

サイクリングを楽しむ視覚障害者のための BGM生成による速度感の演出

星合 厚[†] 鈴木 敦志[†] 坂根 裕[†]
 菟川 友宏[†] 竹林 洋一[†]

視覚障害者向けのタンデム自転車における速度感をギター曲のトレモロ奏法を応用して演出する手法を提案する。晴眼者が景色の流れで速度感を常時得られるのに対し、タンデム自転車の後部座席に乗った視覚障害者は連続的な速度感を自然に感じることは難しい。速度感をBGM (Back Ground Music) のテンポに結び付ける方法は奏功しなかったが、撥弦楽器のトレモロ奏法に着眼し結び付けることで、景色の流れのような速度感の可聴化を実現できた。自転車のスポークがレーザー光を遮ることで生成されるBGMは、車速を感じるために聞き入ることもできれば、サイクリングをより楽しむためのBGMとして聞くことも、あるいは気にすらずとめずに聞き流すこともできる。実験を通じ、トレモロの速さによって速度感を得ることが可能であること、機構の直感性が担保されていることが確かめられた。

Producing Speed Cenesthesia for Visually Impaired Cyclists by Back Ground Music Generation

ATSUSHI HOSHIAI,[†] ATSUSHI SUZUKI,[†] YUTAKA SAKANE,[†]
 TOMOHIRO HARAICAWA[†] and YOICHI TAKEBAYASHI[†]

This paper proposes the technique that produces the speed cenesthesia for visually impaired cyclists by tremolo playing method used in guitar music. While a sighted cyclist constantly obtains a speed impression from the scenery, a visually impaired cyclist sat on the backseat of a tandem bicycle has difficulty in perceiving continuous speed impression. Though the first and straightforward way that associates the bicycle speed to a tempo is unsuccessful, the second way that associates the bicycle speed to tremolo speed succeeds in producing speed cenesthesia like scenery. The impaired cyclist can listen to the generated music to know the exact speed, or can simply hear the music as a BGM to enjoy the cycling itself, or can pay totally no attention to the music. Experimental results show that the tremolo is useful to perceive the speed, and also shows that the proposal offers instinct mechanism to hear the speed.

1. はじめに

視覚に障害があっても、タンデム自転車と呼ばれる2人乗りの自転車を用いることで、晴眼のサイクリストとともに自ら風を切って走ることができる。昨今、これが新しい楽しみとして認知され、浜名湖一周ツーリングをはじめとして、サイクリングイベントへの視覚障害者の参加が急速に増えつつある。

タンデムサイクリングにおけるインタラクションは、サイクリングそのもののインタラクションと、乗り手同士のインタラクションの2つに大別できる。サイク

リングそのもののインタラクションは、ペダルによる自転車への働きかけと、それにより得られる足への反力や、風、景色の流れといったフィードバックである。視覚に障害のあるサイクリストは景色の流れを感じることはできないが、そのほかのフィードバック要因に関する感覚は鋭敏である。ところが、視覚障害者のサイクリングイベントへの協力を重ねるうち、ツーリングの際には踏力が一定になるようにギアの制御がなされ、また、進路や時刻により風向きが変化するため、サイクリングの楽しみである速度感が意外に知覚しにくい情報であることが分かってきた。そのため、筆者らは音声読み上げ機能付きの車速計を開発し、車速を一定の速度間隔またはボタン操作で読み上げる試みを行っている^{1),2)}。

[†] 静岡大学
 Shizuoka University

もう 1 つのインタラクションは、前の乗り手とのインタラクションである。タンデム自転車では、一般に操舵が前の乗り手に一任されているため、後ろの乗り手は従属的な役割になりがちである。筆者らは、音声車速計により速度や走行距離の確認において対等な関係を与えることで単純な照会の必要をなくしてみたり、それに GPS を追加したものを試作し（角を曲がった先にコンビニがあるなど）後ろの乗り手にしか知りえない情報を与えて話題提供のきっかけを提供したりすることで、乗り手同士の関係や会話に変化を与える実験も始めている。これについても興味深い結果が得られつつあるが、サイクリングそのもののインタラクションである速度感のフィードバックだけでも大きな話題であり、本稿ではこれを中心に議論する。筆者らは音声車速計の開発でほぼ解決がみられると楽観視していたが、視覚に障害のあるサイクリストに試してみたところ、この装置で晴眼者と対等な速度感を知覚していると感じる者はいなかった。

そこで筆者らは、BGM (Back Ground Music) を利用することで、景色の流れから得る速度感にごく近い、新しい聴覚フィードバックを実現した。実現した方式は、車速をテンポに直接マッピングするような聴感的に不自然なものではなく、加減速を感じるために聞き入ることもできれば、サイクリングをより楽しむための（本来の意味での）BGM として聞くことも、あるいは気にすらとめずに聞き流すこともできる自然なものである。さらに、必要に応じて耳をかたむければ、そこから絶対速度を知覚することも可能である。また改善の余地はあるが、景色の流れにみられる速度感の聴覚マッピングの一手法として提案する。

2. 音による感覚代行

2 つ以上の乗車装置を縦列に備え、複数人でともにペダルを踏んで進む自転車をタンデム自転車（図 1）という。この自転車を用いることで、視覚障害者でも晴眼者とともにサイクリングを楽しむことができる。しかし、晴眼のサイクリストが景色の流れで速度感



図 1 タンデム自転車
Fig. 1 Tandem bicycle.

を自然に得ているのに対し、視覚に障害のあるサイクリストは、自転車の速度感を自然に感じることは難しい。筆者らも当初、ケイデンス（ペダリングの速度）や風当たりから容易に体感できるように考えていたが、ツーリングのコースは無風ではなく、起伏に応じたギアチェンジもつど行われる。また、車速への関心が高い下り坂では惰性により滑降するため、そもそもケイデンスは情報源にならない。

そこで、音による感覚代行によって速度を提示する手法を開発する。

2.1 可聴化の関連研究

情報を分かりやすく提示する手法として「可視化 (Visualization)」がある。これを聴覚に置き換えたものは「可聴化 (Sonification)」といわれる。自転車の速度という目に見えない情報は、景色の流れという形で可視化されている。本研究はその速度を可聴化する方式の 1 つを提案するものである。

モバイル・コンピューティングの分野では、速度を音量や音色の変化で提示する方式³⁾ や、進路をメロディの音高変化パターンで提示する方式⁴⁾ が提案されてはいる。可聴化に関する研究の中で、単なる警告音や不条理音階ではなく、環境音や音楽という形で情報を提示する方法を提案しているものがある。ことに、サイクリングという自然を楽しむスポーツでは、聞く側にとって不快感をとまわらないような提示方法を工夫しなければならない。

ネットワーク・サーバの動作状況を可聴化した実例がいくつかある。WebMelody⁵⁾ はサーバのログを解析し、イベントに応じて MIDI 演奏シーケンスやオーディオストリームをコントロールする。NeMos⁶⁾ はサーバで発生するイベントを複数の MIDI 演奏トラックそれぞれに対応させ、演奏の On/Off あるいは音量の変化として反映させる。Statho⁷⁾ はサーバの状態を解析して MIDI 演奏シーケンスを生成し、トラフィック量に応じて音程を変化させることができる。

これらはネットワーク管理者がつねに画面を監視していなくても済むように、パケットのトラフィック量やサーバの負荷状態を環境音や音楽で表現する。通常は BGM として聞き流すことができるが、音楽の変化によってトラフィック量や負荷の状況変化を感じることが可能となるように考慮されている。

2.2 サイクリングにおける可聴化

サイクリングにおける可聴化の例としては Cycling NEWS Navigator⁸⁾ があり、地磁気センサーで検出した方位情報を、発音間隔あるいは東西南北それぞれに設定された音楽の混合比によって提示している。

速度そのものの可聴化手段としては、音声で車速を知らせる音声車速計を開発するのが素直な方法といえる。視覚障碍のサイクリストも、経験を重ね自転車に乗れること自体への感慨が薄れるにつれ、車速や走行距離などのデータに関心が現れてくるが、これは当然の要望である。筆者らは、音声で車速や走行距離を発生するサイクルメータを熟練した視覚障碍のサイクリストと開発しており^{1),2)}、この装置は一時的には高い満足感を視覚障碍のサイクリストに与えたが、さらに経験を重ねるにつれ、前述のように、この装置で晴眼者と対等な速度感を知覚していると感じることは薄れていった。曰く、晴眼者は、景色の流れから車速を連続量として感じ取ることもできるし、逆にまったく気にかけないこともできる。また、必要に応じて車速計に目を落とし、景色の流れから感じる速度感を絶対速度に照らし校正してもいる。ボタンによる通知はその校正の用しかなさないうし、一定間隔で通知されることは感じ取ることとは別物であるという。景色の流れから得る速度感に近づけるためには、押し付けでない絶対および相対速度の知覚が重要となると考えられる。

一方、自転車の速度感の可聴化手段としては、スポーク（車軸から車輪に向けて張られた放射状の鋼線）に塩化ビニル板を当ててパタパタ鳴らし、オートバイのエンジン音に似せた鳴動を得る TurboSpoke という子供車用玩具が市販品としてすでに存在する。エンジンの回転数が車速に比例しているように、ギア比やケイデンスに影響されることなく鳴動周波数がそのまま車速に比例するため、絶対音感があれば絶対速度が把握でき、そうでなくてもおよそその速度感を得ることは可能である。TurboSpoke を入手し試してみると、原理の単純さにより感覚代行における直感性が担保されていることは評価された。しかし、生成される音の騒々しさと無機質さについては著しく不評であった。自転車向けの製品ではないが、デジタル信号処理によってオートバイのエンジン音をリアルタイムに合成する研究⁹⁾ や、さらに進んで様々な種類のエンジン音をデザインする研究¹⁰⁾ もなされている。音量は好みに調整できると考えられるが、音色については TurboSpoke とほぼ共通の印象であると考えられる。

このことから、サイクリングの速度感を可聴化するにあたっての課題を次の4点に整理した。以下は視覚障碍のある特定の熟練サイクリストとともに整理したものであり必要十分条件ではないが、サイクリングの速度感を可聴化する装置としては TurboSpoke をおいて参考になる前例はなく、以下の仮説のもとで試作のうえ、実験を通じて結果を検証することとした。

検討課題 A（聴感的な心地よさの実現）生成する音はサイクリストにとって不快でなく、かつ、周囲へ迷惑をかけたり、周囲から注目されたりすることなく提示できる必要がある。

検討課題 B（景色の流れに近い聴感の実現）生成される音は、景色の流れと同様に、車速を連続量として感じ取れることを可能とし、逆にまったく気にかけないこともできるように設計する必要がある。

検討課題 C（直感性の担保）手で触れて、音を聞いてその動作のしくみが直感的に理解できるものが望ましい。

検討課題 D（絶対速度の知覚）晴眼者が時折メータに目を落として絶対速度を得、視覚から得られる速度感を校正するのと同様に、可能であれば、耳をかたむけることで絶対速度を知覚し、速度感を校正できることが望ましい。

なお、従来にみられない装置を試作するにあたり決定すべき方式やパラメータは多数存在するが、視覚障碍のサイクリストが増えつつある中でも熟練者は少なく多地域に分散している。それら1つ1つの決定のために多くの人日を確保することは困難であるため、本論文では、筆者らや特定の熟練サイクリストが試作過程で合理性を確認したり、晴眼者による実験を通じた事前検証を行ったりしている。最終的に、その過程を経て試作した装置を視覚障碍の熟練サイクリスト複数人により検証するものとし、装置や車両の複製と経時実験による改良は改めて話題とする。

3. BGM による速度感の可聴化の検討

本章では、まず聴感に関する問題、すなわち検討課題 A および B について検討する。これらの課題を解決するには、音楽（BGM）を用いて速度感を表現することが有効と考え、以下の2方式を検討した。

車速による曲の切替え ジュークボックスのように曲を切り替える方式がまず考えられる。具体的には車速が上がるにつれアップテンポの曲に切り替えていくことで速度を表現する。周囲への音漏れを抑制する提示方式があれば検討課題 A については満足できるが、検討課題 B については、連続した速度感に適用することは困難である。

車速とテンポの関連付け 車速に応じて再生速度を変化させるといった表現法が考えられる。オーディオデータによる音楽の再生速度を変化させると通常は音高まで変化してしまう。音高を保ったまま再生速度のみを変化させる手法¹¹⁾ も存在するが、デジタル信号処理が必要である。MIDI を利用すれ

ばそれよりも容易に実現でき、検討課題 A に加えて B も満たしうる。

検討課題 A, B をともに満たしうる、テンポとの関連付けを実車テストした。車速の検出は、市販のサイクルメータ同様、マグネットとリードリレーを用いて車輪の回転を検出することで行う。リードリレーから得られる導通パルスの間隔を正確に計時することによりタイヤ 1 周長分走行するための所要時間を求め、そこから車速を計算している。導通パルスの検出と車速の計算にはワンチップマイコン (Microchip PIC16F873) を用い、内蔵の Flash ROM に書き込んだ MIDI 楽曲データを車速に比例させて送出した。楽曲データはポータブル MIDI 音源 (Roland PMA-5) が受信し、後席のハンドルに上向きに装着したアンブ内蔵の小型スピーカから出力する。スピーカ出力の場合、街中を走る場合には周囲へ迷惑をかけたり、周囲から注目されたりする可能性がある。この問題を解決するためのヘッドホンは、周囲の環境音を聞こえにくくし、視覚に障害のあるサイクリストに不安を与える可能性がある。そこで、骨伝導ヘッドホン (AUDIO BONE GDB-02) も用意した。

音楽を再生しながら走行してみたところ、後ろの乗り手には聞こえ、周囲の自転車にはさほど聞こえない音量のレンジが十分に確保されていることが分かった。結果としてはこのスピーカで十分であり、検討課題 (A) は満たせることが確認できた。

一方で、検討課題 (B) については、発進・信号停止・カーブによる減速などのたびにテンポがうねるように変化するため、MIDI により音高が保たれていても、ゼンマイの切れかけたオルゴールのように、BGM としての心地良さが著しく損なわれることは問題であった。

演奏速度の下限を 0 より大きくとると、可変範囲を制限するなどの対策をとると、速度の直感性が失われ、結果、BGM のテンポと速度を結び付ける方法を実用とするのは困難であることが分かった。音量や音色など他の要因と結び付ける必要があることが導かれる。ここまでの検討結果は以下のように整理される。

検討結果 A (聴感的な心地よさの実現) BGM を用いて速度を表現し、後部ハンドルに設置した小型スピーカから出力することで実現できると考えられる。

検討結果 B (景色の流れに近い聴感の実現) テンポと車速を比例関係にするのは連続量の聴覚表現として直感性が高い。しかし、BGM として心地良い車速の範囲は相当に限定され、加減速にも不快感がともなうことから、これを気につけないことには無理がともない、さらに検討の必要がある。

3.1 車速検出方式の改良

次に、検討課題 C について述べる。前述の実車テストでは BGM による速度感の提示手法については解決しなかったが、このテストを通じて、検討課題 C の直感性を満たす車速の検出方式が新たに考案された。車輪の左右に光線を張り、スポークがそれを遮るたびに音が鳴るようにするのである。視覚に障害のあるサイクリストでも、スポークの代わりに自らの指で光を遮って音を出すことで、その動作原理を容易に確認できるようにすることが狙いである。一般の 26 インチクラスのタンデム車では、36 本 (荷重によっては 48 本) 程度のスポークがあるのが普通である。26 インチ車では、快適な走行領域である時速 15 km ではタイヤは秒間およそ 2 回転する。実験に使用したタンデム車も 48 本のスポークがあり、この場合、楽曲は細かい刻み音符により構成されている必要がある。“Two-Part Invention, No.8 in F major” (二声のインヴェンション第 8 番; Johann Sebastian Bach, 1685-1750) など、該当する楽曲はいくつかあるが、通過のたびに音符を鳴らすとすれば、この曲であれば時速 0.9 km 程度で快適なテンポに達してしまう。

そこで、より速い速度で快適なテンポとなるよう、バトンホイールと呼ばれるスポークが極端に少ない車輪を用意し交換した (図 1 の前輪)。ソフトウェアでスポークを間引く手法では、手で光を遮っても音が鳴る場合と鳴らない場合が生じてしまい、直感性が損なわれると考えたからである。楽曲データとしては、写真のバトンホイールにあわせて、3 連符を基調とした著名なギター曲である “Romance de Amor” (禁じられた遊び; スペイン民謡) を用意した。計算上は、時速 14 km 前後で快適なテンポにできる。

光線には、LED でなく光束のシャープなレーザ光源を採用した。晴眼者もともに楽しめるよう、後輪ではなく前輪に設置し、レーザは可視光とすることで、あたかもスポークが光の弦をつまびいているかのような感覚が見えるようにもする。レーザを使用するため、誤って目に当たった場合の安全面を配慮して、クラス 1 出力のレーザ光電スイッチを採用した (図 2)。

筆者らが試乗してみた範囲では、この改良によって検討課題 C の直感性がより満たされるように感じたが、次の被験者実験で、視覚に障害のあるサイクリストにも聞き取り調査をすることとした。一方で、曲は走行速度に応じて大きく変化してしまい、聴感的な心地良さは得られないままであった。

検討結果 C (直感性の担保) 連符を基調とする楽曲とバトンホイールを用い、光線がスポークを遮るた



図 2 レーザ光電スイッチ
Fig. 2 Laser sensor.

びに鳴動させることで、自転車の快適な走行速度付近で原曲に近い鳴動が得られる。ボタンホイールが特殊であることと、検討課題 B であげたテンポのうねりは課題として残る。

3.2 トレモロ奏法の応用

新しい車速検出装置の試作を繰り返すうち、ギター曲にみられるトレモロ (tremolo) という奏法の利用に思い至った。トレモロのもともとの語義は「ふるえる」である。音高を連続的に変化させるピブラートとの区別は必ずしも明確ではなく、両者は混同されたり、名称のうえで交錯があったりした。また、3 度以上離れた音を交互に演奏する奏法もトレモロと呼ぶことがあるが、一般的には「同一音高の急速で規則的な反復¹²⁾」のことをいう。ギターやマンドリンのように弦をつまびいて音を出す楽器 (撥弦楽器) では音がすぐに減衰してしまい長く伸ばすことができない。そのため、音を長く伸ばしたのと同じ効果を得るために同音を小刻みに反復させる連撥奏法が用いられる。この反復の周期を変化させることで、テンポへの影響なく速度感の音楽表現が可能となり、車速の変化に対して広範囲で検討課題 B を満たすものと考えた。

トレモロ奏法で有名なギター曲としては “Recuerdos de la Alhambra” (アルハンブラの想い出; Francisco Tarrega, 1852–1909) などがあげられる。メロディ部分は全曲にわたってトレモロ奏法が続き、ベース部分は一定のリズムで演奏される。厳密にはこの曲のトレモロは 32 分音符で書かれており、しかもベース音が鳴るタイミングでは休符となっている。しかしながら、トレモロの楽曲には連撥の速さを規定しない *trem.* (できるだけ速く) という記譜法で書かれたものもあり、演奏者の裁量の幅に関していえば、楽曲自体のテンポよりは寛容であると考えられる。

そこで、レーザをスポークが遮るたびにメロディーラインのトレモロ音を生成する一方、ベース音は一定のテンポで演奏させる。これにより、加減速にかかわりなく、どのような楽曲もそれぞれの原曲に適切なテンポで提供し続けることができる。楽曲は BGM とし

てなんとなく聞き流すこともでき、注意して聞けば、ベース音のリズムを基準として相対関係でトレモロ周期、すなわち絶対車速を知覚することもできる。これは、晴眼者がときどきサイクルメータに目をやり速度感の校正をするモデルそのものの聴覚マッピングであると考えられる。

ここまでで、未解決部分を含んでいた検討結果 B、C と、残る検討事項 D について、さらに以下のように整理された。

検討結果 B' (景色の流れに近い聴感の実現) 車速をトレモロの細かさに関連付けることにより原曲のテンポを壊すことなく演奏ができるため、車速をテンポに関連付けたときに生じる不快さが除ける可能性がある。

検討結果 C' (直感性の担保) スポークで光線を遮りトレモロを演奏する。手で触れて容易に原理が理解できるばかりか、トレモロは細かい反復のため、特殊なボタンホイールによらず、普通のホイールが利用できる可能性がある。テンポのうねりについては検討結果 B' で解決している。

検討結果 D (絶対速度の知覚) トレモロ奏法を利用し刻みの細かさを変えることで、原曲に準じて一定に保たれたテンポとトレモロの比から絶対速度が知覚できる可能性がある。

4. 速度感フィードバック装置の設計

以上の議論から、トレモロによる速度感フィードバック装置の設計課題としては、以下が整理された。

トレモロ周期の変更が聴感に与える影響 まず、基本的な課題として、トレモロ周期によって速度感が得られるかどうかを調べる必要がある (相対速度に関して検討結果 B'、絶対速度に関して検討結果 D の検証)。次に、先述のように、トレモロを原曲とは異なる周期で演奏すること自体は音楽的に許容されるものと考えられる。しかし、その周期を大きく変えてしまったときに曲として成り立つか否か (検討結果 B' に関する検証)。

直感性と心地良さの両立 図 1 に掲げたボタンホイールは、自転車の車輪の中でもかなり特殊な部類に入る。48 本のスポークを有するタンデム車では、スポークがレーザ光を遮るたびにトレモロ音を発音させると、わずかに時速 2.5 km で繰返し周波数は 16 Hz に達してしまい、トレモロ周期としてはこのあたりが上限である。快適な走行速度でいかにもトレモロらしい周期となるような間引き率 N を見出し、スポーク頻度を間引けばよいが、単純

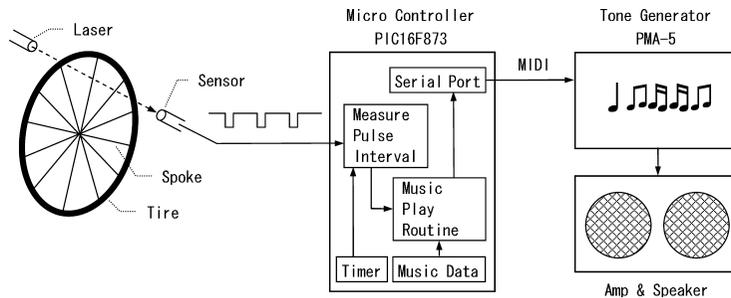


図 3 ハードウェア構成

Fig.3 Hardware block diagram.

に $1/N$ に間引いたとすれば、手で触れて光の弦を弾こうとしても N 回に 1 回しか音が鳴らなくなる。直感性を損なわない間引き方が実現可能か否か（検討結果 C に関する検証）。

徐行域と走行域の接続 スポーク頻度を間引かない徐行域と間引きを行う走行域を設け、この両者をスムーズに接続できれば、直感性と心地良さは両立できる。しかし、急に切り替わるのは不自然であり、その瞬間に直感性が失われる可能性がある。これを回避するには滑らかな遷移が必要となるが、そのような遷移が実現可能か否か（検討結果 B' に関する検証）。

テンポの変化 トレモロ周期だけで表現可能な車速の範囲には限界がある。そこで、徐行域の非常に遅い領域ではテンポをやや遅く、走行域の非常に速い領域ではテンポをやや速くすることで、できるだけ広い範囲で心地良さを維持できるような仕掛けが実現可能か否か（相対速度に関して検討結果 B'、絶対速度に関して検討結果 D の検証）。

4.1 速度感フィードバック装置のハードウェア

まず、全体構成を図 3 に示す。実装には所有している 26 インチのタンデム自転車を利用することとし、前輪にはレーザ光電スイッチ（Keyence LV-S71）の取り付け加工を行っている。前輪の外周は 209 cm、スポーク数は 48 本であることから、前輪の回転にともない、光線は時速 1 km につき 6.38 Hz の割合で遮られる。

光電スイッチの信号はワンチップマイコン（Microchip PIC16F873）に導かれる。スポークがレーザ光を遮ると光電スイッチがオンとなりワンチップマイコンの入力ポート兼割込端子がローレベルになる。レーザ光を遮る時間間隔をソフトウェア処理で計測し車速を求めるとともに、音楽演奏情報を生成して出力ポートから MIDI 音源（Roland PMA-5）に信号を送出する。

4.2 速度感フィードバック装置のソフトウェア

ワンチップマイコンを動かすためのソフトウェアは C 言語で記述した。動作クロックは 10 MHz で、特に処理速度を意識することなくリアルタイム動作が可能である。光電スイッチからの信号は入力ポートのエッジ検出機能を使って割込みを発生させる。車速の計測、演奏のための基準クロックにはタイマ割込みを使用し、基準となる演奏テンポは 4 分音符が 1 分間に約 64 拍となるように設定した。この値は動作クロック周波数とタイマ・カウンタに設定しうる数値とから算出されるものである。MIDI 出力はシリアル・ポートを非同期式の 31.25 kbps、パリティなし、ストップ 1 ビットに設定すればよい。楽曲データはワンチップマイコンの Flash ROM に書き込んである。

5. 方式および各種パラメータの決定

車速とテンポを対応づけるのではなく、車速とトレモロ周期を対応させる。4 章であげた 4 つの設計課題のうち、トレモロ周期の原曲からの乖離と聴感への影響については楽曲としての感覚の問題であるので、被験者実験で直接評価するよりない。以下では、残る設計上の課題について整理する。

5.1 直観性と心地良さの両立

トレモロの実装にあたっては、設計課題で述べたとおり、徐行域と走行域とのそれぞれにおいて直感性が損なわれないことが重要である。

徐行域 低速時にはスポーク 1 本 1 本に対応したトレモロ音をそのまま発音させる。実際の走行ではこの速さで走り続けることはなく、すぐに走行域に突入するが、指で光線を遮ったり、手で車輪を回してみたりした場合に動作原理を確認してもらうために必要な領域である。

走行域 走行時にはスポークがレーザ光を遮ったことを検出し、 N 回につき 1 回の割合に間引いたトレモロ音を発音させる。この方式は車速に対してト

レモロの速さが比例するので直感性が保たれる．各パラメータの設定にあたっては，車速に対するトレモロ周期をどの程度の速さに設定するかによって聴感上の印象が異なってくることに注意する必要がある．ここでは，音楽的な制約を重視して各種パラメータを定める．

徐行域をどの程度までとすべきかについては，間引かずにトレモロを演奏して無理のない時速から逆算した．演奏テンポが 64 拍/分のとき，32 分音符で記された原曲のトレモロ頻度は 8.53 Hz である．これの 1.5 倍再生程度までは無理なくトレモロが聞き取れたことから，逆算して，時速約 2 km まではスポーク 1 本 1 本に対応したトレモロ音をそのまま発音させても音楽的に無理がないものと考えられる．したがって，今回は徐行域を時速 2 km までの領域と定めた．

次に，走行域での間引き率 N については，定常走行である時速 15 km 付近で原曲に近いトレモロ頻度となるように逆算して定めた．時速 1 km につきスポーク頻度が 6.38 Hz，原曲のトレモロ頻度が 8.53 Hz であるから， $15 \times (6.38/8.53) = 11.2$ より，間引き率として最も近い整数は $N = 11$ と算出された．

5.2 徐行域と走行域の接続

直感性を損なわないように留意しながら，図 4 にみられる「間引きしないトレモロ音」と「 $1/N$ に間引きしたトレモロ音」とをスムーズに接続させる必要がある．

接続域 間引きしたトレモロ音は速度に関係なく一定の音量で発音させ，それに間引きしないトレモロ音を重畳する．後者は速度の上昇に従ってアタック部の連続に近くなるので，次第に音量を絞って，走行域の車速までに発音を停止させる．

間引きしないトレモロ音を重畳することにより，手で触れた場合や走り出しは，スポーク 1 本 1 本に対してトレモロ音を鳴らすことができる．間引きしたトレモロ音は速度に関係なく一定の音量で発音させているが，頻度が $1/N$ のため間引きしないトレモロ音が鳴っているうちは目立たない．速度が上がると間引きしないトレモロ音が小さくなるにつれて，スムーズに入れ替わったように聞こえてくる．

このような仕掛けによって，徐々に速度が速くなった場合には間引きが始まる様子を連続的に提示することができる．間引きしたトレモロ音と間引きしないトレモロ音は同一の音高で発音するため，音源側の仕様によって意図しない音の途切れを生じることがあるが，これは間引きしたトレモロ音と間引きしないトレモロ音とで MIDI のチャンネルを分けることで解決できる．

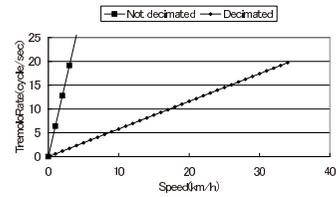


図 4 トレモロ周期対車速

Fig. 4 Tremolo rate vs. bicycle speed.

間引きしないトレモロ音の発音を停止させる速度は，音源の反応の仕方に依存するため，採用した音源を基準に，異音に聞こえない程度の 45 Hz を限度とした．これは実験車両では時速約 7 km に相当する．したがって，走行域を時速 7 km 以上と定め，徐行域（時速 2 km）を超えたのち走行域（時速 7 km）に達するまで，間引かないトレモロの音量を次第に絞っていくこととした．走行域突入付近では，間引かないトレモロは微かな連続音として聞こえ，間引いたトレモロと入れ替わったように聞こえるはずである．

5.3 テンポの変化

うねるようなテンポの変化を避けるため，テンポは終始一定に保つのが原則である．しかし，間引きをしない徐行域と間引きをする走行域との違いを区別しやすくするため，また，間引きしたトレモロでも表現しにくくなってしまいうような高速域のため，ベースのテンポを多少加減して速度感を補うこととした．自転車停止しても，テンポがやや遅くなるだけでベースの演奏は続けられる．このため，車速とテンポを関連付けたときのようなテンポのうねりは回避されている．**テンポの変化** 徐行域と接続域ではベース音のテンポをやや遅くすることで，走行域よりもゆっくりした感じを出し，間引きをしない徐行域と間引きをする走行域との違いを区別しやすくする．また，トレモロが速くなりすぎて速度感が得られなくなってしまうような高速域では，ベース音のテンポをやや速くすることで速度感を維持する．

トレモロが 15 Hz を超えたあたりから次第にトレモロが細かくなりすぎる領域に入ってくるが，これは実験車両では時速約 25 km に相当し，時速 25 km 以上を高速域と定めた．この境界やテンポ変化の設定に関しては，演奏を聴きながら筆者らの主観的な判断によって行った．調整したテンポの変化を図 5 に示す．

6. 晴眼者による予備実験と考察

まず，トレモロの速さによって速度感が得られるかどうかを確認するため，晴眼の大学生（20 代前半）10 名を被験者として実験を行った．年齢には偏りがあり，

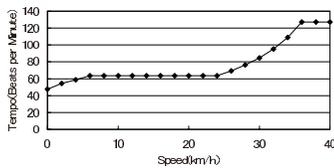


図 5 テンポ対車速

Fig. 5 Tempo vs. bicycle speed.

晴眼者に対してアイマスクをしても視覚障害者と同様の実験結果が得られるわけではない。しかし、そもそも失われた視覚情報がトレモロによって聴覚情報で代行できる可能性について、ある程度の被験者数で検証できないようであれば、提案手法自体が成立しない。

6.1 実験手順

流れる景色のような速度感を得られているかどうかの検証は、以下の 2 つの観点によって行う。

数値評価 風景の見える状態と見えない状態で車速の知覚に差があるかどうか（晴眼の被験者のみ）、また、見えない状態に BGM を加えたものについて、演奏が車速の知覚の手がかりになっているかどうかを、被験者の答える車速の確からしさによって評価する。

主観評価 景色の流れのように BGM を気につけないことができるか、相対速度を感じられるか、音楽として楽しめるかなどは、被験者に聞き取り調査を行って評価する。

実験者はタンデム自転車の前方に、被験者は後方に乗車する。はじめに速度を教示しながら走行し、次に検査として提示した走行状態のときに、現在時速を回答させる。教示する速度は時速 5, 10, 15, 20, 25, 30 km で、この順番に教示する。教示は 1 回ずつしか行っていないが、各教示速度で十分に長い時間走行することで、被験者が速度との関係を把握できるように配慮する。検査では、提示する速度は教示したときと違って必ずしも 5 km きざみではなく 1 km 単位であることをあらかじめ伝えておき、時速 6, 12, 18, 24, 30 km を順不同に提示する。また、提示する順番はすべての被験者で同じにした。晴眼者の実験手順を表 1 に示す。

6.2 実験結果

実験の結果、図 6 ならびに表 2 に示す結果を得た。数値評価については、車速の知覚が重要であるため、いくら分散が小さくても全員が揃って真の値から外れているようでは意味をなさない。そのため図 6 では、通常の平均と分散という指標のほかに、真の車速からみた誤差の二乗平均平方根を人数で正規化したものをプロットしてある。

表 1 晴眼者の実験手順
Table 1 Experimental procedure (sighted).

| | |
|----------|--|
| 教示 1 | 見える状態で教示。 景色の変化と時速とを関係付ける。 |
| 検査 1 | 見える状態で時速を回答させる。 提示する速度は 24, 12, 6, 18, 30 km の順。 |
| 検査 2 | 目隠して時速を回答させる。 提示する速度は 6, 18, 12, 30, 24 km の順。 |
| 教示 3 | 目隠して教示。 ベース非同期演奏で時速とを関係付ける。 |
| 検査 3 | 目隠してベース非同期演奏を聞きながら回答させる。 提示する速度は 30, 12, 18, 6, 24 km の順。 |
| 走行条件・市街地 | <ul style="list-style-type: none"> 風の条件はできるだけ同じになるように ギアは適宜切り替える |

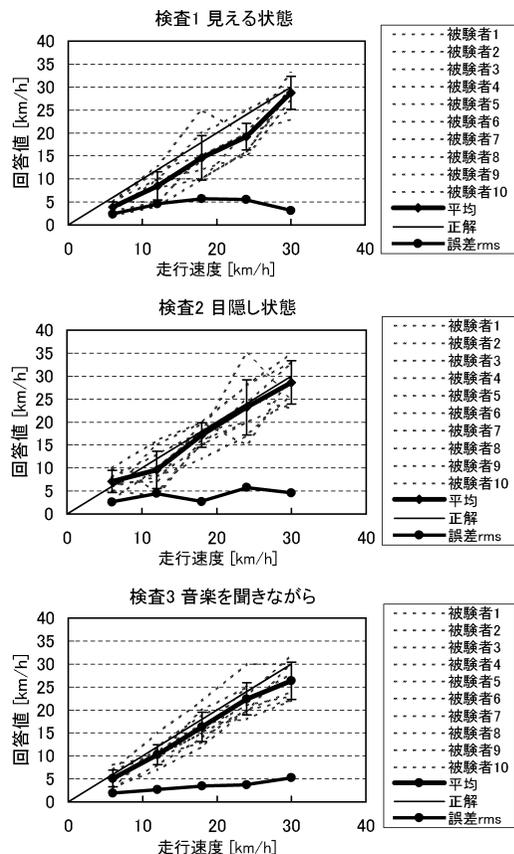


図 6 実験結果（晴眼者）

Fig. 6 Result (sighted).

6.3 考察

検査 1 の見える状態では平均的に実際よりも低めの値を答える傾向にあった。検査 2 で目隠しすると、見える状態よりも高めに答える傾向が現れ、平均値は正解に近づいた。しかし、標準偏差による誤差範囲は大きくなる。検査 3 で演奏を聞くことにより、誤差範囲

表 2 被験者（晴眼者）の個別感想
Table 2 Subjects' impressions (sighted).

| |
|--|
| 1) アイマスクをして走行したことに ついて |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 右に傾いているように感じる。 ・ クランクの回転数、風の音やタイヤの音からも速度感を得ていた。 ・ 自分がどこにいるのかわからなくなってくる。 ・ あまり速度感がなくなって、静止している感じ。 ・ 室内用の自転車に乗っているような感じ。加速、減速はわかるが、速度はよくわからない。 |
| 2) トレモロ演奏を聴いて走行したことに ついて |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 5～15 キロぐらいでは、速度の変化がわかりやすかった。上のほうはよくわからなかった。 ・ 25 キロを越えたあたりから、ほかの音であまり聞こえなくなる。 ・ 自分の自転車につけてみたい。 |

は検査 1 と同程度に収まっており、BGM が車速の知覚に役立っていることが示唆される。誤差の二乗平均平方根には顕著な差はみられない。

主観評価としては、トレモロ音がベース音のリズムとは無関係に鳴ることによる音楽的な不自然さが気になると回答した被験者はなく、車速の変化に対するトレモロ周期の変化がスムーズであることに対して好感が持たれた。しかし、ベース音とトレモロ音を音楽的に同期させることによって、課題 D における絶対速度の知覚を容易にできる可能性が考えられる。

6.4 ベース音とトレモロ音を同期させた間引き手法

ベース音とトレモロ音を音楽的に同期させるため、視覚障害者を対象とした実験に先立ちもう 1 つの間引き手法を実装した。ベース音 1 個につきトレモロ音を何連符で鳴らすかを車速に応じてコントロールする。具体的にはスポークがレーザ光を遮る頻度から時速値を計測し、その値に対応した連符数のトレモロ・パターンで発音させる。はじめは、非同期のトレモロとできるだけ近い連符になるような丸めパターンを試作した¹³⁾が、連符数と車速との関係は覚えやすいものではなかった。そこで、直感的に分かりやすいよう、今回は時速 5 km 刻みで連符数を変えるように設定した。これにより、連符数 × 5 の値がそのトレモロ・パターンの上限速度値となり、たとえば 3 連符ならば時速 15 km 以下であると判断できる。時速値とトレモロ・パターンとの関係を図 7 に示す。この方式をベース同期と呼び、従前の走行域での単純な間引きはベース非同期と呼んで区別する。

ベース同期式はベース音とトレモロ音との音楽的な同期を保つことが優先されるため、車速に対してトレモロの速さが段階的に変化し、直感性はやや低下する。しかし、何連符のときは何 km という対応を覚えておけば、連符数を聞き取って時速値の範囲を言い当てることも可能となる。これをつねに意識して数えるのは



図 7 トレモロ・パターン

Fig. 7 Tremolo pattern.

骨が折れるが、絶対的な時速値を知りたくなったときにのみ意識すればよいものと考えられる。

検討結果 D' (絶対速度の知覚) トレモロの連符数に車速をコーディングすることにより、絶対速度の知覚が容易になる可能性がある。

7. 視覚障害者による評価実験

検討結果 D' の機能追加を行ったうえで、視覚に障害のある熟練サイクリスト 6 名（中途失明者 1 名および先天性視覚障害者 1 名、後日さらに中途失明者 4 名の協力を得た）により各 1 回の実験を行った。ただし、実験実施の都合により音を聞かない状態での計測は後日の 4 名のみである。被験者の年齢は、30 代後半、50 代後半、60 代後半に分布している。

7.1 実験手順

実験手順の大半と解析手法は、視覚障害者による主観評価を重視することのほかは、晴眼者に対して行った予備実験と同様である。

数値評価 ベース非同期式、同期式による実験を行う。

速度の教示・提示の方法は晴眼者の場合に準ずる。

ベース音の同期/非同期の違いについては被験者には伝えずに検査を行い、後から違いについての聞き取り調査を行う。手順を表 3 に示す。

主観評価 晴眼者実験と基本的には同様である。

7.2 実験結果

実験の結果、図 8 ならびに表 4 に示す結果を得た。図 6 同様、通常の平均と分散という指標のほか、真の車速からみた誤差の二乗平均平方根を人数で正規化したものをプロットしてある。

7.3 考察

晴眼者と同様のベース非同期式による教示 3' と検

表 3 視覚障害者の実験手順

Table 3 Experimental procedure (visually impaired).

| | |
|-------|---|
| 教示 2' | 音楽のない状態で教示し、時速と関係付ける。 |
| 検査 2' | 音楽のない状態で回答させる。 (検査 2 と対応させる目的で実施) |
| 教示 3' | ベース非同期演奏で教示し、時速と関係付ける。 |
| 検査 3' | ベース非同期演奏を聞きながら回答させる。 (検査 3 と対応させる目的で実施) |
| 教示 4' | ベース同期演奏で教示し、時速と関係付ける。 |
| 検査 4' | ベース同期演奏を聞きながら回答させる。 提示する速度は 24, 12, 6, 18, 30 km の順。 |

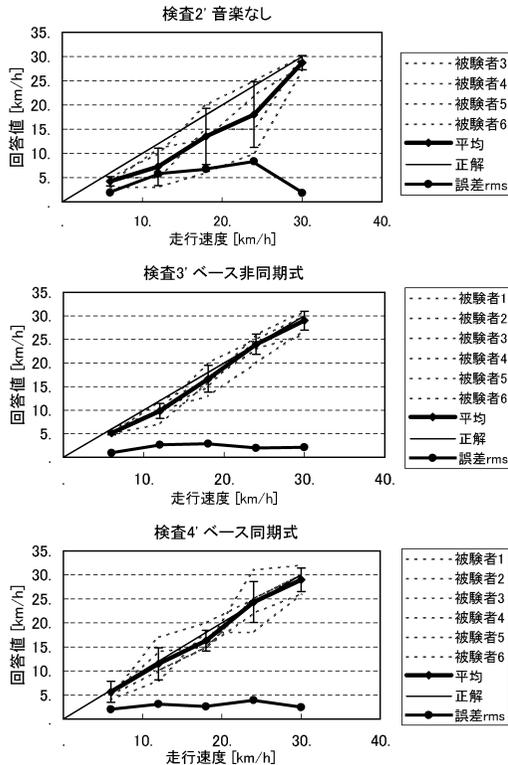


図 8 実験結果 (視覚障害者)
Fig. 8 Result (visually impaired).

査 3' の結果においては、真の車速との高い相関がみられる。先天性視覚障害者 (被験者 2) と中途失明者間、ならびに世代間では、顕著な差はみられていない。晴眼者との比較では、視覚障害者群のほうが誤差の二乗平均平方根は小さい。このことから、視覚障害者の鋭敏な感覚によれば BGM 自体が不要ではないのかという疑念が生まれる。そこで、後日に実験を行った 4 名では、BGM を取り去った教示 2' と検査 2' を追加している。これは晴眼者実験においてアイマスクをした場合と条件的には同等である。結果としては、検査 3' より誤差と分散がともに大きくなり、風や音のように、相手も動きうるような手がかりだけでは車速

表 4 被験者の個別感想

Table 4 Subjects' impressions (visually impaired).

| | |
|-------|---|
| 被験者 1 | <ul style="list-style-type: none"> ・原理は容易に理解できる。 ・2 つの方式は、後 (同期式) のほうが分かりやすい。 ・日頃は風、横を通り過ぎていく車の雰囲気、車輪の音などで、正しいかどうかはともかく車速を感じている。 ・実験時は演奏音に集中するために外からの音を排除した方がよかったと思う。 ・トレモロ周期が連続的に変化するよりも、段階的に変化した方が車速をとらえやすい。 |
| 被験者 2 | <ul style="list-style-type: none"> ・原理は容易に理解できる。 ・2 つの方式は、後のほうが分かりやすい。 ・つねに速度を知りたいとは思わない。 ・旋律と伴奏の音質は変えた方がいいが、速度表現としてはいいと思う。 ・5 連符は音楽的になじまない。 ・トレーニングのような用途で、一定速度で走り続ける場合のガイドとして使えそう。 |
| 被験者 3 | <ul style="list-style-type: none"> ・原理は容易に理解できる。 ・2 つの方式は、慣れないとよく区別できない。 ・聴こうと意識しなければ普通の音楽。 ・時速 20 km ~ 25 km 付近が分かりにくい。 |
| 被験者 4 | <ul style="list-style-type: none"> ・原理は容易に理解できる。 ・2 つの方式は、後のほうが分かりやすい。 ・聞き流してもいいのが面白い。 ・速度はつねに必要なではないから。 ・速度の上昇/下降が確実に分かった。 ・自分用に欲しい。 ・音なしの状態ではカンで答えていたが、音ありは確信を持って答えることができた。 ・音楽としては滑らか。 ・自分の好きな音楽で聞けるとよい。 ・数ヶ月乗り込んで実験したい。 |
| 被験者 5 | <ul style="list-style-type: none"> ・原理は容易に理解できる。 ・2 つの方式は、まだよく区別できない。 ・時速 15 km ~ 20 km 付近が分かりにくい。 ・周囲の騒々しさにあわせて、自動で音量を調節してほしい。 |
| 被験者 6 | <ul style="list-style-type: none"> ・原理は容易に理解できる。 ・2 つの方式は、前 (非同期式) のほうが分かりやすい。 ・加減速は分かりやすい。 ・長距離のときは楽しそう。 ・トレモロが使えんということは考えもしなかった。 ・いいアイデアだと思う。 ・音楽以外のスピード感でも見当はつけられると思う。 |

の知覚が困難になることが示唆される。なお、検査 2' において、値を大きく外れた被験者 5 (50 代後半) を除外してもなお、検査 3' のほうが分散と誤差が小さく抑えられていることから、試作機は車速の知覚に寄与していることが強く示唆される。

より車速を知覚しやすいと考案したトレモロ同期式の BGM は、検査 4' のグラフのように、逆に分散を大きくする結果になった。これは、同期式の場合は同じ連符でも速度にもともと時速 5 km の幅があることもあるが、検査 3' との整合のため教示を連符のスレッ

シヨルド漸近で行ったことから、そこから少しでも速度が上がるとパターンが変化してしまい、教示の段階で被験者にも混乱があったためと考えられる。4 連符までは全員が聞き取れていたと回答したため、連符としてエンコードされた車速の読み取り方を先に教示しておけば、車速（正しくは、車速のレンジ）を正しく答えることは難しくなかったと考えられる。連符の聞き取りやすさに関しては、後の主観評価で再度言及する。

主観評価については、原理の分かりやすさに関して全員が好意的な回答をした。同期式と非同期式の区別については、同期式のほうが段階的で分かりやすいという声が多かったが、区別できない、非同期のほうが分かりやすいという意見もあわせて同数あり、実験手法やスレシヨルド、ヒステリシスなどの設定も含めて今後の課題である。

また、実験条件が揃えられず同一グラフ上にプロットできなかったが、先天性視覚障碍の被験者が少なかつたため、追加でもう 1 名の熟練サイクリストに感想を求め、楽しい、風と音がマッチしていた、トレモロはいい表現、音楽があるだけでも楽しいのに速さと運動しているのが楽しいなどのコメントを得た。このサイクリストは、原理が容易に理解でき、同期式のほうが分かりやすいという立場であった。逆に、現状の課題としては、(筆者らが入力した MIDI データでは) 楽曲としての強弱表現などに乏しい、5 連符は聞き取りにくい、音域や楽器が増えるときより楽しい、他の演奏データも用意してもらいたいなどのコメントを得た。さらに、将来の課題としては、被験者 4 と同様、任意の楽曲が演奏できたり、フィルインも加わるようにしてほしいなどの要望もあった。

被験者 3~6 については TurboSpoke も体験していただいた。被験者 4 が直感性についてのみ高く評価した以外は、音の騒々しさと無機質さについては全員が好ましくないとの意見であった。なお、主観評価にあたっては、筆者らは「トレモロ」という用語を被験者に対して使用していない。「トレモロ」を含むコメントは、被験者自らがそれを口にしたものである。

8. む す び

景色の流れのような視覚的速度感と同様な感覚を聴覚情報として提供するために、BGM を利用することを検討した。車速を感じるために聞き入ることもできれば、サイクリングをより楽しむための(本来の意味での) BGM として聞くことも、あるいは気にすらずとも聞き流すこともできる。

曲のテンポを車速に応じて変化させる方法では BGM としては成立しなかったが、トレモロという奏法を利用したことが特徴である。BGM で速度感を与えるに際しての検討課題 A~D は、それぞれ以下のように解決した。

実装結果 A (聴感的な心地よさの実現) それぞれの楽曲に合ったテンポを大きく変えることなく BGM を演奏し、後ろのハンドルに取り付けた小型スピーカから提示する。信号停止の際もアルペジオは鳴り続け、うねるようなテンポの変化もない。

実装結果 B (景色の流れに近い聴感の実現) 気にかければおよその速度がつかめ、逆にまったく気にかけないこともできる。これは、流れる景色による速度知覚の聴覚マッピングの一手法であるといえる。

実装結果 C (直感性の担保) 前輪の左右に張られたレーザ光を連続して遮断することでトレモロが鳴る構造とした。視覚障碍者のいずれもが、原理が直感的に理解可能であると回答した。また、徐行域、走行域の範囲や各種パラメータも直感性を重視して決定した。

実装結果 D (絶対速度の知覚) ペース同期モードで乗車することで、耳を傾けて絶対速度を知り速度感を校正することができる。これは今後、視覚でおおよその速度をつかみながら、時折車速計に目を落として速度感を校正することの、聴覚マッピングにつながる可能性がある。

MIDI 演奏の特徴であるインタラクティブな演奏の即興的修飾を生かし、マイコンと MIDI 音源という手頃かつ簡素な装置で速度感のフィードバックに新しい可能性を示すことができた¹⁴⁾。晴眼者に対する実験から、視覚障碍者だけでなく晴眼者にとっても楽しいサイクリングを演出できる可能性も見えた。また、一定速度で走るためのガイドとしても応用できる見通しが立った。

今後、速度感のフィードバックにおいては、トレモロ音の分かりにくい領域の改善、他の楽曲への応用、トレモロ以外の演奏表現による速度感の可聴化、速度感以外の情報の演奏表現による可聴化といった課題についてさらに研究を進める予定である。さまざまな曲がギターやマンドリン向けに編曲されているが、それでもトレモロの素材は多くはない。車速に応じて、任意の楽曲にパーカッションでフィルインを入れるなどは、1 つの可能性の追求であると考えられる。また、このような速度知覚の手段の提供や、後ろの乗り手にしか知りえない情報の提供により生じる乗り手同士のインタラクションの変化についても、さらなる実験と分析を進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 鈴木敦志, 仲川 淳, 米田幸裕, 桐山伸也, 菟川友宏, 竹林洋一: 教材としての実用福祉機器の製作, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.30, No.36, pp.65-70 (2006).
- 2) 平野夏美, 中山竜太, 仲川 淳, 鈴木敦志, 菟川友宏: 音声サイクルメータの制作, 文部科学省サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト報告書, pp.47-56 (2005).
- 3) Holland, S. and Day, R.: Spatial Audio Navigation and Minimal Attention User Interfaces, *MobileHCI'04*, pp.43-53 (2004).
- 4) Crease, M. and Lau, T.Y.: Evaluating the Use of Sound as a Navigational Aid on a Mobile Device - Discussion, *MobileHCI'04*, pp.19-24 (2004).
- 5) Barra, M., Cillo, T., De Santis, A., Ferraro Petrillo, U., Negro, A. and Scarano, V.: Personal WebMelody: Customized Sonification of Web Servers, *Proc. International Conference on Auditory Display (ICAD)*, pp.1-9 (2001).
- 6) Malandrino, D., Mea, D., Negro, A., Palmieri, G. and Scarano, V.: NeMoS: NETWORK MONITORING WITH SOUND, *Proc. International Conference on Auditory Display (ICAD)*, pp.251-254 (2003).
- 7) 木本雅彦: 自立運用小規模ネットワークの構築に関する研究, 東京工業大学大学院情報理工学研究科平成 15 年度博士論文 (2004).
- 8) 城 一裕, 田中一彦: Cycling NEWS Navigator: 方位情報の可聴化システムを実装した自転車, *インタラクション 2002 論文集*, pp.155-156 (2002).
- 9) 前田 修: エンジン音リアルタイム合成技術の開発, *ヤマハ発動機技報*, No.32 (2001).
- 10) 前田 修: 二輪車サウンドデザインツールと新型サウンドシミュレーター, *ヤマハ発動機技報*, No.39 (2005).
- 11) 今井 篤, 清山信正, 都木 徹, 宮坂栄一: リアルタイム話速変換装置とその応用—デモンストラーション, *情報処理学会音楽情報科学研究報告*, Vol.1998, No.14, pp.41-42 (1998).
- 12) 下中邦彦: 音楽大事典, 第 4 巻, p.1673, 平凡社 (1982).
- 13) 星合 厚, 鈴木敦志, 藤城卓己, 坂根 裕, 菟川友宏, 竹林洋一: あるタンデムの思い出: BGM 演奏による速度感の演出, *インタラクション 2006 論文集*, pp.221-222 (2006).
- 14) 星合 厚, 鈴木敦志, 藤城卓己, 坂根 裕,

菟川友宏, 竹林洋一: あるタンデムの思い出 (ムービー), *インタラクション 2006 付属 CD-ROM (/interactive/0167/movie0167.wmv)* (2006).

(平成 19 年 4 月 6 日受付)

(平成 19 年 9 月 3 日採録)



星合 厚 (正会員)

1982 年京都大学工学部電子工学科卒業。同年ローランド株式会社入社, 現在に至る。静岡大学大学院電子科学研究科博士課程在籍中。



鈴木 敦志

2006 年静岡大学情報学部情報科学科卒業, 現在, 同大学大学院情報科学研究科在籍。組み込みシステムとヒューマンインタフェースの研究に従事。



坂根 裕 (正会員)

2000 年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。2002 年静岡大学情報学部助手。コンテンツ配信, 情報保障に関する研究・開発に従事。



菟川 友宏 (正会員)

2000 年筑波大学大学院工学研究科修了。同年静岡大学情報学部助手として着任。情報家電の研究に着手。現在の興味は, 手頃な情報保障

のためのモデル作りとアクセシビリティ向上のための機器連携フレームワーク。



竹林 洋一 (正会員)

1980 年東北大学大学院博士課程修了。以来, パターン認識, ヒューマンインタフェースの研究に従事。東芝研究開発センター知識メディアラボラトリー技監を経て, 2002 年から静岡大学に勤務, 現在, 創造科学技術大学院教授。