

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 荒木 徹也

本論文では先ず既往の研究および実用面での報告を詳細に検討し、以下の諸点を明らかにしている。すなわち、1)凍結乾燥法は物理的・化学的変性の少ない高品質な乾燥製品が得られる乾燥技術であることから、食品産業分野での適用範囲の拡大が期待されていること。2)一方、従来の乾燥法と比較してコスト面で割高であり、これを改善するために凍結乾燥装置の最適運転操作法を確立することが望まれていること。3)食品材料の凍結乾燥速度は材料乾燥層の熱および物質移動速度に律速されるので、これを予測するためには材料に形成される乾燥層の移動物性値、すなわち熱伝導率と水蒸気の透過係数を測定することが不可欠となること。4)しかしながら、凍結乾燥食品の移動物性値を定量的に測定した研究例は数少なく、また材料の凍結挙動を予測することが困難であるため、乾燥の前処理としての凍結工程を含めた凍結乾燥の全工程の最適化を検討することが不可能な現状にあることなどである。これらの膨大な文献探索と分析の結果に基づき、学術的および実用面での問題点を解決するために、申請者は本論文の目的を次に示すように明瞭に設定している。以下に本論文の内容を新しい知見と成果に着目して述べる。

本研究の目的は凍結乾燥が困難とされてきた食品材料の凍結乾燥特性と移動物性値を計測し、これらの計測結果に基づき材料の乾燥速度に影響を及ぼす要因を移動現象論の立場から明らかにするとともに、凍結乾燥プロセスの最適操作条件を定量的に検討するために有効なシミュレーションモデルを開発することにある。

本論文ではまず、従来より凍結乾燥が困難とされてきた高濃度塩分材料の代表としてミソペースト、複合食品材料として卵スープおよび細胞質材料の代表としてリンゴをそれぞれ試料に選び、リンゴについてはスライス試料および溶液系材料と見なすことが可能であるすりおろし試料を対象とし、その凍結乾燥特性と移動物性値を測定することにより最適乾燥条件を検討した。その結果、高濃度塩分材料、複合食品材料およびすりおろし試料の

乾燥速度は熱移動律速であるのに対し、細胞質材料であるスライス試料の乾燥速度は乾燥層の水蒸気移動抵抗により律速されることが確認された。そこで、細胞膜の膜抵抗値を推算する材料構造モデルを提唱し、このモデルが野菜や果物などの細胞質材料の透過係数を予測し、乾燥プロセスにおける材料表面の加熱温度条件を決定するのに有用であるという知見が得られた。さらに溶液系材料の透過係数は、凍結速度により決定される材料内部の氷結晶性状に依存することが明らかにした。

ここで、特に溶液系材料では、前処理工程である凍結操作により乾燥層の構造、ひいては移動物性値をコントロールすることが可能であることを明らかにした。そこで、コーヒー溶液を対象とする凍結プロセスのシミュレーションモデルを構築することとした。具体的には、近年提唱された生体凍結モデルを簡略化し、溶液系材料の凍結曲線と氷結率分布を予測する三層凍結モデルを新たに提唱した。その結果、相図から得られる凍結点および熱物性値が分かれば、本モデルにこれらのデータを適用することにより溶液系材料の凍結挙動が予測可能となることを確認した。

さらに、細胞質材料および複合食品材料の加熱温度条件をシミュレーションから検討した結果、熱移動律速である材料については乾燥前後の処理工程を含め 24 時間以内の操業サイクルが実現可能であることが明らかとなった。また、この最適加熱プログラムを実用プラントで達成するために、乾燥機メーカーと乾燥機設計に関する検討を行い、卵スープ乾燥サイクルのスケールアップを実現した。ちなみに、現在、この方式による実用プラントが稼働し、日産 15,00 食が生産されている。これらの成果は大学・食品企業・乾燥機メーカー 3 者の共同特許として、現在公開されている（特開 2000-139427）。

ここに述べたように、本論文は凍結乾燥が困難とされてきた食品材料の凍結乾燥特性と移動物性値を計測し、これらの計測結果に基づき材料の乾燥速度に影響を及ぼす要因を移動現象論の立場から明らかにするとともに、凍結乾燥プロセスの最適操作条件を定量的に検討するために有効なシミュレーションモデルを開発した内容となっている。これらの成果は真空下における材料内の相変化を伴う熱と物質の同時移動現象の解明に新しい知見を加え、また、本論文で開発された乾燥操作法は既に実用規模の凍結乾燥プラントに適用されている。以上の審査結果から、審査員一同は本論文の学術的な独創性と実用的な有用性を高く評価し、博士学位論文として価値あるものと認めた。