

高専生によるホットケーキ焼き上がり判定法の提案 自動ホットケーキ焼き機 ～放っとケー機～

和田基樹[†] 保田孝太郎[†] 安東丸[†] 山田大地[†]
渡邊晴稀[†] 山本晟雅[†] 佐野友樹[†] 小口魁琉[†] 大山航[†]
周而晶[†] 丸山智章[†] 弥生宗男[†] 成慶珉[†]

概要：朝の忙しさから朝食を取る時間が確保できないという問題を解決するため、ホットケーキを自動で製造する装置「放っとケー機」を提案する。本装置はカメラでホットケーキの焼き加減を観察し、気泡の数をひとつの指標として適切な裏返しタイミングを判断するものである。ホットケーキの焼成過程を記録した動画を用いた評価実験により、焼き時間と気泡数の両方を考慮することでホットケーキを裏返すタイミングを安定して判断できることが確認された。ヘラを用いた自動反転動作は視覚的に魅力的であり、子供の関心を引きやすい特徴がある。これにより、朝食準備の負担軽減や朝食習慣の定着が期待される。

1. はじめに

1.1 背景

現代社会において、朝の起床から登校や出勤までの時間は限られており、朝食を取る時間を確保できないことがしばしばある。

朝食を欠食する主な要因として、「食育に関する意識調査報告書」(農林水産省, 令和6年3月)[1]によると、日本人の朝食を食べる頻度は、「ほとんど毎日食べる」と回答した人の割合が78.6%、「週に4～5日食べる」と回答した人の割合が5.3%、「週に2～3日食べる」と回答した人の割合が4.9%、「ほとんど食べない」と回答した人の割合が10.1%であった。若い世代(20-39歳)においては、「ほとんど毎日食べる」と回答した人の割合が61.8%に留まり、朝食を欠食する割合(「週に2～3日食べる」と「ほとんど食べない」の合計)が28.4%であった。若い世代の4人に1人以上が朝食を欠食する傾向があることが示されている。

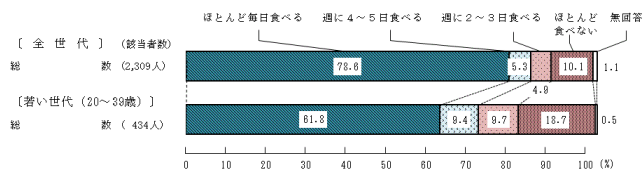


図1 日本人の朝食を食べる頻度 [1]

1.2 関連研究

朝食を欠食する要因について調査した研究によると、小中高校生においては「食べる時間がない」、「食欲がない」が高い割合を占めるなか、「朝食が用意されていない」というものがあつた[2]。大学生についても、「時間がない」などの他、「面倒くさい」などの要因が挙げられた[3]。また社会人については、一人暮らしに比べ家族と住んでいる人の方が朝食を取る頻度が高いなど、家族構成が朝食欠食に関わ

る要因であることが指摘されている[4]。

これら研究においては、朝食欠食への対策として「生活習慣の改善」や「食育」といった個人の意識改革が主に提唱されている。しかし、これらの対策は家庭や個人に依存する部分が大きく、例えば「食欲がない」子供に対しては保護者が工夫して食べやすいものを用意する必要がある。また、「朝食が用意されていない」状況にある子供や一人暮らしの人にとっては、朝食の準備そのものが手間となる。

オーブントースターで食パンと同時に目玉焼きやウインナーを焼ける製品[5]など、調理を簡便化する「時短グッズ」も多く存在する。しかし、これらの製品はあくまで調理の一部を補助するものであり、必ずしも食欲不振の子供にとって魅力的な解決策であるとは限らない。

1.3 目的

上記の課題を解決するために、本研究では自動的に朝食が準備でき、かつ子供が興味を示しやすい魅力的な装置の開発を目的とした。特に、朝食メニューとしてホットケーキに着目し、自動的にホットケーキを焼き上げる装置「放っとケー機」を試作した。

「放っとケー機」は、カメラで生地の状態を測定・評価し、焼き上がりの適切なタイミングでホットケーキを自動的に裏返すことができる装置である。生地の流し込みや皿への盛り付けなどは利用者が行う必要があるが、それ以外の工程は自動化されており、朝食準備の負担軽減が期待できる。さらに、この装置はホットケーキを自動的にひっくり返すという動作が視覚的に魅力的であり、子供の興味を引きやすいという特性がある。これにより、子供が積極的に朝食を取るきっかけとなることが期待される。

本研究で提案する「放っとケー機」を用いることにより、朝食を食べる習慣の定着や朝の時間の有効活用が可能となり、特に朝食を欠食しがちな若者層の食生活改善に寄与す

[†] 茨城工業高等専門学校 (National Institute of Technology, Ibaraki College)

ることが期待される。

2. システム概要

2.1 システム構成

提案装置「放っとケー機」は、ホットケーキの生地を流し込むことで自動的に裏返すタイミングを検知するシステムである。適切なタイミングになると機械に信号を送り、機械はその信号を受け取ることで自動的に生地を裏返す。また、一定時間が経過するとアラーム音が鳴り、ホットケーキの完成を知らせる。装置の外観を図2に、システム構成図を図3に示す。

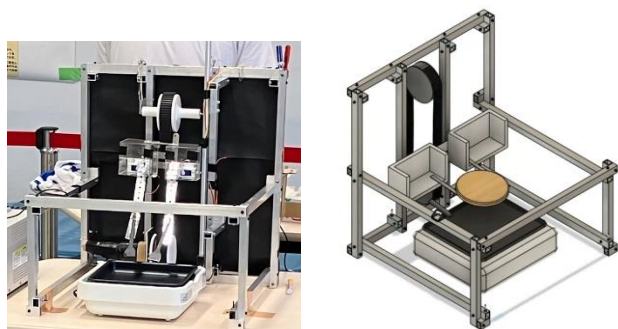


図2 自動ホットケーキ製造装置「放っとケー機」

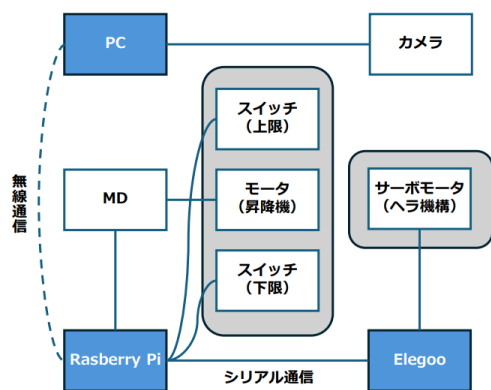


図3 システム構成図

2.2 焼き上がり判定

本システムは、生地の状態をカメラで撮影し、画像処理技術を用いてその状態を評価する。具体的には、ホットケーキを裏返すタイミングを検知するため、一定時間経過後の生地の上に現れる気泡を検出し、その数から焼き具合を評価することを試みた。

森永製菓のホームページに掲載されている「ふんわりホットケーキの基本の焼き方・表ワザ5カ条」[6]には「弱火で3分！泡が出たらすぐに裏返す！」と記載されている。また、レシピ投稿サイトのクックパッドにも同様に「気泡が浮かび上がったら裏返す」とするレシピが多数存在する[7,8]。しかし、実際に試してみたところ、生地を流し込み弱火で加熱すると、3分経つ前にすでに気泡が表れ、その

時点で裏返すと生地は固まっておらず、液体に近い状態であった。そこで、本研究では気泡が出た瞬間を裏返すタイミングとするのではなく、裏面の状態を確認しながら適切なタイミングを判断することとした。気泡の数とその推移を1秒ごとに記録し、裏返す適切なタイミングを特定できるか検証するため、予めホットケーキを焼く過程を映像として記録し、そのデータを解析することにした。

本システムでは、Pythonの画像処理ライブラリOpenCVを用いてホットケーキ生地の気泡を検出する。まず、撮影した画像を二値化処理し、しきい値処理関数 `cv2.threshold` に定数 `cv2.THRESH_BINARY_INV` を指定することで、白と黒を反転させ、気泡部分を白く強調する。これにより、気泡輪郭の検出が容易になる。次に、OpenCVの輪郭検出関数 `cv2.findContours` を使用し、気泡の輪郭を識別する。検出された輪郭は描画関数 `cv2.drawContours` により画像上に描画され、視覚的に確認できるようになる。さらに、生地の輪郭を検出するために再び `cv2.threshold` を使用し、定数 `cv2.THRESH_BINARY` を指定することで、生地部分を白く強調し気泡とは異なる領域として識別する。その後、再度 `cv2.findContours` で輪郭を検出し、`cv2.drawContours` で描画する。これにより、生地と気泡の輪郭が明確に区別される。

以上の画像処理により、生地と気泡の状態を正確に検出・可視化できるようになり、ホットケーキを裏返す適切なタイミングを判断するための基盤が構築される。

図4は、二値化処理を行う前の元の画像である。この画像を二値化処理すると、図5の画像となる。二値化処理では、しきい値処理関数 `cv2.threshold` に定数 `cv2.THRESH_BINARY_INV` を指定することで、白と黒が反転された状態の画像が得られる。この処理により、図6のように気泡の輪郭を青色で検出・描画できる。また、しきい値処理に

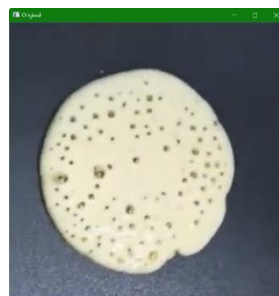


図4 原画像

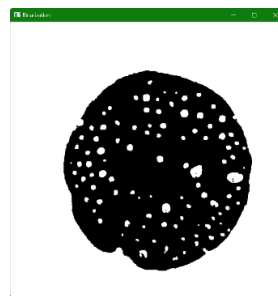


図5 二値化画像

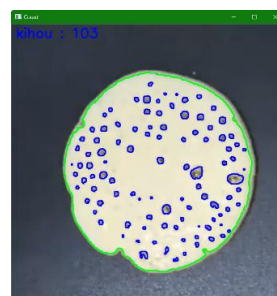


図6 気泡検出の様子

定数 cv2.THRESH_BINARY を指定することで、白黒がそのままの状態で二値化され、生地 の輪郭が正確に描画される。

このように、本システムでは OpenCV の複数の関数を組み合わせることで、気泡と生地 の輪郭を明確に区別し、焼き上がり状態を評価できる。

2.3 システム機構

2.3.1 通信機構

本システムは、Raspberry Pi 4 (Raspberry Pi Foundation) と USB 接続された Elegoo Mega2560 (Elegoo Industries) を中心に構成される。両機器は USB ケーブルを介してシリアル通信を行い、各種コンポーネントを制御する。Raspberry Pi には、12V DC モーターを制御するモータードライバ、昇降時の上限・下限を検知するためのマイクロスイッチ、タイマーの進行を示す LED、そしてアラームのためのパッシブブザーが接続されている。一方、Elegoo にはヘラを制御する 5V サーボモータが搭載され、Raspberry Pi から USB 経由で電源供給とシリアル通信が行われる。

システムの制御は、Raspberry Pi 上の自作の Python プログラムを通じて行われる。このプログラムは外部 PC から SSH 経由で実行され、ホットケーキの焼き上がりまでの一連の動作を制御する。Elegoo には予め、Raspberry Pi から送られる信号を受信して対応する動作を実行し、完了時には完了信号を返すプログラムが書き込まれている。

Raspberry Pi と Elegoo はシリアル通信プロトコルに従い、同期的に動作する。まず、Raspberry Pi が下限スイッチの検知を確認すると制御信号 1 (b'¥x01') が Elegoo に送信され、左右のサーボモータがそれぞれ 90 度回転してヘラが水平に固定される。上限スイッチを検知すると制御信号 2 (b'¥x02') を送信し、左右のサーボモータが時差をつけて動作し、ホットケーキがバランスを崩してひっくり返る仕組みとなっている。Elegoo は各動作完了後に完了信号 (b'0') を返す。Raspberry Pi は、その信号を受信して次の処理に進む。

動作フローは、まず Raspberry Pi が 12V DC モーターに PWM 信号を送り、モーターを中速で下降させる。下限スイッチが押されると、Raspberry Pi は Elegoo に制御信号 1 (b'¥x01') を送信しヘラを固定する。その後、モーターを逆回転させて上昇させ、上限スイッチが押されると制御信号 2 (b'¥x02') を送信し、ヘラが動作してホットケーキをひっくり返す。この一連の動作が完了すると、Raspberry Pi は 2 分 30 秒間待機し、その間 LED とブザーを用いて状態を通知する。待機時間が経過するとブザーが鳴り、下限スイッチが再び押されるまで PWM 信号を送出し続ける。

Elegoo はシリアル通信の setup 関数で通信ポートを初期化し、loop 関数で信号を待機する。制御信号 1 (b'¥x01') を受信するとヘラを固定する動作を行い、制御信号 2 (b'¥x02') を受信するとヘラを解放してホットケーキを裏

返す動作を行う。すべての動作が完了すると完了信号 (b'0') を送信し、次の指示を待つ状態に戻る。

このように、本システムでは Raspberry Pi と Elegoo 間のシリアル通信を通じて、ホットケーキの自動調理が効率的かつ確実に行われるよう設計した。

2.3.2 制御機構

ホットケーキをひっくり返すために使用する 2 本のヘラは、ホットケーキをすくい上げた後、固定されて一定の高さまで持ち上げられる。その後、片方のヘラのみが倒れることで、ホットケーキが半回転し、裏返る仕組みになっている。ヘラを水平に固定する際、片方のヘラを倒す際に、サーボモータを使用して制御を行った(図 7)。

本システムでは、サーボモータを用いてヘラの動作を制御する。ホットケーキをすくう前、2 本のヘラは倒れた状態にある(図 7①)。まず、ホットケーキをすくう際には、ヘラの下部にある丁番の動きによってヘラが自然に水平状態になる(図 7②)。この状態で、昇降機に取り付けられたリミットスイッチが押されると、サーボモータが 90 度回転し、ヘラを上から抑えて固定する(図 7③)。

次に、ホットケーキが一定の高さまで持ち上げられると、ロックを保持していた片方のサーボモータが -90 度回転し、ロックが解除されてヘラが倒れる(図 7④⑤)。これにより、ホットケーキが半回転して裏返る仕組みである。最後に、もう一方のヘラもロックが解除され、元の倒れた状態に戻る。

この一連の動作により、サーボモータはヘラの水平固定と解放を制御し、ホットケーキを適切に裏返す役割を果たしている。

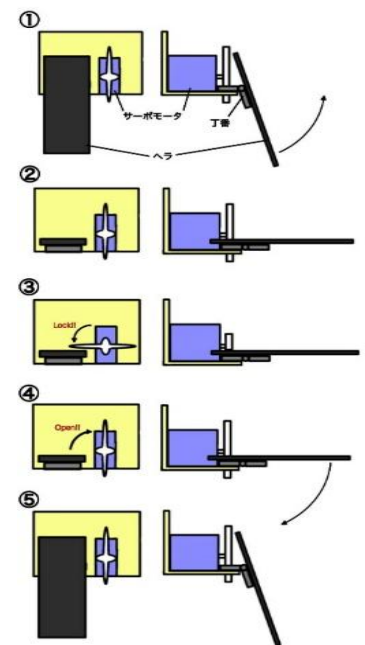


図 7 サーボモータの制御

2.3.3 機械設計

「放っとケー機」は、効率的な調理プロセスを実現するために、高い機能性と実用性を備えた構造が求められる。本設計では、ホットプレートが下部に設置できるスペースを確保すること、および機械全体の動作に必要な十分な高さを保持することを主な目標とし、縦方向の自由度を高めるために横向き のフレームを減らし、構造のシンプルさと強度のバランスを図った。設計には CAD ソフトウェア

Fusion 360 (Autodesk 社)を使用した。特に全接合部において三点合致(図 8)を適用することで、接合部の強度を確保すると同時に設計全体の剛性を高めた。軽量で加工性に優れたアルミニウムを採用することで、耐久性とコストのバランスを考慮した。また、設計段階から三点合致を厳密に反映させることで接合部のズレを最小化し、長期的な使用にも耐える構造とした。

また、設計モデルをもとに動作確認用のアニメーションを Fusion 360 のアニメーション機能を使用して作成した。このアニメーションは、設計の動作を視覚的に確認するための重要な手段であり、フレーム各部の動きを想定してシミュレーションに必要なパラメータを設定し、部品間の干渉を確認することで設計の妥当性を検証した。さらに、高品質なレンダリングによって設計の詳細を分かりやすく表現し、設計プロセスの説明や実用性の検証に役立てた。

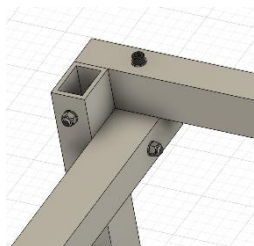


図 8 三点合致

3. 実験

3.1 実験条件

本実験の目的は、ホットケーキを自動で焼くシステムにおいて、気泡の数や状態から裏返す適切なタイミングを検出できるかを検証することである。

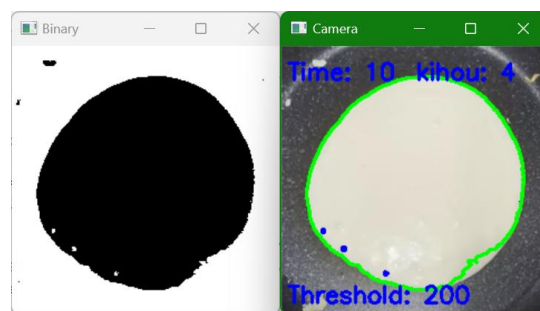
ホットケーキの作成には、市販のホットケーキミックス、牛乳、および水を使用した。すべてのホットケーキで生地 conditions を統一するため、使用する生地は最初に一度にまとめて製作した。ホットケーキミックスのパッケージ裏の標準レシピでは、「ミックス粉 150g に対して牛乳 140ml を加える」とされているが、卵を使用しないレシピでは生地の粘性が高く、表面に気泡が浮き出にくかった。そこで本実験では、水を 25ml 追加して粘度を調整した。最終的に 11 枚分の生地を、ホットケーキミックス 900g、牛乳 840ml、水 150ml の 3 つの材料を混ぜ合わせて準備した。ホットケーキを焼く際には、フライパンに一定の火力（弱火）を当て続け、1 枚焼き終わるごとに 1 分間の待機時間を設けて、フライパンの温度が安定するように調整した。

ホットケーキの焼成過程はすべて映像として記録し、後にプログラムを使用して映像を解析した。具体的には、焼成中のホットケーキ表面に現れる気泡の数や発生のタイミングを記録し、その推移を調査した。

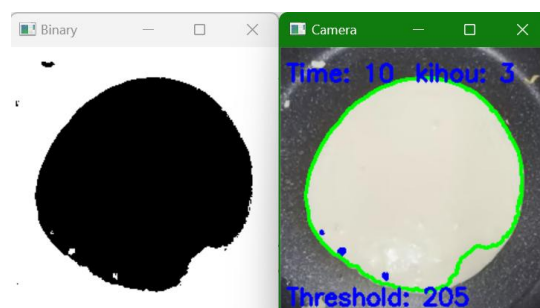
3.2 実験結果

3.2.1 二値化のしきい値

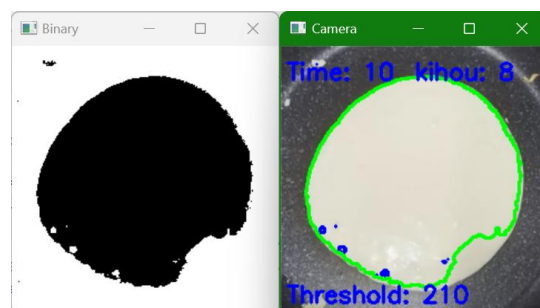
ホットケーキ表面の気泡を適切に検出するためには、二値化処理に用いるしきい値の設定が重要である。そこで、焼き始めから 3 分経過時点の映像に対して、しきい値を 185



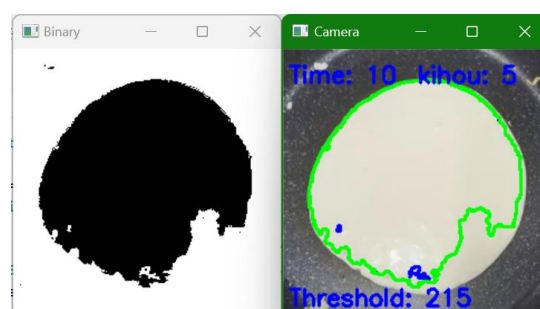
(a) しきい値 200



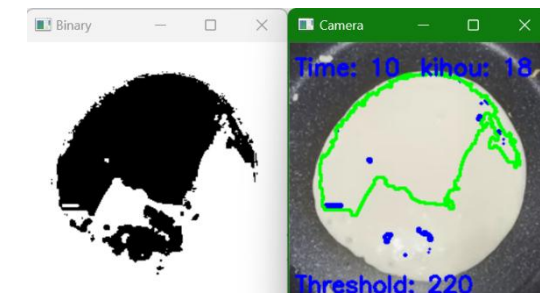
(b) しきい値 205



(c) しきい値 210



(d) しきい値 215



(d) しきい値 220

図 9 しきい値ごとの気泡の検出の様子

表 1 しきい値と気泡の数 (3 分経過時)

しきい値	185	190	195	200	205	210	215	220
hotcake_01	4	5	7	6	7	10	9	12
hotcake_02	2	3	3	4	6	11	11	10
hotcake_03	23	22	22	24	25	24	32	35
hotcake_04	2	2	5	4	5	4	13	28
hotcake_05	8	8	14	15	15	17	19	34
hotcake_06	0	2	4	5	8	11	13	30
hotcake_07	8	10	12	18	19	20	25	32
hotcake_08	22	25	32	33	34	42	46	47
hotcake_09	3	4	4	5	5	6	6	7
hotcake_10	0	0	0	0	1	1	1	2
hotcake_11	2	2	3	3	3	3	6	7

から 220 まで、5 刻みで変化させ、各しきい値で得られた気泡の数を算出した (表 1)。その結果、しきい値が高くなるほど検出される気泡の数が増加する傾向が見られた。

気泡検出の様子を図 9 に示す。しきい値を 200 から 220 まで 5 刻みで調整し確認したところ、しきい値が 200 から 210 までは生地全体の形が比較的正確に捉えられていたが、215 を超えると、生地の端部分に浮き出ているはずの気泡がぼやけて正しく検出されなくなり、生地全体の形もいびつになってしまうことが確認された。

以上の結果から、しきい値 210 が、生地全体の形を適切に捉えつつ、気泡を最大限に検出できる最適なしきい値であると判断した。

3.2.2 焼き時間と気泡数

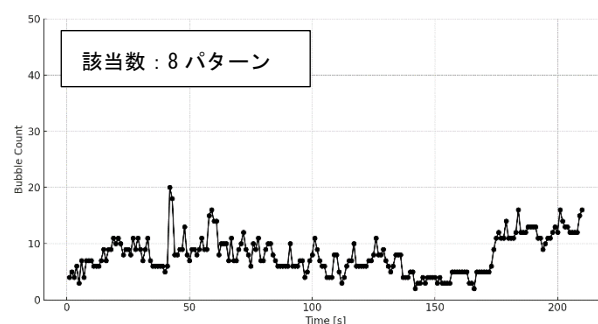
次に、11 枚のホットケーキに対して焼成過程における気泡数の推移と焼き時間を 1 秒ごとに記録し、焼き上がりタイミングを検証した (図 10)。その結果、ホットケーキの焼成パターンは主に 3 つに分類されることが示唆された。

多くのホットケーキでは、焼成初期に気泡数が増加し、その後は緩やかな増減を繰り返しながら安定した推移を示す傾向が見られた (図 10a)。このような挙動は大半のホットケーキで確認され、一般的特徴を持つ典型的なパターンと考えられる。

一方で、焼成中に気泡数が極端に多く観察されるパターンも存在した (図 10b)。これらは焼成初期から急激に気泡数が増加し、中盤でピークに達する特徴があった。ピーク後も高い気泡数が維持される傾向があり、焼き時間が十分に経過していない段階で裏返すと、生地が固まらず失敗するリスクが高いことが示唆された。

さらに、焼成過程を通して気泡数が非常に少なく、変動もほとんど見られないパターンも確認された (図 10c)。この場合、気泡数の変動が少ないため、焼き時間のみを基準として焼き上がりを判断する必要がある。気泡数の情報単独では適切なタイミングを特定することが難しく、時間の経過を補完要素として活用することで初めて適切な判断が可能となった。

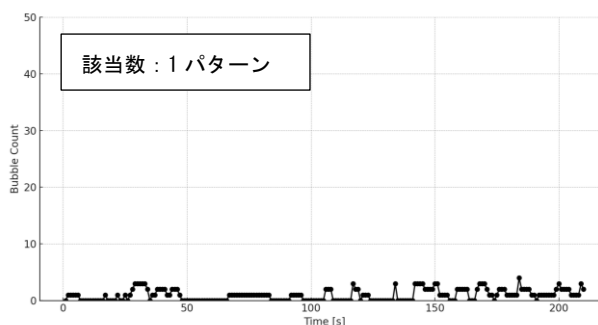
以上の結果から、焼き上がりのタイミングには「焼き時間」と「気泡数」の両方が重要であることが示唆された。多くのホットケーキでは推奨焼き時間である 3 分 [6] の前後に気泡数が増加する傾向が確認され、その範囲内で気泡が十分に発生していることが焼き上がりの適切なタイミングを示していた。本システムでは、焼き上がりの標準時間を 3 分とし、その前後 30 秒 (2 分 30 秒から 3 分 30 秒の範囲) において、気泡数が 10 を超えた時点を「気泡が十分に表れている状態」と定義し、焼き上がりのタイミングと判断することとした。この時間範囲内では生地内部が比較的安定し、裏返しの動作に耐えられる状態にあると考えられる。なお、気泡が十分に発生しない場合は、3 分 30 秒の経過時点で強制的に焼き上がり判定することとした。



(a) 典型的なパターン



(b) 急激な増加するパターン



(c) 変動がないパターン

図 10 気泡数の時間的推移例 (パターン別)

この条件に基づき提案装置でホットケーキを焼いたところ、ほぼすべての場合で、ホットケーキを適切に裏返すことができた。これにより、「2分30秒から3分30秒の範囲において気泡数が10を超えた時点」を焼き上がりの基準とすることが有効であることが確認できた。

4. 考察

実験結果より、ホットケーキの焼き上がりタイミングを「焼き時間」と「気泡数」の二つの要素から統合的に判断することで、安定した裏返し動作が可能であることが確認された。特に、焼き時間を2分30秒から3分30秒の範囲とし、その時間帯に気泡数が10を超えた時点を焼き上がりの目安とすることで、高い確率で適切な裏返しが実現できた。

従来、ホットケーキの焼き上がりは「時間経過」または「気泡数の観察」といった単一の要素で判断されることが多かった。しかし、焼き時間だけでは生地の状態のばらつきに対応できず、気泡数だけでは個体差が大きく精度に欠けることが明らかになった。これら二つの要素を組み合わせることで、個体差を吸収しつつ、より適切な焼き上がり判定が可能となった。

また、気泡の挙動が安定している場合には、焼き時間と気泡数が連動する傾向が見られたが、一部のホットケーキでは気泡の発生が不十分であったり、時間経過とのズレが見られるケースも確認された。このような例外的なケースに対応するためには、今後、表面の色やテクスチャ、熱分布といった追加の要素を組み合わせた複合的な判断基準が必要になると考えられる。

次に、ホットケーキを裏返す動作の魅力について考察する。本装置では、2本のヘラがホットケーキをすくい上げ、片方のヘラが倒れることでホットケーキが半回転しながら自然に落下する。この一連の動作は視覚的に面白く、特に子供にとって興味を引きやすい要素であると考えられる。また、こうした動作があることで、単なる調理機械としての機能性に加え、朝食を楽しむモチベーションの向上や調理過程への関心を促す効果が期待される。さらに、このようなエンターテインメント性は、家庭用だけでなく、商業施設やイベントでも装置の訴求力を高める要素となり得る。「ひっくり返す」という動作が持つ視覚的・感覚的な魅力は、自動ホットケーキ製造装置における機能性と楽しさを両立させる重要な要素である。本研究を通じて、時間と気泡を用いた焼き上がり判定の可能性が明らかになったとともに、動作そのものが持つ魅力の有効性も示された。今後は焼成精度の向上とともに、この魅力を最大限に引き出す装置設計が必要になると考えられる。

5. おわりに

朝食欠食の課題に対する解決策として、自動ホットケーキ製造装置「放っとケー機」を提案し、そのシステム設計、動作機構、焼き上がり判定の有効性を検証した。焼き時間と気泡数という二つの要素を組み合わせることで、ホットケーキを適切なタイミングで裏返すことが可能であることを確認し、安定した焼成結果を得ることができた。

「放っとケー機」は単なる調理自動化装置にとどまらず、その視覚的な動作によって調理過程に楽しさや魅力を付加し、特に子供たちが朝食に興味を持つきっかけを提供する可能性を示した。この装置が広く普及すれば、家庭や教育現場における朝食習慣の改善や、健康的な生活リズムの形成に寄与することが期待される。

今後は、焼き上がり判定の精度向上や、表面の色やテクスチャ、熱分布など追加要素を組み込んだ複合的な判断基準の確立が求められる。

参考文献

- [1] “食育に関する意識調査報告書”。
https://www.maff.go.jp/j/syokuiku/ishiki/r06/pdf/houkoku_3_2.pdf (参照 2024-12-19)。
- [2] 小林奈穂、篠田邦彦: 幼児、児童、生徒の朝食欠食を促す要因に関する系統的レビュー、新潟医療福祉学会誌、2007, vol.7, no.1, p.2-9。
- [3] 五島淑子; 中村佳美. 大学生の朝食欠食に関する調査. 山口大学教育学部研究論叢人文科学・社会科学, 2009, vol.58, p.65-74。
- [4] 柳田昌彦, 土屋美穂, 石原一成: 事業所における男性従業員の朝食欠食に関連する要因, 同志社スポーツ健康科学, 2010, vol.2, p.54-60。
- [5] 忙しい朝でも時短でサクッと朝食が完成するアイテム3選
<https://www.nitori-net.jp/ec/product/2111200003680s/> (参照 2024-12-19)。
- [6] 森永製菓株式会社 森永天使のお菓子レシピ ふんわりホットケーキの基本的焼き方・表ワザ5カ条
<https://www.morinaga.co.jp/recipe/detail/880> (参照 2024-12-19)
- [7] cookpad 混ぜるだけ！簡単米粉のホットケーキ♪
<https://cookpad.com/jp/recipes/18374347> (参照 2024-12-19)。
- [8] cookpad カリッ！フワフワもちりなホットケーキ
<https://cookpad.com/jp/recipes/17836994> (参照 2024-12-19)。