

エネルギー科学研究科
エネルギー社会・環境科学専攻修士論文
題目： 頭部装着型インタフェースデバイス
(HIDE) の製作と応用に関する研究

指導教官： 吉川 榮和教授

氏名： 二階堂 義明

提出年月日： 平成 11 年 2 月 8 日

論文要旨

題目：頭部装着型インタフェースデバイス (HIDE) の製作と応用に関する研究

吉川榮和研究室 二階堂義明

要旨：

本研究は、実作業の妨げにならずに必要な情報を引き出せる新しいハンドフリーなインタフェースデバイスとして昨年度に試作した HIDE の機能を改良・拡張し、それらの機能評価を行い、HIDE を具体的な事例に応用する際の機能構成を考察し、さらにその一例として実際に HIDE を用いた作業支援システムを作成することを目的とする。

本論文では、研究の背景として、次世代のヒューマンインタフェース技術として特に個人用情報デバイスの操作性・汎用性が重要であることを述べ、その中の一つである Wearable Computer の代表的な研究を説明し、その問題点についてまとめた。これらの問題点を解決する目的で昨年度試作した HIDE について述べ、その評価実験に基づき試作型 HIDE に残された問題を明らかにした。

次いで、試作型 HIDE の問題点を解決し、新たに機能を拡張するため、本研究で開発する HIDE の設計方針と新たな拡張機能を提案し、各機能の構成法を述べると共に、各機能を統合した HIDE のユニット構成について述べた。HIDE の基本的な設計方針として、(1)PC をデスクトップ型からモバイル型へ変更すること、(2) グラストロンを用いて表示映像の解像度の改善と情報提示機器の小型化・軽量化を図り、映像表示部分の自動開閉機構を付加すること、および(3) 音声認識・合成ソフトウェアとして Via Voice 98 を用いることとした。一方、新たに、(1) 頭部の回転運動と咀嚼筋の動作でマウス操作が可能なハンドフリーマウス、(2) 装着者の頭部に振動を与えるバイブレーション機能、(3) 装着者とは別の場所で撮影された動画像を無線通信により PC に送信し装着者に提示する遠隔映像提示機能を開発した。

次に、改良・拡張した HIDE の各機能の評価実験を行った。まず、試作型 HIDE の機能を改良した結果、表示映像の最小分解能と音声認識率が向上した。また、拡張機能の一つであるハンドフリーマウスは、評価実験としてターゲットをクリックするのに要する時間を測定し、マウス等の従来のポインティングデバイスよりも若干操作性が劣るものの、十分利用できることを示した。また、バイブレーション機能は、振動により十分装着者の注意を喚起できることを示した。また、遠隔映像提示機能の無線通信距離を評価した結果、無線通信可能距離は約 6m であった。これは、送信器の AV トランスミッタの性能によるので、送信器の改良が必要である。

さらに、具体的な事例として作業員・障害者・高齢者の支援に HIDE を応用する際の機能構成や有効性を考察し、その一例として実際に HIDE を用いた支援システムを開発し、その動作を確認した。

今後の課題としては、さらなる拡張機能の開発や安定した入力操作方法の検討が挙げられる。

目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	3
2.1 研究の背景	3
2.1.1 ヒューマンインタフェースの現状と問題点	3
2.1.2 本研究に関連するインタフェースデバイスの現状	4
2.1.3 試作した HIDE の目的と問題点	7
2.2 本研究の目的	11
第 3 章 HIDE の設計方針とシステム構成	12
3.1 HIDE の設計方針と新たな拡張機能の提案	12
3.2 映像提示機能	15
3.2.1 映像表示光学系	16
3.2.2 液晶画面用バックライト	17
3.2.3 自動開閉機構	18
3.3 音声認識・提示機能	21
3.4 ハンドフリーマウス	21
3.4.1 全体構成	22
3.4.2 人間の頭部運動特性の考察	23
3.4.3 Head-control ポインタ	26
3.4.4 Head-control ポインタの自動キャリブレーション	34
3.4.5 クリックスイッチ	39
3.5 バイブレーション機能	41
3.6 遠隔映像提示機能	42
3.7 ユニット構成	45
3.7.1 頭部装着ユニット	45
3.7.2 腰部装着ユニット	46
3.7.3 拡張ユニット	47

第 4 章 HIDE の機能評価	49
4.1 表示映像の最小分解能の評価	49
4.1.1 実験方法	49
4.1.2 結果	50
4.1.3 考察	50
4.2 音声認識率の評価	50
4.2.1 実験方法	51
4.2.2 結果	51
4.2.3 考察	51
4.3 ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 … 単純課題	52
4.3.1 実験方法	52
4.3.2 結果	53
4.3.3 考察	53
4.4 ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 … 応用課題	55
4.4.1 実験方法	55
4.4.2 結果	57
4.4.3 考察	57
4.5 ハンドフリーマウスの総合評価	59
4.5.1 実験方法	59
4.5.2 結果	59
4.5.3 考察	61
4.6 情報提示機能による注意の喚起に関する評価	61
4.6.1 実験方法	61
4.6.2 結果	63
4.6.3 考察	63
4.7 遠隔映像提示機能の無線通信特性の評価	64
4.7.1 実験方法	64
4.7.2 結果	66
4.7.3 考察	66
第 5 章 HIDE の機能特性と応用事例の考察	68
5.1 HIDE の機能特性	68

5.1.1	情報提示特性	68
5.1.2	入力・操作特性	69
5.2	応用事例の考察	70
5.2.1	作業者支援の例	71
5.2.2	障害者支援の例	77
5.2.3	高齢者支援の例	79
5.3	アプリケーション例による HIDE の応用評価	81
5.3.1	消火活動支援システムの機能と構成	81
5.3.2	試作した消火活動支援システムの動作確認と考察	83
第 6 章	結論	87
	謝 辞	90
	参 考 文 献	91
付録 A	サーボモータの制御の詳細	A-1
付録 B	ハンドフリーマウスの詳細	B-1
付録 C	圧電振動ジャイロの動作原理	C-1
付録 D	評価実験の各被験者の結果	D-1
D.1	Head-control ポインタの自動キャリブレーション方法の評価実験	D-1
D.2	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1	D-6
D.3	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2	D-11
D.4	ハンドフリーマウスの総合機能評価実験	D-14

目 次

2.1	Wearable Computer 研究の進展状況	4
2.2	ジョージア工科大学の Wearable Computer	5
2.3	カーネギーメロン大学の Wearable Computer	6
2.4	アメリカ陸軍の Wearable Computer 研究	6
2.5	視線方向検出の原理	9
2.6	試作型 HIDE のシステム構成	9
2.7	試作型 HIDE の外観	10
3.1	本研究で開発する HIDE のユニット構成	13
3.2	自動開閉機構の概念図	14
3.3	映像表示光学系の概念図	16
3.4	使用した平面蛍光ランプ	18
3.5	平面蛍光ランプに必要な同期信号	18
3.6	平面蛍光ランプ駆動回路のブロック図	19
3.7	サーボモータの制御信号生成回路のブロック図	20
3.8	サーボモータの制御信号	20
3.9	ハンドフリーマウスの操作方法	22
3.10	ハンドフリーマウスの全体構成	23
3.11	トランスミッタ	24
3.12	レシーバの取り付け	25
3.13	頭部の左右方向の通常の頭部回転運動の評価結果	27
3.14	咀嚼筋の位置	28
3.15	圧電振動ジャイロ素子と電圧増幅回路の回路図	29
3.16	製作した回路の特性評価実験の概略	30
3.17	製作した回路の特性評価実験の実験風景	30
3.18	圧電振動ジャイロ特性評価実験の電圧変化結果	32
3.19	角速度と電圧の変換直線	33
3.20	電圧ドリフトおよび頭部の微小揺らぎの概略図	34

3.21	自動キャリブレーション方法の評価で用いたアプリケーション	36
3.22	ウィンドウコントローラ	37
3.23	自動キャリブレーション方法の評価実験における平均タスク遂行時間	38
3.24	クリックスイッチの概念図	40
3.25	製作したクリックスイッチ	40
3.26	用いた振動モータ	41
3.27	振動モータの制御回路	41
3.28	振動モータの内蔵	42
3.29	遠隔映像提示機能の概念図	43
3.30	遠隔映像提示機能のユニット構成	43
3.31	開発した頭部装着ユニット	45
3.32	開発した腰部装着ユニット	46
3.33	開発したハンドフリーマウス	48
3.34	用いた映像送信ユニット	48
3.35	昨年度開発した視線方向検出ユニット	48
4.1	表示映像の解像度評価実験に用いた映像の例	49
4.2	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における平均タスク遂行時間	54
4.3	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 におけるタスク平均遂行時間	57
4.4	ハンドフリーマウスの総合評価における平均タスク遂行時間	60
4.5	情報提示機能による注意の喚起に関する評価実験の概略	62
4.6	遠隔映像提示機能の実験システム	65
4.7	CCD カメラに映す画像	65
4.8	AV トランスミッタから 1m おきの受信画像	67
5.1	原子炉プラント保守点検作業支援システム	72
5.2	内視鏡手術支援システム	74
5.3	消火活動支援システム	76
5.4	加齢と静止視力および動体視力	80
5.5	試作した消火活動支援システムによる操作と提示情報の流れ	84
5.6	試作した消火活動支援システムの提示画面	84

5.7	火点までの経路を提示する動画の一例	85
A.1	サーボモータ制御回路の回路図	A-2
A.2	サーボモータ制御プログラム (1)	A-3
A.3	サーボモータ制御プログラム (2)	A-4
B.1	ハンドフリーマウスの回路図	B-1
B.2	ハンドフリーマウス制御プログラム (1)	B-2
B.3	ハンドフリーマウス制御プログラム (2)	B-3
B.4	ハンドフリーマウス制御プログラム (3)	B-4
B.5	ハンドフリーマウス制御プログラム (4)	B-5
C.1	圧電振動ジャイロの動作原理	C-1
D.1	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 K の平均タスク 遂行時間	D-1
D.2	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 L の平均タスク 遂行時間	D-2
D.3	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 M の平均タスク 遂行時間	D-3
D.4	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 N の平均タスク 遂行時間	D-4
D.5	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 O の平均タスク 遂行時間	D-5
D.6	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 K のタスク遂行時間の平均	D-6
D.7	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 L のタスク遂行時間の平均	D-7
D.8	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 M のタスク遂行時間の平均	D-8
D.9	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 N のタスク遂行時間の平均	D-9
D.10	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 O のタスク遂行時間の平均	D-10

D.11	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 P のタスク遂行時間	D-11
D.12	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 Q のタスク遂行時間	D-12
D.13	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 R のタスク遂行時間	D-12
D.14	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 S のタスク遂行時間	D-13
D.15	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 T のタスク遂行時間	D-13
D.16	ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 P のタスク遂行 時間	D-14
D.17	ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 Q のタスク遂 行時間	D-15
D.18	ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 R のタスク遂行 時間	D-15
D.19	ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 S のタスク遂行 時間	D-16
D.20	ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 T のタスク遂行 時間	D-16

表 目 次

2.1	試作型 HIDE の評価実験の結果	10
3.1	光学部品の重量	17
3.2	液晶表示系の仕様	17
3.3	提示映像の比較	17
3.4	用いたサーボモータの仕様	19
3.5	圧電振動ジャイロ素子の仕様	28
3.6	キャリブレーション方法	35
3.7	自動キャリブレーション方法の評価実験における平均タスク遂行時間の標準偏差	38
3.8	用いた CCD カメラの仕様	44
3.9	用いた AV トランスミッタの仕様	44
3.10	用いた TV 文字多重チューナーソフトウェアの仕様	44
4.1	表示映像の最小分解能の評価実験結果	50
4.2	音声認識率の評価実験に用いた発話単語	51
4.3	音声認識率の評価実験結果	52
4.4	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における平均タスク遂行時間の標準偏差	54
4.5	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における平均タスク遂行時間の標準偏差	58
4.6	ハンドフリーマウスの総合評価における平均タスク遂行時間の標準偏差	60
4.7	音声提示機能の評価実験で用いる音声指示	62
4.8	情報提示機能による注意の喚起に関する評価結果	63
5.1	HIDE の情報提示特性	69
5.2	HIDE の入力・操作機能の特性	71
5.3	原子炉プラント点検作業支援システムで用いる HIDE の機能	73
5.4	手術支援システムで用いる HIDE の機能	75

5.5	消火活動支援システムで用いる HIDE の機能	76
5.6	HIDE を用いた障害者支援システムの例	77
5.7	会話補助システムで用いる HIDE の機能	78
5.8	音声による支援システムで用いる HIDE の機能	79
5.9	操作補助システムで用いる HIDE の機能	79
5.10	高齢者対象 PC 操作支援システム	81
5.11	HIDE-FAS に使用する HIDE の機能構成	82
D.1	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 K の平均タスク 遂行時間の標準偏差	D-2
D.2	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 L の平均タスク 遂行時間の標準偏差	D-2
D.3	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 M の平均タスク 遂行時間の標準偏差	D-3
D.4	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 N の平均タスク 遂行時間の標準偏差	D-4
D.5	自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 O の平均タスク 遂行時間の標準偏差	D-5
D.6	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 K のタスク遂行時間の標準偏差	D-6
D.7	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 L のタスク遂行時間の標準偏差	D-7
D.8	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 M のタスク遂行時間の標準偏差	D-8
D.9	ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 N のタスク遂行時間の標準偏差	D-9
D.10	比較実験 1 における被験者 O のタスク遂行時間の標準偏差	D-10

第 1 章 序論

国際人物比較論

ループルを下げたエリツィンとパンツを下げたクリントン

週間宝石 1998 年 10 月 8 日号電車内中吊り広告より

誰でも目にする車内広告の一つである。一目見ただけで内容が分かるように工夫され、情報を瞬時に取り込むことができるゴシップ記事である。多くの場合、このようなゴシップ記事を通して、世界情勢を知ることにも可能である。

この例は高度情報化社会における情報の氾濫の一端といえる。このように日常生活のあらゆる場所であらゆる種類の情報を目にすることができ、人々はそれらの情報から政治経済および社会一般の動向を知ることができるため、情報は必要不可欠なものと考えている。つまり、現代社会では情報というのはある種の空気のように生活空間に充満し、当然あるべきものなのである。

そこで、生活空間に充満している情報の中から必要な情報を瞬時にかつ簡単に取り出せるシステムが必要となる。その技術の一例としてインターネットの検索システムがあり、調べたい文献や情報を瞬時に選別して提示することができる。情報の検索・提示は日常生活のあらゆる場面で必要であるが、特に何らかの作業を行っている者が情報を簡単に検索・提示できるシステムは実現していない。

また、高度情報化によって情報が氾濫する一方で、情報デバイスが発展し、人々を時間と場所の制限から解放しつつある。例えば、産業革命が起こった 18 世紀当時には、工場という場所で大勢の人が一緒に働くワークスタイルが効率的なシステムであったが、現在では溢れる情報を巧みに操り時間に縛られることなく働くワークスタイルが当然になりつつある。しかし、このような変化は始まったばかりであるため、情報デバイスの設計および使用方法においても試行錯誤の段階である。特に、個人用情報デバイスにおいて、試行錯誤が見られる。その個人用情報デバイスの研究の一つである Wearable Computer の研究では、衣服のように自然に身につけられ情報の入出力が可能なデバイスの開発やそれをういたフィールドスタディの研究を行っている。しかし、そのデバイスを利用する目的として、機器の整備作業や工場の現場労働者に限られているため、一般に浸透しているとは言い難い。

そこで、氾濫する情報の中から必要な情報を瞬時にかつ簡単に検索・提示でき、しかも専門家や技術者だけでなく広く一般の人が利用できるデバイスが必要であると考えられる。

以上を鑑みて、昨年度、実作業の妨げにならずに効果的に情報を提示し簡単に操作できる情報デバイスとして頭部装着型インタフェースデバイス (Head-attached Interface Device : HIDE) を試作し、その評価を行った。HIDE は、装着者の視線方向および音声にて操作を行い、装着者に映像および音声情報を提示できるデバイスである。

しかし、試作したユニットの小型化・軽量化や、情報処理を行う PC(Personal Computer) との無線通信可能距離および表示映像の解像度などの問題点が残っていた。

そこで、本研究では、試作した HIDE の機能を改良・拡張して評価実験により各機能の特性を明らかにし、具体的な応用事例を考察することによって HIDE の有効性を検証し、考察した応用事例のうち一例を取り上げてアプリケーションソフトウェアを開発するとともにその有効性を検証することを目的とする。

本論文の構成は以下の通りである。

第 2 章では、研究の背景として、ヒューマンインタフェース技術および関連研究の現状と問題点を鑑み、それらの問題を改善するため昨年度試作した HIDE(試作型 HIDE) の目的と問題点について考察し、本研究の目的を述べる。

第 3 章では、本研究で開発する HIDE の設計方針と新たな拡張機能を提案し、各機能の構成およびユニット構成を説明する。

第 4 章では、改良・拡張した HIDE の各機能の有効性を検討するための評価実験について述べる。

第 5 章では、具体的な事例に HIDE を応用した場合の拡張機能の有効性を考察し、その中の一例を取り上げ実際にアプリケーションソフトウェアを開発し、その考察を行った結果について述べる。

第 6 章では、本論文を総括し今後の課題について述べ、本論文を結ぶ。

第 2 章 研究の背景と目的

2.1 研究の背景

本節では、まず最初にヒューマンインタフェースの現状と問題点について述べ、次に本研究に関連するインタフェースデバイス研究の現状について述べる。そして最後に、それらの問題を改善するため昨年度試作した HIDE の目的と問題点について述べる。

2.1.1 ヒューマンインタフェースの現状と問題点

以前まで、コンピュータといえば専門家ないし技術者のみが使用できる特殊な機器であったが、近年のハードウェア・ソフトウェア技術の進歩に伴いコンピュータの利用形態は大きく変化し、日常生活のあらゆる場面にコンピュータが持ち込まれるようになった。テレビ、ビデオデッキ、電子レンジなど、誰もが簡単に操作できる家庭電化製品の登場や、携帯電話、ウォークマン、モバイルコンピュータ (モバイル PC) など、個人が好きな時に好きな場所で情報を得られる個人用情報デバイスの発展が特に目覚ましい。家庭電化製品においては、情報弱者と一般にいわれる障害者・高齢者でも、簡単に使えるようなインタフェースの工夫がなされている。

一方、個人用情報デバイスは技術としてまだ新しく、広く一般に浸透しつつある段階である。現在、これらのデバイスは急速に発展している途中であるため、そのインタフェース設計が万人向け、消費者向けになっているとは言い難い。具体例を挙げると、ボタンが小さいため非常に押しにくく、機能が多すぎるため全ての機能を使いこなせない携帯電話、どんな時・場所でも使えるのが利点であるが、画面やキーが小さいため使い易いとはいえないモバイル PC、自動車の運転中でも目的地を入力さえすればルートを分かり易く表示するものの、運転中の操作や表示が原因で事故が絶えないカーナビゲーションシステム等、枚挙に暇がない。これらは、まるで使用者がインタフェースに合わせて操作するのが当然という暗黙の了解がなされているかのようである。

これら個人用情報デバイスのヒューマンインタフェースを総合的に考察してみると、次のようなインタフェース設計がなされていないことに問題がある。

- 誰でも安全に、かつ簡単に使えるインタフェース (操作性)
- 様々な事例・場面に応用できるインタフェース (汎用性)

自動車の運転の際に同時に情報を入出力するカーナビゲーションシステムや、複雑大規模な工学システムの保守作業に個人用情報デバイスを応用する場合、情報を時・場所を選ばずに簡単に入出力する必要があるため、操作性・汎用性の2点が特に重要と考えられる。

2.1.2 本研究に関連するインタフェースデバイスの現状

前項で述べた問題点を解決し得る個人用情報デバイスとして、主にアメリカで研究されている Wearable computer がある。Wearable Computer とは、コンピュータが小さく軽くなって、今日の眼鏡や時計のように常に身に付けられる未来の道具を指す。最初に提唱したトロント大学の Steve Mann によれば、その設計概念^[1]は次のようにまとめられる。

- ユーザの行動の妨げにならず、常にユーザの指示を待つ。
- 周囲の環境を認識する。

以上のような設計概念を基に 1980 年代から研究が始まり、半導体技術が大幅に発展した 1990 年代に研究の成果が現れ始めた。Wearable Computer 研究の進展状況を図 2.1 に示す。図に示すように、1980 年代では多くのデバイスをそのまま統合しただけの



図 2.1: Wearable Computer 研究の進展状況

Wearable Computer が、1990 年代後半には身に付けていても不自然ではないゴーグル型 Wearable Computer にまで進歩した。

現在、数多くの研究開発機関や大学などで Wearable Computer に関する研究が進められているが、その中でも代表的な研究を簡単にまとめる。

ジョージア工科大学

ここでは、自動化された工場で働く人が Wearable Computer を利用することによって、作業機器の管理・保守の専門的知識が不十分な者でも、必要な時に必要な場所で知識を入手できるデバイスの研究^[2, 3]が進められている。ここで開発している Wearable Computer を図 2.2 に示す。このデバイスには現場作業者の頭部に装着するユニットに小型カメラが取り付けられており、その映像を無線通信で外部の管理者に送り、その映像を見て必要時に現場作業員のディスプレイに指示情報を提示するものである。



図 2.2: ジョージア工科大学の Wearable Computer

カーネギーメロン大学

ここでは、ピッツバーグ国際空港の空港内移動システムの細かいメンテナンス作業を支援するデバイスの研究^[4]が進められている。研究中の Wearable Computer を図 2.3 に示す。これは、頭部に装着した市販のヘッドマウントディスプレイ (Head-Mounted Display:HMD)、Private Eye に映像情報を提示し、腰部に装着した PC ユニットのダイヤルとボタンで動作するシステム^[5]で、必要に応じて精密な設計図などのデータを装着者に提供するものである。



図 2.3: カーネギーメロン大学の Wearable Computer



図 2.4: アメリカ陸軍の Wearable Computer 研究

アメリカ陸軍

軍事関連研究であるためその詳細は明らかにされていないが、図 2.4 に示すようなデバイスの研究が進められている^[6]。これは人工衛星を経由した通信で装着者に作戦情報や敵部隊の情報を提供すると同時に、GPS を用いて装着者の位置を把握するものである。主に偵察部隊が利用するようである。

以上のように多くの研究機関で様々な目的のために研究が進められているが、これらの研究には以下の問題点が残っている。

- コンピュータの操作に手を用いる。
- 専用コンピュータを用いるため汎用性がない。

2.1.3 試作した HIDE の目的と問題点

ヒューマンインタフェースデバイスの問題点、および従来研究における問題点を改善するために、効果的に情報を提示し簡単に操作が行えるようなインタフェースデバイスとして、本研究室では昨年度 HIDE を試作した^[7, 8]。

具体的には、HIDE は以下のような方針に基づき、操作と情報提示を統合した新しいインタフェースデバイスである。

- 情報提示方法としては、シースルーで外界の視野を確保しながら映像情報を提示し、さらに音声情報も提示する方法を用いる。
- 両手を使う作業中でも HIDE の操作ができるように、視線や音声による入力操作を実現する。
- 作業の負担にならないように、また行動範囲を制限しないように、モバイル型システムとする。

上記の 3 つの設計方針を実現するために、4 つの機能が必要と考えた。以下に各機能の内容を説明する。

1. 映像提示機能

映像提示機能は、頭部に装着したユニットから片目へ映像情報を提示する機能である。利用する小型ディスプレイは 1.8 インチのカラー液晶ディスプレイを用い、

その際同時に外界も見えるようにシースルーで画像を提示した。実際には、カラー液晶ディスプレイに表示された映像をレンズにより拡大し、ハーフミラーにより装着者の眼前約 120cm の位置に約 29 インチの像を提示した。

2. 音声提示機能

音声提示機能は、映像情報では表現が困難な情報を音声で装着者に提示する機能である。音声ガイダンスは、PC 上で動作する音声合成ソフトウェア (IBM 製の Voice Type) を用いて実現した。

3. 音声認識機能

音声認識機能は、装着者の音声により操作を行うために、装着者の発話を認識する機能である。PC に入力された発話情報は、音声認識ソフトウェア (IBM 製の Voice Type) により意味のある単語として認識される。

4. 視線方向認識機能

視線方向検出機能は、装着者の視線方向や瞬目を検出することによって、音声認識機能と同様に装着者が両手を使わずにコンピュータを操作することを実現する機能である。視線方向検出機能の原理を図 2.5 に示す。装着者の強膜 (白眼) に 2 つの赤外線 LED から赤外線を照射し、その反射光を 4 つの赤外線フォトトランジスタで検出する。強膜部分の赤外線反射光量は角膜 (黒眼) の部分と比べて多くなるので、その反射光量の違いにより視線方向を検出できる。また、閉眼時では、赤外線の皮膚での反射率が眼の部分に比べて高いため、全ての赤外線フォトトランジスタで検出した反射光量が大きくなる。このようにして視線方向および閉眼を検出している。

これら 4 つの機能を実現する機器を全て頭部に装着するとデバイスが非常に重くなるため、各機器を頭部および腰部に分けて装着することにした。また、各機能を統括するコンピュータは、人体に装着せず外部に設置することとし、人体に装着する機器とは無線により通信を行う方法を用いた。

試作型 HIDE の構成をまとめると図 2.6 に示すようになる。また、頭部装着ユニットの外観を図 2.7 に示す。

次に、試作型 HIDE の各機能を評価した結果を述べる。評価実験の結果を表 2.1 にまとめる。

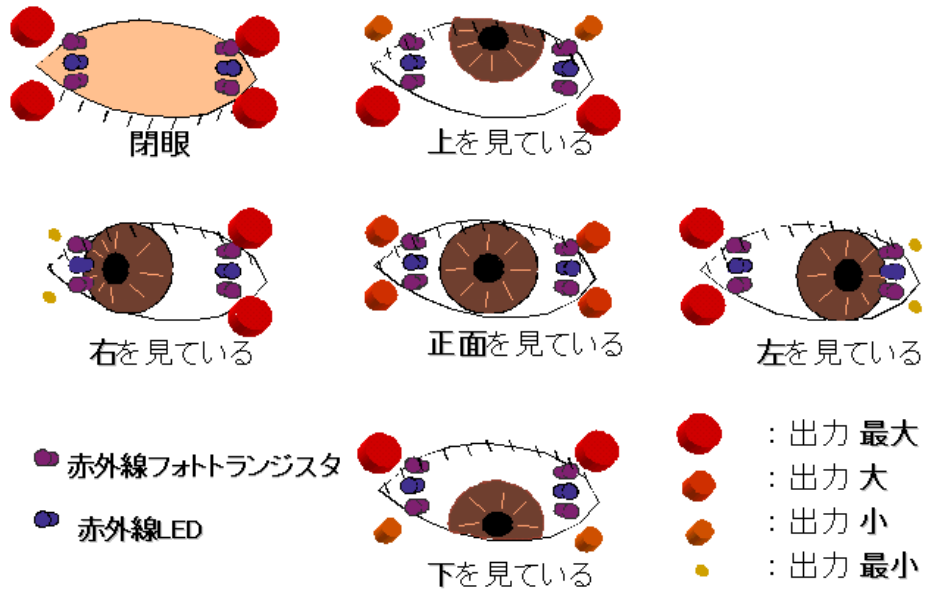


図 2.5: 視線方向検出の原理

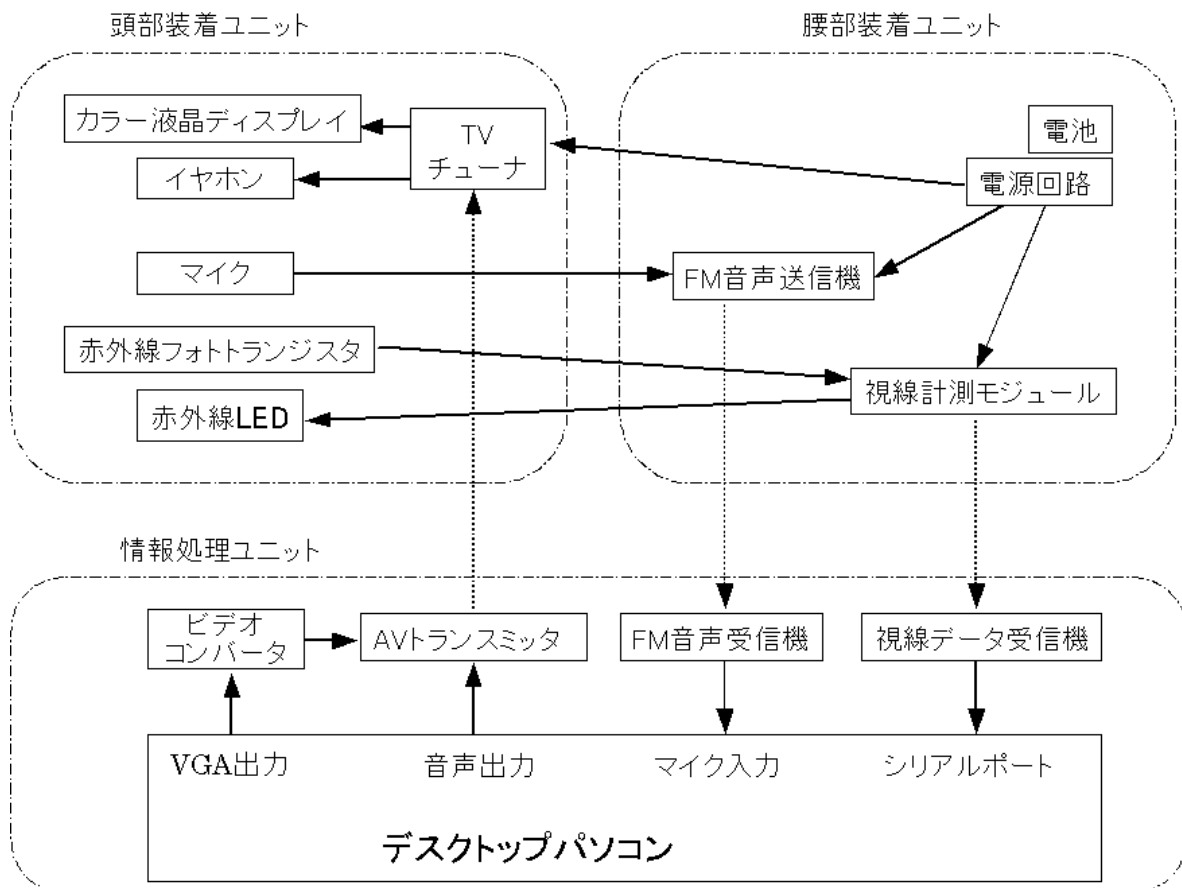


図 2.6: 試作型 HIDE のシステム構成



図 2.7: 試作型 HIDE の外観

表 2.1: 試作型 HIDE の評価実験の結果

表示映像の識別可能最小分解能	4 ~ 5dot
装着者の発話認識率	95.5%
装着者の視線方向検出率と検出時間	93.3%、約 2 秒
情報処理ユニットの通信可能距離	約 8m
動作可能時間	約 90 分
頭部装着ユニットの重量	約 230g
腰部装着ユニットの重量	約 600g

装着者が識別できる表示映像の最小分解能は4~5dotであった。これは、HIDE装着者がシースルー画面に表示されるアプリケーションソフトウェア上のメニューを読みとることが困難な状況である。また、何も映像を表示していない状態であっても、シースルー映像表示のためのーフミラー等の機器が装着者の視野を若干狭めるため、何らかの作業中に利用した場合に作業に影響がでる可能性がある。

また、音声や視線方向の認識は、両方とも90%以上の認識率であり、誤動作もなく安定した性能が得られた。

一方、情報処理を行うPCとの通信可能距離は約8mであり、現在使われているPHSや携帯電話等の通信機器に比べて二桁近く差がある。これでは、実際にHIDEを利用する場合に多くの通信アンテナが必要となり、利用できる状況が非常に制限されるといふ欠点があった。

また、試作したHIDEの頭部装着ユニットの重量は一般の眼鏡の約6~8倍ある上に、図2.7に示すように左側に装置が偏り、重量のバランスが悪いため、安定して装着することが困難であった。

2.2 本研究の目的

本研究では以上の背景をもとに、操作性・汎用性の2点を念頭に置き試作型HIDEを改良すると同時に、具体的な応用事例を想定しユーザの利用状況を考察することを目指し、次の3つを目的とする。

- 試作型HIDEの基本機能の改良および拡張機能の開発を行い、評価実験により各機能の特性を明らかにする。
- 基本機能・拡張機能の特性をもとにして、具体的な応用事例に即した最適な機能構成を考察する。
- 考察した応用事例について一例を取り上げ、その例に最も適した機能構成のHIDEを試作し、アプリケーションソフトウェアを開発するとともに、その有効性を検討する。

第 3 章 HIDE の設計方針とシステム構成

本章では、まず本研究で開発する HIDE の設計方針と新たな拡張機能の提案を行う。次にシステム構成として各機能の構成について説明し、その機能を実際に搭載したユニット構成を最後に述べる。

3.1 HIDE の設計方針と新たな拡張機能の提案

HIDE の設計方針は、2.1.3 項で述べた試作型 HIDE の設計方針を継承し、さらに試作型 HIDE の各機能の評価をもとに問題点を改良し、新たな拡張機能の開発を行うことである。試作型 HIDE の基本機能は、映像提示・音声提示・音声認識・視線方向認識の 4 つである。しかし、実際に統合したシステムを試作した結果、この機能だけでは非常に制限された環境でしか使用できないことが分かった。そこで、本研究では、このうち映像提示・音声提示・音声認識を基本機能とし、後述するその他の機能は応用事例に合わせて選択的に組み込むことが可能な拡張機能とすることで、フレキシブルな機能構成を実現できると考えた。以下、基本機能の改良点および拡張機能について説明する。

- ・基本機能の改良点

1. 通信方式の変更

試作型 HIDE の問題点の一つに、無線通信距離が短いために、装着者の行動が狭い範囲に制限されるということがある。試作型 HIDE では、情報処理を行う PC を人体に装着せず、人体に装着した機器との無線通信により操作命令の認識と情報の提示を行っていた。これは、装着者の行動範囲を制限しないという本来の目的に反して、実際の行動可能範囲を情報処理ユニットから 8m 以内に限定する結果となった。そこで、本研究では、情報処理を行う PC をデスクトップ型からモバイル型に変更し、人体に装着することで無線通信距離による行動可能範囲の制約をなくす。これに伴い、本研究で開発する HIDE のユニット構成は図 3.1 のようになる。なお、図中の各種拡張機能とは、後述する 4 つの拡張機能を指す。

2. 映像提示機能の改良

試作型 HIDE の評価の結果、表示映像の解像度が不十分であり、またシースルー映像表示のためのーフミラー等の機器が外界視野の妨げになることが分かった。そこで、表示映像の解像度の改良および頭部装着ユニットの軽量化・小型化のために、ソニー製 HMD のグラストロンの映像表示部分のうち、片側のみを利用することにす。これは、シースルーで映像を表示でき、現在市販されている HMD の中で最も小型かつ軽量である。また、シースルー映像表示部分が視界の妨げにならないように、必要に応じて図 3.2 のように自動的に顔の上方に開閉させる自動開閉機構を実現する。

3. 音声認識・提示機能の改良

情報処理を行う PC の変更に伴い、拡張カードスロットが少ないモバイル PC で音声認識・提示機能を行うためには、試作型 HIDE で用いたサウンドカードを 2 つ必要とする音声認識ソフトウェア Voice Type では不都合である。そこで、1 つのサウンドカードで音声認識・音声合成が可能なソフトウェアである IBM 製の Via Voice 98 を用いる。これは、約 6 万語の音韻辞書の中からパターンマッチングで音声認識を行い、また装着者の声をあらかじめ登録することによって、癖のある話し方をする人に対しても、高い認識率を得る機能が備わっている。そのため、この Via Voice 98 の使用により認識率の向上が期待できる。

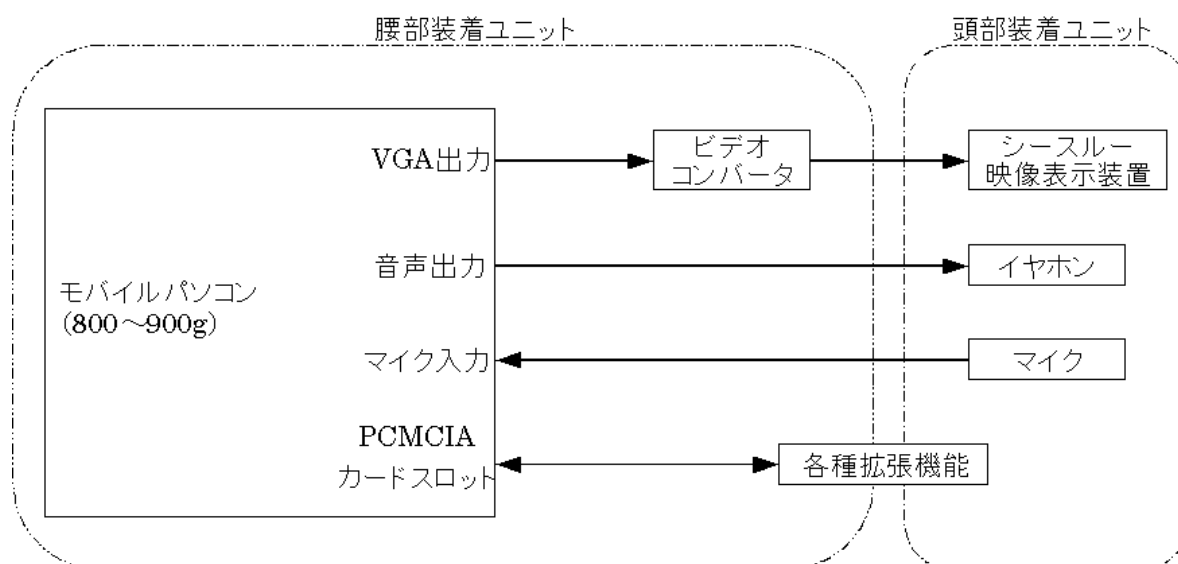


図 3.1: 本研究で開発する HIDE のユニット構成

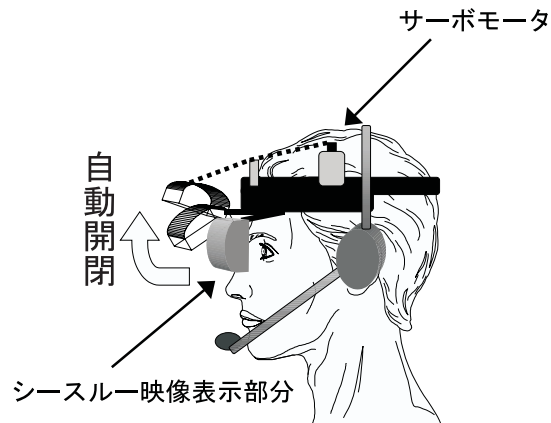


図 3.2: 自動開閉機構の概念図

・ 拡張機能の開発方針

1. ポインティングデバイスの開発

試作型 HIDE ではポインティングデバイスとして視線方向を用いていた。しかし、正確な視線方向を検出するためには、視線方向検出素子が頭部の適切な位置に装着されていることが必要であり、作業中に頭部装着ユニットが少しでもずれると、ポインティングデバイスとして安定して利用することは難しい。また、その視線方向検出素子が外界視野の妨げになる可能性もある。そこで、完全なハンドフリーで操作が簡単に行え、安定して利用できるポインティングデバイスとして、新たにハンドフリーマウスを開発する。このハンドフリーマウスでは、ポインティングカーソルを動かす方法として頭部の回転運動を用いる。頭部は手と同等に上下左右に器用に動かせる上に、手や足のようには右利き・左利きの差がないという利点がある。

2. 情報提示方法の拡張

試作型 HIDE では装着者に情報を提示する方法は映像および音声を提示する機能であった。これらは、装着者の五感のうち視聴覚に情報を提示する機能である。そこで情報提示方法の拡張として、装着者の触覚に対して情報を提示するバイブレーション機能の開発を行う。このバイブレーション機能では、頭部装着ユニットに振動モータを組み込んで頭部に振動を与え、覚醒度が低下している状態でも注意を喚起することが可能となる。

3. 情報提示内容の拡張

試作型 HIDE では装着者に提示する情報の内容は PC に蓄積されているデータだけであった。そこで、情報提示内容の拡張として、装着者とは別の場所の CCD カメラを利用し、そこで撮影された動画像を無線通信により PC に送信し装着者に提示する遠隔映像提示機能を開発する。開発した遠隔映像提示機能により、工場等で大型機械を操作する際に、装着者の視点とは別の視点からの映像を提供することができ、大型機器の正確な操作の支援が可能となる。

以上より、本研究では以下の機能を HIDE の拡張機能とする。

- 視線方向認識機能 (昨年度開発)
- ハンドフリーマウス
- バイブレーション機能
- 遠隔映像提示機能

以下では、改良した基本機能のうち、映像提示機能について 3.2 節で、音声認識・提示機能について 3.3 節で説明する。また、新たに開発する拡張機能のうち、ハンドフリーマウスについて 3.4 節で、バイブレーション機能について 3.5 節で、遠隔映像提示機能について 3.6 節で説明する。なお、視線方向認識機能については、昨年度に既に開発した。その詳細は参考文献 [7] に述べられているので本論文では言及しない。

3.2 映像提示機能

映像提示機能は、PC で生成した映像情報を装着者の片目に提示する機能である。

試作型 HIDE では、小型液晶テレビの表示画面をレンズおよびハーフミラーを用いて拡大し眼前に提示していた。しかし、表示映像の解像度の向上および頭部装着ユニットの小型化・軽量化を図るために、グラストロンの映像表示部分を利用することにした。グラストロンで表示可能な映像信号は NTSC* 方式であるので、PC の映像出力である VGA** 出力信号をビデオコンバータ (Dobbs-Stanford 製 Grand Maxvision Pro) を用いて NTSC 信号に変換して表示する。

* National Television System Committee

** Video Graphics Array

また、グラスロンは本来両眼用であり、液晶画面の光源となるバックライトは、両眼用が一体となったものであるため、本研究で必要とする片目型映像表示には必要以上に大きい。それゆえ、小型で薄型のバックライトを新たに組み込んで用いた。

一方、改良方針で述べたように、映像表示部分が外界視野の妨げにならないように、必要に応じて自動的に顔の上部に開閉する機能として自動開閉機構を組み込んだ。

以下、グラスロンの光学特性および映像特性は 3.2.1 項で、液晶画面用バックライトについては 3.2.2 項で、自動開閉機構については 3.2.3 項で詳細を説明する。

3.2.1 映像表示光学系

グラスロンの映像表示光学系の概念図を図 3.3 に示し、その概略を説明する。装着者の顔の上部に配置された液晶画面の映像は、その画面に対して約 45 度傾いたハーフミラーで反射される。次に凹面のハーフミラーによって拡大されて、装着者の左目に提示される。グラスロンでは、レンズを用いずに凹面のハーフミラーを利用して映像を拡大させる方法であるので、表示映像の色収差が無く、さらに小型かつ軽量の構造を実現している。具体的には、HIDE に組み込んだ場合、試作型 HIDE と比べて表 3.1 に示すように、光学部品が大幅に軽量化されている。

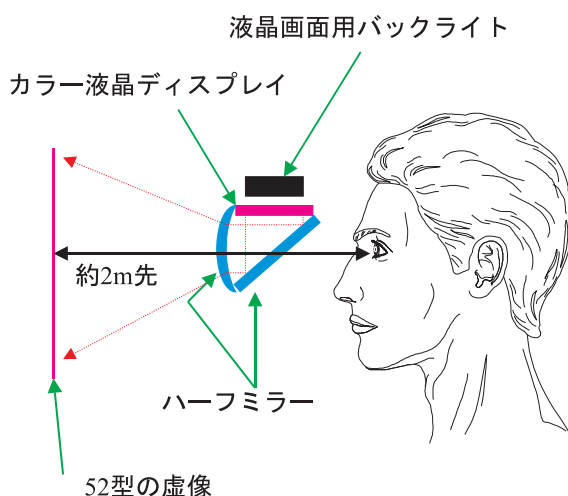


図 3.3: 映像表示光学系の概念図

次に、液晶表示系として試作型 HIDE で用いた液晶テレビ画面と本研究で用いたものの仕様比較を表 3.2 に示す。表 3.2 に示すように、グラスロンを用いることによって、試作型 HIDE と比べて画素数が 3 倍になる。表示する映像のサイズは 640×480 dot であるため、液晶 1 画素当りの解像度は縦 1.31dot/画素、横 1.31dot/画素となり、理論

表 3.1: 光学部品の重量

光学部品	試作型 HIDE	HIDE
表面蒸着ミラー	3.3g	-
ハーフミラー	17g	9.1g
レンズ	36g	-
計	41.4g	9.1g

上は最小 2dot までの解像度で表示できる。

また、装着者に提示する映像の比較を表 3.3に示す。表 3.3に示すように、装着者に提示する映像をより離れた位置に表示でき、視野角も広がるため、表示される映像が見やすくなった。

表 3.2: 液晶表示系の仕様

仕様	試作型 HIDE	HIDE
画面寸法	1.8 型	0.7 型
画素数	6 万画素	18 万画素

表 3.3: 提示映像の比較

仕様	試作型 HIDE	HIDE
虚像の大きさ	29 型	52 型
虚像までの距離	1.2m	2.0m
水平視野角	28 度	30 度
垂直視野角	21 度	22 度

3.2.2 液晶画面用バックライト

小型化・軽量化のため、前述のように液晶画面用バックライトとして薄型平面蛍光ランプ (三洋電子製 KL050DY) を用いることにした。使用した平面蛍光ランプを図 3.4 に示す。この平面蛍光ランプは、画面寸法 0.55 型、重量約 6.5g のユニットである。表 3.2よりグラストロンの液晶画面寸法は 0.7 型であり、平面蛍光ランプと大きさが異なるが、平面蛍光ランプの輝度が高いため (5000 cd/m²) 十分に液晶画面全体を照らし出すことが可能である。

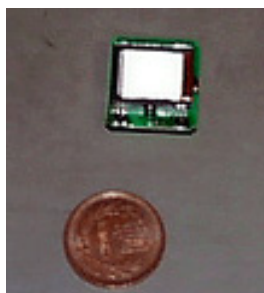


図 3.4: 使用した平面蛍光ランプ

この平面蛍光ランプには、駆動電源および図 3.5 に示すような同期信号が必要となる。そこで、この同期信号を生成し同時に電源を供給するバックライト駆動回路を製作した。この回路のブロック図を図 3.6 に示す。

なお、平面蛍光ランプに必要な電源は、グラストロンの液晶バックライト駆動回路に供給されている DC7V の電圧を 3 端子レギュレータ (MC7805C) で DC5V に降下させて用いた。また、同期信号の生成には 1 チップ 8 ビットマイクロコントローラ (PIC12C509A) に同期信号生成プログラムを内蔵することで実現した。

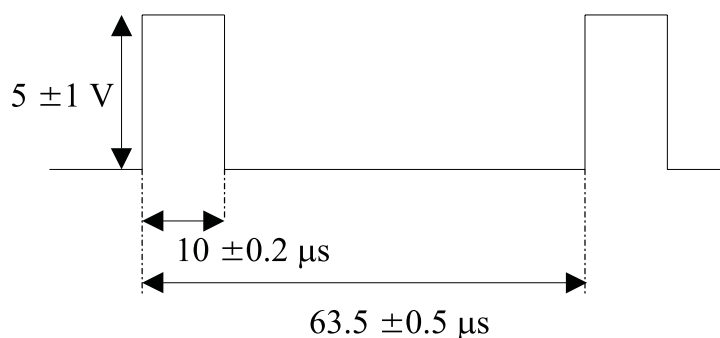


図 3.5: 平面蛍光ランプに必要な同期信号

3.2.3 自動開閉機構

自動開閉機構とは、ハーフミラー等の映像表示部分の機器が外界の視野の妨げにならないように、映像を見る必要がない時には図 3.2 のように映像表示部分を顔の上方に移動させる機能である。

具体的には、液晶画面、液晶起動回路、バックライトおよびハーフミラーからなる映像表示部分全体をクランクを用いて六角シャフトに取り付け、シャフトの端に小型のサーボモータを接続して、そのサーボモータを回転させることにより、映像表示系

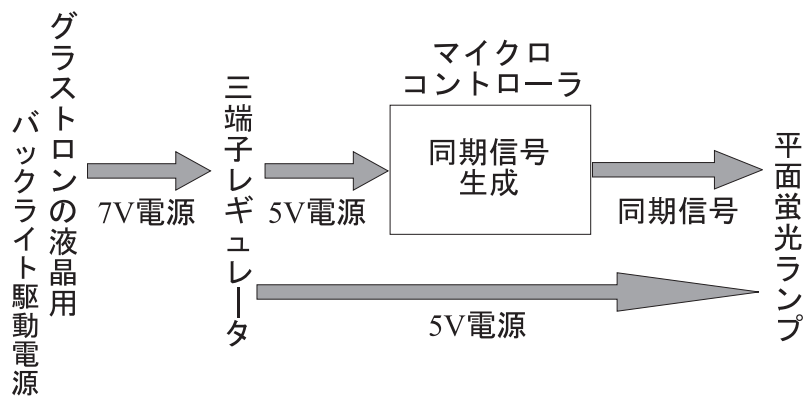


図 3.6: 平面蛍光ランプ駆動回路のブロック図

全体を顔の上部に移動させる。用いたサーボモータの仕様を表 3.4 に示す。サーボモータの最大トルクは 1.8kg-cm であり、映像表示系全体を開閉させるのに十分である。また、小型かつ軽量であるため、頭部装着ユニットに組み込むことができる。

表 3.4: 用いたサーボモータの仕様

寸法	27.0 × 12.7 × 24.6mm
重量	14g
トルク	1.8kg-cm

この自動開閉機構は、PC からの制御信号により動作する。ここでは簡単に説明し、詳細は付録 A に譲る。制御信号を生成させる回路のブロック図を図 3.7 に示す。まず、PC 上のアプリケーションプログラムにより、プリンタポートを通して 1 チップ 8 ビットマイクロコントローラ (PIC12C509A) へ 4 ビットの制御命令が送られる。送られた制御命令に基づき、マイクロコントローラが制御信号を生成する。そして制御信号を受けたサーボモータが位置情報を認識し、決められた位置まで回転する。

サーボモータの位置制御は、図 3.8 に示す制御信号のパルス幅を 0.08ms 単位で変化させ、16 段階に調整できるが、この自動開閉機構では”開”と”閉”の 2 つの位置情報さえあればいいので、基本的に 2 段階の制御しか行っていない。

また、電源が供給されている状態なら、タクトスイッチだけで自動開閉が可能なように設計した。具体的には、現在の映像表示部分の状態が”開”の場合にスイッチを押すと”閉”になり、”閉”の場合には”開”になる。

また、サーボモータ及び制御信号生成回路に必要な電源は、PC のマウスポートから出力されている DC5V の電源を用いることにした。

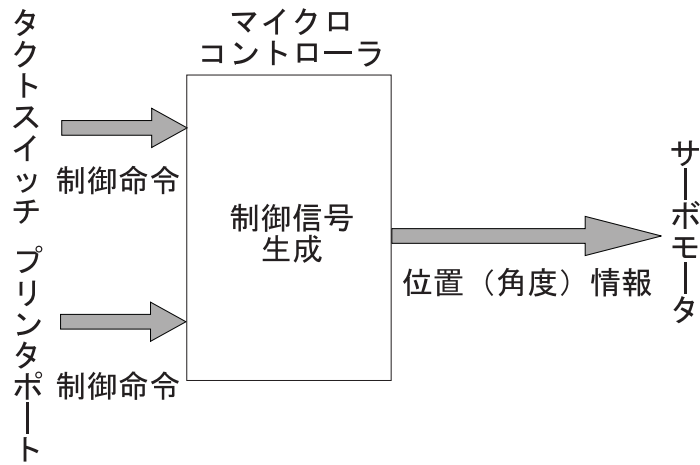


図 3.7: サーボモータの制御信号生成回路のブロック図

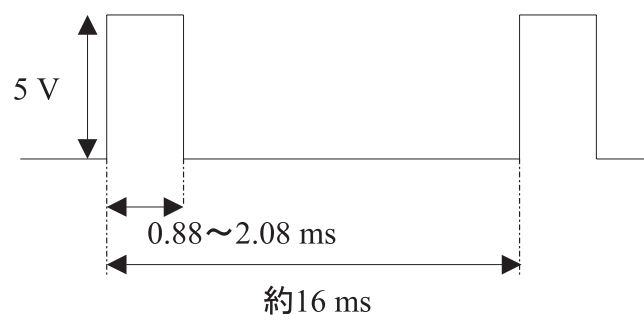


図 3.8: サーボモータの制御信号

3.3 音声認識・提示機能

音声認識機能は、頭部装着ユニットのマイクで収集された装着者の発話を PC で処理し、発話内容を認識する機能である。一方、音声提示機能は、PC で生成された音声情報を、頭部装着ユニットのイヤホンから、装着者に提示する機能である。

試作型 HIDE で用いていた音声認識・提示用ソフトウェア (IBM 製 Voice Type 3.0.1J) は、音声認識と音声提示のそれぞれにサウンドカードが必要なため、両方の機能を実現するためにはサウンドカードが 2 つ必要であった。そこで、1 枚のサウンドカードで音声認識と音声提示が可能な音声認識ソフトウェア (IBM 製 Via Voice 98) に変更した。

Via Voice 98 は収集した発話を音韻分解し、約 6 万語の音韻辞書の中からパターンマッチングで音声認識を行うため、不特定話者を対象に高い認識率を得ることができる。さらに、癖のある話し方をする人でも、あらかじめ音韻登録することによって、認識率を向上させることができる。また、雑音がある環境でも高い認識率が得られるような認識アルゴリズムが導入されている^[9]。具体的には、マイクで収集した生の音声データをサンプリングレート 11 kHz で獲得し、音声情報の周波数帯域以外の波長のデータを除去して、雑音の影響を減らしている。

また、用いた頭部装着ユニットのマイクは、Via Voice 98 と最も相性の良い、低インピーダンスかつクローストークング用で単一指向性のマイクである。

3.4 ハンドフリーマウス

本研究では手を使わずにマウスのようなポインティング操作を実現するため、ハンドフリーマウスを新たに開発した。3.1 節で述べたように、ポインティング操作として視線の動きを利用することは難しいため、手と同じように自由に動かせる頭部運動を用いることにした。具体的には、頭部の回転運動をポインティング操作とし、咀嚼筋の変位をクリック操作とすることで、マウスと同様の操作を実現する。

クリック操作を行う方法として、装着者の呼気による方法や瞬目による方法なども考えられるが、呼気や瞬目では誤作動しやすいので、比較的誤動作が起きにくいと思われる咀嚼筋の変位量を用いた。

以上より、ハンドフリーマウスの操作方法は図 3.9 のようになる。また、このハンドフリーマウスを PC に接続する場合に、PC の PS/2 マウスポートに直接接続するだけで動作するように、PC との通信を PS/2 プロトコルを用いて行うように設計した。

以下では、ハンドフリーマウスの全体構成、人間の頭部運動特性、ポインティング操作を実現する Head-control ポインタ、Head-control ポインタの自動キャリブレーション機構およびクリックスイッチについて説明する。

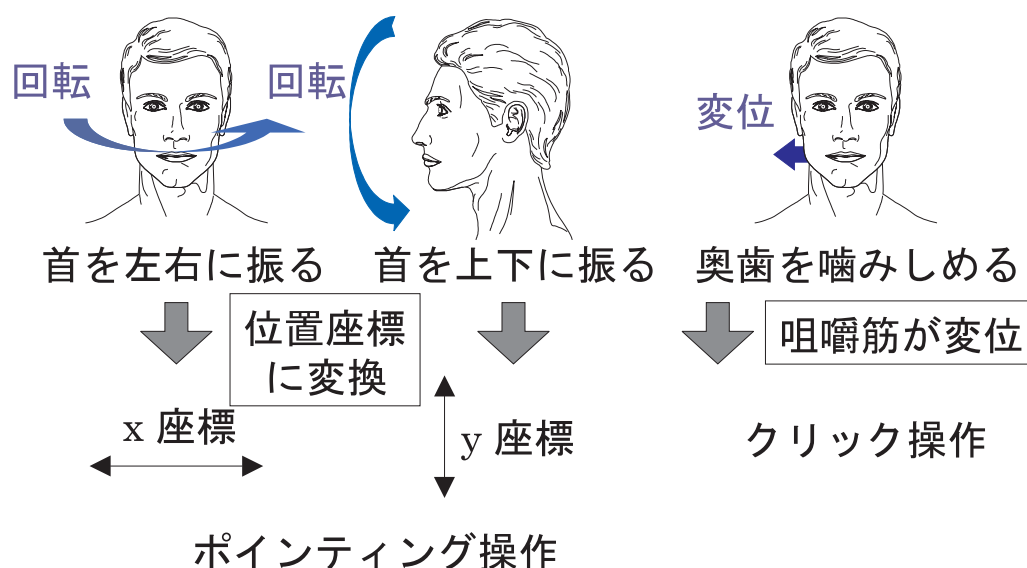


図 3.9: ハンドフリーマウスの操作方法

3.4.1 全体構成

ハンドフリーマウスは、図 3.10に示すようにポインティング操作を実現する Head-control ポインタ、クリック操作を実現するクリックスイッチ、およびそれらを制御するとともに PC との通信を行うマイクロコントローラ (PIC16C711) で構成される。

まず、Head-control ポインタでは、回転角速度を電圧に変換する圧電振動ジャイロ (村田製作所製 ENC-05E) を用いて、頭部回転運動の上下と左右の角速度変化を電圧変化として検出する。そして得られた電圧をオペアンプ (NE2100) で増幅し、マイクロコントローラ内蔵の A/D 変換器で、デジタル角速度データに変える。そのデジタル角速度データを PC で認識できる PS/2 プロトコルに変換し、PS/2 マウスポートを通して PC に送る。

一方、クリックスイッチでは、タクトスイッチを用いて、装着者の咀嚼筋の動きをクリック操作として認識する。タクトスイッチにより得られる信号はオンオフ 2 つのデジタルデータのため、A/D 変換する必要はなく、そのままマイクロコントローラで PS/2 プロトコルに変換し、PS/2 マウスポートを通して PC に送る。

また、Head-control ポインタでは頭部が停止している状態の電圧値を認識する必要

があるが、圧電振動ジャイロ素子の特性として静止時の電圧値が時間の経過と共に多少ドリフトし、 $\pm 100\text{mV}$ の範囲の誤差が生じる。そこで、静止時の電圧ドリフトを補正し、一定時間、電圧変動が微少な場合に頭部が静止していると認識する補正をマイクロコントローラで行う必要がある。また、それと同時に、次項の人間の頭部運動特性の考察で述べるように、人間の頭部運動には微少揺らぎがあるため、マイクロコントローラでその揺らぎの補正も行う。以上の補正を、Head-control ポインタの自動キャリブレーションとする。

Head-controlポインタ

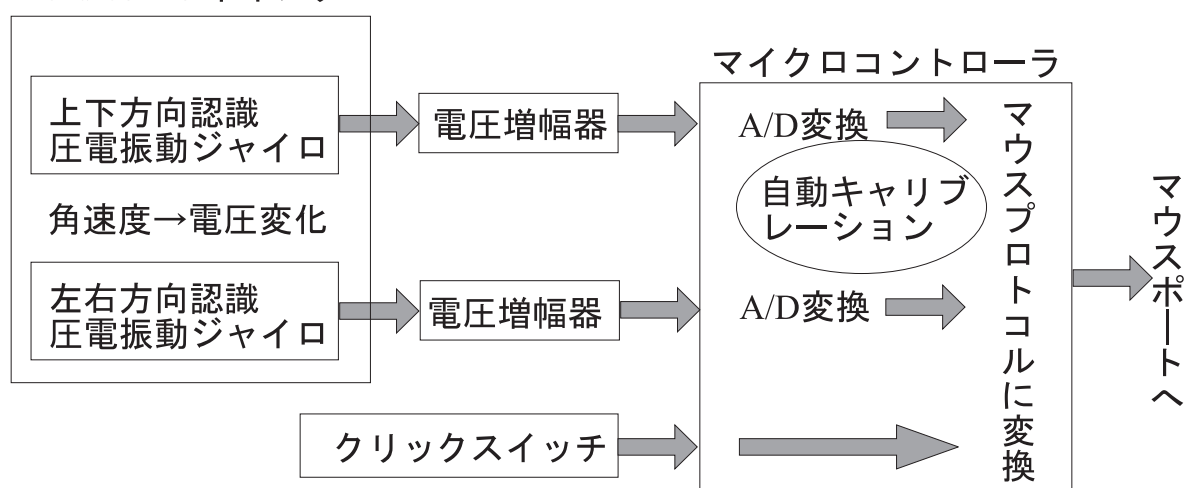


図 3.10: ハンドフリーマウスの全体構成

なお、A/D 変換、マウスプロトコルへの変換および Head-control ポインタの自動キャリブレーションを実現する回路図、およびマイクロコントローラのプログラムは付録 B に示す。

3.4.2 人間の頭部運動特性の考察

本項では、ハンドフリーマウスで操作方法として利用する頭部運動特性について考察する。以下、ポインティング操作を実現する頭部回転運動の特性評価実験、およびクリック操作を実現する咀嚼筋の運動の考察について述べる。

頭部回転運動の特性評価実験

人間の頭部回転運動をポインティング操作として利用するために、その特性を評価する実験を行った。実験の目的は、頭部回転運動の角速度を定量的に測定することで頭部運動の特性を明らかにし、Head-control ポインタ設計の際に必要な知見を得ることである。

実際の頭部回転運動の測定には、磁界を利用してセンサの3次元角度を計測できるモーションキャプチャ(POLHEMUS社製 ULTRATRAK)を用いた。以下では、その実験環境、収集データ、実験手順および結果と考察について述べる。



図 3.11: トランスミッタ

実験環境

頭部回転運動を計測する ULTRATRAK は磁界を発生させるトランスミッタ(図 3.11)、磁気センサであるレシーバ、そして専用の拡張ボードを備えた PC から構成される^[10]。これは、トランスミッタの発振コイルを励磁して磁界を発生させ、その磁束が変化したときにレシーバの計測コイルに誘導される電流が両コイルの相対位置関係によって定まることを利用してレシーバの位置と方向を計測する。実験では、図 3.12に示すように被験者の後頭部にレシーバを取り付けた。

レシーバにより得られた信号は PC 上のソフトウェアにより磁界情報が解析され、レシーバの位置と姿勢が PC 内のファイルに記録される。計測時のフレームレートは 120frame/sec である。また、ULTRATRAK は周囲にある金属による磁界の乱れの影響を受けやすいため、計測は屋外で行った。

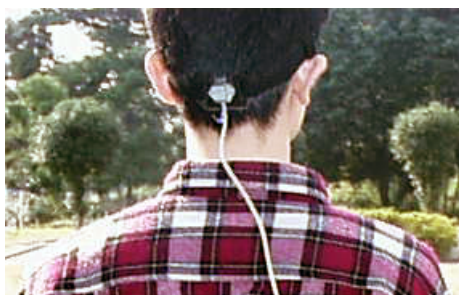


図 3.12: レシーバの取り付け

実験時の収集データ

実験で収集したデータは、レシーバの角度データである。これは、後頭部に取り付けたレシーバのトランスミッタに対するオイラー角であり、この角度データを微分することによって、回転角速度が求められる。

実験手順

回転角速度の測定対象として、左右方向の頭部回転方向を選んだ。これは、左右方向は上下方向に比べて回転角度が大きいため、角度変化を測定しやすいと考えたためである。また、被験者として、頭部回転運動機能に異常が無い修士課程の学生 1 人を対象に実験を行った。

実験手順として、頭部を以下の方法で回転させ、ULTRATRAK により上記のデータを測定した。なお、頭部の回転だけを測定するために、なるべく体を動かさないように指示した。

1. レシーバを後頭部に取り付けた後、正面方向に顔を向けて測定を開始する。
2. 測定開始後約 1 秒間、正面方向で静止させる。
3. 顔を左方向に通常の方法で回転させる。
4. 回転の限界で約 1 秒間静止させる。
5. 顔の向きが正面になるまで、通常の方法で回転させる。
6. 正面方向で一度停止した後、右方向に通常の方法で回転させる。
7. 回転の限界で約 1 秒間静止させる。
8. 顔の向きが正面になるまで、通常の方法で回転させる。

実験結果

実験結果として、頭部回転運動の角度変化を図 3.13の (A) に、角速度変化を図 3.13(B) に示す。なお、計測時のノイズを低減するため、3 点の移動平均による平滑化を行った。

考察

以上の頭部回転運動特性実験の結果は以下ようになった。

- 回転角速度の最大値は約 200deg/sec であった。
- 回転角速度の平均は約 80deg/sec であった。
- 頭部が静止している状態でも角速度で約 5deg/sec の揺らぎがあった (静止状態時の標準偏差)。

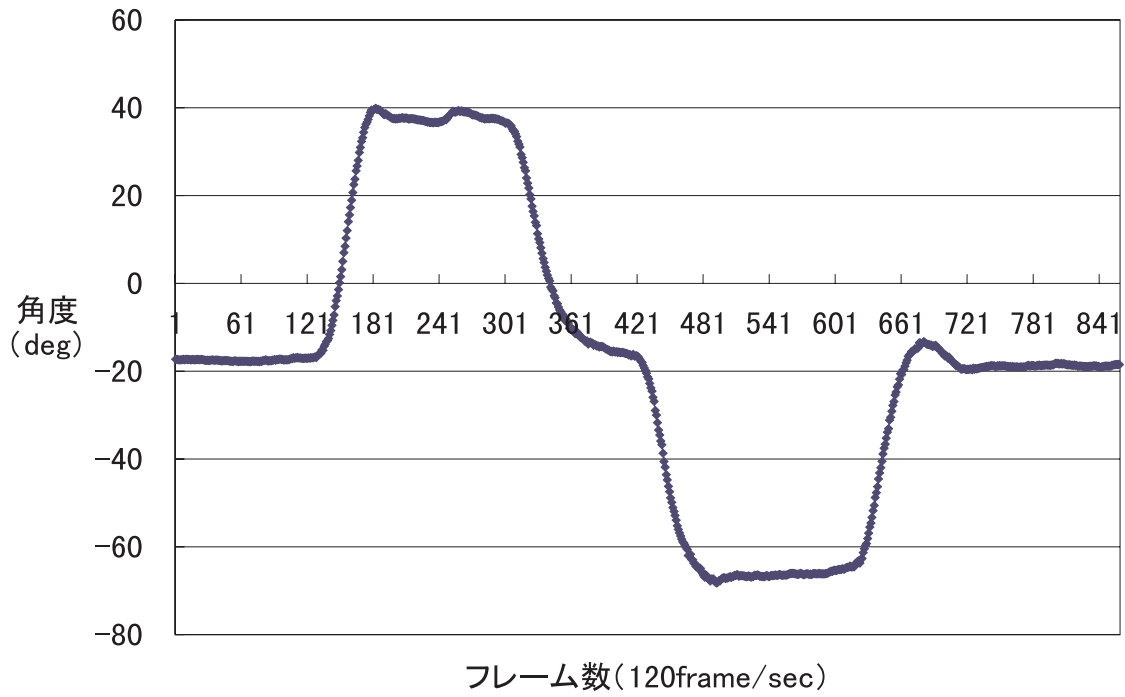
以上より、人間の頭部回転運動をポインティング操作として利用するためには、通常の平均角速度である約 80deg/sec 程度まで検出する必要がある。また、頭部が静止した状態でも微少揺らぎがあったため、ポインティング操作として頭部回転運動を利用する場合には、この揺らぎの対策が必要である。

咀嚼筋の運動特性

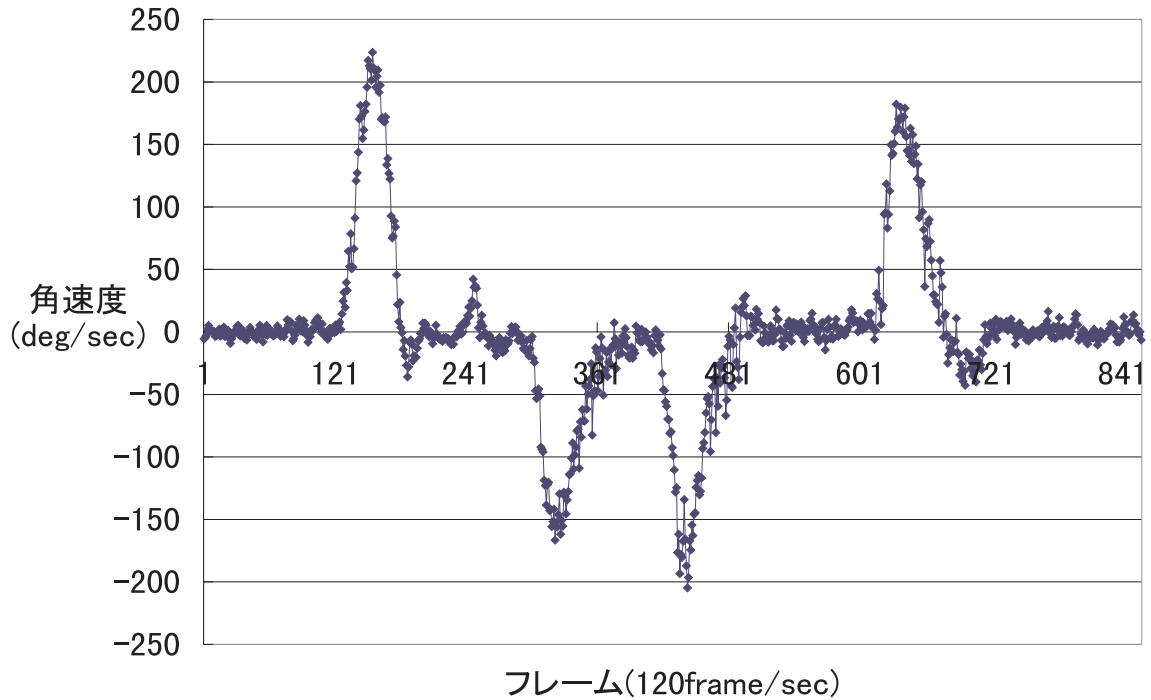
手を使わずにクリック操作を行う方法として、咀嚼筋の変位を利用することにした。人間の咀嚼筋の位置を図 3.14に示す。咀嚼筋は歯を噛み合わせるために用いる筋肉であり、噛みしめる動作をするときに収縮運動をする。最大の収縮は奥歯を噛みしめる動作で起こり、その時に筋肉が隆起する。具体的には、収縮が起きたときに頬の中央よりやや後方の位置が表皮方向に隆起する。この変位量は顔の脂肪量および骨格により大きく左右されるので個人差が激しく、人によりその特性は異なる。

3.4.3 Head-control ポインタ

本項では、頭部の回転運動を検出する Head-control ポインタについて説明する。前項で評価した人間の頭部回転運動をポインティング操作として利用するためには、回転角度の変化量を定量的に測定する必要がある。そこで本研究では、頭部回転運動の角速度変化を電圧変化に変換し、その変化量を測定する方法を用いた。回転角速度を電圧変化に変換させる素子として、圧電振動ジャイロ素子を利用した。用いた圧電振



(A) 角度変化



(B) 角速度変化

図 3.13: 頭部の左右方向の通常の頭部回転運動の評価結果

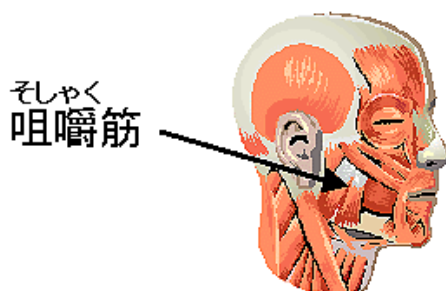


図 3.14: 咀嚼筋の位置

表 3.5: 圧電振動ジャイロ素子の仕様

電源電圧	DC5V
消費電流	5mA
検出範囲	90deg/sec
感度	1.11mV/deg/sec
応答性	50Hz
外形寸法	22 × 9 × 8mm
重量	2.7g

動ジャイロ素子の仕様を表 3.5 に示す。また、圧電振動ジャイロ素子の動作原理については付録 C で説明する。

この素子は表 3.5 に示すように小型かつ軽量であるため、装着者の頭部運動の妨げにはならない。また、3.4.2 項で考察したように、人間の通常時の頭部回転運動の平均角速度は約 80deg/sec であり、この素子の検出範囲内に入っている。しかし、表 3.5 の感度から分かるように検出した角速度を電圧に変換した場合、80deg/sec で約 88.8mV の電圧変化しか得られないことになる。そこで、この電圧変化をオペアンプにより増幅することにした。本研究では、図 3.15 のように電圧を 10 倍に増幅した回路を設計・製作した。

この回路では、電圧を増幅するとともにノイズを除去するためのローパスフィルタ、ドリフト成分を除去するためのハイパスフィルタを組み込んだ。ハイパスフィルタのカットオフ周波数は 3Hz、ローパスフィルタのカットオフ周波数は 1kHz になるように設計した。

この回路の動作を検証するため、製作した回路により角速度変化が電圧変化として正しく出力されるかどうかを実験により評価する。

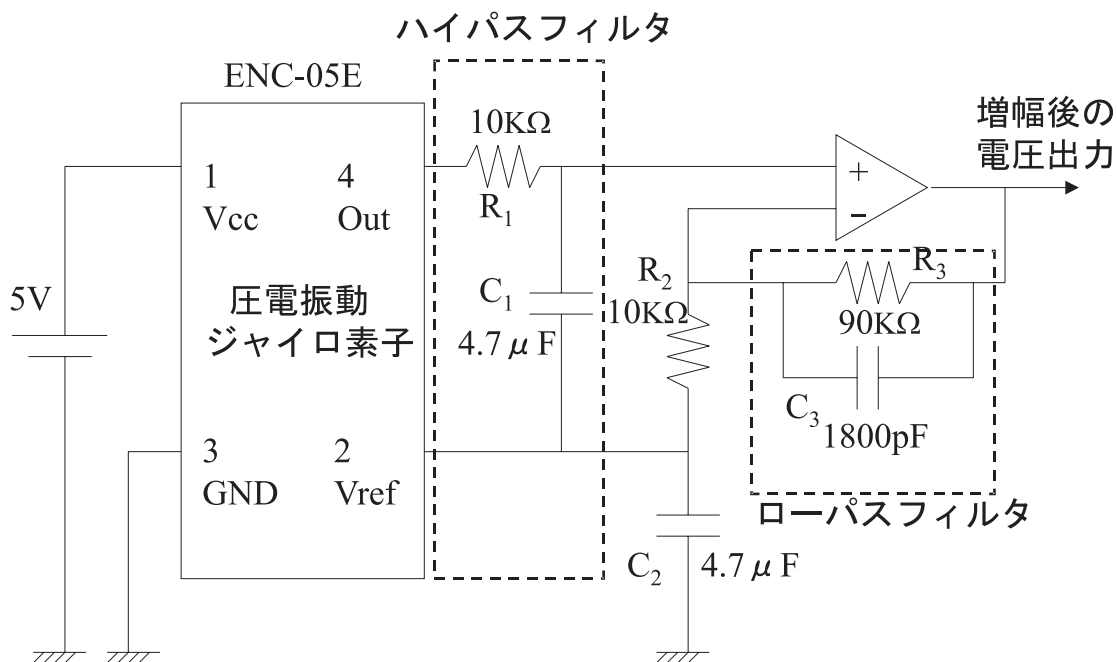


図 3.15: 圧電振動ジャイロ素子と電圧増幅回路の回路図

実験方法およびシステム構成

実験の概略を図 3.16 に示す。圧電振動ジャイロ素子を搭載した回路基盤を一定方向に回転させ、ビデオカメラでジャイロ素子の回転運動を撮像した録画映像の画像処理から回転角速度を求め、同時に PCMCIA 対応の A/D 変換カード (コンテック製 AD12-8PM) を用いて出力電圧を計測することで、角速度と電圧の関係を求める。具体的には、角度変化はビデオのフレーム処理として、ポイント A、ポイント B の位置座標から直線を求め、その傾きの変化から角度変化および角速度変化を求める。一方、電圧変化は A/D 変換カードによりモバイル PC 上にデジタルデータとして取り込む。

実験上の注意点は、PC とビデオの同期をとるために、PC に電圧を取り込む瞬間をビデオ上で認識しなければならないことである。そのため、電圧を取り込む瞬間に PC から LED ランプに電圧を供給し点灯させ、その LED ランプをビデオで撮像することにより、録画映像の中で電圧を取りこむ瞬間を認識できるようにした。

実際に実験を行った様子を図 3.17 に示す。製作した回路を図 3.17 に示すような、一本の長い棒の中心位置に取り付けた。この時、棒の回転軸と圧電振動ジャイロの回転軸が一致するように注意した。また、取り付けた棒の両端に円形のマーカ (ポイント A、ポイント B) を取り付ける。これは、棒の角度変化を画像処理によって認識するために用いる基準点となるので、画像処理過程で容易に認識できるように蛍光色のマーカを

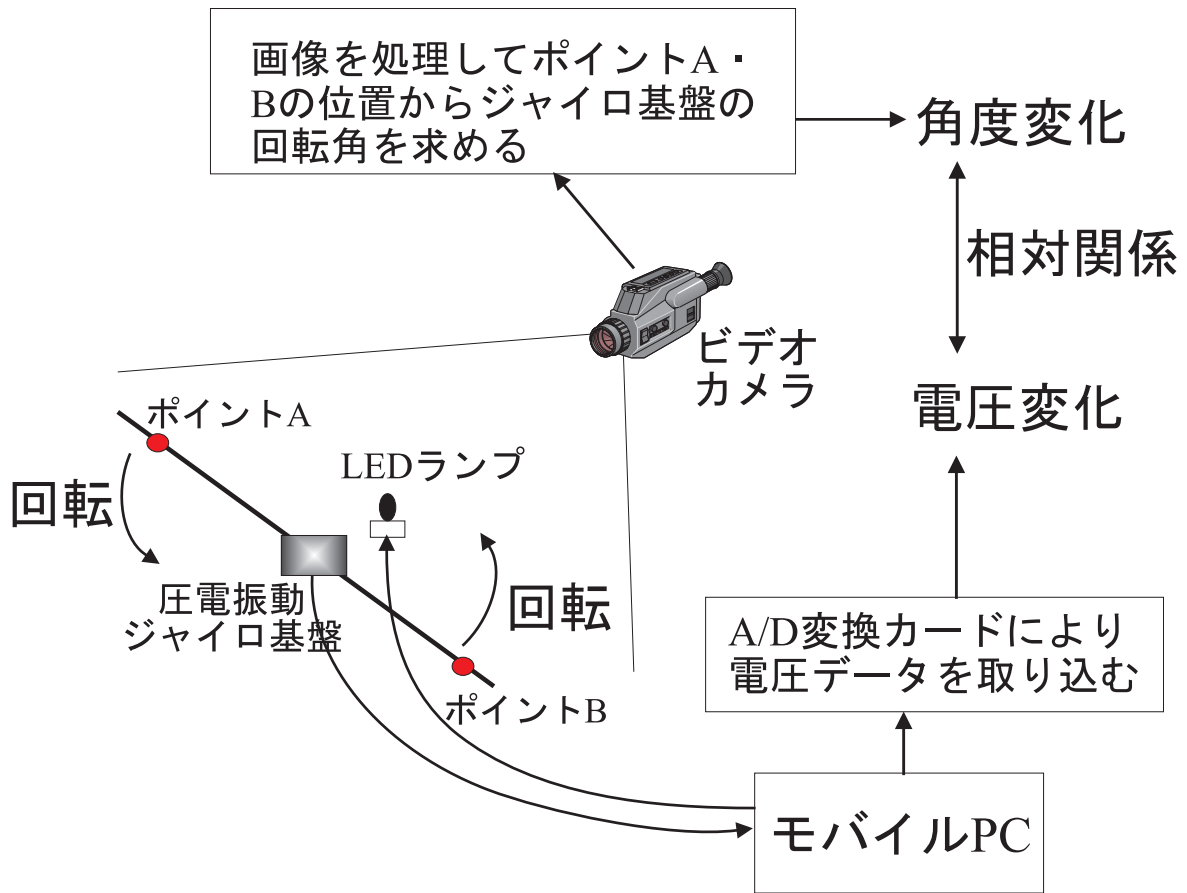


図 3.16: 製作した回路の特性評価実験の概略

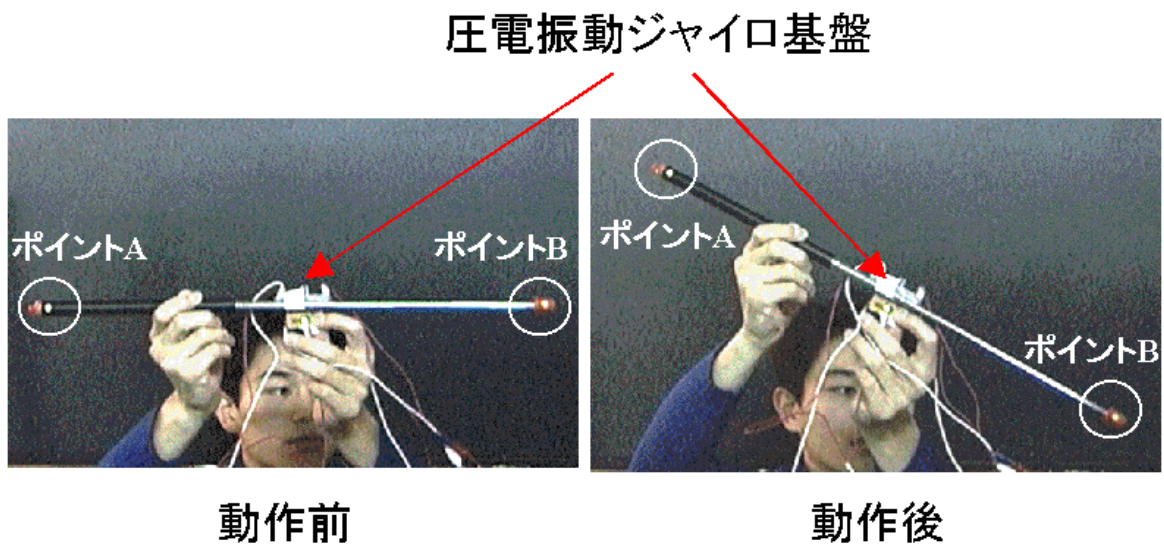


図 3.17: 製作した回路の特性評価実験の実験風景

用いた。撮像するビデオカメラは、棒の両端のマーカが完全に映る場所にセットする。

また、PC とビデオの同期を取るために利用する LED ランプは、始めビデオの中央に映るように配置し、点灯後は撮像範囲外に置いた。これは、同期を取るためには点灯時だけが確認できればよいためである。

実験時の収集データ

実験で収集するデータは、ビデオカメラで撮像した録画映像とモバイル PC 上に取り込んだ電圧変化データになる。ビデオカメラで撮像した録画映像は、1frame ごとにポイント A、ポイント B の座標点を有効数字 4 桁の精度で求め、その座標点から二点の直線を算出する。ビデオカメラの計測時のフレームレートは、30frame/sec である。座標点の計測および直線の算出には、PC のソフトウェアを用いた。算出した直線の傾きの時間変化から角速度を計算し、実験データとして用いた。一方、電圧変化データは、モバイル PC 上の電圧計測ソフトウェアを用いて計測した。このソフトウェアは、電圧計測開始時に LED ランプを同時に点灯させる。電圧変化データの計測時間は、ビデオの 1 フレームと合わせるために 30frame/sec で計測し、実験データとして用いた。

実験手順

実験手順を以下に示す。棒の角度を変化させる方法として、その棒を手で持ち傾ける方法を用いた。

1. ビデオカメラおよびモバイル PC 上の電圧計測ソフトウェアを準備する。
2. 製作した回路を取り付けた棒および LED ランプを手で持ち、カメラの位置を調整する。
3. 電圧計測ソフトウェアを起動させ、LED ランプを点灯させると共に電圧の計測を開始する
4. 製作した回路を取りつけた棒の角度を、約 90 度傾ける。
5. その位置でしばらく静止し、次いで元の位置に戻す。
6. 4.、5. の動作をもう一度繰り返す。

実験結果

実験結果として、A/D変換カードで取り込んだ電圧変化の様子を図3.18に示す。また、ビデオを用いて角速度変化を求めたフレームも同様に図3.18に示す。選んだフレームは電圧が大きく変化している点、つまり角度の変化が顕著に現れる点である。評価したフレーム数は、全文で60フレームである。

最終的に求めた、角速度と電圧の関係を図3.19に示す。最小二乗法を用いて直線近似を行ったところ、式3.1となった。この近似式との相関係数の値は、0.9881である。ただし、それぞれの文字は以下のパラメータを示す。y：出力電圧 (mV) x：角速度 (deg/sec)

$$y = 11.96x \quad (3.1)$$

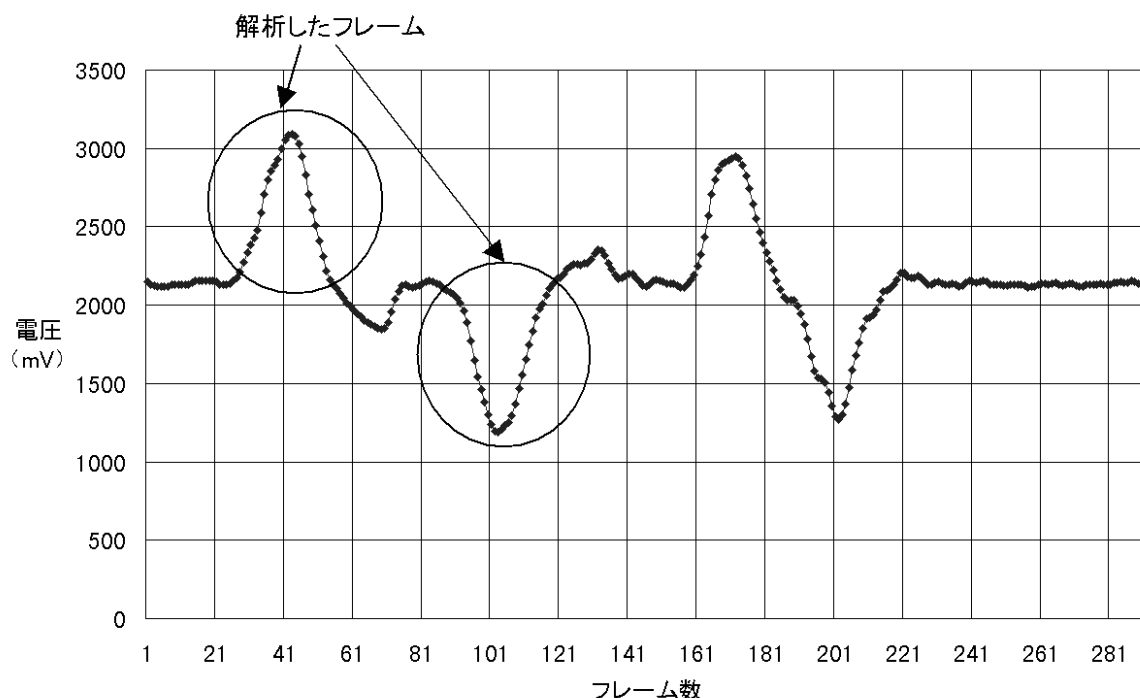


図 3.18: 圧電振動ジャイロ特性評価実験の電圧変化結果

考察

評価実験の結果より、角速度と電圧の関係は高い相関を持った直線で近似できることが分かった。ゆえに、Head-control ポインタとして頭部の回転運動の角速度を認識し、一定の電圧に変換することが可能である。

また、製作した回路の理論値を求めて比較を行う必要がある。その理論値は以下のような手順で算出した。

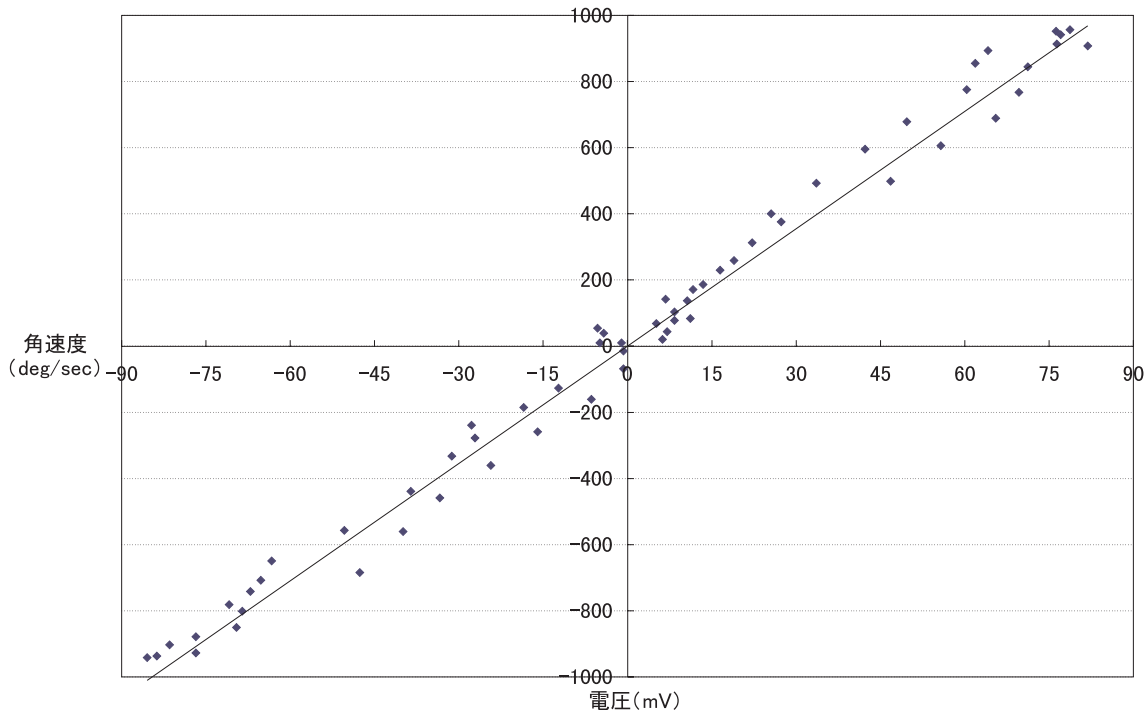


図 3.19: 角速度と電圧の変換直線

この回路に用いたカーボン抵抗には許容誤差が 10%あるため、テスターを用いて有効数字 4 桁の精度で R_2 と R_3 を測定し、実際の増幅率を計算したところ 10.16 倍の増幅率であった。

この回路の増幅率および圧電振動ジャイロ素子の仕様より、角速度と電圧の関係を導くことができる。具体的には、圧電振動ジャイロ素子の角速度に比例して電圧が出力されるため、角速度とセンサ感度を乗じて出力電圧が求まる。さらに、その出力電圧をオペアンプにより増幅しているため、電圧増幅率も乗じることにより、回路から出力される電圧は次のようになる。ただし、それぞれの文字は以下のパラメータを示す。 a : センサ感度 (mV/deg/sec) b : 電圧増幅率 (倍)

$$y = abx \quad (3.2)$$

表 3.5 に示す圧電振動ジャイロ素子の感度、および用いた回路の電圧増幅率を式 3.2 に代入し、電圧と角速度の関係を求めると、次式のようにになる。

$$y = 11.27x \quad (3.3)$$

この式の係数値は実験で求めた値と異なる。それは、圧電振動ジャイロ素子の仕様のセンサ感度に多少誤差が含まれているためと考えられる。また、オペアンプを用い

た電圧増幅はオペアンプの増幅率を無限大に近似して計算を行ったが、実際には無限大ではないため、その誤差による影響も考えられる。いずれにしても、この誤差は十分許容範囲内であると判断した。

3.4.4 Head-control ポインタの自動キャリブレーション

本項では、Head-control ポインタの自動キャリブレーションについて説明する。これは、上述したように頭部静止時の圧電振動ジャイロ素子の電圧ドリフトを補正し、同時に 3.4.2 項で述べた頭部の微小揺らぎも補正する機能である。電圧ドリフトおよび頭部の微小揺らぎの電圧波形の概略を図 3.20 に示す。圧電振動ジャイロ素子の特性として、静止時の電圧値が温度変化や時間経過と共にドリフトし、 $\pm 100\text{mV}$ 程度の誤差が生じる。そこで、この電圧ドリフトを補正するため一定時間、電圧変動がほとんど無い場合に頭部が静止状態であると認識し、静止基準電位を調整する。一方、頭部揺らぎ補正とは、頭部が静止状態であっても微小揺らぎが生じ、電圧が微妙に変化するため、出力電圧が静止基準電位に近い場合に頭部が静止状態であると認識する機能である。

この自動キャリブレーションは、静止基準電位を中心にある一定の不感電圧幅を設定し、出力電圧がその範囲内に入っていれば、頭部が静止しているとみなすことより実現する。不感電圧幅を大きくとると静止時の微妙な揺らぎを完全に補正することができるが、逆に意識的に微小に回転させたときの角速度変化も無視してしまうことになる。

そこで、表 3.6 に示す 3 種類の方法を設定し、最適な補正值の検討をする。



図 3.20: 電圧ドリフトおよび頭部の微小揺らぎの概略図

設計した 3 種類のキャリブレーション方法は、頭部の揺らぎの値である角速度約

表 3.6: キャリブレーション方法

	不感電圧幅	
	電圧変動 20mV 以内	電圧変動 60mV 以内
設定時間 0.8 秒間	方法 1	方法 2
設定時間 2.5 秒間	方法 3	-

5deg/sec(電圧値 55mV) を完全に補正する方法 2 および、不感電圧幅がそれより小さい方法 1 および 3 がある。方法 1 と方法 3 では電圧ドリフトを補正するための設定時間が異なり、方法 1 の方が設定時間が短くなっている。

以下では、この 3 種類のキャリブレーション方法の違いによる Head-control ポインタの操作性の評価実験について述べる。

自動キャリブレーション方法の評価実験

本実験では、上述の 3 種類の補正方法 (方法 1~方法 3) を用いて、それぞれについてポインティングタスク^[11]を行い、操作性の評価を行う。

以下では、実験手順、タスク内容、結果と考察について述べる。

実験手順

本実験ではキャリブレーション方法の違いによる操作性の比較を行うため、上述の 3 種類の補正方法の Head-control ポインタを用いて同一のタスクを行い、そのタスクの遂行時間を測定し比較する。タスク試行の順番は、方法 1、方法 2、方法 3 の順番である。また、被験者は実験前に 3 分程度の練習を行い、Head-control ポインタの操作になれてもらう。なお、本実験は自動キャリブレーション方法の操作性の評価が目的であるため、咀嚼筋ではなく、クリック操作は頬に付けたスイッチを手で押すことで行った。また、ポインタを表示するディスプレイは、モバイル PC(東芝製 Libretto100) の液晶ディスプレイを用い、その解像度は、640 × 480dot である。

被験者として、頭部回転運動機能に異常が無い修士課程の学生 5 人 K、L、M、N、O により実験を行った。どの被験者も、実験前にハンドフリーマウス操作の経験はない。

タスク内容

タスクとして、図 3.21 に示す実験用アプリケーションソフトウェアを利用する。このアプリケーションは、以下のタスクを被験者に課すものである。

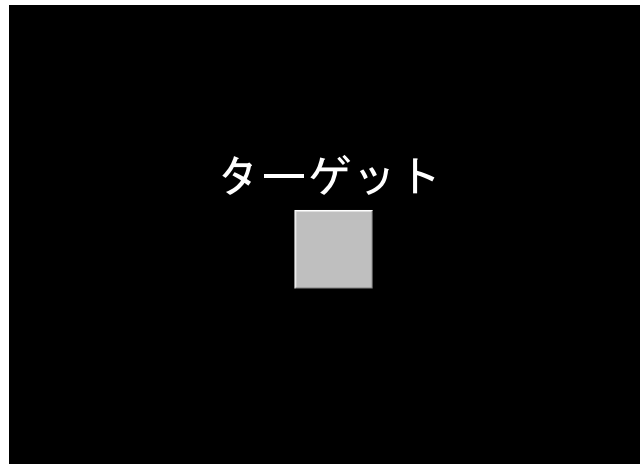


図 3.21: 自動キャリブレーション方法の評価で用いたアプリケーション

1. 被験者は画面中央に表示されるターゲット内にカーソルを移動させ、クリック操作を行う。
2. 画面中央のターゲットがクリックされると、画面の四隅のうちいずれかの場所にランダムに次のターゲットが表示される。
3. 被験者は新たに表示されたターゲットにカーソルを移動させ、クリック操作を行う。
4. 再び画面中央にターゲットが表示される。
5. 画面中央のターゲット内にカーソルを移動させ、クリック操作を行う。
6. 1.~5. の動作を 32 回繰り返す。

実験ではターゲットの大きさを 4 段階に変化させた。実験で用いたターゲットは正方形であり、その大きさについては $80 \times 80\text{dot}$ 、 $60 \times 60\text{dot}$ 、 $40 \times 40\text{dot}$ 、 $20 \times 20\text{dot}$ とした。これらはそれぞれ画面垂直方向の長さの $1/6$ 、 $1/8$ 、 $1/12$ 、 $1/24$ に相当する。また、 $20 \times 20\text{dot}$ の大きさは、図 3.22 に示す Microsoft Windows 95 のウィンドウコントローラの各ボタンの大きさと同程度である。また、キャリブレーション方法の違いおよびターゲットの大きさ以外に、作業効率に影響を与えるパラメータを極力排除するため、画面中央に表示されるターゲットの中心から画面の四隅に表示させるターゲットの中心までの距離を固定した。画面の四隅に表示されるターゲットの中心位置は、ディスプレイの中心点と四隅の中心とした。

実験中に計測するデータは、ターゲットをクリックしてから、次のターゲットをクリックするまでの時間を 10msec 単位で測定したものである。実験は、上述のように 4

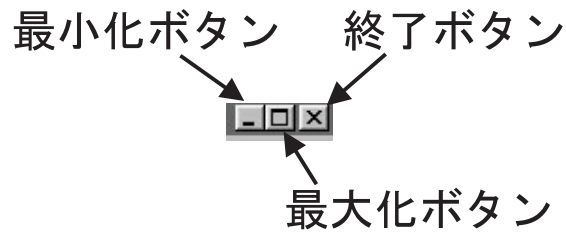


図 3.22: ウィンドウコントローラ

種類の大きさのターゲットについて、方法 1~3 の補正方法の Head-control ポインタを用い、計 12 回のタスクを行う。

実験結果

実験で得られた各被験者の結果は付録 D に譲り、ここでは被験者 5 人の平均タスク遂行時間とその標準偏差を示す。

ここでは、以下に示す式によりタスク遂行時間および標準偏差を算出した。

$$\text{タスク遂行時間の平均 (各被験者)} = \frac{\text{32 回のタスク遂行時間の合計}}{\text{全タスク数 (32 回)}} [\text{秒}] \quad (3.4)$$

$$\text{標準偏差 (各被験者)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{32} (i \text{ 回目のタスク遂行時間} - \text{タスク遂行時間の平均})^2}{\text{全タスク数 (32 回)} - 1}} [\text{秒}] \quad (3.5)$$

$$\text{平均タスク遂行時間} = \frac{\text{5 人のタスク遂行時間の平均 (各被験者) の合計}}{\text{全被験者数 (5 人)}} [\text{秒}] \quad (3.6)$$

$$\text{標準偏差 (平均)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (i \text{ 人目の平均タスク遂行時間} - \text{平均タスク遂行時間})^2}{\text{全被験者数 (5 人)} - 1}} [\text{秒}] \quad (3.7)$$

ここで求めた平均タスク遂行時間を図 3.23 に、その標準偏差を表 3.7 に示す。

考察

図 3.23 および表 3.7 より、自動キャリブレーション方法の違いにより以下のことが分かった。

1. 方法 2 および方法 3 の場合では、ターゲットの大きさが小さくなるにつれて平均タスク遂行時間は長くなる。

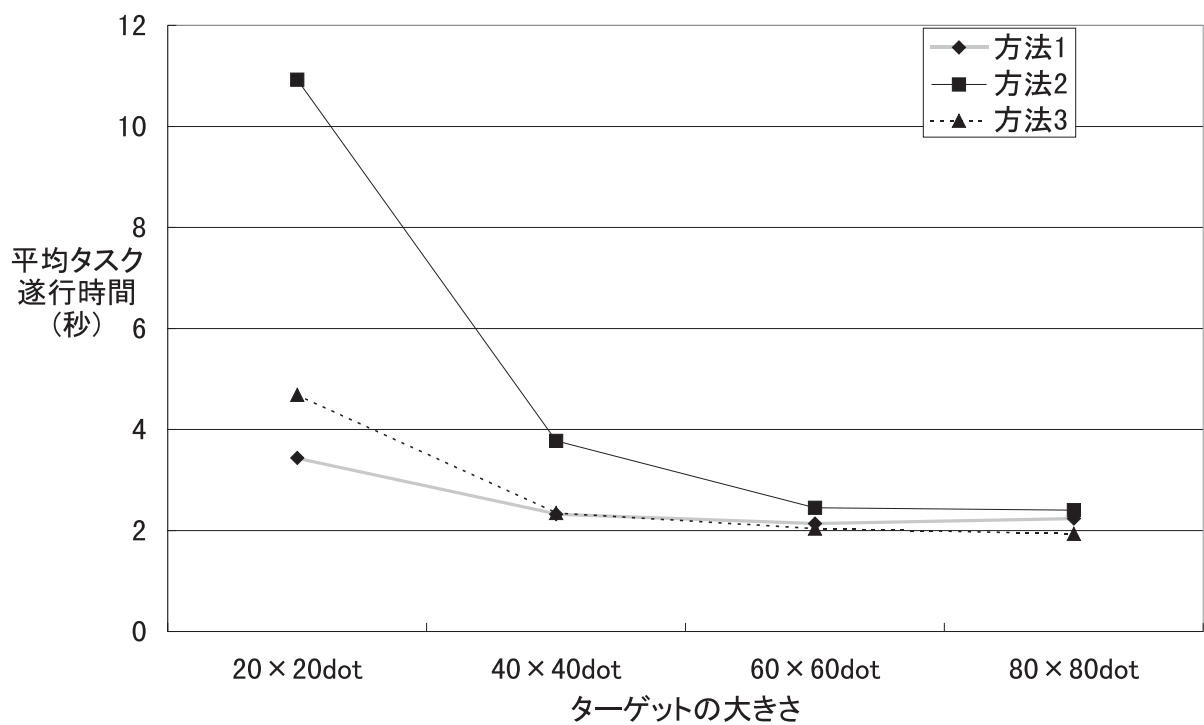


図 3.23: 自動キャリブレーション方法の評価実験における平均タスク遂行時間

表 3.7: 自動キャリブレーション方法の評価実験における平均タスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
方法 1	1.01 秒	0.56 秒	0.75 秒	0.92 秒
方法 2	4.03 秒	0.50 秒	0.66 秒	0.57 秒
方法 3	2.21 秒	1.13 秒	0.53 秒	0.54 秒

2. 方法 2 の場合では、方法 1 や方法 3 に比べて、ターゲットの大きさが変化すると平均タスク遂行時間も大きく変化する。
3. ターゲットの大きさが 40 × 40dot 以上の場合、補正方法による違いがあまり見られない。
4. ターゲットの大きさが最小の 20 × 20dot の場合、どの補正方法でも標準偏差が最大となる。

1. および 4. より、Head-control ポインタは小さいターゲットにカーソルを合わせる操作が困難であることが分かる。これは、通常のマウス操作においても小さいターゲットにカーソルを合わせることは難しいため、妥当な結果といえる。2. については、方法 2 の場合、カーソルを正確な位置に合わせるための微少な頭部運動が無視され、ターゲットが小さくなるに伴いタスク遂行時間がより長くかかったためと思われる。3. より、40 × 40dot 以上のターゲットをポインティングする操作は、正確な位置へカーソルを合わせる必要がないため、どのキャリブレーション方法でも容易に操作ができるといえる。また、方法 1 のキャリブレーションの場合、他の補正方法と比べて平均タスク遂行時間が短く、標準偏差の値も比較的小さい。

この実験の結論として、ターゲットの大きさが変化しても安定した操作が可能なのは、方法 1 のキャリブレーションである。また、方法 1 の場合、ターゲットの大きさが 40 × 40dot 以上であるなら平均タスク遂行時間の差はほとんど見られないため、ハンドフリーマウスを利用する場合に、このサイズ以上のボタンにより操作できるような GUI(Graphical User Interface) を設計する必要がある。

3.4.5 クリックスイッチ

本項では、咀嚼筋の変位を用いたクリック操作を実現するクリックスイッチについて説明する。PC に用いられている通常のマウスには、左・右クリックの 2 つのクリックスイッチがあるが、左クリックだけで基本的な操作はできるため、本研究では咀嚼筋の動作を左クリック用とした。クリックスイッチの概念図を図 3.24 に示す。このクリックスイッチは、咀嚼筋が隆起したときにスイッチが押され、それをマイクロコントローラで PS/2 プロトコルに変換することによって、クリック操作を実現している。

製作したクリックスイッチを図 3.25 に示す。ここでは咀嚼筋の変位を認識するために小型かつ軽量のタクトスイッチを利用した。また、頬に当たる面積は大きい方が変

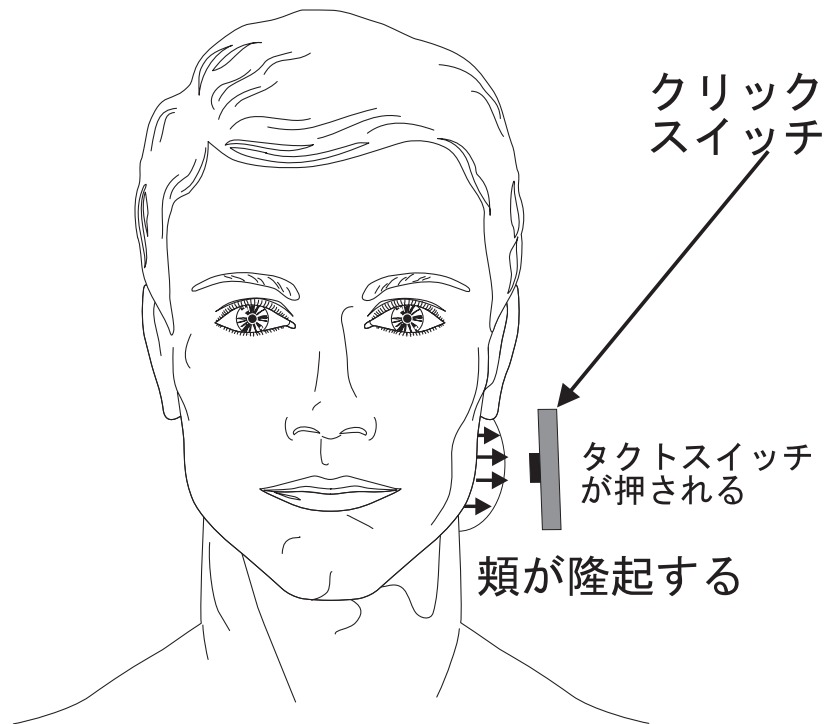


図 3.24: クリックスイッチの概念図

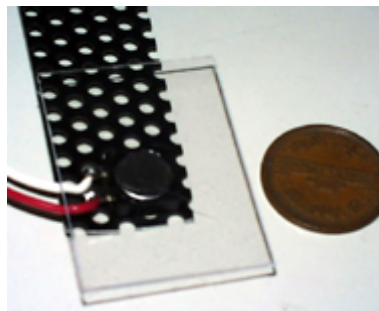


図 3.25: 製作したクリックスイッチ

位を認識し易いため、タクトスイッチのボタン部分に透明のプラスチック板を貼っている。また、頭部の大きさ、骨格および顔の脂肪量などの違いにより、咀嚼筋の位置に個人差があるため、頭部に装着する際はクリックスイッチの位置を変更できるように製作した。

3.5 バイブレーション機能

本節では、装着者の注意を喚起する方法として、頭部に振動を与えるバイブレーション機能について説明する。振動を発生させるのは、小型の振動モータである。本研究では、ポケットベル、携帯電話等に組み込まれているタイプと同じ、図 3.26に示す直径 6mm のコアレス振動モータ (シコー社製 SE-6C) を用いた。



図 3.26: 用いた振動モータ

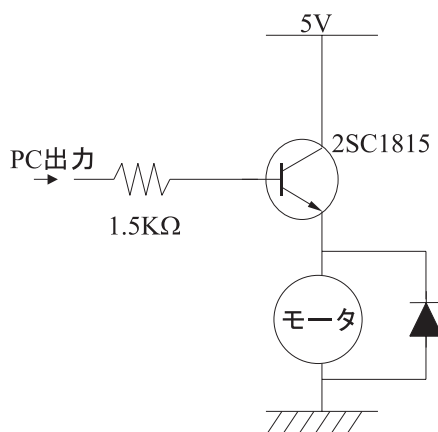


図 3.27: 振動モータの制御回路

この振動モータを作動させるためには、定格電源を供給する必要がある。PCからの出力信号によりバイブレーションを制御するために、図 3.27の回路を設計した。これは、トランジスタ (2SC1815) のバイアス電圧として PC からの出力電圧を供給することで、電源が振動モータに供給される回路である。また、振動モータと並列逆向きにダイオードがあるのは、モータに供給されていた電源が止まった時に、回転の慣性で

モータが回り続けるために電磁誘導が起き、発生した誘導電流がトランジスタに逆流し破損させないためである。また、同時に誘導電流が逆向きのダイオードに流れることにより、惰性で回転するモータに対して負のフィードバックを与え、回転を止める方向に力を掛けることになる。

なお、この振動モータに必要な電源は、PCのマウスポートに供給されているDC5Vの電源を用いることにした。

HIDE へ内蔵する際には、図 3.28に示すように、この振動モータを頭部装着ユニットの中に組み込んだ。具体的には、装着者の額部分に直接接触するクッションの内側に、振動ではずれないようにホットボンドを用いて接着した。これにより、装着者の頭部に直接振動を与えることが可能となる。



図 3.28: 振動モータの内蔵

3.6 遠隔映像提示機能

本節では、装着者とは別の場所の CCD カメラを利用し、その映像を無線を用いて装着者に提示する遠隔映像提示機能について説明する。概念図を図 3.29に示す。

図 3.29に示すように、工場等で大型機械を操作する際に、装着者の視点とは別の視点からの映像を提示すれば、機器の操作支援が可能となる。また、CCD カメラではなく赤外線カメラを利用することにより、装着者が判断することができない対象物の温度情報や暗視下における周囲の状況なども認識することが可能となる。

遠隔映像提示機能のユニット構成を図 3.30に示す。遠隔映像提示機能は、映像情報を取得し送信する映像送信ユニットと、その情報を受信する腰部装着ユニットからなる。

映像送信ユニットは、まず装着者とは別の場所に設置された CCD カメラ (ソニー製 CCD-MC1) により、遠隔映像を取得する。取得された映像情報は NTSC 信号であり、

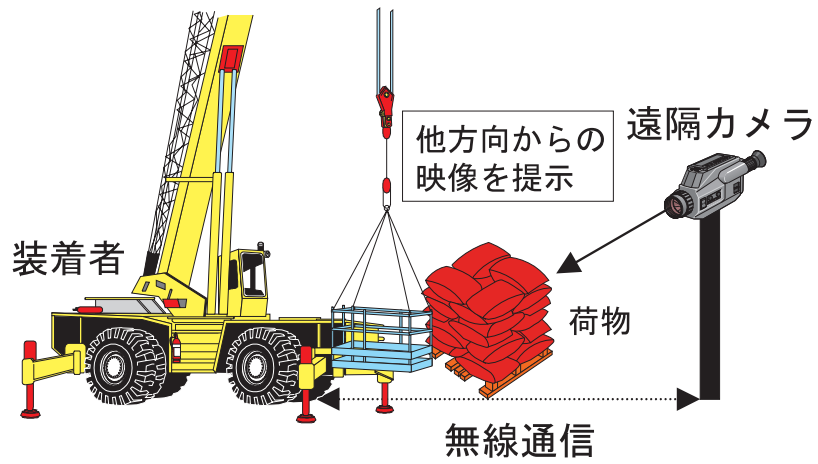


図 3.29: 遠隔映像提示機能の概念図

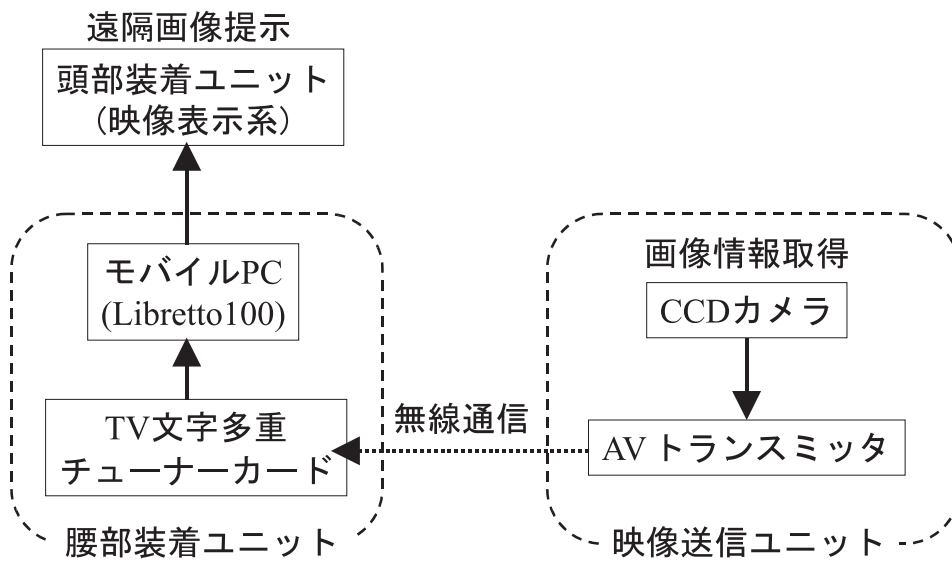


図 3.30: 遠隔映像提示機能のユニット構成

その信号を AV トランスミッタ (エスケイ電子製 VX-362) により、VHF 帯 1 チャンネルの映像信号帯に変調し、無線で送信される。

用いた CCD カメラの仕様を表 3.8 に示す。表 3.8 に示すように小型かつ軽量なカメラであるため、様々な場所に簡単に設置することができる。一方、AV トランスミッタは表 3.9 に示すように、無線通信特性として障害物のない所では約 30m の電波到達距離があるため、広域な映像情報の転送が可能である。

表 3.8: 用いた CCD カメラの仕様

寸法	33 × 45 × 71mm(カメラ部)
重量	70g
水平画角	67 度

表 3.9: 用いた AV トランスミッタの仕様

寸法	130 × 39 × 77mm
電波到達距離	約 30m

送信ユニットにより送られた映像情報は、腰部装着ユニットのモバイル PC に接続された PCMCIA 対応の TV 文字多重チューナーカード (松下電器製 CF-JTV101) により受信される。受信した画像は、TV 放送受信アプリケーションにより頭部装着ユニットの液晶画面に表示される。

用いた TV 文字多重チューナーソフトウェアの仕様を表 3.10 に示す。本研究では、腰部装着ユニットの小型化・軽量化を優先させるため、TV 文字多重チューナーカードのアンテナとしてイヤホンケーブルを利用した。また、本研究で用いた TV 文字多重チューナーソフトウェアでは、受信した映像を 320 × 240dot の大きさでしか表示できず、フレームレートも最高 15frame/sec であるため、若干のコマ落ちが生じる。

表 3.10: 用いた TV 文字多重チューナーソフトウェアの仕様

最大表示画素数	320 × 240
最大表示色数	32000 色
フレームレート	最高 15frame/sec
テレビ受信	VHF(1 ~ 12ch)、UHF(13 ~ 62ch)

3.7 ユニット構成

本節では、前述した基本機能および拡張機能を構成する各ユニットについて述べる。本研究で開発した HIDE は、3.1 節で述べた改良方針に基づき、基本的には頭部装着ユニットと腰部装着ユニットの 2 つのユニット構成となる。しかし、拡張機能の開発に伴い、HIDE とは別に単体でも利用可能なハンドフリーマウスや、装着者とは別の場所にある画像情報取得・送信ユニット、および視線方向検出ユニットなどを、拡張ユニットとして独立したユニットとすることが適当であると考えた。

そこで、映像提示・音声提示・音声認識の基本機能とバイブレーション機能を実現する頭部装着ユニット、それらの機能の制御を行うモバイル PC からなる腰部装着ユニット、そしてハンドフリーマウス、画像取得・送信ユニット、および視線方向検出ユニットからなる拡張ユニットの 3 つのユニット構成になる。以下では、それぞれのユニットについて具体的に説明する。

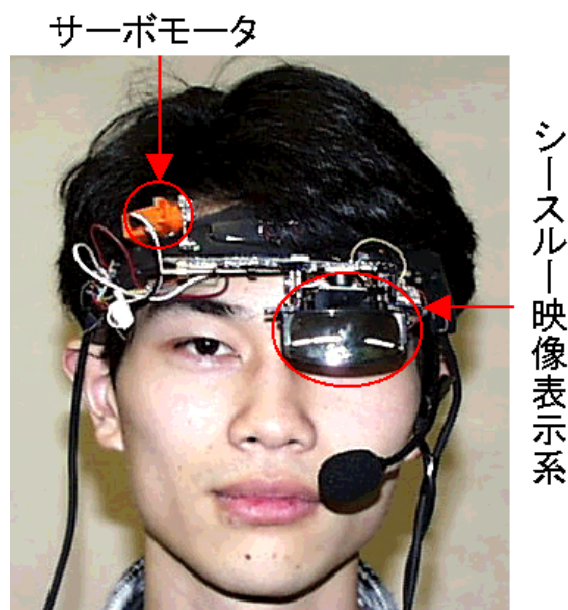


図 3.31: 開発した頭部装着ユニット

3.7.1 頭部装着ユニット

頭部装着ユニットには、映像情報と音声情報を提示するためのシースルー映像表示系およびイヤホンと装着者の頭部に振動を与える振動モータを搭載する。また、装着者の発話情報の収集のためのマイク、および自動開閉機構を実現するサーボモータお

よびタクトスイッチを、小型化・軽量化を念頭に適切な位置に配置する。

開発した頭部装着ユニットを図 3.31に示す。頭部装着ユニットの重量は約 140g であり、試作型 HIDE に比べて十分軽量化できたと考えられる。また、全体の重量バランスも改善され、安定して装着することが可能になった。さらに、自動開閉機構を組み込むことにより装着者の視野が広がり、作業の妨げになる可能性が無くなった。頭部への装着方法は、グラストロン付属の頭部固定バンドを用いて、頭部の額部分を締め付けるようにして装着する。

3.7.2 腰部装着ユニット

腰部装着ユニットには、基本機能および拡張機能を制御するためのモバイル PC、電源を供給するバッテリー、映像信号を変換するビデオコンバータ、および PCMCIA 対応の PC カードからなる。また、プリンタポートおよびマウスポートに接続されたコネクタ部分に、各種モータ(サーボモータ・振動モータ)の制御用回路を搭載したため、小型化・軽量化が可能になった。

実際の腰部装着ユニットを図 3.32に示す。腰部装着ユニットの重量は約 1.2kg であり、軽量化できたとはいいいがたい。これは、用いたモバイル PC の重量が約 1.0kg であるためである。しかし、現在生産されている中で最も軽量であるので、これ以上の軽量化は現段階では望めない。

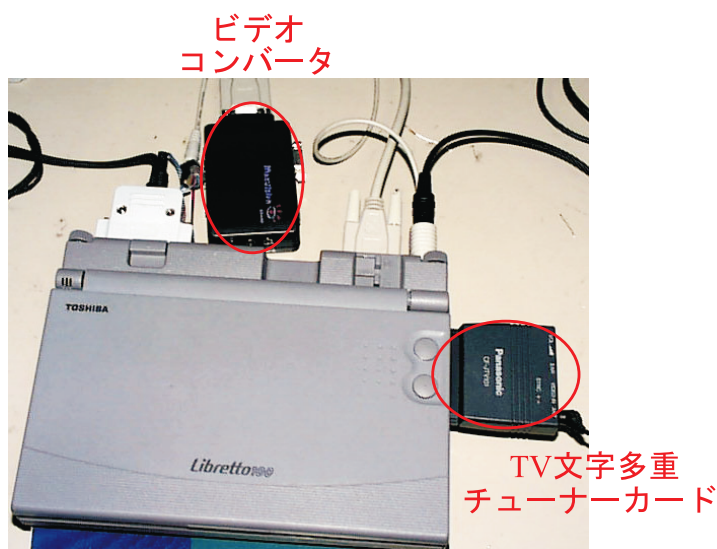


図 3.32: 開発した腰部装着ユニット

3.7.3 拡張ユニット

拡張ユニットは、ハンドフリーマウス、映像送信ユニット、および視線方向検出ユニットである。ハンドフリーマウスの場合、HIDE と共に利用する他に、実際のマウスの代替品として単体でも利用できるように開発したため、拡張ユニットとした。一方、映像送信ユニットの場合、応用する用途に合わせてカメラなどの設備を変える必要があるため、拡張ユニットとした。また、視線方向検出ユニットの場合、応用する用途に合わせて利用可能とするため、拡張ユニットとなる。

開発したハンドフリーマウスを図 3.33 に、映像送信ユニットを図 3.34 に、視線方向検出ユニットを図 3.35 に示す。ハンドフリーマウスの重量は約 120g であり、小型かつ軽量である。しかし、頭部の形・大きさにより正しい装着位置からずれる可能性があるため、安定した固定方法を考える必要がある。一方、遠隔映像送信機器である AV トランスミッタは、小型で持ち運びが簡単なユニットであるため、どのような場所にも設置可能である。視線方向検出ユニットについては昨年度開発を行い、本研究では改良を行っていない。

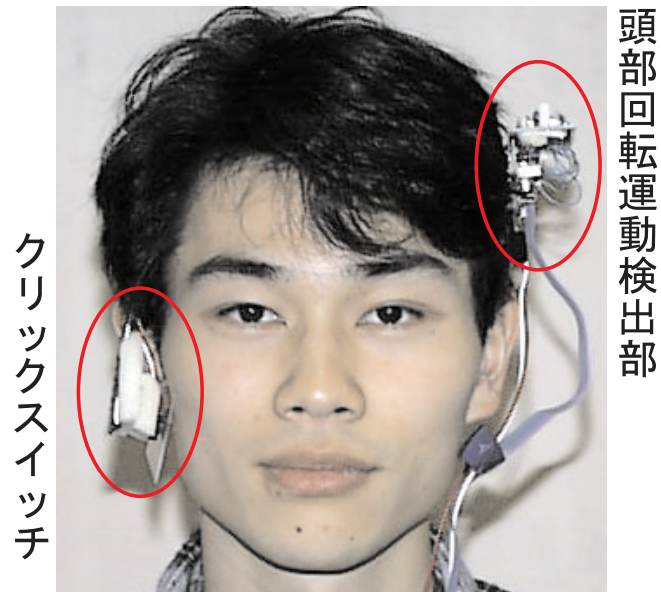


図 3.33: 開発したハンドフリーマウス

AVトランスミッタ CCDカメラ

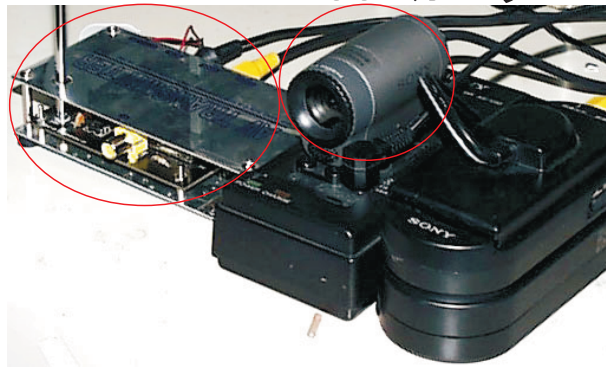
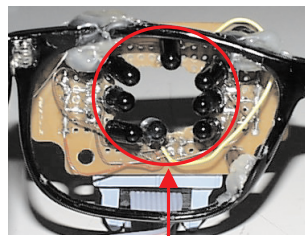


図 3.34: 用いた映像送信ユニット



視線方向検出素子

図 3.35: 昨年度開発した視線方向検出ユニット

第 4 章 HIDE の機能評価

本章では、改良・拡張した機能に関する評価実験の方法、結果と考察について述べる。なお、機能を改良した基本機能については、試作型 HIDE で用いた機能評価方法と同じ方法で実験を行った。

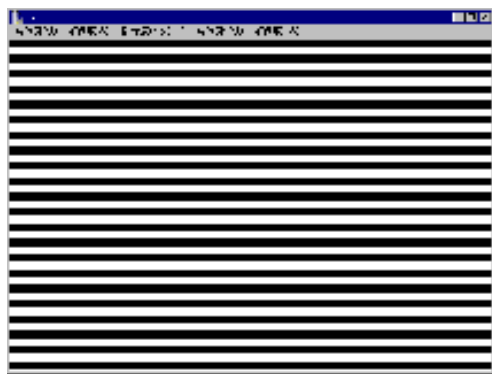
4.1 表示映像の最小分解能の評価

本節では、装着者に提示する映像の分解能を評価する実験について述べる。実験の目的は、頭部装着ユニットに表示される映像の分解能について評価することである。なお、この実験では試作型 HIDE の映像表示機能の評価実験と同じ方法を用いた。

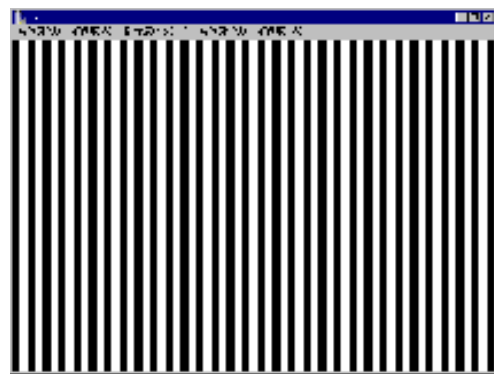
以下では、実験の方法、結果と考察について述べる。

4.1.1 実験方法

実験には表示映像として図 4.1に示すような白と黒の帯を縦・横方向に交互に配列したものをを用いる。被験者に HIDE を装着してもらい、帯の幅を 10dot から 1dot まで順に変化させ、どこまで帯を判別できるかを被験者に判断してもらう。



幅10dot間隔の横縞の映像



幅10dot間隔の縦縞の映像

図 4.1: 表示映像の解像度評価実験に用いた映像の例

被験者として、裸眼あるいはコンタクトレンズを装着して状態で視力が 1.0 以上あり、視覚機能に異常のない修士課程の学生 5 人 A'、B'、C'、D'、E' により実験を行った。

4.1.2 結果

判別できた最小の帯の幅を、試作型 HIDE の評価結果と共に表 4.1に示す。

表 4.1: 表示映像の最小分解能の評価実験結果

試作型 HIDE			HIDE		
被験者	縦縞	横縞	被験者	縦縞	横縞
A	5dot	4dot	A'	3dot	2dot
B	4dot	5dot	B'	3dot	2dot
C	5dot	4dot	C'	3dot	3dot
D	4dot	4dot	D'	3dot	2dot
E	3dot	3dot	E'	3dot	2dot

4.1.3 考察

表 4.1に示すように、HIDE の表示映像について装着者が認識できる最小の分解能は縦 3dot 横 2dot となった。理論的には、3.2.1 項で考察したように縦 1.31dot 横 1.31dot の分解能で表示できる。横縞の解像度はほぼ理論値通りの結果が得られたが、縦縞の場合、理論値と実験結果に差が生じた。また、被験者の内観報告より、PC の画像が試作型 HIDE よりも鮮明に表示されたという結果が得られた。

試作型 HIDE と比較して表示映像の分解能が向上した理由としては以下の点が考えられる。

- 液晶画面の画素数が増加した。
- 凹面ハーフミラーを用いて画像を拡大しているため、レンズによる拡大方法に比べて色収差が少ない。
- 試作型 HIDE のように無線通信により映像を伝送するのではなく有線で直接 PC の映像を表示しているため、伝送経路からのノイズが入りにくい。

4.2 音声認識率の評価

本節では、装着者の発話を認識する音声認識率の評価実験について述べる。実験の目的は、装着者の発話をどの程度正しく認識できるかを評価することである。なお、こ

の実験では試作型 HIDE の音声認識機能の評価実験と同じ方法を用いた。

以下では、実験の方法、結果と考察について述べる。

4.2.1 実験方法

この実験では、表 4.2 に示す 4 つの単語を被験者に発話してもらい、その単語を音声認識機能により認識させる。これらの単語は音声認識ソフトウェアにあらかじめ登録されている単語から選んだもので、発音が似ている単語を同時に使用することは避けた。まず被験者に HIDE を装着してもらい頭部装着ユニットのマイクの音量調整を行った後に、各単語を 10 回ずつ発話してもらった。なお、発話する単語と次の単語では認識に要する時間を考慮し、2 秒以上の間をあけてもらうようにした。

表 4.2: 音声認識率の評価実験に用いた発話単語

単語 1	「最小化」
単語 2	「ボイスコマンドリスト」
単語 3	「グローバルコマンド」
単語 4	「スタートボタン」

被験者として、発話機能に異常のない修士課程の学生 5 人 F'、G'、H'、I'、J' により実験を行った。また、実験環境は、外部騒音はエアコン、コンピュータの冷却ファンの動作音程度で、大きな騒音のない環境であった。

4.2.2 結果

実験結果を、試作型 HIDE の評価と共に表 4.3 に示す。なお、認識率は以下の式により算出した。

$$\text{認識率} = \frac{\text{正しく認識した回数}}{\text{全発話単語数 (4 単語} \times \text{各 10 回} = \text{40 回)}} \times 100[\%] \quad (4.1)$$

4.2.3 考察

表 4.3 より HIDE 装着者の発話音声認識率は平均 98.5% となった。この結果は、試作型 HIDE より向上しており、さらに 5 人の被験者全てが高い認識率を示している。この実験では、装着者の声をあらかじめ登録しておらず、不特定話者用の認識アルゴリ

表 4.3: 音声認識率の評価実験結果

試作型 HIDE		HIDE	
被験者	認識率	被験者	認識率
F	97.5%	F'	95.0%
G	97.5%	G'	100 %
H	100 %	H'	100 %
I	95.0%	I'	100 %
J	87.5%	J'	97.5%
平均	95.5%	平均	98.5%

ズムを用いた。装着者の話し方の癖をあらかじめ登録しておくことによって、さらに認識率は向上する可能性がある。

また、3.3 節で述べたように、頭部装着ユニットのマイクおよび音声認識アルゴリズムで雑音を除去するため、周囲に騒音がある環境でも高い認識率が得られると考えられる。

4.3 ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 … 単純課題

本節では、HIDE の拡張機能として新たに開発したハンドフリーマウスと、従来のポインティングデバイスの操作性を比較評価する実験について述べる。本実験では、ハンドフリーマウスおよび他のポインティングデバイスについて 3.4.4 項で述べた実験と同様の簡単なタスクを行ってもらい、ポインティングの操作性の評価を行う。

以下、実験の方法、結果と考察について述べる。

4.3.1 実験方法

この実験では、被験者が日頃から使い慣れている通常のマウス、あまり使い慣れていないモバイル PC 付属のリブポイントと、開発したハンドフリーマウスの計 3 つのポインティングデバイスを用いた。なお、ハンドフリーマウスの自動キャリブレーションの設定は方法 1 を用いた。

本実験で用いるタスクおよび実験手順は、Head-control ポインタの自動キャリブレーション

ション方法の評価実験と同じものとした。すなわち、ハンドフリーマウスのクリック操作は頬に付けたクリックスイッチを手で押すことで行い、操作の際のモニタとしてモバイル PC(Libretto100) の液晶ディスプレイを用いた。そのディスプレイの解像度は、640 × 480dot である。

被験者として、Head-control ポインタの自動キャリブレーション方法の評価実験の被験者と同じ修士課程の学生 5 人 K、L、M、N、O により実験を行った。それゆえ、Head-control ポインタの自動キャリブレーション方法の評価実験でハンドフリーマウスは経験済みである。なお、被験者 K と N は約半年間リブポイントを使用しており、他の被験者に比べ操作に多少習熟している。

また、ハンドフリーマウスを用いた実験はここでは行わずに、Head-control ポインタの自動キャリブレーション方法の評価実験の際の実験結果を用いる。

4.3.2 結果

本実験の得られた各被験者の結果は付録 D に譲り、ここでは 5 人の平均タスク遂行時間を図 4.2 に、その標準偏差を表 4.4 に示す。また実験結果で求めた平均タスク遂行時間は、5 人の被験者が行った 32 回の試行を平均したものである。

なお、平均タスク遂行時間および標準偏差は式 3.4、3.5、3.6、3.7 により求めた。

4.3.3 考察

図 4.2 および表 4.4 より、実験で用いた 3 種類のポインティングデバイスの操作性について以下のことが分かった。

1. 平均タスク遂行時間は、ターゲットの大きさに関わらず、通常のマウス、リブポイント、ハンドフリーマウスの順で長くなる。
2. 通常のマウスおよびリブポイントによるタスクでは、ターゲットが小さくなるにつれて平均タスク遂行時間が単調に増加するが、ハンドフリーマウスでは 40 × 40dot ~ 80 × 80dot の大きさのターゲットでは平均タスク遂行時間にほとんど変化がない。
3. 通常のマウスおよびリブポイントは、ハンドフリーマウスと比較して標準偏差が小さい

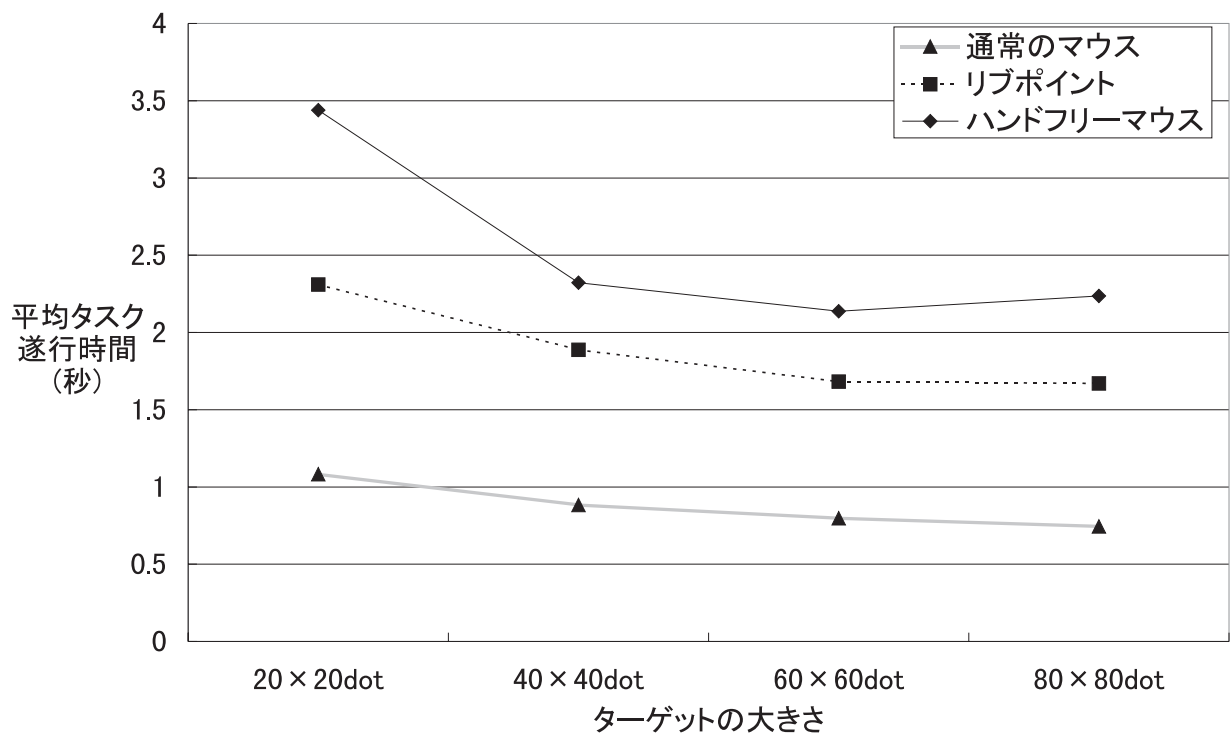


図 4.2: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における平均タスク遂行時間

表 4.4: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における平均タスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
ハンドフリーマウス	1.01 秒	0.56 秒	0.75 秒	0.92 秒
リブポイント	0.51 秒	0.38 秒	0.28 秒	0.37 秒
通常のマウス	0.15 秒	0.07 秒	0.04 秒	0.09 秒

1. より、ポインティング操作を行いやすいのは、通常のマウス、リブポイント、ハンドフリーマウスの順となる。この理由として、まずリブポイントは片手の親指だけでポインティング操作を行うので、通常のマウスに比べて操作が若干難しいために平均タスク遂行時間が長くなったことが考えられる。一方、ハンドフリーマウスは手と比べて器用ではない頭部運動をポインティング操作として用いるために、平均タスク遂行時間がさらに長くなったと考えられる。

2. の理由として、ターゲットが大きくなるにつれ通常のマウスやリブポイントはカーソルの移動距離が短くなるために平均タスク遂行時間が短くなるが、頭部運動によりポインティング操作を行った場合は、ターゲットのほぼ中央にカーソルを移動させるケースが多く見られたため、ターゲットの大きさが変化しても平均タスク遂行時間がほぼ一定であったと思われる。これは、頭部運動ではターゲットの端にカーソルを移動させることが困難であるためと考えられる。

3. は、頭部運動をポインティング操作として利用した場合の器用さが個人により大きく異なる理由によると考えられる。

以上より、ハンドフリーマウスは簡単なタスクにおいて既存のポインティングデバイスを上回るパフォーマンスは得られなかったが、平均タスク遂行時間は2~3秒程度であり、十分実用性があるといえる。また、ハンドフリーマウスによるポインティング操作に慣れることにより同等のパフォーマンスが得られる可能性もある。

4.4 ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2

… 応用課題

本節では、HIDEの拡張機能として新たに開発したハンドフリーマウスと従来のポインティングデバイスによる実際のコンピュータ操作のパフォーマンスを比較評価する実験について述べる。

以下では、実験の方法、結果と考察について述べる。

4.4.1 実験方法

実験手順

この実験では、通常のマウス、モバイルPCのリブポイント、IBM製ノートパソコン Think Pad 付属のトラックポイント、ハンドフリーマウスの計4つのポインティン

グデバイスを用いた。なお、ハンドフリーマウスの自動キャリブレーションの設定は方法1を用いた。

本実験では、ポインティングデバイスの違い以外に、作業効率に影響を与えるパラメータを極力排除するため、カーソルの移動やクリック動作は可能な限り自然に行い、必要以上に急がないように被験者に指示した。また、被験者は各デバイスの実験前に約1~3分程度の練習を行い、操作に慣れてもらった。実験を行う順番は、通常のマウス、リブポイント、トラックポイント、ハンドフリーマウスの順番である。なお、本実験はハンドフリーマウスのポインティングの操作性の比較評価が目的であるため、クリック操作は咀嚼筋によらず頬に付けたスイッチを手で押すことで行った。

データの収集は、タスクを開始してからタスク終了となる項目をクリックするまでの時間を測定することによって行う。また、操作の際のディスプレイとして、モバイルPC(Libretto100)の液晶ディスプレイを用いた。ディスプレイの解像度は、640 × 480dotとした。

被験者として、頭部回転運動機能に異常が無く、PC利用歴1年以上でありマウス操作に十分慣れている修士課程の学生5人P、Q、R、S、Tにより実験を行った。なお、被験者Rはハンドフリーマウスの操作の経験はないが、その他の被験者はハンドフリーマウスの開発過程においてモニターとして経験済みである。被験者P、Sはリブポイントの使用歴は約半年であり、操作に習熟している。被験者Tはトラックポイントの使用経験があり、操作に習熟している。

タスク内容

被験者に求められるタスクはMicrosoft Windows 95の操作のうち以下のものである。

- タスク1：スタートボタンからエクスプローラを選択する
- タスク2：アプリケーションプログラムの上部メニューの中から「ファイル」「閉じる」を選択する
- タスク3：デスクトップ上のアイコンをダブルクリックする
- タスク4：アプリケーションの右上に配置されたウィンドウコントローラから「終了ボタン」を選択する

4.4.2 結果

本実験で得られた各被験者の実験結果は付録 D に譲り、ここでは 5 人の平均タスク遂行時間を図 4.3 に、その標準偏差を表 4.5 に示す。

具体的には、以下に示す式により平均タスク遂行時間および標準偏差を算出した。

$$\text{平均タスク遂行時間} = \frac{\text{5 人のタスク遂行時間の合計}}{\text{全被験者数 (5 人)}} [\text{秒}] \quad (4.2)$$

平均タスク遂行時間の標準偏差 =

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (i \text{ 人目のタスク遂行時間} - \text{平均タスク遂行時間})^2}{\text{全被験者数 (5 人)} - 1}} [\text{秒}] \quad (4.3)$$

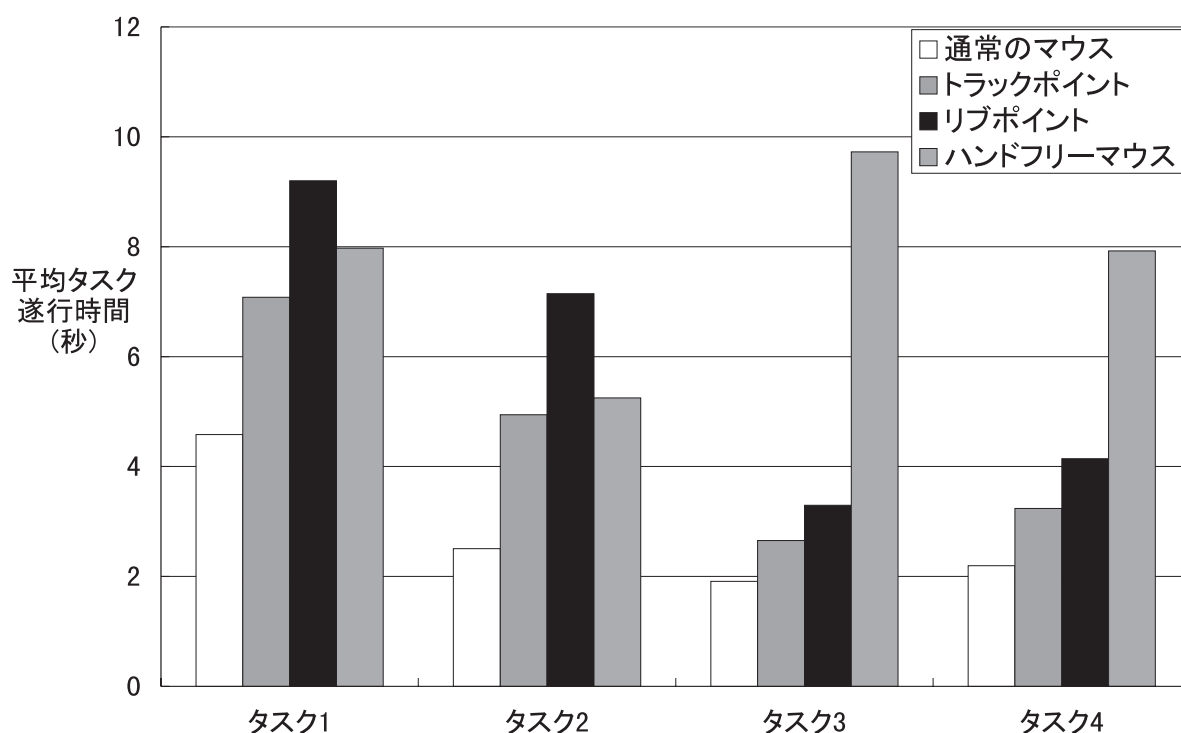


図 4.3: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 におけるタスク平均遂行時間

4.4.3 考察

図 4.3 および表 4.5 から、実験で用いた 4 種類のポインティングデバイスの操作性について以下のことが分かった。

表 4.5: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における平均タスク遂行時間の標準偏差

	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4
ハンドフリーマウス	1.20 秒	1.15 秒	6.71 秒	3.93 秒
トラックポイント	1.99 秒	1.11 秒	0.46 秒	0.94 秒
リブポイント	2.32 秒	2.86 秒	1.22 秒	0.98 秒
通常のマウス	0.82 秒	0.50 秒	0.32 秒	0.40 秒

1. 全てのタスクにおいて、通常のマウス、トラックポイント、リブポイントの順に平均タスク遂行時間は長くなる
2. 通常のマウス、トラックポイントおよびリブポイントの場合、タスク 1 およびタスク 2 よりもタスク 3 およびタスク 4 の方が平均タスク所要時間が短い。
3. ハンドフリーマウスの場合、タスク 1 およびタスク 2 においてはリブポイントよりも平均タスク遂行時間は若干短いですが、タスク 3 およびタスク 4 では平均タスク遂行時間が非常に長くなる。
4. ハンドフリーマウスの平均タスク遂行時間の標準偏差は、タスク 3 およびタスク 4 においてその他のタスクの約 5 倍の値になる。

1. の結果より、既存のデバイスでは、通常のマウス、トラックポイント、リブポイントの順にポインティング操作のパフォーマンスが高いといえる。2.、および 4. の結果より、ハンドフリーマウスはタスク 3 およびタスク 4 の操作が困難であるといえる。3. の結果より、ハンドフリーマウスは、タスク 1 およびタスク 2 に限ればリブポイントと同等の操作性があるといえる。

タスク 3 で、ハンドフリーマウスの平均タスク遂行時間が長くなるのは、ポインティング操作ではなくダブルクリック操作が原因と考えられる。ダブルクリックは、最初のクリックと次のクリックの間にポインティングカーソルが動かないことが前提となっているが、ハンドフリーマウスでは頭部の微少揺らぎがあるため、最初のクリックと次のクリックの間でカーソルの位置がずれてしまい、ダブルクリックとして認識されないことが多いためである。

タスク 4 では、4.3 節で考察したように、ハンドフリーマウスの特性としてウィンドウコントローラ程度の大きさ (20 × 20dot) のボタンを押すことは非常に困難な作業な

ためである。

以上より、ハンドフリーマウスを実際のコンピュータ操作に用いる場合は、 40×40 dotサイズの大きさのアイコンやボタンを1回のクリックで選択し操作可能なように設計する必要があるといえる。

4.5 ハンドフリーマウスの総合評価

本節では、HIDEの拡張機能として新たに開発したハンドフリーマウスのポインティング操作、およびクリック操作を統合した総合機能の操作性を評価した実験について述べる。

以下では、実験の方法、結果と考察について述べる。

4.5.1 実験方法

この実験では、ハンドフリーマウスをポインティングデバイスとして用い、(1) クリック操作を手で行った場合と(2) クリック操作を咀嚼筋で行った場合の平均タスク遂行時間を比較する。なお、ハンドフリーマウスの自動キャリブレーションの設定は方法1を用いた。

また、本実験で用いるタスクは、ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験2と同じタスクを用い、実験手順も同様とした。

被験者として、ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験2の被験者と同じ修士課程の学生5人P、Q、R、S、Tにより実験を行った。

実験データとして、ハンドフリーマウスのクリック操作を手で行う実験はここでは行わずに、ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験2の際の実験結果を用いる。

4.5.2 結果

本実験の得られた各被験者の結果は付録Dに譲り、ここでは5人の平均タスク遂行時間を図4.4に、その標準偏差を表4.6に示す。

なお、式4.2、4.3により平均タスク遂行時間および標準偏差を算出した。

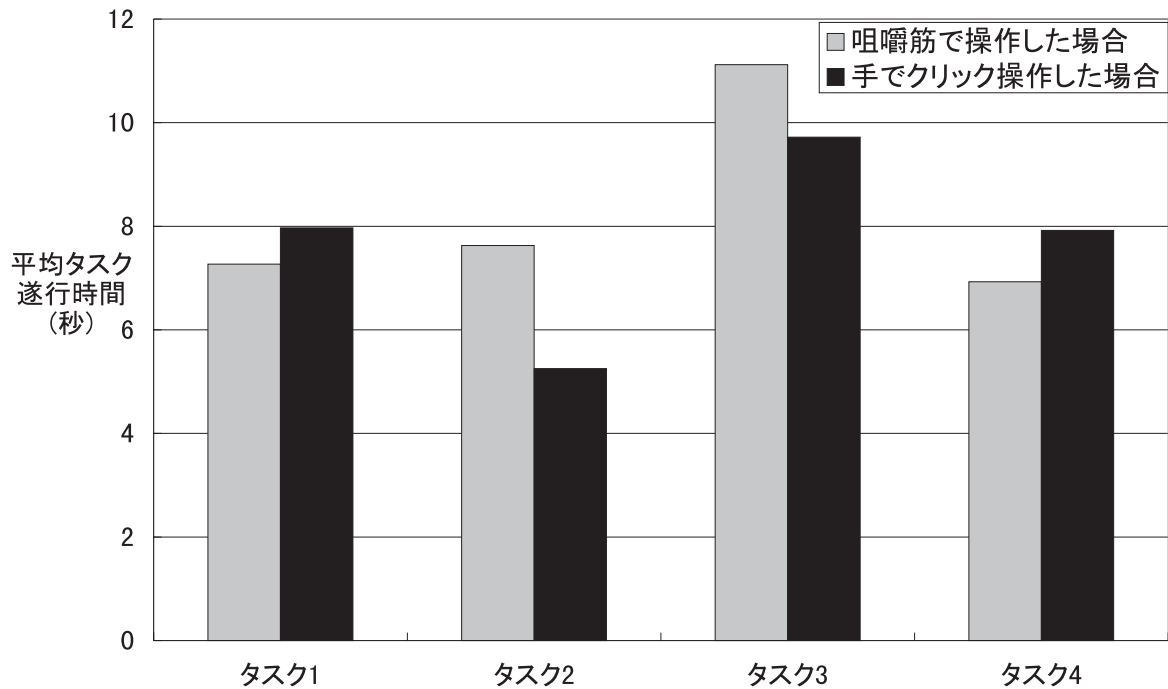


図 4.4: ハンドフリーマウスの総合評価における平均タスク遂行時間

表 4.6: ハンドフリーマウスの総合評価における平均タスク遂行時間の標準偏差

	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4
咀嚼筋で操作した場合	1.30 秒	3.91 秒	6.90 秒	3.29 秒
手でクリック操作した場合	1.20 秒	1.15 秒	6.71 秒	3.93 秒

4.5.3 考察

図 4.4、表 4.6より、ハンドフリーマウスの操作においてクリック操作に手を用いた場合と咀嚼筋を用いた場合では、平均タスク遂行時間およびその標準偏差にはほとんど差が見られないことが分かった。

これより、ハンドフリーマウスの総合機能の操作性として、クリック操作を咀嚼筋により行った場合と手でクリック操作を行った場合では、ほぼ同等のパフォーマンスであるといえる。しかし、実験前の練習段階で咀嚼筋を用いたクリック操作の方法が分からずに、カーソルは的確な位置に移動できてもクリックに時間がかかってしまう被験者もあり、操作にはある程度の慣れが必要と考えられる。

4.6 情報提示機能による注意の喚起に関する評価

HIDE には、映像提示機能、音声提示機能、およびバイブレーション機能の3つの情報提示機能がある。情報提示機能は、HIDE 装着者に何らかの情報を提示する機能であるが、それは、単に装着者の要求に応じて必要な情報を提示する場合だけでなく、HIDE が時間経過や周囲の状況に応じて装着者に警告や注意を与える場合も考えられる。このような注意を喚起する必要がある際には、音声提示機能とバイブレーション機能が有効と考えられる。これらの機能は、HIDE を装着している限り、装着者の聴覚および触覚に刺激を与えることができる。一方、映像提示機能は、視覚に刺激を与えることができるものの、作業の内容によっては、外界の視野を十分確保するために映像表示部を顔の上方に移動させている場合があり、常に注意を喚起できるとは限らない。

そこで、本節では、音声提示機能およびバイブレーション機能によって装着者の注意を喚起できるかどうかの評価を行う。特に、音声提示機能は、単に注意を喚起できるだけでなく、音声ガイダンスとして何らかの情報も併せて提示できるため、その評価も併せて行う。

以下では、注意の喚起に関する評価実験について述べる。

4.6.1 実験方法

実験では、HIDE を装着した被験者にタスクを行ってもらい、その間に音声提示機能による音声ガイダンスによる指示、およびバイブレーション機能による頭部への振動を提示する。そして、タスクに集中している被験者が、それらに的確に反応するかどうかを調べる。被験者に与えるタスクは、自動車レースゲーム (Playstation 版 R4 RIDGE

RACER TYPE4) である。このタスクを選択した理由は、被験者をタスクに集中させるためと、騒音下における音声提示機能の有効性を調べるためである。なお、レースゲームの音は、主に、レースカーのエンジン音と音楽であり、被験者がゲームを行うディスプレイのスピーカーから多少大きめの音量で提示した。

実験の概略を図 4.5 に示し、その手順を以下に示す。(1) 被験者に HIDE を装着してもらい、上述のレースゲームを開始する。(2) レースゲームの間、表 4.7 に示す音声指示および振動を与える。音声指示が聞こえた場合には、その指示に従ってもらい、頭部に振動を感じた場合には、レースゲームを中断してもらい、振動および音声指示は、ゲーム中のランダムなタイミングで 2 回ずつ被験者に提示する。なお、音声指示の内容は事前に被験者に知らせていない。

実験の被験者は、聴覚および頭部の触覚に異常のない修士課程の学生 U、V、W、X、Y の 5 名である。

表 4.7: 音声提示機能の評価実験で用いる音声指示

指示 1	ストップボタンを押して下さい
指示 2	立ち上がって下さい
指示 3	手をたたいて下さい
指示 4	自分の名前を言って下さい

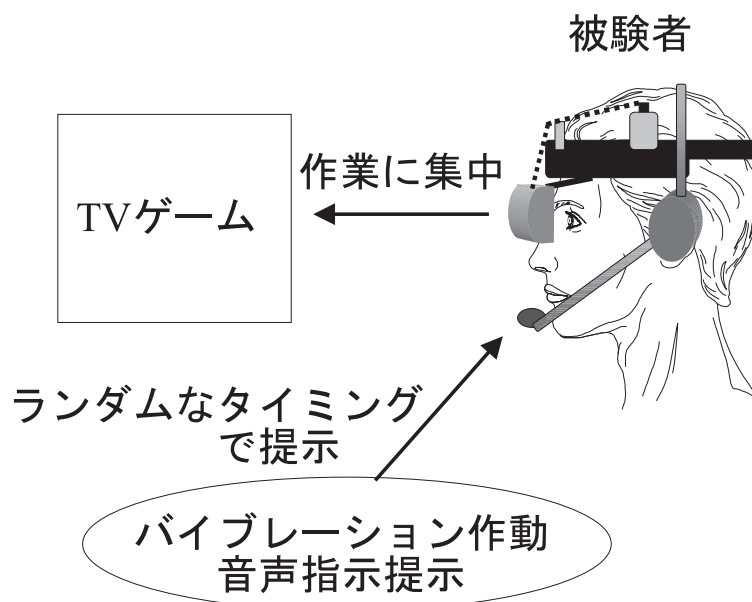


図 4.5: 情報提示機能による注意の喚起に関する評価実験の概略

4.6.2 結果

実験結果を表 4.8に示す。表の左から右へ提示刺激の順序を表す。表中の は被験者が正しく音声指示や振動に対応したことを示し、×は対応しなかったことを示す。実験では、各被験者に振動と音声指示を合わせて 10 回ずつ提示しており、被験者 5 人合わせて 50 回の刺激を提示した。そのうち、被験者が正しく対応しなかったのは 3 回であった。

表 4.8: 情報提示機能による注意の喚起に関する評価結果

被験者	振動	指示 1	指示 2	指示 3	指示 4	振動	指示 2	指示 1	指示 4	指示 3
U										
V										
W		×	×							
X		×								
Y										

4.6.3 考察

はじめに、刺激の提示が被験者の注意を喚起したかどうかについて考察する。表 4.8 からもわかるように、バイブレーション機能による振動刺激の提示では、全ての被験者が全ての振動刺激について正しく対応しており、ゲームに集中している間でも注意を喚起できたと考えられる。一方、音声指示の提示では、被験者 W と X が計 3 回音声指示に正しく対応できていない。被験者 W と X の事後報告によると、両者とも音声提示があったことはわかったが、その内容がゲームの音により聞き取りにくかったため正しく対応できなかったようである。

次に、音声指示を与えた場合の被験者の対応について考察する。上述のように、被験者 W と X は、指示内容が聞き取りにくかったと報告している。また、別の被験者は、音声指示の高い音域が強調されて聞こえたために、指示内容が聞き取りにくかったと報告した。これは、ゲームの音により音声指示が聞き取りにくかった以外に、HIDE の頭部装着ユニットに搭載しているイヤホンに問題があることを示している。すなわち、HIDE のイヤホンは再生する音声の高域が強調され、そのために被験者には多少聞き取りにくかったようである。イヤホンの交換による提示音質の改善が望まれる。

最後に、HIDE による有効な注意の喚起方法について考察する。実験の結果から注意の喚起だけに限れば、バイブレーション機能が有効であると考えられる。しかしな

がら、バイブレーション機能は、振動のみを頭部に与えるため、注意の理由や指示のような情報を提示することはできない。一方、音声提示は、注意の喚起とともに情報の提示もできるが、外界の騒音の影響を受けやすい欠点がある。そのため、騒音の少ない環境で作業を行っている際に被験者に注意を喚起する場合には音声提示機能が有効であり、騒音が大きい環境の場合には、バイブレーション機能で注意を喚起した後、映像表示機能や音声提示機能により情報を伝える方法が有効であると考えられる。

4.7 遠隔映像提示機能の無線通信特性の評価

本節では、装着者に別の視点を提供する遠隔映像提示機能の無線通信特性を評価する実験について述べる。

4.7.1 実験方法

本実験では、遠隔映像の無線通信可能距離および受信映像を評価することを目的とする。以下では、実験環境および実験手順について述べる。

実験環境

実験システムの概略を図 4.6 に示す。実験は本研究室前の廊下（鉄筋コンクリート建て 3 階）で行った。廊下の壁面に図 4.7 に示す白と黒のチェック模様のテストパターンを貼り、それが映る位置に CCD カメラを配置する。撮影されたテストパターンは、AV トランスミッタにより送信されて、TV 文字多重チューナーカードによりモバイル PC に取り込まれる。実験では、モバイル PC として Libretto100 を用いた。

なお、実験中はノイズの影響を避けるためにノイズ源となりやすい廊下の蛍光灯を全て消し、また作業中に人が通る影響を無くすため人気のない夜間（AM2:00 頃）に行った。撮影したテストパターンの照明にはノイズをなるべく発生させないように白熱灯を用いた。

実験手順

実験手順を以下に示す。

1. CCD カメラおよび AV トランスミッタを設置し、テストパターンが撮影されるように位置を調整する

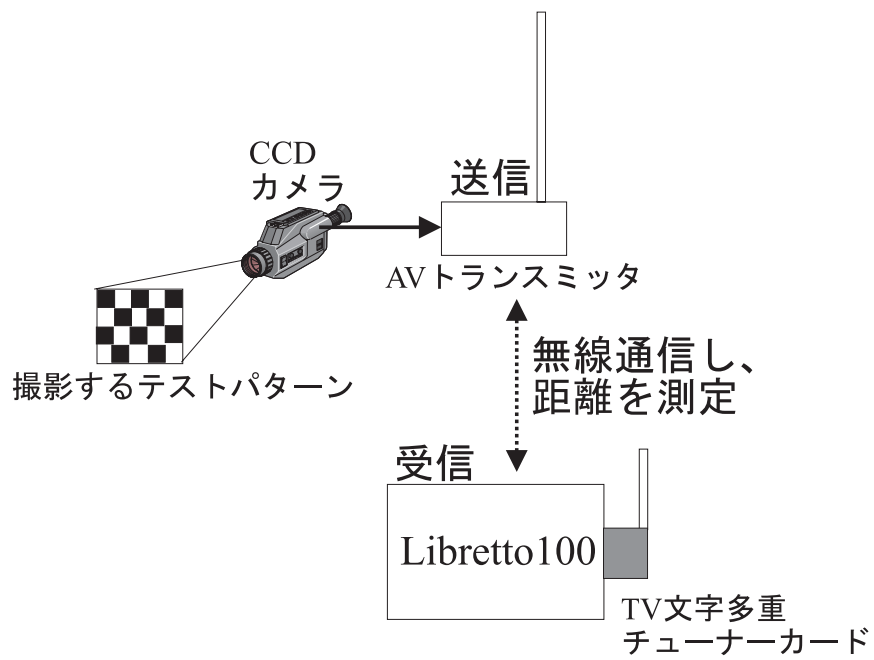


図 4.6: 遠隔映像提示機能の実験システム

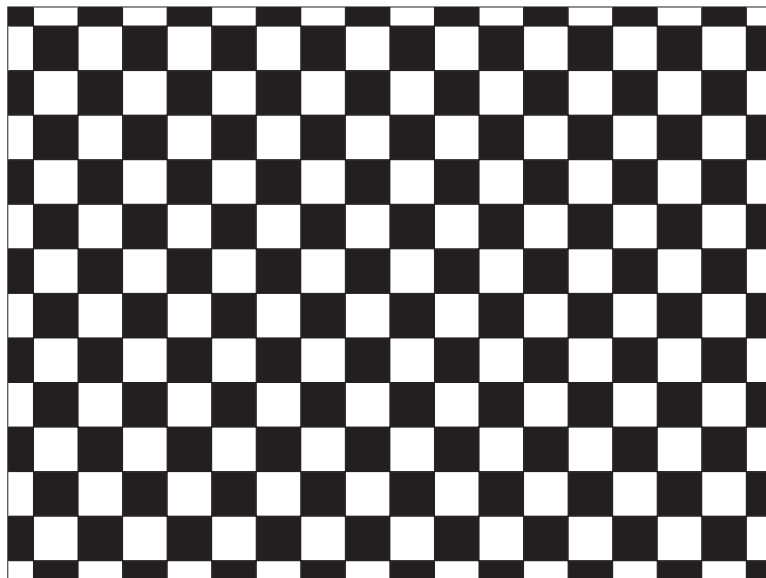


図 4.7: CCD カメラに映す画像

2. TV 文字多重チューナーカードに接続されているアンテナを調整する (送信波との同期が取れるとチューナーカードのパイロットランプが点灯する)。
3. 受信器を接続したモバイル PC を 1m おきに AV トランスミッタから離していき、その時の画像を PC に保存する。
4. 受信画像が完全に映らなくなるまで 3. を続ける。

4.7.2 結果

上記の実験を行った結果、AV トランスミッタから約 7m 離れた地点から受信状態が極端に悪くなり、10m 地点ではテストパターン映像が完全に見えなくなった。

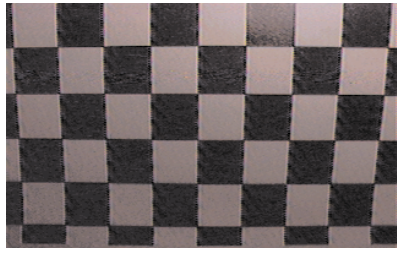
実験で受信された映像を図 4.8に示す。

4.7.3 考察

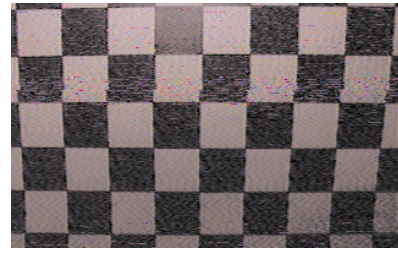
図 4.8より、以下のことが分かる。

1. AV トランスミッタから 6m 以上離れた地点から、受信画像に乱れが生じ始めた。
2. AV トランスミッタから 9m 離れた地点でも多少テストパターンが映る場合もある。
3. AV トランスミッタから 10m 以上離れると、テストパターンは完全に映らなくなる。

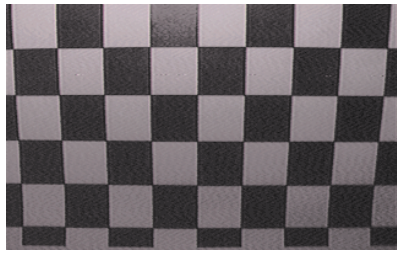
以上の結果より、遠隔映像の無線通信可能な最大距離は約 6m といえる。また、実験後に他の小型テレビにて同じ実験を行ったところ約 20m 近くまで受信できたため、本研究で用いた TV 文字チューナーカードの受信性能によるものと考えられる。つまり、TV 文字多重チューナーカードの受信性能に影響するアンテナにイヤホンケーブルを用いたため、小型テレビに比べ受信性能が劣る結果になったと思われる。ゆえに、アンテナの形態を改良する必要がある。また他の方法として、送信ユニットである AV トランスミッタを変更し、より送信出力の高い機器を用いる方法も考えられる。



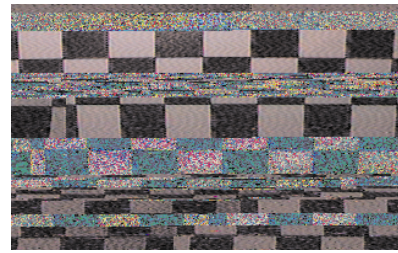
1m



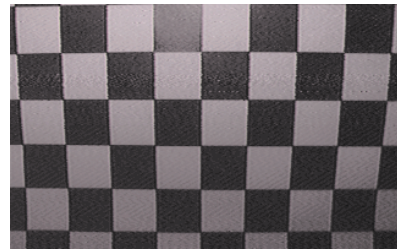
6m



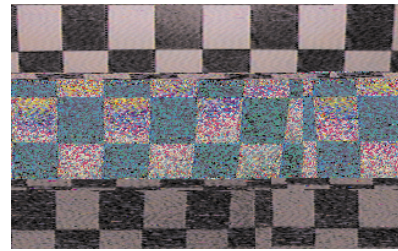
2m



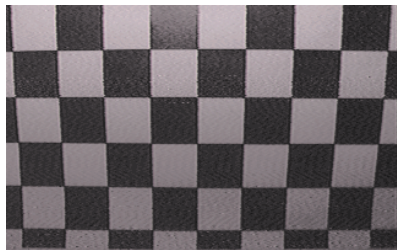
7m



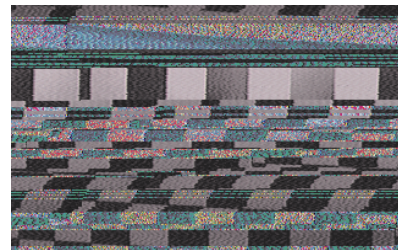
3m



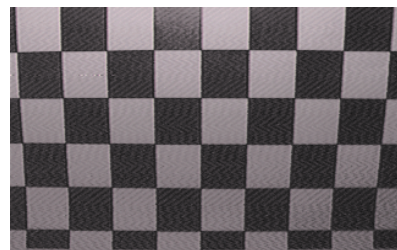
8m



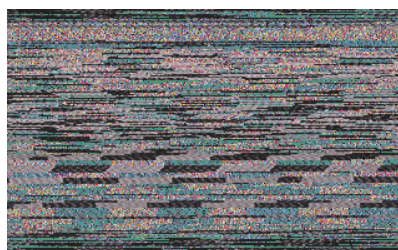
4m



9m



5m



10m

図 4.8: AV トランスミッタから 1m おきの受信画像

第 5 章 HIDE の機能特性と応用事例の考察

本章では、まず HIDE の各機能の評価実験の結果から機能の諸特性をまとめる。次に応用事例として HIDE を作業支援、障害者支援、高齢者支援に応用した場合の具体例について考察し、その中の一例を取り上げ実際にアプリケーションソフトウェアを試作し、その動作確認を行った結果を述べる。

5.1 HIDE の機能特性

本節では、第 4 章で述べた各機能の評価実験の結果をもとに基本機能および拡張機能の特性を考察する。以下では、情報提示を行う機能と情報の入力・操作を行う機能に分けて述べる。なお、昨年度開発した視線方向認識機能については、昨年度に試作した HIDE の評価結果をもとにした。

5.1.1 情報提示特性

HIDE の情報提示機能は、映像提示機能、音声提示機能、バイブレーション機能および遠隔映像提示機能の 4 つである。この 4 つの機能のそれぞれについて、その構成上の特徴や評価実験の結果から得られた特性について述べる。

映像提示機能は、装着者の片目に映像情報を提示する機能である。この機能は装着者の視覚に情報を与えるため、他の情報提示機能に比べて、画像や文字などの大量の情報を一度に効率よく提示することができる。表示する画像については、平面はもとより、3次元グラフィック等を用いた詳細な情報や、動画を用いて分かり易く効果的に提示することも可能である。さらに、新たに開発した自動開閉機構により必要に応じて映像表示部分を顔の上部に移動させることにより、装着者の外界視野を完全に確保することも可能である。

音声提示機能は、装着者に音声ガイダンスのような音声情報を提示する機能である。この機能は、音声ガイダンスによる情報提示だけでなく、例えば、機器保守作業における機器の異音のサンプルのような音そのものに意味がある場合に、それらの音情報を装着者の聴覚に提示できる。また、作業中に装着者が外界視野を確保するために映像表示部分を上方に上げている場合や、装着者が作業に集中している場合には、有効な

情報提示・注意の喚起方法として機能する。しかし、他者と会話している場合や周囲の騒音が大きい環境では、情報を正確に提示できない欠点がある。

バイブレーション機能は、装着者の頭部に振動を与える機能である。この機能は、HIDEの装着者が作業に集中しているときや周囲の騒音が大きい環境でも、装着者に警告や注意を喚起することができる。しかし、この機能は、振動を頭部に与えるだけなので、詳細な情報までは伝えることができない。

遠隔映像提示機能は、遠隔地に設置された CCD カメラにより撮像された映像を無線通信により装着者に動画像として提示する機能である。遠隔地のカメラの映像を利用することにより、例えば、大型機械の操作の際に装着者が見ている方向とは別の角度からの映像を提示することができ、機械操作の支援など、幅広い応用が可能である。しかし、評価実験の結果より、無線通信距離が短く長距離伝送は不可能であり、動画像の再生も 15frame/sec であるためコマ落ちも生じてしまう欠点がある。

以上の内容をまとめると、表 5.1 のようになる。

表 5.1: HIDE の情報提示特性

機能	特性
映像提示機能	大量の情報を一度に提示できる 3D 映像や動画も提示できる 自動開閉機構により必要に応じて外界視野を確保できる
音声提示機能	音そのものの情報を提示できる 警告や注意の喚起に有効 会話中や騒音環境下では聞き取りにくい
バイブレーション機能	会話中や騒音環境下でも確実に警告や注意を喚起できる 詳細な情報を提示できない
遠隔映像提示機能	大型機械の操作支援など、幅広い分野に応用ができる 詳細な映像は表示不可能 無線通信距離が短く、動画のコマ落ちが生じる

5.1.2 入力・操作特性

HIDE で装着者が入力や操作を行う機能は、音声認識機能、視線方向認識機能およびハンドフリーマウスの 3 つである。この 3 つの機能のそれぞれについて、その構成上の特徴や評価実験の結果から得られた特性について述べる。

音声認識機能は、装着者の発話を認識する機能である。この機能により、発話という人間にとって自然な行為によって、様々な操作を行うことが可能となる。また、評価実験の結果から分かるように十分実用に耐えうる認識率が得られる。この評価実験は、比較的騒音の少ない環境下で行われたものであり、用いるマイクやソフトウェアにより騒音環境下でのロバスト性が向上されてはいるものの、周囲の騒音が激しいところでは、十分な認識率が得られるとは限らない。また、この機能は、認識処理を行う PC の処理能力により認識時間が左右され、処理能力の低い PC では、発話認識に 2 秒程度の時間がかかる。

視線方向認識機能は、装着者の視線方向を認識する機能である。この機能は、音声認識機能に比べ、操作に要する時間が短いこと、および、騒音環境下でも操作が可能なのが特徴である。例えば、大きな映像を提示しているような場合、この機能により映像を自由に上下左右に動かすことが可能となる。この機能により認識できる視線方向は、上下左右および正面の 5 方向である。また、装着者の視線方向以外に瞬目も認識できるため、その瞬目の頻度やタイミングから装着者の覚醒度を推定する研究も進められている^[12]。しかし、この機能を利用するためには、視線方向検出素子を眼の適切な位置へ配置する必要があり、また頭部装着ユニットがずれた場合に認識率が大幅に低下するという問題がある。また、視線方向検出素子が装着者の視界を若干狭める欠点もある。

ハンドフリーマウスは、装着者の頭部運動によりポインティング操作を行う機能である。この機能により、手を使うことなく PC のマウス操作が可能である。しかも、視線方向認識機能のように頭部装着ユニットが多少ずれても安定してポインティング操作を行うことができる。しかし、ポインティング操作には多少の慣れが必要であり、ターゲットが小さく、細かいポインティング操作が必要な場合には、通常のマウスに比べ操作が難しい。また、頭部が動くような作業をしている場合には、その原理上、ポインティング操作が困難となる。

以上の内容をまとめると、表 5.2 のようになる。

5.2 応用事例の考察

本節では、HIDE を応用する具体的事例として、作業員、障害者および高齢者の支援を想定し、実際に HIDE を応用するシステムの具体例を考察することで、HIDE の問題点や特徴を考察する。

表 5.2: HIDE の入力・操作機能の特性

機能	特性
音声認識機能	<p>作業中でも様々な操作が可能、認識率が高い</p> <p>騒音環境下では認識が困難</p> <p>PC の能力により認識時間が多少長くなることもある</p>
視線方向認識機能	<p>認識時間が短く、騒音環境下でも使用可能</p> <p>瞬目により覚醒度を認識可能</p> <p>頭部装着ユニットがずれた場合に認識できない</p> <p>視線方向検出素子が若干視界を狭める</p>
ハンドフリーマウス	<p>手を使うことなくポインティング操作ができる</p> <p>頭部装着ユニットが多少ずれても安定して操作ができる</p> <p>多少の慣れが必要</p> <p>小さいターゲットへの正確なポインティングは困難</p> <p>原理上、頭部を動かす作業中には使えない</p>

以下では、作業支援、障害者支援、高齢者支援の例について述べる。

5.2.1 作業支援の例

HIDE を効果的に利用できる支援システムとして、両手を用いる作業を行う者が情報を簡単に入出力できる作業支援システムが上げられる。ここでは、作業支援システムとして以下の3つを考えた。

1. 原子炉プラント保守点検作業支援システム
2. 手術支援システム
3. 消火活動支援システム

それぞれの作業について、HIDE を支援システムとして利用した場合の支援内容および機能構成を考察する。

(1) 原子炉プラント保守点検作業支援システム

複雑大規模な工学システムでは、機器の保守点検作業を行う場合に各機器の構造や点検箇所など、多くの情報が必要であり、作業員には長期間にわたる訓練が要求され

る。特に、原子炉プラントでは、点検作業のミスが環境や人命に致命的な打撃を引き起こす場合もある。

そこで、原子炉プラントの点検作業に HIDE を用いた支援システムを利用すれば、作業時間の軽減や作業ミスの低減を図ることが可能であると考えられる。HIDE を応用した原子炉プラント点検作業支援システムの概略を図 5.1 に示す。

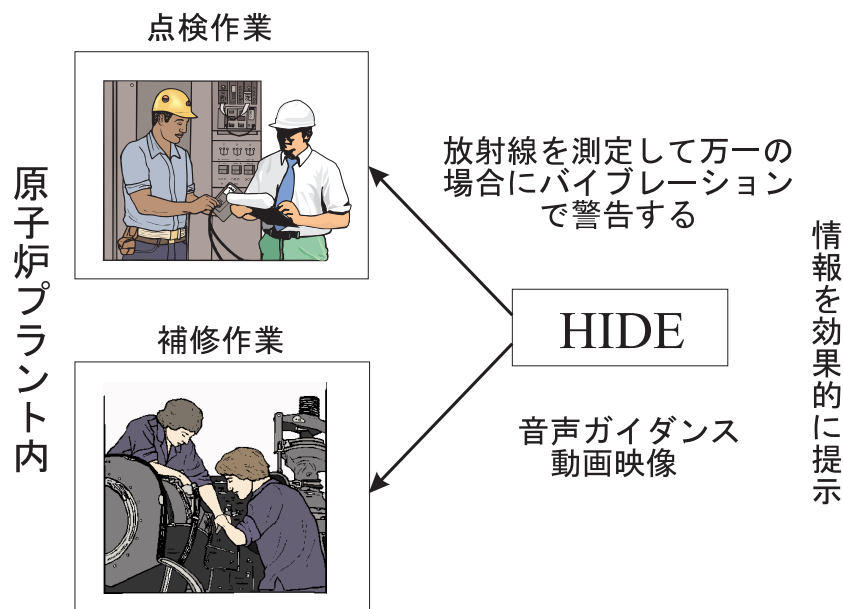


図 5.1: 原子炉プラント点検作業支援システム

原子炉プラントの点検作業では、プラントを構成する機器の構造や点検箇所などの情報が必要であり、その作業中に作業員が HIDE を装着して、オンサイト・オンデマンドでこれらの情報を呼び出し、円滑に、かつ正確に作業を進めることが可能となる。特に、機器の構造情報を提示する際には、その 3 次元構造を動画により表示すれば、単に設計図等を参照するのに比べ効果的に情報を提示することができる。点検作業では、これらの情報だけでなく、前回点検時の点検内容等の情報が必要である。そこで、HIDE に前回点検した作業内容や点検結果を蓄えておき、点検中に随時それらの情報を呼び出すことで、作業を中断することなく点検結果を比較検討することができる。さらに、離れた場所にある計器を見ながら機器の調整を行う作業や別の方向から機器を見ながら機器の分解・組立を行う必要がある作業では、従来まで 2 人以上の作業員が共同で作業を行う必要があった。しかし、HIDE の遠隔映像提示機能を用いることで、このような作業を 1 人で行うことも可能になる。

また、本研究では扱っていないが、放射線量が多い場所での点検作業の場合、ガイガーカウンタなどの放射線測定センサを HIDE の拡張機能として付加することで、放

放射線量が一定量以上になったときに警告としてバイブレーション機能により頭部に振動を与え、音声ガイダンスにより注意を喚起することも可能である。同様に、放射性危険物を取り扱う区画の作業では作業員にエアボンベが必要であるが、作業に集中してエアボンベの空気残量が少なくなっているのに気付かない危険性がある。このような作業では、エアボンベの使用時間から残量を推定し、残量が少なくなると警告としてバイブレーション機能により頭部に振動を与え、音声ガイダンスにより注意を喚起することも可能である。

最後に、原子炉プラント保守点検作業支援システムで用いる HIDE の機能を表 5.3 に示す。

表 5.3: 原子炉プラント保守点検作業支援システムで用いる HIDE の機能

HIDE の機能	使用方法
映像提示機能	機器の構造や点検箇所を提示する 前回点検時の点検内容を提示する
音声提示機能	点検作業に関する音声ガイダンスを提示する 警告内容の音声ガイダンスを提示する
音声認識機能	各種情報検索等の操作を行う
視線方向認識機能	-
ハンドフリーマウス	-
バイブレーション機能	放射線量が一定量以上になったときに警告する エアボンベ残量が少なくなったときに警告する
遠隔映像提示機能	離れた場所にある計器を表示する 別の方向から見た映像を提示する

(2) 手術支援システム

情報デバイスの発達に伴い、医療機器も急速に発展してきた。特に、ハイテクを駆使した検査機器の高性能化や内視鏡に代表される医療用カメラの小型化・高性能化が目覚ましい。

しかし、医療現場では、これらの情報技術の高度化を全て活用しているとは言い難い。例えば、手術を行う場合、医師は両手を用いて手術を行いながら、同時に多くの心拍計や血圧計などの計器を監視したり、手術前に撮像した患部の断層像を参照する

必要がある。このような場合、医師は頻繁に手を休めて計器を確認したり、断層像を見ることになるため、手術を効率的に進めることができない。

また、内視鏡による手術では、切開した患部とそれを撮影した映像を表示しているモニタが別々の場所にあるため、手術を行う医師は、頻繁に両方を見る必要がある。

そこで、HIDE の応用例としてここでは内視鏡手術の支援システムを考察する。システムの概略を図 5.2 に示す。

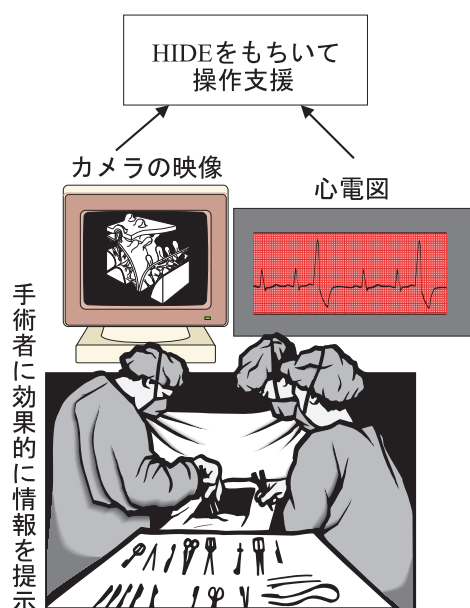


図 5.2: 内視鏡手術支援システム

具体的には、内視鏡により撮影された映像を腰部装着ユニットのモバイル PC に伝送し、その映像を頭部装着ユニットによりシースルーで眼前に提示することによって、切開した患部に対面して手術を行いながら内部の映像を見ることが可能になる。また、手術経過時間や患者の容態を調べる心拍計や血圧計などの計測値も必要に応じて提示できる。さらに、手術前に撮像した患部の断層像も必要に応じて提示できるため、手術を効率的に進めることが可能である。また、患者の様態が大きく変化した際には、バイブレーション機能により注意を喚起して、音声ガイダンスによる具体的状況の説明も可能となる。

最後に、手術支援システムで用いる HIDE の機能を表 5.4 に示す。

(3) 消火活動支援システム

火災発生時の消火活動では、火災が発生した地区や建物の詳細な情報を把握し、最適な戦略で消火活動を行うことで、火災の早期鎮火が要求される。しかし、実際の火

表 5.4: 手術支援システムで用いる HIDE の機能

HIDE の機能	使用方法
映像提示機能	内視鏡の映像を表示する 手術経過時間、心拍、血圧を表示する 患部の断層像を表示する
音声提示機能	音声による患者の容態説明
音声認識機能	提示情報の切り替えなどの操作を行う
視線方向認識機能	-
ハンドフリーマウス	-
バイブレーション機能	患者の容態が大きく変化したときに注意を喚起する
遠隔映像提示機能	内視鏡の映像を取得・提示する

災現場では消火活動を行いながら必要な情報を収集することが難しく、消防士の経験や勘を頼りに消火活動を行っていることも多い。このような場合には、火災が発生した建物の構造や消火設備などの詳細な情報を全ての消防士が把握している訳ではないため、最適な消火活動を行っているとは言い難い。

そこで、消火活動を行う消防士が HIDE を装着し、建物の詳細な情報の提示や最適な消火活動戦略を計算・提示する消火活動支援を考えた。システムの概略を図 5.3 に示す。

一刻を争う消火活動では、建物の 3 次元構造や防火設備情報を利用して、最適な消火活動戦略を効果的に提示する必要がある。また、危険なガスが発生する火災現場では、消防士がエアボンベを用いて呼吸する空気を確保しながら消火活動を行うが、その際、エアボンベの残量に常に気を配りながら作業をすることは難しく、作業に集中するために気付かないうちにエアボンベが空になってしまう危険もある。そこで、支援システムでは、時間経過からエアボンベの残量を推定し、残量が少なくなった場合に警告としてバイブレーション機能により注意を喚起することも可能である。

これに関連する研究として、消火活動時に他の消防士との情報伝達手段として携帯無線機を用いる研究^[16]も行われているが、これは基本的に音声情報だけしか伝達することができない。HIDE に用いるモバイル PC に、PCMCIA 対応の携帯/PHS データ通信カードを付加し、さらに遠隔映像提示機能と組み合わせることで、音声だけでなく各種の情報や映像も含めたマルチメディア通信が可能となる。

最後に、消火活動支援システムで用いる HIDE の機能を表 5.5 に示す。



図 5.3: 消火活動支援システム

表 5.5: 消火活動支援システムで用いる HIDE の機能

HIDE の機能	使用方法
映像提示機能	建物の 3 次元構造や防火設備を表示する 最適な消火戦略を提示する
音声提示機能	消火戦略の音声ガイダンスを提示する 他の消防士の HIDE と通信することで会話が可能となる
音声認識機能	情報の検索や通信の制御などの操作を行う
視線方向認識機能	-
ハンドフリーマウス	-
バイブレーション機能	エアボンベ残量の警告を行う
遠隔映像提示機能	他の消防士の HIDE と通信することで遠隔映像を提示する

5.2.2 障害者支援の例

障害の種類や程度は人により様々である。コンピュータネットワークが発達した現代では、これらの人々にとって、コンピュータ操作の補助を行うインタフェースデバイスは、機動力やコミュニケーション能力の補完手段として、健常者以上に重要なものといえる。現在は、障害者の社会参加のための基盤が十分に整っていないが、これからの日本ではコンピュータネットワークによる社会参加が有効であり、情報機器操作のための新たなヒューマンインタフェース技術が必要である^[13]。

ここではその新たなインタフェースデバイスとして HIDE を利用することを考える。そこで、障害者の障害の種類ごとに支援する内容の概略をまとめたものを表 5.6 に示し、以下でそれぞれの支援システムについて考察する。

表 5.6: HIDE を用いた障害者支援システムの例

障害者	項目
聴覚障害者	会話補助システム
視覚障害者	音声による支援システム
肢体不自由者	操作補助システム

会話補助システム

聴覚障害者が健常者とコミュニケーションする方法は、主として筆談であるが、筆談では円滑にコミュニケーションを図ることが困難である。

そこで、ここでは、HIDE を利用した会話補助システムを考える。具体的には、聴覚障害者が HIDE を装着し、健常者から聴覚障害者への情報伝達において、健常者の話す内容を HIDE の音声認識機能により認識し、映像提示機能により聴覚障害者の眼前に文字情報として提示する。本研究で開発した HIDE の音声認識機能は、装着者以外の方が話す内容を認識する目的で作られていないため、新たに改良・拡張する必要がある。さらに、火災警報のような注意を与える音なども認識し、バイブレーション機能により注意を喚起することも可能である。

また、このシステムの発展として、機械翻訳が実用化されれば、外国語を認識しそれを装着者が理解できる言葉に変換する翻訳システムとしても利用できる。

最後に、会話補助システムで用いる HIDE の機能を表 5.7 に示す。

表 5.7: 会話補助システムで用いる HIDE の機能

HIDE の機能	使用方法
映像提示機能	会話を文字情報として表示する
音声提示機能	-
音声認識機能	他者の話す内容を認識する 警報や注意を与える音などを認識する
視線方向認識機能	-
ハンドフリーマウス	-
バイブレーション機能	危険時に警告する
遠隔映像提示機能	-

音声による支援システム

視覚障害者が日常生活をする上で情報を入手する方法として、点字や音声による方法が主である。しかし、各種の情報は文字や図で表現されていることが多く、この方法だけでは日常の生活に支障をきたす場合も多い。

そこで、HIDE の機能を利用した補助システムが必要であると考えられる。具体的には、遠隔映像提示機能で用いた CCD カメラを利用して、装着者の視覚の代わりに周囲の様子を撮影・認識し、認識結果を音声提示機能により装着者に提示するシステムである。本研究で開発した HIDE には画像認識機能がないが、モバイル PC に画像処理装置を付加することで現状の画像認識技術でも簡単な文字や物体であれば認識が可能である。将来、画像処理技術が発達すれば、人間の視覚に代わる認識も可能になるであろう。そうなれば、文字情報の取得だけでなく、装着者に危険が迫った場合に、バイブレーション機能により注意を喚起することも可能になる。

最後に、音声による支援システムで用いる HIDE の機能を表 5.8 に示す。

操作補助システム

この支援システムの対象として、肢体不自由者の中でも特に両手不自由者を考える。両手が不自由な者にとって、マウスやキーボード操作が必要な PC を利用することは非常に困難である。

そこで、HIDE の機能を利用した補助システムとして、ハンドフリーマウスと音声認識機能による PC 操作支援システムを考える。このシステムを利用することで、音声認識による文章作成、およびハンドフリーマウスによるマウス操作により健常者と

表 5.8: 音声による支援システムで用いる HIDE の機能

HIDE の機能	使用方法
映像提示機能	-
音声提示機能	周囲の状況や文字情報を提示する
音声認識機能	他者の話す内容を認識する
視線方向認識機能	-
ハンドフリーマウス	-
バイブレーション機能	危険時に警告する
遠隔映像提示機能	周囲の状況や文字情報を収集する
画像認識機能 (追加機能)	周囲の状況や文字情報を認識する -

同様にネットサーフィンを楽しむことも可能である。また、健常者にとっても、ハンドフリーマウスによりキーボードを使いながら同時にマウス操作が可能になるため、PC作業の効率化が期待できる。

最後に、操作補助システムで用いる HIDE の機能を表 5.9に示す。

表 5.9: 操作補助システムで用いる HIDE の機能

HIDE の機能	使用方法
映像提示機能	-
音声提示機能	-
音声認識機能	文章入力を行う
視線方向認識機能	-
ハンドフリーマウス	マウス操作を行う
バイブレーション機能	-
遠隔映像提示機能	-

5.2.3 高齢者支援の例

日本は、2015 年には人口の 25%以上が 65 歳以上の高齢者になると予想されている。これからも増え続ける高齢者の介護問題を考えると、高齢者の介護環境を充実させるのではなく、高齢者の自立や社会参加を促進させる方法を探らざるを得ない。加齢現

象は、人種、性別および貧富の差を超え、誰にでも起こり、生きている限りは誰しも年をとり、それに伴って身体機能に様々な不具合が生じてくる。例えば、動体視力は図 5.4 に示すように、45 歳以降で静止視力と比べて低下度が著しく^[14]、聴力も同様にして高音域の聴力喪失が起こる^[15]。

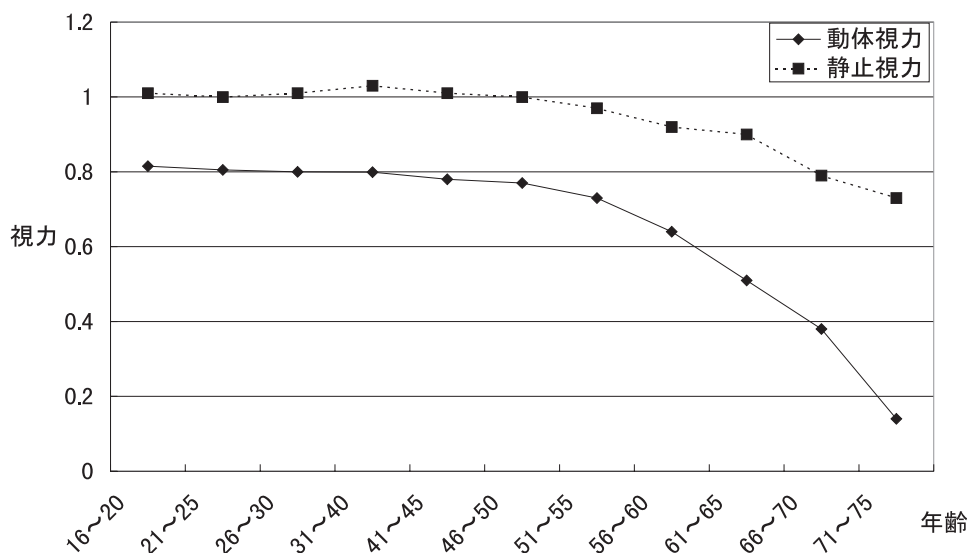


図 5.4: 加齢と静止視力および動体視力

このように高齢になると徐々に身体的能力が低下するため、生まれつきもしくは幼年期に障害を持ち適切な教育を受けてきた障害者とは異なり、社会に適応するための訓練の機会が得られない。

そこで、高齢者の自立や社会参加を促進するため、HIDE を利用した支援が考えられる。高齢者支援には多くの応用が考えられるが、ここでは現在のコンピュータネットワークの発達と足腰の弱った高齢者でも容易に利用可能なことを考慮して、PC 操作支援システムについて考察を行う。

高齢者対象 PC 操作支援システム

高齢者の場合、一般の PC を操作することは困難である。これは、高齢者が若い頃には一般にコンピュータが普及しておらず、そのインタフェースとなるキーボードやマウス操作を学ぶ機会がなかったためと思われる。特に、マウス操作が難しく、高齢者にとって、画面上の目標とする位置にマウスカーソルを移動させ、その位置でクリックすることは難しい。クリックの際に、マウスが移動してしまい、目標からマウスカーソルがはずれてしまうからである。そこで、HIDE のハンドフリーマウスのポインティ

ング機能と手によるクリックを併用することで、ポインティング操作とクリック操作を分離し、高齢者でも簡単にマウス操作が行えるようにする。また、キーボード操作の代わりに音声認識機能を用いることにより、文章等を入力することが可能となる。

最後に、高齢者対象 PC 操作支援システムで用いる HIDE の機能を表 5.10 に示す。

表 5.10: 高齢者対象 PC 操作支援システム

HIDE の機能	使用方法
映像提示機能	-
音声提示機能	-
音声認識機能	ソフトウェアの基本操作を行う 文章入力を行う
視線方向認識機能	-
ハンドフリーマウス	マウス操作を行う
バイブレーション機能	-
遠隔映像提示機能	-

5.3 アプリケーション例による HIDE の応用評価

本節では、HIDE の統合化機能の検証のため、前節で述べた応用事例の中から、消火活動支援を一例として取り上げ、HIDE を用いたアプリケーションシステムとして構築し、その動作確認を行った結果について述べる。

以下、5.3.1 項で試作した消火活動支援システム (HIDE for Fire-fighting Activity Support; HIDE-FAS) について説明し、5.3.2 項でその動作確認と考察について述べる。

5.3.1 消火活動支援システムの機能と構成

本項では、まず、試作した消火活動支援システム (以下、HIDE-FAS) の機能を説明し、次に、このシステムで用いる HIDE の基本機能および拡張機能の構成について述べる。HIDE-FAS は、消防士が HIDE を装着することによって火災現場での消火活動を支援するものである。すなわち、火災現場で消火活動を行う消防士に、火災が発生した地区や建物の詳細な情報を提示し、さらに火災場所および建物の設備を考慮した最適な消火活動手順を示すことを目的とする。

以下、試作した HIDE-FAS の機能および用いた HIDE の機能構成について説明する。

HIDE-FAS の機能

試作した HIDE-FAS は以下の機能を持つ。このシステムは、特に効果的な情報提示に着目して開発を行った。

1. 火災が発生した地区を検索し、地図等の詳細情報を表示する (地区検索機能)。
2. 火災が発生した建物を検索し、その 3 次元構造情報および所有設備を表示する (建物検索機能)。
3. 火点 (火災場所) を入力することで火点までの最適な経路を検索し、消火戦略を表示する (最適消火戦略提示機能)。
4. エアポンベの残り時間管理機能、および映像表示部分の開閉機能 (その他の機能)。

HIDE の機能構成

HIDE-FAS に使用する HIDE の機能構成を表 5.11 に示す。

表 5.11: HIDE-FAS に使用する HIDE の機能構成

	情報提示機能	操作機能
HIDE の機能	映像提示機能・音声提示機能	音声認識機能・ハンドフリーマウス

次に、HIDE-FAS による操作と提示情報の流れを図 5.5 に示す。また、情報提示画面を図 5.6 に示す。図 5.6 の左側に示すボタンは、ハンドフリーマウスで操作し易いように、73 × 73dot の大きさで作成した。3.4.5 項で考察したように、ハンドフリーマウスは 40 × 40dot 以上の大きさのボタンは通常のマウスと同等の操作性を示すため、ハンドフリーマウスでも十分に操作が可能である。消火活動は消防士に迅速な行動が要求されるため激しい運動が伴い、ハンドフリーマウスによる操作は不向きであるが、ここでは、HIDE の統合機能の確認のため利用することにした。

以下では、試作した HIDE-FAS の各機能について、その詳細を説明する。

1. の機能は、各建物が所属する地区を検索する機能である。本研究では、地区データおよび建物データとして、京都大学吉田地区および宇治地区のものを用いた。ハンドフリーマウス操作、あるいは、音声認識機能による操作 (以下、音声操作という) により火災が発生した地区を入力・検索することによって、図 5.6 に示すように画面右下に地区の地図が表示され、同時にその地区内に存在する危険物など、消火活動に有用な情報を文字および音声ガイダンスにより提示する。

2. の機能は、火災が発生した建物の詳細情報を検索する機能である。ハンドフリーマウス操作、あるいは、音声操作により地区内の火災が発生した建物を入力・検索することで、図 5.6 に示すように、その建物の 3 次元構造情報、設備情報および属性が表示される。この際、3 次元構造情報は画像で、設備情報と属性は文字で表示される。建物の設備情報は、建物内のスプリンクラーの有無や非常口の位置などの消防設備情報である。建物の属性は、建物の種類、規模、構造 (木造・鉄骨モルタル・鉄筋コンクリート) など、消火活動に必要なその他の情報である。

3. の機能は、ハンドフリーマウス操作、あるいは、音声操作により火点を入力することで、あらかじめ設定されている各場所への経路の中から火点までの最適な経路を検索し、消火戦略を提示する機能である。消防士に迅速かつ正確な行動が要求される火災発生時に、これらの情報は消防士にとって理解しやすい形で提示する必要があるため、HIDE-FAS では、動画および音声ガイダンスにより効果的に情報を提示する。火点までの経路を提示する動画の画面例を図 5.7 に示す。

4. その他の機能としては、エアボンベの残り時間管理機能、および映像表示部分の開閉機能がある。消防士が火災現場の最前線で消火活動をする際には、呼吸のための酸素を確保するためにエアボンベが用いられる。しかし、消火活動中にエアボンベ中の空気をすべて消費してしまうと非常に危険な状態になる。そこで、エアボンベの使用残り時間を管理することによって、消火活動に集中している場合でも、空気の残量が少なくなると消防士に警告を与える必要がある。エアボンベの残り時間管理機能は、エアボンベの使用時間を計測することによりエアボンベの空気残量を推定し、HIDE のバイブレーション機能により消防士に警告を与える。一方、消火活動中には、消火に関する各種の情報を収集する段階と実際に消火を行う段階がある。情報を収集する段階では映像情報の提示が必要であるが、実際に消火を行う段階では映像情報は必要なく、外界の視野を確保することが重要になる。映像表示部分の開閉機能は、音声操作により、必要に応じて映像表示部分を開閉する機能である。

以上が、HIDE-FAS の各機能の詳細である。

5.3.2 試作した消火活動支援システムの動作確認と考察

本項では、試作した消火活動支援システムの各機能の動作を確認し、各機能に関する考察、およびシステム全体に関する考察について述べる。

HIDE-FAS は消火活動を支援するものであるが、まだ試作段階であり、その動作を確認するために実際の火災現場で使用評価する段階までは至っていない。そこで、こ

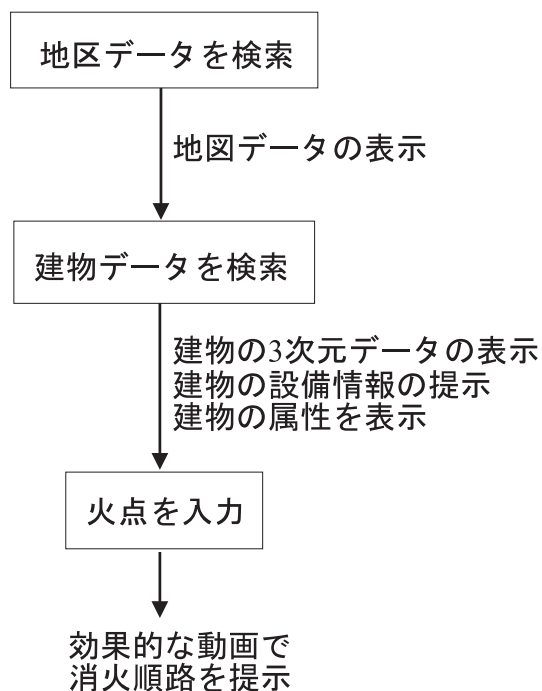


図 5.5: 試作した消火活動支援システムによる操作と提示情報の流れ

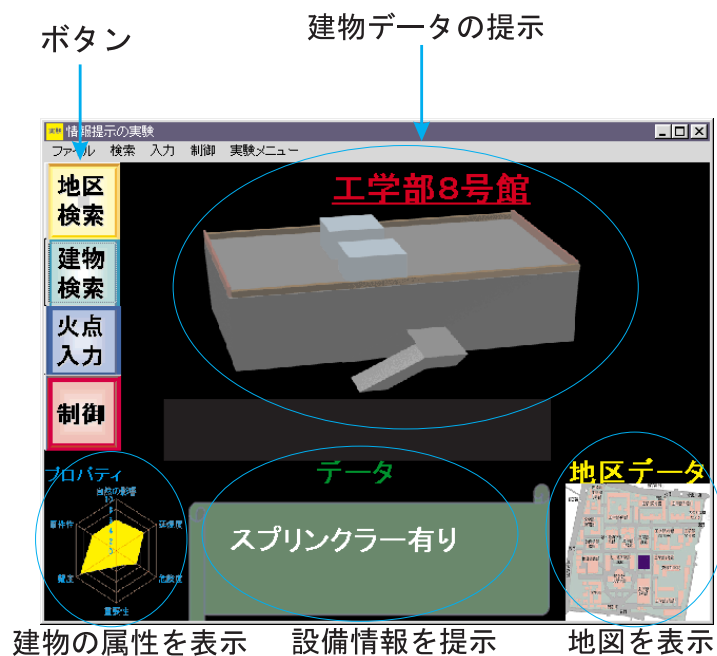


図 5.6: 試作した消火活動支援システムの提示画面

効果的な動画で消火手順を提示



図 5.7: 火点までの経路を提示する動画の一例

ここでは、仮想的に火災を想定し、HIDE-FAS の各機能の動作確認とその考察にとどめる。想定した火災は、京都大学吉田地区にある工学部 8 号館の 201 号室で火災が発生し、その通報が現場に最も近い消防署に入り、実際に火災鎮火に向かう消防士が HIDE を装着して情報を入手する場合を考えた。火災現場に向かう最中に情報を入手し、火災現場に到着すると同時に消火活動を開始することを目的とする。以下に、確認を行う操作内容を示す。なお、実際に操作を行った環境は、HIDE を装着して椅子に座った静止状態で行った。操作を行ってもらう HIDE 装着者はハンドフリーマウスの操作経験が有り、通常のマウスと同様に操作可能である。

- i. 地区検索機能によって火災現場地区の地図データを参照する。
- ii. 建物検索機能によって工学部 8 号館の建物データを表示させる。
- iii. 最適消火戦略提示機能に火災場所の 201 号室を入力することより、最適な消火戦略が動画像および音声ガイダンスにて表示される。

上記の操作を、HIDE の情報入力・制御機能として音声認識機能およびハンドフリーマウスで行った場合について考察する。まず、音声認識機能を用いた場合、上記の i. ~ iii. までの各操作を行った結果として、HIDE-FAS の 1. ~ 4. の機能は支障無く動作することが確認できた。しかし、用いた音声認識ソフトウェア Via Voice 98 は推奨動作環境が

MMX Pentium200MHz 以上であり、Libretto100 の動作環境は MMX Pentium166MHz であるため、音声を認識して動作を行うまでの計算時間が多少長く感じられた。これは、コンピュータ技術の進化に伴い、解決する問題といえる。一方、ハンドフリーマウスを用いた場合も同様に支障無く動作することが確認できた。これは、作成した操作ボタンが大きく、動作を行い易かったためと考えられる。しかし、操作を行った環境として椅子に座った静止状態であったため簡単に上記の操作は行えたが、逆に動きながらの作業の場合ではポインティングは困難と考えられる。したがって、実際に情報を入手する際は、火災現場に移動する間などの動作を行っていない状況で用いる必要がある。

次に、HIDE-FAS の各機能について考察する。まず、地区検索機能は表示される地図が小さいために多少見にくく感じられた。建物検索機能については、建物の3次元構造情報が大きく表示されるために2次元の地図のように見にくいこともなかった。最適消火戦略提示機能については、音声ガイダンスと動画情報を同時に提示した場合にPCの処理能力を超えてしまい、多少動作が遅れることがあった。これは、コンピュータ技術の進化に伴い、解決する問題といえる。また、その他の機能であるバイブレーション機能および自動開閉機構は支障無く動作した。

以上の考察より、HIDE-FAS は装着者が現場への移動中などに用いる場合に支障無く動作可能なため、有効なシステムであるといえる。

第 6 章 結論

本研究では、実作業の妨げにならず、オンサイト・オンデマンドで必要な情報を引き出せる新しいインタフェースデバイスとして昨年度に試作した HIDE の機能を改良・拡張し、それらの機能評価を行った。そして、HIDE を具体的な事例に応用する際の機能構成を考察し、さらにその中の一例を取り上げて実際に HIDE を用いたアプリケーションソフトウェアを作成した。

第 2 章では、次世代のヒューマンインタフェース技術として特に個人用情報デバイスの操作性・汎用性が重要なことを述べた。また、個人用情報デバイスの一つである Wearable Computer の代表的な研究を紹介してその問題点についてまとめた。これらの問題点を解決する目的で、実作業の妨げにならずに効果的に情報を提示し、簡単に操作が行える情報デバイスとして昨年度試作した HIDE について述べ、評価実験に基づいて問題点を明らかにした。

第 3 章では、試作型 HIDE の問題点を解決し、さらにその機能を拡張するため、本研究で開発する HIDE の設計方針と新たな拡張機能を提案し、改良・拡張した各機能の構成を説明するとともに、各機能を統合した HIDE のユニット構成について述べた。HIDE の設計方針は、以下の 3 つである。

- PC をデスクトップ型からモバイル型へ変更し PC を携帯する
- グラストロンを用いて表示映像の解像度の改善と情報提示機器の小型化・軽量化を図るとともに、必要に応じて装着者の外界視野を確保するため、映像表示部分の自動開閉機構を付加する
- 音声認識・合成ソフトウェアとして Via Voice 98 を用いる

一方、本研究で新たに開発した拡張機能は、以下の 3 つである。

- 頭部の回転運動と咀嚼筋の動作により手を使わずにマウス操作が可能なハンドフリーマウス
- 装着者の頭部に振動を与えるバイブレーション機能
- 装着者とは別の場所で撮影された動画像を無線通信により PC に送信し装着者に提示する遠隔映像提示機能

第4章では、改良・拡張した HIDE の各機能を評価するための実験について述べた。改良した機能の評価実験の結果、以下のことが分かった。

- 表示映像の最小分解能は、2～3dot(試作型 HIDE は 4～5dot) である
- 音声認識率は、98.5%(試作型 HIDE は 95.5%) である

また、拡張機能では、ハンドフリーマウス、バイブレーション機能による注意の喚起、遠隔映像提示機能について評価実験を行った。ハンドフリーマウスの評価のため、ポインティング機能の基礎比較実験、応用比較実験、および、総合動作の評価実験により、様々なターゲットをクリックするのに要する時間を測定した結果、通常のマウスやリブポイントよりも若干操作性が劣るものの、ポインティングデバイスとして十分利用できることが分かった。作業中に注意を喚起する方法として、バイブレーション機能および音声提示機能の評価するため、作業に集中している被験者に振動や音声指示を与えてその対応を調べた結果、作業環境によって両者を適切に使い分けることにより十分装着者の注意を喚起できることが分かった。遠隔映像提示機能は、その無線通信距離を評価した結果、無線通信可能距離は約 6m という結果が得られた。これは、送信器である AV トランスミッタおよび受信アンテナの性能によるものであり、改良が必要なことが分かった。

第5章では、具体的な事例として作業員・障害者・高齢者の支援として HIDE を応用する際の機能構成や有効性を考察し、その中の一例を取り上げ実際にアプリケーションソフトウェアを開発し、機能を統合した HIDE の動作を確認し、考察した。

以上、本研究では、両手を使う作業中の装着者が、オンサイト・オンデマンドで情報を入手できるデバイスとして HIDE を開発し、評価実験を通してその実用性を検討した。さらに、HIDE を情報弱者と呼ばれる障害者・高齢者の情報社会参加を支援するデバイスとして利用する可能性について考察した。

目前に迫る 21 世紀社会は、現在よりもさらに情報が氾濫する高度情報化社会と考えられる。その時代には、HIDE のように、必要な情報を瞬時にかつ簡単に入手できる Wearable なコンピュータが必要であろう。情報収集可能なコンピュータ内蔵のアンダーウェアを某国の大統領が利用する日は近い。

今後、HIDE を実作業で利用できるシステムとして利用するためには、以下の課題が考えられる。

- 安定した入力操作方法の検討

- 具体的応用事例に則したアプリケーションソフトウェアの開発と評価
- さらなる拡張機能の開発
- 一般的に受け入れられる外観デザインの考察

謝 辞

本研究を進めるにあたり、研究に取り組む姿勢や研究内容の数々の助言を頂き、また論文の隅々にまで適切なご指導を頂きました吉川榮和教授に深く感謝します。

本研究の初期段階から深く研究に関わり、時には無謀だと思える研究方針を打ち立てながらも、圧倒的な行動力でそれを簡単に克服し、溢れる知識の片鱗を垣間見せることで、救いの手を差し伸べて研究の窮地から救って頂いた下田宏助手に深く感謝します。

本研究を進めるにあたり、研究に対する適切な助言を頂き、また論文の隅々にまで適切なご指導を頂きました手塚哲夫助教授に深く感謝します。

本研究を共同で行い、数々のプログラムの作成および電子部品の知識を披露し、あらゆる面で研究を支えてくれた梅田直樹君に感謝します。

本研究を進めるにあたり、細かい心配りですばらしい研究環境を整えて頂きました吉川研究室のスタッフの皆様に感謝します。

HIDE の開発に必要であった数々の電子部品を、早急にかつ何度も郵送して下さったシリコンハウス共立電子をはじめとする多くの電子部品店の職員の皆様に感謝します。

なお、本研究は、京都大学 Venture Business Laboratory 若手研究員助成金を頂いて進めたことを付記し、感謝の意を表します。

最後に、忙しい中、実験に参加して頂いた吉川研究室の学生の皆様にも心から感謝します。

参考文献

- [1] Steve Mann : WEARABLE COMPUTING as means for PERSONAL EMPOWERMENT, International Conference on Wearable Computing(1998)
- [2] Jennifer J.Ockerman 他 : Factory Automation Support Technology(FAST), International Conference on the Learning Sciences(1996)
- [3] J. Christopher Thompson 他 : FAST: A research paradigm for educational performance support systems, Educational Multimedia and Hypermedia(1996)
- [4] Jane Siegel 他 : A Field Usability Evaluation Of Wearable System, 1st International Symposium on Wearable Computer(1997)
- [5] CMU Wearable Computers : <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/vuman/www/home.html>(1999年2月8日現在)
- [6] U.S.Army Soldier Systems Center : <http://www-sscom.army.mil/>(1999年2月8日現在)
- [7] 林 直樹、頭部装着型インタフェースデバイス (HIDE) の試作と評価, 京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻修士論文 (1998)
- [8] 二階堂 義明 他 : 頭部装着型インタフェースデバイス (HIDE) の試作と機能評価, 計測自動制御学会ヒューマンインタフェース部会, pp.351-358(1998)
- [9] IBM ViaVoice Developer Tools プログラマーズガイド : <http://www.ibm.co.jp/pspjinfo/voice30/manual/proguide/pgmguide.htm>(1999年2月8日現在)
- [10] Polhemus Inc. : REAL TIME MOTION CAPTURE SYSTEM OPERATING MANUAL.(1996)
- [11] 新井 豪 : Eye-Sensing HMD の試作とその評価実験, 京都大学大学院工学研究科電気工学専攻修士論文 (1997)

- [12] 梅田 直樹：頭部装着型インタフェースデバイス (HIDE) のカーナビゲーションシステムへの応用と疲労度評価, 京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻修士論文 (1999)
- [13] (財) 情報科学国際交流財団編：コンピュータと人間の共生, コロナ社 (1994)
- [14] 鈴村 昭弘：空間における動体視知覚の動揺と視覚適性の開発, 日本眼科会誌 75(1971)
- [15] 徳田 哲男：講座 高齢社会の技術 3 生活の技術, 日本評論社 (1995)
- [16] 自治省消防庁消防研究所：<http://www.fri.go.jp/yoran/shien.html> (1999 年 2 月 8 日現在)

付録 A サーボモータの制御の詳細

ここでは、HIDE の映像表示部分を開閉するためのサーボモータの制御方法を詳説する。本研究で用いたサーボモータはラジコン用の小型軽量のものであり、その内部に DC モータ、減速ギア、回転位置センサ、回転制御回路が内蔵されている。このサーボモータの回転位置の制御には PWM(Pulse Width Modulation) を用いている。具体的には、サーボモータの制御信号入力に、本文中の図 3.8 に示すような幅のパルスを入力し、そのパルス幅でサーボモータの位置を決定する。なお、このパルスは約 16ms 周期で繰り返しサーボモータに入力される。サーボモータは、中心位置から左右に約 120 度回転することができ、入力するパルス幅が 0.88ms の時に左端の位置まで回転し、2.08ms のときに右端の位置まで回転する。すなわち、このサーボモータの回転位置を制御するためには、回転位置に相当するパルス幅の制御信号を入力してやればよい。

そこで、HIDE では、8 ビットマイクロコントローラ PIC12C509A を用いてこの制御信号を生成することにした。PIC12C509A は、8 ピン DIP パッケージの IC であり、その内部に演算回路、プログラムメモリ、データメモリ、パラレル I/O ポート、クロック生成回路など、デジタル制御を行うための必要な機能をすべて内蔵しており、1 チップでサーボモータの制御信号を発生させる回路を構成することができる。図 A.1 にサーボモータ制御回路の回路図を示し、図 A.2、A.3 に PIC12C509A のサーボモータ制御プログラムを示す。

Mobile PC のプリンタポートの 0~3bit に出力された信号は、bit0 を LSB、bit3 を MSB とする 0~15 の符号無し整数として PIC12C509A に入力される。この整数を N とすると、生成されるパルス幅 P が、

$$P = 0.08N + 0.88(ms) \quad (A.1)$$

となるようにプログラムされている。たとえば、制御値 $N=0$ を入力するとサーボモータに出力されるパルス幅が 0.88ms となり、サーボモータが左端の位置まで回転する。逆に、制御値 $N=15$ を入力するとパルス幅が 2.08ms となり、サーボモータが右端の位置まで回転する。Mobile PC から出力される制御値 N の値は、現在の制御値を含め、過去 2 回分が PIC12C509A に記憶される。すなわち、HIDE で用いる場合には、映像表示部分を開いた位置に相当する制御値と閉じた位置に相当する制御値が記憶される

ことになる。

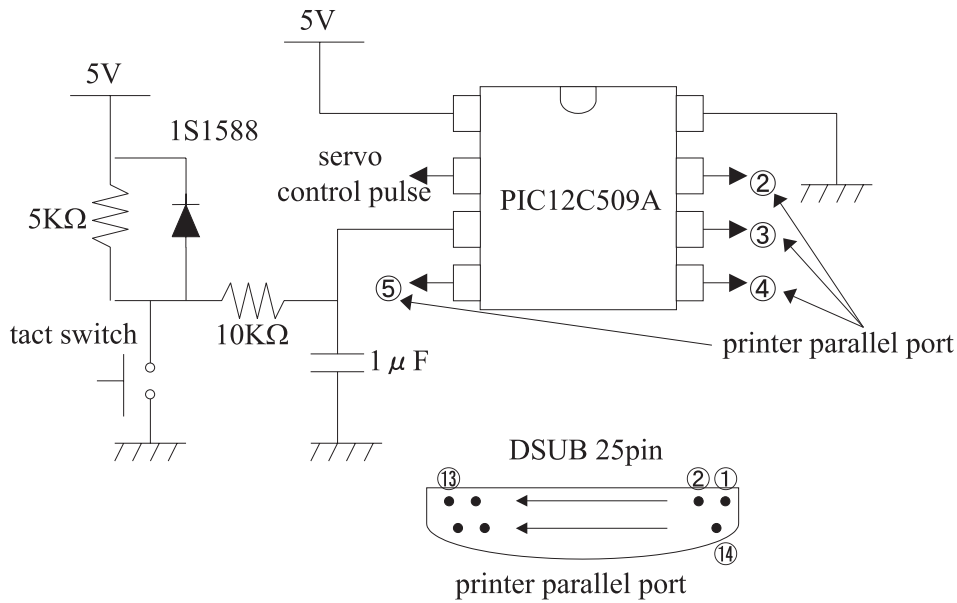


図 A.1: サーボモータ制御回路の回路図

一方、図 A.1のタクトスイッチが押された場合には、PIC12C509A に記憶している過去 2 回分の制御値のうち、現在発生しているパルス幅に相当する制御値と異なる制御値を検索し、その制御値が示す位置までサーボモータを回転させるパルスを生成する。これにより、タクトスイッチを押すことで、映像表示部分が開いているときは閉じ、閉じているときは開くようにサーボモータを回転させることができる。なお、図 A.1に示すタクトスイッチ周辺の回路は、タクトスイッチを On/Off に伴うチャタリングを除去するためのものである。

以上のようにして、HIDE の映像表示部分の開閉が Mobile PC から制御できるだけでなく、タクトスイッチを押すことによって、開閉の状態を切り替える制御機構を実現している。

```

1 ;
2 ; PIC12C509A
3 ; Servo Motor Controller Ver 0.0
4 ;
5 ;      Input Data Format
6 ;      +-----+
7 ;      ||||| GPIO
8 ;      +-----+
9 ;      GP3-GP0 => Position Data 0-15
10 ;      GP4   => Change Switch
11 ;
12 ;      Output Data
13 ;      GP5 => Servo Pulse
14 ;
15 ;      ~~~~~
16 ;      - Pulse Width = 0.88ms (0) to 2.08 ms (15)
17 ;      Repetition Time = 16ms (approx.)
18 ;
19 ;
20 ;
21 ; list p=pic12C509A
22 ; include "p12c509a.inc"
23 ;
24 ; _FUSES_MCLRE_OFF & _CP_OFF & _WDT_OFF & _IntR
25 ; Configuration Code = 0xFFEA
26 ;
27 ; cblock 0x07 ;Store variables above control registers
28 ;
29 ; pulse           ;Pulse Width
30 ; cnt             ;Loop Counter
31 ; indata          ;Input Data
32 ; prev            ;Previous Data
33 ; cur             ;Current data
34 ; data1           ;Data1(Initial 8)
35 ; data2           ;Data2(Initial 8)
36 ; wcnt            ;Wait Counter
37 ; endc
38 ;
39 ; org 0x00 ;Start of Code Space
40 ; goto start
41 ;
42 wait80 nop
43 wait79 nop
44 wait78 nop
45 wait77 nop
46 wait76 nop
47 wait75 nop
48 wait74 nop
49 wait73 nop
50 wait72 nop
51 wait71 nop
52 wait70 nop
53 movlw d'21'
54 movwf wcnt
55 waitlp decfsz wcnt,F
56 goto waitlp
57 return
58 ;
59 start movlw b'00011111' ; GP5 : Output GP0-4 : Input
60 tris 6
61 bcf GPIO,5
62 movlw d'8'
63 movwf data1
64 movwf data2
65 movwf cur
66 movlw b'00011000'
67 movwf prev

```

図 A.2: サーボモータ制御プログラム (1)

```

68
69 step0    movf    GPIO,W
70          andlw  b'00011111'
71          movwf  indata
72 ;Check Push SW
73          btfsc  indata,4
74          goto   step2
75          btfss  prev,4
76          goto   step2
77 ;Button is pressed
78          movf   cur,W
79          subwf  data1,W
80          btfss  STATUS,Z;if cur==data1
81          goto   step1                ; cur=data2
82          movf  data2,W
83          movwf  cur
84          goto  step2
85 step1    movf   data1,W                ; else cur=data1
86          movwf  cur
87
88 step2    movf   indata,W ; if indata(0-3) != prev(0-3)
89          xorwf  prev,W
90          andlw  b'00001111'
91          btfsc  STATUS,Z
92          goto  step8
93          movf  indata,W ; cur = indata & b'00001111'
94          andlw b'00001111'
95          movwf  cur
96          subwf  data1,W                ;if cur == data1, skip
97          btfsc  STATUS,Z
98          goto  step8
99          movf  cur,W                ; if cur == data2, skip
100         subwf  data2,W
101         btfsc  STATUS,Z
102         goto  step8
103         movf  data2,W                ;data1=data2
104         movwf  data1
105         movf  cur,W                ;data2=cur
106         movwf  data2
107 step8    movf   indata,W ;prev=indata
108         movwf  prev
109         movlw  d'11'                ;pulse = 11+cur
110         addwf  cur,W
111         movwf  pulse
112
113         movlw  d'190'
114         movwf  cnt
115         bsf   GPIO,5                ;Bit Set
116
117 step9    call   wait74
118         decf  pulse,F
119         btfsc  STATUS,Z
120         bcf   GPIO,5
121         decfsz cnt,F
122         goto  step9
123
124         goto  step0
125
126         end

```

図 A.3: サーボモータ制御プログラム (2)

付録 B ハンドフリーマウスの詳細

マウスプロトコルへの変換および Head-control ポインタの自動キャリブレーションを実現する回路図を図 B.1に示し、マイクロコントローラのプログラムを図 B.2、B.3、B.4、B.5に示す。

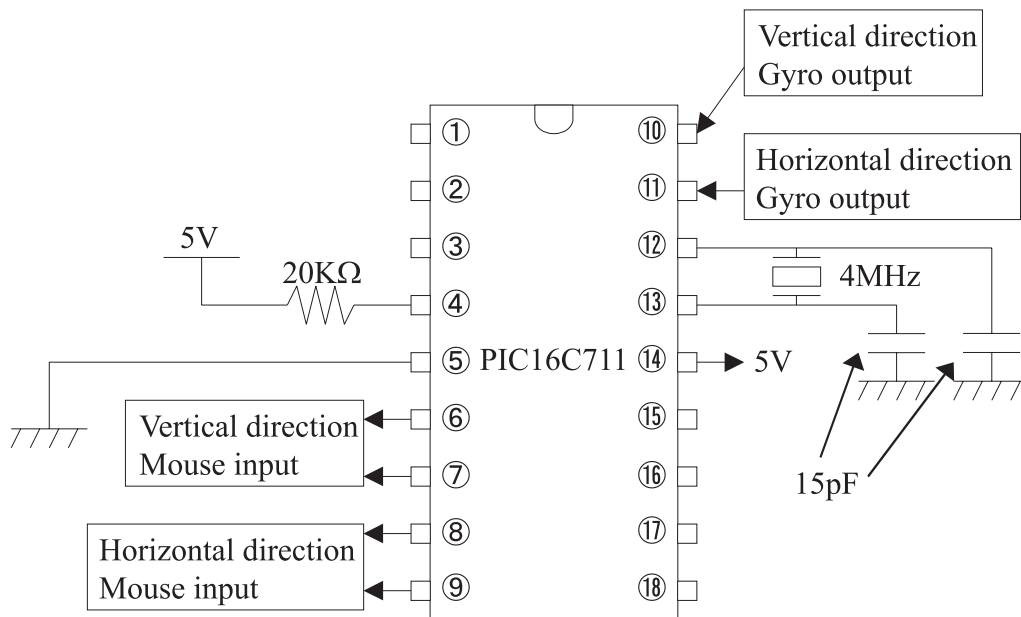


図 B.1: ハンドフリーマウスの回路図

```

1 ;
2 ; PIC16C711
3 ; Gyro Controller Ver 0.1
4 ;
5 ; PORTB B0 Data to Mouse PORT
6 ; PORTB B1 Clock to Mouse PORT
7 ;
8 ; Input Data
9 ; PORTA A0 Receiving Gyro(1) Pulse
10 ; PORTA A1 Receiving Gyro(2) Pulse
11 ; PORTA A2 Receiving Left Button (Active Low)
12 ; PORTA A3 Receiving Left Button (Active Low)
13 ;
14
15
16 list p=pic16c711
17 include "p16c711.inc"
18 ;
19 _FUSES _CP_OFF & _WDT_OFF & _HS_OSC & _PWRTE_ON
20 ; Configuration Code = 0x3ff2
21
22 AUTOCALIB equ d'62'
23 THRESH equ d'1'
24
25 cblock 0x0c ;Store variables above control registers
26
27 gyro1std ;Gyro1 Standard Level
28 gyro2std ;Gyro2 Standard Level
29 gyro1 ;Gyro1 Level
30 gyro2 ;Gyro2 Level
31 gyro1sub ;gyro1 - gyro1std
32 gyro2sub ;gyro2 - gyro2std
33 ver ;Vertical Counter (Only Lower 2 bits)
34 hor ;Horizontal Counter (Only Lower 2 bits)
35 wcnt ;Wait Counter
36 outdt ;Output Data
37 mcount ;Main Counter
38 prvgyro1 ;Previous Gyro1 Level
39 prvgyro2 ;Previous Gyro2 Level
40 cabgyro1 ;Calibration Counter for Gyro1
41 cabgyro2 ;Calibration Counter for Gyro2
42 scount ;Start Up Counter
43
44 endc
45
46 org 0x00 ;Start of Code Space
47 goto start
48
49 wait400 movlw d'89'
50 movwf wcnt
51 wait41 nop
52 decfsz wcnt,F
53 goto wait41
54 return
55
56 wait25 nop
57 wait24 nop
58 wait23 nop
59 wait22 nop
60 wait21 nop
61 wait20 nop
62 wait19 nop
63 wait18 nop
64 wait17 nop

```

図 B.2: ハンドフリーマウス制御プログラム (1)

```

65 wait16      nop
66 wait15      nop
67 wait14      nop
68 wait13      nop
69 wait12      nop
70 wait11      nop
71 wait10      nop
72 wait09      nop
73 wait08      nop
74 wait07      nop
75 wait06      nop
76 wait05      nop
77 wait04      return
78
79
80 init        bsf    STATUS,RP0    ;OPTION and TRISx are in upper data pa
81            movlw  b'00000000' ;Make RB0-7 output
82            movwf  TRISB
83            movlw  b'00000011' ;RA0,1:Input  RA2,3,4:Output
84            movwf  TRISA
85            movlw  b'00000000'
86            movwf  INTCON          ;Disable all interrupt
87 ; A/D Converter Configuration
88            movlw  b'00000010' ;RA0&1:Analog, RA2,3:Digital
89            movwf  ADCON1
90            bcf   STATUS,RP0 ;Return to Lower Data Page
91            movlw  b'01000000' ;Clock Select = 01 : FOSC/8
92                                     ;Analog Chnnel = 00
93                                     ;A/D on Bit = 0
94            movwf  ADCON0
95 ;Initialize Variables
96            clrf   gyro1std    ;Clear gyro1std
97            clrf   gyro2std    ;Clear gyro2std
98            clrf   hor          ;Clear Horizontal
99            clrf   ver          ;Clear Vertical
100           clrf   prvgyro1
101           clrf   prvgyro2
102           clrf   cabgyro1
103           clrf   cabgyro2
104           movlw  d'30'
105           movwf  scount
106
107 ;Initial Output
108           call   output
109
110           return
111
112 exead
113 ;Get A/D Channel 0
114           movlw  b'01000001' ;Fosc/8, AN0, ADON
115           movwf  ADCON0          ;Start Charge
116           call   wait25          ;Wait 25us
117           bsf   ADCON0,GO ;Start A/D
118 exe01     btfsc  ADCON0,GO
119           goto   exe01
120           movf   ADRES,W          ;Get Result
121           movwf  gyro1
122 ;Get A/D Channel 1
123           movlw  b'01001001' ;Fosc/8, AN1, ADON
124           movwf  ADCON0          ;Start Charge
125           call   wait25          ;Wait 25us
126           bsf   ADCON0,GO ;Start A/D
127 exe02     btfsc  ADCON0,GO
128           goto   exe02
129           movf   ADRES,W          ;Get Result

```

図 B.3: ハンドフリーマウス制御プログラム (2)

```

130          movwf    gyro2
131          return
132
133 verdt      movf     ver,W
134          andlw   b'00000011'
135          addwf   PCL,F
136          retlw  b'00001111'
137          retlw  b'00001101'
138          retlw  b'00001100'
139          retlw  b'00001110'
140 hordt      movf     hor,W
141          andlw   b'00000011'
142          addwf   PCL,F
143          retlw  b'00001111'
144          retlw  b'00001011'
145          retlw  b'00000011'
146          retlw  b'00000111'
147
148 ;Create Output Data
149 crtout     movlw   b'00001111'
150          movwf   outdt
151          call   verdt
152          andwf   outdt,F
153          call   hordt
154          andwf   outdt,F
155          return
156
157 output     movf     gyro1sub,F
158          btfsc  STATUS,Z
159          goto   out2
160          btfss  gyro1sub,7
161          goto   out1
162          incf   hor,F
163          incf   gyro1sub,F
164          goto   out2
165 out1       decf   hor,F
166          decf   gyro1sub,F
167 out2       movf     gyro2sub,F
168          btfsc  STATUS,Z
169          goto   out7
170          btfss  gyro2sub,7
171          goto   out6
172          incf   ver,F
173          incf   gyro2sub,F
174          goto   out7
175 out6       decf   ver,F
176          decf   gyro2sub,F
177 out7       call   crtout
178          movf   outdt,W
179          movwf  PORTB
180          return
181
182 ; Auto Calibration
183 calib      movf     prvgyro1,W ;W=prvgyro1
184          subwf   gyro1,W ;W=gyro1-prvgyro1
185          btfss  STATUS,C
186          sublw  0 ;2's complement
187          sublw  THRESH ;THRESH - W
188          btfss  STATUS,C ;If THRESH<W,
189          clrf   cabgyro1 ; Clear cabgyro1
190          incf   cabgyro1,F ;Increment cabgyro1
191          movlw  AUTOCALIB
192          subwf   cabgyro1,W ;W=cabgyro1-AUTOCALIB
193          btfss  STATUS,Z
194          goto   calib1

```

図 B.4: ハンドフリーマウス制御プログラム (3)

```

195          movf    gyro1,W
196          movwf   gyro1std
197          clrf    cabgyro1
198 calib1    movf    gyro1,W
199          movwf   prvgyro1
200
201          movf    prvgyro2,W    ;W=prvgyro2
202          subwf   gyro2,W        ;W=gyro2-prvgyro2
203          btfss   STATUS,C
204          sublw   0                ;2's complement
205          sublw   THRESH           ;THRESH - W
206          btfss   STATUS,C    ;If THRESH<W,
207          clrf    cabgyro2      ;                Clear cabgyro1
208          incf    cabgyro2,F    ;Increment cabgyro1
209          movlw   AUTOCALIB
210          subwf   cabgyro2,W
211          btfss   STATUS,Z
212          goto   calib2
213          movf    gyro2,W
214          movwf   gyro2std
215          clrf    cabgyro2
216 calib2    movf    gyro2,W
217          movwf   prvgyro2
218          return
219
220
221 .....
222 ..... Main
223 .....
224
225 start    call    init                ;Initialize
226 main1    call    exeoad              ;Execute A/D
227          movf    gyro1std,W
228          subwf   gyro1,W
229          movwf   gyro1sub    ;gyro1sub=gyro1-gyro1std
230          movf    gyro2std,W
231          subwf   gyro2,W
232          movwf   gyro2sub    ;gyro2sub=gyro2-gyro2std
233
234          movf    scout,F        ;Check Start Up Counter
235          btfsc   STATUS,Z    ;If Zero,
236          goto   main3          ;                goto main3
237          decf    scout,F        ;Decrement scout
238          btfss   STATUS,Z    ;If Not Zero,
239          goto   main2          ;                goto main2
240          movf    gyro1,W
241          movwf   gyro1std    ;gyro1std = gyro1
242          movf    gyro2,W
243          movwf   gyro2std    ;gyro2std = gyro2
244          goto   main3
245 main2    clrf    gyro1sub
246          clrf    gyro2sub
247
248 main3    call    calib                ;Auto Calibration
249
250          movlw   d'100'            ;Main Count
251          movwf   mcount
252 main4    call    output              ;Output Data
253          call    wait400
254          decfsz  mcount,F
255          goto   main4
256          goto   main1
257
258          end

```

図 B.5: ハンドフリーマウス制御プログラム (4)

付録 C 圧電振動ジャイロの動作原理

振動している物体に回転角速度を加えると、その振動方向と直角方向にコレオリカ（回転座標系の運動物体にだけ働く見掛けの力）が生じる。このような力学現象を利用したのが、超音波ジャイロである。

具体的には、図 C.1 に示すように、音叉型振動子に圧電センサーを貼り合わせ、振動子が励振（X 軸）され、振動子の中心軸（Z 軸）に対して回転速度が加わり、その振動（X 軸）と直角方向（Y 軸）に生じたコレオリカを、Y 軸に貼り合わせた圧電センサーで電圧となる。

この電圧は回転角速度に対応するので、これにより角速度が求まる。

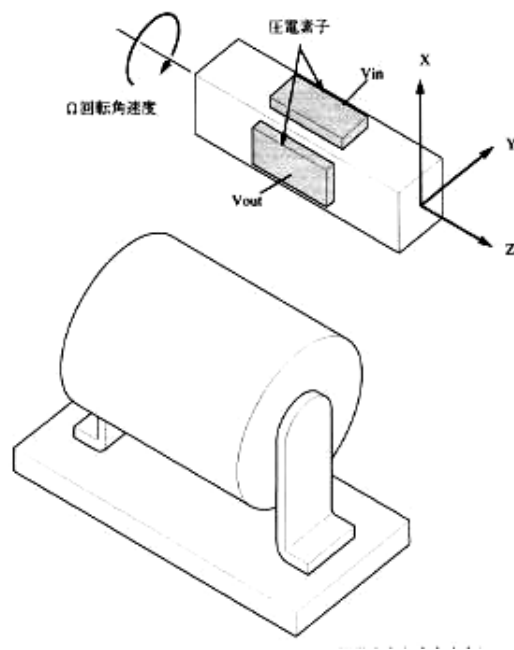


図 C.1: 圧電振動ジャイロの動作原理

付録 D 評価実験の各被験者の結果

D.1 Head-control ポインタの自動キャリブレーション方法の評価実験

Head-control ポインタの自動キャリブレーション方法の評価実験の結果として、図 D.1 ~ 図 D.5 に被験者 K、L、M、N、O の平均タスク遂行時間の結果を、表 D.1 ~ 表 D.5 に各被験者の標準偏差を示す。

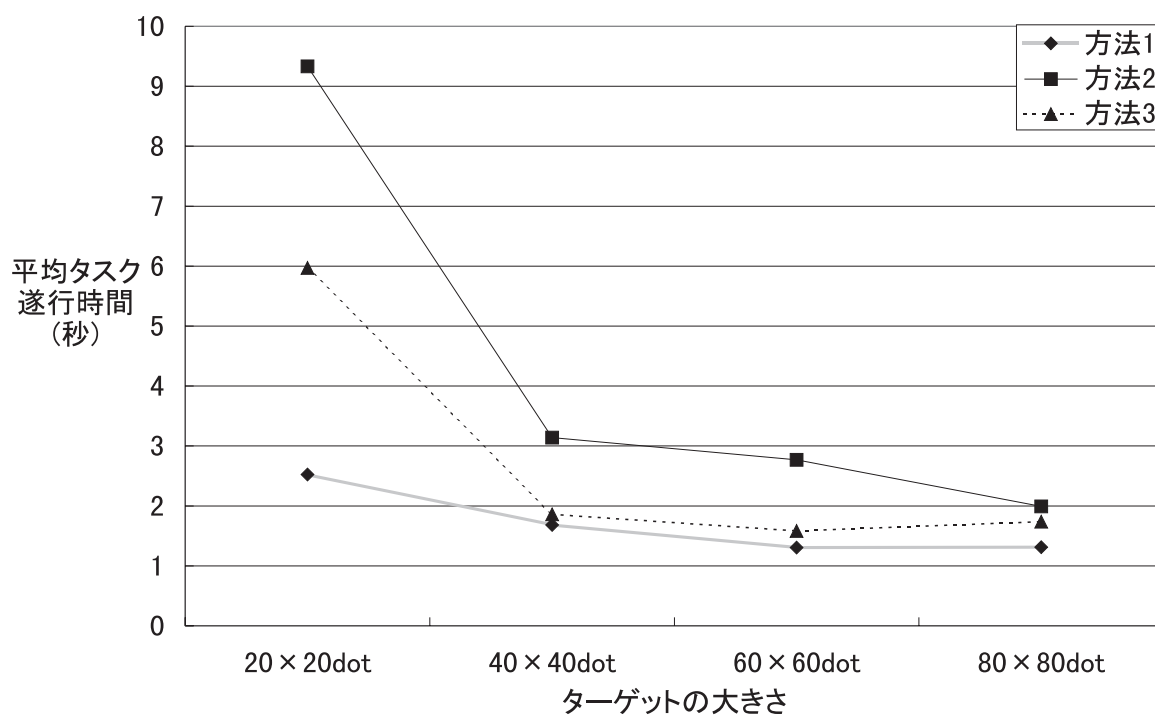


図 D.1: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 K の平均タスク遂行時間

表 D.1: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 K の平均タスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
方法 1	1.22 秒	0.55 秒	0.55 秒	0.44 秒
方法 2	8.58 秒	2.54 秒	1.78 秒	1.43 秒
方法 3	7.14 秒	0.96 秒	0.62 秒	2.35 秒

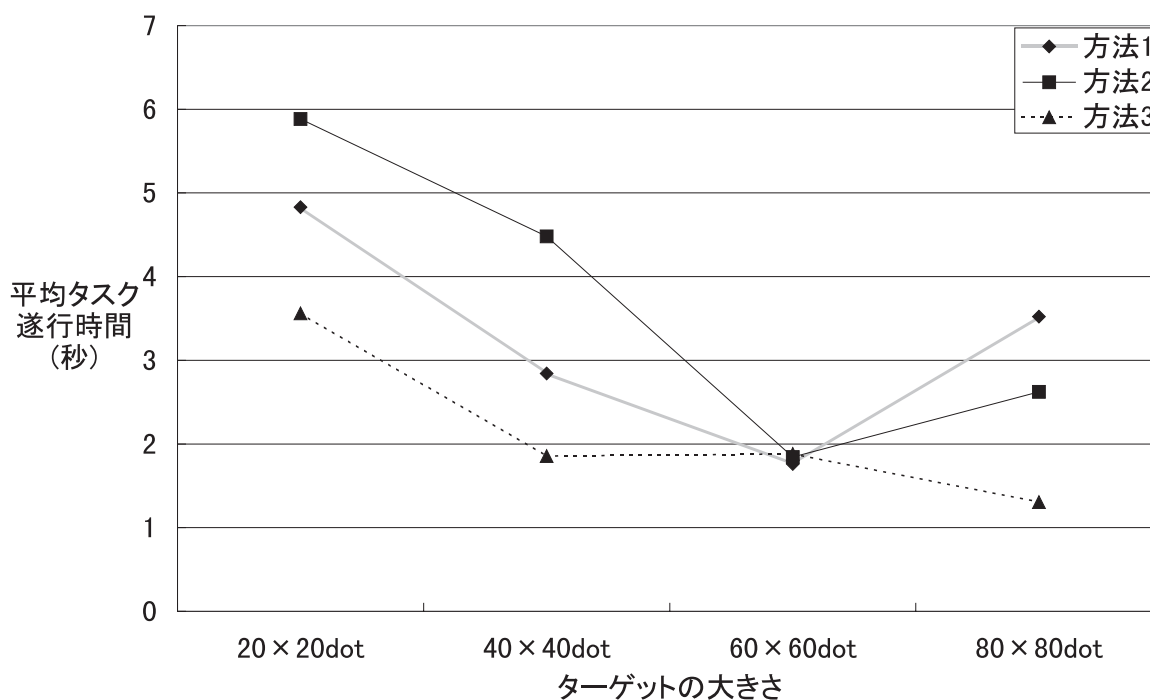


図 D.2: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 L の平均タスク遂行時間

表 D.2: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 L の平均タスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
方法 1	3.75 秒	2.02 秒	0.38 秒	2.97 秒
方法 2	4.78 秒	4.28 秒	1.21 秒	1.63 秒
方法 3	4.38 秒	1.04 秒	1.64 秒	0.35 秒

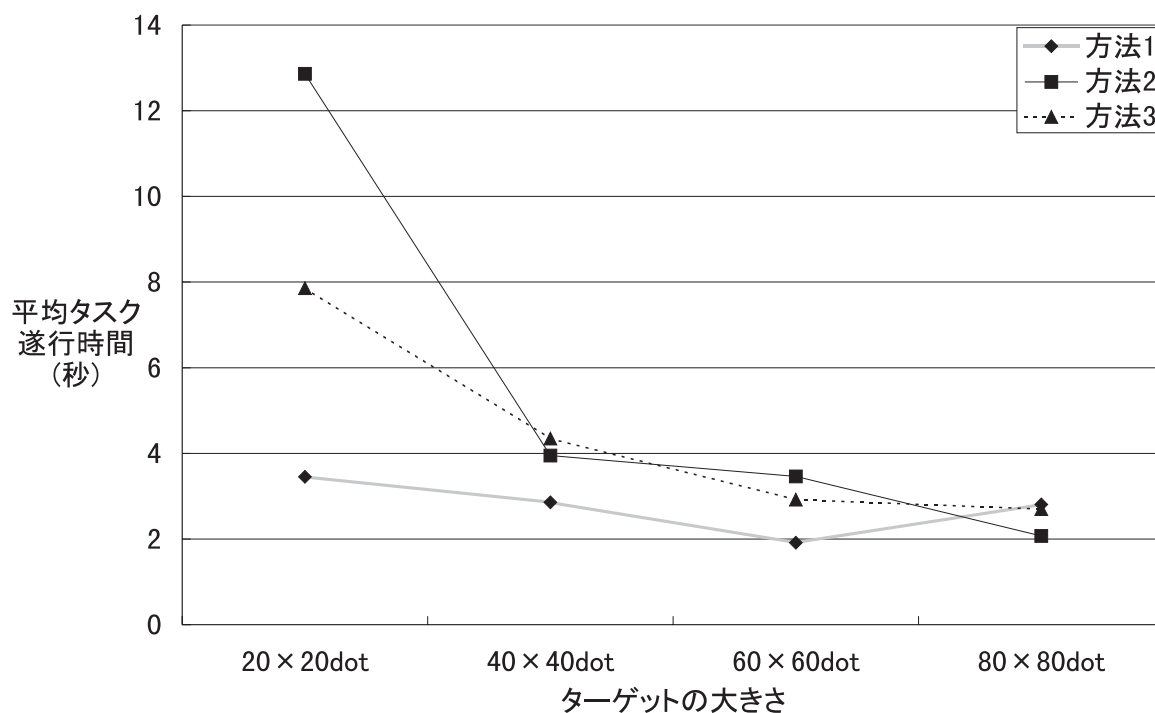


図 D.3: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 M の平均タスク遂行時間

表 D.3: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 M の平均タスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
方法 1	1.05 秒	1.29 秒	0.50 秒	1.83 秒
方法 2	15.82 秒	3.21 秒	4.91 秒	1.17 秒
方法 3	8.07 秒	4.55 秒	3.33 秒	6.07 秒

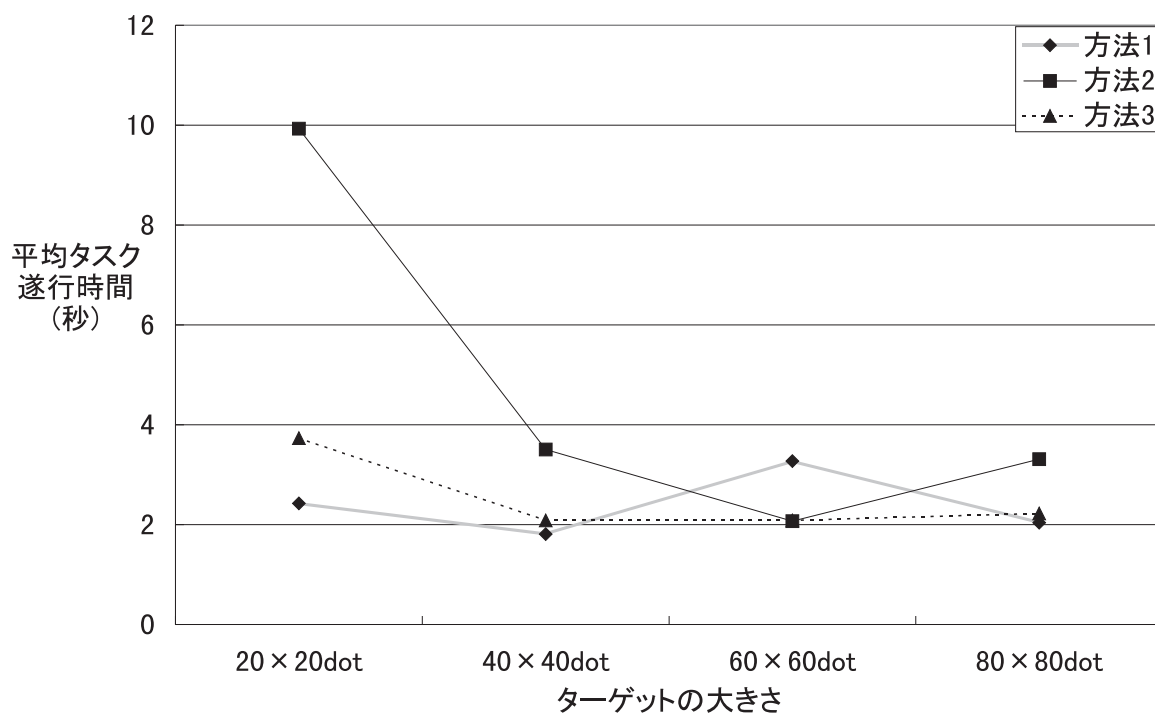


図 D.4: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 N の平均タスク遂行時間

表 D.4: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 N の平均タスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
方法 1	1.17 秒	0.63 秒	2.09 秒	1.31 秒
方法 2	11.08 秒	2.79 秒	1.10 秒	4.62 秒
方法 3	3.27 秒	1.08 秒	1.18 秒	1.36 秒

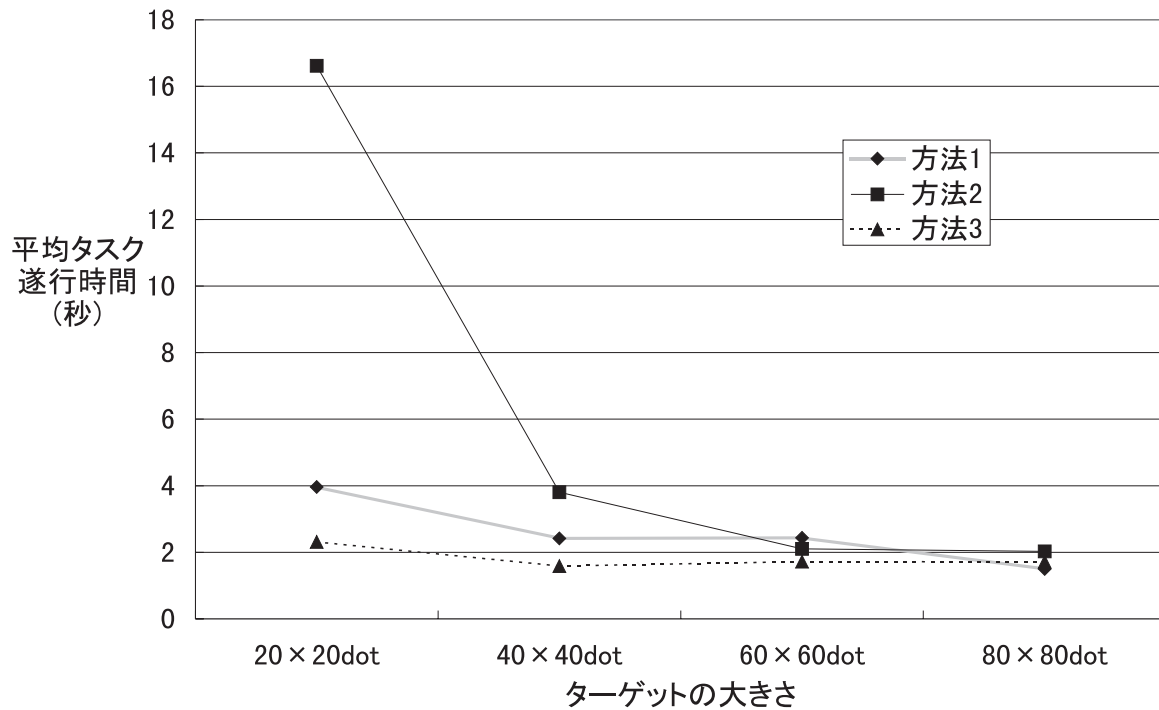


図 D.5: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 O の平均タスク遂行時間

表 D.5: 自動キャリブレーション方法の評価実験における被験者 O の平均タスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
方法 1	3.07 秒	0.87 秒	1.56 秒	0.47 秒
方法 2	17.23 秒	3.25 秒	1.90 秒	1.48 秒
方法 3	0.65 秒	0.45 秒	0.57 秒	0.63 秒

D.2 ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1

ハンドフリーマウスの比較実験 1 の結果として、図 D.6～図 D.10に被験者 K、L、M、N、O の平均タスク遂行時間の結果を、表 D.6～表 D.10に各被験者の標準偏差を示す。

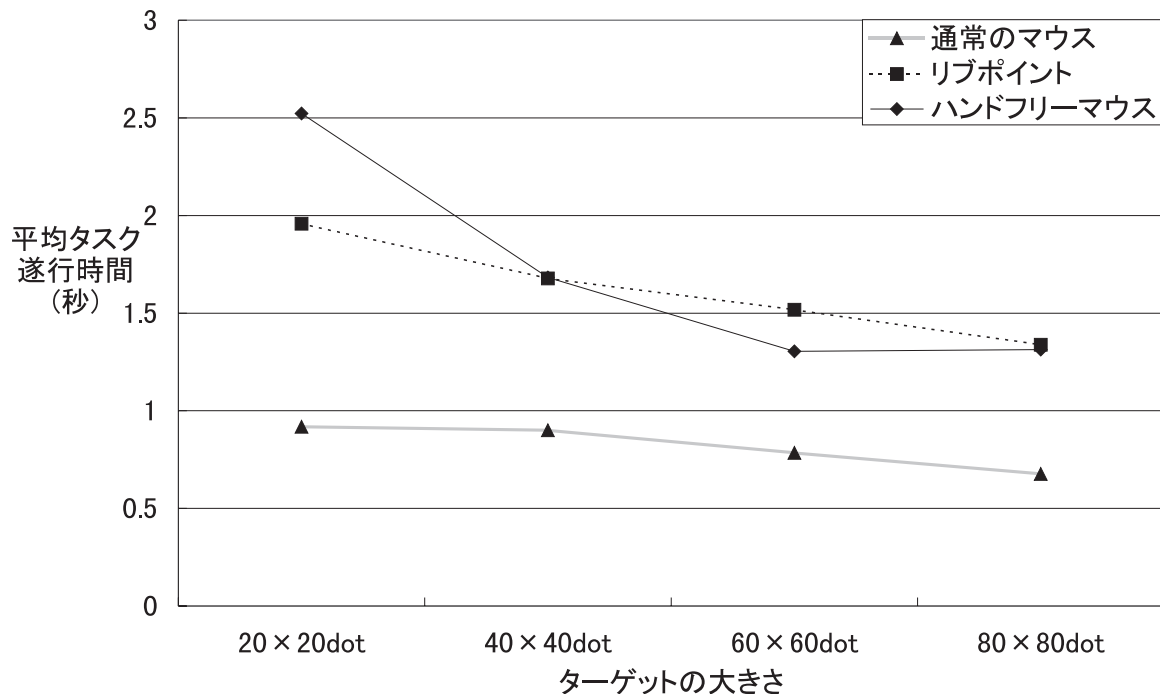


図 D.6: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 K のタスク遂行時間の平均

表 D.6: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 K のタスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
ハンドフリーマウス	1.22 秒	0.55 秒	0.55 秒	0.44 秒
リブポイント	0.41 秒	0.33 秒	0.36 秒	0.30 秒
通常のマウス	0.16 秒	0.12 秒	0.10 秒	0.09 秒

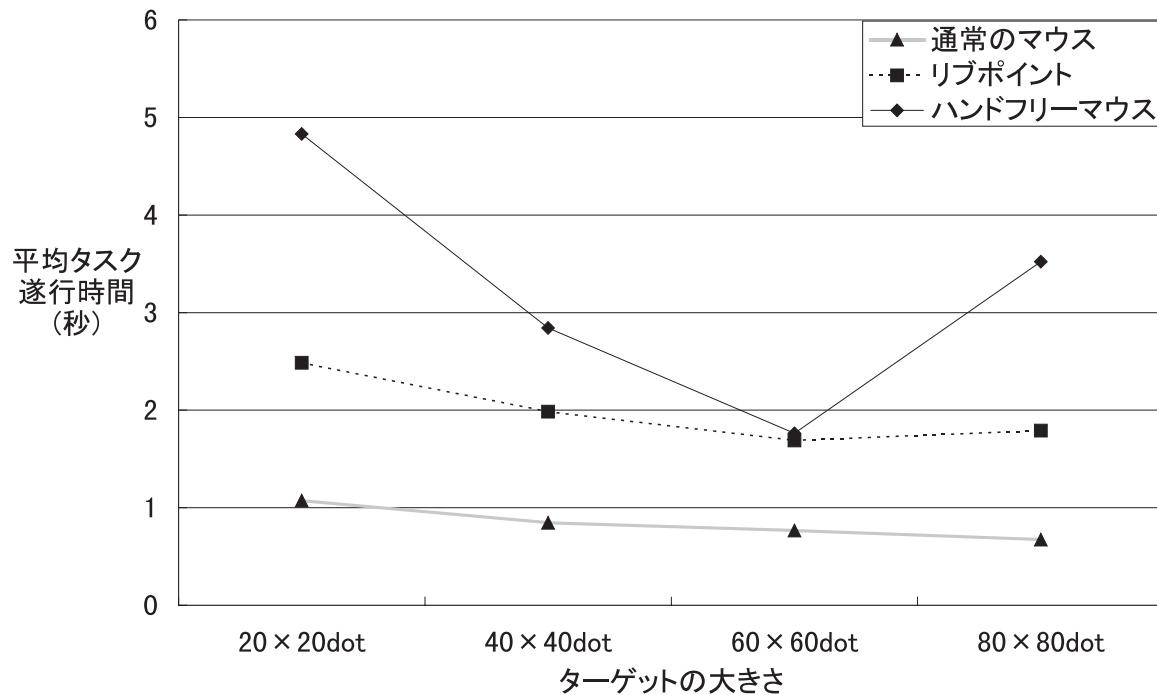


図 D.7: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 L のタスク遂行時間の平均

表 D.7: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 L のタスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
ハンドフリーマウス	3.75 秒	2.02 秒	0.38 秒	2.97 秒
リブポイント	0.61 秒	0.44 秒	0.30 秒	0.62 秒
通常のマウス	0.23 秒	0.21 秒	0.19 秒	0.16 秒

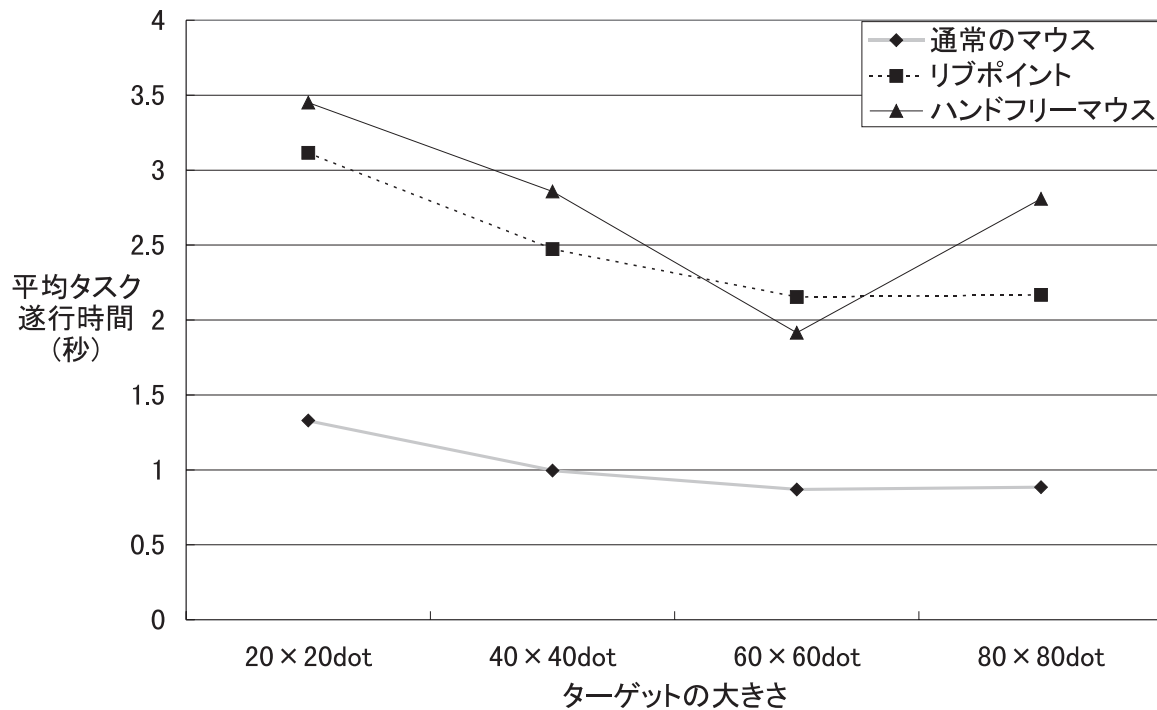


図 D.8: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 M のタスク遂行時間の平均

表 D.8: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 M のタスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
ハンドフリーマウス	1.05 秒	1.29 秒	0.50 秒	1.83 秒
リブポイント	0.87 秒	0.97 秒	0.86 秒	0.87 秒
通常のマウス	0.33 秒	0.21 秒	0.18 秒	0.22 秒

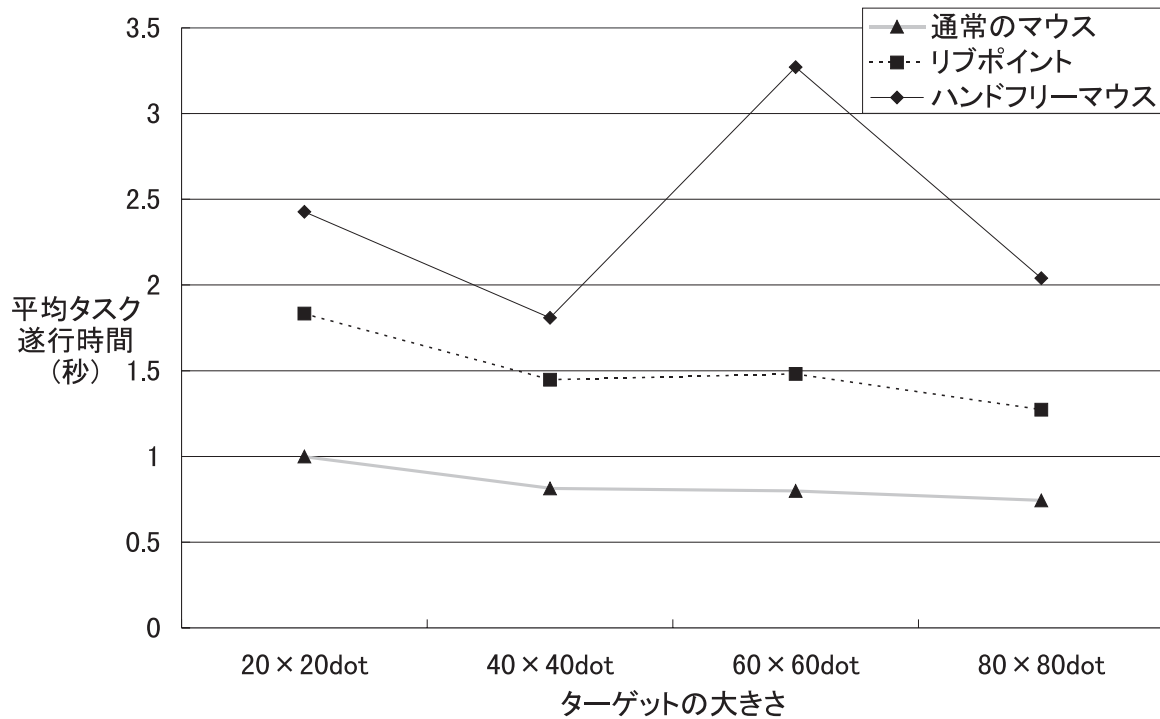


図 D.9: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 N のタスク遂行時間の平均

表 D.9: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 N のタスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
ハンドフリーマウス	1.17 秒	0.63 秒	2.09 秒	1.31 秒
リブポイント	0.41 秒	0.22 秒	0.57 秒	0.26 秒
通常のマウス	0.19 秒	0.14 秒	0.13 秒	0.10 秒

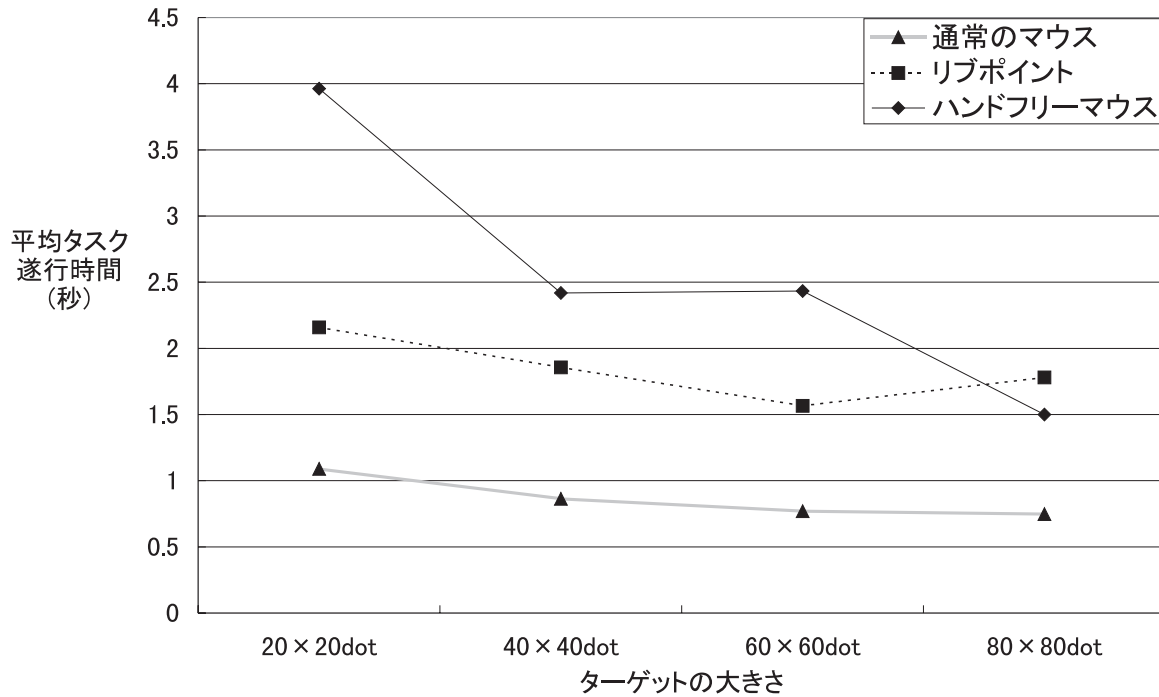


図 D.10: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 1 における被験者 O のタスク遂行時間の平均

表 D.10: 比較実験 1 における被験者 O のタスク遂行時間の標準偏差

ターゲットの大きさ	20 × 20dot	40 × 40dot	60 × 60dot	80 × 80dot
ハンドフリーマウス	3.07 秒	0.87 秒	1.56 秒	0.47 秒
リブポイント	0.61 秒	0.62 秒	0.39 秒	0.77 秒
通常のマウス	0.51 秒	0.16 秒	0.24 秒	0.16 秒

D.3 ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2

ハンドフリーマウスの比較実験 2 の結果として、図 D.11 ~ 図 D.15 に被験者 P、Q、R、S、T の平均タスク遂行時間の結果を示す。

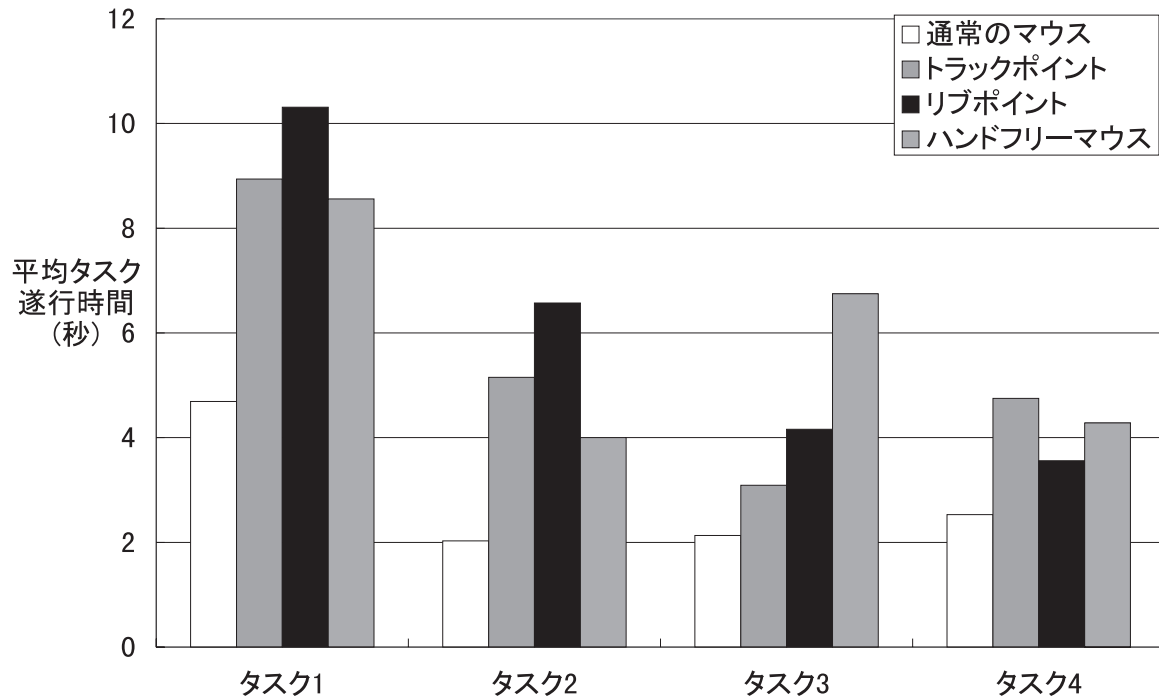


図 D.11: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 P のタスク遂行時間

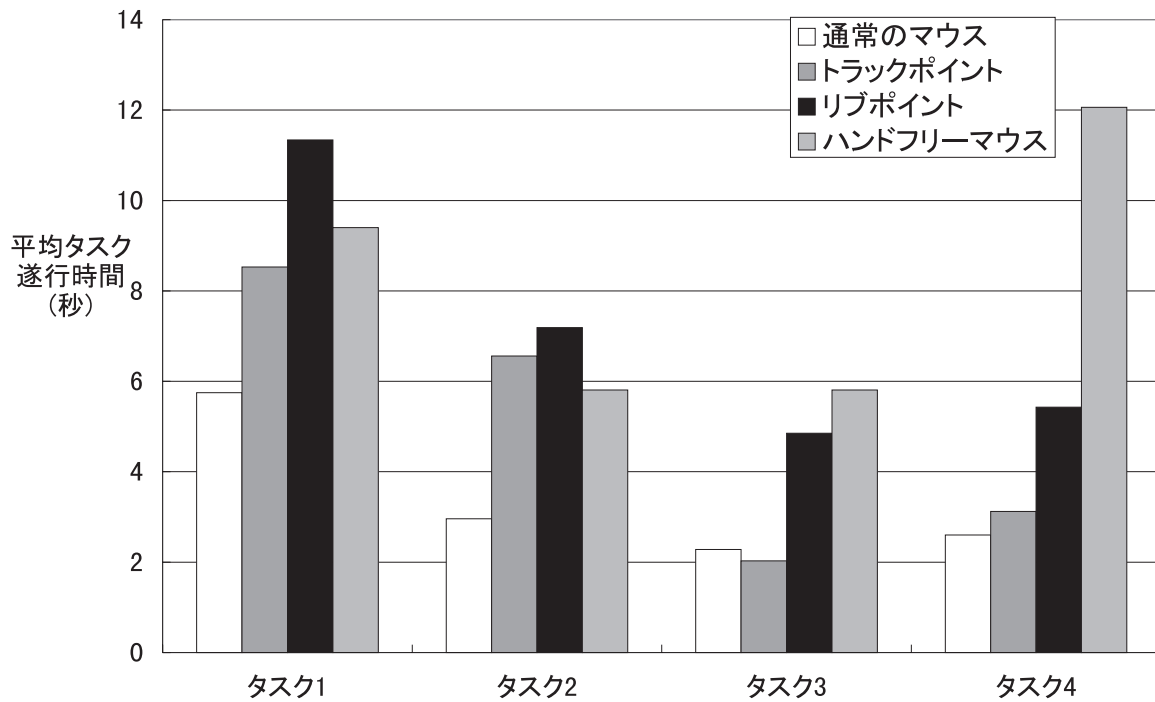


図 D.12: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 Q のタスク遂行時間

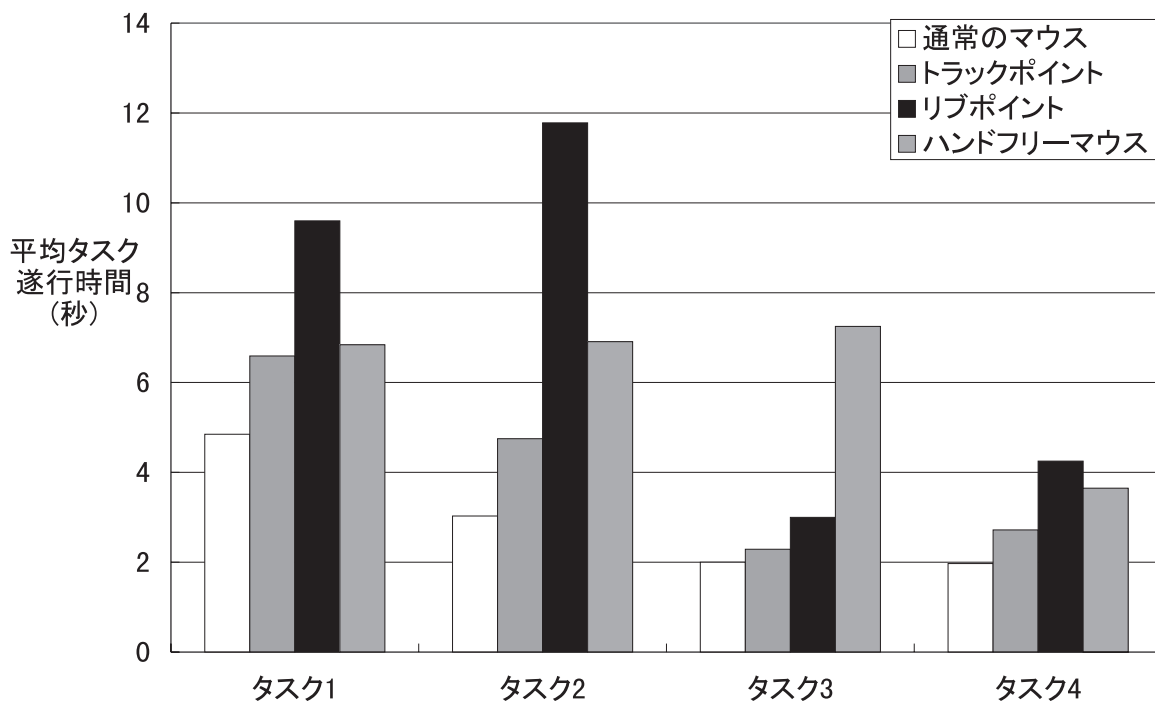


図 D.13: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 R のタスク遂行時間

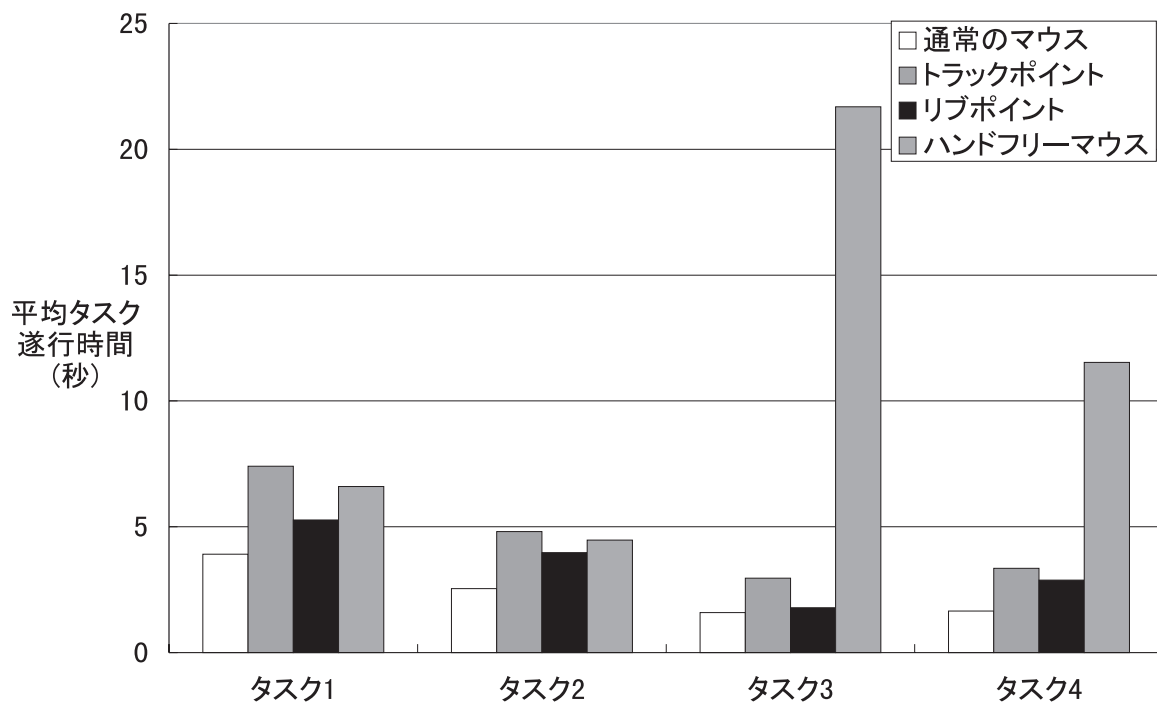


図 D.14: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 S のタスク遂行時間

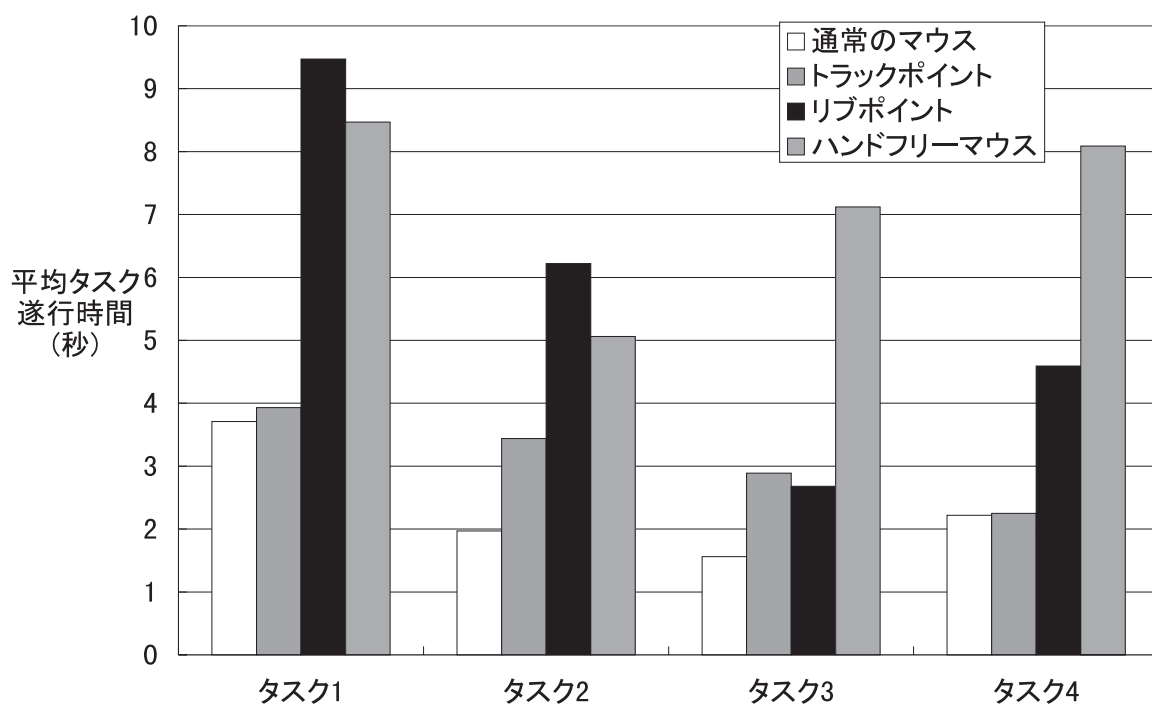


図 D.15: ハンドフリーマウスのポインティング機能比較実験 2 における被験者 T のタスク遂行時間

D.4 ハンドフリーマウスの総合機能評価実験

ハンドフリーマウスの総合機能評価実験の結果として、実際に咀嚼筋を利用した場合と手を用いた場合を比較するかたちで、図 D.16～図 D.20に被験者 P、Q、R、S、T の平均タスク遂行時間の結果を示す。なお、手でクリックを行った場合は、比較実験 2 の結果を引用した。

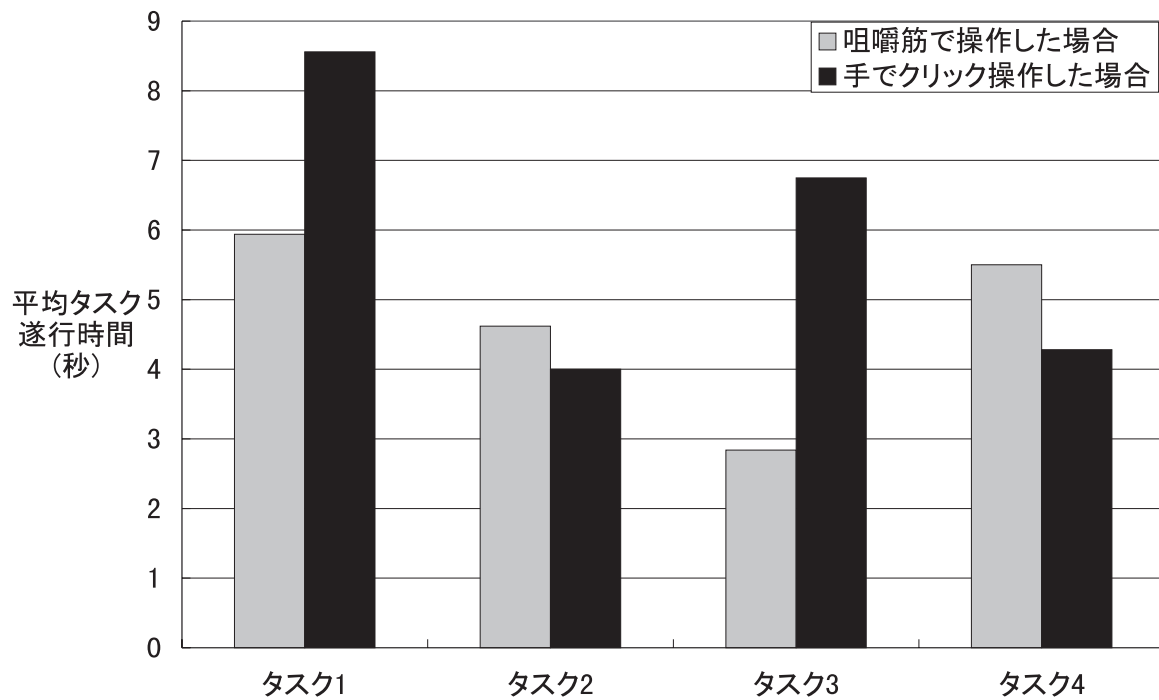


図 D.16: ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 P のタスク遂行時間

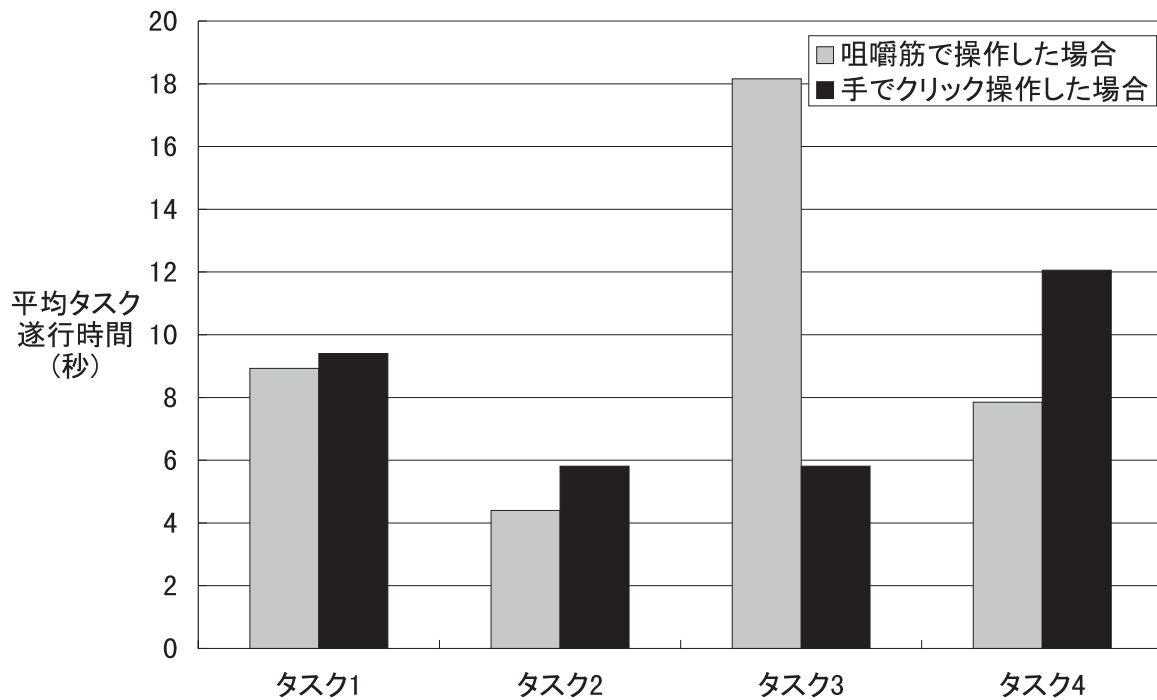


図 D.17: ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 Q のタスク遂行時間

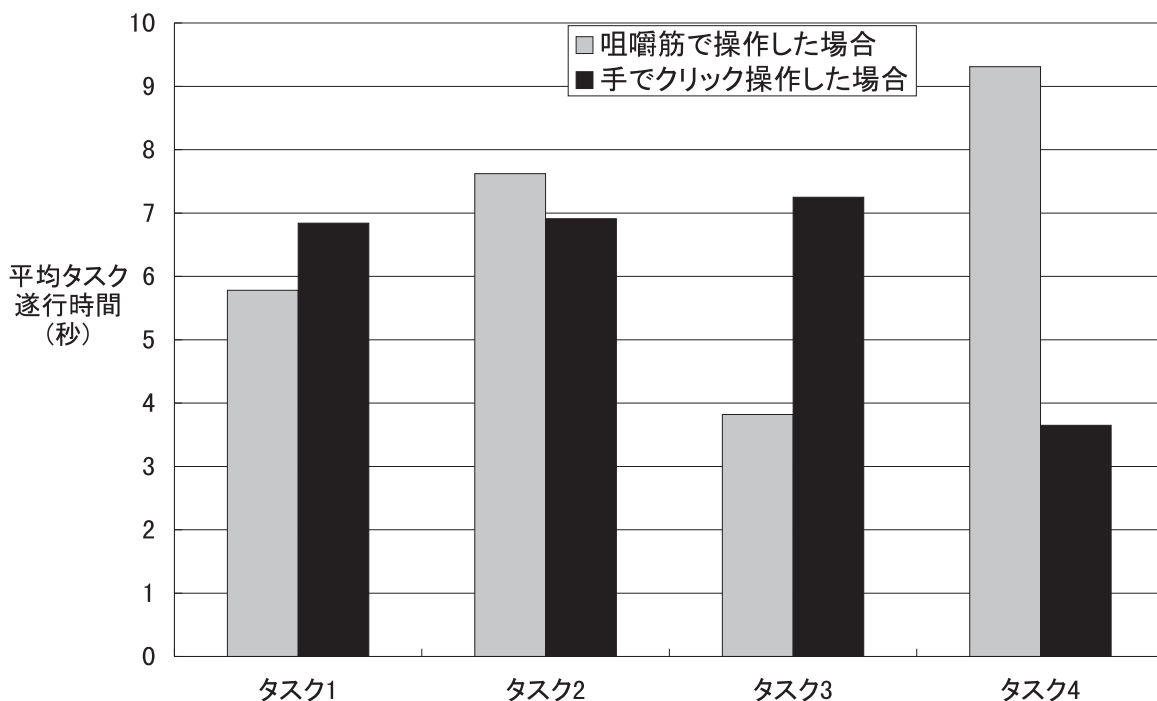


図 D.18: ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 R のタスク遂行時間

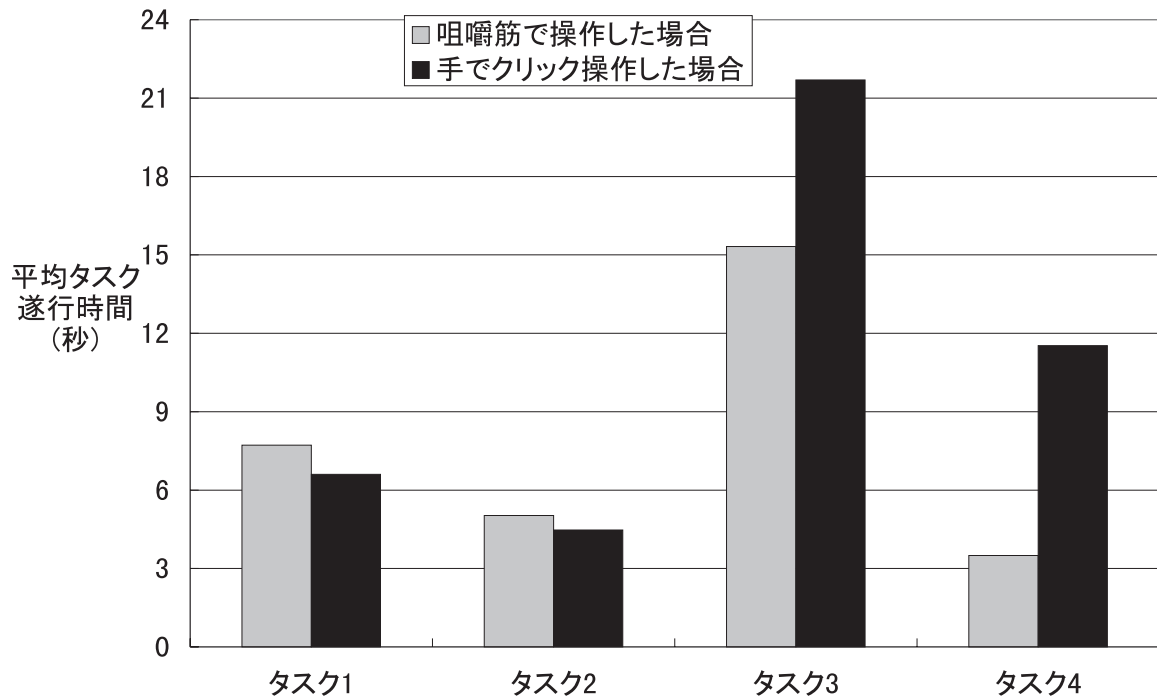


図 D.19: ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 S のタスク遂行時間

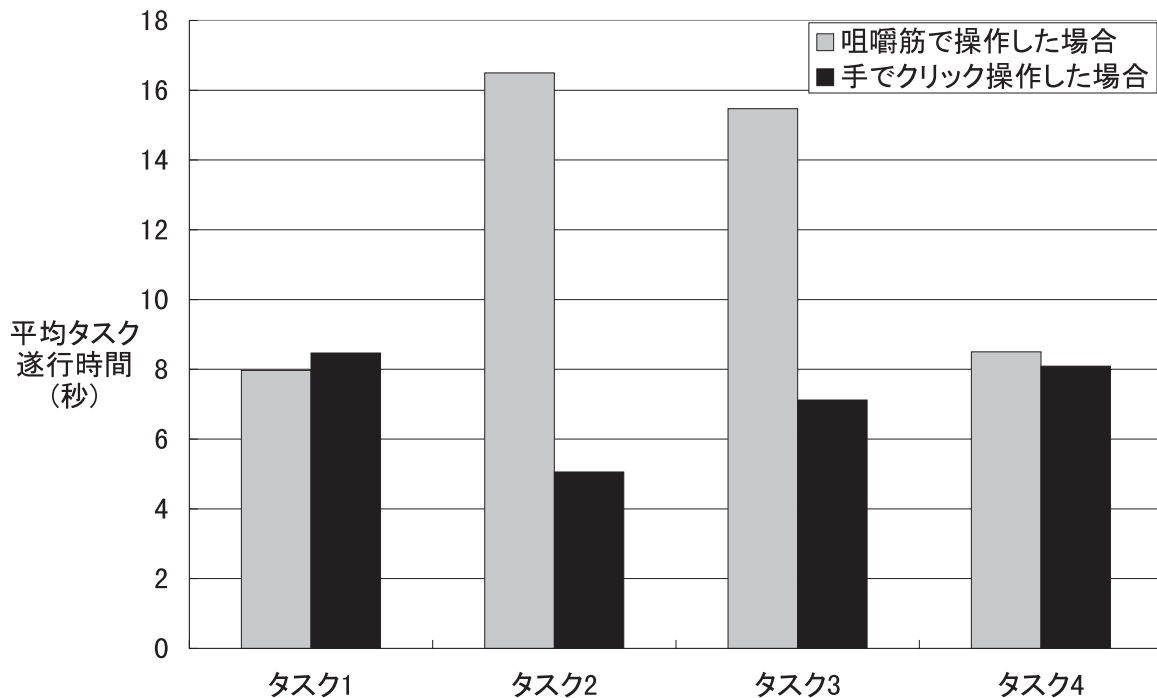


図 D.20: ハンドフリーマウスの総合機能評価実験における被験者 T のタスク遂行時間