

基礎論文

食味における感覚統合に関する研究

森谷 哲朗^{*1} 矢野 博明^{*2} 岩田 洋夫^{*2}

Research on Sensory Integration in a Taste of Food

Tetsuro Moriya^{*1}, Hiroaki Yano^{*2} and Hiroo Iwata^{*2}

Abstract: This paper describes sensory integration using the Food Simulator. A taste of a food arises from mixture of auditory, chemical, and force sensation. The food simulator generates a food texture according to the force profile captured from a user's biting force of a real food. By development of the Food Simulator, we can extract only texture from taste. We experimented in sensory integration by displaying texture, sound, smell and taste. Our goal is to study integration among sensory modalities regarding a taste of a food.

Keywords: sensory integration, food texture, biting sound, taste, smell

1 はじめに

人間は、多種類の感覚によって外界からの情報を総合的に認識している。それらの感覚に、装置を用いて臨場感を呈示するものがバーチャルリアリティ技術である。対象となる感覚に関して、個々の感覚を一般化することが重要であるが、複数の感覚が同時に現れる場合、それぞれの感覚を分離することは困難である。人間は、単一の感覚のみで認識や判断をしているわけではなく、感覚間の相互関係が人間の知覚に大きく影響している。近年、このようなマルチモーダルの研究が盛んに行われている。

人間が物を食べる時、味、形状、色、香り、食感(テクスチャー)、咀嚼音などの要素によって食品を味わっている。これらの要素は、味覚、視覚、嗅覚、聴覚、触覚などのさまざまな感覚によって知覚される。味は、甘味、酸味、苦味、塩辛さなどの混合割合によって決定されるというが[1]、あまり味の無い米やパンなどのおいしさは、テクスチャーが大きな役割をはたしていると考えられている[2]。我々は、このテクスチャーについての研究を行い、食品の力学的物性を呈示する装置を開発した[3]。この装置により、「食べる」という感覚においてテクスチャーを独立分離することが可能となり、食味における感覚分析を行える実験環境を実現したと言える。

本研究では視覚以外の要素である食感(口内感覚)、聴覚、嗅覚、味覚について、食味における感覚の優位性を感覚統合実験によって検証することを目的としている。実験では、食感、味、音、匂いなど、それぞれ独自の方法により呈示を行い、各感覚に対して独立に呈示、または組み合わせの呈示をした時、どれほどの臨場感があるか、順位付けによって評価を行った。

本論文では、食感の測定方法と呈示方法を述べ、骨伝導における咀嚼音の測定方法と呈示方法、味物質の合成方法とシリンジポンプによる呈示方法、実食品の匂いの呈示方法を述べた後、一対比較法による感覚統合実験結果を紹介する。

2 関連研究

近年、食味に関する研究として食感や味、匂いなどの定量化に関する研究が活発である。食品のテクスチャー測定やテクスチャー評価の研究[4][5][6][7]が数多く行われている。味覚に関しては、官能検査による味覚の定量化の研究が行われている[8][9]。味覚の官能検査は、被検者に一定の条件下で比較判断させる方法であるが、咀嚼音、匂い、食感などを同時に感じるために、個々の感覚について調べるのが不可能であった。そこで、近年、生体膜を模倣した脂質高分子膜を用いた味覚センサ[10][11]が開発された。これは舌の味細胞で受容される五つの基本味を、電位出力応答パターンにより味覚を定量化するというセンサである。そして、匂いに関しては匂いセンサ[12][13]がある。これは水晶振動子ガスセンサを用いて応答パターンを解析し匂いを定量化するというものである。著者らが開発した咬合力を呈示する装置[3]の開発や、味覚センサ、匂いセンサなどの開発によって、より精度の高い

*1: 筑波大学 システム情報工学研究科

*2: 筑波大学 機能工学系

*1: Graduate School of System and Information Engineering, Univ. of Tsukuba

*2: Institute of Engineering Mechanics, Univ. of Tsukuba

食味の定量化ができるようになった。実食品を使った官能評価では総合された味しか評価できないが、本研究における実験方法を用いれば、任意の感覚チャンネルを設定できるという利点がある。

食味におけるこれらの感覚が同時に現れるときに人間はどのように感じるか、という感覚統合の研究はまだ行われていない。食味は、食品の味、形状、色、香り、テクスチャー、咀嚼音などによって決まっている。これらの情報は、人間の感覚間の相互関係が知覚に大きく影響しているといえる。そこで、本研究では噛むという行為に着目し、視覚以外の食味に関する感覚(味覚、嗅覚、聴覚、食感)について、単数または複数の感覚を組み合わせた時の影響を調べる。調べる手段として感覚統合実験を行った。この実験は被験者に対して、15種類の刺激を与え、どの感覚の組み合わせがより現実感を高めているかという感覚の相互関係を調査することを目的としている。

3 食感の呈示について

3.1 食感呈示装置

著者らは歯に咬合力を呈示する装置を開発している[3]。この装置は4節リンクのデコクランク機構であり、DCモータで駆動する1自由度の構造になっている。最大出力はリンクの姿勢によって変化し、最低7kgf、最高28kgfの出力が可能である。また、人間が噛む動作にあわせて動く必要があるため、人間の口に合った形状に設計されている。装置にはポテンショメータと圧力センサが装備されており、位置と圧力を同時に取得できる。

この呈示装置の外観を図1に示す。装置を噛むときには図のように装置を手で持ち、右の先端を口に入れて側切歯で噛む。衛生面を考え、口に入る部分にはゴムと布の2層のカバーをかぶせている。



図1 力覚呈示装置の外観

3.2 咬合力の測定

咬合力の測定には、薄いフィルム状の圧力センサ(Flexi Force : Tekscan 社)を用い、センサの上に食品を乗せ、同時に噛むという方法をとった。噛み方は、普段と同じように食品を噛み、砕破し終わったら噛むのをやめるという方法である。

りんごの測定波形についてグラフを図2に示す。これは、りんごを側切歯で噛んだときにかかる圧力と時間である。最初のピークが約3.3kgfであり、これがりんごの破断応力である。破断応力とは食品に力を加え続けると、ついに破壊するときの応力である。この応力によって食品のかたさが決定されるため、この物性値を咬合力の呈示に用いる。グラフでは、破断応力に達した直後は一時的に圧力が低下しているが、崩れた食品をつぶすために再び圧力が上昇し、約0.4秒で噛み終わりとなる。

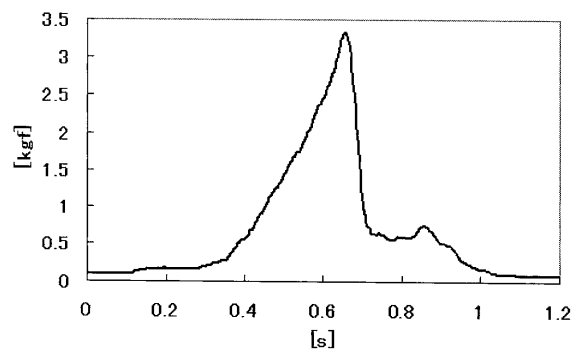


図2 りんごの測定波形

3.3 咬合力の呈示方法

咬合力の呈示は、体験者が装置を噛んだとき咬合力が破断応力に達したかどうか判定し、もし達していれば、測定した圧力波形を出力するという方法を取っている。具体的には、初めに食品のかたい面を位置制御によって作り出し待機する。体験者が加える咬合力がその食品の破断応力に達したら食品は破断されたとみなされるので、次のステップとして測定で得られた変形過程のデータを出力する。変形過程のデータとは食品の破断から噛み終わりまでの圧力値であり、食品がすり潰されるときの様子を表している。

3.4 呈示結果

前節の方法によって、測定した力学的物性値から制御に必要な情報を抽出し、咬合力を呈示した。得られた圧力と位置の波形を図3に示す。

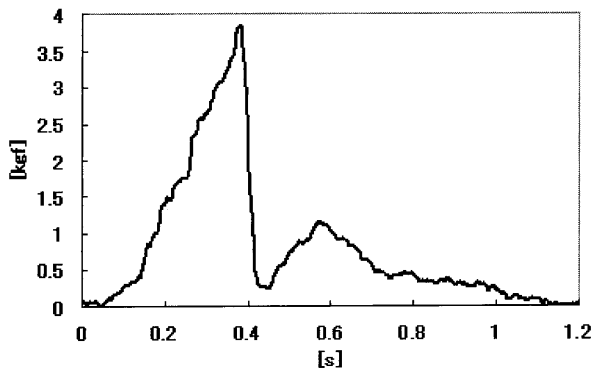


図 3 りんごの呈示波形

りんごの呈示波形は、最初の破断応力が約 3.6kgf であり、測定結果とほぼ一致している。その後 2 つのピークの大きさも測定結果と一致した。これらの結果によって、咬合力の呈示、すなわち食感の再現を行うことができたと言える。この装置によって、食味における食感の要素を分離することが可能となった。ただし、これらの呈示結果は毎回同じ結果が得られるとは限らない。測定時と同様、装置を噛む歯の位置や、噛む速さ、強さなどの個人差によって、得られる波形が異なる場合がある。

4 音の呈示について

4.1 骨導音

人間が食品を噛むときの音は 2 種類の経路で耳に伝わってきている。空気を伝わる気導音と、頭蓋骨から内耳に直接伝わる骨導音である。前者は、空気の振動が鼓膜を振動させ、中耳の耳小骨によって拡大されて内耳の壁に伝えられる。後者は、空気をまったく介さず頭蓋骨等から内耳に直接的に伝わってくるため、聞こえている本人にしかわからない。例えば録音された自分の声がいつも自分で聞いているのと違った音に感じるのは、気導音のみが録音され、骨導音は録音されていないためである。

食品を咀嚼する際に聞こえる音の大半は骨導音である。この骨導音を呈示することで、より高い臨場感が得られると考えられる。したがって、本研究における音の呈示とは、骨導音の呈示を指すものとする。本システムでは、骨伝導マイクで録音した咀嚼時の音を骨伝導スピーカーで呈示する。

4.2 骨導音の録音と再生

咬合力の測定に用いた圧力センサと食品を同時に噛むことによって、圧力と音声を同時時間軸で測定することが可能である。骨伝導音の録音には図 4 のようにイヤホン型の骨伝導マイクを用いる。



図 4 骨伝導マイク

このマイクの使い方は、イヤホンを耳の中に入れて食品を噛むだけである。そのときの骨導音は PC に音声ファイルとして保存される。例として、煎餅を噛んだときのグラフを図 6 に示す。煎餅は、咀嚼時に音が多段階に分かれて発生すること特徴的な食品である。咬合力の変化に合わせて、音圧レベルが変化しているのが分かる。

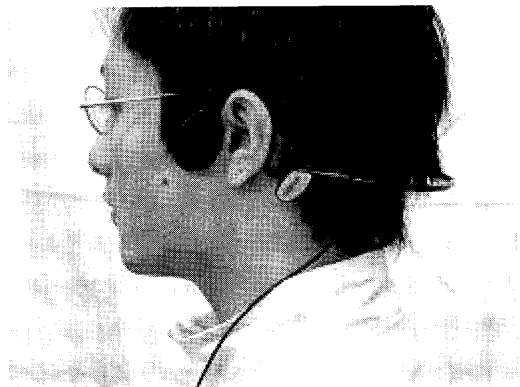


図 5 骨伝導スピーカー

この骨伝導音の呈示は、音声ファイルを破断応力に達した時刻にあわせて再生することにより、違和感なく咀嚼音を呈示できる。この方法では、破断応力に達する前の咀嚼音を呈示することはできないが、噛んだという感覚を得るためには、食品の大変形時における破壊音が呈示できればよい。

骨伝導音の再生には図 5 のような骨伝導スピーカーを用いる。この骨伝導スピーカーは耳横の頬骨にあてて使用する。骨伝導マイクで録音した咀嚼音を、骨伝導スピーカーで再生することによって、人間が咀嚼するときに頭蓋骨で響いている音を呈示することが可能となった。また、食味から聴覚だけを分離し、統合するときに、任意の音を呈示することも可能となった。

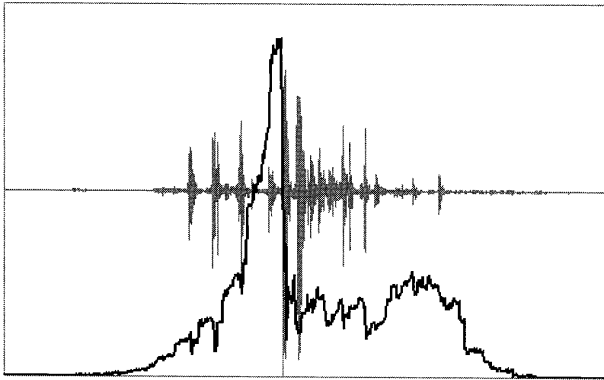


図 6 咬合力と咀嚼音の同時測定

5 味の呈示について

5.1 基本味の合成

味は5つの基本味で分類することができる。甘味・塩味・酸味・苦味・うま味である。味覚は、複雑な要素が多いため味を客観的に測定する方法が明確に定まっておらず、5つの基本味を化学的に表現することは困難とされてきた。しかし、近年、味覚センサが開発され、食品の味を数量的に表すことができるようになった。そしてその数値に基づいて基本味を合成することにより、元の食品の味を再現することが可能になった[11]。

本研究では、リンゴの味を模した合成味を作り出すことを行っている。食品成分表の食品中のアミノ酸含有量や糖分、塩分などを参考に5基本味を調合した。本研究で使用した基本味は、砂糖(甘味)、酒石酸(酸味)、食塩(塩味)、グルタミン酸ナトリウム(うま味)である。これらを水に溶かし液体として味物質を構成する。

5.2 味の呈示

味を呈示するには口内全体に限らず液体が行き渡るようにしなければならない。味物質の呈示には図7にあるようなシリンジポンプを用いて、図8のようにチューブを食感呈示部に取り付け、咀嚼と同時に液体を勢いよく放出する。放出する液体の量は、0.1ml から0.2ml である。

シリンジポンプはRS232CでPCに接続され、プログラムによって制御される。味の呈示は音の呈示と同様に、体験者の加える咬合力が破断応力に達したかどうかを判断して、液体を射出する。

今回の呈示では、すでに合成された液体を1台で呈示したが、このシリンジポンプを5台用いて5基本味を割り当て、噛む瞬間に合成・呈示することも可能である。

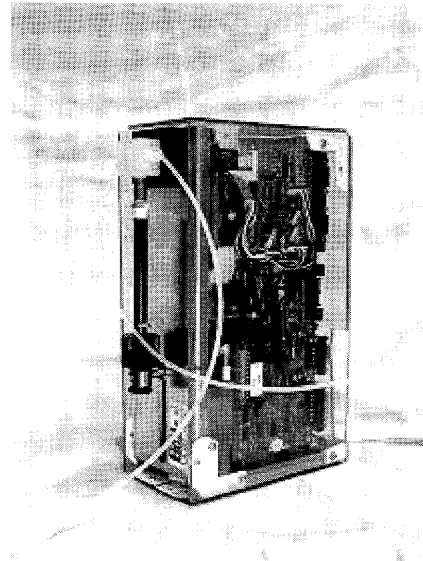


図 7 シリンジポンプ

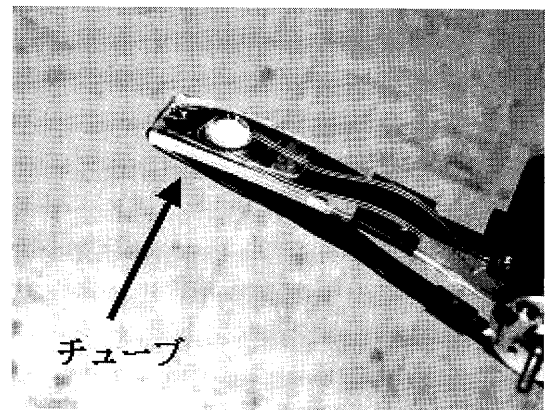


図 8 食感呈示部に付けられたチューブ

5.3 嗅覚の呈示

匂いには基本臭というものがあるが明確に存在しない。したがって、任意の匂いを前述の味のように合成することは不可能である。そのため、実食品の匂いを用いることで、匂いの呈示とした。実験食品であるりんごを被験者の鼻に近づけ、匂いを嗅ぎながら食感や音を呈示するという方法を取った。これは、匂いセンサのデータに基づいてリンゴ臭を合成するのと等価である。

6 感覚統合実験

6.1 実験方法

4つの感覚についての組み合わせは単独感覚を含め、15種類の組み合わせが存在する。これらの組み合わせから2つを取り出し比較する。一対比較法は、1つずつ比較を繰り返すことで、感覚間の順位付けを行う方法である。以下に15種類の試行を表1にまとめた。

表1 試行の組み合わせ

単独	2種-組合せ	3種-組合せ
食感	食感と音	食感と音と味
味	食感と味	食感と音と匂い
匂い	食感と匂い	食感と味と匂い
音	音と味	音と味と匂い
	音と匂い	
	味と匂い	4種-組合せ
		食感と音と味と匂い

被験者には、「どちらがよりリンゴを食べた感覚がするか」という質問をし、よりリンゴを食べた感覚が「非業にする」「かなりする」「すると思う」「どちらとも言えない」「しないと思う」「ほとんどしない」「全くしない」の7段階で評価をさせた。具体的な例としては、「音と味」という組み合わせと「食感と味」という組み合わせのどちらが、リンゴを食べた感じがするかというものである。これらの試行によって、順位付けをすべての組み合わせに対して行った。被験者は21-23歳の学生5名であり、一人当たりの試行数は15x14の210試行である。試行数が多いため、日数が開かないよう、試行を3回にわけて実験を行った。

また、味覚と嗅覚においては感覚のリセット作業が必要なため、いずれかの呈示を行った後、うがいや深呼吸をさせた。呈示の方法は、食感の力覚なら食感呈示装置を用い、聴覚は骨伝導スピーカー、味覚はシリンジポンプを用いた。嗅覚については、実食品を鼻に近づけ匂いを嗅ぐように指示した。

6.2 実験結果

15種類の試行における実験結果を図9にまとめた。

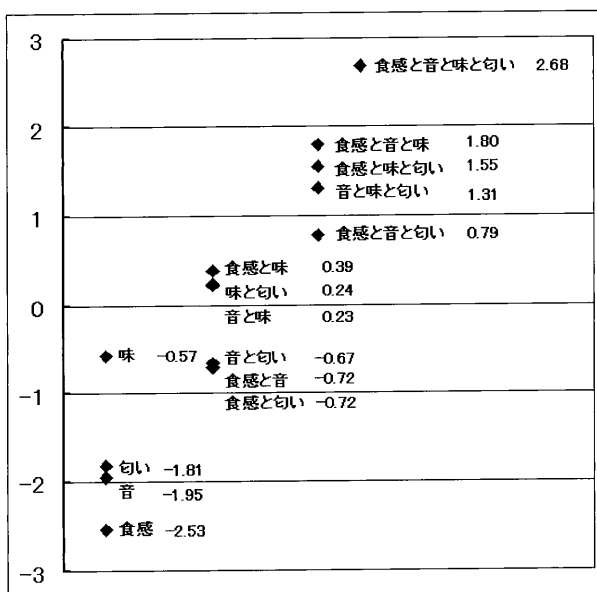


図9 統合実験結果

ポイントがより高いほうがリンゴを食べた感覚がするということになる。結果を見ると予想通り、組み合わせる感覚数が少ないもののほど評価が低いという結果になった。そして与える感覚数が多くなるほど高い評価となった。また、味覚の影響を強く受ける傾向があり、単一の刺激と2種組み合わせにおいて、味覚を含んでいる試行の評価が高くなっている。単一の感覚の中で、食感は最も評価が低い、他の感覚と組み合わせた時、評価が高くなる傾向にある。

6.3 考察

食感は、全試行の中で一番評価が低い、他の感覚との組み合わせによって飛躍的に評価が向上する。これは、食味について食品のテクスチャーが重要な要素であるといえる。味については、実際に口内に味物質が射出され、喉を通るので「食べた」という感覚があるので当然の結果であったが、食感があることによって物理的に食べたという感覚になり、評価が高くなったと思われる。ある被験者は、「食感と他の組み合わせは、感覚を足した感じがするが、食感と味の組み合わせは、感覚を掛けた感じだ」とコメントした。

匂いや音の感覚呈示では、感覚が増えるとその分だけ評価が上がるという結果になった。これらの感覚の組み合わせには特に目立った特徴はない。嗅覚への呈示法として、リンゴを鼻に近づけるという方法を取ったが、人間が実際に食品を噛むときには、外からの匂いよりも口内からの匂いを感じて食味を味わっている。口内と口外の影響の差がどれほどあるのか定かではないが、こちらの影響も調べる必要があるだろう。

7 まとめ

本研究では、咬合力を呈示する食感呈示装置、聴覚呈示する骨伝導スピーカー、味覚呈示するシリンジポンプなどを用いて、感覚間の相互関係を調べることが可能な実験環境を整え、一対比較法による感覚統合実験を行った。実験の結果、食味の評価は組み合わせ数に比例しているということが分かった。中でも、味覚に対する評価は比較的高く、他の感覚と組み合わせることで、より高い評価になっていた。そして、食感と味に関しては感覚の相互関係によって高い評価となることが分かった。今回の実験では、噛むという行為に着目しているため、あえて視覚呈示を行わなかった。食品を噛む時には口の中にあるため、それが見えないからである。しかし、視覚情報はHMDを用いて、食感呈示装置の先端に食品の映像を重畳することによって呈示することができる。その効果を確認するのは興味

深い実験である。

今回の実験によって、食味における感覚の順位付けを行うことができた。このような、複数感覚の相互関係を明らかにするという事は、感性を扱う研究において重要であり、有意義な成果を得たといえる。

Electronic Noses and Olfactory Displays,
Communication Through Virtual Technologies, IOS
Press (2001)

(2004 年 4 月 21 日 受付)

参考文献

- [1] Kawamura, Y., Kare, M. R., Umami: A Basic Taste, Marcel Dekker, New York, (1987)
- [2] 森 友彦, 川端 晶子 編: 食品テクスチャー評価の標準化, 光琳, 1997
- [3] 上村尚弘, 森谷哲朗, 矢野博明, 岩田洋夫: 食感呈示装置の開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 8 No. 4 pp. 399-406, 2003. 12
- [4] Kohyama, K., Nishi, M., and Suzuki, T. Measuring texture of crackers with a multiple-point sheet sensor. J. Food Sci. 62(5), 922-925, 1997
- [5] Kohyama, K., Sakai, T., Azuma, T., Mizuguchi, T., and Kimura, I. Pressure distribution measurement in biting surimi gels with molars using a multiple-point sheet sensor. Biosci. Biotechnol. Biochem., 65(12), 2597-2603, 2001
- [6] Kohyama, K. et.al., Chewing patterns of various texture foods studied by electromyography in young and elderly populations. J. Texture Studies, 33(4), 269-283 (2002)
- [7] Kohyama, K. et.al., Patterns observed in the first chew of foods with various textures. Food Sci. Technol. Res., 7(4), 290-296 (2001)
- [8] 山口静子: 味覚の数量化, 調理科学, 9 pp. 80-pp. 85, 1976
- [9] 松本伸子・松元文子: 食べ物の味—その評価に関わる要因—, 調理科学, 10, pp. 97-pp. 100, 1977
- [10] K. Toko, T. Matsuno, K. Yamafuji, K. Hayashi, H. Ikezaki, K. Sato, S. Kawai, Multichannel Taste Sensor Using Electric Potential Changes in Lipid Membranes Biosensors and Bioelectronics, Vol. 9, pp. 359-364 (1994)
- [11] K. Toko, Electronic Tongue, Biosensors & Bioelectronics, Vol. 13, pp. 701-709 (1998)
- [12] Nakamoto, T., et.al., Active Gas Sensing System Using Automatically Controlled Gas Blender and Numerical Optimization Technique, Sensors and Actuator B, 41 pp. 183 (1994)
- [13] Davide, F., et.al., Virtual Olfactory Interfaces:

[著者紹介]

森谷 哲朗 (学生会員)



2003 年筑波大学第三学群工学システム学類卒業。同年、筑波大学大学院システム情報工学研究科入学、現在に至る。

矢野 博明 (正会員)



1997 年筑波大学大学院工学研究科修了。同年日本学術振興会特別研究員 (PD), 99 年筑波大学機能工学系講師、現在に至る。力覚呈示, 移動感覚呈示に関する研究に従事。博士 (工学)。

岩田 洋夫 (正会員)



1981 年 東京大学工学部機械工学科卒業, 1986 年 東京大学大学院工学系研究科修了 (工学博士), 同年筑波大学構造工学系助手。現在筑波大学機能工学系教授。ハプティックインタフェース, ロコモーションインタフェース, 没入ディスプレイの研究に従事。工学博士。1998 年 東京テクノフォーラム 21 ゴールドメダル受賞。2001 年文化庁メディア芸術祭優秀賞受賞。