

特集 わらかい機械
展望

JSPE-57-12
91-12-2689

メカトロニクスの技術観*

森 徹郎**

Philosophy of Mechatronics / Tetsuro MORI

Key words actuator, concept of motion control, mechatronics, FMS, unmanned factory, direct input output system, mechatronics, vision of mechatronics and mechatronics

1. 執筆の動機

今回、会誌編集委員会から「メカトロニクスの功罪」について、かつての用語登録者の立場で一文を草せよとのご指示をいただいた。メカトロニクスの商標は筆者が関わり、安川電機製作所が昭和44年に出願し、昭和46年に公告になった。安川電機の希望により、今は自由に使用出来る用語である。本来、メカトロニクスは、新製品開発のコンセプトとして、また工場運営の理念として誕生した。公告の時点から20年を経過し、その間、筆者は転々として馬齢を重ねたのみで、それを展望し、その功罪を論評する能力は持たない。

しかし、発想当時の安川電機の風土なり、その後の経過、現在の心境を略述して、市井の一技術屋の技術観として、諸賢のご参考の一端にもと勇を鼓して筆をとることにした。

2. メカトロニクスへの過程

筆者は混沌の昭和23年、安川電機に入社し、溶接工場に配属された。阪大の恩師岡田先生の「万物は流転する」を指針として、溶接の労働環境改善と職人作業追放を挑戦目標とした。以後、安川電機独自の技術観に啓蒙され、トラノカー²⁾ やリリー³⁾ の著書に光明を見いだし、生産性本部視察団で訪米し、日本技術の後進性を実感するこ

とで、生産技術を通じて日本の復興に挺身すべしとの信念が生まれた。

その後、職場を転じつつ昭和40年には希望して、小型インダクションモータ工場に転属された。久しぶりの小型モータとの対面であった。昭和32年に新製品の鋼板製小型モータ⁴⁾の開発を担当した。会社のポテンシャル向上のためにも、無資源国の省資源のためにも、石油への転換に伴う地元北九州の地盤沈下防止のためにも、エンジンとして情熱を燃やしたのが、この懐かしい小型モータであった。

昭和41年には工場長に任命された。当時は不況期で、特に小型モータは苦戦中であった。かつて、共に鋼板製モータの開発に体当たりした同僚も「所詮、小型モータは小型モータだ」と肩を落とし、従業員は家族を含め肩身の狭い思いをしていた。能力の有無を云々する余裕はなかった。この惨めさを脱し、全員にロマンを持たせるのが工場長の責務だと自覚した。

具体的にどう方向付けるか。そこで、モータとは何かを改めて考えてみた。モータの出現は、工場立地の自由度を一層広げた。欧米の先人たちは、当初の1プラント1モータから1マシン1モータ、1ユニット1モータ、1ユニットマルチドライブと機械の効率化と分権化を高めつつ、小型化と数量増加を進めた。

そして普及とともに急速に、その神秘性を失って行く。先進の欧米でも機械メーカーに從属的で、

* 原稿受付 平成3年9月25日

** 正会員 西部電機(株)(福岡県粕屋郡古賀町久保868-1)

大手モーターメーカ以外は淘汰される傾向にある。モーター部門に在籍すると、モーターが脇役とは思いたくないが、現実には厳しい。先進国がこれなら日本でも同一傾向をたどる可能性が高い。

安川電機の歴史を調べても、初期の電化普及時代には、それぞれ最適システムを機械メーカに提言し、客先評価を受けた。電動応用の知識が普及し、量の増大とともに分業分散化が進み、小型インダクションのモーター屋は、単に客先から仕様書を受けて製作納入する傾向にあった。脇役に終始するのみでは欧米並みに淘汰の運命にあるのか。これは何とも嘆かわしい。

さりとて、顧客に対し提案能力を持つと言っても、機械の本質や改善点は、製作し使用しないと理解は困難だ。リーダーシップを取るなら機械メーカになるしかない。具体論もないまま上申を試みた。答は「ノウ」であり、モーターの販売も出来ない者が機械とは何事か。加えてモーター販売をすら阻害するとお叱りを受けた。当然である。さりとて引き下がる訳にはいかない。後には、従業員とその家族がいる。

3. モシントロール概念の発想

行き詰まったら現場、現物だ。そこで使用現場で機械を眺めると、機械本体とモーターや制御器を個別に設置し接続する方式で、余計な部材、手間、場所を必要としている。金属接合もリベットから溶接へ、接合なしのプレスへと進化している。日本文化も、外国文化の摂取順化の成果であった。機械も同様の経過をたどるべきではないのか。

機械、駆動、制御の各部分を内部的により密接に融合した機と電が一体的な機械は出来ないか。これならコンパクトで、省資源にもなり、機械、モーター、制御器と分離のしようがない。これなら社内でも異議はなかりうし、顧客にも愛用いただけるはずだ。従業員も新しく目標が出来、視野も広がり志気の高揚にも役立つ。一挙兩得だと考えた。

このインテグレートッドマシンの開発概念を表示すると以下のごとくである。

MOTOR+MACHINE—MO-CHINE
MOTOR+MACHINE+CONTROL
—MO-CHIN-TROL

つまり、モーターの「モ」とマシンの「シン」で「モシン」。これにコントロールの「トロール」を加えて「モシントロール」である。従来の機電一体と本質的に異なるのは、機と電の「内部的な密接な結合」の一体化にある。

今後は、この「モシントロール」を開発のコンセプトとして、モーター特性にもフィードバックし、順次、この新製品比率も増し利益を出して、胸の張れる工場にしようではないかと全従業員を集めて宣言した。

当時は不況克服のため、内職や工場全員セールスマン運動も展開していた。工場でも「この非常時に、雲をつかむような話より、現実論で手を打て」と極めて不評であった。つまり、長期の政策論など通用しない状況にあった。だからこそ断固、しかも短期間に「論より証拠」の実物で示すべしと勇気が湧いた。

4. モシントロール開発の推進

さてどうするか。当時、顧客のニーズに対応する自主性の希薄化を嘆いた。しかし「汝の脚を見よ」で工場こそ顧客であり市場である。自社の合理化にこそ自社技術を積極活用すべきである。これが自主的仕様の決定であり、ここは生産技術の出番である。

現に、制御やシステム部門は顧客ニーズに対応し、要所を提案してプロセスオートメーションで貢献の度を増していた。それに反し、工場のメカニカルオートメーションの進行は紺屋の白袴然としていかにも鈍い。個々の機械の能率は向上したが、そのつなぎは繰返し単純作業で、全体の効率には上がらない。第一、量産に起因する単純作業の繰返しは、かつての溶接同様、疲労のため人間の「考える能力」の発揮を阻害する。量質のアップヘーベンが技術の基本であり、この単純繰返し作業は断固、駆逐すべき義務がある。

メカニカルオートメーションの難しさは何か。プロセスオートメーションの流体は、いかなる容器にも従い圧力差で移動する。機械部品は、情報量が多く、それぞれに多様な形状、色彩、方向、重量を主張してやまない。しかし、いかに情報量が多くても、合目的に選択し、コンピュータやシーケンサで一気通貫で自動運搬、自動着脱、自動計測等の工程管理を自動化することは可能では

ないか。

制御屋、システム屋を含めて論議を繰り返したが、段取り変更、機器への着脱、ソフト対応、コスト面で当時としては夢に過ぎなかった。改めて人間のセンサ、アクチュエータ、情報処理等の能力の素晴らしさを見直した。

感心しても一歩も前進しない。そこで、まずは大きな障害である機器への着脱のための「つかみ」に着目した。既に、つかみ機器としては油気圧が利用されていた。電動にすれば配線のみでこと足りるし、清潔、静粛に作動し、単純繰返し作業の駆逐も可能である。この「電動つかみ機器」をモシントロールの対称とした。

開発は急を要する。よって慣例にとらわれず工場内で最適人選をした。開発要員は機械の知識や現場の実状、保守の知識が必要である。そこで現場作業員、生産技術の設備設計者、保全要員から選抜し、モータ試作要員を加えてPTを編成し、目的を徹底した。

これは、昭和32年の鋼板製小型モータの開発の経験に基づく。当時、モータ外枠の生産は鋳物とその専用切削加工が常識であった。これを薄鋼板とプレスを主体の鋼板製に変更し、小型軽量化をねらった新型モータの開発である。「生産技術からも新製品を」は筆者の念願であり、立候補してリーダーに任命され、設計までも移管された。

塑性加工の素人集団に、トップ層の配慮で塑性加工の権威東大の福井、五弓の両先生、理研の吉田先生から直接指導を受け得たことは感謝の限りであった。メンバーはモータ設計にも素人で、頭数から機械、電気、材料の専門別を主張する暇はない。「悩む暇があったらやってみろ。転んだら、ただで起きるな。何事もなぜ、どうしてで因果関係をつかめ」の必死の試行錯誤で極めて短期間にシリーズ化を完了した。当初は迷惑をかけ、組織無視の特攻隊と不評を買ったが、後に積極的支援を受け、従来の開発期間の常識をかえた。

回顧すると、この集団は後に言う社内ベンチャーそのものであり、立候補の容認や設計移管は大変な英断だったと感謝した。こうした体験からモシントロールの開発PTを編成した。

具体的には、ねじ、リンク機構、リミットスイッチ等をモータに内蔵し、つかみ機器については、指、腕、手と大きさによってMOTO-FINGER、

MOTO-ARM、MOTO-HANDと製品化し、更にキリ、タップ作業の加工機器としてMOTO-DRILL、MOTO-TAPを製品化した。

更に、打抜き方法に工夫を重ね、ロータが回転とブレーキ機能を兼ねた巻きコアのアキシシャルギャップモータを開発し、2スピードの親子ブレーキモータをも製品化した。

5. メカトロニクスの命名

昭和43年には、これらモシントロール群⁵⁾をずらりと並べ、応用品として自社エレクトロニクス装置や各種モシントロールを採用したロボット付きの全電動の自動旋盤を加えて、工場全員に実演展示した。そして各工程ラインへの採用と顧客の立場での評価を要望した。会社幹部にもこの工場個展の見学を願い、開発担当全員は晴の舞台上でPRにこれ勉めた。理想には程遠い代物だが、当時としては画期的な製品として予想外の評判であった。

何よりの成果は、成功は七転び八起きの結果にあること、油断大敵のことの体得と、相互刺激でエンジニアが多能化すること、日陰者扱いの設備保全担当者にも積極精神が芽生えたことであった。

この工場個展で、当時の営業トップから「製品の開発方針は面白い。これで進めるがいい。しかし、モシントロールは頂けない。語呂は悪いし、田舎臭い。スマートなネーミングを考えろ」との評価を頂いた。「重要なのは開発の理念で、名前など問題ではありません」と反論した。しかし、筆者自身、鋼板製小型モータで思案の末に、Hラインモータと命名した経験から、もっともな忠告だと反省し、考え直すことにした。

当時は制御もエレクトリカルからエレクトロニクスへの変革期で、モシントロール自体もサーボ化の必要性を感じていた。そこで先行の機械語としてメカニズムを選定し、これをドッキングして「メカトロニクス」と変更することにした。

MECHANISM+ELECTRONICS

—MECHA-TRONICS

である。

営業トップに報告すると「ほう、改心したかね。大分あか抜けした。商標登録でもしておけ」との指示を受けた。今度は素直に感謝、申請をし

た。昭和44年8月のことであった。

安川電機では昭和30年代初期から、パワー用モータから情報用モータへの潮流を洞察し、サーボモータの開発を進めていた。その一環として、指のごとくデリケートな動きをする“FINGER CONTROL”の概念のあることも知った。昭和37年、筆者は溶接屋故に、このDCサーボモータを応用したアナコン制御による、パイプ斜交接ぎ手の自動ガス切断機試作の実行リーダーに任命され完成させた。これぞ機電一体と深く心に残り、先見性に深く敬意を表していた。

しかし、小型モータの工場長としては、アクチュエータの高級偏重だとの不満を抱いた。岩波文庫ではないが「真理は万人によって求められることを自ら欲する」ならアクチュエータも然りである。安川の電動アクチュエータとして、高級から汎用までをシリーズ化すれば鬼に金棒だ。それにしても「これぞ汎用アクチュエータ」と実物提案でなければ迫力がない。ここにもモシントロール実現への執念があった。

工場個展後、勇を鼓して技術トップに、この考えを上申した。「それはいい」と即答であった。すぐに技術部スタッフが動き、頂点に高級アクチュエータを、底辺に汎用アクチュエータを配したモータアクチュエータのピラミッドが見事に体系化され、センサもこれに準じた。この鮮やかさには脱帽した。

同時期、情報化やオートメーションの時代に対応する安川電機初のPR映画の製作がトップ層で企画され、東京工大の森政弘先生⁶⁾の指導を受けた。お陰で森先生の講演を聞く機会を持った。系統だった自動化の精神や方法論を聞いて、井の中の蛙的衝撃を受け感動した。以後、筆者の技術開発で大きなウェイトを占める「非連続の連続化」、単純化つまり「チャチ化」「ワンタッチ化」の方法論が明確化した。ここでも直接間接の「人との出会い」の重要性を痛感した。

引き続き昭和45年、安川電機としては初の個展「無人化・省力展」を東京の科学技術館で開催し、自動化のためのモータアクチュエータのピラミッド、センサのピラミッド、目のあるロボット、自動化旋盤等の展示をし、これに加えてシーケンサやミニコンで生産管理をするUNMANNED FACTORY⁷⁾ (FMS) 構想を提起

した。協力指令が当工場にもあり、多くの説明員を派遣した。予想外の好評で、伝え聞くことで工場全員、メカトロニクスへの意欲が高揚した。

加えて大型景気の継続で、工場は増産につぐ増産と活気にあふれた。急速な立上りに鋼板製の威力を十分に発揮した。勢いに乗じて工場の組織もメカトロニクス化を図り、メカトロの混成組織を編成した。小さなシステムの受注も進み、新製品比率も高まった。

油断大敵で、生産台数の急増と未熟なシステムでクレームが増加し、不信回復のため全員一丸となって品質管理に徹した。かくして「工場よアンビションを持とう」との就任時の願望は、全員の協力でおおむね果たした。

6. メカトロニクスの追求と展開

その後、自動化機器の事業部、総合企画部と転々とした。ここで脱重電を指向して、メカトロニクスの概念に沿ったFDドライブやプリンタの製造販売をするYEデータの設立に関係し、直行軸ロボットに限界を感じ、アーク溶接用モータマンロボットの開発に関与した。オイルショック後の不況のため、ロボット開発担当者の心身の苦勞は大変なものであった。加えて、不況乗切りのため、苦楽をともにした多くの従業員が退職し、これが心に重く残った。

筆者も53年には安川電機を退職、子会社YEデータに勤務し、コンピュータ業界のユニークな方々に接し得たことは大変な収穫であった。56年に現在の西部電機に勤務することになった。小さな会社に加えて、販売品目が小型NC旋盤、放電加工機械、マテハンシステム、パルプアクチュエータと多岐にわたっているが、幸いにも、メカトロニクスの範ちゅうに属する製品が多い。ここで、4部門の総合力による強化と工場のロボット化指向で合理化に着手した。工場の平面、空間の利用率、機械実働率、時間稼働率を調査し、いずれも平均30%であったことに仰天した。

$$0.3 \times 0.3 \times 0.3 \times 0.3 = 0.0081$$

と3回の掛算だけでこの数字である。これに年間の出勤率を掛けると身が細る思いで、FMSなどを論ずる以前に問題があるとの結論であった。

57年には、素材、部品、ジグ、仕掛品等ストック用のラックの両側に加工機械や組立ライン

を配置し、天井クレーンや運搬車両を廃し、モノレール・スタッククレーンでワークを機械やコンベアに直接授受する独自の「DIO システム」⁹⁾ (DIRECT INPUT OUTPUT) を各部門の混成 PT で開発、分権的にパソコンで管理した。製造業の原点である鍛冶屋と現代のリード役である LSI に範を取り、工場のまん中に自動倉庫を設置することで、従来の生産管理システムの範ちゅうからの逸脱を図った。これで夜間、休日の無人運転の可能性も生じ、人件費高騰にも対応し得る。

ここで、メカトロニクスと人間の知恵でオートメーションを実現しようとの思いで「メカトロメーション」¹⁰⁾ の概念を打ち出し、昭和 60 年商標登録した。これに加えて、軽薄短小化、省エネに必須の超精密加工で社会に貢献しようとの心意気で「超精密とメカトロメーション」を技術ターゲットとして業務を進め、現在に至っている。

7. メカトロニクスからの夢

日本の気候風土はメカトロニクスに最適である。各種分野で急速な進展をみることは喜びにたえない。順序として、自然や欧米から摂取した技術の恩恵を、メカトロニクスとして世界に還元しつつある。

筆者は、教えられ育まれて、メカトロニクスを追求し、生産システムへと展開し、暗闇の無人工場と人海作戦の開発工場の共存を夢みた。今、メカトロメーションを探索して、市場に対応する生産カプセルと鍛冶屋の開発ビレッジとの共生を理想に描いている。夢は矛盾への挑戦だ。実現の確

率は少なく、自らは牛歩に及ばない。それでも沸き立つのがエンジニアの夢だ。

経験的に、方法の伝承より哲学の伝承、継続の困難性を痛感している。メカトロニクスもメカトロメーションも技術哲学であり、究極は人間能力の発揮を謙虚に希求する。本末転倒して、人間が自然随順のロマンを喪失しないよう自戒、努力している。

以上、我田引水的方法論や技術論だが、各方面のご批判やご理解ご援助が促進への刺激剤となった。感謝にたえないし、今後とも願う次第である。

参 考 文 献

- 1) 安川電機製作所：メカトロニクス商標出願公告，昭 46-32711.
- 2) P. F. ドラッカー（野田一夫監訳）：現代の経営，上巻，統編，自由国民社，(1955).
- 3) S. リリー（鎮目恭夫訳）：オートメーションと社会の進歩，みすず書房，(1958).
- 4) 西村孝太郎，玉置 忠，森 徹郎：液圧成形による汎用小型電動機の生産，機械技術，(1957.12).
- 5) 森 徹郎：物をつかんで運ぶ機械を考えよう，オーム，5, 6, 7, 8 (1970).
- 6) 森 政弘：制御と情報，日本放送出版協会，(1968).
- 7) 森 徹郎：UNMANNED FACTORY への展開，安川電機，4 (1970).
- 8) 森 徹郎：工業用ロボットの進出と技術革新の可能性，工場管理，17, 3 (1971).
- 9) 森 徹郎，渡辺 昭，近藤久二：夜間無人運転に重点をおいた西部電機 DIO システム，工場管理，28, 14 (1982).
- 10) 西部電機：メカトロメーション商標出願公告，昭 62-5243.