

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：35309

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03876

研究課題名(和文)ドクターヘリ及びドクターカーを含む病院外への医用テレメータの情報漏洩対策手法

研究課題名(英文)Prevention of leakage of medical telemetry information from a hospital, a helicopter ambulance and a doctor car

研究代表者

茅野 功 (KAYANO, ISAO)

川崎医療福祉大学・医療技術学部・教授

研究者番号：70390242

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多くの病院で使われるようになった、電波を使って生体情報の通信を行う医用テレメータの混信と情報漏洩を防止する手法について検討した。実測とコンピュータシミュレーション(FDTD法)の結果、現在多くの病院で採用されている混信対策手法のうち、上下階でのチャンネル管理(ゾーン管理)では混信を防ぐことができないことがわかった。また、病院外へはドクターヘリやドクターカーを含め、最長122 mまで生体情報が受信可能なレベルで電界が漏れていることがわかった。そこで我々は、新たな電波管理手法を提案し、混信の原因となる電界強度を現状の1/10程度にすることを可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医用テレメータの普及率が飛躍的に高まる今日、この通信に対する信頼性の向上は医療の安全を管理する上で非常に重要な課題である。これを導入する病院の4割以上で通信トラブルを経験しており、適切な電波管理手法の提案は極めて緊急性が高い。本研究の成果は、医用テレメータの電波環境を可視化し、病院内の電波減衰の原因と現状の電波管理手法の問題点を明らかにした。また、混信の原因となる電波を約1/10に軽減できる新しい管理手法の提案に至った。さらに、ドクターヘリおよびドクターカー(移動体)からの電波漏洩の程度を定量的に明らかにし、病院近接地域における移動体内での医用テレメータの使用規定の一助になると確信している。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined prevention of interference and information leakage from medical telemeters, which are adopted in many hospitals. Based on both the actual measurements and computer simulations (FDTD method), it was found that the most-widely used preventive method, i.e., channel management between two adjacent floors (zone management), does not effectively prevent the interference. It was also noticed that the electric fields were at a measurable level up to 122 meters from a hospital, a helicopter ambulance and a doctor car, indicating that the leaked patient biological information may also be detectable. We then proposed a new radio wave management method that reduces electric field strength, which causes interference, to 1/10 of the current level.

研究分野：医療管理学

キーワード：医用テレメータ 医療用テレメータ 環境電磁工学 FDTD

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

医用テレメータは、患者の様々な生体情報を遠隔に監視できることから、近年多くの病院で採用されている。患者に付帯させた携帯型送信機から取得された生体情報は、電波によってナースステーション等に設置される受信機(セントラルモニタ)で受信される。この医用テレメータで使用される UHF 帯(400MHz 帯)域の電波は、電波法で特定小電力無線局として管理されるため、各病院は免許不要で使用ができる。この普及により、近年では院内で多くの医用テレメータの電波が飛び交っており、院内での医用テレメータの信頼性確保が重要な課題となっている。

近年の問題として、特に都市部の病院において隣接した病院のテレメータの電波より通信障害が生じる例が報告されるようになった[1]。これは、これまでの医用テレメータの電波管理が院外への放射を想定したものではないからであり、医用テレメータの信頼性の観点からは大きな問題である。現在、この問題が生じた場合には、問題が生じた病院間の医用テレメータのチャンネル管理者同士の話し合いにより、問題が生じたチャンネルの使用禁止や使用権の取り決めを行って対処している。しかしこれらの手法はすべて問題の発覚後にはじめて対処するものであり、どのような環境(地理的、構造物、季節、天候)で電磁障害が生じるかといった定量的な評価はなされたことはない。さらにこの問題は、病院外から患者情報の取得が可能であることを示しており、医用テレメータの信頼性の観点からも大きな問題となる。これは、ドクターヘリやドクターカーの患者情報をテレメータで管理する場合も同様であり、このような移動体から放射されるテレメータの電波の傍受可能性を調査し、その対策を検討することは、医用テレメータの信頼性確保の観点から極めて重要である。

2. 研究の目的

本研究は、病院内外および移動体(ドクターヘリとドクターカー)から放射された医用テレメータの電波の受信可能範囲について調査し、環境(地理的、構造物など)に応じた受信可能性を定量的に示す尺度の作成と、これに伴う医用テレメータの外部漏洩防護手法を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 病院外放射の程度評価

医用テレメータの病院外への電界漏洩の程度を確認するため、川崎医科大学総合医療センター(15階建て:岡山県岡山市,以下A病院)の15階(屋上),13階(51.2m),11階に実験用の医用テレメータ(フクダ電子製:DS-8100)を設置し(図1),A病院から1300mの範囲を4方向にわけ、それぞれ50,350,650,1000,1300mの地点における実験用テレメータから放射される電界強度[dB μ V/m]をスペクトラムアナライザ(MSA538E Micronix 社製)測定した。測定の概要を図2に示す。



図1 実験風景の一例

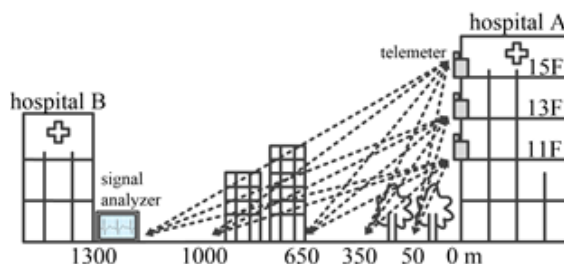


図2 測定概要

(2) 医用テレメータ利用者の体位における電界損失の影響評価

医用テレメータの利用者による電界遮蔽の程度を確認するため、電界電磁界の遮蔽物がない川崎医療福祉大学のグラウンド中央にて医用テレメータを装着した被験者に立ってもらい、立位と仰臥位の2つの場合で検討した。立位の場合、正

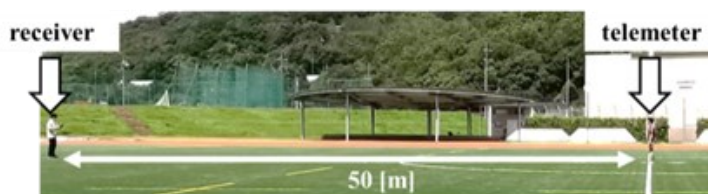


図3 測定風景の一例

面を 0° 背面を 180° とし、仰臥位の場合は足側を 0° 、頭側を 180° とした。この状態においてそれぞれ 45° ずつ8方向に対し2 m間隔で50 mまでスペクトラムアナライザ(MSA538E Micronix 社製)を用いて測定を行った(図3)。スペクトラムアナライザの設定は、周波数: 420.5MHz、RBW: 30kHz、VBW: 30kHz、掃引時間を10ms、尖頭値の測定を128回とした。

(3) 病院内電磁環境調査

病院内の医用テレメータの電界強度の実際を確認するため、130台の医用テレメータが稼働している上記A病院について、病室が配置された病棟である9階から13階の医用テレメータが使用される周波数帯域の電界をスポット測定した。電界の測定には、スペクトラムアナライザ Micronix 社製 MSA538E、アンテナは同社製ポータブルアンテナ M405(周波数範囲 300~500 MHz; 1/4 波長ホイップアンテナ) をケーブルレスで接続し、アンテナを垂直に立て垂直偏波を測定した。測定ポイントはすべて病院通路とし、さらに受信アンテナの高さは床から0.5 mとした。測定ポイントは9階から13階の東病棟および西病棟それぞれに、各階で同じ場所3ヶ所、各階ごとに6ヶ所の計30か所を設定した。測定ポイントの概略を図4に示す。図中の記号(12A等)は、各測定ポイント毎に、階数と各階の同じ場所と同じ英字を付した識別記号である。

測定時は測定ポイント毎に観測者が立ち、医用テレメータの搬送波周波数を含む420 MHz~430 MHzおよび440 MHz~450 MHzとし、アマチュア無線帯域である430 MHz~440MHzは測定から除外した。分解能帯域幅(RBW; Resolution Band Width)は10 kHz、ビデオ帯域幅(VBW; Video Band Width)は10 kHz、掃引時間を0.1秒として、それぞれの測定ポイントにて128回ずつ尖頭値の計測を行い、最も高い値を測定値とした。

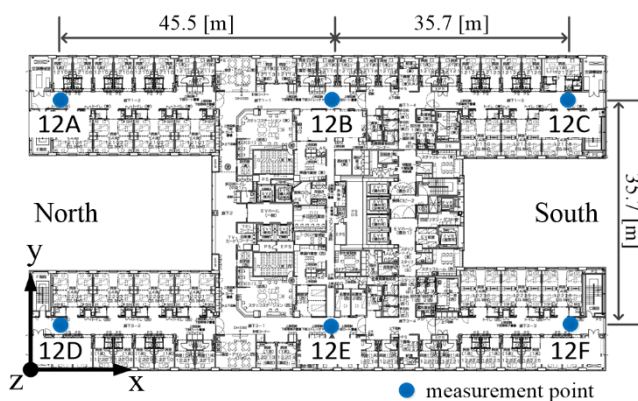


図4 測定ポイントの一例

(4) 病院内電磁界 FDTD シミュレーション

病院内の医用テレメータによる電界の在り様を評価するため、上記A病院について時間領域差分法(Finite-Difference Time-Domain method, 以下FDTD法と示す)による電磁界シミュレーションを実施した。建物の構造は病院竣工図を基に、コンクリート、石膏ボード、ガラス、金属の4種類とした。床面は金属を含まないコンクリート造とし、病室間のパーティションはすべて石膏ボード、エレベータおよび鉄骨は金属とし、また窓部はサッシも含めガラス造とした。さらに柱や梁はコンクリート造とするが、内部鉄筋はモデルの対象外とした。金属は完全導体とし、コンクリートの複素比誘電率の虚部項については、等価導電率に置き換えた。

本解析の励振条件(放射源)は、病室内中央に設置された患者ベッド上の患者腰部(高さ0.5 m)に装着された医用テレメータを想定した。また、医用テレメータは、本体から患者へ装着する電極リードの一部がアンテナとなる場合が多いが、患者の姿勢(座位および仰臥位など)によりアンテナの位置や放射特性が大きく異なることが知られているため、医用テレメータ本体を内部抵抗50Ωの微小ダイポールアンテナ(鉛直方向)とし、このアンテナに対して1mWの送信信号を与えた。解析モデルの全体図と放射源の位置の関係を図5に示す。

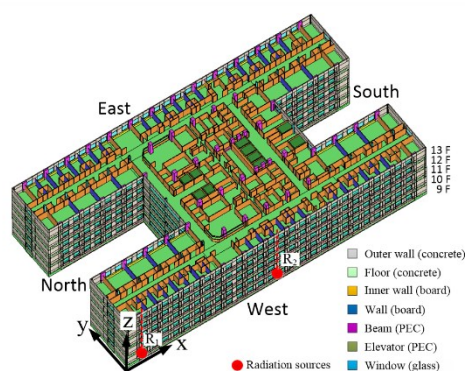


図5 シミュレーションモデル概略

(5) 移動体内電磁界シミュレーション

移動体内における電界の在り様を評価するため、上記A病院におけるFDTD法による電磁界シミュレーションと同様に、A病院で使用するドクターヘリおよびドクターカー内の医用テレメータから放射される電磁界シミュレーションを実施した。ドクターヘリは川崎重工株式会社製BK117、ドクターカーはトヨタ製CBF-TRH226Sの設計図面を基に、ガラス、ゴム、金属金属の4種類の構造とした。また、外部構造として空気と地面を設定した。

本解析の励振条件(放射源)は、いずれも患者ストレッチャー中央から200mm上部とし、内部抵抗50Ωの微小ダイポールアンテナ(鉛直方向)とし、このアンテナに対して1mWの送信

信号を与え、地上とドクターヘリの場合のみ空中におけるシミュレーションを実施した。

4. 研究成果

(1) 病院外放射の程度評価

3. (1) の方法に従って送信機を A 病院に設置した場合の電磁界強度について、送信機からの距離毎の減衰の様子を図 6 に示す。図 6 中の縦軸は電界強度 $[dB\mu V/m]$ を示し、横軸は送信機からの水平距離 $[m]$ をそれぞれ示す。図中の実線はフリスの公式による理論値に基づく近似曲線を示し、同様に点線は送信機を屋上 (15 階) に置いた場合、1 点鎖線は送信機を 13 階に置いた場合、破線は送信機を 11 階に置いた場合をそれぞれ示している。実験の結果、すべての測定点における値は理論値より低い値であり、測定値は距離に応じて理論値の減衰割合とほぼ同等に減衰していた。本実験のパラメータをフリスの伝搬公式に当てはめると、郊外への構造物損失は $-20dB$ であると考えられ、院外への通信可能距離は $121.6m$ と導出された。また、送信機の高さを下げる毎に構造物による損失はほぼ線形に上昇し、その比率は $0.46 dB/m$ となることがわかった。これより通信可能距離は、13 階で $54.3 m$ 、11 階では $24.3 m$ となることがわかった。

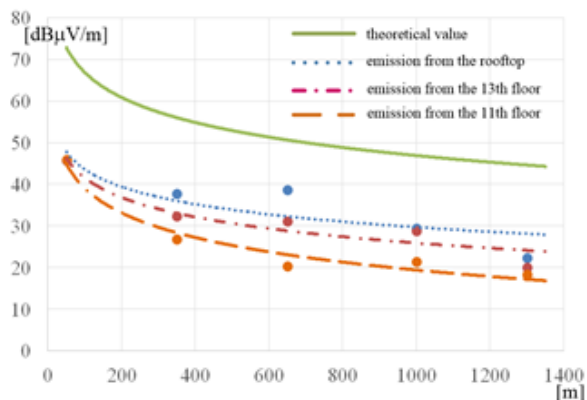


図 6 電界強度と距離の関係

(2) 医用テレメータ利用者の体位における電界損失の影響評価

3. (2) の方法による実験の結果、立位・仰臥位双方ともそれぞれすべての方面に対して送信機から距離が離れるほど電界強度が小さく観測された。一方でその減衰割合は角度により差異が見られた。医用テレメータに使用されるアンテナ (ダイポールアンテナ) は理論上、立位の場合は無指向性であるのに対し、測定結果では 135° 方向で最大 20% 程度の顕著な減衰が見られた。これは、身体による電界強度の減衰が大きいためであると考察する。仰臥位では、理論上 0° と 180° 方向で最も減衰が大きくなるが、測定では 135° あるいは 315° 方向で減衰が大きく観測され、他の方向と比較して最大で 17% 減衰していた。これは患者のアンテナが半時計方向に 45° ねじれて装着されていた可能性が考えられる。この結果を図 7 に示す。これらの結果、医用テレメータから放射される電磁界はダイポールアンテナの理論的特性や装着者自身が遮蔽物となることにより指向性を持ち、最大で約 2 割程度理論値から減衰される可能性があることが示唆された。立位では 135° 方向、また仰臥位では体軸方向への減衰が 2 割程度発生することに留意して受信機あるいは受信アンテナの配置を設計すべきであると結論づけた。

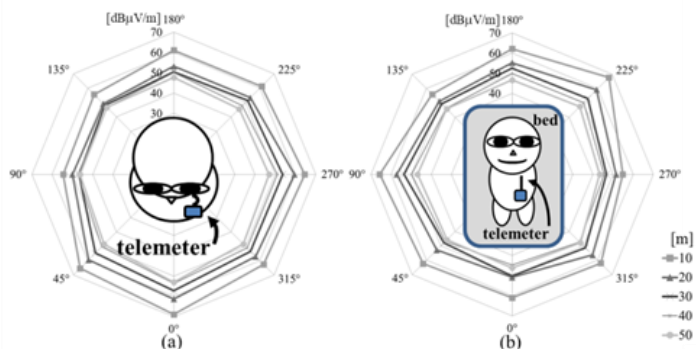


図 7 体位による電界の差異

(3) 病院内電磁環境調査

3. (3) の方法によって測定した病院内の電界スペクトルの一例として、9 階における結果を図 8 に示す。図 8 は 6 か所それぞれの測定ポイントにおいて、横軸に周波数 $[MHz]$ 、縦軸に電界強度 $[dB\mu V/m]$ としたスペクトルを示している。また、強い電界強度を観測した代表される各尖頭値について、その該当する医用テレメータのチャンネルのゾーンを色別にそれぞれ示している。測定中、医用テレメータのチャンネル 5025 (以下、CH5025) およびチャンネル 5058 (以下、

CH5058) は, 2.2.1 に示す電磁界シミュレーション解析モデルの放射源 R1 および R2 と同一地点であり, 星印で示している。

この結果, 強い電界強度が観測された搬送波周波数は, すべて当該病院で使用中のチャンネルによるものであった。また, 測定した病院の 9 階では, ゾーン 5 (緑色) の医用テレメータを使用するように配置しているが, 複数の測定ポイントにおいて他階から漏洩されたとされる他ゾーンからの電界(チャンネル)が複数観測され, 既存のゾーン管理手法における限界が窺われた。

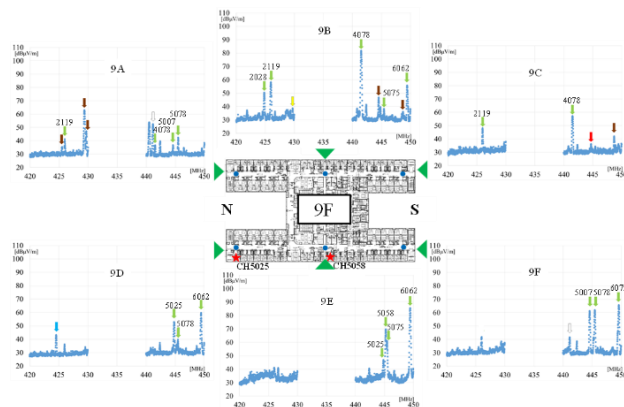


図 8 実測結果の一例 (9 階)

(4) 病院内電磁界 FDTD シミュレーション

3. (4) の方法に基づき, シミュレーションのセルサイズは 25.0×10^{-3} m の直方体とし, 窓ガラス部を含む領域のみを 12.5×10^{-3} m の直方体となる不等ピッチにて分割した。最大セル数は 2,091,775,248 であった。

医用テレメータの放射源(励振部)を, 9 階西病棟中央の病室中央 (R₂) とした場合における, 定常状態達成時のコンターマップを図 9 に示す。(a)は励振部を含む 9~13 階までの鉛直面 (z-y 平面), (b)は 9 階の水平面 (x-y 平面), (c)は励振部を含む 9~13 階までの鉛直面 (x-z 平面) をそれぞれ示す。なお, 電界強度は対数表示 [dBμV/m] としている。医用テレメータから放射された電界は減衰しながらも, 病院内全体へ放射状に伝搬している様子が観察された。

(3) の結果と合わせ, 電界の減衰の程度はおおむね一致しており, シミュレーションの結果は妥当性があるものと考察した。本結果より, 現在のゾーン管理手法における階毎のゾーン管理手法は混信(相互変調)防止には有用ではなく, むしろ水平方向の距離を利用したゾーン分割の方が有用であることが示唆され, 新たなゾーン管理手法を提案した[2]。

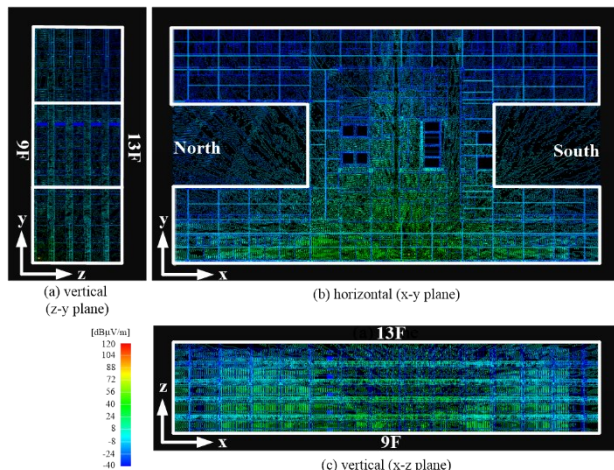


図 9 シミュレーション結果の一例

(5) 移動体内電磁界シミュレーション

3. (5) の方法によるシミュレーション結果の一例 (ドクターヘリの場合) を図 10 に示す。シミュレーションのセルサイズは 3. (4) と同様のセルサイズで最大セル数はドクターヘリで 1,852,790,760, またドクターカーで 1,922, 112,192 であった。この結果, 例えばドクターヘリの場合, 前方斜下方向への電界漏洩が大きく, 地表面において約 70 dBmV/m 以上の電界となることが予測された。また, これに伴い, 同機による実測を実施したところ, 同様に地表面で 76 dBmV/m が観測され, シミュレーションの妥当性が示唆されるとともに,

(1) および (4) の結果と併せ, ドクターヘリ内の医用テレメータからは鉛直下方向に最大 100 m 程度, 受信機への混信を与える原因となることが示唆された (成果は 2022 年 8 月投稿準備中)。

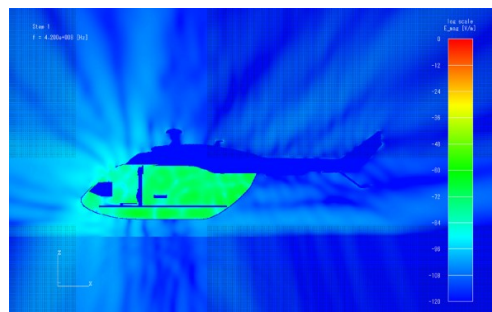


図 10 ドクターヘリ電界シミュレーション

[1] 吉山潤一. 医用テレメータに関連するトラブルとその対策 他施設からの電波混入①. *Clinical Engineering*. 2017, Vol.28, No.10, p.783-788.

[2] 茅野功, 元石徹也, 西江和夫, 宮崎仁, 高山綾, 望月精一. 病院内の電磁環境シミュレーションおよび実測に基づく医用テレメータの新たなチャンネル管理手法, *医療機器学*, Vol.91, No.5, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kayano Isao, Motoishi Tetsuya, Nishie Kazuo, Miyazaki Hisashi, Takayama Aya, Mochizuki Seiichi	4. 巻 91
2. 論文標題 Novel Channel Management of Wireless Medical Telemeters Based on Simulation and Actual Measurement of Electromagnetic Environment in a Hospital	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Iryou kikigaku (The Japanese journal of medical instrumentation)	6. 最初と最後の頁 411 ~ 421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4286/jjmi.91.411	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Isao KAYANO, Hisashi MIYAZAKI, Koei HONDA, Takakiyo YAMAMOTO, Kensaku HAYASHIDA, Yuna YAMAMOTO, Naoki TAKAHASHI, Ryota YOSHIHARA, Yuta OGARASU, Seiich MOCHIZUKI	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of electric field strengths emitted from a medical telemeter transmitter in two different positions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Conference on Emerging Technologies for Communications 2020	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.63.G2-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Isao Kayano, Tetsuya Motoishi, Kazuo Nishie, Aya Takayama, Seiichi Mochizuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental and Theoretical Studies on Communicable Distance for Medical Telemeters between Hospitals Located with a Distance of 1,300 Meters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of ISAP2020	6. 最初と最後の頁 639-640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Isao KAYANO, Hisashi MIYAZAKI, Takakiyo YAMAMOTO, Naoki TAKAHASHI, Aya TAKAYAMA, Seiichi MOCHIZUKI	4. 巻 -
2. 論文標題 Electromagnetic environment for a wireless medical telemeter due to surrounding walls	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 4th International Workshop on Photonics applied to Electromagnetic Measurements	6. 最初と最後の頁 55-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 KAYANO Isao, MOTOISHI Tetsuya, NISHIE Kazuo, SATO Saki, TANIGUCHI Yuto, NAKAJIMA Daichi, MIYAHARA Motoaki, YAMANE Keiji, ONDO Hiroki, TAKAYAMA Aya, MOCHIZUKI Seiichi
2. 発表標題 Experimental study on information leakage from medical telemeter in hospital
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元石徹也, 島谷洋志, 佐々木恵, 高山 綾, 茅野功
2. 発表標題 徘徊センサ導入に伴う無線式医用テレメータへの影響を考慮し施行した電磁環境調査報告
3. 学会等名 第95回日本医療機器学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元石徹也, 島谷洋志, 佐々木恵, 西江和夫, 高山 綾, 茅野功, 村木克久, 平井仁章
2. 発表標題 他の医療施設との生体情報モニタ電波干渉トラブルを経験して
3. 学会等名 第29回日本臨床工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 元石徹也, 島谷洋志, 佐々木恵, 西江和夫, 高山 綾, 茅野功
2. 発表標題 当院における無線式医用テレメータ送信機の電波環境に関する一考察
3. 学会等名 第94回日本医療機器学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮原基聡, 恩藤浩貴, 佐藤沙樹, 谷口雄登, 中島大地, 山根圭二, 元石徹也, 西江和夫, 茅野功
2. 発表標題 病院内の電磁界漏洩の現状に即した医用テレメータの新たなゾーン管理手法の提案
3. 学会等名 第9回中四国臨床工学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

超音波・電磁ソリューションセミナー2021 (CTC伊藤忠テクノソリューションズ主催) にて講演, 演題「医用テレメータの使用による病院内およびドクターヘリ周囲の電磁環境シミュレーション」, 2021年12月

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宮崎 仁 (MIYAZAKI HISASHI) (20550396)	川崎医療福祉大学・医療技術学部・准教授 (35309)	
研究分担者	田中 直子 (TANAKA NAOKO) (40435350)	川崎医療福祉大学・医療技術学部・講師 (35309)	
研究分担者	望月 精一 (MOCHIZUKI SEIICHI) (60259596)	川崎医療福祉大学・医療技術学部・教授 (35309)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高山 綾 (TAKAYAMA AYA) (60413514)	川崎医療福祉大学・医療技術学部・准教授 (35309)	
研究分担者	井上 貴博 (INOUE TAKAHIRO) (70388940)	川崎医科大学・医学部・准教授 (35303)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関