

## 計測のDXについて考える

高 辻 利 之\*

\* 国立研究開発法人産業技術総合研究所 茨城県つくば市梅園 1-1-1  
\* National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1  
Umezono, Tsukuba, Ibaraki, Japan  
\* E-mail: toshiyuki.takatsuji@aist.go.jp

キーワード: デジタルトランスフォーメーション (Digital transformation),  
デジタル校正証明書 (Digital calibration certificate), ブロックチェーン  
(Blockchain), 遠隔校正 (Remote calibration), デジタルツイン (Digital  
twin).

JL 0007/23/6207-0373 ©2023 SICE

## 1. 計測のDX特集号について

デジタルトランスフォーメーション (DX) は、科学技術的な分野にとどまらず、近年あらゆる社会活動に対しても語られるようになっていく。

山下氏の解説と重複するが、本特集はDXに関するものであるため、まず最初にDXの定義について考える。たとえば、経済産業省の資料<sup>1)</sup>では以下のように定義されている。

- Digitization: アナログ・物理データのデジタルデータ化
- Digitalization: 個別の業務・製造プロセスのデジタル化
- DX: 組織横断／全体の業務・製造プロセスのデジタル化, “顧客起点の価値創出”のための事業やビジネスモデルの変革

日本語では「デジタル化」と「DX」という2つの分類であるが、英語ではDigitization, Digitalization, DXという3つの分類になっている。日本語の「デジタル化」は、英語の前者2つに対応すると考えられる。そうすると、デジタル化とDXの違いは、前者は純粋に技術の話であるのに対して、後者はその受け取り手を考慮しているということがいえる。経済産業省の資料<sup>1)</sup>でも「顧客視点で新たな価値を創出すること」がDXと定義されている。たとえば工場で大量の管理データを取得するような例がDXとしてとりあげられることがあるが、データを取得しただけのものはDXではない。なぜなら、同じことは時間と労力をかければ人力でもできるからである。得られたデータから何か顧客にとって有用な価値を創出しなければDXとはいえない。

ではここで、DXと計測の関係について考える。DXでは大量のデータを利用することが多く、それを取得するのに計測は不可欠である。つまり、DXをより効果的に行うために計測が重要であることは理解しやすい。ではDXの手段である計測そのものにDXを適用するということは考えられないのか。実はこちらについては意識している人は少なく、事例も多くない。

本特集は、「DXのための計測」と「計測のためのDX」について、最新動向の紹介や有識者による解説を集めたものである。DXと計測の関係について改めて考えてい

ただきたくこの特集を企画した。1つ目の解説は小林氏によるDXと社会との関わりについて俯瞰したものであり、最初に読んでいただきたい。以下、筆者がこれまでに関連したDX関係の仕事を紹介しつつ、この特集号の内容について簡単に紹介する。

## 2. 遠隔校正と遠隔測定

DXによって実現が期待できるものとして、計測器を遠隔で校正することがあげられる。筆者の所属する計量標準総合センター (NMIJ) では今から20年ほど前に遠隔校正に関する国家プロジェクトを実施した。その際、遠隔校正として2つのタイプが考えられた。1つは対象とする量そのものを通信手段を使って伝送するもの、もう1つは安定な移送標準器を開発するものである。

前者がまさに遠隔校正であるが、結論として、遠隔で量そのものを伝送できるのは、電波や光ファイバーで周波数を送る例にとどまった。後者のタイプに対しては、今であればそのデータ伝送に情報技術が活用できるが、これを遠隔校正と呼べるかには議論すべき点が残る。

つぎに遠隔測定について考える。もっとも身近な例では、電力メータやガスメータがあげられる。これまでメータが取り付けられた場所に検針員が訪問して読み取っていたが、通信機能によって供給会社が遠隔で検針することが可能になった。検針以外にも、事故や災害時に供給を停止するなどの対応も可能であり、この機能は顧客にとっての付加価値といえる。

このようにネットワーク機能を備えた計測器に関しては、遠隔測定は実現されている。しかしながら、世の中には何十年も前に取り付けられた計測器がまだまだ現役で動いている。あるいはコスト面から通信機能のない計測器を取り付ける例もある。このような計測器に対しては現在の情報技術が利用できる。

計測器の表示 (アナログの針の場合もあるし、デジタル表示の場合もある) をテレビカメラで撮影し、画像処理によって測定値を読み取って伝送するシステムが、複数の会社から販売されている (図1)。計測器の表示部はバラエティーに富んでおり、また周囲環境の変化によって目盛りが見にくかったりするが、人工知能 (AI) の深層学習を利用すれば値の読み取りは問題なく行える。プラントに設置された温度計や圧力計の値を常時監視するため

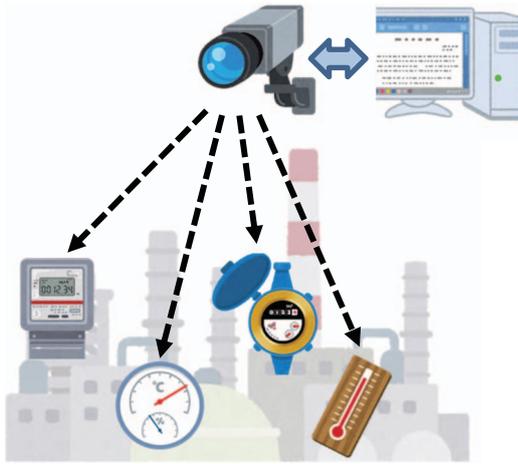


図1 アナログ計測器の自動読み取り

に、それらの計測器の前にカメラを設置しておく。カメラの価格は非常に安くなっているので、通信機能を備えた計測器に買い直すよりも安くあがる。また古い計測器をすべて1つのシステムで読み取るので、その後のデータ管理を一元的に行える利点もある。

ここに示したのは非常に簡単な例であるが、化学プラントのDX化については遙かに進んだ取り組みがなされており、それについては山下氏の解説をご覧ください。

またAIを用いた画像センシングについては、斎藤氏が詳しく解説している。画像から情報を抽出したり、見えにくいあるいは見えていないものまで再現する興味深い例が示されている。また最新の画像センシング機器については、栗山氏が有用な応用例と共に紹介している。

### 3. デジタル・メトロロジカル・ツイン

デジタル・ツインは、対象となる装置の設計情報や利用情報を忠実にデジタルで再現し、分析やシミュレーションを行う情報技術の1つである。デジタル・ツインは、装置のメンテナンスや故障の時期を予測したりするのに使う例が多い。計測器に対しても同様の目的で使われることがあるが、計測器の機能そのものをデジタルで再現したものをここではデジタル・メトロロジカル・ツインと呼ぶ。

工業製品の開発や品質管理に使われる三次元測定機(CMM)は、多機能な測定機であるが、多機能であるために測定の不確かさ推定が難しい。不確かさの推定においては、まず測定モデルを立てる必要があるが、CMMからの出力である三次元の測定点群から目的の幾何学量に変換する過程が単純にモデル化できない。

そこでCMMの移動ステージのスケール誤差、直角度誤差、真直度誤差、測定プローブの特性などを詳細に測定し、コンピュータ内にデジタル・ツインとして再現する。さらに必然的に発生するランダムな誤差を乱数で発生させて、モンテカルロシミュレーションを行う。多数

回の測定を行った際に得られる測定結果の分布から不確かさが推定できる。

不確かさという新たな価値が創造されている点で非常に興味深い。この技術はバーチャルCMMと呼ばれており、ドイツ物理工学研究所(PTB)で20年以上前に提案された技術である。デジタル・ツインのアイデアをはるかに先行するその先見性に驚かされる。ただ残念ながら、装置の特性の評価に多大な労力を要するため、バーチャルCMMはそれほど普及を見せていない。なお、モンテカルロシミュレーションを使って測定の不確かさを推定する方法は、不確かさ推定の教科書であるGUMの追加文書として発行されている<sup>2)</sup>。

### 4. Digital SI

DXそのものをより効果的かつ簡便に行うためには、それに必要な知的インフラの整備が効果的である。学術関連の国際機関や各国に設置されている国家計量標準機関では、そのための取り組みを進めている。

計測結果から何らかの価値を生み出すために、計測結果をほかのシステムとやりとりする場合は多く、そのためにも計測データに互換性があることが望ましい。このような計測データのフォーマットを制定する試みは、さまざまな技術分野において長く試みられている。さらにそれら計測データではなんらかの単位が用いられるため、単位そのものをデジタル表現する試みもいくつかの技術分野で行われてきた。

近年、国際度量衡局(BIPM)が中心となり多くの国際機関の賛同を得て、計量単位のデジタル表現であるDigital SIが作成されようとしている。これについては、保坂氏による詳しい解説記事があるので、そちらを参照されたい。

ここで意識しておかなければならないことは、何らかのルールを決めることには互換性が確保されるという利点はあるが、同時にそれに則っていないものを排除するという側面があることである。さらには新たな技術開発を阻害する恐れもある。これは計測データのフォーマットという課題だけではなく、ISOによる標準化などあらゆるルール作りが抱えている課題である。きちんとしたフォーマットさえ作っておけば、異なるフォーマットであっても相互の翻訳作業は可能であり、そのような作業は近年進展がめざましいAIの得意とするところである。フォーマットそのものよりも、何をどのようにルール化するかがより重要である。

さらに計測データのフォーマットだけではなく、その利用についても考慮が進められている。その1つがFAIR原則と呼ばれるもので、データがFindable, Accessible, Interoperable, Re-usableであることを保証する取り組みである。データの可用性については藤本氏の解説に詳しく述べられている。

## 5. デジタル校正証明書

Digital SI とあわせて検討されているのが、デジタル校正証明書 (Digital Calibration Certificate: DCC) である。ヨーロッパの国家計量標準機関が中心となって進めているプロジェクトで、BIPM も後押しをしている。計量器の校正証明書は、現在ほとんどが紙ベースでやりとりされているが、それを電子化したものに変えていくという提案である。

校正証明書が品質システム上の要求事項として必要であり、とりあえず紙だけでもらっておけばよいという例もなくはないが、通常は手に入れた校正証明書のデータはつぎの校正作業やものづくりにおける品質管理などに利用される。その際、データを読み取って手入力する作業が必要で、手間がかかるだけでなく転記のミスも発生する。単位の読みまちがいなどは起こりがちなミスであるが、Digital SI を使うことでそれも防止できる。

DCC に関する先進的な取り組みは、ドイツ物理工学研究所 (PTB)<sup>3)</sup> とスイス連邦計測事務所 (METAS)<sup>4)</sup> で進められている。PTB の DCC は XML を使っているのに対して、METAS は PDF ファイルに添付ファイルをつけた PDF/A 形式を使っている。フォーマットの統一がなされていないが、両者の内容は互いに変換可能である。今のところ、多くの人にとって馴染みが深い PDF のほうが広く使われているようである。PTB ではより簡便に DCC を使うためのツールである GEMIMEG tool を無償で提供し、DCC の普及に努めている。詳細については Dr. Krah の解説を参照されたい。

PTB と METAS 以外にも世界中の国立標準研究所で、DCC が使われ始めている。調べた範囲では、韓国 KRISS、中国 NIM、タイ NIMT、オーストラリア NMIA、ニュージーランド MSL、メキシコ CENAM、ブラジル INMETRO が DCC を発行している。ただそのレベルにはかなり差があり、従来の紙ベースの校正証明書を PDF にしただけのところもある。

筆者の所属する日本の国立標準研究所である NMIJ でも最近一部の校正サービスに対して DCC の発行を開始した。NMIJ でも PDF/A 形式を採用しており、デジタル署名が付与されている。

ただ残念ながら世界を見渡しても DCC がすぐに普及を見せているという状況にはない。その最大の理由は、使用することのメリットが見えにくいことである。DCC を受け取るユーザも、DCC を発行する認定ラボも、認定を行う機関も、お互いによすを見ている。みんなが使わないからメリットが生まれず、メリットがないから使えないという状況を打破する必要がある。

## 6. 計測の信頼性確保

### 6.1 ブロックチェーン

ブロックチェーンは、仮想通貨の1つであるビットコインで使われている情報技術である。ビットコインの取引の記録 (ブロックと呼ぶ) を、1つのファイルにつきつぎにチェーンのように継ぎ足して記録することからブロックチェーンと名付けられている。ブロックチェーンの詳細については割愛するが、同じ記録を複数箇所に分散して記録するので情報の喪失やネットワークの障害に強い、チェーンのようにデータがつながっているので途中のデータの書き換えがほぼ不可能、といった利点がある。

ビットコインでは取引の履歴は ID を付与されて記録・公開されており、ID がわかればだれでも情報を入手することが可能かつ、取引の履歴をたどることができる。これは計量の世界でいうところのトレーサビリティの概念に類似している。実際にブロックチェーンは、食品、工業製品、美術品などの履歴 (トレーサビリティ) をたどるツールとしてすでに利用されている。

先に述べた DCC とブロックチェーンの技術を使えば、校正証明書を電子的に記録して、必要に応じて取り出したり、トレーサビリティをたどったりすることができるはずである<sup>5)</sup>。

校正証明書を手にしたユーザがアクセスできる情報は、その校正証明書に書いてあることがすべてである。その校正に用いた参照標準の情報はほとんど書かれておらず、そこから上のトレーサビリティがどうつながっているのかは知りようがない。この状況を示したのが図 2 b) である。

ユーザがそれを知りたいと思う状況は多くない。特に校正機関の世界的ネットワークである ILAC の相互承認制度 (ILAC-MRA) に加入する校正機関から発行された校正証明書に関しては、トレーサビリティが国際標準や国家標準につながっていることが保証されている。

しかしながら、ユーザはその情報を知る権利があり、知る必要があると筆者は考えている。たとえば、校正証明書は何らかの理由で取り下げられることがある。その場合にいわば工業製品のリコールのように、その下位につながっているすべての校正証明書が回収されているだろうか。自身の校正証明書を利用するときに、それが有効なものであるかの確認手段は提供されているべきである。

ここで、世の中に存在するすべての校正証明書の体系を示したものが図 2 a) である。校正証明書には秘密の情報が記載されていたり、公開したくないこともあるので、すべての校正証明書をオープンにすることはできない。図 2 c) に示すように、自身がつ校正証明書に関して、その上位のトレーサビリティの連鎖だけが見られるような設計をしなければならない。

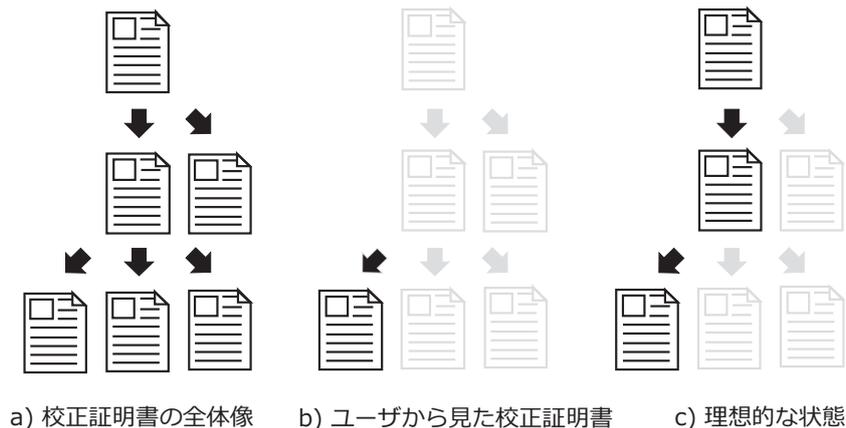


図2 ブロックチェーンを使った計測トレーサビリティの可視化

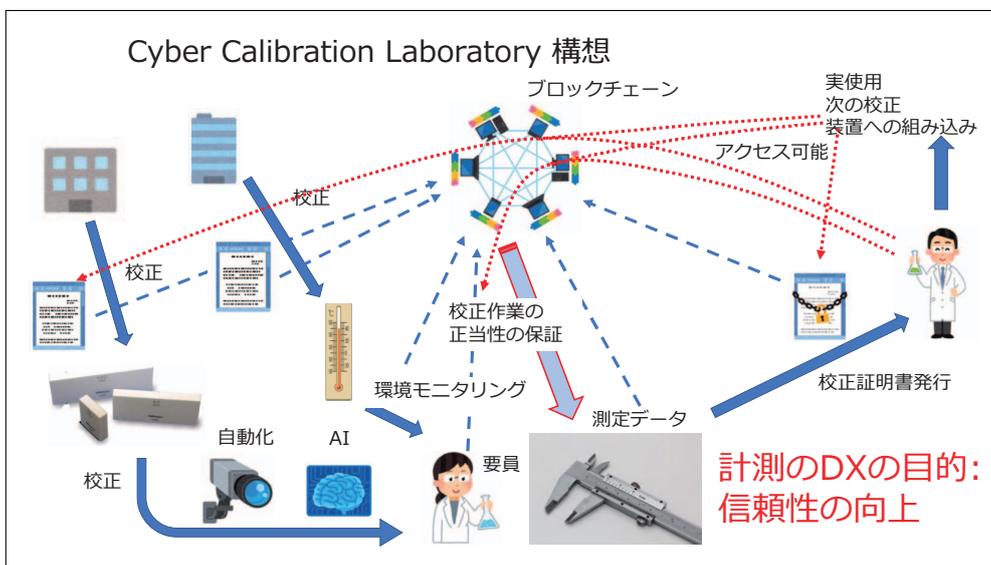


図3 DX を用いた計測の信頼性確保

このような設計は、DCCとブロックチェーンを使えば可能である。校正証明書をブロックチェーンに記録するときに、その上位の校正証明書のIDを書き込んでおけばよい。必要なものだけが見られるというアクセス制限は、さまざまな情報技術を使えば実現できる。校正証明書のDCC化はDigitizationであり、たとえばそれをデータベース化してさまざまな用途に利用するのはDigitalizationといえる。さらにDCCとブロックチェーンによって権限をもった人だけが必要な情報にアクセスし、信頼性が保証された校正証明書を使えるのはDXの一例といえるであろう。つぎの節ではDXを使って信頼性という顧客にとっての付加価値を提供する例をもう1つ紹介する。

### 6.2 DXを使った計測の信頼性確保

ブロックチェーンを使えばさまざまなことが可能になる。測定値をすべてブロックチェーンに登録すると、すべての情報がデータ喪失の心配がなく、かつ改ざん不可能な状態で記録することができる。たとえば、三次元測

定機から出力される膨大なデータをすべて記録するという試みが報告されている。

さらに、図3に示すようにデータを記録するだけでなく、そのデータが有効なものであるかを確認することができる。ある測定を行った瞬間に、その測定器のトレーサビリティがきちんと確立されているか確認できる。校正証明書の有効期限が切れていると、警告が出て作業を停止させることができる。さらに、校正を行う担当者の教育訓練が正しく行われているか、環境条件が規定された範囲に入っているかなど、校正結果の信頼性に関わる情報を同時に確認し記録することもできる。さらには近年社会問題となっている検査結果の改ざんもある程度防止することも可能と考える。

このような取り組みについては城野氏の記事で詳細に解説されているので、そちらを参照されたい。

## 7. おわりに

本稿の最初にDXとは「顧客視点で新たな価値を創出

すること」であると述べた。それでは計測に対して、どのような新たな価値を付け加えることのできるのか。1つの答として筆者は「信頼性」であると考えている。

計測は社会のあらゆる場面で行われている。さらにDXに計測は不可欠であると述べた。しかしながら計測結果そのものに疑問をもつ人は少なく、結果がそのまま受け入れられている。ところが何らかのまちがいがあって計測結果が正しくないこともあるし、近年大きな社会問題となっている品質検査における不正のような例もある。DXの利用のために計測の重要性が増すに従い、計測の信頼性がこれまで以上に重要になってくる。本特集が、計測の信頼性を考えるよい機会を提供できれば幸いである。

(2023年6月6日受付)

#### 参考文献

- 1) DXレポート2, 経済産業省, 2021年発行, <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201228004/20201228004-2.pdf> (2023/6/6 リンクを確認)
- 2) ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl 1:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) — Supplement 1: Propagation of

distributions using a Monte Carlo method

- 3) Digital Calibration Certificate, [https://www.ptb.de/dcc/v2.4.0/ressources/DCC\\_English.pdf](https://www.ptb.de/dcc/v2.4.0/ressources/DCC_English.pdf)
- 4) G. Boschung, et al.: PDF/A-3 Solution for Digital Calibration Certificates, *Measurement: Sensors*, **18**, 100282 (2021)
- 5) T. Takatsuji, et al.: Precision Engineering, Blockchain Technology to Visualize the Metrological Traceability, *Precision Engineering*, **58**, 1/6 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2019.04.016>.

#### [著者紹介]

高辻利之君



1990年神戸大学大学院修士課程修了, 同年通商産業省工業技術院計量研究所入所。1994年～1996年オーストラリア国立科学産業研究機構客員研究員。1999年博士(工学)取得。2001年国立研究開発法人産業技術総合研究所に組織変更。長さ, 幾何学量, 三次元計測などに従事。国際法定計量委員会(CIML)委員。ISO/TC213/WG10(三次元測定機), ISO/TC172/SC4(望遠鏡)委員。