

「民学産公」協働研究事業 実績報告書

ゴルフの最適パッティングに関するロボティクスの実証研究事業

平成23年2月25日

株式会社 ABYZs

代表取締役 沢田 恵重

目次	P2
1. 「民学産公」協働研究事業の概要	P3
2. 幹事団体のプロフィール	P3
3. 協働研究事業参加団体のプロフィール	P4
4. 協働研究事業の企画・実施の背景	P5
4-1 背景	
4-2 ストローク技術における理論	
5. 協働研究事業の詳細	P5
5-1 実証実験について	
5-2 実験使用機器構成	
5-3 実験方法	
6. 実験の結果	P14
6-1. 実験の手順	
6-2. 距離の計測	
6-3. ボールの挙動(転がりの観察)	
6-4. 実験結果	
7. 実験の考察	P18
7-1 転がり距離について	
7-2 ボールの転がりの挙動	
7-3 ロボットの課題	
8. 今後の計画	P20
8-1 ロボットの改良	
8-2 実験の継続	
9. 反省	P20
10. 謝辞	P20
11. 補足資料	P21

1. 「民学産公」協働研究事業の概要

従来からゴルフのパットイングにおいては「理論も方法もない」と言われ、上達は「勘と経験の世界」と言われてきたので、ゴルファーは試行錯誤して、自己流のストローク方法を習得してきた。理想の転がり(*1)を得るストロークを習得すれば、その理想とするフォームが明確で、ミスしても不調に陥っても原因がその場で把握できるので、後続プレーに影響せず、復調も早い。

本事業は、ロボット(*2)を用いてパットイングにおけるボールの理想の転がりを実験・実証研究を行うものであり、いくつかのストローク方式の転がりの実験的比較により、最適のストローク方式を求め、理論的にその優位性を確認し、研究成果を Eaglegetter の改良へつなげ、市民ゴルファーがパットイングを上達することで、ゴルフを易しくすることによって、ゴルフを身近で親しみやすいスポーツとし、市民の健康増進につなげていくきっかけを見出すものである。

- *1:理想の転がりとは、ボールの出だしからトップスピン(順回転)の転がりであり、これによりエネルギー損失の少ない、グリーン面の傾斜や夾雑物の影響を最小限に抑えることの出来るパットイングが可能となる転がりのことである。
- *2:振り子式のロボットを独自に開発する。水平軸を中心に回転するだけでなく、回転軸を傾斜することも可能とするロボット。

2. 幹事団体のプロフィール

本共同研究事業の幹事団体は株式会社ABYZs(エイビッツ)である。

株式会社 ABYZs(エイビッツ)のプロフィール

2005年4月 有限会社 ABYZsとして設立

代表取締役 沢田 恵重(ベンチャーカレッジ3期生)

事業内容:スポーツ用品の開発・設計・製造・販売・保守・サービス事業

経営コンサルティング事業

自動制御システムの開発・設計・エンジニアリング事業

キャリア・マッチング事業 等

本店所在地 三鷹市上連雀1-12-17

2006年5月 株式会社へ組織変更

本店所在地 三鷹市下連雀3-27-1へ住所変更

主な担当事業

この研究の事業主体であり、転がり理論の研究と実証実験を通して、理想の転がりを理論と実験から証明する

3. 協働研究事業参加団体のプロフィール

1) 草野製作所

代表 草野代二

住所 八王子市元本郷町

略歴 アツデン株式会社 取締役を経て定年退職後に個人事業主(平成 17 年から)

主な担当事業

ロボットの設計・製作並びに実証実験への協働参画

2) 国立大学法人 電気通信大学

明研究室 明愛国准教授(工学博士)

主な担当事業

理論解析とボールの高速挙動解析に関する指導と助言

4. 協働研究事業の企画・実施の背景

4. 1. 背景

ゴルフにおけるパッティングはスコアの要であるが理論的な解析がなされてこなかった。

日本では「パットに型なし」と言われ、欧米でも「セオリーもメソッドもない」といわれてきて、いわば「感と経験」が決め手とされてきた。

精神的な状態もパットの結果に対して大きく影響し、ゴルファーを悩ませてきた。高齢者がグリーン上で緊張の余り血管系の発作を起こすということも起こっている。

こうしたことから、パット巧者といわれる上級アマチュアゴルファーやプロゴルファーは、長い練習時間を投入し、試行錯誤の上で独自のストロークを確立しているのが実情である。このため、中年以降のゴルファーがパット巧者を目指して練習し腰痛を患うことがしばしば起こっている。

中年以降のアマチュアゴルファーは社会的に活躍している方が多い年齢層でもあり、このような試行錯誤依存の練習に多くの時間を投入するのは社会的にも損失といえる。

いわゆるシングル(ハンディキャップが9以下)と言われるゴルファーは、アマチュアゴルファーの約1000人に1人と言われている。

パットの練習環境には制約もあり、十分にパット練習に取り組めないという事情もあるが、施設の整備された条件(ドライビング・レンジとパッティング・グリーンの両方を備えている練習場)下でも、練習風景を観察していると、パッティング練習に取り組んでいるゴルファーは1000人に1人程度であり、これはシングルのアマチュアゴルファーの全体に占める割合とほぼ一致している。

以上のような社会背景の中、少しでも一般アマチュアゴルファーのパット上達に寄与出来る事を願い、理想のパット、即ち市民の誰もが単純なストローク(パターの振り方)で転がりの良いパットが得られるように開発に取り組んでいるものである。

4-2 ストローク技術における理論

パッティングにおける理論体系の確立を求めて研究を続けた結果、「理想の回転を得る打撃条件」と「それを得るためのストロークに必要な要件」を求めることが出来た。その詳細については図1、図2を参照。

また、以上のような経緯からこの理論を実験的に実証することで、市民の誰もが容易に会得できるように実証の協働研究に取り組んだものである。

5. 協働研究事業の詳細

5-1. 実証実験について

パッティングにおけるボールの理想の転がりとは、打ち出されたボールがその瞬間から、順方向の回転(スピン)がかかっていることである。

すなわち、この転がりがグリーン上の芝目や砂粒などの夾雑物の影響を最も受けにくい転がりである。

それを踏まえて理論を構築すると、理想の転がりを得るための打撃条件とそれを得るためのストロークが得られる。

この理論通りにパットすることで、理想の転がり即ち他の打撃条件と比較して最も良いスムーズな転がりが得られることが期待される。

図2に理想の転がりを得る打撃条件と、図3にそれを得るためのストロークの原理を示す。

5-2. 実験使用機器構成

人間は理論通りに、再現性の高いストロークを行うことは出来ない。そこで、人的不安定要因を排除して実験を行う必要があり、そのために「パッティングロボット」(愛称:「エイオーキ:AOKI」)を設計製作した。

このロボットによりパットされたボールの挙動と転がり距離を調べることで、各種打撃条件によるボールの転がりを比較することになる。

ボールの転がりの挙動を正確に把握するため、高速連写と高速度ビデオ機能を有するデジタルカメラを用いる。

更に、実験におけるボールの初期条件を正確に実現するために、ボール位置を簡便かつ正確に行える位置決め装置が必要になるので、ロボットにその機能を付属させた。

1)パッティングロボットの特徴と仕様

実験用に開発したロボットは次の特徴がある。

- ・ゴルフのパッティングのあらゆる打撃条件に対応出来る
- ・簡易で容易に正確なボールの位置決めが出来る
- ・自然の振り子機能に加え、人がパットの時に行う振り子機能を備える
即ち、自然の振り子では、インパクト以降の振幅が小さくなる(振り子の運動エネルギーがボールのそれに置きかえられるので)が、このロボットは、人間のパットのストロークと同じように
テークバックの振幅:フォローの振幅=1:N
Nは0.5~2.5の間で任意に調整できる
- ・軽量で分解組立可能な構造で可搬型といえるので、実験は車で搬入できる場所であれば、どこでも実験が可能であるので、今後の各種実証実験やパターの開発などにも使用が可能である。

仕様

- ・型式 自然落下型振り子式

- ・撮影装置 ワイヤー結合による別置き型
- ・愛称 エイオーキ(AOKI)ころがりくん
- ・カメラ同期方式 ワイヤー・カムによるシャッターの機械式同期方式
- ・振り幅 フォロー可変型
- ・ボールの位置決め レーザーポインターによる
- ・レバー長 最大1000mm
- ・寸法 高さ1200mm x 幅500mm x 奥行き500mm

・外形図

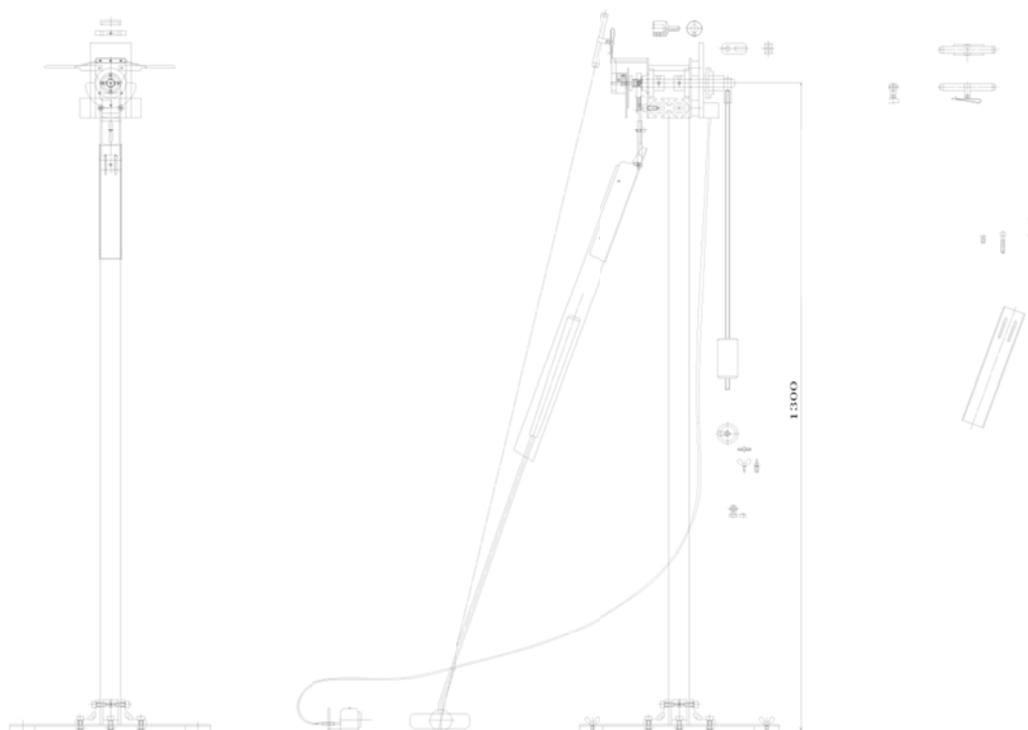


図1. ロボットの外観

2)カメラの仕様

- ・型式 EX-ZR10 (CASIO製)
- ・画像ファイル形式 静止画:JPEG
動 画:MOV
- ・記録媒体 内蔵フラッシュメモリー
- ・有効画素数 max 1210万画素
- ・レンズ f=5.0~35.0mm
(35mmフィルム換算でf=28~196mm)
- ・測光方式 中央重点測光、スポット測光、マルチパターン測光
- ・露出制御 プログラムAE
- ・シャッター方式 電子シャッター(CMOS)メカニカルシャッター併用
- ・電源 専用リチウムイオン電池

3)ボール(市販品)

- ・メーカー SRIXON
- ・型式 AD・333
- ・タイプ ディスタンス & コントロール
- ・構造 高反発ソフト ツーピース構造
- ・フィーリング ソフト
- ・弾道 高弾道(ドライバーでの弾道)
- ・公式競技使用 可(JGA公認球)

4)パターの仕様

- ・型式 ネオマレット型
- ・メーカー ゴルフジャパン
- ・型名 GJ-802
- ・個有ロフト 3°
- ・フェース ソフトインサート(材質不詳)

5)照明ランプ

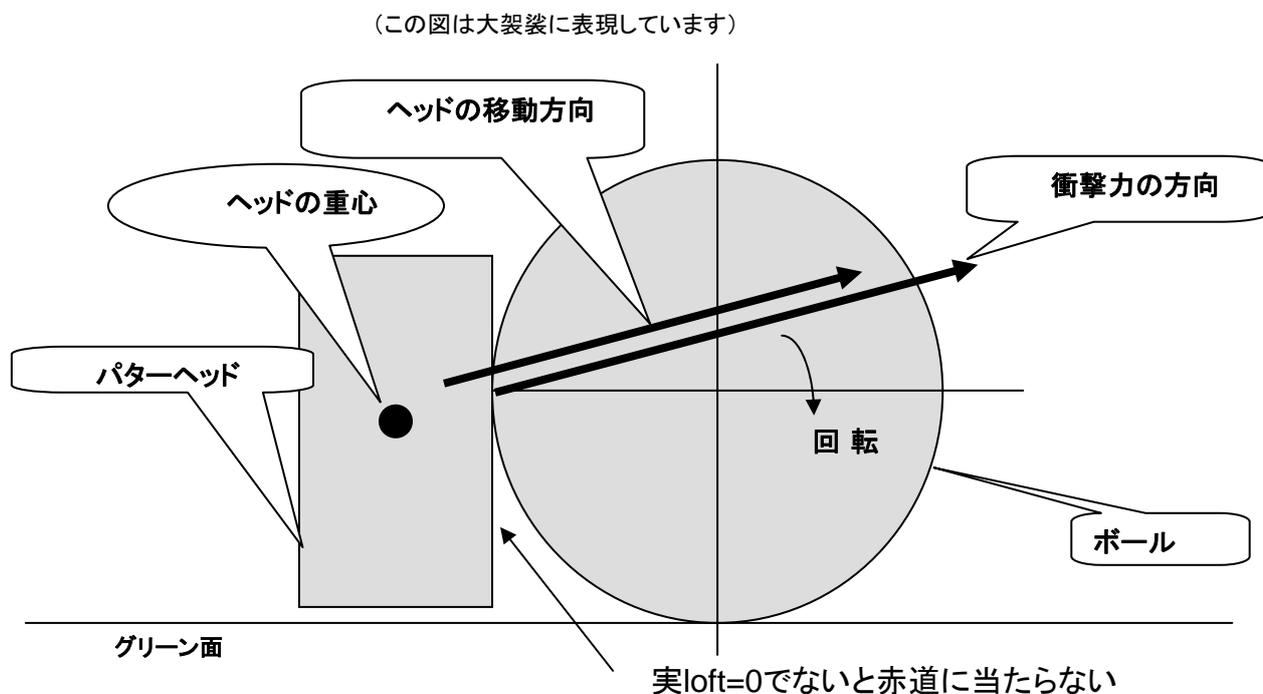
- ・タイプ スポット カラー用
- ・メーカー 岩崎電気
- ・型式 PRS500WD
- ・色温度 5900° K (DAYLIGHT)
- ・定格電圧 100V
- ・定格 500watts
- ・使用条件 ボール位置から40cmでカメラのほぼ真上からボールに向かって照射

6)グリーンマット

- ・名称 フラットグリーンスリムロング
- ・寸法 W20cm x L300cm
- ・材質 ラテックス、ポリエステル、天然ゴム
- ・スティンプ 8～8.5feetと推定（アマチュア・トーナメント並み：メーカー広告）

理想の転がりを得るための打撃条件

理想の転がりとは、出だしからトップスピンのかかった転がりをいいます。
これにより、芝目や砂などの影響を受け難い球脚の良く、且つ距離勘の良い
パットが実現できます。



理想の転がりを得る打撃条件は

- ① ボールの赤道面に当たり
- ② 衝撃力はボールの中心の上を抜ける ことです。

この 2 つの条件が満たされると、ボール(球体)の中心に対して順方向のモーメントが作用して「打出し時点から順方向スピン」が掛かった転がりが得られます。

図2. 理想の転がりを得る打撃条件

理想の転がりを得るためのストローク

Forward press して loft=0とし、頸骨を中心にした大きな円で自然にストロークすればアッパーブローの軌道となる(*)
 但し、ストロークの全工程を通して肘や手首を握ねてはならない (*)これにより、意識しなくても自然に低い大きな follow が得られる

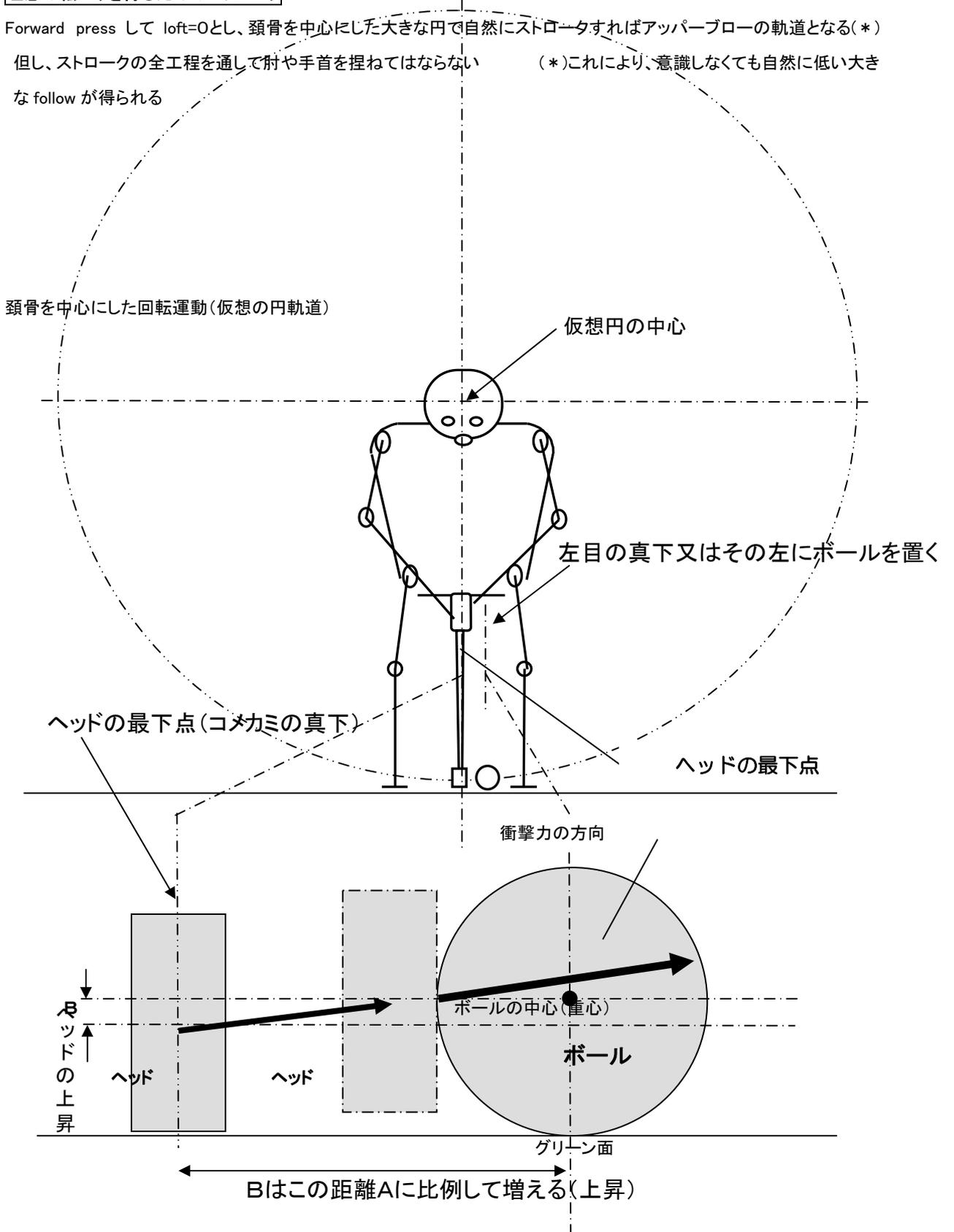


図3. 理想の転がりを得るストローク

5-3. 実験方法

5-3-1. 実験のフィールド

実験には、机上実験(屋内のパッティングマット上の実験)とフィールド実験(ゴルフ場のグリーン上の実験)を計画していたが、基本設計に多くの時間を要したことや詳細設計段階でも設計変更を何度も行わなければならなかったり、ロボットそのものを部分的に何度も造り変えなければならなかったことが原因し、実験の期間が十分に取れず、また降雪の影響でフィールド実験は行えなかった。

今回の実験は机上実験のみとした。

5-3-2. 実証実験の期間

平成23年2月5日(土) ~ 2月18日(金)

5-3-3. 実証実験で採取するデータ項目、データ数

グリーン上のボールの転がりを考える上で、理論上考えられる代表的な打撃条件は図4から図8に示す。

即ち、

図4は、図2図3が示す最良のストロークと想定される。

図5は図4の場合のロフト(パターフェースの後傾角度)のある場合のストローク。

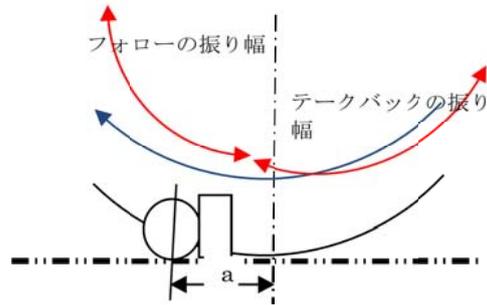
図6は、いわゆる身体の真下でのストロークである。

図7はパターを被せた状態で、体の真下で行うストローク。

図8はパターの個有ロフトのまま身体の真下で行うストローク。

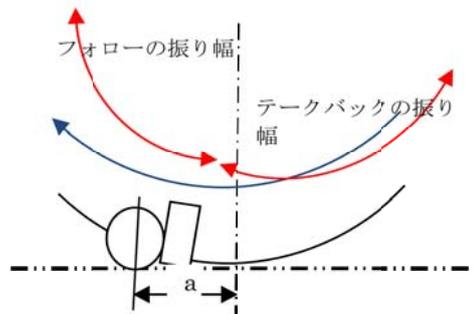
今次実験では、これらのうちボールの挙動が最も異なると思われる図4と図6について行うことで、理論の検証を行い、理想のストロークを見出そうというものである。

図4: 理論的に最も優れていると考えられる打撃条件とストローク



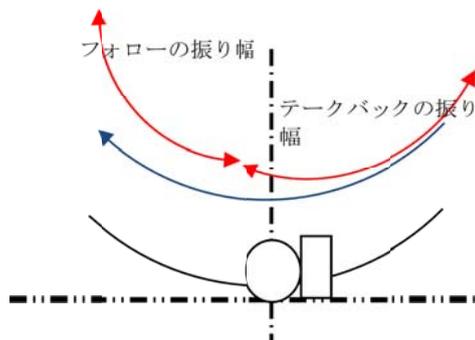
振り子の最下点を通過後、ロフトゼロでのインパクト

図5: 固有ロフトのままでの打撃条件とストローク



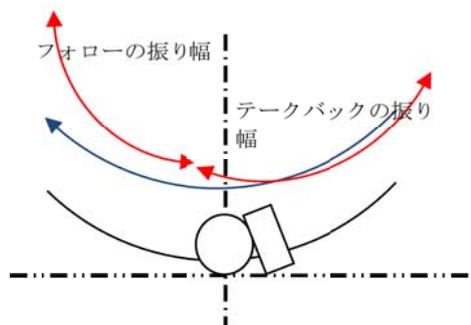
振り子の最下点を通過後、固有ロフトでのインパクト

図6: いわゆるこめかみの真下でのストローク1



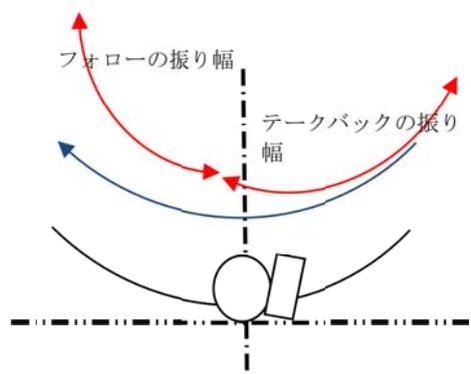
振り子の最下点でロフトゼロでのストローク

図7:いわゆるこめかみの真下でのストローク2



振り子の最下点でマイナスロフト(被った状態)でのストローク

図8:真下で固有ロフトでインパクトするストローク



振り子の最下点での固有ロフトでのストローク

6. 実験の結果

6-1. 実験の手順

はじめに基準となる振り幅を設定する。表1の実験5において振り幅1:1の場合の転がり距離が概ね2mになるように、振り幅を設定する。これは実験を繰り返すことで2mの振り幅を求める。

続いて、表1の実験1(振り幅1:1)野場合の転がり距離を計測する。

同様に、振り幅1:2の場合について転がり距離を計測する。

振り幅の比率については「補足資料3」参照。

さらに、振り幅調整の無い自然落下の振り子の状態での転がり距離を計測する。

これらについて、ボールの転がりは動画で観察結果を記録する。

続いて、10mを想定した転がりの振り幅を求めて、転がりの挙動を動画で観察記録する。

→表2

更に、20mを想定した転がりの振幅を求めて、同様に転がりの挙動を動画で観察記録する。

→表3

振幅の算出については「補足資料1」参照。

6-2. 距離の計測

距離の絶対値に大きな意味があるのではなく、他の打撃条件との相対的な転がり距離の比較が重要である。何故なら、どのような打撃条件がより優れているかの比較実験だからである。

また、実験は(今回は)実際のグリーンで行うのではなく、練習用のマット上で行う実験である。

従って、今次実験では3回の計測を行い平均距離を求めた。

なお、10m、20mの実験は出来ないので、3m先の緩衝マットでボールを止めて実験を行う。

6-3. ボールの挙動(転がりの観察)

予備実験の結果、高速連写ではボールの転がりの挙動を捉えることは難しいことが分かった。今回使用のカメラは最高撮影速度が40FPS(1秒間に40枚の撮影)で、且つ連続30Fまでの撮影しかできないという制約があったからである。

従って、動画(いわゆるムービー)撮影でボールの挙動を捉えることにした。

動画撮影では、被写体の明るさが十分でないと言質に影響するので、必要照度についてメーカーや専門家に聞いたが、明瞭な答えが得られなかったので、やむなく(5-2-5)に示す照明を用いて実験した。→「補足資料2」参照。

結果的には、この照度でも照度は不十分だったと言える。

6-4. 実験結果

実験の結果を表1～表3に示す。

表のなかには今次実験で行わなかった記入箇所が多く含まれているが、これは本協働研究に引き続き、これらの実験を行えるように表(EXCEL)を作成しているからである。

表中に「movie N」とあるのは、動画での観測記録があるものを示している。

表1. 練習マットでの2mの転がり実験結果

屋内練習マット

距離の単位:cm

振り幅:転がり距離2m 振り比=1:1

振り幅:転がり距離2m 振り比=1:2

振り幅:転がり距離2m 振り比=自然

実験番号	転がり距離	3回の平均値	振り幅:転がり距離2m 振り比=1:1				振り幅:転がり距離2m 振り比=1:2				振り幅:転がり距離2m 振り比=自然			
			1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値
1)実験1 左目下ロフトZERO	typical		200.7	202.8	214.8	206.1	229.0	231.7	235.5	232.1	121.0	127.1	126.3	124.8
	movie						movie 3、9							
2)実験2 左目下固有ロフト	typical													
	movie													
3)実験3 真下ロフトZERO	typical													
	movie													
4)実験4 真下マイナスロフト	typical													
	movie													
5)実験5 真下固有ロフト	typical		199.1	199.6	201.3	200.0	217.4	222.0	222.2	220.5	116.7	122.3	129.4	122.8
	movie						movie 2、8							

表2. 練習マットでの10mの転がり実験結果

屋内練習マット

距離の単位:cm

振り幅:転がり距離10m 振り比=1:1

振り幅:転がり距離10m 振り比=1:2

振り幅:転がり距離10m 振り比=自然

実験番号	転がり距離	3回の平均値	振り幅:転がり距離10m 振り比=1:1				振り幅:転がり距離10m 振り比=1:2				振り幅:転がり距離10m 振り比=自然			
			1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値
1)実験 1 左目下ロフトZERO	typical													
	movie	movie 4、10												
2)実験 2 左目下固有ロフト	typical													
	movie													
3)実験 3 真下ロフトZERO	typical													
	movie													
4)実験 4 真下マイナスロフト	typical													
	movie													
5)実験 5 真下固有ロフト	typical													
	movie	movie 5、12												

表3. 練習マットでの20mの転がり実験結果

屋内練習マット

距離の単位:cm

振り幅:転がり距離20m 振り比=1:1

振り幅:転がり距離20m 振り比=1:2

振り幅:転がり距離20m 振り比=自然

実験番号	転がり距離	3回の平均値	振り幅:転がり距離20m 振り比=1:1				振り幅:転がり距離20m 振り比=1:2				振り幅:転がり距離20m 振り比=自然			
			1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値
1)実験 1 左目下ロフトZERO	typical													
	movie	movie 6、11												
2)実験 2 左目下固有ロフト	typical													
	movie													
3)実験 3 真下ロフトZERO	typical													
	movie													
2)実験 4 真下マイナスロフト	typical													
	movie													
5)実験 5 真下固有ロフト	typical													
	movie	movie 7、13												

7. 実験の考察

7-1. 転がり距離について

- 1) 実験5の「振り幅:転がり距離2m 振り比=1:1」
表1の転がり距離について見ると、先ず実験5の $\approx 2\text{m}$ の転がり距離になるように振り幅を初期設定しているの
で、ここの計測は200cm近くになる筈である。
3回の実験での平均が200.0cmになったが、これは単なる偶然であって、このロボットはそれが事前に設定で
きるほど精密には出来ていない。
- 2) 実験5の「振り幅:転がり距離2m 振り比=1:2」
これは振り幅1:1の場合の転がり距離に対して $\approx 10\%$ しか転がりの距離が増えていない。
2倍のエネルギーで転がしているにも関わらず、距離が増えていないのは、打撃時にパターヘッドのエネルギー
が全てボールに転移されているのではなく、いわゆる「球離れが早い」ことからエネルギー効率が低くなっている
と推定できる。
- 3) 実験5の「振り幅:転がり距離2m 振り比=自然」
これは振り幅1:1の場合の転がり距離に対して $\approx 60\%$ の距離しか転がっていない。
これは、補助振り子を使わないので、振り子のエネルギーが小さいことから、妥当な結果と言える。
- 4) 実験1の「振り幅:転がり距離2m 振り比=1:1」
平均すると $\approx 6\%$ の飛距離が増えた。これは、ボールの転がり良くこれだけ転がり距離が増えたと言える。
しかし、これは定量的に評価すべき結果ではないように思われる。
実験5に比べて少し距離が延びる、と言う程度の評価が妥当と思われる。
- 5) 実験1の「振り幅:転がり距離2m 振り比=1:2」
転がり距離は基準距離(2m)に比べて $\approx 16\%$ 増加している。また、実験5の「振り幅:転がり距離2m 振り比=
1:2」の転がりに比べても6%程度増えている。
- 6) 実験1の「振り幅:転がり距離2m 振り比=自然」
これは振り幅1:1の場合の転がり距離に対して $\approx 60\%$ の距離しか転がっていない。
実験1の場合とほぼ同様の結果である。
- 7) 転がり距離が増えることについて
3回の実験を通して、殆どの場合において回数が増えるに従って、転がり距離が増えている傾向がある。
これは、練習マット上にボールの転がり軌跡が作られて、芝で言うところの「順目」の状態が形成されていること
に起因するものと考えて良い。

その様子を図9に示す。



図9. 順目の出来た様子(中央部を横に走る帯状の道)

7-2. ボールの転がりの挙動

- 1) 表1の転がりについての挙動は、表中に示した「movie N」が動画として記録されている。
- 2) 転がり距離2mの場合で
実験5の転がりがmovie2と8で、実験1の転がりがmovie3と9である。
- 3) 2、8の転がりに比べて3と9の方が転がりがスムーズであると言える。
- 4) 表2、表3の転がりについても同様である。
表2ではmovie4と10が5、12に比べて転がりがスムーズであると分かる。
表3ではmovieと7と13にくらべて6と11が転がりがスムーズである。

表2、表3は想定転がり距離が長いので、打撃時の衝撃力が大きく、転がりへの影響が2mの場合に比べて大
きいからであり、その差が顕著に顕れていると言える。

- 5) 画像が不鮮明
いずれの画像も鮮明度にかけていると言える。今回の実験は屋内で行ったもので、カメラの性能と合わせこれが限界であった。
室内での実験では、照明の明るさを更に高めるのは、難しい(太陽光には勝てない)。焦点を絞り込んだり手動の焦点距離設定を行うなどの対策を検討する必要がある。
または、ボールの転がりのライン上だけを照明するなどの工夫も必要になろう。
- 6) 期待した結果が得られた
十分とは言えない実験の結果に終わったが、期待した結果が得られた。理論通りとは言えない(10m、20mでの実験1ではボールが少しだけ浮いているようにも見える)が、他の転がりに比較して、実験1の転がり、即ち理想の転がりを得る打撃条件とそれを得るストロークの良さ(*1)が実証できた。

*1:これは、ともほかの打撃条件・ストロークと比べて、このパッティング方法が優れていると言えることが分かった。

7-3. ロボットの課題

- 1) ロボットの設計製作に当たっては、長い期間をかけた(基本設計に3カ月、詳細設計に1.5カ月)が、実験に使ってみると、使い勝手や操作上の課題が多数あることが分かった。
なお、使いやすい点も多数あるがここでは割愛させていただきます。
- 2) 具体的な例を上げると、
パターのロフトの調整機構 : 今回は1本のボルトを中心にして位置を手動で変えることで行った。これはネジやハンドルを回転することで微調整が出来ると、精密な設定が可能となる。
また、
カメラのシャッターの動作については、パターの動きと連動して動作するが、メカニカルな動機であるにも拘らずリリースケーブル(ピアノ線)の僅かなたわみにより動作遅れが出て、調整に手間取った、など。

8. 今後の計画

8-1. ロボットの改良

ロボットの機能・操作性については、大きな時間をかけて各種の検討を繰り返し、一応満足のゆく仕様・性能のロボットが完成した。実際に実験を行ってみた結果では、改良すべき点はまだあることが分かった。また、今後さらなる実験を行う上では、ロボットの機能・操作性について改良も必要な事が分かった。今後の実験に当たっては、これらをクリアしながら実験項目を増やして行きたい。

8-2. 実験の継続

初めての取り組みであったので、慎重を期してロボットの設計製作に時間をかけすぎてしまい、十分な転がり実験を行うことが出来なかった。今後機会を作って転がり実験を継続して行きたい。

9. 反省

ロボットの機能性に拘ったので、設計や作り直しを再三に亘って行ったことで、製作納期が大幅に遅れた。このために実証実験のうち、実際のグリーン上での実験を行うことが出来なかった。これは2月14日の降雪によって実現出来なかったのであるが、もっと早めに実施していれば降雪の影響を回避できたはずなので、大いに反省し今後の取り組みに生かしたい。

10. 謝辞

本協働研究事業の実施に当り、三鷹ネットワーク大学・国立大学法人電気通信大学並びに草野製作所の皆様に多大の御指導を頂きました。また、いろいろとお世話になりながら実験をおこなうことが出来ました。ここに記して謝意を表します。

以上

11. 補足資料

補足資料1. 振り幅の算出(10の転がり距離や20mの転がり距離の場合)

単純な振り子を考えると

パターヘッドが振り上げられた最上端の時の位置エネルギーが、最下点では全てが運動のエネルギーに変換されていることになる(ロボットの軸摩擦が無いと仮定する)。

即ち、エネルギーは振り子の高さに比例する。また、最下点から振り角 45° 以下の場合であれば、振り子の最下点からの高さはほぼ振り角の2乗に比例関係にある。

従って、「ボールを打つエネルギーは振り角度の2乗に比例する」ということになる。

この関係を利用して、2mを基準として10mや20mの振れ角度を求める。

補足資料2. 動画撮影の必要照度について

動画の撮影について必要照度の数値的な表現をカメラメーカーはしていない。

「撮影速度(フレームレート)が高くなるほど、撮影時の周囲の明るさが必要になる」という表現にとどまっている。

屋外における撮影を想定すれば、必要な照度は十分に得られるはずだから、このような表現で十分なのかもしれない。

何故ならば、日射がある場合の照度は 5000lx から 100000lx が普通であり、 200000lx にも及ぶからである。

一方、屋内での撮影では天井灯の照明があるというものの 500lx から 1000lx 。今回の補助照明を用いてもせいぜい

2000lx 程度なので、照度不足は否めない。

補足資料3. 振り子のふり幅の比について

ゴルフのパッティングで、プレーヤーは振り子式ストロークを使っているが、動作は振り子の原理ではない。

即ち、自然の振り子であれば、最下点において振り子の位置エネルギーは理論的にはボールに転移されるので

いわゆるフォローは出ない(か極端に少ない)。しかし、ゴルフの場合はプレーヤーがストロークすると必ず振りきるといふ動作が伴っている。これは テークバックの振り幅:フォローの振り幅の比で表現されている。

振り子のように1:1で振れという指導者もいるが、いや1:2でストロークせよ、という指導者もいる。

感覚的には、1:2でストロークする方が正しく芯を捉えたインパクトが出来るようである。