

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：17401
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22510088
 研究課題名（和文） 食品リサイクルのための衝撃粉末化および衝撃殺菌技術の開発
 研究課題名（英文） A Study on Crushing of Food Powders for Recycle Use and the Sterilization
 研究代表者
 藤原 和人（FUJIWARA KAZUHITO）
 熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：50219060

研究成果の概要（和文）：

食品リサイクル法に対応するための衝撃力を利用した破碎粉末化と衝撃殺菌を組み合わせたシステムを考案した。衝撃を加えるために連続打撃装置を製作し、廃棄食品に対して処理を行った。通常のコロニーカウント法では殺菌効果を正確に見積ることができず、細菌の生活性の変化を計測し殺菌率を求めることによって、打撃の効果を求めることができた。その結果、明確な減菌効果が見られ、このシステムの有効性が確認できた。殺菌率についても打撃部分の表面の材質を工夫することで高めることが確認できた。

研究成果の概要（英文）：

Foodstuff Recycling Law has been promoting the recycle and reuse of wasted foods, and various strategies have been tried to reduce useless abandonment. The process grinding them into powder is generally included in the recycle process of wasted foods. Well dried foods are sometimes hard to crush into fine powders and those foods are generally polluted with bacteria, then the feasibility of the food recycle process depends on the disinfecting effect as well as the grinding performance. The sterilizing effect was found in a shock impact crushing, and the relation between the shock pressure and the sterilizing effect has been studied. In this study dry powdered foods were crushed by successive impacting loads and the sterilizing effect was examined precisely. It was found that the sterilizing effect was still in the mixture of wasted food although it was lower than that of homogeneous foods.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	400,000	120,000	520,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：衝撃工学

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：食品リサイクル、衝撃粉碎、衝撃殺菌、菌数評価

1. 研究開始当初の背景

(1) 食品の破碎・粉末化

大量に廃棄された食品および加工時の不要物を処理するためには、廃棄物を破碎するチップ化、乾燥、粉末化の工程が必要となる。この工程の初期のチップ化は、輸送や乾燥のために必要であるが、廃棄物中には骨、殻などの固い生体物質が含まれるため、一般のカッターブレードを使用した粉碎機では故障や寿命短縮などの問題が生じる。他の方式においても破碎機構部分に目詰まりして一般的にメンテナンスが難しい。この部分に衝撃力もしくは衝撃波を利用することによって物質の硬さや強靭さにあまり関係なく破碎することができる。これは、高速変形する物質は脆性的な力学的振る舞いをする、つまり脆くなることに起因している。金属板などを高速に衝突させるだけなので細かい機構部分は無く、詰まりや廃棄物と接触する部品の破損等の問題が少ない。

最終工程の粉末化における衝撃力の利用においては、既存の技術と比較した場合の優劣が重要であり、この点は研究の中で明らかにしていくべき点であるが、粉碎粒度についてはこれまでの研究結果等（研究業績[1]）から衝撃力を用いることで微細化することができる。

(2) 食品の殺菌・減菌

粉末食品の中でも特に香りや栄養素を重視して食品をリサイクルする場合、加熱・加湿を伴う高圧蒸気などの現在の殺菌法では品質の低下を招くため、これに代わる方法が求められている。最近、衝撃力を粉末に作用させる際に生じる物理的な力（圧力、摩擦力）によって殺菌を行う衝撃殺菌の可能性を見出し、殺菌装置を考案した。衝撃波は作用時間が非常に短い点で粉末食品の変性や香気成分などの揮発を小さく抑えることができる点でこの殺菌法は画期的なものである。既に基礎実験で殺菌効果を確認しており、実用的装置形体として、粉末を直接連続的に処理する方式とパックされた粉末食品を外部から処理する方式について開発が進められている。殺菌法の原理について説明すると、乾燥粉末食品は力学的に充填率の低い粉体として捕えられる。低い充填率の物質には高い圧縮を作用させることができるので、圧縮によって高い温度上昇を期待できる。しかしながらこの高温は粉体粒子間にある空隙に発生するので、もし短時間に圧縮が行われその後急激な膨張により冷却されれば粒子の表面温度のみが上昇し、粒子内部の温度はあまり上がらない。したがって味や風味に与える影響が少なくなる。これより発想されるのが、衝撃波の利用である。波が通過する非常に短

い時間（本研究の場合 μ 秒のオーダー）のみ温度が上昇する点が強みである。また、波としてバルクの中心部まで到達するのに時間がかからない点、すなわち加熱のように外表面部と内部との間に温度差が生じない点も強みとして挙げられる。また、断熱圧縮による温度の上昇以外にも粒子間の大きな相対速度によって生じる摩擦による菌の変形も殺菌効果に寄与する。

2. 研究の目的

食品のリサイクルの一つの形として、食品製品廃棄物や生産途中・食品加工途中に生じる不要部分を乾燥粉末化して再利用することが考えられているが、本研究は、その工程の中で必要となる食品の破碎・粉末化と殺菌・減菌に対し、衝撃力もしくは衝撃波の利用を提案し、実用化に向けての調査、解析、評価を目的としたものである。

3. 研究の方法

最終的な研究目標は、衝撃力による破碎や殺菌効果を食品リサイクルに効率よく適用できるかどうか調べることであるが、現在知られている解決すべき問題も含めて、具体的な研究内容は、以下の通りである。

(1) **衝撃力による食品廃棄物の破碎とその評価** 数点の圧力範囲で衝撃力を食品廃棄物に負荷し、破碎物の大きさ、性状を調べる。その後、破碎物が食物のチップとして次の粉末化に利用できるかどうかを評価する。

(2) **衝撃力による殺菌効果の調査** 数点の圧力範囲で粉末化した廃棄物粉末に衝撃力を負荷し、殺菌もしくは減菌が可能かどうか調べる。粉末性状の差によって殺菌効率にどのような違いが現れるかを調べる。

(3) **衝撃力による破碎、殺菌の高効率化** 打撃も含め衝撃力の発生法や処理回数を変化させ、破碎、殺菌に効率的なポイントを探す。

(4) **力学モデルの構築** 菌種による死滅効果の差について力学的なモデルを作成し検証する。

(5) **破碎のメカニズムや殺菌のメカニズムについての調査** 実際粉末が熱的な効果と力学的な効果のどのような複合作用で破碎し、菌が死滅にいたっているかは全くわかっていない。したがって粉末の性状と殺菌効果の関係も知られておらず、装置設計段階で試行錯誤の状態に陥っている。衝撃力による破碎や殺菌のメカニズム明らかにすることによ

て設計の指針とする。

(6) 衝撃力の食品に対する影響の調査 処理の強度と粉末の成分変化にどのような関係があるかを知ることは重要であるが、成分変化をすぐに現場で知ることは難しい。粉末の成分変化や性状変化が色として現れるので、簡易的にはこれを利用して変性度について推定することができれば非常に便利である。これも含めて衝撃力と食品の変性との関係を求める。

4. 研究成果

衝撃力を加えた場合のリサイクル食品の粉碎効果と衝撃殺菌効果を調べた。これらは大きく以下の5つの過程に沿って進めた。

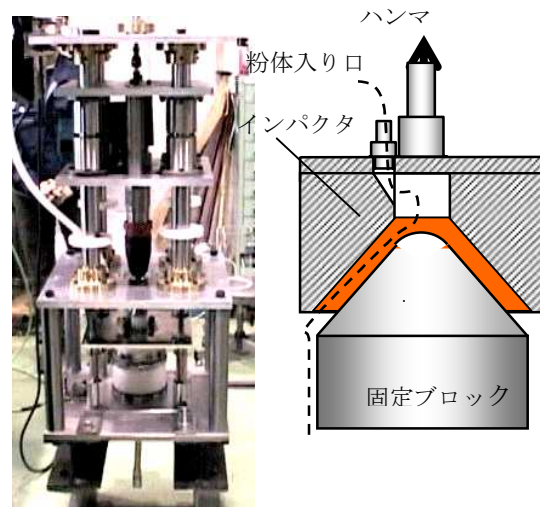
(1) 情報収集・パラメータ推定：衝撃による破碎や粉末に対する殺菌効果は、処理前の食品の性状や水分量によって変化し、また菌類の抵抗力は菌自体の構造に関係するだけでなく、固体表面への吸着状況にも大きく依存することが予想された。そこで、殺菌のメカニズムを調べるにあたり、殺菌率に影響するパラメータを材料強度学的及び生物学的立場、そして食品製造上の経験から推定する必要があり、これらの目的のために情報収集を行った。

(2) 実験システムの構築・衝撃実験：食品試料の破碎を行うにあたり、チップへの破碎から微粉末破碎まですべて一工程で行うのは難しく、粗破碎の部分は市販の破碎機を利用し、微破碎には自作する衝撃破碎装置を用いた。本年度は衝撃破碎と殺菌効果の有効性を調べるために、粉末性状変化の均一性を確保するため、水中放電衝撃波を用いた。本装置には、強力な衝撃力が必要になるが、これには高電圧のコンデンサ (40 kV) からの放電 (約 20kA) を用いる。加える衝撃エネルギーについては打撃回数を変化させることで調整した。

(3) 菌数評価・殺菌効果：菌数検査にはコロニーカウント法を用いるが、衝撃殺菌の場合、処理時に粉末が破碎されるとともに塊状の菌の凝集体が粉碎されることによって菌のコロニーが分裂し、見かけの菌数が増えている可能性がある。そのため ATP 活性を利用した直接的な菌数計測を行いコロニー計測値とも比較した。衝撃力によって粉碎効果は顕著に現れたが、リサイクル食品の種類によってはわずかな水分量が効果に大きな影響を及ぼすものもあった。衝撃殺菌によって明らかに菌数は減少するが、コロニー法を用いると正しく評価できないことが判明した。衝撃殺菌による減菌効果に対する有効性が確認できた。

(4) 得られたデータ及び関係を用いて、実用に耐えるような装置の設計を行い、実用化で

きる連続打撃式衝撃装置の開発に向けてプロトタイプを試作した。本装置は衝撃力の発生に電動ハンマを使用しており、高電圧を利用しないため安全であり実用的な装置として期待されるものである。また安全に衝撃波を発生する方法として微量の爆薬を起爆する方法も検討しており、これを応用できる可能性も確認している。実際の食品に利用されている粉末と廃棄食品に対して衝撃粉末化および衝撃殺菌効果を評価した。殺菌効果を上げるには打撃装置の衝撃インピーダンスを上げ衝撃圧を高めることが有効であるが、食品の熱的な品質を保つために金属と樹脂の衝突によって発生する 100MPa 程度の圧力を作用させた。本装置の開発にあたっては衝撃力により樹脂部が破壊しない構造およびコントロールが必要な点が課題であったが、打撃部にコーン状の形状を採用することで最適な打撃周波数にコントロールすることで完成させることができた。一般のコロニー法による菌数評価では殺菌効果を正しく判定することができないので、昨年度の研究で有効と判別できた細菌の生活性を計測する方法を発展させ評価したところ、油脂分の少ないものでは油脂分が豊富なものより粉碎効果および殺菌効果が高いことを確認している。

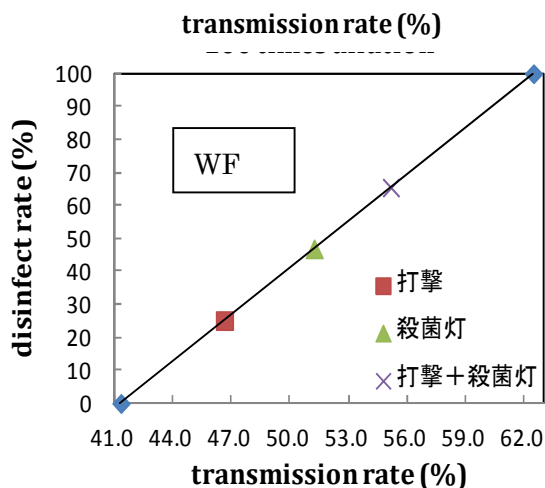
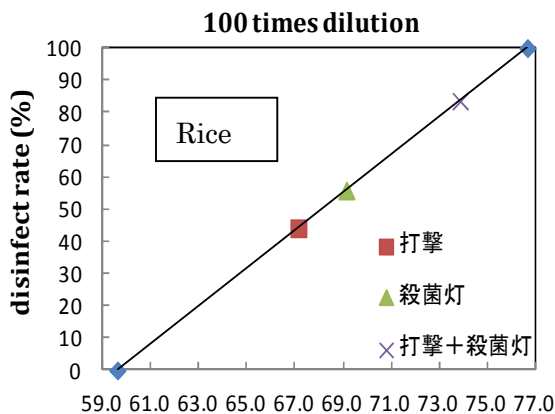


連続打撃装置

(5) さらに打撃粉碎と紫外線殺菌を複合させた殺菌法では、15W の紫外線光でも効果が確認できた。粉碎サイズが小さくなるほど複合的な殺菌効果が増加することも確認している。現在得られている結果では予粉砕用のミルによる出力サイズの 1/2 (100 μm) まで粉碎できているが、このサイズに対してまだ殺菌率は打撃のみで 50%、紫外線併用でも 80% の値しか出ていない。実用化するためにはさ

らに圧力を上げる必要があるが、予備的に行った打撃部表面の改質によって瞬間的に圧力を上げられることを確認している。

(6) 食品の品質への影響を減らすため衝撃打撃装置の発生する圧力および温度を低く抑えるために、インパクトの片方には樹脂で成形したものを使用していた。菌数の正確な評価によって減菌の効果は確認できたが、絶対的な殺菌率については実用化する上でまだ不足していた。圧力および温度はインパクトの硬さによるので、打撃時の粉碎効率や殺菌効率を上げるためには表面硬度を上げるために金属を使用することが考えられるがこれでは圧力および温度の効果が過大になると焦げてしまうこともある。そこで樹脂の表面に金属箔をライニングし、金属同士が衝突した時に発生する非常に短時間の圧力・温度を粉碎、殺菌に利用した。コーティングの物理的な効果については衝撃計算を行い見積った。また、実際に実験によって金属コーティングしたインパクトによって高い減菌効果が得られることが確認できた。



紫外線殺菌を併用した打撃殺菌の減菌率
上：廃棄ご飯 下：廃棄弁当

(7) リサイクル試料の品質に関する調査：こ

の調査には打撃処理された試料そのものの品質（水分量の変化、タンパク質の変性、揮発成分量の変化など）とリサイクル品が使用される様々な現場（試料、肥料、特定成分の抽出など）での要求品質がどのようにマッチするかを調べた。その中で食品廃棄物に放射性廃棄物が混入している可能性もあるので、検査もおこなった。

(8) リサイクルフローの提案：上記の調査結果を基に、実質的に可能性のあるリサイクルの流れを考え提案した。これについてはいくつかの企業と継続的な研究を検討していることになった。

(9) 他の殺菌法との組み合わせについての調査：現在、国内で使用できる乾燥粉末に対して特に有効な非加熱殺菌法はないのが現状であるが、他の殺菌法（超音波、電磁波、紫外線など）も全く効果を示さないわけではない。複合する方法としては多くのものが考えられるが、未だ複合効果について良く知られていないので、実際の現場で利用できる方法を考え他の殺菌の研究と情報交換を行い、可能性を検討した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計4件）

①Y. Aoki, K. Fujiwara, T. Hiroe, H. Hata, A Study on an Initiation Technique of Small Amount of Explosive, 査読有, Materials, Science Forum, 2012, Vol. 673, pp. 203-208.

②I. Morinaga, K. Fujiwara, T. Hiroe, H. Hata, Evaluation of Shock Processing for the Recycle of Wasted Foods, 査読無, Proceedings of YSR Workshop on Explosion, Combustion and other Energetic Phenomena for Various Environmental Issues, 2011, pp. 27-30.

③T. Nakayama, K. Fujiwara, T. Hiroe, H. Hata, A Study on an Initiation Technique of Small Amount of Explosive, 査読無, Proceedings of YSR Workshop on Explosion, Combustion and other Energetic Phenomena for Various Environmental Issues, 2011, pp. 23-26.

④T. Hiroe, K. Fujiwara, H. Hata, Explosively Driven Fragmentation Behavior for Structural Components and Shatter proof Effect of Wall Doubling, 査読有, Materials Science Forum, 2011, Vol. 613, pp. 191-196.

[学会発表] (計6件)

①藤原和人、川島扶美子、波多英寛、食品リサイクルのための打撃粉碎と減菌効果、日本機械学会年次大会、2013.9.11、金沢大学(金沢)

② K.Fujiwara, F.Kawashima, H.Hata, Application of Shock Smashing to Recycle of Wasted Foods, 4th International Symposium on Explosion, Shock wave and High-energy reaction Phenomena, 2013.3.28, 沖縄高専(名護).

③藤原和人、川島扶美子、波多英寛、食品リサイクルのための衝撃破碎と減菌効果、平成23年度衝撃波シンポジウム、2012.3.7、東京大学柏キャンパス(千葉県)

④藤原和人、川島扶美子、波多英寛、食品リサイクルのための衝撃破碎と減菌効果、日本機械学会年次大会、2011.9.23、東京工業大学(東京都)

⑤K.Fujiwara, F.Kawashima, H.Hata, Studies on the Effect of Shock Waves on Microorganisms and Application of Shocks to the Sterilization of Foods, The Fifth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (招待講演), 2011.6.23, メルパルク横浜(神奈川県)

⑥藤原和人、廣江哲幸、波多英寛、衝撃力による食品の破碎と菌数に関する研究、平成22年度衝撃波シンポジウム、2011.3.16、青山学院(東京):震災のため論文集発行のみ

⑦藤原和人、廣江哲幸、波多英寛、魚類粘質物による表面摩擦抵抗低減効果に関する研究、日本機械学会バイオエンジニアリング部門講演会、2011.1.8、熊本大学(熊本)

⑧富永剛、藤原和人、廣江哲幸、波多英寛 衝撃力を利用した粉末殺菌法の開発とその効果に関する研究、日本機械学会バイオエンジニアリング講演会、2011.1.8、熊本大学(熊本)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 和人 (FUJIWARA KAZUHITO)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 50219060