

リニア・サーボ・アクチュエータ技術とその応用

Technology of the Linear Servo Actuator

田辺 安忠
Yasutada TANABE

川田工業(株)航空・機械事業部製品開発部次長

航空・機械事業部製品開発部では無人ヘリコプタの開発によって得られた技術をベースに、アクチュエータやモーションベースを製品化し、市場に展開中である。また反力制御コントロール・スティックや運転補助装置等の開発委託業務を通して市場のニーズを知り、新しい技術の蓄積にも努めている。これらの開発について一貫していることは、我々が常に「人に優しい」モーション・コントロール技術の確立に取り組んでいるという点である。巷ではロボット・ブームが沸き起こっており、ロボットがより身近な距離で人間に接する機会が増えてきているが、本事業部の「人に優しい」技術はこれからの時代に必要不可欠なモーション・コントロール技術である。

キーワード：アクチュエータ，力制御，モーション・コントロール

1. はじめに

モーション・コントロール技術の心臓部とも呼べるものが、駆動源であるアクチュエータとその制御システムである¹⁾。アクチュエータの動力としては空圧、油圧、電動が挙げられるが、コンパクトさ、取り扱いの良さなどから電動式のアクチュエータが産業用ロボット市場では主流となっている。当社航空・機械事業部でもこの電動アクチュエータの自社開発を早い時期から進めており、そのドライバも含めて、製品化、シリーズ化を行っている。

一方でこのアクチュエータを組み込んだ応用製品についても開発、販売活動を進めている。委託物件として開発・納入したモーション・コントロール機器は10件を超えており、各社から実績と信頼を得ている。さらに自社開発としても、アクチュエータを2本用いた簡易2軸モーション・ベースを2002年にリリースした。これは自社で開発したアクチュエータの高推力、高応答性が十分に活かされた応用製品であり、社外から大きな反響を得ている。

これらのアクチュエータやその応用製品はすべて機械が人間と直接かかわることを目的とした機械システムであるが、これらの開発を通して人間の微妙な感覚に対応するためのノウハウを蓄積してきている。

本稿ではアクチュエータやその応用製品を列挙しながら当事業部が保有しているメカトロ技術を解説し、ヒューマン・インタラクティブ・モーション・コントロール (HIMC) 市場への具体的な取り組みを説明する。

2. リニア・サーボ・アクチュエータ

リニア・サーボ・アクチュエータは当初、当事業部で開発した産業用大型無人ヘリコプタの操縦システムをコントロールするために設計製作された。このアクチュエータの開発にあたっては、まず実機において操縦者がスティックを操作する速度と力を計測し、操縦者と同等の動作を行えるようにスペックを定めた。したがって、当然の帰結としてこのアクチュエータは人間の腕に匹敵する動作を実現できる。写真1に示すのはこのアクチュエータのプロトタイプと初期製品版である（奥にあるのがプロ



写真1 リニア・サーボ・アクチュエータ



写真2 無人ヘリコプタに搭載された様子

トタイプ、手前にあるのが製品版「LSA50-60」²⁾。また写真2にこのアクチュエータを無人ヘリコプタ³⁾に搭載した様子を示す。この無人ヘリコプタへは、ヘリコプタの飛行制御に必要な5軸の操舵を行うために、すべての操舵軸に対してアクチュエータが搭載されている。このようにアクチュエータの開発を社内で独自に行ったことによりモーション・コントロールの基礎技術を社内に蓄積することができ、航空機以外への産業への展開が可能となった。

このアクチュエータについては現在も改良が重ねられており、2002年にはコンパクト化とコストダウンを図った最新型の、dSA604-100R（本体）とdSAC-24-20（ドライバ）をリリースしている（写真3）。



写真3 最新型アクチュエータとドライバ

3. JoyDrive

衝突回避装置など、自動車の安全装置の開発が近年著しい。写真4にこのような自動車の安全装置の研究開発に必要な運転補助アクチュエータを示す。ハンドルを回すアクチュエータがクラッチを介してステアリング軸に取り付けてあり、自動運転試験中に安全ドライバがオーバーライドできる構造になっている。また、ブレーキとアクセルもアクチュエータによって操作できるようになっており、種々の自動運転に関する研究開発に用いられている。当事業部ではこのような特殊アクチュエータの



写真4 自動車運転補助装置

カスタム設計開発の実績が豊富である。前述の通りこの種の機械システムは機械が人間とかかわる部分に特殊な技術を要するため、わが社の保有するノウハウが大いに活かされる。

4. 力制御システム

力制御の応用範囲は非常に広く、今後も需要が拡大していくものと思われる。当事業部では応答性の高いモーション・コントロール技術を応用して、違和感の少ない反力制御アクチュエータを試作してきた。アクチュエータの発生する力を正確に制御するこの力制御システムは、人と干渉し合いながらモーション制御を行うHIMC技術の中では大変重要な要素である。

写真5に当社内でJoyAssist⁴⁾と呼んでいる力制御デモ装置を示す。本装置はロードセルを内蔵した操作用ハンドルとアクチュエータおよび反力制御ボックスで構成されている。アームの先端に重量物（写真ではダンベル）を取り付け、操作用ハンドルにて人間がアームを持ち上げると、アクチュエータが人間を補助するように作動する。そしてロード・セルの信号をフィードバックすることにより、重量物の重さが変わると人間の持ち上げ力も比例して変化し、荷重変化を人間が感じることができるようになっている。



写真5 JoyAssist（デモ用）

反力制御システムの構成図を図1に示す。本システムは、当社で開発してきた位置制御アクチュエータ・システムのアウトーループに反力制御ループを配置することで反力制御の機能を実現している。これまでの製品と技術を有効に活用でき、試験調整も容易である。反力制御電気回路への制御指令としては、反力指令値以外に、仮想バネ係数である反力/位置勾配指令、さらに減衰率指令を入力できるようになっており、ユーザーが直流電圧を入力するだけで、多彩な反力を発生できるようになっている。

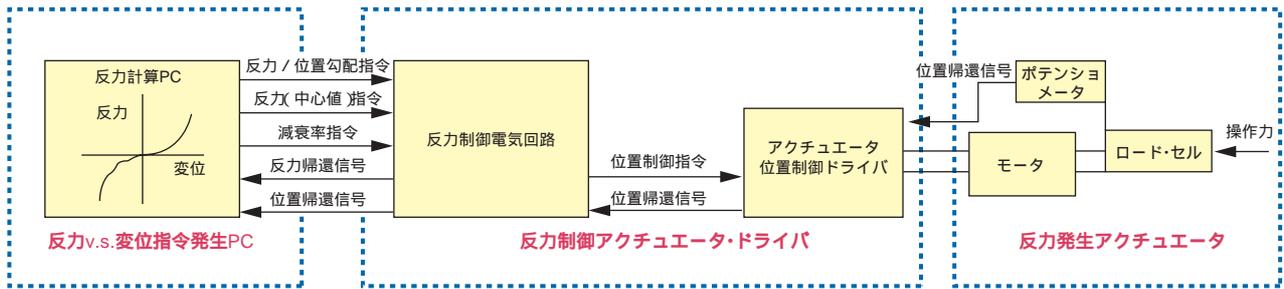


図1 反力制御システムの構成図

本制御システムは、ロボットなどの遠隔操縦システムにおけるオペレータへのフォース・フィードバック、体感ゲーム機器、さらには訓練者に応じて負荷を任意に変化させることのできるトレーニング・マシンなど、人とかがわるさまざまな機械システムに応用することができる。

反力制御機器の実績としては2軸反力付きコントロール・スティック、反力発生ペダル、反力発生ハンドルなどがある。写真6に2軸反力付きコントロール・スティック⁴⁾を示す。このスティックの中にはロードセルが取り付けられており、操作員の前後の操作力と左右の回転力が計測され、その力が制御コンピュータからの指令値に一致するようにアクチュエータを動かしている。操作員の操作位置に応じて反力を変えることにより、より正確な操作が可能になり、また、コンピュータからの自動操作指令を力という形で運転者に提示することにより、より人間の判断の主体性が確保され、コンピュータを良き助言者として位置付けることができる。

反力制御はアクチュエータの制御方式としては複雑な部類に属するが、当社のシステムは特許出願済みであり、その安定性と高速応答性を活かしてさらに応用分野を広げていきたいと考えている。



写真6 2軸反力付きコントロール・スティック

5. 車椅子用アクティブ・サスペンション装置⁵⁾

アクチュエータの高速応答性を活かせる分野としてア

クティブ・サスペンションがある。通常のばねとダンパの組み合わせでは達成が難しい幅広い周波数領域における振動減衰をアクチュエータの作動で行う技術である。当社では平成12年度から13年度にかけてNEDOから助成金を受け、自動車に搭載される車椅子用の装置を開発試作した(写真7)。走行試験においては、ほぼ満足できる効果が確認できており、より低コストで、適用範囲の広い製品に改良すべく、開発を継続している。



写真7 車椅子用アクティブ・サスペンション装置

6. 簡易2軸モーションベース

アクチュエータの高速応答性を利用して、シミュレータ、アミューズメントなどの分野で用いられる簡易2軸モーションベース (JoyChair) を試作し、客先に提案している。写真8は初期に試作したコンセプト・モデルである。人間が搭乗できるモーションベースとしてはこれまでは油圧式が多かった。油圧式は高推力、高応答ではあるものの設備が大掛かりになり一般向けとしては高価になるという欠点を持っている。JoyChairはマルチメディア時代に対応した一般向けのモーションベースとして、電動アクチュエータを用いたコンパクトな設計となっている。このJoyChairコンセプト・モデルには客先の要望に合わせて改良した数種類のバリエーションがある。



写真8 JoyChairコンセプト・モデル

2002年7月に発表した一人乗り用簡易2軸モーションベース「JoyChair-R1」は、本格的な市場参入を目指して、これまでにカスタム設計してきたものをより使いやすく、コンパクトに大幅に改良したものである（写真9）。また駆動系にも新しい機構を取り入れ、これまで以上に高いモーション性能を実現した。さらに使用者の立場に立って操作性のよい制御インターフェイスを新たに構築した。この新型バージョンは船の上で感じるようなゆっくりとした揺れからバイクや自動車の激しい加減速感や横G感、さらには在来のモーションベースでは表現が難しかった乗物のエンジン振動や路面の細かな凹凸までも表現することができる。

本モーションベースは映像・音響に合わせたモーション体感を簡易に提供する装置として、また、シミュレーション、教育、放送分野、テーマパーク、ゲームセンター、小劇場などに用いる体感機器の研究開発者、企画担当者の試験運用装置として、今後の需要が大いに期待されている。



写真9 新製品JoyChair-R1

7.まとめ

「人に優しい」機械とは、機械が人間に接したときに違和感を持たせず、また人間が大きな力を出したときにはその力に負けて作動してくれるようなものを言うのであろう。巷ではロボット・ブームが沸き起こっているが、ロボットが身近になればなるほど、この「人に優しい」モーション・コントロール技術の重要性が増してくる。我々は、我々の開発する技術が近未来の人間・ロボット共存型社会の発展に少しでも役立つことを願いながら、今後も人間を念頭に置いた技術開発を鋭意進めていく予定である。

参考文献

- 1) (社)精密工学会監修：次世代精密位置決め技術，(株)フジテクノシステム，2001.1.
- 2) 赤地，佐藤，五十棲：高応答性リニア・アクチュエータ～その設計から実際の使用まで～，川田技報，Vol.17，pp.140-141，1998.1.
- 3) 宮森，趙，塚田，平井，赤地，太田：大型産業用無人ヘリコプタRoboCopter300，川田技報，Vol.18，pp.59-64，1999.1.
- 4) 田辺：力を自由にあやつる～アクチュエータ・コントローラの開発～，川田技報，Vol.20，pp.98-99，2001.1.
- 5) 平井，太田，嶋田：車椅子で快適ドライブ～車椅子車載免振装置の開発～，川田技報，Vol.21，pp.112-113，2002.1.