

博士論文

物忘れ防止支援のための
センシングシステムに関する研究

Study on Sensing System to Support
Prevention of Forgetfulness

平成 22 年度

九州工業大学大学院 工学府
電気電子工学専攻 システムエレクトロニクスコース
博士後期課程

09589401

北園 優希

指導教員：芹川聖一教授

目 次

第1章	序 論	1
1.1	背 景	1
1.2	本論文の目的と構成	5
第2章	知的センシングシステムによる物忘れ防止支援	7
2.1	知的センシング技術	7
2.2	知的処理	8
2.2.1	ルールベース	8
2.2.2	ファジィ理論	8
2.2.3	ニューラルネットワーク	9
2.2.4	人工生命型発見システム	9
2.2.5	サポートベクターマシン	10
2.3	物忘れ防止支援のための知的センシングの必要性	11
第3章	置き忘れ防止システム	12
3.1	緒 言	12
3.2	加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システム	12
3.2.1	システム構成	12
3.2.2	加速度センサを用いた歩行検知	13
3.2.3	無線機器を用いた距離推定	13
3.2.4	置き忘れ判別	14
3.3	車両に対応した置き忘れ防止システム	14
3.3.1	システム構成	15
3.3.2	加速度センサを用いた状態判別	16
3.3.3	置き忘れ判別	17
3.4	実験と検討	18
3.4.1	加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムの実験	18
3.4.2	車両に対応した置き忘れ防止システムの実験	21
3.5	結 言	27
第4章	服薬忘れ防止システム	28

4.1	緒 言	28
4.2	薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システム	29
4.2.1	システム構成	29
4.2.2	服薬忘れ判別	30
4.2.3	静電容量を用いた薬有無判別センサ	31
4.3	薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システム	33
4.3.1	システム構成	33
4.3.2	服薬忘れ判別	34
4.3.3	フォトリフレクタを用いた咀嚼センサ	35
4.4	実験と検討	38
4.4.1	薬有無判別センサの実験	38
4.4.2	咀嚼センサの実験	42
4.4.3	薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムの動作検証	44
4.4.4	薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムの動作検証	45
4.5	結 言	45
第5章	簡単操作リモコンシステム	46
5.1	緒 言	46
5.2	すりガラスと光センサを用いた大面積光センサ	47
5.2.1	センサの基本構成	47
5.2.2	外 枠	49
5.2.3	文字の記入	50
5.2.4	文 字 板	52
5.3	簡単操作リモコンシステム	53
5.3.1	システム構成	53
5.3.2	センサ選択のための処理	54
5.3.3	学習リモコン	55
5.4	大面積リニアセンサ	55
5.4.1	原理と構成	56
5.4.2	光の照射位置の判別	56
5.5	大面積エリアセンサ	58

5.5.1	原理と構成.....	58
5.5.2	外 枠	60
5.5.3	光 源	60
5.5.4	光の照射位置の判別	61
5.6	実験と検討.....	62
5.6.1	大面積光センサの実験.....	62
5.6.2	簡単操作リモコンシステムの実験	72
5.6.3	大面積リニアセンサの実験	75
5.6.4	大面積エリアセンサの実験	79
5.7	結 言.....	83
第6章	結 論.....	84
	参考文献	87
	謝 辞.....	94

第1章 序 論

1.1 背 景

センサとは、対象の情報を得るために信号の変換を行う系の最初の要素であり、センシングシステムの最先端に位置する[1]-[2]。対象の情報を収集、処理して有用な情報として提供する機能をもつセンシングシステムは、センサデバイスや信号処理装置などのハードウェアと、信号処理アルゴリズムなどのソフトウェアとからなるシステムでもある[3]-[4]。さらに、知的で高度な処理を行うことで、単なる物理量等ではなく、高度で複雑な情報を提供する機能を持つものが、知的センシングシステムであり、それらの機能を実現する技術が知的センシング技術である[5]。

現在の社会では、安全、安心、快適な生活環境が望まれており、これを達成するために様々なセンサを用いた知的センシング技術が研究されている[6]-[11]。例えば、高度化、高密度化する都市空間における安全、安心、快適さを追求するためには、災害予知、犯罪抑制、環境コントロールが不可欠である。そのためには、情報インフラのあり方が重要な課題となる。こうした人間重視型社会において、人や移動体を高度にセンシングする必要があるため、移動体との協調センシングによるシステムの構築に関する研究が行われている[12]。また、多くの人が生活の大半の時間をすごしているオフィスについての快適性、生産性は、建築空間に要求される基本性能として重要な要素である。快適性、生産性は、温熱環境や光環境、音環境など様々な環境条件によって複合的に作り出されるもので、これらの環境条件をそれぞれ定量化し制御する必要がある。こうした状況に対して、知的センシング技術を用いることで、執務快適性、生産性を向上させる研究も行われている[13]。また昨今、痛ましい事件が頻発しており、安全、安心な社会にむけて、監視カメラ映像をもとにした映像セキュリティに大きな期待が寄せられている。監視カメラは単に映像を記録するだけでなく、画像を高度に理解し、アクティブな警告、監視する機能システムへと変化している。監視映像から人間の動作や移動を認識、分析し、不審な状況を検知するためにも、知的センシング技術が用いられている[14]。その他にも、知的センシングの技術を用いて、人間の生体情報をセンシングすることにより、快適性、適合性が高い制御システムの開発も進んでいる[15]。その事例として、自律神経系の生理反応から快適感を推定するマッサージチェアや、電気毛布の温度をコントロールすることで快眠に導く快眠プログラムに関する研究もある[16]-[17]。また筆者らは、トイレや浴室で発生する事故を防止するためのプライバシー保護機能付き人物状態推定システム[18]-[19]や、侵入窃盗における窓用の防犯システム[20]-[21]や発作によ

る危険状態を検知するシステム[22]等、様々な知的センシング技術を用いた研究を行っている。

このように、知的センシング技術を用いることで、安全、安心、快適な生活環境の構築は進んでいるが、日常生活の中では依然多くの問題が発生している。その中でも、物忘れに起因する問題は少なくない。例えば、持ち物の置き忘れ[23]-[24]、服薬忘れ[25]-[28]、複雑なリモコンの操作忘れ[29]-[31]等が挙げられる。人の名前や物の置き場所を忘れるような事はよくあることである。これは、生理的な老化現象によるもので、加齢とともに神経伝達機能が低下してくることに由来する[32]-[33]。人の脳細胞は約 140 億個あるが、40 歳を過ぎると 1 日 5 万から 10 万個の脳細胞が死滅していくことがわかっている[34]。このため、物忘れ自体を防ぐことは不可能である[35]。よって、物忘れに起因する問題は、それぞれの問題の特徴を利用して防止する必要がある。例えば、置き忘れや服薬忘れのような、ある時間に発生する問題であれば、問題が発生しようとした時に知らせることで解決できる。また、操作が複雑なリモコンのような、覚えることが難しく忘れやすいものであれば、簡単で覚えやすいものを開発することで問題の発生を防ぐことができる。本論文では、知的センシングシステムによって物忘れに起因する 3 つの問題（持ち物の置き忘れ[23]-[24]、服薬忘れ[25]-[28]、複雑なリモコンの操作忘れ[29]-[31]）を解決し、物忘れ防止を支援することを目的としている。以下、物忘れに起因するそれぞれの問題について述べる。

置き忘れは、人が物を置いたことを忘れて立ち去ることによって発生する。特に電車やバスなどでの置き忘れは多発しており、社会的な問題となっている。また近年では、情報をデジタルデータとして PC、メモリ、携帯端末に保存して持ち運ぶことが多いため、個人が不意に起こした置き忘れによって一度に大量の個人情報漏洩してしまう恐れがある。実際にデジタルデータの紛失による情報漏洩事件は多発しており、2007 年情報セキュリティインシデントに関する調査報告書[36]によると、情報漏洩の原因として「紛失・置き忘れ」が 20.5 %と最も多く、大きな問題となっている。そのため、置き忘れをした場合、持ち主に通知してくれるシステムが必要となる。現在の置き忘れ防止システムとしては、無線機器が通信に用いる電波から距離を推定し[37]-[39]、置き忘れを判別するものがある（AIR'S 社製「アラームストラップ AST-110」、REVEX 社製「離れるとアラーム WSA500」等）。しかし、電波のみを利用した距離推定は環境の違いにより大きな誤差が生じる[38]。このため、誤差により置き忘れを判別する距離が長くなる場合がある。つまり、現在の置き忘れ防止システムは、電車から下車時の置き忘れ等、緊急性を伴う置き忘れに対応できない場合がある。

服薬忘れは、患者が決められた時間に薬を飲み忘れることで発生する。平成 19 年国民生活基礎調査[40]によると、平成 19 年に日本で病院に通った人の数は人口千人あたり 333.6 人であった。

年齢階級別にみると、「15～24 歳」の 119.4 人が最も低く、年齢階級が高くなるに従って上昇し、「75～84 歳」で 692.4 人となっている。通院者のほとんどが薬を処方されていると考えると、日本人の約 3 分の 1、特に 65 歳を過ぎると半数以上もの人が服薬していることが推測される。また、患者の医薬品使用実態調査に関する研究によると、6 割以上の患者が薬を飲み忘れている[25]。つまり、1 年間に日本人の約 2 割という非常に多くの人が服薬忘れをしていることが推測される。また海外においても、患者が正確に服薬する確率は、平均して 50 %程度にしかならないという報告もある[26]。このように正確に服薬していなければ、薬の効果を十分に発揮できないだけでなく、病気が悪化してしまうことすらある。そのため、患者の服薬状況を監視し、薬を飲み忘れた場合、服薬するように促すことが必要となる。現在、服薬忘れを防止するものとしては、自分で薬を整理する区分けされた箱、服薬時間になると通知するアラーム（アステック社製「薬飲み忘れ防止機 Bibou 備忘」）、箱内の薬の有無を判別する薬箱を用いたシステムがある[28],[41]-[42]。しかし、薬を箱に整理しても、飲むこと自体を忘れてしまう。また、アラームを用いた場合、事前に服薬してもアラームが鳴るため、煩いとストレスを感じる人もいる。薬の有無を判別する薬箱は、蓋の開閉から薬の有無を判別するものがほとんどであり、薬の有無を直接判別するものではない[28],[41]。そのため、誤って蓋を開けてしまうと、服薬したと判別されてしまう。受光素子を用いて薬の有無を直接判別するものもあるが、大きさや形状に制限がある[42]。また、薬には食前に飲むものと食後に飲むものがあるため、患者が食事しているかを判別する必要がある。この判別は咀嚼センサを用いることで可能であるが、その多くは肌に直接触れる接触型であり、装着時に不快感がある[43]。赤外光を用いた非接触型もあるが、眼鏡が必要であり、装着時に微調整しなければならない[44]。また、認識率も 100 %ではない。

複雑なリモコンの操作忘れは、近年の家電製品の多様化と高機能化に伴うリモコン操作の複雑化によって発生している。また、リモコンは製品毎に存在するため、複数の家電製品を操作するには、複数のリモコンが必要となり、それぞれの操作を覚えなくてはならない。このため、誰もが簡単にリモコン操作を行えるとは限らない。またリモコン操作において、「操作が単純である」ことが最も重要視されているという報告もある[45]。このようなことから、操作が単純で覚えやすいリモコンが必要となる。操作が単純なリモコンは、高齢者や非健常者が操作しやすいリモコン等、様々なリモコンが研究されている[29],[46]-[53]。その中でも指でリモコンを操作することが困難な非健常者等に対しては、音声等を利用して指以外で操作できるリモコンが提案されている[29],[46]-[50]。しかし、指でリモコンを操作できる人にとっては使いやすいものではない。また、携帯電話のディスプレイ上で視覚的に確認しながら操作できるリモコンもあるが、高齢者や非健

常者にとっては携帯電話の複数の小さなボタンを操作することは簡単ではない[51]。部屋に複数のカメラを設置し、人の動きで家電製品を制御するものもあるが、操作のための手サインを覚えなければならない[52]。また、装置が複雑であり、人物が複数いる場合は使用できない。必要なリモコン信号だけを記憶できる学習リモコンは市販されているが、どのボタンに何のリモコン信号を記憶させたかわかるようする必要がある（Victor 社製「リモコン RM-A615」、SONY 社製「学習機能付きリモートコマンダーRM-PL1400D」等）。そのため、各ボタンに名前を書けるものもあるが、高齢者や視力の悪い人にとっては、リモコンに書かれた小さな文字を読むことは難しい。文字を読みやすくするため、文字を書くスペースを広く確保することはできるが、リモコンが大型になり、操作しにくくなる。また筆者らは、操作が単純な Web カメラを用いたリモコンシステムを提案した[53]。このリモコンシステムは、紙に任意の閉曲線を描き、それをレーザーポインタで指示し、Web カメラで認識することで、家電製品を操作できる。しかしこのシステムは、紙に描かれた閉曲線を認識できる位置に Web カメラを設置しなければならない。また、日常生活等で Web カメラが動いてしまった場合等は、正しく認識できなくなることがある。このように、単純な装置で誰もが簡単に操作できるリモコンは存在しない。

1.2 本論文の目的と構成

本論文では、物忘れに起因する問題を解決し物忘れ防止を支援するために、知的センシング技術を用いることで、従来では不可能だったことを実現し、高性能なセンシングシステムの構築を目的とする。知的センシングとは、センサより得られた情報に対して知的アルゴリズムを用いて高度な処理を行うことや、センサ自体に知的機能を持たせることで、高度な出力情報を得ることである。また、これらの機能を実現する技術が知的センシング技術と呼ばれる。知的センシング技術を用いることで、従来では認識できなかった高度な情報を得ることができ、信頼性の高いシステムを構築することが可能となる。

物忘れに起因する問題には、大きく分けて2種類ある。1つは、置き忘れや服薬忘れのように、ある時間にやるべきことを忘れることで発生する問題である。もう1つは、操作が複雑なりモコンのように、操作方法等を学習して覚えること自体が難しく、必要な時に忘れによる知識不足な事態に陥ってしまうことで使用できなくなる問題である。まず前者の問題を解決するためには、その問題が発生しようとする直ちに認識し、通知する必要がある。しかし、単にセンサを用いるだけでは、置き忘れや服薬忘れといった問題の発生という高度な情報を認識することはできない。そこで、知的センシング技術を用い、センサの出力やその他の情報を用いて知的な処理を行い、高度な情報を認識する。また後者の問題を解決するためには、その問題の発生を未然に防ぐため、簡単でわかりやすいシステムを構築する必要がある。そこで、簡単で操作しやすく、使用者の小さな操作ミス等でも誤動作しないようにするために、知的センシング技術を用いて簡単で高性能なシステムを構築する。このように、知的センシング技術を用いることで、物忘れに起因する問題を解決することができる。

本論文では、物忘れに起因する問題の具体例として、「置き忘れ」、「服薬忘れ」、「複雑なりモコンの操作忘れ」の3つを挙げ、これらを解決することで、物忘れ防止を支援するための知的センシングシステムを構築する。それぞれの問題解決のためのシステムについて以下で述べる。

置き忘れの問題を解決するため、置き忘れ防止システムを開発する。本システムは、電界強度を用いた大まかな距離推定と、置き忘れが発生する時、人物は歩行、忘れ物は静止という性質を利用して、置き忘れを判別する。これより、従来法に比べて高精度に置き忘れを判別することができる。さらに、電界強度を用いず加速度センサのみを用いて置き忘れを判別するシステムを構築することで、更なる高精度化と車両での置き忘れへの対応も実現する。

服薬忘れの問題を解決するため、服薬忘れ防止システムを開発する。本システムでは、箱型の

薬有無判別センサを開発し、これを用いて服薬忘れを正確に判別できる。薬有無判別センサは、静電容量の変化から正確に薬の有無を判別できるため、従来の蓋の開閉のみから薬の有無を判別するセンサに比べ、信頼性が高い。さらに、非接触で正確な咀嚼センサを開発し、これと組み合わせることで、食前または食後という服用法を考慮した服薬忘れ防止システムを構築する。

複雑なリモコン操作の忘れの問題を解決するため、簡単操作リモコンシステムを開発する。本システムは、レーザーポインタで大面積のセンサを指示するだけで動作するため、操作が簡単でわかりやすい。また、手を動かせるものの、細かなボタン操作が困難な人でも操作しやすくするために、知的センシング技術を用いて認識する。大面積のセンサには、すりガラスと光センサを組み合わせた安価な大面積光センサを開発する。同様に、すりガラスと光センサを組み合わせることで、大面積のラインセンサおよびエリアセンサを開発し、これを用いることで操作性を向上させる。

第2章では、知的センシングシステムによる物忘れ防止支援について述べる。第3章では、置き忘れ防止システムについて述べる。その中で、加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムおよび車両に対応した置き忘れ防止システムについて、原理を説明し、実験結果を示す。第4章では、服薬忘れ防止システムについて述べる。その中で、薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムと、咀嚼センサを用いて食前または食後という服用法を考慮した服薬忘れ防止システムについて、原理を説明し、実験結果を示す。第5章では、簡単操作リモコンシステムについて述べる。その中で、すりガラスを用いた大面積光センサと、これを用いたリモコンシステムについて、原理を説明し、実験結果を示す。また、大面積ラインセンサ、およびエリアセンサについても述べる。最後に、第6章で結論を述べる。

第2章 知的センシングシステムによる物忘れ防止支援

2.1 知的センシング技術

近年、センサやコンピューティング能力の向上により、知的センシング技術は理論的な段階から実用段階へと身近になりつつある。従来、一見複雑な情報からも知的信号処理により新たな知見を見出すことが可能になる。また、多種類センサ、過去の時系列データ、経験的な見地を総合的に解析することで、今の状態確認や未来の状況の予測をより正確に判断でき、知的センシングの可能性が広がってきている。現在、ルールベース[54]-[57]、ファジィ理論[58]-[62]、ニューラルネットワーク[63]-[67]、人工生命型発見システム[68]-[71]、サポートベクターマシン[72]-[76]、遺伝的アルゴリズム[77]-[79]、カオス[80]-[82]などに基づいた知的センシングは信号処理、画像解析から、自律ロボット制御、人間の心理、動作予測までなどの広い分野で、大いなる可能性を見せている。

現在のセンシング技術は対象のモデルが確立されていれば高度な能力を発揮できる。しかし、異常状態のようにモデルが未確立で予測困難の対象に対しては著しく弱い[86]。

センシング技術はニーズ指向型で、その時代の要請に応じて新しいセンサが開発されてきた。このセンシング技術に対するニーズは多様化しているが、現在、開発が必要視されているセンサについて、共通する機能を次のように集約することができる[87]。

- (1) 正常状態の精密な計量より、異常状態の検出と予測
- (2) 1点の状態量より、時間と空間に依存する多次元動的状態の認識
- (3) 信号変換より、人間の高度かつ微妙な感性の代替
- (4) 不可視状態の可視情報化

これらの課題に共通するのは、対象のモデルが未確立か、それが非常に複雑な対象である。見方を変えると、我々の持ち合わせる対象に関する知識が不十分か、あるいはセンシング技術に結びつきにくいものである。物理現象として信号変換の因果関係が単純に規定できず、しかも、その逆変換が一意に定まらないのでセンサの信号処理で対象の状態を正しく把握しえない。そこで、複数のセンサや異なる種類のセンサ情報を統合あるいは融合する手法により課題の解決が期待される。

2.2 知的処理

センサの出力から、高度な情報を抽出するための知的処理には様々な手法が提案されている。それぞれの手法には特徴があり、目的に応じて使い分ける必要がある。また、提案されている手法を用いず、目的に応じた専用の手法を用いる場合もある。知的処理は大きく2種類に分類できる。一つは人の経験に基づいたルールを構築する手法（ルールベース[54]-[57]，ファジィ理論[58]-[62]等），もう一つは多くの観測データと結論を与えることで最適化を行う手法（ニューラルネットワーク[63]-[67]，人工生命型発見システム[68]-[71]，サポートベクターマシン[72]-[76]等）である。本節では、知的処理の例として、ルールベース，ファジィ理論，ニューラルネットワーク，人工生命型発見システム，サポートベクターマシンについて簡単に説明する。

2.2.1 ルールベース

ルールベース[54]-[57]とは、状態を認識するためのパラメータやその値に対する閾値，さらに原因を分析するために必要なパラメータの種類，閾値，解析方法等を示したルールを持ち，そのルールに基づいて状態を認識するシステムである。このルールは人手によって作成するため，一度で完璧なものを作成できるわけではなく，試行錯誤の末に完成されることがほとんどである。そのため，ルールの試験と試験結果の評価，その評価結果に基づいたルールの再設計というループを実行し続けることでルールを最適なものに近づけていく。

2.2.2 ファジィ理論

ファジィ理論[58]-[62]は，複雑なシステムを「曖昧」ととらえることで最適に制御するアルゴリズムおよび理論である。境界がはっきりしない集合（ファジィ集合）に帰属する度合をメンバシップ関数として表すことで曖昧な主観を表現することができる。ファジィ理論は通常 if-then 形式のルールを用いる。一般のプロダクション・システムとの違いは，ルールの条件部，結論部にファジィ集合を記述できる点である。たとえば，「大きい」，「弱い」など，定量的に規定できない内容を表せる。「温度が非常に高ければ，バルブを大きく開けよ」のような人間の経験的知識をルールとして表現できる。ファジィ理論は，多くの変数からなる複雑な系を扱うのに有効であり，主にプロセス制御，エキスパート・システムなどに応用されている。

2.2.3 ニューラルネットワーク

ニューラルネットワーク[63]-[67]は、脳機能に見られるいくつかの特性を計算機上のシミュレーションによって表現することを目指した数学モデルである。生物学や神経科学との区別のため、人工ニューラルネットワークとも呼ばれる。シナプスの結合によりネットワークを形成した人工ニューロン（ノード）が、学習によってシナプスの結合強度を変化させ、問題解決能力を持つようなモデル全般を指す。ニューラルネットワークは、教師信号（正解）の入力によって問題に最適化されていく教師あり学習と、教師信号を必要としない教師なし学習に分けられる。明確な解答が用意される場合には教師あり学習が、データ・クラスタリングには教師なし学習が用いられる。結果としていずれも次元削減されるため、画像や統計など多次元量のデータでかつ線形分離不可能な問題に対して、比較的小さい計算量で良好な解を得られることが多い。このことから、パターン認識やデータマイニングをはじめ、さまざまな分野において応用されている。

2.2.4 人工生命型発見システム

人工生命型発見システム[68]-[71]では、関数を木構造の遺伝子として表し、アルゴリズムに有性生殖、無性生殖などの生物の概念を導入している。また、特徴として関数の合成と定数項の最適化を同時に行うため、最適解が発散しにくく探索が安定している。以降、遺伝子の表現には関数および、遺伝子を持つ個体を便宜的に虫と表し説明を行う。虫の遺伝子は、種々の関数や変数、定数によって構成している。各々違った関数を持つ虫は移動を行いながら餌となる入力データを捕獲、つまりは餌の捕獲（入力データの代入）を行う。このとき、この入力データによく一致する関数を持つ虫ほど内部エネルギー（適応度）が高くなる。虫は次世代に子孫を残すために生殖を行う。遺伝的アルゴリズム[77]-[79]、遺伝的プログラミング[83]-[85]と同様に内部エネルギーが高い虫ほど多くの子孫を残す可能性が高い。また生殖の後、一部の虫は突然変異を起こす。これを繰り返すにつれて、虫は探索空間内でより効果的に餌の捕獲を行うことのできる虫が生き残っていく。つまり、これらの虫の振る舞いは関数の最適値の探索とみなすことができる。

2.2.5 サポートベクターマシン

サポートベクターマシン[72]-[76]は、教師あり学習を用いる識別手法の一つである。パターン認識や回帰分析へ適用できる。サポートベクターマシンは、現在知られている多くの手法の中でも認識性能が優れた学習モデルの一つである。サポートベクターマシンが優れた認識性能を発揮することができる理由は、未学習データに対して高い識別性能を得るための工夫があるためである。サポートベクターマシンは、線形入力素子を利用して2クラスのパターン識別器を構成する手法である。訓練サンプルから、各データ点との距離が最大となる分離平面（超平面）を求めるマージン最大化という基準で線形入力素子のパラメータを学習する。最も簡単な場合である、与えられたデータを線形に分離することが可能である（例えば、3次元のデータを2次元平面で完全に区切ることができる）場合、与えられた学習用サンプルを区切る境目を学習する。学習の結果として得られた超平面は、境界に最も近いサンプルとの距離が最大となるものとなる。学習過程はラグランジュ乗数法を用いることにより、最適化問題の一種である凸二次計画問題で定式化される。ただし、学習サンプル数が増えると急速に計算量が増大するため、分割統治法の考え方をを用いた手法なども提案されている。

以上のように、知的処理には様々なものがある。これらの手法は、同様の概念を様々な場面に適応でき、汎用性が高い。また、それぞれの手法の特徴を理解し、適切に利用することで、非常に有効に活用することができる。主に、簡単に解決できないような複雑な処理を行うために用いる。本論文では、置き忘れや服薬忘れの発生といった複雑な問題を認識する必要があるが、持ち運んで使用することもあるため、小さなマイコンで簡単に処理する必要がある。既存の知的処理の多くは、情報量が膨大でメモリの消費量も多いため、小さなマイコンでの処理は困難である。そこで本論文では、人手によって簡単な知的処理を作ることができるルールベースを主に採用する。置き忘れや服薬忘れといった問題に対し、個別の特徴を詳しく分析し、それぞれに特化した簡単なルールを用いることで、小さなマイコンでの簡単な知的センシングを実現している。

2.3 物忘れ防止支援のための知的センシングの必要性

本論文では、物忘れに起因する問題を解決し、物忘れ防止を支援することを目的としている。物忘れ自体を防ぐことは不可能であるため、それぞれの問題の特徴を利用して防止する必要がある。物忘れに起因する問題の特徴として、大きく分けて2種類ある。1つは、置き忘れや服薬忘れのように、ある時間にやるべきことを忘れることで発生する問題である。もう1つは、操作が複雑なりモコンのように、操作方法等を学習して覚えること自体が難しく、必要な時に忘れによる知識不足な事態に陥ってしまうことで使用できなくなる問題である。まず前者の特徴を利用すると、その問題が発生しようとする直ちに認識し、通知することで、問題を解決することができる。しかし、単にセンサを用いるだけでは、置き忘れや服薬忘れといった問題の発生という高度な情報を認識することはできない。そこで、知的センシング技術が必要になる。知的センシング技術を用いることで、センサの出力やその他の情報から、置き忘れや服薬忘れの発生という高度な情報を認識することが可能となる。また後者の特徴を利用すると、簡単でわかりやすいシステムを構築することで、その問題の発生を未然に防ぐことが可能である。簡単で操作しやすく、使用者の小さな操作ミス等でも誤動作しないようにするために、知的センシング技術が必要となる。知的センシング技術を用いることで、簡単で高性能なシステムを構築することができる。このように、物忘れに起因する問題を解決するために、知的センシング技術が必要不可欠である。

本論文では、物忘れに起因する問題の具体例として、「置き忘れ」、「服薬忘れ」、「複雑なりモコンの操作忘れ」の3つを挙げ、これらを解決することで、物忘れ防止を支援するための知的センシングシステムを構築する。置き忘れの問題を解決するための置き忘れ防止システムについては第3章で述べる。服薬忘れの問題を解決するための服薬忘れ防止システムについては第4章で述べる。複雑なりモコン操作の忘れの問題を解決するための簡単操作リモコンシステムについては第5章で述べる。

第3章 置き忘れ防止システム

3.1 緒言

個人情報を保存したメモリ等の置き忘れによって生じる情報漏洩は社会的な問題となっている[23]-[24]。現在、置き忘れ防止システムとして無線機器が通信に用いる電波から距離を推定し、置き忘れを判別するものがある（AIR'S 社製「アラームストラップ AST-110」、REVEX 社製「離れるとアラーム WSA500」等）。しかし、電波のみを利用した距離推定は環境の違いにより大きな誤差が生じる[38]。このため、誤差により置き忘れを判別する距離が長くなる場合がある。つまり、現在の置き忘れ防止システムは、電車から下車時の置き忘れ等、緊急性を伴う置き忘れに対応できない場合がある。

これらの問題を解決するために、加速度センサを用いた置き忘れ防止システムを提案する。本システムでは、置き忘れが発生する時、人物は歩行、忘れ物は静止という性質を利用している。これを加速度センサで検知し、置き忘れの判別に利用する。これを知的センシング技術を用いて実現することにより、従来より高精度な置き忘れ防止システムを構築する。

本章では、3.2 節で加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムについて説明し、3.3 節で車両に対応した置き忘れ防止システムについて説明する。3.4 節でそれぞれの実験結果を示し、3.5 節で結言を述べる。

3.2 加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システム

3.2.1 システム構成

図 3.1 に提案する置き忘れ防止システムの構成および物体に付ける試作回路の写真を示す。なお、人物が持つ試作回路の概観も同様である。本システムは、置き忘れが発生する時、人物は歩行、忘れ物は静止という性質を利用している。無線機器には RFID タグを用い、人物がリーダを持ち、物にタグを付ける。リーダとタグにはそれぞれ加速度センサを用いた歩行センサが接続してあり、その出力を PIC（マイコン）で取得し歩行検知を行う。タグは歩行検知の結果を 0.1 秒毎にリーダに送信する。リーダ側の歩行検知の結果、タグ側の歩行検知の結果、電波の電界強度および通信状況から、リーダ内の PIC（マイコン）で置き忘れを判別する。

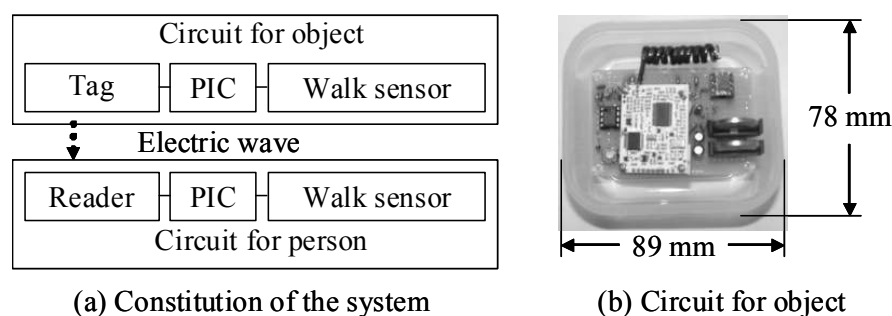


図3.1 : 加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムの構成

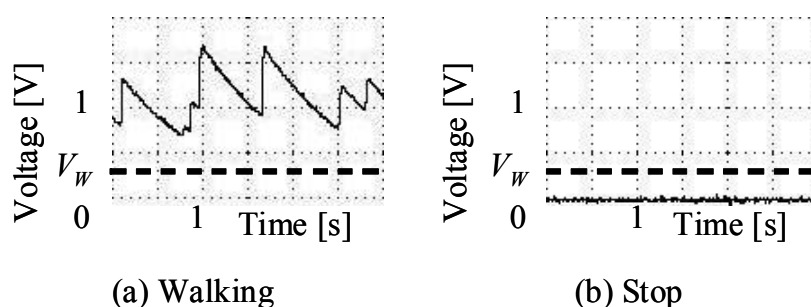


図3.2 : 歩行センサの出力波形

3.2.2 加速度センサを用いた歩行検知

歩行センサには三軸加速度センサ（カイオニクス社製，KXM52-1050）を使用した。加速度センサは各軸の加速度を検知できる。人物の歩行を検知するため，各軸の出力に対して，人物が歩行した時の振動の周波数（0.1~30 Hz 程度）のみを抽出した。また，全方向の振動を得るために各軸の出力を加算し，さらに包絡線検波している。「歩行中」および「静止中」の出力波形を図 3.2 に示す。この出力を PIC で取得し，閾値電圧 V_w 以上なら 1，閾値電圧 V_w 未満なら 0 を保存する。これを 0.1 秒毎に繰り返し，過去 8 回分のデータから 1 の数が 5 個以上なら「歩行中」，5 個未満なら「静止中」と判別する。なお，閾値電圧 V_w は 3.4.1 項 a. の実験により決定する。

3.2.3 無線機器を用いた距離推定

RFID タグには S-NODE2 SDK（ワイマチック社製）を採用した。アンテナには地面や壁等の反射の影響を考慮して円偏波のヘリカルアンテナを採用した[88]。物に付けるタグは 0.1 秒毎に自身

の歩行検知の結果を人物が持つリーダに送信する。リーダはタグの歩行検知の結果を受信すると同時に、その電波の電界強度を測定する。リーダとタグの距離をリーダが測定した電界強度と通信状況から以下の3つに分類する。

- (1) 「近距離」: 「正常に通信可能」かつ「電界強度が高い」
- (2) 「中距離」: 「正常に通信可能」かつ「電界強度が低い」
- (3) 「遠距離」: 「通信が困難」

ここで、2秒以上通信できない場合を「通信が困難」、そうでない場合を「正常に通信可能」とする。また、電界強度を示す値であるRSSI値(Receive Signal Strength Indicator) [37]が閾値 E_{th} 以上の場合を「電界強度が高い」、そうでない場合を「電界強度が低い」とする。なお、RSSI値の閾値 E_{th} は3.4.1項bの実験により決定する。

3.2.4 置き忘れ判別

距離推定の結果より、「近距離」では置き忘れでない、「遠距離」では置き忘れであると判別する。「中距離」ではリーダとタグの歩行検知の結果を用いる。リーダが「歩行中」、タグが「静止中」の状態が1秒以上続いた時を置き忘れであると判別する。そうでない時を置き忘れでないと判別する。

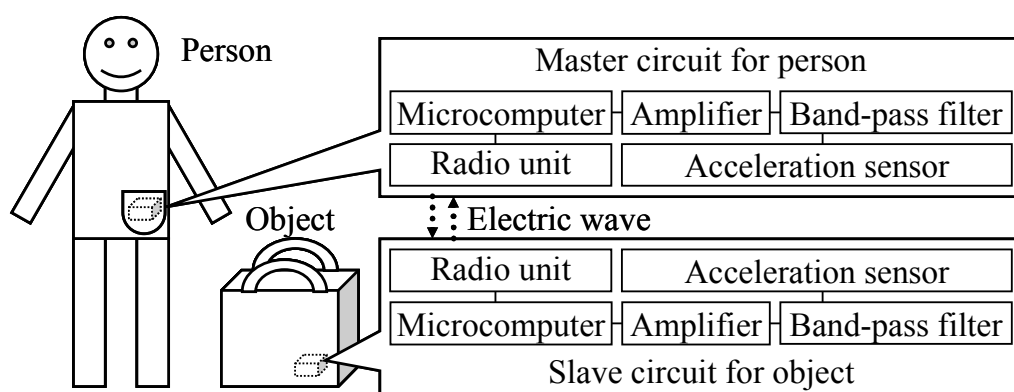
3.3 車両に対応した置き忘れ防止システム

3.2節で提案した置き忘れ防止システムでは、机や床等での置き忘れであれば、持ち主が気づけば、すぐに取りに行くことができる。しかし、電車やタクシー等の車両での置き忘れでは、持ち主が気づいても、すぐに取りに行くことができない。よって、忘れ物側が音等で周囲の人に忘れ物の存在を通知し、持ち主に連絡等をしてもらう必要がある。しかし、持ち主がすぐに取りに行ける場所での置き忘れでは、周囲の人に気づかれたくないと思う人もいる。よって、置き忘れをした場所が車両の中かどうかを判別し、その場所に応じた通知をする必要がある。しかし、このような置き忘れ通知システムは存在しない。

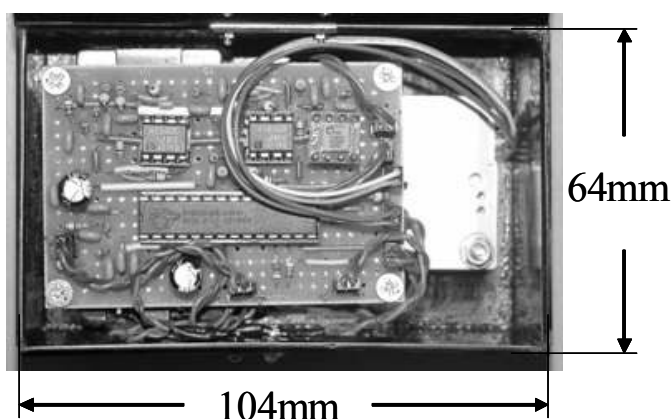
そこで、車両に対応した置き忘れ通知システムを提案する。本システムは、置き忘れをした場所が、机や床等であれば持ち主のみに通知し、車両であれば持ち主と忘れ物の周囲の人に通知する。

3.3.1 システム構成

図 3.3 に提案する置き忘れ防止システムの構成および子機の試作回路の写真を示す。なお、親機の試作回路の概観も同様である。本システムは、置き忘れの発生時、机や床等であれば人物は歩行、物は静止、車両であれば人物または物のいずれかが車両で加速、という性質を利用している。人物が親機を持ち、物に子機を付ける。親機と子機では、それぞれ加速度センサを用いて状態判別（「歩行中」、「車両での加減速」、「その他」）が行われる。子機は 1 秒毎に自身の状態判別の結果を、親機に送信する。通信には無線装置（秋月電子通商、AKU-67）を用いた。親機は、状態判別の結果を用いて置き忘れ判別を行い、その結果を子機に送信する。置き忘れが発生したと判別した場合、親機は音等で持ち主に通知する。また、置き忘れの発生時、人物または物のいずれか片方が車両の中であると判別した場合、子機からも音等で周囲の人に通知する。



(a) Structure of the system



(b) Picture of slave circuit

図3.3 : 車両に対応した置き忘れ防止システムの構成

3.3.2 加速度センサを用いた状態判別

状態判別には三軸加速度センサ（カイオニクス社製，KXM52-1050）を使用した。加速度センサは各軸の加速度を検知できる。各軸の出力に対して，車両での加減速および人物が歩行した時の振動の周波数（0.1~30 Hz 程度）のみバンドパスフィルタを用いてを抽出し，増幅した出力をマイコンで取得している。マイコンは0.1秒毎に状態判別を行う。状態判別は，人物と物の状態を，「車両での加減速」，「歩行中」，「その他」の3つに分類する。

まず車両の例として，車の発車時の加速度センサの出力と状態判別の様子を図3.4に示す。図3.4に示すように，車の加速時，加速度センサの出力は一方向に一定時間持続する。これより，いずれかの軸に閾値電圧 $\pm V_{th}$ 以上の出力（図3.4(1)）が生じ，GNDに戻る（図3.4(3)）までの時間が1秒以上かかった状態を「車両での加減速」と判別する。ただし，閾値電圧 V_{th} を超えて（図3.4(1)）から1秒経過する（図3.4(2)）までは「車両での加減速」と判別されないため，出力がGNDに戻り（図3.4(3)），その1秒後（図3.4(4)）までは，その結果を保持する。よって，図3.4では(2)から(4)までの時間が「車両での加減速」と判別される。

次に，人物の歩行時の加速度センサの出力と状態判別の様子を図3.5に示す。図3.5に示すように，人物の歩行時，加速度センサの出力はGNDを中心に波のような波形になる。1歩では，正か負の出力が生じた（図3.5(1)）後，逆符号に出力（図3.5(2)）が生じる。これより，いずれかの軸に閾値電圧 $\pm V_{th}$ 以上の出力（図3.5(1)）が生じ，1秒以内に逆符号の閾値電圧 V_{th} 以上の出力（図

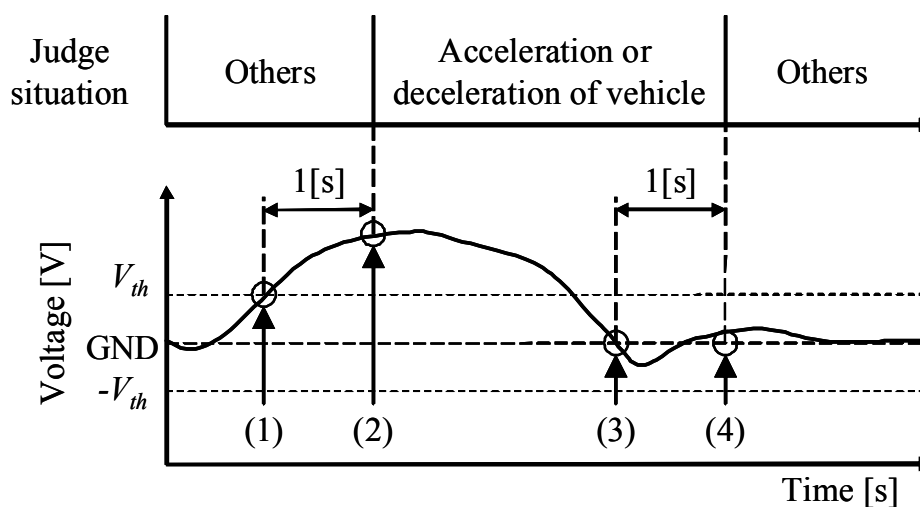


図3.4 : 車の発車時の加速度センサの出力波形

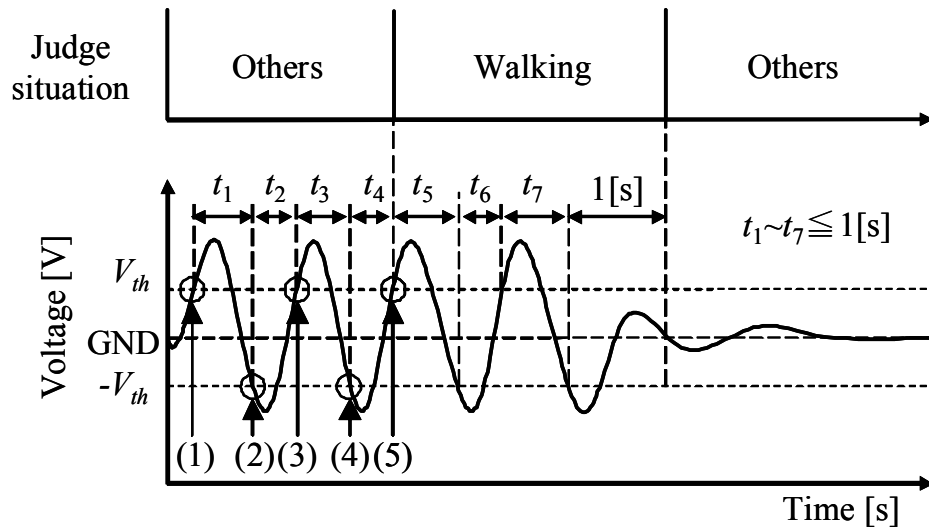


図3.5 : 歩行時の加速度センサの出力波形

3.5 (2) が生じた場合を歩行の開始と判断する。その後、1秒以内に逆符号の閾値電圧 V_{th} 以上の出力（図 3.5 (3)）が生じた場合、次の1歩（2歩目）の開始と判断する。またその後、1秒以内に逆符号の閾値電圧 V_{th} 以上の出力（図 3.5 (4)）が生じた場合、その1歩（2歩目）の終了と判断する。この判断を繰り返し、3歩目の開始（図 3.5 (5)）以降の状態を「歩行中」と判別する。

これら以外の状態を静止、振動、車両での等速移動等を含めて「その他」と判別する。

3.3.3 置き忘れ判別

過去 10 回（1 秒）分の状態判別の結果を用いて、1 秒毎に親機で、置き忘れ判別（「車両での置き忘れ」、「車両以外の場所での置き忘れ」、「置き忘れでない」）が行われる。

まず、車両の中に置き忘れをした場合、または置き忘れをして車両に乗った場合、人物または物のいずれかが車両で移動を始める。よって、人物または物のいずれかが「車両での加減速」の状態、もう片方が「車両での加減速」でない状態が過去 10 回（1 秒）中 5 回（0.5 秒）以上持続していた場合、「車両での置き忘れ」と判別する。

次に、机や床等での置き忘れの場合、人物は歩行しており、物は静止している。よって、人物が「歩行中」、物が「その他」の状態が過去 10 回（1 秒）中 5 回（0.5 秒）以上持続していた場合、「車両以外の場所での置き忘れ」と判別する。

これら以外の場合、「置き忘れでない」と判別する。

3.4 実験と検討

3.4.1 加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムの実験

a. 歩行センサの閾値電圧 V_W の決定

3.2.2 項で述べた歩行センサにおいて、「歩行中」と「静止中」の判別に必要な閾値電圧 V_M を決定する実験を行った。5名の被験者に対し、歩行センサを持たせ静止した時と歩行（速度 3 km/h）した時の出力を測定した。実験場所は、振動のない部屋とした。測定結果を図 3.6 に示す。結果より、閾値電圧 V_M が 0.1~0.4 V の範囲で 100% の判別ができた。これより閾値電圧 V_M を 0.3 V とした。

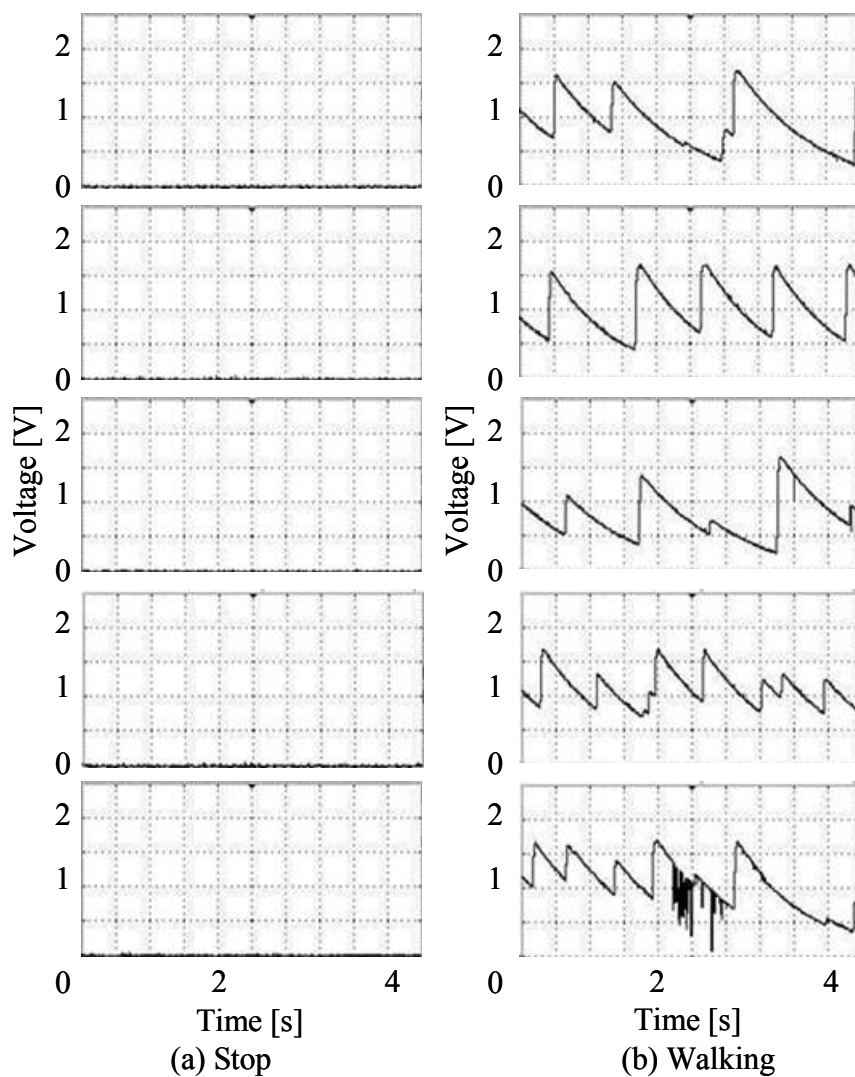


図3.6 : 静止時と歩行時の加速度センサの出力波形

b. 距離推定に用いる RSSI 値の閾値 E_{th} の決定

3.2.3 項で述べた距離推定において、「近距離」と「中距離」の区別に必要な RSSI 値の閾値 E_{th} を決定する実験を行った。タグを固定し，人物がリーダーを持って 0.5~15 m まで 0.5 m ずつ RSSI 値を測定した。リーダーの向きは測定点を中心に前後，左右，上下の 6 方向とし，各方向 10 回ずつ測定した。実験場所は鉄筋コンクリート造 4 階建の建物の①廊下，②PC のない部屋，③PC のある部屋，④屋外の 4 ヶ所とした。各場所の平均（①~④）と全体平均（All）の RSSI 値と距離の関係を図 3.7 に示す。図 3.7 より，全場所で 1~2 m 以内程度の近い距離では RSSI 値が高く，距離が近いことが推定できる。これより「近距離」が 1 m 程度となるように RSSI 値の閾値 E_{th} を 58 とした。しかし，遠くなると環境により RSSI 値が大きく異なる。このため，RSSI 値を用いた距離推定は環境の違いにより大きな誤差が生じる。よって，従来の電波のみを利用した距離推定による置き忘れ防止システムは距離の精度が悪いことがわかる。

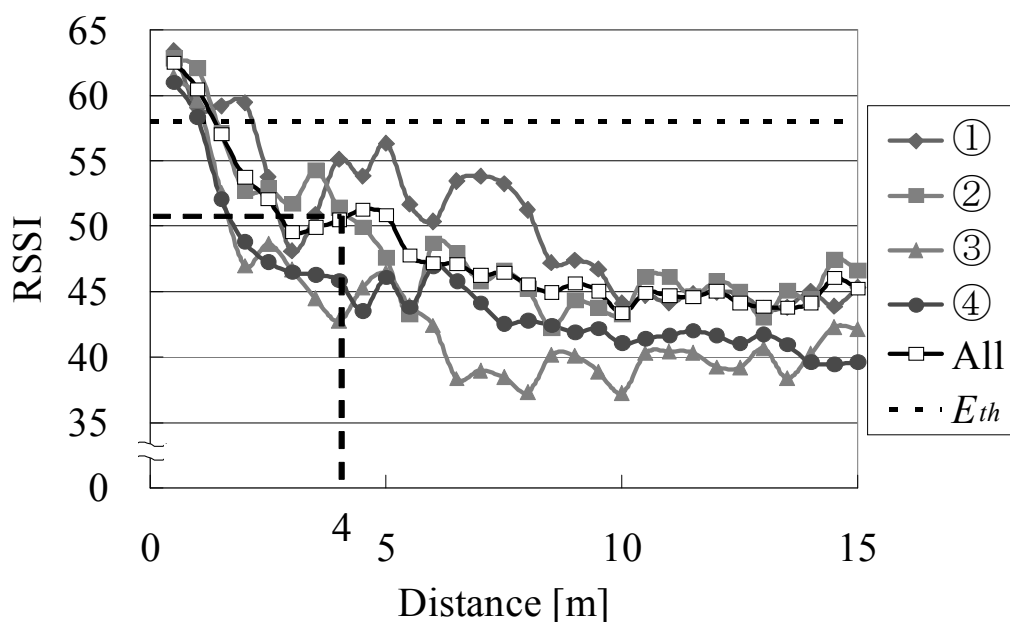


図3.7 : RSSI 値と距離の関係

c. システムの動作検証

提案した置き忘れ防止システムの動作を検証する実験を行った。タグを固定し、人物がリーダーを持ってタグから離れていき、提案手法で置き忘れと判別された距離を測定した。離れる速度は 3, 4, 6 km/h の 3 種類とし、実験場所は上記 b. の実験と同様の 4 ヶ所とし、被験者は 6 名とした。一つの実験条件で各 5 回ずつ実験を行った。また従来法でも同様の実験を行った。従来法では、RSSI 値が 50 以下になった時の距離を測定した。なお、図 3.7 より全体平均 (□印) は、RSSI 値が 50 の時、4 m の距離となる。提案手法と従来法の各速度で測定した距離の平均値と標準偏差を図 3.8 に示す。

図 3.8 より提案手法では平均値が 3~5 m の距離で置き忘れと判別されており、従来法より標準偏差が小さいことがわかる。従来法では、置き忘れと判別する距離のばらつきが大きく、近くに置いていっただけで置き忘れと判別することや、遠くまで離れないと置き忘れと判別しないことが多い。一方、提案手法では置き忘れと判別する距離のばらつきが軽減されている。つまり、高精度化が実現できた。また、電車やバスの車内でも RFID タグでの 10 m 以上の通信は可能であり、歩行検知も正常に動作する。これにより、電車やバスから下車時の置き忘れ等、緊急性を伴う置き忘れに対応できない確率が減ると考える。

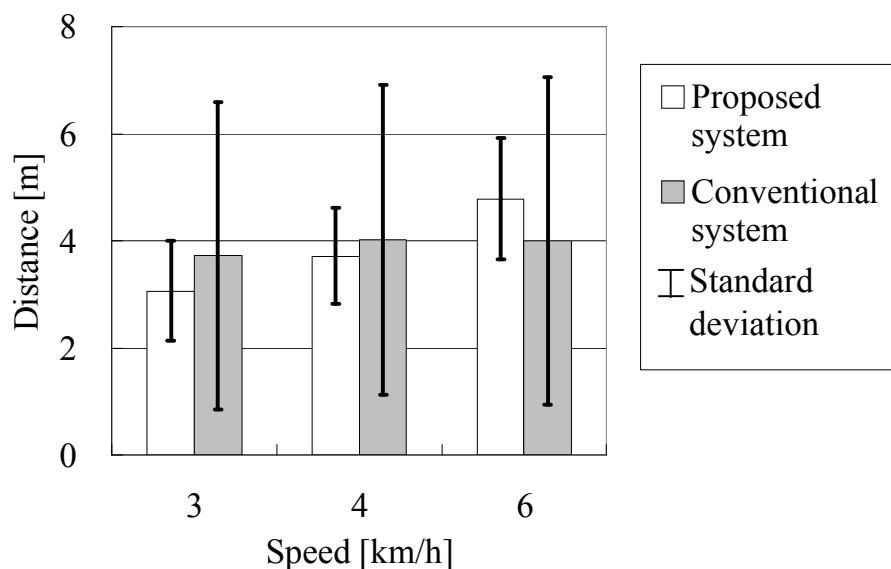


図3.8 : 置き忘れを判別した距離の平均値と標準偏差

3.4.2 車両に対応した置き忘れ防止システムの実験

a. 状態判別に用いる閾値電圧 V_{th} の決定

3.3.2 項で述べた状態判別において必要な閾値電圧 V_{th} を決定する実験を行った。10名の被験者に対し、静止時、歩行時（速度 3, 4, 6 km/h）の、2台の車に対し、静止時、加速時（加速度 1.0, 1.5, 2.0 m/s^2 ）、等速移動時（速度 20, 40, 60 km/h）の加速度センサの出力を測定した。結果より、閾値電圧 V_{th} が 0.6~1.0 V の範囲で 100% の判断ができた。これより閾値電圧 V_{th} を 0.8 V とした。

b. システムの動作検証

(1) 「置き忘れでない」状態の実験

ここでは、「置き忘れでない」状態の本システムの動作検証を行った。「置き忘れでない」状態は次の3つがある。(A) 人物が物を持ち、その場に静止している。(B) 人物が物を持ち、歩行している。(C) 人物が物を持ち、車で移動している。これより、(A) ~ (C) の状態でそれぞれ実験を行った。被験者は6名に対し、各状態を5分間行い、本システムの動作を確認した。なお、(C) の状態で用いる車は1台とした。結果として、全ての状態で「置き忘れでない」と判別され、誤動作がないことが確認できた。

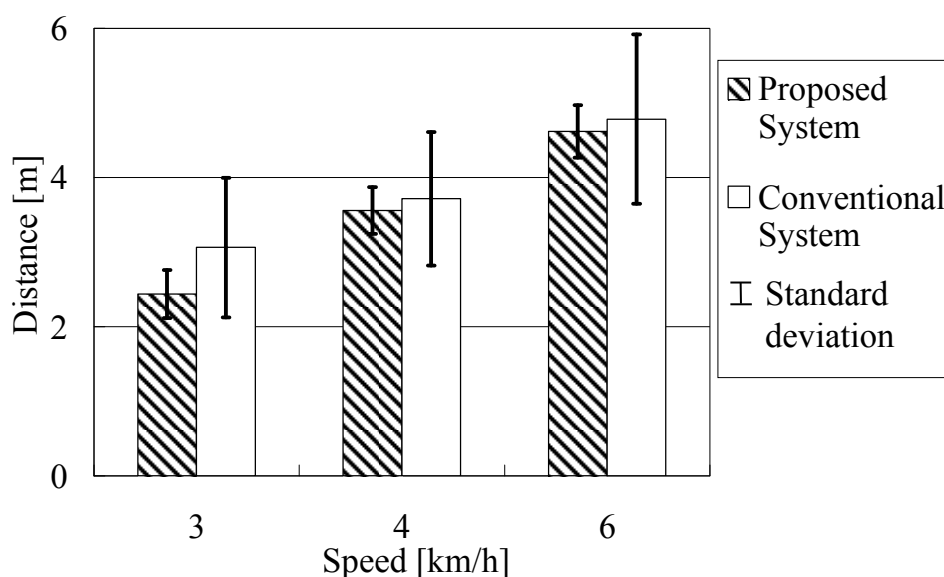


図3.9 : 置き忘れを判別した距離の平均値と標準偏差

(2) 「車両以外の場所での置き忘れ」状態の実験

ここでは、「車両以外の場所での置き忘れ」状態の本システムの動作検証を行った。人物が歩行して物から離れていき、置き忘れと判別された距離を測定した。離れる速度は3, 4, 6 km/h の3種類とし、被験者は6名とした。実験場所は屋内3ヶ所、屋外1ヶ所の計4ヶ所とした。各条件で5回ずつ実験を行った。また、3.2節で述べた手法（以下、従来法とする）でも同様の実験を行った。提案手法と従来法の各速度で測定した距離の平均値と標準偏差を図3.9に示す。結果より、平均値はほぼ等しいが、標準偏差は提案手法の方が小さい。つまり、提案手法では置き忘れと判別する距離のばらつきが軽減されている。これより、提案手法での「車両以外の場所での置き忘れ」の判別は、従来法より高精度であることがわかる。また、提案手法では100%の確率で「車両以外の場所での置き忘れ」と判別され、持ち主のみに置き忘れの発生が通知された。

(3) 「車両での置き忘れ」状態の実験

ここでは、「車両での置き忘れ」状態の本システムの動作検証を行った。「車両での置き忘れ」状態は次の3つある。(A)物が静止し、人物が車両で離れていく。(B)人物が静止し、物が車両で離れていく。(C)人物が歩行し、物が車両で離れていく。これより、(A)～(B)の状態それぞれ実験を行った。

実験 (A)

ここでは、人物が車で物から離れていき、置き忘れと判別された距離を測定した。実験には2台の車を用い、離れる加速度を1.0, 1.5, 2.0 m/s²の3種類とした。また、離れる限界の速度を20, 40, 60 km/hの3種類とした。各条件で5回ずつ実験を行った。測定した距離の平均値と標準偏差を図3.10に示す。結果より、全ての条件で平均7m程度で置き忘れと判別されていることがわかる。また、全ての条件で「車両での置き忘れ」と判別され、持ち主および忘れ物の周囲の人に置き忘れの発生が通知された。

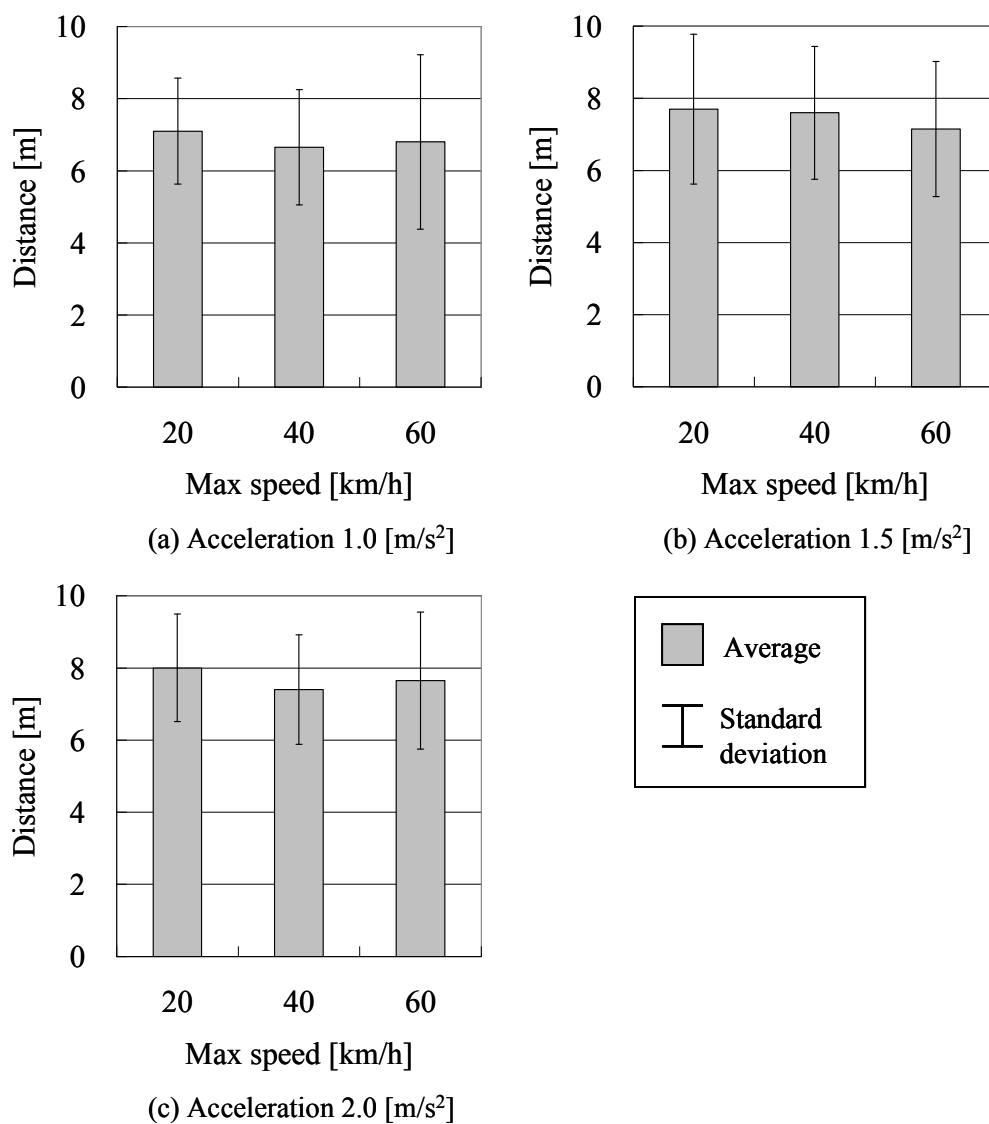


図3.10：人物が静止し，物が車両で離れていく場合の置き忘れを判別した距離

実験 (B)

ここでは，人物が静止し，物が車で人物から離れていき，置き忘れと判別された距離を測定した。実験条件は「実験 (A)」と同様である。測定した距離の平均値と標準偏差を図 3.11 に示す。結果より，平均 16 m 程度で置き忘れと判別されていることがわかる。これは，「実験 (A)」の結果に比べると，距離が遠くなっている。本システムでは，親機が置き忘れを判別し，その結果が子機に送信されて子機が置き忘れの通知をする。このため，子機での置き忘れの通知は，親機の

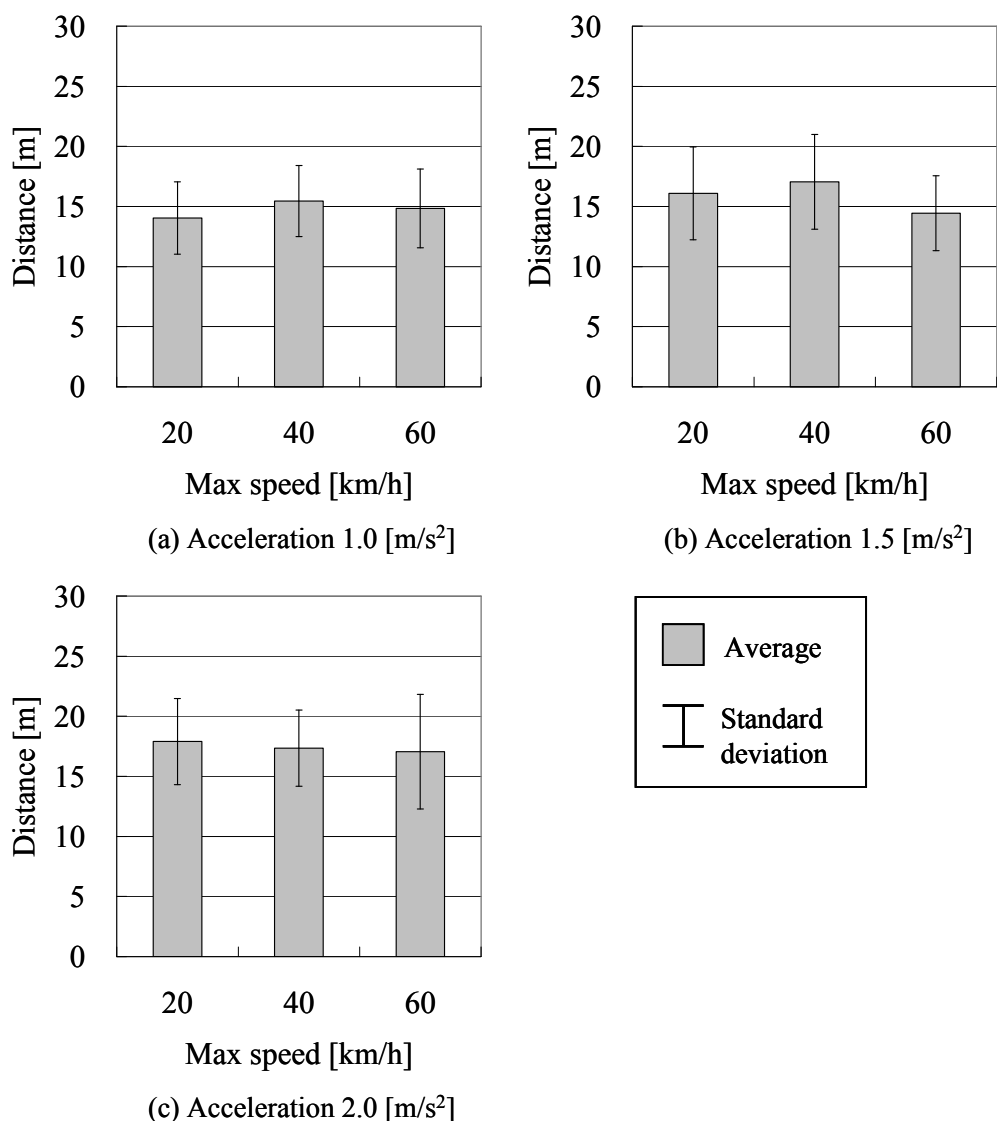


図3.11：物が静止し、人物が車両で離れていく場合の置き忘れを判別した距離

置き忘れの通知より遅くなる。この遅れた時間に車が移動した距離だけ、置き忘れと判別された距離が遠くなっていると考えられる。また、全ての条件で「車両での置き忘れ」と判別され、持ち主および忘れ物の周囲の人に置き忘れの発生が通知された。

実験 (C)

ここでは、人物が歩行し、物が車で人物から離れていき、置き忘れと判別された距離を測定した。ただし、実際の置き忘れの場合、人物が歩行する方向は様々である。本実験では、人物の歩行方向は、車と同じ方向および車と逆方向の2種類とした。測定する距離は、置き忘れと判別さ

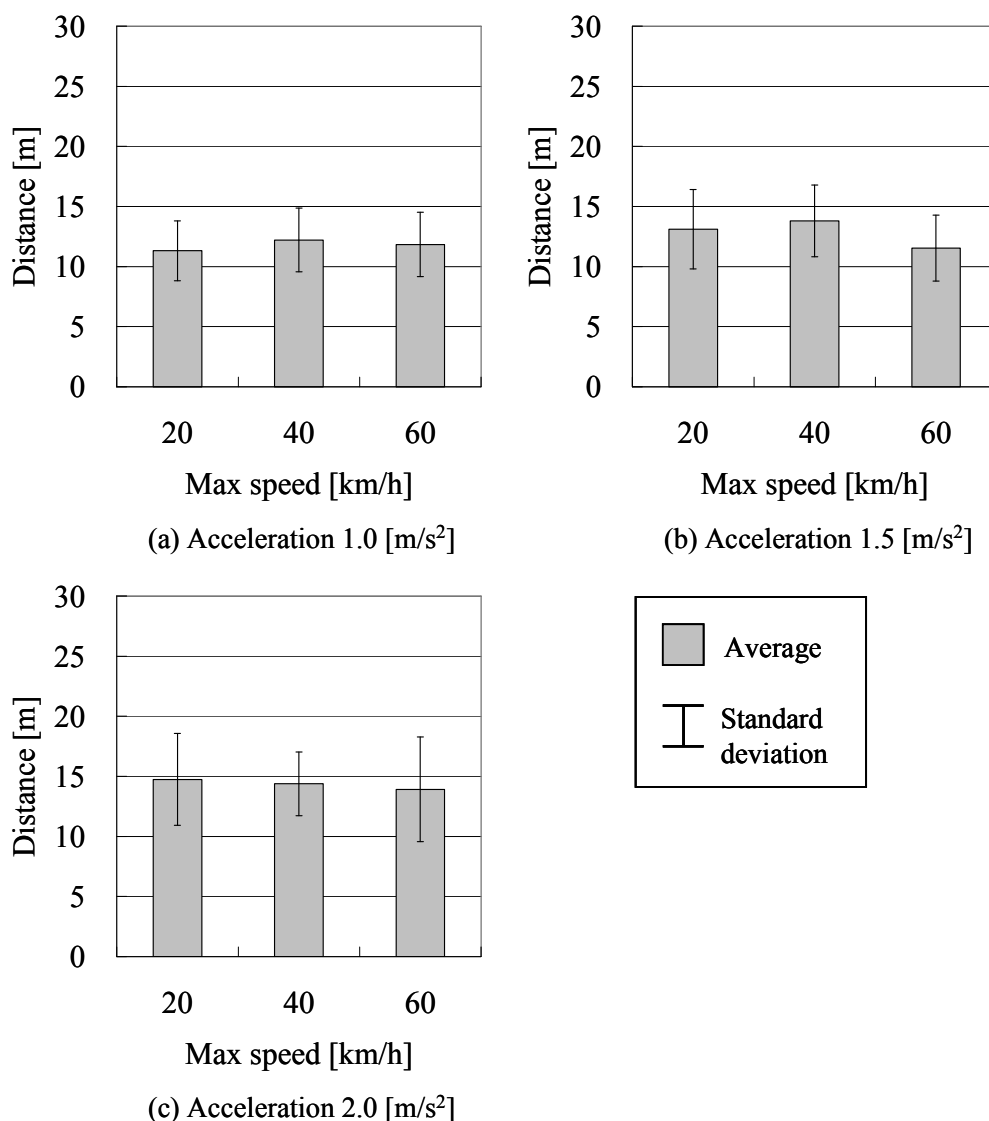


図3.12：人物が歩行し、物が車両で離れていく場合の置き忘れを判別した距離 1

れた時点の人物と車の間の距離とした。実験条件は「実験 (A)」と同様である。また、人物の歩行速度は 4 km/h とした。測定した距離の平均値と標準偏差を図 3.12 と図 3.13 に示す。結果より、車と同じ方向に歩いた場合、平均 13 m 程度、逆方向に歩いた場合、平均 19 m 程度で置き忘れと判別されていることがわかる。全ての結果の中で、図 3.13 の結果が最も遠い距離で置き忘れと判別されているが、遠くても 25 m 程度では置き忘れと判別されたことも確認できる。また、全ての条件で「車両での置き忘れ」と判別され、持ち主および忘れ物の周囲の人に置き忘れの発生が通知された。

以上より、本システムは、置き忘れ判別（「置き忘れでない」、「車両以外の場所での置き忘れ」、

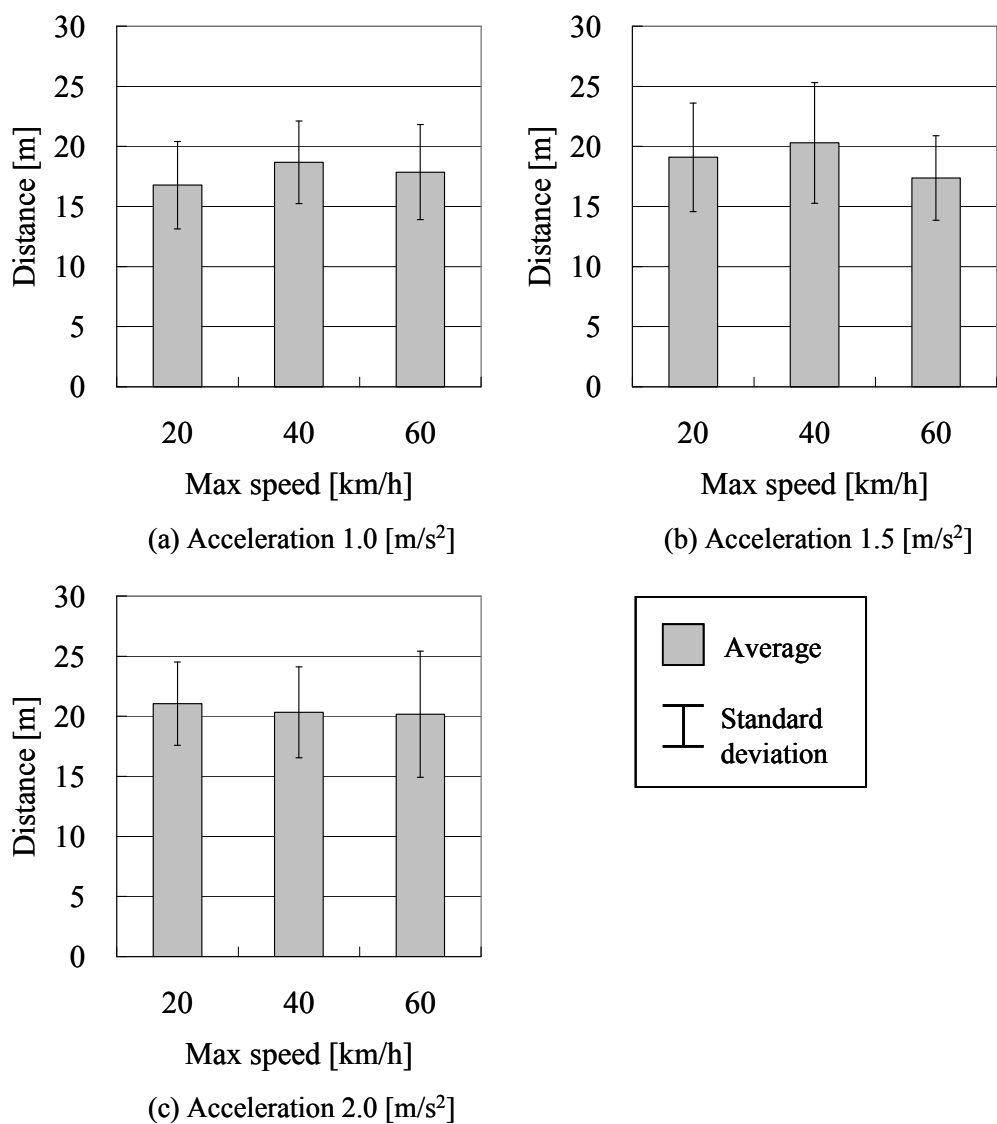


図3.13：人物が歩行し、物が車両で離れていく場合の置き忘れを判別した距離 2

「車両での置き忘れ」が正しく行われていることが確認できる。これより、持ち主が置き忘れに気づいても、すぐに取りに行けない「車両での置き忘れ」の時だけ、忘れ物の周囲の人に音等で通知することができる。また、「車両以外の場所での置き忘れ」において、3.2節で述べた手法より高精度に置き忘れを判別できることも確認できる。

3.5 結 言

本章では、加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムと車両に対応した置き忘れ防止システムを提案した。

加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムは、加速度センサによる歩行検知と無線機器による距離推定を利用して置き忘れを判別する知的センシング技術を開発した。これより、従来より高精度に置き忘れを判別することが可能となった。

車両に対応した置き忘れ通知システムは、加速度センサのみを用いて状況判別を行い、置き忘れを判別する知的センシング技術を開発した。また、置き忘れをした場所が、机や床等であれば持ち主のみに通知し、車両であれば持ち主と忘れ物の周囲の人に通知する。実験を行った結果、本システムは、置き忘れの状況に応じた置き忘れの通知が正確にできることを示した。また、従来より高精度に置き忘れを判別できることも示した。

第4章 服薬忘れ防止システム

4.1 緒言

服薬忘れをすると、薬の効果を十分に発揮できないだけでなく、病気が悪化してしまうことすらある。しかし、患者の医薬品使用実態調査に関する研究によると、6割以上の患者が薬を飲み忘れている[25]。そのため、服薬忘れを防止するために製品（アステック社製「薬飲み忘れ防止機 Bibou 備忘」）、論文や特許[28],[41]-[42]があるが、正確に服薬忘れを判別し通知してくれるシステムは存在しない。また、薬には食前に飲むものと食後に飲むものがあるため、患者が食事しているかを判別する必要がある。この判別は咀嚼センサを用いることで可能であるが、不快感のある接触型[43]か、認識率が100%でない非接触型[44]しか存在しない。

そこで本章では、新しい薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムを提案する。提案する薬有無判別センサは、静電容量を利用して箱型のセンサ内の薬の有無を正確に判別できる。本システムは、薬有無判別センサと初期設定で定める服薬時間から、知的センシング技術を用いることで、服薬忘れを判別できる。本システムの概要としては、服薬する時間になっても使用者が服薬していない場合、使用者に服薬するように通知する。本システムは、使用者が服薬を忘れた場合のみ使用者に通知するため、ストレスを与えにくい。また、服薬の様子を監視することや、服薬の履歴を見ることも可能である。さらに、有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムを提案する。提案する咀嚼センサは、フォトリフレクタを用いて使用者の顎の動きを監視することで、非接触で咀嚼を正確に判別できる。本システムは、食前、食後という服用法を考慮したものであり、食前に服薬する薬の場合、服薬前に使用者が食事しようとするすると警告する。

本章では、4.2節で薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムについて説明し、4.3節では薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムについて説明する。4.4節では薬有無判別センサ、咀嚼センサの実験およびそれぞれの服薬忘れ防止システムに関する実験結果を示し、最後に4.5節で結言を述べる。

4.2 薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システム

4.2.1 システム構成

本項では、薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムの構成について述べる。本システムの構成を図 4.1 に、試作したシステムの写真を図 4.2 に示す。本システムは、複数の薬有無判別センサを用い、それぞれ服薬時間毎に薬を入れる。各薬有無判別センサの薬の有無と時間から、服薬忘れを判別する。

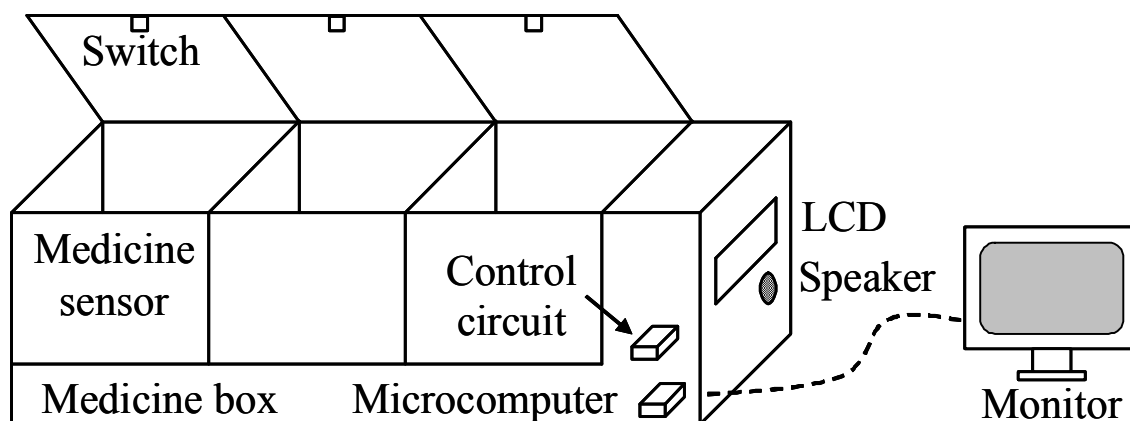


図4.1 : システム構成

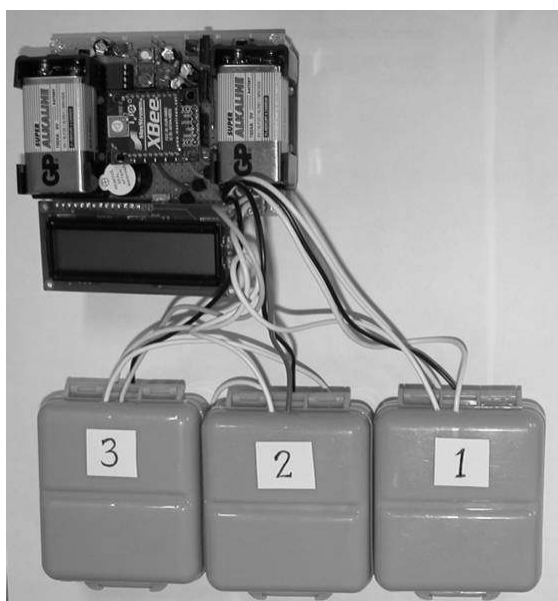


図4.2 : 試作したシステムの写真

4.2.2 服薬忘れ判別

本システムのフローチャートを図 4.3 に示す。初期設定として、服薬時間毎に薬を異なる薬有無判別センサに入れ、それぞれの服薬時間（服薬開始時間 T_{i1} と服薬終了時間 T_{i2} 、ここで i は薬有無判別センサの番号）を入力する。この作業は、本人または家族、病院関係者など誰が行ってもよい。本システムはそれぞれの薬有無判別センサの出力から、その箱内の薬の有無を判別し、薬が取り出されたら「服薬された」と判別する。動作としては、服薬終了時間 T_{i2} を過ぎても服薬されていない場合、患者に服薬するように通知する。また、服薬開始時間 T_{i1} より早く服薬しようとした場合、服薬を中止するように警告する。本システムは、服薬の時間を監視することもでき、服薬の時間を保存することで服薬の履歴を見ることもできる。

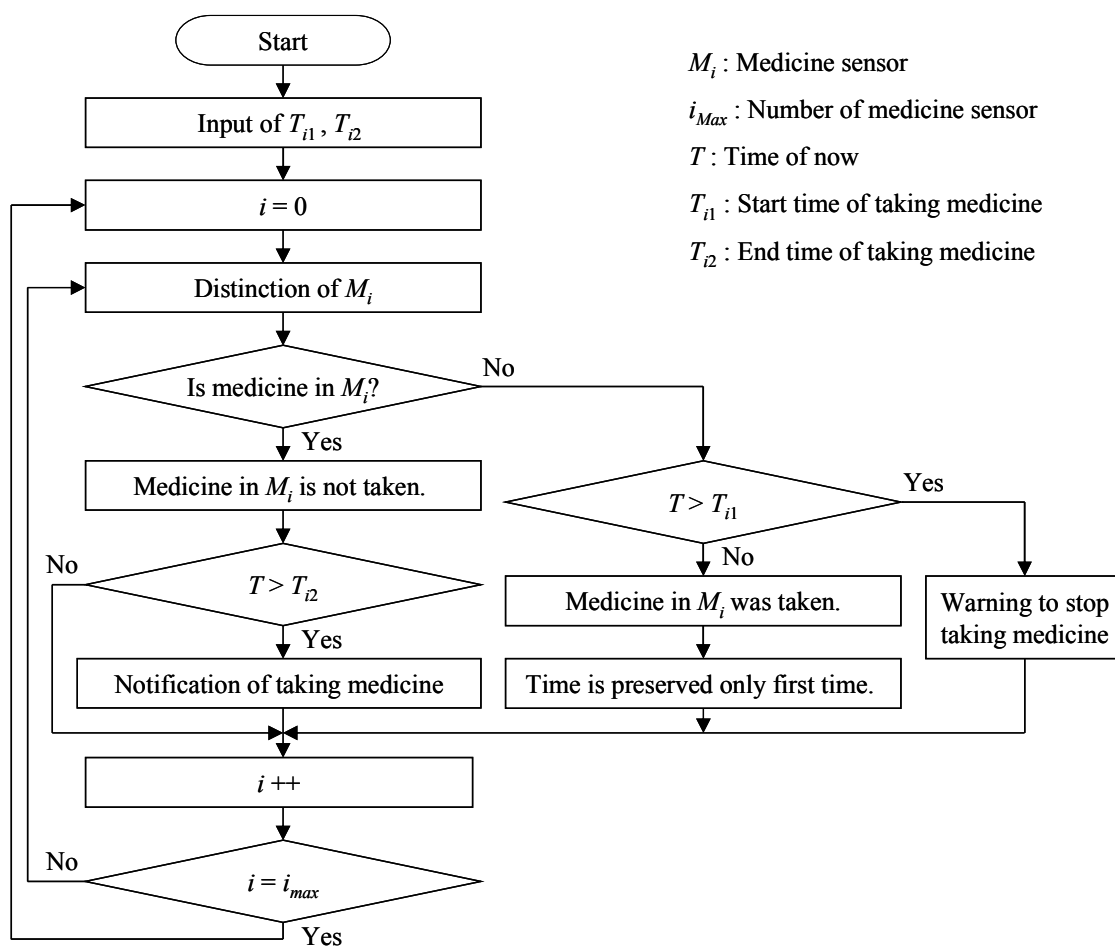


図4.3 : 本システムのフローチャート

4.2.3 静電容量を用いた薬有無判別センサ

本項では、静電容量を用いた薬有無判別センサについて述べる。本センサの構成を図 4.4 に示す。図 4.4 (a)のように蓋と底の内側にそれぞれスポンジを挟んで金属板を設置し、さらにその内側に絶縁膜を貼り付ける。薬が入っていない場合、図 4.4 (b)のように2枚の金属板間の距離は、絶縁膜2枚分の厚さ $2d_I$ になる。図 4.4 (c)のように絶縁膜の静電容量を C_I とすると、金属板間の容量は $C_I/2$ となる。図 4.5 (a)のように薬が入っている場合、図 4.5 (b)のように2枚の金属板間の距離は、絶縁膜2枚分の厚さ $2d_I$ と薬の厚さ d_M の和 $2d_I+d_M$ となる。図 4.5 (c)のように絶縁膜間の薬と空気の静電容量をそれぞれ C_M , C_A とし、薬に触れている部分の絶縁膜の静電容量を C_{IM} とすると、図 4.5 (c)のそれぞれの合成静電容量 C_a , C_m , C は式(3.1)~(3.3)のようになる。

$$C_a = \frac{C_I - C_{IM}}{2 + (C_I - C_{IM})/C_A} < \frac{C_I - C_{IM}}{2} \quad (3.1)$$

$$C_m = \frac{C_{IM}}{2 + C_{IM}/C_M} < \frac{C_{IM}}{2} \quad (3.2)$$

$$C = C_a + C_m < \frac{C_I - C_{IM}}{2} + \frac{C_{IM}}{2} = \frac{C_I}{2} \quad (3.3)$$

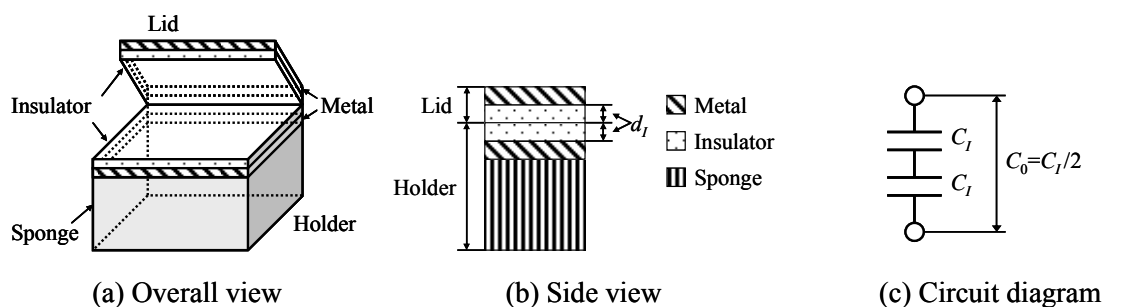


図4.4 : 薬有無判別センサの構成 (薬なし)

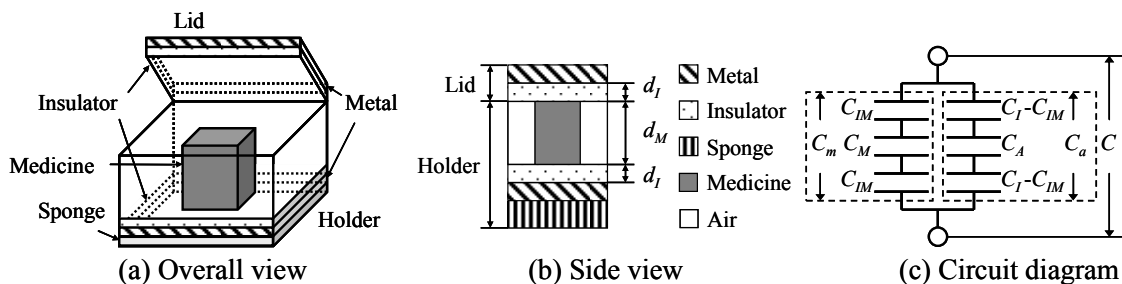


図4.5 : 薬有無判別センサの構成 (薬あり)

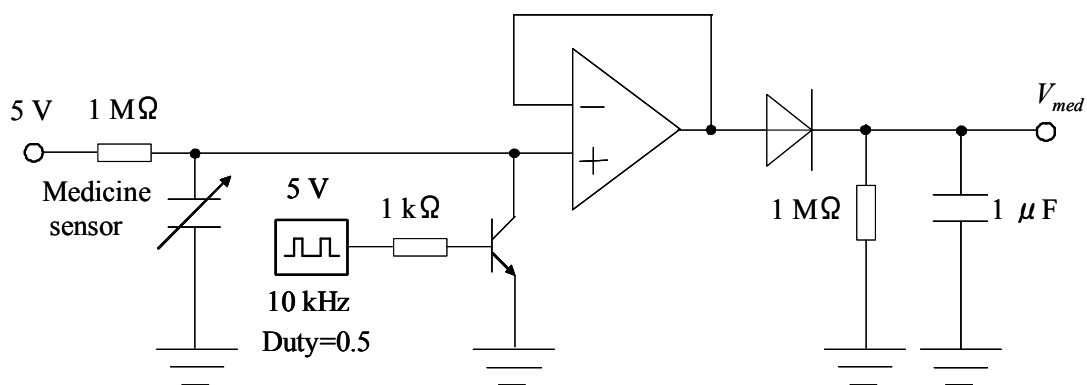


図4.6 : 電圧変換回路

このように、薬が入っている場合の静電容量 C は、薬が入っていない場合の静電容量 $C/2$ より小さくなる。よって、薬箱内の薬の有無を正確に判別することが可能である。

薬の有無による静電容量の変化は図 4.6 の回路を用いて電圧に変換する。静電容量の違いにより、コンデンサへの充電時間が変化するため、その違いを直流電圧 V_{med} として出力している。これより、閾値電圧 V_M を設け、出力が V_M 以上の時は「薬が入っている」、 V_M 未満の時は「薬が入っていない」と判断できる。よって、「薬が入っている」状態から「薬が入っていない」状態になった場合、「服薬された」と簡単に判別することができる。なお、閾値電圧 V_M は 4.4.1 項の実験で決定する。

また、蓋が開いている時の誤判別を避けるため、蓋の開閉を判別するスイッチを取り付け、蓋が閉まっている場合のみ、薬の有無の判別を行う。

4.3 薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システム

4.3.1 システム構成

本項では、薬有無判別センサと咀嚼を用いた服薬忘れ防止システムの構成について述べる。本システムの構成を図4.7に、試作したシステムの写真を図4.8に示す。本システムは、複数の薬有無判別センサと1つの咀嚼センサを用い、それぞれ服薬時間毎に薬を入れ、使用者が咀嚼センサを装着する。各薬有無判別センサで薬の有無を判別、咀嚼センサで使用者が食事しているかを判別し、これらの情報と時間から、服薬忘れを判別する。

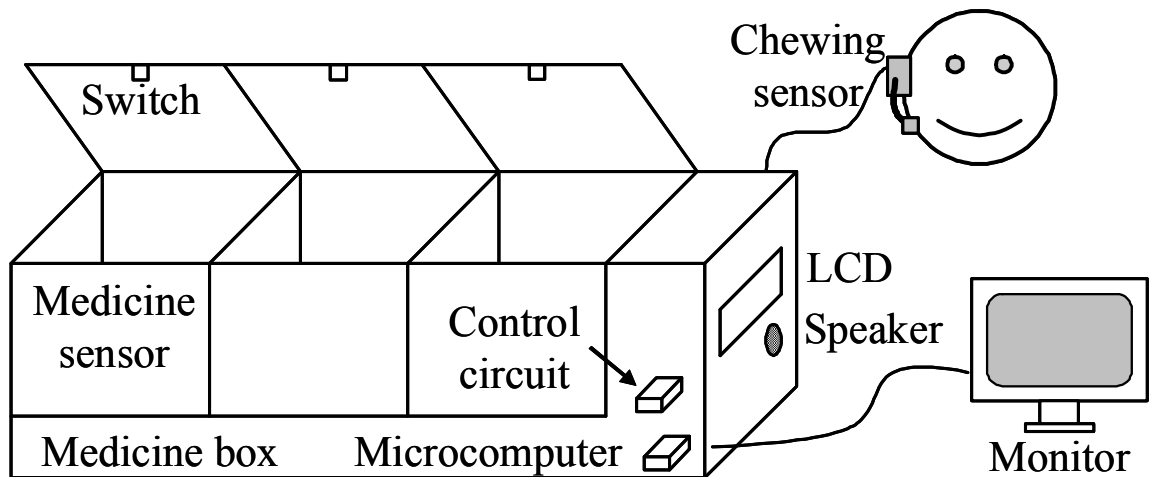


図4.7 : システム構成

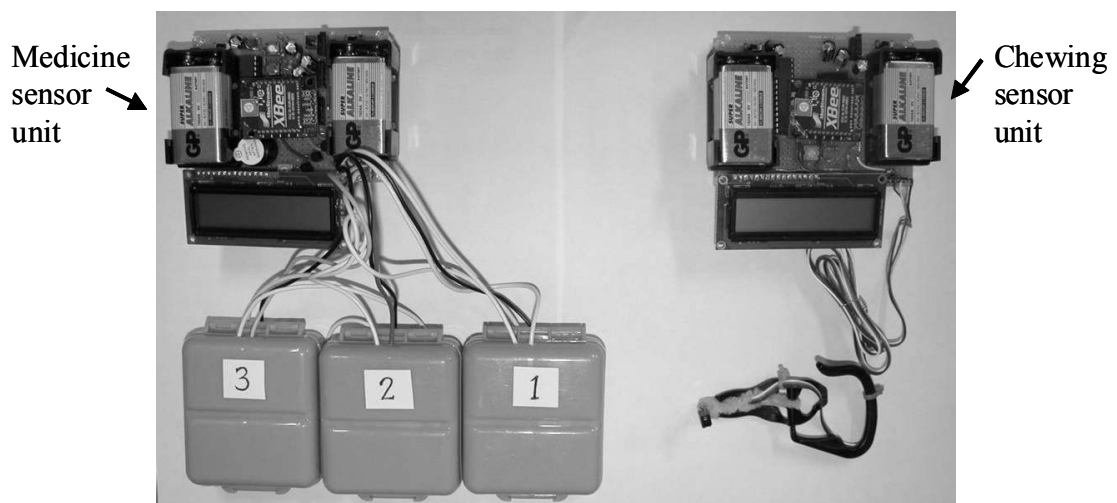


図4.8 : 試作したシステムの写真

4.3.2 服薬忘れ判別

本システムのフローチャートを図 4.9 に示す。初期設定として、4.2 節と同様に服薬時間毎に薬を異なる薬有無判別センサに入れ、それぞれの服薬時間（服薬開始時間 T_{i1} と服薬終了時間 T_{i2} 、

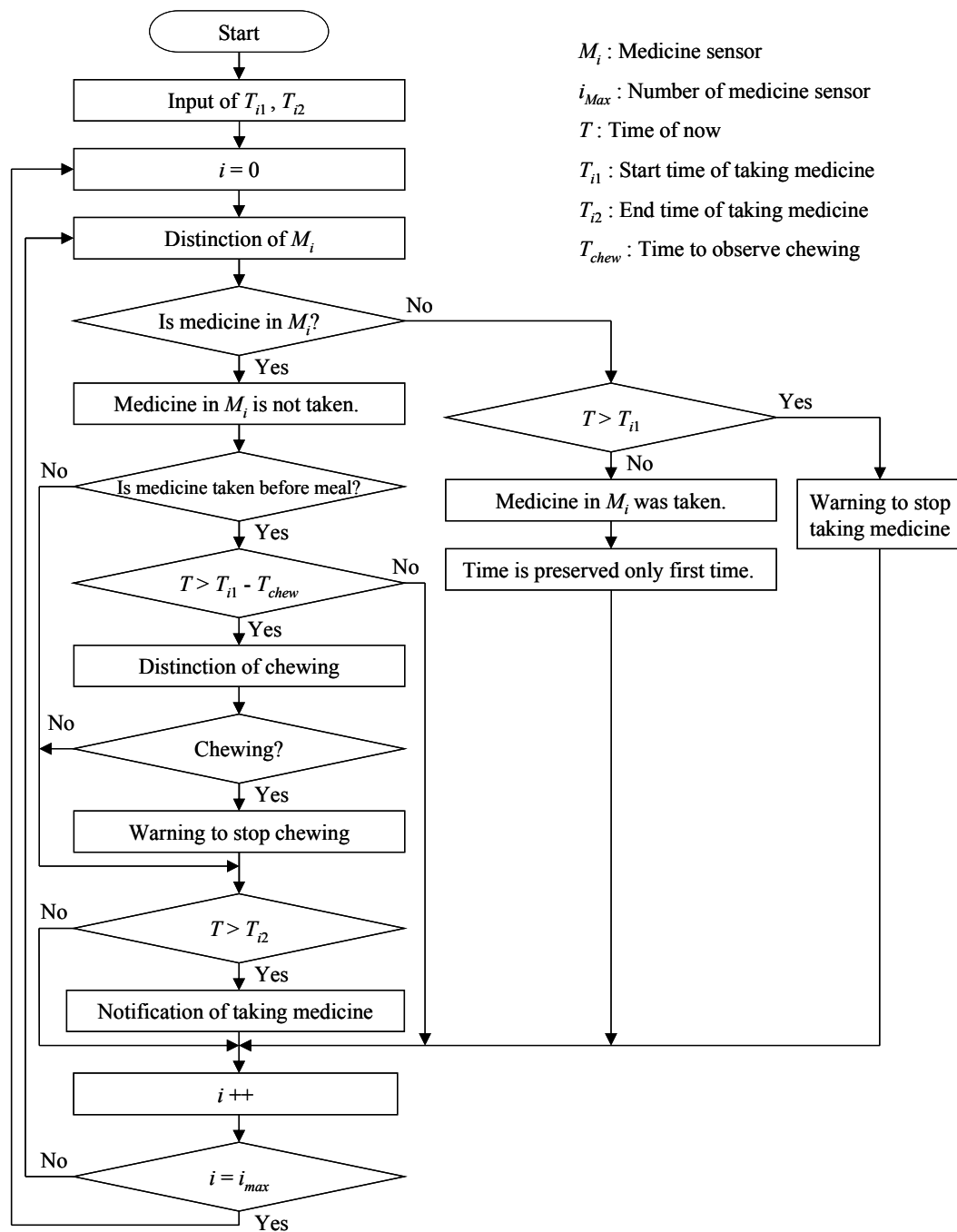


図4.9 : 本システムのフローチャート

ここで i は薬有無判別センサの番号), 服用法 (「食前」または「食後」) および服薬監視時間 T_{chew} (服薬開始時間の何分前から咀嚼を監視するか) を入力する。この作業は, 本人または家族, 病院関係者など誰が行ってもよい。また, 患者は咀嚼センサを装着する。本システムはそれぞれの薬センサの出力から, その箱内の薬の有無を判別し, 薬が取り出されたら「服薬された」と判別する。また, 咀嚼センサの出力から咀嚼中かどうかを判別し, 咀嚼している場合, 「食事中」と判別する。動作としては, 服薬終了時間 T_2 を過ぎても服薬されていない場合, 患者に服薬するように通知する。また, 服薬開始時間 T_1 より早く服薬しようとした場合, 服薬を中止するように警告する。「食前」に服薬する薬の場合, 服薬前に食事していたら, 先に服薬するように警告する。本システムは, 服薬および食事の時間を監視することもでき, これらを保存することで服薬および食事の履歴を見ることもできる。

4.3.3 フォトリフレクタを用いた咀嚼センサ

本項では, フォトリフレクタを用いた咀嚼センサについて述べる。本センサは, 咀嚼による顎の筋肉の動きを利用する。赤外線を顎に照射し, その反射光から咀嚼を判定する。図 4.10 に試作した咀嚼センサの概観を, 図 4.11 に回路図を示す。本センサは片耳で固定される。センサを装着する際には, フォトリフレクタ (ROHM 社製 RPR-220) は顎に向け, 1~3 cm 程度離す。まず, 10 kHz に変調した赤外線を顎に照射し, その反射光を受光する。その後, アンプ, バンドパスフィ

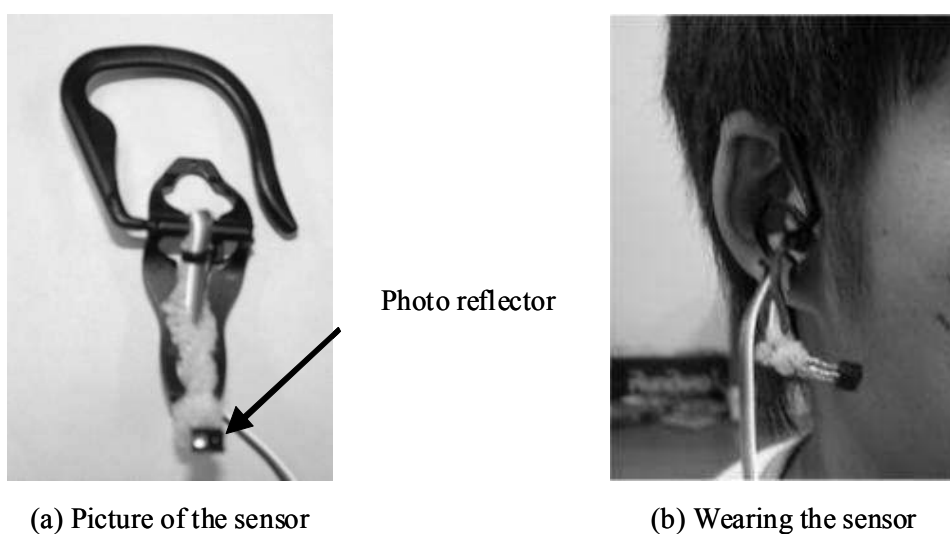


図4.10 : 咀嚼センサの概観

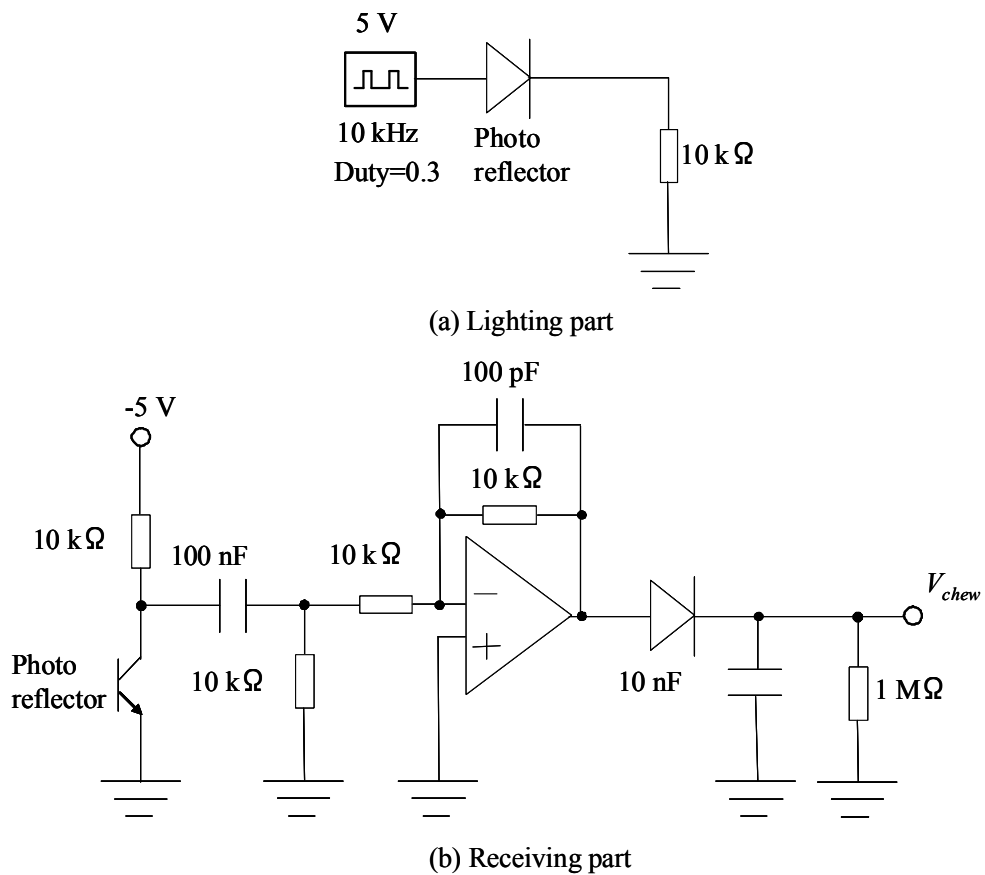


図4.11 : 回路図

ルタを経て包絡線検波を行い、その出力をマイコンで取得する。

咀嚼の判別は、センサと顎の距離の変化、すなわち出力の変化を用いて行う。平常時の顔に比べ、咀嚼時は顎の筋肉が盛り上がり、元に戻るといった動作が繰り返される。また、会話をしている場合も顎の筋肉は動くが、動きが不規則である。これより、センサの出力の変化から、咀嚼を推測できる。咀嚼時と会話時の出力波形を図 4.12 に示す。咀嚼時は、顎が同じような動きを繰り返すため、図 4.12 (a)のように似た波形が繰り返される。一方、会話時は、図 4.12 (b)のように規則性のない波形が得られる。この波形の違いから咀嚼を判別する。また一般的に、咀嚼は1秒間に0.5~3回程度である。よって、式(3.4)~(3.7)を全て満たす波を「相関波」と定義する。

$$\frac{V_{max}(i) + V_{max}(i+1)}{2} - V_{min}(i) \geq V_C \quad (3.4)$$

$$|T_{i-1} - T_i| \leq 0.3 \text{ [s]} \quad (3.5)$$

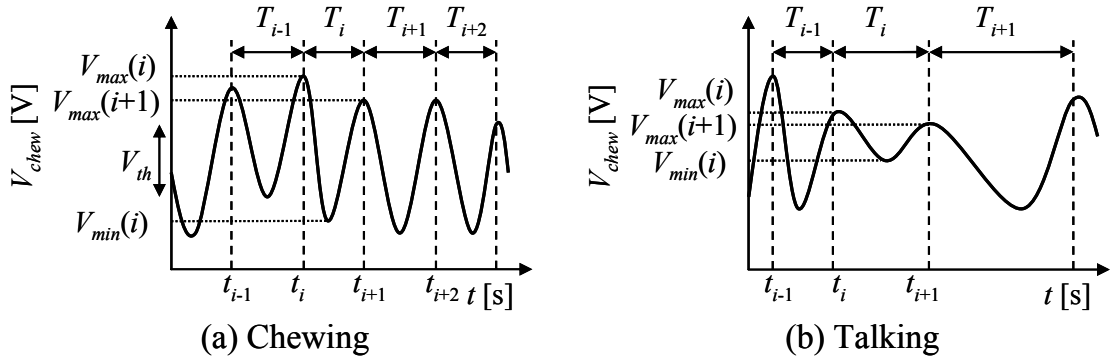


図4.12 : 咀嚼時と会話時の出力波形

$$R_i = \frac{\sum_{t=0}^T v(t_{i-1} + t)v(t_i + t)}{\sqrt{\sum_{t=0}^T v^2(t_{i-1} + t)}\sqrt{\sum_{t=0}^T v^2(t_i + t)}} \geq 0.97 \quad (3.6)$$

$$0.3 \leq T_i \leq 2.0 \text{ [s]} \quad (3.7)$$

ここで、ある極大値を $V_{max}(i)$ 、次の極小値を $V_{min}(i)$ 、次の極大値を $V_{max}(i+1)$ 、...、とし、極大値間の時間を T_i 、 T_{i+1} 、...、とする。時間 T_i と T_{i-1} 間の波の相関を R_i とし、 $T = \min(T_{i-1}, T_i)$ とする。また、 V_C は閾値であり、4.4.2 項の実験で決定する。これらの式を満たす「相関波」が 5 回以上繰り返されている場合、「食事中」と判別する。

4.4 実験と検討

4.4.1 薬有無判別センサの実験

a. 閾値電圧 V_M の決定

薬有無判別センサでの薬の有無の判別は、4.2.3 項で示すように閾値電圧 V_M を決める必要がある。閾値電圧 V_M を決めるため、実際に薬有無判別センサに薬が入っている場合と入っていない場合の出力を測定した。薬有無判別センサ (図 4.4 参照) の金属板には面積 36 cm^2 の銅版を用い、絶縁膜には厚さ 1.6 mm のガラスエポキシ (比誘電率 : $4.5 \sim 5.2$ [89]) を用いた。薬は図 4.13 に示す 11 種類を用いて、図 4.14 に示す 5 ヶ所 (薬有無判別センサの中央, 左上, 左下, 右上, 右下) に各 10 回ずつ入れ、静電容量と出力電圧を測定した。ただし、図 4.13 の 11 の薬は大きいので、中心の(e)の位置だけとした。また、薬が入っていない場合の静電容量と出力電圧も測定した。それぞれの薬での静電容量の平均値, 最大値と最小値を図 4.15 に示す。また、それぞれの薬での出力電圧の平均値, 最大値と最小値を薬毎に図 4.16 に、全体の比較を図 4.17 に示す。図 4.15 の結果より、薬の有無により静電容量に大きな差が生じていることがわかる。図 4.16 からは、薬の入る位置の違いから同じ薬でも出力電圧は変化していることがわかる。また図 4.17 より、閾値電圧 V_M を $1.72 \sim 2.09 \text{ V}$ の範囲にすることで、薬の有無を正確に判別できた。よって、閾値電圧 V_M を 1.90 V とした。

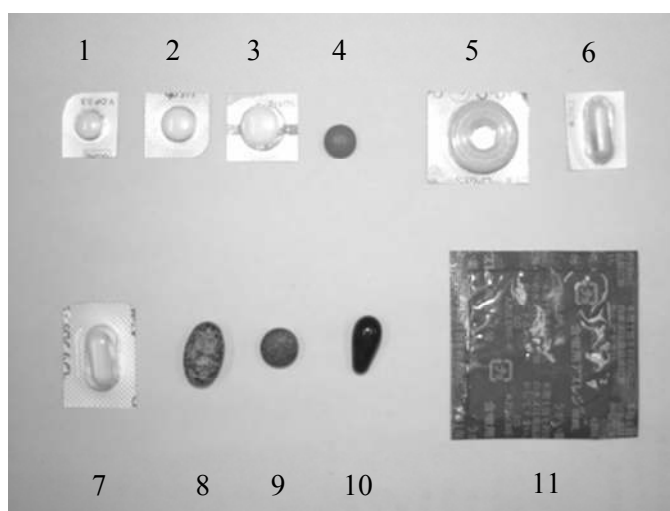


図4.13 : 実験に用いた 11 種類の薬

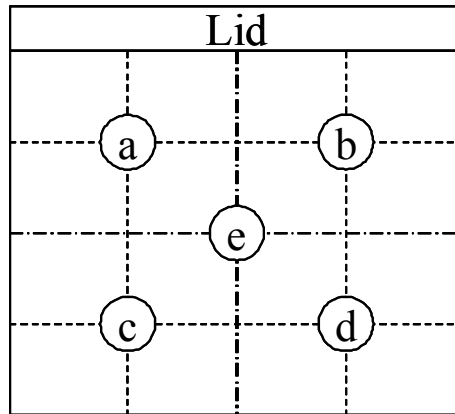


図4.14 : 薬を入れる位置

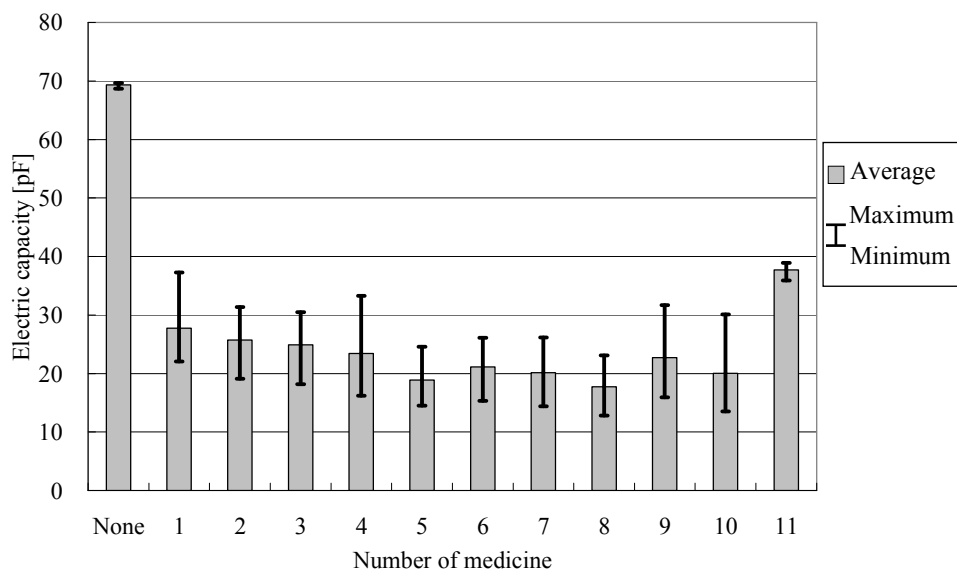


図4.15 : 薬の有無による薬有無判別センサの静電容量の変化

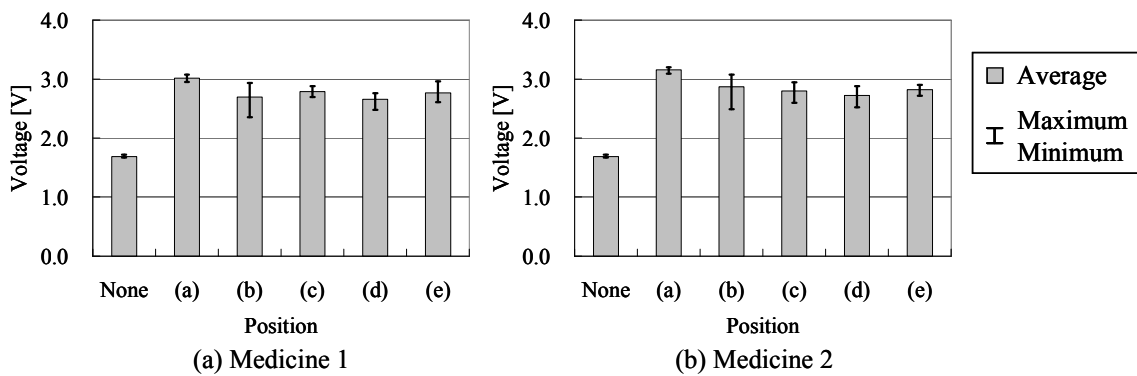


図4.16 : 各薬有無判別センサの出力

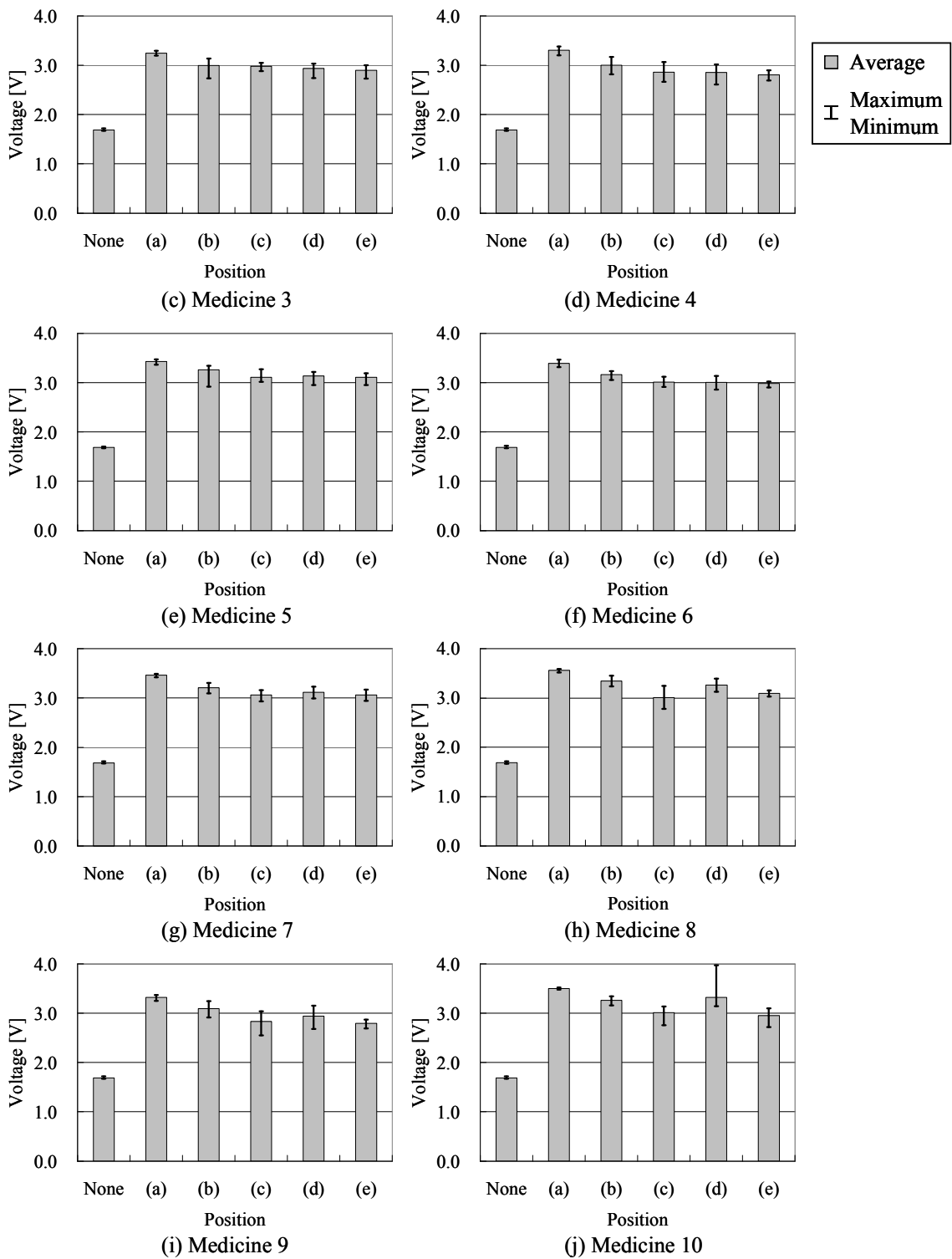


図 4.16 : 各薬有無判別センサの出力

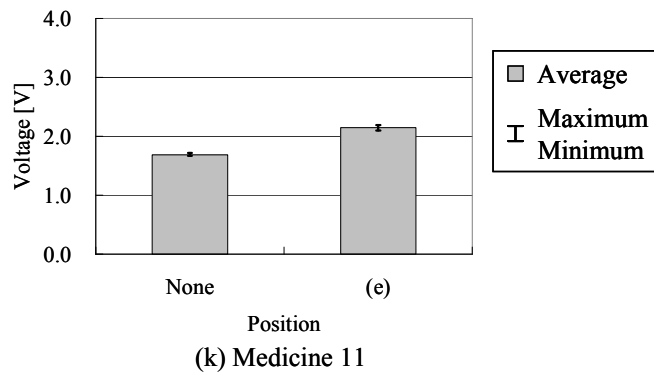


図 4.16 : 各薬有無判別センサの出力

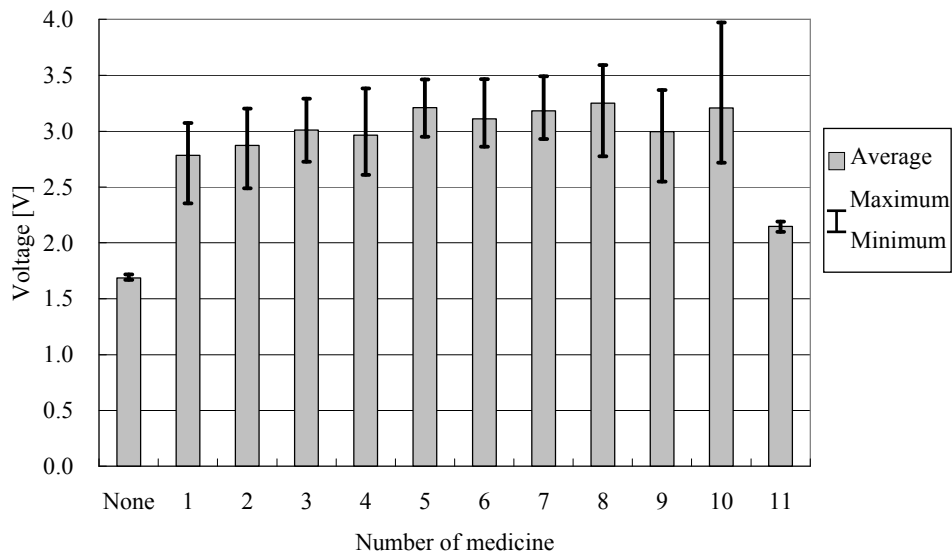


図4.17 : 薬の有無による薬有無判別センサの出力電圧の変化

b. 動作検証

上記の実験で決定した閾値電圧 V_M を用いて薬の有無を正確に判別できるか確認するための実験を行った。本センサの任意の場所に薬を入れ、「薬が入っている」と判別されるか確認した。実験には図 4.13 に示す 11 種類を用い、実験回数をそれぞれ 10 回ずつとした。実験結果として、全ての条件で「薬が入っている」と判別された。また、薬を入れていない場合は「薬が入っていない」と判別されており、正確に薬の有無を判別できることが確認できた。

4.4.2 咀嚼センサの実験

a. 閾値電圧 V_C の決定

咀嚼センサでの咀嚼の判別は、4.3.3 項で示すように閾値電圧 V_C を決める必要がある。閾値電圧 V_C を決めるため、実際に咀嚼センサユニットを装着し、咀嚼時と会話時の出力を測定した。被験者を3名 (a~c)、咀嚼と会話の時間を10秒とし、実験回数は一人3回とした。測定した咀嚼時と会話時の出力波形を図4.18~図4.20に示す。図4.18~図4.20の(a)に示すように、咀嚼時は、顎が同じような動きを繰り返すため、似た波形が繰り返されている。図4.18~図4.20の(b)に示すように、会話時は、規則性のない波形となっている。結果より、閾値電圧 V_C を100 mV以下にすると、全ての咀嚼時の結果で咀嚼中と判別できた。また、閾値電圧 V_C を小さくすると、会話中を咀嚼中と誤判別する可能性がある。よって、閾値電圧 V_C を100 mVとした。

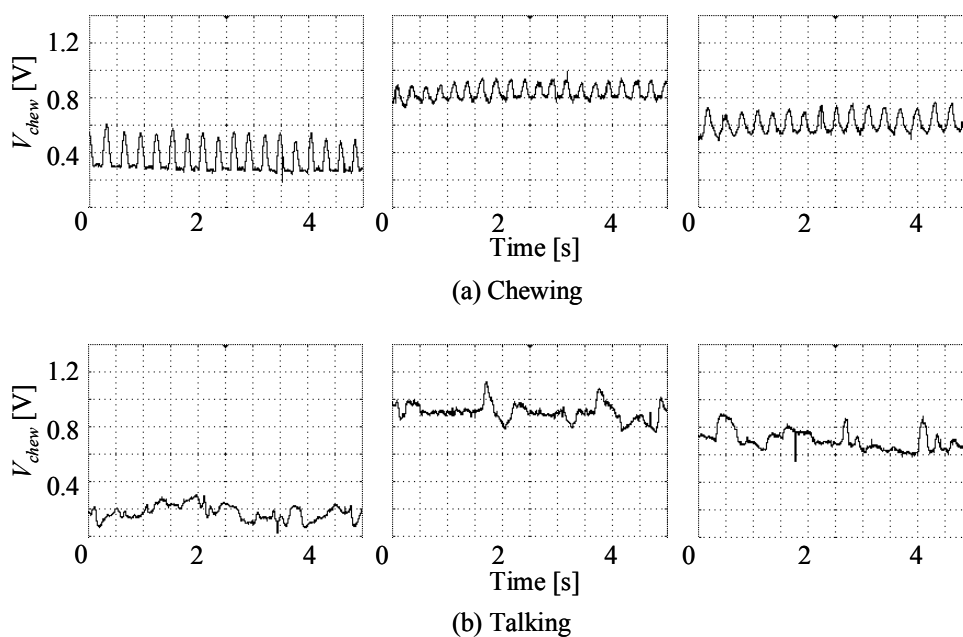
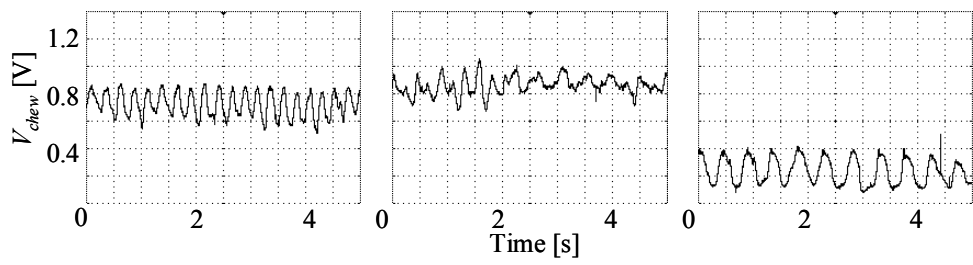
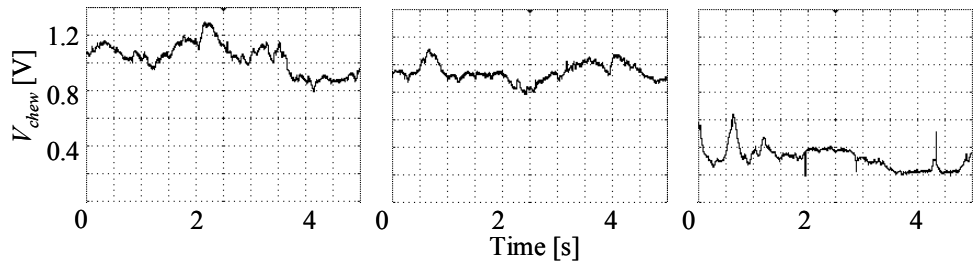


図4.18 : 咀嚼時と会話時の咀嚼センサの出力波形 (被験者 a)

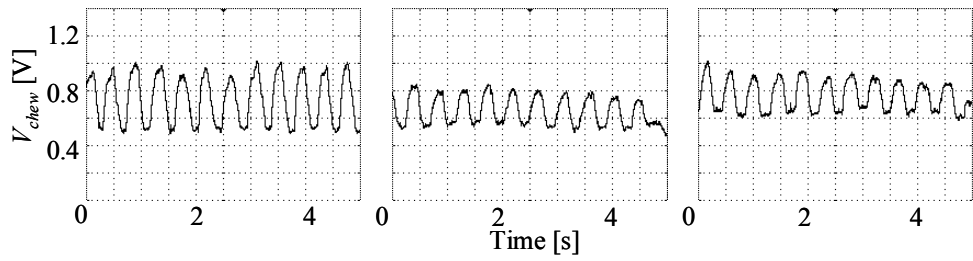


(a) Chewing

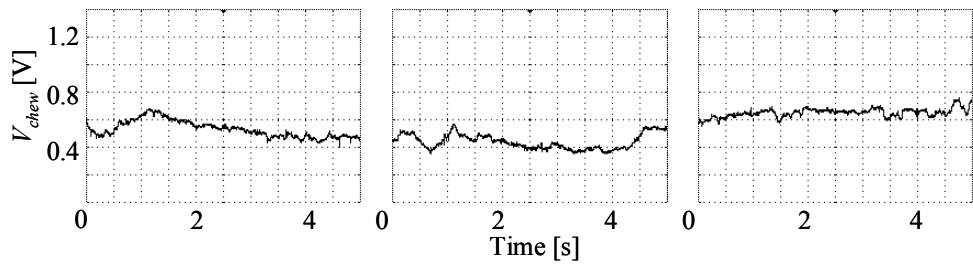


(b) Talking

図4.19 : 咀嚼時と会話時の咀嚼センサの出力波形 (被験者 b)



(a) Chewing



(b) Talking

図4.20 : 咀嚼時と会話時の咀嚼センサの出力波形 (被験者 c)

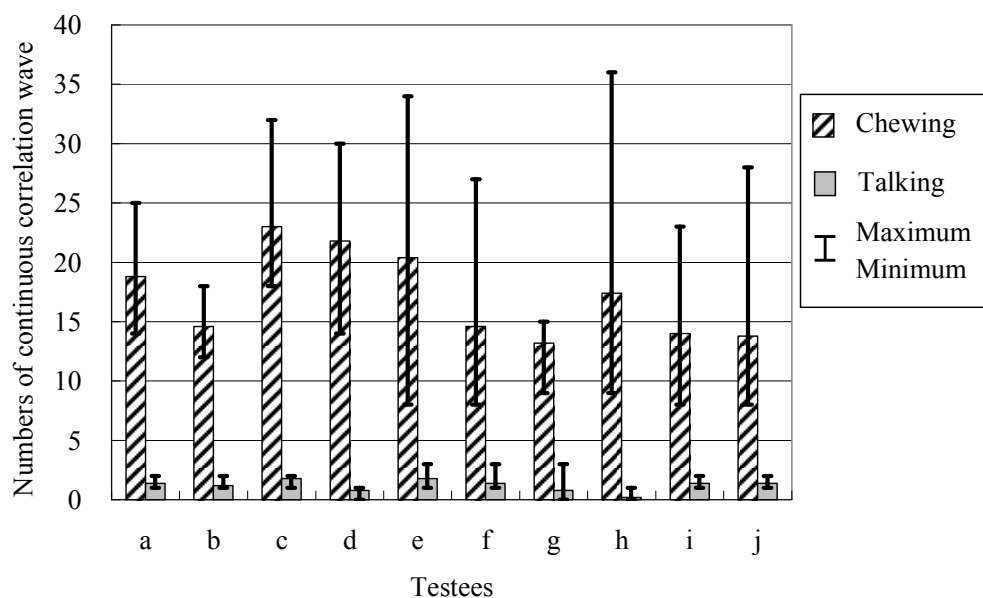


図4.21 : 「相関波」の持続回数

b. 動作検証

上記の実験で決定した閾値電圧 V_c を用いて咀嚼センサの動作検証を行った。被験者を 10 名 (a ~j) とし、食事と会話を 20 秒間ずつ行わせた。実験回数は各 5 回ずつとした。各被験者の「相関波 (4.3.3 項で定義)」が持続した回数の平均と最大, 最小を図 4.21 に示す。結果より, 食事中は「相関波」が 5 回以上持続し, 会話中は 3 回以下であった。本論文では, 「相関波」が 5 回以上持続した場合を「食事中」と判別するため, 認識率は 100%である。

4.4.3 薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムの動作検証

本項では, 薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムの動作検証を行った。実験条件を, 「(1)使用者が時間通りに服薬する」, 「(2)使用者が服薬を忘れる」, 「(3)使用者が服薬する薬を間違える」の 3 種類とした。各条件で被験者 10 人とし, 薬は 11 種類 (図 4.13 参照) を用いた。結果として, 条件(1)の使用者が時間通りに服薬した場合, 本システムは服薬されたことを確認し, 何も通知しなかった。条件(2)の 使用者が服薬を忘れた場合, 使用者に服薬するように通知した。条件(3)の 使用者が服薬する薬を間違える, つまり違う時間に飲むべき薬が入っている薬有無判別センサを開けた場合, 本システムは, 開けた薬有無判別センサにおいて服薬開始時間より早く

服薬しようとしたと判別し、服薬を中止するように警告した。以上より、本システムは服薬忘れをした場合は使用者に通知でき（結果(2)より）、早く服薬または異なる薬を服薬しようとした場合は警告できる（結果(3)より）ことが確認できた。

4.4.4 薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムの動作検証

本項では、薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムの動作検証を行った。実験条件を、「(1)使用者が時間通りに服薬する」、「(2)使用者が服薬を忘れる」、「(3)使用者が服薬する薬を間違える」、「(4)食前に服薬する薬の場合、服薬前に食事をする」の4種類とした。各条件で被験者10人とし、薬は11種類（図4.13参照）を用いた。結果として、条件(1)の使用者が時間通りに服薬した場合、本システムは服薬されたことを確認し、何も通知しなかった。条件(2)の使用者が服薬を忘れた場合、使用者に服薬するように通知した。条件(3)の使用者が服薬する薬を間違える、つまり違う時間に飲むべき薬が入っている薬有無判別センサを開けた場合、本システムは、開けた薬有無判別センサにおいて服薬開始時間より早く服薬しようとしたと判別し、服薬を中止するように警告した。条件(4)の食前に服薬する薬で服薬前に食事をした場合、使用者に食事をやめて、食前に服薬するよう警告した。以上より、本システムは服薬忘れをした場合は使用者に通知でき（結果(2)より）、早く服薬、異なる薬を服薬、服用法を間違えて服薬しようとした場合は警告できる（結果(3)、(4)より）ことが確認できた。

4.5 結 言

本章では、新しい薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムと、薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムを提案した。実験を行った結果、本薬有無判別センサは薬の有無を正確に判別でき、本咀嚼センサは、使用者が咀嚼しているかどうかを非接触で正確に判別できることが確認できた。また、薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムは、知的センシング技術を用いることで、服薬忘れを正確に判別できることを示した。薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムは、食前や食後という服用法を考慮して服薬忘れを使用者に通知可能であることを示した。また、本システムでは、服薬と食事の時間の監視や、その履歴を確認することもできる。

第5章 簡単操作リモコンシステム

5.1 緒言

近年、家電製品の多様化と高機能化に伴い、リモコン操作は複雑になっている。また、リモコンは製品毎に存在し、全てのリモコン操作を覚えることは簡単ではなく、覚えたとしても操作方法を忘れることがある。このため、操作が簡単なリモコンが必要とされており[45]、様々なリモコンが研究されている[29],[46]-[53]。これらは、指を使用できない非健常者を対象としたものが多いが[29],[46]-[50]、本章では、健常者も簡単に操作できるリモコンの構築を目的とするため、指を使用できる多くの人を対象とする。対象を同じくするリモコンはあるが、操作が困難なものや[51],[52]、ボタンを覚えることまたはボタンに書かれた文字を読むことが困難な対象者がいる場合がある（Victor 社製「リモコン RM-A615」、SONY 社製「学習機能付きリモートコマンダー RM-PL1400D」等）。また筆者らは、操作が単純な Web カメラを用いたリモコンシステムを提案したが、Web カメラを用いており、カメラが動いたりすると正しく動作しない場合がある[53]。このように、単純な装置で誰もが簡単に操作できるリモコンは存在しない。

そこで、単純な装置で誰もが簡単に使用できる簡単操作リモコンシステムを提案する。本システムは、レーザーポインタで大面積の光センサを指示するだけで動作するため、操作が簡単でわかりやすい。また、手は動かせるが細かなボタン操作が困難な人でも、指で押すボタンはレーザーポインタの一つのボタンだけであるため、操作しやすい。さらに、大面積の光センサには大きな文字を書くことができるので、覚える必要がなく、視力の悪い人でも見やすくわかりやすい。手振れや文字の記入への対応には、知的センシング技術を用いた。光センサはフォトダイオード、フォトトランジスタ等様々なものがある。いずれも原理的には受光面積を拡大させることはできるが、コストがかかる[90],[91]。そこで本システムでは、すりガラスと光センサを組み合わせた安価な大面積光センサを開発する。同様に、すりガラスと光センサを組み合わせることで、大面積のラインセンサおよびエリアセンサを開発し、これを用いることで操作性を向上させる。

本章では、5.2 節ですりガラスと光センサを用いた大面積光センサについて説明し、5.3 節で大面積光センサを用いた簡単操作リモコンシステムについて述べる。また、簡単操作リモコンシステムの操作性向上のために開発したセンサとして、5.4 節では大面積ラインセンサについて説明し、5.5 節では大面積エリアセンサについて説明する。5.6 節ではそれぞれの実験結果について示し、5.7 節で結言を述べる。

5.2 すりガラスと光センサを用いた大面積光センサ

一般的な光センサは受光面積が小さく、そのまま用いるとレーザポインタで指示することが困難である。そのため、レーザポインタで指示しやすくするには、光センサの受光面積を拡大させる必要がある。光センサにはフォトダイオード、フォトトランジスタ等様々なものがあるが、いずれも受光面積を拡大させるには、コストがかかるという問題がある[90]。太陽電池のように受光面積が大きいものも市販されているが、高価である[91]。本リモコンシステムでは複数の光センサが必要であるため、安価な光センサを用いる必要がある。そこで、すりガラスを用いた大面積光センサを開発した。本センサは 5.2.1 項で示すように、安価で容易に光センサの受光面積を拡大させることができる。

5.2.1 センサの基本構成

図 5.1 に提案する大面積光センサの基本構成を、図 5.2 に試作したセンサの写真を示す。図 5.1 に示すように、すりガラスの粗面の中央に受光素子を配置している。図 5.3 に示すように、すりガラスの一部に光が照射されると、すりガラスの粗面で光が乱反射（図 5.3 の下の拡大部）される。その光が表面で反射（図 5.3 の上の拡大部）、粗面で乱反射を繰り返すことで、受光素子に光が到達する。このように、小面積の受光素子で、より広範囲の光を受光することができる。つまり、すりガラスの面積が本センサの受光面積となるため、大面積化が容易である。よって、安価

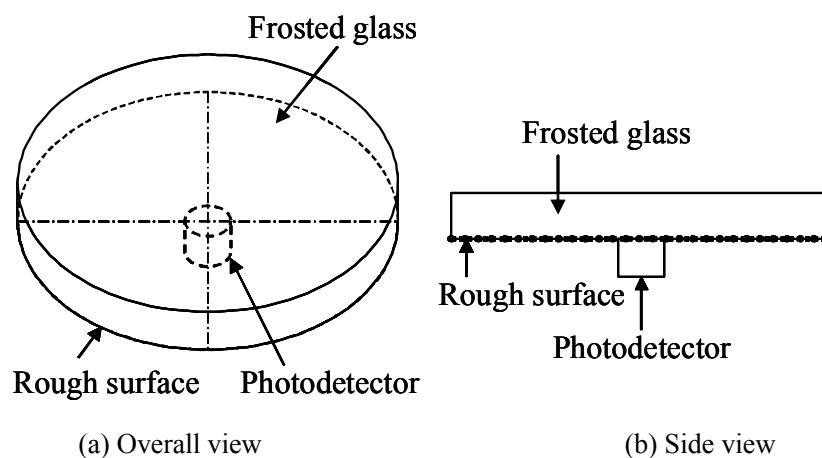


図5.1 : 大面積光センサの基本構成

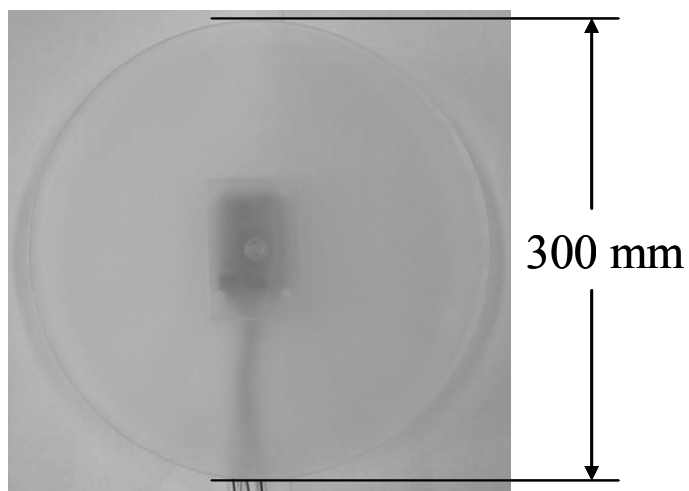


図5.2 : 試作した大面積光センサの写真

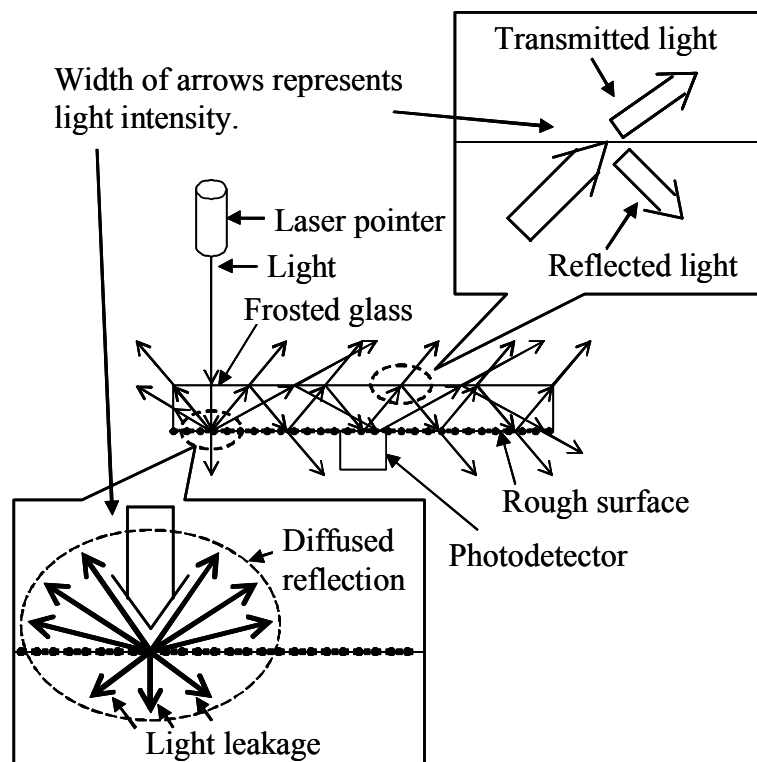


図5.3 : すりガラス内の光の反射の様子

なすりガラスと受光素子を組み合わせることで、光センサの受光面積を容易に拡大させることができる。

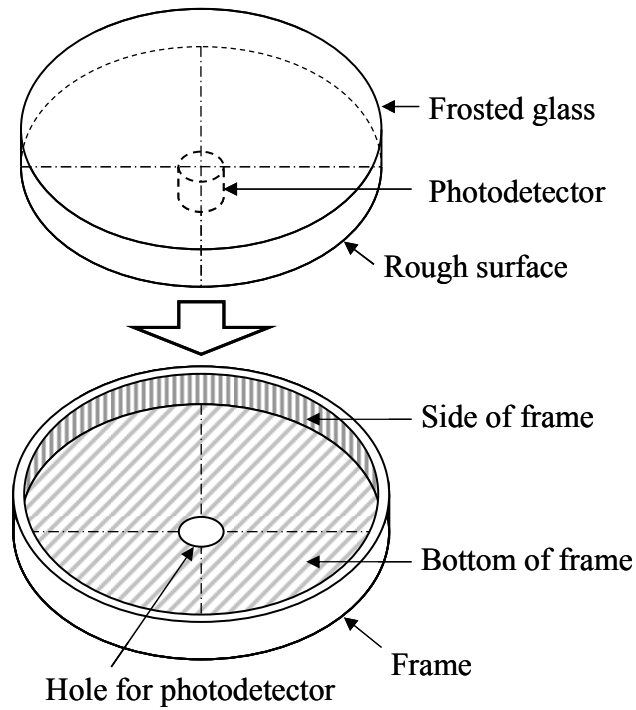


図5.4 : 大面積光センサと外枠の様子

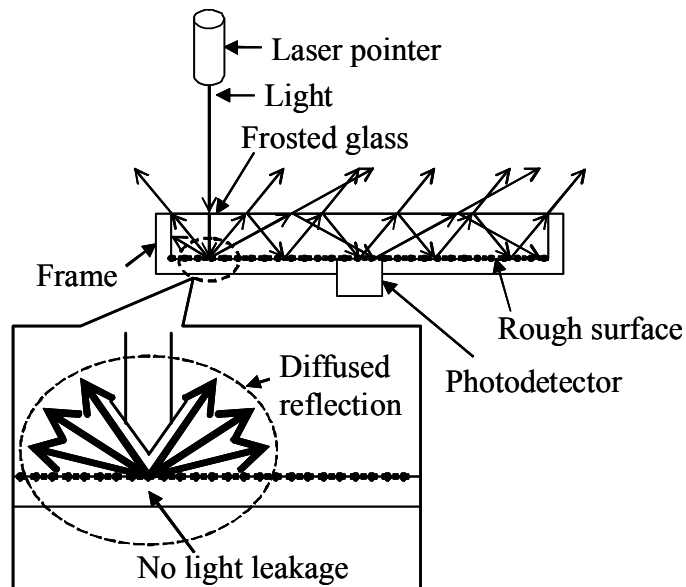


図5.5 : 外枠を用いた場合のすりガラス内の光の反射の様子

5.2.2 外 枠

図 5.3 に示すように、本センサは光が反射する度に外部に光が漏れてしまう。このため、光が照射された部分から離れるほど、すりガラス内の光が弱くなる。外部に漏れる光を低減し、すり

ガラス内で乱反射する光を強くするため、図 5.4 に示すように、すりガラスの受光素子の受光面以外の粗面と側面を外枠で囲う。外枠に反射率のよい材質を用いることで、図 5.5 に示すように、すりガラスの粗面および側面から外部に光が漏れにくくなる。よって、図 5.3 と比較するとすりガラス内で乱反射する光が強くなり、受光素子に到達する光が強くなるため、受光感度が増す。

5.2.3 文字の記入

本センサをリモコンシステムで使用する場合、どのセンサに何のリモコンコマンドが割り当てられているかを、使用者が認識しやすいようにする必要がある。そのため、表面に文字や絵等を書けるようにする。すりガラスの表面に文字を書き、書かれた文字の部分に外部から光が照射されると、その光が文字で反射、吸収されてしまい、すりガラス内には光がほとんど入射しない。しかし、一般的には文字を書いても、何も書かれていない部分の面積は多い。そのため、何も書かれていない部分に光を照射することで、すりガラス内に光が入射する。よって、何も書かれていない部分に光を照射することを条件とすることで、本センサを使用することができる。

本章では、操作が単純なリモコンシステムの構築を目的としているため、上記の条件で操作が困難になってはならない。そこで、この条件が使用者の負担になるか検討を行った。本リモコンシステムを使用する場合、使用者は離れた位置から、本センサをレーザーポインタで指示する。このように離れた距離から、本センサをレーザーポインタで指示した場合、振動により人の手は震えるため[92]、レーザーが照射される位置も振動する。そこで、図 5.6 に示すように、10 名に 1 m 離れた距離の 1 点をレーザーポインタで指示させ、振動によってレーザーが照射されている位置がどの

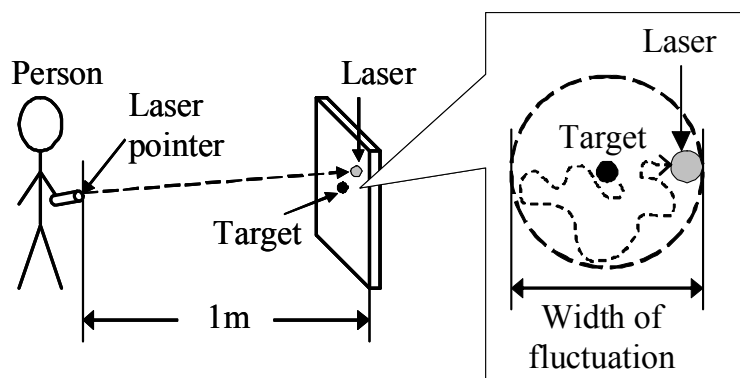


図5.6 : 手振れによるレーザーの動き

程度振動するか確認した。測定時間は2秒間とした。その結果、平均2 cm程度手振れすることが確認できた。よって、手振れの幅が2 cm程度であるので、文字の太さを2 cm以下に制限することで、高い確率で文字以外の部分にもレーザーが照射されると考えられる。このため、何も書かれていない部分に光を照射するという条件は、あまり意識せずに使用できると考えられる。また本論文では、直径300 mmの大面積光センサを用いるので、2 cm程度手振れしても、センサにレーザーを照射し続けることが簡単であることもわかる。

仮に、偶然手振れの幅が小さく、文字の上にレーザーが照射され続けたとすると、レーザーが認識できない可能性もある。ただし、一般的なリモコンでも、ボタンを押しても正しく動作しない場合もあり、使用者はもう一度ボタンを押す。本リモコンシステムでも、レーザーが認識できなかった場合は、使用者がもう一度センサを指示するとよい。

次に、文字の太さを2 cm以下に制限したことで、文字が読みにくくならないか検討した。本リモコンシステムは、主に家庭内で使用すると考えられるため、本センサを見る距離は、遠くても10 m程度である。文字の太さを2 cmであるとする、10 mの距離からでは視力が0.15以上あれば見えることになる(視力検査に用いるランドルト環と同じ太さの文字が読めると仮定している)。一般的に、視力が0.3以上0.7未満であれば必要な時だけ眼鏡を使い、0.3未満であれば眼鏡を常用した方がよいと言われている[93]。よって、視力が0.15以下である人は、眼鏡やコンタクト等で視力を矯正していると考えられるため、文字の太さが2 cmもあればほとんどの人はその文字を読むことができる。

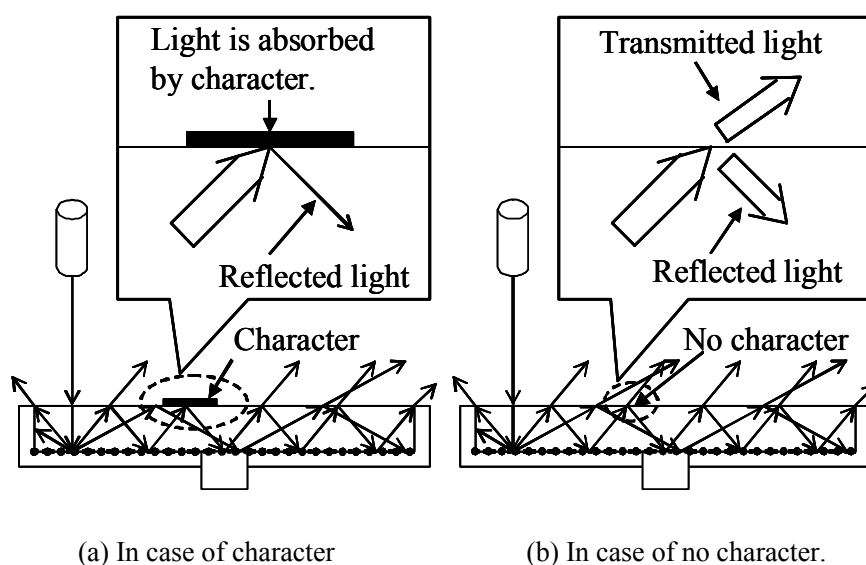


図5.7 : 文字によるすりガラス内の光の反射への影響

5.2.4 文字板

図 5.7 (a)に示すように、すりガラスの表面に文字を書き、何も書かれていない部分に光が照射されても、すりガラス内での反射光は弱くなる。これは、すりガラス内で乱反射した光が文字に吸収されるためである。そのため、文字を書いていない場合（図 5.7 (b)）に比べ、受光素子に到達する光が弱くなり、受光感度が低下してしまう。

そこで、図 5.8 に示すように受光面の前面に隙間をあけて文字板を設置し、そこに文字を書く構成にする。図 5.9 に文字板を設置した場合の、すりガラス内での光の反射の状態を示す。これ

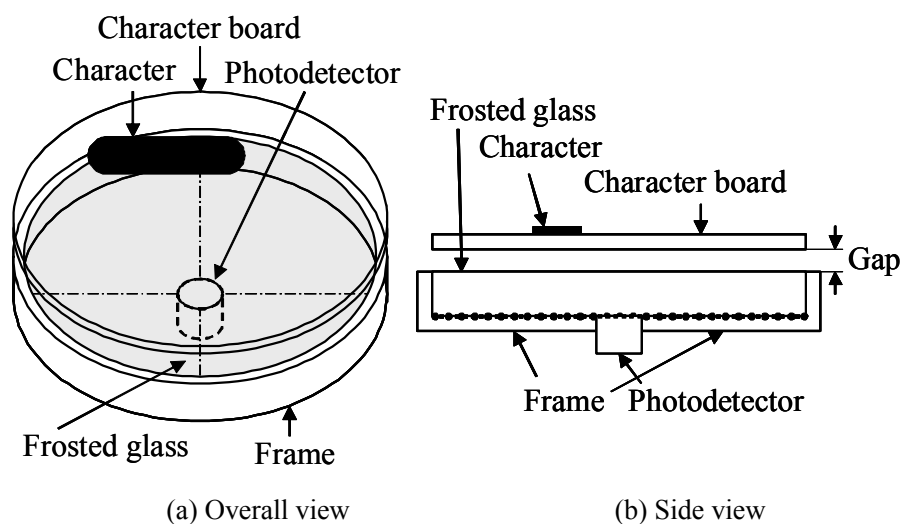


図5.8 : 大面積光センサと文字板の構成

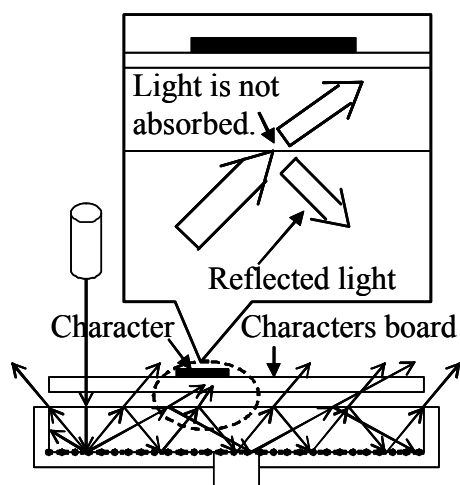


図5.9 : 文字板を用いた場合のすりガラス内の光の反射の様子

より、すりガラス内での反射（図 5.9 拡大部）が、文字を書いていない場合の反射（図 5.7 (b) 拡大部）と同じ状態となる。このため、直接文字を書いた場合（図 5.7 (a) 拡大部）に比べ、反射光が弱くならない。よって、本センサの表面に文字を書いた場合でも、文字が書かれていない部分に光が照射されると、受光感度がほとんど低下しない。

5.3 簡単操作リモコンシステム

5.3.1 システム構成

本リモコンシステムは、図 5.10 に示すようにレーザーポインタ、大面積光センサ、制御回路、赤外 LED で構成される。本リモコンシステムは、操作したいリモコンコマンドの数だけ大面積光センサを用意し、各センサにはそれぞれ任意のリモコン信号を割り当てる。それを必要に応じてテーブル、机、壁、天井等、任意の場所に貼り付ける。それらのセンサのいずれかをレーザーポインタで指示し、マイコンでどのセンサが指示されているかを認識する。指示されたセンサに割り当てられたリモコン信号を各部屋に設置した LED から家電製品に送信する。

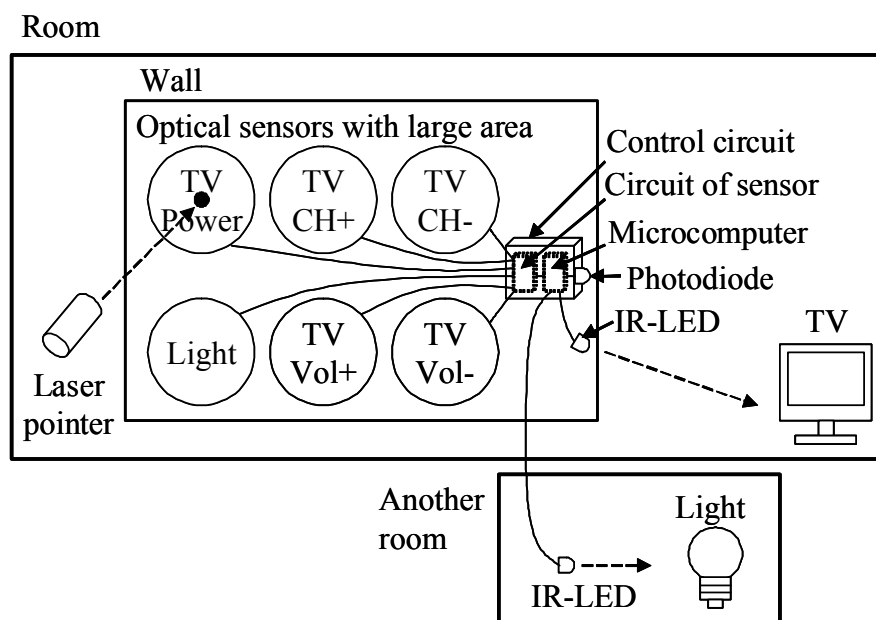


図5.10：簡単操作リモコンシステムの構成

5.3.2 センサ選択のための処理

a. レーザの認識

本リモコンシステムは、室内等の明るい場所で使用すると想定される。そのため、蛍光灯や太陽光といった外乱光がある状態で大面積光センサを使用することになる。外乱光とレーザを区別するために、レーザを変調し、センサの出力から変調した周波数成分だけをフィルタを用いて抽出する。変調方式は、デューティ比 0.5 の単純な On/Off である。主な外乱となる電源周波数 (50 または 60 Hz) の影響を軽減しやすくするため、変調周波数はそれより十分高い 10 kHz としている。また、すりガラスの端の方にレーザが照射された場合、中心の受光素子で得られる光は微弱である。このため、センサの出力は 3 k Ω の抵抗を用いて電流電圧変換した後、約 100 万倍に増幅している。なお、30000 lux 以下の明るさ (外乱光) で出力が飽和しないような設計としている。この出力を包絡線検波して、マイコンで 0.1 秒毎に取得している。

センサにレーザが照射されているかの判別はマイコンで行われる。本リモコンシステムでは、センサに文字を書くことができるため、レーザが文字の上に照射された場合、センサの出力が低下する。しかし、5.2.3 項で述べたように、振動で人の手が震えるため、レーザが照射される位置

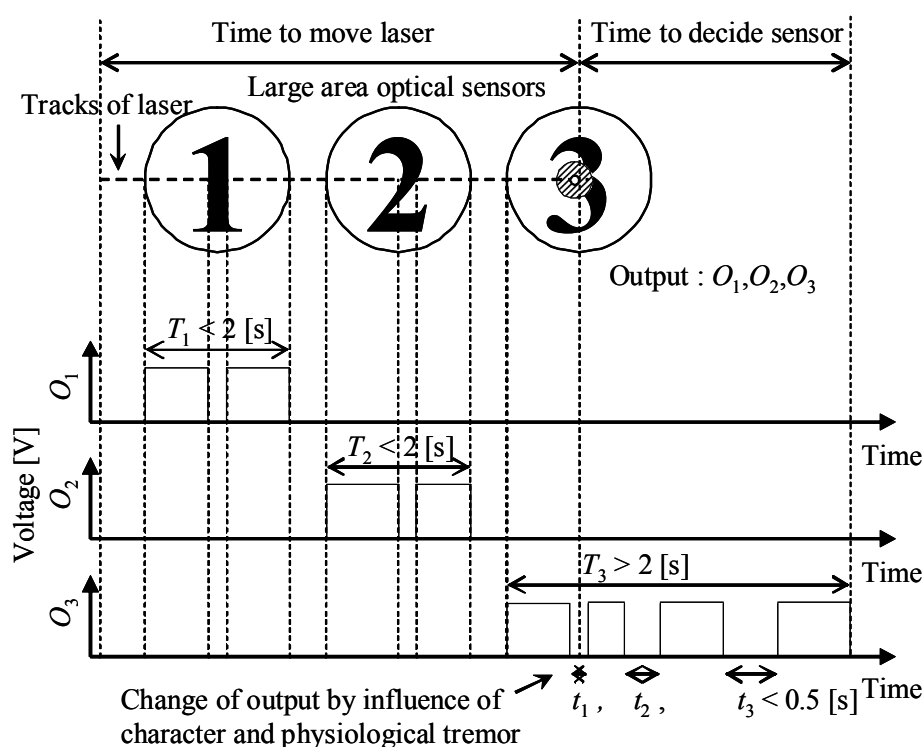


図5.11 : センサの選択処理の様子

は振動する。このため、図 5.11 に示す「3」と書かれたセンサのように、文字が書かれている部分の近くにレーザが照射された場合、一定時間センサの出力が低下することがある。よって、過去 5 回 (0.5 秒) 中 1 回でも出力が閾値電圧 V_R 以上であれば「レーザが照射されている」、過去 5 回全て閾値電圧 V_R 未満であれば「レーザが照射されていない」と判別する。なお、閾値電圧 V_R は 5.6.2 項の実験により決定する。

b. センサの選択

本リモコンシステムでは、レーザポインタで選択したいセンサを指示する必要がある。通常は、光を付けた状態で、レーザポインタを選択したいセンサの所まで動かす。このため、図 5.11 に示すように、レーザポインタを動かしている時に、選択したいセンサ (図 5.11 の「3」と書かれたセンサ) 以外のセンサ (図 5.11 の「1」、「2」と書かれたセンサ) 上を、レーザが通過してしまうことが考えられる。よって、「レーザが照射されている」状態が、同一のセンサに 2 秒以上持続した場合のみ、リモコン信号を送信する。

5.3.3 学習リモコン

家電製品は様々なものがあり、数多くのリモコンが存在する。そのため、本リモコンシステムに全てのリモコン信号を記憶させておくことは非常に困難である。よって、必要なリモコン信号のみを記憶できる学習リモコンを作成した。これは、学習させたいリモコン信号を、制御回路のフォトダイオード (図 5.10) に送信するだけで学習させることが可能である。学習させたいリモコン信号は、任意の面積光センサに自由に割り当てることができる。センサがレーザポインタで指示されると、割り当てられたリモコン信号を送信する。

5.4 面積リニアセンサ

5.2 節で提案した面積光センサは、単純に光の照射の有無しか判別することができない。よって、5.3 節で提案した簡単操作リモコンシステムでは、テレビのチャンネルの切り替えや音量の上げ下げ等で同じ面積光センサを連続で指示する場合、意図的な操作か手振れ等による誤動作かの判別が困難である。そこで、1 次元の光の照射位置を判別することのできる面積リニアセンサを提案する。

5.4.1 原理と構成

本リニアセンサは、図 5.12 に示すように長方形のすりガラスの両端に 2 つの受光素子を配置する構成である。レーザーラインマーカから線状のレーザーを垂直に照射し、すりガラス内で乱反射したレーザーを左右の受光素子で測定することによって、すりガラスに照射されたレーザー光の位置を判別することができる。

例えば、図 5.13 (a)に示すように、すりガラスの中央 (± 0 mm) にレーザーを照射すると、左右の受光素子の出力は等しくなる。図 5.13 (b)のようにレーザーラインマーカを右へ動かすと、右の受光素子の出力が、左の受光素子の出力より大きくなる。逆に、図 5.13 (c) のようにレーザーラインマーカを左へ動かすと、左の受光素子の出力が大きくなる。この特性を利用することにより、レーザー光の位置を判別することが可能である。

5.4.2 光の照射位置の判別

光源の光強度およびセンサ部のアンプのゲインを変更しても、レーザーの当たる位置が同じであれば同一の出力結果を得ることができるように、式(4.1)に示すようにセンサからの出力電圧を規格化出力 S に規格化する。

$$S = \frac{V_r - V_l}{V_r + V_l} \quad (4.1)$$

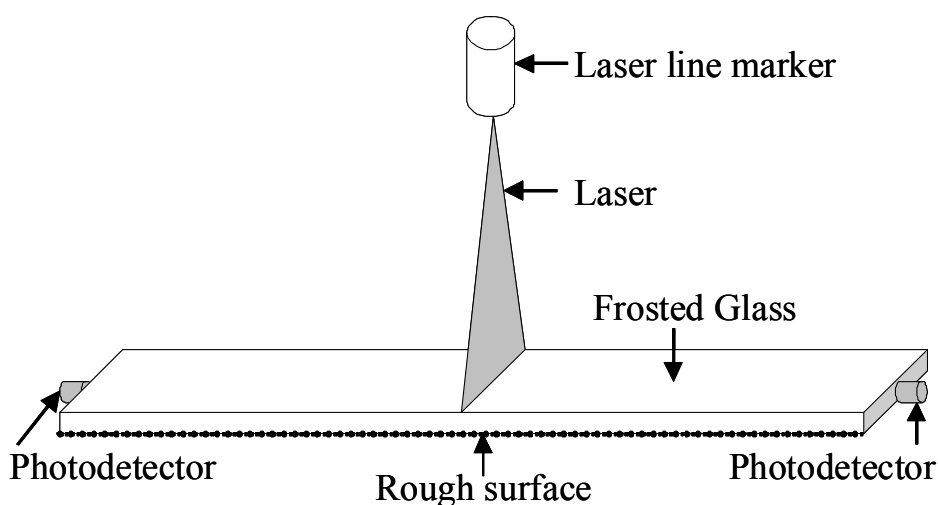
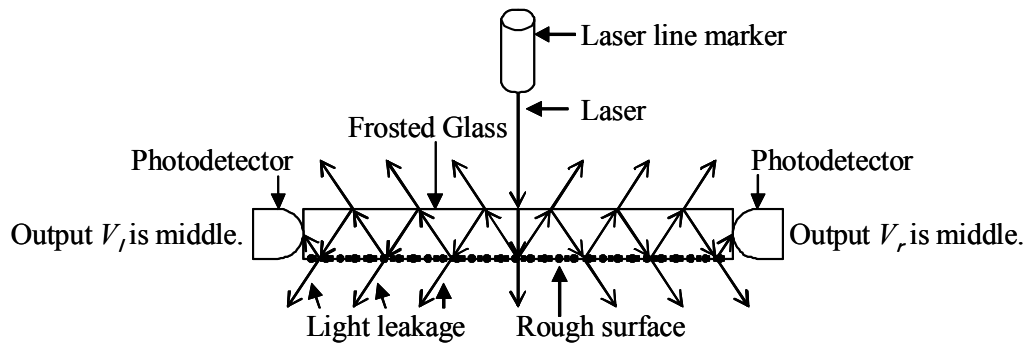
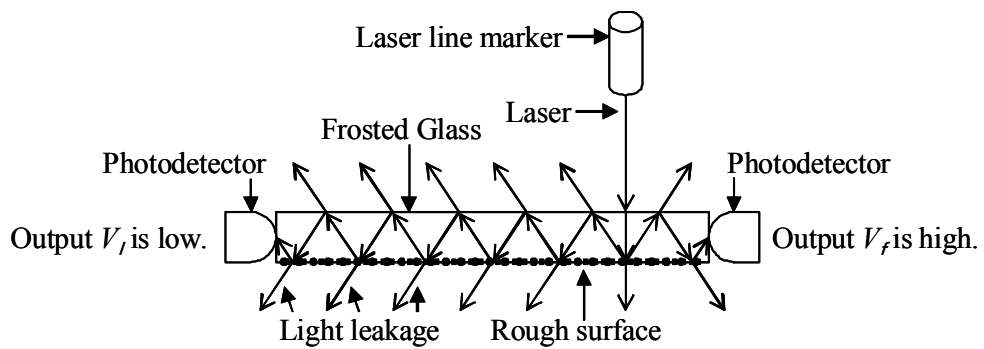


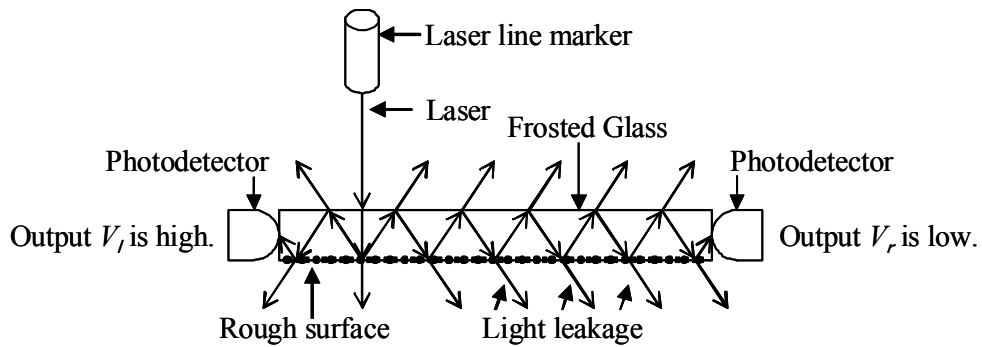
図5.12 : 大面積リニアセンサの構成



(a) The laser is irradiated to the center of the frosted glass.



(b) The laser is irradiated to the right of the frosted glass.



(c) The laser is irradiated to the left of the frosted glass.

図5.13 : すりガラス内の光の反射の様子

ここで、 V_r はすりガラスの右側、 V_l はすりガラスの左側に配置した受光素子からの出力電圧を示す。さらに、光の照射位置 P を式(4.2)によって求める。なお、関数 $f()$ は最小二乗法を用いて 5.6.3 項 a. の実験で求める。

$$P = f(S) \tag{4.2}$$

5.5 大面積エリアセンサ

5.4 節では、1次元の光の照射位置を判別することのできる大面積リニアセンサを提案したが、ここでは2次元の光の照射位置を判別することのできる大面積エリアセンサを提案する。本エリアセンサは、すりガラスと4つの受光素子を組み合わせた構成であり、安価で大面積化が容易である。また本エリアセンサは、すりガラス上の光が照射された位置を判別できるため、1つのセンサに5.3節で述べたリモコンシステムの複数のボタンを配置することができる。さらに、本エリアセンサ上での光の移動も判別できるため、これを利用してチャンネルの切り替えや音量の上げ下げ等を行うことや、ポインティングデバイスとして使用することも可能である。

5.5.1 原理と構成

図5.14に提案する大面積エリアセンサの構成を、図5.15に試作したセンサの写真を示す。本エリアセンサは、四角形のすりガラスの粗面側の四隅に受光素子を配置し、その下部に外枠を取り付けている。図5.16に示すように、すりガラスの一部に光が照射されると、すりガラスの粗面で光が乱反射（図5.16の下の拡大部）される。その光が表面で反射（図5.16の上の拡大部）、粗面で乱反射を繰り返すことで、それぞれの受光素子に光が到達する。光は反射する度に外部に漏れるため、光が照射されている位置から受光素子までの距離が遠くなるほど、受光素子に到達する光は弱くなる。そのため、各受光素子の出力から、光が照射されている位置から受光素子までの距離を推定することができる。さらに、各受光素子で推定した距離から、光が照射された位置を推定することができる。また、すりガラスの面積が本センサの受光面積となるため、大面積化が

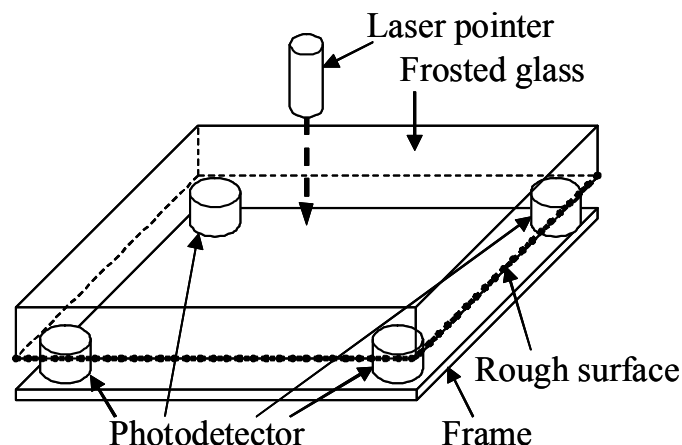


図5.14：大面積エリアセンサの構成

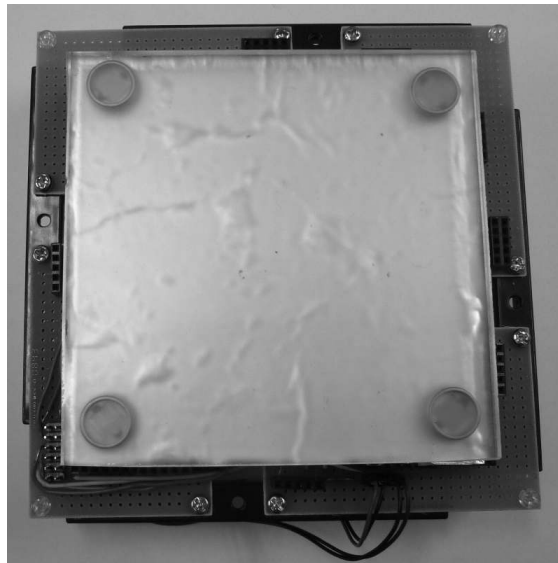


図5.15 : 試作したセンサの写真

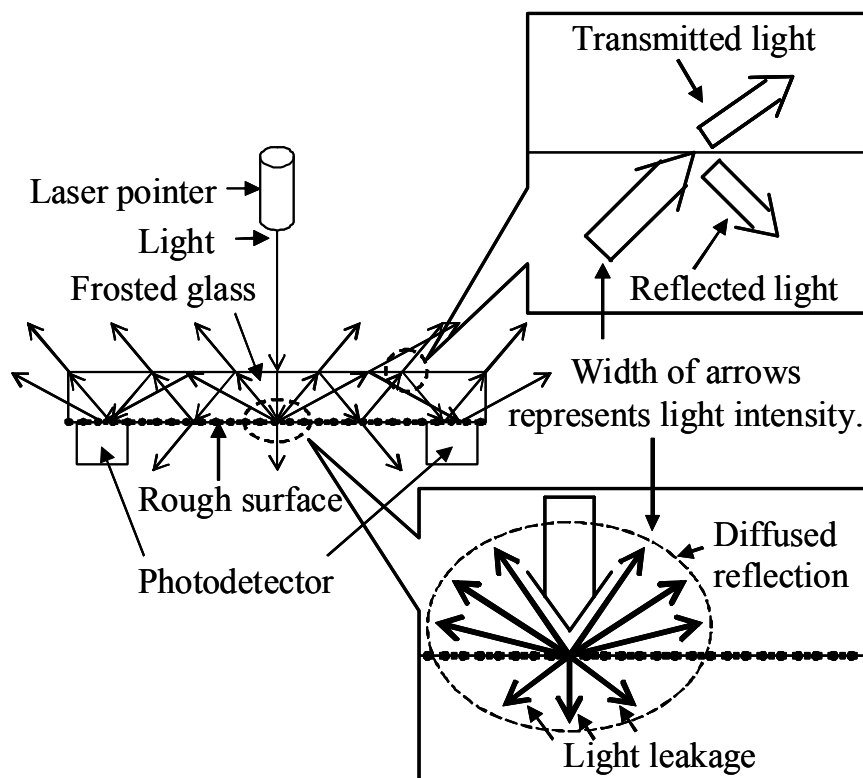


図5.16 : すりガラス内での光の反射の様子

容易である。よって、安価なすりガラスと受光素子を組み合わせることで、容易に受光面積の大きなエリアセンサを作成することができる。

5.5.2 外 枠

粗面から下部に透過する光（図 5.16 参照）は、その先の物体で反射、吸収され、反射された光の一部は再びすりガラス内に戻る。つまり、すりガラスの下部にある物体により、本エリアセンサの出力は影響を受ける。そこで図 5.17 に示すように、すりガラスの下部に、すりガラスと平行に外枠を取り付けている。外枠には平面の物体を用いることで、光がどの位置に照射されても、外枠による光の反射、吸収の影響は一定となる。また、反射率が高い物質を用いることで、すりガラス内に戻る光の強度が増し、センサの受光感度が向上する。

5.5.3 光 源

本エリアセンサは、光が照射された位置を推定するため、照射する光は小さな一点に集光させる必要がある。そのため、光源には集光が容易なレーザを使用する。また、本エリアセンサは、蛍光灯や太陽光といった外乱光に影響を受ける可能性がある。そこで、外乱光とレーザを区別するために、レーザを変調し、受光素子の出力から変調した周波数成分だけをフィルタを用いて抽出する。本論文では、変調方式をデューティ比 0.5 の単純な On/Off とする。主な外乱となる電源周波数 (50 または 60 Hz) の影響を軽減しやすくするため、変調周波数はそれより十分高い 10 kHz としている。なお、このレーザの変調方式は 5.3 節の簡単操作リモコンシステムで用いたものと同様である。

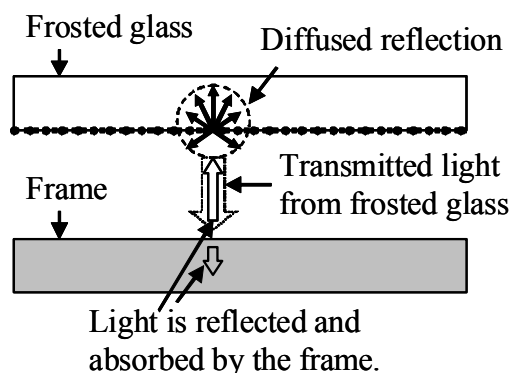


図5.17 : 外枠での反射と吸収

5.5.4 光の照射位置の判別

本エリアセンサでは、4つの受光素子を用いており、図5.18に示すように各受光素子からそれぞれ出力電圧 ($V_a \sim V_d$) が得られる。4つの出力 ($V_a \sim V_d$) はレーザの強さにより変化するため、式(4.3)を用いて規格化する。

$$\begin{aligned}
 S_a &= V_a / (V_a + V_b + V_c + V_d) \\
 S_b &= V_b / (V_a + V_b + V_c + V_d) \\
 S_c &= V_c / (V_a + V_b + V_c + V_d) \\
 S_d &= V_d / (V_a + V_b + V_c + V_d)
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

これらの規格化された出力 ($S_a \sim S_d$) からレーザが照射された位置 (X, Y) を求める式(4.4)のようになる。

$$\begin{aligned}
 X &= f_x(S_a, S_b, S_c, S_d) \\
 Y &= f_y(S_a, S_b, S_c, S_d)
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

ここで、関数 $f_x()$, $f_y()$ を求める必要があるが、入力が4つあり、式の構成を簡単に仮定することができない。そこで本論文では、2.2.4項で述べた知的センシング技術の一つである人工生命型発見システム[68]を用いて、 $f_x()$, $f_y()$ を探索する。なお、式の探索は5.6.4項bの実験で行う。

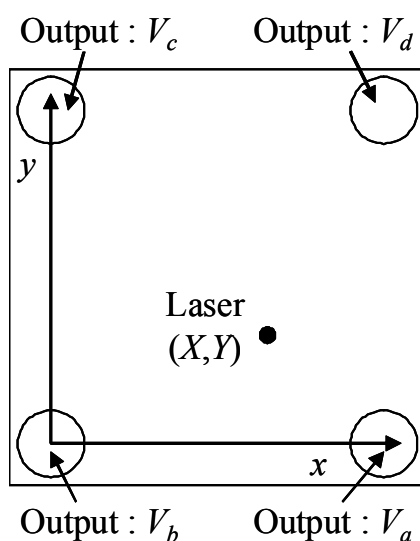


図5.18 : 大面積エリアセンサの構成

5.6 実験と検討

5.6.1 大面積光センサの実験

本項では、大面積光センサの特性実験を行った。直径 $l=300$ mm, 厚さ $d=5$ mm, 粗さ (算術平均粗さ[94]) $Ra=4.0$ μm の図 5.19 (a)の構成のすりガラスを基準とし, 外枠, すりガラスの厚さ, 粗さ, 外乱光, 文字板, 入射角の影響を確認した。また, 受光素子にはフォトダイオード (浜松ホトニクス, S1226-8BK) を, レーザポインタには赤色レーザーモジュール (Wentai Enterprise, LM-101-A2, 1 mW) を採用した。

a. 外枠の影響

ここでは, すりガラスと受光素子だけの場合 (図 5.19 (a)) と, 外枠を付けた場合 (背面+側面 (図 5.19 (b)) と背面のみの2種類) の大面積光センサの出力の違いを測定した。外枠には, 表面を鏡面状に加工したアルミを採用し, 背面および側面にそれぞれ貼り付けている。実験方法として, レーザをすりガラスの中心から 20 mm 毎に照射し, センサの出力を測定した。測定回数は各 10 回とした。実験場所は明るさ 300 lux の室内とした。実験結果を図 5.20 に示す。中心から離れ

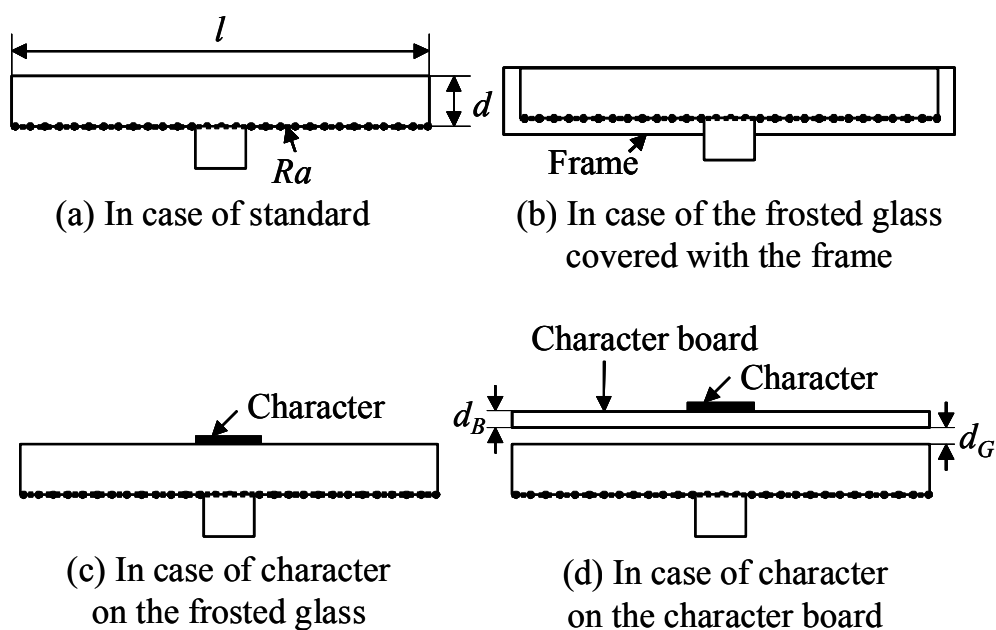


図5.19 : 実験に用いた大面積エリアセンサの構成

ていても受光できるように感度を高くしているため、近い距離（図 5.20 の 0~80 mm）では出力が飽和してしまい、違いが見られない。遠い距離（図 5.20 の 100~140 mm）では外枠を付けている方が出力が高くなっており、外枠により受光感度が上がっていることがわかる。外枠の背面+側面と背面のみの結果を比較すると、背面+側面の方が少し出力は高くなっているが、大きな違いは見られない。これより、受光感度に影響するのはほとんど背面の外枠によるものであることがわかる。よって、受光感度を向上させるためには、背面のみで十分な効果が得られるので、外枠の製作コストを下げたい場合、背面のみの外枠を用いればよい。また、いずれの距離においても、レーザが照射されている場合の出力（図 5.20 の 0~140 mm）は、レーザが照射されていない場合の出力（図 5.20 の No laser）より高い。よって、「レーザが照射されている」ことを判別することができる。

本実験より、外枠により受光感度が増すことが確認できた。また図 5.20 の結果から、外枠ありの出力（図 5.20 の 120~140 mm）がそれより近い距離の外枠なしの出力（図 5.20 の 100~120 mm）とほぼ同じであることがわかる。つまり、外枠を取り付けたことで、同じ強度の光が 20 mm 程度遠い距離まで到達しているといえる。さらにこれら光は、表面で反射、粗面で乱反射を繰り返すことで、減衰しながらより遠くに到達する。外枠ありの方が光は減衰しにくいと考えられるが、仮に外枠の有無に関わらず同じように減衰するとしても、同じ強度の光が 20 mm 遠くまで到達することになる。よって、大面積化に効果があることがわかる。

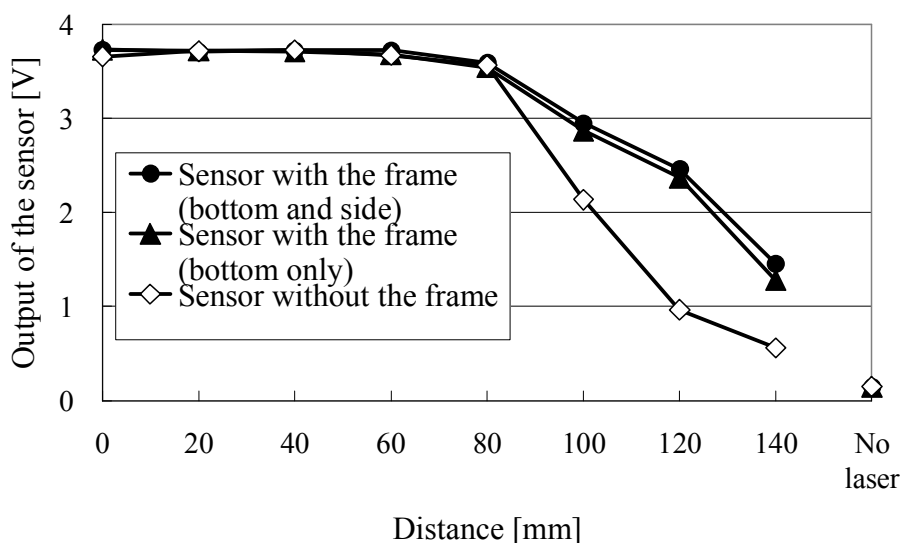


図5.20 : センサ出力に対する外枠の影響

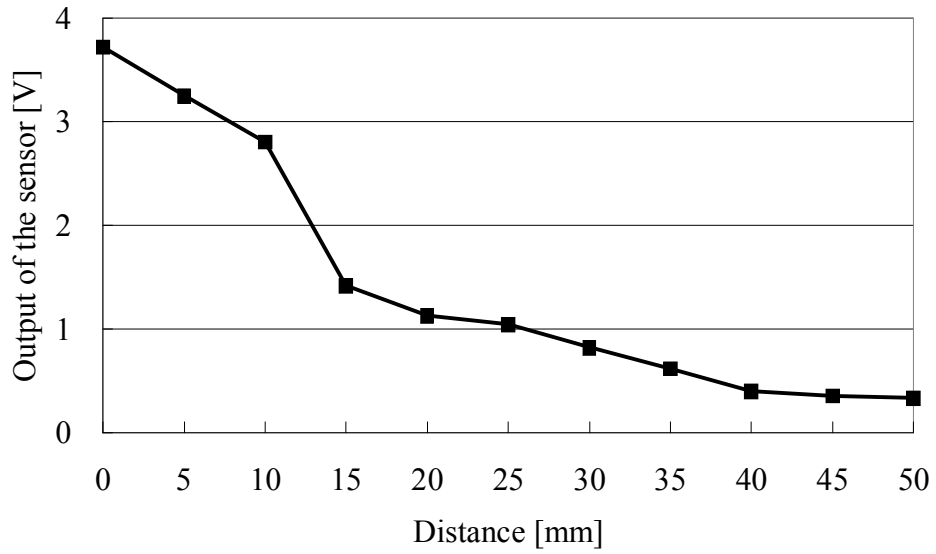


図5.21 : センサ出力に対する距離の影響 1

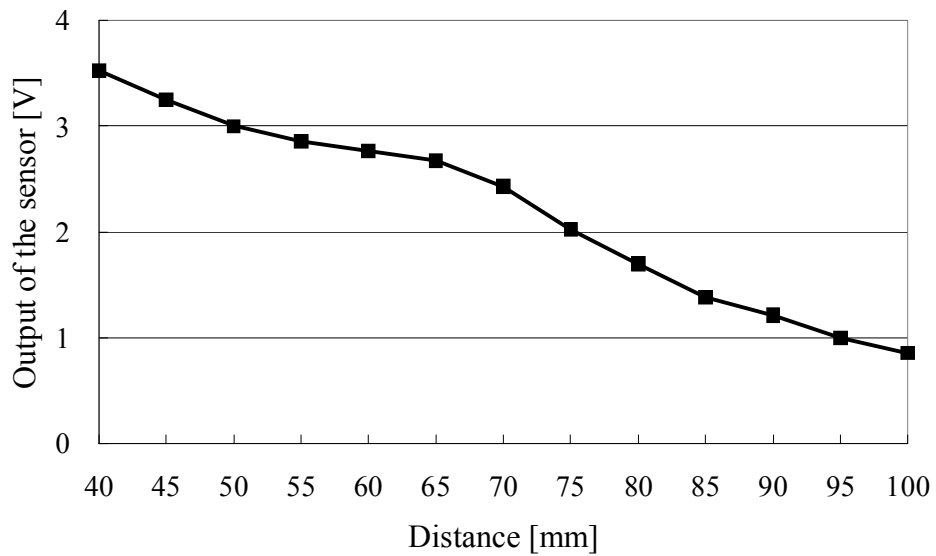


図5.22 : センサ出力に外枠に対する影響 2

また、本実験では中心に近い距離では、センサの出力が飽和しており、本センサの距離-出力電圧特性が確認できない。飽和していた部分（図 5.20 の 0~80 mm）の本センサの特性を確認するため、レーザを弱くして、基準のすりガラスを用いたセンサで同様の実験を行った。レーザの照射位置は中心から 100 mm まで 5 mm 毎とした。ただし、レーザの強さが 1 種類では、離れた距

離での特性がわかりにくかったため、レーザの強さを2種類（0 mm と 40 mm で出力が 3.7 V 程度となる強さのレーザ）とし、測定距離をそれぞれ 0~50 mm と 40~100 mm とした。それぞれの距離での距離-出力電圧特性を図 5.21 と図 5.22 に示す。図 5.21 と図 5.22 の結果より、レーザの照射される位置がセンサの中心から離れるほど、出力が低下することが確認できる。

b. すりガラスの厚さの影響

ここでは、すりガラスの厚さ（図 5.19 (a)の d ）が変化した場合に、出力がどのように影響されるか検証する実験を行った。すりガラスの厚さは、 $d=2, 3, 5, 6, 8$ mm の5種類とした。実験方法、測定回数および実験場所は「a. 外枠の影響」と同様とした。実験結果を図 5.23 に示す。結果より、実験で用いた範囲では、厚さが厚いほど、出力が高いことが確認できる（図 5.23 の 100~140 mm）。また、実験で用いた全ての厚さにおいて、レーザが照射されている場合の出力（図 5.23 の 0~140 mm）は、レーザが照射されていない場合の出力（図 5.23 の No laser）より高い。よって、「レーザが照射されている」ことを判別することができる。

本実験では、厚さが厚いほど受光感度が増すことが確認できた。しかし、すりガラスを厚くすると重くなるため、本センサを設置することが困難になる。実験で用いた範囲では、全ての厚さで「レーザが照射されている」ことを判別できたため、薄くて軽いすりガラスを使用するとよいと考えられる。

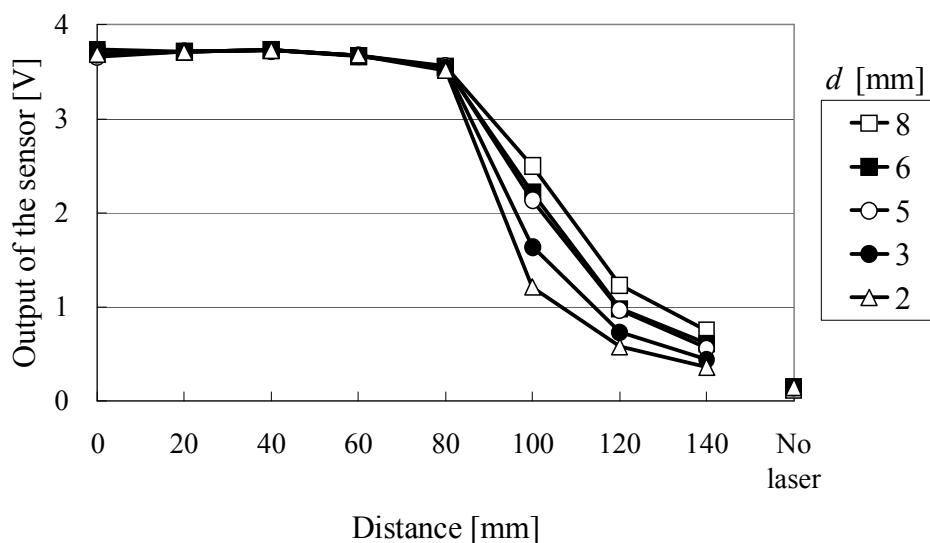


図5.23 : センサ出力に対するすりガラスの厚さの影響

c. すりガラスの粗さの影響

ここでは、すりガラスの粗さ（図 5.19 (a)の Ra ）が変化した場合に、出力がどのように影響されるか検証する実験を行った。また、すりガラスの粗面の加工方法には、砂等で物理的に研磨する方法と、フッ化水素等で化学的に研磨する方法がある。このため本実験では、粗面の加工方法の違いによる影響も検証した。実験には、物理的に研磨した粗さ（算術平均粗さ） $Ra=1.0, 1.5, 4.0 \mu\text{m}$ のすりガラスと、化学的に研磨した粗さ $Ra=2.0, 2.5 \mu\text{m}$ のすりガラスの 5 種類を用いた。実験方法、測定回数および実験場所は「a. 外枠の影響」と同様とした。実験結果を図 5.24 に示す。結果より、すりガラスの粗面の加工方法の違いによる影響については、物理的に研磨した方が化学的に研磨した方より出力が高くなっていることがわかる（図 5.24 の 80~140 mm）。物理的に研磨した場合、砂等により細かなキズがつき、図 5.25 (a)のように表面に小さな凸凹ができる[95],[96]。化学的に研磨した場合、薬品で滑らかに削られ、図 5.25 (b)のように表面が滑らかになる。表面に小さな凸凹が多いほど、光はより広く様々な方向に反射し、透過光は少なくなる。光は反射する

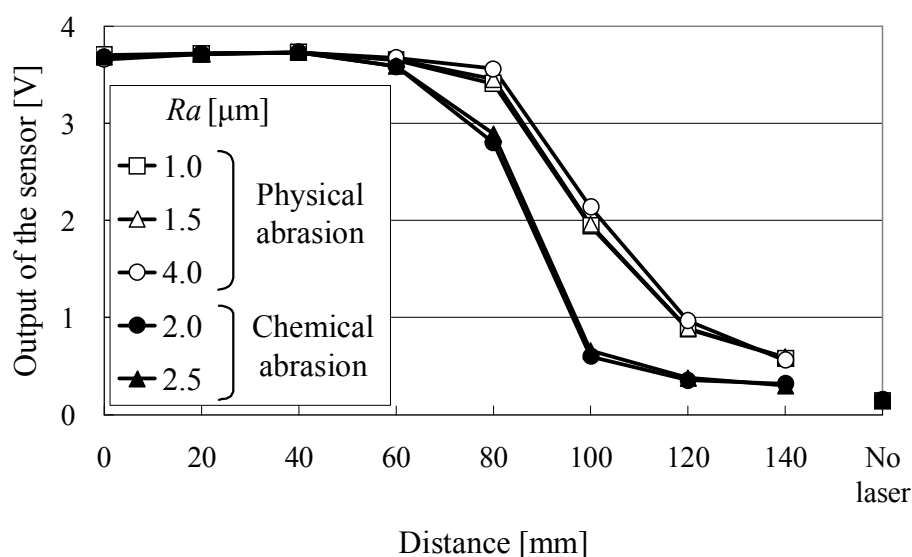


図5.24：センサ出力に対するすりガラスの粗さの影響

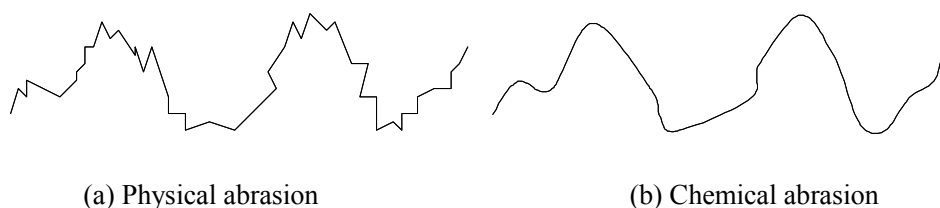


図5.25：物理的研磨と科学的研磨によるすりガラスの粗面の違い

度に強度が低下するため、一度の反射でより遠くに光が到達することで、光が照射された位置から離れた位置でも、すりガラス内の光強度が強くなる。また、透過光が少なくなることで、すりガラス内の光強度は低下しにくくなる。よって、物理的に研磨した方が受光感度は高いと考えられる。また、実験で用いた範囲では、出力と距離の関係は、すりガラスの粗面の加工方法には影響されるが、粗さ（算術平均粗さ） Ra の違いにはあまり影響されないことも確認できる。さらに、実験で用いた全ての粗さにおいて、レーザが照射されている場合の出力（図 5.24 の 0~140 mm）は、レーザが照射されていない場合の出力（図 5.24 の No laser）より高い。よって、「レーザが照射されている」ことを判別することができる。

本実験より、粗面を物理的に研磨した方が受光感度は増すことが確認できた。また、物理的に研磨したすりガラスの方が、化学的に研磨したすりガラスより安価に作成可能である。よって、安価で高感度である物理的に研磨したすりガラスを使用の方がよいと考えられる。また実験で用いた範囲では、粗さ（算術平均粗さ） Ra にはあまり影響されなかったため、特に粗さを意識する必要はないと考えられる。

d. 外乱光の影響

ここでは、外乱光が変化した場合に、出力がどのように影響されるか検証する実験を行った。外乱光は、(1) 0 lux の外乱光なし（暗室）、(2) 約 300 lux の蛍光灯（一般的な室内）、(3) 約 1000 lux の蛍光灯（明るい室内）、(4) 約 5000 lux の太陽光（日陰）、(5) 約 30000 lux の太陽光（屋外）の

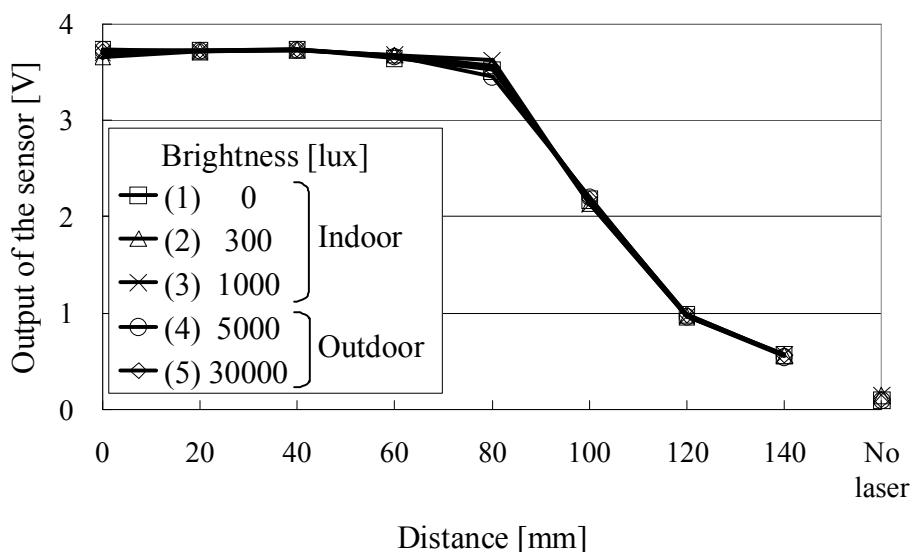


図5.26：センサ出力に対する外乱光の影響

5種類とした。実験方法および測定回数は「a. 外枠の影響」と同様とした。実験結果を図 5.26 に示す。結果より、外乱光が変化しても、出力と距離の関係には、ほとんど影響しないことも確認できる。また、実験で用いた全ての外乱光において、レーザーが照射されている場合の出力 (図 5.26 の 0~140 mm) は、レーザーが照射されていない場合の出力 (図 5.26 の No laser) より高い。よって、「レーザーが照射されている」ことを判別することができる。

本実験より、本センサは外乱光に影響されにくいことが確認できたため、任意の場所で使用することができると考えられる。

e. 文字板の影響

ここでは、すりガラスに直接文字を書いた場合 (図 5.19 (c)) と、受光部の前面に文字板を貼り、そこに文字を書いた場合 (図 5.19 (d)) での出力の違いを測定した。文字板には全光透過率 93 %、厚さ $d_B=2$ mm のアクリル板を用い、すりガラスと文字板の隙間 d_G を 2 mm とした。すりガラス表

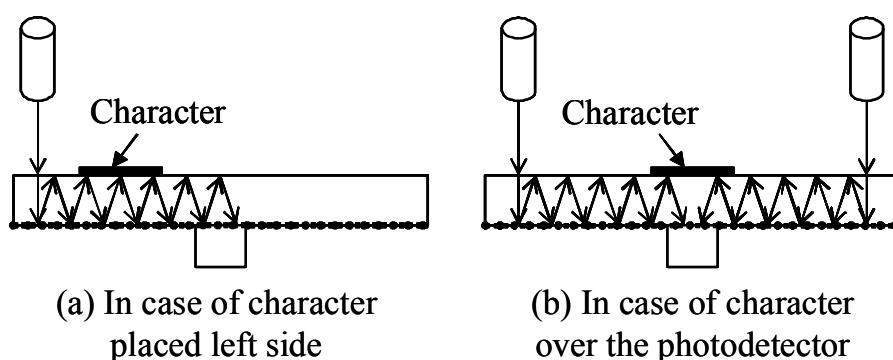


図5.27：文字の位置によるすりガラス内での光の反射への影響

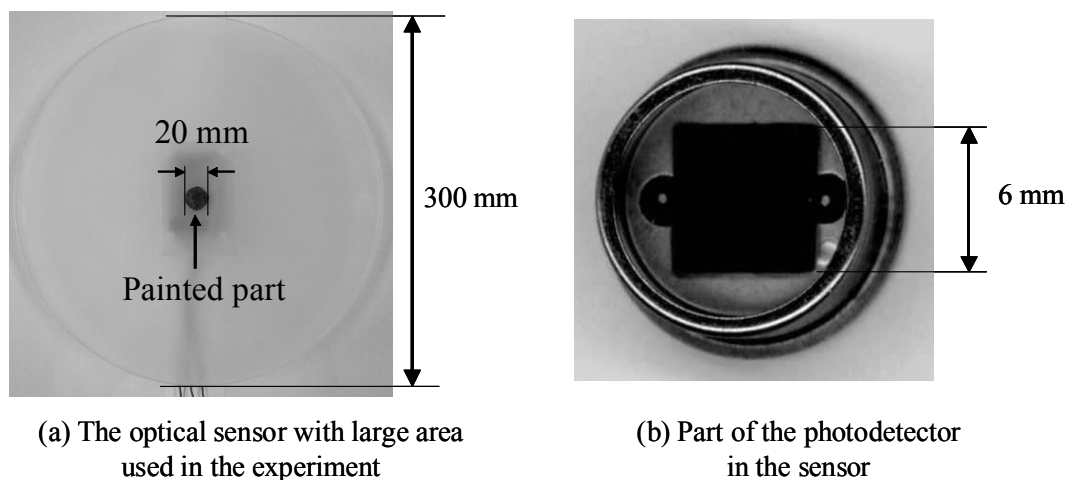


図5.28：実験に用いた大面積光センサと受光素子の写真

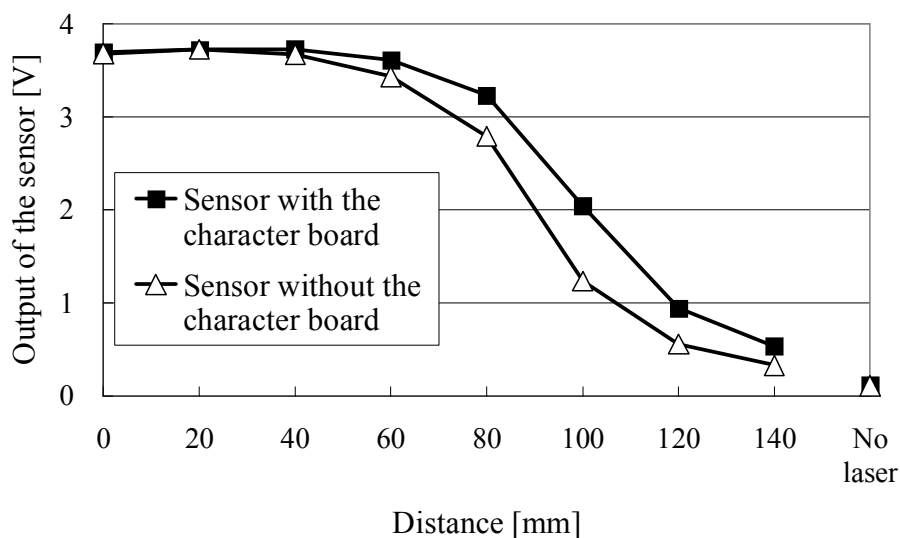


図5.29 : センサ出力に対する文字 (図 4.27(a)) の影響

面に文字を書いた場合、5.2.4 項で述べたように、レーザは照射された位置から反射を繰り返して受光素子に光が到達する (図 5.27 (a)) 途中で、文字の部分で光が吸収される。よって、図 5.27 (a) の文字のように、レーザが照射された位置と受光素子の間に文字が書かれた場合が、文字の影響を受けやすいと考えられる。本実験では、図 5.27 (b)に示すように、どの位置にレーザが照射されても、文字による影響を受けやすくするため、すりガラスの中心部に「●」を書いた。実験に使用したセンサの写真を図 5.28 (a)に、本センサに使用した受光素子の写真を図 5.28 (b)に示す。また、文字の色によって光の吸収が異なるため、出力が変化すると考えられる。本リモコンシステムでは、文字の色に制限を設けないため、使用者が任意の色で文字を書くと想定される。黒が最も光を吸収する色であるため、黒の文字を書いた場合に、センサの出力が最も低下すると考えられる。本実験では文字の色を黒とし、文字板を設置することで出力が向上するか確認した。実験方法、測定回数および実験場所は「a. 外枠の影響」と同様とした。実験結果を図 5.29 に示す。結果より、文字板を付けている方が、出力が高くなっていることがわかる。

本実験では、すりガラスの中心部に「●」を書いたが、異なる文字や絵等を書いた場合とは出力の特性が異なると考えられる。ただし、どのような文字でも、すりガラスに直接文字を書いた場合は、文字で光が吸収されるため、文字板の上に文字を書いた場合の方が、出力が高くなると考えられる。確認のため、図 5.30 に示すような文字を書いた場合で同様の実験を行った。レーザをすりガラスの中心から矢印 (⇒) の方向に 20 mm 毎に照射し、センサの出力を測定した。測定回数および実験場所は「a. 外枠の影響」と同様とした。実験結果を図 5.31 に示す。これより、図



図5.30 : 文字を書いた大面積光センサ

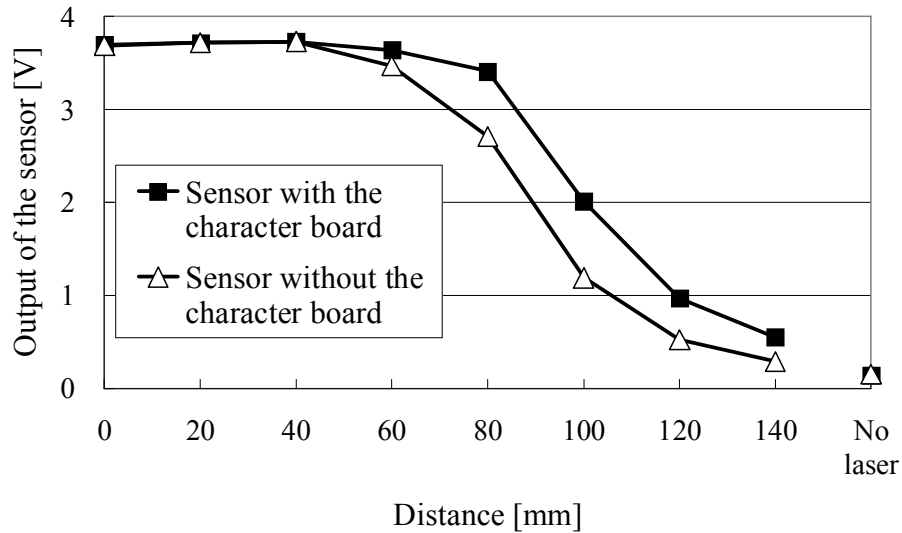


図5.31 : センサ出力に対する文字 (図 4.29(a)) の影響

5.29 と同じように、文字板を付けている方が、出力が高くなっていることがわかる。

本実験より、文字板を付け、そこに文字を書くことで、すりガラスに直接文字を書いた場合より、受光感度が高くなると考えられる。

f. 入射角の影響

ここでは、レーザの入射角が変化した場合に、出力がどのように影響されるか検証する実験を行った。レーザの入射角は、図 5.32 に示すように角度をレーザが中心に向かう方向を正、外側に向かう方向を負と定義して、 $-60\sim 60$ deg まで 15 deg 毎の 9 種類とした。レーザをすりガラスの中心から矢印 (\Rightarrow) の方向に 20 mm 毎に照射し、センサの出力を測定した。測定回数および実験場

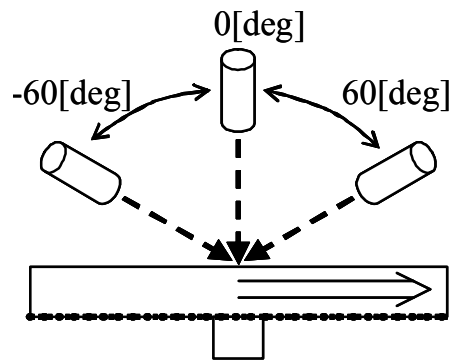


図5.32 : レーザの照射角度

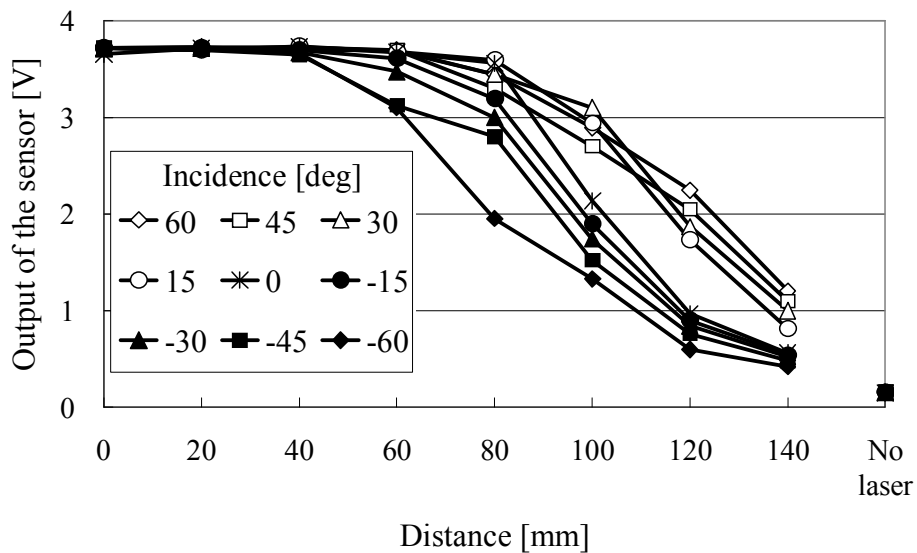


図5.33 : センサ出力に対する入射角の影響

所は「a. 外枠の影響」と同様とした。実験結果を図 5.33 に示す。結果より、実験で用いた範囲では、レーザが中心に向かって傾いている (90 deg に近い) ほど、出力が高いことが確認できる (図 5.33 の 80~140 mm)。また、実験で用いた全ての入射角において、レーザが照射されている場合の出力 (図 5.33 の 0~140 mm) は、レーザが照射されていない場合の出力 (図 5.33 の No laser) より高い。よって、「レーザが照射されている」ことを判別することができる。

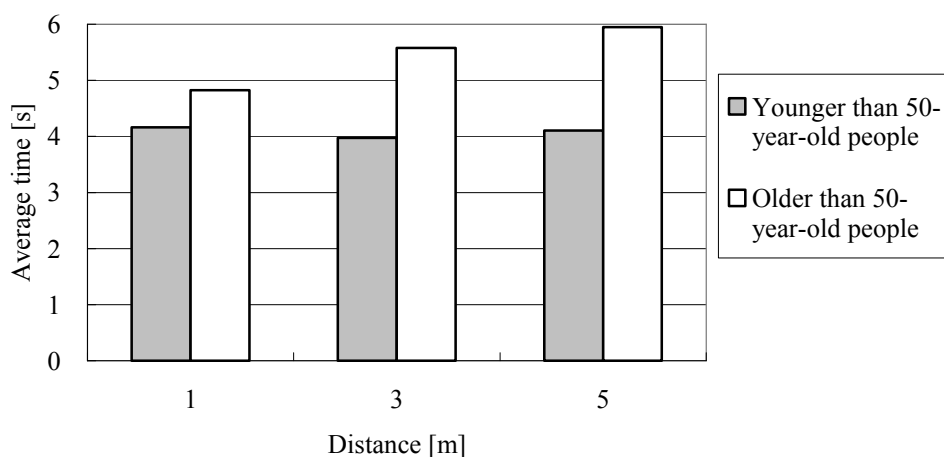
本実験では、入射角が-60~60 deg の範囲で、どの位置にレーザが照射されても「レーザが照射されている」ことを判別できた。本センサは、表面が見える位置からレーザを照射して使用するため、この入射角の範囲は十分であると考えられる。よって、使用者は-60~60 deg の範囲で、入射角を気にすることなく本センサを使用することができる。

5.6.2 簡単操作リモコンシステムの実験

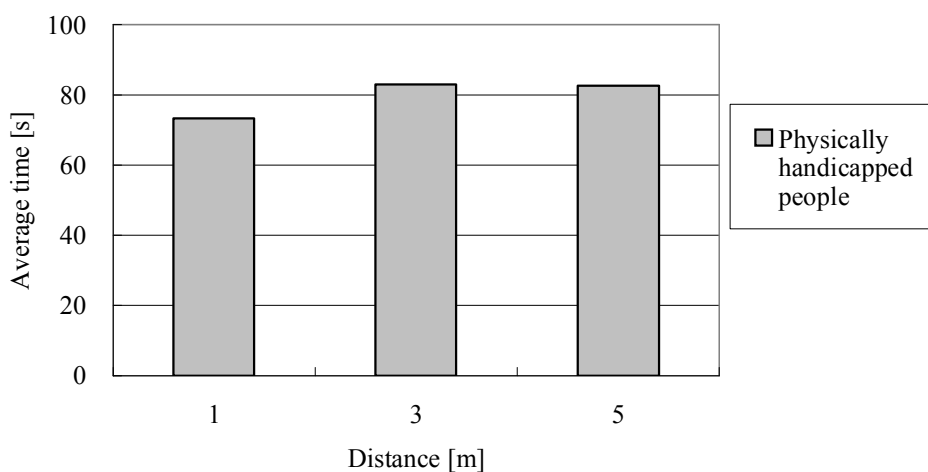
ここでは、提案した簡単操作リモコンシステムの動作を検証する実験を行った。なお、4.6.1 項の全ての実験結果において、レーザが照射されていない場合の出力の最大値は 0.15 V であり、レーザが照射されている場合の出力の最小値は 0.29 V であった。これより、レーザが照射されているか判別するためのセンサの出力の閾値電圧 V_R (5.3.2 項 a.参照) は 0.20 V とした。まず、大面積光センサを 4 個用意し、それぞれにリモコン信号としてテレビの「電源」、「入力切替」、「チャンネルアップ」、「チャンネルダウン」の信号を学習させ割り当てた。実験に用いたセンサの写真を図 5.34 に示す。次に、レーザポインタを置いた状態から、それを取ってセンサを指示し、リモコン信号が送信されるまでの一連の流れを被験者に行わせ、その時間を測定した。センサと人の距離は 1, 3, 5 m とした。被験者は健常者 22 名 (50 歳未満: 男性 10 名, 女性 2 名, 50 歳以上: 男性 3 名, 女性 7 名), 非健常者 7 名 (男性 6 名, 女性 1 名, 障害: 肢体不自由, ダウン症) である。また、操作方法を理解する時間ではなく、操作に要した時間を測定するため、被験者は操作方法を完全に理解した上で実験を行った。それぞれの距離で任意のセンサを 1 人 2 回指示した。本実験の結果として、レーザは正しく認識され、リモコン信号は誤動作なく送信された。また、測定した操作時間の平均を図 5.35 に示す。これより、健常者は平均 4~6 秒程度で 1 つのリモコン信号を送信できていることがわかる。非健常者は平均 80 秒程度であるが、障害の軽い人は健常者と同程度の時間であった。また、障害が重く普通のリモコン操作が不可能な人でも、数分の時間をかければ、本リモコンシステムを操作することができた。



図5.34 : 簡単操作リモコンシステムの動作検証に用いた大面積光センサ



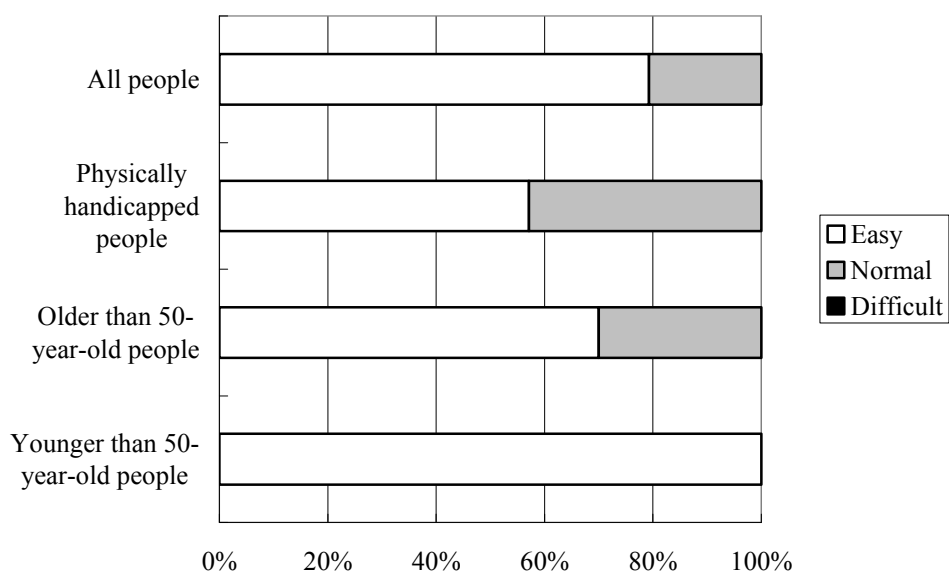
(a) In case of normal people



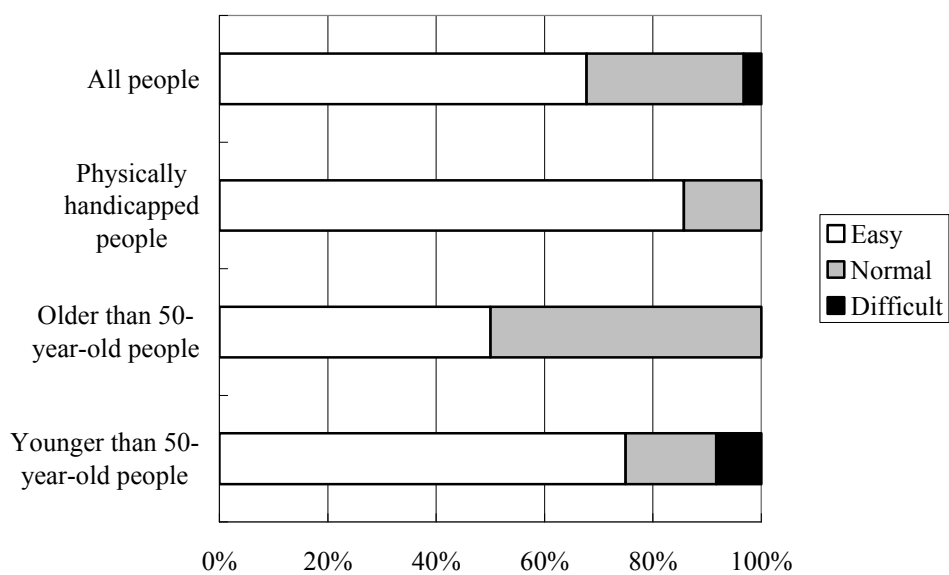
(b) In case of physically handicapped people

図5.35 : リモコンシステムにおいて1つのコマンド選択に要する操作時間の平均

また実験後、被験者に対して操作性と使用感の聞き取り調査も行った。操作性を「(1) 簡単」、 「(2) 普通」、 「(3) 困難」、 使用感を「(1) 使いやすい」、 「(2) 普通」、 「(3) 使いにくい」、 の各3段階で評価させた。結果を図 5.36 に示す。これより、操作性は、「(1) 簡単」の回答が全体の8割程度であり、「(3) 困難」の回答はなかった。また使用感は、「(1) 使いやすい」の回答が7割程度であり、「(3) 使いにくい」の回答が1割未満であった。これらの結果より、本リモコンシステムは、多くの人にとって操作が簡単で使いやすいということが確認できる。



(a) Easiness of pointed out



(b) Sense of use as remote control

図5.36：操作性と使用感の聞き取り調査の結果

以上より、大面積光センサをレーザーポインタで指示するだけで、リモコンとして正しく動作することが確認できた。また、本リモコンシステムで使用するボタンは、レーザーポインタの一つのボタンだけである。そのため、操作が非常に単純で覚えやすい。また、聞き取り調査の結果からも、本リモコンシステムは、多くの人にとって操作が簡単で使いやすいことがわかる。

5.6.3 大面積リニアセンサの実験

本項では、大面積リニアセンサの実験を行った。すりガラスには図 5.37 に示すように縦 $w=10$ mm, 横 $l=100$ mm, 厚さ $d=5$ mm の大きさのものを用い, 受光素子にはフォトトランジスタ (東芝社製 TPS601A) を採用した。光源には, 線長線幅可変型レーザラインマーカ (オーディオテクニカ社製 SU-63C) を使用した。

a. 大面積ラインセンサの特性と光の照射位置の測定

受光素子は外乱光に影響されやすいため, 暗室で実験を行った。キャリブレーションとして図 5.38 (a)に示すように, すりガラスの中央 (± 0 mm) にレーザを照射し, 左右のフォトトランジスタからの出力電圧が等しくなるようにアンプのゲインを用いて調整した。次に図 5.38 (b),(c)のように, レーザラインマーカを動かし, 測定点ごとに左右のフォトトランジスタの出力電圧 (V_r, V_l) を測定し, 規格化出力 S (5.4.2 項参照) を求めた。なお, すりガラスの中央を ± 0 mm, 中央より左側をマイナス域, 右側をプラス域と定義し, $-40\sim 40$ mm の範囲を測定範囲とし, レーザは 5 mm 毎に照射した。測定結果を図 5.39 に示す。結果より, 光の照射位置と規格化出力 S には相関性が

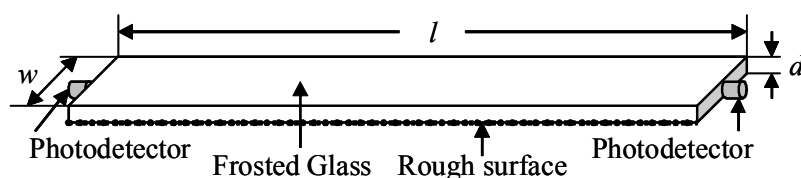


図5.37 : 大面積リニアセンサの大きさ

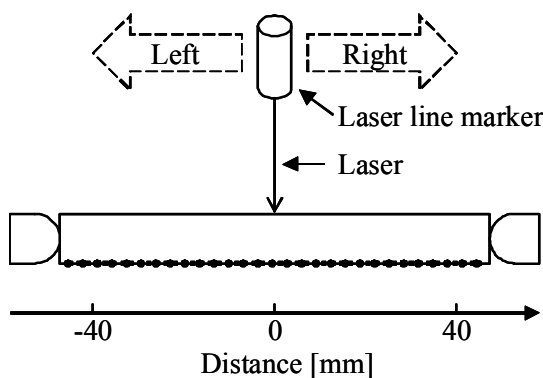


図5.38 : レーザの照射の様子

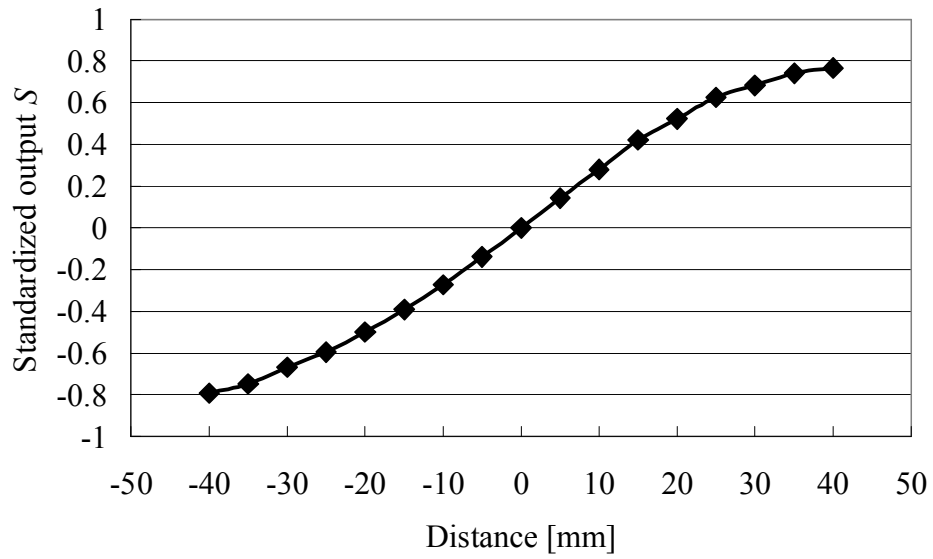


図5.39：光の照射位置と規格化出力 S の関係

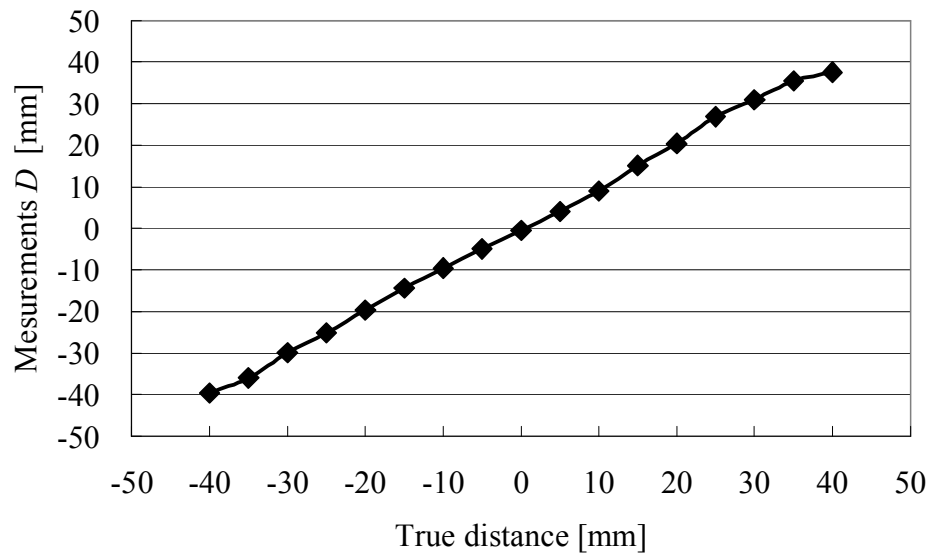


図5.40：光の照射位置の真値と測定値 P の関係 1

あることが確認できる。これより、最小二乗法を用いて規格化出力 S から光の照射位置 P を求める。また、図 5.39 のグラフは単純な形であるので、式のモデルには式(4.5)に示すような 3 次関数とした。

$$P = k_0 S^3 + k_1 S^2 + k_2 S + k_3 \quad (4.5)$$

最小二乗法を用いて関数を求めた結果、式(4.4)における定数の値は式(4.6)~(4.9)のようになった。

$$k_0 = 30.1408 \quad (4.6)$$

$$k_1 = 0.957526 \quad (4.7)$$

$$k_2 = 31.2815 \quad (4.8)$$

$$k_3 = -0.490254 \quad (4.9)$$

光の照射位置の真値と測定値 P の関係を図 5.40 に示す。結果より、真値と測定値 P がほぼ一致しており、光の照射位置が正確に測定できていることが確認できる。

b. 動作確認

次に、本リニアセンサの動作確認を行った。実験場所は上記の実験と同様に暗室とした。レーザを $-40 \sim 40$ mm の範囲の任意の位置に照射し、光の照射位置 P を測定した。測定結果を図 5.41 に示す。結果より、全ての位置でほぼ正確に光の照射位置を測定できており、本リニアセンサが正確に光の照射位置を測定できることが確認できた。

c. 外乱光の影響

ここでは、外乱光の影響を測定した。外乱光の影響を受けにくくするため、レーザラインマーカのレーザを 1 kHz に変調し、センサからは変調した周波数成分のみを抽出した。外乱光は、0 lux の外乱光なし（暗室）、約 500 lux の蛍光灯（一般的な室内）、約 1000 lux の蛍光灯（明るい室内）の 3 種類とした。実験方法として、レーザラインマーカを $-40 \sim 40$ mm まで 5 mm 毎に照射し、光

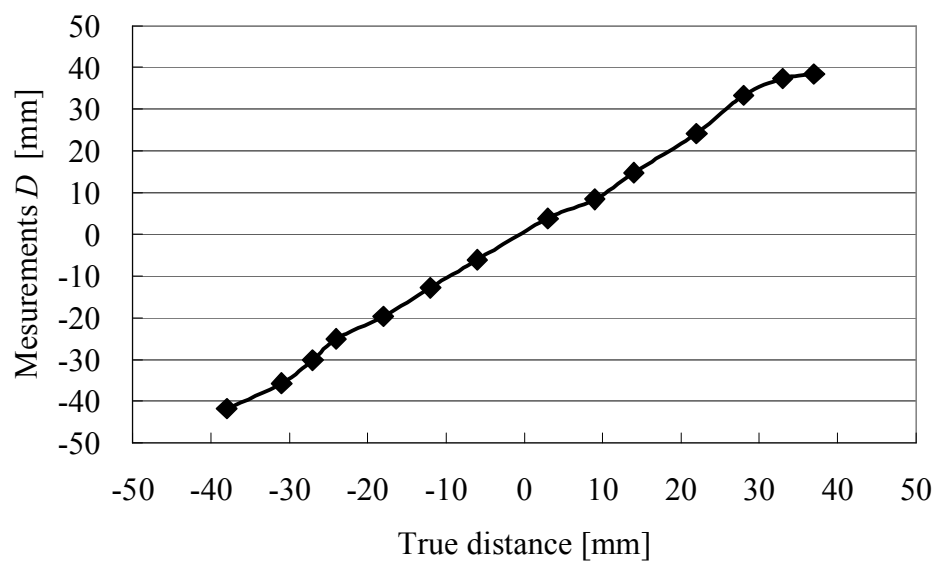


図5.41 : 光の照射位置の真値と測定値 P の関係 2

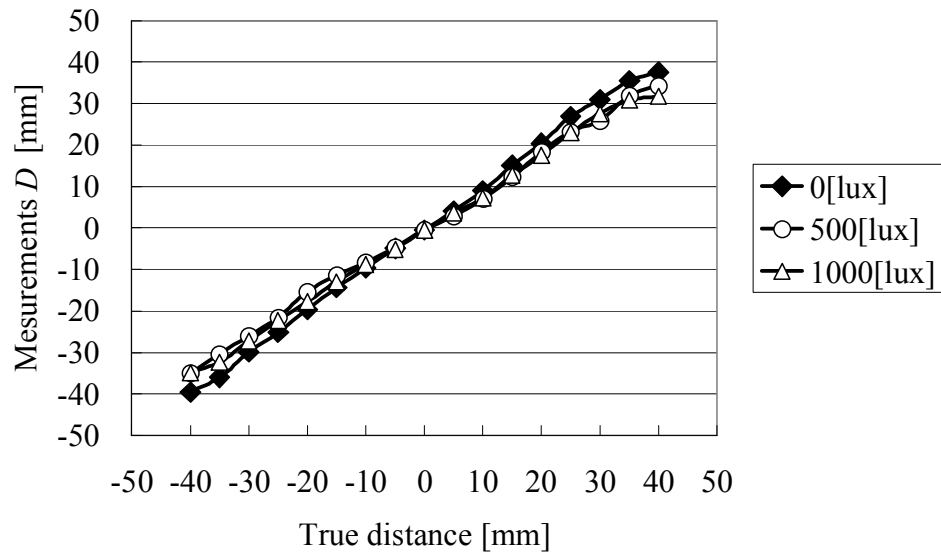


図5.42 : センサ出力に対する外乱光の影響

の照射位置 P を測定した。結果を図 5.42 に示す。結果より、外乱光にはほとんど影響されず、ほぼ正確に光の照射位置を測定できていることが確認できる。わずかに影響されている原因としては、レーザラインマーカの変調周波数の 1 kHz と主な外乱光である蛍光灯の周波数 (50 or 60 Hz) が近いため、センサに用いたフィルタが外乱光の影響を完全に除去しきれていないためだと考えられる。これは、フィルタを再調整するか、レーザラインマーカの変調周波数をもっと高くすることで解決できると考えられる。

5.6.4 大面積エリアセンサの実験

本項では、大面積エリアセンサの実験を行った。エリアセンサは、縦 100 mm×横 100 mm、厚さ 5 mm のすりガラスを用いて試作した。また、受光素子にはフォトダイオード（浜松ホトニクス, S1226-8BK）を、光源には赤色レーザーモジュール（Wentai Enterprise, LM-101-A2, 1 mW）を、外枠には表面を鏡面状に加工したアルミを採用した。図 5.43 に示すようにフォトダイオードの受

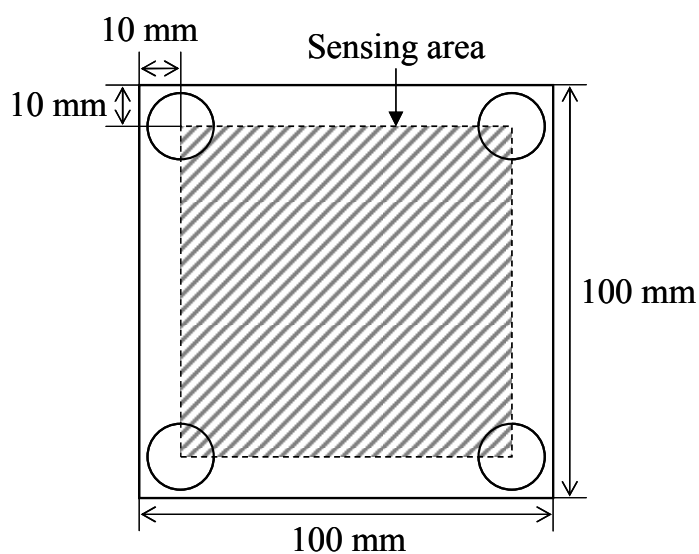


図5.43 : エリアセンサの受光範囲

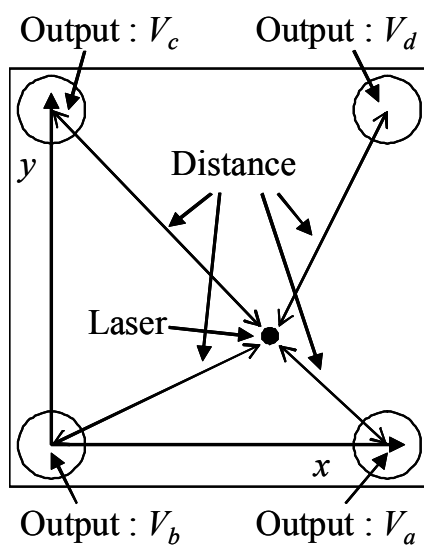
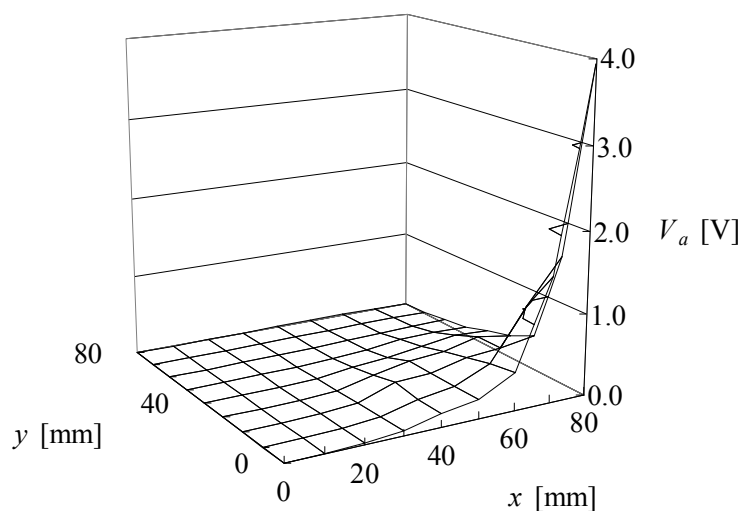


図5.44 : 実験条件

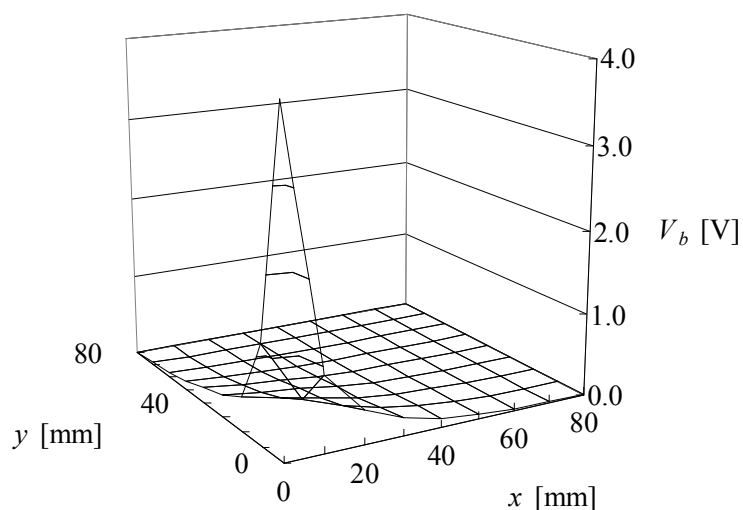
光面の中心をすりガラスの四隅から縦横 10 mm 内側の位置になるように設計し、試作したエリアセンサの受光範囲をすりガラスの隅から縦横 10 mm を除外した部分とした。

a. 大面積エリアセンサの特性の測定

図 5.44 に示すように x 軸, y 軸をとり, それぞれ 0~80 mm まで 10 mm 毎にレーザを照射し, 各フォトダイオードからの出力 ($V_a \sim V_d$) を測定した。レーザが照射された位置とフォトダイオー

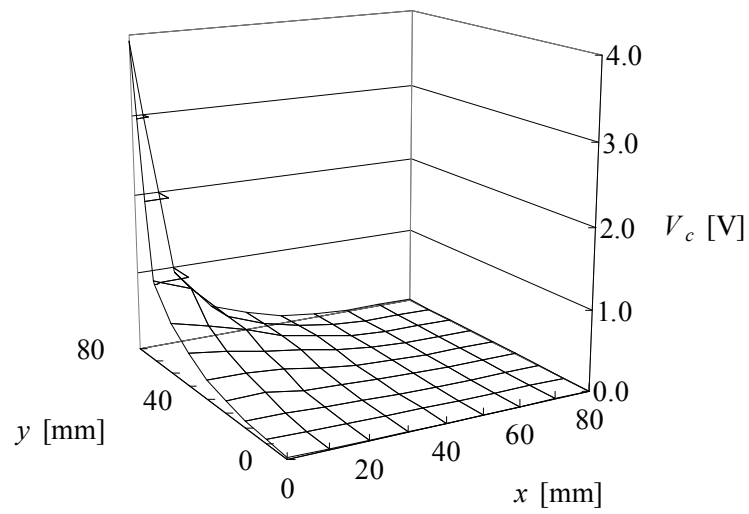


(a) V_a

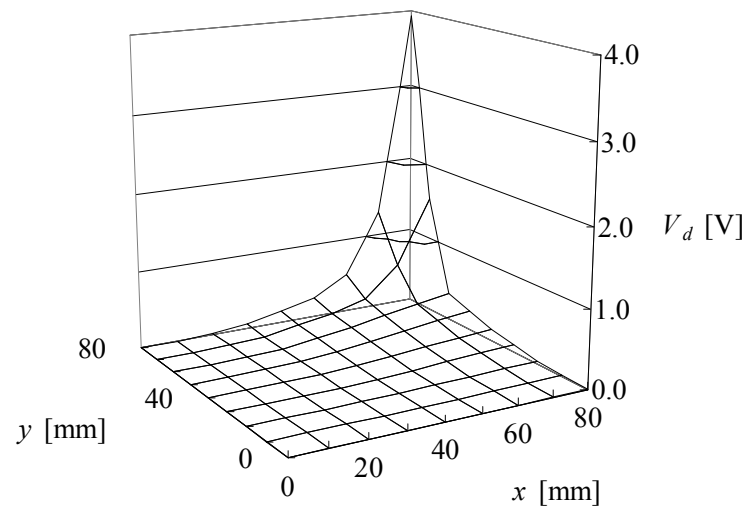


(b) V_b

図5.45 : レーザが照射された位置とフォトダイオードからの出力の関係



(c) V_c



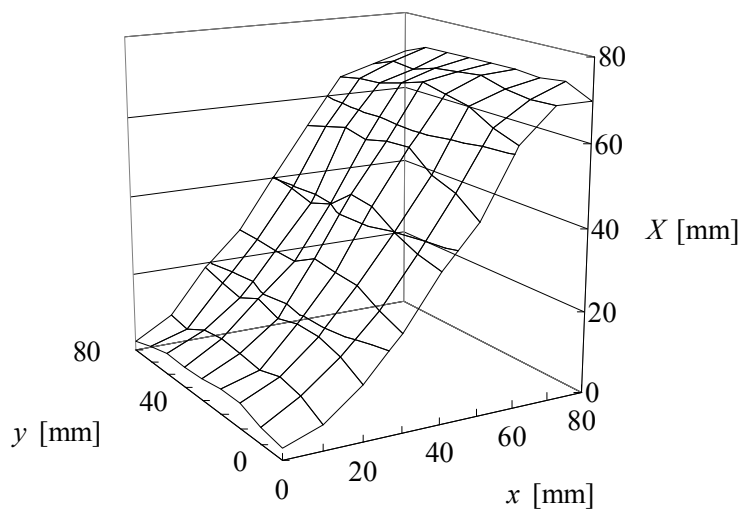
(d) V_a

図 5.45 : レーザが照射された位置とフォトダイオードからの出力の関係

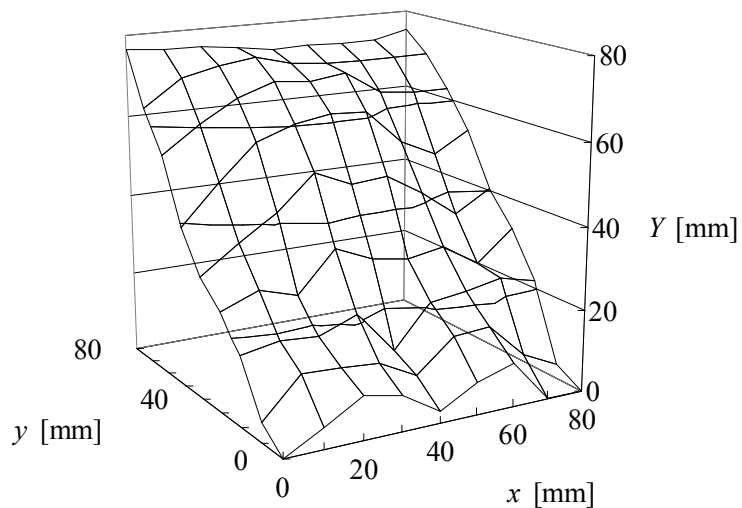
ドからの出力の関係を図 5.45 に示す。これより、レーザが照射された位置がフォトダイオードに近い (図 5.44 の Distance が小さい) ほど、そのフォトダイオードの出力が高いことがわかる。よって、各フォトダイオードからの出力を測定することで、各フォトダイオードからレーザが照射された位置までの距離を推定できることがわかる。

b. 光の受光位置の測定

上記の実験より、受光範囲の四隅からレーザーが照射された位置までの距離がわかるので、レーザーが照射されている位置を推定することもできる。本論文では、2.2.4項で述べた知的センシング技術の1つである人工生命型発見システム[68]を用い、出力 ($V_a \sim V_d$) に式(4.3)を用いて規格化した値 ($S_a \sim S_d$) からレーザーが照射された位置 (X, Y) を求める関数を探索した。レーザーが照射された位置の真値 (x, y) と人工生命型発見システムで得た関数から求めた測定値 (X, Y) の関係を図5.46に示す。これより、おおまかにレーザーが照射された位置が推定できていることが確認できる。



(a) X



(b) Y

図5.46 : レーザーが照射された位置の真値 (x, y) と測定値 (X, Y) の関係

5.7 結 言

本章では、すりガラスと光センサを用いた大面積光センサを開発し、これを用いて誰もが簡単に使用できる簡単操作リモコンシステムを提案した。また、リモコンシステムの操作性向上のために、大面積リニアセンサおよび大面積エリアセンサを開発した。

提案した大面積光センサは、安価で容易に受光面積を拡大させることが可能であり、すりガラスの厚さ、粗さ、外乱光および入射角が変化しても、正しくレーザを受光できることを示した。また、外枠および文字板により、受光感度が向上することも確認した。本論文では、大面積光センサのすりガラスの直径を 300 mm として実験を行った。一般的な家庭内で使用するには、この大きさは十分であると考えられる。

本リモコンシステムは、大面積光センサをレーザポインタで指示するだけでリモコンとして動作する。また、手は動かせるが細かなボタン操作が困難な人でも、指で押すボタンはレーザポインタの一つのボタンだけであるため、操作しやすい。さらに、大面積の光センサには大きな文字を書くことができるので、覚える必要がなく、視力の悪い人でも見やすくわかりやすい。よって本リモコンシステムは、操作が非常に単純で覚えやすく、誤動作もないため、多くの人が容易に操作できる。また、必要な装置は大面積光センサ、レーザポインタ、制御回路、赤外 LED だけであるため、装置が単純である。

提案した大面積リニアセンサは、レーザラインマーカからすりガラスに照射された線状のレーザ光の位置を測定できることが確認できた。平行光であれば、センサと光源の距離には無関係であり、光源の位置はセンサ部におおまかに垂直方向であれば問題なく、非常に簡便である。

提案した大面積エリアセンサは、すりガラス上のレーザが照射された位置を判別できることが確認できた。よって、本エリアセンサは、1 つのセンサに本リモコンシステムの複数のボタンを配置することができる。また、本エリアセンサ上での光の移動も判別できるため、これを利用してチャンネルの切り替えや音量の上げ下げ等を行うことや、ポインティングデバイスとして使用することも可能である。

今後の課題としては、実用化に向けて、設置のしやすさ等を考慮したセンサの設計を検討する必要がある。また、提案した大面積光センサ、リニアセンサ、エリアセンサは、本リモコンシステム以外の用途でも使用できると考えられる。そのために、本センサの面積をより大きくしたい場合、より高感度化するための検討が必要である。

第6章 結 論

本論文では、物忘れに起因する問題を解決し物忘れ防止を支援するために、知的センシングの技術を用いることで、従来では不可能だったことを実現し、従来より高性能なセンシングシステムの構築を目指した。本論文では、物忘れに起因する問題の中から3つ（置き忘れ、服薬忘れ、複雑なリモコンの操作忘れ）挙げ、これらを解決するためのセンシングシステムについての研究成果を述べた。置き忘れに対しては、置き忘れが発生した場合、使用者に通知する置き忘れ防止システムを構築し、この問題を解決した。服薬忘れに関しては、使用者が服薬忘れをした場合、服薬するように通知する服薬忘れ防止システムを構築し、この問題を解決した。操作が複雑なリモコンに関しては、操作が簡単で覚えやすい簡単操作リモコンシステムを構築し、この問題を解決した。以下に各章毎の内容と研究成果について述べる。

第3章では、置き忘れ防止システムについて述べた。その中で、加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムと車両に対応した置き忘れ防止システムを提案した。加速度センサと無線機器を用いた置き忘れ防止システムは、置き忘れが発生する時、人物は歩行、忘れ物は静止という性質を利用している。無線機器には RFID タグを用い、人物がリーダーを持ち、物にタグを付ける。リーダーとタグにはそれぞれ加速度センサを用いた歩行センサが接続しており、その出力から歩行検知を行う。タグは歩行検知の結果をリーダーに送信する。リーダー側の歩行検知の結果、タグ側の歩行検知の結果、電波の電界強度および通信状況から、リーダーで置き忘れを判別する。これより、電波による距離推定のみを利用した従来法に比べ、高精度に置き忘れを判別することが可能となった。車両に対応した置き忘れ通知システムは、加速度センサのみを用いて状況判別を行い、置き忘れを判別できる。置き忘れの発生時、机や床等であれば人物は歩行、物は静止、車両であれば人物または物のいずれかが車両で加速、という性質を利用している。人物が親機を持ち、物に子機を付ける。親機と子機では、それぞれ加速度センサを用いて状態判別（「歩行中」、「車両での加減速」、「その他」）が行われる。子機は自身の状態判別の結果を、親機に送信する。親機は、状態判別の結果を用いて置き忘れ判別を行い、その結果を子機に送信する。置き忘れが発生したと判別した場合、親機は音等で持ち主に通知する。また、置き忘れの発生時、人物または物のいずれか片方が車両の中であると判別した場合、子機からも音等で周囲の人に通知する。実験を行った結果、本システムは、従来法より高精度であり、置き忘れの状況に応じた置き忘れの通知が正確にできることを示した。

第4章では、服薬忘れ防止システムについて述べた。その中で、新しい薬有無判別センサを用

いた服薬忘れ防止システムと、薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムを提案した。薬有無判別センサを用いた服薬忘れ防止システムでは、初期設定として、服薬時間毎に薬を異なる薬有無判別センサに入れ、それぞれの服薬時間（服薬開始時間と服薬終了時間）を入力する。それぞれの薬有無判別センサの出力から、その箱内の薬の有無を判別し、薬が取り出されたら「服薬された」と判別する。服薬終了時間を過ぎても服薬されていない場合、患者に服薬するように通知する。また、服薬開始時間より早く服薬しようとした場合、服薬を中止するように警告する。本システムは、服薬の時間を監視することもでき、服薬の時間を保存することで服薬の履歴を見ることもできる。実験の結果、本薬有無判別センサは薬の有無を正確に判別でき、本システムは服薬忘れを正確に判別できることを示した。薬有無判別センサと咀嚼センサを用いた服薬忘れ防止システムでは、咀嚼センサを用いることで、食前や食後という服用法を考慮できる。初期設定として、上記のシステムに加え、咀嚼センサは患者に装着させ、服薬監視時間（服薬時間の何分前から咀嚼を監視するか）を入力する。咀嚼センサの出力から咀嚼中かどうかを判別し、咀嚼している場合、「食事中」と判別する。主な動作も上記のシステムと同様であるが、「食前」に服薬する薬の場合、服薬前に食事していたら、先に服薬するように警告する。本システムは、服薬および食事の時間を監視することもでき、これらを保存することで服薬および食事の履歴を見ることもできる。実験を行った結果、本咀嚼センサは、使用者が咀嚼しているかどうかを非接触で正確に判別できることが確認できた。また本システムは、食前や食後という服用法を考慮して服薬忘れを使用者に通知可能であることを示した。

第5章では、誰もが簡単に使用できる簡単操作リモコンシステムについて述べた。すりガラスと光センサを用いた大面積光センサを開発し、これを用いたリモコンシステムを提案した。リモコンシステムの操作性向上のために、大面積リニアセンサおよび大面積エリアセンサを開発した。提案した大面積光センサは、すりガラスと小さな受光素子を組み合わせることで、安価で容易に受光面積を拡大させることが可能であり、すりガラスの厚さ、粗さ、外乱光および入射角が変化しても、正しくレーザを受光できることを示した。また、外枠および文字板により、受光感度が向上することも確認した。本論文では、大面積光センサのすりガラスの直径を 300 mm として実験を行った。一般的な家庭内で使用するには、この大きさは十分であると考えられる。本リモコンシステムは、大面積光センサをレーザポインタで指示するだけでリモコンとして動作する。また、手は動かせるが細かなボタン操作が困難な人でも、指で押すボタンはレーザポインタの一つのボタンだけであるため、操作しやすい。さらに、大面積の光センサには大きな文字を書くことができるので、覚える必要がなく、視力の悪い人でも見やすくわかりやすい。よって本リモコン

システムは、操作が非常に単純で覚えやすく、誤動作もないため、多くの人が容易に操作できる。また、必要な装置は大面積光センサ、レーザポインタ、制御回路、赤外 LED だけであるため、装置が単純である。提案した大面積リニアセンサは、レーザラインマーカからすりガラスに照射された線状のレーザ光の位置を測定できることが確認できた。平行光であれば、センサと光源の距離には無関係であり、光源の位置はセンサ部におおまかに垂直方向であれば問題なく、非常に簡便である。提案した大面積エリアセンサは、すりガラス上のレーザが照射された位置を判別できることが確認できた。よって、本エリアセンサは、1 つのセンサに本リモコンシステムの複数のボタンを配置することができる。また、本エリアセンサ上での光の移動も判別できるため、これを利用してチャンネルの切り替えや音量の上げ下げ等を行うことや、ポインティングデバイスとして使用することも可能である。

提案したセンシングシステムにより、物忘れを起因とする 3 つの問題（置き忘れ、服薬忘れ、複雑なリモコンの操作忘れ）を解決し、物忘れ防止を支援することができた。今後は、提案手法の更なる改良や、新たな問題に対するセンシングシステムの構築を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 根元俊雄：「センサエレクトロニクス」，社団法人電子情報通信学会，pp.1-16 (1986)
- [2] 大森豊明：「センサ工学」，株式会社テクノ，pp.1-35 (1981)
- [3] 大森豊明：「システムとセンサ」，産業図書株式会社，pp.1-30 (1988)
- [4] 大森豊明：「やさしいセンサ技術」，株式会社工業調査会，pp.3-15 (1993)
- [5] 脇若弘之：「これでわかるセンサ技術」，株式会社工業調査会，pp.26-53 (1981)
- [6] Koichi Maru, Yusaku Fujii, Yoichi Sugita, Naoya Ohta, Noriaki Yoshiura, Hiroshi Ueda, and Shinya Shiraki: “Security of communities based on the e-JIKEI Network with information technology and altruism”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences (Elsevier)*, Vol.2, Iss.1, pp.88-94 (2010)
- [7] Nobuyuki Kurita, Koichi Maru, Takeo Ishikawa, Daniel Timms, and Nicholas Greatrex: “Monitoring system development for driving condition of a Ventricular assist device by using mobile phone”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences (Elsevier)*, Vol.2, Iss.1, pp.209-212 (2010)
- [8] Noriaki Yoshiura, and Yoshinori Neya: “USB memory for surveillance camera software”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences (Elsevier)*, Vol.2, Iss.1, pp.36-41 (2010)
- [9] Yusaku Fujii, Koichi Maru, Naoya Ohta, Noriaki Yoshiura, Hiroshi Ueda, and Preecha Yupapin: “Security camera network for privacy protection and community safety”, *Proceedings of International Conference on Security Camera Network, Privacy Protection and Community Safety 2009*, No.SPC2009_A001 (2009)
- [10] 濱田浩幸，蔣 永剛，伊賀友樹，大河内沙也香，神田健介，藤田孝之，樋口行平，前中一介：「人の安全・健康を守る貼付け型心電モニタリングシステムの開発」，*電気学会論文誌 E*，Vol.130, No.12, pp.580-583 (2010)
- [11] 伊藤寿浩：「健康と安全・安心」，*エレクトロニクス実装学会誌*，Vol.10, No.6, pp. 457-461 (2007)
- [12] 藤野陽三：「センシングから見た都市空間における安全安心問題への取り組み」，*システム制御情報学会誌*，Vol.50, No.10, pp.371-375 (2006)
- [13] 川瀬貴晴，吉岡陽介：「執務空間快適性に関する概念拡張の動向と昼光利用サーカディアン照明システムについて」，*システム制御情報学会誌*，Vol.50, No.10, pp.376-381 (2006)
- [14] 橋本学：「安全・安心社会のための映像セキュリティ技術」，*システム制御情報学会誌*，Vol.50, No.10, pp.388-393 (2006)

- [15] 藤原義久, 安田昌司:「快適な製品開発におけるシステム制御情動的アプローチ: 人間感覚のセンシング・制御技術<人間を“強く”内包するシステムへのアプローチ>」, システム制御情報学会誌, Vol.50, No.10, pp.394-399 (2006)
- [16] 藤原義久, 冷水一也, 源野広和, 松浦英文, 安田昌司, 飯田健夫, 牧川方昭:「マッサージチェア利用時における自律神経系生体情報を用いた人間感覚推定手法とマッサージ制御手法の開発」, 日本エム・イー学会誌, Vol.43, No.1, pp.162-171 (2005)
- [17] 藤原義久, 岡田志麻, 鈴木伸吾, 黒田征平, 松浦英文, 安田昌司, 飯田健夫, 牧川方昭:「寝床内温度フィードバック機能付きエアークントロールふとんの開発」, 日本エム・イー学会誌, Vol.42, No.4, pp.362-370 (2004)
- [18] 齊藤光俊, 北園優希, 芹川聖一:「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)
- [19] Shota Nakashima, Yuhki Kitazono, Lifeng Zhang, and Seiichi Serikawa: “Development of privacy-preserving sensor for person detection”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (Elsevier), Vol.2, Iss.1, pp.213-217 (2010)
- [20] 山脇 彰, 片上貴之, 北園優希, 芹川聖一:「侵入窃盗における窓と鍵に対する3事象の光センサを用いた検知方式」, 電気学会論文誌 E, Vol.130, No.4, pp.137-138 (2010)
- [21] Akira Yamawaki, Takayuki Katakami, Yuhki Kitazono, and Seiichi Serikawa: “A method using the same light sensor for detecting multiple events near a window in crimes involving intrusion into a home”, *Artificial Life and Robotics*, Vol.15, No.1, pp.30-32 (2010)
- [22] Daisuke Baba, Yuhki Kitazono, Shota Nakashima, Lifeng Zhang, and Seiichi Serikawa: “Proposal of system for detection of dangerous state in epilepsy fit using acceleration sensors”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (Elsevier), Vol.2, Iss.1, pp.198-203 (2010)
- [23] 小野寺清人:「情報漏洩とその対策について—スパイウェア (マルウェア) 対策の落とし穴—」, 情報未来, No.21, pp.22-23 (2005)
- [24] 備瀬竜馬, 籠田将慶, 唐澤憲治, 上田博唯, 山崎達也:「生活者ニーズに応じた忘れ物チェックサービスの実現」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.“SS-3”-“SS-4” (2006)
- [25] 久津間信明, 山浦克典, 中山 恵, 並木美穂子, 秋庭啓子, 木村聡一郎, 上田秀雄, 沼尻幸彦, 小林大介, 森本雍憲:「飲み忘れ薬剤に対する適正使用推進のための再利用の実践」, 薬学雑誌, Vol.124, No.6, pp.355-364 (2004)
- [26] Vedhara K, Wadsworth E, Norman P, Searle A, Mitchell J, Macrae N, O’Mahony M, Kemple T, and

- Memel D.: “Habitual prospective memory in elderly patients with Type 2 diabetes: implications for medication adherence”, *Psychology, Health and Medicine*, Vol.9, No.1, pp.17-27 (2004)
- [27] 山中 亮:「なぜ薬を飲み忘れてしまうのか」, 北海学園大学経営論集, Vol.3, No.3-4, pp.127-130 (2006)
- [28] 「服薬管理システム」, 日経ヘルスケア 21, Vol.2006, No.6, pp.97-100 (2006)
- [29] 河原崎徳之, 安齊良恵, 清水佑歌, 吉留忠史, 西原主計:「音声認識による家電機器のリモコン制御」, 福祉工学シンポジウム講演論文集, Vol.2004, pp.197-200 (2004)
- [30] 牧野英二, 比留間伸行, 石原達哉, 小峯一晃, 津田貴生, 堀内正人:「高齢者におけるテレビ用リモコンの印象と操作行動」, 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, No.1998, p.95 (1998)
- [31] 越澤勇太, 日浦慎作, 佐藤宏介:「ジェスチャ操作に適した量操作ウィジェットの設計と評価」, 情報処理学会研究報告 CVIM, Vol.2005, No.38, pp.171-178 (2005)
- [32] R. L. クラツキー:「記憶のしくみ I」, 株式会社サイエンス社, pp.219-264 (1988)
- [33] G. R. ロフトス, E. F. ロフトス:「人間の記憶 認知心理学入門」, 財団法人東京大学出版会, pp.48-78 (1980)
- [34] http://www.j-sup.com/sup_db/?mode=syoujou&id=96
- [35] 梅田 聡:「「あっ, 忘れてた」はなぜ起こる」, 株式会社岩波書店, pp.89-97 (2007)
- [36] 「2007 年情報セキュリティインシデントに関する調査報告書」, 日本ネットワークセキュリティ協会, p.8 (2008)
- [37] 太田義和, 菅野正嗣, 村田正幸, 「センサネットワークにおける位置測定のためのデータ収集方式の提案」, 電子情報通信学会技術研究報告 IN, Vol.104, No.437, pp.31-36 (2004)
- [38] Neal Patwari, and Alfred O. Hero III: “Using Proximity and Quantized RSS for Sensor”, *Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp.20–29 (2003)
- [39] Andreas Savvides, Chih-Chieh Han, and Mani B. Strivastava: “Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors”, *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.166-179 (2009)
- [40] 「平成 19 年国民生活基礎調査」, 厚生労働省, p.16 (2008)
- [41] 上村英夫, 荒井次男:「薬用集合容器」, 日本特許, P2002-291844A (2002)
- [42] 小林 勉:「薬容器」, 日本特許, P2002-291844A (2002)

- [43] 原田孝一, 川人祥二, 田所嘉昭:「圧力センサを用いた咀嚼回数検出システム」, 計測自動制御学会論文集, Vol.33, No.1, pp.1-7 (1997)
- [44] 小幡賢三, 佐伯高志, 田所嘉昭:「赤外線センサを用いた無接触型咀嚼回数測定装置」, 計測自動制御学会論文集, Vol.38, No.9, pp.747-752 (2002)
- [45] 児玉千恵, 秋月有紀, 井上容子:「リモコン操作に対する明視性の寄与に関する検討」, 照明学会全国大会講演論文集, Vol.35, pp.192-193 (2002)
- [46] 小山智史, 小関 敦, 佐藤 勇, 河原優美子:「重度肢体不自由者用小型赤外線リモコン装置の開発と利用」, 弘前大学教育学部紀要, Vol.95, pp.137-143 (2006)
- [47] 吉田 諒, 安村通晃:「触覚と音声を用いた視覚障害者用家電リモコンの提案と評価」, 電子情報通信学会技術研究報告 SLP, Vol.2007, No.11, pp.11-16 (2007)
- [48] 吉田 諒, 安村通晃:「音声とテンキーを統合した視覚障害者向け携帯電話型家電リモコンの試作と評価」, 電子情報通信学会技術研究報告 SLP, Vol.2007, No.11, pp.17-22 (2007)
- [49] 町田芳明, 福島泰年, 横田和博:「手指障害者のための家電機器操作用リモコンの開発」, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, Vol.2007, No.5, pp.29-33 (2006)
- [50] 町田芳明, 新里浩司:「視覚障害者のための家電機器操作用マルチリモコンの開発」, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, Vol.2007, No.4, pp.23-25 (2005)
- [51] 山本幸司, 香川景一郎, 前田勇希, 三宅康也, 田邊英樹, 政木康生, 布下正宏, 太田 淳:「部分領域高速読出し機能をもつ低消費電力ID受信CMOSイメージセンサを用いた情報家電マルチリモコン「オプトナビ」システムの提案」, 映像情報メディア学会誌, Vol.59, No.12, pp.1830-1840 (2005)
- [52] 本郷仁志, 富永将史, 丹羽義典, 山本和彦:「パーセプトルームにおける家電製品の制御」, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.26, No.44, pp.5-8 (2002)
- [53] Yuhki Kitazono, Kazuyuki Ishida, Lifeng Zhang and Seiichi Serikawa: “Proposal of Easily Operated Remote Control Using a WEB Camera”, Proceedings of SCIS & ISIS 2008, No.FR-C4-3, pp.1100-1104 (2008)
- [54] 猪鹿倉知広, 登内敏夫:「ルールベース障害検出システムの実装例と評価」, 電子情報通信学会技術研究報告 ICM, Vol.108, No.24, pp.23-28 (2008)
- [55] 富森英生, 横田裕介, 大久保英嗣:「ルールベースの問合せ処理機構による協調型センサネットワークの実現」, 情報処理学会研究報告 MBL, Vol.2009, No.8, pp.57-64 (2009)
- [56] 村井真一, 小迫靖志, 平峰千恵, 室井克信, 荻原拓治:「3 値バス衝突チェック機能をもつ

- ルールベース設計規則チェック手法」, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J79-D-I, No.12, pp.1072-1082 (1996)
- [57] Shinji Nakadai, Masato Kudo, and Koichi Konishi: “Rule-Based CIM Query Facility for Dependency Resolution”, 15th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems : Operation and Management, pp.245-256 (2004)
- [58] 蔡 篤儀, 李 鎔範: 「ファジィ推論を用いた心臓超音波画像における心筋症のコンピュータ支援診断」, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J84-A, No.12, pp.1431-1438 (2001)
- [59] Huynh Van-Nam, Nakamori Yoshiteru, and Lawry Jonathan; “A probability-based approach to comparison of fuzzy numbers and applications to target oriented decision making”, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.16, No.2, pp.371-387 (2008)
- [60] 和田祐司, 棟安実治, 田口 亮, 雛元孝夫: 「学習可能な階層形ファジィ制御器を用いたエッジ保存形フィルタの一実現法」, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J84-A, No.2, pp.152-163 (2008)
- [61] Wang Z.: “A note on the robust stability of uncertain stochastic fuzzy systems with time-delays”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part A, Vol.34, No.4, pp.570-576 (2004)
- [62] Yu W.: “Fuzzy identification using fuzzy neural networks with stable learning algorithms”, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.12, No.3, pp.411-420 (2004)
- [63] 北風裕教, 神田全啓, 中司弘樹, 池田信彦, 松野浩嗣, 宮野 悟: 「リカレントニューラルネットワークによる細胞内反応経路の脆弱・頑健部位の推定手法」, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J91-D, No.9, pp.2404-2417 (2008)
- [64] Fatemi Mohammad Hossein, Heidari Afsane, and Ghorbanzade Mehdi: “Prediction of aqueous solubility of drug-like compounds by using an artificial neural network and least-squares support vector machine”, Bulletin of the Chemical Society of Japan, Vol.83, No.11, pp.1338-1345 (2010)
- [65] 須藤明人, 張 晨犁, 坪山 学, 佐藤彰洋, 長谷川修: 「自己増殖型ニューラルネットワークを用いたパターン情報ベースの推論機」, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J91-D, No.6, pp.1634-1647 (2008)
- [66] Venkatesh Y. V.: “Multiple Contour Extraction From Graylevel Images Using an Artificial Neural Network”, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.15, No.4 (2006)
- [67] Yang Z. R.: “A novel radial basis function neural network for discriminant analysis”, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.17 No.3, pp.604-612 (2006)

- [68] Seiichi Serikawa and Teruo Shimomura: "Proposal of a System of Function-Discovery Using a Bug Type of Artificial Life", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.118, No.2, pp.170-179 (1998)
- [69] Kazuki Yamashita, Seiichi Serikawa and Teruo Shimomura: "Improvement of Search Ability of S-System Using Virus Type Mutation", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.121, No.9, pp.1490-1491 (2001)
- [70] 芹川聖一, 堤 匡史, 宮内真人, 森田一浩, 下村輝夫: 「S-System を用いた閉曲線の関数発見システム」電気学会論文誌 C, Vol.124, No.8, pp.1644-1645 (2004)
- [71] 齊藤光俊, 芹川聖一: 「累積探索を用いた進化論的手法による関数発見システム」電気学会論文誌 C, Vol.128, No.3, pp.399-406 (2008)
- [72] 吉川雅博, 三河正彦, 田中和世: 「筋電位を利用したサポートベクターマシンによる手のリアルタイム動作識別」, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J92-D, No.1, pp.93-103 (2009)
- [73] Ikeda K.: "Effects of Kernel Function on Nu Support Vector Machines in Extreme Cases", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.17, No.1, pp.1-9 (2006)
- [74] Takahashi N.: "Global convergence of decomposition learning methods for support vector machines", IEEE Transactions Neural Networks, Vol.17, No.6, pp.1362-1369 (2006)
- [75] Goethals I.: "Subspace identification of Hammerstein systems using least squares support vector machines", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.50, No.10, pp.1509-1519 (2005)
- [76] 井窪章太, 田村宏樹, 淡野公一: 「サポートベクターマシンの中間点検証法」, 電子情報通信学会技術研究報告 NC, Vol.107, No.328, pp.61-64 (2007)
- [77] Kumar Ranjan, Izui Kazuhiro, Masataka Yoshimura, and Nishiwaki Shinji: "Multilevel Redundancy Allocation Optimization Using Hierarchical Genetic Algorithm", IEEE Transactions on reliability, Vol.57, No.4, pp.650-661 (2008)
- [78] Maruyama Takayuki, and Igarashi Hajime: "An Effective Robust Optimization Based on Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.44, No.6, pp.990-993 (2008)
- [79] Mendoza J. E.: "Multiobjective Location of Automatic Voltage Regulators in a Radial Distribution Network Using a Macro Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.22, No.1, pp.404-412 (2007)
- [80] Rovatti G. S.: "On the ultimate limits of chaos-based asynchronous DS-CDMA-I : basic definitions and results", IEEE Transactions on Circuits and Systems I, Vol.51, No.7, pp.1336-1347 (2004)

- [81] Guojie H.: “Chosen Ciphertext Attack on Chaos Communication Based on Chaotic Synchronization”, IEEE Transactions on Circuits and Systems I, Vol.50, No.2, pp.275-279 (2003)
- [82] Maggio G. M.: “Applications of Symbolic Dynamics to Differential Chaos Shift Keying”, IEEE Transactions on Circuits and Systems I, Vol.49, No.12, pp.1729-1735 (2002)
- [83] 時永祥三, 譚 康融: 「遺伝的プログラミングによる方程式近似に基づく粒子フィルタを用いた時系列からの状態推定とその変動抑制への応用」, 電気学会論文誌 A, Vol.93, No.11, pp.739-755 (2010)
- [84] Miller J. F.: “Redundancy and Computational Efficiency in Cartesian Genetic Programming”, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.10, No.2, pp.167-174 (2006)
- [85] Varadan V.: “Design of Piecewise Maps for Chaotic Spread-Spectrum Communications Using Genetic Programming”, IEEE Transactions on Circuits and Systems I, Vol.49, No.11, pp.1543-1553 (2002)
- [86] 山崎弘郎, 石川正俊: 「センサフュージョン」, 株式会社コロナ社, pp.1-5 (1992)
- [87] 山崎弘郎: 「センサ工学の基礎」, 株式会社昭晃堂, pp.150-170 (2002)
- [88] 根日屋英之, 植竹古都美: 「ユビキタス無線工学と微細 RFID」, 東京電機大学出版局, pp.62-65 (2003)
- [89] <http://yamaden-sensor.jp/technology/table.html>
- [90] 伊庭信吾, 加藤祐作, 関谷 毅, 川口 博, 桜井貴康, 染谷隆夫: 「有機トランジスタと有機光センサーの集積化: シート型スキャナーへの応用」, 電子情報通信学会技術研究報告 OME, Vol.104, No.688, pp.19-22 (2005)
- [91] 山内康弘, 高塚 汎, 米倉義道, 野田松平, 竹内良昭, 山下信樹: 「三菱重工の高効率大面積太陽電池」, 三菱重工技報, Vol.41, No.5, pp.298-301 (2004)
- [92] Toyoto Iwata, Kunihiko Nakai, Mineshi Sakamoto, Miwako Dakeichi, Hiroshi Satoh and Katsuyuki Murata: “Factors Affecting Hand Tremor and Postural Sway in Children”, Environmental Health and Preventive Medicine, Vol.11, No.1, pp.17-23 (2006)
- [93] http://www.chibamegane.co.jp/q_a.html
- [94] 成瀬哲生・張 牛牛・伊藤吉郎・中村和弘・本郷琢磨: 「表面粗さの異なるアルミニウムの分光反射率の測定」, 日本建築学会技術報告集, No.13, pp.113-118 (2001)
- [95] <http://www.nakano-acl.co.jp/denkai/denkai-butu.html>
- [96] <http://www.akita-kagaku.co.jp/details/008.html>

謝 辞

本論文の執筆にあたり、多大なご指導とご鞭撻をいただいた九州工業大学 芹川 聖一 教授に心より感謝の意を表します。また、本論文に対して貴重なご意見を賜りました、九州工業大学 前田 博 教授、池永 全志 准教授、金 亨燮 准教授に感謝申し上げます。また、九州工業大学 張 力峰 先生、楊 世淵 先生、山脇 彰 先生、北九州高専 宮内 真人 先生、宇部高専 中島 翔太 先生には、研究活動における多くの場面で、有益なご助言を賜り、厚く御礼申し上げます。また、芹川 研究室のメンバーとは、切磋琢磨することでお互いを助け合い、すばらしい時間を共にすることができました。

最後に、経済面および精神面で私を支えてくれた父と母、弟、そして多くのすばらしい友人に感謝します。