

テレヘッド VI 号機の諸特性*

○ 平原達也、吉崎大輔、塚田孝充（富山県立大学）

1 はじめに

テレヘッド (TeleHead) は、遠方を意味する tele と頭部 head を組み合わせた造語で、受聴者の頭部運動に高速かつ静粛に追従運動するダミーヘッド (擬似頭) を指す^[1]。このようなテレヘッドは、戸嶋・平原らによる 3 自由度の I, II, III 号機^[2,3]とヨー回転運動に限定した IV 号機^[4]、IV 号機を改良した岩谷らによる V 号機があり、立体音の知覚に関する研究や聴覚/音響テレプレゼンスロボット^[5]として利用されてきている。これらとは別に、ドイツの Mackensen が開発した TV 放送用カメラの回転装置を利用したテレヘッド^[6]と、北村らが開発したテレヘッド^[7]もある。

本稿では、動作遅延を大幅に改善するために 2012 年に開発したテレヘッド VI 号機の運動特性、音響特性、およびそれを用いた音像定位実験結果について述べる。

2 テレヘッド VI 号機の構成

テレヘッド VI 号機は IV 号機と同様に頭部のヨー回転運動に追従するテレヘッドで、Fig.1 に示すように、頭部姿勢検出部、駆動部、音響信号伝達部で構成される。

頭部姿勢検出部で用いたモーションセンサは FASTRAK (Polhemus) で、回転角度読み取り精度は 0.15°、頭部回転角度のサンプリング周波数は最大 120 Hz である。

駆動部は定格トルク 2.4 Nm、定格回転数 5 rps のダイレクト・ドライブ・モータ (日機電装, ND110-050-F) で、ノンスイッチングサーボアンプ (サーボランド, SVNT2-A) で制御した。なお、頭部回転範囲は $\pm 85^\circ$ とした。

音響信号伝達部は、MRI で計測した頭部形状データから光造形装置で成形したエポキシ製あるいは石膏製のそっくりダミーヘッドの外耳道に、小型エレクトレット・コンデンサ・マイクロホン (SONY, ECM-77B) をシリコン印象材に埋めこんだ耳栓マイクロホンを挿入し、その出力をマイクロホンアンプ (Earth

Works, 1021) で 35 dB 増幅してヘッドホンアンプに伝送した。ヘッドホンは HDA200 (Sennheiser) を用いた。

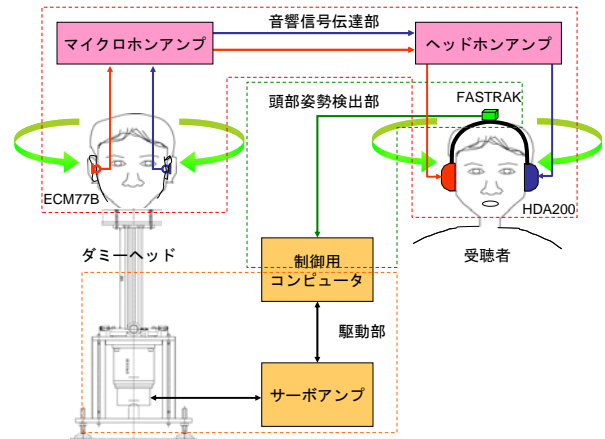


Fig.1 テレヘッド VI 号機の構成

3 テレヘッド VI 号機の諸特性

3.1 運動特性

サーボアンプへの入力である正弦波状の回転指示角度値と、それに対する応答であるモータのエンコーダが読み取った回転角度値とを比較することで、テレヘッドの運動特性を測定した。また、追従遅延時間は、入力角度波形と応答角度波形の相互相関より求めた。

Fig.2 はテレヘッド VI 号機の正弦波応答の一例である。同図 (a) は 1 Hz で $\pm 60^\circ$ 、(b) は 0.2 Hz で $\pm 20^\circ$ 回転運動させたときの正弦波応答で、実線は入力角度、破線は応答角度である。遅延時間は、1 Hz で 60° の場合 5 ms、0.2 Hz で $\pm 20^\circ$ の場合 4 ms であった。回転周波数が高く回転角度が小さいほど追従遅延時間 τ_m は長くなり、回転周波数 1 Hz 以下の τ_m は 2 ~ 17 ms であった。

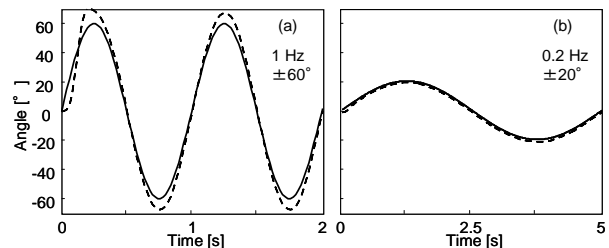


Fig.2 テレヘッド VI の運動特性 (正弦波応答)

* Mechanical and acoustical characteristics of *TeleHead VI*,

by HIRAHARA Tatsuya, YOSHISAKI Daisuke, TSUKADA Takamitsu (Toyama Pref. Univ.)

3.2 音響特性

テレヘッドを暗騒音レベル L_A が 22 dB、残響時間が約 50 ms の実験室に置き、ダミーヘッドに装着したマイクロホンの出力信号を HATS (Brüel & Kjær, 4128C) に装着したヘッドホンで再生し、人工耳 (IEC60711) の出力をオーディオアナライザ (Brüel & Kjær, 3560B) で測定した。なお、ヘッドホンアンプの電圧利得は、1 m の距離に設置したスピーカから音圧レベル L_p が 70 dB の白色雑音を呈示したときに、人工耳で測定したヘッドホンの再生音圧レベル L_p が 70dB となるよう設定した。

Fig.3 に、テレヘッド VI 号機を静止させた時と、0.4 Hz で $\pm 60^\circ$ の正弦波状の追従動作させた時の外部放射音と、ヘッドホン再生音のスペクトルを示す。テレヘッド VI 号機のサーボを起動すると、サーボ動作に起因する 0.6 kHz の成分が、追従動作させると、モータの回転動作に起因する 3.7 kHz の成分が混入した。ただし、ヘッドホン再生音におけるこれらの成分の音圧レベル L_p は 17 dB 以下であった。そして、追従動作時の、0.1 kHz ~ 20 kHz におけるヘッドホン再生音に混入する動作騒音の最大音圧レベルは約 20 dB であった。テレヘッド IV 号機を追従動作させた時の外部放射音全体のレベル L_A は実験室の暗騒音レベルと同じ 22 dB であった。

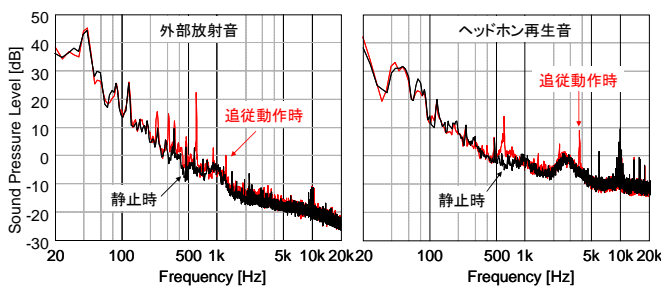


Fig.3 外部放射音とヘッドホン再生音のスペクトル

3.3 音像定位特性

テレヘッド VI 号機の周囲に 30° 間隔で配置したスピーカから白色雑音を呈示し、水平面音像定位実験を行った。追従遅延時間が約 120 ms のテレヘッド IV 号機と比べると、IV 号機では遅延は全く感じられなかった。他人のダミーヘッドを用いた場合の頭外定位正答率は 88% であった。しかし、近傍誤り、前後誤り、頭外定位正答率のいずれにも IV 号機での結果との有意差は認められなかった。

4 考察とまとめ

テレヘッド I 号機の追従遅延時間 τ_m は 200 ms、動作時の再生音に混入する騒音 (100 Hz ~ 20 kHz) の最大音圧レベル L_{p_max} は約 70 dB^[2]、テレヘッド II 号機の τ_m は 120 ms、 L_{p_max} は 45 dB^[3]、テレヘッド IV 号機の τ_m は 120 ms、 L_{p_max} は 30 dB であった^[4]。一方、Philip Mackensen の回転ダミーヘッドシステムの τ_m は 50 ms、外部放射音レベル L_A は 35 dB^[6]、北村らのテレヘッドの τ_m は 60 ms である^[7]。

テレヘッド VI 号機の τ_m が 2~17 ms と低遅延なのは、主としてサーボアンプの性能向上によりサーボ制御ループが高速化した結果である。テレヘッド VI 号機の L_{p_max} が 20 dB と低レベルなのは、低騒音のモータを用い、厳重な防音・防振対策を施した結果である。

このように、テレヘッド VI 号機は、現在最も高速かつ静粛に頭部の回転運動に追従するテレヘッドである。

謝辞

本研究の一部は科研費(22300061)の助成を受けた。

参考文献

- [1] 平原達也, 戸嶋巖樹, 植松尚, "頭部の 3 次元運動に追従するダミーヘッドシステム-テレヘッド (TeleHead)-," 人工知能学会研究会資料 SIG-Challenge-0216-8, 45-52, 2002.
- [2] Iwaki Toshima, Hisashi Uematsu, Tatsuya Hirahara, "A steerable dummy head that tracks three-dimensional head movement: TeleHead," *Acoust. Sci. and Tech.*, 24(5), 327-329, 2003.
- [3] Iwaki Toshima, Shigeaki Aoki, Tatsuya Hirahara, "Sound Localization Using an Acoustical Telepresence Robot: TeleHead II," *Presence* 17(4), 365-375, 2008.
- [4] 吉崎大輔, 塚田孝充, 平原達也, "テレヘッド IV 号機および VI 号機の運動特性と音響特性," 信学技報 112(266), EA2012-73, 49-54, 2012.
- [5] 平原 他, テレヘッドを用いた音響テレプレゼンスシステム, 平成 24 年度電気関係学会北陸支部連合大会 講演論文集, G11, 2012.
- [6] Philip Mackensen, "Auditive Localization. Head movements, an additional cue in Localization," PhD Dissertation of Technischen Universität Berlin, 2004.
- [7] 北村研究室, <http://basil.is.konan-u.ac.jp/telehead>