

# 指でつまむと引っ張られる感覚を生み出す装置「ぶるなび3」

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では、物理的には引っ張っていないにもかかわらず、あたかも手を引かれるような感覚をつくり出す力感覚提示手法の研究を進めています。これまでも「非対称振動」を利用することで引っ張られるような感覚をつくり出せることを示し、その知覚特性や応用装置の研究を行ってきましたが、装置が固定電話の受話器ほどの大きさのため可搬性に乏しいという問題がありました。本稿では新しい機構を採用することにより、従来の試作機より9割以上サイズと重量を小さくした「ぶるなび3」を紹介します。

あめみや ともひろ たかむく しんや  
 雨宮 智浩 / 高椋 慎也  
 いとう しょう ごみ ひろあき  
 伊藤 翔 / 五味 裕章

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

## 牽引力錯覚を生ずる「ぶるなび」

これまで携帯端末における触覚情報提示は主にシンプルな振動刺激に限られていました。また、携帯端末で手首をひねるような、瞬間的な回転力は提示可能でしたが、並進方向の力を直接的・連続的に提示することができませんでした。利用者の手を引くように、ある方向に「手を引いて」誘導するためには、外部に固定された牽引装置が必要となります。

しかし、外部に固定された場合、装置を携帯することができず、自由な移動も不可能となります。また、電界や磁界によって非接触に力（電磁力）を生成する方法も考えられますが、こちらも環境側に特殊な設備を必要とするため、自由な移動が不可能となるだけでなく、コスト面などから考えても現実的な方法ではありません。これらのように携帯端末では手ごたえのような力感覚を提示できないという物理的制約があり、物理力として実際に力感覚を発生させることは事実上不可能でした<sup>(1)</sup>。

そこで、私たちは人間の知覚の非線形性を利用して、特定の方向にあたかも手を引かれているような錯覚を生じ

させる手法を提案・開発しました<sup>(2)</sup>。この牽引力感覚をつくり出すために、ケースの中に重りを仕込み、一方向に素早く、その反対方向にゆっくりと重りを非対称に往復運動させています。非対称振動は周期運動であるため必然的に加速度の1周期分の積分が0になり、往復の平均振幅はそれぞれ等しくなります。

しかし、往路と復路の時間に大きな偏りがあるため、往路と復路の加速度の最大振幅には大きな差が生じるようになっていきます。力の大きさは加速度の大きさに比例するため、この運動は非対称な力を発生します。小さな方の力が知覚のしきい値以下（または力の合計が逆方向の力の合計よりも小さい）となれば、結果として大きな力が生成され、一方のみに引っ張られているような錯覚現象が生じます。この錯覚現象をつくり出す方法論を用いた装置を私たちは「ぶるなび」と呼んでいます。

## 提示装置の小型軽量化

これまでに「ぶるなび1」「ぶるなび2」と命名した試作機では、直線的に質量を往復させるリンク機構（クラークスライダ機構）を用いて、この非

対称な振動を生成していました<sup>(3)</sup>。以前の試作機では十分な牽引力感覚を生成することは可能でしたが、等速回転運動を並進運動に機構を介して機械的に変換するため、小型軽量化が困難でした。そこで、回転-並進運動の変換が不要な、リニアアクチュエータ<sup>\*1</sup>を用いて非対称振動を生成し、従来の試作機より9割以上サイズと重量を小さくした「ぶるなび3」の開発に成功しました（図1、2）。

ただし、一般的にアクチュエータの出力・重量比は小型になればなるほど急激に小さくなり、得られる効果も小さくなってしまいます。これに対し、私たちは小型アクチュエータの出力と刺激部位の感覚特性を考慮しながら、非対称振動パターンを変化させることで効果の局所的最適化を目指しました。その結果、従来の試作機より小型軽量にもかかわらず、ほぼ同等の牽引力感覚が得られることを多くの体験者の報告から確認しました<sup>(4)</sup>。具体的には、従来用いていた周波数よりも少し高い周波数帯で非対称振動を行うように変更しています（図3）。これは、

\*1 アクチュエータ：入力されたエネルギーを動きに変換する駆動装置。電気モータなどが代表例。



図1 牽引力錯覚の提示装置の小型軽量化

リニアアクチュエータの出力効率の高い周波数領域が活用できるといったメリットと、指先の触覚の機械受容器の周波数特性の中でも接線方向の検出を担う受容器が主に強く活動する周波数領域を考慮したものです。

### 牽引力感覚の明瞭度の比較

前述のとおり、単に装置を小型軽量化しても牽引力感覚の効果が小さくなってしまえば、価値がありません。小型軽量化された装置における最適な非対称振動パターンを探るため、2種類のアクチュエータと2種類の周波数の組み合わせで、それぞれが生成する牽引力感覚の明瞭度を一対比較実験（サーストン対比較<sup>\*2</sup>）によって評価しました。2種類のアクチュエータを同一形状のケース（直径40 mm、厚さ17 mmの円筒ケース）に入れ、指とケースの接触面にサンドペーパー（#1000）を貼り付けて、表面が同一の粗さとなる条件で生じる牽引力の明瞭度について、一対比較実験を行いました。その結果、ある特定のアクチュエータと特

\*2 サーストン対比較：複数の刺激から2つのペアとなる全通りの組合せをそれぞれ提示し、各ペアでの大小や優劣の判断結果から集団全体の順位付けを行う実験方法。



図2 試作機の開発履歴

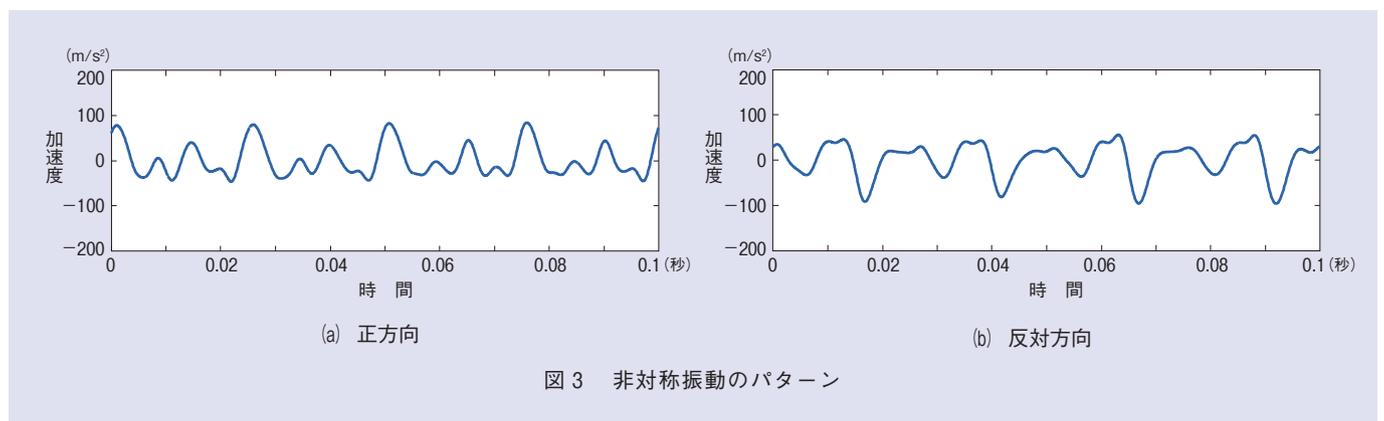


図3 非対称振動のパターン

定の周波数の組合せで、ほかの組合せと比較して明瞭な「牽引感」を生み出すことが明らかになりました(図4)。

### ぶるなび3の応用例

本技術を利用したアプリケーションの例として、手を引いて道案内を行う歩行ナビゲーションや、ゲームやエンタテインメント分野における新しい体験の生成などが考えられます。「NTTコミュニケーション科学基礎研究所オープンハウス2014」では、外部から引っ張るような仕組みを用意しなくても、魚釣りで魚が掛かった際の「引き」や、犬の散歩でリードを引いている感覚が疑似体験できるアプリケーションを実装し、展示しました(図5)。

魚釣りのアプリケーションでは、水面の下で泳ぎ回るバーチャルな魚をコンピュータグラフィックスで描画し、ぶるなび3に取り付けた釣り糸、そして糸の先にタッチ画面の接触を検出するための重りをぶら下げた装置を用意しました。重りの画面上の接触位置が魚の口付近に近づくと、ぶるなび3から下へ引っ張られる感覚を生ずる振動を与え、ある条件で魚が上に引き上げられる様子を見せながら引っ張られる感覚を大きくしていくことにより、釣り上げた力触覚を表現しました。この感覚は多くの体験者に興味を持っていただくことができ、何度も繰り返し魚を釣り上げる方もいらっしゃいました。

また、犬の散歩のアプリケーションでは、画面に描かれたバーチャル犬を縦横無尽に動きまわらせ、リードから伝わる引っ張られる力の方向や大きさがダイナミックに変まっていく感覚をつくり出しています。また逆に、ぶる

なび3を持った手を動かすと、画面上の手が動き、リードが伸びて引っ張られる力感覚も強くなります。そしてリードから伝わる力が強くなると、犬がくるっと回って引き寄せられています。引っ張られる感覚も弱くなっていきます。このデモは、人と犬の力感覚によるインタラクションを表現するとともに、ダイナミックに力感覚の大きさと方向を変化させることができるぶるなび3の性能を体験いただくため

に作製しました。このような力の方向や大きさの感覚まで表現できる新たな携帯デバイスは、多くの体験者に関心を持っていただくことができました。

現在は、ぶるなび3を使った歩行ナビゲーションについて、実装をテストしている段階ですが、旧試作機のぶるなび2では、NTT研究所で開発したARマーカ(拡張現実感を実現するシステムでしばしば使われる白黒パターンを使った基準マーカ)を用いた位置

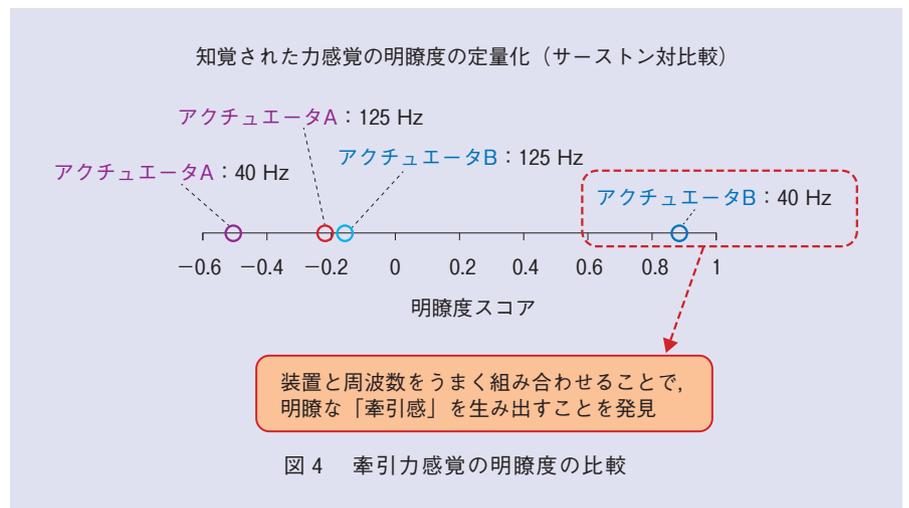


図4 牽引力感覚の明瞭度の比較

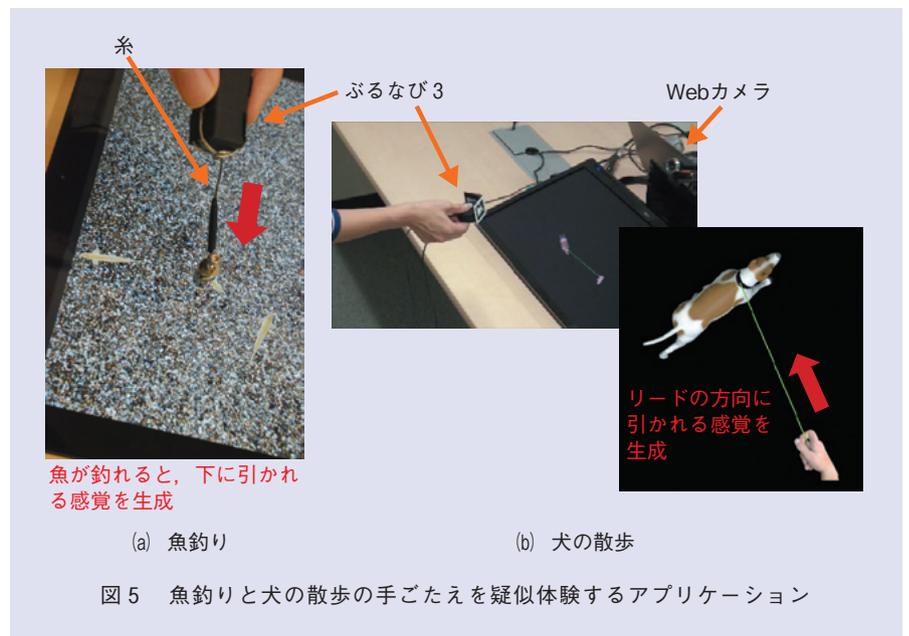




図6 歩行ナビゲーションへの応用

姿勢計測システムと組み合わせ、屋内での経路案内を実現しました(図6)。天井に貼られたARマーカーをカメラで撮影し、そのIDと形状およびデータベースを使って、空間内でのカメラの位置と方向を推定します。ぶるなび2はタブレット型コンピュータの背面に取り付けられ、体験者はタブレット型コンピュータによって引っ張られながら、所定の経路上に案内されながら歩くことができます。特に体験者が手を能動的に動かしながら、牽引力の変化を探ることで方向知覚の精度が高まることも確認しています<sup>(5)</sup>。さらに、ぶるなび2を用いて、視覚障がい者の災害時の経路誘導の実証実験を京都市消防局と京都府立盲学校と共同で実施し、90%以上の視覚障がい者が練習なしに所定の経路どおりに歩行できたことを確認しています<sup>(6)</sup>。いずれの事例も小型軽量化前の成果ではありますが、ぶるなび3を用いた場合でも本質的には同様の歩行誘導が可能であると考えています。

### 今後の展望

本成果は触覚や力感覚における錯覚研究成果の1つで、装置の小型軽量化と錯覚効果のトレードオフなどのさまざまな課題を乗り越えてきました。小型軽量化は携帯端末やウェアラブル機器との連携において不可欠なものです。本技術によって従来あまり考えられていなかった、携帯端末における、より豊かな触覚体験を実現することが可能になると期待されます。

人間の視覚・聴覚特性が映像装置や音響装置の設計において考慮されるように、触覚や力感覚をはじめとする五感情報通信が将来実現された場合も、人間の知覚側から情報提示装置の設計指針を規定することが重要になると考えられます。そのため、人間の感覚知覚メカニズムの解明を進めながら、その人間の知覚特性を利用してさらなる五感インタフェースの研究へと転換できるような礎としての基礎研究を進めていきたいと考えています。

#### 参考文献

(1) 雨宮: “知覚的非線形性を利用した牽引感

提示,” 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.5, pp.483-485, 2012.

(2) 雨宮・安藤・何: “五感インタフェースによるノンバーバルコミュニケーション,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.6, pp.35-37, 2007.

(3) T. Amemiya and T. Maeda: “Asymmetric Oscillation Distorts the Perceived Heaviness of Handheld Objects,” IEEE Transactions on Haptics, Vol.1, No.1, pp.9-18, 2008.

(4) T. Amemiya and H. Gomi: “Buru-Navi3: Behavioral Navigations Using Illusory Pulled Sensation Created by Thumb-sized Vibrator,” In Proc. of ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies, Article4, Vancouver, Canada, August 2014.

(5) 雨宮・五味: “牽引方向知覚における能動的探索の有効性を活用した屋内歩行ナビゲーションシステムの開発,” 信学論, Vol.J97-D, No.2, pp.260-269, 2014.

(6) T. Amemiya and H. Sugiyama: “Orienting Kinesthetically: A Haptic Handheld Wayfinder for People with Visual Impairments,” ACM Transactions on Accessible Computing, Vol.3, No.2, Article6, pp.1-23, 2010.



(上段左から) 雨宮 智浩/ 高橋 慎也

(下段左から) 伊藤 翔/ 五味 裕章

触覚や力感覚の研究成果は直接体験しないとうまく伝わらないことが多いため、できるだけ多く体験できる場を設けたいと考えています。特にNTTコミュニケーション科学基礎研究所オープンハウスやNTT R&Dフォーラムなどで体験いただけると幸いです。

#### ◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
人間情報研究部  
感覚運動研究グループ  
TEL 046-240-3581  
FAX 046-240-4721  
E-mail burunavi3@lab.ntt.co.jp