

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

宮下芳明^{†1} 千田知佳^{†1} 奥野達也^{†1}

概要: 本稿では、脂質・糖類ゼロでありながら多様なクリームの食感と味を再現する「Virtual Cream Generator」の開発への取り組みについて紹介する。味覚ディスプレイ TTTV3 の技術を基盤とし、ゼラチンとサイリウム（増粘剤）の量および攪拌時間を最適化することで、カスタードクリームの食感と口当たりの再現を試みた。レシピ探索の結果、最適なレシピが示されたほか、粘弾性評価により、この配合が実際のカスタードクリームと類似した特性を示すことを確認した。本技術は、糖尿病や肥満のリスクを軽減しつつ甘いクリームを楽しむ可能性を提供する。今後は、人工甘味料の選定や香料の改良による再現性の向上、TTTV3 と攪拌装置の組み合わせによる自動化を目指す。

1. はじめに

明治大学宮下研究室では、味覚の再現を行う味覚ディスプレイ TTTV1[1-2], TTTV2[3-6], TTTV3[7-8], あるいはそれに派生する味覚メディア[9-13]によって、たとえばカカオの産地ごとの違いを表現[14]するなど一定の成功を収めてきた。NTT ドコモ, H2L とともに開発した味覚共有技術の CM「あなたと世界を変えていく。」 フィールテック・味覚共有篇[15-16]が放映されて以降は特に、嗅覚のみならず、食感への拡張や、3D フードプリンタとの融合などの期待も寄せられている。しかし、固体の食品に進む前に、液体の食感について考えたとき、粘度、弾性、凝集性、粘着性、流動性、濃厚感、温度など、多くの要素が食感やテクスチャーに影響を与えると考えられる。

また、味覚再現についてもまだ課題は多く、たとえば油や乳といった物質の再現が難しかった。その理由は、脂肪味やカルシウム味など、味覚受容機構が解明中である味に関わっていること、そして前述のテクスチャーや食感に関わっていることが原因だと考えられた。ただ最近では、イヌリンやグァーガム分解物 (PHGG) といった水溶性食物繊維の水溶液が、乳製品のような口当たりを模倣できたり、代替脂質としての応用が検討されていることに着目し、これらの水溶性植物繊維を利用することで油や乳の表現に挑戦している。Virtual Oil Generator[17]では、イヌリンと寒天で粘度や食感を調整することで、異なる銘柄のオリーブオイルをある程度表現できるようになってきた。これに類似した名称 Virtual Cream Generator と冠している本稿では、乳としての味をグァーガム分解物 (PHGG) で実現しつつ、カスタードクリームの食感と口どけをどのように制御するかに重点を置いて再現を試みた。

宮下研究室では、味覚メディアを通じて、美味しさと健康との両立による、人々の我慢からの開放を目指してきた。

これまでの「アレルギーを気にせずに甲殻類の味を味わう」「口臭を気にせずにガーリック料理を味わう」といった事例のように Virtual Oil Generator では、太ることを気にせずに思い切り油を楽しめるようにし、本稿では、糖尿病や肥満のリスクを気にせずに、甘いクリームを思い切り味わえる装置を実現したいと考えている。本稿では TTTV3 に攪拌装置を取り付けて食感を自動で制御する装置を実現することを念頭におきながら、食感再現の手法を模索した。対象としては、カスタードクリームの食感と口当たりの再現を試みた。

テクスチャー(Texture)は食品の質感を表す言葉として提唱され、ISO (国際標準化機構) では「力学的・触覚的および適切であれば視覚的・聴覚的な方法で感知できる食物のレオロジー的 (変形と流動)・構造的 (幾何学のおよび表面的) 属性の総体」[18]とされている。近い日本語訳である「食感」はより定義が狭く、口腔で感じる質感として使われている。口どけについても「油脂のおいしさと科学」[19]において、詳細な定義がなされているが、本稿では特に口の中で溶けるようにやわらかく崩れ、滑らかに広がる感覚を重視して検討した。

ホイップクリームのイミテーションは、牛乳アレルギーの懸念やヴィーガニズムを背景として多く試みられており、商品として発売されているものも多い。カスタードクリームにおいても試みは多く、商品ではたとえばシャトレゼの「糖質 50%カットのダブルシュークリーム」[20]がある。糖質や脂質が少ないクリームには、高い市場価値があると考えられている。

本稿では、こうした多様なクリームを自在に出すことができる味覚メディア装置の実現とともに、脂質・糖類ゼロで生成することも目指す。探索したレシピに基づくクリームは、甘味の再現を人工甘味料で行ったため、脂質・糖類ゼロである。

^{†1} 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science,
School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University.

2. レシピ探索

本稿では、味覚・嗅覚について味覚物質・嗅覚物質の配合を一定なままで、食感、特に口どけについて再現性が高くなるように著者らで探索を行った。味覚については、甘味（パルスweet 味の素株式会社）に加えて、水溶液が乳製品に似た口当たりになるグァーガム分解物（PHGG）をいわば「乳味」の味物質として用いた。香りについてはカスタードクリームフレーバー024（ティアンドエム株式会社）を添加するのみとした。着色料も加えず、上記の物質のみによる色変化がどの程度起こるかも観察することにした。なお PHGG の水溶液は透明ではなく、大量に混ぜると白濁する。以下、味覚・嗅覚についての条件は、水 180ml に対しパルスweet 20ml、グァーガム分解物（PHGG）12g、カスタードフレーバー 1.5ml で統一している。

食感の表現には、一定量の水に対するゼラチンとサイリウム（増粘剤）の量について、組み合わせを探索した。ゼラチンが多いとゲルに近づき、少ないとゾルに近づく。増粘剤のサイリウムが多いと、粘性が上がり、口内に膜が張ったように残るため口どけが悪く感じ、サイリウムが少ないと、口内に残らず、すぐになくなってしまふ。ここからカスタードクリームに近い食感と口どけとなる最適な組み合わせを、180ml の水に対しゼラチンは整数 g 単位で、サイリウムは 0.1g 単位で探索し、さらに攪拌時間を整数分単位で探索した。

ターゲットとなるカスタードクリームは、業務用のシェフカスタープレミアム（株式会社カネカ）[21]を用いることとした。洋生菓子用に広く使われ、原材料として牛乳、砂糖、卵黄、食用植物油、乳製品、小麦粉、バニラシード／増粘剤（加工デンプン、増粘多糖類）、グリシン、香料が記されている。

再現に用いるゼラチンは、手軽さから 60℃程度の湯に溶ける森永クックゼラチン[22]を選択した。ゼラチンには起泡性があるが、特にそれを除去することはせずそのまま利用することとした。ゼラチンは水に溶解すると完全に透明ではなく、高濃度にすると黄色に発色する。お湯に溶かした時に生臭さがあるが温度が下がると無味・無臭となる。

増粘剤のサイリウムは、きめやか美研株式会社のサイリウム[23]を使用することにした。プランタゴ・オバタの種子皮粉末であり、糖質ゼロである。無臭ではなく、ヨモギのような薬草感のある香りがわずかにするが、混合すると気にならない程度であった。また、サイリウムは少量でも薬草のような風味があるが、甘味とフレーバーを混ぜることで消すことが可能である。湯には溶けにくかったため水溶液を作ってから足して調整した。水溶液は茶色であった。

3. レシピ探索結果

探索の結果、水 180ml に対し、ゼラチン 7g、サイリウム 2g、攪拌時間 5 分が、食感および口どけの観点で最適であった。前述のようにサイリウムはお湯に溶けにくいいため、常温の水 30ml にサイリウム 2g を溶解させておき、60℃のお湯 150ml にゼラチン 7g とその他味覚物質・嗅覚物質を溶解させた後に両者を混ぜるとよい。これを氷水で冷却しながらハンドミキサーで 5 分間混ぜることで作ることができる。このレシピと製法でゼラチンは±1g で変動させたり、サイリウムを±0.1g で変動させたり、攪拌時間を±1 分変えたりすると、再現性が大きく下がることになる。

なお「増粘剤のサイリウムを全く加えない場合」は、ゼラチンがよく空気を保持するため、泡立てるとホイップクリームのような食感となることを発見した。この場合は、水 180ml に対しゼラチン 11g、攪拌時間は 7 分が適していることがわかった。

4. 物性評価

4.1 密度測定

ターゲットとなるカスタードクリーム、上記レシピのカスタードクリームを 50ml 計量し重さを量ったところ、ターゲットのカスタードクリームは 55.509g、再現カスタードクリームは 35.342g であった。この差異は、食感や口当たりといった観点では影響がないが、満腹感などには影響がある可能性がある。

4.2 粘弾性評価

「口どけ」を定量評価するにあたり、それに近い物性として、粘弾性評価を味香り戦略研究所[24]で測定することにした。モジュラーコンパクトレオメータ MCR 102e にコーンプレートを取り付け測定を行った（図 1）。

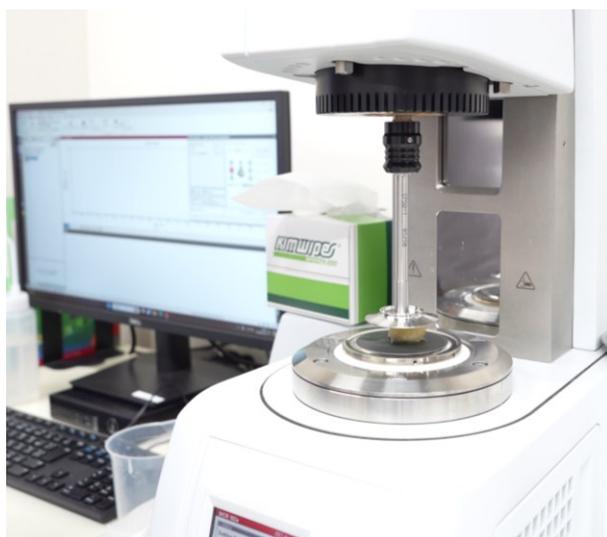


図 1 モジュラーコンパクトレオメータ MCR 102e にコーンプレートを取り付けたいえでのカスタードクリーム再現試料の粘弾性評価風景。

変形を加えた時の粘弾性を評価するため、動的粘弾性測定装置を用い、ひずみの大きさ（せん断ひずみ）を連続的に変化させながら貯蔵弾性率を計測した。貯蔵弾性率が高いほど弾性体、すなわち測定サンプルは弾力があると表現できる。貯蔵弾性率がひずみの変化に依存せず、一定の値を示しているとき、その範囲を線形領域（非破壊領域）とよび、サンプルの構造が保たれている状態を表す。貯蔵弾性率がひずみの変化に依存して変化している箇所を非線形領域（非破壊領域）とよび、構造が破壊されたときの状態を表す。両領域の境目を流動点とよび、食品ではこの点が手前（ひずみの値が低い場所）にあるとロドけが良いと表現できる。ターゲットのカスタードクリーム、提案手法に加えて、別のメーカーのカスタードクリーム（ビアドパパのもの）について測定したグラフを図2に示す。提案手法がターゲットと近い曲線になっていることがわかる。

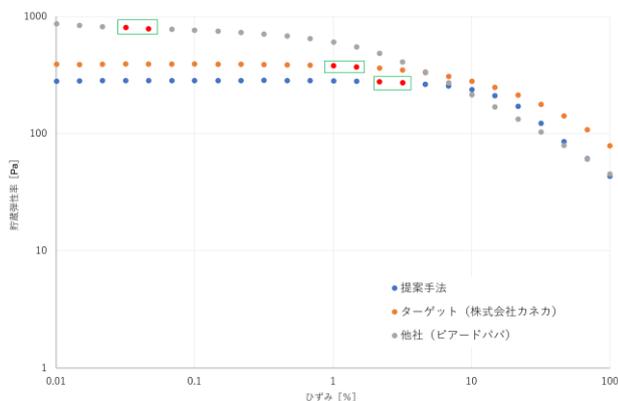


図2 カスタードクリームおよび再現品の粘弾性評価。緑色の四角で囲まれた赤色の点が、流動点を指す。

計測ソフトウェアによって算出された流動点を表1に示す。株式会社カネカのカスタードクリームに比べ、ビアドパパのカスタードクリームはひずみがかかなり小さな早期段階から崩れ始めているため、ロドけが良いことを示している。ビアドパパのカスタードクリームについて、公式ウェブサイトで「生クリームを混ぜ合わせている」ことが示されているため、おそらくこれが理由だと考えられる。いずれにせよ、提案手法によって再現されたカスタードクリームは、ターゲットのカスタードクリームと近い粘弾特性を示し、流動点も近いものとなった。

表1 各クリームにおける流動点

	ひずみ [%]	貯蔵弾性率 [Pa]
提案手法	2.34	274.9
ターゲット (株式会社カネカ)	1.29	374.75
他社製品 (ビアドパパ)	0.0364	797.06

5. おわりに

今後は人工甘味料の選定、香料の改良でさらに高い再現性を目指したい。パルスweetには、アスパルテム、アセスルファムK、エリスリトール、スクラロース、アドバンテム、ステビアといった複数の甘味料が混合されている。今後はこれら甘味料を個別に配合することによって、よりクリームらしい風味の再現も目指していきたい。

今回のレシピは、TTTV3による溶液混合と攪拌装置を組み合わせることで自動化予定である。このとき、ゼラチン溶液は常温で硬化するおそれがあるため温度制御が必要となることが見込まれる。また、冷却しながらの攪拌を行うにあたり、その温度も制御しながら攪拌時間を制御することによって、様々なクリームを表現できるようにしていきたい。さらに、動的粘弾性測定に即した配合を算出するためのモデル構築を行いたい。



図3 ツインシュー（左）と、提案手法によって作成したカスタードクリーム（着色料で着色）、ホイップクリームに置換したもの（右）

参考文献

- 1) Homei Miyashita. TTTV (Taste the TV): Taste Presentation Display for “Licking the Screen” using a Rolling Transparent Sheet and a Mixture of Liquid Sprays. UIST '21 Adjunct, ACM, 2021.
- 2) 宮下芳明. 液体噴霧混合式の味ディスプレイの試作, WISS2021 論文集, pp.121-127, 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, EC シンポジウム 2022 論文集, Vol.2022, pp.143-150, 2022.
- 4) Homei Miyashita. TTTV2 (Transform the Taste and Visual Appearance): Tele-eat virtually with a seasoning home appliance that changes the taste and appearance of food or beverages. VRST '22. ACM, 78, pp.1-2, 2022.
- 5) Homei Miyashita. TTTV2 makes it possible for people with shellfish allergies to still enjoy the taste of crab virtually. VRST '22. ACM, 79, pp.1-2, 2022.
- 6) Homei Miyashita. Virtual eating experience of poisonous mushrooms using TTTV2. VRST '22. ACM, 81, pp.1-2, 2022.
- 7) 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. EC シンポジウム 2023 論文集. Vol.2023, pp.236-243, 2023.
- 8) 村上崇斗, 宮下芳明. ポンプ混合式調味家電 TTTV3 (Transform

- The Taste and reproduce Varieties)の設計と実装, 第28回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2023.
- 9) 金珉志, 村上崇斗, 宮下芳明. ボトル装着型調味家電 TTTVin を用いたワインの味再現, WISS2023 予稿集, pp.1-3, 2023.
- 10) 宮下芳明: Taste Time Machine: 食品を過去や未来の味に変える装置の実現に向けて, WISS2023 予稿集, pp.55-61, 2023.
- 11) 藤澤秀彦, 宮下芳明: Taste-Time Traveller: 食品の時間を操る味覚 AR 装置, WISS2023 予稿集, pp.1-3, 2023.
- 12) 宮下芳明. Chronospoon: 時を操る調味食器. インタラクシオン 2024 論文集, pp.404-409, 2024.
- 13) 本間大一優, 宮下芳明. TasteColorizer: 既存の映像メディアを「味わえる映像」にするシステム. インタラクシオン 2024 論文集, pp.1260-1265, 2024.
- 14) 彭雪儿, 深池美玖, 笠原暢仁, 村上崇斗, 吉本健義, 湊祥輝, 富張瑠斗, 宮下藏太, 川田健晴, 宮下芳明. 産地の異なるカカオの味の違いを定量化し純物質で再現する手法, EC 論文集, Vol.2023, pp.390-393, 2023.
- 15) NTT ドコモ. 世界初! 6G時代の新しい価値を提供する「人間拡張基盤」に味覚を共有する技術を開発
https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2023/12/21_00.html
- 16) 「あなたと世界を変えていく。」 フィールテック・味覚共有篇 30秒 <https://youtu.be/NqKSoTAu-90>
- 17) 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の実現に向けて. EC シンポジウム 2024 論文集, Vol.2024, 2024.
- 18) 合谷祥一. テクスチャーとおいしさ. 化学と生物, Vol.45 (2007), No.9, pp.644-649, 2007.
- 19) 山野善正. 油脂のおいしさと科学—メカニズムから構造・状態, 調理・加工まで. エヌ・ティー・エス. pp.33-38, 2016.
- 20) シャトレーゼ. 糖質 50%カットのダブルシュークリーム. <https://www.chateraise.co.jp/ec/r/rlow-carb/> (2024年7月26日アクセス)
- 21) カネカ食品オンラインショップ. (2022年8月). 【冷蔵】シエフカスタープレミアム. <https://shop.kanekashokuhin.co.jp/products/07307> (2024年7月26日アクセス)
- 22) 森永製菓株式会社. (2024年7月). 森永クックゼラチン. <https://www.morinaga.co.jp/gelatin/> (2024年7月26日アクセス)
- 23) きめやか美研. (2024年5月). サイリウム. <https://www.kimeyaka.jp/kimeyakabiken/products/psyllium.html> (2024年7月26日アクセス)
- 24) 株式会社味香り戦略研究所 <https://mikaku.jp/> (2024年7月26日アクセス)