

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：10106  
 研究種目：若手研究  
 研究期間：2020～2022  
 課題番号：20K15477  
 研究課題名(和文) Innovative meal: characterization of sausages stuffed in a new novel casing formulation with flavonoids extracted from waste orange peel based on terahertz spectroscopy and imaging  
 研究課題名(英文) Innovative meal: characterization of sausages stuffed in a new novel casing formulation with flavonoids extracted from waste orange peel based on terahertz spectroscopy and imaging  
 研究代表者  
 Feng ChaoHui (FENG, CHAO-HUI)  
 北見工業大学・工学部・助教  
 研究者番号：30847611  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ソーセージ加工におけるケーシング破裂回避のため、代表者はこれまでに界面活性剤溶液および乳酸添加塩泥を利用した天然豚腸改質ケーシング(MHC)を世界で初めて開発した。しかし、このMHCは多孔質構造を持つため、脂質酸化や微生物侵入が懸念されることから、その対策として抗菌等々物質の添加が有効であると考えられる。オレンジ果皮由来フラボノイドは、抗酸化、抗菌、などの生理活性を持つ優れた天然食品成分であるが、大部分は廃棄されている。本研究はオレンジ果皮由来フラボノイドを添加した革新的なMHCに詰められたソーセージの賞味期限延長に貢献するものであり、果皮抽出物はテラヘルツ(THz)分光法によって検出される。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では廃果皮からの生理活性物質の抽出条件を最適化し、テラヘルツ分光法を用いた容易検出法を確立した。また、果皮由来フラボノイドを有効利用することで、再利用の最大化と環境問題の軽減だけでなく、副産物の活用により、食料安全保障及び栄養改善の実現と持続可能な農業を促進し、さらには新型コロナウイルスに代表される感染症予防にも貢献すると期待される。テラヘルツ分光技術が食品の安全性に影響を及ぼす幅広い化合物のライブラリを構築することは、食品プロセスのモニタリングや制御にも有用である。迅速で非侵襲的な技術として、この技術は食品分野に応用できる可能性が広がりつつあり、さらなる研究の進展に注目したい。

研究成果の概要(英文)：In order to reduce the burst incidence of sausage casing during production, the principal investigator was the first person to modify a unique natural hog casing by using different concentrations of surfactant solutions and slush salt with lactic acid. The casing became more porous after modification. However, lipid oxidation and microorganism invasion may easily occur due to this porous structure. It is necessary to add natural antioxidants and antimicrobial preservatives (such as flavonoids) to prolong the shelf life of this type of sausage. Flavonoids in orange peel possess properties of antioxidant, antimicrobial, anti-cancer, antiviral, anti-inflammatory, anti-allergic, and so on but most have been discarded. The general aim of this project is thus to contribute to extending the shelf-life of the sausage stuffed in the innovative modified casing by adding flavonoids (extracted from the waste orange peels) and the orange extracts will be detected by terahertz spectroscopy (THz).

研究分野：食品科学

キーワード：テラヘルツ分光技術 廃果皮再利用 ソーセージ品質保証 フラボノイド抽出 改質ケーシング

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人々の食生活でなじみ深い食品の一つであるソーセージは、天然素材である動物の腸管を用いるため品質にばらつきがあり、加工中に破裂が生じて生産効率が低下するという問題があった。このケーシングの破裂回避を目的として界面活性剤および乳酸を加えた塩泥を利用して、天然豚腸を改質したケーシングを新規に開発してきた。その研究成果の一例を図1に示す。これはソーセージ断面の光学顕微鏡画像であり、改質ケーシング(図1c)では構造内部に脂肪が埋め込まれていることが明らかになった。そしてこのようなケーシングの改質の結果、ソーセージ製造中に発生する圧力が解放されることで破裂を低減することができ、最終的に製造効率を向上させることに成功した<sup>[1]</sup>。しかし、この改質ケーシングは多孔質構造を持つため、脂質過酸化や微生物侵入による品質劣化が懸念されることから、その対策として抗酸化物質および抗菌物質の添加が有効であると推測された。

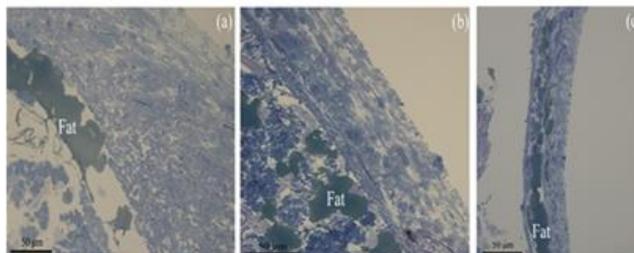


図1. ソーセージ断面の光学顕微鏡画像。(a)生のソーセージの断面、(b)浸漬真空冷却処理をしたソーセージ断面、(c)改質ケーシングを用い、浸漬真空冷却処理をしたソーセージ断面<sup>[1]</sup>

一方オレンジ果皮由来フラボノイドは、抗酸化、抗菌、抗ウイルス、抗炎症、抗アレルギー、抗癌などの生理活性を持つ優れた天然食品成分であるが、大部分は廃棄されている。本研究では、現在ほとんど廃棄されているミカンやオレンジなどの柑橘類の果皮に多く含まれるネオヘスペリジンやナリンジンなどのフラボノイドに着目し、その抗酸化作用、抗菌作用、抗ウイルス作用を利用したケーシングの改質を検討し、その品質評価を行った。

テラヘルツ(THz)分光法は、新しい技術であり、テラヘルツ波は様々な包装材料を透過することができるため、将来食品の異物検査やパッケージを開けない検査に活用できる。図2は、我々の研究グループによる研究成果<sup>[2]</sup>で、乾燥赤唐辛子とエビの内部構造を用いて「見える」ことができ、これが従来の分析方法に対する主な利点となっている。しかし、THz波は液体の水で大きく減衰するため、食品産業におけるTHz計測の利用はまだ初期段階に留まっている<sup>[3]</sup>。

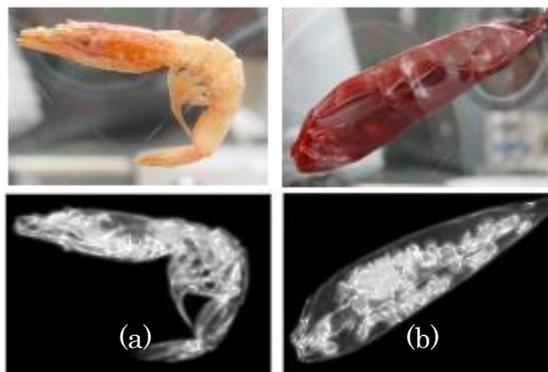


図2. 乾燥したエビ(a)と唐辛子(b)<sup>[2]</sup>

### 2. 研究の目的

- オレンジ果皮からのフラボノイドの抽出条件を応答曲面法で最適化し、THz分光法で蜜柑から抽出物を分析する。
- テラヘルツ分光法を用いて界面活性剤および乳酸で改質した各種ケーシングの物性を評価する。
- 長期保存中のソーセージの内因性微生物群の解明、ソーセージの微生物パラメータを予測するための数理モデルやアルゴリズムの開発、食品の安全性を確保する。
- フラボノイドの添加した改質豚腸ソーセージの品質診断法を確立し、新しい食品へのテラヘルツ分光法の応用分野を広げる。

このように本研究では、研究代表者のこれまでの経験・知見を総動員して、世界初の改質豚腸ケーシングの非破壊特性評価を目指した。また、本研究は個別の製品応用分野の拡大にとどまらず、約90億人に到達すると言われる次の半世紀(2050年)の食料危機に「科学の力」で貢献する。そして、食品の損失や無駄を減らすことによって、国連が持続可能な世界の実現のために掲げる「飢餓をゼロに」という目標の到達に寄与することを最終目標とする。

### 3. 研究の方法

研究の目的は、革新的な改質ケーシングに詰められた新しい長期保存可能なソーセージを開発し、その応用分野をTHzに広げることである。研究内容は大きく分けて「抽出されたフラボノイドをテラヘルツ分光法で検出」、「テラヘルツ分光法を用いて改質した各種ケーシングの実施可能性の検討」、「フラボノイドを添加した改質ケーシングに詰めたソーセージの長期保存による品質評価検討」と「改質ケーシングに詰めたソーセージにおける微生物増殖予測に関する研究」の4つの段階で構成される。

(1) 抽出されたフラボノイドをテラヘルツ分光法で検出: 研究代表者のセビリア大学における先行研究では廃蜜柑の皮からのフラボノイド抽出を実現したが、その収率は非常に低く改善が必要である。そこで、収率をMinitabの応答曲面法で評価して抽出操作の最適化を進めて収率向上を目指した<sup>[4]</sup>。一方、ミカン果皮に含まれる主な生理活性物質であるヘスペリジンやナリンジンを高速液体クロマトグラフィー(HPLC)装置で検査するには、コストと時間がかかるという

問題がある。両者は分子構造が似ているため、HPLC の保持時間が非常に近く、同定には専門の技術者が必要である。本研究では廃皮からの生理活性物質の抽出条件を最適化し、テラヘルツ分光法を用いた容易検出法を確立した。

(2) テラヘルツ分光法を用いて改質した各種ケーシングの実施可能性の検討: テラヘルツ時間領域分光装置 (THz-TDS) を用いて、テラヘルツ領域における豚と羊のソーセージケーシングの改質前後のスペクトル変化を得られた<sup>[5]</sup>。(図 3)。

(3) フラボノイドを添加した改質ケーシングに詰めたソーセージの長期保存による品質評価検討: 長さ 30cm の天然ケーシングを、大豆レシチン、大豆油、オレンジ抽出物を含む異なる濃度の混合液に浸漬した。処理時間浸漬後、ケーシングを取り出し、乳酸を加えた塩に保存した後、ケーシング (改質腸) を取り出した。改質ケーシングに詰めたソーセージの長期保存による品質評価検討: 上記で開発した改質腸から作成したソーセージの食感特性<sup>[6]</sup>、含水率<sup>[7]</sup>、pH<sup>[8]</sup>などを、応答曲面法 (RSM) により評価した。

(4) 改質ケーシングに詰めたソーセージにおける微生物増殖予測に関する研究: 調理済みソーセージや乾燥ソーセージに関する先行研究があるが、改質豚腸に詰められたソーセージ、特に異なる天然ケーシングや改質豚腸に詰められたソーセージに関する研究はほとんどない。本研究は、改質豚腸、天然豚腸、天然羊腸を用いたソーセージの総生菌数 (TVC) の 50 日保存時間 (4 °C) の関数としての増殖動力学について初めて研究した。TVC の増殖は *Baranyi* モデルを適用し、最大比増殖率、ラグタイム、初期および最終細胞数は DMFit を介して推定した<sup>[9]</sup>。

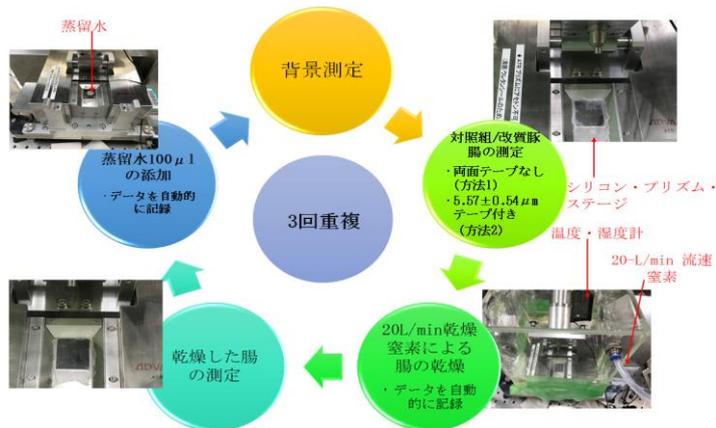


図 3. テラヘルツ時間領域分光法減衰全反射モードを用いたケーシング測定の流れ<sup>[5]</sup>

#### 4. 研究成果

柑橘類の果皮由来フラボノイドは、抗酸化、抗菌、抗ウイルス、抗炎症、抗アレルギー、抗癌などの生理活性を持つ優れた天然食品成分であるが、大部分は廃棄されている。廃棄されたオレンジの皮は、そのまま肥料として埋め立てられるか、動物の飼料として使用されるか、あるいは乾燥したミカンの皮を漢方薬の原料として中国に販売される。柑橘類の果皮に含まれる主な生理活性物質であるヘスペリジンやナリンギンを HPLC 装置で検査するには、コストと時間がかかるという問題がある。ヘスペリジンはフラボノイドで、コレステロール低下、血圧降下、骨密度低下の抑制、抗酸化作用、発がん抑制作用など様々な薬理作用が期待される。ヘスペリジンとナリンギンは分子構造が似ているため、HPLC の保持時間が非常に近く (図 4a, b)<sup>[10]</sup>、同定には専門の技術者が必要である。本研究では廃皮からの生理活性物質の抽出条件を最適化し、テラヘルツ分光法を用いた容易検出法を確立した。

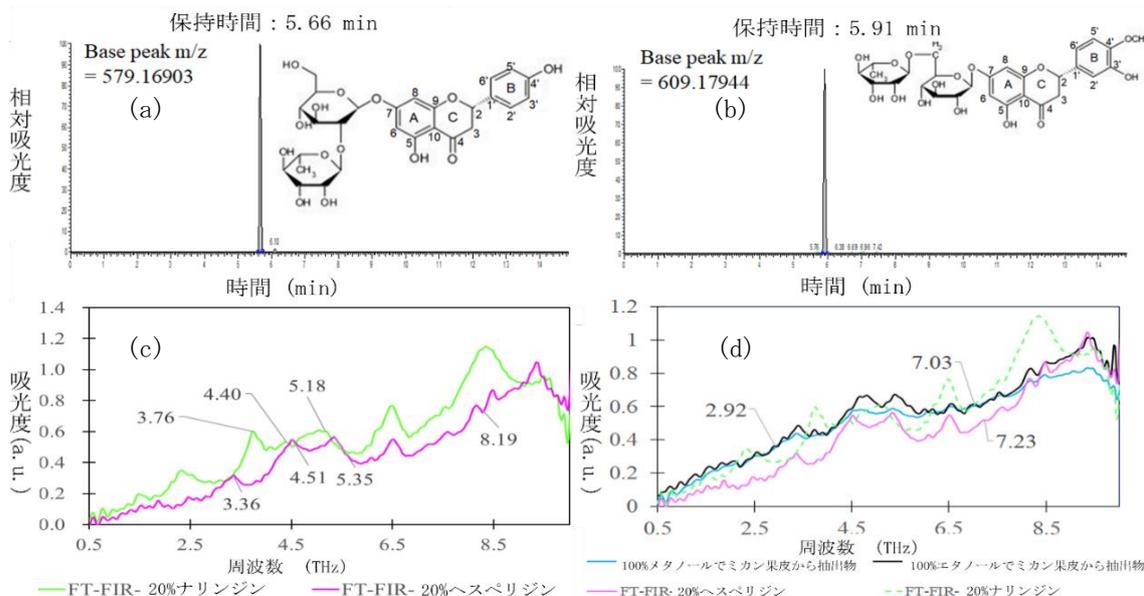


図 4. 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で測定したオレンジ果皮から抽出したナリンギン (a) およびヘスペリジン (b)<sup>[10]</sup>; 遠赤外線フーリエ分光器 (FT-IR) で測定したヘスペリジン、ナリンギン (c) およびミカン果皮から抽出物 (d) の THz 吸収スペクトル<sup>[11]</sup>。各薬剤の含有濃度を変えてポリエチレン粉と混ぜてペレット状にして測定

第一段階「抽出されたフラボノイドをテラヘルツ分光法で検出」ではオレンジ皮から抽出したヘスペリジンの THz 分光を行い、市販の薬剤と吸収スペクトルがほぼ同一であることを示した(図 4c、d) [11]。オレンジ果皮の抽出物をテラヘルツ分光法で検出することにより、複雑で時間のかかる従来の分析 (HPLC など) を簡略化できる可能性がある。

本研究では、柑橘類の果皮由来フラボノイドを有効利用することで、再利用の最大化と環境問題の軽減だけではなく、付加価値のある副産物を活用し、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する、新型コロナウイルスに代表される感染症予防にも貢献すると期待される。

第二段階「テラヘルツ分光法を用いて改質した各種ケーシングの実施可能性の検討」でテラヘルツ時間領域分光装置 (THz-TDS) を用いて、テラヘルツ領域における豚と羊のソーセージケーシングの改質前後のスペクトル変化を得られた。THz 波は液体の水で大きく減衰するため、食品そのものを測定する場合には、主に乾燥した食品や冷凍食品への適用が制限される。本研究はこのように THz 分光法を高含水率 (最大 97.98 wt.) の食品材料に広げることは、この分野では真新しい大きな課題である。ソーセージの異物を非破壊で検出する研究はあるが、様々な高含水率のソーセージケーシングへの THz の応用は、これまで利用されていない。

本研究では各種ケーシング (豚腸、羊腸、牛腸、改質豚腸) の水分量、膨潤率、厚みを測定した。ケーシングの THz 吸光スペクトルは、THz-TDS により、0.5-3.5THz の範囲で、減衰全反射 (ATR) モードで取得した。豚腸と羊腸のテラヘルツスペクトルの吸光度は、対照組に比べて大きく上昇した。ケーシングのテラヘルツスペクトルの変化は、ATR システムにおける低周波と高周波の間のシフト時間を用いて THz-TDS によってモニターされた。流速 20L/min の窒素ガス下での乾燥時間は、天然豚腸で 31.62 分であった(図 5)。この結果は、THz-TDS が、対照組および改良豚腸、ならびに他の食品の乾燥中のパラメータを測定できる可能性を示している [5]。水の吸収係数は 1 THz で 200  $\text{cm}^{-1}$  程度で、可視領域の約  $10^5$  倍である [12]。この強い吸収は生鮮食品に対して強い制約となる一方、植物の水分や食品パッケージの液漏れを検出できる。

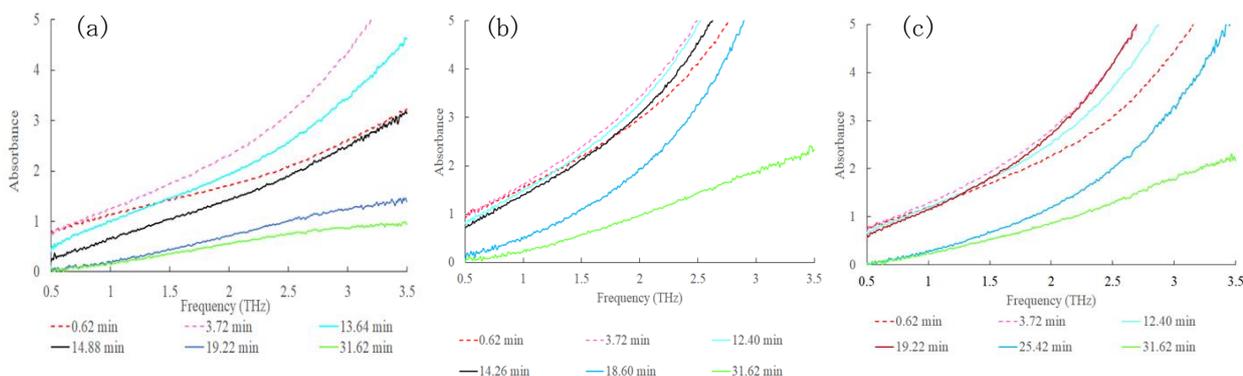


図 5. TH-TDS による異なる天然豚腸切片 (a、b、c) 3 回繰り返された実験の THz 吸光度スペクトル (ATR モード、テープなし)。縦軸は吸光度 (a. u.)、横軸は周波数 [5]。

第三段階「フラボノイドを添加した改質ケーシングに詰めたソーセージの長期保存による品質評価検討」では、16 日間、4°C 貯蔵後の食感特性 (硬さ、弾力性、ガム性、付着性) を、応答曲面法 (RSM) により評価した [6]。ソーセージの中心部の食感特性をテクスチャーで測定し、その食感特性と改質処理との関係を図 6 で示した。図 6 の 2 次元の等高線プロットと 3 次元の表面プロットに基づき、大豆レシチン濃度が低く、抽出液の濃度が高い場合、付着性が低下した。硬度は初回貫通サイクル中のピーク力と定め、付着性は最初の引き抜きに続く力-時間曲線の負の面積と定める。付着性の増加は、脂肪の放出に起因する可能性がある。

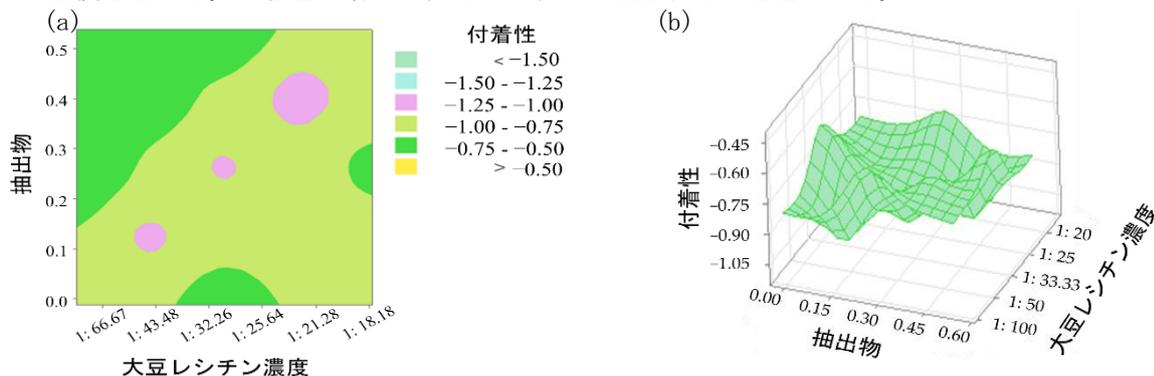


図 6. 大豆レシチン濃度と抽出物が改質ケーシングに詰めたソーセージ中心部の付着性に与える影響 (a) 二次元の等高線図; (b) 三次元の表面図 [6]

第四段階「改質ケーシングに詰められたソーセージにおける微生物増殖予測に関する研究」では改質豚腸、天然豚腸、天然羊腸を用いたソーセージの総生菌数 (TVC) の 50 日保存時間 (4°C) の関数としての増殖動力学について初めて研究した。TVC の増殖は *Baranyi* モデル適用され (図 7)、最大比増殖率、ラグタイム、初期および最終細胞数は DMFit を介して推定した<sup>[9]</sup>。

表 1 に示すとおり、*Baranyi* モデルの決定係数は、改質豚腸 (MHC)、天然豚腸 (CHC)、天然羊腸 (NSC) に詰められたソーセージでそれぞれ 0.94、0.77、0.86 に達した。初期細胞数の実験データは、MHC が  $4.69 \pm 0.10 \log \text{ cfu/g}$ 、CHC が  $4.79 \pm 0.10 \log \text{ cfu/g}$ 、NSC が  $3.74 \pm 0.14 \log \text{ cfu/g}$  でしたが、MHC、CHC、NSC の予測初期細胞数はそれぞれ  $4.81 \pm 0.20 \log \text{ cfu/g}$ 、 $5.19 \pm 0.53 \log \text{ cfu/g}$ 、 $3.74 \pm 0.54 \log \text{ cfu/g}$  となった。また、それらの賞味期限も予測することができる。この改質豚腸、天然豚腸、天然羊腸に詰められたソーセージの賞味期限はそれぞれ 19 日、10 日、3 日と定められた。また、50 日目のソーセージの平均 pH 値は、MHC サンプル ( $6.96 \pm 0.01$ ) が CHC ( $7.09 \pm 0.01$ ) および NSC ( $7.05 \pm 0.02$ ) サンプルより有意に低い ( $p < 0.05$ )。CHC を用いたソーセージは、MHC を用いたもの ( $97.40 \pm 0.46\%$ )、NSC を用いたもの ( $98.55 \pm 0.17\%$ ) に比べ、29 日目の保水力 ( $99.48 \pm 0.14\%$ ) は著しく高かった ( $p < 0.05$ )。最終日の平均水含量は、NSC を用いたソーセージ ( $38.30 \pm 3.23\%$ ) が MHC を用いたソーセージ ( $29.38 \pm 2.52\%$ ) および CHC を用いたソーセージ ( $29.15 \pm 1.16\%$ ) よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

表 1. 異なるケーシングに詰められたソーセージの総生菌数増加をモデル化するための予測賞味期限と計算モデルパラメータ

**Baranyi モデルから  
予測されるパラメータ**

	MHC	CHC	NSC
初期細胞数 ( $\ln(N_0)$ , $\log \text{ cfu/g}$ )	$4.81 \pm 0.20$	$5.19 \pm 0.53$	$3.74 \pm 0.54$
最大比増殖率 ( $\mu_{\max}$ , $\text{d}^{-1}$ )	$0.13 \pm 0.03$	$0.20 \pm 0.09$	$1.31 \pm 0.40$
ラグタイム ( $\lambda$ , d)	なし	なし	なし
最終細胞数 ( $\ln(N_{\max})$ , $\log \text{ cfu/g}$ )	$7.09 \pm 0.10$	$8.26 \pm 0.34$	$7.64 \pm 0.22$
決定係数 ( $R^2$ )	0.94	0.77	0.86
適合度標準誤差	0.22	0.69	0.54
予測賞味期限 (d)	19	10	3

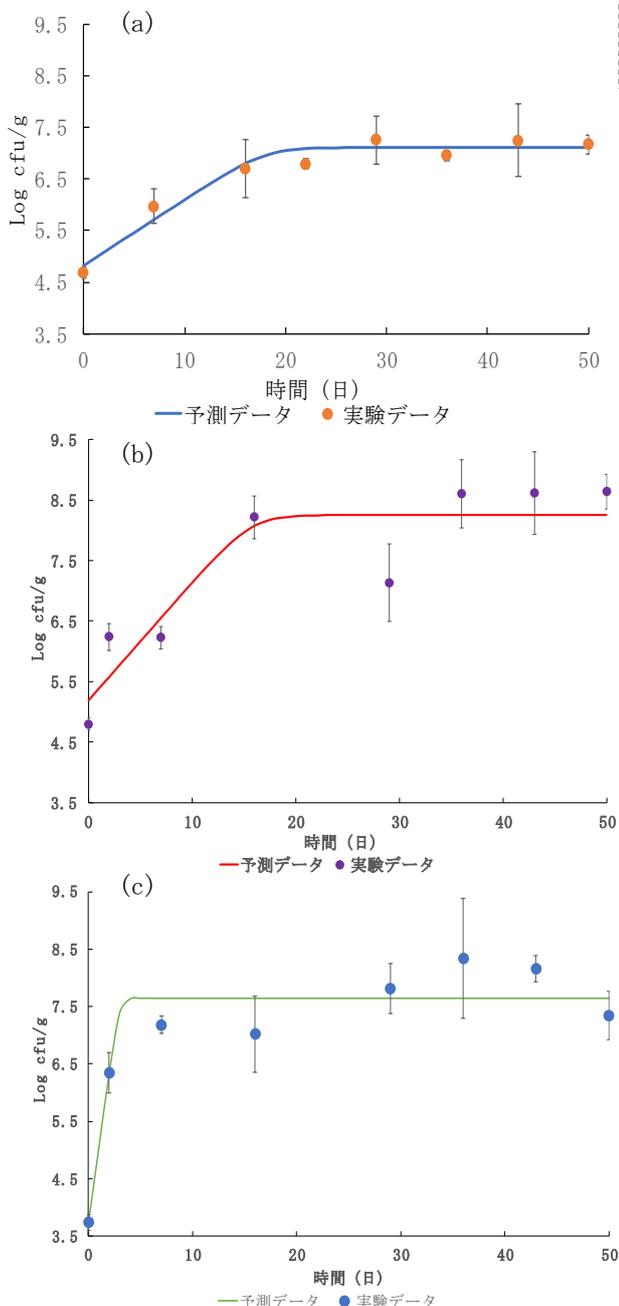


図 7. 異なるケーシングに詰められたソーセージの総生菌数 *Baranyi* モデルの推定予測データと実験データ: (a) 改質豚腸 (MHC)、(b) 天然豚腸 (CHC)、(c) 天然羊腸 (NSC) <sup>[9]</sup>

参考文献

- [1] Feng, C. -H., et al. *LWT - Food Sci. Technol.* 58, 427-438 (2014).
- [2] Kawase K.: *Opt. Photon. News* 15, 34 (2004).
- [3] Feng, C. -H. & Otani, C. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 61, 2523-2543 (2021).
- [4] Feng, C. -H. *Molecules*, 27, 2268 (2022).
- [5] Feng, C. -H., Otani, C. Ogawa, Y. & García-Martín, J. F. *Food Control*, 127, 108152 (2021).
- [6] Feng, C. -H., et al. *Foods*, 12, 1069 (2023).
- [7] Feng, C. -H. et al. *Appl. Sci.*, 13, 5300 (2023).
- [8] Feng, C. -H., et al. *Foods*, 11, 2797 (2022).
- [9] Feng, C. -H., *Foods*, 11, 634 (2022).
- [10] Feng, C. -H. et al. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 55, 3123-3134 (2020).
- [11] Feng, C. -H., Otani, C., Ogawa, Y. *Food Control*, 137, 108897 (2022).
- [12] 大谷知行, Feng, C. -H., 小川雄一 日本分光学会, 71, 189-191 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Otani Chiko, Ogawa Yuichi, Garcia Martin Juan Francisco	4. 巻 127
2. 論文標題 Evaluation of properties in different casings modified by surfactants and lactic acid using terahertz spectroscopy - A feasibility study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Food Control	6. 最初と最後の頁 108152 ~ 108152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foodcont.2021.108152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 大谷知行, Chao-Hui Feng, 小川雄一	4. 巻 71
2. 論文標題 テラヘルツ波を用いた食品計測技術の現状と展望	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Spectroscopical Society of Japan / 日本分光学会	6. 最初と最後の頁 189 ~ 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Feng Chao-Hui	4. 巻 11
2. 論文標題 Quality evaluation and mathematical modelling approach to estimate the growth parameters of total viable count in sausages with different casings	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 634 ~ 634
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods11050634	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Otani Chiko, Ogawa Yuichi	4. 巻 137
2. 論文標題 Innovatively identifying naringin and hesperidin by using terahertz spectroscopy and evaluating flavonoids extracts from waste orange peels by coupling with multivariate analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Food Control	6. 最初と最後の頁 108897 ~ 108897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foodcont.2022.108897	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui	4. 巻 27
2. 論文標題 Optimizing procedures of ultrasound-assisted extraction of waste orange peels by response surface methodology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 2268 ~ 2268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27072268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hernandez-Hierro Jose Miguel, Cozzolino Daniel, Feng Chao-Hui, Rato Ana Elisa, Nogales-Bueno Julio	4. 巻 13
2. 論文標題 Editorial: recent advances of near infrared applications in fruits and byproducts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 858040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2022.858040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Moravec Emily, Nanut Tara, Raducha Tomasz, Reshef Orad, Sivakumar Chandrasekar, Williams LaNell A.	4. 巻 3
2. 論文標題 The spectrum of early career physics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Reviews Physics	6. 最初と最後の頁 772 ~ 776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42254-021-00379-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Otani Chiko, Garcia Martin Juan Francisco	4. 巻 na
2. 論文標題 Flavonoids as a starting point for therapeutics against COVID-19: Current state-of the art research advances	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Book of Flavonoids	6. 最初と最後の頁 339-350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.52305/WGCH6543	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Otani Chiko	4. 巻 61
2. 論文標題 Terahertz spectroscopy technology as an innovative technique for food: Current state-of-the-Art research advances	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Critical Reviews in Food Science and Nutrition	6. 最初と最後の頁 2523 ~ 2543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10408398.2020.1779649	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao Hui, Garcia Martin Juan Francisco, Broncano Lavado Maria, Lopez Barrera Maria del Carmen, Alvarez Mateos Paloma	4. 巻 55
2. 論文標題 Evaluation of different solvents on flavonoids extraction efficiency from sweet oranges and ripe and immature Seville oranges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Food Science & Technology	6. 最初と最後の頁 3123 ~ 3134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ijfs.14576	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Makino Yoshio, Garcia Martin Juan Francisco	4. 巻 9
2. 論文標題 Hyperspectral imaging coupled with multivariate analysis and image processing for detection and visualisation of colour in cooked sausages stuffed in different modified casings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 1089 ~ 1089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods9081089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Makino Yoshio	4. 巻 111
2. 論文標題 Colour analysis in sausages stuffed in modified casings with different storage days using hyperspectral imaging - A feasibility study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Food Control	6. 最初と最後の頁 107047 ~ 107047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foodcont.2019.107047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Arai Hirofumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Estimating moisture content of sausages with different types of casings via hyperspectral imaging in tandem with multivariate	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 5300 ~ 5300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app13095300	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Arai Hirofumi, Rodriguez-Pulido Francisco J.	4. 巻 11
2. 論文標題 Evaluation of pH in sausages stuffed in a modified casing with orange extracts by hyperspectral imaging coupled with response surface methodology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 2797 ~ 2797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods11182797	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Arai Hirofumi, Rodriguez-Pulido Francisco J.	4. 巻 12
2. 論文標題 Hyperspectral imaging combined with chemometrics analysis for monitoring the textural properties of modified casing sausages with differentiated additions of orange extracts	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 1069 ~ 1069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods12051069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Arai Hirofumi	4. 巻 14
2. 論文標題 Evaluation of hesperidin on sausages stuffed in a new modified casing during long-term storage - A preliminary study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 9071 ~ 9071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su14159071	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Feng Chao-Hui, Otani Chiko, Ogawa Yuichi
2. 発表標題 Evaluating flavonoids extracted from waste orange peels using THz-TDS
3. 学会等名 11th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Otani Chiko, Feng Chao-Hui
2. 発表標題 Potential and prospects of terahertz technology for the food applications
3. 学会等名 The IEEE Summer Topicals Meeting Series (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Feng Chao-Hui, Makino Yoshio, Garcia Martin Juan Francisco
2. 発表標題 Evaluating moisture of cooked sausages stuffed by modified casing via using hyperspectral imaging in tandem with multivariate analysis.
3. 学会等名 I International Workshop on Hyperspectral Imaging - Unicamp (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Feng Chao-Hui
2. 発表標題 Recent advances in non-invasively evaluating the quality of foodstuffs by using hyperspectral imaging and terahertz spectroscopy
3. 学会等名 Discovery Afternoon at RIKEN (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Feng Chao-Hui、 Otani Chiko、 Ogawa Yuichi
2. 発表標題 Optimizing processing of bioactive extraction from waste orange peels and detecting using terahertz spectroscopy
3. 学会等名 The Hyper Interdisciplinary Conference
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Feng Chao-Hui
2. 発表標題 Applying hyperspectral imaging in conjunction with multivariate analysis to assess the quality characteristics of sausages
3. 学会等名 Foods 2023 Webinar: Improving Food Quality and Processing Efficiency: Advancements in Non-invasive Inspection Technologies and Modern Physical Processing Methods (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Feng Chao-Hui、 Arai Hirofumi
2. 発表標題 Reuse of waste orange peel and exploiting non-destructive detection techniques on foodstuffs
3. 学会等名 The Hyper Interdisciplinary Conference
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Feng Chao-Hui、 Arai Hirofumi
2. 発表標題 Evaluating quality of sausages stuffed in modified casings added with hesperidin during 43-day long-term storage
3. 学会等名 Hokkaido/Tohoku Branch of the Japanese Society for Agricultural Chemistry Joint Branch Meeting and Joint Young Scientists
4. 発表年 2022年

## 〔図書〕 計1件

1. 著者名 Feng Chao-Hui, Garcia Martin Juan Francisco	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Nova Science Publishers	5. 総ページ数 362
3. 書名 The Book of Flavonoids	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

<p>学術的な活動により、Nature Reviews Physics (インパクトファクター：36.273、Natureのシリーズ)のViewpoint articleに寄稿するよう招待された。研究代表者はいくつかの影響力の大きい国際学術雑誌のピアビューアーとして招待されている。また「Foods」の編集委員(IF: 5.561)、「Frontiers in Nutrition」の編集委員(IF: 6.590)、「Sustainability」の編集委員(IF: 3.889)、「Frontiers in Plant Science」の編集委員(IF: 6.627)、及び著書「The Book of Flavonoids」(約86584字)の編集長としても招待されている。2022年10月に、今までの研究成果を「アグリビジネス創出フェア」東京ビッグサイトで出展した。2023年2月にチャレンジフィールド北海道の広報媒体(チャレンジフィールド北海道note: <a href="https://note.com/cfhokkaido/n/n20aeaacc0a41">https://note.com/cfhokkaido/n/n20aeaacc0a41</a>)で研究成果を掲載した。また、座長として、国際食品オンラインセミナーを開催した: <a href="https://www.mdpi.com/about/announcements/5607">https://www.mdpi.com/about/announcements/5607</a>。 Global Peer Review Award for Top Peer Reviewer 2019 for placing in the top 1% of reviewers in Agricultural Sciences reviewer databaseグローバル・ピアレビューを受賞 卓越した研究成果に対する特別な表彰と理研とその科学的活動に対する公衆の認識の向上への貢献に対する感謝状を獲得した RIKEN at a Glance (ページ6目へ) <a href="https://www.riken.jp/medialibrary/riken/pr/publications/pamphlets/r-pamph/RIKEN-at-a-glance-2020.pdf">https://www.riken.jp/medialibrary/riken/pr/publications/pamphlets/r-pamph/RIKEN-at-a-glance-2020.pdf</a> Interview for Young Researcher News at RIKEN <a href="https://www.riken.jp/medialibrary/riken/careers/programs/yrnews_30.pdf">https://www.riken.jp/medialibrary/riken/careers/programs/yrnews_30.pdf</a></p>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大谷 知行  (Otani Chiko)		
研究協力者	小川 雄一  (Ogawa Yuichi)		
研究協力者	新井 博文  (Arai Hirofumi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	ガルシアマルティン ファンフランシスコ (Garcia Martin Juan Francisco)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関