

第1編

産業オートメーション史

日 本の産業オートメーション（IA）の歴史を俯瞰すると、「1940年代までの熟練工の匠の技（KKD：経験、勘、度胸）主体の操業時代」から、「20世紀後半以降、制御システム主体の操業時代、すなわちIAの時代」へ劇的に変貌した。

特に、戦後の壊滅的な荒廃の中から、僅か半世紀弱で工業国として世界の先進国入りを果たせたことは、後世の世界史の中にあっても快挙として特筆されるに違いない。

計測の歴史は、ナイル河の水量を水位で計測した紀元前にまで遡るようである。

一方、制御の歴史は、産業革命と軌を同じにした蒸気機関の调速機が実用化された18世紀以降であり、人類史の中では比較的新しい分野に属する。

プロセス制御の歴史を俯瞰すると、1920年代の米国における石油精製プラントでの自動制御の採用が、計装の歴史の原点と言われているが、20世紀後半の僅か数十年の間に、初期のころはプロセス産業の現場にある液面・流量等の単一の制御目的から、現代のプロセス・システム全体の制御へ、さらには需要に応じた企業全体のオンデマンド最適制御へと進化する中で、特筆すべき数々の技術革新があった。

また、プロセス制御自体に注目すると、アナログ計装（空気式から電気式へ）からデジタル計装へ、更には制御系と情報系とのリンク等、企業の中核機能と製造設備の現場までが直結した巨大なシステムへと変貌し、かつ制御の質の面でも単純PID制御から、スタートアップ／シャットダウン等の非定常運転時の制御をも包括する多変数・多出力のロバスト制御へと、多岐にわたって進化し、かつ高度化している。

他方、半世紀以前に確立されたPID制御に代表される古典的なフィードバック制御や空気式自動調節弁等は、プロセス制御の基幹技術として今後も継続して使用されるであろう。なお、調節弁の原型にあたるバルブ・コックの歴史は、紀元前4000年のエーゲ文化時代の遺跡から発見された木製コックが最初とされている。

今や航空・宇宙事業分野をはじめ、多くの産業分野での基幹技術の理論として多面的に使用されている「制御理論の発展の歴史」に注目すると、古典制御理論から現代制御理論に至るまで欧米人の科学者や技術者の貢献が大きい。しかし、歴史には名を残さないまでも地道な努力を積み重ねている数多くの計装エンジニアが今日の繁栄に貢献していることはまぎれもない事実である。

以下に、IAの歴史とIA分野における当社のあゆみを概観する。

1940年代まで（～1949年）

おもな出来事

- ・ラジオ放送開始（1925年）
- ・東京大学工学部に計測工学科設置（1945年）
- ・ISA (Instrument Society of America) 誕生（1945年）
- ・石炭、鉄鋼に「傾斜生産方式」導入（1946年）
- ・日本国憲法施行（1947年）
- ・点接触型トランジスタ発明（1948年）
- ・工業標準化法施行（日本工業規格：JIS）（1949年）
- ・ドッジ・ライン勧告（1949年）

～1949

NHK国民歌謡の放送風景
(1942年)

1. 時代背景とニーズ

戦前のわが国は、主に米国製の工業計器を細々と輸入していた。特定機器では輸入した工業計器を模倣して僅かに国産化していた。ところが、国際緊張の高まりとともに米国の輸出統制は厳しさを加え、1940（昭和15）年1月の日米通商航海条約の失効により日本向けの輸出はほとんど途絶えた。戦時下、製油所用工業計器の需要は増加したが、部品や材料が入手難となり、製造工場も軍需工場になった。

1945年8月、第二次世界大戦が終結し、日本は廃墟の中から欧米、特に米国の支援を受けて、復興へ向けて立ち上がった。1946～1947年に食糧増産のための肥料生産や石炭・鉄鋼の「傾斜生産方式」等の国策が採られた。当時は、熟練工の「経験・勘・度胸」といった匠の技に頼ったプラント操業が主流であり、工業計器へのニーズは特定分野を除き、まだ顕在化していなかった。しかし、鉄鋼等の傾斜生産方式は工業計器の新しい需要の萌芽になった。当時の工業計器は、プラントの温度や液面等の制御や監視等の単独目的に用いられていた。

当時、国内にはエンジニアリングの概念はなく、また、メンテナンスに関しても体系的な概念は確立されてなく、「故障した機器を修理する」故障保全の時代であった。

2. 業界の動向

[世界]

米国では、フォックスボロ社（Foxboro）がPI調節計器であるスタビローグを1931（昭和6）年に、初の空気差動式圧力トランスミッターd/pセルを1948年に発表した。一方、テラー・インストルメンツ社（Taylor Instruments）はダブル・レス

ポンスというPI調節計を1933年に販売開始した。さらにその直後の1934年に、ブラウン社（Brown）はAir-O-Line（エア・オ・ライン）空気式調節計を発表した。ブラウン社は1949年にミネアポリス・ハネウェル・レギュレーター社（Minneapolis-Honeywell Regulator Co.）に吸収合併され、ブラウン・インストルメント事業部になったが、Air-O-Line空気式調節計やクラス15電子管計器で世界をリードした。

[国内]

国産技術は皆無に近く、輸入計器、または輸入計器のノックダウンが主体であった。工業計器専業各社の創業年度は当社が1906（明治39）年、(株)横河電機製作所が1915（大正4）年、(株)北辰電機製作所が1918（大正7）年であり、統制によって輸入環境が厳しさを加えてきた1937年ごろには、(株)横河電機製作所、(株)北辰電機製作所も既にパイロメータ（光高温計）、CO₂メータ等で競合関係にあった。富士電機製造(株)も熱管理用計器を独シエメンズ社から輸入販売していたが、1938年から国産化に乗り出した。

3. この時代の中核技術

[理論]

PID制御の着想はマイノースキーの論文（1922年）にあり、PID調節器の原型はカレンダー達の論文（1936年）に登場した。有名なジグラーとニコルスは「PID調整法として限界感度法」を、1942（昭和17）年のASME（米国機械学会）論文集に発表した。ノーバート・ウイナーは『サイバネテックス』（1948年）を書いたが、この論旨の中核は制御であった。

日本で本格的に制御理論の研究が開始されたのは戦後になってからであった。

[コンピュータ]

国内にはコンピュータ研究の痕跡はまだ見当たらないが、コンピュータの世界史では黎明期であった。現在のコンピュータはノイマン型コンピュータと呼称され、「電子計算機の理論設計序説」（1945年）の中で、「電子式、2進数、デジタル、プログラム内蔵方式、逐次処理」の基本概念が示された。コンピュータ第1号として歴史上で名高い「ENIAC（Electric Numerical Integrator and Automatic Calculator）」（1946年）は米国で弾道計算用に開発され、その概要は、真空管18,800本、リレー1,500個、10進演算方式、乗算2.8msecであった。

[工業計器]

欧米では、各種の工業計器が実用化されていた。しかし、国

●自動制御のはじまり

- ◆自動制御のはじまりは、ジェームス・ワットの遠心调速機（1788年）と言われている。
- ◆蒸気機関（1775年）の遠心调速機を発明したワットは「産業革命の父」と呼ばれた。
※他説には、自動制御のはじまりはA.Meikleの「fantail gear」による風車の方向制御装置（1750年）がある。
- ◆マクスウエルがロンドン王立学会の雑誌に発表した論文（1868年）が制御理論の嚆矢とされている。
- ◆ワットの调速機はハンチング（波打現象）が発生した。このハンチング除去が課題であった。
- ◆マクスウエルは调速機のハンチングに興味を抱き、调速機がハンチングを起こさないための振り子の質量やロッドの長さが満たすべき条件を理論的に示した結果をロンドン王立学会の雑誌に発表した（1868年）。この論文の特記事項は①多様な调速機に普遍的に適用可能なモデル化を行った（歴史に残る産業界での最初のモデリング例）。②安定性の概念を定式化し、そのための条件を部分的ではあるが求めた。
- ◆PID調節器の原型はカレンダー（Callender）達の論文に登場（1936年）。
- ◆有名なジグラーとニコルス（Ziegler and Nichols）は「PID調整法として限界感度法」をASME（米国機械学会）論文集に発表（1942年）。
- ◆ノーバート・ウイナーは『サイバネテックス（舵手と言うギリシャ語からの造語）』を書き（1948年）、「動物と機械の制御と通信」に関わる新しい学問を提唱した。
- ◆制御に「最適化」を初めて導入したのはポントリャーギン（Pontryagin：旧ソ連の数学者）とそのグループであり、「最大原理」と呼ばれる最適制御の体系的な理論を発表（1956年）。
- ◆情報理論（Information theory）の原点は、クロード・シャノン（情報理論の父）がBell System Technical Journalに投稿した論文「通信の数学的理論」（1948年）とされている。

●PID制御

P (Proportional) = 比例：偏差（設定値とプロセス値との差）に比例して出力が変化（入出力の変化割合を示し、偏差が一定である限り出力も一定値）。

I (Integral) = 積分：修正動作とも呼称し、偏差がある限り出力を時間とともに修正方向へ変化。

D (Derivative) = 微分：偏差が発生した時のみ、偏差の大きさに比例して出力が一時的に変化し、時間遅れを補正。

内には工業計器の独自技術はなく、輸入と模倣の時代であり、わずかに輸入した工業計器の類似品を国産化していた。

工業計測の4大変数である「圧力、レベル、流量、温度」の工業計器の基本構造では、圧力センサのブルドン管やダイヤフラム、レベルセンサのフロートやディスプレイッサ、流量センサのオリフィスやロータメータ、温度センサの熱電対や测温抵抗体等、この時代までに開発された基礎技術の原型が現場型指示（調節）計をはじめ、現代でも活用されている事例が多く、計測の基本技術は20世紀前半までには完成していた。

[操作端]

紀元前からのバルブ・コックの歴史の中で、最大の技術革新は自動調節弁の誕生であった。従来の流れをオンオフする機能から、流れを自在に調節する機能に使用目的が拡大された。現在の空気圧駆動のダイヤフラム式調節弁は、米国で1930年ごろ開発された。

■工業計測の4大変数

◆**圧力**：流体圧力の検知部に金属製のブルドン管、スパイラル管、ヘリカル管等を用い、プロセスの圧力に比例した管の変位量で指針を駆動する直動型の構造が主体であった。なお、これらはプレッシャー・ゲージ（PG）の基本部品として現代においても広く活用されている。

◆**レベル**：液体レベルの検知部にフロートを用い、この浮力を機械的に取り出し、指針を駆動する形式が主体であった。なお、浮力を取り出す方法にはレベル上にフロートを浮かべる形式やフロートを半固定し、レベル変動に伴う浮力の変化を検出する等の多様な形式が考案されている。特に後者のディスプレイッサは大気圧以外の高（減）圧容器のレベル測定に現在も多用されている。

◆**流量**：流体の流量計測には、有名なベルヌーイの法則（エネルギー保存則＝速度水頭、圧力水頭、位置水頭の和は一定）に基づき、閉管路に絞り機構を挿入し、その前後の差圧を測定する形式が主流であった。絞り機構の前後にはエネルギー保存則に基づく流量の2乗に比例した圧力差を発生するので水銀を封入したU字管を接続し、水銀上に浮いた鉄製のフロートの位置を電磁的に検出して流量を測定する方法が用いられた。なお、絞り機構に基づく流量計測は現在も主な流量計測の一つであるが、U字管方式の検知方法は後述の差圧発信器の実用化とともに徐々に置換され、現在では博物館等、歴史上にのみ

名を留めている。なお、その後、多様な測定原理の流量計が実用化され、現時点では流量計測の原理は10種前後にも及んでいる。

一方、開水路の測定では、三角や四角せきを用い、水位の高低から流量を推測する方法が早くから実用化されていた。

◆**温度**：物体温度の検知部には、熱電対、测温抵抗体、流体（水銀）膨張等が用いられた。熱電対は、ドイツ人科学者ゼーベックによって発見されたゼーベック効果（1821年）、すなわち、異種金属の接合部に温度差を与えると起電力が発生する原理に基づいている。また、测温抵抗体は金属の抵抗体が温度に比例して抵抗が増大するので、その抵抗変化から温度を計測する原理に基づいている。起電力は可動コイル型の高感度指示計を直接駆動し、また抵抗変化はホイートストンブリッジと可動コイル型の高感度指示計を組み合わせて温度指示を示す。

これらの温度計測方法の基本原理解は現在も主流であるが、米国にあっては可動コイル型よりも高感度かつ丈夫な自動平衡計器がこの時代に早くも出現している。

流体膨張式の温度計は、現場指示（調節）計をはじめ、現在も多用されているが、環境問題から水銀から非水銀系の環境に優しい封入物質に置換されている。

4. 当社のあゆみ

当社は、1916（大正5）年前後に、米国ブラウン社製の工業計器の輸入販売を開始した。その後1920年にブラウン社と正式な販売代理契約を交わし、各種工業計器の輸入・販売・技術サービスを開始しており、1932（昭和7）年よりブラウン社から輸入した計器の部品を八重洲ビル内で組み立て製造し、1933年には東京市大森区大森（現・東京都大田区）に工業計器専門工場を設立し、インダクタンズ・ブリッジ流量計（U字型差圧電送器）、フロート式液面計、ダイヤフラム・ドラフト計、炭酸ガス分析計等の生産を開始した。1936年、フルスロットラとよばれる比例制御方式の空気式調節計の国産を開始し、ブラウン社は、同年1月に出願したAir-O-Line（エア・オ・ライン）調節計の日本特許を含め、各種計器について8件の日本特許を保有し、当社は権利金（特許使用料）を支払って計器の製造販売にあっていた。

1939年、当社とブラウン社で日本ブラウン計器(株)を設立。戦時色が強くなった1941年に日本ブラウン計器(株)は山武計器(株)に社名が変更された。

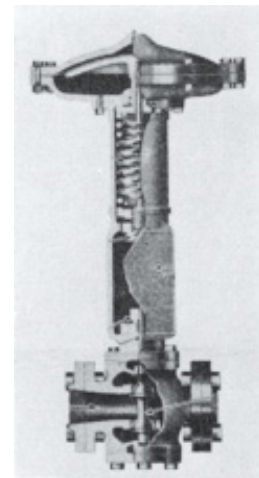
このころから輸入も不可能になった。当時、大森工場や蒲田工場で製造された工業計器は陸軍燃料廠、海軍燃料廠等の石油精製プラントで数多く使用された。

輸入した温度計・流量計・調節計を納めていた日本石油から、計器の他に調節弁の国産化の要請を受け、初めてトップ・アンド・ボトム・ガイド型複座自動調節弁の開発・生産に成功し、1936年にその第1号商品を日本石油秋田製油所に納入した。当時の空気式調節弁の出力信号は0～15psiであった。ブラウン社は調節弁を製造していなかったため、その後も当社は自力で調節弁の開発と生産を行わざるを得なかった。このことは、調節弁の技術の蓄積をもたらし、戦後、肥料業界の要請に応じて高圧弁の生産、軽荷重型バタフライ弁、パワーシリンダ操作器等の新商品の開発につながった。

戦後の1946年、工業計器の生産を再開し、当社はブラウン社との関係復活を図るべく交渉を開始し、流量記録積算計、U字型差圧電送器等を主体に、温度計、圧力計、炭酸ガス計等の生産に注力した。また、1948年にはハネウェル社製の電子管式計器の輸入を開始した。

●日本における自動制御の研究

1946（昭和21）年、東京大学生産技術研究所では、当社からAir-O-Line（エア・オ・ライン）空気式調節計の寄贈を受け、自動制御に関する研究が日本で初めてスタートした。高橋安人研究室が実験を行ったエア・オ・ライン調節計の周波数応答解析に関する報告書は1947年に発表された。また、高橋先生による自動制御に関する日本最初の講義が、1946年に東京大学第二工学部機械工学科で開始され、相前後して「自動制御懇話会」が他大学、産業界の一部とともに開催された。1949年にはそれが現在の計測自動制御学会の母体の一つになる「自動制御研究会」へと拡大展開した。



トップ・アンド・ボトム・ガイド型複座自動調節弁

第2章

「オートメーション」黎明期

1950～1959



1950年代 (1950~1959年)

おもな出来事

- ・朝鮮戦争勃発 (1950年)
- ・デミング博士来日、品質管理を講演 (1950年)
- ・計量法・熱管理法制定 (1951年)
- ・テレビ放送開始 (1953年)
- ・トランジスタラジオ発売 (1955年)
- ・神武景気 (1955~1957年)
- ・ソ連、初の人工衛星打ち上げ (1957年)
- ・メートル法施行 (1959年)

1950~1959



テスト電波放送開始でテレビを見る人たち (1952年)

1. 時代背景とニーズ

1949 (昭和24) 年、米国の鉄鋼技術者が来日、わが国の熱管理体制の弱点を指摘し、工業計器による計測制御の重要性を勧告したため、熱管理思想の高揚と工業計器の普及、発展に多大な影響を及ぼした。1951年の熱管理法の制定もあり、八幡製鐵の平炉の自動制御をはじめ、自動制御のニーズが産業界で急速に顕在化した。

また、1949年に太平洋岸製油所の操業再開と原油輸入が許可され、1950年には太平洋岸の各製油所が順次操業を開始した。このころ、米国より派遣されていた計器技術者から計器や計装技術に関して教えられるところが多く、わが国における工業計器の本格的な普及に寄与した。他の主要産業でも米国人技術者の来日が相次ぎ、指導が行われた結果、急速に生産力を回復、技術の向上が図られたが、このことは必然的に工業計器の需要増と計装知識の普及を促すことになった。

1953年にわが国に紹介された「オートメーション (Automatic Operationを語源とした造語)」という概念が時代のキーワードとして注目された。オートメーションを実際に導入したのはまず石油精製、化学、セメント、鉄鋼等のプロセス工業であり、工業計器の需要はそれまで主流であった計測のための計器から、オートメーション機器としての計器へと変わっていった。1955年以降は、石油化学工業の勃興とともに多くのプロジェクトが展開され、工業計器の需要が大きく膨らんだ。また、造船業界に1954年ごろから第1次造船ブームがあった。

この時代は大規模アナログ計装への助走期であり、制御技術では欧米技術のキャッチアップの時代であった。

エンジニアリングに関しては、大規模な装置産業の建設とともにエンジニアリングの概念が徐々に確立され、計装エンジ

アが産業界で認知され始めた時代であった。最先端を自負した計装エンジニアは、欧米文献・雑誌をいち早く咀嚼し、翻訳紹介していた。また、多くの工業計器開発技術者の主業務は、インチ/ミリ変換による工業計器の製造図面の作成であった。

メンテナンスも、大規模連続運転プロセスにおけるプラントの定期補修時に実施するオーバーホールを除くと、工業計器は故障保全が一般的であった。故障保全にあつては、抵抗、コンデンサ、ダイアフラム等部品単位レベルでの交換であり、メカニカル機構部分は原則として修理し、再使用した。

2. 業界の動向

[世界]

1950年代初期は、まさに力平衡式空気圧発信器や小型空気式計器が華やかに登場した時代であった。特に、フォックスボロ社は1951 (昭和26) 年に空気式発信器3Ad/pセルを発表し、その後1955年に13Ad/pセルに改良したことにより、13Ad/pセルは世界的に高い評価を受けた。

ハネウエル社は1951年に小型空気式計器Tel-O-Set (テル・オ・セット) を発売し、米国UOP社とともにグラフィックパネル方式を開発した。その後、引続いて1952年にフォックスボロ社がM53、58コンソールド小型空気式計器を次々に発表し、小型空気式計器の市場で圧倒的な強さを発揮した。

1951年には、スワートワウト社 (Swartwout) が交流信号0~0.5Vの小型電気式計器を世界で初めて発表した。結果的には、この計器は7年後の1958年にハネウエル社のETOS、フォックスボロ社のECI、テイラー社のトランスコープが発表されるまでは、ユニークな唯一の電気式計器として存在した。

ベックマン社 (Beckman Instruments) は、1956年に、最初のカスケードマトグラフィーを販売した。

[国内]

日本の工業計器メーカーは急激な経済発展に対応するため、米国の主要計器メーカーと合弁または技術提携を締結して、技術導入・国産化を加速した。1953 (昭和28) 年に当社はハネウエル社と合弁し、1956年に社名を「山武ハネウエル計器株」に変更した。

1951年に自動平衡計を販売した(株)横河電機製作所は、1955年にフォックスボロ社と技術提携を行い工業計器の国産を開始し、1959年にECSを発表した。また、(株)北辰電機製作所は1958年に米フィッシャ・アンド・ポーター社 (Fischer & Porter) と技術提携を行い、(株)島津製作所は1959年に米テイラー社

(Taylor) と技術提携し、工業計器の販売を開始した。また、(株)新潟鐵工所は1959年に米メーソンネーラン社 (Masoneilan) と合弁企業を作り、調節弁やレベル計 (ディスプレイサ) の国産を開始した。1956年に秋元産業(株) (1965年より日本工装(株)) は、独自技術で締め切り特性 (全閉時の漏洩量) に優れたパラスラ (パラレルスライドの略称) 弁を販売開始した。

このように、輸入あるいはノックダウンのアナログ計器が全盛の時代であったが、計器や自動調節弁の国産化が始まった。

[規格・標準]

日本工業規格 (JIS) を規定する工業標準化法の施行は1949年であるが、わが国が国際規格を認識し、1952 (昭和27) 年に規格制定組織の ISO (International Organization for Standardization)、1953年には IEC (International Electrotechnical Commission) に参加・加盟した。

3. この時代の中核技術

[理論]

現在では、1950年代以前に集大成された理論を「古典制御理論」と命名しているが、周波数応答や根軌跡を用いて単入出力制御系の静的把握と特性の設計を取り扱う古典制御理論の基礎は欧米で確立した。

国内では、PID制御に代表されるフィードバック制御の消化期であり、全盛時代であった。

1954 (昭和29) 年に伊沢計介著『自動制御入門』、1957年にノーバート・ウイナーの『サイバネティクス』の邦訳が出版された。

[コンピュータ]

プロセス用デジタル・コンピュータが世界で初めてTRW社によって開発され、計算機制御システム・RW-300として、米国のテキサコ・ポートアーサー製油所の接触重合プラントに1959 (昭和34) 年導入された。

[ボード機器]

電子 (真空) 管計器や角型計器と称された大型計器が全盛の中にあって、米国では相次いで小型空気式計器が開発・販売された。この小型空気式計器の出現により、監視盤上に主要装置を模擬表現したフルグラフィックパネルの製作が可能になった。

ハネウェル社製の小型空気式計器Tel-O-Set (テル・オ・セット) は、記録紙幅が3インチ、主構成素子が非金属ダイヤフラ

ム、パイロットリレー (空気圧増幅器) はセミブリード型であった。一方、フォックスボロ社製小型空気式計器コンソロールは記録紙幅が4インチ、主構成素子が金属ベローズ、パイロットリレーはブリード型であった。その後の経緯で見ると、ハネウェル社と当社はセミブリード型パイロットリレーを現在に至るまで踏襲し、空気消費量の節減すなわち省エネ思想が早くから設計に取り入れられていた。また、 $\pm 0.5\%$ FSの記録結果を読み取るアナログ計器の記録紙幅は4インチが現在に至るまで世界の主流になった。

[センサ]

流量計測ではオリフィスを用いた絞り (差圧式) 流量計が多用されたが、その差圧検出にはU字管式 (山武商品名: 17284型・14358型・2058型・2052・2049差圧電送器) が多く用いられた。特に17284型差圧電送器は汎用差圧電送器として各産業で水・蒸気・ガス体の流量計測に多く使用されたが、低圧側の管径 (レンジチューブと称) 交換による流量レンジ変更、高低圧の仕切りに水銀を使用し、水銀上に浮いた鉄片の位置を検出、大きく重い構造が特筆できる。U字管式差圧電送器の弱点を克服した空気式の力平衡式差圧発信器は、部品交換を必要としないレンジ変更機能、水銀等の排除、相対的に軽量等の特長から多用され始めた。特に、米フォックスボロ社製d/pセルは、2枚のダイヤフラムで高圧側と低圧側を仕切った液封構造であったため、過圧特性にも優れ、そのシンプルな構造設計からユーザの高い評価を得た。しかし、ハネウェル社製を国産化したディファレンシャルコンバータは、高圧側と低圧側を1枚のダイヤフラムで仕切った構造であったため、高感度ではあったが過圧特性に弱く、マニホールド弁の操作手順を誤ると出力がドリフトし再調整を必要とした。

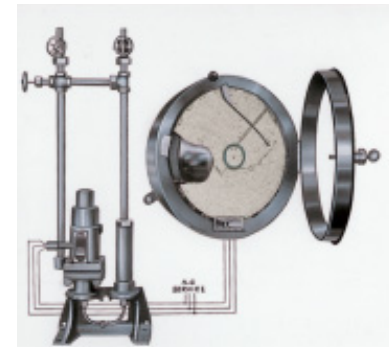
レベル計測では、浮力の原理を巧みに応用したディスプレイサが簡単な機構とその適用対象領域の広さから多用され始めた時代であった。ディスプレイサは、圧力容器内のレベルや、水と油の界面位置等の計測にもドリフトの少ない安定したセンサとして用いられた。

[操作端]

まだ世界の大手自動調節弁メーカーの国内進出はなく、空気式調節弁が主流であり、アクチュエータの駆動源には空気式の他に、大型炉のダンパー開閉用に油圧式が用いられた時代であった。しかし、高出力を得られるけれど保全が大変な油圧式は、空気式アクチュエータに徐々に置き換えられていった。

[信号]

計装信号の第1世代といえる空気圧信号のレベルは2~



差圧電送器 (17284型) と
流量記録計 (2021×40型)

● 「計装」の語源

当社が提供したハネウェル社の技術資料をもとに、自動制御研究会を中心とした東京大学の高橋安人、沢井善三郎、大島康次郎教授その他の専門家の協力によって翻訳文をとりまとめ、誠文堂新光社から『コントロール・エンジニア』4巻が1951 (昭和26) 年から1953年にかけて刊行された。同書は日本中の計装エンジニアから参考書として広く受け入れられた。

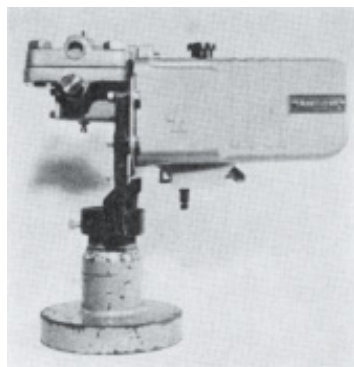
この翻訳作業のなかで、「Instrumentation」という新語の訳語が、沢井善三郎教授の発案で「計装」になったと言われている。

電子管計器152型
(丸型指示記録調節計)

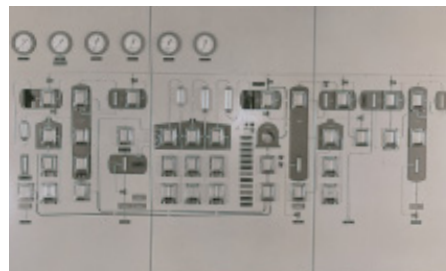
電子管計器153型 (打点指示記録計)



角型計器による大規模計装盤 (石油精製装置)



ディファレンシャルコンバータ



Tel-O-Setによるフル・グラフィックパネル

15psi、3~15psi、供給圧力は17psi、20psi、25psiと統一されていなかった。SAMA (Scientific Apparatus Makers Association) が信号圧力を3~15psi、供給圧力を20psiに統一することに決定したため、わが国では1959 (昭和34) 年のメートル法施行とともに、信号圧力0.2~1.0kg/cm²G、供給圧力1.4kg/cm²Gに統一された。

一方、計装信号の第2世代にあたる電気式計器の信号は揺籃期であり、4~20mAdc以外に各種の信号が存在した。

4. 当社のあゆみ

当社は、1951 (昭和26) 年に、各種の高圧調節弁や、Air-O-Line (エア・オ・ライン) 調節計をシリーズ化し、1952年にはN20 (電気誘導式受信計)、N22 (ベローズメータ型流量計)、N70 (圧力計) 等の角型計器を生産開始し、1953年には電子管計器を国産化、面積式流量伝送器を開発した。当社が戦後の提携前まで生産していた工業計器は、戦前ブラウン社等の主流メーカーが製造していた丸型計器が主体であった。しかし、技術導入したころのハネウェル社では既に丸型計器の製造を中止し、技術的にはその延長線上にある角型計器に替わっていたため、当社も新しい角型計器への転換を行った。角型Air-O-Line調節計は、頑丈な機構設計であり、信頼性の高い安定した調節計としてユーザから高い評価を得た。

1954年には空気式差圧発信器N-228型ディファレンシャルコンバータを国産化し、ディスプレイメント液面計を生産開始した。1956年にはグラフィックパネルや超高圧用ダイヤフラム調節弁を製作した。1958年には空気式小型計器Tel-O-Set (テル・オ・セット) を国産化、1959年にベローズ型流量計を生産した。しかし、Tel-O-Setは機構が複雑等ユーザの評価は高くなかった。また、ディファレンシャルコンバータは動作の安定性、工事現場では作業員の足場にされやすい形状、重さ等の問題が浮上し、期待したほどユーザに受け入れられなかった。

経済復興期における工業計器の需要に対して、来日した技術者たちが米国で広く使用され使い慣れていたブラウン社製の計器類をわが国の産業界に推奨する等、当社は工業計器市場の中で比較優位の立場にあった。当時米国製の計器を生産していたのは当社のみであり、ブラウン社が所有していた日本の特許が強力な競争力を有していた。

鉄鋼業における自動制御のニーズに応じて、当社が計装を担当した八幡製鉄第1製鋼課の100トン平炉の自動制御は予想以上の好結果を示したので、同社第4製鋼課の平炉7基の自動制

御という、当時としては画期的な大口受注につながったほか、各社の平炉、加熱炉、その他硝子炉等にも広く採用される端緒になった。

ブラウン社では1941 (昭和16) 年にすでに電子管式自動平衡型計器を完成していたが、太平洋戦争が勃発したため当社はその成果を知らなかった。提携後、当社はわが国において未開発の電子管式計器に関心を寄せ、ハネウェル社から輸入するとともに国産化を急ぎ、1953年国産化に成功した。当時生産した大型の電子管式計器は、精密・高精度かつ堅牢な計器として、産業界で非常に高い評価を得た。

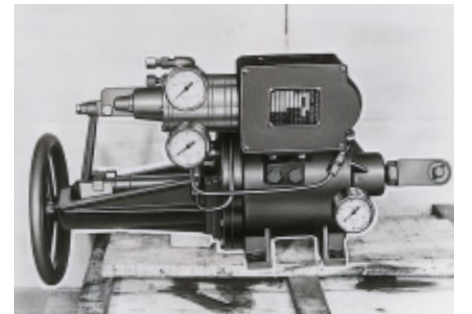
当社製自動調節弁の標準仕様概要は、口径では1~6インチ (標準) ~12インチまでが標準、接続形式にはねじ込みや各種フランジ、弁形式には2方弁や3方弁/オンオフ弁/サンダース弁/バタフライ弁やアンモニアプラント向けの高圧調節弁が既に商品として整備されていた。1955年には炉のダンパー等の位置を制御する空気式アクチュエータG-O-モータ (ジ・オ・モータ、1954年作の怪獣映画ゴジラにあやかって命名) を発売した。G-O-モータは、高出力かつストローク位置の制御性が良く、相対的に空気消費量が少ない等の特性から特定分野での需要があった。

メンテナンスに関しては、故障保全が一般的な時代に、1959年、八幡製鉄(株)戸畑製鐵所で流量計を主体に予防保全作業がスタートした。

一方、1953 (昭和28) 年のハネウェル社との提携によって、当社はマイクロスイッチ (MS) の輸入販売に乗り出したが、輸入外貨の制限が厳しさを加え、円滑な輸入が困難になってきた。既に立石電機(株)が生産販売しており、MSの生産体制の確立が急がれた。1958年、当社は事業部制を採り、MS事業部として独立させ、1959年、MSの国産化に踏み切った。

米国で開発されたMSは、1937 (昭和12) 年に開発者により設立されたマイクロスイッチ社によって販売が開始された。

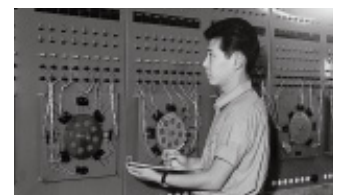
1950年ハネウェル社がマイクロスイッチ社を買収し、MSはハネウェル社のブランドの一部となった。その後MSの名称はJISの正式名としても採用された。



空気式アクチュエータG-O-モータ



ハネウェル社製マイクロスイッチを輸入販売



国産マイクロスイッチの寿命試験

第3章

電気式アナログ計装全盛期
—デジタル計装の夜明け前—

1960～1969



1960年代 (1960~1969年)

おもな出来事

- ・ 国民所得倍増計画決定 (1960年)
- ・ トランジスタテレビ発売 (1960年)
- ・ 新幹線開通、東京オリンピック (1964年)
- ・ いざなぎ景気 (1965~1970年)
- ・ 公害対策基本法公布 (1967年)
- ・ 大気汚染防止法公布 (1968年)
- ・ 米アポロ11号月面着陸 (1969年)

1960~1969



新幹線開通 (1964年)

1. 時代背景とニーズ

日本経済の成長期であり、あらゆる製造工業が技術革新を伴う大型化、近代化投資を行い、石油化学・化学・合成繊維等の新産業が台頭した。30万トンのエチレンプラント建設等世界トップレベルのプラントが相次いで建設され、大規模装置産業にあっては、「高密度パネル計装」に代表されるように、計器室の監視盤に数百台のアナログ計器を実装した集中管理方式が普及した。監視盤上に配列した計器でプロセスの状況を監視する運転形態の傾向が強まり、運転状態の監視に便利な(セミ)グラフィックパネルが多用されるようになった。アナログ計器はいっそうの小型化が求められるとともに、運転員にとって監視・操作が容易であることも重要な要件であった。

計装システムが装置産業の安定した連続操業を左右する懸念の高まりとともに、計装システムへの信頼性追求が多面的に顕在化した。

また、装置産業での中間製品や最終製品の品質管理への要求も一段と高まり、アナログ調節計よりも高度な制御を期待できるDDC (Direct Digital Control: 直接計算機制御) や、成分を直接計測できる分析計へのニーズが強まった。

造船業界では、わが国最初の自動化船といわれる金華山丸が1961 (昭和36) 年に就航し、自動化船ブームのきっかけをつくるとともに、第2次造船ブームが始まり、1973年の石油危機まで続いた。

エンジニアリングに関しては、計装の重要度が高まるとともに、計装エンジニアによる計装システムの構築が普遍化した。しかし、ハードウェア主体のアナログ計装時代におけるエンジニアリングは、納入機器・システムの無償サービスの色彩が強く、エンジニアリング費が廉価な時代であった。

メンテナンスは、年一度実施される定期補修時の計装機器のオーバーホールにおいて、電子部品の有寿命品の解析が進み、予防保全の考えが顕在化した。しかし、実態は依然として故障保全が主流であった。

2. 業界の動向

[世界]

米国では、コンピュータの性能向上とも相俟って、デジタル制御の黎明期にあった。ハネウェル社は新しい分散制御 (次世代システム: コントレックス [CONTREX] 『プロジェクト70』) の研究開発を1969 (昭和44) 年に開始した。このコンセプトの一端はハネウェル社の技術者によって米国の計装関連雑誌にも掲載され、今日の計装システムの主流であるDCS (分散形制御システム) 開発のトリガーになった。

1960年代後期に、米国の自動車メーカーであるゼネラル・モーターズ社は、PLC (プログラマブルロジックコントロール) 推進の仕様を公開し、今日のファクトリーオートメーション (FA) の中核機器であるプログラマブル・ロジック・コントローラ開発のトリガーになった。

[国内]

分析計を含めて国産のアナログ計測技術が確立され、日本の工業計器メーカーが世界トップレベルへと仲間入りした時代であった。しかし、DDC (直接計算機制御) をはじめとするデジタル (コンピュータ) 分野では、まだ米国技術のキャッチアップの時代であった。

調節弁業界の雄、米国フィツシヤ社 (1880年、創業) の自動調節弁は、極東総代理権を保有した(株)守谷商會が輸入販売していたが、1960 (昭和35) 年にトキコ(株) - フィツシヤの技術提携により、トキコ川崎工場において製造開始した。1969年に日本フィツシヤ(株)を設立し、1973年に日本フィツシヤ佐倉工場を建設した。

3. この時代の中核技術

[理論]

ベルマン、ポントリアギン、カルマン等が状態ベクトルに注目した最適制御理論の考えを発表し、いわゆる「現代制御理論」が学会で隆盛を極めるようになった。これらの1960年代以降に発展してきた現代制御理論に対し、従来のPID制御やフィードバック理論は「古典制御理論」と呼ばれるように

古典制御理論と現代制御理論

●古典制御理論

- ◆古典制御は直感的に理解しやすく、経験的に制御系を設計するのが容易である。また多入力/多出力系は不得手であるが、1入力/1出力系では効果大である。
- ◆古典制御理論: 制御対象の内部をブラックボックスとして、その入出力関係に注目して周波数領域上で制御を行うとし、ある程度経験的な手法により対象の入出力関係を表す伝達関数を用いてモデリングを行う。
- ◆伝達関数を周波数領域においてボード線図等で表し、このボード線図の特性を望ましい形にするために位相遅れ(進み)補償などを行う。

●現代制御理論

- ◆制御対象の内部までを分かった上で制御を考える。時間的な変化を直接扱い、制御対象の内部情報を表す状態変数をすべてフィードバックし、それぞれの状態変数に乗じるフィードバックゲインによって望ましい特性を得ようとする。主として時間(状態空間)領域での理論展開であり、数学的に対象の内部情報までを利用した状態方程式を用いてモデリングを行う。
- ◆状態方程式によるモデリングは手間がかかるが、モデリングができれば相互干渉等の把握が可能になり、また伝達関数によるモデリングではできない可制御(制御対象が本質的に制御可能か否か)や可観測(入出力を見て内部の情報の変化が分かるか否か)の分析ができる。

なった。

カオス (Chaos Theory) (1961年) やファジィ理論 (1963年) が発表された。また、2自由度制御系のコンセプトがホロビッツ (I.M.Horowitz) (1963年) によって発表された。

[コンピュータ]

1964 (昭和39) 年にIBMは、社運を賭けた事務用計算機 System/360を投入し、世界的にヒットしたベストセラー商品となった。また、IBMはプロセス制御用計算機IBM1800の開発でも成功した。1965年に、デジタル・エクイップメント社 (Digital Equipment) はミニコンピュータPDP-8を発表し、世界初のミニコンピュータ量産品となった。

DDC (直接計算機制御) の導入では、当社は1968年に出光石油化学(株)徳山工場に第1号のDDCシステムを納入した。(株)横河電機製作所は1967年にYODIC500を東燃(株)和歌山のハイドロススキミング・プラントにまずテスト用として納入し、1968年に二重化システムYODIC500/600が採用された。これらの実績を通じDDCの実用性・有利性が広く喧伝された。

ソフトウェアでは、ALGOL (1960年)、LISP (1960年)、FORTRAN IV (1962年)、PL/1 (1964年)、BASIC (1965年) 等が発表されている。

[ボード機器]

国内の工業計器メーカーが、アナログ計装では自社技術を確立し始めた時期であった。

電気式アナログ計器は、当初米国の技術をベースにした国産機種が主体であったが、当社は1961 (昭和36) 年にETOSを国産化し、その後1963年の計測展で発表したVSIは、大規模計装に適した高密度計装機器であり、これによりわが国が世界トップグループの技術水準に到達したことが認められ始めた。一方、空気式アナログ計器も米国技術をベースにした国産機種が主体になり、実績、安定性、ノイズに強い等の理由で根強い人気があった。

業界動向では、(株)横河電機製作所が1961年にECI、1964年に62V、1965年にEBSを発表し、その後 \varnothing シリーズを開発販売した。(株)北辰電機製作所はe-ラインを開発した。

このように国産技術の縦型偏差指示調節計が各社から発表され、空気式から電気式計装への移行が進み、セミグラフィックやフルグラフィックパネルによる高密度計装盤が大流行した。

電子管式温度計に多用されていた真空管は、半導体の進化とともに寿命、消費電力、サイズ等の面で比較劣位になり、ソリッドステート化へと急速に世代交代した。

しかし、DDC (直接計算機制御) をはじめとするデジタル

技術ではまだ米国のキャッチアップの時代であり、先進的な取り組みとして、データロガー、プロセスコンピュータによるSPC (Set Point Control)、DDCへの適用等が試行された。

[センサ]

電気式アナログ計装の出現とともに、センサの電子化が急速に進展した。しかし、1960年代初期の電子式アナログセンサは、ブルドン管やダイヤフラムの機械的な動きと電磁力を用いた力平衡式構造であったため、振動特性やドリフト特性、大きな外形寸法や重い等の諸課題があった。その後、電磁力を用いた力平衡式構造を採用しつつも構造設計の進歩によって、コンパクトかつ性能の改善された発信器が市場に登場するとともに、力平衡式の作動原理に加えて、オープン方式等の新しいコンセプトの発信器が市場にでてきた。

1960年代初頭には、国内でも、商用周波数励磁の電磁流量計が(株)北辰電機製作所より市販された。電磁流量計は数々の基本的な特徴から紙パルプ産業や上水道の分野で用いられるようになった。しかし、商用周波数励磁方式は電極の汚れやノイズの影響等でゼロ点の安定性を含めて課題があった。

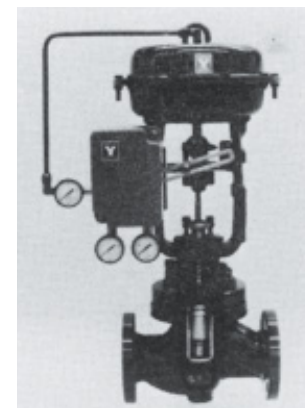
1969 (昭和44) 年、流体中のカルマン渦列を計測する渦流量計が(株)横河電機製作所より販売開始された。

[操作端]

弁要部の構造が従来のトップ・アンド・ボトム・ガイド型の調節弁とは異なるケージ型の調節弁が当社より発表され、産業界に受け入れられた。また、電気式計装の登場により電空ポジションも登場した。空気式調節弁では、大口徑、超高压弁の仕様の拡大があり、また複動式の空気式アクチュエータでも仕様の充実があった。

[信号]

計装信号の第2世代にあたる電気式計器の信号レベルや電源電圧の仕様は、メーカー各社で異なり、混乱の時代が続いた。ハネウェル社のETOSおよび当社のETOS、カレントロニック・ラインは4~20mA_{dc}、フォックスボロ社のECI、(株)横河電機製作所の \varnothing シリーズは10~50mA_{dc}、(株)横河電機製作所のECSは0~10V/5~25mA_{dc}、(株)北辰電機製作所のe-ラインは2~10mA_{dc}というように、各社がそれぞれ異なる値を採用し、電気式信号レベルに関する厳しい競争が1973 (昭和48) 年のISA* (Instrument Society of America) での統一まで続いた。



ケージ弁

注

* ISA : 現名称 Instrumentation, Systems, and Automation Society

4. 当社のあゆみ

1960年代の当社は、発信器、現場型計器、電気式小型計器、空気式小型計器、調節弁の各分野にわたって新商品を連発し、活力に溢れた時代であった。世界最小の空気式指示調節計N-matiK（エヌマチック）シリーズや電気式および空気式の差圧発信器NDシリーズ等は、商品開発の原点をハネウェル社に求めながらも、当社独自の研究開発によって、市場で脚光を浴びた工業計器群になった。

発信器では、1961（昭和36）年、ハネウェル社製の電気式アナログ計器ETOSの国産化とともに、ETOSセンサとして電気式の圧力発信器（PP/I、P/I）・差圧発信器（ Δ P/I）・温度変換器（MV/I）等のセンサ群や空気圧変換器（P/I）も国産化した。

ETOSセンサ群は、2線伝送方式、4~20mA_{dc}信号、全トランジスタ化、高速応答・高精度等を特長として発売した。PP/Iは圧力検知部にブルドン管（差圧検知部には大型ベローズ）を用いて、その物理的な位置を検出し、電気に変換するとともに電磁力のフィードバックによる力平衡式の構造であった。この力平衡式構造は、高感度であったが、振動や衝撃で出力がドリフトしやすく、また耐圧防爆構造品は重く、かつ外形の大きな計器であった。このため、保全員泣かせのセンサであったが、反面、2線伝送方式、4~20mA_{dc}信号等は、その後の電気式計器の標準となる優れたコンセプトであった。

1963年、ハネウェル社は新型の差圧発信器を開発した。従来、差圧発信器の市場で他社に遅れをとっていた当社は、ハネウェル社製の力平衡式差圧発信器の原理を基に新型差圧発信器の開発に着手し、1969年に独自の構造を持つ差圧発信器NDシリーズを完成した。NDシリーズは、差圧を検出する本体部と信号出力を取り出す変換部からなるユニット構成であった。本体部は電気・空気の出信号に無関係な共通構造で、高低圧を仕切る液封された2枚のダイヤフラム間に絞りを設けた機械的なダンピング機構を保有し、かつ多様なプロセスの計測条件に対応を可能にした微差圧から高差圧に適応できる広い測定範囲を機種でカバーし、超高圧対応や耐食性本体等他に類をみない70種余のシリーズを標準で揃えていた。また、変換部は本体部の仕様に関係なく、空気式（商品名：NDP）と電気式（商品名：NDI）の2種の構成であったので、共通予備品等保全に便利であった。NDシリーズの販売開始によって、ディファレンシャルコンバータ以来、とかく弱体であった工業計測の代表的なセンサである差圧発信器の強化を実現するとともにユーザーの



差圧発信器NDシリーズ

信頼回復につながった。

1962年に、ハネウェル社で開発された新しい現場型計器ブルズアイ型指示調節計を発表し、国産化した。従来のAir-O-Line（エア・オ・ライン）型現場調節計は抜群の信頼性や実績を誇っていたが、相対的に製造コストが高く、価格競争力に課題があった。このブルズアイ型指示調節計は270度の広角指示、金属ベローズの採用や、セミブリード型パイロットの採用が特色であった。

電気式小型計器では、1961（昭和36）年に、ハネウェル社製の電気式アナログ計器ETOSを国産化した。4インチ・スケールのETOSは、基本構想や原理に優れた特長があり、その後の小型計器の開発に貴重な示唆を与えた。しかし、電磁力を基本にした力平衡方式は振動や埃等の耐環境条件に基づくトラブルや電子部品の故障により、ユーザーの評価は高くなかった。

一方、ハネウェル社は、1961年にモンサント・ケミカル社から「監視しやすい調節計」の注文を受け、H290型電子計算機を用いて初めてプロセスの計算機制御を行うとともに、EVSI（Electrik Vertical Scale Indicator）と称する縦型指示計を納入した。EVSIは、例外管理の考え方で縦型偏差指示方式を採用し監視が容易な工夫が特長であった。しかし、ハネウェル社には新しい小型計器のシリーズ開発意図はなかった。

他方、ETOSの基本性能の課題に悩まされていた当社の技術陣は、新時代の小型計器がいかにあるべきかの模索を行っていた。ボードマンの監視が容易な計器の小型化とパネルスペースの縮小化を求めるニーズに応えるべく、このEVSIを国内用に改良して、新しい電流平衡方式の縦型偏差指示調節計VSI（Vertical Scale Indicator）を開発した。

VSIのコンセプトは、ETOSの電磁力を用いた力平衡方式に代えて、電流駆動に適した電子部品であるトランジスタを用いた電流平衡（カレントバランス）の着想と、EVSIの顔（表示部）のコンセプトとの合体であった。1963年、出光興産(株)徳山製油所にVSIを初めて納入した。電流平衡回路を用いることにより回路構成の単純化、高性能化や低コスト化を同時に実現したVSIは、設定値、指示値、偏差値を同時に表示することができた。偏差メータの赤色指針は偏差がある時のみ緑色帯の下から現れ、ひと目で偏差の有無を識別できた。また、監視盤へは左右密着取り付けが可能になるとともに、VSIはカレントバック（信号変換器等演算器群の商標）を背面設置できる等数々の優れた特色を有していた。VSIは1963年の計測工業展においてユーザーの注目を集めるところとなり、縦型偏差指示計ブームの先鞭をつけた。



現場型計器ブルズアイ型指示調節計



ETOS記録調節計



ETOSによるフルグラフィックパネル



縦型偏差指示調節計VSI



VSIによる計装パネル



電気式デジタルブレンダーシステム

注

*MO (ゼロ) 船：1968年以降、自動化によって夜間当直を廃止した形式の船をMO (機関室無人の意) 船と呼称し、自動化船の定型になった



PTOSによるセミグラフィックパネル



調節弁 (左・ケージ型調節弁、右・低騒音弁)

1965年には、カレントロニック記録計、VSI調節計、トレンド記録計、カレントバック等電気式小型計器の体系を完成し「カレントロニック・ライン」と命名した。VSIは、英国プリティッシュ・ペトロリアム社ゴッツェンパーク製油所 (スウェーデン) に初めて輸出された。輸出されたVSIの稼働実績が高く評価されるとともに、ETOSに代わるべき計器の出現を渴望していた各国のハネウェル社への輸出が始まった。VSIは、ETOS問題を解決するとともに、ハネウェル社と当社の関係においても従来の技術導入一辺倒から、当社の自主技術がやっと花開いた最初の画期的な記念すべき計器になった。

1961年、当社も東燃タンカーの初島丸で本格的な全自動の計装を担当するとともに、数々の大型タンカーやMO (ゼロ) 船*等の大口プロジェクトを手がけた。また、1966年に、船用監視システムとして多点常時監視システム「Current-O-Larm (カレントラーム)」を開発し販売した。

1963年、日本で第1号の電気式デジタルブレンダーを昭和石油(株)新潟製油所に納入し、この分野でも先陣を切るとともに、計測自動制御学会誌にも発表した。

1964~1965年にかけて、米国でDDC (直接計算機制御) が実用化された。日本では1968年に当社が磁気ドラムとコアメモリを併用したH20コンピュータシステムを使用し、出光興産(株)徳山工場のエチレンプラントに第1号のDDCシステムとして納入した。国内の先端をいく大規模かつ本格的なDDCであった。

空気式小型計器では、1962年、空気式計器Tel-O-Set (テル・オ・セット) の問題解決のために、ハネウェル社は新しい空気式小型計器PTOS (Pneumatik-Tel-O-Set:ピトス) を開発し、同時に当社も国産化した。PTOSは、従来の手動から自動切り替えに加えて、自動から手動切り替えをもバランスレス・バンプレスで行える等、原理、機能で従来の工業計器にはなかった仕様が新たに付加されていた。しかし、空気式小型計器の市場では、機能の安定性や実績において、他社製空気式調節計を凌駕する評価を得ることができず爆発的には普及しなかった。

1965年の計測工業展では、参考出品として空気式縦型指示調節計PVSI (Pneumatik-VSI) を展示した。その後、PVSIに改良を加えて、1967年、計器前面が世界最小 (2インチ幅×6インチ高) サイズの空気式縦型指示調節計「N-matik (エヌマチック) シリーズ」を発表した。

調節弁では、1964年に、従来のトップ・アンド・ボトム・ガイド型調節弁とは構造を大きく異にするケージ型調節弁を世界で初めて商品化し、発表した。比較的话题や技術変化の少ない

調節弁市場にあって、構造上の大変革であった。ケージ型調節弁は、高安定、低騒音、取り扱い容易性等の特長によって1970年には当社内での生産比率は90%に達した。このような過程を得て当社の調節弁事業は国内のトップメーカーの地位を占めるとともに、センサから操作端までを一括供給できる計器メーカーとしての声価確立に寄与した。また、高温高压タイトオンオフ弁も開発した。

メンテナンスに関しては、1968年、「サービス・ステーション構想」を発表した。部品の常備とともに修理設備を保有したサービス・ステーションは、サービスマンが24時間待機し、ユーザまで1時間以内で出動することを原則にした。第一ステップは、まずユーザに常駐し、ユーザの設備や人間関係を学ぶ信頼関係の構築に力点をおいた。折しも石油業界では新石油コンビナート建設計画が実施されつつあり、これらと歩調を合わせてサービス・ステーションを相次いで新設した。



千葉サービス・ステーション



各種スイッチ類。左奥がソリッドステート・キーボード



家庭用燃焼安全装置のベストセラーとなったプロテクトリレー



風呂釜等ガス口火安全器パイロットスタット



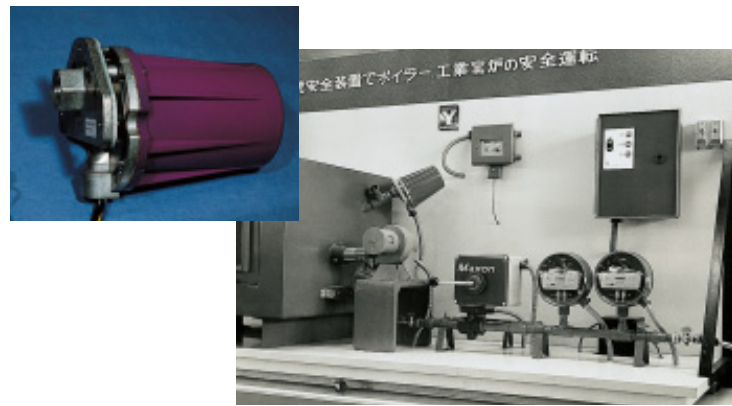
ヨーロッパに輸出されたR4440Dプロテクトリレー

メカニカル・オートメーション分野では、1959（昭和34）年に販売開始した基本型マイクロスイッチに加えて、リミットスイッチ、照光式押しボタンスイッチ、キーボードスイッチ等国産のスイッチ機種を拡大した。1969年にはソリッドステート・キーボード（SSK）を発表した。SSKはホール素子を用いた電子機器への進出という意味で一つの転機になった。その結果、2年後にマイクロスイッチ（MS）事業部は電子機器（MS）事業部へと名称を変更した。

制御機器（TC）事業部では、1960年ごろから大型ボイラ、バーナのメーカーを対象に、ハネウエル社製の紫外線炎検出器ウルトラビジョンの販売を開始した。また、オイルの燃焼安全装置の開発にも着手し、1962年にはわが国における家庭用燃焼安全装置の傑作商品として一時代を画したオイルバーナ用R8119プロテクトリレーの生産を開始し、温風暖房機、温水ボイラを対象に発売した。1966年、ガス口火安全器パイロットスタットを開発し、住宅向けオイル用燃焼安全制御分野からガス用燃焼安全制御分野へと市場を広げた。

1969年には、制御機器（TC）事業部は空調制御（CM）と機器制御（RA）両事業部に分離した。

この年R8119の後継機種として、業務・家庭用の石油温水ボイラ用のプロテクトリレーR4313を導入するにあたり、日本のオイルバーナ市場のマーケティング活動を展開した結果、燃焼方式にあわせて3シリーズの商品開発を行い、形状はヨーロッパの影響を受けて小形となった。その後1978年にはハネウエルヨーロッパに向けてR4440Dを開発し、輸出を開始した。



ボイラの燃焼安全装置とウルトラビジョン

第4章

アナログ計装からデジタル計装への
大変革期

1970～1979

1970年代 (1970~1979年)

おもな出来事

- ・水質汚濁防止法公布 (1970年)
- ・LSIの国産化に成功 (1972年)
- ・第一次石油危機 (1973年)
- ・第二次石油危機 (1978年)
- ・高圧ガス取締法改正 (1979年)
- ・コンビナート等保安規則制定 (1979年)
- ・省エネ法施行 (1979年)
- ・NEC、PC8001を発売 (1979年)

1970~1979



石油危機でトイレレットペーパー不足のスーパー (1973年)

1. 時代背景とニーズ

1970年代のわが国経済は、長期の好況の中でスタートしたが、ニクソン・ショック、石油危機、国際摩擦等が次々と起こり、多難な時期であった。特に石油危機による石油価格の高騰は、それまでの高度成長から一転して低成長への移行を強いられた。従来の大量生産・大量消費の時代から、石油危機を契機に効率生産・適切消費の時代へと移行し、生産形態の主流は少品種大量生産から多品種少量生産へ変わった。この結果、省エネ法の施行と相俟って、国内でも「省エネルギー」が社会通念となり、各種産業の省エネ化／省人化が急速に進み、高信頼性とともに高機能／高精度の工業計器のニーズが高まった。

1970年代前半は大規模な電気式アナログ計装の全盛期であった。しかし、1975 (昭和50) 年に計器メーカー各社がほぼ同時期に発表したDCS (Distributed Control System: 分散形制御システム) により、多様なニーズに対応可能な本格的なデジタル計装時代の幕開けとなり、先進的なユーザでDCSの導入が始まった。しかし、従来の制御点毎に独立した計器が存在するアナログ計装とは全く異なるコンセプトで設計・製造されたDCSは、コンセプトの咀嚼不足や共通部の故障による不安懸念等から、技術革新の大きさや衝撃ほどには国内での導入は進まなかった。

DCSを主体としたデジタル計装の黎明期には、国内の計装専門誌上において、パネルレス・オペレーションの適否や、究極の分散システムとしてのワンループコントローラ等、ベンダやユーザの論客による多様な主張や関連記事が目立った。

ボイラや大型炉の燃焼制御系をはじめ、省エネルギー・省資源化計装 (省エネ計装) が脚光を浴び、バッチプロセスの全自動制御や非干渉制御等、質を追求した計装高度化ニーズが顕在

化した。それとともに、計装システムの総合信頼性の確立も重要なテーマになった。また、船舶関係のニーズでは、航行に関連する機関の監視が主であった。

1978年の化学工場での連続災害事故発生等により、1979 (昭和54) 年、高圧ガス取締法が改正され、新たにコンビナート等保安規則が制定された。工場の安全操業がクローズアップされ、「安全計装」への体系化や取り組みが進展した。二重化や「2 out of 3 *」等の高信頼設計に加えて、「フール・プルーフ」、「フェールセーフ」等の体系的な導入見直し、FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analysis: 故障モード影響および致命度解析) やFTA (Fault Tree Analysis: 故障の木解析) 等安全工学的な思想への関心が急速に高まった。

エンジニアリングに関しては、アナログ計装からデジタル (DCS) 計装へと制御システムの変革に伴い、ハードウェア・オリエンテッドからソフトウェア・オリエンテッドへとエンジニアリングの思考が劇的に変化した。また、実際のDCS導入に際しては、計装エンジニアの関与が必須要件化した。

メンテナンスも、DCSの出現と機能拡張とともに、故障要因がハードウェアの部品故障からソフトウェア・バグと多岐にわたり、サービスエンジニアが保有すべきスキルも高度化した。ユーザからは定期保守の周期見直しや予知保全のニーズが高まり、また保全形態は、故障保全から予防保全や予知保全への指向が強まった。

2. 業界の動向

[世界]

DCS (分散形制御システム) の出現はマイクロプロセッサの技術革新に負うところが大きく、大型コンピュータによるDDC (直接計算機制御) による集中制御から分散制御へと移行し、ネットワークで結合された複数のコンピュータを含む分散制御システムが米国の産業界をはじめとして多くの産業プラントで広く採用された。

従来のPID制御アルゴリズムをパッケージ化し、オペレータ用アナログ制御とインタラクティブ・デジタルディスプレイ・システムや、分離アーキテクチャにモジュール化され、設置されたDCSのコンセプトがユーザに広く受け入れられた。

[国内]

1970年代前半には、国産化技術力の向上をベースに、高信頼性設計に基づく電気式アナログ計装機器が欧米先進国、東南アジア、中近東に輸出された。

注

* 2 out of 3 : 3出力のうち2出力が一致した方を正とする

1975（昭和50）年には、本格的なデジタル計装時代を告げるDCS（分散形制御システム）が発表された。ハネウェル社と当社が共同開発を進めたTDCS2000（ハネウェル名：TDC2000）は1975年10月のISAショーおよび日本の計測展で世界同時に発表された。他社のDCSでは、(株)横河電機製作所のCENTUMが同年6月に、(株)東芝のTOSDICが同年8月に、DCSの新商品として発表された。1970年代後半、デジタル計装に移行したことで、計装専門メーカーに加えて、総合力を誇る重電メーカーがワンループコントローラを市場に投入する等、計装業界での存在感を高めた。

3. この時代の中核技術

[コンピュータ]

国内の鉄鋼業界では、転炉や製鋼等の工程にプロセスコンピュータが大規模に採用され、世界最高水準の生産技術が確立された時代であった。

[ボード機器]

電気式アナログ計装（高密度計装）全盛期から、DCS（分散形制御システム）へと制御システムの新しい主役が登場した時期であった。しかし、空気式アナログ計器も化学工場等の特定分野では、安定した高い信頼性と実績から根強い人気を保持していた。また、石油産業の出荷設備に主に使用されるブレンディングシステムにおいてコンピュータを主体としたデジタルシステムの実用化が進展した。

[センサ]

差圧発信器では、従来の電磁力による力平衡式に代わって、静電容量型（米国ローズマウント社）、半導体センサ（ハネウェル社／当社）、ストレインゲージ（日立）等を搭載したオープンループ方式に属する作動原理のセンサへと主役が移行していった。その結果、発信器の耐振性や感度、計測精度の性能が格段に向上した。

電磁流量計は、絞り（差圧式）流量計では測れないスラリー流体や腐食性流体が測れる、圧力損失がなく微量流量が測れる等の特長により、紙パルプ・化学業界等で広く使用されるようになった。このころの電磁流量計は、国内工業計器メーカーが提携先であるフィツシヤ・アンド・ポーター社、フォックスボロ社、テイラー社からの導入技術をベースに製作した商用周波数交流励磁方式であった。当社は、直流交番磁界による矩形波励磁方式という独自技術の電磁流量計を開発した。この方式は、交流励磁方式の電磁流量計が抱えていた、電極汚れに弱い、消

費電力が大きい等の課題を解決した革新的なアイデアであり、現在に至るまで主流となった。

1977（昭和52）年にはマイクロモーション社（現・エマソン社）がファインケミカル等高付加価値産業で渴望されていた質量流量を直接計測可能な質量流量計を販売した。

[操作端]

多様な流体仕様（超高圧、極低温、大容量、低騒音）に対応した調節弁の仕様がいっそう充実した時代であった。空気式調節弁（0.2~1.0kg/cm²G）では、調節弁の本体構造に変革をもたらしたケージ弁が誕生した。また、全開時のCV値が大きく、全閉時の締め切り特性の良い、しかも流量制御性にも優れた、調節弁とバタフライ弁の両特性を兼ね備えたような偏心軸回転弁が国内でも市販された。

[信号]

1973（昭和48）年、計装信号の第2世代にあたる電気式信号レベルがISAで4~20mAを標準信号として決定され、世界的に統一されたため、10年にわたる各社の電気式信号レベルに関する厳しい競争は終わりを告げた。

一方、DCS（分散形制御システム）の出現によるデジタル通信網（LAN）は、メーカーごとにプロトコル仕様が異なり（非オープン）、異機種間の接続が困難な揺籃期であった。

4. 当社のあゆみ

当社の計算機（CC）事業部では、ハネウェル社製のコンピュータをベースに、Y-20、Y516、Y316と相次いで優れた計算制御システムを開発し、航空機の飛行シミュレータ、鉄鋼・化学・上水道の装置や無人立体倉庫等で本格的なデジタル計算制御を実施し、着実な発展をとげた。1971（昭和46）年、制御用ミニコンピュータDC12とDC12を中核としたコントロールシステムDCS10、DCS20を開発した。いずれも4K語または8K語で低価格のストアード・プログラム型デジタルコントロールシステムであった。

当社のカレントロニック・ラインは発表以来、全世界のハネウェル社販売網を通じて本格的に販売され、40万ループ以上の実績をつくり、アナログ電気式計器のベストセラーになった。さらにこれに続く空気式小型計器「ビューマチック・ライン」や電気式小型計器「ニュートロニック・ライン」の2シリーズを開発し、1971年に発表した。両シリーズとも当社の独自技術による開発であり、ビューマチック・ラインとニュートロニック・ラインは同寸法（2インチ幅×6インチ高）、同一マスク



空気式小型計器
ビューマチック・ライン



電気式小型計器
ニュートロニック・ライン



Nutronik-Blend-O-Set計装パネル



Vu-System



TDCS2000 (Total Distributed Control System)

でコンパクトに設計されており、電気式・空気式の混合計装による高密度パネル計装を可能にした。しかし、世界の計装の潮流は電気式の需要へ流れつつあったので、空気式小型計器の生産台数の伸びには限界があった。

1972年、Nutronik-Blend-O-Set（ニュートロニック・ブレンド・オ・セット）を開発した。Nutronik-Blend-O-Setは、当社における第2世代のブレンダーであり、初代のブレンダー（9インチ幅×9インチ高）に比して、大幅に小型化（4インチ幅×6インチ高）するとともに、機能・仕様の充実が図られた。

1972年12月、制御分野におけるデータ収集、処理、監視、制御等計算制御用ソフトウェアおよびハードウェアを、多様性と経済性の両面を満足させながら標準パッケージ化したプロセス計算システムVupak（ビューパック）を開発し、アナログ計装システムを含めて「Vu-System」の体系を完成した。

これらの実績を積み重ねて、ハネウェル・グループにおける当社の工業計器の技術力は高く評価されるようになった。このような背景から、ハネウェル社は1969年に次世代システムの開発をコントレックス（CONTREX）『プロジェクト70』としてスタートさせるとともに、当社に対してこのプロジェクトに対等の共同開発者として参画を要請した。当社は多数のエンジニアを米国に長期間派遣して、新しいシステムのコンセプトの展開から共同開発をスタートさせ、1975年に発表されたのが分散形総合制御システムTDCS2000であった。TDCS2000発表までの経緯は、1973年にTDCS2000の市販を予定し、エクソン社等でフィールドテストが行われた。しかし、正式販売は遅れ、実際には1975年10月のISAショーおよび日本の計装展で世界同時に発表された。TDCS2000は従来のアナログ計装におけるPID制御に加えて、より高度な演算を行うアドバンス制御を身近にし、また、シーケンス制御機能等も保有していたので、従来の連続制御に加えてバッチプロセスの制御等、多様なユーザーニーズに対応が可能になった。TDCS2000の出現は、工業計器の歴史の中で最も大きな技術革新の一つに位置付けられる。従来のアナログ計装は、複雑な演算や制御の導入、CRT（ブラウン管）のような画像表示装置との結合で難点があった。

一方、計算機によるDDC（直接計算機制御）では、計算機1台の故障でシステム全体の機能停止の危険性や、小規模計装での不経済性等の課題があった。これらのアナログ計装の技術的な制約の除去や、DDCの故障リスクを解消し、機能の分散化と経済性のメリットを高めるとともに、データハイウェイ、CRTディスプレイ等の先端技術による集中管理機能を持たせ

た新しいHMI（Human-Machine Interface）の概念を体系的な商品として具現化し、計装の世界を大きく変貌させる端緒になった。

1977年には、TDCS2000の補助機器開発に関連して当社独自にJAシステムを開発し、ドーハ・イーストをはじめオイルマネーで潤う中近東の造水プラントに大規模に採用された。特長は、APC（Automatic Power Control）による自動系と手動系が独立した高信頼設計、コントロールユニットがカード方式かつ裏面接続にはラッピング方式を採用等であった。また、同時期にパルス・ニューマ（Pulse/Pneuma）変換器を開発販売した。この変換器は、変換器駆動源が停止したときに出力を一定に保持することを要求される特定の計装分野で現在も重宝されている。1979年には、TDCS2000の姉妹システムとして、塩ビ重合釜等で用いられるバッチ制御専用のスマートバッチ・コントローラ（SBC）を当社の技術で開発した。SBCの中核ソフトであるSOPL（Sequence Oriented Program Language）は、従来のコンピュータ言語に比較して簡潔な構造であり、簡単な講習で比較的高度なソフトの記述が可能であったため、必ずしも計算機ソフトが得意ではない計装エンジニアにも親和性が良く、ユーザの高い評価を得た。

船舶関係では、1974年に舶用監視装置の代名詞となった多点常時監視システム「カレントラーム」の後継機種としてカレントラーム・マークⅡを販売した。マークⅡの特長は、自己診断機能の充実と上位コンピュータとの結合容易性等である。さらに、1975年機関室無人化の総合監視警報システムとして、カレントラーム・マークⅡに警報表示装置を付加した多点常時監視システムMUSE SYSTEM（ミューズシステム）を開発した。

センサに関しては、この時代に当社の今日の主力機種になる差圧・圧力発信器と電磁流量計が、革新的技術によって誕生した。1975（昭和50）年に、当社は独自開発による矩形波励磁方式を採用した電磁流量計「MagneWシリーズ」を発売した。このころ、水質汚濁が社会問題となり、閉鎖海域である東京湾、伊勢湾、瀬戸内海に排水総量規制が施行された。この規制に対応し、開水路流量計として潜水電磁流量計MagneW-Kシリーズを開発し、堰やフリウムに代わり、広くユーザに受け入れられた。1976年には寒川工場内に電磁流量計工場が竣工し、一般配管用電磁流量計MagneW-Mシリーズを発売した。MagneW-Mシリーズは、テフロン・モールド・ライニングと外挿型電極という画期的な構造を採用し、従来の構造的課題を解決した電磁流量計として、広くユーザに受け入れられた。



JAシステム計装パネル



スマートバッチ・コントローラ（SBC）



潜水電磁流量計MagneW-Kシリーズ



一般配管用電磁流量計MagneW-Mシリーズ



DSTJ8000



空気式現場指示調節計KFシリーズ



多成分型赤外線分析計MarK-a-lyzer



高速ガス分析計H-1000

1978年、ハネウェル社は自社技術開発の半導体センサ素子をベースに拡散型半導体発信器を開発した。当社も直ちにアナログシリコン半導体センサ素子を輸入し、拡散型半導体差圧・圧力発信器DSTJ8000の国産化を開始した。半導体センサ素子は、差圧検出素子の他に、圧力および温度検出素子を同一基盤に形成した複合センサ構造であり、差圧検出素子の高感度かつ優れた再現特性を活かすとともに、半導体センサの弱点である温度依存性を温度センサで補償し、また差圧に比して巨大なプロセス圧力の影響を圧力センサで補償した。従来の力平衡型発信器の技術の延長線上とは全く異なる原理は発信器の歴史に残る技術革新であった。従来の発信器（NDシリーズ）と同一仕様の箇所は、配管との取り合いや支持台取り付け方法のみであり、根本的な作動原理や、構造では大きく変貌し、広いレンジアビリティ（従来の10対1から400対1へ）、高精度（ $\pm 0.5\%$ FSから $\pm 0.1\%$ FSへ）、また、振動や周囲温度特性の耐環境特性や出力ドリフト特性等が大きく改善した。また、発信器本体の設計ではハネウェル社と当社の主張が異なり、最終的に両者間で競技会を行い、当社設計の本体が最終的に採用された。

1978年、ブルズアイ現場型調節計の後継機種として、当社の独自技術で空気式現場指示調節計KFシリーズを開発した。ブルズアイ現場型調節計は、広角度指示を行うためにスパイラルスプリングを用いる等頑丈さや耐久性に難点があった。そのため、指示計の監視に支障のない範囲で指示角度を狭くし、頑丈さや耐久性を強化するとともに、プリント配管の採用により計器内の銅管を最小化、機器を構成する部品のユニット化を図りプラグイン構造にした結果、現場でのオプション機能付加が容易になった。ユニット固定用のネジ（+頭）とレンジの調整用ネジ（-頭）の区分等細部にわたり注意が払われた構造になり、現場でのオーバーホールを含めて保全作業性を大幅に改善した。

分析計は、ハネウェル社が必ずしも得意とする分野でなかったこともあって、従来は提携先の分析計専門メーカーから購入転売していた経緯があったが、1977年にはハネウェル社製のセンサエレメントを用いた多成分型赤外線分析計MarK-a-lyzer（マーカライザー）をハネウェル社と共同開発し、販売開始した。1978年にはハネウェル社製の高速ガス分析計H-1000を国産化し、販売開始した。同じく、1978年に、船舶の排水規制を受けて独自技術で油分濃度計Oil-a-lyzerを販売開始した。また、コンビナート等保安規則の制定に伴い、可燃ガスや毒性ガスの漏洩対策が厳しくなったことを受けて、ガス検知専門メーカーと提携するとともに、ガス検知警報システムGAS-O-LARMを開

発し販売した。

1972年、寒川工場が竣工し、NCマシン等の最新鋭の工作機械設備を設けた調節弁の加工組立工場が稼働を開始した。1973年には、技術援助の申し入れのあったインドIL（Instrumentation Limited）社への自動調節弁の技術援助契約が成立した。1979年、偏心軸回転型調節弁・フローウイングを発売した。

メンテナンスに関しては、カレントロニック等が日本のプラントメーカー経由で海外にも大量に輸出されたので、ソ連、東独、サウジアラビア、ブラジル、韓国等のアンモニア、鉄鋼プラント等のスタートアップ要員としてサービスマンの派遣が増えた。国内では、石油危機後の低成長時代に予知保全への顧客ニーズが高まり、これに対応するため、診断技術も大きく進展した。また、センサの自己診断機能やレンジ変更等でのスマート（インテリジェント）化や小型軽量化の進展により現場作業や機器校正が従来機器に比して楽になった。

デジタル化により計装エンジニアリングの中で、ソフトウェアの比率が増大し、設計の自由度が高まったので、ソフトウェアの技術力強化・拡充を目指した。



寒川工場と調節弁群

1971年に事業部名称を改称した電子機器（MS）事業部では、ハネウェル社商品の導入とその後の国産品開発を推進し、リミットスイッチやマイクロスイッチ等ハネウェル社の知名度があるスイッチは日本でも高い評価が得られた。一方、近接センサ、光電センサ等のハネウェル社製ノタッチセンサは、大きな形状やシール性に劣り、日本市場では受け入れられなかった。このため、国産品開発が急務となり開発に着手した。こうして、無接点スイッチ素子SSシリーズ、近接センサの新機種、各種光電センサ、入力設定用デジセットスイッチ等、メカニカルからエレクトロニクス化への傾向が顕著になった。特にハネ



ガス検知警報システムGAS-O-LARM



偏心軸回転型調節弁フローウイング



高評価を得たリミットスイッチ類



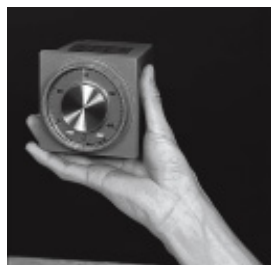
ソリッドステート・キーボードの生産ライン



ヒット製品ダイヤラトロール



ダイヤラトロールは使いやすさから広範囲の現場に採用された



小形温度調節計ダイヤラパック

ウエル社が開発したホールICをベースにしたソリッドステート・キーボード（SSK）は、コンピュータの普及による市場の拡大とSSKの持つ高信頼性により、市場をリードした。

また、機器制御（RA）事業部では、プロセス制御（PC）事業部の市場では包含しきれない計測制御分野の新しい市場を形成した。その他、資源節約を指向した商品であるデフロストコントロール、散水機器システムも発売した。

1972年、機械装置用アナログ温度指示調節計R7161の後継機種として、DIN 148mm角のダイヤラトロールの開発に着手。設定値が常に大型ダイヤルのトップ中央になる山武独自の設計による設定方式の採用により、作業者の測定値との偏差の現場確認の容易性を実現した。この商品は、装置にあわせてオンオフから比例制御まで選択できるようにシリーズ化が図られ、次世代のデジタル商品デジトロンクラインに引き継ぐまで息の長いヒット商品となった。

翌1973年にはダイヤラトロールを小型化したDIN 96mm角のダイヤラパックを食品、包装機、電気炉等の小型機械装置向けの温度制御用に開発、販売を開始した。

1973年、従来の石油ストーブと異なる室内の空気の汚染がないクリーン暖房器具として、家庭用の強制給排気（FF）型のガス温風暖房器が家電各社から販売された。この給排気ファンの動作確認用として風圧スイッチを使用するFFコントロールシステムを開発した。この風圧スイッチはその後改良が加えられ、現在もヨーロッパに輸出されている。



充実の各種スイッチ群

第5章 DCS (分散形制御システム) 発展期

1980～1989

おもな出来事

- ・TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）に決定（1982年）
- ・経企庁、景気回復宣言（1983年）
- ・プラザ合意（1985年）
- ・円高不況（1985～1986年）
- ・東京周辺の地価高騰（1987年）
- ・米国・ブラック・マンデー（1987年）
- ・WWW（World Wide Web）登場（1989年）
- ・昭和天皇没、元号「平成」に（1989年）
- ・日経平均株価、大納会で史上最高値（1989年）

1980年代（1980～1989年）

1980～1989



ブラック・マンデーで株価大暴落（1987年）

1. 時代背景とニーズ

1980年代前半は第二次石油危機後の3年におよぶ不況と貿易摩擦の激化に見舞われ、また1986（昭和61）年には前年のプラザ合意による円高の影響を受けて景気の後退があった。しかし、後半期は株価と不動産（地価）の暴騰による「バブル」景気に酔った。日本経済は絶頂期であり、製造業、特にエレクトロニクス産業では一人当たりの生産量が世界一になった。

また、1980年代は、現代の情報化社会のインフラをなすインターネットの基盤整備がされた時代でもあった。

当業界は、半導体、特にMPU（Micro Processing Unit）の機能向上と、プロセスコンピュータ機能の取り込みやソフトウェアの技術開発とも相俟ってDCS（分散形制御システム）の機能が格段に充実し、デジタル計装が飛躍的に進化し、アナログ計装システムの更新も含めて、ユーザに大規模にDCSが導入された時代であった。人件費の高騰に伴い、少数精鋭によるプラント操業を指向して、計器室の統合化やプラントのインテグレーション化、また、顧客第一を指向した変種変量生産等、いっそうの計装高度化ニーズが顕在化した。

このころ、PA（プロセスオートメーション）、FA（ファクトリーオートメーション）、OA（オフィスオートメーション）統合化のニーズも顕在化した。

国内ではプラントの新増設は相対的に減少し、改修が増大した。また、プラントエンジニアリング会社の国際競争力増大によるプラント輸出の拡大に伴い、計装システムの輸出も拡大した。

エンジニアリングに関しては、MPUの急速な技術革新に伴う短期間でのDCS機能拡大（バージョンアップ）とソフトウェア・デバグ不完全によるトラブルや、アップグレードに伴う既

設DCSとのソフトウェアの相互互換性や接続性が大きな課題として顕在化した。

前者に対してはデバッグ・ツールの開発や体系的なソフトウェア評価システムの確立に腐心し、また後者は基本設計思想の良否が浮き彫りになり、例えば、エボリューション思想（ハネウエル社／当社）が注目された。

この時代の特筆事項として、優秀な女性の計装エンジニアが第一線で活躍するようになった。エンジニアリング・ツールとしてのコンピュータ活用は黎明期であり、システム開発部門ではWS（Work Station）活用が一般化していたが、計装エンジニアリング部門では、まだペーパー・ワークが主体であった。

メンテナンスに関しては、ユーザサイドでは常に保全コスト削減が課題であり、「予防保全、予知保全」へのアプローチとともに、予備品在庫管理、計装機器のライフサイクル管理、特に使用計装機器の長寿命化ニーズが顕在化した。コンビナート法の改正により、保安検査に関する法規制が一部緩和され、設備保安検査を部分的に所有者の管理運営に任せることになったため、ユーザの定期点検に対するニーズにも変化が見られるようになった。定期点検もプラントの部分停止での点検実施により立ち上げを早める方法や、プラント運転中の点検（オンラインメンテナンス）等、即応性の高いサービスが求められるようになった。

2. 業界の動向

[世界]

1980年代は、産業オートメーション（IA：Industrial Automation）業界のM&Aを特筆できる。エマソン社は世界最大の調節弁メーカーであるフィッシャ・コントロール社を吸収し、さらにソフトウェアの大手インテリジェーション社を吸収した。フォックスボロ社は、英国のシーベ・グループに吸収された。ABB社は英国のケント社、米国のテイラー社、紙センサのアクイレイ社を吸収した。ボイラ制御の名門ベーレイ社は、イタリア政府が所有するフィンメカニカ社／IRIに吸収されてエルサグ・ベーレイ社になった。

[国内]

日本の産業オートメーション（IA）市場の大きさがようやく欧米メーカーに注目されることとなり、フィッシャ・コントロール社（Fisher Controls）、ローズマウント社（Rosemount）、ロックウエル・オートメーション社（AB：Rockwell Automation）、バルテック社（Valtek）、フォック

●エボリューション

TDCS3000LCNは、エボリューションの思想に基づいて、1975（昭和50）年に発表したTDCS2000を段階的に機能強化・拡張・発展させたシステムであった。「新しいシステムが販売されても、既に納めたシステムの旧バージョンを含めてサポート」というエボリューション思想は、ハネウエル社と当社のみが標榜した特色ある方針であった。ソフトウェア開発の手間は大変であったが、ユーザの既存資産を最大限に有効活用できたので、社会的な貢献が大きかった。

将来の企業目標に沿って着実な計画ステップを踏んでDCS（分散形制御システム）化を実施していくユーザにとって、最新のテクノロジーを導入するとともに追加経費を最小限に抑えた長期にわたるプロセス改革の大きな支えとなったのが、エボリューション思想だった。長期にわたりシステムを維持・拡張していくには、それまでのシステム資産である機器や蓄積データの破棄や無視は許されない。これらの既存システムの資産を十分に生かしながら新たなシステムの導入を図ることができたことが、信頼性の高い監視・制御システムの構築につながったわけであり、このコンセプトはユーザ各位の高い評価をいただいた。

スポロ社（Foxboro）、エンドレス&ハウザー社（Endress+Hauser）、クローネ社（Krohne）等が本格的に日本市場に、直接または提携で拠点を設けた。

国内でもM&Aが行われ、1983（昭和58）年、(株)横河電機製作所と(株)北辰電機製作所が合併した。1980年代前半から後半にかけて日本経済は黄金期であったため、鉄鋼・石油精製・石油化学・紙・電力・公共設備の設備投資はまだ旺盛で、当業界の市場ではDCS（分散形制御システム）を主体に開発競争が活発であった。その結果、各社の新しいDCSが華やかに開花した時期でもあった。例えば、(株)横河電機製作所*は従来のCENTUMからCENTUM-V・XLにアップグレードし、(株)東芝はCIEMAC、(株)日立製作所はEX、富士電機(株)はMICREX等である。

3. この時代の中核技術

[理論]

制御理論の分野では、古典制御理論と現代制御理論の融合化が試行され、適応制御理論やH ∞ 制御理論（1981年）が現れた。同定アルゴリズム・モデル規範適応制御や予測制御の実用的な応用展開がスタートした。また、1980年代からロバスト安定性に関する研究が重要視されるようになり、H ∞ 制御理論の他に、ファジィ制御、ニューラルネットワーク理論の展開と実用化がスタートした時期でもある。

[コンピュータ]

1981（昭和56）年、MS-DOSが発表され、IBMがパーソナルコンピュータを発売した。1982年にはNECからPC-9801が発売された。

80年代に、もてはやされた用語にMAP（Manufacturing Automation Protocol）や、CIM（Computer Integrated Manufacturing）がある。しかし、これらの用語は、1990年代に入ると徐々に使用されなくなった。

[ボード機器]

分散形デジタル計装システムの機能や仕様が大きく進化した時代である。計器室の統合化を含めた計装システムの大規模化、HMI（Human-Machine Interface）では監視・操作が容易な親和性の高い機能、コントローラでは自動バックアップ機能等の冗長化、高度演算組込みが容易な機能等、多面的な機能の向上を特徴として挙げられる。

[センサ]

1983（昭和58）年、ハネウェル社は、世界初の双方向デジタル通信プロトコル（DE）を持つスマート・トランスミッタ

ST3000を発売した。苛酷な設置環境の差圧発信器に、マイクロプロセッサを搭載し、伝送信号の4mAで駆動するスマート・トランスミッタは、フィールド計器のデジタル化の幕開けとなった。±0.1%FSという高精度、周囲の温度環境変化を自動補正する安定性、4～20mAの伝送ラインを通じて、遠隔からのレンジ変更や、発信器を診断する通信機能を有することにより、ユーザの生産性や利便性は著しく改善されるようになった。当社は1985年にこのスマート・トランスミッタを国産化し「DSTJ3000」として販売開始した。1986年にローズマウント社（Rosemount）はHARTプロトコルを用いたインテリジェント・トランスミッタ3051を発売した。

[操作端]

アンモニアプラント用の超高圧弁やLNG向けの低温弁（-161℃）、現場環境改善のための低騒音弁、半導体やファインケミカル向けの微量流量弁等、産業の多面的な要求仕様の拡大に対応した調節弁が開発された。

FA分野では、自動車産業を主体に多関節ロボットの導入が進展した。

[信号]

日本においても信号レベル問題はユーザにとって大きな課題であったが、1986（昭和61）年、JIS B0155工業プロセス計測制御用語および定義の中の「12007」統一信号の項目で、電子式信号レベルが4～20mAdcと定義され、この長い論争はようやく終結した。

DCSの進化とともに、LANの分野ではイーサネットがデファクト標準として存在感を示し始めた。

4. 当社のあゆみ

国内の装置産業はアナログ計装設備の更新期にあり、米国での大々的なDCS（分散形制御システム）の導入事例を踏まえて、各業界の指導的な立場にあるユーザ企業を中心に「最適な計装方式のあり方」について入念な検討が行われた。代表的な業界ニーズ例としては、石油精製業界では、プラント・オペレーションの改善による運転効率の改善、最適化制御によりもたらされる製品収率の向上、品質の安定化、安全性の確保、システムの拡張性・柔軟性、省エネルギー・省資源・省力化等であった。技術革新の激しい化学業界では、省エネルギー対策、製品品質向上、運転効率向上等のほか、プラント操業を継続しながらプロセスの操業目的に合わせたソフトウェアの変更が可能な柔軟なシステム等である。鉄鋼業界では、二度の石油危機



石油精製装置の総合制御システム（TDCSとセミグラフィック併用監視制御盤、当時の丸善石油・千葉精油所）

注

* (株)横河電機製作所：1983年

(株)北辰電機製作所と
合併、横河北辰電機
(株)に社名変更

1986年

横河電機(株)に社名変更



マイクロ・ブレンド・オ・セット



デジトロニックラインシリーズ



TDCS3000LCN



オペレータステーションEOS



アドバンスド・マルチファンクション・コントローラ

に続く経済の停滞により従来にも増して省資源・省エネルギー、炉命の延長をベースに、操作性の向上、信頼性の向上、機能の拡充を重要視した。また、LNG船では、ボイラ等の自動化に加えて、LNGカーゴの監視制御等の総合管理が求められた。

これらの産業界のニーズに対して、1981（昭和56）年、SBCを含めたTDCS2000の体系を完成した。1975年の発表以来、全世界で圧倒的な実績を誇っていたTDCS2000（1984年10月よりTDCS3000BASICと改称）が石油、石油化学、鉄鋼等の装置産業をはじめ、浄水場やゴミ焼却等の公共施設等に大規模に採用され、当社はデジタル計装時代の波に乗った。

1985年、船用モニタリングシステムとして、HMS（High grade Marine System）を投入した。1988年、世界初のDCS搭載船として、オーストラリアのノースウエスト・シェルフ・プロジェクト（North West Shelf Project）向けのLNG船にTDCS3000BASICが採用された。

また、1981年には、当社での第3世代になる分散システム構成のブレンダーとして、「マイクロ・ブレンド・オ・セット」や、ワンループコントローラである「デジトロニックライン」（その後、セルフチューニング・コントローラ機能やTDCS3000との通信インタフェース機器SSCポートを加え、TDCS3000セルフチューニング・コントローラと改称）を発表するとともに、従来型のアナログ計器の統合を踏まえたカレントロニック8000、ニューマチック8000、ビューマチック8000、DSTJ8000等とのハイブリッド化と機能強化を発表した。

さらに、ハネウェル社と当社は、TDCS2000の次世代システムを開発するために『プロジェクト80』として開発チームを組織し、共同開発に取りかかった。この新システムTDCS3000LCNは、自律分散構造のローカル・コントロール・ネットワークの上に構築された斬新かつエボリューション的な新システムとして、1984年の計測展やISAショー等で世界発表した。しかし、このシステムはソフトウェアのデバグが完全ではなく、両社は結局、発売後丸1年間にわたり出荷を停止した。ハネウェル社／当社の共同チームは、昼夜兼行で徹底的なシステムのバグ・チェックを完遂することによって、この危急存亡の難局を乗り越えた。またこの前後に、当社独自のオペレータステーションEOSを開発した。当初ハネウェル社からは反対のあったマルチファンクション・コントローラ（MC、AMC）を日本独自で開発した結果、TDCS3000LCNのソフト問題発生時に、これらの独自開発機器が代替の主要機種となって活躍した。

1980年代後半から、企業間競争に勝ち抜く手段として、工業市場のあらゆる分野でFA（ファクトリーオートメーション）化の需要が高まり、またFA化の進んでいる分野では、統合化からオープンシステム化への指向、さらにAI（運転支援／故障診断エキスパート・システム）の開発に対する期待へと高度化、情報化が進んだ。FA分野の拡大に対応して、FAコントローラMA500やFAシステムUCSの当社商品がFA市場に広く受け入れられた。

センサでは、1983年のハネウェル社のスマート・トランスミッタ発売に続き、1985年にスマート・トランスミッタDSTJ3000を販売開始した。当社は、DSTJ8000で培った発信器メータボディの設計、製造技術に優れていたため、複合半導体センサ、電子回路ボードは、ハネウェル社から輸入し、発信器メータボディ部は当社からハネウェル社に輸出という国際分業体制で、両社は緊密な関係を結んで、トランスミッタのマーケットシェアを伸ばしていった。1989年には温圧補正形のDSTJ3000を販売開始した。また、投込み式液面計では1982年にアナログシリコン半導体センサを用いたALTJ8000を開発し販売を開始し、さらに1987年にはスマートシリコン半導体センサを開発し、市場に投入した。この他に、温度発信器TEMP3000を1988年に発売した。また、空気式差圧発信器NDPの後継機種としてPREX3000を開発し、1986年に発売した。

電磁流量計では、検出器、変換器を小型化し、検出器、変換器一体型等をラインアップしてMagneW3000シリーズとして販売開始した。3000シリーズは現場機器のスマート化の代名詞として、拡充していった。

分析計では、1983年、半導体センサを搭載した赤外線分析計MarK-a-lyzerを販売開始した。また、ボイラ燃焼の最適化やボイラの風量調整等を目的としたボイラ監視システムO₂トロニックを販売開始し、省エネ対策システムとしてユーザの評価を得た。1987年には、H-1000のアナログ信号をデジタル処理に変更したプロセスガス分析計HPGC3000を販売開始した。

調節弁では、アンモニアプラント用の超高压弁、LNG向けの低温弁を国内外に納入し、現場環境改善のための低騒音弁（VDN）、半導体やファインケミカル向けの微量流量弁（VSM）等を開発納入した。1984年に、独自開発のデジタル・ポジションナを世界の調節弁メーカーに先駆けて発表した。1980年に中華人民共和国呉忠儀表廠へ、また1986年にタイ王国・ビデヤコム社の系列会社ビデヤコム・バルブ社と自動調節弁の製造技術援助契約を締結し、技術輸出を行った。



DSTJ3000とSFC (Smart Field Communicator)



PREX3000



MagneW3000



センサおよび調節弁の3000シリーズ群

O₂トロニック

エンジニアリングに関しては、TDCSの普及に伴い、エンジニアの計装スキルがシステム良否や設計から設置、スタートアップまでのプロジェクト期間を左右するようになり、エンジニアの地位がユーザにも認知され、確立された時期であった。

TDCSのアップグレードに伴うソフトウェアの相互互換性や接続性では、ハネウェル社と当社の「エボリューション思想」がユーザに評価されるとともに共感を得た。

メンテナンスに関しても、TDCSの普及とともにメーカが提供する保全サービス体制が受動的から能動的になり、またサービス形態が「労務提供型（量）から技術提供型（質）へ」と大きく変貌した。ユーザニーズの即応体制では、24時間待機や即時部品供給体制も必要不可欠であった。1989（平成元）年4月には全国を4つのブロックに分けたサービスホットラインを設置し、24時間サービスが可能になった。

電子機器（MS）事業部では、1980年代前半に光電センサFE7を独自に技術開発し、シール性や堅牢性へのニーズが強い自動車産業で高い評価を得た。また半導体産業の隆盛に伴い、ファイバー形光電センサHPXや超小形光電センサPJ7等省スペースセンサの開発により、自動車・搬送機産業から電気・電子・半導体産業へと軸足を徐々に移していった。近接センサは国産化初のFL1により自動車・工作機械産業で評価を得、さらに専用ICを組み込んだFL7を販売開始した。安定表示機能を盛り込んだFL7 MDC 2線形、故障予知形FL7により、自動車・工作機械産業での拡販に成功した。また、ハネウェル社の販売網を通じて、米国、ヨーロッパにも純国産の光電、近接センサを販売した。1980年代には小形マイクロスイッチV5シリーズを発売し、電子レンジやOA市場等で爆発的に販売数量を伸ばした。

機器制御（RA）事業部では、1981（昭和56）年機械装置用の温度調節計として初めてマイコンを採用したデジトロニックラインの開発に着手。その第一段としてDIN 96×144mm角の温度指示調節計SDC300シリーズを、またそれまでのカムによる温度プログラムから、デジタルプログラムによりカムの切り抜き作業を不要としたDIN 144mm角のプログラム調節計DCP500シリーズを開発し、販売を開始した。これ以降1987年にはDIN 98mm角のデジトロニックラインプログラム調節計DCP200シリーズの導入、1988年ダイアラシリーズの後継機種としてDIN 98mm角のデジトロニックラインSDC200の導入とデジタル化を推進した。SDC200は生産が追いつかないくらい販売量を伸ばし、現在の温度調節計の基礎を築いた。

1980（昭和55）年、スーパーマーケットチェーンに対して、ショーケースや店舗空調の電力量の節減を図るW7000シリーズによるLMS（ロードマネジメントシステム）のコンサルティング販売を開始し、省エネルギービジネスの先鞭を開いた。またこの年、政府の農業政策の一環として施設園芸に対する強化・育成策が打ち出され全国的に施設園芸用ハウスの建設が開始されたのを受け、農業試験場と研究を進めた天窓の自動開閉や炭酸ガス濃度制御、ハウス内温度制御を集中管理コントロールするグリーンハウスコントローラW8060の開発・販売を開始した。

1987（昭和62）年4月、電子機器（MS）事業部と機器制御（RA）事業部が統合され、制御機器（CP）事業部となり、ハイブリッド市場分野での効率化が図られた。従来の主商品である温度調節計やセンサから汎用パソコンとFAコントローラ



FE7シリーズ小形光電センサ



FL7シリーズ近接センサ



デジトロニックライン温度指示調節計

MA500の組み合わせによる汎用形FAシステムUCS300まで、総合的に商品を提供するトータルオフリングを目指した。



グリーンハウスコントローラW8060



汎用パソコンを用いた汎用形FAシステムUCS300（上）とFAコントローラMA500（下）



第6章
情報・計装ネットワーク・システムの
黎明期
1990～1999

おもな出来事

- ・平成不況の始まり (1991年)
- ・ソ連邦の崩壊 (1991年)
- ・インターネットの普及 (1995年)
- ・製造物責任法 (PL法) 施行 (1995年)
- ・地球温暖化防止京都会議開催 (1997年)
- ・IT (情報技術) 景気 (1999~2000年)

1990~1999

1990年代 (1990~1999年)



地球温暖化防止京都会議 (1997年)

1. 時代背景とニーズ

グローバルには、1991 (平成3) 年のソ連邦の崩壊と東西冷戦の終結、韓国／台湾等のNIES (Newly Industrializing Economies : 新興工業経済地域、新興工業群) の台頭等、世界のパワーバランスが大きく変貌した時代である。

国内では、バブル経済が崩壊し、特に金融や不動産業界を主体に不況が深刻になり、ビッグバンによる金融・財政の根本的な構造改革の必要性が叫ばれ、経済産業省の政策も「護送船団方式」から「トップランナー方式」へ大きく舵が切られた。さらに、1997年のタイバーツの通貨危機を起点に、韓国、東南アジアの通貨不安が日本にも波及し、日本経済は大きな打撃を受けた。各企業はサバイバルのために、会社組織のフラット化や成果主義の賃金体系の導入等とともに、「選択と集中」による果敢なリストラを実行し、スリム化を図った。また、ビジネス誌等では、BPR (Business Process Reengineering : 業務改革。1990年代初頭)、CRM (Customer Relationship Management : 顧客関係管理。1990年代後半) が注目された。プラントの新增設は極端に減少し、既設設備の高度化と保全費削減がユーザの命題になった。

IA (産業オートメーション) 分野では、DCS (分散形制御システム) の機能高度化や信頼性向上に伴い、使用実績が増大し、従来の計装盤を取り除いたパネルレス・オペレーションが普遍化し、バッチプロセス制御の標準化が急速に進展した。また、運転現場と生産計画／実績管理との融合が進み、ボードオペレーションの質的レベルが高度化した。例えば、ERP (Enterprise Resource Planning : 企業資源計画) システム、MES (Manufacturing Execution System : 製造実行システム) とDCSとの連携指向、ISO9000、12000、14000、GMP

(Good Manufacturing Practice : 医薬品適正製造基準) とコンピュータ・バリデーション (Computer Validation : 医薬業界)、HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point : 危害分析と危機管理点。食品業界) 等の規格により、生産者に求められる説明責任が増大した。

1990年代のIAビジネスの特徴は、調節弁やセンサ等の現場機器ではカタログ上におけるメーカ各社間での仕様・機能等の向上や差異の縮小とともに新たな非価格競争力の確保に知恵が求められた。特に長寿命の調節弁は設備更新の機会が望めなく、厳しい価格競争に耐える体力が問われた時代であった。一方、DCS等の計測制御システムでは、ハードウェアよりソフトウェアの重要性が高まるとともに、プラットフォーム (ハードウェア) とは無関係に高度化制御等のパッケージソフトのみを販売する形態が徐々に増大しはじめた。このビジネスの特徴はプラットフォームの機能が仕様を満たしていればプラットフォームベンダには無関係なビジネス形態である。また、ソフトウェアに関しては、購入者・供給者間で諸々の課題が顕在化した。これらの解決策として、計測制御システムのソフトウェアを主体に作業内容を可視化し、購入者・供給者双方に共通の土俵を準備し、取引を明確化して、市場の活性化を図る必要があった。

ISO/IECでは、システム開発取引の共通フレームをISO/IEC 12207として、1995 (平成7) 年8月に発行した。国内では、ISO/IEC 12207を翻訳し、JISX0160を1996年7月に発行、第三者にも理解しやすいソフトウェア構築の体系化として、共通フレームや共通フレームを使いこなすガイドラインが計測制御業界でも作成された。

情報・通信・制御系の統合による高度計装化ニーズが高まり、DCSはメーカ専用の非オープン・システムからオープン指向へと大きく変貌し、計装メーカ各社はユーザの問題解決のための「ソリューション」を前面に打ち出した。

当時、コンピュータのキーワードには、「ダウンサイジング」、「システムのオープン化」、年号の2桁表示に伴うコンピュータのトラブル懸念すなわち「2000年問題」があった。「2000年問題」は計装業界でも懸念され、社団法人日本電気計測器工業会 (JEMIMA) をはじめ業界一団となって事前の啓蒙活動を行うと同時に、1999年末から2000年初頭にかけてメーカ各社はサービスエンジニアやシステム開発技術者等、関連するエンジニアが臨戦態勢で臨み、最終的には「大山鳴動して云々」の望ましい結果に終わった。

一方、インターネットが1990年代初期の黎明期を経て1990年代後期にかけて急速に普及し、IT (情報技術) が進展した。世

界的なIT関連需要の増大によって、景気は1999年から緩やかに回復した。他方、ハードウェア、ソフトウェア両面における驚異的な性能および操作親和性を向上したパソコンの主要部を制覇したWINTEL（Microsoft、Intel）の時代といわれた。パソコンは初期投資が少なく使い慣れていること等とともに、制御性や信頼性においても従来のDCSの性能との差異が小さくなった結果、オープン・コントロール・システム（OCS）の新市場が形成され、パソコン計装が徐々に普及しはじめた。

エンジニアリングに関しては、IBMが提唱したTCO（Total Cost of Ownership）がエンジニアリング上の重要な設計要件として注目されるようになり、その考慮対象領域は運用費（初期投資、ランニング経費、保全費）、増設・変更費はもちろんのこと、リサイクルや廃棄処理費までも包含するようになった。

メンテナンスでは、プラントの生命線である計装システムのトラブルを最小時間で解決することが求められ、計装システムの遠隔監視やサービス支援を行うためのサポートセンターが設置された時期であった。

2. 業界の動向

[世界]

IA（産業オートメーション）業界でも、グローバルかつ本格的な大競争時代に突入した。国際的な大手IAメーカー間でM&Aやアライアンスによる再編成が継続した。これらのIA業界変動の中でリストラクチャリングが繰り返されるとともに、寡占化が徐々に進展した。ABB社はイタリア政府の所有していたエルサグ・ペーレイ社を傘下に収めた。ハネウエル社は、米国アライド・シグナル社に買収された。しかし、世界的に知名度の高いブランド「ハネウエル」の社名は残った。英国のシーベ・グループとBTR両社は合併に同意し、英国のエンジニアリング企業としては最大の規模を持つインベンシス社が誕生した。

[国内]

国内の設備投資の縮小に比例してIA（産業オートメーション）市場の国内需要も低迷する中で、国内メーカー各社のIA部門は、コストダウンやリストラ等の合理化政策を果敢に実行した。この状況の中で、海外展開に活路を求めた企業も多い。世界市場進出に最も積極的であった横河電機株は、1980年代後半から1990年代にかけ、米国・ヨーロッパ・東南アジア各国に海外展開を推進した。富士電機株の工業計器部門も、フランスや

インドでトランスミッタの生産を開始し、グローバル展開を開始した。

当社の海外展開は、ハネウエル社との提携関係により、日本のプラント輸出関連を主体に進めていた。しかし、1997（平成9）年10月、ハネウエル社との新しい契約関係が成立し、1998年7月1日より株山武と新社名に変わり、改めて独自の世界展開をスタートさせた。

ユーザの投資目的が、「従来の量（設備新增設投資）から質（高度化投資）」へと、鮮明にシフトした時代であった。例えば、石油精製業界では、企業競争力強化のための全社的な情報統合化に合わせた次世代のプラント操業を目指した情報のオープン化によるプロセス統合化、定常運転に加えてスタートアップ/シャットダウン等の非定常運転時を含めた装置運転の自動化、独自ソフト開発で最適化を図り省力化・効率化を実現等である。また化学業界では、多品種・少量生産の製品品質の安定化、効率化、省力化の具現化等であった。

[規格・標準]

機能安全規格

1976年のセベソ事故（イタリア）や1983年のボパール事故（インド）等、プラントが引き起こした重大事故によって多くの人命が奪われる事態が発生し、これを契機として、欧米では安全に関する報告書提出、リスク解析を義務づける法制化の動きが出てきた。異常事態は不可避であるという前提に立ち、安全にプラントを停止できる独立した安全装置を付加するという考え方に沿って、規制と規格が制定された。これらの流れを受けて、1999（平成11）年には電気・電子・プログラマブル電子安全関連系で安全を確保する高度産業の安全規格としてIEC61508が制定された。さらに、2003年にプロセス向けアプリケーション規格としてIEC61511が制定された。

EMC（Electro Magnetic Compatibility：電磁両立性）

DCS（分散形制御システム）に代表されるデジタル計装時代に入るとともに、無線通信機器の普及等も相俟って電磁気による障害問題が顕在化した。EMC（電磁両立性）には、電磁気障害の被害と加害の両面があり、前者をイミュニティ（immunity：外部からの電磁力に耐える抵抗力）、後者をエミッション（emission：電磁力を外部に放出）と呼称している。EMC関連規格の規格化・標準化は、1979年にIECで規格が検討されはじめ、1980年代に入って、各種のイミュニティ試験規格が発行された。IECでは、計測制御機器の性能評価基準を定めようと、EMC関連の規

格化・標準化も行われ、1999年よりIEC61000（基本規格）シリーズ規格として検討・審議がなされている。これらを受けて、計測制御業界でもEMC関連規格の審議が継続中である。

3. この時代の中核技術

[理論]

ポスト現代制御理論（設計指標は周波数領域、設計手法は状態空間法）の提唱が散見されるようになった。また、遺伝的アルゴリズム（GA：Genetic Algorithm）は生物の進化過程を数理的にモデル化し、その進化過程を計算機上でシミュレーションしようとする考えであり、スケジューリングなど大規模組み合わせ問題の新しい手法として1990年代から応用されるようになった。

[コンピュータ]

従来「FA（ファクトリーオートメーション）コンピュータ」と呼称されていた機種が、その適用範囲の拡大からベンダ側では「産業用コンピュータ」と呼称されることが多くなった。また、パソコンとの違いについて、産業用コンピュータは「高い信頼性設計、マルチタスク・リアルタイム処理機能や長期（有償）保証」等を訴求している。

また、プロコン（プロセスコンピュータ）は、鉄鋼業等では制御システムの中核を形成しているが、石油・化学業界等ではDCS（分散形制御システム）の進化とともに徐々に影が薄くなってきた。

[ボード機器]

DCS（分散形制御システム）の仕様や機能が高度化し、いっそう充実した時代であった。OS（オペレーティングシステム）は、初期の専売ベースからUNIXベースへ変遷し、さらにUNIXベースからWINDOWSベースへと大きく変遷した。DCSの機能高度化に伴い、プロコン機能も取り込まれ、LANではイーサネットがデファクト標準化され、コントローラでは、オートチューニング機能の導入、AI（ファジィ、ニューラルネットワーク等）機能の付加等が具現化した。また、ネットワークを通じて情報共有が容易なクライアント／サーバのアーキテクチャがプロセス計装の分野にも取り込まれた。

また、廉価な温度指示調節計等の簡易計装機器にも、オートチューニング・コントローラが一般化した。

[センサ]

差圧発信器、圧力発信器、電磁流量計、バルブポジションナ、分析計等、プロセス用現場機器にマイクロプロセッサ搭載の機

種が増え、とかく、アナログタイプと比べて高価であったスマートセンサが同等もしくは安価になり、広くアナログからスマートに置き換わるようになった。

当社では、1992（平成4）年に駆動電源線と信号線とを共用化した2線式電磁流量計MagneWを発表して、世界市場に進出した。

[操作端]

調節弁の周辺機器の一つである弁開度を決定するポジションナに、第2世代のスマートポジションナが商品として登場し、オンラインでのレンジ変更、診断機能、弁位置情報の発信機能等の仕様が標準で付加できるようになった。

[信号]

計装信号の第3世代にあたるフィールドバスの概念確立と実用化指向が顕在化した時代であった。1992（平成4）年にフィールドバスの世界標準規格を目指して、プロセス・コントロールを中心にした横河電機株、フィツシヤ・ローズマウント社、シーメンス社等がISP Foundationを組織した。これに対してディスクリート分野のフィールドバスについては歴史的に古く、ドイツ、フランス、イタリア等のEC勢は1986（昭和61）年ごろからスタートし、ドイツのプロフィバスや、フランス・イタリアのFIP機器がディスクリート分野で実用化されていた。このような動きに対応して、1993年に当社はハネウェル社、ロックウエル・オートメーション（AB）社、エルサグ・ベレー社、スクエア・ディー社とともに、データリンク層でIEC規格案に近いFIPをベースに、WorldFIPを組織し、世界標準作成を目指してISPと別活動を開始した。しかし結局、双方は別々に活動するデメリットが大きいことを認め、WorldFIP北米とISPは1994年に合併し、現在のフィールドバス協会（Fieldbus Foundation）が発足した。日本では、横河電機株、富士電機システムズ株、当社が世界11社の中の幹事会社として活動している。国内では、1999年、社団法人日本電気計測器工業会（JEMIMA）で標準化を行い、JEMIMAフィールドバス（JEMIS038-1999）規格として発行された。

4. 当社のあゆみ

「従来の量（設備新增設投資）から質（高度化投資）」へと、ユーザの投資目的がシフトした時代にあって、大規模にプラントの情報を集約化し、運転・制御の高度化を図るために、コンピュータを含めて異機種間結合を指向したオープンシステム化へと大きく踏み出したTDCS3000LCNのコンセプトが広く受け



TDCS3000LCNによる中央制御室
（出光興産・北海道製油所）

入れられた。

TDCS3000LCNから第3世代のDCS共同開発のため、ハネウエル社と当社は、『プロジェクト70』・『プロジェクト80』に引き続き、第3回目のフィジビリティ・スタディ・チームを約1年間にわたり共同で組織し、多面的に詳細な調査をした。その結果、1992（平成4）年にWindows NTをプラットフォームにした、「トータル・プラント・オープンソリューション（TPS）」を開発・発表した。新システムはUNIXも使用できるが、基本的にはプラントネットワークを含めすべてWindows NT4.0をベースに新しく開発する道を選んだ。そのため、新オペレータステーションの日本語を含む国際語化は当社の担当となり、グローバル・ユーザ・ステーション（GUS）として発表され、従来システムとの互換性を持たせながら、新しいスタートを切った。

パソコン計装の分野では、通信・制御の面で信頼性を高めた二重化による冗長化構成が可能なHarmonas（ハーモナス）を1995年10月に発表した。

ボイラ計装等を目的に、1997年に当社技術でEuprexa（ユープレкса）を開発・販売開始した。ユープレксаの特徴は、コンピュータソフトの知識の乏しい計装エンジニアでも、すべてを完成可能なように、可視化ツールによって図面を直接ソフトウェアに変換できるプログラムレスのブロック・コンフィギュレーション、WindowsNTやイーサネットの採用によるオープン化、電力会社の形式認定に合格した高信頼性設計、マウス・オペレーション等、最先端の技術を導入した設計であった。

パッケージソフトの関係では、プラットフォームのベンダに無関係に、ハネウエル社Hi-Specの最適計画支援、操業管理、運転支援等の各種パッケージソフトを当社と共同でコミッションングを行い、メンテナンスサポートは当社が担当する販売形態をはじめた。

センサ、分析計、バルブポジショナ等の現場計器には、マイクロプロセッサを搭載し「スマートシリーズ」を拡充するとともに、性能や機能がいっそう向上した。

センサでは、主力の発信器と電磁流量計の小型化や高性能化が進んだ。性能や品質の作り込みにより、今日の事業基盤が確立した。発信器では、1992年に小型メータボディのスマート発信器DSTJ3000Aceを、1997年にはDSTJ3000NewAceを販売開始した。1998年には、片手で持ち運びが可能な世界最小のスマート発信器Bravolight（ブラボライト）を発売した。電磁流量計では、性能・機能を向上させたMagneW3000plusを販売開始し、テフロンライニングは高度なモールド技術によって湘

南工場で製作されるようになった。また、ハネウエル社を通して、米国やEUに販売された。オーストラリアのアルコア（ALCOA）社では、累計8,000台以上のMagneWが使用されている。1992年に駆動電源線と信号線とを共用化した2線式電磁流量計SMT3000を発表し、販売開始した。また、温度発信器TEMP3000の後継機種としてSTT3000を1991年に発売した。さらに、STT3000の後継機種として、スマート温度発信器ATTを1999年に発売した。

分析計では、1991（平成3）年に、自社製半導体センサエレメントをはじめすべて自社技術によるスマートガスクロマトグラフSGC3000を販売開始した。当時、現場設置可能な世界最小のガスクロマトグラフだった。1995年には、半導体センサエレメントを用いた熱伝導度式熱量計であるスマートガスアナライザSGA400（ガス熱量発信器）を東京ガス（株）と共同開発し、販売開始、1997年には水素ガス純度計のスマートガスアナライザSGA300を販売開始した。また、1999年にはJIS防爆を取得したスマート現場形pH変換器Cyber-pHを販売開始した。

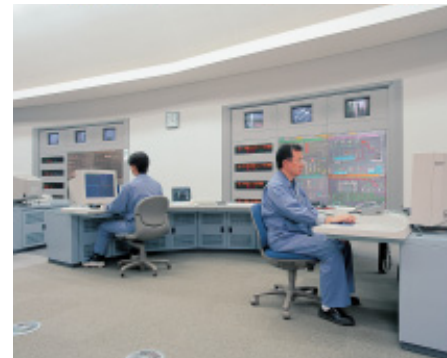
調節弁では、ファインケミカルをはじめとした装置産業の高密度配管にも対応可能な小型調節弁CV3000アルファプラスシリーズを開発・販売開始し、安価かつ安全性に優れた汎用調節弁として市場での評価を得た。また、マイクロプロセッサ搭載のスマート・バルブ・ポジショナSVP3000が、アナログ・ポジショナHEPに置き換わって、使われるようになった。

エンジニアリングに関しては、計装エンジニアのパソコン利用が一般化し、電子情報化や関係者間の情報共有化により、エンジニアリング効率の改善に顕著な効果を示した。

メンテナンスに関しては、1990（平成2）年に多様なユーザーニーズに対応可能なメンテナンス・サービスメニューである「ISOP（工業システム総合保守サービス・オペレーション・プログラム）」を公開し、運用を開始した。従来のサービスビジネスの概念とはまったく発想を変えた画期的なISOPのメニューは、当社が契約したユーザーの計装システムを常に最適な条件で運転できるように、ハードウェアからソフトウェアまであらゆる保守業務を全面的かつ包括的に実施するためのサービス・プログラムだった。ユーザーが契約目的に応じて選択できたISOPのメニューは、「緊急」、「予防保全」、「予防管理」、「ソフトウェア」、「オプション」であった。



Harmonas



J-Power/電源開発磯子火力発電所運転センターに設置されたEuprexa



DSTJ3000 (NewAce)



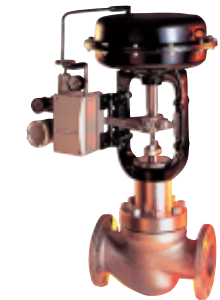
Bravolight



2線式電磁流量計SMT3000



スマートガスクロマトグラフSGC3000



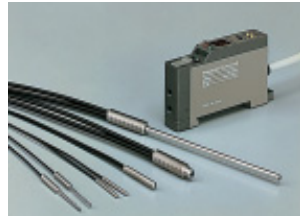
小型調節弁（CV3000アルファプラスシリーズ）



スマート・バルブ・ポジショナ「SVP3000」



ISOP点検風景



デジタル表示機能を付加したHPX-T光電センサ



デジトロニックラインSDC20/30シリーズ



デジトロニックラインSDC10



スマートレコーダSRF100シリーズ

制御機器（CP）事業部では、バブル経済の終焉に伴い、トータルオフリングのもとに拡大していた商品の品揃えの整理を行い、主力商品であるデジタル調節計およびセンサに開発のリソースを集中させることとした。近接センサは、アルミ粉対策近接、スパッタ対策近接等耐環境形商品を開発した。悪環境下での使用を目的としたセンサはユーザに評価され、自動車業界に多く採用された。ファイバー光電センサの主力はデジタル表示になり、初めてデジタル表示を付加したHPX-Tは使いやすさが受け入れられ、特に半導体製造業界に多く採用された。また、省配線ニーズに対応して、ハネウェル社製SDS（スマート・ディストリビューション・システム）の導入を行った。価格重視の市場要求に対応して、コストダウンのためにIHMSセンサは1995（平成7）年に中国・大連工場の稼働とともに生産移管を行った。さらに、光電・近接センサも1990年代後半～2000年代初頭に移管した。

機械装置メーカー向けには、1991年デジタル指示調節計SDC200の下位機種となるSDC20/21を導入し、DIN 96mm角・DIN 48×96mm角サイズをラインアップし、簡易計装市場における温度指示調節計の販売拡大を図った。1993年には、SDC200の後継機種としてSDC30/31/40を導入し、1995年には誰でも使える温度スイッチに位置付けしたDIN 48mm角SDC10デジトロニックラインを導入した。

簡易計装市場に向けて、1994（平成6）年機械装置組み込み用のデジタル印字機能を搭載した100mm幅記録の打点およびペン形スマートレコーダSRF100シリーズを開発、販売を開始した。機械装置メーカーにとって都合的な制御盤におけるデジトロニック温度調節計と記録計のデザインの統一が実現した。この記録計市場向けに、1989年に開発されたアナログ記録計DPR500の後継機種として、1997年薬品プロセスや食品業界におけるHACCPなど製造中の温度記録のニーズに対応し、デジタル印字機能、演算機能を搭載した180mm幅記録の打点式スマートレコーダSRF200シリーズを開発、販売を開始した。続いて2000年のペン形商品の導入により記録計市場への商品開発のラインアップが完成した。

燃焼安全市場向けには1996（平成8）年マルチバーナ用火災検出リレーとして、DINレール取り付けが可能な、従来機種に比較して大幅に小型、安全性を向上した小型フレームリレーFRSを開発導入した。さらに1997年には当該リレー用フレームメータ、1999年には自動点火システムを構成するためのFRS110

を開発し、マルチバーナの燃焼安全制御システムとしての商品構成の充実を図った。

1995（平成7）年の阪神・淡路大震災を教訓に、地震災害時のガス漏れによる二次災害防止のために、全国のガス事業者に対して感震センサにより遮断弁を同時に作動させる感震自動ガス遮断装置を設置することが指導された。また、マイクロマシニングやセンサ技術を集大成した当社のインテリジェント地震センサは、地震時のプラント自動停止、高速道路の地震時交通規制、自動車メーカーの地震時生産体制配分を行う危機管理等に幅広く活用された。

1980年代後半に、技術研究センター（SSAC）が半導体製造技術（マイクロマシニング技術）を使ったセンサ開発に成功し、マイクロフロー気体流量計測事業がスタートした。1993（平成5）年にマイクロフロー事業化検討チームが結成され、商品開発を開始し、1999年ごろからマイクロフローセンサ商品の販売を開始した。

当初ハネウェル社製の商品を日本仕様に手直しして販売していた電子式エアークリーナ（EAC）は、1988（昭和63）年ごろから純国産化が始まった。電気集塵セルの性能に優れたEACは、1990年代に入り世間一般で禁煙指向の強まりと喫煙対策として分煙ブームの追い風を受けて広くユーザに受け入れられた。



インテリジェント地震センサ



マイクロフロー気体流量計



グリーンバイオ・タワー

ネットワーク・システムのオープン化

2000～現代



おもな出来事

- ・ITバブルの崩壊（2000年）
- ・ブロードバンドの普及（2001年～）
- ・米国同時多発テロ事件発生（2001年）
- ・米英軍がイラク空爆開始（2003年）
- ・地上波デジタル放送開始（2003年）
- ・個人情報保護法施行（2005年）

2000～現代



ブロードバンドカフェ(2002年)

1. 時代背景とニーズ

グローバルには、韓国・台湾等のエレクトロニクス産業が世界のトップグループへ躍り出るとともに、タイ、マレーシア等の東アジア諸国も急成長を遂げた。また、巨大市場と資源を抱えるBRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国）が台頭した。世界的なエネルギー需要の増大や交易量の増大により、LNG船・タンカー・コンテナ船等の造船ブームが到来している。一方、地球規模での負の面では、人口の増大とエネルギーの多消費化に伴い地球温暖化や中国、東南アジアでの公害等の環境問題が深刻な課題として顕在化してきた。

日本経済は、「失われた10年」といわれた低迷の1990年代の流れから脱却できずに、先進国の中で最悪の財政赤字状態に陥り、国力の相対的な低下や、かつて世界の生産基地といわれた国内製造業の存在感も後退した。特に、2000年代初期から景気回復の糸口が見えない厳しい状況で推移した。世界経済の減速やIT需要の減退等により民間設備投資がさらに減少し、急速な株安や世界経済の先行き不安を背景とした個人消費の低迷等だった。しかし、2003（平成15）年をボトムに、景気回復が徐々に顕在化してきた。

また、1990年代のバブル経済崩壊のあおりを受けて設備投資が抑制された結果、平均設備年齢は9.3年（1991年度）から約12年（2002年度）になった。保全費削減ともあいまって製造現場における産業事故が多発し、経済産業省から業界各所へ産業事故防止策の強化が要請された。団塊の世代が定年を迎えることによる技術・技能・経験の伝承問題（2007年問題）等がクローズアップされた。

IA（産業オートメーション）業界は、製造業の海外生産シフトに伴う国内市場規模の縮小や、デフレ下での価格競争の

激化により、極めて厳しいビジネス環境にあった。その中で、生産管理、装置管理、操業管理等の生産の高度化、最適化へのニーズ、品質管理マネジメントや省エネルギーとともに、ライフサイクルを含めて環境を考慮した「長寿命・高機能・高信頼性のシステム」に対する社会的ニーズが高まった。

プラットフォームであるハードウェアは、エレクトロニクス特に半導体の進歩で高速・高信頼・低価格化が進展し、ソフトウェアはパッケージ化や操作性の向上等が進展した。また、通信技術ではセキュリティの確保とともに、オープン化（標準規格化）、高速化が進み、DCS（分散形制御システム）における情報・制御の統合化が進展した。

デジタル化のいっそうの進展に伴い、機能から見たDCS／パソコン／プロコン／PLCの境界域が徐々に不明確になってきた。

エンジニアリングでは、情報系からフィールドシステムまでを含めた「システムのオープン化」とともに、情報系を含めたシステム一括発注形態が登場してきた。一括発注形態に伴い、エンジニアにはプロセス解析から情報処理技術に至る幅広い見識とともに、プロジェクト管理能力が問われるようになった。

メンテナンスでは、技術・技能・経験の伝承問題（2007年問題）が計装システム保全の現場でも顕在化し、ユーザと保全ベンダが協働して長期的な保全計画を立案、実施するパートナー契約がコンビナートを主体に展開され始めた。計装設備の一括保全管理請負やリモートメンテナンスへのニーズが高まり、メンテナンスにおいては、システムの異常を最小化する保全技術のみでなく、TCO（Total Cost of Ownership）をベースにした計装設備の資産管理や保全要員の最適活用等の管理能力が求められるようになった。

2. 業界の動向

[世界]

グローバル化が各産業で急速に進展するとともに、世界最適生産を目指した情報の一元管理を指向したネットワーク化が進展し、当然の帰結としてシステムのオープン化ニーズが高まった。一方、ネットワークの広域化とともに、万全のセキュリティ対策が重要な課題になり、計測制御システムであっても例外ではなくなった。これらの流れを受けて、当IA（産業オートメーション）業界も多面的に変遷している。まず、当業界は、M&Aや提携による寡占化の進展とともに、センサ等

の専業メーカーでは比較優位な固有技術や価格競争力、サービス力確保がサバイバルの必須要件としてますます重視される厳しい時代になった。

技術的な側面では、RoHS（ローズ）指令等、センサや操作端等を含めたシステム構成機器のハードウェア面では、設置・運営・廃棄までを含めて環境や健康阻害対策としての有害物質や有害懸念物質の使用規制が強化されつつある。また、情報／制御システムの通信系では、高速化要求とともにオープン化やセキュリティ等での標準化や規格化がグローバルレベルで進展している。また、EMC（電磁両立性）等の規制や標準化も更に推進されている。

[国内]

国内においても、プラントは大型化、複雑化の度合いが高まっているほか、高度成長期に導入された設備の老朽化、さらには団塊世代の退職等熟練技術者の減少傾向に伴い、従来の人に依存した安全管理から、プラントのシステム全体の評価や安全計装システムの導入によるリスクマネジメントへの転換が求められている。個別機器の安全性や法律に基づく安全基準を満たすだけでなく、ソフトウェアを包含したシステム全体の安全性の確保が要求されるようになってきた。

また、情報と制御システムとのネットワークによる融合により、オンデマンドの生産体制の構築とともに、懸念事項ではセキュリティ対策も大きくクローズアップされ、欧米でのIEC-SC65C・サイバーセキュリティ標準化やISA-SP99での制御システムセキュリティガイドライン作成・進行に合わせて、わが国計測制御業界でも取り組みを開始した。

[規格・標準]

機能安全規格

IEC61508の制定を受けて、2003（平成15）年にプロセス向けアプリケーション規格としてIEC61511が制定された。国内においても2000年にJIS C0508が発行され、総合的な安全管理基準としての利用が開始された。IEC61511のJIS化も進められている。

ISA-SP99

欧米においてはIEC-SC65Cでのサイバーセキュリティ標準化、ISA-SP99での制御システムセキュリティガイドラインの作成が進行中であり、わが国計測制御業界でも2005（平成17）年より取り組みを開始した。

ISA-SP100：無線通信（Wireless Systems for Automation）

ISA-SP100委員会は、2005（平成17）年に発足した新しい委員会であり、生産プロセス計測制御システム（特にフィールドレベル）における無線通信（RF Wireless）の導入手順、適用領域・基準・指針を提供することを目的に活動している。

その主な活動スコープは下記のとおりである。

- 1) 無線通信技術が適用される環境
- 2) 無線通信機器および計測制御システムの技術的ライフサイクル
- 3) 無線通信技術の適用される範囲（センサレベルから経営管理システムレベルまで）

EMC（Electro Magnetic Compatibility：電磁両立性）

1999（平成11）年よりIEC61000（基本規格）シリーズ規格として検討・審議がなされている。これらを受けて、計測制御業界でもEMC（電磁両立性）関連規格の審議が継続中である。

RoHS（ローズ）指令

電気電子機器の特定有害物質使用制限指令であるRoHS（ローズ）が、EUで2003（平成15）年に発効し、2006年7月1日施行された。ヨーロッパ各国では、この施行日以降、鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル、ポリ臭化ジフェニルエーテルの有害6物質を含有する電気・電子商品の販売や輸入が禁止された。

なお、RoHS指令の主対象は身近な電気・電子機器類とされており、計測器や監視・制御機器は現在対象外とされている。日本からは計測・分析・制御機器等の商品が幅広く該当するカテゴリ8、9につき適用除外の要望書を提出し、EUではRoHS指令の適用範囲に含めるかどうかの検討が行われている。しかし、計測制御業界でも商品含有の化学物質やデータ管理体制の構築が急務となり、例えば、従来電気配線で多用されている接合剤は、錫と鉛を主成分とする「はんだ」から鉛フリーに全面的に変更されている。

3. この時代の中核技術

[理論]

高度制御の実現化の上で、状態推定や予測等のプロセスモデル化技術へのアプローチが整備され、かつ完成度が高まった。

2007年問題に関連して、技術伝承の上から運転支援システ

ムの開発等を目的にAIシステムの再機能化が注目されている。また、カオス分析の適用事例が顕在化した。

[コンピュータ]

計装の分野にもクライアント／サーバ方式が普及してきた。また、パソコン計装の普遍化やWEB等とのネットワークの拡大に伴い、セキュリティ対策が一段とクローズアップされた。

[ボード機器]

高効率・省エネの安定操業を基底に、工場運営から企業経営レベルへと物流を含めて適正な生産品在庫や品質管理が可能なオンデマンドマネジメントシステムを指向してゆく中であって、情報・通信との親和性の高いオープン化・ネットワーク・デジタル計装システムであるDCS（分散形制御システム）を中核として、優れた各種の解析ソフトや高度運転支援ソフトの充実が図られている。また、製造現場でもDCS情報の監視や操作が可能な環境構築を指向したユビキタス・ボードマンのための無線LANやモバイル端末の活用事例が徐々に増大してきた。

[センサ]

付属品や通信診断技術等を含めてスマートセンサの機能や仕様が拡大し、センサの信頼性向上とともに適用範囲や応用適用範囲の拡大等、設置工事やメンテナンスをも含めて格段に費用対効果が高くなった。

[操作端]

調節弁に関する革新的な技術開発は見当たらないが、フィールドバスに対応したポジションが登場した。

石油代替エネルギーの開発や、PCB分解装置等の環境問題の解決に向けて、超臨界／超々臨界流体制御用の調節弁が開発された。

従来の空気式調節弁に加えて、電動式調節弁が増大しつつある。計装史の大きな流れの中では、駆動源は空気圧から利便性の高い電気に変遷しているが、調節弁の要求仕様である大出力・直線運動を得るには空気圧が圧倒的に優位であった。しかし、小型調節弁が多く、かつ安価な空気源が容易に得にくい半導体産業等の特定分野では電動式調節弁の選択が増大している。

環境規制の上から、調節弁自体や調節弁と接続配管部からのVOC（揮発性有機化合物）の漏洩防止が法制化されるとともに、現場作業者の健康リスク回避のためのパッキンやガスケットの非石棉化が全面的に実施された。

[信号]

情報系のネットワークから、制御系のネットワーク、フィー

ルドバスに至るまで、世界的にプロトコルの標準化が推進され、既存のシステムでは専用LAN（非オープン）や、一部にデファクトLANを残しつつもオープン化が大きく進展し、シームレスなネットワーク構築が可能な時代になってきた。

1990年代に誕生した第3世代の計装信号にあたるフィールドバスは、2000（平成12）年に高速イーサネット（HSE）仕様をRev.1リリースし、2004年HSE仕様が完成した。2002年にIEC国際規格61158として成立した。フィールドバス協会日本協議会は、2004年にNPO法人日本フィールドバス協会に改組し、発足した。

分散形計測制御システムとして必要な、リアルタイム通信機能と高信頼化機能をイーサネット上で実現する技術の国際規格化が進められており、最近、わが国からも2つのRTE（Real-Time Ethernet）仕様を提案している。

4. 当社のあゆみ

IT不況による景気の低迷等で民間設備投資が大幅に減少する厳しい事業環境下であって、当社は付加価値の高いMES（Manufacturing Execution System：生産管理、品質管理、装置管理システム）への転換促進を図り、省エネルギー促進のための監視・制御や計量機器整備の積極展開、協調オートメーション・システムHarmonas（ハーモナス）によるリニューアル案件や新規案件の受注獲得に努めた。最近、石油精製業界では、環境対応や備蓄システムの更新・改造の動きが出始め、化学業界でも汎用製品の大型設備化、収益性の高い生産品における製造設備への投資意欲が旺盛になってきた。計装設備の更新に際しては、さらに高度な最適化制御に対するニーズが高まり、プロセス毎の分散管理と全工場規模の総合的な監視・制御を同時に実現するために、オープン性や拡張性に優れ、かつ信頼性も高いシステムが求められた。これらのニーズに対して、当社は工場市場での生産制御システムHarmonas/Industrial-DEOのOS、ネットワーク等のシステム基盤にオープン・アーキテクチャを採用することで、異機種接続性の向上、急速に進化する周辺機器への対応等に強みを持たせた。また、ネットワーク、コントローラ、HMI（ヒューマンマシン・インタフェース）装置等、制御システムの根幹を構成する部分については、高信頼性部品の採用、耐環境設計、二重化による冗長機能等、長年培ってきた独自技術をベースに信頼性の向上を図った。

薬品・食品業界では、消費者の品質や安全性に対するニ



Industrial-DEO



Knowledge Power

ズの高まりとともに、原料の供給から製造・流通システムまでを含めた安全対策投資が増加した。当社は付加価値の高いMESへの転換促進を図った。また、食品業界では食品のトレーサビリティ（追跡可能性）システム導入の動きも活発になった。

LNG船では、制御機能のDCSへの統合化ニーズの増大に伴い、高機能/低価格を指向したMarine-DEOを開発した。

運転員の世代交代が進む現場では若年者への技術伝承が急務となり、複雑な運転操作の支援システムである非常定運転支援・自動化パッケージ「Knowledge Power」や、口頭や実技での伝承に頼っていた知識やノウハウを電子化した情報として蓄積・活用し、さらなる効率化と付加価値を提供する操業知識ベース（Operation Knowledge Base）が活用された。



スマート・ディスプレイメント式液面計SLX



エア管理用フローメータAIRcube



蒸気流量計STEAMcube

プロセス用センサでは、2001（平成13）年にスマート・ディスプレイメント式液面計SLXを販売開始した。SLX液面計は浮力をトルクチューブと角度センサで電気変換した構造と温度センサの並置による温度補正機能により、振動特性や長期安定性を確保し高信頼性と使いやすさを追求している。2003年には差圧・圧力・温度の複合半導体センサエレメントを用いた絞り流量計に分類されるエア管理用フローメータAIRcube（エアキューブ）を販売開始した。AIRcubeは、渦流量計の弱点（漏洩量測定等）を補うために、工場エア消費量の管理用に開発された質量流量であり、高精度かつ低損失の省エネルギー管理用センサである。2004年には、蒸気流量計STEAMcube、新温圧補正形発信器JTD720Aを販売開始し、2006年には機器診断技術の導入によりリニューアルした電気式差圧圧力発信器DSTJ3000 Ace+ スマート・トランスミッタとスマート・コミュニケーターCommPadを販売開始した。DSTJ3000 Ace+は、ゼロ点の校正量管理から機器の劣化状態や診断メッセージ時系列履歴確認機能等による診断機能強化、使い勝手の向上を実現した。また、フルカラーの大画面、タッチパネル方式により操作性、リモートシール形発信器でのレ



DSTJ3000 Ace+とスマート・コミュニケーター CommPad



Heat Value Gas Chromatograph HGC303



HGC Date Manager HDM303

ベル計測時のレンジ差圧の計算機能等使い勝手を向上したCommPadにより新しい診断技術でプラントの安全操業の実現と保全作業の効率化を実現した。

分析計では、2001年、世界最小のガスクロマトグラフで、天然ガス、LNGの成分濃度、熱量等の各パラメータの測定を行えるHeat Value Gas Chromatograph HGC303を販売開始し、2003年には、HGC出力FBをModbusやアナログ出力（オプション）に変換、同時にステータスや自動校正の接点を出す変換器HGC Data Manager HDM303を販売開始した。

2003（平成15）年ごろから、企業収益の回復を受け、半導体、電気・電子、自動車関連業界が牽引する形で製造業全般での設備投資が堅調に推移した。

2003年4月に産業システム事業と制御機器事業を統合してアドバンスオートメーション事業を発足させた当社では、半導体、電気・電子、自動車関連の業界に、マイクロフロー技術を使った当社独自の高性能商品やファイバー形光電センサ、モジュール形調節計等の制御機器や計測・操作機器の売り上げが大幅に増加した。また、生産の高度化・最適化、品質管理マネジメント、エネルギー・環境マネジメント等の生産現場革新を支援するソリューションビジネスも拡大した。

高精度で安定した省資源な流量計が求められる医療施設のガス供給設備では、当社のマイクロフローセンサを使った気体流量計が微量流量まで正確に計測できるとして採用され、流量計測と制御ができる超高速応答のデジタルマスフローコントローラ、マイクロフロー式渦流量計の新商品も販売された。



モジュール形調節計DMC50



デジタルマスフローコントローラ

第8章

フルデジタル化、
シームレス・ネットワーク・システム

現代～2020



現代～2020



JR東京駅周辺の高層ビル群

将来（現代～2020年）

1. 時代背景とニーズ

グローバル社会でのキーワードは、「環境問題」、「有限資源の争奪」「世界人口80億人」等であり、共通項は国際協力が必須要件になる。環境問題では、地球温暖化の要因とされているCO₂濃度の低減が喫緊の課題であり、化石燃料の使用削減が求められている。有限資源の争奪では、低エントロピー型モデル（省資源型、小型・軽量化）の開発や循環型社会（再使用）への適応化の流れがより強く求められよう。人口問題は、人口の減少傾向国（EU・ロシア・韓国・日本等）と、人口増大が続く国（中南米・アフリカ・イスラム圏諸国等）では異なる課題を抱えている。しかし、総人口の増大は食料やエネルギー問題をはじめ民族間の紛争等、諸々の面で将来の難題であろう。

また、国家間障壁の縮小に伴う国際交流や、各産業での地球規模でのM&Aやアライアンスの増大、ドルの相対的な価値低下等米国一極集中から多極化の流れの中にあって、BRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国）等資源・エネルギー保有国の発言力増大、英語に次ぐデファクトな国際語（中国語の存在感増大）、石油生産の増量限界の到来と石油等エネルギー資源の高騰、地球気象の異常に伴う早魃や風水害被害と食料問題等、世界における日本の立場は必ずしも比較優位ではない。

一方、四方海に囲まれ自然環境に恵まれた日本は、投資収益で稼ぐ「成熟した債権国」として、少子高齢化社会の中で高福祉社会を志向しつつも、資源エネルギーや食料の大半を輸入に頼る現実の前に、「財政再建」を進めるとともに、「貿易立国」として競争優位の立場維持が命題であり、所得格差の拡大に伴う弊害が顕在化する懸念も大きい。

ビジネスの視点では、バイオ、ナノテクノロジー等の開花、身近にはITの進展でライフラインの一つとしてインターネッ

トの定着や、携帯電話がユビキタス社会のマザーツールとしてその地位を確立しているはずである。また、エネルギー関連では、燃料電池の実用化やGTL（Gas To Liquid）の普及により、石油資源のピークアウトも現実味を帯びてくるであろう。

2. 業界の動向

21世紀の将来にわたり、情報系と直結した高信頼・高度制御の中枢を担うIA（産業オートメーション）の重要度が増大することはあっても、衰退することはないであろう。しかし、IAの業容は大きく変貌してゆく可能性が高い。

ビジネスの視点では、IA業界は世界的にいっそうの淘汰・集約の時代に入り、M&Aやアライアンスによって限られた数グループになるであろう。総合IAメーカは業界再編の結果、情報・通信との融合が容易なシステム提供能力とTCO（Total Cost of Ownership）に優れた保全遂行能力等の総合力と納入・稼働実績が比較優位の源泉であろう。また、専門メーカは、センシング技術等、特定分野で特許やノウハウで保護された独自技術を保有することが必須要件であろう。

ハードウェアの面でのキーワードは、高稼働率（例：99.999999%）、低ランニング・コスト、リサイクル・分解容易性等であろう。現在のパソコン計装を延長してみるまでもなく、HMI・インタフェース・コントローラ等の制御システムでは、プラットフォームの汎用化が進展する可能性が高い。また、汎用センサもその可能性がある。従って、専門メーカが技術で勝負できる最も可能性の高い分野は、分析計を含めたセンサ分野であろう。

ソフトウェアの面では、超柔軟ソフトウェアとして対話支援型・非線形モデル予測制御システムの汎用化や、自己診断と自己修復機能によりハードウェアの保全周期や寿命予測明示を含めて、目的・用途別パッケージソフトがいっそう充実し、洋服の仕立てではないがイージーオーダーに近い発注形態になるであろう。その結果、IA業界にもMicrosoftのような巨人が出現する可能性がないとは断言できない。

IT関連の技術革新がIA業界にも諸々の影響を与えよう。プラスの面では現場においても計器室と同様に、無線LAN環境下で文字情報や画像情報のオンライン・リアルタイム入手が容易になり、情報の共有化がいっそう進展するであろう。半面、マイナス面ではセキュリティの確保とシステムの巨大なブラックボックス化によるリスクの増大であり、マニュアル依存症候群ではないが関係者の思考停止による改善・改革の停滞等であ

ろう。

一方、ユーザの立場で思考すると、いっそうのグローバル化の進展で、企業運営が格段に厳しくなる中で、装置産業の中核機能を担う制御システムへの信頼性・安全性要求はいっそうシビアになり、また、技術的な仕様要求の他に従来の商取引慣習も契約条文の明記事項が最優先される欧米型のドライな契約形態が増大するであろう。例えば、比較優位の商品市場要求にタイミングよく生産するためのカンバン方式（トヨタ生産方式）の普遍化。国際競争力、特に中国、韓国等近隣諸国との競争激化と、共同配送等のアライアンスの一般化。有限資源やエネルギーの争奪戦と、環境基準規制の強化。事故や廃棄処理等による企業存続のリスク増大懸念であろう。

プラント操業では、企業レベルでのオンデマンド最適操業を指向。また、ユビキタス計装や運転要員のアウトソーシングが進展する可能性もある。

3. この時代の中核技術

エンタープライズ情報系からセンサ、操作端、モバイル端末等のフィールド機器を含めたシームレス・オープン・ネットワークシステムの具現化か。

[理論]

ポスト現代制御理論が確立するか。

[ボード機器]

DCS（分散形制御システム）の機能は、HMI、通信、セキュリティ、制御の面でいっそうの充実が図られ、ノンストップ、自動修復機能等の標準装備が実現しているかもしれない。

DCSでは、機器の相互接続性や通信規格等では標準化が成功している。しかし、例えばHMIの表現形態は、絵文字、表示階層化の思想等において、世界標準化の進展はいかになっているであろうか。

その他、AI等の知識利用技術を用いた「センサの検出値や、操作端位置の妥当性判断、事象予測、アクション判定」等の総合診断情報の提供が進展しているはずである。

[センサ]

ユーザの立場からは、現在の高機能化されたセンサといえどもまだ満足されていない仕様や機能が多々存在しているはずだ。多変数を同時に計測する多目的・多機能センサ、小型軽量化、信頼性確保の面では自己診断機能向上による100%異常検知や寿命予測等、限りなく列記できる中であって、地道なセンサ開発が重ねられるであろう。

[操作端]

操作端での技術革新による新調節弁の出現の可能性は高くはないであろう。しかし、特定分野では、空気式アクチュエータに代わり、電気／液動ハイブリッド型の高出力アクチュエータが出現、半導体等ナノテクノロジーを支える小型温度調節弁の開発や、巨大化の進む石油化学プロセスに対応した超大型調節弁の開発要求が顕在化し、本体構造に新しいコンセプトを採用した調節弁の出現は考えられないであろうか。

ポジションナによる自己診断技術の高度化は、操作端のオンライン保全管理に必須の情報として活用されよう。

[信号]

システムのフルデジタル化により、最上位階層のシステム機器から、最下位階層のモバイル端末やフィールド機器を接続する通信系統に至るまで、シームレスなオープン化指向と通信規格の国際標準化が大きく進展するのではないか。

特に計装信号の第3世代にあたるフィールドバスは、配線コスト削減、双方向通信、プロセス情報の増大、制御機能の分散等々の特長により、国内にあっても徐々に第2世代のアナログ電気信号から主役の座を譲り受けている可能性が高い。

なお、第1世代の空気圧信号や第2世代のアナログ電気信号は、その特質から将来においても特定の分野で継続使用されているはずである。

[その他]

無人化・省人化に向けて、（多目的汎用）ロボットがフィールド・オペレータの一部の業務代替や外部侵入監視等のセキュリティ分野への活用が試行され、実用化されるであろう。

[エンジニアリング]

エンジニアリングの基本要件は、高効率操業（安全・安心）や環境改善維持、システム・ライフサイクルにおけるTCO削減等であるが、対象装置に適合した計装モデリング手法が一般化するであろう。

国際的な資格保有者が徐々に世間一般に認知されるとともに、エンジニアの階層化が顕在化する可能性がある。例えば、システム・アナリストは、ユーザ要求条件をベースに、対象システムの解析、信頼性・安全性、ライフサイクル等を包含して、システム・コンセプトやモデリングを担当し、アシスタント・エンジニアは、システム・アナリストのコンセプトに基づくエンジニアリング上のルーチン業務を担当する等である。

一流エンジニアの要件は、当該部門の先端技術を咀嚼し応用できるのみではなく、環境その他コンプライアンス（法令順守）をまず実践し、かつ説明できること。また、ユーザ／メー

カ双方にWin-Winの結果が得られるエンジニアリング実績を残せること等である。

[メンテナンス]

保全是地味な業務である。しかし、情報と制御の一体化によるシステムの巨大化により求められるスキルや責務は、増大することはあっても軽減されることはない。一方、システムの巨大化は、一面脆さを包含しやすく、些細なミスが重大事故のトリガーになるリスクも増大する。対象プロセスの進化により、これらのシステムも絶え間なく改善要求を満たすことが求められるであろうが、システムの改善前後の安全確認や来歴管理等、責任所在の明確化や情報のオンライン一元管理の徹底がより強く求められるであろう。

ユーザサイドにあっては、システムの安全管理を根底に、システムのライフサイクルに基づく保全計画の立案と実践を行う場合に、自社エンジニアによる保全体制から子会社のエンジニアやアウトソーシングへの移行が普遍化するかもしれない。この場合、保全コスト削減の前に、安全操業の維持確保の確立が不可欠の要件になろう。

一方、メーカサイドにあっては、計装設備のライフサイクル一括請負や、リモート診断・修復サービス等多様かつ高度な保全体制の提供が可能であることが一流企業の要件としてクローズアップされているはずである。また、サービスエンジニアのスキルの高さとともに、保全担当部門と技術開発部門や品質管理部門との情報の流れの良否がサービス品質を左右するであろう。また、開発部門へのシステム・機器の保全情報のフィードバックや、システム故障解析技術の進展により、プラットフォームであるハードウェアの部品交換推奨情報や、ソフトウェアの修正推奨情報等のホームページ開示が普遍化し、適時システムレビューによる高稼働率を保障したシステム提供が具現化している可能性も夢ではないであろう。

更には、ライフサイクル一括請負に関する保険契約において、企業ブランドのグレードにより、損害保険料が増減する時代に入っているかもしれない。

4. 当社創業2世紀へのあゆみ

どんな未来を描けるかは、正にわれわれ社員一人ひとりの目標や志、日常行動等のベクトル総和に掛かっている。計装システムの提供による生産性の向上や安全性確保は当然のこととして、「環境保全や改善、次世代への明るい展望や夢」等、産業界や社会の厳しい評価を真正面から真摯に受け止められる度量

と努力を重ねたい。そして、願わくは、創業2世紀をあゆみ出したわれわれの新理念「人を中心としたオートメーションで人々の安心、快適、達成感を実現するとともに、地球環境に貢献する」が、そのシンボルでもある「azbil」ブランドの商品やサービスを通して、ユーザの期待と信頼を得て、末永く愛され、世界の学生から就職希望人気の高い、社会で存在感のある企業として認知され存続することを願う。

あとがき

人類史から見ると、20世紀は近代的な産業が大きく花開いた世紀に位置づけられよう。この近代産業の開花にオートメーションの発展が寄与したことは紛れもない事実だ。

他方、近代産業化の負の面では、公害の発生、地球環境問題等、次世代にまで波及する深刻な課題を顕在化させた。これらの課題に対しても計測制御技術が有用であることは論をまたない。

今までのIA（産業オートメーション）の発展を振り返ると、「卓越した理論構築力や実用化技術とこれらの技術を開示し指導していただいた米国をはじめとする先進国の度量」、「新技術をキャッチアップし、更に発展させた諸先輩の熱意や努力」に改めて敬意を表したい。これらの成果は、20世紀後半に日本が世界の先進国入りを果たした源泉のひとつになった。

ここで会社のあゆみを振り返ると、戦前の黎明期から一貫してオートメーションに携わり現在に至っていることに密かな誇りを感じるとともに、その背景に想いが至る。戦前のブラウン社との提携を実現した初代山口社長の慧眼や戦後ハネウェル社との再提携に戦時中の供託金積立等に見られる二代目山口社長のビジネス運営姿勢、ご愛顧していただいた多くのお客さまのご支援、お客さまの多様なご要望に応えた諸先輩の行動等、多くの幸運に恵まれて創業100周年を迎えることができた。

では、今後の展望はいかがであろうか？

地球環境や有限資源等の制約の中でグローバル化の急速な進展に伴い、経営環境やわれわれの立場は「適者生存」がいつそう明確になるであろう。

当IA分野を俯瞰すると、20世紀のような革新的な変化ではなく地道な技術の進展、すなわちエボリューションによって新しい歴史が刻まれるであろう。例えば、情報技術

やナノテクノロジー／バイオテクノロジーの進展により、情報制御システムやセンシング技術の分野は変貌する可能性が高い。前者では、コンピュータビジネスの世界でみえている「オープン化、仮想化、グリッド化」等の技術や、パッケージソフトの普遍化と視認化技術の発展、モバイル端末の普遍化によるユビキタス・オペレーション等がある。また後者では、多変数センサや多目的センサの発展やバイオセンサの産業分野への適用の期待が大きい。一方、ポスト現代制御理論の輪郭や革新的な自動調節弁の出現の萌芽はいまだみえていないようだ。また、ディスクリート（離散）プロセスや物流分野ではICタグ等の安価なセンサやロボット等のマテリアル・ハンドリング技術の普遍化により、物の流れの正確なトラッキング（追跡）や省人化がいつそう進展するであろう。しかし、今後最も真価を問われるのは、広い見識、総合判断力、迅速な解決力を求められるアプリケーションエンジニアかもしれない。情報制御システムのソフトウェア比率の増大とともに、QCD（品質、コスト、納期）から環境制約条件まで、お客さまの多様なソリューション要求水準はいつそう高まることはあっても下がることはない故だ。

今後、いかに情報化社会が進展しても、生物の機能で比喩すると「神経系」に相当する制御システムは、産業の中核機能として不動の重要な位置を占めていることは不変であろう。産業の中核技術であるIAは、産業の安全・安定な操業と高効率・高品質の製品を生み出すとともに、省エネや地球環境負荷低減にも大きく貢献できる稀有な産業に属する。

一企業として、また一個人として、IA分野に関与できるわれわれは歴史の幸運な廻り合わせの中にある。

この産業制御の小史が、IA分野に関与される次世代の方々に末永く幾らかでもご参考になれば幸いである。