

# 通風乾燥を用いた食品乾燥工程における 脱水応答曲線の計算機シミュレーション

小西靖之<sup>\*1,\*2</sup>, 堀内淳一<sup>\*3</sup>, 小林正義<sup>\*3</sup>

## Computer Simulation of Dehydration Response Curves for Food Drying Processes with Ventilation Drying.

Yasuyuki KONISHI<sup>\*1,\*2</sup>, Jun-ichi HORIUCHI<sup>\*3</sup> and Masayoshi KOBAYASHI<sup>\*3</sup>

### Abstract

For the optimal design of food drying processes in response to various moisture contents, fish paste sausage was used as the model fish meat, and dehydration response curves obtained under various conditions were quantitatively analyzed, to propose a two-tank or single tank model depending on the moisture contents ( $W_0$ ). The models were described by a two exponential term expression for the two-tank model in region I ( $W_0 > 100\% - d. b.$ ) and a single exponential term expression for the single tank model in region II ( $W_0 < 100\% - d. b.$ ) respectively. The two expressions were separately characterized depending on the two regions: In region I, by two mass transfer coefficients,  $k_{La}$  for free water molecules and  $k_{la}$  for multi-layered adsorbed water molecules and; in region II, by  $k_{Ga}$  for the mass transfer coefficient of gaseous water. The values of  $k_{La}$ ,  $k_{la}$  and  $k_{Ga}$  were quantitatively evaluated as a function of  $W_0$  by using the photographic and graphical analysis of the SEM and TPD data. The mathematical equations derived from the tank models using the limited experimental dehydration response curves were sufficiently applied to simulate all the curves obtained at  $35 \sim 50^\circ\text{C}$  and  $W_0 = 51 \sim 235\% - d. b.$

### 1. 緒 言

食品の乾燥や脱水操作の最適化や高度化には乾燥材料の特性に応じた操作が重要であり、そのためには乾燥条件、乾燥材料に対応した乾燥特性を考慮した乾燥動特性の予測、推察が可能な設計式が不可欠である。適切な乾燥設計式を用いることにより、乾燥操作条件、操作プログラムなどを変更した場合の乾燥挙動の推定が可能となり、最適操作設計の指針情報を得ることができる。この乾燥設計式に関して含水率の減少挙動の予測・推察を目的に多くの研究がなされている。食品乾燥の分野では指数項をもつ予測式での解析が多用されている。

Overhultsら<sup>1)</sup>は温風乾燥 ( $37.8 \sim 104.4^\circ\text{C}$ ) での大豆の乾燥特性の検討において、一つの指数

\*1 北海道立工業技術センター 研究開発部 装置技術科

\*2 北見工業大学 物質工学専攻

\*3 北見工業大学 化学システム工学科

項を持つ予測式 (Page model) を水分比減少挙動の解析に適用し、15時間以上の長期乾燥時の含水率経時変化を計算し実験値と良い一致を示したと報告している。Pathakら<sup>2)</sup>は50℃から200℃の菜種の熱風乾燥時の含水率変化の予測にPageモデルも用い、計算結果は実験値を良く反映すると報告している。また同様な指数モデルにて乾燥速度の経時変化についても取り組みがなされ、McMinnら<sup>3)</sup>は円柱状ポテトについて、Kannanら<sup>4)</sup>は魚肉について、それぞれ通風乾燥時の乾燥速度予測式を提出している。これらの報告では共通して一つの指数項を持つ式を用いて含水率の減少や乾燥速度の変化の予測を試みている。

一方、乾燥挙動には2つの指数項を持つ式での解析が有効であるとする報告例も多数なされている。Noomhormら<sup>5)</sup>も玄米乾燥の乾燥挙動の予測式について検討を行い、4つの乾燥モデル式を比較しその結果2つの指数項を持つモデルが実験値とよく整合し、反面一つの指数項を持つ予測式では乾燥挙動を十分表現できないと報告している。Madambaら<sup>6)</sup>の予測式に関する記述の中でも、一つの指数項を持つ予測式では乾燥初期は予測水分比が大きめに、乾燥後期では小さめの結果を示す傾向があると指摘している。このため、含水率変化挙動が乾燥初期と乾燥後期で大きく異なる場合には、二つの指数項を用いた解析例が多数報告されている。Sharaf-Eldeenら<sup>7)</sup>はトウモロコシ粒の乾燥時の乾燥特性の把握と乾燥挙動予測を目的に数学モデルの提出を行い、二つの指数項を用いる予測式での結果と実験値との精度を評価し、指数項中の係数は水分拡散係数の関数となることを報告している。Ezeikeら<sup>8)</sup>はメロンの種子の乾燥について、2つの指数項モデルを用いて指数項中の係数について考察を加え、それら係数はひとつは乾燥物質に対応した特性定数 (characteristic constant)、他方は乾燥温度や湿度の関数となる乾燥定数 (drying constant) であると分類している。Shepherdら<sup>9)</sup>は鳩豆の乾燥工程における含水率変化の予測式の提出について検討し、この中で減率乾燥期間での乾燥挙動は2つの乾燥段階に分かれ乾燥初期は乾燥速度は急激に減少するが、乾燥の後期では乾燥時間に対し直線的に減少するとしている。

これらの報告例は乾燥特性の予測を1つの指数項を持つ式で表現できる場合と2つの指数項を持つ式で表現せざる得ない場合があることを示しており、それらの違いは食品材料の物性、水分の存在形態及び水分移動機構の違いなどに強く依存すると考えられる。しかし乾燥特性の予測式と食品中の水分の存在状態や水分移動機構などを関連づけて解析した報告例は非常に少ない。これは従来の予測式の取り組みは連続乾燥時のものであり、この場合乾燥材料の内部と表面部に何らかの含水率勾配が存在する場合のものであるため、水分の存在状態や水分の移動機構の的確な解析が困難であった。このため、水分移動機構の指標となる拡散係数などの動特性の解析には乾燥物全体 (表面部と内部) での平均含水率を用いるため、乾燥試料本来の含水率に的確に対応した水分移動機構と関連させた解析は困難であった。

より精度の高い乾燥予測式の検討には水分移動機構を反映させた解析が必要であり、この関係を感度良く検出する方法として「あん蒸」操作が有効である。このあん蒸操作<sup>10-11)</sup>は通風乾燥の改善操作の一手法として用いられており、連続乾燥途中に乾燥操作を一旦停止し水分の内部拡散を推進し、含水率の均一化を行う手法である。このあん蒸操作後は表面と内部とではほぼ均一な含水率状態となり、この状態から再度乾燥させた場合の脱水応答挙動は水分移動機構の特性を敏感に反映する。すなわち、あん蒸操作後の脱水応答曲線の解析に基づく乾燥動特性の予測式からは、精度のよい乾燥操作設計情報を得ることが期待できる。

著者らは<sup>12-14)</sup> あん蒸操作の最適設計を目的に、乾燥温度、あん蒸操作タイミング (あん蒸開始含水率:  $W_0$ ) を変化させたときのその後の再乾燥時における乾燥挙動を解析し、あん蒸操作の定量的評価パラメータとして乾燥速度比 ( $R$  値) 及び乾燥時間有効係数 ( $E_r$  値) を新たに提案し

た. 更に $W_0$ 値に対する水分の有効拡散係数 ( $De$  値) 及び拡散の活性化エネルギー ( $E_0$  値) の動特性の解析より, あん蒸操作後の再乾燥初期の水分拡散は, 領域 I ( $W_0 > 100\% - d. b.$ ) と II ( $W_0 < 100\% - d. b.$ ) とで異なる拡散機構で推進する可能性を示唆した. また, あん蒸操作のような内部含水率の均一化操作後の再乾燥時解析により, 広範囲な操作含水率に的確に対応する水分移動機構の解析が可能との知見を得た.

本研究では食品乾燥操作の最適操作情報の抽出を目的に, 食品の初期含水率を基準として (1) 領域 I 及び II の水分の存在状態に対応した脱水モデルの提出, (2) 含水率により敏感に変化する水分移動係数をパラメータとした脱水応答式の提出を行い, (3) 提出した脱水応答予測式の実験値との整合性, について検討をおこなった.

## 2. 実験方法

### 2-1. 通風乾燥装置

実験に使用した通風乾燥装置を Fig. 1 (a) に示す. 本装置は送風機, ヒータ, 乾燥室により構成されている. 乾燥用空気は外気を送風機により乾燥室下部に導入し, シーズヒータ (出力 1130W) により設定温度に加熱される. 加熱された乾燥用空気は, 整流部を經由し乾燥室内試料乾燥部にて試料を乾燥しその後排気口より排出される. この試料乾燥部での乾燥空気流速は約 0.7m/sec に設定した. 空気は温度  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , 湿度  $42 \pm 5\% - R. 1H.$  の外気を直接導入し, 湿度調整は行わなかった. 試料は約 10mesh のステンレス製網でできた試料皿 (Fig. 1-b) に載せ, 乾燥室内の底面より 200mm 上部に設置した.

### 2-2. 乾燥試料

本実験では  $\phi 20 \times L40\text{mm}$  の円柱状 (Fig. 1-c) に整形した魚肉ソーセージを乾燥モデル物質として用いた. この魚肉ソーセージは通風乾燥速度の経時変化挙動が魚肉 (ホッケ魚肉) と酷似していることから乾燥モデル物質として選定した. 試料の重量は約 15g で, 初期含水率 ( $W_0$ ) は 235% - d. b. (乾量基準) であった.

本実験で用いた乾燥試料及び乾燥温度  $T_d$  などの条件では, 効率乾燥期間の特徴である乾燥初期の一定乾燥速期間は認められ無いことより, 乾燥工程, 再乾燥工程は減率乾燥期間より開始すると判断した.

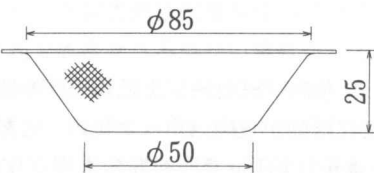
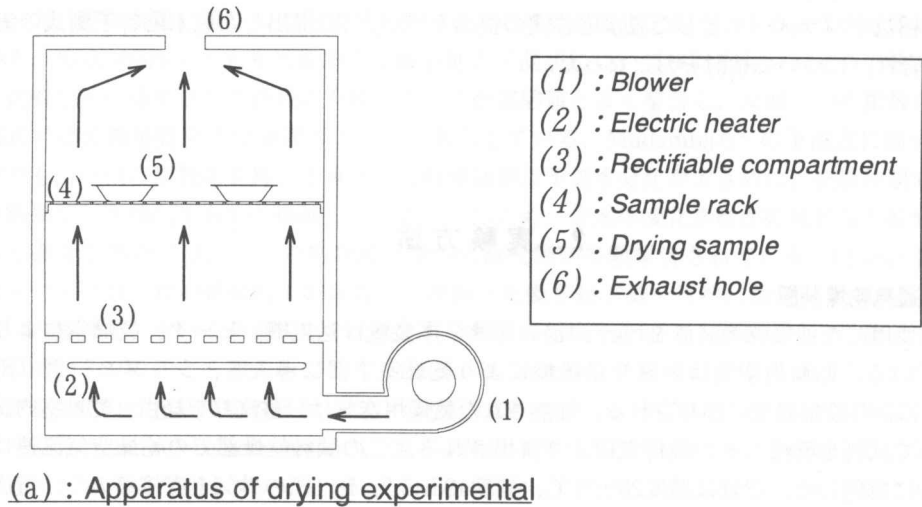
### 2-3. 乾燥及びあん蒸操作条件

乾燥温度  $T_d$  は冷風乾燥温度域から温風乾燥温度域の代表的温度として  $T_d = 35, 50^\circ\text{C}$  を選定した. 乾燥工程途中に試料内部の含水率均一化を目的に挿入したあん蒸工程は, あらかじめ庫内温度を  $2^\circ\text{C}$  ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ) に制御してあるインキュベーターの中に保管する方法を用いた. 尚, あん蒸時間は 36 時間としこれ以上のあん蒸操作はその後の再乾燥工程の初期乾燥速度に変化を与えないことを確かめた. あん蒸工程開始含水率 ( $W_0$ ) 範囲は  $W_0 = 49 \sim 127\% - d. b.$  とした. あん蒸工程は, 表面からの水分蒸発を押さえるためにラップ (ポリエチレンフィルム) に密閉した. あん蒸工程後の再乾燥工程は, あん蒸工程前の乾燥工程と同条件にて行った.

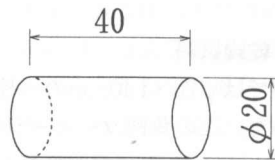
2－4．含水率の測定

乾燥試料の重量変化は、乾燥工程中に電子天秤（最小感度10mg）により連続的に測定した。含水率は無水材料（絶乾個体）の重量を基準とし、 $W$  (又は  $W_0$  (%-d. b.) ) = (水分重量) / (絶乾固体重量) × 100 として示した。

尚、用いた乾燥試料は含水率の低下にともない体積も減少し、この体積減少は水分移動速度に影響を与えるが、本研究では第一次近似として影響は無いものとして解析を行った。



(b) : Sample basket



(c) : Shape of drying sample

Fig. 1. Schematic drawing of the apparatus used for the drying test.

3．結果及び考察

3－1．初期含水率と脱水応答曲線

ある乾燥条件下の通風乾燥において物質を乾燥させた場合、乾燥条件（温度、湿度など）や乾燥物質の違いにより異なる平衡含水率に到達し乾燥が終了する。乾燥条件の異なる乾燥特性を取り扱う場合、乾燥条件の違いにより乾燥速度や含水率変化特性などの乾燥挙動が異なると共に最終含水率である平衡含水率も変化するため、乾燥挙動の解析検討には水分比をパラメータとして用いて解析を行うのが有効である。この水分比は次式で示される。

$$W_R = \frac{W - W_e}{W_d - W_e} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $W$ : 任意の乾燥時間 $t$ における含水率[% -d. b.],  $W_R$ : 水分比[-],  $W_e$ :  $t = \infty$ における平衡含水率[% -d. b.],  $W_d$ : 試料初期含水率[% -d. b.]である. この $W_R$ 値は[乾燥前試料が除去できうる水分の量]に対する[任意の乾燥時間の試料が今後除去できる水分の量]の比を示しており, 乾燥前試料は1.0を与え乾燥末期の平衡含水率に到達した場合には0を与える. この $W_R$ 値を用いることにより, 異なる乾燥条件下での乾燥挙動の比較検討を容易に行うことができる.

本研究で乾燥モデル物質として用いた魚肉ソーセージの連続乾燥時の $W_R$ 値の変化をFig. 2 (a)に示した. 初期含水率235%-d. b.の試料を $T_d = 35^\circ\text{C}$ にて乾燥操作を行った場合の $W_R$ 値を乾燥時間に対する経時変化挙動として示してある. 本実験で用いた試料は減率乾燥期間より乾燥が開始し, この期間は内部水分の表面への拡散移動過程が律速であるため, 乾燥の進行にともない表面と内部の含水率の勾配をもつとともに, 乾燥速度は徐々に低下する. この連続乾燥の途中にあん蒸操作(PUP)を用いた $W_R$ の変化を示したものがFig. 2 (b), (c)である.

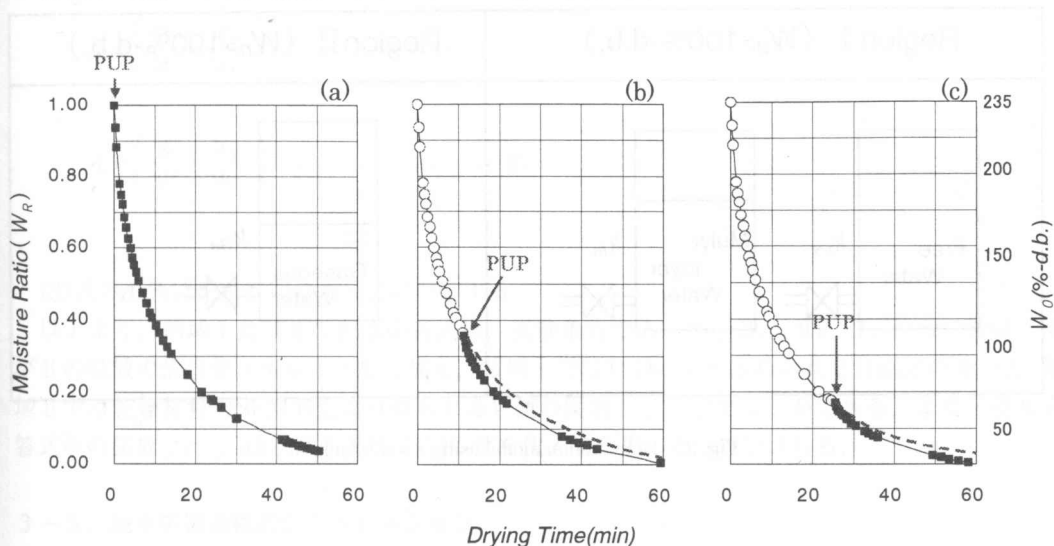


Fig. 2. Dehydration response curves comparing the continuous drying process and the re-drying process after the poultice up operation at  $T_d = 35^\circ\text{C}$

このような減率乾燥期間の脱水応答曲線の形態を支配している因子は極めて複雑であるが, それは(1)脱水進行に伴う食品構成物質である蛋白質, 脂質, 炭水化物などの分子構造の変化, (2)水分子の移動空間構造の変化, (3)水分子の存在状態の変化, (4)水分子の移動機構の変化, などが複合して経時的履歴を持つことにある. これらの変化が強く反映されるパラメータのひとつに水分の有効拡散係数 ( $De$ ) がある. 著者らは $De$ 値は連続乾燥時及び再乾燥時共に含水率に対する挙動の違いを詳細に検討し,  $De$ 値の動特性を含水率により大きく2つの領域に大別した. すなわち $W$ あるいは $W_0 > 100\%$ -d. b.の領域Ⅰでは比較的大きな斜体値を示すと共に, 含水率の低下にともない $De$ 値も徐々に小さくなる.  $W$ あるいは $W_0 < 100\%$ -d. b.の領域Ⅱでは含水率に依存せず $De$ 値はほぼ一定値を示す. これらの結果は含水率(領域Ⅰ, Ⅱ)により内部水分の拡散移動機構が異なること, 及びそれに伴い脱水応答曲線の動特性も含水率により異なることを示唆している.

3-2. 脱水応答モデルの提出

著者らは前報<sup>13-14)</sup>においてあん蒸操作後の再乾燥初期脱水挙動の解析より、水分の有効拡散係数の挙動が異なる2つの領域（ⅠとⅡ）が存在すると共に、領域Ⅰでは $De$ 値は $W_0$ 値の減少にともない徐々に小さな値を示すが、領域Ⅱでは $W_0$ 値に依存せず一定 $De$ 値を与えることを明らかにした。乾燥経過途中における乾燥試料断面SEM写真及び水のTPD答曲線の形態変化の解析より、両領域では水分の存在状態が異なるとのモデルを提出した<sup>15)</sup>。これら得られた結果より $W_0 > 100\% - d. b.$ の領域ではソーセージ蛋白質、炭水化物のマトリクス内の自由水の移動及び多層吸着水の移動により脱水速度が支配されており、それぞれの移動係数を $k_{La}$ ,  $k_{la}$ とすること、 $W_0 < 100\% - d. b.$ の領域ではソーセージ内に形成された空隙の飽和水蒸気の移動により脱水速度が支配されているとして、その物質移動係数を $k_{Ga}$ とするとFig. 3に示す水分移動モデルが提出でき、それらより(2)式及び(3)式が与えられる。

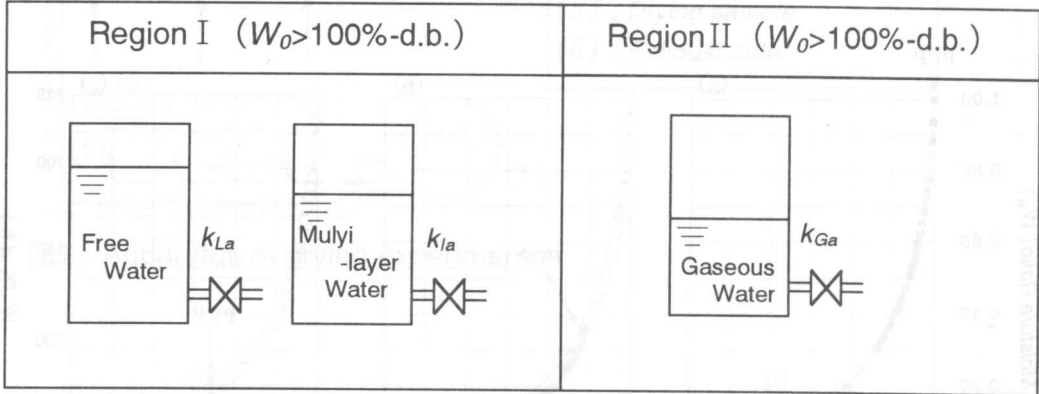


Fig. 3. Dehydration model using a water tank.

Region I :  $W_{RI} = A_1 \exp(-k_{La} \cdot t) + A_2 \exp(-k_{la} \cdot t) \cdots \cdots \cdots (2)$

Region II :  $W_{RII} = A_3 \exp(-k_{Ga} \cdot t) \cdots \cdots \cdots (3)$

ここで、 $W_{RI}$ :領域Ⅰより乾燥を開始した場合の水分比[－],  $W_{RII}$ :領域Ⅱより乾燥を開始した場合の水分比[－],  $A_1$ ,  $A_2$ 及び $A_3$ :定数[－],  $t$ :乾燥時間[h],  $k_{La}$ ,  $k_{la}$ ,  $k_{Ga}$ はそれぞれ自由水、多層吸着水及びガス状水の総括物質移動係数である。また定数 $A_1$ ,  $A_2$ 及び $A_3$ はそれぞれ乾燥初期における自由水、多層吸着水、ガス状水の水分比割合に対応する。

先に述べたように本サンプルの乾燥期間は乾燥速度が含水率の減少にともない小さくなる減率乾燥期間にある。この減率乾燥期間では水分移動は内部から表面層への拡散に支配されている。従って、(2)式中の物質移動係数は水分の有効拡散係数の関数であり、(3)式中の物質移動係数はガス状拡散に対応する係数であり、乾燥材料のバルクの拡散係数の関数であるため拡散の活性化エネルギーの関数として(4)～(6)式で示すことができる。

$$k_{La} = \beta_1 \exp\left(\frac{-E_{oi}}{R \cdot (T_D + 273)}\right) \dots\dots\dots (4)$$

$$k_{la} = \beta_2 \exp\left(\frac{-E_{oi}}{R \cdot (T_D + 273)}\right) \dots\dots\dots (5)$$

$$k_{Ga} = \beta_3 \cdot V_f \cdot \exp\left(\frac{-E_{oi}}{R \cdot (T_D + 273)}\right) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 及び $\beta_3$ ：定数[-]、 $E_{oi}$ ：領域Ⅰの拡散の活性化エネルギー [16.5kJ/mol]、 $E_{oi}$ ：領域Ⅱの拡散の活性化エネルギー [9.6kJ/mol] である。また、本研究では領域Ⅰの自由水と多層吸着水の拡散の活性化エネルギーがほぼ同じであると仮定した。

自由水の割合  $f$  [-] はTPDプロファイルより  $W_0$  値の関数として求められており<sup>15)</sup>、この値を用いると、 $A_1$ 、 $A_2$ はそれぞれ(7)及び(8)式で示される。

$$A_1 = \left( \frac{W_0 + W_e}{W_D + W_e} \right) \cdot f \dots\dots\dots (7)$$

$$A_2 = \left( \frac{W_0 + W_e}{W_D + W_e} \right) \cdot (1-f) \dots\dots\dots (8)$$

(3)式の $A_3$ 値は乾燥初期の水分比に対応する。

以上より、領域Ⅰ及びⅡの脱水応答式は、実験条件である $W_0$ 、 $W_D$ 、 $W_e$ 、 $T_D$ 及び $t$ 、領域Ⅰ及びⅡの拡散の活性化エネルギー $E_0$ に加え、領域ⅠではTPDにより求められる自由水の割合 $f$ 、領域Ⅱでは乾燥材料のSEM測定より得られる $V_f$ 値の関数として示すことができる。また、脱水応答式中の係数 $\beta_1 \sim \beta_3$ は任意の条件での $W_R$ 値を代入する事により算出される。

### 3-5. 脱水応答曲線のシミュレーション

前述の脱水応答モデルを元にした脱水応答式より、任意含水率より乾燥を開始した $W_R$ の経時変化応答は、水分の有効拡散係数値により分離された領域ⅠとⅡとに分けて取り扱うと共に、実験条件より算出できる $W_0$ 、 $W_D$ 、 $W_e$ 、 $T_D$ 及び $t$ に加え $E_0$ 、 $V_f$ 、 $f$ を用いることに算出できる。Fig. 4は(2)及び(3)式を用いて任意含水率から乾燥を開始した場合の $W_R$ 値を計算し、更に(1)式を用いて $W$ 値に換算することにより、含水率の経時変化応答を計算し実験値と比較して示したものである。 $T_D=50^\circ\text{C}$ 時の $W_0=235 \sim 51\% \text{-d. b.}$ の脱水応答の計算値を実線及び波線で示した。また比較のために実験値をそれぞれ○あるいは□等のプロットで示した。Fig. 4中の計算値は領域Ⅰ及びⅡ共に広い含水率範囲にわたり実験値とよく一致する。同様に $T_D=35^\circ\text{C}$ 時の脱水応答の計算値を実験値と比較してFig. 5に示した。この場合も50時間の長期乾燥時間全域で計算値と実験値はほぼ整合する結果が得られた。これらの結果より提出した脱水応答式は任意の $W_0$ 値の再乾燥挙動を反映することを示している。更に、脱水応答式中の各パラメータは乾燥条件及び水分の存在状態や水分の移動空間情報の関数として物理的な意味づけを持たすことができた。



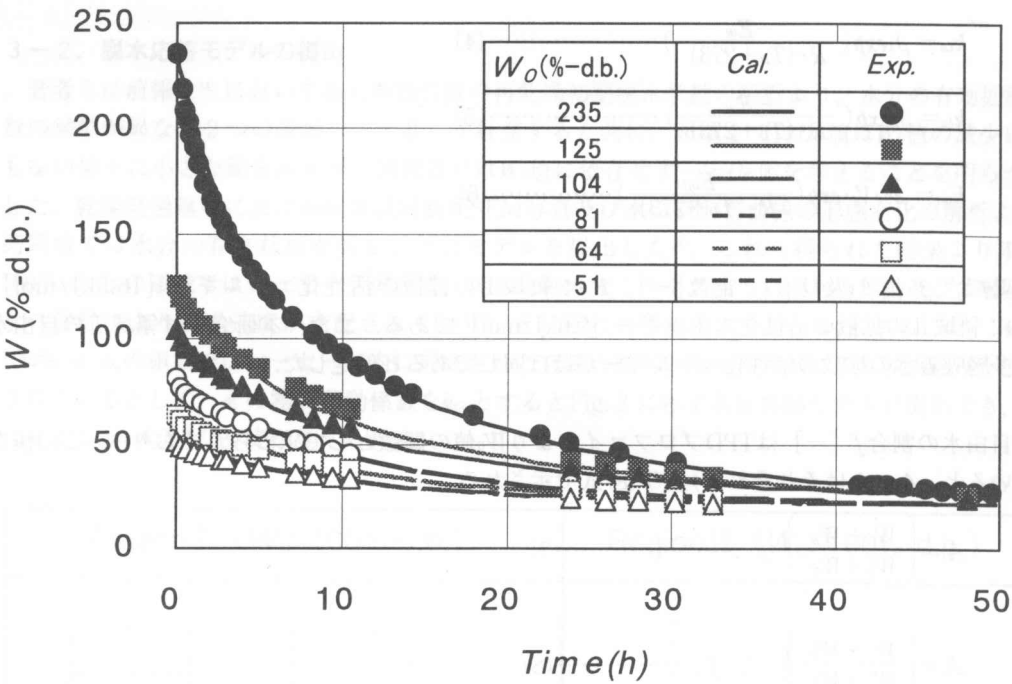


Fig. 4. Comparison of the calculated  $W$  using the optimal parameter values with evaluated as a function of  $W_0, T_D, E_0 V f$  and  $f$ , and experimental ones at  $T_D = 50^\circ C$

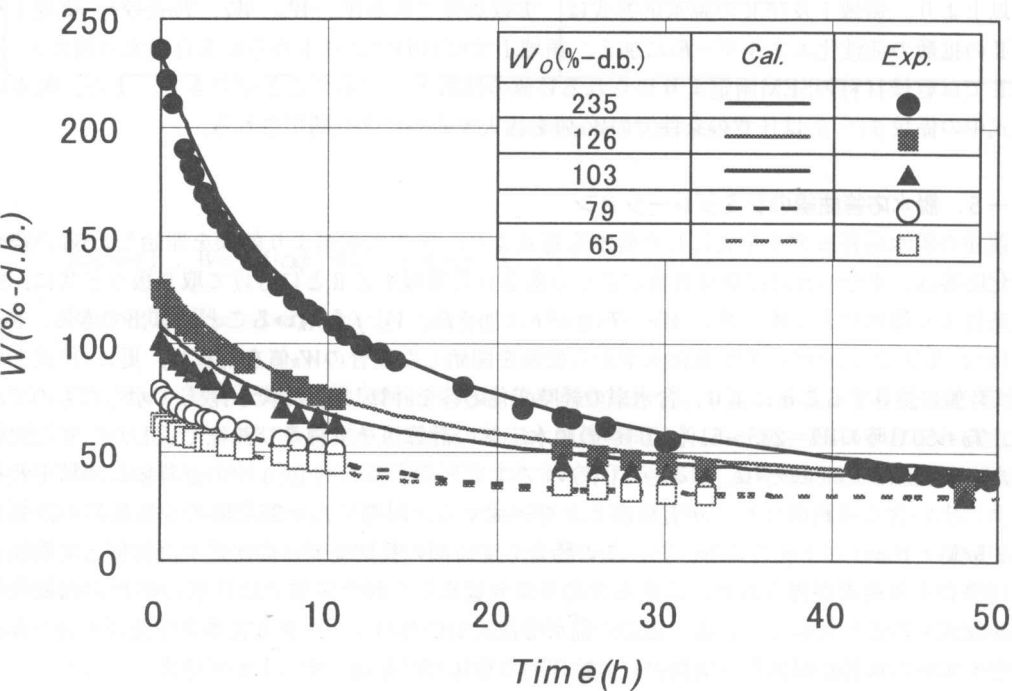


Fig. 5. Comparison of the calculated  $W$  using the optimal parameter values with evaluated as a function of  $W_0, T_D, E_0 V f$  and  $f$ , and experimental ones at  $T_D = 35^\circ C$



## 結 論

通風乾燥途中にあん蒸操作を挿入した場合の再乾燥時脱水応答について、魚肉ソーセージをモデル物質として用い乾燥温度やあん蒸操作タイミング ( $W_0$ ) を変化させた場合の水分移動機構及び脱水応答曲線の予測式の提出について検討を行い、以下の結論を得た。

- (1) 任意含水率から乾燥を開始した場合の脱水応答曲線の予測式を領域ⅠとⅡとで分けて提出した。領域Ⅰでは自由水及び多層吸着水を反映する水分移動係数 ( $k_{La}$ 及び $k_{La}$ ) をパラメータとした2つの指数項を持つ式を用い、領域Ⅱではガス拡散を反映する水分移動係数 ( $k_{Ga}$ ) を用いた1つの指数項を持つ脱水応答式を提案した。
- (2) 提出した脱水応答式中の各パラメータは、実験条件である乾燥温度、乾燥開始含水率、乾燥時間及び実験値として得られる、拡散の活性化エネルギー、Void fraction、TPDプロファイルの情報により決定できる。
- (3) 得られた脱水応答式は $T_d=35\sim 50^\circ\text{C}$ 、 $W_0=235\sim 51\%\text{-d. b.}$ で実験値を良く反映し、脱水応答式を用いることにより、任意乾燥温度、任意の乾燥開始含水率時の脱水応答の予測が可能となった。この式により得られる、脱水挙動は乾燥操作の最適設計に有用な情報を与える。

## 参考文献

- 1) D. G. Overhults, G. M. White, H. E. Hamilton and I. J. Ross : Trans. ASAE, 16 (1), 112 (1973)
- 2) P. K. pathak, Y. C. Agrawal and B. P. N. Singh : Trans. ASAE, 34 (6), 2505 (1991)
- 3) W. A. M. McMinn and T. R. A. Magee : Dry. Technol., 14, 2025 (1996)
- 4) D. Kannan and S. Bandyopadhyay : J. Food Sci Technol, Vol. 32, No.1, 13, (1995)
- 5) A. Noomhorm and L. R. Verma : Trans. ASAE., 29 (2), 587-91 (1986)
- 6) P. S. Madamba, R. H. Driscoll and K. A. Buckle : J. Food Eng., 29 (1), 75-97 (1996)
- 7) Y. I. Sharaf-Eldeen, J. L. Blaisdell and M. Y. Hamdy : Trans. ASAE., 23 (5), 1261-5, 1271 (1980)
- 8) G. O. I. Ezeike and L. Otten : Can. Agric. Engng., 33 (1), 73 (1991)
- 9) H. Shepherd and R. K. Bhardwaj : J. Food Sci, 53 (6), 1813 (1988)
- 10) 三輪勝利：水産加工品総覧・p4・光琳・東京 (1983)
- 11) 室谷幸男：水産加工機械・p181・恒星社厚生閣・東京 (1978)
- 12) 小西靖之、小林正義：食科工, 45, 296 (1998)
- 13) 小西靖之・小林正義：食科工, 46, 205 (1999)
- 14) Konishi, Y., Horiuchi, J. and Kobayashi, M. : Proceedings of EURO FOOD CHEM X, 3, 744 (1999)
- 15) 小西靖之、堀内淳一、小林正義：北見工業大学研究報告書, 32(1), 7, 2000