

## カメのおもちやと気体の特性

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2014-09-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 熊谷, 正朗 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://tohoku-gakuin.repo.nii.ac.jp/records/201">https://tohoku-gakuin.repo.nii.ac.jp/records/201</a>

## カメのおもちゃと気体の特性

今月から始まる本連載では、私の日常で起こる出来事を切り口に、半ば強引に(笑)メカトロ系の雑学を取りあげてご紹介します。気がつくままにネタにするので脈絡はありませんが、何かのきっかけや参考になれば幸いです。

さて、我が家の風呂場には子ども用のカメの形のおもちゃがあります。柔らかい樹脂でできていて、小さな穴があり水鉄砲になります。ふと、入浴時にいじっていて、空の状態では浴槽の湯に浮き(=トータルの密度が湯より小さい)、空気を全部抜いて湯で満たすと沈む(=密度が大きい)ことに気づきました。ということは、ほどほどに空気を残すと、お湯と同じ密度になり、水中で浮きも沈みもしない状態がつけられるのでは、と毎日のように調整を試みるようになりました。

ところが、ほどなく、ぎりぎりに調整すると、湯に浮きも沈みもすることに気づきました。水面付近で手を離すと浮いて上昇し、浴槽の底付近で手を離すと沈みます。不思議に思いましたが、おそらく水圧の影響と考えられます。底の方では水圧がかかり、カメの中の空気が圧縮されて体積が減ります(圧力に反比例する)。カメが密封されていれば、内容物を含めたカメの質量が変わらずに体積が小さくなるためにカメ全体の密度が大きくなります(=沈む)。今回は水の出入り口があるため、カメの体積は変わらずに、空気が収縮した分だけ水がさらに入ると

考えられ、体積はそのままです。質量が増えて密度が大きくなったのでしょう。

表面だと浮き、底だと沈む、ということは、その中間の水深のところに浮きも沈みもしない、ちょうど密度の一致するところがありそうです。実際、上記の状態に調整したカメをさまざまな深さにもって手を離すと、ほぼ動かないところがあります。理想的にはピンポイントで動かないところがあると考えられますが、少しでも上に行けば浮くほうに、下では沈むほうに、つまり少しずれるとずれが大きくなるポイントです。このような点は不安定平衡点といわれ、制御の世界では関心が持たれている点です(カメのおもちゃが制御問題にはならないと思いませんが)。

さて、メカトロで使われる「圧」には空気圧系と油圧系があります。空気圧は主に軽いものをコンパクトに動かす用途に多用され、油圧は大きな力を必要とするところに使われます。両者の違いは圧力を加えたときの体積変化にあり、空気をはじめ気体は体積が圧力に応じて減少し、油や水などは目に見える変化がありません。流体で同じように動作するシリンダでありながら、空気はこの圧縮のために大きな力を出す用途には不向き(力を出そうとするとつぶれる)で、しっかり力を伝える用途には油圧が使われるわけです。

この気体の圧力と体積の特性には、

**熊谷正朗**—KUMAGAI MASAOKI—

東北学院大学 工学部 機械知能工学科 准教授

東北学院大学工学部 准教授／仙台市地域連携フェロー(ロボットメカトロニクス担当)。2000年東北大学大学院工学研究科修了、博士(工学)。同大助手を経て、03年東北学院大学講師、06年助教授、07年より准教授。ロボメカ系開発を専門とし、メカの設計からマイコンやサーバのソフト開発までを行う。「基礎からのメカトロニクス講座」や地域企業訪問も実施中。



圧力×体積÷温度＝一定

という関係が知られています(ボイル＝シャルルの法則、気体の状態方程式)。これは「理想的な気体なら」という条件付きで、厳密には実在の気体とずれがありますが、気になることはさほどありません。温度に変化がなければ、圧力が2倍になると体積が半分になります。浴槽の水深50cmでは、水面の1気圧に対して、1.05気圧程度になり、空気部分の体積は約5%減少している計算です。

また、温度も関わるのがわかります。この法則での温度は、摂氏マイナス273度を基準とする絶対温度、というもので、摂氏27度で300度(単位は[K](ケルビン)を使う)です。これが摂氏37度になると、310Kで、3%ほど「圧力×体積」が増えます。実は、カメの浮き沈みは、温度にも依存しています。

さらに、この式とは別に、気体の体積変化をともなう場合には、外部との仕事(エネルギー)のやりとりも生じます。膨張するとき、力で押しつつ広がっていくため外に仕事をして、圧縮されるときは仕事をされます。これにともなっても温度の変化が生じます。エンジンやエアコン・冷蔵庫などのヒートポンプという原理を説明するにはここまで必要になり、大学では主に熱力学の分野で教育・研究されています。

話をシンプルに「圧力をかけたら体積が減る」まで戻しましょう。空気シリンダの場合、空気

の出入りがなければ、力がかかるとそれに応じて縮み、圧力が高まることで押し返す力が生じます。逆に、あるところから無理に引っ張ると、伸びますが引っ張り返す力が生じます。これは一種のばねの特性、すなわち変位させると、変位を解消する方向に力が生じる特性です。つまり空気はばねになります。車両の空気ばねなどはこの特性を積極的に使用した例ですが、意図せずこの影響がでることがあります。ロボットの関節を空気シリンダで制御する研究では、せつかくシリンダを微調整しても、このばねの特性で角度がずれたり、ばねと質量による振動が発生したりすることへの対策が関心事になっています。この特性は、おもに柔らかさの実現などで有効に使えることもあれば、アクチュエータとして使うときには予期しないトラブルの原因にもなり得ます。

と、いったことを考えながらカメをいじることが日課になって早数ヵ月、最近ではかなり短時間で調整できるようになりました。何の役に立つかは全くわかりませんし、子どもに披露するにしても「なぜ不思議か」が伝わるのはしばらく先になりそうですが。実は、風呂場には黄色いアヒルのおもちゃもあって、こちらには穴が開いてないのですが……これ以上は余白が足りないようですね。

■**キーワード**：ボイル＝シャルルの法則、気体の状態方程式、浮沈子