

試作した凍結乾燥装置の特性と牛肉乾燥の一事例*

相 良 泰 行**・細 川 明**

Performance Characteristics of Experimental Freeze-Drying

Apparatus and a Drying Example of Beef Sample*

Yasuyuki SAGARA**, Akira HOSOKAWA**

要 旨

凍結乾燥過程における材料内および装置内の熱と物質移動に関連する諸因子の経時変化を得るために、凍結乾燥装置を試作した。この装置の秤量装置は秤量 68.0 g に対して 0.37 g の感量と 1/250 の精度を持ち、重量変化を連続記録できる。牛肉の乾燥過程における 1) 試料重量、2) 乾燥速度、3) 試料内温度分布、4) ヒータと棚温度、5) 乾球と純氷温度および 6) 全圧の変化が同時に測定された。昇華乾燥過程を通じて試料内部では昇華面の温度が最も低かった。乾燥牛肉の水分をカールフィッシュャー法で測定した結果、その平均含水率は 3.4% w. b. であった。

I 緒 言

凍結乾燥過程における昇華乾燥（一次乾燥期）の速度は相変換を伴う熱と物質の同時移動問題として、熱工学的立場から種々の解析が試みられてきた^{1), 2), 3)}。また乾燥速度に影響を及ぼす因子に関する個別的な研究は数多い。しかし、これら諸因子の相互関連性を移動現象の立場から整理して体系化し、実際の運転操作に役立てる段階には至っていない。このためには、凍結・乾燥過程における諸因子の経時変化が同一図面上に記載されることが必要であると思われるが、この立場に立った研究は数少く、またその大部分は工業材料を対象としたものであり、筆者らの知る限りでは食品材料を対象とし、二次乾燥期まで含めた資料は未沢ら⁴⁾の牛乳に関する報告があるに過ぎない。

筆者らは既に指摘した食品材料の凍結乾燥工程の問題点⁵⁾を解決する手始めとして、乾燥過程における材料内および装置内の熱と物質移動に関連する諸因子の経時変化を測定するための凍結乾燥実験装置を試作した。本稿では試作した装置の特性と牛肉を材料とした凍結乾燥事例について報告する。

II 実験装置

1. 構造の概略 Fig. 1 は試作した凍結乾燥装置の概略である。真空チャンバ① (492.2φ×470mm)、主弁③およびコンデンサ(Ⅱ)⑨を購入（共和真空製）して架台上に設置し、真空チャンバ内に秤量装置④、ヒータ②、棚③およびコンデンサ(Ⅰ)⑥を試作して組入れた。冷凍機⑪（日立製；空冷式1.5kW）はコンデンサ(Ⅰ)と(Ⅱ)、冷凍機⑫（日立製；空冷式0.4kW）は棚の冷却に用いた。

2. 計測関係

(a) 試料重量 Fig. 2 は試作した秤量装置の概略である。試料重量の変化に伴う棚⑨の変位を差動トランス⑬と変位計 (Fig. 1 の⑭ (新光電子製 ICM-05 型、測定範囲 ±0.05~±5.0mm) で検出し、その出力を2ペン・レコーダに連続記録させた。予備実験より、パネ⑩の特性が真空チャンバ内の温度変化と冷媒導入部のビニール管の硬化の影響を受けることが分ったため、パネの温度を輻射加熱器⑫で一定（内壁温度で 35±0.5°C）に維持し、ビニール管をシリコン管に交換した。棚と試料容器の重量はバランス⑭で相殺しておき、試料の秤量と測定精度に応じてパネを交換した。

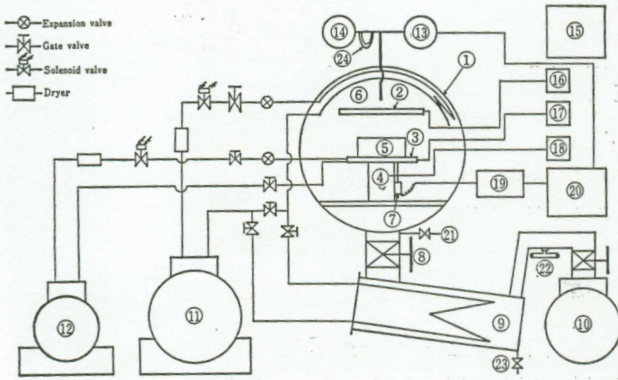
当実験では試料容器⑤に収納される牛肉（秤量約65g）の含水率を 0.1% w. b. 以下の読みで求めること、すな

* 昭和48年4月 農業機械学会（山形）講演

** 東京大学農学部 Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Tokyo

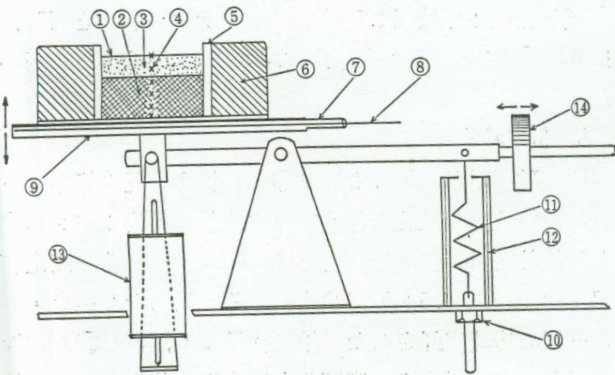
わち装置の感量 0.65 g, 精度 1/100を得ることを目的とし, 秤量 93.57 g に対する棚の変位が 1.0 mm のバネを用いた。重量-変位の校正曲線は重量 0~68 g, 変位 0~

0.73 mm の区間で直線となり, この範囲では変位 1/250 mm (記録用紙の目盛幅 1.0 mm に相当) の正確な読取りが可能であった。このときの装置の感量は 0.37 g, 精度は 1/250 となり, 筆者らの目的に十分な感量と精度が得られた。



- ① Vacuum chamber ② Heater ③ Platen
- ④ Balance ⑤ Sample ⑥ Condenser (I)
- ⑦ Transducer ⑧ Main valve
- ⑨ Condenser (II) ⑩ Rotary vacuum pump
- ⑪ Refrigerator (I) ⑫ Refrigerator (II)
- ⑬ Pirani vacuum gage
- ⑭ McLeod vacuum gage
- ⑮ Thermo-recorder
- ⑯ Heater temperature controller
- ⑰ Platen temperature controller
- ⑱ Temperature controller for balance-spring section
- ⑲ Displacement meter
- ⑳ Weight and pressure recorder
- ㉑ Leak valve ㉒ Geissler tube
- ㉓ Drain ㉔ Cold trap

Fig. 1 Schematic diagram of experimental freeze-dryer.



- ① Sample ② Frozen region
- ③ Dried region ④ Thermo-couple
- ⑤ Sample holder ⑥ Insulation (glass wool)
- ⑦ Refrigerant ⑧ Electric heater
- ⑨ Platen ⑩ Transducer zero adjuster
- ⑪ Spring ⑫ Radiator
- ⑬ Transducer (differential transformer)
- ⑭ Weight balancer

Fig. 2 Schematic diagram of weight measuring device.

(b) 温度 Fig. 3 に試料容器の大きさ, 試料内温度分布の変化を求めるための熱電対および試料の表面と底面を乾燥温度条件に設定するためのコントローラ用熱電対の位置を示す。これらの熱電対は全て銅-コンスタンタン熱電対である。凍結・乾燥過程における試料内の熱と物質移動の方向が一次元となるように試料容器の側壁周囲はグラスウールで断熱し, 熱電対挿入孔はエポキシ樹脂系接着剤で密封した。試料内温度分布を求めるための熱電対の大きさは挿入による温度場への影響を避けるために, できるだけ細い方が望ましいが, 生牛肉への挿入が困難なことから 0.2 mm φ のものを用いた。

ヒータ温度は試料直上部のヒータ表面に 0.2 mm φ の熱電対を, 棚温度はその表面に試料容器を密着させるために, 棚中心に窪みを設けてその内部に 0.1 mm φ の熱電対を, それぞれアルミ箔と接着剤で固定し経時変化を記録した。コンデンサの表面温度は真空チャンバ内コイル裸管 (コンデンサ (I)) の冷媒入口と出口部分の表面に 0.1 mm φ の熱電対を上記の方法で固定し, さらにグラスウールで断熱後, ビニール・テープで防湿し, この 2 箇所の算術平均温度を採った。真空チャンバ内の乾球と純水温度は主弁上部に氷容器 (40 φ × 60 mm) を設けて, その容器中心底部と外壁に 0.2 mm φ の熱電対を固定して求めた。これらの熱電対は全て標準温度計で校正したものを使用してその熱起電力を打点式記録計 (Fig. 1 の ⑮) (千野製 E T 1200 型) により連続記録し, JIS 規格の熱起電力-温度の表を用いて温度に換算した。

(c) 圧力 全圧は試料とヒータの中間部分に銅パイプ (内径 12.3 mm φ) の圧力測定孔を設け (Fig. 3 参照), 他端にピラニ・ゲージ (島津製 P M 5 型, 測定範囲 200

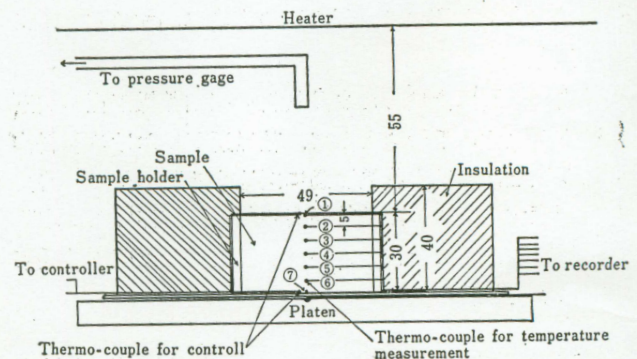


Fig. 3 Schematic diagram of sample holder and measuring points of temperatures.

～ 10^{-3} Torr)の検出球を接続して求め、その出力(最大10mV)を2ペン・レコーダに記録した。ピラニ・ゲージは乾燥空気では校正してあり、その測定誤差は200～1.0 Torrで約10%、 $1.0 \sim 10^{-3}$ Torrで約5%である。

非凝縮性ガスの分圧は圧力測定孔の他端を分枝して、コールド・トラップで水蒸気を捕捉させたのちマクレオド・ゲージ(島津製R10型、測定範囲 $10 \sim 10^{-4}$ Torr)で測定した。コールド・トラップの寒剤にはドライアイス+アルコールを用いた。

(d) コントロール Fig. 1の⑯と⑰は試料の加熱温度を設定するための温度コントローラ(日本コントローラ製BC-511型、設定範囲 $-50 \sim 100^\circ\text{C}$ 、検出端C-C熱電対)である。試料表面と底面の温度を一定に保つために、それぞれの個所に検出端を挿入し(Fig. 3参照)、温度コントローラを目的の温度に設定し、ヒータと棚内部のヒータを作動させた。棚表面の温度調節は先ず冷媒の流量を手動膨張弁で調節して設定温度以下にしておき、次にヒータ電源を断続させながら加熱する方法を用いた。

コンデンサ(I)のコイル表面温度は冷媒にR-22を使用し、その流量を手動膨張弁で調節して設定し、設定可能な最低温度は $-50 \sim -56^\circ\text{C}$ の範囲であった。

3. 装置の試運転

(a) 排気試験 試料を真空チャンバ内に入れずに数回の排気試験を行った。コンデンサ(I)(表面温度 -45°C)に着霜がある状態で、全圧は6～8minで1.0 Torrに達し、その到達圧力は $0.1 \sim 0.08$ Torr(排気時間50～70hr)の範囲にあった。この性能は一般の凍結乾燥の圧力条件を満たすものである。

(b) コントロールの精度 試作した棚とヒータの加熱能力を求めるために、真空チャンバの全圧を1.0 Torr以下にした状態で、棚とヒータの電圧をスライダックで調節してその表面温度を観察した結果、ヒータのニクロム線にバーンアウトが生じない限界はヒータで 550°C (87V)、棚で 126°C (54V)であった。したがって、それぞれの電源はこれらの値以下の範囲で調節した。次に試料表面と底面の温度設定の精度を求めるために、室温で凍結乾燥した試料の両面温度をマイクロ・ボルトメータで測定した結果、設定可能な温度範囲と変動幅の最大の値は試料表面と底面でそれぞれ $(-35 \sim 98) \pm 0.4^\circ\text{C}$ 、 $(-35 \sim 85) \pm 0.5^\circ\text{C}$ であった。したがって、この装置では加熱条件の温度変動幅を 1.0°C 以下に制御する能力を有していることが解った。

III 試料と水分測定

1. 試料 牛肉を試料に選んだのは、牛肉が凍結乾燥

の研究の当初から実験材料として用いられて一部実用化され、移動現象に関連する物性値が他の食品より比較的明らかにされているなどの理由による。

試料の大きさは材料内の現象を観察する目的からは大きなものが便利であるが、実際には脂肪を含まない均質な材料を常時得ることが困難であったため、試料容器にはアクリル・パイプ(内径 $49\phi \times 30\text{mm}$)の底面に厚さ 0.3mm の銅板($150 \times 150\text{mm}$)を接着したものを用了。

試料はモモ肉(round)から切出して脂肪を除き、棚面に対して筋繊維の方向がほぼ垂直となるように整形して試料容器に納めた。これは牛肉の乾燥速度が熱・物質流の方向と筋繊維の方向が一致する場合には速く、脂肪が多いと遅くなる傾向にあり⁶⁾、これらの影響を避けたためである。また凍結・乾燥操作による試料の形態変化の程度を知るために、乾燥後の試料表面と底面の直径、厚さ、重量を測定し、体積、比重量およびそれぞれの測定個所における収縮率を計算した。

2. 水分測定 試料の乾燥前後の水分をカールフィッシャー水分測定装置(京都電子製MKSS型)で直接滴定した。滴定には脱水溶剤(三菱化成製ML)を併用して測定時間の短縮を計った。Fig. 4に乾燥牛肉の水分測定に供した試片(specimen)の採取個所を示す。生牛肉の場合は試料を切り出した個所から6個の試片を任意に採取した。測定値は試片に含まれる絶対水分量を示すものとみなし、この値と試片重量から個体重量を算出した。

IV 実験結果および考察

1. 実験条件 牛肉の最適な乾燥条件は明らかにされていないため、当実験ではHatcher⁷⁾らが用いて成功した乾燥条件を用いた。すなわち試料表面と底面の温度をそれぞれ 38°C 、 -12.2°C に設定した。ただし、温度コントローラのON-OFF動作による試料表面と底面の温度変

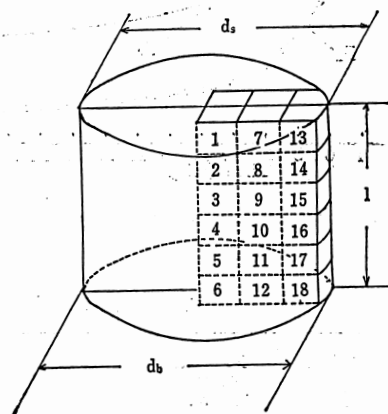


Fig. 4 Sample dimension and eighteen specimens for Karl Fischer titration. The size of a specimen is about $5 \times 8 \times 5$ (mm).

動の最大値が乾燥条件の温度となるように、すなわち安全側に制御した。またコンデンサの表面温度と全圧は食品の凍結乾燥に通常用いられている条件を採用し、それぞれ -45°C 、1 Torr 以下とした。

凍結条件は一般に食品を接触する以前の棚温度で指示されるため、当実験では -30°C を用い、実際の凍結過程

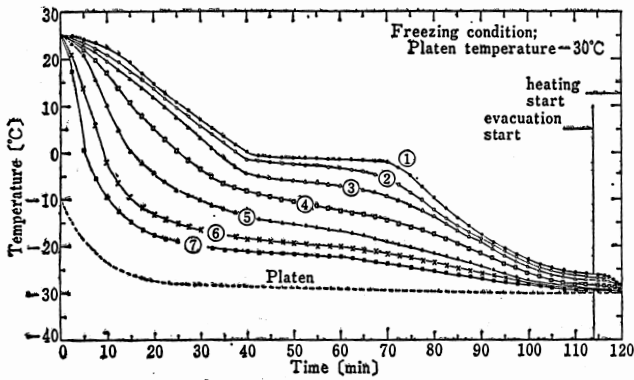


Fig. 5 Temperature change of beef during freezing process.

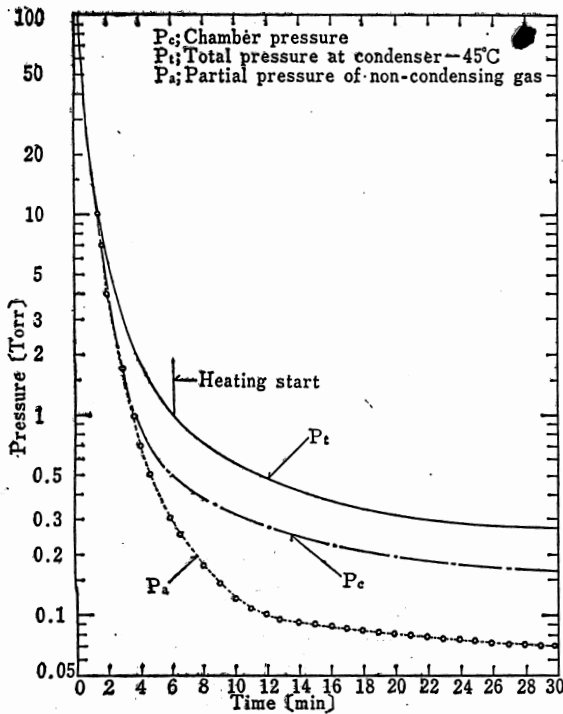


Fig. 6 Evacuation characteristics of vacuum chamber.

の棚温度と試料内温度分布の経時変化を求めた。

2. 凍結過程の温度分布 凍結過程は -30°C に調節した棚表面に試料容器を密着させた時刻から、真空ポンプを始動し、熱供給を開始した時刻までの範囲とした。Fig. 5に凍結過程の棚温度と試料内温度分布の経時変化を示す。棚温度は凍結開始と同時に -9.5°C まで瞬間的に上昇し、試料の凍結の進行に応じて徐々に初期温度に近づいてゆく。

試料の初期温度は 25°C で均一な温度分布を示した。表面と底面の温度差 $\Delta\theta$ は凍結開始後 13min で最大 $\Delta\theta = 33.5^{\circ}\text{C}$ となり、その後 114min で $\Delta\theta = 3.5^{\circ}\text{C}$ に収束して熱的平衡に達し、温度分布に変化がみられなくなった。この時の試料表面と底面の温度はそれぞれ -26°C と -29.5°C であった。試料の表面温度の降下速度は相対的に最も遅く、特に凍結時間41~70minの温度降下は $-0.5 - (-2.0) = 1.5^{\circ}\text{C}$ となり、ASRE⁹⁾の氷結温度の範囲 $-0.6 \sim -2.2^{\circ}\text{C}$ ともほぼ一致することから、この温度範囲で相変換が生じていることを示している。

牛肉を凍結する場合、凍結曲線が最大氷晶生成帯 ($-1 \sim -5^{\circ}\text{C}$) を通過する時間が 130min 以上になると組織の破壊が生じることが知られている。当実験では試料表面でも 30min であったことから、この速度が急速凍結 (quick freezing) の範囲 (25~30min)⁹⁾ にあり、品質維持のうえで許容される凍結速度であると考えられる。

Fig. 5 に示すように凍結時間 114min で真空ポンプを始動させ、全圧が 1.0 Torr に達すると (Fig. 6 の P_t 参照)、試料表面温度は -33.5°C に低下する。これは表面の飽和蒸気圧と平衡を保つためであり、減圧下で発泡を生じない試料温度の限界が解れば、凍結過程の後期にこの効果を利用して凍結時間の短縮をはかれるものと思われる。

3. 圧力変化 Fig. 6 に真空ポンプ始動後 30min間の圧力変化を示す。図中の P_c は試運転時の排気試験のなかから、全圧の降下速度が最大のものを示した。 P_t と P_a は牛肉の凍結過程における全圧と非凝縮性ガス分圧である。 P_a の値は試運転時の場合も図中の変化とほぼ同様であった。したがって P_t が P_c より常に大きいのは試料とコンデンサから発生する水蒸気分圧に起因するものと思われる。乾燥の圧力条件を得るまでの所要時間、

Table 1 Physical properties of raw- and dry-beef sample.

Sample	Weight (g)	Moisture content (% w.b.)	Specific weight (g/cm^3)	d_s	dimension			Volume v (cm^3)	Shrinkage		
					d_b (cm)	l			d_s	d_b (%)	l
Raw	65.84	70.1*	1.16	4.9	4.9	3.0	56.6				
Dry	20.36	3.4	0.37	4.7	4.6	3.2	54.7	95.7	94.3	107.3	96.8

すなわち P_t が 1.0 Torr に到達するのに要した時間は 6.2min であり、このときの P_a は 0.32 Torr であった。

3. 乾燥特性 Table 1 に乾燥前後の試料重量、比重量、形状および収縮率を示す。ただし、生牛肉の含水率は乾燥試料の平均含水率から推算した。乾燥牛肉の体積は円錐台とみなして計算した。Salwin¹⁰⁾ は乾燥牛肉の保存に最適な含水率として 3.5% w. b. 以下を提唱している。当実験で得られた乾燥牛肉の含水率は 3.4% w. b. であり、この条件を満足している。乾燥牛肉は筋繊維方向に膨張し、直径方向に収縮する傾向を示し、全体とし

て 3.2% の体積減少があったが、実用的には無視できる値であり、他の報告と比較しておおむね良好な乾燥牛肉が得られた¹¹⁾。

Fig. 7 に熱供給開始後の乾燥特性を示す。乾燥過程は全ての測定項目が平衡に達したところで終了し、これに

Table 2 Temperature fluctuation at sample, heater and platen.

	$m \pm a$ (°C)	λ (min)	s.v.(°C)
Sample; surface	37.6 ± 0.4	4.3	38.0
bottom	-12.7 ± 0.5	8.5	-12.2
Heater surface	* ± 5.2	4.3	*
Platen surface	* ± 0.8	8.5	*

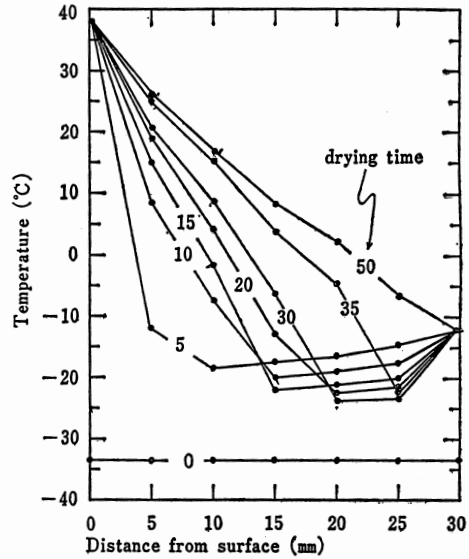


Fig. 8 Temperature as a function of position at various times during freeze-drying.

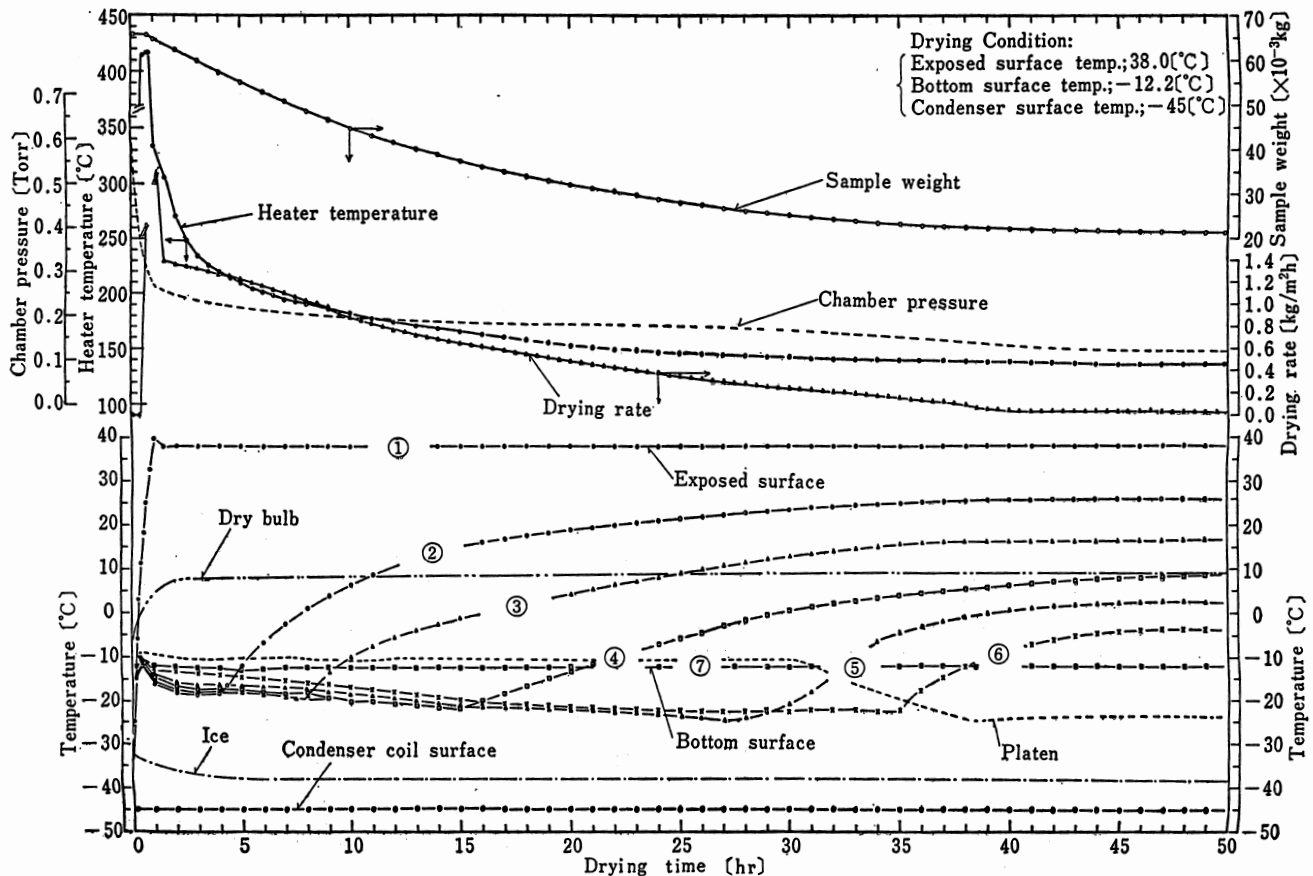


Fig. 7 Freeze-drying process of beef sample.

要した乾燥時間は51hrであった。したがって、凍結過程を含めた全過程の所要時間は53hrであった。

図中の試料表面と底面の温度は乾燥条件の温度を示し、棚とヒータの温度は各時刻の変動幅の平均値を示した。試料表面と底面が設定温度に達してからの温度変動幅およびヒータと棚の表面温度の変動幅の詳細をTable 2に示しておいた。

試料両面の温度が設定温度に到達するのに要した時間は表面で54min、底面で34minであった。乾燥の進行に伴い表面に近い測定箇所から順に温度が急上昇し、昇華面が通過したことを示している。また昇華面に近い凍結層の測定箇所が試料内の最低温度を示し、上昇点の直

前がその時刻の最低温度を示す。この傾向はHatcher⁷⁾らの報告とも一致しており、一次乾燥期では昇華面の温度が最も低いと判断される。1つの上昇点と次の上昇点の時間間隔は表面と底面に近いほど短い。これは昇華面の移動速度が熱供給速度に影響を受け、加熱媒体に近い所ほど速いことを示している。

Fig. 8は試料内温度分布の変化を縦軸に温度、横軸に表面からの距離をとり、乾燥時間をパラメータにして示したものである。最低温度の値は試料の中心部が最も低くなり、昇華面が底面に近づくとも高くなる傾向にある。乾燥時間50hrの温度分布は表面と底面の設定温度の範囲内にあり、ほぼ直線的な分布を示している。これは試料内に昇華面が存在せず、試料が二次乾燥(真空乾燥)期にあることを示している。昇華面の温度が低いのは昇華面への供給熱量が不足し、顕熱が利用されているためと考えられるが、さらに定量的な検討が必要である。

乾燥速度は試料の表面温度が設定値に達した時が最大となり、その値は $3.44\text{kg}/(\text{m}^2\text{hr})$ であった。これは試料表面の水が急激に昇華したためであると思われる。その後指数関数的に低下し、乾燥終了点では $0.07\text{kg}/(\text{m}^2\text{hr})$ であった。一次乾燥期から二次乾燥期への移行点は乾燥速度曲線からは判定できなかった。しかし棚温度が31~40hrの範囲で急激に低下して試料を冷却する側に働き、40hr以後は全圧および乾燥速度も若干低い値を示すことから、40hr前後に移行点があるものと推察された。

4. 水分分布 カールフィッシャー法で求めた乾燥牛肉および生牛肉の含水率をそれぞれTable 3とTable 4に示す。乾燥牛肉の平均含水率から推算した生牛肉の含水率は70.1%w.b.であったのに対し、実測値の平均は69.1%w.b.であった。カールフィッシャー法は試片の水分と試薬の反応速度が材料水分の抽出速度に依存し¹²⁾、微量水分の測定に適している。当実験では試片1個の測定所要時間は生牛肉で約60min、乾燥牛肉で約15minであり、乾燥牛肉の方が約4倍速い。また生牛肉は高含水率のため試片の比容積が小さく、試片の重量を揃えることが困難であった。また滴定には大量のカールフィッシャー試薬が必要であった。これらの理由から、乾燥試料の含水率から生牛肉の含水率を推算する方法が適当と判断した。

乾燥試料の水分分布は表面に近いほど低い傾向を示した。これは乾燥終了点の温度分布が水分分布に影響を与えたためと考えられるが、さらに一定の圧力条件下における材料温度と含水率の関係を定量的に検討する必要があると考えられる。

乾燥牛肉の水分分布を求めるためには、微量で多数の

Table 3 Moisture contents of beef specimens by Karl Fischer method.

Specimen* No.	Weight (mg)	Moisture (mg)	Solid (mg)	Moisture content (% w. b.)	Mean M. C. (% w. b.)
1	124.9	3.23	121.67	2.59	3.3
2	111.3	2.34	108.97	2.10	
3	98.4	3.38	95.02	3.44	
4	89.4	3.47	85.93	3.89	
5	98.7	3.50	95.20	3.55	
6	77.3	3.35	73.95	4.34	
7	76.0	2.70	73.31	3.55	
8	106.0	3.89	102.11	3.67	
9	135.8	5.09	130.71	3.75	
10	98.5	3.92	94.58	3.98	
11	59.5	2.31	57.20	3.88	3.8
12	83.3	3.56	79.74	4.28	
13	113.5	2.22	111.28	1.95	
14	113.4	2.41	110.99	2.13	
15	96.7	2.40	94.31	2.40	
16	76.1	2.64	94.07	2.73	
17	61.4	2.81	58.59	4.58	
18	83.7	4.01	79.69	4.79	
Average of all specimens.....					3.4

* shown in Fig. 5

Table 4 Raw beef moisture contents determined by Karl Fischer method.

No.	Specimen weight (mg)	Moisture (mg)	Solid (mg)	Moisture content (% w. b.)
1	54.9	39.7	15.1	72.4
2	70.0	48.0	21.9	68.6
3	97.1	65.3	29.8	65.3
4	111.2	77.7	33.5	69.9
5	93.2	62.9	30.3	67.5
6	98.4	69.9	27.4	71.0
Average of six specimens.....				69.1

試片を短時間で精密に測定でき、測定値の再現性が高いことが要求された。カールフィッシャー法は100mg前後の試片で0.01mgまでの水分定量が可能であり、他の物理的測定法¹²⁾にくらべ操作が簡単であった。Kirkbrightら¹³⁾はこの方法を生牛肉の標準的測定法として用いているが、乾燥牛肉の場合にはさらに簡便であり、同一装置で乾燥前後の含水率が求められた。

以上、本報では試作した凍結乾燥装置の特性について述べ、この装置が筆者らの目的に対して十分な性能を有していることを確かめた。続報では、この装置を利用して得られた牛肉の凍結乾燥特性について報告する。

V 摘 要

筆者らは凍結乾燥過程における材料内および装置内の熱と物質移動に関連する諸因子の経時変化を得るために、凍結乾燥実験装置 (Fig. 1) を試作した。以下にこの装置の特性と牛肉の乾燥実験から得られた結果を要約する。

1. 筆者らが目的とした牛肉の乾燥過程における1) 試料重量、2) 乾燥速度、3) 試料内温度分布、4) ヒーターと棚温度、5) 乾球と純氷温度および6) 全圧の変化のデータが Fig. 7のごとく得られた。
2. 秤量装置は秤量68.0gに対して0.37gの感量と1/250の精度を持っていた。
3. 試料表面と底面の温度および変動幅をそれぞれ $(-35\sim 98)\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、 $(-35\sim 85)\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に調節できた。
4. 昇華乾燥過程を通じて、試料内部では昇華面の温度が最も低く、その値は試料の中心部で低くなる傾向にあった (Fig. 8)。

Summary

To study the controlling factors which affect the drying rate during freeze-drying process, the authors have constructed an experimental freeze-drying apparatus as shown in Fig. 1. The characteristics of the apparatus as well as the experimental results obtained from beef samples are summarized as follows.

1. The changes in sample weight, drying rate, temperature distribution in the sample, heater and platen temperatures and total pressure during the freeze-drying process of beef sample were measured and shown in Fig. 8.
2. The weight measuring device, shown in Fig. 2, had the sensibility of 0.37 g and an

accuracy of 1/250 when the sample weight was 68.0 g.

3. The surface and the bottom temperatures of the beef sample were controlled within $(-35\sim 98)\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, $(-35\sim 85)\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, respectively.

参 考 文 献

- 1) 小林正和；液材料の凍結乾燥の理論的、実験的分析と最適サイクルの研究、冷凍、第46巻524号、pp.15~42 (1971)
- 2) Toei R., Okazaki, M., Asaeda, M.; The Stability of Plane Sublimation and a Model of Zone Sublimation in Freeze-Drying of Porous Bodies. J. of Che. Engng. Japan, Vol.8 No.4, pp.282~288 (1975)
- 3) 片山功蔵, 林勇二郎；真空凍結乾燥に関する研究、日本機械学会論文集、第37巻299号、pp.1387~1395 (1971)
- 4) 末沢慶忠, 河村祐治；凍結乾燥の機構、化学工学、第22巻5号、pp.258~263 (1958)
- 5) 細川明, 相良泰行；食品の凍結乾燥と問題点、農機誌、第37巻1号、pp.102~106 (1975)
- 6) 松田由美子；食品の凍結乾燥—動物性食品一、冷凍、第48巻550号、pp.37~44 (1973)
- 7) Hatcher, J.D., Lyons, D.W., Sunderland, J.E., ; An Experimental Study of Moisture and Temperature Distributions During Freeze-Drying, J. of Food Science, Vol.36, pp.33~35 (1971)
- 8) ASRE, Air. Con. Ref. Data book, Vol.1, Refrigeration Applications (1959)
- 9) 加藤舜郎；食品冷凍テキスト、日本冷凍協会、p.65 (1974)
- 10) Salwin, H.; QM Food and Container Institute for the Armed Forces, Activity Report, Dec. (1961)
- 11) Massey, W.M., Sunderland, J.E.; Measurement of Thermal Conductivity During Freeze-Drying of Beef, Food Technology, Vol.21 No.3A pp.90A~94A (1967)
- 12) 鈴木正敏；凍結乾燥品の水分測定、冷凍、第48巻550号、pp.37~44 (1973)
- 13) Kirkbright, G.F., Mayne, P.G., West, T.S.; Application of Permittivity Method for the Rapid Determination of Water in Meat, J. of Food Technology Vol. 10 pp.103~108 (1975)

4. During sublimation dehydration process, the sublimation front showed a minimum temperature and its values were lower in the center portion of the sample than the values near the surfaces (See Fig. 8).

5. The average moisture content of dry beef specimen, which was determined by Karl Fischer method, was 3.4% w. b. (See Table 3).

 会員だより

- (正)桐山 正雄 〒061-01 札幌市東区丘珠町 660番地
・高北農機㈱札幌支社技術課
- (正)田沢 慎男 〒063 札幌市西区発寒613 弘栄ハイッ
- (正)本庄 弘幸 〒061-01 札幌市豊平区羊ヶ丘1・北
海道農業試験場農業物理部機械化第2
研究室
- (正)本田 明敏 〒070 旭川市東4条6丁目・MSK東
急機械㈱
- (正)山下 道弘 〒080 帯広市西16条北1丁目21・MS
K東急機械㈱
- (正)竹内 伸吉 〒036 弘前市大字城東2丁目2番地の
4・津軽ヤンマー販売㈱内
- (正)蓼内 常雄 〒039-31 青森県上北郡野辺地町田名
部通21・野辺地地区農業改良普及所
- (正)船越 和幸 〒036 弘前市稔町25の19
- (正)勝井 徹 〒981-41 宮城県加美郡色麻村大字下
新町73-1
- (正)横尾 四郎 〒985 塩がま市字野田15-7・㈱飯田
製作所仙台営業所
- (正)伊吹 俊彦 〒330 大宮市日進町1・農業機械化研
究所
- (正)大竹 恒男 〒351 埼玉県朝霞市栄町2-10-45・
桜花荘
- (正)鍋内 豊 〒348 羽生市西一丁目5の19・一心寮
- (正)門田 千昭 〒363 桶川市西2丁目9番37号・マメ
トラ農機㈱独身寮内
- (正)手代木尚久 〒280 千葉市弥生町1-33・千葉大学
工学部機械工学科
- (正)吉田 誠 〒277 千葉県東葛飾郡沼南町高柳1765
-4
- (正)鈴木 茂 〒161 東京都新宿区下落合4-1-13
- (正)宇田川紋右衛門 〒110 東京都台東区上野1-19-
10 上野広小路ビル・㈱佐竹製作所
- (正)石川島播磨重工業㈱関連企業室農業機械部 〒100
東京都千代田区大手町2丁目3番6号
・タイムライフビル1階
- (正)細野 美勝 〒171 東京都豊島区長崎6-37-7・
三菱機器販売㈱東長崎寮内
- (正)松本 哲夫 〒171 東京都豊島区長崎6-37-7・
三菱機器販売㈱東長崎寮内
- (正)鷲塚 道徳 〒171 東京都豊島区長崎6-37-7・
三菱機器販売㈱東長崎寮内
- (正)細川 幸秀 〒107 東京都港区南青山4-5-23
- (正)平野 三郎 〒191 日野市日野1852・公務員宿舎
- (正)松阪 元夫 〒182 調布市国領町4-35-2 マン
ション国領207号
- (正)梅田 幹雄 〒229 相模原市横山台2丁目18番5-
510号
- (正)大友 実 〒228 相模原市麻溝台1805の1・萱場
工場㈱油圧技術部
- (正)久能 喜禄 〒420 静岡市音羽町5-3
- (正)福井 正晴 〒616 京都市右京区太秦巽町1番地・
三菱自動車工業㈱京都製作所機器部
- (正)日朝 恒男 〒530 大阪市北区堂島上3の21 全農
大阪支所農業機械部
- (正)岸田 博 〒596 岸和田市尾生町818-1
- (正)川口 靖敬 〒656 兵庫県津名郡東浦町久留麻・兵
庫県州本土地改良事務所 東浦事業所
- (正)豊岡 繁雄 〒689-25 鳥取県東伯郡赤崎町松谷
606・鳥取県畜産試験場
- (正)脇谷 育雄 〒699-01 鳥根県八束郡東出雲町大字
揖屋町・佐藤造機㈱中央研究所
- (正)橋原陽三郎 〒702 岡山市江並331の2・セイレイ工
業寮内
- (正)竹内 学 〒790 松山市道後一万1の2・愛媛県
農業試験場
- (正)杉 宏三 〒815 福岡市南区老司4丁655-65
- (正)岡村 俊一 〒890 鹿児島市郡元1丁目21-40・鹿
児島大学工学部
- (正)安次富信光 〒900 那覇市泉崎1丁目2番地の32・
沖縄県営農指導課

【名義変更】

- (正)全農北海道講習所(旧全農北海道農業機械講習所)
〒078-02 旭川市永山2条13丁目46-
1
- (正)橋崎造船㈱開発部(旧橋崎造船企画管理部)
〒051 室蘭市築地町135番地
- (正)花田 正輝(旧山内光哉) 〒816 大野城市大字上
大利220・全農福岡講習所