

Title	Synchronized Running : 触覚共有によるブラインドマラソンの伴走支援
Sub Title	Synchronized Running : running support system for guide runners by haptic sharing in blind marathon
Author	平野, 智久(Hirano, Tomohisa) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kouta)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2018
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2018年度メディアデザイン学 第700号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002018-0700

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2018年度

Synchronized Running: 触覚共有による
ブラインドマラソンの伴走支援



慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

平野 智久

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

平野 智久

研究指導委員会：

南澤 孝太 准教授 (主指導教員)

古川 享 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 准教授 (主査)

古川 享 教授 (副査)

砂原 秀樹 教授 (副査)

修士論文 2018 年度

Synchronized Running: 触覚共有による ブラインドマラソンの伴走支援

カテゴリ：デザイン

論文要旨

視覚障害者と晴眼者が2人1組となって走るブラインドマラソンというスポーツが存在する。このスポーツでは、二人三脚のようにお互いのランニングテンポが一致している状態が理想的であり、快適なランニング体験（本稿ではシンクロ体験と定義する）に繋がる。しかし、視覚障害者の競技人口に対して伴走者の数が不足していることから初対面同士、体格差があるもの同士のランニングを余儀無くされることもしばしばである。また、伴走初心者にとってパートナーのランニングテンポに合わせることを意識しながら周囲の状況指示や進路変更の指示を同時に行うことは困難を極める。このような背景から、シンクロ体験を味わうことができずに主に初心者の伴走が継続せずに競技人口が増えていかないという課題がある。

本研究では、視覚障害者のランニングテンポを触覚で伴走者の足元に共有することで、シンクロ体験の誘発を試みるアシスタントデバイス”Synchronized Running”のデザインを試みた。ユーザビリティテストと実証実験を通してシンクロ体験が誘発できるのか、デバイス使用者の伴走技術が向上するのかを評価していく。

キーワード：

ブラインドマラソン, 視覚障害者, ランニング, テンポ, 触覚共有, 身体性メディア

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

平野 智久

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2018

Synchronized Running:
Running Support System for Guide Runners
by Haptic Sharing in Blind Marathon

Category: Design

Summary

In blind marathons, blind runners pair up with sighted runners to help guide them. In an ideal situation the running tempo of each other would match, similar to a three-legged race. Also, such an ideal situation would result in a comfortable running experience for both runners (defined as a synchronized experience in this article).

However, the shortage of guide runners typically causes issues in synchronicity in the first meet and run, due to physical differences of the two runners. Therefore, it is generally difficult for beginner pairs to continue running blind marathons.

In this study, we attempted to design an assistant device named "Synchronized Running". It induces synchronized experiences by transmitting the running tempo of the blind runner to the feet of the guide runner through haptic feedback. This study further investigates whether synchronized running experiences and can be induced by this device through usability tests and experiments.

Keywords:

Blind Marathon, Visual Impairment, Running, Tempo, Haptic Sharing, Embodied Media

Keio University Graduate School of Media Design

Tomohisa Hirano

目 次

第 1 章 序論	1
1.1. 視覚障害者を取り巻く社会情勢	1
1.2. 視覚障害者スポーツ	2
1.3. ブラインドマラソン	4
1.4. 本研究の目的	6
1.5. 本論文の構成	6
第 2 章 関連研究	7
2.1. ランニングの支援	7
2.2. 触覚提示による身体活動の支援	9
2.3. 視覚障害者の生活支援	11
2.4. ブラインドマラソンの支援	13
2.5. 本章のまとめ	14
第 3 章 コンセプト設計	15
3.1. フィールドワーク	15
3.1.1 目的と方法	15
3.1.2 ブラインドマラソンの伴走講習会	15
3.2. コンセプトの提案	19
3.2.1 フィールドワークで得られた知見	19
3.2.2 課題解決手法の仮説	20
3.2.3 Synchronized Running の提案	20
3.3. ユーザーエクスペリエンスデザイン	21
3.4. 本章のまとめ	23

第4章 試作と評価	24
4.1. 第1プロトタイプ	24
4.1.1 実装	25
4.1.2 ユーザビリティテスト	26
4.1.3 第1プロトタイプのまとめ	29
4.2. 第2プロトタイプ	29
4.2.1 実装	30
4.2.2 ユーザビリティテスト2	30
4.2.3 超福祉展2017で行ったデモンストレーション	35
4.2.4 第2プロトタイプのまとめ	37
4.3. 第3プロトタイプ	38
4.3.1 システムの構成	38
4.3.2 着地検出デバイスとランニング解析機能	39
4.3.3 振動によるランニングテンポ提示機能	40
4.4. 本章のまとめ	40
第5章 評価	41
5.1. 「Synchronized Running」の実証実験	41
5.2. 目的と方法	41
5.2.1 伴走者に1年以上の継続的な運動経験がない 場合の評価	42
5.2.2 伴走者に継続的な運動経験が1年以上ある 場合の評価	44
5.2.3 伴走者に陸上競技またはランニング経験が1年以上ある場 合の評価	51
5.3. 複数回デバイスを使用したユーザの評価	53
5.3.1 視覚障害者Oさんとの伴走	54
5.3.2 視覚障害者Mさんとの伴走	56
5.3.3 Tさんからのフィードバック	58
5.4. 実証実験のまとめと考察	58

5.4.1	ランニングテンポの一致によるシンクロ体験の誘発	58
5.4.2	伴走習熟度の変化	59
5.4.3	デバイス装着時の違和感	60
5.5.	本章のまとめ	60
第6章	結論	61
	謝辞	64
	参考文献	66

目 次

1.1	ブラインドサッカー ¹	2
1.2	ブラインドテニスの様子	3
1.3	盲人マラソンの基本姿勢	4
2.1	遠隔地でジョギングしている様子 (参考文献 [1] から抜粋)	7
2.2	ドローンがランナーを誘導している様子 (参考文献 [2] から抜粋)	8
2.3	RehApp (参考文献 [3] から抜粋)	9
2.4	(a) 提案システム MuSS-Bits++, (b) 聴覚障害者が提案システムを活用している様子, (c) ろう学校の音楽の授業で提案システムを活用している様子 (参考文献 [4] から抜粋)	10
2.5	AuxDeco ²	11
2.6	白杖型触覚提示デバイス (参考文献 [5] から抜粋)	12
2.7	ドローンが視覚障害者ランナーを誘導する様子 (参考文献 [6] から抜粋)	13
3.1	ブラインドマラソンの練習会の様子	16
3.2	Synchronized Running のスケッチ	21
4.1	第1 プロトタイプ	24
4.2	「Synchronized Running」の概要	25
4.3	ユーザビリティテストの様子	26
4.4	第2 プロトタイプ	30
4.5	第2 プロトタイプの内部構造	31
4.6	ユーザビリティテスト2の様子	32

4.7	超福祉展 2017 展示の様子	36
4.8	第 3 プロトタイプ (デバイス)	38
4.9	第 3 プロトタイプ (装着時)	38
4.10	第 3 プロトタイプの概要	39
5.1	B さん (左) と E さん (右) の実験の様子	42
5.2	B さんと E さんの着地タイミングのずれの平均 [msec]	43
5.3	E さんと I さんの着地タイミングのずれの平均 [msec]	45
5.4	A さん (手前) と H さん (奥) の実験の様子	47
5.5	A さんと H さんのランニングテンポのずれの平均 [msec]	47
5.6	K さん (左) と S さん (右) の実験の様子	49
5.7	K さんと S さんの着地タイミングのずれの平均 [msec]	50
5.8	N さん (手前) と C さん (奥) の実験の様子	52
5.9	C さんと N さんの着地タイミングのずれの平均 [msec]	53
5.10	O さん (左) と T さん (右) の実験の様子	54
5.11	O さんと T さんのランニングテンポのずれの平均 [msec]	55
5.12	M さん (左) と T さん (右) の実験の様子	56
5.13	M さんと T さんのランニングテンポのずれの平均 [msec]	57

表 目 次

4.1	視覚障害者からのフィードバック	27
4.2	ユーザビリティテスト2の被験者情報およびアンケート結果のまとめ	32

第 1 章

序

論

1.1. 視覚障害者を取り巻く社会情勢

日常生活から視覚が取り除かれてしまったとき、人の行動はどれほど制限されてしまうのであろうか。Tulip の報告 [7] によると世界の総人口のうち、計 3600 万人が視覚障害者と言われている。この数値は、研究予算拡大等で治療法を改善しない限り 2050 年までに 3 倍の 1 億 5000 万人に増えると予測されており、人口増加と高齢化の影響からもこの数値は今後数十年で急増すると言われている。現在は健常者であっても、老化に伴い視覚障害者となってしまうケースも少なくはない。

国立障害者リハビリテーションセンター [8] によると「視力や視野に障害があり、生活に支障を来している状態を視覚障害」とであると定義している。また、身体障害者福祉法 (e GOV) [9] によると、以下の基準がもうけられ、そこに該当する者を視覚障害者としている。

一次に掲げる視覚障害で、永続するもの

1. 両眼の視力（万国式試視力表によつて測つたものをいい、屈折異常がある者については、矯正視力について測つたものをいう。以下同じ。）がそれぞれ 0.1 以下のもの
2. 一眼の視力が 0.02 以下、他眼の視力が 0.06 以下のもの
3. 両眼の視野がそれぞれ 10 度以内のもの
4. 両眼による視野の二分の一以上が欠けているもの

Anja ら [10] は視覚障害者は周囲の人々に視覚障害を持っていると悟られないように行動する一方で、社会に溶け込むことを優先するために他の視覚障害者が近

くにいる場合は協調行動に出ることを報告している。しかし、視覚障害者はそのようなケースを除いて障害の有無に関わらず他者との関わりの機会が少なく、娯楽や日常生活の動作がより単純で単独で行うものになってしまう [11] [12] と言われている。更に、中程度の視覚障害であっても、運転を始めとする日常生活で必要とされている行動が制限されてしまうこともしばしばである。これらの傾向は視覚障害者の不安、低い自尊感情、うつ病、低い自己確信度、低い自己効力感を引き起こす。また、視覚障害者の健康リスク、および低い生活満足感につながってしまうことも問題視されている。このような背景から、視覚障害者には運動を始めとした身体活動が有効 [13] と言われている。

1.2. 視覚障害者スポーツ

視覚障害者に有効とされている身体活動として主にスポーツを挙げることができる。本節では数ある視覚障害者スポーツの中から2つのスポーツの特徴と魅力を紹介する。



図 1.1 ブラインドサッカー¹

図 1.1 にブラインドサッカー [14] のプレーの様子を示す。このスポーツは、フットサル（5人制サッカー）を基にルールが構成されたスポーツであり、障害の程度によって2つのカテゴリに分けられている。1つはブラインドサッカーと呼ばれゴールキーパー以外は全盲の選手がプレーする。もう1つはロービジョンフットサルと呼ばれ、弱視の選手が主にプレーする。このスポーツは視覚を閉じた状態でプレーするため技術だけではなく、視覚障がい者と晴眼者が力を合わせてプレーするため、「音」と「声」のコミュニケーションが重要とされている。



図 1.2 ブラインドテニスの様子

図 1.2 にブラインドテニス [15] のプレーの様子を示す。このスポーツは、視覚障害者が標準のテニスコートで音源の入った日本ブラインドテニス連盟公認球をラケットを活用して打ち込むスポーツである。視覚障害者がボールの音がする方向に動き、ラケットに正確に当てることが要求されるため難易度が高いが晴眼者

1 出典：ブラインドサッカーとは、 http://www.b-soccer.jp/aboutbs/aboutbs_1, Accessed[2018-12-20]

とも楽しめるスポーツとなっている。

これらのスポーツは視覚障害者の問題の一つとなっている運動不足による健康リスクを解消するものである。また、障害の有無に関わらず複数人で楽しめるスポーツであるため他者との交流の機会も増やすことができる。一方、晴眼者との関わりの機会がそこまで多くないため視覚障害者の課題の一つである晴眼者との交流機会の少なさを解消するものではない。

1.3. ブラインドマラソン



図 1.3 盲人マラソンの基本姿勢

本研究では、視覚障害者スポーツの一つであるブラインドマラソン [16] に焦点を当てる。このスポーツは図 1.3 のようにお互いに紐をもち、晴眼者が視覚障害者の伴走を行い 42.195km 走るスポーツである。国際大会等では、視覚障害者の障害の程度によって 3つのクラスが以下のように定義されている [17]。

- T11 クラス

どの距離や方向からでも手の形を認知できないため伴走者が必須である階級

- T12 クラス
手の形を認知できるものから視力 0.03 まで、もしくは視野が 5 度以内（視力と視野の程度で分類）で伴走者と走るか単独で走るか選択できる階級
- T13 クラス
視力は 0.04 から 0.1、または視野 20 度以内（視力と視野の程度で分類）で単独で走る階級

他の視覚障害者スポーツに比べて晴眼者との交流の機会が多いため視覚障害者の課題を解決するスポーツとして非常に有効であると考えられる。

ブラインドマラソンにおいて、二人三脚のように視覚障害者と晴眼者の中足の動作が一致しており、二人の体が一つになるように感じる体験（以下、シンクロ体験）が醍醐味の一つと言える。シンクロ体験を経験したペアはより強い信頼関係を構築することができ、視覚障害者の課題となる他者との関わり合いの少なさを解消する機会となりうる。また、シンクロ体験はブラインドマラソン自体の楽しさを拡張させる体験であり、競技継続にも繋がる重要な要素である。

ブラインドマラソンの伴走を務める晴眼者は、視覚障害者と信頼関係を築き、安心して走ってもらえるための振る舞いが要求される [18]。具体的には、周りの安全状況報告、走りやすいようにフォームや走路、ペースに気を配るなどである。その中でも、視覚障害者が安心して走れるように安全を確保し、周りで何が起きているか状況を説明することは最重要項目とされている。しかし、視覚障害者の安全を確保しつつ、走りやすいフォームやペースを合わせて進路変更や状況の指示を送り続けることは初心者にとって負担が大きい。よって、普及活動の一環として全国各地で盲人マラソンの伴走体験会が行われているが、ランニング経験者であったとしても伴走に挑戦する者は少なく、仮に伴走を体験したとしても継続につながらないことが多いという課題がある。また、日本盲人マラソン協会 [19] は、視覚障害ランナーは全国に 1000 人以上いる一方で、伴走者として常時活動しているのは、その 3 分の 1 程度と数が不足していると報告している。このような背景から初対面同士のペア、体格差があるペアで走らなくてはいけない状況も頻繁に発生し、シンクロ体験を始めとする、快適なランニング体験の実現できないことも珍しくない。

1.4. 本研究の目的

本研究では、ブラインドマラソンのアシスタントデバイス「Synchronized Running」を提案した。このデバイスは、視覚障害者の地面接地のタイミングで伴走者に振動でフィードバックするデバイスである。このデバイスを活用することによって、ブラインドマラソンの伴走の難易度が下がり、初心者や初対面同士のペア、体格差があるペアが快適なランニング体験を実現できることを目指す。また、伴走の難易度の高さから参加を躊躇う者が、競技に参加しやすくなることも目的とする。

1.5. 本論文の構成

本章では視覚障害者を取り巻く社会情勢から、身体活動の重要性を提起した。身体活動の例として視覚障害者スポーツを取り上げ、その中でブラインドマラソンが視覚障害者が抱える課題解決において有効なスポーツであることを論じた。その後、このスポーツにおける問題点と問題点から生じる本研究の目的を述べた。第2章では本研究の関連研究として「ランニングの支援」「触覚提示による身体活動の支援」「視覚障害者の生活支援」「ブラインドマラソンの支援」について述べ、本研究の研究領域について論じる。第3章ではフィールドワークとそれに基づいたコンセプト設計、コンセプトが実現するユーザエクスペリエンスデザインについて述べる。第4章では本研究の提案デバイス「Synchronized Running」のプロトタイプの変遷とユーザビリティテストを通じたフィードバックについて述べる。第5章では複数のペアが本デバイスを使用し、その結果を踏まえた上で本デバイスの効果と本研究の目的が達成できたかを論じる。第6章では本稿のまとめと今後の展望について述べる。

第 2 章 関 連 研 究

2.1. ランニングの支援

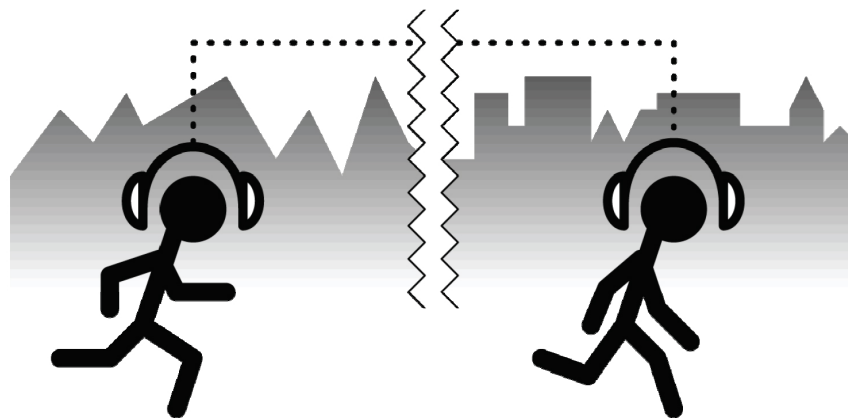


図 2.1 遠隔地でジョギングしている様子（参考文献 [1] から抜粋）

Florian ら [1] は遠隔通信でヘッドフォン越しに会話をする事でランニングの体験がどう拡張されるのかを検証した。これは 3D オーディオを活用することで、図 2.2 のように音が聞こえてくる場所によってお互いのペースを把握することができ、適切なペースでのランニング（速すぎず遅すぎない、会話ができる程度のペース）を実現できる研究である。この研究においてパートナーのランナーが同じような地形、速度、走行時間とは限らないことが問題であると指摘している。また、もっと速く走りたいというモチベーション向上につながるのかという調査、音楽を併用することによる相乗効果を検証する必要があることも述べている。本

研究で扱うブラインドマラソンにおいて、パートナーのランナーの状況把握は重要である。しかし、ヘッドフォンで耳を遮断することにより周囲の音が聞こえなくなってしまうことは大きな問題である。よって本研究では、音声以外の手法を活用することでパートナーのランニングの様子を把握する。



図 2.2 ドローンがランナーを誘導している様子（参考文献 [2] から抜粋）

Gloria ら [2] は図 2.2 のようにドローンを活用することによって、ランニングの誘導や遠隔地における応援にどのような影響を与えるかを検証した。検証の結果、ドローンが記録していた写真からレースの記憶を思い出す、ドローンからのレース中継を観客は楽しめる、競技者もドローンを煩わしいと感じないという報告があった。また、ドローンを活用することで観戦や応援に役立つというフィードバックも得られた。今後は、ドローンから地面にディスプレイを映し出すことでランニングペースの提示や誘導、コーチングができるのではないかと提案がある。しかし、ドローンが落下などでランナーに危険に晒す可能性も示唆されている。また、ブラインドマラソンにおいてドローンの操縦者も必要になってくる。本研究において、視覚障害者のガイドランナーの不足を問題として挙げているため更に介助者が必要な手法は取るべきでないと判断した。

2.2. 触覚提示による身体活動の支援

触覚提示が身体活動の支援に役立つことはしばしば報告されている。本節では主にリハビリテーション，スポーツのトレーニング，楽器演奏において触覚提示が有効である例を示す。



図 2.3 RehApp (参考文献 [3] から抜粋)

図 2.3 に Kalle ら [3] が開発した Rehap を示す。これはリハビリテーションやトレーニングの際に触覚フィードバックをユーザに与えることでトレーニング効果の増進を狙ったプロダクトである。想定されるユースケースとして、インストラクターにトレーニングの指導を受ける際に大人数かつ騒音等で指示が聞き取りづらい場合が想定される。このプロダクトを活用することによって、インストラクターの力の入れ具合や動作の継続時間等が触覚により知覚することができる。従っ

て、指示がうまく聞き取れない、教室が大人数であることからインストラクターの動作を把握することができない場合などに役立つ。

横小路ら [20] は、素振り動作などの運動技能の訓練において、振動と教師視覚提示を用いた技能伝達法を提案した。教師視覚提示とは、素振りなどの動作の練習の際に、手本となる画像を訓練者に提示することである。実験を行なった結果、バックスウィングや多点教示などの視覚による提示が難しい運動動作における振動提示の有効性を示した。また、Van Erp ら [21] は触覚フィードバックを用いてアイススケート選手の指導を行なった。実証実験を通して、選手が安心をして競技に集中できるようになったという報告もあり、触覚フィードバックが運動動作における不安の軽減につながることも示唆されている。

ブラインドマラソンにおいて、シンクロ体験を生み出すためには、晴眼者が視覚障害者の足を蹴り出すタイミングを視覚的に理解して動作を合わせる必要がある。しかし、走りながら視覚的に視覚障害者の動作を視覚情報のみで完全に理解することは難しい。Kalle らと横小路らの研究から、振動提示を用いて晴眼者の足を蹴り出すタイミングを把握することは有効だと思われる。

田中ら [22] は、立位のバランスの崩れを足底面へ与えたスウィープ振動刺激で本人に知らせるシステムを開発している。振動刺激が与えられることで高齢者の足圧中心位置の変動が減ることが報告されている。このシステムを活用することにより高齢化に伴う足圧力低下が引き起こす歩行中の転倒を防ぐことができる。田中ら [23] は更に、トレーニング靴の中に設置したセンサからバランスの崩れを検出し、振動提示によりバランスを制御させる転倒予防靴を開発している。



図 2.4 (a) 提案システム MuSS-Bits++, (b) 聴覚障害者が提案システムを活用している様子, (c) ろう学校の音楽の授業で提案システムを活用している様子 (参考文献 [4] から抜粋)

Benjamin ら [4] は、図 2.4 に示す MuSS-Bits++ という視覚と触覚フィードバックによる聴覚障害者の音楽リズム学習支援デバイスの効果を検証した。このデバイスは音楽のリズムに着目し、振動と発光によるフィードバックを返すスマートウォッチほどのサイズのウェアラブルデバイスである。検証の結果、振動フィードバックによる著しい行動変異は見られなかった。しかし、タスクが楽になった、音楽教師の指示が分かりやすくなったというフィードバックを得ることができた。さらに 3 名以上の演奏において、デバイスありの演奏の方が上達していたことも観測された。著者は、ユーザは MuSS-Bits++ のフィードバックに慣れる必要があるのではないか、MuSS-Bits++ が提供するマッピングがユーザにとって適切ではなかったのではないかと考察している。このような背景から、本研究において行動変異だけでなく、パートナーのランニングテンポに合わせることで、触覚フィードバックによって楽になるのかについても考察する必要があると考えられる。

2.3. 視覚障害者の生活支援



図 2.5 AuxDeco¹

図 2.5 に梶本ら [24] が開発したオーデコ (AuxDeco) (株式会社アイプラスプラ

1 東京大学, アイプラスプラス, AuxDeco, <http://www.eyepius2.com/>, Accessed[2018-12-20]

ス)を示す。このデバイスは小型カメラで撮影された映像の輪郭部を抽出している。その後抽出した輪郭部を電気刺激に変換し、ユーザの額に出力している。こうすることでユーザは白杖が届かない範囲の周囲の情報を把握することが可能となり歩行がより安全なものとなる。

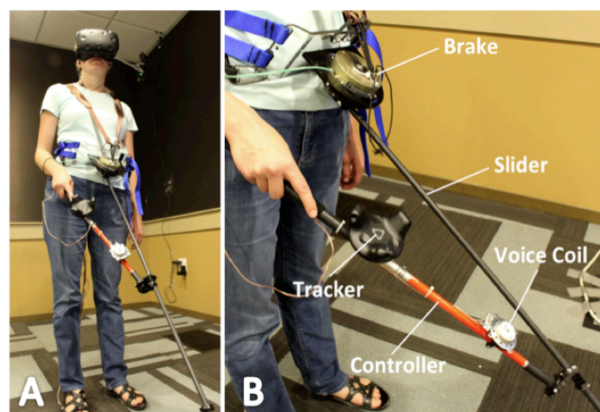


図 2.6 白杖型触覚提示デバイス（参考文献 [5] から抜粋）

図 2.6 に、Yuhang ら [5] が開発した、視覚障がい者のための白杖型触覚提示デバイスを示す。このデバイスは、仮想物体との衝突を検出する反力フィードバック、触れている仮想物体の材質を伝える振動フィードバック、仮想物体接触時の音を出す聴覚フィードバックを組み合わせることで、視覚障害者が仮想空間を知覚可能にする黄河がある。本研究においても、パートナーのランニングを把握するうえで反力フィードバック、振動フィードバック、聴覚フィードバックは応用可能と考えられる。

Brian ら [25] は視覚障害者が晴眼者と同じようにゲームができるインターフェース RAD を開発した。これはディスプレイヘッドフォンと 2 つの超音波処理 (sound slider: 車のスピードとトラックの軌道を理解するシステム, turn indicator system: プレイヤーに進路や曲がるタイミング長さなどを警告するシステム) で実現している。15 人 (3 人が視覚障害者, 12 人には目隠しをして実施) に対して実験を行ったところ、視覚障害者であっても特に晴眼者と変わらないラップタイムと車の操作を実現できることが明らかになった。

2.4. ブラインドマラソンの支援

Marco ら [26] [27] は電磁気を用いて視覚障害者のランナーを誘導することによって晴眼者の伴走なしでも盲人マラソンを行えるウェアラブルデバイスを開発した。このデバイスは、高速歩行においてはカーブなども安全に歩行できるが、走行においては振動触覚インタフェースの改善が必要であるとされている。また、Ferdinand ら [28] は振動するウェアラブルベルトを着用してもらい、視覚障害者ランナーを正しい進路方向に導く研究を行っており視覚障害者ランナーの独立走行を支援する事例は数多くある。



図 2.7 ドローンが視覚障害者ランナーを誘導する様子（参考文献 [6] から抜粋）

Majed ら [6] は図 2.7 のように、ドローンを活用することで視覚障害者が伴走者なしで走れるようになるのか検証するためのフィジビリティ調査を行なった。ドローンのプロペラの音を活用することによって直線コースであればほぼブレがなく、トラックコースにおいても殆ど正確に視覚障害者の歩行が安定するという結果を得ることができた。しかし、調査はランニングペースより遅いペースでこなっていたこともあり、正確に走れるようになるのか調査をする必要があるという結論に至った。また、被験者が二人だけのため定量調査の必要性、ドローンの操作を人が行っているため正確性に欠けることも指摘されている。

これらの研究はブラインドマラソンの重要な要素である晴眼者との交流の機会の損失につながってしまう。本研究では、伴走をする晴眼者を支援することに焦

点を当てることでブラインドマラソンの支援を行うことを目的とする。

2.5. 本章のまとめ

本章では、「ランニングの支援」「触覚提示による身体活動の支援」「視覚障害者の生活支援」「ブラインドマラソンの支援」に関する研究や技術、プロダクトに関して論じ、本研究の研究領域について述べた。

ブラインドマラソンの研究において、視覚障害者を独立走行させる研究は行われているが、伴走者を支援する研究は行われていない。他人の動作を真似る、パートナーとの共同作業を拡張させる研究は多数行われており、触覚提示や音声を活用したものが多い。本研究においても、これらの手法がブラインドマラソンの伴走体験の向上に繋がるか評価する。

次章では、フィールドワークを行うことでブラインドマラソンの実態を確認し、そこで発見したデザイン要素と本章で論じたアプローチに基づいてコンセプトを設計する。また、そのコンセプトによってどのようなユーザエクスペリエンスデザインになるのかを論じる。

第 3 章

コンセプト設計

3.1. フィールドワーク

3.1.1 目的と方法

ブラインドマラソンにはどのような面白さがあるのか、当事者がどのような思いや課題を感じているのかを調査するために、NPO 法人 JBMA¹が主催するブラインドマラソンの練習会に参加した。その際に行われる伴走の講習会に参加し、伴走者の立場からシンクロ体験に必要な要素を確認した。

また、ブラインドマラソンの練習会では目隠しをすることで晴眼者が視覚障害者ランナーとなって JBMA の伴走講師と共に走るプログラムも存在する。ここでは視覚障害者の立場からシンクロ体験に必要な要素を確認する。

最後に、ブラインドマラソンを行う当事者にインタビューを行なった。

3.1.2 ブラインドマラソンの伴走講習会

2017 年 6 月 6 日に東京都渋谷区にある代々木公園で行われたブラインドマラソンの伴走講習会の様子を図 3.1 に示す。

本フィールドワークでは、最初に JBMA に協力しているブラインドマラソンの伴走熟練者から伴走の指導を受けた。その後、著者と同じくらいの走力の視覚障害者とマッチングをしブラインドマラソンを体験した。また、実際に目隠しをし

1 日本ブラインドマラソン協会 (JBMA), <http://jbma.or.jp>, Accessed[2017-11-15]



図 3.1 ブラインドマラソンの練習会の様子

て伴走者が視覚障害者の立場や心理状況を理解し、伴走の向上を図るプログラムも体験した。

伴走の講習会に参加している初心者は、他のスポーツを経験した晴眼者や普段からランニングを行なっているアスリートなど幅広かった。ランニング経験がある者は素早く快適なランニングを実現する伴走を習得していたが、身体に力が入ってしまい習得に難しさを感じている者も少なくなかった。

伴走体験を通して

本フィールドワークを通して、伴走者は以下のことを意識すべきということを確認できた。

- ペアの視覚障害者と信頼関係を構築するために、伴走中も会話を心がけること
- 地形の変化（傾斜やマンホールの出現等）が起きる前に視覚障害者に伝えること
- 曲がり角やスピードの変化は前もって視覚障害者に伝えること

- 進路変更を伝える際に、度数や時計の針など視覚障害者にとってわかりやすい指示は異なるため、事前に意思をすり合わせる
- 二人三脚のようにお互いの中足の接地タイミングを合わせる
- 紐で繋がれた腕をしっかりと振ることでお互いのランニングテンポを合わせる

会話面に関しては、地形の変化や進路変更を直前に伝えてしまうと心理的にも肉体的にも視覚障害者の負担が増えてしまう。従って、どの程度前もって進路方向の指示をすべきか、意思確認は必須である。また、ランニングテンポを合わせるために足元を意識し、紐を持っている手を振ることが重要とされているが、ランニング自体の経験が浅い場合同時に腕と足を意識することは難しい傾向にあることも分かった。初心者の伴走者を観察していると、腕を一切振らずに足を合わせることに集中しているランナーも見受けられた。これは腕のテンポがズレてしまうと、紐でお互いの腕を引っ張り合うことになってしまい不快感を生み出してしまうことから来る行動であると思われる。

目隠しをして走ってみて

その後、目隠しをしてJBMAの伴走講師と共にランニングを行なった。本体験を通して、視覚障害者がランニング中に以下のことを感じているように思われた。

- 初めて走る土地は、曲がるタイミングや傾斜の変化がわからないため不安が大きい
- 慣れるまでは、信頼がおける伴走者であっても不安が消えない
- 肌と耳で周囲の状況を把握しようとする

熟練の視覚障害者ランナーは上記のような不安を感じることは少ないが、ブラインドマラソン初心者の視覚障害者にとっては慣れるまで恐怖と隣り合わせであることが分かった。このような発見から、主に競技歴が浅い視覚障害者ランナーに対しては伴走者がランニングテンポを合わせて不安を無くしてゆく必要があると

考えられる。従って、視覚障害者側にフィードバックを与えずに、視覚障害者のランニングテンポを伴走者が把握して合わせる仕組みが必要である。

インタビュー

ブラインドマラソン歴 15 年、視覚障害者ランナーの S さんにインタビューを行ったところ以下のような回答を得ることができた。

- 若い人は伴走が上手な傾向にある
- 走るときには相手の腕ふりができているかが気になる
- 腕も足も合わせることを意識して走る
- 緊張している人は走っている時にロボットのように硬い動きをするためすぐに分かる
- 初心者は手に力が入ってしまうケースが多い
- 腕が振れていなくても走れるが全力は出しづらい
- どうしてもテンポが合わない場合は、紐をもっている手を動かさないようにしてもらい不快感を軽減する
- 伴走の成熟度はランニング経験だけでなく、伴走者の心の余裕などに大きく左右される。

このような意見からも、必ずしもテンポが合っていないからといって走ることができないわけではないことが確認できた。しかし、全力を出すことができない、相手に気を使ってしまい良好な信頼関係を築くことが難しくなるという問題がある。

また、伴走練習会を主催している JBMA の伴走講師にもインタビューを行ったところ、以下のようなコメントを得ることができた。

- 伴走においてはリズム感があるか否かが重要な要素である

- シンクロしていなくても走ることは可能であるが、スピードを上げることが難しくなってしまう
- 距離が短くなればなるほど、上半身の動きや腕振りの大きさが重要となる
- ランナーを一度経験をして新しい走り方を模索している人が伴走を始めることが多い
- 身近に視覚障害者がいて伴走を始める人も多い。しかし、運動能力が必ずしも高いわけではない
- 伴走者不足から、一人で複数の視覚障害者ランナーのパートナーとなっている現状がある

伴走講師のコメントにもあるように、伴走初心者にはランニング経験者または身内が視覚障害者で関心を持った方々が多かった。シンクロ体験においてリズム感が大切なことを特に強調しており、リズム感に難がある者には伴走が難しいということが分かった。

上記のコメントを受けて参加者を観察したところ、ランナーを一度経験している者は短時間で伴走を習得できる傾向にある。しかし、運動経験が乏しい者やリズム感に難がある者は習得が困難である様子を観察することができた。

3.2. コンセプトの提案

本節ではフィールドワークで得られた知見を述べ、そこから得られた課題を論じる。その後、その課題を解決する仮説を述べ、本研究のコンセプトを論じる。

3.2.1 フィールドワークで得られた知見

本研究ではフィールドワークと当事者の声を受けて、以下のことに着目する。

- 主に初心者にとって、伴走者、視覚障害者共にパートナーのランニングテンポを合わせる事が難しい。

- 伴走者不足から、初対面同士や体格差がある人同士のランニングも珍しくない。
- 視覚障害者は肌と音に着目をしながら状況を把握しているため、慣れるまでは恐怖心が強い。
- 紐がランニングテンポを伝える役割を担っているが、テンポがズレると不快感を生み出してしまう。また、ランニング経験が乏しい者は紐を持つ腕を大きく振らない傾向にある。

ランニング未経験者や、初対面同士や体格差がある人同士のランニングにおいて、シンクロ体験や快適な伴走を実現できない大きな原因はパートナーのランニングテンポに合わせるできないことが挙げられる。紐がテンポを伝える役割を担っているが、初心者は緊張から腕を大きく振らない傾向にあり、紐本来の機能を果たしていないことが確認された。従って、腕以外の場所にランニングテンポを把握できる仕組みが存在すれば、伴走初心者が自身にとっても、パートナーの視覚障害者にとっても快適なランニングを実現することができるのではないかと考えられる。

3.2.2 課題解決手法の仮説

快適なランニングを実現する為に必要なシンクロ体験は、二人三脚のように二人の中足の接地タイミングが一致している体験を指している。従って、視覚障害者の接地タイミングを伴走者の足元にフィードバックさせることによってシンクロ体験を誘発し、快適なランニングに繋がるのではないかと考えられる。フィードバックの際に、足に必要以上の刺激を与えてはいけないため、振動によるテンポの提示が適切ではないかと推察する。

3.2.3 Synchronized Running の提案

図 3.2 に本研究の提案プロダクト「Synchronized Running」のコンセプトスケッチを示す。コンセプトは「伴走者の足元に、視覚障害者のランニングテンポを振

SYNCHRONIZED RUNNING

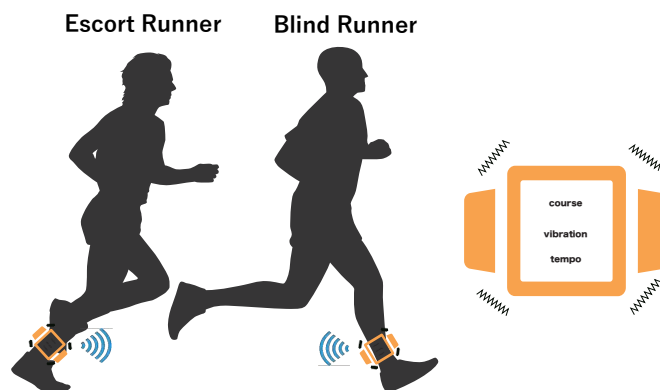


図 3.2 Synchronized Running のスケッチ

動によってフィードバックすることによってシンクロ体験を誘発する」ことである。主に初心者の視覚障害者に伴走者のランニングテンポをフィードバックすると、情報過多になってしまい恐怖感などにつながってしまう恐れがある。従って、ランニングテンポは伴走者のみにフィードバックを行う。

また、腕によるフィードバックはランニングテンポがズレてしまった時に大きな不快感を生み出してしまう恐れがあるため、足元のフィードバックとする。これは足元のテンポがズレたとしても腕に比べて生じる不快感が少ないためである。

3.3. ユーザーエクスペリエンスデザイン

Synchronized Running を活用することによって、伴走者は以下のような体験ができると考えられる。

- パートナーの視覚障害者ランナーのランニングテンポを直感的に理解できる。
- テンポがズレたときも、振動によって短時間の修正が可能となる。
- テンポが合うことで足元に集中する必要がなくなるため、周囲の状況指示に注力することができる。

- 初心者であっても安心して走ることができる。
- 初対面や体格差があるパートナーでも不快感を感じることなく走ることができる。

視覚障害者のランニングテンポが足元に継続的に伝わってくるため、テンポを合わせようと足元を見ながら走る必要性が無くなる。よって、ブラインドマラソンの伴走において重要と言われている周囲の状況指示や方向転換の指示に忠直することができると考えられる。また、進路方向やペースの変化などでランニングテンポはズレやすい傾向にあるが、デバイスによるフィードバックによって伴走者はテンポの修正を短時間で行うことができるようになる。更に、主に初心者は慣れるまでは不安感を持ちながら伴走を行う傾向にあるが、振動によるフィードバックによってどのようなテンポで走るべきかを理解することができる。従って、比較的小さな不安感の中で伴走に慣れていくことができる。

一方で視覚障害者にとっては以下の体験を実現できると考えられる。

- 初対面の相手でも安心して伴走を任せることができる。
- 不安感から解放されるため、疲労感も軽減される。
- テンポが合うことでランニング中の雑談なども気軽に行えるようになる。

視覚障害者側にはフィードバックは無いが、パートナーの伴走が上達することによって必要以上に気を使う必要が無くなる。従って不安感や疲労感が軽減されるのではないかと思われる。また、不安や疲労が軽減されることでランニング中の雑談を気兼ねなく行うことができるようになり、信頼関係を築きやすくなるのではないかと思われる。

上記のような体験が実現されることによって、ブラインドマラソン初心者であっても気軽に競技を楽しめるようになり、継続に繋がっていくと考えられる。また、伴走者人口の向上にも貢献できるため、パートナーが複数いる伴走者の負担の軽減も可能になるとと思われる。

3.4. 本章のまとめ

本章ではブラインドマラソンの伴走練習会のフィールドワークおよびインタビューを通じて、ブラインドマラソンの現状と問題点を整理した。フィールドワークでは実際に伴走をするだけでなく、目隠しをして走ることで伴走者と視覚障害者の双方の立場からブラインドマラソンを分析した結果、視覚障害者ランナーのランニングテンポを伴走者の足元にフィードバックするべきではないかという結論に至った。そして、本研究のコンセプトをフィールドワークの結果に基づいて設計したところ「伴走者の足元に、視覚障害者のランニングテンポを振動によってフィードバックすることによってシンクロ体験を誘発する」デザインとなった。

次章からは本コンセプトのプロトタイピングの変遷について述べる。

第 4 章

試作と評価

4.1. 第1プロトタイプ

第 3 章で述べたコンセプトに基づいた提案デバイス「Synchronized Running」を実装する。本研究のプロトタイピングはブラインドマラソンに参加する視覚障害者ならびに晴眼者にとって最適なデバイスのデザインを模索することを目的としている。

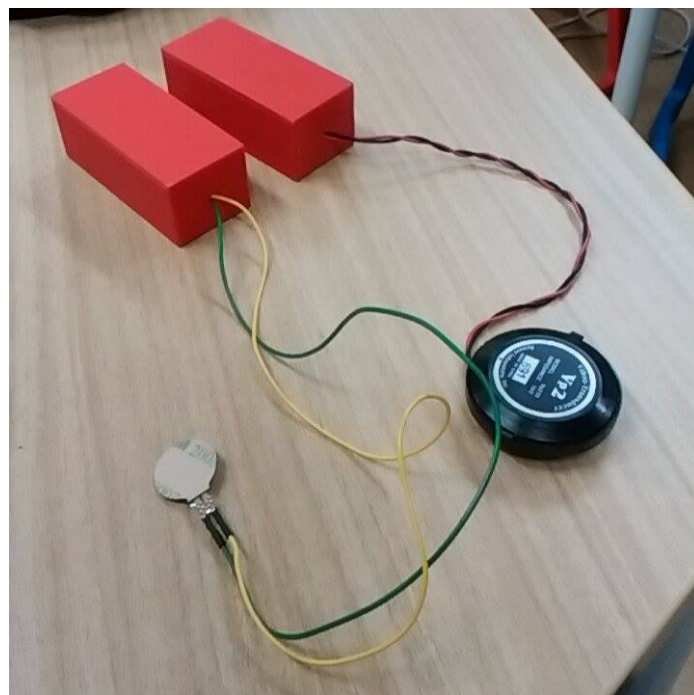


図 4.1 第1プロトタイプ

図 4.1 に第 1 プロトタイプのデバイスを示す。左側のデバイスが視覚障害者用

デバイスであり、右側のデバイスが晴眼者用のデバイスとなっている。内部機構を覆う筐体は3Dプリンターで作成した。

4.1.1 実装

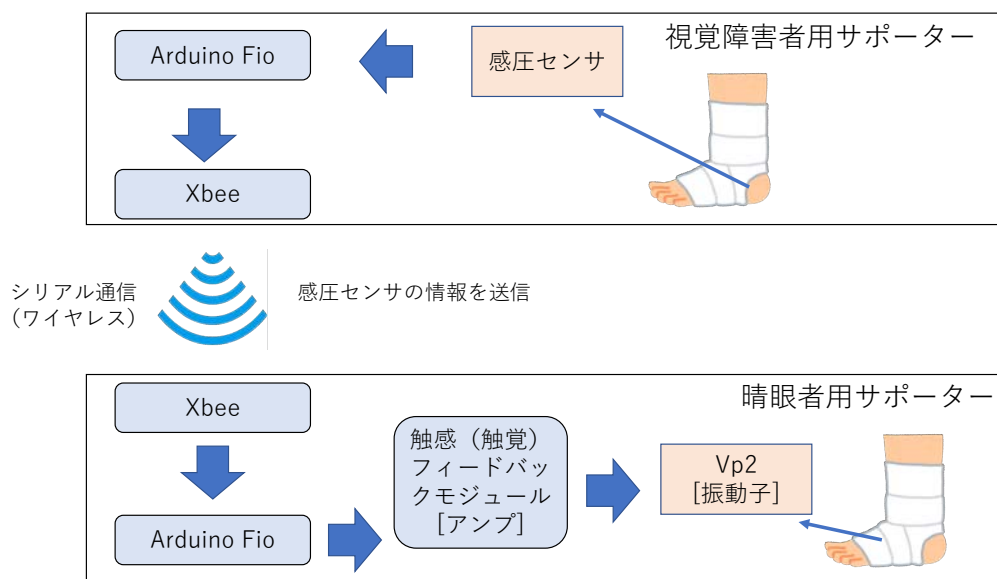


図 4.2 「Synchronized Running」の概要

本節では提案システムの概要を述べる。図 4.2 にシステムの概要を示す。晴眼者用のサポーターは左足に、視覚障害者用のサポーターは右足につけることを意図している。これは、視覚障害者が走行コースの内側を走り、晴眼者が外側を走することを想定しているためである。

視覚障害者用デバイス

踵に感圧センサーを接着し、図 4.2 のように Arduino Fio に装着した Xbee を用いてシリアル通信で晴眼者用サポーターに感圧センサーが取得した値を送る仕組みとなっている。

踵に感圧センサーを接着する構造にした意図として、マラソンなどの長距離種目では足の接地は踵から着くことから、足全体の中で地面に最も最初に触れる箇所であることが挙げられる。

晴眼者用デバイス

視覚障害者用デバイスから、図4.2のようにシリアル通信で値を取得し、足が地面に設置したと判定した時に株式会社アークヴ・ラボの振動子であるボディソニックトランスデューサ Vp2が振動する仕組みとなっている。

振動子の設置場所は足の甲とした。これは、足全体の中でも振動子の大きさが収まり、可動域が少ない場所で最も踵に近い場所だからである。

4.1.2 ユーザビリティテスト



図 4.3 ユーザビリティテストの様子

完成したデバイスを用いて図 4.3 のようにユーザビリティテストを行った。ユーザビリティテストの手順は以下の通りである。

1. デバイスを着用せずに走る。(振動なし)
2. デバイスを着用し走る。(振動あり)
3. 視覚障害者へのインタビューを行う。

ユーザビリティテストの結果（視覚障害者）および考察

表 4.1 視覚障害者からのフィードバック

参加者	性別	ブラインドマラソン歴	フィードバック
A	男性	未経験	<ul style="list-style-type: none"> ・初心者でも楽しむことができると思う。 ・テンポがかみ合うことで不安感が消えて、疲労も軽減された。
B	男性	1年	<ul style="list-style-type: none"> ・デバイスを装着する前に比べてテンポがあっている気がした。 ・着脱がもう少し簡単になると良い。
C	女性	4年	<ul style="list-style-type: none"> ・伴走者が自分に合わせてくれている感じがした。
D	男性	4年	<ul style="list-style-type: none"> ・ストレスを感じることなくランニングに集中できた。 ・デバイス装着時に少し違和感がある。
E	男性	1年	<ul style="list-style-type: none"> ・デバイスを装着してからの方が楽しく走れた。

ユーザビリティテストの結果を表 4.1 に示す。被験者 A と被験者 B は 2017 年 9 月 7 日に、神奈川県相模原市 けやき体育館で、ユーザビリティテストを行なった。被験者 C は 2017 年 10 月 1 日、被験者 D は 2017 年 10 月 7 日、被験者 E は 2017 年 11 月 5 日に、東京都の代々木公園でブラインドマラソンの伴走体験会にてユーザビリティテストを行なった。被験者 B 以外の被験者に対する伴走は全て著者が行なっている。被験者 B はブラインドマラソン未経験者が伴走を行なった。

被験者の様子を観察していると、お互いの足を蹴り出すタイミングが合っている時はランニングのスピードが上がっている様子を観察された。また、テンポが異なっている時の行動は、デバイス未装着時と比べて大きな差はなかった。これは視覚障害者のデバイスは走行中に新たな刺激を受けないことから、デバイス未装着時と状況が大きく変化しなかったことが考えられる。

また、長時間使用した結果感圧センサが破損してしまうケースも見られた。クッションなどを入れるなどして、感圧センサの周りを保護することで耐久性を向上させる必要がある。

全体的に、デバイスを装着する前に比べて晴眼者が自分の足を蹴り出すタイミングに合わせていると感じられたため、安心感を持ってランニングに集中できたという意見が多かった。この安心感から信頼関係を構築しやすくなり、疲労の軽減などにもつながっているのでは無いかと考えられる。しかし、装着時の違和感に関する意見も多くデバイスの形状の面で課題が残った。また、伴走は著者が行っているため伴走者が変わればフォードバックの内容は変わる可能性があることが考えられる。

ユーザビリティテストの結果（伴走者）および考察

著者と1名の晴眼者にデバイスを使用している様子を観察した結果、以下のことを確認した。

- 振動が足を蹴り出すタイミングよりも前に伝わった時、歩幅を狭め、より速く足を動かすように走行が変化した。
- 振動が足を蹴り出すタイミングよりも後に伝わった時、歩幅を大きくして足をゆっくり動かすように走行が変化した。
- お互いの足を蹴り出すタイミングが合っている時は周りの状況を視覚障害者に伝える余裕が生まれ、視覚障害者を誘導するために紐をより強く引く傾向にあった。
- お互いの足を蹴り出すタイミングが著しく異なる時は足を蹴り出すタイミングを合わせることに集中して、周囲の状況の指示が減る傾向にあった。

振動によるフィードバックによって、パートナーのランニングテンポを直感的に把握できるようになったことを確認された。従って、振動フィードバックが伴走者のシンクロ体験の誘発に有効であるのではないかと考えられる。一方で、お互いのランニングテンポが著しく異なるペアの場合は、効果が薄いという結果も得

た。このようなペアに振動フィードバックでシンクロ体験を誘発することは難しい為、他の手法を模索する必要がある。

被験者の感想として以下のコメントを得た。

- 視覚障害者との足を蹴り出すタイミングが合っている時は振動を感じにくい。
- 視覚障害者との足を蹴り出すタイミングが異なっている時は、振動を強い違和感として感じる。
- 身体の中にメトロノームが埋め込まれたような感覚になる。
- 振動子が大きいため、装着時に違和感がある。

ランニングのリズムが合っている時には振動を違和感として認知しないことは興味深い発見であった。このことから、デバイスはランニング本来の楽しさを損なわずに、シンクロ体験の誘発が可能であると言える。しかし、晴眼者側でも装着時の違和感は拭えないという課題を残す結果となった。従って、デバイスの肌あたりの改善をする必要がある。

4.1.3 第1プロトタイプのまとめ

提案デバイスを用いることで、伴走者が視覚障害者のランニングテンポに直感的に合わせるようになるため、視覚障害者にとって安心感を生み出せるランニング体験を実現できることが分かった。この安心感から信頼関係の構築が容易となり、疲労の軽減などに繋がることが分かった。

一方でデバイス装着時の違和感に関する指摘が視覚障害者、伴走者ともに多かった。第2プロトタイプは主に装着時の違和感を軽減する必要があると考えられた。

4.2. 第2プロトタイプ

図4.4に第2プロトタイプのデバイスを示す。第1プロトタイプは内部機構を覆うケースが3Dプリンターであることから、ユーザの靴にテープでデバイスを固



図 4.4 第2プロトタイプ

定していた。故に、ユーザビリティテストで得たコメントには、デバイス装着時の違和感に関する物が多く、装着時の違和感を軽減する必要があると考えられた。

第2プロトタイプでは足のサポーターの中に内部のデバイスを仕込むことによって第1プロトタイプのフィードバックで多かった肌あたりの悪さの解消を試みた。

4.2.1 実装

図 4.5 に視覚障害者用サポーターと晴眼者用サポーターの内部構造を示す。デバイスの仕組みは第1プロトタイプの図 4.2 と同様である。

4.2.2 ユーザビリティテスト 2

表 4.2 に被験者情報およびアンケート結果のまとめ、図 4.6 にユーザビリティテストの様子を示す。表 4.2 の B1, B2, B3, B4 は視覚障害者ランナー、S1, S2, S3, S4 は伴走者を示している。アンケートの評価項目はブラインドマラソンで重要とされているパートナーに対する”走りやすさ”, ”信頼感”, ”安心感”, ”ランニングテンポの一致”とした。全ての評価項目は7段階評価である。

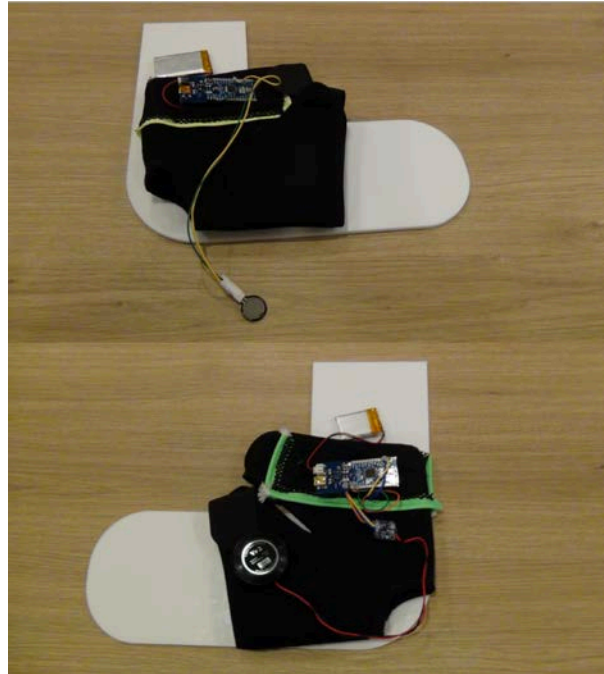


図 4.5 第2プロトタイプの内部構造

ユーザビリティテストの手順を以下に示す。

1. デバイスを着用せずに走る。(振動なし)
2. 視覚障害者と伴走者にアンケートを行う。
3. 視覚障害者と伴走者にインタビューを行う。
4. デバイスを着用し走る。(振動あり)
5. 視覚障害者と伴走者にアンケートを行う。
6. 視覚障害者と伴走者にインタビューを行う。

表 4.2 ユーザビリティテスト2の被験者情報およびアンケート結果のまとめ

CASE	ステータス			走りやすさ			信頼感			安心感			ランニングテンポの一致度			
	性別	競技歴	身長 [cm]	振動 あり	振動 なし	点数差 (あり - なし)	振動 あり	振動 なし	点数差 (あり - なし)	振動 あり	振動 なし	点数差 (あり - なし)	振動 あり	振動 なし	点数差 (あり - なし)	
1	B1	女	10年	153	3	3	0	4	5	1	4	4	0	3	3	0
	S1	男	なし	167	2	6	4	3	5	2	2	4	2	4	5	1
2	B2	男	なし	163	4	5	1	6	6	0	5	6	1	4	5	1
	S2	男	なし	163	6	6	0	6	6	0	6	6	0	5	7	2
3	B3	男	なし	170	5	7	2	6	6	0	5	6	1	5	7	2
	S3	女	なし	147	4	6	2	6	6	0	5	6	1	5	6	1
4	B4	男	15年	168	4	5	1	5	6	1	5	6	1	5	6	1
	S4	男	1ヶ月	178	5	5	0	6	6	0	3	5	2	7	7	0
平均				4.13	5.38	1.25	5.25	5.75	0.5	4.38	5.38	1	4.75	5.75	1	



図 4.6 ユーザビリティテスト2の様子

なお、1回目と2回目の走行距離は等しい。次節からユーザビリティテストの結果と考察を述べる。

Case 1の結果と考察

このケースは2018年4月11日に、被験者に1回の試行で神奈川県が多摩川にある舗装された道路250mを1往復して頂いた。B1はブラインドマラソン歴10年であり、週3~4回ほど特定のパートナーと共に練習をしていた。一方でS1は陸上競技の経験があるものの、ブラインドマラソンの伴走は未経験であった。二人

の身長差は14cmであり、ランニングテンポもデバイスを使用する前から相違が大きかった。

提案システムを使用した結果、S1のアンケートのスコアは向上を見られたものの、B1のスコアはほとんど変化が見られないという結果となった。B1はシステムを利用した後でも、S1の伴走に大きな変化が現れなかったと述べた。また、足のテンポだけでなく腕振りのテンポも大きく異なっていることに違和感を覚えたことを指摘していた。一方でS1はテンポが振動によってわかるものの、あまりにもB1とテンポが異なるため合わせようとして余計に疲労してしまったと述べた。しかし、振動による走りづらさは生まれなかったと述べている。

このような結果から、ランニング経験に関わらずあまりにもランニングテンポが異なるペアの場合は提案システムではシンクロ体験を生み出せないのではないかと考えられる。このように伴走者が視覚障害者のランニングテンポに合わせる事が難しい場合は視覚障害者側も伴走者に合わせる必要性がある。よって、視覚障害者側にも振動のフィードバックを与えることで今回のランニングは改善されたと考えられる。B1はブラインドマラソンの熟練者であるため、初心者に比べてランニングに対する恐怖心も少ないことから視覚障害者側のフィードバックは適切なのではないかと考えられる。

Case 2の結果と考察

このケースは2018年4月12日に、被験者に1回の試行で神奈川県相模原市けやき体育館の1周50mのコートを8周、計400m走って頂いた。B2もS2もブラインドマラソンは未経験であり、身長差も無かった。

デバイスの使用の有無に関わらずランニングテンポは一致している傾向にあった。また、アンケートのスコアも総じて高い傾向にあり、著しい変化は見られなかった。しかし、デバイスを使用する前はS2がB2を必要以上に強く引っ張って伴走してしまう傾向にあった。デバイスを使用するとS2はB2のランニングテンポに合わせてようとする意識が芽生えた。

インタビューのコメントにおいてもB2はS2が最初のランニングで強く引っ張られていることを感じたと言っていた。しかし、デバイスを活用すると自分のペー

スに合わせてもらっている感覚が生まれ安心感につながったと述べた。一方S2はランニングテンポが直感的にわかることで伴走に慣れることができたと述べた。

このような結果から、身長差がほとんどなく最初から快適な伴走、シンクロ体験を実現できるペアであったとしても振動によるフィードバックによってランニングが快適になることが分かった。これは直感的に伴走者がパートナーのランニングテンポを把握できることで紐の引っ張る強さなどに気を使うことができるようになったためだと考えられる。

Case 3 の結果と考察

このケースは Case 2 同様の日付と実地で行われた。B3 も S3 もブラインドマラソンは未経験であり、身長差は 23cm であった。

アンケートスコアからは、デバイスを活用することによって主に走りやすさとランニングテンポの一致に効果があることが分かった。体格差が大きいペアであったが、ランニングテンポ自体は類似しており走りやすそうな印象を受けた。また、S3 がデバイスを着用すると主にカーブなどでテンポがずれた時にずれの修正を迅速に行えており、デバイス未使用時に比べて直線で軌道をブラさずに走行できていた。

B3 は S3 がテンポを合わせてくれていることが分かることで走りやすくなった、デバイスを着用することで守られているように感じ安心感が増したとコメントした。一方 S3 は、カーブなどの軌道修正が迅速になった要因については伴走の慣れによるものだと述べた。しかし、デバイスがあることでランニングのペースに変化がある時にすぐに気がつくことができるとコメントした。

このような結果から、振動によってペース変化の対応が迅速に行えるようになることが分かった。これはペース変化の際にもランニングテンポがずれる傾向にあるため、伴走者は振動を違和感として感じ修正を試みるためであると考えられる。また、B3 が述べたようにデバイスを何かしら身につけているだけでも安心感が生まれてランニングにたいするストレス軽減につながると推察できる。

Case 4 の結果と考察

このケースは2018年4月13日に、被験者に1回の試行で東京都の代々木公園で1.7kmのコースを1周して頂いた。B4はブラインドマラソン歴15年で、S4は伴走歴1ヶ月であった。また、身長差は10cmでありランニングテンポは異なるものの大きな差異では無かった。

アンケートのスコアは全体的に向上しており、主にS4の安心感に対して効果があった。また伴走自体もデバイスを着用することによってS4の腕振りが大きくなったことを観察できた。

B4はインタビューにおいてデバイスをつけるとS4の腕振りだけでなく軌道修正も迅速に行えるようになったと述べた。また、ランニング中の雑談が減少したためランニングに集中することができたとも述べた。一方S4は、振動のタイミングがずれていることがあり足元に意識を集中させていたと述べた。

このような結果から、会話の減少は振動フィードバックのずれによるものではなかったのではないかと考えられる。B4の方がS4よりもブラインドマラソンの歴が長いことから、声かけが減ったことに対するネガティブな反応はなかったが初心者の視覚障害者ランナーにとっては不安につながってしまうのではないかと考えられる。また、フィードバックのタイミングに相違が生じる原因として圧力センサーを靴の中に入れていることが考えられる。着脱時やランニング中にセンサーの位置がずれてしまうことがあり正確なタイミングをフィードバックできていないのではないかとと思われる。

4.2.3 超福祉展2017で行ったデモンストレーション

図4.7に2017年11月7日から11月13日まで渋谷ヒカリエで行われた、超福祉展¹の展示の様子を示す。この展示会では、ユーザビリティテストの一環としてデバイスのデモンストレーションを行なった。視覚障害者のランナーは著者が務め、体験者はデバイスを装着して伴走をすることで擬似的に盲人マラソンを体験して

1 2020年、渋谷。超福祉の日常を体験しよう展 - ピープルデザイン研究所, <http://www.peopledesign.or.jp/fukushi/>, Accessed[2017-11-15]



図 4.7 超福祉展 2017 展示の様子

頂いた。体験者には、時々著者が地面を蹴り出すタイミングを変えることで、タイミングが合っている時と異なっている時の両方の走行体験を提供した。

超福祉展 2017では、盲人マラソンを知らない人々に実際のスポーツを体験してもらい、客観的なフィードバックを得ることができた。体験を観察していると、足を蹴り出すタイミングが著者と一致していた時に振動を感じないため少し戸惑った様子で走行していた。わざと著者が足を蹴り出すタイミングを変えると、振動を違和感として自覚し、驚いた様子を観察した。また、過去の運動体験が少ない体験者は、振動したタイミングで地面を蹴り出す動作を行えない傾向にあった。この様子から、デバイスの使用者の運動能力によってシンクロ体験の誘発しやすさが変化することが分かった。

体験を継続していると、足を蹴り出すタイミングが異なっている時でも振動を感じないという体験者がいた。これはバッテリーの残量が少なくなった時に振動が弱くなるために起こった現象と考えられる。盲人マラソンは長時間行うスポーツであり、レースや練習の終盤は視覚障害者と晴眼者の双方が疲労により足を蹴り出すタイミングが合わなくなってくる傾向にある。この時に、振動を感じることができずに、お互いの足を蹴り出すタイミングの相違を認知できない事は今後の課題と考えられる。よって、バッテリーの長寿化を図る必要がある。

体験者のフィードバックは以下の通りである。

- 振動の強さがちょうどいいが少し大きい。
- 足ではなく膝のサポーターではダメなのか。
- 盲人マラソン以外でも、ダンスやトレーニングなど、リズムのテンポを合わせるスポーツへの応用が効きそう。

「盲人マラソンを知っているか」という質問に対し、知っていると解答したのは全体のおよそ4割にとどまった。このデバイスを普及させることで盲人マラソン参加へのハードルを下げ、多くの人が伴走に参加できるようにすることで認知度の向上に貢献できる可能性があると感じた。

4.2.4 第2プロトタイプのまとめ

4ケースのユーザビリティテストと超福祉展2017のデモンストレーションを通して、提案デバイス「Synchronized Running」はランニングテンポの修正やペース変化の対応に効果があることを確認することができた。しかし、ランニングテンポが著しく異なるペアに対してはデバイスを活用してもテンポのずれによる違和感が拭えず、シンクロ体験の実現が難しい。また、圧力センサの位置がデバイス使用中にずれてしまうことがあり、適切なタイミングでフィードバックが来ないことも問題視される。

なお、今回のユーザビリティテストではランニングテンポのずれが振動によってどのように変化したのかを解析していない。第3プロトタイプ作成時には上記の問題点を解消する機能だけでなく、テンポのずれがどのように変化したのかを可視化する機能も実装する必要があるのではないかと考えられる。

超福祉展ではバッテリーの長寿化、デバイスの大きさについて指摘されていることから解決策も模索する必要がある。

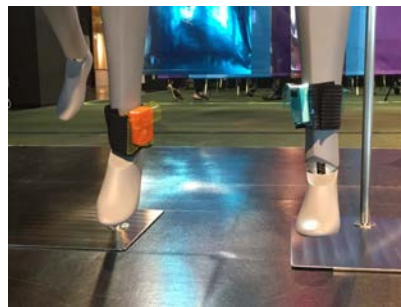


図 4.8 第3プロトタイプ(デバイス) 図 4.9 第3プロトタイプ(装着時)

4.3. 第3プロトタイプ

図 4.8 に第3プロトタイプのデバイス, 図 4.9 に装着時の様子を示す。

第2プロトタイプのユーザビリティテストでは, 着脱の面倒臭さ, 圧力センサの破損に関する指摘が多かった。そこで, 加速度センサを活用し着地のタイミングを検出することで, 靴を脱がずにデバイスを装着できる構造にした。また, バッテリー残量が少なくなると振動を感じにくくなってしまう問題に対しては, USB MICRO B でデバイスの充電を簡単に行えるようにすることで長期的なデバイスの利用を可能にした。

デバイスを挿入するサポーターはテーピング形状の物を採用している。こうすることで肌当たりが良くなり, 第2プロトタイプでも指摘が多かった装着時に痛みを感じる課題を解消することができる。

また, 第2プロトタイプまではランニングテンポのずれが振動によってどのように変化したのかを解析していなかったため, 第3プロトタイプでは解析機能を実装した。

4.3.1 システムの構成

図 4.10 にシステムの概要を示す。Module A はブラインドランナー, ガイドランナー共に着用するデバイスであり, 着地のタイミングをペアリングされた PC に送る機能を持つ。一方で Module V はガイドランナー専用デバイスである。

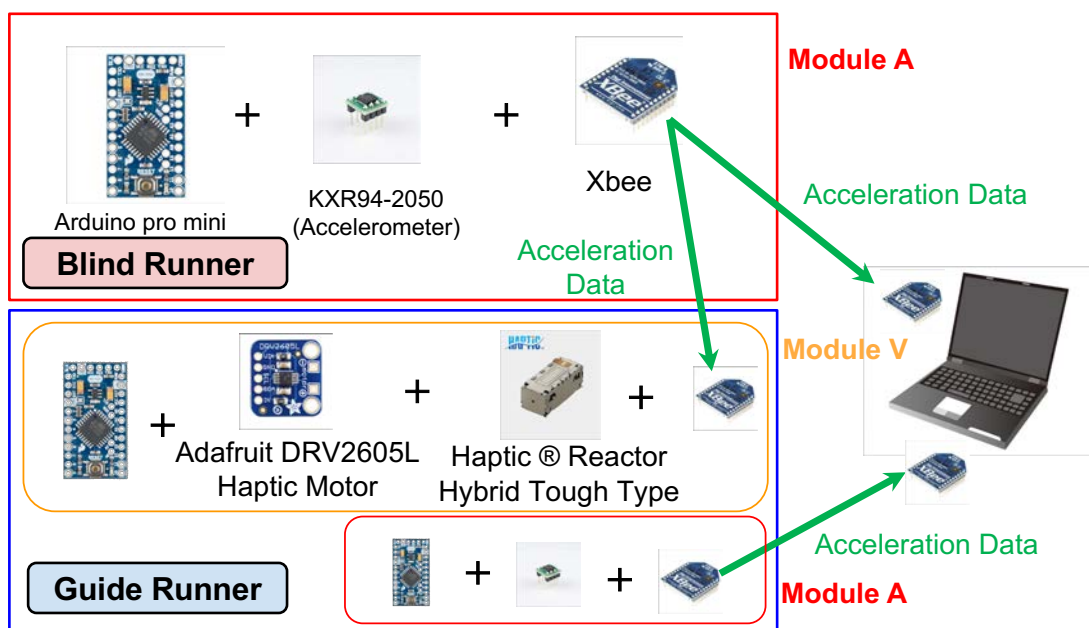


図 4.10 第3プロトタイプの概要

4.3.2 着地検出デバイスとランニング解析機能

Module A は Arduino Pro mini に装着した Xbee を用いてシリアル通信で、視覚障害者及び伴走者のランニング中の接地のタイミングを解析用の PC に送る仕組みとなっている。

接地タイミングは、3軸加速度センサモジュール KXR94-2050 を用いて検出する。まず、3軸中1軸（本研究では y 軸）の値の5つ分を平均化することで取得する値をスムージングする。その後、実際にデバイスを着用しランニングをすることで、加速度センサの値をグラフで可視化し接地タイミングの閾値を決定した。

また、ブラインドランナーが着用する Module A は解析用の PC だけでなく Module V にもランニング中の接地タイミングを送信している。解析用の PC では Type B と Type E からデータが送られてきた時間 [msec] と、どちらのデバイスから送られてきたデータか判別する値を csv ファイルにまとめて出力する。

4.3.3 振動によるランニングテンポ提示機能

Module Vは、ブラインドランナー用のModule Aからシリアル通信で視覚障害者のランニング中の接地タイミングを取得した時に、振動子であるハプティックリアクタ Hybrid Tough Typeが振動する仕組みとなっている。振動子は3Dプリンタで設計された筐体につつまれており、第1, 2プロトタイプ同様ユーザの足の甲に設置する。

4.4. 本章のまとめ

第3章で設計したコンセプトに基づいて、提案デバイス「Synchronized Running」のプロトタイピングを行なった。第1プロトタイプと第2プロトタイプのユーザビリティテストを行なった結果、伴走者のパートナーに対するランニングテンポの一致、ペース変化の対応、安心感や快適感の増大に効果があることが分かった。一方、著しくランニングテンポが異なるペアに対しては効果がなく、着脱に関する指摘が多かった。

ユーザビリティテストの結果をうけて第3プロトタイプはテーピングサポーターに小型化したデバイスを挿入する形状にした。また、ランニングテンポの変化を観測するための解析機能も実装した。

次章では第3プロトタイプを活用することで、振動によるフィードバックが伴走者のランニングに変化を与えるのか、テンポのずれが変化しシンクロ体験を生み出せるのかを実証実験を通して評価する。

第 5 章

評 価

5.1. 「Synchronized Running」の実証実験

提案デバイス「Synchronized Running」を用いることで、視覚障害者と伴走者のランニングテンポのずれに変化が生じるのかを評価する。また、ランニングの様子の観察とインタビューを通してデバイスを使用することによる行動変異を確認する。

第3章で明らかになったように、運動経験によって伴走の習熟スピードが異なる傾向にある。よって伴走者の被験者は全員ブラインドマラソン未経験のものとした。また、被験者を以下のように分類して考察した。

- 1年以上の継続的な運動経験がないもの
- 陸上競技またはランニング経験が1年以上あるもの
- 継続的な運動経験が1年以上あるもの

また、デバイスを複数回使用することにより伴走に変化が生じるのかも検証する。

5.2. 目的と方法

伴走者に Module V（振動）を着用して走って生じたランニングテンポのずれと、着用せずに走って生じたランニングテンポのずれを比較することで評価する。

被験者には十分な休憩を挟んで、2回同じ距離を走っていただき2回目のランニングが終了した時点でインタビューを行なった。またランニングの際に、もう

一名解析用 PC を持ちながら被験者を追跡した。最後に出力ファイルから被験者のランニングテンポのずれの平均値 [msec] と標準偏差を計算し評価を行なった。

5.2.1 伴走者に1年以上の継続的な運動経験がない 場合の評価



図 5.1 Bさん（左）とEさん（右）の実験の様子

図 5.1 に実験の様子を示す。2018年12月4日に東京都の代々木公園にて実験を行なった。検証のご協力を頂いた E さんは継続的な運動経験はなしの女性、S さんは10年間陸上経験がある男性の晴眼者である。検証の際は S さんにアイマスクを着用してもらい、E さんが伴走者を務めた。また、1回のランニングで約1.7kmのコースを走行して頂き、1回目のランニングは振動なし、2回目のランニングは振動ありで行なった。

図 5.2 に B さんと E さんのランニングテンポのずれの平均を示す。1回目のずれの平均 [msec] は 246.957 で標準誤差は 6.724、2回目のずれの平均は 186.995 で標準誤差は 5.680 であった。2回目の結果から、1回目比べて約 60msec ランニングテンポのずれの平均が小さくなるという結果を得た。従って、振動を与えたランニングの方が良い数値を示す結果となった。

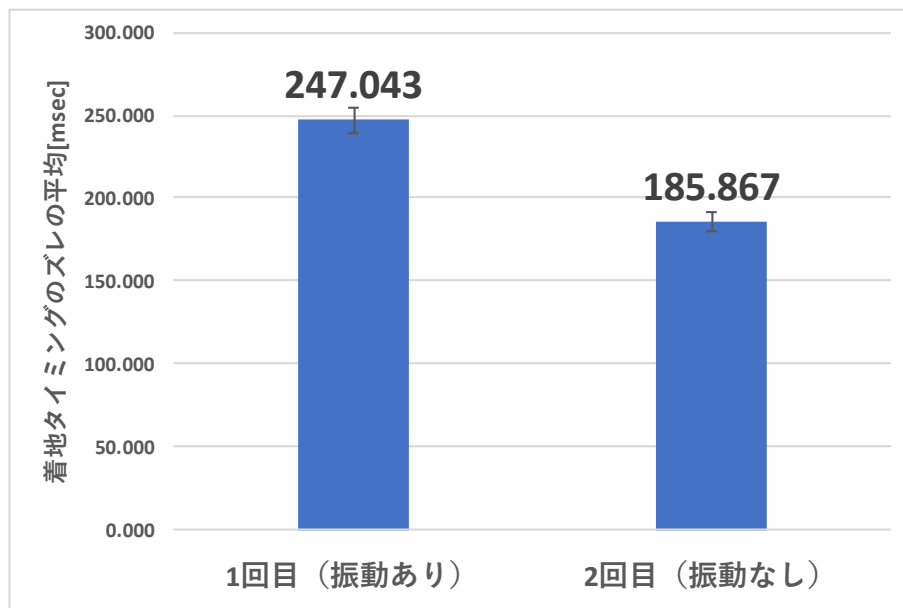


図 5.2 BさんとEさんの着地タイミングのずれの平均 [msec]

伴走を務めたEさんにインタビューを行なったところ以下のようなコメントを得た。

- 振動があることでパートナーのテンポが分かるため安心して走ることができる。
- ランニングテンポが一致している時は振動を感じないためテンポを合わせられているのか不安になった。
- 振動の強さはもう少し強い方が良い。

一方視覚障害者役として走ったBさんからは以下のようなコメントを得た。

- 2回目の方がEさんの疲労していること分かった。
- 慣れによる部分が大きいかもしれないが、2回目の方が安心して走れるようになった。
- デバイスを装着しているときの違和感はない。

第2プロトタイプまでの課題であった装着時の違和感デバイス装着の違和感に関するコメントは、双方から得ることはなかったため解消できていると思われる。また、実験結果とEさんのコメントから、運動経験がない伴走者の場合ランニング自体にも不安を感じているため、振動によるフィードバックがパートナーの視覚障害者にとって快適なランニングテンポを刻むことを援助する役割があるのではないかと考えられる。これは数値としては劇的な改善は見られていないものの、二回目の方が快適なランニングとなった要因になるのではないかと考えられる。しかし、テンポの一致により振動を感じなくなってしまうと反対に不安を覚えることも明らかになった。これは継続的な運動経験がある者に比べて、不安感が強いことからデバイスによる振動に依存をして走っていることが考えられる。従って、振動の強さをユーザに合わせて調整することができれば、継続的な運動経験がない者に対して、伴走の難易度を下げることができるのではないかと考えられる。

5.2.2 伴走者に継続的な運動経験が1年以上ある 場合の評価

今回は継続的な運動経験が1年以上ある被験者を3名集めることができた。以下にそれぞれのケースの結果について述べる。

EさんとIさんのケース

2018年12月4日に東京都の代々木公園にて実験を行なった。検証のご協力を頂いたEさんは継続的な運動経験はなしの晴眼者であり、第5.2.1項でご協力いただいた伴走者と同一人物である。一方、Iさんは2年間サッカーの経験がある男性の晴眼者である。検証の際はEさんにアイマスクを着用してもらい、Iさんが伴走者を務めた。また、1回のランニングで約1.7kmのコースを走行して頂き、1回目のランニングは振動あり、2回目のランニングは振動なしで行なった。

図5.3にEさんとIさんのランニングテンポのずれの平均を示す。1回目のずれの平均 [msec] は247.043で標準誤差は7.844、2回目のずれの平均は185.867で

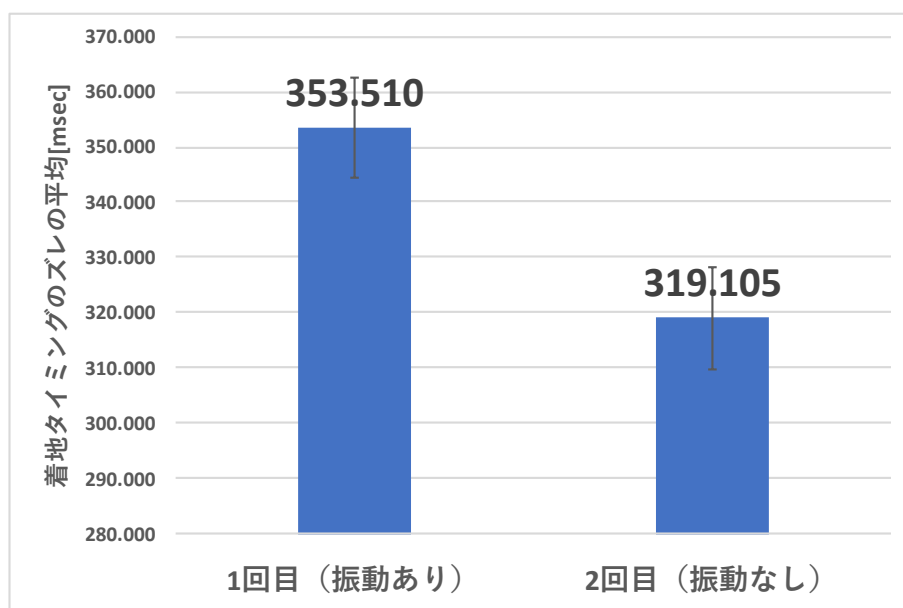


図 5.3 EさんとIさんの着地タイミングのズレの平均 [msec]

標準誤差は5.550であった。2回目の結果から、1回目に比べて約61msecランニングテンポのズレの平均が小さくなるという結果を得、振動を与えていないランニングの方が良い数値を示す結果となった。

伴走を務めたIさんにインタビューを行なったところ以下のようなコメントを得た。

- テンポが一致している時は振動を感じないため不安になってしまった。
- 初回は曲がることを意識しすぎてズレが大きくなってしまったが、2回目は慣れにより修正できたと思われる。
- 振動の強さはもう少し強い方が良い。
- 振動が身体化している感覚があり、テンポがズレた際もそこまで気にならなかった。
- 1回目に比べて2回目の方がEさんとの接触回数が減り、並走感覚が増した。

- 1回目が振動ありで行なったため、ずれの原因が何であったのかが疑問に思った。もう一度走ってみたい。

一方視覚障害者役として走ったEさんからは以下のようなコメントを得た。

- ブラインドの状態でするため、最初は恐怖心が強かったが徐々に慣れていった。
- Iさんによる声かけによって安心することができた。
- 二回目はぶつかることが減ったのでストレスも軽減された。

実験結果とIさんのコメントからは、明らかなデバイスの効果を確認することはできなかった。今回のケースにおいて、2回目の値の改善はIさんとEさん共に伴走に対する慣れによるものが大きいと考えられる。ランニングの様子を観察とコメントから、Iさんはランニングテンポ等のリズムよりも周囲の状況指示やブラインドマラソンに慣れていないEさんへの気遣いに注力していたように思われる。よって、ランニングテンポの一致に注力することに対して優先度が低い伴走者には本デバイスの効果は薄いのではないかと考えられる。

AさんとHさんのケース

図5.4に実験の様子を示す。2018年12月16日に東京都の代々木公園にて検証を行なった。検証のご協力を頂いたAさんはハンドボールの経験が3年以上ある女性、Hさんは中学3年間バスケットボールの経験がある男性の晴眼者である。検証の際はAさんにアイマスクを着用してもらい、Hさんが伴走者を務めた。また、1回のランニングで約1.7kmのコースを走行して頂き、1回目のランニングは振動あり、2回目のランニングは振動なしで行なった。

図5.7にAさんとHさんのランニングテンポのずれの平均を示す。1回目のずれの平均[msec]は353.510で標準誤差は9.007、2回目のずれの平均は319.105で標準誤差は9.271であった。2回目の結果から、1回目に比べて約34msecランニングテンポのずれの平均が小さくなるという結果を得た。故に、デバイスによる有意差は確認されなかった。



図 5.4 A さん（手前）と H さん（奥）の実験の様子

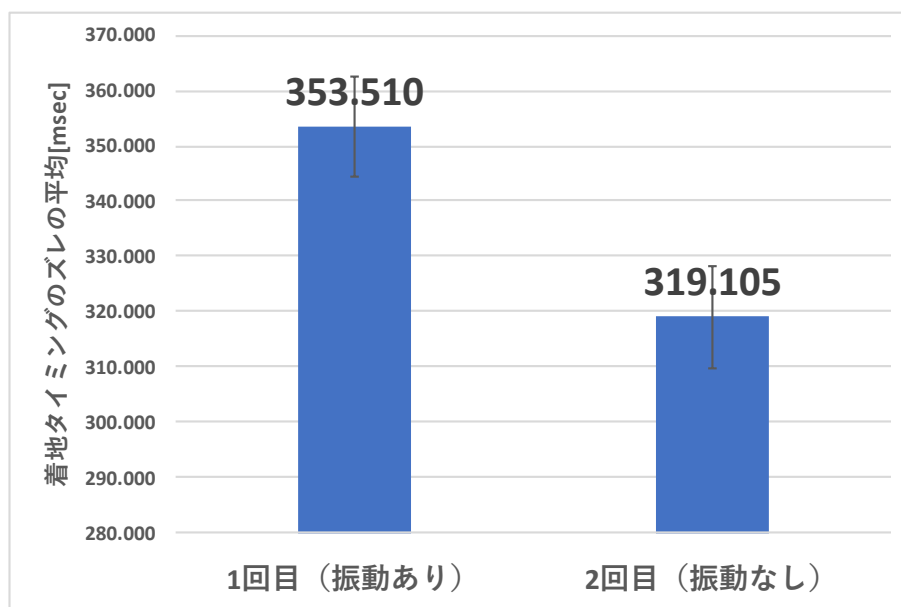


図 5.5 A さんと H さんのランニングテンポのずれの平均 [msec]

伴走を務めたHさんにインタビューを行なったところ以下のようなコメントを得た。

- 振動があることによってどのペースで走ればよいか分かった。
- 振動の強さはちょうどよかった。
- 1回目は足元に気を使わなくて済んだ。
- 2回目はどのようなテンポで走ればよいか分からなくなってしまった。
- 2回目の方がAさんを強く引っ張ってしまった。
- 周囲の状況指示は2回目の方がよくできていたと思う。
- 振動子が少々角ばっているため筐体は丸みを帯びたものが良いと思う。

一方視覚障害者役として走ったEさんからは以下のようなコメントを得た。

- 1回目に比べて、2回目はHさんに強く引っ張られる感覚があった。
- 2回目のHさん指示は丁寧さに欠けていたように思う。
- Hさんが1回目に比べて、2回目の方が疲労していたようにも思えず不安感を覚えた。

実験結果と双方のコメントから、デバイスによるランニングテンポのずれの変化はほとんどなかったものの、デバイス未使用時の方が双方に不快感を覚えることが確認された。インタビューで、なぜ振動があると走りやすくなったのかHさんに伺ったところ、過去にギターを演奏していた経験が大きいのではないかと述べていた。ドラムの音に合わせてギターを奏でるペースを調整するため、今回の実験も合わせるべきテンポが提示されることによって走りやすくなったのではないかと考えられる。また、Hさんは2回目の方が支持を細かく出していたと述べていたが、Aさんのコメントと観察結果から、会話量が減ってしまっていることが確認された。2回目は振動によるフィードバックが無くなってしまった為、1回目よりもランニングテンポを合わせることに集中していたのではないかと考えら

れる。2回の試行で数値に大幅な変化がないことも裏付けになる。従って、振動フィードバックによるランニングテンポ把握が、伴走に対する余裕を生むと結論づけることが可能なのではないかと推察できる。この余裕が、視覚障害者の安全を確保するための指示や声かけ、紐の使い方の改善につながり、快適なランニングを実現することができると考えられる。

KさんとSさんのケース



図 5.6 Kさん（左）とSさん（右）の実験の様子

図 5.6 に実験の様子を示す。2018年12月20日に東京都の代々木公園にて検証を行なった。検証のご協力を頂いたKさんはバドミントンの経験が3年以上ある男性の晴眼者である。一方、Sさんはブラインドマラソン歴15年の視覚障害者である。また、1回のランニングで約1.7kmのコースを走行して頂き、1回目のランニングは振動なし、2回目のランニングは振動ありで行なった。

図 5.7 に KさんとSさんのランニングテンポのずれの平均を示す。1回目のず

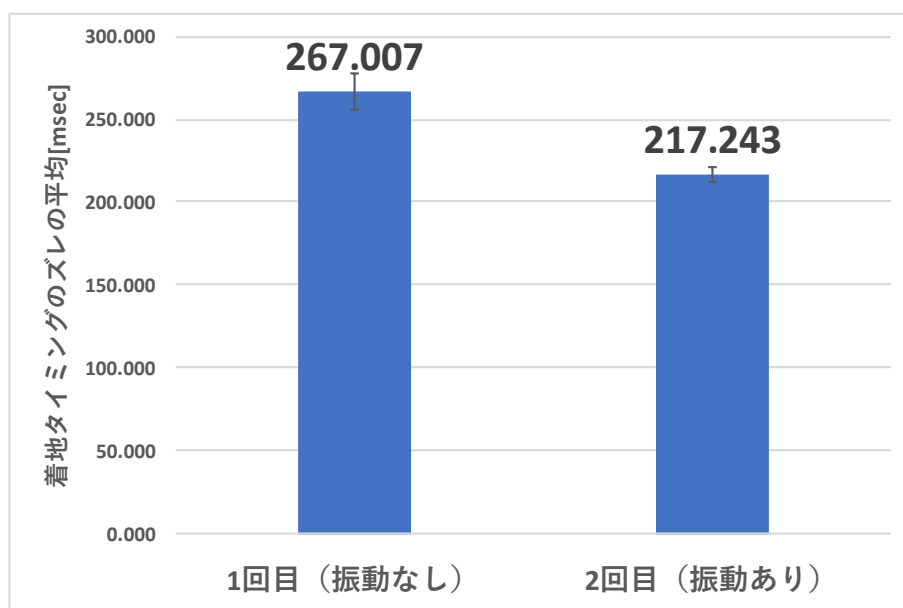


図 5.7 KさんとSさんの着地タイミングのずれの平均 [msec]

れの平均 [msec] は 267.007 で標準誤差は 10.672, 二回目のずれの平均は 217.243 で標準誤差は 4.507 であった. 2 回目の結果から, 1 回目に比べて約 50msec ランニングテンポのずれの平均が小さくなるという結果を得た.

伴走を務めた K さんにインタビューを行なったところ以下のようなコメントを得た.

- 振動があることによって安心感が増し、ズレの修正が早くなった.
- 振動の強さはちょうどよかった.
- 1 回目は足元に気を使わなくて済んだ.
- 概ね, 最初から上手にできていたと思う.

一方ブラインドランナー S さんからは以下のようなコメントを得た.

- 最初から完璧な伴走だったと思う. 初めてやったとは思えない.
- 2 回目は信頼して走ることができたため, スピードを上げることができた.

- 指示や、ランニング動作からも K さんの心の余裕を感じることができた。

今回 K さんはブラインドマラソン初挑戦にも関わらず、ほぼほぼ完璧な伴走を見せていた。ブラインドランナー S さんの話から、伴走にはランニング等の技術面も重要となるが、それ以上に伴走者の精神的な余裕も重要になると述べていた。K さんは性格上余裕を持って、ブラインドマラソンに触れることは初めてでも、S さんに気を使いつつ、迅速に伴走技術を習得できたのではないかと考えられる。また、S さんのフィードバックにもあるように振動があることでパートナーのランニングテンポを把握することができ安心感に繋がることも分かった。これは、S さんが言う伴走者の心の余裕につなげる効果が本デバイスにあると考えられる。

考察

3つのケースはどちらとも1回目に振動を与えたペアが2ペア、2回目に振動を与えたペアが1ペアで実験を行なった。

本デバイスは伴走に対する余裕を生むことに対して効果があることを確認できた。しかし、ユーザによって効果の大小は異なり、伴走者の運動経験の差よりも、楽器演奏経験からくるリズムに合わせる能力に依存する。また、ランニングテンポのずれの平均値は双方のケースとも大きな変化は生まれなかったが、会話量や伴走の際の紐の使い方などの変化を観察することができた。この結果も本デバイスが、集中せずともランニングテンポの一致を可能とし、周囲の状況指示やパートナーへの気遣いに注力させる効果があると考えられる。

5.2.3 伴走者に陸上競技またはランニング経験が1年以上ある場合の評価

図 5.8 に実験の様子を示す。2018 年 12 月 16 日に東京都の代々木公園にて実験を行なった。検証のご協力を頂いた C さんは男性、N さんは女性であり、共にマラソン経験が1年以上ある晴眼者である。検証の際は C さんにアイマスクを着用してもらい、N さんが伴走者を務めた。また、1回のランニングで約 1km のコー



図 5.8 N さん（手前）と C さん（奥）の実験の様子

スを走行して頂き、1 回目のランニングは振動なし、2 回目のランニングは振動ありで行なった。

図 5.9 に C さんと N さんのランニングテンポのずれの平均を示す。1 回目のずれの平均 [msec] は 216.287 で標準誤差は 5.883、二回目のずれの平均は 172.565 で標準誤差は 5.861 であった。2 回目の結果から、1 回目に比べて約 44msec ランニングテンポのずれの平均が小さくなるという結果を得た。

伴走を務めた N さんにインタビューを行なったところ以下のようなコメントを得た。

- 正直振動はあまり感じなく、気になりもしなかった。
- 1 回目も 2 回目も完全に自分のペースで走っていたように思う。
- 2 回目はペースが上がったので気持ちよく走れた。振動による違和感はなかった。

一方視覚障害者役として走った C さんからは以下のようなコメントを得た。

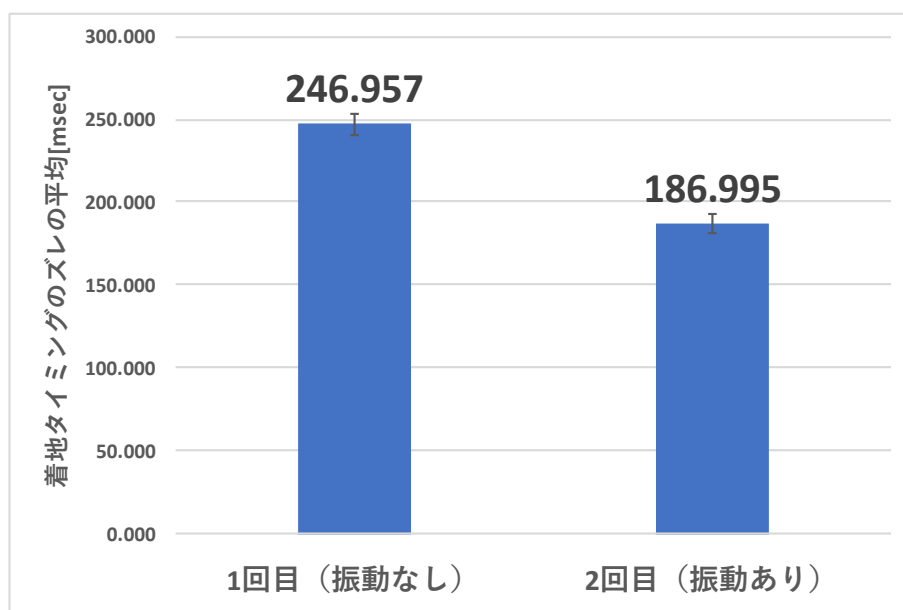


図 5.9 CさんとNさんの着地タイミングのズレの平均 [msec]

- 最初からNさんの伴走が上手であったため、2回目は安心してペースを上げることができた。
- 一貫して相手に気を使うことは少なかった。

今回のケースにおいては1回目からNさんとCさんにとって快適なランニングが実現していた。実験結果とコメントからもデバイスによる有意差は確認できなかった。これは、Nさんにはマラソン経験があるため、自身のランニングに注力する必要性はなく、ブラインドマラソンの伴走に素早く適応することができたことが大きな要因と考えられる。伴走に慣れたNさんはデバイスに頼らずともシンクロ体験を実現し、周囲の状況指示も1回目から積極的に行なっていた。よって、伴走に慣れた伴走者に対しては提案デバイスの効果は高くないと考えられる。

5.3. 複数回デバイスを使用したユーザの評価

2018年12月11日に神奈川県相模原市 けやき体育館にて実験を行なった。協力して頂いた伴走者のTさんは、フットサル経験が4年以上ある男性の晴眼者で

ある。実験は1回のランニングあたり、1周50mのコートを8周、計400m走って頂いた。

今回はTさんには十分な休憩を挟みつつ、2人の視覚障害者ランナーと伴走して頂くことでデバイスの効果を検証した。

5.3.1 視覚障害者Oさんとの伴走



図 5.10 Oさん（左）とTさん（右）の実験の様子

図 5.10 に実験の様子を示す。最初に男性の弱視の視覚障害者Oさんと伴走して頂いた。1回目のランニングは振動なし、2回目のランニングは振動ありで行なった。

図 5.11 にOさんとTさんのランニングテンポのずれの平均を示す。1回目のずれの平均 [msec] は 312.793 で標準誤差は 16.164，二回目のずれの平均は 306.317 で標準誤差は 21.690 であった。2回目の結果から、1回目比べて約 6msec 着地タイミングのずれの平均が小さくなるという結果となり有意差は確認されなかった。

伴走を務めたTさんにインタビューを行なったところ以下のようなコメントを得た。

- 1回目から正直走りやすかった。

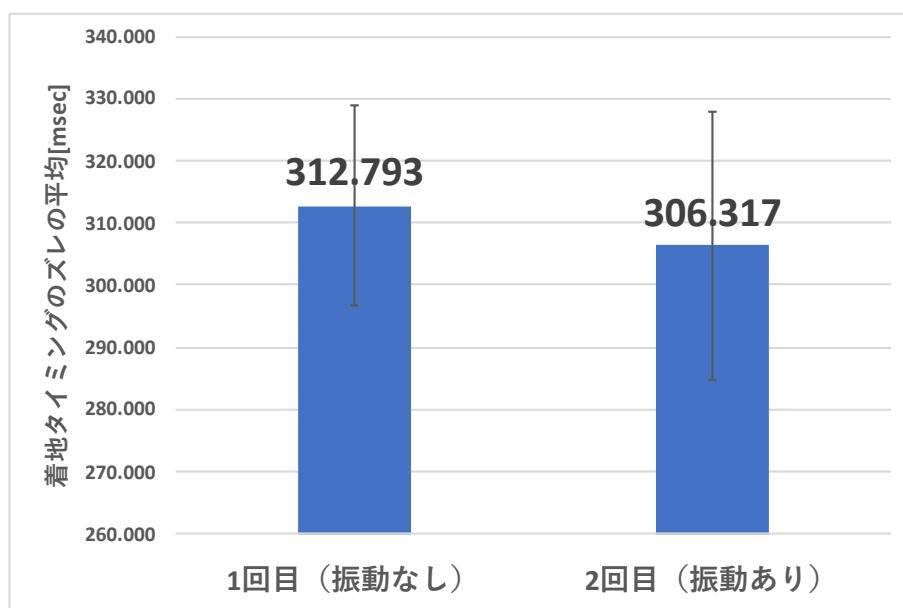


図 5.11 OさんとTさんのランニングテンポのずれの平均 [msec]

- 振動があることによってOさんのリズムを把握することができた。
- 振動の強さはもう少し強いものを希望する。
- 会話に集中していると足元に集中しなくなるため、テンポがずれてしまうことがあった。足元を意識することができれば一緒のテンポで走れるようになって感じた。

一方視覚障害者のOさんからは以下のようなコメントを得た。

- 1回目に比べて、2回目はTさんがテンポを把握したことによる会話が生まれ安心感が生まれた。
- 視覚障害者も伴走者のペースがわかる仕組みがあると良いかもしれない。
- Oさん自身がランニングに慣れているわけではないため、自分のリズムが一定に走れるような仕組みが欲しい。

結果とコメントを受けて、ずれに大きな変化がないものの伴走の習熟度を上げる効果があることが確認された。Tさんのコメントにあるように会話に集中して

いるときはテンポがずれてしまう傾向にあった。従って、本デバイスは、テンポがずれた時のサインを伝える効果があると考えられる。

5.3.2 視覚障害者 M さんとの伴走



図 5.12 M さん（左）と T さん（右）の実験の様子

図 5.12 に実験の様子を示す。次に、男性の全盲の視覚障害者 M さんと伴走して頂いた。1 回目のランニングは振動あり、2 回目のランニングは振動なしで行なった。

図 5.13 に M さんと T さんのランニングテンポのずれの平均を示す。1 回目のずれの平均 [msec] は 356.084 で標準誤差は 13.342，二回目のずれの平均は 360.867 で標準誤差は 7.781 であった。2 回目の結果から、1 回目に比べて約 5msec ランニングテンポのずれの平均が大きくなるという結果となりまたも有意差は確認されなかった。

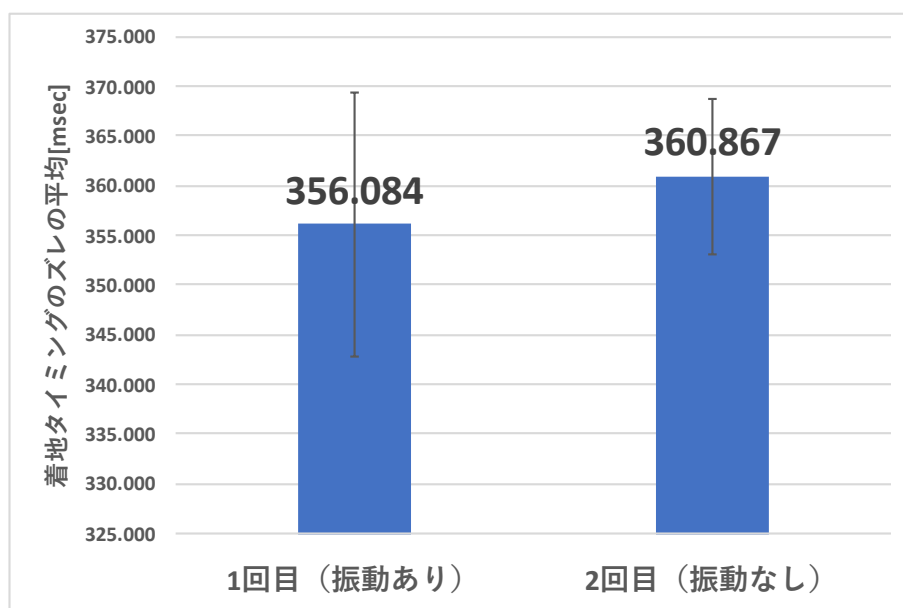


図 5.13 MさんとTさんのランニングテンポのズレの平均 [msec]

伴走を務めたTさんにインタビューを行なったところ以下のようなコメントを得た。

- 1回目に比べて2回目のランニングは紐を活用して誘導するようにしたためランニングが快適になった。デバイスによる効果は実感しなかった。
- デバイスの有無によってランニングに悪影響を及ぼすことはなかった。

一方視覚障害者のMさんからは以下のようなコメントを得た。

- 1回目と2回目で特に違いは感じなかった。
- デバイスによる足元の違和感は全く感じない。
- TさんがOさんを真っ直ぐ走らせようとして苦勞していたように思う。

結果とコメントからデバイスではなくTさんが紐を活用することによってランニングが快適になっていることが分かった。慣れによる大きな変化もなかったことから、デバイスが有効活用できるのは伴走に慣れるまでなのではないかと考えられる。

5.3.3 Tさんからのフィードバック

全実験終了後に伴走を務めたTさんにインタビューを行ったところ以下のようなコメントを得ることができた。

- デバイスを活用することによって、ブラインドマラソンの伴走の習熟スピードが向上するのではないか。
- 伴走に慣れてしまった後はデバイスの効果を実感しづらかった。
- 紐によって誘導することができればランニング自体も快適になってゆくのではないか。

Tさんのコメントからブラインドマラソンの伴走が未経験の状態でのこのデバイスを活用すると、伴走の習熟を助ける効果を得ることができ、ランニングが快適になることが分かった。これは、デバイスによってランニングテンポの修正が直感的に行えるようになるため、周囲の状況指示やパートナーへの気遣いに注力できることが大きな要因と考えられる。

一方で伴走に慣れてしまっただけからはデバイスの効果を感じづらいという結果となった。これは振動の強さがランニングを阻害するものではないために会話などに集中しているとずれに気がつかない可能性も示唆される。また、ランニングテンポが一致している回数が増えることから着地の衝撃が振動を打ち消し、ユーザに効果を与えにくいことも考えられる。

5.4. 実証実験のまとめと考察

本章で行った実証実験のまとめと考察を以下の3点から行う。

5.4.1 ランニングテンポの一致によるシンクロ体験の誘発

1回目のランニングで振動を付与したペアが3組、2回目のランニングで振動を付与したペアが3組いたが、いずれもランニングテンポのずれの平均の変化に有

意差は無かった。これは振動によるフィードバックにユーザ自身が慣れる必要性があり、リズム感の改善には時間が要することが考えられる。よって、長期的にデバイスを活用してもらうことでランニングテンポのずれの修正による有意差が現れるのか評価する必要がある。

5.4.2 伴走習熟度の変化

デバイスを活用することで、テンポのずれに変化が現れなかったものの、周囲の声かけや必要以上の強さで視覚障害を誘導しなくなった等の行動変異を観察することができた。これらの行動は視覚障害者にとっても安心感を与えるものであり、初対面同士の信頼関係の構築にも役立つとすることができる。

行動変異が観察できる伴走者の傾向として、運動経験が浅い、リズム把握能力に優れていることが挙げられる。このようなユーザは振動のフィードバックにより直感的にパートナーのランニングテンポを把握し、ずれを修正できる能力に長けているため、伴走で重要とされている他の事柄に注力することができるためだと考えられる。一方で、ランニング経験者にはこのような行動変異が生まれにくい傾向にある。これはデバイスに頼らずとも、ブラインドマラソンの伴走を上手に行うことができることが大きな要因と考えられる。またランニング経験者は自身の適切なランニングテンポを確立している傾向にあり、振動フィードバックによるランニングテンポ提示の効果が薄いことも一つの要因ではないかと考えられる。このようなユーザはデバイスを活用せずとも快適なランニング、シンクロ体験を実現できる傾向にあるためデバイスの必要性は低い。

また、第5.3項で述べたように伴走の習熟スピードに関わらず、伴走に慣れたユーザにとってもデバイスの効果が薄いことがわかった。伴走に慣れることにより、次第にランニングテンポを意識せずとも快適なランニング、シンクロ体験を実現できることが主な要因だろう。

このような結果から、提案デバイスは伴走に慣れるまでの補助デバイスとして効果があり、伴走の難易度を下げることに成功しているのではないかと考えられる。

5.4.3 デバイス装着時の違和感

第1, 2プロトタイプで問題となっていたデバイスの違和感に関するコメントはなかった。よって、デバイスの大きさや肌あたりの面に関しては課題を解消できたと考えられる。一方で伴走者は現状のシステムであると、デバイスを2つ着用しなくてはいけないため Module A と Module V のデバイスを1つにまとめる必要はあると考えられる。

5.5. 本章のまとめ

本章では、提案デバイス「Synchronized Running」の実証実験を行い、ランニングテンポのずれの変化を解析し、被験者にインタビューを行った。デバイスを活用することによるランニングテンポのずれの変化は確認できなかったが、複数名の伴走者の伴走習熟度が向上する様子が確認された。この様子は、ランニング経験があり始めから上手に伴走ができるユーザには見られにくいものの、楽器の演奏経験などからリズム感に優れているユーザには顕著に現れること分かった。また、本デバイスの効果を実感していたがユーザが伴走に慣れた時、初めから伴走を上手に行えていた伴走者であった時は、本デバイスの効果が薄いことも確認された。このような結果から、本デバイスは伴走に慣れるまでの間、伴走者が足元に集中せずともランニングテンポの一致を可能とさせると言える。これは、周囲の状況指示やパートナーへの気遣いに注力させることにつながる。従って、本デバイスが伴走の難易度を下げ、快適なランニングを実現する助けになると結論づけられるのではないかと考えられる。

第 6 章

結 論

本稿は主にブラインドマラソンの初心者に対して、どのようなパートナーとも快適なランニングができるアシスタントデバイス「Synchronized Running」の提案及び評価を行ったものである。

第 1 章では、本稿を書く動機となった視覚障害者を取り巻く社会情勢について述べた。その中で、身体活動の重要性を論じ、視覚障害者が行う身体活動の中でもスポーツを中心に紹介した。本研究では晴眼者との交流の機会が他の視覚障害者スポーツに比べて多い、ブラインドマラソンに着目した。その後、ブラインドマラソンにおいてお互いが二人三脚のようにランニング動作が一致している体験、シンクロ体験が魅力であるが、初心者には伴走の難易度が高いこと、故に伴走者が不足してしまうところ、伴走者不足が原因で発生する問題について論じた。

第 2 章では本研究の関連研究として「ランニングの支援」「触覚提示による身体活動の支援」「視覚障害者の生活支援」「ブラインドマラソンの支援」について述べ、本研究の研究領域について論じた。ブラインドマラソンの研究において、視覚障害者を独立走行させる研究は行われているが、伴走者を支援する研究は行われていないことが分かった。一方でパートナーと共に行うランニングや、他人の動作を真似る身体活動、リズムを把握する身体活動、パートナーとの共同作業を拡張させる研究は多数行われていた。その研究の多くは触覚提示や音声を活用したものが多く、本研究においてもこれらの手法がブラインドマラソンの伴走技術の向上に繋がるのではないかと述べることで本研究の位置付けを示した。

第 3 章ではフィールドワークとそれに基づいたコンセプト設計、コンセプトが実現するユーザエクスペリエンスデザインについて論じた。フィールドワークでは実際に伴走をするだけでなく、目隠しをして走ることで伴走者と視覚障害者の

双方の立場からブラインドマラソンを分析した結果、主に初心者の伴走者が快適なランニングが実現できない原因はランニングテンポの把握が行えていないことにあるのではないかという結論に至った。そこで、視覚障害者ランナーのランニングテンポを伴走者の足元にフィードバックすることでこの課題を解決できるという仮説を立てた。このような背景から、本研究のコンセプトを設計したところ「伴走者の足元に、視覚障害者のランニングテンポを振動によってフィードバックすることによってシンクロ体験を誘発する」デザインとなった。そして、このコンセプトが実現した際に得ることができるユーザエクスペリエンスデザインに関して論じた。

第4章では本研究の本デバイス「Synchronized Running」のプロトタイプの変遷とユーザビリティテストを通じたフィードバックについて論じた。第1プロトタイプと第2プロトタイプのユーザビリティテストを行なった結果、伴走者のパートナーに対するランニングテンポの一致、ペース変化の対応、安心感や快適感の増大に効果があることが分かった。一方、著しくランニングテンポが異なるペアに対しては効果がないことが分かり、デバイスの使い心地に関するコメントでは、着脱の面倒くささとデバイス装着時の違和感に関する指摘が多かった。ユーザビリティテストの結果をうけて第3プロトタイプはテーピングサポーターに小型化したデバイスを挿入する形状にした。また、ランニングテンポの変化を観測するための解析機能も実装した。

第5章では複数のペアに第3プロトタイプを使用して走って頂き、その結果を踏まえた上で本デバイスはどのような効果があるのかを論じた。デバイスを活用することによるランニングテンポのズレの変化は確認できなかったが、複数名の伴走者の伴走習熟度が向上する様子が確認された。この様子は、ランニング経験があり、初めから上手に伴走ができるユーザには見られにくいものの、楽器の演奏経験などからリズム感に優れているユーザには顕著に現れること分かった。また、本デバイスの効果を実感していたがユーザが伴走に慣れた時、初めから伴走を上手に行っていた伴走者であった時は、本デバイスの効果が薄いことも確認された。このような結果から、本デバイスは伴走に慣れるまでの間、伴走者が足元に集中せずともランニングテンポの一致を可能とさせ、周囲の状況指示やパート

ナーへの気遣いに注力させることにつなげることが可能であると言える。従って、本デバイスが伴走の難易度を下げ、快適なランニングを実現する助けになると結論づけた。

今後の展望として、振動の強さを柔軟に変化させることによってより多くのユーザの伴走の習熟スピードを向上させるデバイスに発展させてゆく。また、足の大きさはユーザによって異なるため振動子を包んでいる筐体のデザインをユーザによって変更することも検討している。更に、伴走者は2つデバイスを装着しなくてはいけないため、1つにまとめることでより使いやすい形状に改良する。

本研究を更に発展させていくことによって、例えば運動神経に自信がなくともブラインドマラソンの伴走に気軽に参加することができるようになるのではないかと考えられる。そのような状況を作り出せば、視覚障害者と晴眼者が交流する機会が増え、高い生活満足度を得て生活している視覚障害者の割合が増えてゆき、晴眼者も視覚障害者への理解が深まっていくのではないかと推察できる。また、ブラインドマラソンの知名度が向上することも考えられる。陸上競技界においても、リレーや駅伝に次ぐ複数人で行う競技としてプレゼンスが向上し、様々なドラマが生まれ、業界自体の盛り上がりにもつながるのではないかと考えられる。

最後に「Synchronized Running」が発展し、一人でも多くの晴眼者が伴走の楽しさを、一人でも多くの視覚障害者が走ることの楽しさを知り、人生が豊かになっていくことを祈っている。

謝 辞

本研究の指導教員であり、幅広い知見からの的確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤 孝太准教授に心から感謝いたします。Embodied Media プロジェクトに所属し、身体性メディアという学問に触れた2年間は、非常に密度が濃く幸せな時間でした。また、M1 の時から超福祉展のような大きい規模の展示会に研究成果を発表できたのは紛れもなく南澤先生の的確なご指導のお陰です。何もかも未熟な私を最後まで見捨てずに、根気よくご指導頂きありがとうございました。

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の古川 亨教授に心から感謝いたします。私のような世間知らずの学生にも研究に関するアドバイスだけでなく、これから社会に出る人間として大切なことを親身になってご教示頂いたと感じています。サムさんのような立派な経営者になれる自信は未だありませんが、いつか追いつけるようにこれからも精進して参りたいと思います。

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の砂原 秀樹教授に心から感謝いたします。時に厳しくも愛情がこもっている先生のご指導のお陰で、研究者としても人としても大切なことに気がつくことができたと思っています。先生と同じ大学学部学科出身であることを誇りを持ち、今後の活動に励んでゆきたいと思います。

産業技術大学院大学助教の金箱淳一さんには、ものづくりの基本と、フィールドワーク、電気回路やプロトタイピングなど、私が知らない事柄について1から丁寧にご指導頂きました。テーマが決まらずに行き詰まった時、プロトタイピングの過程で手が止まってしまった際にいつも金箱さんが助けてくれました。今後 Able-bodied Bodies の活動で一緒にさせて頂けたらと思います。

Roshan Peris 特任助教には私の拙い英語も根気よく汲み取って下さり、実装面などのアドバイスも丁寧に頂きました。国際会議の論文執筆の際に、締め切り直前にも関わらず、ご自身のお時間を割いてご指導頂いた恩は忘れません。引き続き、研究のアドバイスを頂けると嬉しいです。

Embodied Media プロジェクトの先輩にあたる田端 俊哉さんには、私が視覚障害者に関する研究を行う機会を与えてくださいました。視覚障害者の母の元で育った私の中にある問題意識を上手に言語化して下さり、視覚障害者に関する知見やフィールドワークの方法などをご指導頂きました。田端さんと出会っていなければこの研究に出会うことはなかったと思います。本当にありがとうございました。

Embodied Media プロジェクトリサーチャーにあたる神山 洋一さんにも心より感謝申し上げます。実装面でつまづいてしまった時、深夜までご指導頂いたことが何度もありました。私の技術力不足に一切嫌な顔をせずに優しくご指導いただいた日々は決して忘れません。

本研究を世間に広める場となった超福祉展の運営である NPO 法人ピープルデザイン研究所の皆様にも心より感謝申し上げます。学生という身分であるにも関わらず、渋谷ヒカリエという知名度がある場所で私の研究を世間に広めることができた経験は今後必ず生きてくると確信しております。来年以降もこのような取り組みを共に行えたらと思います。今後ともよろしくお願いします。

ブラインドマラソンに関する知見をご教示頂き、再三フィールドワークとして伴走練習会への参加の許可を頂いた NPO 法人 JBMA の皆様にも心より感謝を申し上げます。皆様のおかげで、ブラインドマラソンの魅力に気がつき、モチベーションを高く維持することができました。

研究活動を通して出会い、ご協力頂いた視覚障害者の方々にも心より感謝を申し上げます。私の研究がキッカケとなり、ブラインドマラソンのプレゼンスが向上し、少しでも走ることに生きがいを感じられる方が増えることを祈っております。

最後に理工学研究科ではなく、メディアデザイン研究科で修士課程の2年間を過ごすことを応援してくれた両親にも心より感謝いたします。高い学費を文句ひとつ言わずに工面して頂き、辛い時にはいつも支えて頂きました。今後の活動で少しずつ恩返ししていけたらと思います。本当にありがとうございました。

参 考 文 献

- [1] Florian Mueller, Shannon O’Brien, and Alex Thorogood. Jogging over a distance: supporting a ”jogging together” experience although being apart. In *Extended Abstracts Proceedings of the 2007 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2007, San Jose, California, USA, April 28 - May 3, 2007*, pp. 1989–1994, 2007.
- [2] Andrzej Romanowski, Sven Mayer, Lars Lischke, Krzysztof Grudzien, Tomasz Jaworski, Izabela Perenc, Przemyslaw Kucharski, Mohammad Obaid, Tomasz Kosinski, and Pawel W. Wozniak. Towards supporting remote cheering during running races with drone technology. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2867–2874, 2017.
- [3] Kalle Myllymaa, Roope Raisamo, Jani Lylykangas, Jani Heikkinen, and Veikko Surakka. Rehapp - A wearable haptic system for rehabilitation and sports training. *Haptics: Perception, Devices, Mobility, and Communication - International Conference, EuroHaptics 2012, Tampere, Finland, June 13-15, 2012 Proceedings, Part II*, pp. 210–213, 2012.
- [4] Benjamin Petry, Thavishi Illandara, Don Samitha Elvitigala, and Suranga Nanayakkara. Supporting rhythm activities of deaf children using music-sensory-substitution systems. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 486, 2018.
- [5] Yuhang Zhao, Cynthia L. Bennett, Hrvoje Benko, Edward Cutrell, Christian Holz, Meredith Ringel Morris, and Mike Sinclair. Enabling people with visual impairments to navigate virtual reality with a haptic and auditory cane

- simulation. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2018, Montreal, QC, Canada, April 21-26, 2018*, p. 116, 2018.
- [6] Majed Al Zayer, Sam Tregillus, Jiwan Bhandari, Dave Feil-Seifer, and Eelke Folmer. Exploring the use of a drone to guide blind runners. *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2016, Reno, NV, USA, October 23-26, 2016*, pp. 263–264, 2016.
- [7] Tulip Mazumdar. Global blindness set to 'triple by 2050'. <https://www.bbc.com/news/health-40806253>. Accessed[2018-11-11].
- [8] 国立障害者リハビリテーションセンター「視覚障害者の理解のために」. http://www.rehab.go.jp/Riryohk_tebiki/hk_tebiki_info7_1.htm. Accessed[2018-12-20].
- [9] 身体障害者福祉法 - e-gov 法令検索. http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=324AC1000000283#B. Accessed[2018-12-20].
- [10] Anja Thieme, Cynthia L. Bennett, Cecily Morrison, Edward Cutrell, and Alex S. Taylor. "I can do everything but see!" - how people with vision impairments negotiate their abilities in social contexts. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2018, Montreal, QC, Canada, April 21-26, 2018*, p. 203, 2018.
- [11] Heinrich Michael Brambring. The play behavior and play materials of blind and sighted infants and preschoolers. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, Vol. 5, No. 88, pp. 421–432, 1994.
- [12] Paige Martin Cynathia M. Brame, Don Martin. Counseling the blind or visually impaired child: An examination of behavioral techniques. *Professional School Counseling*, Vol. 1, No. 5, pp. 60–62, 1998.

- [13] Christopher T Ray, Michael Horvat, Michael Williams, and Bruce B Blasch. Clinical assessment of functional movement in adults with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, Vol. 101, No. 2, pp. 108–113, 2007.
- [14] どんなスポーツ？ — 日本ブラインドサッカー協会 | blind soccer. <https://adapted-sports.com/blind-tennis/>. Accessed[2018-12-20].
- [15] ブラインドテニス — 障がい者スポーツドットコム. http://www.b-soccer.jp/aboutbs/aboutbs_1. Accessed[2018-12-20].
- [16] 盲人マラソン・伴走ガイド. <http://www.banso.com/mojin/guide/banso.htm>. Accessed[2017-11-15].
- [17] 視覚障がいについて知ろう. <http://jbma.or.jp/blind/>. Accessed[2018-12-21].
- [18] 伴走とは. <http://jbma.or.jp/challenge/guiderunner/>. Accessed[2017-11-15].
- [19] 2020パラリンピックへの道 視覚障害ランナーの伴走者は. <http://www.nhk.or.jp/shutoken/miraima/articles/00149.html>. Accessed[2017-11-15].
- [20] 吉川 恒夫横小路 泰義. 振動と教師視覚提示を用いた運動技能伝達法の提案と基礎実験. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 2, pp. 431–438, 1999.
- [21] Jan BF Van Erp, Ian Saturday, and Chris Jansen. Application of tactile displays in sports: where to, how and when to move. In *Proc. Eurohaptics*, pp. 105–109. Citeseer, 2006.
- [22] 山下和彦, 岩上優美, 今泉一哉, 佐藤満, 中島佐和子, 井野秀一, 川澄正史, 伊福部達. 定量的下肢筋力計測による虚弱高齢者のスクリーニング手法の開発. 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 130, No. 12, pp. 2210–2218, 2010.

- [23] T. Tanaka, S. Shirogane, T. Izumi, S. Ino, and T. Ifukube. The effect of brief moving vibratory stimulation on the feet for postural control in a comparison study. *Physical & Occupational Therapy In Geriatrics*, Vol. 24, No. 1, pp. 1–23, 2006.
- [24] Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Taro Maeda, and Susumu Tachi. Tactile feeling display using functional electrical stimulation. *Proc. 1999 ICAT*, p. 133, 1999.
- [25] Brian A Smith and Shree K Nayar. The rad: making racing games equivalently accessible to people who are blind. In *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems*, p. 516. ACM, 2018.
- [26] Marco Pieralisi, Valentina Di Mattia, Valerio Petrini, Alfredo De Leo, Giovanni Manfredi, Paola Russo, Lorenzo Scalise, and Graziano Cerri. An electromagnetic sensor for the autonomous running of visually impaired and blind athletes (part I: The fixed infrastructure). *Sensors*, Vol. 17, No. 2, p. 364, 2017.
- [27] Marco Pieralisi, Valentina Di Mattia, Valerio Petrini, Alfredo De Leo, Giovanni Manfredi, Paola Russo, Lorenzo Scalise, and Graziano Cerri. An electromagnetic sensor for the autonomous running of visually impaired and blind athletes (part II: The wearable device). *Sensors*, Vol. 17, No. 2, p. 381, 2017.
- [28] Ferdinand Kemeth, Sven Hafenecker, Ágnes Jakab, Máté Varga, Tamás Csielka, and Sylvie Couronné. Blindtrack: Guiding system for visually impaired-locating system for running on a track. In *icSPORTS*, pp. 183–189, 2014.