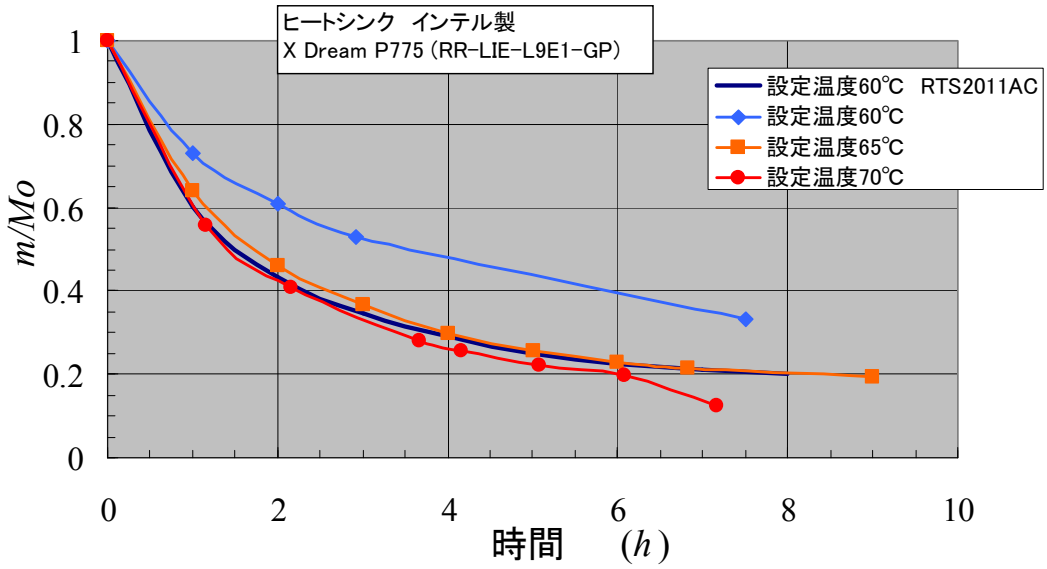


図 13　設定温度による乾燥食品の重さの時間変化の違い(条件 E)

図 11 には，ヒートシンクのファンを 12V で作動させ,温度コントローラーの温度を 50℃,60℃,70℃と 3 種類に変えた場合の *m/Mo* 値の時間変化を示す.温度を 60℃,70℃に設定すると 8 時間以内に *m/Mo*=0.2 まで乾燥することがわかる.

図 12 には，実験条件 F のヒートシンクのファンを 12V で作動させ，円筒の側面下部からファン B を作動させた場合の *m/Mo* 値の時間変化を示す.なお，図中実線は実験条件 E の設定温度 60℃の場合であり，比較のため図示した．側面からファンを作動させると，ヒートシンクのファンのみを作動させた場合より，かえって乾燥しにくくなっていることがわかる.これは,ファン B で外気の空気を取り込むことで，食品下側温度が 42℃以下に低下してしまうためと考えられる.

以上の予備実験から，実験条件 E のヒートシンクのファンを 12V で作動させ，温度コントローラーを 60℃に設定すれば消費電力が少ないうえ，乾燥時間が短いことがわかった.

なお，ヒートシンク RTS2011AC のファンが破損したため，代わりに購入したヒートシンク X Dream P775 では性能が異なる．図 13 のように設定温度が 60℃ではヒートシンク RTS2011AC の場合に比べ乾燥に要する時間が長くなり，設定温度が 65℃と 70℃ではほぼ RTS2011AC の場合と同様の *m/Mo* 値変化を示すことがわかった.

図 14 に示すようにヒートシンク RTS2011AC のほうが X Dream P775 よりフィン部が大きい．前者のフィン外形寸法が 96mm，フィン高さ 34mm に対し，後者のそれは，それぞれ 94mm,34mm であり，このことが性能の違いになっているようである.

そこで，以下の本実験では　ヒートシンク X Dream P775 のファンを 12V で作動させ，ヒーターの消費電力を小さくするため，温度コントローラーの設定温度は 65℃にした.

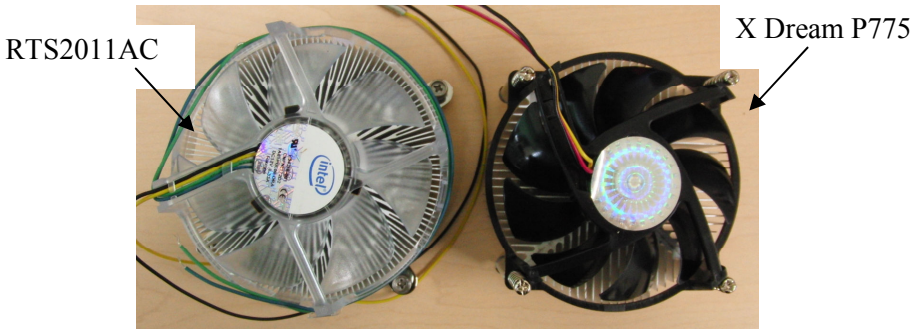


図 14　2 種類のヒートシンク

4　本実験結果

4-1　乾燥時間に伴う重さの変化

銅・コンスタンタン熱電対で測定したヒーター表面の時間平均温度は約 70℃であり，また食品下側の円筒のほぼ中央部の時間平均温度は 49℃～53℃であった．この時間平均温度のばらつきは室温の違いによるものと思われる．

図 15,16 は各種果物の乾燥時間に伴う *m/Mo* 値の変化を示す.図 15 の結果より，パイナップルは *m/Mo*=0.2 になるのに 7 時間～8 時間を要する．それに対しりんごはパイナップルに比べ乾燥がしやすく，約 4 時間で *m/Mo*=0.2 になる．縦に切ったプルーンは乾燥しにくく，輪切りにするとほぼパイナップルと同じ時間で乾燥が可能である．

また梨や柿はパイナップルとほぼ同様の *m/Mo* 値の変化を示すが，みかんやバナナは乾燥しにくく，12 時間以上要しても *m/Mo*=0.2 にならないことが推察される「図 16」．

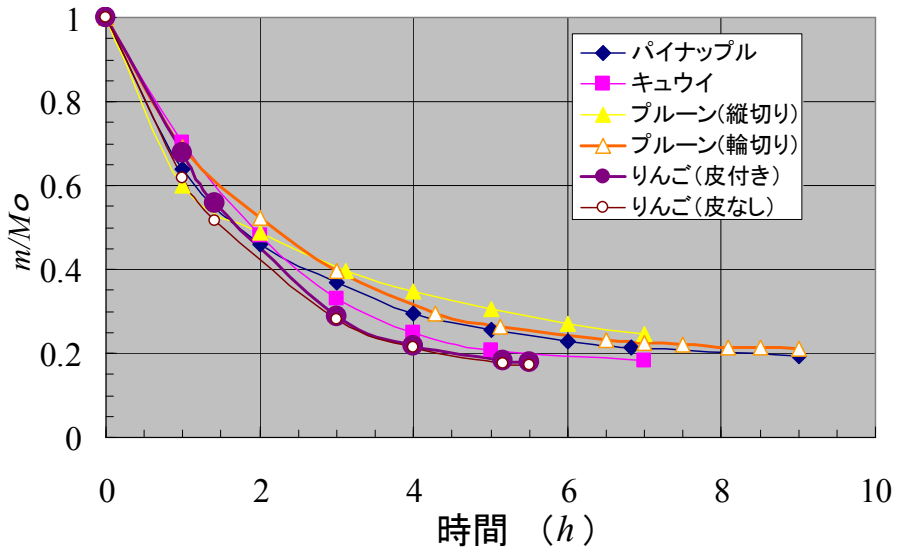


図 15　　各種果物の乾燥時間に伴う重さの変化

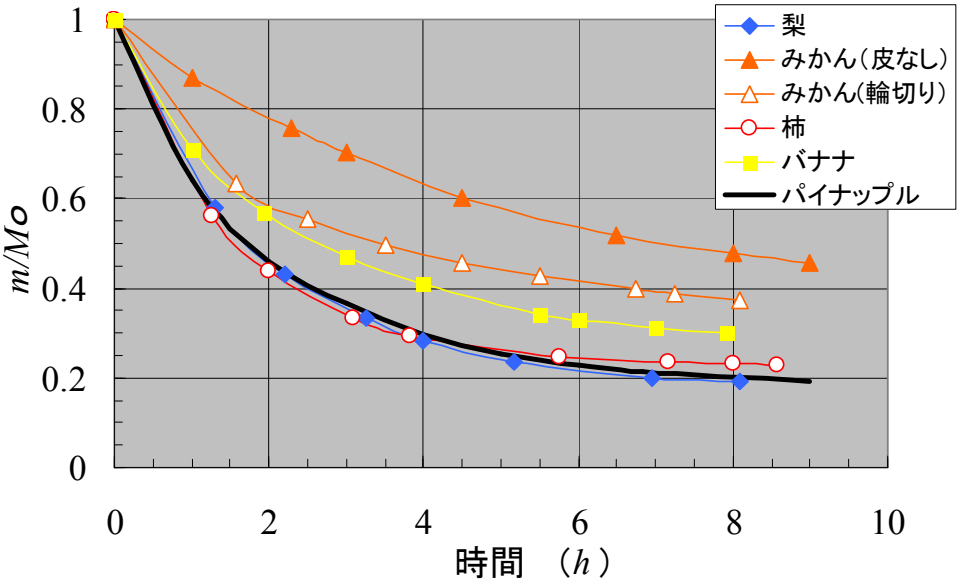


図 16　　各種果物の乾燥時間に伴う重さの変化

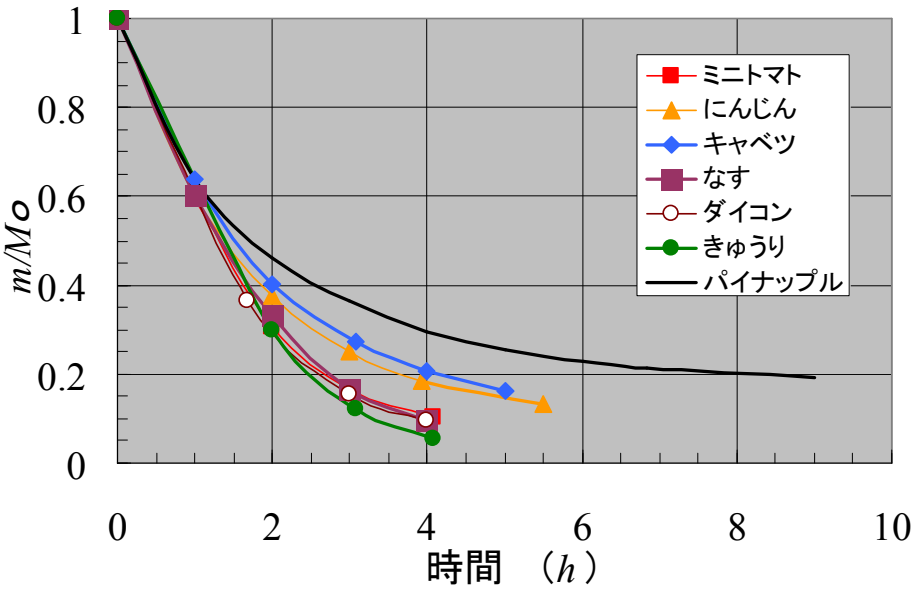


図 17　　各種野菜の乾燥時間に伴う重さの変化

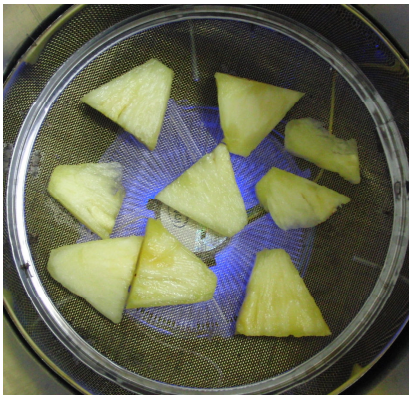
図 17 には，6 種類の野菜の乾燥に伴う m/Mo 値の変化を示す．果物に比べ野菜は水分を失いやすく乾燥が速く進むことがわかる.ダイコンやミニトマトは 3 時間ほどで m/Mo=0.2 になり，水分が失いやすい食品であることがわかる.

4-2　食品の乾燥前後の写真

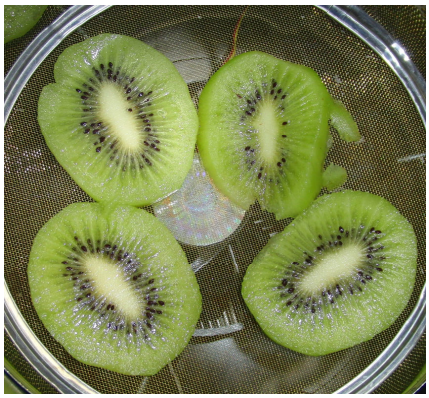
図 18 には実際に用いた果物と野菜の乾燥前後の様子を示す.

見栄えは悪いが乾燥後の味は，総じて甘さが強調され，素材そのものに多くの糖分が含まれていることをあらためて知らされた．実験結果にはないが，ぶどうは皮をとっても乾燥するのに多くの時間がかかり，干しぶどうのようなものを作ることは本装置では困難であったため結果から除外した.

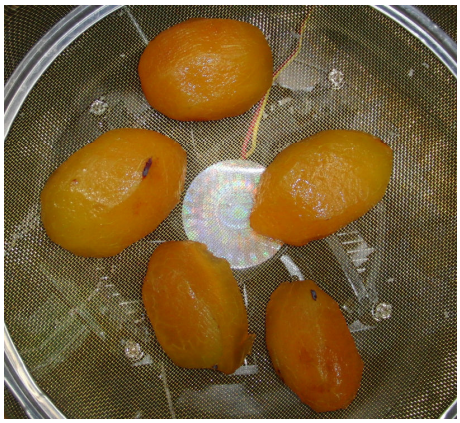
パイナップル

乾燥前	乾燥後
	

キュウイ

乾燥前	乾燥後
	

プルーン（たて切）

乾燥前	乾燥後
	

プルーン（輪切り）

乾燥前	乾燥後

りんご

乾燥前	乾燥後

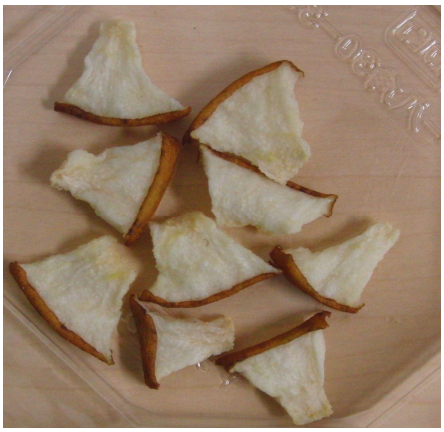
バナナ

乾燥前	乾燥後

梨

乾燥前

乾燥後



みかん（皮なし）

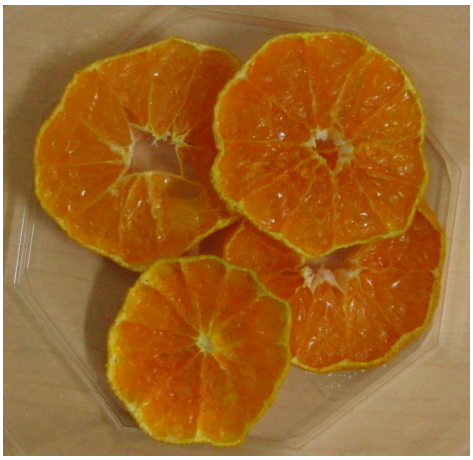
乾燥前

乾燥後

みかん（輪切り）

乾燥前

乾燥後



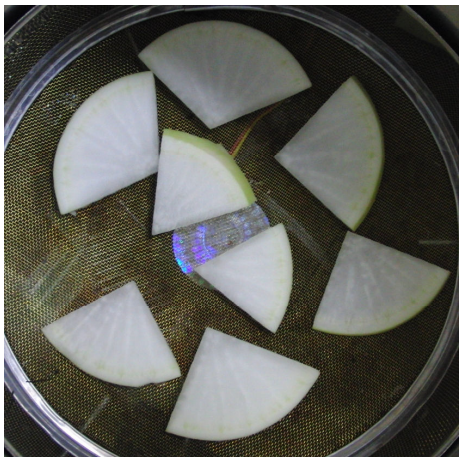
柿

乾燥前

乾燥後

ダイコン

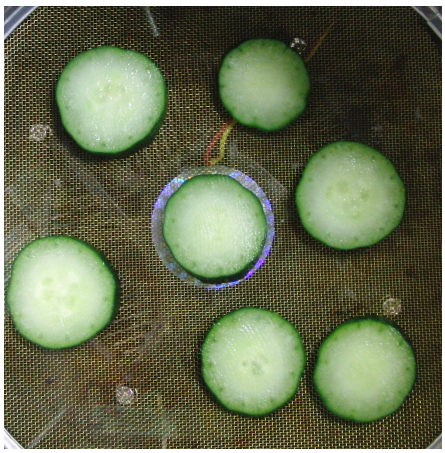
乾燥前



乾燥後

きゅうり

乾燥前



乾燥後

ミニトマト

乾燥前

乾燥後

にんじん

乾燥前

乾燥後

きゃべつ

乾燥前

乾燥後

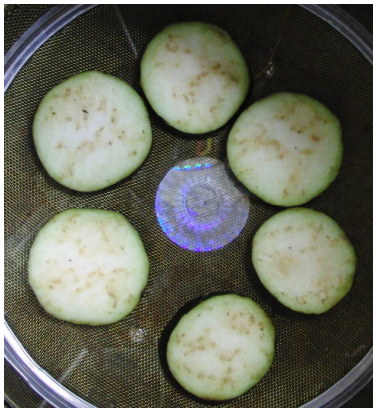
なす	
乾燥前	乾燥後
	

図 17　果物と野菜の乾燥前後の様子

5.　まとめ

8 種類の果物と 6 種類の野菜の乾燥特性を調べた結果，以下のことがわかった．

果物は種類によって乾燥時間に大きな違いが見られる．たとえば乾燥前の重さの 20%になる時間は，りんごは 4 時間ほどだがパイナップルは 7～8 時間を要する．

一方，野菜では乾燥前の重さの 20%になる時間が，3～4 時間であり，果物に比べ非常に短い．

課題

ヒーターの熱がヒートシンクに伝わりその熱を奪うことで円筒内に熱は伝わるものの，円筒内の風速は 0.1m/s 程度であった．約 50℃の空気流がもう少し高速で食品に衝突すれば，さらに短い時間で乾燥食品を作ることが可能と思われる．簡単な方法でより短い時間内で乾燥食品を作ることが今後の課題である．

参考資料

(1)　食材と健康効果　　http://yaplog.jp/topics463/archive/327
(2)　食品効能別一覧表　http://www.yamyamhompo.com/kono-p/kono.htm
(3)　低温乾燥のドライフルーツ　http://germanmed.exblog.jp/14608592/