

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：32658

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23780261

研究課題名（和文） 高品質で安全な農水産物の乾燥システムの構築

研究課題名（英文） Construction of high-quality and safe drying system for agricultural and marine products.

研究代表者

村松 良樹 (MURAMATU YOSHIKI)

東京農業大学・生物産業学部・准教授

研究者番号：60328549

研究成果の概要（和文）：低コストで安全と高品質を保持した農水産物の最適乾燥方法ならびに乾燥食品を確立・開発することを目的に、数種類の農水産物の基礎特性を様々な条件下で測定した。試料の乾燥特性は、熱風乾燥法、減圧乾燥法、マイクロ波加熱乾燥法などの乾燥方法を用いて測定した。最適な乾燥モデルを求めるとともに、乾燥方法および乾燥条件が試料の品質に及ぼす影響を調査した。また、熱物性値や密度、テクスチャーも測定した。

研究成果の概要（英文）：To establish the optimal drying method and drying condition, and to develop the high-quality and low-cost dried food, the basic some properties of several kinds of the agricultural and the marine products (beans, rice, scallop, etc.) were measured under various condition. The drying characteristics of the samples were measured at selected conditions. The samples were dried using various drying methods, for example, hot air drying, vacuum drying, and microwave drying method. We proposed the optimal drying model to estimate the drying characteristics for each sample. In addition, the effects of drying methods and drying conditions on the sample quality were investigated, and the optimum drying method and condition were proposed. The thermophysical properties (thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat), density, and texture of the samples were measured at several temperatures and moisture content. The transient heat flow probe method was used for the simultaneous estimation of the thermophysical properties of the sample. The effects of temperature on these properties of the sample were investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：ポストハーバスト工学

### 1. 研究開始当初の背景

イモやホタテ貝といった農水産物は北海道の主要産物で、これらの国産農水産物の高付加価値化は強く要望されている。また、これらを生産すると必ず規格外品や未成熟品、余剰産物等の問題が生じる。これら商品価値の乏しい農水産物はほとんど廃棄処分されているため、その有効利用対策は重要な課題である。このような問題を解決するためには、

適切な加工処理が必要である。

食品の貯蔵・保存を目的とした加工法の一つに乾燥があり、乾燥は古くから利用されている。乾燥方法は、食品の貯蔵安定性の向上を目的とした貯蔵乾燥法と乾燥により新しい食品を作り出すための加工乾燥法に大別されるが、近年、高付加価値化や地域活性化、資源の有効活用の観点から加工乾燥法が一層重要視されている。また、高齢化社会・個

食化といった食環境が大きく変化するなか、食への簡便性の要求は年々増加している。さらに近年の相次ぐ自然災害から、消費者の非常食・備蓄食に対する関心も益々高まってきている。このような状況のなか、乾物は、軽い、長期保存が可能である、電気やガスが遮断された状況においても調理できる、などの利点があるので、インスタント食品としての活用のみならず、災害対策用としての活用が見込まれる。

食品の乾燥方法は自然乾燥法と人工乾燥法に分けられる。人工乾燥法は多種多様であるが、最近では遠赤外線やマイクロ波といった電磁波を併用した乾燥法も採用されている。遠赤外線加熱乾燥法では、伝熱様式すなわち放射伝熱量の割合が、色彩(表面色)をはじめとした製品品質や成績に大きく関与しているため、伝熱様式・方法と乾燥特性および品質との関係を把握しておくことが必要である。現在、乾燥方法や操作法は現場の経験や勘のみによって選定される場合が多い。しかし、調理場から工場規模へのスケールアップを図る際やいつでも同じ品質を持った製品を効率よく且つ安全に製造するためのシステム化には、現場の経験や勘のみに頼ることはリスクが大きく、理論的考察やデータに基づいた根拠のある操作法の選定が有効となる。そのため、個々の農水産物に応じた最適な乾燥方法の構築や乾物を開発するために、乾燥特性を詳細に測定して理論的に把握し、乾燥方法と品質との関係を詳細に調べておく必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の最終目的は、経験や勘のみに頼ることなく、理論的考察やデータに基づいた、低コストで安全と高品質を保持した農水産物の最適乾燥方法ならびに乾燥食品(乾物)を開発することである。そのための基礎として、(1)農水産物を数種類の 방법으로乾燥させ、熱・水分移動機構を理論的に把握する、(2)操作条件と品質特性との関係を定性的且つ定量的に把握する、(3)乾燥過程における物性変化を測定し、これら値の予測モデルの構築及びデータベース化を図る、(4)「(1)~(3)」に基づき乾燥シミュレーションを行う、(5)官能評価や組織構造観察による乾物の評価、また、微生物試験や投入エネルギー・コスト計算も行い、乾燥方法と品質との関係を総合的に検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 乾燥特性の測定方法

熱風乾燥法、減圧乾燥法、遠赤外線加熱乾燥法、マイクロ波加熱乾燥法により試料を乾燥させ、乾燥時の試料の質量(含水率)変化および温度変化を測定した。質量変化は電子

天秤で測定した。熱風乾燥法、減圧乾燥法、および遠赤外線加熱乾燥法では、質量変化のデータを連続的且つ自動的にパーソナルコンピュータに取り込んだ。試料および乾燥チャンバー内の温度変化はT型熱電対で測定し、データはデータロガーに記録した。マイクロ波加熱乾燥法の場合は、試料温度変化を光ファイバー温度計により測定した。さらに赤外線サーモグラフィを用いて、試料表面の温度分布を測定した。測定に用いた熱風乾燥装置および減圧乾燥装置の概略図を図1、2にそれぞれ示した。

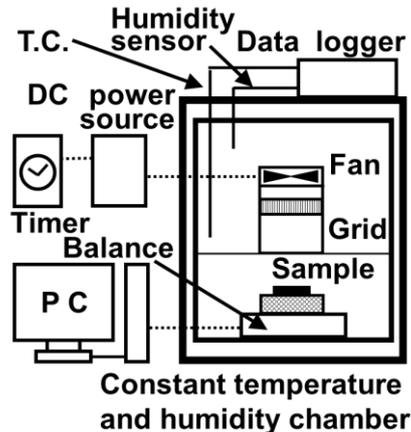


図1 熱風乾燥特性測定装置の概略

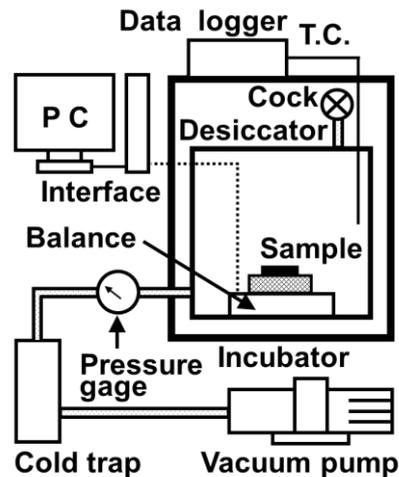


図2 減圧乾燥特性測定装置の概略

### (2) 試料の理化学的特性の測定方法

乾燥に伴う試料の形状変化、体積変化、および色彩変化を測定した。形状変化はデジタルノギス(現有)で測定し、乾燥面積や体積を推算した。体積変化はピクノメータ法や菜種法による密度の測定結果より導いた。また、色彩変化は色彩色差計により測定した。

### (3) 試料のテクスチャー特性の測定

テクスチャーアナライザーを用いて乾燥

に伴う試料の硬度やテクスチャー変化を測定した。

#### (4) 試料の熱物性値の測定方法

試料の熱物性値（熱伝導率，熱拡散率，比熱）は非定常プローブ法により測定した。測定に用いたプローブおよび熱物性測定装置の概略を図3，4にそれぞれ示す。測定装置は，大きく分けて加熱部，温度制御部，記録部の三つの部分から構成されている。加熱部は，加熱線内蔵のプローブと電源，電流・電圧計およびスイッチから構成されている。温度制御部には恒温水循環装置にウォーターバスを連結して水を循環させる装置を用いた。記録部は，プローブ内熱電対が検出した熱起電力を増幅するOPアンプと熱起電力を記録するデータロガーから成る。

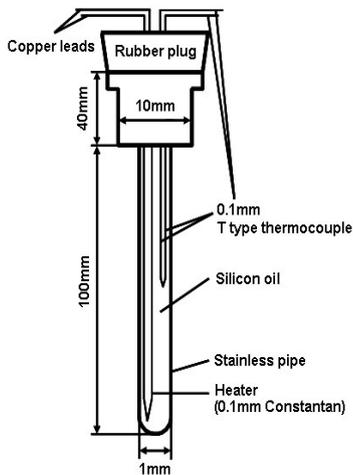


図3 プローブの概略

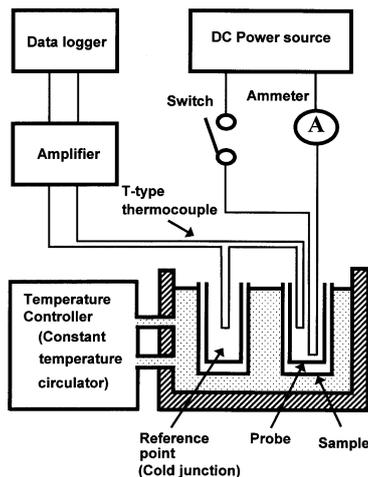


図4 熱物性値測定装置の概略

測定の際，試料の中央にプローブを挿入し，これを設定温度に制御してあるウォーターバスに静置して設定温度と平衡化させた。プローブと試料が熱的平衡に達した後，スイッ

チを入れてプローブ内の加熱線に熱量を供給し，このときのプローブ内熱電対の示す熱起電力変化，すなわちプローブの温度変化をアンプで増幅してデータロガーに記録した。

測定データであるプローブ温度の経時変化を測定条件ごとに熱伝導方程式の近似解析解を変形した式に最小二乗法を適用してあてはめ，試料の熱伝導率と熱拡散率を算出した。試料比熱は，熱伝導率，熱拡散率の値，および密度の値を熱拡散率の定義式に代入することにより得た。

#### 4. 研究成果

##### (1) 米飯の乾燥および復水特性

熱風乾燥および減圧乾燥では，いずれの乾燥方法においても，試料の乾燥速度は，温度が高いほど速く，含水率の減少とともに減少する傾向が得られた。測定結果の一例として，精白米を炊いた米飯（以下，精白米と記す）の減圧乾燥法時における含水率経時変化を図5に示す。本研究では，乾燥条件ごとに試料の含水率経時変化のデータを数種類の乾燥モデルにあてはめて，試料の含水率経時変化を表す最適な乾燥モデルを把握した。その結果，熱風乾燥および減圧乾燥過程における試料の含水率変化は，Page式で充分精度よく表されることが分かった。また，乾燥速度定数の温度依存性はArrhenius型の式に従うことが確認できた。また，マイクロ波加熱乾燥では，いずれのマイクロ波出力においても，試料の乾燥速度は，試料初期質量が少ないほど速かった。乾燥特性曲線の形状から恒率乾燥期間と減率乾燥期間から構成されることが推察された。

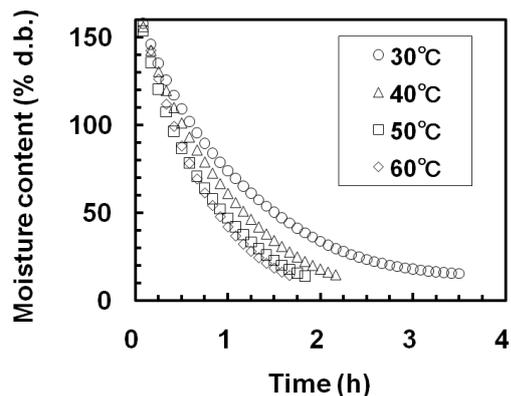


図5 精白米の含水率経時変化（減圧乾燥法）

乾燥試料の復水特性を測定した結果，いずれの試料においても，復水時において，試料の含水率は滑らかな曲線を描きながら増加する傾向が得られ，浸漬温度が高いほど，復水速度が速かった。また，復水速度に及ぼす乾燥方法の影響は少なかった。

復水した試料のテクスチャーは、炊飯直後の米飯に比べ付着性と粘りが減少した。また、試料のテクスチャーに及ぼす乾燥方法の影響はほとんどみられなかった。

### (2) 煮豆の乾燥特性

煮豆（大正金時）の熱風乾燥特性、減圧乾燥特性、およびマイクロ波加熱乾燥特性を測定した。試料の熱風乾燥過程は減率乾燥題意一段（含水率 70%以上）と減率乾燥第二段（含水率 70%以下）から構成され、それぞれの期間における試料の含水率変化は、指数モデル（減率乾燥第一段）と球モデル（減率乾燥第二段）により精度よく推算できることが分かった。また、各期間における試料の乾燥速度定数の温度依存性は Arrhenius 型の式に従うことが確認できた。図中の実線は、指数モデルおよび球モデルによる含水率の計算値である。また、試料の減圧乾燥およびマイクロ波加熱乾燥過程は減率乾燥第一段であり、これらの乾燥過程における試料の含水率変化は指数モデルで予測可能であった。その他、乾燥に伴う試料表面積や体積、硬さの変化を測定し、含水率との関係を求めた。

また、試料の復水特性（図 6）も測定した。その結果、復水特性に及ぼす試料の乾燥方法の影響は少ないことが分かった。

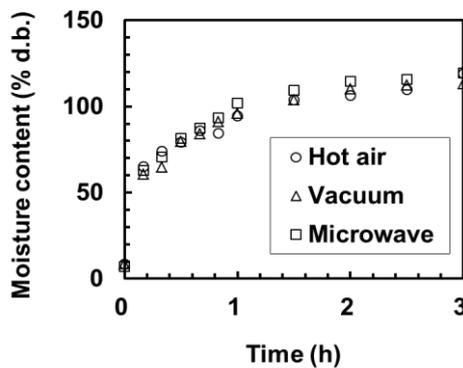


図 6 80°Cにおける試料の復水特性

### (3) 白花豆の乾燥特性

北海道道東地方の主要作物の一つで、高級インゲン豆と言われている白花豆を熱風乾燥法および減圧乾燥法で乾燥させ、最適な乾燥方法を提案することを試みた。白花豆の熱風乾燥過程は減率乾燥第二段であり、熱風乾燥過程における試料の含水率変化は無限平板モデルで精度よく推算することができた。また、白花豆の減圧乾燥過程は減率乾燥第一段であることが分かった。

減圧乾燥方法は熱風乾燥方法に比べ、乾燥速度が大きく、乾燥時間を短縮することができた。しかし、高水分の豆に減圧乾燥法を適用すると、しわ粒や裂皮粒が発生し、品質低下を招いてしまう。乾燥法と品質低下の関係

を調べた結果、効率的で品質の良い白花豆の乾燥を行うためには、水分 20%程度までは熱風乾燥、水分 20%以下は減圧乾燥を適用した方が良いことが分かった。

### (4) 水産物の熱物性値

サケ、カツオ、ホタテ貝柱などの数種類の水産物の熱物性値（熱伝導率、熱拡散率、比熱）を 5~50°C の 7 段階の温度で測定した。これらの三種類の熱物性値は非定常プローブ法により同時に測定した。これより、得られた熱物性値に及ぼす温度の影響を調べた。

一例としてカツオの熱伝導率と温度の関係を図 7 に示す。図から試料の熱伝導率は温度の増加に伴って増加していることが分かる。本研究では、各試料の 3 種熱物性値を温度や水分の関数としてそれぞれ表すとともに、熱伝導率や熱拡散率に関しては数種類の伝熱モデルを用いてモデル化を検討し、比熱については加成性を検討した。図 7 には並列モデルによるカツオの熱伝導率の推算値を実線で示した。

また、図 8 には試料の熱拡散率と温度の関係を示す。試料の熱拡散率の測定データと Marten の式による計算値とよく一致した。さらに試料比熱と成分組成の間に加成性が成り立つことがわかった。

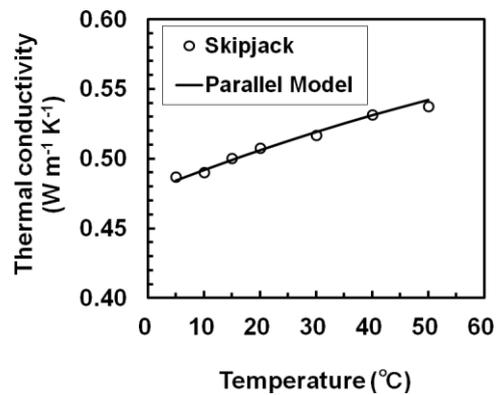


図 7 カツオの熱伝導率と温度の関係

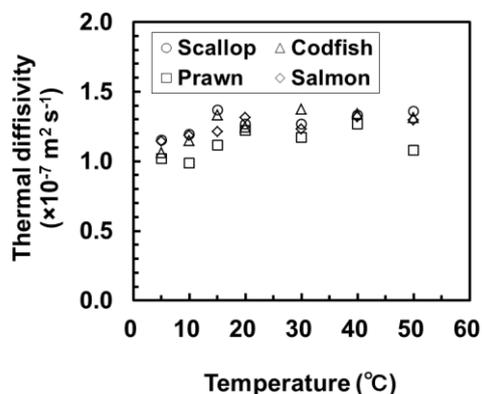


図 8 試料の熱拡散率と温度の関係

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

(1) Y. Muramatsu, S. Okamoto, E. Sakaguchi, T. Orikasa, A. Tagawa: Effects of Drying Methods and Conditions on Quality of Dried Cooked Kidney Beans, Proceedings of the 18th International Drying Symposium, 査読有, 18, 2012, 1-7

(2) Y. Muramatsu, E. Sakaguchi, T. Orikasa, A. Tagawa: Hot Air Drying and Vacuum Drying Characteristics of Scarlet Runner Beans, International Journal of Food Engineering, 査読有, 8, 2012, 1-24

(3) 村松良樹, 坂口栄一郎, 折笠貴寛, 永島俊夫, 田川彰男: 水産物の熱物性値の測定と推算モデルの選定, 日本食品保蔵科学会誌, 査読有, 38, 2012, 11-18

〔学会発表〕(計6件)

(1) Y. Muramatsu, S. Okamoto, E. Sakaguchi, T. Orikasa, A. Tagawa: Effects of Drying Methods and Conditions on Quality of Dried Cooked Kidney Beans, 18th International Drying Symposium, 2012年11月12日, Xiamen, China

(2) 村松良樹, 坂口栄一郎, 川上昭太郎, 折笠貴寛, 阿部洋一, 朝倉一好, 田川彰男: 非定常プローブ法による水産物の熱物性値の測定, 日本食品工学会第13回(2012年度)年次大会, 2012年8月9日, 北海道大学

(3) 村松良樹, 宮地竜郎, 坂口栄一郎, 田川彰男: 安心安全な食品の品質制御・衛生管理技術の構築に向けて, FOOMA JAPAN 2012 アカデミックプラザ, 2012年6月5日~8日, 東京ビッグサイト

(4) 村松良樹: 食品の熱物性値-測定法, 推算法, 活用法-, 第32回日本熱物性シンポジウム(招待講演), 2011年11月21日, 慶應義塾大学

(5) 村松良樹, 坂口栄一郎, 田川彰男: 乾燥米飯の品質に及ぼす乾燥方法の影響, 日本食品工学会第12回(2011年度)年次大会, 2011年8月5日, 京都テルサ

(6) 村松良樹, 宮地竜郎, 坂口栄一郎, 田川彰男: 熱物性値の新規同時推算法と食品の加熱・冷凍シミュレーション, FOOMA JAPAN 2011 アカデミックプラザ, 2011年6月7日~10日, 東京ビッグサイト

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村松 良樹 (MURAMATU YOSHIKI)

東京農業大学・生物産業学部・准教授

研究者番号: 60328549