

対面協調作業のための タンジブル・テーブルトップインタフェース

渡辺 晃一郎* 北原 圭吾* 石堂 遼子* 井上 智雄† 岡田 謙一*

* 慶應義塾大学理工学部情報工学科

† 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科

近年、協調作業支援・協調学習支援の分野において、テーブルトップインタフェースやタンジブルインタフェースといった実世界指向のインタフェースに関する研究が進められてきている。本稿では、対面協調作業のためのタンジブル・テーブルトップインタフェースを提案する。複数のユーザが参加する環境において、実物体および電子情報の操作者を特定し、またその操作履歴を記録し、活用可能な対面協調作業空間を構築する。本研究では、個別のユーザに対して情報を提示するなどして、協調作業を円滑に行なえるようにしているほか、オブジェクトの大きさや向きを自動的に調整したり、操作履歴を視覚的に表現することにより、情報の視認性を向上させている。評価実験の結果、短時間で多様な情報にアクセス可能なこと、情報が見易くなったことが分かった。

Tangible Tabletop Interface for CSCW in Face-to-face Environment

Koichiro Watanabe* , Keigo Kitahara* , Ryoko Ishido* , Tomoo Inoue† , and Ken-ichi Okada*

There have been many pieces of research on CSCW and CSCL systems such as tabletop interface and tangible interface. In this paper, we propose tangible tabletop interface for CSCW in face-to-face environment. This system can identify operators of both digital objects and physical objects, and record and utilize the history of operations. In this research, the system enables users to collaborate smoothly by showing information for an individual user. And the system improves visibility of information by adjusting size and the direction of objects and by expressing history of operations visually. Through evaluation experiment, we confirmed that many pieces of information could be accessed in a short time and that it was easy to see information.

1 はじめに

協調作業支援 [1]・協調学習支援 [2] の分野において、対面環境における支援に関する研究が進められてきている。このような研究においては、テーブルトップインタフェースをベースとするものが多い。また、テーブルトップインタフェース上で電子情報と同時に実物体を用いるようなシステムも出てきているが [3]、その

ような電子情報と実物体の混在空間における各ユーザへの個別支援は未だに不足している。

本研究では、テーブルトップインタフェースを用いた対面協調作業に注目し、電子情報、実物体の操作者を識別することで従来の問題点を解決する。これによって、複数人が同時に作業するような環境下においてもシステム側で自動的に、それぞれの作業ユーザに対して適切な支援を行うことができる。また、オブジェクトの操作履歴を利用した支援などの効果的な作業支援を行えるようにした。そして、本システムの有用性を検証するための評価を行った。

* 慶應義塾大学理工学部情報工学科
Department of Information & Computer Science,
Graduate School of Science and Technology,
Keio University

† 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科
Graduate School of Library,
Information and Media Studies,
University of Tsukuba

2 従来の研究と問題点

これまでの対面協調作業支援システムとしては、共有スクリーンやテーブルトップインタフェースを複数人が参加する空間に適用したものが代表的である。

暦本らは、静電容量の変化を用いて手の位置を認識するシステムを提案している [4]。中島らの研究においては、テーブルトップ上でマウスを利用することにより、そのマウスの操作位置によって操作点を把握している [5]。

また、テーブルトップインタフェースと実物体の両方を利用した、実世界指向のテーブルトップインタフェースも研究されてきており、杉本らの、環境問題を対象とした対面型グループ学習支援システムがこれにあたる [6]。

このような中で、各ユーザがスムーズに作業を行うためには、複数人が同時に作業を行える、およびその作業をどのユーザが行っているのかを把握する必要性がある。これは、同時に作業ができなければ他ユーザが作業し終わるのを待たなくてはならないし、作業ユーザが識別できないと個別ユーザに対するサポートが不十分になってしまうためである。そこで、複数人による対面協調作業では、主に多点認識のディスプレイが用いられるようになってきた。電子情報を操作しているユーザの識別も、DiamondTouch[7]等を用いることで可能となった。

しかし前述のように、テーブルトップインタフェース上での作業対象が電子情報だけでなく実物体にまで及んでいるような、実世界指向インタフェース [3] が研究されてきている昨今では、その両方の作業対象に対応できる支援が求められてきていると言える。さらに、ディスプレイ上に多数のオブジェクト（電子情報・実物体）が存在すると、どのオブジェクトに対して注目・アクセスすべきなのかがわかりにくくなってしまふ。従って、どのオブジェクトに対してアクセスすべきなのかということを作業ユーザが容易に把握できるような支援が必要であると考えられる。

3 提案

前述の問題点を解決し、効果的な対面協調作業のためのテーブルトップ・タンジブルインタフェースを提案する。

対面協調作業におけるテーブルトップ環境においては、実物体を用いることでより直感的に作業が行える、電子情報を用いることで効率的に多量な情報を扱うことができるなどの利点がある。しかし単に電子情報の操作者がわかるだけ、または実物体の操作者がわかるだけでは、ユーザが自分で情報の向きを見やすいほうに変えたり、自分が実物体の操作者であることを別に入力したり、個別スペースで作業しなければならないなどといった余計な操作が必要になってきてしまう。

そこで本研究においては、電子情報および実物体の操作者を特別な操作なく識別できるシステムを構築した。これによって電子情報・実物体双方が扱いやすくなると同時に、システム側から自動的に各ユーザに適切な支援を行うことができる。そして各ユーザそれぞれに適切な支援を行うことにより、他ユーザの作業に邪魔されることなく自分の作業ができるようになり、自動的に情報が自分に合わせた状態で提示されるため、効率的な協調作業が実現できる。

具体的な機能としては、電子情報として表示されているオブジェクト上にその作業履歴を示すような視覚的表示を行うことで、未だチェックしていないオブジェクトの存在をわかりやすくしたり、電子情報をユーザに適切な向きや大きさに自動的に変更し、表示させるなどの個別ユーザへの支援を行う。

4 システムの実装

4.1 システム構成

システムの構成を図 1 に示す。まず、大型のタッチパネルディスプレイ（DiamondTouch）を水平に設置し、上からプロジェクターで映像を投影する。各ユーザはこのタッチパネル上で実物体や電子情報を個別に操作することができる。

また、各ユーザは実物体認識用のグローブを装着して実物体を操作することとする。実物体には予め RFID タグが取り付けられている。制御 PC により、映像出力、電子情報および実物体の関連付けが行われる。実装に関しては、Windows 環境において Java を用いた。

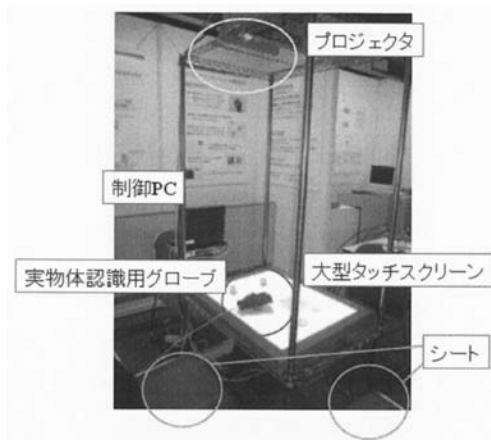


図 1: システム構成

4.2 操作者識別

電子情報の操作に関して

本システムでは、大型タッチパネルとして多点認識可能なディスプレイ DiamondTouch[7]を使用することで電子情報の操作者を識別している(図2)。本装置は、最大4人までのユーザによる同時操作が可能である。また、ディスプレイに接続されたシートに座りながら操作することにより、電気信号を通じて各ユーザによる入力をそれぞれ区別して扱うことができる。つまりどのユーザがディスプレイ上のどの点に触っているかを認識することができる。

実物体の操作に関して

実物体の認識に関しては、Phidgets RFID システムを利用している。図3に示すように、RFID リーダを埋め込んだグローブを装着した手で RFID タグを取り付けた実物体に触れることで、操作中の実物体の認識ができる。また、リーダにあらかじめ ID を割り振っておき、どの ID のリーダで実物体が読み取られたかを調べることによって、どのユーザがどの実物体を操作したかを識別することができる。



図 2: DiamondTouch



図 3: 実物体の認識

4.3 岩石学アプリケーション

本システムを用いたアプリケーションの例として、岩石学アプリケーションを実装した。実装画面を図4に示す。ディスプレイ中央部が共有作業空間となっている。各ユーザの目の前のスペースには個人用の情報表示領域が設けられており、アクセスしているオブジェクト(ここでは岩石の実物やテーブルトップ上に表示された岩石の写真)に関する詳細情報が表示される。情報表示領域内の情報は各ユーザの見やすい方向に表示される。また、個人用の情報表示領域の横にある Menu ボタンをタッチするとポップアップメニューが表示され、選択している岩石の分類に関する説明(大分類・中分類)を表示したり、拡大画像を表示することができる。また、図4において岩石の写真と写真の間に引かれている破線は、各オブジェクトの分類の近さを示しており、分類が近いほど破線が太くなるようにしてある。

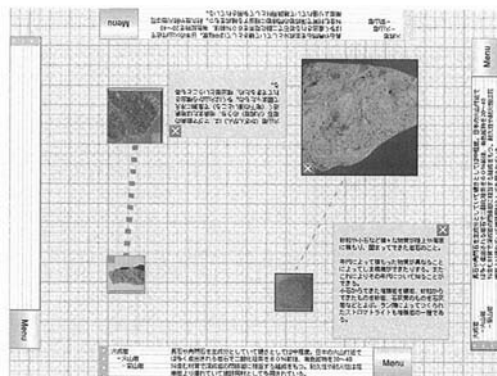


図 4: 実装画面

4.3.1 操作履歴の視覚的表示

ディスプレイ上に多数表示されたオブジェクトにおいて、ユーザそれぞれの操作履歴をオブジェクト上に表示する機能を実装した。具体的には、あるオブジェクトに対してアクセスがあると、その画像の端に、操作済みであることを示すバーを表示する。図5に示したように、バーは、画像の4つの辺のうち、自分の方向にある辺に沿って表示される。図5では、左のオブジェクトは2人のユーザからアクセスがあったことを示しており、右のオブジェクトは1人のユーザからアクセスがあったことを示している。なお、他のユーザからのアクセスを受けて画像の向きが変わっても、履歴を示すバーは自分の向きの辺に沿って表示されるようになっていく。

このように、操作履歴が見た目で容易に把握できるので、各ユーザは自分および他ユーザのアクセス状況を一览できると同時に、自分がまだ操作していない（まだ一度も参照していない）オブジェクトを容易に把握可能である。この機能によって、二重のオブジェクト読み取りなどを防止し、効率的に多くのオブジェクトに対してアクセスできるようになる。

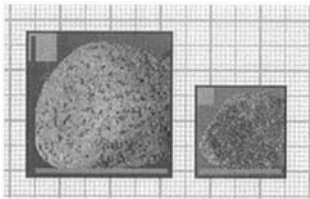


図5: 操作履歴を示すバー

4.3.2 情報の視認性の向上

電子情報の操作者を識別することにより、操作中のオブジェクトの関連情報を、その操作者の向きに自動的に回転させている。これにより、大型ディスプレイを囲むという状況でも、向きが原因で画像や文字情報が読み取りにくくなってしまわなくなることになる。

さらに、それぞれのオブジェクトに関する操作履歴を解析し、これに応じてディスプレイ上に表示されるオブジェクトの表示サイズを随時変更する機能も実装した。今回は単純に、一定時間内にアクセスがあった

場合にオブジェクトが「注目されている」とみなし、一定時間内のアクセス回数が多くなるに従ってオブジェクトのサイズが大きくなる。逆に、一定時間（本稿においては60秒間）アクセスがなかったオブジェクトに対してはそのサイズを自動的に小さくしていくようにした。つまりこの機能と前述の操作履歴表示機能とを合わせると、一度触ったあとに誰も触らず60秒が経過すれば、視覚的履歴表示はされたまま、オブジェクト自体の大きさは小さくなっていく。このようにディスプレイ上の情報の散乱を防止し、情報の視認性を向上させている。

5 評価実験

操作履歴の視覚的表示の有用性、および情報の視認性を検証するため、以下の実験を行なった。

5.1 実験方法

理工学部学生18名を対象として、前述の岩石学アプリケーションを用いて以下の方法で評価実験を行った。

本実験においては、テーブルトップ上に配置されたたくさんの岩石のオブジェクト（実物体または電子情報の写真表示）およびその詳細情報をいかに効率的に被験者が読み取れるかを評価する。評価にあたっては、岩石オブジェクトおよびその詳細情報を読み取ったということを記録用紙に記録していき、すべてのオブジェクトを読み取るまでの時間を計測する。この際、読み取りの記録のため、前述のアプリケーションの岩石オブジェクト及び詳細情報部分を3桁のランダムな数字表示に置き換えた（図6）。これにより、被験者はある岩石をチェックした際、そのコンテンツ上に岩石の代わりに示された数字と、個人用の情報表示領域に詳細情報の代わりに表示された数字の組を記録用紙に記録していく。

実験を行うにあたってまず、システムの操作に慣れんでもらうため、実物体や電子情報の操作方法、機能について説明し、数分間システムに触れてもらった。

ディスプレイ上には、5個の実物体と25個の電子情報の計30個のオブジェクトをランダムな位置に表示しておいた。被験者には、それらすべてのオブジェクトに関して、画像部分に書かれた数字を読み取ってもらうと同時に、詳細情報として表示される数字も読み

取ってもらった。重複のないようにすべてのオブジェクトに関する数字を記録用紙（図7）に書き取り終わるまでの時間を計測した。

なお、複数のユーザが複数のデータを同時に扱っているような協調作業環境における個人作業の状態をつくるため、実験は2名同時に行った。これにより、チェックしたあとのオブジェクトを別の場所に移動したり、自分のチェックしたいオブジェクトを手元に持ってきたりといったことが生じ、自分の意思とは別のオブジェクト移動が起こることになる。操作履歴を表示バーを表示する方法としない方法の2通りで比較実験を行い、それぞれの被験者が読み取りに要した時間を計測した。

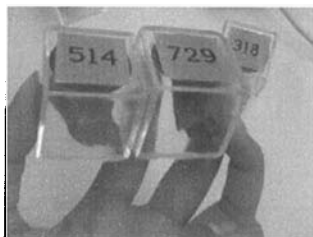


図 6: 実験用の岩石オブジェクト

氏名 _____

記入例

| | | |
|-----|-----|--------|
| 画像 | 情報 | sample |
| 246 | 412 | |

| | | | | |
|----|----|-------------------|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 画像 | 情報 | 個人スペースに表示された数字を書く | 画像 | 情報 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 画像 | 情報 | 画像 | 情報 | 画像 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 画像 | 情報 | 画像 | 情報 | 画像 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 画像 | 情報 | 画像 | 情報 | 画像 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 画像 | 情報 | 画像 | 情報 | 画像 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 画像 | 情報 | 画像 | 情報 | 画像 |

図 7: 評価実験用の回答記録用紙

5.2 実験結果および考察

全被験者における計測時間の平均値、標準偏差、分散を以下に示す。

表 1: 読み取り完了までの時間

| 条件 | 平均(sec) | 標準偏差 | 分散 |
|----------|---------|------|--------|
| 操作履歴バーなし | 268.6 | 67.1 | 4508.1 |
| 操作履歴バーあり | 158.0 | 37.0 | 1365.4 |

ここで読み取り完了までの平均時間において t 検定を行った結果、 $t = 7.525$ となり、有意水準 1% での棄却域に入り、有意な差が生じていることが確認できた。よって、操作履歴を表示した場合のほうが、表示しなかった場合に比べて短時間で読み取りが完了できていることがわかる。また、分散についても F-検定の結果、 $F = 37.49$ となり、有意水準 1% での棄却域に入り、有意な差が生じていることが確認できた。これは、操作履歴を表示した場合には、表示しなかった場合に比べてある程度一定の速度で読み取りを行うことが出来たために、被験者によってそれほど差がなかったものと考えられる。従って、多数のオブジェクトを表示した際に、オブジェクトに対してアクセスを完了するまでの時間をある程度予測したりすることが出来る。操作履歴を表示しなかった場合について考えてみると、読み取るべきオブジェクトが少なくなってくると、多数あるオブジェクトの中からそのようなオブジェクトを見つけ出すのが困難になってくる。記憶を頼りに探していくことになるが、ランダムな数字を多数記憶するのは困難な作業であり、1つ1つ読み取ったオブジェクトかどうかを確認しながら読み取りを行っていくことになる。従って、読み取り時間は偶然に左右される部分が大きく、これが標準偏差が大きくなった原因であると考えられる。

次に、被験者が読み取りを行っている様子を観察したところ、操作履歴を表示しなかった場合には、読み取りを開始した直後はスムーズに読み取りを行っていたが、読み取りを進めていくにつれ、読み取り速度が落ちていく様子を見ることができた。また、読み取りを行うべきオブジェクト、すなわちまだ一度も読み取りを行っていないオブジェクトを見つけるのが次第に困難になっていき、何度も同じオブジェクトをチェックしてしまったり、すべてのオブジェクトをチェックしたと思っけていても、見直してみると重複した記述があったりした。これは、他被験者によるオブジェクトの移動があったためと考えられる。つまり、操作履歴

の表示がない場合、オブジェクトを一つ残らず読み取る方法として、二人がオブジェクトをまったく動かさないという状況を除いては、「読み取ったものを退けていく」という動作があり、これを二人の被験者がお互いに行ってしまうため、まだ読み取っていないオブジェクトを見つけるのが困難になっていた。一方、操作履歴を表示した場合について見てみると、読み取りを進めていくにつれ読み取り速度が低下するといったことはあまり見られなかった。操作履歴を表示しておく、読み取るべきオブジェクトが少なくなってきたり一度チェックしたものがすぐにわかるため、重複したチェック等は起こっていなかった。つまり、自分の意思とは別の、他被験者によるオブジェクト移動が起こっても、操作履歴を示すバーを頼りにすることで未だチェックしていないオブジェクトを容易に見つけられていた。

以上の結果から、操作履歴を表示した場合には、多数のオブジェクトに対して短時間でアクセスできるようになるとともに、被験者による読み取り時間の差も小さくなることがわかった。

6 まとめ

協調作業・学習支援システムとして、テーブルトップインタフェースやタンジブルインタフェースの研究が進められてきている。従来のテーブルトップインタフェース環境において、電子情報と実物体が混在するような空間での対面協調作業には、個別作業に対する支援、共有情報のデータ読み取りの面で支援が不足しているという問題点があった。

そこで本研究では、電子情報および実物体の操作者を識別し、さらにその操作履歴を記録・活用できるような対面協調作業のためのタンジブル・テーブルトップインタフェースを提案した。これにより、複数人が電子情報および実物体を用いて作業する環境において、システム側が個々のユーザの操作を区別して扱えるようになり、個別の作業者に対して、自動的にそれぞれのユーザに適切な支援を行えるようになった。また、操作履歴を視覚的に表示することにより、作業空間内に多数存在するオブジェクトの操作状況を容易に把握できるようになった。そして評価実験より、操作履歴の視覚的表示の有用性、および情報の視認性の向上を確認できた。

今後の課題としては、操作性の向上として、リーダの小型化やディスプレイのノイズの低減が挙げられる。また、加速度センサや傾きセンサなどの新しいデバイスを導入することで、より複雑な作業が可能になると考えられる。また、操作履歴を分析することで、行動予測などの分野に応用していくことを検討している。

謝辞

DiamondTouchディスプレイは、Mitsubishi Electric Research Laboratories の提供による。

参考文献

- [1] 岡田謙一：協調作業におけるコミュニケーション支援、電子情報通信学会誌, Vol.89, No.3, pp.213-217, 2006.
- [2] Stribos, W.J. Martens, L.R. : Group-based learning: Dynamic interaction in groups, Proc. Euro-CSCL Conference 2001, 2001.
- [3] 北原圭吾, 井上智雄, 重野寛, 岡田謙一：協調学習のためのテーブルトップインタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.11, pp.3054-3062, 2006.
- [4] Jun Rekimoto, SmartSkin : An Infrastructure for Freehand Manipulations on Interactive Surfaces CHI2002, pp.113-120, 2002.
- [5] Kousuke Nakashima, Takashi Machida, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura : A 2D-3D Integrated Tabletop Environment for Multi-user Collaboration, Computer Animation and Virtual Worlds, Vol. 18, No. 1, pp. 39-56, 2007.
- [6] Masanori Sugimoto, Kazuhiro Hosoi, Hiromichi Hashizume : Caretta: a system for supporting face-to-face collaboration by integrating personal and shared spaces, Proceedings of CHI'04, pp.41-48, 2004.
- [7] Dietz, P., Leigh, D. : "DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology", ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), pp.219-226, 2001.