

高純度塩の固結防止機構の研究（第1報） 包装袋の低水分化及び防湿包装による固結防止

篠原富男, 鍵和田 賢一, 党 弘之, 益子公男

要旨

高純度塩の固結防止のため、乾燥処理により低水分化したクラフト紙を内層、防湿包装材料を外層とした構成の包装袋を開発し、各種の環境蔵置試験により固結防止の効果と作用について解析し、以下の結果を得た。

- 1) 低水分化したクラフト紙と防湿包装の構成とした包装袋内の相対湿度及び塩層空隙部の水分は各種包装袋の中で最小値を示した。各包装袋内塩層部の相対湿度はクラフト紙水分が吸着等温線上で平衡水分となる相対湿度とはほぼ一致した。
- 2) 包装袋のクラフト紙水分と固結とは高い相関を示し、低水分化したクラフト紙と防湿包装の構成とした包装袋はクラフト紙水分が一定値（約3%）以下の場合、長期間の固結防止効果を示した。
- 3) 精製塩包装袋内における水分の物質収支は、クラフト紙水分量の占める割合が85%以上で圧倒的に多く、精製塩包装袋の固結はクラフト紙水分の温度変化に伴う吸・放湿現象が支配するものと考えられた。

1. 緒言

高純度塩の品質を維持し、固結緩和及び防止を図るために、保管環境条件及び包装材料により改善を行う必要がある。筆者らは、包装材料による高純度塩の固結緩和・防止には湿分緩衝材料による塩層内空隙部における相対湿度の低下とその持続が重要であり、湿分緩衝材料としては高吸水性樹脂の入った不織布等より、一般に塩用に使用されるクラフト紙を乾燥し低水分化したものが、その効果が大きいことを報告した¹⁾。これらの結果を高純度塩包装袋に応用するには、内装クラフト紙の量（坪量、層数）や包装袋乾燥による低水分化処理及び高防湿材料での最外装包装が不可欠であるものと推察される。

そこで、本報告ではこれらを検証するため、湿分緩衝性を示すクラフト紙の低水分処理の有無及び最外装ポリエチレン包装の有無を組み合わせた試験袋に高純度塩として精製塩を充填し、これを3つの環境条件下に一定期

間蔵置し、塩の吸・放湿現象を質量基準の湿度（以下、湿度と称す）で経時的に追跡することにより、包装袋の条件と固結現象を解析すると共に、固結緩和及び防止の効果について検討した。

2. 方 法

2.1 包装袋

包装袋の種類及び包材の透湿度をTable 1に示す。

2.1.1 クラフト紙の層数

精製塩25kg包装袋（常温）における塩の含有水分量、空隙部水分量の総量は約2.6gである。クラフト紙の低水分化後の紙水分を約3%，塩を充填した後一定期間蔵置後のクラフト紙水分を約8%とし、その差約5%をクラフト紙が吸湿すると仮定すると、上記の水分量を吸湿するために必要なクラフト紙は精製塩包装袋（クラフト紙坪量²⁾81g/m²、面積0.62m²）ほぼ1層分に相当する。

しかし、包装袋の透湿度により外気から進入する水分の影響も受けることから、クラフト紙1層では不充分と

Table 1 包装袋の種類、層構成及び透湿度

略号	層構成（包装袋外側から）	透湿度(g/m ² ・24hr)
K 5（多層袋）	PE20-K81・K81・K81・K81・K81	42
K 4（多層袋）	PE20-K81・K50-PE35-K50・K81・K81・K81	15
P（精製塩袋） ²⁾	PE20-K81・K81・K81-K50-PE35-K50	15
V（ポリ袋）	LLDPE、1層	3

PE20-K81：ポリラミネット紙（PE厚さ20μm、クラフト紙坪量81g/m²）

K50-PE35-K50：ポリサンド紙（クラフト紙坪量50g/m²-PE厚さ35μm-クラフト紙坪量50g/m²）

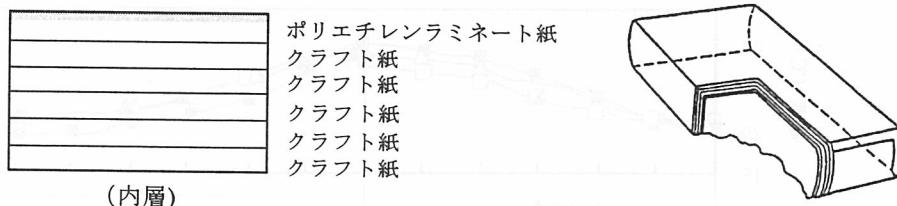


Fig. 1 多層袋の構造 (K 5 の例)

Table 2 精製塩の組成及び粒径分布

乾燥減量	主成分 %						粒径 (μm) d/σ
	C 1	Ca	Mg	SO ₄	K	Na	
0.01	60.37	0.002	0.000	0.002	0.002	39.16	330/90

d : 平均粒径 σ : 標準偏差

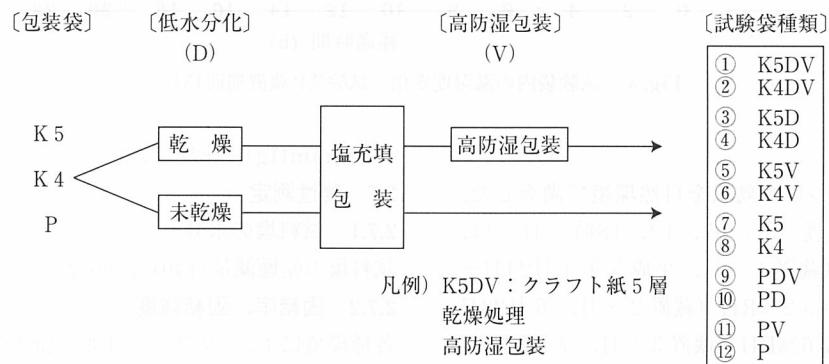


Fig. 2 包装袋の低水分化及び高防湿包装を組み合わせた試験袋種類

考えられる。このため、包装袋のクラフト紙は多層にする必要があり、固結防止効果を考えて現行精製塩袋より多いクラフト紙5層(K 5)とした。また、包装袋強度の問題から、外側より2層目をPS紙(ポリサンド紙)とした包装袋(K 4)についても製袋した(Fig. 1, Table 1)。

2.1.2 低水分化(乾燥処理)

本項では製袋した包装袋を70°C, 24時間、定温乾燥器で乾燥処理を行った。

2.2 試料塩及び包装(ピンチシール包装)

日本食塩製造株式会社製の精製塩(製造直後)を用い、詰め替え、ピンチシールを行った。精製塩の組成及び粒径をTable 2に示す。

2.3 最外装防湿(高防湿)包装

ピンチシール包装後の包装袋をTable 1のポリ袋(V)に入れ、ヒートシールし最外装防湿包装袋とした。

2.4 試験袋の種類及び包装袋(クラフト紙)の水分

包装袋の乾燥処理及び高防湿包装を組み合わせた試験袋の種類をFig. 2に示す。

クラフト紙の水分は紙及び板紙の水分試験法(JIS P8127)³⁾を準用し、測定した。即ち、クラフト紙片約5gを秤量瓶に入れて秤量した後、乾燥器で105±3°Cで4

Table 3 内層クラフト紙の初期水分

	クラフト紙多層袋 (%)		精製塩袋
	K5	K4	
無処理	7.9	8.2	5.3
低水分処理	3.6	3.0	2.6

時間乾燥後、デシケーター内で30分間冷却し、連続2回の重量変化が3mg以下となった時の減量を水分値とした。各試験袋における内層クラフト紙(最内層紙)の初期水分をTable 3に示す。

2.5 蔵置環境

2.5.1 温度振動環境

一定の低湿度(40%RH)のもとで温度振動環境条件(20°C, 12hr/35°C, 12hrのサイクル)により、主としてクラフト紙の低水分化と固結との関係について調査した。恒温恒湿室(富士テスター(株)製JKS-IS6型、6坪タイプ)を用い、温度振動(ΔT 15°C)を連続的に与えた。

2.5.2 加速環境

塩の吸・放湿を促進させるため、環境条件を過酷にした加速環境条件(25°C, 40%RH, 24hr/35°C, 90%RH, 60hrのサイクル)である。2.5.1項の要因に加えて最外装防湿包装の効果を調査した。

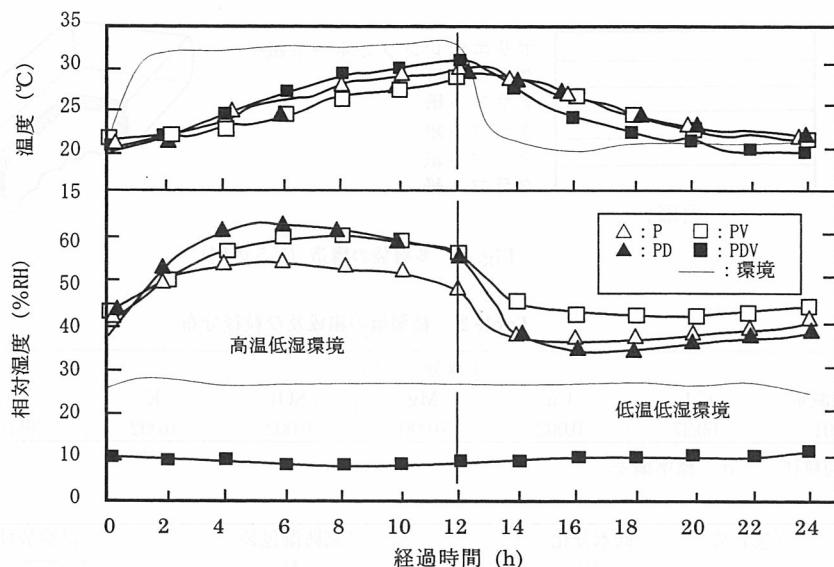


Fig. 3 試験袋内の温湿度変化（試験袋P, 蔵置期間15日）

2.5.3 自然環境

2.5.2項と同項目について効果を自然環境で調査した。自然環境の平均温湿度（0, 6, 12, 18時／日）は、17.2°C, 60.0%RH（蔵置1ヶ月, 平成5年4月24日～5月23日), 20.2°C, 65.2%RH（蔵置2ヶ月, 6月23日まで) 及び21.5°C, 67.6%RH（蔵置3ヶ月, 7月23日まで）である。

2.6 試験袋内の温度と湿度

試験袋に温湿度センサ（新栄科学株製のTHP-B4T型）を挿入し、袋内の温湿度変化を測定し、この推移を追跡した。センサをFig. 2に示す区分で精製塩を充填した試験袋に挿入し、塩層空隙部の湿度を測定した。湿度は、Antoine式⁴⁾により各温度での飽和蒸気圧を求め、それぞれの相対湿度から湿度に換算し、試験袋内の湿度とした。

[Antoine式]

$$\log_{10} P_s = A - B / (C + t) \quad (1)$$

但し、 P_s (mmHg)：飽和蒸気圧 t (°C)：温度

$A, B, C(-)$: Antoine式の定数(水)

$$A = 8.10765, B = 1750.286, C = 235$$

[湿度の表示]

$$Y = \text{水蒸気の質量} / \text{乾き空気の質量} \\ = 0.62 P / (P_T - P)$$

ここで、 $P = \phi P_s$

$$Y = 0.62 \phi P_s / (P_T - \phi P_s) \quad (2)$$

Y (kg - 水蒸気 / kg - 乾き空気) : 湿度

P (mmHg) : 水蒸気の分圧

P_T (mmHg) : 全圧 (760) $\phi (-)$: 相対湿度

2.7 物性測定

2.7.1 試料塩の水分

試料塩の乾燥減量(140°C, 90分)⁵⁾を測定した。

2.7.2 固結率, 固結強度

各種環境に1, 2及び3ヶ月間（加速環境40日, 60日間）蔵置後、試験袋を開封し試料塩の固結している割合を表す固結率⁶⁾、テストピースの固結強度⁵⁾を測定した。

3. 結果及び考察

3.1 各種蔵置環境と試験袋内における温湿度の推移

3.1.1 温度振動環境

低分化-防湿包装(PDV)は低透湿度の試験袋であり、温度振動環境の影響を殆ど受けず包装初期の低い相対湿度(約10%)で推移した(Fig. 3)。

3.1.2 加速環境

試験袋内塩層の相対湿度は $P \approx PD > PV \gg PDV$ であり、低分化-防湿包装(PDV)は低い相対湿度を示した(Fig. 4)。

3.2 湿度の推移(加速環境, 温度振動環境)

加速環境における試験袋K4DV及びPDVは湿度 $8 \sim 15 \times 10^{-3}$ (kg - 水蒸気 / kg - 乾き空気)と低い値で推移し、その他の試験袋は $12 \sim 35 \times 10^{-3}$ (kg - 水蒸気 / kg - 乾き空気)と高い値で推移した(Fig. 5)。

温度振動環境(蔵置期間14日)における湿度も同様に試験袋K4DV, PDVの場合 $1.5 \sim 2 \times 10^{-3}$ (kg - 水蒸気 / kg - 乾き空気)と最小値を示し、他の試験袋区分は $5 \sim 15 \times 10^{-3}$ (kg - 水蒸気 / kg - 乾き空気)と高い値で推移した。

3.3 試験袋内の塩層空隙部の水分量

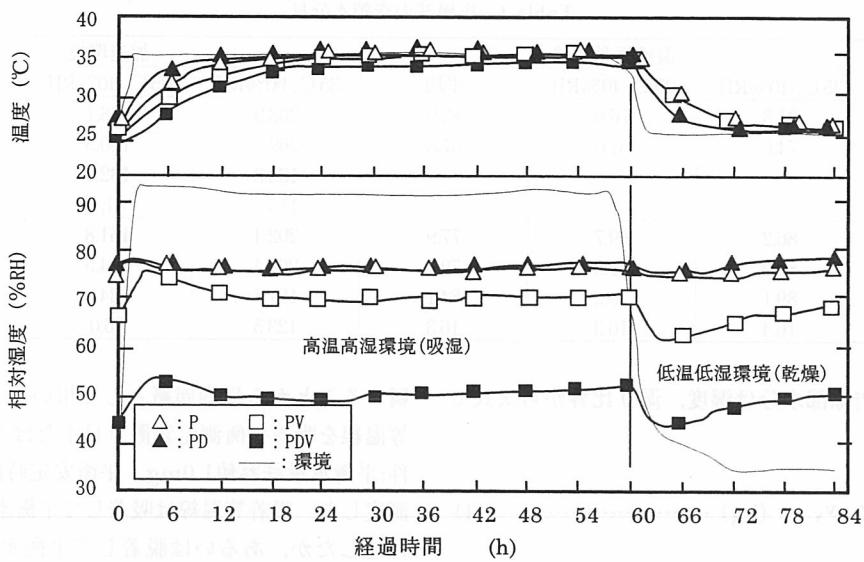


Fig. 4 試験袋内の温湿度変化（試験袋P, 蔵置期間14日）

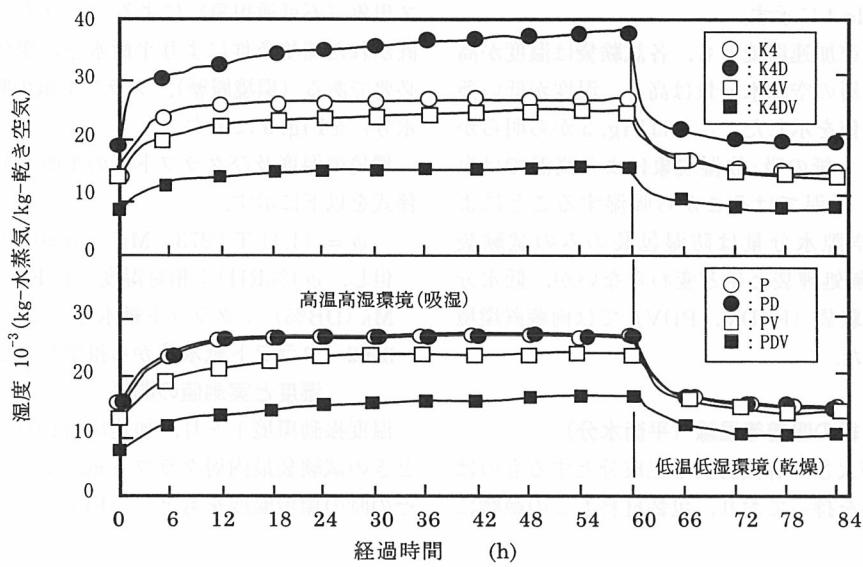


Fig. 5 試験袋内の湿度変化（試験袋K4, P 蔵置期間14日）

試験袋内のクラフト紙、塩層の空隙部、精製塩における水分量の物質収支を検討するため、湿り比容を用いて塩層空隙部の水分量（水蒸気量）を試算した。

3.3.1 塩層の空隙部水分の試算

空隙部の水蒸気量は湿り比容、精製塩袋の内容積から以下のように求めた。

[湿り比容]

$$v_Y = (0.772 + 1.24Y)(273 + t) / 273 \quad \dots \quad (3)$$

v_Y ($m^3/kg - \text{乾き空気}$) : 湿り比容

Y ($kg - \text{水蒸気}/kg - \text{乾き空気}$) : 湿度

t ($^\circ\text{C}$) : 温度

ある一定温度における単位容積当りの水分量

$$Y_t = Y / v_Y$$

Y_t ($kg - \text{水蒸気}/m^3$) : t $^\circ\text{C}$ における単位容積当りの水分量

〔包装袋内の水蒸気量〕

精製塩袋の空隙部容積 (V_0)

$$\varepsilon = 1 - 1.33 / 2.16 = 0.387$$

$$V_0 = \varepsilon V = 0.387 \times 18.8 \times 10^{-3} = 7.28 \times 10^{-3} (m^3)$$

ε : 空隙率 (-)

V : 精製塩袋の内容積 18.8×10^{-3} (m^3)

Table 4 塩層部の空隙水分量

試験袋		温度振動環境			加速環境		
		35°C, 40%RH	20°C, 40%RH	平均	35°C, 90%RH	25°C, 40%RH	平均
K4	K4	91.3	76.6	83.9	203.9	138.1	171.0
	K4D	74.6	61.0	67.8	269.5	180.5	225.0
	K4V	-	-	-	183.9	132.8	158.3
	K4DV	-	-	-	115.7	81.1	98.4
P	P	86.2	69.7	77.9	202.4	151.8	177.1
	PD	88.9	69.3	79.1	208.4	144.5	176.4
	PV	89.1	79.2	84.1	181.6	134.6	158.1
	PDV	16.4	16.3	16.3	123.5	96.0	109.8

精製塩袋の塩層空隙部水分は湿度、湿り比容から次式で求められる。

$$V_0 Y_t = V_0 Y / v_Y \quad (\text{kg}) \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

3.3.2 試験袋内の空隙水分量

上記の試算式から各試験袋内の塩層部における空隙水分量を求め、Table 4 に示す。

温度振動環境及び加速環境とも、各試験袋は温度が高い環境条件では塩層の空隙水分量は高く、温度が低い条件ではそれが低い値を示した。これはFig. 5 から明らかなように、クラフト紙の吸・放湿現象により高温では塩層空隙部に放湿、低温ではそこから吸湿することによる。また、平均空隙水分量は防湿包装のみの試験袋 (K4V, PV) では無処理袋と殆ど変わらないが、低水分化・防湿包装の試験袋 (K4DV, PDV) では両蔵置環境とも最小値を示した。

3.4 最内層紙

3.4.1 クラフト紙の吸着等温線（平衡水分）

比較的分子量が大きい有機物質を主成分とするものは特有の吸着等温線を持っており、包装材料もこの範疇に

属することから最内層紙として用いたクラフト紙の吸着等温線を吸着平衡測定装置（日本たばこ産業株式会社製、測定条件：平衡重量許容値1.0mg、平衡安定時間20min）により測定した。吸着等温線は吸着して平衡水分（吸着等温線）に達したか、あるいは脱着して平衡水分（脱着等温線）に達したかによってその平衡水分は異なる。平衡水分量は脱着等温線 > 吸着等温線 であり、これはヒステリシス現象（不可逆現象）による^{7, 8)}。また、測定する以前に置かれた環境条件により平衡水分は変化するので注意が必要である（環境履歴）。クラフト紙の吸着等温線（平衡水分）をFig. 6 に示す。

環境の温度及びクラフト紙の平衡水分と相対湿度の関係式を以下に示す。

$$\phi = (4.41 T / 273) M_K^{1.11} (r=0.98) \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

但し、 ϕ (%RH) : 相対湿度 T (K) : 絶対温度

M_K (DB%) : クラフト紙水分

3.4.2 クラフト紙水分から推定した塩層空隙部の相対湿度と実測値の関係

温度振動環境1ヶ月、加速環境40日蔵置後に開封したときの試験袋最内層クラフト紙、ポリサンド紙の水分とその時の環境温度をもとに、Fig. 6 の吸着等温線から塩

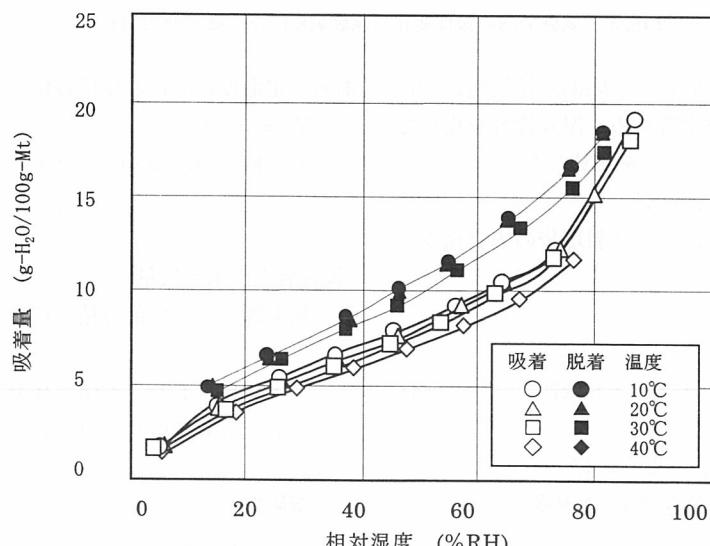


Fig. 6 クラフト紙の吸着等温線（平衡水分）

層空隙部の相対湿度を推定した。吸着等温線については温度の上昇、下降変動の局面ではパターンが変化するので、以下の様な使い分けをする必要がある。

- ・温度上昇時：脱着等温線（クラフト紙水分は温度が低温側から高温側に変化するとき放湿する）
- ・温度下降時：吸着等温線（クラフト紙水分は温度が高温側から低温側に変化するとき吸湿する）

しかし、吸着等温線は乾燥定数、脱気定数及び各因子の許容値等の設定条件やヒステリシス現象により変化するので、本解析では全て吸着等温線を用いて整理することとした。推定した塩層空隙部の相対湿度と試験袋内の相対湿度（センサ指示値）の関係をFig. 7に示す。

クラフト紙、ポリサンド紙の水分が平衡水分となる相対湿度と試験袋内塩層の相対湿度（実測値）は次式により良好な関係が認められた。

$$\phi_{\text{void}} = -7.65 + 1.14 \phi_k \quad (r=0.92) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$\phi_{\text{void}} (\%)$: 塩層の相対湿度（実測値）

$\phi_k \quad (\%)$: 温度 $t \text{ }^{\circ}\text{C}$ でクラフト紙、ポリサンド紙の水分が平衡水分となる相対湿度

Fig. 7 から、塩層の相対湿度はクラフト紙、ポリサンド紙水分が環境条件の温度 $t \text{ }^{\circ}\text{C}$ で、平衡水分となる相対湿度にはほぼ一致した。

3.5 精製塩の吸着等温線

精製塩の吸着等温線をFig. 8に示す。精製塩の水分吸着量は各温度での臨界湿度（0～40°C, 78～74.5%RH）以下の場合、低温側では高温側よりやや高い値で推移したが、何れの温度でも水分吸着量は0.2 g-H₂O/100g-Mt以下と微量であった。また、臨界湿度以上の場合には各

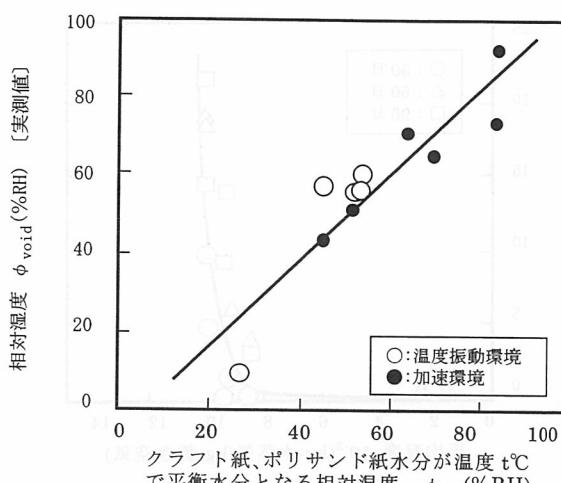


Fig. 7 クラフト紙水分が温度 $t \text{ }^{\circ}\text{C}$ で平衡水分となる相対湿度と試験袋内塩層の相対湿度（実測値）の関係

温度で急激に水分吸着量の増加がみられた。本試験における塩層の相対湿度は臨界湿度以下の区分が多く、塩水分は微量で推移したものと考えられる。

3.6 固結

3.6.1 湿度と固結

1) 温度振動環境

貯蔵期間3ヶ月間で精製塩の流动性を良好な状態に維持するには平均湿度約 8×10^{-3} (kg-水蒸気/kg-乾き空気)，完全を期すためには平均湿度約 2×10^{-3} (kg-水蒸気/kg-乾き空気) 以下にする必要があった (Fig. 9)。上記の条件を満たす試験袋は低水分化-高防湿包装のK5DV, K4DV及びPDVであった。

2) 加速環境

貯蔵期間1ヶ月間で精製塩の流动性を良好に維持させるには平均湿度約 $12 \sim 15 \times 10^{-3}$ (kg-水蒸気/kg-乾き

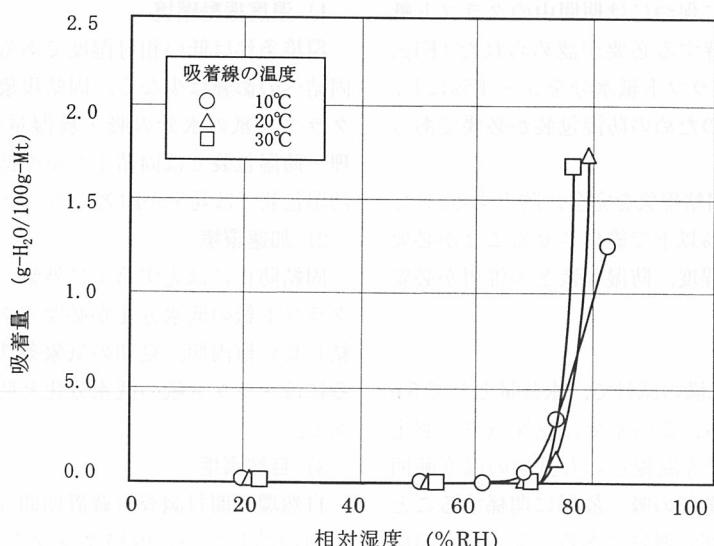


Fig. 8 精製塩の吸着等温線

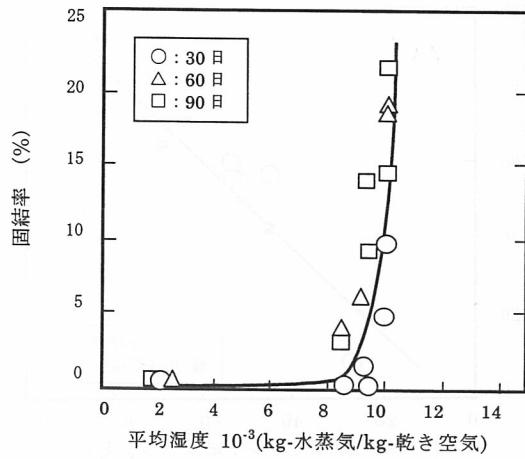


Fig. 9 試験袋内の平均湿度と固結率（温度振動環境）

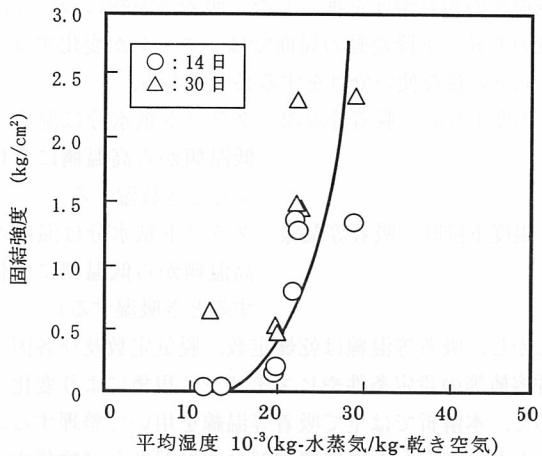


Fig. 10 試験袋内の平均湿度と固結率（加速環境）

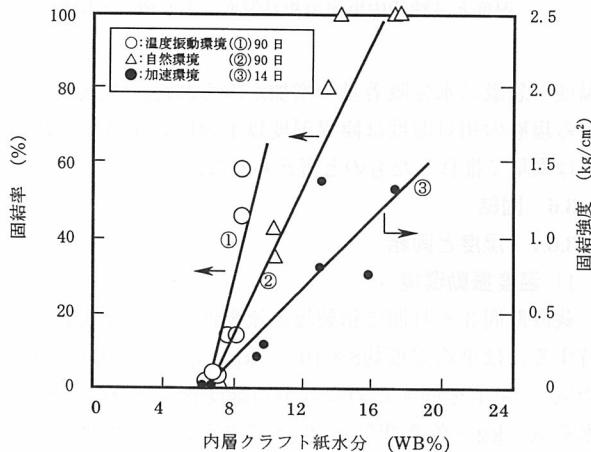


Fig. 11 開封時のクラフト紙水分と固結率、固結強度（試験袋K4、K5）

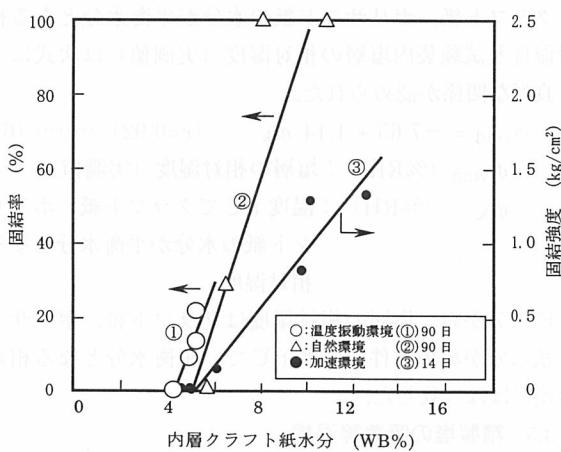


Fig. 12 開封時のクラフト紙水分と固結率、固結強度（試験袋P）

空気) 以下にすることが必要であった (Fig.10).

3.6.2 クラフト紙水分と固結

多層袋K4, K5を用い温度振動, 加速及び自然環境で精製塩の流動性を良好に保つには期間中のクラフト紙水分量を約6%以下に維持する必要が認められた (Fig. 11). このためには初期クラフト紙水分を3~4%にし, 外部環境からの吸湿防止のための防湿包装が必要であった.

精製塩袋(4層袋)で固結現象を完全に防止するには, ポリサンド紙水分4~5%以下で維持させることが必要であり, 初期水分は3%程度, 防湿包装との併用が必要であった (Fig.12).

3.6.3 塩水分と固結

塩水分の殆どは0.02%未満の試料で, 水分量として5g(精製塩25kg)程度である. この水分は乾燥減量(測定140°C)であり, 塩の吸着等温線からも試験の温度範囲では, 全ての塩水分が空隙部の吸・放湿に関係することはない, 関与するのは一部で微量である. 従って, 温度振動, 加速及び自然環境の最終開封時における塩水分量

は全ての試験袋で少ないとあり, 固結との関係は見出しが出来なかった.

3.6.4 環境条件及び包装形態と固結

1) 温度振動環境

環境条件は低い相対湿度であるため, 外気湿度による固結への影響は少なく, 固結現象は温度振動に追隨するクラフト紙の水分の吸・放湿量が支配的となる. 無処理-防湿包装では固結率がやや低下するが, 低水分化-防湿包装では効果が顕著であった.

2) 加速環境

固結防止には先ず第1に外装の防湿包装, 併せて内層クラフト紙の低水分化が必要である. わが国のように固結し易い梅雨期, 夏期の気象条件のもとで固結防止を図るにはクラフト紙の低水分化と防湿包装の併用が必要である.

3) 自然環境

自然環境開封調査(貯蔵期間3ヶ月)では無処理袋は全面固結したが, 内層クラフト紙の無処理-防湿包装(K5V)では未固結部の割合は60%であった. 精製塩の

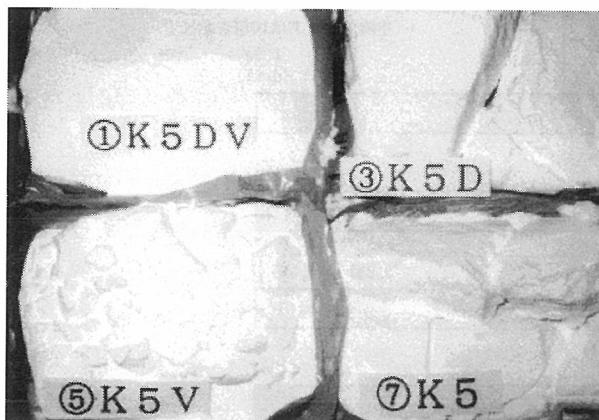


写真 自然環境開封調査（蔵置期間3ヶ月）

K5：多層袋 K5D：低水分化
K5V：防湿包装 K5DV：低水分化－防湿包装

固結緩和のために（期間3ヶ月程度）は地域特性により、防湿包装のみでも可能性はあるが、固結防止に関しては低水分化－防湿包装（K5DV）が必要である（写真）。

自然環境は塩倉庫環境に近い環境であり、固結防止袋の有効期限について調べた結果、蔵置7ヶ月（平成5年4月～11月）では精製塩袋は強固な固結を示したが、低水分化－防湿包装（固結防止袋仕様）は全く固結せず、高い流動性を維持した。また、高い流動性を保持できる期間については防湿包装材の透湿度に依存すると考えられた。

3.7 包装袋－塩層空隙部－精製塩水分量の物質収支の試算（加速環境蔵置1ヶ月）

3.7.1 算出根基

1) 包装袋の水分量

加速環境における塩層空隙部の温度、相対湿度（センサ指示値）をもとに吸着等温線（クラフト紙、ポリサンド紙）から内層紙の平衡水分を算出した。包装材料の坪量、層数から包装袋あたりのクラフト紙、ポリサンド紙重量を求め、水分量を試算した。

【試算例】

精製塩袋の層構成 PE20-K81·K81·K81·K50-PE35-K50（加速環境、高温高湿条件）

- ・塩層の温湿度： $t=34.8^{\circ}\text{C}$, $\phi=75.0\%\text{RH}$ (Fig. 4 の高温高湿環境)
- ・クラフト紙の吸着等温線 ((5) 式), ポリサンド紙の水分吸着量の実測値から求めたクラフト紙及びポリサンド紙の水分をそれぞれ $M_{K-\text{ads}}$, $M_{PS-\text{ads}}$ とすると,

$$M_{K-\text{ads}} : 12.0 \text{ DB\%} \\ (10.7 \text{ WB\%})$$

$$M_{PS-\text{ads}} : 8.0 \text{ DB\%} \\ (7.4 \text{ WB\%})$$

- ・〈ポリラミネート紙の水分量； M_{PL}

紙のポリエチレン（以下、PE）層 $20 \mu\text{m}$ は水分を吸着しないものと仮定し、クラフト紙の吸着等温線を用いて算出

$$M_{PL} = M_{1S} M_{K-\text{ads}} / 100 = 81 \times 0.6 \times 10.7 / 100 \\ = 5.2 \text{ (g)}$$

$$M_1 : \text{ポリラミネート紙のクラフト紙坪量} \\ (81 \text{ g/m}^2) \quad S : \text{包装袋面積} (\text{m}^2)$$

- ・〈ポリサンド紙の水分量； M_{PS}

$$M_{PS} = (2M_2 + M_{PE}) S M_{PS-\text{ads}} / 100 \\ = (50 \times 2 + 32) \times 0.6 \times 7.4 / 100 \\ = 5.9 \text{ (g)}$$

$$M_2 : \text{ポリサンド紙のクラフト紙坪量} (50 \text{ g/m}^2)$$

$$M_{PE} : \text{PEの坪量} (32 \text{ g/m}^2)$$

- ・〈クラフト紙水分量； M_K

$$M_K = 2M_1 S M_{K-\text{ads}} / 100 = 10.4 \text{ (g)}$$

・全紙層（包装袋）水分量（ M ）

$$M = M_{PL} + M_{PS} + M_K = 21.5 \text{ (g)}$$

2) 塩層空隙部の水分量

3.7項の環境で包装袋内塩層の空隙部（内容積 $7.28 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ）が含有する水分量を Table 4 から求めた。

3) 精製塩の水分量

3.7項の環境における各試験袋開封時の乾燥減量を用いた。

3.7.2 物質収支

加速環境における各試験の包装袋－塩層空隙部－精製塩水分の物質収支をまとめて Fig. 13 に示す。包装袋（クラフト紙）水分の占める割合は全体の 85～97% で、いずれの試験袋区分でも高く、精製塩水分は 1.3～14.8%，空隙部水分は 0.7～0.9% であった。包装袋（クラフト紙）の保有水分量は系内で最大であり、環境の温度変化に対応して、高温では紙水分を塩層空隙部へ放湿、また低温では逆に塩層空隙部から吸湿し、空隙部水分に影響を与える。精製塩の固結現象は従来から精製塩水分などが問題にされていたが、これらの関与は少なく、最大の因子は包装袋材料のクラフト紙水分であることが明らかとなつた。

3.8 精製塩（包装袋）と固結現象

低水分化－防湿包装（固結防止袋）の原理及び作用の検討結果から、倉庫環境蔵置で短期間に頻発する精製塩 25kg 包装袋の固結現象は以下のように考えられた。

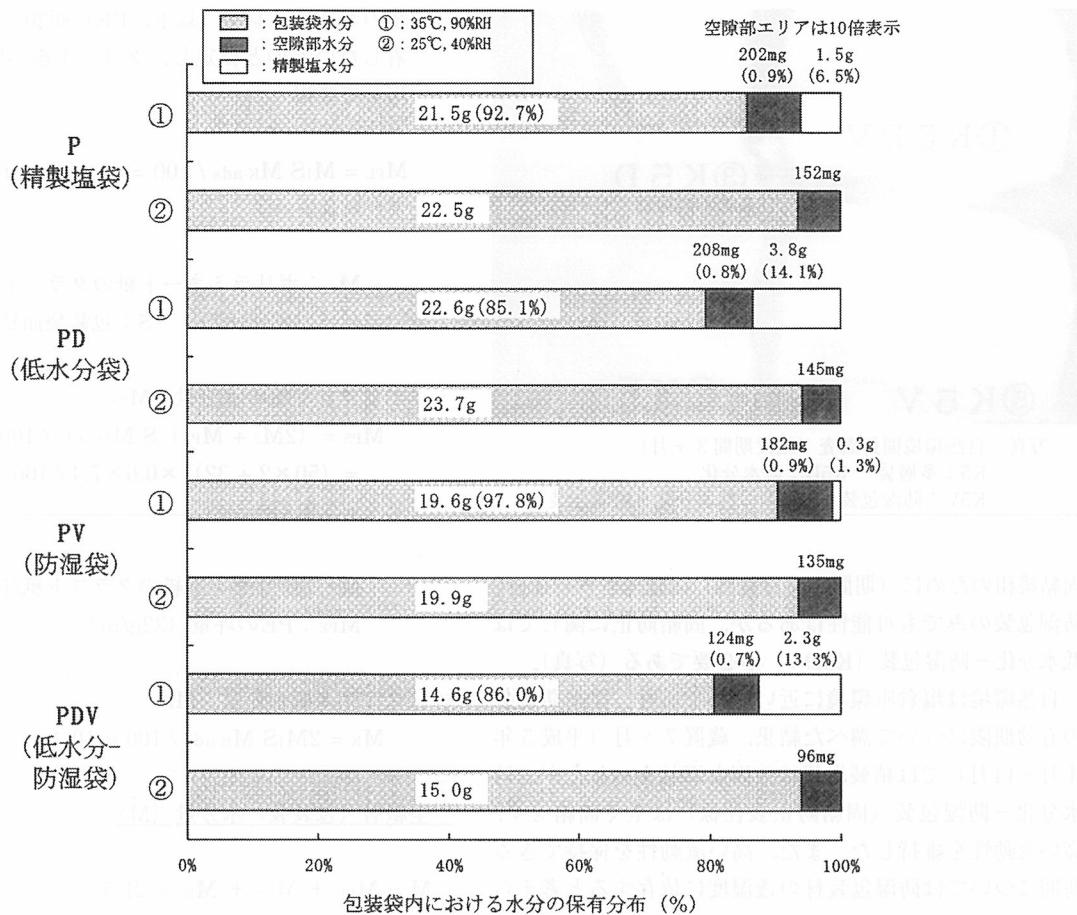


Fig. 13 包装袋 - 塩層空隙部 - 精製塩水分の物質収支（加速環境1ヶ月貯蔵）

3.8.1 クラフト紙水分と袋内相対湿度(塩の表面溶解)

クラフト紙を内層に用いた包装袋では、例えば25°C, 50~65%RHの環境条件のもとでクラフト紙の水分は8~10%である。上記の包装袋に精製塩を充填し、貯蔵(環境温度25°C)した場合の塩層空隙部の相対湿度は、クラフト紙水分がその温度で平衡水分に達する相対湿度に近似するため、50~65%RHを示す。この場合の塩層空隙部の湿度は $7 \sim 10 \times 10^{-3}$ (kg - 水蒸気 / kg - 乾き空気)で、全く固結しない湿度約 2×10^{-3} (kg - 水蒸気 / kg - 乾き空気)以上である。

3.8.2 環境の温度振動と固結現象(空隙部への吸・放湿)

環境温度が上昇するとクラフト紙水分そのものは低下し、その水分を塩層空隙部へ放湿する。逆に、温度が下降するとクラフト紙は空隙部水分を吸湿する。温度振動により空隙部への吸・放湿は塩の溶解・再結晶となり固結現象を引き起こす。ポリエチレン包装袋(防湿性が高い)のみでは、精製塩を缶詰めしたときの固結現象⁹⁾と同様に塩の微量水分が温度振動で吸・放湿し、固結を促進すると考えられる(温度振動による固結)。精製塩等の高純度塩におけるクラフト紙を主体とする包装袋はクラ

フト紙水分や環境の温度変化により固結し易い。従って、これらに起因する固結現象を防止するには包装袋(クラフト紙)の低水分化と防湿包装が必要である。なお、包装袋による固結防止を図る方法には、外装防湿性フィルムとした袋層間に吸湿剤を入れる固結防止法¹⁰⁾、一部企業で権利化、実用化されている高温食塩の冷却乾燥後、アルミ箔製袋に密封する方法¹¹⁾がある。これらの方法は固結防止機構は異なるものの、作用は本報告の内容とほぼ同様と推察される。

4. 引用文献

- 篠原富男、鍵和田賢一：日本海水学会第48年会研究技術発表会講演要旨集, p6 (1997)
- 日本専売公社塩事業本部：「塩の包装規格」(昭57年3月), p47
- JIS P8127: 「紙及び板紙の水分試験方法」(1979)
- Antoine,C.: Compt.Rent., p107, p681, p778 (1888)
- 日本たばこ産業株塩専売事業本部：「塩試験方法」(1989)
- 奥村 統、中川龍一、鶴田康生：「石膏と石灰」, p207, 20 (1987)
- 森 茂：「紙加工便覧」(紙業タイムス社編), p103 (1974)
- 社団法人日本包装技術協会：「包装技術便覧」, p822 (1970)
- 増沢 力：専小試報16, 第20報, p61 (1970)
- 特開昭59-84765
- 特開平5-345610

Abstract

Studies on Prevention Mechanism of Caking of High-Purity Salt (I) Prevention of Caking with a Packing Bag Formed From Low-Moisture-Type Kraft Paper and Prevention-of-Moisture Package Material.

Tomio SHINOHARA, Kenichi KAGIWADA, Hiroyuki To, Kimio MASHIKO

We examined the use of Kraft paper, which was made to be low-moisture type by dry processing, for manufacturing a packing bag having an inner layer and an outer layer consisting of prevention-of-moisture packing material for the prevention of caking of high-purity salt.

We analyzed the effect and the action leading to the prevention of caking by various kinds of examinations under controlled environmental temperature and humidity conditions as follows.

1) The relative humidity (humidity) of voids in the packing bag formed from low-moisture-type Kraft paper and prevention-of-moisture packaging material, and the moisture in the voids showed the minimum values for various packing bags.

The relative humidity of voids in the packing bag was mostly in agreement with the relative humidity at which Kraft paper moisture is equivalent to the balanced moisture in an adsorption isotherm.

2) High correlation was obtained between the Kraft paper moisture of a packing bag, and caking of refined salt of a packing bags.

The packing bag formed from low-moisture-type Kraft paper and the prevention-of-moisture package material showed the effect of prevention of caking for a long period of time, when the Kraft paper moisture was below a fixed value.

3) The occupancy ratio of the amount of Kraft paper moisture was 85% or more, and the material balance of moisture in a refined salt packing bag was present in most portions.

The caking of a refined salt packing bag was considered to be due to adsorption and desorption phenomena accompanied by the temperature change of Kraft paper moisture.