

Laser-Cooking: レーザーカッターを用いた 自動調理法の開発

福地 健太郎^{†1} 富山 彰史^{†1} 城 一 裕^{†2}

我々は、レーザーカッターを食材の加熱に用いる新しい調理法を開発した。一般的な加熱調理の手法は食材全体を加熱するが、提案手法では食材表面の局所的な瞬間加熱を可能とした。さらに画像処理技術を併用することで、食材の位置や形、組成に応じた自動加熱調理を実現した。これらにより、今までにない新しい味や舌触り、装飾を施した料理の創作を支援することができるようになった。また位置あわせやスケーリング処理を自動化することで操作の手間を減らした。将来的には提案手法を応用した自動調理器具を、先端的な料理を開拓する調理人やいわゆるハイアマチュアが使い、人類がまだ体験したことのない新しい味であったり、パーティ料理や趣味の料理に新しい演出を施したりすることを想定している。

本稿では提案手法の詳細について述べるとともに、実例を紹介する。また、今後の自動調理の展開について論考する。

Laser Cooking: an Automated Cooking Technique using Laser Cutter

KENTARO FUKUCHI,^{†1} AKIFUMI TOMIYAMA^{†1}
and KAZUHIRO JO^{†2}

We propose a novel cooking technology that using laser cutter as a dry-heating device. Generally a dry-heat cooking heats the whole surface of an ingredient, but laser-cutter enables to heat a sport of the surface in a very short time. Our approach employs an automated laser-cutter and video image processing technique to cook ingredients according to the shape and composition that enables to add new taste and texture, decoration and unique identifier to the ingredients. In the future, automated laser cookers using the proposed technology will help pioneer cooks and high-amateurs to explore a new taste and presentation. We introduce some examples of laser cooking of novel chocolate texture, healthy bacon precooking and 2D fiducial marker printing.

1. 概 要

料理の世界で、科学・技術を応用して新しい味や調理法を開拓する動きが活発化している。真空加工機を応用して素材の下ごしらえをしたり、従来より低い温度で加熱調理をするための手法などが研究され、実際の料理の現場で活用されるようになってきた¹⁾。特に化学的手法を応用したものは **Molecular Gastronomy (分子調理法)**⁸⁾ と呼ばれ、研究開発が活発になされるとともに、大量生産を目的とした工業的食品加工の分野だけでなく、美食を目的とした先駆的なレストランでも採用が進んでいる²⁾¹⁴⁾。こうした流れに、メカトロニクスや情報技術はもっと貢献できるのではないかと我々は考えている。

本稿で我々が提案するのはレーザーを使った新しい加熱調理手法である。従来の加熱調理を置き換えるものではなく、新しい味や新しい料理の演出を可能とすることを目指したものである。また画像処理技術を応用し、誰でも簡単にこの手法を使えるようにした支援技術もあわせて開発した。将来的には提案手法を応用した自動調理器具を、先端的な料理を開拓する調理人やいわゆるハイアマチュアが使い、人類がまだ体験したことのない新しい味であったり、パーティ料理や趣味の料理に新しい演出を施したりすることを想定している。

2. 背 景

2.1 調理の歴史

料理の歴史は、おおむね火の発見とともに始まったと見られている¹⁰⁾。すなわち、生では食べられなかったり食味が悪いものを、火を通すことによって摂取可能にし、身体への吸収を促進し、味や香りを向上させる手法として、料理が始まった。今日では加熱調理は直火で炙るのみならず、グリルやオーブンなどの道具を使ったり、また茹でたり揚げたりといった方法が採られるようになっていく。他にも、乾燥や燻製・発酵・冷蔵・冷凍などの手法が技術の発達とともに開発され、食物の長期保存を可能とし、食味を豊かにし、様々な産地からの食材を楽しむことができるようになった。加えて食器の発達も熱い料理を食べる習慣につながり、料理の見た目の演出にも貢献している。また技術の発達も電子レンジやジュースメーカーなど、機械による新しい調理手法を産み出し、また調理の手間を軽減し家庭やレストラ

^{†1} 明治大学
Meiji University

^{†2} 東京藝術大学
Tokyo University of the Arts

ンでの調理のスタイルを大きく変えた⁷⁾。

2.2 科学・技術と美食学

科学・技術の発展は調理技術にも大きく影響を与えている。先に挙げたように、冷凍/冷蔵庫・電子レンジ・IH 調理器などは高度な技術を応用した製品でありつつ、広く一般に普及し調理の仕方を大きく変化させた。

さらに今日では、より先端的な試みとして、美食の追求のために科学が取り入れられるようになってきた。この流れは、Kurti と This が “Molecular Gastronomy” と称して料理人と科学者との共同研究を促進してからより自覚的に捉えられるようになり、研究開発が進展した。例えば sous-vide という、食材を真空パウチ加工して調味料の浸透を促進する手法や⁵⁾、アイロンや液体窒素など様々な道具を駆使した新しい調理法が日々研究されるようになってきている¹⁾。

2.3 本研究の位置づけ

こうした流れを受けて、我々は情報技術がもっと美食に貢献できるのではないかと考えている。ヒューマンコンピュータインタラクションの分野でも、家庭での調理を対象としたログ記録やレシピ検索・閲覧の支援¹¹⁾、配膳作業の支援⁴⁾ や食器演出の自動化¹²⁾ といったものが多く提案されている。しかしこれらは既存の調理法に沿ったものであり、新しい味覚や料理演出の開拓を目指したものではない。

2.4 加熱調理の背景

すでに述べたように加熱調理は長い歴史を持っている。食材を加熱調理することで、安全性を増し消化を助け、また食味や香りを良くし、歯応えや舌触りを変化させることができる。加熱調理のための熱源も、直火から始まって熾火や焚き火の余熱を使ったり、ガスレンジや電子レンジ、IH など技術の発展とともに多岐に渡るようになった。鍋釜など調理器具の発達により茹で・揚げ・炒め・グリルなど調理手法も様々な発達した。

しかしこれまでの加熱調理は、食材全体を均一に加熱するものであり、局所的な加熱はあまり行われていない。局所加熱や局所非加熱を実現するためには、食材の一部を過加熱から守るために化粧塩⁹⁾ をしたりアルミホイルを巻くなどの加工をする必要がある。また、例えば脂身と赤身とで加熱の具合を変えるには、オープンやグリルでの微妙な温度調節をする必要がある¹⁴⁾ が、非常に手間がかかり難しい技法とされている。

2.5 Personal Fabrication

本研究で使用しているレーザーカッターは、以前は非常に高価で、工場や試作品製作のための専門企業などが主に使用していたが、近年ではこうした精密加工機器が安価になり、個

人でもこうした機械を所有したり共同利用したりするなど、広く使われるようになってきている。こうした流れを personal fabrication などと呼び、精密で高度な加工技術を駆使して、工業製品レベルのものが簡単に自作できるようにしようとする試みが各地で行われるようになってきている³⁾。

3. Laser Cooking

本稿で提案する手法は、情報技術を美食へと接続することを狙ったものである。具体的には、加熱調理の中でも dry-heating と呼ばれる、水や油を使わずに食材を焼いて加工する調理手法に着目し、高出力レーザーを用いた微細加工機械と画像処理技術を応用して個々の食材に応じて精密に加熱調理することで、これまでの加熱調理では味わうことのできなかった新しい食味を提供することを目標としている。このレーザー調理手法では、食材の表面を局所的に、瞬間的に加熱することができる。市販のレーザーカッターを応用することで、加熱箇所は XY 軸に自由に精密に動かして制御できる。カメラを用いて食材の位置や様子を撮影し、それに従って自動的に加熱箇所を制御することにより、食材の特定部位のみ火を通したり、また表面に文字や絵、二次元バーコードなどを焼き付けるといった調理が可能となる。

3.1 システム概要

今回我々が開発した、laser cooking の技術とそれを応用した調理器具 **Laser Cooker** のプロトタイプについて述べる。

本システムはレーザーカッター 1 台 (Epilog Mini 24) と PC、カメラ 1 台 (Logitech HD Pro Webcam C910 または Firefly MV) で構成されている (図 1)。カメラからレーザーカッターの台全体を撮影するために、台から 60cm 上に設置している。

3.2 画像処理の手順

Laser Cooker はカメラにより、食材の位置や形状を認識する。まず、カメラ設置時に、カメラ視野内におけるレーザーカッター台の位置を設定する必要がある。今回の実装では、カメラから取得した画像上で、レーザーカッター台の四隅を手動で指定して行うようにした。初回に設定すればその後の調整は必要ない。

加熱調理の度に、まず食材をカッター台上に設置する。このとき、単色のクッキングシートやキッチンペーパーを敷くことで、食材がカッター台に触れることを防ぎ、また画像処理を簡単にする。その後、PC 上の操作で調理開始を選択すると、まずカメラによりカッター台全体画像を撮影する。このとき、画像を鮮明にするためにレーザーカッターの蓋は開けたままにしておく必要がある。



図 1 Laser Cooker のシステム全体像
Fig.1 System overview of Laser Cooker.

撮影された画像は台形補正を施した後、食材の認識処理を行う。ここで、調理の目的に応じて、今回は二種類の調理加工のための認識手法を用意した。

3.2.1 ヒートマップによる局所加熱調理

これは食材の表面の様子から、自動的に加熱する箇所とそうでない箇所を判別し、どの部分を加熱するかをグレースケールのビットマップとして表したヒートマップを生成する手法である。レーザーカッターは彫刻モードを用い、ヒートマップでの色の濃さに比例して加熱量を制御する。

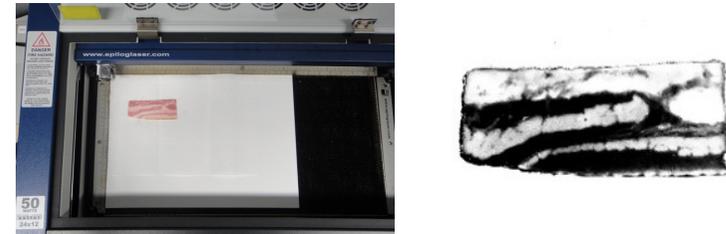


図 2 左: Laser Cooker のカメラ画像。右: カメラ画像から生成したヒートマップ (一部)。
Fig.2 Left: an image from Laser Cooker's camera. Right: a heat map generated from the camera image (scaled).

まず、カメラ画像を二値化した後に輪郭線抽出を行い、輪郭線に囲まれた面積の小さい領域をノイズとして除去する。次に抽出された領域について、食材に応じて色相などから加熱すべき部分を選び出し、ヒートマップを作成する。以下、ベーコンの加熱調理を例にして説明する。

ベーコンについて、このうち赤身の部分は非加熱のままとし、脂身の部分だけ加熱をして余分な脂を除去するという調理をしたいとする。このとき、画像処理により、脂身部分を抽出してそこを加熱するようなヒートマップを作成すればよい。そこで、明度と色相から、赤身と脂身とをわける処理を行う。図 2 の左がカメラ画像で、右がそこから生成したヒートマップである。図では、黒い部分が加熱の対象となる部分である。

なお、食材の色味や環境光の強さなどにより、最適な画像調整パラメータは変化してしまう。現状では、GUI により PC 上で手作業で指示するようになっている。具体的には、コントラストと明るさを調整することでこれを実現している。一度パラメータを調整した後は、同じような食材であれば連続調理が可能であり、ボタンを押すだけで指示ができる。

以上の画像処理を終えた後、スケーリングを施してレーザーカッターにヒートマップを転送し加熱調理を行う。調理の結果を図 3 に示す。脂身のみ加熱することで、余分な脂を落とし、また脂の焼けるよい匂いを食材に与えつつ、赤身は非加熱のままに保ち、生のベーコンの食味を残すことに成功している。

3.2.2 文字や絵の印刷加工

これは食材表面を局所的に焦がしたり変質させることで、食材に文字や絵を印刷するものである。まず、印刷する文字や絵はあらかじめビットマップとして与えられているものとする。先に述べた領域抽出で得られた各食材の位置・大きさから、その重心位置を計算し、印

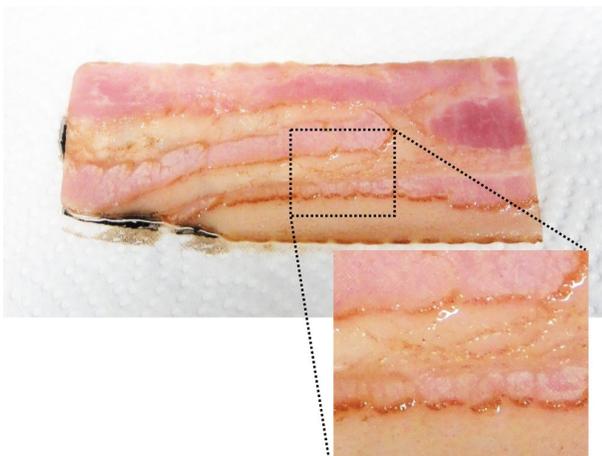


図 3 レーザー調理を施したベーコンとその一部を拡大したもの
Fig. 3 Laser-cooked bacon slice and its close-up.



図 4 抽出された領域内に文字画像をはめこむ
Fig. 4 Characters embedded in an extracted area.

刷するビットマップを自動的に並進移動および大きさの調整をする(図 4)。複数の食材が並べられているときは、同じ画像をそれぞれに印刷するなどの指示ができる。

その後全体のヒートマップを生成し、レーザーカッターに転送し、やはり彫刻モードで加熱調理を行う。作例を図 5 に示す。このとき、表面に印刷をするのに必要十分となるように火力を調節する必要があるが、現在は手作業でこれを行っている。将来的には、カメラ画像から食材を自動認識して調節をするようにしたい。

印刷するものはビットマップで表現できるものなら何でもよい。次章で作例を示す。



図 5 文字を印刷したチーズ・ホワイトチョコレート
Fig. 5 Characters are printed on pieces of cheese and white chocolate.

4. 加工例

食材に対する文字や絵の印刷では、単に装飾目的にとどまらず、様々な応用が考えられる。図 6 は、ライスペーパーの上に、折り目とその手順を印刷した例である。このように、食べる際に手間かかるような料理において、その説明を食材に直接印刷することで理解を助け、また興味を増すことができるのではないかと考えている。

図 7 は、海老煎餅に QR コードを印刷したものである。食材と火力を選ぶことで、十分に認識可能な二次元マーカを食材表面に印刷することができる。同様のものとして、鳴海らによる metaCookie⁶⁾ があるが、鳴海らは専用の焼きゴテを作成し、すべてのクッキーに同じマーカの焼印を押している。本手法を使えば同様の作業を簡単に、かつ様々な ID を付与することができる。

レーザー調理は味や見た目の変化だけでなく、舌触りや食べたときの食感にも、新しい感覚を与えることができる。例えばスライスのプロセスチーズに縞模様を焼き込むと、チーズを口に入れたときに折れ曲り方が生のものとは異なって感じられる(図 8)。これをさらに発展させることで、口腔内での食感演出を開拓することができるかもしれない。また、板チョコレートを加工した例では、表面全体をレーザーで加熱すると、表面の薄い層は焦がしチョコレートになるが、そのすぐ下は熱により溶けた層を形成し、さらにその下は熱が伝わ



図6 ライスペーパーに手順書を印刷した例
Fig.6 Instruction manual is printed on a ricepaper.



図7 二次元ビジュアルマーカを煎餅に印刷したもの
Fig.7 Printing a 2D fiducial marker onto a rice cracker.

りきらないため冷たく固いチョコレートのままとなる。これを口にする時、三種のチョコレートの食感が同時に味わえる。

5. 問題点

Laser cooking の研究過程でこれまでに判明した問題点についてまとめる。

現在の画像処理手法は、環境光の影響が強く、調理場での設置に課題を残す。特に下に敷くシートからの反射光が素材によってまちまちであり、問題となっている。また現在使用しているカメラの解像度が低く、加工時に粗さが目立つ。これについては高解像度のカメラの使用を検討したい。

レーザーカッターによる加工には長い時間がかかる。一枚のベーコンの加熱調理でも5～10分程度の時間がかかっており、調理が終わるころには始めに加熱をしていた部分は冷えてしまっている。また、厚みのある食材に対しては中まで火を通すことは難しい。加熱時間や火力を上げると今度は表面に熱が通り過ぎてしまう可能性もある。オープンや直火での加熱調理では、火力を弱めにして時間をかけて中まで熱を浸透させるという手法を採るが、提案手法の場合は局所加熱を目的としているためこの手法は使うことができない。

厚みのある食材や表面に凹凸がある場合では、カメラ画像からはその様子を知ることはで

きないため、様々な問題を生じる。例えば二次元マーカをそのまま凹凸のある食材に印刷しても歪みが生じるために機械での認識に支障をきたす。また、レーザーカッターは一般に平滑な面に対しての加工を想定して設計されているため、凹凸のある表面に対してはレーザーの焦点が合わなかったり、レーザーピットが食材にひっかかって食材が動いてしまったり、レーザーピットを脂で汚染するなどの障害を引き起こす。また厚みのあるものを上からの視点で撮影した場合、ヒートマップにずれが生じてしまい、精密な加熱調理に支障が出る。

6. 今後の展開

Laser Cooker については、画像処理にまつわる種々の問題を解決していく必要がある。また、自動処理を進める上で、食材の自動認識は欠かせない。また、先に挙げた問題点のうち、レーザーカッターを用いることによる根源的な点（中まで火を通すことができないなど）については、既存の加熱調理手法を併用することを検討する。つまり、微細加工が必要な部分は提案手法を用い、中まで火を通すといった食材全体を均質に加熱するには、オープンなどを使用すればよい。

今後の大きな展開としては、冒頭に述べたように、情報技術の調理への応用をさらに開拓

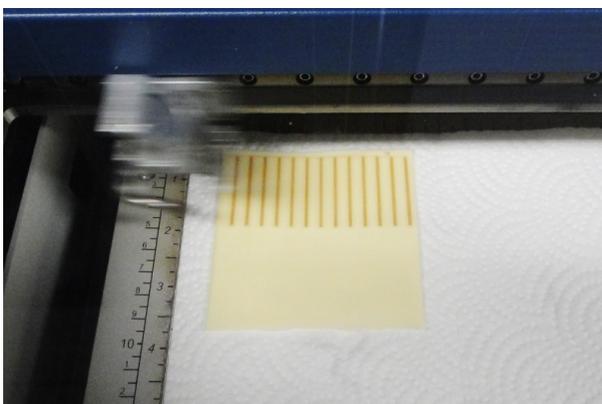


図 8 スライスチーズに縞模様を焼き込んだもの
Fig.8 Laser Cooker is cooking a slice of cheese.

することを考えている。例えば大和田らによるゼリープリンタ¹³⁾の考え方を応用して、3Dプリンタのように食材を形成することで、人手では形成できないような複雑な構造を持った料理が、味覚にどのような影響を与えるかを調査したい。

現時点ではまだ途上の研究であり、最も重要な点である「おいしさ」に提案手法がどうつながるかについては議論ができていない。これについては、専門家の協力を仰ぎ、美食学への貢献を図りたい。

7. ま と め

レーザーカッターと画像処理を応用し、既存の方法とは異なる新しい加熱調理の手法について提案した。実際にカメラ画像を加工して食材の加熱パターンを自動生成して調理するLaser Cookerを試作し、いくつかの加工例について紹介した。現在までに判明している、レーザーを使った加熱調理の問題点や、現時点での提案手法の限界について述べた。まだ途上の研究ではあるが、情報技術からの美食学への貢献という目的に向けて、今後の展望をまとめた。

参 考 文 献

- 1) Adrià, F.: *Modern Gastronomy: A to Z*, CRC Press (2009).
- 2) Adrià, F., Soler, J. and Adrià, A.: *A Day at El Bulli*, Phaidon Press Inc. (2008).

- 3) Gershenfeld, N.: *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop – from Personal Computers to Personal Fabrication*, Basic Books (2005).
- 4) Hashimoto, S., Ostanin, A., Inami, M. and Igarashi, T.: Photograph-based interaction for teaching object delivery tasks to robots, *Proceeding of the 5th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction, HRI '10*, New York, NY, USA, ACM, pp.153–154 (2010).
- 5) Hesser, A.: Under Pressure, *The New York Times Magazine*, Vol. 2005-08-14 (2005).
- 6) Narumi, T., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Meta cookie, *ACM SIG-GRAPH 2010 Posters*, New York, NY, USA, ACM, p.143:1 (2010).
- 7) Symons, M.: *A History of Cooks and Cooking*, Univ. of Illinois Press (2004).
- 8) This, H.: *Molecular Gastronomy: Exploring the Science of Flavor*, Arts and Traditions of the Table: Perspectives on Culinary History, Columbia Univ. Press (2005). Translated by M.B. Debevoise.
- 9) Tsuji, S.: *Japanese Cooking: a simple art (25th Anniversary Edition)*, Kodansha International (2006).
- 10) Wrangham, R.: *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*, Basic Books (2010).
- 11) 椎尾一郎, 浜田玲子, 美馬のゆり: Kitchen of the Future: コンピュータ強化キッチンとその応用 (<特集>インタラクティブソフトウェア), コンピュータソフトウェア, Vol.23, No.4, pp.36–46 (2006).
- 12) 森 麻紀, 栗原一貴, 塚田浩二, 椎雄一郎: いろどりん: 食卓の彩り支援システム (料理メディア研究会特別セッション), 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol.107, No.454, pp.69–72 (2008).
- 13) 大和田茂: ゼリープリンター, 第13回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2005) 論文集, pp.53–56 (2005).
- 14) 木村真季 (編): 別冊専門料理 SPECIALITES スペシャルティ 2011, 柴田書店 (2011).