

医療分野における無線化技術の応用例

Application Examples of Technology Making It Wireless in the Medical Field

上田日本無線株式会社
高橋 修一
Shuichi Takahashi

要 旨

医療現場において医療機器間を接続するケーブルは患者の行動や体勢の制約、機器の機動性における制約、衛生管理の負荷といった問題を引き起こす要因となっており、ケーブル削減を目的とした無線利用のニーズが年々増加している。近年、免許不要帯域やISM帯（産業科学医療用の周波数帯）の電波を使用した医療機器が普及しているが、医療機器に無線技術を適用する際には、用途と使用環境に応じた適切な周波数帯選定が重要であり、無線規格および医用電気機器に要求される安全規格の両規格を満たすことが課題である。当社は、永年にわたる産業用無線機器の開発を通じ培ってきた高い無線技術を基盤として上記の課題を解決し、医療・ヘルスケア分野へ無線技術を応用した製品開発に積極的に取り組んでいる。

Abstract

The cables connecting medical equipment in the medical field are factors that cause problems such as restricting the action and posture of patients, restricting the mobility of equipment, and imposing a burden on hygiene management, therefore the needs for wireless use to reduce the number of cables is increasing year by year. In recent years, medical equipment that uses the electric waves in the unlicensed band and ISM band (industrial, scientific and medical band) has become widespread, but when applying wireless technology to medical equipment, it is important to select an appropriate frequency band according to the application and usage environment, and it is an issue to meet both wireless standards and safety standards required for medical electrical equipment. UJRC has solved the above issue based on the high wireless technology cultivated through the development of industrial wireless equipment over many years and is tackling positively the development of products that apply wireless technology to the medical and healthcare fields.

1. まえがき

現代の医療現場における無線機器の利活用シーンは多様化かつ拡大している。例えば、かつて病院内において使用が禁止されていた携帯電話やスマートフォンは現在では使用制限が大幅に緩和されており、また無線LANは多数の医療機関で導入され、院内におけるデータ伝送に活用されている。さらに、医療用テレメータをはじめとする医療機器自体に無線技術が応用される事例も増えている。

このように、医療の現場において無線技術が不可欠となっている一方で、医用電気機器に要求される各種規格への適合、および最適な周波数帯の選定が技術上の課題となっている。

本稿では、当社が開発した医療分野向け製品への無線技術の応用例を紹介する。

2. 400 MHz帯医療用テレメータ無線

本システムは心電図ほか生体情報のリアルタイム無線伝送を可能とし、心電図の四肢誘導（図1の両手足電極）に対応する医療用テレメータ送信機、および医療用テレメータ受信機で構成される。使用する無線周波数は、国内で医療用途として割り当てられている400 MHz帯で、通信速度200 kbpsのGMSK変調による単向通信方式を採用する。医療

用途に割り当てられている周波数は他の帯域にもあるが、400 MHz帯は通信距離が長いという特徴がある。

本装置は、RCR STD-21特定小電力無線局医療用テレメータ用無線設備に準拠する。筐体の突起物をなくすため内蔵アンテナを採用し、送信機は患者の近傍に設置されるため水や体液、薬品がかかるケースを想定して防水構造としている。電源には単三乾電池を使用し、ケーブルレス化を図っている。

本システムを構成する送信機と受信機の仕様を表1に示す。

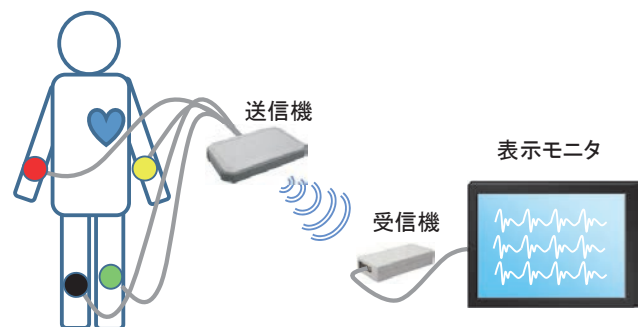


図1 400 MHz帯医療用テレメータ無線システム
Fig.1 Telemeter wireless system for 400 MHz band medical use

表1 400 MHz帯医療用テレメータ無線送信機の仕様
Table 1 Specifications of telemeter wireless transmitter for 400 MHz band medical use

項目	仕様
適合規格	RRCR STD-21
送信周波数	400 MHz帯
通信方式	単向方式
空中線電力	10 mW
電源	単三乾電池3本
外形寸法	(W)約146×(D)88×(H)25 mm



図2 セキュアタグシステムの応用
(児童見守りシステム)

Fig.2 Application of secure tag system
(child watching system)

3. セキュアタグシステム

セキュアタグシステムは、タグ（移動無線端末）のIDデータをリーダーへ無線伝送するRFID技術を応用している。使用する無線周波数は920 MHz帯で、通信速度250 kbpsの単向通信方式を採用する。本システムは、920 MHz帯特定小電力無線局標準規格であるARIB STD-T108に適合している。タグの送信方法として設定時間毎に無線送信する「定時送信モード」、ボタン押下時に無線送信する「押しボタン検知送信モード」、振動を検知する毎に無線送信する「振動検知送信モード」、LF（長波）を受信し無線送信する「LF検知送信モード」の選択が可能であり、多様な利用シーンに適合する。LF設定機によりタグへの各種設定が可能でありスイッチ操作やケーブル接続が不要となっている。

タグの送信電力を1 mWに抑えることで通信エリアを制限し、他タグによる通信との干渉を防ぐとともに、電池の長寿命化を実現している。また、信号をランダムに送信することにより、送信された信号同士の衝突を防ぐ。

本システムは、病院内における患者の所在や徘徊状況の管理など、医療現場において活用することを主眼に開発したものであるが、このほかにも様々な用途に応用することが可能である。ここでは、医療現場以外のシーンにおける応用例として「児童見守りシステム」と「要介護者の入退検知」について述べる。

児童見守りシステムは、児童のランドセルなどに装着するセキュアタグ（ICタグ）および学校の玄関に設置するリーダーで構成される。セキュアタグ（児童）が登下校時に学校の玄関付近を通過すると、玄関に設置されたリーダーがタグを検知し、あらかじめ登録された保護者のメールアドレスへメールを送信することにより、児童の登下校状況の把握を可能とする。

タグは振動検知機能を持ち、自宅や学校などにおいてランドセルが置かれた状態では省電力モードとなる。

セキュアタグシステム応用のイメージを図2に、またセキュアタグの仕様を表2に示す。

表2 セキュアタグの仕様

Table 2 Specifications of the secure tag

項目	仕様
適合規格	ARIB STD-T108
送信周波数	920 MHz帯
通信方式	単向方式
空中線電力	1 mW
LF受信周波数	125 kHz
電源	コイン型リチウム電池CR2032 1個
外形寸法	(W)約65×(D)36×(H)9.5 mm
質量	約20 g（電池含む）

「児童見守りシステム」以外の本システムの応用例として、LF検知送信モードによる「要介護者の入退検知」がある。これは、LF（長波）のアンテナを建物の玄関や部屋の出入り口に敷設し、タグを携帯する要介護者の入退出を検知するものである。

4. 外来患者呼出案内システム

本システムは、大規模の病院において、外来患者に対する診察案内の呼出しを2.4 GHz帯の無線LAN端末を用いて行うものである。外来患者に対する受付から会計までの一連の案内呼出しを、患者呼出受信機の液晶表示、呼出音、バイブレーション（振動）により行い、確実な誘導を行う。患者呼出受信機は無線LANのスリープ制御により消費電力を抑え、10時間を超える連続稼働時間を実現している。また病院内のフロア平面図など（画像情報）を受信機に登録し、オーバーレイ表示により患者のナビゲーションを行うことも可能である。

本システムは2.4 GHz帯の無線LANを使用するため、病院内において既に利用されている無線LANを本システムのインフラとして流用することが可能である。また、電子カルテシステムと連携させることにより、院内業務の自動化および効率化を実現する。

本システムの構成を図3に、また患者呼出受信機の仕様を表3に示す。

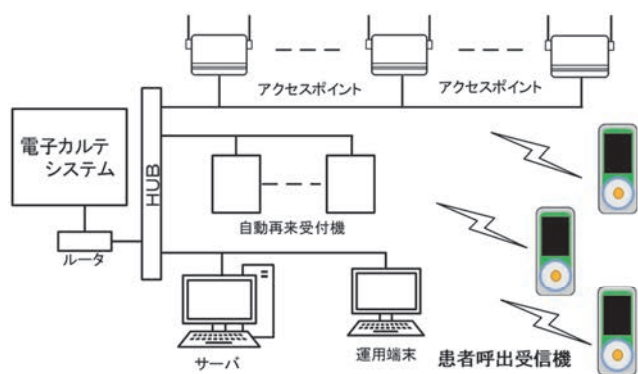


図3 外来患者呼出案内システムの構成

Fig.3 Configuration of the outpatient call guidance system

表3 患者呼出受信機の仕様

Table 3 Specifications of the patient call receiver

項目	仕様
適合規格	ARIB STD-T66
通信方式	IEEE802.11b/g
受信周波数範囲	2,412~2,472 MHz 13チャンネル
暗号化方式	WEP(128bit), WPA2-PSK
変調方式/伝送速度	OFDM : 6 Mbps~54 Mbps DSSS : 1 Mbps~11 Mbps

5. 2.4 GHz帯を用いた医療向けワイヤレスシステム

人体から得られる心電情報、血圧情報などの生体情報や、これらを扱う医療機器の制御・操作信号を無線化することにより、医療活動の高度化や利便性向上に貢献する。無線化において新たな技術を応用することにより、通信の信頼性向上や低遅延化を実現した。これにより、従来、有線ケーブルによるデータ伝送が前提とされていた画像診断においても無線化が可能となり、操作性や診断精度は従来と同レベルを維持しながら利便性を大きく向上させた。

ISM帯の電波のうち、2.4 GHz帯は海外展開できる周波数帯であり、Bluetooth方式等により海外でもそのまま使用可能である。また、Bluetooth方式は周波数ホッピングにより混信防止となるメリットもある。通信距離は短いが周辺機器を無線で接続するには適した周波数帯である。

2.4 GHz帯を使用する医療向けワイヤレスシステムの構成例を図4に示す。



図4 2.4 GHz帯医療向けワイヤレスシステムの構成例
Fig.4 Configuration example of the wireless system for 2.4 GHz band medical use

2.4 GHz帯を用いた医療向けワイヤレスシステム⁽¹⁾として当社が開発した「ワイヤステレメトリシステム」および「ワイヤレスフットスイッチシステム」について以下に述べる。

・ワイヤステレメトリシステム

本システムは心電波形データを診断装置に無線伝送する。無線方式として BLE (低電力消費・低コスト化に特化した Bluetooth規格) を採用する。BLEに当社独自プロファイルを実装し、伝送の信頼性、信号のひずみ特性、ノイズ特性および伝送遅延を従来の有線ケーブル接続によるテレメトリシステムと同等のレベルに抑えている。

・ワイヤレスフットスイッチシステム

本システムは、医療装置を制御するために使用するフットスイッチのON/OFF信号を無線伝送する。無線方式として当社の独自プロトコルを採用し、電波の干渉が生じた場合には信号の再送および無線チャンネルの自動再選択を可能とする。また、スイッチの状態変化の検出直後に信号を送出することが可能であり、制御遅延が小さいため、従来の有線ケーブル接続によるシステムと同等の操作性を実現する。消費電力は低く抑えており、フットスイッチの寿命である100万回のON/OFF操作を行っても電池交換が不要である。

当社が開発した「ワイヤステレメトリシステム」と「ワイヤレスフットスイッチシステム」の仕様を表4に示す。

表4 「ワイヤステレメトリシステム」と「ワイヤレスフットスイッチシステム」の仕様

Table 4 Specifications of "wireless telemetry system" and "wireless foot switch system"

項目	仕様	
通信方式	テレメトリ	BLE
	フットスイッチ	独自方式
送信出力	テレメトリ	0 dBm e.i.r.p
	フットスイッチ	-10 dBm e.i.r.p
周波数範囲	2,400~2,483.5 MHz	
医用電気機器安全規格	IEC60601-1 (筐体表面温度) IEC60601-1-2 (電磁妨害)	

6. UWB無線を適用した医療向けワイヤレスシステム

医療診断において使用する画像データを無線伝送するためには、広い周波数帯域が必要である。当社は、UWB（超広帯域）無線を用いた医療向けワイヤレス周辺機器を開発し、高速通信による画像伝送のワイヤレス化を可能とした。UWBは、周波数帯域が広い分、帯域あたりの送信電力が極めて低く抑えられるため、人体に対する高周波エネルギーの侵襲性が低く、安全性に優れていると考えられている。使用する無線周波数は6 GHz～9 GHzで、帯域幅は500 MHz以上である。変調方式としてマルチバンドOFDMを採用することにより、送信出力を抑えつつ高速伝送を可能とする。また「Wireless USB規格（有線通信の安全性と速度を確保しながら無線通信の利便性をもつ技術規格）」に準拠させることにより、有線ケーブルによる接続時と同等の通信安定性、安全性、通信速度を実現している。さらに、「Auto Quick Link技術（複数の送信機から送出される信号のうち最も受信レベルが高い信号を自動的に選択し接続する技術）」の採用により、煩雑なペアリング操作を不要とする。

UWB無線を適用した医療向けワイヤレス周辺機器が「ワイヤレスディスプレイシステム」および「ワイヤレスプリントシステム」である。「ワイヤレスディスプレイシステム」は、診断装置とサブディスプレイとの間を無線接続し、診断装置が出力した画像データをサブディスプレイへ伝送する。伝送遅延が極めて小さく、生体の動きなどをほぼリアルタイムでディスプレイへ表示させることが可能であり、遠隔医療活動に大きく貢献する。また「ワイヤレスプリントシステム」は、画像診断装置とプリンタとの間を無線で接続し、診断装置が出力した画像データをプリンタへ送信する。

UWBワイヤレスシステムの構成例を図5に、またUWBワイヤレスシステムの仕様を表5に示す。



図5 UWB ワイヤレスシステムの構成例

Fig.5 Configuration example of UWB wireless system

表5 UWBワイヤレスシステムの仕様

Table 5 Specifications of UWB wireless system

項目	仕様
通信方式	Wireless USB
周波数範囲	6,336～8,448 MHz (EU) 7,392～8,976 MHz (US, CA, JP)
平均電力	-41.3 dBm/MHz e.i.r.p
尖頭電力	0 dBm/50 MHz e.i.r.p
医用電気機器安全規格	IEC60601-1(筐体表面温度) IEC60601-1-2(電磁妨害)

7. 60 GHz帯画像伝送システム

画像診断などの医療現場で使用されるディスプレイは高解像度化が進んでいる。一例として、内視鏡においては次世代テレビ放送用の超高精細映像技術（8 K）が応用されており、これに伴ってサブディスプレイも大型化および高解像度化が進んでいる。また、昨今はサブディスプレイに対する表示応答の低遅延性が要求されている。無線を用いて高精細の画像データを低遅延で伝送するためには無線の広帯域化が必須であり、広帯域化においては使用する電波の周波数が高いほど有利である。

当社は、60 GHz帯という非常に高い周波数の電波を使用する画像伝送システムを開発した。チャンネル間隔2.16 GHzで、データ伝送速度は4.620 Gbpsである。これは、従来のUWB無線を用いた画像伝送システムによる伝送速度の10倍に相当する。

60 GHz帯の電波は、広い帯域幅を確保し高速伝送を可能とするメリットを持つ一方、電波の直進性が高いためアンテナの向きを通信相手へ正確に合わせる必要があり、一般ユーザにとっての使いにくさが避けられなかった。しかし、当社が採用した受信レベルが最良となる方向にアンテナの指向性を合わせるビームフォーミング技術によりアンテナの向きを意識する必要がなくなり、使用上の簡便性を大きく向上させている。また、ビームフォーミング技術により、通信経路上にある障害物を避けるような反射波を含めた最良のパスにアンテナの指向性が調整される。このため障害物の影響を受けにくくなり、手術室などのように、画像診断装置とサブディスプレイとの間に医療従事者や医療機器が往来するような状況下においても安定した通信が可能である。

60 GHz帯の電波を使用した無線方式として、IEEE 802.11adが規格化されているが、さらに伝送速度を向上させたIEEE 802.11ayの規格化が進められている。規格化されればより高解像度サブディスプレイが可能となる。

60 GHz帯画像伝送システムのイメージを図6に、また同システムの仕様を表6に示す。

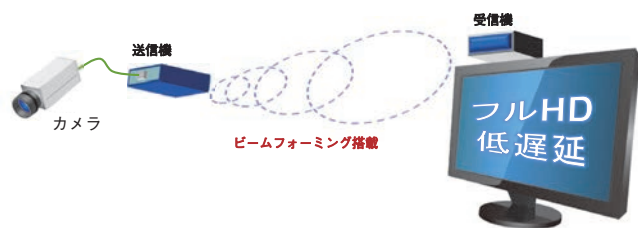


図6 60 GHz帯画像伝送システム

Fig.6 60 GHz band image transmission system

表6 60 GHz帯画像伝送システムの仕様

Table 6 Specifications of 60 GHz band image transmission system

項目	仕様
通信方式	IEEE 802.11ad
変調方式	$\pi/2$ 16QAM (MCS12)
周波数範囲	57.0~66.0 GHz
空中線電力	250 mW
送信出力	40 dBm e.i.r.p
ビームフォーミング	水平 $\pm 80^\circ$ 分解能 5.6°

8. あとがき

医療分野での利用シーンに合わせ、安全性と利便性を兼ね備えた無線製品開発の応用事例を紹介した。

少子高齢化や医療従事者不足が叫ばれる中、新型コロナウイルスの影響も加わり、遠隔診断や遠隔治療など非接触での医療が増加し、今後は医療分野のワイヤレス化が加速すると予想される。無線製品が今以上に広く普及することは確実であり、多くの無線装置が使用される電波環境で、より安全で信頼性の高い通信の実現を目指して今後も医療用無線製品の開発を進めていく。

参考文献

- (1) 鈴木美継, “医療向けワイヤレス周辺機器の開発”, 日本無線技報No.70号, pp.42-45 (2019)

用語一覧

BLE: Bluetooth Low Energy
(低電力消費・低コスト化に特化したBluetooth規格)
SRD: Short Range Device (短距離通信デバイス)
UWB: Ultra Wide Band (超広帯域)
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
(直交周波数分割多重方式)