

TeleSalty: リアルタイムで塩味を伝える通信システム

小林 未侑^{†1} 宮下 芳明^{†1}

本稿では、飲食物の塩味をリアルタイムに伝え、遠隔でも同じ濃さの味を体験できる塩味通信システムを提案する。送信部には塩分センサがあり、塩化ナトリウム換算での濃度値として計測したうえで、それを常時送信している。受信部は、規定濃度の食塩水（あるいはそれを溶解させたゲル）内のイオンを電気で泳動させ、塩分濃度を常に再現する。一対多の配信、システムを2組用いた双方向通信も可能である。遠隔でも同じ食体験を共有したり、調理過程を双方が確認しながら指導を行うなど、多様な応用が考えられる。

1. はじめに

本稿では、飲食物の塩味をリアルタイムに伝送し、たとえ遠隔であっても同じ濃さの塩味を体験させられる、味の通信システム「TeleSalty」を提案する。送信する側は、塩分センサが計測した濃度値を送信する。受信する側は、規定濃度の食塩水（あるいはそれをゲルとして固めたもの）のイオン濃度を電気泳動によって制御し、受信した塩分濃度を常に再現する仕組みになっている。これにより、たとえば料理の調理過程を確認しながら遠隔指導を行うことも可能になる。飲食物を共有することで親密さが増すことは明らかになっているため[1]、本システムを利用して遠隔でも同じ食事を食べているような感覚を再現できれば、コミュニケーション支援としての効果も期待できる。

2. 原理

食塩水に陰極を、人に陽極を接触させ、食塩水に舌に触れさせると電気回路が形成される。このようなかたちで電流を流すと人の塩味の感じ方が抑制される[2]。また、陰極刺激による味覚抑制は溶質が電解質の場合にのみ起こり、非電解質の場合は起こらないことをも明らかになっている[3]。つまり、味覚の抑制は、水溶液中の陽イオンが陰極側に引き寄せられて陽イオン濃度が変化することで起こる現象だと考えられる。青山らはさらに、特定の濃度を感じさせるために必要な電流は線形近似できることを示した（ただし個人ごとに切片や傾きが異なる）。

本稿第二著者は、この原理を用いて味ディスプレイ Norimaki Synthesizer を開発した[4]。これは5種の基本味を感じさせる電解質水溶液をゲルとして固めたもので構成されている。再現したい飲食物の味を味センサで計測しておき、それをもとに味ディスプレイの各ゲルにおけるイオン濃度を電流によって調整し、味の再現を行っている[5]。これにより、味の再生・記録・編集の仕組みを提案しているほか、個人の特性や嗜好に合わせて、塩味を強めたり酸味を弱めたりする「味イコライザ」なども開発した[6]。

本稿では、受信した塩味を再現する過程において、同一

の原理を用いている。すなわち、ユーザが知覚する濃度と抑制に用いる電流の関係を事前に測定して近似式を求め、それに基づいて計算を行っている。

一方で、塩味の測定については[5][6]のような味センサではなく「塩分センサ」を用いている。塩分センサは、電導度測定法によって測定を行っている。これは汁物など、水溶液の電気抵抗を測る方法であり、溶液中に電気を通す性質があるナトリウムイオンが入っているほど電気抵抗が下がる原理を利用している。温度が一定かつ低濃度であれば一次近似（高濃度であれば二次近似）ができるため、電気導電度から塩分濃度を推定することができる。普段の食事にどの程度の塩分が含まれているかを確認するために使われる、市販の塩分計も同じ仕組みを用いている。

前述のように、受信側の味ディスプレイが物理量としての濃度を制御していることから、味センサが出力する「心理量としての味の強さ」の値よりも、物理量のほうが簡便である。加えて、塩分センサは味センサに比べてはるかに高速、かつ安価なことから、塩分センサを採用した。これにより、ほぼリアルタイムな伝送が行えるようになった。

3. 関連研究

飲み物を飲む行為自体を遠隔で共有する Lover's Cups は、カップから飲み物を飲む行為に応じて相手側のカップの色が変わり振動する仕組みであり、点灯した LED の個数で飲料の残量も表示している[7]。視覚と触覚にかかわるもののみで味覚に変化すら及んでいないが、こうした機構を設けるだけでもコミュニケーションの支援効果があるという。

中村らは電気味覚を活用し、飲食時におけるコミュニケーション支援手段（手をつなぐと味が変わる）を提案している[8]。これは直接触れられる近距離でのみ実現されることであり、さらに味の変化が即時的に起こるものの、それは陽極味の付与による味変化にすぎず、味の計測と再現が行われるものではない。

Nimesha らは、遠隔地でレモネードの風味を味わうことのできるシステムを提案した[9]。これは、送信側のレモネ

^{†1} 明治大学

ードの色と酸味を、カラーセンサおよび pH センサで取得し、その情報を遠隔地に送信するものである。遠隔地ではその情報を受信したタンブラーに入った真水に色がフルカラーLED で付与され、受信した pH 情報に基づいて陽極の電気刺激を強める仕組みになっている。遠隔地に味を伝送するコンセプトは本稿と同一であり、先行しているが、味の取得と再現については pH センサの取得値と電気刺激量を「対応させた」に過ぎず、遠隔地にその酸味を再現できているわけではない。

本稿のように、遠隔で味の計測と再現をリアルタイムに行えるシステムは、研究が進んでいない。

4. プロトタイプシステム

2章での述べた原理に基づき、TeleSalty のプロトタイプシステムを構築した。塩分センサで塩化ナトリウム濃度を計測し送信する送信部、その濃度に基づき、イオン泳動によって同じ濃度を再現・提示する受信部として説明する。

4.1 送信部

送信部では塩分センサ (Conductivity K 1.0, AtlasScientific) を用いて飲食物に含まれる塩分濃度を計測する。塩分センサによって溶液中の電気導電度 (electrical conductivity) が測定される。0.0002 - 10%濃度の計測が可能な仕様である。取得した電気導電度に基づき濃度を算出したうえで、それを送信する。換算に用いたのは以下の式(1)である。塩分センサで測定された電気導電度 $E(\mu\text{S}/\text{cm})$ における塩化ナトリウム濃度 $C(\%)$ を表す。0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0%の塩化ナトリウム水溶液を作成し、その測定値とセンサ出力値を対応させて以下の近似式を求めている。(R² = 0.996)

$$C = 0.00009 \times E - 0.1985 \quad (1)$$

送信部およびそのシステム構成、利用イメージを図 1, 図 2, 図 3 で示す。

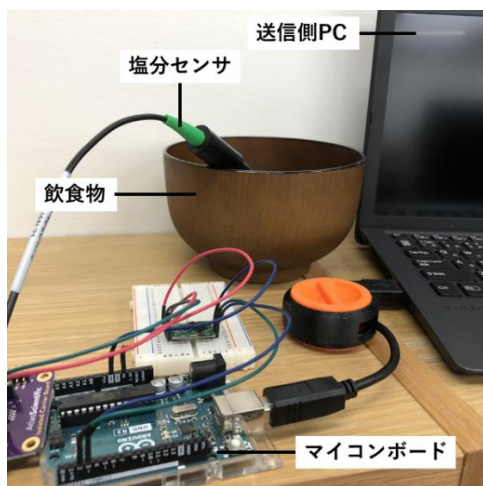


図 1 送信部システム

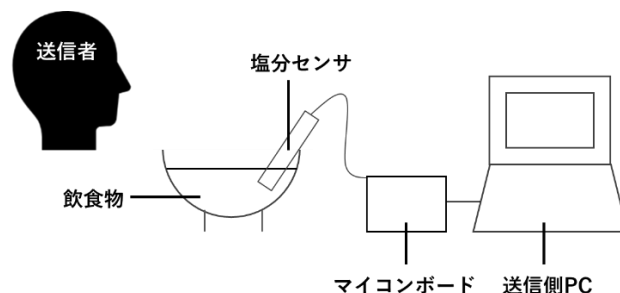


図 2 送信部の構成



図 3 送信部利用イメージ

4.2 受信部

受信部は 1.0%塩化ナトリウム水溶液 (あるいはそれを溶解させたゲル) と電源装置で構成されている。付加できる電流の大きさは 10 μA - 2.6mA であり、定電流供給が可能な電源装置により出力される。電源装置は Processing からシリアル通信で制御されている。受信部ではコップに入れた塩化ナトリウム水溶液をストローで口に含む。陰極として、金属電極をコップに入れる。陽極は手首または首に電極を貼り付け提示する。受信部およびそのシステム構成図、利用イメージを図 4, 図 5, 図 6 で表す。

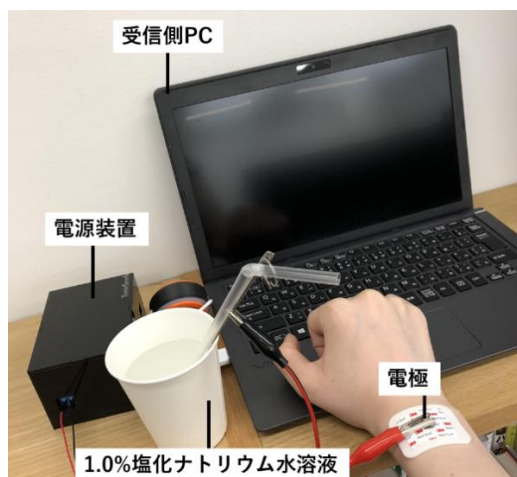


図 4 受信部システム

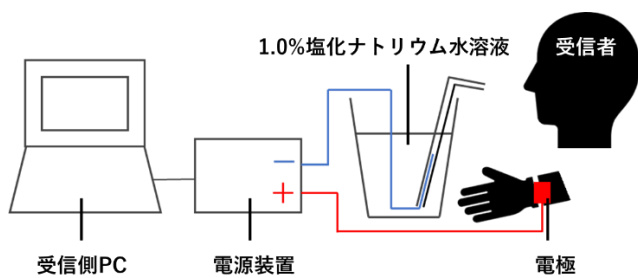


図5 受信部の構成

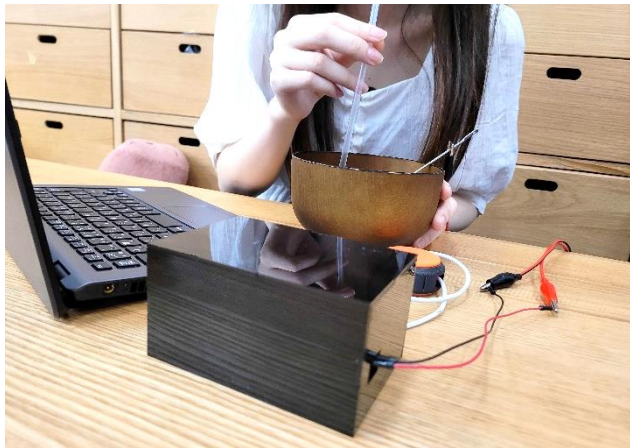


図6 受信部利用イメージ

2章で説明した原理に基づき、電気回路に陰極の電流を流すと、溶液内のイオンが泳動し塩味が抑制される。

送信部からインターネットを介して飲食物中の塩化ナトリウム濃度の値を受け取ると、制御に必要な電流量が計算され、電源装置から電流が出力される。

先行研究[3][5]と同様に、個人ごとに合わせて電流値を設定するキャリブレーションを行う。参加者ごとに1.0%塩化ナトリウム水溶液を0.2%、0.4%、0.6%、0.8%に感じさせる電流値を測定し、それを元に線形近似する。 $C(\%)$ の濃度と同等の塩味を表現するために必要な電流の強さ $I(\text{mA})$ を表している。 a, b は個人ごとに異なる係数である。

$$I = -aC + b \quad (a, b \text{ は個人ごとに異なる係数}) \quad (2)$$

送信部から受信部までの、計測から再現にいたる過程でのパラメータ換算は図7の通りである。送信部では塩分計が測定する電気導電度から塩分濃度を換算する。受信部ではそれを個人ごとに異なる電流値に換算し、電源装置から出力する。送受信はデジタルデータのやりとりなので精度低下がないとすると、本システムにおける塩味の通信品質は、(1) 塩分センサが正確に飲食物の塩化ナトリウム濃度を測れているか、(2) 受信システムがイオン泳動を用いて正確に濃度を制御できているか、(3) ユーザーが提示された味を正確に知覚できているかが重要となる。

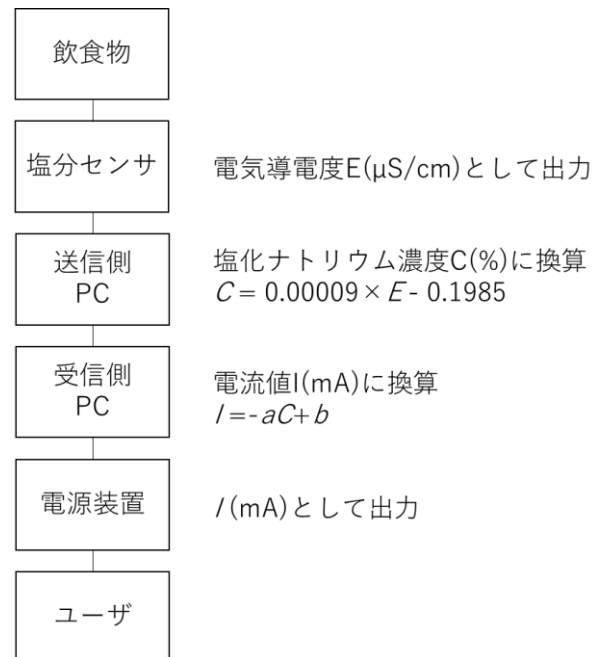


図7 送信部から受信部までの過程でのパラメータ換算

5. 実験

提案システムによって、塩味の取得と再現が正確に行われているかを確認する実験を行った。

5.1 スクリーニングとキャリブレーション

実験参加者はスクリーニングテストを行った。まず0.2%、0.4%、0.6%、0.8%塩化ナトリウム水溶液を口に含んでもらい濃度の薄い順番に溶液が入ったコップを並べてもらった。このスクリーニングテストの全問正解者のみ本実験に参加させた。参加者ごとに1.0%塩化ナトリウム水溶液を0.2%、0.4%、0.6%、0.8%に感じさせる電流値を測定し、それを元に線形近似を行う。

5.2 実験デザイン

実験参加者の疲労を考慮し、実験を2日に分けて行う。まず1日目には、前節のキャリブレーションのための調整を行ってもらい濃度と電流の関係式を得る。そして、以下の手順で、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%の溶液をランダムな順で計測し再現し、濃度を当てさせるタスクを行わせた。使用した溶液はすべて常温(26℃)である。2日目はキャリブレーションを省略し、1日目に作成した近似式を用いて実験を行う。1日あたり4問、2日間合計で8問の正答率を確認する。

【実験手順】

1. 口の中を精製水ですすぐ。
2. システムによって計測・再現された0.2~0.8%濃度のいずれかの塩化ナトリウム水溶液を口に含み、味を記憶する。口に含んだ溶液は吐き出す。
3. 口の中を精製水ですすぐ。

4. 電気を付加していない4種の塩化ナトリウム水溶液をそれぞれ口に含み、2の手順で記憶した濃度に近い溶液を一つ選択する。

※ 2で再現する濃度はランダムで変わる。全ての濃度が終わるまで1~3の手順が繰り返される。

5.3 実験結果

実験には大学生および大学院生が3名参加した（男性2名、女性1名）。各参加者のキャリブレーション結果は図8の通りである。1参加者あたり1日目はおよそ1時間弱、2日は30分弱を要した。2日目は塩分センサの出力が不安定だったため事前に再キャリブレーションして実施した（この際の換算式は $C = 0.00004 \times E - 0.0209$ となった）。

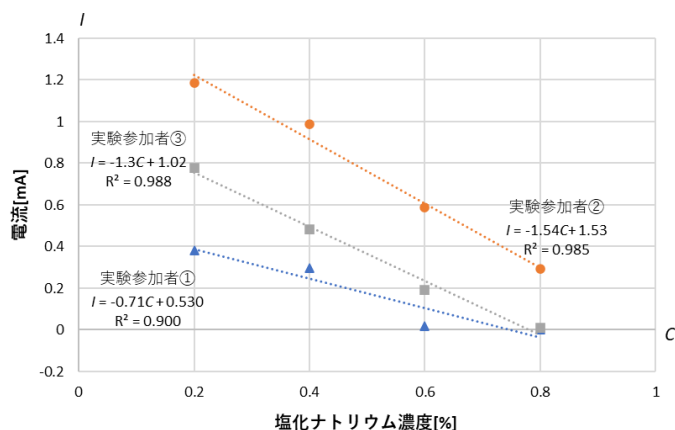


図8 システムのキャリブレーションに用いた換算式

正答率は以下の通りであった。

表1 実験結果（正答率）

参加者	正答率 (%)
参加者 1	37.5%
参加者 2	50.0%
参加者 3	62.5%

(chance level = 25%)

6. 考察

実験結果をみると、参加者は3名ともチャンスレベル25%を超えた正答率であり、ある程度の有効性を確認することができた。しかし、十分に高い正答率であるとは言いがたい。疲労を考慮して2日間に分けた実験であるため、その影響は少ないと考えられる。そのため実験時の実測電流値の記録を参考に、塩分センサの誤作動や電源装置の誤作動の有無を検証した。すると、塩分センサが実際の濃度よりも0.1%以上濃い・薄い場合が6回（誤答中に4回）あることが判明した。たとえば0.4%でためあるにもかかわらず

0.55%として計測された場合は、むしろ0.6%のほうが近いことになるため、このようなときには誤答を誘発してしまう。次に、電源装置の誤作動による影響がないか確認したところ、上記のような0.1%以上のずれを引き起こす電流幅（被験者①は0.154mA、被験者②は0.071mA、被験者③は0.130mA）を超えたものを確認した。すると、全体で6回（誤答中に3回）見つかった。塩分センサが±0.1%の範囲で計測できていて、かつ電源装置が前記の範囲に正しく収まっているときは、誤答が3回しかなかった。すなわち、塩分センサの精度および提示装置の制御精度が改善されれば、正答率は約88%まで向上することがわかった。

塩分センサは値が安定するまでに時間が1分程度かかり、さらにその後も値が揺れ動くことがあるため、一定バッファ内の値を平均することで、より安定させることができると考える。また、複数本の塩分センサを入れてその平均値をとったり、あまりにも外れた値が出ていたら除外したりするなどの処理を入れれば、塩分センサの精度はより高められるはずだと考えている。

また、電源装置についても、自身が出している電流をモニタリングする機構を搭載して精度を高めるとともに、こちらにも一定バッファ内の平均をとることで、急激な変化が起こらないようにしたい。

このような改良を重ねていけば、正しく味の伝送ができるシステムが実現できるはずである。

7. 結論

本稿では飲食物の塩味をリアルタイムに伝え、遠隔でも同じ濃さの味を体験できる塩味通信システムを提案した。塩分センサおよび電源装置の改良を行えば、より実用的な仕組みにできると考えている。

プロトタイプシステムでは塩分センサの値をそのままリアルタイムで送信していたが、このログを記録・再生できるようにすればいつでも追体験できるようになる。また、これを加工・編集して濃くなり過ぎた味を遠隔地ではコンプレッサーのように弱めたり、塩味好き、あるいは塩味が鈍感な人の場合には強めたりといった、[5][6]における「味イコライザ」と同等な機構を設けられる。

さらに、システムを2組用いれば、双方向に味を伝えることができるため、遠隔者が互いの料理の味を互いに味わったりすることができると考えられる。今後は、システムの改良を行うだけでなく、実際の遠隔環境下での実証実験も行っていきたい。

参考文献

- 1) Miller, L, Rozin, P., & Fiske, A. P. Food sharing and feeding another person suggest intimacy: Two studies of American college students. *European Journal of Social Psychology*, 28(3), pp.423–436 (1998).
- 2) Hettinger, T. P. and Frank, M. E.: Salt taste inhibition by cathodal

- current, Brain Research Bulletin, Vol. 80, No. 3, pp. 107-105 (2009).
- 3) Aoyama K, Sakurai K, Sakurai S, Mizukami M, Maeda T and Ando H Galvanic Tongue Stimulation Inhibits Five Basic Tastes Induced by Aqueous Electrolyte Solutions. Front. Psychol. 8:2112 (2017).
- 4) Homei Miyashita. Norimaki Synthesizer: Taste Display Using Ion Electrophoresis in Five Gels. In Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems CHI EA '20, pp.1-6, (2020).
- 5) Homei Miyashita. Taste Display that Reproduces Tastes Measured by a Taste Sensor. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology UIST '20, pp.1085-1093 (2020).
- 6) 宮下芳明. 画面に映っている食品の味を再現して味わえる味ディスプレイの開発, 第 28 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 '20 論文集, pp.103-108 (2017).
- 7) Hyemin Chung, Chia-Hsun Jackie Lee, Ted Selker. Lover's cups: drinking interfaces as new communication channels. In the Extended Abstracts of CHI '06, pp.375-380 (2006).
- 8) 中村裕美, 宮下芳明. 電気味覚を活用した飲食コミュニケーションの可能性, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2011-HCI-142, Issue.11, pp.1-7 (2011).
- 9) Nimesha Ranasinghe, Pravara Jain, Shienny Karwita, Ellen Yi-Luen Do Virtual Lemonade:Let'sTeleport Your Lemonade! TEI '17: Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, pp.183-190 (2017).