

近代医療を支えるワイヤレス通信技術

保坂 良資*

Wireless Communication Technology in the present Medical Scene

Ryosuke HOSAKA

Abstract: This review consists of three topics. One of them is an automatic tracking system for suffering aged using PHS network as basic technology. The other one is an automatic identification system for individuals in hospital using UHF band RFID. And another one is an automatic counting system for surgical equipments using UHF band RFID. A possibility of new tracking system for the aged is analyzed by simulation of signal intensity distribution and its experiments. Personal Handy-phone System (PHS) was applied as an information-network to track the aged. In this proposed system, if the relay station detects a signal from a marker, the aged can be tracked during strolling. Infusion pump and syringe pumps are managed by the hospital's Medical Engineering (ME) center and must be maintained periodically to guarantee the reliability and safety of the equipment. However, in the busy environment of hospitals, some of these pumps can get misplaced or lost. As a means of monitoring the location of this equipment, the authors devised a UHF band passive RFID tag system. From the results of the experiments, the locations of the RFID tagged pumps and patients were identified accurately and easily within the tested areas of the hospital. Vestigial remnant of surgical instruments in the body is a serious problem. Two dimensional symbol is being used to help managing this problem. However, the symbols have to be identified one at a time, since the symbols are a sort of printed matter. To improve the deficiencies of this system, a UHF band passive RFID system was developed. From experimental results, 50 surgical instruments were identified in less than one second with this new RFID system. This new system will undoubtedly reduce the workload of surgical nurses, while reducing human error in the operating room.

Keywords : Individual Identification, Automatic Identification, UHF band RFID, Safety Management

要旨: この概説は、次の3つから構成される。一つは、PHSの技術基盤を用いた徘徊老人定位システムである。他の一つは、UHF帯RFIDを用いた院内個体認証システムである。最後の一つは、UHF帯RFIDを用いた手術器械認証システムである。著者が提案した老人定位システムはシミュレーションおよびフィールド実験にて有効性が示された。このシステムではPHSが追跡マーカとして用いられ、ここからの信号が基地局でとらえられるとその範囲内に徘徊老人が位置することとなる。輸液ポンプやシリンジポンプは、多くの場合MEセンターなどで整備され貸し出されるが、病棟業務の中で留置されたり行方不明になることがある。これを解決するために、著者はUHF帯RFIDタグをこれらの機器に付すことで、追跡を可能とした。実験結果から、タグを付したME機器、また患者についても、院内で所在を明らかにできた。手術器械の体内遺残は深刻な問題である。我が国では2次元シンボルを用いたシステムが使用されているが、2次元シンボルがバーコードの一種であるため一つづつしか認証できない。この現状に対して著者は、UHF帯RFIDによる認証システムを提案した。実験結果から50個の手術器械を1秒ほどで認証できた。このシステムは手術室看護師の業務負担を軽減でき、手術室内でのヒューマンエラーの削減に有効である。

キーワード : 個体認証, 自動認証, UHF帯RFID, 安全管理

1. はじめに

現在の医療環境は、多くの情報機器に支えられて

いる。しかしその近代化は最近のことである。たとえば、現在、放射線画像の多くは撮像と同時にデジタルデータとして保管される。これが実用化された

のは、1990 年頃である。それまではほとんどの医療施設で、放射線フィルムが用いられていた。電子カルテの普及も 2000 年頃からである。患者への負担が小さい腹腔鏡術や、医療ロボットと誤訳されがちな DaVinci に至っては、さらに約 10 年後の出来事である。現在の話題の中心は、医療環境向けのワイヤレス技術である。

院内のワイヤレス技術の最古参は医用テレメータである。1970 年代には実用化されていた。一方、1990 年頃より多くの医療施設で、ネットワーク化が図られた。当時は有線通信網の応用に過ぎず、ワイヤレス化が一般化したのは、施設の状況にもよるがおよそ 15 年後であった。この頃には、院内 PHS など普及をはじめ、ワイヤレス技術が一般的となった。ワイヤレス通信については、医療現場でも多くの誤解があり、異様に危険視する向きもある。しかしこれについては、JIS T1001 規格群 (1983 年当時: 現在は JIS C61000 規格群) で明確に安全基準が定められており、これに準拠する限りは安全と考えて良い。

このような流れの中で、医用工学の研究者により、多くの技術提案がなされた。その一部が、現在の近代医療を支えている。たとえば先進的な例を挙げると徘徊認知症患者の自動定位 (北大・新潟大・湘南工大)、非接触患者認証 (秋田大・湘南工大) がある。また現在は、院内患者定位、医療職者所在管理、手術機械類一括管理なども、ワイヤレス技術で実現できている。著者は、これらすべてに関与してきた。以下では、それらの中でも、本学着任以降に手がけた「PHS を技術基盤とした徘徊老人定位技術」「UHF 帯 RFID の応用による院内ヒト・モノ所在管理」

「UHF 帯 RFID による手術器械多数個一括認証」についてレビューとして概説する。オープンキャンパスで好評を得た「RFID による電子点字ブロック」もあったが、ここでは割愛する。

2. PHSを技術基盤とした徘徊老人定位技術¹⁾

2.1 背景

認知症 (当時は痴呆症と呼ばれた) の社会的な影響は、1980 年頃より予測されていた。当時は、著者が師事した故斎藤正男 (東大・医・医用電子) が厚生省 (当時) と共にゴールドプランを実現するなどして、将来の高齢社会への準備を続けていた。著者もゴールドプランの原文 (案) の策定に深く関わった。その後の介護保険などの老人医療政策のほとんどは、ゴールドプランが基盤となっている。現在は当時の予測が的中し、我が国は高齢化社会を卒業し

て、高齢社会に至っている。

認知症で症状が進行すると「徘徊」が見られるようになる。徘徊とは失見当識すなわち、時間と場所の概念を喪失することによって生じる。そのとき、患者の内部では、時間も場所も正しく管理されている。残念なことに患者の外部のそれと一致していないだけである。したがって、徘徊を阻止しようとすると、強い抵抗が生じる。老人医療の観点からは、徘徊は抑圧しない方が良いと言われている。しかし家族の心的負担はとて大きく、1995 年頃から、徘徊に至った後の患者の定位、すなわち追跡技術の開発が強く望まれた。

1995 年当時、徘徊老人の定位技術として北海道大学工学部の清水研究室で GPS 方式が提案された。これは GPS 情報を活用するため、一見して有効だが、当時の GPS 受信機は現在のスマートフォンほどの大きさであった。徘徊老人の特徴として、自らが受け入れなければ、気に入らない着衣などは脱ぎ捨ててしまうことも多く報告されている。このため相当程度の大きさの GPS 機器を携帯させることは事実上不可能であった。また冬期の街頭では地下街に暖を求めることが多いが、そこには GPS 信号が到達しないという欠点もあった。これを改善すべく著者が提案したのが、PHS 通信網の記述基盤の応用による徘徊老人定位技術であった。

2.2 方法

図 1 に、PHS 基盤技術による徘徊老人定位の原理を示す。携帯電話やスマートフォン・PHS では、各基地局がその担当範囲に存在する端末装置を常に管理している。基地局と各端末装置との間では、定められた時間間隔で、定期的に管理情報の授受が行われている。PHS では約 1.2 秒に一回である。また PHS では、基地局は 100m 前後と比較的小さい間隔で設置されている。このため管理情報を活用すれば、各端末装置のおおまかな位置を推定できる。すなわち追跡マーカとして、PHS 端末もしくは同等のハードウェアを対象となる老人に携行させれば、継続して追跡できる。位置精度は、各基地局の担当範囲である半径約 50m 程度である。その精度は低めに思えるが、老人の歩行速度は一般に低いため、この程度の精度で追跡できる。ここで留意すべきは、PHS 端末をいかに気づかせぬように携行させるかである。携帯電話様の端末をそのまま提供した事業者もあったが、普及しなかった。これが当時一部で流行した「いまだこシステム」と大きく異なる。このような配慮なしには、前述のような特性を有する認知症老人への応用は期待できない。著者らが提案するシステムでは、技術基盤として PHS を応用するが、マーカの

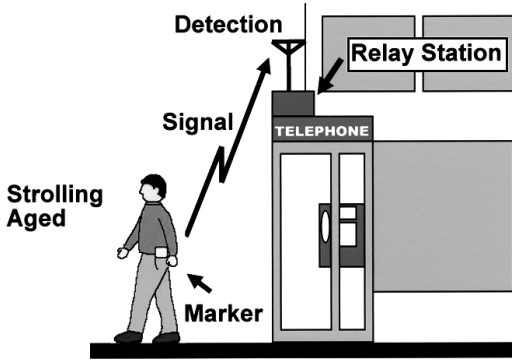


図1 PHS 基盤技術による徘徊老人定位の原理

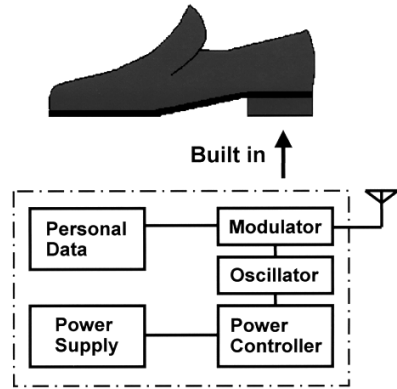


図2 追跡マーカのかかと部への組み込み

存在を意識の中から消去しうる仕様について、重点的に検討した。

追跡マーカとして PHS を応用するには、その存在を意識の外に置かねばならない。これに対して著者は、次のような対策を講じた。

- (a) マーカ存在を意識させない携行方法の採用
- (b) 電池寿命の延長

マーカ存在を希薄にするには、携行方法が重要である。日常的に使用している箇所にもマーカを組み込めれば、問題は解決する。対象が老人であるため義歯が多い可能性もある。たとえば、臼歯の義歯数本分の空間は、通信モジュールの実装先として最適である。ここならば、マーカの実装を意識される可能性はきわめて低い。しかし PHS システムの搬送波は 1.9GHz であり、生体の水分で大きく減衰する。口腔内から信号を発しても有効に体外に放射されない。別解として、履き物のかかと部への実装を考えた。徘徊に至る場合、着衣を脱ぎ捨てることはあってもサンダルなどは着用している。このため、玄関口に常置されるサンダルのかかと部に回路部を実装することは現実的である。図2に概要を示す。このときかかと部に実装されたマーカのアンテナ地上高は数 cm と低く、無線通信的観点からは劣悪な環境となる。しかし実装箇所としては好適なため、信号の到達可能性を電界強度分布シミュレーションから評価し、現実的な可能性を検討することとした。

一方でマーカを意識の外に置くには、その小型・軽量化も要点である。とくに大きく関わるのが電池である。電池寿命の延長には、消費電力の低減と電力消費時間の短縮が有効である。PHS 端末装置の定格出力電力は 10mW であり、これの縮小は有効である。著者はこれを定格の 10% である 1mW まで減じた。しかし出力縮小から、信号が基地局まで到達す

る可能性も低下する。このためこれについても、信号の電界強度分布シミュレーションから有効性を検討した。その後、フィールド実験を行い、現実的な評価を行った。

電池寿命の管理も検討した。サンダルならば玄関口に常置されても自然だが、そこで日常的に充電が行われると警戒感が生じる。このため、信号発信を大きな制御比でバースト制御して、電池寿命の拡大を図った。PHS は前述のように「1.2 秒間隔で 250ms の間」基地局に向けて信号を発する。これを「90 秒間に 250ms のみ」とバースト比を大きく変更した。また、歩行時の補充電も行う。図3に補充電の原理を示す。サンダルのかかと底部にピエゾ素子を置き、歩行時の補充電を実現した。

2.3 シミュレーション

ここでは、サンダルなどの履き物のかかと部に追跡マーカを実装することを想定して、そこから発せられる信号の到達範囲をシミュレーションで求めた。

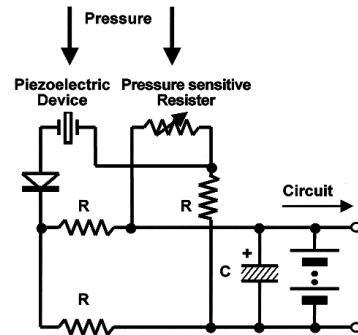


図3 歩行時補充電の原理

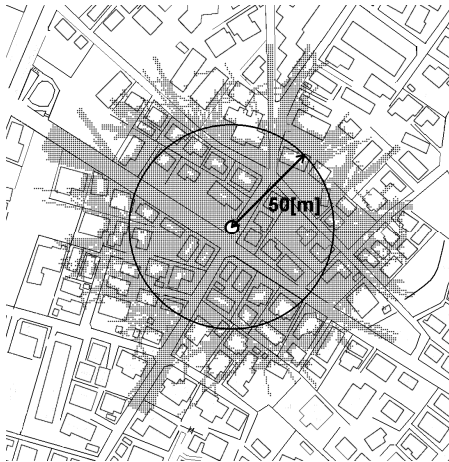


図 4 信号到達範囲のシミュレーション結果

追跡マーカの信号周波数は 1.9GHz、出力は 1mW とした。回路部およびアンテナの地上高は 3cm とした。回路部およびアンテナの地上高は 3cm とした。

信号到達範囲のシミュレーションでは一般に、

- I 透過波
- II 反射波
- III 回折波

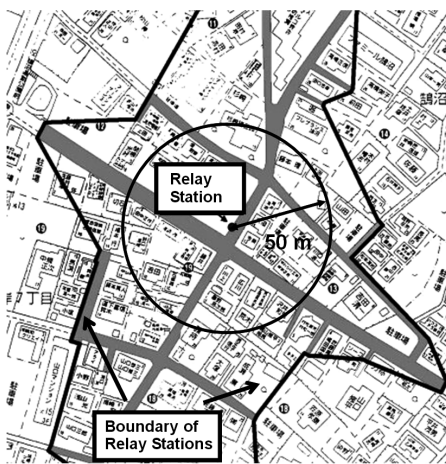
を求める必要がある。これらの中で前二者は比較的容易に計算できるが、回折波は伝搬経路上の障害物の地上高に依存し、解析が困難である。このため本

シミュレーションでは回折波を解析対象から除外した。しかしその影響は無視できないため、補正のため透過波が各住宅を透過する際の減衰量を小さく調整した。具体的には各建造物をすべて木造と想定し、外壁のみの構成とした。その特性は、厚さ 20cm 減衰量 50dB で統一した。これは実際の住宅の減衰量よりも小さい。回折波除外による影響は、このように補正した。

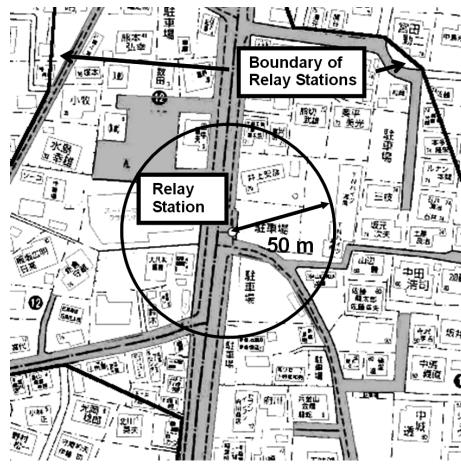
このシミュレーションで信号が 50m 以上伝搬されれば、マーカからの信号がいずれかの基地局で受信されることを意味する。本学周辺で老人人口が比較的大きい藤沢市鵠沼海岸地区を対象地域とした。この地区には狭い路地も多く、本シミュレーションの対象として好適である。図 4 にシミュレーション結果を示す。図の中心が基地局である。その周辺のドットが、追跡マーカからの信号が基地局まで到達した範囲である。同図から、基地局から 50m 以上離れた位置からも信号が到達しており、少なくとも上記の条件下では、この方法で徘徊老人の定位が可能であることが分かる。

2.4 フィールド実験

フィールド実験では、追跡マーカを模した 331S 型端末を実験者が実際に携帯して、定位が可能な地点を求めた。この PHS 端末は、追跡マーカを模してあらかじめ出力を 1mW に調整してある。被験者はこの端末を携帯し、対象とした地域で基地局の周辺を移動した。また、あらかじめ約 10m 間隔で設定した地



(a). 鵠沼海岸地区での定位可能範囲



(b). 浜竹地区での定位可能範囲

図 5 フィールド実験結果

点で定位を実施した。定位の可否は、当時の NTT Personal から提供されていた「いまどこサービス」を利用した。なお私有地部への進入は避けた。本学内に置いた実験指揮所と、現地に赴いた実験班との間は、携帯電話で連絡を確保した。各設定位置は地図上で確認し、到着後に指揮所の指示で実験を実施した。追跡マーカを模した端末を地上高 3cm の位置に固定し、信号を発して定位を試みた。定位の完了は指揮所の端末の画面情報で確認した。確認が完了次第、次の位置に移動して同様の処理を繰り返し実施した。実験対象地域は、藤沢市鵠沼海岸地区、茅ヶ崎市浜竹地区とした。図 5 に、実験結果を示す。

2.5 考察

図 5 に示したフィールド実験結果から、PHS を技術基盤とする徘徊老人定位の有効性が認められた。当時の PHS 基地局間距離は、ときとして 100m 以上に及ぶこともあったが、この程度の信号到達が実現できれば、問題なく検知できると考える。

このシステムは、当時、学童見守りシステムとして一部で応用された。神奈川県内では横浜市青葉区での運用例が認められる。しかしその後、一般向けには PHS サービスそのものが休止となったため、普及には至らなかった。一方、病院などの医療施設内では、未だに院内 PHS が多用されている。PHS はここまで述べたように、管理範囲が小さく、フロアごとの管理が容易である。このため、医師や看護師の院内所在管理に好適である。ただし最近の医療施設内では、iPod などを端末として用い、これを wifi 環境で管理する動きも進んでいる。

3. UHF帯RFIDの応用による 院内ヒト・モノ所在管理^{2),3),4),5)}

3.1 背景

入院患者には、ほとんどの場合リストバンドが付与される。ここには、患者の基本的な ID 情報が記されており、これを読み取ることで本人確認が実施される。ID 情報はバーコードで記されており、リーダーを近接させて光学的に読み取らなければならない。この作業には人手が不可欠なため、ヒューマンエラーが生じる可能性が無視できない。また、病室内での与薬の際には 3 点（患者名・実施者名・薬剤情報）認証が必須である。しかし担当看護師が間違えて薬剤のバーコードを読み取ると、誤薬も生じる。現状では相当程度、誤薬による医療過誤が生じており、改善が求められている。リストバンドや薬剤に UHF 帯 RFID を応用すれば、それらの情報が自動的かつ相互に認証され過誤は理論的に予防できる。また入院患者の中には、医師や看護師の指示に従わずに、

院外へ進出する者もいる。中には、そのまま帰院しない者もいる。これは様々な問題の起点となるため、患者の所在を自動認証し管理できる方法の開発が強く望まれている。適切な方法が開発されれば、院外からの侵入者対策としても応用できる可能性が高まる。これは新生児連れ去り防止にも有効である。

また入院患者が、院内診療として外来受診することもある。このとき、諸般の事情から診察室や処置室への到着が遅滞することもある。そのような際に、リストバンドに実装された UHF 帯 RFID が院内の随所で検知されれば、その所在や安全の確認のみならず、到着までの所要時間が推測できる。

医療現場では、輸液ポンプやシリンジポンプなど小型 ME 機器が多用されている。大学附属病院など 1,000 床規模の医療施設では、双方共に 1,000 台程度が保有されている。しかし現実的には、これらが慢性的に不足する。たとえば、これらは小型で使用頻度が高いため、病棟内のナースステーションに留置されることがあり、その累積として慢性的な不足が生じる。しかし長期にわたり病棟に留め置かれた小型 ME 機器は定期的な点検が行われないこともあり、危険である。場合によっては、予期せぬ医療事故の遠因になり得る。これらの ME 機器の所在が自動的に管理でき、全病院単位で包括管理できれば、院内の安全性は飛躍的に向上する。現在は多くの場合、これらの機器は臨床工学部などで管理され、必要に応じて病棟などに貸し出されている。貸し出しに際しては、貸し出し簿に記帳したり、機器に添付されたバーコードを読み取らせるなどしている。しかしこのような管理システムでは一次的な貸出先は管理できても、他の病棟への又貸しや患者の転院の際に、追跡経路が途絶する可能性が高い。これを防止するには、自動的に ME 機器の所在が管理できる方法の開発が不可欠である。

RFID タグは、バーコードに替わる次世代認証情報メディアである。バーコードは印刷物に過ぎず、ここに記された情報を読み取るには光学的な手法が不可欠である。その際の位置決めなどは容易でなく、自動化が難しい。一方 RFID では無線的に認証を実施するため、信号の送・受信系が適切に設計されれば自動認証も可能である。ヒトに依存しない自動認証が実現されれば、ヒューマンエラーに起因する医療過誤も根絶できる。

一方、我が国では 2003 年頃から、「RFID は高価」という誤った理解が流布され、その普及が途絶してしまった。そのため、諸外国と比して開発や普及が遅れている。医療的分野で、継続的・体系的に RFID を運用しているのは、秋田大学附属病院のみと言っ

ても良い。同病院では 2004 年より全病院単位で、医療環境内の個体認証に RFID タグを利用している。

Suica や PASMO など、これまで用いられて来た RFID タグは、HF 帯の信号を用いる。このタグは、原理上、離れたところから情報を読み取ることができない。本学の学生証に内蔵された RFID タグも同様である。SAMS 端末にタッチし損ねるとカウントされずに欠席となる。また、安全な電界強度の範囲では、50mm 以上離れると認証がむずかしい。

これに対して、まったく原理が異なる UHF 帯 RFID タグがある。著者は、2006 年以降この新型タグの応用を推奨している。UHF 帯 RFID タグは、信号の送・受信系を適切に設計すれば、電磁的な安全性を担保しながら、最大で 30m 離れていても内部の情報を読み取れる。もちろん旧式の HF 帯 RFID と同じくバッテリーレスである。新型の UHF 帯 RFID は、すでに UNIQLO や GU のレジシステムに応用されている。それらの店舗では、購入物品をレジ横に積み上げるだけで精算が完了する。HF 帯 RFID は認証範囲が小さいため、山積みされた商品に対応できない。また、新型 UHF 帯 RFID タグを学生証に応用すれば、教室内に着席している学生全員の出席が自動的に確認できる。このように優れた性能の UHF 帯 RFID タグを院内のヒト・モノ認証に応用すれば、対象の合理的な確認が高速で実現できる。

著者は高性能の UHF 帯 RFID タグを用いて、札幌医科大学附属病院にて、2010 年度に院内患者追跡と、小型 ME 機器の所在管理を実現した。また、株式会社ムトーの協力の下、ME 機器の院内所在管理システムも開発した。

3.2 方法

3.2.1 医療機器所在管理

ME 機器の多くは、前述のように臨床工学部および ME センターなどで整備され、管理されている。使用者はここに出向き、借り出し処理の後、病棟などに持ち帰って使用する。このため、臨床工学部の貸し出し棚や出入り口にセンサを設置すれば、借り出しが管理できる。無断の借り出しも確認できる。借り出された小型 ME 機器は、患者の元で使用されるか、病棟のナースステーションもしくはその近傍の処置室などに短期留置される。したがって、病棟ナースステーションなどで所在が管理できれば、継続的に追跡できる。

一方、一つの病棟内には 10 室以上の病室があり、ナースステーションに関係した部屋も 5 室程度には及ぶ。これらすべてにリーダーとアンテナを設置することは経済的な負担となる。そのため現実的には、前述の臨床工学部の機器貸し出し窓口と各病棟の出



(a). リーダ : Impinj, Speedway 日本仕様



(b). アンテナ : Wireless Edge, MT262030, 9dB

図 6 追跡実験に用いた UHF 帯 RFID 機器

入り口にリーダーとアンテナを設置すれば、追跡できる。エレベータホールへの設置も好適である。フィールド実験では、輸液ポンプとシリンジポンプを対象機器とした。前者には RFID タグを付したアクリル板を紐で機器に装着した。後者では、筐体に直接 RFID タグを貼付した。札幌医科大学附属病院で実施したフィールド実験では、院内の要所に UHF 帯 RFID のリーダーアンテナを設置して、その直下を通過するタグを検知した。実験に用いたリーダーとアンテナを図 6 に示す。リーダーは impinj 社の speedway を用いた。日本国向けのバージョンは、我が国の電波法に準拠して最大 1W までの信号を発することができる。アンテナには、Wireless Edge 社の MT262030 (300mm×300mm) で利得 9dB のアンテナを用いた。それぞれ中心周波数は 920MHz である。また、偏波方式は円偏波である。実験実施時に設置したアンテナを図 7 に示す。



図 7 アンテナ設置状況(a)



(a). シリンジポンプ (b). 輸液ポンプ
図8 ワゴンへの搭載状況

ここは病院内の処置室近傍の廊下に設置した例である。アンテナ地上高は 2,200mm とした。ここでは、空間的な制約から、1カ所のみに設置した。一般的な廊下への設置はこの方式を想定した。

実験実施時には、タグを貼付したシリンジポンプと輸液ポンプをステンレスワゴンに搭載して、リーダアンテナの直下を通過した。通過速度は、通常の歩行速度（およそ 50cm/s）であった。各ポンプのワゴンへの搭載状況を図 8 に示す。試行回数は 10 回とした。

3.2.2 院内患者所在管理

ここでは旧来のビニール製のバーコード式リストバンドに UHF 帯 RFID を組み込んで使用した。使用したタグは、UPM 社製の汎用タグである。その使用周波数は 920MHz である。この周波数では、タグが生体に近接するとその水分により、高周波損失が生じる。高周波損失が生じると、タグからの返信信号が大きく減衰し、認証が成立しない。リストバンドは通常前腕に装着するため、この高周波損失が生じやすい。一方、著者の先行研究から、生体からタグを 10mm 乖離させると高周波損失を回避できることが分かっている。このため図 9 のように、10mm のスペーサを装着した。四つの凸凹部分がスペーサである。このスペーサは生体反応を避けるためポリエチレンで作製した。スペーサのデザインは、札幌医科大学附属病院看護部に意見を求めた。



図9 UHF 帯 RFID によるリストバンドタグ



図10 アンテナ設置状況(b)

フィールド実験では、この RFID リストバンドをヒトの右前腕に装着して、病棟入り口に設置された前述のリーダアンテナの直下を通過した。図 10 に、実際のアンテナ設置状況を示す。ここでは設置箇所で大きな空間が利用できるため、通路の両側に設置した。このアンテナの両側設置は、広めの環境に適する。ここでは、リストバンドタグ着用時の進入・退出の際の通過認証状況を確認した。このとき、実験環境内の電界強度は十分に安全な範囲に保たれた。移動速度は、ヒトのみの一般的な歩行速度（およそ 80cm/s）であった。認証状況は、進入時・退出時の双方で確認した。試行回数は 10 回とした。

3.3 病棟実験結果

ワゴンに搭載した小型 ME 機器の認証結果を表 1 に示す。ステンレスワゴンに搭載したシリンジポンプは、0.25W 以上の出力で全数が確認できた。同様にステンレスワゴンに搭載した輸液ポンプも、0.25W 以上であれば全数確認できた。

リストバンドタグの認証結果を表 2 に示す。こち

表1 小型 ME 機器の通過認証結果

(a). シリンジポンプ認証結果

Tag	Identification Ratio[%] / Reader Power			
	1.0W	0.5W	0.25W	0.125W
A	100	100	100	10
B	100	100	100	40
C	100	100	100	100
D	100	100	100	70
E	100	100	100	90

(b). 輸液ポンプ認証結果

Tag	Identification Ratio[%] / Reader Power			
	1.0W	0.5W	0.25W	0.125W
a	100	100	100	100
b	100	100	100	100
c	100	100	100	80

表2 リストバンド通過認証結果

Direction	Identification Ratio[%] / Reader Power		
	1.0W	0.5W	0.25W
Enter	100	100	60
Exit	100	100	0

らは、両アンテナを0.5W以上で駆動すると進入時・退出時共に全数認証できた。0.25Wでは、認証エラーが生じた。0.25Wにおける進入時の認証率低下は、生体の水分による高周波損失が主因と考える。また、この0.25Wの退出時の認証率低下については、進入方向に向けたアンテナの設置位置も遠因と考える。

3.4 所在管理システムの実現

各種の実験結果から、このシステムを病院内に設置すれば、ヒト・モノの所在確認ができることが分かった。ここまでの検証は、患者を想定したヒトと、小型ME機器であった。しかし院内には、SPDと呼ばれる、絆創膏やクリップなどの医療小物が非常に多く流通している。これらにもUHF帯RFIDによる所在管理が応用できれば、それらの物品の管理まで合理化できる。これは、現在ではバーコードによる確認がほとんどだが、現場の医療職者のみならず納入業者にとっても大きな業務負担である。

本研究では、様々なSPD物品に関わる株式会社ムトーが、実際に個体認証システムを試作した。ムトーは関連企業のムトーテクノスが小型ME機器の整備・管理も行っている。札幌医科大学附属病院の臨床工学部も、ムトーテクノスが整備と管理を担当している。同社ではこれまで、バーコードによるME

機器管理システムHOZMAを開発・販売してきた。HOZMAは、全国の主要な病院で稼働している。このような経緯もあり、同社が管理ソフトウェアHOZMA RFIDを試作した。図11にHOZMA RFIDの画面の一例を示す。院内の随所に設置されたアンテナで認証された機器の所在が、グラフィカルに表示される。同図中では、シリンジポンプ2台が臨床工学部のMEセンターから8階南病棟へ移動し、アイコンも移動していることが分かる。このようなシステムがMEセンターや各病棟に置かれれば、各種ME機器の散逸が防止でき、整備不良に基づく医療過誤の発生も抑止できる。

3.5 考察

ここまで示した各実験結果から、UHF帯RFIDの応用で、院内のヒト・モノの所在管理が容易に実現できることが分かった。HF帯RFIDはすでに多く普及しているが、そのコストは200円程度で安定している。本研究に用いたUPM社(後のSMARTTRACK社)の920MHz汎用タグは25円である。UHF帯RFIDタグは現在でも低コスト化が続いており、病院の経済を圧迫しにくい。UHF帯RFIDを院内の個体管理に應用すれば、小さなコストで患者安全に大きな効果を上げることができよう。

ここで示した実験環境では、放射電界強度が十分に安全な範囲に保持されていた。それら各実験では、数十cmから数mに及ぶ距離でタグを認証したが、旧式のHF帯RFIDで安全にこれを行うことはできない。今後、UHF帯RFIDにヒト・モノ認証は、医療以外の分野でも後半に普及すると考えられる。

4. UHF帯RFIDによる手術器械
多数個一括認証⁶⁾

4.1 背景

医療過誤の中でも看過できないものに、手術器械の体内遺残がある。手術器械の術後体内遺残は深刻であり、対策が強く望まれている。これの予防には、術前・術後の手術器械の認証と、個数管理が必須である。我が国では2次元シンボルによる手術器械認証が提案され、相当程度普及している。しかし2次元シンボルはバーコードの一種であり、前述のように参照光の照射が不可欠である。そのため多数個の一括認証は事実上できない。たとえば心臓血管系の手術などでは、数千個に及ぶ膨大な量の手術器械を利用することもある。その場合の術後個数管理には、長大な時間を要する。これは手術室看護師の過大な業務負担となる。旧式のHF帯パッシブRFIDを使用するシステムも一部で提案されているが、2次元シンボルと同様に多数個の一括認証ができない。

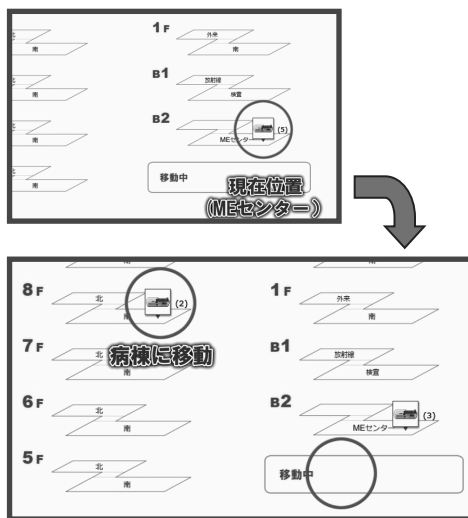


図11 HOZMA RFIDの画面の一例

著者はすでに UHF 帯パッシブ RFID により 100 個の手術器械を 10 秒ほどで一括して認証できるシステムを開発している。しかし実際の手術室で、確実に放射電界を管理することは、同室内に用意された接地端子の個数から難しい。ここでは電界抑止効果のある弱電界アンテナの応用で、安全に多数個の手術器械を一括認証できるシステムを提案する。ここで応用する新型のアンテナは、原理的に強電界を放射しない。強大な信号を投入しても、原理上、電界の存在範囲は表面から 30cm 以内に限られる。このため、周囲のヒトは患者に限らず安全に保たれる。

4.2 方法

4.2.1 認証システム

ここでは、図 12 に示すように桐材で認証用 BOX を作製し、その底面と天井面に弱電界アンテナを 2 枚ずつ設置した。認証 BOX の内寸は 530mm × 340mm である。両アンテナの上下間隔は予備実験か

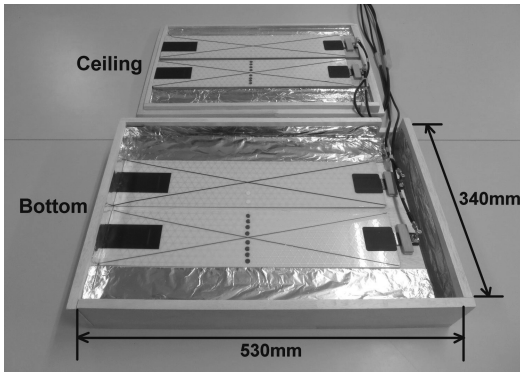


図 12 弱電界アンテナによる試作認証 BOX



図 13 手術器械の搭載状況

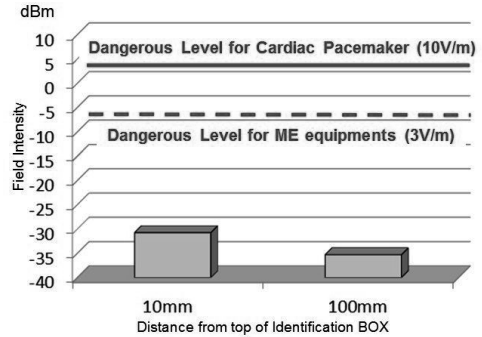


図 14 試作認証 BOX 上面で観測された電界値

ら 35mm に設定した。また、両面に設置したそれぞれ 2 枚のアンテナの間隔も予備実験から 10mm とした。底面・天井面共に、アンテナの間には反射波を活用するためアルミ箔を設置した。これにより電界強度の偏りが減少した。認証に当たっては、図 13 に示すように 370mm × 250mm のプラスチックトレイに手術器械を搭載し、これを底面のアンテナ上に置いた。リーダには Impinj 社の Speedway を用いた。このリーダから 4 枚の弱電界アンテナに 0.2 秒間隔で順次給電した。出力は 1W である。この弱電界アンテナに給電した際に試作認証 BOX の上面で観測された電界値を図 14 に示す。同図には、前述の JIS C61000 に記された 2 種類の安全臨界値を示した。同図の上方にある水平な実線が、心臓ペースメーカなどの生命維持装置に重大な脅威となる電界値である。また、その下方にある水平な破線が、前述の輸液ポンプやシリンジポンプなどの一般医療機器の脅威となる電界値である。同図から、試作認証 BOX の上面 10mm の位置でも、これらの安全臨界値よりもはるかに小さい値しか観測されていないことが分かる。図 11 から、この認証 BOX はシールドされていないことが分かる。すなわち、この安全な電界値は、弱電界アンテナに依存している。

4.2.2 手術器械用 UHF 帯 RFID タグ

本研究で手術器械へ装着したタグを図 15 に示す。これは村田製作所製で、大きさは 2mm × 3mm × 5mm で重量は 0.5g である。動作周波数帯域は 850 ~ 930MHz で、140 度 3 気圧まで耐えられる。このため、異常プリオンを対象とした加圧高温滅菌にも耐えることができる。このタグを暫定的に強力両面粘着テープで図 16 のように手術器械に装着した。実際の実現時には、接着剤の特性や設置位置についても配慮することが求められる。ここでは、基礎実験として準備した。

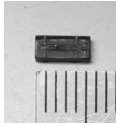


図 15 実験に用いた超小型 UHF 帯 RFID タグ

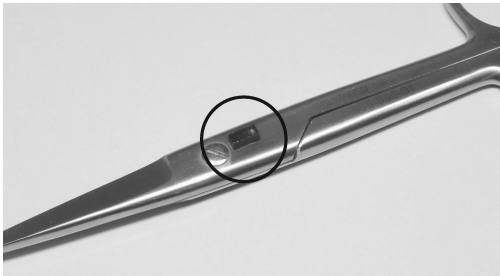


図 16 手術器械に装着した超小型タグ

認証トレイ上にはタグを装着した手術器械を無作為に搭載した。ここでは、50 個の手術器械を搭載した。内容は、鉗子・剪刀・鑷子・メスホルダなど代表的な手術器械類とした。認証結果は Speedway に接続した PC 上の制御ソフトウェアに附属するシステムタイマーで測定した。実験自体は、手術器械を搭載した認証トレイを設置した後に天井部を固定して、認証を開始した。認証個数が安定した時点で終了し、個数と時間長を記録した。

4.3 認証実験結果

図 17 に認証実験時の、制御ソフトウェアの画面の一例を示す。同図の右側の丸印の 50 が認証された手術器械の個数を表している。その直下の 0:00:01 が個認証に要した時間長を表している。この図では、50 個の手術器械を 1 秒で認証したことが示されている。認証完了までの時間長が短いため、このように制御ソフトウェアのシステムタイマーで測定した。またその仕様上、秒以下のデータが保存されないため、現時点ではこのような測定結果にとどまった。

認証実験では、認証回数 20 回とした。表 3 にすべての試行の認証個数と認証時間長を示す。すべての試行で、トレイに搭載された 50 個の手術器械の全数が認証された。認証に要した平均時間長は 1.25 秒であった。すなわち、トレイ上に無作為に積載された 50 個の手術器械が、1 秒程度で確実に全数認証された。時間長も多くの場合 1 秒であり、少数の回で 2 秒との結果が見られた。実験方法としての評価では、秒以下の計時など、時間的な精度の向上も求められる。しかし、応用現場を想定する限り、秒以下の精度の議論は不要であり、相当程度の有効性が確認されたと考えられる。

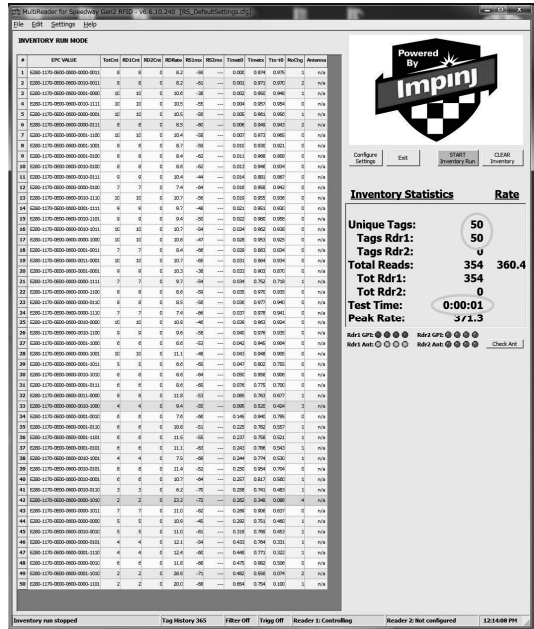


図 17 認証実験結果

表 3 認証実験結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identified Instruments	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Identification Time length [s]	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Identified Instruments	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Identification Time length [s]	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1

Average Identification time Length [s]	1.25
--	------

4.4 考察

ここで提案したシステムでは、十分に安全な弱電界で、50 個の手術器械が 1 秒程度の時間長で 100% 認証できた。これならば心臓血管系の手術などで手術器械が 1,000 個を超えても、術後の認証に比較的短時間で対応できる。このようなシステムが現場に投入されれば、手術室看護師の業務負担軽減に寄与できるのではないかと考える。また、旧式の HF 帯 RFID を使用した手術器械一括認証システムでは、最大認証率は 96% 程度と報告されていた。これでは、手術器械 1 個の体内遺残を検知できない。著者が提案するシステムでは、電磁的に十分に安全な環境で、100% の認証率が得られた。認証時間長も 50 個程度の手術器械ならば 1 秒から 2 秒で完了した。このよ

うな仕様ならば、ヒューマンエラーに起因する手術器械の体内遺残に対処できる。

5. おわりに

本稿では、著者がこれまで取り組んできた医用ワイヤレスシステムについて概説した。時系列的には、徘徊老人定位システムが1999年頃（実験は1995年から1998年に実施）、病院内でのヒト・モノ個体認証システムが2015年頃（実験は2008年から2015年に実施）、手術器械多数個一括認証システムは2018年頃（実験は2015年から2018年）にまとめた。この3件に20年間の時間を費やしたが、その間にも、医療環境には多くの新たなワイヤレス機器やシステムが投入された。

1970年代までは多くの医用機器やシステムは有線接続であった。しかし電子回路技術の高度化により、様々な通信系が無線化された。様々な患者モニタ類も次第に無線化されつつある。以前は、ICUやCCUで患者に付けられた多くのモニタケーブルを「スパゲッティ」と称していたが、若年の医師には理解できないかも知れない。また10年後はほぼすべてがワイヤレス化され、「スパゲッティ」は死語となろう。

しかし一方で、それらの機器やシステムについて、正しい評価がなされている保証はない。たとえばWi-Fiシステムは、すでにデファクトスタンダードとも言え、その安全性に疑問が投げかけられることはほとんどない。しかしそれはごく普通の運用形態に適用されるべき知見である。多数のワイヤレスルータが近接して置かれ、相互の信号が瞬時に重畳する可能性は評価されていない。そのようなことが生じたとき、どこかで不幸が生じる。ルータは医療機器ではなく、メーカーもそこまで配慮はしない。新たな機器やシステムは利便性が高いが、様々な潜在的な要素を有している。それは潜在的な利点であることもあり、潜在的な欠点であることもある。医療施設内での応用を考えたとき、そのような潜在的に生じ得る事象に対しても配慮が求められよう。

表面的な利便性に踊らされるのではなく、工学的な知識を背景として、冷静にそれらを評価できることが、工学部を卒業していく若者に求められると考える。

謝 辞

ここに記した各研究の実施にあたりご協力いただいた、1995年度から2009年度までの本学工学部情

報工学科保坂研究室の卒業研究生ならびに2013年度から2018年度までの本学工学部人間環境学科卒業研究生各位に深謝する。とくに2011年度本学工学部研究科修士課程の赤羽智幸君には、各種実験および解析に深くご協力いただいた。感謝の意を捧げる。また保坂研究室をご支援くださった、アイデンビデオエレクトロニクス株式会社、パナソニック株式会社、小林クリエイト株式会社、株式会社村田製作所、住友商事株式会社、ノーリツ鋼機株式会社、帝人株式会社、日立化成株式会社、東海電気株式会社、NTT personal株式会社、NTT America Co., Ltd.、シャープ株式会社、株式会社ムトー、ムトーテクノス株式会社の各社に感謝の意を捧げる。

ここに記した研究の一部は、厚生労働省科学研究費補助金（2006-2008）、文部科学省科学研究費補助金（2011-2020）で実施された。

*** 引用文献 ***

- (1). 保坂良資, 斎藤正男: PHSを技術基盤とする徘徊老人定位に適した電子マーカの仕様の研究, 電子情報通信学会論文誌D II, 第J82-D-II巻-12号, pp. 2367-2374 (1999)
- (2). 保坂良資: 医療現場で真に役立つ医用RFタグ, 自動認識, 第24巻-6号, pp. 19-24 (2011)
- (3). 赤羽智幸, 保坂良資, 室橋高男, 大谷 真: 病院内ME機器包括管理への応用のためのUHF帯パッシブタグの認証機能に関する基礎的検討, 生体医工学, 第50巻-1号, pp. 124-130 (2012)
- (4). 赤羽智幸, 保坂良資, 室橋高男: UHF帯パッシブRFIDタグを用いたME機器包括管理システムの基礎的検討, 医療情報学, 第33巻-1号, pp. 15-25 (2013)
- (5). 保坂良資: 医療施設で有用なRFIDシステムの現実的な利便性評価, 設計工学, 第49巻-2号, pp. 68-74 (2014)
- (6). 保坂良資: ヒューマンエラーの回避に有効なUHF帯パッシブRFID弱電界手術器械認証システム, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), 第139巻-5号, pp. 563-569 (2019)
- (7). R. HOSAKA and R. NOJI: Automatic identification for surgical instruments using UHF band passive RFID, IFMBE Proceedings, EMBEC & NBC 2017, vol. 65, pp. 1061-1064 (2017)

