様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６ 年　６ 月 １９ 日現在

機関番号：１３９０４
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2023
課題番号：２０Ｈ０４１７５

研究課題名（和文）衣類間無線電力伝送によるウェアラブルデバイスへの新たな電力供給方法の実現

研究課題名（英文）Realization of new power supply method to wearable devices using wireless power transmission between garments

研究代表者

大村　廉（Ohmura, Ren）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：１０３９５１６３

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではウェアラブルコンピュータの実用性向上や，さらなる柔軟性の獲得を目的とし，衣類上での無線電力伝送に関する研究を行った．伝送に用いるコイル形状について，正方形や円形，正六角形などの主要な形状や，それらのサイズ，また，コイルに生じる曲げやズレについて網羅的にデータを取得し，伝送効率変化の傾向，および，適切な形状などの条件について明らかにした．また，伝送に対して人体から受ける影響や，逆に，人体に与える影響について明らかにした．さらに，実機を用いた実験により，立位や歩行状況において期待できる伝送効率について明らかにした．

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究結果はウェアラブルデバイスや衣類上での無線電力伝送に対して，伝送用コイルの設計指針を与える．形状や大きさなどによって期待できる伝送効率や，コイルに生じる曲げやズレによって生じる効率低下の傾向などが明らかになった．また，人体への安全基準のもと送受信可能な電力を明らかにした．これらのことは，衣類上での無線電力伝送の実用化に大きく寄与するとともに，衣類上でのデバイス間の相互電力供給技術など，あらたな技術開発を萌芽させるものである．

研究成果の概要（英文）：In this study, wireless power transmission on clothing was investigated with the aim of improving the practicality of wearable computers and achieving further flexibility. For the shapes of coils used for transmission, such as squares, circles and regular hexagons, their sizes, and the effect of bending and misalignment that occur in the coils, experiment data were comprehensively obtained, and the trends in changes in transmission efficiency and the appropriate conditions were clarified. In addition, the effects of the human body on transmission and, conversely, the effects on the human body were clarified. Furthermore, through experiments using actual equipment, the transmission efficiency that can be expected in real life situation, such as standing and walking, was clarified.

研究分野：ユビキタス・コンピューティング

キーワード：ウェアラブル・コンピューテイング　無線電力伝送　電源管理　コイル設計

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１（共通）

１．研究開始当初の背景

近年のウェアラブルデバイスの実用化，ならびに，多様化に伴い多数のウェアラブルデバイスを装着することが予測される．しかし，ユーザが多くのウェアラブルデバイスを利用する状況では，個々のデバイスの電源について留意し充電などの管理を行わなければならないなど，手間が非常に高くなり実用性を損ねると考えられる．

そこで本研究では，ヒトが重みを感じ難い部位である腰部等に大容量の電池を装着し，この電力を全身に分配することを考える．そして，これを実現するための，衣類間や衣類とデバイス間では無線電力伝送を用いて電力を伝送することを考える．

既存研究においても，衣類間，もしくは，衣類とデバイス間，さらには，環境と身体上のデバイス間などでの無線力伝送の研究事例はいくつか存在した．しかし，それぞれの研究は単体もしくはごく少数のコイル形状に限定的して無線電力伝送を行ったものであり，どのようなコイルが適切か，といった研究は行われていない．また，衣類にコイルを実装した場合には，その部位の影響により「曲げ」が生じるなどコイルの形状が変化する可能性があるが，そのような影響は十分に研究されていなかった．さらに，衣類同士や衣類とデバイス間での無線電力伝送では，それぞれのコイルは独立に設計される可能性があり，実際には異なるコイル形状の組み合わせによって電力伝送が行われる可能性があるが，既存研究ではそのような状況はほとんど考慮されておらず，その是非に関する議論もほとんど行われていない．そして，人体が側に存在することによる伝送への影響や，人体に対する影響の評価も十分ではなかった．

２．研究の目的

本研究では，１）主なコイル形状に対してズレだけでなく「曲げ」やの影響も考慮しつつ網羅的に実験を行い，伝送効率を中心とする性能の傾向と適切なコイルの組み合わせを明らかにすること，２）人体に与える影響及び人体から受ける影響を明らかにし，安全性とそれに伴う伝送への影響を明らかにすること，３）１で明らかにしたコイル組合わせを元に実機を実装し，実機での性能を測定すること，を目的とした．

３．研究の方法

無線電力伝送にも電磁誘導方式や電界結合方式など様々な方式が存在する．衣類上ではコイル同士のズレが多く発生すると考えられることから，本研究では数十 cm から数 m 程度の比較的長い伝送距離を持つ磁気共鳴方式を用いることとした．

研究目的１については，シミュレーション実験によっておこなった．図１に示すよう，正方形，円形，正六角形，正三角形，長方形の５つの形状を想定し，コイルを作成した．実機の作成を想定してコイルの素材は銅線（箔）とし，既存研究を参考に，巻き数４回，線幅 0.2cm，線の間 0.01cm，厚さ 0.0035cm で作成した．コイルの大きさは図１内の d もしくは d1 が 1cm，3cm，5cm，10cm の場合をそれぞれ作成した．なお，長方形については，長辺(d1)：短辺(d2)の比率を 3:1.33 とし，各サイズでこの比率となるようにした．各コイルの共振周波数は ISM(Industry Science Medical)バンドである 13.56MHz となるようにコンデンサを付与した．

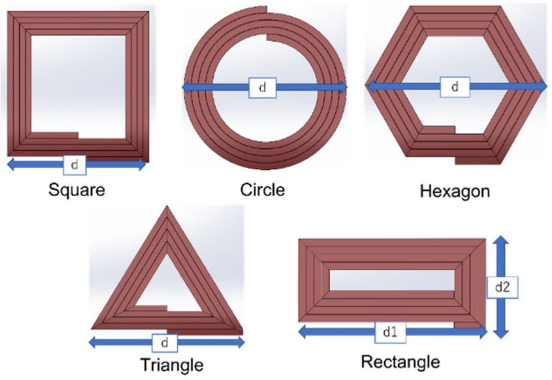

図 1 コイル形状

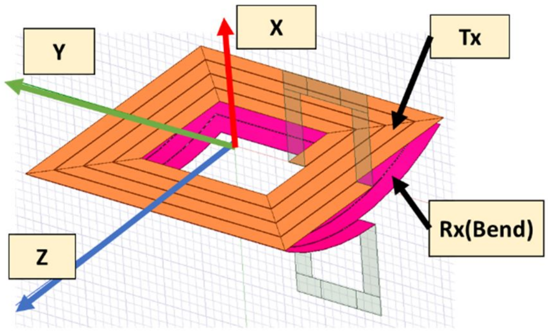

図 2 シミュレータ上でのコイル配置

このような条件で作成したコイルを図 2 のようにコイル間の最短距離が 0.04mm となるようシミュレータ上で配置した．そして，コイルに「曲げ」や，送信コイルと受信コイルについて x 軸，y 軸，z 軸方向にそれぞれ「ズレ」を発生させ，その際の伝送効率（S_{21}パラメータ）を測定した．曲げについては手首や腕周り，胸回り，腰回り，腿回り，足首など，体の各部位の曲げ半径を人体データを参考にして決定して適用した．また，ズレについても，実際の体の動きやひねりなどを参考にして決定した．

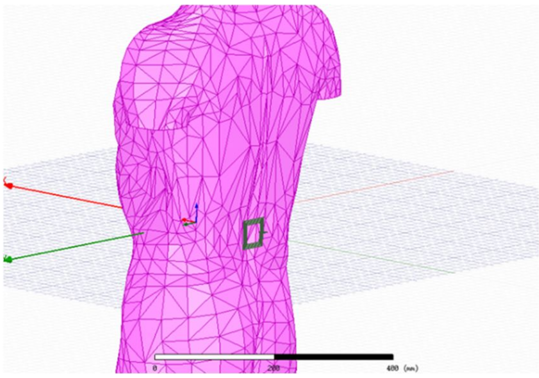

図 3 人体とコイルの配置（腰部の場合）

図 4 衣類へのコイルの実装

a) 立位　　b) 座位　　c) 歩行　　d) 仰臥位

図 5 測定対象とした姿勢

研究目的２も，シミュレーションを用いて実験を行った．図３に示すようシミュレータ上でコイルと人体を配置して電力伝送を行い，この条件下において伝送効率の測定を行うことで人体が伝送効率に与える影響の測定を行った．なお，人体とコイルの間隔は一番近い部分で 3mm とした．人体に与える影響については，この伝送における SAR（Specific Absorption Rate）の確認をおこなった．

研究目的３については，研究目的１の結果をもとにコイルの実機を作成し，図４に示すようパーカーやズボン，靴下などの衣類に実装を行った．立位においてコイル同士が横方向のズレなく対峙するようにした．そして，図５に示すよう，立位，座位，歩行，仰臥位寝るなどの各種姿勢において，伝送効率の測定を行った．

４．研究成果

研究目的１について，取得したデータの一部を表１，図６に示す．表１は，送信側，受信側それぞれのコイル形状の組合わせに関する結果である．スマートウォッチへの電力伝送を想定し，コイルサイズは d=3cm，曲げ半径は 4cm（袖口を想定）とした．表内の値は，送信側のコイルが平面（曲げが生じ無い）の場合，および，曲げが生じた場合での最大伝送効率を示している．ズレは考慮していない．

表１の結果から，基本的には同形状の組合わせの効率が良いが，円形，正六角形，正方形を含

表 1 送受信側それぞれのコイル形状と最大伝送効率（d=3cm）

			受信側				
			円形	正六角形	正方形	長方形	正三角形
送信側	円形	平面	61%	52%	63%	13%	16%
		曲げあり	34%	30%	41%	6%	7%
	正六角形	平面	52%	50%	52%	11%	14%
		曲げ	28%	24%	34%	5%	5%
	正方形	平面	63%	52%	85%	11%	14%
		曲げあり	40%	35%	62%	7%	7%
	長方形	平面	13%	11%	11%	8%	3%
		曲げあり	6%	4%	7%	2%	5%
	正三角形	平面	16%	14%	14%	3%	6%
		曲げあり	7%	5%	7%	1%	1%

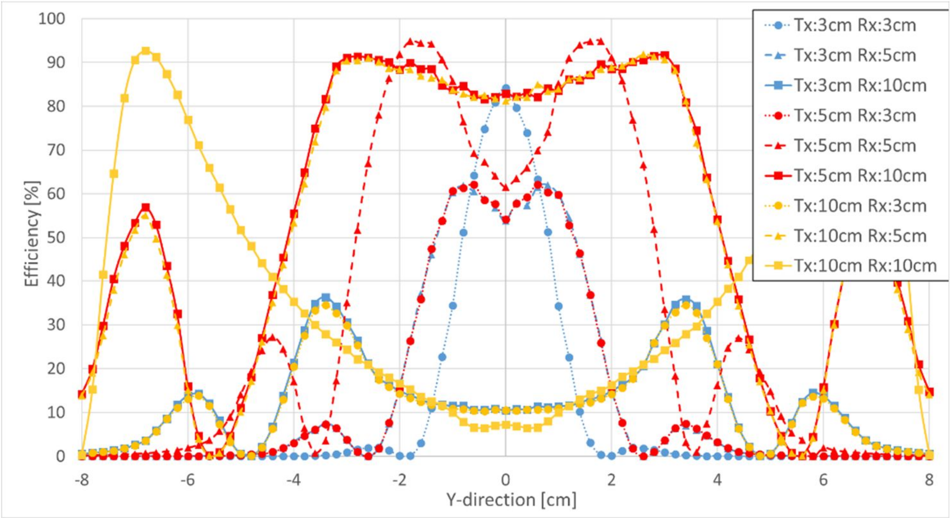

図 3 各コイルサイズにおける Y 軸方向ズレと伝送効率（送信：正方形，受信：正方形同士）

んだ組みあわせの効率が良いことがわかった．また，送信側に曲げが生じた際にはいずれも伝送効率低下するものの，送信側のコイル形状が正方形の場合は他よりも弱冠高い伝送効率を維持し，なかでも送信・受信ともに正方形同士の場合は効率の低下が少ない（すなわち，曲げに対して比較的頑健である）ことがわかった．なお，この結果はコイル形状によってコイルが占める面積（コイルの外周により囲まれる面積）が大きく異なる事に起因する可能性がある．このため，正方形コイルの面積を基準にそれぞれのコイル形状での面積が 9㎠ となるよう d を調整した場合についても同様の測定を行った．これにより，平面（曲げなし），曲げあり，いずれの条件においても全体的に効率は改善したが，円形，正六角形，正方形の効率が他より優れることや，曲げが生じる送信側に正方形を用いた場合は他よりも伝送効率が維持される結果は変わらなかった．

図 6 は送信側，受信側とも正方形のコイルを用い，Y 軸方向にずれを発生させた時の伝送効率である．曲げは生じさせていない．また，d=1㎝ のコイルは伝送効率が低かったかためグラフからは除外してある．送信側コイル，受信側コイルサイズの組みあわせが 5㎝ と 10㎝ の場合（送信側 5㎝ と受信側 10㎝，もしくは，送信側 10㎝ と受信側 5㎝），ズレが-3㎝ から 3㎝ 程度の範囲では 80%から 90%の効率が維持されている．一方，送信側，受信側両方とも 5㎝ や 10㎝ の場合は，中央部（ズレなし）の時の効率が顕著に落ち込み，ズレが生じた部分に伝送効率のピークが現れている．これは磁界共鳴方式による無線電力伝送においてコイル同士が近すぎるために現れる現象である．また，10㎝ 同士や 5㎝ 同士の組合わせでは，最大効率は 5㎝ と 10㎝ を組みあわせる場合よりも弱冠高いが，その位置からさらにズレが生じた時に急激にその効率を下がってしまい，最大値に近いピークが維持される範囲も狭いことがみて取れる．図 6 は正方形同士の組合わせであるが，異種のコイル形状を組合わせた時もこれらはほぼ同様の傾向であった．また，10㎝ と 5㎝ のコイルサイズの組合わせでは，送信側よりも受信側のサイズが大きい方が全体的な効率が高い場合が多かった．これらのことがら，コイルサイズは大きければよいというものではなく，適切なサイズの組合わせ（実験では 5㎝ と 10㎝）で利用するべきであり，多くの場合受信側を大きめのサイズとすることが伝送効率の向上およびズレ耐性の向上に繋がることがわかった．また，同サイズの組合わせであれば，10㎝ 同士よりも 5㎝ 同士の組合わせの方が適切であることがわかった．

曲げに対する耐性については，表 1 で述べたよう正方形同士の組合わせが最も耐性が高く，次いで正方形と円形の組合わせや，正方形と正六角形の組み合わせの耐性が高

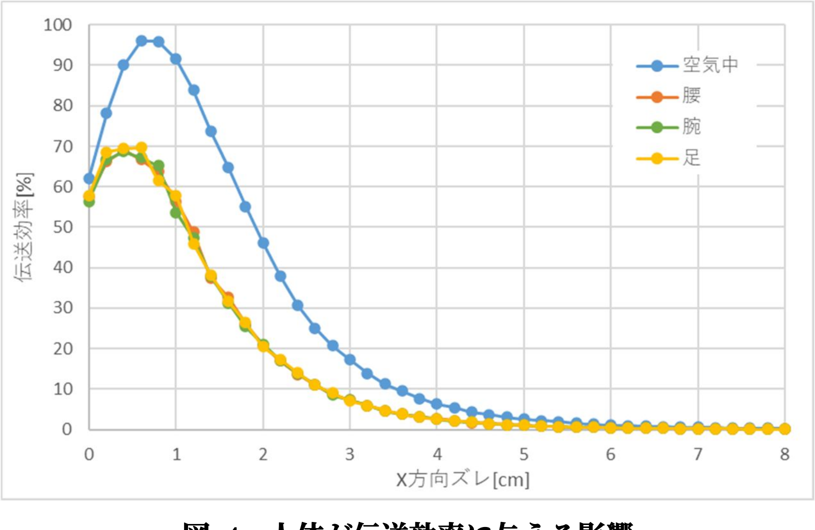

図 4　人体が伝送効率に与える影響

表 2 各部位で伝送可能な電力

		一般環境	管理環境	人体に影響
腰	受電側あり[W]	14.0	70.0	140.0
	受電側なし[W]	11.9	59.5	118.9
腕	受電側あり[W]	34.4	171.6	343.2
	受電側なし[W]	17.2	86.0	172.0
足	受電側あり[W]	35.3	176.1	352.1
	受電側なし[W]	15.5	77.4	152.8

かった．この傾向は曲げ半径を∞（曲げなし）の状態から 2cm まで変化させた場合にもその傾向は変わらなかった．

実験目的２について，腰，胸，足にコイルを配置した時の伝送効率を図７に示す．送信，受信側とも 5cm の正方形とし，ズレは生じさせていない．曲げは送信側に曲げ半径 4cm で生じさせた．腰部，胸部，足部とも，体の部位によらず一定の伝送効率の低下がみられた．具体的には，0.6cm ズレが生じた点で伝送効率は約 20%低下した．

SAR は単位質量当たりの吸収電力の尺度(W/kg)であり，人体が電波に暴露される際の安全基準となっている．局所 SAR 基準において定められる一般環境下（一般に普及しているシステムに適応される基準）の基準，管理環境下（仕事場など安全を確保できる管理下で利用する環境）の基準，人体に影響が出る量まで，当該部位のコイルで電力伝送をおこなった場合の電力を表２に示す．すなわち，一般環境もしくは管理環境下において，各部位では表 2 に示す電力まで安全に伝送できることがわかった．なお，表中の「受電側なし」とは，例えばパーカーとズボンの間で電力伝送を行っている際にパーカーを抜いでしまい送信側コイルのみが動作している状態を想定した場合である．

研究目的３では，まず，実際に作成したコイルについてシミュレーション結果と実機との比較を行った．結果を図８に示す．図８の実験では，送信側コイルは 5cm の正方形とし，曲げを曲げ半径 4cm で発生させた．平均誤差は 10%以内であり，シミュレーションと実機の結果がほぼ一致していることを確認した．

また，図５に示したよう，立位，座位，歩行，仰臥位にて，複数回姿勢をとり，その際の伝送効率を測定した結果を図 9 に示す．図中，○印が個々の測定結果であり，×印がその平均である．その時のズレの程度により，伝送効率の振れ幅はかなり大きくなっていることがわかる．また，立位,座位，歩行，仰臥位の平均伝送効率はそれぞれ 70%，5%，18%，77%であった．同様に，足首部でも測定を行い，立位，座位，歩行，仰臥位，はそれぞれ 60%，5%，25%，45%程度であった．

立位や仰臥位では比較的高い伝送効率が期待できるのに対し，座位や歩行での効率低下が大きいことがわかり，実用性を向上させるためには対策が必要となることが示唆された．

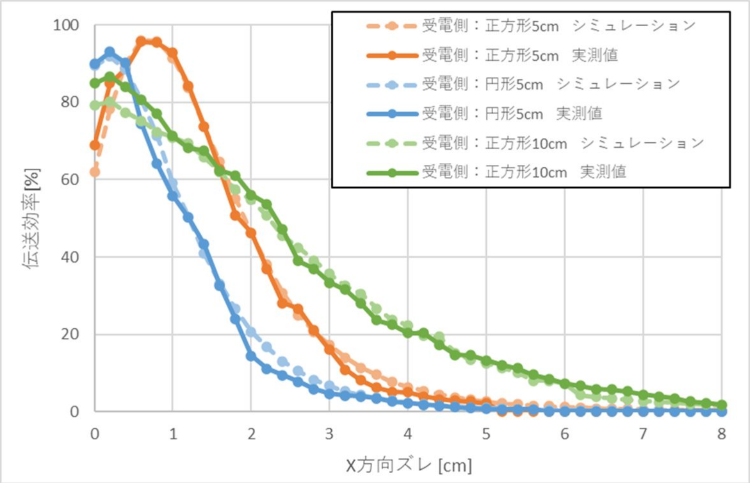

図 5 シミュレーションと実機の伝送効率比較（曲げあり）

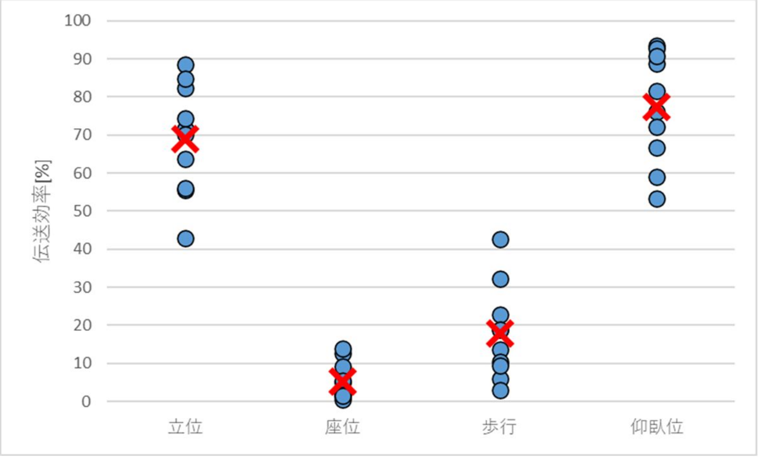

図 6 実機における伝送効率（腰部）

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計0件

〔学会発表〕　計14件（うち招待講演　0件／うち国際学会　2件）

１．発表者名 大見 士，藤原 健之，石橋 尚子，大村 廉
２．発表標題 保育士行動認識におけるデータ補間技術を用いたウェアラブルセンサ数削減
３．学会等名 マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2022)シンポジウム
４．発表年 2022年

１．発表者名 Kenshi Fujiwara, Akira Omi, Naoko Ishibashi, Ren Ohmura
２．発表標題 Exploring Deep Learning Models and Training Data Amount for Nursery Activity Recognition
３．学会等名 The 4th International Conference on Activity and Behavior Computing（国際学会）
４．発表年 2022年

１．発表者名 Akira Omi, Kenshi Fujiwara, Naoko Ishibashi, Ren Ohmura
２．発表標題 Reducing the Number of Wearable Sensors and Placement Optimization by Missing Data Imputation on Nursery Teacher Activity Recognition
３．学会等名 The 4th International Conference on Activity and Behavior Computing（国際学会）
４．発表年 2022年

１．発表者名 石田　義人，大村　廉
２．発表標題 出力フィードバックを用いた補間ネットワーク学習によるデータ欠損時の行動認識精度低下抑制
３．学会等名 第77回情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会
４．発表年 2023年

１．発表者名 ジャイソン サイチャ，大見　士，藤原健之，大村　廉
２．発表標題 ウェアラブルセンサデータと環境設置ビデオデータを併用した保育士行動認識
３．学会等名 情報処理学会第85回全国大会
４．発表年 2023年

１．発表者名 成田ジュースン，宇野　葵，宮路祐一，大村　廉
２．発表標題 装着時の曲げを考慮した衣類上の無線電力伝送用コイルの研究
３．学会等名 情報処理学会第85回全国大会
４．発表年 2023年

１．発表者名 宇野 葵，奥田 崇礼，宮路 祐一，大村 廉
２．発表標題 効率的な衣類上の無線電力伝送実現にむけたコイルの形状・サイズとズレ・曲げが及ぼす影響評価
３．学会等名 情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2021)シンポジウム
４．発表年 2021年

１．発表者名 石田 義人，多田 剛史，大村 廉
２．発表標題 行動認識におけるGANを用いた欠損データ補間手法の性能評価
３．学会等名 情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2021)シンポジウム
４．発表年 2021年

１．発表者名
大見　士，藤原健之，石橋尚子，大村　廉

２．発表標題
保育士行動認識におけるウェアラブルセンサ数削減

３．学会等名
情報処理学会第84回全国大会

４．発表年
2021年

１．発表者名
藤原健之，大見　士，大村　廉，石橋尚子

２．発表標題
深層学習を用いた保育士の行動認識における学習データ量と認識精度の関係

３．学会等名
情報処理学会第84回全国大会

４．発表年
2021年

１．発表者名
藤﨑 佑太，大村 廉

２．発表標題
環境電磁波ノイズ人感センサを用いたタイル型センサノードのアンテナサイズによる検出時間特性の評価

３．学会等名
情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2020)シンポジウム

４．発表年
2020年

１．発表者名
多田 剛史，大村 廉

２．発表標題
被介護者の運動評価に向けたリハビリ行動識別手法の検討

３．学会等名
情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2020)シンポジウム

４．発表年
2020年

1．発表者名 奥田 崇礼，宇野 葵，宮路 祐一，大村 廉
2．発表標題 手首装着型デバイス向け無線電力伝送用コイルのシミュレーション評価
3．学会等名 情報処理学会第69回UBI研究会
4．発表年 2021年

1．発表者名 宇野　葵，奥田崇礼，宮路祐一，大村　廉
2．発表標題 衣類上の無線電力伝送における送受電コイルの形状とサイズの影響評価
3．学会等名 第83回情報処理学会全国大会
4．発表年 2021年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

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	宮路　祐一 (Miyaji Yuichi) (50712923)	愛知工業大学・工学部・准教授 (33903)	

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