

スマートウォッチを活用する屋内ナビゲーションにおける  
方向誘導に適した振動シグナルの検証  
Verifying the Effect of using Vibration from a Smartwatch for an Indoor  
Navigation System

河野 力哉<sup>†</sup>      中島 誠<sup>†</sup>  
Rikiya Kono    Makoto Nakashima

## 1. はじめに

近年、携帯端末を用いた屋内ナビゲーションシステムは普及している。しかしながら、屋内でのナビゲーションでは、高精度化が進む GPS 測位が利用できないだけでなく、周囲への配慮が必要なため、方向誘導に音を伴う案内は利用しづらい。また、視覚情報の利用には、利用者がシステムからの情報提示を目視する必要があり、歩行中の事故につながる恐れがある。この問題は特に画面が小さいスマートウォッチを活用した屋内ナビゲーションシステムで起きており、スマートウォッチ上に地図情報を掲載しても視認が困難である。

本研究では、腕に装着するだけでよいスマートウォッチの振動シグナルを利用した、周囲に迷惑をかけないで利用者を方向誘導でき、スマートウォッチの画面が小さいという問題を解決できる屋内ナビゲーションシステムの構築を目指している。本稿では、スマートウォッチの振動シグナルを活用したナビゲーションシステムについて述べた後、様々な振動シグナルのパターンから、方向誘導に適したパターンを検証する実験方法とその検証結果から得られた知見について述べる。

## 2. 関連研究

振動を活用したナビゲーションシステムはこれまでにいくつか研究されている。Liao ら[1]は、6つの振動モータを取り付けた専用機器を足に装着し、振動させてナビゲーションするシステムを提案している。この手法では、進行方向に対応した振動モータを振動させることでユーザを目的地までナビゲーションをする。検証実験において約 90%の確率で、提案した手法のみで制限時間内に目的地までのナビゲーションを達成することができたと述べられている。しかしながら、この研究で使用した機器は、振動モータを6つ搭載した特殊なもので、作成のコストがかかり、多くの人が使用するには難しいものとなっている。

また、振動を活用して特定の情報を伝える研究もされている。Komatsu ら[2]は、システムからの提案における信頼度を正確かつ直感的に伝えることのできる振動パターンを提案している。この研究では、振動の長さや振動の間隔が一定である「平坦な振動」と、振動の長さは一定で振動の間隔が徐々に空く「減少する振動」の2つの振動シグナルを作成している。平坦な振動はシステムからの提案が信頼度の高い情報であると伝えることが可能であり、減少する振動はシステムからの提案が信頼度の低い情報であると伝えることが可能であると実験を通して検証を行っている。この振動はスマートフォンの振動 API を使用して作成され

ており、スマートフォンの振動をオンかオフにする状態を制御することで振動シグナルを作成している。

本研究においては、近年広く普及しているスマートウォッチの振動機能を用いてナビゲーションするシステムの構築を行う。通常スマートウォッチには、振動モータが1つのみ搭載されていることが多いので、複数の振動モータを使用しないで、1つの振動モータのみを活用した場合にどのような振動シグナルが方向誘導に適しているかを検証する。

## 3. スマートウォッチを活用したナビゲーションシステム

図 1 に提案するシステムの流れを示す。スマートウォッチとスマートフォンを使用する。

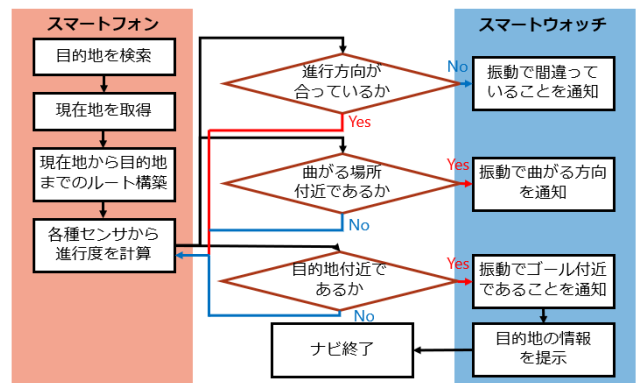


図 1. システム全体図

スマートフォン側では、まず、目的地の入力を行い、その後、現在位置を取得する（取得については従来法の採用を検討中）。現在位置を取得した後は、現在位置から目的地までのルート構築を行い、ナビゲーションを開始する。ナビゲーション中はスマートフォンの加速度センサ、ジャイロセンサ、磁気センサを用いて、ユーザの進行度の計測、曲がる場所の判定、目的地付近であるかの判定を行う。この時、スタート地点や、曲がる場所、目的地付近それぞれの場所に応じた振動シグナルを提供することで方向誘導を行う。ただし、伝える情報の種類が多くなりすぎるとユーザが振動に慣れてしまったり、区別できなくなったりすることで、情報が伝わりづらくなることを考慮して、必要最低限の情報で方向誘導とする。表 1 に、場所に応じて振動シグナルで伝える情報を示す。

曲がる場所付近の②のまがる方向を伝える振動以外では、ユーザが気づきやすく、違いを認識することができればよい。曲がる場所付近の②曲がる方向を伝える振動については、曲がる方向をユーザがすぐに認識できなかったり、間違えたりすることが増えてしまうと快適なナビゲーション

<sup>†</sup> 大分大学 Oita University

を行うことはできない。このような問題を起こさないためにも曲がる方向を伝える振動シグナルは直感的に認識できるものを作成しなければならない。以下では、左右どちらに曲がればよいかという方向誘導に適した振動シグナルの作成を行い、検証を行う。

表 1. 場所による振動で伝える情報内容

場所	伝える情報
スタート地点	①進行方向を向くまで振動 (進行方向が認識できる振動を提供)
曲がる場所付近	①曲がる場所であることを伝える振動 ②曲がる方向を伝える振動 ③進行方向を間違えた場合、間違えたことを伝える振動
目的地付近	①目的地付近に到着した事を伝える振動

#### 4. 方向誘導に適した振動シグナルの検討

振動シグナルの作成にあたり、使用するスマートウォッチは Casio PRO TREK Smart WSD-F30 である。このスマートウォッチでの振動 API には振動モータの周波数を制御する方法が提供されていないため、振動シグナルの作成は振動のオンとオフの状態を制御することで行う。

関連研究[2]では実験による検証を行う前に仮説を立てていた。そして、その仮説を元に振動の作成、実験結果からの知見について意見を述べていた。本研究においても方向誘導に適した振動シグナルの作成において「対照的な振動シグナルの方が左右を認識しやすい」という仮説を立てた。すなわち、ある対照的な組み合わせ 2 つの振動があり、一方を右に曲がることを伝える振動シグナルと認識すると、他方を左に曲がることを伝える振動シグナルであると認識する人が多い、というものである。この仮説を元に、5 組で全 10 種類の振動シグナルを用意した。各振動シグナルは約 2 秒程度の長さになるように作成し、イギリスで施行された就業時振動規制に則ってユーザの健康に考慮したものになっている[3]。作成した振動シグナルの組み合わせを図 2 ~ 図 6 に示す。

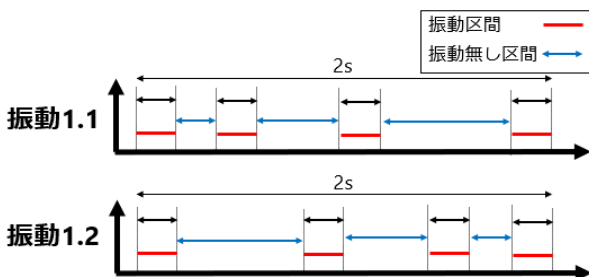


図 2. 対照的な振動シグナルの組み合わせ 1

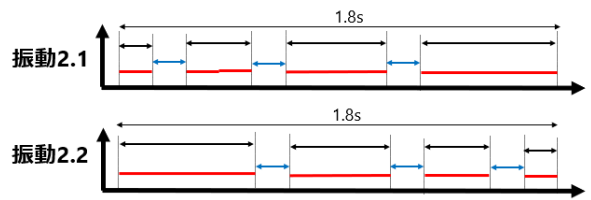


図 3. 対照的な振動シグナルの組み合わせ 2

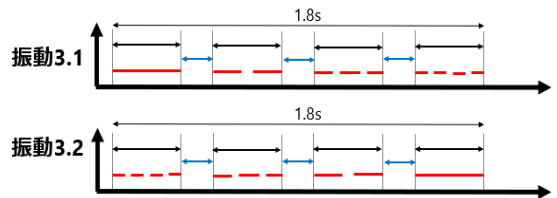


図 4. 対照的な振動シグナルの組み合わせ 3

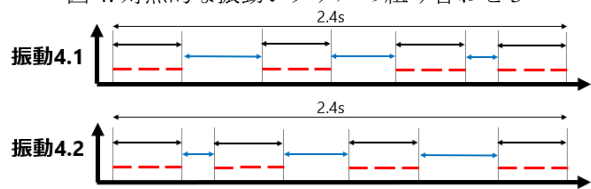


図 5. 対照的な振動シグナルの組み合わせ 4

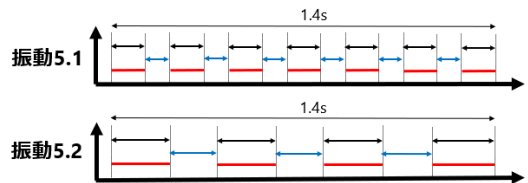


図 6. 対照的な振動シグナルの組み合わせ 5

図 2 の 2 つの振動シグナルは「振動の間隔について対照的な振動シグナル」である。いずれも、振動の長さは同じで一定であるが、振動 1.1 は振動する間隔が徐々に長くなり、振動 1.2 は間隔が短くなる。図 3 の 2 つは「振動の長さについて対照的な振動シグナル」である。いずれも、振動の間隔は一定であるが、振動 2.1 は振動の長さが徐々に長くなり、振動 2.2 は振動が短くなる。

図 4 の 2 つの振動シグナルは「振動のパターンについて対照的な振動シグナル」である。いずれも、振動の間隔は一定であるが、振動 3.1 は最初 1 つの連なった振動が徐々に細切れにした振動になり、振動 3.2 は最初細切れにした振動が徐々に 1 つの連なった振動になる。一方、図 5 は、同じ細切れの振動パターンで「振動の間隔について対照的な振動シグナル」である。いずれも、3 つ細切れになった振動パターンを用いる。

最後に、図 6 の 2 つの振動シグナルは「振動の間隔、長さについて対照的な振動シグナル」である。振動 5.1 は振動の長さと間隔がどちらも一定であり、振動 5.2 は振動 5.1 の振動の長さと間隔を倍にしたものであるが、全体の長さは振動 5.1 と同じである。

#### 5. 実験

作成した振動シグナルを用いて、方向誘導に適した振動シグナルの検証実験を行った。今回の実験では、直感的に

左右に曲がることを伝える為に適した振動シグナルを検証することと、「対照的な振動シグナルの方が左右を認識しやすい」という仮説が正しいかについて検証した。

## 5.1 概要

被験者は、計算機科学を専攻する大学生と大学院生の計 17 名である(男性 13 名, 女性 4 名)。実験場所は、障害物のない廊下で行った。前述したスマートウィッチとスマートフォン(moto g8 power lite)を使用した。スマートフォンは遠隔操作でスマートウォッチを振動させるために使用する。

被験者にはスマートウォッチを左手首か右手首どちらかに装着してもらう。左手首と右手首に分けたのは装着した手首によって振動シグナルの感じ方が異なることを考慮したからである。実験者には実験の手順を事前に説明しておく。被験者に廊下を真っ直ぐ歩いてもらった。被験者が歩いている途中で、実験者がスマートフォンからスマートウォッチの振動シグナルを再生させた。被験者が振動シグナルを認識した場合は、立ち止まってもらい、認識した振動シグナルが左右どちらに曲がることを伝える振動シグナルと感じたかを口頭で回答してもらった。

この手順を振動シグナル 10 種類で各 2 回体感してもらい、合計 20 回繰り返した。この 20 回のうち前半 10 回では対照的な振動シグナルを続けて再生しないようにし、後半 10 回では対照的な振動シグナルを続けて再生させる順序で行い、再生する順序に偏りができないように被験者ごとに再生する順番を異なるようにした。また、実験者がスマートフォンからスマートウォッチの振動シグナルを再生させた時から被験者が左右どちらに曲がることを伝える振動シグナルであると感じたのかを答えるまでの時間を計測した。この計測した時間を以降「反応時間」と呼び、反応時間が早いほど、直感的に曲がる方向を認識したとする。

実験終了後に被験者には以下の質問に答えてもらった。

- ・右か左かどちらに曲がることを伝えている振動シグナルなのかをどのようにして判断しましたか。
- ・細かい振動の違いはわかりましたか。

## 5.2 実験結果

表 2 に、振動シグナルごとに、左右どちらに曲がることを伝えていると感じた被験者の人数と反応時間についての結果を示す。表 3 には、スマートウォッチを左右どちらに装着していたかに注目した時の結果を示す。

全体の実験結果では、最も右に曲がることを伝えていると認識された振動シグナルは振動 3.2 で、次が振動 4.1 であり、ともに左に曲がることを伝えていると認識された回数との間に t 検定 ( $p < 0.05$ )により有意差を確認することができた(グレーのセル)。また、最も左に曲がることを伝えていると認識された振動シグナルは、振動 1.2 と振動 2.2 であったが、右に曲がることを伝えていると認識された回数との間に有意差は確認されなかった。

各対照的な振動シグナルの組み合わせにおいて、仮説に沿うように、右および左に曲がることを伝えていると認識

表 2. 実験結果 (前半 10 回分, 後半 10 回分, 全体)

振動シグナル	前半 10 回			後半 10 回			全体		
	右	左	反応時間	右	左	反応時間	右	左	反応時間
1.1	7	10	4.37	6	11	5.0	13	21	4.69
1.2	5	12	4.33	7	10	5.59	12	22	4.96
2.1	10	7	4.22	8	9	4.28	18	16	4.52
2.2	7	10	4.77	5	12	4.15	12	22	4.46
3.1	10	7	4.77	7	10	4.93	17	17	4.85
3.2	13	4	5.12	12	5	4.20	25	9	4.66
4.1	12	5	4.83	11	6	5.01	23	11	4.92
4.2	10	7	4.70	9	8	4.71	19	15	4.71
5.1	7	10	4.23	10	7	3.85	17	17	4.04
5.2	7	10	4.85	8	9	4.94	15	19	4.90

表 3. 実験結果 (左手首, 右手首)

振動シグナル	左手首に装着 (10 名)			右手首に装着 (7 名)		
	右	左	反応時間	右	左	反応時間
1.1	10	10	4.51	3	11	5.91
1.2	4	16	5.25	8	6	5.28
2.1	11	9	4.04	7	7	6.05
2.2	9	11	4.52	3	11	5.03
3.1	10	10	5.21	7	7	5.39
3.2	12	8	4.43	13	1	6.18
4.1	13	7	4.55	10	4	6.01
4.2	11	9	4.44	8	6	6.94
5.1	9	11	3.74	8	6	4.48
5.2	7	13	5.4	8	6	4.18

された回数の中に有意差は確認されなかった、後半 10 回の対照的な振動シグナルを連続で再生した場合に限ってみても、同様に有意差は確認することができなかった。

表 3 から、左手首に装着した場合の結果を見てみると、最も右に曲がることを伝えていると認識されたのは振動 4.1 であり、次は振動 3.2 であったが、ともに左に曲がることを伝えている振動シグナルであると認識された回数との間に有意差は確認されなかった。また、最も左に曲がることを伝えていると認識されたのは、振動 1.2 であり、次が振動 5.2 であった。振動 1.2 においては、右に曲がることを伝えていると認識された回数との間に有意差を確認することができたが、振動 5.2 においては有意差を確認することはできなかった。

右手首に装着した場合の結果を見てみると、最も右に曲がることを伝えていると認識されたのは振動 3.2 で、次が振動 4.1 であった。振動 3.2 においては、左に曲がることを伝えていると認識された回数との間に有意差が確認されたが、振動 4.1 においては有意差を確認することはできなかった。また、最も左に曲がることを伝えていると認識されたのは、振動 1.1 と振動 2.2 であった。ともに右に曲がることを伝えていると認識された回数との間に有意差を確認することができた。

全体の反応時間において、振動 5.1 が最も早く、振動 1.2 が最も遅い結果となったが、この間に有意差は確認できなかった。左手首に装着した場合の反応時間においては、振動 5.1 が最も早く、振動 5.2 が最も遅い結果となり、この間に有意差は確認できなかった。右手首に装着した場合の反応時間においては、振動 5.2 が最も早く、振動 4.2 が最も遅い結果となり、この間には t 検定より有意差を確認することができた。

口頭質問の回答では、1 つ目の質問に対して「振動が強いときは右、弱いときは左で判別した」や「振動の長さが長いときは右、短いときは左で判別した」や「振動が早いときは右、遅いときは左にした」や「直感で判断した」という回答があった。2 つ目の質問に対しては、「振動の強さや、長さなどの大まかな違いは認識することができたが、細かい振動の違いは認識できなかった」や「後半に連れて振動に慣れてしまい細かい違いを認識できなくなった」という回答があった。

## 6. 考察

今回の実験において被験者が振動シグナルに気づかずに歩き続けるということではなく、作成した振動シグナルは歩きながらも認識することが可能であったと言える。各対照的な振動シグナルの組み合わせにおいて右に曲がると認識された回数と左に曲がると認識された回数の間に有意差がなかったことから、今回立てた仮説は立証されなかった。全体の結果において、振動 3.2 と振動 4.1 は右に曲がることを伝えていると認識された回数が、左に曲がることを伝えると認識された回数より有意に多かったことから、右に曲がることを伝えているのに適切であったと言える。この 2 つの振動にはどちらも細切れにした振動が含まれ、かつ振動シグナルの最後に振動間の間隔が短くなったり、連なったりと振動が強くなる場合は、右に曲がることを伝えている振動シグナルに感じやすいのではないかと考えられる。また、表 3 の結果から、どちらの手首に装着したかで大きな違いはなかった。しかしながら、左に曲がることを伝えると認識しやすい振動シグナルは、右手首と左手首に装着した場合で異なった。右手首に装着した場合には、振動 1.1 と振動 2.2 が、左手首に装着した場合には、振動 1.2 が適していたと言える。振動 1.1 と振動 2.2 の振動シグナルは、徐々に振動が短くなるや、徐々に振動の間隔が空くなど、振動シグナルが徐々に弱まる振動であるので、右手首に装着した場合は、徐々に弱まる振動シグナルを左に曲がる振動シグナルと認識しやすい傾向があると考えられる。一方、振動 1.2 は振動の間隔が徐々に短くなる振動であったことから、左手首に装着した場合は、徐々に振動の間隔が短くなる振動シグナルを左に曲がる振動シグナルと認識しやすい可能性がある。

全体の反応時間において、直感的に認識しやすい振動シグナルは確認することができなかった。しかしながら、装着した手首によって直感的に認識しやすい振動シグナルは異なると考えられる。右手首に装着した場合は、振動 5.2 が最も直感的に認識されたことから、振動のオンとオフを繰り返す単純な振動パターンが認識されやすい可能性がある。しかしながら、振動 5.2 は、曲がる方向を伝える振動シグナルとしては不適切であると考えられる。

口頭質問の結果から、振動が長い・強い・早いなどが右、振動が遅い・弱い・遅いが左と判別したことから、“プラス”なイメージを感じると右に、“マイナス”なイメージを感じると左に曲がると認識する人が多いのではないかと考えられる。この口頭質問と実験結果から、細切れにした振動が含まれた、徐々に振動が強くなる振動シグナルは振動が強いと認識されやすく、右に曲がると認識されやすい可能性がある。また、徐々に振動が弱くなるや、振動の間隔が長くなり、かつ細切れにした振動を含まない振動シグナルは、振動が弱いと認識されやすく左に曲がると認識されやすい可能性がある。

## 7. まとめ

スマートウォッチを用いた方向誘導に適した振動シグナルの検証について述べた。検証結果から直感的に曲がる方向を伝えるのに適切な振動シグナルが幾つか見受けられた。しかしながら、右手首に装着した場合と、左手首に装着した場合で、結果が異なったことから、より詳しい検証が必要で、特に、被験者の利き腕を考慮した検証も必要であると考えられる。口頭質問から“プラス”なイメージを持った振動シグナルと、“マイナス”なイメージを持った振動シグナルでは曲がる方向の認識のしやすさに違いが見受けられたことについても、その関係性を明らかにしていきたい。

## 参考文献

- [1] Takanori Komatsu, Kazuki Kobayashi, Seiji Yamada, Kotaro Funakoshi, Mikio Nakano, “Vibration Artificial Subtle Expressions: Conveying System’s Confidence Level to Users by Means of Smartphone Vibration,” CHI2018, No.478, pp/1-9 (2018).
- [2] Zhenyu Liao, Jose V. Salazar Lucas, Yasushi Hirata, “Human Navigation Using Phantom Tactile Sensation Based Vibrotactile Feedback,” IEE ROBOTIC AND AUTOMATION LETTERS, ,Vol.5, No.4, pp/5732-5739(2020).
- [3] Great Britain, “Control of Vibration at Work Regulations 2005,” Health and Safety Executive <https://www.hse.gov.uk/vibration/hav/regulations.htm>, 参照 Aug.17, 2020