

《第4章》学会活動を通して見る科学技術の50年

本稿は、計測自動制御学会が2011年に創立50周年を迎えた際に発行された「計測と制御」の記念誌 (Vol.50, No.8/9) の第4章の一記事として掲載されたものである。第4章では計測、制御、システム・情報、システム・インテグレーション、産業応用の各分野ごとに50年を振り返っている。計測分野では、計測部門やセンシングフォーラム、各学会の歴史と展望、本稿に加えて、論文集からみた計測技術の展開の各記事が掲載されている。

4. 会誌特集記事に見る計測分野のトレンドの変遷

(1) シーズとニーズの変遷

計測自動制御学会のホームページには、設立以来の会誌特集・ミニ特集タイトル一覧が掲載されている (以下、ミニ特集も含めて特集と表記する)。初期の特集は年に1、2度であったが、1975年以降は隔月、1985年以降は毎月、特集が企画されている。2010年9月までに全体で約390の特集がある。このなかから、タイトルから判断して計測関係と思われるものをピックアップすると、約110の特集があった。各特集は、総論 (巻頭言) と解説、事例研究から構成されている。このうち、今回フォローできなかった事例研究を除き、総説と解説を合わせると800編以上の記事が掲載されている。質・量ともに、わが国の計測技術における卓越した知的財産といえる。

まず、これらの特集を時代に沿って通り、ニーズとシーズの変遷を探った。表4-8に特集タイトルと、シーズに関わる発明・発見・製品、ニーズに関わる社会的背景・出来事をまとめた。この表に掲載した特集は計測関係の特集の約半数で、トレンドを示すのに良さそうなものを選んだ。この他にも、計測の各分野の発展に応じた特集が多数ある。また、シーズとニーズについては、特集記事の中で直接、間接に言及されているものを抽出し、若干の項目を補足したものである。したがって、一般的な科学技術史、現代史の重要事項を必ずしも網羅していないが、計測技術との関わりはわかりやすいのではないと思う。この表を元に、年代ごとの計測分野のトレンドについて記述する。

1960年代: 最初の特集は「固体素子の計測への応用」であった。固体素子によるセンサとして、光ダイオード、光トランジスタ、熱電対、サーミスタ、ピエゾ素子、ホール素子などが取り上げられている。この頃は「トランジスタ

の時代」で、初期の集積回路や計算機 (ミニコン) が出現していた。鉄鋼・化学などの重工業が高度経済成長を牽引し、これらの産業におけるプロセス計測や自動制御、さらには集中管理方式の自動化に計測技術が応用された。

1970年代: レーザーと光ファイバの発明により、オプトエレクトロニクスが急速に発展し、光計測技術が一変した。マイクロプロセッサ、AD/DA変換器、SQUIDなど、現在も計測技術を支えるシーズが出揃ってきた。また、地球観測衛星が打ち上げられ、新たな観測手段がもたらされた。これらの新技術を計測に応用することが盛んに行われ、極限状態の計測などの分野で科学にも貢献した。一方、高度経済成長の重みは公害や騒音などの社会問題を生み出し、その計測に関心を集めた。1973年の第一次オイルショックで、高度経済成長は終焉を迎えた。産業一辺倒だった計測技術に、マンマシンインタフェースや認識機械など、人を計測の対象とする新たな流れが始まった。

1980年代: 半導体微細加工技術が発展し、LSIの時代が到来した。光計測技術が実用の域に達し、画像計測や多次元計測で取得した大量のデータを取り扱うため、情報処理の重要性が増した。産業界ではLANやWANが利用され、自動化からシステム化へ技術が進展した。計測分野の新機軸が模索され、計測の対象は福祉工学、感覚計測、生体計測、バイオセンサ、バイオメトリクス、異常診断、ロボット、宇宙・海洋などへと広がっていった。

1990年代: パーソナルコンピュータやインターネットなど、コンシューマー向けの技術が普及し、計測技術の研究開発もその恩恵を受けた。高度にシステム化され、情報処理を駆使した計測技術が開発された。その例として波動応用計測や脳機能計測などの非接触・非侵襲計測がある。ハードウェアも進歩を遂げ、微細加工技術を応用したセンサデバイスや、ロボットの視覚を実現するための実時間3次元計測などが開発された。一方、地球温暖化問題が叫ばれ、また大災害や事故をきっかけとして、環境問題、交通、健康と福祉、ライフサイエンスに関わる計測が注目を集めた。

2000年代: 情報処理はさらに進歩し、シミュレーションや新しい信号処理技術が計測に活用された。ワイヤレスネットワーク技術が進展し、センサネットワークの特集が企画され、センサは今や社会インフラの至る所で利用されるものになった。また、長引く不況と高齢化社会を背景として、安全・安心、環境、介護・福祉に関する計測の特集が目立つ。

2011年3月、東北地方太平洋沖地震が発生し、津波と原子力発電所の事故により未曾有の大災害が引き起こされた。科学技術に対する社会の要請として、実際に役立つことがますます求められる中、当学会は「安全の構築」に最も近いポジションにあり、したがって、これからの計測技術へのニーズにおいて、安全・安心のウエイトが高まることは明らかであろう。

表 4-8 計測分野特集関係史

年代	発明・発見・製品（シーズ）	社会の出来事（ニーズ）	主な特集タイトル
1940 ～ 1950	1948 点接触型トランジスタ 1953 DNA 二重らせん構造 1954 国際単位系 (SI)	1945 第二次世界大戦終結 1950 計測懇談会設立 1954 日本計測学会設立	
1960	1960 レーザー 1961 集積回路特許 1962 電界効果型トランジスタ 1964 SQUID 1965 DEC PDP-8 1965 高速フーリエ変換 1968 国際実用温度目盛 1969 アポロ 11 号月面着陸 1969 CCD	(高度経済成長の始まり) 1961 計測自動制御学会設立 (脱工業化、情報化社会)	1962 新しい固体素子の計測への応用 1963 粉体の計測と制御 1964 最近の計測技術 1965 温度計測特集 1966 流体計測特集 1969 計算機の計測と制御への応用特集
1970	1970 通信用光ファイバ 1970 半導体レーザー 1972 ランドサット 1 号 1972 X線 CT 1974 Intel 8008 マイクロプロセッサ 1975 バイキング探査機 1976 光ファイバジャイロ 1977 核磁気共鳴画像法 1978 GPS 運用開始 1978 音声合成 LSI (TI 社) 1978 合成開口レーダー 1979 自動車電話	1970 光化学スモッグ (環境問題) 1973 第一次オイルショック (高度経済成長の終わり) 1978 『不確実性の時代』出版 1979 スリーマイル島原発事故	1970 公害計測特集 1974 光情報技術特集 1974 計測とフーリエ変換 1974 国際単位系 (SI) 1975 生体の硬さ測定と人工感覚 1976 計測の原点を求めて 1976 リモートセンシング 1978 計測・制御とマイクロコンピュータ 1978 計測標準へのトレーサビリティ 1978 磁気のセンサへの応用
1980	1981 スペースシャトル 1982 走査型トンネル顕微鏡 1982 指紋照合システム 1982 コンパクトディスク 1982 連続ウェーブレット変換 1982 NEC PC-9801 1984 JUNET 1985 1M ビット DRAM 1985 原子間力顕微鏡 1986 高温超電導 (超伝導ブーム) 1987 マイクロギア 1988 マイクロ静電モータ (マイクロマシン)	1981 国際障害者年 1983 オゾンホールの発見 1987 モントリオール議定書 1987 ISO9000 1988 IPCC 地球温暖化 1988 農産物輸入自由化 1988 交通事故死 1 万人越え	1981 生体のセンサとフィードバック 1981 原子力プラントの計測と制御 1981 福祉の時代の計測と制御 1984 感覚の計測 1984 植物バイオテクノロジーと計測技術 1985 光ファイバ応用センサとアクチュエータ 1986 ナノメートル領域の計測制御技術 1986 個人識別技術 1986 異常と診断 1987 ロボット用センサの現状と動向-自律形ロボットを目指して- 1987 光計測 1987 画像センシング技術 1987 極限環境における計測 1989 計測と制御のためのカスタム LSI
1990	1990 World Wide Web 1990 国際温度目盛 1991 カーボンナノチューブ 1995 Windows 95 1995 デジカメ (カシオ QV-10) 1996 二足歩行ロボット (ホンダ) 1997 マーズ・パスファインダー 1997 ハイブリッドカー (トヨタ) 1997 クローン羊ドリー 1999 すばる望遠鏡	1990 ヒトゲノム計画開始 1992 新計量法 (SI 単位系) 1993 GUM 刊行 1994 高齢社会 1995 阪神・淡路大震災 1995 科学技術基本法 1997 ナホトカ号油流出事故 1997 京都議定書 1998 長野オリンピック 1998 家電リサイクル法 1999 ユビキタスネットワーク	1990 波動応用計測における映像形成 1990 地球大気環境の計測・解析と保全 1992 脳・感覚機能の無侵襲計測 1992 スポーツのための計測 1992 マイクロ構造を応用した計測制御技術 1992 計測技術のフロンティア 1994 新計量法とトレーサビリティ 1995 リアルタイムに近づいた 3D 計測 1996 地球環境計測と情報システム 1997 先進安全自動車 (ASV) における計測・制御技術 1997 センシング技術と逆問題 1998 計測における不確かさ 1998 ライフサイエンス-生命を測る、生命を制御する
2000	2001 第 3 世代移動通信システム 2002 地球シミュレータ 2006 陸域観測技術衛星「だいち」	2000 IT 基本法 (e-Japan) 2001 米国同時多発テロ 2003 ヒトゲノム計画完了 2004 新潟県中越地震 2005 耐震偽装問題 2005 個人情報保護法施行 2007 超高齢社会	2000 ヒトを測る光技術 2000 ウェーブレット変換の計測応用 2001 環境の計測と制御 2001 高齢社会を支える計測制御技術 2001 計測と制御におけるシミュレーション技術 2004 この“地球を”もっと知りたい-リモートセンシングへの期待- 2004 バイオメトリクスの新展開 2005 安全を追求する計測・システム技術 2005 分解能の限界にせまる 2007 社会システムを支えるセンサネットワーク技術 2007 建物の安全性のモニタリング技術
2010		2011 東北地方太平洋沖地震	2010 安全性確保のための評価技術と計測・標準

略語 SQUID: Superconducting QUantum Interference Device, CCD: Charge Coupled Device,
GUM: Guide to the expression of Uncertainty in Measurement, GPS: Global Positioning System, JUNET: Japan University NETWORK

一方、シーズに関しては、2000年代の特集の中にはめぼしいものがなかったことが気にかかる。関係史を見ると、新技術の誕生から会誌の特集記事が出るまで、もちろん例外は多数あるが、だいたい10年くらいのタイムラグがあるように思われる。これは、新技術の研究開発が始まってから、ある程度形がまとまって会誌に特集が組まれるまでの時間がそれくらいであると推測される。

(2) 計測技術全般のトレンド

つぎに、計測分野における技術の全般的なトレンドについて考えてみたい。

計測とは、① センサで対象から情報を取り入れ、② その情報を伝送・記憶し、③ 情報処理を行って判断や制御に必要な情報を得る、という一連の過程からなる一つのシステムと考えられる²⁾。情報量(曖昧さ、エントロピー)に着目すると、計測対象となる物理的世界は時空間の中に多種の物理量が連続して分布し、その情報量は膨大である。計測とは情報量の多い状態から少ない状態への変換とも言える³⁾。①～③の過程の主にごとで情報量を減らすかにより、計測技術を大まかにつぎの3タイプに分類できる。なお、②の過程(情報の伝送・記憶)では、情報量は変化しない。

(a) センサで対象から情報を取り入れる①の段階で、必要な情報のみを選別して得るタイプ。この種のセンサには、化学的選択性を利用したバイオセンサやフィルタ機能をもつ知能化センサがあり、目的とする情報に応じた専用センサが考案されている。対象に能動的な変化を加えて、応答の変化分のみを検出することも情報の選択に有効である。

(b) センサでは情報を捨てず、対象のありのままの情報を伝送し、③の過程で目的の情報を抽出するタイプ。必要な情報を直接抽出する専用センサがない場合は、汎用センサで網を広げて情報を収集し、その中から必要な情報を後処理で取り出すことになる。画像認識などがこの例である。

(c) タイプ(b)と同様だが、対象のありのままの情報を伝送・記憶すること自体を目的とするタイプ。情報の抽出が必要な場合は、人間による解釈や後段の高位の知能システムに委ねる。このタイプに属する計測手法が多数派と思われる。情報量は大幅に変えず、目的とする情報を抽出しやすい(人間が理解しやすい)形式に変換する場合もある(例:X線CT)。

この分類に基づくと、計測技術の発展の方向性はタイプ(a)のセンサの高度化、タイプ(b)と(c)のセンサで得られる情報量の増大(対象をありのままに計測)、センサから後段へ伝送・記録される情報量の増大、および増大した情報を処理する技術の進歩にあるといえる。

ありのままの計測を実現するために、時間・空間あるいはスペクトル軸における高精度化、高分解能化がなされている。時間軸の高分解能化は高速化、広帯域化とも称される。また、計測のレンジが拡大し(極限計測)、レンジに対する相対的な分解能も同時に向上している。

計測対象は、定常なものから非定常なものへと範囲を拡大している。対象の制御を目的とする計測には、実時間での計測が要求される場合がある。計測制御の対象は、程度の差はあるが、本質的に非定常である。ありのままの計測を行うため、計測の多次元化や複数データの同時収集などのアプローチも取られている。

その他の発展の方向性には、計測に課されるさまざまな条件を満足し、より制約の少ない計測技術の開発がある。たとえば、計測対象に擾乱を与えない(非接触・非破壊計測)、計測対象の多寡によらない(極微量計測)、極限環境下での計測などがある。また、計測システムの信頼性の向上や長寿命化は、特に長期・連続的な計測において重要である。省エネルギー化、低コスト化も実用の見地から要請が高い。低電力化、小型化、軽量化がこれらの要請に答えるポイントとなる。計測技術の普及には、自動化・簡便化により、利用に際して熟練を要しないことが求められる。

計測した結果が、どの程度正確で信頼できるものであるかを客観的に示すことも、グローバル化した社会においてますます重要である。これにたいして計測標準が段階的に整備され、トレーサビリティや不確かさの概念が導入されてきた。この分野の啓蒙で特集が果たした役割は大きい。

計測技術の大きなトレンドとして、研究開発や産業などの特殊な場所から、身近な目的で多くの場所で使われるものへの変化があると思われる。社会的経済的利益の増大は今後も重要な目的であるが、それに加えて生活に密着した視点も重要となる。新規技術の開発に際し、その導入がコストやリスクに見合っているかをクリアに評価し、説明することが求められている。計測技術はその際のマザーツールとしても重要性を増していくと思われる。

(伊藤直史)

参考文献

- 1) 渡辺嘉二郎:安全を脅かすものの分析と安全を追求する計測・システム技術。計測と制御、44-3、161/166(2005)
- 2) 桜井健二郎:計測技術の進歩とその方向。計測と制御、15-1、108/116(1976)
- 3) 寺尾満:これからの計測。計測と制御、19-1、3/7(1980)。
- 4) 小野晃:安全性確保のための評価技術と計測・標準。計測と制御、49-10、663/664(2010)

[著者紹介(現在)]

伊藤 直史 君(正会員)



1986年、東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻修士課程修了。同年、横河電機(株)。1990年、東京大学工学部計数工学科助手。1995年、群馬大学工学部電気電子工学科講師。2010年、同学科准教授。改組により現在は同大学大学院理工学府電子情報部門准教授。逆問題解法を応用した分布計測などの研究に従事。