

NutriSynth：栄養素を添加する「栄養メディア」の提案とパーソナライズされた補完への応用

松島 陽也^{1,a)} 千田 知佳¹ 小平 乙寧¹ 長谷川 紗智² 飯塚 奈夏³ 齋藤 詞音³ 遠藤 雅大³
堤 賢太³ 田崎 秀征² 宮本 靖久² 細田 奈央子² 宮下 芳明^{1,b)}

概要：味をデジタルに生成・記録・再生する「味覚メディア」には、本来食事から得られるべき栄養を供給できないという課題があった。本研究ではこの課題に対し、味覚メディアと連動して栄養を補完・再現する「栄養メディア」という新たなコンセプトを提案する。そして、そのコンセプトを具現化するデバイス「NutriSynth」と専用 Web アプリを開発した。本システムは、ユーザの嗜好や健康状態に応じて最適な味覚・栄養体験を提供し、従来の食事における好き嫌いや健康上の懸念を克服する。本提案は、味覚的な満足と健康の両立を実現し、食のエンタテインメント体験を制約から解放するとともに、よりパーソナライズされたものへと拡張する。

キーワード：栄養メディア、味覚メディア、パーソナライゼーション、栄養ディスプレイ

1. はじめに

健康寿命の延伸や生活習慣病予防に対する社会的な意識が高まる中、日々の食事における栄養バランスの重要性が広く認識されている [1]。スマートフォンのアプリケーションなどを通じて手軽に食事記録や栄養管理を行うことが可能になり、個々のライフスタイルや健康状態に基づくパーソナライズされた栄養管理への需要が増大している。しかし、このような栄養管理への社会的ニーズの高まりに対し、従来の栄養補完手段には限界がある。まず、従来の栄養補完手段（サプリメントや栄養ドリンク、機能性食品など）では、自身の不足栄養素を特定し、適切な製品を選択し組み合わせるの必要があり、手順が煩雑である。また、食体験と栄養摂取が分離されており、食の楽しみよりも健康効果を重視した機能的な栄養摂取が中心となっている。このような食事と分離された栄養管理のアプローチは、長期的な継続を困難にする要因となっている。

一方で、食の楽しみやエンタテインメント性を拡張する技術として「味覚メディア」が注目を集めている [2]。味

覚メディアは、味をデジタルに生成・記録・再生する技術の総称であり、味物質の混合や電気刺激によって多様な味を再現する。これにより、例えば塩分や糖質、アレルギーなどの摂取を抑えながら、味覚的な満足感を得られる。しかし、味覚メディア技術は基本的に栄養摂取を伴わない。具体的には、様々なレモンの味をリアルに再現できたとしても、レモンに含まれるビタミン C を摂取できるわけではない。このように、従来の味覚メディア研究では、嗜好性やエンタテインメント性に主眼が置かれ、ユーザの栄養状態への介入は実現していない。

そこで本研究では、味覚体験を損なわずに栄養管理を実現するための新たなコンセプトとして「栄養メディア」を提案する。栄養メディアは、単なる栄養補給ツールではない。味覚メディアと連携することで、味覚体験と栄養摂取を統合し、パーソナライズされた食体験を提供する新たな技術である。

本稿では、まず味覚メディアの現状と課題を整理し、次に栄養メディアの実現に向けた技術的アプローチについて述べる。さらに、コンセプトを具現化するシステム「NutriSynth」を紹介し、食品画像解析や機械学習モデルによる栄養素推定の応用例を示しながら、味覚体験と栄養摂取の統合による新たな食の可能性について考察する。

2. 関連研究

本研究の基盤となる味覚メディア分野では、基本味（甘

¹ 明治大学
Department of Frontier Media Science, School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University.

² アサヒグループジャパン株式会社
Asahi Group Japan, Ltd.

³ アサヒグループ食品株式会社
Asahi Group Foods, Ltd.

a) ev230540@meiji.ac.jp

b) homei@homei.com

味、塩味、酸味、苦味、うま味)などの溶液を精密に混合して様々な味を生成・再生する TTTV シリーズ [2-5] がある。健康面では甲殻アレルギーでも安全にカニクリームコロッケを味わえるようにした事例 [6] がある。TTTV3 [4] 以降は AI による画像・音声入力からの味推定を実現した。スプーン型の TTTV4 [5] ではスマートフォンと連動し、個人ごと、一口ごとの味調合を実現した。また、多様な油を脂質ゼロで生成する [7]、多様なクリームを脂質・糖類ゼロで生成する [8] など、栄養をむしろ含まないことで肥満のリスクを減らすメリットを追求した事例もある。3D フードプリンティングの研究領域では、押出方式のフードインクを積層して宇宙食などを作成する際に、栄養プロファイルのカスタマイズについても議論されている [9]。また、PTTVX [10] は粉末調味料と液体香料、異なる温度の水を混合して得られるゾル状態を活用し、食感としての粘性等の制御も可能にした。これによる出力物としては、50 kcal 以下で豚骨風ラーメンの表現、脂質・糖類ゼロ・低カロリーでカスタードクリーム風スイーツの風味・食感表現などがある。本稿での栄養出力はこの PTTVX [10] と連携することを念頭に置いている。

パーソナライズされた栄養管理の分野では、食事画像から栄養素量を推定する AI 技術が急速に発展している。CNN ベースの物体検出と領域分割を組み合わせた手法により、食品認識→量推定→栄養データベース照合のワークフローが構築され、ベンチマークで高い精度を達成した [11]。日本では株式会社 asken の AI 食事管理アプリ「あすけん」[12] やライフログテクノロジーによる「カロミル」[13] といった食事管理アプリを利用するユーザも多く、スマートフォンの画像を利用した食事管理はある程度一般的になっていると考えられる。

3. システム

本研究では、栄養メディアのコンセプトを実現するためのシステムを開発した。本システムは、ユーザの食事内容を解析し、不足している栄養素を特定・可視化し、必要な栄養素をオンデマンドで供給することを目的とする。構成としては、栄養素を調合・吐出するハードウェアデバイス「NutriSynth」と、食事画像解析・栄養素推定・ユーザフィードバックを担う Web アプリケーション「NutriRefill」から成る。以下に、各構成要素の詳細を述べる。

3.1 添加栄養素の選定と特性

3.1.1 選定理由と生理学的役割

本稿のプロトタイプでは、国民健康・栄養調査結果の実測値 (2022・20 歳以上) [14]、および食事摂取基準 (2025・18 歳以上) の推奨量・目安量 [15] を参考に、実測値が推奨量・目安量を下回る栄養素を中心に、ミネラル 2 種 (カルシウム、鉄)、ビタミン 6 種 (ビタミン A、ビタミン D、

ビタミン B₁、ビタミン B₂、ビタミン B₆、ビタミン B₁₂) の合計 8 種を選定した。以下に、選定した成分について、厚生労働省「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」策定検討会報告書 [15] をもとに述べる。

カルシウム 骨や歯の構成成分として重要である。男女ともに平均摂取量が推奨量を 100 mg 以上下回っており、欠乏すると骨量・骨密度の低下を招き、骨粗鬆症のリスクが高まる。

鉄 ヘモグロビンや各種酵素を構成する。特に女性では摂取量が不足しており、欠乏時には鉄欠乏性貧血が生じ、疲労感、運動機能や認知機能の低下などの症状が現れるリスクがある。

ビタミン A 細胞の分化や成長の調整、視覚機能および免疫機能の維持に関与する。欠乏すると、夜盲症、成長障害、骨や神経系の発達遅延、上皮細胞の異常、免疫低下による感染症リスクの増加などの症状が現れる。

ビタミン D カルシウムの吸収を促進し、骨の形成や維持に重要な役割を果たすほか、細胞の分化促進や増殖抑制などの機能にも関与する。欠乏すると、くる病や骨軟化症、骨粗鬆症、骨折などのリスクが高まる。

ビタミン B₁ グルコース代謝、クエン酸回路、分岐アミノ酸代謝などに関与し、特にグルコース代謝やエネルギー生産において重要な栄養素である。男女ともに不足が見られ、欠乏時には神経炎や脳組織への障害、脚気、ウェルニッケ-コルサコフ症候群のリスクがある。

ビタミン B₂ クエン酸回路、電子伝達系、脂肪酸β酸化などに関与し、エネルギー産生において重要な栄養素である。特に男性に不足が見られ、欠乏時には口内炎、口角炎、舌炎、脂漏性皮膚炎などのリスクがある。

ビタミン B₆ アミノ基転移反応、脱炭酸反応、ラセミ化反応などに関与する補酵素である。特にアミノ酸代謝において重要な栄養素である。男女ともに不足が見られ、欠乏時の症状として、ペラグラ様症候群、脂漏性皮膚炎、舌炎、口角症、リンパ球減少症、うつ状態、錯乱、脳波異常、けいれん発作などのリスクがある。

ビタミン B₁₂ メチオニン合成および葉酸代謝に関与し、赤血球の形成、神経機能の維持、DNA 合成において重要な役割を果たす。欠乏すると、巨赤芽球性貧血、神経障害などが引き起こされる。

3.1.2 実用上の特性評価

安全性の観点から、ビタミン A、ビタミン B₆、ビタミン D については耐容上限量が設定されているが、使用機器の滴下誤差により栄養液が数滴多く添加された場合でも、別途過剰にサプリメントなどを摂取していない限り、耐容上限量を超えることはないことを確認した。味の面では、ほとんどのビタミンは苦味を持つが、最終商品への添加量が微量であるため、影響はごくわずかである。外観への影響については、カルシウムは白色、ビタミン B₂ は黄色、ビ

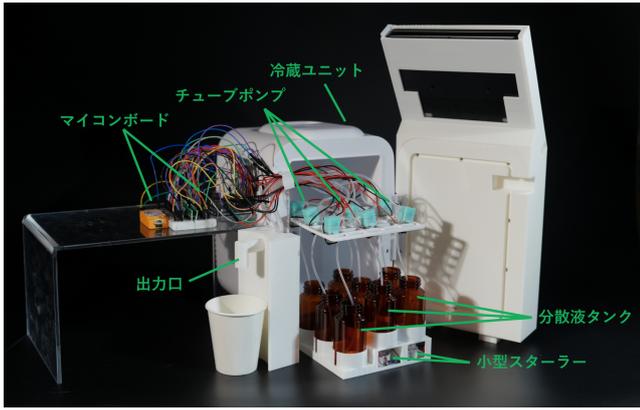


図 1 栄養メディアを具現化するプロトタイプデバイス「NutriSynth」

タミン B₁₂ は赤色を呈するため、これらを添加した際には製品の外観に影響を与える。ただし、ビタミン B₁₂ は添加量が極めて少ないため、外観への影響はほとんどない。

3.2 ハードウェア

栄養メディアのコンセプトを体現したプロトタイプデバイスとしてハードウェア「NutriSynth」を開発した(図 1)。これは先述した 8 種類の栄養素の分散液タンクを搭載し、栄養素を選択的に調合する装置である。微量栄養素の過剰摂取を防ぐため、0.02 mL 単位での分散液の定量吐出が可能でチューブポンプ (RP-QIIIA1.5S-3Z-DC3V) を用いた。マイコンボード (Arduino Mega 2560 R3) を用いてモータドライバ (TB67H450) を制御することで、各チューブポンプの分散液出力量を調整した。チューブ部分には、食品衛生法に適合したシリコンチューブを採用した。また、栄養素によっては溶液内で分離・沈殿しやすいため、タンク内に小型スターラー (磁気攪拌子) を設置し、常に分散液を均一に攪拌することで吐出濃度のムラを防いだ。さらに、保存中の栄養素の分解を抑制するため、デバイス内部に冷蔵ユニットを搭載し、タンクを低温環境に保つことで劣化を抑制した。また、光による栄養素の分解を防ぐため遮光機構を設けた。各溶液は pH 調整剤によって pH4 以下に調整されており、これにより微生物の増殖を抑制し、分散液の衛生的な保存を実現した。

3.3 ソフトウェア (NutriRefill)

栄養摂取デバイス「NutriSynth」と連携する Web アプリケーション「NutriRefill」を開発した。NutriRefill は、ユーザーの一日分の食事の画像から栄養素を推定し、ユーザーの年齢・性別に基づいた推奨摂取量に対する不足分を供給することで、パーソナライズされた栄養補給を支援するシステムである。

本アプリケーションは、クライアントサイドのフロントエンドとサーバーサイドのバックエンドで構成される。フロントエンドでは、まずユーザーがその日に食べた食事の

写真をすべてアップロードする。アップロードされた画像は Base64 形式にエンコードされ、バックエンドの API に送信される。バックエンドは Node.js と Express フレームワークで構築されており、受け取った画像から栄養素を推定する。この推定処理には、OpenAI 社のマルチモーダル大規模言語モデルである GPT-4.1-mini を利用する。一般的な知識や推測による不正確な分析を避け、再現性を担保するために、File Search 機能 (Retrieval-Augmented Generation, RAG) を活用した。本システムでは、根拠データとして日本食品標準成分表 (八訂) 増補 2023 年 [16] を採用し、データを機械可読な JSON 形式へ変換した。この成分表のみをベクタストア経由で参照するようプロンプトを設計した。この際、OpenAI の Responses API を利用することで、Zod ライブラリで定義した JSON スキーマに従って応答が自動的にパースされ、信頼性の高い構造化データが得られる。

フロントエンドは、バックエンドから返された全画像の分析結果を合算し、その日の総摂取栄養素を算出する。そして、ユーザーの年齢・性別に基づいた栄養摂取基準値と比較し、各栄養素の摂取率をレーダーチャートで、不足率をリスト形式で可視化する。最後に、「出力」ボタンを押すと、Web Bluetooth API を介してハードウェア「NutriSynth」に接続する。この通信システムでは、Web アプリケーションと Arduino Mega ベースのポンプ制御システムの間で M5StickC Plus2 を中継デバイスとして配置した。不足している栄養素の量を溶液の濃度や吐出レート (0.05 $\mu\text{L}/\text{ms}$) を基に算出したポンプの作動時間 (ms) に変換し、カンマ区切りの文字列として「NutriSynthBLE」の名前でアドバタイズしている M5StickC Plus2 に BLE 通信で送信する。M5StickC Plus2 は受信したデータを Serial2 (9600bps) を介して Arduino Mega 2560 R3 へリアルタイムで転送する。Arduino Mega が受信した文字列に基づき、各栄養素に対応するチューブポンプをモータドライバ (TB67H450) で制御することにより、パーソナライズされた量の栄養素が自動的に吐出される。

例えば、NutriRefill で (図 2) に示す 7 つの画像を読み込むと、カルシウムについては推奨量 750 mg に対して、250 mg~350 mg 程度の不足と判定され、判定された不足量のカルシウムを吐出することができる。

3.4 応用機能群

NutriSynth を中核とする本システムは多様なシナリオで食体験を拡張できる。現状はユーザーの手動入力に基づくが、将来的にはスマート冷蔵庫からの食材情報自動取得、調理家電からの加工データ収集、オンラインレシピサービスとの統合により、ユーザーの負担を軽減しつつ精密でパーソナライズされた栄養補給を目指す。本節で紹介する各機能の具体的な動作イメージを (図 3) に示す。



図 2 「NutriRefill」の利用フロー。左図は食事画像のアップロード、右図は不足栄養素の出力を示す。



図 3 左から NutriRefresh, NutriRestore, NutriReplace

3.4.1 NutriRefresh: 保存により失われた栄養素の補完

保存温度や時間経過によって、食品の栄養素は徐々に減少する。NutriRefresh は、食材の保存温度や経過時間を入力することで、失われた栄養素を推定し、NutriSynth から補完する機能である。

3.4.2 NutriRestore: 調理により失われた栄養素の補完

食品加工（加熱・焼成・煮沸・冷凍など）は、味や食感の向上と引き換えに、しばしば栄養素の損失を伴う。NutriRestore は、調理工程と調理時間に応じて失われた栄養素を推定し、NutriSynth から補完する機能である。

3.4.3 NutriReplace: 食材の栄養的代替

アレルギーや嗜好、宗教上の理由などで特定の食材を避けたい場合がある。NutriReplace は、除外された食材の栄養素を推定し、NutriSynth から補完する機能である。

4. 応用事例

本章では、夜食に対する罪悪感を軽減し、それをむしろ健康的な食行動として再定義することを目的とする応用事例を示す。「ラーメン」や「カスタードクリーム」といった、夜間に食べたくなる傾向が強く、嗜好性の高い食品に

着目し、低脂肪・低カロリー・低塩分設計を採用した。さらに、1日の食事でも不足しがちな栄養素を補うことで、罪悪感なく食べられ、むしろ健康になる豚骨風ラーメン（図4）とカスタードクリーム風スイーツ（図5）を開発した。試作品の試食において、無添加品との比較で味や食感に違和感を示す事例は確認されなかった。

4.1 罪悪感なく食べられるメの豚骨風ラーメン

ラーメンは日本全国で親しまれている麺料理の一つであり、その味わいやバリエーションは地域や店舗ごとに多様である。また、日本には「メ（しめ）のラーメン」と呼ばれる食文化が存在する。これは主に飲酒後にラーメンを摂取する行為を指す。「締めくくり」を意味する「メ」という言葉が示す通り、宴席や会食の終わりにラーメンを食するという文化的慣習であり、その起源は戦後の屋台文化に遡るとされる。酒場周辺に出店していたラーメン屋台が酔客に対して温かく手軽な食事を提供していたことが発端と考えられる。ラーメンの温熱性、強い旨味、塩分・脂質の多さはアルコール摂取後の味覚に訴求しやすく、また一時的に胃腸への負担感を軽減する感覚を与える。このため、この食習慣は都市部を中心に広く定着したと考えられる。

本研究では、この「メのラーメン」に着目し、健康的かつ低カロリーでありながら満足感を得られる新規ラーメンの開発を目的とした。動物性原料を使用せずに豚骨風の味わいを表現するため、塩分を酵母エキスで補いながら抑制し、動物性脂質由来の「こってり感」や「クリーミーさ」はでん粉類や植物性の粉末油脂で代替した。さらに、低カロリー化のため麺にはこんにゃく麺を採用した。

豚骨風ラーメンでは、本格的なスープの濁りやフレーバーを再現するために、乾燥酵母等の不溶性原料や香料等



図 4 左から白豚骨風ラーメン、赤豚骨風ラーメン、黒豚骨風ラーメン



図 5 カスタードクリーム風スイーツ。左から栄養素無添加，ビタミン B₂ を 30～49 歳男性の一日の摂取推奨量である 1.7 mg 添加，カルシウムを 18～29 歳男性の一日の摂取推奨量である 800 mg 添加，ビタミン B₂ を 30～49 歳男性の一日の摂取推奨量である 1.7 mg 添加し，カルシウムを 18～29 歳男性の一日の摂取推奨量である 800 mg 添加

の香りが強い原料を使用した。これにより，栄養素添加による外観や味への影響はほとんど認められなかった。加えて，カロリーを抑えたことで懸念される満腹感の低下に対しては，消化・吸収されにくく，胃や小腸に長くとどまる性質を持つ水溶性食物繊維を配合することで，食後の満腹感および腹持ちの持続を実現した。

なお，各種栄養素を一日推奨量の最大量で添加しても味・外観・食感に大きな変化は見られず，栄養補完性と風味の両立が可能であった。一方で，添加栄養素を全て摂取できるよう，無理なく飲み干せる一杯約 100 mL（コップ 1/2 杯程度）のスープ量に設計した。

以上の工夫により，「一日の締めくくりに罪悪感なく摂取できる」「不足しがちな栄養素を効率的に補える」という機能性を備えた，エネルギー 50 kcal 以下の低カロリー豚骨風ラーメンの開発に成功した。

4.2 罪悪感なく食べられるカスタードクリーム風スイーツ

一般的にカスタードクリームは卵黄，牛乳，砂糖，薄力粉を主原料として構成されており，特に濃厚なクリームや高脂肪の生クリームを使用することで高カロリーになりやすい傾向がある。エネルギー，脂質（特に飽和脂肪酸）の過剰摂取は肥満や心筋梗塞をはじめとする循環器疾患などの健康リスクを高める要因であるため，嗜好性の高い食品においても健康への配慮が求められる。

本開発では，従来のカスタードクリームに内在する「高カロリーであるがゆえの摂取制限」という課題に着目し，パーソナライズされた栄養添加に関心を持つ健康志向の消費者層にも受容される新たな剤型の開発を試みた。栄養添加が可能でありつつ，カロリーを抑制しながら摂取時の満足感を損なわないよう，食感，風味，物性の最適化による摂取体験の質的向上を目指した。

脂質・糖類ゼロ，かつ低カロリーを実現するため，動物性原料を使用せずに風味再現を試みた。卵および乳製品不使用によって失われるコクは，酵母エキスおよび微量の植物性たんぱく質を添加することで補完した。甘味設計においては，少量で強い甘味と満足感を得られる高甘味度甘味

料を採用し，甘味の立ち上がりが早く後味に残渣感の少ない甘味料を複数組み合わせることで，砂糖不使用かつ低カロリーでありながら味覚的満足度の高い製品を実現した。

また，低カロリー食品特有の腹持ちや満足感の低下といった課題に対しては，嗜好性を高める摂取スタイルの提案によって補完を試みた。具体的には，「吸う」「飲む」といった直感的かつ背徳的な摂取スタイルを実現するため，従来，カスタードクリームはシュー生地には挟んだり，ケーキのデコレーションにしたりすることが多いが，本研究では，製品の形態は容量 50 ml のスパウトパウチを選択した。また，喫食シーンに合わせて，ゲルとクリームの中間的なテクスチャーを備え，適度な付着性と嚥下性を両立する低粘度の物性設計を行った。

個人の栄養摂取状況に応じて栄養素の添加量を調整した結果，製品の外観に一定の個人差が認められた。具体的には，ビタミン B₂ の添加量が多い場合には蛍光性を帯びた黄色味が強く現れ，カルシウムの添加量が多い場合には液体が白濁する傾向が確認された。これは各栄養素が持つ固有の色味が外観に反映された結果である。

この課題に対応するため，製品の基材色は過度に鮮やかな色調を避け，レモンイエローに調整した。さらに，単一の着色料ではなく複数の食用色素を組み合わせることで，自然で親しみやすい色合いを再現し，栄養素由来の色調変化が生じた場合でも違和感を与えないよう視覚的なバランスを最適化した。

これらの設計により，カスタードクリームにおける視覚，食感，味覚の再現性を確保するとともに，低カロリーであることによる満腹感の低下を嗜好的演出によって補完することが可能となった。結果として，「深夜でも罪悪感なく，かつ不足栄養素を補える」新たなカスタードクリーム風スイーツの創出に至った。

5. 考察・展望

栄養メディアは，おいしさの追求と健康の維持を同時に実現する可能性を拡げる。特に，味覚メディアとの連携によって，多様な味を表現しつつ，栄養メディアで栄養素を補給することが可能になる。応用例として，「豚骨風ラーメン」と「カスタードクリーム風スイーツ」を挙げた。味覚的な満足を得つつ不要なカロリーを摂取しないうえに，不足栄養素を追加することで，パーソナライズされた栄養管理を実現できることを示した。今後の主要な課題は，AI による栄養素推定システムの精度向上と，対応可能な栄養素の拡充である。これら課題の解決に向け，今後は医学・栄養学の専門家とも深く連携し，技術の社会実装を目指す。味と栄養の統合的メディア技術はまだ萌芽的な段階にあるものの，こうした研究が進展することで，人々の食生活や健康管理に新たな価値をもたらすはずである [17]。

参考文献

- [1] 厚生労働省：健康日本 21（第三次），https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/kenkounippon21/kenkounippon21_00003.html (2024). 参照 2025-07-02.
- [2] 宮下芳明：液体噴霧混合式の味ディスプレイの試作，第 29 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 (WISS2021) 論文集 (2021).
- [3] 宮下芳明：TTTV2 (Transform The Taste and Visual appearance)：飲食物の味と見た目を変える調味家電によるテレイト，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集，Vol. 2022, pp. 143–150 (2022).
- [4] 宮下芳明, 村上崇斗, 大友千宙, 深池美玖：TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties): 産地や品種の違いも再現する調味機構と LLM による味覚表現，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集，Vol. 2023, pp. 236–243 (2023).
- [5] 笠原暢仁, 深池美玖, 宮下芳明：TTTV4：一口ごとに味を提示する味覚のパーソナルメディア，第 32 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 (WISS2024) 予稿集，pp. 1–6 (2024).
- [6] Miyashita, H.: TTTV2 makes it possible for people with shellfish allergies to still enjoy the taste of crab virtually, *Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '22)*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 79:1–79:2 (online), DOI: 10.1145/3562939.3565669 (2022).
- [7] 小平乙寧, 宮下芳明：Virtual Oil Generator: 多様な油を脂質ゼロで生成する装置実現に向けて，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集，Vol. 2024, pp. 483–487 (2024).
- [8] 宮下芳明, 千田知佳, 奥野達也：Virtual Cream Generator：多様なクリームを脂質・糖類ゼロで生成する装置に向けて，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集，Vol. 2024, pp. 193–198 (2024).
- [9] Hussain, S., Malakar, S. and Arora, V. K.: Extrusion-Based 3D Food Printing: Technological Approaches, Material Characteristics, Printing Stability, and Post-Processing, *Food Engineering Reviews*, Vol. 14, No. 1, pp. 100–119 (2022).
- [10] 千田知佳, 小平乙寧, 長谷川紗智, 飯塚奈夏, 齋藤詞音, 遠藤雅大, 堤賢太, 田崎秀征, 宮本靖久, 細田奈央子, 宮下芳明：PTTVX：風味と食感制御を可能にするゾルフードプリンタ，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集，Vol. 2025 (2025).
- [11] Thames, Q., Karpur, A., Norris, W., Xia, F., Panait, L., Weyand, T. and Sim, J.: Nutrition5k: Towards Automatic Nutritional Understanding of Generic Food, *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 10704–10713 (2021).
- [12] 株式会社 asken：あすけん，<https://www.asken.jp/>. 最終アクセス: 2025 年 7 月 2 日.
- [13] ライフログテクノロジー株式会社：カロミル，<https://www.calomeal.com/about-calomeal/>. 最終アクセス: 2025 年 7 月 2 日.
- [14] 厚生労働省：令和 4 年「国民健康・栄養調査」の概要，https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_42694.html (2024). 最終アクセス日: 2025 年 7 月 3 日.
- [15] 厚生労働省：「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」策定検討会報告書，技術報告，厚生労働省 (2024). 最終アクセス日: 2025 年 7 月 3 日.
- [16] 文部科学省：日本食品標準成分表 (八訂) 増補 2023 年，文部科学省 (2023). オンライン版: https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_00001.html (最終アクセス: 2025 年 7 月 2 日).
- [17] 宮下芳明：味覚・嗅覚・栄養のメディア化による食の再構築，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集，Vol. 2025 (2025).