#### 研究成果報告書 科学研究費助成事業

今和 4 年 5 月 3 0 日現在

機関番号: 13903

研究種目: 基盤研究(B)(一般)

研究期間: 2019~2021

課題番号: 19H02139

研究課題名(和文)人体装着ロボットのワイヤレス制御のための高感度人体通信型生体センサーの研究

研究課題名(英文)Study on High Sensitivity Human Body Communication Based Bio-Sensor for Wireless Control of Wearable Robot

#### 研究代表者

王 建青(WANG, JIANQING)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号:70250694

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文): 本研究の目的は,人体装着ロボット義手のワイヤレス制御で,耐電磁ノイズ型生体センサー部と人体通信部の一体化により,目的を達成した.まず,外部電磁界によるコモン・モード・ノイズが生体センサー信号への重畳機構をモード変換理論により解明し,95%のノイズ低減が実現できる自動ノイズキャンセル回路を開発した.次に,人体通信の特徴を生かし,10~60MHz微弱無線帯を利用した広帯域インパルス・ラジオ型小型人体通信モジュールを開発し,人体上1メートルまで百万分の1以下のビット誤り率で,20Mb/sの高速通信を実現した.最後に,筋電を用いたロボット義手のワイヤレス制御を実験的に実証し,当初目標の達成 を示した.

研究成果の学術的意義や社会的意義 高齢少子化社会において,ヒトの意図(筋電や脳波信号)に基づき,実際のヒトよりさらに力の要る仕事(産 業ロボット)やヒトの手や指でできる仕事よりさらに精巧な仕事(精密ロボット,医療ロボット)をすることの できる人体装着型ロボットの普及が期待される.本研究は,筋電や脳波信号を用いて,人体装着ロボットをワイ ヤレスで制御するための耐ノイズ性高感度な人体通信型生体センサーの技術開発であり,その成果は,人体装着 型ロボットのワイヤレス制御の要素技術の確立に大きく寄与し,産業界を始め,日常社会の生活品質の向上にも 広い波及効果をもたらす.

研究成果の概要 (英文): The purpose of this study was to control a wearable robot hand wirelessly, and the purpose was realized by integrating a noise-resistant bio-sensor unit and a human body communication unit. First, we elucidated the mechanism by which common-mode noise generated by an external electromagnetic field is superimposed on the bio-sensor output signal by mode conversion theory, and developed an automatic noise canceling circuit that can achieve 95% noise reduction. Next, taking advantage of the characteristics of human body communication, we developed a wideband impulse radio type human body communication module using a weak radio band of 10 to 60 MHz, and high-speed communication of 20 Mb/s with a bit error rate of one millionth or less up to one meter above the human body was realized. Finally, the wireless control of a myoelectric artificial hand was experimentally demonstrated, and the usefulness of the developed technology was proved.

研究分野: 通信・ネットワーク工学

キーワード: ウェアラブルロボット ワイヤレス制御 人体通信 EMC 筋電/脳波センサー

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。

### 1.研究開始当初の背景

人間が筋肉を動かそうとすると,脳から出た指令が神経を伝わって筋肉に達し,数十ミリボルトの筋電信号が筋肉の膜上を伝わる.これを皮膚の表面に取り付けた電極センサーで検出し,それを利用して制御信号を生成すれば,人体装着ロボット義手を動かせるだけでなく,実際のヒトよりさらに力の要る仕事(産業ロボット)やヒトの手や指でできる仕事よりさらに精巧な仕事(精密ロボット,医療ロボット)をすることも可能となる.さらに,筋電位は脳の指令で発生されることを考えると,数  $\mu$ V の脳波を検出・識別し,それに基づく制御信号をロボットに送れば,脳で考えるだけでロボットを動かすことも近い将来実現できる可能性は十分にある.

人体装着ロボットは,主に人体表面で筋電または脳波信号を検出するセンサー回路部,信号を解析し,モーター制御に必要なパルス幅変調信号を生成する制御回路部,及びモーター駆動部から構成される.各モジュール間の信号伝送には多数のワイヤが用いられ,これらのワイヤは行動の不自由をもたらすだけでなく,電磁両立性(EMC)の観点からみても,ワイヤ自身がアンテナ的役割をすることが多く,電磁干渉による誤制御の発生要因の一つになる.このため,生体信号を利用した人体装着ロボットの制御には,高い耐電磁ノイズ性の有する生体信号センサー部と高速なワイヤレス人体通信部の一体化実現が望まれる.

### 2.研究の目的

本研究の目的は,図1中の「本研究の対象範囲」で示している耐電磁ノイズ型生体センサーと 人体通信の一体化技術の研究開発である.即ち, 人体装着ロボットを制御するための耐電磁ノ イズ型生体信号センシング技術の確立; 高信頼・高速ワイヤレス制御のための広帯域人体通信 技術の確立である.

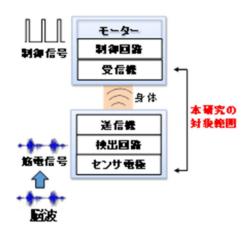


図 1

#### 3.研究の方法

本研究では, と の目的に向けて,次のように遂行した.

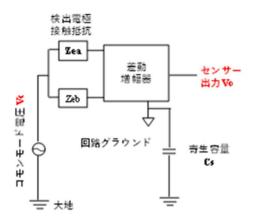
生体センサーの検出電極と人体との接触抵抗間のアンバランスが,コモン・モード・ノイズのディファレンシャル・モード・ノイズへのモード変換を引き起こし,生体センサーに電磁ノイズとして重畳される.このノイズ発生機構をまず理論的に定式化し,耐電磁ノイズ型生体センサーの設計指針を導出する.次に,このアンバランスを解消することのできるセンサー回路の構成を検討し,高感度で筋電及び脳波信号を検出できるセンサー回路を確立する.

人体装着ロボットのワイヤレス制御には,人体に沿った信号伝送は準静電界成分が支配的で,伝搬損失も低周波で小さい特徴に着目すれば,10~60MHz 微弱無線帯を利用する広帯域人体通信方式がワイヤレス制御に適している.多チャンネルの生体信号伝送に対応できる 20Mbps 以上の高速化・低遅延化の実現に目指し,通信品質,制御品質,対ノイズ耐性,回路規模の多角的視点から検討し,筋電または脳波信号を用いた人体装着ロボットのワイヤレス制御に適する変復調方式を試作と実験的検証により明らかにする.

さらに,人体装着ロボット特有な静電気放電(ESD)による誤動作についてイミュニティ試験を実施し,提案方式の耐電磁干渉性の優位性を示すとともに,人体装着ロボットに対するイミュニティ試験法をまとめ,人体装着ロボット分野における EMC 試験法の国際標準化を先導する.

## 4. 研究成果

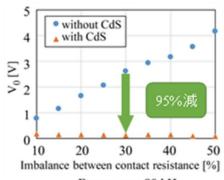
人体装着ロボットの制御に必要な筋電または脳波信号の検出には複数対の電極が用いられる.しかし,検出電極の身体との接触状態が互いに異なり,検出電極と身体との接触抵抗値の間にアンバランスが存在する.図2に示すように,外部電磁界により人体と大地間にコモン・モード電圧 Vc が生ずる.接触抵抗間のアンバランス(Zea≠Zeb)により,Vc が後段の差動増幅部で消去できず,ディファレンシャル・モード電圧 Vo に変換され,電磁ノイズとして生体信号に加わり,生体信号の検出を困難にする.



生体センサー部のコモンモード等価回路

図 2

この発生機構を理論的に検討し、差動増幅器前段両入力間の電圧のアンバランスを接触抵抗間のアンバランスの評価指標として用い、検出電極と差動増幅器の間に可変抵抗を挿入してアンバランスを自動キャンセルする回路を提案した。可変抵抗としては、ディジタル・ポテショメータと CdS ( Cadmium Sulfide ) フォトレジスタの両方の回路を提案・試作し、いずれもコモン・モード・ノイズによる影響の低減に有効であることを確認した。例えば、図3の例に示すように、接触抵抗のアンバランスにより生体センサー出力に乗る電磁ノイズが増えるが、CdSを利用した接触抵抗間アンバランスキャンセル回路によって、95%のノイズ低減が実現された。これにより、日常的なノイズ環境においても、筋電及び脳波信号を精度よく検出できることを実証した。



Frequency: 80 kHz

また,人体装着ロボットの制御に適した脳波検出箇所(センサーの配置箇所)の検討も行い,運動野に近い頭部表面で検出された脳波のβ成分やその周辺周波数成分が筋電信号と高い相関を有することを見出した.

人体通信の特徴を生かし, $10\sim60 \mathrm{MHz}$  微弱無線帯を利用した広帯域インパルス・ラジオ型人体通信方式をワイヤレス制御に適用した.複数のパルスで 1 ビットを表すマルチパルス位置変調(MPPM)を中心に変調方式を考案し,脳波信号の多チャンネル検出に対応できるように  $20 \mathrm{Mbps}$  の高速通信モジュールを FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いて試作・開発した.

また,生体信号検出電極と人体通信送信電極を時分割で共用させ,送信アンテナ不要とする送信モジュールの回路構成を開発し,2cm 四方の送信モジュールの小型化を実現した.図4と図5は,筋電を用いてロボット義手を制御するブロック図及び実際にロボット義手をワイヤレスで動かす様子をそれぞれ示す.

検証実験の結果, 20Mbps の高速通信が, 人体上で1メートルまで10<sup>-6</sup>以下のBER(Bit Error Rate), 10<sup>-5</sup>以下のFER(Frame Error Rate)を物理層で達成できた.

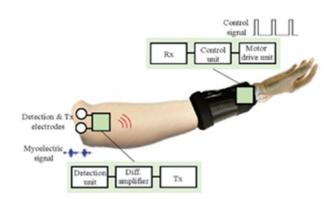


図 4

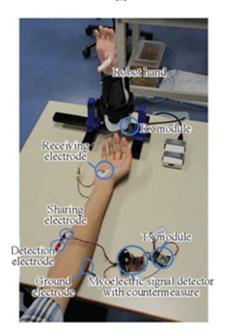


図 5

また,開発した ESD に対するイミュニティ試験系を用い,筋電信号を利用して制御するロボット義手への ESD イミュニティ試験を実施した.その結果,開発した本人体通信型生体センサーを用いれば,8kV の ESD 放電電圧において,従来の有線制御に対して 20% の誤動作率の低減を実現した.

よって,本研究の実施を通じて,耐電磁ノイズ型生体センサーと人体通信の一体化が実現でき,当初の研究目的は達成された.図6に本研究の成果物を示す.通信モジュールは22 mm×18 mm で、生体センサー部を含めると44 mm × 33 mmとなり,十分に人体装着可能である.

また,それに関連して多数の成果(招待論文1件,学術論文6件,国際会議基調講演2回,招待講演1回)も生み出された.



図 6

下表に,本研究で開発した一体型センサーとその他の代表的近距離通信方式を用いたワイヤレスセンサーの特徴比較をまとめて示す.表から,本提案方式の優位性が伺える.

	Bluetooth	UWB	HBC
Frequency	2.4 GHz	3.1-10.6 GHz	10-60 MHz
Bandwidth	$\sim 1  \mathrm{MHz}$	$\sim 500~\mathrm{MHz}$	$\sim$ 50 MHz
Transmission speed	Not fast	Very fast	Fast
Transmission loss	Large	Very large	Small
Transmission mechanism	Radiation	Radiation	Electric field coupling
Antenna	Need	Need	Not need
Sharing of electrodes	Not possible	Not possible	Possible

今後は,人の意図によりロボットを制御することに目指し,本研究の成果をワイヤレス BMI (Brain Machine Interface)への拡張を目指して研究開発を進めていく予定である.

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件(うち査読付論文 7件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件)

2 . 新文標題		
2. 論文権語 Wide band human body communication technology for wearable and implantable robot control (招待 2020年 2020年 3. 議議名 1EIGE Transactions on Communications		4 . 巻
### (1997) ### (1997	2 *6-2-1-715	E103-B
### (1997)   1997	, , ==: <b>, , ==</b>	c ※/
論文)		
3. 熱試名 IEICE Transactions on Communications    EICE Transactions on Communications   6 に最初と最後の頁   628-836   10.1587/transcom.2019#MI00001   元   元   元   元   元   元   元   元   元		4 2020年
EEICE Transactions on Communications   628-636   628-636   18報論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)   10.1587/transcom_2019HM10001   有	, ,	6 見切し見後の百
機能論文の201(デジタルオブジェクト機別子) 10、1587/transcom。2019HV10001  第一方ンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)  1. 著者名 M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer 2. 論文権題 Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRI With the D		
1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.	TELCE Transactions on Communications	628-636
1. 著者名 N. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer 1. 著者名 M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer 2. 論文課題 Common-rode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL 3. 論述名 IEEE Transactions on Fundamentals and Materials 「EEJ Transaction on Fundamentals and Materials 「EEJ Transaction on Fundamentals and Materials 「EEJ Transaction on Electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 録話名 「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility 「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  「表者名 「1. 若者名 「1. 打のアクセス コープンアクセス 国際共著 接当する  1. 若者名 「N. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文構題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control 3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  「1. 養者名 「1. 芸者名 「1. 世界会 「1.		
1. 著者名 N. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer 1. 著者名 M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer 2. 論文課題 Common-rode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL 3. 論述名 IEEE Transactions on Fundamentals and Materials 「EEJ Transaction on Fundamentals and Materials 「EEJ Transaction on Fundamentals and Materials 「EEJ Transaction on Electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 録話名 「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility 「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  「EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  「表者名 「1. 若者名 「1. 打のアクセス コープンアクセス 国際共著 接当する  1. 若者名 「N. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文構題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control 3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  「1. 養者名 「1. 芸者名 「1. 世界会 「1.		
オープンアクセス  1. 著名名 W. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer  2. 論文理語 Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL 3. 轉基名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Waterials  6. 最初と最後の頁 657-662  1. 著名名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Waterials  6. 最初と最後の頁 657-662  1. 著名名 W. Liao, K. Nagai, and J. Wang  1. 著名名 W. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 非訴名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  5. 発行年 2020年 2020	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
オープンアクセスとしている(また、その予定である)  1 . 著名名 M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer  2 . 論文標題 Common-node noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL 3 . 報話名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials  6 . 最初と最後の頁 657-662    接載論文のDDI(デジタルオプジェクト識別子)	10.1367/ transcom.2013/im10001	F
オープンアクセスとしている(また、その予定である)  1 . 著名名 M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer  2 . 論文標題 Common-node noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL 3 . 報話名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials  6 . 最初と最後の頁 657-662    接載論文のDDI(デジタルオプジェクト識別子)	オープンアクヤス	国際共著
1 ・著名名 M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer 2 ・論文標題 Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL 3 ・競技者 1 ・ 選択 を		-
M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer  2. 論文機器 Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL  3. 機誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials  6. 最初と最後の頁 657-662  1. 著名名 M. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文機器 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 機誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  3. 機誌名 IEET Transaction on Electromagnetic Compatibility  4. 巻 2. 論文機器 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 機誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  3. 機誌名 IEET Transaction on Electromagnetic Compatibility  4. 巻 2. 論文機器 An J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 An J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 An J. Wang, and D. Anzai  3. 機誌名 1. 著名名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 機誌名 I. 著名名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 機誌名 I. 著名名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  3. 機誌名 III 基本区 II	., 7777 27(20 07)	
M. Chen, J. Wang, D. Anzai, and G. Fischer  2. 論文機器 Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL  3. 機誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials  6. 最初と最後の頁 657-662  1. 著名名 M. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文機器 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 機誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  3. 機誌名 IEET Transaction on Electromagnetic Compatibility  4. 巻 2. 論文機器 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 機誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  3. 機誌名 IEET Transaction on Electromagnetic Compatibility  4. 巻 2. 論文機器 An J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 An J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 An J. Wang, and D. Anzai  3. 機誌名 1. 著名名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 機誌名 I. 著名名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文機器 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 機誌名 I. 著名名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  3. 機誌名 III 基本区 II	1 茅老名	4
2.論文標題 Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DRL 3. 稀誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials 6.最初と最後の頁 657-662  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieej fms.139.657  11. 著名名 W. Llao, K. Nagai, and J. Wang 2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  和 Jンアクセス  「表名名 W. Llao, K. Nagai, J. Wang 2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic compatibility  「表記を見かります。」		_
Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DIR with the DIR 13. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials 6. 最初と最後の頁 657-662	51611, 5. Hang, 5. Alizar, and 5. Fronton	
Common-mode noise reduction circuit design for biosignal acquisition system - in comparison with the DIR with the DIR 13. 雑誌名 1EEJ Transactions on Fundamentals and Materials 6. 最初と最後の頁 657-662 657	2.論文標題	5、発行年
with the DRL 3		
3.雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials 6.最初と最後の頁 657-662 周戦論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 1.1 著者名 N. Liao, K. Nagai, and J. Wang 2.論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3.雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  指戦論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 1.著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai 2.論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 種誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  1.著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai 2.論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control 3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  1. 義義の有無 37-45  「最初と最後の頁 37-45  「最初と最後の頁 37-45  「最初と最後の頁 37-45		2010 1
IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials   657-662		6、最初と最後の百
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 1. 芸者名 ボーブンアクセスではない、又はオーブンアクセスが困難  1. 芸者名 ボーブンアクセスではない、又はオーブンアクセスが困難  1. 芸者名 ボーブンアクセスではない。又はオーブンアクセスが困難  2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  おもプンアクセス  コープンアクセスではない。又はオーブンアクセスが困難  おもプンアクセスではない。又はオーブンアクセスが困難  1. 著者名 オーブンアクセス  コーズンアクセス  コーズンアクセスではない。又はオーブンアクセスが困難  1. 著者名 「S. 発行年で2020年ではない。又はオーブンアクセスが困難  1. 著者名 「S. 発行年で2020年ではない。又はオーブンアクセスが困難  1. 著者名 「S. 発行年で2020年ではない。ないにはない。ないには、ないには、ないには、ないには、ないには、ないには、ないには、ないには、		
10.1541/ieejfms.139.657 有 国際共著 該当する 日際共著 該当する 日際共著 1. 著者名 W. Liao, K. Nagai, and J. Wang 5 . 発行年 2020年 control 3 . 雑誌名 [EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility 5 . 上述 2. 国際共著 5 . 最初と最後の頁 36-42 日際共著 5 . 最初と最後の頁 36-42 日際共著 6 . 最初と最後の頁 36-42 日際共著 7 . 上述 2. 日本 2. 日本 2. 日本 2. 日本 2. 日本 2. 日本 3. 全域 2. 日本 3. 全域 3.	1 220 Transactions of Fandamentals and Materials	001 002
10.1541/ieejfms.139.657 有 国際共著 該当する 日際共著 該当する 日際共著 1. 著者名 W. Liao, K. Nagai, and J. Wang 5 . 発行年 2020年 control 3 . 雑誌名 [EEE Transaction on Electromagnetic Compatibility 5 . 上述 2. 国際共著 5 . 最初と最後の頁 36-42 日際共著 5 . 最初と最後の頁 36-42 日際共著 6 . 最初と最後の頁 36-42 日際共著 7 . 上述 2. 日本 2. 日本 2. 日本 2. 日本 2. 日本 2. 日本 3. 全域 2. 日本 3. 全域 3.		
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 該当する  1. 著者名 W. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  4. 巻 62  5. 発行年 2020年 2020	掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
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 該当する  1. 著者名 W. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  4. 巻 62  5. 発行年 2020年 2020	10.1541/jeejfms.139.657	有
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 該当する  1. 著者名 W. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  超載論文のDOI (デジタルオプジェクト識別子) 10.1109/TEMC.2019.2896974  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 該当する  1. 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  おもプンアクセス  国際共著  第37-45  「最初と最後の頁 37-45  「最初と最後の頁 37-45  「最初の有無 有	,	.,
1. 著者名   W. Liao, K. Nagai, and J. Wang   2. 論文標題   5. 発行年   2020年   2. 論文標題   6. 最初と最後の頁   36-42	オープンアクセス	国際共著
W. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control  3. 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  福戦論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TEWC.2019.2896974  1. 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  4. 巻 9. 4  5. 発行年 2020年  6. 最初と最後の頁 37-45  6. 最初と最後の頁 37-45	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	該当する
W. Liao, K. Nagai, and J. Wang  2. 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control  3. 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  超載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TEWC.2019.2896974  1. 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  4. 巻 9. 4  5. 発行年 2020年  6. 最初と最後の頁 37-45  6. 最初と最後の頁 37-45		
2.論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3.雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TEMC.2019.2896974  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  1. 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし  第初と最後の頁 37-45  電読の有無 なし  オープンアクセス 国際共著	1.著者名	4 . 巻
2 . 論文標題 An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3 . 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TEMC.2019.2896974  オープンアクセス  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  おりと最後の頁 37-45  第初と最後の頁 37-45  『表記の有無 2020年	W. Liao, K. Nagai, and J. Wang	62
An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot control 3. 雑誌名 6. 最初と最後の頁 36-42		
Control 3 . 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TEMC.2019.2896974  オープンアクセス  1. 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  おープンアクセス  国際共著  4 . 巻 9, 4  5 . 発行年 2020年  第 2020年  「 2020年	2.論文標題	5 . 発行年
Control 3 . 雑誌名 IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TEMC.2019.2896974  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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  おープンアクセス  直際共著 5 . 発行年 2020年  第 37-45  「 最近の有無 有 2 またの 2 またの 3 またの 3 またの 4 またの 4 またの 5	An evaluation method of electromagnetic interference on bio-sensor used for wearable robot	2020年
IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility 36-42   「掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)		
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	3.雑誌名	6.最初と最後の頁
10.1109/TEMC.2019.2896974 有 国際共著	IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility	36-42
10.1109/TEMC.2019.2896974 有 国際共著		
10.1109/TEMC.2019.2896974 有 国際共著		
オープンアクセス  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  「根載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  オープンアクセス  国際共著		_
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 該当する  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	10.1109/TEMC.2019.2896974	有
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 該当する  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)		
1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  本し  本し  本の有  本の有  本の方無 有		
Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  有  オープンアクセス  国際共著		該当する
Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2. 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3. 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  有  オープンアクセス  国際共著		
2.論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3.雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  オープンアクセス  国際共著	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	
Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  オープンアクセス  国際共著	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 1.著者名	_
Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  オープンアクセス  国際共著	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 1.著者名	_
performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし  オープンアクセス  国際共著	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 1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai	9, 4
3.雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine6.最初と最後の頁 37-45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国際共著	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題	9, 4
IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine 37-45 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 査読の有無 なし 有 国際共著	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity	9, 4
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control	9, 4 5 . 発行年 2020年
なし     有       オープンアクセス     国際共著	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名	9, 4 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁
なし     有       オープンアクセス     国際共著	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名	9, 4 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁
なし     有       オープンアクセス     国際共著	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名	9, 4 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁
オープンアクセス 国際共著	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine	9, 4 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 37-45
	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	9,4 5.発行年 2020年 6.最初と最後の頁 37-45 査読の有無
	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	9,4 5.発行年 2020年 6.最初と最後の頁 37-45 査読の有無
オーコンマクもフではたい、ハナナーコンマクもフがは経	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	9, 4 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 37-45 査読の有無
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 -	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  1 . 著者名 Y. Morinaga, K. Nagai, J. Wang, and D. Anzai  2 . 論文標題 Impact of electrostatic discharge on wearable robotic hand and improvement of immunity performance by wireless control  3 . 雑誌名 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine  掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし オープンアクセス	9, 4 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 37-45 査読の有無

1.著者名	4 . 巻
M. Chen, J. Wang, D. Anzai, G. Fischer, and J. Kirchner	20, 7140
2 . 論文標題	c
	5.発行年
Common-mode noise reduction in noncontact biopotential acquisition circuit based on imbalance cancellation of electrode-body impedance	2020年
3 . 雑誌名	6.最初と最後の頁
Sensors	1-17
00/13073	1-17
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	 査読の有無
10.3390/s20247140	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている(また、その予定である)	該当する
1.著者名	4 . 巻
	4 · 술 9
W. Liao, K. Muramatsu and J. Wang	9
2 . 論文標題	5 . 発行年
Path loss analysis and transceiver development for human body communication-based signal	2021年
transmission for wearable robot control	
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
IEEE Access	20127-20135
掲載論文のDOI(デジタルオプジェクト識別子)	査読の有無
10.1109/ACCESS.2021.3055261	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている(また、その予定である)	該当する
1.著者名	4 . 巻
T. Iguchi, I. Kondo, J. Wang	13, 290
2.論文標題	5 . 発行年
Wireless Control Combining Myoelectric Signal and Human Body Communication for Wearable Robots	2022年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
Micromachines	1-12
担新会立のDOL / デンジタルナゴンジェクト Minu フヽ	本芸の方無
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
10.3390/mi13020290	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている(また、その予定である)	-
(坐人双土)	
<ul><li>〔学会発表〕 計15件(うち招待講演 3件/うち国際学会 7件)</li><li>1. 発表者名</li></ul>	
J. 光衣有名 J. Wang	
·······g	
2 . 発表標題	
2 . 光衣标题 Implant communication based on 10-60 MHz band impulse-radio technology	
impiant communication based on 10-00 mile band impulse-lauto technology	
3.学会等名 13th International Symposium on Medical Information and Communications Technology(招待講演)()	国際学会 \
- ioth international symposium on medical information and communications rechnology(指付講漢)(	当际于云丿

4 . 発表年 2019年

1.発表者名
J. Wang
2.発表標題
2 . 完衣信題 Wide band human body communication technology for wearable robot control
mide band naman body communication technicity for wearable foodt control
3 . 学会等名
3rd Int. Conf. on Innovations in Science, Engineering and Technology(招待講演)(国際学会)
4 . 発表年
2022年
<ol> <li>びキネク</li> </ol>
1.発表者名 - L. Wood
J. Wang
2.発表標題
An impulse radio transceiver for body area communication and wireless robot control
3.学会等名
2019 International Workshop on Electromagnetics(招待講演)(国際学会)
4 . 発表年
2019年
1.発表者名
1.光衣有石 M. Chen, D. Anzai, J. Wang, and G. Fischer
m. viicii, D. Alizai, J. Mally, aliu G. Fisolici
2 . 発表標題
Circuit design for common-mode noise rejection in biosignal acquisition based on imbalance cancellation of electrode contact
resistance
3 . 学会等名
EMC Sapporo & APEMC Symposium (国際学会)
4 . 発表年
2019年
1 ジキネク
1.発表者名  K. Nagai, V. Marinaga, D. Angai, and J. Wang
K. Nagai, Y. Morinaga, D. Anzai, and J. Wang
2.発表標題
Measurement of malfunction rate of wireless myoelectric artificial hand based on IEC61000-4-2
,
3.学会等名
EMC Sapporo & APEMC Symposium(国際学会)
4.発表年
2019年

1 . 発表者名
T. Iguchi, I. Kondo, J. Wang, and D. Anzai
2.発表標題
Design of human body communication module for wearable robot control
3 . 学会等名 URSI GASS (国際学会 )
01.01 00.00 ( 国际子会 )
4 . 発表年
2021年
1.発表者名
A. Takahashi, M. Tanaka, S. Muroga, Y. Niiyama, and J. Wang
The factority in translating of manager, and of manager
2 . 発表標題
A Study on feature extraction of EEG signals related to opening and closing movements of the hand
3.学会等名
9th International Conference on Materials Engineering for Resources(国際学会)
4 . 発表年
2021年
1.発表者名
高橋彰人、田中元志、室賀 翔、新山喜嗣、王 建青
2 . 発表標題
運動想起時脳波の機械学習による手の開閉動作判別に関する一検討
3 . 学会等名
第36回 エレクトロニクス実装学会春季講演大会
4 . 発表年 2022年
-V 1
1.発表者名
庄司怜雄、王 建青、安在大祐、田中元志
2 . 発表標題
手を握る動作における脳波検出の基礎検討
3 . 学会等名
第14回医用生体電磁気学シンポジウム
4 . 発表年
2022年
•

1 . 発表者名 近藤育真、矢野佑典、王 建青、安在大祐
2 . 発表標題 ウェアラブルロボット義手のワイヤレス化における生体信号検出電極と人体通信電極の共用化及び相互干渉対策
3.学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4 . 発表年 2021年
1.発表者名 井口太輔、王 建青、安在大祐
2 . 発表標題 筋電義手への実装を想定したウェアラブル小型通信モジュールの設計と評価
3.学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4 . 発表年 2020年
1.発表者名 韓 忠逸、王 建青、田中元志、安在大祐
2 . 発表標題 ウェアラブルロボット制御のための脳波測定の予備検討
3.学会等名 電子情報通信学会総合大会
4 . 発表年 2020年
1.発表者名 小池啓介、王 建青、安在大祐
2 . 発表標題 ウェアラブル心電図信号におけるコモンモードノイズ低減に関する回路構成の検討
3 . 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4 . 発表年 2020年

1.発表者名 谷口耕平、田中元志、新山喜嗣、王 建青 
2.発表標題 右手動作時に生じる脳誘発電位の一計測
3.学会等名 生体医工学シンポジウム
4 . 発表年 2019年
1.発表者名 村松宏軌、王 建青、安在大祐
2.発表標題 ワイヤレス筋電義肢に適する広帯域人体通信型小型通信モジュールの設計
3.学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4 . 発表年 2019年

# 〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

名古屋工業大学 生体通信 & EMC 研究室 https://wlab.web.nitech.ac.jp/wp/	
7 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	

6 . 研究組織

Ē	- N176/14/14/	Г	
	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
	田中 元志	秋田大学・理工学研究科・准教授	
在ラク扎者	(TANAKA MOTOSHI)		
	(50261649)	(11401)	

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
研究協力者	雨宮 不二雄 (Amemiya Fujio)		

# 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	
ドイツ	フリードリヒ・アレクサンダー 大学エアランゲン = ニュルンベ ルク	
中国	上海工程技術大学	