

## 作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供 ——仮想オフィスシステム Valentine

本田 新九郎<sup>†</sup> 富岡 展也<sup>††</sup> 木村 尚亮<sup>†††</sup>  
大澤 隆治<sup>†</sup> 岡田 謙一<sup>†</sup> 松下 温<sup>†</sup>

本稿では、3次元仮想空間を利用した在宅勤務環境を提供する仮想オフィスシステム Valentine について述べる。Valentine は、地理的に分散したユーザをネットワーク上に仮想的に構築したオフィスに出勤させ、そこで他のメンバの雰囲気・気配を伝達し、コミュニケーションを支援するシステムである。物理的なオフィスは存在せず、ユーザはすべて仮想オフィスに通うことを想定している。遠隔地にいる他の社員の気配を伝達するために、「周辺視ビュー」および「効果音」を実現し、アウェアネスの提供を行った。またアウェアネスの過度な提供が効率的な個人作業の妨げとなることから、ユーザの「集中度」を定義し、集中度に応じたアウェアネス提供環境を実現した。集中度は「キーボード、マウスの利用頻度」「椅子を動かす頻度」という2つの要素からシステムで自動検出され、作業環境に反映される。評価実験を行った結果、気配の伝達および集中度に応じた環境の提供について、良好な結果を得た。

### A Home Office Environment Based on the Concentration Degrees of Workers—A Virtual Office System “Valentine”

SHINKURO HONDA,<sup>†</sup> HIRONARI TOMIOKA,<sup>††</sup> TAKAAKI KIMURA,<sup>†††</sup>  
TAKAHARU OOSAWA,<sup>†</sup> KENICHI OKADA<sup>†</sup> and YUTAKA MATSUSHITA<sup>†</sup>

In this paper, we describe a virtual office system named Valentine that provides a “work-at-home” environment based on 3D virtual space. Users can go to the virtual office built on network virtually, feel the existence of each other, and communicate with each other by using Valentine. We assume that we have no physical office and all members go to the virtual office. In order to transmit the feeling of other members’ presence at the virtual office, we have realized “Around View” and “Sound Effect” for supporting awareness in Valentine. On the other hand, for avoiding too much awareness information that bothers workers, we have defined “degree of concentration” and provided appropriate office environment to workers according to their state. The degree of concentration is automatically detected from two elements “the frequency of key stroke and mouse use” and “the frequency of rotating a chair”. The system evaluation demonstrated that we have gained a better result on transmitting the presence and providing an environment according to the degree of concentration.

#### 1. はじめに

近年、分散環境での協調作業およびコミュニケーションを支援する研究がさかんに行われている。1つの解決の手法として、仮想空間を利用した会議システム、コミュニケーション環境が注目を浴びている<sup>1)~3)</sup>。我々

は現在、仮想空間を利用してオフィスを構築し、分散したメンバがネットワーク上に構築された仮想オフィスに出勤することができる環境について研究を行っている<sup>4)</sup>。

オフィスを構築するうえで、作業効率の向上を考えることは重要である。現在のオフィスワークではチームによる仕事が増加しており、それにともない情報獲得および円滑な作業推進のためのフォーマル、インフォーマルなコミュニケーションの重要性が高まっている。特にインフォーマルコミュニケーションの重要性が注目されており、分散環境上で偶然の出会いなどを支援することによってコミュニケーションのきっかけ

<sup>†</sup> 慶應義塾大学理工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio University

<sup>††</sup> NTT データ通信株式会社  
NTT Data Corporation

<sup>†††</sup> 株式会社野村総合研究所  
Nomura Research Institute, Ltd.

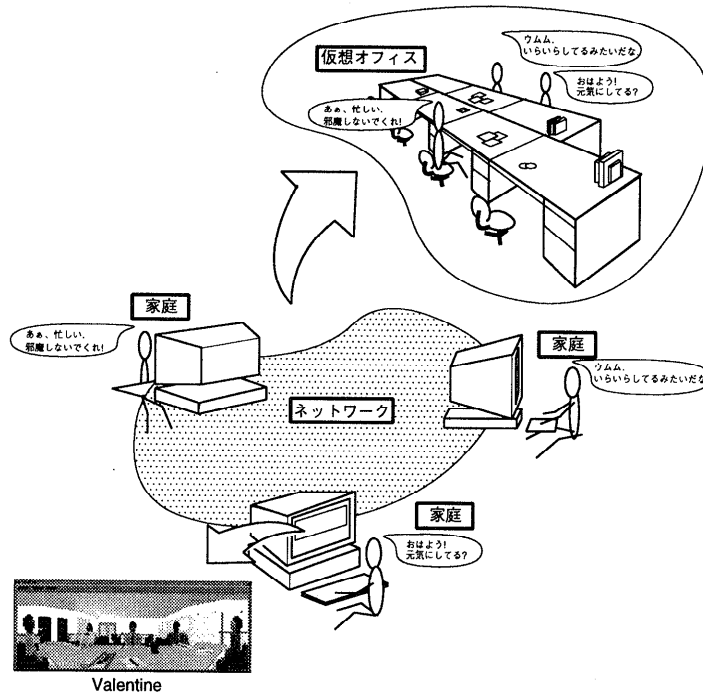


図1 Valentine の概念図

Fig.1 The concept of Valentine.

を提供するために、遠隔地のメンバの Awareness<sup>5)</sup>を提供するシステムが提案されている<sup>6)</sup>。

一方、オフィス環境を考えるうえで、集中して作業に没頭することのできる環境を提供することは、作業効率の向上と密接に関係している重要な要素である。過度の Awareness の提供が、効率的な作業の妨げになる可能性も存在する<sup>7)</sup>。つまりコミュニケーションのトリガとしての Awareness の提供と、作業者の効率的な個人作業環境の提供との間にトレードオフが存在する。しかし、個人の作業環境とオフィス内のコミュニケーション環境の融合について考えられているシステムは、現在のところ存在しない。

そこで本稿では、インフォーマルコミュニケーションと、個人作業への集中の両立を考えた仮想オフィス環境である Valentine (Virtual office environment for transmitting information of networked awareness), を提案する。インフォーマルコミュニケーションを支援する手段としては、オフィス内でのインフォーマルコミュニケーションが、自席周辺で最も行われている<sup>8)</sup>ことに注目し、作業およびコミュニケーションのトータル空間として仮想的な大部屋オフィスを提供する。またその中で Awareness を提供するために他のメンバの「気配」の伝達を行う。インフォーマルコ

ミュニケーション環境と個人作業環境の融合を実現するためには、メンバの「集中度」を定義し、集中度に応じた作業環境を提供することにより、不必要な Awareness の支援を抑制することによって作業効率を向上させようと試みる。

以下本稿では、2章において提案する仮想オフィスシステム Valentine の概要、および気配の伝達について述べ、3章において、作業者の集中度の定義、および Valentine 上での集中度に応じた作業環境の提供方法について述べる。4章では Valentine の実装を説明し、5章で Valentine の評価について議論する。

## 2. 仮想オフィスシステム Valentine

### 2.1 Valentine の概要

Valentine は、地理的に分散したユーザをネットワーク上に仮想的に構築したオフィスに出勤させ、そこで他のメンバの雰囲気・気配を伝達し、コミュニケーションを支援するシステムである。物理的なオフィスは存在せず、ユーザはすべて仮想オフィスに通うことを想定している。図1に Valentine の概念図を示す。オフィスは3次元コンピュータグラフィックスで構築された大部屋オフィス<sup>4)</sup>であり、個人作業中でも他のメンバの状況を理解することができる。また、ワークス

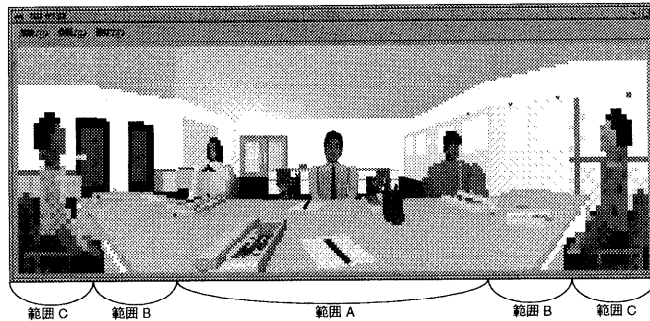


図2 オフィスビュー  
Fig.2 Office view.

ーションに装備されたカメラ、マイク、ヘッドフォンを利用したコミュニケーションも行うことができる。

### 2.2 Valentineでの気配の伝達

オフィスでは、他のメンバたちの行動や眼差し等の気配をつねに感じながら仕事をするのは、きわめて重要である。なぜなら、気配を感じるによって自分が職場にいる雰囲気や緊張感を味わうことができるからである。また、それがインフォーマルコミュニケーションを生じさせるトリガともなる。そこで、メンバたちの気配を「周辺視ビュー」と「効果音」という2つのインタフェースを用いて表現した。

#### 2.2.1 周辺視ビュー

従来の研究の3次元仮想空間の表現では、視野が狭いために、気配の1つの要素である隣に人が来たことやその人の動作が、画面からは分からなかった。また視野を80度以上にすると、許容することのできないほどの歪みが生じる<sup>1)</sup>。しかし現実世界において我々は、隣人が立った、座った等の動作を認識することができる。これは、人間の視野が水平方向に180度以上あるためである。また人間の視覚は、外形やシンボルや色彩をはっきり認識できるのは30度から60度の範囲までで、それ以上の角度になると次第にぼやけた周辺視野となり、そこでは物の運動を察知する能力の方が向上する<sup>9)</sup>。

そこでValentineでは、この人間の視野に基づくビューを、「周辺視ビュー」と呼び表現した。図2にValentineのオフィスビューを示す。Valentineでは、オフィスビューを5つの範囲に分割し、範囲Aの視野を80度、範囲B、Cの視野を60度とすることにより200度の視野を実現している。また範囲Aでははっきりとした視野を提供し、B、Cとなるに従ってビューにモザイクを掛け、動作のみを表現している。CGポリゴン数も範囲Aのオフィスでは約50000ポリゴンを使用してオフィスを描画しているのに対し、範囲B、

Cではそれぞれおよそ5分の1の約10000ポリゴンを使用している。

周辺視ビューにより、隣に人が来たことや何をしているかが分かり、隣の人の気配が伝わってくる。また、視野の中心しかはっきり見えないため、関心のある人物を見るためには自分の体を回転するという現実世界と同じ行動をとらなければならない。この行為によって、他のメンバはその人が今何に関心を持っているのかを体の向きから認識することができる。

#### 2.2.2 効果音

現実のオフィスでは、他のメンバの気配を視覚だけでなく聴覚からも感じとることができる。気配を伝達する音としては、各々のメンバの声、くしゃみなど実際に人間自身が発する音の他に、足音やドアを開閉する音などユーザの仮想的な動作による音がある。仮想オフィスシステム上で考えてみると、前者はメンバ間の音声通信から聞くことができるが、後者は聞くことができない。我々は仮想オフィスシステムにおいて、仮想的な動作の音を効果音として準備し、各々のメンバの行動に応じて提供することで、他のメンバの気配の伝達を支援している。

効果音としては、音声通信では得ることのできない以下の4つの音を用いた。

- オフィスを歩くときの足音
- 席を立ったり、座ったりするときの椅子の音
- 出勤したときのドアの音
- 現実のオフィスの雑音

足・椅子・ドアの音がすることにより、一緒に仕事しているメンバの気配をつねに感じることができる。また、現実世界にあるようなオフィスの雑音(話し声、電話の音など)がすることにより、ユーザが職場にいる雰囲気や緊張感を味わうことができる。

### 3. 集中度に応じた作業環境の提供

#### 3.1 集中度の定義

作業者は、個人作業に集中しているとき、仕事に直接関係のない情報によって作業効率が低下することを危惧する。あるいは作業にひと息ついたか、または作業に行き詰まったときなどは、オフィス内の情報によって気分転換、新たな発想への手がかりなどを求める。加えてプロジェクトを複数のメンバで進めている場合、直接共同作業を行っていないときでも他のメンバの様子を感じたり、インフォーマルコミュニケーションを行うなどしてチーム全体の雰囲気を感じることはオフィスワークにおいて重要な要素である。そこで、作業者の集中の度合によって提供する情報量を適当に変化させ、作業効率を低下させることなくオフィス内の情報を与える必要がある。本稿では、作業者の集中の度合を「集中度」として定義する。集中度は、1から9の9段階の値をとり、集中度1はまったく集中していない（リラックスしている）状態、集中9は作業に非常に集中している状態を表す。

#### 3.2 集中度の判定

自分がどの程度集中しているのかは、その人が自分で判断することは困難であり、作業中に意識的に自分の集中度をシステムへ入力することは非現実的である。そこで Valentine では、集中度の自動判定をシステム上でやっている。集中度は、「キーボード・マウスを利用する頻度」と「作業中に椅子を回転する頻度」という2つの情報を基に判定する。これは、通常コンピュータ上で作業する場合、作業からの入力インタフェースがキーボードおよびマウスのみであり、またビュースタイル（後述）という簡単なデバイスを用いて椅子の動きを検知することが可能であるからである。

#### 3.3 実験

「キーボード・マウスを利用する頻度」および「作業中に椅子を回転する頻度」と、作業への集中の度合の関係性を調べるために、以下の実験を行った。

25名の被験者に、研究室のワークステーション上での研究作業（プログラミング、文書作成、メール、WWW、ゲームなど）を行ってもらい、その間のキーボード・マウスを利用する頻度および椅子を回転する頻度を測定した。またその間に被験者が集中しているかどうかを判定するために、作業中の脳波を測定し、またビデオ撮影を行った。脳波およびビデオでの集中の判定基準を以下に述べる。

##### 3.3.1 集中度の脳波による判定

正常成人覚醒時の脳波において、閉眼、または精神

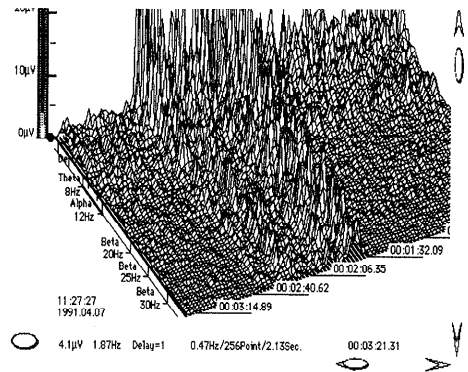


図3 IBVAによる脳波結果の例  
Fig.3 An example of brain wave from IBVA.

安静時には $\alpha$ 波が出現し、開眼、精神活動により $\alpha$ 波は抑制され代わりに $\beta$ 波が出現してくる。具体的には、目を閉じて静かにしていると $\alpha$ 波が出現し、人の話の内容を深くみ取ろうとしたり、試験問題を解くといった論理的・合理的な思考を行うなどの場合、 $\beta$ 波が出現してくる。そこで、 $\alpha$ 波が抑制され代わりに $\beta$ 波が出現した状況を「集中時」と判断した<sup>10)</sup>。しかし、不安や緊張といったことでも $\beta$ 波は出現する<sup>11)</sup>のために、実験開始から $\beta$ 波が出現している作業員に対してはその $\beta$ 波は実験に対する緊張であると判断しその $\beta$ 波が抑制されてから実験を開始した。

脳波の検出には、IBVA<sup>12)</sup>を使用した。IBVAは、ヘッドバンドに付けられた脳波測定器からのデータを無線でMacintoshへ送信し脳波を解析できる装置である。図3に測定された脳波の例を示す。

##### 3.3.2 ビデオ撮影による判定

作業員が自分の仕事に従事している、その作業に集中しているのか、それともゲームなど本来の作業とは関係ないことに集中しているのかは、脳波で判断することはできない。そこで被験者およびワークステーションのディスプレイをビデオで撮影し、ゲームなど他の作業をしていないか、また他者と会話したり周辺に注意を払っていないかどうかを考慮した。

#### 3.4 集中度変化のアルゴリズム

##### 3.4.1 定義

本実験において「アイドル時間の割合」は、1秒ごとに、その1秒間にマウスおよびキーボードからの入力があったかなかったかを調べ、全体の作業時間に対する入力のなかった時間の割合と定義した。また「椅子を回転する頻度」は、椅子の位置を1秒ごとに計測し、前1秒間に対して変化があったとき、「椅子を回転した」と定義した。

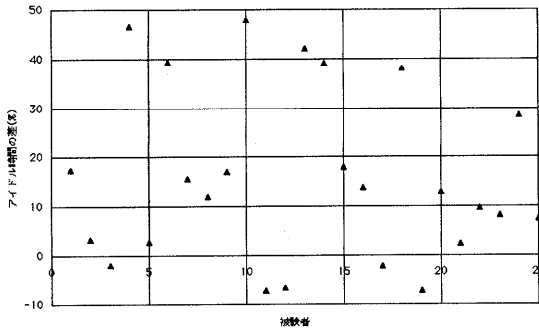


図4 作業時のアイドル時間の割合の差 (リラックス時-集中時)  
Fig. 4 The ratio of idle time (disconcentrating-concentrating).

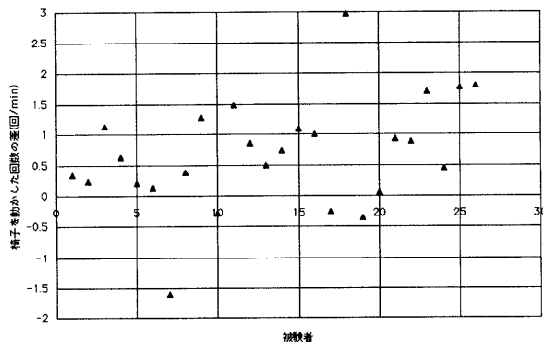


図5 椅子を回転する頻度 (リラックス時-集中時)  
Fig. 5 The frequency of rotating a chair (disconcentrating-concentrating).

3.4.2 結果 1

図4に、集中していないとき（以降、リラックス時とする）と集中時の作業中のアイドル時間の割合の差（リラックス時から集中時を引いた値）を示す。アイドル時間の割合は、1分ごとに計測した。グラフで、横軸は被験者、縦軸はその被験者におけるアイドル時間の割合の差を表している。結果から、アイドル時間の差が0%以上のケース、つまりリラックス時のアイドル時間の割合が集中時を上回ったケースが80%あり、0%を下回ったケースでも最高-10%以内であることが分かった。作業中のアイドル時間の割合は、リラックス時に比べて集中時の方がおおむね少ないといえる。

3.4.3 結果 2

次に、図5に椅子を回転させた頻度の差（リラックス時から集中時を引いた値）を示す。横軸に被験者、縦軸は1分あたりに椅子を回転させた回数の平均の差を表している。グラフから、80%以上の被験者が集中

表1 アイドル時間の割合

Table 1 The ratio of idle time.

アイドル時間 (sec)	集中時 (%)	リラックス時 (%)
10~19	64	48
20~29	19	18
30~39	5	10
40~49	5	7
50~59	1	3
60~	6	14

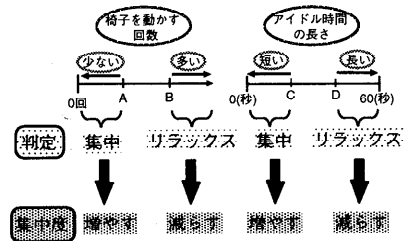


図6 集中度変化アルゴリズム

Fig. 6 Algorithm to change the degree of concentration.

時の方が椅子を回転する回数が減少していることが分かる。また48%の被験者が、集中時に椅子を一度も回転させていないという結果も得られた。一方リラックス時に椅子を一度も回転しなかった被験者はいなかった。つまり、集中時に比べてリラックス時は椅子を回転する頻度が増加していることが分かった。

3.4.4 結果 3

また、アイドル状態がどれだけ続いているのかを調べるために、10秒以上のアイドル状態の時間分布を求めた。表1に集中時とリラックス時の分布をパーセンテージで示す。

集中時とリラックス時を比較した結果、10秒から20秒という短いアイドル状態の割合が、リラックス時48%に比べて集中時には64%と増加していることが分かる。また1分以上のアイドル状態についてはリラックス時は14%であるのに対し集中時は6%と少なくなっている。つまり、集中時のアイドル状態は短時間の割合が多く、長時間アイドル状態であることが少ないといえる。

3.4.5 アルゴリズム

以上の結果から、集中度の自動判定アルゴリズムを定義する。図6において、まずアイドル時間については、2つの閾値を用いて集中度を変化させる。アイドル時間の割合、および椅子を回転させた回数を1分ごとに計測した結果、アイドル時間の割合が、ある閾値A%以上であった場合、その人はリラックスしていると判断し、集中度を1減少させる。またある閾値B%以下であった場合、その人は集中していると判断

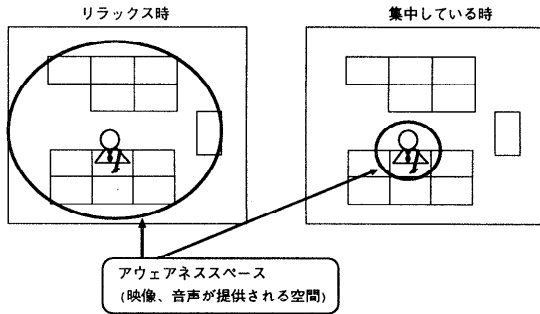


図7 アウェアネススペース  
Fig. 7 Awareness space.

し、集中度を1増加させる。閾値AおよびBについては、デフォルト値として結果1において集中時およびリラックス時それぞれについての平均値 ( $A = 63\%$ ,  $B = 47\%$ ) を設定する。椅子を回転する頻度についても同様に2つの閾値を設定し、集中度の増減を行う。ある閾値  $C$  回/min 以上であった場合、リラックスしている状態であると判断し集中度を1減少させ、閾値  $D$  回/min 以下であった場合、集中していると判断し集中度を1増加させる。結果2における平均値より、 $C = 1.5$ ,  $D = 0.8$  という値を用いる。この閾値については、メンバごとにカスタマイズすることができる。またオフィスに出勤した直後は集中していないと考え、集中度の初期値は1とする。

なお、実験結果からアイドル時間と椅子の回転の集中度に対する相関関係が見い出せなかったため、アイドル時間および椅子の回転は、いずれも独立に集中度の変化に関与する。つまり、一方で集中度を1増加させ、もう一方で1減少させるという判定が出た場合、集中度は変化しないことになる。

### 3.5 集中度とアウェアネススペース

#### 3.5.1 アウェアネススペースの概念

実際のオフィスではパーソナルスペースが確保され、かつ同僚の動きや部屋全体の雰囲気も感じ取れる空間が望まれている。そこには、コミュニケーションの容易性と仕事に直接関係ない情報による作業効率の低下とのトレードオフが存在する。そこで他のメンバのアウェアネスの無制限な流入を防ぐために、「アウェアネススペース」という概念を定義し、トレードオフを解決することを試みた。

アウェアネススペースとは、仮想3次元空間において他のメンバのアウェアネスを認識することができる範囲であり、自分を中心とした円形をしている(図7参照)。Valentineのユーザにはアウェアネススペース内に入った他のメンバのアウェアネスが支援される。

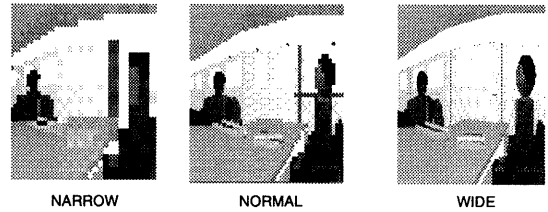


図8 周辺視ビューの3種類のモザイク  
Fig. 8 Three types of mosaicked view.

#### 3.5.2 アウェアネススペースの実現

Valentineでは、集中度に応じてアウェアネススペースを次の3つの段階で変化させた。

**NARROW** 集中度が7~9。作業に集中しており、他者に煩わされたくない状態。非常に限られたアウェアネス(隣席のメンバおよび背後を通るメンバ)のみ提供される。周辺視ビューには、粗いモザイクがかかる。

**NORMAL** 集中度が4~6。通常の作業の状態。比較的近いメンバのアウェアネスを提供。

**WIDE** 集中度が1~3。周囲に意識が向いていて、オフィス全体の雰囲気を知ろうとしている状態。オフィス全体のアウェアネスが提供される。周辺視ビューにはほとんどモザイクがかからない。

図8に周辺視ビューの3種類のモザイクを示す。

#### 3.5.3 ヘッドフォンメタファ

集中している(アウェアネススペースが小さい)メンバは、周囲の情報の提供量が低いために他者の呼びかけなどに対して反応できないことがある。よって他者はメンバの集中度を知る必要がある。そこで本システムでは、アウェアネススペースがNARROWのメンバに「ヘッドフォンメタファ」を付け、他者に対しそのメンバがヘッドフォンをつけている(作業に集中している)ことを示した(図9の右斜め前のメンバ)。ヘッドフォンをつけているメンバに対して呼びかけた場合は、そのメンバの近くまで移動する必要がある。

## 4. Valentineの実装

### 4.1 ユーザインタフェース

図9は、Valentineのオフィスビューである。オフィスに出勤しているメンバは、ポリゴンで構築した3次元コンピュータグラフィックスで描画されたアバタ(化身)で表現されており、アバタの顔はメンバ自身の顔の静止画を顔型の平面ポリゴンにテクスチャマッピングしている。顔の静止画は図10に示すような12方向からの写真を使用しており、見る方向に合わせて適切なものを選択し、表示している。オフィスに出勤す

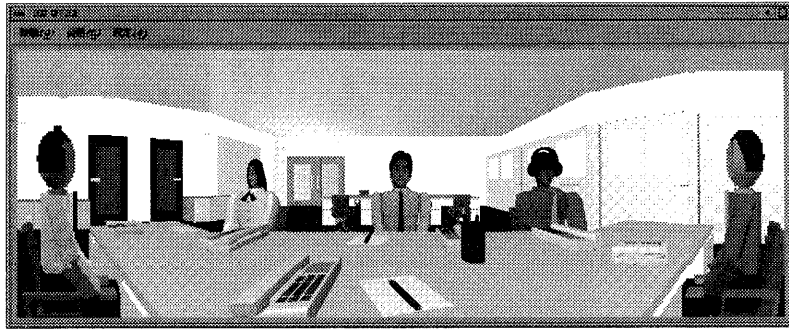


図9 ユーザインタフェース

Fig. 9 User interface.

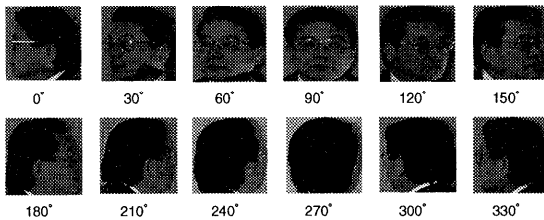


図10 12方向からの顔の静止画

Fig. 10 Still pictures of user taken from 12 directions.

る際は、画面左上の「接続」メニューから「出勤」を選択することにより行うことができる。また「会話」メニューから他のメンバを選択することにより、他のメンバに近付き話し掛けることができる。出勤および会話の際のオフィス内の移動はすべて自動に行われ、ユーザが移動の操作を行う必要はない。

#### 4.2 CGアニメーション

ネットワーク上に存在する仮想的なオフィスに出勤することができる環境を実現するうえで、オフィスへの出勤を実感させることは重要である。そこでValentineでは、仮想オフィスに出勤するとき、廊下を通り大部屋に入ってからの自分の席につくまでの動作をCGアニメーションによりシミュレートし、出勤感を与えた。また他の出勤しているメンバたちに自分の出勤を知らせ、朝の軽い挨拶を交わせる環境を提供した。さらに、他のメンバに近付いていき話し掛ける動作時も、CGアニメーションにより移動の感覚を与え、他のメンバにもその人の動作を認識できるようにした。

#### 4.3 動画像通信

本システムでは、メンバはCGで表現されているが、2人のメンバが互いに正面を向き合ったときのみ、FDDI回線を通じてそのメンバとリアルタイム動画像によるコミュニケーションが可能である。動画像を用いることにより、そのメンバとの親密なコミュニケーションを行うことができる(図11)。動画像通信を行っ

ているメンバ同士はアバタが向き合っているため、第3者からはそれらのメンバがコミュニケーションを行っていることを認識できる。

#### 4.4 ビューチェア

現実世界で人間が周囲を見渡すときは、首を横に向けるまたは体を横に向けるという動作を行う。仮想空間においてマウスやキーボードでこの作業を行うことは、違和感がある。そこで「周囲を見渡す」「横を向く」という動作を、「椅子を回転させる」という動作で行うことができる「ビューチェア」を設計し、システムに導入した。ビューチェアは、椅子の回転軸に可変抵抗を取り付けその抵抗値を読み込むことによって、回転角を測定している。椅子を右に30度以上回転させると、オフィスのビューが右へ回転し、右を向くという動作となる。左についても同様である。またビューチェアは、集中度に関して椅子の動きを検出するためにも用いられている。椅子の回転軸に取り付けられた可変抵抗の情報は、マルチバイブレータユニットによってデジタル化され、NEC製PC9801のプリンタポートに送信される。そこからRS232C経由でワークステーションに転送される。

#### 4.5 ソフトウェア構成

図12にソフトウェア構成を示す。各サーバとクライアントの機能を以下に示す。

**loginServer** 各メンバのlogin・logoutの管理を行う。各クライアントは、このサーバと接続することで、他のメンバのユーザプロファイルを入手できる。

**locationServer** 動的に変化するメンバの位置・向き・集中度を他のすべてのメンバに通知するためのサーバである。

**audioServer** locationServerからの位置情報に基づき音声の制御を行う。

**Client** OpenGLを用いて構築した仮想オフィス空



図 11 動画像通信

Fig. 11 The office view with realtime video.

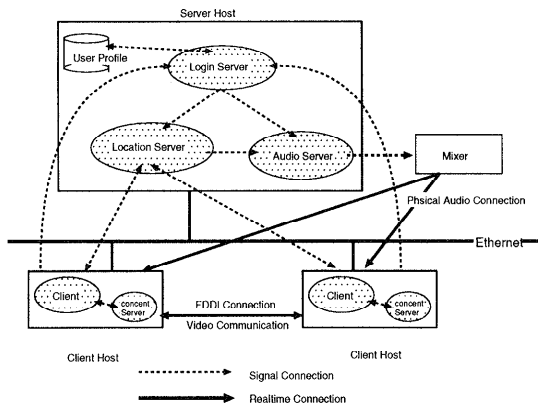


図 12 ソフトウェア構成

Fig. 12 Software configuration.

間を表示し、他のメンバを locationServer からの位置情報に基づき適切な位置に表示する。また、必要があれば、FDDI を通じて他のクライアントと動画像転送を行う。ユーザインタフェースは、C, Motif, OpenGL で実装されている。

**concentServer** 各 Client ごとに起動され、その Client のメンバのキーボード、マウスの idle 時間と椅子の回転を絶えず監視し、得られたデータから 1 分ごとに集中度を計算し Client に通知する。

#### 4.6 ハードウェア構成

Valentine は、SGI の Indy, O2 および Sun の SparcStation20 上で実装されている。図 13 に Valentine のハードウェア構成を示す。ワークステーションはシグナル回線として Ethernet (TCP/IP) で接続され、また 3 台の SGI マシンは動画像回線として FDDI (UDP/IP) で接続されている。SGI マシンにはマルチメディアデバイス (カメラ、ビデオボード) が装備されている。

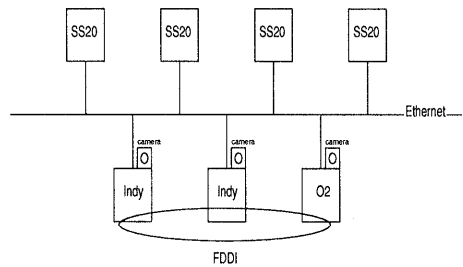


図 13 ハードウェア構成

Fig. 13 Hardware configuration.

## 5. システム評価

### 5.1 気配の伝達に関する評価

Valentine において「周辺視ビュー」および「効果音」が、気配の伝達に有効であるかを評価するために以下のような評価実験を行った。

研究室の学生 18 人に対し、視野が 80 度の 3 次元仮想空間ビューにおいて構築した、周辺視および効果音のない Valentine (今後 CaseA とする) と、周辺視ビューおよび効果音を実装した Valentine (今後 CaseB とする) の両方を利用してもらい、その後アンケートに答えてもらった。そのときの条件として、「周辺視ビュー」「効果音」による気配の伝達が有効であったかを客観的に評価するために、被験者にはそれらが果たす役割に関して何も説明を行わなかった。実験に利用した仮想オフィスには、A, B の 2 人の被験者に加え、実験グループのメンバ 2 人を出勤させた。出勤するオフィスのレイアウトを図 14 に示す。

メンバの席による相違を考慮し、被験者にそれぞれ 1, 2 の席両方を経験してもらった。また実験グループのメンバは 3, 4 の席に出勤した。被験者には、オフィス内の自分の席、および他のメンバの席を事前に把握してもらい、またシステムの基本的な使い方についても事前に説明を行った。その後以下のシナリオに



表 2 比較実験のアンケート結果

Table 2 Results of the questionnaire data from the comparative experiment.

No.	質問項目	Case A	Case B	Wilcoxon の符合付
		平均得点	平均得点	順位検定 p 値
1	隣の席の人がいるかいないかがよく分かった.	3.85	6.19	**0.0083
2	オフィスを見まわす動作が不自由なくできた.	5.77	4.41	*0.0144
3	話しかけた相手はすぐに自分に気付いてくれた.	3.11	4.50	*0.0277
4	他のメンバが話しかけてきたことにすぐ気付いた.	5.00	6.11	*0.0431
5	他のメンバがオフィス内を歩いていることがすぐに理解できた.	5.75	5.89	*0.0679
6	他のメンバが近付いてきたことがよく分かった.	5.00	5.33	0.0679
7	他人が出動してきたことがよく分かった.	4.77	5.76	0.0843
8	斜め前のメンバが出動してきたのがよく分かった.	5.46	6.06	0.1730
9	違和感なく他のメンバに話しかけに行くことができた.	5.89	6.38	0.2012
10	話し合っている姿勢に違和感はなかった.	5.00	5.12	0.2076
11	画面の大きさに違和感はなかった.	5.33	6.00	0.2411
12	隣のメンバが出動してきたのがよく分かった.	3.77	4.94	0.2585
13	オフィスにいる感覚があった.	5.31	5.63	0.2622
14	出勤時に挨拶をする気になった. または挨拶をした.	5.62	5.00	0.2664
15	オフィスに出勤している感覚があった.	5.54	6.06	0.2863
16	3D で描画されたオフィスはまったく違和感なかった.	5.23	5.12	0.2936
17	他のメンバ同士が向きあって話していることが理解できた.	4.00	4.94	0.3636
18	動画像に違和感はなかった.	5.08	5.00	0.4755
19	隣の席の人がだれなのかがよく分かった.	4.69	4.94	0.6002
20	隣の席の人が何をしているのかがよく分かった.	3.23	3.82	0.6012
21	どの席にだれがいるのかがよく理解できた.	5.46	5.53	0.6379
22	スムーズにコミュニケーションがとれた.	4.92	5.06	0.6661
23	他のメンバがどこを向いているのかがよく理解できた.	5.31	5.47	0.7532
24	他のメンバが席についてたことをすぐに理解できた.	5.38	5.53	0.7536

(N=18; \*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ )

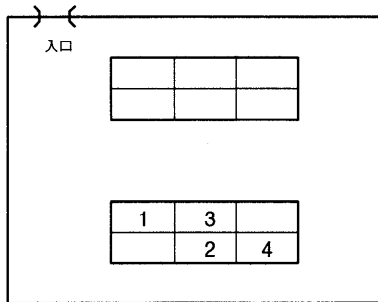


図 14 実験オフィスのレイアウト

Fig. 14 The layout of office for evaluation.

基づいて、システムを利用してもらい、表 2 に示すアンケートに 1 から 7 の 7 段階（まったく当てはまらない—かなり—やや—どちらでもない—やや—かなり—非常に当てはまる）で答えてもらった。

- (1) 1 の席のメンバが出動する（出勤シーンあり）.
- (2) 2 のメンバが出動する（出勤シーンあり）.
- (3) 3, 4 のメンバが出動する（出勤シーンなし）.
- (4) システムを自由に利用する. 他のメンバとのコミュニケーション.
- (5) 2 のメンバが 1 のメンバへ話し掛けにいき、戻ってくる.

実験の間、3, 4 のメンバについては途中で向き合っ

て会話をを行った。

実験結果を表 2 に示す。結果の値は、7 段階で答えてもらった平均値である。結果データは、統計的客観性を検証するために Wilcoxon の符合付順位検定を行った。

結果において、CaseA は周辺視ビューおよび効果音がない場合、CaseB はある場合である。まず質問 1 において CaseB の得点が CaseA を大きく上回った。これは、広角の視野を実現した周辺視ビューにより隣席のメンバの存在感が増していることを有為に示している。また質問 4~8 より、オフィス内の変化、たとえばだれかが出勤してきたことや、歩いていること、人が近付いてきたことなどを把握することが、CaseB の方がより認知できていることが分かる。これは、効果音によりその人の行動といった気配が伝達できたからであると考えられる。これらのことから、周辺視ビューおよび効果音が現在のオフィスの状況把握や他のメンバの気配の伝達に有効であることがいえる。

また、自分が歩くという動作に関する質問 9, 15 において、有為ではないが CaseB が CaseA より高い値を示した。このことから、足音の効果音は自分が仮想空間内を歩く動作を自然に感じさせるのにも有効であるといえる。

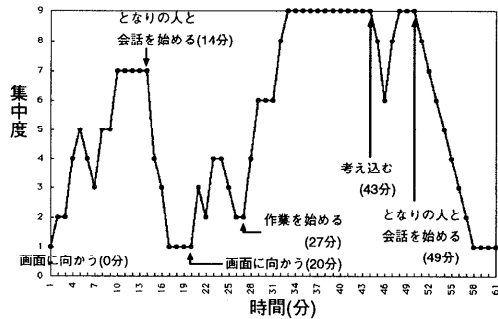


図 15 集中度の変化・被験者 A

Fig. 15 Degree of concentration change (Subject A).

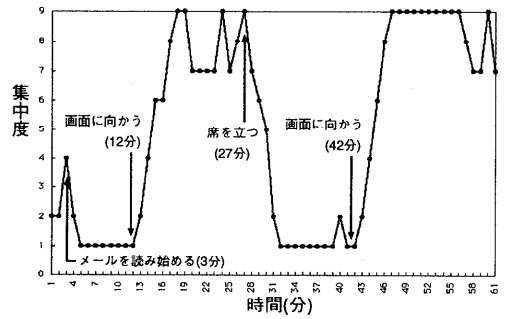


図 16 集中度の変化・被験者 B

Fig. 16 Degree of concentration change (Subject B).

一方オフィスを見回す動作についての質問である質問 2 について、CaseB の得点が低かったことに関しては、まずビュートチェアの使用方法が直観的に分からなかった被験者が多く、慣れるまでに時間を要したこと、そして周辺視ビューによってシステム負荷が高まり、周りを見回す動作が CaseA と比較して遅かったことが理由として考えられる。具体的には CaseB では視野を 10 度回転させるのに約 2 秒程度かかるのに対し、CaseA では約 1 秒程度しかかからなかった。質問 3 においても同様の理由が考えられる。CaseA の被験者が CaseB の被験者に話し掛けたとき、CaseB の動作が遅いためになかなか自分に気付いてくれない感覚を得て、CaseA の得点が低くなっていると考えられる。周辺視ビュー等の動作の高速化を行えば、この問題は解決されるであろう。

また、Valentine の他の機能についての質問 10, 11, 16, 18 においては、CaseA, CaseB ともに良好な結果が得られた。

## 5.2 集中度に関する評価

Valentine において実装したキーボード・マウスのアイドル時間と椅子の回転頻度による集中度の自動判定が、実際の人間の集中度をどれくらい反映しているかを評価するために以下のような評価実験を行った。

研究室の学生 15 人に対し、Valentine を 60 分間利用してもらい、その間の集中度の変化を測定し、ビデオの撮影を行った。実験の結果の代表的な例として、図 15, 図 16, 図 17 に被験者 A, B, C の結果を示す。

被験者 A について、ビデオ映像で変化が起こったのは以下のようなときであった。

- (1) 画面に向かい始める (0 分, 20 分)。
- (2) 隣の人と会話をし始める (14 分, 49 分)。
- (3) 下を向いて考え込む (43 分)。

(1) のときの集中度の変化をみると、0 分、20 分いずれの場合にも集中度が高くなる方向に向かっ

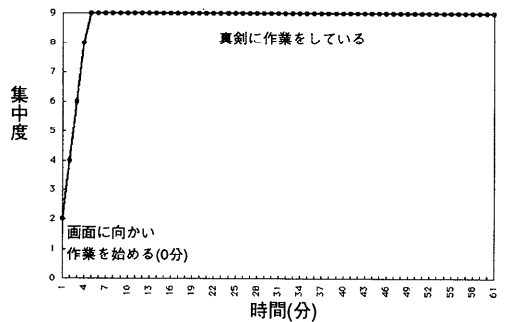


図 17 集中度の変化・被験者 C

Fig. 17 Degree of concentration change (Subject C).

ることが分かる。また、集中度が高くなる途中では、ジグザグの変化をしている。これは、作業者が集中して作業に取り込もうとしている途中に、椅子の具合(位置や方向)を調節し、落ち着くまでに多少の時間がかかったためである。椅子の位置が決まった後は、しばらく安定した集中状態となり、集中度も 9 で一定であった。このことから、被験者の集中の高まりと Valentine によって測定された集中度は、ほぼ同じ変化をしていることが分かる。

集中状態から一転して隣の人と会話を始めたときが、(2) のときであった。このときの被験者は、椅子を隣の人の方にやや傾け、時おり椅子を動かしながら会話をしていた。またこのとき、まったくキーボードやマウスには手を触れなかった。集中度の変化と照らし合わせると、会話を始めると同時に集中度が下がり始め、2 分から 6 分の間に集中度は 3 以下の WIDE の状態になっていた。また、(3) において被験者は、肘をつけて下を向き考え込んでいた。このときキーボードやマウスには触れていないのでアイドル時間は 100% であり、椅子を回転することはなく、体は画面の方向を向いていた。その 2 分後に、顔を画面に向け、作業を開始した。この間、やや集中度は下降するが、すぐに

上昇している。

被験者 B についても、画面に向かい集中し始める (12 分, 42 分) と同時に徐々に集中度の段階が上がり始めていることが分かる。またその他の変化としては、

- (1) メールを読み始める (3 分)
- (2) 席を立つ (27 分)

などがあった。(1) の場合被験者 B はログインの 3 分後、メールを読み始めた。メールを読んでいる際にはキーボードやマウスにほとんど触らず、また、椅子を小刻みに揺らしていたので、集中度は最低の 1 をしばらく続けていた。その後作業を始めると集中度も上昇し始めた。

被験者 C については、60 分間続けて集中しており、Valentine が判定した集中度は最高の 9 であった。

評価実験の結果から、システムで自動判定した集中度の値が、完全な一致ではなかったが、作業者の状態や行動の変化に応じて変化していることが分かった。また、個人差が大きく、集中度が大きく変動する人や、ほぼ一定の人など様々であった。このことから、集中度判定の閾値の適切な設定が重要であることが分かった。集中度の段階が 9 段階であることが適切であるかどうかはこの結果からはいえないが、個人差を考慮してカスタマイズする必要があると考えられる。

## 6. ま と め

本稿では、3 次元仮想空間を利用した在宅勤務環境を提供する仮想オフィスシステム Valentine について述べた。遠隔地にいる他の社員の気配を伝達するために、「周辺視ビュー」および「効果音」を実現し、アウェアネスの提供を行った。またアウェアネスの過度な提供が効率的な個人作業の妨げとなることから、ユーザの「集中度」を定義し、集中度に応じてアウェアネススペースを変化させることにより作業者の状態に応じたアウェアネス支援環境の提供を実現した。集中度は「キーボード、マウスの利用頻度」「椅子を回転する頻度」という 2 つの要素からシステムで自動検出を行った。評価実験を行った結果、気配の伝達および集中度に応じた環境の提供について、良好な結果を得た。

今後、集中度についての新たな判断要素を検討し、状況に応じたより適切な環境を作業者に提供できるシステムの実現を目指していく。

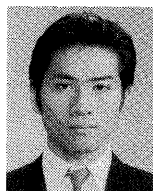
謝辞 本研究をサポートしていただいている、COE (Center Of Excellence) に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) Greenhalgh, G. and Benford, S.: MASSIVE: A Collaborative Virtual Environment for Teleconferencing, *ACM Trans. Computer-Human Interaction*, Vol.2, No.3 (1995).
- 2) 鈴木 元, 菅原昌平, 永嶋美雄, 渡辺和文: サイバーコミュニティの検討, 信学技法, pp.E92-120 (1993).
- 3) Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T. and Ishida, T.: FreeWalk: Supporting Casual Meetings in a Network, *Proc. ACM CSCW'96*, pp.308-314 (1996).
- 4) 本田新九郎, 河内清人, 木村尚亮, 岡田謙一, 松下 温: メンバの空間的配置に着目した大部屋の仮想オフィス環境, 情処研資 GW96 (1996).
- 5) Dourish, P. and Bly, S.: Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group, *Proc. ACM CHI'92*, pp.541-547 (1992).
- 6) 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 岡田謙一, 松下 温: 在宅勤務者の疎外感の解消を実現した位置アウェアネス・アウェアネススペースに基づく仮想オフィス環境, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.7 (1997).
- 7) Hudson, S.E. and Smith, I.: Techniques for Addressing Fundamental Privacy and Disruption Tradeoffs in Awareness Support Systems, *Proc. ACM CSCW'96*, pp.248-257 (1996).
- 8) 栄久庵祥二, GK 研究所: オフィスの社会学~ホワイトカラーの時間と空間, 毎日新聞社 (1983).
- 9) 日本電子工業振興協会: ニューオフィス (NOS) に関する調査研究報告書 (1989).
- 10) 平井富雄: 座禅の科学, 講談社 (1982).
- 11) 門林岩雄: 脳波, 金芳堂 (1983).
- 12) <http://www.IBVA.com/>.

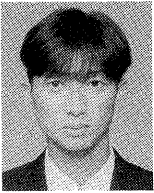
(平成 9 年 7 月 1 日受付)

(平成 9 年 11 月 5 日採録)



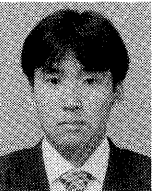
本田新九郎 (学生会員)

1993 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1998 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。現在、日本学術振興会特別研究員 (COE) 博士 (工学)。マルチメディア通信、グループウェア、ヒューマンインタフェース、仮想オフィスなどの研究に従事。電子情報通信学会会員。



富岡 展也 (学生会員)

1995年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年、NTTデータ通信(株)入社。グループウェア、ヒューマンインタフェースなどに興味を持つ。



木村 尚亮 (学生会員)

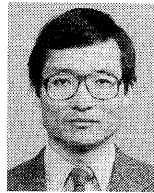
1996年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1998年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年、(株)野村総合研究所入社。コンピュータグラフィックス、音声情報処理などに興味を持つ。

に興味を持つ。



大澤 隆治

1997年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程に在学中。感性情報処理、バーチャルリアリティなどに興味を持つ。



岡田 謙一 (正会員)

1978年慶應義塾大学大学院後期博士課程所定単位取得退学。同年同大学工学部計測工学科助手。現在同大学理工学部助教授。1990～1991年アーヘン工科大学客員研究員。工学

博士。グループウェア、コンピュータ・ヒューマン・インタラクションに興味を持つ。共著「グループウェア入門」(オーム社)、「知的触発に向かう情報社会」(共立出版)、「コラボレーションとコミュニケーション」(共立出版)。ACM, IEEE, 電子情報通信学会, 人工知能学会, 応用物理学会各会員。グループウェア研究会主査, モバイルコンピューティング研究会委員。マルチメディア・インフラストラクチャ&サービス研究会幹事。仮想都市研究会幹事。1995年度情報処理学会論文賞受賞。



松下 温 (正会員)

1963年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1968年イリノイ大学大学院コンピュータサイエンス専攻修了。1989年より慶應義塾大学理工学部計測工学科教授。工学博士。

マルチメディア通信および処理に関するコンピュータネットワーク、分散処理、グループウェア、ヒューマンインタフェースなどの研究に従事。情報処理学会学会誌編集担当事務、マルチメディア通信と分散処理研究会委員長、グループウェア研究会委員長、電子情報通信学会情報システムグループ運営副委員長、情報ネットワーク研究会委員長、マルチメディアインフラストラクチャ&サービス研究会委員長、バーチャルリアリティ学会仮想都市研究会委員長を歴任。「やさしいLANの知識」(オーム社)など著書多数。1993年度情報処理学会よりベストオーサー賞、1995年度情報処理学会より論文賞受賞。電子情報通信学会、人工知能学会、ファジイ学会、IEEE、ACM各会員。