

リンクサーキット株式会社

(<http://www.link-circuit.co.jp>)

リンクサーキット株式会社は、静止時・回転運動時・振動運動時に角度が検出できるサウンドテーブルテニス（視覚障がい者向けの卓球、以下、S T Tという）用ラケットの開発のために、埼玉県産業技術総合センターと共同研究を行った。

この「角度検出技術を応用した障がい者向け競技用具の開発」はリンクサーキット株式会社が埼玉県産業技術総合センターの新里研究員との共同研究を行い、その研究成果物として報告されたものです。

角度検出技術を応用した障がい者向け競技用具の開発

新里浩司* 吉澤茂**¹ 佐々木功**² 萩原玄**³

Development of Competition Tool for Handicapped People by Applying Angle Detection Technology

NIISATO Kouji*, YOSHIZAWA Shigeru**¹, SASAKI Isao**², HAGIWARA Gen**³

抄録

近年、障がい者スポーツは広く社会に普及しているが、競技を行う上で障がい者であるがゆえに様々な課題があるのも事実である。本研究では、その一例としてサウンドテーブルテニス（視覚障がい者向けの卓球、以下、S T Tという）における課題に着目した。S T Tではルール上、球を打つ際のラケットの打球面と卓球台のなす角度が重要となっているが、現状ではその角度の判定は審判の目視という感覚的なものに依存しており、それが競技を行う上での課題となっている。

そこで本研究では、ラケット自体に加速度センサとジャイロセンサを組み込み、角度検出機能を持ったS T T用ラケットを開発した。

キーワード：障がい者スポーツ，角度検出，加速度センサ，ジャイロセンサ

1 はじめに

近年、障がい者スポーツは、リハビリテーション（機能回復訓練）の一環としてだけでなく、障がい者の健康増進や社会参加意欲の助長、障がいや障がい者に対する理解の促進、そしてスポーツを楽しむことで生活を豊かにするということから社会的認知度も高まり広く普及している。

しかし、競技を行う上で障がい者であるがゆえに様々な課題があるのも事実である。現在、その影響を少しでも減らすために障がい者スポーツ独自のルールづくりを行ったり、競技用具に改良を加えたりすることで対応しているが、すべての課

題が解決できているわけではない。そこで本研究では、その一例としてS T Tに着目し、その課題解決となる競技用具の開発を行った。

S T Tは、盲学校等でも取り入れられており、全国規模の大会も開催されている。視覚障がい者にとって気軽に楽しめるスポーツである。競技を行う上で「音」が重要な要素となり、打球音もその一つである。その打球音の判定は、「音」そのものの他、球を打つ際のラケットの打球面と卓球台のなす角度が60度以上か否かによって行っている。しかし、その角度の判定は審判の目視という感覚的なものに依存しており、それが競技を行う上での課題となっている。

この課題解決のためラケットに加速度センサとジャイロセンサを組み込み、ラケット自体に角度検出機能を持たせることで客観的な角度の判定ができるS T T用ラケットの開発を行った。

* 福祉・デザイン部

**¹ 株式会社スカイ・テクノ

**² 有限会社ツーワンカックデザイングループ

**³ リンクサーキット株式会社

2 角度検出回路

2.1 傾斜角度の計測

ジャイロセンサの出力信号を $\dot{\theta}_g$ 、加速度センサの出力信号を θ_a とする。加速度センサからの出力信号をローパスフィルタに、ジャイロセンサからの積分出力信号をハイパスフィルタに入れ、合成すると傾斜角度 θ は次式のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{1}{1 + T_s} \theta_a + \frac{T_s}{1 + T_s} \int \dot{\theta}_g \\ &= \frac{1}{1 + T_s} \theta_a + \frac{T}{1 + T_s} \dot{\theta}_g \quad (1) \end{aligned}$$

ここで T は時定数で $T = 2\pi f_0$ 、 f_0 はカットオフ周波数である。

(1)式より

$$\begin{aligned} \theta + T_s \dot{\theta} &= \theta_a + T \dot{\theta}_g \\ \theta + T \dot{\theta} &= \theta_a + T \dot{\theta}_g \\ \dot{\theta} &= -\frac{1}{T} \theta + \frac{1}{T} \theta_a + \dot{\theta}_g \quad (2) \end{aligned}$$

となり、(2)式を離散化して

$$\begin{aligned} \frac{\theta_{k+1} - \theta_k}{\Delta t} &= -\frac{1}{T} \theta_k + \frac{1}{T} \theta_a + \dot{\theta}_g \\ \theta_{k+1} &= \theta_k - \frac{1}{T} \theta_k \Delta t + \frac{1}{T} \theta_a \Delta t + \dot{\theta}_g \Delta t \quad (3) \end{aligned}$$

となり、(3)式において、 $\omega = 1/T$ とおくと

$$\theta_{k+1} = \theta_k - \omega \theta_k \Delta t + \omega \theta_a \Delta t + \dot{\theta}_g \Delta t \quad (4)$$

となる。(4)式をプログラミングし、サンプリングタイム毎に収集されるジャイロセンサと加速度センサの出力信号から傾斜角度が算出できる¹⁾。

3 測定誤差の検証

3.1 検証方法

加速度センサとジャイロセンサを組み合わせ、傾斜角度を測定する場合、 f_0 の値により誤差が生じるため f_0 の変化による測定誤差の検証を行う

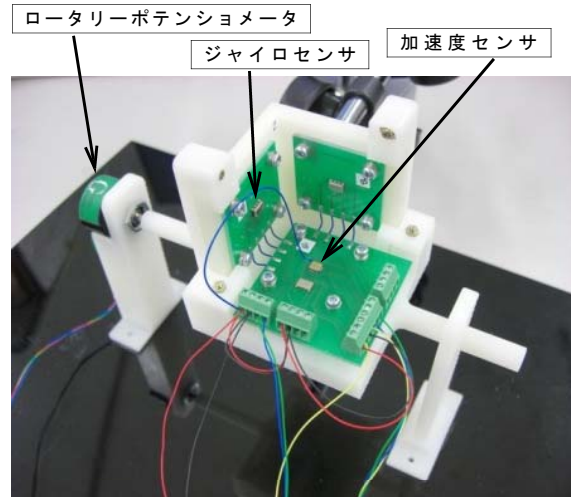


図1 角度検出測定装置 (誤差の検証)

必要がある。

検証を行うために角度検出部として図1に示す装置を製作し、(4)式を基にPC上に傾斜角度の演算を行う角度検出プログラムを構築した。この装置から加速度センサ及びジャイロセンサの出力信号をPC上に取り込めるようにし、それと同時にロータリーポテンシオメータにより傾斜角度の実測値が測定できる構造とした。同一の運動について計測を行うのでロータリーポテンシオメータから得られた実測値と角度検出プログラムより得られた傾斜角度を比較することで誤差の検証が行える。なお、傾斜角度の向きは図2のとおりとし、加速度センサが水平に置かれた状態を0度と定義した。傾斜角度が360度を超えた(一回転した)場合、角度検出プログラムで0度にリセットする

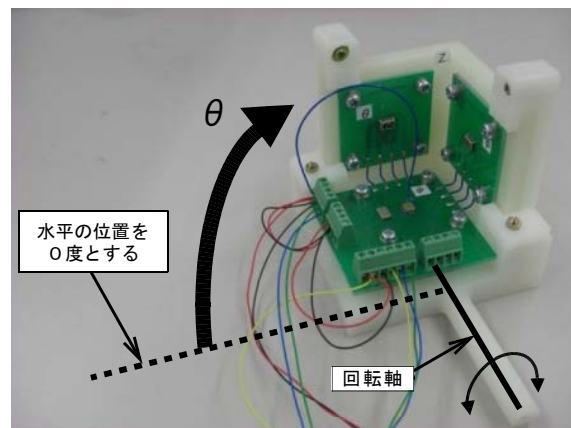


図2 傾斜角度 θ の定義
(矢印の方向を正とする)

処理を行っている。0度未満に減少した場合も同様である。

とが分かった。

3.2 検証実験

パラメータとなる f_0 の値が0.01Hz、0.1Hz、1Hz、10Hzのときのそれぞれについて実際の動作環境として想定される

- ① 回転運動特性 (0 → 360度となる点を含む)
- ② 回転+振動 (水平方向) 運動特性
- ③ 起動特性 (電源を入れた際の特性)

の3つの特性下での傾斜角度の違いについて検証を行った。

(1) 回転運動特性

実験結果を図3に示す。グラフ中において値が著しく変動している箇所があるのは、0度未満となった際に360度にリセットしていることによるものである。

この結果より f_0 が高くなるほど傾斜角度の変化に対する応答が速くなる傾向があることが分かった。逆に f_0 が0.1Hz及び0.01Hzのときは、傾斜角度の変化に追いつけず正しい計測が行えないことが分かった。

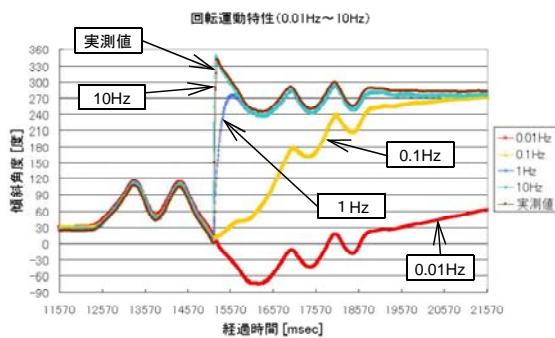


図3 回転運動特性

(2) 回転+振動運動特性

実験結果を図4に示す。 f_0 が0.1Hz及び0.01Hzのときは、振動による影響をほとんど受けていないのに対し、 f_0 が10Hzのときは振動の影響により波形が乱れ、正しい計測が行えていない。つまり、 f_0 が高いほど振動の影響を受けやすいこ

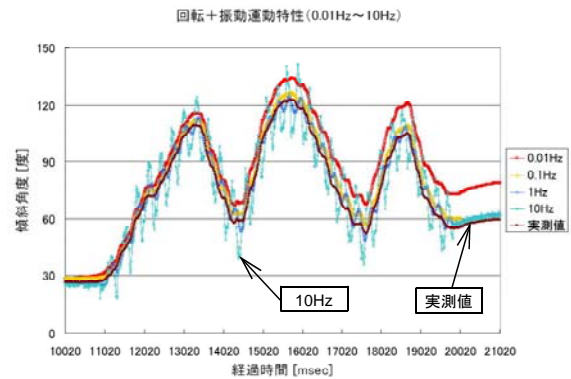


図4 回転+振動運動特性

(3) 起動特性

本実験では、あらかじめ角度検出部を約70度に傾けておき、電源を入れた際の応答速度を検証した。電源が切れている状態はプログラム上では傾斜角度が0度となるので、電源を入れた直後に0度から70度となるのが理想である。

実験結果を図5に示す。回転運動特性と同様、 f_0 が高くなるほど応答が速くなる傾向があることが分かった。逆に f_0 が0.01Hzのときでは、70度になるまでに16sec以上要している。

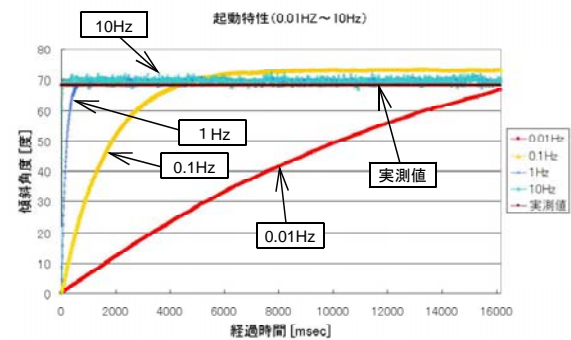


図5 起動特性

3.3 考察

実験結果から f_0 の適正值は1Hz近傍であると判断した。そこで f_0 の値について1Hz近傍をさらに細かく検証するため、0.7Hz、0.8Hz、0.9Hz、1Hzの場合について、再度、同様の実験を行った。

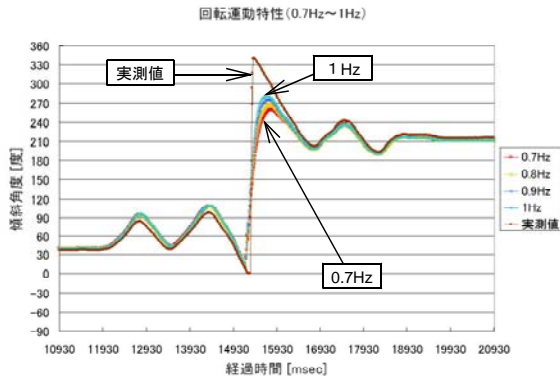


図6 回転運動特性

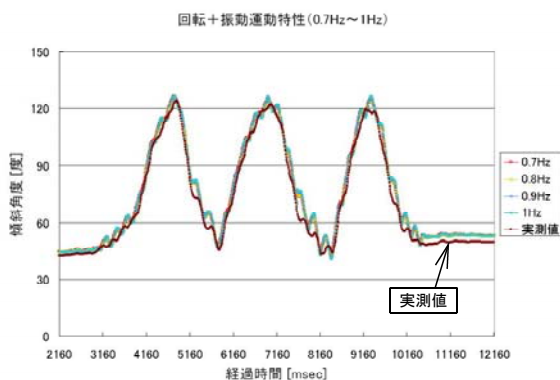


図7 回転+振動運動特性

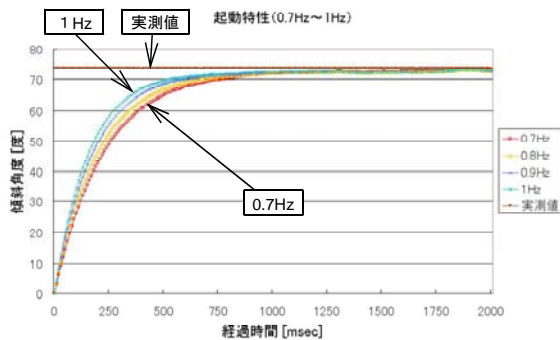


図8 起動特性

実験結果を図6～8に示す。 f_0 が、0.7Hzから1 Hzの間では、 f_0 の値の違いによる傾斜角度の差はほとんどみられなかった。これより、 f_0 の適正值は0.7～1 Hzの範囲であると判断した。

4 ラケットの試作

4.1 回路構成

角度検出回路の概念図を図9に示す。ラケット

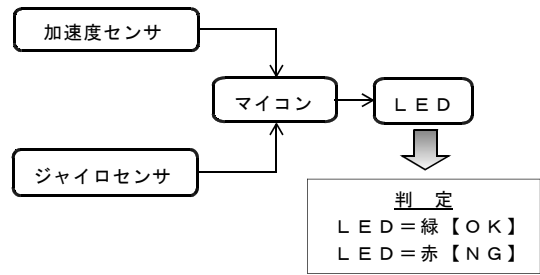


図9 角度検出回路の概念図

本体に埋め込むため、演算処理をマイコンとした。加速度センサ及び、ジャイロセンサの出力信号をマイコン上で合成演算して傾斜角度を計測し、傾斜角度（ラケットの打球面と卓球台がなす角度）が60度以上か否かを「緑」、「赤」の2種類のLEDを点灯させることで判定することとした。

4.2 回路基板

試作した回路基板を図10に示す。なお、使用した各素子は以下のとおり。

- ・加速度センサ
日立金属社製 H34C
- ・ジャイロセンサ
エプソントヨコム社製 XV-3500CB
- ・マイコン
TEXAS INSTRUMENTS 社製 MSP430F149

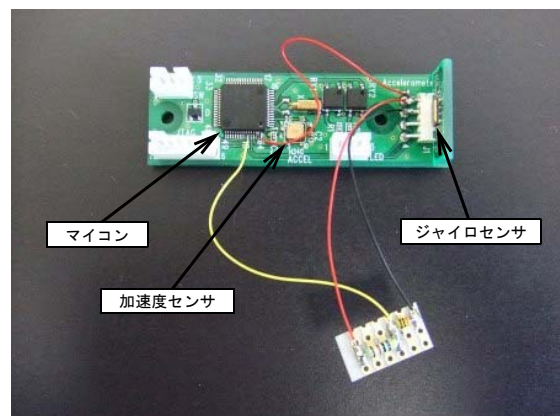


図10 試作した回路基板

造形したラケット本体に本回路基板を埋め込み、角度検出機能を持ったSTT用ラケットを試作した(図11)。

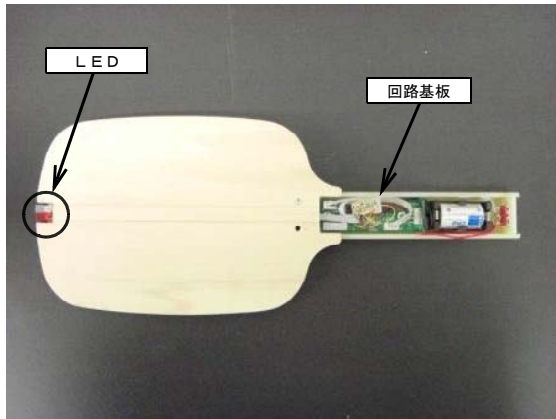


図11 試作したS T T用ラケット

4.3 評価試験

埼玉県立盲学校にて、試作したラケットの評価試験を行った。ラケットは、 f_0 の設定が 0.7Hz と 1 Hz の 2 種類を用意した。評価は、実際の競技環境にてラケットの打球面と卓球台のなす角が 60 度以上 (OK) と未満 (NG) の場合の打ち方について各々 10 回ずつ行い、その判定結果の妥当性により行った。試験結果を表 1 に示す。



図12 評価試験風景

表 1 評価試験結果

$f_0 = 0.7\text{Hz}$

	正判定	誤判定	正答率
60度以上	10回	0回	100%
60度未満	8回	2回	80%

$f_0 = 1\text{Hz}$

	正判定	誤判定	正答率
60度以上	10回	0回	100%
60度未満	10回	0回	100%

4.4 考察

f_0 が 1 Hz では、正答率が 100 % となった。しかし、 f_0 が 0.7Hz では、60 度未満の場合において正答率が 80 % となった。これは、 f_0 の値が小さくなるほど傾斜角度の変化に対する応答速度が遅くなる傾向があるため、ラケットの動きに応答しきれずに誤判定になったと考えられる。

5 まとめ

加速度センサとジャイロセンサを組み合わせることで角度検出機能を持った S T T 用ラケットを試作し、実際の競技環境にて評価試験を行った。本研究で行った評価試験では f_0 を 1 Hz に設定すると判定の正答率を 100 % にすることができた。しかし、ラケットの打ち方には個人差があるため、今後、被験者の数を増やして評価試験を繰り返し行い、判定の精度向上を目指す。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、客員研究員として御指導いただきました独立行政法人産業技術総合研究所の松本治先生に心から感謝いたします。また、評価試験や S T T に関して御協力いただきました埼玉県立盲学校の宮戸真一郎先生に心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 新里浩司, 田中智大: 移動補助具の安定性を評価する機器の開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 5, (2007) 24