

SFC言語習得のためのPC教材システムの開発

群馬職業能力開発短期大学校 山下 忠

Development of Programmable Controller Teaching Material System Training
Programming In Sequential Function Chart

Tadashi YAMASHITA

要約 現在、マイクロエレクトロニクスとコンピュータ技術の著しい発展により、制御機器も使用者側に立って利用しやすくなり、制御技術もこれに伴い簡単で容易に理解しやすい方式になってきている。しかし、制御技術においても、まだ制御機器のプログラムなど熟練を必要とし、その熟練に立って応用ができる技術能力を教育訓練において付与していかなければならないとも考える。

そこで、制御機器として自動化の中心的役割をなすプログラマブル・コントローラ（PC）での教育訓練において、SFC（Sequential Function Chart）の習得に用いる教材システムを製作して活用している。

この教材システムとして考えるにあたり、より作業現場に近い工程、目で動作確認ができる範囲内に置かれた工程および単一工程でSFCの流れの把握が容易な工程、これらの点を考え合わせた結果、1200×760mmの作業台上の範囲でのワーク搬送システムとした。このワーク搬送システムは、直径25×長さ30mmのワークを供給、搬送、作業を行うとして想定した方向転換および排出までを行う工程としている。

本報告では、搬送システム全体の構成、各装置の構成、利用方法について説明し、SFCでのプログラム例を取り上げ、この教材を活用した結果について述べている。

1 はじめに

マイクロエレクトロニクスとコンピュータ技術の著しい発展により、制御機器も使用者側に立って利用しやすくなり、制御技術もこれに伴い簡単で容易に理解しやすい方式になって来ている。しかし、制御技術においても、まだ制御機器のプログラムなど熟練を必要とし、その熟練に立って応用ができる技術能力を教育訓練において付与していかなければならないと考える。

そこで、プログラマブル・コントローラ（以下、PCという）での能力開発セミナー（以下、セミナーという）において、SFC（Sequential Function Chart）の習得を目的にした教材システムを製作し、活用している。

現在、PCの内部回路設計方式は、リレーシンボルによるラダーダイアグラム方式（以下、ラダーという）である。このラダーによる制御内容の表現は、シーケンス図と表現が近く、シーケンス図からの取り組みが容易なため、多くの現場サイドにおいてかなり普及しているが、機械の高度化が進むにつれ、プログラムも長くなり、かつ複雑になっている。

最近では、制御の流れを表現できるとともに、信号組み合わせの論理にラダーを使うIEC（国際電気標準会議）規格（案）によるSFCが使われるようになって来ている。SFCは、機械の動きに合わせて工程ごとに流れを作り、この流れの順序に従ってプログラムしていく方式である。従って、機械全体の動作の理解が容易で、また工程内の細かい動きは、従来のラダーで記述する構造化プログラミング方式となっている。

PCのセミナーとしては、ラダー、SFCと2コース
ずつ実施している。これらのセミナーには、機械メン
テナンスに従事している受講者が多いが、タイマやカ
ウンタの定数を修正する程度を今まで行っていたが、
制御内容の一部修正等の回路を自ら組む必要から受講
するケースと機械、治具等を自動化したいという考え
をもって受講するケースとが多い。受講者が必要とする
制御内容は、長く、かなり複雑なため、その領域に
達するまでにはかなりの熟練が必要であり、興味を持
続させながらセミナーを展開するためには難解な問題
である。

そのため、ラダー、SFCともにこの方式で描いた
回路設計ができることが必要であるが、そこには熟練
が必要とされ、PCへこの回路をプログラムとして入
力する場合には、回路をひとつの言語として捉えた形
のプログラミング技術としての教育訓練が必要であ
り、興味を持続させながらスムーズに熟練させるため
の教材が必要であると考えられる。

また、ラダー、SFCとも現在、各メーカーにより
多少異なっており、セミナーとして展開する上でこの
点も難解なところである。しかし、各メーカーとも基
本的な考え方は同じであり、ラダー、SFCともに考え
方の熟練ができれば充分に受講者の要求に答えられる
ものであると考える。

そこで、SFCの教育訓練を展開するセミナーにお
いて、興味を持続させながらスムーズに熟練させるこ
とができる教材として、SFCの特徴である機械の動
きに合せて工程ごとに流れを作り、この流れの順序
に従ってプログラムしていく方式という考えに立った
いくつかの機械作業工程を組み合わせた教材を考える
ことにした。

また、SFCを教育訓練として取り組み理解させる
ためには、実際に工程を考え目で見ながら動きを追っ
て行きながら、自らプログラミングした動きと照らし合
わせて行き、動きの確認をしながらSFCの理解をする
ことが必要である。そのためにも、SFCで動作させ
るための機械作業工程が必要となる。

この工程としては、より作業現場に近い工程で教育
訓練ができればよいのだが、SFCの導入の段階では、
かえって広い範囲に置かれた工程では目で動きを追
いながらの動作確認は受講者には難しく理解しにくい
ところとなり、かえってSFCが面倒なものと考えられ
てしまう。また、工程が複雑な場合、SFCは機械の
動きに合わせて工程ごとの流れでプログラミングする
方式なため、工程が複雑になりすぎると、面倒なもの

と考えられてしまう。

SFCの導入の段階では、単一工程でSFCの流れを
把握することが必要と考える。そして、この流れをい
ろいろな場合に想定し、変えて行きながらSFCの方
式をつかむことが必要である。また、この流れを把握
するためには、PCを中心とした目で追える範囲に置
かれた工程が必要であると考えられる。

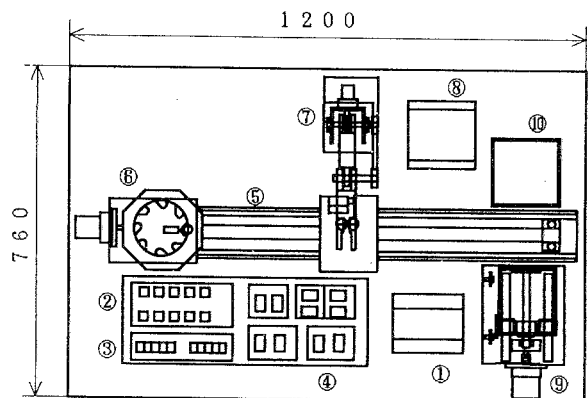
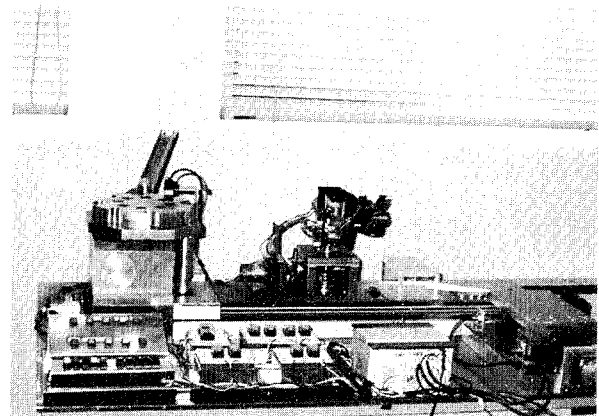
従って、SFCを習得させるためのPC教材としては、

- ① より現場に近い工程
 - ② 目で動作確認ができる範囲内に置かれた工程
 - ③ 単一工程でSFCの流れの把握が容易な工程
- の3点が必要であると考えられる。

そこで、SFC習得のために用いるPC教材として、
ワーク搬送を主目的としたワーク搬送システム教材を
考え、製作し、SFCの教育訓練に活用することとし
た。

II PC教材システムの概要

1. ワーク搬送システム全体構成



- ① PC
- ②電源スイッチ部
- ③スタートスイッチ部
- ④リレー部
- ⑤ワーク搬送テーブル
- ⑥ワーク供給装置
- ⑦ハンドロボット
- ⑧ワーク置台
- ⑨ワーク排出装置
- ⑩ワーク排出BOX

図1 ワーク搬送システム全体構成

PC教材として開発したワーク搬送システムは、直径25×長さ30mmの円筒ワークを、供給、搬送、作業を行うとして想定した方向転換および排出までを行う工程としている。これらの工程は、目で追え、動作確認が容易な範囲内として考えたため、1200×760mmの作業台上にこれらの全工程および電源スイッチ、PCなどを配置している。この作業台上のPCに受講者がSFCでのプログラムを転送し、動作を行うこととした。

図1にワーク搬送システムの全体構成を示す。

このワーク搬送システムは、次に述べる各部で構成されている

① PC

入出力16点、リレー出力のものを使用している。

② 電源スイッチ部

ワーク搬送テーブル、ワーク供給装置、ハンドロボット、ワーク排出装置の駆動モータ電源スイッチおよびこれらの装置を制御するためのリレー電源スイッチ、ハンド部の開閉を行うソレノイドの電源スイッチ、PCへのRUN出力スイッチで構成されている。

また、これらの電源スイッチは、各装置の動作状態を確認できるように表示灯付き自己保持形スイッチを使用している。

③ スタートスイッチ部

各装置ごとにSFCでプログラムし、動作させるために、各装置ごとのスタートスイッチを設けている。

また、全体を動作させるためのスタートスイッチおよびプログラム上のストップスイッチも別に設けている。これらのスイッチは、SFC導入時の受講者にとってONでスタートし、動作する方式が理解しやすいため、a接点復帰形押しボタンスイッチを使用している。

④ リレー部

PCの出力が16点と接点数の数が少なく、また各装置の駆動はDCモータを使用しているが、このDCモータの駆動状態を把握し、確認するためにリレー部を設けている。

これにより、PCの出力点数の少ない場合の対処方法と、駆動電源スイッチとリレー電源スイッチとを別に設けているため、動作をリレーだけで確認し、動作チェックの後に、実際の工程動作を行うことができるようにしている。

⑤ ワーク搬送テーブル

ワーク供給装置からワークを受け、ハンドロボットおよびワーク排出装置にワークの搬送を行うものである。駆動はDCモータのON/OFF制御で行い、このモータの駆動をボールねじで受け、ワークを載せたテーブルを動作するようにしている。また、各装置部にフォトセンサ（b接点としている）を取り付けてあり、テーブルの位置決めを行う。このセンサは取り付け位置を変えることができるようにしているが、ワーク搬送テーブルの最大動作距離は800mmとなっている。

このワーク搬送テーブルは単一シーケンスの流れで組むことができるため、最初の導入の段階で各自でプログラミングし動作させ、SFCとはどのようなかを理解させる課題として適しているものと考ええる。

⑥ ワーク供給装置

ワーク供給装置は、ワーク供給シュートにストックされているワークを、8個のワーク保持のための切り込みを持った回転インデックステーブルを応用した装置を用いて、ワーク搬送テーブル上に1つずつ供給する装置である。

回転インデックステーブル上に黒ラベルを貼り、光電センサによる検出により、ワーク搬送テーブル上に通ずるパイプへの位置決めを行い供給する。

SFCでのプログラミング課題としては、単一シーケンスで組むことができるが、ラベル検出の時間を考えなければならないため、タイマ要素が必要になる。そのため、受講者が考えやすいように、光電センサはa接点に設定している。

⑦ ハンドロボット

ハンドロボットは、ワーク搬送テーブルにより搬送されてくるワークをワーク置台に移し変える作業をするものである。本体を回転させる回転部とハンド部を上下するアーム部およびワークをつかむためのハンド部で構成している。回転の位置検出は、近接センサa接点を使用し、ハンドの上下位置検出は、フォトセンサb接点を使用している。

SFCでのプログラミング課題としては、単一シーケンスで組み、次に、これを応用させてモータとハンド部のソレノイドとを同時に並列で行う方法に組み変えるようにしている。このことにより、今までの単一シーケンスからもう一步進むことができる。ハンドロボットの動きはいくつもの動きが考えられるため、この部分には多くの時間を取っている。

⑧ ワーク置台

ハンドロボットから、ワークを受ける台である。

⑨ ワーク排出装置

ワーク搬送テーブルで運ばれてきたワークをワーク排出BOXに押し出し、入れるようにしている。

この動きは、前後の直線運動のため、前進限界と後退限界に近接センサを取り付けている。

SFCでのプログラミング課題としては、単一シーケンスになる。今までの復習として、ここでもう一度SFCを整理するため、基本となる単一シーケンスで組む課題としている。

⑩ ワーク排出BOX

ワーク排出装置がこのBOXにワークを入れるようにしている。

ワーク搬送システムはこのような構成になっているが、受講者に与えるSFCプログラミング課題としては、ワーク搬送テーブル、ワーク供給装置、ハンドロボット、ワーク排出装置の順に各装置ごとにプログラミングし、動作確認して行き、最後にひとつにまとめることにより、一連の動きになる。このことにより、SFCでの構造化を理解させることができるものと考えている。また、この順でのプログラミング作業は、順に追っていくに従い、簡単なものから難しいものになっていくため、自然とステップアップになるものと考えている。

そして、次の段階では、ワーク搬送テーブルとハンドロボットとを同時に動作させ、テーブルが来たときにはハンドがテーブル上に来ているようにするなど工程時間の短縮を考えさせることにより、並列、選択での手法の習得につなげることができる。

2. ワーク搬送テーブルの構成

図2にワーク搬送テーブルの構成を示す。

ワーク搬送テーブルは、DCモータの駆動をカップリングにより、ボールねじ（ねじ軸外径16mm，リード5mm）に伝え、テーブルの搬送を行うようにしている。

テーブルには、幅40mmの溝を設け、ワーク供給装置から供給されてくるワークを受け止めるように、溝に入れている板の下に緩衝材、板上にゴムを設けている。

また、テーブルの位置検出を行うために、リニアガイド横にセンサ取り付けレールを設け、フォトセンサをねじにより取り付けている。このフォトセンサは、

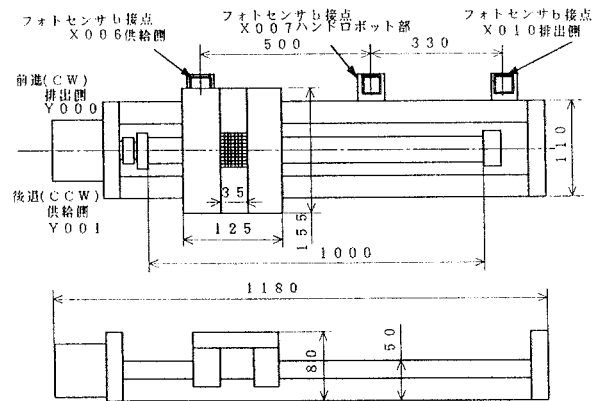


図2 ワーク搬送テーブル構成

反射形、最大検出距離5mmのものを用い、b接点になるようにしている。

3. ワーク供給装置の構成

図3にワーク供給装置の構成を示す。

ワーク供給装置は、DCモータの駆動をウォームとウォームホイールにより減速し、ワークを保持するための回転テーブルを回転させている。

回転テーブルには、ワークの取り込みと保持をするために45度間隔ごとに8個切り込みを入れている。そして、回転テーブル上に黒ラベルを貼り、この切り込

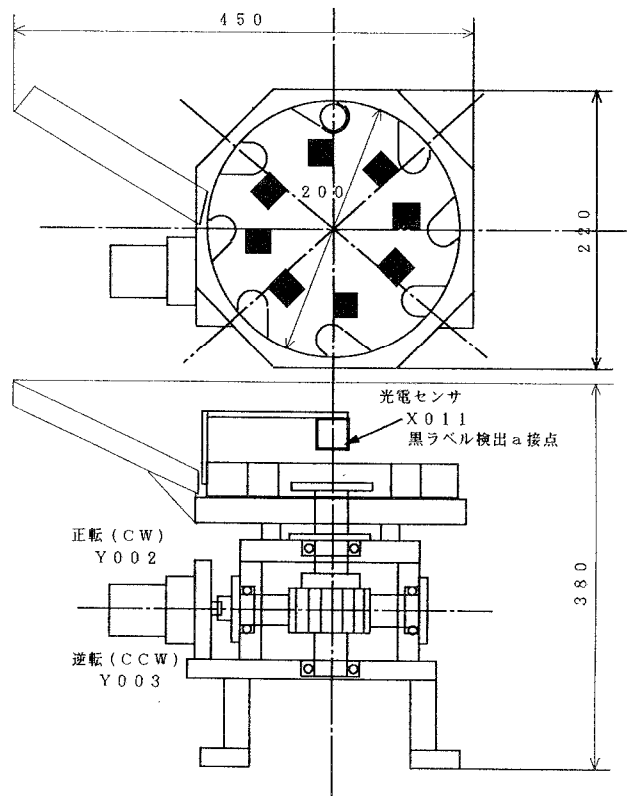


図3 ワーク供給装置構成

み位置を光電センサにより読み取り、ワーク供給シートにストックされているワークを切り込みに取り込み、同時にパイプを通して搬送テーブルへと供給することにしている。テーブル上の切り込みは、回転によって生じる遠心力により、ワークが外部に飛び出すのを防ぐために外周円の接線に対して45度方向に入れている。

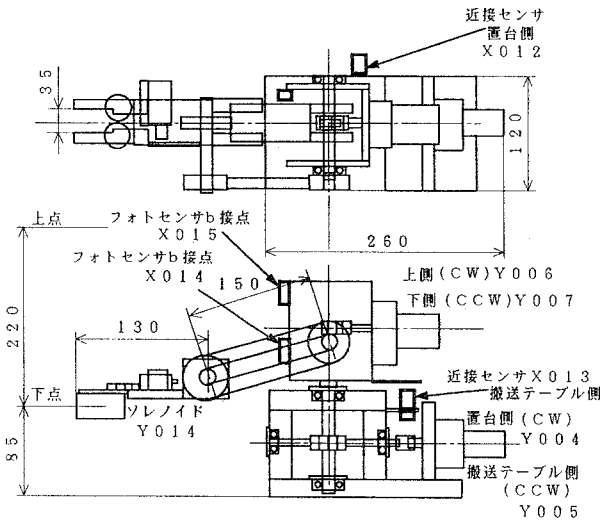


図4 ハンドロボット構成

また、ワークの傾きを防ぐために、テーブルの厚さをワークの長さ30mmとしている。

光電センサは、拡散反射形、最大検出距離600mmのものを用い、テーブル上5mmのところに取り付けている。

4. ハンドロボットの構成

図4にハンドロボットの構成を示す。

ハンドロボットは、回転部、上下するアーム部および

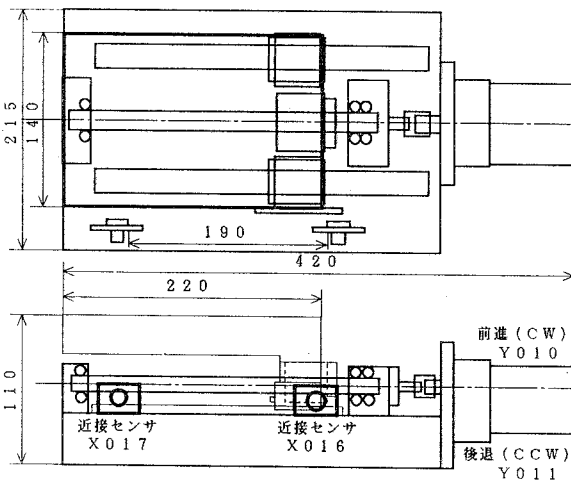


図5 ワーク排出装置構成

びハンド部で構成されている。回転部の回転、アーム部の上下動は、DCモータ、ウォームとウォームホイールにより行い、また、ハンド部は、吸引力0.3kgfのソレノイドにて40mmの開閉を行っている。

回転部には、90度方向に置かれた搬送テーブル側および置台側の位置検出を行うため、DC2線式近接センサ、最大検出距離8mmのものをa接点として用い、アーム部はワーク搬送テーブルと同じく、フォトセンサをb接点として用いている。回転部は、90度、アーム部は、220mmの可動としている。

5. ワーク排出装置の構成

図5にワーク排出装置の構成を示す。

ワーク排出装置は、DCモータの駆動をカップリングによりボールねじ(ねじ軸外径10mm、リード4mm)に伝え、ワーク押し出し板を前後に動作させ、ワークを排出することになっている。

この前後の限界を、ハンドロボット回転部に用いたものと同じ近接センサにより読み取っている。この押し出し板の可動範囲は、190mmである。

III SFCでの課題作成

受講者に与えるSFCプログラミング課題としては、ワーク搬送テーブル、ワーク供給装置、ハンドロボット、ワーク排出装置ごとの順にプログラミングを行うことにしている。そして、各装置ごとのプログラミン

表1 入力機器割り付け

入 力 機 器	入力端子番号
スタートスイッチ (押しボタンスイッチ a 接点)	X000
ストップスイッチ (押しボタンスイッチ a 接点)	X001
ワーク搬送テーブルスタートスイッチ (押しボタンスイッチ a 接点)	X002
ワーク供給装置スタートスイッチ (押しボタンスイッチ a 接点)	X003
ハンドロボットスタートスイッチ (押しボタンスイッチ a 接点)	X004
ワーク排出装置スタートスイッチ (押しボタンスイッチ a 接点)	X005
ワーク搬送テーブルフォトセンサ (供給装置部 b 接点)	X006
ワーク搬送テーブルフォトセンサ (ハンドロボット部 b 接点)	X007
ワーク搬送テーブルフォトセンサ (排出装置部 b 接点)	X010
ワーク供給装置光電センサ (黒ラベル検出 a 接点)	X011
ハンドロボット回転部近接センサ (置台側 a 接点)	X012
ハンドロボット回転部近接センサ (搬送テーブル側 a 接点)	X013
ハンドロボットアーム部フォトセンサ (下側 b 接点)	X014
ハンドロボットアーム部フォトセンサ (上側 b 接点)	X015
ワーク排出装置近接センサ (後部 a 接点)	X016
ワーク排出装置近接センサ (前部 a 接点)	X017

グが終わると、これらをひとつにまとめ一連のプログラムにする課題となる。最後にすべての工程の接続ができ、一連の流れの中の動作となり、ワーク搬送システム全体の動作になる。このことにより、SFCでの構造化の理解が得られると考えている。

課題を与える際には、指導する側が受講者の間違いを把握しやすいように、あらかじめ設定したワーク搬送システムの入力機器および出力機器の割り付けを渡し、行うようにした。

表2 出力機器割り付け

出力機器	出力端子番号
ワーク搬送テーブル（前進：排出側）	X000
ワーク搬送テーブル（後退：排出側）	X001
ワーク供給装置（正転）	X002
ワーク供給装置（逆転）	X003
ハンドロボット回転部（置台側）	X004
ハンドロボット回転部（搬送テーブル側）	X005
ハンドロボットアーム部（上側）	X006
ハンドロボットアーム部（下側）	X007
ワーク排出装置（前進：排出）	X010
ワーク排出装置（後退）	X011
ハンドロボット（ソレノイド：ON）	X014

例：ワーク供給装置、ワーク搬送テーブル

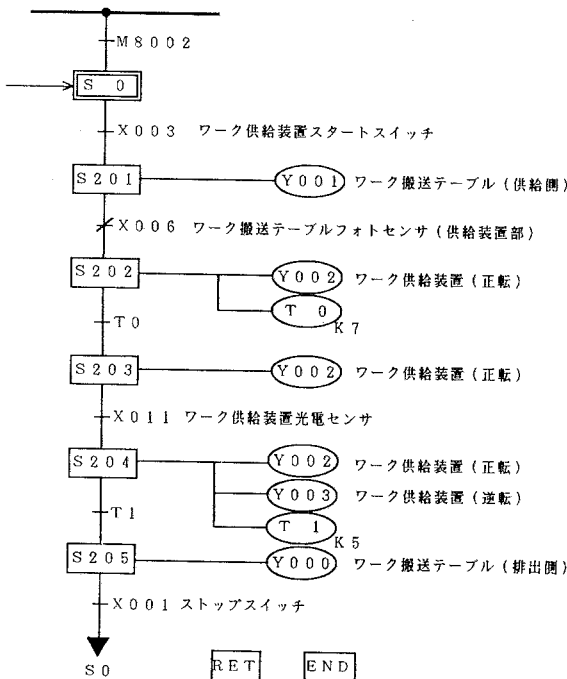


図6 ワーク供給装置プログラミング例

例：ワーク排出装置

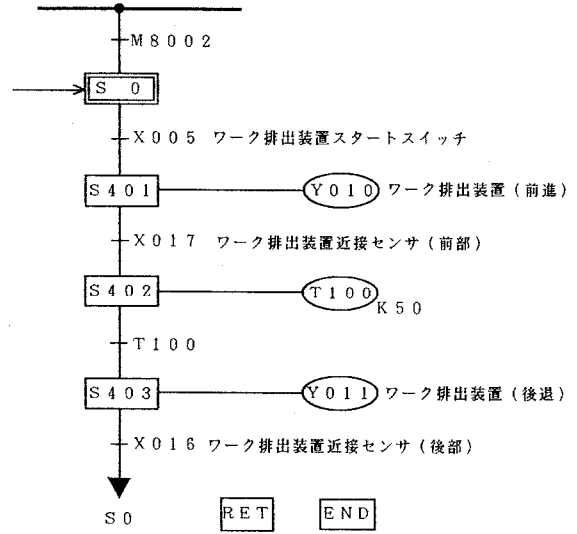


図7 ワーク排出装置プログラミング例

この入力機器および出力機器の割り付けを表1、表2に示す。

表1において、スタートスイッチ入力は全部で5つ(X000, X002~X005) 設けている。

X000は、全体をスタートさせるために設けたものである。X002~X005は各装置ごとにプログラミングし、スタートさせるために設けている。ひとつにまとめ、動作させるときには、各装置ごとのスタートスイッチは取るようにしている。

受講者は、この割り付けに従い、プログラミングするようにしている。また、テキストの末尾に参考となるように単一シーケンスの例を示すようにし、取り組みやすいようにしている。

図6~8に受講者に与える例を示す。この例は、導入段階で行う単一工程の例だけだが、次に図9のように、これらを応用させて、流れの整理、工程の時間短縮等の課題を与え、並列、選択などのプログラミングに移行している。

図6にワーク供給装置でのSFCプログラミングの例を示す。また、図7にワーク排出装置でのSFCプログラミングの例を示す。

図6は、2つの装置を用いた単一シーケンスの例である。X003スタートスイッチにより、ワーク搬送テーブルがワーク供給装置部に移動し、フォトセンサONにより、ワークを供給する。このとき、光電センサが黒ラベルを検出するとY002、Y003の正・逆転が同時にONし、ブレーキがかかるようにしている。

例：ハンドロボット

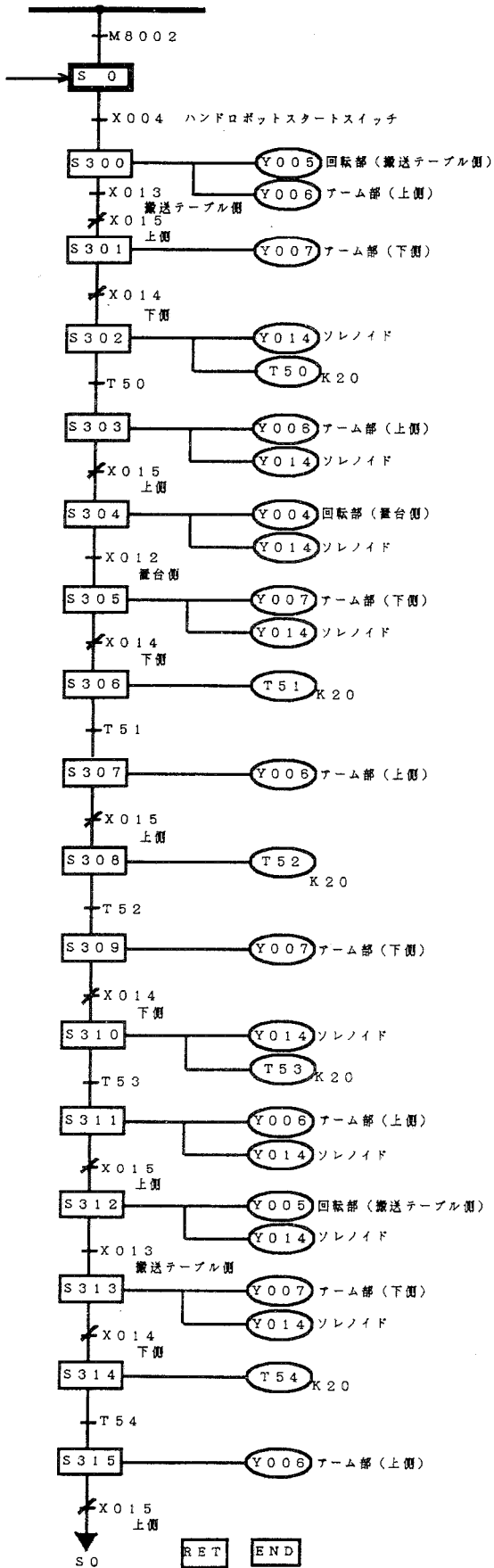


図8 ハンドロボットプログラミング例

例：ハンドロボット

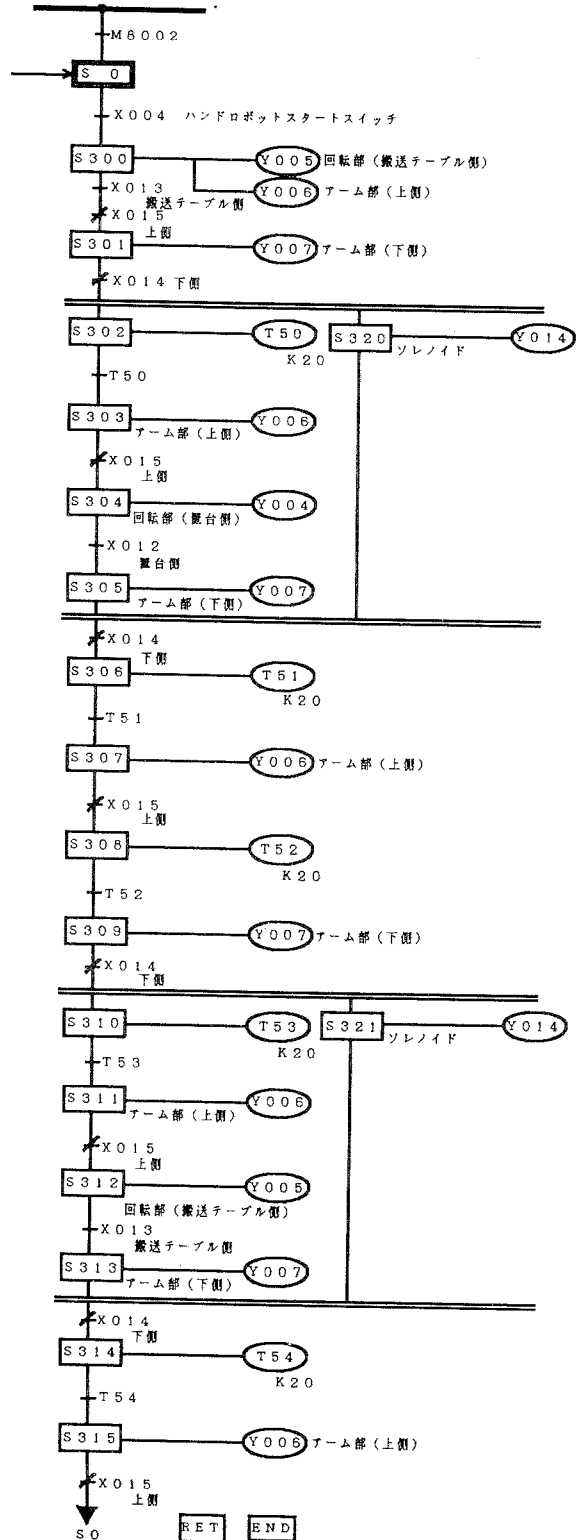


図9 ハンドロボットプログラミング例

ワーク供給後、テーブルは排出側に移動し、X001ストップスイッチにより、スタートスイッチ待ちの状態になる。

図7は、X005スタートスイッチにより、ワーク排出装置はワーク押し出し板を前進させ、ワークを排出する。前進限界の近接センサがONすると、5秒タイム待ちし、反対に後退する。後退限界の近接センサONにより、ストップし、スタートスイッチ待ちの状態になる。

このように、導入の段階では、工程の流れ通りに組む形になる。SFCは工程の流れの通りに組んで行くものである。このプログラミングにより、その点を十分に理解させることが重要であると考ええる。

図8にハンドロボットでのSFCプログラミングの例を示す。

図8は、ハンドロボットの動作を単一シーケンスで組んだものである。しかし、ハンド部は、動作に連携してワークを保持していなければならない。その部分を同時に考えると、常に動作とともに入れなければならない。そこで、動作とは別に、並列に考えると流れが解りやすくなる。その例が、図9である。

このように、最初の段階では単一シーケンスで組んで行き、複雑になって行くに従い、流れの整理をして、そこに並列、選択などの手法に移って行くようにしている。

このことにより、最初は簡単なものから、プログラミングを重ねて行くに従い、自然と高度のプログラミングに移行できるものと考えている。

IV 教材としての効果

今回教材として製作したワーク搬送システムは、当初の考えたところの、より作業現場に近い工程、目で動作確認ができる範囲内に置かれた工程および単一工程でSFCの流れの把握が容易な工程を満足するものであると考える。

そこで、この教材を以下のセミナーに利用し、検討を試みた。コース名として、PCの代わりにシーケンサを用いているが、パソコン機種と間違えられやすいため、この名称を用いている。

(1) 機械技術者のためのシーケンサ技術Ⅰ

対象者：生産現場で加工、保全に従事し、生産ラインの自動化を考えている方

ねらい：機械技術者が、自動化をおこなうためによく用いられるシーケンサについて、導入の

仕方からリレーラダー図による回路設計法およびセンサなどの周辺機器活用法までのシーケンサ活用技術の基礎を習得する。

定員：10名

時間：24H

(2) 機械技術者のためのシーケンサ技術Ⅱ

対象者：生産現場で加工、保全に従事し、生産ラインの自動化を考えている方

ねらい：機械技術者が、自動化をおこなうためによく用いられるシーケンサについて、ワーク供給、搬送、格納などの工程の流れでプログラミングするSFC（状態遷移図）での回路設計法を学び、より実践に向けてのシーケンサ活用技術の応用を習得する。

定員：10名

時間：24H

(1)のセミナーでは、ラダーを主体としているが、ワーク供給装置、ワーク排出装置を課題として最後の時間に取り入れている。これは、ラダーとSFCとの違いを理解するために設けている。

(2)のセミナーでは、SFCを主体として、ワーク搬送テーブル、ワーク供給装置、ハンドロボット、ワーク排出装置の順に課題を与え、プログラミングを行い、最後にこれらをまとめ一連の動作となるようにしている。

この教材を利用した結果、具体的に上げてみると以下のような教育訓練効果が得られたものと考えている。

- ① 目で動作確認ができる範囲内に置かれた工程であるため、すぐにプログラミングした動作を簡単に確認できる。また、全体の動作の流れの把握も簡単にでき、SFCの特徴の理解が容易にできる。
- ② ワーク搬送を目的にしているため、ワークの流れでSFCの流れの理解が容易にできる。
- ③ 単一工程の動作が基本であるため、SFC入門時の受講者にとって、SFCに入って行きやすい。
- ④ 受講者に与えるSFCプログラミング課題としては、ワーク搬送テーブル、ワーク供給装置、ハンドロボット、ワーク排出装置の順に各装置ごとにプログラミングし、動作確認して行き、最後にひとつにまとめることにより、一連の動きになる。このことにより、SFCでの構造化を理解させることができる。
- ⑤ ワーク搬送テーブルとハンドロボットとを同時に

動作させるなど、工程時間の短縮を考えていく中で、SFCでの並列分岐・合流のプログラミングへと、単一工程の流れからスムーズにステップアップさせることができる。

- ⑥ ワーク搬送テーブル、ハンドロボットおよびワーク排出装置を利用して、条件により、排出だけ行う工程、ハンドロボットを組み合わせた工程に分けるなど、SFCでの選択分岐・合流のプログラミングへと、単一工程の流れからスムーズにステップアップさせることができる。
- ⑦ PCからリレーを動作させ、DCモータを制御するシステムとしている。そのため、実際に動作させる前にリレーで動作チェックをし、プログラムの違いの確認ができ、安全に動作させることができる。
- ⑧ ワーク搬送システムの中に、現在多く使用されている光電センサ、近接センサ、フォトセンサを使用しているため、これらのセンサスイッチとしての役割をプログラミングしながら理解できる。
- ⑨ 光電センサ、近接センサはa接点、フォトセンサはb接点に設定している。これは、SFCでは移行条件等はラダーであるため、a、b接点の違いにより内部回路が違うことになる。この点の理解が機械技術者にとっては難解なところである。この教材では、工程の中心となるワーク搬送テーブルをb接点、ワーク供給・排出装置はa接点、ハンドロボットはa、b接点に設定しているため、課題での移行条件は、最初はa接点、次にb接点、そしてa、b接点を両方使う形になるため、違いを理解することができる。

V まとめ

SFCの特徴である工程の流れでプログラミングするということが、実際にワーク搬送システムを動作させる中で、実践的に理解させることができたものと考えている。この実践的な内容だからこそ応用していく能力を作り出していくことができるものとする。

また、SFCでのプログラミングは、慣れ、すなわち熟練も必要である。そのため、受講者が飽きない形で解りやすい課題を何回も繰り返し行い進めることが大切であるとする。そして、その中で受講者のステップアップが自然に行われるようにしなければならないとも考える。

今後、そのために、もう少し変化を持たせた工程も課題の中に取り入れなければならないと考えている。

【参考文献】

- (1) 関口 隆、プログラマブルコントローラ応用技術ハンドブック、電気書院、1986年、p5-20
- (2) 加藤恵子、かとうけいこのかんたんSFC、電気書院、1991年、p2-15