

両手入力を用いた図形描画システムの実現について

中村 聡史 塚本 昌彦 西尾 章治郎

大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

本研究グループでは、これまでに、回転、拡大、縮小などの図形描画操作を左右で連携して行う、両手入力を用いた図形描画システムを提案、実装している。本稿では、左マウスで細かい操作を行うことは困難であることから、図形描画システムに改良を加え、グリッドコントロールを導入した。さらに、被験者を用いた実験を行い、実現したグリッドの有効性を示した。また、片手入力と両手入力の操作比較、本システムとCADに代表されるキーボードを利用した数値入力タイプなどとの比較を行うことで、本システムの有効性を示した。

On Realization of a Drawing System with Two-handed Manipulation

Satoshi NAKAMURA

Masahiko TSUKAMOTO

Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

We have previously proposed a user interface of a drawing system with two-handed manipulation. In the proposed drawing interface, we can perform such operations as rotation and zooming in and out with two-handed manipulation. In this paper, we show an enhancement of the system on a grid control. This is based on the fact that the operation of some small objects with the left hand proved difficult. In addition, we show how the developed system is useful and natural by some experiments on comparison of one-handed manipulations with two-handed manipulations and comparison of typical CAD (Computer Aided Design) controls with our system.

1 はじめに

CADシステムに代表される市販の図形描画システムは、図形の作成、複製、回転といった種々の操作を編集コマンドとしてもち、コマンドの組み合わせを使用することで、明示的に詳細な図形を作成することができるが、パラメータを直接数値として入力するものが多い。このような入力方法は直観的ではなく、コマンド呼び出しの手間があり、初心者にとって望む図形を描画するコマンドを呼び出すのは一般に困難である。2次元の図形描画システムの操作性を向上させる手法として、幾何学的制約から、ユーザが望むと予想される図形の候補を複数表示し、選択を行うことで描画できるシステム[3]があり、有効性が示されている。しかし、複雑な図形を描画する際、候補が多く提示されて入力線分の指定が難しくなるうえ、手書き入力の特長より、角度や長さを指定した線分、円弧の描画には向いていない。両手入力を利用し、左手でコマンドを並べた

ツールウィンドウを移動し右手でペイント操作を行えるシステム[1]があり、効率のよい操作が可能となっているが、多くのコマンドを必要とする図形描画を実現するには、ツールウィンドウが複雑化してしまい、操作性が必ずしも向上しない。両手入力を図形の拡大・縮小、回転、移動などに適用した手法[6]で、効果的な操作を可能としているものはあるが、回転角を明示的に指定することはできない。また、スナップ等を利用することで、1つのマウスで回転、拡大縮小を行うシステム[2]があるが、複雑な図形を作成する際には、スナップが多数発生し、操作性が悪化するという問題がある。

筆者らはこれまでに、線分の長さや、角度指定を明示的に行いながらも、高速かつ直観的な操作を可能とする描画システムの構築を目的として、Protractorシステムを提案、実装している[5]。このシステムでは、入力にダブルマウスシステムを利用し、複雑な作業が要求される様々な図形描画操作について、左右で役割分担を行う。また、役割分担を

明示化するために、本システムでは、インタフェースを可視化している。Protractor システムの利用により、ユーザは簡単かつ直観的に図形描画操作が行えるようになると考えられるが、評価実験を行っていなかったため、その有効性が十分に示せていなかった。また、2つのマウスの利用により、直線や四角形の描画において2頂点を一度に指定できるが、左マウスでは細かい操作は困難であるという問題点があるため、操作性が悪化する可能性もある。

本稿では、まず2章でProtractor システムについて述べ、細かい操作を行うことが困難な左マウスシステムのための改良として、グリッドコントロールを導入する。次に、3章で被験者を用いた実験を行い、片手入力と両手入力の操作比較、グリッドの有効性を示す。また、CADに代表されるキーボードを利用した数値入力タイプなどと比較を行うことで、本システムの有効性を示す。4章にて実験に関する考察を行ったあと、5章でまとめおよび今後の課題について述べる。

2 Protractor システム

2.1 Protractor システムについて

Protractor システムのインタフェースとしては、ダブルマウスシステム [4] を用いる。ダブルマウスシステムの利用により、ユーザは2つのマウスポインタを自由に動かせるため、直線や四角形作成における2頂点の瞬時の指定や、2つのオブジェクトの同時移動などが可能となり、操作性は向上するものと考えられる。しかし、一般に右マウスに比べ、左マウスは細かい操作が困難であるという特徴があるため、2つのマウスに同等の役割を与えることが操作性向上に直結しないと考える。本システムでは、左右の特性を十分に考慮し、左右で役割分担を行っている。

また、本システムでは、分担された機能を明示的かつ直観的に利用できるようにするため、図1のように角度指定機能を、分度器の形状で可視化している。同様に、図2のように、半径、角度、弧度などの指定機能を、コンパスの形状で可視化し、角度や長さを指定した直線、円弧の作成を直感化する。それぞれのモードは、左マウスのホイールの回転または、メニューの選択によって切り換える。

図形の作成および、編集操作に利用される移動、回転、拡大・縮小、複製などの操作の役割分担については表1のようになっている。

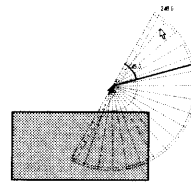


図 1: 分度器

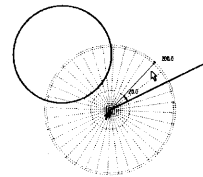


図 2: コンパス

本システムを利用することにより、CAD 型のコマンド入力と数値入力を組合せたシステムに比べ、良い操作性を得ることができると考えられる。しかし、分度器やコンパス形状のインタフェースを利用する場合でも、分度器やコンパスの座標を設定する必要があるため、左マウスに細かい操作が要求され、場合によっては操作性が悪化することも考えられる。

図3は、Protractor システムの利用環境と、スクリーンショットである。ユーザはダブルマウスシステムを利用して、描画システムを操作する。

2.2 グリッドコントロール

役割分担と、機能の可視化により明示的かつ直観的に操作可能となると考えられるが、分度器型インタフェースやコンパス型インタフェースを利用する場合でも、そのインタフェースの位置調整のために、左マウスに細かい操作が要求される。そこで本稿では、システムの改良として、ある程度おおまかな操作で作業が行えるよう、多くの図形描画システムで導入されている、グリッドコントロールを取り入れる。

Protractor システムでは、左マウスのホイールに、機能切り換えを割当てているため、右マウスのホイールに、グリッド幅の変更を割当てる。ユーザは、マウス操作により、図形を作成しながら、自由にグリッド幅を変更し、座標の指定を行うことがで

表 1: 左右マウスの役割分担と機能の可視化

	左	右
移動 操作	図形の移動	図形の移動
	カーソル位置の図形を 選択状態に変更	カーソル位置の図形を 選択状態に変更
回転 操作	図形の回転軸設定	図形の回転角設定
	カーソル位置を中心と して角度を表示	カーソル位置近くに回 転角度を表示
拡大 縮小操 作	拡大変位の指定	拡大変位の指定
	図形を拡大・縮小表示	図形を拡大・縮小表示
複製 操作	複製元指定	複製先指定
	カーソル位置の図形を 選択状態に変更	カーソル位置に複製さ れた図形を表示
線分 作成	始点の指定	長さ・角度の指定
	分度器の形状に変更(角 度, 長さ)を可視化)	カーソル位置近くに長 さ表示(長さ・角度指定 操作を可視化)
円弧 作成	中心の指定	半径の長さ指定
	コンパスと分度器の形 状に変化(角度, 中心点, 半径)を可視化)	カーソル位置近くに角 度・半径表示(角度, 半 径指定操作を可視化)

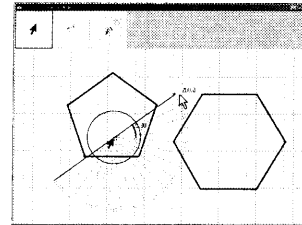
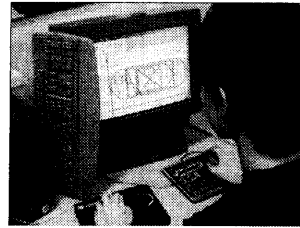


図 3: Protractor の利用状況

きる。グリッドコントロールの利用により、左マウスに細かい操作を要求することがなくなり、操作性が向上するものと考えられる。また、分度器モード、コンパスモードでそれぞれ回転、拡大・縮小中に右マウスのホイールを回すことで、角度指定および長さ指定にもグリッドを適用する。この機能により、角度指定操作等が単純化されると考えられる。

3 評価実験

ここでは、システムの有効性を評価するために、複数の実験を行った結果について述べる。

3.1 実験方法

3.1.1 グリッド実験

導入したグリッドシステムの有効性を示すために、グリッドの大きさによる操作性の変化について調べた。また、シングルマウス操作と、ダブルマウス操作の操作比較を行うことにより、システムの優位性を調べた。実験における被験者と手続きは以下の通りである。

被験者: 被験者は大学生 3 名、大学院生 2 名の計 5 名(平均年齢 22.2 歳)である。5 名中 2 名がダブルマウスシステムの評価実験に参加したことがあった。

手続: グリッドを用いた直線作成を単純化するために、直線の始点および終点を円エリアで表し、グリッドサイズを円の半径で表した。この両エリアをマウスで選択する操作を、直線を描画することと対応付けた。評価システムは、この直線の始点、終点、グリッドの半径を決定し、ウインドウをクリックするよう被験者に要求する。クリック後、ウインドウ上に円で描画された始点および終点をターゲットとして提示し、被験者に両エリアが選択されるまでの時間を測定した。被験者は、この試行を、シングルマウス操作、ダブルマウス操作の両者に関して 5 日間 200 回ずつ行った。

3.1.2 直線作成実験

角度、長さなどを指定した直線作成試行について、以下に示す 4 つの手法について比較を行う。

シングルマウス操作: 始点でマウスボタンを押した状態で、終点位置までマウスカーソルを移動し、終点でマウスボタンを離すことで直線を作成する。この操作においては、図 4(A) のように直線の始点、終点の座標、直線の長さ、角度を表示する。

CAD 型数値入力操作: キーボードの F3 ボタンに直線作成コマンドを割当て、図 4(B) のように直線の始点、長さ、角度を指定する直線作

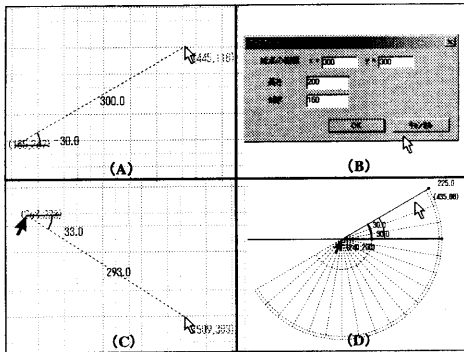


図 4: 直線作成試行におけるインターフェースの例

成に特化したダイアログを用意する。ユーザはこの直線作成コマンドを押し、表示されたダイアログに対して数値入力を行うことで直線を作成する。位置の移動等については、マウスのドラッグ・アンド・ドロップ操作を利用する。実験においては、直線作成の性能のみについて調べるため、直線作成コマンド以外は利用しないものとする。

シングルダブルマウス操作: 左右マウスの右ボタンを押した状態でマウスを移動すると、両マウスカーソル間が点線で繋がる。ボタンを離すと、その点線の位置に直線が作成される。この操作では、図 4(C) のように直線の始点、終点の座標、直線の長さ、角度を表示する。

Protractor 操作: 左マウスのホイールの回転または、メニューの分度器選択により、分度器モードへと移行する。分度器の中心位置は左マウスカーソルの移動に追従するので、左マウスの移動により直線の始点を指定する。直線の長さについては、左マウスの左ボタンを押し下げた状態で、分度器内で右マウスの左ボタンを押し下げ移動することで長さの変更を行う。これは、拡大縮小操作と同様である。また、角度の指定については、回転操作と同様に、左マウスの右ボタンを押した状態で、右マウスの左ボタンを分度器内で押し下げ、マウスを移動することで角度を指定する。さらに、分度器内で右マウスの右ボタンをクリックすると、現在指定されている位置、角度、長さで直線を作成する。この操作では、図 4(D)

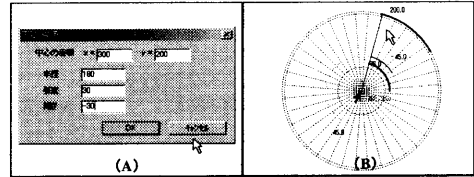


図 5: 円弧作成試行におけるインターフェースの例

のように、中心座標、終点座標、分度器の長さ(直線の長さ)、分度器の角度(直線の傾き)を表示する。

この4つの手法それぞれに関して、値を指定した図形作成試行における操作性の違いについて調べた。特にこの実験では、値のみをデータとして直線を作成する場合の試行と、値とイメージをデータとして直線を作成する場合の両者の試行についての操作性比較も行った。実験における被験者と手続きは以下の通りである。

被験者: 被験者は大学生3名、大学院生2名の計5名(平均年齢22.2歳)である。5名中2名がダブルマウスシステムの評価実験に参加したことがあった。

手続: 実験準備として、値のみをデータとする試行については、座標、長さ、角度の関係のみを書きこんだ見本を12個用意する。一方、値(座標、長さ、角度)とイメージをデータとする試行についても同様に見本を12個用意する。両試行について、上に述べた4つの操作手法(シングルマウス操作、CAD型数値入力操作、シングルダブルマウス操作、Protractor操作)で5回ずつ見本通りに図形を作成する実験を行い、それぞれの操作にかかった時間を計測する。

3.1.3 円弧作成実験

図形の傾き、半径、弧度などを指定した円弧作成試行について、以下に示す2つの手法について比較を行った。

CAD 型数値入力操作: キーボード F5 ボタンに円弧作成コマンドを割当て、図 5(A) のように円弧の中心座標、半径、弧度、角度を指定する円弧の作成に特化したダイアログを用意する。ユーザはこの円弧作成コマンドを押し、表示されたダイアログに対して数値入力を行うことで円弧を作成する。位置の移動が必要な場合については、マウスのドラッグ・アンド・ドロップ操作を利用する。実験においては、円弧作成の性能のみについて調べるため、円弧作成コマンド以外は利用しないものとする。

Protractor 操作: 左マウスのホイールの回転または、メニューのコンパス選択により、コンパスモードへと移行する。コンパスの中心位置は左マウスカーソルの移動に追従するので、左マウスの移動により円弧の中心を指定する。円弧の半径については、左マウスの左ボタンを押し下げた状態で、コンパス内で右マウスの左ボタンを押し下げ、移動することで変更を行う。これは、拡大縮小操作と同様である。また、角度の指定については、回転操作と同様で、左マウスの右ボタンを押し下げた状態で、右マウスの左ボタンをコンパス内で押し下げ、マウスを移動することで角度を指定する。円弧の弧度については、コンパス内で右マウスの右ボタンでドラッグ・アンド・ドロップ操作を行った際の、回転量により決定する。右マウスの右ボタンを離すと、コンパスの中心を円弧の中心として、ドラッグ時の角度、長さ、ドラッグ中の回転角度に基づく弧度で円弧を作成する。この操作では、図 5(B) のように、中心座標、終点座標、コンパスの長さ(円弧の半径)、コンパスの角度(円弧の傾き)、弧度を表示する。

この 2 つの手法それぞれに関して、値を指定した図形作成試行における操作性の違いについて調べた。特にこの実験では、直線作成実験と同様に、値のみをデータとして円弧を作成する場合の試行と、値およびイメージをデータとして円弧を作成する場合の試行両者についての操作性比較も行った。実験における被験者と手続きは以下の通りである。

被験者: 被験者は大学生 3 名、大学院生 2 名の計 5 名(平均年齢 22.2 歳)である。5 名中 2 名がダブルマウスシステムの評価実験に参加したことがあった。

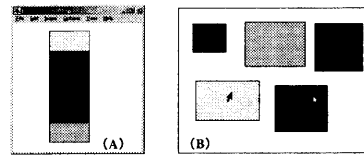


図 6: オブジェクト整理実験

手続: 実験準備として、値のみをデータとする試行については、中心座標、半径、弧度、角度の関係のみを書きこんだ見本を 12 個用意する。一方、値(座標、半径、弧度、角度)とイメージをデータとする試行についても同様に見本を 12 個用意する。両試行について、上に挙げた CAD 型数値入力操作、Protractor 操作で 5 回ずつ見本通りに図形を作成する実験を行い、それぞれの操作にかかった時間を計測する。

3.1.4 オブジェクト整理実験

本システムによる、オブジェクトの拡大および移動などの操作の効率化について調べた。実験における被験者と手続きは以下の通りである。

被験者: 被験者は大学生 5 名、大学院生 8 名の計 13 名(平均年齢 21.9 歳)である。13 名中 1 名のみダブルマウスシステムを利用したことがあった。

手続: 実験準備のため、見本としてそれぞれ別の色で塗り分けられた 5 つのオブジェクトを図 6(A) のように整理し、見本として複数用意する。また、同様の色で塗り分けられた 5 つのオブジェクトを、位置やサイズを変えて図 6(B) のように操作用として用意しておく。被験者は、操作用に用意したオブジェクト群を、見本通りに拡大・縮小を行いながら整理する。その操作にかかる時間、マウスの移動距離を、Microsoft の PowerPoint を用いたシングルマウス操作、本システムを用いたダブルマウス操作について調査した。

3.2 実験結果

実験結果についてまとめる。

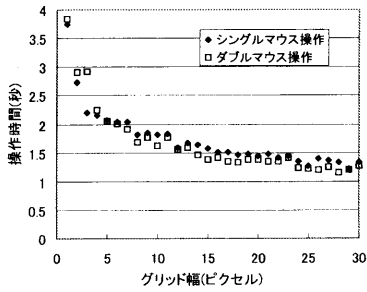


図 7: グリッド実験の結果

図 7はグリッド実験の実験結果である。横軸はグリッド幅を、縦軸は操作にかかった時間を表している。グリッド半径が1であるとき、ただの1つの点であり、グリッドはないものと同じである。また、「Single」はシングルマウス操作を、「Double」はダブルマウス操作の結果を表している。実験結果によると、グリッド幅が小さい時には、グリッド幅が大きい時に比べ、両操作とも3倍近く操作の時間を要している。ダブルマウス操作とシングルマウス操作の関係については、グリッド幅が小さくなればなるほどダブルマウス操作による操作時間が、シングルマウス操作による操作時間を下回り、一方で、グリッドが大きくなればなるほど、ダブルマウス操作が、シングルマウス操作を操作速度において上回っている。

図 8, 9は、値を指定した直線作成実験の結果である。図 8は値のみをデータとする試行の実験結果で、図 9は、値およびイメージをデータとする試行の実験結果である。縦軸は操作にかかった時間を表している。また、「Single」はシングルマウス操作、「CAD」はCAD型数値入力操作、「Double」はシングルダブルマウス操作、「Protractor」は分度器インタフェースを利用した操作を表している。結果は、被験者全員の平均をとったものである。値のみをデータとする試行の実験の結果からは、CAD型数値入力操作のみが30秒程度で操作できているのに対し、シングルマウス操作、ダブルマウス操作、Protractor操作の操作では、50秒以上の時間がかかっていることがわかる。値およびイメージをデータとする試行の実験結果からは、Protractor操作は20秒程度で操作できており、シングルマウス操作、ダブルマウス操作、CAD型数値入力操作の各操作

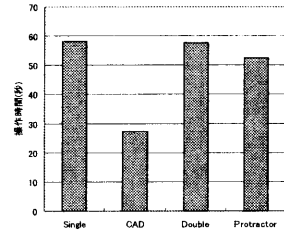


図 8: 直線作成実験結果 (値のみ)

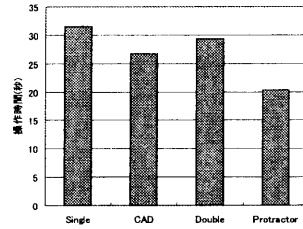


図 9: 直線作成実験結果 (値+イメージ)

結果を上回っている。ダブルマウス操作とシングルマウス操作を比較すると、ダブルマウス操作の結果が、わずかであるがシングルマウス操作の結果を上回っている。値のみをデータとする試行に比べ、値とイメージをデータとする試行は、一般的に操作時間が短くなっている。

図 10, 11は、値を指定した円弧作成実験の結果である。図 10は値のみをデータとする試行の実験結果で、図 11は、値およびイメージをデータとする試行の実験結果である。縦軸は操作にかかった時間を表している。また、「CAD」「Protractor」については前述のものと同じで、結果は被験者全員の平均をとったものである。値のみをデータとする試行の実験の結果からは、CAD型数値入力操作が40秒程度で操作できているのに対し、Protractor操作には1分以上の操作時間がかかっていることがわかる。一方で、値およびイメージをデータとする試行については、CAD型数値入力操作の結果がほとんど変わらないのに対し、Protractor操作の操作時間は30秒弱と、値のみの試行の半分以下の操作時間ですんでおり、CAD型数値入力操作の結果を上回っていることがわかる。

図 12, 13は、オブジェクトの移動、拡大縮小を組合せたオブジェクト整理実験の結果である。図 12

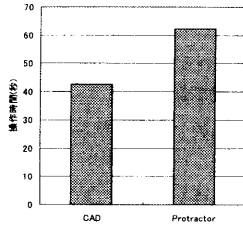


図 10: 円弧作成実験結果 (値のみ)

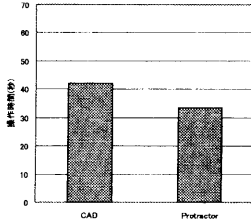


図 11: 円弧作成実験結果 (値+イメージ)

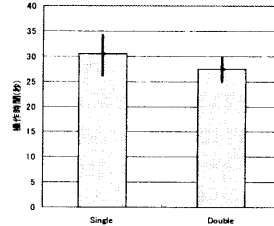


図 12: オブジェクト整理実験結果 (操作時間)

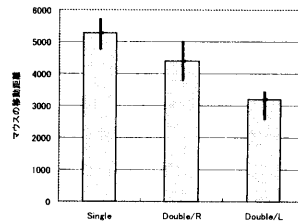


図 13: オブジェクト整理実験結果 (マウスの移動距離)

の縦軸は操作時間を表している。また、図 13の縦軸は操作時にマウスを移動した距離を表している。「Single」はシングルマウス操作を、「Double」はダブルマウス操作を、「Double/L」はダブルマウスの左マウスを、「Double/R」はダブルマウスの右マウスをそれぞれ表している。結果は、被験者全員の平均をとったものであり、図中の縦棒は、結果のばらつきを示している。実験結果から、ダブルマウス操作がシングルマウス操作に比べ、操作時間が短縮できていることがわかる。マウスの移動量については、シングルマウス操作に比べ、ダブルマウス操作の左マウスカーソルの移動量、右マウスカーソルの移動量ともに短くなっているが、両マウスカーソルの移動量をまとめると、シングルマウス操作に比べ、ダブルマウス操作は移動量が増えていることがわかる。

4 考察

本章では、実験結果に関する考察を行う。

グリッドに関する評価実験から、グリッド半径が1のとき、つまりグリッドがない時は、シングルマウス操作、ダブルマウス操作ともに操作性が極端に悪くなっていることがわかる。また、両操作とも

に、グリッド半径が大きくなればなる程、操作性も向上していることから、グリッドは有効であるといえる。ダブルマウス操作とシングルマウス操作の比較を行うと、グリッド半径が小さいときにはシングルマウス操作の方が結果が良く、グリッドとする半径が大きいときにはダブルマウス操作の方が結果が良いことがわかる。これは、左マウスで細かい操作を行うのは困難であるということに起因しており、無理に左マウスで小さなエリアを選択しようとした結果、操作性が悪化したものと考えられる。グリッドとする半径が大きいとき、ダブルマウス操作がシングルマウス操作に比べ良い結果を出しているのは、2頂点を同時に指定できるという特性によるものである。

2章でも述べたように、本システムでは、グリッド幅の指定に右マウスのホイールを割当てている。ホイールは、マウスを移動しながら、またはボタンを押しながらも操作することが可能なため、このホイールによるグリッド幅変更機能は、図形描画操作において非常に有効な機能であるといえる。

直線作成実験から、値のみをデータとして直線を作成する試行では、数値入力に頼らないシングルマウス操作、シングルダブルマウス操作、Protractor

操作ともにCAD型数値入力操作に比べ悪い結果となっている。一方で、値およびイメージをデータとして直線を作成する試行と、値のみをデータとする試行の比較を行うと、数値入力をベースとするCAD型数値入力操作は操作速度に変化はないが、シングルマウス操作、ダブルマウス操作、Protractor操作ともに操作時間が大幅に短縮されている。結果として、シングルマウス操作、ダブルマウス操作はCAD型数値入力操作と遜色のない操作が可能となっている。また、Protractor操作はCAD型数値入力操作を大幅に上回る結果を残している。円弧作成実験についても同様で、値のみをデータとして円弧を作成する試行では、数値入力をベースとするCAD型数値入力操作が良い結果を残し、値とイメージをデータとする試行では、Protractor操作の方が良い結果を出している。これらのことより、イメージを浮かべながら、または見本等を参考にしながら数値入力する試行に本システムは特に向いていると考えられる。例えば、数学などで問題に利用する図形を作成するなどの操作に適していると考えられる。

オブジェクト整理実験から、ダブルマウス操作がシングルマウス操作に比べて5~10%程度良い結果が出ていることがわかる。一方、ダブルマウス操作の移動量を、両マウスカーソルの移動量と計算すると、シングルマウス操作に比べマウスの移動距離は増加している。実験後に被験者に対して行った簡単なアンケートの結果によると、被験者はシングルマウス操作に比べ、ダブルマウス操作の方が楽に感じたとしている。つまり、左右にかかる負荷を単純に足すだけでは、作業における負荷を計算することができないことを表しており、本試行については負荷に変化はないと考える。今回の実験では、実験内容が移動および拡大縮小だけと、単純すぎたため、お互いの結果にそれほど差はでなかった。シングルマウス操作では一般に面倒とされる、回転などの操作を含む試行を行うことにより、ダブルマウス操作は今回の実験よりもさらに有効性を発揮できると考えるため、複雑な操作実験についての評価実験を今後行うつもりである。

本稿では、単純な操作性を比較するために、習熟に関する評価は実施しなかった。これは、多種のコマンドを覚える必要があるCAD型のインタフェースは、習熟が困難であり、また、どの程度のコマンドを覚えれば習熟したとみなせるのかの判断が難しかったためである。習熟に関する議論についても、今後の課題である。

5 結論と今後の課題

本稿では、これまでに提案、実装してきた両手入力を用いた図形描画システムに、グリッドコントロールを導入した。被験者を用いた評価実験から、グリッドコントロールにより、左マウスに要求されていた細かい操作が不要となり、操作性が向上することが示された。また、CAD型数値入力操作との比較により、値のみがデータとして提供されている場合は、操作性向上は見込めないが、値とイメージがデータとして提供されている場合、操作性が格段に向上することがわかった。これらの評価実験により、本システムの有効性が示された。

今後の課題としては、インタフェースの洗練、初心者への習熟に関する評価、エキスパートユーザに対する評価などである。

謝辞

末筆ながら、本研究を進めるにあたって、西尾研究室の諸氏には有益なコメントを多数頂いた。ここに衷心より感謝の意を表す。なお、本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」(プロジェクト番号: JSPS-RFTF97P00501)によっている。ここに謝意を記す。

参考文献

- [1] Bier, E., Stone, M., Pier, K., Buxton, W. and DeRose, T. Toolglass and magic lenses: the see-through interface. *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics*, pp. 73-80, 1993.
- [2] M. Honda, T. Igarashi, H. Tanaka and S. Sakai. Integrated Manipulation: Context-aware Manipulation of 2D Diagrams. *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'99)*, pp. 159-160, November 1999.
- [3] T. Igarashi, S. Kawachiya, H. Tanaka and S. Matsuoka. Pgasus: a drawing system for rapid geometric design. *Proceedings of the conference on CHI 98 summary: human factors in computing systems*, Pages 24 - 25, 1998.
- [4] 中村 聡史, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎. 2つのマウスを用いたウインドウ操作機構の設計と実装. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*. Vol.2, No.4, pp. 309-321, 2000.
- [5] 中村 聡史, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎. Protractor: 機能の可視化に注目した両手操作可能な図形描画システム. *日本ソフトウェア科学会 WISS2000*, pp. 1-6, 2000.
- [6] 松下 伸行, 綾塚 祐二, 歴本 純一. Dual Touch: ペン型PDAのための新しい操作手法. *日本ソフトウェア科学会 WISS'99*, Vol.23, pp. 23-32, 1999.