

卒業論文 2003年度(平成15年度)

実空間への情報埋め込みによるセンサ情報の活用

指導教員

慶應義塾大学環境情報学部

徳田 英幸

村井 純

楠本 博之

中村 修

南 政樹

慶應義塾大学 環境情報学部

幸田 拓耶

## 卒業論文要旨 2003年度(平成15年度)

### 実空間への情報埋め込みによるセンサ情報の活用

近年、PCやPDAといったユーザが直接利用する形のコンピュータだけでなく、家電や建物など人の目に付かない所にコンピュータが内蔵され、活用されるようになっている。このような機器はセンサと組み合わせることで実空間の状態を取得し、環境の変化に応じてサービスを提供できる。このような機器が遍在する環境をユビキタスコンピューティング環境と呼ぶ。ユビキタスコンピューティング環境を利用して、ユーザの指示を待たずに、能動的にサービスを提供する研究などが行われているが、そのためには環境の変化の認識が大きな課題となっている。

既存の研究ではセンサが取得した環境情報を利用するために、コンピュータ上で実空間を抽象化し、センサ情報を取り扱っていた。しかし、これは抽象化する際の粒度や拡張性に問題があり、また、複雑な位置情報システムを導入する必要があった。

本研究では、このような複雑なシステムを導入することなく機器が周囲の状況を把握できる環境を実現する。そのために、環境情報をセンサが値を取得したその場所から読み出せる **Embedded Information** 環境を提案する。これにより様々な機器が、複雑な位置情報システムを利用する事なく、その場所に問合せる事で周囲の状況を把握する事が可能となる。本論文では **Embedded Information** 環境に必要なセンサシステムとして、“VITAL”システムの設計とプロトタイプの実装を行う。最後に本システムを評価し、全体をまとめる。

慶應義塾大学 環境情報学部  
幸田 拓耶

# **Abstract of Bachelor's Thesis**

## **Dynamic Location Model management**

This thesis presents a novel style of use of sensor.

In recent years, not only traditional computers such as PCs and PDAs but also computers which are built in to electric appliances and buildings, have increased and utilized. Such appliances combined with sensors can acquire the situation of a real space, and can provide services according to environmental changes.

We call an environment where appliances are distributed an ubiquitous computing environment. In an ubiquitous environment, several researchers have proposed systems to provide services actively without one's instructions. However, recognition of environmental changes is a important problem.

In a existing research, the system uses sensor data with abstraction of real space on the computer to utilize environmental information acquired by sensors. Although there are several problems, such as granularity of abstraction and extensibility, and it is necessary to introduce a complex location information system to solve those problems.

In this research, we propose a system which enables appliances to retrieve surrounding situations. The system can achieve an embedded information environment in which appliances can read environmental information from the location where a sensor exists.

This thesis proposes a design and a proto-type implementation of "VITAL" system which is a sensor system for embedded information environment.

**Takuya Koda**  
**Faculty of Environmental Information Keio University**

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	本研究の背景	2
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
<b>第2章</b>	<b>ユビキタスコンピューティング環境における環境情報</b>	<b>4</b>
2.1	ユビキタスコンピューティング環境	5
2.1.1	現在のコンピューティング環境	5
2.1.2	ユビキタスコンピューティング環境	5
2.2	ユビキタスコンピューティング環境におけるセンサ	6
2.2.1	センサシステムの機能	7
2.3	Embedded Information 環境	8
2.3.1	既存のセンサシステム利用環境におけるセンサシステムの指定方法	9
2.3.2	Embedded Information 環境の定義	10
2.4	本章のまとめ	10
<b>第3章</b>	<b>本研究の方針と概要</b>	<b>12</b>
3.1	設計手法	13
3.1.1	本研究における実現手法	13
3.2	Embedded Information 環境におけるセンサシステム	14
3.2.1	センサシステムのハードウェア構成	14
3.2.2	Embedded Information 環境におけるセンサシステムの必要要件	15
<b>第4章</b>	<b>設計</b>	<b>17</b>
4.1	全体の構成	18
4.2	動作手順	18
4.3	機能要件	18
4.3.1	記憶ノード	18
4.3.2	センサシステム	18
4.3.3	リーダー	19
4.4	通信機能の設計	19
<b>第5章</b>	<b>実装</b>	<b>20</b>
5.1	実装	21

5.2	回路構成 . . . . .	21
5.3	環境ストレージ . . . . .	21
5.4	センサノード . . . . .	24
5.5	リーダー . . . . .	24
<b>第6章</b>	<b>評価</b>	<b>27</b>
6.1	基本性能の測定 . . . . .	28
6.1.1	測定環境 . . . . .	28
6.1.2	信頼性の評価 . . . . .	29
<b>第7章</b>	<b>結論</b>	<b>31</b>
7.1	今後の課題 . . . . .	32
7.1.1	通信方式の検討 . . . . .	32
7.1.2	センサノードのモジュール化 . . . . .	32
7.1.3	ハードウェアの接続性 . . . . .	32
7.1.4	ソフトウェアインターフェイスの整備 . . . . .	32
7.2	本論文のまとめ . . . . .	32

# 目次

2.1	現在のコンピューティング環境とユビキタスコンピューティング環境 . . .	6
2.2	Mote と SMART DUST . . . . .	8
2.3	Embedded Information 環境 . . . . .	10
3.1	環境情報蓄積機能の埋め込みによる手法 . . . . .	14
5.1	AT90S2313 ブロックダイアグラム . . . . .	22
5.2	環境ストレージ 回路図 . . . . .	22
5.3	環境ストレージ 実装例 . . . . .	23
5.4	センサノード 回路図 . . . . .	24
5.5	センサノード 実装例 . . . . .	25
5.6	リーダ部 回路図 . . . . .	25
5.7	ユーザ デバイス 実装例 . . . . .	26
6.1	実験環境 . . . . .	28
6.2	距離に対するエラー率の増加 . . . . .	29

# 表 目 次

5.1 実装環境 . . . . .	21
6.1 測定環境 . . . . .	28

# 第1章 序論

本章では本研究の背景と目的について述べ、最後に本論文の構成について述べる。



## 1.1 本研究の背景

近年，従来とは異なるユビキタスコンピューティングと呼ばれる計算機環境が注目されている．既存の計算機環境ではパーソナルコンピュータのような機器をユーザが操作し，情報の操作をしていた．ユビキタスコンピューティング環境ではこのようにユーザが直接利用する機器だけでなく，コンピュータやアクチュエータ，センサといった様々なデバイスが環境に埋め込まれ，協調して機能する．そのため，ユーザや環境の状態を検出したり，複数のデバイスを組合せたサービスの実現が可能になっている．このようなユビキタスコンピューティング環境の上で実現できるサービスのひとつにコンテキストアウェアなアプリケーションが挙げられる．これは，アプリケーションがユーザや環境の変化を検出し，ユーザからの指示を待つことなくサービスや情報を提供するものである．

コンテキストアウェアなアプリケーションはユーザや環境の変化といった空間情報をコンピュータ上で取り扱うために様々なセンサを必要とする．例えば温度センサ，光センサ，人体センサといったものが挙げられる．しかし，これらのセンサはそれぞれ検出可能な範囲，種類，値に仕様上の制限があるため，複数のセンサを組み合わせる必要がある．

## 1.2 本研究の目的

コンテキストアウェアなアプリケーションを実現するためには，ユーザや環境の変化といった空間情報をコンピュータ上で取り扱う必要がある．そのためには空間上に様々なセンサを設置する必要がある．このセンサ群はハードウェアの機能的制約を考慮して，アプリケーションの要求を満たすように配置を決める必要がある．例えば，ユーザの部屋への出入りを検出したい場合には，センサの有効範囲内に部屋の出入口が収まるようにセンサを配置する必要がある．さらに，超音波センサならば遮蔽物が無いように，赤外線センサならば誤認識しやすい熱源が無いように気を配る必要がある．

現在のユビキタスコンピューティング環境は，環境を構築する際にこれらの条件を考慮し，固定的に配置を決定した専用の部屋を用意している．一般家庭のリビングルームのような環境においてユビキタスコンピューティング環境を実現するためには，利用目的の変化や家具等の配置の変更を考える必要があり，センサの配置を柔軟に変更できるシステムが求められることになる．

本研究ではセンサの自由な再配置を可能にする際の問題点について整理し，それらを解決するシステムを実現する．

## 1.3 本論文の構成

本論文は全7章からなる．次章ではユビキタスコンピューティング環境におけるセンサシステムのありかたについて述べる．続く第3章では本研究の目的と機能要件について整理し，第4章では設計について述べる．第5章では実装について述べる．第6章では関連研究との比較を行い本研究を評価する．最後に，第7章で本論文をまとめ，今後の課題に

ついで言及する.

## 第2章 ユビキタスコンピューティング環境における環境情報

本章では、まず本稿におけるユビキタスコンピューティング環境の定義について述べる。次に、環境情報の取得を行うセンサシステムについて述べ、最後にユビキタスコンピューティング環境における、新しい環境情報の取得手法である **Embedded Information** 環境を提案する。

## 2.1 ユビキタスコンピューティング環境

本節では、既存のコンピューティング環境について述べ、その後将来のコンピューティング環境として想定されるユビキタスコンピューティング環境について定義する。

### 2.1.1 現在のコンピューティング環境

現在、ネットワーク基盤の整備が急速に進んでいる。多くの駅や飲食店では802.11a/b/gなどの無線基盤が整備され、一般家庭やオフィスにはDSLや光ファイバ網が整備されている。これらのネットワーク基盤の整備に伴い、あらゆるコンピュータがネットワーク接続性を持ち、複数のコンピュータ間で協調動作している。例えば、現在のコンピューティング環境において非常によく利用されているwebやメールなどは、ネットワークを経由して他のコンピュータと接続することにより、情報を取得することができる。このように、現在のコンピューティング環境において、ネットワーク接続は不可欠な要素である。

コンピュータ間で行う協調動作の目的は、情報の共有と資源の共有の二つに分類できる。情報の共有とは、異なるコンピュータ間でファイルの送受信やメッセージの交換を行うことである。例えば、現在インターネットの主な用途となっているwebやメール、インスタントメッセンジャが挙げられる。資源の共有とは、スーパーコンピュータや大容量の記憶装置といった膨大な資源を持つコンピュータを、貧弱な資源しか持たない他のコンピュータからネットワークを介して利用することである。占有面積が広い、または高価であるといった理由から大量に導入できない機械を有効に活用することができる。

### 2.1.2 ユビキタスコンピューティング環境

現在のコンピューティング環境はネットワークによる協調動作を実現したが、周辺の状態を判断して動作することができない。例えば、複数のコンピュータ間でプリンタを利用する場合、自動的に最も近くのプリンタを選択するなどの、ユーザの状況に応じたサービスを提供することは不可能である。また、音楽を再生するサービスにおいて、ユーザが明示的にその組合せを指定する必要がある、ユーザの移動に応じて利用するスピーカを動的に変更することはできない。また、個人の部屋ではスピーカから再生し、公共空間ではPDAのイヤホンで再生するというような、その場の状況に合わせたこともできない。ユーザの明示的な操作により、プリンタの選択や再生機器の選択を行い、サービスを提供するこれらのサービス体系は、手間やストレス、操作に対する知識という点においてユーザに負荷を与える。状況に応じたサービスの提供を可能にすることで、これらの負荷を軽減することが可能となる。

状況に応じたサービスの提供は、コンピュータの大きさや消費電力、スピーカやプリンタなどの環境に存在するコンピュータ以外の機器におけるコンピューティング能力やネットワーク接続性の欠如、状況を表す環境情報を取得する機器の不足により不可能であった。しかし、近年のコンピュータ技術の発展により、コンピュータの小型化、省電力

化が可能になった。この小型化，省電力化に伴い，ユーザが直接利用するコンピュータに限らず，照明機器や電子レンジといった家電や，プリンタやビデオデッキといった情報機器など，様々な機器にコンピュータが組込まれるようになった。これらの機器も現在のコンピュータと同様，ネットワークに接続されるようになった。また，無線技術の発達により，ケーブルの敷設に伴う制限が緩和され，情報機器や家電に限らず家具や建材，書籍など，あらゆるものをネットワークに接続しようとする研究が行われている。また，状況を表す環境情報を取得する機器として，センサが注目を浴び，センサにコンピューティング能力とネットワーク接続性を付加することで，環境情報をコンピューティング環境内で利用することが可能になった。これらの，コンピューティング能力とネットワーク接続性を持った情報機器やセンサなどから構築され，状況に応じたサービスを提供することを目的とした環境をユビキタスコンピューティング環境と呼ぶ。

現在のコンピューティング環境とユビキタスコンピューティング環境を図 2.1 に示す。現在のコンピューティング環境では，コンピュータがネットワーク接続性をもち，利用者はコンピュータを操作することにより，サービスを受ける。ユビキタスコンピューティング環境では，様々な機器がネットワーク接続性を持ち，それらの機器が状況に応じてユーザにサービスを提供する。

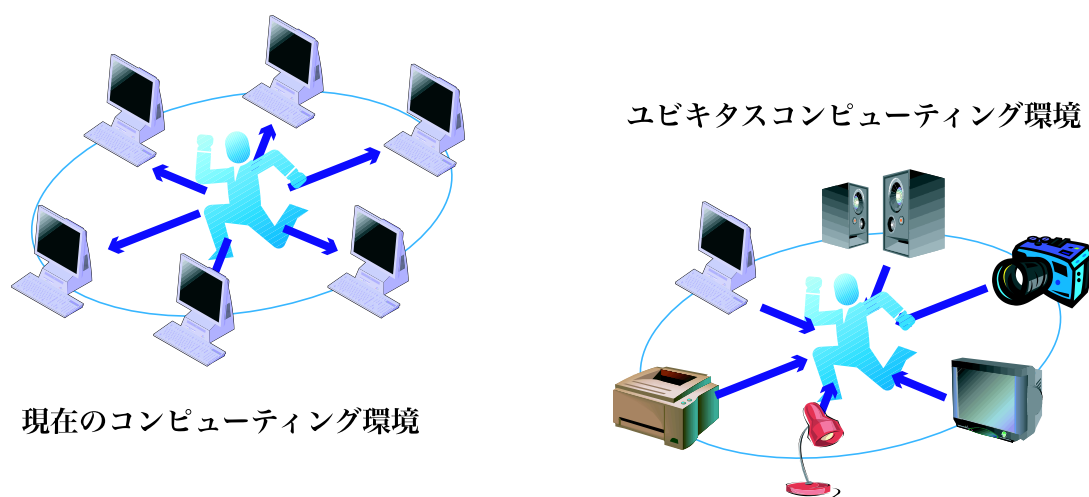


図 2.1: 現在のコンピューティング環境とユビキタスコンピューティング環境

## 2.2 ユビキタスコンピューティング環境におけるセンサ

前節で述べたように，ユビキタスコンピューティング環境において，機器が状況に適応するために，環境情報の取得は非常に重要になる。一般的にユビキタスコンピューティング環境における環境情報取得には，センサが利用される。本節では，ユビキタスコンピューティング環境下のセンサが持っている機能を挙げ，ユビキタスコンピューティング環境に適したセンサの構成について考察する。

## 2.2.1 センサシステムの機能

ユビキタスコンピューティング環境において、温度や湿度、人の位置情報などの状況を表す環境情報を取得するセンサは、実世界の情報をコンピューティング環境内で処理するために欠くことのできない機器である。しかし、センサのみでは、環境情報を取得することはできても、その情報を他の機器で利用できるように、加工したり、ネットワークを通じて配布することはできない、つまり、ユビキタスコンピューティング環境内におけるセンサは、既存のセンサのように環境情報を取得する機能だけではなく、コンピューティング機能や環境情報蓄積機能、ネットワーク機能が必要となる。このような機能を併せ持つセンサを本研究では、センサシステムと呼ぶ。センサシステムが持つ機能を以下に挙げ、各機能について説明する。

- 環境情報取得機能

現在、圧力センサや光センサ、赤外線センサなど、多様なセンサが存在する。圧力センサの場合、センサに圧力がかかったかという環境情報を取得する機能を持ち、光センサの場合は、現在どれくらいの明るさかという環境情報を取得する。実際に、圧力や光といった環境情報を取得する機能がセンサシステムには不可欠である。これらのセンサの多くは、圧力や光といった環境情報を電圧などの電気信号に変換し、その後アナログ値である電気信号をコンピュータ内で扱えるように、デジタル値に変換する。

- コンピューティング機能

コンピューティング機能は環境情報を取得した後、情報の加工を行う機能を指す。実際にセンサが取得する環境情報は、センサの精度によりエラー値が含まれていることが多く、これらのエラーを検出し、信頼できない環境情報を取得した場合、情報を破棄するという情報の加工が想定される。また、同じ光情報を複数取得できたり、光情報と圧力情報などの異なった種類の環境情報を取得できる場合など、複数の環境情報取得機能を持っている場合、複数の環境情報から一つの情報を得るといった情報の加工が想定される。例えば、部屋の入り口に圧力と光を検出できるセンサシステムを設置し、部屋が明るくて圧力が検出された場合は、人が部屋から出るという一つの情報を表し、逆に部屋が暗くて圧力が検出された場合は、人が部屋に入るという情報を表す場合が考えられる。このように、エラー検出などの環境情報の分析や、複数の情報から一つの情報を得るといった計算などの処理を行う機能をコンピューティング機能と呼ぶ。

- 環境情報蓄積機能

センサシステムが環境情報を取得する場合、現在の環境情報を取得したい場合と過去の環境情報を取得したい場合が想定される。例えば、現在の部屋の温度を知りたい場合、現在の温度を知れば良い場合と、過去の温度情報の履歴から取得した温度が暑いか寒いかを判断したい場合が考えられる。現在の環境情報を取得したい場合は、環境情報取得機能やコンピューティング機能で得られた情報を提供すれば良い

が、過去の環境情報を取得したい場合は、センサシステムが過去に取得した環境情報を蓄積しておく必要がある。

- ネットワーク機能

環境情報取得機能で取得した環境情報や、コンピューティング機能によって加工された情報、環境情報蓄積機能によって蓄えられた過去の環境情報を実際に利用するアプリケーションなどに提供するために、センサシステムはネットワーク接続性を持っている必要がある。これをネットワーク機能と呼ぶ。

近年、これらの機能を持ったセンサシステムとして、Mote[1] や SMART DUST[2] などの小型センサシステムが登場し、ユビキタスコンピューティング環境が現実味を帯びてきている。図 2.2 に Mote と SMART DUST を示す。

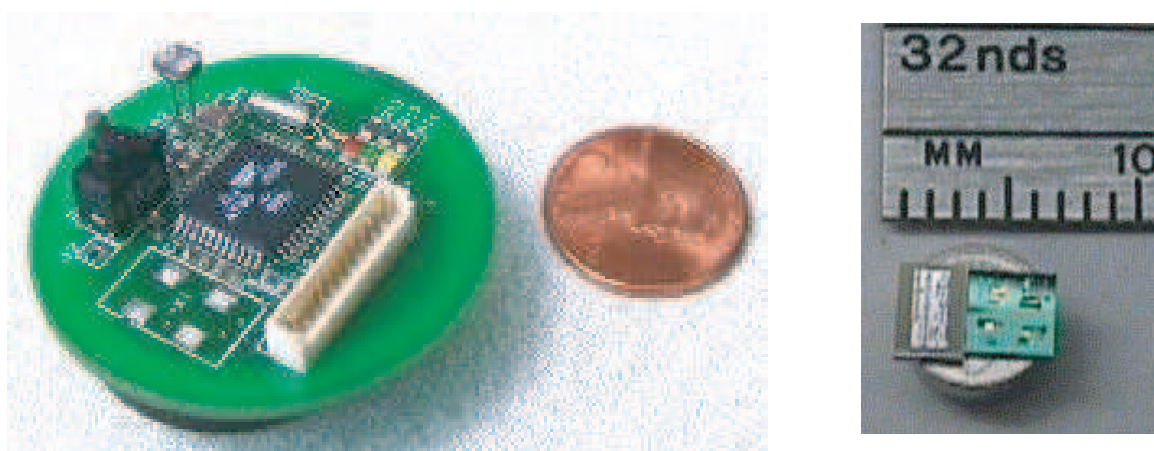


図 2.2: Mote と SMART DUST

## 2.3 Embedded Information 環境

ユビキタスコンピューティング環境におけるセンサにおいて、センサシステムが取得する環境情報の扱い方は、その利用方法、蓄積方法において多様である。

本稿では、まず、既存のユビキタス環境におけるセンサシステムの利用環境について述べ、その問題点を考察する。その後、本研究で提案する、新しいセンサシステムの利用環境として Embedded Information 環境を提案する。

Embedded Information 環境では、機器は直接センサシステムから情報を取得するのではなく、環境に埋め込まれた環境情報を間接的に利用する。つまり、環境情報はセンサシステムが保持するのではなく、環境そのものが保持し、これを機器が利用する手法である。例えば、部屋を想定した場合、ユーザが持っている温度センサが取得した環境情報を、部屋を構成する壁や床に通知し、環境内の機器は、その壁や床から温度を取得することが可能になる。

### 2.3.1 既存のセンサシステム利用環境におけるセンサシステムの指定方法

機器やアプリケーションがセンサシステムを利用する際、なんらかの方法でセンサシステムを指定する必要がある。

既存のセンサシステム利用環境では、機器やアプリケーションがセンサシステムを利用する際に、以下の3つの方法でセンサシステムを指定していた。

- IDを指定する方法
- 位置情報を指定する方法
- 機器とセンサシステムの固定的な関係に因る方法

以下に各方法の特徴と問題点を述べる。

- IDを指定する方法  
インターネットにおけるDNSサービスのよう、各センサシステムに対して一意なIDを付けて値を取得する方法である。既存のシステムを応用して簡単に実現可能であるが、環境情報を利用するアプリケーションや機器が周辺の環境情報を把握するために使うには、どのセンサに問合せるべきか判断する仕組みを別途用意する必要がある。例えば、あるセンサシステムにIDとして“1”という数字がふられている場合、利用側はその“1”というセンサはどこにあるのか、どんな情報を保持できるのかという情報を取得することはできない。
- 位置情報を指定する方法  
位置情報からセンサシステムを特定し、それらから環境情報を得る方法である。この方法では、IDの代わりに環境において一意な位置情報を管理するか、または、各センサシステムに位置センサを持たせ、センサネットワークを応用することで、目的のセンサシステムを探索する手法が利用される。前者の手法では、位置情報を集中管理する機構の導入や、管理のコストが必要になる。また後者の手法では、各センサシステムに位置センサを持たせたり、コンピューティング機能やネットワーク機能に複雑な処理が必要となる。
- 機器とセンサシステムの固定的な関係に因る方法  
既存のコンピュータ環境においても一部で環境情報は利用されていた。例えば、周辺の明るさに応じてバックライトの明るさを変える液晶ディスプレイや、気温に応じて出力を変えるエアコンなどである。しかし、こういった機器では環境情報を取得するセンサシステムと機器の組合せは固定的に決まっており、ネットワーク環境において様々な機器から汎用的に利用することはできない。



### 2.3.2 Embedded Information 環境の定義

これまでに、既存センサシステムの利用環境における、センサシステムの指定方法とその問題点について述べた。これらの手法は主に、機器やアプリケーションとセンサシステムを直接結びつけ、環境情報を取得することを目的としている。

これに対し、本研究では、環境情報は環境自体に蓄積し、環境情報を取得する機器やアプリケーションは環境に蓄積された環境情報を取得するというセンサ環境として、Embedded Information 環境と定義する。つまり、Embedded Information 環境では、機器やアプリケーションは、直接センサシステムを利用するのではなく、環境を媒介して間接的に利用する。

Embedded Information 環境では、このような機器やアプリケーションと、センサシステムとを媒介する環境の単位を“場”と呼ぶ。一つの部屋といった環境は、複数の“場”から成り立ち、各センサシステムは、自らが設置された“場”に対して環境情報を記録する。また、機器やアプリケーションは自らが設置された“場”から情報を取得する。

このように環境情報の取得に“場”を媒介させることによって、各センサに ID を付ける必要がなくなる。また、環境情報の取得や記録を行う空間的な粒度が、“場”に限定されてしまうが、位置情報を特に指定することなく、機器が設置された空間の環境情報を取得することができる。また、“場”に蓄積された環境情報は、その“場”に存在する様々なデバイスが参照できるため、固定的にセンサシステムと利用機器が接続されることはない。

図 2.3 に Embedded Information 環境の概要図を示す。

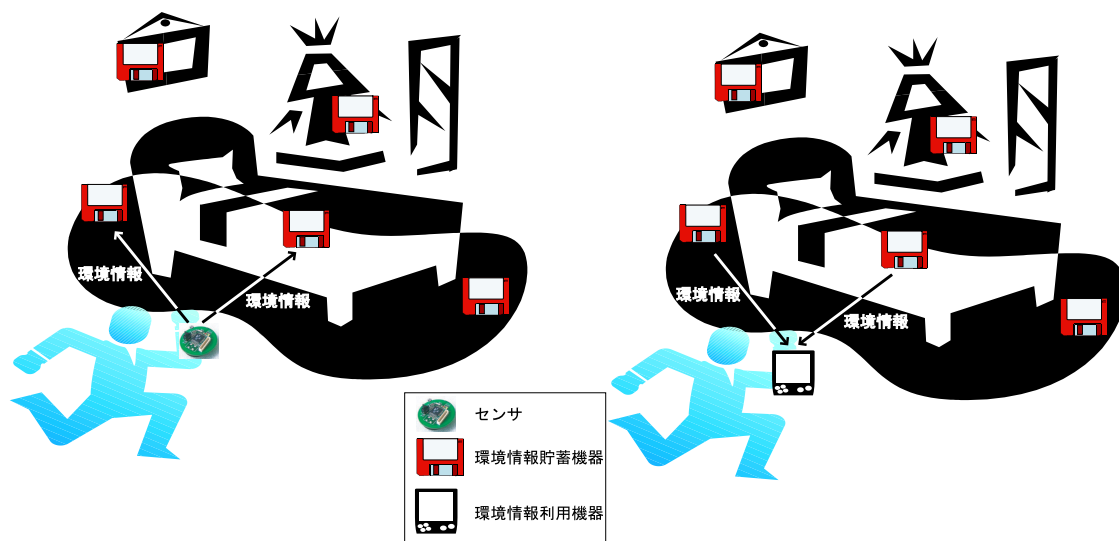


図 2.3: Embedded Information 環境

## 2.4 本章のまとめ

本章では、本研究の背景となるユビキタスコンピューティング環境について述べ、ユビキタスコンピューティング環境におけるセンサの機能、構成について説明した。また、本

研究が定義する Embedded Information 環境を示し，実現するための必要要件を挙げた.

## 第3章 本研究の方針と概要

前章で述べたように，Embedded Information 環境とは，情報が“場”に埋め込まれ，機器がそれを利用することで，その“場”の環境情報を把握する計算機環境である．本章では，この Embedded Information 環境を実現するために必要となるセンサシステムの要件について考察し，その設計手法について述べる．

## 3.1 設計手法

Embedded Information 環境を実現するためには、センサシステムによって環境情報を“場”という単位に書き込み、機器はその“場”から環境情報を取得できるようにする必要がある。本節では、これを実現する手法としてサーバ管理方式による手法と、実空間へのセンサシステムの埋め込みによる手法の2つの方式について考察する。

- サーバ管理方式

サーバ管理方式では、センサシステムが、サーバに対して環境情報を位置情報とともに記録し、サーバ上で位置情報を基に“場”を構成する手法である。

この手法では、センサノードには環境情報を保管せず、取得した値をサーバに送信し記録していく。この際、センサノードの識別子などによって記録するのではなく、位置情報に基づいて記録していく事で、センサノードが移動しても記録された情報は取得した時の位置に基づいて“場”を単位に取り扱うことができる。しかし、サーバ上で一元的に位置を管理するためには実空間における位置をソフトウェア上で取り扱えるように抽象化する位置情報システムが必要となる。

- 実空間への環境情報の埋め込みによる手法

環境情報を取得・記録するセンサシステムを、環境自体に埋め込むことによって実現する手法である。機器は、設置したセンサノードに直接環境情報を問合せる方式である。サーバ管理方式とは異なり環境全体に一意的な座標系を定義する必要が無いが、“場”の空間的な制約が、あいまいになる可能性がある。

### 3.1.1 本研究における実現手法

実現手法のうち、サーバ管理方式は位置に基いて情報を記録するため、なんらかの方式で、環境の位置情報を一意に管理しておく必要がある。そのためには、位置情報システムを利用するのが一般的である。しかし、位置情報システムの利用には様々な問題点がある。まず、ユーザとセンサシステムの位置関係を把握しておくために専用のデバイスを必要とする事が多い。さらに、精度を上げようとした場合、位置センサの数が増大し、コストが増加する、といった問題もある。

これに対して、実空間への環境情報の埋め込みによる手法では、埋め込まれたセンサ自体が情報を記録していくため、その“場”のセンサシステムに環境情報を問合せることさえできれば、位置情報を特に取り扱う必要がなくなる。つまり、機器が、近傍のセンサシステムとの通信機能のみを備えていればよい。

これらの点を考慮し、本研究では、実空間の環境情報の埋め込みによる手法を採用する。これにより、Embedded Information 環境では、位置情報を提供するセンサの導入を考慮せずに、“場”という概念で環境情報の取得が可能になる。

しかし、この手法には、センサの移動や再配置に対応できないという問題がある。一般的に、ユビキタスコンピューティング環境において、くまなく環境情報を扱うには、多量

のセンサシステムを配置する必要がある。また，オフィスや一般の家庭への導入を考慮した場合，センサシステムの配置構成は，静的なものではなく，動的に後から配置を変更できる必要がある。

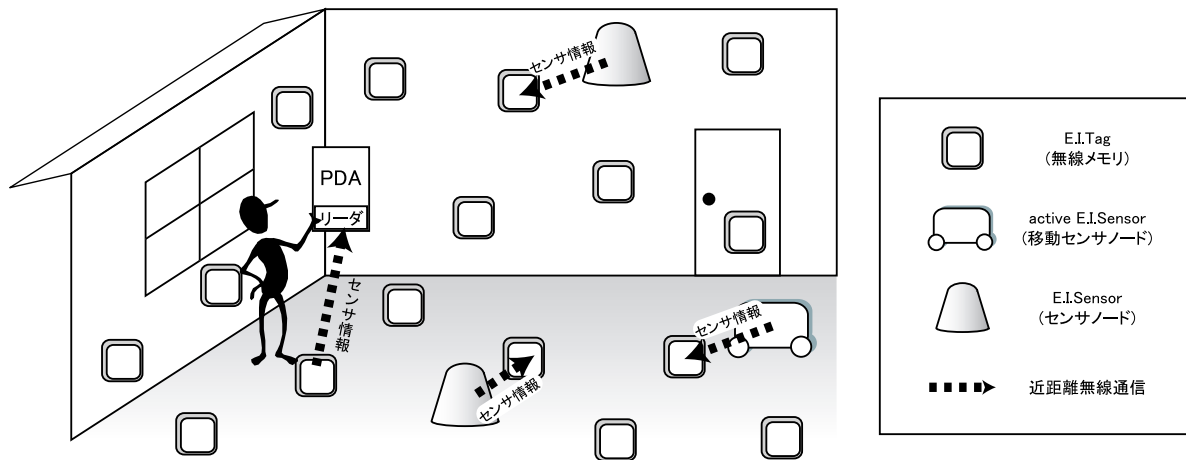


図 3.1: 環境情報蓄積機能の埋め込みによる手法

本研究では，これらの問題点を解決するために，センサシステムから，環境情報を蓄積する機能のみを切り離し，実空間に環境情報を埋め込んでいく手法を採る。これは，部屋の壁や天井といった環境にセンサシステムとは切離した小型の記憶装置を多数設置しておくものである。この環境に設置される記憶装置を記憶ノードと呼ぶ。センサシステムは取得した環境情報を近くの記憶ノードに記録していく。環境情報を必要とする機器は近くの記憶ノードから環境情報を取得する。これにより，センサシステムが配置変更などに応じて移動した場合でも，環境情報の記録はその“場”に残ったまま利用可能となる。

## 3.2 Embedded Information 環境におけるセンサシステム

本節では，既存のセンサシステムのハードウェア構成について述べ，その後，Embedded Information 環境を実現するためのセンサシステムの機能要件について述べる。

### 3.2.1 センサシステムのハードウェア構成

前章において，ユビキタスコンピューティング環境下のセンサシステムは，環境情報取得機能，コンピューティング機能，環境情報蓄積機能，ネットワーク機能が必要であると述べた。

現在研究，開発されている Mote や SMART DUST などの多くのセンサシステムは，全ての機能が一つのセンサユニットに統合された構成である。環境情報取得機能とネットワーク機能は，同一ユニット内に存在しなければ環境情報を取得しても他に提供することができないので，必ず同一ユニット内にある必要がある。しかし，コンピューティング

機能と環境情報蓄積機能は同一ユニット内にある必要がないため、各機能のハードウェア構成として、同一ユニット型、環境情報蓄積機能分離型、コンピューティング機能分離型が想定される。以下に各機能を説明し、それぞれの利点と問題点を挙げる。

- 同一ユニット型  
全ての機能が同一ユニット内に存在する構成を同一ユニット型と呼ぶ。Mote や SMART DUST が採用する構成である。新たなコンピュータを導入しないで動作するという点で優れている。しかし、現在コンピュータが小型化しているとはいえ、センサユニットにのせることができるコンピュータは非力であるため、複雑な情報の加工や膨大な環境情報の蓄積をすることが不可能であるという問題点がある。
- 環境情報蓄積機能分離型  
センサユニット以外にコンピュータを導入し、そのコンピュータ内のデータベースで環境情報を蓄積する構成を、環境情報蓄積機能分離型と呼ぶ。同一ユニット型に対して、あらたなコンピュータを導入したり、データベースを組む負荷が問題点として挙げられるが、大容量コンピュータを設置することにより、膨大な環境情報を蓄積することが可能である。また、大量に環境内に情報蓄積機能を持つコンピュータを散布することにより、センサが取得した環境情報をその場所にとどめることが可能である。
- コンピューティング機能分離型  
センサユニット以外にコンピュータを導入し、そのコンピュータ内で複雑な情報の加工処理を行う構成を、コンピューティング機能分離型と呼ぶ。高速な演算が可能なコンピュータで情報の加工を行うことにより、環境情報を利用したいアプリケーションなどは、温度や湿度といった環境情報だけでなく、これらの情報を組み合わせたり、推測するといった複雑な処理を行い、人が部屋から出たという情報のような、より実世界の表現に沿った環境情報を取得することが可能になる。

### 3.2.2 Embedded Information 環境におけるセンサシステムの必要要件

第3.1.1項で述べたように、本研究では、記憶ノードをセンサシステムから切離し、記憶ノードのみを環境にあらかじめ大量に設置する。これを実現するために、Embedded Information 環境におけるセンサシステムのハードウェア構成は、環境情報蓄積機能分離型を採用する。

また、センサシステムがこれらの記憶ノードと通信し、環境情報を通知する機能や、環境情報を利用したい機器が記憶ノードと通信し、環境情報を取得する機能が必要になる。これらの通信は、センサは周辺の蓄積機能を持った機器と行う必要がある。

また、センサシステムの配置変更や、移動を考慮した場合、記憶ノードは、様々なセンサシステムから環境情報を記録される可能性がある。そのため、あらかじめ統一した環境情報の記録フォーマットを決定する必要がある。また、さまざまな機器が環境情報を要求する際の、要求方法や提供方法を定めたインタフェースを定義しなくてはならない。

以下に Embedded Information 環境における必要要件をまとめる.

- 遍在する環境情報蓄積機能を持った機器
- センサと蓄積機能を持った機器に対する近距離通信機能
- 統一的な環境情報記録フォーマット
- 環境情報提供のためのインタフェース

これらの要件を満たすセンサシステムと記憶ノードが環境内に設置されることにより, Embedded Information 環境は実現可能となる.

## 第4章 設計

本章では **Embedded Information** 環境におけるセンサシステムである“**VITAL**”システムの設計について述べる。実際の動作シナリオを示したのち、各ハードウェアモジュール毎の詳細について述べる。



## 4.1 全体の構成

本研究では、Embedded Information 環境を実現するために、デバイスが周辺の環境情報を取得するためのセンサシステムとして“VITAL”を構築する。“VITAL”はあらかじめ環境に設置される複数の記憶ノードと後から設置されるセンサシステム、およびユーザの持つリーダーから構成される。

## 4.2 動作手順

今回は以下に挙げるアプリケーションを想定した。

- インテリジェントマナーモード

始めていく場所でも携帯電話がその場の雰囲気判断して自動的にマナーモードの設定を行う。例えば、記憶ノードが備えられた公共スペースを想定する。その場に設置された騒音センサ、あるいはユーザの持つ騒音センサの情報が記憶ノードに貯められていく。ユーザの携帯電話はその場の記憶ノードを参照し、いつも静かな場所であるならば自動的にマナーモードに切りかわる。このアプリケーションはあらかじめマナーモードにすべきである、といった情報を人間が設定する必要が無く、人が行き交う間に自然にその場の状態が決定するといった利点がある。

## 4.3 機能要件

“VITAL”システムの機能要件はそれぞれ以下のようになる。

### 4.3.1 記憶ノード

空間に埋め込まれる記憶装置である。あらかじめ壁や床に分散設置させておき、センサシステムからの環境情報を記録する。これにより実空間への環境情報の埋め込みを実現する。記録する環境情報は温度や湿度といった値の種類と測定した値、及び測定した時刻とする。

また、大量に設置することが想定されるため、できる限りメンテナンスフリーである事が求められる。

### 4.3.2 センサシステム

環境情報を取得するためのセンサデバイスと記憶ノードに記録を行うための通信機能を備える。利用目的に応じて自由に配置を変更できるように小型にする必要がある。

### 4.3.3 リーダ

センサノードから環境情報を取得するデバイスである。PCやPDAといった情報端末と接続し、Embedded Information 環境における環境情報取得機能を提供する。様々な機器に対応するために情報端末側は汎用的なインターフェイスである必要がある。

## 4.4 通信機能の設計

ユーザは記憶ノードの設置場所を意識することなく、その場の環境情報を取得できることが望ましい。つまり、無線通信である必要がある。

センサノードやリーダは直接通信可能な環境ストレージに対してのみ環境情報の読み書きを行うことで、デバイスの周辺状況を特定する。これは近年、個人認証などのために注目されている近接無線通信が適している。現在は以下のような方式が存在する。

- 赤外線通信

家電のリモコンやPC間の簡単なファイル交換などに採用されている方式である。消費電力が少なく、仕組みも簡単のため広く利用されている。通信速度は数100kbps~数Mbpsである。通信範囲は数10cm~数m程である。電波を利用したものにくらべて、ノイズに強く、安定した通信が期待できる。しかし、障害物の影響を受けやすく、送信側と受信側が直接見通せるように向かい合わせる必要がある。

- 電波による無線通信

電波を利用して無線通信を行う方式である。障害物に強く指向性がないため送信部と受信部の位置を正確に合わせる必要がない。しかし、ノイズに弱い、ハードウェアが複雑になる、といった欠点がある。

- アクティブ

PC向け無線LANやセンサノード間の通信に用いられている方式である。送受信両端末が電源を有し、通信速度は数100kbps~数Mbpsである。通信範囲は数m~数10m程である。

- パッシブ

主にRFIDタグやICカードなど非接触メモリに使われている方式である。外部からの電磁波を電源として利用するため、電池のような電源を用意する必要がない。そのため、半永久的な利用が可能だが、通信範囲が調節できず、また一般的な回路の駆動には別途電源が必要となる。

## 第5章 実装

本章では、本研究におけるセンサシステムである“VITAL”システムの実装について述べる。

## 5.1 実装

本研究は Embedded Information 環境を実現するにあたり必要となるセンサシステムのプロトタイプ実装を行った。前章で述べた要件を見たすハードウェアを実装し、Embedded Information 環境の有用性を検証するためのプロトタイプとした。

表 5.1: 実装環境

CPU	AVR90S2313 10MHz
使用言語	AVR アセンブラ
実装形態	紙エポキシ片面基板

今回、各デバイスの実装には表 5.1 に示した環境を利用した。マイコンを利用した回路を独自に設計し、Embedded Information 環境を構成するそれぞれのハードウェアを実装した。

## 5.2 回路構成

各ノードの実装にはワンチップマイコンである ATMEL 社の AT90S2313 を用いることで回路を単純にした。また、ファームウェアを書換える事で動作の変更が可能であることから大幅なデバッグ期間の短縮ができた。

AT90S2313 はコンピュータに必要な CPU, メモリ, 様々な入出力装置をワンチップに収めている。AT90S2313 の構成を図 5.1 に示す。環境ストレージとして利用する際に必要となる SRAM, リーダとして利用する際に必要となる UART, を内蔵している。センサノードとして利用する際に必要となる A/D コンバータは内蔵していないが、アナログコンパレータを利用して少い外付け部品で積分型 A/D コンバータを構成することが可能である。

## 5.3 環境ストレージ

センサノードからの環境情報を蓄積し、リーダの要求に応じて環境情報を提供する記憶ノードである。センサノードやリーダと通信を行うための赤外線送受信部と環境情報を記録するメモリを備える。容量は 200byte を割当てた。

通信プロトコルは将来的に電源を必要としないパッシブ無線ノードとすることを考慮した。パッシブ無線ノードは自ら通信を開始できず、他者からのアクセスを待つことしかできないという制約がある。このため、本実装では赤外線を用いた半二重通信となっているが、環境ストレージ側から通信を開始することは無く、常にセンサノード、あるいはリーダから通信を開始することとした。

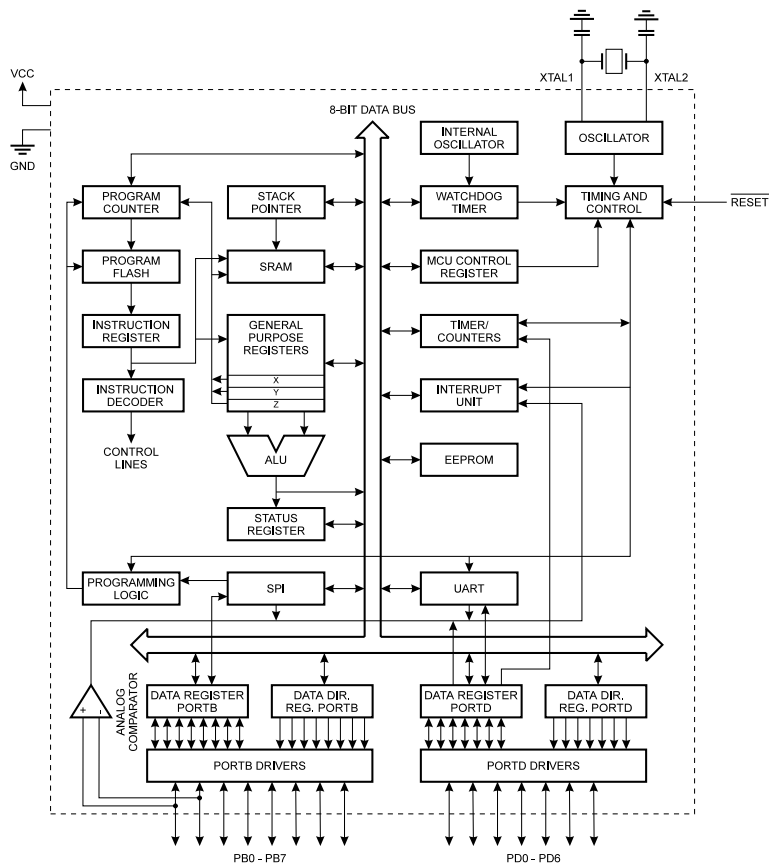


図 5.1: AT90S2313 ブロックダイアグラム

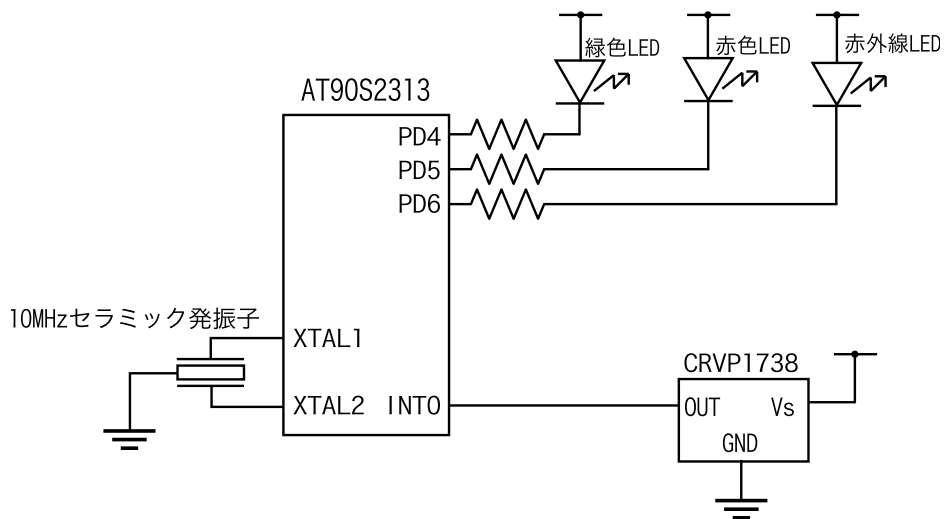


図 5.2: 環境ストレージ回路図

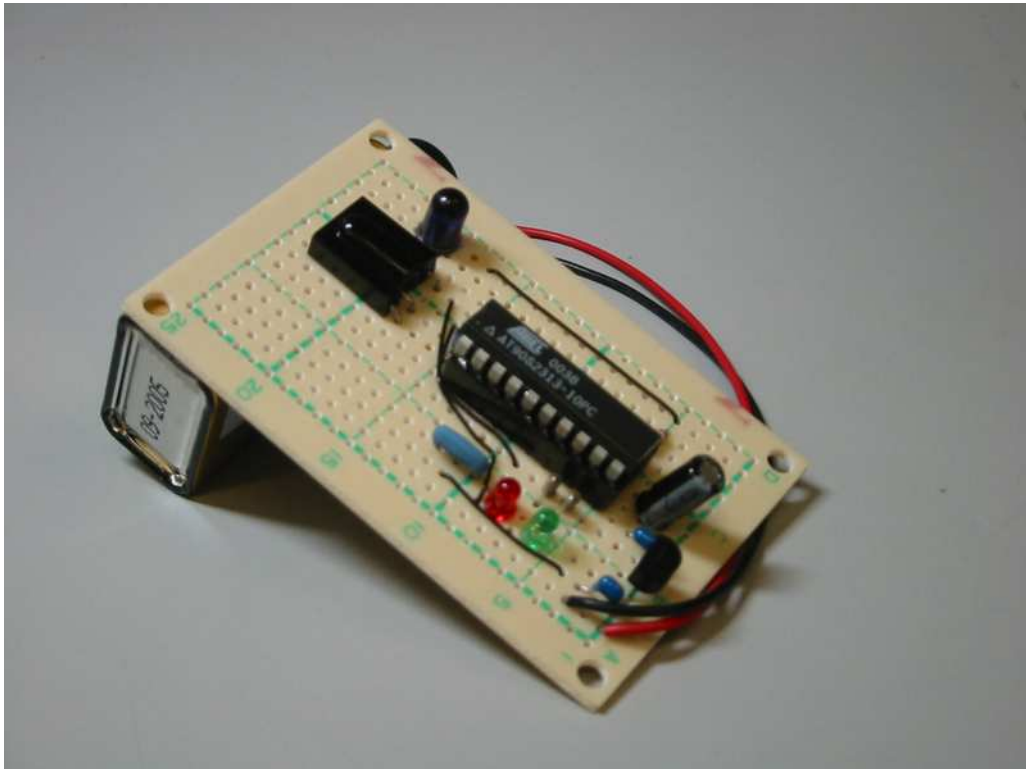


図 5.3: 環境ストレージ 実装例



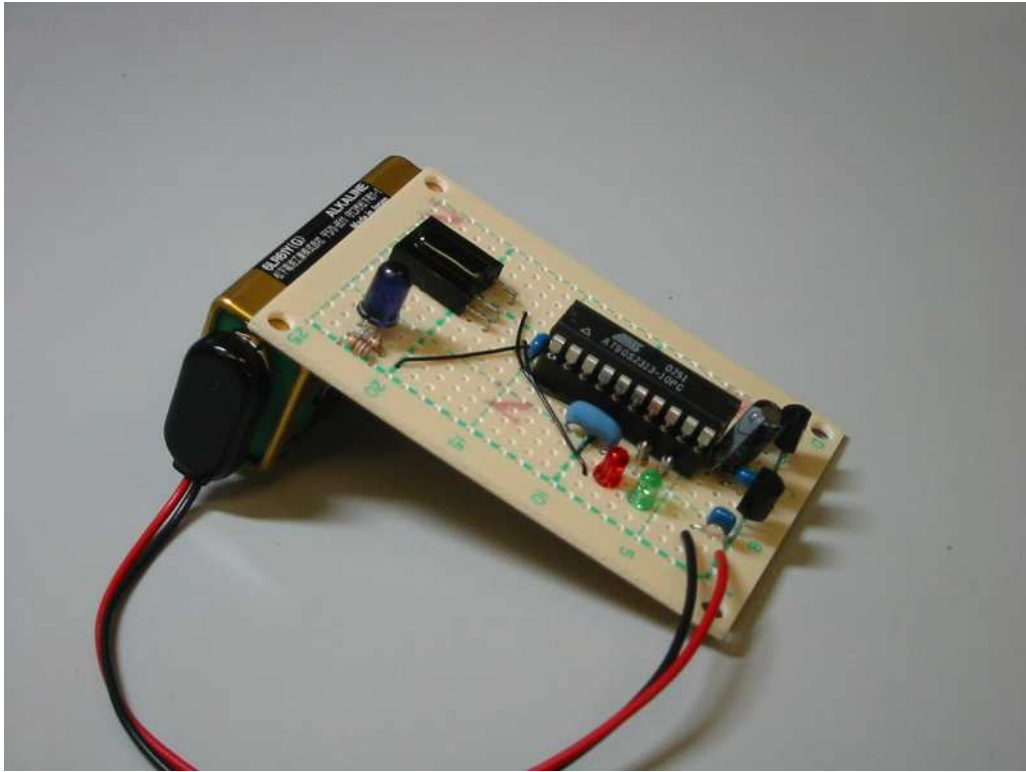


図 5.5: センサノード 実装例

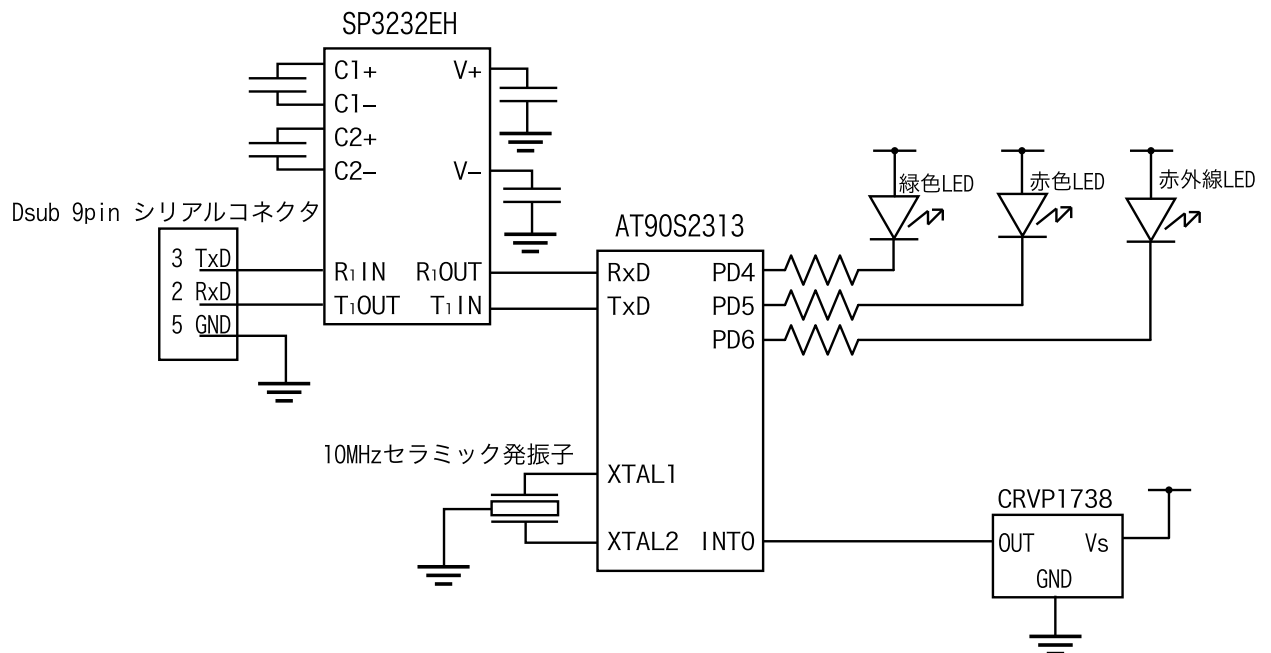


図 5.6: リーダ部 回路図



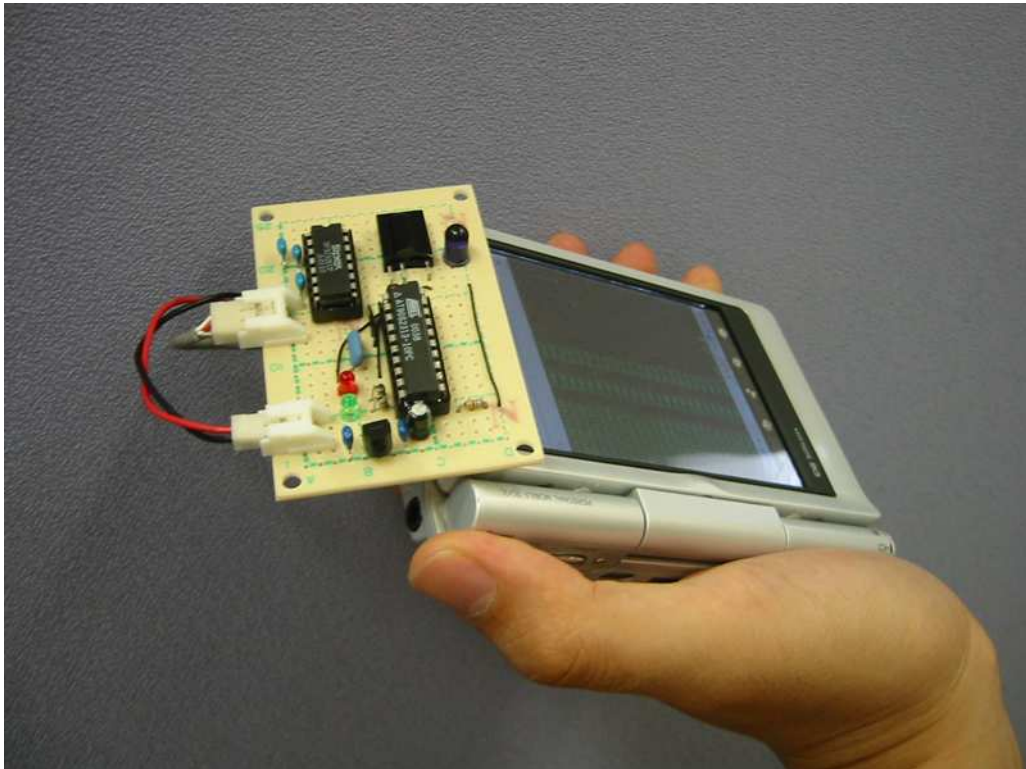


図 5.7: ユーザ デバイス 実装例

## 第6章 評価

本章では“VITAL”システムの評価, プロトタイプを用いた基本性能の評価を行う.

## 6.1 基本性能の測定

リーダと環境ストレージ間、また、センサと環境ストレージ間で利用される近接無線通信機能について、その信頼性の評価を行なった。

### 6.1.1 測定環境

測定を行ったハードウェアおよびソフトウェア環境を表 6.1 に示す。また、測定環境を図 6.1 に示す

表 6.1: 測定環境

環境ストレージ		プロトタイプ 1 基
リーダ		プロトタイプ 1 基
リーダ側 PC 環境	CPU	Pentium 4 2.8CGHz
	主記憶	1024MByte
	OS	FreeBSD 4-STABLE

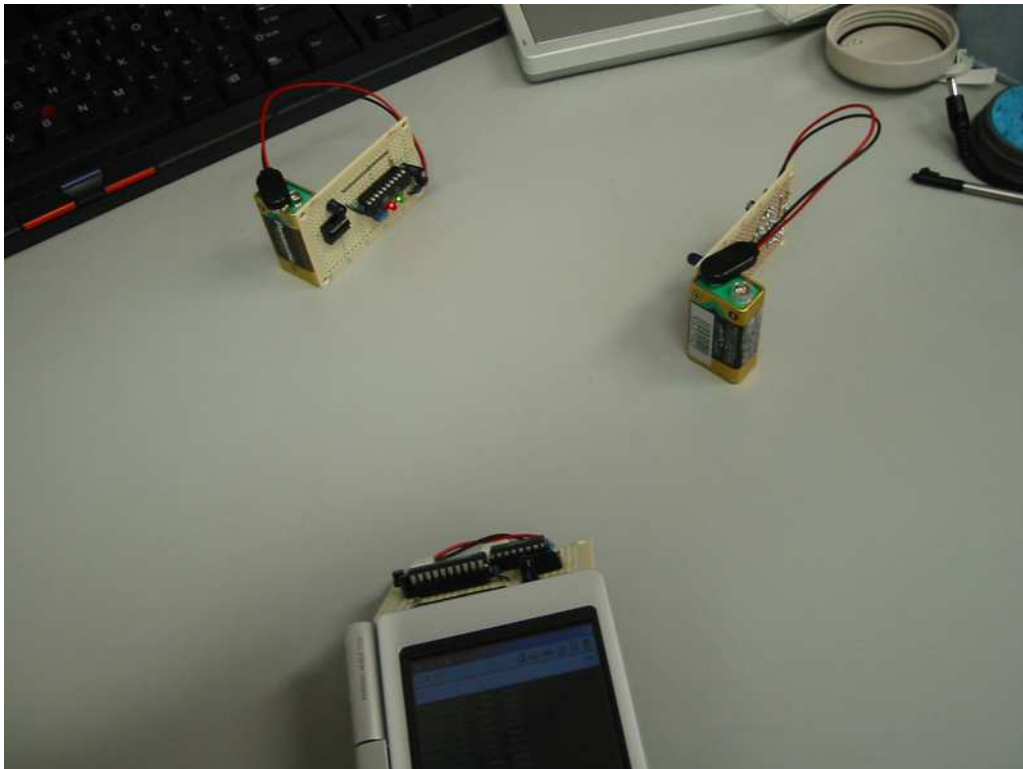


図 6.1: 実験環境

## 6.1.2 信頼性の評価

本研究のプロトタイプでは近接無線通信機能として 38kHz で変調した赤外線による通信を採用している。この通信の信頼性は以下のような要因によって変化する。

- 外来ノイズ  
赤外線は家電のリモコンや通常の太陽光などにも含まれているため、これがノイズとして本システムの通信を妨げる可能性がある。
- コリジョン  
赤外線は電波と異なり、複数の周波数を使い分ける事ができない。そのため、本システム内において、複数のセンサノードが同時に通信を開始した時などには、情報が欠落する。
- 信号強度  
送信信号を強くすることで受信時の S/N 比を上げる事ができる。

本測定では、リーダーと環境ストレージの間で信頼性の測定を行った。対向する2ノード間の距離を変化させ、データの送受信を行い、通信エラーの発生する割合を調べた。

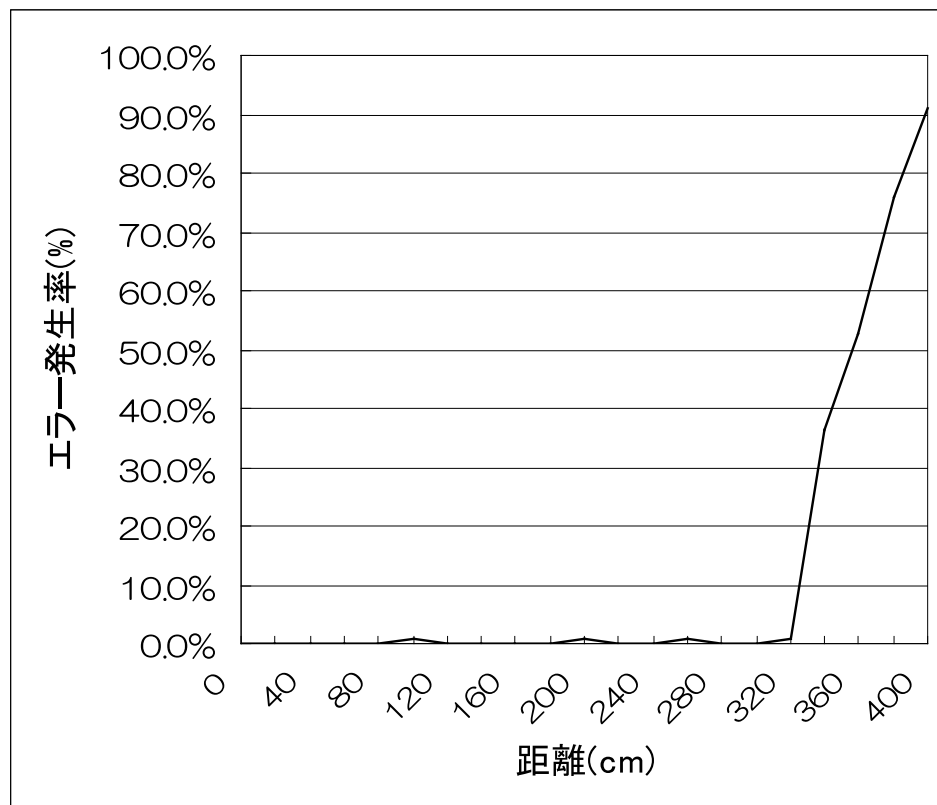


図 6.2: 距離に対するエラー率の増加

この測定では 340cm から急激に通信エラーが増加した。このことから、通信エラーは距離に比例して増加するのではなく、一定範囲内では確実な通信が行われ、範囲を外れると通信ができなくなるという事が言える。本システムは通信範囲にある情報を周辺環境情報として利用する。今回の測定によって明かになった特性はこの目的に適していると言える。

## 第7章 結論

本章では，本研究の今後の課題について述べ，最後に本論文のまとめを行う．

## 7.1 今後の課題

ここでは VITAL システムの課題として今後検討すべき項目について述べる。

### 7.1.1 通信方式の検討

本システムは赤外線による近接通信方式を採用したが、近接通信には様々な方式がある。しかし、それぞれ、設置性、消費電力、利便性など一長一短である。今後、様々な通信方式を利用したデバイスを試作し、実験を行うことで、Embedded Information 環境に適した通信方式を検証していく。

### 7.1.2 センサノードのモジュール化

実空間の様々な状況を捉えるセンサデバイスには様々な種類があり、今後も多様化していくことが想定される。一方でセンサノードの通信機能は共通の仕様で実現されるべきものである。センサノードのセンサ機能と通信機能を別モジュールとすることで、より多くのセンサデバイスを Embedded Information 環境で利用することが可能になると考えられる。

### 7.1.3 ハードウェアの接続性

本システムは、PC や PDA、あるいは家電といった様々なデバイスから利用される事が考えられる。このため、様々なデバイスに接続可能なインターフェイスが必要となる。

### 7.1.4 ソフトウェアインターフェイスの整備

ユビキタスコンピューティング環境はサービス合成や、ユーザ認証など様々なミドルウェアが動作している。このようなミドルウェアから本システムを利用するためのインターフェイスの提供が必要となる。

## 7.2 本論文のまとめ

本論文ではユビキタスコンピューティング環境におけるセンサ環境である Embedded Information 環境を提案した。また、Embedded Information 環境において欠くことのできないセンサシステムである“VITAL”の設計とプロタイプの実装、評価を行った。環境情報を実空間に埋め込む本システムによって、周辺状況の変化に適応したサービスを実現できる。

現在、研究段階であるユビキタスコンピューティング環境を広く実用化させるために

は、ノードを固定的に設置する必要のあるセンサシステムは適さない。本システムは柔軟なセンサの配置を実現しており、今後その重要性が増していくものとする。



# 謝辞

本研究の機会を与えてくださり、ご指導を賜りました慶応義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士に深く感謝いたします。

慶応義塾大学徳田・村井・楠本・中村・南合同研究会の先輩方には折りにふれ貴重な指導と助言を頂きました。特に、徳田研究室の先生方や先輩方、HORN 研究グループの方々に深く感謝いたします。また、岩本 健嗣 氏，青木 俊 氏，鈴木 源太 氏，由良 淳一 氏，神武 直彦 氏，柳原 正 氏 にはあらゆる形での御協力をいただき、また丁寧なご指導をを賜りました。

最後に、本研究を通じて様々な経験や刺激を受ける機会を頂きましたことに、深く謝意を表します。

平成 16 年 1 月 6 日  
幸田 拓耶

## 参考文献

- [1] Jason Hill, Robert Szewczyk, Alec Woo, Seth Hollar, David E. Culler, and Kristofer S. J. Pister. System architecture directions for networked sensors. In *Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, pp. 93–104, 2000.
- [2] Brett Warneke, Matt Last, Brian Liebowitz, and Kristofer S. J. Pister. Smart dust: Communicating with a cubic-millimeter computer. *Computer*, Vol. 34, No. 1, pp. 44–51, 2001.
- [3] Andy, W., Alan, J. and Andy, H.: A New Location Technique for the Active Office, *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, IEEE, pp. 42–47 (1997).
- [4] Roy, W. and Andy, H.: Active Badges and Personal Interactive Computing Objects, *IEEE Transactions of Consumer Electronics*, pp. 91–102 (1992).
- [5] Nissanka, B, P., Anit, C. and Hari, B.: The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications, *Proc.7th ACM MOBICOM* (2001).
- [6] Auto-ID Center.: Auto-ID Center. <http://www.autoidcenter.org/>.
- [7] CENTER, U. I.: UBIQUITOUS ID CENTER. <http://www.uidcenter.org/>.
- [8] AT&T Laboratories: Sentient Computing Project. <http://www.uk.research.att.com/spirit/>.
- [9] Okoshi, T.: Smart Space Laboratoty Project: Toward the Next Generation Computing Environment, *IWNA2001* (2001).
- [10] Joshua Lifton, Deva Seetharam, M. B. and Paradiso, J.: Pushpin Computing System Overview: A Platform for Distributed, Embedded, Ubiquitous Sensor Networks, *Pervasive 2002*, pp. 139–151 (2002).