



# 液面境界刺激による水中感覚の再現

Reproduction of the sensation in water by surface boundary stimulation

日浦宏哉<sup>1)</sup>, 鈴木颯<sup>1)</sup>, 中島允<sup>1)</sup>, 藤原正浩<sup>1)</sup>, 牧野泰才<sup>1)</sup>, 篠田裕之<sup>1)</sup>

Koya HIURA, Shun SUZUKI, Mitsuru NAKAJIMA,

Masahiro FUJIWARA, Yasutoshi MAKINO, and Hiroyuki SHINODA

1) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒277-0033 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, hiura@hapis.u-tokyo.ac.jp)

**概要**: 本研究では VR 空間において手を水に浸した際の感覚を, 水と大気との境界のみを刺激することによって再現する手法を提案する. 液面に手を浸すと, 水と大気との境界をはっきりと触覚として感じる液面知覚が起こる. 空中超音波フェーズドアレイで空間中に集束ビームを生成することによりこの液面知覚を再現する. 提案手法と実際に水に手を浸した際の類似性を被験者実験により検証する.

**キーワード**: 空中触覚, 液面知覚

## 1. はじめに

VR において, よりリアリティのある表現を行うために, 視覚聴覚に加えて触覚刺激を与える研究が多く行われてきた[1]. 本研究では特に, 水中に手を挿入した時の感覚の再現を試みる.

手を水中に挿入すると, ヒトは水圧や冷感などを感じる. 加えて, 手を動かした時には抵抗力を感じる. このように, 水中に入る感覚は多様な感覚が作用する複合的な感覚であり, これらの感覚すべてを再現することは難しい.

そこで本研究では, 大気と水との境界のみに触覚提示を行う液面境界提示に着目する. 実際の水に手を入れた時, ヒトは水と大気との境界を触覚として明確に知覚できる[2][3]. この液面を感じるメカニズムには不明な点が多いが, 我々は水中に入る際の感覚の中でも, この液面知覚が特に支配的なのではないかと考えた. この液面知覚だけを再現するには, 前述のようなすべての感覚を再現する必要はなく, 境界部分にのみ振動刺激や冷覚などの少数のモダリティを提示すれば十分であると考え.

我々は, 空間中に空中触覚刺激面を生成することでこの液面知覚の再現を試みる. VR 空間における液面に対応する位置に触覚刺激面を生成しておくことで, ユーザの手の位置をフィードバックすることなく境界を刺激できる. また, 空中触覚刺激を用いることで, 装置の装着も不要になる.

本研究では, 空中超音波触覚ディスプレイ (Airborne Ultrasound Tactile Display: AUTD) を用いて上記の刺激面を生成するプロトタイプシステムを作成し, 主観評価実験によって評価を行う. また, ミストも使用して, 冷覚も同時に与えた場合の効果も調査する.

## 2. 提案手法

本研究では AUTD により, 空中触覚を提示する. AUTD は位相と振幅を個別に制御できる超音波振動子を並べたフェーズドアレイである. 振動子の位相と振幅を制御することで, 空間中の任意の点に触覚刺激点を生成することができる. AUTD は時間応答性に優れており, この刺激点の位置を最高 1kHz 程度の周波数で更新できる[4].

まず, 触覚刺激面の提示方法について述べる. 本実験では, ユーザの手の表面と刺激面との交線に沿って超音波焦点を移動させる事によって, 触覚刺激面をユーザに知覚させる (図 1). このような移動刺激により, 強い振動触覚刺激を提示することができる[5].

さらに, 本研究では, ミストを用いた冷覚提示も行う. ミストが充満する空間で皮膚に集束超音波を当てることにより, 非常に局所的な冷覚を提示できる[6]. これにより, 境界面に対して, 振動覚に加えて冷覚も提示することができる.

本研究で用いるプロトタイプシステムの外観図を図 2 示す. プロトタイプでは, 4 台の AUTD を用意しそれぞれ 2 台ずつ手を挟むように設置した. また, 液面の映像をヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) により提示する.

## 3. 実験

### 3.1 手順

被験者には HMD (Oculus Rift, Facebook Technologies, LLC) を装着した状態で装置の横に立ってもらおう (図 3). HMD には液面の映像のみが映されている. 次に, 実験者が被験者の手を触覚刺激面の上に誘導し, 被験者には垂直に腕を下ろしてもらおう. 刺激面は手の両面に 5cm の直線

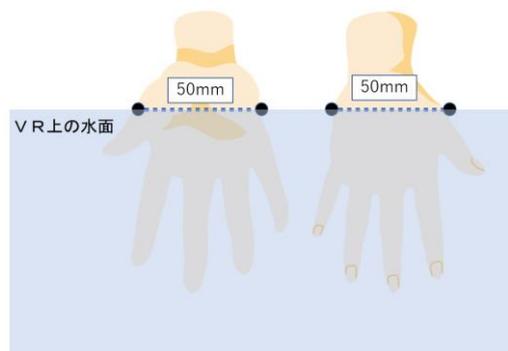


図 1 : 提示する振動触覚の軌道

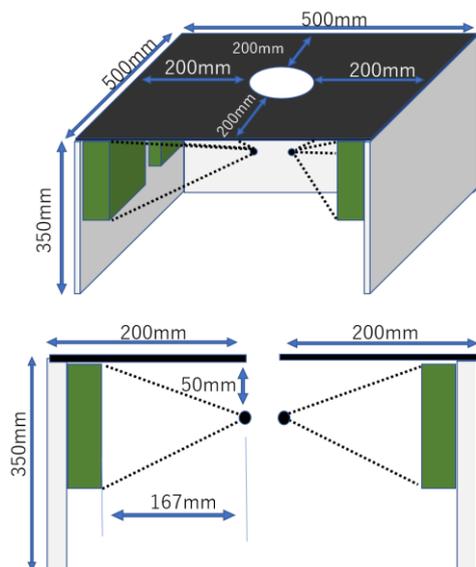


図 2 : 実験システムの概要

を 50Hz で提示することによって生成した。なお、本来であれば、ユーザの手の位置や大きさなどに応じて、適応的に刺激位置を調整するべきである。しかし、今回は簡単のため全ての被験者に対して刺激の提示方法は固定とした。

本実験では、刺激なし、実際に水に手を入れる、振動覚提示、振動覚提示とミストによる冷覚提示の 4 つのパターンで実験を行った。最初に刺激なしと水に手を入れる場合を体感してもらい、これらを評価基準としてもらう。その後に振動覚あり、および、振動覚と冷覚ありの 2 つのパターンを評価してもらった。

今回は評価方法としてリッカート尺度を採用した。手に刺激がない時を「0」とし、実際に水に手を入れた時の感覚を「10」とした 11 段階で主観評価してもらった。

実験には健康な男性 5 名が参加した。平均年齢は 24 歳であった。なお、5 名とも AUTD による空中触覚刺激に対して経験がある。

### 3.2 結果

各被験者のアンケート結果を表 1 に示す。 $t$  検定の結果、全ての刺激パターンに対する被験者の主観評価値の平均において互いに有意差が認められた。

また、被験者の感想としては「何かに手を入れる感覚が



図 3 : 実験の様子

表 1 各被験者の評価結果

	刺激なし	振動覚	振動覚及び冷覚	実際の水の感覚
被験者 A	0	5	6	10
被験者 B	0	3	4	10
被験者 C	0	3	4	10
被験者 D	0	7	8	10
被験者 E	0	2	2	10

あった」や「ミストによって冷たい感じがあった」、という感想があった一方、「水の圧迫感や抵抗感がなく、水の感覚には遠い」、「ミストがあっても冷たさを感じない」といった感想もあった。

## 4. 考察

刺激なしと振動覚、または、加えて冷覚ありの場合では有意差がみられた。従って、VR において、提案手法により、多少水中に手を挿入した感覚を再現できていると考えられる。

ただし、振動覚、または、加えて冷覚ありの場合と実際の水の感覚にも有意差があり、実際の水の感覚を提示できているとは言えない。被験者の感想にあったように、水中の圧力や抵抗感が感じられないことが原因だと思われる。

また、振動覚ありと振動覚及び冷覚ありの場合に関しても有意差が得られたものの、大きな差は表れなかった。これははっきりとした冷覚を提示できていなかったことが原因であると考えられる。被験者の感想にあったように、冷覚を感じたとする被験者がいた一方、感じなかったとする被験者もいた。この原因として、本研究では焦点を高速に動かしていたことが考えられる。これは、ミストと

固定焦点により冷覚を提示できると主張する論文[7]とは異なる状況である。そのため冷覚が十分に提示できていなかった可能性がある。

## 5. おわりに

本稿では、VR空間において手を水に浸した際の感覚を、水と大気との境界のみを刺激することによって再現する手法を提案した。提示システムを試作して、被験者実験を行い、実際の水の感覚と液面部分だけ刺激した場合を比較する主観評価実験を行った。その結果、液面に模した触覚を与えることで、液面の刺激のみで、水に入る感覚を多少表現できる可能性が示唆された。しかし、本論文で提案した方法では、実際の水の感覚に近い感覚を再現するにはまだ遠いと考える。

今後は、今回得られた知見をもとに、よりリアルな水中に手を挿入した時の感覚の再現に取り組みたい。

また、今回の実験においてはリッカート尺度を用いて評価してもらったが、その評価点の間隔は明確な基準がなく、被験者の主観に強く依存している。したがって、被験者が明確に評価できるような定量評価の方法を構築することも今後の課題である。加えて、被験者の視覚情報としてVR映像を用いた。今回は水面の映像のみを見せたがVR空間における被験者の腕の映像も追加することでより没入感の増加につなげたい。さらに、焦点を高速移動させたときの冷覚提示の評価、および、より鮮明な冷覚提示方法の調査も行いたい。

**謝辞** 本研究は JST CREST JPMJCR18A2 および 科研費 16H06303 の助成を受けている。

## 参考文献

- [1] B. Gleeson, S. Horschel, and W. Provancher, "Design of a fingertip-mounted iactile display with iangential skin displacement feedback," *IEEE Trans. Haptics*, vol. 3, no. 4, pp. 297–301, 2010, doi: 10.1109/TOH.2010.8.
- [2] 三宅潤也, 佐藤未知, 橋本悠希, 梶本裕之, "液面知覚に関する研究" 第14回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2009年9月)
- [3] Grong von Bekesy, 勝木保次 訳: 感覚と抑制, pp.97.98, 医学書院, 1969
- [4] S. Inoue, Y. Makino, and H. Shinoda, "Scalable Architecture for Airborne Ultrasound Tactile Display," in *Haptic Interaction*, 2018, pp. 99–103.
- [5] R. Takahashi, S. Mizutani, K. Hasegawa, M. Fujiwara, and H. Shinoda, "Circular Lateral Modulation in Airborne Ultrasound Tactile Display," in *Haptic Interaction*, 2019, pp. 92–94.
- [6] 中島 允, 長谷川 圭介, 牧野 泰才, 篠田 裕之, "収束焦点を用いた遠隔冷覚提示," ロボティクス・メカトロニクス講演会2020論文集, No20-2,