

# 有機的な体躯の動きと機械的な機構の造形調和の模索

—ザトウクジラを模倣したキネティックアートの制作—

12N3023 河野 光佑 指導教員 佐藤 康三教授

## 1. はじめに

芸術の表現方法の中でも、人と自然が触れて生まれる感情を形で表すものがある<sup>1)</sup>。また、自然界に見られる構造と美は、工業デザインにも数多く取り入れられている。一方で、Apple 社の Mac book pro の内部部品の配置のように、工業製品の内部にまで行き届いている美しさもまた、製品デザイン上の合理的な構造設計から得られている。本研究では、“動物の合理的な構造がもたらす有機的で美しい体躯の動き”と工業製品の内部に見られる“合理的な部品の配置がもたらす美しさ”に着目する。例として、ドイツの FESTO 社<sup>2)</sup>のような、生物の動きに着目した技術的なバイオミメティクスの研究は、高度な技術と内部機構と外観の美しさを両立させている。この様に、動物の外観の形状(シルエット)は保ちつつ、動物の動力である筋肉と骨の作用を、ギアとクランクを用いた機械的な機構に代替して再現する。それにより、機械的な構造と動物の体躯が繰り出す動きの美しさの調和を表現する。自然と人、技術の融合に新しい視点をもたらすことが出来ると考え、キネティックアートの制作を行う。

## 2. 外観意匠設計及び動作機構設計指針

本研究における、動きと外観意匠についての設計指針を以下の様に定める。

- 1) 本研究は、外観意匠はザトウクジラの骨格と外観のフォルムを抽象化した形状とする(図 1, 2)。
- 2) 鯨類の遊泳方法(ドルフィンキック)の動きを基礎とし、その動きを抽象化し表現する(図 1, 3)。ドルフィンキックの特徴である、頭部から尾にかけて波打つ様な身体の“うねり”の動きを設計する。



図 1 ドルフィンキックの例



図 2 ザトウクジラの骨格



図 3 ザトウクジラを観察した際のスケッチ

## 3. 制作概要

制作概要を以下に記す。

- 1) 動き方と外観意匠の決定
- 2) CG による動きのシミュレーション実験
- 3) 試作実験

- 4) モーターマウントの制作
- 5) 頭部の制作
- 6) 台座と支柱の制作

## 4. 動き方と外観意匠の決定

ザトウクジラの泳ぎの幅や角度、比率の値を計測し、制作時に反映することで、制作物の動きを実物のザトウクジラの動きらしさを再現する。まず、

1. フォーム分析ソフト Kinovea を用いてザトウクジラの一連の遊泳運動の流れを 6 つのパターンに分け、動点を線で結ぶ(図 4)。
2. 1. で得られた結果を一つの図に集約し、ザトウクジラの頭部と尾が遊泳時に可動するおおよその範囲を遊泳時に固定される部分からの角度を用いて表す(図 5)。
3. ザトウクジラの骨格図からザトウクジラの全長に対する頭部、胴体、尾の比率を導く(図 6)。

外観意匠は本体と台座を支柱で繋げた形状とする。初期案(図 7)を基に、ギア等の各パーツの配置と外観形状との調和を考慮しながら、外観の細かい変更を行っていく。

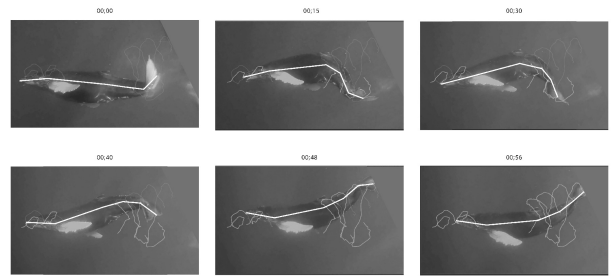


図 4 ザトウクジラの動きのパターンの簡略図

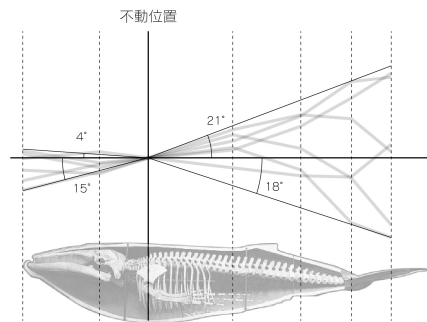


図 5 ザトウクジラの頭部と尾の可動範囲の角度

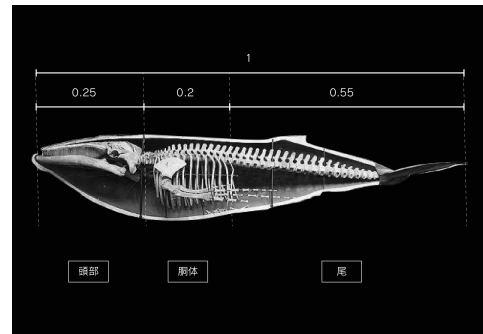


図 6 ザトウクジラの全長に対する頭部、胴体、尾の比率

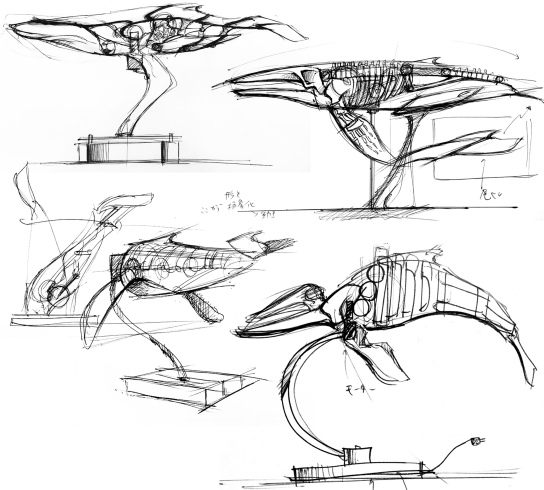


図7 初期案のデザインスケッチ

## 5. CGによる動きのシミュレーション実験

### 5.1 実験目的

4章で決定した図3、図4の動きの再現を目的とする。

### 5.2 実験内容

使用するコンピュータグラフィックス（以下CG）はSolidworksを用いる。Solidworksでパーツをモデリングし、アセンブリする。アセンブリしたモデル内のモーターとギアの動作状況を、アニメーションに起こし、図3と図4の値に近似するまで調整を行う。（なお、近似の有無の確認は目視による確認とし、モーターのトルクと回転速度の考慮はしないものとする。）

可動機構部を考える上で、Choe U Ram氏の「Custos Cavum (Guardian of the hole)」<sup>3)</sup>という、2つの節を動かすことにより、鳥類の羽ばたきを再現している作品の可動機構部を参考とする（図8）。本実験では、節が3節のモデルで調整を行う。

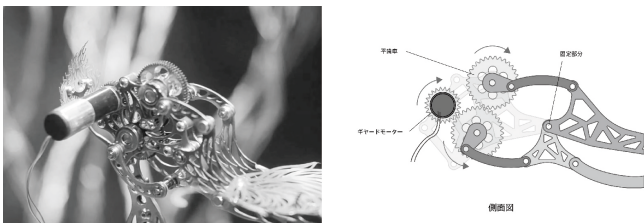


図8 作品「Custos Cavum (Guardian of the hole)」の一部(左)とその模式図(右)

### 5.3 実験結果

3節のモデルで調整を行った結果、図9のように表された。図9の図内番号[01], [02], [04], [05]では目標の角度に近似することが確認された。

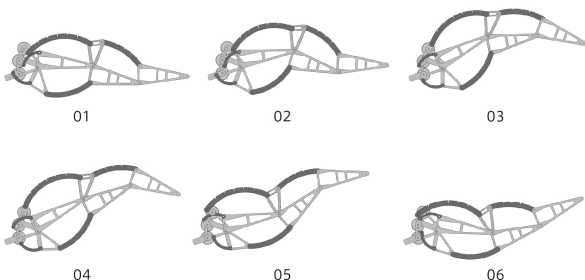


図9 最終決定案のコマ撮り

## 6. 試作実験

### 6.1 実験目的

本制作のための、最適なモーターのトルクと回転速度、骨組みに使用する素材を検討する。停止せずに回転し続けることを、目的の達成条件とする。

### 6.2 試作機の制作

試作機（図10）の各パーツの制作方法は、4×300×600(mm)のMDF板をレーザー加工機で切断し作成する。レーザー加工機に入力する図面はSolid worksからaiファイルに変換して作成する。各パーツの取り付けは、直径5mmネジと同じく直径5mmのアルミニウム棒を使い固定する。機構は、可動部のパーツ（図11）の回転部位と平歯車をシャフトで固定させ、それにギヤードモーターと連動するウォームギアを噛み合わせている。簡易的なモーターマウントを作成し、ギヤードモーターの交換を容易にしている。また、20×20(mm)アルミニウム四角柱と200×600×10(mm)のヒノキ板を使用し、尾の下の空間の確保と試作機の固定のために、支柱と土台を制作した。

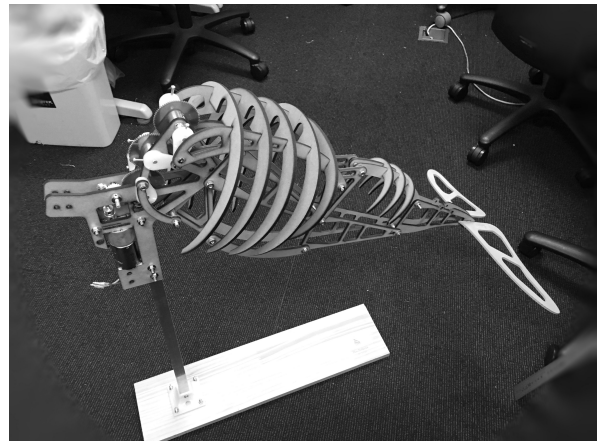


図10 試作機

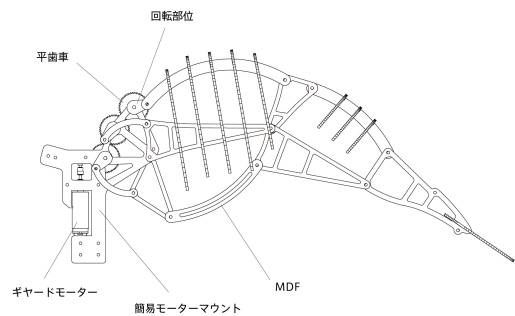


図11 試作機の模式図

### 6.3 実験結果

（表1）にあるとおり、実際に制作した試作機に4種のギヤードモーターをそれぞれ可動させながら比較する。また、MDFより比重の少ないシナ合板を素材に用いることにより軽量化を計る（表2）。バルサは転倒などの外部の衝撃により破損する恐れがあるため今回の採用は控えることとする。以上の結果から、「TE-38F45-12-36」が十分なトルクと回転速度が得られることが判明したため、「TE-38F45-12-36」を本番制作で使用するものとする。

表1 ギヤードモーターの比較

モーター名称	無負荷回転数(rpm)	定格負荷トルク(kg-cm)	定格電圧(V)	定格負荷電流(A)
RS-385PH-4045	336	3.6	6	1
540K300	55	48	7.2	1.2
540K75	221	12	7.2	1.2
TE-38F45-12-36	130	18	12	3.9

表2 素材の比較

素材名称	比重(g/cm³)
MDF	0.8
シナ合板	0.53
バルサ	0.1

## 7. モーターマウントの制作

### 7.1 制作手順

- 1) CGによるモデリング
- 2) 切削機による部品の削りだし
- 3) 穴あけ
- 4) 塗装
- 5) パイプ切断
- 6) 組み立て

### 7.2 制作

モーターマウント用の部品は、ケミカルウッドを切削機で削りだして作成する。まず、制作する各部品の3Dモデルを、設計用のスケッチ(図12)を基に、Rhinoceorsを用いて作成する。次に、削り出した部品に必要な穴を開ける。穴あけ加工は、ボール盤を使う。塗装の手順は、1000番のサーフェイサーを吹いた後、2000番のヤスリで磨き、光沢黒スプレー、タミヤメタルシルバーの順に塗装する。最後に切削した部品同士を結合するための直径25mmステンレスパイプをパイプカッターで42mmの長さに切断し、全ての部品を組み立てる(図13)。

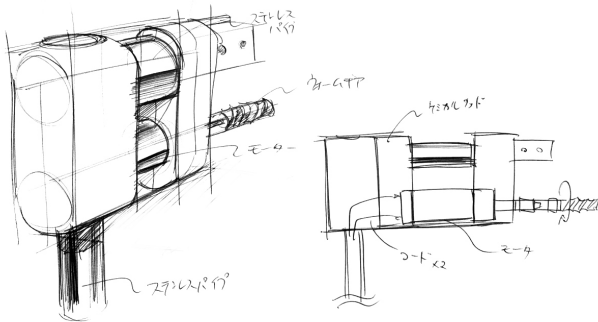


図12 モーターマウントのスケッチ



図13 組み立て後のモーターマウント

## 8. 頭部の制作

### 8.1 制作手順

- 1) CGによるモデリング
- 2) 部品のレーザーカット
- 3) ジョイント部品の3Dプリント
- 4) アルミニウム棒の切断
- 5) 頭部本体の組み立て
- 6) スライド機構部の組み立て

### 8.2 制作

頭部は「頭部本体」と頭部本体を可動させる、「スライド機構部」に分けて制作する。頭部本体は上下に傾く機構とする。4章の図5で示したように、上に4度、下に15度傾くように設計する。

まず初めに、頭部のスケッチ(図14)をもとにRhinoceorsで作成した頭部本体とスライド機構部の3Dモデルから、図面のaiファイルとmakerbotファイルの2つを作成する。作成したaiファイルをレーザー加工機に入力し、4×300×600(mm)のシナ合板から、頭部本体とスライド機構部に使用する平面部位を切り出す(図15)。また、makerbotファイルは3Dプリンタに入力し、スライド機構部に使用するジョイント部品を出力する。使用する3Dプリンタは、Makerbot社のReplicatorZ18に決め、使用素材をPLAとし、以下の制作でも同様のものを使用する。頭部本体の支え、スライド機構部の軸として使用する、直径5mmのアルミニウム棒を、(表3)のとおり金属用鋸で切断する。頭部本体の組み立て方法は、ジョイントにアルミ棒を接続し、出来上がった構造体にシナ合板の平面部位を固定する。固定にはリベットと瞬間接着剤を用いる。一方のスライド機構部は、切断した80mmのアルミニウム棒を、スライドさせるためのレール部分に挿入し、アルミニウム棒の抜け落ちを防ぐために、直径5mm用のアルミストッパーを使い固定する。最後に頭部本体とスライド機構部を結合し、滑らかに可動することを確認する(図16, 17)。

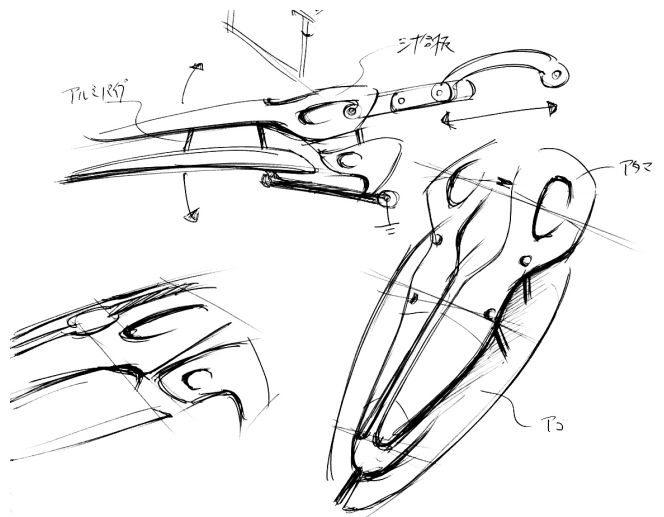


図14 頭部のスケッチ

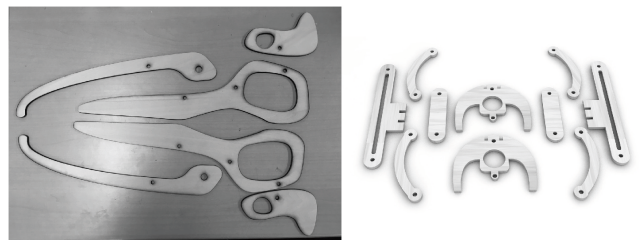


図15 切り出した頭部本体(左)とスライド機構部(右)の平面部位

表3 アルミニウム棒の寸法

使用箇所	名称	外径(mm)	長さ(mm)	本数(本)
頭部本体	アルミニウム棒	5	101.5	1
		5	114.5	1
		5	82	2
		5	77	2
		5	41	2
		5	36.5	2
		5	32	2
		5	17	2
		5	16	2
		5	80	2
スライド機構部	アルミニウム棒	5	80	2
結合部	アルミニウム棒	5	132	1
		5	47	2

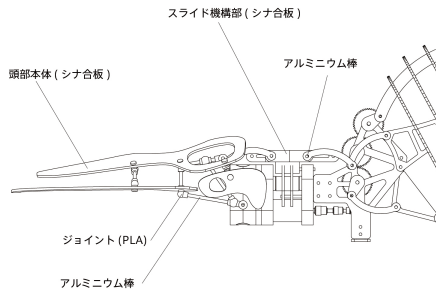


図16 頭部本体とスライド機構部の模式図

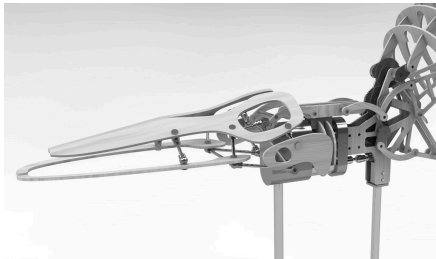


図17 組み立て後の頭部本体とスライド機構部

## 9. 台座の制作

### 9.1 制作手順

- 1) 支柱の制作
- 2) CGによるモデリング
- 3) 支柱支えの制作
- 4) 土台の制作
- 5) 組み立て

### 9.2 制作

本体を固定するための台座と支柱を制作する。支柱は、2本の直径16mm長さ910mmのステンレスパイプをパイプカッターで675mmと587mmの長さに切断する。その後、長い方のステンレスパイプの上から4mmと51mmの位置に直径5mmの穴を、76mmの位置に直径10mmの穴をボール盤で空ける。他方は、上から18mmと31mmの位置に直径5mmの穴をボール盤で空ける。支柱支えはRhinocerosで作成した3Dモデルのmakerbotファイルで3Dプリンタに入力して作成する。土台は4mm厚のシナ合板を240×900(mm)と40×900(mm)、40×232(mm)の寸法にそれぞれ2個ずつに切断し、それらを組み合わせて作成する。切断には卓上丸鋸盤を用いる。40×232(mm)のシナ合板の片方には、「トグルスイッチ2回路2接点(ON-ONタイプ)ST-1061」と「2.1mm標準DCジャック(パネル取り付け用)MJ-14」を取り付ける(図18)。これらの切断したシナ合板を、240×900(mm)のシナ合板の四隅と長辺の midpoint 2カ所の計6カ所に配置した、30×30×40(mm)のシナのブロックを内部の支えとし、直方体の形状に組み立てる。直方体内には、支柱支えを内蔵する。固定には3×20(mm)のネジを使用し、

6つのシナブロックと支柱支えの上下20カ所を固定する。支柱と土台の固定には、支柱を、支柱支えから5×20(mm)のネジで圧迫して固定する。以上の工程を経て、本制作を終了する(図19)。



図18 トグルスイッチとDCジャック

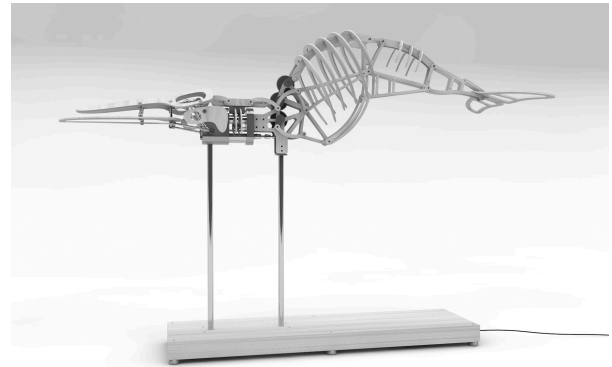


図19 全体の完成図

## 10. おわりに

本研究を終えて、美しさを感じる感性と技術は平行して発展するものであるとの理解が深まった。こうした理解は、完成後の本制作機の動作を観察することによって踏まえ、組み立て作業を通じることによって、より顕著に感じられた。また、本研究での制作は、全てデスクトップ・ファクトリーを用いて行われているため、制作の再現性が非常に高いと考えられる。

以上のことを踏まえての今後の展望としては、本研究のテーマの主旨である「機械的な構造と動物の体躯が繰り出す動きの美しさの調和」を、第三者に対して「組み立て」と「観察」の2つの経験を介して伝えていきたいと考えている。

本研究で作成した図面や3Dモデリングデータは、オープンソース化させ、実際にこのキネティックアートを制作してもらい、多くの人にこの調和を共感してもらいたいと考えている。そして、より美しく複雑な動物の体躯の動きを発見し、自らがそれを新しいキネティックアートとして再現し、考えを深めてもらいたいと考える。この様に、感性的な好奇心に技術が付随して発展していくことにより、FESTO社のような新しい芸術と技術の融合が生まれることを期待する。制作したキネティックアートが少しでもその助けになることを期待する。

## 参考文献

- 1) 楠見春美, 山中俊治(プロダクトデザイナー) 未来人 vol.2, deep science, [http://www.miraikan.jst.go.jp/sp/deep\\_science/miraijin/new/01.html](http://www.miraikan.jst.go.jp/sp/deep_science/miraijin/new/01.html) (参照 2015-08-01)
- 2) Festo, Bionic Learning Network, Festo <https://www.festo.com/group/en/cms/10156.htm> (参照 2015-08-01)
- 3) Choe U Ram, Custos Cavum, Choe U-Ram [http://www.uram.net/eng\\_new/intro\\_en.html](http://www.uram.net/eng_new/intro_en.html) (参照 2015-07-09)