



人にやさしい機械を作ろう

—— 長松・大熊研究室～機械科学科 ——



長松 昭男 教授

音、振動、運動の間にはどのような関係があるだろうか。音は空気の振動であるし、振動は運動の一種と考えることができる。そのために、この中のどれか一つについて考える時、他の二つについて考えないわけにはいかない。このように、音、振動、運動には密接な関係があり、合わせてダイナミクスと呼ばれている。

今回訪問した長松・大熊研究室では、このダイナミクスを解析、制御する手法について研究がされている。それでは、これからその研究内容の紹介をしていこう。



微妙な振動を制御する

振動といえばどのようなことをイメージするだろう。マッサージ機の振動のように有用な振動をイメージすることもできるが、たいいてい振動は厄介なものである。この研究室では「微妙な振動」という厄介なものを制御しようという研究がなされている。その研究の一つに、CDプレイヤーの振動の制御がある。さて、その研究内容を紹介する前に、CDプレイヤーの仕組みについて少し説明しておく。

CDプレイヤーの構造を簡単に描くとおおよそ図1のようになる。まず、光源からレーザー光線を出す。次にそれを、ハーフミラーと呼ばれる、光を半分だけ通す性質をもつ鏡のようなもので反射させ、レンズで収束させて、回転しているディスクにかかっている凹凸をその反射光の強弱で読み取っている。

実は、ディスクはその回転運動のためにわずかに振動している。さらに、レンズを目的のトラックで急停止させるのでレンズも少しの間振動をしてしまうのだ。そのためにレンズとディスクとの位置関係が変化してしまい、そのままでは正確にデータを読み取ることができない。そこで、ディ

スクとレンズとの位置関係が一定になるようにレンズの位置を調節することにする。これを実現するためにレンズはガッチリ固定されているのではなく、ホルダーで囲まれた上でバネなどを使って柔らかく支えられている。レンズホルダーには磁石がつけてあるため、コイルに電流を流すと磁力でレンズが動き、微調整ができるのだ。

しかし、レンズを動かそうと思っても、レンズとディスクの位置がどう関係になっているかが分かっていないとうまくレンズを制御すること

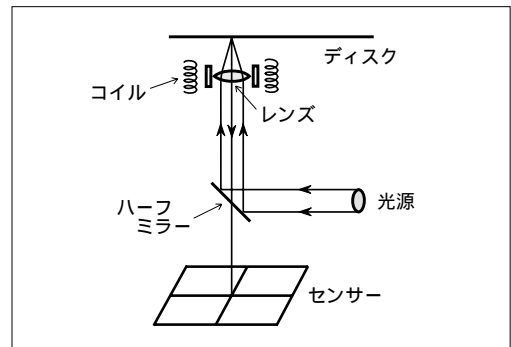


図1 CDプレイヤー

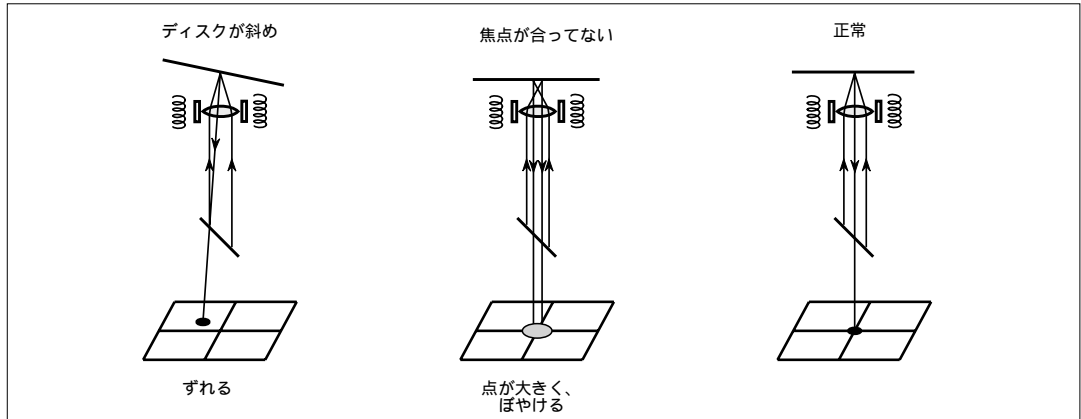


図2 センサーによるディスクとレンズの位置関係の把握

はできない。そこで、ディスクとレンズの位置関係を把握するためのセンサーを使っているのだ。もう一度図1を見て頂きたい。光源からレーザー光線の経路を辿っていくと、最後にセンサーに到達する。もしディスクが斜めになっていれば、反射光がセンサーの中心からずれるため、斜めであるということが分かる。また、レーザー光線の焦点がディスクにうまく合っていないと、センサーにとどく反射光の輝点がぼやける。したがって、

センサー上の輝点の大きさから、レーザー光線の焦点がきちんと合っているかどうか、つまりレンズとディスクとの相対的な位置関係がわかるのである(図2)。こういう情報が得られると、あとは予め制御のルールを決めておき、それに従ってコイルに電流を流せば、レンズを適当な場所に動かすことができる。このようなことが瞬間瞬間に起こり、ディスクの上書き込まれた情報をうまく読み取ることができるのである。



安全な機械を作る

1995年7月、日本でPL(Product Liability)法が施行された。PL法は「製造物責任法」と日本語に訳されている。この法律の施行によって、製造物が原因で消費者が受けた損害について全ての責任をメーカーが負わなければならないことになった。機械のメーカーは、製造する機械の安全

性を一層高めなければならなくなったのだ。

このようなことが背景にあり、機械、特に人間が操作する機械の安全性が、現在強く求められている。人間が操作する機械というのは、クレーンやフォークリフト、飛行機、自動車などである。このような、人間とその操作する機械との組み合わせで構成されている系のことを人間・機械系という(図3)。一般に、人間・機械系を制御することは、先程のCDプレイヤーなどの人間が操作に加わらない機械の制御よりも難しい。なぜなら人間が予想外の行動を起こすことがあるからだ。そこで、この研究室では、人間・機械系を制御してその安全性を高めようとしている。

この人間・機械系の制御に関する研究の一端として、この研究室ではフォークリフトの前後の転倒についての研究が行われている。フォークリフトは前部に重い荷物を積んで走行するため、急ブレーキを踏むと簡単に転倒してしまう。実際に、

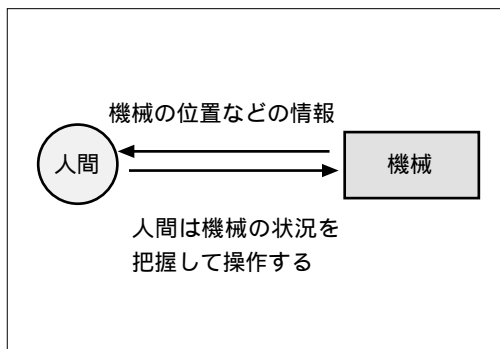


図3 人間・機械系

このような転倒による事故がかなり起こっているのだ。そこで、普通ならば転倒してしまうほどの急ブレーキを踏んでも転倒しないような、そんな安全なフォークリフトが望まれている。

では、どのように制御すれば転倒しないようになるのだろうか。単純に考えると、前方に転倒しそうになったときには、加速したりブレーキの効き具合を緩めたりすれば良い。それを、フォークリフトのほうでやってやればいいのである。そのためには、人間の操作を忠実に実行すると転倒してしまうような場合、「人間の操作通りに動くと転倒してしまう」とフォークリフトが判断できないといけない。そしてそれに対して適切な対応をしなければならない。これは非常に重要なことなのだ。1994年4月に起きた、名古屋空港での飛行機の墜落事故はこの重要性を物語っている。この墜落事故を起こした飛行機は、離着陸時の安定性を高めるための最新の技術を導入していた。しかし人間の正しい操作を前提にして作られたシステムだったので、人間の操作が正しいか正しくないかを判断できなかったのである。そして人間が間違った操作をしたために飛行機が間違った制御をしてしまい、墜落してしまったのだ。

研究されているフォークリフトでは、この重要なことをコンピュータが担い、うまく制御しようとするのである。いま、フォークリフトがかなりの速度で走っている状態で、運転手が思い切りブレーキを踏んだとする。するとフォークリフトはこのままでは倒れてしまうと判断し、その瞬間に関しては、たとえ運転手がブレーキを思い切り踏んでもブレーキの効き具合を緩めてしまう。こうして転倒せずに停止できるのである。

このように書くと、機械はあくまで人間の補助をしているにすぎないと思われるかもしれないが、この研究では機械も人間も操作に対して同じ位の権力があると考えられる。例えば先程のように、安全のために機械を制御するとしよう。もし人間のし

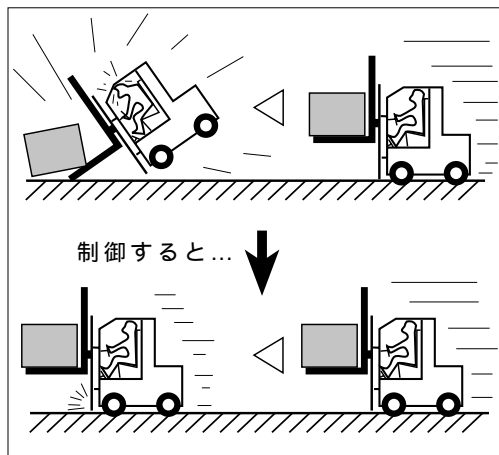


図4 フォークリフトの制御

ていることが明らかに危険な場合には、人間の操作を無視して機械が自身を操作する。逆に、人間の操作が安全なら機械は人間の操作通りに動く。そして、人間の操作がある程度正しい場合には、人間と機械とが適当な割合で操作をする。この「適当」ということが重要なのだ。もし、「割合」が「適当」でないなら、安全でなかったり、操作の通りに動いてくれないために快適に操作できなかったりする。人間と機械とが、状況に応じた割合で操作できる機械をつくるというのが、研究の一つのねらいでもあるのだ。

この研究は、助手である辻岡先生が主に行っているが、辻岡先生は実際にフォークリフトの模型を用いた実験装置を作られた。この装置を使った実験では、アクセルを一気に踏んで、そのあとブレーキを一気に踏むといった操作をする。制御していない場合はフォークリフトは前に転倒するのだが、制御をしている場合は、転倒せずに停止するのだ（図4）。実際には、もっと複雑でいろいろな操作を想定して設計してあるので、このように単純な操作でなくてもうまく制御できるそうである。



新しい設計法・最適設計

機械を作ろうと思えば、まず設計をしなければならない。例えば従来よりも騒音の少ない自動車を作りたいとする。その時、「どの構造をどのように変えればよいか」ということを、いろいろ

な技術者が集まって議論により決めている。過去の経験などを生かして最良と思われる構造を決めるのだ。そのあと、実際に試作をしてみて性能を確かめている。しかし、一度で思っている通りに

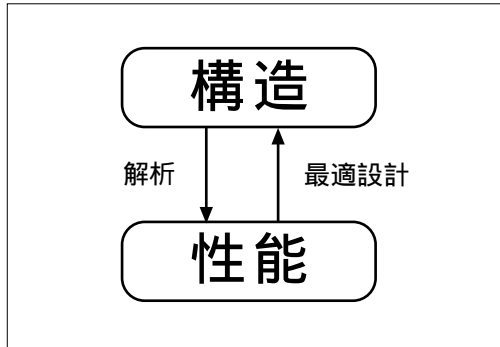


図5 最適設計と解析

改良できるほど機械というものは単純ではない。たいていの場合、目標まで騒音を下げることができないのだ。すると、もう一度設計からやり直しをすることになる。そして設計と試作を何回か繰り返していき、目標に近づいていくのである。

ところがこのような作業は、とても大変なことなのだ。自動車などでは部品は2万点くらいあるため、構造を変えるとんでも変更の仕方というのは数え切れないほどになる。また、何回か試作品を作るとなると何十億円という資金が必要になるし、時間もかかってしまう。

そこで、試作をする代わりに実際の機械をコンピュータの中で再現してみるのである。そうすると、構造をいろいろと変えてみたときに、試作をするより簡単にその性能を知ることができる。これをシミュレーション解析という。解析を繰り返すことで、目標とする性能をもった機械に近づくことができる。そして最終段階として実際に試作をしてみて性能を確かめれば良いのだ。この方法だと実際に物を作ってみなくてもある程度の性能が分かるので、費用と時間がかかり少なくて済む。

しかし、この解析を繰り返す方法でも、構造を

どう変更するか、ということは人間が経験に基づいて考えないといけない。そこで人間が考えなくても、目標の性能を与えるとこの構造をどう変更すれば良いかといった答えを出してくれるコンピュータ援用設計が求められている。これが最適設計である。「解析」が、求める性能を構造から計算するのに対し、「最適設計」は求める性能から必要な構造を計算するのだ(図5)。もし、信頼性のある最適設計システムができれば、試行錯誤をしなくても最良の構造が分かるのである。

では、自動車の騒音を例にとってももう少し詳しく見ていこう。一般に物が振動をしているといった場合、一つの振動数だけではなく、いろいろな振動数を持っている。そして、その振動数の中でも、たくさん含まれているものや、ほとんど含まれていないものがあるのだ。もしエンジンの持つ振動数の中で最も多く含まれているものがエンジン周辺の部品が最も振動しやすい振動数(固有振動数)に近ければ、この周辺部品が共鳴してしまい、非常に大きな騒音が出てしまう。そこで、エンジンを改良してエンジンの出す振動数を変更するか、あるいは部品の構造を変更するなどしてその固有振動数を変えなければならない。しかし排気ガスの規制などのためエンジンの改良は困難なので、車本体の部品の構造(厚さや太さ)を変えろという方法がとられることが多い。ここで、従来の解析手法を用いると部品の構造を入力してその固有振動数が得られる。ところが、その部品の構造というのは人間が経験に基づいて考え出さなければならない。このような場合に最適設計を用いると、固有振動数から、構造をどうすればよいか、といった答えを得ることができる。そして、そのためには新しい手法が必要なのである。この研究室ではこういった最適設計の手法を開発している。

この研究室では、多くのものを研究の対象としているが、その中でも自動車に関する研究が最も多いそうである。そして「安全で快適な機械をつくる」ことが研究のテーマとなっている。

機械の仕組みについて不思議に思ったとき、その原理的なものを理解するだけで納得してしまいがちである。しかし、実際の製品には、様々な要

求を満たすために様々な技術が使われている。このことも忘れてはならないと思った。

最後になりましたが、急な取材に快く応じてくださった、長松・大熊研究室の先生方に心からお礼を申し上げます。

(大西 正規)