

# 5. サケトバ乾燥工程中の魚肉水分種状態に基づく最適操作設計

プロジェクト推進科  
(株)ジョッキ  
(株)タイヨー製作所  
寒地資源高度利用研究所  
北海道大学大学院水産科学研究院  
北見工業大学  
材料技術科  
プロセス技術科  
企画事業部

○小西靖之  
○鶴巻明美  
小笠原幸雄  
小林正義  
川合祐史  
三浦宏一、松田弘喜  
下野功  
菅原智明  
宮崎俊一

## 1. はじめに

食品通風乾燥工程は食品から水分を抜くことが主たる目的であり、同時に味や食感などの品質変化も起こる。このため食品中の水分の状態が乾燥効率や品質変化に影響する。これまで、イカなどの通風乾燥工程中の乾燥物内水分種状態変化の解明に取り組み、水分種状態は弱束縛水と強束縛水に大別でき、その特性に応じた乾燥操作設計が有効であることを明らかにしてきた。本取り組みでは、これらの乾燥工程中の水分種状態解析を基にした乾燥工程の最適設計技術をサケトバ乾燥工程について適応するために、サケトバの乾燥工程中の水分種状態解析、生産工程の実乾燥工程の乾燥状況の測定、試験装置による実乾燥工程の再現と改善工程の検証を行い、実用乾燥工程に技術導入した事例について報告をする。

## 2. 検討方法

### 2.1 サケトバの乾燥工程中の水分種状態解析

乾燥試料として用いたサケトバ原料は、冷凍品を解凍後、調味したものを50×15×12~26mmに成形し試験に用いた。テスト乾燥工程は温度( $T_D$ ) 35~55°C、相対湿度(RH) 20~30%の条件で行い、脱水応答挙動及びサケトバ中の水のNMR解析を行った。

### 2.2 実乾燥工程の乾燥状況の測定

サケトバ生産工程の実乾燥工程の条件で乾燥台車に温湿度データロガーを設置し、乾燥工程中の温度・湿度の計測を乾燥工程全期間で行った。乾燥空気の風速測定は、羽車式風速計で測定した。

### 2.3 実乾燥工程の再現と改善工程の検証

サケトバ乾燥工程の乾燥条件を変更した場合のテストは、評価用試験乾燥装置を用いた。この乾燥装置は乾燥温度( $T_D=5\sim90^\circ\text{C}$ )、湿度(5~90%)、風速(0.5~3m/s)条件を任意の異なる条件に設定して、12ステップのプログラム運転ができる。また、乾燥工程中の乾燥物の重量変化を乾燥試料に連結した微少ロードセルの出力変化としてデータロガーに連続的に記録した。

## 3. 実験結果

### 3.1 乾燥工程中のサケトバ水分種状態

乾燥工程中のサケトバ水分種変化の評価は、 $T_D=35, 45, 55^\circ\text{C}$ の脱水応答データの解析から得られる水分の有効拡散係数( $De$ )、水分拡散の活性化エネルギー( $E_D$ )、サケ魚肉中の水のプロトンのNMR解析( $\tau_C$ )などの物理化学的なパラメータを用いて行った。その結果、サケ魚肉中の水分種は図1に示すように、乾量基準含水率( $W_0$ )110%-d.b.を境界に、高含水率側( $W_0 > 110\%-\text{d.b.}$ )では弱束縛水領域に、低含水率側( $W_0 < 110\%-\text{d.b.}$ )では強束縛水領域にそれぞれ分類された。この結果は、イカ乾燥工程において  $W_0=110\%-\text{d.b.}$ を境界として弱束縛水及び強束縛水とに分類されたものと類似の結果であった。

サケ乾燥工程中の水分種変化に伴い、乾燥効率、色の変化、硬さなども特徴的に変化し、弱束縛水分種領域では乾燥速度は比較的大きく、硬さはあまり変化しないが、強束縛水分種領域では乾燥速度は急激に低下し硬さも増加する。色の変化は弱束縛水分種領域から強束縛水分種領域への変化に伴い緩やかに変化した。これらの結果を基に、サケの乾燥物の製造目的に対応した最適な乾燥操作設計が

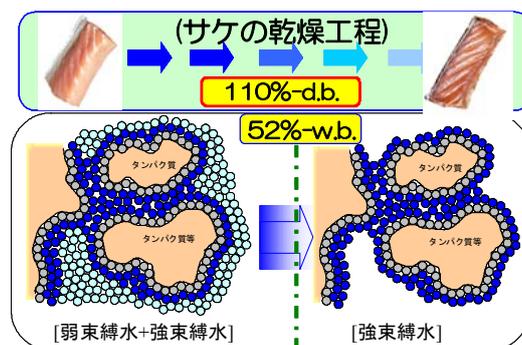


図1 サケトバの水分状態の分離

可能となった。

### 3.2 実乾燥工程の乾燥状況の測定

水分種状態を基に実際の乾燥工程の最適操作設計を行うために、実乾燥工程中の乾燥庫内の温度・湿度及び風速分布の測定を行った。乾燥庫内の温度・湿度は乾燥物に影響を受け、乾燥庫内温度(図2の赤線)は乾燥工程の進行に伴い徐々に設定温度に近づき、乾燥庫内湿度は徐々に低下する。また、乾燥装置の動作特性に対応して、特徴的な温度・湿度変化を示す。これらの結果を基に、実乾燥工程の再現テストを行った。

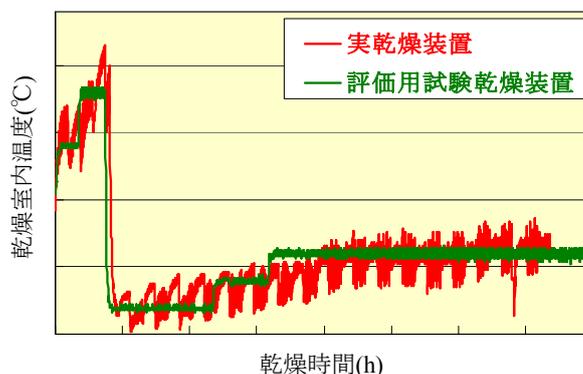
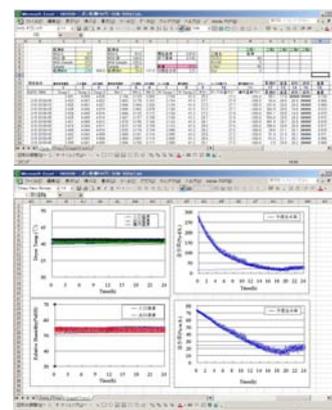


図2 実乾燥工程と評価用試験乾燥装置を用いた再現工程の乾燥室内温度

### 3.3 実乾燥工程の再現と改善工程の検証

水分種状態を指標としたサケットバ乾燥工程の最適設計テストには、乾燥温度・湿度・風速を任意に設定できる評価用試験乾燥装置を用いた。この装置を用いて、実乾燥装置とほぼ同様な温湿度条件(図2の緑線)でサケットバ乾燥を行った。乾燥工程中は図3に示す様に乾燥工程中の乾燥庫内の温度・湿度、乾燥物の重量変化などを測定し、パーソナルコンピュータにそれらのデータを取り込み、乾燥物重量から求めた計算含水率をリアルタイムで表示・確認しながら乾燥テストを行った。この操作により、同じ温湿度・風速条件で乾燥を行うことにより、評価用試験乾燥装置を用いたサケットバ品は実乾燥装置での製品とほぼ同じ品質に仕上がることを予め確認した。その後、水分種状態を指標にした乾燥操作の最適設計を行い、乾燥時間や乾燥品の品質確認を行った。



データ収集PC

図3 評価用試験乾燥装置を用いたテスト状況と乾燥状況のデータ収集・表示例

### 3.4 乾燥操作の最適設計の効果

サケットバ乾燥工程の操作設計をサケットバの水分種状態を指標に行い、評価試験乾燥装置で評価試験を行った。改善工程は、乾燥工程中弱束縛水領域(高含水率側( $W_0 > 110\% \text{-d.b.}$ ))では乾燥物の熱的な影響が小さいことより比較的高温条件を用い、強束縛水領域(低含水率側( $W_0 < 110\% \text{-d.b.}$ ))では比較的低温条件を用いた。このことにより、従来製品と品質を変えず、乾燥時間の短縮化を図った。従来工程条件と改善工程条件にてサケットバ乾燥試験を行い、その時の脱水挙動を図4に示した。この改善工程により乾燥時間は約35~40%短縮でき、試作したサケットバ乾燥品の品質は従来工程品と同じであった。この結果を基に、乾燥条件を短縮化した乾燥工程条件を生産規模の実用乾燥工程に導入した。

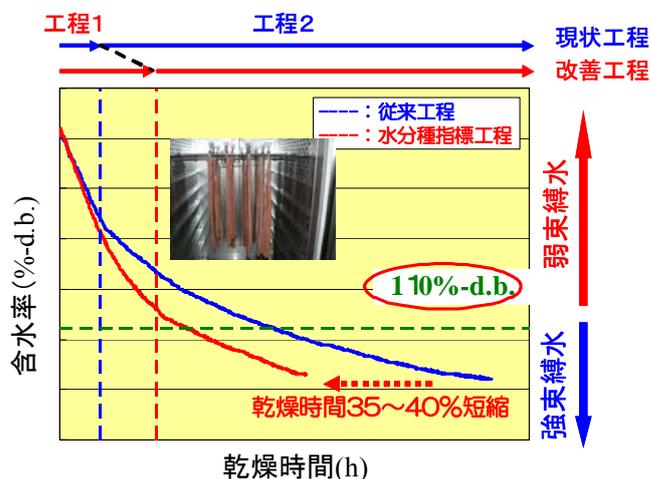


図4 実乾燥工程の再現と改善工程の脱水応答の比較

## 4. まとめ

サケットバ乾燥物の製造目的に対応した最適な乾燥操作設計を目的に、乾燥工程中の水分種状態解析、生産工程乾燥装置の温度・湿度などの乾燥状況測定、評価用試験乾燥装置を用いて実乾燥工程の再現及び改善工程の評価テストを行い、水分種状態を指標に評価用試験乾燥装置を用いた乾燥操作設計が有効であることを明らかにした。現在、イカやサケ通風乾燥工程で明らかになったこれら最適乾燥技術を、水産物以外の農畜産物の乾燥へと応用展開すべく取り組んでいる。