

大画面ディスプレイ・多画面ディスプレイの導入による業務効率化の測定

柴田博仁^{†1}

本稿は、ディスプレイ構成の違いが業務にもたらす影響を定量的に測定することを狙いとするものである。知的財産管理業務を行う8人の被験者を対象に、17インチのシングルディスプレイ環境 (Small 条件) から、24インチの大画面ディスプレイ環境 (Large 条件)、あるいは2つの17インチディスプレイを並置する多画面ディスプレイ環境 (Dual 条件) へと移行した前後で、およそ2週間ずつ実業務でのウィンドウ操作ログを取得した。ディスプレイ構成の違いによる業務効率化の程度は、ウィンドウ操作に要する時間の総和でとらえることができるという考えに基づき、ウィンドウの切替え、移動、サイズ変更というウィンドウ操作に要する時間を条件間で比較した。結果として、Small 条件では、コンピュータ操作を行っている時間のうち8.5%をウィンドウ操作に費やしていることが分かった。これは、現状のウィンドウシステムにおける改善の必要性を示唆するものである。さらに、Small 条件に対して、Large 条件ではウィンドウ操作のコスト削減は見られなかったが、Dual 条件では13.5%のコスト削減が見られた。これは、ウィンドウ操作に要するコストという観点から、大画面ディスプレイに対する多画面ディスプレイの優位性を示すものである。

Measuring the Efficiency of Introducing of Large Displays and Multiple Displays

HIROHITO SHIBATA^{†1}

The purpose of this paper is to quantitatively measure the efficiency of computer operations in several display environments that differ in the size and configuration of displays. The subjects were eight persons who engaged in intellectual property management activities. They replaced their display environments from single 17-inch displays (Small condition) to single 24-inch displays (Large condition) or dual 17-inch displays (Dual condition). We gathered their action logs for about two weeks before and after the change of their display environments. Based on the hypothesis that the efficiency for different display configurations can be explained as the time consumed for window operations, we compared the cost of window operations, that is, the total time required for

activating, moving, and resizing of windows. As a result, in the small condition the subjects consumed much as 8.5% of the time for the window operations. This suggests the necessity of improvements in current window systems. Furthermore the cost of window operations was not reduced in the large condition in comparison with the small condition, but 13.5% of the cost reduction was observed in the dual condition. This suggests that dual display environments superior to single large environments from the perspective of the cost of window operations.

1. ま え が き

本稿は、コンピュータ操作におけるディスプレイ領域の拡大がもたらす生産性向上の効果を定量的に計測することを意図するものである。

かつて、ディスプレイが高価であった時代には、表示スペースの狭さが問題視されてきた。狭い表示スペースを効果的に利用するために、overview+detail や focus+context を代表とするさまざまな手法が提案されてきた¹⁾⁻⁴⁾。

近年は、ディスプレイの大型化、低価格化が進み、多くの人が大画面ディスプレイ環境、あるいは複数のディスプレイを並べた多画面ディスプレイ環境を利用して業務を行っている。知的作業に携わるオフィスワーカーの20%程度がマルチディスプレイ環境を利用しているといわれており^{5),6)}、今後もその傾向は増えるものと予想される。このような状況のもと、近年、広い表示空間を有効に活用するためのシステムの構築⁷⁾⁻¹²⁾、表示画面が広くなることで生じるウィンドウやアイコンへのアクセスの問題、ディスプレイやウィンドウの配置の問題などの解決^{5),6),13)}へと研究が移行している。

このような一連の研究の流れをとおしていえることは、ディスプレイを広くすることで、コンピュータ上での作業が効率化されるのは当然のこととして考えられているということである。しかし、その効果は具体的にどのように測ることができるのだろうか。Czerwinski らや Tan ら^{14),15)}が指摘するように、ディスプレイ領域の拡大がもたらす効果については、実証の見地から十分に検討されていないのが現状である。

そこで、本稿では、ディスプレイ領域を広くすることによる効果がどのような要因により説明されるのか、その一仮説と実業務での実証実験の結果を示す。特に、1つの大きなディ

^{†1} 富士ゼロックス株式会社研究技術開発本部
Research & Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

スプレィからなる大画面ディスプレイ環境と複数の比較的小さなディスプレイからなる多画面ディスプレイ環境において、各々の効果を定量的に測定し、比較を行う。

調査対象の実業務としては、企業での知的財産管理業務を取り扱う。知的財産管理業務に携わる人は、特許広報、特許明細、特許マップ、特許検索システム、Webの検索システム、辞書、技術者や弁理士とのやりとりのメールやメモなど、さまざまな情報ソースを参照しながら業務を行う必要がある。そして、コンピュータを用いて行う作業が多いため、ディスプレイ環境の改善が業務全体の効率化に与える影響も大きい。コンピュータ上で多数の情報ソースを参照しながら作業を行う業務は、知的財産管理に携わる人に限らず、研究者やアナリスト、弁護士などさまざまな業種で見られる^{16),17)}。このような知識集約的な業務において、ディスプレイ構成の違いが業務に与える影響を明らかにすることは、ホワイトカラーの生産性を追求するにあたり意義あることである。

2. 関連研究

ディスプレイの広さが作業にもたらす影響を定量的に調べた研究は決して多くはないが^{14),15)}、いくつかの特筆すべき研究がなされている。

Czerwinski ら¹⁹⁾は、市販の17インチディスプレイと独自に開発した湾曲した横長の画面ディスプレイ（高さ12インチ、幅48インチ）を用いて、あらかじめ定められた一連のタスクについての比較実験を行っている。結果として、大画面ディスプレイの方がタスク遂行時間が短く、ユーザの主観評価も高かった。

Tan ら^{18),19)}は、同じ情報をサイズの異なるディスプレイに表示してタスクを行う実験を行っている。同じ視野角で同じ情報を見たとしても、遠くに設置した大画面ディスプレイを利用した方が、心的回転や三次元空間のナビゲーションにおけるパフォーマンスが高かった。その理由として、Tan らは大画面ディスプレイを利用する方が没入感が高く、問題空間に自分を置いて考えられるためだとしている。

ディスプレイサイズと性別の違いの係に注目した研究もなされている。一般に、女性は仮想空間のナビゲーションにおいて男性に比べてパフォーマンスが劣るとされている。Czerwinski ら¹⁹⁾は広い作業空間を与えれば性別によるパフォーマンスの違いはなくなることができると考え、湾曲した画面に横幅の広い映像を投影するシステムを用いて実験を行っている。結果として、通常の狭いディスプレイでは性別によるパフォーマンスの違いは大きかったが、広いディスプレイでは性別による違いは無視できるほど小さかった。さらに、Tan ら²⁰⁾もまた、これと同じ問題意識に基づいた実験を行っている。彼らは空間の変化に

対する適切なアニメーションがあれば、性別によるパフォーマンスの違いは少なくなると考え、実際にこれを支持する結果を得ている。これらの結果は、通常のディスプレイ、通常のナビゲーションシステムでは、男女によるパフォーマンスの違いはあるものの、デバイスやソフトウェアの改良により、男女の差を回避できることを示している。

ディスプレイ環境の違いが与える影響を調べたものとして、Hutchings ら²¹⁾は、ユーザのウィンドウ操作ログを取得し、サイズや構成の異なるディスプレイ環境で行われるウィンドウ操作の傾向の違いを分析している。分析によると、ディスプレイが広がるほど、アクティブウィンドウの切替えにおいて、ウィンドウをクリックすることによるウィンドウ切替えが多くなり、タスクバーのクリックによるウィンドウ切替えが少なくなる傾向にある。さらに、ディスプレイが広がると、メーラを代表とするいくつかのアプリケーションに関しては、必ずしもアクティブでなくても、その一部が見える状態にある時間が長くなる。すなわち、サブタスクとして、それとなく注意を払うウィンドウとしての使い方が増えることを示している。Grudin²²⁾もまた、マルチディスプレイ環境のユーザに対するインタビュー調査から、Hutchings らと同様の結果を得ている。2つ以上のディスプレイの同時利用において、複数のディスプレイにまたがるようにウィンドウを表示することはほとんどなく、2つ目のディスプレイはメインの作業を行う空間としてではなく、カレンダーやメールなどの付加的な情報の閲覧に利用されていると述べている。

概して、ディスプレイサイズがタスク遂行のパフォーマンスに与える影響は、実験室での制御された環境において測定されてきた。実業務でのウィンドウ操作ログの取得やインタビューもなされてはいるが、ディスプレイ上の作業空間の使い方や傾向の分析にとどまり、ディスプレイサイズが業務にもたらす効果が定量的に示されているわけではない。本研究では、実業務において、ディスプレイ構成の違いが業務にもたらす影響を定量的に示すことを狙いとする。特に、1つの大きなディスプレイを利用する場合と、小さな複数のディスプレイを組み合わせる場合の違いに着目して効果を比較する。これにより、業務の種類に応じた適切なディスプレイ構成の選択、さらにはそのようなディスプレイを導入するコスト対効果を見積もることができるようになると期待する。

3. 狙い

表示する情報の量が増えなくても画面を大きくするだけで作業の種類によってはパフォーマンスが向上するという報告がなされている¹⁵⁾。しかし、基本的にはディスプレイを大きくすることによる効果は、作業スペースが増え、そこに表示できる情報量が増えることによ

表 1 広いディスプレイを利用することによる効果
Table 1 The effect of using large displays.

	操作負荷の軽減	認知的負荷の軽減
単独ドキュメント	タイプ I: スクロールやページの行き来が少なくなる	タイプ II: 前後関係の把握や全体の俯瞰がしやすくなる
複数ドキュメント	タイプ III: アクティブウィンドウの切り替え, 移動, サイズ変更が少なくなる	タイプ IV: 複数のウィンドウの情報を比較・検討しやすくなる

り説明できる。ここでは、この効果を細分し、本研究での狙いを定める。

まずは、ディスプレイを広くすることによる効果は、ウィンドウの切替え、移動、サイズ変更、スクロールなどを代表とする操作負荷の軽減と、表示領域が増えることによるユーザの認知的負荷の軽減とに大別される。さらに、これを対象とするドキュメントが 1 つの場合と複数の場合とに分けて整理したものを表 1 に示す。

タイプ I の効果は、単独のドキュメントの内容を広く閲覧することによる操作負荷の軽減である。具体的にはスクロールやページ間の行き来が減るということで説明できる。

タイプ II の効果は、単独のドキュメントの内容を広く閲覧することによる認知的負荷の軽減である。ドキュメントの前後関係を把握したり、全体を俯瞰したりすることが容易になることが期待できる。また、文字フォントを大きくしたり、ズームイン/ズームアウトの機能を利用すれば、ディスプレイでの読みやすさが向上することも期待できる。

タイプ III の効果は、複数のドキュメントを同時に閲覧することによるウィンドウ操作負荷の軽減である。通常、ウィンドウが重なり合っている状態では、隠れているドキュメントを表示するために、そのウィンドウをアクティブにする必要がある。複数のウィンドウを同時に閲覧できるように並べることで、アクティブウィンドウの切替え操作が少なくなることが期待できる。さらには、隠れているドキュメントを閲覧するために、ウィンドウの移動やサイズ変更がしばしば行われるが、この手間も軽減されることが期待できる。

タイプ IV の効果は、複数のドキュメントを同時に閲覧することによる認知的負荷の軽減である。通常、複数の重なり合ったドキュメントを比較する際には、一方のドキュメントの

内容が隠れてしまう可能性があるため、ウィンドウ切替えの際、切替え前のウィンドウの情報を覚えておく必要がある。複数のドキュメントを重なり合わないよう並置することで、この必要がなくなる。また、ウィンドウを切り替えながらコピー&ペーストを繰り返す場合など、ウィンドウが重なり合っている場合には画面が切り替わるたびにコピー位置、ペースト位置を探し直す必要があるが、この処理も省けることが期待できる。

関連研究でも述べたように、Czerwinski ら¹⁴⁾ は通常サイズのディスプレイと大画面ディスプレイの比較実験において、前者は後者に比べてタスク遂行時間が長いという結果を得ている。その理由として、事後的な考察をもとにウィンドウのサイズ変更や移動に要する負荷が指摘されている。また、ウィンドウシステムにおけるウィンドウの振舞いの違いが、タスクのパフォーマンスに違いをもたらすという報告もある^{23),24)}。これらの事実は、タイプ III の効果の重要性を示唆するものである。また、本研究では実業務で効果を検証することを狙いとするため、被験者の実験協力の負荷を最小にする必要がある。被験者の認知的負荷を実業務で取得するには、業務を大幅に制限する必要があり、被験者の負荷も高い。さらには、タイプ I の効果を調べるには、任意のアプリケーションに対してスクロールや文字サイズの情報を取得することが必要であるが、これらの情報を自動的に取得することは現状では不可能である。以上のことから、ウィンドウ操作ログの自動収集により効果測定が可能なタイプ III の効果を調査対象とする。実際には、ディスプレイを広くすることによる効果は、ここでの 4 タイプのすべてが関係しているものと考えられる。すなわち、本稿で調査対象とする効果は、ディスプレイの広さが与える影響の一部であることに留意されたい。

4. 実験方法

基本的には、大画面ディスプレイあるいは多画面ディスプレイの導入の前後で、ウィンドウ操作ログを取得し、ウィンドウ操作に費やされた時間を比較する。その差が、この実験で得られる効果となる。

実験におけるディスプレイ環境は次の 3 種類である (17 インチ, 24 インチのディスプレイサイズは各々 1,280 × 1,024, 1,280 × 1,024)。

Small 条件 17 インチの横長ディスプレイ 1 つ

Large 条件 24 インチの横長ディスプレイ 1 つ

Dual 条件 17 インチの横長ディスプレイ 2 つを並置

被験者は、企業で知的財産管理業務に携わる 8 人である*1。全員が個人占有の PC を日常的に利用しており、PC の基本操作には慣れている。導入前、導入後ともに、データ収集はまったく同じ人を対象に行っている。導入前のデータ取得では、8 人全員が Small 条件であり、導入後は 5 人が Large 条件、3 人が Dual 条件である。

データ取得は、2007 年 7 月から 8 月にかけて、導入前のデータとして 1 人あたりおよそ 2 週間分のデータを取得した。2007 年 10 月に被験者に Large 環境あるいは Dual 環境を提供した。新たなディスプレイ環境への習熟期間として 2 週間をおいて、導入後のデータ取得は 2007 年 11 月から 12 月にかけて、1 人あたりおよそ 2 週間分のデータを収集した。

PC のハードウェア構成は被験者によって異なるが、CPU は Celeron あるいは Pentium の 2 GHz 以上、または Core 2 Duo プロセッサであり、メモリは 512 MB から 1 GB である。PC での作業を主体とした日常的な知的財産管理業務を遂行するには問題のない範囲である。OS は全員が Windows XP を利用していた。

ウィンドウ操作ログは、独自に開発したツールにより取得した。このツールは Windows の常駐型アプリケーションとして動作し、被験者にいっさいの負担をかけることなく以下の操作ログを自動で収集する。

- ウィンドウのオープン/クローズ
- アクティブウィンドウの変更
- ウィンドウの移動
- ウィンドウのサイズ変更
- マウスクリック
- マウスカーソルの移動
- キーボード入力

操作ログはイベントの種類とタイムスタンプのほか、状況に応じて、ウィンドウ ID、ウィンドウの位置とサイズ、アプリケーション名、カーソル位置、キーボードのキー名などを保持する。被験者のプライバシーを配慮し、ドキュメントの内容、タイトル、ファイル名などはいっさい取得しなかった。

*1 実際には 9 人分のログデータを取得したが、休暇のため Small 条件で 1 日分しかデータを提供できなかった 1 人分のデータは除いて分析した。

5. 分析方法：ウィンドウ操作のコスト

ウィンドウ操作の種類として、本研究ではウィンドウのアクティブ化 (Activate)、ウィンドウの移動 (Move)、ウィンドウのサイズ変更 (Resize) の 3 種類の操作を対象として分析を行う。これら操作は、すべてのアプリケーションのウィンドウに対して可能な操作であり、しかもシステムにより自動で検出可能なものである。本研究ではウィンドウ操作のコストを上記 3 種類の操作に要する時間の総和として算出する。本章の以降では、各操作に要する時間の算出方法について詳細を述べる。

Activate は、大きく分けて 2 種類の操作によりなされる。タスクバーでのアイコンのクリックあるいはアクティブにしたいウィンドウの表示領域のクリックによりなされる場合と、Alt+Tab キーでウィンドウを選択することによりウィンドウが切り替えられる場合である。前者の操作に要する時間は、マウスが動き始めてからマウスの連続的な移動、クリックを経て、ウィンドウの前面化が完了するまでの時間として算出する*2。ここでは、マウスが 0.25 秒間まったく動かなかった場合に、マウスの動きの連続性が途切れたものと見なししている。一方、後者の操作に要する時間は、Alt+Tab キーが押され始めてから実際にウィンドウがアクティブになるまでの時間を所用時間とする。なお、ウィンドウを開いた直後のそのウィンドウの前面化、ウィンドウを閉じた直後の他のウィンドウの前面化は、ウィンドウのオープン/クローズの直後に必然的に発生するイベントである。よってユーザにとってウィンドウ操作の負荷とは考えられないため、コスト算出の対象から除外する。

Move は、ウィンドウをマウスでドラッグすることによってなされる。よって、Move に要する時間は、連続的なマウスの移動が開始されてから、実際にドラッグが開始され、ドロップにより移動が終了するまでの時間である。マウスの動きの連続性についての考え方は Activate の場合と同じである。

Resize の操作には 2 種類のケースがある。ウィンドウの枠をマウスでドラッグしてサイ

*2 実際のところ、ログだけからマウスの動きがいつ始まったかを正しく判断することは難しい。たとえば、タスクバーへのマウスカーソルの移動中にマウスの動きが一時的に止まることもありうる。このような場合、アクティブ化の操作はマウスが一時的に止まった時点から始まったものと見なされる。この際、本稿でのウィンドウ操作のコスト算出は、実際のコストよりも低く見積もることになる。逆に、マウスをそれとなく連続的に動かしている最中に、突然ウィンドウをアクティブにしようと考えてそのような動きをした場合には、以前にそれとなく動かし始めた時点からアクティブ化のためのユーザの操作が始まったものと見なされる。この際、ウィンドウ操作のコストを実際よりも大きく見積もることになる。しかし、後者のようなケースは少ないものと考えられる。実際、3 秒以上にわたってマウスが連続的に移動していたケースは、マウス移動全体の 1% に満たなかった。このことから、本稿での時間の見積りは、実際よりも少なめになっているものと考えている。

ズを変更する場合と、最小化/最大化のボタンのクリックによるウィンドウサイズの変更である。前者の場合は、Move と同じように、マウスの連続的な動きが始まってから、ドラッグが終了するまでの時間を所要時間とする。後者の場合は、クリック操作による Activate と同じように、マウスの動きが始まってから、ボタンクリックを経て、実際にウィンドウのサイズ変更が終了するまでの時間を所要時間とする。

ここで、Activate、Move、Resize のウィンドウ操作がすべて単独で行われるわけではない。たとえば、非アクティブウィンドウのタイトルバーをドラッグして移動を行うと、まずは Activate イベントが生じ、続いて Move が生じることになる。ここで、後者の Move に要する時間をタイトルバーへ向けてのマウス移動開始から算出すると、Activate のためのマウス移動と Move のためのマウス移動が重複して算出されることになる。このような場合、Activate の終了後に Move が開始されたものとして、ウィンドウ操作の時間算出においては、各操作で所要時間の区間が重複しないようにしている。非アクティブウィンドウのサイズ変更についても同様である。

6. 結果

実験結果の概要を表 2 に示す。導入前は、8 人全員が Small 条件で実験に参加し、のべ 79 日分（1 人あたり 9.9 日）のデータを取得した。導入後は、5 人が Large 条件、3 人が Dual 条件で参加し、のべ 84 日分（1 人あたり 10.5 日）のデータを取得した。

PC 起動時間は導入前、導入後ともに 9 時間前後であるが、PC を起動していたとしても、必ずしも PC を用いて作業を行っていたとは限らない。席を離れることもあるし、自席にいらながらも PC をまったく利用せずに書籍を読んだり、人と話をしたりという作業をしている可能性もある。そこで、被験者が PC に対して何らかの操作を行っていた時間帯を示す「アクション時間」という概念を導入する。アクション時間とは、被験者が PC に対して、マウスかキーボードで何らかの操作を継続的に行っていた時間である。本実験では、PC に対して 2 分以上にわたってマウス、キーボードによるいっさいの操作がなかった場合、その直前の入力操作を最後にアクション時間が途切れたものと見なしている。

6.1 ウィンドウ操作に要するコスト

アクション時間 1 時間^{*1}あたりのウィンドウ操作の所要時間を表 3 に示す。括弧内の数

*1 アクション時間は被験者が PC に対して継続的に操作を行っていた時間の総和であり、操作がなかった時間帯はアクション時間として加算されないため、実際の時間経過では 3,600 秒を超えるはずである。アクション時間 1 時間が、実際の経過時間にしてどれだけになるかは状況により異なるが、実際にアクションを行っていた時間としては 3,600 秒になる。

表 2 実験結果の概要
Table 2 Overview of the result.

	導入前 (全員 Small)	導入後 (Large と Dual)
参加者	8 人	8 人 Large: 5 人 Dual: 3 人
のべ日数	79 日	84 日 Large: 49 日 Dual: 35 日
1 人 1 日あたりの PC 起動時間	8 時間 58 分	9 時間 4 分 Large: 8 時間 50 分 Dual: 9 時間 25 分
1 人 1 日あたりのアクション時間	3 時間 27 分	4 時間 22 分 Large: 3 時間 51 分 Dual: 5 時間 7 分

表 3 アクション時間 1 時間あたりのウィンドウ操作の所要時間
Table 3 The time required for window operations per action time.

条件	所要時間 (時間比率)
Small	307.3 秒 (8.5%)
Large	328.8 秒 (9.1%)
Dual	265.9 秒 (7.4%)

字は、ウィンドウ操作に要する時間の比率を示したものである。

Small 条件では、単位アクション時間あたり、Activate、Move、Resize のウィンドウ操作に 307.3 秒費やされている。これは、被験者が PC に対して何らかの操作を行っている時間の 8.5%に相当する。この数値が大きいのか小さいのかは一概には何ともいえないが、ウィンドウ操作はユーザが PC を使って本来行いたいこと（情報を閲覧したり編集すること）とはまったく関係のない作業である。ウィンドウシステムやディスプレイ環境の改善により、少しでもウィンドウ操作に要するコストが軽減されることが望まれる。

Large 条件と Small 条件の平均を比較すると、Large 条件では、Small 条件に比べてウィンドウ操作の所要時間が 21.5 秒増加している。Large 条件の被験者は 5 人と少ないため、

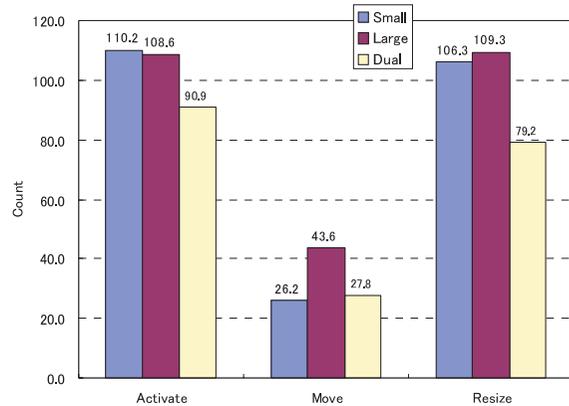


図1 アクション時間1時間あたりのウィンドウ操作回数
Fig.1 Window operation count per action time.

統計的な有意差を被験者間で議論することは意味を持たない。参考までに、Large 環境導入の前後で被験者ごとに t 検定を行ってみると、被験者全員において有意差は見られない ($t(83) = 0.13$, $t(70) = 1.37$, $t(45) = -1.69$, $t(83) = 1.34$, $t(92) = -1.61$)。Small 環境から Large 環境への移行においては、ウィンドウ操作のコストに差はないと考えるのが妥当であろう。

Dual 条件では、Small 条件に比べて、ウィンドウ操作の所要時間が 41.4 秒減少している。これは、Small 条件をベースラインとした場合、13.5%の改善効果に相当する。先と同様に、Dual 条件の 3 人の被験者について Dual 環境導入の前後で被験者ごとに t 検定を行うと、3 人全員が有意に所要時間が減少している ($t(85) = 2.32$, $t(135) = 2.16$, $t(88) = 2.09$; いずれも $p < .05$)。

以上をふまえ、Small 環境から Large 環境に変更しても、ウィンドウ操作に要する時間の観点から改善効果は見られなかったが、Dual 環境では 13.5%のコスト削減が見られた。

以降では、さらに分析を進めることで、Small, Large, Dual の各条件でのウィンドウ操作に要するコストの違いがどのようにしてもたらされたのかを述べる。

ウィンドウ操作の回数

アクション時間1時間あたりの Activate, Move, Resize の操作回数の比較を図1に示す。

Activate について、Large 条件は Small 条件とほぼ同程度であり、Dual 条件では Small 条件よりも 17.5%操作数が減少している。参考までに、Alt+Tab のキーボード操作による

ウィンドウ切替えは、Small 条件で 0.4%、Large 条件で 1.2%、Dual 条件で 0.3%である。Large 条件で Alt+Tab によるウィンドウ切替えの操作が若干増加しているものの、総じて利用頻度は少ない。Activate 操作は、ほとんどマウス操作によりなされているといえる。

Move については、Dual 条件は Small 条件と同程度なのに対して、Large 条件では 66.4%増加している。

Resize について、Large 条件は Small 条件と同程度なのに対して、Dual 条件では操作数が 25.5%減少している。参考までに、クリック操作によるウィンドウの最小化/最大化の操作は、Small 条件で 11.4%、Large 条件で 3.3%、Dual 条件で 6.5%である。ディスプレイ領域が広がると、最大化/最小化の操作は減る傾向にある。

ディスプレイを広くすれば、同時に閲覧できるウィンドウの数も増える。結果としてウィンドウの重なりは減り、ウィンドウの重なりを排除するためにしばしば行われる Activate, Move, Resize の操作回数も減ることが予想される。この考えに基づけば、ディスプレイの表示面積について Large 条件は Small 条件の 1.75 倍、Dual 条件は Small 条件の 2.0 倍になっており、両条件とも半分近くの操作回数の削減が期待されることになる。しかし、実際にはそうっていない。これはウィンドウの重なりが期待ほど減らなかったことを示している。その理由は、第1に、ディスプレイスペースが広がったことで、被験者が多くのウィンドウを起動するようになったためである。同時に開くウィンドウ数の平均は、導入前 (Small 条件) の 6.5 個に対して、導入後は 9.3 個 (Large 条件で 9.6, Dual 条件で 8.9) に上昇している^{*1}。第2の理由は、ディスプレイスペースが広がったことで、被験者がウィンドウをより大きく表示するようになったためである。個々のウィンドウの面積は、導入前に比べて導入後は平均で 10.5% (Large 条件で 13.8%, Dual 条件で 7.2%) 増加している。

また、Activate, Move, Resize のすべての操作をとおして、Dual 条件では Large 条件よりも操作数が少なくなっている。本実験からはこの解釈を支持する定量的な結果は得られていないが、これはシングルディスプレイとマルチディスプレイでのウィンドウ最大化の振舞いの違いによるものと考えている^{*2}。ウィンドウを最大化する場合、マルチディスプレイ環境では 2 つのうちの片方のディスプレイ内で全画面表示になるのに対して、シングルディスプレイ環境では 1 つしかないディスプレイを占有する形で全画面表示になる (これ

*1 Robertson ら⁵⁾ の調査でも、ディスプレイが広がると同時に起動するウィンドウ数が増えることが報告されている。

*2 Dual 条件の被験者による実験後のコメントとして、Dual 環境では個々のディスプレイでドキュメントを最大化できるため、ドキュメントの同時閲覧が容易であるという報告を得ている。

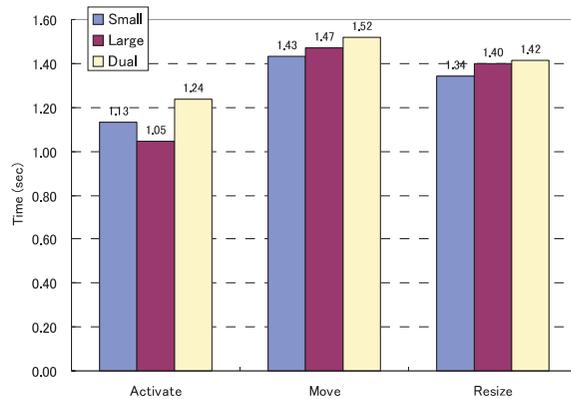


図 2 個々のウィンドウ操作に要する時間

Fig. 2 The time required for each window operation.

は、Dual 条件に比べて、Large 条件では全体的にウィンドウを大きく表示する傾向があることによっても説明される)。すなわち、Dual 条件では 2 つのウィンドウを最大化した状態で閲覧できるのに対して、Large 条件では最大化した状態では 1 つのウィンドウしか閲覧できない。結果として Large 条件でウィンドウを最大化した場合にはウィンドウ切替えのための Activate が頻発し、最大化を利用していない状態では複数のウィンドウを並置するための Move、Resize の操作が増えたものと考えられる。

Move の操作に関して、Large 条件で Small 条件よりも操作数が増加している点について考える。ディスプレイが広がることで、被験者は複数のウィンドウを並べたいと Small 条件のときよりも強く思うようになった。これは、6.2 節で述べるアンケート結果で、被験者が「複数のウィンドウを並べて閲覧することが多くなったように思う」と答えたことにより支持される。Dual 条件では 2 つのディスプレイで別々にウィンドウを最大化して並置することが可能であるが、Large 条件では手でウィンドウ位置を調整する必要がある。Large 条件で Move が増えたのは、このような理由によるものと考えられる。

1 回あたりのウィンドウ操作に要する時間

ここでは、各ウィンドウ操作に要する時間を比較する。各ウィンドウ操作 1 回あたりに要する時間を図 2 に示す。

Activate においては、Small 条件に比べて、Large 条件では 0.08 秒速くなっており、Dual 条件では逆に 0.11 秒遅くなっている。Move、Resize においては、Small 条件、Large 条件、

Dual 条件の順で少しずつ操作時間が増加しているが、その差はわずかであり、どれもほぼ同程度と考えるのが妥当であろう。参考までに、Activate にはマウスクリックで行う場合とキーボード操作で行う場合とがあるが、両者の操作に要する時間には大差はない（平均では後者の方が 0.02 秒速い）。また、Resize にはマウスドラッグにより行う場合とボタンクリックにより行う場合（最小化/最大化）があるが、ここでも両者の操作に要する時間に大差はない（平均では、後者の方が 0.01 秒速い）。

Hutchings ら²¹⁾の実験で明らかにされているように、ディスプレイが広がると、アクティブウィンドウの切替えの際、タスクバーはあまり使われなくなり、ウィンドウのクリックでの切替えが増える傾向にある。Small 条件よりも Large 条件の方が Activate で高速になっているのは、1 つにはこのためと考えられる。さらに、ウィンドウが全体的に大きく表示されるようになったことで、クリックするターゲットが大きくなったことも要因としてあげられる^{*1}。また、ディスプレイ面積の大きい Dual 条件で、Large 条件より遅くなっているのは、ディスプレイに継ぎ目が生じるためと考えられる。

まとめ

本実験では、ウィンドウ操作に要するコストは、Small 条件の場合に比べて、Large 条件では 6.9% の増加、Dual 条件では 13.5% の減少であった。Large 条件では、Small 条件に比べて、Activate の操作が高速になっているが、Activate、Resize での操作回数の減少は見られず、逆に Move において操作回数が増加している。これが、Large 条件における Activate 操作の高速化の効果をキャンセルしている。Dual 条件では、Small 条件に比べて、Activate の操作が遅くなっているが、Activate、Resize での操作回数が減少している。これが全体でのコストの削減につながっている。

6.2 被験者の主観評価

ディスプレイ環境の変化による効果を被験者がどのように感じているのかを調べるため、ログ取得の終了後に、被験者全員にアンケートを実施した。アンケートでは、以前のディスプレイ環境に比べて、業務が効率化されたように感じるか、また PC 操作が快適になったように感じるかという質問に対して 5 段階（5 強く思う、4 やや思う、3 どちらともいえない、2 あまりそう思わない、1 まったくそう思わない）で回答してもらった。図 3 に、この 2 つの問に対する反応の平均を示す。

*1 マウスのカーソル移動とクリックに要する時間の計測モデルとして有名な Fitts の法則によると、ディスプレイ上の任意の点のクリックは、カーソルの移動距離とターゲットの大きさに依存する。

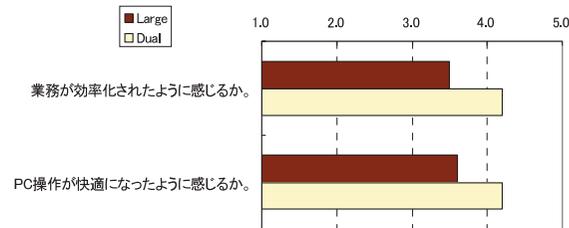


図3 業務の効率化，操作の快適さに対する主観評価

Fig.3 Users' subjective evaluation for the efficiency and the comfort of PC work.

どちらの間においても，Large 条件よりも Dual 条件の方が高い評価を得ている．また，Large，Dual の両条件において，「どちらともいえない」の3よりも高い評価になっている．すなわち，Large 条件，Dual 条件ともに業務が効率化され，PC 操作が快適になったと認識されており，その程度は Dual 条件の方が高いことを示している．

アンケートではまた，ディスプレイ環境の変化に対する感想を自由記述で求めた．概して，Large 条件，Dual 条件ともに，複数ウィンドウ，またウィンドウ内での一覧性が増し，ウィンドウ切替え，スクロールに関しても減少したという報告がなされている．ここで，「ウィンドウ内での一覧性が向上した」「スクロールが減った」という回答は，本実験で調査対象としなかったドキュメント内での一覧性の向上の効果を示唆している．興味深いことは，Large 条件において，「ウィンドウを開くたびにウィンドウの幅や位置を調整するのが面倒」という意見があった．Large 条件での Move，Resize 操作の増加を示唆する意見である．

ウィンドウ操作の自身の振舞いについて，被験者がどのように意識しているのかを問い合わせた結果を図4に示す．結果としては，Large 条件より Dual 条件の方がウィンドウの切替え，移動，サイズ変更の操作が減り，複数ウィンドウを並べての閲覧が多いと認識されている．興味深いことは，ウィンドウの移動，サイズ変更に関して，Large 条件と Dual 条件には大きな開きがあり，Large 条件ではウィンドウの移動，サイズ変更の回数が逆に増えたと認識されている点である．図1で示したように，実際のところ，Large 条件では Small 条件に比べてウィンドウ移動の回数が増加している．すなわち，操作数が増えたことを被験者は正しく認識していたことを示している．サイズ変更については，実際にはほぼ同程度であるが，被験者には増えたと認識されている．

まとめると，ユーザ評価の観点からも，被験者は Large 条件，Dual 条件の方が，Small 条件に比べて「業務が効率的になった」「PC 操作が快適になった」と認識しており，ウィ

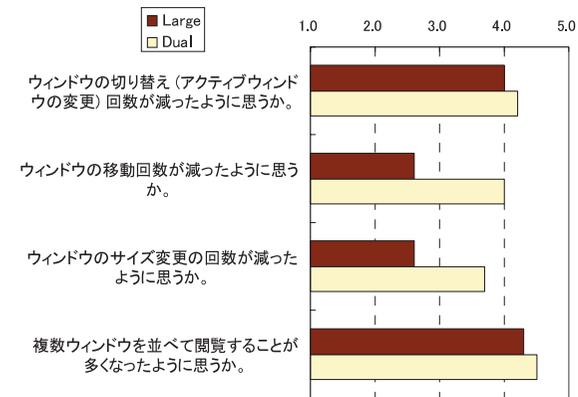


図4 ウィンドウの操作の変化に対する主観評価

Fig.4 Users' subjective evaluation for the change of window operations.

ンドウ操作に関しても「ウィンドウ切替えの回数減った」「複数のウィンドウを同時に閲覧することが多くなった」と感じていることが分かる．Large 条件と Dual 条件の比較では，概して Dual 条件は Large 条件より優位な位置にあり，特にウィンドウの移動，サイズ変更に関して，Large 条件では増えたと認識されているのに対して，Dual 条件では減ったと認識されている．この結果は，おおむね操作ログの分析結果と一致するものである．

7. 考 察

前章では，ウィンドウ操作に要するコストに焦点をあてて，Large 環境と Dual 環境の比較を行ってきたが，ここではこれに加え，解像度，消費電力，価格の観点からの比較を示す．ディスプレイの仕様は商品により異なるため，17 インチディスプレイと 24 インチディスプレイの各々について，売れ筋のディスプレイ 10 個の仕様をもとにした平均を表4に示す*1．解像度については，Large 環境の 2.3 M に対して，Dual 環境では 2.6 M であり，Dual 環境の方がおよそ 13% 広い．消費電力については，Large 環境の 90 W に対して，Dual 環境では 73.6 W であり，Dual 環境の方がおよそ 18% 消費電力が少ない．価格については，Large 環境の 62,956 円に対して，Dual 環境では 40,076 円であり，Dual 環境の方がおよそ 36% 安い．

*1 2008 年 5 月時点での「価格.com」において，各ディスプレイ条件にマッチするものうちランキングの上位 10 個ずつを選定した．

表 4 17 インチディスプレイと 24 インチディスプレイの比較

Table 4 The comparison between 17-inch displays and 24-inch displays.

サイズ	17 インチ	24 インチ
解像度	1280 x 1024	1920 x 1200
消費電力	36.8W	90W
値段	20,038 円	62,956 円

まとめると、大画面ディスプレイ環境よりも多画面ディスプレイ環境の方が、ウィンドウ操作のコストが少なく、解像度が高く、消費電力も少なく、低価格ということになる。ここではすべての評価軸で大画面ディスプレイよりも多画面ディスプレイの方が優れていることになる。しかし、つねに大画面ディスプレイよりも多画面ディスプレイの方が望ましいと考えるのは早計である。3 章で述べたとおり、本稿で評価対象としたのは、あくまで複数のウィンドウを閲覧する状態でのウィンドウ操作の負荷に関するコストのみである。そのほか、単独ドキュメント内でのスクロールやページ切替えに関するコスト、作業領域が増えることによる認知的負荷については、別途、調査が必要である。

最後に、本稿の結果の一般性について考察を加える。ディスプレイ上の任意の点のクリックに要する時間の算出方法として有名な Fitts の法則から明らかのように、Activate、Move、Resize の個々のウィンドウ操作に要する時間は、業務の違いを超えて一般的なものである。これに対して、Activate、Move、Resize のウィンドウ操作の頻度については、業務の種類によって異なることが予想される。そして、ウィンドウ操作に要するコストは、ウィンドウ操作回数に依存するところが大きい。これらの点をふまえると、ウィンドウ操作に要するコストは業種によって違いはあるだろうが、大画面ディスプレイと多画面ディスプレイでのコストの相対的關係は保持されるものと予想する。本稿で調査対象として取り上げた知的財産管理業務は複数のドキュメントを相互参照することが多いため、他の業種に比べてウィンドウ操作のコストが高いと予想する。しかし、もちろんこれは追試により確認すべきことであるが、ウィンドウ操作のコストという観点から多画面ディスプレイが大画面ディスプレイよりも優位な位置にあるという関係は業種を超えて一般的なものであろうと考えている。

8. む す び

本稿では、複数のウィンドウを取り扱う場合のウィンドウ操作に要するコストに着目することで、ディスプレイ環境の違いによる効果を定量的に比較することを試みた。被験者の実

業務で自動収集したウィンドウ操作ログを分析することで、2 つの重要な示唆を得た。

第 1 に、17 インチのシングルディスプレイ環境において、被験者が PC に何らかの操作を行っている時間の実に 8.5% が、ウィンドウのアクティブ化、移動、サイズ変更という被験者が PC を使って本来行いたい知的作業とはまったく無縁のウィンドウ操作の時間に費やされていたことである。これは現状の多くの OS で採用されているウィンドウシステムの振舞いに疑問を呈するものであり、改善の必要性を示唆するものである。

第 2 に、ウィンドウ操作に要するコストの観点から、17 インチのシングルディスプレイ環境から 24 インチの大画面ディスプレイ環境に変更した場合にはコスト削減の効果は見られず、17 インチディスプレイ 2 つの多画面ディスプレイ環境に変更した場合には 13.5% のコスト削減が見られた。その要因は、多画面ディスプレイ環境でウィンドウのアクティブ化、サイズ変更の回数が減少したためである。これは、複数のウィンドウを並べて表示したり、ウィンドウの切替えが多い場合には、ウィンドウ操作のコストの観点からは、大画面ディスプレイよりも多画面ディスプレイの選択が望ましいことを示唆する。

ディスプレイ構成が業務の効率化にどのような影響を与えるかという観点から、本稿で示した結果は、あくまで効果全体の一部にすぎない。また、その結果についても、十分な被験者とともに確認したのものでもない。それでも複数ウィンドウに対するウィンドウ操作に要する時間という観点から、ディスプレイ構成の違いがもたらす効果を定量的に示したうえで考察を行ったことは意義あることである。大規模実験による追試、単一ウィンドウ内でのページの行き来やスクロール操作の負荷、広く情報を閲覧することによる認知的負荷の低減に関する効果の測定は今後の課題である。

本稿の結果に基づき、現在、ウィンドウ操作に対するコストを軽減するための新たなウィンドウシステムを考案し、開発を進めている段階である。

謝辞 実験で利用したログ取得ツールは、2007 年当時、上海交通大学に所属の徐晟さんが、富士ゼロックスでのインターン期間中に構築したものです。この場を借りて感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Leung, Y.K. and Apperley, M.D.: A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques, *ACM Trans. Computer-Human Interaction*, Vol.1, No.2, pp.126-160 (1994).
- 2) Rao, R., Pederson, J.O., Hearst, M.A., Mackinlay, J.D., Card, S.K., Masinter, L., Halvorsen, P. and Robertson, G.G.: Rich interaction in the Digital Library, *Comm. ACM*, Vol.38, No.4, pp.29-39 (1995).

- 3) Card, S.K., Mackinlay, J.D. and Shneiderman, B.: *Readings in information visualization: Using vision to think*, Morgan Kaufmann Publishers (1999).
- 4) Baudisch, P., Good, N., Bellotti, V. and Schraedley, P.: Keeping things in context: A comparative evaluation of focus plus context screens, overviews, and zooming, *Proc. CHI '02*, pp.259–266 (2002).
- 5) Robertson, G., Czerwinski, M., Baudisch, P., Meyers, B., Robbins, D., Smith, G. and Tan, D.: The large-display user experience, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.25, No.4, pp.44–51 (2005).
- 6) Czerwinski, M., Robertson, G., Meyers, B., Smith, G., Robbins, D. and Tan, D.: Large display research overview, *Proc. CHI '06*, pp.69–74 (2006).
- 7) Swaminathan, K. and Sato, S.: Interaction design for large displays, *Interactions*, Vol.4, No.1, pp.15–24 (1997).
- 8) MacIntyre, B., Mynatt, E., Vaida, S., Hansen, K., Tullio, J. and Corso, G.: Support for multitasking and background awareness using interactive peripheral displays, *Proc. UIST '01*, pp.41–50 (2001).
- 9) Guimbertiere, F., Stone, M. and Winogard, T.: Fluid interaction with high-resolution wall-size displays, *Proc. UIST '01*, pp.21–30 (2001).
- 10) Lai, J., Levas, A., Chou, P., Pinhanez, C. and Viveros, M.: BlueSpace: Personalizing workspace through awareness and adaptability, *International Journal of Human Computer Studies*, Vol.57, No.5, pp.415–428 (2002).
- 11) Nacenta, M.A., Sallam, S., Champoux, B., Subramanian, S. and Gutwin, C.: Perspective cursor: Perspective-based interaction for multi-display environments, *Proc. CHI '06*, pp.289–298 (2006).
- 12) Ni, T., Bowman, D.A. and Chen, J.: Increased display size and resolution improve task performance in information-rich virtual environments, *Proc. Graphics Interface '06*, pp.139–146 (2006).
- 13) Baudisch, P., Cutrell, E., Robbins, D., Czerwinski, M., Tandler, P., Bederson, B. and Zierlinger, A.: A drag-and-pop and drag-and pick: Techniques for accessing remote screen content on touch- and pen-operated systems, *Proc. INTERACT '03*, pp.57–64 (2003).
- 14) Czerwinski, M., Smith, G., Regan, T., Regan, B., Robertson, G. and Starkweather, G.: Toward characterizing the productivity benefits of very large displays, *Proc. INTERACT '03*, pp.9–16 (2003).
- 15) Tan, D.S. and Czerwinski, M.: Effects of visual separation and physical discontinuities when distributing information across multiple displays, *Proc. OZCHI '03*, pp.184–191 (2003).
- 16) Sellen, A.J. and Harper, R.H.: *The myth of the paperless office*, The MIT Press (2001).
- 17) O'Hara, K.P., Taylor, A., Newman, W. and Sellen, A.J.: Understanding the materiality of writing from multiple sources, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.56, No.4, pp.269–305 (2002).
- 18) Tan, D.S., Gergle, D., Scupelli, P. and Pausch, R.: Physically large displays improve performance on spatial tasks, *ACM Trans. Computer-Human Interaction*, Vol.13, No.1, pp.71–99 (2006).
- 19) Czerwinski, M., Tan, D.S. and Robertson, G.G.: Women take a wider view, *Proc. CHI '02*, pp.195–202 (2002).
- 20) Tan, D.S., Czerwinski, M. and Robertson, G.: Women go with the (optical) flow, *Proc. CHI '03*, pp.209–215 (2003).
- 21) Hutchings, D.R., Smith, G., Meyers, B., Czerwinski, M. and Robertson, G.: Display space usage and window management operation comparisons between small monitor and multiple monitor users, *Proc. AVI '04*, pp.32–39 (2004).
- 22) Grudin, J.: Partitioning digital worlds: Focal and peripheral awareness in multiple monitor use, *Proc. CHI '02*, pp.458–465 (2002).
- 23) Bly, B. and Rosenberg, J.: A comparison of tiled and overlapping windows, *Proc. CHI '86*, pp.101–106 (1986).
- 24) Kandogan, E. and Shneiderman, B.: Elastic Windows: Evaluation of multi-window operations, *Proc. CHI '97*, pp.250–257 (1997).

(平成 20 年 8 月 18 日受付)

(平成 20 年 12 月 5 日採録)



柴田 博仁 (正会員)

2003 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。富士ゼロックス株式会社に勤務。ヒューマン・コンピュータ・インタラクション, また最近は人と紙とのインタラクションの研究に従事。ACM, 人工知能学会各会員。