

フィードバック制御装置の開発 — 制御を感じさせ興味を持たせる演示教材作り —

福岡県立福岡工業高等学校 電気科・電気工学科 富永 英二

本校は福岡市のシンボルである福岡タワーやドーム球場近くに位置し、8学科1コース全27クラスで専門高校として県下一の規模を誇っている。1896年西日本最初の工業高校として創立以来、今日まで所在地も幾度か変り、校名も制度も変遷しつつ、新しい衣をまといながら110年の風雪に耐え抜いた伝統ある学校である。

1.はじめに

現在の産業社会において重要な役割をしめる制御の技術は、工学の中でも各種の機能や技術を包含し、所期の目的を達成する総合技術である。制御装置の動作の解析や設計には、機械・電気・電子工学の技術が使われているので、電気系技術者が自動制御装置の設計・製作や運転・保守に関係する機会は極めて多く、十分な学習により、制御系の構成と動作を理解させることが必要である。

しかしフィードバック制御に関しては、授業時間数の制約もあるが、その内容の難しさもあり、座学からも実習からも、殆どといってよいくらい割愛されているという現状である。実際の場合ではシーケンス制御よりむしろフィードバック制御系のほうが多くあり、電気の計算に密接に関係していることから、基本的な項目の範囲を教えておく必要がある。実際に制御している様子を観察させることは理解を促す上で有効であると考ええる。

これまでに多くの演示教材を製作してきたが、

今回紹介する装置類は、フィードバック制御の概念を、座学の説明に対して時間をおかずに確認できる演示教材が必要と考え、研究製作したものである。特に電気回路だけで位置制御する「空中浮上モーター」は、授業の中で生徒と作る事を約束したことから生まれた装置であるが、簡単な装置構成であることから理解がしやすく、生徒に制御を感じさせ興味・関心を持たせる演示教材として各研究会等で発表してきた。

2.コンピュータ指令倒立振り

倒立振りとは掌に棒を載せて安定させることを機械にさせる装置で、これまでにいろいろな種類のものが考案されている。制御の対象として利用される理由は、なにもしなければ倒れてしまうということであり、不安定がゆえに制御の必然性が明確で、制御の様子も明らかであることにある。理論的な解析のところで高等学校の生徒には難しいところもあるが演示教材としては面白くてインパクトのあるものであろうし、モデル構成を把握し考えることは、学習効果が大きいと考える。

(1) 回転型倒立振り

アームを回転させ、振子を安定に倒立させる方式である。この装置は久留米高専の江崎昇二助教授に多くのアドバイスをいただき製作することができた。

人間の場合との対応をあてはめると、手に相当するのがアーム、力を発生する筋肉に相

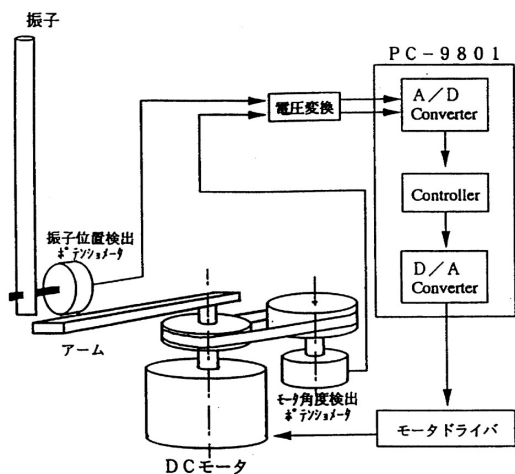


図1 回転型倒立振子の構成

当するのがDCモーターとなる。振子の動き、アームの動きは、目に相当するポテンシオメータによる電圧として計測され、その情報が頭であるコンピュータに渡される。そしてコンピュータのプログラムに基づいて計算された指令に従ってモーターが回転し、アームが回転して振子を安定に倒立させるという構成である(図1)。

運動方程式

図2のモデルに基づいて倒立振子の運動方程式を求めるためのラグランジュ関数を次に示す。

$$L = \frac{1}{2} J_m \dot{\theta}_m^2 + \frac{1}{2} J_p \dot{\theta}_p^2 + \frac{1}{2} m \left(L_m \dot{\theta}_m + \frac{1}{2} L_p \dot{\theta}_p \cos \theta_p \right)^2 + \frac{1}{2} m \left(\frac{1}{2} L_p \dot{\theta}_p \sin \theta_p \right)^2 - \frac{1}{2} m g L_p (1 - \cos \theta_p)$$

このラグランジュ関数から運動方程式を導出し、コントローラを設計する。そしてコンピュータからの指令電圧をモータードライバに出力するが、振り上げ倒立させている様子を示す(図3)。

(2) コンピュータ指令直線型倒立振子

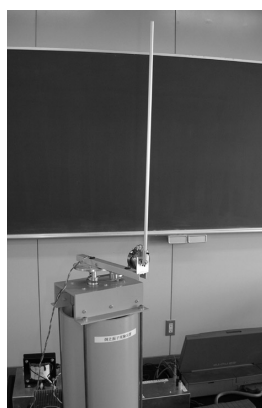


図3 制御の様子

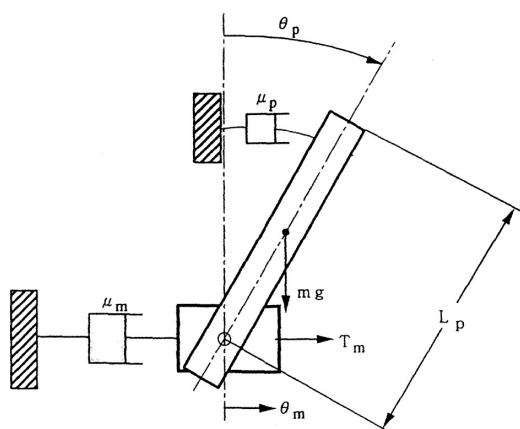


図2 回転型倒立振子の力学的概念図

軌道上を台車が左右に動くことにより、振子を安定に倒立させる倒立振子である。この装置は技術雑誌に掲載された川谷亮治先生(現福井大学助教授)による記事「現代制御理論を使った倒立振子の実験」をもとに製作した。人間の場合との対応をあてはめてみると、手に相当す

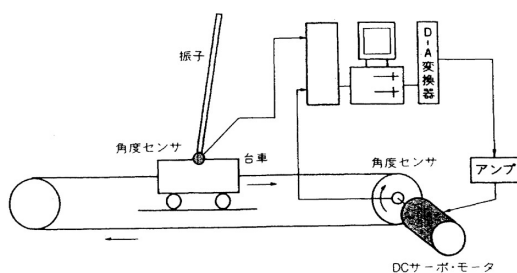


図4 直線型倒立振子の構成

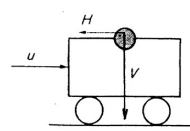
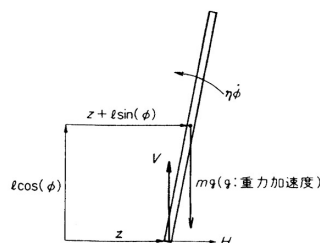


図5 直線型倒立振子の力のつりあい

るのが台車で、他は回転式と同じである。

運動方程式

振子の運動に対する摩擦は粘性摩擦のみとし、図5の力のつりあいから次の微分方程式が得られる。

$$[台車] \quad M\ddot{z} + \mu\dot{z} = u - H$$

$$[振子の水平方向] \quad m \frac{d^2}{dt^2} (z + l \sin \phi) = H$$

$$[振子の鉛直方向] \quad m \frac{d^2}{dt^2} (l \cos \phi) = V - mg$$

$$[振子の回転方向] \quad I\ddot{\phi} + \eta\dot{\phi} = lV \sin \phi - lH \cos \phi$$

これらの運動方程式をもとにコントローラを

設計する。振り上げ倒立させている様子を図6に示すが、軌道はドラフターを用いている。



図6 制御の様子

3. 空中浮上モーター

この装置は、球体もしくは円筒体の回転子を、センサーによる位置検出と電磁石に電流を供給する自動制御により一定の高さに空中浮上させ、各種移動磁界を外部から与えて電磁力を発生させて回転させるものである。

福岡県青少年科学館に展示された「浮かぶ地球儀」を見て、いつか作ってみようと思いをあたためていたものであったが、自動制御の授業展開の中で、生徒たちが作ることを後押ししてくれたのをきっかけにして製作を始めた。この装置も、倒立振子製作を通して知り合えた川谷先生から貴重なアドバイスをいただき製作することができた。

特許出願をしているが、これは過去に発明したものが、後年企業により特許を取得されて商品化された苦い経験があるため、企業による

権利化を防ぐことを考えてのことである。

(1) 装置の特徴

- ① 回転子が簡単なフィードバック制御により空中に浮上することで、生徒の興味を引き起こすことができる。
- ② 回転子は材質、形状を問わず浮上させることができる。
- ③ 回転子に軸受けがないため、異なる移動磁界による回転の微妙な違いを見ることができる。
- ④ 空中浮上を実現させるコントローラの回路は簡単であり、生徒にも理解できる。

(2) 装置全体電氣的構成

空中浮上制御装置と移動磁界発生装置にて全体を構成している（図7）。

移動磁界発生装置は、この図では一組のコイルとコンデンサーを直列に接続しているが、くまどりコイル等各種工夫して製作し、ベクトル図により説明すると教育的効果大きい。

図8に制御回路、図9に装置全体を示す。このモデルの制御の基本はP制御であり、オペアンプはインピーダンス変換とゲイン調整用に設けているのであるが、装置によっては用いないほうがよいパフォーマンスが得られることもある。

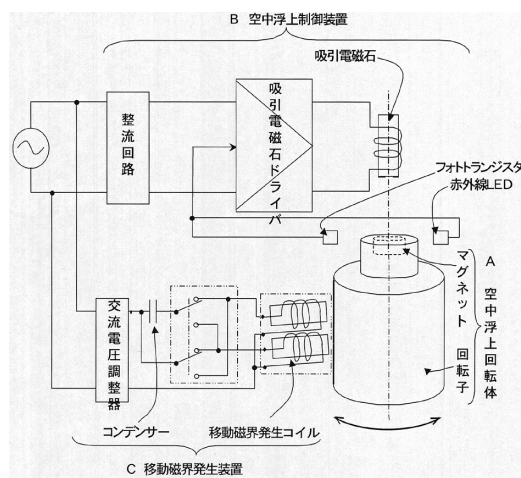
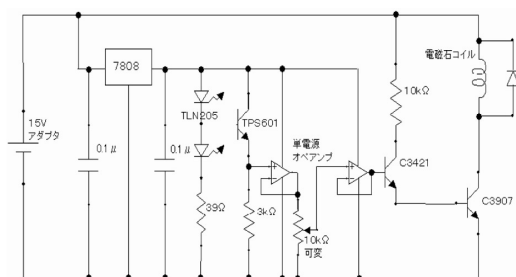


図7 装置の電氣的構成



(3) 利用目的・効果

本装置の利用目的としては、フィードバック制御の学習はもちろんのこと、電気材料や交流モーターの原理を学ぶ電気機器の学習に用いることができる他、多くの学習プログラムに応用活用できる可能性を持つ。

構造が簡単であることから、定性的な理解がしやすい装置である。制御システムの構成は単純であり、電子回路も簡単で、生徒にも理解させ製作させることができる。

4. おわりに

電気の諸現象は目で確認することが難しく、

それまでに得た知識をもとにイメージするしか
なかった。このためそれまで得た知識の正確さ
やイメージする力などに大きな影響を受け、理
解に差が顕著に現れる。この個人差が生じるこ
とを改善する方策は、視覚的に同じレベルで確
認させることが大切であり、教室にて演示する
装置が必要である。また工業に関する授業は、
実験・実習を通して肌で感じる必要があるこ
とはいうまでもないことであり、このよう
な思いから多くの装置を開発してきた。数式や
理論が現象として目の前で展開するときの生徒
の目の輝きは、製作の苦労を忘れさせる。

今回は、フィードバック制御に関する装置について寄稿したが、特に「空中浮上モーター」は、自分も作ってみたいという多くの生徒の声に励まされている。そして装置の製作を通して大学や高専の先生方に教えをいただき知己となり得たことは大きな財産となった。

これまでにいろいろな研究会等で紹介する機会を得る事ができたが、この装置を参考として製作し活用していただければ幸いである。

