

集中度評価のための無線通信を用いた IMU による幼児の頭部姿勢計測

堀亜由美^{*1}・熊澤典良^{*1}・島義弘^{*2}・田淵大介^{*1}・上谷俊平^{*1}

Email: kumazawa@mech.kagoshima-u.ac.jp

*1: 鹿児島大学大学院 理工学研究科

*2: 鹿児島大学 教育学部

◎Key Words

幼児, 集中力, IMU

1. はじめに

幼児教育において幼児の成長に沿った保育をするために幼児個々の特性を把握することは必要であり, その特性の一つとして集中力を育むことは必要である。一般的に集中力は運動によって高まることが知られており¹⁾, 多くの現場では運動遊びをとりいれて, その後の朝の会や読み聞かせといった一斉保育に入りやすくしている。

読み聞かせ中に集中力が低下すると, 幼児は周囲を見渡し落ち着きなく動き始めることが多い。筆者らは読み聞かせの物語の内容に集中している幼児はじっと話者の方に顔を向け, 集中していない幼児は身体をゆらゆらと揺らす様子から幼児の頭部の動きを計測することによって集中状態を把握することが出来ると予想し, 先行研究²⁾において AR マーカとカメラを用いて揺動する頭部の計測を実施したが, 実施場所はカメラの撮影範囲内に限定されていた。本研究では場所を選ばず, 話者の読み聞かせに集中する子どもの頭部姿勢を計測することを目標とし, カルマンフィルタが内蔵された慣性計測装置 (以下「IMU」と呼ぶ) を使用する。IMU により, 読み聞かせにおける幼児の集中状態を, 個々の姿勢角データから把握することが出来ると予測する。本論文では IMU を用いた頭部姿勢計測のシステム構成, 通信方法, 精度確認について述べる。なお, 保存される姿勢データは読み聞かせに参加する幼児全員分である。

2. 使用機器とシステム構成

幼児の集中を可視化するために本研究では一斉保育で行われる読み聞かせ時を対象とする。図 1 は園で実施する読み聞かせの模式図であり, 保育者がクラス全員に向けて紙芝居を読む様子を表している。紙芝居の中の世界に入って集中している幼児の姿勢は保持されるが, 気の散りやすい子や興味を失って集中できなくなった子の姿勢は次第に崩れていく。集中できていないと図に示すようにふらふら歩きまわったりキョロキョロしたり落ち着きがなくなるため, 頭部および身体の姿勢から幼児の集中度を把握できるはずである。幼児の集中状態を把握するために IMU を用いて幼児の頭部姿勢を測定する。幼児たちは保育の中で帽子に慣れているため IMU を幼児帽に取り付け測定を行う。幼児の動きの妨げにならないよう通信は無線で行う。図 2 はシステムの概略図であり, 取得した姿勢角データは無線通信を用いて送信し, 保存される。

2.1 使用する IMU センサの選定

頭部姿勢を計測する IMU として WitMotion 社の小型 9

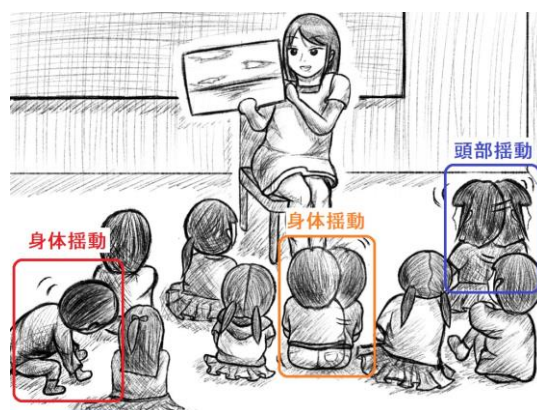


図 1 読み聞かせの概略図

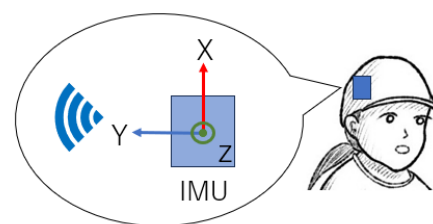


図 2 システムの概略図

軸センサ WT901 (36×54mm) を使用する。このセンサにはカルマンフィルタが内蔵されており, 計測した X, Y, Z 軸まわりの角度 θ_x , θ_y , θ_z がそれぞれ出力される。WT901 チップを内蔵する無線型 IMU センサモジュールのうち本研究では BWT901CL, WT901BLECL および WT901WIFI をそれぞれ比較検討する。

本研究において IMU からの姿勢角のデータを欠落することなく, かつ長時間取得することは重要である。そこで IMU のサンプリングを最大である 200Hz に設定し 3 種類のセンサモジュールそれぞれに対して予備実験を実施した。予備実験の結果からどの機器を使用してもデータに欠落はなく実用上問題のないことがわかった。つぎにバッテリーの駆動時間について予備実験を実施した。予備実験の結果, BWT901CL および WT901WIFI は約 4 時間, WT901BLECL は約 7.5 時間という結果を得た。消費電力の少ない BLE を用いている WT901BLECL の使用可能時間が最も長かったが, 読み聞かせの時間は 10 分程度であるため, どの機器を使用しても実用上問題ないことを確認できた。

BWT901CL, WT901BLECL は共に Bluetooth 通信により無線でデータを送信するが, 前者はオーディオ機器などに利用される Bluetooth Classic 規格であり, 後者は省

電力規格の Bluetooth Low Energy (BLE) である。この2

表 1 各機器の特徴

	通信規格	最大接続台数	メリット
BWT901CL	Bluetooth2.0	4	通信が速い
WT901BLECL	BLE	4	消費電力が低い
WT901WIFI	Wi-Fi	30台以上	接続可能台数が多い

機種は同時に Bluetooth 接続できる台数の制限により、データを保存するための PC が多数必要になる。

WT901WIFI は Wi-Fi を用いた無線通信方式であり、同じアクセスポイントに接続した機器同士でデータの送受信が可能である。以上について、表 1 に各機器の特徴をまとめる。本研究において、園児全員に IMU を使用するため同時接続台数の多い WT901WIFI を採用する。

2.2 姿勢角データの取得

本研究では園児全員に IMU を用いるため多数の IMU を同時に使用することになり、同時通信による通信負荷が懸念される。そこで、通信負荷の軽減のため Wi-Fi 通信の中でもオーバーヘッドの小さい UDP プロトコルを使用する。

UDP 通信はコネクションレスであり、受信パケットの欠損や順序の入れ替わり、混在の可能性があるため通信の信頼性について検証した。WT901WIFI から取得した姿勢角データは UDP プロトコルを用いて Raspberry Pi 4 (以下「RPi」と呼ぶ) ヘリアルタイム送信される。受信プログラムは Python で実装し、受信処理と保存処理はマルチスレッドで非同期に動作する構成とした。データは CSV 形式で保存され、各行には IMU からの姿勢角データと RPi のシステム時間を含めた。通信の信頼性検証として、WT901WIFI が独自に送信する時刻データと RPi におけるシステム時刻をそれぞれ記録し、3 時間データを収集した。得られたデータに対して WT901WIFI の内部時刻に基づいてソートしたデータ列と RPi が受信した時刻に基づいてソートしたデータ列を比較したところ並び順に違いがなく、かつデータ数の欠落も見られなかったことから、UDP 通信においてパケットの欠落や順序の乱れがなかったことが確認できた。加えてデータの受信が中断されることがなく収集することができたため、通信安定性についても確認できた。以上の結果より、WT901WIFI を用いた UDP 通信によるリアルタイムデータ収集は十分信頼できると判断した。念のため IMU の送信する姿勢角のデータにはデバイス時刻のデータを含めている。

3. 実験

3.1 実験の概要

IMU の出力する角度の精度を検証するため、ロータリーエンコーダの角度と IMU の比較実験を実施した。図 3 に示す装置は、モータにより駆動されるスライダ・クラック機構を用いた単振り子であり、回転軸にはロータリーエンコーダを取り付けた。IMU は振り子の先端部に固定し、IMU およびエンコーダ双方から角度データを同時に取得できるようにした。実験は振り子の周波数を 0.5Hz に設定し、IMU とエンコーダの角度を比較する。取得したデータはすべて CSV 形式で保存し、各サンプルには IMU のセンサ名、IMU のセンサ時刻、IMU の姿勢角、

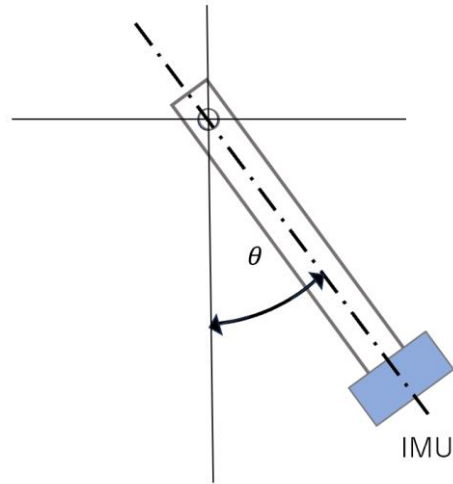


図 3 実験装置

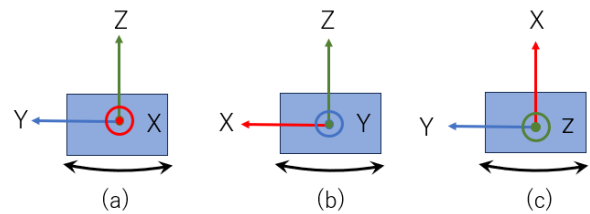


図 4 センサの取り付け方向

エンコーダ角度が含まれる。IMU 姿勢角およびエンコーダの角度は 50Hz のサンプリングで取得し、保存された時系列データを比較検討する。さらに、有線通信および無線通信についても実験を実施し、両方式におけるデータ取得精度の違いについて比較を行った。

3.2 実験結果

IMU の姿勢角は X 軸周りの角度を角 θ_x 、Y 軸周りの角度を角 θ_y 、Z 軸周りの角度を角 θ_z とそれぞれ定義する。センサ座標はセンサの X 軸を南北方向に揃えて地面に置いた時 (北を正とする)、Y 軸は東西方向 (西を正とする) であり、Z 軸は天頂方向である。振り子は固定軸まわりでしか運動しないためセンサを取り付ける向きを変えることで IMU の角度の確認を行う。図 4(a) に示すように振り子先端に IMU を取り付けると角 θ_x の確認が可能となり、図 4(b) のように取り付けることで角 θ_y 、図 4(c) のように取り付けることにより角 θ_z を確認することが可能である。

図 5~7 に有線通信での IMU およびエンコーダの角度データの時間変化を示す。縦軸は振り子の角度であり、横軸は時間である。図 5、6 および 7 はそれぞれ図 4(a)、図 4(b) および図 4(c) のように IMU を取り付けたときの θ_x 、 θ_y 、 θ_z を示している。図 5 において破線で示されたエンコーダによる振り子の軸の回転角度と実線で示された IMU による角 θ_x の波形はほぼ一致しており、データの遅延および角度に顕著な差は見られなかった。誤差を導出したところ平均誤差は 0.12° 、最大誤差は 1.26° であり、頭部の姿勢角を十分な精度で測定できることがわかった。図 6 において実線で示された角 θ_y の波形は θ_x と同様にエンコーダによる角度と概ね一致してお

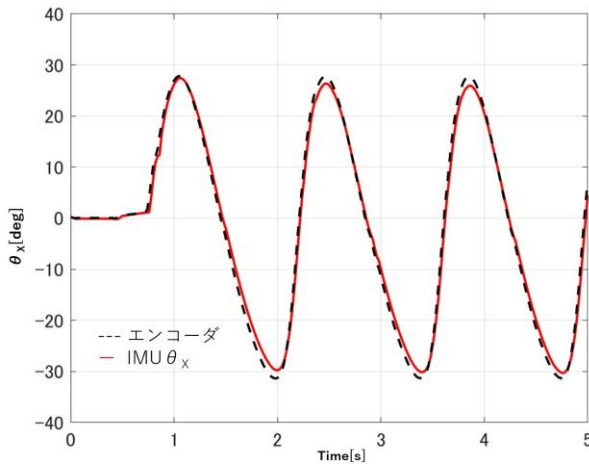


図5 IMU とエンコーダの角度時間変化 (角 θ_x)

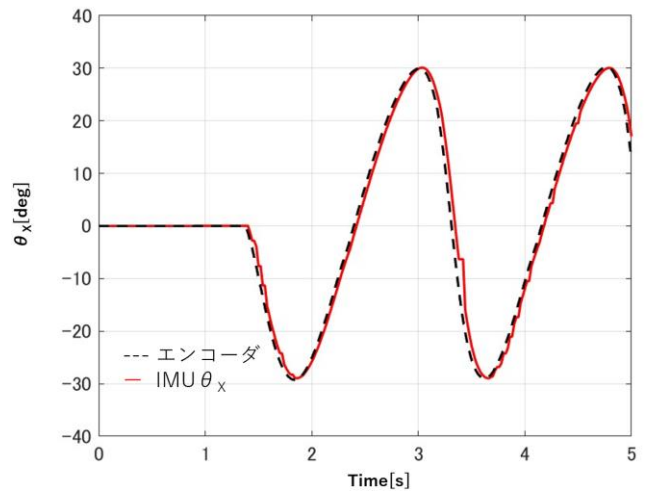


図8 無線通信時の遅延例 (角 θ_x)

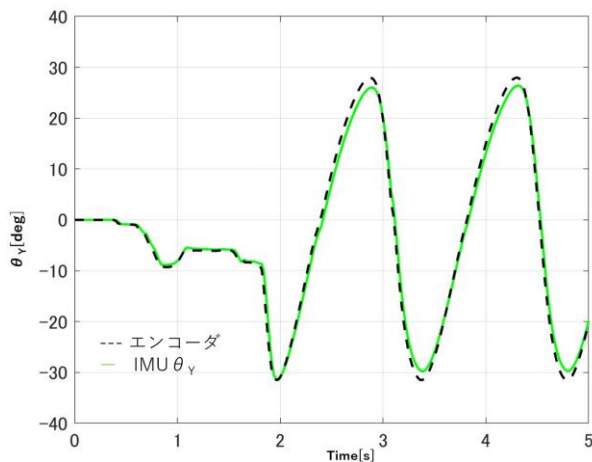


図6 IMU とエンコーダの角度時間変化 (角 θ_y)

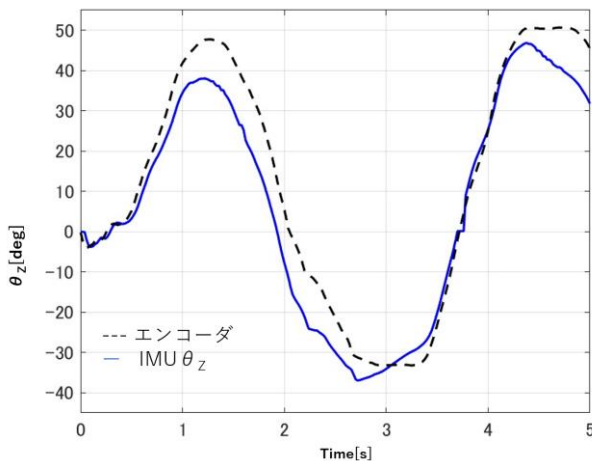


図7 IMU とエンコーダの角度時間変化 (角 θ_z)

り、平均誤差は 0.02° 、最大誤差は 0.98° であった。角 θ_z に対し同様の実験を実施したが、モータの磁場の影響を受け IMU による角度推定が不安定であった。そこで、エンコーダに IMU を直接取り付け、手動で IMU を回転させて角度を測定した。図 7 に示されるように角 θ_z の精度は角 θ_x 、角 θ_y ほどよくないことが確認された。これは IMU の周辺の PC やキーボードから発生する磁場の影響を受けたためであると考えている。

有線接続の実験と同様に WT901WIFI を用いた無線通

信においても IMU とエンコーダの角度比較を行い無線通信での通信遅れについて実験を行った。角 θ_x 、角 θ_y については有線通信時と同様に IMU とエンコーダの波形はほぼ一致しており、データに欠損はなく角度の誤差も有線接続の場合と同程度であった。しかし、図 8 に示す角 θ_x における IMU とエンコーダの取得データから、無線通信ではエンコーダの角度が変化した約 0.02 秒後に IMU の値が変化し、 0.02 秒の遅延が確認された。 0.02 秒のデータ遅延は本研究の幼児の頭部の姿勢推定において許容可能な範囲であり、実用上の問題は発生しないと考えられる。角 θ_y 、角 θ_z についてもエンコーダと比較をしたところ、角 θ_x と同様に 0.02 秒の遅延が確認された。

有線および無線接続から得られた実験結果から、角 θ_x 、角 θ_y については正確に角度を取得でき、実用上問題ないことが確認された。角 θ_z の推定には磁場を用いられているため、実験装置を駆動するモータの磁気の影響によって角度の誤差は大きくなった。しかし、エンコーダとの比較により周期が一致したことから大まかな挙動の把握には有効であると考えられる。角 θ_z を正確に測定するためには磁場を考慮する必要があるが、本研究で想定する幼児帽に取り付けたときは磁場の影響はほとんど生じないと考えられる。加えて読み聞かせ中の幼児の行動に着目した予備実験から、読み聞かせ中は周りをキョロキョロ見渡すような動きよりも、手遊びをし、下を向くような動きがよく検出されていたため、角 θ_z の精度については大きな影響を及ぼさないと考えた。

4. おわりに

本研究では読み聞かせ時間を対象とした幼児の頭部姿勢を計測するシステムを先行研究において AR マーカとカメラを用いた方法から IMU が取り付けられた幼児帽を使用する方法への変更を検討した。AR マーカから IMU に変更することにより、カメラの視野に依存することなく柔軟な測定を実施することが可能になった。

IMU から得られた姿勢角データは UDP プロトコルを用いた無線通信により、リアルタイムで RPi に無線送信され、保存できるようになった。UDP はコネクションレスの通信のためデータの信頼性に懸念があったが、実験

からデータの欠落や順序の乱れが見られなかったため、UDP を用いた WT901WIFI センサによるリアルタイム姿勢計測が実用可能になった。同様の実験を WT901WIFI を 2 台同時に使用して実施したところ IMU の台数が増加しても通信安定性や通信信頼性に問題なくデータを取得することができ、複数台の IMU を使用しても問題ないことを確認できた。さらに無線通信で得られたデータの精度をエンコーダを用いて検証した結果、角 θ_x 、角 θ_y はほとんど一致したことから我々の開発したシステムにより、幼児の頭部の姿勢を無線で同時に計測できることを確認できた。角 θ_z については磁力の影響を受けるが、幼児帽に取り付けて使用する際は磁力の影響は少なく実用上問題ないはずである。

本論文では多数の幼児の姿勢をワイヤレスで同時に計測するためのセンサについて検討し、姿勢角をリアルタイムに保存するプログラムを開発して検証した。取得した頭部揺動データを用いた集中度の定量化や長時間複数人での実験については今後の課題としたい。

参考文献

- (1) アンダース・ハンセン著、御舩由美子翻訳，“一流の頭脳”，サンマーク出版（2018）
- (2) 大場昂人, Park Taewon, 熊澤典良, 島義弘, 奈良大作, 上谷俊平：“読み聞かせにおける児童の頭部を可視化するシステムー集中度の維持と頭部揺動ー”，CIEC 2023 PCカンファレンス講演論文集, pp. 69-72 (2023).