

生体模倣(Biomimetic)水中ロボットの検討

古生代の魚 ロボ化石を作る

ボトリオレピス古生代デボン紀の甲冑魚

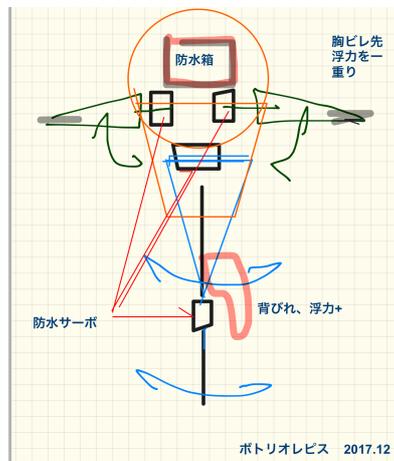
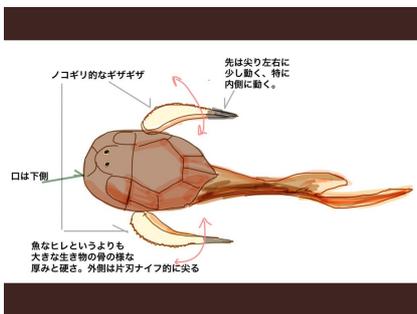
文と写真 イラスト AFK研究所(同) 近藤敏康



写真下「アクアマリンふくしま」ボトリオレピス(奇跡的に全身の残る)化石. 上 ロボ化石、ボトリオレピス試作第一世代モデル(この比較から尾先だけを動かす筋肉の存在に気づき改良)

生き物に学んで様々な物を作る、生体模倣(バイオメテイクス)教材用のロボ化石として、今回は古生代デボン紀に繁栄していた事で知られるボトリオレピスを題材にしました。

ボトリオレピスは、古生代デボン紀の地球の広い地域で繁栄していた魚です。板皮類と呼ばれるグループに属し頭と胴体の一部が亀の甲羅のようなもので覆われていました。腹側は平らで口は下を向いています。化石では甲羅と、硬く尖った出刃包丁のような胸ビレのみ残り、尾の部分はほとんど残っていません。



化石を見てボトリオレピスの動きを考えている時のメモ

左外観・右内部構造

1.化石のボトリオレピスを再現する為の検討

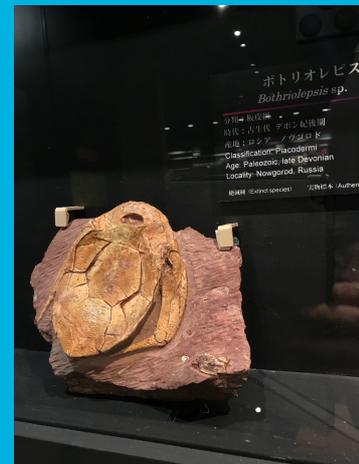
1.1 作り方を考える

ウミサソリロボ化石製作を通じ、家庭にある道具でポリブレン板を加工する手法がとても効果的かつ簡単だったことから、今回もウミサソリロボ化石同様、立体ペーパークラフト的な方法で作ることにしました。

1.2.ボトリオレピスについてネットで調べる

当初、化石のシルエットから、胸ビレがウミサソリ同様に

元にしたボトリオレピスの化石 (学校法人城西大学水田記念博物館大石化石ギャラリー)



ボトリオレピス

- 1.尾が左右に動く
- 2.尾先が左右に動く
- 3.尾先と尾が協調し動く
- 4.胸ビレは推進力にあまりならない
- 5.尾先を使い方向転換

推進力のある程度発生し、尾はあまり推進に貢献していないのではないかと考えていました。しかし、作ってみると胸ビレの推進力や、方向転換への貢献は弱く、尾のメカニズムの再検討が必要となりました。

1.3. ボトリオレピスの本物の化石を見ながら専門家の解説を聞き理解を深める。

ボトリオレピスは、化石のウミサソリをロボ化石化する時に読んだ *1913年The Popular science monthly 中のウミサソリのユーリプテルス種とボトリオレピスの形態の類似性について触れられている部分で紹介されており気になっていました。ウミサソリロボ化石の開発が一段落した後、ボトリオレピスの化石を見るため、魚の立体化石で有名な城西大学化石ギャラリー(赤坂見附駅徒歩7分ほど)に伺いました。すばらしい魚類化石を拝見すると共に、学芸員の宮田真也博士(理学)に解説いただき魚化石への興味と理解がかきたてられた事から、開発をスタートする事にしました。*(古生物学分野では100年以上前の化石発見時の論文も参考になる事も多い)

開発の当初より、3D CGでボトリオレピスを再現している論文、The Devonian placoderm fish *Bothriolepis canadensis* revisited with three-dimensional digital imagery (Isabelle Béchar, Félix Arsenault, Richard Cloutier, and Johanne Kerr)を見つけ、こちらを参考にしつつ構想をまとめて部分試作をし、ある程度完成したところで城西大学化石ギャラリーに毎週のように通いました。毎回展示されている二種類のとても状態の良いボトリオレピスと、形の似ているアステロレピスの化石を見て確認と修正を繰り返しました。都度宮田真也博士から専門的なご意見をいただき、化石の見方についての理解を深めつつ、ロボ化石のシルエットを決めて行きました。当初より3DCGの再現については、宮田博士から「尾は意図的に変わっている可能性があるのもそのままコピーしない方が良く思う」とのご意見を頂いていました。特に背中側の甲羅の突起についての解釈、表目の凹凸、ヒレの形や尾のある化石の情報など、頂いたご意見と情報のおかげで、最終的には、ほぼ思ったままにコントロール可能でのんびりと泳ぐロボ化石を完成する事ができました。

1.4 新たな情報をもとに構想を再検討

とはいえ、開発は困難の連続でした。3DCGや化石を注意深く観察して作ったつもりでも、最初の試作では直進するもののように曲がらず、潜らず。胸ビレを閉じた時に90°胸ビレが回転して体にぴったりとくっつく動きも再現したにもかかわらず、当初イメージしていたような、力強い推進力は得られませんでした。また胸ビレを片方だけ動かしてもほとんど泳ぎへの影響はなく、胸ビレで方向転換のきっかけ作りをしていたのでは？という予想はまちがっており、設計の再検討が必要とわかりました。

そこで、改めて現生の生きもので参考にできる物はないか？と考えた所、以前JAMSTEC横浜研究所の公開時に深海映像ライブラリーの展示解説で「深海は進化のスピードがとても遅いので古生物に似た動きが残っているかもしれない、」とご説明頂いた事を思い出し、JAMSTEC深海ライブラリーを検索しました。そして、ハナトゲアシロという深海魚に出会いました。その後、正式に画像使用の許諾をいただくと共に高精細動画のご提供も受ける事ができました。ハナトゲ

アシロの泳ぐ動画を注意深く観察すると、尾先だけ他の尾の部分とは別に動かし、方向転換や加速を行なっている事に気付きました。そこで、再度城西大学化石ギャラリーに伺い宮田真也博士に相談した所、アクアマリンふくしまに展示されている尾の残るボトリオレピスの化石をお教えくださり、写真のご提供も受ける事ができました。

一旦本業が忙しくなりロボ化石の開発を中断した後、尾の残る奇跡の立体化石を展示している、アクアマリンふくしまに試作中のボトリオレピスロボ化石の動画を添付して問い合わせをしました。数日後、ご担当頂いた廣川康裕氏より展示確認のご連絡をいただき、福島県いわき市のアクアマリンふくしまに試作したロボ化石を持ち込んで比較しながらの化石観察撮影、検討をさせていただきました。また他の素晴らしい化石や展示も参考にさせていただきました。

アクアマリンふくしまの素晴らしいボトリオレピス化石のおかげでハナトゲアシロを参考にした尾先だけを動かす筋肉(サーボモーター)の設計と、取り付け方法が決まりました。

その後、福井県立恐竜博物館をGoogleストリートビューで館内を拝見したところ、別角度からの尾のあるボトリオレピスの化石も拝見できました。早速、疑問点などをメールで質問したところ、専門的なご意見を含むご回答を頂きました。本物を見る必要性を感じ、福井県立恐竜博物館を訪問させていただき、さらに尾と背びれについての理解が深まり疑問だった3DCG再現の尾ヒレの部分と化石の違いについて、3DCGではなく化石にもとづいたアプローチを躊躇なく採用するふんぎりがつきました。3DCGでは背びれは固く四角く突き出た印象でしたが、アクアマリンふくしまの全身化石をもとに福井県立恐竜博物館の全身化石からの情報を加えて解釈すると、背中に背びれの前半は固定されているが、後半部はしなっていて動いた可能性があることもわかりました。試作時は3DCGを元に硬い素材だけで作っていましたが、改良時に背びれの後半部がしなっていて動くよう改良したところ、推進力向上効果があることもわかりました。

2.ボトリオレピスロボットの試作・実験・改良

2.1 開発のステップ

試作時

泳ぐが、スピードコントロールが難しい
旋回が難しい、急旋回は難しくほとんど不可能
尾はヘビ的な動き
潜水、浮上が難しい

一次改良

尾の残る「アクアマリンふくしま」の化石を参考に以下の設計変更を実施
尾先だけを動かすサーボモーターユニットを追加、背びれを改良(背びれの前半は固定されているが、後半部はしなっていて動く) 比重の再調整

実験 1

スピードコントロールできる

旋回性能大幅向上

潜水、浮上可能に

従来の尾先のへび的な動きのモードに加え、尾びれで水を蹴る動きを加え、また蹴る量を可変できる機構を組み込み、コントロール性が大きく向上した

二次改良

浮力調整、背びれの硬さ変更 (現生のネムリブカをイメージ、しなやかさを付加)

実験 2

ひとまずの完成

<https://twitter.com/2cvkoleo/status/955569975179149312>

1分動画で簡単にまとめました

<https://twitter.com/2cvkoleo/status/958123591534440448>

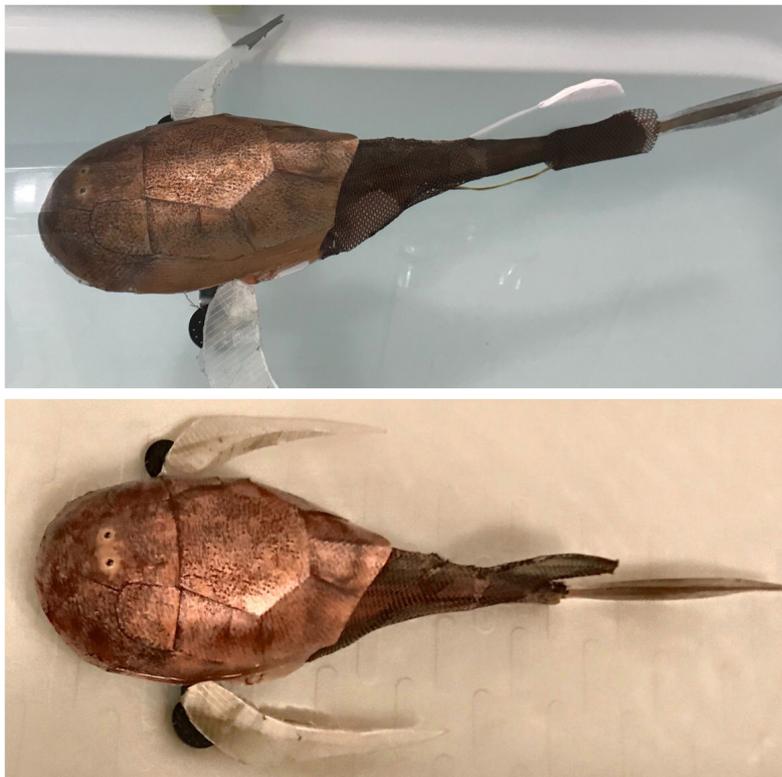


写真 上改良後、背ビレは柔らかくしなる。尾先のみ動かすサーボモーターユニット追加。

下改良前、背ビレは硬い。尾先だけを動かすことはできない。

2.2基本構造

ウミサソリ ロボ化石同様、低発泡スチロール板を切り抜いてシャーシを構成。

シャーシに、尾の板バネ、甲冑部を取り付け。

シャーシに、胸ビレを動かす左右1台ずつ計2台の防水サーボモーター(サーボ)、尾全体をしなやかにうごかす1台の防水サーボ、尾先のみを動かす1台の防水サーボを取り付け。

尾全体をしなやかに動かす機構は、ウミサソリの開発で使用した、板バネを根本からワイヤーで引っ張る構造を踏襲。

防水は最小限とし、受信機と単4電池5本をミニ弁当箱を改造した防水区画に収納し、ほぼ全身に水が入る設計。

尾の外皮は、伸縮性に優れた生地を、友人の紹介で日暮里の生地店をめぐり伸縮性と耐久性、外観の兼ね合いで選択。

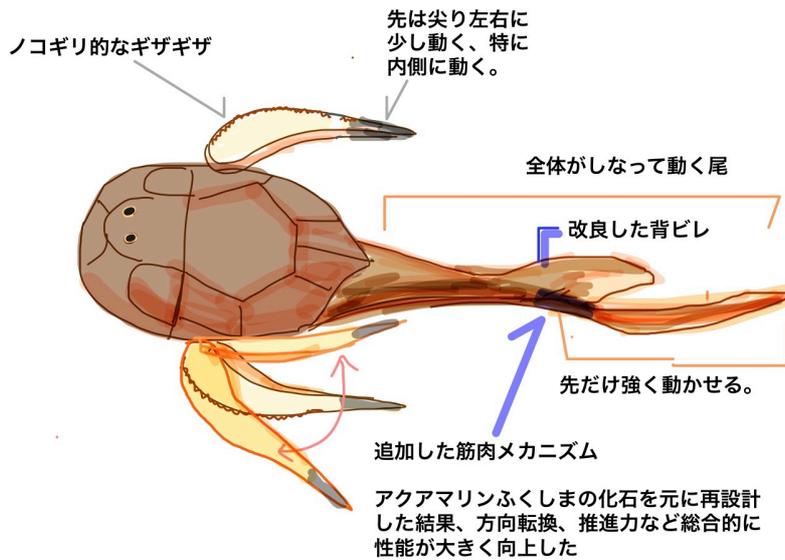
写真 モックアップを使い内部構造を検討中。胸ビレはモックアップの為、紙ペラ



2.5 ボトリオレピスの推進機能の以下のパターンを再現

最終的に再現させる可動部を以下に決め、再現することにしました。

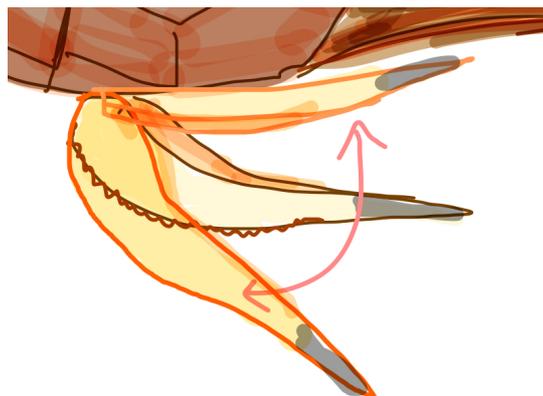
- 左右の胸ビレ(歯のような素材で硬く、外側に向かって包丁のように薄くなり内側は分厚い)
- 胸ビレは前後に動かすと重心が変化していたと思われるので再現する。
- 胸ビレを後ろに動かすと、角度が90°立ち上がり、身体のくぼみにフィットする。
- 尾の先の部分(ハナトゲアシロを参考にした)が独立して左右各45°動く。
- 尾と尾先を適宜協調して左右に動かす事で基本的な推進力と旋回力を得る。



2.6 ボトリオレピスの特徴的な胸ビレ

ボトリオレピスの胸ビレは実際には、細かなノコギリ状の突起や先端が水平方向、特に身体の内側に多く動くなど、現生のナマズ類の様に、武器、身体を引っ掛けるなどの用途があったようですが、今回は、ペーパークラフトの要領で、シンプルで壊れにくい構造で再現しました。片側ずつ独立して動かし身体をローリングさせる事が可能です。また比重調整は先端に重り入れて調整しました。

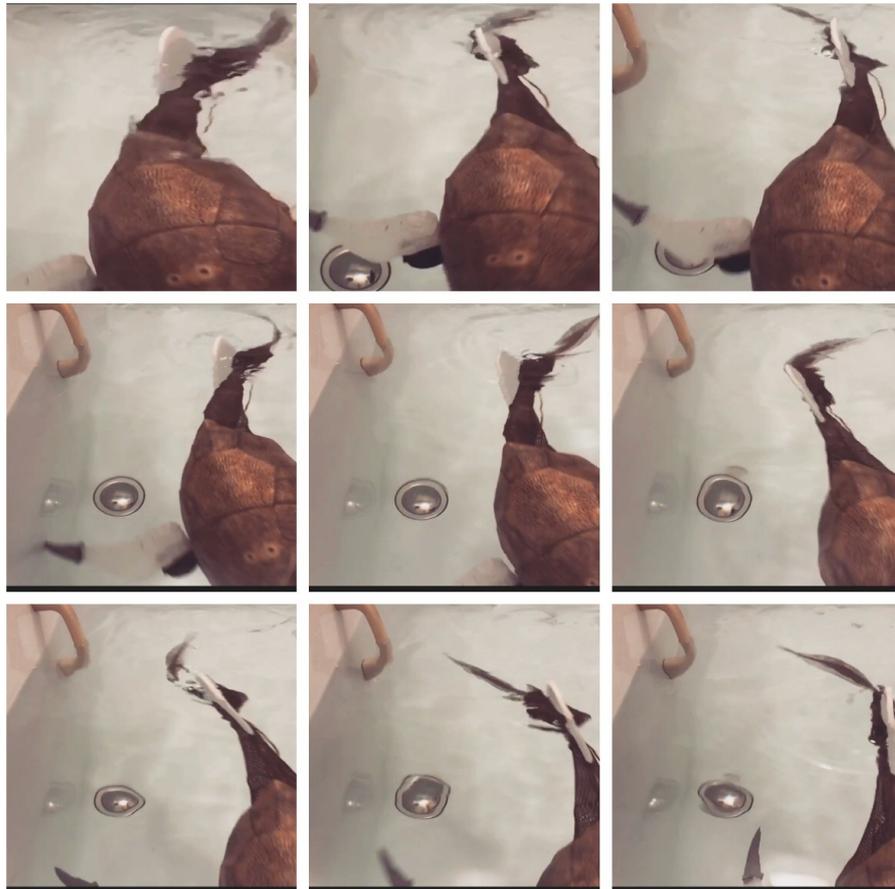
イラスト ボトリオレピス 胸ビレの構造(片腕) 身体脇につけるときは90°立ち上がる



2.7 尾の構造

弓のように復元する力の強い尾のフレームをサーボモーター(サーボ)で片側にしならせた後、元に戻す時にフレームが復元する力も利用して反対側に動かす。これを繰り返して尾を動かす、ウミサソリ ロボ化石に採用したカラクリを発展させたものです。その為、尾の付け根にある一つのサーボから柔軟性のある尾のフレーム先端に結んだテザーで引っ張る構造になっています。(尾の構造を分割し、セクション毎にリミッターを作り、尾の高さと厚みを変えることで尾の特性を変化させています)

さらに尾先には独立したサーボがあり、尾先だけを動かすことが可能です。この場合、尾先の形状の関係で推進力が斜め上に発生し、尾が下り、頭が上がり、浮上方向に進みます。



尾全体を動かすと、ヒレの位置による重心の変化に応じて潜水、水平移動、浮上を行います。尾全体の動きに合わせて、尾先を操作する事で、加速力を調整しながら水平移動を行います。その時胸ビレを少し広げると、水が胸ビレのくさび形の断面に当たり、下方方向に潜らせる力も若干働きます。

尾先を曲げた状態で尾全体を左右に動かすと、尾を曲げた方向にカーブしながら進みます。

写真 尾の動き 尾全体と尾先を協調して動かしている状態。

2.8 .想定用途に合わせた構造の工夫

ロボ化石の用途を、生物模倣水中ロボットを作られる方や学校のクラブ活動での教材と想定しつつも、古生物学的な試みも視野に入れて設計しました。もし間違っても組み立てても壊れにくく修正しやすいこと、低価格で作れ、強度や加工精度はギリギリを追求せずにする作り方に徹しました。強度や精度が必要な部分は工作機械が無くても作れるよう、精度がよく量産されている建材用の部品を使用しました。水でふやけた手でも交換時に手を怪我しにくく工具無しで扱える構造にしました。

古生物学風味の自由研究用、機能案

- 甲冑部のみ簡単に交換可能で近隣種や表面の凹凸効果も交換してすぐ試せる

甲冑部は、ボトリオレピスカナデンシスを元に他の種類や、表面の凹凸の有無などもすぐに試せる様交換式に、100均のお面とポリプロピレンの薄板で製作。

- 尾先の筋肉は取り外し式で、有り無しを試せる

外観の本物らしさに加えてテスト時の交換の容易さと信頼性を重視。

- 尾先も簡単に交換して別の尾形も試せる

数種類の尾を実験プールに持ち込んで、簡単に交換しながら検討できる構造。

- ウミサソリ ロボ化石と大きさとサーボをほぼ揃え比較しやすくする

頭の大きさ厚みを含め、条件を揃えて制作。サーボは基本構成の3個は同一品を使用。尾先のみ抵抗を減らす目的で小型タイプを選択。(信頼性を考えると小型はオススメできない)



写真 尾先のみ動かす取り外し式サーボユニット内部



甲冑部を取り外した状態

構造的に、教材として配慮した点

- ・連続運転可能、調整の容易さ、乾燥重量の軽さ、故障しにくく、整備しやすい構造
防水サーボモーターを水冷、部分防水部分の容量の確保と外部給電も可能な構成により実現
- ・サーボモーター(サーボ)4つで、潜行、浮上、前進、旋回を行える構成
- ・最小構成はサーボモーター4つ
- ・やじるべえの原理で自動復元力を利用し、特別な回路や、プログラムなしに、安定したバランス、姿勢制御ができ、教育用の簡易なスクラッチ言語でも十分に泳ぐ安定性を実現

-左右バランス→やじるべえの支点がボディーの背中部分に、おもりが両ヒレ先端に来るように設定

-前後バランス→やじるべえの支点が尾の付け根部分に来るように設定。-前後バランスのおもりは、生態を想定して調整。あえて意図的な安定性は追加しない

水に入れ若干浮く状態で支点を上から指で押してバランスを微調整

2.9 胸ビレの位置と、尾の使い方による姿勢制御

胸ビレを前後に動かすと、重心が変化して頭が微妙に上がったり下がったりする。

尾全体を動かすと水平方向に推進力をだし、その時の姿勢のまま進む。

尾先だけを動かすと、斜め上方向に推進力を出し、尾が下がり、頭があがりながら急浮上する。

尾先と尾全体を同時に動かすと、水平方向に推進力を強く出し早く進む。

その時、胸ビレを少し開くと、水流が胸ビレのくさび形にあたり、真下へ徐々に沈む。

胸ビレを体にぴったりとつけると、水の抵抗が減少して、最高速度をだせる。

イラスト

ボトリオレピスの重心移動による姿勢制御パターンの一例

上 胸ビレ前に出すと重心移動で頭が下がる



中 胸ビレを中立状態だと姿勢維持したまま



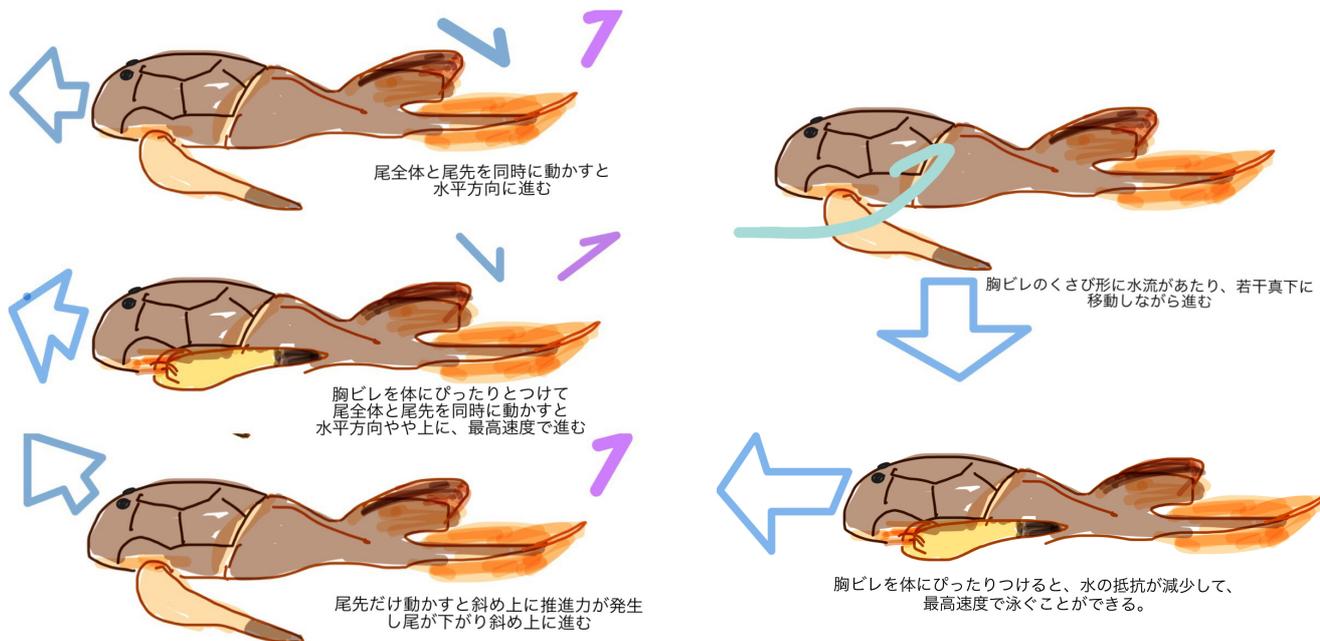
下 胸ビレを閉じると重心が移動して頭が上がる



応用例

片側だけ胸ビレを前に出して、身体を傾ける。

尾先を大きく動かすと斜めに潜水又は浮上姿勢になる



尾先の部分は交換式。上のイラストでは、化石を元に製作した尾先を装着した時の泳ぎ方の例。尾先を上下逆に取り付けると、尾が下がりず水平に泳ぎました。

3.製作のポイント

3-1.購入しやすい材料で作る

ホームセンターや100円均一ショップ、ネット通販で手に入りやすい材料のみで作る。

-防水容器は、再利用可能なタイラップで固定し、ネジなどでは固定せずにフレームのしなりを完全には否定しない取り付け方法を採用しました。

写真

左 化石を元に3DCG再現を参考に、お面とポリプロピレン板で甲冑部を製作

右 小型弁当箱を改造した防水容器 Oリングを厚みのあるもの100均のものから移植



4.浮力とバランス調整の実際

・ボトリオレピスロボ化石の比重

ボトリオレピスを水とほぼ同じ比重と想定し、防水区画以外のボディー内に水を入れる事で重りの軽量化を実現しています。これにより、移動時には水を容易に抜けるので軽く壊れにくい工夫を兼ねています。浮力は中性浮力(水中で浮きも沈みもしない状態)を中心に、底に住むタイプのボトリオレピスは若干重く、遊泳タイプは若干軽いと想定しました。潜水方式は、ダイナミカルダイブ方式で、通常は水面に浮上または水底に沈下していて、泳ぐ力で浮上か潜行し、浮力調整のために容量を変化できる空気タンクは持たない構成です。ラジコン潜水艦的にはウェットハル方式で、電池と受信機または教育用マイコンのみOリング付き容器で防水する構造としました。

地上重量 1.2kg

サイズ 全長80X全幅17cm. (胸ビレを広げる55cm) X全高10cm. (尾を立てる27cm)

防水形式 生体模倣用部分防水構造 防水サーボ4個 防水箱1個

水中生き物ロボ化石の最終的な性能は、実際に水に入れての浮力とバランス調整に左右されます。

ここでは、初泳ぎ→簡易調整→改良検討→耐久性テスト→改良検討→最終確認の各動画をご紹介しますので、ぜひ比較してみてください。また、水温や潜らせたい水深毎に微調整が必要です。今回は、若干水に沈む様に作り、毎回状況に合わせて小さな浮力体を重心の上に取り付けて調整しています。ですので、毎回最初に水に入れるときには、ほぼ中性浮力の水系を命綱としてつけています。

テスト中の映像

実際の池で錦鯉と泳がせ運動性能の最終確認中 (ほぼ完成)

<https://mobile.twitter.com/2cvkoleo/status/967973894689669120/video/1>

改良後に、連続動作させ耐久性などのテスト中

<https://twitter.com/2cvkoleo/status/962858255369175040>

改良検討中

JAMSTEC様ご提供のハナトゲアシロと、ロボ化石との比較映像 (使用許諾いただき掲載)

<https://twitter.com/2cvkoleo/status/943866315697090561>

簡易調整中

試作モデルの調整中、潜行、浮上可能になった。

<https://twitter.com/2cvkoleo/status/943799025559412736>

初泳ぎ

適宜比重とバランスを調整中

(日本水中ロボネット水中ビークルフリーミーティングにて)

<https://twitter.com/2cvkoleo/status/942295835693408256>

5.防水の考え方と製作のポイント(とりあえずで作ると全てを失う)

水中生き物ロボ化石を作る上で、乗り越えなければならないのが防水に代表される、水中ならではの工作や運用ノウハウです。詳しくは、日本水中ロボネットの公開資料の中に各種ノウハウがありますのでご参照ください。

<http://underwaterrobonet.org/oppama/index.htm#result>

6.作ってみようと思ったら

実際に作ってみようと思われた方の為に、簡単な工具で作れるマニュアルを別途ご紹介予定です。型紙をダウンロードして印刷、樹脂板に張り、鉄ノコギリなどで切り出す。PP板をハサミで切り、湯で曲げる、メカを組み込み、防水ケースに入れる。比較的怪我もなく、安全につくりやすい手順を心がけました。

ただし、これだけでは外観や動作は地上ではするものの、水の中に入れるとなかなか泳がないのも確かです。お作りになろうと思われたら、ご興味を持たれたら、ぜひ、Twitterでロボ化石をご覧ください。調整のノウハウなどお伝えしたいと思います。

最新情報はこちらに掲載しています
ロボ化石 Twitter



Robokaseki
@2cvkoleo

水に住んでいる古代生物をロボ化石にしてどう泳いでいたのかなど考えて、簡易再現を試みています。社会貢献活動として本業の合間に実施中。クラゲや水中二足歩行ロボ教材も開発中。つくってさわれる国際ロボット展ロボット体験企画コーナー、水中ロボットゾーンにてロボ化石のウミサソリ君を泳がせました。イラスト提供、よ志

7.おすすめの情報

魚の立体化石が見られる博物館

学校法人城西大学水田記念博物館大石化石
ギャラリー (東京都千代田区)

ボトリオレピスの奇跡の全身立体化石が見られる水族館
アクアマリンふくしま (福島県いわき市)

古生代魚類も見られるオススメの博物館

群馬県立自然史博物館 (群馬県富岡市)
国立科学博物館B2 地球館
福井県立恐竜博物館

写真 学校法人城西大学水田記念博物館大石化石ギャラリーにて、素晴らしい化石と見比べモックアップで検討中の様子

ロボ化石、化石をロボットに！



ボトリオレピスの色

今回は魚なので、リアル感を持たせた塗装にしました。胸ビレ部と尾先、背ビレは素材色のままにして、実験時の動作のわかりやすさを重視しました。

甲冑部表面の凹凸は、凸凹のあるスポンジに粘度の高い塗料を付けスタンピングする事で、見た目の雰囲気のみ再現しました。表面の凸凹については別途検討をしています。

8.自由研究のヒント? Scientific wild-ass guess (SWAG)

ボトリオレピスのロボ化石を作って泳がせて感じた事をもとに、ロボ化石視点で古生物風味の自由研究?のヒントを考えて見ました。古生物の知識もない中ですが、こんなイメージを持ちました。違う!、そうかも?などTwitterロボ化石にお寄せくださると幸いです。

自由研究アイデア1

ストーリー

ボトリオレピスは腹が平らで、水底周辺に住んでいたとの事。→じっとしては餌に限られる
→泳いで餌を取りにも行ったが、水面近くにはあまり行かなかったのではないかな?

ロボ化石を使った実験

- ・ボトリオレピスを水底スレスレを泳がせた場合と、水面に頭を上げながら泳いだ場合のスピードを比較。
- ・ウミサソリロボ化石と競争させる。
- ・ボトリオレピスは、水底で泳ぐとウミサソリより早い、方向転換、急上昇で逃げられる。
- ・しかし、水面に頭を上げながら泳ぐとウミサソリに捕まってしまう。

気づき

- ・ボトリオレピスは、水底近くで行動するのに適していたのではないかな?

自由研究アイデア2

ストーリー

水底付近でも敵は多い→頭の甲冑は防御力を高めた。

一方で尾は運動性を向上させるため装甲を捨てた可能性があるのでは?

ロボ化石を使った実験

- ・ボトリオレピスの尾先の筋肉の有無しや、色々な尾の形を付け替えて試す。

気づき

- ・ボトリオレピスの尾先の筋肉により、泳ぎの能力が大きく向上したのではないかな?
- 尾先の形状が変化し、尾先だけ動かせるようになり、泳ぐ能力が高まった。
→尾先を尾全体とともに動かすと、急旋回、急加速する。

自由研究アイデア3

ストーリー

巨大な敵から逃げられず、飲み込まれてしまっても、捕食者が痛くて吐き出す様にヒレが武器のように進化した。

ロボ化石を使った実験

・ボトリオレピスのヒレを動かしながら、捕食者の口の中に見立てたスチロール板などを攻撃して、どの様に使っていたのかを試してみる。

気づき

- ・スチロール板にヒレ先が刺さるほど鋭い。
- ヒレが武器化して、飲み込まれると、大きな魚の口、胃に刺さる。
- ヒレ外側がノコギリ刃状に、ヒレ先が針に→針は刺すと抜けにくい→ヒレを動かすと刺したり抜けたりするのに適したスイベル機構が付いている。

自由研究アイデア4

ストーリー

流れのある場所でも、ヒレを利用して流されずに住めた、敵の少ない場所に住めた。

ロボ化石を使った実験

- ・水の流れを作り、ヒレが流されなくするのに有効なのか実際に確かめてみる。

気づき

- ・十分に体を水草などに引っ掛ける事ができる。
- ・現生のブレコ類も観察してみる。

自由研究アイデア5

ストーリー

住んでいる地域の環境に対応して甲羅の形が変化したり、形状のバリエーションが発生した。

ロボ化石を使った実験

- ・甲羅の背に突起を付けるなど形状バリエーション部品と交換し遊泳特性を比較して考える。
- ・数種類の尾先の形状、しなやかさバリエーション部品と交換し遊泳する特性を比較してみる。

気づき

- ・甲羅の形、尾先の形により、スピードの変化、流れに対しての姿勢の変化がおこる。

面白そうだが、難しそう自由研究アイデア A

ストーリー

ボトリオレピスの甲羅表面には、現生の沼ガメの一部にもあるような凹凸がある。

ロボ化石を使った実験

- ・甲羅に化石から取った凸凹をつけたものと、無いものを作り比較。
- ・泳ぐ性能への影響、板皮類の魚に噛まれたと想定した時の防御効果を実験する。
- ・濡れた水草の絡み方、砂地に隠れた場合の様子を探る。

気づき

・かなり厳密な実験をしないと、効果があるとは断言しにくい。思い込みが強いと間違った結論になりやすい。他の手法での検証も合わせて行う必要があると思われる。

面白そうだが、難しそう自由研究アイデア B

ストーリー

ボトリオレピスとウミサソリを比較すると同じような速度で泳ぐ時にはボトリオレピスの方がよりエネルギーを消費する。

ロボ化石を使った実験

- ・ロボ化石、ボトリオレピスとウミサソリの消費電力を記録して比較する。
- ・各種パターンで泳がせて比較する。

気づき

・かなり厳密な実験をしないと、実験結果の信頼性、再現性が得られにくい。思い込みが強いと間違った結論になりやすい。マイコン制御にするなど、再現性を高める工夫が必須。

面白そうだが、難しそう自由研究アイデア C

ストーリー

ボトリオレピスやウミサソリロボ化石を見たり、操作すると癒し効果があるらしい。

ロボ化石を使った実験

- ・ロボ化石を触る前後に、心理テストや心拍などでリラックス効果があるのか比較する。

気づき

・心理学的な実験手法でサンプルを揃え、統計処理をした実験をしないと、効果があるとは断言しにくい。思い込みが強いと間違った結論になりやすい。

一見信憑系がありそうだが、ロボ化石での検証に適さないアイデア

生き物の比重をロボ化石から推測→ロボットの作り方でどうにでもなる。

生き物の水中姿勢をロボ化石から推測→ロボットの作り方でどうにでもなる。生き物の力をロボ化石から推測→同じモーターやメカでの比較以外は部品次第でどうにでもなる。

古生物学や心理学、サメ好きの方のイベントなど、工学以外でもロボ化石の応用にご興味を持たれたらお知らせください、会社の社会貢献活動として可能な範囲でご協力させて頂きたく思います。

9.今後の課題と展開

思いがけず、古生物好きの方々や、サメ好きの方々に興味を持っていただけました。そこで従来から行なっている科学イベント系への情報提供などに加え、古生代風味の自由研究に？サメの祖先の泳ぎ方に興味を持って頂くお手伝いになればと考えております。また、板皮類他の魚ロボットの開発や、ロボ化石に自動運転機能を盛り込みデモンストレーションを簡単にしたり、ハガキ大に小型化してお風呂で自由に泳がず実験ができる様な作例も検討して行く予定です。

謝辞

城西大学 宮田真也博士 (理学) より、専門的な見地から化石の見方やご意見ご協力いただきました。

(城西大学化石ギャラリーでお会いした国立科学博物館の古生物系ボランティアガイドの方々をはじめ、古生物好きの方々から貴重なご意見をいただきました)

公益財団法人ふくしま海洋科学館 (アクアマリンふくしま) アクアマリン緑の水族館 企画・営業グループ 廣川康裕様より、ご協力と画像の使用許諾をいただきました。

国立研究開発法人海洋研究開発機構、イノベーション・事業推進部 イノベーション推進課 石川直樹様より、ご協力と動画のご提供、使用許諾をいただきました。

NPO日本水中ロボネット様の水中ビークルフリーミーティングに参加させていただき、実験をさせていただきました。

木内吏香氏に記事校正にご協力いただきました。

ずかんくん(田中一秀)氏に内容相談させていただきました。

梅村建太郎さんに、ボトリオレピス とウミサソリ のロボ化石比較実験で、実験助手としてウミサソリ・ロボ化石を操作させていただきました。

アクアモデラーズメンバーの方々より、水中ラジコンについて技術的なノウハウのご提供などご協力いただきました。

松山工業株式会社、鶴久森社長より、リサイクルラバーのご提供、つくる・さわれる国際ロボット展での展示などご協力いただきました。

海洋楽研究所(かいようがく) 林正道さんより、林式魚ロボットの成功失敗など各種ノウハウのご提供などご協力いただきました。

参考資料

古生代の生き物については、海外の方が情報が多く、まずはこちらで調べてから博物館へ行き、ご相談しました。

ボトリオレピスとユーリプテルスの形状の類似性について触れられている古い記事。

1913年The Popular science monthly

<https://ia800205.us.archive.org/9/items/popularsciencemo82newy/popularsciencemo82newy.pdf>

カナダの化石の産地の尾が残る化石をチェックして見ると、片側の胸ビレが水平近くまで開いていることに気づきました。

カナダミグアシャ国立公園 ボトリオレピス関連ページ

<http://www.miguasha.ca/mig-en/bothriolepis.php>

ボトリオレピスを3D CGで再現されている論文 再現形状の推移も含めわかりやすい内容で、ヒレの動き方など設計の基本になっています。こちらを元に化石と照らし合わせ、尾、背ビレ、甲頂部、目の解釈はそのままは採用せず、都度疑問点を、城西大学化石ギャラリー宮田博士にご意見いただきつつ、作っていきました。特に尾と背ビレについてはアクアマリンふくしまの化石を元に福井県立恐竜博物館の尾の残る化石、カナダミグアシャ国立公園の化石を元に復元を進めました。

The Devonian placoderm fish *Bothriolepis canadensis* revisited with three-dimensional digital imagery (Isabelle Béchar, Félix Arsenault, Richard Cloutier, and Johanne Kerr)

<http://palaeo-electronica.org/content/2014/204-417>

多くのボトリオレピス 化石の分析を含むオーストラリア博物館のジャーナル

https://australianmuseum.net.au/uploads/journals/17865/1289_complete.pdf

ボトリオレピスと体の形状が似ている深海魚を探し「ハナトゲアシロ」の映像を国立研究開発法人海洋研究開発機構の深海映像・画像アーカイブスで見つけ相談、すぐ使用許諾頂き、開発が早まりました。

深海映像・画像アーカイブス

<http://www.godac.jamstec.go.jp/jedi/j/>

ボトリオレピスとヒレの形状や動きが似ていそうな、ロックドラスも泳いでいる動画を発見、身体の後半部は違うものの参考になりそうです。表面の凹凸も収斂進化しているのかはわかりません。

<https://m.youtube.com/watch?v=E2M15fDe0yE&feature=youtu.be>

慶応義塾大学の学生の研究の様です。ボトリオレピス表面の凹凸について考えるきっかけになりました。

蓮の葉とカジキの表面撥水構造 慶應大学 九十九慶之

<http://www.mech.keio.ac.jp/ja/souzou/proceedings2014/pdf/8-5.pdf>

サメの表皮の構造を3Dプリンターで再現した紹介記事

<https://gizmodo.com/scientists-finally-understand-shark-skin-thanks-to-3d-1577091399>

魚の尾の動きについて、こちらの解説も参考にさせていただきました。

解説 魚の運動と渦 神部 勉

https://www.jstage.jst.go.jp/article/nagare1970/8/3/8_3_2/_pdf

抵抗と推進の流体力学水棲動物の高速遊泳能力に学ぶ」

発行者 財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団

https://www.spf.org/opri-j/publication/pdf/199609_rp040220.pdf

イラスト、本文、写真の権利は著作者が保持します。

許可なく非営利かつ教育学的目的以外での、複製・配布・配信は行えません。

記事制作 写真 イラスト

AFK研究所合同会社 代表社員 近藤敏康 ロボ化石 イラスト提供 よし