

センサ技術の発展に向けて

北森 俊行*

For Further Development of Sensor Technology

Toshiyuki KITAMORI

センサは、最も狭い意味では、測りたい物理量(測定量)を別の物理量に変換する要素である。別の物理量というのは、ノイズを除去したり、増幅したり、指針で表示したり、伝送、記録、記憶、あるいは演算したり、制御に使ったりするのに便利な物理量である。測定量に関する情報を含んでいる(担っている)その物理量(信号)を処理することが一般に必要なことからである。そしてセンサ技術というときこれらの後処理まで含めて考えることが多い。さらには複数のセンサを使って計測対象のいろいろな場所、いろいろな物理量に関する信号を、時間を追って収集し、総合的に処理すること全体を意味することが多い。それは一体何をしているのか。それは一言でいえば、対象の特性や状態などに関する知識を獲得しているのである。このような工学的行為を計測ともいう。

対象の特性や状態に関する情報を含んだ信号あるいはデータを収集したとき、そのようなデータが得られたからには対象の特性や状態はこうなっているに違いないという知識を求めるために一般にデータ処理をしなければならない。センサ技術はこのデータ処理にデジタル計算機が自由に使えるようになったとき急激な発展を遂げた。それまでは手計算やアナログ的演算回路によってデータ処理をしなければならなかったために大容量の複雑なデータ処理はできなかった。デジタル計算機がそれを解決してくれたのである。しかしデジタル計算機の効用はただ単に大容量の複雑な計算を短時間で処理してくれるということだけではない。センサ技術におけるデータ処理の本質的内容と深く関わった意味でセンサ技術を大きく発展させてくれるのである。その本質的内容というのは得られたデータから、そのようなデータをもたらした原因である対象の特性や状態を逆算するという、因果の逆の計算なのである。対象の特性や状態に応じてセンサを通して信号が出てくる過程は因果律にしたがった物理的過程である。そのような因果過程の結果であるデータから因果過程の原因である特性や状態を求める計算は因果の逆であるから、物理現象としては起こり得ない。そこに、人間の頭脳やデジタル計算機によ

うに、物理法則を利用していない、記憶をもち、論理演算を基礎にした演算機構でなければならない必然性がある。物理法則を利用したアナログ計算はこのような意味で十分自由ではなかったのである。

センサ技術はこういった意味で、すなわち因果の逆の演算を含むから、生物とくに人間のような頭脳をもっていなければできない機能を自動的に行う技術であるという意味で、いろいろな技術の中でもインテリジェントというにふさわしい部分を担当しているのである。あるいは人間のインテリジェントな局面のサーバントとして働いているともいえるのである。

そしてデジタル計算機の性能の向上と低廉化にともない、データ処理にはデジタル計算機ありという信頼感あるいは依頼心をもってセンサ技術が大きく発展を遂げているのであるが、しかしこのデータ処理はデジタル計算機のハードウェアだけでは支えられない。どのような物理的過程でデータが得られたかを記述する、できるだけ正確な数式モデルが必要である。この数式モデルは本来物理学が提供してくれるはずのものであるが、鉄鋼生産の現場における具体的な物理的過程まで直ちに使える形では用意されていない。鉄鋼プロセスで高温の計測は不可欠であるが、放射高温計を利用するに当たって、放射率がどうなるか、それをどう処理するかいまだに問題である。また、とくに物性に関わるような物理的過程はほとんど法則化されていないのが実情であろう。またノイズがデータにどのように入り込んでくるかという過程も個性がきわめて高く、しかも解析、モデル化が非常に困難である。しかしそのような数式モデルをどれだけ正確に構築できるかがセンサ技術の成功の鍵をにぎっている。

デジタル計算機はこのような因果の逆過程の計算という役割のみならず、さまざまな効果的役割を果たしている。そのセンサ技術として重要な役割の一つは獲得した知識を人間にわかりやすい表現で報知することである。単なる数字を羅列されても人間は理解に苦しむことになる。適切な表現形態でオペレータとコミュニケーションができるよう

平成5年4月23日受付 (Received on Apr. 23, 1993)

* 東京大学工学部教授 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113)

にして、よいサーバントになるようにデザインしてやらなければならない。これは人間機械系のインターフェイスの設計の問題であるが、人間が理解しやすいということはどうか、人間工学的、心理工学的モデルがまだ手探りの状況である。

センサ技術の世界は情報のみを扱う世界のように見えるかもしれない。情報は物理的過程を捨象した自由な世界である。しかし情報は一人歩きできない。かならず物質やエネルギーをキャリアとしてでなければ貯蔵もできないし、伝送もできない。それでもキャリアとしての役割を果せばよいので、その物質やエネルギーの量はきわめて少なくすむ。実際に物理的仕事をするときは増幅すればよいからである。だからデジタル計算機の所要電力もずいぶん少なくなっている。これはセンサ技術の分野でも同じであって、一般的には小型化、超小型化への道をたどっている。しかし現実にはノイズその他による誤差のために、情報内容のしっかりした、分解能の高い信号を物理的世界から収集するためにはある程度エネルギーレベルを高くしておく必要がある。質の良い情報や知識を得るためにはやはりそれ相応に大きな装置を高いエネルギーレベルで動かさなければならない。空間的、時間的、物質的、エネルギー的資源を使わなければならないという物理的制約がついてまわるのである。

鉄鋼のように大きくて重たくて硬い対象、非常に高温の対象、高速に運動している対象などにつきあうセンサ技術はエネルギーレベルにおいて必然的に高くならざるを得ない。強い原子間力で結びついている結晶構造を解析するには強いビームを当てなければ信号を採りだすことができない。大きい部材の内部欠陥を検出するには強いビームや波を送り込んでやらなければならない。このような事情は他の産業にはあまり見られないセンサ技術であって、高エネルギー物理的技術との付き合いを深めることが必要である。

他方ではミクロな、量子力学が関わるような物理的過程の計測・制御がこのところ急速に進歩してきてシーズとして固まりつつある。半導体物性を利用したセンサが使われだしてからすでに久しいが、いまや原子一つ一つを探ったり、動かしたりできつつある。このようになってくるといわゆる古典物理学に基礎を置く、産業計測という言葉でイメージされるようなセンサ技術に加えて、現代物理学に基礎を置くセンサ技術も自家薬籠中の技術としていかなければならないであろう。

このような信号を採りだす物理量の変換機構、狭い意味でのセンサは残念ながらまだ体系化されていない。こんなものもある、あんなものもある、という便覧的集積がなされているに過ぎない。したがって現場からのさまざまな要求、仕様を満たすセンサをシステムティックに選びだすことは容易なことではない。ましてやこれまでにない新しいセンサを創造することはきわめて難しい。試行錯誤の繰返

しという段階からなかなか抜けだせない。これには産学こぞって体系化に努力していく必要がある。

対象と高いエネルギーレベルで物理的相互作用をしながら信号を採りださなければ質の良い情報が得られないわけであるが、それでもエネルギーレベルをできるだけ下げた方が効率が良く、対象の状態を乱さなくてすむ。また高温過ぎて触れられない、高速に運動しているので触れられない、対象に傷をつけたくないといった事情にもよるかもしれないが、非接触でのセンサ技術も急速に発展している。非接触で信号を採る物理的過程もいろいろ考えられる。磁気の応用も広く用いられているところであるが、超音波、電磁波、光などの波動やビームも利用範囲が広い。波動は空間的な広がりをもって伝播するから、複数のセンサで波を受信して総合的に処理することによって、対象の3次元構造の把握も可能になる。しかも振幅、周波数、位相、偏光など情報のキャリアとしてもいろいろな属性を利用できる可能性がある。得られた画像の処理というソフト面での研究のウエイトが大きくなるだろうが、デジタル計算機的能力も十分応えられるようになるであろう。

しかしこの場合も全面的にソフトウェアに頼っていたのではセンサ技術の十分な発展は望めない。やはり信号を抽出する物理的過程の研究を軽んじるべきではない。撮像の物理的条件を整えることも重要であるし、知りたい物理的特性や状態と波動との相互作用の起こりかたの研究が基本になければならない。光の波長を変えれば人間の目では弁別できなかった表面状態が的確に捉えられたりもするが、それでは捉えられない特性や状態の方が多い。たとえばx線断層写真でも観測できているのは組織の各点におけるx線の吸収率を見ているだけであって、各点の温度やpHを知ることまではできない。本当の物性や状態を捉えるためにはその物性と相互作用する物理現象を選んで利用しなければならない。このような意味からも、デジタル計算機の強力なパワーを利用しつつも、深く現象に関わる物理をセンサ技術の中に取り込んでいくことが肝要であろう。

鉄鋼業は基幹産業であるとともに非常に多岐にわたる支援技術を活用したハイテク産業でもある。それだけに逆に各種支援技術が強力に育てられる場でもある。センサ技術も既存の技術を輸入して使っているというよりも、鉄鋼産業の中で生みだし、育てて使っているところが一つの誇りでもある。しかも初めに述べたようにセンサ技術は人間の工学的活動の中では非常にインテリジェントな部分を担当しているという誇りもある。さらに、ただ知識の獲得だけではなく、対象を制御するためにはまったく不可欠なセンサ技術である。まだまだ人間の知性には遠く及ばないけれども、それだけに発展させなければならない課題はいくらでもある。今回の特集号が更なる発展の契機になるよう大いに期待したい。