

これからの自動化のあり方

長 岡 一 三

目 次

- I. ま え が き
- II. 自動化で考えねばならないこと
 - 1. 自動化するだけでは解決しない
 - 2. 人間の能力を100%発揮させる
 - 3. 具体的な自動化の手順
- III. あ と が き

I. ま え が き

最近では製品の加工に無人化や高能率・高精度が益々要求されるようになって、それにふさわしい設備も登場してきた。最近では自社で土・日曜日の2日間連続無人運転を実現している企業も増え、加工用のFMC（Flexible Manufacturing Cell）で32ビットのセル（Cell）コントローラに各種の自動化設備を組み合わせ、72時間の無人運転ができるシステムなども市販されはじめている。しかしどのよう⁽¹⁾に高精度の自動化設備を導入しても、所詮それは人間に比べて自律性において劣る設備でしかない。現在もこれからも、設備が使いこなされ、その性能がフルに発揮されるかどうかは、それを使用する人間次第でまゐる。

ところが、人間というものは自律性が高く創造性も豊かだが、仕事を恒常的に続けることは苦手である。そこで精度を求めて自動化を考える場合には、設備と人間がそれぞれの長所を磨いて補い合えるようにすることがポイントで、そのためには、機械よりも人間のする方が、品質やコストなどの面からみてベターと判断される工程、あるいは自動化するにはまだ機が熟していないと考えられる時点では、当面自動化には手をつけず、人間の手作業に任す方がよい。そしていずれ自動化設備に移るときに、その動きを可能なかぎり単純化できるように、人間が担当している間に、その動作をできるだけ簡素化するように努力することが大切である。

さらに自動化する前には、製品に対しても、関係者の叡智を集めて見直しを行い、つくる製品に期待する精度を得がたいときには、部品の組み合わせ方を変えたり、設計部門も巻き込ん

(1) 例えば、工場管理編集部「トヨタ自動車の金型連続無人化運転システム」（『工場管理』第36巻6号，1990年5月）101ページ。

(2) 長岡一三『H I M時代の搬送』技術調査会，1991年，57，および116ページ。

で設計変更も辞さないということが必要である。

II. 自動化で考えねばならないこと

1. 自動化するだけでは解決しない

現在加工や測定技術は急速な進歩をとげつつあり、21世紀のはじめには実験室レベルで、 0.1 nm (10^{-7} mm) 以下の加工や測定が容易にできるといわれている。⁽³⁾ 現在でも半導体の製造設備のような無塵室で一個ずつ加工や測定をする場合には、レーザーや電子顕微鏡を使用するまでもなく、様々な手段で高精度の加工や測定が可能になってきている。しかし一般の機械工場生産される量産品の場合には、現在の加工や測定をする技術や環境のレベルから見て、普通の人間の能力では、いつも一定の品質のものを高能率でつくり続けることは困難である。そこで加工精度を一定に保ち、人間の手ができるだけ触れる必要がないようにするために、設備全体をひっくり返して自動化し無人化を目指すということになる。しかしこれには多額の費用を伴い、自動化したはじめの条件や環境は、人間の努力によってそれ相応に整えることができても、その後のメンテナンスが確実に行われなければ最初の品質や能率を維持することは困難である。そしてこのメンテナンスという仕事も結局は人間の仕事の分野になる。

筆者が知っている工場では、数年前に無人をうたった高価な自動化ラインを導入したが、はじめはトラブルの続出で、自動化ラインとは到底言いがたいものであった。その後関係者の努力によって、2年かかってようやく自動化ラインらしくなったものの、そのときすでに世上には、さらに高能率のものが出現しているという始末であった。しかもこの場合、トップダウンで全工程を一度に自動化に踏み切ったために、それまでの作業に十分なメスが入れられていなかった工程が幾つかあって、とくにその工程の自動化が複雑になったために、設備に対する作業員の気持ちも及び腰で、設備の操作やメンテナンスにも戸惑いが多く、発生するトラブルの対策のほとんどを、必然的に手薄の技術員の力に頼らざるを得ないことになった。そしてこれがこのラインの改善を遅らせた最大の原因であった。

加工ラインを自動化する際に、自動化する以前には手動機械と半自動機械で加工していた両工程について、それらの工程が完全に自動化されるまでの日数と、それまでのそれらの工程の故障停止回数を調査すると、筆者の経験では、自動化以前に半自動機械を使用していた工程は、手動機械を使っていた工程の1/2から1/3の日数と停止回数ですむのが普通である。これは従来の手動工程では半自動化も難しかったということで、半自動機械の工程ではこの段階を終えて、それだけ、いわゆるアクダシがされている工程であったということである。

⁽⁴⁾
平成3年版「中小企業白書」によれば、設備の新設に慎重な中小企業は現場の自動化や無人

(3) 例えば、中沢弘他「カスケード法による未来技術予測」(『精密機械』第50巻1号、1984年1月) 184ページ。

(4) 中小企業庁『中小企業白書』、1991年、189ページ。

化、すなわち FA (Factory Automation) 化には熱心だ (34.6%) が、コンピューターによって統合される生産システムの CIM (Computer Integrated Manufacturing) にはほとんど手を出そうとしていない (21.8%)。一方、資金も人材も潤沢に手当てのできる大企業では、比較的簡単に CIM に踏み切っている (55.9%)。これは中小企業ではいつでも目前の採算を考へ、一つひとつ改善を積み重ねて常時に成果をかちとらねばならないの⁽⁵⁾に対して、大企業では採算というもの⁽⁶⁾を比較的長い目で見ることができ⁽⁶⁾るからであるが、CIM を導入している企業の担当者に対するアンケート結果によれば、企業規模の大小にかかわらず、CIM を成功させるためには、いずれにしてもまず自分の仕事を見直し、どうすれば効率良く仕事ができるようになるか把握した上で、CIM 化することが重要であることが分かる。

筆者の経験では、大企業でも CIM が採算にのるまでには、短くても 3 年という長期間を要するのが実態である。あからさまには CIM の失敗例というものは聞かれないが、日本から海外に進出した企業では、ほとんどの工場が、スタート当初から生産のコンピューター化を標榜してきたが、いずれの工場も現在に至るまで採算は悪く、例えば金額の高い対米直接投資の利益率が各社とも極めて低いことが発表されている⁽⁷⁾。

最近、自動車の組み立て工程に、モジュール化設計を採用して、サブラインで個々の部品をある程度組み上げてサブアッシー品とし、これをメインラインを流れる車体に直接取り付けて、ラインの自動化率を上げるといったことが行われはじめて⁽⁸⁾いる。この組み立て方法は自動化率を高くでき、リードタイムの短縮が可能になり、とくに作業員の負担を減らすのにも卓効のあることが分かっているが、最近新設された新鋭工場でもこの新しい方法に切り替えることを見送って、従来通り単品をそのまま組み付けて行くという方法で自動化している場合が多い。これはコストが上がり、部品点数が増えるなどに問題があるということがその主な理由とされているが、上に述べたように、余裕を持った大企業の常として、作業員の意向を確かめたり、加工の簡素化を徹底的に追求することなく強行されたという点に問題がある。しかし企業の大小にかかわらず、将来を見据えた自動化を進めるためには、実はこのモジュール化という設計変更はどうしても避けて通れない路なのである。

一般に、より高い精度や能率を求めて、設備を高額な自動化したものに変え、環境をそれ相応に整備しても、それを長期間にわたって持続しようとするれば、人間の負担を増やすだけでなく、人間に自分は設備の脇役か補助者であるといった無責任感を抱かせ易いし、設備との間

(5) 例えば、尾内宏彰「現場改善活動の要求から発展した福神電機の CIM」(『工場管理』第37巻1号、1991年1月) 35ページ。

(6) 日経メカニカル編集部「CIMで仕事はどう変わる 第1部コミュニケーションが変わる」(『日経メカニカル』、1991年4月1日) 39ページ。

(7) 例えば、通商産業省産業政策局『第21回我が国企業の海外事業活動動向調査』、1992年、23～27ページ。

(8) 篠原司「自動車の組み立て革命」(『日経メカニカル』、1992年9月7日) 16～32ページ。

に疎外感が生まれ、やがて自分たちは所詮余り者という感じを持たせることにもなりかねない。まして自分たちが発意したものでなく、その設備の操作が難しかったり、それでいて設備停止が頻発するということになれば、普通でも人間が介在するときには、ヒューマンエラーのつきまとうことが避けられないものだが、こうした場合には、このヒューマンエラーが益々促進されることになる。これではせっかく人間が持っている素晴らしい自律性や創造性といった能力が十分発揮されないままに終わることにもなりかねない。

2. 人間の能力を100%発揮させる

やる気になった場合の人間の能力というものは殆ど無限である。ECの共同プログラム「ESPRI (European Strategic Plan for the Research of Information Technology) 計画」⁽⁹⁾の実質的なリーダーといえるマイク・クーリの言葉に「人間が持っている情報過程の全潜在能力を使うとすれば、シナプスの接続が 10^{14} もある。しかしパターン認識能力を持ったもつとも完成されたロボット装置でさえ 10^8 の知能単位しか持っていない。なぜわれわれは、 10^8 の機械の知能を高め、 10^{14} の人間の知性を低めるように設計するのだろうか」⁽¹⁰⁾とあるように、人間の知恵を生かすことこそ大切である。

生産というものをトップダウン形で、コンピュータによってシステム化するCIMに対して、日本の通産省が1990年代のはじめから提唱している「現場レベルの知的な活動を生かし、知能化された機械と人間の融合を図る」としたトップダウンとボトムアップの融合形の「IMS (Intelligent Manufacturing System)」⁽¹¹⁾の発想の起点もここにある。先の国家的プロジェクトのESPRIはもちろん、さらに日本電子工業振興協会に設けられた「FFS (Future Factory-system) 調査委員会」が提唱している人間中心のCIMといわれる「HIM (Human Integrated Manufacturing)」⁽¹²⁾なども、全てこの見地に立ったもので、人間を生かす生産システムとして最近とくに注目されるようになっている。

一般に加工している製品に対して、その品質を常時維持するためにはどうしたらよいのだろうか。それは加工途中でいちいち製品を測定しない、つまり測定しなくてもよいようにすることである。そしてこのためには、設備に最も詳しい加工を担当する人間が起案して、加工がしやすい設計に変更したり、多種類の製品を加工する設備を、製品の種類や精度に応じていつでも対応できるように整備しておき、測定時の温度、湿度、気圧などの補正もできるようにし、品

(9) 例えば、古川勇二「IMS国際共同プログラムについて」(『日本機械学会誌』第94巻 868号, 1991年3月) 205ページ。

(10) マイク・クーリ著、里深文彦他訳『人間復興のテクノロジー』御茶ノ水書房, 1989年, 68ページ。

(11) IMS国際共同プログラム検討委員会『国際共同プログラムの推進 [Ver. 3]』(財)国際ロボット・エフ・エー技術センター, 1990年。

(12) FFS調査委員会『フォーチャ・ファクトリシステム (FFS) に関する調査研究報告書 第V報』(社)日本電子工業振興協会, 1989年。

これからの自動化のあり方

質情報も常時的確に掴めるようにしておいて、これが加工設備に確実にフィードバックできるようにしておくことである。そしてこれらの場合、加工設備そのものにも僅かな余裕を持たせれば、精度を必要レベルに保つことが比較的容易で、一定の範囲内の品質が確保され易くなる。

この加工した部品を使用して完成品を組み立てる場合にも、当事者であるメンバーの意見も聞きながら、これらの一定の範囲内の品質を確保した部品を組み合わせ、マッキング⁽¹³⁾することを考えたり、改めて設計段階から製品を見直して、精度の出しやすい設計に変えるなどして、最終製品に所要の品質を保証するのである。

例えば、補正やフィードバックがなされていても、内径は外径よりも精度が出しにくいのが普通であるが、メンバーはもう少しサイクルタイムを増やすか、工具を変えてみたら内径の精度はもっと上がるというかもしれない。その場合にはとにかく実際にその意見を入れて実行してみる。それでもうまくいかなければ、内外の部品を組み合わせ一つを組み立て品をつくるためにマッキングなどを考えてみる。しかしさらにうまい方法として設計変更を考えることが解決が早い場合がある。内外の部品が互いにしゅう動するのであればリニヤ軸受などを考えてみる。さらには別にクランクなどを設けてしゅう動自身を廃止することも考えられる。いずれにしてもリーダーとメンバーが知恵を絞って考えることが重要で、合意した項目は両者が手を携えて実行し、結果をチェックし、アクションを繰り返す。

具体的な例として、例えばころがり軸受の場合。本来ころがり軸受は使用時に適正なスキマが確保されればよいので、軸受の製造時にマッキングなどをして一定のスキマを確保したところで、軸や軸箱とのはめあいによって、実際の使用時にはそのスキマが違った値になる。そこで以前から、円筒ころ軸受などでは予め内径をテーパー状に加工しておいてテーパー軸にはめて側面をナットなどで締め込んだり、自動調心玉軸受などの場合には単純に内径にはめこんだアダプタ・スリーブを締め込んで、それぞれの軸受スキマを調整する場合がある⁽¹⁴⁾が、この方法は現在でも踏襲されて、ユーザーでその利便を感じている人も多いはずである。これはマッキングに始まり、設計変更に至った例の一つである。S I P社の測長器に使用されているテーパーころ軸受をS I P社では、ころでも一個一個手づくりで仕上げているが、これでも最終はマッキングで組み立てられていることを、筆者は先年S I Pを訪問して実見することができた。

エンジンのシリンダーとピストンとの間に介在するピストンリング（コンプレッションリング）の発明についても同様な経緯が見られる。ワットが蒸気機関を発明した当初はシリンダーの寸法に合わせて一品一品はめあいを確認しながらプランジャーを削り、組み立てが行われていた。それ程苦労しても蒸気の漏れで機関の効率が出にくいので、間にすきまを設けるように設計変更して、すきまに繊維類や皮革類を介在させるようになり、これから現在のピストンリ

(13) ころがり軸受のマッキングは、ころがり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体の3要素を規定のスキマになるように選択して組み立てることをいう。

(14) 例えば、ころがり軸受工学編集委員会『転がり軸受工学』養賢堂、昭和50年、259ページ。

ングに逢着したのである。⁽¹⁵⁾円筒研削機で外径の研削するのに、はめあう両者の間に適正なはめあいが確保できるように、はめあう相手の内直径をゲージにして定寸する機構を採用しているものもある。⁽¹⁶⁾いずれも苦勞している現場を見、現場の声も聴き、現物、現実の中から生まれた知恵である。

先年筆者がスウェーデンのSKF社を訪問した際、技師長のA. Palmgren氏から「ころがり軸受のスリーブというものは、すでに発明されていたスリーブを軸受に応用したものであるが、その軸受への採用に当っては精度面や材料面に多くの問題があつて、その解決のためには、現場で長い時間を要した」ということを聞かされたが、たしかに単に軸受を軸に固定するためだけではなく、そのすきまの調整にも使用するということになる、つくってみて実際に現場で長期間使用して、改善していくといった繰り返しが必要である。そこには当然現場の作業員もまじえた意見の交換が行われ、現場の声が聴かれなければならなかつたはずである。

なお、組み立て工程ではその自動化の可否を検討するために、例えばソニー社が開発したDAC (Design for Assembly Cost-effectiveness) ⁽¹⁷⁾などの「組立性評価法」があるが、これらはいくまでも目安であつて、自動化するときには、作業したり機械を操作する人間の意気込みや、従来方法の見直しの程度といったものにポイントを置いた評価を優先するのはいうまでもない。

そして、自動化した新設備を導入したり設備を自動化する場合には、まず自動化の目的を明らかにし、全員の納得を得て協力を取り付ける。その上でリーダーが作業しているメンバーたちと協力しながら、現在の人間の動作を繰り返し分析して、ムダ、ムラ、ムリを省くように、動作の単純化を図っていく。そしてメンバーとコミュニケーションして、現在の設備をどのように更新したらよいかを聞き出し、彼ら自身に新しい設備のイメージを描かせ、それを生産技術部門や関係部門の意向と突き合わせ、現在のメンバーで操作可能な工程系列と作業方法を決める。とくに一度に問題が多発して、設備の稼働がままならなくなつて、顧客に迷惑がかからないように自動化には部分的に手を着けていく。またこの新しい設備の導入の際には、リーダーは立案に協力したメンバーにその途中経過を、逐一報告することが必要である。

また実際に設備を稼働させる際には、メンバーに対して、ほんの僅かな「ゆとり」を持たせるようにして、ヒューマンエラーができるだけ発生しないようにする。ヒューマンエラーというものは人間がほんの僅かな「ゆとり」を持つことによって防ぎ得るということは実験的に確かめられている。⁽¹⁸⁾そして、彼が仕事を改善することによって得たメリットを周囲のメンバーにも実感させて、共に喜びが分かちあえるようにする。さらにメンバー一人ひとりに最も適した

(15) ピストンリング編集委員会『ピストンリング』日刊工業新聞社、昭和45年、1ページ。

(16) 例えば、セイコー精機(株)『CNC全自動円筒研削盤 SCG15カタログ』、2ページ。

(17) 例えば、山際康之「組立性評価法入門」(『応用機械工学』第33巻9号、1992年9月)138ページ。

(18) 飯山雄次「作業員も設計員も知っておきたい「ゆとり」の効用」(『クレーン』、1990年10月)19ページ。

これからの自動化のあり方

設備、または彼ら自身で改善を加えたり、改造した設備を使用させて、彼らに自身が「主役」になってモノをつくっているのだという充実感を自覚させ、腕を存分に振るえるような雰囲気をつくる。例えば、重い荷物を運ぶ場合に、自分が運びたいと思っているときや、運ばねばならないと自覚して運ぶときと、別に運びたくないのに命令されるなどでやむなく運ぶときの荷物の重さというものには大きな差があって、自分から特別運ぼうとは思っていない荷物には大変な重さを感じずるものである。

人間は自分が「主役」であると自覚するとき、はじめて彼らから、仕事に対する参画意識や当事者意識が引き出せ、創造性を発揮できるように誘導もでき、つくる製品にもより高い精度を確保できるようになるものである。

3. 具体的な自動化の手順

設備の自動化を考えるときには、日頃から現場、現物、現実を知ることが心がけるのは当然として、まず、

- ①構成部品の工程能力を調査して、精度の出しにくい部品とこれと組み合わせる部品の精度を勘案して、総合的に精度が出せるようにできないか考えることが第一で、
- ②それが困難であれば、設計変更をして精度が出しやすい設計に変えることも辞さないことが第二のポイントである。

そしてこれらを実施し、検証した上で、はじめて自動化に踏み切ることになる。この場合、何よりも大切なことは、リーダーと加工や組み立てを担当するメンバーが設計者と膝を付き合わせ、フェースツーフェースで意見交換をして、両者が納得づくで対策を考えるということである。

次に、

- ③自動化がどのような経緯で行われるのか、その目的とスケジュールを明示して、関係者に納得と協力を求める。

そして、現在、

- ④使用している機械について、補正装置は確実に機能しているか、フィードバック機構が期待通りに動いているかなどのハード面のチェックとともに、実際に機械を操作している人たちが、人間の動きと機械の動きに対して徹底的なメスを加えているかどうか、
 - ⑤リーダーが確固としたリーダーシップを持っていて、メンバーを常に躍動させているか、メンバー全員で設備のメンテナンスを確実に実施しているか、メンバーに当事者意識「主役」の意識が強く浸透していて、彼らがすべきことをしているかなど、いずれにしても現場の声がリーダーに100%聴こえるようになっているかをチェックして、
- これらが十分でなければ対策のアクションをとることが先決である。

日本から欧州に進出している自動車メーカーの幹部の話によると、1980年代後半に数100億

円を投資して、世界に先駆けて製品を設計変更して組み立ての自動化に走った欧州のカーメーカー各社で、⁽¹⁹⁾ せっかくモジュール化という革命ともいえる組み立ての自動化というものを実現しながら、現在予期した通りその恩恵を享受しているメーカーは、まだほとんどないと言ってよいようである。欠勤率が25%を上回ることもあるという欧州の作業員の質を考えると、作業員の教育よりも自動化を優先した結果がこの齟齬を来した理由の一つと考えられる。当時日本から渡欧してこの自動化された組み立て工場を見せられた調査団の人たちは、帰国後口を揃えて日本のメーカーの自動化の遅れとその危機を叫んだものだが、実際には今もって日本の主要なカーメーカーの生産性（組み立て工場における自動車一台当りの生産所要時間）や品質は、⁽²⁰⁾ いずれも欧州はもとより、世界のどのカーメーカーのそれよりも勝れている。近年ようやくこれらの点に気付いた欧米のメーカーで、QCサークル活動など従業員の活性化に力を入れはじめたメーカーも多くなっている。⁽²¹⁾

III. あとがき

これからは従業員の価値観も多様化して、個人個人が「ゆとり」を持って仕事をするのが当然と考えられている時代である。新しい自動化された高能率無人化をうたった測定機器も、加工設備も市場に溢れている。しかしトップダウンで自動化設備を導入すればそれによしとするのではなく、人間が喜んで働くことができる雰囲気をつくるのが何よりも急務である。そしてこのためには人間の声や設備の声なき声を聴き、皆が膝を突き合わせて、製品の組み合わせ方や設計を変えるとともに、人間の仕事と設備の働きを見直して改善を加えなければならない。こういう雰囲気になったとき、はじめて自動化設備の新しい導入に関係者全員の魂が入ることになるのである。

(19) 篠原司「モジュールを採用した車構造 組み立て生産は欧米が先行」（『日経メカニカル』、1989年10月16日）48ページ。

(20) Daniel Roos 他『The Machine that changed the World』Rawson Associates, 1990年。なお、1992年に入って、主として円高などによる日本車の相対的なコストアップが引き金となって、米国車の巻き返しははじまって、日本の自動車業界を脅かしているといわれるようになってきた。しかし例えば1992年8月14日付けの『日本経済新聞』にみられる、フォード社の自動車部門の社長のトロットマン氏の発言などによれば、米国カーメーカーと日本の一流メーカーとの差はなお大きく、追い付くには時間がかかるといわれている。

(21) 例えば、『日本経済新聞』（夕刊）1992年9月9日、5ページ、『日刊工業新聞』1992年10月30日、15ページ、同紙1992年11月25日、5ページなど多数。近藤一仁「時短先進国ドイツと今後の国際競争力——日本への示唆——」（『トヨタマネージメント』1992年9月）17ページ。