

# 分散仮想環境における香りの動的出力タイミング制御のユーザ体感品質評価

## Quality of Experience Assessment of Dynamic Output Timing Control of Fragrance in Networked Virtual Environment

黄 平国<sup>†</sup>, 正会員 石橋 豊<sup>†</sup>, 正会員 福嶋 慶繁<sup>†</sup>, 菅原 真司<sup>†</sup>

Pingguo Huang<sup>†</sup>, Yutaka Ishibashi<sup>†</sup>, Norishige Fukushima<sup>†</sup> and Shinji Sugawara<sup>†</sup>

**Abstract** In this paper, we propose dynamic output timing control of fragrance in a networked virtual environment to improve the quality of experience (QoE). The control changes the output timing of fragrance dynamically in accordance with the movement speed and direction of a fragrance source. We implement the control in a remote ikebana (Japanese flower arrangement) system with olfaction and haptic sense and investigate the effect of the control by QoE assessment. As a result, we demonstrate that the mean opinion score (MOS) when the control is used is high and does not depend much on the movement speed and direction of the flower, which is the fragrance source.

キーワード：分散仮想環境, 遠隔生け花, 香り, 出力タイミング, 動的制御, ユーザ体感品質

### 1. ま え が き

近年, 嗅覚に関する研究が活発に行われている<sup>1)~4)</sup>. 嗅覚を視覚, 聴覚, 力覚等と一緒に扱うことにより, 臨場感の高いコミュニケーションが可能となる<sup>5)6)</sup>. そのため, 生け花<sup>7)</sup>, 料理<sup>8)</sup>, 果物狩り競争ゲーム<sup>9)</sup>などの多くのアプリケーションが考えられている.

文献6)では, 嗅覚を利用した3次元仮想空間システム Friend Park を構築している. そして, 仮想空間内の嗅覚情報を表現するために, 香りが感じられる範囲を表した物体アロマオーラと環境アロマオーラという概念を導入している. しかし, これらのアロマオーラの大きさは一定であるので, 香りの出力タイミングも固定されている. 文献7)では, 嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花システムに対して, 花の香り空間(香りを感じる球状の領域のことで, 文献6)の物体アロマオーラに相当)の大きさがユーザ体感品質(QoE: Quality of Experience)<sup>10)</sup>に及ぼす影響を調査している. その際, 花を持って利用者の視点に近付ける場合と, 視点から遠ざける場合に分けてQoE評価を行っている. その結果,

香り空間の大きさには最適値が存在し, その最適値は花の平均移動速度や方向に依存することが示されている. 従って, 花の香り空間の大きさをある値に固定すると, 花の移動速度や方向によっては, 香り出力に関するQoEが大きく劣化する恐れがある.

そこで本論文では, この問題を解決するため, 文献7)の評価結果に基づいて, 香りの動的出力タイミング制御を提案する. そして, 嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花システムにその制御を実装し, その効果をQoE評価により調査する.

以下では, まず, 2. で嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花システムを概説する. 次に, 3. で香りの動的出力タイミング制御を提案する. そして, 4. で評価方法を説明し, 5. において評価結果について考察する.

### 2. 嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花システム

本システムでは, 先生と生徒が一つの3次元仮想空間を共有し, 触覚インタフェース装置 PHANToM Omni<sup>11)</sup>(以下, PHANToM と略す)を用いて反力を感じながら, 花を持って, 茎の長さをハサミで調整し, 剣山に挿すことができる(図1参照. 図1は生徒がバラの茎を切ろうとしている様子を示している. 仮想空間内のハサミの長さを1とすると, 視点(図1の仮想空間中央の手前. 図2の側面図を参照)と切ろうとするバラの距離は約6である)<sup>7)</sup>. また, 花が視点に近づくと, 嗅覚ディスプレイ SyP@D2<sup>12)</sup>によって, その花の香りが感じられるようになっている.

2012年6月25日受付, 2012年9月12日再受付, 2012年10月23日採録

<sup>†</sup>名古屋工業大学 大学院工学研究科 創成シミュレーション工学専攻  
(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, TEL 052-732-2111)

<sup>†</sup>Department of Scientific and Engineering Simulation, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology  
(Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan)

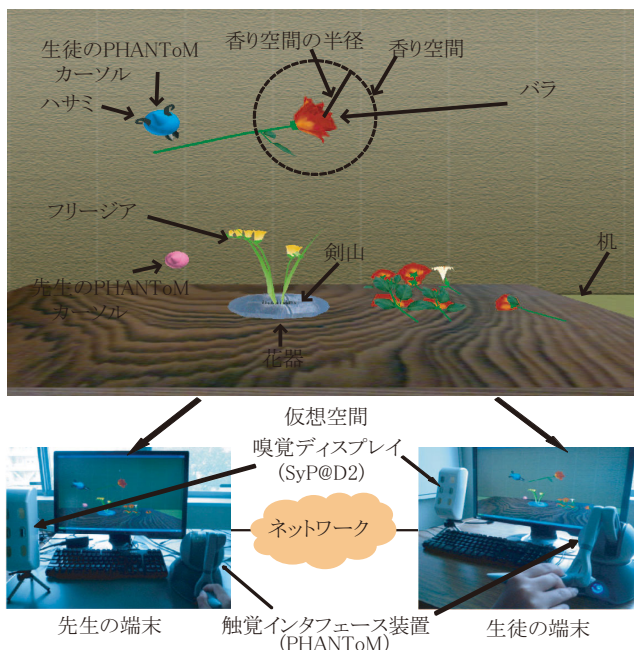


図1 嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花システムの構成  
Configuration of remote Ikebana system with olfaction and haptic sense.



図2 図1の仮想空間の側面図  
Side-view of virtual space in Fig. 1.

先生と生徒は、PHANToMを用いてカーソル(3次元仮想空間内におけるPHANToMのスタイライスの先端を表す点)を操作して、花の茎に触ることができる。花(バラまたはユリ)は、最初に机の右奥に並べて置かれている(図1参照)。また、カーソルで花の茎に触った状態でPHANToMのスタイラスボタンを押すと、その花がカーソルに接着し、持ち上げて動かすことができるようになる。カーソルで花の茎に触るとき、カーソルが茎に与える力と同じ大きさで、反対方向の力が反力としてPHANToMに提示される。そして、花を持ち上げた状態で、PHANToMのスタイラスボタンを離すと、カーソルと花は接着されなくなり、花は重力に従って落下する。

また、花の香りは、花冠を中心として、一定の距離まで届くとする<sup>7)</sup>。すなわち、香りが届く範囲は、図1の仮想空間に示すような球となる。この球を香り空間<sup>7)</sup>と呼ぶ。先生または生徒の視点が香り空間内に入ると、その花の香りをSyP@D2から出力する。このとき、文献9)と同様に、出力される香りは約2秒後に先生または生徒に届く(SyP@D2

と先生または生徒の鼻先間の距離を約0.3mとし、SyP@D2の香りを送り出すための風力を最大とする)。また、視点が香り空間の外に出ると、その花の香りの出力を停止する。先生または生徒は、約2秒後に香りを感じなくなる<sup>7)</sup>。

### 3. 香りの動的出力タイミング制御

この制御では、ある一定の周期 $T$ (本論文では $T=0.3$ 秒とする)で、利用者の視点に対する香り発生源のオブジェクトの移動速度と方向を測定し、それらに応じて香り空間の半径を変更する。以下では、2.の遠隔生け花システムを対象として、視点の移動は行わず、一つの花を移動する場合について、制御の説明を行う。また、 $n(\geq 1)$ 番目の周期における香り空間の半径を $R_n(>0)$ で表す。さらに、 $n$ 番目の周期の終了時点における花と視点間の距離を $D_n(\geq 0)$ とし、 $D_0$ を花の初期位置(1番目の周期の開始時点における位置)と視点間の距離とする。そして、視点に対する花の移動速度を $v_n(\geq 0)$ で表し、 $v_n=|D_n-D_{n-1}|/T$ と定義する。

文献7)の結果によると、視点が花の香り空間に入っていない状態で視点到花を近付ける場合、平均移動速度が0.68/s(前述のように、ハサミの長さを1とする。以下同様)のとき、香り空間の半径の最適値は8であり、1.46/sのとき、10である。また、視点が香り空間に入っている状態で視点から花を遠ざける場合、平均移動速度が0.51/s、1.50/sのとき、香り空間の半径の最適値はそれぞれ8、6である。本論文では、香り空間の半径の最適値と平均移動速度は線形関係にあると仮定する。このとき、花を近付ける場合の $R_n$ は以下のようになる。

$$R_n = 2.56v_{n-1} + 6.26 \tag{1}$$

ただし、 $v_0=0/s$ とする。また、花を遠ざける場合の $R_n$ は次式で与えられる。

$$R_n = -2.02v_{n-1} + 9.23 \tag{2}$$

$n=1$ のとき、式(1)と式(2)で $R_1$ の値が異なるので、初期状態では花の香り空間は視点に入っておらず、花の香りを出力していないと仮定する。このとき、 $R_1$ は次のようになる。

$$R_1 = 6.26 \tag{3}$$

以上の式を用いて制御を行うと、次のような問題が生じ得る。それは、香りを出力していない状態で、花を遠ざけることによって香りを出力する場合や、香りを出力している状態で、花を近付けることによって香りの出力を停止する場合があることである。前者の場合には、例えば、花を遠ざける速度が途中で遅くなると、香りを出力することがある。この理由は、移動速度が遅くなると、香り空間の半径が大きくなり(式(2)参照)、視点が再び香り空間に入る可能性があるからである。また、花を近付ける動作から遠ざける動作に切り替えるときも香りを出力することがある。これは、



遠ざけるときの香り空間の半径が近付けるときのそれより大きくなる可能性があるからである。後者の場合には、例えば、近付ける速度が途中で遅くなると、香りの出力を停止することがある。これは、移動速度が遅くなると、香り空間の半径が小さくなり(式(1)参照)、視点が香り空間から外に出る可能性があるからである。また、遠ざける動作から近付ける動作に切り替えるときも香りの出力を停止することがある。これは、近付けるときの香り空間の半径が遠ざけるときのそれより小さくなる可能性があるからである。

この問題を防ぐために、香りを出力していない状態で遠ざける場合、 $n$  番目の周期における香り空間の半径( $R_n$ )を  $n-1$  番目の周期におけるそれ( $R_{n-1}$ )になるようにする(即ち、 $R_n=R_{n-1}$ )。また、花を出力している状態で近付ける場合も同様に  $R_n=R_{n-1}$  とする。

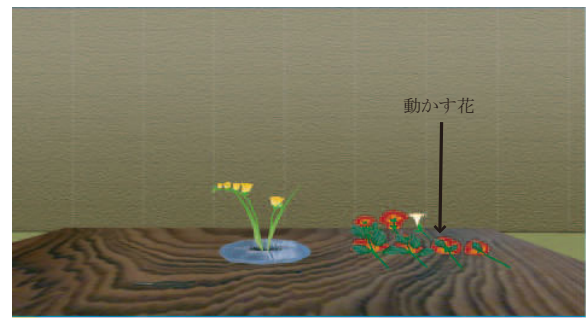
以上をまとめると、香り空間の半径  $R_n$  ( $n \geq 2$ ) は次のようになる。

$$R_n = \begin{cases} 2.56v_{n-1} + 6.26 & (\text{香りを出力しておらず} \\ & (D_{n-1} \geq R_{n-1}), \text{ 視点に近付ける場合}) \\ R_{n-1} & (\text{香りを出力しておらず} \\ & (D_{n-1} \geq R_{n-1}), \text{ 視点から遠ざける場合}) \\ R_{n-1} & (\text{香りを出力しており} \\ & (D_{n-1} < R_{n-1}), \text{ 視点に近付ける場合}) \\ -2.02v_{n-1} + 9.03 & (\text{香りを出力しており} \\ & (D_{n-1} < R_{n-1}), \text{ 視点から遠ざける場合}) \end{cases} \quad (4)$$

#### 4. 評価方法

評価システムとして、図1の先生と生徒の端末を100BASE-TXケーブルで直結したものをを用いる。QoE評価では、被験者は生徒の端末を用いる。SyP@D2と各被験者の鼻先間の距離を約0.3mとし、SyP@D2の風力を最大とする。そして、各被験者は、机の上の花(本論文ではバラとする)を一本選んで、自分の視点に近付ける作業と視点から遠ざける作業を行う。なお、簡単のため、二つの作業において、視点は動かさないものとする。

視点に近付ける作業では、花の香りを発生していない状態(図3(a)参照。視点と動かす花の距離は約16)から、花の香りを感じるまで、ほぼ一定の速度で手前に持ってくる。また、視点から遠ざける作業においては、花の香りを発生している状態(図3(b)参照。視点と動かす花の距離は約2)から、花の香りを感じなくなるまで、ほぼ一定の速度で花を遠ざける。二つの作業における花の平均移動速度として、約0.5/s、約1.5/s、約2.5/sおよび約3.5/sの四通りを扱う。香り空間の半径として、視点に近付ける作業では、6, 8, 10, 12または14に固定する場合と動的出力タイミング制御を



(a) 視点に近付ける作業



(b) 視点から遠ざける作業

図3 評価における仮想空間の初期状態  
Initial states of virtual space in assessment.

行う場合の六つを扱う。また、視点から遠ざける作業では、半径を4, 6, 8, 10または12に固定する場合と動的出力タイミング制御を行う場合の六つを扱う。今回の評価では、花を初期状態から少し動かすだけでも香り空間に入るまたは出ることを防ぐために、動的出力タイミング制御における香り空間の半径を、初期状態の花と視点間の距離の2と16の間に設定する。具体的には、 $4 \leq R_n \leq 14$ とする。

QoEの評価手法として、ITU-R BT.500-12<sup>13)</sup>の単一刺激法を用いる。香り空間の半径を固定する五つの場合と動的出力タイミング制御を行う場合は、各被験者にランダムな順序で提示される。一回の評価を終えたら、文献7), 9)と同様に、約30秒後に次の評価を行う。これは、嗅覚の順応や残り香の影響をなくすためである。そして、各被験者には、5段階品質尺度(5:非常に良い, 4:良い, 3:普通, 2:悪い, 1:非常に悪い)を用いて香りの出力タイミングの適切さを評価してもらう。こうして得られた評点を平均して、MOS(Mean Opinion Score)<sup>13)</sup>を求める。

評価では、視点に近付ける作業を行った後、遠ざける作業を行った。一人当たりの総評価時間は一時間半程度であり、被験者は21歳から29歳までの男女15名であった。

#### 5. 評価結果と考察

図4と図5にそれぞれ視点に近付ける作業と視点から遠ざける作業の平均移動速度に対するMOSを示す。これらの図には95%信頼区間も示されている。

図4と図5より、動的出力タイミング制御のMOSは、平均移動速度に大きく依存せず高くなっていることがわかる。また、そのMOSは香り空間の半径を固定とする場合に、平

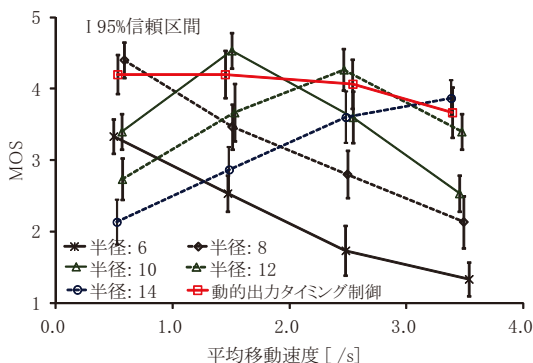


図 4 被験者の視点に近付ける作業における MOS  
MOS in work moving flower toward subject's viewpoint.

均移動速度に応じて最適な半径を選んだときの MOS に近くなっている。これは、動的出力タイミング制御を行う場合、花を持って近付ける作業における、花の香りを感じ始めたときの花の大きさは平均移動速度に大きく依存しておらず、ほぼ同じであり、花を持って遠ざける作業における、花の香りを感じなくなったときの花の大きさもほぼ同じであるからである。このことを確認するために、花の香りを感じ始めたときの花と視点間の平均距離と、花の香りを感じなくなったときの花と視点間の平均距離を測定した。その結果をそれぞれ図 6、図 7 に示す。これらの図から、動的出力タイミング制御の平均距離は、平均移動速度に大きく依存せず、ほぼ一定であることが確認できる。

また、花の香りを感じ始めたときと感じなくなったときの花と視点間の平均距離と MOS の関係を調べるために、回帰分析を行った。その際、独立変数を平均距離  $\bar{D}$  とし、MOS の推定値  $V_{mos}$  を従属変数とした。その結果、花を視点に近付ける作業と視点から遠ざける作業に対し、それぞれ式 (5)、式 (6) が得られた。

$$V_{mos} = 4.25 - 0.40|\bar{D} - 7.00| \quad (5)$$

$$V_{mos} = 4.32 - 0.33|\bar{D} - 9.00| \quad (6)$$

上式の自由度調整済決定係数 (これは MOS の実測値と推定値の一致度を表す。決定係数は寄与率とも呼ばれる)<sup>14)</sup> はそれぞれ 0.93, 0.97 であった。従って、花と視点間の平均距離から高い精度で MOS を推定できる。

この他、先生が机の上の花 (バラ) を一本選んで動かし、生徒 (被験者) の視点に近付ける作業と遠ざける作業も行った。その結果、本論文とほとんど同様の結果が得られた。詳細については文献 15) を参照されたい。

以上より、香りの動的出力タイミング制御は有効であると言える。

## 6. むすび

本論文では、分散仮想環境における香りの動的出力タイミング制御を提案した。この制御では、利用者の視点に対

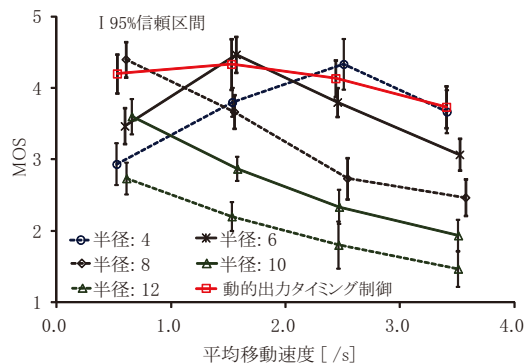


図 5 被験者の視点から遠ざける作業における MOS  
MOS in work moving flower away from subject's viewpoint.

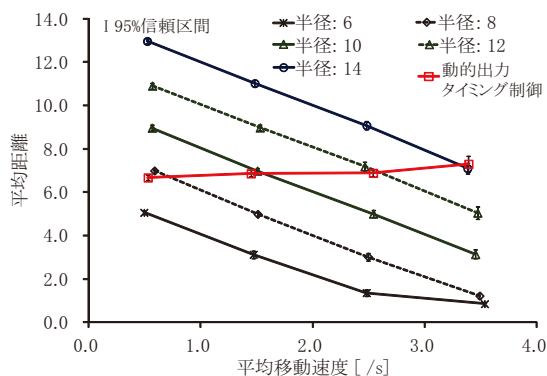


図 6 被験者の視点に近付ける作業における平均距離  
Average distance in work moving flower toward subject's viewpoint.

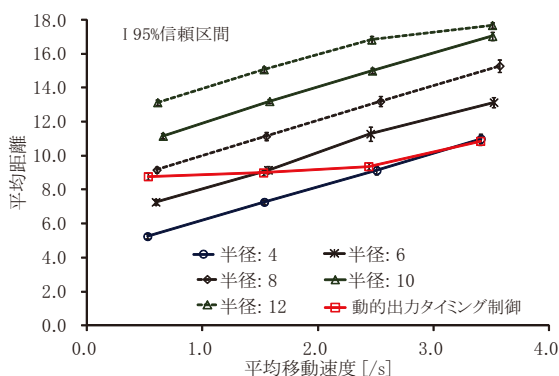


図 7 被験者の視点から遠ざける作業における平均距離  
Average distance in work moving flower away from subject's viewpoint.

する香り発生源のオブジェクトの移動速度や方向に応じて香りの出力タイミングを動的に変更する。そして、嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花システムにその制御を実装し、その効果を QoE 評価により調査した。その結果、制御を用いた場合の MOS は、平均移動速度や方向に大きく依存せず高くなり、香り空間の半径を固定とする場合に平均移動速度に応じて最適な半径を選んだときの MOS に近くなることがわかった。したがって、香りの動的出力タイミング制御は有効である。

今後の課題としては、香り発生源のオブジェクトを移動

させるだけでなく、視点も移動する場合の評価を行うことが挙げられる。また、バラ以外の香りを用いて評価を行うことも必要である。

最後に、本研究は、平成 24 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号 22560368) によって行われた。また、本研究は、株式会社ソジウエルネスクッキング・香り Web 研究所、エグザリア、および塩野香料株式会社の協力によって行われた。

## 〔文 献〕

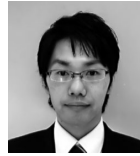
- 1) 外池光雄: “におい・香りの情報通信”, フレグランスジャーナル社 (Feb. 2007)
- 2) T. Nakamoto, M. Nimsuk, B. Wyszynski, H. Takushima, M. Kinoshita, and N. Cho: “Experiment on teleolfaction using odor sensing system and olfactory display synchronous with visual information”, Proc. ICAT, pp. 85–92 (Dec. 2008)
- 3) Y. Yanagida, S. Kawato, H. Noma, A. Tomono, and N. Tetsutani: “Projection based olfactory display with nose tracking”, Proc. IEEE VR, pp. 43–50 (July 2004)
- 4) 杉本紗友美, 野口大介, 坂内祐一, 岡田謙一: “呼吸に同期させた香りの切り替え手法”, 情処学論, **52**, 3, pp. 1204–1212 (Mar. 2011)
- 5) 廣瀬通孝: “五感情報通信技術”, バイオメカニズム学会誌, **31**, 2, pp. 71–74 (May 2007)
- 6) 重野寛, 本田新九郎, 大澤隆治, 永野豊, 岡田謙一, 松下温: “仮想空間における風と香りの表現手法: 仮想空間システム Friend Park”, 情処学論, **42**, 7, pp. 1922–1932 (July 2001)
- 7) P. Huang, Y. Ishibashi, N. Fukushima, and S. Sugawara: “QoE assessment of olfactory media in remote ikebana with haptic media”, Proc. IEEE CQR (May 2012)
- 8) 椎尾一郎, 浜田玲子, 美馬のゆり: “Kitchen of the Future: コンピュータ強化キッチンとその応用”, コンピュータソフトウェア, **23**, 4, pp. 36–46 (Oct. 2006)
- 9) 星野聡介, 石橋豊, 福嶋慶繁, 菅原真司: “ネットワーク型ゲームにおける香りが利用者に届くまでの時間が公平性に及ぼす影響”, 信学技報, CQ2011-62 (Jan. 2012)
- 10) ITU-T Rec. P. 10/G. 100 Amendment 1: “New appendix I - Definition of quality of experience (QoE)”, International Telecommunication Union (Jan. 2007)
- 11) J. K. Salisbury and M. A. Srinivasan: “Phantom-based haptic interaction with virtual objects”, IEEE Comput. Graphics & Appl. Mag., **17**, 5, pp. 6–10 (Sep./Oct. 1997)
- 12) Exhalia: <http://www.exhalia.com/>
- 13) ITU-T BT. 500-12: “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures”, International Telecommunication Union (Sep. 2009)
- 14) 田中豊, 脇本和昌: “多変量統計解析法”, 現代数学社 (1983)
- 15) 黄平国, 石橋豊, 福嶋慶繁, 菅原真司: “分散仮想環境における香りの出力タイミングの動的制御”, 信学技報, CQ2012-14 (Apr. 2012)



こう へいこく  
**黄 平国** 2003 年, 中国桂林電子工業学院電子情報工学科卒業。2010 年, 名古屋工業大学大学院工学研究科創成シミュレーション工学専攻博士前期課程修了。現在, 同大学院工学研究科創成シミュレーション工学専攻博士後期課程に在学中。力覚を利用した作業における QoS 制御に関する研究に従事。



いしばし ゆたか  
**石橋 豊** 1981 年, 名古屋工業大学工学部情報工学科卒業。1983 年, 同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社入社。NTT ヒューマンインタフェース研究所主任研究員を経て, 1993 年より名古屋工業大学工学部電気情報工学科助教授。現在, 同大学大学院教授。分散マルチメディアの研究に従事。工学博士。正会員。



ふくしま のりしげ  
**福嶋 慶繁** 2004 年, 名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業。2009 年, 同大学大学院工学研究科電子情報システム専攻博士課程後期課程修了。同年, 名古屋工業大学大学院助教。現在, 多視点映像処理の研究に従事。博士 (工学)。正会員。



すがわら しんじ  
**菅原 真司** 1994 年, 東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。1996 年, 同大学大学院修士課程修了。1999 年, 同大学大学院博士課程修了。同年電気通信大学電気通信学部情報通信工学科助手。2005 年, 名古屋工業大学大学院助教授。現在, 同大学大学院准教授。分散データベース, 情報検索型通信の研究に従事。博士 (工学)。