生産ラインにおけるマン・マシンシステム*

古川 勇二**

Man Machine System in Manufacturing / Yuji FURUKAWA

Key words man machine system, manufacturing, interface, human model, CAD/CAM interface, CIM interface

1. 生産パラダイムの変遷と マン・マシンシステム

製造技術ないしは生産技術が著しく進展している昨今であるか、この起点は18世紀後半の産業革命における動力機械の発明によると考えられる。それまで人力や自然力で駆動していた各種の機械も、その後人造の蒸気機関を利用できるようになり、さらに19世紀末になると電気動力が使えるようになった。これら人造動力の発明によって、人と機械とのかかわりは大いに変化したと思われる。それまで人かモノを造ろうとする時には、人間自体が工具を持った機械になっていたと言ってもよい。人間を一個の作業原ととらえ、それらを集合させることによってピラミッドなどの構築を可能にした、いわゆる古代における“労働の集約”をパラダイムとした時代においては、モノを造ることの大半は人間に依っていた。したがってこの時代ではマン・マシンというよりは、むしろマン・ノールシステムと呼ぶのかふさわしいであろう。中世に至って人間は、その手動作、足動作などのモノを造る上での便利な機能の内、できる限り動力的な部分を機構に置き換えていった。手回しや足回しのはずみ車や、重力落下の利用などである。同時に回転と直線という単純な運動に分解し、これらも機構に置換していった。いわゆる“動作機能の分割と代替”のパラダイムの時代である¹⁾。この辺りか動力なしの機械の出現時期、その結果としてのマン・マシンシステムの起点ととらえて

もよい。作業者としての人の役割は、「動力の供給」と「運動などの調整」に二分されていたであろう。この時代には、まずモノを造ることか課題であったのだから、マン・マシンシステムの中で人の負担を軽減するなどの配慮はほとんとなされていなかったであろう。実は“動作機能の分割と代替”という生産パラダイムは、その後今日まで延々と続いているのだから、その間に前述した産業革命や電気革命かなされ、最早人間を動力原とする必要はなくなったのである。むしろ人間は目的の加工物を得るプロセスでの機械の操作、切込みの設定と調整、及び加工プロセスの監視という指令側にまわったとみてよい。したがって真の意味でのマン・マシン系は、19世紀初頭の産業革命末期に始まったととらえるのか正しく、そこでは機械と人間の間には操作、調整、監視の枠組みでのあり方が論じられてきた。この方向は今日、人間工学、安全工学、システム工学として人間を強調する学問体系として発展している。これらの過程から明白なように、中世以来我々人間は、モノを造る原理を知り、原理を機械に代替し、そしてモノを計測、監視しながら製造を続けてきた。この意味でのマン・マシンのコンセプトは、モノが主体であってモノの製造原理に合うように人間が整合してきたと言ってもよいであろう。

しかし現代は、文献1)にも述べたように生産技術のパラダイムは、人か創造、設計、思考、判断、決定する領域までもを分割・代替させる時代になりつつある。いわゆる“知的機能の分割と代替”のパラダイムの始まりであって、ここでのマシンは従来の動力化機械から知能化機械に変わりつつある。したがってマン・マシンのあり方も、人の動作と知能の双方の機能

* 原稿受付 平成元年1月18日

** 正会員 東京都立大学工学部（東京都世田谷区深沢2-1-1）

図1 人間中心の生産システムとマン・マシンの関係

を包含したシステムの最適化を図る視点に変わってきている。いまだ人間の脳の構造、思考の過程が不明確な今日にあっては、マン・マシンのコンセプトも、人が主体であって人の動作・思考原理に合うようにモノや機械を整合させるような転換が求められている。

2. 人間を中心とした生産システムの構成

このように今日までの生産システムやラインの構成は、モノの造り方の原理やモノの流れ、そして最近では情報の流れに人間を合わせるようにし、この視点からのマシン→マンインタフェースの開発と利用に専念しすぎたきらいが感じられる。機械がいかに知能化しようとも機械にできることは相当に限られており、特に創造とか独創の域ではほとんどゼロである。それゆえ最近では、人間を中心とした生産システムとか、人間との協調や整合を重視した生産システム造りが盛んになりつつある。図1に示すように、生産システムが人間を中心とした製造工場と、人間を中心とした経営・管理部門とから構成されているとすれば、製造工場における人と機器とのかわり方は狭義のマン・マシンであり、これを動作マン・マシン系と呼ぶことができる。他方、経営・管理部門を包含した広義のマン・マシンは、知的マン・マシン系として位置づけられる。

このかわりでの新しい視点は、従来のマシン→マンからマン→マシンインタフェースへの転換である。人間の動作機能ばかりでなく、心の動きや生理を反映して機械に接点を持たせるヒューマンインタフェースの開発こそが重要になってきている²⁾。

3. 人間のモデル

3.1 人間の動作を主対象にしたマン・マシンシステム

この問題は動作マン・マシン系が主であって、生産システムの範囲では作業者と工作機械やロボットとのかわりである。人間のセンシング機能には、視聴嗅味触の五感があり、製造工場での重要度では視→聴→触→嗅→味の順序であろう。ここで受けた信号を頭脳で思考、判断して手足に動作指令を行っている。

人間の動作の特徴を整理し、製造の主作業への適否を一覧にしたのが表1である。手腕の運動機能は極めて高く自由度も大きい、逆に負荷能力や繰返し能力は低い。従って動作マン・マシン系にあっては、表1に示した人間の長を活かし欠点を機器で補うことが必要で、現在多用されているものを表中に追記してある。これらからも明らかなように、動作マン・マシン系では、以下の視点が重要である。

表1 人間の動作機能と生産作業への適応

人間の動作機能	人間に類似の機械 人間の欠点を支援する機械										
	○	○	○	△	○	○	△	○	○		
手腕の動作を容易に変更できる	○	○	○	△	○	○	△	○	○		プロコン CNC
手腕の運動自由度が大きい	○	○	○	△	○	○	○	○	○		多関節ロボット
指手による動作調整が可能である		△	△	○	○	○	○	△	○		スカルロボット
小物の把持が不得手である	×	×	×	×	×	×	×	×	×		パーツフィーダ
繰返し動作に疲れやすい	×	×	×	×	△	△	△	△	△		自動取付け、加工機械、ロボット
応答時間は200ms程度である		△	△	△	△	△	○	△	△		高速実装機・パンチャ
	搬送	取付け	取りはずし	加工	挿入	結合	調整	洗浄	計測		
	段取 stn	加工 stn	組立 stn	検査 stn							

○：適している
△：普通
×：不適

- ・作業者に必要な物品と道具が作業時機に同期して配膳できていることを前提条件として、
- ・重い作業/細かい作業を製造機器で支援すること、
- ・思考/調整を要する作業を製造機器で支援すること、
- ・その結果、人のフレキシビリティを十分活用すること、さらに後の条件としては、
- ・作業者に不要になった物品と道具は、不要時機に自動回収できること。

上記の考え方は、今日的な生産の多様化時代において、生産ラインを徹底してロボット化すべきか、ないしは人のフレキシビリティを活用して生産の多様化に対処すべきかの判断上特に重要になってきている。

3.2 人の考え方とマン・マシンシステム

人間が加工や組立作業に携わっているとき、前記したように視聴嗅味触感覚を活かして現象を捕らえ、不完全を補おうと試みる。すなわち五感を介して外界のデータを捕らえ、知的に処理して所要の情報を整理し、知識として蓄える。この意識と記憶に基づいて思考、判断、決定、指令を行う(図2)。この思考プロセスに対応して人間を支援するような知能マン・マシン系の開発が重要である。すなわち人間が一心不乱にして意識できる情報量は高々100ビット/秒に過ぎない³⁾。したがって知能マン・マシンインタフェースの設計に当たっては、次の留意が求められる。

- ・インタフェースが人に与える情報量は、数十ビット/秒以下(会話程度)に抑え、人に十分な余裕を持たせる。
- ・このためにはデータを前処理して、人間の判断に必

要な情報にしておく(いたずらな計算、記号判断などを人間に課さない)。

- ・意識された総情報量が多い程、思考と判断に要する時間も一般には増すので、これを考慮した反応時間の設定が必要になる。ちなみに人の計算時間は1/20~1/50秒といわれている。

人間が意識した情報をもとにして思考するとき、いろいろな筋道を通っている。例えばM・ブラウン⁴⁾によれば図3に示すようである。もちろんこの図は一例であって、人間の考え方では要素分類したり体系化する筋道もあるだろう。いまこの図に対応して、複数個の部品を組立てる問題を模範すれば図3下部の例を得る。このように、対象の生産作業を行うのに人間が考える筋道を明確にして、人間が得意、不得意の部分に分類し、不得意部分を機械に補わせることが肝要である。例えば対象の組立作業を人手によるか、半自動か、ないしは全自動にすべきかの尺度の一つとしては、「組立性評価」が役に立つ。製品が簡便に組立つか否かは、経験的に部品数、組付け方向、重量、位置決め性、および調整箇所などに依存することが知られている。表2に示す組立性評価が100点に近いほど自動組立やロボット化に向いている。特に組立方向性や位置決め・調整箇所による減点が小さいほど自動化に適合している。このような事前評価をもとに人と機械の整合を図ることが望まれる。

3.3 人間の動作モデルとインタフェース

前掲の文献2)で田村は、人間の動作モデルとしてはRasmussenのモデルがよく引用されていると報告

図2 意識と動作

図3 人間の考え方の筋道と組立工程への応用

表2 組立性評価の一例

簡易組立性評価＝100－(A＋B＋C＋D＋E)					
式	A 構成最小ユニット(部品数)	B 組立方向性	C 完成品重量	D 本体位置決め性	E 調整箇所
配点	2…… 0	垂直1方向…… 0	～100 g…… 0	3方向に基準 … 0	ゼロ…… 0
	3…… 1	1方向…… 1	～500 g…… 2	2方向に基準 … 5	1か所…… 3
	4…… 2	2方向…… 5	～ 1 kg…… 5	1方向に基準 …10	2か所…… 6
	5…… 3	3方向…… 8	～ 5 kg……10	明確な基準なし ……15	3か所……10
	～10…… 5	4方向……11	～10 kg……15	正確な位置決め ……20	～5か所……15
	～20……10	5方向……14	～50 kg……20	困難 ……20	～10か所……20
	～30……15	6方向……17	～100 kg……25		11か所……30
	～40……20				
	～50……	斜め方向			
	～100……	1か所につき… 3			
目的	～200……				
	～300……				
	～400……				
	～500……				
	～1 000……				
	1 001～…				
	・部品点数少なく ・ユニット化する ・ねじ数を少なく	・垂直一方向化	・軽量化	・基準をつくる	・調整の廃止化

している（図4）。スキルベースの動作には五感の入力が信号として伝達され動作を引き起こし、同様にルールベースではサインが、知識ベースではシンボルが伝達に使われる。いま生産ラインにおける計測機器

図4 人の動作モデル (田村²¹による)

と人とのインタフェースを例にとれば、画面上に計測値が棒グラフで示され、同時にその許容限界を横線で示しておけば、作業者は極めて容易にスキルベースで許容と不可の動作ができる。しかし計測値が数値で表示されれば、それが許容値内にあるか否かのルールを用いなければならない。その結果、判断に時間を要したり間違いを犯す可能性すらある。知識ベースの領域になれば、作業者は概念や目的を達成するための手段や順序を計画しなければならない。したがってマン・マシン系においては、そのインタフェースをできるだけスキルベースに設計すれば、人間の間違いが発生し難くなる。逆に、人の独創性や創造性を引き出すためには、知識ベースにまで関与するインタフェースの設計が必要になる。

4. CAD/CAMにおけるマン・マシンシステム

CAD/CAMにおけるマン・マシンインタフェースの技術課題としては、図5に岩田がまとめたように⁵⁾、入力方法と機器、出力方法と機器、およびワークス

図5 CAD/CAMにおけるマン・マシンインタフェース (岩田⁵⁾による)

テーションが挙げられる。このようなCAD/CAMシステムでは、キーボードを打つとか画面を認識するなどの動作はスキルベースないしはルールベースでの対応でよい。しかしコンピュータに蓄えられたデータベースを十分に活用するには、人の設計概念やモデルの構築と同様の手続き、かつレベルをコンピュータ自体に持たせなければならない。すなわち人と機械であるCAD装置間で知識ベースの交流ができる必要がある。このため最近、ソリッドモデルやコ

ンピュータグラフィックスの高度化が話題になっている。岩田は、このインタフェースでは次の諸項目に留意すべきであると指摘している。

- ・設計者の考えを容易かつ迅速に入力できる。
- ・処理時間が短く、応答が早い。
- ・設計者の知識を補い手順の誤りを指摘できる。
- ・修正が容易。
- ・設計者の知見を加味できる。
- ・簡単にマスターできる。

要するにCAD利用者とCAD装置が一体感をもてるシステム作り、すなわちCAD内に蓄えられたモデル構造とその表示が利用者の知覚モデルに一致していること(例えばソリッドモデルなど)がポイントであろう。

このようなCADの進歩をインテリジェントCADと呼ぶことがある。すなわち現在多用されているCADは、形状に関する情報をもとに製図を支援する機能と、製品の性能を主に構造面から技術計算する機能とから成り立っているが、人間が対象を設計する場合には、単に作図や強度計算ばかりではなく、経験やノウハウ、感性や勘という定式化しかねるものも持ち込んでいる。この後者の人の機能を、人工知能(AI)という形でCADに付加できれば、経験不足の人たちでさえよりよい設計が可能になるかも知れない。このため、一方では設計熟練者のノウハウを知識として獲得・体系化し、いわゆる設計エキスパートシステムとして利用するとの試みがなされている。他方では、人間の設計プロセスそのものを構造的に分析してデータベース化し、知識工学等を用いてインテリジェントCADを実現しようとしている。いずれにせよインテリジェントCADが実用される場合には、インタフェー

スには次の機能を持たせる必要があろう。

- ・人の自然言語によって設計の意図を反映できる。
- ・人とCADが相互にコンサルテーションできる。
- ・人の知識レベルに応じた種々の解を提案できる。

5. CIM とマン・マシンシステム

今日、最も進歩している生産システム概念はCIM (Computer Integrated Manufacturing) であろう。CIMは生産情報をコンピュータを用いて統括的に制御・管理することによって、生産活動の最適化を意図したシステムであって、前述したCAD/CAM機能に、経営管理、経営戦略、方針の意志決定支援システムまでを含めている。したがってCIMにおけるマン・マシンインタフェースは、工場の自動化のみならず工場に付随するオフィスの自動化にも関連する。CIMは現在開発中、研究中のものが多く、ようやく実例がみられるようになってきた。もともとは米国における工場自動化の概念であったが、ヨーロッパでも盛んにとり上げられ、特にESPRIT (European Strategic Programme for Research & Development in Information Technologies) 計画の中心的課題になっている。この担当者の一人であるSpur教授は、CIMを構築するには図6に示すような要素とインタフェースの標準化が必要であると主張している⁶⁾。生産ラインにおけるマン・マシンインタフェースは、元来は加工機械と作業者間の物理的な接点であったが、それがロボットデータ、工具データやAPTなどのインタフェースに拡張され、さらにはグラフィックスや通信にまで及んできている。CIMのごとき大規模なシステム統合にあっても、はじめに人ありきである。その意味では3節で述べた人間からみたインタフェースのあり方と、図6のCIMインタフェース項目を突き合わせてマン・マシンインタフェースを開発しなければならない。

6. む す び

生産ラインにおけるマン・マシンシステムという標題のもとでは、現在の事例を紹介して解説を試みるべ

TOP	: Technical and Office Protocol	(ISO)
MAP	: Manufacturing Automation Protocol	(ISO)
PHIGS	: Programmer Hierarchical Graphics System	(ISO)
GKS-3-D	: Graphical Kernel System-3-D	(ISO)
CGI	: Computer Graphics Interface	(ISO)
CGM	: Computer Graphics Metafile	(ISO)
IGES	: Initial Graphics Exchange Specification	(ANSI)
SET	: Standard d'Exchange et de Transfert	(AFNOR)
VDAFS	: VDA surface interface	(DIN)
VDAPS	: VDA program interface	(DIN)
CAD-NT	: CAD-Normteiledatei/DIN 4001	(DIN)
PROFI	: PROCESS field bus	(DIN)
PDES	: Product Data Exchange Specification	(NBS)
STEP	: Standard for the Exchange of Product Model Data	(ISO)
CLDATA	: Cutter Location Data	(ISO)
IRDATA	: Industrial Robot Data	(ISO)
APT	: Automatically Programmed Tools	(ISO)

図6 現在制定済み又は計画中のCIMインタフェース規格 (Spur⁶⁾による)

きかとも考えたが、事例は多分に各企業に固有なものであって、ややもすると商業技術誌的な羅列に終わってしまうと案じられた。それゆえ、日ごろ筆者が疑問に思っている点を中心に、マン・マシン系の考え方を紹介した。読者のご叱責を賜りたい。

文 献

- 1) 古川勇二：パラダイム変化とこれからの生産システム，日本機械学会誌，**91**，836 (1988) 9.
- 2) 田村 博：ヒューマン・インタフェースの最近の動向，計測と制御，**25**，3 (1986) 253.
- 3) 品川嘉也：脳と創造性の謎，誠幸堂 (1988) 114.
- 4) M. Brown: Left Handed; Right Handed, David & Charles Ltd., (1979), 邦訳，右と左の脳生理学，東京図書 (1987) 120.
- 5) 岩田一明：CAD/CAMシステムの最近の動向と将来，日本機械学会関西支部121回講習会資料 (1984.6) 1.
- 6) G. Spur: 精密工学会生産加工技術ワークショップ (1988.8) 44.