

# 目次

第1章 序論.....	3
1.1 本研究の背景.....	3
1.2 本研究の目的.....	4
1.3 本論文の構成.....	4
第2章 本研究の先行研究.....	5
2.1 先行研究の概要.....	5
2.1.1 概要.....	5
2.1.2 本研究の異常検出が持つ性質.....	6
2.2 本研究で扱う異常について.....	6
2.2.1 本研究における異常.....	6
2.2.2 異常の検出に用いる情報.....	6
2.2.3 センサデータから見る正常/異常とは.....	6
2.2.4 異常が及ぼす影響.....	8
2.3 手法.....	10
2.3.1 平均・標準偏差の算出.....	11
2.3.2 正規分布における $\mu$ と $\sigma$ の関係.....	11
2.3.3 正規分布を用いた異常の検出.....	12
2.4 先行研究の問題点.....	12
3章 環境へ追従性を持つ自律異常検知.....	13
3.1 概要.....	13
3.2 本研究が扱う環境の変化とは.....	15
3.2.1 環境の変化とは.....	15
3.2.2 環境変化と異常な状態の切り分け.....	15
3.3 手法.....	15
3.3.1 重み付け.....	15
3.3.2 重み付けを用いた平均の算出.....	16
3.3.3 重み付けを用いた分散の算出.....	17
第4章 実験.....	18
4.1 実験環境.....	18
4.2 正常範囲の作成・更新の確認実験.....	19
4.2.1 実験目的.....	19
4.2.2 実験内容.....	19
4.2.3 実験結果.....	20
4.3 異常検出の実験.....	22
4.3.1 実験目的.....	22
4.3.2 実験内容.....	22
4.3.3 実験結果.....	22
4.3.4 考察.....	26
5章 結論.....	27
5.1 結論.....	27
5.2 今後の課題.....	27
5.2.1 明らかになった問題点.....	27
5.2.2 問題を解決するための方法案.....	27

# 第1章 序論

## 1.1 本研究の背景

近年、ロボットの開発、制御などの技術の進歩によって、工場や研究機関などの専門的な場所で使われる事が多かったロボットが家庭などの一般の場にも活躍の場を拓けている。それにより、今後も、ロボットは様々な場所や状況、用途に活躍の場を拓けていくことが想定される[1][2]。



(a)工業用ロボット



(b)研究用ロボット



(c)家庭用ロボット

図 1.1 ロボットの例

様々な場所にロボットが活躍の場を拓げると、ロボットには多種多様な状況に対応する必要性が生まれる。ロボットが様々な状況に対応することができなかつた場合、ロボットは異常を起こし、機器の破損やタスクの失敗に繋がる。

異常とは、通常では無い状態を指す。ここでは、ロボットの異常を、ロボットが人間が予測または指定していた状態と異なる状態に陥ることとする。例として、ロボットがプログラムで指定した動きとは異なる動きをする状態や、ロボットの一部が破損し、正常に機能できなくなる状態などがあげられる。

これらのロボットの異常に対して、現在取られている対策は、ロボットの各部にセンサの設置などを行い、それらのセンサから得られるデータを、人間が決めたルールを用いて作成した閾値と比較して、ロボットの現在の状態が正常といえる状態なのか、異常な状態にあるのかを判断する[3][4]。また、その状態が異常な状態であるのならば、ロボットが自動停止するなどの対応が行われる。

ここで、人間が決めた閾値を決めるためにはいくつかの手順を踏む必要がある。まず、ロボットが置かれる状況を想定する。次にその状況でロボットに起こりうる異常を考えられる限り挙げる。次にその異常の検出を行えるセンサをロボットに設置する。そして、設置したセンサに対して、どのような値が入力されると異常なのかを想定し、閾値を決定する。これらの手順により、センサの閾値を決定し、異常の検出を行う。

しかし、上記のような異常の検出の方法は、ロボットが工場内で使用される場合や研究機関での実験などに使用される場合など使用される状況がある程度想定できる場合であり、ロボットの活躍の場が多種多様になる将来には、開発した人間が想定できないような状況で使用される場合や、1つのロボットのシステムを複数の環境で使用することなどが考えられる。また、1つのロボットが動作などの変更を行わずにある程度似たような環境で使用されることも考えられる。

そのような場合、従来の異常の検出の方法を用いることは困難になり、別の異常の検出方法

が求められる。

## 1.2 本研究の目的

本研究が提案するシステムは、センサを有する汎用ロボットに対して、ロボット自身が自分の得たデータに基づいて自律的に閾値を算出し、異常の検出を行う。また、使用される環境などが変わった際に、閾値が徐々に環境の変化に追従し、閾値の修正を行うシステムである。

## 1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下のようになっている。

第1章では、本研究の背景、目的について示した。

第2章では本研究の先行研究や、そこで定義される異常について示す。

第3章では提案システムがについて示す。

第4章では提案システムの有効性を検証する実験について示す。また、その結果を示し、考察を行う。

第5章では結論を示す。また、結論から生じた今後の課題について示す。

## 第2章 本研究の先行研究

本章では、本研究の先行研究にあたる「汎用ロボットに対する異常検出システムの実現」[5]について記述する。

### 2.1 先行研究の概要

#### 2.1.1 概要

先行研究で提案されたシステムは、ロボットが過去にセンサから得たデータを蓄積し、そのデータから平均と標準偏差を求め、確率的に異常を検出するというシステムである。

先行研究では、ロボットが使用される環境の想定が不可能な場合にも、異常の検出を行うことを目的としている。先行研究では、異常の検出を行うために、ロボットが持つセンサから得られるセンサデータに注目する。ロボットが何らかのタスクを行っている際に、過去に得たことのないセンサデータが入力されるとする。過去に得たことがないセンサデータであるということは、ロボットが何らかの異常状態に陥っていることが考えられる。このような考えから、先行研究では、ロボットが現在の自身の状態を自身の過去の経験と比較し、過去の経験から逸脱する状態を異常と判断する。そのため、異常の検出を行うために、ロボットが過去に蓄積したデータを基に算出した閾値を設定する。

通常、ロボットは自身の置かれている状態を把握するために、設置されたセンサからのデータを用いる。そのため、センサデータから自身の状態を把握し、自身が正常な状態にあるのか、異常な状態にあるのかの判断を行う。

先行研究では、正常/異常の判断を行うために、実際のタスクを行う前に正常な状態でのデータを取得する必要がある。そこで蓄積されたデータから正常であると判断される範囲と、異常であると判断される範囲を設定する。このシステムの動作内容と流れを、図2.1に示す。

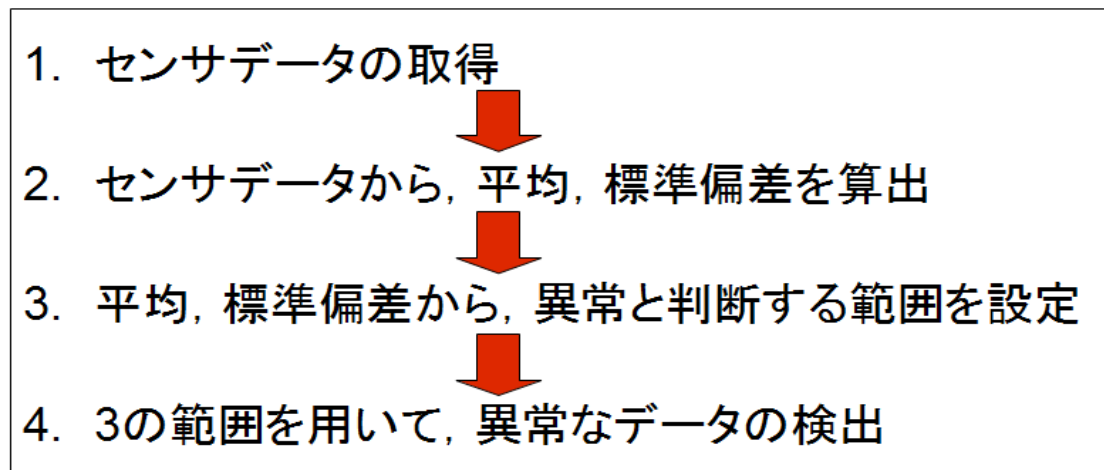


図2.1 先行システムの動作内容とその流れ

図中の1~3は、実際のタスクを行う前に行う。また、一度決定された範囲は、変更しない。図中の4では新しく入力されたセンサデータと3で設定した範囲を比較し、正常/異常の判断を行う。

#### 2.1.2 本研究の異常検出が持つ性質

本研究における異常検出は、2.1.1節で示したように、ロボットが現在の自身の状態を自身の過

去の経験と比較し、過去の経験から逸脱する状態がシステムにより異常と判断されたものである。そのため、過去の経験から逸脱している「異常である可能性が高い状態」を異常としてシステムが判断する。この方法で検出された異常は、異常である状態に対して、異常ではないと判断してしまうことや、異常でない状態に対して異常であると判断してしまうことがある。

## 2.2 本研究で扱う異常について

本節では、本研究で取り扱う異常について定義する。

### 2.2.1 本研究における異常

本研究では、現在の状態が過去の経験と比較して過去の経験と逸脱しているような現在の状態を異常であるとして定義する。ここでいう過去の経験とは、ロボットが自身に取り付けられたセンサから得られたデータを蓄積したものを指す。

### 2.2.2 異常の検出に用いる情報

ロボットは通常、自身に取り付けられたセンサや他システムから得られた自身の情報によって自身の状態を把握する。本研究では、ロボットの現在の状態が正常な状態なのか異常な状態なのかを判断するために、それらのセンサやシステムから得られたデータを用いる。

### 2.2.3 センサデータから見る正常/異常とは

2.1.3 節でセンサから得られたデータを異常の検出に用いると述べた。ここで言う正常な状態であるセンサデータとは、「人が期待した状態や動き」と「実際のロボットの状態や動き」が一致した場合で取得するデータである。反対に、異常な状態であるセンサデータとは、「実際のロボットの状態や動き」が「人が期待した状態や動き」とは異なる状態で、取得されるデータである。

例として、10kgの物体を運ぶ仕事を行うロボットについて考える。この場合、使用者がロボットに期待する動きとは図2.1に示すような、物体をアームでつかみ持ち上げ、別の地点へと運ぶという動きである。

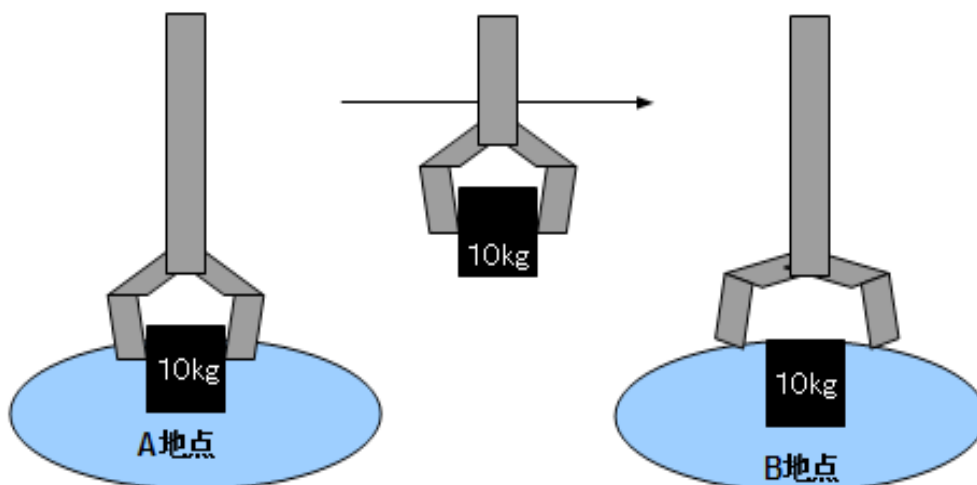


図2.2 正常な状態でのセンサデータの取得

ロボットが図2.1のような動きを行った場合、人間の期待した状態・動きとロボットの状態・動きが一致するため、この状態で取得したセンサデータは正常な状態で取得したセンサデータである

と言える。

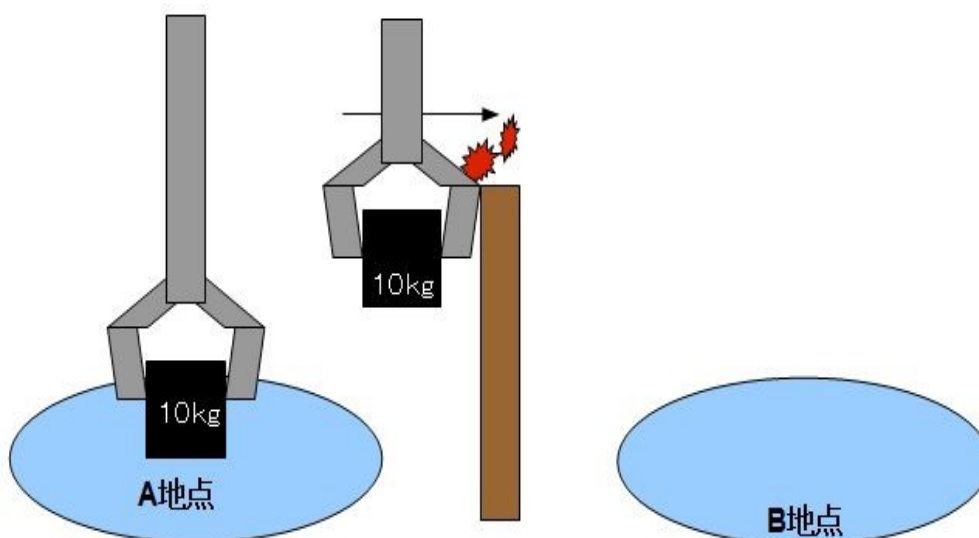


図 2.3 異常な状態でのセンサデータの取得

反対に，図 2.2 のように物体を運んでいる最中に物体に当たるなどして人間の期待した状態・動きとロボットの状態・動きが一致しない場合，この状態で取得したセンサデータは異常な状態で取得したセンサデータであると言える。

#### 2.2.4 異常が及ぼす影響

本句では 2.1 節によって定めた異常がロボットにどのような影響を及ぼすのかを示す。ロボットが異常な状態に陥った場合，ロボットの破損や，ロボットに行わせていたタスクの失敗などロボットに悪影響を及ぼす。

- ・ロボットの破損

ロボットの破損について，図 2.1 と同じタスクの例を用いて示す。図 2.1 のタスクを行う際，図 2.2 のようにロボットの進行ルート上に物体があった場合，ロボットは物体に衝突してしまう。衝突した際に，ロボットに大きな力がかかると図 2.3 のようにロボットのアームが折れてしまうなどの事態が発生する。

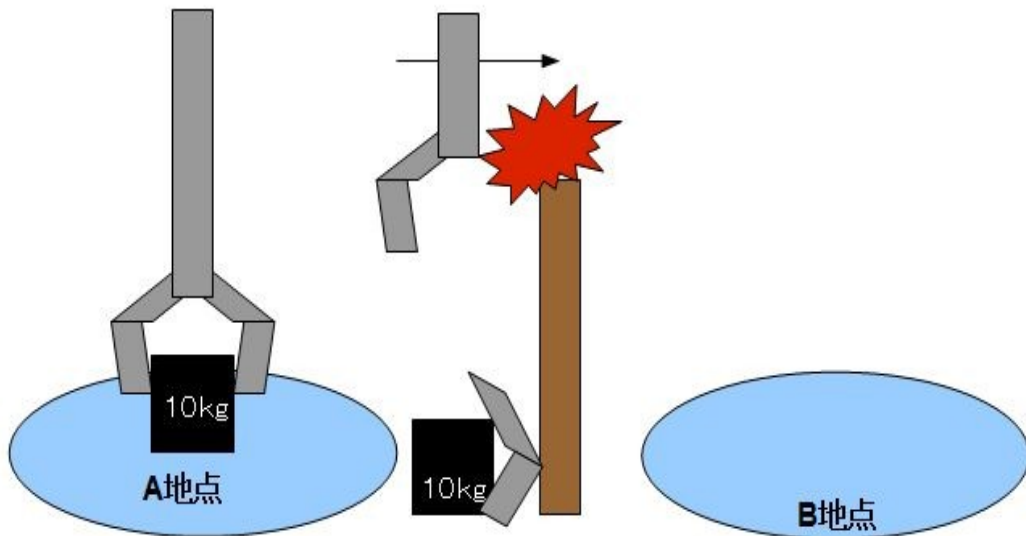


図 2.4 異常によるアームの破損

また、折れるほどの大きな力がかからなかった場合でも、アームに力が掛かり続けることによって、図 2.4 のようにモーターなどが破損してしまうこともある。

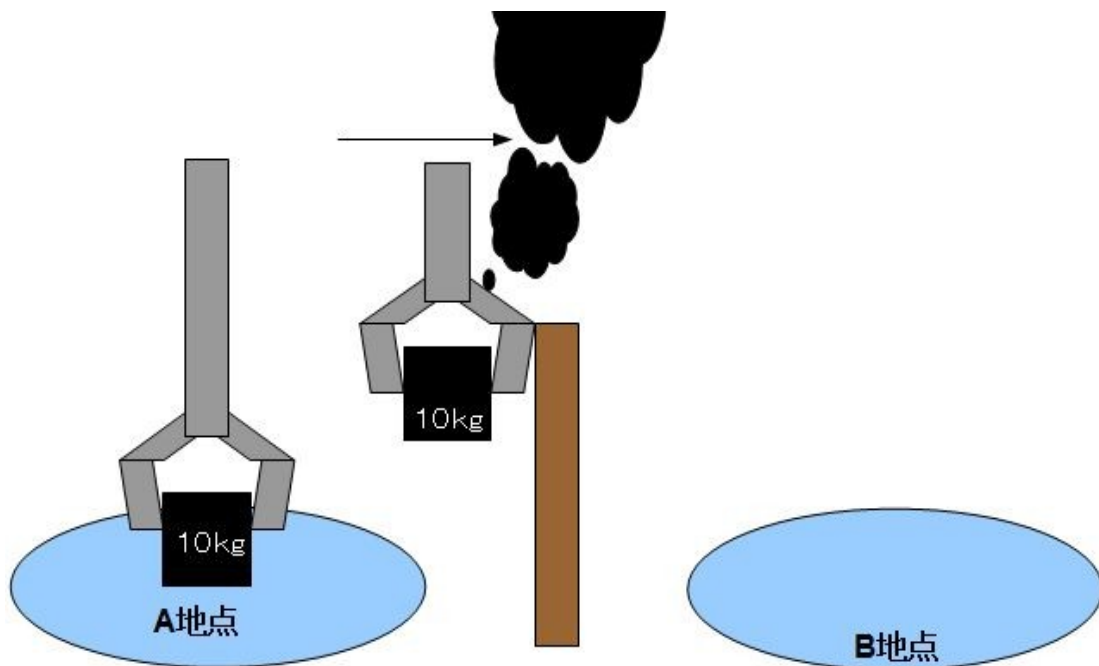


図 2.5 異常によるモータの破損

・タスクの失敗

ロボットのタスクの失敗について、図 2.1 と同じタスクの例を用いて示す。このタスクでは、物体を運ぶことを目的としたタスクであるため、2.2.1 節で述べた物体によってアームの進行が阻害される場合などが起こると、ロボットはタスクを達成することができなくなる。また、制御などの異常により、図 2.5 のようなロボットが物体を途中で落としてしまうことなどが起こる。

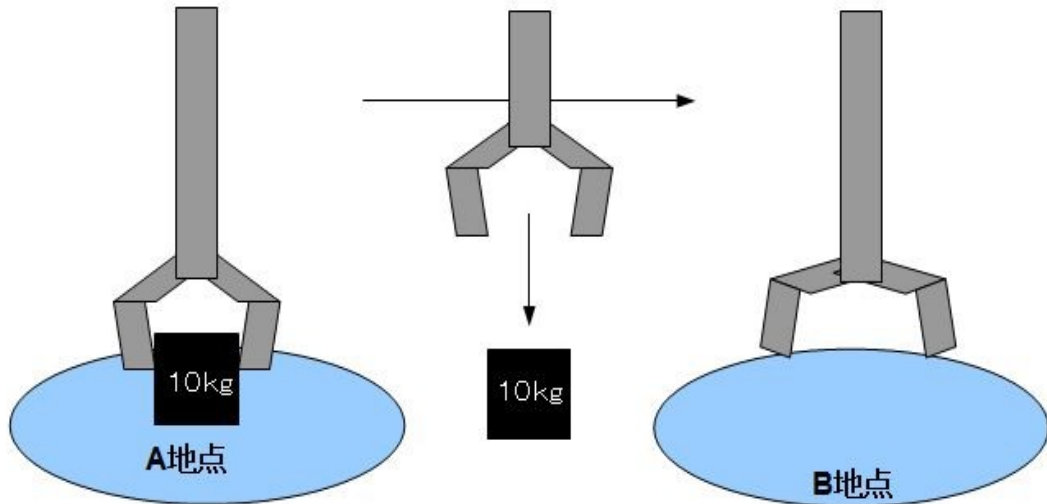


図 2.6 物体の落下

## 2.3 手法

先行研究のシステムは、正常/異常を判断するために、過去の経験から得られたセンサデータを基に、統計学的に異常の検出を行う。そのため、正規分布で用いられている平均 $\mu$ と、標準偏差 $\sigma$ を用いる。

### 2.3.1 平均・標準偏差の算出

先行研究のシステムでは、過去の経験からシステムが正常と判断するデータの範囲を作成する。先行研究が「経験」としている物は過去に得られたセンサデータの事である。このシステムでは正常と判断する範囲を決定する前に、使用したいタスクでの正常なセンサデータを複数回取得する。これが先行研究が過去の経験とするデータである。先行研究ではこの複数のデータの平均を求める。

平均 $\mu$ を求める式はデータ数を $N$ とした場合、(2.1)式のように定義されている。

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.1)$$

次に、データのばらつき具合を示す標準偏差を求める。しかし、標準偏差を求めるためには、分散を求めなければならない。分散を求める式は(2.2)式のように定義される。

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \quad (2.2)$$

標準偏差を求める式は(2.3)式のように定義される。

$$\sigma = \sqrt{s^2} \quad (2.3)$$



### 2.3.2 正規分布における $\mu$ と $\sigma$ の関係

正規分布とは、平均値の付近に集積するようなデータの分布を表した連続的な変数に関する確率分布である。正規分布では平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  の間に、図 2.7 と表 2.1 のような関係がある。

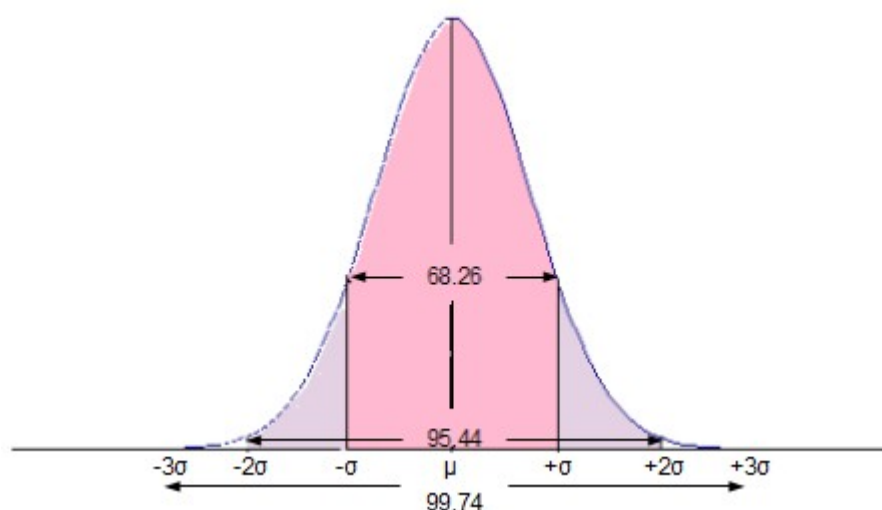


図 2.7 正規分布における  $\mu$  と  $\sigma$  の関係

表 2.1 正規分布における平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  の関係

範囲	データの割合(%)
$\mu \pm \sigma$	68.27
$\mu \pm 2\sigma$	95.45
$\mu \pm 3\sigma$	99.73

図 2.7 および表 2.1 より、 $\mu \pm \sigma$  の範囲には全体のデータのうち約 68.27% のデータが存在している。また、 $\mu \pm 2\sigma$  や  $\mu \pm 3\sigma$  の範囲にも同様にそれぞれ約 95.45%、約 99.73% のデータが存在していることがわかる。

### 2.3.3 正規分布を用いた異常の検出

2.3.2 で述べたように、平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  の間に表 2.1 のような関係がある。この  $\mu \pm k\sigma$  を利用して、ロボットがタスクを行っている最中にセンサデータが  $\mu \pm k\sigma$  から外れる値を異常として検出する。

## 2.4 先行研究の問題点

先行研究のシステムでは、事前に取得しておいた正常な状態でのセンサデータを基に閾値の算出を行う。そして、実際に異常の検出を行う際には、閾値の更新を行わない。つまり、先行研究のシステムには、図 2.8 のようにロボットのタスク中に環境に変化が起こった場合に、再度正常な状態でのデータを取得しなければ、異常の検出を行うことが出来ないという問題点が存在する。

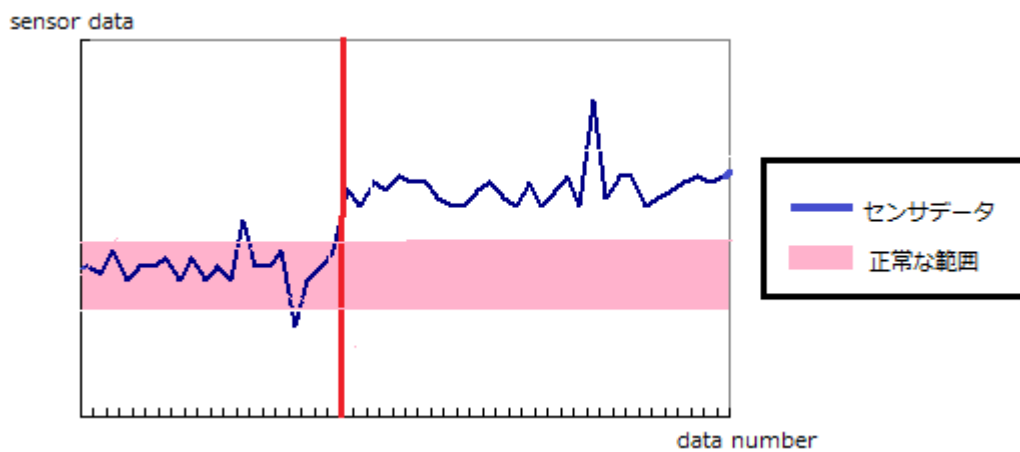


図 2.8 先行研究のシステム使用時に環境変化が起こった場合

この問題を解決するために、本研究では環境やタスクが変化した際に、正常と判断するセンサーデータの範囲の更新を行うこと可能なシステムの実現を行う。

### 3章 環境へ追従性を持つ自律異常検知

2章では先行研究の概要、手法について示した。本章では、2章で明らかになった先行研究の問題を解決するために、先行研究のシステムに対して行う拡張について示す。

#### 3.1 概要

本研究では、先行研究の以下の問題点について注目する。

- ・事前に正常なデータを複数回取得しなければならない点
- ・1度決定した閾値の変更を行わない点

この2点を解決するために、提案システムでは平均・分散算出のタイミングを変更する。先行研究のシステムでは使用するタスクの正常な状態でのセンサデータを任意の回数事前に取得した。センサデータの取得の完了後に、そのデータから、平均・分散を算出する。

提案システムでは、センサデータを取得するたびに、平均・分散の算出を行うように変更する。この変更により、事前のデータ取得を必要とせず、閾値の更新を行うことが可能となる。

しかし、この方法を行うだけでは、システムに異常と判断されたデータと正常と判断されたデータがデータ1つ当たりの影響力が同じになってしまうという問題が発生する。先行研究では、正常な状態で事前にセンサデータを複数回取得するという前提が存在した。そのため、平均・標準偏差の算出を行う際に、異常値が含まれている可能性を考慮する必要が無かった。しかし、提案するシステムでは事前にセンサデータの取得を行わない。事前にセンサデータの取得を行わないので、異常だと思われるデータを蓄積してしまう。異常だと思われるデータを蓄積してしまうと平均、標準偏差の算出を行う際に、平均、標準偏差の値が異常だと思われるデータの影響を受けるといった問題が生じる。この問題は、データの蓄積を行う際に、正常と思われるデータも異常と思われるデータも同様に扱ってしまう事によって生じる問題である。ここで重要となるのは、異常であると思われるデータの扱い方である。

ただ単純に異常だと思われるデータを正常だと思われるデータと同様に扱い蓄積していくと、異常だと思われるデータが入力された際に、平均、標準偏差に異常だと思われるデータの影響が出る。さらに、蓄積したデータに異常だと思われるデータの割合が大きくなると、平均の値が異常だと思われるデータの値に近づいていく。そのような事が起こると異常であると思われるデータの検出が困難になる。

反対に、異常だと思われるデータについては蓄積を行わないという方法をとると、異常と思われるデータを全て排斥してしまうため、本研究の提案システムが目的とする環境への追従性を実現することが困難になってしまう。

そこで、本研究では、データの蓄積を行う際に新しく取得したデータに対して、それまでの平均との差に応じてデータの扱いを変化させる。それにより、ただ単純に異常だと思われる値の蓄積、排斥を行うことによって生じる問題を解決することが可能となるのではないかと考えた。

提案するシステムは、先行研究のシステムから以下の点において変更・拡張を行うものである。

- ・平均・分散の算出をセンサデータを取得する度に行う
- ・センサデータを取得時に、それまでのデータの平均からの距離に応じて新データの重みを決定する。
- ・決定した重みを利用して、平均・分散の値を算出する。

提案するシステムの流れを図3.1に示す。

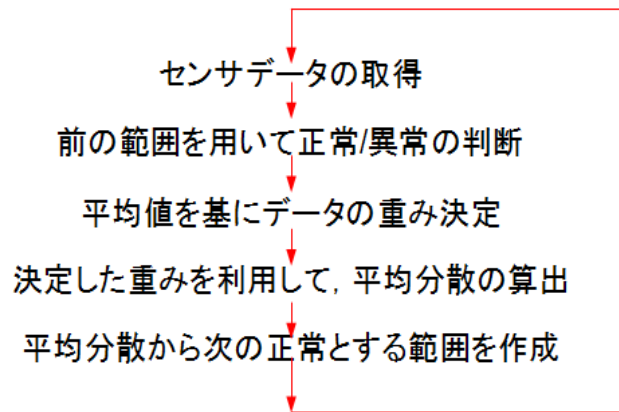


図 3.1 提案するシステムの流れ

提案システムでは，図 3.1 に示した一連の流れを 1 ステップとする。

最初にセンサデータを取得する。提案するシステムでは，図 2.1 で示した先行研究と異なり，事前のセンサデータ取得を必要としない。そのため，先行研究と違い，全体の流れがここで切れることは無い。

センサデータを取得した後，前のステップで作成した正常と判断する範囲を用いて，取得したセンサデータが正常だと思われるのか，異常だと思われるのかを判断する。ここで，開始初期のように前のステップが存在しない場合，システムは取得したセンサデータを正常なデータとして判断する。

次に取得したセンサデータをそれまでのセンサデータの平均値からの距離によって，データにかけられる重みを決定する。

次に前の段階で決定した重みを用いて，平均・分散を求める。ここで，新しいデータがそれまでの平均・分散に与える影響の強さに対して，重みをかける。

その後，算出した平均・分散から，次のステップで用いるシステムが正常とする範囲を作成し，次のループへと移行する。

このシステムを使用して環境変化が起こった場合の正常と判断される範囲の変化のイメージを図 3.2 に示す。

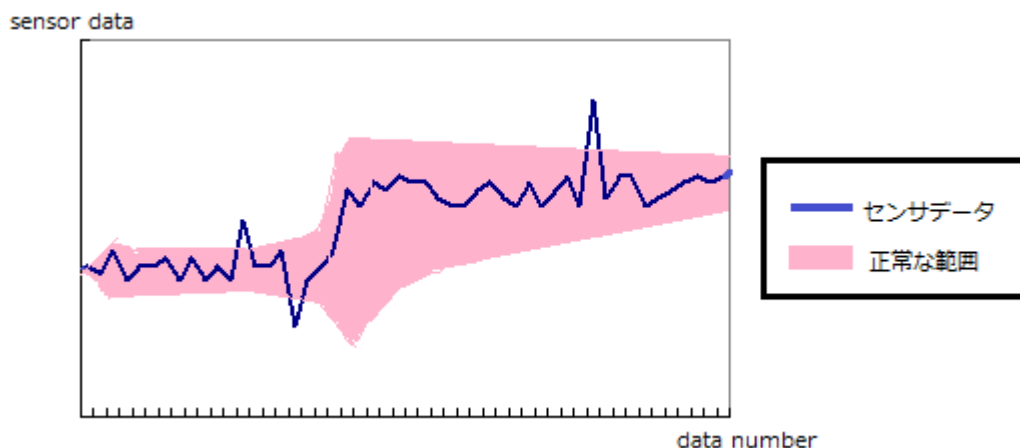


図 3.2 正常と判断される範囲の変動イメージ

図 3.2 では環境の変化が起こった際に，システムが正常とする範囲が変動し，環境に追従していく。

## 3.2 本研究が扱う環境の変化とは

本研究は、先行研究での問題であった環境変化への対応が可能なシステムの提案を行う。そのためには、環境変化とはどのようなものなのかを定義しなければならない。そこで、本節では環境の変化について示す

### 3.2.1 環境の変化とは

ロボットがある動きを繰り返し行っているとする。ある時点から、同じ動きを行っているにもかかわらずロボットが搭載しているセンサから得られるセンサデータの値が変化してしまう。このセンサデータの変化が数回起こった程度でなく続いた場合、ロボットを取り巻く周囲の環境が変わったと考えることができる。

上記のような状態をロボットが使用される環境の変化とする。

### 3.2.2 環境変化と異常な状態の切り分け

提案システムではセンサから取得するセンサデータにより、正常な状態であるのか、異常な状態であるのかを判断する。そのため、本システムでは、環境の変化が起こった状態と、異常な状態を明確に切り分けることは不可能である。

よって提案システムでは、環境変化と異常な状態の切り分けを行うために、他のシステムを利用する。ここでは、他のシステムを人間として仮定する。本システムでは、異常を検出した際に、人間などの他のシステムに異常が発生したことを通知する。その際に、他システム(ここでは人間)が異常な状態かどうかの判断を行う。発生した異常が、タスクの変更や環境変化によるものであり、人間が意図したものであったならば、その状態を維持し、正常と判断される範囲がタスクや環境の変化に追いつき、正常と判断されるまで待つ。また、発生した異常が人間の意図したものでなく、何らかの原因により発生したものであれば、人間が異常な動作を起こしているロボットに対して行う処理を行う。

## 3.3 手法

本節では環境への追従性を実現するための手法について示す。

### 3.3.1 重み付け

3.1節で示したように、システムによって異常と判断された値をそのまま蓄積してしまうと、平均・標準偏差を求める際に、平均・標準偏差の値が異常と判断されたデータの影響を受けるといいう問題が生じる。

また、システムによって異常と判断された値を完全に排斥してしまうと、環境の変化が起こった際に、システムによって正常と判断される範囲が変動することが出来ない。

そのため、提案システムでは、新しく取得されたデータが蓄積されたデータの平均からどの程度離れているかを考慮して、重み付けを行う。

本研究では重みを付ける基準として、2章で述べた正規分布における平均  $\bar{x}$  と  $\sigma$  の関係性を用いる。中央に近いデータは平均に近いデータであるため、大きな重みをかける。反対に中央から離れたデータは、平均から遠いデータであるため、小さな重みをかける。

本研究では重みを  $m$  と表記する。

表 3.1 にかかる重み  $m$  の値とその範囲を示す。

表 3.1 重み付けにおいてかかる重みとその範囲

$m$ の値	重みをかける範囲
1	$\bar{x} - \sigma \leq x_{i+1} \leq \bar{x} + \sigma$

0.75	$\bar{x} - 2\sigma \leq x_{i+1} < \bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma < x_{i+1} \leq \bar{x} + 2\sigma$
0.5	$\bar{x} - 3\sigma \leq x_{i+1} \leq \bar{x} - 2\sigma, \bar{x} + 2\sigma < x_{i+1} \leq \bar{x} + 3\sigma$
0.25	$x_{i+1} < \bar{x} - 3\sigma, \bar{x} + 3\sigma < x_{i+1}$

### 3.3.2 重み付けを用いた平均の算出

一般的な平均の式は2章で示したように式(2.1)と定義される。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_n \quad (2.1)$$

(2.1)式を更新式の形に変形すると式(3.1)となる。

$$\bar{x} \leftarrow \bar{x} + \frac{1}{n+1} \times (x_{i+1} - \bar{x}) \quad (3.1)$$

ここで(3.1)式の右辺の項  $\frac{1}{n+1} \times (x_{i+1} - \bar{x})$  に注目する。この項は新しく入力された数値

が更新後の平均に与える影響を示している。例えばこの項の計算結果が3となる場合、更新後の平均の値は更新前の値に3をプラスしたものとなる。

この  $\frac{1}{n+1} \times (x_{i+1} - \bar{x})$  で算出される値が減少すると、新しいデータが更新後の平均の値

に与える影響が減少する。

この  $\frac{1}{n+1} \times (x_{i+1} - \bar{x})$  に重み付けを行い、  $\frac{m}{n+m} \times (x_{i+1} - \bar{x})$  とする。

重み付けは3.3.1項で述べたように新しいデータが平均からどのくらい離れているのかを基準に行う。また、平均から遠いデータほど小さな重みがかかる仕組みとなっている。それにより、異常と判断されたデータがそれまで蓄積してきたデータの平均に対して与える影響を減少させることが可能となる。

また、ここでは、nの更新を行う。nの更新式は(3.2)となる。

$$n \leftarrow n + m \quad (3.2)$$

提案システムで平均を求める際に用いる拡張した更新式は(3.3)とする。

$$\bar{x} \leftarrow \bar{x} + \frac{m}{n} \times (x_{i+1} - \bar{x}) \quad (3.3)$$

### 3.3.3 重み付けを用いた分散の算出

一般的な分散の式は2章で示したように式(2.2)と定義される。

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad (2.2)$$

(2.2)式を更新式の形に変形すると式(3.3)となる.

$$s^2 \leftarrow s^2 + \frac{1}{n+1} \times \{(x_{i+1} - \bar{x})^2 - s^2\} \quad (3.4)$$

ここで(3.3)式の右辺の項  $\frac{1}{n+1} \times \{(x_{i+1} - \bar{x})^2 - s^2\}$  に注目する. この項は新しく入力され

た数値が更新後の分散に与える影響を示している. 例えばこの項の計算結果が3となる場合, 更新後の分散の値は更新前の値に3をプラスしたものとなる.

この  $\frac{1}{n+1} \times \{(x_{i+1} - \bar{x})^2 - s^2\}$  で算出される値が減少すると, 新しいデータが更新

後の分散の値に与える影響が減少する.

この  $\frac{1}{n+1} \times \{(x_{i+1} - \bar{x})^2 - s^2\}$  に重み付けを行うと  $\frac{m}{n+m} \times \{(x_{i+1} - \bar{x})^2 - s^2\}$  となる.

重み付けは3.3.1項で述べたように新しいデータが平均からどのくらい離れているのかを基準に行う. また, 平均から遠いデータほど小さな重みがかかる仕組みとなっている. それにより, 異常と判断されたデータがそれまで蓄積してきたデータの分散に対して与える影響を減少させることが可能となる.

ここで, nの(3.2)式で示したnの更新を行う.

提案システムで分散を求める際に用いる拡張した更新式は(3.5)とする.

$$s^2 \leftarrow s^2 + \frac{m}{n} \times \{(x_{i+1} - \bar{x})^2 - s^2\} \quad (3.5)$$

## 第4章 実験

### 4.1 実験環境

本研究では、ロボットの実機を用いて実験を行う。使用するロボットは、LEGO社製のLEGO MINDSTORMである。LEGO MINDSTORMは、同社から販売されているLEGOブロックのように、様々な形のパーツを組み合わせて使用者が望む形状や機能を持たせることが出来るロボットである。

図4.1に実際に実験に使用したロボットを示す。図4.1に示したロボットには、物体との距離を測定する超音波センサ、接触を認識するタッチセンサ、明るさを測定するライトセンサを搭載している。

このロボットは本実験のために設計したものではなく、ETロボコンという大会で使われたものを使用している。そのため、各種センサは実験のために、特別に取り付けられたものではない。



図4.1 今回使用するロボット

本実験では、センサデータ取得に超音波センサを用いる。タッチセンサ、ライトセンサは、センサデータの取得には用いない。

### 4.2 正常範囲の作成・更新の確認実験

本節では、提案システムでの正常範囲の変動の確認実験について示す。

#### 4.2.1 実験目的

提案システムは図3.2のように環境の変化に合わせて正常と判断する範囲の作成・更新を行う。本実験では、本研究で行われる正常と判断される範囲の作成・更新が正しく行われているかどうかを確認するための実験を行う。特に、以下の3つの状態を想定して、確認を行う。

- ・環境変化が起こらない場合
- ・大きな環境変化が起こる場合
- ・小さな環境変化が続く場合



## 4.2.2 実験内容

本実験では、図 4.2 のように超音波センサを用いて物体との距離を測定し、システム内で正常と判断される範囲の変動が行われているかを確認する。

物体には、十数枚の紙を束ねたものを用いる。また、取得するデータにばらつきを持たせるために、物体を吊るし、風になびかせて揺らした状態で実験を行う。

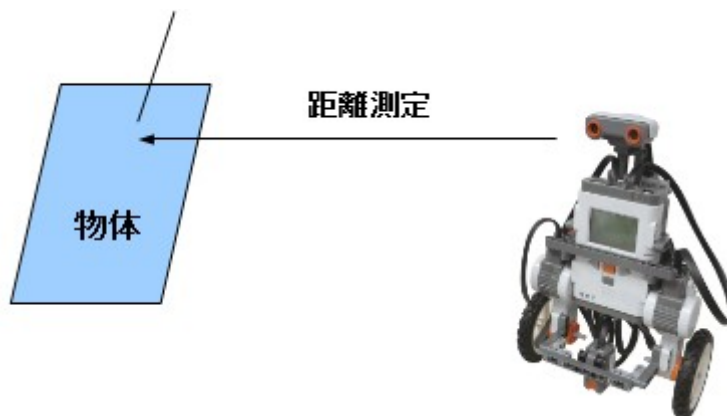


図 4.2 実験のイメージ

## 4.2.3 実験結果

実験結果は以下のようになった。

環境変化が起こらない場合の実験

実験には、表 4.1 に示すパラメータを用いた。基本値とは、距離の測定を行う物体の揺れが完全に止まっている状態での距離を表す。

表 4.1 実験のパラメータ

基本値	総ステップ数
30	5000

この場合の実験結果を図 4.3 に示す。

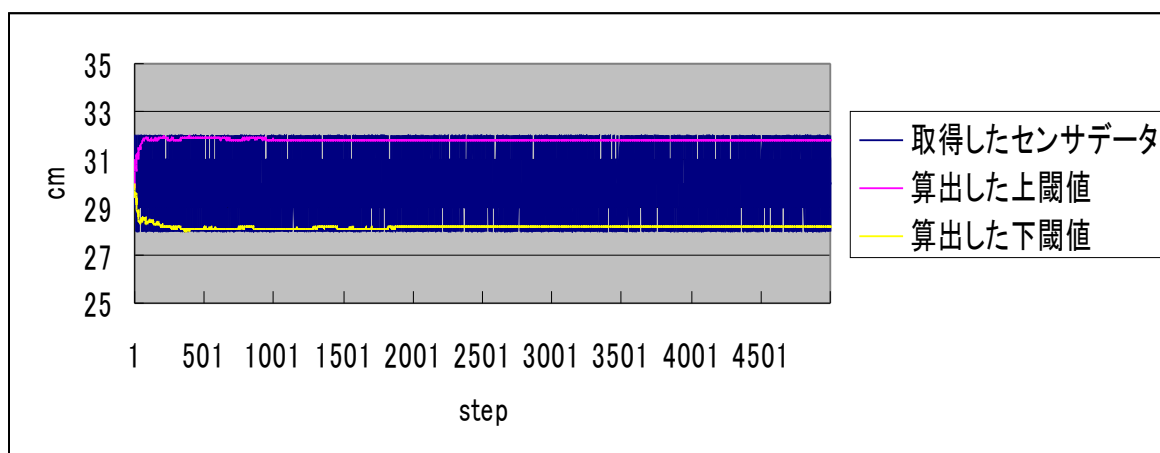


図 4.3 環境変化が起こらない場合の実験結果

環境変化が起こらない場合、最初の数ステップで、正常を判断する範囲が収束し、安定する。

大きな環境変化が起こる場合の実験  
 実験には、表 4.2 に示すパラメータを用いた。

表 4.2 実験のパラメータ

環境変化前の基本値	環境変化後の基本値	環境変化のタイミング	総ステップ数
30	40	201ステップ時	5000

この場合の実験結果を図 4.4 に示す

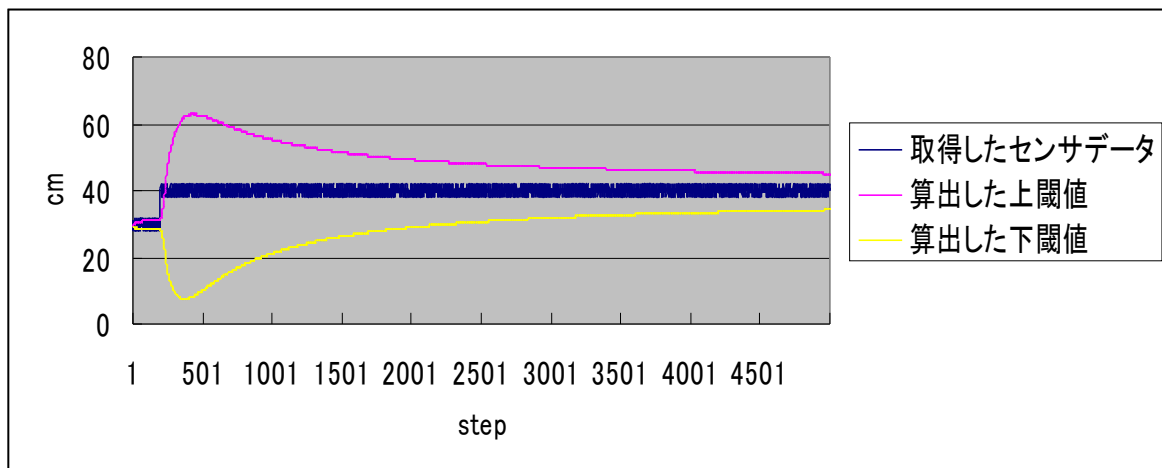


図 4.4 大きな環境変化が起こった場合の実験結果

大きな環境変化が起こった場合、正常と判断される範囲が収束するために、環境変化前のステップ数に対して、環境変化後のステップ数を多く必要とする。しかし、最終的には変化後の環境に適応し、正常と判断される範囲の変動が行われることを確認できる。

小さな環境変化が続く場合の実験

実験には表 4.3 に示すパラメータを用いた。表中の一回の変化量とは、環境変化が一回起きた際に基本値に加わる値である。

表 4.3 実験のパラメータ

初期状態の基本値	終了時の基本値	環境変化のタイミング	一回の変化量	総ステップ数
30	39	500ステップ毎	+1	5000

この場合の実験結果を図 4.5 に示す。

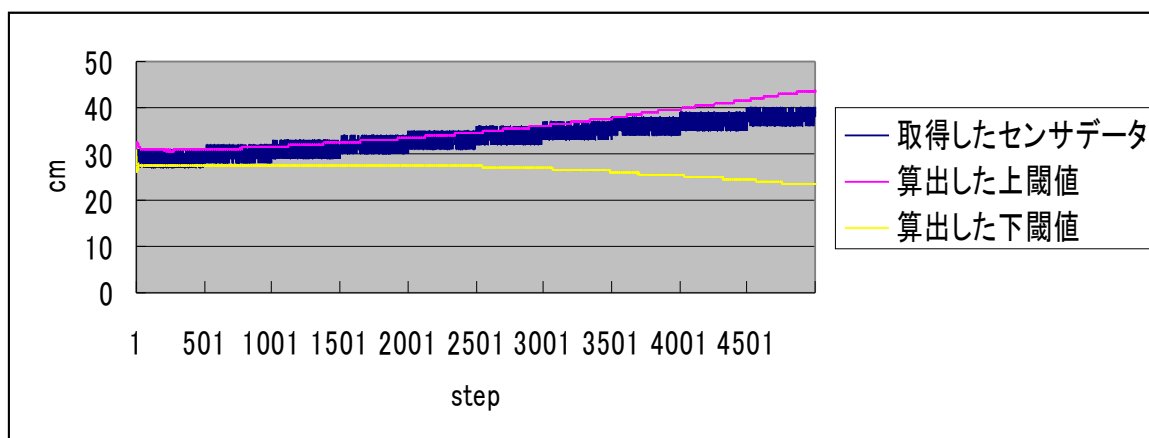


図 4.5 小さな環境変化が続いた場合の実験結果

小さな環境変化が続いた場合，システムによって正常と判断される範囲が収束せずに発散する。その場合，正常と判断される範囲が広がり続け，固定の閾値で検出できる異常しか判断ができなくなってしまう。そのため，小さな環境変化が続いた場合は，提案システムでは正常と判断される範囲の作成・変動が正しく行うことができないことを確認できる。

### 4.3 異常検出の実験

本節では提案システムでの，異常検出の実験について示す。

#### 4.3.1 実験目的

4.2 では，以下の二つの場合に正常と判断される範囲の作成・変動が行えることを確認した。

- ・環境変化が見られない場合
- ・大きな環境変化が起こる場合

本実験では，この二つの場合に，意図的な異常値を与えて異常の検出を行うことが可能であるのかを確認する。

#### 4.3.2 実験内容

本実験では，前節での実験と同様に，図 4.2 のように超音波センサを用いて物体との距離を測定を行う。測定を行う際にセンサデータ取得 50 回毎に 1 回，意図的に異常なデータを与える。4.3.1 で述べた各場合において，以下の 3 つの異常なデータを与えてそれぞれ実験を行う。ここで言う基本値とは，物体の揺れを考慮しない場合のロボットと物体の距離である。

- ・基本値に対して，+10cm の距離のデータ
- ・基本値の 2 倍の距離のデータ
- ・測定限界距離以上の距離を測定したデータ

本実験で用いるロボットの超音波センサは測定限界距離以上の距離を測定を行った場合，センサの値として，255 が入力される。

### 4.3.3 実験結果

環境変化が起こらない場合

- ・基本値に対して、**+10cm** の距離のデータを与えた場合の実験  
実験に用いたパラメータを表 4.4 に示す。

表 4.4 +10cm の距離のデータを与えた場合のパラメータ

基本の値	与える異常の値	総ステップ数
30	40	5000

この場合の実験結果を図 4.6 に示す。

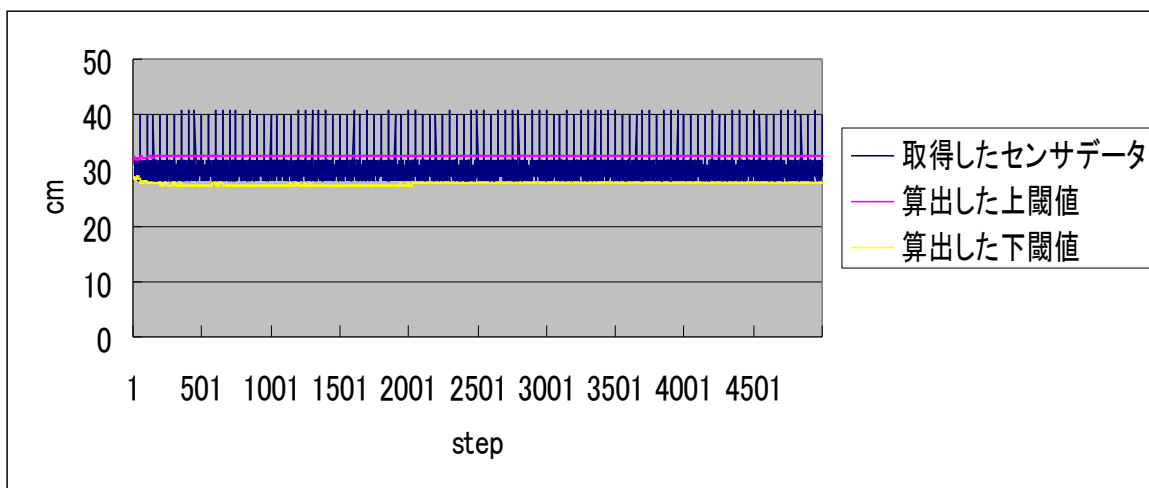


図 4.6 基本値+10cm の距離のデータを与えた場合の実験結果

実験によって検出することが出来た異常の数を表 4.5 に示す。

表 4.5 検出した異常数

総検出異常数	意図的な異常の検出数
118	100

- ・基本値の**2倍**の距離のデータを与えた場合の実験  
実験に用いたパラメータを表 4.6 に示す。

表 4.6 基本値の2倍の距離のデータを与えた場合のパラメータ

基本の値	与える異常の値	総ステップ数
30	60	5000

この場合の実験結果を図 4.7 に示す。

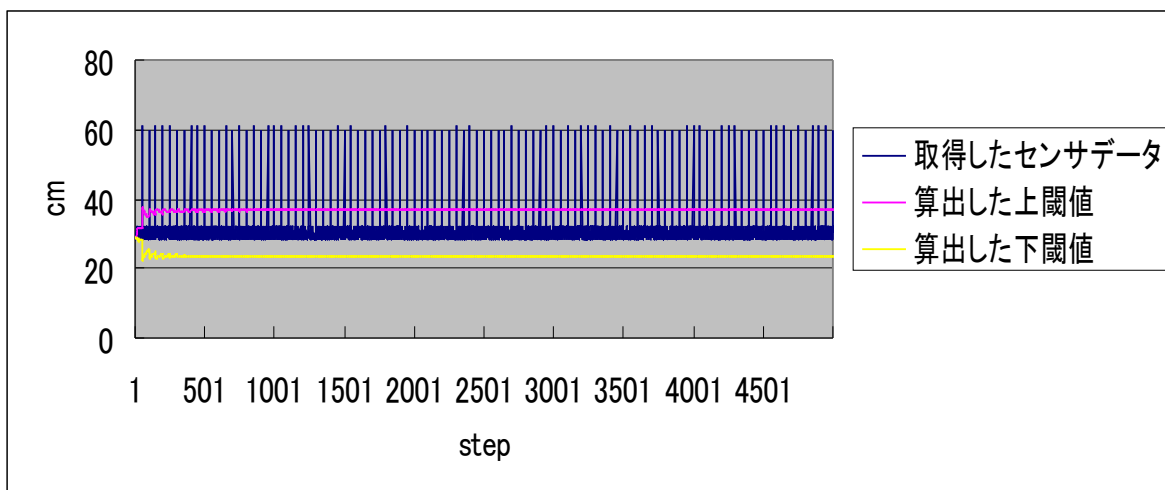


図 4.7 基本値の2倍の距離のデータを与えた場合の実験結果

実験によって検出することが出来た異常の数を表 4.7 に示す.

表 4.7 検出した異常数

総検出異常数	意図的な異常の検出数
125	100

- ・測定限界距離以上の距離を測定した場合の実験  
実験に用いたパラメータを表 4.8 に示す.

表 4.8 測定限界距離以上の距離を測定した場合のパラメータ

基本の値	与える異常の値	総ステップ数
30	255	5000

この場合の実験結果を図 4.8 に示す.

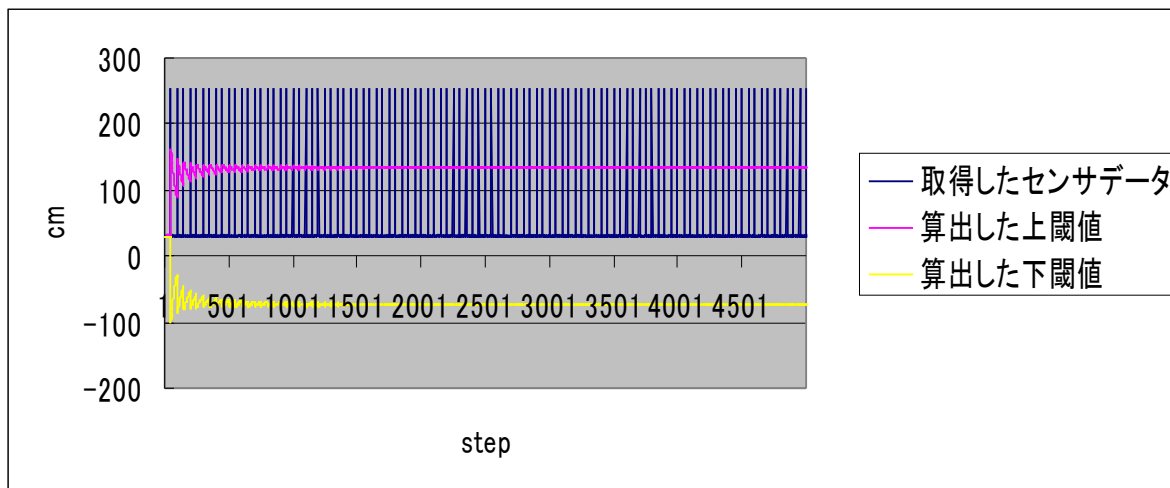


図 4.8 測定限界距離以上の距離を測定した場合の実験結果

実験によって検出することが出来た異常の数を表 4.9 に示す.

表 4.9 検出した異常数

総検出異常数	意図的な異常の検出数
126	100

大きな環境変化が起こる場合

- 基本値に対して、+10cm の距離のデータを与えた場合の実験  
実験に用いたパラメータを表 4.10 に示す。

表 4.10 基本値に対して、+10cm の距離のデータを与えた場合のパラメータ

環境変化前		環境変化後		データ数	
基本値	与える異常の値	基本値	与える異常の値	環境変化前	環境変化後
30	40	40	50	200	4800

この場合の実験結果を図 4.9 に示す。

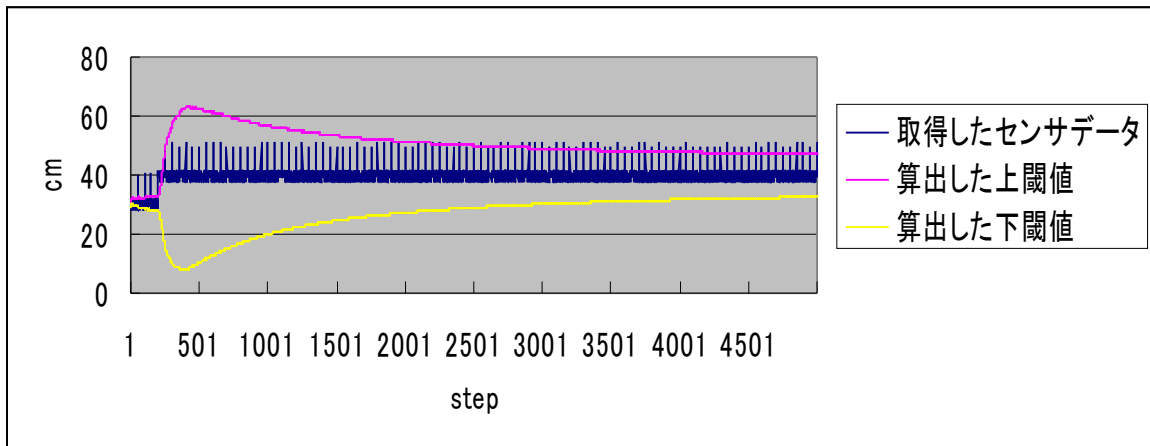


図 4.9 基本値+10cm の距離のデータを与えた場合

実験によって検出することが出来た異常の数を表 4.11 に示す。

表 4.11 出した異常数

総検出異常数	意図的な異常の検出数
133	59

- 基本値の 2 倍の距離のデータを与えた場合の実験  
実験に用いたパラメータを表 4.12 に示す。

表 4.12 基本値の 2 倍の距離のデータを与えた場合のパラメータ

環境変化前		環境変化後		データ数	
基本値	与える異常の値	基本値	与える異常の値	環境変化前	環境変化後
30	60	40	80	200	4800

この場合の実験結果を図 4.10 に示す。

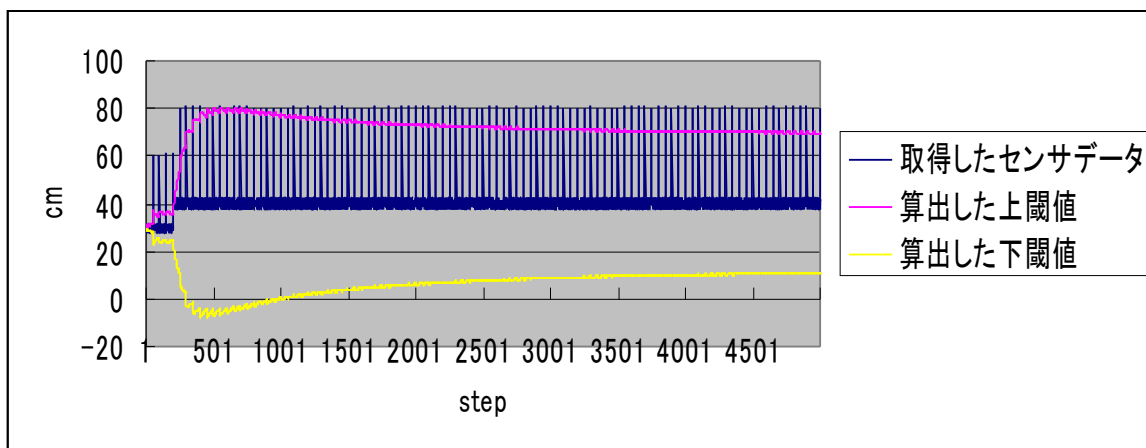


図 4.10 基本値の 2 倍の距離のデータを与えた場合の実験結果

実験によって検出することが出来た異常の数を表 4.13 に示す.

表 4.13 検出した異常数

総検出異常数	意図的な異常の検出数
134	100

- ・測定限界距離以上の距離を測定した場合の実験  
実験に用いたパラメータを表 4.14 に示す.

表 4.14 測定限界距離以上の距離を測定した場合のパラメータ

環境変化前		環境変化後		データ数	
基本値	与える異常の値	基本値	与える異常の値	環境変化前	環境変化後
30	60	40	80	200	4800

この場合の実験結果を図 4.11 に示す.

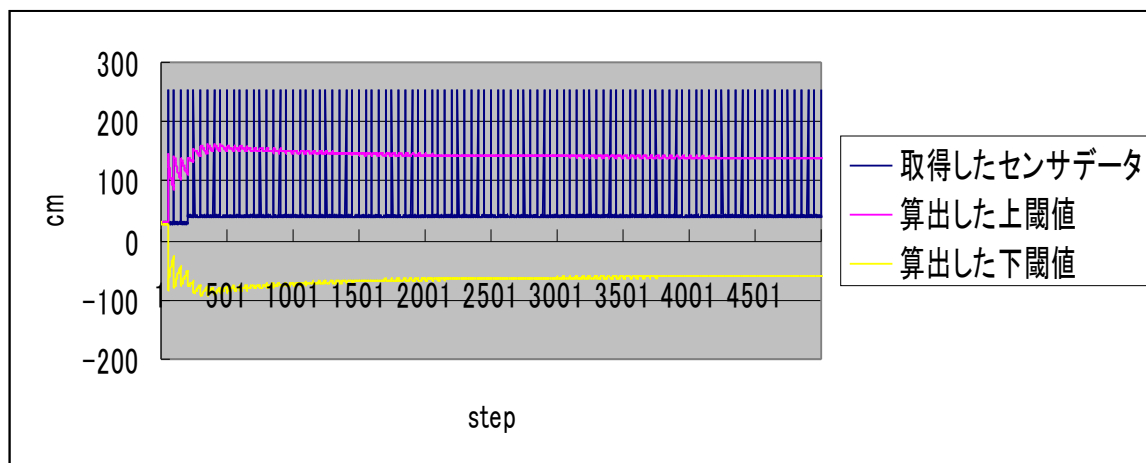


図 4.11 測定限界距離以上の距離を測定した場合の実験結果

実験によって検出することが出来た異常の数を表 4.15 に示す.

表 4.15 検出した異常数

総検出異常数	意図的な異常の検出数
116	100

#### 4.3.4 考察

本実験では提案システムに対して、意図的に異常なデータを与えた場合に、異常の検出を行うことが可能であるのかを調査した。結果として、多くの場合に、意図的に与えた異常の検出を行うことが可能であった。

唯一、意図的に与えた異常の検出を約 6 割しか行えなかった実験については以下のような原因があると思われる。提案システムでは、正常と判断する範囲が環境変化に追従するためには多くのステップ数を必要である。つまり、環境変化が起こった直後は、正常と判断される範囲の収束が終了していないという事である。そのため、意図的に与えた異常なデータを異常として検出することができないと考えられる。また、他の場合では、意図的に与えられる異常の値が大きい。そのため、正常と判断される範囲の収束が進んでいない状態でも異常の検出を行うことが可能だったと考えられる。



## 5 章結論

本章では、提案システムに関する結論、今後の課題について示す。

### 5.1 結論

本論文では、先行研究「汎用ロボットに対する異常検出システムの実現」で提案されたシステムにおいて生じる問題点を解決することを目的とした。先行研究のシステムでは、事前に使用したいタスクの正常な状態でのセンサデータを取得する必要があった。先行研究のシステムでは、そこで取得したデータを基に異常を検出する。そのため、使用するタスクや環境が変化した際には、新しくデータを取り直さなければならなかった。そこで本研究では、異常を判断する範囲の更新をデータを取得する度に行う。それにより、ロボットが使用される環境やタスクが変化しても新しくデータを取り直す必要が無くなった。また、新しく取得したデータが、異常を判断する範囲を作成する際に用いる平均・分散の値に与える影響に重みを付ける。それにより、異常なデータを取得した際に、異常なデータが異常を判断する範囲に与える影響を減少させることが可能にした。

提案システムにて異常検出の検証を行った結果、環境やタスクが変化した際に、多くのステップ数を必要とするものの、異常を判断する範囲が環境の変化に追従し、異常を検出することが可能であることが判明した。

### 5.2 今後の課題

本節では、本研究の結果明らかになった問題とその解決法の案を示す。

#### 5.2.1 明らかになった問題点

##### 追従の速度

本研究が提案したシステムでは、4章の実験で明らかになったように、異常を判断する範囲が変化した環境に適応するまでに、多くのステップを必要とする。この問題は、本論文の4章で行った実験のように1ステップにかかる時間が短い場合にはあまり問題とならない。しかし、1ステップにかかる時間長い場合には、異常を判断する範囲が収束するまでに、膨大な時間がかかってしまう。

##### 重みの値

提案システムでは、重み付けで用いる重みの値を平均からの距離に応じて4段階にしか分かれていない。そのため現状では、最も遠いと判断される  $\mu + 3\sigma$  を超える値には、 $\mu + 3\sigma + 1$  の値も、 $\mu + 3\sigma + 10000$  の値も同様に 0.25 の重みが付けられてしまう。このような場合には同じ範囲で異常と判断されるデータであるのに、後者の方が異常と判断する範囲に与える影響が大きくなってしまう。

#### 5.2.2 問題を解決するための方法案

##### 忘却の実装

5.2.1 で示した追従の速度の問題に対して、この方法を挙げる。追従の速度が遅くなってしまう原因は、ステップを重ねるごとに新しいデータが異常を判断する範囲に与える影響が小さくなるからである。つまり、新しいデータに常に一定割合の影響力を持たせることでこの問題を解決することができるのではないかと考えている。

しかし、追従する速度が速いほど良いというわけではない。1ステップにかかる時間が短い場合、追従の速度が速すぎると異常な状態に陥った際に異常な状態に追従してしまうことなどが考えら

れる．そのため，忘却を行うにしても，1ステップにかかる時間を考慮し，忘却の速度を調節できる機能を持たせる事によってより良いシステムになるのではないかと考えている．

# 謝辞

本論文を結ぶにあたり，日ごろより懇切なるご指導を賜りました倉重健太郎先生に深く感謝の意を表します．また，ご助言，ご指導をいただいた，畑中雅彦先生，本田泰先生，佐賀聡人先生に感謝の意を表します．そして，論文の査読や助言をしていただいた本田研の荒和正さん，認知ロボティクス研究室の木島康隆さん，中南義典さん，宮崎愛央さん，北山直樹さん，澁谷和さんに感謝いたします．

## 参考文献

[1]ロボット工学基礎知識

参考 URL:<http://ww4.ettiki.ne.jp/~robot-th/beginer/mini/sangyou-robot.html>

[2]次世代ロボット開発

参考 URL:[http://www.onishi-hideo.com/gikai/toki200705\\_1.pdf](http://www.onishi-hideo.com/gikai/toki200705_1.pdf)

[3]ヒューマノイドの動作一時停止システム-実時間動作一時停止判断と実時間パターン修正-

金子健二,金広文雄,森澤光晴,梶田秀司,藤原清司,原田研介,比留川博久

日本ロボット学会誌,Vol.25,No.2,pp.280-298,2007

[4]マルチモデル法に基づく移動ロボットの内界センサ系の故障診断

橋本雅文,川島洋之,大場史憲

日本機械学会論文集(C),Vol69,No677,pp172-179,2003

[5]汎用ロボットに対する異常検出システムの実現

黒滝麗子

室蘭工業大学卒業論文