

IoT/BD/AI による次世代地域包括ケアシステムの開発

酒谷 薫, 佐藤 豊, 小室 有輝, 唐 尊一, 姜 琳琳, 胡 莉珍

日大工・電気電子

1. 背景

厚生労働省は、団塊の世代が75歳以上となる2025年を目途に、高齢者の尊厳の保持と自立生活の支援の目的のもとで、可能な限り住み慣れた地域で、自分らしい暮らしを人生の最期まで続けることができるよう、地域の包括的な支援・サービス提供体制（「地域包括ケアシステム」）の構築を推進している。我々は、IoT/BD/AIの先端技術を応用した地域包括ケアシステムを開発し、福島県郡山市のモデル地区で実証実験を行っている（2016年4月～）。本オーガナイズドセッションでは、我々が開発したシステム及び実証実験の途中結果について報告し、地域包括ケアシステムにおけるIoT/BD/AIの先端技術の有用性について検討する。

2 対象と方法

本研究は、日本大学工学部と郡山市との間の共同研究事業として、2016年4月より実施している。本研究は、総合南東北病院の臨床研究審査を経て実施した。

対象は、郡山市内のモデル地区における住民（30戸）である。全戸に、睡眠時の呼吸数、心拍数、体動、離床を圧電センサーにて非拘束でモニターできる睡眠センサーを設置した。また、1日の水道使用量を連続的にモニターするための電子水道メータを30戸の内10戸に設置した。

見守りシステム(水道センサー、ベッドセンサー)のデータは、住居内に設置したホームゲートウェイを介して、3G携帯電話回線網を経由しクラウド上で管理できるシステムを構成した(図1)。

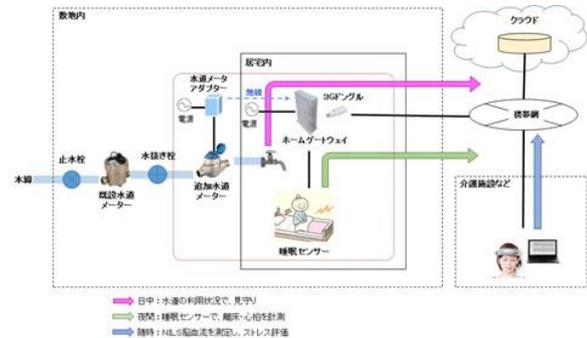


図1 データ通信設備 (概略図)

システムの全体像を図2に示す。ベッドセンサーと水道メータの2種類のデータを各家庭に設置されたホームゲートウェイで集約して3G携帯電話回線網を通じ、日大内に設置された中間サーバへ送信する。中間サーバでは各家庭から送られてきたデータをさらに集約してクラウドへ送信する。クラウド(AWS)上に蓄積されたデータをクライアントアプリケーションからの呼び出しに応じて適宜読み込み、加工し、アプリケーションへ送信する。



図2 システムの全体像

さらに、定期的(月1回程度)に公民館もしくは集会所にて、認知機能(Mini Mental State Examination: MMSE)、不安心理状態(State Trait Anxiety Inventory: STAI)を計測した。さらに、時間分解スペクトロスコピー(TNIRS)を用いて、安静時の両側前頭前野の脳機能を計測した。TNIRSの測定プローブは光源-検出器間距離を3cmとして両側前額部(前頭極及び背外側前頭前

野上) の頭皮に設置し, 両側前頭前野の安静時酸素化 Hb [μM], 脱酸素化 Hb [μM], 総 Hb [μM], 及び Hb 酸素飽和度 SO_2 [%] を計測した。図 3 に公民館における脳機能測定を示す。



図 3 公民館における脳機能計測: 認知症テストの実施 (上段), TNIRS による脳機能計測 (下段)

なお, 認知症の早期診断アルゴリズムに関する研究開発は, 総合南東北病院系列の春日リハビリテーション病院の外来患者 142 名 (平均年齢 72.6 ± 12.0 歳) と入院患者 149 名 (平均年齢 73.4 ± 12.9 歳) の計 291 名を対象として行った。解析には, TNIRS のデータと MMSE スコアの関係を明らかにするため, スピアマンの順位相関係数による評価を行った。次に, 二項ロジスティック回帰分析による認知症スクリーニングの可能性を検討した。説明変数は TNIRS 測定データ, 年齢, 性別, 目的変数は, MMSE による MCI の閾値を 23/24 とし, MMSE スコア 24 以上を “0”, 23 以下を “1” とした。説明変数は変数増減法で定めた。

3. 結果

3-1. 睡眠センサーと水道使用量の遠隔モニター

図 4A に睡眠センサーのデータを示す。本症例では, 午後 10 時頃から翌日の午前 6 時頃までの睡眠時の心拍数と呼吸数が連続的にモニターされている。心拍数は 70 回/分前後, 呼吸数は 20 回/分前後で推移しているのが分かる。途中で 3

回計測が途絶えているが, これはトイレに行った時に離床したものと思われる。図 4B の症例では, 離床による計測の中断は認められず, 熟睡していたものと思われる。図 4B は, 睡眠センサーと水道モニターを同時に行った症例である。就寝後は水道の使用がなくなり, その代わりに睡眠センサーが働き始め, 逆に起床後は睡眠センサーによるモニタリングが終了し, 水道を使用し始めるのがわかる。

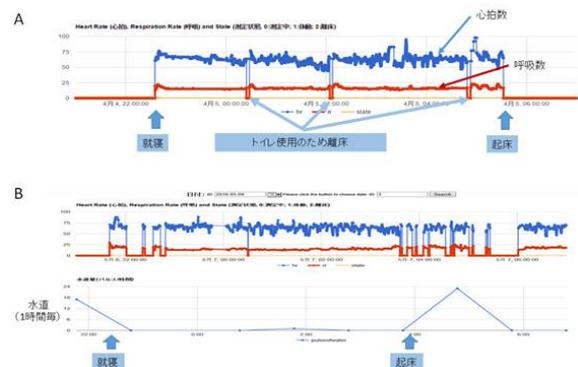


図 4 睡眠センサー, 水道使用量センサーのデータ例

3-2. MMSE スコアと TNIRS パラメータの関係

MMSE スコアと TNIRS 測定によって得られた酸素化 Hb の間には, 弱い統計学的に優位な正相関が認められた (図 5A)。同様に, MMSE スコアと SO_2 の間には, 弱い統計学的に優位な正相関が認められた (図 5B)。

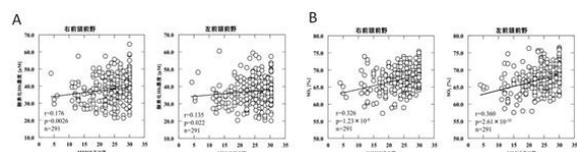


図 5 左右前頭前野の MMSE スコアと酸素化 Hb 濃度 (A) 及び酸素飽和度 SO_2 (B) の相関関係

3-3. TNIRS パラメータによる認知機能の推定

年齢, 性別, 全ての TNIRS パラメータを投入し, 式 (1) に示す有意な回帰モデルを導出した。説明変数とされたのは, 年齢と左半球の Hb 酸素飽和度 SO_2 であり, 1% の有意水準で有意であった。導

出された回帰モデルによって推測された人数をまとめたものが表 2 である。

$$\log\left(\frac{p(MMSE=1)}{1-p(MMSE=1)}\right) = -0.089 \times [\text{年齢}] + 0.148 \times [\text{左半球 } SO_2] - 2.74$$

p(MMSE=1): MMSE スコアが 23 以下の確率
… (1)

表 1. 二項ロジスティック回帰分析 推測結果

MMSE 実測値においてスコアが 23 以下であった認知症群 112 名の内、72 名を認知症群であると推測し、その割合を示す感度は 64.3%であった。MMSE 実測値においてスコアが 24 以上であった健常群 179 名の内、141 名を健常群であると推測し、その割合を示す特異度は 78.8%であった。全被験者 291 名の内、正しい群と推測された人数は 72+141=213 名で、その割合を示す判別確率は 73.2%であった。

4. 考察

本研究は、一般家庭に睡眠センサーを設置することにより、非拘束で高齢者の睡眠時の呼吸数、心拍数、体動、離床を遠隔でモニターすることを示している。従来の我々の実験では高齢者施設において睡眠センサーの精度を検証していたが、一般家庭における検証は行われていなかった。さらに、水道センサーにより日中の水道使用量をモニターすることにより、日中も夜間も遠隔で見守ることができると思われる。このように IoT/BD/AI という先端技術を活用することにより、高齢者の健康状態を見守ることができ、さらに孤独死の防止も可能であることを示唆している。

MMSE スコアと TNIRS による前頭前野・安静時酸素化 Hb 濃度、 SO_2 は有意な正相関を認め、タッチ

エムスコアと TNIRS による前頭前野・安静時酸素化 Hb、総 Hb 濃度に関する有意な正相関を認めた。この結果は TNIRS 測定において前頭前野の脳血流量、及び脳血液量が多い患者ほど認知機能が高いことを示し、PET を用いた認知症に対する研究結果と一致した[4]。

TNIRS 測定データと年齢、性別から被験者を MMSE スコアが 24 以上の群と 23 以下の群のどちらに属するかを推測する検討において、感度 64.3%、特異度 78.8%で判別確率は 73.2%であった。

しかしながら、実際の認知症検査に応用するためには、さらに推測精度を向上させる必要がある。現在、Deep Learning を使用したアルゴリズムを開発しているが、一般血液データを加えることにより 90% 以上の判別確率で予測できることが明らかとなった(特許申請中)。これらの結果は、TNIRS により MCI が疑われる症例に対して、MRI などの精密検査を勧めるためのスクリーニング検査に使用できる可能性が示唆される。

5. まとめ

本研究は、IoT/BD/AI による次世代地域包括ケアシステムを導入することにより、高齢者の健康状態を継続的にモニターでき、認知症や抑うつなどの高齢者に多い脳と心の疾患を早期に発見し、さらに孤独死を防止できる可能性を示唆している。IoT/BD/AI という先端技術による次世代地域包括ケアシステムは、人口減少を伴う少子高齢化社会において重要な役割を果たすと思われる。

6. 参考文献

- [1] Adv.Exp.Med.Bio. 2016;876: 289-295.
- [2] Appl Opt. 1991;30: 4474-4476.
- [3] SPIE 2000; 4160: 204-210.
- [4] Arch Neurol. 2007;64: 1015-1020.
- [5] J Biomed Opt. 2014;19: 027005.

災害に強い医療情報ネットワークの開発

見越 大樹¹⁾
1) 日大工・情報

1 はじめに

近年、無線端末をマルチホップで接続することで、地理的に離れた無線端末間の通信を実現するマルチホップ無線ネットワークが注目されている。マルチホップ無線ネットワークは、端末間をマルチホップで中継することで目的地までデータを届けるため、災害時において通信インフラが断絶した場合においても通信が可能であり、耐故障性に対して優れたネットワークである。

我々は災害に強い医療情報ネットワークの実現のために、マルチホップ無線ネットワークを利用する。図1に想定するネットワーク形態を示す。集会所や家庭に血圧計などの医療機器と無線端末（ホームゲートウェイ）があり、医療機器にはBluetoothが搭載されている。ホームゲートウェイはBluetoothで医療機器から情報を受信して、インターネット上の情報管理サーバに情報を送信する。ホームゲートウェイから情報管理サーバへの接続は3つの形態を想定している。1つ目は光ネットワーク、2つ目はセルラーネットワーク、3つ目はマルチホップ無線ネットワークである。光ネットワークとセルラーネットワークは、通常時の接続形態であり、マルチホップ無線ネットワークは非常時の接続形態である。なお、光ネットワークとセルラーネットワークについては、既設の通信インフラを利用して接続される。一方、マルチホップ無線ネットワークについては、ネットワークを新たに開発する必要がある。

マルチホップ無線ネットワークの適用例としてセンサネットワーク [1][2] が注目されており、センサネットワークでは、無線通信機能を有したバッテリー駆動型センサ端末（以下、ノード）により、温度・湿度といった環境情報等をモニタリングする。我々は、センサネットワークにおける経路構築およびデータ収集手法を災害に強い医療情報ネットワークへ適用することを考えている。しかし、端末（以下、ノード）はバッテリーで駆動しているため、データ送受信時における消費電力を低減し、ネット

ワークの稼働時間を長くすることが重要な課題である。特に、マルチホップ通信を行うセンサネットワークでは、データ中継回数の多いノードほど、多くの電力が消費される。そのため、データ中継回数の削減を図れるクラスタリング手法 [1] が提案されている。

クラスタリング手法では、隣接ノード間でクラスタを形成し、クラスタ内の代表ノードであるクラスタヘッド（以下、CH）を決定する。CHは、クラスタ内のノードからセンサデータを収集し、CH間でマルチホップ通信を行い、シンク（基地局）にセンサデータを送信することで、センサネットワーク全体で消費される電力の低減を図っている。

クラスタリングの実現手法として、我々はこれまでにPARC (Power Aware Routing and Clustering scheme for wireless sensor networks)[2] を提案した。PARCでは、クラスタリングとルーチングを同時に行うことで、制御パケットによる消費電力の削減を図っている。残余電力量をメトリックに用いてCHの選択を行い、CHとシンク間の経路を定期的に再構築することにより、端末負荷の分散を図り、ネットワークの長寿命化を行っている。

しかし、PARCの評価は計算機シミュレータによる検証を行ったのみで、実機の無線デバイスを用いた評価は行っていない。このため、実機実験を行い実環境において利用可能な方式に改良する必要がある。

本稿では、PARCの紹介を行うと共に、実機を用いた通信実験の紹介を行う。

2 PARC

PARCは、CHをネットワーク内に均一に配置し、CH間の負荷分散を図るとともに、クラスタリングによるデータの集約によりデータ中継回数を削減し、消費電力の削減を図っている。以下に、PARCのクラスタリング・ルーチング手法を説明する。

2.1 クラスタリング・ルーチング手法

各ラウンド（クラスタリング構築周期）開始時、シンクは出力小の電波で、スレーブ制御パケットを送信する。スレーブ制御パケットには、シンクのノードIDが含まれている。スレーブ制御パケットを受信したノードは、シンクのスレーブノードとなり、電力の消費を抑えるため即座に送受信機の電源を切る。シンクは、出力小でスレーブ制御パケットを送信した後、即座に出力大でRREQ (RouteRequest) パケットを送信する。RREQには、送信元ノードID、parentID (転送元ノードID)、中継ホップ数、シーケンス番号が含まれている。RREQを受信したノードは、タイマをセットする。タイマ値は、

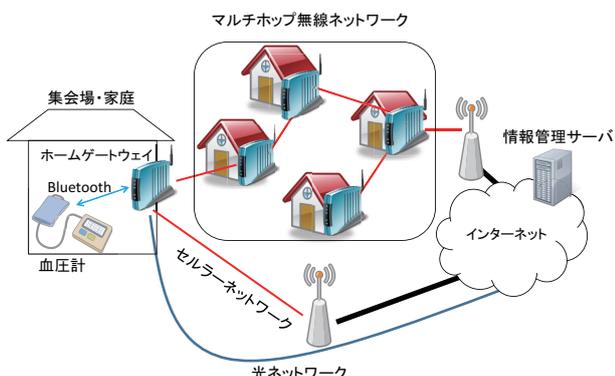


図1 想定するネットワーク形態

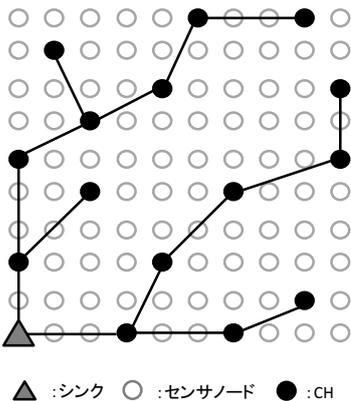


図2 PARCによって構築された経路

初期バッテリー量と自身の残余電力量の比率となる。このタイマが最初にタイムアウトしたノードがCHとなる。CHとなったノードは、シンクと同様にスレープ制御パケット、RREQを送信する。もしタイマ稼働中のノードが、CHとなったノードからの同一シーケンス番号のRREQを受信した場合、当該ノードは、RREQを送信したCHのスレープノードとなり、タイマをリセットする。また、同一シーケンス番号のRREQを複数受信した場合、最も早く受信したCHのスレープノードとなる。CHが、RREQをフラディングしてから一定時間経過後、同一シーケンス番号のRREQを再度受信しない場合、そのCHは外縁CHとなり、RREP (RouteREply) をシンクまで返送する。各CHは、自身の保持するparentIDノードにRREPを返送していくことにより、sinkから外縁CHまでの経路が構築される。また、PARCにおいて、一定周期ごとにクラスタの再構築を行うことで特定のノードに負荷が集中することを防いでいる。

図2に構築された経路を示す。シンクから各CHを繋いだツリー状のネットワークが構築される。また、CH周辺のセンサノードは近傍のCHへ自身のセンシングデータを送信する。

3 実機による通信実験

通信実験において、現段階では、機器の使用方法の調査および簡易的なネットワークの構築まで完了している。以下に、通信機器の詳細および通信実験の詳細を述べる。

3.1 実験機器

通信機器には、図3に示すDigi International社のXBee ZB RFモジュール(以下、XBeeモジュール)を用いた。XBeeモジュールは幅3cm、長さ4cm、高さ1cm(アンテナ部除く)の小型端末であり、2.4GHz及び900MHzの帯域にて通信が可能である。また、XBeeモジュールは16進数16桁で表現されるユニークなアドレスを保有する。XBeeモジュールはATコマンドと呼ばれるメッセージをシリアル通信により投入することで制御可能である。ATコマンドには、通信に使用するチャンネルの



図3 XBee ZB RF モジュール

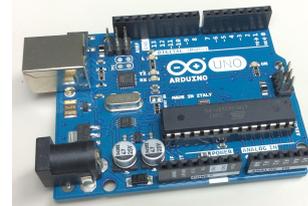


図4 Arduino Uno



図5 XBeeモジュールとArduinoの連結形態

変更、自身のアドレスの取得、他端末へのデータの送信などが用意されている。また、XBeeモジュールはAPIモードと呼ばれるモードがあり、APIモードではATコマンドやデータの送信リクエストを各命令のフォーマットに従った形で投入することで命令が実行される。XBeeモジュールを制御するデバイスとして、AVRマイコンボードである図4のArduino Unoを用いた。図5に示すように、XBeeモジュールはArduino Unoと容易に連結が可能である。Arduino UnoからXBeeモジュールを制御するライブラリも用意されており、Arduinoに独自に開発したソフトウェアを実装することで、クラスタリングを行うセンサネットワークを構築可能となる。開発においてはC言語などの高級言語で開発が可能であるため、比較的容易に開発が可能である。

3.2 ネットワーク構築方法

実験において、下記のコマンド及び手順を用いてクラスタリングを行い、ネットワークを構築した。

ATSH : 自身のアドレスの上位8桁を取得

ATSL : 自身のアドレスの下位8桁を取得

ATDB : 直前に受信した信号の電波強度であるRSSI値を取得

ネットワークを構築するために、図6のフォーマットにより構成される中継ノード探索メッセージを定義し

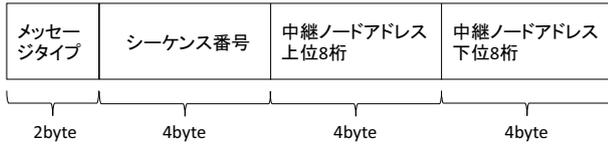


図6 中継ノード探索メッセージフォーマット

た. メッセージタイプには, 中継ノード探索メッセージを表す値であり, 今回の実験においては 0x000B を設定した. シーケンス番号は処理を管理する通し番号であり 0x00000000~0xFFFFFFFF の値をとる. 中継ノードアドレスには, ATSH や ATSL コマンドにより取得した値を用いる. 実験において行ったネットワークの構築手順を以下に示す.

- 1) シンクが自身のアドレスを設定した中継ノード探索メッセージを送信.
 - 2) 中継ノード探索メッセージを受信したノードは, RSSI を基に以下の (a)-(c) の動作を行う.
 - (a) RSSI が閾値 th_H 以上: メッセージを送信したノードの子ノードに遷移.
 - (b) RSSI が閾値 th_H 未滿かつ th_L 以上: メッセージを送信したノードの子ノードかつ中継ノードに遷移.
 - (c) RSSI が閾値 th_L 未滿: メッセージを廃棄.
- なお, 閾値は $th_H > th_L$ とする. すでに中継ノードに遷移済みのノードが古いシーケンス番号の中継ノード探索メッセージを受信した場合はメッセージを破棄する.
- 3) 中継ノードに遷移したノードは, 自身のアドレスを設定した中継ノード探索メッセージを送信.
 - 4) 中継ノード探索メッセージを受信するノードがなくなるまで 2)~3) の動作を繰り返す.

3.3 通信実験

通信実験において, XBee モジュールを搭載させた Arduino Uno を配置し, ネットワークを構築した. 11 台を直線状に配置した場合と, 9 台を格子状の配置した場合の 2 通りで評価を行った. 直線状, 格子状のどちらの場合においても 2m 間隔で端末を配置した. なお, 1 台をパソコンに有線接続し, シンクとして動作させた.

図7にクラスタの形成成功率を示す. クラスタ形成成功率は, 形成されたクラスタにすべての端末が参加し, かつ, ネットワークに連結性がある場合は成功とし求めた. 直線状配置の場合は 39 回, 格子状配置の場合は 46 回クラスタ形成を行い評価した. 直線状, 格子状どちらの場合も 40%以下の成功率となっており, 低い結果となった. これは, 電波環境の問題により電波を受信しにくい端末が存在したためだと考えられる. 図8にデータ到達率を示す. データ到達率は 形成したクラスタを用いて端末がデータをシンクへ送信し, シンクへデータが

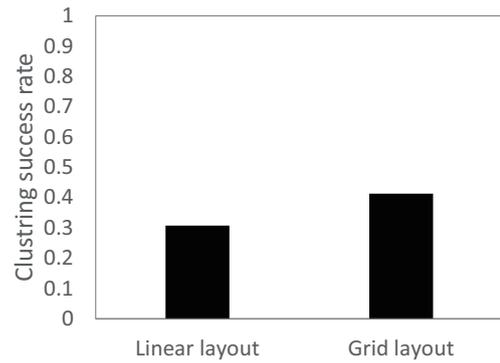


図7 クラスタ形成成功率

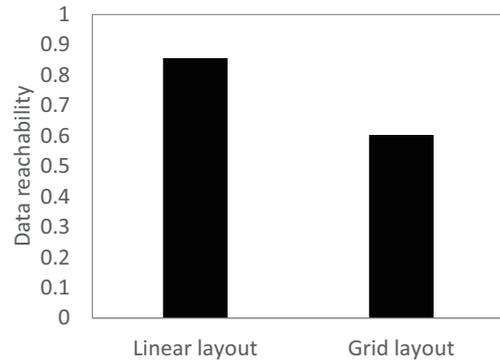


図8 データ到達率

到達した端末の台数をもとに求めている. 直線状配置では 87%, 格子状配置では 60%のデータ到達率となっている. 格子状配置では, 隣接する端末台数が直線状配置と比較して多いため, 電波干渉により到達率が劣化していると考えられる. この問題については, 再送処理を実装することで解決可能である.

4 むすび

マルチホップ無線ネットワークの一つであるセンサネットワークを紹介すると共に, クラスタリング用いたデータ収集方式として PARC 方式を紹介した. 実機を用いた実験を行い, ネットワークが構築の検証を行った. クラスタ形成率が劣化しているため, 形成率を向上させる手法を検討する必要がある. データ送信に再送処理を実装する必要がある. また, 今後は, 端末数を 50 台程度に増やし検証を行う.

参考文献

- [1] K. Yanagihara, et. al. , "EACLE : Energy-Aware Clustering Scheme with Transmission Power Control for Sensor Networks," Wireless Personal Commun. , Vol. 40, No. 3, pp.401-415, Feb. 2007.
- [2] T. Mikoshi, et. al. , "PARC:Power Aware Routing and Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks", IEICE Trans. Vol. E94-B, No. 12, pp.3471-3479.
- [3] 鈴木旭, 見越大樹, 西園敏弘, "センサネットワークにおける省電力クラスタリング手法の実装," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-6-70, 2016年8月.

高齢者頭部コンピュータモデルによる外傷解析

西本哲也¹⁾

1) 日大工・機械

1. 緒言

高齢化社会の進行に伴い交通事故における高齢者の死亡率は増加傾向にある。高齢者は加齢によって脳実質が萎縮することで、頭部外傷時に傷害が重傷化しやすい傾向があるとされているが、その発生メカニズムは明らかになっていない。頭部をはじめとする人体の衝撃解析には、人体の平均体格を再現したダミーや計算モデルが用いられることが多い。これまでに著者らは体格寸法ではなく加齢による変化が衝撃耐性に及ぼす影響を明らかにすべく、若年者の頭部CT画像を基に、高齢者の頭蓋内構造を再現した高齢者頭部モデルを構築した⁽¹⁾。そこで本報では構築した高齢者頭部モデルの検証として Nahum ら⁽²⁾の PMHS による頭部の衝撃実験を再現した。

2. 高齢者頭部モデル

高齢者頭部モデルは20歳代若年健常者の頭部CT画像データ433枚を基にモデル構築をおこなった⁽¹⁾。構築はCT画像に着色処理を施し、ボクセル法によって積層した画像を3次元化させることで若年者の頭部組織の形状を再現した。恒屋ら⁽³⁾の研究報告を基に、断層面において脳実質の面積率BAI(Brain Atrophy Index)を4.9%縮小させ、脳室の面積率VAI(Ventricular Area Index)を6.7%拡大させることで79.5歳の脳萎縮率を再現した。このとき脳実質は外縁部から一様に縮小させ、脳脊髄液で満たされた頭蓋内腔を相対的に拡大させた。図1に構築した高齢者頭部有限要素モデルを示す。頭部モデルは頭頂部から55.2mmの高さで断面をとっており、頭部の組織を皮膚、脂肪、筋肉、眼球、頭蓋骨、硬膜、大脳鎌、小脳テント、硬膜下腔、脳室、脳実質、延髄の12種類に分類をおこなっている。図2に若年者と高齢

者の頭部モデルの断面図を示す。筋骨格の形状を維持したまま脳実質が一様に縮小し、髄液層が拡大していることが確認できる。このことから本モデルは脳実質の萎縮による構造変化の影響のみを考慮して解析を行うことが可能である。表1に若年者と高齢者の頭部モデルの体積変化率を示す。モデルは1ボクセルの寸法が $0.27 \times 0.27 \times 0.6$ [mm]、総ボクセル数が約1億800万個に及ぶ。その要素数から体積を求めると高齢者の脳実質は若年者に比べ93.13%の大きさに縮小し、脳室は170.65%、硬膜下腔は141.71%に拡大した。

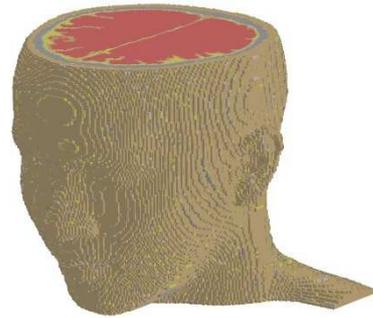


図1 高齢者頭部有限要素モデル

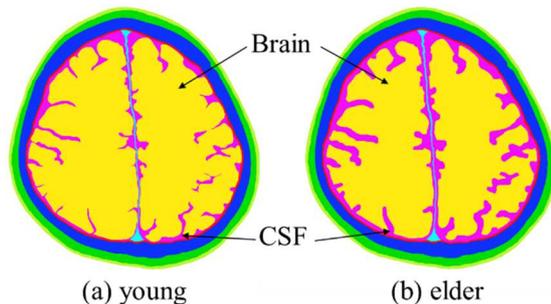


図2 頭部モデルの断面図

表1 頭部モデルの体積比較

	Volume of head model [$\times 10^5$ mm ³]		Elderly volume rate based on Young model [%]
	Young model	Elderly model	
Brain	14.69	13.68	93.13
Ventricle	0.28	0.48	170.65
CSF	1.94	2.75	141.71
All model	47.38	47.38	0

3. 頭部衝撃シミュレーション

構築した高齢者頭部モデルの検証として、Nahum ら⁽²⁾が行なった頭部の衝撃実験の再現シミュレーションを行なった。図 3 に頭部の衝撃解析の概略図を示す。実験は 42 歳男性の屍体を用いたもので、頭部の眼窩下縁と外耳上縁を結んだフランクフルト水平面に対し 45 度の角度で前額部に衝撃を与えるという条件である。インパクトの質量は 5.59kg, 速度は 9.94m/s で正面方向から衝突させている。実験では頭蓋骨の 4 箇所を開け、頭蓋内壁に沿う形で圧力計を埋め込むことで頭蓋内の圧力を測定している。再現シミュレーションでは剛体設定したインパクトに強制速度を与えることで頭部衝撃を再現した。以上の条件を構築した高齢者と若年者の頭部モデルを用いてシミュレーションを行い、加齢による構造の変化が及ぼす影響を比較した。圧力計の埋め込み位置を図 4 に示す。前頭骨、側頭骨、後頭骨、後頭蓋窩の 4 箇所で頭蓋内圧を計測した。

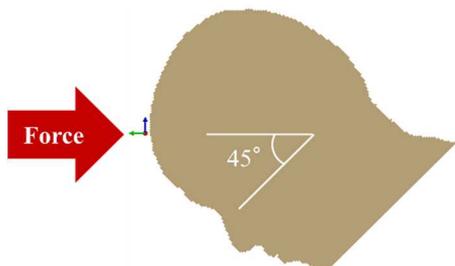


図 3 Nahum らの実験を再現した衝撃解析

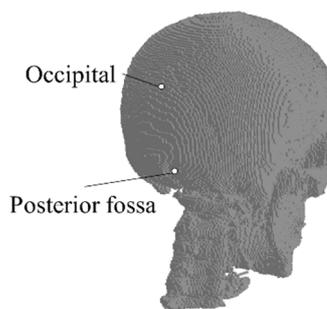
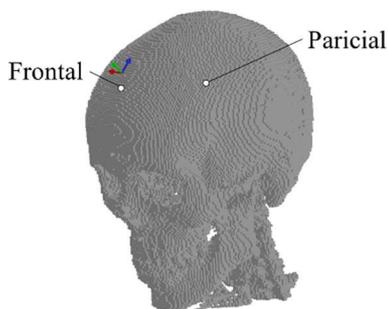


図 4 Nahum らの実験を基にした測定位置

4. 高齢者モデルと若年者モデルによる衝撃シミュレーションの比較

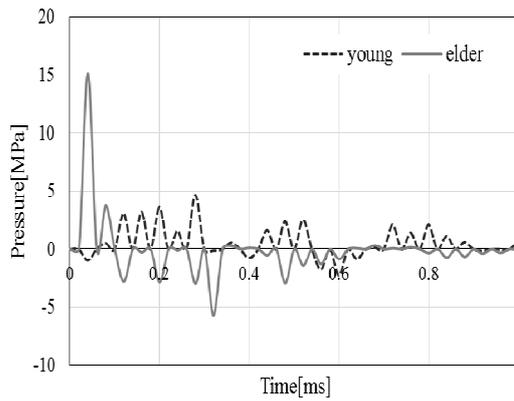
図 5 に高齢者と若年者の頭部モデルにおける頭蓋内の各位置での圧力の時刻歴を示す。グラフは横軸に時間[ms]、縦軸に圧力[MPa]をとり、(a)より前頭骨では高齢者モデルでは衝撃負荷直後に最大 15.2MPa の圧力が生じており、若年者モデルの最大値 4.7MPa の約 3.2 倍の圧力を示した。(b)より側頭骨では高齢者頭部モデル、若年者頭部モデルともに約 29MPa の圧力が生じており、その後、正圧と負圧を交互に示した。(c)より後頭骨では高齢者頭部モデル、若年者頭部モデルともに衝撃負荷直後に前頭骨と反対の負圧が生じており、高齢者頭部モデルで-7.4MPa、若年者頭部モデルで-11.0MPa と若年者頭部モデルが約 1.5 倍高い値を示した。(d)より後頭蓋窩では高齢者頭部モデルが負圧で-12.7MPa に対し、若年者頭部モデルでは反対に正圧で 25.0MPa の圧力が生じた。Nahum ら^[2]の実験では、前頭骨と側頭骨で正圧、後頭骨と後頭蓋窩で負圧が測定されたことから本モデルにおいては後頭蓋窩を除いて同じ結果を示したが、衝撃の現象時間が実験である約 10ms の約十分の一となった。高齢者は頭部傷害が重傷化しやすいとされていることから衝撃時の頭蓋内圧も若年者に比べ高くなることが予想され、本解析では衝撃負荷した前頭骨において高齢者頭部モデルが若年者頭部モデルに比べ高い圧力を示す結果となった。

5. 結 言

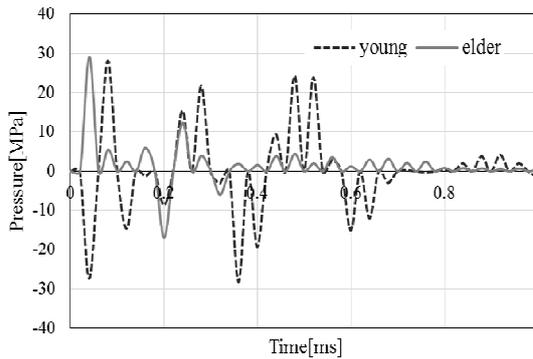
頭部 CT 画像を基に衝撃解析のための高齢者頭部有限要素モデルの構築をおこなった。衝撃シミュレーションによる検証の結果、前頭骨の最大圧力のみ高齢者頭部モデルが若年者頭部モデルに比べ高い結果となった。今後は回転衝撃が加わった場合の解析を実施する予定である。

文 献

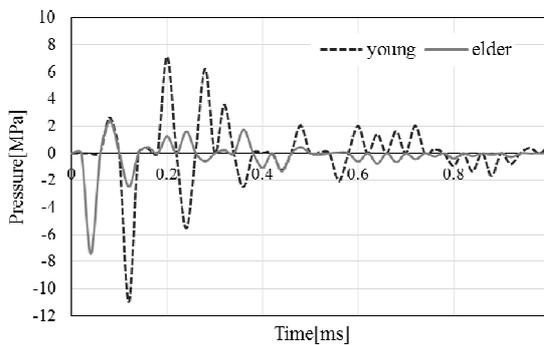
- (1) 鈴木光, 杉浦隆次, 西本哲也, 渡邊大, “高齢者を想定した頭部有限要素モデルの開発”, 日本機械学会 2015 年度年次大会, (2015)
- (2) Alan M. Nahum, Randall Smith, and Carley C. Ward, “Intracranial Pressure Dynamics During Head Impact”, SAE Technical Paper 770922, (1977), pp. 339-366.
- (3) 恒屋昌一, 市村真由美, 金沢稔, 高橋進, 臼井永男, “高齢者の頭部 CT の二次元計測による脳に加齢変化と直立時重心動揺”, 埼玉理学療法会誌, Vol. 4, (1996), pp. 14-19.



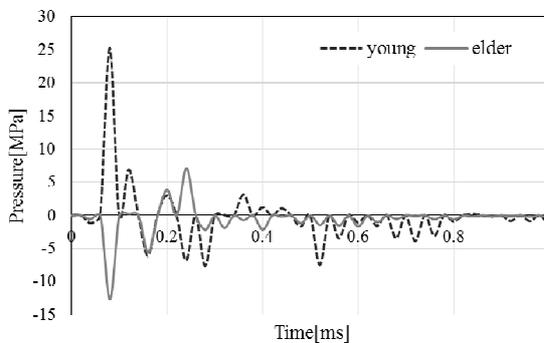
(a) 前頭骨における頭蓋内圧



(b) 側頭骨における頭蓋内圧



(c) 後頭骨における頭蓋内圧



(d) 後頭蓋窩における頭蓋内圧

図 5 Nahum らの実験を再現した衝撃解析による頭蓋内圧

情動誘導や集中作業を活用した前頭葉の脳血流制御訓練

畠田聡, 酒谷 薫

日大工・電気電子

1. まえがき

近年、ストレスが原因の精神疾患患者数が増加し、社会的な問題になっている。ストレスを計測する方法として質問紙調査や自律神経状態を心拍数で測定するなどがあるが、脳の活動を計測する方法も注目されている。一例として、前頭葉の左部と右部の酸素化ヘモグロビン濃度(以下 $O_{xy}\text{-Hb}$ と呼ぶ)の違いからストレス耐性を評価できることが報告されている⁽¹⁾。ヘルスケアサポートを行うにはストレスの評価だけでなく、ストレス耐性を向上できるとよい。脳血流とストレスとの関係から、脳血流を自分で制御することができればストレス耐性を強化できることが期待される。このような考えから脳血流を意識的に変化させる訓練法についても検討されているが⁽²⁾、誰もが簡易に行えないことが課題である。

そこで、本研究ではメンタルヘルス改善の訓練として、簡易な作業を行うことで結果的に脳血流をコントロールできる方法について検討する⁽³⁾。

2. 脳血流コントロールの訓練方法

脳血流の制御訓練方法として、近赤外線分光法(NIRS)を用いたニューロフィードバックがある。文献[2]では脳の酸素化ヘモグロビン濃度の増減をリアルタイムにディスプレイに表示し、それを見ながら意識を集中させることで $O_{xy}\text{-Hb}$ を制御する訓練を行っている。この方法は習得するのに時間を要することや誰でもが確実にできないことが課題である。

映像視聴やスポーツ体験など日常行っている行動の中で結果的に脳血流が変化していること

が多い。本研究では、脳血流を変化させることを意識的に行うのではなく、簡易な作業を行うことで結果的に脳血流を制御できる方法を検討する。脳血流の制御に大きく寄与する行動として情動や集中があげられる。これらの状態を容易に実現できる方法として、(1)映像を活用した情動の誘導と、(2)ドライブシミュレーションゲームでの集中作業に着目する。このような行動により結果的に脳血流がどのように変化するかを以下で検討する。

3. 情動誘導による脳血流の変化

3.1 実験方法

ラッセルの円環モデルの幸福・興奮に対応する「ワクワクする感情」を対象とし、映像視聴を参考に、その感情になるように自分をコントロールしたときの前頭葉前額部の左(CH1)と右(CH2)の $O_{xy}\text{-Hb}$ を NIRS で計測する。被験者は 21~23 歳の男子大学生 4 人 (A~D) である。

3.2 実験手順

「レスト」を頭や体を動かさない閉眼での安静状態、「情動誘導」をできるだけワクワクする感情になる状態とし、レスト 90 秒、情動誘導 90 秒、レスト 90 秒、情動誘導 90 秒、レスト 90 秒の順で 1 試行とする。1 日に 2 試行の計測を行い、1 週間以上の間隔をあけて 2 回の計測を行った。1 日目の計測では、最初の試行では映像を視聴しないで情動誘導してもらい、30 分休憩後に行った次の試行では映像視聴による情動誘導とした。2 日目の計測では順番を入れ替えて、最初の試行では映像視聴で情動誘導してもらい、30 分休憩後の次の試行では映像視聴しないで情動誘導するこ

とした。

映像視聴で情動誘導する場合の被験者への指示として、映像を視聴して感情を抱くのではなく、映像をうまく活用してワクワクする感情になるように自分をコントロールすることを事前に伝えた。情動誘導に用いる映像としてスポーツ、アトラクション、音楽ライブの映像を1本ずつ準備し、各被験者に情動誘導しやすい映像を選択してもらった。

また、「ワクワクした感情」になったときには手を少しだけ動かすサインを出すよう指示した。各試行の最初に行うレスト90秒の前に頭部を上下に移動する動作を3回実施することと「ワクワクした感情」になったときの手を動かすサインを出してもらい、NIRSの動作確認と手を動かすことで脳血流に変化が生じないことを確認したうえで計測を行うこととした。

3.3 実験結果

映像視聴で情動誘導したときの前頭葉の左部と右部の $O_{xy}\text{-Hb}$ の計測結果の例を図1に示す。同図から分かるように情動誘導した場合は前後

のレストの区間に比べて CH2 (右部) の $O_{xy}\text{-Hb}$ が大きくなっている。CH1 (左部) の $O_{xy}\text{-Hb}$ もレスト区間より少し高いことが確認できる。

各試行の $O_{xy}\text{-Hb}$ の計測結果を次の方法で分析する。レスト区間の開始45秒後から90秒後の区間の平均値をレスト $O_{xy}\text{-Hb}$ 、情動誘導のサインが出た区間について5秒間隔で求めた平均値を情動 $O_{xy}\text{-Hb}$ とする。情動区間の前後のレスト区間のレスト $O_{xy}\text{-Hb}$ の平均値をベースラインとして情動 $O_{xy}\text{-Hb}$ を補正する。補正した情動 $O_{xy}\text{-Hb}$ を映像なしと映像ありで比較した結果を図2に示す。

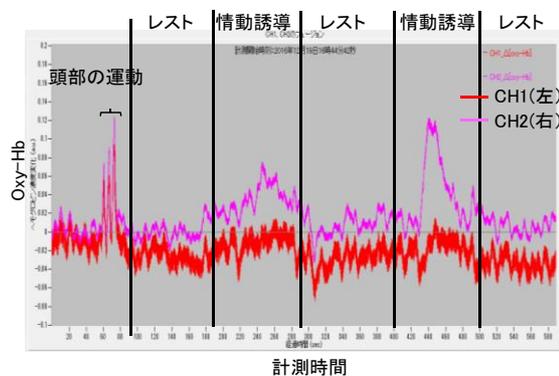


図1 情動誘導での $O_{xy}\text{-Hb}$ の時間変化の例

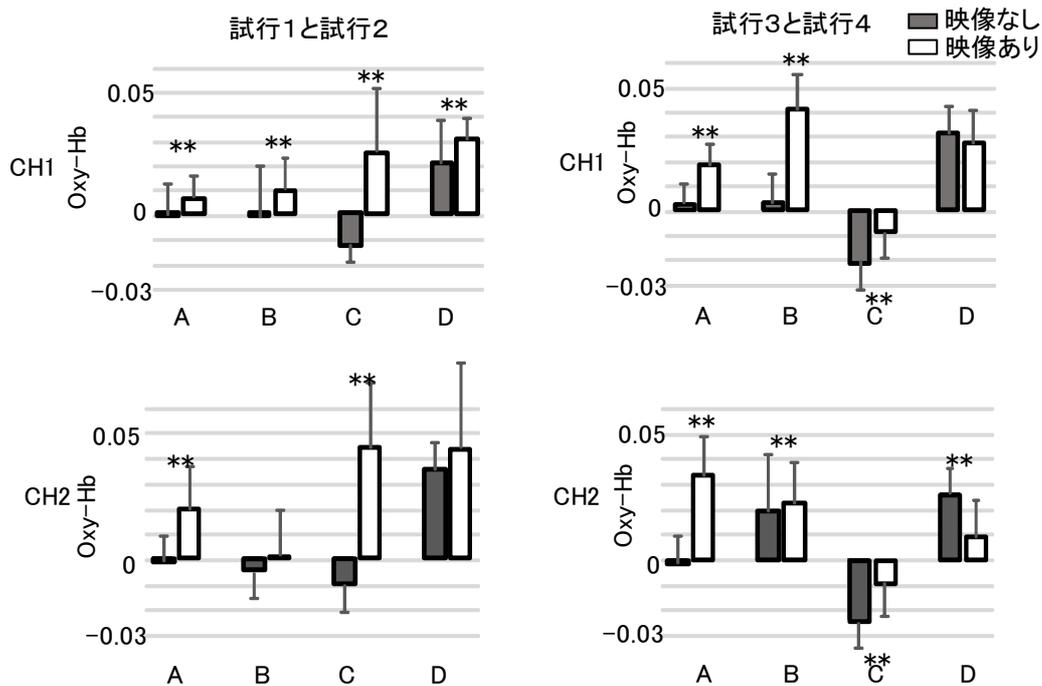


図2 情動誘導の結果

同図より、1日目と2日目の両方とも、映像ありの方が脳血流の変化が大きくなっていることがわかる (T 検定で有意差あり)。但し、映像なしの方が有意に大きく変化することはないが、映像ありと映像なしで有意差がない場合も散見された。また、ワクワクした感情になることでCH1とCH2の変化の仕方は被験者間や同一被験者の2回の計測間で異なっている場合もある。ポジティブな感情を誘導するときには左部のCH1の方が高くなると予想されるが、その傾向は確認できなかった。これらの結果については被験者へのインタビューから、用いた映像が被験者に合わなかったためと考えられる。適切な映像の選定方法を検討し、サンプル数を増やして検証することが課題である。

4. 集中作業による脳血流の変化

4.1 実験方法

情動誘導の実験と同様の方法でドライブシミュレーションゲーム実施時の脳血流を測定する。被験者は21~22歳の男子大学生5人(E~I)である。

4.2 実験手順

「レスト」を頭や体を動かさない閉眼での安静状態とし、レスト90秒、ゲーム、レスト90秒、ゲーム、レスト90秒の順で1試行を計測する。ゲームの時間はコース1周とし、被験者によって異なるが、2分程度であった。

1日に1試行の計測を行い、1週間以上の間隔をあけて2回の計測を行った。2回の計測は全く同じ条件で行い、再現性があるかを検証するために実施した。被験者が作業に集中しているかの確認は、計測模様を記録した映像を振り返り、集中している時間帯を被験者に確認した。

4.3 実験結果

前頭葉の左部と右部のOxy-Hbの計測結果の例

を図3に示す。同図からレスト区間に比べてゲーム区間の方がOxy-Hbが低いことが分かる。

各試行のOxy-Hbの計測結果を次の方法で分析する。レスト区間の開始20秒後から70秒後までの50秒間における5秒間隔の平均値をレストOxy-Hbとする。ヒアリング結果から全員が集中していたゲーム区間の開始後40秒~90秒の50秒間から5秒間隔で求めた平均値をゲームOxy-Hbとする。レストOxy-HbとゲームOxy-Hbの結果を図4に示す。被験者Eの2回目の計測は実施できなかったため記載していない。同図から、ゲームに集中している時にはレスト区間よりもOxy-Hbが低下している場合が多いことが分かる (T 検定で有意差あり)。レスト区間は、閉眼で頭や体を動かさない安静状態での計測結果であるので意識的に脳活動を休めることは容易でないとはいえる。一方、ゲームに集中している場合にはCH1とCH2の両方ともOxy-Hbがレストより低くなる場合が多い。レストのような曖昧な指示ではなく、ゲームを行うという具体的で明確な行動を指示することでこのような結果が得られたことから脳血流の制御訓練には適している作業であるといえる。本実験では大学生を被験者としたのでドライブシミュレーションゲームが集中作業として適切であったと考えられる。高齢者やメンタルヘルスに問題がある利用者に対して適切な集中作業を選定することが今後の課題である。

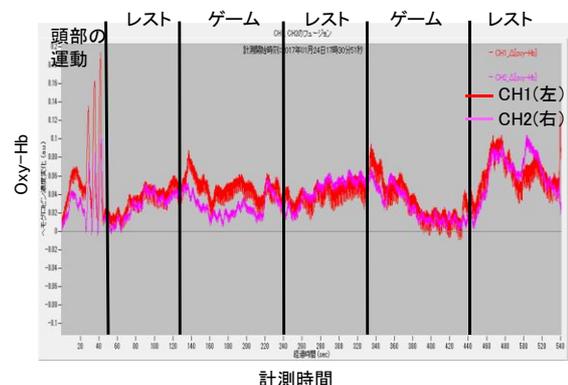


図3 集中作業時のOxy-Hbの時間変化の例

5. むすび

メンタルヘルス改善の訓練として、情動誘導や集中作業を行うことで結果的に脳血流をコントロールできる方法について検討した。実験により、映像を活用した情動誘導とドライブシミュレーションゲームでの集中作業を行うことで間接的に脳血流をコントロールできる可能性を確認した。前頭葉の脳血流の上昇は認知症の予防、低下はストレスの軽減が期待できる。今後は実験規模を拡大させるとともにトレーニング方法の確立に向けて検討する予定である。

【参考文献】

(1) Tanida M., et al. Relation between mental stress-induced prefrontal cortex activity and skin conditions: A near-infrared spectroscopy study, *Brain Research*, 1184(12), 210-216, 2007.

(2) 柳澤, 他: 前頭前野を対象にしたニューロフィードバックトレーニングにおける NIRS 信号の評価手法の提案, *人間工学* 51(1), 42-51, 2015.

(3) 畠田, 他: 情動誘導や集中作業を活用した脳血流制御訓練の試み, 信学会総合大会 D-7-7, 2017.

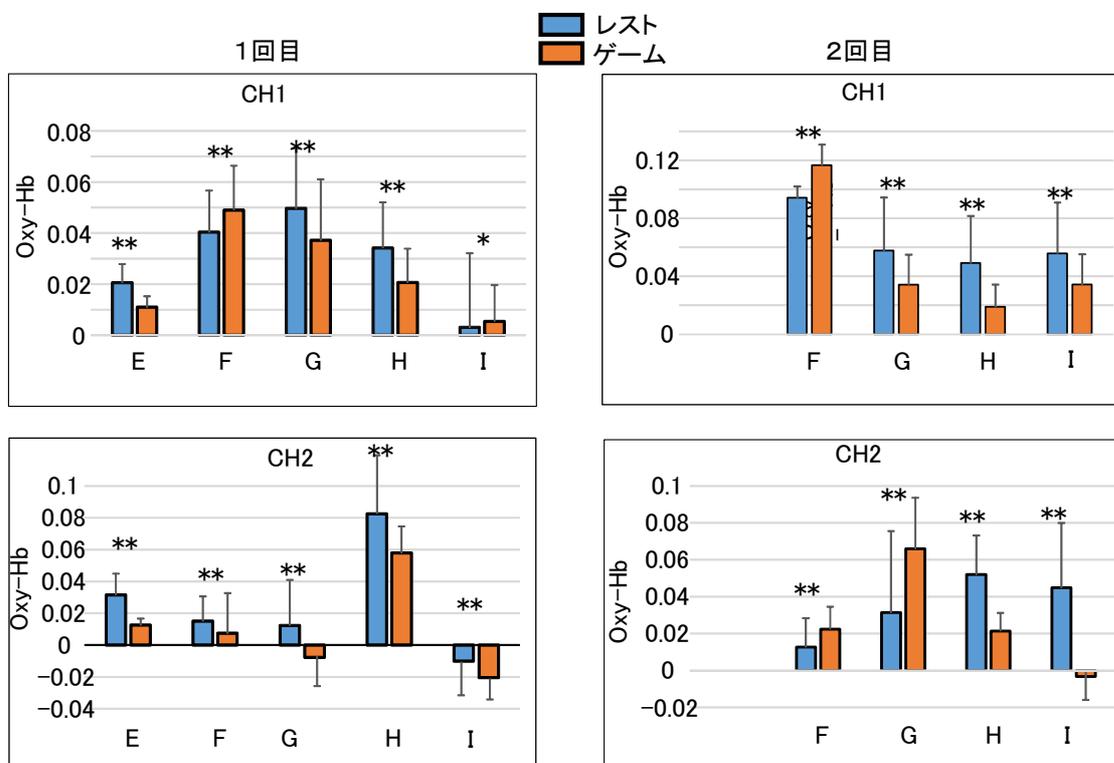


図4 ドライブシミュレーションゲーム時の結果