

## 「人間と機械の協調システム」における研究と工学教育

三重大学大学院工学研究科機械工学専攻

教授 池浦 良淳

### 1. はじめに

今回、JSPE マガジンへの投稿の機会を頂きまして、有り難うございました。私自身は、工学教育そのものの研究はしていませんが、機械工学専攻という所属でありながら、人間工学に関連した研究も行っており、その観点から感じていることとお話しさせて頂ければと思っております。古くはなりますが、30年ほど前から「人間と機械の協調システム」に関する研究を行ってきておりますので、それを例に、お話をさせて頂ければと思っております。

### 2. 人間と機械の協調システムとは？

「人間と機械の協調システム」と難しそうな言葉を使っていますが、内容は皆さんが良く目にする自動車や飛行機などで見られるシステムです。それでは、何が協調なのか？自動車を例に取ってみましょう。自動車を運転するのはドライバーですが、ハンドル、アクセル、ブレーキなど、ドライバーが操作するデータは、コンピュータに送られます。コンピュータは、ドライバーのそれぞれの操作データと車体の状況を見て、適度に操作データを変更しています。例えば、ブレーキ操作を考えてみましょう。ブレーキを踏んだとき、タイヤがスリップをしそうになると自動的にポンピングブレーキを行い、スリップを伏せいてくれます。いわゆるアンチロックブレーキです。最近では、衝突しそうになると自動的にブレーキを操作するシステムを備えた車も多く登場するようになってきました。これは、**ドライバーとコンピュータが協調してブレーキ操作を行い、車体をコントロールしている**といえます。つまり、人間（ドライバー）とコンピュータ（機械）の協調システムとなっているのです。このようなブレーキ操作は、事故を回避するための緊急の場合に働くものですので、コンピュータの操作はドライバーの操作より優先して実行されます。我々の研究では、優先される方を主導側、それに追従する方を従動側と名付けて区別をしています。通常時では、ドライバーが主導側、コンピュータが従動側ですが、緊急時には、主従関係が入れ替わって、ドライバーが従動側、コンピュータが主導側となる訳です。

人間と機械の協調システムにおいて、機械（コンピュータの振る舞い）をどのように設計するかが我々の課題になる訳ですが、我々のアプローチとして、「人間どうしの協調」を参考にして決める例を次節でご紹介致します。

### 3. 人間どうしの協調から学ぶ

人間どうしでは、特に訓練をしなくてもお互いこうまく協調しています。例えば、図1に示すような1つの物体を2人で運ぶことを考えてみましょう。このとき、1人の人が物体をどこへ移動するか知っており、もう1人は知らないとします。つまり、主従関係となっています。主導側の人目標へ物体を移動しようとしていますが、もう1人の従動側の人、単に追従するだけでなく、主導側の人がかしやすく、止めやすい（位置決めしやすい）アシストをしていることが解析の結果か

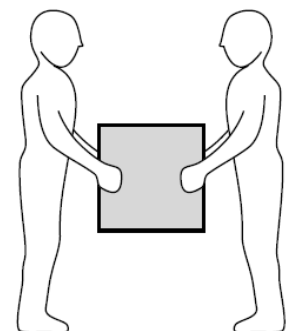


図1 人間どうしの協調運搬

ら分かりました。これらを図2に示すような人間と共同で物体を運搬できるロボットに組み込むとき、キーテクノロジーになるのがインピーダンス制御と言われるものです。詳しくは省略致しますが、図3に示すように、ロボットをあたかも、ばね・質量・ダンパ系となるように制御するものです。そして、従動側の人間の特性は、減衰特性を変化させることで実現できます。例えば、主導側の人が位置決めをしているときは粘性を大きくし、速く動かそうとしているときは粘性を小さくするわけです。

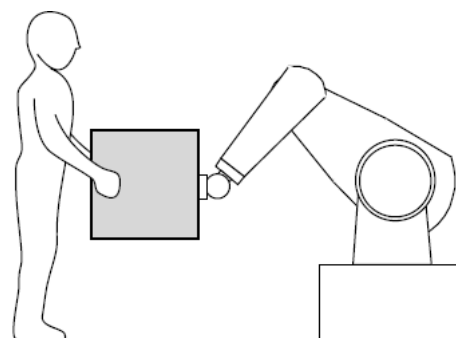


図2 人間とロボットの協調運搬

さて、今までは主従関係を前提にお話をしてきましたが、実は、主主関係とも言うべき関係の方が素晴らしい協調作業を実現できることが分かってきました。先ほどの運搬作業で言えば、2人とも運ぶ目標位置を知っている場合です。もちろん、2人の目標位置が異なれば、お互いに喧嘩をして協調はうまくいきませんが、同じ目標位置を共有している場合は、素晴らしい協調を実現します。主従関係ですと、従動側の人は、主導側の人の状況を見て協調をしますので、どうしても動きが遅くなります。それに対して、主主関係ですと、目標位置までの時間や速さなど、相手の動きを予測して動作します。制御工学の言葉で言うと、フィードフォワードという制御で、無駄のない制御となるわけです。

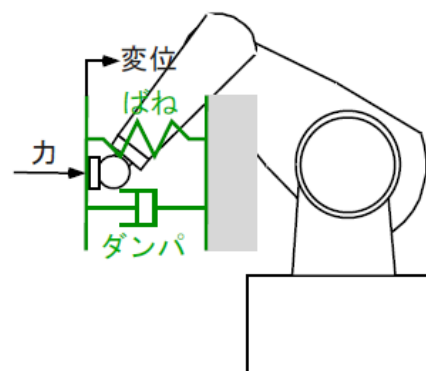


図3 ロボットのインピーダンス制御

#### 4. 工学教育へ

お話ししてきましたように、人間どうしの協調を見ると、主従関係よりは主主関係の方が素晴らしい結果を得ることができます。これを教育に当てはめると、教員と学生との関係が主従関係より、主主関係であるべきということになります。つまり、教員から一方的に学生に知識を伝授するだけではなく、目標を共有して、教員は学生の性質を知り、学生は教員の性質を知ってお互いに協調することにより、素晴らしい教育結果が得られるのではないかと考えています。ここで、**重要になることは、第一に目標を共有**することだと思えます。当然、どちらかしか目標を知らなければ主主関係ではなく、主従関係となってしまいます。例えば、教員は目標を知っていて、学生が知らないとすれば、教員から学生へ知識を伝えても、目標を持たない学生からすれば、その知識を受動的にしか吸収することができず、自分から積極的に目標へ利用することはできないでしょう。基礎的な科目の教育はとかくそのようになりがちな気がします。また、教員が目標を知らなくて、学生が知っている場合は、教員は学生が何をしたいのかわからず、知識の伝達さえもできないかもしれません。次に、主主関係が成功するために重要なこととして、**教員と学生はお互いの性質を知る**ことだと思えます。教員が学生の性質を知らなければ、過度な知識や過小な知識を伝えてしまうかもしれません。逆に学生が教員の性質を知らなければ、不必要な悪い感情を持ってしまうかもしれません。

#### 5. おわりに

人間どうしの協調特性とそれを人間と機械協調システムに適用する研究例をご紹介します。若干こじつけではありますが、教育への展開についてお話をしてきました。主主関係が素晴らしい協調結果を示すとのことでしたが、

最近の解析によると、お互いに目標を知っていても、主主関係ではなく主従関係となる場合があり、しかも主従関係が入れ替わることが分かってきました。これらは、最初にお話ししました自動車への適用も期待できるところです。教育の観点からこれを考察するのも興味深いところです。

最後に、教育工学の観点から、ご意見などございましたら、是非、ご連絡下さい。