

生産自動化における制御訓練シミュレータの開発

西 見 安 則

1. はじめに

本稿は、滋賀技能開発センターと職業訓練研修研究センターと共同で推進している向上訓練コース開発プロジェクトが開発した「生産自動化におけるシステム制御」コースに活用が予定されている訓練教材に関するものである。

生産自動化におけるシステム制御は、従来シーケンス制御技術として蓄積されてきた実績を持ち、近年益々重要性を増している技術である。また、全国の技能開発センターの向上訓練コースとしても数多く取り上げられ、人気を得ているもののひとつでもある。しかし、シーケンス制御は、その理論体系が未整備で経験や「ひらめき」によって設計を行い運転して来たのが実状で、教育訓練には困難が伴う。このためか、開設訓練コースは、制御回路の配線作業や制御装置のプログラムコーディングが主体で、システム設計や制御内容作りに関するものは多くはない。我々のプロジェクトでは、コースの狙いとして意識的に、このシステム設計や制御内容作りを取り上げることにした¹⁾。これは、企業内のOJTやメーカ講習では実施が困難で、特に公共訓練機関での実施に期待が寄せられているからである。

一方、技術的には、シーケンス制御システムモデル化の研究が進み、線形グラフの一種であるペトリネットを応用してシステムを表現する試みが現れ注目されている。このネットモデルを活用すれば、シーケンス制御設計をかなり理論的に取扱うことが出来るようになってきた。そこで、パーソナルコ

コンピュータを用いたネットモデル設計支援装置およびシミュレータを開発し、生産自動化におけるシステム制御の訓練教材として、現場での活用を検討することにした。本シミュレータを用いれば、実際の生産システムを動作させることなく、制御上で発生する様々な問題をコンピュータ上で観察できるので、制御設計訓練の効率化が期待できる。更に、実システムで発生させた場合には、危険な問題などもシミュレーションを通して安全に疑似体験できて、効果的な訓練が見込めるものである。

以下の第2章では、本シミュレータが生産自動化におけるシステム制御に関するものであることから、生産自動化におけるシステム制御コースの概要について述べる。続く第3章では、本シミュレータの動作原理であるシステムのモデル化について述べる。第4章は、実際の生産システムの制御で発生する問題のなかで、特に生産システムの制御で問題になる課題について、シミュレーションで問題の所在を認識させることについて述べる。第5章の「むすび」は、まとめと今後の課題である。

2. 生産自動化におけるシステム制御コースの概要

生産自動化におけるシステム制御と言っても、制御対象の性質あるいは制御結果のあるべき姿によって制御方式が大きく異なる。ここに取り上げているのは、機械工業などにみられる自動化で、素材の搬入から始まり、加工、組立、検査、搬送などの各工程があり、各工程は時間・空間的に非連続・離散的につながって一連の作業が行われると言う性質を持っている。非連続・離散性から、この生産システムは「離散生産システム」などと呼ばれることがある。

このシステムの制御は、加工速度などの物理量を一定に保ったり、目標値にしたがって変化させたりする制御とは異なり、スイッチやセンサが働くなど、ある出来ごと（事象）が起きた結果、ある工程状況が成立し、この工程状況が次の事象を引き起こし、この事象がまた次の工程状況を選択・成立さ

せる条件になるように制御される特性を持つものである。この特性は、従来シーケンス制御と呼ばれている制御のそれと同一である。

さて、コースの特徴は、システムの制御と言っていることから分かるように、個々の、例えば単体のロボットやNC機のそれぞれの動作制御のことを問題にしているのではなく、個々が集まったシステム全体の制御を主に問題にしている。しかもシステムには、ある条件さえ整えば、いつでもどこからでも動作を開始し、停止出来る実時間制御の要請や動作の同時並行性制御の要請がある。このような制御で起こる問題を本コースでは取り上げている。

3. システムのモデル化とシミュレータ

上に述べたように、我々が取り扱う制御においては、システム全体を問題にすることから、制御状況を見通しよく表現できるモデルを用いることは重要である。また、近年では、単体の自動機自体がコンピュータを内蔵し、知能を持ち自律的であることから、システムを構成する場合には、自律している各システムを統合して自動化システムを作り上げるというのが一般的である。従って、ここでは各システムの連結や協調が、全体としてどの様に制御されているかが分かるようになっている必要がある。

しかし、これまで多く用いられてきたリレー回路図や流れ図は、必ずしも上記要請を満足していない。リレー回路図は、制御装置の要素であるリレー接点の接続関係を、また流れ図は、コンピュータ内部での処理手続きの流れを表したものでしかない。いずれも制御装置内部で制御をどの様に実現するか (how to do) を表したもので、制御上何をするか (what to do) は明確に表現されていない。つまり、制御の what to do であるところの制御動作機能を表現した良い設計図がないと言ってもよい。

ここで採用するモデル化の方法は、制御の what to do を表現でき、しかも、システムの制御状況が見通しよく表現できる。その上に、この表現に基づいて制御装置のアルゴリズムが作れるという優れた特徴を持つものである。

以下図1に簡単な生産システムの例をあげ、システムモデル化の様子を示す。ここで、生産工程などの状況は箱（□：ボックス）で、状況と状況の変わり目は棒（|：トランジション）で表わす。ボックスとトランジションとは交互に方向を示す矢（→：アーク）によって接続される。また、ボックス内には、黒丸（●：マーク）が付けられ、これによって状況の成立を表現する。

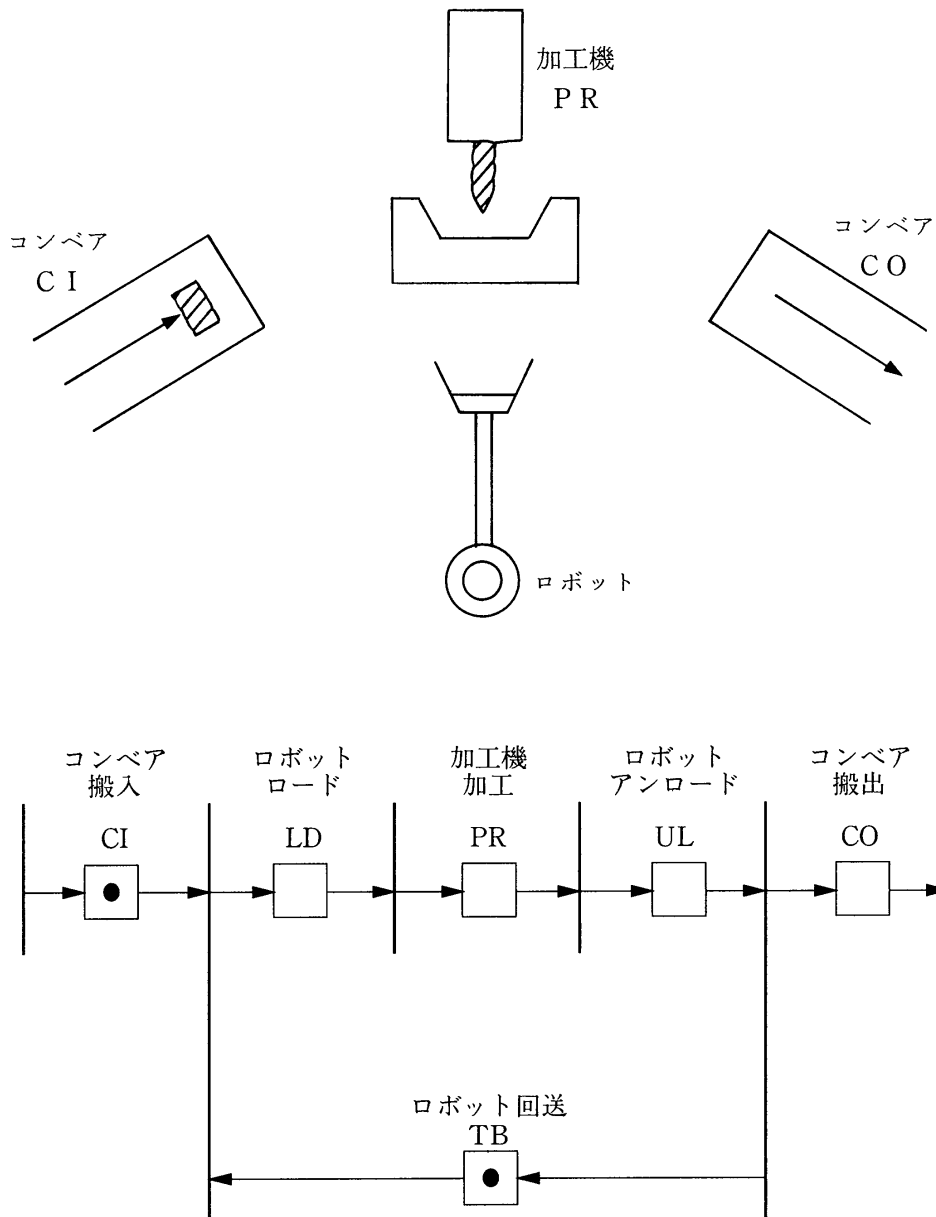


図1 生産システムのモデル化

更にマークを動かすことによってシステムの動作状況を表示するが、マークの動きは次の規則に従って行われる。

①ひとつのトランジションにおいて、入口側ボックスの全てにマークがあり、出口側にマークのあるボックスがひとつもなく、かつトランジションに付くセンサなどの事象条件が満足されている（入り）とき、トランジションは点弧（火が付く、発火）する。

②点弧すると、入口側の全てのボックスのマークが消滅し、出口側ボックスの全てにマークをひとつ生起する。

この規則に基づいて、トランジション（t）を条件、ボックス（b）を結果とする、“if t, then b” というアルゴリズムで制御を記述する。制御実行を、コンピュータでシミュレートしグラフィックディスプレイ上に表示するシミュレータ「シーケンスネット」を開発した（図2参照）。

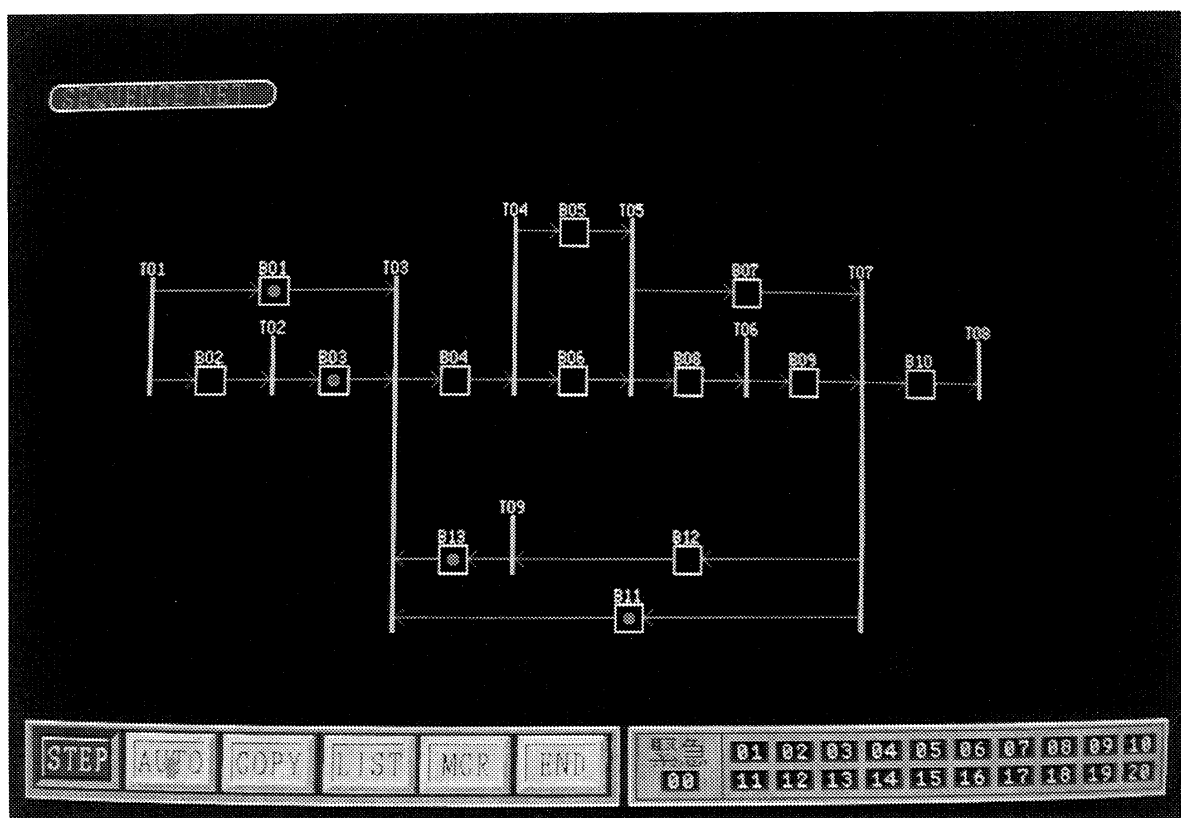


図2 シミュレータ「シーケンスネット」

図2には、図1に示した生産システムの制御モデルを、ディスプレイ上のCAD（作図）モードで更に具体的な制御レベルまで詳細に表現した例が示してある。

CADモードでの作図が完了したら、シミュレーションモードでのシミュレーションが実行出来る。この場合、AUTOまたはSTEPのいずれかのモードが使える。AUTOモードは、実際の制御実行と同様にオートマチックに実行する。

一方のSTEPモードは、実行スピードを1ステップ毎にマニュアルで任意に実行できるようになっている。

現在の画面は、STEPモードになっていて、キーボードのスペースキーを押す毎に、トランジションの点弧とボックス中のマークの移動を繰り返し、任意のスピードでシミュレーションを実行している状況が示してある。

4. システムの制御における問題点のシミュレーションによる認識

ここでは、FAなど実際の生産自動化システムの制御で問題となる課題を取り上げ、本シミュレータを使用して、どこに問題があるのかをコンピュータ上で効果的に認識することについて述べる。取り扱うシステムは、同時並行性や実時間性の制御が要求されているので、これらの制御が関係する訓練課題を取り上げている。

(1) 安全問題（：追突と追突を防止する制御機構）

例えば、生産の効率を上げるためには、図3に示すようにT02—T07区間の工程が同時進行的に動作するように制御する場合がある。マークが入っている

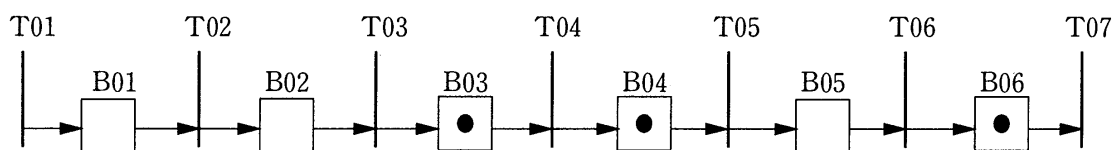


図3 同時進行システム

る工程が稼働していて、ここには、B03、B04、B06の3工程が同時に動作している状況が示されている。

しかしながら、このような区間がある一方、場合によっては、この状況の成立を禁止しなければならないときがある。図4に例を示す。ここで、T02—T07の区間は、1台の加工機による作業である。この区間内にある各工程は、1工程の成立が許されるのみである。更にこの区間にマークを送り込むと追突が発生する(図5参照)。従って、現在既にB03にマークがあるので、更にこの区間へはマークを送り込まないような制御が求められることになる。追突を防止するにはどうすればよいか。図4には、ひとつの方法が示してある。T02—T07の区間に付けたボックスB07がそれで、このボックスが追突防止の機能を果たしている。

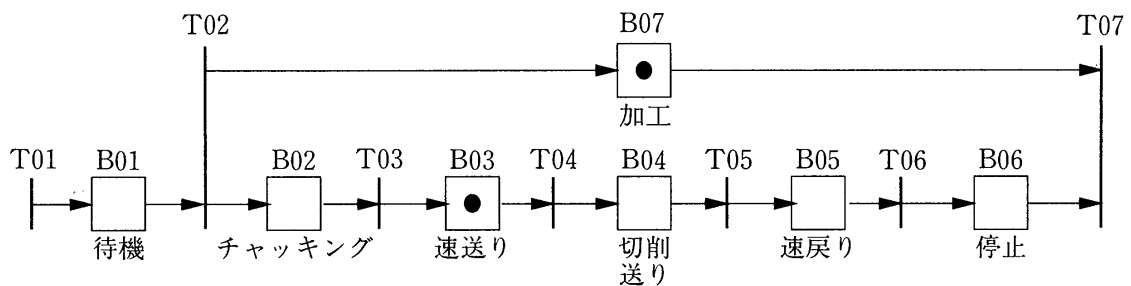


図4 追突の防止

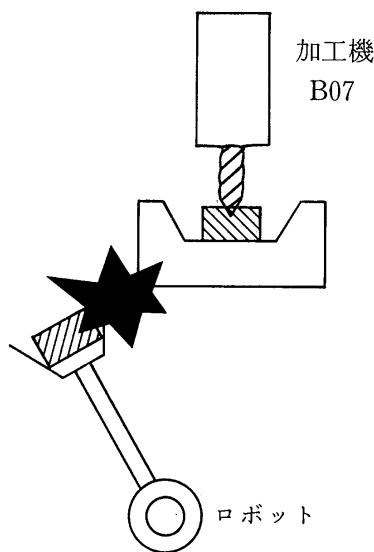


図5 追突の例

図4において、追突防止用のボックスB07を付けずに制御を実行すると、追突の可能性のあることをシミュレーションによって認識出来る。次に、追突防止用ボックスを付けることによって、確かに追突を防止できることが確認できる。

実際のシステムを追突の危険性がある状況で運転することは、許されることではない。本シミュレータを活用することにより実システムを運転することなく、システム動作上の問題点の認識と、必要ならば問題点の改善がオフラインで出来るようになった。

(2) 競合問題（：競合の発生と競合を解消する制御機構）

図6に示すように、変わり目T02で2工程が並行に進行することが求められる場合がある。この場合、B01に入ったマークは、T02の条件が満足されれば、同時にB02とB07の両方に入って、以降並行してマークが移動して行くことになる。

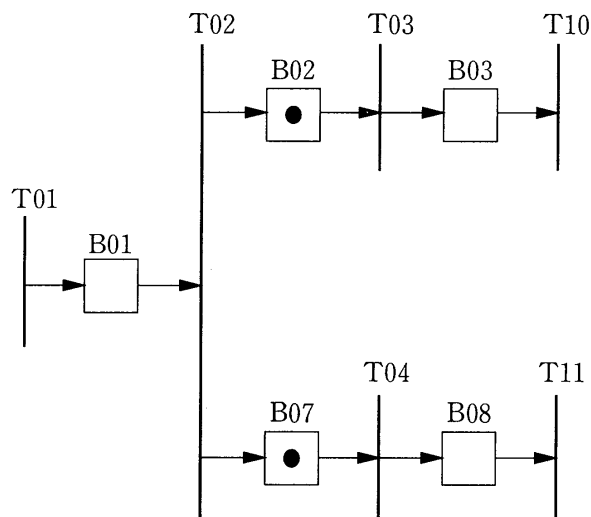


図6 並行システム

一方、図7に示したシステムでは、図6のシステムと同様に並行動作をするようになっているが、選択的になっている点が異なっている。即ち、B04に入ったマークは、T06とT07の条件が整った方から先に経路を選択して移動

をするようになっている。これにもかかわらず、T06、T07に付く事象が同時に発生すると「競合」という現象が起き、先の図6のシステムと同様に B05と B09の両方にマークが入ってしまう。

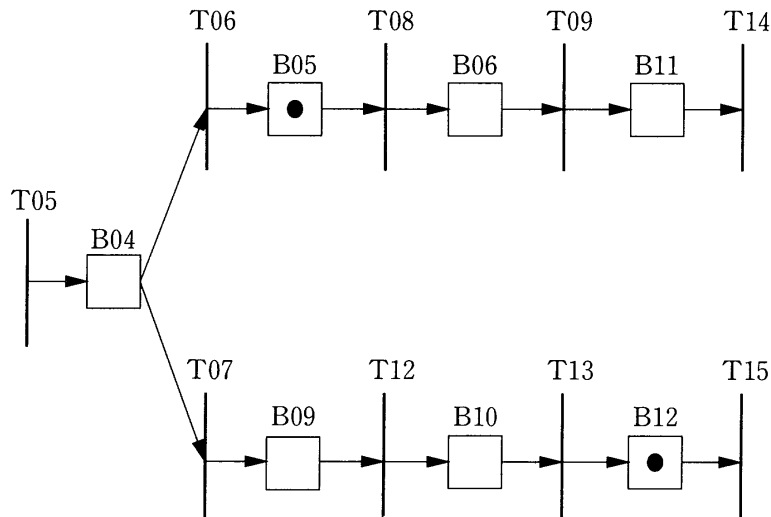


図7 並行経路の選択と競合

これは不都合であるので、競合を解消するような制御が求められる。競合を解消するにはどうすればよいか。ひとつの方法は、競合ボックスにおけるマークの流れを制御するアービタ（調停器）を付けることである。このシミュレータでは、教育的配慮からアービタを付けたり、外したり出来るようになっている。アービタを外しておけば競合の発生を確認できる。競合が発生すれば、その調停の必要性を認識出来る訳である。

実際の生産システムの制御においては、競合現象は通常の状態では発生し難い。シミュレータを活用することにより、競合の発生とその調停の必要性を容易に、しかも効率的に認識できるようになった。

(3) デッドロック問題（：デッドロックの発生とデッドを回避する制御機構）

前図1に示したような、ロボットを加工機へのローディング（LD）とアンローディング（UL）の両方の作業に使用するようにしたシステムを例にして、デッドロック問題を考えてみよう。ロボットは、1台をふたつの異なる

った工程の作業に使用するため、一方の作業に使用するときには、もう一方の作業には使用できないような制御構造にしておくことが必要である。制御構造を図示したのが図8で、ボックス B01がこの構造の排他的機能を担っている。即ち、B03にマークを入れるときは B01にもマークが入るので、このとき同時に B04にマークを入れることは出来ないようになっている。

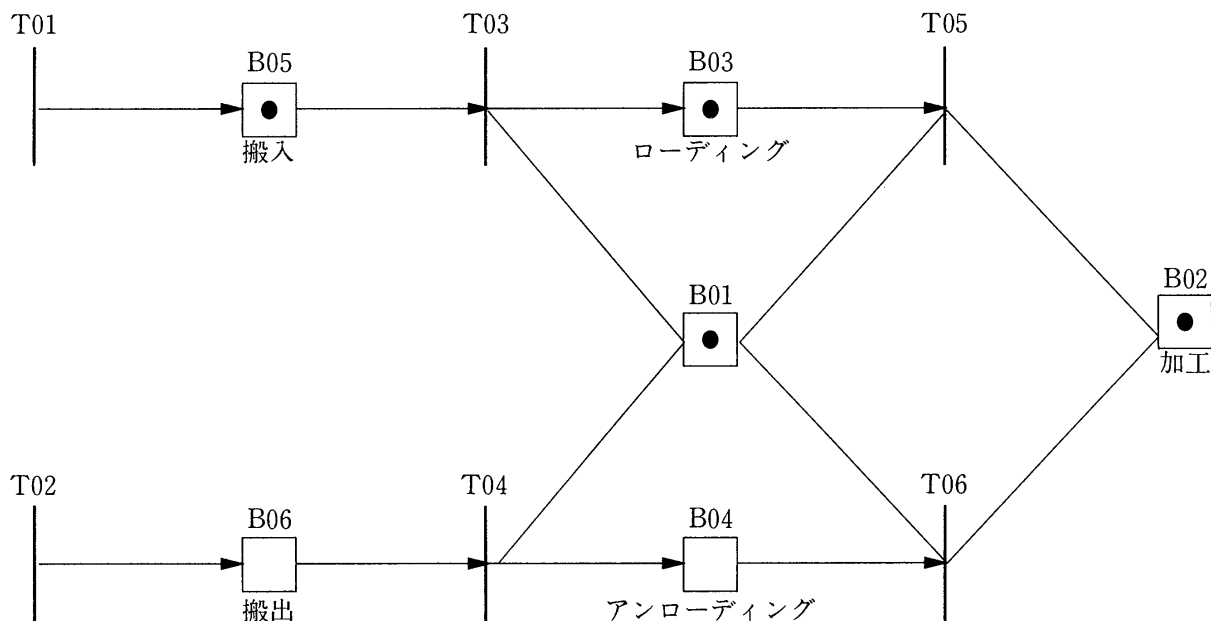


図8 デッドロック現象

さて、この図8の制御構造で制御を実行するとき、ある時点から先は、前にも後にも進めない行き詰まりが発生することがある。それは次の場合である。まず、加工機による加工(B02)が行われていたとする。加工は継続されているにもかかわらず、更に新たな加工材料が搬入され、ロボットが材料をつかみ加工機へのローディングを開始した場合である。ローディングはある時点から先に行くと、加工機へ追突を起こすので、上記(1)で述べたような追突防止機構により、材料を持ったまま待機することになる。従って、加工が終了しても加工済みの材料をロボットがアンロード出来なくなり、全体として行き詰まりの事態に立ち至る(併せて、図9参照)。

これがデッドロックであるが、デッドロックになるとシステムは動かなくなる。そのため制御機能設計では、デッドにならない構造が求められる。し

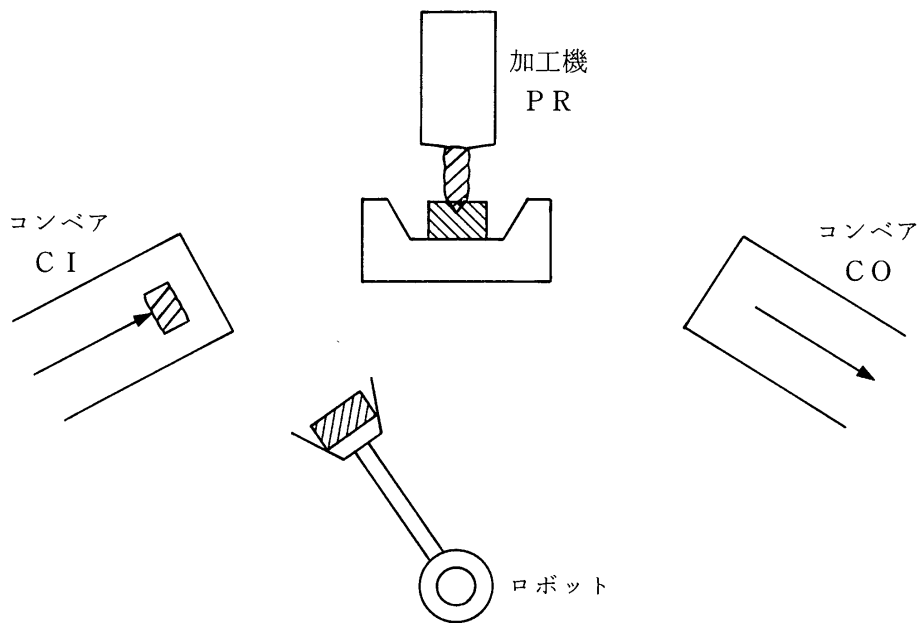


図9 デッドロックの例

かしながら、どのような構造がデッドロックになるかを解析することは、一般には容易ではない²⁾。この場合にシミュレーションを活用すれば、コンピュータ上で能率よくデッド状態を発見できる。本シミュレータの使用により、デッドロック発生の可能性とデッド回避の必要性が認識できるようになった。

5. むすび

本シミュレータは、技能開発センターなどの向上訓練コース用教材として活用を予定している。シミュレーションによって、実システムを動作させることなく、制御上の問題を疑似体験できる。従って、上に述べたような適切な訓練課題を与えることによって、生産システムの制御上の問題を認識する教材として、訓練に有効に寄与できると思慮される。

今後の課題としては、教材として教育技法上の配慮が不足している面があるので、その追加の検討が残されている。これは現場での実施を踏まえて行う予定である。

参考文献

- (1) メカトロ向上訓練コース開発プロジェクト：『メカトロに関する向上訓練コース開発』、職業訓練大学校 職業訓練研修研究センター 調査研究報告書 第58号,1991年
- (2) J. L. ピータースン（市川・小林訳）：『ペトリネット入門』、共立出版、1984年
(にしみ やすのり 職業訓練研修研究センター 開発研究部)

向上訓練の現場ニーズへの一視点

～「手作業によるひずみ取り」コースの研究～

小 原 哲 郎

坂 本 龍 彦

1. はじめに～問題意識と課題

向上訓練のニーズはさまざまな性質の広がりをもった構造的なものである。技術分野の広がりはいかに及ばず、各技術分野においても新旧技術の蓄積された、いわば縦の広がりもある。また、純技術的な観点からだけでは向上訓練ニーズの広がりとはとらえきれない。技術力の習得・教育訓練上の観点からも、それぞれのレベルに合わせた向上訓練内容が設定されて現場ニーズをとらえる。そして、教育訓練上の観点から具体化される向上訓練ニーズは、レベルの問題だけではない。在職者が、技術力を高めていく上で、日常その機会を得やすいものとそうでないものがある。例えば、現場の作業経験を積むことで（いわゆるOJT）身につけていける性質のものは、それ自身いかに重要な能力であっても、向上訓練ニーズとしてはそれほど意味がなく、企業内では学びにくい点が向上訓練のニーズとして重要であるということなどである。これらのいくつもの性質（上に触れたのはごく一部だが）が織りなす構造的な形をもったものとして、向上訓練ニーズはわれわれの分析・掘りおこしを待っているのだといえよう。

したがって、向上訓練ニーズ一般という議論はあまり実践的ではない。構造のどこかに切り込みをいれる着目あるいは問題意識が、ニーズをとらえる際には重要である。われわれは、埼玉技能開発センターで1983年以来「手作業によるひずみ取り」というコースが実施され、好評であり受講者数も安定

して続いていることを知り、主としてニーズ論の観点からこれを調査研究することにした。このコースは、今日の生産現場の技術に対応する向上訓練という意味では、ある種の盲点を突くような意味があるように思われたからである。このコースのニーズを追いかけてみることで、向上訓練ニーズを規定している構造的な諸性質の一面を切り開くことができるかも知れない。

いま「ある種の盲点」といったが、それはおよそ次のようなことを意味している。技術的な観点からみると、最近の自動化、ME化といった技術動向の中で、それらの新技術分野に向上訓練のニーズが広がっていることは紛れもない事実である。しかし、その中でこの「手作業によるひずみ取り」といった従来型の、技能的なものの典型と思われる分野でのコースが好評を博している。このコースの担当者自身でさえ、「開設するときは、こんなコースに人が集まるだろうかと思った」といっているように、激しい技術変化の中では旧来技術の意義は見過ごしやすいものである。しかし、後で詳しくみるように、このコースのニーズは、新技術が導入されていない企業に見いだされるのではない。技術変化が進んだところでこのコースが好評なのである。つまり、この旧来の技術へのニーズは、技術変化の中で次第になくなっていく過程にあるものではなく、新技術が普及する中になお新たに生まれているものだということである。

ME化に代表される技術革新が急速に進展し、公共訓練施設での向上訓練もそうした新技術への対応を進めてきたし、今後も進めて行かねばならない。しかし、新技術の取扱い、操作的なノウハウのコースは、その技術の普及期には人気を博すが、広く定着してしまるとそれほど受講者が集まらなくなるということも、NC機関係のコースで既に広く経験されているところでもある。これは新技術の普及にともなって常に起こる現象だと見なければならぬ。向上訓練の本格的な、安定した発展のためには、はじめに述べたようなさまざまな視点から向上訓練ニーズをとらえる、多様な、厚みのあるコース体系が求められるゆえんである。したがって、「手作業によるひずみ取り」が新技術と同居し、あるいはそれと絡み合って、根強い現場ニーズを持ってい

る点は、今後の向上訓練のある種のコースの可能性を示しているだけでなく、向上訓練を推進する重要な視点をも提供するのではないだろうか。

本稿では、以上に述べた問題意識から、このコースのニーズとその背景について明らかにすることをテーマとする。コースの訓練技法面での検討はコースの流れを簡単に紹介するにとどめ、今回は大きくは取り上げない。以下、2では、まずこのコースの内容と受講状況を概観し、3でこのコースの意義を検討整理する。そこでは、まず工学的な観点から「ひずみ取り」とその意義を概説した上で、受講者を出した企業からの聞き取り調査をもとに、生産現場の実態からどのような意義をもっているかを検討する。最後に、4でこのコースの研究から得られた向上訓練ニーズに関する知見、指針等をまとめて結論とする。

2. 「手作業によるひずみ取り」コースと受講状況

1) コースの概要

生産される製品には何らかのひずみが生じることがある。これは局部的に伸びや縮みが生じているため、その製品の精度を満たし所定の機能が出るようにするためには、発生した伸びを縮めたり、縮みを伸ばしたりして、均一平滑にする必要がある。このような作業をひずみ取りというが、埼玉技能開発センターで行われている「手作業によるひずみ取り」コースの内容は、大きく分けると、次の2つから成っている。

a. 手作業によるひずみ取り作業Ⅰ：ハンマ打法

機械的方法で、ハンマ打ちのように打撃を与えて変形を矯正する。

b. 手作業によるひずみ取り作業Ⅱ：加熱冷却（灸据え法）＋ハンマ打法

加熱方法で、材料を局部的に加熱した後、これを急冷すると元の状態へ収縮しようとする力が働く、平面方向も中心に向かって収縮するためひずみを引張って歪を矯正する。

本コースでは、これらの内容を、概略、表1の時間配分で実施している。

表1 コース日程の概略

1日目	学科	2時間	基本的知識 ひずみ取りの重要性 収縮と伸びの原理 ひずみの早期発見 ひずみ対策と現場の対応
	実技	5時間	手作業によるひずみ取り作業Ⅰ ハンマ打法によるひずみ取り ひずみ取り工具と使い方 ひずみの発見と検査 ひずみ取り作業の要領と急所
2日目	実技	2時間 5時間	手作業によるひずみ取り作業Ⅰ 手作業によるひずみ取り作業Ⅱ 加熱冷却+ハンマ打法によるひずみ取り ひずみ取り工具と使い方 ひずみの発見と検査 加熱冷却作業の要領と急所

実技部分の内容は次の表2、表3のとおりである。

表2 手作業によるひずみ取り作業Ⅰ

手作業によるひずみ取り作業Ⅰ (ハンマ打法)			
材	SPCC (冷間圧延鋼板) t 1.2×304×457mm	工	ならしハンマ (直径30~40mm) 木ハンマ (中型)
料		具	定盤 (たたき定盤)
作業順序		作業内容	備考
1	準備をする		
2	ひずみを作る	①ならしハンマで材料の中央部を打撃し伸ばし、ひずみを作る ②ならしハンマで材料の周囲を打撃し伸ばし、ひずみを作る	単純で浅い凹みを作る
3	ひずみの発見	材料の凸面を上にして定盤に置き、上から中央部を軽く押す	①凸部分を押し上下(ペコペコ)する、これは中央部分が伸びているか周辺が縮ん

4	ひずみを取る (大まかなひずみが取れたら)	片手で材料を押さえ、ならしハンマで打撃する 木ハンマで小さな凸凹をならす 4を繰り返し、ひずみを取る材料を定盤の上に倒すと、定盤に吸いつけられるような風圧の音がする	でいる状態 ②材料の周囲が伸びている場合には、周囲がたるみ定盤に密着しない 打痕を残さないよう注意 上から押さえスプリングバックを防ぎながら等間隔で収縮部は比較的強く、伸びている部分は弱く打撃する(板を抑える効果) 凸の状態の材料が打撃中に凹になった場合は、材料を裏返して凸を上にし打撃する 木ハンマの打撃では伸びはほとんどないので、全面を均等に打撃すると、隠れていたひずみの発見が容易である
5	終了		

- 注1. 定盤は鋳鋼製または硬鋼製で厚さが十分にあるもの。
 2. ならしハンマは直径が30~40mm 長さが150~200mm で、打撃面は少し中高なもの。
 3. ひずみ取りの材料に軟鋼板の板厚1.2mmを使用するのは、ハンマを使った手作業であるためこれ以上の厚さであると作業性が悪く、また薄すぎると取扱いが難しいため。

表3 手作業によるひずみ取り作業II

伸びている部分を熱を利用し縮め、全体を均一に平滑にする。

手作業によるひずみ取り作業 II (加熱冷却+ハンマ打ち)			
材料	SPCC (冷間圧延鋼板) t 1.2×304×457mm	工具	ならしハンマ (直径30~40mm) 木ハンマ (中型)、定盤、ウエス、 水入れ容器、酸素・アセチレンガス 溶接装置一式
作業順序	作業内容	備考	
1	準備する		

2	ひずみを作る	材料の周囲を幅10mm程度赤くなるように焼き冷却させひずみを作る	周囲を溶接した状態になる冷却で周囲が縮むため中央が山上げされる
3	ひずみの発見	材料の凸面を上にして定盤に置き、上から中央部を軽く押す	凸部分を押しと上下（ペコペコ）する、これは中央部分が伸びているか周辺が縮んでいる状態
4	ひずみをとる	伸びている部分をバーナで加熱する	<div data-bbox="957 555 1252 878" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1037 891 1165 929">図 1</p> <div data-bbox="957 936 1252 1258" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1037 1272 1165 1310">図 2</p> <p data-bbox="957 1317 1380 1444">加熱する位置は図1、図2のように50~70mm程度の等間隔で行う</p> <p data-bbox="957 1456 1380 1635">バーナの火炎は材料に対しと直角にし火炎の白心と材料の間隔は2~3mmとする</p> <p data-bbox="957 1646 1380 1780">きゅう（高熱で赤くなった部分）の直径は板厚の約10倍をめやすとする</p> <p data-bbox="957 1792 1380 1870">厚板の場合はゆっくり円を描くようにする</p> <p data-bbox="957 1881 1380 1977">材料の表面が溶けないよう注意する</p>

		<p>加熱した部分を木ハンマで打撃する</p>	<p>コーナーや端部は熱がこもるため、バーナを離し気味にしたり、送りの速度を速める配慮が必要である</p> <p>材料を押しえスプリングバックを防ぐ</p> <p>まだ赤熱している時に打撃する</p>
	<p>水で急冷する</p> <p>(きゅうした部分が凸になったり、収縮し過ぎたときは)</p>	<p>水に浸したウエスで冷却する</p> <p>ならし作業(ハンマ打法)をする</p>	<p>凸の状態の材料が打撃中に凹になった場合は、材料を裏返して凸を上にし、打撃する</p> <p>手作業によりひずみ取り I の4を参照</p>
5	終了	<p>材料を定盤の上に倒すと、定盤に吸いつけられるような風圧の音がする</p>	

注1. 薄板のひずみ取りに用いるガスバーナは、ガス炎が集中するタイプのものがよく、JIS B 6801の B-0号相当のものが望ましい。

2. 軟鋼の場合、800~900℃程度に加熱した後冷却した方が収縮度合いが最も多いが、組織変化をきらう場合には、700℃以下にする。

3. 加熱(きゅう)の数は少なめにし、収縮状態をみながら徐々に数を増やす。

今回はコース内容に関する詳しい分析は行わないが、コースの特徴についてひとつだけ述べておきたい。見られるように、このコースは時間のほとんどを作業実習の形で費やしている。課題が「手作業によるひずみ取り」なのだから当然のようにも思えるが、その中には教育訓練上の重要な考え方が含まれている。

このコースの訓練目標は、手作業によるひずみ取りに習熟する、すなわち、ある技能水準に到達させるという点にあるのではない。このコースを担当されている指導員(鈴木豊次先生)が我々との面接に際して解説されたことによると、むしろ原理的な知識、理解を目標にしているということである。素人からみると、思いがけないところをたたいてひずみを取ったりするこの作

業は、何か非常にカンコツ的な技能のように思われがちだが、同先生の解説によると、ひずみ取り作業のノウハウは極めて合理的なものだという。そこで熟練的な要素がものをいうのは、ハンマー振りの強さ（大きなひずみには強く打つなど）や判断の早さなど、作業効率に関わる点で、それは経験と習熟が必要であって、2日間のこのコースの目標にはなり得ない。だからこのコースでは、例えば、ハンマ打法によるひずみ取りに際しては、ハンマを打つ強さは一定にさせて、強く打つべきところは打つ回数を多くして作業させるやり方を取り、判断の基礎になる原理的知識を身につけさせることに訓練の焦点を当てている。同先生は、「ひずみが取れるということはひずみを作れるということでもある」と、ひずみを作ってそれを知ることから実習を始めておられる。言い換えると、手作業によるひずみ取り作業が、ひずみというものを原理的に理解させる上で分かりやすく、教育訓練上の効果が上がるということでもある。

2) 受講状況の概要

① 受講者を出している企業の概要

まず、これまでの受講者データから分かるところを整理しておこう。

本年度（平成3年度）までにこのコースは17回実施されたが、そこには通算32の企業から89名の受講者があった。

そのうち1名だけ受講者を出している事業所は17で、ほぼ半数である。残りの15社は、複数の受講者を、それも多くは何回かにわたって出している。利用回数、受講者数の多いところは、K社の11回18名、S社の6回12名、F社の6回8名、E社の5回7名等である。数多くの企業から受講者が出ていることは、このコースの訓練需要が幅広く存在することを意味するだろうし、受講者を次々に出してくる企業がいくつもあるということは、コース受講の効果に定評があることをも意味しよう。

利用している企業には、ひずみ取り作業の必要場面の違いからみて、ふたつのタイプがある。ひとつは製品として金属加工を行っていて、その製作過

表4 過去17回の受講状況

企業	回数	受講者	企業	回数	受講者	企業	回数	受講者
No.1	11	18	No.12	1	2	No.23	1	1
No.2	6	12	No.13	1	2	No.24	1	1
No.3	6	8	No.14	1	2	No.25	1	1
No.4	5	7	No.15	1	2	No.26	1	1
No.5	3	4	No.16	1	1	No.27	1	1
No.6	3	3	No.17	1	1	No.28	1	1
No.7	2	3	No.18	1	1	No.29	1	1
No.8	1	3	No.19	1	1	No.30	1	1
No.9	2	2	No.20	1	1	No.31	1	1
No.10	2	2	No.21	1	1	No.32	1	1
No.11	2	2	No.22	1	1	32社	64	89

程（おもに溶接作業との関連）でひずみ取りが必要になるところ、もうひとつのタイプは製品そのものにはひずみ取りは関係ないが、生産装置の保全上ひずみ取りが必要になるところである。

なお受講者名簿を見ると、どのように情報が伝わったのか、遠く神戸の企業から受講者を派遣している例がある。それだけ類似の研修機会が得られないということでもあろう。

② 受講者の年齢構成

89名の受講者の年齢構成は次のグラフのとおりである。

最も多いのは40代前半で、その前後、30代と40代で受講者全体の78%を占めている。また、29才以下の若手の受講が15名あることも注意しておいてよいだろう。さきに述べた利用企業のふたつのタイプのうち、29才以下の若手を出しているのは製品のひずみ取りが問題になるタイプのところで、生産装置の保全担当者を出しているタイプでは、受講者のほとんどが30代以上であ

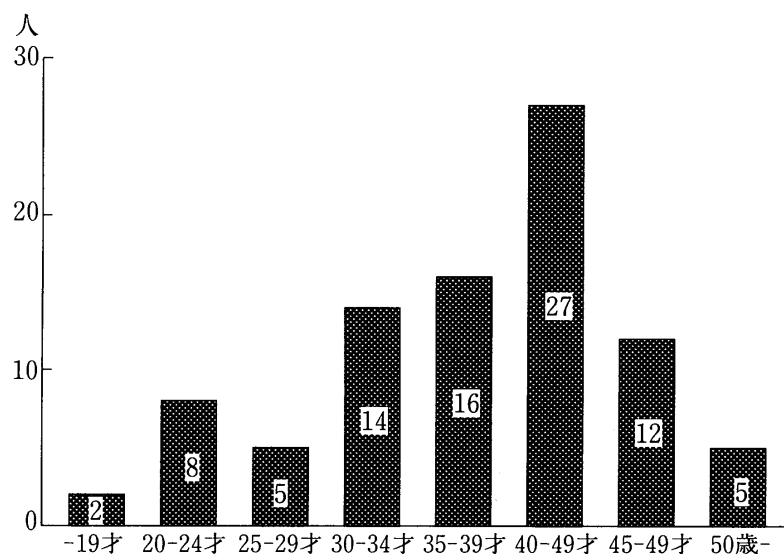


図1 年齢別受講者数

る。

この受講者の年齢構成について次のようなことがいえる。30代以上の受講者が多い点は、必ずしも、このコースの受講にはかなりの現場経験が必要となるとか、かなり現場経験を積んだ人たちにこのコースが必要となるとかいうことを意味しているのではない。（その点は、後で述べる企業面接調査でも確認された。）30代以上の受講者が多い理由は、ひとつには、利用企業のうち、装置産業の方に大企業が多く、まとまった受講者を出しており、それらの保全担当者が比較的年齢のいった人たちが多いということである。もうひとつには、製品加工上ひずみ取りを必要とするところでも、規模の小さいところはかなり利用しており、小規模企業での若手不足が反映していると考えられることである。現に20代前半までの人も10名受講しているし（この中に保全関係の人は殆どいない）、コース概要の紹介の中でも述べたように、このコースは技能的なレベルをめざしているのではなく基本的な知識と理解に重点を置いている。したがって、コースの技術的内容との関連では、むしろ、初心者からベテランまで、年齢層でも幅広い層に受講されている点が重要だといってよいだろう。

3. 本コースの意義

1) 工学的観点からの概説的整理

製品や構造物をつくる経過において、多少のひずみは生じるものである。しかし、製品や構造物には、それぞれ規格・基準があり、その許容範囲内に納めなければ所定の性能や容量を満足することはできず、また美観上も好ましくなく、製品としての価値にも影響を与える。

ひずみを生じさせる原因の中で最大のものは溶接による熱影響である。溶接は材料と材料を加熱熔融させ接合させるものであるが、加熱後の冷却過程に溶接変形というひずみを生じさせるからである。

近年、溶接の進歩はめざましく、特に金属の溶接・施工法については種々の方法が開発され、強度やコストの面からも金属の接合に関しては、溶接によるものがほとんどである。そのため熱影響によるひずみの発生は避けて通れない問題となっている。

金属は熱すれば膨張し、冷却すれば収縮することはよく知られているが、溶接の加熱・冷却が通常と違うのは、材料全体が加熱されるのではなく、接合する材料の極一部だけが加熱・冷却されるということである。つまり、同じ材料の中で高温部と低温部が共存しているということである。このことは膨張・収縮が単純でないことを意味している。

高温部が冷却の過程で収縮しようとするとき、低温部の強い剛性によって、拘束・抑制され自由に収縮できない。また、溶接部より数 cm 離れ熱影響を受けた部分、溶接線が曲線になっている部分や熱の入力量などがお互いに影響しあい収縮はいよいよ複雑となり、これが複雑なひずみとして表れる。

そのため溶接製品の規格・基準を確保するため、設計施工段階においてできるだけひずみの発生を予測し、適切な防止策を検討しなければならない。また、ひずみが発生した場合は、それを除去しなければならない。

① ひずみ発生軽減法

溶接によるひずみの発生について、基本的継手のひずみの発生量を理論的に推定することは可能だが、実際の溶接製品や構造物は、その形・大きさなど多種多様であり同じ溶接構造であっても部材の板厚、溶接位置、溶接方法、溶接電流などの溶接条件、溶接時の拘束状態などによってひずみの発生は複雑に変化する。このため、あらかじめひずみの発生を正確に把握することは困難であり、実作業においては、その製品の試作を行い溶接ひずみの発生傾向をデータとして蓄積し活用することが、ひずみの軽減対策上有効である。

次に従来から行われているひずみの軽減法を示す。

a. 設計面での軽減法

設計計画段階で、溶接線の削減、位置、適正な開先形状などを考慮し、ひずみの発生を最小限度におさえる。

b. 溶接施工法による軽減法

溶接法、溶接条件、溶接順序、組立順序などあらかじめ溶接前に計画をたて最適の方法を選定して施工する。

c. 機械的方法による軽減法

治具などを持ちいて、外的に拘束する方法でひずみ軽減を計る。

② ひずみ取り

ひずみの発生を極力おさえるため、設計・施工において様々な努力がなされているが、なお多少なりともひずみが残る。これが、許容限度を越えた場合は、所定の寸法・機能を出すため矯正しなければならない。

ひずみ取りの方法には、機械的方法と加熱による方法並びにこれらを併用する方法がもちいられる。

ひずみ取りにはいろいろ方法があるが、大きく分類すると次のようになる。

a. 機械的ひずみ取り

動的方法：ハンマ打ちのような打撃を与えて変形を矯正する。

静的方法：プレス等により引張り・圧縮・絞り加工により矯正する。

b. 加熱冷却によるひずみ取り

部材を局部的に加熱すればその部分は温度上昇に応じて膨張するが、その周囲の冷たい部分、すなわち剛性の大きなところの拘束のため、加熱部分の膨張が阻止されて一部が塑性変形する。そのまま冷却過程に入ると、元の寸法以上にまで収縮しようとする力が働き、この収縮力が部材の伸びを矯正する。(また加熱する範囲をあまり広げないように、局部加熱を急冷する方が収縮量は大きく、ひずみ取り作業は効率的である。)

c. 加熱加圧によるひずみ取り

加熱冷却とハンマ打ちを併用させひずみを取る方法である。加熱部の周囲をハンマでたたき伸びた部分を加熱部に集め、盛り上がった部分を軽くハンマでたたき水で冷却し収縮させる。

③ 「ひずみ取り」コースへの期待

ひずみ取りには多くの労力と熟練を必要とし、ひずみが発生しやすい薄板の場合ひずみ取り作業に要する工数は、全所要工数の約20%に達するところもあり、生産効率からみると大変な無駄である。しかし、ひずみを解消できなければ商品としての価値は低く、ひずみ対策の効率化が望まれる。

ひずみを取れるということは、原因を知るということであり、ひずみの発生を事前に防いだり軽減したりすることができるということで、たいへん重要である。以前より、ひずみ取り作業は長年の経験と勘で行われた職人の技であり、理論化されていなかったため、伝承がむずかしく人材を育成することが難しい分野であった。また、最近の企業においての人材活用の方針が、あらゆる作業に対応できる人材を育成することに重点が置かれているため、その道一筋の専門家を育てるといった環境がなくなり、熟練工が不足している状態になってきている。そのため、ひずみを取れる人材がいないため、ひずみを効率よく解消できない職場も現れ始めた。

そういうことが背景となり、ひずみ取りについての要望が大きくなったことも向上訓練「ひずみ取り作業」コースの受講者が多い、原因であると思われる。

なお、企業訪問にてコースに対する意見として

期間として：2日間コースの他に4～5日コース

内容として：アングルやパイプを使用した作業

材料として：ステンレス、アルミニウムを使用した作業

を開設してほしいという要望が強かった。

このことは「ひずみ取り作業」コースが内容的にもさらに発展する余地があるという証拠ではないだろうか。

2) 生産現場の実際から

今回の調査研究作業として、本コースの利用企業の中から比較的利用回数の多い企業4社を選んで、訪問して話をうかがった。面接したのは生産現場の担当者および教育担当者であり、1社については受講者とも話し合うことができた。

① ひずみ取りが必要になる事情

まず、ひずみ取り作業がどのような場面で必要になるかについて、面接で得た事例を紹介しておこう。先に述べたように、このコースを利用している企業には大きく二つのタイプがあるから、自社の製品の加工工程でひずみ取りを行う例としてE社を、生産設備・装置の保全上ひずみ取りを行う例としてK社をとりあげる。

(E社)

E社は従業員700名の自動車部品メーカーで、今回訪問したのは埼玉県にある本社工場。リアサスペンションアッセンブリーなど足廻り関連部品の開発、加工、組立を行っている。それらの部品はエンジンやタイヤを支える大型部品が多く、溶接して部品を組み立てるので、その際にひずみができる。しかも、

例えば、部品に四つの取り付けアームがあるとすると、三つを結んだ平面に対して四つ目は±1.5mmの精度を要求されるという。

したがってひずみ取りに関する作業ノウハウは絶対に必要になるが、面白いのは、試作部門と量産ラインとではその形態が全く異なる点である。試作部門で行う組立はアーク溶接で行い、それだけ出てくるひずみも大きく、組立部品の形状に合わせた治具台の上で作業するなどしてひずみを最小限に抑える対策を取っているが、いずれにしても出たひずみを後から取って精度を出さねばならない。それに対して量産ラインの方では、スポット溶接で組み立てているからアーク溶接ほどのひずみではないが、出たひずみを取り除くのではない。それでは時間がかかりすぎるので、組み立てる前に部品に逆ひずみを与えておいて、溶接した後にちょうど精度が出るようにするのだそうである。

試作部門がラインに乗せる際の加工諸条件を決定するところまで行うそうだから、ここでのひずみ取り技術は主に試作部門で担われていることになる。つまり、そこでは、①できるだけひずみを少なくする溶接の仕方、②試作段階で出たひずみを取って精度を出すノウハウ、③ラインでの溶接で出るひずみを予測して逆ひずみを与えておくノウハウの三つの形でひずみ取りに関連した技術力が要求されていることになる。

(K社)

醤油の大メーカー。広大な敷地に醸造から瓶詰めまでのたくさんの工場建物を持っている。それらの工場の内部や工場間を原料や半製品がパイプやダクトによって搬送される。膨大な装置産業で、醸造部門だけで機械系電気系あわせて30名ほどの保全関係の人員を擁している。

ひずみ取り作業は、主に、原料の大豆や小麦の搬送用ダクトの保全で必要になる。ダクトの中を原料が空気圧によって高速で走るため、鉄板が摩耗してくる。特に漏斗状になっているシュートの部分は摩耗が激しい。薄くなって穴があくほどになる。その部分は鉄板で当てをして溶接する。その際にひずみが生ずるが、シュートには原料の流れをコントロールするダンパーと呼

ばれる装置がついていて、ひずみはこのダンパーの稼動障害になる。そこでこの保全作業にはどうしてもひずみ取りができなければならない。

そのほか、液体を散布する装置で、パイプに一系列に穴開けしたときにそのパイプに生ずるひずみを取ることや、一般的な構造物を溶接で組んだときに出るひずみの問題などもある。

② ひずみ取り作業の能力形成

企業現場でのひずみ取り作業の能力は、基本的に経験とカンに頼っており、それが先輩から後輩へ伝承されてきたものである。

「基礎が分かっていないので社内的な講習というのもしやっていない。受け持ちの人（班長・係長）のやり方で、ぶっつけ本番の作業指示になる。そういう意味では試行錯誤です。」（E社）

「裏付けがあるわけではないが現場覚えで伝えるしかない。自分達のノウハウを表面化して表しておく方が良いのだが、一人ひとりの固有技術はなかなか出してくれない。だから、この人はこれができるがこれはできないといったアンバランスが生まれる。」（E社）

「ひずみ取り作業の基本的なことを教えられる人が現場にはいない。」（E社）

ここで明確に問題視されているのは、「基礎」「基本」ということだ。それがどんな点を指しているかはなかなか難しいところだが、「基礎がわかっていない」ということと「社内的な講習ができない」ということとが結び付けられているところは注目すべきだろう。講習のような形で教えられるには、その技術技能が訓練課題やカリキュラム、教材等の形で教育的に整理できねばならない。そのためには単に経験から「ひずみ取り作業ができる」というだけでなく、その基礎になっているもの、あるいは、作業上のポイント、作業の仕方の意味等がとらえなおされ、表現できていなければならない。そうい

う力に不足しているということだろう。してみると、「自分達のノウハウを表面化して表しておくの良いのだが、一人ひとりの固有技術はなかなか出してくれない」ともいっているが、これは「出してくれない」というだけではなくて、「表せない」「出せない」のかもしれない。

K社のような保全関係の職場になると次のような問題も聞かれた。

「一つのことについて人に教えられるほどエキスパートになるのは、保全担当者にとっては難しい。いろいろな作業能力をオールラウンドに身につけなくてはならない。だからひずみ取りについても、現場で教えるのでは全く不十分だ。」(K社)

「最近では保全の仕事が忙しくて、ひずみ取りのような面倒なことになると仕事に教える余裕がなくなっているのも実態だ。」(K社)

こうした現場伝承の実態、問題点は今回廻った他の2社でも共通しており、多くの企業で抱えている問題なのであろう。それは決して「ひずみ取り」の作業能力についてだけ見られるものではなく、長所と短所があるOJTによって形成される技術的能力には共通した問題だが、Off-JTによる教育機会が得にくい「ひずみ取り」技術では、その現場覚えの問題点が典型的に現れている観がある。

③ 「手作業によるひずみ取り」コースへの期待

埼玉技能開発センターで行われている「手作業によるひずみ取り」コースへの期待と評価も上で紹介した現場実態から出てくる。

「最近の人は理屈っぽいところがありますからね。ここをたたけて、たたくと実際になおるんだけど、なんでなおるのかっていう時、教える人が経験からしか来てないもんだから言えない。ひずみ取りの基礎知識を習得してもらうために(コースに)出します。」(E社)

「最初から試作部門というのではなく、量産現場から試作にローテーションしてくる。その段階で、板のたたき方から教わる。そういう経験の浅い人に基礎から勉強してもらうためにコースを受講させる。」(E社)

「板をたたくといった手作業では一番の人、ひずみ取りでも一番という人が本人の希望で(コースに)出ている。彼のノウハウも経験から来たものだったから、理論的知識の裏付けが欲しかったんだろう。」(E社)

「コースで基本知識を習得して、現場で経験を積むことによってひずみ取りに熟練するということだ。」(K社)

「職場で先輩から教わるというのは良い面と悪い面がある。職人根性があるって、教わってるんだか怒られてるんだかわからないようなところがある。その人の独自のやり方に片寄ってしまって、知識を本当の教え方で教わる必要がある。」(S社)

「灸据えもカンでやってる部分が多い。現場の人は知ってるが標準化できない。自分では技術があっても教えるのは別だ。」(S社)

以上のように、生産現場がこのコースに期待しているところは、基本(とりわけ「基礎知識」「理論的知識」)を教わることに集中している。この点は、2の1)で紹介したコース内容・訓練目標と一致しており、このコースが安定した訓練ニーズをつかんでいることも納得できる。

また、「本当の教え方で教わる」などという言い方に表れているように、そうした理論的に裏付けされた基本を教えるノウハウも、生産現場にはないものとして期待されていることがわかる。この点でも、2の1)で紹介したように、本コースの指導技法には原理的なポイントを教えるための工夫がされており、現場の期待に応えているといえよう。

4. むすび～訓練ニーズとして何を学ぶか

「向上訓練に基礎的なものが求められている」ということが研究成果とし

て初めて報告されたのは、昭和59年のことだった¹⁾。それから7年、向上訓練は曲折を経ながらも拡大、発展してきたが、「基礎的なものが求められている」という事実はコース実践の中で広く確かめられてきているといえよう。だが「基礎的な」ということ自体の多様さ、意味の深さがどこまでとらえられ、コース内容に、そしてニーズの把握に生かされているかという点になると、わが国向上訓練全体としては不十分さを否めない。今回の我々の「手作業によるひずみ取り」コースの研究は、端なくもこの「基礎的な」ということの意味をいくつかの側面で具体的に確認、あるいは再確認させるものとなったといえるだろう。

まず第1に、これは既に指摘されてきたことの再確認に過ぎないが、向上訓練に求められている「基礎」とは、単なる初歩ということではないということである。本コースを求めてくる人たちの中には、ひずみ取りに関しては初歩的な人も「職場で一番」の人もいた。ひずみ取りのベテランの人にとってもこのコースが意味を持っていたのは、彼が「理論的知識の裏付け」を求めていたからである。

第2に、「手作業によるひずみ取り」という課題の性格上、「基礎」にまつわってここで特に問題にしなければならないのは、旧来型の技術、なかんずく手作業によるいわゆる「技能」の意味である。

これは生産現場での作業上の意味と教育訓練上の意味と二重の意味がある。

まず、今回企業面接等で確かめたように、手作業でひずみを取る技能は、装置産業の保全部門や金属加工メーカーの試作部門ではそのままの形で基本的な作業能力として重要であった。メーカーの量産ラインにおける技術としても、あらかじめ逆ひずみを与えておくという事例を見たが、2の1)で述べたように「ひずみが取れるということはひずみを作れるということだ」ということであるならば、この「逆ひずみを与えておく」という技術の基礎にはひずみ取りの技能がなければならないと見るべきだろう。

そこでさらに、このひずみ取りの手作業が教育訓練上の基礎となっている点が重要である。本当の意味での技能、熟練は、決して単なる器用さ、手先

の習熟ではない²⁾。作業方法や段取りの決定など、知的な判断力の確かさが技能の重要な要素をなしており、自動化技術の進んだ今日、技能のこの側面はますます重要性を増している。だからこそ本コースが反復練習によってひずみ取りの手作業に習熟させることを目標にするのではなく、ひずみというものの理解、ひずみ取りの原理的理解を目標にしていることに時代のニーズに適合する意味があるのだ。しかし、そうした基本的な知識、原理的理解を目標にした訓練で、したがってさしあたりは知的な向上が問題となっているコースで、ひずみ取りの「手作業」が重要なのである。つまり、ひずみ取りの技術的能力を形成する上で、言い換えると教育訓練上の基礎として重要なのである。

このコースの研究を通しては、そこに求められている「基礎」の意味としては、少なくとも以上のような点が確認できよう。これらの点は、「手作業によるひずみ取り」コースが今日埼玉の地で根づよい人気を保っている理由を説明するとともに、こうした旧来型技術の向上訓練コースの可能性を示しているといえないだろうか。

向上訓練ニーズを探るときの重要な視点のひとつは、「OJTを中心とした企業内の訓練では形成しにくい能力は何か」ということである。どんなに重要な技術能力であっても企業内で形成できるものであれば向上訓練のニーズとはならないのであるから、この視点の重要さは向上訓練にとっては殆ど決定的である。この意味からも、本コースは向上訓練として極めて質の高い内容を持っているといえる。本コースが一例を示すように、「企業内では形成しにくい能力」とは幅広い技術分野に及び、かつ極めて多様な側面を持っているのである。そこに向上訓練コース自体が多様な展開をしなければならない根拠があるのである。このようにいうことは、既に向上訓練というものへのひとつの姿勢、向上訓練観とでもいべきひとつの考え方を表している。2の2)で紹介した受講状況を見てもわかるとおり、本コースは開設すると人がどっと集まる類のコースではないことはいうまでもない。しかし、その訓練ニーズの確かさ、重要さもまたはっきりと確認できるのである。こうしたタ

イプのコースが数多く、また全国各地で行われてこそ、わが国向上訓練の本格的に発展した状態だといって過言でないのではなかろうか。

なお、末尾ながら、この研究に際して鈴木豊次先生と埼玉技能開発センター村上武史訓練課長に大変お世話になったことを記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 戸田勝也『公共向上訓練に対する中小企業からの期待に関する一考察』昭和59年（職業訓練研究センター調査研究資料第53号）
- 2) 「かつての旋盤工の、あのみごとなハンドルさばきは、NC旋盤の持つ機能の中にすっかり吸収されてしまった。器用な腕というようなものは、もはや不必要になった。だから、もう熟練工は不必要になったのだといわれはじめた。…何よりも、熟練工に要求されるのは、仕掛かり能力、段取り能力とか治具能力と呼ばれる知的な能力である。決して器用さではない。…熟練工の特質は、腕の器用さではなくて、仕事を見る眼にある。」（小関智弘著『鉄を削る』昭和60年、太郎次郎社）

（おぼら てつろう 職業訓練大学校 指導学科）

（さかもと たつひこ 職業訓練研修研究センター 開発研究部）