

未熟者セーラーのトレーニングシステムの検討

山岡悠^{†1} LEE SANGWON^{†1} 大河内康平^{†1} 安藤英由樹^{†1}

概要：

セーリング競技は海上で行う為、常に生命的危険を伴う。急激な気候変化に対して、乗り手の技量が見合わない場合、大きな事故を起こしたり、時には命を失ったりすることもある。従って風や波が大きくなれば、初心者は安全面の観点から海に出艇する事すら禁じられてしまうケースが多い。しかし強風で練習を行わなければ、強風下での上達は見込めないという安全と練習効率にジレンマが発生している。そこで強風下での練習をデジタルに再現する事で、ユーザが安全に疑似的な強風下での練習を行えるデバイスを構築し、検討を行う。

キーワード：セーリング、足場制御、風感覚

1. はじめに

セーリング競技は海上で行うため、急な気候変化に対して、常に危険を伴う。乗り手の技量が見合わない場合、重大な事故や人的被害に繋がるおそれがある。多くの活動チームでは風や波が大きくなる予報が発表されると、未熟者は出艇を禁止することが考えられる。しかし多くのレースは風域 4[knot]から 25[knot]で行われるため、強風・高波のコンディションでの技量が求められる。従来のトレーニングシステムは主に熟練者の記録向上を目的としていた。そのため、既にトラピーズに慣れていることを前提にし、筋肉や姿勢の効率良い動きを学習させることを目的とするシミュレーターは作られて来たが [1]、まだセーリングに慣れていない初心者のためのトレーニングシステムはなかった。そこでセーリング未熟者が陸上で安全にセーリングに求められる技術のトレーニングが行えるシステムの提案及び検討を行う。

1.1 トレーニング内容

トレーニング対象となるのは、470 という二人乗りディンギーのクルーと呼ばれる人である。クルーは艇の舵を握らない為、初心者の多くはクルーから始める。クルーは図 1.1(緑枠)のように船外に飛び出した前の乗艇艇者である。クルー艇の Role 軸バランスを取る事が求められる。仮にバランスを取れなかった場合、艇は風下あるいは風上側に傾いてしまい、時には艇がひっくり返ってしまう事もある。帆走中にも常に変化する自然現象として、波と風が考えられる。波の変化はデッキの Role 回転に大きく影響する。風の変化はデッキの Role 回転モーメントの変化及び体験者の皮膚に当たる風量に影響する。



図 1.1: 実際の 470 乗艇の様子
(緑枠:クルー, 白枠:クルーとデッキの接触部分, 青枠:マストとクルーを繋げるトラピーズ部分)

1.2 提示感覚

クルーの足は艇のデッキ部分に接地している(図 1.1 白枠)。またクルーの胴体(図 1.1 緑枠)とマストトップ(図 1.1 青枠)はトラピーズと呼ばれる機構によって結ばれている。逆にそれ以外は艇と接触または繋がる部分がない為、これら青緑白枠の 3 点による触覚提示を行う事で、ヨットに乗艇した触覚を再現する事が可能である。

全身への揺れを提示するブランコ型デバイスを用い、体勢変化により、体験者にヨットに乗艇したかのような感覚を提示する。

2. 実装方法(ハードウェア)

2.1 全体デザイン

CAD で描いた 3D デザインの全体図及び三面図を示す。

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology

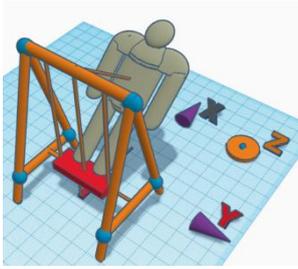


図 2.1: 全体図

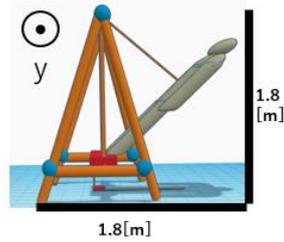


図 2.2: 正面図

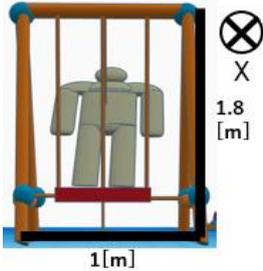


図 2.3: 側面図

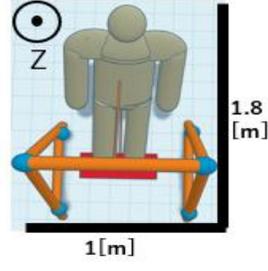


図 2.4: 平面図

灰色の人型物体が体験者である。xyz 軸は図 2.1 のように重力方向を z 軸，体験者が飛び出す方向を x 軸，残りを y 軸と設定した。

再現するヨットの名称に準じて，体験者が足を載せる板状の物体を「デッキ」(上図では体験者が足を乗せる赤い板)，被験者の胴体から伸びた線を「トラピーズ」と呼称する(体験者の胴体に繋がるオレンジ色の線)。また上図でオレンジ色に統一している太い柱を「支柱」とする。

また実際には y 軸の正方向がヨットにおける進行方向であるから，y 軸周りの回転が Role 回転，x 軸周りの回転が Pitch 回転，z 軸周りの回転が Yaw 回転である。

今回提示するべき力触覚は足元の Role 回転とトラピーズによる斜方向のテンションである。デッキの Role 回転はデッキの端に取り付けたロープを z 軸負方向に電動ウィンチによって引くことによって，再現を試みる。

2.2 全体荷重の見積もり

体験者の質量 m ，重力加速度 g ，デッキの抗力 N ，トラピーズの張力 T ，トラピーズと支柱のなす角度 θ_1 ，トラピーズと体験者のなす角(体験者の姿勢) θ_2 とする。

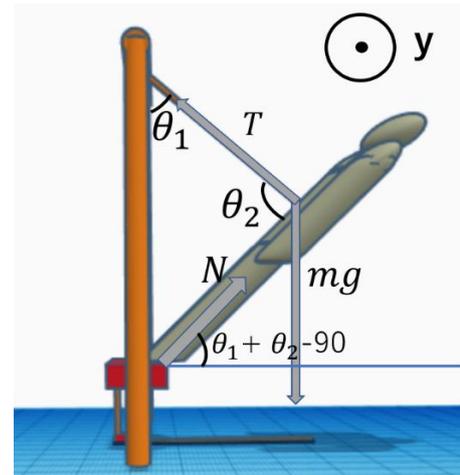


図 2.5: 正面図の力学系

図 2.5 のように体験者が安定した状態の時，剛体のつり合いは，

$$\begin{cases} T \cos \theta_1 - N \cos(\theta_1 + \theta_2) = mg \text{ (z軸方向)} \\ N \sin(\theta_1 + \theta_2) = T \sin \theta \text{ (x軸方向)} \end{cases} \quad (2.1)$$

となるので，

$$\begin{cases} T = \frac{mg \tan(\theta_1 + \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2) \cos \theta - \sin \theta_1} \\ N = \frac{mg \tan \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2) - \tan \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2)} \end{cases} \quad (2.2)$$

である [2]。

2.3 トラピーズの実現方法

体験者には図 2.5 のようにハーネスと呼ばれる拘束具を装着してもらい，図 2.5 の青枠部分にトラピーズをかける事によって体を支柱からの固定を可能とする。

トラピーズは荷重ばねを用いる事で，可変長かつテンションが一定となる機構を採用する。これにより，デッキが Role 回転をしたり，人が姿勢を変えたりする事で，トラピーズの長さが変わっても，テンションが保たれる。



図 2.6: ハーネス

2.4 デッキの Role 回転提示方法

本節ではデッキに関するつりあいの式を解く。図 2.5 青枠のようにデッキの端を電動ウィンチによって引く事によってデッキを Role 回転させる。電動ウィンチの力は、波・風でデッキが傾くモーメントを再現している。

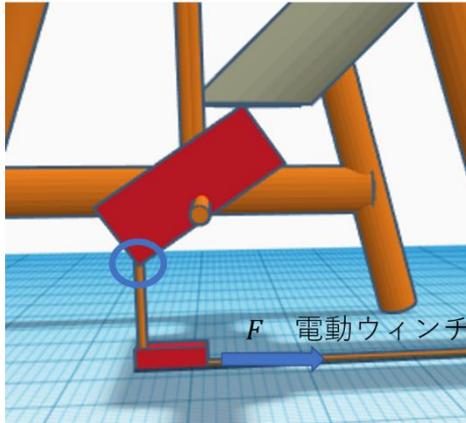


図 2.7: デッキが傾いた様子

デッキと水平線(x 軸)のなす角度, デッキの端を z 軸負方向に引く電動ウィンチの張力を F とする。

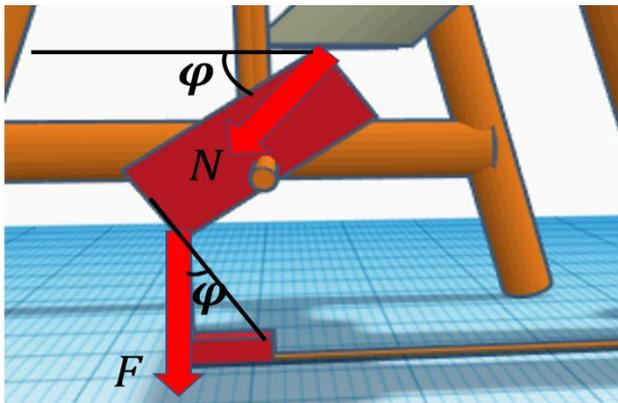


図 2.8: デッキのモーメント

デッキは支柱から伸びた柱により, x 軸方向の併進移動を行わないように固定している。またデッキは x-y 平面に平行な支柱からロープで吊るされているので, z 軸方向は負方向に移動しないように固定されている。従ってデッキの Role 回転に関するつりあいの式は,

$$F \cos \varphi = -N \cos(\theta_1 + \theta_2 - \varphi) \quad (2.3)$$

式 2.2, 2.3 より,

$$F = \frac{mg \tan \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2) - \tan \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2)} * \frac{-\cos(\theta_1 + \theta_2 - \varphi)}{\cos \varphi} \quad (2.4)$$

ウィンチの牽引力 $\max_{0^\circ < \theta_1 < 90^\circ} F$ と被験者の体重 $m[\text{kg}]$ との

関係を図 2.9 に示す($\varphi = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$)。

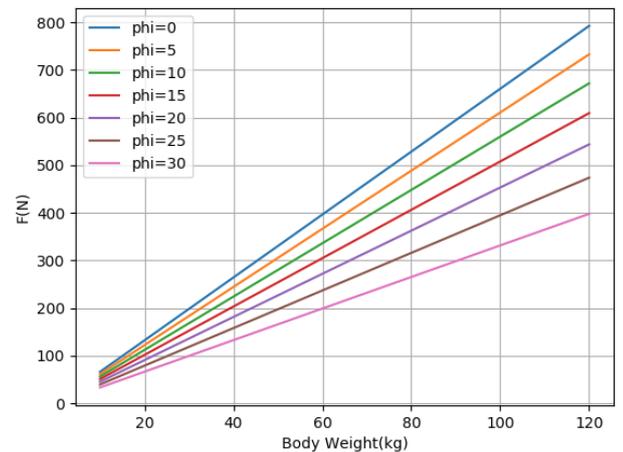


図 2.9: 体重と必要な牽引力の関係

市販の DC12V 電動ウィンチのカタログ [3]に於ける電流と牽引力の関係を図 2.10 に示す。

牽引力と電流の関係

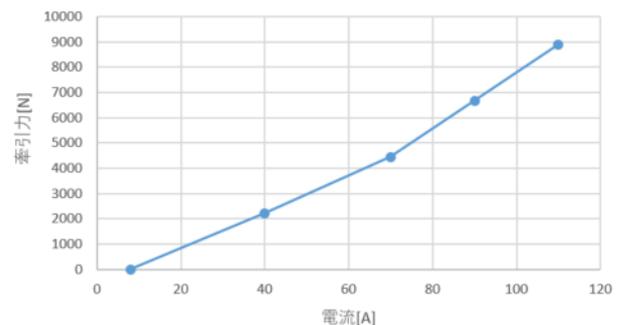


図 2.10: 電動ウィンチの牽引力と電流の関係

これより会場電力 300[w]で出力できる牽引力はおおよそ 1000[N]となり, 図 2.9 で必要な F を十分に上回っていることが確認できる [5] [6]。

2.5 インタラクション

体験者自身が動かせるパラメータは, トラピーズの長さや屈伸運動によるデッキとハーネス迄の距離である。体験者はトラピーズの長さを調整する事や屈伸運動をする事により, 1 や 2 を調整して, 垂直抗力 N を調整し, デッキを x-y 平面に対してなるべく水平にするというインタラクションを行う。また電動ウィンチによる急なデッキの Role 回転に対して体験者はバランスを崩さないように姿勢を安定させなくてはならない。

3. システムの概要

システムの全体構成は図のようである。

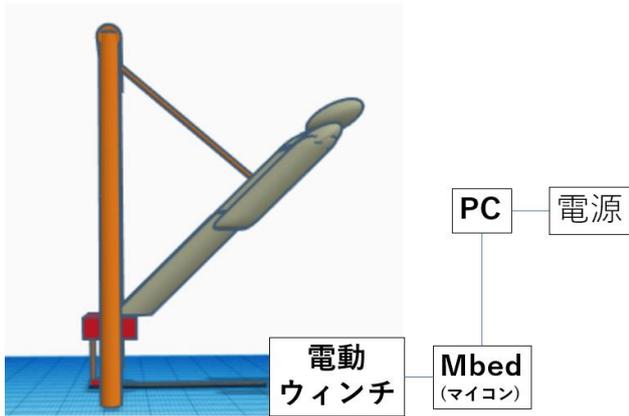


図 3.1:システム全体構成

4. おわりに

本研究では未熟者の為のトレーニングシステムの提案及び検討を行う。安全にセーリングの練習を行うことで、協議の危険性により練習できない未熟者を取り込むというセーリング競技の普及が期待される。

謝辞

5. 引用文献

1. Mulder A., Verlinden, J. C., & Dukalski, R. R.F. The effect of motion on presence during virtual sailing for advanced training. Presence. 出版地不明 : ISPR 2012, Philadelphia (USA), 2012.
2. 増山豊. 翔べ! 470. 出版地不明 : 舟艇協会, 2018.
3. カタログ. (オンライン) 株式会社エスコ. <https://www.esco-net.com/wcs/escort/ed/detail?hHinCd=EA840DK-1>.