

# 横河電機グループの計測トレーサビリティと計測器管理

## Yokogawa Group's Instrument Traceability and Management

荻田 英治<sup>\*1</sup>  
OGITA Eiji

甘利 豊文<sup>\*1</sup>  
AMARI Toyofumi

吉澤 淳<sup>\*1</sup>  
YOSHIZAWA Atsushi

若松 宗明<sup>\*1</sup>  
WAKAMATSU Muneaki

松本 烈<sup>\*1</sup>  
MATSUMOTO Akira

計測結果の整合性および信頼性を確保するため、計測器および検査装置の国家標準へのトレーサビリティを維持することは計測器メーカーの責務である。横河電機グループでは多くの物理量を計測する測定器を生産販売している。本稿では電気、光、圧力、温度の計測トレーサビリティに的を絞り紹介する。直流電圧の標準はツェナー形標準電圧発生器、直流抵抗の標準は当社製標準抵抗器、交流電圧と交流電流の標準は熱電形交直電圧比較器と熱電形交直電流比較器、光パワーの標準はカロリメータ、光波長の標準は周波数安定化He-Neレーザ、圧力の標準は重錘形圧力天びん、温度の標準は標準白金測温抵抗体とR熱電対である。計測トレーサビリティは、定期的な校正によって維持されている。当社は、1993年に導入された計量法トレーサビリティ制度JCSS( Japan Calibration Service System )において、「電気等」と「圧力」の校正事業者として認定を取得している。

It is the responsibility of instrument manufacturers to maintain the traceability of measuring instruments and testing equipment to national standards, in order to ensure the consistency and reliability of measured data. This paper discusses traceability with a focus on electrical, optical, pressure and temperature measurements. The DC voltage standard is a Zener-type standard voltage source, the DC resistance standard is a Yokogawa-manufactured standard resistor, the AC voltage and AC current standards are AC/DC thermal voltage and current transfer standards, the optical power standard is a calorimeter, the optical wavelength standard is a frequency-stabilized He-Ne laser, the pressure standard is a deadweight pressure balance, and the temperature standards are a Pt-Co RTD, SPRT and R-thermocouple. Measurement traceability is maintained by means of periodical calibration. Yokogawa Electric Corporation is an accredited calibration service provider in the categories "Electrical" and "Pressure" of the Japan Calibration Service System, a measurement law-based traceability system introduced in 1993.

### 1. はじめに

横河電機グループは1915年の創業以来計測器を製造、販売して来た。これらの製品の計測結果の整合性、信頼性を確保するため、グループ内計測トレーサビリティを確立している。日進月歩の計測器の製造工程においては「測れなければ造れない」ため、日々計測標準の整備向上に努めてきた。1993年11月には計量法の全面改訂があり、計量法トレーサビリティ制度JCSS( Japan Calibration Service System )が創設された。横河電機は、「電気等」と「圧力」の認定事業者であり、国に代わって産業界に計量標準を供給する役割も担っている。本稿では、横河電機グループの計測トレーサビリティ、計測器管理およびJCSS校正事業について紹介する。

### 2. 標準器室の環境

一般に、計測器の特性は設置環境によって影響を受ける。例えば室温が変動する環境では、校正の度毎に異なる結果が得られ、信頼性の低い校正となる。また、温度や振動などの急激な変化は計測器にストレスを与え、長期ドリフトの誘因となったり、寿命の短縮となったりする。そのため、標準器の設置環境は、一定の範囲内に制御されている<sup>(1)</sup>。表1に、当グループの管理する各標準器室の環境を示す。

表1 標準器室の環境

量	温度	湿度	備考
電気	23 ±1	50%±10%	
光	23 ±2	50%±10%	気密構造
圧力	23 ±1	50%±10%	防振構造
温度	一般空調		

\*1 技術開発本部 開発基盤支援センター( 甲府 )

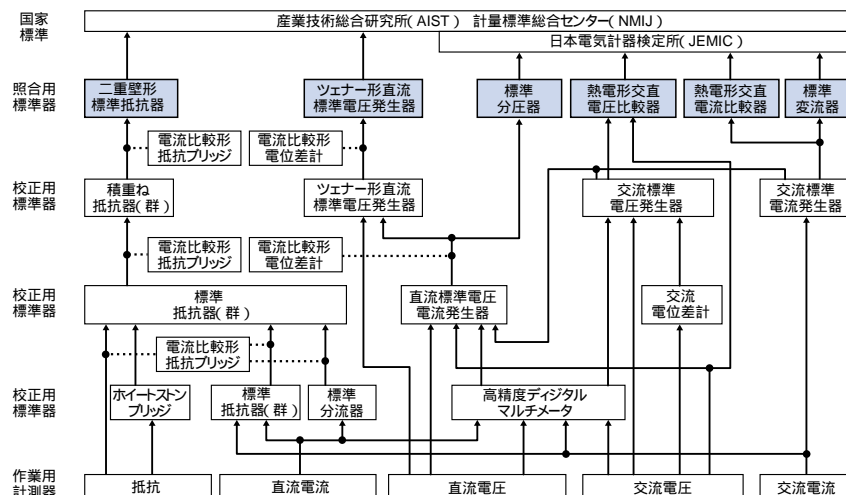


図1 電気標準のトレーサビリティ

光パワーの照合用標準器であるカロリメータは、気圧の変動により出力が変化する。そのため、光標準室は外部の気圧変動の影響を受けにくい気密構造が採用されている。圧力の照合用標準器である重錘形圧力天びんは、振動により出力が変化する。そこで、建物の床下に厚さ70 cmのコンクリートを敷き、振動を抑制している。

### 3. 電気標準

直流抵抗，直流電圧，直流電流，交流電圧，交流電流のトレーサビリティを、図1に示す。

#### 3.1 直流電圧 直流電流

過去、直流電圧の標準は、飽和形標準電池が主流であった。近年は、エレクトロニクス技術の進歩に伴い、ツェナー形直流標準電圧発生器が主流となっている。現在、当社においても、直流電圧の照合用標準器はツェナー形直流標準電圧発生器(Fluke732A)である。このツェナー形直流標準電圧発生器は、12ヵ月周期で、(独)産業技術総合研究所(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology: AIST)計量標準総合センター(National Metrology Institute of Japan: NMIJ)以下、NMIJのジョセフソン接合アレイ電圧標準(Josephson Junction Array Voltage Standard: JJAVS)で校正されている。ツェナー形直流標準電圧発生器の出力電圧は、時間的に変動する特性を持っている。当社所有のツェナー形直流標準電圧発生器では、過去のNMIJの定期校正結果により、時間の経過に伴って、出力電圧が単調増加する特性を持つことが分かっている。そこで、過去の校正値から、最小2乗近似により回帰直線を求め、校正に使用する時点の出力電圧(推定値)を算出している。

直流電圧0 V ~ 2 Vの範囲において、小さな校正不確かさが要求される場合には、ツェナー形直流標準電圧発生器と電流比較形電位差計(Direct Current Comparator Potentiometer: Guildline9930)を用いる。2 V以上1,000 Vの範囲は、ツェナー形直流標準電圧発生器と電流比較形電位差計、標準分圧器(Fluke750A)を用いて校正を行っている。標準分圧器は、12ヵ月周期で、日本電気計器検定所(以下、JEMIC)で校正されている。

直流電流は、 $\text{直流電流}[\text{A}] = \text{直流電圧}[\text{V}] \div \text{直流抵抗}[\ ]$ というオームの法則を利用する。電流を標準抵抗器または標準分流器に流し、その時発生した両端の電圧値を抵抗値で割れば電流値が得られる。従って、直流電流のトレーサビリティは、直流電圧と直流抵抗の2つのトレーサビリティから組み立てられている。

直流抵抗の照合用標準器は、マンガン線抵抗をアルゴンガス中に密閉した温度係数、経年変化共に非常に優れた1の二重壁形標準抵抗器(2781)である。この照合用標準器は、12ヵ月周期で、NMIJで校正されている。1の照合用標準抵抗器を上位標準器とし、電流比較形抵抗ブリッジ(Direct Current Comparator Resistance Bridge: Guildline 6675A)を用いて積重ね抵抗器(ヘイモン抵抗変換器)を校正する。次に、積重ね抵抗器によって、10 ~ 1Mの校正用標準抵抗器(群)を校正する。1よりも抵抗値の小さい100m, 10m, 1mの校正用標準抵抗器を校正する場合は、1の標準抵抗器を上位標準器として、電流比較形抵抗ブリッジを用いて校正を行う。油浸型標準抵抗器(作業用計測器)の校正では、上位標準となる校正用標準抵抗器と被校正器を、極めて温度が安定な油槽に浸漬して校正する。その際、校正用標準抵抗器は常に23に設定した油槽に浸し、被校正器は要求に応じておよそ20~30の温度に設定した油槽に浸漬している。

#### 3.2 直流抵抗

1の照合用標準抵抗器を上位標準器とし、電流比較形抵抗ブリッジ(Direct Current Comparator Resistance Bridge: Guildline 6675A)を用いて積重ね抵抗器(ヘイモン抵抗変換器)を校正する。次に、積重ね抵抗器によって、10 ~ 1Mの校正用標準抵抗器(群)を校正する。1よりも抵抗値の小さい100m, 10m, 1mの校正用標準抵抗器を校正する場合は、1の標準抵抗器を上位標準器として、電流比較形抵抗ブリッジを用いて校正を行う。油浸型標準抵抗器(作業用計測器)の校正では、上位標準となる校正用標準抵抗器と被校正器を、極めて温度が安定な油槽に浸漬して校正する。その際、校正用標準抵抗器は常に23に設定した油槽に浸し、被校正器は要求に応じておよそ20~30の温度に設定した油槽に浸漬している。

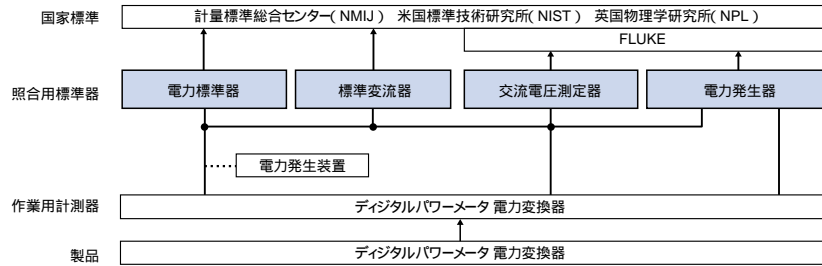


図2 新規に構築した交流電力のトレーサビリティ

1M ~ 1G の抵抗(作業用計測器)は、校正用標準抵抗器(群)を上位標準器として、電流比較形抵抗ブリッジまたはホイートストンブリッジ(2768)で校正する。

3.3 交流電圧 交流電流

交流電圧は、照合用標準器である熱電形交直電圧比較器(AC/DC Transfer Standard: Fluke 792A)を用いて、交流電圧の実効値と既知の直流電圧の実効値とが比較され、校正される。熱電形交直電圧比較器は、12ヵ月周期でJEMICにて校正されている。校正の電圧範囲は300 mV ~ 1000 V、周波数範囲は40 Hz ~ 1 MHzである。

交流電流は、熱電形交直電流比較器(熱電形交直電圧比較器の入力部に分流器を付加したもの: Fluke 792A, A40)を用いて、交流電流の実効値と既知の直流電流の実効値とが比較され、校正される。熱電形交直電流比較器は12ヵ月周期でJEMICにて校正されている。校正の電流範囲は10 mA ~ 20 A、周波数は50 Hz, 60 Hzである。交流標準電流発生器は熱電形交直電流比較器、標準変流器(2885C・CT)および直流標準電圧電流発生器によって校正される。標準変流器は36ヵ月周期で、JEMICで校正されている。

3.4 電力

従来、高精度電力変換器(2885)を照合用標準器としたトレーサビリティ体系を構築し、電力計の生産に万全を期していた。しかし近年の省エネルギー気運の高まりから電力の高精度測定への要求が強くなり、当社では最高確度0.06%のデジタルパワーメータ(プレジジョンパワーアナライザWT3000)<sup>2)</sup>を開発した。その結果、従来の電力トレーサビリティではWT3000を高い品質で作ることが難しく、新たにより高精度なトレーサビリティが必要となった。図2に、今回開発した高精度電力校正体系を示す。電力標準器の校正依頼先は外国に求めざるを得なかった。近い将来(2006年度)、日本でも高精度な電力標準の供給が予定されており、その暁には校正依頼先を日本に戻したいと考えている。外国の電力標準供給機関の校正範囲が狭いため、電圧と電流の範囲の拡張が必要である。交流電圧測定器と標準変流器は、そのために

使用される。

3.4.1 力率1のトレーサビリティ

力率1のトレーサビリティの特徴は、これまでの交流電圧と交流電流トレースから、電力トレースに変更した。これまでの標準電力変換器より長期安定度に優れた電力標準器(照合用標準器)を採用した。外国の電力標準供給機関にこの電力標準器の校正を依頼したことである。また電力発生装置(電圧発生器、電流発生器、電圧と電流の位相器)に安定でノイズの少ない組み合わせを選択することに注意を払っている。

3.4.2 力率1の電力における電流の範囲拡張

電圧と電流の両方の校正範囲を拡張しているが、本稿では電流の拡張についてだけ説明する。NMIJで校正された標準変流器を用い、交流電流の範囲を拡張している。図3では、標準供給機関で校正された電力標準器の100 V, 5 A, 60 Hz, 力率1を基準に、一次側が5 A一定で、その一次側の5 A入力に対して、二次側を百分率で指定できる標準変流器を用い、作業用計測器の100 V, 2 A, 60 Hz, 力率1を校正する。

3.4.3 力率0のトレーサビリティ

この場合、電力発生器を照合用標準器としている。力率0において最大の不確かさ要因は、電圧と電流の位相差の不確かさである。使用している電力発生器の電圧と電流の位相差の拡張不確かさは、52  $\mu$ rad(包含係数k = 2)である。

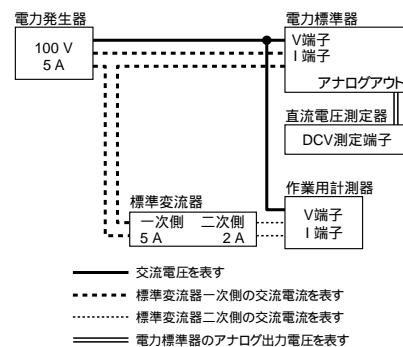


図3 標準変流器を用いた電流拡張のブロック図 (標準変流器 一次側 5 A, 二次側 2 A)

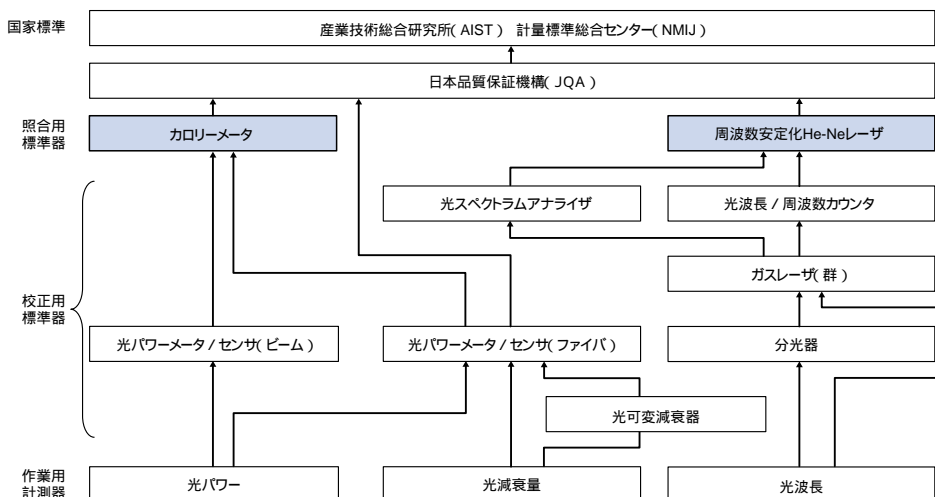


図4 光標準のトレーサビリティ

### 3.4.4 作業用計測器に付与される拡張不確かさ

図3の構成に基づき、標準供給機関で校正された電力標準器の100 V, 5 A, 60 Hz, 力率1を基準に、作業用計測器(デジタルパワーメータ)の100 V, 2 A, 60 Hz, 力率1を校正した際の校正の拡張不確かさは、約80 ppm (k = 2)であった。最高確度0.06%(600 ppm)の製品を試験するための精度として、問題ない大きさと考えている。

## 4. 光標準

光の基本的量である光パワー、光波長および減衰量の標準について述べる。

### 4.1 光パワー

図4に、光標準のトレーサビリティを示す。光パワーの国家標準はNMIJで維持されている。当社ではNMIJの指導により、国家標準と同じ測定原理で安定性の高いカロリメータ方式標準光パワーメータ(以下カロリメータ)を開発し、照合用標準器としている。このカロリメータは日本品質保証機構(以下JQA)にも納入され、光パワーの標準器として使用されている。

照合用標準器であるカロリメータは、JQAで12ヵ月周期で校正されている。校正範囲は10 μW ~ 100 mW, 波長範囲は488 nm ~ 1650 nmである。光源出力の短期安定性を利用し、照合用標準器に光を照射した時の表示値と被校正器(校正用標準器)に光を照射した時の表示値を比較することによって、校正用標準器である光パワーメータ/センサを校正する。光センサに取り付けるアダプタを交換することにより、1つの光センサでビーム系とファイバー系の2種類の光パワーメータの校正に対応している。

ビーム系光パワーメータの校正範囲は10 μW( -20

dBm) ~ 100 mW( 20 dBm), 波長範囲は488 nm ~ 1152 nmである。ファイバー系光パワーメータの校正範囲は1.25 nW( -89 dBm) ~ 6.3 mW( +8 dBm), 波長範囲は850 nm ~ 1650 nmである。

### 4.2 光波長

光波長の標準には、周波数安定化He-Neレーザーを用いている。本レーザーは、JQAにより12ヵ月周期で定期的に校正されている。発振周波数の相対安定度は $\pm 1 \times 10^{-8}$ 以内である。周波数安定化He-Neレーザーから出力される波長633 nmの光を光ファイバーレーザ光導入ユニットによりシングルモードファイバーに導入し、そのファイバー光を被校正器である光波長/周波数カウンタまたは光スペクトラムアナライザに入力し、波長を校正する。校正された光波長/周波数カウンタまたは光スペクトラムアナライザにより、488 nm ~ 1523 nmの範囲でガスレーザ(群)の波長を校正する。このガスレーザ(群)により、分光器の波長と作業用計測器の波長を校正する。分光器は光パワーメータの分光感度特性の校正に用いられ、その波長範囲は400 nm ~ 1700 nmである。

### 4.3 光減衰量

光減衰量の校正には光パワーメータを用いる。安定な光源の出力を、光減衰器(被校正器)を通して光パワーメータに入射する。光減衰器を任意に設定した時の光パワーメータの指示と光減衰器を0 dBに設定した時の光パワーメータの指示とを比較することにより、光減衰量を校正する。校正範囲は1 dB ~ 60 dB, 波長範囲は850 nm ~ 1550 nmである。

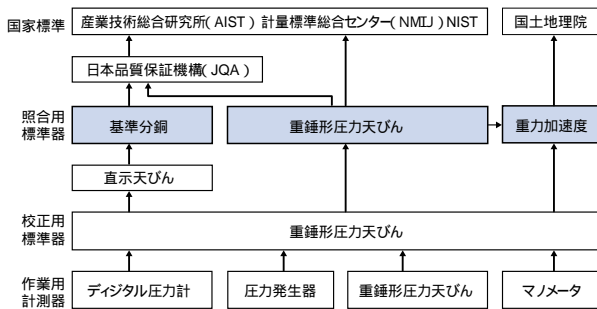


図5 圧力のトレーサビリティ

## 5. 圧力標準

圧力のトレーサビリティを、図5に示す。精度と安定性が優れている重錘形圧力天びんを照合用標準器に採用した。本照合用標準器はNMIJにより36ヵ月周期で、重錘質量はJQAにより36ヵ月周期で校正されている。また本照合用標準器は、NISTにもトレースされている。

### 5.1 重錘形圧力天びんの原理

重錘形圧力天びんは、ピストンとシリンダーからなるパスカルの原理を用いた高精度な圧力発生器である。発生圧力 $P$  (Pa)は、ピストンの有効断面積 $A$  ( $m^2$ )と、その上に載せる重錘の質量 $M$  (kg)で決定される。

$$P = W/A \quad W \text{は力の大きさ(質量 } M \times \text{重力値 } g)$$

### 5.2 各種補正

重錘形圧力天びんの発生圧力の精度を上げるため、重錘質量とピストン質量の精密測定、温度補正、使用場所での重力値補正、重錘の浮力補正、高度差補正を行う。

#### (1) 温度補正

ピストン温度(動作中はピストンがシリンダーの中で回転しており測定できないため、実際にはシリンダー温度)を白金測温抵抗体等で測定し、温度係数に従ってピストンの有効断面積を補正する。この温度係数は、10 ~ 30 ppm/ とかなり大きい。

#### (2) 重力値補正

標準重力値(9.80665  $m/s^2$ :緯度45度、海拔0 mの値;日本では北海道利尻島付近で観測される)で表わされた重錘形圧力天びんの校正値を、使用場所のローカル重力値で補正する。ローカル重力値は、国土地理院発行の重力異常分布図(ブーゲー異常)と緯度、経度、海拔(陸の高さ、陸からの高さ)により計算も可能だが、当社では正確を期して、甲府工場の玄関脇で測定した9.79689  $m/s^2$ を用いている。甲府の重力値は、標準重力値に比べて0.1%程小さい。

#### (3) 浮力補正

重錘に働く空気の浮力を計算し補正する。

#### (4) 高度差補正

一般に重錘形圧力天びんの発生する圧力値は、ピストン下端の高さ(圧力値を計算する基準の高度)で表される。上位標準器の基準高度と被校正器の基準高度に差があると、高度差分の圧力だけ校正値に偏りが生ずる。この偏りを、配管中の媒体密度、高度差を用いて補正する。

## 5.3 使用上の注意と校正範囲

重錘形圧力天びんは、ピストンとシリンダーの隙間が約1  $\mu m$ の精密機械である。ごみや結露を嫌うため、測定媒体には純窒素を用い、ごみを取り除くフィルタも設けている。作業用計測器の被校正範囲を、表2に示す。

標準室の気圧は絶対圧形デジタル圧力計で監視する。本器は6ヵ月毎の定期校正で正常動作を確認している。

## 6. 温度標準

温度のトレーサビリティを、図6に示す。温度の照合用標準器は、標準白金測温抵抗体とR(白金-白金ロジウム)熱電対である。これらは12ヵ月周期でJEMICで校正される。校正が終わる照合用標準器を受領すると、水の三重点やガリウムの融解点、すず、亜鉛、アルミニウム、銀、銅の凝固点などの温度定点(JEMICにおける校正ポイント)において校正状態を再現し、前回の校正値との偏差を確認する。作業用計測器などの被校正品は、主に校正用白金測温抵抗体、校正用標準白金測温抵抗体などによって-100 ~ 550 の連続的な温度範囲で校正される。但し、550 以上の高温では、当社所有の白金測温抵抗体は酸化による劣化のため使用できない。そのため、校正用R熱電対により、アルミニウム、銀、銅の凝固点(離散的な温度ポイント)において、作業用計測器の校正が実施されている。

## 7. 計測器管理

前項までに、定期的な校正によって計測トレーサビリティが維持されることを説明した。一般に定期校正の時期や校正間隔は、計測器毎に異なる。多くの計測器を校正の有効期限内に保つために、校正依頼や引取りなどの断続的な作業や失念しない努力をしなければならない。当社では、校正情報管理システムCIMS(Calibration Information Management System)を構築し、横河電機グループ内で運用している。図7に、システム構成を示す。

表2 作業用計測器の被校正範囲

ゲージ圧	0 Pa ~ 50 MPa
差圧	200 Pa ~ 20 kPa
絶対圧	0 kPa abs ~ 200 kPa abs

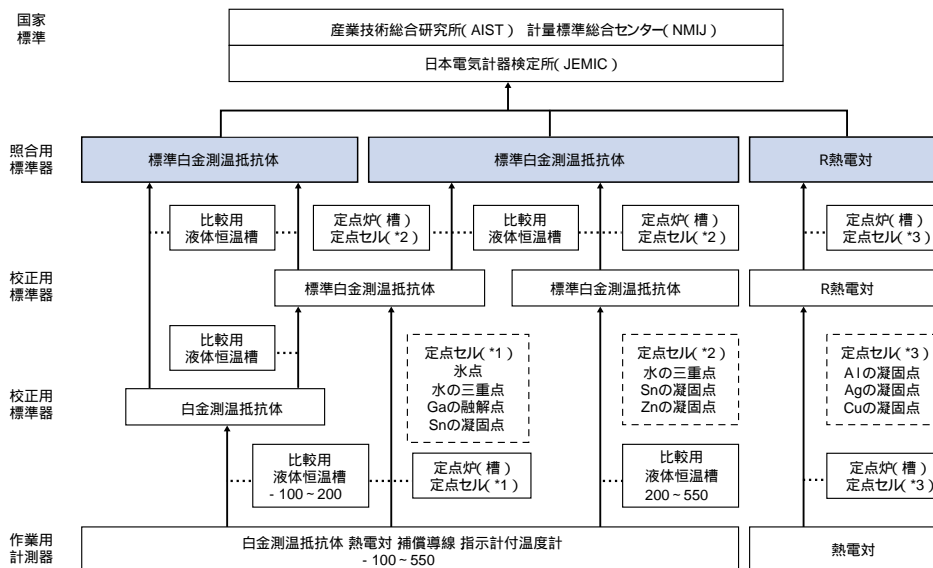


図6 温度標準のトレーサビリティ

管理対象計測器の管理者は、個々の計測器に対して、機能、形名、製造番号、校正周期、校正期限等をCIMSに登録する。登録された情報に基づき、CIMSは毎月10日に各管理者に電子メールによって、翌月に校正有効期限の切れる計測器のリストを送る。このリストによって、計測器の管理者は校正担当部署に校正を依頼すればよい。CIMSによれば、校正の有効期限切れや校正依頼漏れなどを効果的に低減することができる。

CIMSは、当社のイントラネットを利用できる者ならば誰でも利用できる。中国江蘇省蘇州市にある横河電機(蘇州)有限公司もCIMSを利用して計測器管理を行っている。

### 8. 計量法トレーサビリティ制度(JCSS)に基づく校正

1993年11月に改正計量法が施行され、計量法トレーサビリティ制度JCSS(Japan Calibration Service System)が導入された。本制度は国家計量標準供給制度と校正事業者認定制度からなり、先端産業分野をはじめ、工業生産における高精度な計測や品質管理の信頼性確保を目的として創設された。

当社は、1995年6月に「電気等」、2000年12月に「圧

力」の校正事業者にて認定され、現在はMRA(相互承認協定)対応事業者<sup>(3)</sup>となっている。認定された校正事業者は、計量法で規定された認定要件に適合することはもとより、認定基準であるISO/IEC17025に適合している。MRA対応事業者は、認定機関の国際的・地域的な集まりであるILAC(国際試験所認定協力機構)やAPLAC(アジア太平洋試験所認定協力機構)が定めた要求事項にも適合している。当社はグループ内に信頼性の高い計量標準を供給することによって、高品質な製品の生産を可能にすると同時に、産業界に対し、国に代わって信頼性の高い計量標準を供給する役割も担っている<sup>(4)</sup>。

### 9. おわりに

横河電機グループは、計測器の進歩に合わせて必要な計量標準を整備し、国家標準へトレースしてきた。信頼性ある計測トレーサビリティの確保は、グループ内の様々な試験・測定データの信頼性を根底から支え、高品質な計測器生産の基盤として非常に重要な役割を果たして来た。また、近年経済活動の国際化に伴い、各国の経済取引に関する適合性評価手続きの根幹を成す技術的基盤として、国際的な計測トレーサビリティの確保も益々重要になってきている。横河電機グループは、今後とも計測トレーサビリティの維持向上にたゆまぬ努力を傾ける所存である。

### 参考文献

- (1) 日本工業規格：試験場所の標準状態 JIS Z 8703(1983)
- (2) <http://www.yokogawa.co.jp/tm/Bu/WT3000>
- (3) <http://www.nite.go.jp/asse/jcss/system/index.html>
- (4) [http://www.nite.go.jp/asse/jcss/pdf/jigyousya\\_f/D0058M.pdf](http://www.nite.go.jp/asse/jcss/pdf/jigyousya_f/D0058M.pdf)

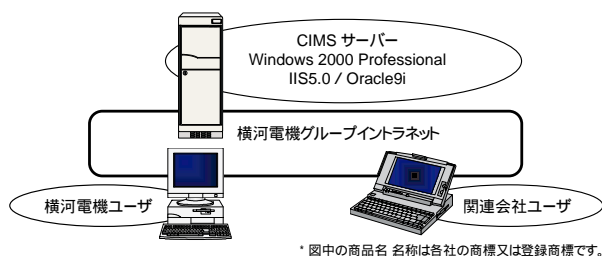


図7 CIMSのシステム構成