

天日塩の塩だれに関する研究（第2報）

鴨志田 智之, 宮原 健太郎*, 野田 寧

要 旨

塩は、吸湿性があるため環境中の水分によって、製品の外側に塩が析出する現象である塩だれが起きる。輸入天日塩を製品とした場合、制御できるのは初期水分で、低い場合に、塩だれを抑制できることが知られている。塩だれ抑制のための初期水分量は、原料塩、保管環境、包装袋の密閉性などに影響を受けると考えられるが、条件を限定し、初期水分値を設定することを目的とした。結果、組成のロット間変動と紙袋への流入外気の影響が新たに確認されたため、初期水分は1.7%未満であることが必要であり、1.3%程度が望ましいと考えられた。

1. 緒 言

天日塩製品では、初期水分値が高いと包装袋内部の塩水が外装や周囲へと染み出す現象（以下、塩だれ現象）の発生リスクが増加する。

前報¹⁾（2018年度）では、塩だれ現象の発生を防止可能な初期水分値を設定することを目的に、天日塩製品（ポリ袋品、紙袋品）の塩だれ現象と初期水分との関係性について検討した。結果、ポリ袋品では $1.8 \pm 0.2\%$ 付近に塩だれが発生する初期水分限界値があることが予想されたが、紙袋品では塩だれ現象への初期水分の影響は確認できなかった。これは、紙袋品の密閉度がポリ袋品に比べて低いためであり、紙袋品では塩だれ現象に対して環境水分が大きく影響したためと考えられた。

本報では、2018年度に引き続き、塩だれの発生を防止可能な初期水分値の設定について検討した。

2. 試験方法

未乾燥の天日塩（水分1.9%）、乾燥した天日塩（水分0.2%）、およびこれらを混合した混合塩（水分0.7, 1.3, 1.7%）を内容量 25 kg のクラフト紙袋（以下、紙袋）およ

びポリエチレン袋（以下、ポリ袋）に充填、包装し、試験品（紙袋品、ポリ袋品）を製造した。また、紙袋品については密閉度向上を目的にミシン目に沿ってオーバーテープを施した試験品（以下、改良紙袋品）も製造した（Fig. 1）。各試験品は1水準あたり10袋製造し、吸湿環境にあると想定された2019年7月19日～10月17日の期間、実倉庫内の2つのエリア（Fig. 2）に上下をダミー品でサンドした状態で蔵置した（Fig. 3）。また、試験品の直上に温湿度レコーダーを設置し、環境の温湿度をモニタリングした（Fig. 3）。

試験期間中は定期的に試験品の塩だれ発生の有無を外観観察するとともに、試験終了時点での各試験品の水分を測定した²⁾。なお、水分測定は、1つの試験品内で外気と接するミシン目近傍またはピンホール近傍（約 200 g）とそれ以外の全体（約 24.8 kg）とに分けて実施した。

3. 結果および考察

3.1 蔵置箇所による影響

外観観察の結果、出入口に近いエリア A では、試験終了時に一部の試験品で塩だれの初期現象が発生したが、出入口から遠いエリア B ではいずれの試験品においても同現象は発生しなかった。両エリアにおける温湿度に差は無かつ

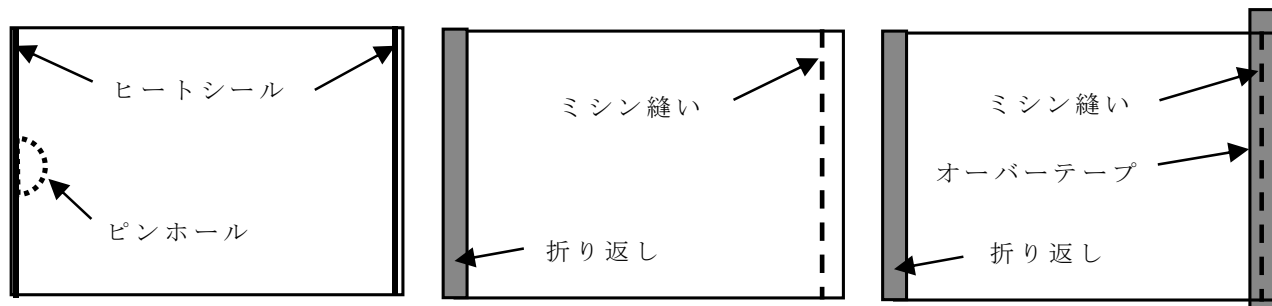


Fig. 1 試験品の模式図（左：ポリ袋品表面、中：紙袋品表面、右：改良紙袋品表面）

* 共栄商事株式会社ソルト事業部（〒803-0801 福岡県北九州市小倉北区西港町111-2）

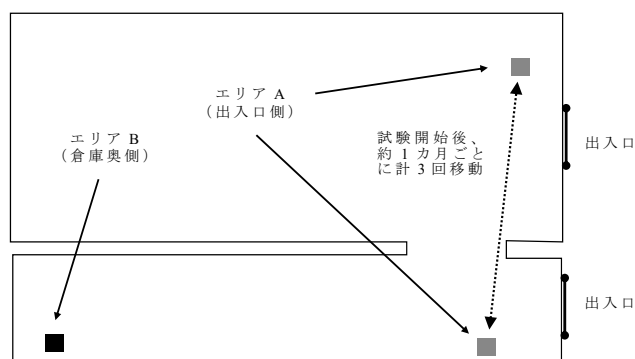


Fig. 2 試験品蔵置エリア（実倉庫内）

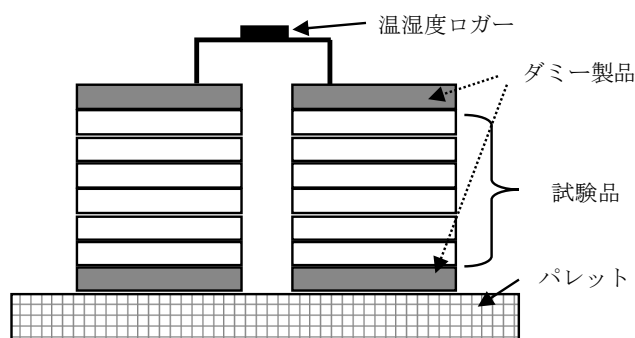


Fig. 3 蔵置試料の模式図

たが、周囲に積みつけられている製品の量や配置および出入口からの距離により、試験品が吸放湿した水分量が異なる（周囲を製品に囲まれていれば試験品の吸放湿量は相対的に減少する）など、何らかの要因が塩だれ現象に影響したものと考えられた。

一方、本検討では塩だれを防止可能な初期水分を設定することを目的としているため、以下では実際に塩だれの初期現象が発生したエリア A での試験品を対象に環境温湿度および試験品の水分と塩だれ現象との関係について検討した。

3.2 環境温湿度のモニタリング結果

エリア A における温度と相対湿度の推移を **Figs. 4, 5** に示す。倉庫内環境は天日塩の臨界相対湿度である70%RHを境に相対湿度が上下する吸放湿環境であり、試験品の水分は増加と減少を繰り返したものと想定される。

そこで、別紙1に記載の数式を用いて温度と相対湿度より求めた絶対湿度（倉庫内絶対湿度）から温度と臨界相対湿度より求めた絶対湿度（臨界絶対湿度）を差し引いた値の推移を **Fig. 6** に示す。試験期間全体を通じて値が0より低いエリア（放湿）が高いエリア（吸湿）に比べて多いことが分かる。つまり、エリア A で確認された塩だれ現象は想定した吸湿環境ではなく、放湿環境下で生じたものと考えられた。

3.3 初期水分と塩だれ現象との関係の考察

3.3.1 ポリ袋品

エリア A に蔵置した試験品の蔵置後水分および2018年度

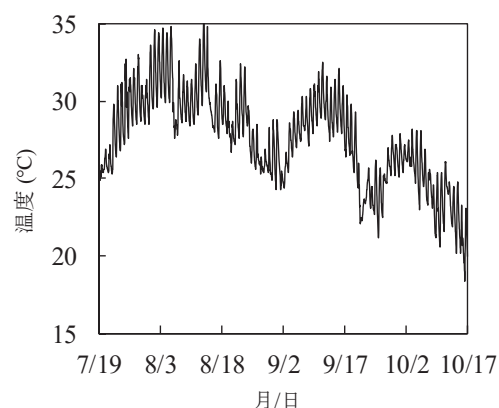


Fig. 4 倉庫内温度の推移

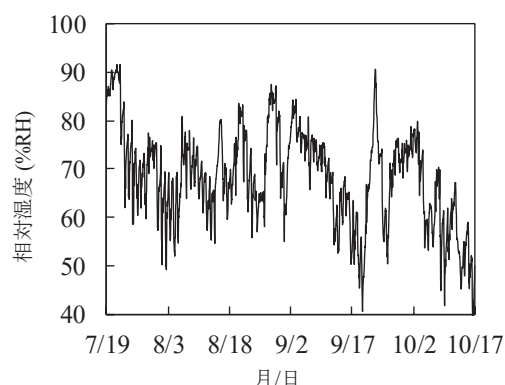


Fig. 5 倉庫内相対湿度の推移

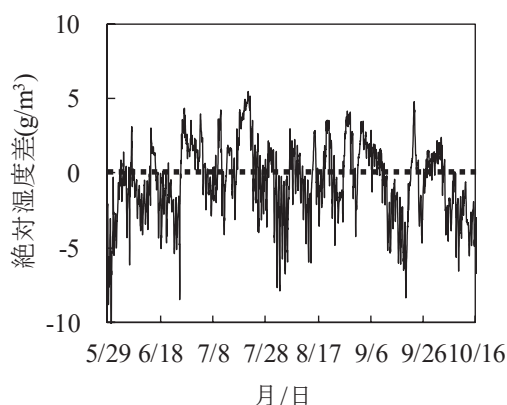


Fig. 6 倉庫内絶対湿度と臨界絶対湿度との差分の推移

に実施した蔵置試験での試験品の蔵置後水分を初期水分毎に整理した結果を **Fig. 7** に、外観観察の結果を **Table 1** に示す。2019年度の蔵置試験では、初期水分が1.9%の試験品でのみ、袋下部のピンホールの外側で塩の結晶が析出、付着する塩だれの初期現象を確認した。また、同試験品では、全体平均の水分が蔵置後には1.5~1.7%へと低下していたが、ピンホール近傍では1.8~2.0%であり、初期と同等の値であった。3.2項に示したように周囲が放湿環境下であったこと、全体に比べて高い水分値であるピンホール近傍で塩だれの初期現象が観察されたことを考慮すると、本現象

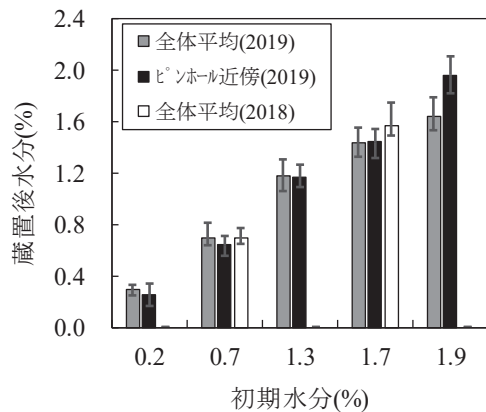


Fig. 7 倉庫内蔵置試験でのポリ袋品の水分

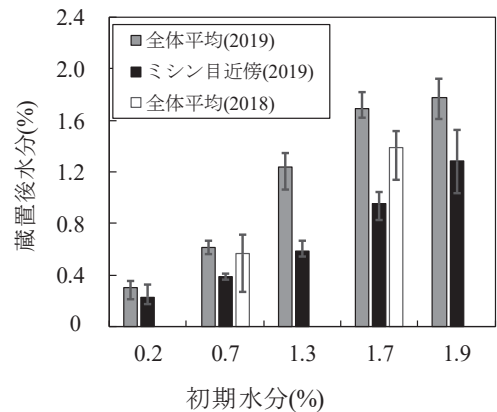


Fig. 8 紙袋品の初期水分と蔵置後水分との関係

Table 1 ポリ袋の外観観察結果

実施年度 年	初期水分 %	塩だれ初期現象 発生の有無
2019	0.2	無
	0.7	無
	1.3	無
	1.7	無
	1.9	有
2018	0.7	無
	1.7	有

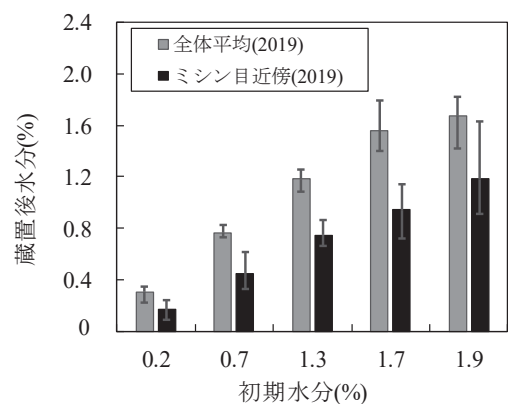


Fig. 9 改良紙袋品の初期水分と蔵置後水分との関係

は、袋内での水分の分離により生じた塩水がピンホールから流出後、放湿環境にさらされることで塩水から塩結晶が析出、付着したことで生じたものと考えられた。他の初期水分水準では塩だれの初期現象は確認されなかったが、2018年度の試験では、初期水分1.7%の試験品で塩だれの初期現象が確認されている。これより、全体平均の水分の低下が認められた初期水分1.7%の試験品については、塩だれの初期現象が生じる可能性がある。

以上の結果から、ポリ袋品では、初期水分1.7%以上では、塩だれ発生リスクを伴うものと考えられた。これより、ポリ袋品の塩だれを防止可能な初期水分の設定値は1.7%未満にする必要があり、本試験水準の範囲に限れば1.7%に次いで高い初期水分である1.3%とすることが効果的であると考えられた。

3.3.2 紙袋

エリア A に蔵置した試験品の蔵置後水分および2018年度に実施した蔵置試験での試験品の蔵置後水分を初期水分毎に整理した結果を Figs. 8, 9 に、外観観察の結果を Tables 2, 3 に示す。2019年度の蔵置試験では、紙袋品と改良紙袋品のいずれにおいても初期水分が1.9%の試験品のみで、内側からしみ出た水分が外装のクラフト紙にまで到達し、シミ状となる塩だれの初期現象が観察された。なお、同現象が観察された箇所は袋の底面または袋上部の折り返し部(ミシン目とは逆側)であり、ミシン目近傍では観察されな

Table 2 紙袋品の外観観察結果

実施年度 年	初期水分 %	塩だれ初期現象 発生の有無
2019	0.2	無
	0.7	無
	1.3	無
	1.7	無
	1.9	有
2018	0.7	無
	1.7	無

Table 3 改良紙袋品の外観観察結果

実施年度 年	初期水分 %	塩だれ初期現象 発生の有無
2019	0.2	無
	0.7	無
	1.3	無
	1.7	無
	1.9	有

かった。また、初期水分が1.3%以上の試験品についてはミシン目近傍の試料が蔵置試験終了時点で固結していた。

これらより、周囲の環境が放湿環境である場合、紙袋品では外気と接しているミシン目近傍で放湿および放湿に伴う固結が進行し、環境からの水分の流入および袋内での水分の移動が制限されたため、2018年度に実施した強制吸湿環境下での蔵置試験で認められたような塩だれは発生しなかったものと考えられた。また、この固結により環境からの水分移動が制限されたことは、本試験期間における放湿環境下において、ポリ袋品で生じた初期水分の低下が、紙袋品では生じなかったことが原因であると思われる。さらに、初期水分1.9%の紙袋品では、ポリ袋品で確認された塩だれの初期現象が確認されなかったが、これも上記と同様の理由と考えられる。

一方で、紙袋品と改良紙袋品とでは、全体平均およびミシン目近傍の蔵置後水分に明確な差は無かった。改良紙袋品では、紙袋品のミシン目付近で観察された固結が非常に弱かったため、紙袋品の密閉度向上を目的に実施したオーバーテープは若干の塩だれ抑制効果が期待できるが、塩だれの根本的な対策への適用は難しいと考えられた。

以上の結果から、紙袋品では、初期水分として1.7%以下であれば放湿環境下における塩だれ発生は防止できる結果となったが、紙袋品は全体とミシン目近傍とで水分の差が大きいことから環境変化の影響を強く受けると考えられるため、周囲が吸湿環境下へと移行した際のリスク管理の観点から、初期水分の設定はポリ袋品と同様に1.7%未満（本試験水準の範囲に限れば1.3%）とすることが効果的で

あると考えられた。さらに、夏季に製造する製品についてはシュリンクフィルムにより袋を覆うことで試料の吸湿を抑制する等の対策により、塩だれの発生を防止することが望ましいと考えられる。

4. 結 言

2018年度から引き続き、塩だれの発生を防止可能な混合塩の初期水分を設定することを目的に、天日塩製品（ポリ袋品、紙袋品）の塩だれ現象と初期水分との関係性について検討した。結果、ポリ袋品、紙袋品ともに初期水分の設定値は1.3%とし、紙袋品については試料の吸湿を抑制する対策を別途講じることが効果的であると考えられた。

また、2018年度、2019年度のいずれの試験においても実際の吸湿環境下における大規模な塩だれの発生は確認できなかったことから、過去に大規模な塩だれが発生した際の初期水分と環境温湿度との関係や本試験結果との相違点について検討すること、また、今後も常に温湿度を計測し、初期水分管理を実施することで、データを蓄積することが必要と考えられる。

Reference

- 1) T. Kamoshida, K. Miyahara, Y. Noda, Examination on Salt Dripping of Solar Salts (Report 1), *Kaisuisougoukenkyuujyo kenkyuuhoukoku*, **20** (2020)
- 2) The Salt Industry Center of Japan, Methods for salt analysis 4th edition, 9–11, The Salt Industry Center of Japan, Tokyo (2015)

別紙1 絶対湿度の計算方法

絶対湿度 d_v (g m^{-3}) は (1) 式で表される. m_v は空気中に含まれる水蒸気の質量 (g) で, V は空気の体積 (m^3) である.

$$d_v = \frac{m_v}{V} \quad \dots (1)$$

ここで理想気体の状態方程式を考える.

$$PV = nRT \quad \dots (2)$$

P は圧力 (hPa), n はモル数 (mol), R は気体定数 ($\div 0.0831 \text{ hPa m}^3\text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$), T は絶対温度 (K) である.

いま注目したいのは水蒸気圧 e (hPa) なので, $P=e$ とおき, (2) 式を (1) 式へ代入する.

$$d_v = e \frac{m_v}{nRT} \quad \dots (3)$$

水の質量数を M_v ($\div 18.0 \text{ g mol}^{-1}$) とすると, モル数 n は次のように表現できる.

$$n = \frac{m_v}{M_v} \quad \dots (4)$$

(3) 式へ (4) 式を代入する.

$$d_v = e \frac{M_v}{RT} \quad \dots (5)$$

水蒸気圧 e は Tetens の式 ((6) 式) から求めた飽和水蒸気圧 e_t (hPa) に分圧 (相対湿度を 100 で割った値) を乗じることによって算出できるため, (5) 式から絶対湿度 d_v が求められる. なお, (6) 式の a , b は実験係数であり, 水の場合には $a: 7.5$, $b: 237.3$ を用いる. t はセルシウス温度 ($^{\circ}\text{C}$, $T - 273$) である.

$$e_t = 6.11 \times 10^{at/(b+t)} \quad \dots (6)$$

Abstract

Examination of Salt Dripping Phenomenon of Solar Salts (Report 2)

Tomoyuki KAMOSHIDA, Kentarou MIYAHARA* and Yasushi NODA

Salt is hygroscopic, therefore there is a salt dripping phenomenon in which salt precipitation occurs outside of a product due to atmospheric water. In imported solar salt products, which have a low initial water content, salt dripping phenomenon can be controlled. The initial water content of the raw materials affects the storage environment and the airtightness of the bag. We examined the control values of the initial water by limiting these conditions.

Our findings were that, because the influence of the difference between lot variation—with respect to the composition and the inflow air in a paper bag, it was necessary for the initial water content to be less than 1.7%, and it was thought that around 1.3% was desirable.

* KYOEI SHOJI Co., Ltd., 111-2 Nishiminatomachi, Kokurakita-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 803-0801, Japan