

修士論文

無線 LAN と IC タグを用いた
医療機器稼働状況の把握



平成 25 年度
三重大学大学院 工学研究科 物理工学専攻

松月正樹

目次

第1章 序論.....	4
1.1 背景.....	4
1.2 概要.....	5
第2章 医療機器管理における現状.....	6
2.1 医療機器管理方法.....	6
2.2 適切な保守および資産管理.....	6
2.3 医療機器の位置情報管理.....	7
第3章 医療機器位置情報・稼働状況検出システム.....	8
3.1 三重大学医学部附属病院で利用されている無線LAN.....	8
3.1.1 無線LANアクセスポイントの設置状況.....	8
3.1.2 無線LANアクセスポイントの仕様.....	9
3.2 医療応用されているICタグ規格の比較.....	10
3.3 位置情報検出の方式.....	11
3.4 システムの構成.....	11
3.5 ICタグの仕様と機器への装着.....	12
3.6 ICタグの運用設定.....	13
3.7 稼働情報の出力.....	14
第4章 電源ON/OFF検出機能付きICタグによる医療機器稼働状況把握.....	15
4.1 目的.....	15
4.2 輸液ポンプ本体履歴との照合.....	15
4.3 輸液ポンプ稼働時間分布.....	17
4.4 各部門における輸液ポンプ稼働率分布.....	17
4.5 輸液ポンプ累積稼働時間.....	20
第5章 ICタグ位置推定精度の送信チャンネル数依存性.....	21
5.1 目的.....	21
5.2 送信チャンネル数と電池消耗.....	21

5.3 送信チャンネル数と位置推定精度.....	22
5.3.1 システムによる位置推定精度算出方法.....	22
5.3.2 位置推定精度の比較.....	27
5.4 送信チャンネル数と受信アクセスポイント数.....	28
5.5 受信 ch の分布	29
5.6 運用における送信チャンネル数の選定.....	30
第6章 位置推定精度向上の試み.....	31
6.1 目的	31
6.2 ch1, 7, 13 を組合せた時の位置推定精度の比較	31
6.3 ベイズ推定の手順.....	32
6.4 学習データの取得.....	33
6.5 ベイズ推定の結果	35
6.6 現運用システムとの比較.....	37
第7章 結び.....	39
参考文献.....	41

第 1 章 序論

1.1 背景

病院内において医療機器を安全かつ効率的に運用するためには、医療機器管理室による集中管理が必要である。また、計画的な保守も重要であり、機器の所在・稼働状況を常時把握することによって、未保守の機器が長期にわたって貸出状態になる事態を回避しなければならない。そして、資産管理という点においても高額で移動可能な機器のリアルタイムな情報把握は大切である。従来の機器管理システムでは QR コードによる管理を行っていたため、貸出返却時には登録操作が必要であった。そのため、登録時の操作ミス、登録操作後の他部門への流用などにより機器の所在が不明となる場合があった。

こうした中、三重大学医学部附属病院では新病棟開設（平成 24 年 1 月）に伴って無線 LAN を用いた電子カルテ等の医療情報管理システムが導入されることとなった。同システムに用いる無線 LAN を活用し、IC タグを組み合わせた医療機器位置情報検出システムの導入も同時に検討された。本システムの導入において、従来システムとは異なり位置情報が自動的に随時更新されるため、貸出返却時に登録は必要とせず、リアルタイムの位置情報取得が可能となる。医療機器管理において、このような IC タグを用いて機器の所在を取得する取り組みは普及され始めている^{[1]-[8]}。しかし、所在に加え機器の稼働状況を把握する取り組みに関しては^{[9]-[10]}、実用化には至っておらず詳細な報告はなされていない。

1.2 概要

本研究では、ICタグを用いて三重大学医学部附属病院新病棟における医療機器（輸液ポンプ）の稼働状況を把握する試みの結果を報告し、電源ON/OFF検出機能付きタグの有用性を示す。一方で、本システムのタグは電池駆動式であることから電池消耗の問題が避けられない。そこで、タグの電波送信チャンネル数を低減することによって電池消耗の抑制を検討した結果についても、チャンネル数低減で問題となる位置推定精度劣化と併せて報告する。

上述のICタグを用いた医療機器位置情報検出システム導入にあたって、単に位置を検出するだけでなく、機器の稼働状況をも把握できるようにするために、医療機器（輸液ポンプなど）のON/OFF状態を検出する機能を備えたタグを設計した。新病棟では全部で約1000個のタグが機器に取り付けられているが、このうち輸液ポンプおよびシリンジポンプに取り付けられる約350個のタグには機器電源のON/OFFを検出する機能を設けた。その結果、病院内各部門の機器滞在台数だけでなく、機器の稼働率もほぼリアルタイムで把握可能となった。具体的には、例えば病院内全体の平均稼働率が45%程度であることや、輸液ポンプの1回の稼働時間が1時間前後であることなど医療機器管理者にとって大切な情報が容易に取得可能になるとともに、各部門における曜日または時間帯による稼働率変動の全体的な傾向もひと目で把握できるようになった（第4章）。

一方で、各部門においてタグの送信チャンネル数を1から13まで変化させたときのタグの位置推定誤差を評価し、チャンネル数の低減とともに位置推定誤差が増大傾向にあることを確認した（第5章）。つぎに、送信チャンネル数を低減したときの推定誤差の増大を抑える方法としてベイズ理論を用いた位置推定法を検討した。その結果、チャンネル数を1チャンネルにしても推定誤差を4m程度に低減できることなどが明らかになった（第6章）。

第2章 医療機器管理における現状

2.1 医療機器管理方法

病院内における医療機器の管理方法として、医療機器管理室などの中央部門で集中的に機器を管理する「中央管理」と、各部門が独自に管理を行う「分散管理」が存在する。中央管理では、各部門で使用頻度の高い汎用機器を中央部門に集め貸出することで、病院内の効率的運用を行っていることが多い。医療機器管理を行う中央部門では臨床工学技士が機器の日常点検や定期点検、故障点検などの保守点検の実施を行っており、現場での使用時における事故発生の防止やメンテナンス費用の削減などに貢献している。このように、医療機器の中央管理化に伴い、機種の一統化、運用の一統化、情報の共有化がなされることは、常に整備された安全な機器の使用につながる。

2.2 適切な保守および資産管理

医療機器を安全かつ効率的に使用するためには、適切な保守点検が行われていることが条件としてあげられており、機器の点検を計画的に確実に行うことが非常に重要である。確実に点検を行うためには、中央部門から貸出された機器がどこで使用されているのかを正確に把握し、長期貸出による未点検の機器を安全性の問題で回避しなければならない。また、医療機器は病院の資産であり、機器の統合的な管理を行う臨床工学技士にとって院内のどこに機器が存在するかという位置情報は重要である。

2.3 医療機器の位置情報管理

旧システムではQRコードにて医療機器管理を行っていたため、貸出返却時にはPC上で登録操作が必要であった。そのため、登録時の操作ミス、他部署への流用による貸出登録時の内容との不一致などの問題点も発生した。今回の新システムの導入に伴って、位置情報が自動的に随時更新されることで、貸出返却時に登録は必要とせず、所在不明な医療機器搜索の手間の省力化を目指した。

このように「誰が、いつ、どこに貸した」という情報は不必要となり「いまどこにあるか」の情報だけ必要とすればよいというシステムを構築することとする。

第3章 医療機器位置情報・稼働状況検出システム

3.1 三重大学医学部附属病院で利用されている無線 LAN

3.1.1 無線 LAN アクセスポイントの設置状況

三重大学医学部附属病院新病棟・診療棟でのアクセスポイントは約400台設置されており、例えば6Fにおいては約3500m²に対し39台のアクセスポイントが配置されている(図1)。

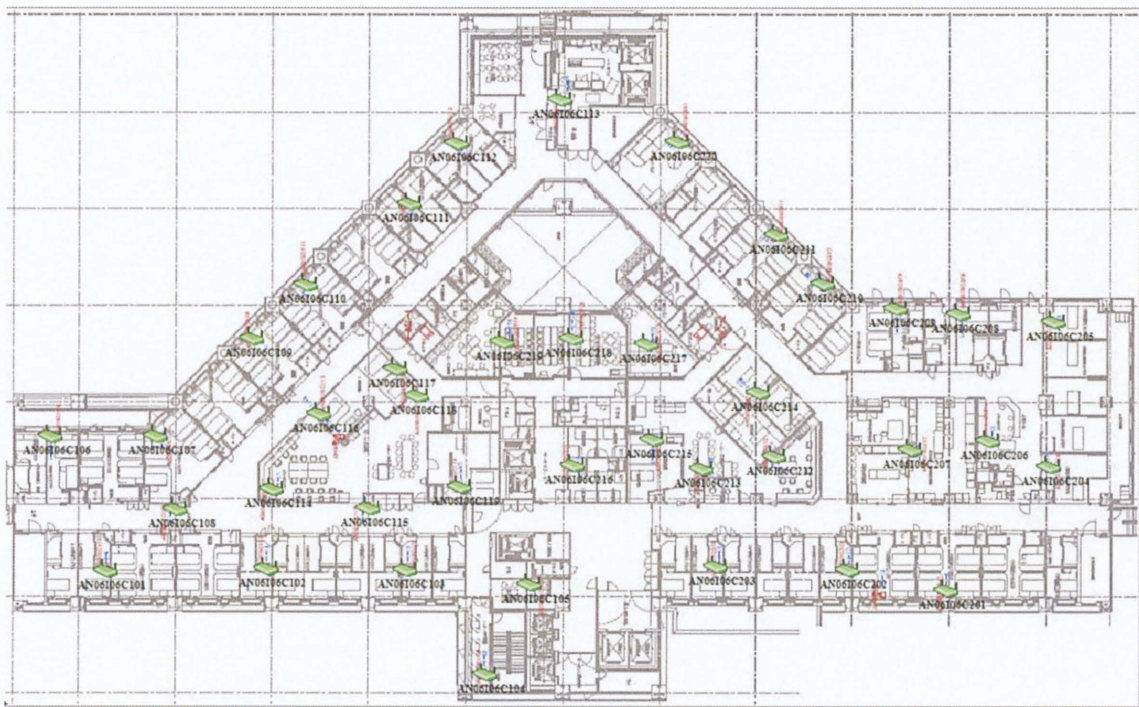


図1 無線 LAN アクセスポイント設置図面

3.1.2 無線 LAN アクセスポイントの仕様

無線 LAN アクセスポイントの主な仕様を表 1 に掲げる。設置されている無線 LAN アクセスポイントは全機 ARUBA 社製 AP-105 を使用している。

表 1 無線 LAN アクセスポイントの主な仕様

寸法	132mm×135mm×45mm
規格	IEEE802.11a/b/g/n
送信出力	最大 23dBm
アンテナ	2×2MIMO 対応結合型全方向性ダウンチルト・アンテナ



3.2 医療応用されている IC タグ規格の比較

本システム導入にあたり、IC タグを選定した。医療応用されている IC タグ規格の比較を表2に示す。院内の既存の無線 LAN アクセスポイントをリーダーとすることでリーダーを新たに設置しなくてもよい無線 LAN を用いた IC タグを導入することとなった。

内蔵電池の有無 周波数	アクティブ式(有)		パッシブ式(無)	
	無線LAN(2.45GHz)	他周波数帯	13.56MHz	高出力UHF帯
通信距離	○ (数m~数十m)	○ (数m~数十m)	×	△ (~3m)
位置推定精度	△ (±数m)	△ (±3~10m)	○ (タグをかざすため)	△ (±数m)
リーダーコスト	○ (既存無線AP利用)	×	△	△
リーダー設置負荷	○ (既存無線AP利用)	△	△	×
タグコスト	×	△	○	○
タグサイズ	△ (1万円前後)	△ (数千円前後)	○ (数百円前後)	○ (数百円前後)
タグ同時認識	○	○	×	○
センサ取付	○ (可能)	○ (可能)	×	×
水分の影響	×	△	○	×
金属の影響	×	△	○	×
直進性	×	△	○	△
能動的動作	○ (不要)	○ (不要)	×	○ (不要)
電池寿命	△ (1分1回発信3年)	○ (5秒1回発信3年)	- (電池なし)	- (電池なし)
免許申請	○ (不要)	○ (不要)	○ (不要)	×
既存ネットワーク負荷	×	○	○	○
タグ対象物が 人の場合の影響	△ (水分に弱い)	○	○ (リーダーにかざすため無)	△ (水分に弱い)
植込み型医療機器 装着者への影響	△ (リーダーから22cm以内 への近寄り不可)	△ (リーダーから22cm以内 への近寄り不可)	△ (リーダーから22cm以内 への近寄り不可)	×

表2 医療応用されている IC タグ規格の比較

3.3 位置情報検出の方式

IC タグを用いた位置情報検出の方式としては、3点計測方式、エリア検出方式、通貨検知方式などがある（図2）。本システムは、受信信号の電波強度から位置推定を行う3点計測方式を採用することとした。



図2 IC タグを用いた位置情報検出法

3.4 システムの構成

本システムの概要を図3に示す。本システムでは AeroScout 社製の T2 タグおよび T3i (ON/OFF 機能付き) タグを用いている。タグからの電波が WiFi ネットワークでやりとりされ、その受信電波強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) データをもとに、システム管理ソフトウェアである AeroScout™ Positioning Engine がタグの位置座標を算出する。さらには、算出した位置情報に基づいて位置情報管理ソフトウェア AeroScout™ Mobile View がどのフロアのどの部門にタグが存在しているかを出力する。

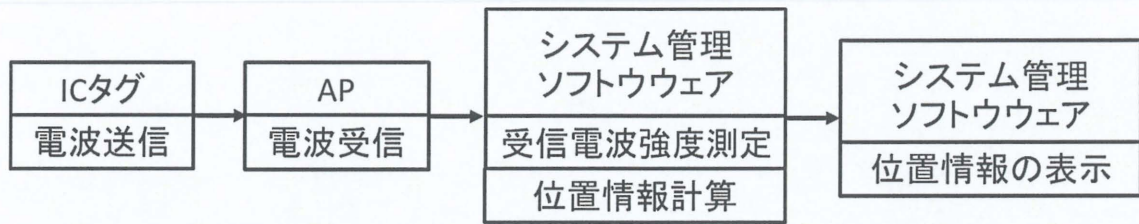


図3 医療機器位置情報・稼働状況検出システムの概要

3.5 IC タグの仕様と機器への装着

タグの主な仕様を表3に掲げる。タグは図4に示すように(a)輸液ポンプ、(b)シリンジポンプ、(c)除細動器、(d)生体情報モニターなどに取り付けている。

表3 タグの仕様

通信範囲	屋外 200m まで
タグ寸法	63mm×40mm×17mm
規格	IEEE802.11b
送信出力	5mW
送信間隔	最小 1sec



(a)輸液ポンプ、(b)シリンジポンプ、(c)除細動器、(d)生体情報モニター

図4 各種医療機器に取り付けられたタグ

3.6 IC タグの運用設定

本システムにおける IC タグの運用設定は、電波を 6 分間隔で送信する。一方、AP は病院全体を無線化するために非常に多く設置されている。AP 同士の干渉を防ぐ必要性があり、コントローラによる AP の一元管理のもと、チャンネルを自動的に切り替えるシステムが導入された。このため、IC タグの専用送信 ch を取得することができず、IC タグを各 AP に確実に受信させるために ch 1~13 のすべての ch を順に送信する設定にした。1 個のチャンネルを送信するには 0.416ms が必要であるため、ch 間の送信間隔は 128ms であるため、1 回の送信時間は 1669ms である (図 5)。

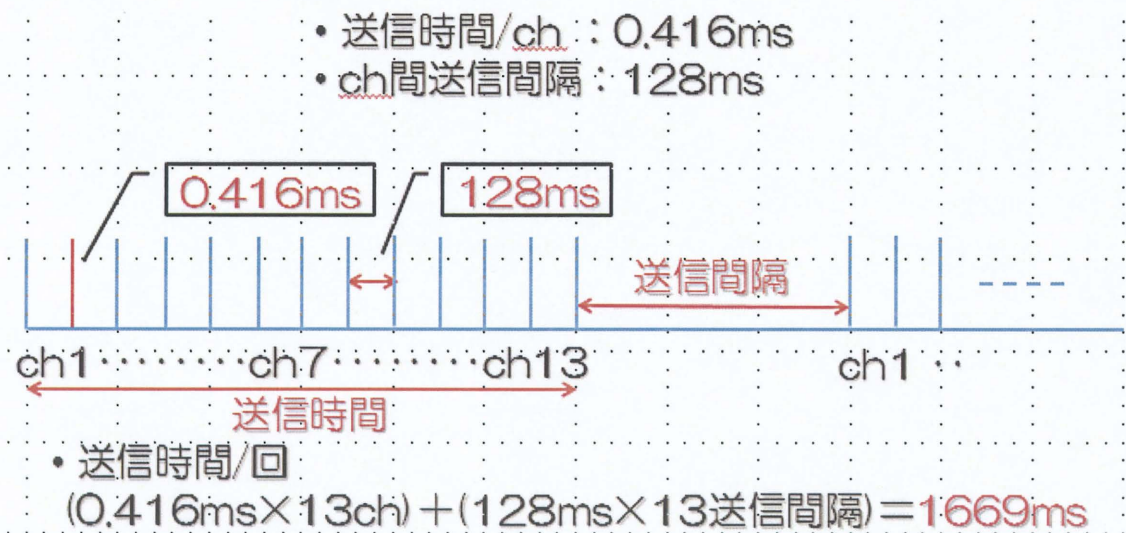


図5 IC タグ電波送信における 1 回の送信時間

3.7 稼働情報の出力

ON/OFF 検出機能付きタグの情報は、本システムでは図6に示すような形で出力される。輸液ポンプの電源が入ると、「タグが接続されました」の文言が、また切れると「タグが外れました」の文言が、それらのイベント発生時刻や場所とともに表示される。

イベントタイプ	イベント名	重要度	詳細	アセット名	ロケーション	日付
テレメトリ検	シリアルタグが接続されました	お知らせ	タグが接続されました(通信ケーブルが接続されましたを"ON"に	0001-00000018	新病棟・診療棟/8F/8N	木 04 4 13 12:26:39
テレメトリ検	start_ac_351	お知らせ	TE351_AC駆動時の運転開始	0001-00000018	新病棟・診療棟/8F/8N	木 04 4 13 12:27:46
テレメトリ検	stop	注意	全てポンプの運転停止(元は運転停止)	0001-00000018	新病棟・診療棟/8F/8N	木 04 4 13 12:53:22
テレメトリ検	シリアルタグが外れ	警告	タグが外れました(通信ケーブルが外れましたを	0001-00000018	新病棟・診療棟/8F/8N	木 04 4 13 12:55:36

図6 ON/OFF 検出機能付きタグから得られる情報の出力例

第4章 電源 ON/OFF 検出機能付き IC タグによる医療機器稼働状況把握

4.1 目的

医療機器の使用状況を評価する項目として「稼働率」が一般的に取り上げられる。しかし、これまで医療機器の稼働率を簡便に算出できる手段がなかった。そこで、本章では電源 ON/OFF 検出機能付き IC タグを用いて医療機器の稼働率を簡便に算出する新たな手法を考案し、医療機器の稼働状況を把握する試みの結果について述べる。

4.2 輸液ポンプ本体履歴との照合

電源 ON/OFF 検出機能付きタグは、輸液ポンプの電源が入ったり切れたりするとそのことを検知してその情報を発生場所や時刻とともに送信する。したがって、任意の時刻において、タグが取り付けられたすべてのポンプについてそれがどこにあり、そこで稼働状態にあるかどうか分かる。このタグを医療機器の外部通信ポートに接続して検出する（図7）。

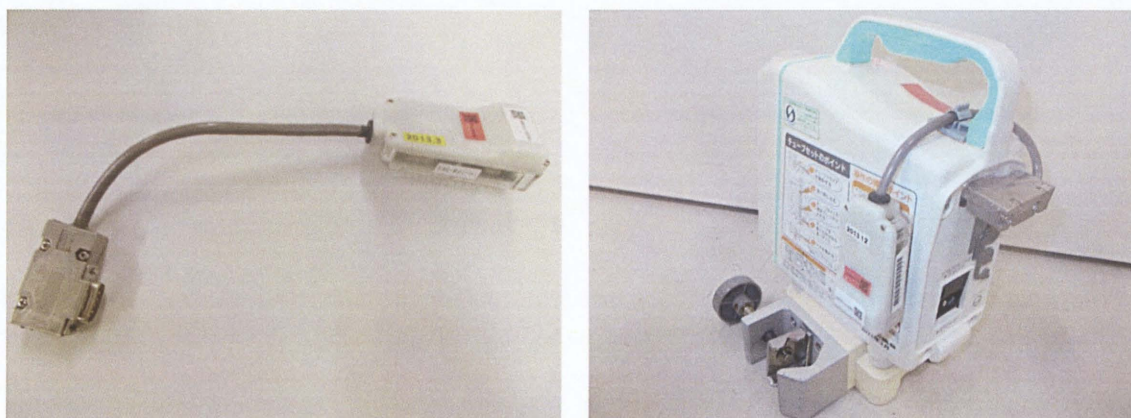


図7(a) ON/OFF 検出機能付きタグ，(b) 医療機器の外部通信ポートに接続したタグ

ここではまず、本システムによる検出結果の妥当性を検証するために、ポンプに残されている稼働履歴と、本システムによって検出されるイベント発生時刻を照合する実験を行った。その結果を図8に示す。この図から、ほとんどの場合、両者の間には2分以内の違いしかないことがわかる。このことから、本システムによってポンプ電源のON/OFFというイベントの発生時刻を実用上、問題なく検出できていると判断して、以後はシステムが算出したデータのみに基づいて議論を行う。

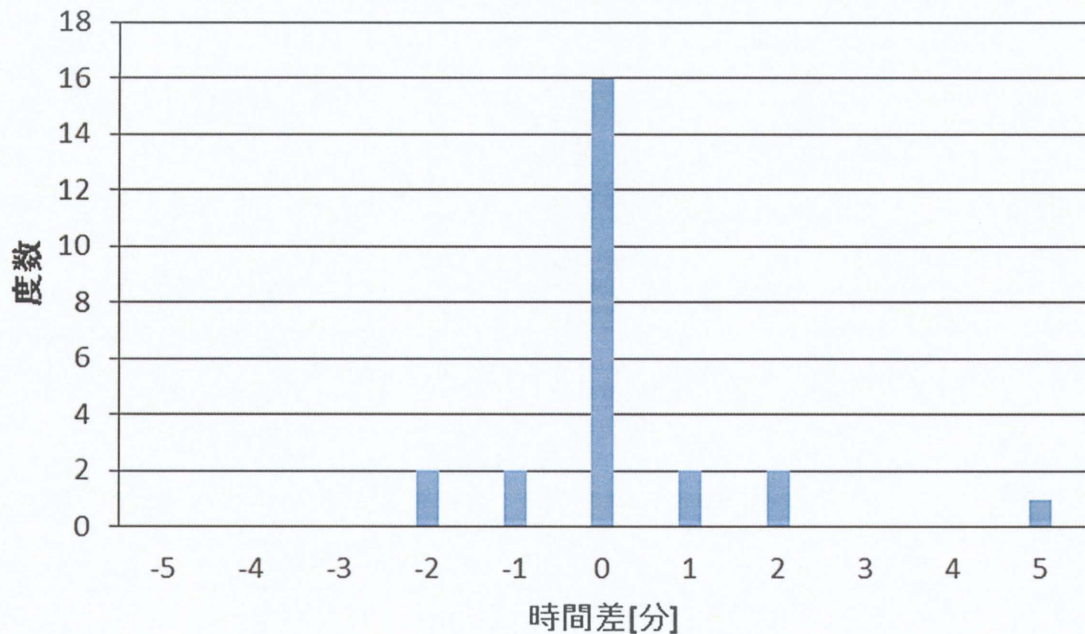


図8 稼働時間測定値の妥当性

4.3 輸液ポンプ稼働時間分布

輸液ポンプは ICU や OPE 室など院内の様々な部署へ必要に応じて医療機器管理室から貸し出しされるが、それらが1回の治療行為でどれだけの時間にわたって稼働しているかを調べた。その結果が図9である。図から、輸液ポンプは治療行為当たり1時間前後にわたって稼働状態にあることが多いこと、しかし中には数日にわたって使用されることもあることなどがわかる。この結果は、タグの送信時間を決める際の参考になる。

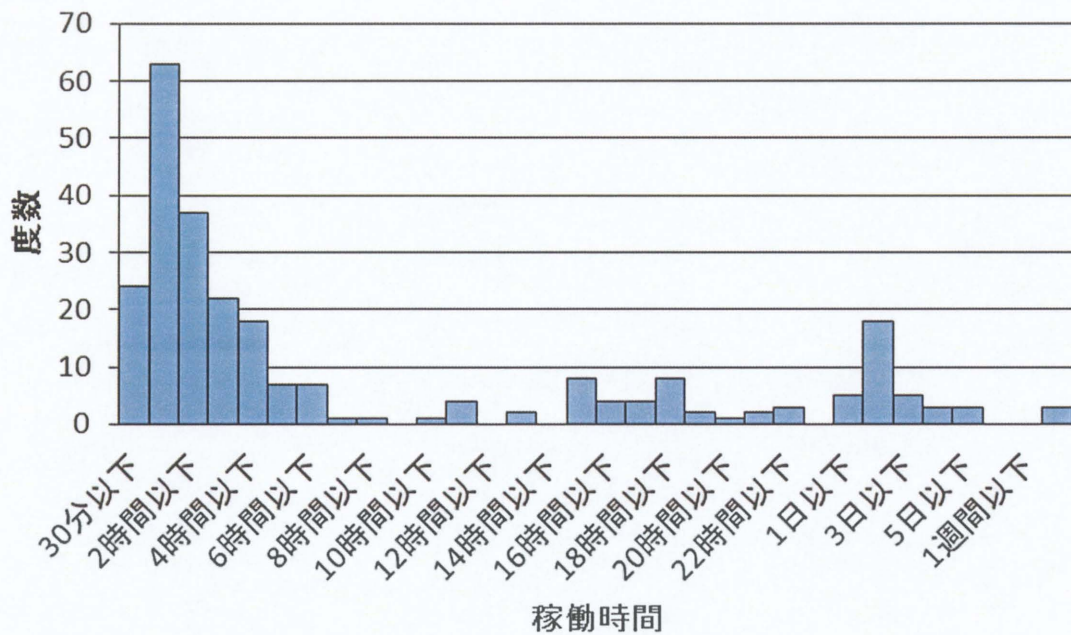


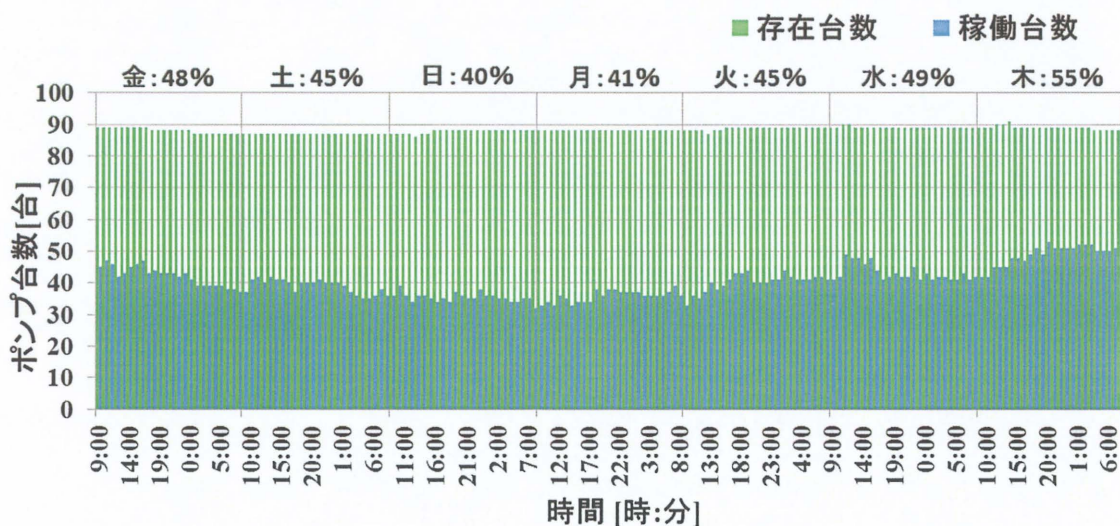
図9 ポンプ稼働時間分布

4.4 各部門における輸液ポンプ稼働率分布

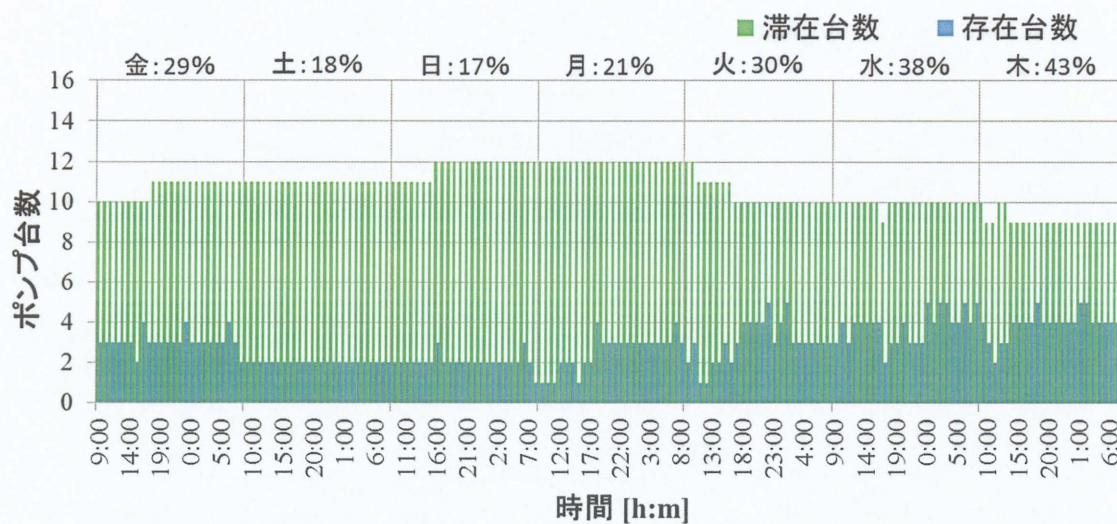
ポンプが各部門で何台使用されているか、あるいは時間帯によってそれがどのように変化するかについて院内の代表的な部門において実態を調べた。ここでは、ON/OFF 機能付きタグを用いて稼働率データをまとめた結果を中心に紹介する。

図 10 は、ポンプの稼働率を、ポンプが配備されている部門すべてについてまとめた結果に加えて、代表的な部門（一例として ICU および 10 階北病棟（10N））についても 1 週間にわたって示している。曜日によって、あるいは時間帯によって稼働率は当然変動しているが、平均的な稼働率は 45%程度であることがわかる。また、これらのグラフからは、各部署で時々刻々どれくらいの数のポンプが配置されていて、そのうちの何パーセントくらいが実際に稼働しているかも一目瞭然に把握できる。各部門には ON/OFF 機能のないタグも多数混在するため図 10 の絶対台数にはあまり意味がないが、全体的な傾向は反映しているものと推察される。

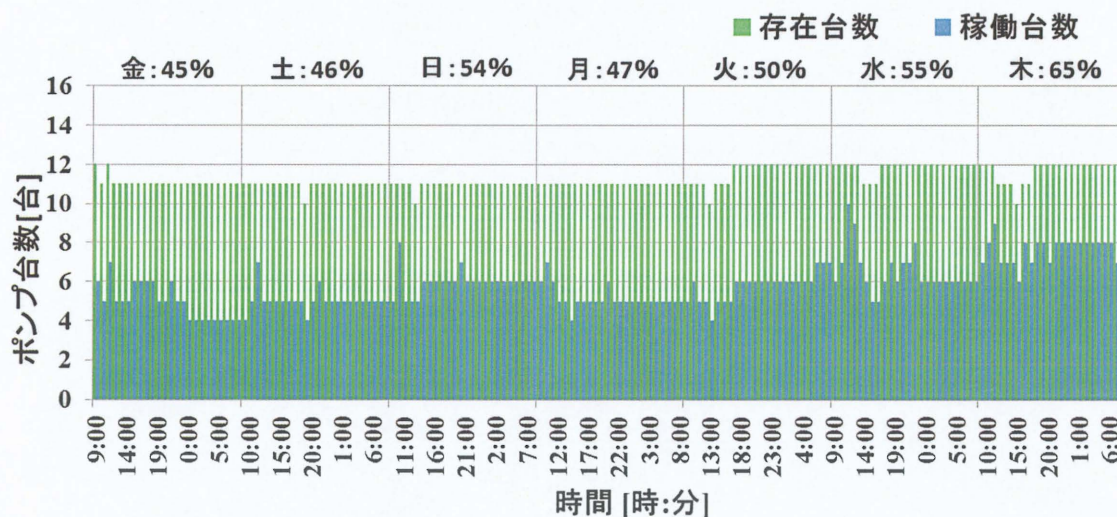
ところで、機器管理の立場からは、部門ごとの台数や稼働率、曜日や時間帯によるその違いなどに関心が持たれる。この点に関して、図 8 からは、たとえば滞在しているポンプのうち実際に稼働している割合は ICU の方が 10N よりも小さいことがわかる。ICU では緊急時に対処する必要性があり、保有機器台数に余裕を持たせたいという事情から、稼働率は他部門よりも低くなっているのではないかという事前の推測を裏付ける結果となっている。



(a)



(b)



(c)

図 10 ポンプの滞在台数および稼働率の変動

(a)全体、(b)ICU、(c)10N

さらに、曜日あるいは時間帯による稼働率の変動を詳しく見ると、10Nにおいては滞在台数と稼働台数がほぼ比例関係にある、すなわち稼働率はそれほど変動していない。これに対して、ICUにおいては稼働台数と滞在台数の間にあまり相関が見られず、むしろ

ろ逆の関係になっている曜日、時間帯もある。これは、10N においては1患者使用ごとに医療機器管理室へ返却し、安全点検を行うという医療機器中央管理の意義がよく理解され、忠実に実行されている現れと考えられる一方で、ICU においては1回の機器稼働時間が特に長いというわけではないにも関わらず、1週間にわたって機器を借りたままになっている実態を反映しているものと考えられる。もちろん、稼働していないことは、その部署にポンプが不要ということをただちには意味しないが、図 10 のようなデータは効率的な機器運用にとって有用な情報になるものと期待される。以上のような考察は、本システムを導入することによって初めて可能となったものであり、非常に有意義な成果と考えている。

4.5 輸液ポンプ累積稼働時間

別の観点として、ポンプごとの1週間にわたる累積稼働時間も調べてみた。図 11 が結果である。一目でポンプごとに稼働時間に大きな偏りのあることがわかる。一度の治療行為が数日など長時間にわたる場合にはやむを得ないものの、決して均等に活用されているとは言えない状況である。本システムを活用した有効な稼働が望まれる。

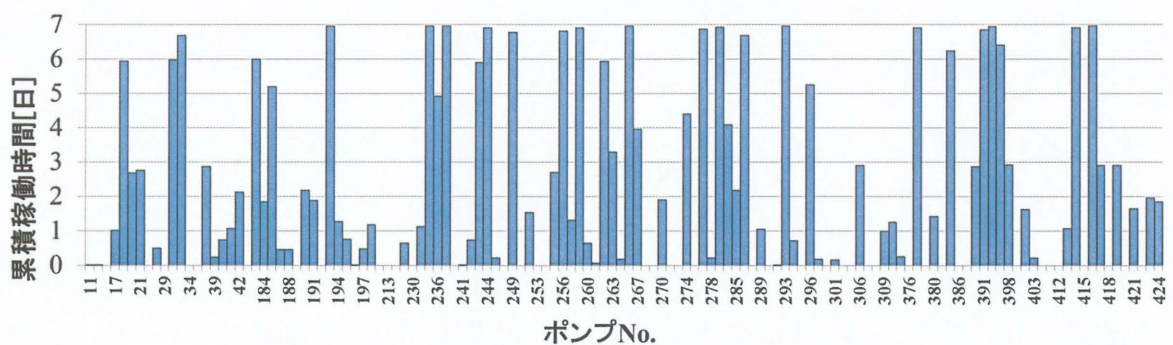


図 11 ポンプごとの累積稼働率

第5章 IC タグ位置推定精度の送信チャンネル数依存性

5.1 目的

医療機器位置情報・稼働状況検出システムを導入するにあたり、医療機器管理業務に IC タグ管理が新たな業務として加わる。本システムのタグは電池駆動式であることから電池消耗の問題が避けられない。タグとアクセスポイントとの通信を確保するために、現状ではタグは ch1 から ch13 まで全部で 13 チャンネルのすべてを使って送信を行っている。送信チャンネル数が多い場合、電池消耗の増大による電池交換の頻度が増加し業務負担となる。そこで、タグの電波送信チャンネル数を低減することによって電池消耗の抑制を検討した。

5.2 送信チャンネル数と電池消耗

図 12 は、送信間隔をパラメータにとって、送信チャンネル数と電池の寿命との関係を示しているが、当然、送信チャンネル数を減らせばタグの電池消耗を抑制することが可能であることがわかる。

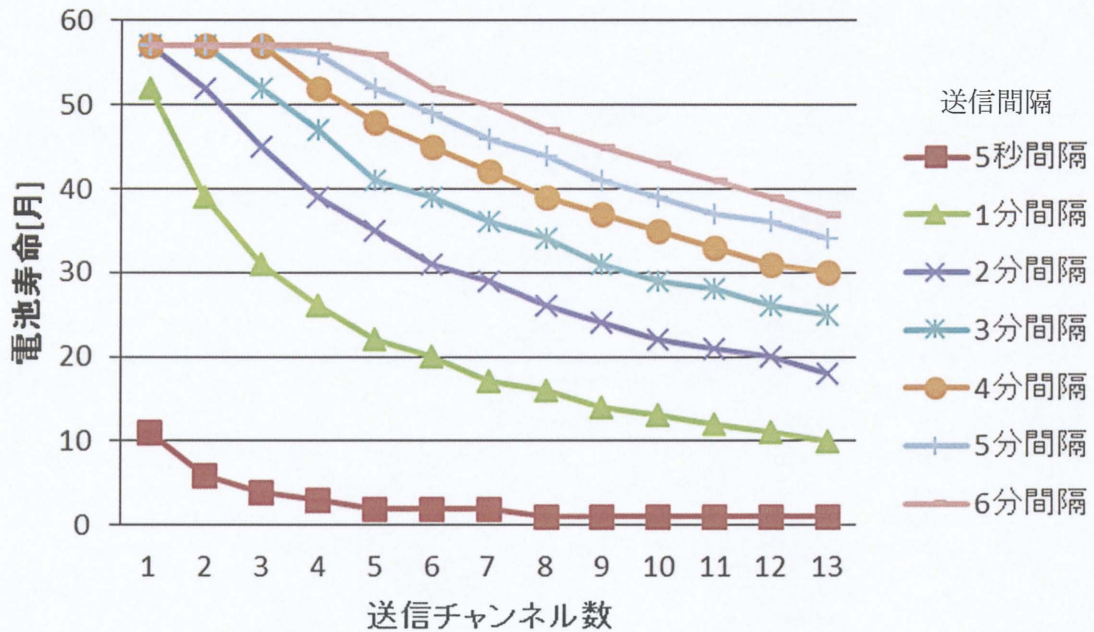


図12 送信チャンネル数と電池寿命の関係

5.3 送信チャンネル数と位置推定精度

5.3.1 システムによる位置推定精度算出方法

本研究の位置推定を行う際は、AeroScout™ System Manager を起動し測定を行う。測定方法の手順と得られる情報について以下に示す（図13）。

1. System Manager を立ち上げる
2. タグを表示させるために Show/Hide ボタンが押されていることを確認
3. タグの検知を開始するために Start/Stop Tag Positioning ボタンをクリック
4. タグが検知されると、タグのリストが表示される
5. レコーディングを開始するために Recorder ボタンをクリック
6. Full Data Transfer File にチェック
7. Total Recording File を測定したい時間に設定
8. Start Recording をクリック

Recording File は、MobileView Server の C:\Program Files(x86)\AeroScout\AeoScout Engine\Recordings フォルダ配下に作成される。

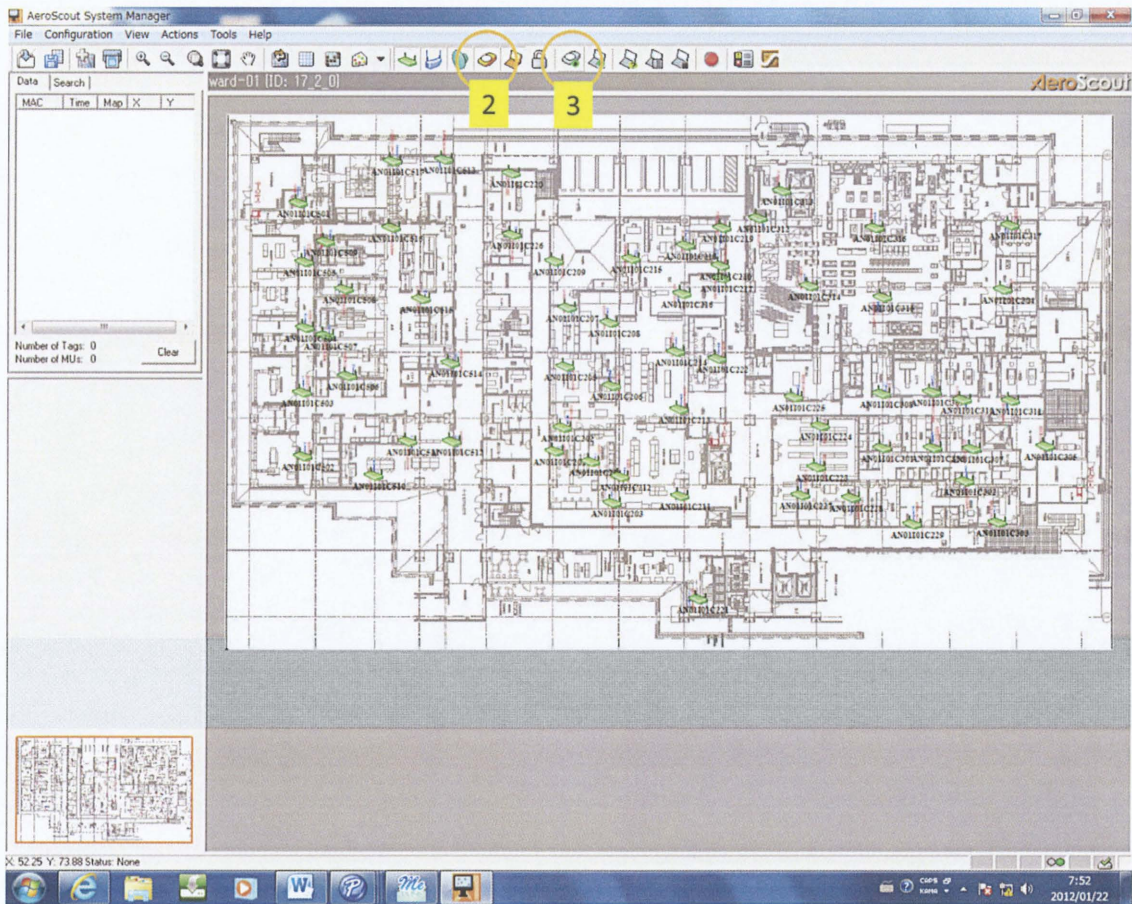


図 13.1 測定手順 2.3

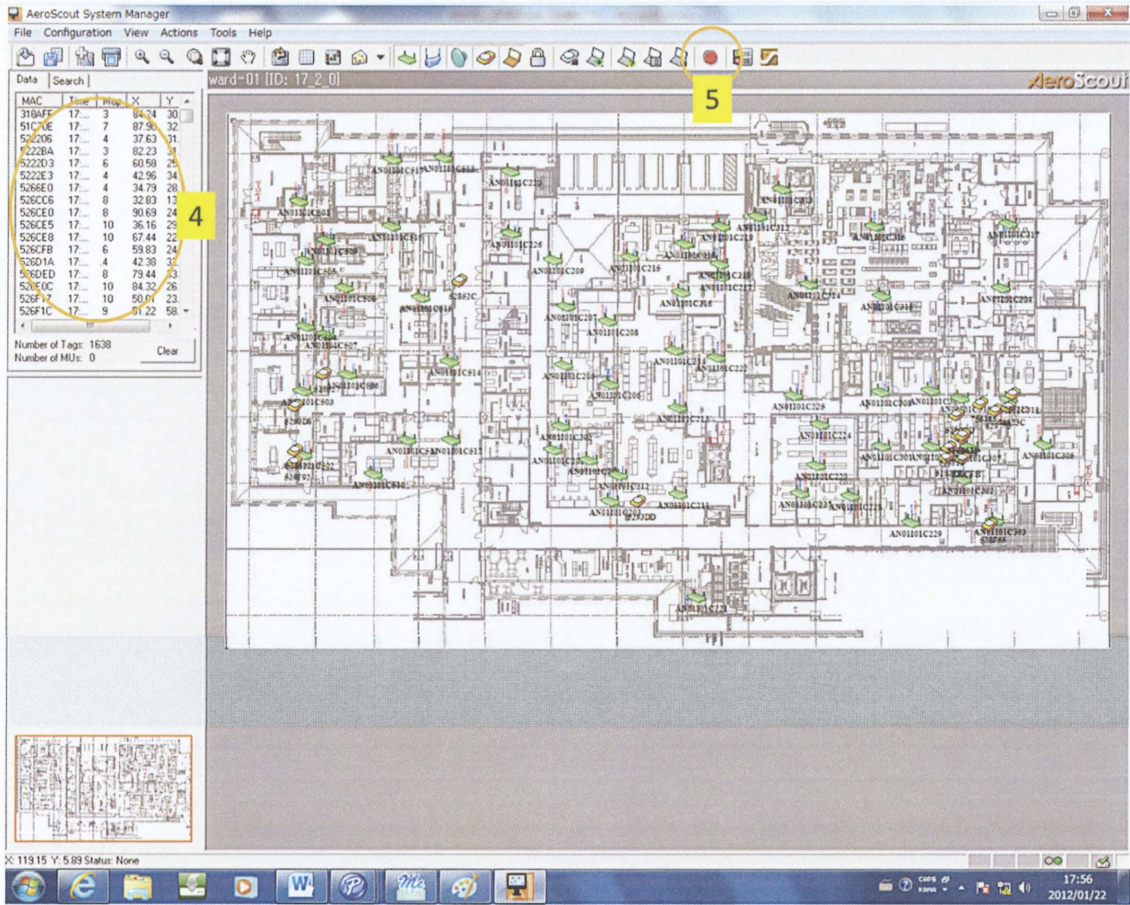


図 13.2 測定手順 4.5

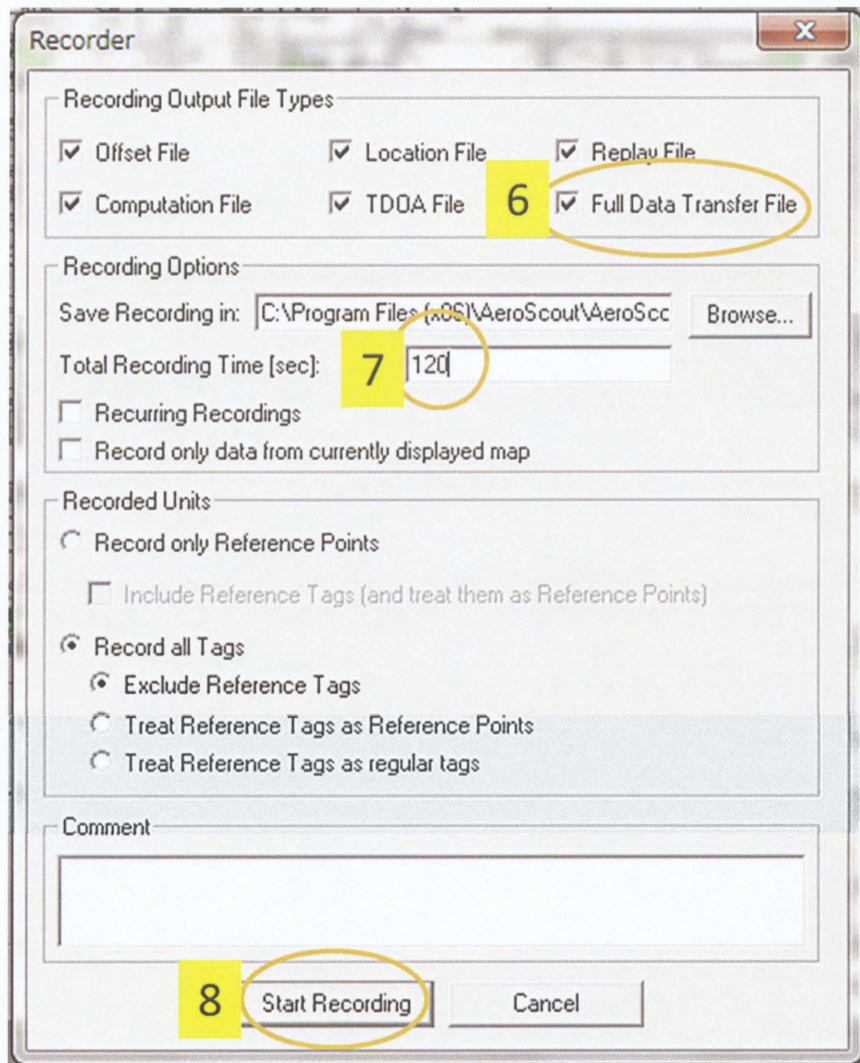


図 13.3 測定手順 6.7.8

測定結果として、タグの MAC アドレスと AP の IP アドレスで対応づけた RSSI を表示する Playback Data.csv、タグの各時間における位置情報を表示する MAPGridLocation1.txt が得られる。各々の一例を図 13.4、図 13.5 に示す。ここで、Playback Data 上の時間は AP が電波を受信し RSSI を取得した時間であり、MAPGridLocation1 上の時間はシステム管理ソフトウェアである AeroScout™ Positioning Engine にて位置座標を算出した時点の時間である。

LineID	Time	Type	Direction	Dev ID	Dev MapID	Vendor	IP	OpCode	MAC	RSSI	Ch	Sec#	Map	Cell	LF Ex	US Ex	Burst#
1	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,146	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-56			10	33	0	0			1V1
2	17/01/201	UNKNOWN	Incoming (0)														
3	17/01/201	From AP	Incoming (i2,357	17,10,0	Aruba	172.31.201.0x09/00	Generic Notification										
4	17/01/201	From AP	Incoming (i2,360	17,10,0	Aruba	172.31.201.0x09/00	Generic Notification										
5	17/01/201	From AP	Incoming (i2,320	17,9,0	Aruba	172.31.201.0x09/00	Generic Notification										
6	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,155	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C07	-68			13	251	0	0			1V1
7	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,124	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C07	-66			13	251	0	0			1V1
8	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,133	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C07	-65			13	251	0	0			1V1
9	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,160	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C07	-76			13	251	0	0			1V1
10	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,141	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C07	-26			13	251	0	0			1V1
11	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,162	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C07	-66			13	251	0	0			1V1
12	17/01/201	From AP	Incoming (i2,154	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C07	-80			13	251	0	0			1V1
13	17/01/201	From AP	Incoming (i2,202	17,5,0	Aruba	172.31.200.0x09/00	Generic Notification										
14	17/01/201	From AP	Incoming (i2,319	17,9,0	Aruba	172.31.201.0x09/00	Generic Notification										
15	17/01/201	From AP	Incoming (i2,332	17,9,0	Aruba	172.31.201.0x09/00	Generic Notification										
16	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,147	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-81			1	129	0	0			1V1
17	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,143	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-74			1	129	0	0			1V1
18	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,123	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-70			1	129	0	0			1V1
19	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,132	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-65			1	129	0	0			1V1
20	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,139	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-84			1	129	0	0			1V1
21	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,158	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-88			1	129	0	0			1V1
22	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,136	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-89			1	129	0	0			1V1
23	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,140	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-58			1	129	0	0			1V1
24	17/01/201	From AP	Incoming (i2,171	17,5,0	Aruba	172.31.200.0x09/00	Generic Notification										
25	17/01/201	From AP	Incoming (i2,240	17,6,0	Aruba	172.31.200.0x09/00	Generic Notification										
26	17/01/201	AP Tag Re	Incoming (i2,142	17,4,0	Aruba	172.31.200.0x05/00	T0000C05	-69			3	48	0	0			1V1
27	17/01/201	From AP	Incoming (i2,34	17,2,0	Aruba	172.31.200.0x09/00	Generic Notification										

図 13.4 Playback Data.csv

時間(エポック秒)	内部コード	MAC ID(10進法)	MAP ID	X座標	Y座標	Z座標
1326781559054	-2	54967570153	17_11_0	77.46	12.99	0
1326781559163	-2	54969848204	17_4_0	39.13	11.68	0
1326781559507	-2	54967569201	17_2_0	95.6	30.77	0
1326781560316	-2	54967568703	17_7_0	69.37	16.01	0
1326781560879	-2	54967574405	17_4_0	39.13	30.18	0
1326781560989	-2	54967562056	17_6_0	77.21	35.53	0
1326781563083	-2	54967562163	17_4_0	36.13	30.06	0
1326781563469	-2	54967570123	17_8_0	27.21	15.27	0
1326781563656	-2	54967563624	17_4_0	37.63	29.68	0
1326781563734	-2	54967569648	17_4_0	37.63	29.68	0

1326781559507 -2 54967569201 17_2_0 95.6 30.77 0
 時間(エポック秒) 内部コード MAC ID(10進法) MAP ID X座標 Y座標 Z座標

- ・エポック秒: 1970年1月1日0時0分0秒(世界標準時)からの秒数
- ・MAC ID (10進法): MACアドレス(16進法)へ変換
- ・MAP ID: 17_2_0,17_3_0,17_4_0: 1,2,3F 他は各階と同じ数字
- ・XYZ座標: MAPの左下を原点した時の座標(単位:m)

図 13.5 MAPGridLocation1.txt

5.3.2 位置推定精度の比較

送信チャンネル数を1から13まで変化させてそのときのタグ位置推定精度を評価した。ここでは、送信間隔を5秒とし、10分にわたって測定した。したがって、全部で約120個の推定位置データが得られる。一例としてch1のみを用いたチャンネル数1の場合の結果を図14に示す。推定位置は推定のたびにかなりばらついているため、ばらつきの大きさを平均二乗誤差平方根 (R.M.S.E.=Root Mean Square Error) で評価することとした。位置推定精度のチャンネル数依存性を評価した結果を図15に示す。図中のCT、ICU、ME、OPEはそれぞれCT室、ICU、医療機器管理室、手術室を表している。CT室を除くと、チャンネル数の低減とともに位置推定精度は低下傾向にあると言える。

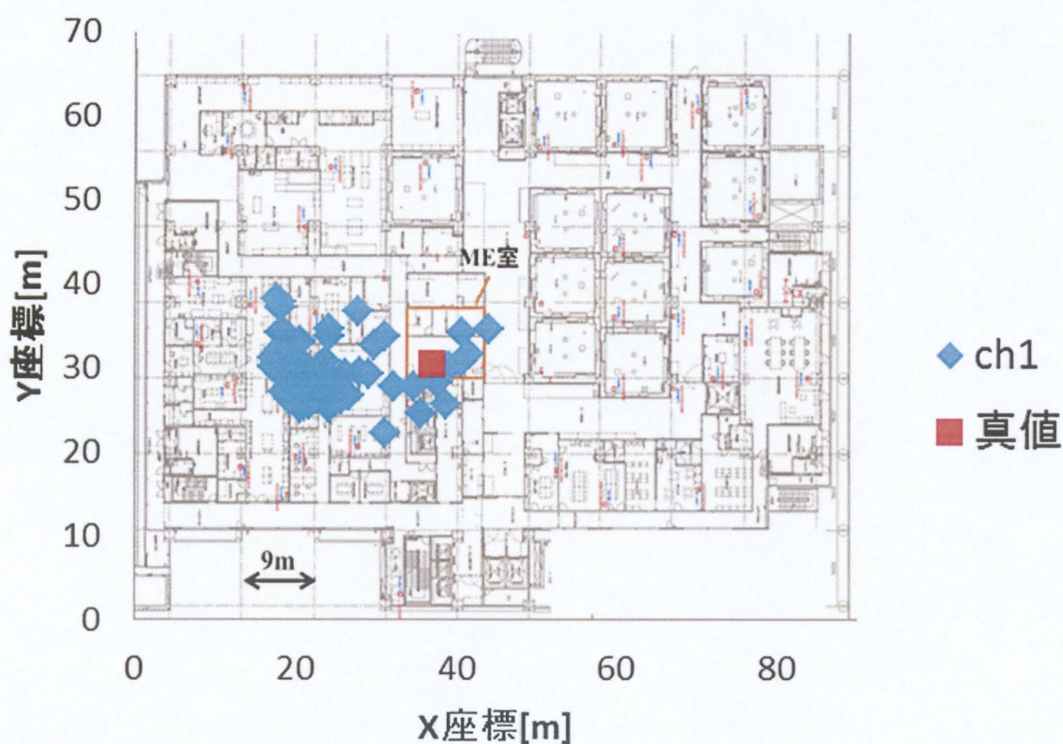


図14 1チャンネル数送信時の推定結果

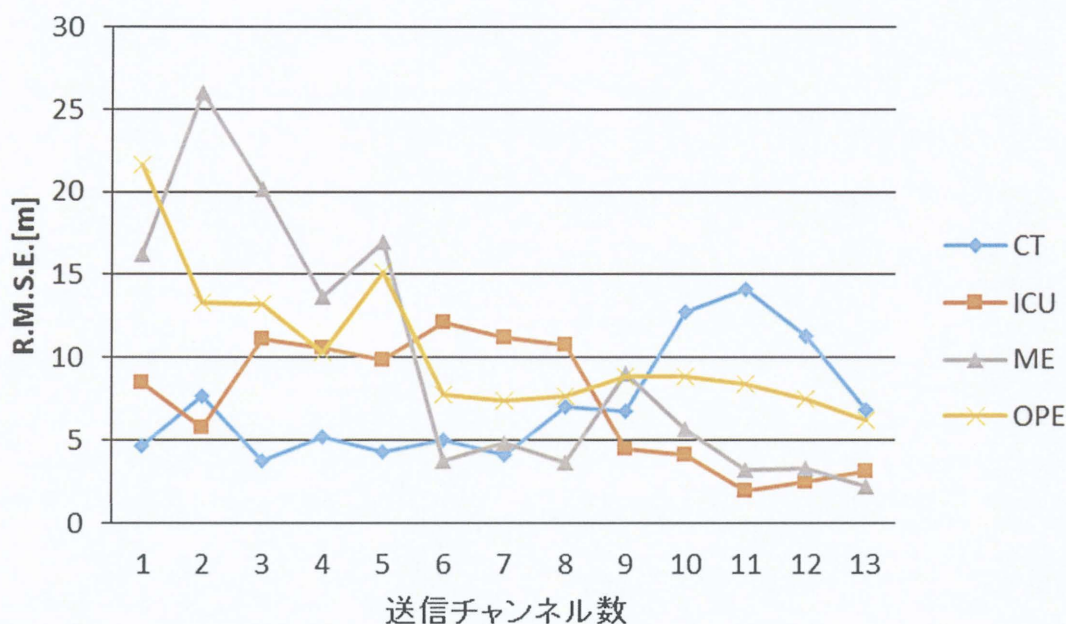


図 15 送信チャンネル数と位置推定精度の関係

5.4 送信チャンネル数と受信アクセスポイント数

送信チャンネル数を低減すると位置推定精度が低下する要因を調べるために、送信チャンネル数を1から13まで変化させてそのときの1回の位置推定に用いる受信AP数を比較した。結果(図16)から、受信したAPの数も送信チャンネル数に依存することがわかる。受信したAPの数は1回の位置座標計算に用いるRSSIの数を示す。つまり、1回の位置座標計算に利用するRSSIの数が位置推定に依存すると考えられる。

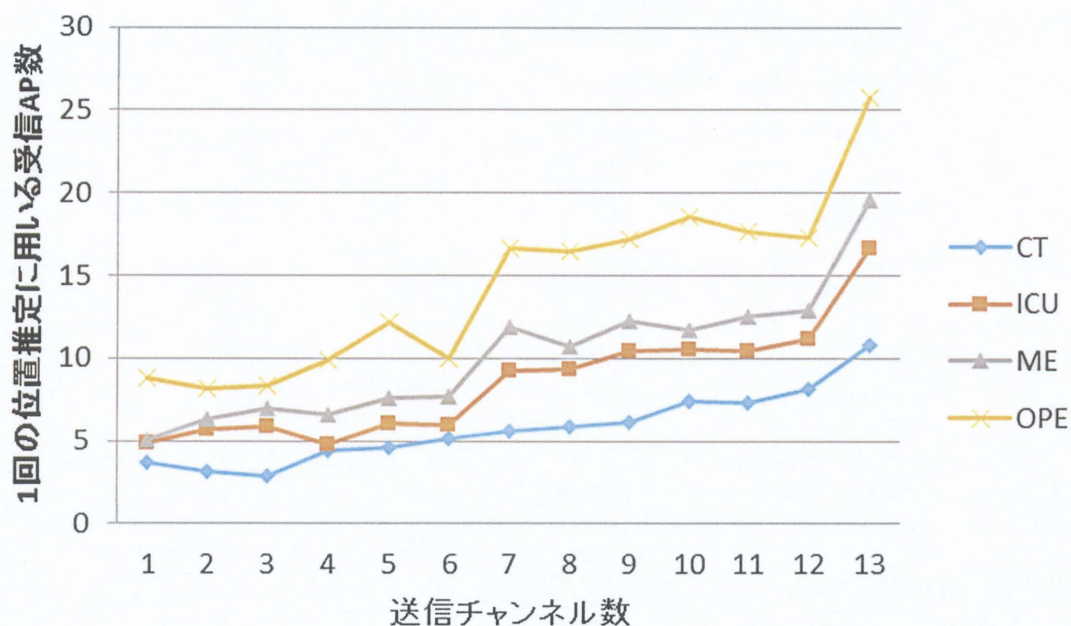


図 16 .送信チャンネル数と 1 回に用いる受信 AP 数の関係

5.5 受信 ch の分布

次に、送信チャンネル数が 13 個の時、受信した ch を調べ、全 AP における受信した ch の分布を算出した。受信 ch の分布を図.15 に示す。受信した ch は ch 1、7、13 だけで約 77% 占めており、受信 ch に偏りがあった。

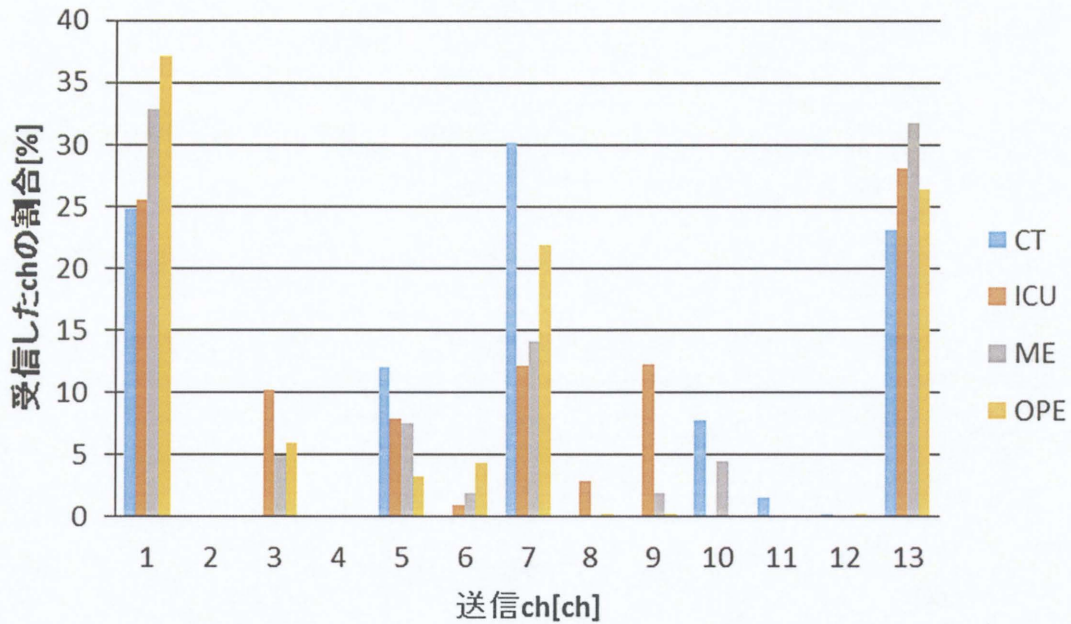


図 17 受信 AP の分布

5.6 運用における送信チャンネル数の選定

位置推定精度の比較および受信 AP 数の比較結果より、位置推定精度は 1 回の位置座標計算に用いる受信 AP 数、つまり送信 ch 数に依存することで、送信 ch 数削減とともに位置推定精度低下することがわかった。しかし、CT 室では室内の壁・扉には鉛の板が設置されており、電波が反射・遮蔽、なおかつ、受信 AP 数が比較的少ないことから位置推定精度は送信 ch 数に依存しない結果となったと推測する。本システムにおいて目標とする位置推定精度では、病室や手術室など約 5m 程度の部屋単位である。この目標は現行システムでは達成できていない。また、受信 ch の分布より ch1,7,13 の 3ch 数設定で運用をした場合、送信チャンネル数を現行設定の 13 個から 3 個に低減することで、電池消費を抑制できると考えられた。

第6章 位置推定精度向上の試み

6.1 目的

現行システムでは、目標とする位置推定精度を達成できない。そこで、本章では、送信チャンネルが ch1,7,13 の 3ch 数設定時、位置推定精度を向上する方法として、ベイズ推定^{[12]-[14]}の利用を検討した。

6.2 ch1,7,13 を組合せた時の位置推定精度の比較

まず、送信チャンネルが ch1,7,13 を組合せて ME 室にて位置推定精度を再度評価した。結果を図 18 に示す。やはり、本システムが目標とする位置推定精度 5m には達していないことがわかる。

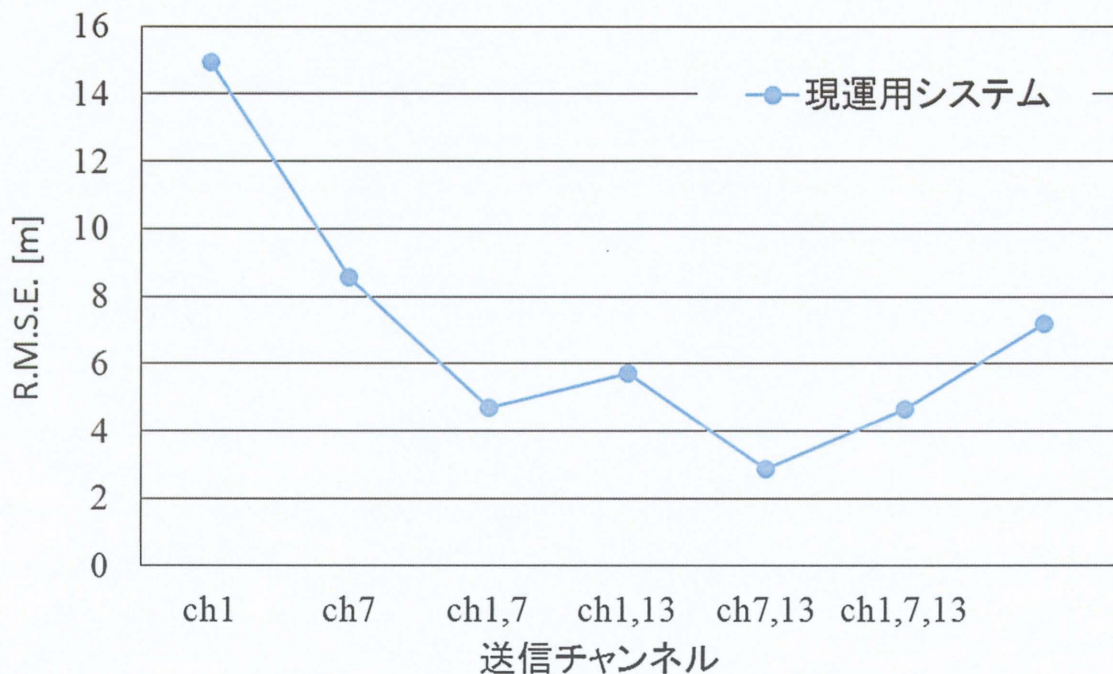


図 18 ch1,7,13 の組合せによる位置推定精度の比較

6.3 ベイズ推定の手順

ベイズの定理は以下で与えられる。

$$P(H|D) = \frac{P(D|H)P(H)}{P(D)} \quad (1)$$

ここで、 D や H は事象であり、 $P()$ は確率を表す。 $P(H|D)$ (あるいは $P(D|H)$) は事象 D (あるいは事象 H) を仮定したときに事象 H (あるいは事象 D) が起きる条件付き確率である。本研究では、 D および H はそれぞれRSSIの値が D であること、およびタグが存在するエリアが H であるという事象に相当している。また、 $P(H|D)$ はRSSIが D であるという条件のもとでタグがエリア H に存在する確率であり、 $P(D|H)$ はタグが H にあるときにRSSIが D である確率である。

つぎに、ベイズの定理を用いた位置推定手順を説明する。まず、対象領域を N 個のサブエリア $H_i(i=1\sim N)$ に分割する。そして、タグをこれらのサブエリアそれぞれに順次置いて、周辺のAPによってそのタグからのRSSIを取得して $P(D|H_i)$ を求める(学習する)。タグが同じ場所にあっても様々な理由でRSSIはばらつくため、 $P(D|H_i)$ は分布を有する。この $P(D|H_i)$ をすべてのサブエリアについて求める。以上で、推定を行うための準備が整う。

つぎに、推定を開始し、各APが最初に受信するRSSIのうち、その値 D が最大であるAPに対してのみ、次式によって $P(H_i|D)$ を計算する。

$$P(H_i|D) = \frac{P(D|H_i)P(H_i)}{\sum_{i=1}^N P(D|H_i)P(H_i)} \quad (2)$$

式(2)においては、タグがサブエリア H_i にあるという事象は異なるサブエリアに対しては排他的事象であることを用いて式(1)の分母を展開している。また、 $P(H_i)$ は最初の推定時点においては情報がないため、各サブエリアにタグが存在する確率 $P(H_i)$ は $1/N$ と仮定する。

こうして、 $P(H_i|D)$ を式(2)に基づいて求めたら、つぎの時刻に各 AP が受信する RSSI のうち、最大の RSSI を受信した AP に対して（前回の AP とは必ずしも同じ AP ではない）、式(2)によって $P(H_i|D)$ を推定し直す。すなわち $P(H_i|D)$ を更新する（ベイズ更新）。このときは、先ほどと違って $P(H_i)$ としては、 $1/N$ ではなく、前回の推定で得られた $P(H_i|D)$ を用いる。

以降、2 回目の推定手順と同様にして、ベイズ推定を繰り返す。そして、所定の回数
の推定あるいは更新が終了したら、そのときの $P(H_i|D)$ をもとに次式によって最終的な
タグの位置を推定する。

$$\hat{r}(x, y) = \sum_{i=1}^N P(H_i|D) r_i(x, y) \quad (3)$$

ここで $r_i(x, y)$ および $\hat{r}(x, y)$ はサブエリア i の中心座標および推定位置を表す位置ベクトルである。

6.4 学習データの取得

上述の手順に基づき、実際に推定を行った。まず、対象とする領域で学習を行う。ここでは、ME 室周辺エリアを図 19 のような一辺が 2~3m の、全部で $N=15$ 個のサブエリア $H_i (i=1, \dots, 15)$ に分割し、各サブエリアの 4 箇所タグを設置して、ME 室周辺に設置されている AP（図中に描かれた A~G の 7 個の AP）の RSSI を取得した。

前述したように、タグからの電波を受信して得られる RSSI はタグが静止していても様々な理由でばらつくため、タグがサブエリア H_i にあるときに各 AP が受信する RSSI の値は分布を有することになる。図 20 にその一例を示す。本研究ではこの分布を正規分布で近似し、この分布に相当する確率分布を $P(D|H_i)$ とした。このようにしてすべてのサブエリアに対して学習を行い、 $P(D|H_i)$ を求めた。



図19 ベイズ推定の学習および測定環境

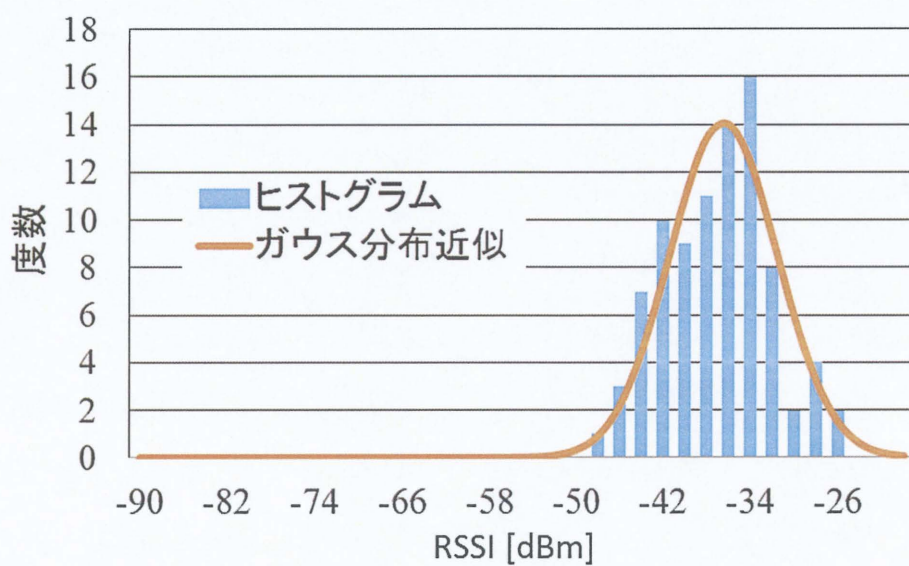


図20 学習により得られたRSSIの度数分布および $P(D|H_i)$

6.5 ベイズ推定の結果

以上の学習で得られた $P(D|H_i)$ をもとにして、受信した RSSI が D であったときにタグがサブエリア H_i に存在する確率 $P(H_i|D)$ を式(2)によりすべてのサブエリアに対して求めた。その際、前述したように式(2)右辺の $P(H_i)$ は初回のみ $1/N$ ($N=15$) としたが、2回目以降の推定では前回の推定で得られた確率 $P(H_i|D)$ の値を用いた。この更新手順を所定の回数だけ繰り返した。ここでは、推定回数5回とした（つまり5回の受信で得られた RSSI を使用して4回のベイズ更新を行った）。更新ごとにタグが各サブエリアに存在する確率 $P(H_i|D)$ がどのように変化するかの一例を図21に示した。更新とともに特定のサブエリア（図8では H_8 ）での存在確率が增大していく様子が見て取れる。

タグの位置推定は、更新ごとに式(3)により求めた。最終的な推定位置は、所定の回数の更新が終わった時点で求めた式(3)で与えられる。 $P(H_i|D)$ の値の更新とともに推定位置がどのように推移するかの一例を図22に示した。この結果は ch1、ch7、ch13 という三つのチャンネルを使用したときの結果である。更新につれて推定位置がタグの真の位置に近づいていくことがわかる。図中には現運用システムの推定位置も比較のために記入している。

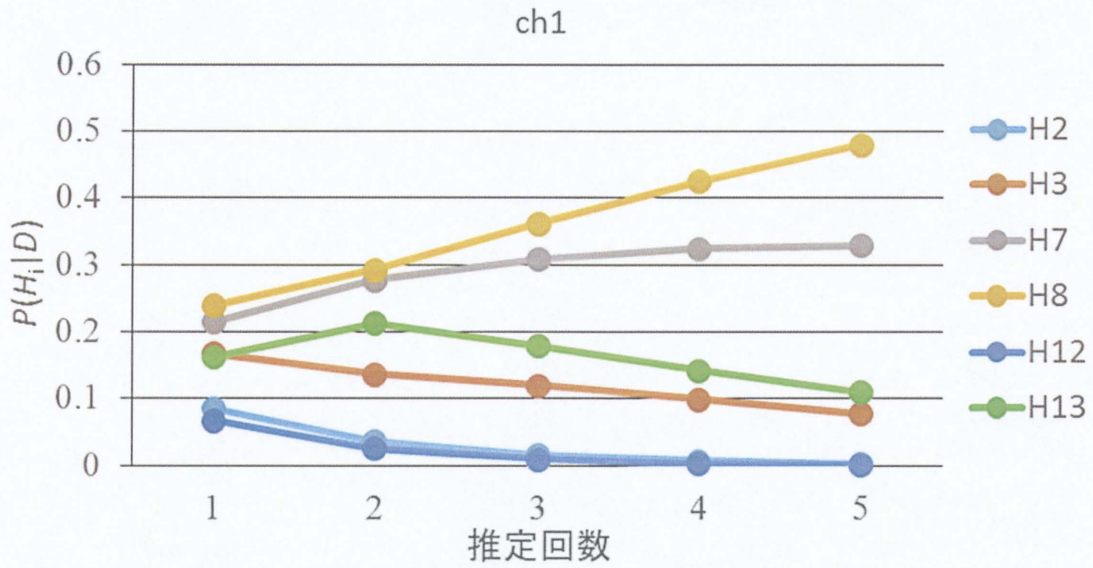
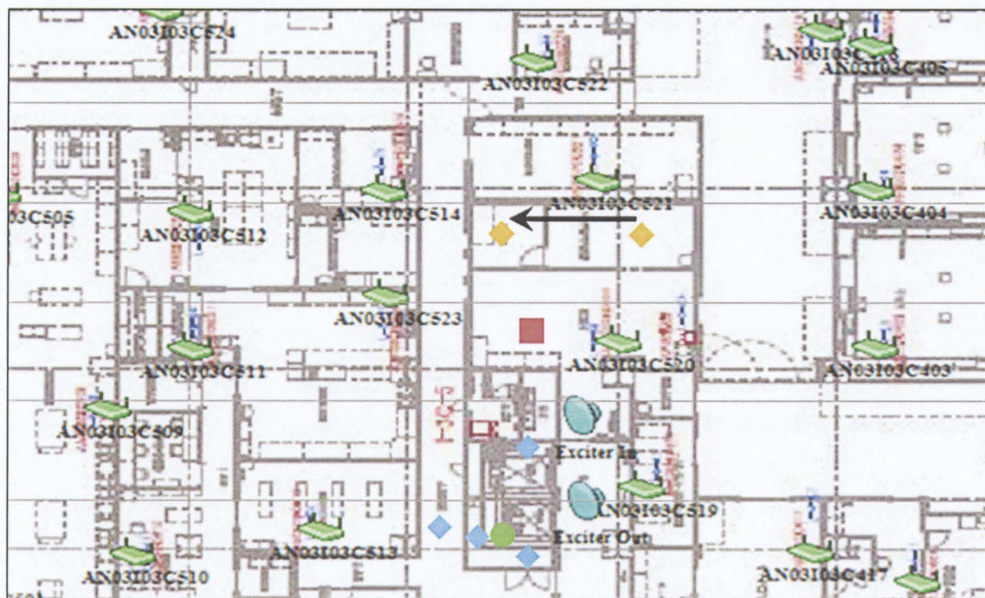


図21 ベイズ更新による存在確率変化

ch1, 7, 13



- ICタグ
- ◆ ベイズ推定
- ◆ 現運用システム
- 現運用システムの平均座標

図22 ベイズ推定の結果の一例

6.6 現運用システムとの比較

最後に、ベイズ推定結果と現運用システムの結果の優劣を比較した。具体的には、送信チャンネルとして ch1, ch7, ch13 の三つを用い、チャンネル数が 1~3 のすべての場合に対して、現運用システムに対しては 5 回分の推定結果の平均値（重心位置）を求め、一方でベイズ推定に対しては 5 回目の推定結果を求めて、両者を比較した。この 5 個の RSSI データに基づく推定を、時間をおいて 8 回行い、ベイズ推定および運用システムのそれぞれの推定結果と、真のタグ位置との間の R.M.S.E.を計算した。その結果を図 23 に示す。まずわかることは、ほぼすべての場合において、運用システムに比べてベイズ推定では推定誤差を改善できていることである。また、推定誤差の送信チャンネル数依存性は必ずしも明瞭ではないが、現運用システムではチャンネル数が少ないほど誤差が大きくなる傾向が見られ、特にチャンネル数が 1 である場合（ch1 のみ, ch7 のみ, ch13 のみの場合）の誤差が大きい。一方、ベイズ推定の場合には、チャンネル数依存性はさらに不明瞭であるが、1 チャンネル伝送時でも推定誤差をおおよそ 4m にまで低減できていることがわかる。これは当面の目標とする部屋単位の位置推定を可能にする値と考えられる。

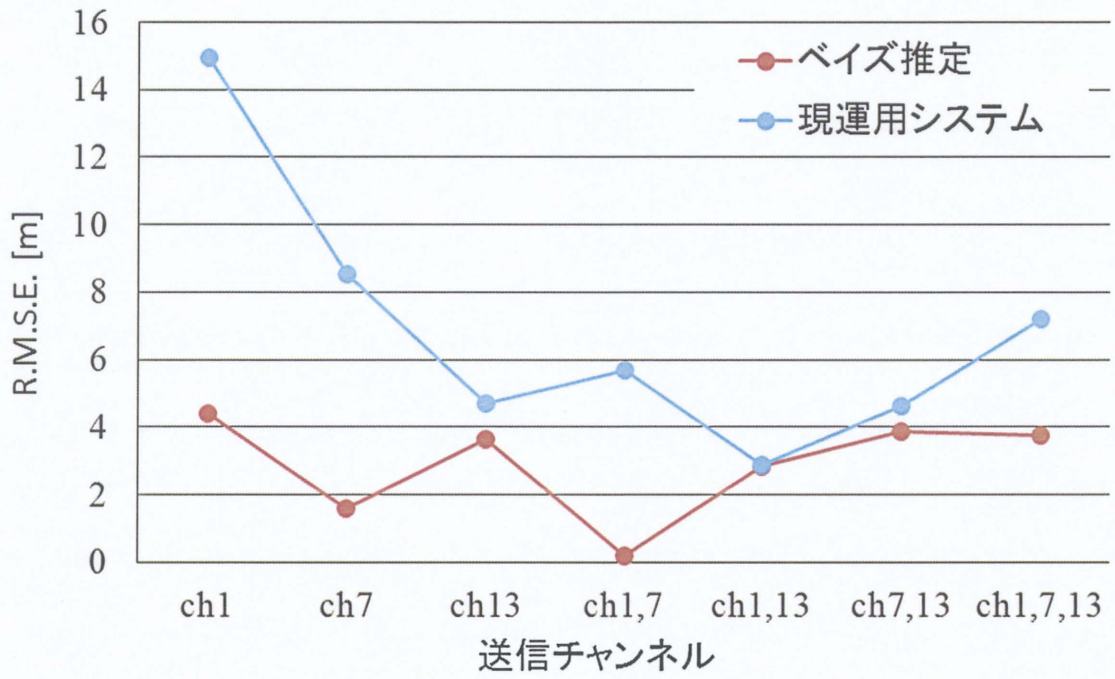


図 23 運用システムとベイズ推定の結果比較

第7章 結び

三重大学医学部附属病院において運用中の無線LANとICタグを用いた医療機器位置情報・稼働状況検出システムによって医療機器の稼働状況把握を試みた結果について報告し、機器のON/OFFを検出できる機能が付与されたタグの有用性を示した。

また、ICタグの電池消費を抑制するために、送信チャンネル数の低減を検討した。チャンネル数低減とともに位置推定精度は低下傾向にあるが、ベイズ推定を適用することによって、チャンネル数を1チャンネルにしても推定精度を4m程度に向上できることも示した。

今後は本システムを活用して、より効率的な医療機器管理体制を確立してゆきたい。

謝辞

本研究にあたり、細部にわたるご指導、ご助言をいただきました竹尾隆教授、森香津夫教授、野呂雄一准教授、ならびに実験の実施、解析に協力をしていただいた竹田さん、細川くんに感謝の意を表します。また、本研究に対し貴重なご助力をいただいた本研究室の院生ならびに学部生諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 酒井順哉. ユビキタス社会における医療機器安全の考え方ーバーコードから IC タグ利用への課題ー. 未来医学. 2005, No.20, p.32-41.
- [2] 新 秀直, 田中勝弥, 玉井久義ほか. 医療機器の保守管理のための WiFi 位置情報検出システムの開発と評価. 医療機器学. 2009, 第 79 巻, 6 号, p.373-381.
- [3] 高階雅紀, 中田精三, 荻野芳弘ほか. 汎用無線 LAN を用いた医療機器位置情報検索システム. 医科器械学. 2007, 第 77 巻, 4 号, p.250.
- [4] 野口 亨, 徳本裕哉, 平井雅博ほか. アクティブタグを用いた ME 機器の所在管理の有用性について. 医療機器学. 2009, 第 79 巻, 7 号, p477-478.
- [5] 倉島直樹, 芝本 隆. 当院における ME 機器管理における問題点と工夫. 第 19 回日本臨床工学会抄録集. 2009, p269.
- [6] 古畑貞彦, 軽部俊幸, 窪田昭真ほか. アクティブ型 RFID の利便性の検証ー医療機器の管理システムへの応用ー. 医療機器学. 2008, 第 78 巻, 10 号, p587-589.
- [7] 菅野将也, 有澤準二, 菅原俊継ほか. RFID とネットワークを用いた医療機器管理システム. 医療機器学. 2008, 第 78 巻, 10 号, p590-592.
- [8] 黒田知宏, 黒田嘉宏, 大城 理ほか. 無線 LAN 位置計測ソリューションを用いた医療機器管理の有効性検討. 医療情報学. 2009, 第 28 巻, 3 号, p139-146.
- [9] 古畑貞彦, 五十嵐佑樹, 福田充宏ほか. 電子タグ(WiFi 通信)による医療機器の管理システム. 医療機器学. 2011, 第 81 巻, 2 号, p160.

- [10] 栗原修一, 花田英輔. アクティブタグを利用した医療機器運用管理システム. EMC. 2012, No.292, p40-45.
- [11] 坂本良太, 高田孝弘, 新海庄吾ほか. 病院全域無線 LAN および認証と検疫を備えた情報ネットワークの運用. 医療情報学連合大会論文集. 2012, Vol.32, p632-635.
- [12] 石原佑哉, 内匠逸, 打矢隆弘. 端末特性を考慮したベイズの定理による無線 LAN 位置推定. 情報処理学会第 74 回全国大会. 2012, 4E-1.
- [13] 伊藤誠悟, 河口信夫. アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリッド位置推定法とその応用. 電気学会論文誌. 2006, Vol.126, No.10, p1212-1220.
- [14] 佐藤弘和, 伊藤誠悟, 河口信夫. 指向性アンテナを用いた無線 LAN アクセスポイントの位置推定法. 電子情報通信学会論文誌. 2005, Vol.J88-D-I, No.11, p1634-1647.