

# ウェアラブル平衡感覚機能モニタとその応用

松下 宗一郎

東洋大学工学部コンピュータシヨナル情報工学科

Email: gmatsu@eng.toyo.ac.jp

## 1 はじめに

人間の平衡感覚機能は、主として内耳、目、触覚（力覚）からの信号が中枢神経にて統合されることにより成り立っており、疲労や感冒といった要因によっていずれかの感覚器官が平常時とは異なる信号を発することによりバランスが崩れることで平衡感覚異常が起きる。このような異常は、時としていわゆる「めまい」として知覚され、まっすぐに立っていることが困難になることが知られている。

めまいを含めた平衡感覚異常に対しては、重心動揺検査と呼ばれる診断手法が広く知られており、体重計状の装置の上で起立した状態にて足裏への過重分布を30秒ないし1分間計測することにより、人体の重心位置の運動を解析し、病理学的な所見を得ている。これに対し、本研究では利用者の頭部に高感度な2軸加速度センサといった運動センサを設置し、「身体の揺れ」によって生じる頭部の運動を計測したところ、得られる信号の物理的な意味は異なるものの、利用者の疲労度に応じた運動パラメータを抽出できる可能性があることを文献[1]にて報告している。実験の結果、加速度センサからの信号出力には重力加速度成分が含まれることから、頭部の準静的な傾斜角度の変化が引き起こす加速度成分を、頭部の運動によって発生する真の意味での加速度成分と分離することは困難であるが、両者の周波数スペクトルの違いから、加速度の変化分の絶対値を時間積分することで、疲労度と強い相関関係を示す運動パラメータが得られており、いつでもどこでも利用できるウェアラブル平衡感覚機能モニタシステムとしての可能性が見い出されている。

## 2 ウェアラブル平衡感覚モニタシステム

図1は、市販のヘッドセットに対し平衡感覚機能計測に関わるデバイスを重量バランスを考慮しつつ



図1 ヘッドセット型平衡感覚機能診断装置

設置したものであり、2軸加速度センサ、8ビットマイクロコントローラを中心とする加速度計測回路に加え、利用者に対し診断結果の提示や種々のインタラクションを可能とする音響生成回路、並びに電池を含め、総重量約270グラムとなっている。

実験に先立ち、20才～50才までの健常者10名に対し、開眼ならびに閉眼で水平な床面上に起立した状態にて30秒間の加速度計測を試みたところ、典型的には10ミリG（Gは重力加速度）ないし30ミリG程度の範囲での加速度が検出されている。ここで、加速度センサは、地面と水平な面に対し、頭頂部の前後並びに左右の運動を計測するように設置されているが、装着時のデバイスの地面に対する傾斜角のずれは利用者が異なっても3～5度程度に収まることが確認されており、この範囲では $\sin \sim$  (rad)の近似が成り立つことから加速度の変化分を計測する場合には問題とはなりにくいことが示されている。また、実験に用いた加速度センサ（ADXL-202E [2]）のノイズフロアは2ミリG程度であるが、ショット性の雑音が大きく、アナログ→デジタル変換された結果を数値的に平滑化し、等価的には約10Hzの周波数帯域とすることで、健常者の起立時の頭部運動加速度を十分な信号対雑音比をもって計測することができた。

### 3 平衡感覚モニタシステムの応用

#### (1) いつでもどこでも利用できるユビキタス平衡感覚診断装置

本研究によるウェアラブル平衡感覚機能モニタでは、静かに立っていただける場所さえあれば、いつでも、どこでも計測を行うことができる。また、デバイス自体が小型、軽量であることに加え、ヘッドセットという日常的に装着していても社会的に違和感が少ない形態をとれることから、たとえ常時使用することはないとしても、例えば普通のヘッドホンステレオ装置に組み込むことで、常に持ち歩くことに対するモチベーションを保つことが可能であると考えられる。そして、いつでも、どこでも平衡感覚機能を手軽にチェックできることで、一過性であることが少ない「めまい」の症状が現れた時に、即座に身体の揺れの状況を計測し、医師による病理学的診断をサポートすることも可能である。

一方、「手軽であること」を生かし、平衡感覚機能に対し影響を及ぼすような外的要因と組み合わせることで、従来は利用者(被験者)へのアンケート調査といった、主観的な手法に頼ることの多かった場面で、数値による客観的な評価指標を導入し、利用者への負荷をより客観的に評価するような利用が可能であると考えられる。そこで、本研究では、大画面テレビジョンや、ヘッドマウントディスプレイといった、利用者が視覚(聴覚)をインテンシブに使用する機器に対し、平衡感覚機能のモニタリングを試みた。表1は、3次元CGを用いたフライトシミュレータソフトを、ヘッドマウントディスプレイ(視野を完全に覆うタイプ:水平視野角25度)ならびに32型フラットディスプレイ(水平視野角70度)にて利用者に60分間使用してもらい、その前後での頭部の「揺れ」を計測した結果であるが、水平視野角の大きいフラットディスプレイの方が利用者の身体に与えた影響が大きいことが示唆されている。なお、この計測において利用者本人には自覚されるような違いは認められなかった。

	30秒間の加速度軌跡パターン総延長距離(a.u.)			
	開眼時		閉眼時	
平常時(実験開始前)	31.9	=1.2	33.7	=0.4
ヘッドマウントディスプレイ使用(60分)直後	32.8	=1.2	34.9	=2.8
大画面フラットパネルディスプレイ使用(60分)直後	35.6	=1.8	40.6	=3.0

表1 ディスプレイの違いによる頭部の揺れの変化

#### (2) リアルタイム集中力モニタリング

本研究によるウェアラブル平衡感覚機能モニタでは、頭部の運動に伴って発生する加速度を逐次計測しており、加速度の変化量を数値的に積算することで平衡感覚がどの程度維持されているのかを推定できることから、医療的な応用での30秒ないし1分間といった時定数に代えて、5秒毎といった短い時間での積算量を計算することで、リアルタイム性の高い平衡感覚機能モニタリングを行うことが可能であると考えられる。そこで、まずは1秒間毎の加速度変化量積算値に応じて異なる音階の音響を利用者の耳元に設置したスピーカーより出力する構成としたところ、いわば「集中持続力モニタ装置」と呼べるような効果が得られた。続いて、若干エンターテイメント性を高め、開始当初はゆっくりとしたテンポにて楽曲を演奏しているが、加速度変化量積算値にてテンポアップして行き、最終的には破壊音等を発して演奏が終了するとともに「演奏を持続できた時間」=「集中力維持に対するスコア」が表示されるようなシステムとしたところ、制御できそうで制御できない自分の体の揺れの状態を実感することのできるユニークなシステムとなった。また、静かに立っているだけではなく、外部から視覚等を通じた刺激を加えることでも更にエンターテイメント性を高めることができた。

### 4 今後の展開

加速度センサによる運動計測では、重力による静的な加速度をいかにして本来の運動による加速度と分離するかがポイントとなる。また、頭頂部に設置した運動センサからの信号が、身体の運動における「何」を実際には反映しているのかについても、医学的な意味と共に議論の尽きないところである。今回提案を行っているデバイスは、構成がシンプルであると共に、いつでもどこでも使用できる手軽さが特徴であり、理論的な展開と併せて日常生活における利用形態の広がりが期待できる。

### 参考文献

- [1] S. Matsushita, T. Oba, K. Otsuki, M. Toji, J. Otsuki and K. Ogawa: A Wearable Sense of Balance Monitoring System towards Daily Health Care, Proc. of ISWC2003, pp. 176 - 183, 2003.
- [2] ADXL202E +-2g Dual Axis Accelerometer data sheet, Analog Devices Home Page: <http://www.analog.com>