

液体状の粘性媒質を利用した流水スクリーンによる ホログラフィック像投影システムの検討

A Study of the Holographic Image Projection System Employed Water Flow Screen
Equipped with Liquid Viscous Medium

高野 邦彦¹⁾, 安齋 純平²⁾, 松本 薫宗¹⁾, 若林 良二¹⁾, 高崎 和之¹⁾, 佐藤 甲癸³⁾, 浅井紀久夫⁴⁾

Kunihiko Takano¹⁾, Jyunpei Anzai²⁾, Yukimune Matsumoto¹⁾, Ryoji Wakabayashi¹⁾,
Kazuyuki Takasaki¹⁾, Koki Sato³⁾, Kikuo Asai⁴⁾

Abstract : Stable electro-holography which can be projected in the space freely seems to be expected. We have studied several projecting methods adopting water-flow screen made of liquid form of the water particles mixed with the small ones of impurities to present holographic 3D images. In this paper, as an improved technique to produce more stable reconstructed images, we proposed a holographic 3D display system employed water-fall screen equipped with liquid viscous medium. It suggests that by introducing our method, a more stable waterfall screen is possible than before, and it may reduce the fluctuations in the projected images more effectively.

Keywords : Electro-holography, Projection into the space, Liquid viscous medium, Digital micro-mirror device, Computer generated hologram

1. 緒言

全方向視差を有した立体像を空間に表示できるホログラフィ[1-12]は将来の3D-TV開発に向けた技術として大きく期待されている。ホログラフィ立体像を空間投影するための方法としては、ホログラフィック記録媒体を用いた方法[1]、ミストを噴霧した空間[5]、微粒子を混入した水を循環させて生成した人工滝[6-9]、不純物を混入させた液体を水槽に入れたもの[10]、不純物を混入させた寒天[11]やアガロースジェル[12]をスクリーンとする方法など様々な試みが報告されており、良好な投影像を得られている。その中でも流水による人工滝を利用した方法は、混入させる不純物の粒子径や濃度を適切に調整することによって、スクリーンの存在が気にならず、文献[5]と同様に高いコントラストで像観察が可能であることから、ホログラム再生の方法として極めて有効であると考えられる[8,9]。一方で、流動する人工滝を利用することから、人工滝に混入させる不純物の選定は極めて重要であり、像コントラストやスクリーンの安定度に対して大きな影響を及ぼすことが確認されている。このことから投影像の安定化には改善の余地が残されていると考えられる。そこで、本稿では投影像の安定化に向けた検討として、スクリーンに粘性[13,14]を持たせる方法に着目した。従来法[9]では増粘剤と微粒子(散乱体の役割を持つ不純物)を併用していたため、その混入量の割合など細かい調整が必要であった。それに対して本手

法では循環する水に粘性媒質と微粒子の役割を併せ持つ液体を混入させることでスクリーンを構成している。これにより、混入させる液体量の調整のみでスクリーンの安定性の改善が可能となり、実験システムの考え方が単純化されている。この考え方に基づき、水溶性と不溶性の媒質を用いた場合に、どちらの場合がスクリーンとして適しているかを検討した。その結果、水溶性の媒質を使用することが再生像を良好ならしめる条件であることが明らかになった。

2. ホログラム再生システム

2.1 システムの全体構成

本稿で構成したシステムの基本構成を図1に示す。本システムはHe-Neレーザ、レンズ、DMD(Digital Micro-mirror Device)パネル、2.2で述べる流水による人工滝スクリーン、制御用PCから構成されている。人工滝に混入させる粘性媒質については、2.3で述べる。本システムではHe-Neレーザから射出された光をレンズで広げ、DMDパネルに照射する。このとき、DMDパネルには計算機合成ホログラムを表示してホログラム面を構成しておく。ホログラム面(DMDパネル)から反射された波面群をスクリーンに投影することで再生像を空間に形成している。このようにして得られた投影像を、0次透過光を視界から外すようにして観察している。なお、本システムで使用したDMDパネルは表1に示す仕様をもつTI社製のDMD Discovery Kit 4100である。

1)東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 情報通信工学コース 2)同専攻科 創造工学専攻 電気電子工学コース
3)東海大学, 4)放送大学

表1 DMDパネルの仕様

パネルサイズ	0.7in (XGA)
リフレッシュレート	360Hz (素子単体) 100Hz (ボード全体)
ミラーチルト角	±12°
コントラスト	420:1
画素数	786, 432 (V1024×H768)
画素ピッチ	13.6 μm×13.6 μm
画素サイズ	12 μm×12 μm

2.2 液体による人工滝スクリーンの考え方

研究者らは空間投影法で用いる立体スクリーンとしては、大きな再生像が広い視域で観察できるという理由から、直径が2~3 μm程度の水粒子（ミスト）を噴霧した空間を利用してきた。しかし、スクリーンを構成する水粒子は軽量であるため、スクリーン付近を観察者が移動する、微風が発生する等により周囲の気流が乱れ、結果的に再生像に揺らぎが発生するという特性があった。そこで、本稿では上述の特性を解決する一手法として、循環する液体により構成した人工滝に立体像を投影する方法を採用している。

本稿で構成したスクリーンシステムの全体構成およびノズル部の構造は従来法[8, 9]と同様に構成しているが、実験条件を明らかにする目的で述べる。本システムは図1の構成としている。なお、同図(a)が全体構成、(b)および(c)が実際の流水の方向を示している。なお(b)を★印方向から眺めた様子が同図(c)となっている。本システムでは①~⑤の点に注意してスクリーンを構成している。

①粘性媒質を含む液体の循環：

本手法では循環用に汲み取りポンプを使用している。流出口から水槽内に流れ落ちた液体を水槽内で受けとめ、ポンプにより上溜りに組み上げ、再び流出口から流れ落とすことで、液体を図1(a)のシステム内で完結させるように循環させている。また、液体中の粘性媒質の濃度を一定に保つために水槽内にもポンプを設置して、水槽内でも液体を循環させている。これにより粘性媒質がポンプ等に詰まることなく、長時間にわたり安定した状態でスクリーンを構成することができる。

②表面張力によるスクリーンの変形：

本スクリーンにおいては、投影像の表示範囲を満たすサイズの流出口が必要となる。しかし、水壁は表面張力により、図1(b)に示すように、中央に寄って変形してしまうため、これを考慮した流出口を構成する必要がある。本稿で構成したシステムでは、40mm×40mmの像を再生することを想定した設計となっている。そのため像全体を投影するために、195mm×2mmのスリットを流出口としてスクリーン装置を構成した。

③流出口に向かう水流の調整

水壁をスクリーンとして機能させるためには、前後に偏ることなく、鉛直下向きに様に流れ落ちることが望ましい。構成した装置において、流出口は195mm×2mmの細長い形状であり、流出口の形に合わせて液体が流れ落ちる構造となっている。さらに、同図(c)に示すように水しぶきによるスクリーンの乱れを防ぐために、装置背面に取り付けた板から水が伝い落ちる構造としている。

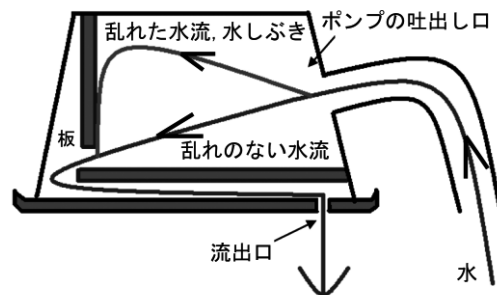
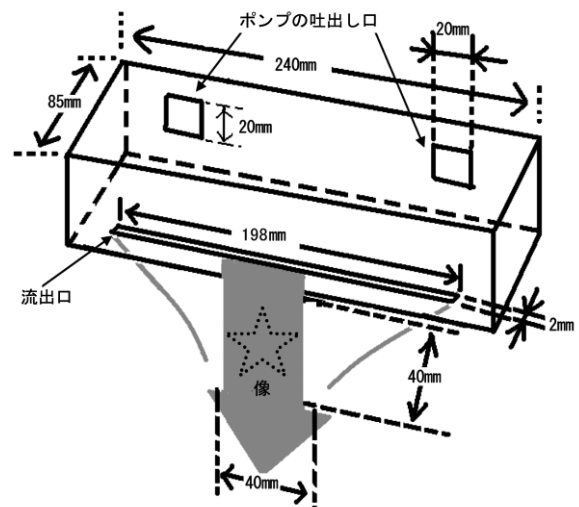
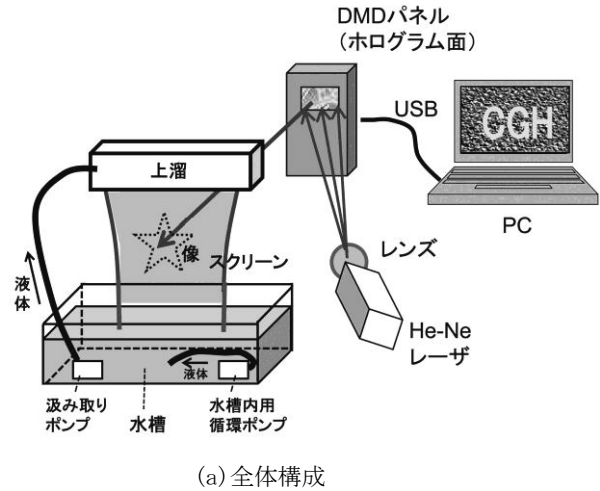


図1 流水による人工滝スクリーンの構成

2. 3 本手法で用いた粘性媒質について

本稿では、常温の水道水に表 2 に示す粘性媒質を混入させた上で、混合液を循環させて人工滝を形成させている。表 2 に本稿で使用した粘性媒質の条件を示す。ここで、水溶性と不溶性の媒質について比較するは、水溶性と不溶性のうち、どちらの場合がスクリーンとして適しているかを確認するためである。ここでは液体中の媒質濃度に対するスクリーンの安定性ならびに再生像へ与える影響を確認した。

表 2 人工滝に混入させた粘性媒質

	水溶性 (糊)	不溶性 (油)	
		植物性	菜種油
使用した媒質	・酢酸ビニール系ポリマー洗濯糊	・植物性	・菜種油
		・鉱物性	・シリコンオイル
	・ポリビニールアルコール (PVA) 洗濯糊	・動物性	・バター ・牛脂

3. 結果及び検討

本研究では粘性媒質を循環する水に加えて混合液の粘性係数を増加させ、人工滝の流動性を抑えることでスクリーンの安定化を図っている。また、2.2 で述べたように液体を循環させることで、液体中の粘性物質の濃度を一定に保つようにしている [6-9]。ここでは不溶性の媒質 (油) [15-17] や水溶性の媒質 (糊) [18, 19] を粘性媒質として用い、図 2 で述べたシステムにより像再生を行った結果を述べる。なお、本稿では提案手法がスクリーンとして使用できるかどうかを確認することを目的としているため、図 3 に示す平面図形“☆”により構成した計算機合成ホログラムパターンを用いて像再生を行っている。

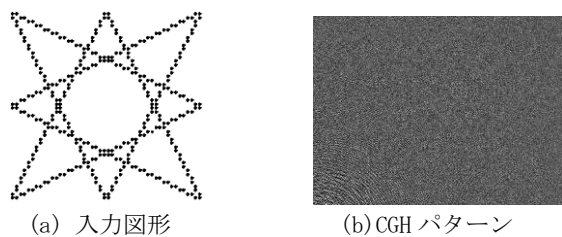


図 3 評価に用いた入力図形と CGH パターン

3.1 不溶性の粘性媒質を用いた場合の投影像特性

3.1.1 粘性媒質濃度に対する像特性の比較

ここでは、粘性媒質として植物性油を用いた場合の媒質濃度に対する再生像特性の変化について述べる。本節で用いた油を混入させた液体の粘度は 3.5~3.9 程度である。菜種油のみの場合、ならびに菜種油を不純物として用いた場合において、顕著な違いが認められた再生結果の一例を図 4 に示す。なお、これは暗室条件で得られたものである。

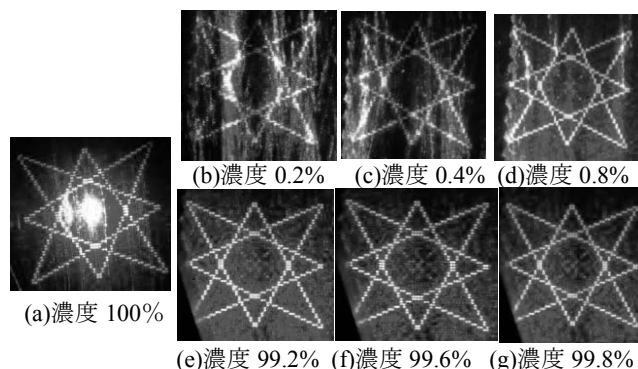


図 4 菜種油を用いた場合の暗室条件での再生結果

これを見ると、以下の傾向が確認できる。

- ・濃度 100%, すなわち油のみの場合は、水しぶきの影響等殆どなく、安定して輝度が高い像が得られる一方で、0 次透過光の影響が顕著である。
- ・水に対する油の濃度が低い場合には、背景に対する像の輝度は高いが、水しぶきやスクリーンの割れ目による画質劣化が顕著になる。
- ・水に対する油の濃度が高い場合には、像輝度が高く、水しぶきが無視可能となる一方で、背景ノイズも目立つようになるため、像コントラストは低下する傾向になる。なお、油濃度 0.8% 以上になると、背景ノイズ両の量はほぼ横ばいの傾向になることも確認できる。

これより、油濃度を高めた方がスクリーンとしては安定性が向上することがわかった。なお、スクリーンの割れ目や水しぶきの頻度を比較した結果については次節で述べる。さらに比較実験として自然光条件で再生した結果を図 5 に示す。

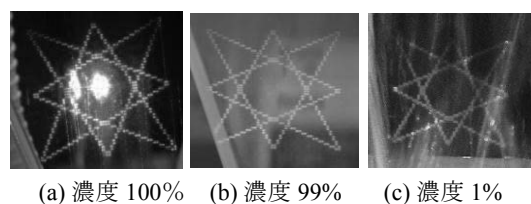
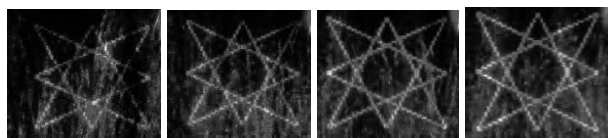


図 5 菜種油を用いた場合の自然光条件での再生結果

これを見ると、油のみの場合は背景ノイズがやや軽減した状態で観察できることがわかる。また、油を水に対する不純物として用いた場合には、図 4 の場合と同様に 0 次透過光の影響が軽減されていることが確認できる。なお、濃度が高くなった場合の背景ノイズは目立たなくなることもわかる。本実験の結果から、油のみの場合が最も高い安定性を持つ像表示ができたが、一方で粘性係数が大きくなることから汲み上げポンプが異常加熱する挙動も確認され、長時間の表示には不向きであることもわかった。

3.1.2 使用する油の種類の違いによる像特性の比較

前節では粘性媒質として植物性油を使用した場合の濃度と再生像特性の関係について述べた。ここでは、使用する油の種類の違いによる再生像の特性比較を行う。ここでは鉱物性油としてシリコーンオイルを、動物性脂としてバターと牛脂を使用した場合について確認実験を行った。油濃度が高い場合には、3.1.1と同様にポンプへの負荷が大きくなったため、ここでは水に対して微量の油を混入させた場合について比較実験を行っている。暗室条件で得られた再生像のうち、顕著な傾向差が認められた結果を図6,7に示す。なお、濃度をさらに高めた場合に1%の場合の表示像と大きな傾向差は認められなかった。



(a)濃度 0.2% (b)濃度 0.4% (c)濃度 0.8% (d)濃度 1%
図6 鉱物性のシリコーンオイルを用いた場合の再生像

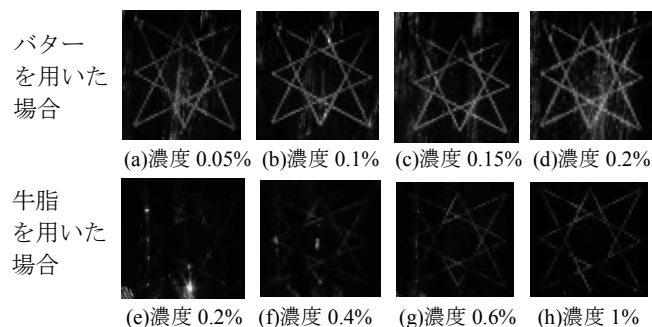


図6 動物性油を用いた場合の暗室条件での再生像

図6,7を見ると、以下の傾向があることが分かる。

- ・ 鉱物性のシリコーンオイルを用いた場合には、すべての濃度の場合において、植物性の菜種油を用いた場合と比べ、水しぶきの影響が軽減される。
- ・ 動物性油を用いた場合には、植物性や鉱物性の油の場合に比べて像輝度はやや低下するが、背景ノイズは大幅に軽減される。また、液体中で固まりやすい牛脂を用いた場合は、バターを用いた場合よりも高い濃度にしなないと像観察が困難となる。これは、常温下で動物性脂が固まりやすく、微粒子としての振る舞いをしたためと考えられる。さらに全体的に像輝度も低いが、背景ノイズが少ないことからコントラストは高くなる傾向となる。

3.1.3 スクリーンの割れ目の影響について

流水による人工滝を利用したスクリーンを構成する場合には、滝が割れることでスクリーンが左右に分離する現象が現れることが考えられる。特に粘性を有する媒質を利用した場合にはその影響が顕著になるため、その対策が重要な意味をもつと考えられる。図8は滝に顕著な割れ目を発生させた場合のスクリーン形状と投影像への影響(一例)を示している。その際の影響が分かりやすいようにスクリー

ン上に像を投影させたものを用いている。なお、図8に比べて割れ方の度合いが十分に小さいものは水しぶき[6-9]のように観察されている。

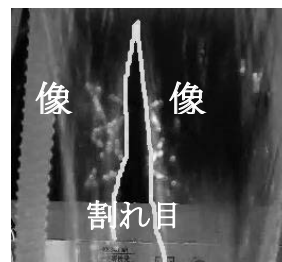


図8 スクリーンが左右に割れた場合の投影像(一例)

そこで、各油を使用した場合に、水しぶきや割れ目の発生頻度がどの程度になるかを計測した。その結果を表3に示す。これは1秒間あたりのしぶきや割れ目の発生頻度を示しており、無作為に10回実施した10秒間発生回数の平均値から算出している。

表3 スクリーン上に発生した水しぶきと割れ目の頻度

使用した媒質	1秒当たりの平均発生回数
粘性媒質なし(水)	3.2
少量の菜種油(植物性油)	12.2
少量のシリコーンオイル(鉱物性)	11.0
少量のバター(動物性)	11.8
少量の牛脂(動物性)	6.4

これを見ると水しぶきの発生頻度は水のみの場合に比べて高くなることが分かる。これは油が水を弾く特性があるためと考えられる。また、使用する油の種類による大きな傾向差はないが、常温下で固まりやすい牛脂の場合が水しぶきを軽減させる意味では有効であると考えられる。

3.2 水溶性糊を不純物に用いた場合の投影像特性

前節では不溶性の媒質を用いた場合の像特性について述べた。ここでは、微量の水溶性糊を水道水に混入させてスクリーンを構成した場合の像特性を調べた結果を述べる。なお、混合液の粘度は3.1の場合とほぼ同程度となっている。水溶性糊として酢酸ビニール系ポリマー洗濯糊、ポリビニールアルコール(PVA)洗濯糊を用いた場合において、顕著な違いが認められた再生結果の一例を図9に示す。なお、これは暗室条件で撮像したものである。

これを見ると、水溶性糊を用いた場合には、油の場合に比べ、背景ノイズが大幅に軽減されておりコントラストの高い像が投影できていることがわかる。この理由としては、水溶性糊の場合には、油が持つ水を弾く性質がないため液体の流れが安定し、水しぶきやスクリーンの割れ目の影響が抑えられたことが考えられる。確認の意味で、3.1.3と同

様に水しぶきや割れ目の発生頻度の計測を行ったところ表4の結果が得られた。

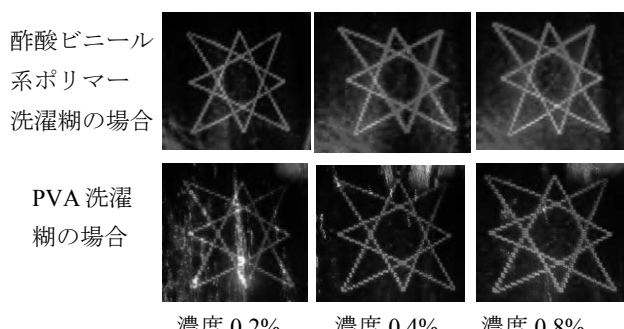


図9 水溶性糊を用いた場合の暗室条件での再生結果

表4 スクリーン上に発生した水しぶきと割れ目の頻度

使用した媒質	1秒当たりの平均発生回数
酢酸ビニール系ポリマー洗濯糊	9.3
ポリビニールアルコール(PVA)洗濯糊	0.00

表4より、ポリビニールアルコール(PVA)洗濯糊を粘性媒質として用いた場合にはスクリーンが安定することが分かる。この結果は従来法[9]と同程度の安定性を簡便な方法で確保しており、スクリーンを構成する上で有効であると考えられる。さらに液体に混入させる媒質の濃度に対しては、やや背景ノイズの影響に変化は認められるが、概ね良好な像が得られていると判断できる。さらに自然光条件下においても、図10に示すように良好な像が得られることがわかった。



図10 水溶性糊を用いた場合の自然光条件での再生例

さらに、不溶性の油を使用した場合と異なりポンプへかかる負荷も小さく、ポンプ等の異常過熱も認められず長時間にわたる安定表示も可能となることも確認された。

4. 結言

本稿では流水による人工滝スクリーンを利用したホログラフィック像投影法において、表示像を安定化させるための一つの方法について検討した結果を報告した。スクリーンを構成する流水に粘性媒質と微粒子の役割を併せ持つ液体を混入させることで、スクリーンを構成する人工滝の安定性が改善される条件があることがわかった。また、混入さ

せる液体には、不溶性液体(油)よりも水溶性液体(糊)の方が適していることも確認された。スクリーンの安定性に対する評価方法については更なる検討が必要となるが、これは今後の課題としたい。この研究を遂行するにあたり、文部科学省科学研究費補助金(課題番号 25280126)の補助をいただきました。

参考文献

- [1] 堀越力, 笹浦正弘, 今井欽之ほか, "時分割表示方式によるホログラフィック記録媒体を利用した立体テレビ", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.23, No.51, pp.19-24 (1999).
- [2] 岡田勝行, 小坂橋朋子, 山口貴史ほか, "投影型ホログラムによる立体動画像", 画像電子学会誌, Vol.24, No.5, pp.583-588 (1995).
- [3] N. Fukaya, K. Maeno, K. Sato, T. Honda, "Improved electroholographic display using liquid crystal devices to shorten the viewing distance with both-eye observation", Optical Engineering, Vol.35, No.6, pp.1545-1549 (1996).
- [4] 澤浩行, 山口健, 吉川浩, "実像再生型半円筒計算機合成ホログラムの作製2~再生像の拡大~", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.14, pp.81-84 (2011).
- [5] 高野邦彦, 佐藤甲癸, 大木真琴, "微粒子による散乱を用いたホログラフィ用立体スクリーンの提案", 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.4, pp.476-482 (2003).
- [6] 元島一樹, 矢口智也, 菊本誠也ほか, "流水を用いたホログラフィ立体像再生システムの検討", 2012年電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会講演論文集, pp.24 (2012).
- [7] 高野邦彦, 元島一樹, 矢口智也ほか, "流水スクリーンを用いたホログラフィ立体像再生法の検討", 画像電子学会誌, Vol.42, No.1, pp.64-70 (2013).
- [8] K. Takano, K. Miyama, K. Hamano, et. al, "On some improvement of the waterfall screen for the stable projection of holographic images", IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol.2, No.1, pp.48-58 (2014).
- [9] 高野邦彦, 松本薫宗, 安齋純平ほか, "粘性媒質を利用した人工滝によるホログラフィ立体像投影システムの検討", 画像電子学会誌, Vol.44 No.1, pp.9-15 (2015).
- [10] 妹尾孝憲, 大友明, 山本健詞ほか, "電子ホログラフィ映像の拡大投影の検討—像サイズと視域の拡大に向けて", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.36, No.12, pp.29-32 (2012).
- [11] 南典宏, 高野邦彦, 金子傑周ほか, "ホログラフィ立体テレビにおける投影型立体スクリーンの検討", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.25, No.27, pp.3-6 (2001).

- [12] M. Huebschman, B. Munjuluri, H. Garner, "Dynamic holographic 3-D image projection", *Optics Express*, Vol. 11, Issue 5, pp. 437-445 (2003).
- [13] 藤本武助著, "流体力学第2次改著", 養賢堂, p. 16 (1988).
- [14] 海孝夫著, "図解 初めて学ぶ流体の力学", 日刊工業新聞社, pp. 8-10 (2010).
- [15] 日本水産(株)編, "おいしさを科学する 油脂", PR誌「GLOBAL」, 42 (2000).
- [16] 五十嵐脩, "最近の食用油:脂肪酸の生理作用から見直す(生活の中の化学)", *化学と教育*, 45, 2, pp. 83-85, (1997).
- [17] 荒川史博, 小園正樹, 石黒智子ほか, "食肉中のトランス脂肪酸含量の網羅的調査", *日本食品化学学会誌*, 21, 1, pp. 1-7 (2014).
- [18] 谷口英嗣, 町田嗣樹, 齋藤洋輔, "地学現象の再現実験:洗濯糊(Polyvinyl alcohol :PVA)スライムを用いた粘弾性流体の再現", *城西大学研究年報・自然科学編* (35), pp. 13-22 (2012).
- [19] 山本進一, "市販の合成洗濯糊を用いた実験(〈特集〉ひと味違うおもしろ実験:つくってみよう身近なものから先端材料まで)", *化学と教育*, 40, 12 (1992).