

生物の形と動きを活用した設計実例

－エイの形態・組織を活用した機械設計実例－

喜瀬 晋 Susumu KISE

関口 相三 Sozo SEKIGUCHI

奥坂 一也 Kazuya OKUSAKA

平野 重雄 Shigeo HIRANO

概要:発電所などの巨大プラント設備の補修点検作業を行う場合、そのアクセス場所は狭い隙間や限られた形状の空間が多く存在する。その中に挿入する作業ロボットの設計は一般的な概念の設計思想では機能を満足させる機構を装備することは難しく、時にはドラスティックな発想や自然のもの（生物など）の形や動きを模倣して設計を進めることがある。ここでは、実際に設計を行った一例を引用しつつ設計手法について述べる。

キーワード: 設計論／生物に学ぶ／アイデアの具現化

1. はじめに

設計とは、創りはじめる前に考えること全てである。すなわち、設計、製造、流通、販売、回収、解体、再利用など、製造業が行わなければならない作業をスムーズに行うために、また、商品をできるだけ早く市場に投入するためにも設計の重要性は高くなってきている。設計の段階で、製品のライフサイクル全般について意思決定をしなければならない。

設計するときに、まず考えるべきことは機能の追及である。設計するモノに対して必要な機能は何だろうか、一生懸命考えることが必要でそれを満足させる構造を考えるという手順をとる。逆に既存の構造を考え直すとき、構造にこだわらずに、その構造の持つ機能を確認しながら、再度検討することが新しい設計につながっていく原点である^[1]。

本論は、プラント機器の円筒隔壁の隙間に挿入して、溶接のビートなどを検査する装置の機械設計を行った。構想設計の段階、すなわち、アイデアを思い描く際に生物の形や動きを装置に重ね合わせながらイメージすることは、具現化を支援する上で十分に役立つことを確認した。そこで、魚の“エイ”の形態・組織などを活用した機械設計実例を述べる。

2. 生物に学ぶモノ創り

2.1. バイオミメティックス（生体模倣技術）

バイオミメティックス（生体模倣技術）とは、生物が持つ優れた機能などを機械工学や電子工学といった分野に適応する生体模倣の技術である。近年、自然や生物、生体に学ぶものづくりが注目されている。振り返って見れば、その歴史はるか昔に遡ることができる。

例えば、レオナルド・ダ・ヴィンチに、ヘリコプターを着

想させたと言われるのが、空中で静止し、バックするハチの飛行術であるとされている。19世紀半ばに開催されたロンドン万博では、世界初の鉄とガラスによる建築物「水晶宮」が展示されたが、これは今日のプレハブ建築の先駆であり、人が乗っても沈まない巨大なハス「オオニバス」の葉脈の構造を研究した成果であると言われている。また、高価な天然のシルクを真似て、丈夫で美しいナイロンという人工繊維が発明されたのは1935年である。そして、1948年にスイスのある技術者が犬の散歩中に犬の体についた野生ごぼうのいがを外していたとき、いがの鉤が犬の毛にしっかりと絡みついている仕組みに気づいた。この発見がマジックテープの発明に結びつき、果ては巨大産業に発展した。

最近では、反射率を抑えて光の透過を増大させる蛾の目の突起構造を太陽電池に活かす研究、滑走効率向上のためにヘビの運動形態の解明、ケミカルモータの開発など、実に様々な分野で、自然の英知、生物の構造や生態のメカニズムを解明し、利用する研究が行われている^[2]。

2.2. 自然から学ぶ姿勢

モノコック構造とは、構造の強度を基本的には外皮で担う卵の殻のような構造のことをいう。現在の自動車などではセミモノコック構造を採用している。例えば、卵の殻のように、自然界には優れた構造を持っているものが多い。さらに、飛行機によく使われる構造にハニカムサンドイッチ構造があるが、これなどは板と板の間に、蜂の巣の構造をしたパネルを挟み、軽量で強度の強い板としたものである（図1）^[3]。このように自然界をじっくり見ると、びっくりするような構造が見受けられる。

筆者の一人は、10数年前に原子炉施設のプール槽内で波を立てずに全方向に推進する無人装置の開発に携わった。その際、実現のために、あめんぼうや蜘蛛の動きを解析・応用して実用に供した経験を持っている^[4]。常に自然から学ぶ姿勢を持ちたい。



図1 ハニカムサンドイッチ構造

3. 設計思考と装置の設計条件

3.1. 設計思考

一般的な製品でも、機能は多く、しかし軽量小型にしたい、強度は強くしたいが重量は軽くなど、複数の要求を満たすことが求められる。その時はできるだけシンプルな構造を常に追求したいと考えている。よく言われる、「節の少ない設計を心がけろ」とは、このことに通じている。シンプルで節が少なければ、故障が少ない、一般的にコストが安い、そして、重量が軽くなり、動くものは動作速度を早くできるなどのメリットが挙げられる。

筆者らは、ものづくりまたはものづくりを、モノ創り、モノ作り、モノ造りの3つに分類している。創りはクリエイティブなこと、作りは小規模な作成のこと、造りは大規模な製作という意味で使い分けている。また、モノづくりとものをカタカナで表記したときは、デザインとプロダクトを含む全ての意味のときに使うことにしている。

モノづくりのプロセスの中には、創りの領域、作りの領域、造りの領域がある。例えば、コストダウンで利益をあげようとする場合は造りの領域での努力を指す。しかし、これからは、製造のコストダウンによって利益を得るのではなく、新しい付加価値を生み出すことで利益をあげる方策を考えなくてはならない。それは創りの領域で考えるべきことになる。

3.2. 装置の設計条件

検査では検査対象の部位の強度や状態を検査し、安全性を確保するものである。人手で作業が可能な場合は高価な装置を製作する必要はないが、実際の工事でアクセスする場所は、曲がりくねった配管内、プール内の水中、壁面、天井、また狭い円弧の隙間などで、安全上、人が立ち入りアクセスすることが不可能な箇所が多い(図2)。

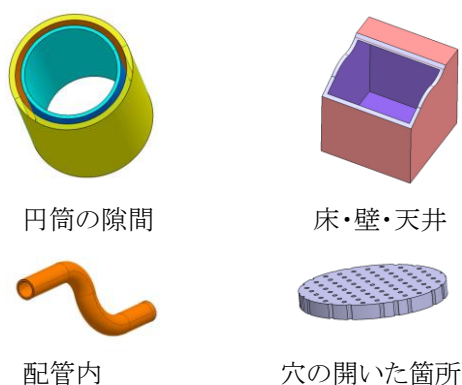


図2 検査対象箇所

装置の設計条件を次のようにまとめた。

- ①当該箇所の限られたスペースにアクセスが可能である。
- ②限られたスペースにアクセスが可能である装置の形状の中に必要な機能を搭載することが可能である。
- ③機能を満足した上で十分な強度を有すること。

図3は、三次元方向に制限がある場合のアクチュエータの配置について検討した模式図である。

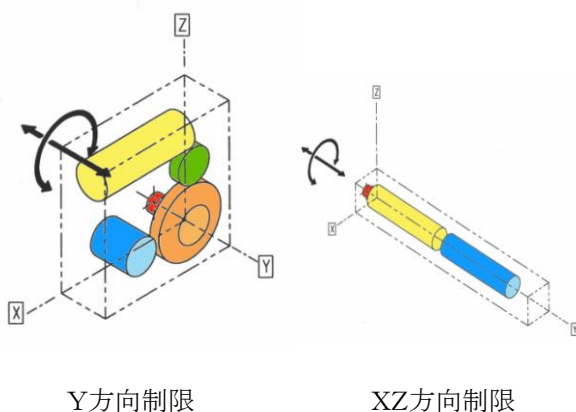
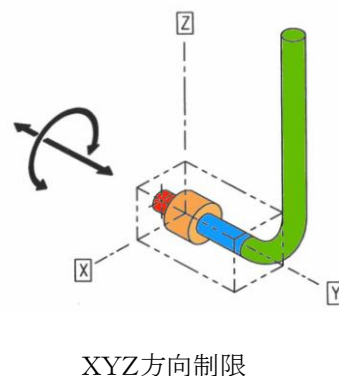
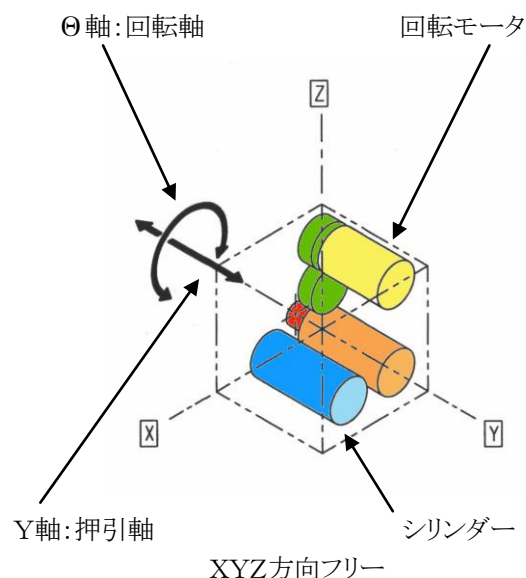


図3 3次元方向の制限のある場合のアクチュエータの配置

4. 構想設計から具現化

4.1. アイデアをイメージする

この段階では、創造力や発想力が必要で、個人的には、設計作業の中で最も楽しいステップである。具体的には紙の上に鉛筆でポンチ絵を描き発想を描きとめる。この絵を描く作業の中で思いをめぐらすと、ふと斬新な

イメージが膨らんだりする。昨今は、設計作業の効率化とコストパフォーマンスを追及するがゆえに、新規要素試験が必要な技術より、既存技術を取り入れたリピータ的なモノの設計が多く、設計をする上で試行錯誤することが少なくなり、より効率的な設計フローを優先する時代となった。

もともとわが国は「からくり文化」が栄えた時代もあり、その当時は豊富な予算とからくり技術に文化芸術性を求める気風もあり、職人があますことなく知恵と工夫を創出することができた。また、時折、欧州の設計図面を見ると、よく考えているなど感心する。そして、練りあがった設計で斬新なアイデアと進取の技術に触れ感動することもある。

アイデアをイメージすることは、設計の仕事に関わらず他の職種でも必要な要素で、つまり文字と絵で表現することは仕事を進める上で、作業ブランチの可能性を増幅しつつ情報を簡潔に受動伝達する最適な手法と言えよう。白紙に気持ちを集中させ、思索をめぐらせながら、手描きで機構・からくりのアイデア図を描きあげることになる。

設計アイデアの創出は、既に認知している形状、つまり今までに見て触った経験のあるモノの形を思い出しながら、それらに新たな発想を盛り込みつつ、新しい形を決定することかも知れない。すなわち、形状を思い出し、形を決める作業とも言える。アイデアに行き詰まった時、紙の上に落書きをしていると、その形のイメージから新しいアイデアが思い浮かぶことがあるのは、このことではないだろうか。

したがって、日常的にモノの形に興味を抱き、その形状を頭に焼き付けたり、モノを見てデッサンしたり、思い描いたことをスケッチするイメージトレーニングは手軽でコストがかからないので若き設計技術者には特に勧められることである。当然のことながら、このポンチ絵の中で簡略な強度計算と動力計算も検討する。このポンチ絵が重要で、そこに描かれている絵と文字は基本的な設計情報と考え方が満載されているので、設計の最終段階まで手放せないことになる。

ベテラン設計者になるとポンチ絵を一瞬見ただけで、そこに描かれているアイデアを盗み取ることができる。反対に他人のアイデアが一瞬に目に入るとその案が頭にこびり付き、そのアイデアに囚われて、新しい発想が浮ばなくなることもある。図や絵の持つプレゼンテーションの情報量は大きいものである^[1]。

4.2. 形づくりから始める設計

設計を進める上で、十分な空間がある場合は各構成部品の大きさをあまり意識せずに形を決めてアSEMBルする方法もあるが、反対に検査対象物の周辺情報をもとに装置の大きさと形状とイメージを決定して、その中に機能を盛り込んで行く方法もある。極端な場合、自然の動物の形や動きを模倣して設計することもある。

要するに、狭い箇所にアクセスする装置は、装置自身の形も制限を受け、長細いもの、扁平なものになるため、それらの形状を持ち合わせる自然のモノは強度的にも理にかなったもので、また、絶妙なバランスを持ち合わせているため非常に参考になる。

4.3. 装置の限られた空間に機能を搭載

装置の限られた空間に機能を備えるためには、強度を意識すると設計は進まない。とにかく機能を有する機構を搭載することが大前提になる。このヤマを超えないと、装置の設計が成り立たず、工事自体が出来なくなる場合がある。

例えば、設計スペースが薄い場合は、全ての部品を0.1 mm単位で削りバランスを見ながら全ての部品を詰め込むこともある。極端に言えば0.3 mmの厚さの歯車を製作することもある。強度不足の部品は材料を変更して対応する。それでも、強度的に成立しない場合は設計の初段階の仕様を変更して装置を成立させる。

4.4. 何をイメージするか

ここで、細いパイプの中に入る装置をイメージする時は、長細い動物を想像する。長細い動物といえば“へび”である。天井にぶら下がる装置をイメージする時は“こうもり”を思い浮かべる。床を這い、壁を登る装置は“かめ”を想像する。狭い円弧の隙間に入る装置の場合は魚の“エイ”をイメージする。

(1) こうもり (図4)

装置の構成としては、天井にぶら下がるために2対の腕と頭を有する。腕には間接が3箇所ありそれぞれを軸とする。腕の先端にはクランプ機構軸を装備する。空中を飛ぶことは出来ないが、腕の関節部分の角度を変化させて、水平に移動することもできる。頭にクランプ機構軸を装着すれば、頭の部分でぶら下がり自由になった2本の腕で作業をすることも可能になる。

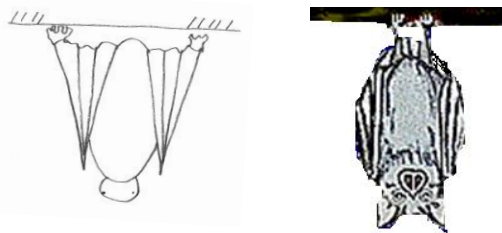
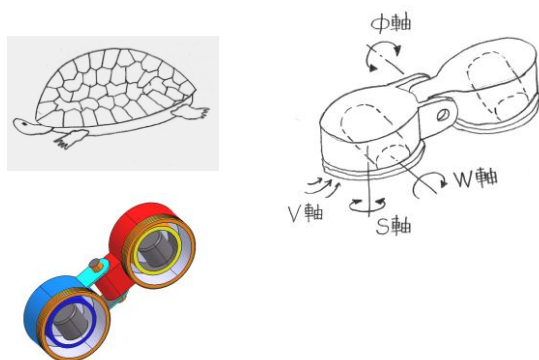


図4 こうもり

(2) かめ

壁を昇降するためには、まず吸い付くためのバキュームV軸が必要である。その吸盤には亀の甲羅の部分をバキューム室に模倣している。移動する機構はそのバキューム室の中に駆動輪 W 軸を有し、それぞれにステアリング機能のS軸を装備させる。初期の段階で、人の手で壁に近づけ吸着させる時は、バキューム室は1つあれば吸い付きながら昇降するが、床から壁に自身で乗り移ることは出来ない。よって、バキューム室を2つにして、

それぞれをヒンジで接続し、そこに回転する機構 ϕ 軸を搭載すれば、床から壁に自身で乗り移ることが可能となる(図5)。



V軸: 壁に車輪を押し付ける(吸引軸)

ϕ 軸: バキュームパッドの角度を変える軸(屈曲軸)

W軸: 駆動輪(走行軸)

S軸: 操行舵(ステアリング軸)

図5 かめ(床→壁→天井を走行する装置)

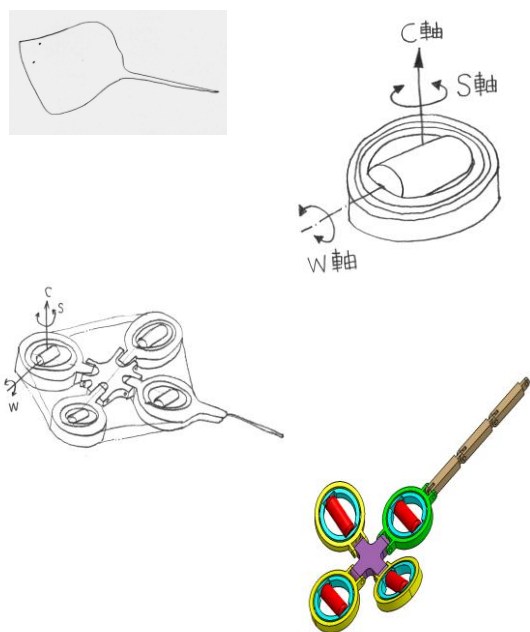


図6 エイ(装置の構成)

(3) エイ

図6に示すように、エイは頭部から胴部と胸びれが一体になって全体が扁平になり、大きく水平に広がった胸びれの縁の薄い部分を波打たせて遊泳する。

円弧上の2つの壁にはさまれた隙間に入り鉛直方向にも昇降移動するためには、装置の構成は、4つの動輪のW軸を有し、それぞれにステアリング機能のS軸と隙間に突っ張るためのC軸が必要である。また、4つのプローブは円弧の曲率に沿うようにヒンジで結合され、ある程度フレキシブルな動作が可能になっている。

この装置が鉛直に走行するためには、駆動輪にブレ

ーキをかけた状態で壁に押し付け、装置が落下しないことが必要条件となる。また、壁には凹凸がありそれ乗り越えながらスムーズに走行するための機構の工夫も必要である。

装置の先端には監視カメラを搭載し周囲の状況を監視するが、装置の大凡の位置と姿勢を常に測定し制御する必要があるため、ジャイロなどのセンサーも必要となる。さらに、装置が故障した時にあらゆる手段を講じても脱出させることが必要で、無理やり引きずり出した際に装置が壊れても部品が残らないような工夫が細部にわたり必要である。

5. まとめ

100分の1秒を争うスポーツ競技では、体を動かし易いという視点とともに、ウェアの働きで空気や水の抵抗を少しでも減らすことが課題となる。例えば、D社では、動物の動きの特徴からヒントを得て、表面に凹凸のある素材などを開発した。工学系に使われているメカニズムという観点から、生物学と工学技術の間で重なり合っている部分はわずか10%しかない。それだけに今後、巨大な可能性があると言われている。すなわち、自然の研究と新しい技術やデザインの開発を近づけていくことで、人類も産業もその恩恵にあずかることができると言えよう。

一般的に良い機械は良く見えると言われる。つまり構造が簡単で無駄がなく、機能が合理的でバランスが取れている機械が優れた機械である。つまり、それは自然のものである。その形状や動きを真似る設計手法は、造形が設計のはじまりという観点から考えると、自然のものの合理性に目を向ける、自然のものを日常的に観察しておく、それをポンチ絵で書き留めておくことが大切である。またひとつ設計作業が楽しくなりそうである。

参考文献

- [1] 平野重雄, 関口相三編著, モノ創り&ものづくり, ーアイデアから具現化までー, コロナ社(2007).
- [2] バイオメティックスハンドブック編集委員会, バイオメティックスハンドブック, エヌ・ティー・エス(2002).
- [3] 日本機械学会編, 生物と機械, 共立出版(1992).
- [4] 八木寛, エンジニアの昆虫学, 新潮社(1994).

著者紹介

きせ すすむ : 株式会社アルトナー東京本社,
105-0012, 東京都港区芝大門 2-5-5 住友不動産ビル
せきぐち そうぞう : 株式会社アルトナー大阪本社,
530-0005, 大阪市北区中之島 3-2-18 住友中之島ビル
おくさか かずや : 株式会社アルトナー大阪本社,
530-0005, 大阪市北区中之島 3-2-18 住友中之島ビル
ひらの しげお : 武蔵工業大学工学部,
157-8557, 東京都世田谷区玉堤 1-28-1