

流量計測に科学を—III

武田 靖 古市 紀之

流量計測には科学が必要であると強調してきた。ここでいう科学とはコペルニクス・ガリレオ・ニュートン以降の近代科学のことで、ギリシア科学ではない。その科学と技術の本質的な差異についてきちんと論じるのは他所にゆずるが、それらの関係を端的に表せば、テクニクがテクノロジーへと進化した時に、技術に科学を取り込む事で達成された間柄と言える。つまり、テクノロジーTechnologyの中のlogosが科学なのである。

そうすると、ここで論じている対象である現在の流量計測は、 $Q=AV$ である限り、原理的には科学が入っていないテクニクであり、そのままで技術的な発展が止まっていると言うことになる。もちろん多少の進展は認めて良いであろう。超音波流量計では測定部位における流速分布の平均値を使う事で原理の一部をカバーしていると見る事ができるだろうし、コリオリ流量計については、完全に科学的な原理に拠っているとも言えるであろう。そう見れば、それらが市場のシェアを大きくしつつある現状は理にかなっている。

村上陽一郎によれば、クライアントがいるのが技術であるから、それを踏まえて、技術としての流量計測と流量計の現状を俯瞰してみる。

流量計と流量センサー

物の取引のための計量用と、装置の状態を把握するための監視用あるいは計装用の機器が分離弁別されていない。前者は、初めに述べたようにローマ時代から社会

運用のための必要性から発達したもので、科学が入り込む余地もなく市場が確立してしまっている。日本国内での市場規模は約4000億円、世界的には4兆円程度ともいわれているから、計測用機器としては決して小さくなく、その技術レベルに合わせた経済システムや法規制が世界的にも完全に出来上がっている。その結果、たとえその改善の必要性が理解されたとしても、そのパラダイムからの脱却にはとてつもない努力と時間が必要であろう。それ以上にそのパラダイムの中で現在以上にそのボリュームを拡げることすら困難であろう。

それに対して、プラント設備や装置の監視計装用あるいはモニタリング用の機器としての技術開発にはさほど手がつけられているとは思えない。その現状は、計装用とはいえ、従来の計量用の機器の援用であるから、その上流パラダイムから脱却出来ている訳ではない。監視用機器とは、端的に言えば、流量センサーである。計量用流量計は前節で述べたように、その精度の確保には厳密な使用条件があり、それを監視設備のなかで確実に実現するのはそれほど容易ではない。例えば、計測装置の上流に十分な発達領域を確保することや過渡応答性を満足する事などは現実的ではないだろう。ましてやその設置環境は計量用の装置のように優先的ではあり得ない。つまり空間的条件も時間的条件もより厳しい。

結局、監視用機器としての流量計＝流量センサーをきちんと開発することが必要なのである。そこでは、旧態の機器や方法の単なる延長ではなく、きちんと科学を取り入れた、あるいは科学に基づいた技術開発という事になろう。その様に考えるケースを以下に示そう。

Industrie 4.0

過去 10 年程度の範囲で、ヨーロッパ特に産業技術の先進国であるドイツでは、Industrie4.0 という呼称での第 4 次産業革命が叫ばれている。これは 2010 年ころにドイツ産業技術連盟を基礎として設定された次期産業開発についての国家的目標¹の名称で、一時期、どこもかしこも I4.0 と口をついて話されていた。その詳細は別途調べていただくとして、そのエッセンスあるいは肝となる話を紹介しよう。それはドイツの産業目標を設定する際に、いわゆるコモディティの生産は他国に任せて、ドイツは製造機械の開発に特化して研究をすすめようというものである。それは、機械化という第一次産業革命、電気エネルギーの全面的利用による大量生産方式という第二次革命、情報化という第三次革命に続くものとして（だからこそ 4.0 なのである）、それまでの中央集権的発想で全体を組立てコントロールしようという思想から、プラントを構成する各コンポーネント（ブロック）が自律的に運用でき、その局所的な運用最適化を果たせるようにした上でプラント全体を構成するというものである。因みに、日本でもそれに触発されたと思しき Society5.0 なる政策がたてられているがあまりにも理念的すぎて具体策な体系化は一切みられない。同様に、これに倣ったと思われるものが、アメリカや中国にも科学技術政策として設定されているが、Industrie4.0 とは違ってあくまで政策的である。

この Industrie4.0 の思想に則った産業技術の変革に重要な要目の一つは、「各ブロックが自律的に運用される」という点にある。各ブロックがあたかもその内部でローカルに最適化された単一のユニットとして動けるようにする必要があることである。そのためには、簡単に例えてしまうと、それらが自ら耳目をもち、情報を収

集・評価・管理して自律し、しかもその上で全体との調和的な運転を行えるか、という総合システムとなるのである。スマートファクトリーとも呼ばれる。そう考えれば、各種センサーの重要性がより一層高くなるのは自明ではないだろうか。現在流行りのロボット開発にしても、自らの状態や状況を把握するセンサーなしには、自律型ロボットの開発は不可能であろう。そして、本稿で対象としているのは、それらのシステムの中（ブロック内部）やブロック間を移動する物質（材料や製品）の移動量を知るためのセンサー＝流量センサーである。

スマートファクトリー

センサー協議会の資料²が手元にある。ここでは、多くの場面や状況での各種センサーの必要性や開発要目などが挙げられているが、エネルギー、スマート工場、スマート農業、海洋開発など、その多くの場面で流量センサーの必要性が挙げられている。特に Industrie4.0 との関連では、スマート工場という枠組みでのセンサー開発の必要性が具体的に挙げられており、上述のようにプラントの各ブロックでの材料や製品の移動と、その監視からブロックの自律的運営が目標に挙げられている。本稿では特記しないが、データは当然デジタル化されていて、運用は IIoT(Industrial IoT)であるのが前提である。そして当然それらのセンサーが発信する情報は、その計測技術的に科学的であって、経験的であることは前提とされていない。この段階で、現在の流量センサーがその資格を持ちえないことがはっきりするだろう。

まとめ:流量センサー

初めに述べたように、近年の流動場測定技術の革命的な進展によって、流動場の直

接的な補足が十分可能な時代になっており、直接法による流量計測を実現できるようになっている。しかもそのことは今後の産業の発展にとっての大きな障害を克服することが可能であることをも示している。以下にそのような新しい特性を持つ流量センサーが実現できた暁には、産業の現場でどのような変化が起きるのかをイメージ的に示してみよう。

それは自然現象を直接観察するという科学の基本原則に則った測定に立ち返ることである。他の自然現象を利用した間接測定ではなく、流動場の直接測定であるから、情報理論的に一段階フィルターあるいはバイアスを通した情報ではなくなり、その適用に必要な前提や想定が必要ではなくなる。つまり結果をそのまま信用することができるのである。ほとんどの流量計の設置条件である上流側の直管部で流れを成長させ、流れの向きを揃える整流部が必要なくなることや、適用可能な Re 数の範囲を気にする必要もなくなる。二次元性の確認がきちんと取れば、極端な曲がり管の直後にも設置可能であろう。原理的に流れが層流だろうが乱流だろうが関係なくなる。測定方法にもよるが、流れの状態の過渡性についても測定法やその周辺の信号処理の時定数で流量変化に追随することが可能となる。

これらのことは、現在のプラントや配管システムを大きく改善する可能性をもっている。流量計上流の設置条件が大きく緩和されるのは、例えば管径が大きければ大きいほどその効果は大きい。上流部に $5-20D$ の直管部が不要になれば、場所の節約になるだけでなく、流路の圧力損失の低減や Inventory の低減化が期待できる。当然、それだけの設置条件が無用となれば、流量計自身の小型化が十分可能であり、流量計測センサーが十分実現可能であろう。

また流量が時間の関数として十分小さな時間分解能で取得可能になるということは、上のことを加味すると、プラントの制御系へ

の利用が十分機能するであろう。それはプラントの応答速度を速めることが期待できるから、制御系の大幅な改善が見込めることになる。ものづくり、特に化学工学や食品等の加工系の工学というのは、突き詰めると、材料を分けるか混ぜるかであり、その材料の流量を精度よく把握することは、その工程管理の基本中の基本であるから、それを正しく知ることでもまた基本中の基本である。

現在ドイツを中心として世界的に唱えられている IIoT や Industrie4.0 の基本的概念では、ものづくり工程のブロック化・コンポーネント化を行い、各エレメントが独立して最適化される。各コンポーネントはその内部で完全に独立して機能させる必要があるから、結局は目や耳に相当する状況把握の上質なセンサーが必要なのである。その際、流量計だけがFS精度を採用している限り、他のエレメントと統合した評価・全体化をすることができないから、大きなハンディキャップになり、流量計は置いてきぼりにされることになる。流量センサーで計測された物理量は、それ自身で使われるのではなく、他のパラメータと合わせて評価されることを確認する必要があるから。

まとめ:流量計

本稿では主に流量センサーについて論考してきたが、流量計に関しては、前二稿で論じたように、より厳しい条件が課されている。それは測定された物理量そのものが商取引きという社会的経済的な環境で使われるからである。つまりその機器の設置条件の緩和や棄却、測定精度表記法の変更など、いわゆるパラダイムからの脱却あるいはパラダイムシフトである。であるからこそより一層、合理性を基礎とする科学に基づいた、可能な限り主観性を排除できる方式をとることが望ましいのである。

事は厳密に、必要な場所での流動場を直接測定し評価することが原理原則であり、過去2000年以上に亘って依拠してきた方法は、新たなパラダイムの構築へと向けて脱却されるべきなのである。そしてそれは現在の技術によって十分可能である。

最後に

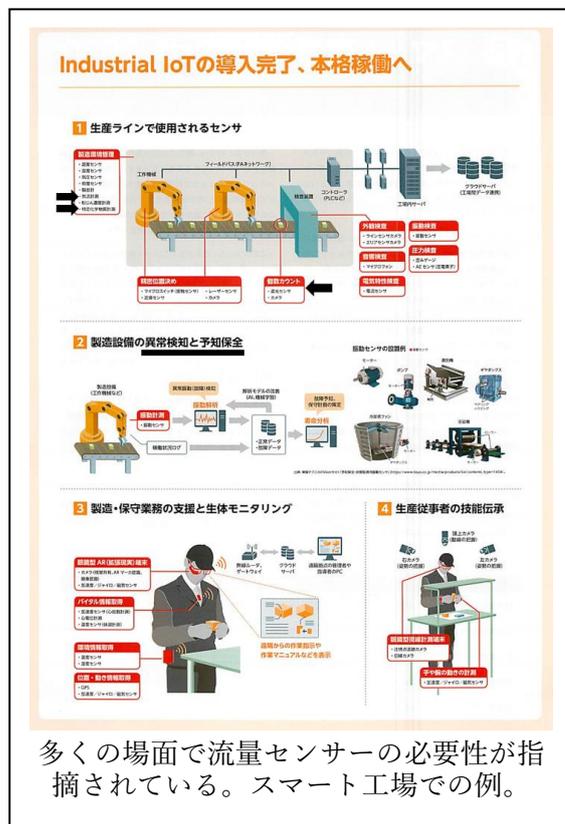
このような測定原理の変更には、それ自身が成立し受認されるまでには相当な努力と時間が必要ではあろうが、検定方法や型式認定のような現行の制度を無用とするものではない。利用者自身の保守性も考えると、その制度自身を簡素化することは可能だろうが、大幅な変更を必要とするものでもない。

われわれが目指すのは決して革命ではなく、技術の大胆な革新であり、それこそが真の意味でのイノベーションの創発である。

(完)

¹ドイツ経済環境庁の資料

<https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html>



多くの場面で流量センサーの必要性が指摘されている。スマート工場での例。

² 「センシング技術の普及とこれからの社会」
2018年 次世代センサ協議会