

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 30 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560155

研究課題名(和文)食文化に根差した省エネ・低炭素型地域コミュニティ創生への挑戦

研究課題名(英文)A challenge for creation of energy-saving and low-carbonized local community based on food culture

研究代表者

大村 直人(Ohmura, Naoto)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50223954

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、健康、長寿、安全、安心、省エネルギー、低炭素を目的とした社会の構築のため、将来どのような地域コミュニティを創成すべきかを、日本の食文化に着目して提案することである。

食の省エネルギー・低炭素化については、エネルギー消費が大きい「煮る」、「蒸す」、「ゆでる」の水を媒体に用いた加熱調理に着目し、食材内部の温度変化や食材の硬さ変化を表す数値モデルを構築し、加熱調理の最適化を行った。

低炭素型地域コミュニティ創生について、農産物生産からみた未来社会像をデザイン思考によりイメージし、未来社会では、「時間をかける＝待つ」ことから生まれる価値が重要であるというコンセプトが導かれた。

研究成果の概要(英文)：This research tried to propose a methodology for construction of a future local community aiming at health, longevity, security, safety, energy saving and low carbonization by focusing on Japanese food.

As for energy saving and low carbonization in foods, this research paid attention to "boiling" and "steaming" which are relatively large energy consuming cooking processes. Numerical models for prediction of time variations of temperature and hardness of foodstuff were constructed and optimization of heating cooking was tried.

In order to proposed a methodology for construction of a future local community which has accomplished low energy consumption and low carbon dioxide emission, this research tried to make a future image of society from the aspect of food production systems using a design thinking method. The design thinking method led to an important concept that "taking much time or "waiting" is crucial for the future society.

研究分野：化学工学

キーワード：低炭素化 省エネルギー 社会システム 地域コミュニティ プロセス強化

1. 研究開始当初の背景

わが国は未曾有の超少子高齢化社会を向かえようとしており、これに伴う労働人口の急激な減少による生産力や購買力の低下により、社会の活力が急速に失われることが危惧されている。また、昨年の3.11の大震災による原発事故以降、わが国のエネルギー政策は大胆な転換を迫られており、持続可能な省エネルギー・低炭素型の社会の構築が急務となっている。このことは、雇用の拡大と人口増加につながる持続的経済発展を目指しながら、健康、長寿、安全、安心、省エネルギー、低炭素を目的とした社会の構築を行うという非常に難しい課題に取り組まなければならないことを意味する。日常生活において必要不可欠な「食」についても、省エネルギー、低炭素化を行う必要があるが、上述のようなわが国の抱える難しい問題に対しては、単に省エネルギーや低炭素といった単一の課題を従来の方法論（工学的なアプローチ）だけで、取り組むだけでは不十分であり、文化論、エネルギー論、環境論などの異分野を融合した新しい方法論が必要である。そこで本研究では、日本の食文化が古来より大陸から伝わった食文化に、日本の気候風土を取り入れた先人達の智慧によって作られたものであることに着目し、この日本の食文化の特長を活かして、食の観点から新たな低環境負荷型の地域コミュニティの創成に挑戦するものである。

2. 研究の目的

そこで、本研究の目的は、持続的経済発展を目指しながら、健康、長寿、安全、安心、省エネルギー、低炭素を目的とした社会の構築のため、将来どのような地域コミュニティを創成するべきかを、日本の食文化に着目して提案することである。日本の食文化は日本の気候風土を取り入れた先人達の智慧によって作られ、その季節だけに採れる食材を「旬」のものとして調理する技術が発達し、味覚、栄養、環境負荷面において優れたものである。この日本の食文化を、食材調達、調理、廃棄の一連のサプライチェーンを通して、工学、家政学、調理学的なアプローチで見直し、その特長を明らかにするとともに、この特長を活かした“地産地消”をベースとした新しい低環境負荷型地域コミュニティについて提案することを具体的な目標とする。

3. 研究の方法

(1) 日本食において主要な調理方法である「煮る」、「ゆでる」、「蒸す」という水を媒体とした調理におけるエネルギー消費が非常に大きく、改善余地が大いにあることが判明した(図1、2)。そこで、この「煮る」、「蒸す」、「ゆでる」の加熱調理に焦点をあて、調理手法を、エネルギー的、家政学的、調理学的に検討を行う。具体的には、卵をゆでる場合(平成25年度)、根菜類を煮るおよび、蒸

した場合(平成26年度)の食材内部の温度変化や食材の硬さ変化を表す数値モデルにより、調理時間を算出し、加熱調理方法の違いが消費エネルギーおよび、炭酸ガス排出量に及ぼす影響を調べた。

水の熱容量および水量が多い



エネルギー消費量大

図1 わかす、煮る、ゆでる、蒸すは消費エネルギーが大きい

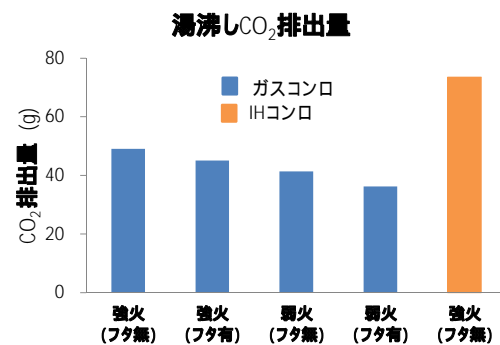


図2 提案者らの湯沸かし実験におけるCO₂排出量測定

(2) 日本食の観点から新たな低環境負荷型の地域コミュニティの創成について検討するために、まず、日本食の特徴として麹菌を用いた発酵食品に着目し、発酵食品生産プロセスをバッチ処理から連続処理化することでプロセス強化が可能かを検討した(平成25年度)。つぎに食材調達の観点から、農産物生産からみた未来社会像をデザイン思考によりイメージし、そこからバックキャストリングすることで、現在の日本社会が抱えている課題についてインサイトを得ることを試みた。

4. 研究成果

(1) 加熱調理のうち、「ゆでる」に関しては、ゆで卵を題材に、調理時間予測モデルの構築と、このモデルに基づいたガス加熱とIH加熱の違いによるエネルギー消費および、二酸化炭素排出量評価を行った。調理時間予測モデルでは、卵殻、卵白、卵黄の3つの層からナル2次元軸対称系を設定し、非定常熱伝導方程式に基づくモデルを構築し、このモデル式を用い、調理時の水温変化を考慮に入れて有限要素法によりシミュレーションを行った。数値計算で得られた卵内の温度の時間変化は、実際の調理実験で得られた卵内の温度変化とよく一致し、構築した調理時間予測モデルの妥当性が示された。(図3)

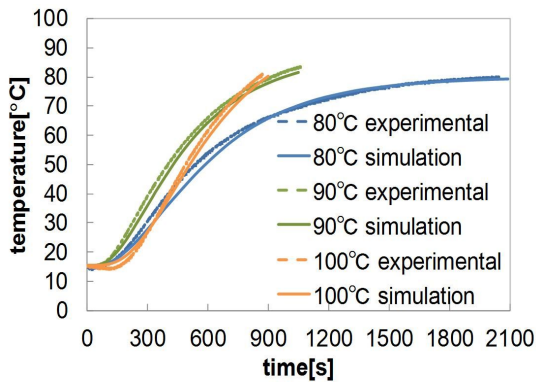


図3 卵中心部の温度変化

この調理時間予測モデルを元に、卵中央部（卵黄部）の温度が80に達する時間を調理完了時間として、最適加熱方法をガス加熱とIH加熱それぞれで決定し、この最適加熱において消費されるエネルギー量と排出される二酸化炭素量評価を調理実験より行った。その結果、IH加熱は熱効率の点でガス加熱より優れているものの、発電ロスや送電ロスを加味した場合、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量ともに、ガス加熱よりも大きくなった。（図4）一方、ガス加熱においては、加熱調理時の熱効率が低く、熱効率の点で問題があることがわかった。

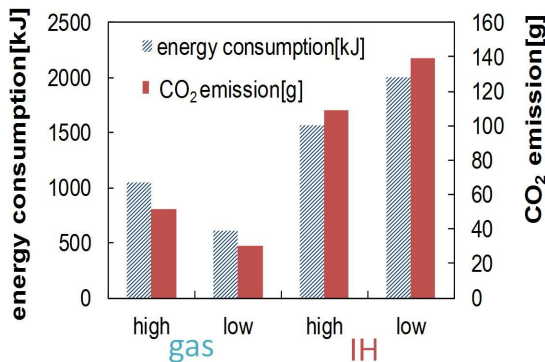
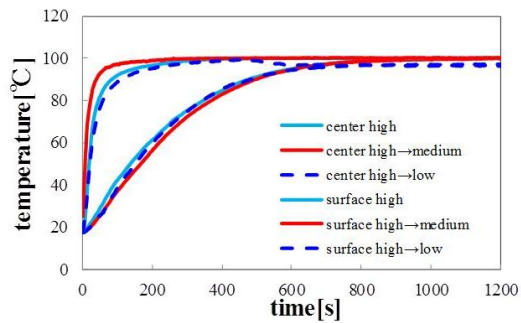


図4 エネルギー消費量と二酸化炭素排出量：水温が90に達するまで強火で加熱した場合をhighで、弱火で加熱した場合をlowで示した。

つぎに、ニンジンやほうれん草を中心とした根菜類について、「煮る」および、「蒸す」のエネルギー評価を行った。まず、ニンジンやほうれん草などの根菜類のできあがりについて、食材の軟らかさについて着目し、破断荷重と官能評価を相関させ、最適な軟らかさを破断荷重により数値化した。根菜類の硬さの時間変化は、1次化学反応モデルで表現できるとされているが、本研究においても、破断荷重を測定した結果、1次化学反応モデルで表現できることを確認した。

この1次反応モデルを用いて、強火、弱火を組み合わせ、加熱方法を最適化することを試みた。IH加熱器を用いた蒸し加熱を例に取れば、図5に示すように、食材（ニンジン）表面の温度が100に到達した後、中火や弱火に切り替えても、ニンジン中心部の温度と硬さの時間変化は強火のまま加熱した場合とほとんど同じであることがわかった。これらの結果を基に省エネルギー性能を評価した結果、火力をうまく調整することで、強火のまままで加熱する場合に比べ、蒸し加熱では最大約0.2 kWhの電力を節約できることがわかった。

a) 温度変化



b) 硬さ変化

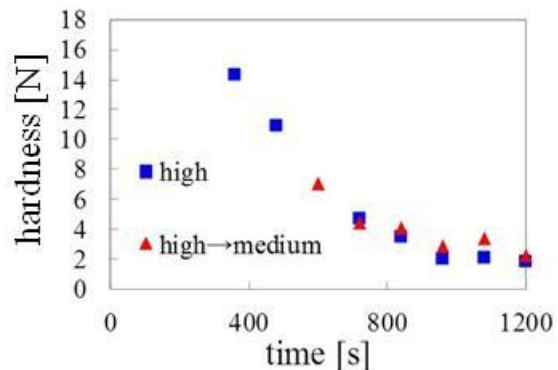


図5 ニンジン内部の温度変化と硬さ変化

(2) 日本食の観点から新たな低環境負荷型の地域コミュニティの創成については、以下の検討を行った。

本質的な省エネ・低炭素化は家庭だけを議論するのではなく、食材のサプライチェーンに基づく、生産から廃棄物・廃水処理まで含めた省エネ・低炭素化を行う必要があると考えた。まず、日本食の特徴として麹菌を用いた発酵食品に着目し、日本食をベースとしたエコプロダクションシステムの構築を試みた。まず、発酵食品生産において、デンプンの糖化プロセスを如何に強化するかについて検討した。デンプンの糖化プロセスは、攪拌槽を用いたバッチプロセスが想定されるが、これを図6に示すようなCouette-Taylor流型反応装置を用いて、連続プロセスで置き換えることを考えた。

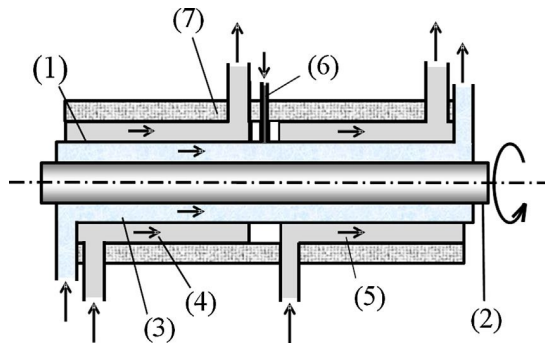


図 6 Couette-Taylor 流型反応装置：(1)静止外円筒 (2)回転内円筒 (3)デンプン懸濁液 (4)加熱温水 (5)酵素反応至適温度水 (6)酵素注入孔 (7)断熱材

図 7 に糖化の一例を示すとおり、内円筒をわずかに回転させることで、糖化が顕著に促進され、効率的に還元糖が生産できることがわかった。このことにより、食品プロセスにおいて、バッチ操作を連続操作に置き換えることで、プロセスを効率化でき、環境負荷を低減できることがわかった。

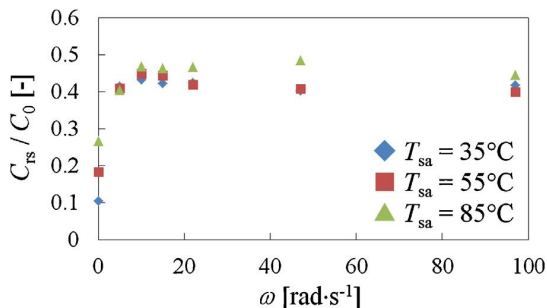


図 7 還元糖生産の内円筒回転速度依存性
の一例：初期デンプン濃度 $C_0 = 50 \text{ kg m}^{-3}$

つぎに、食物生産システムを産業間ネットワークのハブと捉え、新たなエコプロダクションシステムを提案し、それが地域社会にどのように影響を及ぼすかについて検討した。平成 26 年度大学等シーズ・ニーズ創出強化支援事業 (COI ビジョン対話プログラム) に採択された神戸大学の「少子高齢化社会を豊かにする「医食農」環境の構築」の研究プロジェクトと協働して、農産物生産から見た未来社会像を、デザイン思考に基づくワークショップを実施して、バックキャストिंगを試みた。デザイン思考とは、デザイナーが 0 (ゼロ) からモノを作り出す際に行っている思考を体系化し、デザイナーでない人でもデザイナーのように課題設定から問題解決までのプロセスを実行できるようにした思考法である。思考の発散と収束を繰り返しながら、ユーザーに対する共感、問題定義、アイデア創出、プロトタイプング、社会受容性の検証のプロセスを重ねていくことで、イノベーションを生み出すとい

うものである。アイデアの創出からソリューションの提案までを様々な人たちと一緒に考えるためのワークショップ (図 8) を開催し、ブレインストーミング、親和図法、強制連想法などの作業を参加者に行ってもらい、その作業過程や結果からこれまで気づいていなかったインサイト (気づき) を見つけることに取り組んだ。その中で、学生を対象としたワークショップから、「時間をかける = 待つ」ことへの欲求を若者が感じているというインサイトを得た。現代社会は、速さや効率の良さを追求した定量的評価の下で発展してきたが、未来社会では、「時間をかける = 待つ」ことからうまれる価値、即ち、定性的評価の確立が重要であるというコンセプトが導かれた。「待つ」ことを可能にするには、時間や意識等のギャップを埋める「場」が重要である。その「場」の構築が、望む未来社会像への到達アプローチであると考えられた。この結果を受けて、「未来社会創造研究会」を学内に立ち上げ、得られたインサイトを様々な分野の教員・専門家と共有して、さらに具体的な未来社会像を描き、その実現に向けた研究を推進する体制を構築した。



図 8 ワークショップの様子

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

Robert Hubacz, Naoto Ohmura, Ewa Dluska, Intensification of Starch processing Using Apparatus with Couette-Taylor Flow, journal of Food Engineering, 査読有, Vol. 36, 2013, pp. 774-785

DOI: 10.1111/jfpe.12046

Hayato Masuda, Takafumi Horie, Robert Hubacz, Naoto Ohmura, Process Intensification of Continuous Starch Hydrolysis with a Couette-Taylor Flow Reactor, Chemical Engineering Research and Design, 査読有, Vol. 91,

2013, pp. 2259-2264
DOI: 10.1016/j.cherd.2013.08.026
Hayato Masuda, Takafumi Horie, Robert Hubacz, Naoto Ohmura, Numerical and Experimental Investigation of Continuous Starch Hydrolysis with a Couette-Taylor Flow reactor, Proceedings of the 14th International Symposium on Transport Phenomena, Yamaguchi, Japan, 査読無, 2013, 6 pages
Hayato Masuda, Takafumi Horie, Robert Hubacz, Mitsuhiro Ohta, Naoto Ohmura, Numerical analysis of the flow of fluids with complex rheological properties in a Couette-Taylor flow reactor, Theoretical and Applied Mechanics Japan, 査読有, vol.63, 2015 (掲載決定)

[学会発表](計 6 件)

村嶋祐誠, 山根有友奈, 武田志奈乃, 白杉直子, 本多佐知子, 丸山達生, 大村直人, ゆで卵を例とした調理法の違いによる省エネ・低炭素化の検討, 日本調理科学会平成 25 年度大会, 2013.8.25, 奈良女子大学(奈良県)

Naoto Ohmura, Concept of Eco-Production Systems with Plant factories, Workshop on Innovation and Pioneering technology 2014, 2014.3.17, 神戸大学(兵庫県)

増田勇人, 堀江孝史, Robert Hubacz, 大村直人, 連続式クエット・テイラー流装置を用いたデンプン加水分解における流動状態の効果, 化学工学会第 79 年会, 2014.3.20, 岐阜大学(岐阜県)

太田七瀬, 白杉直子, 本多佐知子, 堀江孝史, 丸山達生, 大村直人, 省エネルギーと食品衛生を考慮したハンバーグ焼成条件の検討, 日本調理科学会平成 26 年度大会, 2014.8.29, 広島県立大学(広島県)

大村直人, 加熱調理の移動現象- 調理科学と化学工学のアナロジー, 日本調理科学会平成 26 年度大会, 2014.8.30, 広島県立大学(広島県)

孫潔慧, 白杉直子, 本多佐知子, 堀江孝史, 丸山達生, 大村直人, 低炭素を考慮した根菜類の最適加熱条件の検討 - ニンジンの茹で加熱を中心に -, 日本調理科学会平成 26 年度大会, 2014.8.23, 広島県立大学(広島県)

6. 研究組織

(1)研究代表者

大村 直人 (OHMURA, Naoto)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 5 0 2 2 3 9 5 4

(2)研究分担者

白杉 直子 (SHIRASUGI, Naoko)
神戸大学・大学院人間発達環境学研究科・教授
研究者番号: 8 0 2 4 3 2 9 4

本多 佐知子 (HONDA, Sachiko)
神戸山手短期大学・生活学科・准教授
研究者番号: 6 0 5 1 4 9 1 6