

機能性高分子を用いた嗅覚ディスプレイの開発 およびビデオへの応用

金 東 焯^{†1} 三 浦 元 喜^{†1} 李 東 祐^{†2}
柳 在 官^{†3} 西 本 一 志^{†4}
川 上 雄 資^{†2} 國 藤 進^{†1}

本研究では、従来の嗅覚ディスプレイ研究が物理感覚である視聴覚のように物理的な放出制御に依存していることを問題点として取り上げ、化学的な放出制御として機能性高分子に着目し、香料の放出制御を行った。特に、機能性高分子の中でも、温度刺激によりゾル・ゲルの可逆変換作用をする温度敏感性ハイドロゲルを用い香料の放出制御を試みた。分子の運動がゾル状のときに活発化し、ゲル状では抑制されるという原理に基づいて香料放出量の計測を行った結果、ゾル状よりゲル状での放出量が抑制されることを確かめた。また、ペルチェ素子により芳香を提示するときには加熱作用を、芳香を停止するときには冷却作用を行う嗅覚ディスプレイを構築し、人による香り強度の官能評価を行った。評価実験の結果、温度敏感性ハイドロゲルによる放出制御の有用性と、ビデオへの応用における一定の効果を確認した。

Developing an Olfactory Display Using Functional High-polymers Application for Video

DONG WOOK KIM,^{†1} MOTOKI MIURA,^{†1} DONG WOO LEE,^{†2}
JAE-KWAN RYU,^{†3} KAZUSHI NISHIMOTO,^{†4} YUSUKE KAWAKAMI^{†2}
and SUSUMU KUNIFUJI^{†1}

Physical implementation of controlled release, as in traditional audiovisual entities, is the prime hindrance in the development of olfactory display. Therefore, attention was focused on the use of functional high-polymers for the controlled release of aromatic fragrances. Among functional high-polymers, temperature sensitive hydrogels were used in an attempt to control the release of aromatic fragrances, because the temperature stimuli for sensitive hydrogels can easily cause a reversible conversion action between sol and gel. Aromatic molecules become active in sol form, and are restrained when they are in gel form. Based on this principle, the measured quantity of aromatic fragrance emission indicated that the emission from gel was more controllable than that from a sol. In addition, sensory evaluation of aroma intensity was performed among individuals using a Peltier-module with embedded olfactory display. Efficiency was evaluated by heating the module to emit the aroma and by cooling the module to stop the emission of aroma. As a result of evaluation, it was verified that hydrogels respond well and are effective for controlled release. Effective timed release was also demonstrated when used in conjunction with video display.

†1 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科
School of Knowledge Science, Japan Advance Institute
of Science and Technology
†2 北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科
School of Materials Science, Japan Advance Institute
of Science and Technology
†3 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advance Institute
of Science and Technology
†4 北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育センター
Center of Knowledge Science, Japan Advance Institute
of Science and Technology

1. はじめに

人間は、外界からの情報を、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚などのいわゆる「五感」を通じて獲得し、生活を営んでいる。ゆえに、より高い臨場感を得られる情報通信技術の実現に向けて、五感情報通信技術の研究開発が近年急速に推進されている。特に、これまでもっぱら用いられてきた視覚・聴覚に加え、その他の感覚を検知・伝達・再生する技術が強く求められている¹⁾。このうち、触覚に関する研究開発は比較的進

展しつつあるが、嗅覚と味覚に関しては、まだ研究が端緒にすぎたばかりの段階である。嗅覚と味覚は、いずれも化学変化を受容器が検知し、これを電気信号に変換して脳に伝えることにより感じられる感覚である。長期的には、受容器、あるいはそこにつながる神経や脳の対応する部位を直接電気的に刺激することによる感覚の提示方法が考えられている¹⁾。しかしながら、現段階ではまだこれらの受容器の仕組みは十分に解明されていないため、これらの感覚を提示するには、今のところ化学変化によって感覚受容器を刺激するより手段がない。

我々は、これらの化学変化を受容する感覚のうち、嗅覚を対象とし、嗅覚情報の簡便かつ実用的な提示装置について研究開発を進めている。視覚の場合、3原色を適宜配合することにより、あらゆる色を提示可能である。ところが、嗅覚の場合、3原色に対応するような「原臭」が存在するかどうかは不明である*1。このため、あらゆる香りを提示可能な汎用的嗅覚ディスプレイを構築するためには、現段階ではあらゆる香りの香料を用意するか、それらを適宜化学合成可能としなければならない。このような装置は、どうしても非常に大規模かつ高価格なものとなり、実用化がきわめて困難である。ゆえに、嗅覚ディスプレイを、現状の視聴覚ディスプレイと同様に家庭などにも広く普及させるためには、現状では汎用性を犠牲にする以外に手段はないと考えられる。

汎用性を犠牲にした場合、再生されるコンテンツに応じて香料を交換することが必要となる。あるコンテンツの中で必要とされる香りは有限であり、たとえば通常の1時間程度のテレビ番組などを想定した場合、一般にそれほど多くの種類は必要ないと考えられる。そこで、液体香料あるいは液体香料を湿らせたスポンジ、ゼリー、多孔質材料(ペントナイト、ゼオライト、ケイ酸カルシウム)などを封入したカートリッジを用意し、再生するコンテンツに応じて必要なカートリッジを芳香発生装置に装着する手段が考案されている。現在開発されている嗅覚ディスプレイの多くはこの方式をとっている。この方式では、単純にいえば、芳香発生時には所定のカートリッジの蓋を開放して香料を発散させ、芳香停止時には蓋を閉じて香料の発散を停止させることにより、芳香の発生を制御する。しかしながらこの方式では、多様なコンテンツに対応するためには、結局あらゆる種類の香料のカートリッジを用意しておく必要が生じてしまうため、汎用性の問題を解

決できていない。また、一般に液体として提供されるカートリッジの管理が面倒であり、コンテンツの切替えごとに個々のカートリッジを着脱しなければならないことも煩雑である。以上の理由により、カートリッジ方式は一般家庭に普及させる手段として適切とはいえない。そこで、より簡便な香料の提供手段として、香料をマイクロカプセルに封入し、スラリー(Slurry)状にしたものをカードに印刷したものが考案されている。この方式では、あるコンテンツの再生に必要な種類の香料を1枚のカード上に印刷して用意すれば、コンテンツの切替え時にはカードを1枚差し替えることで済むようになり、利便性が大きく向上する。しかも、たとえばテレビ番組提供者が、放送する番組ごとに、各番組で使用する芳香のみを用意したカードを販売・配布するにすれば、事前にあらゆる種類の香料を用意しなければならないという問題も回避できる。また、香料はマイクロカプセルに封入されているため、ユーザが液状の香料を直接扱う必要がなくなる点でも優れている。このようにカード方式は嗅覚ディスプレイの普及に非常に有望な方式である。しかしながら、この方式には致命的な欠点がある。それは、この方式では芳香発生時にはマイクロカプセルを圧力などによって不可逆的に破壊して香料を発散させるため、いったん発散させた香料に蓋をすることができず、芳香発生停止の制御が困難であるという点である。また、マイクロカプセルを破壊するための機構がやや複雑であり、しかもその動作時に機械音の発生を避けられない点もデメリットとなる。

そこで本論文では、機能性高分子という化学的容器を用いることにより、カード型でありながら香りの発散と停止を任意に制御可能とする方式を提案する。本提案方式では、機能性高分子が温度によってゾル状あるいはゲル状に相転移する特性を利用し、芳香の発散と停止を制御する。これにより、カード方式の利点をそのまま継承し、同時に最大の欠点であった芳香発生時の停止制御の問題を解決する。加えて、温度制御にペルチェ素子を用いることにより、機械的機構をすべて廃することができる。このため、芳香発生装置の小型化・低価格化を容易に実現でき、しかも非常な静粛性(実質的に無音)を達成できる。

以下、2章では、機能性高分子についてより具体的に説明し、これを用いた芳香の発散制御手法について述べる。3章では、試作した芳香発生制御装置について述べる。4章では、機能性高分子と芳香発生制御装置を用いた評価実験について述べる。この実験では、本提案手法の有効性に関する基礎的性能評価と、実用

*1 実際には、「原臭」の概念はほぼなくなりつつある。

状態を想定したビデオ映像コンテンツとの同期再生に関する評価を行う。5章では、関連先行技術について概観する。6章では、本システムの家計への応用について議論する。第7章は、本論文のまとめである。

2. 機能性高分子による香料の放出制御

2.1 温度感性ハイドロゲル

古代から香料は、宗教的な儀礼や殺菌、抗菌剤として使用されてきた。今やアロマテラピーやアロマコロジー²⁾をはじめ、映像や音響コンテンツに同期して嗅覚情報を提示する嗅覚ディスプレイにまで応用範囲が広がっている。

香料は、その形状によって液体香料と固体（粉末）香料に大別されるが、一般的には液状のものが多く使われている。しかし、液状の香料は放散が早いいため持続効果が得られないという欠点をかかえていた。

そこで、従来から香料の放出制御（コントロールリリース³⁾）の材料として利用されているのが天然高分子のゲル化剤である。天然高分子のゲル化剤としては、ゼラチンや寒天、コンニャク、カラギーナンなどが使用されているが、天然高分子の特性上、微生物によって劣化しやすいなどの欠点を有していた。このような問題点を解決するために様々な合成のゲル化剤が開発されている。

特に、高機能次世代 Drug Delivery System (DDS) 研究の1つとして、刺激応答性ハイドロゲルを用いて、刺激（温度・光・pH など）変化が加えられたときのみ必要な場所へ必要な量の薬物を放出する理想的な放出制御を実現する研究が進められている。すなわち、ゲルの有する外部環境応答性、ハイドロゲルの有する高い生体適合性を利用する試みである。

本研究では、インテリジェント・マテリアルと呼ばれる機能性高分子、なかでも温度刺激によりゾル・ゲルの可逆変換作用をする「温度感性ハイドロゲル」に着目し、香料の放出制御を試みた。

2.2 反応および制御メカニズム

図1にKIMらの文献^{4)~6)}を参考に生成したMethoxy-poly(ethylene-glycol)-block-poly(ε-caprolactone) copolymers (MPEG-PCL)の反応メカニズムを示し、図2に生成した温度感性ハイドロゲルを示す。

本研究に用いたMPEG（分子量：2,000，16.24g，8mmol）はあらかじめトルエン（Toluene）で水分を取り除いたあと、溶媒であるジクロロメタン（Dichloromethane，100ml）を用いカプロラクトン（ε-caprolactone，分子量：114.14，22g，192mmol）

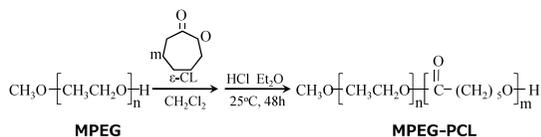
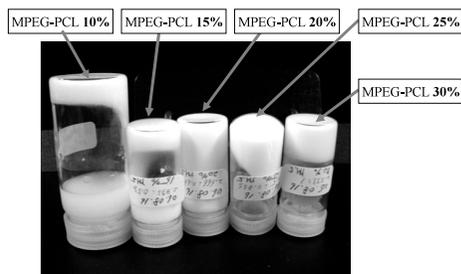
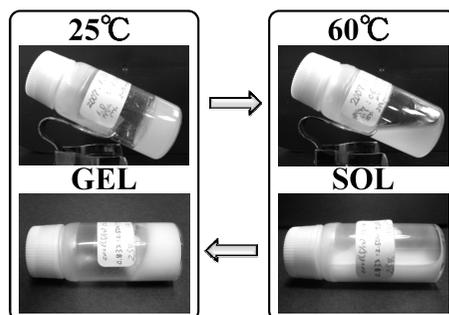


図1 温度感性ハイドロゲルの反応メカニズム

Fig.1 Reaction mechanism of temperature sensitive hydrogel.



(a) Concentration (%) of MPEG



(b) Reversible conversion between sol-gel

図2 温度感性ハイドロゲル

Fig.2 Temperature sensitive hydrogel.

と開環重合させる。このとき、反応を促進させるために触媒である塩化水素（Hydrogen chloride，16ml，16mmol）を添加し48時間反応させることでMPEG-PCLは合成される。

以上のように合成したMPEG-PCLを蒸留水に対する濃度比率10~30%の間を5%間隔で5つのサンプルを生成し、その2週間後にバイアル（Vial）を逆さまにしたのが図2の(a)である。ここでは、室温上（25°C）における蒸留水に対し、MPEG-PCLの濃度比率（%）を上げることでゾル（Sol）からゲル（Gel）へとゲル化が起こりやすいことが分かる。これは、親水性であるMPEGに対し疎水性であるPCLが結晶性を持つことによりMPEGと蒸留水を抱え込むような働きをすることで生じる海島構造の相分離（phase separation）現象⁷⁾である。つまり、温度感性ハイドロゲルにおけるPCLが化学容器のような働きをすることで蒸留水が保持可能な状態になる。

一方、温度敏感性ハイドロゲルをカプロラクトンの融解温度 (58~60°C) まで加熱すると PCL の結晶性は崩れ、今度はゲルからゾルへと相転移を起こす。これにより PCL の化学容器のような働きはなくなり水分子は蒸発しやすい状態になる。同様に、香料に対してもゲル状では PCL の結晶性により香料が閉じ込められることで香り分子の活動が抑制され、ゾル状では PCL の結晶性崩壊により香り分子が活発に動くことで香りは放出されることになる。さらに、ゾル状の温度敏感性ハイドロゲルを再び冷却作用させると、今度はゾルからゲルへと相転移を起こすのである。これにより、香料の放出制御は可能になる。なお、本研究で生成した温度敏感性ハイドロゲルは、温度刺激にตอบสนองして素早く相転移を起こすので、短時間の切替えが可能であり、香料の放出制御に適している。

また、蒸留水に対する MPEG-PCL の最大溶解度は 35% であるが粉末香料の使用時には最大 30% となる。したがって、本研究においては、粉末香料の使用を考慮し、保持能力が最も優れている MPEG-PCL30% を香料の放出制御に用いた。この濃度比率の温度敏感性ハイドロゲルに香料をシンプルミキシングした後の温度刺激によるゾル・ゲルの相転移を図 2 の (b) に示す。図に見られるように、香料を混合しても、問題なくゲル化・ゾル化することが分かる。

2.3 香料の放出制御

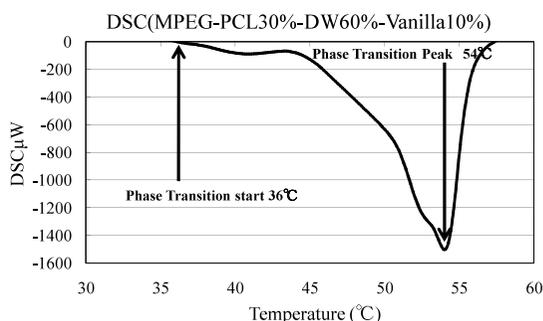
前述のように、温度敏感性ハイドロゲルは、生体内における薬物の拡散速度を一定に、かつ継続的に保つための DDS として医用材料に用いられている。本研究では、このような物理化学的性質を活用し、嗅覚情報の提示における香料の放出制御へ応用を試み、性能評価を行った。

まず、図 3 で示すように MPEG-PCL に対するバニラ香料 (長谷川香料提供) の混合比率を 5% 単位で 5~50% まで生成し、香料混合比選定の官能検査^{*1}を行った。官能検査においては、一般の家庭での使用を想定し、禁煙かつ鼻炎のない嗅覚健全者 3 名により、後述する 4.2 節と同様の条件下で 1 日 3 回 3 日間、計 9 回行った。香料混合比 5~15% においては、ペルチエ素子により加熱時のみ感知し、20~50% においては非加熱時においても全員感知していた。また、加熱時において 5% は弱く感知し、15% は強く感知していたた

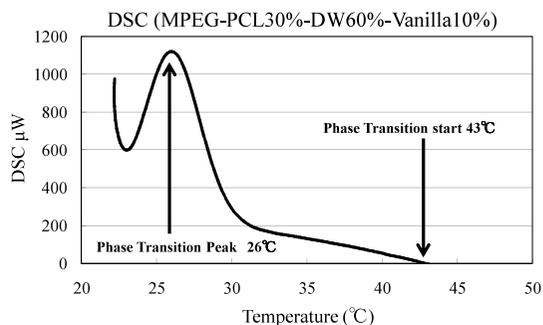
MPEG-PCL (%)	Distilled Water (%)	Fragrance (Vanilla %)	Total
1.000g (30%)	2.167g (65%)	0.166g (5%)	3.333g
1.000g (30%)	2.000g (60%)	0.333g (10%)	3.333g
1.000g (30%)	1.834g (55%)	0.499g (15%)	3.333g
1.000g (30%)	1.667g (50%)	0.666g (20%)	3.333g
1.000g (30%)	1.500g (45%)	0.833g (25%)	3.333g
1.000g (30%)	1.334g (40%)	0.999g (30%)	3.333g
1.000g (30%)	1.166g (35%)	1.166g (35%)	3.333g
1.000g (30%)	0.999g (30%)	1.333g (40%)	3.333g
1.000g (30%)	0.833g (25%)	1.500g (45%)	3.333g
1.000g (30%)	0.666g (20%)	1.667g (50%)	3.333g

図 3 香料の混合比率

Fig. 3 Ratio of aromatic fragrance in MPEG-PCL.



(a) Heating 20-70°C/10min



(b) Cooling 70-20°C/10min

図 4 示差走査熱量測定

Fig. 4 Differential scanning calorimetry.

め、本研究においては、香料の混合比率 10% が適切だと判断し、この濃度比率の香料を用いることにした。

なお、これを用い、示差走査熱量測定 (Differential scanning calorimetry, DSC)^{*2}を行った結果を図 4 に示す。図 4 の (a) は、試料 (MPEG-PCL30% - Distilled Water60% - Vanilla10%) 25 μg (マイクログラム) に対し、温度を 20°C から 70°C まで 10 分間で上昇させたときで、図 4 の (b) は、逆に温度を 70°C から 20°C まで 10 分間で下降させたときの結果である。このとき、図 4 (a) の横軸は時間の経過による温

*1 香りの検査は主として、人間の嗅覚に頼っているのが現状である。近年のセンサ技術の進歩により、いくつか匂いセンサが開発され、活用されている場合もあるが、特に香料開発においては現在でも嗅覚が中心である。このような感覚器での検査・評価を官能検査 (評価) という。

*2 物質が化学的あるいは物理的变化を起こすと熱の発生や吸収が起こる。このような熱変化を温度あるいは時間の関数として測定することにより、物質中で起こる状態変化を解明することができる。

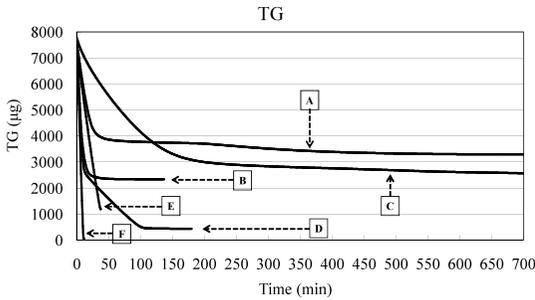


図 5 熱重量測定

Fig. 5 Thermogravimetry.

度変化を示し、縦軸の DSC μW (マイクロワット) は吸熱量を表す。

図 4 (a) の曲線により、 36°C の時点で吸熱が始まり、 44°C を境目に急激に吸熱量が増加される。また 54°C において吸熱がピークに達し、相転移が起きていることが分かる。つまり、本研究で使用した温度敏感性ハイドロゲルは、 36°C で相転移が起こり始め、 44°C を境目に 54°C までの間、急激にゲルからゾルへと相転移を起こす。一方、図 4 (b) においては、 43°C の時点で発熱が始まり、 32°C を境目に急激に発熱量が増え、 26°C のときに発熱量がピークに達し、相転移が起きていることが分かる。つまり、冷却時においては、 43°C で相転移が起き始め、 32°C を境目に 26°C までの間、急激にゾルからゲルへと相転移を起こすことになる。ここで、吸熱と発熱における相転移温度が異なるのは、分子量が大きい場合に生じる高分子特有の現象である。

なお、ゾル状およびゲル状での徐放効果を測定するために、熱重量測定 (Thermogravimetry, TG)^{*1} を行った。その結果を図 5 に示す。測定温度に関しては、一般的な使用環境を想定し、室内温度である 25°C とカプロラクトンの融解温度である 60°C での測定を行った。

図 5 の縦軸は試料の重量 (μg) を、横軸は時間を分単位で表している。曲線 A は 25°C 上で、試料 (MPEG-PCL30% - Water60% - Vanilla10%) $7,682 \mu\text{g}$ に対して 720 分 (12 時間) 計測を行った結果であり、曲線 B は 60°C 上で、試料 $7,514 \mu\text{g}$ に対して 180 分 (3 時間) 計測を行った結果である。このとき、曲線 B における MPEG-PCL30% 分 (約 $2,255 \mu\text{g}$) は蒸発しな

いので 60°C 上で完全蒸発するのに 137 分かかり、最終的な残量分は $2,333 \mu\text{g}$ であった。一方、曲線 A の 25°C 上では 595 分以降の重量変化はなく 720 分後の残量分が $3,300 \mu\text{g}$ であったため、蒸発しない MPEG-PCL30% 分 (約 $2,305 \mu\text{g}$) を除くと $995 \mu\text{g}$ の蒸留水と香料が PCL の結晶性により保持されたことと思われる。

ところが、曲線 A の場合、加熱しなくても 30 分までは急激に重量が減っていることが分かる。これを調べるべく本研究で生成した試料の 10% を占めている香料を対象に、同じく 25°C と 60°C での重量計測を行った。曲線 C は 25°C 上で、香料 (Vanilla100%) $7,785 \mu\text{g}$ が徐々に減っていくことを表し、720 分後の残量分が $2,558 \mu\text{g}$ であった。一方、曲線 D は、 60°C 上での香料 $7,058 \mu\text{g}$ を 180 分計測した結果であり、このときの残量分は $436 \mu\text{g}$ であった。また、曲線 E は 25°C 上で、蒸留水 $7,402 \mu\text{g}$ が 38 分で完全蒸発した結果であり、曲線 F は 60°C 上で、蒸留水 $7,209 \mu\text{g}$ が 12 分で完全蒸発した結果である。

以上の測定結果から、試料の 60% (約 $4,609 \mu\text{g}$) を占めている大部分の蒸留水が 30 分のうちに自然蒸発していることがうかがえる。理論的には、曲線 A における試料 $7,682 \mu\text{g}$ から MPEG-PCL30% 分 (約 $2,255 \mu\text{g}$) を除いた最終残量分 $995 \mu\text{g}$ 中に、蒸留水 85.7% と香料 14.3% が保持されるはずだが、実際には、沸点の低い蒸留水の方が早めに蒸発していくことから試料 $7,682 \mu\text{g}$ に対し、10% に値する香料 $768 \mu\text{g}$ の大部分が最終残量分 ($995 \mu\text{g}$) 中に保存されていると思われる。

ゆえに、温度敏感性ハイドロゲルによる香料の長期保持が可能であることと、温度刺激を与えることで、香料の放出制御が可能であることが確認できた。また、蒸留水 90% とバニラ香料 10% 混合の試料 0.1g をマイクロカバーガラス上に滴下し、室内に放置した場合は、180 分で完全蒸発するのに対して、香料混合の温度敏感性ハイドロゲルの場合、3 カ月経過した時点でも十分な働きをすることを確認した。

2.4 香料の放出制御における考察

本研究で用いた温度敏感性ハイドロゲルにおいて、結晶性をもたらすことで化学容器の働きをすることはカプロラクトンであり、その融解温度は $58 \sim 60^\circ\text{C}$ である。ところが、DSC により計測された試料の融点は 54°C でピークを描いている。これは、MPEG および香料の混合により融点が下がったことと思われる。また、温度上昇時である図 4 (a) における 36°C 付近からの吸熱は、カプロラクトンではなく蒸留水による

*1 試料を一定の速度で昇温または降温し、その過程で起こる試料の重量変化を測定するものである。試料がある温度に達したときに、試料のある成分が気体として脱離するなど、試料の酸化のような化学反応などにより、試料に気体成分が加わることで、試料重量の減少または増加が観測可能なものである。

ものではないかと推測される。それは、蒸留水の沸点が 100°C であり、カプロラクトンや香料の沸点に比べて低いことに起因する。このような現象は温度下降時を表す図 4 の (b) における 43°C からの発熱においても同様に考えられる。

なお、DSC においては、温度変化を与える時間が上昇・下降、それぞれ 10 分間であるが、実際の使用時である評価実験 (4 章で後述) においてはパルス幅変調 (PWM) 4 秒を除いて 16 秒ずつであることから、短い時間に相転移が起こることになる。当然ながらペルチェに与える電流量を上げることで、さらに短い時間の間、相転移を起こすことも可能であることから、機器による測定値と実際の使用における値とは異なることを認識しなければならない。

続いて、TG は、試料に熱を与えることで試料における重量変化を測定する装置であり、香料の揮発量を測る装置ではない。また、香料の揮発量を測定可能とする装置は、今のところ存在しないのが現状である。そこで本研究では、試料の重量を測定することにより、香料成分の蒸発量を間接的に測定することを試みた。本研究で用いた TG (TG/DTA220: Seiko 製) は、蒸発成分が装置内部に停留しないように強制エアフロー方式になっているため、当然ながら、一般使用時よりも蒸発スピードが速いと推測できる。特に、常温時を表す図 5 の曲線 A においては、初期状態で急激に蒸発しているのは、カプロラクトンに覆われず、表面に付着している蒸留水および香料ではないかと推測される。実際のところ、595 分経過した時点からの蒸発は止まり、一定の重量に収束していることから確認できる。これらのことから、MPEG-PCL の量が増えれば増えるほど、PCL の結晶が増えることで香料の保持性能はアップするが、香料溶解度の関係上、液体香料の使用時のみ最大 35% となる。以上のことから、香料成分の種類にかかわらず MPEG-PCL の比率は一定である。また、MPEG-PCL の表面に付着している香料の蒸発量を除くと、少量ではあるが PCL の結晶性により完全な密閉状態を形成するため、香料の種類にかかわらず揮発性の高い香料であっても一定の量が保持可能であると考えられる。これらに関しては X 線解析測定 (XRD) および、ゲル浸透クロマトグラフ (GPC)、走査型電子顕微鏡 (SEM) などの様々な測定装置により、さらに詳しく究明する必要がある。

3. 実験システムの構成

本章では、2 章で述べた温度感受性ハイドロゲルを利用した芳香発生制御装置の試作と、ビデオ信号によ

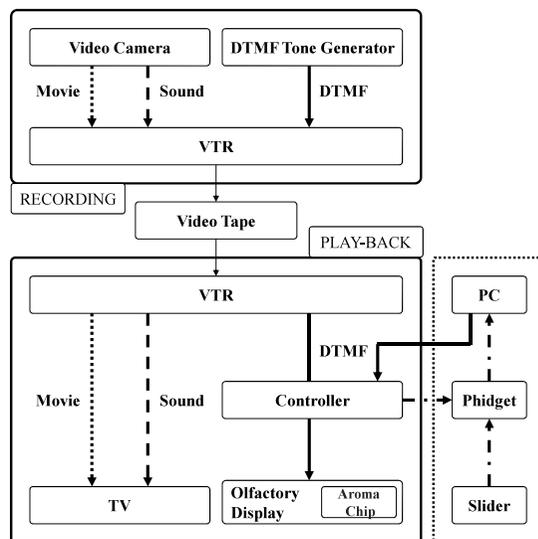


図 6 実験システムの構成

Fig. 6 Configuration of prototype experimental system.

り芳香発生制御装置を駆動するための実験システムについて述べる。本システムの構成要素は、大きく記録側と再生側に 2 分類できる。図 6 に実験システムの構成を示す。

記録側は、ビデオカメラと Dual Tone Multi Frequency (DTMF)⁸⁾ Tone Generator, そして映像を編集するための Video Tape Recorder (VTR) から構成される。また、再生側は、編集されたビデオテープを再生するための VTR, VTR の音声トラックに DTMF 信号として記録された芳香発生指示信号を解釈するコントローラ (Controller) と、芳香発生指示信号に応じて香料の放出制御を行う嗅覚ディスプレイから構成される。なお、コントローラに入力される DTMF 信号は、VTR の音声トラックから以外にも、直接 PC から発生・入力することもできる。以上が基本的な嗅覚ディスプレイの構成であるが、さらに被験者による官能評価のデータを収集するために、Phidget⁹⁾ Slider を用意した。被験者によるスライダの操作情報は、コントローラの動作情報と合わせて Phidget を経由してデータ収集用の PC に入力され、記録される。

3.1 コントローラ (Controller)

嗅覚ディスプレイを制御する芳香発生指示信号は、あらかじめ、映像・音響コンテンツに同期して制作する。具体的には、香りを提示する情報 (信号) を、音響多チャンネル (5.1 ch など) のうちの使用しない 1 チャンネルに音響データとして埋め込む手法をとる。これによって既存 AV 機器をいっさい改造することなく、嗅覚ディスプレイを完全に「後付け機器」として実現で

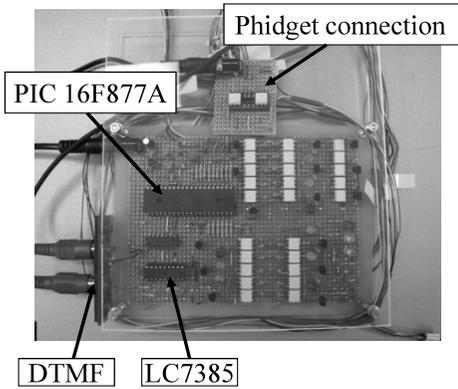


図 7 コントローラ
Fig. 7 Controller.

きる．しかも，同期情報は単なる音響情報であるため，家庭においても簡単に生成し，ビデオなどに記録することが可能となる．この結果，家庭において嗅覚情報つき映像・音響コンテンツを簡便かつ安価に楽しめるようになるだけでなく，自分で自作ビデオ作品に「芳香発生指示信号」を付与することも可能となる．

芳香発生指示信号は，前述のように DTMF 信号を用い，音声トラックに記録する．再生の際は，図 6 のように DTMF 信号が記録された音声トラックの音響データを，スピーカからは出力せずに，コントローラに入力する．図 7 に，試作のコントローラを示す．

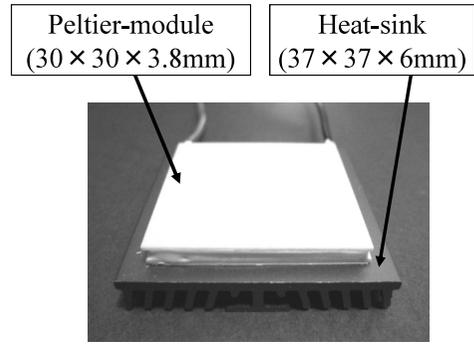
コントローラは，DTMF 信号を解析するデコーダ (LC7385 (SANYO 製)) と，デコーダから送られてくる解析結果に応じて嗅覚ディスプレイを駆動する Peripheral Interface Controller (PIC) マイコンから構成される．

3.2 嗅覚ディスプレイ (Olfactory Display)

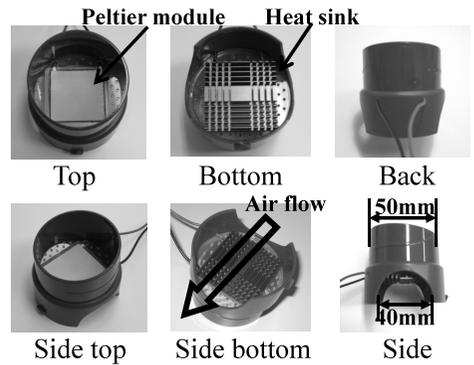
図 8 に，嗅覚ディスプレイの構成要素と試作モデルを示す．嗅覚ディスプレイは，「熱電冷却素子 (Peltier Module)¹⁰⁾」と冷却時の放熱の役割をするヒートシンク (Heat-sink : Comon 製) から構成される．このペルチェ素子上に，温度敏感性ハイドロゲルによって生成されたアロマチップ (後述) を乗せて使用する．

本システムで使用されたペルチェ素子は，図 8 の (a) で示すように電圧 4 ~ 16.8 V，電流は最大 5 A，最大吸熱量は 44 W，大きさは 30 × 30 × 3.8 mm タイプで，ヒートシンクは 37 × 37 × 6 mm タイプを使用した．また，嗅覚ディスプレイの本体には，内径 50 mm の雨樋 (National 製) を使用し，ヒートシンクの役割を増大させるために直径 40 mm の半円形の空気路をもうけた (図 8 の (b)) ．

ペルチェ素子は半導体素子で構成されたヒートポン



(a) Peltier-module and heat-sink



(b) Olfactory display

図 8 嗅覚ディスプレイ
Fig. 8 Olfactory display.

プであり，電流を流すと片面からもう一方の面に熱が移動する．このため，素子の一方の表面が発熱し，もう一方が冷却される．また，電流を逆に流すと発熱面と冷却面が逆転される．すなわち，ゾル・ゲルの可逆変換作用をする温度敏感性ハイドロゲルに，芳香を提示するときには加熱作用を，芳香を停止するときには冷却作用を行うことで芳香における放出制御が可能になる．このように，本研究で提案する嗅覚ディスプレイは，機械的機構を持たないため，静粛性がきわめて高い (実質動作音はない) のが特徴でもある．

3.3 アロマチップ (Aroma-Chip)

アロマチップは，マイクロカバーガラス 18 × 18 × 0.17 mm タイプ (MATSUNAMI Thickness No.2) を使用，その上に香料混合の温度敏感性ハイドロゲル 0.1 g をマイクロシリンジで 15 × 15 mm の中にマイクロカバーガラスと同様の厚みで均一的に薄く塗る方法で生成した．図 9 にアロマチップの試作品を示す．

以上のように生成したアロマチップを嗅覚ディスプレイによってゾル・ゲル可逆変換作用を行った例を図 10 に示す．

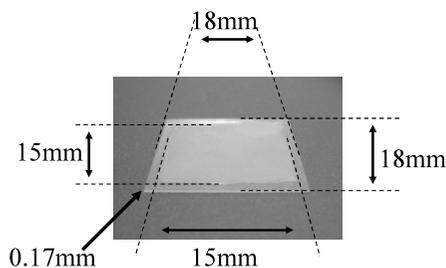


図9 アロマチップ
Fig.9 Aroma-chip.

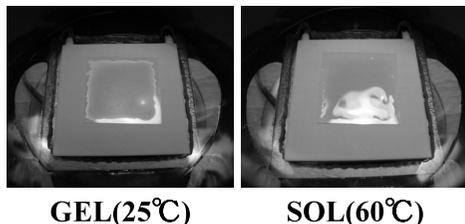


図10 嗅覚ディスプレイにおけるゾル・ゲル可逆変換作用
Fig.10 Gel-sol-gel phase transition.

25°Cではゲル状を維持しているのに対し、ペルチエ素子に通電してアロマチップ側を60°Cにした場合はゾル化していることが分かる。

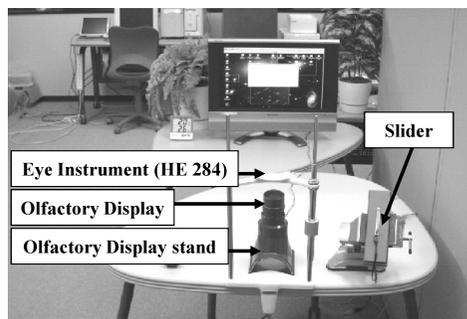
4. 評価実験

評価実験は、空調設備が整い、換気が容易のできる部屋（温度22°C、湿度26%）において、システムの性能評価とビデオへ応用したときの評価、2種類の評価を行った。実験環境を図11に示す。

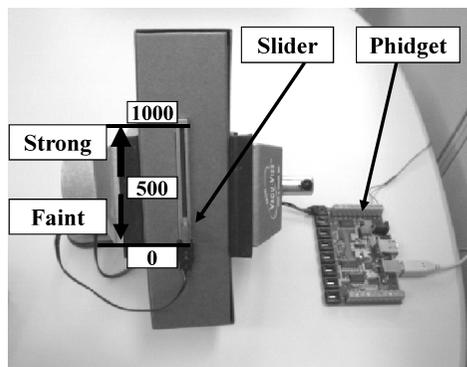
前述のとおり、被験者による香り強度の官能評価にはPhidget Sliderを用いた。被験者に対して、スライダ操作（上げ下げ）について以下のように教示した。

1. 香りが感じられたらスライダの操作を行う。
2. 香りが強くなったと感じたら、それに応じてスライダのつまみを上に上げる。
3. 同程度の香りが続いていると感じたら、現在のスライダの位置を維持する。
4. 香りが弱くなったと感じたら、それに応じてスライダのつまみを下げる。
5. スライダつまみの位置設定は、香りの感知強度に応じて被験者が任意で行う。最も香りが強いと感じたときに、スライダつまみを最も上まで上げる必要はない。
6. 香りをまったく感じないときは、スライダ位置を最も下にする。

スライダから出力される値は0から1,000の間で連続的に変化し、コントローラにおける嗅覚ディスプレ



(a) Environmental experiment



(b) Phidget Slider

図11 実験環境とPhidget スライダ

Fig.11 Environmental experiment and Phidget slider.

イの制御データ（ペルチエ素子の加熱および冷却時間）とともに、Phidgetを通じてPCによって記録される（図6、図7）。ゆえに、官能評価で得られたスライダからの出力値の絶対値は特に意味を持たず、各被験者における相対的な値の推移が意味を持つものとなる。

システムの性能評価においては、「スタート」という指示とともにスライダの操作を行ってもらい、「ストップ」という指示で終了するように教示を行った。また、ビデオへの応用実験においては映像の始まりとともに行ってもらい映像の終わりとともに終了してもらった。

両方の評価実験に用いたペルチエ素子の温度変化曲線を図12に示す。横軸は時間を秒数で表し、縦軸は温度（°C）である。

ペルチエ素子の温度は、図12で示しているように、16秒で60°Cまで上昇させ、4秒間Pulse Width Modulation (PWM)¹¹⁾制御を行って一定に保った後、温度敏感性ハイドロゲルを急速に固めるために10°Cまで16秒で一気に下げる制御を行った。図12における36秒以降の温度上昇は、ペルチエ素子への通電を停止した後の室温による自然上昇である。今回用いた温度

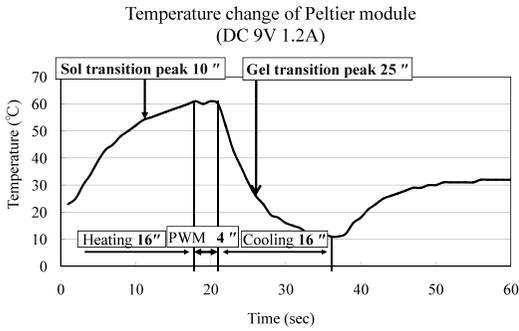


図 12 ペルチェ素子の温度変化

Fig. 12 Temperature change of peltier module.

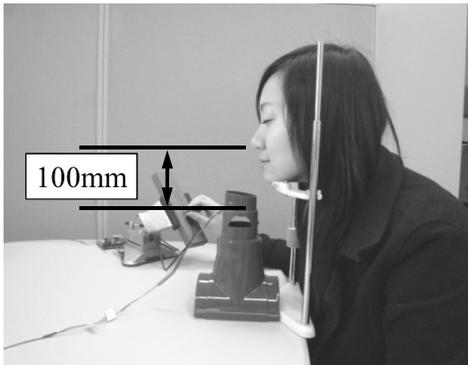


図 13 香り強度の官能評価

Fig. 13 Sensual evaluation of aroma intensity.

敏感性ハイドロゲルのゾルへの相転移ピークは 54°C で、ゲルへの相転移ピークは 26°C である。そのため、冷却時における 26°C を過ぎると、再び 54°C までに温度上昇しない限りゾルへの相転移は起こらないので、この温度上昇はハイドロゲルの状態にはまったく影響せず、ハイドロゲルはゲル状態を維持している。

4.1 システムの性能評価

本実験では、温度敏感性ハイドロゲルによる香料の放出制御において、性能評価および香り強度の官能評価を行った。実験の様子を図 13 に示す。

図 11 と図 13 で示されているように、すべての被験者に同一の条件を与えるために、顔面固定器 (Eye Instrument [HE 284]: HADAYA 製) と嗅覚ディスプレイのスタンドにより、鼻と嗅覚ディスプレイとの距離を 100 mm にし、温度敏感性ハイドロゲルの状態が識別できないよう、被験者には目をつぶってもらって実験を行った。また、ペルチェ素子の温度制御においては、編集されたビデオテープを再生するのではなく、PC から直接コントローラへ DTMF 信号を送ることで行った。

実験の手順は、(1) 実験について教示を行い、(2) 香

りの感じ方に応じて、スライダの操作で香りの強度評価 (1 分) を行ってもらった。そして、(3) アンケートを実施した後に、(4) 官能評価についてインタビューを行った。なお、本実験では、ペルチェの加熱開始を実験開始から 5 秒後とした。以後の温度変化は図 12 に示したとおりである。評価実験における残香問題の対策として、毎回の実験ごとに十分な換気を行うとともに、嗅覚ディスプレイおよび顔面固定器まわりをエチルアルコールにより洗浄した。また、被験者ごとにアロマチップの交換を行った。本実験の被験者 17 名のうち、2 名は香りをまったく感じなかった。一方、終始香りを感じていた者も 2 名いたため、この 4 名を除いた被験者 13 名 (男性 6 名、女性 7 名、年齢内訳は 20 代 9 名、30 代 4 名) のデータのみを採用した。前述のとおり、スライダの出力の絶対値には意味がないため、各被験者のデータを式 (1) により正規化した。

$$I_{(t)\text{norm}} = I_{(t)} / I_{\text{max}} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 $I_{(t)\text{norm}}$ は時刻 t における正規化された官能評価値、 $I_{(t)}$ は時刻 t におけるスライダの操作値、 I_{max} はその被験者が実験中に出力したスライダ操作値の最大値である。正規化後の各被験者のスライダ出力値の推移を図 14 に、また全被験者の正規化値の平均をとったものを図 15 に示す。図 14、図 15 の横軸は時間 (秒)、縦軸は式 (1) により正規化された官能評価値を示す。

図 15 に示されているように、平均して加熱開始の 10.92 秒後である 16.92 秒の時点から香りの感知強度が急激に上昇し始めることが確かめられた。したがって、ペルチェ素子が 54°C まで上昇する時間 10 秒を引くと、被験者の嗅覚が芳香源から 100 mm 離れている場合は平均 0.92 秒で香りを感じるようになる。一方、香り感知強度の下降は冷却開始から 5.38 秒経過した 30.38 秒の時点で始まり、香りを感じなくなるまでには平均 22.62 秒かかることになる。

また、アンケートによる香り強度評価には、カテゴリ評定法である 6 段階表示法¹²⁾ を、香りの提示時間に関しては 7 段階評価法を用いて行った (表 1、表 2)。

アンケート集計の結果、提示されている香りの強度が一番ピークだと感じたときの香り強度についての 6 段階法では平均 2.31 で「何の匂いかわかる弱い香り」、香りの提示時間に関する 7 段階評価の結果、 -0.85 で「やや短い」という結果が得られた。

4.2 ビデオへの応用

システムの性能評価につづき、ビデオへ適用したときの性能評価を行った。本実験では、実際に使われる場面を想定し、顔面固定器と嗅覚ディスプレイスタンド

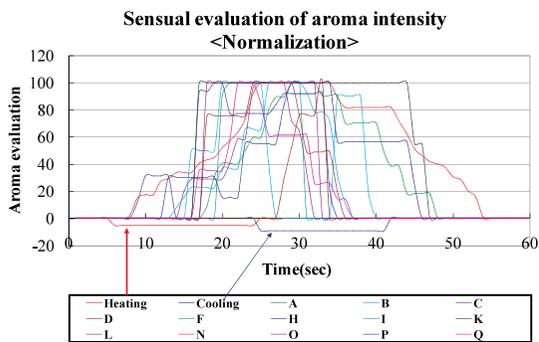


図 14 香り強度の官能評価の正規化

Fig. 14 Normalization of sensual evaluation of aroma intensity.

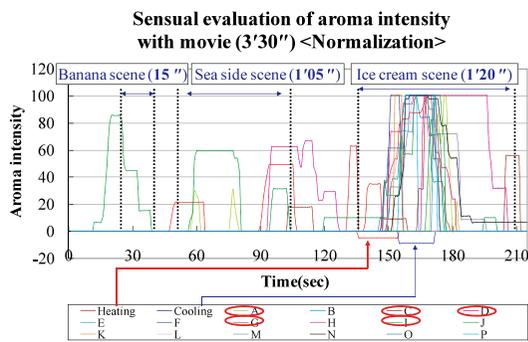


図 17 映像における香り強度の官能評価の正規化

Fig. 17 Normalization of sensual evaluation of aroma intensity in movie.

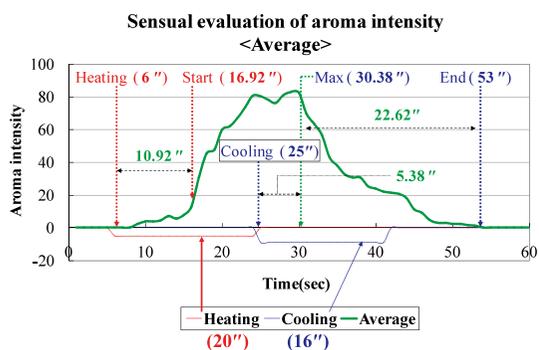


図 15 香り強度の官能評価の平均

Fig. 15 Average of sensual evaluation of aroma intensity.

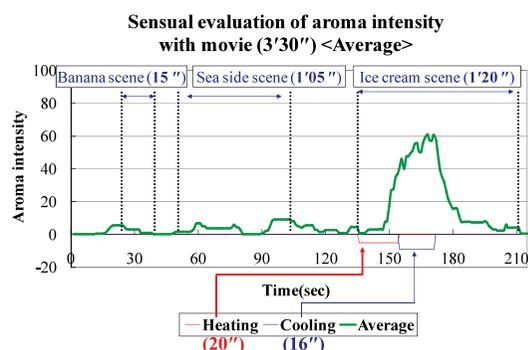


図 18 映像における香り強度の官能評価の平均

Fig. 18 Average of sensual evaluation of aroma intensity with movie.

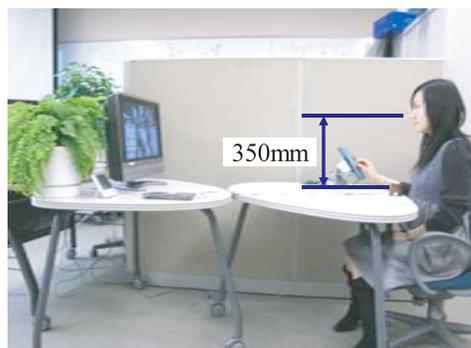


図 16 映像における香り強度の官能評価

Fig. 16 Sensual evaluation of aroma intensity with movie.

を取り外し，椅子の高さのみの調節で鼻と嗅覚ディスプレイの高さをおよそ 350 mm に保つようにして行った (図 16) . また，官能評価と同様に映像を見ながら香りの強度についてスライドの操作を行ってもらった .

実験の手順として，(1) 実験について教示を行い，(2) 映像を見ながら香りの感じ方に応じて，スライドの操作で香りの強度評価 (3 分 30 秒) を行ってもら

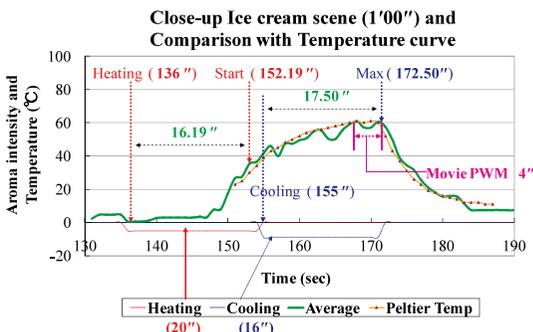


図 19 アイスクリームシーンのクローズアップと温度曲線との比較

Fig. 19 Close-up ice cream scene and comparison with temperature curve.

た . そして，(3) アンケートを実施した後に，(4) 官能評価についてインタビューを行った .

本実験においても，4.1 節におけるシステムの性能評価実験 (以下，性能実験) と同様に，毎回の実験ごとに十分な換気を行うとともに，嗅覚ディスプレイをエチルアルコールにより洗浄し，被験者ごとにアロマチップの交換を行った . 被験者は 16 名 (男性 7 名，女

表 1 香りの強度 (6 段階法)
Table 1 Aroma intensity (6 step method).

強度指数	6段階香り強度内容
0	無香
1	やっと感知できる香り(検知閾値濃度)
2	何の匂いかわかる弱い香り(認知閾値濃度)
3	楽に感知できる香り(中等度の強さ)
4	強い香り
5	強烈な香り(耐えられないほど強い匂い)

表 2 香りの提示時間 (7 段階評価)
Table 2 Aroma diffuse time (7 step method).

-3	-2	-1	0	1	2	3
非常に短い	短い	やや短い	適切である	やや長い	長い	非常に長い

性 9 名。年齢の内訳は、20 代 11 名、30 代 4 名、40 代 1 名) である。本実験で得られたデータにおいても性能実験と同様の手法で正規化を行った。図 17 に正規化後の各被験者の評価結果を、図 18 に全被験者の平均を示す。図 17、図 18 の横軸は時間 (秒)、縦軸は正規化された官能評価値を示す。

実験に用いた映像は、チャーリーチャップリン主演の *By the sea* (1915) を 3 分 30 秒に短く編集したものである。映像の前半 20 秒のうち、15 秒がバナナを食べるシーンで、中間 1 分 40 秒のうち、1 分 5 秒は海を背景としたシーンが続く。また、後半の 1 分 30 秒のうち、1 分 20 秒間はアイスクリームを食べるシーンである。後半のアイスクリームのシーンにおける前半 1 分のうち、36 秒間のみ図 12 に示すのと同じペルチエ素子の温度制御を行い、バニラの芳香提示を行った。その他のシーンでは芳香提示は行わなかった。

被験者 16 名のうち 5 名は、バナナのシーンと海のシーンにおいても香りを感じると評価した。この 5 名については、アンケートの後にインタビューを行った結果、香りの評価実験であることを知っていたため、映像に合わせて香りが出ると思い操作を行ったと答えた人が 3 名、実際にバナナや海の匂いを感じたという人が 2 名であった。このような、提示されていないバナナや海の香りを感じたという被験者に関しては、視覚における「錯視現象」のように、嗅覚における「錯嗅現象」が生じた可能性も考えられる。このように嗅覚情報が視聴覚に同期して生じる「共感覚現象」¹³⁾ については、今後の課題として検討を進めたい。

図 18 のうち、実際にペルチエ素子に温度制御を行った区間である後半 1 分間のみをクローズアップしたのが図 19 である。図 19 においても性能実験と同様に、官能評価におけるタイムディレイが生じていることが分かる。特に今回の実験では、鼻と芳香源との距離が 350 mm であるため、ゲルからゾルに変換する時点から被験者は平均 6.19 秒で香りを感じるようになる。一方、香り強度の下降はペルチエ素子の冷却開始から 17.50 秒経過した 172.50 秒の時点で起こり、そこから香りは弱まりつつも感じられ続けていることが分かる。また、図 19 中に併記したペルチエ素子の温度変化曲線を平均の官能評価曲線と比較すると、両者がきわめてよく一致していることが分かる。

ビデオへの応用実験におけるアンケート集計の結果、提示されている香りの強度が一番ピークだと感じたときの香り強度についての 6 段階法では平均 1.88 で性能評価と同様に「何の匂いかわかる弱い香り」、香りの提示時間に関する 7 段階評価の結果においては、-1.56 で「やや短い」と「短い」との中間のデータが得られた。

4.3 評価実験に関する考察

本研究で生成した温度感受性ハイドロゲルによる香料の放出制御は、2 章で言及した TG および DSC により確認された。しかし、実際に香りを感じ取るのは測定器ではなく人間である。そのため、実際の人間の感覚に基づき、どの程度香料の放出制御が正確に行えるかを確認するために実施したのが、4 章の評価実験である。評価実験では一般家庭での使用を想定し、非喫煙者の感覚を基準として 4.2 節の条件下における MPEG-PCL に対する香料濃度を決定したため、4.2 節の条件よりも近距離 (100 mm) である 4.1 節の条件下では、被験者 17 名のうち 2 名 (ともに女性) は始終香りを感じていた。この 2 名は嗅覚が特に敏感であって、温度感受性ハイドロゲルに閉じ込められず表面に付着している香り分子の漏れを感じていたと推測される。逆に、まったく香りを感じ取れない 2 名を除く 14 名に関しては近距離 (100 mm) においても香料の放出制御が可能であることを示した実験となる。なお、香りの感じ方についてビデオなしの条件における結果 (図 15) とビデオありの条件における結果 (図 19) を比較した場合、嗅覚ディスプレイから鼻腔までの距離が図 15 (100 mm) に比べ図 19 (350 mm) の方が大きいので、知覚までの時間がおよそ 5 秒遅れている。また、両実験におけるアンケートの結果からビデオありの方が香りの強度は弱く、提示時間は短く感じられたという回答が得られた理由として、本研究

に用いられている嗅覚ディスプレイが、ファンなどによる強制エアフロー方式ではなく、温度のみの刺激により香り分子を上昇させる自然対流方式であることから、香り分子が上昇時に大気と混じることで生じる散逸現象によるものと推測される。

ところが、実験時に被験者が入力したスライダ操作値が、実験後にとったアンケートの結果と異なることが分かる。これは、図 15 と図 19 から分かるように、香りを感じ始め、スライダの値が急上昇する時点 (Start) から香りの強度がピークに達する時点 (Max) までを算出すると、ビデオなし条件 (約 13 秒間) よりも、ビデオあり条件 (約 20 秒間) の方が長い時間香りを感じている。この理由として、映像による視覚刺激が影響していると推測される。なお、香り強度に関しては、視覚刺激の影響は現れず、アンケートと同様に香源から遠い場合に香りを弱く感じていた。このことから、本実験においては、視覚刺激を同期しても香り強度に関する順応は起こらないことになる。そのため、視覚刺激の同期は、発生した香料の残り香のみに影響すると考えられる。また、前述のように官能評価で被験者が入力したスライダの絶対値には被験者間でのばらつきが大きいので、各被験者内の相対的な値のみを考慮すべきである。ゆえに、スライダ操作をとともう実験により、香り強度における詳細な感覚の変化は取得できないが、ペルチェ素子の温度変化に基づいた、香りの立ち上がり時からの大まかな推移を取得することは可能であると考えられる。当然ながら、香り強度の時間変化に関する正確な値を求める際には、匂いセンサを用いる必要がある。

以上、本研究では、機能性高分子を用い香料の放出制御を行い、その有効性を確かめるべく、システムの性能評価と実際に使われる場面を想定したビデオへの応用の 2 種類の評価実験を行った。実験結果から、機能性高分子による香料の放出制御が有効であることと嗅覚ディスプレイに応用したときにおいても有効であることを確かめた。

ただし、本実験においては、機能性高分子が相転移を起こす温度である 54°C までにペルチェ素子を加熱するには 10 秒かかり、ビデオへの応用実験においては、被験者が感じるまでさらに平均 6.19 秒かかった。ペルチェ素子の加熱時間の問題を解決するためには、ペルチェ素子に与える電力を増すことで解決可能である。ただし小型軽量かつ安価なデバイスとすることを考慮すればむやみに電力を増すことはできない。適正なバランスを求める必要がある。また、香料を被験者の鼻までより早く到達させるためには、煙突構造など

を応用して対流の流れを速くする手段などが考えられよう。

そのほか、本研究で提案しているカード方式によって提示される嗅覚情報が、映像音響コンテンツにおける切替え場面に応じて、無理なく切替え提示できるかについては、「共感覚現象」問題とともに次の課題として進めてゆきたい。

5. 関連研究および特許

嗅覚ディスプレイの研究は、境界領域の研究であるため、広範な分野にまたがっている。特に、本研究で提案するシステムは、材料化学に基づいているため、関連特許についても言及する。

5.1 機能性高分子の応用分野

1982 年、MIT の Tanaka ら¹⁴⁾ が Science に PNIPAAm ゲルのユニークな性質報告して以来、主に再生医療と薬物の放出制御 (Drug Delivery System, DDS) 分野において応用されてきたが、近年では、Micro Electro Mechanical System (MEMS) のマイクロアクチュエータ¹⁵⁾ として、香料の徐放性を有するために芳香剤として様々な分野に応用されている。ただし、芳香剤に関しては、ゲル化剤のみの用途で使われており、本研究のように可逆的な相転移によって芳香を止めるなどの機能としては使われていない。

5.2 類似方式 (カード, シート)

現在、嗅覚情報の伝達媒体としてシートを用いる類似方式として、セイコーエプソンの「芳香成分発生装置を備えたプリンタ」¹⁶⁾、「香り付着装置」¹⁷⁾、吉野工業所の「マイクロカプセル化香料インキにより印刷されたプラスチック容器およびその印刷方法」¹⁸⁾、資生堂の「自動発香方式とその発香システム装置」¹⁹⁾、共立製薬株式会社の「芳香装置および消臭装置」²⁰⁾、テクノロジーの「アロマディスク、アロマテープのアロマ発生装置と音楽、映像、データの記録された匂いを発生するようにした媒体」²¹⁾、リコーの「制御型芳香出力装置および芳香シート」²²⁾、大日本印刷の「香り付きカード」²³⁾ などの特許が出されている。

これらの芳香源は香料をマイクロカプセル化およびコーティングすることで香料を保存し、必要なときに物理的な圧力をかけることによりカプセルおよびコーティングされた外殻を潰すことで内部の香料が放出する技術を用いている。したがって、芳香を提示するための物理的な装置 (ロールまたは崩壊子など) を有するため、小型化には支障がある。

また、1 回使用されたところは 2 度と使えないこと、1 回発生させた匂いは完全発散するまで停止できない

こと、マイクロカプセルまたはコーティング剤を漬す装置に香料が付着するという問題など、家庭に導入するには様々な問題点をかかえている。

5.3 多様な嗅覚ディスプレイ

嗅覚ディスプレイにおける最も早い試みは、「Aroma-Rama (1958)」²⁴⁾ であろう。中国の紀行映画をコンテンツに空調システム上でフロンガスを利用し、芳香提示を行ったが不適切な香料の使用と濃度調節ができなかったため、酷評であった。個々の座席から香りを提示するシステムとしては「Smell-O-Vision (1959)」²³⁾ があったが、芳香の提示場が簡単に予測されたため、酷評であった。

Heilig によって開発された「Sensorama (1962)」²⁵⁾ は、モーターサイクル・ライディング・シミュレータとして、路面状態に応じて振動する椅子や走っている感覚をファンの風邪で表現し、道端の環境に応じて香りを提示するなどマルチ感覚の VR (Virtual Reality) シミュレータであったが、量産化には至らなかった。

商用化への試みは、インターネットの普及とともに始まった。PC につながり、特定のコンテンツに応じて芳香提示を行うシステムとしては、アメリカの「AromaJet」²⁶⁾、「scentair」²⁷⁾、「TriSenX」²⁸⁾ をはじめ、ドイツの「Aerome」²⁹⁾、フランスの「OS-MOOZE」³⁰⁾ など多数の企業が参入している。

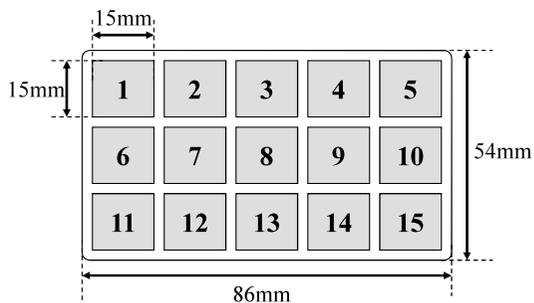
日本国内においては、相場らの「エアコンプレッサ方式」³¹⁾、望月らの「Fragra」³²⁾、廣瀬らの「ウェアラブル嗅覚ディスプレイ」³³⁾、Yamanaka らの「匂い調査装置を用いた匂い記録・再生システム」³⁴⁾ の研究によって商用化された「マロマジュール」³⁵⁾、Yanagida らの「空気砲方式嗅覚ディスプレイ」³⁶⁾ など多様なシステムが提案されているが、多様な映像音響コンテンツに柔軟に対応できないのが現状である。

6. 家庭への適用

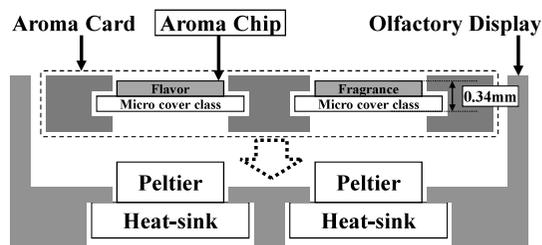
4 章までで、香りの発散と停止が自由にコントロールできる機能性高分子を用いた嗅覚ディスプレイについて論じた。本章では、このような嗅覚ディスプレイ装置を家庭などにおいて実用化する際のカードの実現方式と供給方法について論じる。

まず、アロマチップからなるアロマカード（一般クレジットカードと同様の大きさ）の実現例を図 20 に示す。

図 20 の (a) で示しているようにアロマチップ 1 つの大きさは試作品と同等の大きさ（ $15 \times 15 \times 0.34$ mm）であり、1 つに混合されている香料の量は 0.1 mg であり、性能実験と同様な使い方をするのであれば、数



(a) Aroma card



(b) Cross section of aroma card

図 20 アロマカードのイメージ

Fig. 20 Image of aroma card.

十回は使用できるため、十分実用に耐えるとともに、非常に安価で供給できる。

また、この例では、1 枚のカードは 15 個のアロマチップから構成されているため、最大 15 種類の嗅覚情報が提示可能である。当然ながら、加熱・冷却作用をするペルチェ素子においても、アロマチップにおける香料面積と同等のペルチェで構成され、図 20 の (b) で示しているように、アロマチップとペルチェ素子がそれぞれ個別化された形で構成されている。これにより、ある特定のチップから周囲のチップに熱伝導が起きない構造をとっているため、個々の香料の放出制御が可能であるとともに、ときには、必要な場面に依りて複数の香りを同時に提示することも可能である。

上記のアロマカードを家庭などに供給するには、特定の映像音響コンテンツ用に制作された「アロマカード」を TV 番組の案内雑誌や新聞、あるいはレンタルビデオや CD・DVD などの付録として供給すればよい。これによって、香料の入手・交換が簡素化され、家庭において容易に嗅覚情報付きのマルチメディアコンテンツを楽しむことが可能となるであろう。

7. おわりに

高臨場感が得られる情報通信技術の実現に向けて、五感情報通信技術の研究開発が近年急速に推進されているが、化学変化を感覚受容器が検知して認識する

嗅覚・味覚にかかわる研究はまだ端緒についたばかりの段階である。特に、嗅覚においては、視覚における3原色のような匂いにおける「原臭」が不明である現状から、非汎用(香料代替方式)的な嗅覚ディスプレイが多く提案・開発されてきた。

液体あるいは液体を湿らせたスポンジ、ゼリー、多孔質材料(ベントナイト、ゼオライト、ケイ酸カルシウム)などのカートリッジ方式が主流であったが、芳香源の交換が煩雑であった。そこで香料をマイクロカプセルに封入し、スラリー(Slurry)状にしたものをカードに印刷したものが提案された。これにより、芳香源の交換における利便性は大きく向上したが、芳香の放出制御を行うための機械的機構を持たなければならないという問題をかかえていた。

そこで本研究では、機能性高分子という化学的容器を用いることにより、カード型でしかも香りの発散と停止を任意に制御可能とする方式を提案し、性能評価およびビデオへの応用実験を行った結果、本研究で研究開発した嗅覚ディスプレイが有用であることを確かめた。本論文で提案する嗅覚ディスプレイは、従来のカード方式の利点をそのまま継承している。しかも、温度制御にペルチェ素子を用いることにより、機械的機構をすべて廃することができた。このため、芳香発生装置の小型化・低価格化を実現できるとともに、非常な静粛性(実質的に無音)をも達成できる。

今後は、より多くの人々がより身近なところで手軽に使えるユビキタス・嗅覚ディスプレイとして役立つように研究を進めていきたい。

謝辞 本研究を行うにあたり、北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科の Yang Dae-Hyeok 氏から貴重なアイデアを提供していただいた。また、評価実験の際には多くの方々のご協力をいただいた。本研究の一部は平成 17 年度文部科学省知的クラスター創成事業石川ハイテク・センシング・クラスターにおける「ウェアホーム実現のためのウェア技術の開発研究」プロジェクトの一環として行われた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 総務省五感情報通信技術に関する調査研究会：最終報告書。http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/gokan/pdf/060922_2.pdf
- 2) 天田圭子，島本静子，長尾吉彦，立川一義：わかりやすい香りのテクノロジー，p.171, Ohmsha (1997).
- 3) シーエムシー出版編集部：コントロールリリー

- ス技術，p.203, CMC (1985).
- 4) Kim, M.S., Seo, K.S., Khang, G., Cho, S.H. and Lee, H.B.: Preparation of poly(ethylene glycol)-block-poly(caprolactone) copolymers and their applications as thermo-sensitive materials, *Inc. J. Biomed Mater Res70A*, Wiley Periodicals, pp.154-158 (2004).
- 5) Kim, M.S., Seo, K.S., Khang, G., Cho, S.H. and Lee, H.B.: Preparation of Methoxy Poly(ethylene glycol)/Polyester Diblock Copolymers and Examination of the Gel-to-Sol Transition, *Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry*, Vol.42, pp.5784-5793 (2004).
- 6) Kim, M.S., Hyun, H., Khang, G. and Lee, H.B.: Preparation of Thermosensitive Diblock Copolymers Consisting of MPEG and Polyesters, American Chemical society, *Macromolecules*, Vol.39, No.9 (2006).
- 7) 鶴田禎二，川上雄資：高分子設計，日刊工業新聞社，pp.203-238 (1992).
- 8) Nguyen, T. and Bushnell, L.G.: Feasibility Study of DTMF Communications for Robots, University of Washington, *Department of Electrical Engineering*, Technical Report No.2004-0013 (2004).
- 9) http://www.phidgets.com/
- 10) 森本晃弘，中野吉信：ペルチェ素子の使い方とその駆動回路，トランジスタ技術，Vol.11, pp.203-215 (2003).
- 11) Ledwich, G.: Pulse Width Modulation (PWM) Basics, Power Designers (1998).
http://www.powerdesigners.com/InfoWeb/design_center/articles/PWM/pwm.shtml
- 12) Doty, R.L.: Psychophysical measurement of odor perception in humans, *The Human Sense of Smell*, pp.95-134, Springer-Verlag, Berlin (1991).
- 13) John Harrison (著)，松尾香弥子(訳)：共感覚—もっとも奇妙な知覚世界，p.299, 新曜社 (2006).
- 14) Tanaka, T., Nishio, I., Sun, S. and Ueno-Nishio, S.: Collapse of Gels in an Electric Field, *Science*, Vol.218, No.4571, pp.467-469 (1982).
- 15) Harmon, M.E, Tang, M. and Frank, C.W.: A microfluidic actuator based on thermoresponsive hydrogels, *Polymer*, Vol.44, pp.4547-4556 (2003).
- 16) セイコーエプソン：芳香成分発生装置を備えたプリンタ，特許出願公開番号 P2000-272197A (2000).
- 17) セイコーエプソン：香り付き装置，特許出願公開番号 P2002-96530A (2002).
- 18) 吉野工業所：マイクロカプセル化香料インキに

- より印刷されたプラスチック容器及びその印刷方法, 特許出願公開番号 P2002-19258A (2002).
- 19) 資生堂: 自動発香方式とその発香システム装置, 特許出願公開番号平成 9-327506 (1997).
- 20) 共立製薬株式会社: 芳香装置及び消臭装置, 特許出願公開番号 P2004-81378A (2004).
- 21) テクノリサーチ: アロマディスク, アロマテープのアロマ発生装置と音楽, 映像, データの記録された匂いを発生するようにした媒体, 特許出願公開番号 P2000-163938 (2000).
- 22) リコー: 制御型芳香出力装置および芳香シート, 特許出願公開番号平成 10-146385 (1998).
- 23) 大日本印刷: 香り付きカード, 特許出願公開番号平成 6-207074 (1994).
- 24) Kaye, J.N.: Symbolic Olfactory Display, Media Arts and Sciences, Cambridge, MA, Massachusetts Institute of Technology, 1-124. <http://alumni.media.mit.edu/~jofish/thesis/index.htm>
- 25) <http://www.retrofuture.com/sensorama.html>
- 26) <http://www.aromajet.com/>
- 27) <http://www.scentair.com/>
- 28) <http://www.trisenx.com/intro.html>
- 29) <http://www.aerome.com/>
- 30) <http://www.osmooze.com/>
- 31) 相場秀太郎, 平山 拓, 伊藤修一, 重野 寛, 岡田謙一: 香り情報を付加した放送システムの実現, サイバースペースと仮想都市研究会, Vol.8, No.2, pp.19-24 (2003).
- 32) 望月有人, 井村誠孝, 安村喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原国宏: 能動的に匂いを嗅ぐ動作に特化した嗅覚提示装置の開発と応用, AROMA RESEARCH No.20, Vol.5, No.4, pp.350-356 (2004).
- 33) 廣瀬通孝, 広田光一, 谷川智洋, 横山智史: ウェアラブル嗅覚提示ディスプレイの開発, 日本バーチャルリアリティ学会大 8 回大会論文集, pp.69-72 (2003).
- 34) Yamanaka, T., Matsumoto, R. and Nakamoto, T.: Study of odor blender using solenoid valves controlled by delta-sigma modulation method for odor recorder, *Sensors and Actuators B*, Vol.87, pp.457-463 (2002).
- 35) <http://www.mirapro.co.jp/>
- 36) Yanagida, Y., Kawamoto, S., Noma, H., Tomono, A. and Tetsutani, N.: Projection-Based Olfactory Display with Nose Tracking, *Proc. IEEE Virtual Reality*, pp.43-50 (2004).

(平成 19 年 4 月 17 日受付)

(平成 19 年 10 月 2 日採録)



金 東焜 (学生会員)

1972 年生. 2006 年北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程修了. 同年より北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程在学中. 日本味と匂学会, におい・かおり環境学会各会員.



三浦 元喜 (正会員)

1974 年生. 1997 年筑波大学第三群情報学類卒業. 2001 年筑波大学大学院工学研究科博士課程修了. 博士 (工学). 同年筑波大学電子・情報工学系助手. 2004 年より北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助手. 現在に至る. ヒューマンコンピュータインタラクション, グループウェア等に興味を持つ. 日本ソフトウェア科学会, ACM, ヒューマンインタフェース学会, 人工知能学会, 日本教育工学会, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会, 日本創造学会各会員.



李 東祐

1974 年生. 2000 年韓国慶北大学大学院高分子工学科修士課程修了. 2000~2001 年韓国 (株) SAMJIN 研究所研究員 (界面活性剤研究). 2007 年北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科博士後期課程修了. 博士 (工学). 2007 年より LGS (株) 敷設研究所責任研究員. JACS 会員.



柳 在官

1977 年生. 2004 年韓国慶熙大学大学院機械工学専攻博士前期課程修了. 2005 年より北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程在学中. 21 世紀 COE プログラム「安心電子社会研究センター」研究員. ACMD2006 Best student paper 受賞. IEEE Robotics and Automation Society 会員.



西本 一志 (正会員)

1987年京都大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。同年松下電器産業(株)入社。1992年(株)ATR通信システム研究所研究員,1995年(株)ATR知能映像通信研究所客員研究員。1999年より北陸先端科学技術大学院大学助教授,2007年より教授。2000~2003年科学技術振興事業団さきがけ研究21「情報と知」領域研究員兼任。1999年度情報処理学会坂井記念特別賞,1999年度人工知能学会論文賞,ACM Multimedia 2004 Best Paper Award等受賞。IEEE computer society, ACM,人工知能学会,ヒューマンインタフェース学会各会員。博士(工学)。



國藤 進 (正会員)

1974年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年富士通(株)国際情報社会科学研究所入所。1982~1986年ICOT出向。1992年より北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授,1998年より知識科学研究科教授。2005年より東京農工大大学院客員教授。博士(工学)。情報処理学会創立25周年記念論文賞,1996年人工知能学会研究奨励賞各受賞。日本創造学会会長。人工知能学会,計測自動制御学会,電子情報通信学会等各会員。



川上 雄資

1945年1月12日生(62歳)。1973年3月東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。米国ミシガン大学化学科留学。名古屋大学助教授を経て1992年4月北陸先端科学技術大学院大学教授。評議員,材料科学研究科長を歴任。中国青島化工大學兼任教授,韓国慶北国立大学 Foreign Distinguished Professor,アメリカ化学会,日本化学会,高分子学会会員。著書:高分子設計(日刊工業新聞社) Polymer International Executive Editor。平成15年度高分子学会三菱化学賞受賞。平成19年度(2007)Rensselaer Polytechnic Institute(USA) Reed Lectureship。専門:高分子化学,特にケイ素系ポリマーの機能開発。