

Hapbeat : 張力に基づいた装着型体感音響装置

山崎勇祐^{1,a)} 三武裕玄¹ 竹腰美夏² 塚本裕仁² 馬場哲晃² 長谷川晶一¹

概要: 体感音響とは音と同時に音楽の低音成分を振動として身体に体感させることで音の印象を強め、音楽に対する臨場感を深めるシステムである。従来の体感音響装置の課題は、十分に大きな振動振幅の生成およびその広範囲への伝達のためには装置の大型化が必要であった点である。そこで我々は糸とモータを利用した張力に基づく装着型振動提示装置 (Hapbeat) を提案する。モータに糸を巻いたリールが取り付けられており、モータの動力により糸を体に巻きつけ、その糸を介してモータで発生させた振動を体に伝える。これにより装着可能で軽量かつ広範囲への振動の提示を実現し、体感音響装置の効果と装着性を高めることを目的とする。

Hapbeat:Tension-based Wearable Vibroacoustic Device

YUSUKE YAMAZAKI^{1,a)} HIRONORI MITAKE¹ MINATSU TAKEKOSHI² YUJI TSUKAMOTO²
TETSUAKI BABA² SHOICHI HASEGAWA¹

Abstract: Hapbeat (Tension-based Wearable Vibroacoustic Device) enhances music appreciation and virtual reality experiences. It is a new type of wearable vibroacoustic device that can transmit a high fidelity acoustic vibration to the body. It consists of two coreless motors and Ultra High Molecular Weight Polyethylene string. The motors generate a vibration in the range of 0-600Hz and the string transmits this vibration. If compared with other existing device, Hapbeat can generate a powerful low frequency vibration and can transmit vibration to the wide range of the user's body in spite of its compact body.

1. はじめに

音楽鑑賞を耳からだけでは無く、同時に身体でその振動を感じる方がより臨場感が大きく、満足感を得られる。だが、既存の一般的な音楽再生機器ではライブやコンサートのような臨場感を生み出すことは難しい。そのような問題の解決として、体感音響を利用する方法が考えられる。

体感音響とは音の振動を耳からではなく身体で感じる現象のことである。この体感音響は一般に音の低周波成分(主に 20-150Hz)を身体に伝達し、音楽体験の質を高める効果がある。この技術は主に興行施設や医療機関などに利用されている。前者ではクラブやライブハウスの床や映画館の客席に設置することで音楽や効果音の効果を高めると

いった用例がある。後者においては、音楽療法に体感音響を利用することでより大きなリラクゼーション効果を得ることができたり、歯科治療時に利用することで患者の痛覚を和らげたりする効果が認められている [1]

本研究では図 1 のような、後述する問題点を解決するような装着型振動音響装置の提案を行う。

2. 先行研究

体感音響による効果が認められている [2] にも関わらず、その用途は限定的である。その原因として、従来の装置では体感音響効果と利便性が両立しないことがあげられる。すなわち提示する振動振幅を大きく、伝達範囲を広くしようとするほど装置が大型化してしまう。この要因として従来装置では振動生成において、いずれも直動型の振動子を用いていることがあげられる。高周波振動の生成においては小さな装置でも十分な出力を得られるが、低周波振動を十分に出力させるためには振幅を大きくする必要がある

¹ 東京工業大学
Tokyo Tech, Yokohama, Kanagawa 226-8503, Japan

² 首都大学東京
TMU, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan

a) yus988@haselab.net

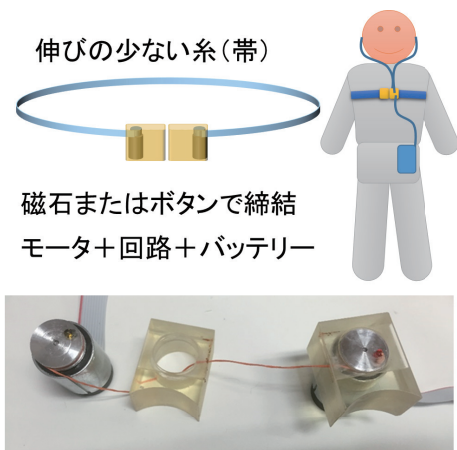


図 1 提案装置概略図
 上：イメージ図 下：プロトタイプの実物写真
 Fig. 1 Concept of the proposed device
 Top: Image of the concept
 Bottom: Picture of the prototype

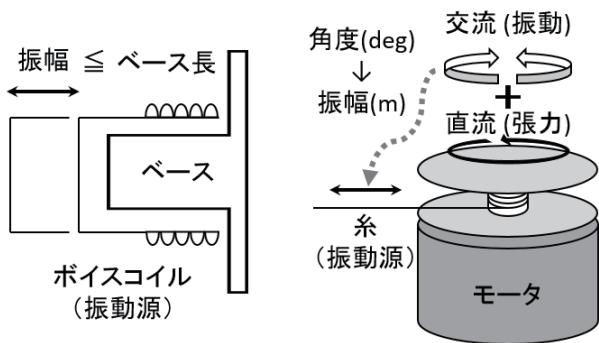


図 2 直動型 (左) 回転型 (右) の振動生成原理
 Fig. 2 The mechanism of generating the vibration
 Left: Linear vibrator Right: Rotational vibrator

ある。ここでの振幅とは振動子（ボイスコイルなど）が移動する距離であるため、必然的に装置の大きさと出力可能振幅との間に比例関係が生じてしまう（図 2）。また、振動伝達は装置と身体との接触面で行われるため、身体への振動提示範囲を大きくするためには接触面積を大きくする必要があり、これも装置の大型化の一因となっている（図 3）。このような問題は体感音響によるコンテンツ制作を考えた時、大きな制約条件となる。よって体感音響効果と利便性を両立した装置の開発が望まれる。

3. 提案手法

前述の問題点の解決として、身体への振動提示を高剛性の糸とコアレス DC モータにより行う装置を提案する（図 1）。この装置では、2つのモータの各プーリに装着された糸を身体に巻きつけ、モータのトルクで張力を発生させて身体を締め付ける。その状態を基準とし、そこからモータ軸の回転角度を入力信号に応じて連続的に変化させる（2つのモータの回転方向は互いに逆向き）ことで糸が緊張、弛緩を繰り返す、それが振動となって身体に伝達される。

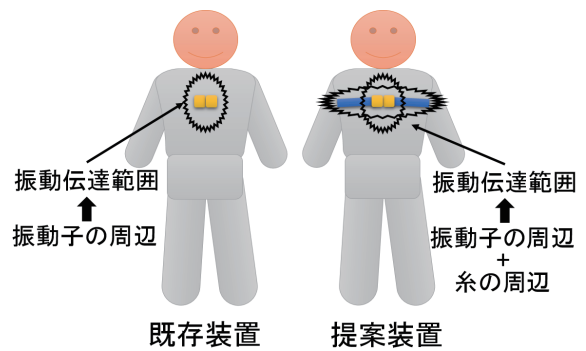


図 3 振動伝達範囲イメージ図
 Fig. 3 Image of the vibrating area

この装置の特徴的な点として、装置を大きくすること無く、特に低周波数帯において、大きな振動を出力できることが挙げられる。モータによる振動生成は直動型の振動子とは違い、軸の回転により行われる（図 2）。直動型振動子の振幅がベースの大きさによって制限される一方、軸の回転角は無限であるため、その振幅が制限されることは無い。すなわち、小さな装置で十分な振動振幅を出力することが可能である。また振動伝達部が身体に接触しているモータと巻きつけられている糸であるため、従来装置よりも身体接触領域が広がっている（図 3）。これにより体感音響効果と利便性が両立可能となったことで、今までにない体感音響と装置の応用が期待される。

4. 装置詳細

4.1 モータ

モータにはコアレスモータ (maxon motor RE 13, Maxon Motor Co., Ltd.) を採用した。その理由として、通常の鉄心を有するモータに比べ駆動部が極めて軽量であり、信号に対する応答性が良い点が挙げられる。本装置で振動を生成する際、モータ軸の回転方向を 0-600Hz 程度の信号に合わせて絶えず変え続ける必要があるため、このことは音楽の振動を精細に伝達するにあたって最も重要な要素である。

4.2 糸

モータで発生させた振動を媒介する糸について、超高分子ポリエチレン製の糸（ウルトラダイニーマ 3 号, YGK YOZ-AMI Co., Ltd.）を採用した。この素材の特徴として、高剛性、軽量、低摩擦係数が挙げられるが、これは振動を振動源から効率的かつ忠実に伝達させるために必要な要素である。

4.3 実用化

提案装置の実用化を図るためには、装置の軽量化および小型化が必要不可欠である。小型化に伴い重大な問題となるのはモータによる発熱である。小型のモータを使用する場合、熱容量の減少により、大型のモータに比べ熱平衡時の

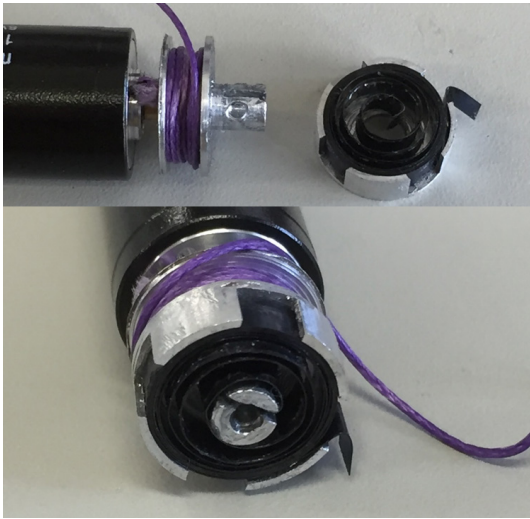


図 4 プーリとゼンマイの結合部

Fig. 4 Connection between the pulley and the spiral spring

温度が高くなってしまい、振動出力を大きくしてしばらく使用しているとモータの巻線許容温度を超えて壊れてしまう。この問題を解決するために、従来直流電流によって発生させていたトルクを、その代わりにぜんまいを使用することによって生じさせた。(図 4) これにより直流電流によって生じていた発熱を抑えることができる。実際に計測したところ、直流を用いた時のモータの電力消費(1本)が2.72Wであったのに対し、ぜんまいを用いた時は0.59Wとなり、省電力化に成功した。

また従来の提案装置では振動生成部(モータ部)と駆動部(アンプなど)は分かれており、携帯性や利便性について難があったため、今回の提案装置ではワイヤレスモジュール、電池、アンプ回路などを組み込み、それらについて改善した。

4.4 デザイン

提案装置のデザインを図5に示す。装置の側面は丸みの帯びた形状で構成され、四角は斜めに切り落とし正方形に近い八角形となっている。これにより、外観面では装置の大きさを小さく感じさせる効果が期待され、機能面では把持しやすく、装着時の不快感を軽減させる効果が期待される。また本装置が振動を生成させる装置であることを想起させるため、中央には波をイメージした円環状の隆起部を形成した。また装置の部品は図6のように容易に分解することができ、メンテナンス性も良好である。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 JP26280072 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] Hooper, Jeff: *An introduction to vibroacoustic therapy and an examination of its place in music therapy practice*, British Journal of Music Therapy 15.2 (2001): 69-



図 5 デザイン

Fig. 5 Appearance

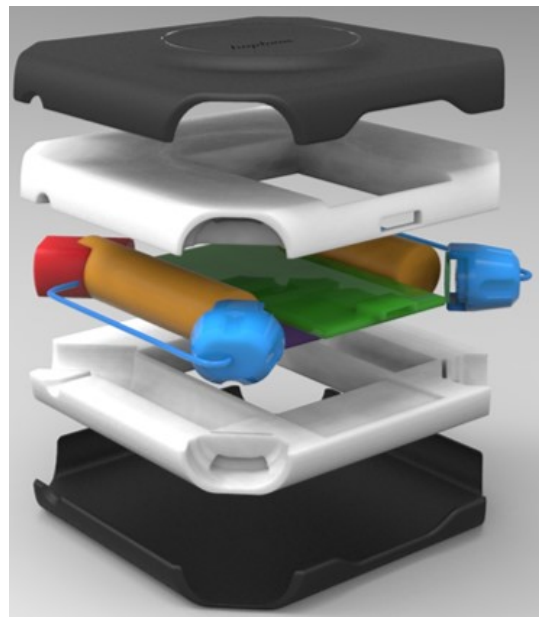


図 6 分解図

Fig. 6 Exploded view

77.
[2] 井手口健, 難波朋和, 古賀広昭: 音楽聴取時に振動触覚を付与することにより音楽の印象を強調する方法に関する検討, 電子情報通信学会論文誌 A 83.7 (2000): 924-927.