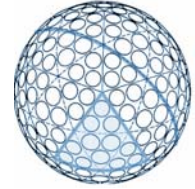




スポーツにおける工学



TryEngineering - www.tryengineering.org 提供

レッスンの焦点

このレッスンでは、航空宇宙工学の原理がゴルフボールなどのスポーツ用具の設計に与えた影響に焦点を置きます。生徒は、航空宇宙技師がスポーツに与えた影響、および、ゴルフボールに付いているディンプル(くぼみ)の目的について探究します。また、技師のチームに分かれて、「航空機にくぼみを付けると燃料効率が向上し、航空業界にとってメリットになるかどうか」を調べます。さらに、さまざまな種類のボールの跳ね返りテストを通じて、跳ね返りの物理学について学習します。

レッスンの概要

「スポーツにおける工学」では、航空宇宙工学がスポーツに与えた影響について、ゴルフボールの設計を例にとって学習します。また、各産業が工学の専門家を雇用することによって製品のレベルをどのように上げているかについて学びます。生徒はチームに分かれて、跳ね返りテストを通じて跳ね返りの物理学について考察し、また、航空宇宙工学の原理が航空機設計にどのように応用されているかを調べます。さらに、計画をクラスで発表し、他のチームの提案内容やわかったことを評価します。

年齢

11-18 才。

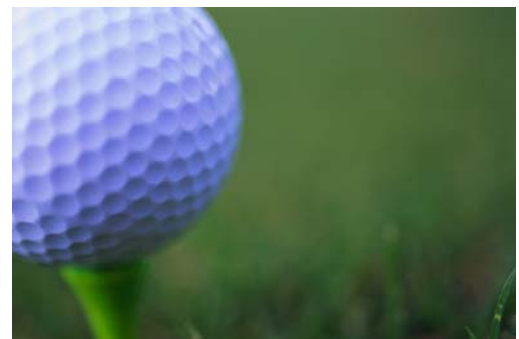
目的

- ✦ 工学がスポーツ用具の設計に与えた影響について学びます。
- ✦ 空気力学、抗力、および空気摩擦について学びます。
- ✦ 跳ね返りの物理学について学びます。
- ✦ 工学上の問題の解決について学びます。

習得内容

この学習で生徒は以下についての理解を深めます。

- ✦ 空気力学
- ✦ 跳ね返りの物理学
- ✦ 工学と技術が社会にもたらす影響
- ✦ 工学上の問題の解決
- ✦ チームワーク



レッスン内容

生徒は、製品のレベルを向上させるために各産業が工学をどのように応用しているかについて学びます。生徒はチームに分かれて、現在のゴルフボール設計を評価し、また、ゴルフボール設計に対する工学的改良点を航空機産業に応用できるかどうかを調べます。また、跳ね返りの物理学について学びます。

リソース/教材

- ✦ 教師用リソース文書(添付)
- ✦ 生徒用リソース シート(添付)
- ✦ 生徒用ワークシート(添付)

教科課程枠組みとの調整

添付されている教科課程の調整用シートをご覧ください。

インターネットでの参照資料(英語)

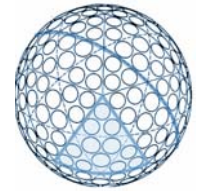
- ✦ TryEngineering (www.tryengineering.org)
- ✦ Golf Ball Aerodynamics (www.titleist.com/technology/aerodynamics.asp?bhcp=1)
- ✦ Franklin Institute: Golf Ball Dimples (www.fi.edu/wright/again/wings.avkids.com/wings.avkids.com/Book/Sports/instructor/golf-01.html)
- ✦ Exploratorium: Science of Sport (www.exploratorium.edu/sport)
- ✦ ITEA Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology (国際技術教育学会による技術能力の基準: 技術研究の教材) (www.iteaconnect.org/TAA)
- ✦ 全米科学教育基準(www.nsta.org/standards)

推奨文献(英語)

- ✦ 『Newton on the Tee: A Good Walk Through the Science of Golf』 John Zumerchik 著 (ISBN: 0743212142)
- ✦ 『The Physics of Golf』 Theodore P. Jorgensen (AIP) 著 (ISBN: 038798691X)
- ✦ 『Engineering of Sport』 Eckehard Moritz、Steven Haake 編

任意の作文

- ✦ 工学があなたのお気に入りのスポーツ用具の設計と開発に与えた影響について説明する簡単な作文を書きます。それを裏付ける具体的情報、および用具の変遷について記述してください。さらに、工学がスポーツをどのように進化させるかに関する提案を書いてください。



教師用:

教科課程枠組みとの調整

注意: このシリーズにおけるすべてのレッスン プランは、全米研究評議会により設定された全米科学教育基準に準じ、科学教育者協会により推奨され、また該当する場合には国際技術教育学会による技術能力基準または国立数学教師評議会による学校数学の目標と規準に準じるものです。

◆全米科学教育基準 学年 5-8 (年齢 10-14 才)

教材基準 A: 疑問としての科学

この学習により、生徒全員は以下を習得します。

- ✦ 科学的な質問をするために必要な能力
- ✦ 科学的な質問の理解

教材基準 B: 物理学

この学習により、生徒全員は以下についての理解を習得します。

- ✦ 物質の特性とその変化
- ✦ 運動と力
- ✦ エネルギー伝達

教材基準 E: 科学技術

5-8 学年における学習の結果、生徒全員は以下を習得します。

- ✦ 技術設計能力
- ✦ 科学技術についての理解

教材基準 F: 個人的および社会的な観点から見た科学

この学習により、生徒全員は以下を理解します。

- ✦ 社会における科学技術

教材基準 G: 科学の歴史と本質

この学習により、生徒全員は以下を理解します。

- ✦ 科学の歴史

◆全米科学教育基準 学年 9-12 (年齢 14-18 才)

教材基準 A: 疑問としての科学

この学習により、生徒全員は以下を習得します。

- ✦ 科学的な質問をするために必要な能力
- ✦ 科学的な質問の理解

教材基準 B: 物理学

この学習により、生徒全員は以下を理解します。

- ✦ 運動と力
- ✦ エネルギーの保全と無秩序の増加
- ✦ エネルギーと物体の相互作用

教材基準 E: 科学技術

この学習により、生徒全員は以下を習得します。

- ✦ 技術設計能力
- ✦ 科学技術についての理解

教材基準 F: 個人的および社会的な観点から見た科学

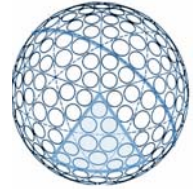
この学習により、生徒全員は以下を理解します。

- ✦ 地域、国、世界レベルの課題に対する科学技術

教材基準 G: 科学の歴史と本質

この学習により、生徒全員は以下を理解します。

- ✦ 人間の試みとしての科学



教師用:
教科課程枠組みとの調整(続き)

◆技術能力の基準 - 全年齢層

技術の本質

- ✦ 基準 1: 生徒は技術の特性と範囲についての理解を養います。
- ✦ 基準 3: 生徒は技術分野間および技術と他分野との関係についての理解を深めます。

技術と社会

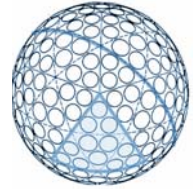
- ✦ 基準 4: 生徒は技術の文化的、社会的、経済的、政治的な効果についての理解を深めます。
- ✦ 基準 7: 生徒は技術の歴史に対する影響についての理解を養います。

設計

- ✦ 基準 8: 生徒は設計の特質についての理解を養います。
- ✦ 基準 9: 生徒は技術設計についての理解を養います。
- ✦ 基準 10: 生徒はトラブルシューティング、研究開発、発明と革新、および問題解決における実験の役割についての理解を養います。

技術社会に対応する能力

- ✦ 基準 11: 生徒は設計手順を応用するための能力を養います。
- ✦ 基準 13: 生徒は製品とシステムの影響を評価する能力を養います。



教師用: 教師用リソース

◆ レッソンの目標

生徒は、製品のレベルを向上させるために各産業が工学をどのように応用しているかについて学びます。生徒はチームに分かれて、現在のゴルフボール設計を評価し、また、ゴルフボール設計に対する工学的改良点を航空機産業に応用できるかどうかを調べます。さらに、さまざまな種類のボールの跳ね返りテストを通じて、跳ね返りの物理学について学習します。

◆ レッソンの目的

- ✦ 工学がスポーツ用具の設計に与えた影響について学びます。
- ✦ 空気力学、抗力、および空気摩擦について学びます。
- ✦ 跳ね返りの物理学について学びます。
- ✦ 工学上の問題の解決について学びます。

◆ 教材

- 生徒用リソース シート
- 生徒用ワークシート
- 生徒のグループあたり教材 1 セット(次に示すボールの中から 4 種類以上):
 - 物差しまたは巻き尺、普通のゴルフボール、練習用/中空のゴルフボール、テニスボール、野球ボール、サッカーボール、バスケットボール、スーパーボール/ゴムボール。



◆ 手順

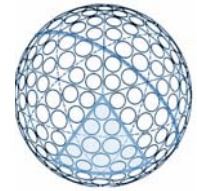
1. 生徒に生徒用参照シートを数枚配ります。これらはクラスで読むか、または宿題として読むように事前に渡します。
2. 生徒を 2-3 人のグループに分け、1 グループに 1 セットの教材を渡します。
3. 各チームで、各ボールを同じ高さから落としたときにどのくらい跳ね返るかについて予測し、説明します。各チームで 2 種類のエネルギー(運動エネルギーと位置エネルギー)について検討し、各ボールの弾性と跳ね返りについて話し合います。また、各チームで跳ね返りテストを実施し、結果を確認し、クラスで発表します。

◆ 追加の課題

4. 生徒に生徒用ワークシートに記入するよう指示します。生徒は「技師」のチームとして、「航空機の翼面にくぼみを付けると飛行の効率が向上して燃料消費量が減るかどうか」を評価し、提案を行います。
5. 各「技師チーム」が提案内容をクラスで発表し、スポーツ産業における工学の影響について考えを述べます。

◆ 所要時間

45 分のセッション 1 回または 2 回。



教師用: 生徒用ワークシート(回答/ヒント付き)

みなさんへの課題は、航空宇宙技師のチームとして、ジェット旅客機の翼面(よくめん)にくぼみを付けると燃料効率が向上するかどうかを判断することです。各質問にチームとして回答し、チームで考察したことをクラスで発表する必要があります。

1. デンプルが付いているボールと付いていないボールでは、空中を飛ぶときにどちらの方が空気摩擦(まさつ)が小さいと思いますか? その理由は何ですか?

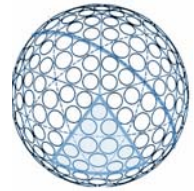
(教師用: テストしてみると、デンプルが付いていないボールの飛距離はデンプルが付いているボールの約半分にすぎないことがわかります。風洞内でボールをテストしてみるとわかるように、デンプルが付いているボールでは、乱流境界層ができて後流が少なくなるので、抗力が大幅に低下します。実際、デンプルが付いていない滑らかなボールで通常発生する空気学的抗力が、デンプルが付いているボールでは小さくなります。完全に滑らかなゴルフボールでは、空中を飛ぶとき、大きな低圧エアポケットが後流内に発生します。これによって抗力が発生し、ボールの速度が低下します。後流を減らせば、圧力差が低下するので、結果的に抗力が低下します。デンプルによって、ボールの周囲に乱流が発生します。つまり、ボールのすぐ近くを空気が囲むこととなります。これは、空気はボールの後方にすばやく流れるのではなく、ボール表面のデンプルに沿って前から後ろへ流れるということ意味します。この結果、後流が少なくなり、抗力が小さくなります。デンプルが付いているボールに発生する抗力は、デンプルが付いていないボールの約 1/2 です。)

2. ゴルフボール表面に付いているデンプルの効果について理解した技師チームは、航空機の翼面にくぼみを付けることを提案すべきですか? この考えに対する賛成理由または反対理由を書いてください。この理由は、後でクラスで発表します。

(教師用: ボールにデンプルを付けたときに抗力が低下する理由の 1 つは、ボールが丸いからです。ボールが空中を飛んでいるとき、この丸い形には飛行を妨げる働きがあります。ボールや球形は、効率的な飛行にとって最適な形ではありません。航空機は抗力を回避するため、先細の形になっています。これにより、気流が徐々にまとまるので、航空機の後方の乱流が小さくなり、結果的に抗力が低下します。アメフトボールは、ゴルフボールに比べて空気力学を考慮した形になっています。また、航空機の翼のような流線形の場合、表面摩擦抗力と呼ばれる別種の抗力に対処する必要があります。航空機の翼面に取り付けられている突起物(ポルテックス ジェネレータ)は、乱流効果を発生させるという点で、デンプルと同じような働きをします。アメフトボールの縫い目も同じような働きをします。航空機にくぼみを付けると抗力が低下するもう 1 つの理由は、航空機がゴルフボールと違って、エンジン出力で動いているからです。ゴルフボールの場合、打った後すぐに速度が低下するので、デンプルを付けることによって空気中をより長く飛べるようにしています。一方、航空機はエンジンが動いているかぎりずっと飛び続けます。)

3. 工学が他のスポーツ用具の設計に影響(えいきょう)を与えた例を 2 つ挙げてください。また、それらのスポーツ用具が工学によって過去 10 年間で物理的にどのように変化したかについて、具体例を挙げてください。

(教師用: このようなスポーツ用具の例としては、アメフトボール、サッカーボール、水泳用ゴーグル、水着、テニスラケット、スキー板、ヘルメットなどがあります。)



生徒用リソース: ゴルフボールの空気力学

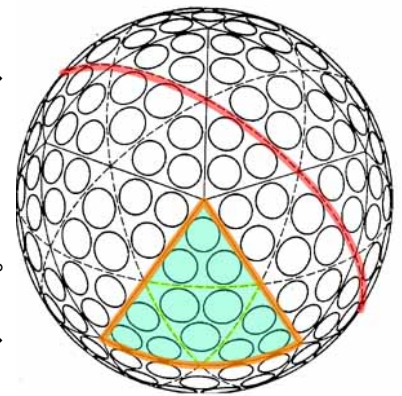
◆ 誘導抗力

空気力学における誘導(ゆうどう)抗力(こうりょく)とは、リフティング ボディまたは有限幅(ゆうげんはば)の翼(よく)によって揚力(ようりょく)が生成されたときに発生する抗力のことです。誘導抗力は、航空機にもゴルフボールにも発生します。また走行中の車の窓から出した手にも発生します。



◆ ディンプルの空気力学

ゴルフボールを打つとき、インパクトの時間は1ミリ秒以下ですが、このインパクトによって、ボールの速度、打ち出し角度、および回転速度が決まります。また、この3つの要素はすべて、ボールの弾道(だんどう)、および、地面に落ちた後の動きに影響します。空中を飛んでいる状態のボールに対して、2つの主要な空気力である、揚力および抗力が発生します。抗力が発生すると、前方向への動きが遅(おそ)くなります。一方、揚力は抗力に対して垂直方向に働きます。これらの力の大きさは、ボール表面を流れる空気の境界層の動きによって決まります。



右の図に示すように、ゴルフボールは2つの成形部品で作られています。また、赤い点線で示した円周上にディンプルはないので、2つの半球形の成形部品を接合して作ることができます。

最新のゴルフボールのディンプルの設計では、境界層の動きを少し変えることによって、揚力と抗力を形成し、また増大させるようにしています。物理学および流体力学では、境界層とは境界面のすぐ近くを流れる流体の層のことです。航空機の翼の場合、境界層は翼のすぐ近くを流れる気流の一部です。抗力と揚力は、ディンプルが付いていないボールでも発生します。ディンプルを付けた場合、抗力と揚力が新たに発生するのではなく、変化するだけです。

次の2つの効果が組み合わさることにより、ディンプルが付いているボールは、ディンプルが付いていないボールよりも遠くに飛びます。

1. ディンプルによって境界層剥離(はくり)が遅延します。滑(なめ)らかな球形において見られるように、境界層が早く剥離すると、後流の乱れが大きくなるので、抗力が大きくなります。ディンプルを付けたことによって剥離が遅くなると、この後流の乱れが小さくなるので、抗力も小さくなります。
2. 逆回転をかけると、ボール周囲の気流の形が変わることによって揚力が発生します。これは、飛行機の翼の場合に似ています。ほぼすべてのショットにおいて、逆回転はゴルフクラブのロフト(クラブフェイスと垂直面の角度)によってかかります。逆回転がかかったボールに対しては上方向の揚力が発生します。これにより、逆回転がかかっていないボールよりも高く長く飛びます。横回転がかかるのは、クラブフェイスがスイングの方向に対して直角でない場合です。この場合、揚力が発生し、ボールがいずれかの方向に曲がります。あいにくディンプルには、この効果を高める働きがあります。ただし、逆回転によって発生する上方向の望ましい揚力を大きくする働きもあります。なお、一部のディンプル設計には、横回転効果を抑(おさ)える性質があります。

生徒用リソース: ゴルフボールの空気力学(続き)

◆ 技術仕様

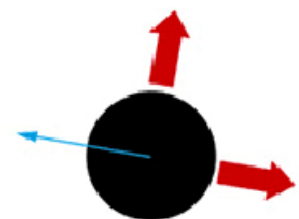
現在市販(しはん)されているほとんどのゴルフボールには、300個から450個のディンプルが付いています。過去には、500個以上のディンプルが付いているボールも販売(はんばい)されていました。最もディンプル数が多かったボールには、1,070個のディンプルが付いていました。その内訳は、4種類のサイズの大きいディンプルが414個、非常に小さいサイズのディンプルが656個でした。1つの例外を除き、ボールに付いているディンプルは偶数(ぐうすう)です。ディンプル数が奇数(きすう)である唯一(ゆいいつ)のボールには、333個のディンプルが付いています。ゴルフボールは規格により、直径42.67mm以上、重量45.93g以下と決められています。最近のゴルフボールは、さまざまな合成素材を2層から4層に重ねた設計になっています。空気力学面でのボールの性能を向上させるため、表面には一般(いっぱん)に300個から400個のディンプルが付いています。製造方法と使用素材は、ボールの特性(距離(きょり)、弾道(だんどう)、回転、および打球感)に大きな影響を与えます。サーリンなどの硬(かた)い素材がカバーに使われている場合、一般にボールの飛距離(ひきょり)が長くなります。一方、パラタなどの柔(やわ)らかい素材がカバーに使われているボールには、回転速度が速い、打球感が良い、止まりやすい、などの傾向(けいこう)があります。ゴルフボールはその構造によって、2ピース、3ピース、4ピースの3種類に分けることができます。初期のゴルフボールは皮と羽で作られており、ふさふさしていました。

◆ 揚力が発生する仕組み

ゴルフ初心者は、ゴルフボールが飛ぶのを見ると驚(おどろ)きます。ボールは、まるで何か見えない力で支えられているかのように、非常に長い時間飛び続けます。その飛距離は、野球場の2階席に届く大きいホームランの2倍もあります。このような飛距離を可能にしているのは、空気力学における揚力です。しかし、揚力はどこから発生するのでしょうか。

人間から見ると、ゴルフボールと航空機の翼はまったく別物ですが、風洞(ふうどう)ではどちらも同じように見なされることがあります。風洞の中を流れる空気に対しては、どちらも同じように見えます。シンプルな翼を気流の中に置いて気流の方向に合わせた場合、その翼は単に空気を切り分けるので、揚力は発生しません。一方、翼を傾(かたむ)けて迎え角(むかえかく)ができるようにすると、興味深いことが起こります。翼は、気流を下方向にそらします。これにより、上方向の反動力が発生します(ニュートンの第3法則:「あらゆる作用に対して、大きさが等しく方向が逆の作用が存在する」)。これを揚力と呼びます。ゴルフボールは流線形の翼と違(ちが)ってでこぼこしていますが、気流に対して似たような動きをします。ゴルフボールが気流の中にある場合、空気を押(お)し分けます。これによりかなりの乱流が発生しますが(でこぼこのため)、揚力は発生しません。ただし、好ましい要素もあります。逆回転がかかっている場合、ゴルフボールは角度の付いた翼と同じように気流を下方向にそらすので、揚力が発生します。

(注意: 風洞に関する説明文および右の各図は、マサチューセッツ州フェアヘーブンにあるアクシネット・カンパニーから提供されたものです。)



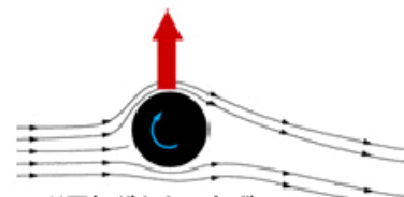
ゴルフボールの空気力



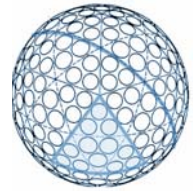
気流に沿ったシンプルな翼



回転のないボール



逆回転がかかったボール



生徒用リソース: 跳ね返りの物理学

◆ 運動エネルギーと位置エネルギー

物体の運動エネルギーは、物体が運動することによって追加される、物体が持つエネルギーのことです。物理学における運動エネルギーの定義は、「物体が運動することによって発生する、物体が持つエネルギーであり、その重量の $1/2$ に速さの 2 乗を掛(か)けたもの」です。

もう1つのエネルギーは位置エネルギーです。位置エネルギーとは、物体が「ある位置」(重力場または電場)、または「ある状態」(例: ばねが伸(の)びた/縮んだ状態、化学反応している状態)にあることによってその物体に蓄(たくわ)えられるエネルギーのことです。ボールの位置エネルギーは、地面からの高さとして測定できます。空中にあるボールには位置エネルギーが蓄えられています。ボールが落下するとき、重力がボールに働き、運動エネルギーによって落下速度が速くなります。ボールを落とすことにより、位置エネルギーを運動エネルギーに変えていることとなります。

◆ 跳ね返りと摩擦

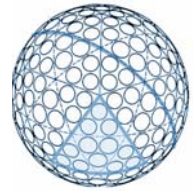
跳(は)ね返りとは何でしょうか。それは、障害物にぶつかった後に運動の方向が変わることです。ボールが落下して床(ゆか)にぶつかって止まるとき、ボールを変形させているエネルギーが解放されます。ボールの分子は、ある場所では圧縮され、別の場所では伸長(しんちょう)されます。これは一種の摩擦です。摩擦とは、接触(せつしょく)している2つの面が相対運動をしているかまたはし始めるときに、その運動を妨(さまた)げようとする力のことです。

◆ 跳ね返りのエネルギー

ボールを空中で持ち上げているとき、そのボールには、位置エネルギーはありますが運動エネルギーはありません。ボールを放すと、ボールは重力によって落下し始めます。落下している間、ボールの位置エネルギーが減り、運動エネルギーが増えます。地面にぶつかった後、ボールは跳ね返ります。跳ね返る高さは、落下した高さよりやや短くなります。したがって、最初に跳ね返った後のボールの位置エネルギーは、落とす前の位置エネルギーより小さくなります。するとどうなるでしょう。エネルギーが失われたのでしょうか。いいえ、そうではありません。位置エネルギーと運動エネルギーの差は、摩擦で説明できます。ボールは跳ね返るとき、わずかに変形します。圧縮と変形は、運動エネルギーの一部を熱エネルギーに変換(へんかん)する摩擦です。

運動エネルギーのうちどのくらいが熱エネルギーに変換されるかは、ボールの素材によって異なります。野球のボールは元の高さの約 $1/3$ の高さまでしか跳ね返りませんが、テニス ボールはおそらく元の高さの約 $1/2$ の高さまで跳ね返ります。





生徒用ワークシート: あなた達は技師のチームです!

みなさんへの課題は、航空宇宙技師のチームとして、ジェット旅客機の翼面にくぼみを付けると燃料効率が向上するかどうかを判断することです。各質問にチームとして回答し、チームで考察したことをクラスで発表する必要があります。

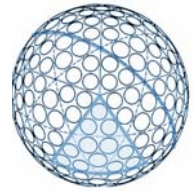
1. ディンプルが付いているボールと付いていないボールでは、空中を飛ぶときにどちらの方が空気摩擦が小さいと思いますか？ その理由は何ですか？



2. ゴルフボール表面に付いているディンプルの効果について理解した技師チームは、航空機の翼面にくぼみを付けることを提案すべきですか？ この考えに対する賛成理由または反対理由を書いてください。この理由は、後でクラスで発表します。



3. 工学が他のスポーツ用具の設計に影響を与えた例を2つ挙げてください。また、それらのスポーツ用具が工学によって過去10年間で物理的にどのように変化したかについて、具体例を挙げてください。



生徒用ワークシート: 跳ね返りテスト

みなさんは、「技師のチームとして、さまざまな種類のボールの跳ね返りについて評価し、その物理学について説明する」という課題を与えられています。

◆ 調査/準備段階

1. 跳ね返りの物理学に関する生徒用参照シートを読みます。

◆ チームとして予測する

1. 各チームに、さまざまな種類のボール、および、巻き尺または物差しが支給されています。各チームで、120 cm の高さからそれぞれのボールを落としたときに、それぞれのボールが跳ね返る高さを予測します。次の表を使用してください。支給された以外の種類のボールについてもテストする場合は、独自の表を書いてください。この表は、後で各ボールの実際の跳ね返り高さを記録するときにも使用します。

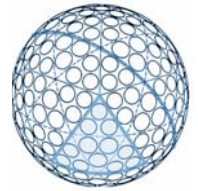
ボールの種類	予測した跳ね返り高さ	実際の跳ね返り高さ

◆ テスト段階

1. 跳ね返りテストを行い、実際の跳ね返り高さを上の表に記入します。注意: 1 人がボールを落とし、別の人が返り高さを測定するようにしてください。

◆ 考察段階

1. 感想ワークシートに記入します。
2. わかったことをクラスで発表します。



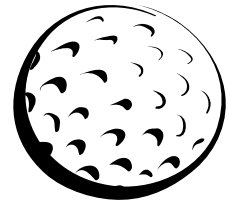
生徒用ワークシート: 跳ね返りテストの考察

◆ このワークシートを使用して、跳ね返りの物理学に関するテストでのチームの結果を評価します。

1. 予測した跳ね返り高さ与实际の跳ね返り高さを比べた結果、どうでしたか？ 驚くような発見がありましたか？



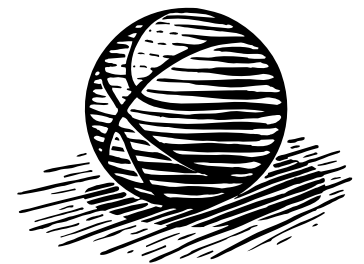
2. 運動エネルギーと位置エネルギーの概念(がいねん)を、この跳ね返りテストと関連付けて説明してください。

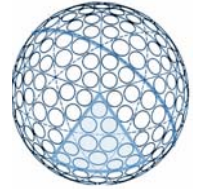


3. エネルギーが失われた場合、その原因は何ですか？



4. ボールの種類によって跳ね返り高さが異なる理由は、何だと思えますか？ 大きさですか？ 素材ですか？ 設計ですか？ それとも、それらの組み合わせですか？





生徒用ワークシート: 跳ね返りテストの考察(続き)

5. ボールの種類によって跳ね返り高さが異なるとすると、スポーツの内容がどのように変わるかについて検討してください。あるスポーツを選び、跳ね返り高さが 3 とおりあるとすると、そのスポーツ、競技者、用具、および競技環境にどのような影響を与えるかについて説明してください。

6. 質問 5 に回答する際、設計におけるトレードオフに関してどのようなことを習得しましたか? なお、設計におけるトレードオフは、工学ではよくあることです。