

氏名(国籍)	孫 劍 鋒 (中 国)		
学位の種類	博 士 (生物工学)		
学位記番号	博 甲 第 4716 号		
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Study on Application of Stirling Cooler to Food Processing (スターリングクーラーの食品加工への応用に関する研究)		
主 査	筑波大学教授	農学博士	佐 竹 隆 顕
副 査	筑波大学教授	博士 (農学)	山 口 智 治
副 査	筑波大学教授	工学博士	水 谷 孝 一
副 査	筑波大学准教授	博士 (農学)	北 村 豊

論 文 の 内 容 の 要 旨

外燃機関として知られるスターリングエンジン・クーラーは、熱効率の高い環境にやさしい熱機関として近年注目されており、エネルギーや環境問題への対応が望まれる食品加工業界においても、これからの導入・活用が期待されている。本論文は、フロン系冷媒の使用を必要とせず、シリンダの往復運動による作動空気の圧縮・膨張のみによって冷却作用を生じるスターリングクーラーに着目し、クリームの冷却・攪拌が求められるバターの製造において、特にバターチャーニング工程に適用できるスターリングクーラーを試作するとともに、冷却特性の解明、冷却能力の向上などについて実験的に検討し、その開発・設計にかかる基礎的研究の成果をとりまとめたものである。

通常は冷却されたクリームを用いるバターチャーニングにおいて、同時冷却・攪拌操作が適用された事例はあまり見あたらない。そこで、バターチャーニングに適用できるベンチスケールのフリーピストン型スターリングクーラーを試作し、同時振動・冷却のバターチャーニングへの利用可能性について実験的に明らかにした。またスターリングクーラーの冷却能力に影響するいくつかの要因の中から、ディスプレイサのサイズ、作動ガスの容量、振動周波数について着目し、冷却速度や最低到達温度などへの影響について検討し、いずれの要因もスターリングクーラーの冷却効果に大きな影響を示すことを明らかにした。特にディスプレイサは大きいほど、また作動流体は容量が多いほど、冷却性能は高くなることが示された。振動周波数については、最低温度到達速度に対する依存性と最低到達温度に対する最適値の存在をそれぞれ見いだした。

次に、スターリングクーラーの冷却能力に影響するパラメータの最適値を決定した後に、クリームの初期温度を 10～30℃に変化させながらバターチャーニングを行い、ディスプレイサの有無が冷却作用に与える影響を観察した。その結果ディスプレイサがある場合は強い冷却作用があり、早期にクリームからのバター塊の形成および脱水効果のあることが示された。またいずれの初期温度についても、冷却作用がある場合、得られたバター塊の水分濃度は低く脂肪濃度が高かったことから、スターリングクーラーによりクリームの冷却と攪拌が同時に行われることにより、バター塊の形成を加速できることが判明した。

これらのバター塊の脂肪分が標準値である 80%より低く、68～69%であったことから、スターリングクー

ラーの冷却能力の改良を試みることにし、テフロンリングによるガラスシリンダの放熱部と加熱部の断熱、シリンダ放熱部への冷却フィンの装着、ディスプレイサの改良などを試みた。その結果、ディスプレイサの改良が冷却能力の向上に最も効果的であることを確認した。すなわちステンレスメッシュ層により熱容量を高めたディスプレイサを用いてスターリングクーラーの冷却試験を行ったところ、メッシュ層の厚さが統計的にスターリングクーラーの冷却性能に大きい影響を示すことがわかった。メッシュ層の厚さとメッシュ数の相互作用がクーラーの冷却性能におよぼす影響は明らかにされなかったものの、改良型ディスプレイサにより冷却性能が格段に向上することが判明した。

冷却性能をさらに向上させたスターリングクーラーを用いて、初期脂肪濃度の異なるクリームを使用したバターチャーニングを行った結果、得られたバター塊の含水量は23～25%であり、脂肪分は72～74%であった。このようにバター塊の水分低下と脂肪含有量の増加によって、バター塊の品質特性の向上を確認できた。一方、消費電力の測定より現時点のスターリングクーラーによるエネルギー消費効率は決して高くないことが示された。今後の改良点として、振動のためのリニアモータの導入や高い熱伝導性を持つ材料の利用、システムに発生する摩擦の低減などが挙げられる。

審査の結果の要旨

食品加工プロセスにおいて、冷却と攪拌は重要なプロセスであり、たとえばバターの生産過程においては、殺菌後のクリームの冷却とチャーニングなどが挙げられる。ここで構築したスターリングクーラーは、スターリング機関を熱サイクルとして利用するものであり、ピストンとディスプレイサが定期的に振動して空気を圧縮・膨張させることにより、冷却作用をもつ。本論文は、スターリングクーラーのバターチャーニングへの適用を目的として、その試作と冷却特性の解明を行うとともに、バターチャーニングのための性能向上やエネルギー収支の検討など、本装置の設計・開発に向けた実験的研究の成果をとりまとめたものである。

本研究で構築されたスターリングクーラーについて、ディスプレイサのサイズ・作動ガスの容量、振動周波数とその冷却特性に与える影響について明らかにするとともに、特にディスプレイサの改良により冷却性能が大きく向上することが示された。その結果、バター塊における脂肪含有量の増加と水分の低減による品質向上を達成した。今後、リニアモータの使用や高い熱伝導性を持つ材料の利用、システムに発生する摩擦の低減などによりエネルギーの消費特性が改善されれば、バターチャーニングにおけるスターリングクーラーの適用性はさらに向上することが明らかとなった。以上本研究で得られた成果は、バター製造を始めとする乳業・食品加工業におけるスターリングクーラーの導入による省エネルギーや環境保全への取り組みにおいて、新たな知見を提供する有用かつ貴重な研究成果であると判断される。

よって、著者は博士（生物工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。