



計測のエキスパート達

—— 小林研究室～制御システム工学科 ——



(左)大山 真司 助手(右)小林 彬 教授

「制御」とは対象に積極的に働きかけて、対象を我々の意図通りに動かす技術である。制御システム工学科は「制御」「計測」「システム」をキーワードに、生産ラインや航空機やロボットなどを所望の目的を達成するよう設計、制御をするための研究を行っている。今回訪れた小林研究室ではそのうちの「計測」についての様々な研究を行っている。当研究室での計測の研究テーマは多岐に渡っているため、その中の3つの研究に絞って取材させていただいた。



感性のセンシング

人間は布を触ったとき、その素材が何であるのかを、その手触り感から識別することができる。では何故その素材を識別できるのだろうか。実は、どうして識別できるのかは、現在のところよく分かっていない。ある布が綿だと識別できても、それが何故綿だと識別できたのかは分からないのだ。そこで小林研ではどうしてこれが分かるのか、どこに布の素材の違いがあるのか突き止めるために、人が布を触る行為を機械に真似させ、布の特性を目に見える形で表すことにした。

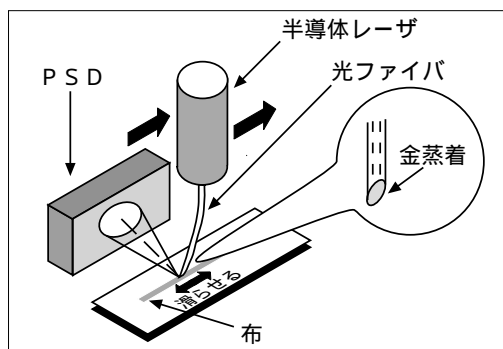


図1 布の表面を光ファイバでなぞる

布の手触り感の研究

具体的には指の代わりに光ファイバの先端で布をなぞる。すると、光ファイバの先端は布の凹凸に引っかかり、小さな振動変位をする。その変位を計測する為に図1の様な装置をつくる。このシステムによって光ファイバの中を通して先端から出射されるレーザー光を目印として、その目印の



実際の実験装置

変位を計測するのである。光ファイバの先端の目印はPSD(Position Sensitive Device)という光の照射位置が分かるセンサによって検出され、その変位を波形として出力する。光ファイバの先端の振動は布表面の凹凸や素材の性質を反映しているわけだ。つまりこの振動変位波形は素材によっていろいろな違いがでてくる。

しかし、ここで一つ問題が起こる。波形のままでは、特性を表す図としては特徴をつかみづらいのである。

そこで小林研ではこの波形をあるアルゴリズム

に従って極座標変換し、花びらのような部分対称な画像イメージで表示した。この変換をSDP(対称化ドットパターン: Symmetrized Dot Pattern)という。実はこの表示方法は音声学の音素判別用開発されたものである。こうすることで布の特性を質感の異なるイメージで認識、比較しやすいようになるのである。ただ、具体的にどのような花びらの形になるとどのような特性を持つのかという事はまだよく分かっていない。研究は現在進行中である。



並列超指向性マイクロホンの研究

例えば大勢が参加しているパーティ会場の中で数人が集まって会話を楽しんでいる様子を思い浮かべてほしい。人間の耳にはたくさんの人の声が届いているのだが、ある特定の人の声だけに集中できる。人間のこの素晴らしい能力のことを「カクテルパーティ効果」と呼んでいる。このような働きを人工的に作ろうというのがこの並列超指向性マイクロホンの研究である。

この目的のために、人間は注目する話者の声の高さや質に着目したり、とぎれとぎれに聞き取れた言葉の内容をつなぎ合わせて判断しているといわれる。小林研での研究は、音の発生している位置だけを手がかりとする、人間の行為とは異なったアプローチの仕方をしている。そのため複数の同一性能のマイクロホンを並列に設置したシステ

ムを開発した。

まず、複数のマイクロホンが音を波として受け取る。音源からの位置によって、複数のマイクロホンが受け取る波の位相と振幅はそれぞれ違ってくる。そこで、それぞれのマイクロホンごとに、振幅と位相を調整して、狙った音源からの音の波形を等しくする。狙った音源と複数マイクロホンの位置関係はあらかじめ分かっているから、狙った音源の波形を等しくする振幅と位相の調整の仕方も、その位置関係により決定できるのである。そうすることで特定の音源からの音を集中して聞くことができる。振幅と位相の調整の仕方によって、つまり、機械的な操作を一切行わずに聞き取るとうとする音源の方向を変えることができるのである。



位置を探る 信号場を用いた位置計測

次に、移動体の位置を計測する技術の研究を紹介しよう。

土木作業や建築作業というものは、きつい、きたない、きけんの3Kといわれて、年々働く人の数が減ってきている。しかし、一方でその様な仕事に対する需要は高まっている。そこで今、現場で人間がトラックやパワーシャベルなどに乗らなくても、自動的に作業できるようなシステムを作ることが必要になっている。その為にはまず人と人とが行うようなスムーズな協調作業が、トラックやパワーシャベルといった作業車の間で可能になることが必要である。そしてそのような協調作

業を実現するためには、作業車の位置関係がしっかり把握されていなければならない。そうしないと、パワーシャベルが運んだ土砂をトラックがきちんと積むことができない恐れがある。そこで位置計測が必要になるのである。

ところで、計測には能動計測と受動計測の2種類がある。受動計測というのは、たとえば目でモノを見て位置を知るといった行為があてはまる。これは、外部から入ってくるエネルギー(光)を目が受け取って計測している点で受動的な計測である。それに対して能動計測とは、たとえばコウモリが超音波をだし、それが跳ね返ってくるのを感じ

じとって相手の位置を探ったり、相手の動く速度を知ったりする行為があてはまる。このとき、コムリは自らが能動的にエネルギーを出して計測している点で能動計測である。小林研ではこの2種類の計測のうち、能動計測に着目して研究を行った。

では、どのようにして位置の能動計測を行うのだろうか。そのために信号場なるものを使うのである。信号場とは「空間に周囲から光や超音波などの信号を意図的に変調して送っておくと、その信号をセンサが受けることで必要な情報（例えば位置）を簡単かつ高精度に知ることができる場」のことである。では次に、具体的にどの様に位置

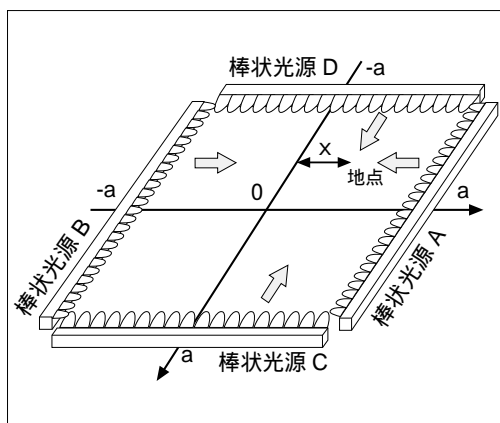


図2 位置計測システム

計測を行っているのか、小林研が作ったシステムを紹介しながら説明していこう。

まず、光を出す棒状光源A、B、C、Dによって空間の四方を囲む。そして四方から光を変調させて送る。つまり光を点滅させ、明暗明となるまでの時間を一周期とした波を送るのである。例えば、図2の棒状光源A、棒状光源Bにおける明るさを、それぞれ

$$\frac{A}{a-x} \sin t \quad \frac{B}{a+x} \cos t$$

とする（A、Bは比例定数）。するとこの光の点滅の振幅は、距離に反比例して減衰するので、地

$$\sqrt{\left(\frac{A}{a-x}\right)^2 + \left(\frac{B}{a+x}\right)^2} \sin(t + \quad)$$

点での合成波の振幅は、

ただし、

$$\tan \quad = \frac{a-x}{a+x} \frac{A}{B} \quad \text{---} (*)$$

となる。

つまり、(*)の式から分かるように、位相とx座標は一対一に対応しているので、棒Aからの波と棒Bからの波の合成波の位相が分かれば、x座標が決定することになる。つまり棒A、Bから波を出すことで地点のx座標が決定するのだ。また同様に棒C、Dから波を出すことでx座標が決定し、結果的に地点の位置が決定するのである。



物体の位置を探る 2 ズーム機能

このシステムの良さは単に位置計測ができるということに留まらない。このシステムのもっと優れた点はマクロ的位置計測からミクロ的位置計測へと手早い移行ができるズーム機能にある。

ズーム機能というのは簡単に言うとまず大体の場所を大づかみにし、その後で正確な場所を測るというものである。つまり、2回目の計測精度を上げようというのがズーム機能である。

ではどうやって精度を上げるのか？ 図3を見て欲しい。図3はyという値をxに、 $y = f(x)$ という数式に従って変化させ、yからxを求める、という計測系を表した図である。そして、その図の両方に という等しい誤差が測定値に入っし

まったとする。では、ここで問題である。図3(a)と図3(b)とではどちらがxの真の値に近づいているのだろうか。答は図3(b)である。yの値の時点では誤差は一緒だが、それがxに変化すると測定精度が変化するのである（>）。要するにyという値がxという値に変化する系では、傾きを変化させることで測定精度を上げる事ができるのである。そこで小林研では、棒状光源から発する波の性質を変えることで、この数式の傾きを計測した位置付近であげること成功したのである。波の性質を変えるとはここでは振幅比と初期位相を変化させることを意味する。まず図4(a)を見てほしい。縦軸は式(*)の傾きの大きさ、横軸

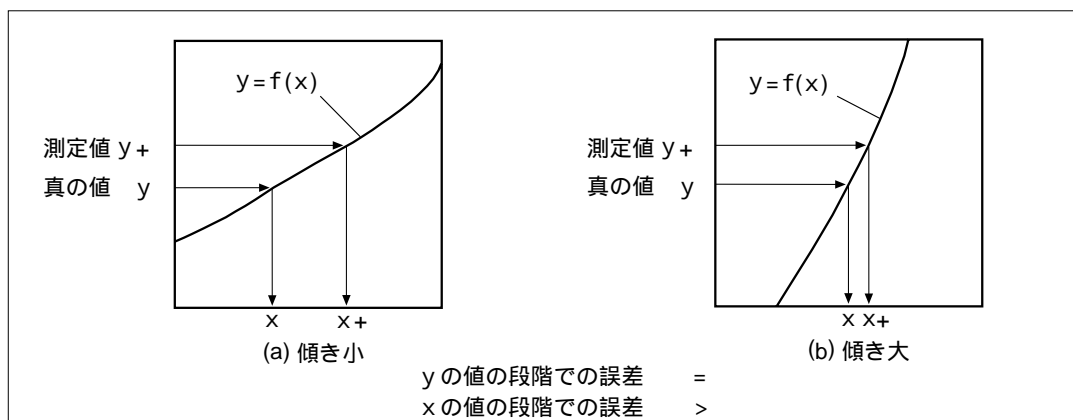


図3 誤差はどちらが大きい？

は位置を表している。この図を見れば分かるように、振幅比を変えれば傾きの極大値の位置は変化するのである。次に図4 (b)を見て欲しい。同じく縦軸は式(*)の傾きの大きさ、横軸は位置を表している。この図のほうは、初期位相を変化させることで原点付近の傾きが変化している。つまり、振幅比を変化させることで傾き最大の点を移動さ

せ、初期位相を変化させることで原点での傾きを自由に変更することができる。この事実をうまく利用し、振幅比と初期位相をうまく組み合わせた調整をすれば、計測した点の付近の傾きを最大限に高くすることが可能になるのである。そうすることで、位置をより正確に割り出せるのである。

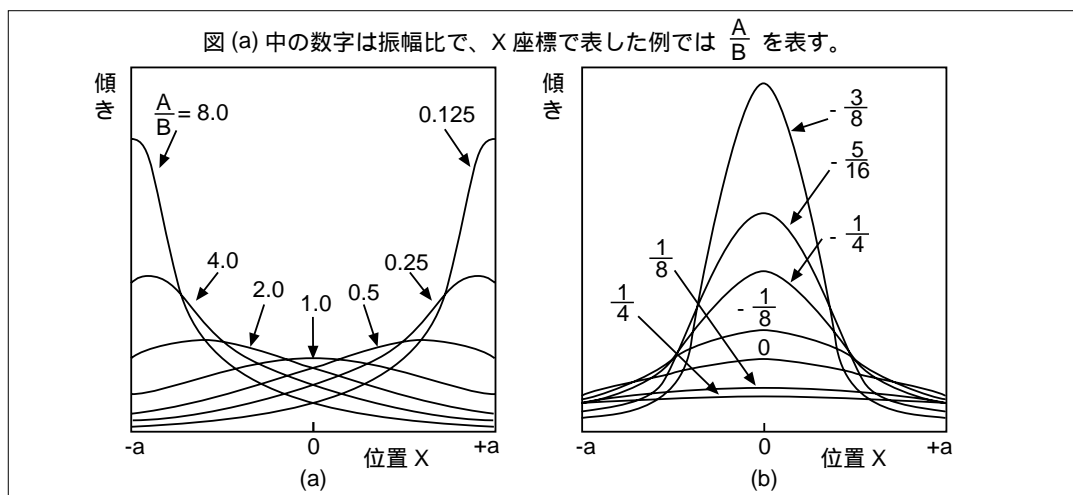


図4 振幅比と初期位相の調整による傾きの変化

以上、小林研究室で行っている計測に関するそれぞれテーマの異なった3つの研究について記事にさせていただいた。この研究室を訪れて、制御工学とは1%のインスピレーションと99%の緻密な努力で成り立っているのだな、と考えを新たに

した。取材では、大変お忙しい中、助手の大山真司博士にこのうえない程の丁寧な説明をしていただき、編集委員一同大変感動した。ありがとうございました。

(矢野 高宏)