

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

小平 乙寧¹ 宮下 芳明¹

概要: 本稿では、脂質ゼロでありながら油として感じられる液体を生成する装置の開発について述べる。オリーブオイルを題材とし、味・香り・テクスチャの観点において、本物と同等と感じられるパラメータを探索し、溶液の混合によりそれを実現した。また、多様な油を生成できる装置の開発を目指し、TTTV3を用いて溶液を出力した。このようにして、思う存分油の味を堪能しながらも、肥満のリスクを回避することが可能であると考えられる。

1. はじめに

食体験において脂質は不可欠であり、満足感を提供する。しかし脂質の摂りすぎは肥満や生活習慣病につながる可能性がある。日本では、脂質の摂取量が基準よりも多い人の割合が、男性で約 35.0%，女性で約 44.4%となっている。そのなかでも、乳製品や肉の動物性脂肪に多く含まれる飽和脂肪酸の平均摂取量は、総摂取エネルギーの 8.4%で、目標量である 7.0%を上回っている [12][13]。飽和脂肪酸の過剰摂取は、血中総コレステロールを増加させ、循環器疾患のリスクを増加させる [12]。このように脂質の摂りすぎは健康被害のリスクを高める。よって、脂質の摂取量を減らす事が非常に大切である。そこで脂質を含まずに、油として感じられる食品に関する研究が多く行われている。田中 [7] は、水溶性食物繊維のイヌリンを代替脂質として利用している。伊那食品工業株式会社 [5] は、イヌリンと低強度寒天を組み合わせて代替脂質として応用している。また、TTTV3[15][8] のような既存の味覚ディスプレイでは味溶液の噴霧混合により様々な食品の味再現が行われている。しかし、油の再現は行われていない。さらに、食品の食感のパラメータを調節し、再現が行われているものは少ない。

そこで本研究では、脂質を含まない物質を用いて油として感じられる液体を生成することを目的とし、TTTV3を用いてそのような液体を生成するシステムを開発した。多様な油を再現するために、本稿ではオリーブオイルを題材とし、溶液混合による油の食感と味の表現手法を述べる。また、着色や香りの提示手法についても述べる。さらに、

提案手法による溶液を TTTV3 を用いて生成する。

2. 関連研究

2.1 代替脂質研究

田中 [7] は水溶性食物繊維であるイヌリンが高濃度溶液にして冷却させるとペースト状になるという特徴を利用して、それを代替脂質として応用する手法を提案している。イヌリンは 40°Cで溶解を開始し、滑らかな食感を表現できる。応用例として、ノンファットミルクジェラートやピーナッツプレッドが提案されている。

また、伊那食品工業株式会社 [5] は、イヌリンと低強度寒天を組み合わせることで、脂質らしい食感とうま味を有する脂質代替物を提案している。イヌリンは脂質代替物として使用されているが、使用濃度を濃くしなければならぬため口に含むと粘り気やざらつきが残るという欠点がある。また、低強度寒天も脂質代替物として使用されているが、さっぱり感が強く食感に物足りなさを感じるという欠点がある。このことから伊那食品工業株式会社はイヌリンと低強度寒天を組み合わせることで、脂質らしい食感とうま味を保ちつつ、粘状感がなく耐熱性のある代替脂質を提案している。

Paradiso ら [4] は、イヌリンとエキストラバージンオリーブオイルを用いて、エマルジョン充填ゲルを製作し、それらに対する消費者の受容性が高いことを示している。さらに、エマルジョン充填ゲル粘度がイヌリンの含有量に依存することも示している。

2.2 味の再現手法

宮下ら [8][15] は、噴霧混合式の味ディスプレイである

¹ 明治大学



図 1: 再現したオリーブオイルを出力する TTTV3 の画面上段左から BOSCO エキストラバージン オリーブオイル、ラ・モラッツァ、イル・シンチェーロ、パッリョ・インガルディア アルベレッリ、下段左からラ・モラッツァ マンダリン オリーブオイル

TTTV3 を開発し、0.02ml 単位での溶液混合により、食品の味の再現を可能にしている。実例として味溶液の混合によって、白ワインの味を赤ワインの味に変える手法を提案している [2]。また、チョコレートに味溶液を混合して異なる産地の味に変化させる手法も提案している [10]。

また、宮下ら [6] はゼラチンやサイリウムを用いて、カスタードクリームの食感を再現している。さらにグアガム分解物等を加えて味の再現も行うことで脂質と糖質を含まずにカスタードクリームを再現する手法を提案している。

3. 油の再現手法

オリーブオイルを例に、食感、味、色の観点から油を再現する手法について述べる。香りについては、目標のオリーブオイルの匂いをそのまま嗅ぐ。匂いを嗅ぎながら食感、味、色を再現した液体を口に含むことで目標のオリーブオイルを食べた時と同等の感覚を提供する。今回再現を試みた 5 種類のオリーブオイルを図 1 に示す。

3.1 食感の再現

ニチガ製のイヌリンと低強度寒天である伊那食品工業製の介護食用ウルトラ寒天を用い、目標の食感の再現を行う。これらはどちらも脂質を含まないことが特徴である。イヌリンは水溶性の食物繊維で、水に容易に溶解し、粘状感を有し口に残るような食感を提供する。低強度寒天は、水に容易に溶解し、粘状感が少ないにも関わらず滑らかで口溶けの良い食感を提供する。イヌリンと低強度寒天を適切に混合することで目標の食感を再現する。最初に BOSCO エキストラバージンオリーブオイルの食感を再現する。まずイヌリンを温めた水に溶解させ 1 分間攪拌を行う。油のように口に残る食感となるパラメータを筆者の主観で追求する。その結果 100g の水に 20g のイヌリンを溶解させると粘状感を抑えたまま口に残る食感であり、かつ配合しやすいことが分かった。そのため、イヌリンの配合量をこの値に固

表 1: 介護食用ウルトラ寒天配合量を変化させた食感再現の配合表

	試作 1	試作 2	試作 3
イヌリン (g)	20	20	20
介護食用ウルトラ寒天 (g)	0.36	0.40	0.44
水 (g)	100	100	100

表 2: イヌリン配合量を変化させた食感再現の配合表

	試作 4	試作 5	試作 6	試作 7
イヌリン (g)	16	24	28	32
介護食用ウルトラ寒天 (g)	0.40	0.40	0.44	0.40
水 (g)	100	100	100	100

定して、複数パラメータで介護食用ウルトラ寒天を混合させた (表 1)。その結果、筆者の主観評価で試作 2 の配合が最も目標の食感に近かった。さらに目標の食感へ近づけるために、イヌリンの配合量を少しずつ変化させた配合を表 2 に示す。これらの配合のうち筆者の主観で最も食感が目標と同等に感じられたのは試作 7 であったためこの配合を採用した。図 1 にあるオリーブオイルのうち、BOSCO エキストラバージンオリーブオイル以外のものは、試作 7 よりさらさらとした食感であった。そのため、試作 7 に水を全体の 0.03 % 追加することでパッリョ・インガルディア アルベレッリの食感を再現し、水を全体の 0.06 % 追加することでそれ以外のオリーブオイルの食感を再現した。

目標のオリーブオイルと食感を再現した液体の粘度と動摩擦力を計測し、液体の性質を比べる。さらに、イヌリンと介護食用ウルトラ寒天の配合量の変化がどのような影響を与えるかも調査する。

3.2 味の再現

目標であるオリーブオイルには苦味と渋味、喉に刺激をもたらす辛味がある。オリーブオイルに含まれるオレウロペイン等のポリフェノールはこれらの味を提供する物質の一つである [1]。オリーブオイル味を、苦味物質として塩化マグネシウム、キナ抽出物、渋味物質としてタンニン酸、辛味物質としてカプサイシンを用いて再現する。今回使用しているイヌリンにはもとから甘味があるため、この甘味を考慮して味を再現する必要がある。苦味物質を用いてイヌリンの甘味を抑制した。BOSCO エキストラバージン オリーブオイル、ラ・モラッツァ、イル・シンチェーロ、パッリョ・インガルディア アルベレッリ、ラ・モラッツァ マンダリン オリーブオイルの味を再現した数値を表 3-表 7 に示す。

3.3 色の再現

食用色素 (共立食品) の黄、緑と粉末食用色素 (私の台所) 茶を使用し、イヌリンと介護食用ウルトラ寒天からなる液

表 3: 食感を再現した液体 5.0g あたりの BOSCO エキストラバージン オリーブオイルの味再現配合量

	味物質 (g)
塩化マグネシウム溶液 0.15 %	1.70
キナ抽出物溶液 0.05 %	0.70
タンニン酸溶液 0.5 %	0.70
カプサイシン溶液 0.01 %	0.20

表 4: 食感を再現した液体 5.0g あたりの ラ・モラッツァの味再現配合量

	味物質 (g)
塩化マグネシウム溶液 0.15 %	1.50
キナ抽出物溶液 0.05 %	1.00
タンニン酸溶液 0.5 %	0.80
カプサイシン溶液 0.01 %	0.25

表 5: 食感を再現した液体 5.0g あたりの イル・シンチェーロの味再現配合量

	味物質 (g)
塩化マグネシウム溶液 0.15 %	1.30
キナ抽出物溶液 0.05 %	2.30
タンニン酸溶液 0.5 %	0.60
カプサイシン溶液 0.01 %	0.30

表 6: 食感を再現した液体 5.0g あたりの バッリョ・インガルディア アルベレッリの味再現配合量

	味物質 (g)
塩化マグネシウム溶液 1.0 %	0.60
タンニン酸溶液 3.0 %	0.10
カプサイシン溶液 0.01 %	0.25

表 7: 食感を再現した液体 5.0g あたりの ラ・モラッツァ マンダリンオリーブオイルの味再現配合量

	味物質 (g)
塩化マグネシウム溶液 1.0 %	0.20
タンニン酸溶液 3.0 %	0.05
カプサイシン溶液 0.01 %	0.25

体に微量を添加することで目標となるエキストラバージンオリーブオイルの色と同じ外見にした (図 2)。

3.4 香りの提示手法

深池らは、ウェアラブル型やフォークに取り付ける形の嗅覚提示デバイスを開発している。これを味を再現した食品を食べる際に用いることで、あたかも再現したい食品を食べているような感覚を提示している [3][14]。今回は、コップに取り付ける形式の匂い提示デバイスを用いる。目標とする油自体の香りを提案するデバイスから提示する。このデバイスを用いて再現した液体を口に含むことで香りを



図 2: 上段: 再現の目標としたオリーブオイル, 下段: 食感を再現したものに着色料を加えて色も再現した液体 (左から図 1 に示す順)



図 3: 再現したオリーブオイルを出力する TTTV3.

提供する。また、用いる油を変えることで多様な種類の油の香りを提供することができる。

3.5 再現した油を生成する装置

前章で述べた食感、味、色を再現した液体を応用し、多様な油を再現するためにポンプ混合式調味家電 TTTV3[15][8]を用いる。再現のためのイヌリンと介護食用ウルトラ寒天溶液、食感制御用の水、基本 5 味の水溶液の配合量を TTTV3 で制御し、0.02ml 単位で混合する。TTTV3 の全体図を図 3 に示す。

4. 粘度計による実験

提案手法によりオリーブオイルを再現した液体の再現性を確認するために粘度計による粘度測定を行った。測定風景を図 4 に示す。

4.1 実験手法

単一円筒形回転粘度計であるリオン粘度計 VT-06 ビスコスタ (高粘度用) を使用し、表示分解能が 0.1 dPa・s である 3 号ロータを用いて粘度を測定する。ロータ回転数は 62.5rpm である。BOSCO エキストラバージンオリーブオイルとその食感を再現した液体、ラ・モラッツァの粘度をそれぞれ測定する。また、常温の 25℃と人間の体温



図 4: リオン粘度計 VT-06 ビスコテスタ (高粘度用) を用いた粘度の測定風景

程度である 36 °C の 2 条件で測定する。

4.2 結果

測定した粘度を表 8 に示す。常温では試料 1 と 3 の粘度は 0.3dPa・s 異なり、提案手法の液体の方が粘度が高くなった。試料 2 と常温の試料 3 の粘度が等しくなった。提案手法粘度は温度を 25 °C から 36 °C に変化させた時、0.3dPa・s 小さくなったが、BOSCO エキストラバージンオリーブオイルは 0.1dPa・s、ラ・モラッツァは 0.2dPa・s 小さくなった。また、BOSCO エキストラバージンオリーブオイルとラ・モラッツァは種類の異なるオリーブオイルであるが、粘度に大きな違いは見られなかった。

4.3 考察

提案手法で再現した液体は温度による粘度の変化がオリーブオイルよりも大きい。口内の温度程度の試料 2 と常温の BOSCO エキストラバージンオリーブオイルの粘度が等しかったことから、提案手法による液体を口内に入れた時の粘度は目標のオリーブオイルと同程度であると考えられる。今回は粘度計のロータの回転数を 62.5rpm とし、人間が舌で食感を感じている時よりも大きいずれ速度であったため、舌で感じるときと同条件の粘度を測定するには、ロータ回転数を調節できる機器でより精密に測る必要があると考えられる。

5. 定性評価

提案手法により再現したオリーブオイルの受容性を確認するために簡単な定性評価を行った。再現した 5 種類のうちラ・モラッツァを用いた。実験参加者は 20-21 歳の大学生 4 名 (男性 1 名、女性 3 名) であった。

5.1 評価手法

本物のラ・モラッツァを飲んだ後、水を飲み、提案手法で再現したラ・モラッツァを再現した液体を飲んだ。その後アンケートに回答した。質問はどこがオリーブオイルに似ていると感じたか、どこがオリーブオイルと違うと感じたかの 2 点であった。

表 8: BOSCO エキストラバージンオリーブオイルとラ・モラッツァ、BOSCO エキストラバージンオリーブオイルを再現した液体の粘度

試料 1: 提案手法の BOSCO エキストラバージンオリーブオイルを再現した液体 (25 °C)

試料 2: 提案手法の BOSCO エキストラバージンオリーブオイルを再現した液体 (36 °C)

試料 3: BOSCO エキストラバージンオリーブオイル (25 °C)

試料 4: BOSCO エキストラバージンオリーブオイル (36 °C)

試料 5: ラ・モラッツァ (25 °C)

試料 6: ラ・モラッツァ (36 °C)

	試料 1	試料 2	試料 3	試料 4	試料 5	試料 6
粘度 (dPa・s)	0.8	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4

5.2 結果

また、4 名全員が口に膜を張るような食感がオリーブオイルに似ていると回答した。また 1 名は後味の辛味が喉に残る感覚が似ていると回答した。さらにオリーブオイルと違うと感じた点については、3 名が甘味がある点と回答し、全員が苦味・渋味・辛味が無い点と回答した。1 名は、再現した方の液体が本物のオリーブオイルよりも口の中に残らないと回答した。

5.3 考察

実験結果より、提案手法で再現した液体は食感面で再現性が高いと考えられる。一方で味再現では再現性が低いと考えられる。これはイヌリンが持つ甘味が影響していると考えられる。苦味や渋味、辛味が苦手な消費者にとっては有効なオリーブオイルの代替となる可能性がある一方で、オリーブオイル特有の味を求める消費者には甘味が嫌悪感を生む可能性があることから、甘味を抑えてより味の再現性を高める必要があると考えられる。

6. 提案手法の有用性の検証

提案手法を用いてオリーブオイルを再現した液体の食品への有用性を検証した。ラ・モラッツァを再現した液体をパスタにかけると光沢が出て、外見が油をかけた時の状態に近づいた。また、パスタのバサバサ感が軽減された。

きゅうりやにんじんの野菜スティックにかけて、ラ・モラッツァの匂いを嗅ぎながら食べると、オリーブオイルをかけて食べているように感じられた (図 5)。油脂には苦味を抑制する効果がある [11] ため、野菜等にかけて食べるドレッシングに用いられている。今回の提案手法では、油脂を含まない液体に苦味抑制効果のあるイヌリンを加えた。イヌリンには特有の甘味を持ち、苦味やえぐ味、渋味を抑制する効果がある [7][9]。これにより、本来の油が持つ苦味抑制効果が再現できると考えられる。よって、ドレッシ



図 5: オリーブオイルを再現した液体を野菜スティックにかける様子

ングの再現などへの応用が考えられる。

最後に一般的な食パンに液体をつけて食べた。しかし、水に浸けたような感覚になってしまった。これはオリーブオイルの食感を再現した液体が水溶性であることが原因であると考えられる。

7. 展望

本稿では、脂質を含まない物質を用いて油と同等に感じられる液体を生成する手法について述べた。また、それらを TTTV3 で生成する手法についても述べた。油を匂い、食感、味、色といった要素に分けて考えることで、ユーザに合わせた油を出力できると考える。イヌリンと介護食ウルトラ寒天を用いて油の食感を表現できることを示したが、これらの配合量を変えたり、水を追加することで、多様な種類の油の食感を表現できる可能性がある。さらに、配合量等をコンピュータで制御すれば、異なる銘柄のオリーブオイルの中間の食感や味を表現し、実際には手に入れない油を表現することができる可能性がある。

今後は、油を再現した溶液の温度も油脂感の知覚に影響している可能性があると考えることから、温度の影響についても調査していく。同じ常温で保存しても提案手法の液体はオリーブオイルよりも冷たく感じるという問題があった。そこでプロピレングリコール等の発熱反応を起こす物質の使用も検討していく。また、油っぽいと人間が感じる要素として、口内の食感だけでなく、唇の感覚も影響していると考えることから、口内以外の感覚についても検討していく。さらに、イヌリンが甘味を提示してしまうことから、甘味の影響を取り除く手法も検討していく。提案手法による液体の再現性に関する評価手法としては、レオメータのずり速度や温度などの条件をより選定し、人間の口内で味わっている状況に近い状態で測定していく。さらに、多様な銘柄のオリーブオイルを再現することの応用として、ChatGPT を用いてサラダの画像認識を行い、最適なオリーブオイルを提案するという機能も検討していく。

参考文献

- [1] Andrewes, P., Busch, J. L., de Joode, T., Groenewegen, A. and Alexandre, H.: Sensory Properties of Virgin Olive Oil Polyphenols: Identification of Deacetylglucosylated Aglycon as a Key Contributor to Pungency, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 51, No. 5, pp. 1415–1420 (online), DOI: 10.1021/jf026042j (2003).
- [2] 金 珉志, 村上崇斗, 宮下芳明: TTTV3 を用いたワインの味表現, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2023 論文集, Vol. 2023, pp. 298–301 (2023).
- [3] Miku, F. and Homei, M.: How To Eat Garlic Without Causing Bad Breath, The 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '23 Adjunct), pp. 1–3 (2023).
- [4] Paradiso, V. M., Giarnetti, M., Summo, C., Pasqualone, A., Minervini, F. and Caponio, F.: Production and characterization of emulsion filled gels based on inulin and extra virgin olive oil, *Food Hydrocolloids*, Vol. 45, pp. 30–40 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.027> (2015).
- [5] 伊那食品工業株式会社. 埋橋祐二, 小島正明: 脂肪代替物の素、脂肪代替物、及び低カロリー食品, 特開 2011-30444, 2014-05-14.
- [6] 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・糖質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 (2024).
- [7] 田中彰裕: 食物繊維イヌリンによる脂肪代替, 日本調理科学会誌, Vol. 46, No. 4, pp. 312–313 (オンライン), DOI: 10.11402/cookeryscience.46.312 (2013).
- [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] 和田 正, 田中彰裕: 酵素法により製造されたイヌリンと低脂肪食品への利用, 化学と生物, Vol. 51, No. 6, pp. 376–382 (2013).
- [10] 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, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2023 論文集, Vol. 2023, pp. 390–393 (2023).
- [11] 桂木能久: 苦味だけを選択的に抑制するリン脂質, 化学と生物, Vol. 35, No. 7, pp. 491–495 (オンライン), DOI: 10.1271/kagakutoseibutsu1962.35.491 (1997).
- [12] 農林水産省: 脂質による健康影響, 農林水産省(オンライン), 入手先 (https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/trans.fat/t.eikyou/fat_eikyou.html) (参照 2024-7-11).
- [13] 農林水産省: 脂質のとりすぎに注意, 農林水産省(オンライン), 入手先 (https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/trans.fat/t.eikyou/fat_care.html) (参照 2024-7-11).
- [14] 深池美玖, 宮下芳明: ニンニクの口臭を防ぐ味覚及び嗅覚提示システムの提案, エンター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. 2022, pp. 168–171 (2022).
- [15] 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 2023 論文集, Vol. 2023, pp. 236–243 (2023).