

2. コース開発の経緯と課題

2-1 これまでの経緯

(1) コース開発の経緯

当研修研究センターでは、昭和63年度よりメカトロに関する在職者訓練コースの開発に取り組んでおり、先行研究には、栃木、滋賀の両職業能力開発促進センターとの共同研究がある。これらの先行研究からのコース開発の経緯を以下に記しておきたい。

昭和63年度からの2年間にわたって行われた栃木職業能力開発促進センターとの共同研究では、生産システムのメカトロ技術をコース内容としたコース開発を行い、コースのカリキュラム内容を“制御用マイコンによるシステム制御”とした。制御用マイコンを使った理由は、コンピュータの基本的な仕組みを理解するにはプログラマブルコントローラ（以下「PLC」という。）よりもボードマイコンが適切であると判断したことによる。しかし、マイコンを使ったことにより、マイコンのアセンブリ言語やマイコンの取扱いにコース内容の半分がとられてしまい、主体のシステム設計の内容が減少してしまったという問題が残された。

このため、滋賀職業能力開発促進センターで行った平成2年度からの2年間のコース開発では、このような反省を踏まえて、ME関連の制御中枢機器として生産現場で多く使われているPLCを使うことにした。これは、PLCはマイコンに比べてハードウェアの知識をほとんど必要とせず、言語も専用言語に限定されていて、その数もマイコンに比較して少なく使いやすくなっているからである。コース内容は、“メカトロ化が進んでいる機械工業にみられる生産システムの自動化”をシステム制御の扱う技術領域としてコース開発を行い、コースのカリキュラム内容は“PLCによるシステム制御”とした。

生産システムの制御を表現する表現形式には、回路（ラダーチャート方式）による表現形式、フローチャートによる表現形式、工程などの動作を手がかりにした表現形式などがある。その概略は、次のとおりである。

- ① 回路による表現形式＝ラダーチャート方式（以下「ラダー」という。）は、リレー盤の制御方法をそのままプログラムに置き換えたもの。
- ② フローチャートによる表現形式＝フローチャート方式は、コンピュータ的な論理処理を行うもの。
- ③ 工程などの動作を手がかりにした表現形式＝SFC（Sequential Function Chart）方式（以下「SFC」という。）は、構造化プログラミングの手法により、多数の工程を制御することができるもの。

滋賀職業能力開発促進センターで行ったコース開発（平成3年度「生産自動化に関する向上訓練コースの開発」調査研究報告書第59号）では、上記①のラダーによるシステム制御としたため、次のような問題が残された。この問題は、コース開発のねらいがシステム制御になっていることと関係する。システム制御の訓練では、システムを構成する個々の機器の制御を詳しく取り上げるのではなく、個々の機器の動作が連結し、システム全体として問題のない制御を実現するためにはどうすればよいかを主に扱うことにねらいがあり、この訓練に用いる制御システムの表現法はシステム全体の制御状況が見通しよく表現でき、制御上どのような問題があるかを浮き彫りにできる表現法が望ましいといえる。ラダー

を採り上げる場合には、システム設計理論が十分適用できないため、経験や試行錯誤によって設計されることが多く、設計教育を困難にしている。

我々は、このような問題に対し、今日注目を集めている SFC をラダーに代わって採用する方向で検討を行うこととし、埼玉職業能力開発促進センターとの共同研究として取り組むこととした（詳細については、調査研究報告書第68号参照）。ここで、SFC について概略を記せば、次のとおりである。

SFC は、物事が組み合わされて流れていく様子を図で表現する線形グラフの一種であるペトリネット (Petri Nets) をもとに、シーケンス制御に適する発展形としてできたものである。図 1 は SFC とラダーのプログラムを比較したものであるが、図 1(a) のように、SFC は、各言語で記述される論理組み合わせのブロックを縦に通して制御の流れを処理する要素である。つまり、SFC はステップ (図記号: □) とトランジション (図記号: +) による制御動作の歩進処理を行うものであり、PLC 内の演算処理の手順を示したものではない。SFC は、制御対象の動きと直接関係のない処理、例えばステップとトランジションの条件、手動運転、故障検出、データ処理などの処理は、ラダーや応用命令の併用になる。この SFC は、IEC (国際電気標準会議) において、PLC の言語の規格として 1993 年 3 月に制定されている。

SFC の特長は、“順序と論理組合せ”の両方が記述できることである。ラダーは“論理組合せ”しか記述できず、SFC によりこの限界が取り払われたといえる。このため、ラダーの限界や問題点の裏返しに SFC の特長となる。

しかし、SFC はラダーと併用されていることによって、ラダーの部分には限界が残されているといえる。

ちなみに、ラダーと SFC とを比較して、SFC の特長を簡単に記すと、SFC は、視覚的な工程歩進制御プログラムで、構造化に適したプログラミング方式になっているため、

- ① 工程処理ごとに複数の人でプログラムが作れるので作成の時間が短縮でき、早く簡単にプログラムを作成できる。
- ② プログラムと工程の対応が一目でわかるので、誰がみても理解しやすいプログラムを作成できる。
- ③ 工程に問題が発生しても問題箇所がプログラムのどこに当たるのか、すぐわかりプログラムを簡単に変更できる。
- ④ 工程処理ごとに他のプログラムに再利用することが簡単にできる。

などの特長がある。

逆に、デメリットとして考えられることは、先に述べたように、SFC はラダーとの併用であるため、ラダー部分に論理組合せしか記述できないという限界を残していること、SFC は順序のない“論理組合せのみ”の制御、例えば手動運転のみのシステムでは全く不向きであることなどの欠点がある。しかし、これらは、SFC が不向きであればラダーを使うとか、またはラダーに替えて SFC を使うというようにすれば解決できることと思われる。

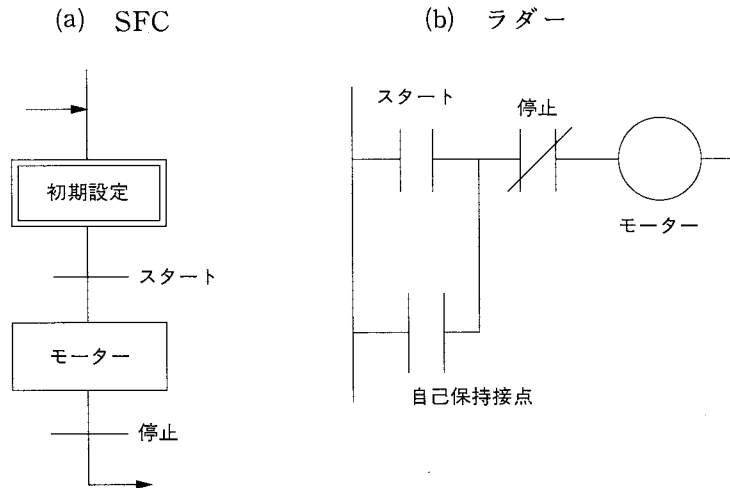


図1 プログラムの比較

次表は、具体的なSFCの効果をラダーと比較して表したものである。

(ラダーを1とした比較)

	ラダー	SFC
制御能力	1	1
文書量	1	0.3
教育工数	1	0.5
保全工数	1	0.5
試運転工数	1	0.3
設計工数	1	0.6~0.3

(システム制御情報学会 セミナー報告から)

この表は、自動化システムを制御する場合の制御能力、文書量、教育工数、保全工数、試運転工数、設計工数について、ラダーを1として比較したもので、1より少ない分がSFCによる効果と考えられるものである。

しかし、前述のように、SFCはラダーとの併用のため、一概に比較できないので、上の表はあくまで参考のものである。

ともあれ、本プロジェクトのコースのねらいとしている“システム全体の制御状況が見通しよく表現でき、制御上の問題点も浮き彫りにできる表現法”は、SFCがもっとも適切であるといえる。

以上のように、先行研究からのコース開発の成果を踏まえて、埼玉職業能力開発促進センターとの共同研究におけるコース開発では、SFCと呼ばれる新しい表現法をとりあげ、これを在職者訓練コースとして開発し、普及・定着を図ることとした。

(2) 初年度（平成4年度）の研究開発概要

コース開発の初年度は、SFCが生産現場でどのように受けとめられているかについて、埼玉職業能力開発促進センターの協力のもとに、埼玉県内及び隣接県に所在する製造業500社に対してアンケート調

査を実施し、生産自動化の現状と教育訓練ニーズを把握することにした。そして、SFCに関する在職者訓練のコース開発の必要性をより具体的に検討するため、16社に対して企業訪問調査を行った。

・企業の生産自動化に関するアンケート調査について

アンケート調査の結果、回答のあった103社から次のような傾向が把握できた。詳細は、既に平成4年度第68号調査研究報告書に報告したとおりであるが、重要なことであるので、再度まとめて掲載することとする。

[アンケート調査の結果]

回答のあった事業所の従業員規模は、300名未満の事業所が約8割を占め、いわゆる零細小企業が圧倒的に多くなっている。300名以上の事業所は20社、約2割であった。製造品目別の割合は、部品加工製造が36%、製品・設備機械製造が46%、素材等製造・その他18%となっている。

① 自動化の現状

現在およそ7割の企業で何らかのかたちで生産の自動化に取り組んでおり、将来自動化を検討しようとしている企業を含めると全体の8割の企業が生産の自動化に関心を持っている。

② 現在の自動化の領域

「NCなどの加工機」、「ロード・アンロード」、「計量・検査」、「加工機と搬送機との動作連携」、「ロボット」、「搬送」、「CAD/CAMやCIM」、「その他」の順の領域で自動化されようとしている。単体の機械を制御する領域が中心になっているようである。

③ 将来自動化したい領域

「CAD/CAMやCIM」、「加工機と搬送機との動作連携」、「計量・検査」、「ロード・アンロード」、「搬送」、「NCなどの加工機」、「ロボット」、「その他」の順となっており、生産をトータルに制御する複雑な要素が組み合わされた高度な領域について将来自動化したいと考えている。

④ 自動化に使用している制御中枢機器

「PCが主」、「PC+マイコン」、「マイコン」の順であり、PCが使われている事業所は8割以上であった。

⑤ 自動化技術の習得法

「職場の仕事を通じて」、「社内外の講習会等を利用して」、「専門書やマニュアルで」、「その他」の順で多く、特に「社内外の講習会等を利用して」の回答は、従業員規模が300名未満の事業所が300名以上の事業所に比べてやや高かった。

⑥ 従業員の生産自動化に関する技術力

生産自動化に何らかの関連を持つ事業所のうち76.7%が自社の従業員の技術力は「不十分」であると答えており、事業所規模の小さいところほど現在の技術力に問題を感じている。

⑦ 自動化技術の教育対象者

生産技術担当者、設計担当者、機械加工担当者、組立作業担当者、保全担当者の順に多い。

⑧ 訓練希望コース

導入教育、技術向上教育、その他の順で多く、特に従業員規模が大きくなるほど質的に高度なコースを期待している。

300名未満の事業所	導入教育 (63.1%)	技術向上教育 (32.3%)
300名以上の "	" (31.8%)	" (68.2%)

⑨ 「PC (SFC) によるシステム制御技術」コースに対する期待

生産ライン等におけるシステム制御仕様の開発、システム制御プログラムの開発、システム制御プログラムの改善・改造、システム制御プログラムの問題分析・保全の順に多くなっており、事業所規模の大きいところほど高いレベルの内容を期待している。

⑩ 能力開発セミナーの受講希望時間帯、希望期間

3日～7日程度が95%を占めていて、従業員規模の小さい事業所ほど3日以内を希望している。等について情報を得た。

・面接調査の結果の概要

次に、SFCに関するコース開発の必要性をより具体的に検討するためにアンケートに回答した企業の中から任意に抽出した16事業所に対して企業訪問調査を実施した。(詳細は、平成4年度刊調査研究報告書第68号を参考にされたい。)

この調査の目的は、自動化の実状、自動化の問題点、今後の計画、自動化に伴う従業員教育の問題、公共訓練施設への期待等を含めて、SFCに関するコースにどれほど関心をもたれているかを探ることであった。聴き取りの対象は、主として現場の責任者にお願いすることとした。訪問調査から得られた内容について、重要な点だけ記すと、以下のとおりである。

① 自動化の現状

訪問企業は、機械工業分野から医療機器製造、飲食料品製造等と多岐にわたり、企業規模も従業員40名の企業から3000名を超える企業までを対象としたため、自動化の実状にかなりの差がみられた。これらの企業の中には、SFCを一部使った制御を取り入れている企業や制御仕様の開発にSFCを使いたいと考えている企業など、SFCに関する関心は既に高いものがみられた。

各社の自動化の現状は、主として機械を単体として制御するものであったが、自動化に関する関心はかなり強いものがあつた。しかし一方で、多品種少量生産の企業では自動化の取り組みに課題を残していることがわかつた。

また、参考までに述べれば、自動化の概念について、生産の効率化だけではなく、人間の考える力や優れた汎用性また個人の技能・技術を生かすために人中心の制御に変わらなければいけないという意見を述べている企業もあつた。SFCの特長の一つにプログラムの視認性が優れていることが挙げられるが、これはプログラムのデバックと保全の負担の軽減につながるものであり、SFCは効率面ばかりではなく、労働負荷の軽減にも寄与するものと考えられる。

② 今後の自動化計画について

企業の自動化計画の中に、SFCを使ったPLCによる制御がどのように計画の対象になっているかを整理すると、結論的にはSFCそのものに対する理解はまだ一般的に不十分であるので、SFCの特長や活用の仕方等について理解を広めることがまず必要であると思われる。企業の中には、「SFCのような情

報がほしい」、「SFCを用いた設計は、工程ごとにプログラムが作成でき、トラブルシューティングにも活用できそうだ」とか「当社ではシステムの設計が欠けており、SFCは非常に分かりやすい概念なので、今後やっていきたい」などSFCに高い関心をもっている企業も多いことが分かった。

③ 従業員能力と教育訓練

SFCは、PLCとパソコン等の機器構成によりプログラミングできるものであり、PLCの操作と共にMS-DOSなどの基礎知識を含めたパソコンの操作が必要となる。企業では、コンピュータ制御や数値制御などの自動化に対して現場で実際に使う人たちがなかなかなく、使ってもらえないなどの問題が多く、SFCの導入以前に担当者のボトムアップが急務の課題になっている。

④ SFCコース開設への期待と内容

SFCを具体的に念頭においた意見として、「将来自動化を進める場合に必要な知識を得るために」、「社内に保守保全グループが有るので、長期の講座であっても受講させたい」などがあつた。

コースの開設に関しては、「設計の考え方のベースを教えてもらいたい」、「実務に近い、実習を多く取り入れた形式」、「実習にウェイトをおいた内容にしてほしい」などコースの内容とともに実習主体のカリキュラムを希望するものがあつた。

このような意見から、SFCに関するコースの開設に関心が高く、コース開設にあたっては複数のコースを開設するなど、ニーズに対応したコース設定の必要性が感じられる。

⑤ SFCコース開設の課題

訪問調査の対象となった企業の関心は高く、コースの開設に先だつてSFCをどのように周知させるかが必要となることが分かった。それには、SFCがどのような内容をもったものなのかを周知させ、企業にまずその理解を得るようにしなければならない。その上で、コースの開設を広報するための方法が検討されなくてはならない。

はじめて開設されるコースの場合には、他の既設のコースと同じ方法であつては十分な理解が得られない場合があるので、どのような企業・職務従事者を対象とするのか、コースの内容はどのようなものか、どのような基礎知識をもった者を対象とするかが十分に理解できるものでなくてはならないので、個別企業、個人に対する広報活動がまず行われる必要があるように思われる。

以上のように、アンケート調査の分析、企業訪問調査の意見等を考慮して、初年度（平成4年度）は次のようにコースの方向付けをした。

[コースの方向付け]

- イ. 主として生産技術担当者を対象者とする。
- ロ. PLC（SFC）による生産ライン等のシステム制御設計を中心とした訓練内容とする。
- ハ. SFCに関する情報を得ていない企業、既に取り入れている企業などを考慮して、段階的にコースを設定する。
- ニ. SFCによる表現法やシステム制御設計を理解し易くする教科書の開発を行う。

以上のような、生産自動化のシステム制御の技術領域を取り上げたシステム設計のコースを開発するという方向に基づき、平成4年度に実施したアンケート調査、企業訪問調査等を基にして、コースの内容は、二つ以上のシステムとシステムを連結させると同時にシステム設計に必要な基礎的知識・技術を習得させることとした。具体的には、

- イ．システム全体として制御を構築する技術習得
- ロ．二つ以上のシステムを連結して制御する技術習得
- ハ．プログラム設計や保守が楽になるような SFC プログラミング技法の習得

としたことである。そして、基礎知識の理解を重視するものの、座学は極力控えて実習を多くし、受講者のレベルに応じた段階的な訓練を進めることとした。

このため、平成5年度に基礎と設計法との2コースを段階的に開設することとして、コース名をそれぞれ「SFCによるシステム制御基礎」と「SFCによるシステム制御設計法」とした。これは、コースを段階的に設定することにより、SFCの概念とSFCプログラミング方法を理解させてシステム設計の基礎を習得させる初級レベルのコースからFAシステムモデルを使用してシステム制御設計ができることを目標とした中級レベルのコースを段階的に受講することによって、受講者が理解しやすく、受講者レベルに合ったコースの実施ができると考えたからである。

二つのコースは、埼玉職業能力開発促進センターの能力開発セミナーの一環として、平成5年度後期に段階的に開講し、同時に教科書の開発を行うこととした。

2-2 研究2年度の課題

前述の先行研究で残されたコースを実施するにあたり、先に述べたアンケート調査、企業の教育訓練担当者との面談調査から得られた情報をいかに訓練に反映させるか、そしてコースの目標である「生産システムの制御内容を設計しプログラムする技術・技能を習得する」及び「新しい表現法による自動化システムの制御設計」というコースの方向付けを実現できる訓練課題・訓練用機器など、詳細なコース内容の設定が次の課題として取り上げられねばならない。このうち、訓練用機器は、本プロジェクトにおいてコース試行用として準備できることになったので、他の残された課題についてどのように対処するか、その対応策を見つけ出すことが必要となる。

これらの課題を整理すると次のようになる。

(1) 開発コースに関する情報提供

SFCはIEC（国際電気標準会議）でPLCの言語の規格として1993年3月に制定されたばかりで、国内での普及はこれからであり、企業ではラダーが大勢を占めている状況にある。このため、企業訪問調査の折も、SFCそれ自体を説明するための資料が必要であった。このように、コース開設に先だってSFCをどのように周知させるかが問題となる。まして、新規開設のコースの場合には、他の既設コースと同じ広報の仕方では十分な理解が得られにくいことが考えられるので、コースを開設し受講者を募集する以前にSFCに関する情報を提供し理解を得ることに努力した。

(2) コース目標を達成するためのカリキュラム内容

コースは、基礎（コース名、「SFCによるシステム制御基礎」）と応用（コース名、「SFCによるシステム制御設計法」）とに階層的に設定し、前者のコース内容は「基本的なFAシステム設計をSFCで組み、自動化への第一歩を空気圧ロボットで実習する」とし、後者は「簡単なFAシステム設計をSFCで組み、簡単な実習機で構造化プログラミングの実習をする」とした。

前述のように、SFC自体が周知されていない状況にあるため、まずSFCの基礎から始め、そして応用へ進むという階層的なコースの設定が必要となるからである。

このコースの特徴は、システム全体の制御を構想しシステムを組み合わせた制御をする技術の習得とSFCプログラミング技法の習得にある。

訓練要素として、各機器の機能、特に制御の中核であるPLCについては、PLC相互の連携や基本命令を主としたプログラミングとI/O配線実習が必要である。また、使用機器の吸引パットマテハンロボット（自作教材）、FAシステムモデルについての知識は、訓練の焦点が絞れないことを避けるため、単体としての動作理解はある程度ブラックボックス的に扱い、システム制御に必要な、動作、センサ、入出力関連の部分等の相関が良く理解できる教材を用意した。

また、訓練方法として受講者との対話を多く組み入れることにより、現場に生かせるような知識・技能を習得できるように工夫した。

(3) 訓練対象者の技術レベル別コース開設

受講者募集案内には、基礎では「プログラマブルコントローラコースを終了した者または同程度の知識を持つ者」とし、応用では「SFCによるシステム制御基礎を終了した者または同程度の知識を持つ者」とした。

埼玉職業能力開発促進センターでは系ごとにコースの体系化を行っているが、今回のコースについても、制御コースの中で階層化を図り、受講者のレベルに応じたコースの開設を検討した。（詳しくは、「3-1 コース内容の検討」で触れることにする。）

(4) テキスト教材の開発

滋賀職業能力開発促進センターとのコース開発では、生産自動化システムの制御プログラムのデバッグによる誤動作や、思わぬ事故が起こることに対処するため、実機を動かす前に実験的な動作解析ができ、適切な動作をシミュレーションすることによりPLCのプログラム生成が効率的にできるシミュレーションソフト「SNET Ver.1.0」を開発している。（詳細については調査研究報告書第59号を参照されたい。）

この教材は、コンピュータを使ってシミュレーションできるもので、動作を適切に決めることでシミュレーションからPLCのプログラム生成が可能となり、プログラムの作成に要する時間が短縮できるという便利な面もあり、さらにシステム動作の解析、システムの効率的な運用をも可能にするものである。しかもシステム制御をマクロ的な見方で理解することができ、訓練目標の達成を短期間に出来る等訓練の困難さを解決する手段としての効果的も期待出来るものであり、このPLCのプログラム生成用ソフトウェア教材は意義があるものである。

しかし、シミュレーションからPLCのプログラムが作成できても、そのプログラムを実機でのシステムの制御に使うためにはPLC製造メーカーのプログラムソフトとの互換性や通信の問題が残されており、コースで活用するにはこの点を改善していかなければならない。

このような先行研究の結果を踏まえ、本プロジェクトでは、実機でのシステムの制御に使えるプログラム作成と共に、生産現場における搬出・搬送・加工・格納工程を連結したシステムを制御することを

前提にしたシミュレーションを考え、PLCはオムロンCV500を使用し、システムの制御対象として、基礎コースでは「吸引パットマテハンロボット」（自作）、応用コースでは「FAシステムモデル」（昭和電業社製）を負荷装置とすることとした。

「吸引パットマテハンロボット」は、エアパットにより「降下→吸引→上昇→左回転→降下→吸引停止→真空破壊→上昇→右回転」の一連動作を行うもので、SFCプログラミングによる動作の検証を行うことにより自動化システムの基礎を習得するものである。

「FAシステムモデル」は、生産自動化システムに要求される五つのパターン要素（直列、選択分岐（合流）、並列分岐（合流））により制御を行い、手動／自動を含めた基本的なシステム工程（搬出、搬送、加工、倉庫格納）を連結し、異常監視（一時停止、非常停止、停電対策）を考えたシステム設計ができるモデル装置であり、実際のFAシステムを模擬的に実現したものである。

コース実施に当たって、教材の面からは、機器の準備と前述の負荷装置のコースでの使用を含め、具体的な課題の設定と、それに伴うテキスト教材の作成が不可欠であり、これらの教材のコースでの実証が大切な課題のひとつである。

以上のことを踏まえて、今年度は「開発コースに関する情報提供」、「コース目標を達成するためのカリキュラム内容」、「訓練対象者の技術レベル別コース開設」、「テキスト教材の開発」等を準備段階での課題として取り上げ、またコース実施の後には「実施者の立場でのコース評価」と「受講者及び所属企業訪問調査」を行い、コースに対する意見、要望などの調査を行い総合的にコース評価を行うことなどを具体的課題として取り組むこととした。