

ホタテガイ副産物の処理・利用技術に関する研究開発（第8報）

—ウロの乾燥試験—

本田 重司, 岡 喜秋, 鎌田 樹志
佐々木雄真, 北口 敏弘, 石山 栄三

Processing And Utilizing Technology of Scallop Wastes (Part VIII)
—Drying Treatment of Mid-gut Gland—

Shigeshi HONDA, Yoshiaki OKA, Tatsuyuki KAMADA
Takema SASAKI, Toshihiro KITAGUCHI, Eizo ISHIYAMA

抄 録

ホタテガイ副産物であるウロ（中腸腺）を対象に最適な乾燥方法と資源化プロセス設計の指針を得る目的で、蒸気間接加熱型乾燥機による乾燥試験、加圧による脱水試験、乾燥ウロの吸湿試験、さらに、乾燥に要する燃料コストの試算等を行った。その結果、カビなどを発生させないためには10%以下に乾燥しておく必要があり、湿度の高い時の貯蔵には特に注意する必要があることがわかった。

乾燥試験の結果、280kgの「ウロ」を76.3%から21.2%まで乾燥した時の総合熱効率は44%、また、乾燥機の総括伝熱係数は50 [kcal/hr・℃・m²] (58.15W/m²・K)であった。

乾燥に要する燃料コストは、初期水分と乾燥装置の効率が大きく影響する。初期水分76%、乾燥度を10%、熱効率44%、燃料に灯油(40円/l)を使用するとして乾燥処理に要する燃料費は4,850円/原料t、18,160円/製品tとなった。

1. はじめに

ホタテガイ副産物のうち、脱カドミウム処理した中腸腺（以下ウロ）を飼肥料として有効利用する場合、生原料は70～80%の高水分を含むため保存性が悪い。最適な乾燥方式と資源化プロセス設計の指針を得るため、これまで回分式の熱風直火型乾燥機¹⁾、熱風間接加熱型乾燥機²⁾による乾燥試験と、加熱による「ウロ」に含まれる油脂の過酸化価の変化²⁾などについて検討してきた。

本報告では、水蒸気間接加熱型攪拌減圧乾燥機による試験と、「ウロ」の吸湿性、加圧による脱水試験、さらに、乾燥操作に要する熱源費などについて検討した。その結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 ウロの吸湿特性

乾燥操作の一つの目的は保存性を良くすることである。どこまで乾燥しておけばよいか、また、製品の貯蔵性を推定するため、相対湿度（水分活性）と吸湿量の関係について検討した。

試料は、脱カドミウム処理した乾燥ウロ（以下未脱脂ウロ）とクロロホルム—メタノール溶剤を用いて油脂分を取り除いたウロ（以下脱脂ウロ）の二種類の「ウロ」を用いた。

それぞれ粉碎、乾燥した試料の一定量を精秤して秤量瓶に採り、表1に示した一定の湿度を与える飽和塩類のデシケータに入れ、20℃の恒温室に放置し、毎日秤量して相対湿度と平衡吸湿量の関係を求めた。

表1 一定の湿度を与える飽和塩類

塩 類	湿 度 (%)
LiCl ₂ · H ₂ O	15
CaCl ₂ · 6H ₂ O	32
Na ₂ Cr ₂ O ₇ · 2H ₂ O	52
NaNO ₂	66
(NH ₄) ₂ · SO ₄	81
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	93

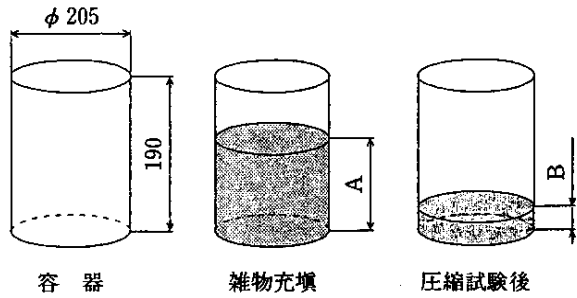


図1 加圧脱水試験容器

2.2 ホタテガイ副産物の加圧による減容・脱水試験

図1に示した、内径205mm、深さ190mmの鋼管製円筒容器にホタテ雑物を充填し、万能試験機（定格10t）により荷重約5tをかけ、前後の水分を電子式水分計で測定し、（脱水量 kg / 初めの含水量 kg）× 100で脱水率を算出した。また、前後の試料高さ A、B から減容化率（B/A）を算出した。

ホタテ雑物として、ホタテウロ、ミミの試料（I）、コンブ、青藻、イガイが比較的多い試料（II）、イガイが多い試料（III）の三つについて行った。なお、圧縮速度は10cm/minである。

2.3 乾燥試験

本試験で使用した装置は、札幌市のI社が製作し、増毛町のM社に設置されている装置で、高水分（70%以上）の有機性廃棄物を蒸気間接加熱方式により55～60%程度まで減圧下で予備乾燥を行い、その後、常圧で一定温度を保ちながら空気循環を行い、微生物資材を使用して発酵乾燥を行うことを目

的に開発された装置であるが、本試験では、微生物資材を使用せず蒸気間接加熱方式の減圧攪拌乾燥機として使用した。

装置のフローを図2に、仕様の概要を表2に示した。

ボイラーの蒸気圧は7～8kg/cm²・G（0.588～0.784MPa）で制御されているが、それを2kg/cm²・G（0.294MPa）に減圧し、ヘッダーを通して缶体ジャケットと攪拌軸ジャケットに導入し缶体を予熱する、缶体温度が一定になってから、脱カドミウム処理した「ウロ」の一定量を乾燥機に入れ、乾燥を開始する。そして、各時間毎にサンプリングを行い電子式水分計で水分の経時変化、熱電対で品温の経時変化、天秤で熱源蒸気のドレン排出量、積算流量計でボイラーの燃料使用量等を計測し、これらから装置の熱効率、総括伝熱係数、熱収支について検討した。

なお、缶体ジャケットに導入する蒸気は、材料温度（品温）を70℃に設定してON-OFF制御した。装置の熱効率³⁾、熱収支の熱量は、次式により求めた。

① ボイラー効率 η₁

$$\eta_1 = \frac{\text{蒸発潜熱} + \text{供給水の蒸発温度までの予熱熱量}}{\text{燃料使用量} \times \text{燃料発熱量}}$$

$$= \frac{D(\lambda_{bw} + C_p \cdot \Delta t)}{He \times W} \dots\dots\dots (1)$$

表2 装置の主な仕様

寸 法	600 A × 1800 L (mm)
板 厚	胴 7.9t, ジャケット 4.5t
材 質	本体 STPY 400, SS 400
フ ラ ン ジ	JIS 5 kF
最高使用圧力	1次側（ジャケット）：2.0 kg/cm ² 2次側（本 体）：2.0 kg/cm ²
伝 熱 面 積	3.56 m ² （缶体+攪拌軸）
安 全 装 置	1次側：減圧弁の2次側に安全弁を設置 2次側：全量式安全弁 AF-1 25 A を設置
規 格	第一種圧力容器

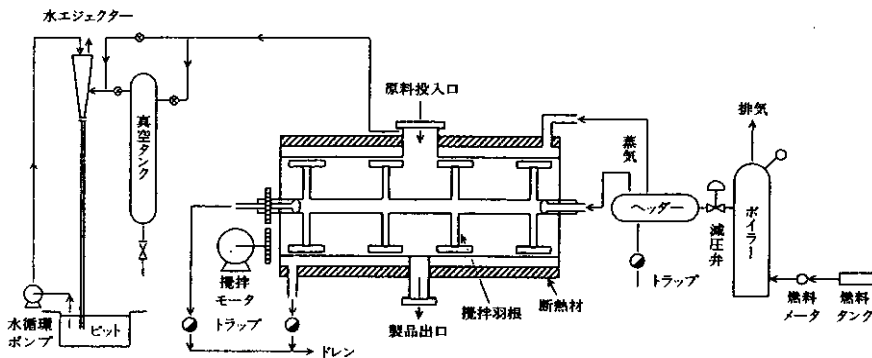


図2 乾燥試験装置フロー図

② 乾燥機効率 η_2

$$\eta_2 = \frac{\text{水分の蒸発潜熱} + \text{材料の蒸発温度までの予熱熱量}}{\text{ボイラーからの供給熱量}}$$

$$= \frac{F_0 \{ (w_1 - w_2) \lambda_{dw} + (w_1 + C_s) (t_w - t_{m1}) + (w_2 + C_s) (t_w - t_{m2}) \}}{D (\lambda_{bw} + C_p \cdot \Delta t)}$$

..... (2)

③ 総合効率 η

$$\eta = \frac{\text{水分の蒸発潜熱} + \text{材料の蒸発温度までの予熱熱量}}{\text{燃料使用量} \times \text{燃料発熱量}}$$

$$= \frac{F_0 \{ (w_1 - w_2) \lambda_{dw} + (w_1 + C_s) (t_w - t_{m1}) + (w_2 + C_s) (t_w - t_{m2}) \}}{He \times W}$$

..... (3)

- D : ドレン量 [kg]
- λ_{bw} : ボイラー圧での蒸発潜熱 [kcal/kg] (KJ/kg)
- λ_{dw} : 乾燥機内圧での蒸発潜熱 [kcal/kg] (KJ/kg)
- Cp : 水の比熱 [kcal/kg・°C] (KJ/Kg・K)
- Cs : 無水材料の比熱 [kcal/kg・°C] (KJ/Kg・K)
- Δt : ボイラー蒸発温度と供給水の温度差 [°C] (K)
- He : 燃料の発熱量 [kcal/l] (KJ/l)
- W : 燃料使用量 [l]
- F₀ : 材料処理量 [kg - 固形物]
- W : 含水率 [kg - 水 / kg - 固形物]
- t_w : 蒸発温度 [°C] (K)
- t_m : 材料温度 [°C] (K)

添え字 1 : 乾燥前, 2 : 乾燥後の状態

また, 総括伝熱係数 U [kcal/hr・°C・m²] (W/m²・K) は, 次式により求めた

$$q = U \cdot A \cdot (t_k - t_m) \text{ av}$$

$$U = q / \{ A \cdot (t_k - t_m) \text{ av} \}$$

..... (4)

- q : 熱移動量 (予熱+潜熱) [kcal/hr] (W)
- A : 伝熱面積 [m²]
- t_k : 熱源温度 [°C] (K)
- t_m : 材料温度 [°C] (K)
- av 平均

2.4 乾燥経費の試算

乾燥は相変化を伴う熱操作で 1kg の水を水蒸気に状態変化させるには最低限約 600kcal (2.51MJ) の熱量 (潜熱+材料予熱) が必要である。さらに, 必要熱量としては装置の熱効率で割らなければならない, したがって, 乾燥経費に占める熱源費は次式で算出される。

$$L = \frac{2.51 \times F (w_1 - w_2) \times f}{\eta \times He}$$

..... (5)

- L : 熱源費 [円]
- F : 原料処理費 [乾 kg]
- w₁ : 原料含水率 [乾基準]
- w₂ : 製品含水率 [乾基準]

f : 燃料単価 [円 / l]

η : 熱効率 [-]

He : 燃料発熱量 [MJ/l]

3. 試験結果

3.1 ウロの吸湿特性

各湿度 (相対) での吸湿量の経時変化の一例を図 3 に, 等温平衡吸湿曲線を図 4 に示した。

高湿度の場合は平衡になるまで時間はかかるが, 低湿度の場合は比較的早く 3 ~ 4 日で平衡に達する。また, 脱脂ウロは未脱脂ウロに比べ吸湿量が大きくなる。一般的に微生物が生育出来る最低限界値 (水分活性) は好乾性酵母およびカビで 0.6 と云われている⁴⁾。したがって含水率 (乾基準) 10% 以下に乾燥しておく必要がある。また, 高温多湿になる夏期の貯蔵には特に注意する必要がある。

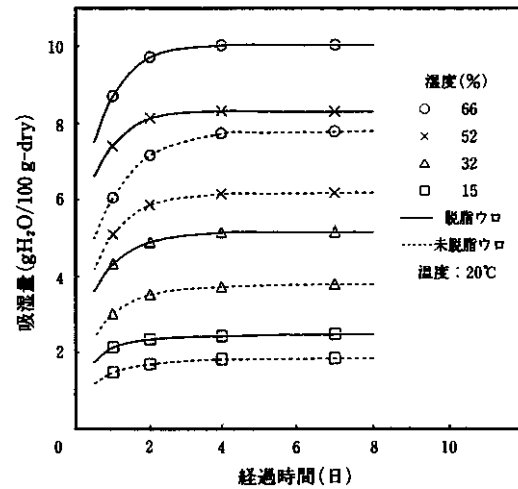


図 3 吸湿速度

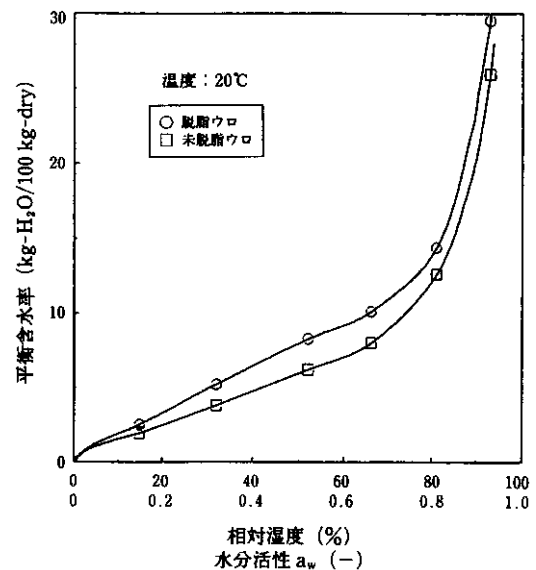


図 4 等温平衡吸湿曲線

3.2 加圧による減容・脱水試験

ホタテガイ雑物の加圧脱水試験の結果を図5に示した。

用いた試料は、-20℃で凍結した試料で、常温の室内に放置して解凍した時にドリップとして脱水される。それも示した。

イガイ等の多い付着物では解凍による脱水率は43%、さらに、解凍後の含水量を100として加圧による脱水率は52%となる。また、コンブ等の海藻が多いものでは解凍によって45%程度脱水できるが加圧では11%と小さくなる傾向を示す。さらに、ホタテウロ、ミミ等の雑物については解凍で21%、20kg/cm² (1.96MPa) - 30分7加圧で39%程度の脱水が可能である。

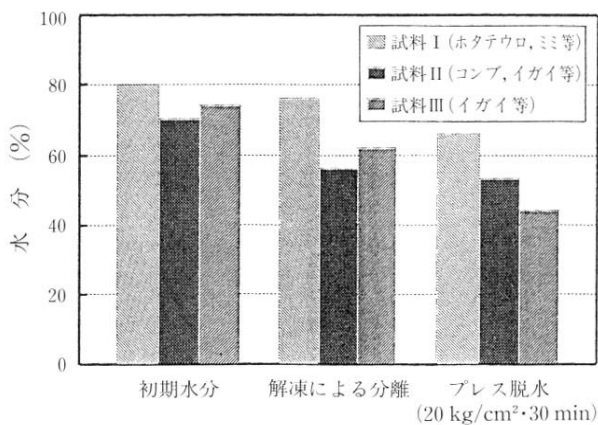


図5 脱水試験結果

減容化については15.2kg/cm² (1.49MPa)の圧をかけると、コンブ等の海藻の多い雑物で25%まで、イガイ等の貝類の多いもので18%まで、減容化が可能である。この減容化処理により運搬などの作業が容易となる。

3.3 乾燥試験

初期水分76.3%の「ウロ」281.3kgを乾燥機に入れ、熱源蒸気の圧を2kg/cm²G (0.294MPa)として乾燥を行った。その結果を、表3に示した。14時間で21.2%まで乾燥した。

また、この時の熱収支を図6に示した。

ボイラー効率77%、乾燥機効率は57%、総合効率は44%であった。

乾燥機の熱損失は30%、ドレン損失が12%程度ある。これらは、断熱を完全に行う、さらに、ドレンの熱回収を行うなどの対策で、効率をもっと良くなると思われる。

一方、(4)式で算出した総括伝熱係数Uは50[kcal/hr・℃・m²] (58.2W/m²・K)であった。この種、乾燥機のUは一般に60~130[kcal/hr・℃・m²] (69.8~151.2W/m²・K)であるが、粘着性が高い物の乾燥の場合は、Uは小さくなる傾向を示すと云われている⁵⁾。「ウロ」の乾燥の場合、水分が約60~50%の範囲で、粘着性が非常に大きくなる特性を示す。さらに、乾燥の進行と共に、試料の減容化が有効伝熱面積が小さくなり、そのため、Uがやや小さい値になったと考えられる。

乾燥排蒸気は水エjectターで系外に排出される機構になっているが、気になる臭気はなかった。水を循環して使用する場合は水温の上昇に留意する必要がある。

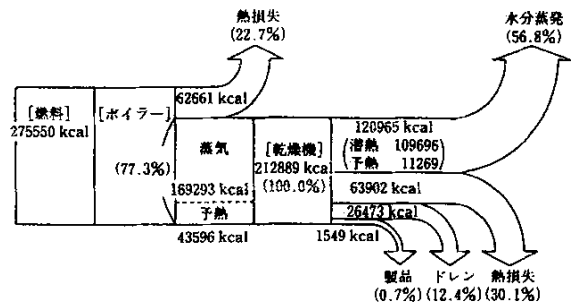


図6 乾燥の熱収支

表3 水蒸気間接加熱型攪拌乾燥機による「ウロ」の乾燥試験結果

時間 min (hr)	水分 (湿基準%)	試料重量 (kg)	蒸発水分量 (kg)	熱源蒸気 ドレン量 (kg)	燃料使用量 (ℓ)	電力量 (kWh)
0 (0)	76.3	281.3	0	0	0	0
60 (1)	—	—	—	24.2	3.55	3.5
120 (2)	71.8	236.1	45.2	57.1	6.46	6.6
180 (3)	68.6	212.4	68.9	100.2	9.72	9.6
240 (4)	65.8	194.9	86.4	136.1	12.58	—
300 (5)	62.8	179.1	102.2	156.1	14.64	15.2
360 (6)	60.2	167.7	113.6	176.5	16.86	17.9
420 (7)	57.7	157.5	123.8	198.3	19.12	20.7
480 (8)	—	—	—	218.6	21.31	23.7
540 (9)	47.8	127.8	153.5	239.2	23.36	26.4
600 (10)	46.0	123.5	157.8	258.8	25.55	29.4
660 (11)	—	—	—	279.7	27.67	32.3
720 (12)	33.6	100.4	180.9	298.0	29.63	35.1
780 (13)	26.6	90.8	190.5	317.7	31.65	38.1
840 (14)	21.2	84.7	196.6	335.1	33.40	40.7
冷却 (0) (9)	16.3	79.6	201.7			

3.4 乾燥コストの試算

(5)式において、製品水分 W_2 を 10% (湿基準), 燃料は灯油 ($f = 40$ 円/l, $He = 34.53$ MJ/l) を使うと仮定して, 原料の初期水分 W_1 (湿基準) と装置の熱効率 η を変数として, 原料 t 当たりの乾燥に要する燃料コストを試算した。その結果を図 7 に, 製品 t 当たりに換算した結果を図 8 に示した。

図からわかるように, 原料水分 80%, 装置効率 40% の場合で, 原料 t あたり 5,700 円の燃料費がかかる。また, 初期水分 60% の場合は 4,000 円となる。このように, 乾燥処理に要する燃料コストは原料の初期水分と装置効率が大きく影響する。したがって, 乾燥処理操作は, 効率のよい装置を選定し, 原料水分の大きいものは, ランニングコストの安い機械脱水により出来るだけ水分を下げてから乾燥することが, 乾燥処理コスト低減のためには重要なことである。もちろん, 脱水した水の処理, 利用を考えておく必要がある。

同じように, 次の仮定で年間の乾燥経費を試算した。

- ・ 処 理 量 : 10t / 日
- ・ 操業時間 : 8 時間 / 日
- ・ 操業日数 : 200 日 / 年

その結果を図 9 に, 示した。

効率 30% の装置で, 75% から 10% まで乾燥する燃料費は年間 1400 万円, それを効率 50% にすると 840 万円となり, 年間 540 万円低減出来る。したがって, 効率 30% から 50% にする改造費が, 例えば, 540 万円とすると, その費用は一年で償却できることになる。

4. まとめ

ホタテガイ副産物の中腸腺 (ウロ) の乾燥操作について試験を行った。

その結果を要約すると

- ① 乾燥に要する燃料コストは, 初期水分と乾燥装置の効率が大きく影響する。
例えば, 水分 80% の「ウロ」を 10% まで乾燥する場合, 効率 40% で 5,700 円 / 原料 t, 製品に換算すると 25,500 円 / 製品 t の燃料費が必要である。
- ② 初期水分の低減を目的に加圧脱水を行った結果, 「ウロ, ミミ」は $20\text{kg}/\text{cm}^2$, 30 分 (1.96MPa, 30 分) の加圧で 39% 程度の脱水が可能である。
- ③ 蒸気間接加熱型攪拌乾燥機による試験の結果, 280kg のウロを 76.3% から 21.2% まで乾燥した時の総合熱効率は 44%, また, 総括伝熱係数は $50 [\text{kcal}/\text{hr} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{K}]$ ($58.2\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) である。
- ④ 乾燥ウロの吸湿性について試験した結果

カビなどを発生させないためには 10% 以下に乾燥しておく必要がある。また湿度の高い時の貯蔵には特に注意する必要がある。

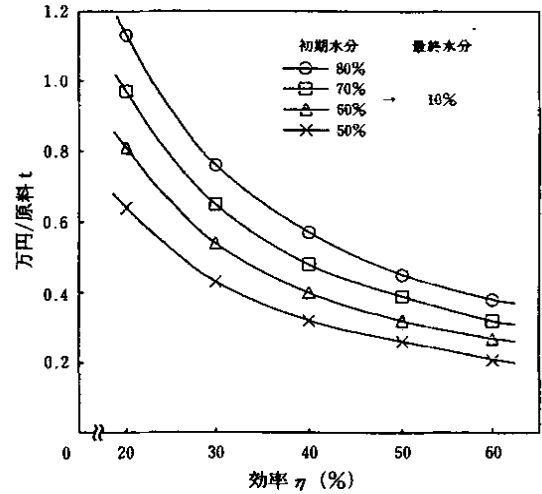


図 7 乾燥に要する燃料費 (原料当たり)

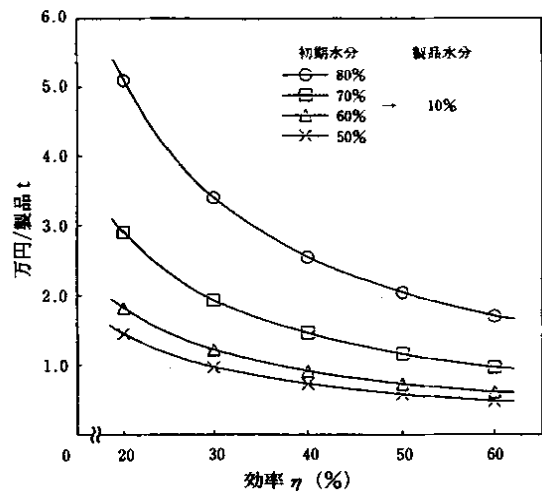


図 8 乾燥に要する燃料費 (製品当たり)

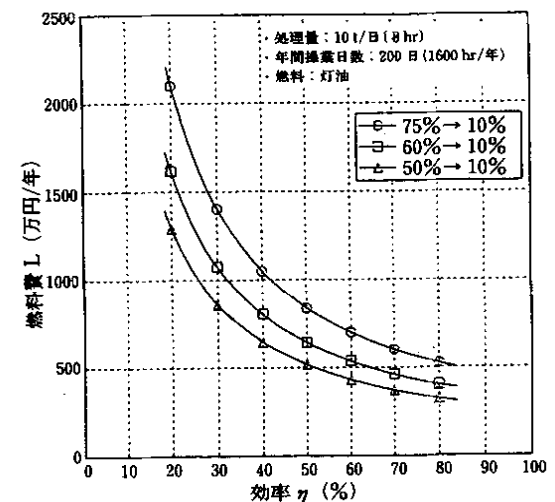


図 9 乾燥に要する燃料費 (年間当たり)

5. 謝 辞

乾燥試験で御協力をいただいた伊藤製缶工業株式会社（札幌市）の川口秀樹氏，および，増毛海洋漁業株式会社（増毛町）に対し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北海道立工業試験場:平成5年度 共同研究報告書「ホタテガイ副産物の処理・利用技術に関する研究開発」P39（1994）
- 2) 本田，岡ら:北海道立工業試験場報告 No.294，P127，（1995）
- 3) 桐栄良三編:「乾燥装置」P43 日刊工業新聞社（1978）
- 4) 化学工学協会編:「食品化学工学」P73（1988）
- 5) 化学工学協会編:「化学工学便覧」P717（1978）