

実空間における状況察知に基づいた
コラボレーション支援に関する研究

平成18年度

江木 啓訓

目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	2
1.2 本論文の目的	2
1.3 本研究の概要	3
1.3.1 出入り口空間におけるグループインタラクション支援	3
1.3.2 コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業支援	4
1.3.3 協同記録作成を基にした対面議論への参加支援	4
1.4 本論文の構成	5
第2章 研究の背景	7
2.1 はじめに	8
2.2 状況察知のための基盤技術	8
2.2.1 ユビキタスコンピューティングの概念	9
2.2.2 位置情報・距離情報の検知	9
2.2.3 コンテキストウェア	15
2.2.4 情報提示デバイスと可視化手法	18
2.3 実空間におけるコラボレーション支援	21
2.3.1 グループウェアとその分類	21
2.3.2 対面インタラクション支援	22
2.3.3 対面協調作業支援	26
2.3.4 協調執筆支援	31
2.3.5 大規模会議・公共空間支援	32
2.4 まとめ	33
第3章 実空間における状況察知	36
3.1 はじめに	37
3.2 支援対象とするグループ	37
3.3 実空間における状況察知	37
3.3.1 実空間コラボレーションとは	38

3.3.2	実空間に遍在するデジタルデバイス	39
3.3.3	実空間コラボレーションにおけるアウェアネス情報	41
3.4	状況察知によるコラボレーション支援	43
3.5	本研究の位置づけ	45
3.5.1	出入り口空間におけるグループインタラクション支援	45
3.5.2	コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業支援	46
3.5.3	協同記録作成を基にした対面議論への参加支援	47
3.6	まとめ	48
第4章	出入り口空間におけるグループインタラクション支援	49
4.1	はじめに	50
4.2	出入り口空間における支援	51
4.2.1	出入り口の場の特性	51
4.2.2	雰囲気情報の提示	52
4.3	グループ支援環境 CollaboGate	54
4.3.1	CollaboGate の構成	54
4.3.2	CollaboGate によるアウェアネス支援	55
4.4	CollaboGate の実装	55
4.4.1	センサ	56
4.4.2	出力インターフェイス	56
4.4.3	CollaboGate Server	56
4.4.4	アプリケーション	57
4.5	雰囲気情報の収集・提示手法	58
4.5.1	出入り口空間への提示	58
4.5.2	色の共感覚効果の利用	59
4.5.3	TS-Gate の設計	59
4.5.4	アウェアネス情報の収集	60
4.5.5	活動度情報の算出と蓄積	61
4.5.6	作業空間情報の提示	62
4.6	プロトタイプの実装	62
4.6.1	センサ群	62
4.6.2	TS-Gate Server	63
4.6.3	ユーザへの表示	63
4.7	プロトタイプを用いた評価実験	63
4.7.1	実験 1: 色表現の妥当性	64
4.7.2	実験 2: 活動度を感じ取れたか	65

4.7.3	色の妥当性について	66
4.7.4	活動度を感じ取れたか	66
4.7.5	質問紙調査から	68
4.8	ユーザの行動履歴と属性情報の追加	70
4.8.1	AS-Gateの提案	70
4.8.2	雰囲気を決定する要素	71
4.8.3	収集する情報	71
4.8.4	AS-Gateの設計	72
4.8.5	情報収集部分	73
4.8.6	情報蓄積・管理部分	73
4.8.7	情報提示部分	74
4.9	雰囲気情報提示システム AS-Gateの実装	74
4.9.1	AS-Gateの実装	74
4.9.2	センサ	74
4.9.3	ユーザへの表示	75
4.10	AS-Gateの評価結果	77
4.10.1	評価実験	77
4.10.2	実験結果	78
4.10.3	考察	82
4.11	まとめ	83
第5章	コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業支援	85
5.1	はじめに	86
5.2	距離情報を利用した協調作業支援	87
5.2.1	想定する環境	87
5.2.2	距離情報と協調作業	87
5.3	距離情報を用いたプロジェクタシステムの実装	89
5.3.1	プロジェクタの利用における距離	89
5.3.2	RFIDを用いた距離の検知	90
5.3.3	プロジェクタシステムの構成	90
5.3.4	プロジェクタシステムの機能	91
5.3.5	実装画面	92
5.4	プロジェクタシステムの評価	92
5.4.1	実験の概要	93
5.4.2	評価項目	95
5.5	実験結果と考察	96

5.5.1	発表者の交代に要した時間	96
5.5.2	発表者の交代回数	97
5.5.3	成績とユーザの行動分析	97
5.5.4	距離帯を用いた協調作業の支援	98
5.6	まとめ	99
第 6 章	協同記録作成を基にした対面議論への参加支援	100
6.1	はじめに	101
6.2	対面議論における協同記録作成	102
6.2.1	対象とする協調作業	102
6.2.2	対面会議への参加	102
6.3	協同記録作成モデル	103
6.3.1	従来の記録作成手法の問題点	103
6.3.2	協同記録作成モデルに基づいた議論	104
6.3.3	協同記録作成の重要性	105
6.4	協同記録作成ツールの設計と実装	106
6.4.1	テキスト共同編集における排他制御	106
6.4.2	他者に関するアウェアネスの機能	108
6.4.3	実装	109
6.5	対面議論への導入	109
6.5.1	実験の概要	110
6.5.2	議論と記録作成の並行	111
6.5.3	排他制御とアウェアネスに関する結果	112
6.6	まとめ	112
第 7 章	結論	113
	謝辞	117
	参考文献	120
	論文目録	130

目 次

1.1	本論文の構成	5
2.1	精度と検知範囲の関係	11
2.2	DOLPHIN における Iterative Multilateration 手法 [54]	12
2.3	DOLPHIN のハードウェア構成 [54]	12
2.4	DOLPHIN ノード [54]	13
2.5	四隅の荷重センサによる位置識別 [73]	14
2.6	荷重センサによる机上の位置識別 [73]	15
2.7	荷重の変化による行動の識別 [73]	15
2.8	荷重センサによる位置の可視化 [73]	16
2.9	意味空間と Activity Zones による空間の区分け [42]	17
2.10	カメラによる映像と Activity Zones による空間の区分け [42]	18
2.11	SPECs のプロトタイプボード [47]	18
2.12	SPECs を装着・配置した様子 [47]	19
2.13	SPECs を一日装着した際の検出履歴 [47]	19
2.14	LED を用いた情報提示手法の比較 [85]	20
2.15	グループウェアの分類	22
2.16	対人距離の異なる対面インタラクションの比較 [29]	25
2.17	クライアントの情報表示画面 [43]	26
2.18	近距離電子メールのクライアント画面 [43]	27
2.19	Toss-It の動作 [99]	27
2.20	力学的なトス行為の検出 [99]	28
2.21	万博パビリオン内の RFID 受信機 [46]	33
2.22	展示会統合情報支援システムの構成 [46]	34
2.23	SPARKS が表示するオーラ [9]	35
2.24	group pad の表示内容 [9]	35
3.1	実空間コラボレーションの位置づけ	40
3.2	ユビキタスコンピューティングと実空間コラボレーション	41
3.3	状況察知の流れ	44

3.4	実空間コラボレーションにおける接近のモデル	45
4.1	出入り口空間における支援	53
4.2	CollaboGate の構成	54
4.3	CollaboGate の構成と動作	55
4.4	設置された CollaboGate	57
4.5	色の共感覚効果	60
4.6	TS-Gate の全体構成	61
4.7	活動度の表示画面	64
4.8	TS-Gate 上での表示の様子	65
4.9	研究室内の映像	66
4.10	研究室内のセンサ配置	69
4.11	実験 2 で使用したボタン	70
4.12	AS-Gate を設置したドアの様子	75
4.13	AS-Gate の表示画面	76
4.14	2 次元表現による提示	78
4.15	発話内容のクラスタリング	79
5.1	RFID を利用した複数の距離帯の検知	90
5.2	システム構成	91
5.3	プロジェクタ操作画面	92
5.4	プロジェクタ画面 (4 人のユーザが表示)	93
5.5	実験に使用した画像の一例	94
5.6	切り替え器を用いた場合のハードウェア構成	95
6.1	プロジェクタを用いた記録作成	104
6.2	協同記録作成に基づいた議論	105
6.3	ユーザの操作の通知	107
6.4	記録作成ツールの画面	109
6.5	実験風景	110

表 目 次

2.1	位置検出技術	10
3.1	対象とするグループの性質	38
4.1	出入り口空間の特徴	52
4.2	実験 1 で用いた映像	67
4.3	実験 1 の質問紙調査結果 (N=21)	67
4.4	実験 1 の色情報と集計結果 (N=21)	68
4.5	実験 2 の集計結果	68
4.6	実験 2 の質問紙調査結果 (N=13)	68
4.7	被験者に対する質問の内訳	80
4.8	回答時間と正答率	80
4.9	発話内容の分類結果	81
4.10	入室者の滞在時間	81
4.11	出入り口空間において AS-Gate の表示を見た割合	81
5.1	対人距離の分類	88
5.2	交代にかかった時間と発見個数	96
5.3	発見したオブジェクトの説明方法 (複数回答)	98
6.1	議論の実施概要	110

第1章 序論

1.1 はじめに

本研究は、対面のユーザ間でのインタラクション支援に関する研究成果をもとに、実空間における状況を適切に察知し、グループの協調的な活動が円滑に進められるコラボレーション支援環境のデザインを行う。

コンピュータの低価格化、小型化と通信網の高速化の実現により、広帯域ネットワークを実際の社会的活動の基盤として用いることが現実的となった。また、IEEE 802.11a/b/gに代表される無線通信網の整備と通信機能を搭載したデジタルデバイスの開発により、モバイルコンピューティングやネットワークコンピューティングに注目が集まっている。さらに、身の回りのさまざまなデバイスがネットワークに接続されたユビキタスコンピューティングが実現しつつある。

また、会議室など人が集まる場にはコンピュータやコンピュータ以外の様々なモノが存在しており、複数の端末や情報処理能力を持つモノでネットワークを構成し、情報の交換や共有を行うような協同作業支援システムの重要性が高まってきている。コンピュータを用いて人間同士の協調作業を支援する研究領域においても、これまでの知見をもとにユビキタスコンピューティング環境におけるコラボレーション支援の手法を検討する必要性が生じている。端末の小型化とネットワーク化によって、利用者がいつでも端末を持ち歩き、ネットワークにつないで利用できるようになっただけでなく、それが人間の社会活動のあらゆる場面に浸透してきているからである。

従来のユビキタスコンピューティングに関する議論は遍在するデバイスをどう協調させるか、またはユーザがデバイス群をどう効率的に用いるかといった観点からのものが多い。様々な位置情報収集システムを用いて、実空間上における位置情報を用いた実世界指向コンピューティングの研究も行われている。しかし、遍在するデバイスがどのようにインタラクションの支援に役立つか検討し、ユーザ同士のインタラクション支援の観点から、実空間における状況を適切に察知するコラボレーション環境を実現する必要があると考えた。

このような背景を踏まえた上で、本研究は参加者が物理的作業空間を共有してコミュニケーションを行う実空間での協調作業を取り扱い、オフィスや研究室におけるグループなどの実践的コラボレーションに従事するグループを支援対象とする。

1.2 本論文の目的

本研究はユーザ同士のインタラクション支援の観点から、実空間コラボレーションにおける状況を適切に察知することを目的とする。これらのグループを支援するために、遍在するセンサで収集することができる情報や、協調作業支援アプリケーションから得られる

情報の収集を行う。得られたウェアネス情報から場の状況を判断し、グループの特性や場の状況に応じて必要なサービスを提供するコラボレーション支援環境を構築する。

センサネットワークなどのユビキタスコンピューティングの研究は1990年代末頃から盛んになってきているが、その多くは位置情報のセンシング手法やデバイスを透過的に利用するためのミドルウェアの開発に注力しており、実際のエンドユーザの協調作業場面を想定したサービスの提供に至らないものが多い。一方で、コンピュータやネットワークを用いて、会議や共同執筆などのユーザ同士の協調作業の効率化を支援する協調作業支援は、1980年代末頃から研究領域として取り組まれてきている。しかしながら、ユビキタスコンピューティングの潮流が協調作業支援の発展の可能性をもたらしつつあることから、ユビキタスコンピューティングの技術を活用して実空間の状況を検知・判断し、コラボレーション支援サービスをデザインする必要があると考えられる。

実空間におけるコラボレーションの支援を実現するための課題は多岐にわたる。その解決に向けて、本研究は実空間コラボレーションの場面を複合的かつ連続するものとして想定する。たとえば、メンバーはオフィスや研究室といった作業空間に出入りし、同じグループに所属する他のメンバーと日常的にコミュニケーションをとりながら活動する。その上で、報告や打ち合わせなどに集中するために、会議室に移動して対面での会議を行う。議論と検討、分担したドキュメントの統合作業などの活発な実空間でのコラボレーションの場に数多く参加し、チームで創造的な協調作業を行っていく。

このように、従来の対面会議などの活発なコラボレーションだけでなく、対面会議の場に至るまでの空間や場の状況を含めた支援を行い、会議の中身を高度化するために積極的に参加することを促してゆく。

1.3 本研究の概要

前節で述べた目的を実現するため、実空間におけるコラボレーションの支援に必要なウェアネス情報とその収集・提示手法について検討する。実空間において密接に関連した活動の場面として以下の三点を取り上げ、コラボレーション支援環境のデザインを行った。

1.3.1 出入り口空間におけるグループインタラクション支援

まず、協調作業空間にアプローチする「出入り口」を場と捉え、その場におけるグループの支援環境を構築する。出入り口空間での活動は、その内容や所要時間などの点において従来の協調作業空間とは異なる特性を持つ。その特性を踏まえ、会議室やオフィスといった作業空間内とその出入り口空間におけるウェアネス情報を収集・蓄積することに

より、グループにおけるインタラクションを支援する。これはセンサを組み合わせることによるウェアネス情報の収集と、集めた情報の蓄積・管理によって実現される。

その上で、出入りに接近したユーザに対して、空間内部の雰囲気情報とその推移を出入り口空間において直感的に提示する手法を検討する。場の雰囲気はどのような要素から推測されるかを考え、人の活動度とその推移といった空間内部の状況の推移を表示インタフェース上に提示する。

出入り口空間におけるインタラクション支援サービス、活動度情報の収集・提示手法の評価と応用方法について議論する。これらのシステムを用いた評価実験から、ユーザが作業空間に入る前に内部の雰囲気を察知できるようになることで、グループの作業効率化やコミュニケーションの活発化を促進する可能性を見出した [20, 65, 64, 18, 19]。

1.3.2 コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業支援

次に、コラボレーションの場における距離の概念を協調作業支援に導入する。対面協調作業の場に存在する人やモノの間の物理的距離を認識し、それらの距離情報と距離の変化に基づいて、コラボレーションの支援を行う手法を提案する。協調作業の場に存在する人やモノの間の距離情報とその変化に基づいて協調作業支援を行うために、実空間における距離を認識し、ユーザにその時々で必要となるサービスを提供する。

これにより、ユーザは近づくことにより自動的に集まったことを認識し、持ちよった様々な情報や機器をコラボレーションの場で利用できる。また、状況に応じて複数の距離帯を使い分ける対面協調作業の場面において、距離に基づいてグループを構築した上でコンテキストを反映した協調作業に利用することができる。

距離情報を用いた協調作業支援環境を用いる評価実験を行った結果、実空間の距離情報をもとにその場で必要となる機能やデータを提供することにより、対面協調作業がスムーズに行えることが明らかになった [67, 21, 22]。

1.3.3 協同記録作成を基にした対面議論への参加支援

最後に、対面同期会議の参加者が内容の理解や発想、意識共有の質的向上を実現するために、議論への参加を促す手法について検討する。従来の議論の場面では発言する機会を得にくい参加者に着目し、発言とは違う形で貢献をしたり、議論のグループ全体の状況を把握しやすくしたりするために、協同記録作成を導入した議論の手法を提案する。議論の内容に関する記録編集を行うことを通じて、参加者が傍観することなく主体的に参加できることを狙いとする。パーソナルコンピュータを持ち寄った対面での議論の環境を対象とし、提案手法を実現するために必要な協同記録作成ツールを議論に導入した。その結果、

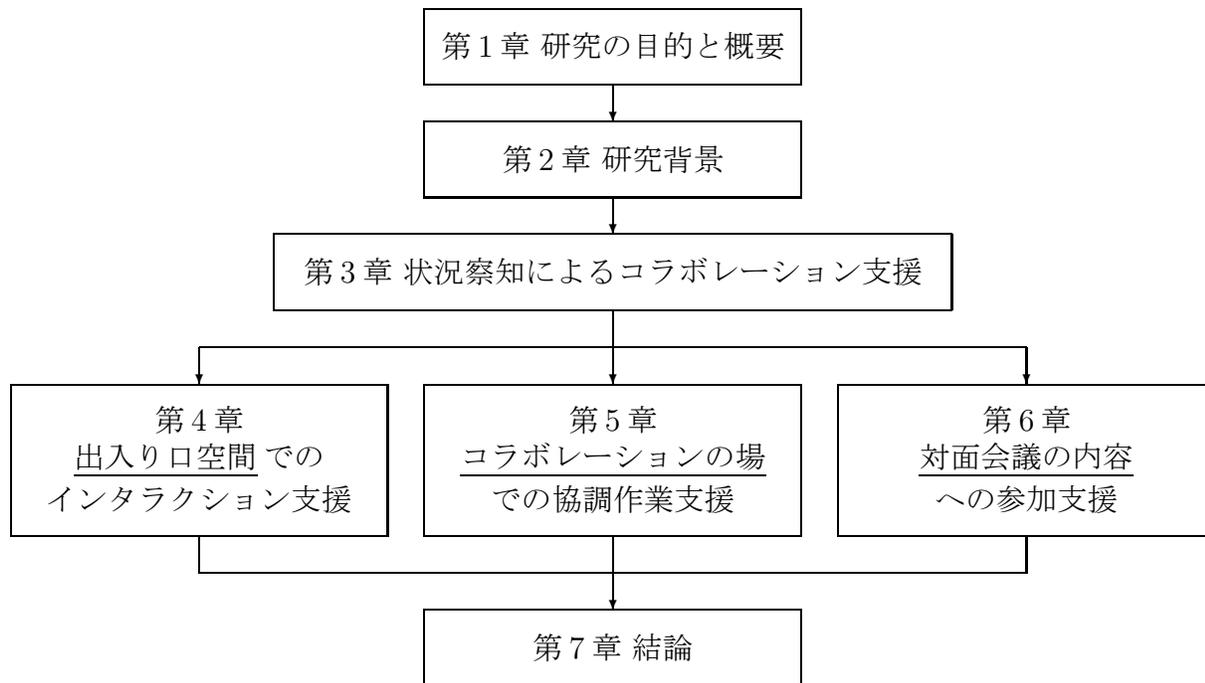


図 1.1: 本論文の構成

議論と記録の作成を並行するための認知的な負荷が増すという点が明らかになった。また、記録作成ツールを設計する際に、対面同期環境における参加支援の観点から必要なウェアネス機能を整理し検討を加えた [13, 17, 15, 16, 14]。

1.4 本論文の構成

本論文は以下の7章で構成されている。本論文の構成を図 1.1 に示す。

第1章では、本研究の目的と概要について述べた。

次の第2章では、本研究の背景となる対面コラボレーション支援に関する研究の展開と、ウェアネス情報の収集に深く関係するユビキタスコンピューティングの研究について概観し、関連研究を整理する。第3章において、状況の適切な察知に基づいた実空間におけるコラボレーションの提案に関して、その概念と必要性を中心に述べるとともに、関連研究を踏まえた上で本研究の位置づけを明確にする。

第4章以降において、本研究の内容について詳述する。まず、第4章では協調作業空間に対してユーザがアプローチするフェーズにおいて、「出入口」の場におけるグループの支援環境について議論する。次に、第5章で協調作業空間に入ったユーザが対面でのコ

ラボレーションに参加するフェーズにおいて、コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業を支援する手法について議論する。さらに、第6章では協調作業の中身に関するフェーズにおいて、協同で議事録を作成することによる対面議論への参加支援の手法について議論する。

最後に、第7章において本研究において行った実空間における状況察知に基づいたコラボレーション支援について総括し、結論と今後の展望を述べる。

第2章 研究の背景

2.1 はじめに

コンピュータが小型かつ廉価なもの、また相互通信可能なものとして広く普及したことにより、単なる電子計算機であったコンピュータは、社会システムとしての人間同士のコミュニケーションやコラボレーションを支えるコンピュータへと役割を変えた [58]. 本論文で述べる状況察知に基づくコラボレーション支援の研究に先立ち、既にさまざまなアプローチで、コンピュータとネットワークを人間の知的な生産活動に利用しようとした研究がある。

第一に、使用するユーザ同士が協同して取り組む生産活動をサポートする、協調作業の支援を目的とした研究である。これは CSCW (Computer Supported Cooperative Work) やグループウェアと呼ばれる領域として確立されている。第二に、遍在するコンピュータを協調させ、人間の活動に役立てるというユビキタスコンピューティング (Ubiquitous Computing) に関する研究である。前者が、対面会議や共同執筆といった具体的なグループのタスクを想定し、ユーザの振るまいや人間同士のコミュニケーションといった社会科学的な観点を取り入れてきたのに対し、後者は通信基盤となるインフラストラクチャを構築し、デバイスを透過的に使用することができるミドルウェアの提供によるアプリケーションの開発支援として展開してきた。

本章では、それぞれの領域におけるアプローチに基づいた、ユビキタスコンピューティングに関する研究と協調作業支援に関する研究について俯瞰する。その上で、それぞれの研究領域における成果と現在抱える課題を整理し、本研究の背景と必要性についてまとめる。

2.2 状況察知のための基盤技術

まず、実空間コラボレーション環境をデザインする上で基盤技術となる研究について、広義のユビキタスコンピューティングに関連する研究を中心に概観する。

実空間における状況を適切に察知してコラボレーションを円滑に進めるためには、まず場の情報を検知・収集し、次にそれらをもとに状況を判断した上で、ユーザやアプリケーションに対して通知する必要がある。本節ではこれらのフェーズ毎に、関連する個々の研究を以下の三点に大別した上で説明する。

1. モノやヒトの位置関係などの情報を収集する研究
2. 様々なセンサ情報をもとに状況を推定する研究
3. ユーザに対する情報提示に関する研究

2.2.1 ユビキタスコンピューティングの概念

ユビキタス (Ubiquitous) とは「どこにでもある・遍在する」という意味である。ユビキタスコンピューティングとは、コンピュータが現在のようなデスクトップ型やノート型といった形ではなく、計算機としての機能だけが現実空間のいたるところに埋め込まれた状態でのコンピューティング環境を指す。これにより、コンピュータの存在を意識することなく、その時に必要な情報を取り出したり送ったりすることができる [26, 96, 87]。

ユビキタスコンピューティング環境においては、遍在する、あるいは身につけた [69] 計算機、コンピュータネットワークとセンサノードが人の行動を感知し、それらの情報とデバイスをを用いていつでも、どこでも、だれでも、どのような行為でもコンピュータによる支援を受けることができる。このような世界を実現するためのさまざまな基盤技術が研究されている。

2.2.2 位置情報・距離情報の検知

実空間上のどこにユーザがいて、デバイスがどのような位置関係で分布しているかという位置・距離に関する情報は、ユビキタスコンピューティングを実現する上で、また場のコンテキストを判断する上でも最も重要な要素の一つである。GPS を用いることができる屋外と異なり、屋内での精細な位置情報を取得することは容易ではない。様々なアプリケーションを充実させるための主要な技術の一つとして、多くの屋内位置測位システムが提案されてきた。

位置・距離情報検出技術

実空間における位置・距離に関する情報の取得と管理手法は、赤外線を用いるもの、超音波を用いるもの、アクティブまたはパッシブ型 RFID を用いるもの、動画像を用いるもの、ならびに WiFi の電波強度を用いるものに大別され、センサネットワークの研究として数多くの提案がある [30]。位置検出の範囲と精度の関係を表 2.1 ならびに図 2.1 にまとめる。また、デバイスがセグメントで区切られたネットワーク上のどこに接続されているかなど、トポロジ情報を位置を知る手がかりとして用いることもできる。その一方で、物理的な位置情報や直線的な距離情報からは判断できない、より細かい位置・距離に関する情報を判断する必要がある。例えば、フロアや部屋の構造によっては、実際に人間が移動する際に近い・遠いかという情報として用いることができない場合がある。

表 2.1: 位置検出技術

	検出範囲	精度
超音波位置センサ	数 m × 数 m	mm オーダー
光学式位置センサ	数 m × 数 m	mm オーダー
RFID	数 cm-数 m	mm オーダー
無線 LAN 測位	100m	1m
Active Bat	1000m (建物内)	3cm
Active Badge*	建物内	部屋単位
GPS	屋外	数 m

*各部屋に受信機を設置

赤外線による位置検出

赤外線を用いた代表的なシステムとして、Active Badge Location System[90, 89] が挙げられる。モバイル・コンピューティング環境上で位置情報を用いたアプリケーションを構築するためのフレーム・ワークとして、オリベッティ研究所の Want らによって開発された。Active Badge の目標は、オフィスのいたるところにセンサをもつ計算機を設置し、それらを無線ネットワークを用いて分散サービスと接続することで、アクティブなオフィスを構築することである。ユーザは Active Badge と呼ばれるバッジを身につける。このバッジは、定期的に赤外線を用いてメッセージをブロードキャストすることにより、ネットワーク上にそのユーザ位置情報を知らせる。バッジはスピーカや LED も装備しており、ページの機能も持つ。この位置情報を用いたアプリケーションとして、現在のユーザ位置をグラフィカルに表示するアプリケーション、ある人と現在コミュニケーションするための最適な手段 (FAX, 電子メール, 電話, ポケットベル等) を教えてくれるアプリケーション、検索したい人の現在の位置情報を提供するサービスなどがある。また、Active Badge にはボタンがついており、これを押すことで最も近いディスプレイに自分のウインドウを移動したりすることが可能である。

超音波による位置検出

超音波センサは、圧電 (逆) 効果を利用したセンサである。音を電気信号に変換したり、逆に電気を音に変換する素子である。一般的に人間の聞き取れる音の周波数は 20kHz 以下であるため、それ以上の周波数が使用されている。超音波は、指向性が強く、金属、木材、ガラス、ゴム、コンクリート、紙などの物質にあたったときは、ほぼ 100% 反射するという性質を持っている。波の強度は、拡散したり柔らかいものによって吸収されたりするため、距離が長くなるほど減衰する。さらに、この減衰の度合いは超音波の周波数が高

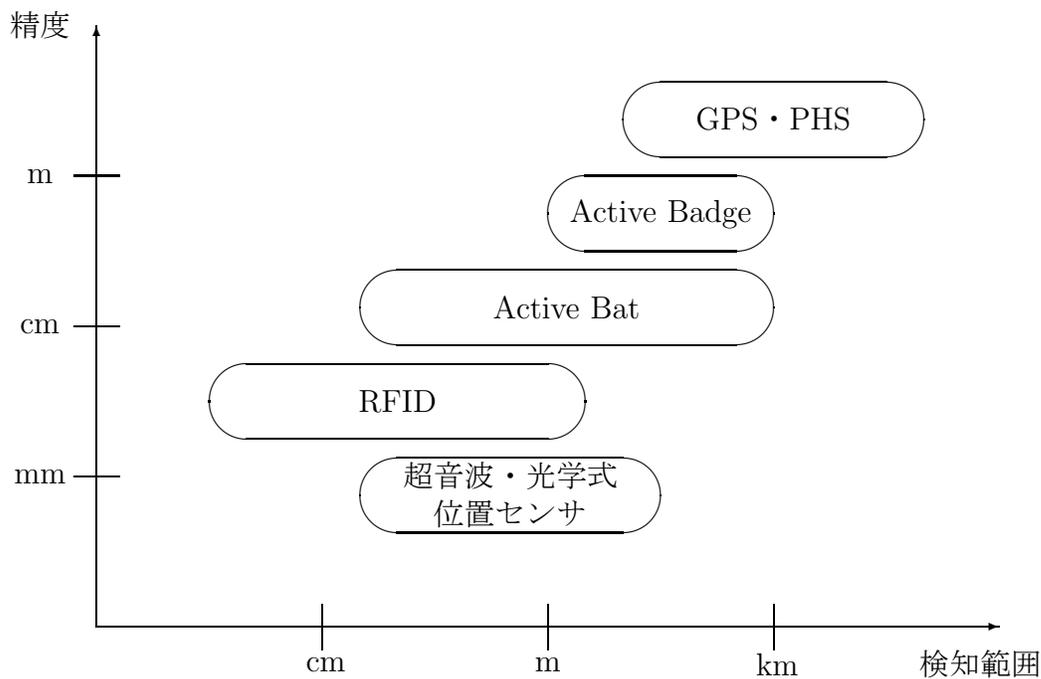


図 2.1: 精度と検知範囲の関係

いほど大きくなり、到達距離は短くなる。また、伝播速度が温度によって変化するため、超音波の反射を利用して距離を正確に測定するときは、温度補正をしなければならない。位置検出範囲は3m四方程度で、その範囲内でmmオーダーで物体を検知できる精度のセンサも登場している。

AT&T 研究所の Active Bat システム [91, 28, 2] は、Active Badge システムをさらに拡張させ、通信部分に 433MHz の超音波を利用した位置検出システムである。小型の超音波発信部と室内の天井部分に埋め込まれた超音波受信部から構成される。小型の超音波発信部は、ユーザを識別するバッジの役割を果たす。ユーザは、48 ビットの固有な識別子を持つそれらのバッジを持ち歩くことでサービスを受けられる。Active Bat システムでは、バッジの位置を、3cm 以内の誤差で三次元の位置情報として測定可能である。Active Bat では、これらの三次元位置情報を用い、ユーザに対し位置適応的なサービスを提供する。応用例としては、Bat Teleporting がある。Bat Teleporting はバッジを持ったユーザのデスクトップの画像イメージを、移動先のディスプレイに映し出す。ユーザの移動は Active Bat システムによって感知される。

DOLPHIN[54] は超音波を用いた高精度な三次元位置情報システムである。研究室での利用を越えた自律分散型の屋内測位システムを配置するためには、システムの初期設定コストを削減する必要がある。東京大学の Minami らは、多数の測位用デバイスを分散させ、そのうちの必要最低限のデバイスを位置基準として手動設定するだけで、容易に屋内

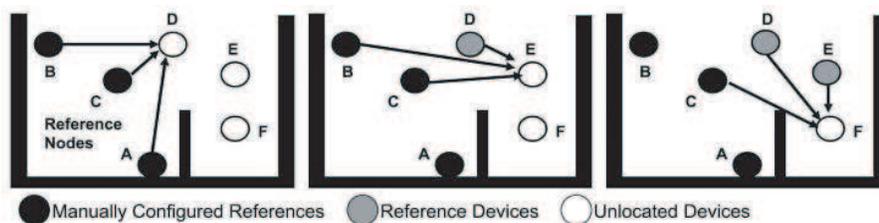


図 2.2: DOLPHIN における Iterative Multilateration 手法 [54]

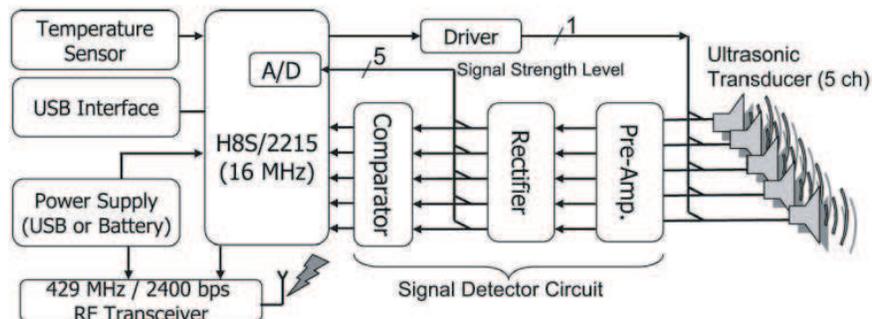


図 2.3: DOLPHIN のハードウェア構成 [54]

位置情報の取得可能な空間を構築できる自律分散型屋内測位システムである DOLPHIN を実装した。DOLPHIN は、ノード配置を容易にするため、位置が未決定のノードが自分自身の親を決定することにより、位置基準として動作可能になることで再帰的に測位していく手法 (Iterative Multilateration) を用いた。図 2.2 にそのモデルを示す。

また、測位制度を向上させるために、超音波を用いた三辺測量を採用し、障害物による精度低下を軽減するデザインの検討を行った。図 2.3 にハードウェア構成を、図 2.4 に DOLPHIN のノードを示す。伝播遅延時間を測定するために同期を取るための無線モジュール、水平面に 4 つ、垂直面に 1 つ配置された送受信兼用の超音波センサ、CPU に受信の有無を表すデジタル値と受信強度を表す値を出力するアナログ信号処理回路からなる。性能評価を行った結果、理想環境での測位性能では高精度化手法の適用により従来の 380-1090mm から 13-43mm へと改善された。移動するノードにも対応すること、NLOS 信号の除去精度を上げることが今後の課題である。

無線・RFID による位置検出

RFID システムは、ID タグ (RFID タグ) の持つ情報をリーダー/ライターからの電磁誘導により非接触で読み書きするシステムである。多くの RFID タグは、リーダー/ライターから

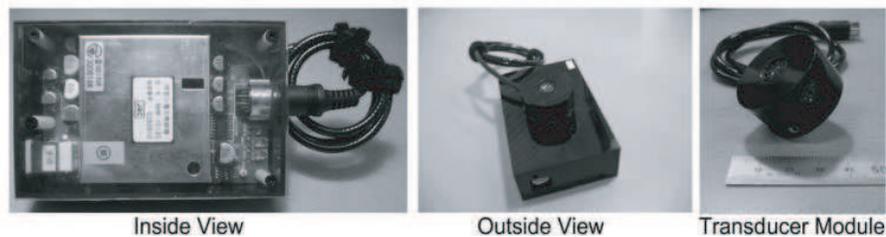


図 2.4: DOLPHIN ノード [54]

電磁誘導により供給される電力により無電源で動作する。RFID タグには、メモリと通信回路からなる CMOS チップと超小型アンテナが組み込まれている。アンテナ部分は磁性体に導線が巻かれたコイルであったり、印刷された導電体による空芯コイルであったりする。メモリには、読み出し専用メモリや、EEPROM などによる書き込み可能なメモリが、用途によって使われる。リーダー/ライタは発信モジュールと制御モジュールから構成されており、アンテナを通じて RFID タグに電源を供給してデータの読み書きを行う。この他にも、タグ自体が電池を内蔵しており、一定間隔で微弱電波で個々のタグに割り振られたユニークな ID を発信し、リーダーが近傍にある存在するタグの微弱電波を検知し、存在を確認する種類のものもある。

RFID システムの特徴としては、電磁波が透過すれば、箱、鞆、服のポケットの中にあっても動作するため、バーコードや二次元バーコードなどよりも様々な用途が考えられる。また、書き込み可能な RFID タグ、偽造コピーに対する保護機能を持つ RFID タグ、複数の RFID タグを同時に読みこむシステムなどが実現されている。形状も様々な種類があり、従来バーコードが使われてきた用途への利用も予想される。

RFID タグを物や場所に貼り付けることにより、物や場所を識別する技術は、実世界のいたるところに通信・コンピューティング機能を持ったデバイスを配置して人の知的活動を支援しようという、ユビキタスコンピューティングのアプローチに近い考えであると言える [78]。

その他には、無線を用いて比較的低コストで位置・距離に関する情報を収集する試み [70] がある。

WiFi による位置検出

既存の無線 LAN (IEEE802.11a/b/g) のアクセスポイントと端末を用いて、測位を実現したり [43]、部屋単位の location に応じたサービスを提供したりする技術である [8]。広く普及している無線 LAN システムを用いる点と屋内・屋外を選ばずに利用可能である点が特徴である。

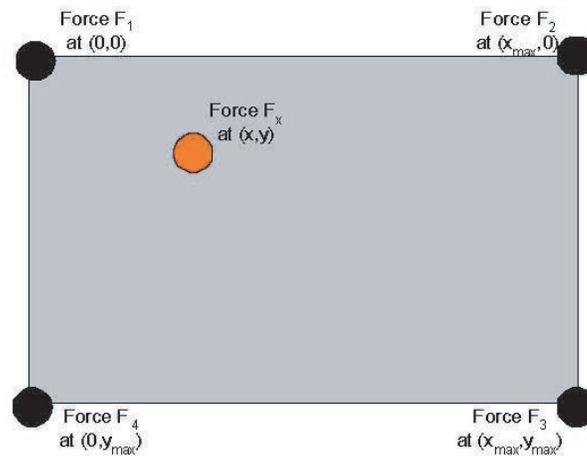


図 2.5: 四隅の荷重センサによる位置識別 [73]

重量による位置検出

重量測定をユビキタスの文脈で用い、単なる重さ計測だけでなく位置や発生したイベントなどを調べる手法が検討されている [73]. 重さはすべてのモノに適用でき、重さの変化でインタラクションの検出を行うことができるため常に観察する必要がない. また、台所や脱衣場にもはかりがあるように、低コストで実現できるというメリットがある. 図 2.5 に示すように、四隅に荷重センサをつけて位置を計算し、タイル状にセンサを増やして広範囲における場所推定を行う. センサは 500N まで耐えられ、分解性能は 16g, 判読は 4 回/秒, 100g から 100Kg までを識別範囲とする. 135cm × 75cm のパネルの四隅にセンサをつけ、水のペットボトル (500ml, 2L) を置いて実験したところ、2%(4cm, 2cm) 以下の誤差となり、高い精度で位置を検出できた.

次に、持ち上げた、置いたなどの行動を識別するために、80cm × 80cm の木製テーブルトップ (1kg) を用意し、四隅に耐荷重 20N のセンサをつけた. 荷重センサを取り付けた机を図 2.6 に示す. 250Hz, 10bit で重量をサンプリングし、500ml 水のペットボトルと本 (200g) で実験した. 現在から 500ms 前 (125 個) のデータをもとに判断した結果、図 2.7 に示すように、E1 と E4 でモノを置いた場合、E2 でモノを裏返した場合、E3 でモノを取った場合を識別できた. 本やペットボトルを用いて評価実験を行った結果、70 イベントのうち 94% が正しく判断された.

Weight Lab として実際の研究室への導入を行った. 木製の床 (240cm × 180cm) と机に耐荷重 200kg のセンサ、コーヒーテーブルに耐荷重 8kg のセンサを取り付け、ソファ 2 つにも設置した.

アプリケーションとして忘れ物防止サービスを検討した. これは、床への人の進入、テーブルにもものが置かれたこと、床からの人の退出をそれぞれ検出した時点で、ビープを鳴ら



図 2.6: 荷重センサによる机上の位置識別 [73]

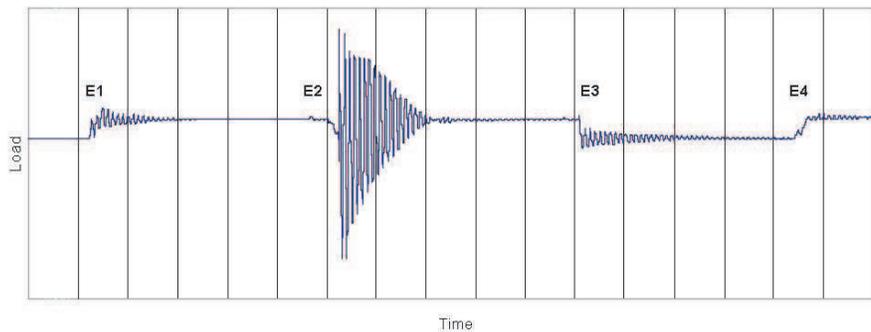


図 2.7: 荷重の変化による行動の識別 [73]

して忘れ物を指示するものである。また、高い精度で人やモノの位置を判断できるため、ユーザの位置情報を可視化することと、コンテキストの判断を行うことができる。図 2.8 に可視化された位置情報の画面を示す。また、複数人がいた場合の問題として、二人の重心しか判断できない点が挙げられるが、重心情報に基づいたサービスの可能性を検討している。

2.2.3 コンテキストアウェア

次に、位置・距離情報をはじめとする多様なセンサ情報をもとに、様々な状況(コンテキスト)を推測する研究について述べる。

Activity Zones[42] は、MIT の Koile らによる位置情報システムやコンテキストアウェア

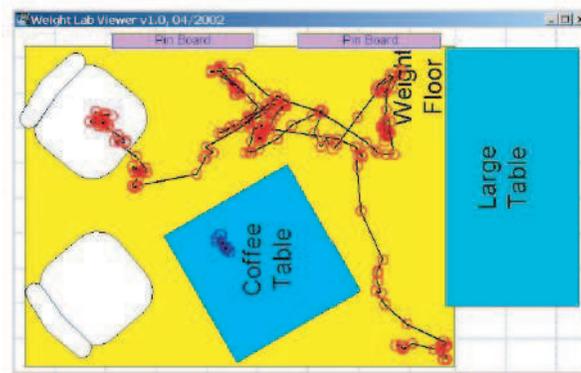


図 2.8: 荷重センサによる位置の可視化 [73]

アなシステムにおける、アクティビティゾーンの提案である。室内で椅子や机といったオブジェクトの位置と、意味づけられた活動の内容をマッピングする。従来の位置情報は座標、部屋の番号、ユークリッド距離などで表現されていたが、ユーザの位置の概念は、類似した行動を取る領域という観点から定義されることが多い。このような領域を Activity Zone と名づけ、その領域のコンテキストによって行動に適したアプリケーションを起動させる。ユーザの位置や動きに基づき半自動で Activity Zones を区分けする手法を示し、実装したシステムと2つのアプリケーションについて記述する。

これまでの図 2.9 左のような、出入り口、ソファ、机・椅子などの位置から意味空間的に領域を区切る手法では、ユーザの行動は部分的にしかわからない。Activity Zones は図 2.9 右の 1 は立つ、2 と 3 は座る、4 は歩くといったように、ユーザの行動を観察することによって区分けされた領域である。これにより、アプリケーションの動きとユーザの行動を関連づけさせることができる。

実装はカメラで撮影した画像処理に基づいた tracking system を用い、部屋の中の人数・人の位置・動きを検出する。この tracker は三次元座標で人の頭を検出し、その位置や動きの速さから座っているか、立っているか、動いているかを判断する。そして、行動と位置を関連づけクラスタリング・マッチングを行い Activity Zones を区切る。また、Tracking System からの情報がメモリに蓄えられ、Context Inference System に記述されたルールに基づき状況が判断され、アプリケーションの動作要求が出される。例えば Zone に二人いたら会議中とみなし、電話は音を鳴らさないようにするなど、簡単なインタフェースによって、アプリケーションの動作や状況判断のルールを変えることができる。図 2.10 に、実際のカメラによる映像にマッピングされた Activity Zones を示す。

アプリケーションとして、機器の制御とメッセージの配信を提案している。人の出入り時に照明が on/off する、机のところに来たらランプが点灯し音楽が流れる、ラウンジに来たらランプが点灯し机の上のランプは消える、二人の人が机の所に来たらプロジェクター

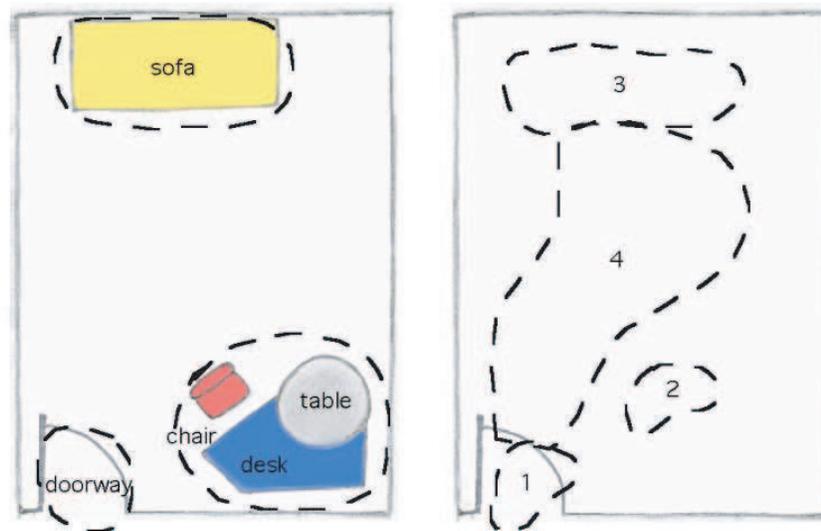


図 2.9: 意味空間と Activity Zones による空間の区分け [42]

を起動させ音楽を消すなどの動作を行う。また、一人の人が机やラウンジのゾーンに座っていてメッセージが届いた場合、ディスプレイやプロジェクターにメッセージが表示される。二人の人が同じゾーンで座っていた場合、そのうちの一人にメッセージを送っても会議中であるとみなしメッセージは表示されず、アイコンだけスクリーン上に表示される。

また、SPECs[47]はMOTEのような小型の自律センサーのP2P通信によって、実空間における場所・活動履歴を取得するプラットフォームである。「家にいる」「車に乗っている」「オフィスにいる」といった幅広いコンテキストの中で生活の広範囲における個人の存在や行動を検知することができる。SPECは32bitのIDを2秒ごとにブロードキャストし、他の近接したSPECを赤外線と電波を用いて検知し「何がどこにあるか」という情報を収集し、独立して動作する。基本的なpeer-to-peerプロトコルを使用し、データベースの参照や広範囲の無線ネットワークを必要としない。図2.11にSPECsのプロトタイプボードを、図2.12に実際に装着・配置した様子をそれぞれ示す。

SPECを用いたアプリケーションはXMLで定義されるPattern Recognizerで記述される。図2.13にSPECsによって検出された行動履歴を示す。実世界のリマインダ・アプリケーションを提供しており、忘れ物があることをLEDが光って知らせる。今後の課題は、RFを接近センサとして使うとともに、モーション検出センサを追加することである。



図 2.10: カメラによる映像と Activity Zones による空間の区分け [42]

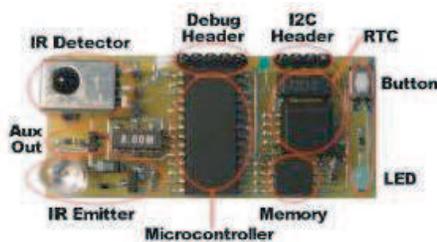


図 2.11: SPECs のプロトタイプボード [47]

2.2.4 情報提示デバイスと可視化手法

位置や距離といった情報をセンサが収集し、ユーザの振る舞いなどのコンテキストを判断した上で、ユーザに対して何らかのサービスを提供したり、コンテキスト情報を提示したりするためのデバイスや可視化手法などを検討する必要がある。

OutCast と GroupCast[52] は、情報を提示するディスプレイを別に用意し、オフィスのサイドテーブルに置く Peripheral Display による情報提供を発展させた研究である。OutCast は個人のブースの外側にモニタを設置し、プロフィールや予定、居場所や研究のデモを表示し、所有者とのインタラクションを可能にしたサービスである。GroupCast は複数人でのインフォーマルコミュニケーションを支援するために、休憩スペースなどに置かれたディスプレイにユーザ同士の共通情報を表示するシステムである。人が出勤して作業を行ったり、休憩や打ち合わせなどで退席するといった行動パターンから規則性を見出すことによって、将来の行動を予測する試みがある。この規則性をワークリズムと呼ぶ。コン



図 2.12: SPECs を装着・配置した様子 [47]

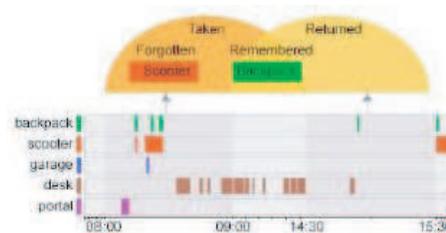


図 2.13: SPECs を一日装着した際の検出履歴 [47]

コンピュータの使用や電子メールのやりとり、予定表などをもとに分散環境にあるグループの支援を目的とした研究がある [5]。Begole らは、併せてプライバシーの観点からワークリズムの提示手法を検討しており、ワークリズムを折れ線グラフを用いて提示する他に、色の濃淡やアクトグラムで表現するなどの試みをしている [4]。

一方、実空間においてカメラやセンサを用いたサービスを提供する研究として、個人居室を対象とした訪問者の支援システムがある。山越らは、大学の研究室前に見られる所在表を電子化し、行動パターンの予測結果を入りに設置したディスプレイに提示する手法を提案している [98]。プライバシーに配慮した提示手法として、言葉を用いた場合の「あいまいさ」の効果について検討している。

実空間における戸を介したコミュニケーションのモデルに基づいて支援を行う、戸口通信の研究がある [74]。WWW における手書き伝言板を実装し、部屋の居住者とのチャット機能を提案している。また、戸口通信システムにおける時間経過の表現に着目している [59]。戸口通信システムも出入り口の場における支援を行っているが、実際には戸口はメタファーとして用いられており、すべての機能は WWW 上で実現している。

また、LED を用いた移動通信環境における視覚的な情報提示手法に関する検討がある

Display	No. LEDs	“On”-state Used	“Off”-state Used	Blinking Used	Multi-color LEDs	Mapping Complexity
	9	X				Very Low
	6	X	X			Low
	4	X	X	X		Medium
	3	X	X	X		High
	2	X	X	X	X	Very high

図 2.14: LED を用いた情報提示手法の比較 [85]

[85]. 多数の情報を直感的かつ効果的に提示するためには、ある程度のディスプレイのサイズが必要である。モバイル環境における視覚的情報提示に着目した場合、移動環境に適応するためにはできるだけ小さなディスプレイのサイズが望ましい。メインのタスクを阻害せずユーザに気づかせると同時に、気が散ったり周囲の迷惑にならないようにする必要があるが、ディスプレイサイズと、パフォーマンスならびにユーザの評価はトレードオフの関係にある。情報提示に用いる LED の数を 2 つから 9 つまで変え、色や点滅といった効果を組み合わせた実験を行った。被験者の反応時間と正答率を測定した結果、以下のような結果が得られた。

- LED の数やパターンを増やすと情報伝達が早い。
- 配置がもっとも直感的である。
- LED の点滅や色を用いるとコンパクトで済む。多色 LED が最も省スペースで効率のよい提示ができる。点滅は情報提示より注意を引くのに使える。
- LED の ON/OFF を使えば 5 個の LED (5bit) で済むが、組み合わせに意味のない全てのパターンを人間が覚えるのは不適切である。

Optical Stain[77] は、実環境において人の存在や状態といったアウェアネス情報を非同期にやりとりすることを実現する。アウェアネス情報は実環境に直接提示され、発信場所や時間順序を直感的かつ瞬間的に読み取れるよう設計されている。具体的には、掲示板環境において、最近の利用状況や掲示物の時間変化を、環境に付加する光学的なシミや、掲示物の明るさ・色の変化によって伝達する。システムは、人々の活動を取得するセンサで

あるカメラと、取得情報を提示情報に変換する検算装置、出力装置であるプロジェクタで構成されている。実際の環境に過去の状態を想起させるアウェアネス情報を表示することで、環境の特徴への理解促進を狙いとしている。

2.3 実空間におけるコラボレーション支援

次に、実空間におけるコラボレーションの支援を目的とした研究のうち、アプリケーションやヒューマンインタラクションの観点からアプローチしたものについて概観する。コミュニケーションの場面の状況毎に、関連する個々の研究を以下の四点に大別した上で説明する。

1. 対面インタラクション支援

データの共有や転送を支援する手法やそのためのデバイスなど、ユーザ同士の直接的なインタラクション行為に焦点を当てた研究。特に状況察知の手法と関連が深い。

2. 対面協調作業支援

会議支援システムや電子白板デバイスなど、対面での協調的な活動の支援に焦点を当てた研究。特に第5章の距離情報を用いた会議システムに関連する。

3. 協調執筆支援

ドキュメントを分担して執筆する場面に特化し、複数ユーザによる執筆の並行と統合などの問題に焦点を当てた研究。特に第6章の議事録の協同編集に関連する。

4. 大規模会議・公共空間支援

展示会や学術会議などの、大規模あるいは公共の空間におけるインタラクションに特化した研究。特に第4章の出入り口空間におけるインタラクション支援に関連する。

2.3.1 グループウェアとその分類

コンピュータネットワークを駆使して、人間の協調作業を支援するという研究分野は、CSCW(Computer Supported Cooperative Work) やグループウェアと呼ばれている。グループウェアは共通の仕事や目的のために働く利用者のグループを支援し、共有作業環境のためのインタフェースを提供するコンピュータ・ベースのシステムである [51, 86]。

現代の企業では、環境の変化や膨大な情報に対して迅速で柔軟に対応するために、オフィスでのPC使用はもちろん、ノートパソコンやPDAのような携帯情報端末、携帯電話やPHSを使ったモバイルコンピューティングの導入が急速に進んでいる。このような

		時間的特性	
		同期 (リアルタイム) 型	非同期型
空間的特性	対面型	対面会議支援	グループメモリ
	分散型	遠隔会議システム	共同執筆支援 コーディネーションシステム

図 2.15: グループウェアの分類

状況のもとで、誰もが時間や場所にとらわれず情報を共有し円滑なコミュニケーションが取れるような情報インフラ環境を提供し、スムーズな情報入手と時間のかかる事務作業の削減により、人間本来の能力を有効に活用する可能性を生み出す必要がある。

人々の協調への支援の結果としてもたらされる、時間的、コスト的、量的な意味での生産性や効率の向上に加え、質的な面でのさらなる向上、つまり各種の問題解決、意志決定、知的活動、創造活動への寄与がグループウェアの役割である。

チームを組み仕事をしている人々は、既にコンピュータをあらゆる場面で使用していると考えられる。個人ユーザとそのニーズを対象にしたこれまでのシステムに対し、チームでの生産性を高めるために、様々なグループを支援するシステムが用いられている。具体例としては、会議における司会者の支援、プレゼンテーション支援、意志決定支援などから、協同執筆支援、大規模ソフトウェア作成支援などを挙げることができる。

グループウェアを時間的、空間的に分類すると図 2.15 のようになる [51]。同期型は作業員全員が同時に作業していく形態であり、非同期型は電子メールや電子掲示板のように作業員がそれぞれ独立した時間に作業する形態である。対面型は、作業員全員が同じ部屋で face-to-face で作業を行うものであり、分散型は、物理的に離れた距離に分散した複数の作業員が、ネットワークを利用し通信を行って作業を行う形態である。

2.3.2 対面インタラクション支援

人間同士が対面で直接インタラクションを行う場面に着目し、インタラクション行為を支援する研究について述べる。

i-LAND

i-LANDは、壁、机、椅子などにコンピュータを組み込んだ実世界指向性の高いインターフェース (roomware) を建物内に遍在させることで、人々がコンピュータの存在を意識することなく、共同作業を効率化することを可能としている、実世界指向のインターフェースの複合的環境である [79, 83]。一つのビルの中で実世界指向インターフェースやユビキタスコンピューティングといった技術を融合させることによって、その建物内での協同作業を支援していこうということを目的とした「Cooperative Buildings」の概念に基づくものであり、以下のコンポーネントから構成される。

- DynaWall : 壁インターフェース

壁面に埋め込まれた大型コンピュータディスプレイ。タッチパネルディスプレイになっており、複数のユーザが同時に作業を行うことを想定したサイズになっている。画面サイズが大きいため、従来の Drag and Drop といった操作手法の利用が困難であるため take and put や shuffle といった新たな操作機能を用意している。

- InteracTable: 机インターフェース

コンピュータ組み込み型の机であり、その上面はタッチパネルディスプレイで構成されている。数人のユーザがテーブルを取り囲んで協調作業を行うことを想定している。他のメンバに見せたいオブジェクトを、相手が見やすい方向に向けるといったことを可能とする機能が備えられている。

- CommChair: 椅子インターフェース

コンピュータが組み込まれた椅子型 roomware。備え付けられたペン入力やキーボードを利用してコンピュータを利用した作業を行う。無線でネットワークにつながっており、DynaWall や InteracTable との間でファイルの送受信が可能になっている。

- Passage: 実物体に情報を付加させる

ファイルやフォルダ、ブックマーク等のコンピュータ内の情報を実空間上の実物体 (これを Passage と呼ぶ) にリンクさせることを可能としている。ユーザは Passage を運ぶ、という実世界の行動を通じて、コンピュータ内の情報を自然に持ち運ぶことが可能になる。

このような roomware をビルのあちこちに偏在されることにより、人は様々な協同作業を roomware の支援のもとで行うことが可能になる。また、roomware の一つ一つが実世界指向性の高いインターフェースを持っているため、ユーザは日常世界における普段の動作を通じて、空間を有効に活用した協同作業を行うことができ、コンピュータの存在を意識することなくその支援を受けることができる。

RoamWare

RoamWare[97]は距離情報を実際のグループ活動におけるコラボレーションに用いた研究であり、無線を用いて会議の参加者と議事録情報を記録し、その後のオンラインでの議論へ生かすことを目的とし、近接するユーザの情報を検出して利用している。

また、SpeakEasy[12]は移動会議のサポートを行うP2Pフレームワークである。アプリケーション、プロトコルに対して透過的であり、プリンタやサーバ、ファイルやデータを包括的にリソースとして扱う。Speakeasy上のノードやリソースを発見するために、ユーザ同士がデバイスを介して情報を交換する。BluetoothやIrDAなどの通信到達範囲をもってユーザが近接していると判断し、Speakeasy上で動くアプリケーションであるCascaを提案している。

壁面のディスプレイを共有する対面協調作業における、対人距離の要素について検討した[29]。友人関係にある2人の被験者を対とし、スタイラスを用いた作業において、お互いの距離、ディスプレイとの距離、direct inputの有無で条件を用意した。

- 2人ともタッチパネルディスプレイの近くで作業
- 2人とも離れて作業(タブレットによるindirect入力)
- 近くの人と離れた人(タブレットPCによるdirect入力)
- 近くの人と離れた人(タブレットによるindirect入力)

図2.16に比較した対面インタラクションの実験条件を示す。実験結果から、お互いが近くにいること、次いでディスプレイの近くにいることが快適性と効率性に大きく寄与することがわかった。また、離れている場所から操作する場合には、操作のしやすさと、見ているものの一致がトレードオフの関係にあると考えられた。

NearMe

NearMe[43]はWiFiのアクセスポイントが遍在する環境において、アクセスポイントからの電波強度で、物理的に近接しているモノやヒトの距離(Proximity)を推計する。WiFiのステーションとクライアントだけで構成できる点が長所である。NearMeは距離を近距離(Short Range)と遠距離(Long Range)の2種類に大別している。近距離は、少なくとも一つのアクセスポイントを共有している場合であり、30メートルから100メートル以内である。WiFiの電波強度でおおよその距離を示す。遠距離は、アクセスポイントを共有していないものの、近接しているアクセスポイントに接続されている場合である。NearMe Serverはアクセスポイントの情報を管理しており、タイムスタンプをもとにしたアクセス

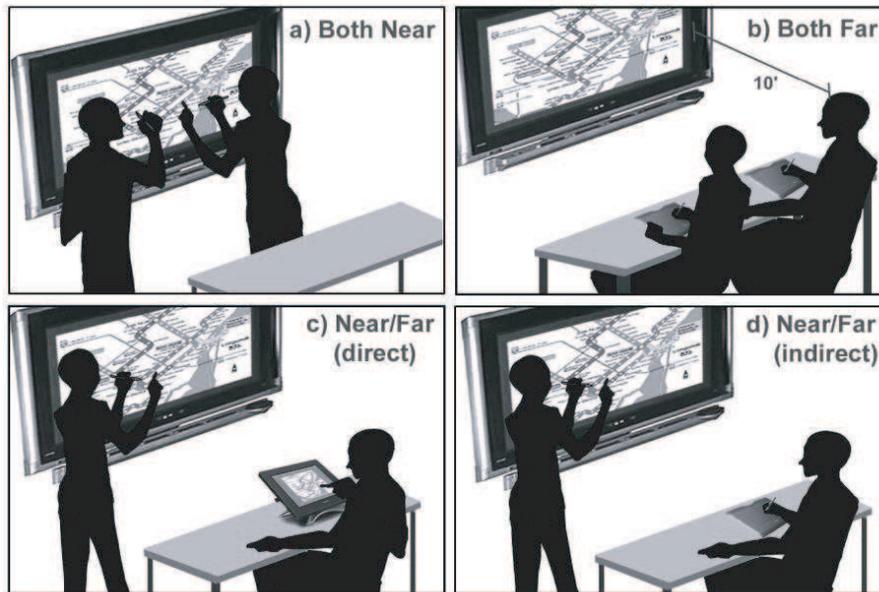


図 2.16: 対人距離の異なる対面インタラクションの比較 [29]

ポイント間の実移動時間とアクセスポイントの相対関係(ホップ数)を保持している。それに基づき、遠距離帯における距離を概算する。ユーザはまずNearMeにデバイスを登録し、サーバに情報を送信する。その後、近接するヒトやモノの情報を受信する。プリンタや会議室などの情報は、実空間にいるユーザが手動で追加する。図2.17にクライアントの情報表示画面を示す。位置情報を用いる同様のシステムと異なり、補正が不要だけでなく、アクセスポイントの再編成といった構成の変化にも柔軟である。二つのアクセスポイントを用いた近距離での距離測定の結果、7m程度の誤差が見られた。

個人のホームページや会議室の使用法や関連する地図のURLなどの人やモノと関連する情報を提供したり、近くにいる人をN人以内などの形で指定して送る電子メールなどがアプリケーションとして提供されている。図2.18に電子メールクライアントの画面を示す。

Toss-It

Toss-Itは、モバイルデバイスにおける情報の移動を直感的に実現するインタフェースである[99]。モバイルデバイスにおける他の機器との情報の移動に関しては、ユーザに煩雑な操作を強いる場合が多い。Toss-Itによって、ユーザは現実世界でボールをトスするように、あるいはカードを配るように「トスする」「振る」動作によって、ユーザのPDAから他のデバイスへとデジタルな情報の移動を行うことができる。図2.19にToss-Itの挙

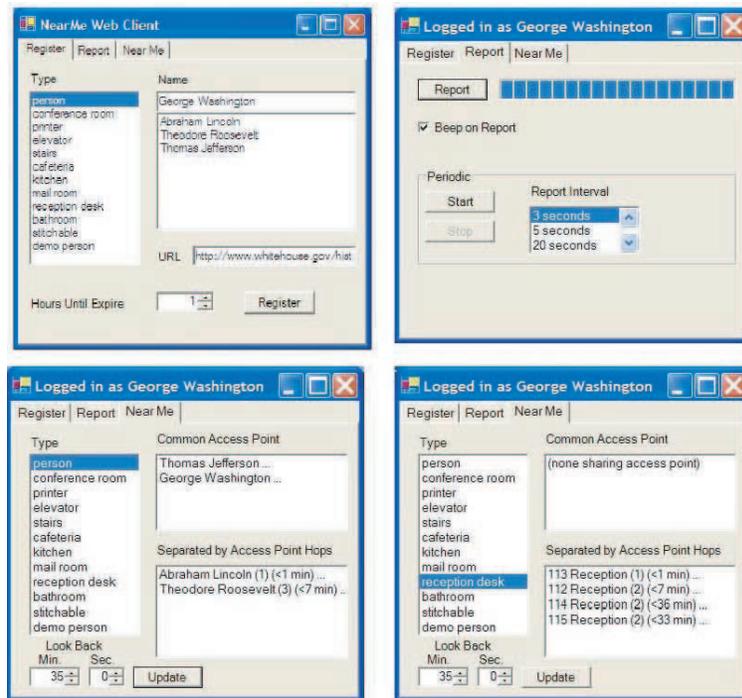


図 2.17: クライアントの情報表示画面 [43]

動を示す.

- 「トスをする」相手の PDA へファイルをコピー
- 「大きくトス」間にいる人を越えてコピー
- 「プリンタへトス」PDA に保存されているファイルを印刷
- 複数の相手に「振る」ことで複数にコピー

加速度センサ, 角加速度センサ, マイクロプロセッサ, 赤外線 LED などを搭載したデバイスを作製し, 力学的なトス行為の検出を行った. 図 2.20 に検出結果を示す.

2.3.3 対面協調作業支援

ここでは, 広く対面の会議などの協調作業を支援対象としたシステムに関する研究について述べる.

Aware Home プロジェクト [40] は, 建物, 家具, 日用品に埋め込んだコンピュータ, ネットワーク, センサを利用して人の状況を認識し, 種々のアプリケーションを提供している.

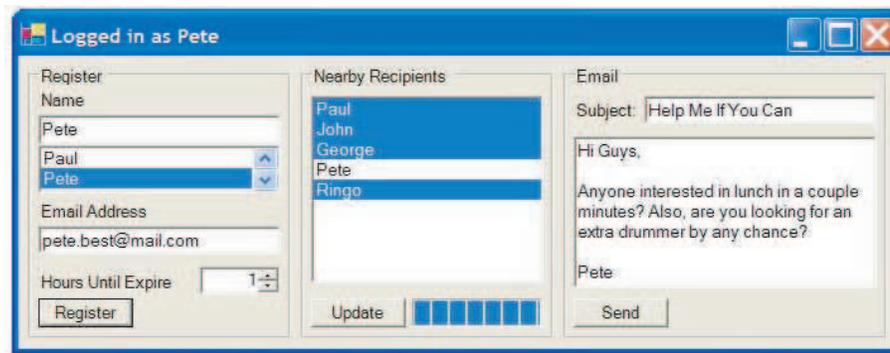


図 2.18: 近距離電子メールのクライアント画面 [43]

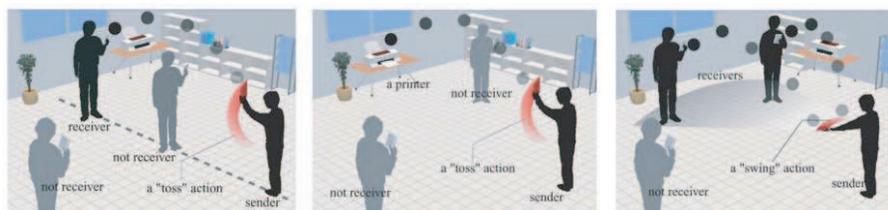


図 2.19: Toss-It の動作 [99]

さらに、状況 Awareness を備えた端末を利用し、遠隔から家の中で行われている活動レベルを認識することができる。

なかよし

なかよし [44] は協同作業を支援するモバイルグループウェアシステムである。このシステムは PHS を接続した携帯端末を複数用いて同じ時間に同じ場所にいる利用者の協同作業を支援するものである。特徴としては、不特定多数のメンバが任意の場所に集まって作業が行なえることである。システムは、協同作業を直接支援するアプリケーション部と、その場に集まった端末間で PHS 子機間パケット通信により端末間に一時的なネットワーク（アドホックネットワーク）を形成するネットワーク部と、アプリケーションとネットワークの階層構造が正しく機能するよう制御を行なうシステム制御部から成る。互いの端末からの電波が直接届く範囲内の端末間での協同作業とは、教育の場（先生と生徒が教室内で各自の端末を使用し、教材の配布や、それに沿った学習の実施）、講演会場（会場に設置された端末を用いて講演者がプレゼンテーションを行う。参加者が持ってきた端末上にも資料が配布され、プレゼンテーションの進行にしたがって、表示が切り替わる）、ビジネスの場（会議に参加して互いに資料を配布する。また、この履歴を蓄積して、再利用

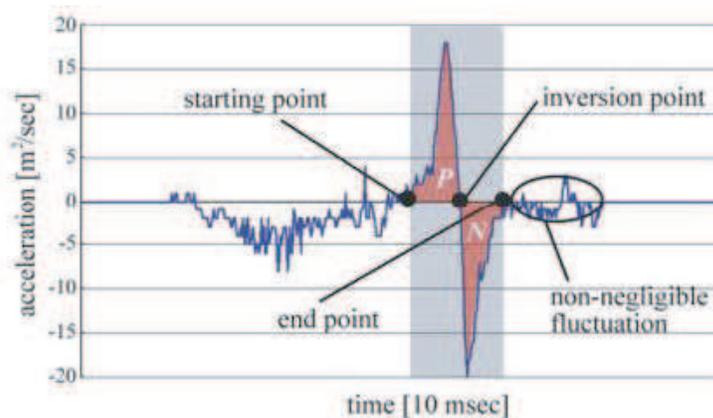


図 2.20: 力学的なトス行為の検出 [99]

する)などが考えられる。

また通信方式としてはIP マルチキャスト通信を利用している。この理由としては、狭帯域の通信路を利用した場合でも動作するためである。しかし、通信の信頼性に欠けるため、信頼性の要求される部分ではTCP/IP のユニキャスト通信を利用している。信頼性が要求されず、トラフィックも多いようなものにおいてはUDP/IP マルチキャスト通信を利用している。

DYNAMITE

モバイル電子会議システムDYNAMITE[39]は、メディアとして、音声・動画・テキスト・ホワイトボードが利用可能であり、多人数のマルチメディアコミュニケーションを実現している。モバイルユーザに対応するため、インターネットを介した広範囲な地域での利用、無線・有線の双方の利用者に対応している。モバイルユーザが無線を利用して会議に参加する場合、無線の料金コスト、バッテリー容量の制限、通信サービスエリア外での切断といった問題点が挙げられ、会議への常時参加が難しいという状況がある。そこで会議内容を蓄積することにより、離脱していた期間の会議内容を参照可能にし、会議へのスムーズな途中参加を支援している。また、そのような常時参加が困難なモバイルユーザのために同期(常時会議に参加している状態)と非同期(途中参加、途中離脱をする状態)の会議形態の概念を導入し、不定期的な利用を前提とした、距離・時間に制限されない電子会議システムを実現している。

Dynacs

富士通研究所のDynacs[50, 95]は対面同期の議論を支援する会議システムである。Dynacsは会議資料の電子的共有を目的としており、参加者は日常的に利用しているノート型パソコンを持参する。電子白板に手元の端末から資料を送信したり、手元PCのマウスやキーボードを使って電子白板を操作したり、指示したりすることによって会議を進める。Dynacsの研究においていくつか注目すべき知見が紹介されている。まず、電子白板に表示している資料を議論しながら修正するといった行動がみられたということが挙げられる。また、文字を入力する会議では会議時間が長くなる傾向にあるという。更に、資料の再利用が可能であり、出席者の間で思い違いが少なくなるといった指摘をしている。

Dynacsの機能を電子白板を用いず、ユーザのPCのみで実現するプロトタイプシステム[72]では、電子白板の画面全体の出力を各PCに表示している。電子白板に比べてユーザ同士のアイコンタクトがとりやすいが、個人作業スペースと共有作業スペースの切り替えに操作が必要となるという指摘をしている。

電子ホワイトボード

X-Window上で動くwb[25]を始めとして、アプリケーションのみでホワイトボードの機能を実現している電子ホワイトボードの研究は多い。例えば、Nomadic Collaboration支援システムは、無線LANを用いて対面会議支援環境を構築しており[57]、ホワイトボード型のアプリケーションを提供している。近年はMicrosoft社から配布されているNetMeeting上のホワイトボード機能などが広く使われている。

ペンで操作できるホワイトボード型のハードウェアを利用しているものとしては、Liveboard上で動くTivoli[68]、利用時のコンテキストを想定した機能を追加したFlatland[60]などが挙げられる。これらはホワイトボードとしてのインターフェイスを保っているため、誰もがペンをつかって自由に書くことができる。

ホワイトボード上に内容について記述したラベルを置き、相互関係について吟味を加えるコンセプトマップ方式のツールもある[31]。これは、議論の内容理解や整理に役立つツールとして、主に教育的な用途で使われる。

InfoRoom

実空間に設置されたテーブル型や壁面型のコンピュータ群と、各利用者が持ち運ぶ携帯型コンピュータ群との組み合わせにより、動的に構成される情報環境の設計と実現を行ったものである[71]。従来の「電子化会議室」では、あらかじめ固定した機器構成を主に考慮しており「携帯型コンピュータと設置されたコンピュータによって動的に環境を構成

する」という発想はあまり見られなかったことにより、たとえば持ち込んだコンピュータ間での情報交換などの単純な操作でも、互いの機器のアドレスを知る必要があったりと、使用者に余計な認知的負荷をかけてしまう。この研究では、部屋環境に設置されたコンピュータ群（環境型コンピュータと呼ぶ）と、ユーザが持ち込む携帯型コンピュータ群によって動的に操作環境を拡張できるような情報空間について考察している。設計にあたり、「環境型と携帯型コンピュータの連携」「情報操作の空間的連続性」「実世界オブジェクトとの連携」が重要である。対面状態では、遠隔会議とは異なり、たいていの機器は「ユーザから見える範囲にある」のだから、操作の対象となっている事物を空間的に把握し、アドレスなどの間接的・記号的な概念を使わずに情報を操作できるようにするべきである。情報空間の妥当性を検証するために、テーブル型コンピュータと壁面型コンピュータ、およびカメラの組み合わせからなる情報環境 InfoRoom を構築している。

遠隔会議システム

ワークステーション、ビデオ、音声通信などを利用し、分散して存在する人のリアルタイム会議を支援する遠隔会議システムが多数提案されている。会議を行うにあたり、ユーザが決められた一ヶ所に集合しなくてもよくなるため、移動に伴う経費を削減できる等、多くの企業にとって有益な利点を持つ。

遠隔地との会議においてアウェアネス情報の伝達は重要な課題であるため、実空間におけるコラボレーションに先立って様々なアウェアネス情報の収集・伝達手法が検討されている。アウェアネスとは「他者・周辺の状態に関する気づき」のことであり、ユーザはアウェアネスを情報として受け取ることにより「状況を察して」行動することができる。

このようなコラボレーション環境に関する関連研究として、分散した研究室や遠く離れた2つの研究所を、コンピュータ制御可能なビデオと音声のリンクによって、仮想的に結ぶビデオ会議システムである Xerox PARC の MediaSpace[49, 6]、小型のカメラ、モニタ、スピーカが一体化されたユニットをユーザの人数分用意して、参加者が実際にいるはずの位置に配置して仮想的に会議環境を再現するトロント大学の Hydra[7, 75]、巨大なスクリーンにユーザの画像を等身大に投影させることにより分散環境でのインフォーマルコミュニケーションの実現を試みた Bellcore の VideoWindow[24]、遠隔他者間での全ての情報メディアのリアルタイムな同報・交換、処理を実現した世界最初のシステムである NEC の MERMAID[92, 93]、各地点での実世界上の机上の状況をコンピュータの画面上に投影し、コンピュータ内のツールと統合させた NTT の TeamWorkStation[33]、透明なガラス板の両側からガラス板に文字や図を描いて議論するという状況を、仮想的に分散環境に導入した NTT の ClearBoard[35, 36, 41]、共有作業空間であるホワイトボード上に、遠隔地にいる相手の影を投影することにより、遠隔地のユーザが書き込みを行っている様子やハンドジェスチャを理解可能にした PARC の VideoWhiteboard[84] など、非常に多くのシ

システムが提案されて、使用されてきている。

グループメモリ

非同期・対面環境に含まれるものとして、グループメモリ [1] がある。これは仮想的に対面であると解釈し、情報共有を実現するための手法として、個人の作業空間と協調作業空間をサポートしたものである。個人作業や協調作業中でも随時グループメモリから共有情報に検索・更新することができる。

2.3.4 協調執筆支援

対面会議の議事録を協調して作成するために、共同文書作成ツールを応用することが考えられる。共同文書作成ツールには、非同期環境または分散同期環境を対象としているものが多い。

代表的な非同期協同執筆のためのグループエディタとして、Carnegie Mellon University の PREP [63] が挙げられる。協調執筆用のツールは Quilt [48] に代表されるように、グループにおける各メンバーの役割を編集する権限に反映させているものが少なくない。しかしながら、PREP は事前に決められた役割を前提としていない。これはインフォーマルな議論などと同様に、協調執筆における役割も動的に変化することがあるからである。その代わりに執筆時に役割を決定するためのコミュニケーション支援や、文書へのコメントなどの機能を充実させている。

複数のユーザが同時に編集を行うエディタとして、GROVE [23] が挙げられる。GROVE は音声での通信をサポートするなど、主に分散環境における利用を想定しているアウトラインエディタである。GROVE も個々のユーザの役割を想定しておらず、作業空間は個人用、グループで共有ならびに全員で共有の三種類を用意している。操作権に関しては、アウトライン文書のノード単位での排他制御をしている。しかしながら、他者に関する情報は画面上に表示されるテキストの内容のみであるため、各ユーザの作業内容を判断したり、編集の衝突を防いだりするといった操作は GROVE によってサポートされない。

また、GEE [88] も分散同期環境での利用を想定したテキストエディタである。共有文書は一人が独占的に編集できるが、操作権は先に要求したユーザが取得できる。効率性を上げるため、各ユーザが範囲を指定してロックをかけることにより、当該部分を並行して編集できるようにした。

動的な領域の分割による排他制御を実現したものもある [66]。これは、編集領域の衝突が発生した場合、領域をさらに細かく分割して排他制御を行うものである。

一方、Dourish らは文書共同編集ツールである ShrEdit [11] の研究を通じて、共同編集におけるアウェアネスに関する知見を述べている。それによると、従来のアウェアネス情

報の提示システムは余計な作業が生じる上、受け手のみが利するものであり互恵的でない。また、提示されたウェアネス情報が適切かどうかは状況に依存し、受け手によって判断されるものである。このため、どのようにしてウェアネス情報を提示するか熟考する必要があると指摘している。

2.3.5 大規模会議・公共空間支援

協調作業空間のみならず、人の集まる「場」を対象とした情報提示サービスは、美術館やショッピングモールといった場所で提供されている。これらは訪問者を RFID などの無線デバイスを用いて識別し、携帯端末や周辺のディスプレイ (Peripheral Display) に場所や訪問者の嗜好に応じた情報を示したりしている。

展示会支援

C-MAP は、博物館、展示会等においてユーザ個人の状況や興味 (コンテキスト) に応じた個人ガイドおよび、情報共有を促進するシステムを構築することを目的とする [81]。各ユーザのコンテキスト情報は個人に特化した情報提示に利用されるが、これを蓄積することで、興味を共有するユーザ同士のコミュニケーションを促進する材料ともなりうる。携帯端末と遍在する据え置きディスプレイの連携によって実世界でのコンテキストを拾い集め、蓄積されたコンテキスト情報を利用してコミュニティ内での出会いや情報共有を促進するためにコミュニティ情報の探索を支援する視覚的インタフェースを実装している。

ATR の角らは、展示会のような開放的な空間における人々のインタラクションをセンサを用いて記録する手法の研究を行っている。遍在するカメラやマイクと、ウェアラブルデバイスを協調的に用いることにより、個々人がインタラクションのビデオサマ리를自動生成するシステムを運用した [80]。

また、2005 年の愛・地球博では、グローバル・ハウスにおいて展示会統合情報支援システムが運用された [46]。これはユーザの移動を会場内 120 箇所に設置されたアクティブ型 RFID 受信機を用いて把握し、ユーザの現在位置の近くに存在する展示物の説明コンテンツを、PDA や音声解説端末に提示するものである。図 2.21 に万博パビリオン内に設置された RFID 受信機を、図 2.22 に展示会統合情報支援システムの構成をそれぞれ示す。

大規模会議支援

位置・距離に関する情報に基づくインタラクション支援技術を用いて、国際会議や学会の全国大会といった大規模な会議を支援するものに IntelliBadge[10]、Digital Assistant[82]、AutoSpeakerID と Ticket2Talk[53] などがある。これらは会議のセッションや参加者に関

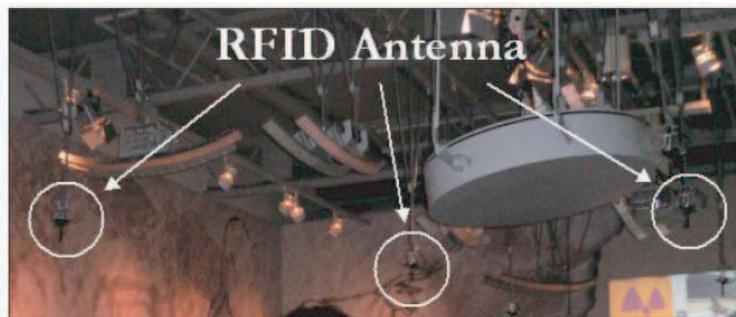


図 2.21: 万博パビリオン内の RFID 受信機 [46]

する情報提示, 近隣のユーザとの共通の関心を示すことによるマッチング支援, 会議前後の議論を支援するといったサービスを提供している. その中でも AutoSpeakerID は, 質疑応答の際に用いるマイクと RFID により話者の情報を示し, 研究発表における議論を支援対象としている.

SPARKS[9] は, 実空間における Ambient なソーシャルネットワークシステムである. 選択したキーワードに基づいて, ユーザの周囲にオーラが投影される. 各ユーザのオーラは共通キーワードを介して光のパスで繋がれており, パスの濃さは繋がっているユーザとの距離を示す. また, パスの色は「既に会った」または「まだ会っていない」という状態を示す. パスを通して共通の興味を持つユーザにシグナルを送信することができ, シグナル受信側のユーザはキーワードが光ることによりシグナルを認識することができる.

輪状のオーラの上には group pad が自動生成される. group pad は進行中の会話を表示し, 会話グループの解散に伴い消滅する. リマインダとしてパッシブ型の名札を利用する. 名札は水平に持ち映写面として使うほか, 時計回りか反時計回りに動かして会話グループの履歴を参照したり, 上下に動かすことにより表示の詳細度を調節したりする.

SPARKS の特徴として, 初期設定の必要なく連続利用が可能であること, ジェスチャーやモーションによるデジタル情報と物理的環境を融合したこと, 会話の開始時のリアルタイムのインタラクションを支援すること, 会話を阻害しないように周辺的なサービスであることなどが挙げられる. SPARKS による表示の様子を図 2.23 に, group pad の表示内容を図 2.24 にそれぞれ示す. 今後の課題は, キーワードを入力するインタフェースや, 人工知能システムの導入である.

2.4 まとめ

本章では, 人間が集団で取り組む仕事の効率化・高度化という観点からの協調作業支援に関する研究と, 遍在するセンサデバイスやコンピュータをどのように活用するかという

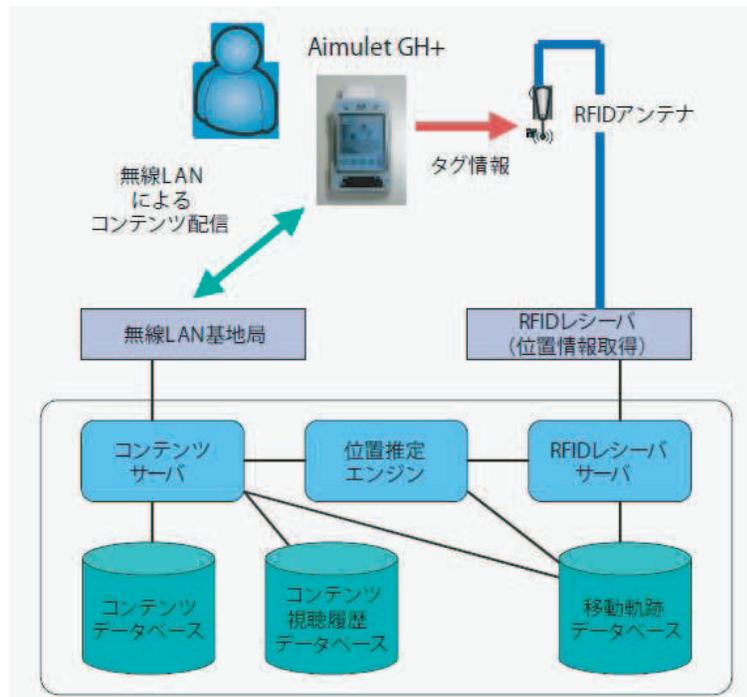


図 2.22: 展示会統合情報支援システムの構成 [46]

ユビキタスコンピューティングの研究について整理した。

しかしながら，協調作業支援の研究が前提とするデジタルデバイスやコンピュータネットワークなどの環境は常に変化しているため，新しいコンピューティングのパラダイムに基づいたコラボレーション支援環境の設計が必要である．また，ユビキタスコンピューティングの研究において，位置情報などを取得する新たなセンシング手法の検討やミドルウェアの整備が進められている．しかしながら，取得したそれらの情報を活用して状況を適切に察知し，ユーザを支援するアプリケーションに反映させる必要があると考えられる。

次章以降ではこのような背景を踏まえ，近年のユビキタスコンピューティングを中心とした基盤技術の特性を十分に生かした，実空間における状況察知に基づいたコラボレーション支援のサービスをデザインしていく。



図 2.23: SPARKS が表示するオーラ [9]

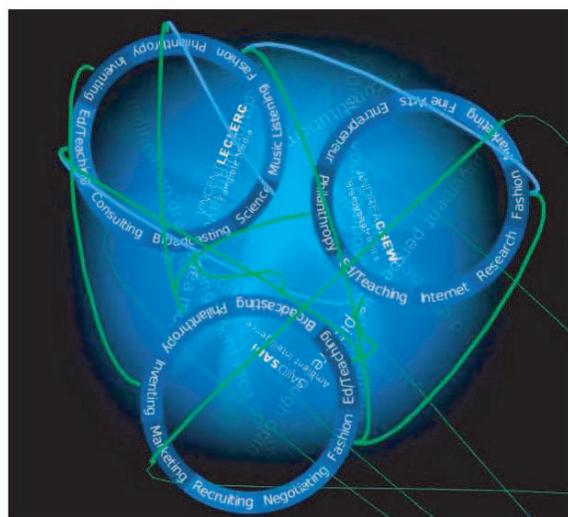


図 2.24: group pad の表示内容 [9]

第3章 実空間における状況察知

3.1 はじめに

本研究は実空間コラボレーションを支援する環境を構築するため、従来の対面会議などの活発なコラボレーションだけではなく、対面会議の場に至るまでの空間や場の状況を含めた支援を行う。また、対面会議における参加者の理解を促進し、創造性を高めるための方法について検討を加える。このような複合的なコラボレーションの場を支援するための一貫したアプローチとして、場の状況を察知する手法を取り上げる。状況察知はこれまでの協調作業支援の研究による知見のみならず、ユビキタスコンピューティングをはじめとする技術の発展により実現が可能となったものである。本章では、実空間における状況察知に基づいてコラボレーションを支援する手法について示す。

以下、3.2節では本研究が前提とするグループの特性について整理する。3.3節において、状況察知の定義とそのプロセスについて述べる。その上で、状況察知を構成する要素について、実空間とそこに遍在するデジタルデバイス、ウェアラブル情報の関係に言及する。3.4節で、実空間における状況察知に基づくコラボレーション支援の手法について提案する。3.5節では、4章以降の各フェーズにおけるコラボレーション支援に関する位置づけを述べ、3.6節で本章についてまとめる。

3.2 支援対象とするグループ

コラボレーションの支援を行う研究は、特定の協調作業や特徴的な性質を持つグループなどを想定したものが多く、前者は協調執筆や発想支援、遠隔会議やスケジュール調整をはじめとする様々なタスクが考えられ、後者はコラボレーションを行うグループの性質として、様々な要素が考えられてきた。

本研究は、実空間における実践的なコラボレーションに従事するグループを支援対象としている。想定しているグループの性質と、対極的なグループの例について表3.1に整理する。

3.3 実空間における状況察知

実空間におけるコラボレーションを円滑に進めるためには、まずその空間におけるヒトやモノに関する情報を取得する必要がある。次に、得られた情報から状況を推測した上で、状況をユーザに伝達したり、あるいは状況に応じたサービスを提供したりする。この一連のプロセスを状況察知と定義する。

状況察知を導入することにより、本研究が対象とするグループの協調作業を支援することができる。一方、交渉や面接などのように戦略的に振る舞う必要がある場合や、グルー

表 3.1: 対象とするグループの性質

想定されるグループの特性	対極的グループの特性と例
カジュアル (進行は流動的)	フォーマル (様式化された会議)
メンテナンス指向 (メンバの成長や教育を考慮)	パフォーマンス指向 (仕事に特化したプロジェクトチーム)
固定的メンバー	流動的メンバー
繰り返し会う	一度のみの会合
利害の一致 (互惠的)	利害の対立 (交渉委員会, 入札, 面接など)
小規模な人数	中・大規模な人数
目的が明確 (目的意識のある集団)	目的が不明瞭 (会議のための会議など)
結論が必要	明確な結論がない (開催そのものに意義がある会議など)
フラットな関係	ヒエラルキーの確立 (報告会・連絡会など)
協働の緊密さ	協働の薄さ (個人作業中心)
代表性なし	代表性あり (評議会・標準化会議など)
関心あり・積極的	無関心・消極的 (参席のみ必要な形式的会議)

プの構造やコミュニケーションのスタイルを維持する必要がある場合、ならびに入札など情報を隠す必要がある場合など、状況察知のサービスの導入に向かないグループもある。

3.3.1 実空間コラボレーションとは

これまでのグループウェアの研究は、図 2.15 に示したように、コラボレーション支援の対象となる状況に応じて同期・非同期という軸と、対面・非対面という軸で分類されてきた。これは、それぞれの象限毎でシステムに求められる技術的・人間的要求が大きく異なるからである。

本研究では、ある特定の現実空間を共有している場面を対象としているため、対面・非

対面ではなく空間共有・分散という軸でコラボレーションの支援について考える。

同期・分散環境は、地理的に分散した場所でネットワークを介して同時に何らかの作業を行うケースであり、代表的なものとして遠隔会議がある。ユーザが集まるコストが不要な反面、相手の様子が見えない。このため、アイコンタクトや身振り手振り、思考や作業などの状況を伝えることを研究課題として、様々な手法が検討されてきた。

非同期・分散環境は、個々の事情に応じて独立した日時にそれぞれの場所で作業を行うケースであり、協調執筆などが挙げられる。この場合、時間差や順序などを考慮した協調作業を支援するシステムの設計を行う必要がある。

同期・空間共有環境は、ユーザが一つの場所に集まって行う作業をコンピュータを用いて支援するケースであり、従来の対面環境に相当する。コラボレーションの相手の状況は目視できるため、分散環境に比べて状況の伝達の必要性は低いと考えられてきた。そのため、電子会議に代表される様々なシステムは、データの共有や協同編集に重点を置いて開発されたものが多い。

非同期・空間共有環境は、メンバーが同じ場所で別々の時間に作業を行う状況である。ある空間における映像や音声、センサで得られた情報などを取得・提示することにより、相手が目の前に存在しなくても仮想的にグループでの活動内容などの状況を再現することが可能になりつつある。

そこで、本研究は従来の対面コラボレーションとは異なる空間のとらえ方に基づき、実空間コラボレーションの概念を提案する。実空間コラボレーションとは、ある特定の現実空間を共有している場面を対象とし、その空間において行われるヒトとヒトのコラボレーションを総合的に捉えたものである。空間共有・分散という軸でコラボレーションの支援を分類した際の空間共有を包含する。これは、たとえユーザが実空間に居合わせる日時が異なっても、相手の状況や場の状況といったアウェアネス情報がその場で提供されれば、実空間において同期・非同期的を意識せずコラボレーションを行うことができると考えたからである。図3.1に本研究が提案する実空間コラボレーションの位置づけを示す。

3.3.2 実空間に遍在するデジタルデバイス

前節で提案した実空間コラボレーションの実現を可能とする上で不可欠である、実空間に遍在するデジタルデバイスとコラボレーションの関係について述べる。

本研究が対象とするコラボレーションの行われる実空間は、会議室や教室といったインタラクションの密度の濃い空間のみならず、オフィスや研究室などの個人作業をしつつも偶発的なインタラクションの発生するような空間も対象としている。このような現実空間はコラボレーションの発生する「場」として、同期・非同期によらず用いられている。居合わせなかったメンバーに対しては、他のメンバーから状況の手がかりとなる情報を得た

		時間的特性	
		同期 (リアルタイム) 型	非同期型
空間的特性	空間共有型	<u>実空間コラボレーション</u>	
	分散型	遠隔会議システム	共同執筆支援 コーディネーションシステム

図 3.1: 実空間コラボレーションの位置づけ

り、モノや書き置きを介してコミュニケーションをとったりする。このような実空間におけるコラボレーションを一貫して支援するためには、遍在するセンシングデバイスを活用することが不可欠である。メンバーの状況の手がかりとなる情報をカメラやマイク、ID タグなどを用いて自動的に収集したり、ディスプレイやPDAといったデバイスに状況を提示したりすることにより、その場にいるユーザは効率よく協調作業を行うことができる。このようなユビキタスコンピューティングのインフラストラクチャは、従来の対面会議支援などの研究より後に構築されたものであるため、改めて実空間コラボレーションの支援環境をデザインする必要性が生じている。

一方、従来のユビキタスコンピューティングに関する議論は遍在するデバイスをどう協調させるか、またはユーザがデバイス群をどう効率的に用いるかといった観点からのものが多い。RFIDに代表される位置情報システムを用いて、実空間上における位置情報を用いた実世界志向コンピューティングの研究も行われている。しかし、センサネットワークなどのユビキタスコンピューティングの研究の多くは、実際に複数のエンドユーザが行う協調作業場面を想定したサービスの提供に至っていない。そこで、遍在するデバイスがどのようにインタラクションの支援に役立つか検討し、ユーザ同士のインタラクション支援の観点から、ユビキタスコンピューティングの技術を活用する有力なアプリケーションとしてのコラボレーション環境を実現する必要があると考えた。

本節で述べた、協調作業支援に関する領域とユビキタスコンピューティングの領域がそれぞれ抱える課題を解決するために、ユビキタスコンピューティングに関する技術を用いた実空間コラボレーション支援の手法を検討する。本研究の背景領域とアプローチについて図3.2に示す。具体的には、協調作業支援アプリケーションから得られる情報や、セン

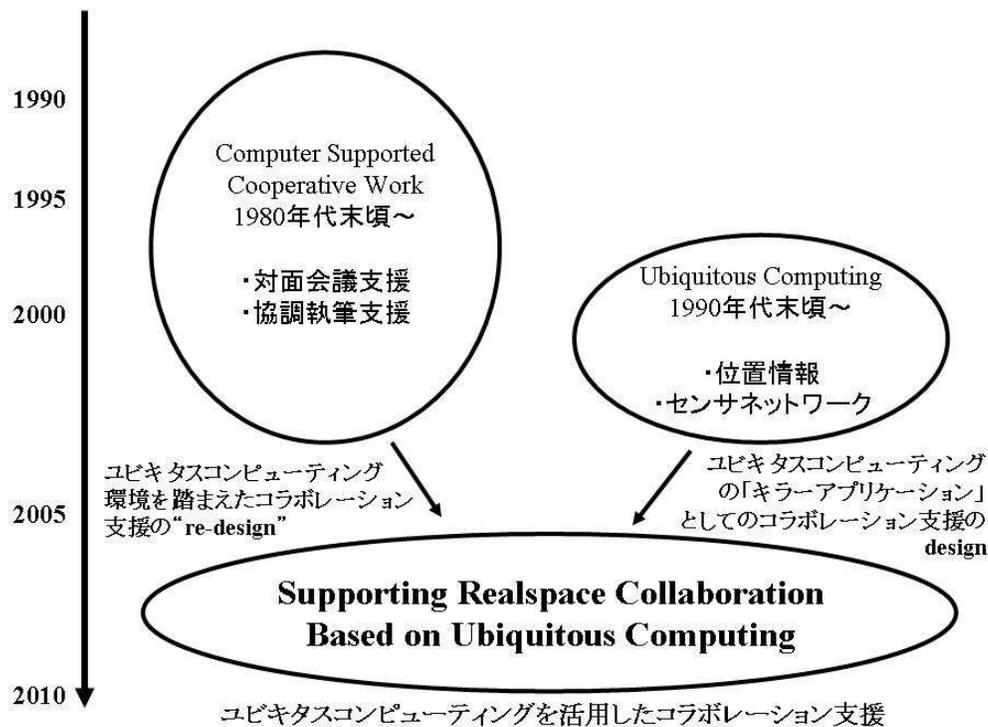


図 3.2: ユビキタスコンピューティングと実空間コラボレーション

サネットワークで収集することができる情報の収集を行う。得られたウェアネス情報をもとに場の状況を判断し、グループの特性や場の状況に応じて必要なサービスを提供するコラボレーション支援環境を構築する。オフィススペースなどにおける実践的協調作業で運用し遍在するデジタルデバイスを用いたウェアネス情報の収集手法とコラボレーション支援環境の評価を行う。

3.3.3 実空間コラボレーションにおけるウェアネス情報

ユーザと場の状況を的確に認識する実空間コラボレーション環境を構築するため、センサデバイスやアプリケーションから様々なウェアネス情報の収集と提示を行う手法を検討する。特に対面・非同期環境は、ウェアネスに関する情報提示によって非同期でも対面であるかのような状況を再現することにより実現されるため、ユーザ間のコミュニケーションを支える上で重要である。

その一方、これまで対面・同期環境におけるウェアネス情報の収集と提示の手法に関しては十分に検討されてきたとは言えない。これは、相手が目の前にいるため「ウェアネス情報は人間が直接感じることができる」と考えられていたためである。しかしなが

ら、例え手の届く距離にコラボレーションの相手がいたとしても、ユーザが見落としがちな、あるいは感じ取ることができないアウェアネス情報も存在する。このような対面・同期の場におけるアウェアネス情報の収集・提示も行う。

会議室や出入り口空間といった実空間環境における「場」の状況や対面会議の内容と、ユーザやデバイスの状況を様々なセンシング手法を用いて収集する。その情報をもとに、協調作業をサポートする環境を提供する。実空間コラボレーションにおいてユーザがどのような状態にあるか認識することは、システムが協調作業の場面に応じた支援を行う為に重要である。同時に、協調作業支援システム上で他のユーザの状態を示すことにより、コラボレーションの場においてスムーズなユーザ間インタラクションが可能となる。まず、人が集まった対面協調作業の場における、コラボレーション支援に必要なアウェアネス情報の取得と蓄積手法を検討する。これまでの研究で得られた成果から、コラボレーション支援に使用できるアウェアネス情報は以下の三種類に大別することができる。

1. ユーザから見える環境情報

距離・位置などの情報や、カメラによる人の動きやマイクによる音声、ユーザのキーボードの打鍵情報のほか、空間内のネットワークセグメントのトラフィックなどの行動情報で、客観的・定量的なデータとして取得できるもの。

2. ユーザから見えない状況情報

場の雰囲気や推移や活動の履歴など、実空間において即座に客観的な状況として把握することが難しいもの。

3. ユーザの活動に基づく知識情報

会議で作成された議事録や、共有されているテキスト、使用しているアプリケーションや自分のコンピュータ内のデータといった、知的情報として作成されたもの。

収集したユビキタスなアウェアネス情報を提示する際には、その場における個々の作業や協調作業を阻害しないように、ユーザに対して自然に提示することが求められる。同時に、必要な情報のみを短時間で直感的に認識できるよう考慮するとともに、ユーザが誤読することなく正確に認識できる必要がある。そのために、アウェアネス情報の提示手法に関する検討を行う。出入り口空間、会議室などの協同作業スペース、個人のワークスペースにおける偶発的かつインフォーマルなコミュニケーションの場など、様々な場面におけるグループ支援を実現するために、場の状況によって必要となるグループのアウェアネス情報を選び、提示する手法を検討する。従来のディスプレイを用いた可視化手法などの研究を踏まえ、ユーザに対して自然に提示する手法を議論し、実際の作業空間上で運用と評価を行う。

本研究は、現在使用しているツール上での相手の挙動や意思のほかに、センサやデバイスが保持しているその場に関する情報などをもとにして、ユーザの望む協調作業のスタイルを構築することを目標としている。その際、必ずしも従来の協調作業のスタイルを電子化するとは限らない。むしろ議事録の協同編集を通じた参加支援のように、人間の協調作業そのものが持つ構造的な問題を解決したり、場の雰囲気や五感情報などの提示といったデジタルデバイス無しには実現し得なかった手法を取り入れるたりといったことを行う。本研究はこのように、ウェアネス情報の遍在性を通じた実空間コラボレーションの支援を行おうとしている。

3.4 状況察知によるコラボレーション支援

コラボレーション支援のための状況察知の流れを図3.3に示す。また、個々の具体的なシステム毎の入力・判断・出力のフェーズにおける要素の組み合わせを以下に示す。

1. 「出入口」の場における作業空間の雰囲気情報の可視化システム

遍在するセンサデバイスからの入力情報を中心に場の雰囲気を判断し、ユーザに対して提示する(4章)

2. コラボレーションの場の距離情報を利用したプレゼンテーション支援システム

センサデバイスとアプリケーションからの入力情報を併用してユーザの振るまいと意図を判断し、アプリケーションの動作に反映させる(5章)

3. 協同で議事録を作成するシステム

アプリケーションからの入力情報を中心に、ユーザの振る舞いや行動の衝突を判断し、ユーザのアプリケーションの利用と操作に反映させる(6章)

次に、ウェアネス情報の収集と提示を検討する実空間コラボレーションの場面について検討する。実空間コラボレーションの場面は複合的かつ連続するものであり、メンバーはオフィスや研究室といった作業空間に出入りし、同じグループに所属する他のメンバーと日常的にコミュニケーションをとりながら活動する。その上で、報告や打ち合わせなどに集中するために、会議室に移動して対面での会議を行う。議論と検討、分担したドキュメントの統合作業などの活発な実空間でのコラボレーションの場に数多く参加し、チームで創造的な協調作業を行っていく。本研究は、その場における距離の概念に着目する。

この中でユーザが日常的に行う「移動する」という行為は、常に何らかの空間に対して接近するという意味を持つ。出入口から協同作業空間に、あるいは協同作業空間から対面会議にといった物理的な接近だけでなく、議論の内容に深く関わるといった創造的活動

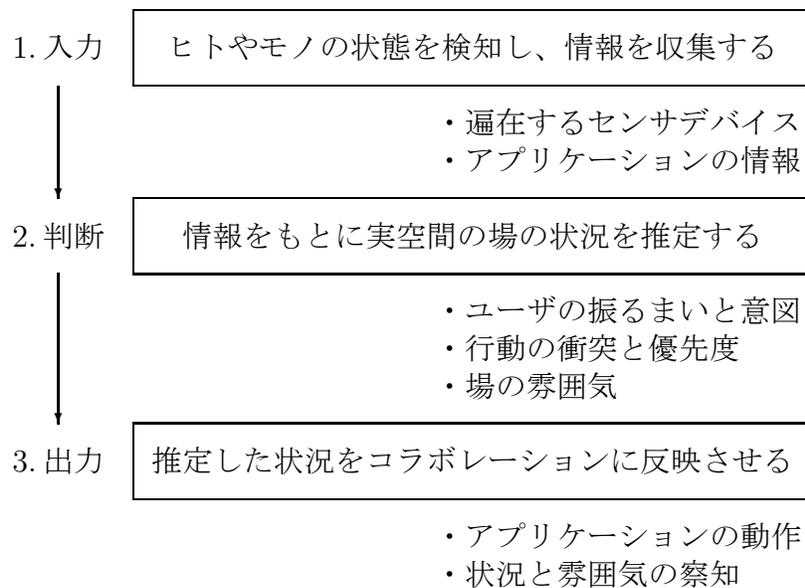


図 3.3: 状況察知の流れ

への接近を含めた「移動」を行っている。実空間におけるこのようなユーザの振る舞いを踏まえ、次の三つのフェーズを研究対象の場面として取り上げた。それぞれのフェーズにおけるアウェアネス情報の収集と提示手法の検討を行った。実空間コラボレーションにおける接近のモデルを図 3.4 に示す。

1. 実空間から協調作業空間に対してユーザが接近するフェーズ

「出入り口」の場におけるグループのインタラクションを支援する手法について議論する (4 章)

2. 協調作業空間から対面会議空間に対してユーザが接近するフェーズ

コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業を支援する手法について議論する (5 章)

3. 会議空間から創造的会議の中身に対してユーザが接近するフェーズ

協同で議事録を作成することによる対面議論への参加支援の手法について議論する (6 章)

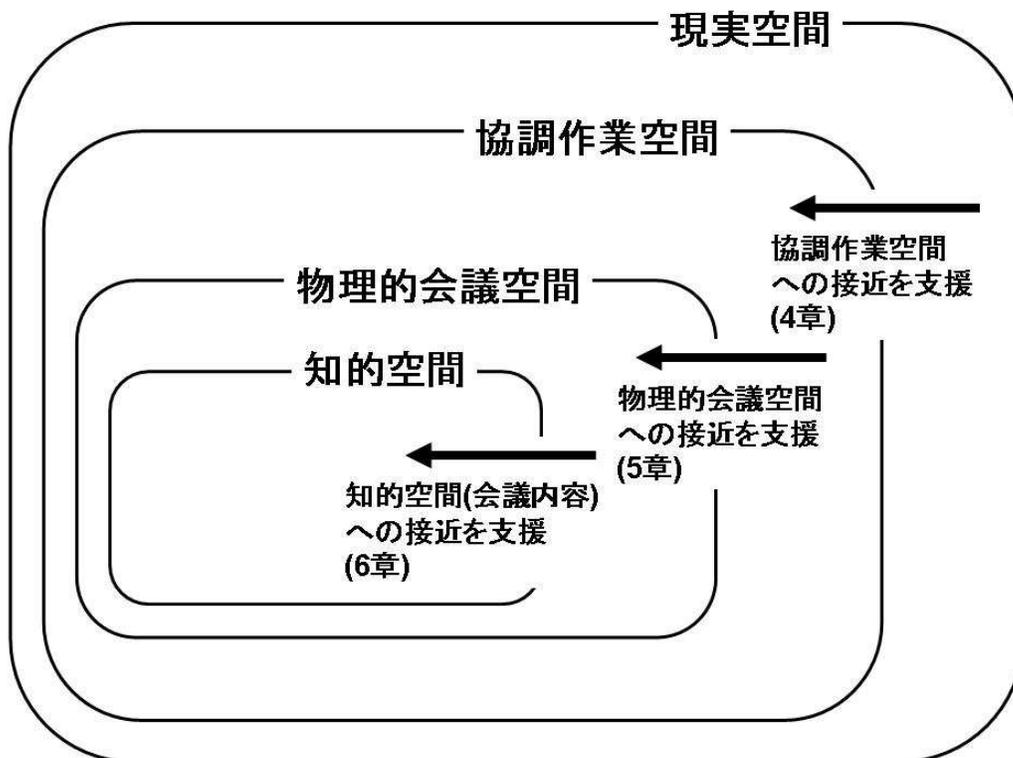


図 3.4: 実空間コラボレーションにおける接近のモデル

3.5 本研究の位置づけ

本研究に先立つ様々な研究として、既に第2章で取り上げたようにユビキタスコンピューティングに関するもの、対面でのコラボレーションを支援するものがある。本節では、それらの研究と個々のフェーズにおける提案手法との差異について述べる。

3.5.1 出入り口空間におけるグループインタラクション支援

ワークリズムに基づくアウェアネスの提示に関する研究 [5, 4, 98] は、いずれも個人のワークリズムに基づいた行動予測に焦点を当てたり、個人居室を対象とした訪問者支援に重点を置いたりしているのに対し、本研究はグループにおける作業空間の雰囲気推移を示すことによる、コミュニケーションの活発化を目的としている。一方で、本手法を用いて一週間や一年といった長い範囲の活動度情報を表示することによって、グループにおける活動の周期性を提示することは可能である。

Optical Stain[77] は、実環境において人の存在や状態といったアウェアネス情報を非同期にやりとりすることを実現する。本研究と目的を同じくしているが、TS-Gate ではア

ウェアネス情報を収集する場が情報を提示する場(出入口空間)を介して別空間であるという点で異なっている。

また、戸口通信システムにおいても時間経過の表現に着目している[59]。今後提案する本手法が色相を用いて過去の活動度の推移を可視化するものであるのに対し、書かれてからの経過時間に基づいて、伝言板に書かれたメッセージそのものの彩度を調節して表示している。クライアント側で指定することにより、彩度を相対的あるいは絶対的時間経過に基づいて変化させることができる。

岩谷らは、ユーザが移動した先々に設置されたセンサから情報をユーザに提供するフレームワークを提案している[37]。ユーザの周辺情報を収集・蓄積し、アプリケーションに対して提供する。本研究は、ユーザーの移動先空間のウェアネス情報を提供するという点で異なっており、移動後のコラボレーション支援を狙いとする。

OutCastは個人のブースの外側にモニタを設置し、プロフィールや予定、居場所や研究のデモを表示し、所有者とのインタラクションを可能にしたサービスである。所有者のスケジュールなどの具体的な情報は提示されるが、雰囲気情報とその推移といった情報については考慮されていない。また、OutCastとGroupCast共に実際のユーザによる評価はこれからの課題であるとしている。

ユビキタスネットワークを利用して、コミュニケーションを円滑に行うためには「状況情報」へのウェアネスが必要である。このような点を踏まえ、出入口空間におけるウェアネス情報の収集と提示手法のデザインを行う。

3.5.2 コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業支援

小規模な対面コラボレーションの場における対人距離をベースとした距離情報に着目し、ユーザの距離帯に応じて様々なサービスを提供することによる協調作業支援を目的とする。ウェアネス情報の収集や接近ユーザへの情報提供といった点に関連する研究であるRoamWare[97]は近接するユーザの情報を検出して利用しているが、その場でのインタラクション支援を目的としたアプリケーションは提供されていない。Speakeasy上で動くアプリケーションとしてCascaを提案しているが、空間的距離ではなくBluetoothやIrDAなどの通信到達範囲をもってユーザが近接していると判断している。

NearMe[43]は遍在するWiFiの基地局を用いて、WiFiの電波強度と基地局間の実距離情報をもとに、他のユーザやデバイス、会議室やプリンタとの距離を算出している。ユーザの接近を短距離と長距離に大別し、それぞれの状況に応じたアプリケーションを提供している。しかしながら、同一アクセスポイントからの電波到達範囲内にあるもの同士を近距離、数ホップ離れた他のアクセスポイントに接続しているものを長距離と定義しているため、近距離でも数十メートルの範囲となり、対人距離が考慮されたものとは言えない。

3.5.3 協同記録作成を基にした対面議論への参加支援

議事録とコンセプトマップ型との比較検討を行った結果、ホワイトボード型ならびにコンセプトマップ型のツールは、複数人のユーザが同時に書き込むことができる一方、以下の点で問題があると考えた [17].

- 論点が要約して示されない

このため、文脈が明示的に見えにくい。項目の相互関係について方向性を示すものもあるが、マップ全体での論旨が明示されない。このため、単体では結論にあたるものは示されず、単に参加者の意見が集積されただけにすぎないものになる可能性がある。

- 再利用可能性と編集可能性が低い

議論の蓄積と継承を行うにあたっては、画像のままの形では情報の集約度が低い。簡潔に記述し精練された状態で残すためには、文章の形で整形する必要が生じる。

- 画面領域による制約を受ける

項目の拡張方向は指向性を持つものではなく四方八方に延伸してゆき、議論の結果を反映させて項目を増やしていくと俯瞰が難しくなる。

チャットやIM(インスタントメッセージ)などのツールは遠隔コミュニケーションのツールであるが、記録作成のために対面の議論に持ち込むことも可能である。議論の経過を忠実に記録することができる反面、時系列順に記録されるため重要な発言が全体の中に埋もれてしまったり、議論が発散しやすいという性質を持つ。さらに、有効に再利用するためには議論の後に発言の重要性や話題、文脈などに配慮して記録を再編集する必要がある。このため、本研究が提案している用途には適さない。

電子白板のうち、協調作業ウィンドウを投影するタイプのものを用いて、エディタを複数のユーザで共有することも可能である。この場合も、共有しているアプリケーションを同時に操作することができるのは一人であり、他のユーザが操作するには操作権の取得が必要となる。

いずれも対面議論での利用を前提としていないが、これらの研究で指摘された排他制御などに関する知見については、本研究において参加を促すために考慮すべき点であると考えられる。

Dynacs[50, 95] は、いずれも、操作権を取得したユーザが独占的に操作する方式のため、本研究の目的であるメンバーが同時に編集できることによる参加促進については対象としていない。

ShrEdit[11]は円滑な共同での文書編集そのものを目的としており、そのために必要なアウェアネスに関する機能を実装している。しかしながら、本研究は対面会議への参加支援に焦点を当てており、その実現手法として議事録の協同作成を取り上げている。各ユーザが個別に操作し、同時に編集できるという点を始めとして、本研究で提案するツールとShrEditが共通して持つ機能もある。しかし、ShrEditには参加支援という観点から必要な機能が不足しているため、我々は参加支援に必要なアウェアネス機能を検討し、参加を最大限支援するために特化した記録の協同作成ツールを設計した。具体的な設計に関するShrEditとの差異については、第6章で詳述する。

3.6 まとめ

実空間コラボレーション支援におけるアウェアネス情報は多岐に渡るだけでなく、対象となる協調作業やその支援手法により、アウェアネスの機能に求められるものも異なる。本研究ではアウェアネス情報は遍在すべきものと考え、すなわち、遍在するセンサやデジタルデバイス、アプリケーションやデータ空間といったものの状況情報が、協調作業のために利用されることである。ユビキタスコンピューティングやセンサネットワークの研究は多いが、本研究ではその次の段階として、ユビキタスなアウェアネス情報を利用して状況察知を行うコラボレーション環境をデザインすることを目的としている。

その上で、本研究は実空間コラボレーションの支援環境を構築するため、従来の対面会議などの活発なコラボレーションだけではなく、対面会議の場に至るまでの空間や場の状況を含めた支援を行う。また、対面会議における参加者の理解を促進し、創造性を高めるための手法について検討を加える。このような複合的なコラボレーションの場面を支援するための一貫したアプローチとして、アウェアネス情報の収集と提示、ならびにコラボレーション場における距離と接近の概念を取り上げ、状況察知の必要性について述べた。

これらのアプローチは、これまでの協調作業支援の研究による知見のみならず、ユビキタスコンピューティングに関する技術の発展により実現が可能となったものである。本章では、遍在するデジタルデバイスを活用した実空間コラボレーション支援手法のビジョンを示した。次章以降において、それぞれの実空間コラボレーションのフェーズにおける支援内容について具体的に述べる。

第4章 出入り口空間におけるグループ インタラクション支援

4.1 はじめに

本章では、出入り口空間におけるインタラクション支援サービス、活動度情報の収集・提示手法の評価と応用方法について議論する。

これまで、ユーザは能動的にコンピュータとインタラクションを行ってきた。実空間におけるアウェアネスを考慮したコラボレーション支援もまた、メンバーが一ヶ所に集まる同期対面環境を対象とした会議支援システムの研究を中心に行われてきた。しかし、ユビキタスコンピューティングの浸透により、コンピュータはユーザのいる物理的環境に埋め込まれ、日常生活とシームレスに統合されつつある [3]。ネットワークに接続されたデジタルデバイスが、グループでの活動のあらゆる場面に遍在するようになった。また、協調作業空間のみならず、多くの人が集まる「場」を対象とした情報提示サービスが、美術館やショッピングモール等の場所で提供されている。これらは訪問者を RFID などの無線デバイスを用いて識別し、携帯端末や場の周辺に存在するディスプレイ (Peripheral Display) に場所や各ユーザの嗜好に応じた情報を提示したりしている。また、それらの情報をユーザ間で共有することで場のコミュニティ構築を支援するという試みもある [81]。これらの研究では、事前に個人のプロフィールを収集したり、事後に電子メールなどを用いて関連情報を配信する等の付随的サービスを提供している。

しかしながら、これらのサービスは一般的にある1つの空間内で完結しており、外部空間との関連性や連動性について検討されていることは少ない。ユーザが空間を移動する際に無線通信をどうローミングするか等の技術的課題についての検討はされているが、我々は空間の移動というユーザの行為に対してどのようなサービスが必要であるかを検討する必要があると考えた。

そこで、まず協調作業空間にアプローチする「出入り口」をインタラクションの場と捉え、出入り口空間におけるグループの支援環境を構築する。出入り口空間での活動は、その内容や所要時間などの点において従来の協調作業空間とは異なる特性を持つ。まず、センサを組み合わせたことによるアウェアネス情報の収集と、集めた情報の蓄積・提示を行うインタラクション支援システムである CollaboGate の提案を行う。CollaboGate は、RFID 等のセンサを用いたアウェアネス情報の収集部分、集めた情報の蓄積・管理部分、ディスプレイ部分等の出力インターフェースによる情報提示部分から構成される。

次に、オフィスや研究室等の作業空間の出入り口に接近したユーザに対して、空間内部の雰囲気情報およびその推移を出入り口空間において直感的に提示する手法を議論する。出入り口空間において、これから移動する空間の内部がどのような状況にあるかを認識することは難しい。また、仮に内部を覗くことによりその場の現況を認識することはできても、現在までの作業空間内の状況推移を瞬時に把握することは不可能である。このため、インタラクションの契機を逸する可能性がある。そこで、CollaboGate が収集した情報をもとに、場の雰囲気はどのような要素から推測されるかを検討する。人の活動度とその推移等

の外から見えない空間内部の状況の推移を、色表現や3次元表現を用いてCollaboGateの表示インタフェース上に提示し、グループにおけるインタラクションの支援を行った。まず、映像と音声をもとに雰囲気を検知するプロトタイプシステムTS-Gate(ThermoSpheric Gate)の設計と実装、評価結果を行った。その結果必要と考えられたユーザの行動履歴や属性等の情報を追加し、雰囲気情報を伝達するシステムAS-Gate(AtmoSpheric Gate)を提案する。

これらのシステムを用いた評価実験から、ユーザが作業空間に入る前に内部の雰囲気を察知できるようになることで、グループの作業効率化やコミュニケーションの活発化を促進する可能性を見出した。

以下、まず4.2節において、出入り口空間と雰囲気情報について詳述する。4.3節で出入り口空間におけるグループ支援環境CollaboGateについて述べ、4.4節に実装したCollaboGateのシステムを説明する。

次に、4.5節で対象とする作業空間と、その雰囲気を決定する要素について議論する。ウェアネス情報の収集と雰囲気情報の算出ならびに効果的な提示手法について検討し、4.6節で、カメラ・マイクと色相を用いたプロトタイプシステムの実装について説明する。4.7節で述べた評価実験の内容と結果から、雰囲気の伝達に必要なウェアネス情報にユーザの行動履歴や属性等の要素を追加した。4.9節で雰囲気の伝達に必要なウェアネス情報を収集・提示するアプリケーションAS-Gateの詳細を述べるとともに、4.10節において実際の作業空間での評価実験と、その結果明らかになった事項の検討を行い、4.11節でまとめとする。

4.2 出入り口空間における支援

4.2.1 出入り口の場の特性

従来の協調作業空間は、ユーザが一定時間あるいは日常的に留まり活動する場と考えられている。しかしながら「出入り口」空間においても様々なコミュニケーションが行われており、それらはオフィスや会議室等の滞在型の空間と異なる特性を持っている。我々は、このような「出入り口」空間に滞在・通過して「入る」「出る」等の行為に対するサービスの検討を行う。

このような空間における出入り口を対象とした研究としては、空間への出入りをイベントとして検知し、デジタルデバイスやユーザを探索したり、ネットワークや自動的な構成を行ったりするものが多い。

本研究が対象とする出入り口空間は、多くの人やモノが入れ代わり立ち代わり通過するという点において、オフィスや会議室等の滞在型の空間と異なる。そこでは、解決に時間

表 4.1: 出入り口空間の特徴

	協調作業空間	出入り口空間
利用方式	滞在	通過または滞在
利用時間	日常的 または一定時間	短い
利用者	一定のメンバー	多数
作業内容	一定量の仕事	すぐ解決する 軽微なもの

を要する協調作業を行うのではなく、軽微な連絡や在室者の確認等の作業が短時間で立ち話的に行われている。個々のタスクは対面・口頭で解決できる簡単なものが多く、複数の人を対象としたタスクが一括して行われることもある。また、訪問や配達などを目的とした対象空間を日常的に利用しない者も出入り口空間を訪れる等の特徴がある。

また、出入り口空間は建物と外の敷地、教室と廊下等のように、社会的意味をもって区切られた空間と空間を接続するものである。接続されている空間のうち、どちらかがよりプライベートな空間であることが多い。例えば廊下から既に会議が行われている部屋に入る等の場合には、中で行われている会議に参加する、あるいは会議の参加者への伝言を伝えに来る等の意思があると考えられる。利用者や対象空間に応じた様々なサービスが考えられる。

軽微な用事のために出入り口空間に滞在する際、もしくは出入り口空間を通過して移動対象とする空間に入る場面などにおいて、コラボレーションのための「場」としての出入り口空間を支援することを本研究の目的とする。

本研究が対象とする出入り口空間と、従来の協調作業空間との違いを表4.1に示す。また、出入り口空間における支援のイメージを図4.1に示す。

4.2.2 雰囲気情報の提示

次に、出入り口空間に接近したユーザへの支援として、空間内外のセンサによってウェアネス情報を収集・蓄積し、直感的表現を用いて出入り口空間のユーザに提示する手法を検討する。

多くの会議室やオフィス等の作業空間は部屋という形で閉じられており、部屋の外からその場の状況を認識することは難しい。作業空間内に移動することや、映像や音声の外部への配信などで現在の場の状況のある程度認識することはできる。しかし、会議室での議論に途中から参加する、あるいはオフィスに遅刻してきたといった場合に、現在まで作業

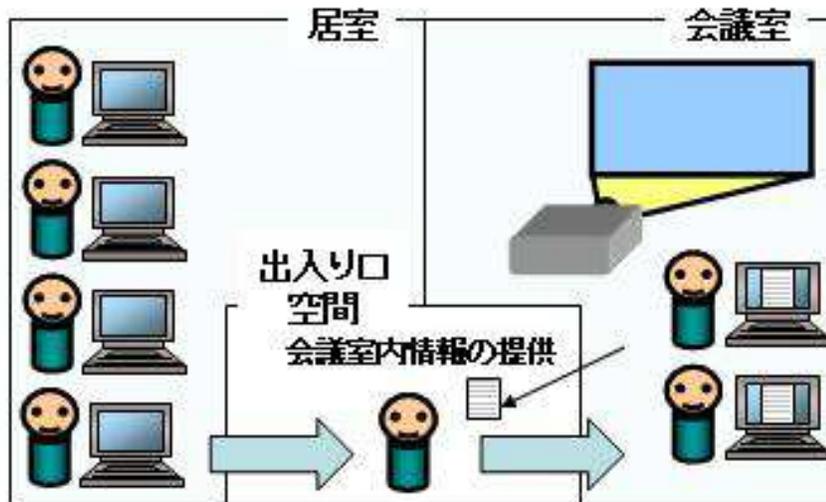


図 4.1: 出入り口空間における支援

空間内の雰囲気やどのような推移を経て、その結果現在の場の雰囲気に至ったかを把握することは困難である。

不可視範囲の情報獲得および獲得情報の解析の一部をコンピュータが担うことにより、ユーザの意思決定とそれに続く行為実行を支援できると考えた。例えば、遅刻して会議室に入る際、外部からは認識できない室内の Awareness 情報を獲得できれば、自分がこれまでに取得したことがある「情報」とその時の「状況」の相関から、内部の「雰囲気」を予測できる。そういった情報の解析結果から、遅刻者はドアを開けるタイミング、会議室に入ってからの第一声などの意思を無意識的に決定し、よりスムーズに会議に参加することができる。

雰囲気は多元的情報から構成されており、人間は様々な感覚的情報をもとに場の雰囲気を判断している。そこで、場の雰囲気を構成する要因のひとつとして、場の活動度に着目する。ある作業空間における人間の活動を認識する際、人は視覚的・聴覚的情報などに基づき活発さを判断している。我々は作業空間における協調作業へのスムーズな参加のために、このような Awareness 情報を直感的に認識できる方法で提示する必要があると考えた [65]。そのために、まず作業空間における様々な Awareness 情報を収集する。これらの情報をもとに、現在の場の活動度情報を算出し、空間の活動度情報として蓄積する。作業空間にアプローチしてくるユーザに対して、出入り口空間において直感的に理解できる形で活動度情報を提示する。この一連の過程におけるデータの収集・算出・提示手法について議論し、実際に空間内部の Awareness 情報を提供するシステムの提案と実装を行ったうえで、内部情報の提示手法に関する評価を行う。

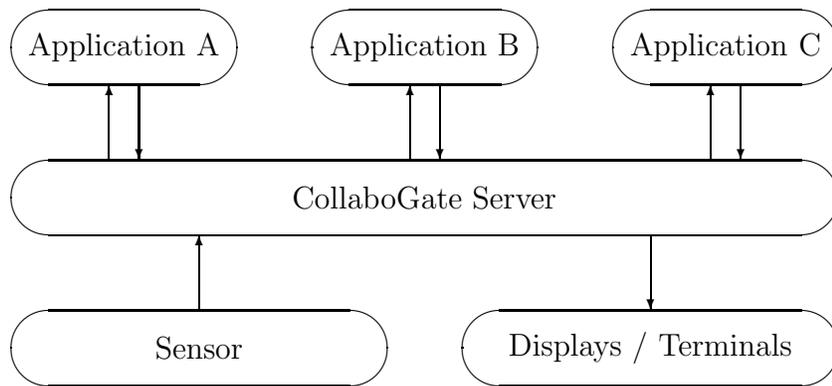


図 4.2: CollaboGate の構成

活動度の推移を収集し直感的にユーザに提示することにより、作業空間への参加が促されることはもとより、長期的な活動度情報の蓄積により会議室やオフィス等の空間的リソースのマネジメントへの応用が可能であると考えられる。

4.3 グループ支援環境 CollaboGate

前節で述べた出入り口空間における特性を踏まえ、本研究は出入り口の「場」におけるグループの支援環境である CollaboGate を提案する。CollaboGate は、出入り口空間ならびに隣接する両空間の状況を収集し、人やモノが出入り口空間に接近した際に必要な情報を提供する。出入り口空間におけるインタラクションを促進するためのサービスを CollaboGate 上で提供する。

4.3.1 CollaboGate の構成

CollaboGate はユーザやデバイスの情報を取得する各種センサと、取得した情報やユーザのプロフィールを格納し、CollaboGate 上で動作するアプリケーションに対して必要な情報を提供する CollaboGate Server、ならびに液晶ディスプレイやユーザの携帯端末といったユーザに情報を提供するデバイスからなる。CollaboGate の構成を図 4.2 に示す。

出入り口空間におけるインタラクション支援を目的としたアプリケーションを、CollaboGate 環境はサポートする。このために使用可能なセンサの制御や情報収集、ユーザや「場」に関する情報の保持ならびにディスプレイやユーザの携帯端末への配信などを行う。

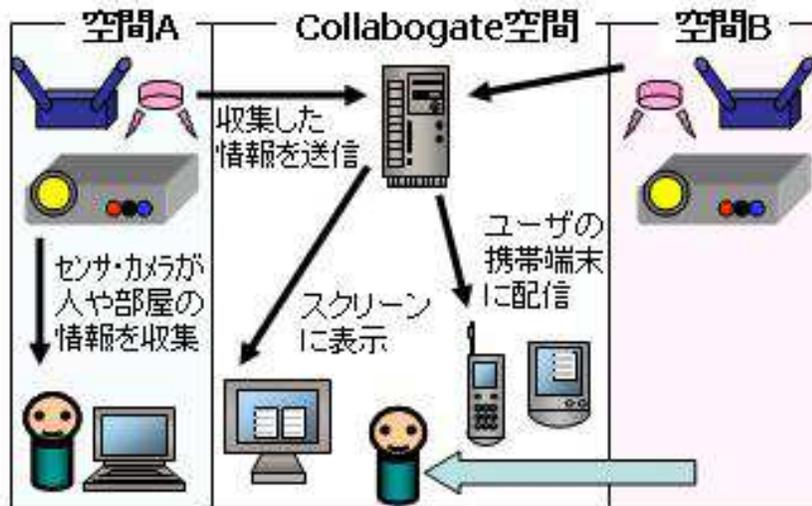


図 4.3: CollaboGate の構成と動作

4.3.2 CollaboGate によるアウェアネス支援

CollaboGate はインタラクション支援のために必要なアウェアネス情報を提供する。軽微な用事や人探しのために出入り口空間に滞在する際、対象空間の状況を概観するためのアウェアネス情報が必要となる。口頭で簡潔な用事を解決する場合、対象者が在室しているかどうかといった情報と、関連するタスクリストやスケジュールなどの情報が必要となる。

また、出入り口空間を通過して移動先の空間に入るといった場面においては、目的とする空間に関するより詳細なアウェアネス情報を提供する必要がある。移動元の空間からは移動先の空間でどのような活動がされていて、どのような状況であるかを知るのは難しい。存在する人やモノ等の情報だけでなく、場の雰囲気や仕事の進捗状況などを検知することによって、スムーズに移動先空間に入ることができると考えられる。

インタラクション支援を目的としたさまざまなアプリケーションのために、CollaboGate は必要なアウェアネス情報の収集を行う。

4.4 CollaboGate の実装

本節では CollaboGate 環境の設計と実装について述べる。図 4.3 に CollaboGate の構成と動作について示す。

4.4.1 センサ

センサは、ユーザと場の状況に関する様々な情報を収集する。ユーザの状況に関してはRFIDタグを持たせて、メンバーの接近を検知する。既に我々が研究を行った距離情報を利用した場の構築を用いる [67]。また、メンバー外のユーザの接近を検知するために赤外線センサを併用する。

場の情報を収集するために、人やモノの出入りを記録することと併せて、カメラで接続空間の撮影を行って人の動きや発言状況などを検知する。それにより、人が空間内を激しく移動しているか、それとも定位置で作業に従事しているかを判断する。また、音声・音量によってカジュアルな会話が活発になされているか、それとも各人が作業に没入しているかを判断する。

4.4.2 出カインターフェイス

出入り口空間において、収集した場の状況を提示する。また、接続空間へ向かう目的に付随する情報などを配信する。出入り口空間で会話する場合、非同期的通信手段を用いずに簡潔な用事を即時解決することを目的としていることが多い。このため、タスクリストやスケジュールなどの情報を参照したり、関連資料を閲覧する等の要求があると考えられる。

人探しや呼び止め、立ち話といったコミュニケーションは、出入り口空間の場における状況がこれらのタスクを想起させることにより発生していると考えられる。例えば、あるオフィススペースの入り口に差し掛かった時点で、そのスペースで作業するメンバーへの用事を思い出したり、備品庫や書庫の前を通りかかって機材や書籍の返却を思い出すとといった場面が挙げられる。

出入り口のガラス扉に透過型スクリーンを設置し、情報の提示を行うとともに、ユーザの所有する携帯端末に対して情報を配信することを検討している。端末としてはPDAならびに携帯電話を想定している。

4.4.3 CollaboGate Server

各種センサが取得したユーザやデバイスの情報を保持し、CollaboGate上で動作するアプリケーションに対して必要な情報を提供するサーバを設置する。また、取得した情報やユーザのプロフィールと、RFIDのタグデータベースの管理も行う。併せて、ユーザに情報を提供するために利用可能な液晶ディスプレイやユーザの携帯端末の存在をアプリケーションに通知する。



図 4.4: 設置された CollaboGate

実際に研究室と廊下を繋ぐ出入り口に設置した CollaboGate を図 4.4 に示す。ドアに張りつけた透過型スクリーンに背面からプロジェクタで投影することにより、表示を行っている。また、ドアの右手上方に RFID のリーダを設置し、タグを持つ人やモノを識別している。

4.4.4 アプリケーション

センサで集められた情報をもとに場の雰囲気判断し、出入り口空間に近づいたユーザーに状況を伝える。雰囲気情報の収集・提示の他に、距離情報をもとにした電子的掲示板システム [76] やユーザーを呼び止めるという行為を支援する [18] など、CollaboGate 上のインタラクション支援のためにさまざまなアプリケーションを設計・実装している。

その他にも、部屋内の覗き見や伝言を残す等の機能や、探し人が在室しているか等の情報、持ち出した機材に関する情報などをスクリーンに表示したり、携帯端末に配信したりする等のサービスを検討している。

出入り口空間に誰もいない時や、タグを持たない人間を赤外線センサーで感知した場合には、CollaboGate のスクリーンにカメラで撮影した中の映像をそのまま投影したり、研究室の紹介といった空間内に関する情報を提供したりする。

4.5 雰囲気情報の収集・提示手法

TS-Gateの提案にあたり、対象とする作業空間や本研究が採用した色の共感覚効果等の点について整理する。

本システムは対面同期環境における協調作業の支援を前提とし、会議室やオフィス等の作業空間を対象としている。これらの空間は他の空間から仕切られることにより、ユーザが一定時間あるいは日常的に留まり活動する、特定の活動目的を持つ作業空間として意味づけられる。そのような空間においては、空間環境や滞在者の活動状況などから「場の空気」が醸し出される。そのため、訪れる者はまず「場の空気を読む」ことによって雰囲気を察知し、他者とのコミュニケーションをはかろうとする。

4.5.1 出入り口空間への提示

本章は、前節で述べた空間への「出入り口」に着目する。作業空間の「場の雰囲気」を出入り口空間でユーザに対して提示することにより、ユーザは移動先空間の状況を予め認識してからコミュニケーションに臨むことができると考えられる。

前節で述べたように、空間の移動というユーザの行為に対してどのようなサービスが必要であるかを検討し、空間と空間の接点である「出入り口」の場の特性を踏まえたコラボレーション支援環境としてCollaboGateを提案する [20]。

出入り口空間は建物と外の敷地、教室と廊下といったように、社会的意味をもって区切られた空間と空間を接続するものであり、どちらかがよりプライベートな空間であることが多い。廊下から既に会議が行われている部屋に入るといった場合には、中で行われている会議に参加する、あるいは会議の参加者への伝言を伝えに来る等の意思があると考えられる。また、出入り口空間はオフィスや会議室等の従来の滞在型の協調作業空間とは異なる特性を持つ。ここでは、解決に時間を要する協調作業を行うのではなく、短時間で済ませることができる軽微な連絡や在室者の確認等の作業が頻繁に行われる。

CollaboGateはこのような出入り口空間に滞在・通過して行われる活動を支援するサービスをサポートするプラットフォームである。そのために使用可能なセンサの管理や制御、ユーザや「場」に関する情報の保持ならびにディスプレイやユーザの携帯端末の制御と配信作業などを行う。

TS-Gateは、出入り口空間におけるグループの支援環境であるCollaboGate上で提供されるサービスとして実現される。グループのメンバーが出入り口空間に接近した際に、空間内部の活動度情報の推移を提示する。

4.5.2 色の共感覚効果の利用

出入り口空間において活動度情報を伝達するためには、できるだけ短時間で直感的に認識できる提示手法をとる必要があると考えられる。作業空間に関する数値化されたデータや実映像などを提示した場合には、ユーザがそれらの情報を読み取るのに時間を要するため、支援対象となる作業空間へのアプローチを妨げてしまう恐れがある。

そこで、我々は色情報を用いて活動度を表現する手法を提案する。人間が受け取る視覚情報のうち、特に色彩に関する情報は感性と深く関わっている。色彩が我々の心身に及ぼす効果は実に様々であり、感覚の受容器に刺激が与えられた場合に、その感覚系統に属する反応のほかに、本来その感覚以外の系統に属する感覚反応を引き起こすことがある。このような色の共感覚効果を用いたものとして、物体の表面温度を可視化する手法として広く知られているサーモグラフィが挙げられる。赤外線を用いるサーモトレーサーが温度を測り、色による人間の心理的效果を利用して、温度情報を相対的に赤から青の間の色と関連づけて表現している。色と温度感との間に見られるような関係は共感覚の中でも最も結びつきが強いので、これの心理的效果を用いることが効果的であると考えた [32]。

本研究においてもこのような色の心理的效果を利用して、場がどれくらい活発か、あるいは静粛かという状況の提示を行う。過去から現在に至る状況の推移をサーモグラフィのように色情報で可視化することにより、直感的に場の雰囲気を理解しスムーズに作業空間へ移動できると考えた。なお、色空間は三次元である上に、色彩の三要素(色相・彩度・明度)によって様々な心理的效果がもたらされると考えられる。しかし、活動度を1次元で直感的に表現するために、本章における色情報は色彩の三要素のうち色相のみを用いるものとした。図 4.5 に色情報の共感覚効果と、その TS-Gate 上での利用について示す。

TS-Gate は収集したアウェアネス情報から場の活動度を算出し、共感覚効果を利用して視覚情報としてユーザに提供する。我々人間が注意や興味を感じる原因は視覚の情報にあることが多いため [62]、色情報の表現により収集したアウェアネス情報を直感的かつ効果的に提示できる。

なお、本章においては 16 進数表記のカラーコードを用いて色情報を示し、HTML3.2 で定義されているカラーネームならびにブラウザで一般的に用いられるカラーネームを併記する。

4.5.3 TS-Gate の設計

本節では、今までに整理した条件のもとで、アウェアネス情報の収集と活動度情報の算出ならびに効果的な提示手法について検討する。TS-Gate は、ある作業空間内のアウェアネス情報を収集・蓄積し、ユーザが隣接する出入り口空間に接近した際に必要な情報を提



図 4.5: 色の共感覚効果

供する。センサ部，活動度の算出・蓄積部 (TS-Gate Server) ならびにディスプレイ部それぞれの設計について述べる。また，TS-Gate の全体構成を図 4.6 に示す。

4.5.4 アウェアネス情報の収集

TS-Gate のセンサ部は，様々なセンサを用いてユーザと場の状況に関する様々な情報を収集する。収集する情報とその方法は以下の通りである。センサ部はこれらのセンサで得られた情報を保持し，TS-Gate Server からの要求に応じてデータを引き渡す。

- 滞在者の検知

作業空間に滞在しているユーザを RFID(Radio Frequency Identifier) システムを用いて識別し，一定間隔で滞在者と人数を調べる。ユーザは予めタグを受け取っており，常に携帯しているものとする。また，タグは必要に応じてモノに貼り付けることもできる。これによりユーザの認証を行うとともに，人やモノの出入りに関する情報を収集する。

- 人の動きの検知

PC に接続するカメラを用いて作業空間内の撮影を行い，人の動きを検知する。PC カメラが一定間隔で画像をキャプチャし，隣接するフレームとの差分をとる。差分の大きさにより，作業空間内を人が激しく移動しているか，それとも定位置で作業に従事しているかを判断する。

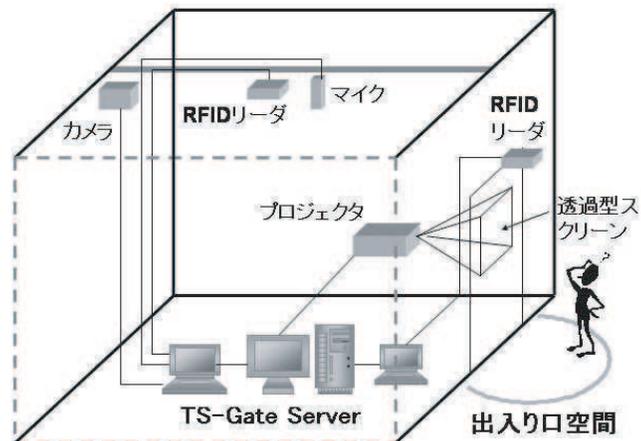


図 4.6: TS-Gate の全体構成

- 会話の活発度

PCに接続するマイクで作業空間内の音声の振幅値をモニタする。一定時間内における振幅の最大値を計測し、空間内の発言状況などを検知する。これにより、在室者が会話や物音を生じるような作業を行っているかどうかを判断する。

- 接近するユーザの検知

作業空間に入ろうと接近してくるユーザを識別するため、滞在者の検知に用いるものと同じRFIDのセンサをもう一台用意する。既に我々が研究を行った距離情報の識別手法を用いる [67]。また、メンバー外のユーザの接近を検知するために、赤外線センサの併用を検討する。

4.5.5 活動度情報の算出と蓄積

活動度の算出・蓄積部 (TS-Gate Server) は、各種センサが取得した作業空間の Awareness 情報をもとに、活動度情報の算出と蓄積を行う。室内に設置されたカメラは、 160×120 ピクセルの映像を撮影しており、5秒ごとに連続した2フレーム (フレームレート: 15frame/s) の差分値を収集する。マイクは室内発生音声を8ビット量子化、サンプリングレート 8000Hz でキャプチャし、1秒間の最大振幅値を隣接5秒間で平均する。実際に室内でデータを取得した結果から、カメラからのデータとマイクからのデータを1:3に重み付けし、空間の活動度を表す640段階の色情報を決定する。RGB3軸からなる3次元色空

間において、赤→黄→緑→シアン→青を結ぶ直線上のRGB値を640段階に量子化し、色の感情効果を考慮して、活発なほど赤色が強く、静かなほど青色が強くなるものとした。この際、緑などの中間色の範囲が大きいと直感的に活動度を伝えるために不都合であると考え、黄→緑→シアン区間の量子化幅を赤→黄、シアン→青区間の3倍になるようにすることで、中間色の出現確率を抑制した。

また、TS-Gate Serverには過去の在室人数と算出した色情報が示され、作業空間の活動度の推移を知ることができる。在室人数情報とその増減から、作業空間の密度と人の入退室の有無を判断する。併せて、TS-Gate Serverは滞在者と接近するユーザを検知するためのRFIDシステムのユーザ情報管理も行う。

4.5.6 作業空間情報の提示

出入り口空間において、在室人数情報とTS-Gate Serverが算出した色情報を提示する。ドアそのものに埋め込まれた画面上で色情報を用いることにより、立ち止まって理解するために時間を要することなく、作業空間への移動を妨げずに活動度情報を伝えることができる。

TS-Gateは活動度情報の提供を目的としているが、出入り口空間において他のサービスが同時に提供される可能性がある。作業空間内の情報を提示するアプリケーションや、接近するユーザを支援するアプリケーションなどが考えられる。TS-Gateの活動度情報はこれらのサービスとの併用を妨げないよう表示する必要がある。具体的なデザインについては次章で述べる。

4.6 プロトタイプの実装

前節の設計に基づき、作業空間の入り口に設置し接近するユーザを支援することを想定してTS-Gateシステムの実装を行った。実装にはJava言語(JDK1.4ならびにJMF2.1)を使用した。

4.6.1 センサ群

滞在者の認識ならびに接近するユーザを認識するために、米国RF Code社のSpider ReaderとSpider Tagを用いた。発信周期0.2秒のアクティブ型のRFIDタグを用い、ユーザにタグを携行してもらった。空間の内側に設置したリーダは作業空間全体を検出範囲とし、在室者を検知する。外側に設置したリーダは半径約1mを検出範囲となるよう調節

し、ユーザの接近を検知する。作業空間の出入り口は鉄線入りのガラスがはめ込まれた鉄製のドアのため、外側と内側のリーダが誤ってユーザを認識することはなかった。

作業空間内の人の動きを取得するために、30万画素のUSB接続CMOSカメラ(アイ・オー・データ製USB-CAM30S)を利用した。フレームレートは10fpsに設定した。音声の振幅値を計測するマイクは、USBカメラに内蔵のものを用いた。

4.6.2 TS-Gate Server

TS-Gate Serverは、センサから取得したデータをもとに、在室人数情報と色情報を5秒間隔で算出している。これらの情報は活動度の推移を示すためにTS-Gate Serverに蓄積される。また、外側のRFIDリーダが接近するユーザの存在を検出した場合、ドア上に取り付けられた透過型スクリーンに活動度情報の表示を行う。

4.6.3 ユーザへの表示

作業空間の出入り口のドアに透過型スクリーンを設置し、室内からプロジェクタで投影することにより活動度情報の表示を行う。蓄積された在室人数情報と色情報をもとに活動度の推移を提示した。

活動度の推移を表示した画面を図4.7に、ユーザが接近した場合の活動度提示の様子を図4.8に示す。

図4.7に示したように、表示画面は縦軸に在室人数、横軸に時刻をとり、現在から過去に至る室内の活動度の推移を、連続した集合縦棒グラフと色情報を用いて表している。画面右端が現在の情報で、左に行くほど過去の情報とし、5秒間隔で算出した最大83分前までの在室人数と活動度を参照できるものとした。

4.7 プロトタイプを用いた評価実験

本章において提案したTS-Gateの活動度提示に関する評価実験を行った。本節ではその結果について述べる。

実際の作業空間として、本学において大学院生が日常的に研究活動を行う学生用居室を対象とし、TS-Gateの設置と運用を行った。実験は他の研究グループにおいて活動している大学院生・学部生を被験者とし、色表現の妥当性を検証するものと、実際に活動度を感じ取れたかの2つについて実施した。それらの実験結果と、運用後に行った質問紙調査の結果をもとに考察する。

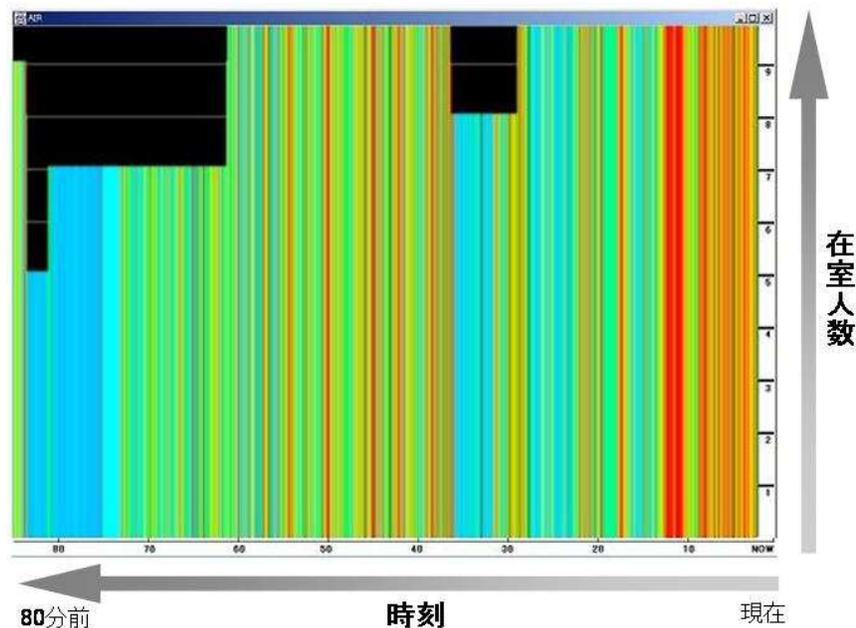


図 4.7: 活動度の表示画面

4.7.1 実験 1: 色表現の妥当性

TS-Gateが提示した色情報が、ユーザが場の雰囲気から感じるイメージと合致しているか評価した。まず、研究室の学生 21 人に、あらかじめ用意した研究室内の様子を映してある 5 つの映像 (いずれも 15 秒) を見てもらった。映像の例を図 4.9 に、5 つの映像の状況ならびに特徴と、その映像から TS-Gate が提示した色情報を表 4.2 にそれぞれ示す。

これらの映像をまず一巡見てもらった後で、もう一度映像を見ながら、各映像の活動度を色で表すと何色になると思うか、表 4.4 に示した 7 つの色情報を回答選択肢として選んでもらった。なお、実験では 7 色に塗り分けたカラーシートを被験者に提示した。実験 1 の各映像に対する被験者の回答の分布を同表に示す。また、それぞれの映像について、色をすぐに決定できたかを 5 件法 (5:とてもそう思う, 4:そう思う, 3:どちらともいえない, 2:そう思わない, 1:まったくそう思わない) で質問紙調査を行った。回答結果の平均値を同表に併せて示す。実験の最後に、5 件法による色情報の判断基準に関する質問紙調査を実施した。回答結果を表 4.3 に示す。



図 4.8: TS-Gate 上での表示の様子

4.7.2 実験 2: 活動度を感じ取れたか

TS-Gate をある日の 12 時から 20 時までの 8 時間、研究室において運用した。実験に用いた部屋は幅 7.5m，奥行き 8.0cm の長方形で，ドアは厚さ 45mm の鉄製のため廊下に音声漏れ聞こえることはない。また，ドア中央のガラスの部分に透過型スクリーンをはめ込んだため，廊下から直接中をのぞき込むことはできない。

人の動きを検知するためのカメラを 4 台用意し，部屋端の天井から室内全体をカバーして見下ろすよう設置した。いずれのカメラにも室内の机が映っていることから，フレーム差分を計算する前に，映像中の机のペースに基づいて遠近差の補正の演算処理を行った。また，音声情報の取得に用いるマイクは，部屋中央の天井から吊り下げた。室内のセンサの配置を図 4.10 に示す。

研究室の学生延べ 48 人に，室内の様子を示した TS-Gate の表示を見て，色から判断した活動度と実際に室内に入って感じた活動度とを比較し，図 4.11 に示すボタンを押してもらった。押されたボタンの番号と，その時刻を記録した。実験 2 の集計結果を表 4.5 に示す。



図 4.9: 研究室内の映像

4.7.3 色の妥当性について

表 4.4 に示した回答の割合のうち、TS-Gate が提示した色に相当する項目を太字で示してある。映像 3 や映像 4 のように動きも音声も小さい、あるいは大きい場合は、被験者の回答した色と TS-Gate の色表現はほぼ一致している。動きはないが会話が活発な映像 2 に関しても、TS-Gate の表現はおおむね妥当である。

しかし、映像 1 と映像 5 では、TS-Gate の出力と被験者の回答がやや異なっている。この 2 つの映像は被験者側が直感的に判断し辛かったことが、実験後に行った質問の結果から明らかになった。TS-Gate は両映像を緑色という曖昧な中間色で示しており、ユーザにとって直感的判断が難しい程度の活動度であったためと考えられる。

次に、本実験における動きの情報と音声情報の影響について述べる。映像 1, 2, 3 の共通点は、映像の動きが小さいことである。音声は 3 → 1 → 2 の順で大きくなる。表 4.4 では映像 3, 映像 1, 映像 2 の順で被験者の選んだ色が赤寄りにシフトしていくことが分かる。つまり、動きが同条件の中で、音声に依存して被験者の直感は赤色に近づいている。逆に、音声情報が似通っている映像 1, 3, 5 を比べると、動きの大小に関わらず、被験者の回答は青寄りである。質問紙調査からも、ユーザに活動度を色で表現するよう促したところ、動きよりも音声に強く依存する結果となったことが明らかになった。

4.7.4 活動度を感じ取れたか

表 4.5 より、延べ 48 人中 72.9% が、実際に室内に入って感じた活動度と比較して、TS-Gate の色表現は適切だったと答えている。

表 4.2: 実験1で用いた映像

映像番号	動き	音声	状況	TS-Gateの提示色
1	小	中	学生2名の輪講	lime (#00FF00)
2	小	大	座ったまま雑談	yellow (#FFFF00)
3	小	小	PCに向かい作業	blue (#0000FF)
4	大	大	立ち上がり漫談	red (#FF0000)
5	大	小	黙々と片付け	lime (#00FF00)

表 4.3: 実験1の質問紙調査結果 (N=21)

Q1-1	色の決定は難しかった	2.81
Q1-2	色の決定に映像を重視した	3.57
Q1-3	色の決定に音声を重視した	4.81

さらに、TS-Gateの表現よりも実際の方が活発、あるいは静かだと感じる(2や4)のはどのような時か、押されたボタンと時刻のログから、TS-Gateの出力と被験者の直感がずれるパターンを精査した結果、主に以下の3種類に分類できた。

- 変動が激しい場合

情報の取得と表示の時間差、ドアを開ける時間などが原因で、ユーザが見たTS-Gateの表示色と実際の活動度に差が生まれる。活動度の変動が激しい時には、特にこの影響を強く受ける。

- TS-Gate表示色が緑色の場合

実験1で述べたように、緑色のような中間色は直感的に活動度を判断しにくい。

- 静かな場合

実験1でユーザは動きより音声に反応して色を選んだ。音の情報が少ない状況では、TS-Gateはほとんど動きの情報に依存して色を決定するため、被験者の想定とずれやすい。

表 4.4: 実験1の色情報と集計結果 (N=21)

映像 番号	色情報と回答の分布							色相をすぐ 決定できたか (5件法)
	blue (#0000FF)	royalblue (#4169E1)	aqua (#00FFFF)	lime (#00FF00)	yellow (#FFFF00)	orange (#FFA500)	red (#FF0000)	
1	0.0%	19.0%	42.9%	38.1%	0.0%	0.0%	0.0%	3.24
2	0.0%	0.0%	0.0%	4.9%	76.2%	19.0%	0.0%	4.05
3	61.9%	23.8%	14.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.43
4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.8%	95.2%	4.81
5	28.6%	38.1%	28.6%	0.0%	4.8%	0.0%	0.0%	3.48

表 4.5: 実験2の集計結果

スクリーンの表現よりも実際の室内の雰囲気の方が				
とても静か	やや静か	適当	やや活発	とても活発
1	2	3	4	5
0.0%	12.5%	72.9%	14.6%	0.0%

4.7.5 質問紙調査から

実験2においてTS-Gate運用後に行った質問紙調査の結果について考察する。被験者の実人数13名を対象とした。調査項目と回答の集計結果を表4.6に示す。

- Q2-1. 色表現に活動度が反映されていた
- Q2-3. 色表現で部屋の活動度を予測できた
- Q2-4. 色表現は直感的だった

表 4.6: 実験2の質問紙調査結果 (N=13)

Q2-1	色の表現に活動度が反映されていた	4.46
Q2-2	色の表示を見て部屋に入った	3.85
Q2-3	色の表現で部屋の活動度を予測できた	4.38
Q2-4	色の表現は直感的だった	4.54
Q2-5	色の表現に人の動きが反映されていた	3.69
Q2-6	色の表現に声の大きさが反映されていた	4.46
Q2-7	色の表現を理解するのに時間がかかった	2.54
Q2-8	色の表現で過去の状態がわかった	4.31

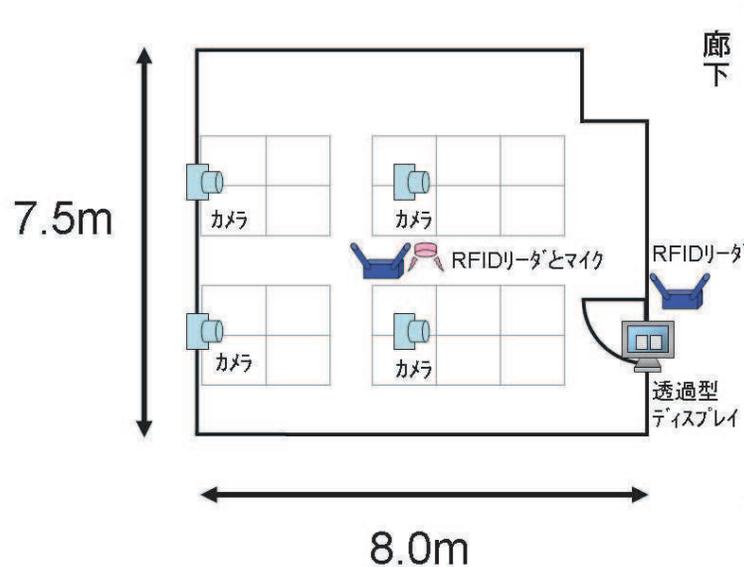


図 4.10: 研究室内のセンサ配置

- Q2-8. 色表現で過去の状態がわかった

これらの4項目については、いずれも高い評価を得た。色によって室内の活動度は十分伝達され、過去の情報の表示も有意義であったといえる。しかし、どのくらい過去まで表示するかについては、今後検討が必要である。

現在の表示時間幅は80分程度であるが、1日単位の幅を持たせることで「何時ごろ活発だった」といったことが分かるため便利だという意見や、逆に、更新間隔（本システムでは5秒）を短くし、表示時間幅も数十秒に縮めることで、会議室などであれば会話が途切れた瞬間など、入室のタイミングを見極めることが可能になるのではないかという意見もあった。

どちらの目的にも対応できるよう、ユーザからの要求で表示幅を切り替るなどの機能を追加することによって解決することが望ましいと考えられる。

- Q2-2. 色表現を見て部屋に入った
- Q2-7. 色表現を理解するのに時間がかかった

これらの2項目においては、被験者の回答にばらつきが見られた。より分かりやすい表示方法への改善と、長期運用によるユーザへの浸透が必要であることを示唆していると考えられる。

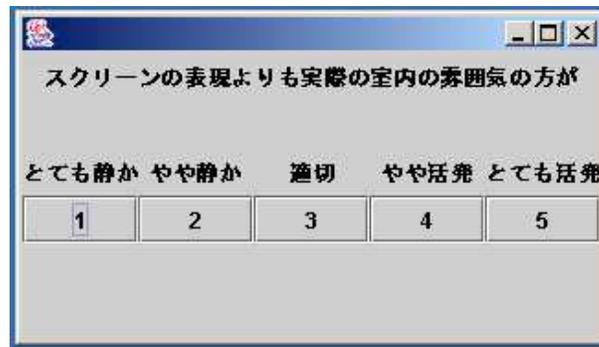


図 4.11: 実験2で使用したボタン

4.8 ユーザの行動履歴と属性情報の追加

前節では、ユーザが作業空間の雰囲気の変移を外部から把握できることを目的とした。センサを用いて作業空間内部の情報を収集し、活動度を色の共感覚効果を用いて直感的に表示する手法の検討を行った。出入り口空間において提示を行う TS-Gate の実装と色情報を用いた表現の評価実験によって、センサを用いた効果的なウェアネス支援を実現した。

プロトタイプの実装と評価の結果をもとに、まず場の活動度の検出に有効な情報収集デバイスがあるか検討を行う。今回用いたものより高精度なセンサの利用や、壁面や空気の振動、温度や空気中の成分などの他のセンサ情報の収集を試みていく。また、在室人数情報だけでなく個人のプロフィールを用いて場の人物関係や職位の分散から雰囲気を判断したり、個人のスケジュールデータを用いて忙しさを推測するなどの手法も考えられる。

現在は出入り口空間に接近したユーザに場の活動度を提示するだけであるが、RFID タグなどと組み合わせることによってユーザの嗜好にあう情報を包括的に提示するサービスが考えられる。本研究は活動度の直感的提示に特化しているが、一般的に作業空間に所要で訪れるような場合には、対象者が在室しているかどうかといった情報や関連するタスクリストやスケジュールなどの情報が必要となる。このようなサービスと活動度情報との連動についても考慮していく必要がある。

上記で挙げた点を改良したシステムを実装し、グループの作業がどのように支援されるか引き続き評価を行っていく。

4.8.1 AS-Gate の提案

前節の議論をもとに、作業空間の出入り口に接近したユーザに対し、空間内部の「雰囲気」およびその推移を直感的に提示するシステム AS-Gate(AtmoSpheric-Gate) を提案す

る。AS-Gateは、ユーザが「雰囲気」を把握するために必要な空間内部のウェアネス情報を収集・蓄積し、出入り口に接近したユーザを検知すると、必要なウェアネス情報にアクセスし、直感的な表現を用いた雰囲気情報の提示を行う。

本節では、まずAS-Gateが対象とする空間を明確にする。次に、「雰囲気」を決定する要素について整理した上で、AS-Gateが「雰囲気」を伝達するために収集する情報を示す。

従来の「場の空気を読む」という行為は、作業空間内に移動した後に周囲のウェアネス情報を収集し、場のコンテキストを推測することで無意識的に行われている。本研究は、作業空間の出入り口に接近した段階で、内部のセンサ群によって収集された過去から現在に至るウェアネス情報の推移を提示することで、ユーザが場のコンテキストを認識し、よりスムーズに協調作業に参加できるよう支援する。

4.8.2 雰囲気を決定する要素

雰囲気は多元的情報から構成されており、人間は様々な感覚的情報をもとに場の雰囲気を判断している。我々は、ユーザに提示する情報を考えるにあたり、雰囲気を決定する要素を以下のように分類した。

定量的要素 センサによって収集された数値情報がそのまま「雰囲気」に結びつくもの

時間的要素 ある状況が継続する時間や、一度状況が変わってから同じ状況に戻るまでの時間等の時間的推移に影響されるもの

心理的要素 数値のみでは表せず、人間関係を考慮したり、ユーザ自身の解釈が必要とされるもの

「雰囲気」をより正確に、かつ直感的に伝達するためには、これらの定量的要素、心理的要素、時間的要素を網羅するように情報を収集する必要がある。

4.8.3 収集する情報

前節で述べたように、空間内部の動きおよび発話の活発さから雰囲気を推測するため、活発度の算出手法に関する検討を行った [65]。その結果、動きや発話の活発さ等の要素のみでは「雰囲気」を十分伝達できないという課題が明らかになった。そこで、時間的要素や心理的要素として、作業空間における動きや発話の経時変化、ならびに成員の属性等に注目した。AS-Gateにおいては、これらを雰囲気を決めるものとして考慮し、一つの作業空間に関して以下の情報を収集・提示する。

入退出履歴 室内で作業をする個々のメンバーの入室および退室の履歴を管理する。「誰が何時から何時までいた」という情報は時間的要素に含まれると言える。一方で、「誰がいる/いた」という時間の流れの中の一点に着目した情報に対しては、その時の雰囲気や推測する上で人間関係や各ユーザの解釈が加わることとなり、心理的要素に含まれると言える。

会話の活発度 過去から現在にかけて室内で交わされる会話や物音を検知し、その音量情報を収集・蓄積する。時間的要素に含まれると同時に、音量情報はそのまま活発度として雰囲気に関与するので定量的要素と考えられる。

各メンバーとの空間共有度 室内のメンバーと自分がどの程度の時間を作業空間内で共有しているか、すなわち各メンバーが室内にいたことがどれくらい自分にとって「珍しい」または「日常的な」ことかを「空間共有度」と定義した。空間共有度そのものは、作業空間における滞在時間の重複している割合を計算することにより数値的に示すことのできる値であり、定量的要素と言える。一方で、空間共有度の高い（一緒にいることが多い）人が在室しているか、低い（あまり顔を合わせることがない）人が在室しているのかによって、雰囲気に対する心理的影響があると考えられる。さらに、空間共有度は時間経過とともに更新される値であり、時間的要素も備えている。

メンバーの属性情報 メンバーを属性によってグループ分けする。グループの性格や規模にもよるが、上司や部下等の地位、学年、性別、所属研究グループなどが挙げられる。短期的に変遷するパラメータではなく半固定的な値であるが、在室メンバーにどのグループに属する人が多くいるかによって、心理的な影響を及ぼすと考えられる。

AS-Gateはこれらの情報を収集し、サーバに蓄積・管理する。そして、作業空間の出入り口にユーザが接近したことを検知すると、サーバからそのユーザに必要な情報を取り出し、出入り口に設置されたディスプレイに提示する。

4.8.4 AS-Gate の設計

これまで述べてきた要件を踏まえて、AS-Gateにおけるウェアネス情報の収集と蓄積・管理、およびユーザへの効果的な情報提示手法について検討する。出入り口に接近したユーザに内部の雰囲気を伝達するシステムであるAS-Gateを提供するにあたり、TS-Gateと同じく出入り口空間に滞在・通過して行われる活動を支援する環境 CollaboGateを用いた。

AS-Gateは、センサによる作業空間内外の情報収集部分、集めた情報の蓄積・管理部分(CollaboGate Server)、出力インターフェースによる情報提示部分からなる。CollaboGate

Server ではメンバー情報などを含むデータベースが管理されており、CollaboGate 上の他のアプリケーションと共有することができる。以下、各部の設計について述べる。

4.8.5 情報収集部分

AS-Gate では複数のセンサを用いて、ユーザと場の状況に関する様々な情報を収集する。ここで用いるセンサは、室内のウェアネス情報を収集するセンサ群と出入り口空間に接近したユーザを識別するセンサの2つに分けられる。前者のセンサ群によって収集される情報とその収集方法は以下の通りである。

会話の活発度 室内に設置されたマイクで作業空間内の音声の振幅値をモニタする。一定時間内における振幅の最大値を計測し、在室者が会話や物音を生じるような作業を行っているかどうかを判断する。

メンバーの入退出履歴および属性 作業空間内に設置されたRFIDリーダによって、在室者を識別する。ユーザはタグを常に携帯しているものとする。各メンバーの属性情報は予め入力しておき、CollaboGate Server のデータベースで管理する。必要に応じて属性情報を検索して取り出す。

各メンバーとの空間共有度 空間共有度とは、「室内のメンバーと自分がどのくらいの時間を作業空間内で共有しているか」という割合であり、RFIDリーダがタグの出入りのイベントを検知した際にその時刻をCollaboGate Server に通知するとともに、親密度の算出と更新を行う。

また、出入り口空間に接近したユーザを識別するために、在室者の識別用とは別のRFIDリーダを用意する。RFIDのタグIDをCollaboGate Server 中のメンバー情報テーブルから検索し、メンバーを特定する。

4.8.6 情報蓄積・管理部分

CollaboGate Server で管理されるデータベースは様々なデータテーブルを保持し、AS-Gate 以外のCollaboGate 上で提供されるアプリケーションからも利用可能である。AS-Gate に関するデータテーブルを以下に挙げる。

蓄積音声データテーブル 作業空間内の音声の振幅値が蓄積されており、一定時間ごとに更新される。

メンバー情報テーブル メンバーのタグID、名前、属性情報が管理されている。

在室メンバーテーブル 室内にいるメンバーのタグ ID が管理され、作業空間への出入りのイベントごとに更新される。

入室・退室履歴テーブル 各メンバーの入室時間および退室時間の履歴を蓄積する。

空間共有度テーブル 各メンバーの作業空間内での累計滞在時間と、他のメンバーと共有している時間が管理されており、出入りのイベントごとに更新される。出入り口に接近したユーザ A と特定メンバー B との空間共有度は、(ユーザ A とメンバー B が作業空間内で共有している時間)/(ユーザ A の作業空間内での累計滞在時間) で算出される。

4.8.7 情報提示部分

出入り口空間にユーザが接近したことを検知すると、CollaboGate Server のデータベースから必要な情報を検索し、ユーザに提示する。出力インターフェースにはドアにはめ込んだ透過型スクリーンを採用し、空間内部からプロジェクタで投影した。

AS-Gate では、ユーザが直感的に雰囲気把握できるように、メンバーの入退出履歴、会話の活発度の推移、各メンバーとの空間共有度、ならびにメンバーの属性情報を 3 次元座標空間内にマッピングする。

4.9 雰囲気情報提示システム AS-Gate の実装

4.9.1 AS-Gate の実装

前章の設計に基づき、作業空間の出入り口に設置し接近するユーザを支援する AS-Gate システムを実装した。実装には Java 言語 (JDK Version 1.4 ならびに Java3D Version 1.3) を使用した。また、CollaboGate Server で管理するデータベースの作成には MySQL Version 4.0 を使用した。

4.9.2 センサ

在室メンバーおよび接近するユーザを認識するために、米国 RF Code 社の Spider Reader と Spider Tag を用いた。発信周期 0.2 秒のアクティブ型の RFID タグを用い、ユーザにタグを携行してもらう。作業空間内に設置したリーダは空間全域を検出範囲とし、在室メンバーを検知する。出入り口に設置したリーダは半径約 2 メートルを検出範囲となるように調節し、ユーザの接近を検知する。



図 4.12: AS-Gate を設置したドアの様子

室内中央の天井に設置したマイクを用いて会話の活発度を計測した。作業空間内で発生した音声を8ビット量子化、サンプリングレート8000Hzでキャプチャし、1秒間の最大振幅値を隣接5秒間で平均して用いた。

4.9.3 ユーザへの表示

AS-Gate を設置したドアの様子を図4.12に示す。作業空間の出入り口のドアに透過型スクリーンを設置し、室内からプロジェクタで投影することにより、接近するユーザーに空間内部のウェアネス情報を提示する。

AS-Gate の表示画面を図4.13に示す。3次元空間内に横臥させた円柱を描いている。円周長を総登録人数で等分し、メンバーの写真を円周上に等間隔でマッピングしている。

奥行き方向に時間軸をとり、手前側の面を現在として過去5時間前までの状況を提示した。最も手前に表示され、赤枠がつけられているのが現在在室中のメンバーである。退出しているメンバーは、最終退出時刻に配置される。このため、メンバーの写真のサイズは、退出してから経過した時間に反比例し小さく表示される。過去5時間に1度も室内に現れなかったメンバーは、円柱の底面よりも奥にマッピングされる。各メンバーの入退出履歴は、円柱側面に在室していた時間帯を赤線で表示することによって投影される。

また、円柱の側面を、会話の活発な時間帯ほど赤く、静寂な時間帯ほど青く描くことで、

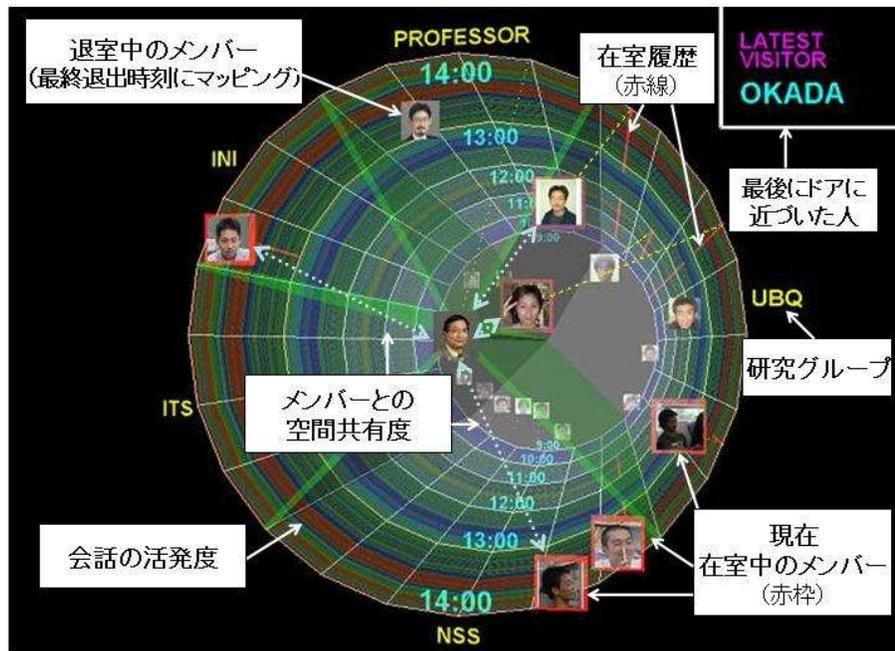


図 4.13: AS-Gate の表示画面

室内の活発度の推移を表現している。会話の活発度の推移を直感的に表現するために、本システムでは色の共感覚効果を利用した [32]。人間が受け取る視覚情報のうち、特に色彩に関する情報は感性と深く関わっている。

時間経過の表現には、戸口通信システムも注目している [59]。これは、書かれてからの経過時間に基づいて、伝言板に書かれたメッセージそのものの彩度を調節して表示している。クライアント側で指定することにより、彩度を相対的あるいは絶対的時間経過に基づいて変化させることを可能としている。一方、AS-Gateは色相を用いて過去の活動度の推移を可視化している。

あるメンバーが出入口に接近すると、そのメンバーの写真が中心に移動する。また、接近したメンバーとの空間共有度に基づいて、全員の写真が円柱の断面上を移動する。円の中心近くにマッピングされているメンバーほど、出入口で表示を見ているユーザにとって空間共有度が高いメンバーであることを示している。逆に中心から遠く、側面近くにマッピングされているメンバーは、空間共有度が低く室内で会うことが珍しいということを表している。図 4.13 の表示画面上に点線と矢印を加筆して、中心のメンバーとの空間共有度に基づいた配置距離を示している。空間共有度と中心からの距離は、

$$\text{空間共有度} = \frac{\text{接近したユーザと当該ユーザが同時に滞在した総時間 [秒]}}{\text{接近したユーザの総滞在時間 [秒]}} \quad (4.1)$$

$$\text{中心からの距離 [ピクセル]} = \text{円柱の半径 [ピクセル]} \times (1 - \text{空間共有度}) \quad (4.2)$$

で求められる。

最後に、円柱の断面を扇形に分割している板は、メンバーの属性情報の仕切りを示している。本実装においては所属する研究グループを属性情報として用いた。

4.10 AS-Gate の評価結果

4.10.1 評価実験

AS-Gate の評価実験を行うにあたり、本システムを大学研究室の一居室に設置し、その部屋にデスクを持つ20名の学生と指導教員2名にRFIDタグを2週間携帯してもらい、継続して運用を行った。なお、今回の実験においては、AS-Gateを設置した部屋にデスクを持たない12名の学生にはRFIDタグを配布しなかった。

この運用期間を利用して、AS-Gateにおける空間内部の状況情報の可視化手法および、AS-Gate運用によるグループメンバーのインタラクションや行動の変化を評価するために以下の3つの実験を行った。

可視化手法の比較

これまで述べたように、AS-Gateでは3次元の情報提示手法を用いている。AS-Gateと共通の情報を2次元で表現したものを用意し、ユーザの状況把握の速さや正確さを比較した。

研究室の学生16名に、室内の状況やメンバーに関する質問をし、ディスプレイに映し出される2次元または3次元の表現を見た上で回答してもらった。その際、表示を見てから回答にかかった時間と、回答の正誤を記録した。被験者への質問内容を表4.7に、2次元表現の画面を図4.14にそれぞれ示す。

AS-Gateによるインタラクションの変化

AS-Gateがグループメンバー間のインタラクションにもたらす影響を調べるため、AS-Gate設置時と非設置時それぞれにおいて、のべ12時間ずつ入室直後の発話の有無と内容を記録した。そして、発話の内容を図4.15に示す分類1~9に大別した。

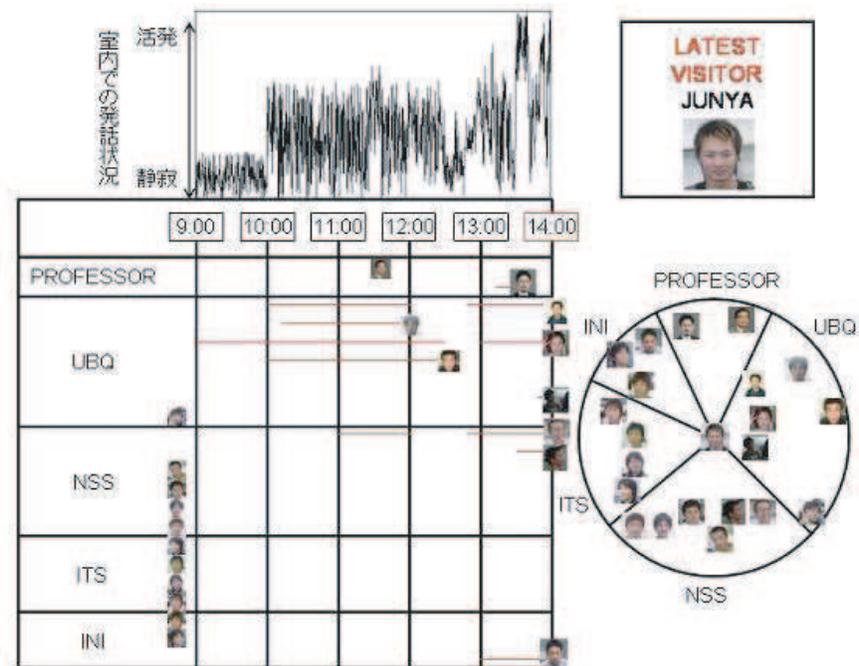


図 4.14: 2次元表現による提示

出入り口空間における行動の観察

出入り口空間にカメラを設置し、AS-Gate 設置時と非設置時における人々の入退室や通過の様子を各4時間ずつ録画した。ビデオの映像をもとに、AS-Gate 設置による出入り口空間での入室者の滞在時間の変化、入室者がAS-Gateの表示を見ているかどうか、RFIDタグを持っている学生と持っていない学生、指導教員、他の研究室の学生など、属性による挙動の違いを分析した。

4.10.2 実験結果

2次元表現との比較結果

可視化手法の比較の実験においては、順序による影響を避けるために、先に2次元表現を用いて質問に答えるグループと、3次元表現から始めるグループとに分けて行った。また問題の出題パターンも4通り用意した。表4.8は、実験から得られた各質問に対する被験者の回答時間と正答率の平均データである。

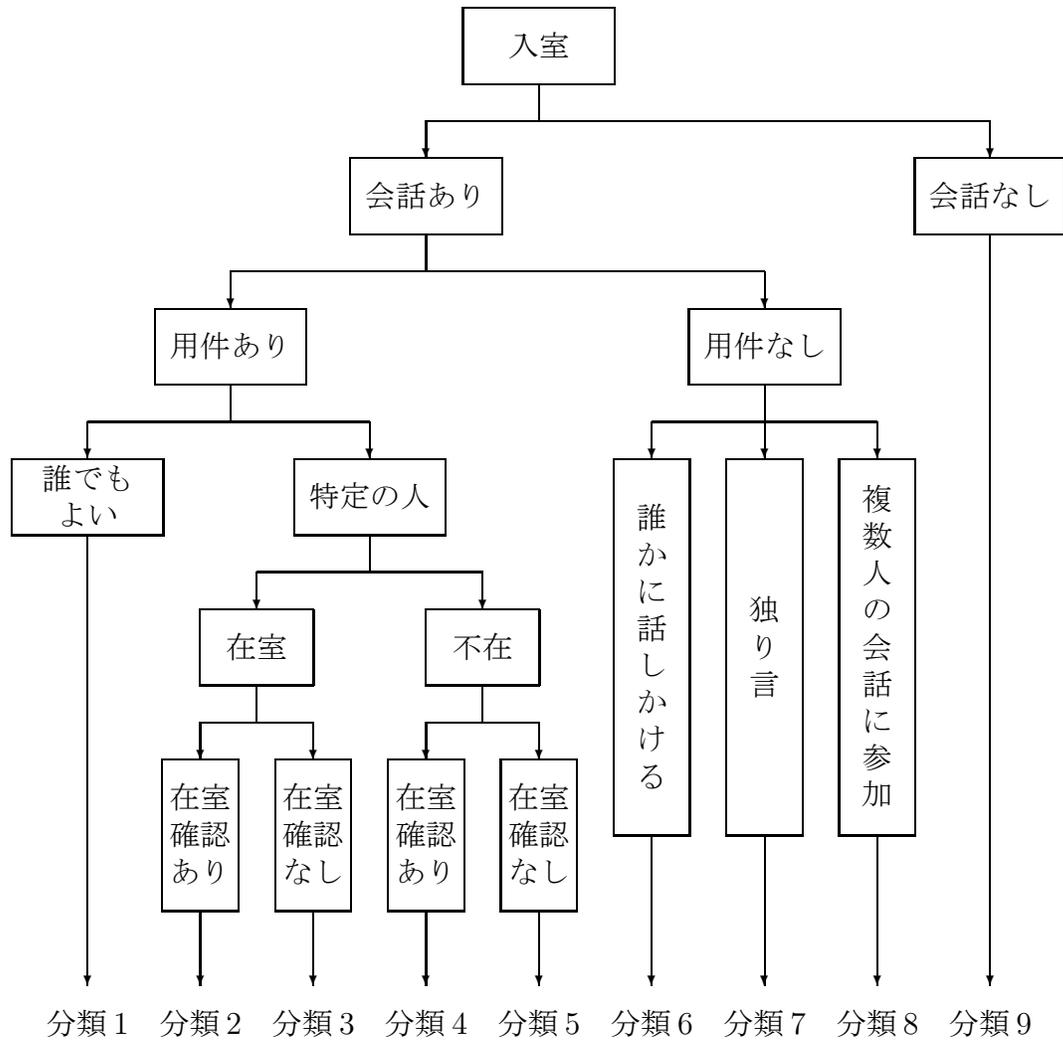


図 4.15: 発話内容のクラスタリング

表 4.7: 被験者に対する質問の内訳

設問	質問内容	必要とする情報
問 1	あるメンバーが現在在室しているかを問う	入退出履歴
問 2	あるメンバーが過去 5 時間の間に研究室を訪れたかを問う	入退出履歴
問 3	あるメンバーが研究室にいた時間帯を問う	入退出履歴
問 4	研究室内の会話が最も活発 (静か) だった時間帯を問う	会話の活発度
問 5	研究室内で最も顔を合わせる機会が多い (少ない) メンバーを問う	空間共有度
問 6	研究室内の会話が最も活発 (静か) だった時間帯に在室していたメンバーを問う	入退出履歴
問 7	在室中のメンバーのうち最も顔を合わせる機会が多い (少ない) メンバーを問う	入退出履歴 空間共有度
問 8	ある時間帯に最も多くのメンバーが在室していた研究グループを問う	入退出履歴 メンバー属性
問 9	最も空間共有度の高い研究グループを問う	空間共有度 メンバー属性
問 10	表示内容を手がかりにして 4 つの状況を時系列順に並べ替える	すべて

表 4.8: 回答時間と正答率

設問	必要とする情報				3 次元表現		2 次元表現	
	入退出履歴	会話 活発度	空間 共有度	メンバー 属性	回答時間 [sec]	正答率	回答時間 [sec]	正答率
問 1	○ (現在)				10.2	100.0%	17.7	100.0%
問 2	○ (過去)				15.6	100.0%	14.2	93.8%
問 3	○ (現在)				10.7	81.3%	16.8	100.0%
問 4		○			9.8	75.0%	14.9	87.5%
問 5			○		10.7	100.0%	20.8	100.0%
問 6	○	○			10.4	93.8%	13.5	100.0%
問 7	○		○		14.2	100.0%	36.7	62.5%
問 8	○			○	13.8	93.8%	13.6	87.5%
問 9			○	○	10.9	100.0%	17.3	100.0%
問 10	○	○	○	○	73.4	43.8%	72.7	68.8%

入室後の発話のクラスタリング

AS-Gate によるインタラクションの影響に関する実験において、入室直後の会話の有無のみに着目すると、のべ 12 時間の間で発生した入室イベント中、会話が行われたのは、AS-Gate 非設置時において 50.0%、設置時において 67.2% という結果になった。

また、図 4.15 の分類 1~ 9 に基づいて、発話内容をクラスタリングした結果を表 4.9 に示す。

出入り口空間における行動の観察結果

出入り口空間における行動の分析の実験に関して、AS-Gate 設置前と設置後の出入り口空間における入室者の滞在時間を測定した。結果を表 4.10 に示す。

表 4.9: 発話内容の分類結果

	用件の有無	発話対象	AS-Gate なし	AS-Gate あり
分類 1	あり	誰でもよい	6.7%	5.9%
分類 2	あり	特定の人 (在室) 在室確認あり	13.3%	0.0%
分類 3	あり	特定の人 (在室) 在室確認なし	3.3%	15.7%
分類 4	あり	特定の人 (不在) 在室確認あり	3.3%	2.0%
分類 5	あり	特定の人 (不在) 在室確認なし	0.0%	2.0%
分類 6	なし	独り言	13.3%	3.9%
分類 7	なし	誰かに話しかける	13.3%	3.9%
分類 8	なし	複数人の会話に参加	13.3%	3.9%
分類 9		(発話なし)	13.3%	3.9%

表 4.10: 入室者の滞在時間

	AS-Gate 設置前	AS-Gate 設置後
滞在時間	2.3[sec]	7.4[sec]

また、AS-Gate 設置時に、入室者が AS-Gate の表示を見ているかどうかに着目したところ、「立ち止まって表示を見ていた」が 34.2%、「ノブに手をかけつつ表示を見ていた」が 34.2%、「見ていなかった」が 31.6%であった。

さらに、AS-Gate 設置後に出入り口空間に滞在または通過する人々を指導教員、RFID タグを所持している研究室の学生、RFID タグを所持していない研究室の学生、その他（他研究室の学生など）の 4 つの属性に分け、それぞれについて AS-Gate の表示を見た割合を算出した。結果は表 4.11 の通りである。

表 4.11: 出入り口空間において AS-Gate の表示を見た割合

	指導教員	研究室の学生 (タグ有り)	研究室の学生 (タグ無し)	その他
見た	76.2% (16 回)	69.7% (23 回)	68.4% (13 回)	40.0% (76 回)
見なかった	23.8% (5 回)	30.3% (10 回)	31.6% (6 回)	60.0% (114 回)

4.10.3 考察

可視化手法について

AS-Gateで採用した3次元表示と評価実験用に作成した2次元表示を比較した。被験者の回答時間に着目すると、表4.7の10題中7題において3次元表示の方が短時間で回答できている。

表4.7の質問のうち、単体の情報のみを必要とする質問においては、特に1番の「現在の在室/不在メンバーを問うもの」、5番の「空間共有度の高い(低い)メンバーを問うもの」で2次元表示との差が顕著に現れた。

また、複数の情報を必要とする質問においては、特に7番と9番のように空間共有度を含む情報の組み合わせの際に、3次元表示の方が2次元表示より短い時間で回答できている。7番の入退出履歴と空間共有度を組合わせた質問に対しては、3次元表示によって、回答時間が2次元表示の1/2以下に短縮されている。

一方で、正答率を比較すると、3次元表現では、10題中6題で正答率100%または2次元表示より高い正答率を記録しているが、3, 4, 6, 10番では2次元表現よりも正答率が低い。これらに共通しているのは、入退出履歴の情報を用いて過去の状況を参照する必要があるという点であり、そういった場合、3次元表示では奥行き方向の情報を正確に読み取りづらいと言える。

これらから、3次元表現は2次元表現と比べ正確性の面では劣る部分があるが、短時間で直感的に状況情報を伝えることができるため、人が空間から空間へ移動するという出入り口の特性を考えると、2次元表示よりも今回採用した3次元表示の方が適していると言える。

インタラクションの変化について

入室後の発話クラスタリング結果から得られた表4.9より、インタラクションの変化について考察する。AS-Gate設置前は、用件があって入室した際、その場に相手が在室していても「西川さんはいますか?」というように在室確認を行うケースが1割強だったのに対し、設置後はそのような行動は見られなかった。代わりに、AS-Gate設置前にほとんど見られなかった、在室確認なしに直接第一声で用件を述べるケースが1.5割となった。ここから用件伝達の効率が上がったことが言えるが、これは「現在の在室状況」のみが分かればいいので、既存のコルクボードやマグネットなどを用いた所在表[98]でも同様の機能を実現できる。

一方、用件がなく入室した場合には、AS-Gate設置後は設置前に比べて、独り言が減り、誰かに話しかける、あるいは複数人の会話に参加するケースが増えている。これは入

室後の会話の対象に変化が見られたことを意味するが、AS-Gateの影響によるものとは断言できない。

以上のように、この実験のデータからはまとまった考察が得られていないが、会話ログの個々に注目すると、AS-Gateが表示する過去の履歴や、空間共有度、会話活発度に関する会話が含まれていることが分かった。インタラクションの変化は、さらに運用を継続することでより明確になると考えており、スムーズな作業空間への出入りやコミュニケーションの活発化の促進に繋がると考えられる。

出入り口空間における行動の変化について

出入り口空間の通過の際に、ユーザがどの程度提示情報に注目し、どのくらいの時間を割くのかを本実験によって検証した。

表 4.10 より、AS-Gate 設置後は設置前に比べて、入室にかかる時間が約 5 秒長くなっており、この 5 秒という数値はユーザが「ドアを開けて部屋に入る」という行為の中で AS-Gate に割くことができる許容範囲の平均と言える。

しかしながら、5 秒では表 4.8 にある行為を完了できないため、表 4.9 の設置後の行動結果から、所用のある特定の人物が在室しているかどうかを読み取るのに用いていると考えられる。被験者へのヒアリングの結果から、入室時には赤の枠がついて最も手前側に映ったメンバーの写真群の中に、目的とする人がいるかどうかを確認する等の行為が行われていることが明らかになった。

しかし一方で、表 4.10 の数値は「立ち止まって表示を見ていた人」「ノブに手をかけつつ表示を見ていた人」「見ていなかった人」の平均である。その内訳は 4.10.2 節で述べた通りであり、「見ていなかった人」が約 3 割にも及んでいる。ユーザが AS-Gate の表示を見るかどうか、あるいはどのような情報を提供すれば表示を見るかは、表 4.11 のようにユーザの属性によって変化する。また、出入り口空間に近づくタイミングが出勤時か、昼食から戻った後か、それとも数分間部屋を離れた後かによっても変わると考えられる。「見ていなかった人」の割合を減らし、AS-Gate のシステムとしての効果を高めるには、接近ユーザの属性やコンテキストを検知して、動的に表示情報や提示手法を変える必要があると考えられる。

4.11 まとめ

本章では、空間と空間の接点である「出入り口」を場と捉え、その場におけるグループの支援環境である CollaboGate の提案を行った上で、出入り口空間に接近したユーザが、作業空間内の雰囲気およびその推移を把握できることを目的とした。センサを用いて作業

空間内の発話の活発度、在室メンバーの属性および空間共有度、在室/不在の履歴などの情報を収集し、出入り口空間にユーザが接近したことを検知すると空間内部の雰囲気や3次元表現を用いてユーザに提示するアプリケーション AS-Gate(AtmoSpheric-Gate) を実装した。

評価実験の結果、AS-Gate の情報提示手法は従来手法と比較して、短時間で直感的に状況情報を伝達できることが示された。また、AS-Gate 設置によるインタラクションの変化については、本章の実験結果から AS-Gate による効果と断定できないものの、実験期間中 AS-Gate が会話のきっかけとなったり、独り言が減ったりする場面が見られた。今後の継続的な運用による検証と併せて、AS-Gate の設置を通じて「出入り」という従来の行為の中に「提示情報を見る」という行為をもっと自然に埋め込むためには、ユーザの属性やコンテキストに応じたフィルタリング・カスタマイズ可能な情報提示が求められると考える。

本章では単一の作業空間を対象としたが、作業空間が複数存在することが一般的であるため、複数の空間における空間共有度算出手法についても今後の議論が必要である。また、本システムが必要とするデバイスを設置してユーザ情報などの登録を行えば、評価実験を行った作業空間以外においても運用を行うことが可能である。しかし、雰囲気を正確に読み取るためには、作業空間の広さやレイアウト、構造や建材の材質などの要素を考慮する必要がある。

さらに、AS-Gate はタグを持ったグループのメンバーを対象としたアプリケーションであるが、タグを持っていない人の注意を引きつけた場合の提示内容についても今後検討していく。また、副次的な効果としての使用方法が考えられる一方、収集した情報に関する在室者のプライバシーや、防犯上の問題にも配慮する必要がある。

第5章 コラボレーションの場の距離情報 を利用した協調作業支援

5.1 はじめに

本章では、対面協調作業の場に存在する人やモノの間の物理的距離を認識し、距離情報とその変化に基づいてコラボレーションの支援を行う手法の提案と評価を行う。

会議室やオフィスなどの人々が日常的に集まり協調作業を行っている場には、様々な情報処理能力を持った機器が存在する。代表的な機器として、ユーザが持ち歩いているノートパソコンやPDA、部屋に備え付けられているプリンタ、プロジェクタならびに大画面ディスプレイなどが挙げられる。

これまでに、場に存在するデバイスを用いて対面協調作業を支援する様々なシステムが提案されている。共有画面に資料を提示しながら行うプレゼンテーションなどを支援するものとして、電子ホワイトボードと個人のノートPCを用いる Dynacs[50] や壁面に埋め込まれた大型のディスプレイとノートPCを搭載した椅子を用いる i-LAND[79] などがある。なかよし [44] は PHS を用いたモバイルグループウェアとして、集まったその場でのコラボレーションを支援している。また、Nomadic Collaboration 支援システム [57] は、無線 LAN を用いて対面会議支援環境を構築しており、ホワイトボード型のアプリケーションを提供している。

一方、対面コラボレーション環境においては、現実空間で人間同士が直接インタラクションを行うことができるため、様々なノンバーバルコミュニケーションを通じて情報を伝達し、意思の疎通をはかることが可能である。これは分散環境における協調作業には無い利点であり、本研究はこの点を対面での協調作業を支援する際の重要な要素と考えた。

対面環境の特徴として、協調作業の場に関係する人やモノが存在するだけでなく、それらの物理的な位置や距離関係を通じて社会的な関係性や協調作業の文脈を推察することができるという点が挙げられる。会議室における上座や下座などの普遍的なコンテキストのほかに、例えば継続して活動しているグループのメンバーが会議室でいつも決まった位置に座っているなどの情報も、グループ内で協調作業をスムーズに行うために共有されるコンテキストと言える。

また、各ユーザが所持したり使用したりしているデバイスはそれぞれのユーザから距離的に近い範囲に存在している。会議室のプロジェクタやホワイトボードを使用するために発表者が移動したり、使用するモノが持ち込まれたりすることによってその物理的距離も変化する。

このような実空間内の位置情報を用いて協調作業の支援を行うために、距離情報の取得と距離情報の変化の検知を行う。ユーザが存在する距離帯から協調作業の場における行動意思や役割を判断し、対面コラボレーションを支援するツール上でそのユーザが必要とする機能を提供する。提案概念に基づいて実際に協調作業の場における人やモノとの距離を検知し、サービスを提供するプロジェクタ利用支援システムを設計・実装した上で評価を行った。

以下、本章ではまず5.2節で対象とする協調作業環境と研究のゴールについて述べる。5.3節において、距離情報に基づくサービスの提供手法について詳述し、提案に基づくプロトタイプとして設計した協調作業システムについて説明する。5.4節で評価実験の概要を述べ、5.5節において実験結果とそこから明らかになった事項を検討し、5.6節でまとめを行う。

5.2 距離情報を利用した協調作業支援

5.2.1 想定する環境

数名から十数名のメンバーから構成されるグループにおける、対面同期での協調作業を支援対象とする。参加者が会議室や教室などの場所に物理的に一ヶ所に集まって議論を行う、カジュアルな形式のディスカッションのような場面を想定している。

その上で一人の登壇者が発表を行うだけではない、インタラクティブな議論に重点を置くディスカッションに着目した。近年特にパネルディスカッションやラウンドテーブル¹などの手法が、様々な分野のシンポジウムやワークショップなどに導入されている。学术界のみならず、自治体・官庁が行うタウンミーティングやパブリックインボルブメント(PI)、NPO・独立行政法人などが行う環境アセスメント会議などに幅広く用いられており、このようなインタラクティブな議論の社会的重要性が高まっている。その際、話者の交代が頻繁に起き、それぞれの話者が持つ資料が次々と提示されたり、時にはあらかじめ予定されていない参加者が発表を行ったりすることもある。

本章では、このようなタイプの議論に参加者が各自のノートPCを持って移動して資料を提示し、発表・発言を行う場面を想定している。協調作業空間に参加者が自分のコンピュータを持ち寄って集まり、その場にプロジェクタやプリンタ、あるいは大画面ディスプレイなどのデジタルデバイスが備え付けられている。参加者の役割は状況に応じて変化したり、内容によって交代したりする。このような対面同期での協調作業の場においては、電子的な情報の共有だけでなく様々なノンバーバルな情報を反映したコラボレーションの支援が必要である。

5.2.2 距離情報と協調作業

対面協調作業の場を支援するにあたり、我々はノンバーバルな情報の一つとして人と人、人とモノとの物理的距離とその変化に着目した。人間は少人数の集団の場、大きな会

¹Round Table(円卓会議)は、ケルト神話の伝説的英雄アーサー王が設けた、王と騎士たちの間に上座下座の区別をしない円形のテーブルが原義とされている。近年では、複数の話者や聴講者との討議を中心とする形式のディスカッションを指す。

議の場、公共の場などの状況に応じて、あるいはコミュニケーションの目的に応じて、無意識のうちにコミュニケーションの相手と適切な距離を保っている。このような、人間が他者との社会的接触を試みる時にとられる物理的距離を対人距離という。Hall.E.Tは対人距離を表5.1に示す4つに分類した[27]。

このような対人距離の概念と対人距離帯の使い分けは、人とモノの間に対しても当てはまると考えられる。人は自分個人の所有物であるノートPCを常に手元に置き(密接距離)、プレゼンテーションを行う話者とその発表資料を投影した画面からはある程度の距離をおく(社会距離)。また、席次の決まっていない会議において近くに座る人物は、仕事上・交友上、近い関係にあるものである可能性が高い(個体距離)。このように、人は経験から人・モノとの間の距離を適切に保とうとするため、距離情報は人と人との関係を認識する上で重要な尺度となり得ると考えられる。

表 5.1: 対人距離の分類

密接距離 (0~ 45cm)	他人の身体と密着している距離
個体距離 (45~ 120cm)	対話や会話の距離
社会距離 (120~ 360cm)	会議, 討議, ビジネスのための距離
公衆距離 (360cm 以上)	講義, 講演, 演説などの距離

既にこれまで、対人距離の概念を協調作業空間に導入し、対面コラボレーションの支援環境である DACS(Distance Aware Collaboration System) の構築を行ってきた[61]。DACSは対面コラボレーションの場を社会距離(120~ 360cm)の範囲と定め、人やモノのその空間内への「進入」と「退出」の検出を行い、ユーザの協調作業システムへの参加をサポートする機能を提供している。

DACSは協調作業空間への接近によって「ユーザの参加意思」を判断しているが、協調作業空間の内部に移動した後のユーザの距離の変化とその意味については考慮しておらず、協調作業空間内の距離情報の変化に基づいたユーザの支援はされていない。

そこで、本章では協調作業空間における距離情報の変化を用いた協調作業支援環境である dDACS(dynamic Distance Aware Collaboration System) を提案する。実空間における距離帯の変化に基づいて、ユーザがその場で必要とする機能やデータを提供することにより、対面協調作業をスムーズに進めることが可能となる。提案概念に基づいて、状況に応じて複数の距離帯を使い分ける対面協調作業の場面を対象としたプロジェクタ利用システムを試作した。

5.3 距離情報を用いたプロジェクタシステムの実装

RFID(Radio Frequency IDentification) システムを利用して実距離の検知を行うプログラムを実装した。また、プロジェクタを協調作業の場で用いるシステムに、距離情報の概念を取り入れた [67]。

インタラクティブな議論に重点を置くディスカッションにおいては、話者の交代が頻繁に起きるとともに、時にはあらかじめ予定されていない参加者が発表を行うこともある。本システムは参加者が各自のノート PC を持って移動して資料を提示し、交代して発表・発言を行う場面を想定している。

プロジェクタの管理と表示画面の分割、クライアントとの通信の部分は DACS で実装したプロジェクタシステム [61] が原型となっているほか、距離帯に応じたサービスを提供する部分の設計と実装を行った。本節ではその実装内容について述べる。

5.3.1 プロジェクタの利用における距離

距離に基づき動的にサービスを提供するシステムとして、プロジェクタシステムを取り扱う。話者の交代が頻繁に起きるタイプのディスカッションにおいて、利用者が各自のノート PC を持って移動して資料を提示し、発表・発言を行う場面を想定している [55]。

プロジェクタによりスクリーンに映し出される画面を中心として、その投影画面に対してユーザが遠くに存在するか、近くに存在するかによって、投影画面ならびに各ユーザに対して異なったサービスを提供するシステムである。プロジェクタシステムを取り上げた理由として、以下の三点が挙げられる。

第一に、議論においてプロジェクタを用いるような場面では距離情報から役割と場のコンテキストを推測しやすいからである。プロジェクタを使用してカジュアルなプレゼンテーションを行う場合、一般的に投影用のスクリーン近くに存在するのは実際に発表を行うユーザである。これは、発表者が投影された資料への指差しを行ったり、聴衆が発表者と投影された資料の両方に視線を向けることができるからである。全員が自分のコンピュータを用いているような場面においても、自分が話者であることを明示して聴衆に向かって発言するために登壇することが考えられる。

スクリーンの大きさや空間の広さにもよるが、画面は後方の参加者からも見える程度の大きさで投影される。このため、最も近い聴衆であってもスクリーンからはある程度の距離を保っている。発表の規模や場面によっては、司会・座長などの発表運営者のほか、発表への関心・関連が高い人や地位の高い人がスクリーンの近くに位置する傾向がある。このようなプレゼンテーションの場に共通な空間的様式を想定して、支援環境を設計した。

第二に、「近い」「遠い」という状況を基に、ユーザに必要なサービスが提供できるからである。ユーザのプロジェクタからの距離に基づき、異なった操作権限を与えることがで

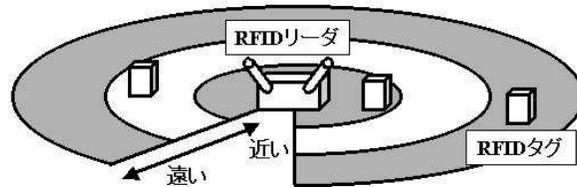


図 5.1: RFID を利用した複数の距離帯の検知

きる。プロジェクタに近接するユーザが所有するコンピュータの画面を投影し、発表者として必要となるサービスを提供する。ある程度離れた距離にいるユーザには、関連資料の配布や質疑におけるカーソル操作権の取得などの聴衆として有用なサービスを与えることが可能である。また、プロジェクタに複数のユーザが近接していることを認識することにより、プロジェクタ画面を分割して共有するなどの使用法も考えられる。

第三に、「近づく」「遠ざかる」などの行動を認識することにより、適切なタイミングでユーザにサービスを提供できるためである。発表者は、プロジェクタに近づくことにより発表者としての権限を得て、プロジェクタ操作に必要なサービスの提供を即座に受けることができる。これにより、話者の交代が頻繁に起きるタイプのディスカッションにおいて発表者の交替をスムーズに行うことが可能となる。

5.3.2 RFID を用いた距離の検知

距離情報に基づいてサービスを提供するために、ユーザと対象との距離を検知する必要がある。そこで本研究では RFID タグとリーダを用いて距離検知を行った。

RFID では個々の物体につけられたアクティブ型のタグが発信する電波をアンテナで受信することにより、ある一定距離内に存在する物体を認識することができる。そこで、このアンテナの感度を一定間隔で変化させることにより、複数の距離帯を周期的に走査し回りのタグとの間の距離を検知した。距離検知の方法を図 5.1 に示す。本プログラムにより、4つの対人距離のいずれに当てはまるかを識別することができる。実装には米国 RF Code 社の Spider を使用し、タグは発信周期が 0.2 秒のものを用いた。

5.3.3 プロジェクタシステムの構成

図 5.2 にプロジェクタシステムの構成を示す。プロジェクタシステムはクライアント PC とプロジェクタサーバで構成される。プロジェクタサーバのディスプレイ出力端子は VGA ケーブルでプロジェクタと接続されており、常にプロジェクタに表示画面が投影される。

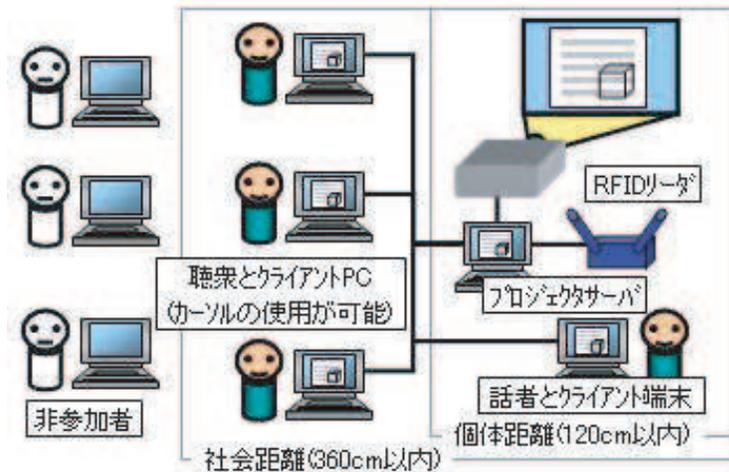


図 5.2: システム構成

プロジェクタサーバにはスクリーン脇に設置されたRFIDリーダがシリアルケーブルで接続されており、ユーザが携行しているRFIDタグと各クライアントPCに貼付されているRFIDタグの検知によって距離の認識を行う。プロジェクタサーバは検知したクライアントPCの接続を受け付け、個体距離の範囲にいるユーザのプレゼンテーション資料を表示する。また、社会距離の範囲にいるユーザに対して、スクリーン上で指示を行うためのカーソルを表示・操作する機能が提供される。

5.3.4 プロジェクタシステムの機能

プロジェクタシステム上で実現した機能として、発表者の資料表示とマウスカーソルの表示がある。

発表者の資料表示機能は、プロジェクタがデータを投影するスクリーンから個体距離の範囲（120cm以内）に近づいたユーザを発表者として認識し、画面の操作権を与える。プロジェクタの画面は最大4つに分割され、複数のユーザが近付いた時には4人までのデータを一度に画面に表示することが可能である。これによりホワイトボードの前で複数の参加者が集まってインタラクションを行うのと同じように、プロジェクタの画面を利用することが可能となる。

マウスカーソル表示機能は、プロジェクタがデータを投影するスクリーンから社会距離の範囲（360cm以内）にいるユーザを聴講者として認識する。発表資料について疑問に思った点や指摘したい箇所があった場合に、画面上でカーソルを表示し発表資料への指差しを行う機能を提供する。

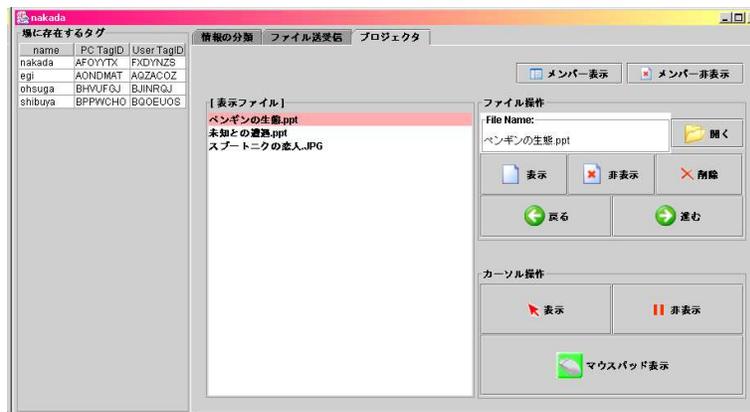


図 5.3: プロジェクタ操作画面

5.3.5 実装画面

プロジェクタシステムの実装画面を示す。図 5.3 はクライアント PC に表示される操作画面である。

ユーザが社会距離の範囲内に検知された時点で、会議への参加とカーソルによる指示の使用が可能となった旨を操作画面上で通知する。個体距離の範囲内と検知されれば、プロジェクタへの資料表示が可能となった旨を操作画面上で通知するとともに、表示候補データとして登録しておいた画像ファイルがあれば、プロジェクタサーバの画面に表示する。候補が複数ある場合は中央のペインに一覧が表示され、ユーザはその中から表示する画像を選択するか、新たに表示したい画像ファイルをリストに追加する。

「画像の表示／非表示」「次の画像に進む／一つ前の画像に戻る」などの操作は画面右側のペインで行い、画像のみがプロジェクタサーバの画面に表示される。「カーソルの表示／非表示」の操作により、自分のカーソルがプロジェクタサーバの画面上に表示され、指さしを行うことができる。

その他に、現在コラボレーションの場に存在するユーザや PC の名称と、表示中か否か、マウスカーソルの利用の有無などの状態が画面左側のペインに示される。

図 5.4 はプロジェクタに 4 人の人間が近付いた際の投影画面である。この図の例では、4 人のユーザに対し 4 分の 1 ずつの画面を提供している。資料を表示しているユーザの氏名と画像ファイルの名称はタイトルバーに示される。

5.4 プロジェクタシステムの評価

本節では評価実験について述べる。複数の距離帯を検出できる環境を整え、実装したプロジェクタシステムを協調作業の場で利用する実験を実施した。実験結果から、距離情報

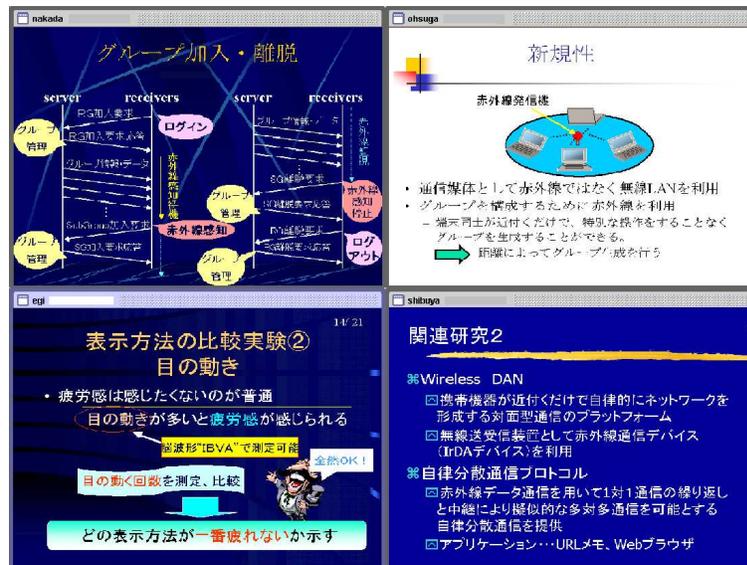


図 5.4: プロジェクタ画面 (4人のユーザが表示)

を用いた協調作業支援手法に関する有用性の評価と考察を行う。

5.4.1 実験の概要

本章では、実空間における物理的な距離に基づいて、ユーザが必要とするサービスを適切なタイミングで提供する手法を検討してきた。距離情報を用いたプロジェクトシステムがユーザの意思や行動を推測し、予測される行為に対して必要な機能を提供できたか、それにより実世界での円滑な議論を妨げずに対面コラボレーションを支援できたか検証する。

このために、プロジェクトシステムを実際の協調作業に用いる実験を行った。被験者は4人で1グループとし、計5グループに対して「人物やモノがたくさん描かれた画像を各自に一枚ずつ配布し、4枚の画像の中から計14個の人やモノを探し出す」というタスクを与え²、対面環境で話し合っ作業を行ってもらった。図 5.5 に使用した画像の一例を示す。この中から「ピンク色のキャミソールを着ている女性」や「シルバーのアタッシュケース」のような大小さまざまな人物やモノを探索対象として指定した。

実際のプレゼンテーションにおけるディスカッションのように、話者の交代が頻繁に生じるよう、以下のような条件を定めた。この条件により、被験者は一枚の画像をずっと見つづけることなく、短時間で画面を切り替えて探す必要がある。

²いわゆる「ウォーリーを探せ (Martin Handford: *Where's Wally?*, Walker Books (1987).)」のゲームの形式である。



図 5.5: 実験に使用した画像の一例

- 個人の PC では画像を見てはいけない
- 画像の表示にはプロジェクタを利用する
- 制限時間は4分とする
- 1枚の画像に指定されているオブジェクトを全て探してから次の画像に移るのではなく、4枚の画像からなるべくたくさんの人やモノを探す
- オブジェクトを発見した場合は全てのユーザに分かるように説明する

このタスクについて、今回実装したプロジェクタシステムを用いた場合と、従来のケーブルを繋ぎ替えてプロジェクタを利用した場合、ならびにディスプレイ切り替え器を利用した場合の三つの方法で実験を行った。以下にそれぞれの状況設定について述べる。

プロジェクタシステムを利用する場合 ユーザおよびユーザのクライアント PC に RFID タグをつけておく。ユーザがクライアント PC を持ってスクリーンへ接近し、個体距離の範囲に入ったことをシステムが検出すると、当該ユーザの画像を表示する。これにより、ユーザがスクリーンに近付くことにより画像が表示され、スクリーンから離れる则表示は消える。ユーザが携行する RFID タグと、ノートパソコンに貼付された RFID タグの組み合わせは予め登録しておく。画像を提示していないその他のユーザは社会距離の範囲にいるため、自分のクライアント PC からマウスカーソ

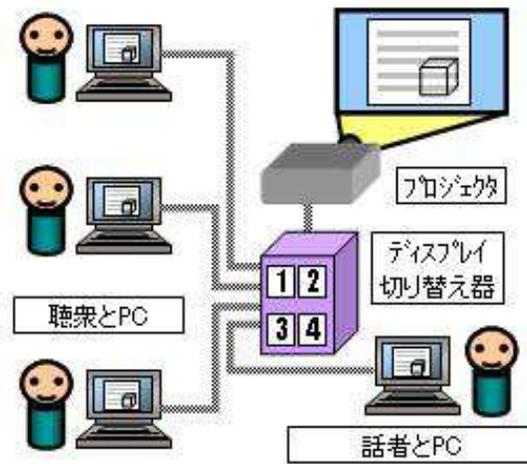


図 5.6: 切り替え器を用いた場合のハードウェア構成

ルの表示を行うことができる。画像を表示するメンバの交代はユーザ同士が口頭で調整して決めるものとした上で、全員で探してもらう。複数のメンバが同時に画面に近づくことにより、複数枚の画像を見比べて同時に探すことも可能である。

ケーブルを繋ぎ替える場合 プレゼンテーション用のソフトウェアとして、日頃から被験者が使用している Microsoft 社の Microsoft PowerPoint を使用する。ユーザが画像を表示する場合、クライアント PC をプロジェクタの外部入力ケーブルで接続する。発表者の交代は、プロジェクタのケーブルを差し替えることにより行うものとする。プロジェクタシステムの場合と同様に画像を表示する順番などはグループ内で口頭で調整するものとする。

ディスプレイ切り替え器を利用する場合 ディスプレイケーブルを人数分用意し、該当する系統をボタンで選択し切り替えるタイプの切り替え器をプロジェクタ横に設置する。あらかじめディスプレイケーブルは全員のノートパソコンに接続しておき、発表者が交代する際に、ディスプレイ切り替え器のボタンを押して自分の画面に切り替える。このため、ケーブルを手動で接続しなおす時間を必要としない。それ以外の条件はケーブルを繋ぎ替える方式と同一である。図 5.6 にディスプレイ切り替え器を利用する場合のハードウェア構成を示す。

5.4.2 評価項目

今回の実験でユーザが探すオブジェクトとして、短時間で見つけやすい大きさのものと、小さく見つけにくいものを用意した。そのため、短時間で一枚の画像から全てのオブ

表 5.2: 交代にかかった時間と発見個数

実験グループ	プロジェクタシステム			ケーブル繋ぎ替え			ディスプレイ切り替え器		
	合計 交代 回数	平均 交代 時間	合計 発見 個数	合計 交代 回数	平均 交代 時間	合計 発見 個数	合計 交代 回数	平均 交代 時間	合計 発見 個数
A	5回	5.3秒	10個	4回	21.7秒	9個	5回	8.2秒	10個
B	5回	5.3秒	11個	5回	25.7秒	10個	5回	10.5秒	12個
C	6回	4.9秒	12個	3回	17.5秒	8個	4回	9.2秒	12個
D	6回	5.3秒	12個	3回	22.8秒	8個	5回	11.3秒	11個
E	6回	5.7秒	11個	3回	26.0秒	7個	5回	12.4秒	9個
平均	5.6回	5.3秒	11.2個	3.4回	22.7秒	8.4個	4.8回	10.3秒	10.8個

ジェクトを探すことは困難であり、4枚の画像から見つけやすいものを選んで切り替える必要がある。

話者の交代が起こった回数を計数するとともに、交代にかかった時間を計測して提案システムと従来方式の比較を行う。交代が頻繁に発生するような状況において、従来方式に比べてスムーズにプロジェクタを利用することができたか評価する。本実験における交代にかかる時間は「前のユーザが発表を終えてから、次のユーザが自分の情報を表示するまでの時間」と定義する。さらに、距離による支援がユーザの振る舞いに与えた影響を調べるため、実験の様子をビデオカメラで撮影し分析を行う。

5.5 実験結果と考察

プロジェクタシステムを利用した評価実験の結果および、作業の様子を撮影したビデオの分析を行い、本実験の結果について考察する。表 5.2 に各グループが交代した回数の合計、交代に要した時間の平均ならびに発見したオブジェクトの合計個数を示す。

本実験の結果から、協調作業の場において複数のユーザの距離情報を用いたプロジェクタの活用手法の有用性が明らかになった。

5.5.1 発表者の交代に要した時間

プロジェクタを用いて与えられたタスクに取り組む評価実験を行ったところ、一回あたりの交代にかかった時間の全グループ平均は提案システムで 5.3 秒、ケーブル繋ぎ替え方式で 22.7 秒、ディスプレイ切り替え器を用いて 10.3 秒であった。提案システムを用いた場合、次のユーザが交代して画像を表示するためには、情報の表示が終わった発表者がスクリーンから離れ、表示させたいユーザが近付くという手順だけで済む。

ディスプレイ切り替え器を用いた場合は、ケーブルの繋ぎかえと比べて交代時間はやや短縮されたが、本研究が提案したプロジェクタシステムよりも短くはならなかった。その原因として、切り替えのインタフェースに実空間における席の配置が反映されておらず直

感的ではないという点が挙げられる。一般的に切り替え器では自分に相当する番号等のボタンを押す必要があるが、自分の画面出力に切り替える際に手間取る被験者が見られた。

距離情報を用いることにより、プロジェクタの個体距離に入ったユーザを検知し、そのユーザに「自分の情報を表示するために、前に出て発表する」という意思があると判断した。その結果、画面を表示したいユーザが前に出るだけでよいため、交代する発表者が協調作業を妨げず、人が入れ替わる程度の時間でスムーズかつ迅速に交代することが可能となった。

手間や交代時間などの交代コストの削減によりインタラクティブな議論の活性化が期待され、実験結果から実空間における距離帯が対面コラボレーションにおいて有用な場面を示すことができた。

5.5.2 発表者の交代回数

発表者の交代が起こった回数の全グループ平均は提案システムで5.6回、ケーブル繋ぎ替え方式で3.4回、ディスプレイ切り替え器を用いて4.8回であった。本研究は対面コラボレーションにおいて話者が頻繁に交代する、インタラクティブな議論に重点を置く場面を想定した。話者交代の敷居を下げ、頻繁に交代が行われるようになれば、議論の活性化を促すことができたと考えられる。そのような前提で、複数の画像を見てより多くのオブジェクトを探し出すことを目的とする実験を行った。

交代回数が多かった距離帯を用いたプロジェクタシステムは、発表者の交代にかかる手間と時間の軽減を実現し、交代を頻繁に行いつつ作業することを可能にしたと言える。今回はタスクとして与えた画像が比較的細かいものだったため、複数のユーザが同時に画面に近付き、画像を分割して表示するなどの利用はあまり見られなかった。

5.5.3 成績とユーザの行動分析

ユーザが今回のタスクによって発見したオブジェクトの個数は、グループの平均で提案システムでは11.2個、ケーブル繋ぎ替え方式で8.4個、ディスプレイ切り替え器を用いて10.8個であった。これは、提案システムを利用した場合の方が画面のスムーズな切り替えを通じてより多くのオブジェクトを発見することができたためと考えられる。

ビデオの分析からオブジェクトの探し方を比較したところ、提案システムとディスプレイ切り替え器の場合ではどのグループでも見つけやすいものを先に探し、最後に余った時間で一度表示させた画像の中から見つけやすいものに戻って探すなどの方法がとられていた。一方、ケーブルを繋ぎ替える方式では、提案システムと同様の手順ではじめは行おうとするものの、端末の繋ぎ替えや情報の表示に時間がかかることが分かると、残り時間が短くなるにつれ一つの画像を長く見て探す傾向が見られた。

このことから、提案システムの方が発表者が頻繁に交代して情報を表示したいという対面コラボレーションの場面に適していると考えられる。

5.5.4 距離帯を用いた協調作業の支援

ビデオの分析から、表 5.3 に被験者がオブジェクトを発見した際、どのようにして他のユーザに伝えたかを示す。同時に複数のユーザが発見した場合はそれぞれについて計数している。

表 5.3: 発見したオブジェクトの説明方法 (複数回答)

	プロジェクタ システム	ケーブル 繋ぎ替え	ディスプレイ 切り替え器
マウスカーソル	27.2%	-	-
指差し	71.4%	90.5%	88.6%
口頭のみ	8.5%	14.3%	11.4%

今回の実験においては、与えられた画像の中から全員でオブジェクトを探し出し、発見したオブジェクトを他のメンバに説明することを課した。口頭では画像のどの部分なのか的確に述べるのが困難なため、発見したオブジェクトを口頭のみで説明したユーザは提案システム・従来方式ともに少なかった。

従来方式では後方にいるメンバが発見した場合、最初は口頭だけで説明しようとしたが他のメンバに伝わらないためにスクリーンに近付いて指差したり、他の作業しているメンバが説明を補完するように指差したりするなどのケースが見られた。

一方、提案システムでは、27.2%のユーザがマウスカーソルを利用して説明していた。スクリーンから離れたところにいるユーザは前方に移動しなくても、口頭で話しつつマウスカーソルで対象を指して説明することが可能であったためと考えられる。これにより、従来方式と比べてスクリーンから離れた社会距離にいるユーザの作業を支援できたと言える。

しかしながら、人の手による指さし動作と口頭のみでの指摘を行う被験者が少なくないという結果となった。今後マウスカーソルを利用した説明を促すためには、指さし箇所に関する口頭での確認などの煩雑さを解消する機能の実現、ならびに従来の人の手による指さしでは実現できない機能の追加などが必要である。

例えば、複数のユーザが同時に指さしを行う場面において、会議の参加者がカーソルと話者を正しく組み合わせて認識するための認知的負荷は大きいと、カーソルのカラーや

形状をユーザ毎に指定するなどの手法が必要となる [16]. 一方, 人の手による指さしで実現できない機能として, スライドへのマーキングやアノテーションの付加などが考えられる. この場合も, 複数ユーザによる資料への書き込みによる混乱を防ぐために, ユーザ毎の書き込みの識別や権限付与などを検討する必要がある. これらの機能を追加することにより, カーソル表示機能を積極的に用いた指示行為を促すことができると考えられる.

5.6 まとめ

本章では, 対面協調作業の場に存在する人やモノの間の物理的距離を認識し, 距離情報と距離の変化に基づいて必要なサービスを提供する協調作業支援環境である dDACS の提案を行った.

提案概念に基づく実装として, 距離情報を導入したプロジェクタ利用支援システムを試作した. プロジェクタを用いたディスカッションに着目した理由は, 代表的かつ社会的重要性が高い対面コラボレーションのケースであり, 人やモノの間の距離から場のコンテキストを判断する手法が最もよく生きる場面であると考えたからである. 対面協調作業の場を想定し, 被験者が共同で課題に取り組む実験による評価を行った結果, 実空間の距離情報をもとにその場で必要となる機能やデータを提供することにより, 協調作業の場において作業の流れを阻害せずに対面協調作業がスムーズに行えることが明らかになった.

実空間コラボレーションにおいて支援対象とされる活動は多岐に渡るため, プロジェクタを用いるシーン以外にも実際の協調作業の場での運用を行うことが今後の課題である. その上で, システムの使いやすさや有効性の検討を続け, 人やモノの間の距離とその変化などの情報を実空間コラボレーション支援に生かす手法の確立を目指してゆく.

第6章 協同記録作成を基にした対面議論 への参加支援

6.1 はじめに

本章では、対面同期環境における議論の支援を対象とし、メンバーの参加を促進する方法として記録作成モデルの提案を行う。

本研究は、次の二つの点に着目している。第一点は、携帯型端末の利用が日常化していることである。参加者が同じ場所に集まり活動を行う対面同期型の会議の支援は、CSCW(Computer Supported Cooperative Work)の一領域として1980年代より盛んである。しかし近年になって、以前は想定していなかった対面議論の場面が生じてきた。端末の小型化とネットワーク化によって、利用者がいつでも端末を持ち歩き、ネットワークにつないで利用できるようになってきており、それが活動のあらゆる場面に浸透してきている。これらの動向は近年ユビキタスコンピューティングして注目されている [56]。この結果、手続きやルールが決まっているフォーマルな会議の場だけでなく、日常的なインフォーマルな議論の場でも、ネットワーク化された端末を利用できるようになってきた。そこで、事前に周到な準備を行うような会議ではなく、携帯型端末を持っている利用者がその延長線上でミーティングでもその環境を活用するような場面を想定する。

第二点は、議論の参加者の「参加」とは何であるかを見直したことである。後に議論するように、さまざまな理由により参加者の発言数は均一ではなく、一部の参加者に偏るのが一般的である。しかし、発言を行っていない参加者も、議論の流れを理解したり分析したりしているという意味では参加しており、それをフィードバックする場が得にくいため表面上参加の状況がわかりにくくなっている。そこで、従来の議論の場面では発言する機会を得にくい消極的参加者に着目し、発言者と消極的参加者の間での相互作用を起こし、発言とは違う形で貢献をしたり、議論のグループ全体の状況を把握しやすくしたりすることを狙う。

その上で、対面会議に協同記録作成を導入した議論の手法を提案する。提案手法を実現するために必要な協同記録作成ツールを新たに設計・実装し、提案モデルの有用性に関して検討を加えた。

以下、まず6.2節で対象とする協調作業環境と目的について詳述する。6.3節で本章で提案する協同記録作成による議論参加支援モデルについて述べる。6.4節において、協同記録作成ツールの設計と実装について説明する。6.5節で実際の議論への適用と、そこから明らかになった事項を検討し、6.6節でまとめる。

6.2 対面議論における協同記録作成

6.2.1 対象とする協調作業

参加者が物理的に一ヶ所に集まって議論を行う対面同期での協調作業を取り扱い、数名のメンバーで構成されるグループを対象とする。参加者が固定的な役割を持たない、日常的に開催されるインフォーマルな議論にフォーカスを当てる。

本研究で前提とする環境は、参加者が自分のコンピュータを持ち寄った「集まったその場での協同作業 [44]」とする。プロジェクタや専用ホワイトボードなどの据付形のデバイスを置いた特定の会議室を必要とせず、突然インフォーマルなディスカッションを開催するような場合においても、無線で結ばれたノート型のコンピュータがあれば会議環境を構築することができる。我々は実会議の分析 [45] などに基づき、会議の現況に即した環境の構築を目標とし、必要なアプリケーションの設計を行う。

6.2.2 対面会議への参加

本研究が想定する「参加」は、発言だけではなく、議論を追って理解すること、理解の状況をグループ内で共有することなどをはじめ、参加者が議論の深化に貢献する活動全般を含む。

実際の議論の場面においては、発言を阻害する様々な要因があり、全参加者が均一に発言する機会を持つことは難しい。会議中発言しない消極的参加者の存在とそのパターンについて分析し、インタラクションの支援を行う必要がある。参加を阻害する要因としては、参加者間での議論の内容理解に齟齬があること、理解に必要な背景となる知識が十分でないこと、グループの組織構造や議論の進め方などから発話者が偏ってしまうこと等の点が挙げられる。仮に全てのメンバーが情報を持ち寄って交換するという互恵的なミーティングであれば、全員が等しく発言する機会が持てることも考えられる。しかし、実際には背景となる知識や経験などが異なっているため、それぞれの参加者の内容理解に差が生じ、理解しているかどうか判らないまま会議が進行することが起きる。また、グループの社会的構造や議論の進め方、参加期間の差などから、上位の立場にある者に発話者が偏り、下位の立場の者はそれを遮って発言しなければならなくなったりする。その結果、発言を躊躇してしまうなど、主体的に議論に参加するための障壁となっている。

参加者の持つ力を十分に引き出して継続的な活動を続けていくには、集団の構造、ヒエラルキーの有無、前提とする参加者のリテラシー、集団の目的、議論の方法などのさまざまなグループの特性を乗り越えて、毎回の議論で参加者個人が持っている情報や見解を共有し、グループでの活動を理解しているか確認し、促進していく必要がある。

6.3 協同記録作成モデル

そこで、対面同期環境における議論支援のために、参加者が協調して内容に関する共同記録作成を行うモデルを提案する。

6.3.1 従来の記録作成手法の問題点

グループでのコミュニケーション環境を構築するにあたり、議論の記録を作成するという行為に着目する。会議で話し合われている内容を文字で記録に書き落とすことによって情報が吟味され、内容の理解や参加者の意識共有、活動に関する発想に役立てることができる。議論の記録を作成する場合、大きく分けて以下の二つの方針で作成することが考えられる。

- 再現型

速記的に発話の内容を忠実に文字化し、状況を再現する方針で取る。どのような話しの流れで結論に至ったか、会議の様子を把握することができる。しかし、記録として膨大になり整理されていないため、読解に手間を要する。

- 要約型

議事録のように会議での決定事項、大まかな議論の流れや論点のみを簡潔に記すものである。決定事項が簡潔にわかり、参照が容易である。だが、却下された意見やインフォーマルコミュニケーション、関連付帯事項が記録から抜け落ちる可能性がある。

また、記録を作成する目的とその使い方は、会議中と会議終了後で異なる。

- 会議中に参照する場合

参加者の内容の理解と、議論の場の活性化をはかる。現在議論している事項について、意思疎通に関する齟齬がないか確認する。

- 会議終了後に参照する場合

議論の概要を振り返るために参照し、議論の内容を踏まえて活動を展開するために必要である。

記録の作成は、データの編集や共有、検索や再利用等の点で利便性が高い反面、記録作成者は発話に絶えず注意する必要があるために負荷が高い。記録者は会議の間議事録を作成するのに専念せざるを得ないため、議論への積極的参加は困難である。

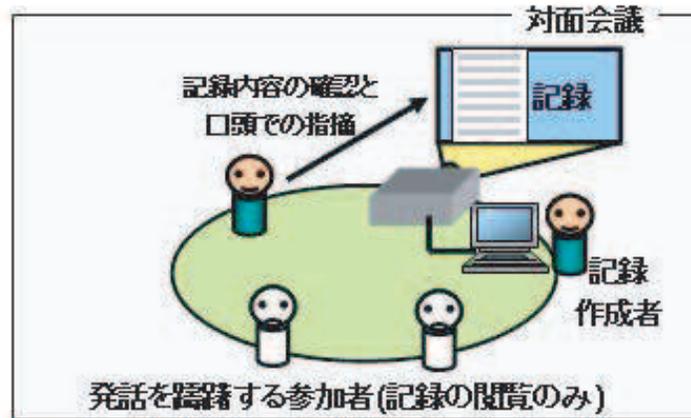


図 6.1: プロジェクタを用いた記録作成

また、記録者の能力や知識によっては、必要な情報の欠落が起きる可能性がある。これは、議論がしばしば過去の会議や関連する知識などの理解を前提としたものとなり、記録の内容が記録者の経験、知識、共有しているべき情報に左右されるからである。同様の理由により、記録の作成を専門とする外部の者を置くのは、特に細かいインフォーマルなディスカッションの場合現実的ではない。

担当者が会議中にどのような記録を作成しているかは見えず、後から回覧する際に初めて内容が明らかになる。会議中に参照するためには、ホワイトボードを用いて別途記録を作成するというのが一般的だが、記録担当者のコンピュータの画面をプロジェクタで投影することによって、その場で作成した記録を見ることもできる。この場合、記録に対する訂正や補足を口頭で行うことによって、より精度の高い記録を作成することができるが、記録の整理をするために話をさえぎる必要がある。また、それにより議論の流れが分断されてしまう、会議の時間が長くなる等の問題が生ずる。プロジェクタを用いた場合の記録作成の例を図 6.1 に示す。

6.3.2 協同記録作成モデルに基づいた議論

本章で提案するモデルに基づいた会議の流れを示す。本モデルではまず、議論の参加者は各自が用いているコンピュータを持ち寄り、ネットワークに接続し、互いに通信できる状態にあることを前提とする。その上で、すべての参加者でひとつの文書ファイルを参照し、同時に編集して会議の記録を作成する。ユーザは手元のコンピュータから専用の記録作成エディタを用いて、編集を行う。

議論の内容について、話者とは別の参加者が内容をまとめた記録を作成する。話者な

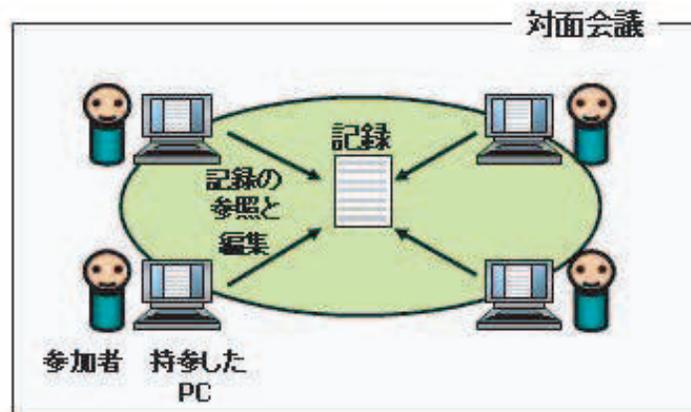


図 6.2: 協同記録作成に基づいた議論

らびに他の参加者は、現在の議論または終わった議論に関して、記録に対して資料へのポイントなどの補足や、発言と異なる点があれば訂正を行う。今後の議題について先に整理を行うことも可能である。話者が交代した際は記録者についても交代し、会議を進めていく。この時、例えばいくつかの候補となる項目を挙げ一つの事項を選択する等の場面では、ホワイトボードを用いる場面のように項目と相違点などを書き出す。決定後に、議論の細かい経緯などの不要な項目を削除し、決定事項のみを記録に残す。文書の編集履歴については後ほど参照できるため、議論の経緯で削除された項目についても参照することができる。文書はテキストの形式をとり、特定の議事録様式に沿うものではないため自由に編集することができる。

このようにして一つの記録文書を使いながら会議を進めていき、参加者は議論が終了した時点での議事録と各ユーザの編集行動に関するデータを持ち帰る。後ほど議事録を読み返したり、記録の編集履歴を参照して議論の推移を振り返ることが可能である。

協同記録作成のモデルを図 6.2 に示す。

6.3.3 協同記録作成の重要性

従来の記録作成手法では議論への参加支援は不十分であり、「同時に記録を書くこと」が重要であると考えた。

各参加者が手元から記録をリアルタイムに閲覧したり、補足情報を追記したりできる環境を用意し、協同で一つの記録を作成する。これにより、記録作成の負荷を分散し、常に役割が動的に変化するディスカッションにおいて [45] 参加機会を均等に行うことができる。

また、議論の内容を整理して示すことによって、内容が十分理解できていない参加者が

現在の議論の状況を理解したり、不明な点の補足情報を得たりすることが可能となる。加えて、議論の内容を記録として文章化する段階で記録作成者の理解が正しいかが示されるため、理解の程度や誤りの有無について周囲の参加者が把握でき、記録作成者が間違っ理解していた場合は、必要に応じて訂正したり改めて検討しなおしたりすることができる。これにより、記録の作成者を支援することができる。

記録作成による参加方式により、話されている内容に対する理解度に偏りが生じにくくなるだけでなく、各参加者が議論に参加する敷居を下げるができる。また、集団の構造的に下位の立場にある参加者が、記録の作成を通じて上位の立場にある人たちの議論に自分の理解の範囲で参加できたりと、各参加者の役割を固定するのではなく、動的かつ柔軟に役割を交代できることによって参加の機会を広げることができる。と考える。

この場合の記録は話者の発言を阻害せず [38]、その場の議論に即時的に活用され、議論を補助する二次的なメディアとしての役割を果たすことができる。

6.4 協同記録作成ツールの設計と実装

以上のような要件に基づき、対面同期環境における議事録を作成するための共有エディタである EGITool (Evolutional Group Intelligence Tool) の設計と実装を行った。EGITool はエディタとしての基本的な機能を提供する。それぞれのユーザは共有する文書に対し、自由にスクロールし、任意の部分に記入、削除などを行えるものとする。同時に同じ部分を編集しようとする際に生じる作業の同期に関する問題を解決するため、操作の排他制御を行う。また、EGITool では各ユーザが自然にエディタとして利用できることを前提としているため、各ユーザの表示画面は同期させないものとする。この場合、他人の作業部分が自分の表示画面の範囲を外れ、編集作業を認識できなくなる可能性が生じる。これを解決するため、アウェアネスに関する機能を提供した。

本システムは参加者が持ち寄った PC のうち一台をサーバとし、残りの PC をクライアントとして構成される。編集する、カーソルを移動する等の全てのユーザの動作は、サーバを介して他のクライアントに通知する。また、同時に編集の衝突を検出する役割を負う。ユーザの操作を通知する通信の流れは図 6.3 の通りである。

6.4.1 テキスト共同編集における排他制御

共同編集を実現するためには、一つの文書を同時に編集する際の排他制御の問題がある。従来の対面会議支援システムでは、文書全体または特定の部分に対して一人のユーザが操作権を取得して編集を行うというものが多い。その際、各参加者に議論への参加を促すためには、ユーザが記録の編集を行う際に手続きが必要であったり、編集を始めるまで

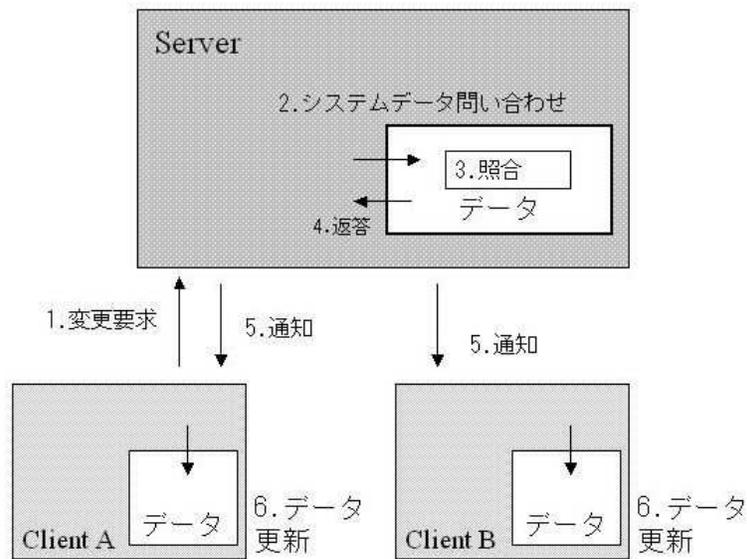


図 6.3: ユーザの操作の通知

の操作に時間を要したり、編集を拒まれたりするようなデザインは好ましくない。他者に対して編集の意思を通知して操作権を取得する方式は、議論を遮るため突然話を切り出すような場面と似ており、編集への参加上の障壁となる [94]。

このため、排他制御を行う単位をできるだけ小さくしたり、操作権を得るための特別な手続きを用いず並行して編集できるなど、参加者が手元から自由に記録編集に参加できるようなデザインを検討する必要がある。同様のツールである ShrEdit においても、複数のユーザが共有するウィンドウに対してそれぞれ編集したい範囲を選択して編集する等の方式で排他制御を行っている。

本ツールではできるだけ編集への参加を妨げないために、ユーザのカーソルから自動的に判定する行単位での排他制御を行った。ユーザがカーソルを移動すると、カーソルを置いた行が自動的にロックされる。他の利用者は同じ行にカーソルを置くことはできるが、先にカーソルを置いたユーザのロックが有効であり、その行の内容を書き換えることはできない。ShrEdit は排他制御において他のユーザのカーソルを表示していないため、衝突した場合は警告音とポップアップメッセージで通知している。一方、本システムでは全てのクライアントのカーソルの位置をサーバ経由で全員に通知する。このため、ユーザの追加操作なしで編集の意思を他者に伝え、未然に衝突を避けることができる。

また、カーソルが一定時間移動しなかった場合は、発話中または熟考中と判断して当該ユーザのロックを無効とし、何らかの理由で端末操作が放棄された場合でも編集不能にならないよう配慮した。また、一時的に席を立つ場合などを想定し、ユーザの操作により自分のウィンドウを記録の閲覧のみに切り替え、ロックを放棄するモードを用意した。

6.4.2 他者に関するアウェアネスの機能

参加への障壁として大きな問題となるのが、議論に参加している相手がコンピュータ上で何をしているか知ることが難しいという、アウェアネス情報の欠如である。遠隔同期環境または非同期環境における協調作業のみならず、対面であっても他の参加者の振る舞いを認知するのは難しい。多くのホワイトボード系のツールでは、各ユーザの端末に表示される領域を同じとすることでこの問題を解決しているが、EGITool の場合、各ユーザが文書の同じ部分を閲覧しているとは限らないため、この問題は大きくなる。

記録作成ツールの積極的利用を促すためには、他者の状況を認知するアウェアネスに関する問題の解決が重要である。相手が「参加」しているか [34]、どのような編集行動を行おうとしているかを認識するため、記録作成ツール上での他者の挙動を認知するための機能を用意した。この機能は、大きく分けてユーザ情報表示機能と文書編集状況アウェアネス機能の二つからなる。

ユーザ情報表示機能では、参加しているユーザの名前と属性の一覧と、現在の議論についての記録作成を担当している「プライマリ記録者」の情報を示した。EGITool では、特定の記録者が最初から最後まで継続して記録を担当するのではなく、話者の交代と連動して記録者も交代する。また、自分が発言したい場合には適切な後継のプライマリ記録者を指名し、以後の記録は指名された者が担当する。ShrEdit などのツールは会議における参加者の役割を特定せず、誰が編集するかは口頭での調整に委ねている。本ツールでは、少なくとも一名が議論の内容を記録し、かつ議論を妨げずスムーズに交代するために、各ユーザの画面上に表示することとした。役割によって作業できる権限が異なる Quilt などとは異なり、プライマリ記録者は編集上の排他制御などには影響しない。

文書編集状況アウェアネス機能では、他者のカーソルや、他者による直近の修正部分をユーザ毎に特定の色で示した。さらに、削除された記述や、記録の記入者を確認するために、各ユーザの編集履歴を遡って参照する機能を付加した。ShrEdit では他者のカーソルが表示されなかったため、他者のカーソル及び編集領域の追跡機能が備えられていた。しかし、この機能は ShrEdit の評価実験ではほとんど使われず、被験者は口頭で相手のカーソルの位置を確認して自分のカーソルを移動させていた。インターフェイスが洗練されていなかったためと Dourish らは指摘しているが、他者のアウェアネス情報を取得するために追加の操作が必要であった点も原因と考えられる。

ロックの情報やカーソル位置の表示は重要であり、状況を継続的に提示しつつ変化を色やフォントなどを変えて通知する等の方法が必要である。また、他者のステータスを認識することによって、複数の記入者が競合したり、議論が進行しているにも関わらず記入者がいない等の状況を防ぐことができる。



図 6.4: 記録作成ツールの画面

6.4.3 実装

設計に基づいてテキスト型の議事録作成を協同で行うシステムを検討し、EGIToolの実装を行った [13].

プログラムはMicrosoft Windows95以降 + Winsock1.1で動作するサーバ・クライアント機能を持つ協調エディタであり、開発にはMicrosoft Visual C++ 6.0を用いた。スクリーンショットを図6.4に示す。ツールバーやステータスバーなどの画面構成はWindowsの標準的なタイプであり、中央に議事録を作成するためのテキスト編集用のウィンドウがある。各クライアントが接続を確立した後、ここで一つの記録に対して各ユーザが同時に編集を行う。右側には現在会議に参加しているユーザの一覧が表示されており、画面下部には現在のカーソル行番号や文書の総行数、ユーザのステータス変更等のシステムメッセージが表示される。

6.5 対面議論への導入

本節では、議事録の協同作成ツールを実際の議論に導入した結果から生じた結果について述べる。併せて、協同作成ツールによって議論への積極的参加が支援されたか、そのために排他制御やアウェアネス等の機能が参加の障壁を下げたかという二点を検証する。



図 6.5: 実験風景

6.5.1 実験の概要

ノート型のコンピュータを所持し、日常的にコンピュータを研究活動に利用している学部生8名と大学院生（修士）1名を被験者とし、3名ずつの各3グループで議論を行った。予め用意された問題解決型ならびにブレインストーミング型の議題に関して、本ツールを用いつつ議論を行い、その後自分を含む参加者全員の貢献度ならびにアプリケーションの利用に関する質問紙に回答してもらった。実験の概要を表6.1に、議論の様子を図6.5にそれぞれ示す。ポストアンケートと本ツールの編集履歴の分析、議論の推移とツールの利用に関する参与観察をもとに分析を行った。

表 6.1: 議論の実施概要

被験者数	9名(男6名,女3名)
課題 問題解決型 (15分)	「民族紛争問題」という言葉について、その意味する概略を小学生にわかる程度の平易な言葉で簡潔に説明する文章を作成する。
課題2 ブレイン ストーミング型 (15分)	本ツールは対面での議論支援を目的としている。少人数での議論に本ツールを導入する際のメリットや障壁について議論する。

議論の後に提出してもらったツール上での編集文書は最短で5行、最長で31行であった。また、全グループでの平均文書行数は課題1が12行、課題2が23行であった。15分

の議論のうち、いずれかの参加者がカーソルの移動等も含めて本ツール上で操作を行ったのは最短で6分23秒、最長で10分12秒であった。また、全グループでの平均編集時間は課題1が8分43秒、課題2が9分22秒であった。

実験において、他者が編集した議事録の記述に関する意図を口頭で問う等の場面が度々見られた。議事録の確認を通じて理解の齟齬の解消につながったり、そこから突っ込んだ議論に展開するなど、協同記録作成ツールによって議論における発言を促す機会が提供されたと言える。また「プライマリ記録者」に関する機能は一部のグループでしか使われなかったが、使用したユーザからは記録者が発言を行おうとする際に円滑に交代できたというコメントが得られた。

6.5.2 議論と記録作成の並行

しかしながら、15分の議論の中で本ツールが十分に用いられたとはいえない。これは提案した手法が議論と記録作成を全参加者に求めたため、認知的な負荷が高く、議論の最中に間があいたり、議論を進めるのに時間を要したためである。

いずれの議論も記録作成が特定の参加者に偏ったということは見られず、一人が書き続けるのではなく協同して議事録の作成が行われた。このため、一人が終始議論の内容を記録する従来の方式と比べて負荷を分散し、参加者に対して均一に発言の機会を提供しつつ議事録を作成することができたと言える。しかしながら、協同ではあるが議論を聞いて記録を作成することと、共同で編集した議事録を参照しつつ発言することが全ての参加者に課されたため、本提案による会議手法の方が高い認知的負荷をかけるものとなった。

議事録の記述を前提として発言を行う際に、該当部分に他者の編集が加えられることによって発言者が混乱したり、記録者の記述意図を確認したりする等の場面がみられた。発言を聞き議事録を作成する、議事録を参照しつつ発言するという行動を交代しつつ会議を円滑に進めるためには、このような議論と記録を並行する時の認知負荷の軽減を考える必要がある。今後の課題として、協同編集ツールに認知負荷軽減に関する対処を盛り込むことが挙げられる。また、参加者にとって高度な内容の議論における議事録を作成するよう促すことによって、逆に参加の敷居が上がる可能性がある。その場合、プライマリ記録者を指名する機能を用いることによって記録を作成する義務を課すことはできるが、その効果については検証を行う必要がある。

また、日常的に議論への参加と議事録の読み書きを同時に行う機会がないため、継続して議論に用いて議論と記録の作成を並行するという形式に慣れ、議論の中で生かすためのスキルを習得する必要がある。現段階ではこのようなスキルを身につけた被験者を十分に養成できていないため、他の手法との比較実験による優位性については検証できなかった。このため、今後本手法に基づいた議論を重ねた被験者による評価実験を行う予定である。

6.5.3 排他制御とアウェアネスに関する結果

排他制御に関しては、ツール上での他者の挙動を認知するアウェアネスの機能により、カーソルの位置から他のユーザが注目して編集しようとしている箇所を判断でき、衝突せず円滑な記入ができた。また、画面上で他者のカーソルが置かれている行はロックされていると判断できることから、ユーザは記入の意図を阻害されることは少なかった。併せて、他のユーザによる直近の編集箇所を表示したことにより、他者によって編集された内容について認識することができたというコメントが得られた。

一方、アウェアネスについては設計時の予想を超えて必要性が認められた。対面環境にあるので他の参加者が発言中か、思考中か、それとも記録の入力中であるかはある程度認知できる。しかしながら、他のユーザに記録入力的心思があるか等の点までは判断できなかった。このため、相手が議事録の入力を行おうとしていると判断して、発言を一時停止する場面が度々見られた。

議論の場面にノート型コンピュータを持ち込むとディスプレイ越しの会話となり、相手から手元が見えず怠業が容易であるという点も問題となる。また、視線が目のディスプレイに向かうため、参加者が操作に熱中して会議にならない可能性も指摘されている [34]。これらも含め、より細かい動作に関するアウェアネスの取得と提示方法は今後の検討課題である。ShrEdit の他者の編集を追跡する機能のように、ユーザに対して追加操作を要する場合は使用されない可能性がある。この点を考慮した上で設計を行う必要がある。

6.6 まとめ

本章では、対面同期環境においてメンバーの参加を促進するため、記録作成モデルの提案を行った。複数のユーザが同時に文書を編集できるソフトウェアを議論に導入し、参加者が内容に関する記録作成に参加できる環境の構築を行った。評価実験から、議論への参加を促すために提案した機能に関する検証を行った。

議論への参加支援手法として協同記録作成ツールを用いる際には、ツール上での他者の挙動を認知する個々のアウェアネスに関連する機能が参加支援と直接結びつくため、各機能の持つアウェアネスの提示に関して深く吟味する必要がある。また、議論と記録の作成を並行する際に生じる認知的な負荷が明らかになった。

今後は、本ツールで議論を重ねた被験者による評価実験を行い、定量的なデータを取って検証を行う。また、アウェアネス機能に関する検証、記録の取り方に関する検討、認知的負荷に関する問題の検討を行う予定である。

第7章 結論

本研究は参加者が物理的作業空間を共有してコミュニケーションを行う実空間での協調作業を取り扱い、オフィスや研究室におけるグループなどの実践的コラボレーションに従事するグループを支援対象とした。

会議室など人が集まる場にはコンピュータやコンピュータ以外の様々なモノが存在しており、複数の端末や情報処理能力を持つモノでネットワークを構成し、情報の交換や共有を行うような協同作業支援システムの重要性が高まってきている。コンピュータを用いて人間同士の協調作業を支援する研究領域においても、これまでの知見をもとにユビキタスコンピューティングにおけるコラボレーション支援の手法を検討する必要性が生じている。端末の小型化とネットワーク化によって、利用者がいつでも端末を持ち歩き、ネットワークにつないで利用できるようになっただけでなく、それが人間の社会活動のあらゆる場面に浸透してきているからである。

従来のユビキタスコンピューティングに関する議論は遍在するデバイスをどう協調させるか、またはユーザがデバイス群をどう効率的に用いるかといった観点からのものが多い。遍在するデバイスがどのようにインタラクションの支援に役立つか検討し、ユーザ同士のインタラクション支援の観点から、ユビキタスコンピューティングを基盤としたコラボレーション環境を実現する必要があると考えた。

実空間におけるコラボレーションの支援を実現するための課題は多岐にわたる。その解決に向けて、本研究は実空間コラボレーションの場면을複合的かつ連続するものとして想定し、従来の対面会議などの活発なコラボレーションだけでなく、対面会議の場に至るまでの空間や場の状況を含めた支援を行う。併せて、会議の中身を高度化するために積極的な参加を促す手法を包含し、状況察知に基づいたコラボレーション環境のデザインを行った。

以下、本論文の各章を振り返りながら結論をまとめていく。

第1章では、本研究の目的と概要について述べた。次の第2章では、本研究の背景となる対面コラボレーション支援に関する研究の展開と、ウェアラブル情報の収集に深く関係するユビキタスコンピューティングの研究について概観し、関連研究を整理した。

第3章において、状況の適切な察知に基づいた実空間におけるコラボレーションの提案に関して、その概念と必要性を中心に述べるとともに、関連研究を踏まえた上で本研究の位置づけを明確にした。

その上で、第4章では協調作業空間に対してユーザがアプローチするフェーズにおいて、「出入口」の場におけるグループの支援環境について議論した。協調作業空間にアプローチする「出入口」を場と捉え、その場におけるグループの支援環境を構築した。出入口空間の特性を踏まえ、会議室やオフィスといった作業空間内とその出入口空間におけるウェアラブル情報を収集・蓄積することにより、グループにおけるインタラクションを支援した。併せて、出入口に接近したユーザに対して、空間内部の雰囲気情報とそ

の推移を出入り口空間において直感的に提示する手法を検討した。場の雰囲気はどのような要素から推測されるかを考え、人の活動度とその推移といった空間内部の状況の推移を表示インタフェース上に提示した。これらのシステムを用いた評価実験から、ユーザが作業空間に入る前に内部の雰囲気を察知できるようになることで、グループの作業効率化やコミュニケーションの活発化を促進する可能性を見出した。

次に、第5章で協調作業空間に入ったユーザが対面でのコラボレーションに参加するフェーズにおいて、コラボレーションの場の距離情報を利用した協調作業を支援する手法について議論した。対面協調作業の場に存在する人やモノの間の物理的距離を認識し、それらの距離情報と距離の変化に基づいて、コラボレーションの支援を行う手法を提案した。状況に応じて複数の距離帯を使い分ける対面協調作業の場面において、距離に基づいてグループを構築した上でコンテキストを反映した協調作業に利用することを可能とした。距離情報を用いた協調作業支援環境を用いる評価実験を行った結果、実空間の距離情報をもとにその場で必要となる機能やデータを提供することにより、対面協調作業がスムーズに行えることが明らかになった。

さらに、第6章では協調作業の中身に関するフェーズにおいて、協同で議事録を作成することによる対面議論への参加支援の手法について議論した。議論の内容に関する記録編集を行うことを通じて、参加者が傍観することなく主体的に参加できることを狙いとした。パーソナルコンピュータを持ち寄った対面での議論の環境を対象とし、提案手法を実現するために必要な協同記録作成ツールを議論に導入した。その結果、議論と記録の作成を並行するための認知的な負荷が増すという点が明らかになり、記録作成ツールを設計する際に、対面同期環境における参加支援の観点から必要なウェアネス機能を整理し検討を加えた。

最後に本章において、実空間における状況察知に基づいたコラボレーション支援についてそれぞれのフェーズにおける各章の支援を総括し、結論とした。

以下に本領域における今後の新たな展望について述べる。

出入り口空間、会議の場の空間ならびに会議の中身についての各フェーズにおいて、ウェアネス情報の収集・提示によるコラボレーション支援を行った。それぞれのフェーズにおいて必要となるウェアネス情報を収集・提示するだけでなく、配置・装着に困難を伴う重厚なハードウェアや現実的なサービスとして展開する余地のない高価なデバイスを用いず、サービスに見合うだけのコストにより実現した。今後、非接触型IDカードや携帯電話といったデバイスを用いれば即座に大規模な運用を行うことが十分可能であり、実際に社会生活の中で用いられるであろう。

しかしながら、現在は高価かつ重厚なハードウェアであるため多数配置することが現実的ではない磁気による高精度の三次元センサーなどが、リーダ・タグともに小型かつ安価なデバイスとして用いることが可能になれば、より正確な位置関係を確実に判断すること

ができる。ユビキタスコンピューティングに関する基盤技術の進歩を捉え、引き続き実空間における実用性の高いコラボレーション支援サービスをより円滑かつ的確に行う手法の検討を積み上げていく必要があると考える。

謝辞

決して平坦ではなかったここまでの長い道のりを支えて下さった皆様に、御礼を申し上げますたいと思います。

まず、本研究に取り組むにあたり4年半に渡って日々のご指導を賜りました慶應義塾大学理工学部情報工学科の岡田謙一教授ならびに重野寛助教授に深く感謝いたします。修士2年の夏には、国内外の大学で協調作業支援の分野を扱う研究室を調べ、博士課程の進学先を考えていました。岡田先生がグループウェアの分野における第一人者であり、同じ慶應義塾で教鞭を執られているからという理由も勿論ですが、様々な大学の中で岡田先生の研究室の発表論文[55]が自分の考える研究のアプローチに最も近く、かつ論理の展開が最も自然だと判断いたしました。2001年の9月に研究室の門戸を叩き、その後当該論文を発表したMAU班で研究活動に従事させて頂くことになりました。その選択はベストであったと、今でも確信しています。私は決して優秀な博士課程の学生ではありませんでしたが、それでも学位の取得の日を迎えることができたのは、岡田先生が怠けがちな私を常に叱咤激励して下さい、なおかつ研究を楽しむ「いいじゃない」の姿勢を忘れないことを体現され、学位の取得まで丁寧にご指導いただいたお陰です。また、重野先生には岡田・重野研究室の教員として、また副査として研究内容についてご指導いただいたことも勿論ながら、研究者・教員としての人生や、研究室での日常生活を送る上での相談に乗って頂いたことが、研究生活の大きな原動力になりました。在学中は博士号を取得することがゴールだと思っていましたが、ここを研究者としての新たなスタート地点として、今後とも先生方の後塵を拝させていただければと考えております。

副査として研究のご指導を頂きました、慶應義塾大学理工学部情報工学科の萩原将文教授ならびに山本喜一助教授に深く感謝いたします。矢上キャンパスには博士課程から往訪したため、残念ながら情報工学科の学生として講義を受ける機会はありませんでした。しかし、これまでの研究を博士論文としてまとめ上げることができたのも、専修公聴会で博士論文の標題を含め、多数の厳しいご指摘を頂いたお陰であると考えております。

第6章の研究には湘南藤沢キャンパスにおける研究成果を含んでおります。修士論文の主査をはじめ在籍中4年半に渡ってご指導いただきました、学校法人慶應義塾常任理事兼慶應義塾大学環境情報学部の村井純教授に深く感謝いたします。学部2年の秋に村井研究

室の扉を叩き、研究生生活を始めるきっかけとなったのは、村井先生の著書のインターネット近未来講座 [58] を読み、テクノロジーが次の社会を創るという思想に深く感銘を受けたからです。また、博士課程から外に飛び出すことを快諾していただき、学位授与式の日々の宴席で「俺たちはみんな矢上出身で藤沢に来て SFC を作った。今度はうちで育ったお前を矢上キャンパスに送り出す番だ」と言ってくくださったことは今でも忘れません。大学に残り研究の世界で生きていこうと思った原点は、村井研究室での研究生生活にあります。まだ若輩者ですが、いつか後進の学生たちと一緒に新しい世界を創造できるように精進したいと思います。

現勤務先である東京農工大学総合情報メディアセンターの諸先生方に深く感謝いたします。センター長の寺田松昭教授、須田良幸教授、萩原洋一助教授、辰己丈夫助教授ならびに桜田武嗣助手には、学位の取得を気にかけて頂くとともに、学位審査の際には業務との兼ね合いに関してご配慮を頂きました。これまで縁もゆかりもなかった私を採用して頂いたにも関わらず、学位審査でセンターを空けるのは心苦しい限りでしたが、今後の業務と研究開発に邁進することでお返ししたいと思います。今後ともよろしくお願いいたします。

岡田研究室の先輩として、筑波大学大学院図書館情報メディア研究科の井上智雄助教授には進学の際や博士1年の夏合宿で相談に乗って頂きました。また、東京工科大学コンピュータサイエンス学部の井上亮文助手には、短い間ではありましたが共に博士課程学生としてカレーとコーヒーを片手に研究を進めたり、学位審査のプロセスについてアドバイス頂くなど、大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

慶應義塾大学理工学部情報工学科岡田研究室における日常的な研究活動を共にした諸氏、特に UBQ 研究グループ/MAU 研究班の中田愛理氏、大菅直人氏、渋谷孝大氏、宇木等以香氏、西川真由佳女史、安西悠氏、津村弘輔氏、高田格氏ならびに杉山阿葵女史に感謝いたします。研究室で共有できる時間は決して長くありませんでしたが、どの後輩たちもあっという間に力をつけ社会に羽ばたいていく姿を見てうれしくもあり、寂しくもあり、少し複雑な気持ちでした。また、学位審査のプロセスを同じタイミングで迎えた福井健一郎氏とは、私よりも時間的制約がはるかに厳しいにも関わらず、お互いに絶えず励まし合って共に進めていくことができました。心から感謝いたします。

慶應義塾大学環境情報学部村井研究室において日夜生活を共にしただけではなく、その後も焼肉やカレーなどの席での研究の相談など、様々な場面でお世話になった国際大学グローバル・コミュニケーション・センター講師・主任研究員の石橋啓一郎氏、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程の折田明子女史、ならびに西村祐貴氏をはじめとする OB/OG の皆様に感謝いたします。大学院棟 20 や 31、デルタ棟で寝食を共にしてチームで取り組んだ研究生生活が、コラボレーション支援の研究分野に飛び込むこと

になった原点であるとともに、今でも理想の研究環境の一つの形であると考えています。

本研究の一部は、慶應義塾大学 21 世紀 COE プログラム情報・電気・電子分野「アクセス網高度化光・電子デバイス技術」における研究プロジェクトの分担テーマとして実施したほか、慶應義塾大学デジタルメディア・コンテンツ統合研究機構(DMC, 文部科学省科学技術振興調整費戦略的研究拠点育成プログラムによる)において遂行しました。

そのほか、これまでの研究生活を共にしてきた慶應義塾大学理工学部情報工学科岡田・重野研究室の皆様、慶應義塾大学環境情報学部徳田・村井研究室の皆様、総合政策学部井下研究室の皆様ならびに Operation-T プロジェクトの皆様から心から感謝いたします。

今思い返すと、人生の中で博士号を取得することは必然だったのかもしれませんが、読書が好きだったこともあり、名字と発明家エジソンを引っかけて「エジソン」と呼ばれていた小学1年、漠然と学者になりたいと思った高校2年、そして村井研究室に入り研究生活の楽しさを知って研究の道に進もうと思った学部2年など、いつからか博士号を取得するこの日が来ることを漠然と意識していました。

そして、それに向けて我が道を行くことを許してくれた医学博士の父・邦晃、子供の頃から興味を持ったことを好きなようにやらせてくれた母・信子と、兄について来てくれた聡伸には改めて感謝しています。父の高度な職人性と、母の優しさを性格として受け継ぐことができたか疑問ですが、父の気分屋な部分と母の心配性は間違いなく受け継いだような気がしてなりません。

最後に、助手着任3日目にニライカナイに旅立ってしまった祖母・関口サチコには、博士号の取得だけでなく、助手奉職の内定も直接伝えることができなかつたのが残念でなりません。おばあちゃん、ありがとう。

29年間慈しんでくれた家族に心から感謝し、その愛情に応えられるよう引き続き研究の道で精進したいと思います。



R.I.P. Sachiko Sekiguchi
02.18.1918 - 10.05.2005

参考文献

- [1] Mark S. Ackerman. Augmenting the organizational memory: a field study of answer garden. In *Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW'94)*, pp. 243–252, 1994.
- [2] Mike Addlesee, Rupert Curwen, Steve Hodges, Joe Newman, Pete Steggles, Andy Ward, and Andy Hopper. Implementing a sentient computing system. *IEEE Computer Magazine*, Vol. 34, No. 8, pp. 50–56, 8 2001.
- [3] Guruduth Banavar and Abraham Bernstein. Software infrastructure and design challenges for ubiquitous computing applications. *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 12, pp. 92–96, 2002.
- [4] James Begole, John C. Tang, and Rosco Hill. Rhythm modeling, visualizations and applications. In *Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST'03)*, pp. 11–20, 2003.
- [5] James Begole, John C. Tang, Randall B. Smith, and Nicole Yankelovich. Work rhythms: Analyzing visualizations of awareness histories of distributed groups. In *Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW'02)*, pp. 334–343, 2002.
- [6] Sara A. Bly, Steve R. Harrison, and Susan Irwin. Media space: Bringing people together in a video, audio, and computing environment. *Communication of the ACM*, Vol. 36, No. 1, pp. 29–47, 1 1993.
- [7] Bill Buxton. Telepresence: Integrating shared task and personal spaces. In *Proceedings of Groupware '91*, pp. 27–36, 1991.
- [8] Paul Castro, Patrick Chiu, Ted Kremenek, and Richard Muntz. A probabilistic room location service for wireless networked environments. In *Proceedings of the Third International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2001)*, pp. 18–34, 2001.

- [9] Andrea Chew, Vincent Leclerc, Sajid Sadi, Aaron Tang, and Hiroshi Ishii. Sparks. In *ACM Proceedings of the CHI'05*, pp. 1276–1279, 2005.
- [10] Donna Cox, Volodymyr Kindratenko, and David Pointer. Intellibadge: Towards providing location-aware value-added services at academic conferences. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2003)*, pp. 264–280, 2003.
- [11] P. Dourish and V. Bellotti. Awareness and coordination in shared workspaces. In *ACM Proceedings of the CSCW'92*, pp. 107–114, 1992.
- [12] W. Keith Edwards, Mark W. Newman, Jana Z. Sedivy, Trevor F. Smith, Dirk Bal-fanz, D. K. Smetters, H. Chi Wong, and Shahram Izadi. Using speakeasy for ad hoc peer-to-peer collaboration. In *Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW'02)*, pp. 256–265, 2002.
- [13] 江木啓訓, 石橋啓一郎, 西村祐貴, 村井純. 記録作成を基にした対面議論への参加支援に関する研究. 第一回情報科学技術フォーラム (FIT2002) 一般講演論文集 (第四分冊), pp. 133–134, 2002.
- [14] Hironori Egi, Keiichirou Ishibashi, Hiroshi Shigeno, and Ken ichi Okada. Encouragement of member contribution in face-to-face meetings through co-editing minutes. In *Proceedings of the First International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2005)*, pp. 7–12, 2005.
- [15] 江木啓訓, 石橋啓一郎, 重野寛, 村井純, 岡田謙一. 議事録の協同作成に基づく対面議論への参加支援手法. 情報処理学会研究報告 2003-DD-40, pp. 1–8, 2003.
- [16] 江木啓訓, 石橋啓一郎, 重野寛, 村井純, 岡田謙一. 協同記録作成を基にした対面議論への参加支援環境の構築. 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 1, pp. 202–211, 2004.
- [17] 江木啓訓, 望月俊男, 重野寛, 岡田謙一. 議事録作成を基にした対面協調学習支援システムの開発. 日本教育工学会第 18 回全国大会予稿集, pp. 165–168, 2002.
- [18] 江木啓訓, 西川真由佳, 安西悠, 重野寛, 岡田謙一. 出入り口空間におけるグループ支援サービスの検討. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2005) シンポジウム予稿集, pp. 117–120, 2005.
- [19] 江木啓訓, 西川真由佳, 安西悠, 重野寛, 岡田謙一. グループ支援を目的とした作業空間の雰囲気伝達手法. 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 4, pp. 1219–1229, 2006.

- [20] 江木啓訓, 西川真由佳, 宇木等以香, 大菅直人, 重野寛, 岡田謙一. 出入り口空間におけるグループ支援環境: CollaboGate の提案. 情報処理学会研究報告 2003-GN-49, pp. 13–18, 2003.
- [21] Hironori EGI, Naoto OHSUGA, Airi NAKADA, Hiroshi SHIGENO, and Ken ichi OKADA. Dacs: Distance aware collaboration system for face-to-face meetings. In *Proceedings of the International Workshop on Cyberspace Technologies and Societies (IWCTS2004) in the IEEE/IPSJ Symposium on Applications and the Internet (SAINT2004)*, pp. 508–514, 2004.
- [22] 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一. 距離帯を用いた対面コラボレーション支援システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 3, pp. 711–721, 2006.
- [23] C. A. Ellis, S. J. Gibbs, and G. Rein. Groupware: some issues and experiences. *Communications of the ACM*, Vol. 34, No. 1, pp. 39–58, 1991.
- [24] Robert S. Fish, Robert E. Kraut, and Barbara L. Chalfonte. The videowindow system in informal communication. In *Proceedings of the 1990 ACM conference on Computer-supported cooperative work (CSCW'90)*, pp. 1–11, 1990.
- [25] Sally Floyd, Van Jacobson, Ching-Gung Liu, Steven McCanne, and Lixia Zhang. A reliable multicast framework for lightweight sessions and application-level framing. In *ACM Proceedings of the SIGCOMM'95*, pp. 342–356, 1995.
- [26] 後藤敏, 阪田史郎. モバイルコンピューティング教科書. アスキー出版局, 1999.
- [27] Edward Twitchell Hall. *The Hidden Dimension*. Doubleday & Company, 1966.
- [28] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggle, Andy Ward, and Paul Webster. The anatomy of a context-aware application. In *Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99)*, pp. 59–68, 8 1999.
- [29] Kirstie Hawkey, Melanie Kellar, Derek Reilly, Tara Whalen, and Kori M. Inkpen. The proximity factor: Impact of distance on co-located collaboration. In *Proceedings of the GROUP'05*, pp. 31–40, 2005.
- [30] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello. Location systems for ubiquitous computing. *IEEE Computer*, Vol. 34, No. 8, pp. 57–66, 2001.

- [31] 稲垣成哲, 舟生日出男, 山口悦司. 再構成型コンセプトマップ作成ソフトウェアの開発と評価. 日本科学教育学会科学教育研究, Vol. 25, No. 5, pp. 304–315, 2001.
- [32] 色のはなし編集委員会. 色のはなし II. 技報堂出版, 1986.
- [33] Hiroshi Ishii. Teamworkstation: towards a seamless shared workspace. In *Proceedings of the ACM conference on Computer-supported cooperative work (CSCW'90)*, pp. 13–26, 1990.
- [34] 石川裕. リアルタイムグループウェアのデザイン. 情報処理, Vol. 34, No. 8, pp. 1017–1027, 1993.
- [35] Hiroshi Ishii and Minoru Kobayashi. Clearboard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'92)*, pp. 525–532, 1992.
- [36] Hiroshi Ishii, Minoru Kobayashi, and Jonathan Grudin. Integration of inter-personal space and shared workspace: Clear board design and experiments. In *Proceedings of the ACM conference on Computer-supported cooperative work (CSCW'92)*, pp. 33–42, 1992.
- [37] 岩谷晶子, 高汐一紀, 徳田英幸. センサの遍在環境におけるユーザの周辺情報の蓄積方法に関する考察. 情報処理学会研究報告 2003-UBI-3, pp. 93–100, 2004.
- [38] 海谷治彦, 三浦信幸, 佐伯元司, 落水浩一郎. ソフトウェアの要求獲得を支援する対面式会議システムに関する一考察. 情報処理学会研究報告 GN-09, pp. 75–80, 1995.
- [39] 川口明彦, 加藤善大, 石原進, 酒井三四郎, 水野忠則. 同期型電子会議へのスムーズな途中参加支援のための一方式. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 12, pp. 3031–3040, 2001.
- [40] Cory D. Kidd, Robert J. Orr, Gregory D. Abowd, Christopher G. Atkeson, Irfan A. Essa, Blair MacIntyre, Elizabeth Mynatt, Thad E. Starner, and Wendy Newstetter. The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research. In *Proceedings of the Second International Workshop on Cooperative Buildings (CoBuild'99)*, pp. 191–198, 1999.
- [41] 小林稔, 石井裕. Clearboard: シームレスな協同描画空間のデザイン. 情報処理学会研究報告 1991-HI-41, pp. 133–140, 1992.

- [42] Kimberle Koile, Konrad Tollmar, David Demirdjian, Howard Shrobe, and Trevor Darrell. Activity zones for context-aware computing. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2003)*, pp. 90–106, 2003.
- [43] John Krumm and Ken Hinckley. The nearme wireless proximity server. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004)*, pp. 283–300, 2004.
- [44] 倉島顕尚, 前野和俊, 市村重博, 田頭繁, 武次將徳, 永田善紀. 集まったその場での協同作業を支援するモバイルグループウェアシステム「なかよし」. 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 5, pp. 2487–2496, 1999.
- [45] 黒須正明, 山寺仁, 三村到, 炭野重雄. 実会議の分析(1) グループウェアによる支援可能性の検討. 情報処理学会研究報告 1995-GN-11, pp. 25–30, 1995.
- [46] 車谷浩一, 山下倫央, 和泉憲明, 幸島明男, 和泉潔. 愛・地球博 グローバル・ハウス統合情報支援システム-CONSORTS アーキテクチャによる情報提供・会場運営支援システム-. 情報処理学会誌, Vol. 47, No. 2, pp. 105–108, 2006.
- [47] Mik Lamming and Denis Bohm. Specs: Another approach to human context and activity sensing research, using tiny peer-to-peer wireless computers. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2003)*, pp. 192–199, 2003.
- [48] M. Leland, R. Fish, and R. Kraut. Collaborative document production using quilt. In *ACM Proceedings of the CSCW'88*, pp. 206–215, 1988.
- [49] Marilyn M. Mantei, Ronald M. Baecker, Abigail J. Sellen, William A. S. Buxton, Thomas Milligan, and Barry Wellman. Experiences in the use of a media space. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'91)*, pp. 203–208, 1991.
- [50] 松倉隆一, 渡辺理, 佐々木和雄, 岡原徹. オフィスでの移動を考慮した対面コラボレーション環境の検討. 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 7, pp. 3075–3084, 1999.
- [51] 松下温, 岡田謙一. コラボレーションとコミュニケーション. 共立出版社, 1995.
- [52] Joseph F. McCarthy, Tony J. Costa, and Edy S. Liongosari. Unicast, outcast & groupcast: Three steps toward ubiquitous, peripheral displays. In *Proceedings of UbiComp 2001*, pp. 332–345, 2001.

- [53] Joseph F. McCarthy, David W. McDonald, Suzanne Soroczak, David H. Nguyen, and Al M. Rashid. Augmenting the social space of an academic conference. In *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW'04)*, pp. 39–48, 2004.
- [54] Masateru Minami, Yasuhiro Fukuju, Kazuki Hirasawa, Shigeaki Yokoyama, Moriyuki Mizumachi, Hiroyuki Morikawa, and Tomonori Aoyama. Dolphin: A practical approach for implementing a fully distributed indoor ultrasonic positioning system. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004)*, pp. 347–365, 2004.
- [55] 宮本真理子, 池田高志, 岡田謙一. 無線 LAN 環境におけるプレゼンテーションのためのマルチキャストプロトコル. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 12, pp. 3093–3101, 2001.
- [56] 森川博之, 南正輝, 青山友紀. ユビキタスネットワークワーキングへの道. 情報処理, Vol. 43, No. 6, pp. 631–638, 2002.
- [57] 森岡靖太, 村井信哉, 田仲史子, 杉川明彦. 使用場所の制約のない対面会議支援システム. 電子情報通信学会技術研究報告 OFS97-43, pp. 19–24, 1997.
- [58] 村井純, 坂本龍一, 成毛真, 佐伯達之. インターネット近未来講座. アスキー, 1996.
- [59] Yuko Murayama, Hiromi Gondo, Yasunari Nakamoto, Norihisa Segawa, and Masatoshi Miyazaki. A message board system on www with a visualizing time function for on-door communication. In *IEEE Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences (Vol.1)*, pp. 1036–1045, 2001.
- [60] Elizabeth D. Mynatt, Takeo Igarashi, W. Keith Edwards, and Anthony LaMarca. Flatland: New dimensions in office whiteboards. In *ACM Proceedings of the CHI'99*, pp. 346–353, 1999.
- [61] 中田愛理, 平山拓, 大菅直人, 宮本真理子, 岡田謙一. DACS:距離に基づいた協同作業支援システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 4, pp. 1177–1185, 2003.
- [62] 中島義明. 映像の心理学マルチメディアの基礎. サイエンス社, 1996.
- [63] Christine M. Neuwirth, Ravinder Chandhok, David S. Kaufer, Paul Erion, James Morris, and Dale Miller. Flexible diff-ing in a collaborative writing system. In *Proceedings of the ACM conference on Computer-supported cooperative work (CSCW'92)*, pp. 147–154, 1992.

- [64] 西川真由佳, 江木啓訓, 宇木等以香, 安西悠, 重野寛, 岡田謙一. グループ支援を目的とした作業空間の雰囲気伝達手法. 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ2004 予稿集, pp. 51-56, 2004.
- [65] 西川真由佳, 宇木等以香, 大菅直人, 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一. 「空気を読む」: 作業空間情報の収集・提示手法の提案. 情報処理学会研究報告2003-GN-51, pp. 109-114, 2003.
- [66] 西村俊介, 服部隆志. 動的領域制御を行う共有文書編集システム的设计. 日本ソフトウェア科学会第3回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS'95) 予稿集, pp. 201-210, 1995.
- [67] 大菅直人, 中田愛理, 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一. 距離情報に基づく動的な協調作業支援. 情報処理学会研究報告2003-GN-48, pp. 49-54, 2003.
- [68] Elin Ronby Pedersen, Kim McCall, Thomas P. Moran, and Frank G. Halasz. Tivoli: An electronic whiteboard for informal workgroup meetings. In *Proceedings of the InterCHI'93*, pp. 391-398, 1993.
- [69] Alex Pentland. Looking at people: Sensing for ubiquitous and wearable computing. *IEEE Transaction on Pattern Anarysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 1, pp. 107-119, 1 2000.
- [70] Cliff Randell and Henk Muller. Low cost indoor positioning system. In *Proceedings of the Third International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2001)*, pp. 42-48, 2001.
- [71] 暦本純一. InfoRoom: 実世界に拡張された直接操作環境. インタラクシオン2000 論文集, pp. 9-16, 2 2000.
- [72] 佐々木和雄, 松倉隆一, 渡辺理. 電子白板の不要なリアルタイム打ち合わせ支援システム. 第57回情報処理学会全国大会論文集4M-06, 1998.
- [73] Albrecht Schmidt, Martin Strohbach, Kristof van Laerhoven, Adrian Friday, and Hans-W. Gellersen. Context acquisition based on load sensing. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2002)*, pp. 333-350, 2002.
- [74] Norihisa Segawa, Yuko Murayama, Yasunari Nakamoto, Hiromi Gondo, and Masatoshi Miyazaki. A message board on www for on-door communication. In *Proceedings of the ACM Multimedia 99 (Part.2)*, pp. 187-190, 1999.

- [75] Abigail J. Sellen. Speech patterns in video mediated conversations. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'92)*, pp. 49–59, 1992.
- [76] 渋谷孝大, 大菅直人, 中田愛理, 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一. DAIB:Distance Aware Information Board の設計と実装. 情報処理学会第 65 回全国大会予稿集 Vol.4, pp. 169–170, 2003.
- [77] 白井良成, 大和田龍夫, 亀井剛次, 桑原和弘. 実環境指向のウェアネス情報とその提示手法. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3653–3663, 2002.
- [78] 椎尾一郎, 早坂達. モノに情報を貼り付ける -RFID タグとその応用-. 情報処理, Vol. 40, No. 8, pp. 846–850, 8 1999.
- [79] Norbert A. Streitz, Jörg Geißler, Torsten Holmer, Shin'ichi Konomi, Christian Müller-Tomfelde, Wolfgang Reischl, Petra Rexroth, Peter Seitz, and Ralf Steinmetz. i-land: an interactive landscape for creativity and innovation. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'99)*, pp. 120–127, 1999.
- [80] 角康之, 伊藤禎宣, 松口哲也, シドニーフェルス, 間瀬健二. 協調的なインタラクションの記録と解釈. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 11, pp. 2628–2637, 2003.
- [81] 角康之, 間瀬健二. 実世界コンテキストに埋め込まれたコミュニティウェア. 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 10, pp. 2679–2688, 2000.
- [82] Yasuyuki Sumi and Kenji Mase. Digital assistant for supporting conference participants: An attempt to combine mobile, ubiquitous and web computing. In *Proceedings of the Third International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2001)*, pp. 156–175, 2001.
- [83] Peter Tandler. Software infrastructure for ubiquitous computing environments: Supporting synchronous collaboration with heterogeneous devices. In *Proceedings of the Third International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2001)*, pp. 96–115, 2001.
- [84] John C. Tang and Scott Minneman. Videowhiteboard: video shadows to support remote collaboration. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'91)*, pp. 315–322, 1991.

- [85] Peter Tarasewich, Christopher S. Campbell, Tian Xia, and Myra Dideles. Evaluation of visual notification cues for ubiquitous computing. In *Proceedings of the Ubicomp 2003*, pp. 349–366, 2003.
- [86] 垂水浩幸. グループウェアとその応用. 共立出版社, 2000.
- [87] 上向俊晃, 萩野浩明, 原隆浩, 塚本昌彦, 西尾章治郎. リモートディスプレイ環境における WWW ブラウジングシステム. 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 9, pp. 2364–2373, 9 2000.
- [88] 宇津宮孝一, 園田修司, 凍田和美, 吉田和幸. 既存テキストエディタを用いたグループエディタの実現. 情報処理学会論文誌, Vol. 33, No. 9, pp. 1172–1176, 1992.
- [89] Roy Want and Andy Hopper. Active badges and personal interactive computing objects. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 38, No. 1, pp. 10–20, 1992.
- [90] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcão, and Jonathan Gibbons. The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 10, No. 1, pp. 91–102, 1992.
- [91] Andy Ward, Alan Jones, and Andy Hopper. A new location technique for the active office. *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, pp. 42–47, 10 1997.
- [92] Kazuo Watabe, Shiro Sakata, Kazutoshi Maeno, Hideyuki Fukuoka, and Toyoko Ohmori. Distributed multiparty desktop conferencing system: Mermaid. In *Proceedings of the 1990 ACM conference on Computer-supported cooperative work (CSCW'90)*, pp. 27–38, 1990.
- [93] 渡部和雄, 阪田史郎, 前野和俊, 福岡秀幸, 大森豊子. マルチメディア分散在席会議システム MERMAID. 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 9, pp. 1200–1209, 1991.
- [94] 渡辺理, 浅見俊宏, 岡田壮一, 角田潤, 勝山恒男, 安達基光. 電子化会議室ルームウェアにおけるユーザインタフェース. 人工知能学会 HID 研究会資料 SIG-HIDSN-9602-03, pp. 13–18, 1996.
- [95] 渡辺理, 松倉隆一, 佐々木和雄, 木島裕二. 対面コラボレーション支援環境における電子的な共同スペースのメリットと望ましい操作 HI について. 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 11, pp. 3847–3855, 1999.

-
- [96] Mark Weiser. Some computer science issues in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp. 86–96, 1993.
- [97] Mikael Wiberg. Roamware: An integrated architecture for seamless interaction in between mobile meeting. In *Proceedings of the 2001 International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work (GROUP'01)*, pp. 288–297, 2001.
- [98] 山越恭子, 葛岡英明. 言葉を使用したワークリズム提示手法の提案. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 7, No. 1, pp. 121–130, 2005.
- [99] 矢谷浩司, 田村晃一, 廣木桂一, 杉本雅則, 橋爪宏達. Toss-It: モバイルデバイスにおける「トス」や「振り」の動作を用いた情報の移動を直感的に実現するインタフェース技術. *インタラクション2005 予稿集*, pp. 151–158, 2005.

論文目録

主論文に関する原著論文

1. 江木啓訓, 西川真由佳, 安西悠, 重野寛, 岡田謙一: グループ支援を目的とした作業空間の雰囲気伝達手法, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.4, pp.1219-1229, 2006年4月
2. 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一: 距離帯を用いた対面コラボレーション支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.3, pp.711-721, 2006年3月
3. 江木啓訓, 石橋啓一郎, 重野寛, 村井純, 岡田謙一: 協同記録作成を基にした対面議論への参加支援環境の構築, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.1, pp.202-211, 2004年1月

主論文に関する国際会議

1. Hironori Egi, Keiichirou Ishibashi, Hiroshi Shigeno and Ken-ichi Okada: Encouragement of Member Contribution in Face-to-face Meetings through Co-editing Minutes, The First International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2005), pp.7-12, 2005.7
2. Hironori EGI, Naoto OHSUGA, Airi NAKADA, Hiroshi SHIGENO and Ken-ichi OKADA: DACS: Distance Aware Collaboration System for face-to-face meetings, International Workshop on Cyberspace Technologies and Societies (IWCTS2004) in the IEEE/IPSJ Symposium on Applications and the Internet (SAINT2004), pp.508-514, 2004.1

その他の原著論文

1. 安西悠, 江木啓訓, 西川真由佳, 湯澤秀人, 松永義文, 岡田謙一: 遠隔会議への同時多重参加と目的とした理解度評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.8, No.2, pp.61-68, 2006年5月

2. 尾澤重知, 望月俊男, 江木啓訓, 國藤進: グループ間相互評価による協調学習の再吟味支援の効果, 日本教育工学会雑誌, Vol.28, No.4, pp.281-294, 2005年3月
3. 望月俊男, 江木啓訓, 尾澤重知, 柴原宜幸, 田部井潤, 井下理, 加藤浩: 協調学習における対面コミュニケーションとCMCの接続に関する研究, 日本教育工学雑誌, Vol.27, No.4, pp.405-415, 2004年3月
4. 尾澤重知, 望月俊男, 江木啓訓, 藤野敦, 柴原宜幸, 田部井潤, 井下理: 学習者構成型授業における教授法と学習環境デザイン実験研究の評価, 日本教育工学雑誌, Vol.27, Supplement, pp.73-76, 2004年3月
5. 望月俊男, 江木啓訓, 尾澤重知, 井下理: 協調学習における対面の活動とネットワーク上の活動の関係性について, 日本教育工学雑誌, Vol.25, Supplement, pp.145-148, 2001年8月

その他の国際会議

1. Itaru Takata, Kousuke Tsumura, Hisashi Anzai, Hironori Egi and Ken-ichi Okada: Agenda based Multiple Work Support for Video Conferencing Participation and Deskwork, The Second International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2006), 2006.7 (Accepted as a full paper)
2. Kousuke Tsumura, Tetsuo Sumiya, Hironori Egi, Hiroshi Shigeno and Kenichi Okada: Wearable Computer Supported Cooperative Work for Search/Collection Tasks, The Second International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2006), 2006.7 (Accepted as a full paper)
3. Shigeto OZAWA, Toshio MOCHIZUKI and Hironori EGI: Designing Learning Environments as a Learner-Centered Course: Analysis of Planning of the Joint Camp in a Distant Joint seminar using CSCL, ICCE2004, pp.428-435, 2004.12
4. Toshio MOCHIZUKI, Hironori EGI, Shigeto OZAWA, Yoshiyuki SHIBAHARA, Osamu INOSHITA and Hiroshi KATO: Analysis of Relationship between Face-to-Face Collaborative Learning and CSCL Activities, ICCE2002, pp.387-391, 2002.12

研究会・シンポジウム・口頭発表

1. 江木啓訓, 安西悠, 西川真由佳, 重野寛, 岡田謙一: HI-Touch: 直感的な対面コラボレーションのための手渡しインターフェース, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006) シンポジウム, pp.829-832, 2006年7月
2. 櫻田武嗣, 萩原洋一, 古谷雅理, 江木啓訓, 寺田松昭: DVTS を用いた遠隔・近接多地点講義教室の構築と運用, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006) シンポジウム, pp.593-596, 2006年7月
3. 安西悠, 江木啓訓, 西川真由佳, 湯澤秀人, 松永義文, 岡田謙一: 遠隔会議への同時参加を目的とした複数音声の理解度検討, 第4回情報科学技術フォーラム (FIT2005) 査読セッション, pp.301-302, 2005年9月
4. 江木啓訓, 西川真由佳, 安西悠, 重野寛, 岡田謙一: 出入り口空間におけるグループ支援サービスの検討, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2005) シンポジウム, pp.117-120, 2005年7月
5. 安西悠, 江木啓訓, 西川真由佳, 湯澤秀人, 松永義文, 岡田謙一: 遠隔会議への同時多重参加に関する基礎検討, 情報処理学会第55回グループウェアとネットワークサービス研究会, GN-55-13, pp.75-80, 2005年3月
6. 西川真由佳, 江木啓訓, 宇木等以香, 安西悠, 重野寛, 岡田謙一: グループ支援を目的とした作業空間の雰囲気伝達手法, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ2004, pp.51-56, 2004年11月 (ベストペーパー賞)
7. 宇木等以香, 江木啓訓, 西川真由佳, 大菅直人, 重野寛, 岡田謙一: 遠隔コミュニケーションのための距離感表現手法, 情報処理学会第52回グループウェアとネットワークサービス研究会, GN-52-2, pp.7-12, 2004年5月
8. 西川真由佳, 宇木等以香, 大菅直人, 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一: 「空気を読む」: 作業空間情報の収集・提示手法の提案, 情報処理学会第51回グループウェアとネットワークサービス研究会, GN-51-19, pp.109-114, 2004年3月
9. 江木啓訓, 西川真由佳, 宇木等以香, 大菅直人, 重野寛, 岡田謙一: 出入り口空間におけるグループ支援環境: CollaboGate の提案, 情報処理学会第49回グループウェアとネットワークサービス研究会, GN-49-3, pp.13-18, 2003年10月
10. 宇木等以香, 大菅直人, 江木啓訓, 渋谷孝大, 重野寛, 岡田謙一: 距離情報を用いた掲示板の電子化, 静岡大学情報学ワークショップ2003(WiNF2003), pp.155-161, 2003年9月

11. 江木啓訓, 石橋啓一郎, 重野寛, 村井純, 岡田謙一: 議事録の協同作成に基づく対面議論への参加支援手法, 情報処理学会第40回デジタル・ドキュメント研究会, DD-40-1, pp.1-8, 2003年7月
12. 大菅直人, 中田愛理, 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一: 距離情報に基づく動的な協調作業支援, 情報処理学会第48回グループウェアとネットワークサービス研究会, pp.49-54, 2003年5月
13. 渋谷孝大, 大菅直人, 中田愛理, 江木啓訓, 重野寛, 岡田謙一: DAIB:Distance Aware Information Board の設計と実装, 情報処理学会第65回全国大会, Vol.4, pp.169-170, 2003年3月
14. 江木啓訓, 望月俊男, 重野寛, 岡田謙一: 議事録作成を基にした対面協調学習支援システムの開発, 日本教育工学会第18回全国大会課題研究, pp.165-168, 2002年11月
15. 尾澤重知, 望月俊男, 江木啓訓, 柴原宜幸, 田部井潤, 井下理: 学生構成型協調学習におけるグループの学習活動の特徴, 日本教育工学会第18回全国大会, pp.449-450, 2002年11月
16. 江木啓訓, 石橋啓一郎, 西村祐貴, 村井純: 記録作成を基にした対面議論への参加支援に関する研究, 第一回情報科学技術フォーラム (FIT2002), pp.133-134(第四分冊), 2002年9月
17. 西村祐貴, 江木啓訓, 折田明子: グループレビューにおける匿名性の利用に関する研究, 情報処理学会第40回グループウェアとネットワークサービス研究会, GN-40-14, pp.77-82, 2001年5月
18. 尾澤重知, 望月俊男, 江木啓訓, 井下理: 学習者の相互作用を活性化する学習環境の構築と課題 (1) -グループ間インタラクション支援の効果-, 教育工学関連学協会連合第6回全国大会, pp.139-142(第一分冊), 2000年10月
19. 望月俊男, 尾澤重知, 江木啓訓, 井下理: 学習者の相互作用を活性化する学習環境の構築と課題 (2) -対面の議論と非対面の議論の接続性に関する一考察-, 教育工学関連学協会連合第6回全国大会, pp.669-670(第二分冊), 2000年10月
20. 牧兼充, 江木啓訓, 西村祐貴, 新井正樹, 村井純: 学習支援のためのネットワークコラボレーションモデルに関する考察, 教育システム情報学会第24回全国大会, pp.217-220, 1999年8月