

フリーズドライ製法への高周波誘電加熱の適用について

真空乾燥に比べ乾燥時間1/2に短縮

Application of high-frequency dielectric heating to the freeze-dry manufacturing method

A 50% reduction in the drying time compared to vacuum drying

(エネルギー応用研究所 都市・産業技術G 機器開発T)

インスタントコーヒーやレトルト食品の具材等は、フリーズドライ製法という冷凍された水を真空中で昇華させる乾燥技術を採用している。本研究は、高周波誘電加熱が冷凍された水を直接加熱できることに着目し、フリーズドライ製法の乾燥時間の短縮に取り組んだ。その結果、一般的に使用されている真空乾燥に比べて、乾燥時間を1/2に短縮できる見通しを得たので報告する。

(Machinery Development Team, Urban and Industrial Technology Group, Energy Applications Research and Development Center)

A drying technique known as freeze drying, in which frozen water is sublimated in a vacuum, is used to prepare instant coffee and the ingredients of pouch-packed food. This research focused on using high-frequency dielectric heating to directly heat frozen water, so as to reduce the drying time of the freeze drying. The results reported below showed the possibility of a 50% reduction of the drying time achieved by the commonly-used vacuum drying method.

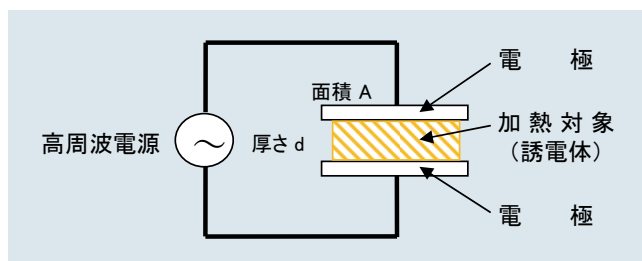
1 背景・目的

インスタントコーヒーやレトルト食品の具材等の製造に使われるフリーズドライ製法は、被乾燥物を-25～-30℃に予め冷凍し、トレイに乗せたまま乾燥機内の棚に並べ、0.4～0.27mmHgに減圧して加熱しながら乾燥させるプロセスである。

本プロセスでは、冷凍された被乾燥物を乗せた棚の内部にボイラ蒸気を通し、棚からの熱伝導により被乾燥物を加熱して昇華させている。接触面から乾燥が進むにつれて気泡状のポーラスな構造となり、被乾燥物中心部への伝熱が遅くなる。乾燥時間は24～36時間と非常に長く、生産コストの低減が課題となっていた。

そこで、新しい手法として高周波誘電加熱に着目し、冷凍された被乾燥物の水分を直接加熱する加熱方式を検証した。

第1図は、平行平板電極に挟まれた誘電体の加熱イメージ図である。



第1図 平行平板電極に挟まれた誘電体

誘電体は面積A、厚さd、比誘電率 ϵ_r 、誘電損失角 δ とすると、誘電体の吸収電力 $P^{(1)}$ は、

$$P = 2\pi f \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta [W]$$

$$= 0.556 \times 10^{-10} \cdot f \cdot V^2 \cdot \epsilon_r A/d \cdot \tan \delta [W]$$

$$= 0.556 \times 10^{-10} \cdot f \cdot E^2 \cdot \epsilon_r \cdot \tan \delta [W/m^3]$$

となり、周波数f、電界Eの2乗、 $\tan \delta$ に比例して加熱できることが分かる。

2 高周波誘電加熱式真空乾燥器の試作

乾燥試験に使用した高周波誘電加熱式真空乾燥器を第2図に、その主な仕様を第1表に示す。



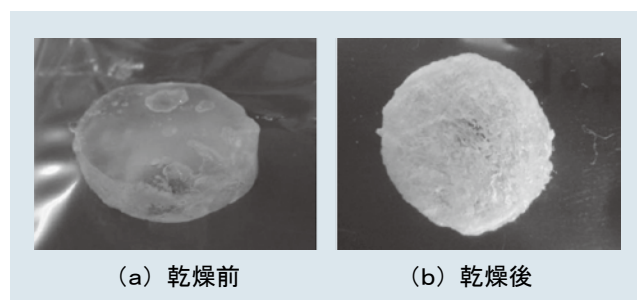
第2図 高周波誘電加熱式真空乾燥器

第1表 高周波誘電加熱式真空乾燥器の主な仕様

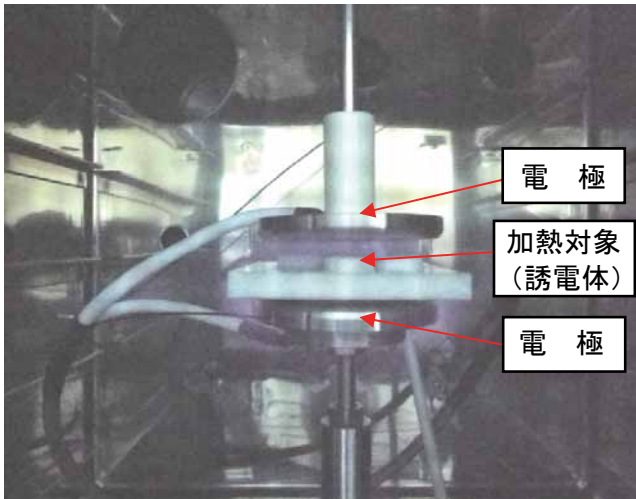
外形寸法	670 (W) × 1550 (H) × 1000 (D) [mm]
乾燥室寸法	450 (W) × 450 (H) × 450 (D) [mm]
高周波電源	最大出力50W、周波数13.56MHz
電気容量	三相200V 4kVA

3 高周波誘電加熱式真空乾燥器による乾燥試験

高周波誘電加熱併用フリーズドライ乾燥特性を把握するため、固形分1%、水分99%の寒天を標準試料とした。標準試料の変化状況を第3図に、高周波誘電加熱式真空乾燥器による乾燥試験状況を第4図に示す。



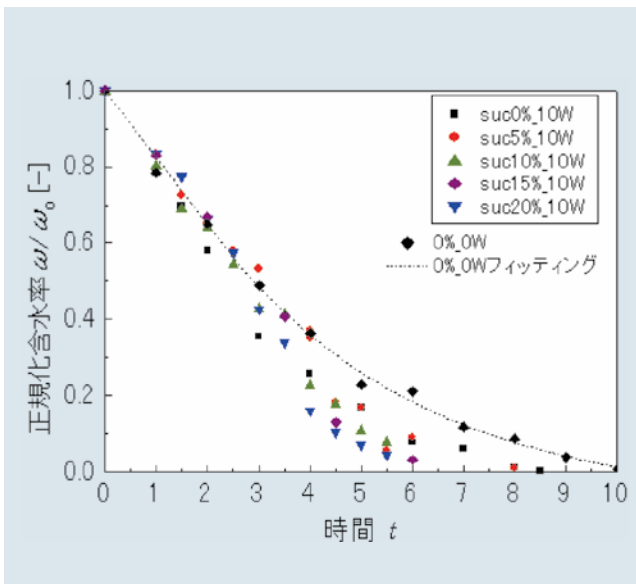
第3図 標準試料(寒天)の変化状況



第4図 乾燥試験状況(装置内)

固形分1%、水分99%寒天の標準試料は、糖(スクロース)濃度0%のもので、実際の食材は、糖や塩分などの固形分が含まれているので、糖濃度を0~20%に調整することで、食材を模擬した。

糖濃度を0~20%調整した寒天の乾燥特性のグラフを第5図に示す。また、高周波電力0Wとの比較のため、出力0Wのデータおよびその連続近似曲線(フィッティング)を併せて掲載した。



第5図 乾燥時間の比較(0W、高周波電力10W、糖濃度0~20%)

固形分1%、水分99%寒天の標準試料は、氷主体で高周波電力の影響を殆ど受けないことが分かった。

高周波電力を印加することで時間短縮の効果が現われるのは、糖の添加があり、固形分の多い試料のものに、乾燥時間短縮の効果が表れた。

しかし、吸収電力Pから、氷は、比誘電率⁽²⁾ $\epsilon_r=4.2$ 、砂糖 $\epsilon_r=3$ であり、糖濃度が濃くなるに従い、より顕著に時間短縮効果が現われる傾向を確認した。

4 乾燥試験結果の評価

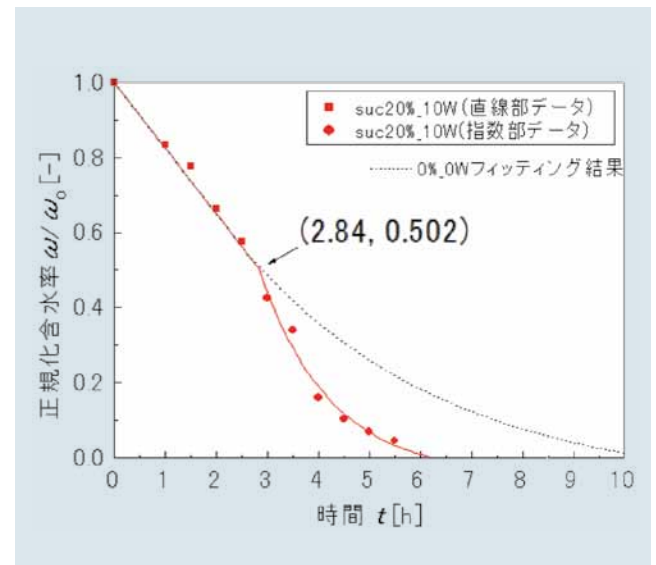
第6図に最も濃度の高い糖濃度20%の寒天に高周波電力10Wと比較のため糖濃度0%、高周波電力0Wの連続近似曲線を示す。

このグラフより、乾燥前半は氷主体の寒天を真空乾燥しているのと同等で、乾燥後半の半分乾いた状態になってから、高周波電力による乾燥効果が出ることが分かった。

その結果、高周波電力は氷へ影響を及ぼさない。固形分の多い、糖濃度が高い場合には、高周波電力の影響が現われ、時間短縮の効果として約50%の削減ができた。

【乾燥の特徴】

- 乾燥前半(正規化含水率 >0.5)は、高周波電力との相関はない。
- 乾燥後半(正規化含水率 <0.5)は、高周波電力の印加により、時間短縮効果が現われた。



第6図 乾燥時間の比較(0W、高周波電力10W 糖濃度20%)

5 今後の展開

乾燥試験結果より、高周波誘電加熱は乾燥後半での効果が大きく、フリーズドライ製法への高周波誘電加熱による乾燥時間の短縮およびエネルギーの効率的な利用として大いに期待できる。

今後は、赤外線加熱と高周波誘電加熱によるハイブリッドな乾燥技術の適用により、更なる乾燥時間の短縮を図っていく予定である。

参考文献

- (1) マイクロ波および高周波誘電加熱：日本エレクトロヒートセンター発行、p5-6、中部電力パンフレット
- (2) 誘電率表：理化学工業株式会社、ホームページから



執筆者/河村和彦