

溶液系食品材料の凍結乾燥速度と移動物性値に及ぼす凍結速度の影響

市来敏和

1. 研究の目的

凍結乾燥（フリーズ・ドライ）法は得られる製品が高品質であり、また簡単な調理によって短時間で乾燥前の状態に復元することができるため、インスタントコーヒーや即席スープなど数多くの食品に応用されている。一方、乾燥時間が長くなりエネルギーコストがかさむことが凍結乾燥食品の製造現場での課題となっており、これを解決するために凍結乾燥装置の最適な運転操作法を確立し、乾燥時間を短縮することが熱望されている。

このためには乾燥プロセスにおける乾燥速度、材料内の温度・圧力・水分の分布および乾燥時間などを定量的に把握する必要がある。乾燥速度は乾燥層の熱および物質移動速度に律速されるので、両移動速度を正確に計測し乾燥速度を予測するためには乾燥層の移動物性値、特に熱伝導率と水蒸気の透過係数が不可欠な物性値となる。

また、溶液系食品材料では凍結乾燥の前処理工程である凍結プロセスがその後の乾燥速度に大きな影響を及ぼすことが知られているため、対象となる食品ごとに、その凍結挙動を把握することが不可欠となる。しかしながら、凍結速度とこれにより支配される材料構造が乾燥速度と移動物性値に及ぼす影響について検討した研究例は数少ない現状にある。

そこで本研究の目的は、溶液系食品材料の代表としてモデル食品であるグルコース水溶液を選び、材料内に形成される氷結晶サイズを三次元的に計測するとともに、凍結速度と乾燥速度および移動物性値の相互関連性を定量的に解明することにある。

2. 実験手順

凍結の定量化 試料の凍結には冷却銅板の表面温度を 10 ~ 120 の範囲で制御可能なプログラムフリーザーを用いる。また、底面に銅柱を埋め込んだパラフィン製のサンプルホルダを試作する。そしてサンプルホルダの周囲を断熱し、凍結時の試料および銅柱の温度経時変化を測定することにより、凍結速度の定量化を実現する。

氷結晶サイズの三次元計測 凍結後試料はマイクロスライサ画像処理システムにより材料内部に形成される氷結晶サイズを三次元的に計測する。具体的には、試料上端を厚さ 1~5 μm で連続的に切削し、露出した断面画像を順次 CCDカメラで撮像し、レーザーディスクに記録する。そして得られた二次元画像情報をボリュームレンダリング法により三次元像を再構築し、氷結晶サイズを決定する。以上の手法により、氷結晶サイズを直接撮像した画像データに基づき定量化することが可能となり、これが本研究の最大の特徴であり、独創的な点である。

凍結乾燥実験 次に、小型の凍結乾燥装置を用いて試料の乾燥実験を行い、乾燥特性と移動物性値を定量的に測定する。凍結方法は先に述べた方法と同様であるが、サンプルホルダとしてアクリル製容器を使用する。また、試料の溶質濃度と凍結条件を数段階に分け、

これらの差異が乾燥特性と移動物性値に及ぼす影響を定量的に検討する。

材料構造モデル 一般に材料の乾燥層の構造から乾燥層を通過する水蒸気の透過係数値を予測するためには、乾燥層空隙率、平均細孔半径、屈曲率といった構造パラメータを測定することが不可欠であり、相良はこれらの幾何学的構造パラメータから透過係数を予測するためのモデル（キャピラリーモデル）を提唱した。このキャピラリーモデルとマイクロスライサ画像処理システムにより決定された材料内氷結晶の等価円半径および屈曲率データを用いることにより、材料乾燥層の水蒸気透過係数が予測可能となる。

3. 期待される成果

以上述べた方法により、最終的には溶質濃度と凍結条件をパラメータとする溶液系食品材料の乾燥速度予測モデルを提唱する。本モデルにより、溶液系食品材料の最適乾燥プロセスを、前処理工程である凍結プロセスを含めた全工程のシミュレーションから検討することが可能となり、凍結乾燥食品のさらなる実用化に大きく貢献するものと期待される。

参考文献

- 1) Sagara, Y. : STRUCTURAL MODELS RELATED TO TRANSPORT PROPERTIES FOR THE DRIED LAYER OF FOOD MATERIALS UNDERGOING FREEZE-DRYING, *Drying Technology*, 19(2), pp.281-296 (2001)
- 2) Sagara, Y. and Ichiba, J. : Measurement of Transport Properties for the Dried Layer of Coffee Solution Undergoing Freeze Drying, *Drying Technology*, 12(5), pp.1081-1103 (1994)
- 3) 荒木徹也 : 食品材料を対象とする凍結乾燥プロセスの最適化モデルに関する研究, 東京大学博士論文 (2002)