

医療電磁環境の簡易評価法について

○石田 開¹⁾，藤井清孝²⁾，花田英輔³⁾

- 1) 純真学園大学 保健医療学部 医療工学科
- 2) 北里大学 医療衛生学部 医療工学科
- 3) 佐賀大学 理工学部 数理・情報部門

1. はじめに

近年の医療現場では、多種多様な無線通信が導入されている。無線通信の利活用は、医療安全や業務の効率化などに寄与する。一方、誤った運用や無秩序な導入は、電波障害の原因に成りかねない。医療現場において、無線通信が安心かつ安全に利用されるためには、電波環境の管理が重要である。しかし、電波環境協議会の2022年の調査によれば、医用テレメータの電波干渉対策に関しては、半数以上の病院は特に何も実施していないとの報告がある^[1]。電波や無線通信の利活用が進展する中で、トラブル対策や定期的な電波環境の調査などは、良質な医療の提供に不可欠である。一方、関心はあってもどのように電波環境を調査・評価して良いのか、実施はしたいがコストやマンパワーの問題など、現状では医療現場での実施は難しいことが予想される。そこで本稿では、医療現場で実践可能な電波管理手法を紹介し、それぞれの特徴や注意点について述べる。

2. 医療現場での主な無線通信と電磁波障害

医療現場で無線通信は、音声、動画像、テキストのみにとどまらず、バイタルのようなクリティカルなものの伝送にも用いられる。具体的な機器としては、医用テレメータ、無線LAN、携帯電話などが

挙げられる。従って、無線通信の遅延や途絶、誤ったデータの伝送は、時に致命的な結果を招きかねない。無線通信の品質を劣化させる要因には、電波切れ（受信強度不足）^[2]、混信、相互変調^[3]、電磁雑音^[4]などがあげられる。電波切れについては、アンテナやケーブルなどの受信設備の劣化の他、建築構造による影響も大きい。また、混信や相互変調は自施設のみならず、他施設をも含めた電波管理が必要となる。電磁雑音は電子機器や他の無線通信機器などから発生する、意図しない電磁波による影響であり、新規に機器やシステムを導入する際には、特に重要となる。いずれのケースにおいても、定期的な電波環境の調査をおこなうとともに、電波管理を徹底していくことで、これらのトラブルを回避していくことができる。

3. スペクトラムアナライザによる管理

電波環境の把握や調査をおこなう時、スペクトラムアナライザ（Spectrum analyzer：以下、SA）は恐らく第一選択となる。SAは、無線通信信号や電磁雑音などの詳細な測定が可能である一方、導入は多大なコストを要する。医療現場での測定においては、可搬性を考慮しハンドヘルドタイプやコンピュータと接続して使用するタイプがよく用いられるが、安価なものでも40万円程度、高額なもので

は数百万円程度となる。また、使用にあたっては、電波工学や通信工学などの専門的な知識が必要となるため、医療従事者が使用するためには、ややハードルが高いと考えられる。電波環境測定において、SAを導入・使用することは望ましい。しかし、医療機関が独自にSAを導入することは比較的容易ではなく、安価でかつ医療従事者でも簡便に電波環境を測定可能な手法の確立が望まれる。次項以降では、医療現場における簡易的な電波管理手法を紹介するとともに、その応用例についても解説する。

4. 患者モニタの簡易 SA 機能による管理

医用テレメータは、患者のバイタルを無線伝送する医療機器であり、9割近い病院で導入されている^[5]。その一方で、半数を超える施設は、電波に関するトラブルを経験している。従って、安全な運用のためには、電波管理が極めて重要となるが、前述のようにSAの導入では様々なハードルがある。しかし、SA実機ではなくとも、近年の医用テレメータ用の受信機（生体情報モニタ）には、簡易的なSA機能が搭載されている。この機能を用いることで、日本国内の医用テレメータに割れ当てられた、400 MHz帯の各チャンネルの受信強度を測定可能である。過去の研究結果^[6]より、簡易SA機能の受信強度の測定精度は、実際のSAとほぼ同等であるとされている。この機能を用いることで、医療機関内のチャンネルの使用状況や電磁ノイズ源の調査に有効活用が可能である。図1に簡易SA機能を用い

て、医用テレメータの送信信号を測定した例を示す。チャンネルの5020番にピークを確認できる。一部の医療機関では、実際にこの機能を用いて、電波環境調査を実施した例も報告されている^[7]。

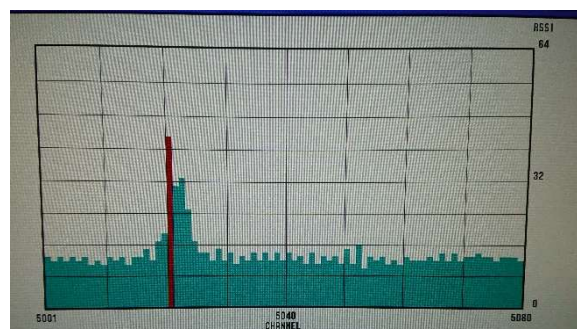


図1 N社患者モニタの簡易SA機能の画面

しかし、簡易SA機能には幾つかの限界がある。第一に、測定可能な周波数帯域が400 MHz帯の内、医用テレメータが用いる6つの帯域（6バンド計6 MHz）に限定されている。第二に、分解能帯域やビデオ帯域幅、掃引時間などの測定器としてのパラメータの変更が不可能である点が挙げられる。また、実際に測定されるのは、各チャンネル（1チャンネルあたり12.5 kHz）における振幅値であり、分解能を細かくして測定することや、ピーク周波数の真値を求めることは不可能である。従って、医用テレメータに関連した通信信号や干渉源となる電磁ノイズを、簡易的に把握する程度の性能という認識が必要である。加えて、一部のメーカーからは情報提供がなされているが、患者モニタ内部には、コンピュータが搭載されており、クロック周波数の高調波と考えられる電磁ノイズが発生し、医用テレメータが用いる周波数と重なるものも確認されている^[7]。実際の電波環境調査の際には、この影響を回避するよう、患者モ

ニタと受信アンテナを同軸ケーブルで延長させ、隔離させるといった対策が望ましい。

5. ソフトウェア無線による管理

5.1 SDRでの測定の概要

SDRは、ハードウェアを変更することなく、制御ソフトウェアの変更により、通信方式を切り替え可能な無線技術である。図2に、幾つかのSDR実機を示す。SDRは、コンピュータとUSBを介して接続することで、無線通信用の受信機として使用可能である。また、速フーリエ変換 (Fast Fourier transform : 以下、FFT) により、SAとして機能させることもできる。幾つかのSDRは、無償提供されたSAのソフトウェアも公開されており、これを用いることで簡易的も電波環境を測定可能である。



図2 SDR実機の例

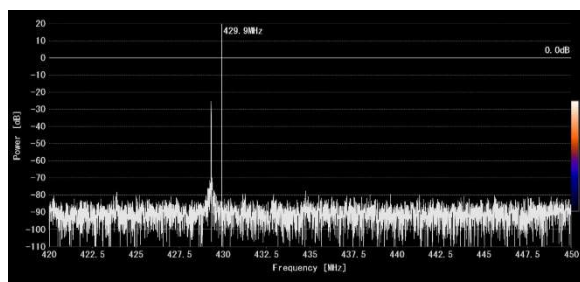


図3 SDRでの測定例

実際にSAとして、電波を測定した例を図3に示す。測定周波数帯域は、420 MHz～450 MHzであり、429.325 MHz (チャンネル3007番) に、医用テレメータの送信信号が確認できる。また、SDRはSA実機のように、FFTの時間窓長や周波数分解能を変更可能なため、狭帯域信号の測定や電磁ノイズの源信周波数の特定にも活用可能である。さらに、内部の増幅器のゲインも調整することが可能である。SDRの中には、測定周波数の上限が6 GHzと、比較的広帯域に対応した機種も存在す。従って、5 GHz帯の無線LANやローカル5Gなどの電波環境管理にも活用できる。

一方、振幅のダイナミックレンジや測定帯域幅は、SA実機と比較するとSDRでは、一般的にやや劣る。また、機種により性能も様々であり、一般に、高機能なもの程高コストである。しかし、400 MHz帯の医用テレメータの信号を測定できるものの中には、数千円程度で購入可能な比較的安価な機種も存在し、簡易的な評価であればその精度は十分かと考える。

5.2 SDRの応用例 (今後の展望含む)

SDRは、安価に電波を測定できるフロントエンドデバイスとして注目される。また、SDRはPythonやC#などの言語で制御可能である。従って、簡単な開発環境があれば、電波環境システムを構築することも比較的容易であろう。

本稿では、機械学習との応用例として、医用テレメータの搬送波対雑音比 (Carrier to Noise Ratio : 以下、CNR) の推定例について簡単に述べる。著者は、数千円程度のUSB Dongle型SDR(RTL-

SDR) を測定器として用い、信号強度と雑音強度を変動させて再現した0~60 dBまでのCNRを、誤差1 dB以内に推定できる学習アルゴリズムを構築した^[8]。図4に勾配降下ブースティングを用いて学習・推定したCNRの結果を示す。決定係数は0.995、平均絶対誤差は0.844と極めて良好な結果を得ている。アルゴリズムの学習には、学習環境としてのハードウェアが必要であるが、構築したアルゴリズムは、シングルボードコンピュータにも搭載が可能である。近年では、Nvidia Jetsonのようにグラフィックボードを搭載した安価なシングルボードコンピュータも販売されており、SDRと組み合わせることで、数万円程度で電波環境を評価可能なシステムが構築できると考える。

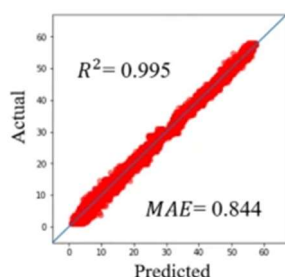


図4 SDRで測定したデータからのCNRの推定結果

5. まとめ

本稿では、医用テレメータに搭載された簡易SA機能と、SDRによる簡易的な電波環境測定法を紹介した。どちらの方法も、SA実機を用いた方法と比較すると、導入に係るコストを抑えることができる。医用テレメータの簡易SA機能は、新た々に測定器類を一切調達することなく、電波環境を測定・調査できる。また、別途コンピュータが必要にはなるが、SDRも比較的安価なコストで導入が可能である。

しかし、その性能に関しては、両者は一般的なSA実機には劣る。また、簡易SA機能やSDRで測定される値の単位（物理量）は、単純なデシベル値表示を採用しているものもあり、ブラックボックスであることが多い。また、信号の検波方式や表示方法などの不明なことが多く、受信機に入力された信号や電磁雑音の値は必ずしも真値ではないことを記しておく。従って、あくまで簡易的に電波環境を測定・評価する手法として利用することが望ましい。具体的には、医療機関内の電波環境を定期的に調査する際や、電磁雑音が疑われた際に有効活用できる。一方、医用テレメータの受信アンテナや周辺機器の更新時における、受信状況調査といった際には測定精度の高いSA実機の使用が望ましい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP 23K09591 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 電波環境協議会. 2021 年度医療機関における適正な電波利用推進に関する調査の結果, 2022.
- [2] Hanada E, Ishida K and Kudou T. Newly identified electromagnetic problems with medical telemetry systems. *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol.94, No.2, p.21-24, 2018.
- [3] 石田 開. 医用テレメータ受信機で発生する相互変調に関する研究. *医療機器学*, Vol.92, No.1, p.2-13, 2022.
- [4] Ishida K, Wu I, Gotoh K, Matsumoto Y. Electromagnetic Compatibility of 400 MHz Radio Communications in Hospitals: Safety Management of Wireless Medical Telemetry. *Journal of Medical Systems*, Vol.44, no.9, p.154, 2020.

- [5] 電波環境協議会. 2022 年度医療機関における適正な電波利用推進に関する調査の結果, 2023.
- [6] 石田 開. 医用テレメータに搭載された簡易スペクトラムアナライザ機能に関する基礎的研究. 医療機器学, Vol.90, No.3, p.237-244, 2020.
- [7] 電波環境協議会. 令和元年度 医療機関における電波利活用推進のための取組事例集 I (グッドプラクティス編), 2020.
- [8] Ishida K. Novel Estimation Technique for the Carrier-to-Noise Ratio of Wireless Medical Telemetry Using Software-Defined Radio with Machine-Learning. Scientific Reports, Vol.13, p.4152, 2023.