

# 距離帯を用いた対面コラボレーション支援システム

江木 啓 訓<sup>†</sup>, 重野 寛<sup>†</sup> 岡田 謙 一<sup>†</sup>

本研究は、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、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。近年、情報処理能力を持った機器が遍在するようになり、ユーザ同士の協調作業を効率的に行えるよう支援する研究は多岐にわたる。本稿では、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。これらの実空間の距離情報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。提案概念に基づく実装として、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を対象としたプロジェクタ利用システムを試作した。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、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。

## A System for Supporting Face-to-face Collaboration Based on Dynamic Distance Zone Awareness

HIRONORI EGI,<sup>†</sup> HIROSHI SHIGENO<sup>†</sup> and KEN-ICHI OKADA<sup>†</sup>

In recent years, many types of equipment in our life environment are capable of information processing. Various information technology devices are used in cooperative working scenes. In this kind of situation, many researches which aim at supporting cooperation working are conducted. In this paper, we propose a way, which enables smooth cooperative work by recognizing not just proximity but the distance between the users and the objects that are existent in cooperation working scenes. We propose a prototype system, which enables smooth operation between the users when a single projector is shared, in a cooperative working scene where information technology devices are used. Each of users can use the system to show their own data which is stored in the computers. The advantages of the usage of the distance in cooperation working scenes are investigated by the experiment.

### 1. はじめに

本研究は、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。

会議室やオフィスといった、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あげられる。

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<sup>1)</sup> 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<sup>2)</sup> などがある。なかよし<sup>3)</sup> 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<sup>4)</sup> 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

<sup>†</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

現在、東京農工大学総合情報メディアセンター

Presently with General Information Media Center, Tokyo University of Agriculture and Technology

能である。これは分散環境における協調作業にはない利点であり、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あげられる。会議室における上座や下座といった普遍的なコンテキストのほかに、たとえば継続して活動しているグループのメンバが会議室でいつも決まった位置に座っているといった情報も、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いえる。

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・実装したうえで評価を行った。

以下、本稿ではまず2章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。3章では関連する研究との比較を行い、本研究の位置づけを明確にする。4章において、本研究が提案する距離情報に基づくサービスの提供手法について詳述する。5章で本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。6章で評価実験の概要を述べ、7章において実験結果とそこから明らかになった事項の検討を行う。8章で今後の課題を述べて結びとする。

## 2. 本研究のアプローチ

### 2.1 想定する環境

本研究は、数名から十数名のメンバ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といった場所に物理的に1カ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。

我々はそのうえで1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。学術界だけでなく、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、ときには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。

本研究は、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といった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。

### 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1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ときにとられる物理的距離を対人距離という。Hallは対人距離を表1に示す4つに分類した<sup>5)</sup>。

我々は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あてはまると考えた。人は自分個人の所有物であるノートPCをつねに手元に置き(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

Round 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。

表 1 対人距離の分類

Table 1 Classification of interpersonal distance.

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

認識するうえで重要な尺度となりうると思われる。

我々はすでに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<sup>6)</sup>。DACS は対面コラボレーションの場を社会距離 (120~360 cm) 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、本稿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ト利用システムを試作した。

### 3. 関連研究

本章では、距離情報の取得手法ならびに距離をもとにしたコラボレーション支援に関する研究について概観する。

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、アクティブまたはパッシブ型 RFID を用いるもの、WiFi の電波強度を用いるもの、ならびに超音波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<sup>7)</sup>。

赤外線を用いた代表的なシステムとしては、Active Badge System<sup>8)</sup> があげられる。一方、DOLPHIN<sup>9)</sup> 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。また、無線を用いて比較的 low コストで位置・距離に関する情報を収集する試み<sup>10)</sup> もある。

これらの位置・距離に関する情報に基づいて、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<sup>11)</sup>、Digital Assistant<sup>12)</sup>、AutoSpeakerID と Ticket2Talk<sup>13)</sup> などがある。これらは会議のセッションや参加者に関する情報提示、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。

一方、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としては、RoamWare<sup>14)</sup> や SpeakEasy<sup>15)</sup> がある。Roamware は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ている。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 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通じて情報を交換する。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<sup>16)</sup> 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いえない。

本研究は、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している。

### 4. 実距離に基づく協調作業支援

本章では、協調作業の場における人・モノの間の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手法について述べる。

#### 4.1 距離情報の利用

協調作業の場においては、議事録の作成、外部資料

の参照, 手持ち資料の検索・表示などの様々な作業が発生する。しかし, ユーザが端末上で必要なデータを探したり, 機器を使用するために操作したりといった作業がしばしば発生することによって, 本来の実世界での議論が中断されるような場面が生じる。

このような障害を起さず, 対面協調作業の流れをスムーズに保つためには, 現在の協調作業の場においてどのような作業が行われていて, ユーザが現在どのようなサービスを欲しているのかを協調作業支援システムが認識する必要がある。

実空間における人と人, 人やモノの間の物理的な距離を検知し, ユーザの意思や行動を推測することにより, 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する。予測される行為に対して必要な機能を提供することにより, 対面コラボレーションを円滑に進めることが可能となると考えた。

#### 4.2 実距離によるサービスの提供

本研究は, 対面コラボレーションにおけるノンバーバル情報として距離情報を取り上げる。2.2 節で述べたように, 人は他者と何らかのコミュニケーションを行う場合, 適切な距離を意識的・無意識的に保とうとする。

会議スペースでの対面コラボレーションの例として, プロジェクタを使用してプレゼンテーションを行っている場面を図1に示す。図の中央でプロジェクタのスクリーン近くに存在する人物が, 自分のコンピュータを持ち込んで発表を行っている。これはプレゼンテーションに用いるコンピュータとプロジェクタとをケーブルで接続するというハードウェア上の制約だけではなく, 話者が投影された資料への指差しを行ったり, 聴衆が話者と投影された資料の両方に視線を向けたりできるからである。図の手前側でスクリーンから一定の距離を保っている4人の人間は, その発表を聞きながら必要に応じて自分のコンピュータで資料を参照したりメモをとったりしている。この例における話者と聴衆の関係は, スクリーンからの距離に反映されていると考えられる。

本研究は対人距離の概念を根拠として, 対面コラボレーションの場におけるユーザの意思や行動, 人・モノの関係性などを推測するために, 実空間における距離情報を用いる。コラボレーションのキーとなる任意のオブジェクトを中心として考え, その他のオブジェクトとの物理的距離を検知することにより, どのオブジェクトとの間に密接な関係があるか, どのオブジェクトとの間では関係が希薄かを判断する。これにより, ユーザが必要とするサービスを適切なタイミン



図1 対面協調作業の例

Fig. 1 Example of face-to-face meeting.

グで提供することが可能となる。

### 5. 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<sup>17)</sup>。

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, ときには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<sup>6)</sup>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。本章ではその実装内容について述べる。

#### 5.1 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。

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3点があげられる。

第1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．プロジェクトを使用して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たりすることができるからである．

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・座長といった発表運営者のほか，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の様式を想定して，支援環境を設計した．

第2に「近い」「遠い」という状況をもとに，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ト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きる．プロジェクト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といった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，プロジェクト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，プロジェクト画面を分割して共有するといった使用法も考えられる．

第3に「近づく」「遠ざかる」といった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，プロジェクトに近づくことにより発表者としての権限を得て，プロジェクト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．

## 5.2 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周りのタグとの間の距離を検知した．距離検知の方法を図2に示す．本プログラムにより，2.2節で述べた

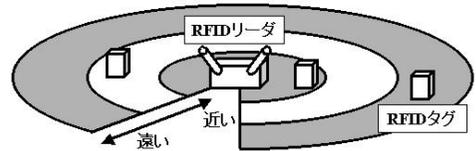


図2 RFIDを利用した複数の距離帯の検知  
Fig.2 Sensing distances via RFID.

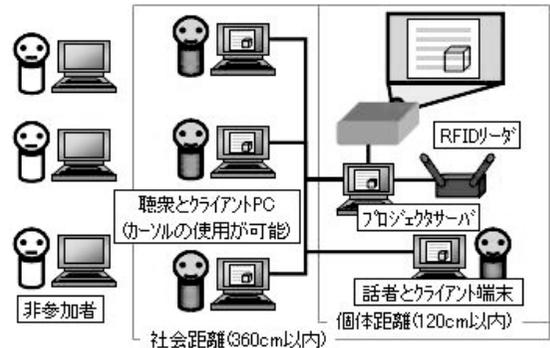


図3 システム構成  
Fig.3 Architecture of projector system.

4つの対人距離のいずれにあ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 プロジェクタシステムの構成

図3にプロジェクトシステムの構成を示す．プロジェクト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トと接続されており，つねにプロジェクトに表示画面が投影される．

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．

## 5.4 プロジェクタシステムの機能

プロジェクト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，プロジェクト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



図4 プロジェクタ操作画面

Fig. 4 Screen image of projector operating window.

操作権を与える．プロジェクトの画面は最大4つに分割され，複数のユーザが近づいたときには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，プロジェクト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，プロジェクトがデータを投影するスクリーンから社会距離の範囲(360 cm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．

### 5.5 実装画面

プロジェクトシステムの実装画面を示す．図4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，プロジェクト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，プロジェクト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一覧に追加する．

「画像の表示/非表示」「次の画像に進む/1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ト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トサーバの画面上に表示され，指差しを行うことができる．

そのほかに，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．

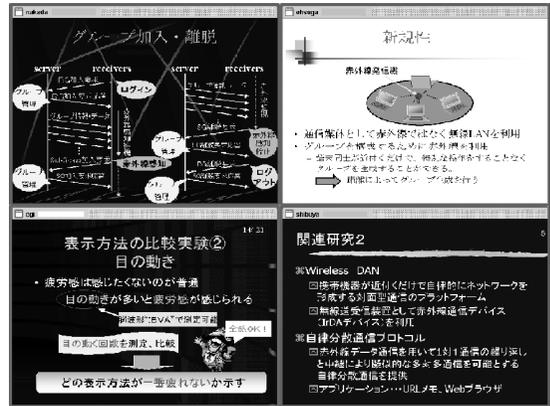


図5 プロジェクタ画面(4人のユーザが表示)

Fig. 5 Screen image of 4 users' projector operation.

図5はプロジェクトに4人の人間が近づ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．

## 6. プロジェクトシステムの評価

本章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ト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．

### 6.1 実験の概要

本稿では，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1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，対面環境で話し合って作業を行ってもらった．図6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」のような大小様々な人物や

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 6 実験に使用した画像の一例

Fig. 6 Example of picture used in experiment.

モノを探索対象として指定した。

本システムが想定する対面コラボレーションの場は 2.1 節で述べたとおりである。実際の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 1 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。

- 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すべ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すべ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替器を利用した場合の 3 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づ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。ユーザが携帯する RFID タグと、ノートパソコンに貼付された RFID タグの組合せはあらかじめ登録しておく。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

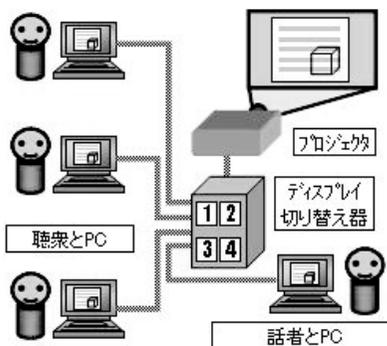


図 7 切替器を用いた場合のハードウェア構成

Fig. 7 Architecture of comparative projector system.

ため、自分のクライアント PC からマウスカーソ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うえで、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。

ディスプレイ切替器を利用する場合 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替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、ディスプレイ切替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 7 にディスプレイ切替器を利用する場合のハードウェア構成を示す。

## 6.2 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 1 枚の画像からすべてのオブ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。

## 7. 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 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、協同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。

### 7.1 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、1 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 5.32 秒、ケーブル繋ぎ替え方式で 22.7 秒、ディスプレイ切替器を用いて 10.34 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づくという手順だけで済む。

ディスプレイ切替器を用いた場合、ケーブルの繋ぎ替えと比べて交代時間は短縮されたが、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

いという点があげられる。一般的に切替器では自分に相当する番号など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ど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。

手間や交代時間といった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。

### 7.2 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、ディスプレイ切替器を用いて 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いえる。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づき、画像を分割して表示するといった利用はあまり見られなかった。

### 7.3 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

表 2 交代にかかった時間と発見個数  
Table 2 Time to change presenters and numbers of found objects.

実験 グループ	プロジェクタシステム			ケーブル繋ぎ替え			ディスプレイ切替器		
	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	5.31 秒	10 個	4 回	21.73 秒	9 個	5 回	8.20 秒	10 個
B	5 回	5.34 秒	11 個	5 回	25.73 秒	10 個	5 回	10.53 秒	12 個
C	6 回	4.93 秒	12 個	3 回	17.49 秒	8 個	4 回	9.17 秒	12 個
D	6 回	5.34 秒	12 個	3 回	22.75 秒	8 個	5 回	11.34 秒	11 個
E	6 回	5.70 秒	11 個	3 回	26.02 秒	7 個	5 回	12.44 秒	9 個
平均	5.6 回	5.32 秒	11.2 個	3.4 回	22.7 秒	8.4 個	4.8 回	10.34 秒	10.8 個

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、ディスプレイ切替器を用いて 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替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といった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れると、残り時間が短くなるにつれ 1 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。

#### 7.4 距離帯を用いた協調作業の支援

ビデオの分析から、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表 3 に示す。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。

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づいて指差したり、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といったケースが見られた。

一方、提案システムでは、27%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いえる。

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

表 3 発見したオブジェクトの説明方法（複数回答）  
Table 3 Ways to notify finding objects (MA).

	プロジェクタシステム	ケーブル繋ぎ替え	ディスプレイ切替器
マウスカーソル	27%	—	—
指差し	72%	90%	88%
口頭のみ	9%	14%	12%

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。

たとえば、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ごとに指定するなどの手法が必要となる<sup>18)</sup>。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、ユーザごと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。

## 8. おわりに

本稿では、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わたるため、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。そのうえで、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といった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。

謝辞 本研究に関して助言をいただいた大菅直人氏と中田愛理氏に感謝する。本研究の一部は、21世紀COEプログラム研究拠点形成費補助金のもとに行われた。ここに記して謝意を表す。

### 参 考 文 献

- 1) 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).
- 2) Streitz, N.A., Geißler, J., Holmer, T., Konomi, S., Müller-Tomfelde, C., Reischl, W., Rexroth, P., Seitz, P. and Steinmetz, R.: i-LAND: an interactive landscape for creativity and innovation, *Proc. SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'99)*, pp.120-127 (1999).
- 3) 倉島顕尚, 前野和俊, 市村重博, 田頭 繁, 武次将徳, 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ブウェアシステム「なかよし」, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.5, pp.2487-2496 (1999).
- 4) 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).
- 5) Hall, E.T.: *The Hidden Dimension*, Doubleday & Company (1966).
- 6) 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).
- 7) Hightower, J. and Borriello, G.: Location Systems for Ubiquitous Computing, *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, pp.57-66 (2001).
- 8) Want, R., Hopper, A., Falcão, V. and Gibbons, J.: The active badge location system, *ACM Trans. Inf. Syst.*, Vol.10, No.1, pp.91-102 (1992).
- 9) Minami, M., Fukuju, Y., Hirasawa, K., Yokoyama, S., Mizumachi, M., Morikawa, H. and Aoyama, T.: DOLPHIN: A Practical Approach for Implementing a Fully Distributed Indoor Ultrasonic Positioning System, *Proc. 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004)*, pp.347-365 (2004).
- 10) Randell, C. and Muller, H.: Low Cost Indoor Positioning System, *Proc. 3rd International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2001)*, pp.42-48 (2001).
- 11) Cox, D., Kindratenko, V. and Pointer, D.: IntelliBadge: Towards Providing Location-Aware Value-Added Services at Academic Conferences, *Proc. 5th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2003)*, pp.264-280 (2003).
- 12) Sumi, Y. and Mase, K.: Digital Assistant for Supporting Conference Participants: An Attempt to Combine Mobile, Ubiquitous and Web Computing, *Proc. 3rd International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2001)*, pp.156-175 (2001).
- 13) McCarthy, J.F., McDonald, D.W., Soroczak, S., Nguyen, D.H. and Rashid, A.M.: Augmenting the Social Space of an Academic Conference, *Proc. 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW'04)*, pp.39-48 (2004).
- 14) Wiberg, M.: RoamWare: An Integrated Architecture for Seamless Interaction In between Mobile Meeting, *Proc. 2001 International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work (GROUP'01)*, pp.288-297 (2001).
- 15) Edwards, W.K., Newman, M.W., Sedivy, J.Z., Smith, T.F., Balfanz, D., Smetters, D.K., Wong, H.C. and Izadi, S.: Using Speakeasy for Ad Hoc Peer-to-Peer Collaboration, *Proc. 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW'02)*, pp.256-265 (2002).
- 16) Krumm, J. and Hinckley, K.: The NearMe Wireless Proximity Server, *Proc. 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004)*, pp.283-300 (2004).
- 17) 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).
- 18) 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).

(平成 17 年 6 月 17 日受付)

(平成 18 年 1 月 6 日採録)



江木 啓訓 (学生会員)

2000年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2002年同大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。2005年同大学院理工学研究科後期博士課程所定単位取得退学。同年より東京農工大学総合情報メディアセンター助手。修士(政策・メディア)。協調作業支援, e-Learning システム, ユビキタスコンピューティング等の研究に従事。電子情報通信学会, 日本教育工学会各会員。



重野 寛 (正会員)

1990年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。1998年同大学理工学部情報工学科助手(有期)。現在, 同大学理工学部情報工学科助教授。博士(工学)。計算機ネットワーク・プロトコル, モバイル・コンピューティング, マルチメディア・アプリケーション等の研究に従事。情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会幹事。著書『～ネットワーク・ユーザのための～無線 LAN 技術講座』(ソフト・リサーチ・センター)、『コンピュータネットワーク』(オーム社)等。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。



岡田 謙一 (フェロー)

慶應義塾大学理工学部情報工学科教授, 工学博士。専門は, CSCW, グループウェア, ヒューマン・コンピュータ・インタラクション。『ヒューマンコンピュータインタラクション』(オーム社)、『コラボレーションとコミュニケーション』(共立出版)をはじめ著書多数。情報処理学会誌編集主査, 論文誌編集主査, GW 研究会主査等を歴任。現在, 情報処理学会 MBL 研究会運営委員, BCC 研究グループ幹事, 日本 VR 学会 CS 研究会副委員長。情報処理学会論文賞(1996年, 2001年), 情報処理学会 40 周年記念論文賞, 日本 VR 学会サイバースペース研究賞, IEEE SAINT'04 最優秀論文賞を受賞。情報処理学会フェロー, IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会会員。