高齢者と障害者のための知的福祉システムの開発に関する研究

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2017-10-05
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者:
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/34753

博　士　論　文

高齢者と障害者のための
知的福祉システムの開発に関する研究

金沢大学大学院 自然科学研究科
電子情報科学専攻
知能情報・数理 講座

学　籍　番　号　1123112102
氏　　名　梶原　祐輔
主任指導教官氏名　木村　春彦

目 次

第 1 章　序論 **1**

1.1　背景 1

1.2　本論文の構成 1

第 2 章　眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力装置 **3**

2.1　はじめに 3

2.2　システム構成 5

2.3　視線方向の推定 7

2.4　随意性瞬目の特性 8

2.5　従来システム 9

2.6　提案システム 10

2.6.1　水平方向の眼球運動を用いた文字入力装置 10

2.6.2　一極の電極を用いた随意性瞬目の識別 11

2.7　評価実験 12

2.7.1　水平方向の眼球運動を用いた文字入力装置 12

2.7.2　一組の電極のみを用いた場合 18

2.8　おわりに 22

第 3 章　可視光センサを用いた洗い場における転倒検知システム **24**

3.1　はじめに 24

3.2 提案システム 26
3.2.1 システムの構成 26
3.2.2 入浴者の動作 27
3.2.3 入浴者が動作した際に発生する電圧の変化 28
3.2.4 特徴量抽出 32
3.2.5 転倒検知 33
3.3 提案システムの評価 34
3.3.1 シャワーや湯気などが可視光センサへ与える影響を検証 34
3.3.2 従来研究との比較 37
3.3.3 外光が提案システムに与える影響 41
3.3.4 入浴者の位置が提案システムに与える影響 45
3.4 おわりに 48

第 4 章 ニオイセンサを用いた独居老人宅の環境モニタリング 50

4.1 はじめに 50
4.2 従来研究 52
4.3 提案システム 52
4.4 室内のモニタリング 53
4.4.1 実験環境 53
4.4.2 高さを考慮しないニオイセンサの配置 54
4.4.3 高さを考慮したニオイセンサの配置 55
4.4.4 入退室実験 55
4.4.5 飲食実験 59
4.4.6 室内モニタリングのまとめ 61
4.5 おわりに 62

第 5 章　赤外線ポインティングデバイスを用いた操作支援システム **63**

5.1　はじめに 63

5.2　使用機器，および実験環境 64

5.3　提案手法 65

5.3.1　特徴量 u の抽出 65

5.3.2　パラメータ u_s および u_l の決定 66

5.3.3　パラメータ T の決定 68

5.3.4　操作支援方法 70

5.4　操作支援に対する評価実験 71

5.4.1　実験方法 71

5.4.2　実験結果 72

5.5　おわりに 74

第 6 章　料理自動判別システムを用いた健康管理システム **75**

6.1　はじめに 75

6.2　特徴量抽出 75

6.3　料理画像の識別 76

6.4　実験 77

6.4.1　実験方法 77

6.4.2　実験結果 77

6.5　終わりに 78

第 7 章　結論 **79**

謝辞 **80**

参考文献 81

図 目 次

2.1 Overview of EOG 5

2.2 Human-computer interface by horizontal directional eye movements and voluntary blinks 6

2.3 Example of correction voltage by the motions of eye movements 7

2.4 Calibration of eye movements 8

2.5 An example of EOG by the motions of eyemovements(a), involuntary blinks(b) or voluntary blinks(c) 9

2.6 Forms of the comparator system 10

2.7 Forms of the proposed interface system 11

2.8 Arrangement of electrodes 12

2.9 An example of EOG using ch1 by the motions of voluntary blink 13

2.10 Correction times of letter by horizontal eye movements and voluntary eye blink 18

2.11 Voltage of each participant 20

2.12 Voltage ratio of each participant 21

2.13 Example of experimental result 22

3.1 Fall detections system using photodetector 26

3.2 Proposed system 27

3.3 Devices for the proposed system 28

3.4 The target normal and dangerous actions 29

3.5 Electric voltages obtained from changing the visible light 30

3.6 Electric voltages obtained from the normal and dangerous actions 31

3.7 The appearance of the bathroom 34

3.8 The bubbles attached to a waterproof photodetector 35

3.9 Differential values of the voltages measured in a steam filled bathroom . . 36

3.10 Differential values of the voltages measured in a well-ventilated bathroom . 37

3.11 The light position changes in experimental environment 41

3.12 Electric voltage obtained from outside light. 44

3.13 The position of user changes in experimental environment 45

3.14 Error ratio by changing position and studying position 47

3.15 Electric voltage obtained from FF by changing position. 48

3.16 Electric voltage obtained from FBS by changing position. 49

4.1 Monitoring system using odor sensors 53

4.2 Experimental device and environment 54

4.3 Odor strength when nobody is in the room 55

4.4 Inside odor strength when the door is open and close 56

4.5 Outside odor strength when the door is open and close 57

4.6 Odor strength when the user repeats entering and leaving the room in every 10 minutes 58

4.7 Odor strength when the user is in the room and two persons enter the room one by one in every 10 minutes 59

4.8 Odor strength when the user is eating lunch 60

4.9 Odor strength when the user is drinking tea 61

5.1 Equipment of support system 65

5.2 Manipulability analysis experiment 67

5.3 Manipulability analysis result 68

5.4 average of d 69

5.5 average of selection time 70

5.6 Evaluation experiment of support system 72

5.7 Experiment result of support system 73

6.1 Pattern Recognition Machine Learning 76

6.2 Example of cooking image 77

6.3 Result of classfication 78

表 目 次

2.1 Experimental result by proposed system 15

2.2 Experimental result by comparator system 16

2.3 Experimental result by auto scan 17

2.4 Experimental result by 1 couple 19

3.1 Average detection rates for normal action (NA) and dangerous action (DA) [%] 38

3.2 Average detection rates for NA, forward head (FH), and backward head (BH) [%] 39

3.3 F-measure of each action[%] 39

3.4 Classification of action by height[%] 39

3.5 Illuminance by changing light position[lx] 42

3.6 Average detection rates for NA, FH, and BH by outside light[%] 43

3.7 Average detection rates for NA, FH, and BH by studying light position[%] 43

3.8 Average detection rates for NA, FH, and BH by changing position[%] . . . 46

3.9 Average detection rates for NA, FH, and BH by studying position[%] . . . 46

4.1 Monitoring result 62

5.1 questionnaire result 73

第 1 章

序論

1.1　背景

現在，日本は総人口の 23.3%を 65 歳以上の高齢者が占める超高齢社会であり，今後この割合が増加していくことが予想されている [1]。そのため，高齢者を対象とした福祉機器の重要性は今後高まっていくと考えられる。その一方で近年，身体的な充実の他に生きがいや人生の楽しみなど精神的な充実も重視されるようになり，自分らしい生活や社会的に見た生活の質 (QOL:Quality Of Life) の向上が求められている [8][9]。この QOL の定義や概念は未だ単一の普遍的に受け入れられた定義はないが，医療の QOL 研究の領域では『身体的状態』,『心理的状態』,『社会的交流』,『経済的，職業的状態』,『宗教的，霊的状態』の五つの要素で構成された状態として定義されている [8]。

そこで本研究では高齢者や障害者を対象として安価でかつ，プライバシーを考慮した福祉機器を開発する。プライバシーの意識調査 [10] において連絡先や過去の出来事，生活スタイルを他者に知られることに対し，不安や恐怖，羞恥心，自己評価低減の心配などを感じる傾向があり，プライバシーを守ることは健康な精神状態を維持し，自分らしい生活を送るために重要であると考えられる。

1.2　本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。第 2 章で脊髄損傷患者や重度肢体不自由者，寝たきりの高齢者などを対象とした眼球の動きと瞬きのみから文字を入力できる装置 [11][12] について説明する。第 3 章で高齢者が洗い場で転倒した際にシステムが床に設置した可視光

センサから得られる光量の変化から自動的に転倒を検知し，第三者に危険を知らせるシステム [13] を説明し，第 4 章でニオイセンサを用いてニオイの変化から独居老人の異常な振る舞いを検知し，近親者や医師などに異常を知らせるシステム [14] について説明する。第 5 章で高齢者が PC などの情報機器の操作し難い際に操作がし難いことを自動的に機械が識別し，情報機器の操作を支援するシステム [15] について説明する。第 6 で高齢者のカロリや栄養状態を管理するため，日頃食している料理の画像を撮影し，その料理画像から自動的に料理を識別し，高齢者の健康管理を補助するシステムについて述べる。最後に第 7 章で結論と今後の展望を述べる。

第 2章

眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力装置

2.1　はじめに

脊髄損傷患者や重度肢体不自由者などは残存機能が限られている為，医師や家族など他者とのコミュニケーションが困難となっている。意思が他者に伝わらないことは患者自身だけでなく，周囲の人にも精神的，肉体的負担がかかる。そのため，発声や手話に代わる新たな意思伝達支援装置の開発が切望されている。新たな意思伝達支援装置の一つとして，随意性が高く，長時間動かしても疲れにくいなどの利点から眼球運動や瞬目を用いたインターフェースが盛んに研究されている [16]−[28]。眼球運動や随意性瞬目を用いたインターフェースには，眼球運動を入力として用いた視線入力インターフェース [18]−[22] と随意性瞬目瞬目や眼球運動をスイッチとして用いたインターフェース [23]−[28] がある。視線入力インターフェースは，眼球運動のみを用いて入力しているため，直感的な操作が可能だが，情報を取得するための視線移動と入力するための視線移動を明確に区別できないため，誤入力が頻繁に起こる問題がある。この問題を解決する一つの方法として，瞬きを入力スイッチとして用いる方法 [24][25] がある。

眼球運動と随意性瞬目を測定する主な方法として，サーチコイル法 [30][31]，角膜反射法 [32]，VOG(Video-OculoGraphy) 法 [27][28] と EOG（Electro-OculoGraphy）法 [22] がある。サーチコイル法は，交流磁場内にいる被験者にコイルを組み込んだコンタクトレンズを装着させ，眼球の動きを測定する方法で眼球の動きを高精度で測定できるが，被験者への負担が大きく長時間の計測には不向きである。また，角膜反射法は近赤外線照明の角膜

反射像（プルキニエ像）の位置と瞳孔中心位置の相対的な距離から眼球の動きを測定する方法で専用の機器を用いる必要があり，高価である。VOG 法は，カメラを用いて画像を取得し，画像から眼球の動きや随意性瞬目を識別する。この方法は一般に低コストかつ EOG 法より若干高い精度で眼球運動を測定でき，電極などの測定機器を使用者に取り付ける必要もない。しかし，使用者が頭部や体を動かすと眼球の動きや随意性瞬目を識別する精度が著しく低下するため，現状では使用者の頭や姿勢の動きを制限する必要あり，負担が大きい [33]。この問題を解決するために，単眼の頭部装着型ディスプレイ（HMD）を用いて，片方の目で入力画面を注視し，もう一方の眼の前にカメラを装着することで，使用者の頭や姿勢を固定することなく眼球運動を測定できる装置も提案されている [23]。しかし，単眼 HMD を用いた場合，それぞれの眼で別々の風景を注視することになるため，操作に慣れが必要であることやキー配列が見にくくなることを指摘されている [23][29]。

一方，EOG 法は眼の付近に装着した電極を用いて測定した微小な角膜-網膜電位から眼球運動を測定するため，交流雑音などの電気的な雑音に弱く，精度の面で VOG 法に劣る。しかし，EOG 法と両目で同じ風景を注視できる両眼 HMD を併用することで自然なインターフェースを提供することができる。また，本研究の提案手法を用いることで脱装着の負担を軽減することができる。これらの理由から本研究では EOG 法を用いる。EOG 法は視線の推定精度が低いため，視線入力だけでは誤入力が頻繁に起こる問題がある。この問題を解決する一つの方法として，ウィンクのように使用者の意思で行う瞬き（随意性瞬目）を入力スイッチとして用いる方法 [25][26] がある。瞬きには他に使用者の意思と関係なく無意識で周期的に生じる瞬き（自発性瞬目）があるが，発生する電位に有意な差が生じるため [24][25]，自発性瞬目と随意性瞬目を識別可能である。

EOG 法は，一般に垂直方向の眼球運動を識別する際に瞬目が雑音として混入するため [33]，水平方向の眼球運動と比較し，視線方向を識別することが難しい。また，随意性瞬目を識別する際に垂直方向の眼球運動を随意性瞬目と誤識別する場合がある。そこで，本研究では識別率が高い水平方向の眼球運動を用いてカーソルを操作し，高いスイッチ性能を持つ随意性瞬目を用いて，選択（入力）を行う操作性の高い文字入力システムを提案する。また，従来では水平方向の眼球運動と随意性瞬目を測定する場合，水平方向と垂直方向に 1 組ずつ電極を装着する必要があるため，脱装着に負担がかかり，コストも高くなる。そこで，本研究では 1 組の電極で水平方向の眼球運動と随意性瞬目を識別する方法を提案する。

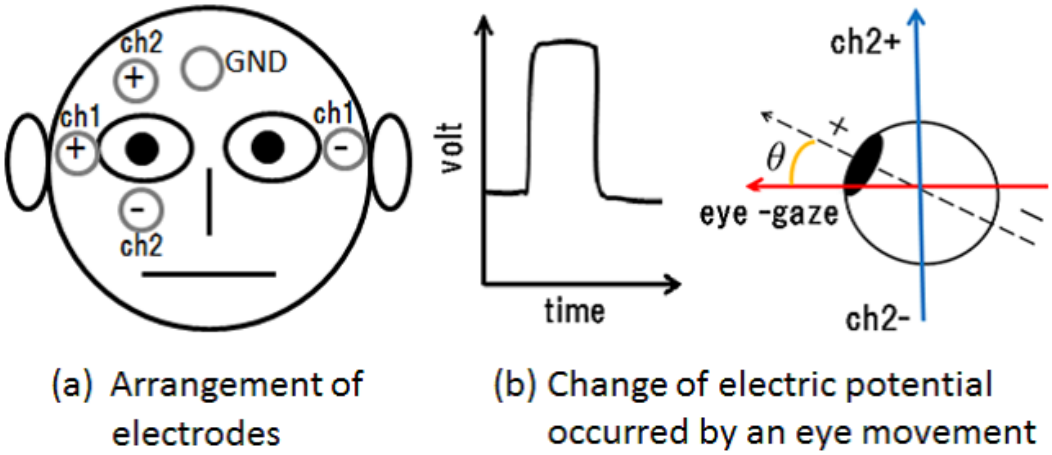


図 2.1: Overview of EOG

類似研究として，垂直方向と水平方向の眼球運動を用いてカーソルを操作し，随意性瞬目を用いて入力する手動走査式の文字入力システム [26] が提案されている。本論文の提案システムと垂直方向と水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いたシステムの正入力率や誤入力率，随意性瞬目の識別率，文字入力速度を比較し，提案システムの有用性と垂直方向の眼球運動が正入力率，誤入力率，随意性瞬目の識別率や文字入力速度などに与える影響を検証する。また，文字入力システムにおいて 2 組の電極を用いた場合と 1 組の電極を用いた場合の正入力率，誤入力率，随意性瞬目の識別率，文字入力速度を比較し，提案手法の有効性を示す。

2.2　システム構成

眼球は角膜側が網膜側に比べ正に荷電し，図 2.1(a) のように電極を装着すると眼球の回転角 θ に比例した電位が測定できる（図 2.1(b)）。この 2 極間の電位差から眼球運動を測定する方法を EOG 法という。これらの電極から測定した EOG は微小電位であるため増幅する必要がある。電位を増幅する代表的な方法として，直流増幅と交流増幅がある。直流増幅した EOG は，眼球の回転角 θ を絶対角度で測定できる。しかし，眼球運動を行わない際にも基線が変化するドリフト現象が生じ，眼球運動や随意性瞬目を誤識別してしまうことが問題となっている [19]。このドリフト現象は，電極を取り付け，15 分以上時間が経過するとドリフトの変動が小さくなることが確認されているが，日常生活で使用する場合を

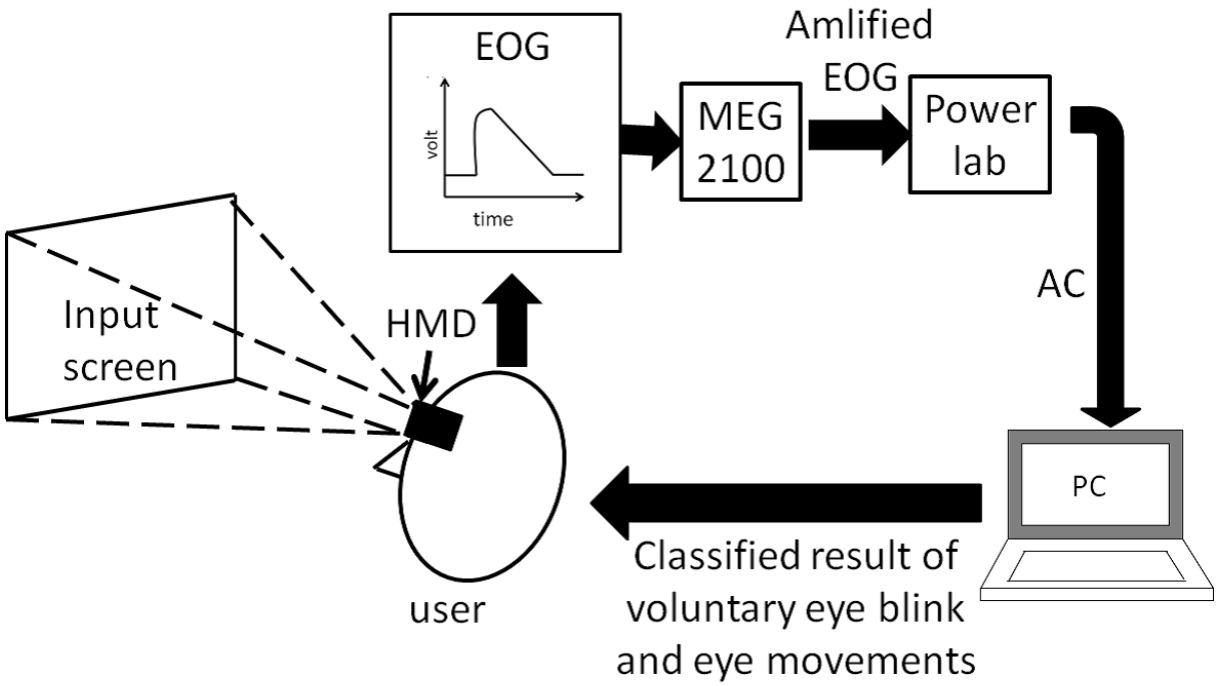


図 2.2: Human-computer interface by horizontal directional eye movements and voluntary blinks

考えると，電極を装着した直後に使用可能となることが望ましい。

一方，交流増幅した EOG は，眼球を動かしたときに発生する電位が時間とともに減衰するため，眼球の回転角 θ を絶対角度で測定することが困難である。そのため，交流増幅した EOG では，眼球の回転角 θ は，相対角度で測定する。しかし，直流増幅した EOG において，問題となっていたドリフト現象が生じないため，安定的に眼球運動や随意性瞬目を測定することが可能となる。本研究では，正入力率の高いシステムを目指していることから，安定的に測定可能な交流増幅した EOG を用いる。

本研究で開発した意思伝達支援装置を図 2.2 に示す。まず，使用者は目の周囲に電極を装着する。その後，使用者は文字入力画面が映し出される HMD（Vuzix 社製 iwear-VR920）を装着し, 文字入力画面を目視する。本研究で用いた HMD は 2.7m 先に 62 インチのディスプレイを設置したことと同等の大きさで画面を表示できる。解像度は 640 × 480[pixel] である。また，文字入力画面については 2.6 節で述べる。そして，被験者は眼球の動きと随意性瞬目で文字を入力選択し，システムは眼球が動いた，または随意性瞬目を行った際に発生する EOG を取得する。装着した電極から測定した EOG は微小電位であるため日本

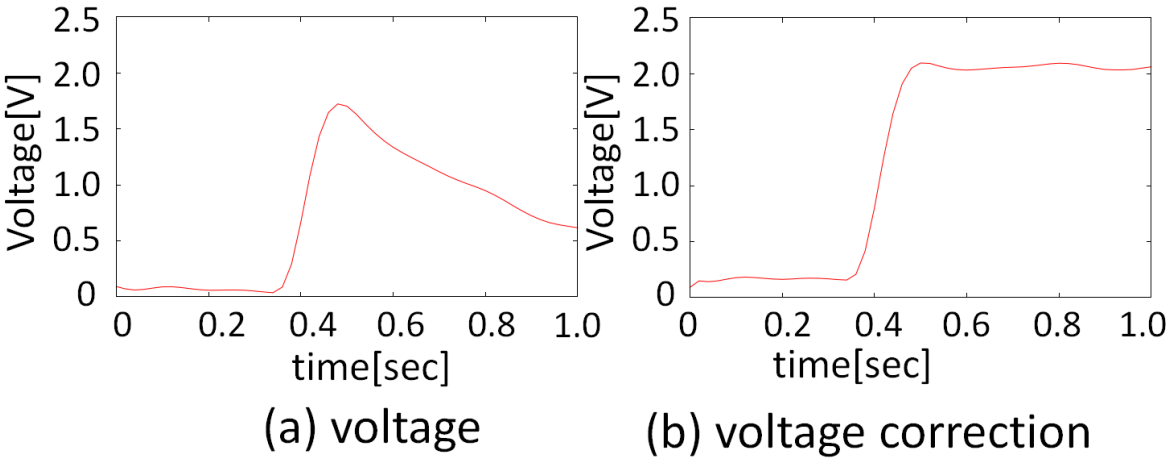


図 2.3: Example of correction voltage by the motions of eye movements

光電工業製 2 チャネル高感度増幅器 MEG-2100 を用いて増幅し，ADINSTRUM-ENTS 社製 PowerLab2/20 を用いて，増幅した EOG から安定的に取得可能な交流成分を取得する。増幅器の時定数は 2 秒，高域遮断周波数は 30Hz であり，サンプリング時間は 20msec である。そして，この交流増幅した EOG から 2.3 節，2.6 節で述べる手法を用いて視線方向と随意性瞬目を識別する。最後に推定結果を文字入力画面に反映させる。これらの手順を繰り返すことで文字を入力していく。

2.3　視線方向の推定

交流増幅した EOG は電圧値が時間とともに減衰するため，補正を行う [33]。

$$v_{ch}(t) = v_{ch}(t - \Delta t) + v_h(t) - v_h(t - \Delta t)e^{(-\frac{\Delta t}{\tau})} \tag{2.1}$$

ここで，v_{ch} は補正した電圧値，$v_h(t)$ は水平方向または, 垂直方向に装着した電極で測定した電圧値，Δt はサンプリング時間，τ は時定数である。時定数は 0.6 とした。また，補正を行なった際に得られる電圧値の例を図 2.3 に示す。この補正した電圧値 v_{ch} を微分し，積分した値 v_{int} を用いて，眼球の回転角の相対角度 θ を算出する。この眼球の回転角の相対角度から，視線方向を算出する。一方，眼球の回転角に対して出力される電圧値は電極の位置などによって異なるため，使用者ごとに校正を行う必要がある。校正は水平方向の眼球運動と随意性瞬目に対して行う。水平方向の眼球運動の校正の例を図 2.4 に示す。使用

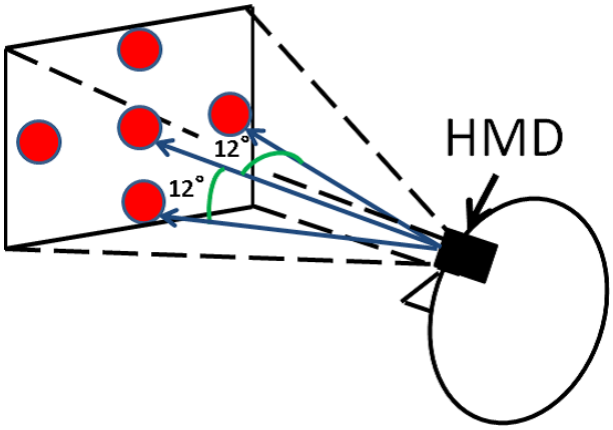


図 2.4: Calibration of eye movements

者は，2 秒ごとに中心，左，中心，右，中心と移動する点を注視する。その際に各区域毎の電圧の絶対値をとり，最大値を抽出する。電圧は眼球の回転角に比例するため，点を注視したときの眼球の角度を電圧の絶対値の最大値で割り，電圧値毎の角度を算出する。各区域において同様の計算を行う。そして，各区域で計算した電圧値毎の角度の平均を電圧値毎の角度 k_{eye} を算出する。視線方向は画面の中心を見ているときの回転角を 0[deg] とし，眼球の回転角 $\theta = k_{eye} v_{int}$ を計算し，$\theta > 6$ なら右，$\theta < -6$ ならば左とした。この閾値は経験的に決めた。

2.4　随意性瞬目の特性

ここで，垂直方向の眼球運動，自発性瞬目，随意性瞬目の特性について説明する。(a) 眼球運動と (b) 自発性瞬目，(c) 随意性瞬目の電位とその電位を微分した微分電位，微分電位を積分した積分電位を図 2.5 に示す。ここで，各電位は式（2.1）を用いて補正した電位，積分電位は符号（正負）が変化したときを始点として，再び符号（正負）が変化するまでの区域で積分した値 v_{int} である。また，微分値が正のときの区域で積分した値を正の電圧 v_+，電圧の微分値が負のときの区域（微分電位の黒い部分）で積分した値を負の電圧 v_- とする。図 2.5 の電位は，随意性瞬目の方が眼球運動，自発性瞬目より電圧値が高い。しかし，眼球運動は眼球の回転角に比例し電圧値が増加するため，電位差だけでは誤識別する可能性がある。そこで，自発性瞬目，随意性瞬目の積分電位が正の電圧が生じた直後に同等の負の電圧が生じていることに着目し，v_+ と v_+ の立下りから 0.2[sec] 以内に生じた v_- の電

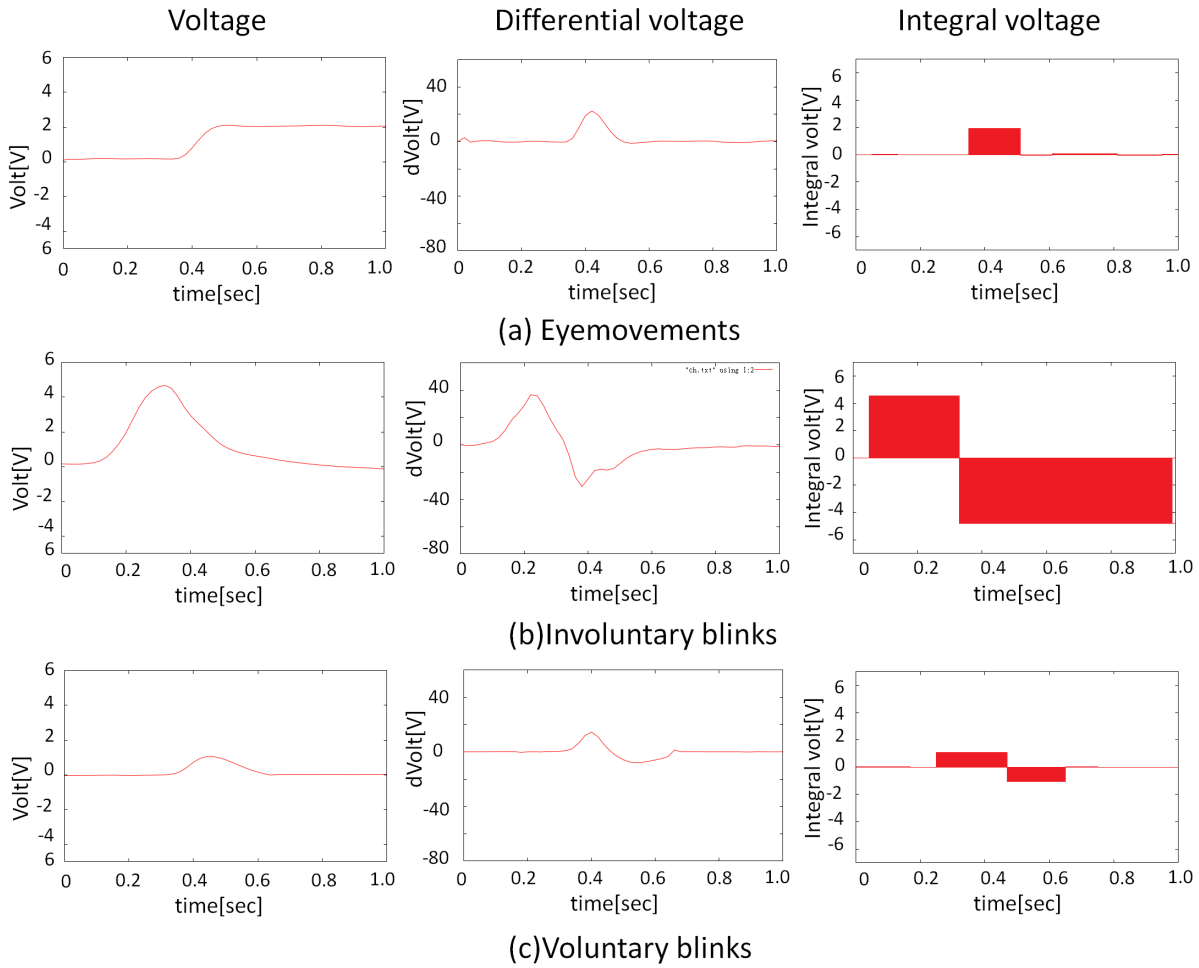


図 2.5: An example of EOG by the motions of eyemovements(a), involuntary blinks(b) or voluntary blinks(c)

圧比率を用いる。

2.5　従来システム

従来研究で提案されている水平方向と垂直方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力システム [26] の画面を図 2.6 に示す。また，文字入力手順を以下に示す。

1. 水平方向の眼球運動を用いてカーソルを動かし，カーソルが選択したい文字列に移動したら随意性瞬目を行い，行を選択する。

2. 垂直方向の眼球運動を用いてカーソルを動かし，カーソルが目的の文字まで移動し

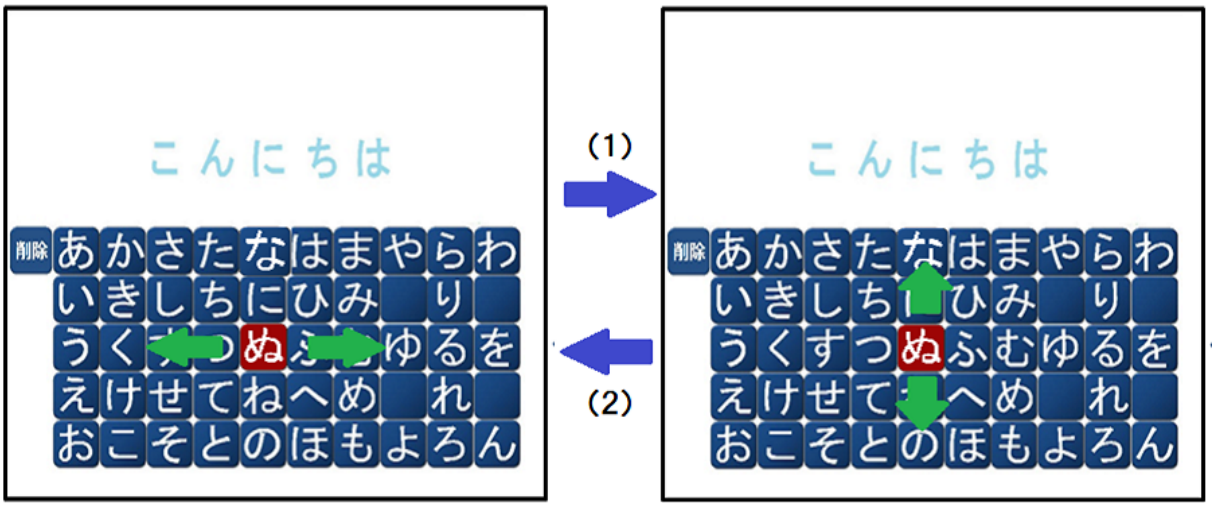


図 2.6: Forms of the comparator system

たら随意性瞬目を行い，文字を入力する。

3. 1〜2 を繰り返す。

また，垂直方向に装着した電極で測定した EOG には眼球運動の他に自発性瞬目が雑音として混入する。そのため，2.4 節の前実験から $r_p > 0.7$ 以上の電位を自発性瞬目として除去した。そして，除去後の電位を眼球を動かした際に発生した電位として，垂直方向の眼球の回転角 θ_{ver} を計算した。

2.6　提案システム

2.6.1　水平方向の眼球運動を用いた文字入力装置

本研究で構築した文字入力システムの画面を図 2.7 に示す。文字入力システムの画面は，行選択画面と文字入力画面で構成されている。文字入力画面は，水平方向の眼球運動のみでカーソル移動ができるように行選択画面が 90 °回転した画面になっている。行選択，文字入力画面において，左，右に眼球を動かすと動かした方向にカーソル（中心の円）が一定時間毎に移動し，カーソルが目的の行（文字）に移動した際に随意性瞬目を行い，行（文字）を選択（入力）する。また，文字入力の手順を以下に示す

1. 水平方向の眼球運動を用いてカーソルを動かし，カーソルが選択したい文字列に移動したら随意性瞬目を行い，行を選択する。

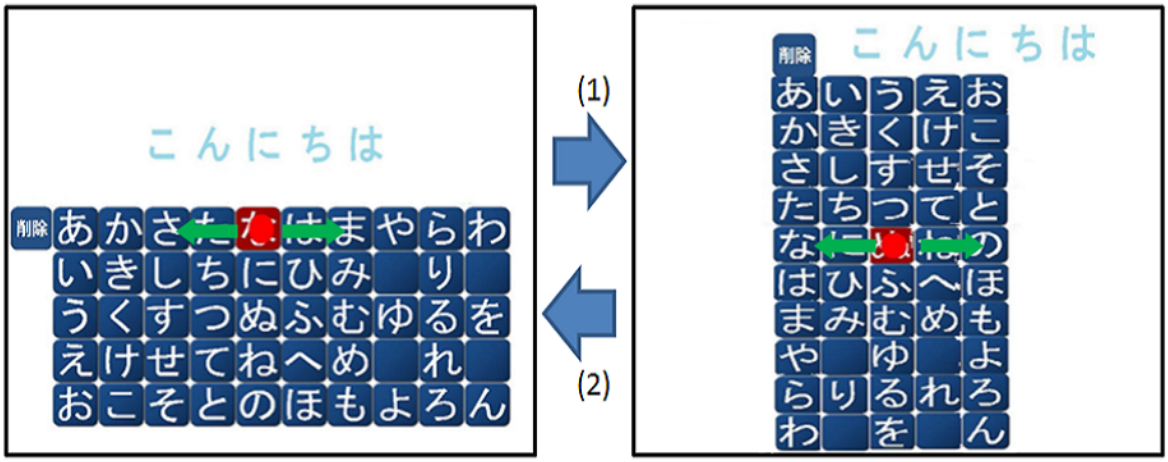


図 2.7: Forms of the proposed interface system

2. 水平方向の眼球運動を用いてカーソルを動かし，カーソルが目的の文字まで移動したら随意性瞬目を行い，文字を入力する。

3. 1〜2 を繰り返す。

2.6.2　一極の電極を用いた随意性瞬目の識別

従来では，図 2.8(a) のように電極 Ch1 を用いて水平方向の眼球運動を測定し，電極 Ch2 を用いて随意性瞬目を測定していたが，本研究では電極 Ch1 のみを用いてこれらを測定する (図 2.8(b))。本研究の電極配置で随意性瞬目を行った際に得られる電圧は，Ch1 ＋と Ch1-の相対位置によって異なる。例えば，Ch1 ＋が Ch1-と比較し，上に配置されている場合，図 2.9(a) のような突起した正の電圧が生じる。逆に Ch1+が Ch1-と比較し，下に配置されているとき，図 2.9(b) のような突起した負の電圧が生じる。このことから，Ch1+と Ch1-の電極の相対位置をずらすことによって，随意性瞬目を測定することが可能となる。自発性瞬目と随意性瞬目を行った際に発生する電位に有意な差が生じることが知られている [24]〜[26]。また，図 2.9 から随意性瞬目が生じた際の電圧の微分値において正方向の電圧 v_+ が生じた直後に負方向の電圧 v_- が生じている。これらから電圧値と v_+ と v_- の比率の 2 乗誤差を用いて随意性瞬目が識別する。

$$E_{blink} = (1 - \frac{v}{v_{blink}})^2 + (1 - \frac{r}{r_{blink}})^2 \tag{2.2}$$

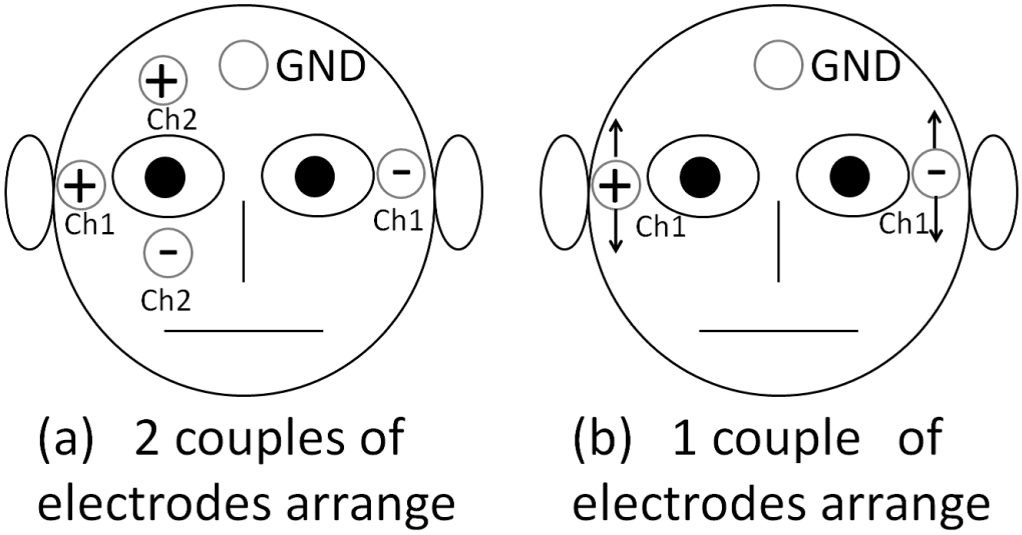


図 2.8: Arrangement of electrodes

v，r は電圧，電圧比率，V_{blink}，r_{blink} は使用者に予め随意性瞬目を行ってもらい，その際に取得した電圧値と電圧比率である。また，比率 r は式 (2.3) で求める。

$$r = \frac{\min\{|v_+|, |v_-|\}}{\max\{|v_+|, |v_-|\}} \tag{2.3}$$

式 (2.2) より，取得した電圧，電圧比率が予め取得した電圧と電圧比率に近づくと E_{blink} は 0 に近づく。本研究では，E_{blink} が 0.018 以下ならば随意性瞬目とする。この閾値は経験的に決定した。

2.7　評価実験

2.7.1　水平方向の眼球運動を用いた文字入力装置

水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力システムと従来研究の水平方向と垂直方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力システム [26] を実際に構築し，比較を行う。また，水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力システムと従来研究の随意瞬目のみを用いた文字入力システム [25] を実際に構築し，比較を行う。p 値が 10% 未満の場合は有意傾向がある，5% 未満の場合は有意差があるとする。

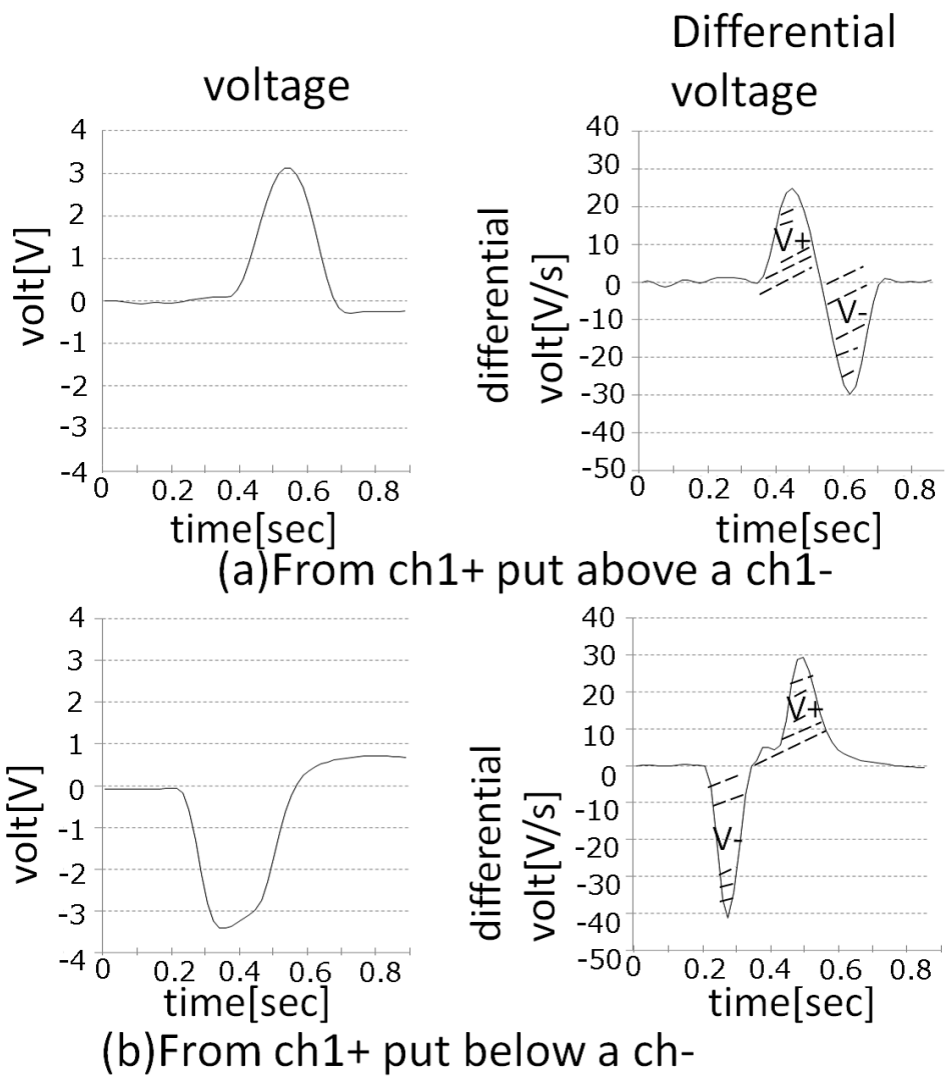


図 2.9: An example of EOG using ch1 by the motions of voluntary blink

実験方法

実験は，20 代の健常な男性 10 名 (A〜J)，40 代の健常な男性 1 名 (K)，60 代の健常な男性 1 名 (L) に対して 2 組の電極による水平の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力システム（本システム）と水平方向と垂直方向の眼球運動，随意性瞬目を用いた文字入力システム（比較システム）に対して，リアルタイムで文字を入力してもらった。また，20 代の健常者の男性 5 名に随意性瞬目のみを用いた文字入力システム（オートスキャンシステム）に対してリアルタイムで文字を入力してもらった。また，カーソルが一定時間毎に動く走査式の文字入力システムの場合，入力する単語で文字の入力速度が変化するため，すべて

の単語を入力した際に，あ〜わ行を必ず各 1 回以上選択する単語，かつ日常で用いる単語を選択した。具体的には,「おはよう」,「こんにちは」,「さようなら」,「おきる」,「ねむる」の 5 つの単語である。被験者には，この 5 つの単語を各 5 回ずつ計 100 文字入力してもらった。また，誤入力した場合，正しい文字を入力するまで続けてもらった。なお，この 5 つの単語を各 5 回ずつ行選択，文字入力する際に必要となる随意性瞬目の数は，200 回である。また，文字入力の際に，被験者に随意性瞬目を行ったときにボタンを押してもらい，ボタンを押した回数を随意性瞬目の総数とした。正入力率 (SR) と誤入力率 (ER)，随意性瞬目の正識別率 (CR)，文字入力速度 (SP) は以下のように算出した。

$$\text{正入力率} = \frac{\text{正入力数}}{\text{随意性瞬目の総数}} \tag{2.4}$$

$$\text{誤入力率} = \frac{\text{誤入力数}}{\text{随意性瞬目の総数}} \tag{2.5}$$

$$\text{正識別率} = \frac{\text{随意性瞬目の正識別数}}{\text{随意性瞬目の総数}} \tag{2.6}$$

$$\text{文字入力速度} = \frac{\text{文字数}}{\text{入力時間}} \tag{2.7}$$

正入力数は指定した行，文字を正しく入力した数，誤入力数は指定した行，文字以外を入力した数，随意性瞬目の正識別数は随意性瞬目を行った際にシステムが随意性瞬目と識別した数である。入力時間 (IT) は水平方向の眼球運動，または垂直方向の眼球運動を用いた場合に目的の文字を入力するまでにかかった時間である。また，文字の修正時間は被験者が文字を見落とす，または誤入力した時間から被験者が再度正しい文字を入力するまでの時間である。随意性瞬目の識別は，式 (2.2) の $|v|$ を v_+ に置き換えて用いた。

実験結果

文字入力実験結果を表 1〜3 に示す。 自発性瞬目を随意性瞬目と誤識別したことはなく，随意性瞬目の誤識別はすべて随意性瞬目を行ったが識別されないことだった。また，性別が異なった場合では随意性瞬目，自発性瞬目の特性は変わらないが，若年者と比較して高齢者の随意性瞬目，自発性瞬目を行ったときの瞼の下降，上昇がともに遅い [35] 。そのため，高齢者が本システムを使用した場合に随意性瞬目の識別が低下することが懸念された。しかし，表 2.1 より健常者の 40 代，60 代の被験者の随意性瞬目の識別率が 98.1%，99.5% と健常者の 20 代の男性と同等以上の識別率だった。また，論文 [36]，[37] で年齢，性別が異なる被験者に対して文字を読む際の眼球運動の解析や眼球運動の推定を行っているが，性別，

表 2.1: Experimental result by proposed system

participant	SR[%]	ER[%]	CR[%]	SP[letter/min]	IT[sec]
A	98.5	0.5	99.0	6.4	3.7
B	98.0	1.0	99.0	6.4	3.8
C	95.7	1.4	97.1	6.2	4.0
D	96.2	0.5	96.6	6.4	4.4
E	93.9	1.9	95.8	5.9	3.8
F	95.2	1.4	96.7	6.4	3.7
G	92.6	1.0	93.6	6.3	3.8
H	98.0	1.0	99.0	6.1	3.6
I	93.9	2.8	96.7	5.7	3.7
J	99.0	0.5	99.5	6.3	3.7
L	97.1	1.0	98.1	5.8	3.3
K	95.7	3.8	99.5	5.0	3.0
avg	96.1	1.2	97.3	6.2	3.7

年齢が実験結果に影響があるという報告はされていない。また，論文 [36] で異なった性別，年齢の被験者で眼球の動きに同じ傾向が見られたと報告している。このことから被験者が全員男性だが，本システムを女性に対して使用しても同様の結果が期待できる。また，本研究では健常者に対してのみしか実験を行っていないが，本研究は首から上が健康に動く ALS 患者を対象としているため，本研究の結果と同様の結果を ALS 患者に対しても期待できる。本システムと比較システムの正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度，入力時間において有意な差がある項目を抽出するために本システムと比較システムの各項目の中央値に差がないと仮定し，ノンパラメトリックな統計学的検定である Mann-Whitney の U 検定を行った。その結果，正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度，入力時間の p 値が 49%，6%，91%，0.04%，0.02%となった。このことから正入力率，正識別率に有意な差があるとはいえないが，誤入力率に有意傾向，文字入力速度，入力時間に有意な差が生じている。検定結果から本システムは比較システムより誤入力率，文字入力速度が中央値 0.9%，1.1[letter/sec] 向上した。この結果から従来研究 [26] と比較して誤入力率が約

表 2.2: Experimental result by comparator system

participant	SR[%]	ER[%]	CR[%]	SP[letter/min]	IT[sec]
A	96.2	1.0	97.1	5.7	4.8
B	97.1	2.4	99.5	5.1	4.7
C	95.2	1.9	97.1	5.8	5.0
D	92.6	2.8	95.4	5.6	5.0
E	91.3	3.2	94.5	4.6	4.4
F	94.3	1.9	96.2	5.2	4.2
G	98.0	1.4	99.4	5.5	4.0
H	97.1	1.5	98.6	4.7	4.3
I	98.0	1.5	99.5	4.9	4.4
J	96.6	1.0	97.6	5.9	3.7
L	96.2	1.9	98.1	4.6	4.0
K	92.2	6.5	98.6	4.0	3.8
avg	95.7	1.9	97.5	5.2	4.4

2 分の 1(本システムの誤入力率の中央値/比較システムの誤入力率の中央値=1.0/1.9=0.52) 減少し，文字入力速度は 21.6%(本システムの文字入力速度の中央値/比較システムの文字入力速度の中央値=6.2/5.1 × 100=121.6%) 向上した。入力時間が中央値 0.6[sec] 減少していることから 20 文字入力すると，水平向の眼球運動を用いると垂直方向の眼球運動を用いた場合より 12.0 秒速く入力できる。次に本システムとオートスキャンシステムの各項目の中央値に差がないと仮定し，Mann-Whitney の U 検定を行った。その結果，正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度の p 値が 75%，75%，46%，0.4%となった。このことから正入力率，誤入力率，随意性瞬目の識別率に有意な差があるとはいえないが，文字入力速度に有意な差が生じている。検定結果から，本システムはオートスキャンシステムより文字入力速度が中央値 1.3[sec] 向上した。また，本システムの修正時間を図 2.10 に示す。

表 2.3: Experimental result by auto scan

participant	SR[%]	ER[%]	CR[%]	SP[letter/min]
A	96.5	0.0	96.5	5.7
B	99.5	0.5	100	5.4
C	96.5	2.7	99.1	5.6
D	89.0	3.4	98.8	4.3
E	93.8	5.0	98.0	4.1
avg	95.0	2.3	98.5	5.0

考察

本システムの方が比較システムより文字入力速度が向上した理由として，水平方向の眼球運動の方が垂直方向の眼球運動よりカーソルの操作性が向上したことと誤入力が減少したことが挙げられる。カーソルの操作性が向上したことの根拠として，入力時間で有意差が生じたことが挙げられる。また，誤入力率が減少した理由として，正入力率や随意性瞬目の識別率に有意差があるとはいえないことから，カーソル移動の操作性が向上したため，人為的なミスが減少したことが考えられる。誤入力率の低下は 0.9%と少ないが，本システムのような走査式の場合，誤入力した文字を削除し，再入力するには時間がかかる。実際，本システムでは，再入力時間が平均 10.3±4.6[sec] かかったことから，0.9%の減少でも有用であると考えられる。一方，誤入力率が 0.9%減少したが，正入力率に有意差が生じなかった理由として，正入力率の標準偏差が ±2.0%と誤入力率の減少に対して大きかったためと考えられる。次に本システムとオートスキャンシステムについて考察する。本システムの方がオートスキャンシステムより文字入力速度が向上した理由として，図 2.10 より修正時間に差が生じたことが挙げられる。オートスキャンシステムでは一定時間ごとに一定の方向にカーソルが動く。そのため，もし入力する文字間違え，再度正しい文字を入力する場合，カーソルが 1 巡するまで待たなければならない。本研究ではカーソルが 1 秒ごとに移動するため行選択画面で 11 秒，文字入力画面で 5 秒待たなければならない。しかし，図 2.10 より 1 回目，2 回目は本システムとオートスキャンシステムの修正時間と同等程度だが，3 回目以降はオートスキャンシステムの修正時間より本システムの修正時間の方が短

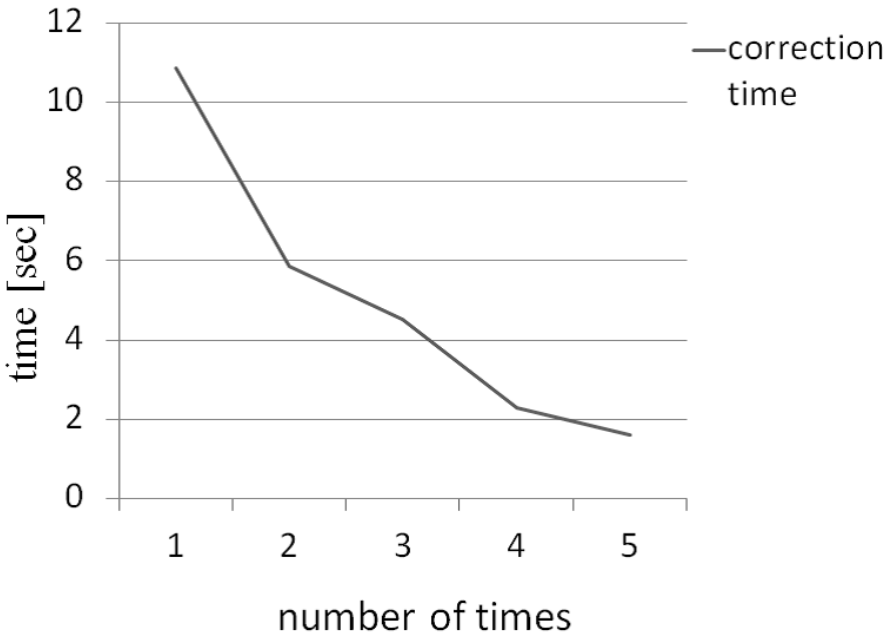


図 2.10: Correction times of letter by horizontal eye movements and voluntary eye blink

くなり，5 回目には平均 2 秒以内に文字を修正できていた。これらのことから，本システムは比較システムやオートスキャンシステムより有用である。

2.7.2　一組の電極のみを用いた場合

2.7.1 節では，2 組の電極を用いて随意性瞬目と水平方向の眼球運動を測定していたが，1 組の電極を用いて随意性瞬目と水平方向の眼球運動を測定する。

実験方法

実験は，20 代の健常な男性 5 名 (A〜E)，40 代男性 (F)，60 代男性 (G) に対して行う。また，入力する文字や正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度の計算は 2.7.1 節と同様に行う。電極の位置は，実際に使用する場合を考え，正確な位置は指定せず，目視で Ch1+ を Ch1- より上に配置した。

表 2.4: Experimental result by 1 couple

participant	SR[%]	ER[%]	CR[%]	SP[letter/min]
A	96.2	1.0	97.1	6.5
B	89.7	2.2	91.9	5.7
C	94.8	0	94.8	6.2
D	95.7	1.0	96.2	6.1
E	100	0	100	6.2
F	94.3	4.7	97.6	4.7
G	95.2	0.5	97.6	6.4
avg	95.1	1.3	96.5	6.0

実験結果

一組の電極を用いた場合の正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度を表 2.4 に示す。また，随意性瞬目を行った際に発生した電圧値と電圧比率を図 2.11，2.12 に示す。棒グラフ上の細線は標準偏差を表している。1 組の電極を用いた場合，2 組の電極を用いた場合の実験結果である表 2.1，表 2.4 の各項目の中央値に差がないと仮定し，Mann-Whitney の U 検定を行った。その結果，正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度の p 値が 45%，24%，40%，67%となり，正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度に有意な差があるとはいえなかった。次に比較システムと 1 組の電極による水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力装置の実験結果である表 2.2，表 2.4 の各項目の中央値に差がないと仮定し，Mann-Whitney の U 検定を行った。その結果，正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度の p 値が 55%，6%，31%，0.9%となり，正入力率，正識別率に有意な差があるとはいえなかったが，誤入力率に有意傾向，文字入力速度に有意差が生じた。この検定結果から，1 組の電極による水平方向の眼球運動を用いた文字入力装置の方が 2 組の電極による水平方向と垂直方向の眼球運動を用いた文字入力装置より誤入力率，文字入力速度が中央値 0.9%，1.1[letter/sec] 向上した。次に 1 組の電極を用いた場合，オートスキャンシステムの実験結果である表 2.3，表 2.4 の各項目の中央値に差がないと仮定し，Mann-Whitney の U 検定を行った。その結果，正入力率，誤入力率，正識別率，文字入力速度の p 値が 81%，

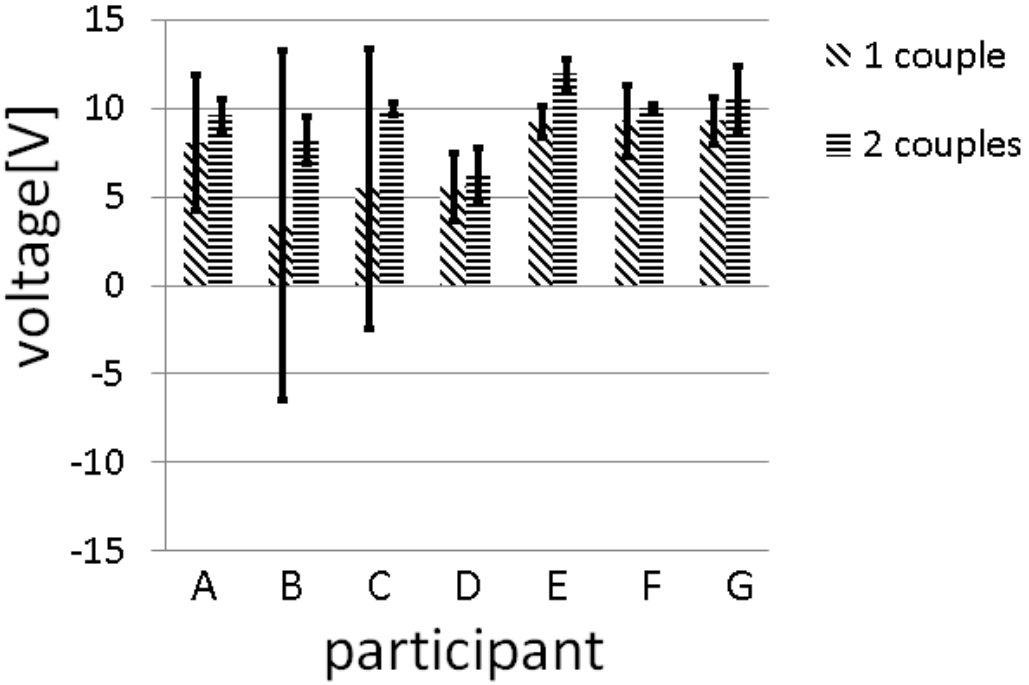


図 2.11: Voltage of each participant

46%，11%，2%となり，正入力率，誤入力率，正識別率に有意な差があるとはいえないが，文字入力速度に有意な差が生じた。このことから 1 組の電極による水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力装置の方がオートスキャンシステムより文字入力速度が中央値 1.3[sec] 向上した。

考察

2 組の電極を用いた場合と 1 組の電極を用いた場合の正入力率に有意な差がみられなかった理由として，被験者 B，C が随意性瞬目の正識別率が他の被験者と比較して著しく低下していることが挙げられる。この理由として，図 2.11 より B と C の被験者において 2 組の電極を用いた場合より 1 組の電極を用いた場合の方が随意性瞬目を行った際に得られる電圧値のばらつきが大きいことが考えられる。特に正識別率が低下している被験者 B，C は，1 組の電極を用いた場合の電圧値の標準偏差がそれぞれ± 9.9[V]，± 7.9[V] となり，2 組の電極を用いた場合の標準偏差± 1.3[V]，± 0.36[V] と比較してばらつきが大きい。これらのことから電圧値が 2 組の電極を用いた場合より 1 組の電極を用いた場合の方が随意性瞬目

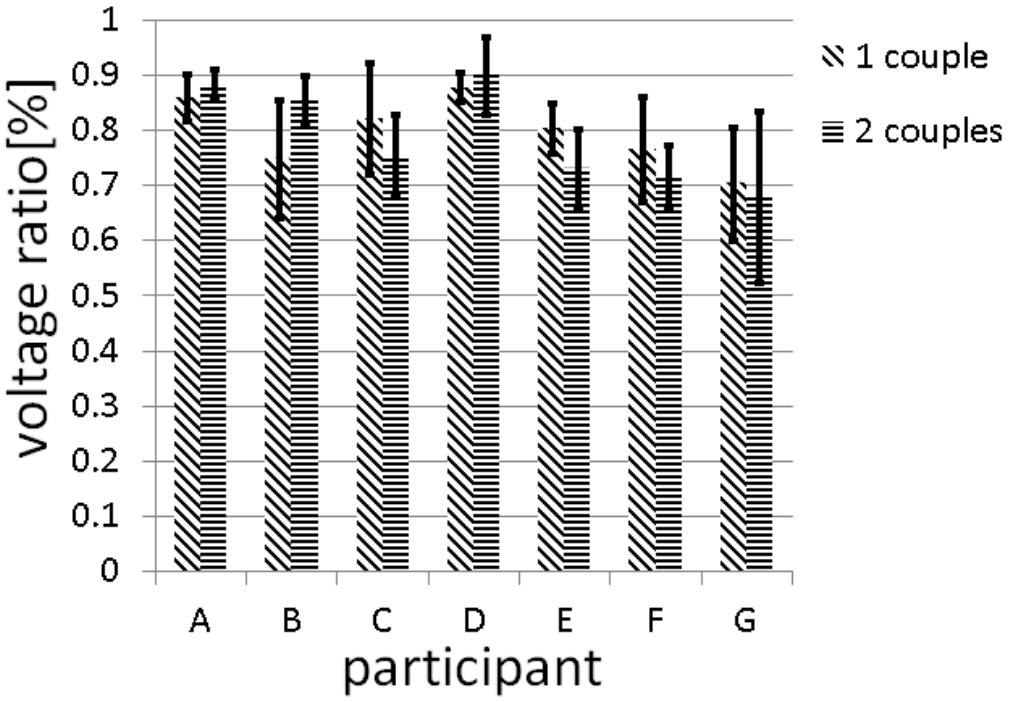


図 2.12: Voltage ratio of each participant

を行った際に発生する電圧が不安定であるため，正識別率が低下したと考えられる。電圧が不安定だった理由としては，随意性瞬目を行った際に電極がずれたことが挙げられる。2 組の電極を用いた場合，明らかに Ch2+が Ch2-の上に位置していたため，安定的に随意性瞬目の電圧値を取得できたが，1 組の電極を用いた場合，わずかでも Ch1+が Ch1-の下に位置すると図 2.13 のように電圧値が反転する。この反転が生じたために B と C の電圧値が不安定だったと考えられる。一方，図 2.12 より電圧比率のばらつきは 1 組の電極を用いた場合と 2 組の電極を用いた場合では大きな差は見られなかった。このことより電圧比率は提案手法においても安定的に取得できる随意性瞬目の特徴といえる。1 組の電極を用いた場合と 2 組の電極を用いた場合の誤入力率と文字入力速度に有意な差がみられなかった理由として，2 つのシステムで共通して水平方向の眼球運動のみを用いてカーソルを操作していることが挙げられる。この根拠として 1 組の電極を用いた場合と 2 組の電極を用いた場合の検定結果から正入力率と誤入力率，随意性瞬目の識別率，文字入力速度に有意な差がみられなかったことと 1 組の電極を用いた場合と比較システムの検定結果から誤入力率に有意傾向，文字入力速度に有意差が生じたことが挙げられる。1 組の電極による水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力装置の方がオートスキャンシステムより文字

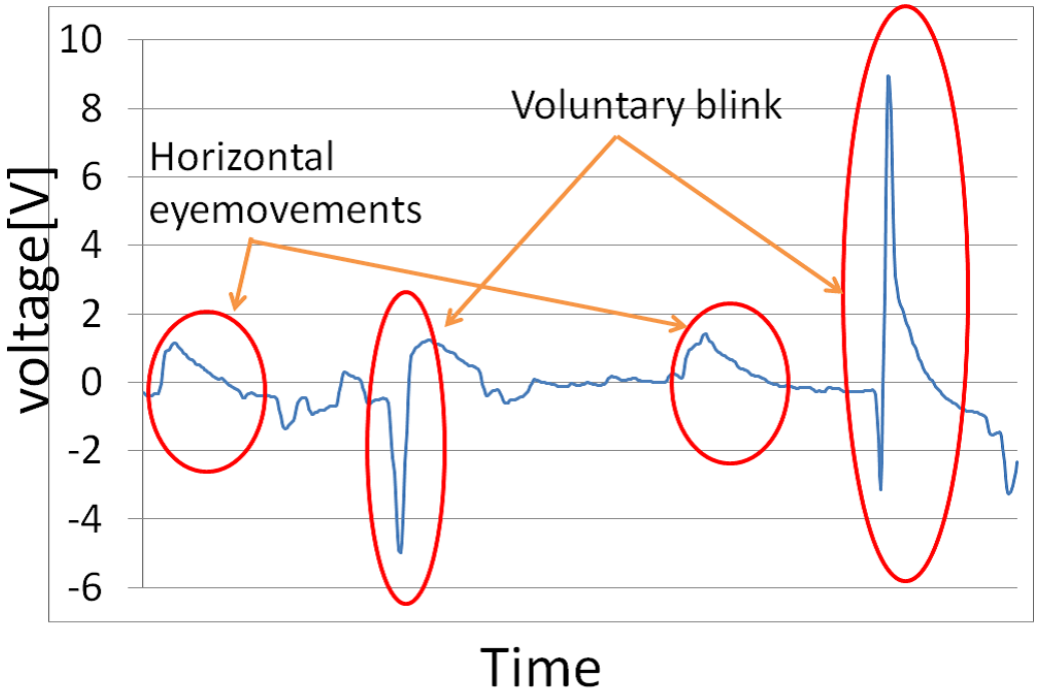


図 2.13: Example of experimental result

入力速度が向上した理由として，2 組の電極を用いた場合と同様の方法でカーソルを操作していることや図 2.10 から修正時間が短かったことが考えられる。以上から 1 組の電極による水平方向の眼球運動を用いた文字入力装置は従来研究 [26] より有用である。

2.8　おわりに

水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた高精度な意思伝達支援装置を提案し，従来研究 [24][26] と比較し，有用性を示した。また，使用者の負担やコストを削減するために 1 組の電極で水平方向の眼球運動と随意性瞬目を識別する手法を提案した。また，1 組の電極を用いた場合と 2 組の電極を用いた場合において正入力率，誤入力率，随意性瞬目の識別率，文字入力速度において有意な差がみられなかったことや 1 組の電極を用いた場合と比較システムにおいて誤入力率や文字入力速度に有意傾向，有意差が生じたことから従来研究 [24][26] より有効でかつ 1 組の電極で 2 組の電極を用いた場合と遜色がないシステムが構築できることを示した。また，この本研究で提案した 1 組の電極による水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いたシステムを用いることで使用者の負担の軽減，コストの削減が期

待できる。今後は，インタフェースの画面を改良し，使用者に負担の少ない視線入力インタフェースを構築していくことを目指す。

第 3章

可視光センサを用いた洗い場における転倒検知システム

3.1　はじめに

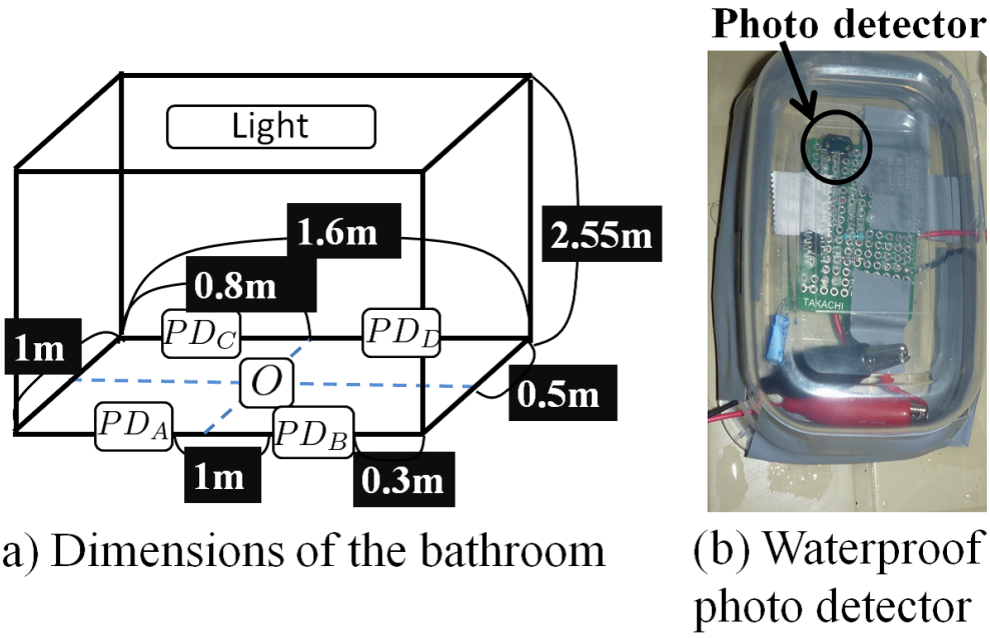
入浴中の推定年間死亡者数は約 14000 人と推定されており，交通事故の死亡者数より遥かに多い [38]。また，入浴中の死亡者の半分以上が 65 歳以上の高齢者であり，少子高齢化が進行している日本において，今後ますます入浴中の死亡事故が増加すると予想されている [39]〜[41]。この入浴中の死亡事故を防ぐには，未然防止対策が重要となるが，その一方で，事故が起きた場合に入浴者の状況などを医師や家族に知らせ，治療などを迅速に行うことも重要である。

これまで入浴中の事故が発生したことを知らせるシステムとしてはカメラや床センサ，赤外線センサ，超音波センサを用いた検知システムが研究，開発されている [42]−[48]。

カメラを用いた転倒検知システムは，カメラから取得した浴室内の画像から入浴者の挙動を判別する。高い検知率を誇るが，第三者が入浴者の姿を視認することができる画像データを用いて入浴者の挙動を判別するため，プライバシーの侵害が問題となっている。この問題を解決するために 1 次元の輝度値から人の位置を推定するシステムが提案されている [43]。しかし，未だ人の転倒の検知には至っていない。また，従来研究 [49] において室内にカメラを設置し，カメラから取得した動画から認知症患者を見守るシステムを開発しているが，プライバシーの観点からカメラを設置することに対して心理的抵抗を抱く人がおり，導入を反対されたという報告がある。そのため，従来研究 [49] ではプライバシーを保護するために録画機能の削除や入浴時などプライベート空間を使用する際にはカメラの電

源を切るなどの対策を行っている。これらのことから浴室などプライベート空間に設置するシステムの場合は，特にプライバシーに配慮したシステム設計が必要である。赤外線センサを用いた転倒検知システムは，プライバシーに配慮したシステムになっているが，25 個の赤外線センサを格子状に配置する必要があり，システムの容易性や運用性，保守性など様々な課題がある [48]。また，高齢者の転倒を検知するために床にかかる圧力を測定する床センサが開発されている [45]。しかし，未だ転倒の検知には至っていない。また，Near Field Imaging を用いた床センサ [46] を設置し，電界の変化から人の位置や転倒を検知するシステムが提案されている [47]。これらの床センサは，一般的なカメラと比較してプライバシーが保護される。しかし，床センサは一般的に高価 [50] であり，一般家庭に導入するのは困難である。また，小型の高分解能な超音波センサを用いた場合は，プライバシーが保護され，かつ設置が容易であるが，使用しているセンサが高価である（2012 年 1 月時点で一機 18 万 4000 円）ため，一般家庭への導入は難しい。そこで，本研究では低分解能な可視光センサを用いて従来研究 [48] より安価で，かつ同等以上の検知率を誇る浴室内における転倒検知システムを提案する。可視光を利用した光センサは単純な構造をしているため，一般に安価である。さらに一般にセンサは高分解能になるに従って，高価になるが，本研究で提案するシステムは 4 機の低分解能な可視光センサ（2012 年 1 月時点で 1 機 450 円）で構成されているため，コストを大幅に削減できる。また，本研究では可視光センサ四機の他にエミッタ出力回路とマイクロコントローラなどを用いているが，これらの装置のコストを合わせても 18000 円以下で提案システムを構築でき，これは従来研究 [48] の十分の一の価格である。ただし，計算機は本研究の方が従来研究 [48] より高性能かつ高価格であるが，提案システムは従来研究 [48] と同様の計算機で実装可能であるため，ここでは計算機の価格は考慮しない。また，小型（$8.5 \times 5 \times 4$cm) でかつ少数の可視光センサを浴室の洗い場の隅に設置し転倒を検知するため，入浴者は提案システムを設置した後も設置前と同様に浴室を使用でき，プライバシーも守られる。その一方で可視光センサは外光の影響を受けやすく，光源の方向や強さによっても出力が変化する。本研究では，外光やシャワー，湯気などのノイズが混入した場合や光源の強さや入浴者の位置が変化した場合に提案システムが受ける影響を調査する。また，従来研究 [48] と提案システムの転倒検知率を比較し，提案システムの有用性を示す。

本章は 3.2 節で提案システムの構成，想定している入浴者の動作，提案システムの動作原理，特徴量の抽出方法，転倒検知方法について説明し，3.3 節で浴室の洗い場で提案シ



(a) Dimensions of the bathroom　(b) Waterproof photo detector

図 3.1: Fall detections system using photodetector

ステムを実装し，シャワーや湯気などが可視光センサに与える影響について調査する。また，入浴者の位置や光源の強さ，外光が提案システムに与える影響について調査する。そして，提案システムと従来研究 [48] を比較し，有用性を示す。3.4 節でまとめと今後の展望を述べる。

3.2　提案システム

3.2.1　システムの構成

提案システムを図 3.1，3.2 に示す。また，図 3.1 の寸法は，3.3 節の実験を行った浴室を参考にしている。 可視光の強弱によって電圧が変化する図 3.3(a) の可視光センサ（浜松ホトニクス製 Si フォトダイオード S1133）PD_A, PD_B, PD_C, PD_D は洗い場の隅に設置する。ただし，浴室内で使用することを考え，PD_A〜PD_D に対して，図 3.1(b) のように防水加工を施した。また，本研究で用いるフォトダイオードは単純な構造をしているため，一般的に安価である。この四機の可視光センサから得た電圧を図 3.3(b) のエミッタ出力回路を用いて増幅した後，図 3.3(c) の CPU ボード（NEC エレクトロニクス製 QB-78K0KF2-TB) に

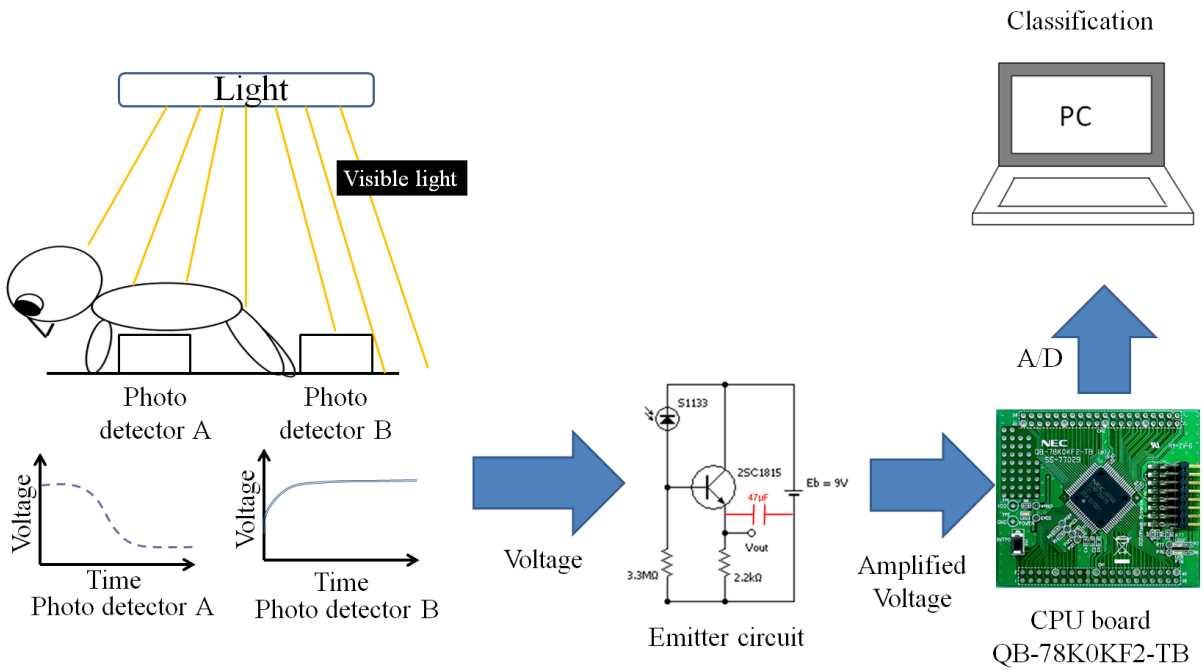


図 3.2: Proposed system

搭載されているマイクロコントローラ（NEC エレクトロニクス製 78K0/KF2) を用いてサンプル時間 $\Delta t = 0.05$sec で A/D 変換処理を行う。また，システムクロックが 20MHz，アナログ入力が 8ch，A/D 分解能が 10bit，A/D 変換時間が 13.2μs である。A/D 変換後の電圧値を計算機に入力して特徴量を抽出し，転倒動作を識別する。そして，転倒動作の結果を医師や親類に送信し，もし入浴者が危険な状態であれば，治療などの対応を迅速に行う。また，計算機の性能は，CPU が Intel Core i7 870 2.93Ghz, メモリが 16GB である。また，エミッタ回路やマイクロコントローラなどの周辺機器を合わせた提案システムの価格は約 18000 円で，従来研究 [48] と比較して 18000 円/18 万 4000 円 ≃1/10 の価格である。本研究で用いた計算機は従来研究 [48] より高性能かつ高価だが，従来研究 [48] と同様の計算機でも提案システムは構築できるため，計算機の価格は考慮しない。

3.2.2　入浴者の動作

洗い場で入浴者が行う動作には，立ち上がるや座り込むなどの安全動作（NA）と入浴者が怪我や死亡する可能性がある転倒などの危険動作（DA）がある。本研究で想定している動作は直立（UPR)，着座（SET)，物を拾う動作（PUO)，椅子から立ち上がる動作（SU)，

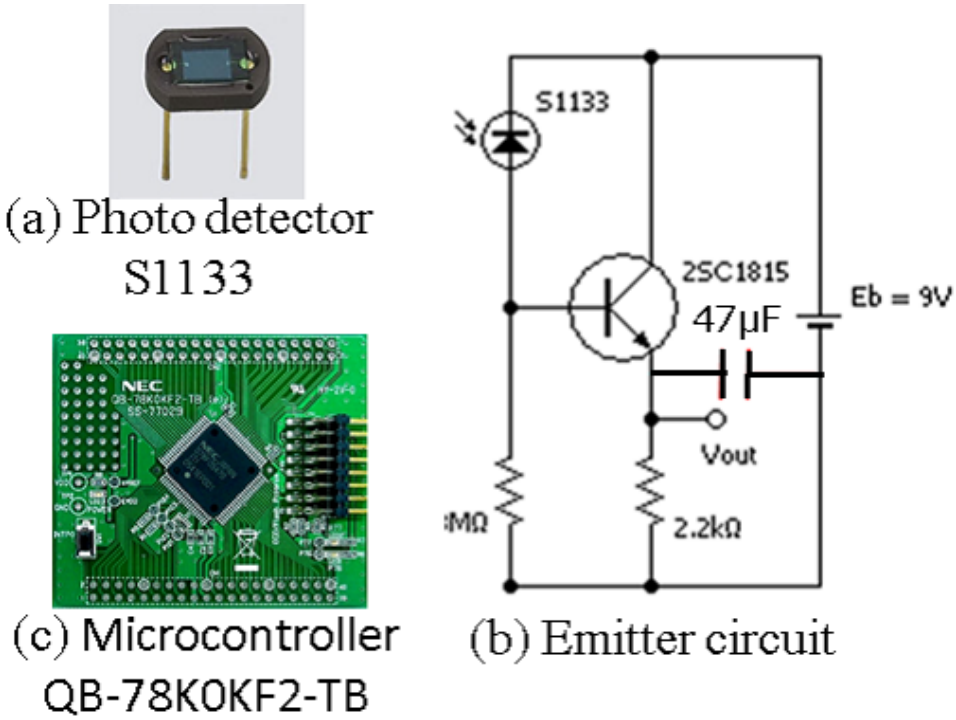


図 3.3: Devices for the proposed system

椅子に座る動作（SD) の五つの通常動作と直立状態から前方に倒れる（FF），直立状態から後方に倒れる（FB)，椅子に座り込む際に椅子から滑り落ちて仰向けに転倒する（FBS) の三つの危険動作である [48]（図 3.4(a)〜(h)）。さらに，危険動作には前転倒など前頭部を強打する動作（FH) や後ろ転倒，着座転倒など後頭部を強打する動作（BH）がある。FH と BH を検知し，医師や家族に怪我の状況を正確に知らせることで応急処置などの対応を迅速に行うことができる。危険動作には側部への転倒動作も考えられるが，浴室の幅は従来研究 [48] とほぼ同等であることから，本研究でも側部への転倒動作は起こり難いと考えられる。このことから側部への転倒は考慮しない。また，体を洗うなどの入浴行動は浴室内洗い場の中央部で行われることが多いため [48]，図 3.1 の中央 O 周辺で各動作を行う。

3.2.3　入浴者が動作した際に発生する電圧の変化

提案システムの動作原理を図 3.5 に示す。可視光センサは光源から照射される可視光線の強さに比例した光電流を発生させる。この光源から照射される可視光線は直進性を有しているため，可視光線の密度や強さは光源からの距離の二乗に反比例する。これらの原理か

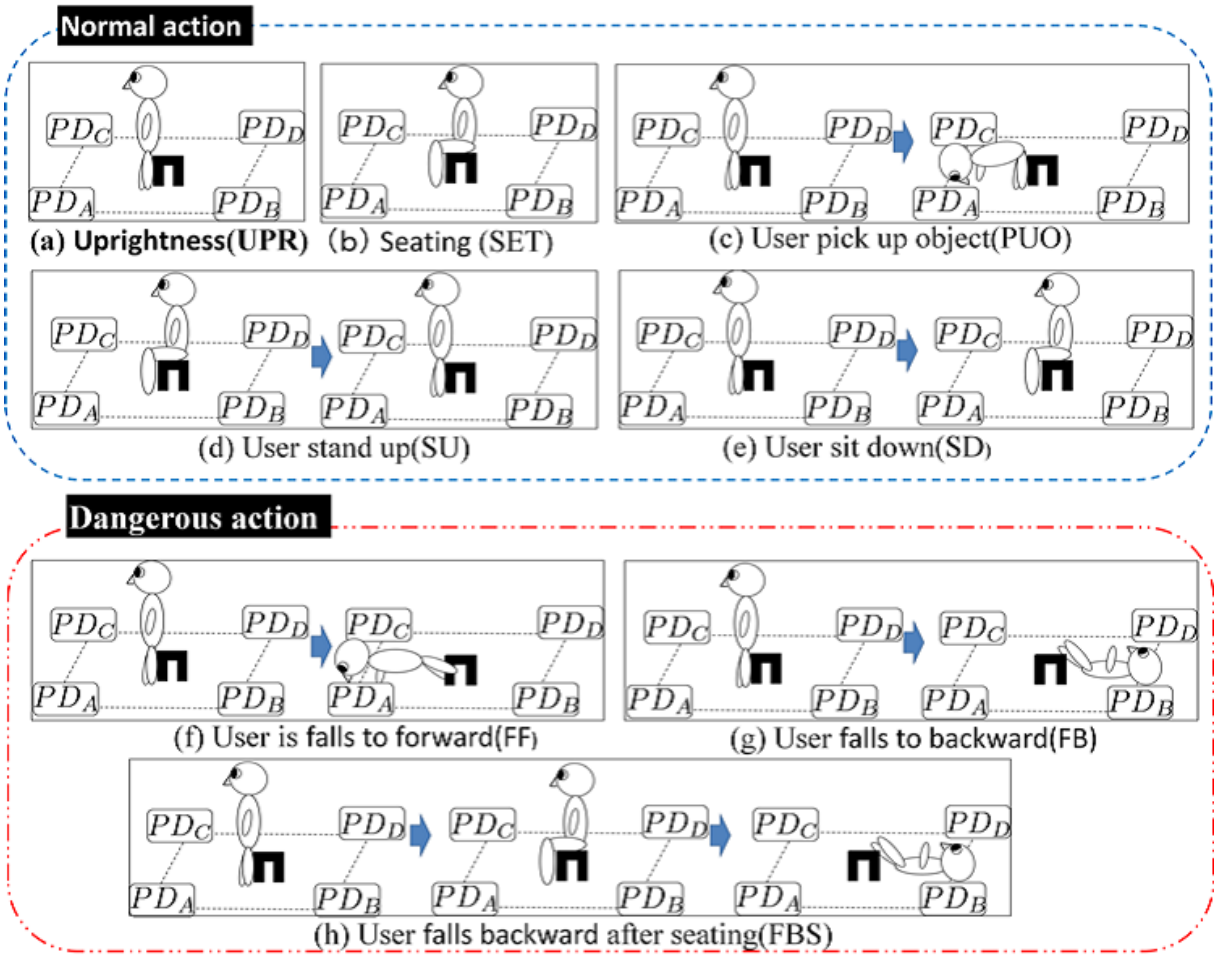


図 3.4: The target normal and dangerous actions

ら図 3.5 のように入浴者が手や足を動かし，可視光センサに照射される可視光線を遮ると電圧が下降し，入浴者の体で遮っていた可視光線が可視光センサに照射されると電圧が上昇する。また，可視光線を遮る物体が光源に近い程，その物体が作る影の面積は大きくなるため，入浴者の身長や体型が異なった場合，可視光線を遮る割合が異なる。転倒した際の電圧変化の例として実際の浴室を模した図 3.1 の中央 O で各動作を行った際の PD_A〜PD_D の電圧値を図 3.6 に示す。

(a)　(b) 着座の PD_A〜PD_D の電圧値よりそれぞれ平均 1mv，49mv，6mv，2mv 低い。

(b)　(a) 直立の PD_A〜PD_D の電圧値よりそれぞれ平均 1mv，49mv，6mv，2mv 高い。

(c)　最初は直立の PD_A〜PD_D の電圧値と同等だが，ものを拾う際に前方にかがむため，前方に影ができ，前方に位置する PD_A, PD_C がそれぞれ 13mv，18mv 下降する。反

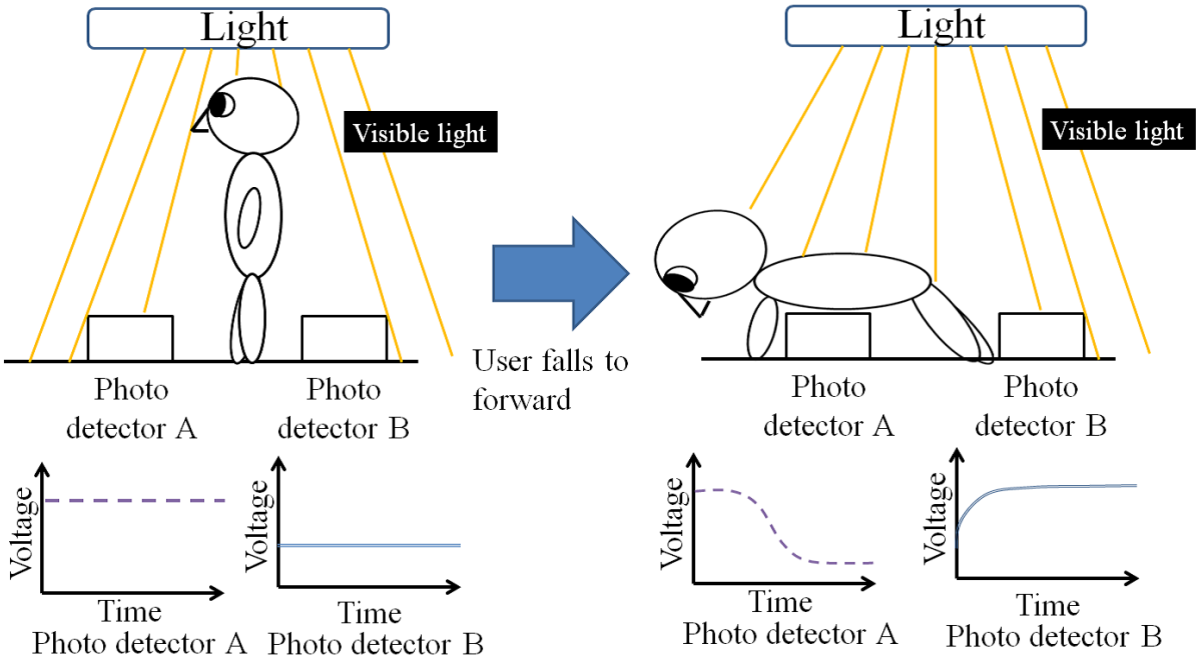


図 3.5: Electric voltages obtained from changing the visible light

対に後方に位置する PD_B , PD_D は上半身で遮られていた光が当たるため，電圧値がそれぞれ 40mv，3mv 上昇する。

(d)　最初は着座の PD_A〜PD_D の電圧値と同等だが，立ち上がる際に PD_A, PD_C の電圧値がそれぞれ 1mv，5mv 上昇し，直立することで着座の際に後方へ照射されていた可視光線を遮ることになるため，PD_B, PD_D の電圧値がそれぞれ 50mv，4mv 下降する。

(e)　最初は直立の PD_A〜PD_D の電圧値と同等だが，座り込む際に PD_A, PD_C の電圧値がそれぞれ 7mv，3mv 下降し，直立することで遮っていた可視光線が着座することで PD_B, PD_D に照射されるため，PD_B, PD_D の電圧値がそれぞれ 44mv，1mv 上昇する。

(f)　最初は直立の PD_A〜PD_D の電圧値と同等だが，入浴者が前に倒れこむと前方に影ができ，前方に設置した PD_A, PD_C の電圧値がそれぞれ 52mv，3mv 下降する。一方，後方に設置した PD_B, PD_D は上半身で遮られていた可視光線が照射されるため，電圧値がそれぞれ 38mv，8mv 上昇する。

(g)　最初は直立の PD_A〜PD_D の電圧値と同等だが，入浴者が後ろに倒れこむと後方に影ができ，後方に設置した PD_B, PD_D の電圧値がそれぞれ 31mv，64mv 下降する。一

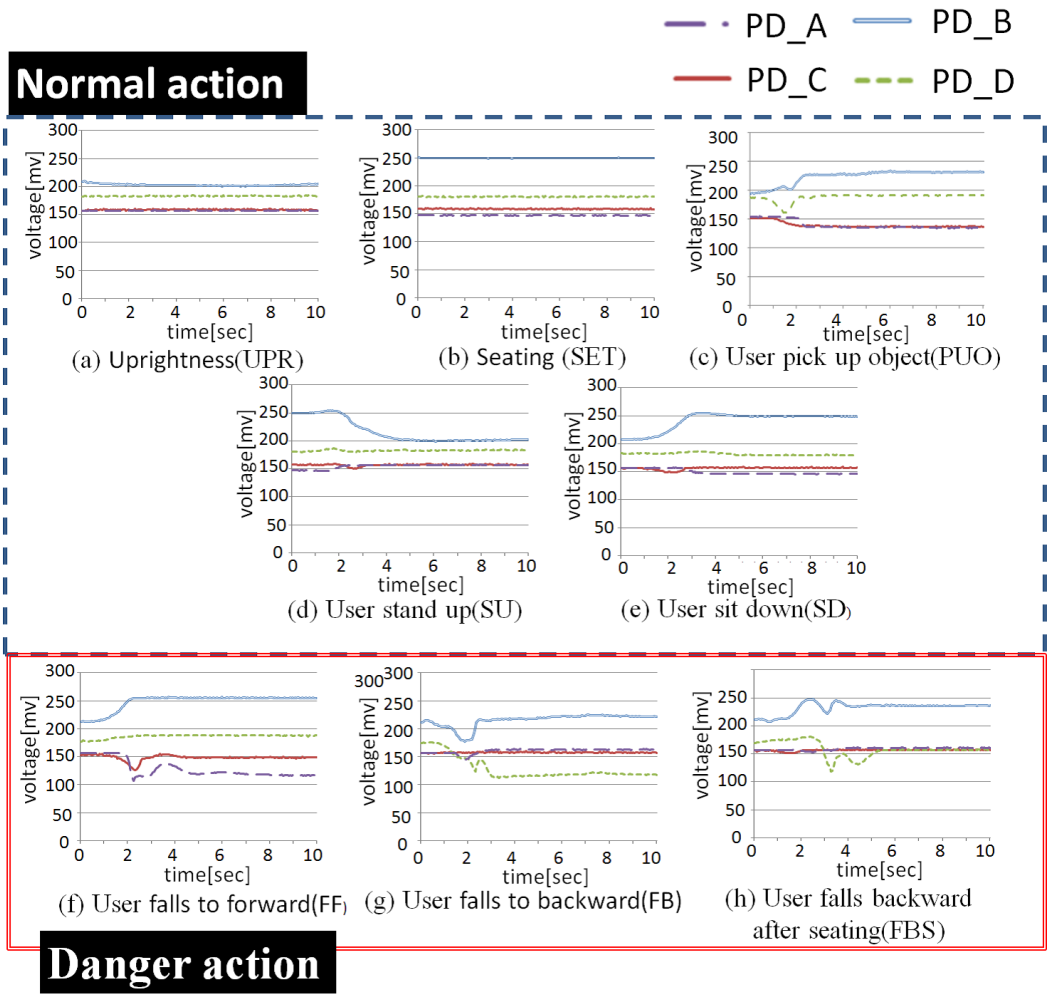


図 3.6: Electric voltages obtained from the normal and dangerous actions

方，前方に設置した PD_A, PD_C は上半身で遮られていた可視光線が照射されるため，電圧値がそれぞれ 3mv，1mv 上昇する。

(h)　最初は直立の PD_A〜PD_D の電圧値と同等だが，座り込むと PD_A, PD_C の電圧値がそれぞれ 1mv，2mv 下降する。一方，直立で遮っていた可視光線が PD_B, PD_D に照射されるため，PD_B, PD_D の電圧値がそれぞれ 38mv，5mv 上昇する。その後，後ろに倒れこむ際に後方に影ができ，後方に設置した PD_B, PD_D の電圧値がそれぞれ最大 24mv，66mv 下降する。一方，前方に設置した PD_A, PD_C は上半身で遮られていた可視光線が照射されるため，電圧値が 1mv，2mv 上昇する。

光源から照射される可視光線の強さが異なった場合においても光源の方向と入浴者の動作位置が同一ならば，得られる電圧の強さは異なるが動作毎に遮る可視光線の方向は変わ

らないため，PD_A〜PD_D の電圧値の変動傾向は変わらない。光源以外に窓や出入り扉から可視光線（外光）が差し込む場合，人体は二つの光源から照射される可視光線を遮るため，電圧値の変動傾向が変化することが予想される。また，浴室内にある鏡は可視光線が照射されると照射された角度と同じ角度で反射することから外光が差し込む出入り扉や窓などと同様に一定の方向から外光が差し込む物体とみなすことができる。この外光が提案システムに与える影響は 3.3 節の実験で述べる。また，光源の方向や入浴者の位置が異なった場合，遮る可視光線の方向が変化するため，PD_A〜PD_D の電圧値の変動傾向は変化する。この電圧値の変動傾向が変化した際に提案システムが受ける影響については，同じく 3.3 節の実験で述べる。

3.2.4　特徴量抽出

可視光センサは可視光線の強弱によって電圧が変化し，例えば，PD_A の上に人が立ち上がった場合，人の体によって光源からの可視光線が遮られるため，PD_A から得られる電圧は降下する。この電圧の変化を利用して，人の動作を識別する。本研究ではこの電圧の変化を HOG（Histograms of Oriented Gradients）[51] を用いて抽出する。HOG は人物や物体の大まかな形状を把握することができる画像処理の方法である。本研究ではこの HOG を拡張し，画像ではなく四機の可視光センサが取得した電圧値に適応できるようにする。この HOG を用いることにより T 秒間の電圧の大まかな変化を把握することができる。具体的な手順は，まず，Δt 秒毎に取得した T(=10) 秒間の PD_A〜PD_D 電圧値 v_{Ai}〜$v_{Di}(i = 0, 1, 2, \cdots, 200)$ を取得する。次にこの電圧値 v_{Ai}〜v_{Di} を用いて勾配強度 $f_A(i)$〜$f_D(i)$ と勾配方向 $\theta_A(i)$〜$\theta_D(i)$ を求める。

$$f_p(i) = \sqrt{\Delta t^2 + f_{pv}(i)^2} \tag{3.1}$$

$$\theta_p(i) = \tan^{-1}\frac{f_{pv}(i)}{\Delta t} \tag{3.2}$$

$$f_{pv}(i) = v_{pi} - v_{p(i-1)}$$

ただし，$p = A, B, C, D$ である。-90 °から 90 °までの勾配方向を K(=18) 方向に量子化し，勾配ヒストグラム $h_A(\acute{\theta})$〜$h_D(\acute{\theta})$ を作成する。

$$h_p(\acute{\theta_j}) = \sum_{i=0}^{T/\Delta t} f_p(i)\delta[\acute{\theta_j}, \theta_p(i)](p = A, B, C, D) \tag{3.3}$$

δ は Kronecker のデルタ関数であり，勾配方向 $\theta(i)$ を量子化した際に，量子化勾配方向 $\acute{\theta}_j(j = 1, \cdots, K)$ と一致した場合に 1 を返す。この勾配ヒストグラム $h_A(\acute{\theta}_j)$〜$h_D(\acute{\theta}_j)$ を一つのセルとして扱い，それぞれ組み合わせ（ブロック化し），正規化する。例えば，$\mathrm{PD_A}$ と $\mathrm{PD_B}$ を組み合わせて正規化を行うと式（3.4）になる。

$$\acute{h}_{AB}(\acute{\theta}_j) = \frac{\acute{\theta}_j}{\sum_{i=1}^{K} h_A(\acute{\theta}_i) \sum_{j=1}^{K} h_B(\acute{\theta}_i)} \tag{3.4}$$

これを $(\mathrm{PD_A}, \mathrm{PD_C})$, $(\mathrm{PD_A}, \mathrm{PD_D})$, $(\mathrm{PD_B}, \mathrm{PD_C})$, $(\mathrm{PD_B},$
$\mathrm{PD_D})$, $(\mathrm{PD_C}, \mathrm{PD_D})$ の場合も式（3.4）と同様に正規化する。正規化後の特徴ベクトルは $K(= 18)$　$\times 2$(要素数) $\times 6$ (組み合わせ数) $= 216$ 次元である。この正規化することによって，$(\mathrm{PD_A}, \mathrm{PD_B})$ などの PD 間の関係を表現できる。また，この正規化を行うことで照度の線形的な変化に強くなることが期待される。

3.2.5　転倒検知

式（3.1）〜（3.4）で求めた特徴ベクトルを教師あり機会学習アルゴリズムに入力し，転倒動作を識別する。この教師あり機会学習アルゴリズムは，入出力関係（例えば，安全動作と危険動作時の特徴ベクトル）が判明しているトレーニングデータを予め学習し，未知の特徴ベクトルが入力された際に最も類似している特徴ベクトルを持つカテゴリに分類する。教師あり機械学習アルゴリズムには，Randomized tree を用いる。この Randomized tree はアンサンブル学習の一つで高い識別率を誇る。Randomized tree は以下の手順で学習を行う。

1. N 個の入出力関係が判明している特徴ベクトルを復元抽出し，トレーニングデータを生成する。
2. k 次元の特徴ベクトルから $i(= \sqrt{k})$ 変数をランダムで選択する。
3. 1，2 で生成したトレーニングデータと選択された変数を用いて決定木を生成する。
4. 1〜3 を T 回繰り返す。

決定木は CART から生成する。この Randomized tree に未知の特徴ベクトルを入力すると T 個の識別結果が出力され，この T 個の識別結果を多数決し，転倒動作を識別する。ま

(a) Washing place　　(b) Bathtub

図 3.7: The appearance of the bathroom

た，N 個の特徴ベクトルは予め第三者が安全動作と危険動作を合わせて N 回行い，その際に取得した PD_A〜PD_D の電圧値から式（3.1）〜（3.4）を用いて算出する。

この Randomized tree を用いて浴室内の動作を識別した結果，危険動作と識別された場合，医師や親類に浴室内の状況を送信し，親類や医師が治療などの対応を迅速に行う。

3.3　提案システムの評価

3.3.1　シャワーや湯気などが可視光センサへ与える影響を検証

実験方法

提案システムを浴室の洗い場（図 3.7(a)）で実装し，シャワーや泡，湯気の影響を調べる。天気は晴れ時々曇り，実験時間は 15:00〜16:00，気温は 17.2 ℃である。また，PD_A〜PD_D を設置した場所の照度は 397lx，587lx，401lx，639lx である。照度は照度計（T&D CORPORATION 製 PHR-51）を用いて測定した。

まず，湯気やシャワーによる影響を調べるため，浴室の中央で 10 分間シャワーを使用する。また，シャワーから出る水の温度は 40 ℃に設定した。測定する環境は，完全に密閉し

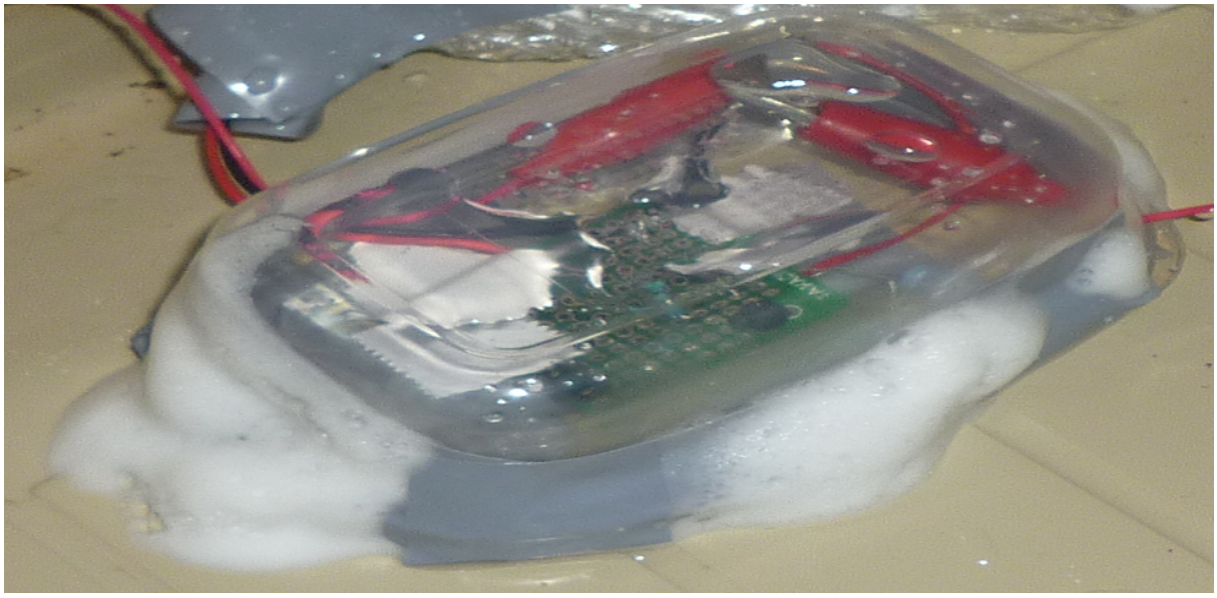


図 3.8: The bubbles attached to a waterproof photodetector

た浴室と換気扇を回した状態の浴室である。次に石鹸やシャンプーなどの洗剤を使用した際に出る泡の影響を調べる。各 PD は洗い場の隅に設置するため，PD の上部に付着するより側面に付着する可能性が高いと考えられる。そのため，泡は PD の側面に付着させる（図 3.8）。

実験結果

密閉した浴室の中心でシャワーを 10 分間使用した際に得られた電圧の差分値を図 3.9 に示す。また，実験前の湿度は 52% ，実験後の湿度は 80% である。

図 3.9 より，+1mv〜-1mv の間で電圧が変動している。また，時間と共に若干電圧が降下した。次に換気を行った浴室の中心でシャワーを 10 分間使用した際に得られた電圧の差分値を図 3.10 に示す。実験前の湿度は 67% ，実験後の湿度は 82% である。

図 3.10 より，+1mv〜-1mv の間で電圧が変動している。また，時間と共に若干電圧が降下した。最後に泡を側面につけた場合の PD の電圧値を測定したが，特に PD の電圧値に変化は見られなかった。また，PD は実験終了後も実験前と同様に使用できた。

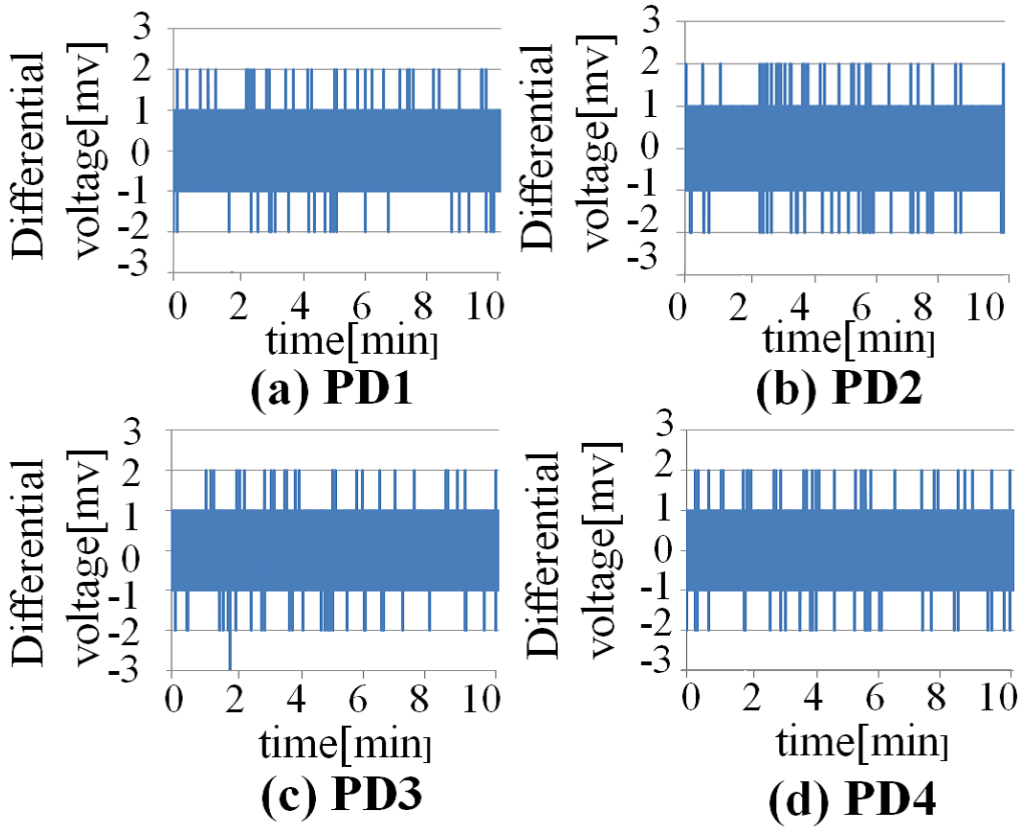


図 3.9: Differential values of the voltages measured in a steam filled bathroom

考察

図 3.9，3.10 より，湿度が上昇しても電圧値の変動幅は変わらなかった。電圧値の変動幅も動作の際に発生する電圧値の変動幅の 1/15 程度であるため，提案システムに与える影響は少ないと考えられる。また，時間ともに PD の電圧が降下した理由は，PD の周囲に取り付けた透明なケースと外気の間で温度差が生じ，ケースの表面が曇り，PD に照射される光量が減少したためだと考えられる。しかし，本研究では電圧の変化を特徴量として抽出し，動作を検知することから PD の緩やかな電圧降下が提案システムに与える影響は少ないと考えられる。また，本研究では窓がある浴室で 10 分間× 2 回測定したが，外光による急激な変動は見られなかった。この結果と入浴者の約 7 割が入浴時間が 30 分以内であることから [52]，可視光センサを用いた場合でも安定的に使用できると考えられる。また，浴室の中央でシャワーを十分間使用していたが，電圧の変動が少ないことからシャワーが与える影響も少ないと考えられる。また，泡が与える影響も少ない。

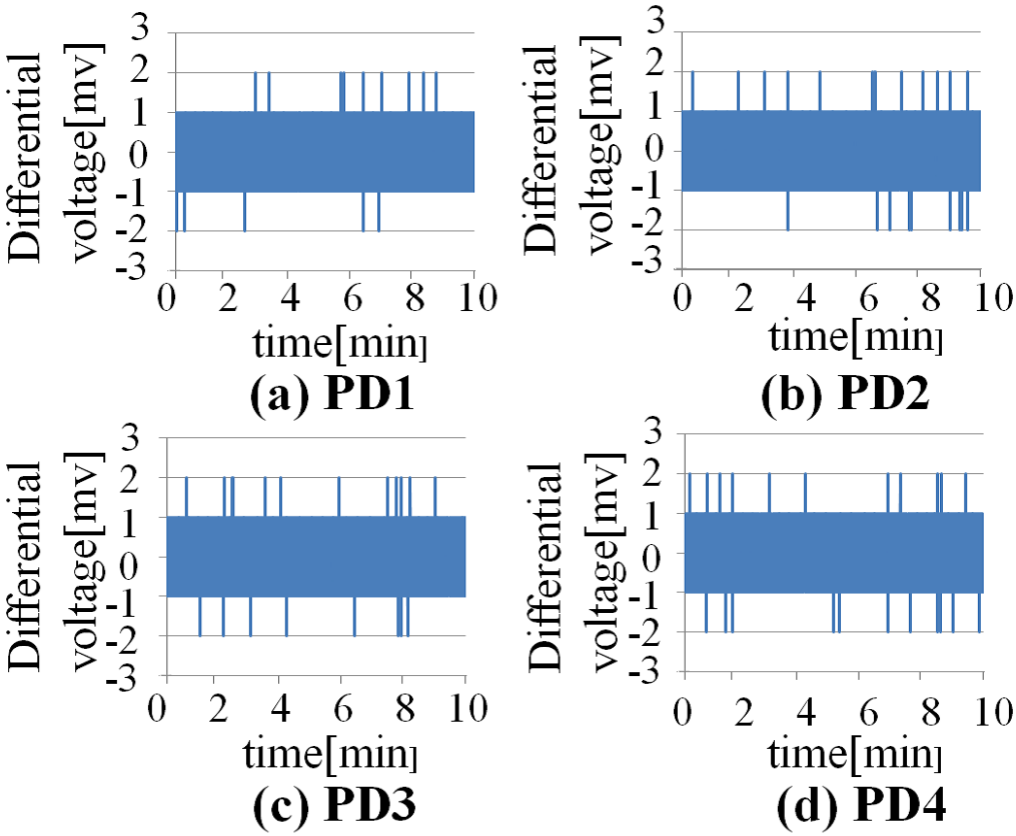


図 3.10: Differential values of the voltages measured in a well-ventilated bathroom

3.3.2　従来研究との比較

実験方法

実験は，研究室内で行う。研究室内で図 3.1 の提案システムを構築し，被験者に PD_A ～PD_D の中心 O で各動作を 5 回ずつ行ってもらう。なお，図 3.1 の寸法および照度は 3.3 節で実験を行った浴室を参考にした。本実験の PD_A～PD_D を設置した場所の照度はそれぞれ 358lx，533lx，428lx，620lx である。この値は各 PD の設置場所にて 10 回ずつ測定した照度の平均値である。また，温度は 21.2 度，湿度は 19.4% である。また，動作は実験開始から十秒以内に行なってもらう。ただし，状態を変化させる時間（例えば，立ち上がり動作の場合，着座状態から立ち上がるまでの時間）は特に指定はしない。被験者が任意の時間で状態を変化させることによって実際の状況に近づけることができる。被験者は 20 代の健常者の男性 19 名，女性 1 名であり，身長別に分類すると 160～164cm が 2 名，165～169cm が 9 名，170～174cm が 3 名，175～179cm が 4 名，180～184cm が 2 名である。

表 3.1: Average detection rates for normal action (NA) and dangerous action (DA) [%]

	NA	DA	avg
previous study	95.2	98.4	96.8
this study	98.0	96.7	97.3

そして，動作した際に生じた電圧値から特徴量を抽出し，Randomized tree を用いて動作を検知する。まず，安全動作 (NA) と危険動作 (DA) を検知する。次に危険動作を細分化し，怪我をした箇所を検知する。具体的には前転倒を前頭部を強打する動作 (FH) と後ろ転倒，着座転倒を後頭部を強打する動作（BH) とし，NA，FH，BH を検知する。ただし，従来研究 [48] は FH，BH に分類した結果がなかったため，従来研究 [48] の前転倒，後ろ転倒，着座転倒の検知率，誤検知率から $\acute{\mathrm{FH}}$, $\acute{\mathrm{BH}}$ を算出した。

$$\acute{FH} = \acute{FF} \tag{3.5}$$

$$\acute{BH} = \frac{(\acute{FB} + E_{FB,FBS}) + (\acute{FBS} + E_{FBS,FB})}{2} \tag{3.6}$$

ここで $\acute{FF}$, $\acute{FB}$, $\acute{FBS}$ は従来研究 [48] の前転倒，後ろ転倒，着座転倒の検知率，$E_{FB,FBS}$ は FB を FBS と誤検知した割合，$E_{FBS,FB}$ は FBS を FB と誤検知した割合である。最後に 8 動作を検知する。検知率には適合率と再現率の調和平均である F 値を用いる。評価方法には，一人をテストデータ，それ以外をトレーニングデータとする 20fold-cross-validation を用いる。

実験結果

安全動作 (NA) と危険動作 (DA) を検知した結果を表 3.1 に示す。また，安全動作 (NA)，前頭部を強打する動作（FH），後頭部を強打する動作（BH) を検知した結果を表 3.2 に示す。表 3.1，3.2 を考察するためにさらに細分化し，8 動作に分類すると表 3.3 になる。表 3.3 の横軸が被験者が実際にした動作，縦軸がシステムが検知した動作である。表 3.3 より，従来研究 [48] と比較して，直立状態が 6.4%，前転倒が 14.5%，後ろ転倒が 4.4%，座り込み転倒が 13.6% 向上し，着座状態が 6.3%，物を拾う動作が 10.9%，立ち上がる動作が 8.1%，座り込み動作が 14.9% 減少し，平均 0.2% 減少した。次に表 3.1 の結果を身長別に分類した結果を表 3.4 に示す。

表 3.2: Average detection rates for NA, forward head (FH), and backward head (BH) [%]

	NA	FH	BH	avg
previous study	95.2	80.0	89.6	88.3
this study	98.2	93.5	98.8	96.8

表 3.3: F-measure of each action[%]

	UPR	SET	PUO	SU	SD	FF	FB	FBS
UPR	75.6	19.4	0	2.0	2.9	0	0	0
SET	21.9	78.6	0	0	1.0	0	0	0
PUD	0	0	83.7	2.0	14.6	1.0	0	0
SU	0	0	3.1	91.4	5.9	1.0	0	0
SD	3.0	0	9.2	3.0	73.2	6.8	1.0	2.0
FF	0	0	2.0	0	1.0	94.2	0	0
FB	0	0	0	0	2.9	0	76.3	22.4
FBS	0	0	0	0	1.0	0	19.6	78.0

考察

表 3.1 から従来研究 [48] と比較し，検知率がほぼ同等だった理由として，従来研究 [48] の検知率が平均 96.8% ともともと高かったためと考えられる。

次に表 3.2 において安全動作，前頭部を強打する動作，後頭部を強打する動作を識別した際の検知率が 3.0% ，13.5% ，9.2% 向上し，平均で 8.5 %向上している。この結果から従来研究 [48] より正確に怪我の状況を把握できているといえる。正確に怪我の状況を把握

表 3.4: Classification of action by height[%]

	160cm	165cm	170cm	175cm	180cm
normal and danger	98.7	98.0	94.7	96.7	97.4

できた理由として，従来研究 [48] では十秒間の超音波センサから被験者の頭までの距離値と距離値の変化度から転倒を検知していたが，可視光センサは人の影の濃さで判断しているため，人の動き全体の変化を捉えていることが挙げられる。最後にさらに細分化し，8 動作を検知した安全動作を危険動作，危険動作を安全動作と誤検知した動作について考察する。この理由として，本研究では HOG 特徴量を用いて電圧の変化を抽出し，各動作を検知しているが，図 3.6 より安全動作は危険動作と比較して電圧の変化が少なく，危険動作と比較して変化度を抽出し難かったからだと考えられる。また，HOG はヒストグラムで電圧の変化を表しているため，大まかな電圧の変化は把握できるが，例えば，着座転倒と後ろ転倒のように細かい動作の違いでは電圧の変化の違いも少なく，把握しにくいことも理由として挙げられる。また，安全動作を危険動作と誤検知した主な動作は，物を拾う動作や座り込み動作を前転倒と誤検知した場合と座り込み動作を後ろ転倒，着座転倒と誤検知する場合だった。図 3.6 より，物を拾う動作，座り込み動作，前転倒は前方に影ができ，上半身で遮っていた可視光が後方に設置した PD_B, PD_D に照射される動作である。そのため，座り込み動作，前転倒が互いに誤検知したと考えられる。また，座り込み動作が後ろ転倒，着座転倒と互いに誤検知した理由として床に倒れると再び PD_B, PD_D に可視光線が照射され，この電圧の上昇が座り込む際の電圧の上昇と類似していたことが考えられる。また，従来研究 [48] では十秒間の時系列データを N 次元のベクトルとして入力しているため，個人差により転倒する時間や状態を変化させる時間が異なると検知率が格段に下がる可能性がある。しかし，本研究では HOG を用いて十秒間のデータを時系列データとは扱わず，データの集合として捉えているため，10 秒間の間のどこに倒れても対応でき，従来システムより柔軟に検知できる。さらに，後頭部には重要な器官が多く，強打すると最悪死に至る場合もある。そのため，後頭部の識別率が従来研究 [48] より約 9% 向上したことは有用であると考えられる。

身長が高くなるに従って，光を遮る面積も大きくなり，転倒の検知率に影響を与えると予想したが，表 3.4 より，単調増加や単調減少などの規則性がみられなかったことから，入浴者の身長による影響は少ないと考えられる。

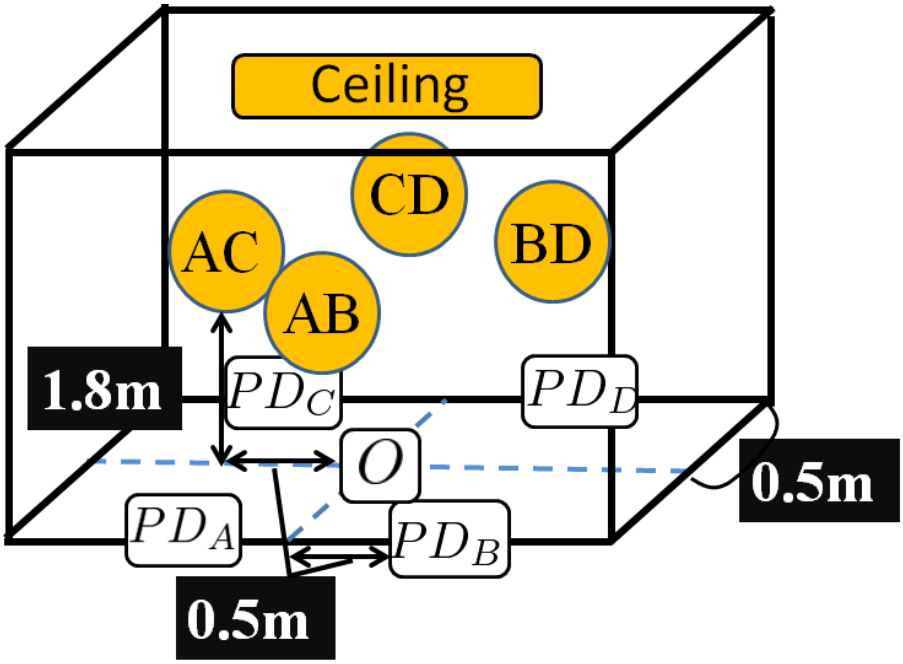


図 3.11: The light position changes in experimental environment

3.3.3　外光が提案システムに与える影響

実験方法

3.3 節と同様に研究室内で図 3.1 の提案システムを構築する。3.3 節の実験と異なる点は，外光が PD_A〜PD_D の間から照射されることを想定し，光源 xy（(x,y)=(A,C)，(B,D)，(A,B)，(C,D)）を追加した点である。光源の位置を図 3.11 に示す。光源 xy（(x,y)=(A,C)，(B,D)，(A,B)，(C,D)）は PD_x，PD_y から 0.5m の距離，床から 1.8m の高さに設置する。また，各光源における PD_A〜PD_D を設置した場所の照度を表 3.5 に示す。実験は，光源 Ceiling と光源 AC，または BD，AB，CD が点灯している状態で被験者に PD_A〜PD_D の中心 O で各動作を 5 回ずつ行ってもらう。また，光源 Ceiling のみが点灯している状態で各動作を 5 回ずつ行ってもらう。また，被験者は 20 代の男性 5 名である。

動作は実験開始から十秒以内に行なってもらう。ただし，状態を変化させる時間（例えば，立ち上がり動作の場合，着座状態から立ち上がるまでの時間）は特に指定はしない。そして，動作した際に生じた電圧値から HOG 特徴量を抽出し，抽出した HOG 特徴量を Randomized tree に入力し，動作を検知する。評価方法には，テストデータに光源 z（z=AC，BD，AB，CD）における 5 人分の動作データ，トレーニングデータに光源 Ceiling におけ

表 3.5: Illuminance by changing light position[lx]

	PD_A	PD_B	PD_C	PD_D
Ceiling	571	767	416	646
AC	681	776	558	661
BD	653	810	461	689
AB	690	801	406	647
CD	630	783	504	678

る 5 人分の動作データを用いて検知率を求める（評価 1)。また，光源 z（z=AC，BD，AB，CD）における 5 人分の動作データのうち一動作をテストデータとし，光源 z（z=AC，BD，AB，CD）におけるテストデータ以外の 5 人分の動作データと光源 Ceiling における 5 人分の動作データを用いて検知率を求める（評価 2)。評価 1 は未知の窓の位置から外光が照射された場合の検知率である。また，評価 2 はトレーニングデータに外光が照射された際の動作データを用いているため，既知の窓の位置から外光が照射された際の検知率である。そのため，同一の人が同一の動作を未知の窓から外光が照射された際に行った評価 1 と同一の人が同一の動作を既知の窓から外光が照射された際に行った評価 2 の結果を比較することで，外光が照射された際に提案システムが受ける影響を調査できる。検知率には適合率と再現率の調和平均である F 値を用いる。

実験結果

評価 1，評価 2 の結果を表 3.6，3.7 に示す。 表 3.6，3.7 より評価 1 の方が評価 2 と比較して，検知率の平均が 1.9% 減少した。また，光源の位置を変化させた際に PD_A〜PD_D から得られる電圧の変化例を図 3.12 に示す。図 3.12 より，例えば PD_A〜PD_D の実験開始時の電圧が光源 AB の方が光源 CD より NA で 16mv，33mv，-28mv，-12mv ，FH では 16mv，28mv，-36mv，-18mv，BH では 23mv，31mv，-21mv，-4mv 増加しており，それぞれの光源に近い可視光センサから得られる電圧値が高くなっている。しかし，動作を行った際の電圧値の変動の傾向は変わらなかった。

表 3.6: Average detection rates for NA, FH, and BH by outside light[%]

	NA	FH	BH	avg
AC	98.0	91.7	99.0	96.2
BD	96.9	81.8	100	92.9
AB	96.5	89.8	95.8	94.0
CD	96.8	90.9	96.9	94.9
avg±sd	97.0±0.7	88.5±4.6	97.9±1.9	94.5±1.4

表 3.7: Average detection rates for NA, FH, and BH by studying light position[%]

	NA	FH	BH	avg
AC	99.6	98.0	100	99.2
BD	97.3	84.4	100	93.9
AB	97.6	87.0	100	94.9
CD	98.8	93.9	100	97.6
avg±sd	98.2±1.1	90.0±6.2	100±0	96.4±2.4

考察

評価 1 の検知率が評価 2 の検知率と比較して平均 1.9% 減少した。しかし，評価 2 の平均検知率の標準偏差が ±2.4% であり，減少した割合より平均値のばらつきの方が大きいことから未知の窓の位置から外光が照射された場合においても提案システムの検知率に与える影響は少ないと考えられる。この理由として，変化度のみから動作を検知していることが考えられる。図 3.12 より，光源に近い可視光センサの電圧値が高くなっているが，動作を行った際の電圧値の変動の傾向は変わらなかった。これらの理由と HOG 特徴量が変化度を算出し，算出した変化度を正規化し，線形的な照度の変化に頑強な特徴量であることから，光源の位置が変化した場合の影響が少なかったと考えられる。また，表 3.5〜3.7 よりそれぞれ照度の強さが異なった場合においても識別率が同等であったことから可視光線の強さの変化が提案システムの転倒検知率に与える影響は少ないと考えられる。また，表 3.7 において 100%ではなく，96.4% になった理由は同一の人が同一の動作を行った場合で

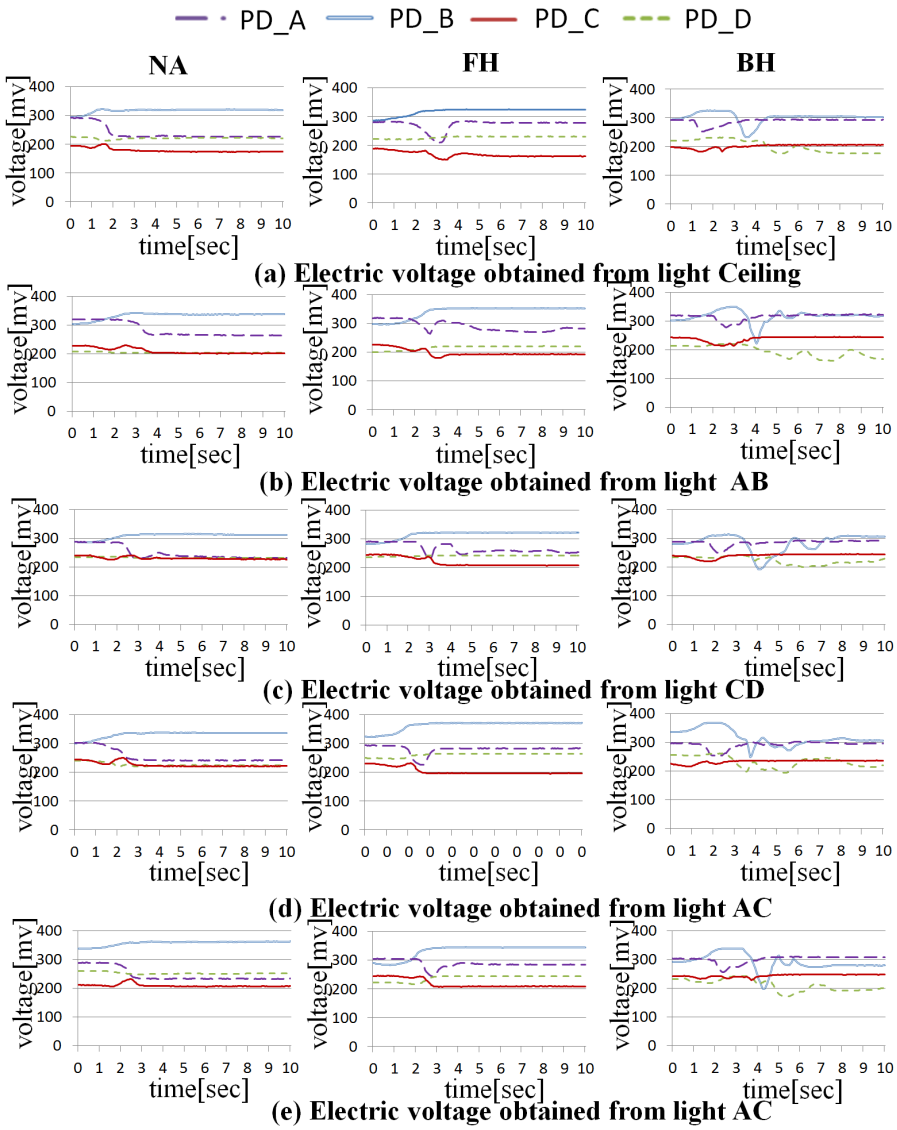


図 3.12: Electric voltage obtained from outside light.

も回数ごとに倒れる速さや倒れる位置などが異なったため，誤識別したと考えられる。

これらのことから外光が照射される窓の位置が学習時と異なる浴室に設置する場合においても提案システムは有効であると考えられる。また，表3.5 より可視光センサ PD_A〜PD_D に照射される可視光線の強さが学習時と異なる浴室に設置する場合においても提案システムは有効であると考えられる。また，表3.6，3.7 から外光の影響より倒れる速さや倒れる位置などの動作の違いの方が転倒の検知率に影響していた。

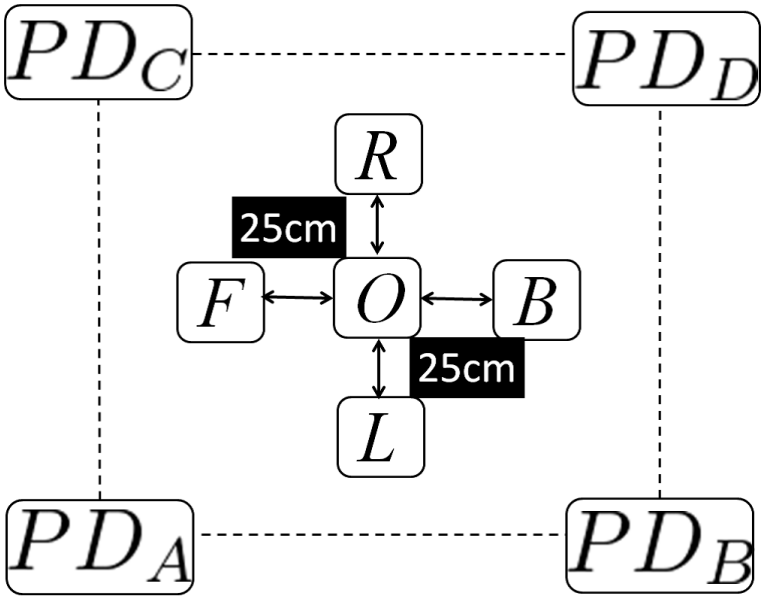


図 3.13: The position of user changes in experimental environment

3.3.4　入浴者の位置が提案システムに与える影響

3.3 節と同様に研究室内で図 3.1 の提案システムを構築する。3.3 節の実験と異なる点は，被験者の動作する位置（動作位置）が異なる点である。動作位置を図 3.13 に示す。動作は，中心 O と中心 O から AC，BD，CD，AB 方向にそれぞれ 25cm 移動した位置 F，B，L，R で行う。また，動作は実験開始から十秒以内に行なってもらう。ただし，状態を変化させる時間（例えば，立ち上がり動作の場合，着座状態から立ち上がるまでの時間）は特に指定はしない。そして，動作した際に生じた電圧値から HOG 特徴量を抽出し，Randomized tree を用いて動作を検知する。テストデータには動作位置 F，B，L，R における 5 人分の動作データ，トレーニングデータには，動作位置 O における 5 人分の動作データを用いた（評価 3)。また，動作位置 d(d=F，B，L，R）における 5 人分の動作データのうち一動作をテストデータとし，動作位置 d(d=F，B，L，R）におけるテストデータ以外の 5 人分の動作データと動作位置 O における 5 人分の動作データを用いて検知率を求める（評価 4)。評価 3 は中心 O から動作位置が変化した場合の検知率である。また，評価 4 は，トレーニングデータに同一の動作位置における動作データを用いているため，既知の動作位置において動作した際の検知率である。そのため，同一の人が同一の動作を異なる動作位置で行った評価 3 と同一の人が同一の動作を既知の動作位置で行った評価 4 の結果を比較することで，動作位置が変化した際の影響を調査することができる。検知率には適合率と再現率の

表 3.8: Average detection rates for NA, FH, and BH by changing position[%]

	NA	FH	BH	avg
F	95.1	68.4	99.0	87.5
B	92.2	100.0	84.7	92.3
L	95.8	75.0	99.0	89.9
R	96.2	73.3	98.0	89.1
avg±sd	94.8±1.8	79.2±14.2	95.2±7.0	89.7±2.0

表 3.9: Average detection rates for NA, FH, and BH by studying position[%]

	NA	FH	BH	avg
F	99.6	98.0	100	99.2
B	99.6	98.0	100	99.2
L	99.6	98.0	100	99.2
R	97.3	83.7	100	93.7
avg±sd	99.0±1.2	94.4±7.1	100±0	97.8±2.7

調和平均である F 値を用いる。

実験結果

評価 3 と評価 4 の結果を表 3.8，3.9 に示す。 表 3.8，3.9 より評価 3 が評価 4 と比較して，検知率の平均が 8.9% 減少した。また，評価 3 における誤検知率を図 3.14 に示す。図 3.14 に記載されていない動作は，誤検知率が 0% である。図 3.14 より，評価 3 において NA を FH，または FH を NA と誤検知した割合が評価 4 の誤検知率と比較し，動作位置 F，B，L，R において 13.4%，-1.3%，12.6%，7.8% 増加した。また，評価 3 において NA を BH，または BH を NA と誤検知した割合が評価 4 の誤検知率と比較し，動作位置 F，B，L，R において 1.1%，18.7%，1.1%，2.2% 増加した。また，誤検知した動作の電圧変化の例を図 3.15，3.16 に示す。

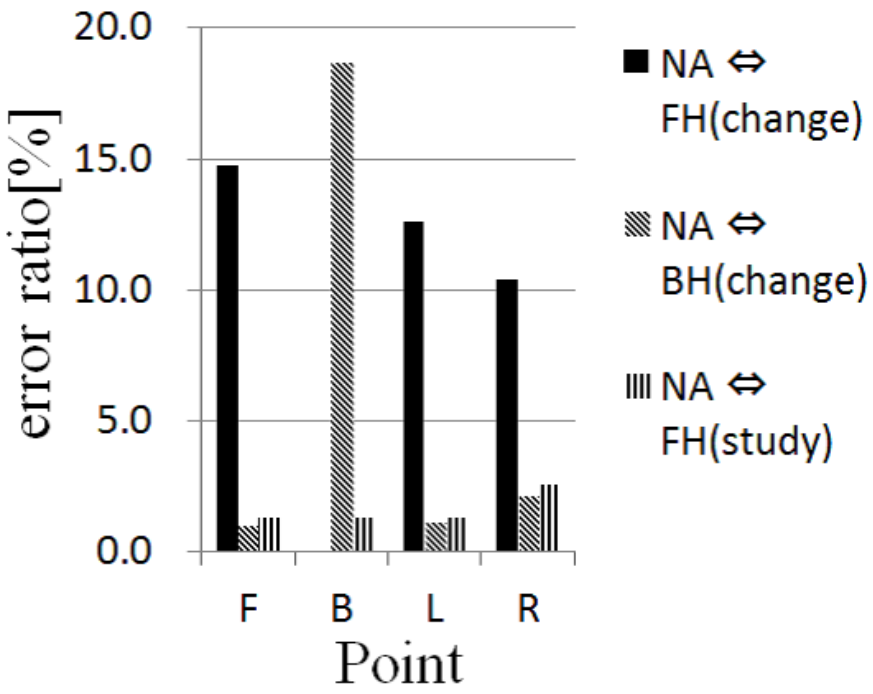


図 3.14: Error ratio by changing position and studying position

考察

評価 3 が評価 4 と比較して 8.9% 減少した理由として動作位置が変化したことによる光源からの光の遮り方が異なったためだと考えられる。図 3.5 より，提案システムは光源から照射される可視光線を人体が遮ることで発生する電圧変化から各動作を検知している。そのため，PD_A〜PD_D に近づくと可視光線が遮られ，各可視光センサの電圧値が低下する。図 3.15 の (a) では，前転倒を行うと PD_A, PD_C の電圧値がそれぞれ 72mv，24mv 減少しているが，その後 75mv，19mv 増加している。これは，倒れる際に人体が光源から照射された可視光線を遮るが，完全に床に倒れた状態になると頭上から照射される可視光線を遮る物体がなくなることが考えられる。また，PD_B, PD_D はそれぞれ 38mv，10mv は増加している。これは，前に倒れることで人体で遮っていた可視光線が PD_B, PD_D に照射されたことが考えられる。しかし，図 3.15 の (b) では，前転倒を行うと PD_A, PD_C の電圧値はそれぞれ 70mv，31mv 増加し，PD_B, PD_D の電圧値は変化しなかった。これは PD_A, PD_C に近づいている為，直立状態の方が倒れこむ際に遮る可視光線の割合より大きいため，倒れこむ際に PD_A, PD_C に遮っていた可視光線が照射され，電圧値が増加したと考えられる。ま

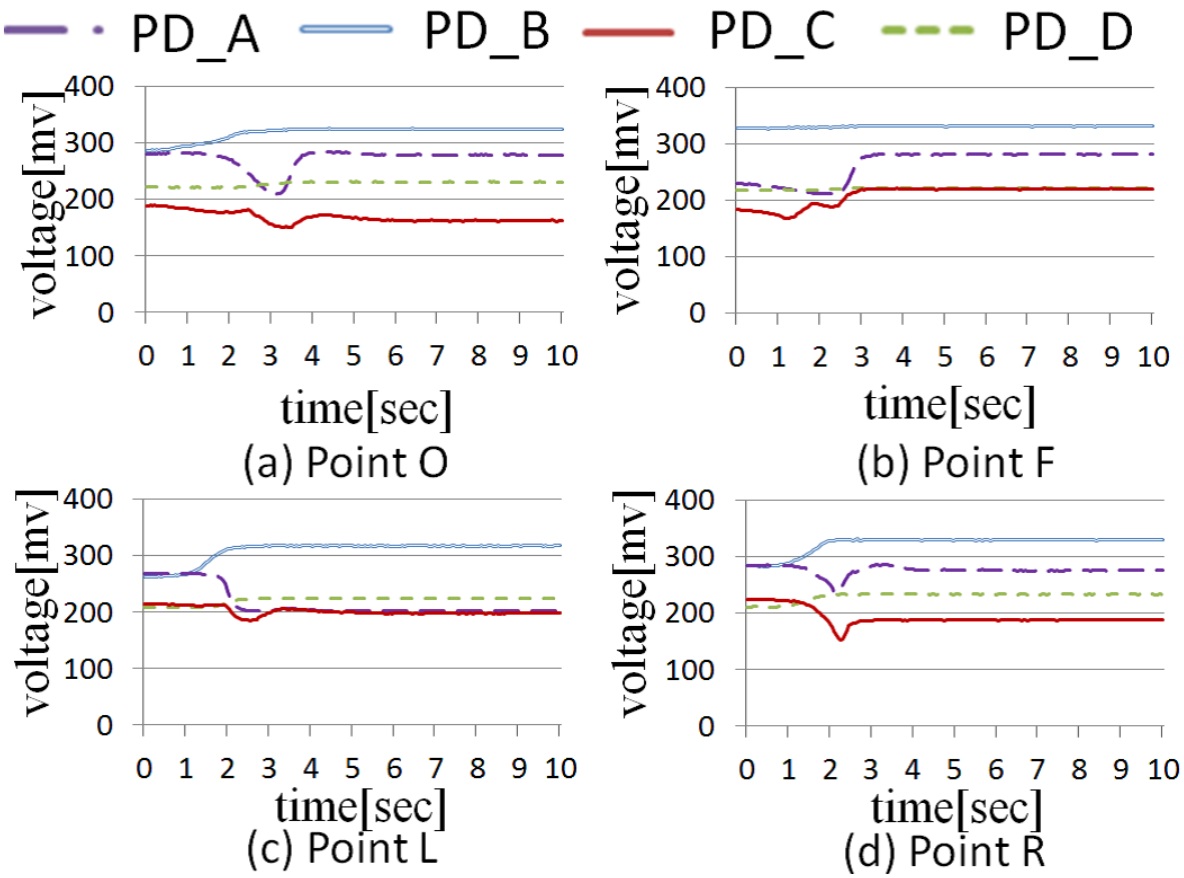


図 3.15: Electric voltage obtained from FF by changing position.

た，PD_B, PD_D が変化しなかった理由として，被験者が前方に移動したため，可視光線が常に PD_B, PD_D に照射される状態になったことが考えられる。同様に図 3.15(c)，(d)，図 3.16 より被験者の動作位置が近い位置の可視光センサの電圧の変動が増加し，動作位置が遠い位置の可視光センサの電圧の変動が減少している。これらのことから可視光センサとの距離によって電圧変動の傾向が異なったため，検知率が減少したと考えられる。

3.4　おわりに

可視光センサを用いて従来研究 [48] より遥かに安価で高い検知率を誇る転倒検知システムを提案した。提案システムの性能を評価した結果，安全動作と危険動作の検知率と 8 動作の検知率は従来研究 [48] とほぼ同等だったが，前頭部を強打する動作と後頭部を強打する動作の検知率は 13.5%，9.2% 向上した。この結果から，提案システムの方が従来システム [48] よりも正確に事故の状況を第 3 者に知らせることができる。また，外光やシャワー，

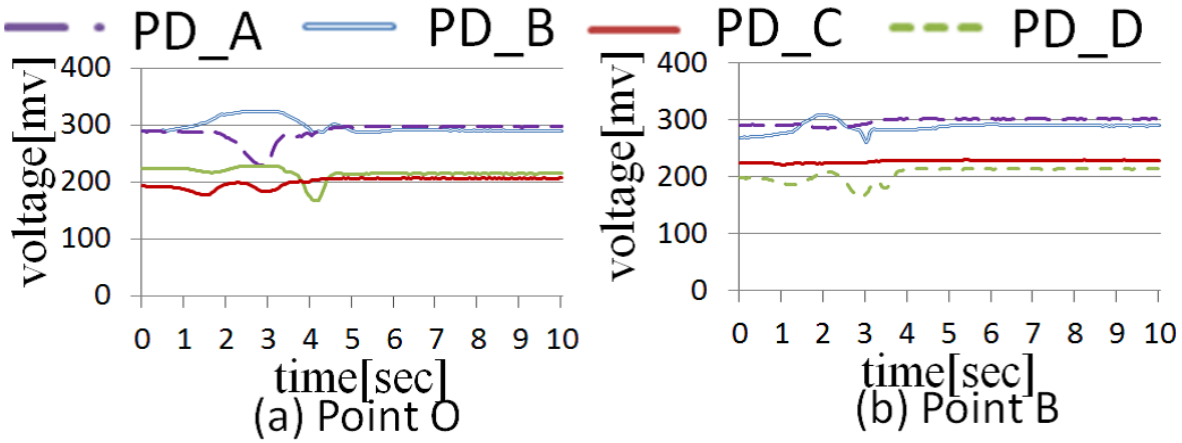


図 3.16: Electric voltage obtained from FBS by changing position.

泡などのノイズが混入した場合に提案システムの転倒検知率が受ける影響は少ない。しかし，入浴者の位置が変化した場合，転倒の検知率が減少した。今後は，入浴者の位置が変化した場合においても転倒を高精度で検知できるシステムを開発する。また，各動作の検知率 100%を目指す。

第 4章

ニオイセンサを用いた独居老人宅の環境モニタリング

4.1　はじめに

65 歳以上の高齢者は感覚器官の鈍化や体力の低下などから若年者より身体の異常に気づき難く，一旦病気にかかると病状が悪化する場合が多い。また，病状が悪化した場合，独力で対処することは困難である。さらに一人暮らしでかつ地域社会との接点が少ない 65 歳以上の高齢者（独居老人）の場合，近親者や近所の住人も独居老人の身体の異常に気付き難く，最悪,『住居内で誰にも看取られる事無く死亡する』（孤独死）場合もある。孤独死の数は独居老人の数とともに年々増加しており [2][53]，孤独死を防ぐ対策が急務となっている。孤独死を防ぐためには，独居老人の振る舞いの変化や異常を認知し，近親者や周囲の人に知らせ，ケアや治療などの対応を迅速に行うことが重要である。人体の振る舞いを検知する代表的な方法としてカメラ [54]，赤外線センサ [44]，そしてガスセンサ [53] を用いる方法が挙げられる。しかし，カメラを用いた場合，検知率は高いがプライバシーの問題があり [54]，設置が難しい場合がある。赤外線センサはカメラと比較してプライバシーの侵害が少ないが，振る舞いを検知するために数十個のセンサを配置する必要があり [44]，高価なシステムとなる。また，ガスセンサを用いた振る舞い認知では，就寝，起床，食事中といった振る舞い認知が可能 [53] であり，カメラよりプライバシーを侵害せず，かつ少数のセンサを設置することで住居全体をモニタリングすることも可能であるが，入退室を認識していないため，未だ防犯や健康管理を行うためには十分でない。一般的にガスセンサは測定可能な特定のガスの濃度を測定するために用いられる。しかし，従来研究 [53] で

測定に用いているアンモニアセンサや一酸化炭素センサはアンモニアや一酸化炭素以外のガスにも若干反応するため，様々なガスが混ざり合っている生活臭において特定のガスの濃度を測ると当然誤差が生じる。そこで，本研究ではこの複合体のガスの濃度を空気の汚れ具合と考え，空気の汚れをニオイセンサで測定し，独居老人の振る舞いを認知する。また，従来研究 [53] では四種類のガスセンサを平面的に設置し測定していたが，本研究では高さを考慮し，空気の汚れ具合を測定する。高さを考慮することで従来研究 [53] より詳細に空気の汚れ具合を測定でき，独居老人の入退室の把握が期待できる。本研究では独居老人宅の防犯，災害の検知，健康維持を最終目的としている。ただし，本研究における災害とは火災やシックハウス症候群などの人為的な原因により生じる被害も含んでいる。例えば，健康維持では独居老人の就寝，起床，食事や入退室などの振る舞いをモニタリングすることにより，独居老人の大雑把な健康状態を把握することが可能になる。生活習慣を利用した独居老人の見守りシステムとして，ポットの使用回数や時間を把握する i-POT[55] が商品化され，販売されているが，これはポットを頻繁に使用する独居老人にしか適用できない。ニオイセンサを用いた場合は生活臭等の空気の汚れ具合から独居老人の健康状態を把握するため，この問題は発生しない。また，ニオイは様々な情報を持っており，例えば犬を用いてニオイからがんを診断する方法も検証されるなど [56] 健康管理を行う上で将来的に応用性が高い。さらに，従来研究 [53] において把握できなかった入退室を把握することで居住者の退室を検知した際に窓の鍵を自動的にロックし不審者の侵入を防ぐなどの防犯機能を高めることができ，独居老人が入室しているにもかかわらず，食事などをしていないなどの災害を検知することも可能になる。また，従来研究 [53] では一酸化炭素やホルムアルデヒドなど人体に有毒なガスを検知できるため，従来研究 [53] と入退室認知を組み合わせることで早期の換気を促し，目，鼻，喉の痛み，倦怠感等（シックハウス症候群）の防止が期待される。近年，クオリティオブライフ（QOL）の観点から快適な住環境が望まれており [8]，ニオイも快適な住環境を構築する上で重要な要素になっている。本研究で用いるニオイセンサはガスセンサとは異なり，人がニオイを嗅ぎ，ニオイの強さを測定する嗅覚測定法のようにニオイの強さを求めることができる。ニオイセンサは人の鼻のようにニオイの慣れが生じず，常に相対的なニオイの強さを測定できるため，将来的に例えば人体に有毒な悪臭が室内に充満している際に換気を促すなど独居老人宅の快適な住環境の構築にも応用が期待される。4.2 節で従来研究について述べる。4.3 節で提案システムについて述べ，4.4 節で入退室や食事を行い，その際の室内の空気の汚れ具合を調査する。特

に従来研究 [53] では把握できなかった独居老人の入退室に焦点を当て，モニタリングを行う。最後に 4.5 で結論と今後の展望について述べる。

4.2　従来研究

従来研究 [53] では可燃性ガスセンサ，アンモニアセンサ，一酸化炭素センサ，窒素酸化物センサといった四種類の酸化スズ系ガスセンサを用い，これらを平面的に設置して，室内の様々なニオイ物質が混ざり合った複合体のガスの濃度（空気の汚れ具合）から食事中や就寝，起床などの平常時の生活の活動をモニタリングし，室内における人の活動度から振る舞いの変化や異常を判断している。しかし，空気中のガスには空気より軽い物質や空気より重い物質もあり，室内の空気の汚れ具合がセンサを設置する高さによって変化すると考えられる。さらに，ニオイ物質は空気とともに運ばれるため，気流の変化によってもニオイの強さが変化する。また，従来研究 [53] では人の入退室を把握することができなかった。そこで本研究ではニオイセンサを設置する高さを変化させ，室内の空気の汚れ具合を測定する。ニオイセンサを設置する高さを変化させて測定することで従来研究 [53] より正確に室内における日常的なニオイの変化を把握できる。さらに，従来研究 [53] では四種類のガスセンサを用いてそれぞれ単一のガスのみを測定していたが，本研究では様々なガスが混ざり合っている生活臭を複合臭として測定する。

4.3　提案システム

本研究ではニオイセンサを用いて独居老人の生活習慣をモニタリングし，健康状態を把握するシステムの構築を目的とする。提案するシステムを図 4.1 に示す。まず，独居老人宅に設置されたニオイセンサから生活臭のデータを取得し，専門家に送る。次に専門家がそのニオイデータの特性曲線を観察し，独居老人の健康状態を把握する。もし，独居老人の健康状態が悪い場合は近親者へ連絡する，独居老人宅を訪問するなどの対応を行う。尚，以降では室内の空気の汚れ具合の変化をニオイの変化と呼ぶ。

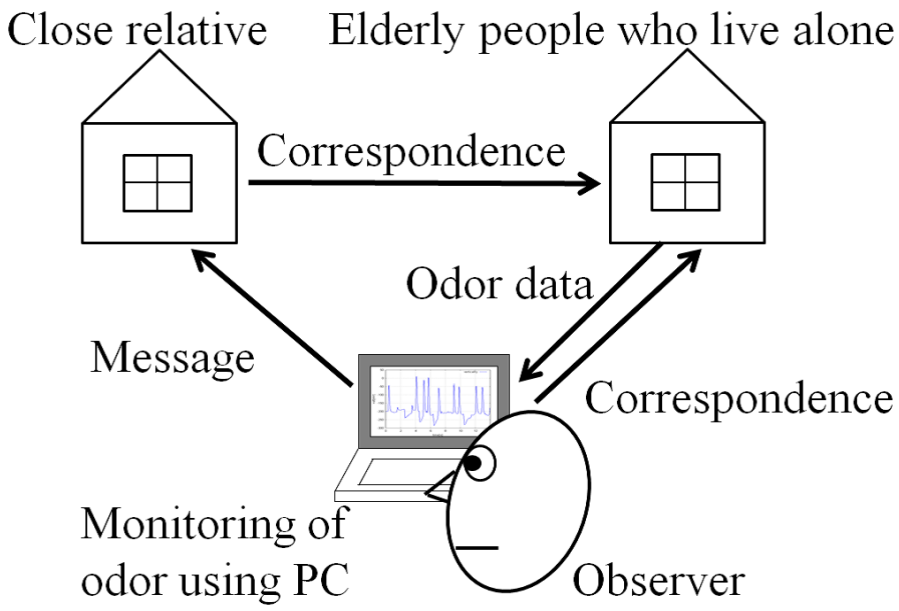
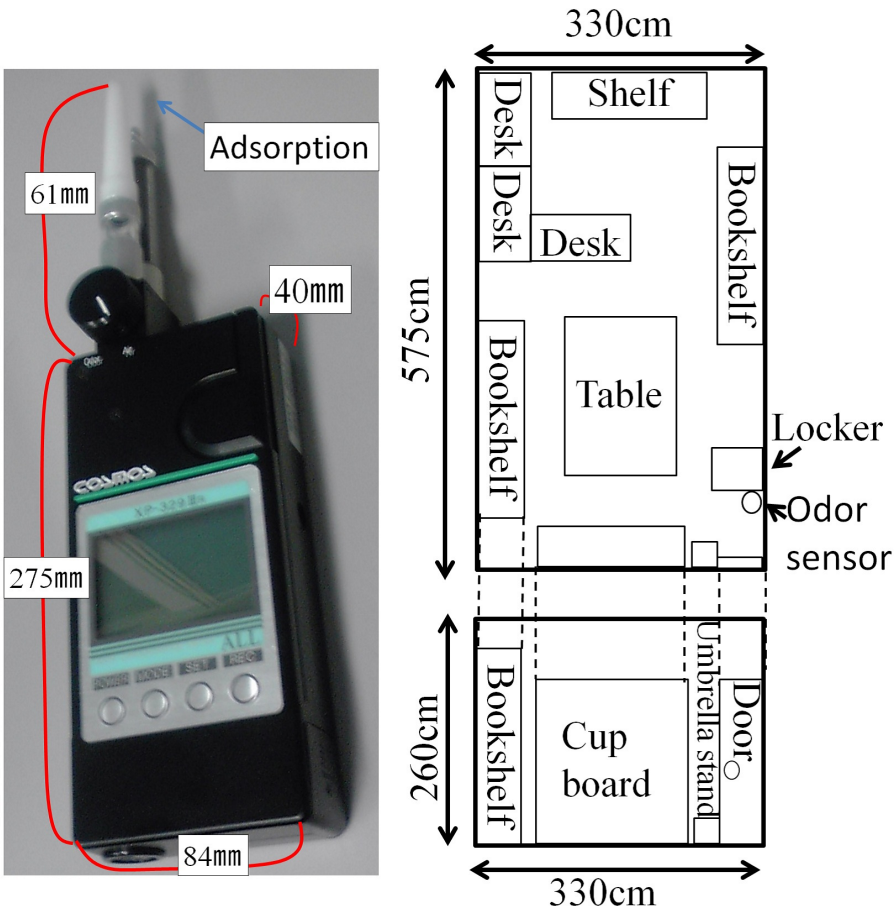


図 4.1: Monitoring system using odor sensors

4.4　室内のモニタリング

4.4.1　実験環境

本研究では図 4.2(a) の新コスモス電機株式会社製高感度酸化インジウム系熱線型焼結半導体式ニオイセンサ（XP-329ⅢR）を用いて図 4.2(b) の 60 代男性が日頃使っている書斎で入退室，食事などを行い，その際のニオイの変化を測定する。図 4.2(b) の上図は部屋を上部から見た際のレイアウト，下図はドア側から室内を見た際のレイアウトになっている。室外は廊下である。部屋の天井に換気扇があるが，実験時には停止している。窓もあるが，実験時には閉め切っている。室内はスリッパを履いて行動する。図 4.2(a) のニオイセンサは空気の汚れ具合を検知する。アンモニアや硫化水素など単一臭気であれば，予めメーカが作成した変換テーブルによりセンサ値から濃度に変換できるが，複合臭の場合は，センサ値をニオイの強さとして扱う。本研究で用いたニオイセンサはニオイの強さが 0〜2000 の値で出力され，値が大きいほどニオイが強いことを示している。ニオイは内蔵マイクロポンプにより吸引口より一定流量 (約 400ml/min) で吸引される。サンプリングレートは 1 秒である。また，本研究で対象としている独居老人の多くは地域と接点が少なく家に引きこもる傾向があるため，ニオイが室内に溜まりやすく室内の方が室外よりニオイが強い傾向にある。本研究では室内の方が室外よりニオイが強いと想定し，プレシステムを開発する。



(a) Odor sensor　(b) Layout of a experimental field

図 4.2: Experimental device and environment

4.4.2　高さを考慮しないニオイセンサの配置

事前にニオイセンサを床から 40cm の高さに固定し，ドアからの距離と右壁からの距離を様々変化させて入退室時のニオイの変化を測定した。その結果，入口（室外のドア）から見て，右壁から 1m，ドアから 13cm の位置に配置し，測定した場合が最も顕著にニオイが変化していた。以後の実験ではこの位置において高さを変化させてニオイセンサを配置し，ニオイを測定する。

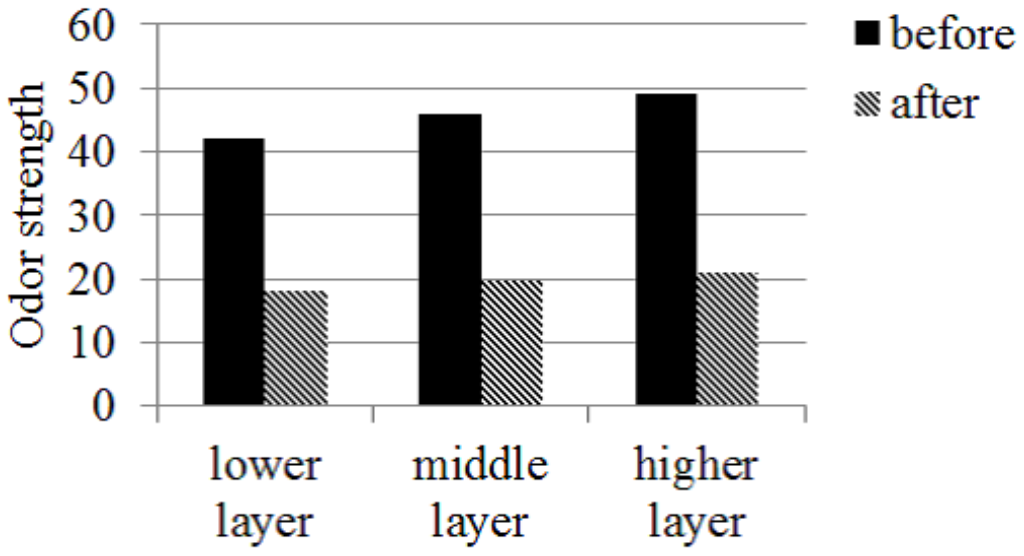


図 4.3: Odor strength when nobody is in the room

4.4.3　高さを考慮したニオイセンサの配置

ニオイ物質の分子量は 20〜400 であることから，ニオイ物質の中には空気（平均の分子量 29）より重い物質，同等の物質，軽い物質が存在する。また，ニオイ物質は空気とともに運ばれるため，気流の変化によってもニオイの強さは変化する。そこで，事前にニオイセンサを設置する高さを様々変化させ，ニオイを測定する。ニオイセンサの高さの位置を 10cm 刻みで変化させてニオイを測定した結果，三層（床からそれぞれ 10cm（下位層），110cm（中間層），220cm（上位層））より短い間隔でニオイセンサを配置してもニオイデータの特性曲線はこの三層のどれかに当てはまった。したがって，以後の実験では上位層，中間層，下位層にニオイセンサを配置する。

4.4.4　入退室実験

12 時間閉め切った室内のニオイの変化

人が室内にいない場合のニオイの変化を測定する。具体的には，人が退出した際のニオイを測定し，その 12 時間後の部屋を測定する。退出時に部屋のドアも窓も閉めている。測定結果を図 4.3 に示す。図 4.3 より部屋の中に人がいない場合，呼気などニオイを発生させる要因が存在しないため，時間とともに全ての層においてニオイが弱くなる。

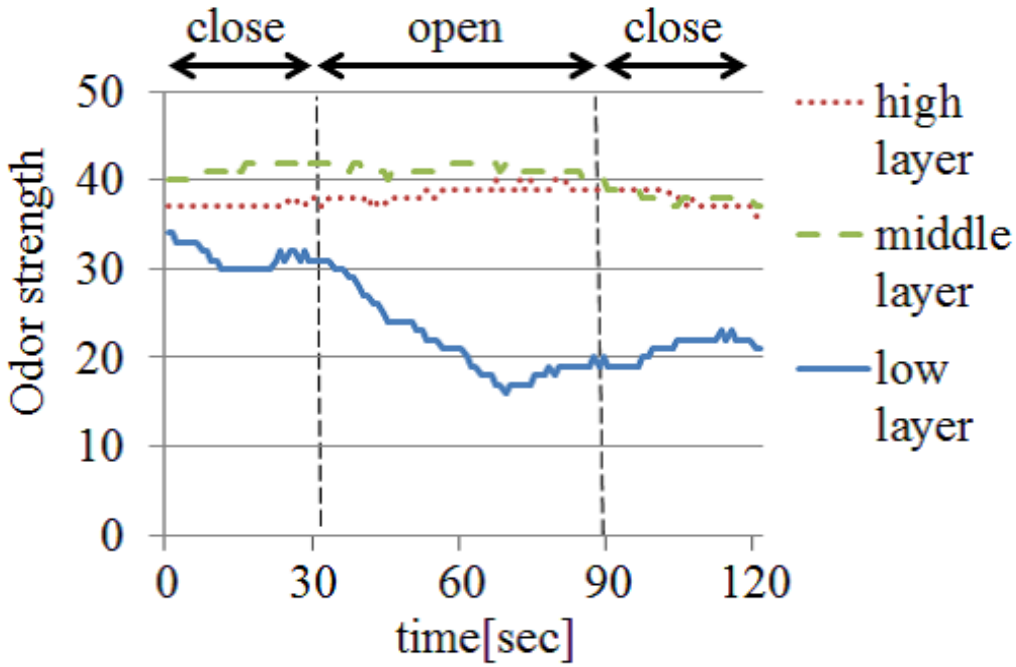


図 4.4: Inside odor strength when the door is open and close

室内に人がいない状態でドア開閉

人がいない図 4.2(b) の部屋でドアの開閉を行い，その際の室内，室外におけるニオイの変化を調査する。まず，ドアを閉じた状態で室内，室外のニオイを 30 秒間測定した後，1 分間ドアを開放する。その後，ドアを閉じ，室内，室外のニオイを 30 秒間測定する。また，室外のニオイはドアから 20cm，床からそれぞれ 5cm，110cm，220cm の位置に設置したニオイセンサを用いて取得する。室内の温度は 25.3 度，室外の温度は 23.8 度である。ドアを開閉した際の室内，室外のニオイの変化を図 4.4，図 4.5 に示す。 図 4.4，図 4.5 からドアを開いた際，室内の下位層のニオイが弱くなり，室外の上位層，中間層のニオイが上昇している。一方，ドアを閉めた際，室内の下位層のニオイが上昇し，室外の中間層，上位層のニオイが減少していた。この理由として，気流の変化が考えられる。室内において温かい空気は上方に溜り，冷たい空気は下方に溜まる。空気は圧力が高い方から低い方に流れるため，ドアを開くと室外の空気が下位層から室内に入り，室内の空気が中間層，上位層から室外に出る。また，ドアを開閉する前は室内の方が室外より全ての層においてニオイが強い。これらのことから上位層，中間層から出た室内の強いニオイによって室外のニオイが強くなり，逆に室内よりニオイが弱い室外の空気が下位層から入ってきたため，室内の

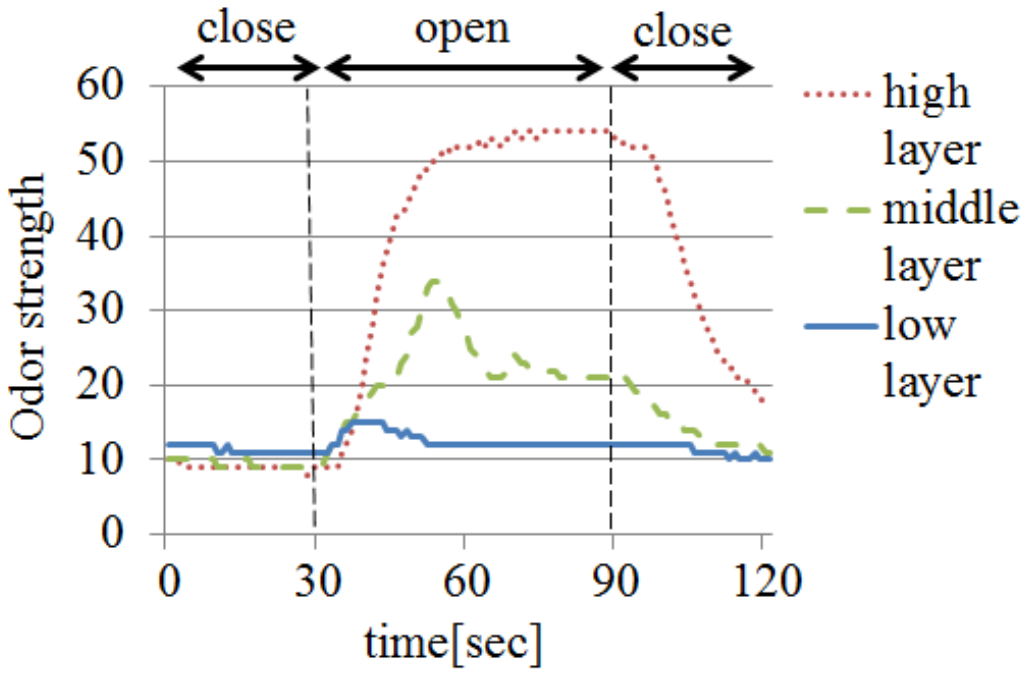


図 4.5: Outside odor strength when the door is open and close

下位層のニオイが弱くなったと考えられる。ドアを閉めた際に下位層のニオイが強くなった理由は，室内よりニオイが弱い室外の空気が流入しなくなったことが考えられる。さらにドアを閉めた後，上位層，中間層のニオイの強さが減少していることから上位層，中間層のニオイ物質が拡散し，下位層に流入したことも原因として考えられる。

室内に一名在室でドア開閉

一名在室している図 4.2(b) の部屋で入室と退室を 10 分毎に繰り返して行い，その際のニオイの変化を測定する。室温は 19 度である。測定した結果を図 4.6 に示す。

図 4.6 より下位層ではドア開閉後がドア開閉前と比べてニオイが若干弱くなる。室内のニオイが若干弱くなった理由として 4.4.4 項と同様にドアが開いた際に空気とともにニオイ物質が室外に流れたことが考えられる。また，下位層において室内に人がいる場合も室内に人がいない場合もニオイの強さは変わらなかった。一方，中間層，上位層においてドアの開閉時にニオイの変化はなく，室内に人がいる場合はニオイが若干強くなり，室内に人がいない場合はニオイが変わらなかった。これは人の呼気が原因と考えられる。一般に人の呼気の温度は 35 度で湿度は 95% である [57]。そのため，室温が 19 度であることから呼

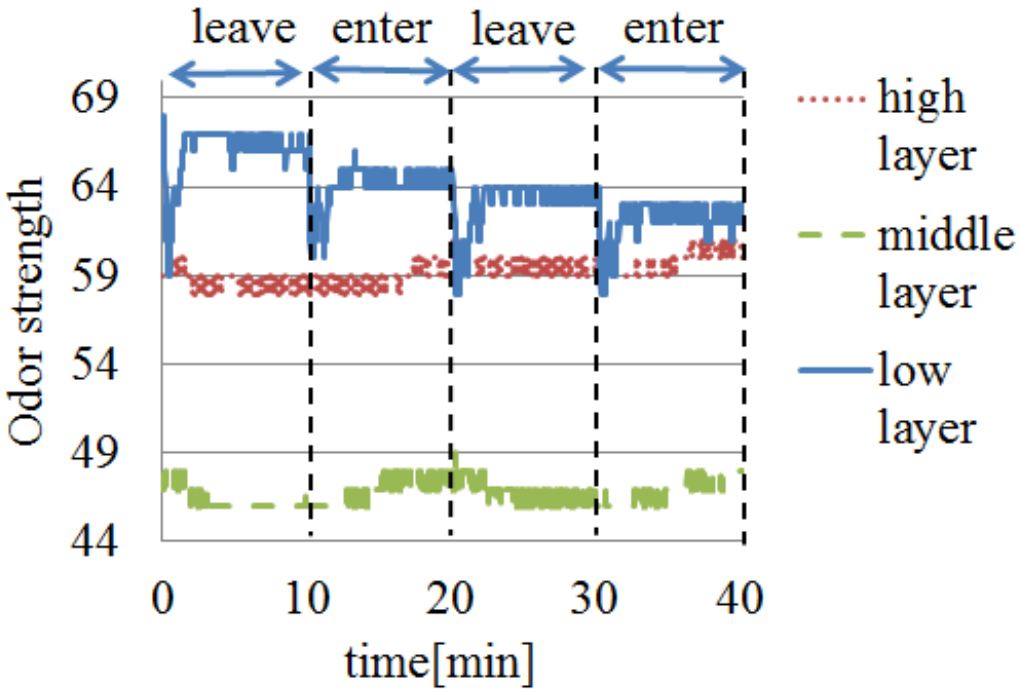


図 4.6: Odor strength when the user repeats entering and leaving the room in every 10 minutes

気に含まれるニオイ物質が上昇したことが考えられる。

室内に二名在室でドア開閉

部屋に人が訪ねてきた時を想定し，ニオイを測定する。具体的には室内に一人いる状態で 10 分後に二人目が入室，更に 10 分後に三人目が入室する。尚，室温は 17 度である。測定した結果を図 4.7 に示す。

図 4.7 から下位層において図 4.6 と同様にドアの開閉時にニオイが若干弱くなっていた。また，部屋の中に二人いる場合はニオイの強さに変化がなかったが，部屋の中に三人いる場合はニオイが強くなった。これは人数が増加するにしたがって呼気の量も増加し，下位層まで影響を及ぼしたものと考えられる。上位層，中間層は，人数が増加すると図 4.6 と同様に上位層，中間層ともにニオイが強くなる。

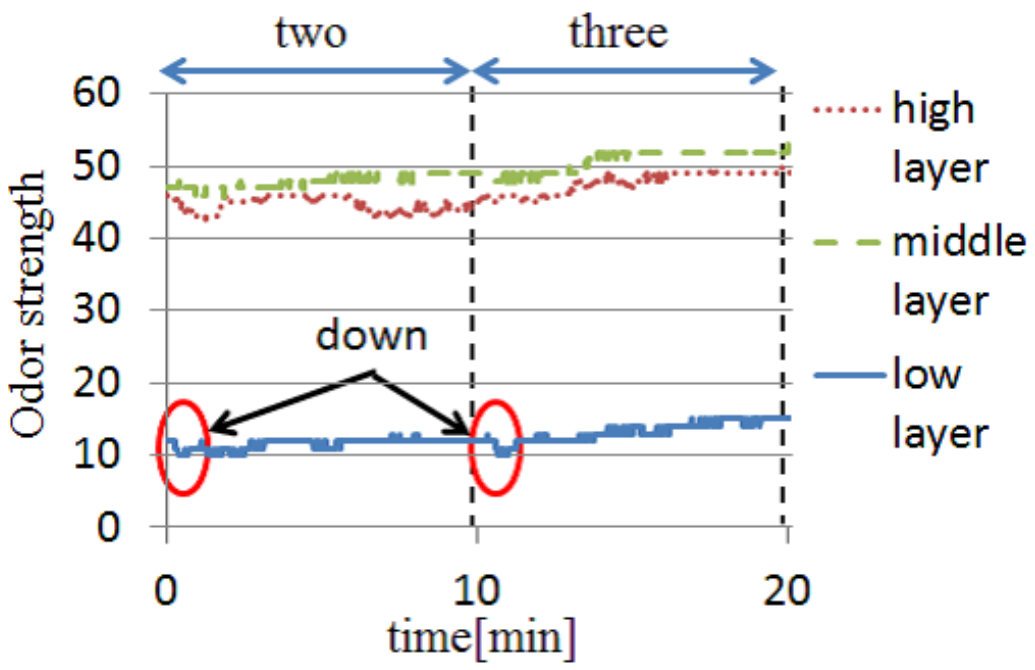


図 4.7: Odor strength when the user is in the room and two persons enter the room one by one in every 10 minutes

入退室実験のまとめ

図 4.3 より，部屋の中に人がいない場合，時間とともにニオイが弱くなる。また，図 4.4 および図 4.5 からドアを開くと室内の下位層から空気が流入し，中間層，上位層から室外へ空気が流出するため，ニオイが変化する。一方，ドアを閉めると上位層，中間層のニオイが拡散するため，上位層，中間層のニオイが弱くなり，下位層のニオイが強くなる。さらに図 4.6，図 4.7 から人が生活している時に発生するニオイ（呼気など）は上位層・中間層に影響を受けやすく，下位層は影響を受け難い。

4.4.5　飲食実験

飲食時のニオイ変化を測定する。従来研究 [53] でも食事中のニオイは測定しているが，本研究ではニオイセンサの設置する高さを変化させてニオイを測定する。ニオイセンサは 4.4.4 項と同様にドアから 20cm，床からそれぞれ 5cm，110cm，220cm の位置に設置する。

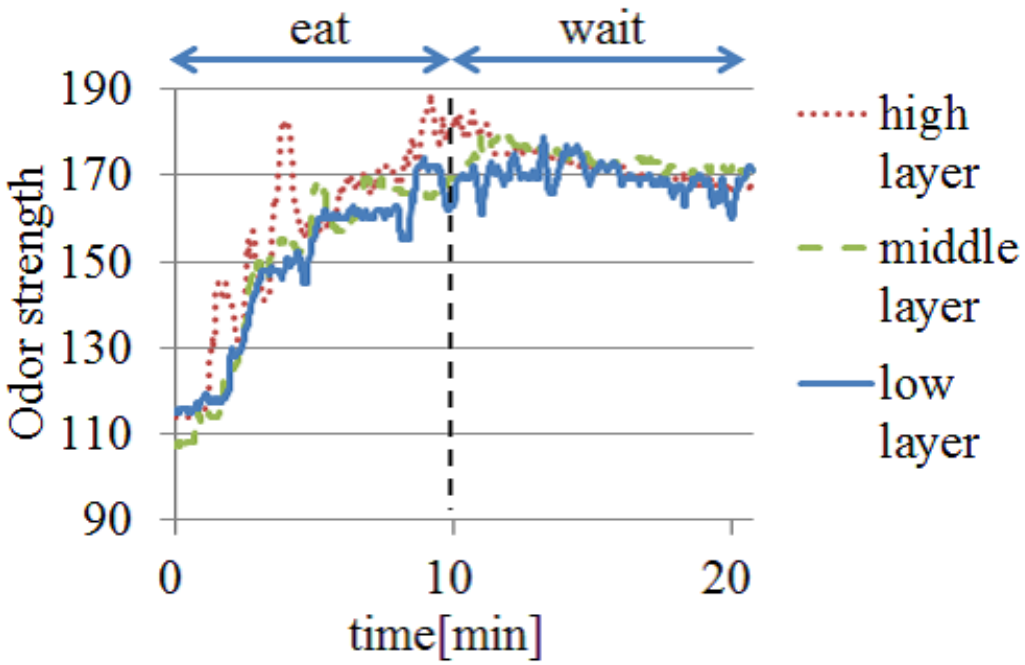


図 4.8: Odor strength when the user is eating lunch

昼食時

昼食にはコンビニエンスストアで売られている弁当と温かいお茶を用意した。ただし，弁当は電子レンジなどで温めていない。この昼食は床からの高さが 70cm あるテーブルの上に置く。そして，部屋に入室して約 10 分後に弁当の蓋をあけた。ニオイの測定は蓋をあけてから 20 分間測定する。具体的には 10 分間かけて昼食を食べてもらい，その後，10 分間ニオイを測定する。尚，昼食を持ち込む前の室内のニオイの強さは図 4.6 程度である。尚，室内の温度は 17 度である。測定した結果を図 4.8 に示す。図 4.8 より，下位層，中間層，上位層ともに食事中はニオイが強くなった。これは弁当に空気より軽いニオイ物質や空気より重いニオイ物質を含んでいたためと考えられる。一方，食べ終えてから下位層，中間層，上位層ともにニオイが弱くなっている。これはニオイの発生源となる物体を体内に入れたため，空気中のニオイ物質が少なくなったためだと考えられる。

温かいお茶を飲んだ時

10 分間，お茶を飲んでもらい，その際のニオイの変化を測定する。室内の温度は 16 度である。結果を図 4.9 に示す。

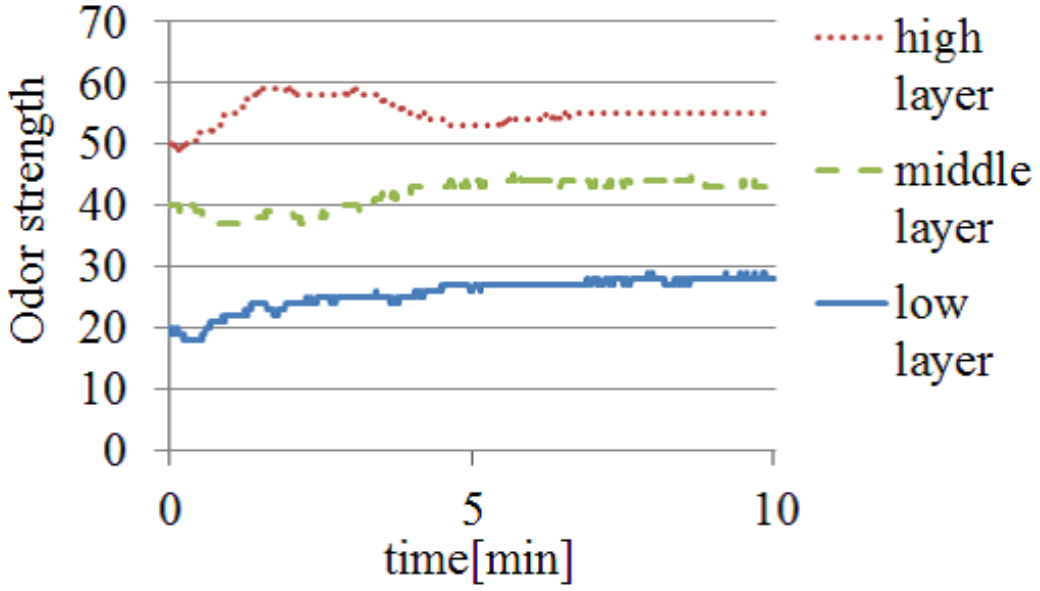


図 4.9: Odor strength when the user is drinking tea

飲み始めて 2 分後まで上位層のニオイが強かったが，4 分後にはニオイが弱くなっていた。これは暖かいお茶の湯気によって空気とともにニオイ物質が上昇し，その後冷やされ，中間層，下位層に拡散したことが考えられる。

飲食実験まとめ

昼食時のニオイを測定した結果，全ての層のニオイが上昇した。また，温かいお茶の場合，上位層のニオイが強くなった後，弱くなった。中間層，下位層のニオイは強くなった。このことから昼食時のニオイは平面的に測定した結果と変わらないが，温かいお茶を飲んだ時は高さ毎にニオイの特性が異なった。

4.4.6　室内モニタリングのまとめ

以上の結果をまとめた表を表 4.5 に示す。室内に人がいない場合，全ての層においてニオイが減少する。また，室内に人がいる場合は呼気により上位層，中間層のニオイが若干上昇する。このことから室内の相対的なニオイの変化を時系列で観測することで独居老人が在室している状態と無人状態を区別できる。食事や温かいお茶を飲食した際は下層のニオイが強くなったが，独居老人のみが入退室する場合，下層のニオイが減少傾向にある。

表 4.1: Monitoring result

	none	opening/closing	enter	leave	many a person	lunch	tea
high layer	down	same/down	up	same	up	up	up
middle layer	down	same/down	up	same	up	up	up
low layer	down	down/up	down	down	same or up	up	up

このことから独居老人の入退室と食事状態を区別できる。また，室内に人が複数人いる場合，呼気の影響で全ての層においてニオイが強くなる。この全ての層においてニオイが強くなるのは食事をしたときと同様だが，食事をしたときは人が増加した場合よりニオイが強くなる。そのため，部屋の中に複数人いる場合でも食事状態を区別できる。また，入退室時や温かいお茶を飲んだ時の各層のニオイの特性曲線が異なっていたことから高さを考慮しニオイセンサを設置することで従来研究 [53] より詳細にニオイの特性を測定することができる。

4.5　おわりに

独居老人の日常生活をモニタリングし，健康状態を把握することを目的として，代表的な日常生活を再現し，その際のニオイの特性を調査した。また，従来研究では平面的に測定していたが，本研究ではニオイセンサを設置する高さを考慮してニオイを測定した。測定した結果，ニオイは高さ毎に別の特性を持っており，三層構造になっていることが判明した。日常生活のモニタリングは従来研究 [53] では検知できなかった入退室に焦点を当て，モニタリングを行った。その結果，ニオイセンサを設置する高さを考慮することで入退室を検知することが可能であることが判明した。また，入退室と食事状態を区別する方法について述べた。本研究では室内の方が室外よりニオイが強いと想定し，プレシステムを開発した。しかし，強いニオイの発生源（刺激臭の薬品やバーベキュー後のコンロなど）が室外にある場合，室外の方が室内よりニオイの強い場合も考えられる。そのため，今後はその場合においても入退室が検知可能なシステムを構築していく。さらに日常生活のモニタリングを増やし，各振る舞いのニオイの特性を明らかにしたい。

第 5 章

赤外線ポインティングデバイスを用いた操作支援システム

5.1　はじめに

近年，テレビに様々な機能が追加され多様なニーズに応えられるようになった反面，これらを操作するためにボタンが追加され，ボタン式リモコンの操作が複雑になった。このことに不満を感じている人も多い [58]。

ボタン式リモコンに代わる操作デバイスとして，マウス，トラックボール，タッチパネル，赤外線ポインティングデバイスがある。従来研究 [59] において，ボタン式リモコン，マウス，トラックボール，タッチパネルを用いた場合の操作感を比較した結果，高齢者は操作する際に操作デバイスを視認せず操作できるマウスやトラックボールが使い易く，操作デバイスを視認する傾向にあったボタン式リモコンやタッチパネルが使い難いと感じていた。この理由として高齢者は老眼を患っており，近場にあるデバイスを視認する行為を苦痛に感じていることが挙げられている [59]。また，高齢者の中でマウスやトラックボールを使い易いと感じていた人は視認する必要がないほど使用方法を熟知している人であり，使用経験がない人は使い難いと感じていた [59][60]。このことからテレビを操作する際に操作デバイスを視認せず，直観的に操作できる操作デバイスが望まれている。

一方，赤外線ポインティングデバイスは使用者の腕の動きと画面上のポインタの動きが対応しており，直観的な操作ができる。また決定ボタンに指を置き，そのボタンを押すだけで選択，決定ができるため，操作デバイスを視認せず操作が可能である。しかし，直観的な操作が可能である反面，無意識に起こる手の微細な動き（手振れ）の影響を受け易く，

ポインタを同じ位置に保つことが難しい。この手振れの影響はテレビとユーザの距離が離れるほど大きくなり，目標のオブジェクトを選択することが困難になる。ただし本研究におけるオブジェクトとは画面に表示された選択ボタンのことである。そこで本研究ではユーザが赤外線ポインティングデバイスを用いて選択操作する際に目標のオブジェクトを選択し易いように操作支援を行うシステムを提案する。具体的には手振れによりポインタが振動的に動き，選択に時間がかかる場合を『選択し難い』とし，この『選択し難さ』を自動的に判別しユーザが選択し易いように目標のオブジェクトを拡大する，またはユーザが目標のオブジェクトに自動的にポインタを移動させるポインタ自動移動を行い，操作性を向上させる。また，手振れは若年者，高齢者共に起こる現象である。そこで，本研究では全年齢を対象とする前段階としてまず若年者を対象として調査を行う。この提案システムを適用することで，テレビとユーザの距離が離れても直感的でわかりやすい操作が可能となり，多種多用なサービスを容易に選択することができる。まず，5.2 節で使用機器および実験環境について説明し，5.3 節で提案手法である選択し難さを識別する方法，および操作支援方法について説明する。そして，5.4 節で提案手法の評価実験を行い，提案手法の有効性を示す。最後に 5.5 節でまとめと今後の展望について述べる。

5.2　使用機器，および実験環境

実験環境を図 5.1 に示す。赤外線ポインティングデバイスとして任天堂より発売されている Wii リモコンを用いた。Wii リモコンは搭載した CMOS センサでセンサーバーの左右に搭載された赤外線 LED を撮影することで Wii リモコンからセンサーバーまでの距離とポインタの位置を取得することができる。また，ポインタの位置は 10msec ごとに取得する。実験に用いた液晶ディスプレイのサイズは 19 インチである。また，解像度は 1280 × 800pixel である。一般家庭において各視聴者はテレビ画面から画面高の 3 倍の距離以上離れて視聴していることが報告されている [62] ことから，ディスプレイと使用者の距離は液晶ディスプレイの画面高（26cm）の 3 倍の距離とする。

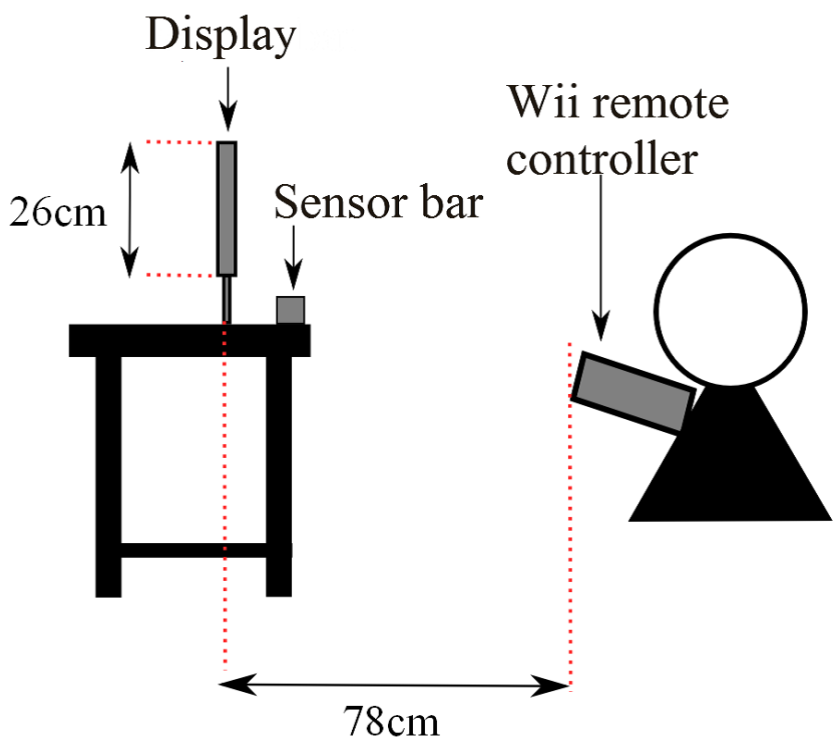


図 5.1: Equipment of support system

5.3　提案手法

5.3.1　特徴量 u の抽出

手振れの影響はユーザとディスプレイの距離が離れるほど大きくなり，目標のオブジェクトが選択し難くなる。そこで，この選択し難さを自動的に判別し，手振れが生じ，ポインタが振動的に動いた場合においてもユーザが選択し易いようにオブジェクトの拡大やポインタ自動移動などの操作支援を行うシステムを提案する。赤外線ポインティングデバイスは，選択し難いオブジェクトを選択する場合，手ぶれの影響で目的のオブジェクトの周囲でポインタが振動的になる傾向にある。そこで，目標のオブジェクト p の中心と赤外線ポインティングデバイスで示したポインタ間のユークリッド距離を $T \times 10^{-2}$ 秒間足しあわせた変数 u_p を選択し難さを判別するためのパラメータとして定義する。なお，この変数の妥当性については次項で述べる。

$$u_p = \sum_{i=0}^{T} \sqrt{(x_{po} - x_i)^2 + (y_{po} - y_i)^2} \tag{5.1}$$

（x_{po}, y_{po}）はオブジェクト p の中心座標,（x_i，y_i）は $i \times 10^{-2}$ 秒前のポインタの座標である。また，画面に B 個のオブジェクトが表示されている場合，画面に表示されている各オブジェクトに対して $u_p(p = 1, 2, \cdots, B)$ を計算し，u_p が最も小さいオブジェクトに支援を行う。

$$u = \min(u_1, u_2, \cdots, u_B) \tag{5.2}$$

式（5.2）の u を用いて式（5.3）を計算する。

$$d = \frac{|u - u_s|}{|u - u_s| + |u - u_l|} \tag{5.3}$$

$$u_s = \frac{\sum_{q=1}^{N \times L} u_{sq}}{N \times L} \tag{5.4}$$

$$u_l = \frac{\sum_{q=1}^{N \times L} u_{lq}}{N \times L} \tag{5.5}$$

u_{sq}, u_{lq} は 5.3 節で $q(q = 1, 2, \cdots, N)$ 人目のユーザが選択し難い，または選択し易いオブジェクトを L 回選択した際に取得した u であり，u_s は u_{sq} の平均，u_{lq} は u_{lq} の平均である。また，$u < u_s$ のとき $u = u_s$，$u > u_l$ のとき $u = u_l$ とする。式（5.3）の d は選択し難さを示す指標であり，ユーザがオブジェクトを選択し難ければ 0 に近づき，選択し易ければ 1 に近づく。

5.3.2　パラメータ u_s および u_l の決定

式（5.3）のパラメータ u_s, u_l を実験的に決定する。選択し難さには個人差があり，ある人にとっては選択し難いオブジェクトでも別の人には選択し易いオブジェクトである可能性もある。また，オブジェクトのサイズを小さくすると僅かなポインタのずれによって選択できなくなるため，オブジェクトのサイズが小さくなると多くの人が選択し難くなり，オブジェクトを選択するまでの時間（選択時間）がかかる。逆に手振れの影響が無視できるほど大きいオブジェクトは選択し易く，オブジェクトサイズをそれ以上大きくした場合の選択時間はサイズを変化させる前と変わらないと考えられる。そこで，本研究ではオブジェクトを小さくした際に多くの人の選択時間が増加したオブジェクトを選択し難いオブジェクト，オブジェクトサイズを大きくした際に選択時間が変化しないときのオブジェク

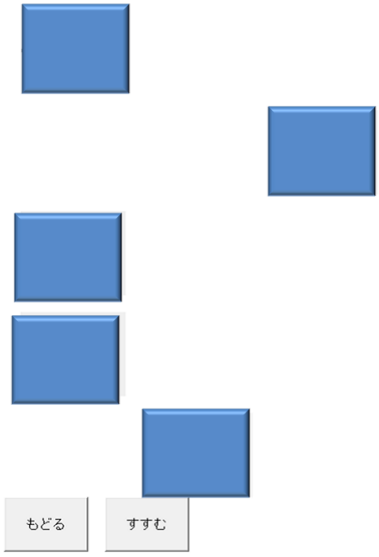


図 5.2: Manipulability analysis experiment

トを選択し易いオブジェクトと定義する。本研究で用いたディスプレイのサイズ，およびディスプレイから 78cm 離れた場所から操作したときにユーザが選択し難い，選択し易いと感じるオブジェクトを調査する。被験者は 20 代の男性 10 名である。また，この被験者たちは全員赤外線ポインティングデバイスの操作経験はない。被験者にはディスプレイから 78cm 離れた場所で赤外線ポインティングデバイスを操作し，ディスプレイ上に縦列して表示される 5 個の 125 × 125 pixel のオブジェクト（青い四角形）を選択してもらう（図 5.2)。5 個のオブジェクトを選択した後は『すすむ』ボタンを選択し，新たに表示された 5 つのオブジェクトを再び選択する。この作業を 6 回繰り返し，合計 30 回のオブジェクトを選択してもらう。また，各ユーザが選択するオブジェクトの配置は同一である。また，オブジェクトサイズを 125 × 125pixel から 100 × 100pixel，75 × 75pixel，50 × 50pixel，25 × 25pixel と変え，同様にオブジェクトを選択してもらう。そして，5 個のオブジェクトが表示されてから 1 個目のオブジェクトが選択されるまでの時間，またはオブジェクトを選択し，次のオブジェクトが選択されるまでの時間を選択時間として測定する。なお，5 個目のオブジェクトを選択してから『すすむ』,『もどる』ボタンを選択するまでの時間は選択時間に含まない。この選択時間の総和（総選択時間）から選択し難いオブジェクトと選択し易いオブジェクトを調査する。実験結果を図 5.3 に示す。図 5.3 より，10 人のうち 6 人が 100 × 100pixel よりも 125 × 125pixel の方が総選択時間において減少していることか

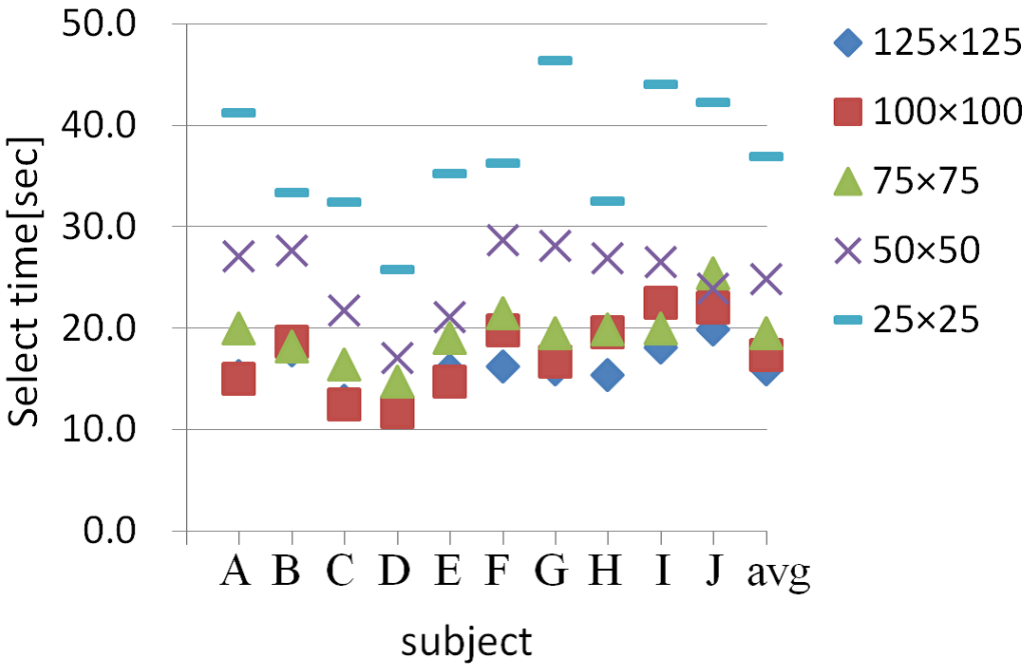


図 5.3: Manipulability analysis result

ら過半数以上の人にとって 100 × 100pixel より 125 × 125pixel の方が選択し易いオブジェクトだったと考えられる。一方，オブジェクトサイズ毎の平均総選択時間に注目すると 50 × 50pixel の方が 25 × 25pixel より 12.1sec 減少していたが，125 × 125 pixel の方が 100 × 100pixel より 1.4sec 減少しており，オブジェクトのサイズが大きくなるに従って総選択時間が減少する割合（減少率）が減少していた。このことより 125 × 125pixel より大きくした場合，減少率は 1.4sec より小さくなると予想される。したがって，本研究ではオブジェクトサイズが 125 × 125pixel の時，選択し易いオブジェクトとする。次に 10 人のうち 10 人が 25 × 25pixel の方が 50 × 50pixel より選択時間が増加していることからオブジェクトサイズが 25pixel × 25pixel の時，選択し難いオブジェクトとする。

5.3.3　パラメータ T の決定

u を計算するために必要なパラメータ T を決定する。具体的な手順としては，$T \times 10^{-2}$ 秒を 0.01 秒から 1 秒まで 0.05 秒間隔で変化させた u を計算し，計算した u からユーザの選択し難さを識別し，最も識別率が高かったときのパラメータ T を求める。使用したデータは 5.3 節の実験で取得した各ユーザがオブジェクトを選択した際のポインタの軌跡と各オブ

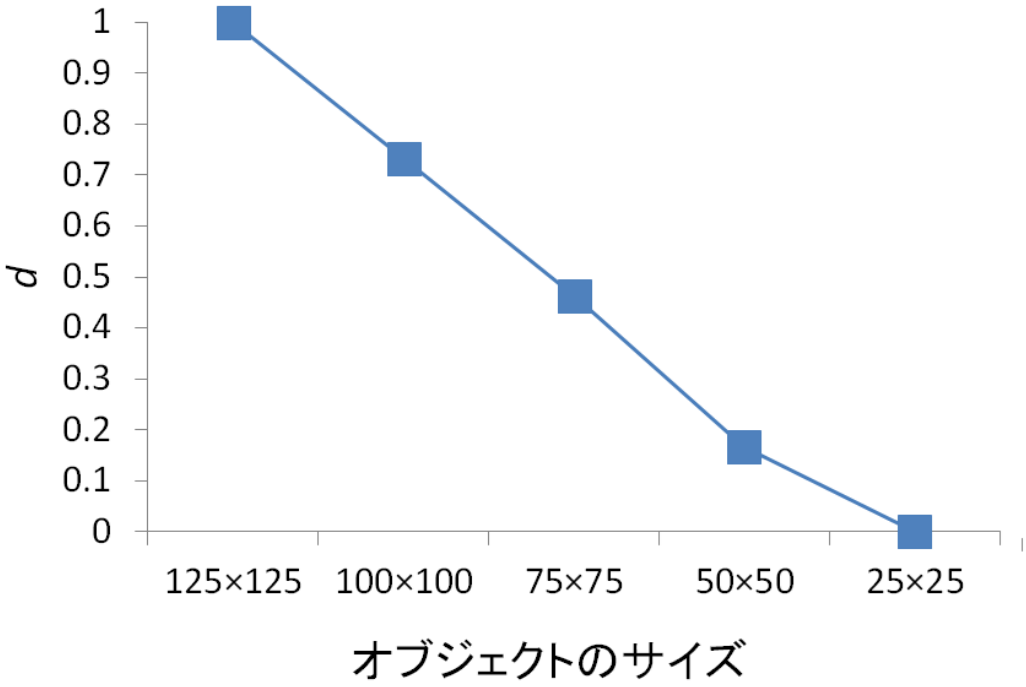


図 5.4: average of d

ジェクトの中心座標である。また，オブジェクトのサイズが 25 × 25pixel のとき，ユーザは選択し難く，125 × 125pixel のとき，ユーザは選択し易いとする。識別器には，高い識別精度を誇る Randomized tree[63] を用いる。決定木の生成には CART[64] を用いる。評価方法は 9 人をトレーニングデータとし，1 人をテストデータとする 10-fold-cross-validation[65] を用いた。評価値には適合率と再現率の調和平均である F 値を用いる。ユーザの選択し難さを識別した結果，T=25 のときに最も識別率がよく，正しく選択し難さを識別した割合が 88.3%，正しく選択し易さを識別した割合が 88.6%だった。この結果から，5.4 節の実験には $T = 25$ を用いる。また，u はオブジェクトの選択し難さ，または選択し易さを約 90% の確率で識別できるため，妥当だと考えられる。また，これらのパラメータを用いて 5.3 節の実験で得た 10 人の被験者のポインタの軌跡から選択し難さの指標 d を算出し，オブジェクト毎に平均した値を図 5.4 に示す。

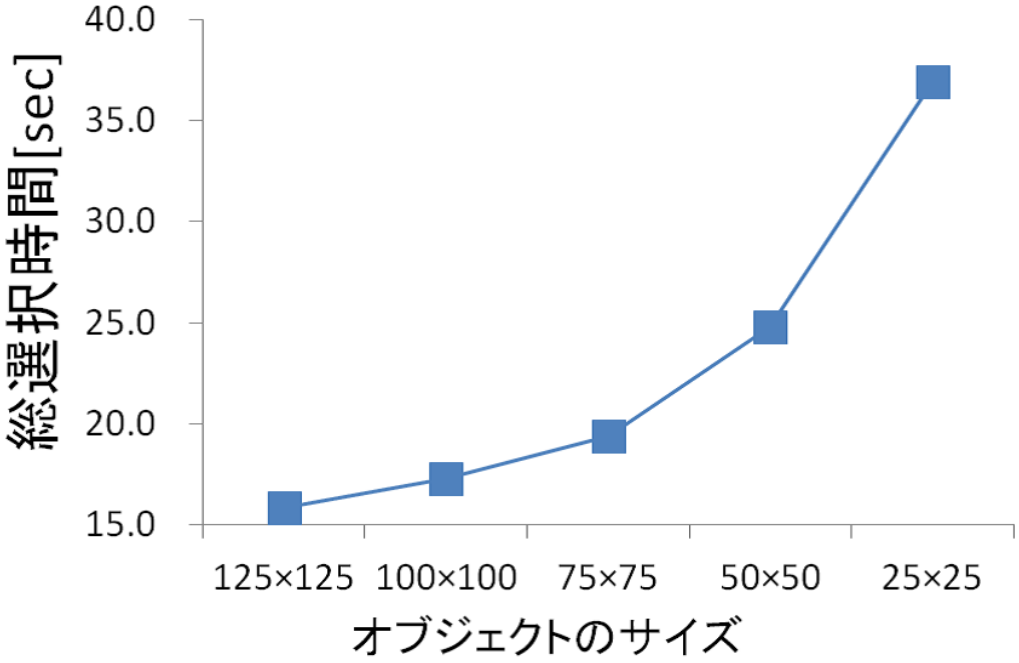


図 5.5: average of selection time

5.3.4　操作支援方法

本研究でユーザの操作を支援する方法としてオブジェクトの拡大とポインタ自動移動を行う。5.3 節の実験におけるオブジェクト毎の総選択時間の平均値を図 5.5 に示す。図 5.5 から総選択時間の平均値はオブジェクトサイズが小さくなることに反比例して増加している。総選択時間が大きいオブジェクトほど選択し難いオブジェクトであり，例えば総選択時間の増加が他の区間に比べ大きい 25 × 25pixel と 50 × 50pixel 間は他の区間より選択操作を支援する必要があるが，図 5.4 から操作し難さの指標である d はオブジェクトのサイズが小さくなることにしたがって単調減少しており，d をこのまま操作支援の指標として用いると選択し難さの度合に応じた支援を行うことが難しい。このことから d を用いて図 5.5 の増加曲線の特性を模した関数を定義する。

$$s = \begin{cases} 0 & d \geq 0.5 \\ ve^{-ad} & d < 0.5 \end{cases} \tag{5.6}$$

s は支援を行う度合を示す変数であり，ユーザが選択し難いならば v，選択し易いならば 0 に近づく。選択し難い際に操作支援方法が例えばオブジェクトの拡大ならば 10msec 毎に最

大 $v$pixel ずつ拡大し，移動速度の場合は目的のオブジェクトへ 10msec 毎に $v$pixel ずつポインタが近づくことを示している。一方，選択し易ければ s は 0 に近づくため，支援は行わない。また，本研究では選択し難いオブジェクトのサイズを 25 × 25pixel，選択し易いオブジェクトのサイズを 125 × 125pixel と定義している。そのため，選択し難いオブジェクトを選択し易いオブジェクトに近づけることで支援を行うオブジェクトの拡大は v=100 とする。また，5.3 節にて 25 × 25pixel のオブジェクトを選択する際に目標のオブジェクトの周囲でポインタが水平方向に 1.5 ± 2.0pixel，垂直方向に平均 2.1 ± 2.9pixel 振動的に動いていたことから手振れによるポインタのぶれの影響を考慮し，ポインタ自動移動は v=5 とする。a は拡大率，移動速度の変化度を調整する変数である。また，$d \geq 0.5$ のときに操作支援を行わない理由として， 5.3 の実験で取得した 10 人分のデータから d を計算した結果，選択し難い 25 × 25pixel のオブジェクトを選択した際の d が 0.09 ± 0.02，選択し易い 125 × 125pixel のオブジェクトを選択した際の d が 0.64 ± 0.05 となったことが挙げられる。ただし，u_s，u_l は d を算出するユーザ以外の 9 人分の平均から算出した。

5.4　操作支援に対する評価実験

5.4.1　実験方法

テレビの選択画面を参考に作成した実験用画面（図 5.6）で実験を行った。

実験環境は 5.3 節の実験と同様である。選択するオブジェクトのサイズは 25 × 25pixel である。評価実験用画面上は，テレビ操作に関わる選択肢が表示されており，被験者はこの選択肢を指定された順番に選択する。選択する順番を以下に示す。　『番組ナビ』，『番組を探す』，　『今放送中から』，　『戻る』，　『画質を調整する』，　『バックライト』の『＋』，　『バックライト』の『＋』，　『バックライト』の順に選択する。この一連の操作を 5 回ずつ行ってもらう。また，被験者は 20 代男性 10 名である。評価は全ての入力が終わるまでの時間（入力時間）とアンケートから行う。またアンケートはまず操作が容易な順に順位をつけてもらい，その後自由記述式で各操作についての感想を記述してもらう。順位は同順位でも可である。

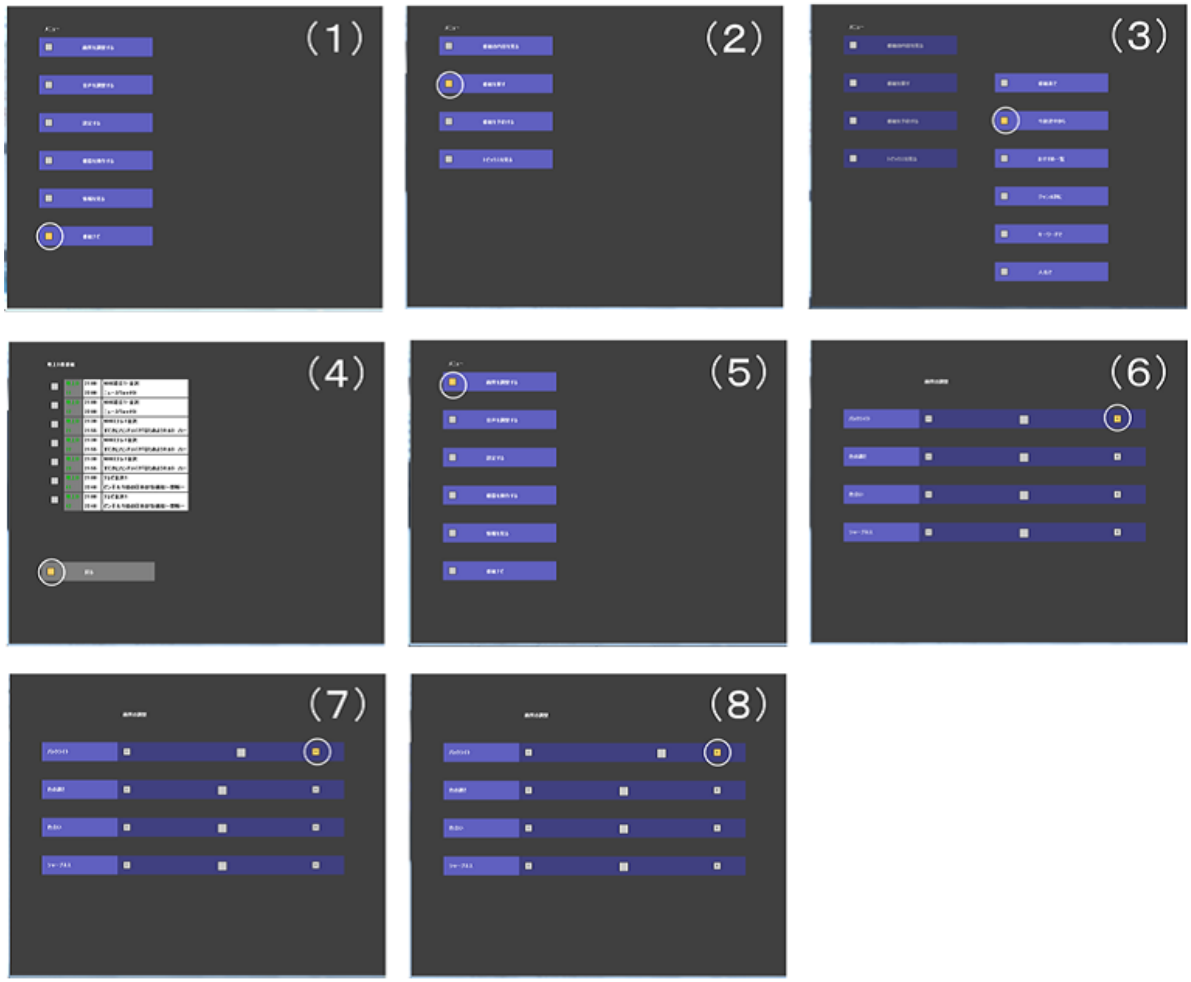


図 5.6: Evaluation experiment of support system

5.4.2　実験結果

実験結果を図 5.7 に示す。

この結果から,「オブジェクトの拡大」の方が「支援なし」より最大で 8.5sec，全ユーザの平均では 2.8sec 減少した。また,「ポインタの自動移動」の方が「支援なし」より最大で 13.3sec，全ユーザの平均では 6.2[sec] 減少した。ポインタの自動移動の入力時間が最も減少した理由として，ポインタの自動移動は目的のオブジェクトへ直接ポインタが移動するため，手振れによるポインタのぶれの影響を受け難く選択し易かったと考えられる。また，アンケート結果においても手振れによるポインタのぶれをあまり感じなかったと答える人も多かった。表 5.1 のアンケートにおいて 10 人中 6 人がオブジェクトの拡大が最も操作し易いと答え，10 人中 4 人がポインタの自動移動が最も操作し易いと答えた。また，10

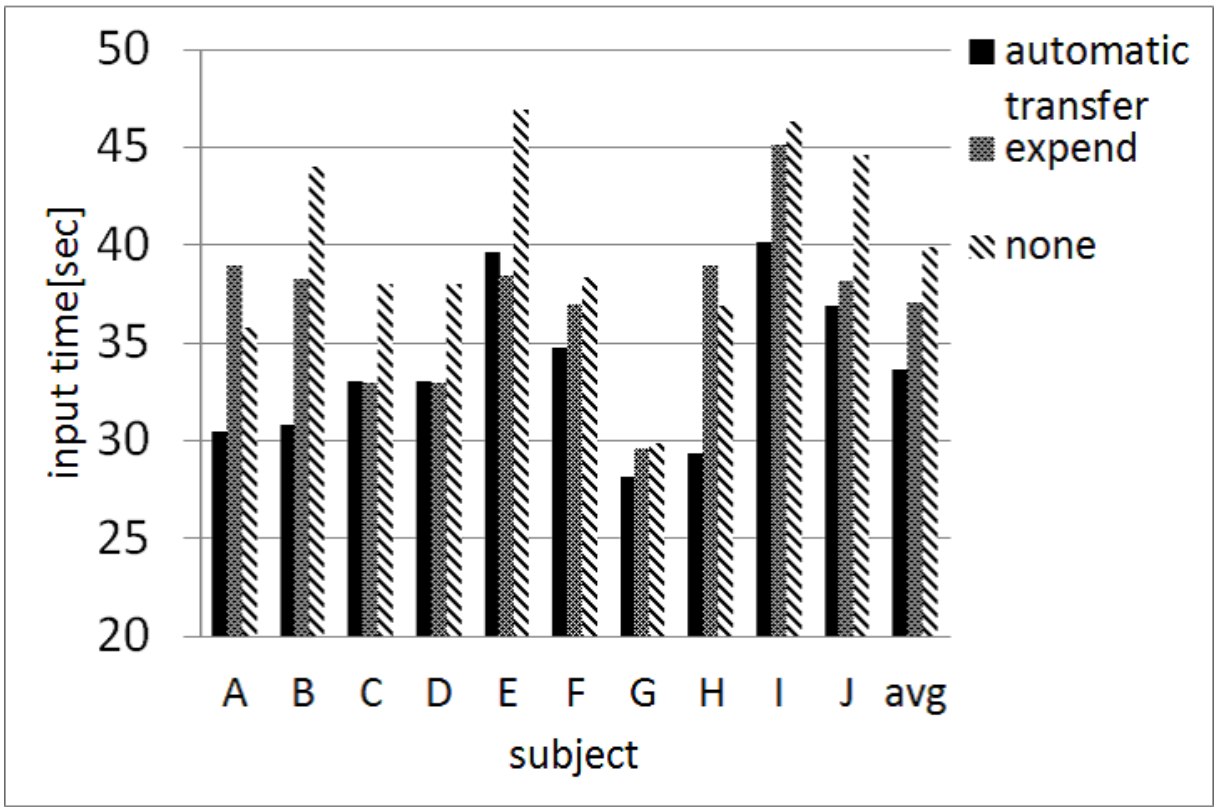


図 5.7: Experiment result of support system

人中 9 人が操作支援なしが最も操作し難いと答えていた。このことから支援なしと比較してオブジェクトの拡大，ポインタの自動移動など操作支援を行った方がユーザは操作し易いと感じていた。一方オブジェクトの拡大，ポインタの自動移動は操作支援方法が異なるが，ユーザが感じる操作し易さは変わらなかったと考えられる。また，ポインタの自動移動とオブジェクトの拡大の入力時間を比較した際に最も減少した被験者は H だが，H はアンケートでオブジェクトの拡大が最も評価が高く，次に評価が高かったのはポインタの自動移動で最後は支援なしだった。また，被験者 A，B，I がそれぞれポインタの自動移動の

表 5.1: questionnaire result

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
auto	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1
expend	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2
none	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3

方がオブジェクトの拡大より 8.5sec，7.5sec，5.0sec 減少していたが，アンケートにおいてポインタの自動移動の方がオブジェクトの拡大より操作し易いと答えた被験者は B のみであった。もし，入力時間の減少とユーザの感じる操作し易さに相関があるならば，入力時間の変化によって被験者が感じた操作し易さの評価が変化すると考えられる。しかし，ポインタの自動移動において入力時間が他の人と比較して減少していた人の評価が低かったことから入力時間の変化がユーザの感じる操作し易さに与える影響は少ないと考えられる。一方，操作支援ありの方が操作支援なしと比べ，ユーザの評価が高い。これは，操作支援ありはそれぞれ支援方法が異なるが，オブジェクトが拡大する，ポイントが自動的にオブジェクトに移動するなど視覚的に支援されていることがわかり易いことが理由として挙げられる。また，図 5.7 より支援なしと比較して入力時間が減少していることから本研究の提案手法は有用である。

5.5　おわりに

ユーザの選択し難さを自動的に識別し，操作支援を行う方法を提案した。操作支援方法についてまずは若年者を対象に評価実験を行った結果，操作支援方法について主観的評価および入力時間において支援なしより有用であることが示せた。本稿では若年者を対象として実験を行ったが，今後は年齢別に実験を行い，この操作支援方法を適用した場合の年齢毎の操作特性を調査，分析し，本稿で提案した方法が有効に機能するよう、改良していく。また，本実験では提案手法の評価を行うためにディスプレイとユーザの距離を 78cm に固定して実験を行ったが，式（5.3）を用いて目的オブジェクトの周りで手振れが生じた場合に操作支援が行われるため，この距離を変化させても同様の結果が期待できる。この提案手法は，選択し難いプラウザのリンクの選択やプレゼンテーションの操作支援などに応用できる。今後は応用できる範囲を広げたいと考えている。

第 6 章

料理自動判別システムを用いた健康管理システム

6.1　はじめに

高齢になるに従い，感覚器官の鈍化や体力の低下などから若年者より身体の異常に気づき難く，一旦病気にかかると病状が悪化する場合が多い。そのため，高齢者にとって病気を未然に防ぐ等の健康管理は非常に重要となる。健康管理する上で重要な項目の一つに栄養管理がある。老人ホームや施設などは専用の栄養士が栄養を管理してくれる場合が多いが，独居老人の場合，栄養管理を自ら行う必要がある。しかし，独居老人が栄養士のような専門的知識を持っていることは少なく栄養が偏っているのが現状である。

そこで本研究では，料理を撮影するだけでその料理の栄養を自動的に表示し，容易に栄養管理できるシステムを開発することを最終目的とする。本稿ではその前段階として，料理画像から自動的に料理を識別するシステムを開発する。従来ではファーストフード画像に対して料理を識別する [66]-[68]，解像度の高い携帯画像から料理を識別する [69]，解像度が低い Web 画像から料理を識別する [70] 等が研究されているが未だ十分な精度には至っていない。そこで本研究ではまず料理の識別精度を向上させる。

6.2　特徴量抽出

まず，料理画像から特徴量を抽出する。特徴量は色情報，SIFT[71]，ColorSIFT[72]，HLAC 特徴量 [73]，HOG 特徴量 [51]，ガボール特徴量 [74]6 つである。また，それぞれに対して

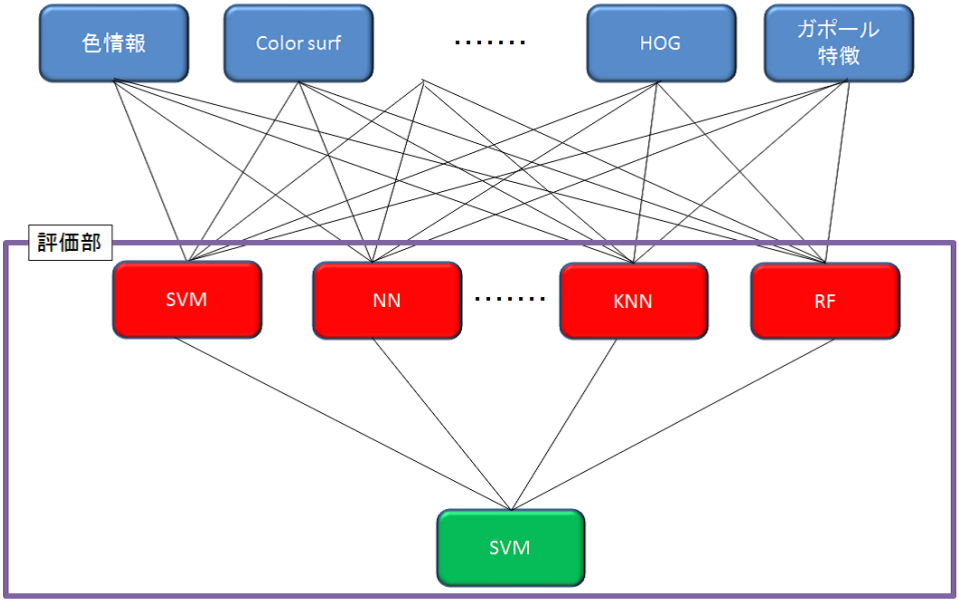


図 6.1: Pattern Recognition Machine Learning

Bag of Feature[75] を行い，特徴量の量子化を行い，空間ピラミッド表現 [76] により位置情報を付加する。Bag of Feature の特徴量の分類には k-means++法 [77] を用いた。

6.3　料理画像の識別

既存の機械学習アルゴリズムを複数組み合わせ，一つの識別器を構築する。料理識別器を以下に示す。No Free lunch 定理より事前の知見なしにあらゆる問題について他を常に上回るような学習アルゴリズムは存在せず，また，醜いアヒルの子定理より特徴量の抽出と識別器による特徴量の選別が識別器の精度に影響することが示されている。そこで，本研究では特徴量の抽出に適した識別器を選別する。図 6.1 は識別部と評価部に分かれ，各特徴量を各識別器で識別し，その結果を評価部でより特徴量の分類に適した識別器を選別する。弱識別器を複数用いてリサンプリングを行い学習するアンサンブル学習である Boosting とは異なり，本研究では強識別器も用いて学習を行う。また，強識別器を用いているため，リサンプリングを行い，学習を行うと時間がかかる。そのため，10-fold-crossvalidation を行い，強識別器の評価を行う。

図 6.2: Example of cooking image

6.4　実験

6.4.1　実験方法

google 画像検索により取得した料理画像 50 種類各 40 枚に対して 10-fold-crossvalidation を行い，評価を行う。評価値には F 値を用いる。料理画像の例を図 6.2 に示す。図 6.2 に示したように箸やヘラなどのノイズが混入した画像や解像度が 100 × 100pixel に満たない画像も用いた。

6.4.2　実験結果

図 6.3 から提案手法は従来手法 [70] と比べ、10.7%向上した。また，ラーメンやカツ丼の識別率が他の料理と比べ低かった理由としてラーメン等は味噌や醤油，豚骨など様々な色のスープに対してラーメンとして識別したため，識別精度が低下したと考えられる。かつ丼はかつ丼に載せる卵の量の増減により親子丼などと誤識別する割合が多かった。また，クロワッサンやコーンスープ，麻婆豆腐など形や色が決まっている料理に関しては識別精度がよく，ラーメンや親子丼，オムレツなど形や色がが変化するものに関しては識別率が低かった。

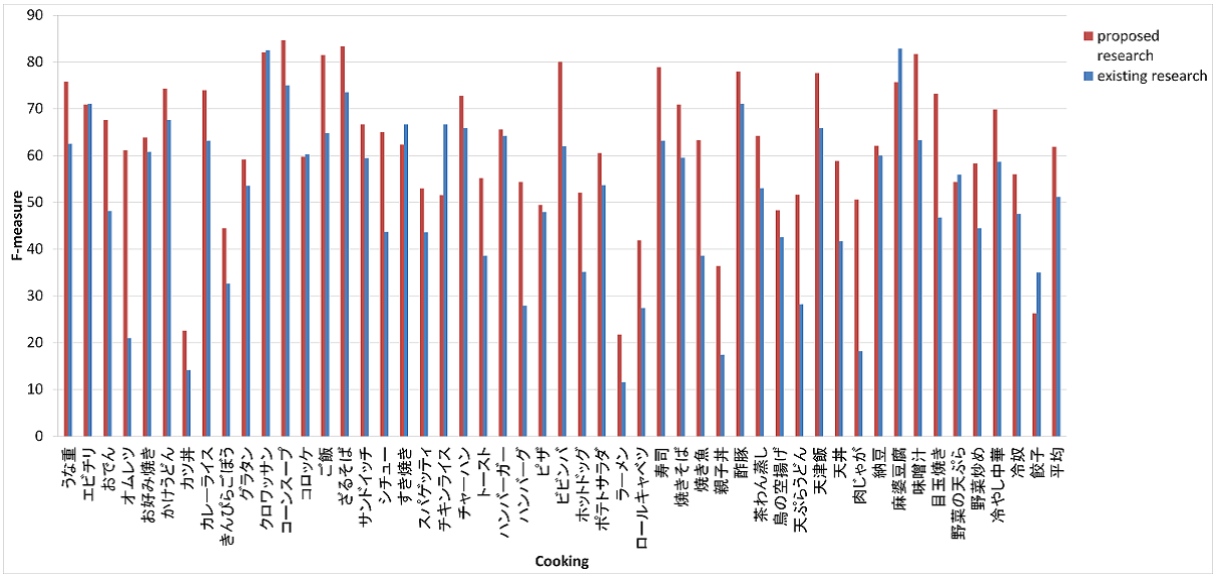


図 6.3: Result of classfication

6.5　終わりに

インターネットから取得した解像度の悪い料理画像を用いて料理を識別し，約 60% の精度を得た。これは従来 [70] と比較して精度約 10% が向上している。しかし，50 種類の料理画像の場合しか比較しておらず，従来 [70] との比較が未だ不十分である。そのため，今後は料理画像を増やし，有効性を示していく。

第 7 章

結論

本稿では，高齢者や重度肢体不自由者を対象として眼球の動きと随意性瞬目を用いて従来研究 [24][25] より高速，かつ使用者に負担の少ない文字入力装置を開発した。また，可視光センサを用いて従来研究 [48] より低コスト，かつ同等以上の検知率を誇る転倒検知システムを開発した。ニオイセンサを用いた独居老人宅の環境モニタリングシステムでは立体的にニオイを測定することで従来 [53] では測定できなかった入退室を認識できた。赤外線ポインティングデバイスの問題点である手振れの影響を考慮したテレビ操作支援システムを開発した。また，50 種類の料理画像を 60%の精度で識別できた。今後は，これらの研究を進展させていく。また，このほかに拡張現実や料理のレシピ推薦などの研究も進めており，それらの研究と本稿のシステムを組み合わせ，高齢者や障害者の QOL を向上させる知的福祉システムを開発していく。

謝辞

研究生活を通じて，数多くの方から御指導，御協力を頂きまして誠にありがとうございました。特に木村春彦教授には御多忙の中，週に二回，会議を開き，研究の進捗状況や進路に関しての指導や助言して頂いたこと誠に感謝しております。南保英孝講師にはグループゼミで研究に関して多くの助言とサーバの管理についての知識や技術を御教授頂き、有難うございました。中村宗広助教には御多忙の中，論文の abstract の英訳の添削などをして頂き，有難うございました。また，村田裕章さんには夜中にも関わらず，研究テーマや提案手法についての相談にのってくださり，数多くの助言を頂きましたこと重ねて御礼申し上げます。

参考文献

[1] 内閣府、平成 24 年版高齢社会白書：”http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun/pdf/1s1s_1.pdf ”

[2] 平成 23 年国民生活基礎調査の概況：”http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa11/dl/02.pdf ”

[3] Verbrugge LM，Jette AM: ”The disablement process ”，Socsci Med，Vol.38，pp.1-14(1994)

[4] Lawrence RH，Jette AM: ”Disentangling the disablement process ”，J Gerontrol B psychol Sci Soc Sci，Vol.51，pp.173-182(1996)

[5] 原田和宏，佐藤ゆかり，斎藤圭介，小林正人，香川幸次郎：”在宅自立高齢者における ADL と活動能力障害の出現率, および転倒既往と閉じこもりの関与 ”，理学療法学，Vol.33，No.5，pp.263-271(2006)

[6] 厚生労働省：”平成 17 年度版厚生労働白書. ぎょうせい ”，東京，pp.236-360(2005)

[7] Wolinsky FD，Stump TE，et al：”Consistency and change in functional status among older adults over time ”，JAging Health，Vol.8，pp.155-182(1996).

[8] Spilker B. Introduction. In: Spilker B, edited. Quality of life and pharmacoeconomics in clinical trial. New York: Lippincott Williams Wilkins, pp.1-10(1996)

[9] 山本則子，etc ”高齢者の家族における介護の肯定的認識と生活の質 (QOL), 生きがい感および介護継続意思との関連：続柄別の検討 ”，日本公衆衛生雑誌，Vol.49，No.7，pp.660-671(2002)

[10] 太幡直也，佐藤広英：”プライバシー意識がプライバシーを感じる内容，理由に与える影響 ”，日本パーソナリティ心理学会，Vol.18，No.3，pp.241-243(2010)

[11] 梶原祐輔，村田裕章，木村春彦，阿部孝司，”交流眼電図による水平方向の眼球運動と随意性瞬目を用いた意思伝達支援装置の開発 ”，電気学会論文誌 C，Vol.132，No.4，pp.555-560(2012.4)

[12] 梶原祐輔，中村宗広，村田裕章，木村春彦，”眼球運動と随意性瞬目を用いた文字入力装置 ”, 日本福祉工学会誌，Vol.14，No.1，pp.22-29(2012.5)

[13] 梶原祐輔，小林陽佑，中村宗広，林克明，木村春彦，”可視光センサを用いた浴室における転倒検知システムの開発 ”, 電気学会論文誌E，Vol.132, No.11，pp.387-396（2012.11）

[14] 梶原祐輔，藤井敦史，上野将義，中村宗広，木村春彦，”ニオイセンサを用いた独居老人宅の環境モニタリング ”, 日本福祉工学会誌，Vol.14，No.2，pp.29-34(2012.12)

[15] 梶原祐輔，横田勇輝，中村宗広，南保英孝，木村春彦，”赤外線ポインティングデバイスの選択操作を支援するシステム”, 日本設備管理学会誌（2013.4）

[16] 伊藤和幸，数藤康雄，伊福部達：”重度肢体不自由者向けの視線入力式コミュニケーション装置 ”，電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J83，No.5, pp.495-503(2000)

[17] 大田拓臣，板倉直明，坂本和義，廣瀬卓：”交流眼電図を用いた視線入力インターフェース ”，信学技法，HIP2003-96，pp.37-42(2003）

[18] 坂本和嵩，板倉直明：”交流眼電図式眼球斜め方向移動を用いた多選択型視線入力インターフェース ”，電子情報通信学会論文誌D，Vol.J92-D，No.2，pp.189-198(2009）

[19] 内富寛隆，堀純一：”直流結合増幅眼電図を用いたポインティングデバイスの開発 ”，電気学会論文誌C Vol.129，No.10，pp.1792-1800(2009）

[20] 阿部 清彦，仲山 泰弘，大井 尚一，大山 実：”視線によるマウス操作補助システム ”，電気学会論文誌C Vol.129，No.9，pp.1705-1713(2009）

[21] 加納慎一郎，二見亮弘，吉信達夫，星宮望：”交流眼電図を用いた視点移動によるメニュー選択法 ”，電気学会論文誌C，Vol.129，No.10, pp.1822-1827（2009）

[22] Qiuping DING, Kaiyu TONG, Guang LI： ”Development of an EOG (Electro-Oculography) Based Human-Computer Interface ”，Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September，1-4, pp6829-6831（2005）

[23] 新井 康平， 矢島 健郎：”視線入力による会話支援システム ”，電気学会論文誌C Vol.128，No.11，pp.1679-1686(2008）

[24] 大矢哲也，川澄正史：”眼電図による ALS コミュニケーションツールの入力動作の研究 ”，生体医工学, Vol.43，No.1, pp.172-178，(2005)

[25] 大矢哲也，山下和彦，小山祐徳，川澄正史：”眼電図を用いた随意性瞬目によるスイッチ操作の研究 ”，生体医工学，Vol.45，No.2，pp.254-260(2008)

[26] Junichi HORI，Koji SAKANO,Yoshiaki SAITOH：”Development of a communication Support Device Controlled by Eye Movements and Voluntary Eye Blink ”，IEICE Transactions on Information and Systems，Vol.E89-D，No.6，pp.1790-1797(2006)

[27] Lalonde M，Byrns D，Gagnon L，Teasdale N，Laurendeau D：”Real-time eye blink detection with GPU-based SIFT tracking ”，Fourth Canadian Conference on Computer and Robot Vision，pp481-487（2007）

[28] Bhaskar TN，Ranganath FTK，Venkatesh YV：”Blink detection and eye tracking for eye localization ”，TENCON 2003.Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region，Vol.2，pp821-824（2003）

[29] 大隈 隆史，興梠 正克，酒田 信親，蔵田 武志：”屋内展示ナビと現地や遠隔地での追体験のための三次元インタフェース ”，信学技報，Vol.107，No.242，pp.43-48(2007)

[30] Robinson, D.A. : ”A method of measuring eye movements using a search coil in a magnetic field ”, IEEE Transactions in Biomedical Engineering, Vol.10 ,No.4，pp.137-145(1963)

[31] Hess, B.J. : ”Dual-search coil for measuring 3-dimensional eye movements in experimantal animals ”, Vision Research, Vol.30，No.4，pp.597-602 (1990)

[32] Hazel, C.A. and Johnston, A.W. : ”Recording eye movements using coaxial camers -Applications for visual ergonomics and reading stdies ”, Optometry and Vision ergonomics, Vol.72 ，pp.679-683(1995)

[33] 廣瀬卓，板倉直明，坂本和義：”EOG を用いた垂直方向注視領域判定の可能性 ”，第 16 回生体・生理工学シンポジウム論文集，pp.299-302(2001)

[34] 坂下祐輔，藤吉弘亘，平田豊：”画像処理による 3 次元眼球運動計測 ”，JSEM 日本実験力学会特集号，pp.6-3(2006) pp.236-243

[35] 木村直子，渡辺彰英，中村芳子，鈴木一隆，豊田晴義，袴田直俊，木下茂，瞬目高速解析装置による高齢者と若年者における自発性瞬目と随意性瞬目の比較，日本抗加齢医学会総会プログラム・抄録集 ，11th，pp.290(2011)

[36] 石川俊，福田忠彦，音読困難者の眼球運動特性に基づく新しい読字モデル，KEIO SFC JOURNAL，Vol.2，No.1，pp.92-113(2003)

[37] 宮下広夢，林雅樹，岡田謙一，両眼式 HMD のための動作と視線を用いた映像視野移動手法，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.14，No.2，pp.177-184(2009)

[38] 橋本俊幸：”入浴中休止の事例検討 ”，都市生活レポート，Vol.2001，No.10，pp.4-23（2001）

[39] 浅川康吉，高橋龍太郎，遠藤文雄：”高齢者における入浴中の心，血管反応 ”，理学療法学，Vol21.No.4，pp.433-436(2006)

[40] 安原正博: ”寒冷期における中高年者の入浴中の自己-法医学の面から- ”，日本医事新報，3996，pp.21-25（2006）

[41] 橋本雅津子，”在宅高齢者の浴槽での溺死に関する検討 ”，双発大阪健康福祉短期大学紀要，第 2 号，pp.56-59（2004.3）

[42] 西浦朋史，中島真人：”カラー撮像素子内蔵型 FG 視覚センサによるバスルーム監視システムの開発 ”，電子情報通信学会論文誌 D，Vol.J89-D，No.5，pp.1001-1010(2006)

[43] Shota Nakashimaa，Yuhki Kitazonoa，Lifeng Zhanga，Seiichi Serikawa: ”Development of privacy-preserving sensor for person detection,” Procedia Social and Behavioral Sciences，Vol.2，pp.213-217(2010)

[44] 斎藤光俊，北園優希，芹川聖：”赤外線センサを格子状に配置した人物状態推定センシングシステムの開発 ”，電気学会論文誌 E，Vol.128，No.1，pp.24-25(2008)

[45] Aud MA，Abbott CC，Tyrer HW，Neelgund RV，Shriniwar UG，Mohammed A，Devarakonda KK：”Smart Carpet—developing a sensor system to detect falls and summon assistance ”，J.Gerontological Nursing，Vol.36, No.7，pp.8-12(2010)

[46] H. Rimminen, M. Linnavuo, and R. Sepponen,“ Human tracking using near field imaging ”,Proceedings of the 2dn International Conference on Pervasive Health,Tampere, Finland,pp.148-151(2008)

[47] Henry Rimminen，Juha Lindstrom，Matti Linnavuo，and Raimo Sepponen：”Detection of Falls Among the Eldely by a Floor Sensor Using the Electric Near Field ”，IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE，Vol.145，No.6，pp.1475-1476(2010)

[48] 田嶋拓也，阿部武彦，木村春彦：”超音波センサを用いた転倒検知システムの開発 ”，電気学会論文誌 E，Vol131,No.1，pp45-52（2011）

[49] 杉原 太郎，藤波 努，高塚 亮三：”グループホームにおける認知症高齢者の見守りを支援するカメラシステム開発および導入に伴う問題 ”，社会技術研究論文集，Vol.7，pp.54-65(2010)

[50] エルエルセンサのシステム構成，http://www.llsensor.com/p3.ht
ml

[51] N.Dalal, B.Triggs,”Histograms of oriented gradients for human detection”,Proc.of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),pp.886-893(2005)

[52] 冬の入浴に関する調査，http://research.lifemedia.jp/2012/01/
120118_bath.html

[53] 大藪多可志，広林茂樹，木村春彦：”複数の酸化スズ系ガスセンサによる独居老人世帯モニタリング ”，電気学会論文誌 E，Vol.117，No.6，pp.314-320(1997)

[54] 関弘和，堀洋一：”高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出 ”，電気学会論文誌 D，Vol.122，No.2，pp.1-7(2005)

[55] みまもりほっとライン，http://www.mimamori.net/

[56] Michael McCulloch,Tadeusz Jezierski, Michael Broffman,AlanHubbard, Kirk Turner, and Teresa Janecki ”Diagnostic accuracy of canine scent detection in early and late stagelung and breast cancers”, Integrative cancer therapies,Vol.5，No.1, pp.30-39(2006)

[57] John M.Luce，Martha L.Tyler，David J. Pierson，木村仁：”呼吸管理ハンドブック”，医学書院サウンダース (1986)

[58] 総務省 | 地上デジタルテレビ放送に関する浸透度調査の結果：http://www.soumu.go.jp/menunews/s-news/01ryutsu08010000005.html (2010)

[59] 小峯一晃，比留間伸行，石原達哉，牧野英二，津田貴生，伊藤崇之，磯野春雄：”テレビ画面上の GUI 操作環境における高齢者のリモコン操作性評価 ”, 映像情報メディア学会誌，Vol.55，No.10，pp.1345 -1352(2001)

[60] 森順子：”高齢者のパソコン操作におけるつまずきについて〜マウス体操の開発とその評価〜 ”，SONODA 情報コミュニケーション，Vol1,pp.185 -195 (2002)

[61] LG エレクトロニクス：http://www.lg.com/jp/ index.jsp（2011）

[62] 藤根俊之，吉田育弘，杉野道幸：”画面の好ましい輝度とテレビ画面サイズの関係 ”，電子情報通信学会論文誌 Vol.J91-A，No.6，pp.630-638(2008)

[63] L.Breiman：”Random Forests，Machine Learning”，Vol.45，No.1，pp.5-32(2001)

[64] L.Breiman，J.Friedman，R..Olshen and C.Stone：”Classification and Regression Trees”，Wadsworth (1984)

[65] R.Kohavi：”A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection”，Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence ，pp.1137-1143 (1995)

[66] S.Yang, M.Chen, D.Pomerleau, and R.Sukthankar:”Food recognition using statistics of pairwise local features”, Proc.IEEE Computer Vision and Pattern Recognition,(2010)

[67] Z.Zong, D.T.Nguyen, P.Ogunbona, and W.Li:"On the combination of local texture and global sructure for food classification,"IEEE International Symposium on Multimedia, pp.204-211(2010)

[68] M.Chen, K.Dhingra, W.Wu, L.Yang, R.Sukthankar, and J. Yang:"PFID:Pittsburgh fast-food image dataset",16th IEEE International Conference on Image Processing(ICIP), pp.289-292(2009)

[69] 上東太一，甫足創、柳井啓司："Multiple kernel learning による 50 種類の食事画像の認識 "，電子情報通信学会論文誌，Vol.J93-D，No.8，pp.1397-1406(2010)

[70] 松田裕司，甫足創、柳井啓司："候補領域推定に基づく複数品目食事画像認識 "，電子情報通信学会論文誌，Vol.J95-D，No.8，pp.1554-1564(2012)

[71] D.Lowe:"Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints" International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110(2004)

[72] A.E.Abdel-Hakim and A.A.Farag:"Csift:A sift descriptor with color invariant characteristics"，IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition，Vol.2，pp.1978-1983(2006)

[73] N.Otsu and T.Kurita，"A new scheme for practical exible and intelligent vision systems，" Proc.IAPR Workshop on Computer Vision, pp.431 − 435(1988)

[74] J.Jones, L.Palmer:"An evaluation of the two-dimensional Gabor filter model of simple receptive fields in cat striate cortex",J Neurophysiol, Vol.58, No.6, pp.1233-1258(1987)

[75] G.Csurka, C.R.Dance, L.Fan, and C.Bray:"Visual Categorization with Bags of Keypoints,"European Conference on Computer Vision, pp.1-22(2004)

[76] S.Lazebnik，C.Schmid and J.Ponce:"Beyond bags of features:Spatial pyramid matching for recognizing natural scene categories"，Proc.IEEE Computer Vision and Pattern Recognition，pp.2169-2178(2006)

[77] D.Arthur and S.Vassilvitskii:"k-means++: the advantages of careful seeding," Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms, pp.1027-1035(2007)

[78] D.H.Wolpert and W.G. Macready, "No Free Lunch Theorems for Optimization", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.1, pp.67-82 (1997)

[79] S.Watanabe "Knowing and Guessing – Quantitative Study of Inference and Information", John Wiley & Sons (1969)