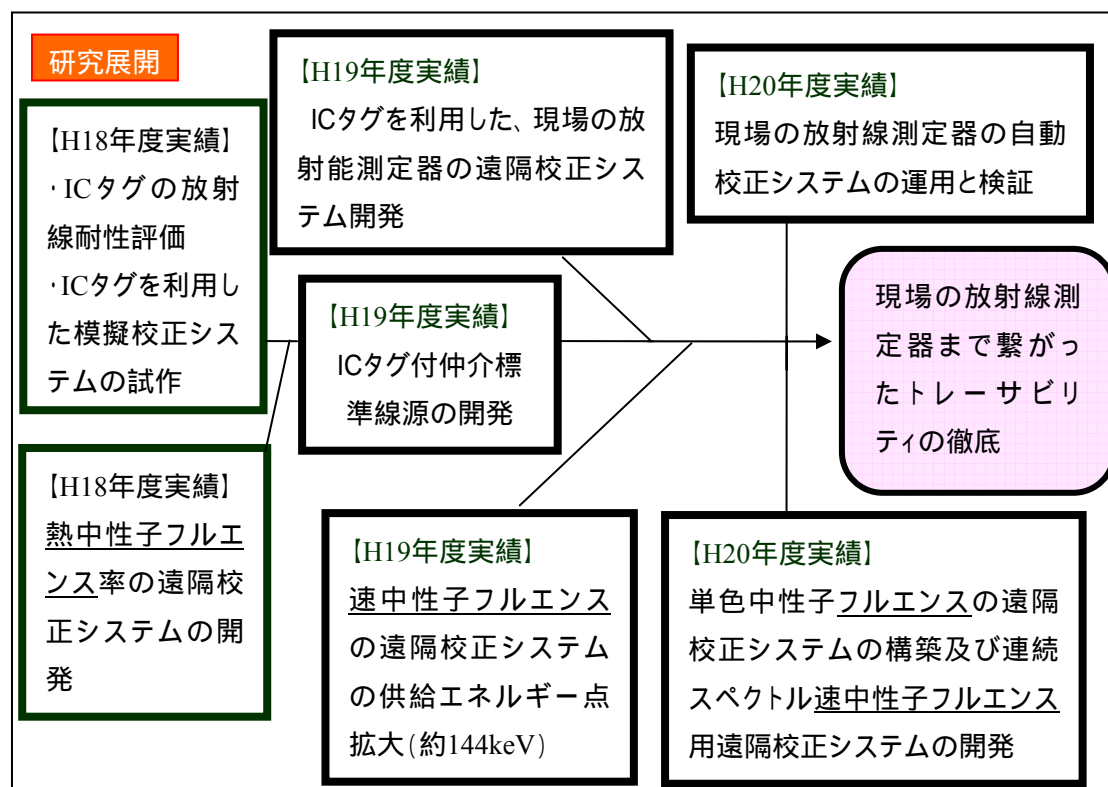
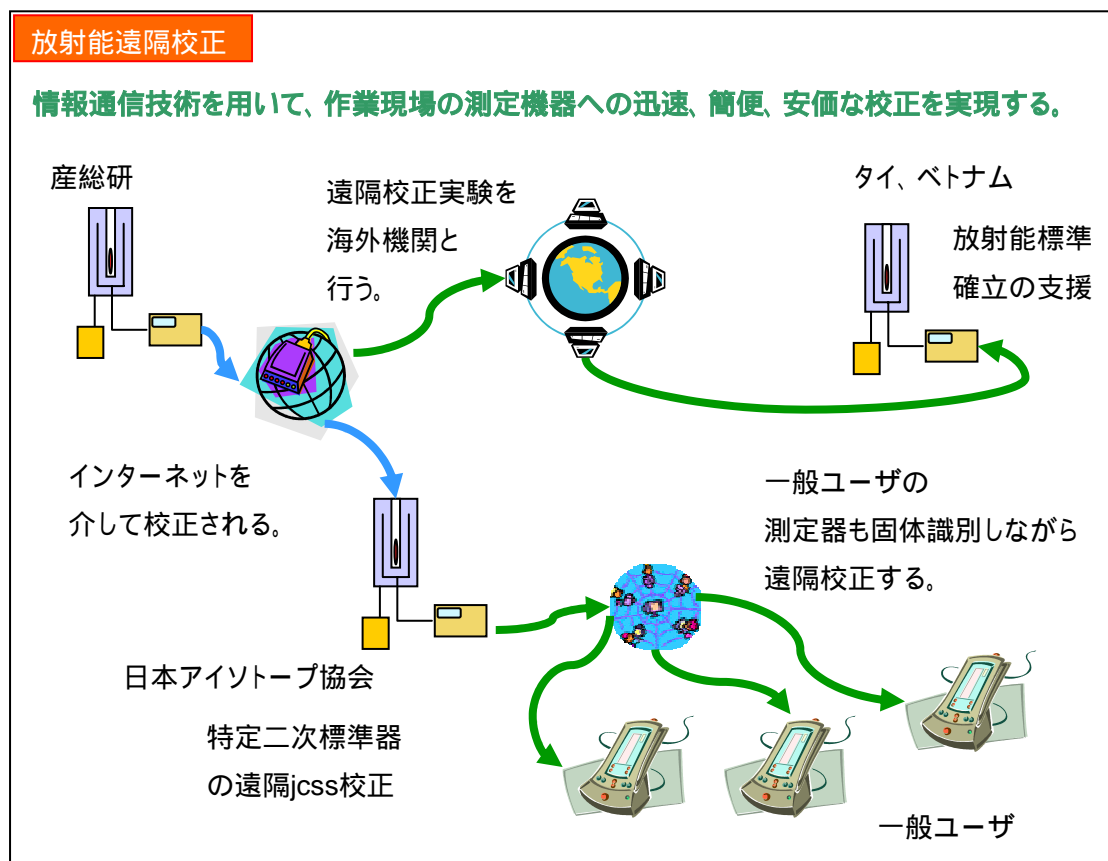


-2.4 放射能標準



(1) 研究開発の概要

放射能標準の供給は、測定機器を校正するための放射能線源を、いわば天秤を校正する分銅の役割を持たせることにより、実施されている。放射性同位元素は種類が多く、その用途も様々であることから、対象機器に最も適した強度の放射能線源を特定標準器で調整して、二次標準器の校正が実施される。即ち、分銅としての個々の線源供給を定期的実施する必要がある。しかし、放射性線源の移動には多くの制約があり、煩雑な事務処理が必要である。さらに、近年利用範囲が拡大している医療用極短半減核種や、持ち運びの困難なガス状の放射能に関しては、直接に校正線源を供給することは困難である。

そこで、インターネットを利用した双方向画像通信技術と、遠隔操作技術を利用し、長半減期の安定した線源を基準とした様々な核種に関する遠隔校正技術を確立し、個々の線源供給から解放された、放射能標準の供給の実現を目指す。これは、単に放射能標準の供給拡大のみならず、今後の国際比較などにも有効で、国際的な放射能標準の供給範囲拡大と精度向上に資するものである。

放射能分野の本研究開発の具体的な目的は、以下のものである。登録事業者の持つ特定二次標準器に対して、従来の校正と同等程度の不確かさで、遠隔校正を行う技術の開発を行う。また、原子力発電施設、放射能測定器メーカー、病院等で利用されている放射線機器を20%以下の不確かさで遠隔校正を行う技術の開発を行う。これに加え、漏洩中性子線の放射線防護のために仲介検出器を用いた広いエネルギー領域に対応した遠隔中性子校正に適した測定手法の開発を進める。

(2) 中間目標

(a) 15年度中間目標

他所の特定二次用加圧型電離箱の遠隔校正を、不確かさ0.3%以内で実施するとともに、ガス状放射性核種の標準確立のため、放射性ガス絶対測定システムを構築する。

(b) 17年度中間目標

通常の標準核種その他、短半減期核種やガス状放射性核種などの移動困難な放射線源、及びGe検出器などの移動困難な特定二次用測定機器の遠隔校正について、不確かさ0.3%以内を達成する。短半減期核種の放射能を、不確かさ0.3%以内で遠隔測定するシステムを構築する。また、放射線については、指頭型検出器を仲介器とした、遠隔制御システムの開発を行う。さらに、中性子については、速中性子フルエンス標準用の遠隔校正用仲介検出器の開発をおこなう。

(3) 最終目標

ICタグを利用した遠隔校正システムの開発を行い、原子力発電施設、放射能測定器メーカー、病院等、一般ユーザへの遠隔校正技術の利用を拡大し、校正時の線源の移動を軽減し、管理を効率的に実施することを可能にするとともに、これまで必ずしも末端の現場測定器まで繋がっていなかった放射線関連量のトレーサビリティを不確かさ20%以下で徹底させる。そのためにICタグ、ICタグ入出力装置及び線源が組み込まれた校正装置、ICタグあ

るいはICタグ入出力装置付の放射能測定装置、並びに統合管理システムを開発しシステムの実証試験を行う。

(4) 本研究内容の構成

本研究内容について以下のように報告する。

- H17年度までの成果
- H18年度からH20年度までの成果
 - 放射能測定装置に関する遠隔校正技術の開発
 - 中性子測定装置に関する遠隔校正技術の開発
- 実用化の見通し
- 目標達成状況

(5) これまでの成果

(5-1) H17までの研究成果のまとめ

標準加圧型電離箱および医療用放射能測定装置に対する遠隔校正の実証実験を行い、依頼試験（線核種放射能）として標準供給を開始した。遠隔校正を登録事業者である日本アイソトープ協会に対して2件行った。線スペクトロメータを用いた遠隔校正の実証実験を行い、依頼試験（(X)線放出率）として標準供給を開始した。液体シンチレーションカウンタ、荷電粒子測定装置の遠隔校正実験を行った。加圧型電離箱校正用標準線源を製作し、APMP各国に頒布した。韓国 KRISS と日本アイソトープ協会の間での遠隔校正実験を行った。速中性子フルエンスの遠隔校正実験を原子力機構との間で行った。指頭型検出器を用いた医療用放射線量の遠隔測定実験を放医研との間で行った。

(5-2) H18-H20の成果

(a) 放射能測定装置に関する遠隔校正技術の開発

1) ICタグの耐放射線性の評価および、ICタグによる遠隔校正システムの妥当性の確認

ICタグ(Integrated Circuit tag)とは、情報を記録するとともに、電磁波を使って管理システムと情報を送受信することができる微小な半導体集積回路である。遠隔校正が全国あるいは海外の事業所に適用されることになった場合、その校正対象は非常に多くなるので、ICタグにより効率よく管理することができると思われる。

最初に、ICタグの耐放射線性を確認した。ICタグとしてはサイズが5mm角と小さく、プラスチックで成型されており、耐環境性の高い大日本印刷株式会社製 IM-0505-SLI を用いた。このICタグを仲介標準線源 Cs-137線源 6.6 kBq と Ce-139線源 3.7 kBq に接着し、ICタグにデータを書き込んだ。5ヶ月後にデータを読み出したが、データが破損されず保持されていることがわかった。

2) ポータブル 線スペクトロメータの遠隔校正

ポータブル 線スペクトロメータは、放射能の汚染があるかどうかを検査するための装置である。この装置は、原子力施設、核医学施設をはじめ、放射性物質を利用する施設で用いられている重要な現場測定器である。このポータブル 線スペクトロメータは主に現場の担当者により、確認校正されてきたが、JCSS のような認証された校正は必ずしも行われていなかった。かねてより、迅速でかつ簡便で認証のある校正が求められていた。そこで、これらのニーズに応えるため、遠隔校正をポータブル 線スペクトロメータに適用することを試みた。産総研内で、ポータブル 線スペクトロメータ遠隔校正システムを構築した。即ち、標準線源とポータブル 線スペクトロメータの位置関係を校正治具で固定するとともに、ポータブル 線スペクトロメータを計算機に接続し、遠隔的に校正データを取得できるようにした。さらに、ポータブル 線スペクトロメータ、および標準線源に IC タグを取り付け、校正治具に IC タグリーダを取り付けて、ポータブル 線スペクトロメータ、標準線源のデータを取得できるようにし、遠隔的に適切な、ポータブル 線スペクトロメータ、標準線源が使用されているか、確認できるようにした。このシステムを用いて、遠隔校正実験を行った結果、表 2.4-1 のように、従来の校正と不確かさの範囲内で一致する校正結果が得られた。今後、この遠隔校正をポータブル 線スペクトロメータに適用することで、迅速簡便に、認証のある校正が行えると期待される。

表 2.4-1 遠隔校正実験の結果

エネルギー (keV)	661.66	834.84
核種	Cs-137	Mn-54
計数効率	6.4e-4	5.1e-4
不確かさ (% , $k=2$)	4	4



図 2.4-1 ポータブル 線スペクトロメータによる遠隔校正実験

3) (X)線放出率についての遠隔校正

(X)線放出率は 1 秒間に発生する 線光子または X 線光子の数であり、線源の強度

を表す量である。これらの光子を計数するために 線スペクトロメータが用いられる。
線スペクトロメータは、光子が入射することで発生するパルスの波高値を計数することで、入射した光子のエネルギーを1光子ごとに計測する。校正器物（線源）の（X）線放出率は、この 線スペクトロメータを介して決定される。方法は以下のとおりである。
 特定標準器により（X）線放出率を付与された標準線源を、校正依頼者に送付する。
 校正依頼者の 線スペクトロメータ用いて標準線源と校正器物（線源）の（X）線スペクトルを取得し、双方のスペクトルの比較から、校正器物（線源）の（X）線放出率を求める。
 このようにして、実際に日本アイソトープ協会の Ba-133 線源の 線放出率を遠隔校正して、校正証明書を発行することができた。

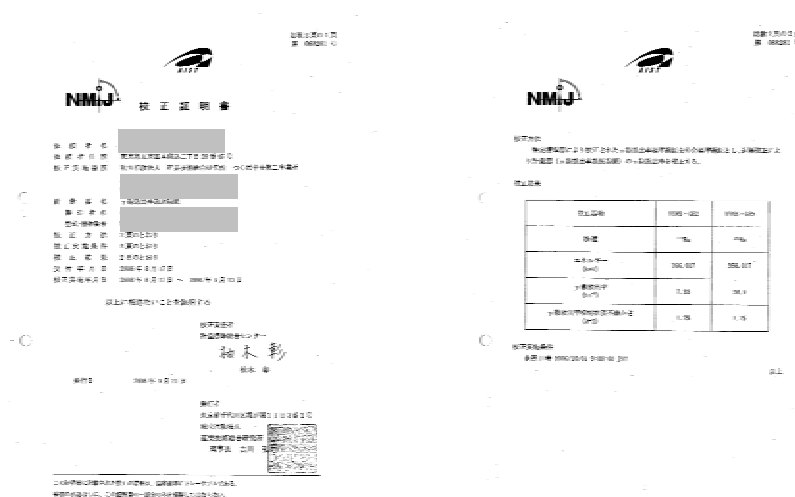


図 2.4-2 遠隔校正により発行された γ 線放出率に関する校正証明書

4) PHS を利用した遠隔校正システム及び I-125 シード線源用線量校正装置の遠隔校正

これまでの研究開発では、インターネットを用いて、遠隔校正実験を行ってきた。しかし、インターネットを用いて外部とのデータ通信を許可しない事業所もあると考えられる。そこで、インターネットを用いずに遠隔校正を行う方法として、無線電話を用いた遠隔校正実験を行った。遠隔校正システムの構成は以下のようなものである。リモートコントロール用計算機（産総研に設置）と ISDN ルータはイーサネットケーブルで接続されている。ISDN ルータは、イーサネットと ISDN 電話回線を接続しており、電話番号が割り振られている。ホスト用計算機（遠隔地に設置）には、PHS データ通信カードが装荷されており、PHS データ通信カードから ISDN ルータに電話をかける事により、同一の LAN 内にリモートコントロール用計算機とホスト用 PC を存在せしめることができる。この、無線電話回線を用いた、遠隔校正システムを用いて、産総研と、日本アイソトープ協会との間で I-125 シード線源線量測定装置の遠隔校正実験を行った。I-125 シード線源は、大

きさが約 4 mm×0.8 mmΦ の非常に小さな線源であり、この線源を約 80 個から 100 個患部に埋め込むことにより、癌細胞に対して放射線照射して、癌を治療するが、この線源の線量を測定することは、患部に適切な線量分布を形成するのに非常に重要である。ここでは、I-125 シード線源の線量測定装置に対して、遠隔校正実験を行った。産総研の I-125 シード線源用線量測定装置を仲介標準器として日本アイソトープ協会に送付し、日本アイソトープ協会にある I-125 線源に線量値を付与し、その I-125 線源を用いて日本アイソトープ協会のもつ電離箱の校正定数を付与した。その結果、校正定数は 34.9 ± 0.9 と求められ、遠隔校正が無線電話回線でも行えることが実証できた。



図 2.4-3 I-125 シード線源用線量測定装置の遠隔校正実験に用いた電離箱測定装置

5) GM 管式汚染検査装置の遠隔校正実験

汚染検査装置は、放射能の汚染があるかどうかを検査するための装置である。この装置は、原子力施設、核医学施設をはじめ、放射性物質を利用する施設で用いられている重要な現場測定器である。この汚染検査装置は主に現場の担当者により、確認校正されてきたが、JCSS のような認証された校正は必ずしも行われていなかった。かねてより、迅速かつ簡便で認証のある校正が求められていた。そこで、これらのニーズに応えるため、遠隔校正を汚染検査装置に適用することを試みた。産総研と日本アイソトープ協会の間で、校正用仲介標準線源、汚染検査装置、および汚染検査装置の校正値の統合管理が可能な、PHS を用いた汚染検査装置遠隔校正システムを構築した。即ち、標準線源と汚染検査装置の位置関係を校正治具で固定するとともに、汚染検査装置を計算機に接続し、遠隔的に校正データを、PHS を用いて取得できるようにした。さらに、汚染検査装置、および標準線源に IC タグを取り付け、校正治具に IC タグリーダーを取り付けて、汚染検査装置、標準線源のデータを同時に取得できるようにし、遠隔的に適切な、汚染検査装置、標準線源が使用されているかを、機器を校正治具に置くだけで確認できるようにした。また、これらの機器データと校正値を統合して管理できるシステムとした。このシステムを用いて、遠隔校正実験を行った結果、校正用仲介標準線源、汚染検査装置の機器の識別をしながら、汚染検査装置の校正値としての機器効率を 0.46 ± 0.04 と不確かさ 20 % 以内で決定することができた。さらに、この技術を日本アイソトープ協会に技術移転した。今後、この遠隔校正を実用に供することで、迅速簡便に、認証のある校正が行えると期待される。



図 2.4-4 IC タグを用いた汚染検査装置への遠隔校正実験

6) 汚染検査装置の遠隔校正の技術移転

汚染検査装置の遠隔校正の技術移転を産総研と日本アイソトープ協会の間で行った。技術移転の実証試験として、東京都文京区に位置する日本アイソトープ協会東京本部と千葉県柏市に位置する同柏分室において、柏分室所有の汚染検査装置を柏分室に設置したまま、東京本部から遠隔校正を行った。この際、汚染検査装置の検出ヘッドと校正用仲介標準線源の位置関係を固定すると共に IC タグリーダの付いた遠隔校正用治具を用い、汚染検査装置本体と、汚染検査装置の検出器ヘッド、校正用仲介線源に IC タグを付けることで、個体識別ができるようになった。また、東京本部と柏分室との通信はインターネットを介して行った。この結果、柏分室の汚染検査装置の機器効率を 0.46 ± 0.03 と不確かさ 20 %以内で測定することができた。今後、日本アイソトープ協会が、遠隔校正を、事業や業務に活用するための基盤が形成された。

7) PET 装置用校正線源の線源校正方法（中間評価に対する対応）

PET 装置(Positron Emission Tomography)は陽電子断層撮像を行う装置であり、陽電子崩壊に伴う対消滅放射線を検出し、検出強度分布から、三次元放射能分布を再構成する方法である。PET 測定では、患者に放射性薬剤を注射して、その薬剤の分布を測定するが、分布画像の放射能校正は、以下のように行われている。はじめに、医療用放射能測定装置を用いて、診断用短半減期核種溶液の放射能を測定する。次に、この放射性溶液を希釈し、ファントムと呼ばれる数十リットルの大きさのプラスチック容器に放射性溶液を入れた線源を作成する。このファントムの放射能濃度と画像の画素強度から校正を行う。この方法は、校正ごとにファントムを作成しなければならないため、手間がかかり、かつ、放射能濃度の正確さ、均一性には、担当者の技量に依存するので、より簡便で正確な方法が求められていた。また、半減期 271 日のファントムが市販されているが、不確かさが 10 %程度あり、相対的变化を確認するには用いることが出来ても、放射能の校正には不確かさが大きくて使えなかった。そこで、PET 装置に対して、比較的長半減期で、かつ、点状の小線源を新たに開発し、簡便に安価に遠隔校正することの検討を開始している。今回は、この点状の小線源の線源校正の方法を考案し、EGS5 によるモンテカルロシミュ

レーションで、方法の妥当性を確認した。この線源校正の方法は、多数のシンチレータ素子で、消滅放射線とそれとほぼ同時に放出されるガンマ線を同時計数することにより、線源の放射能絶対値を計算する方法である。線源を Na-22 として、消滅放射線(511 keV)と

線(1275 keV)を計算機上で発生させ、128 個のシンチレータ素子によりそれらの放射線を計数することをシミュレーションした結果を図 2.4-5 に示す。横軸が消滅放射線の検出効率を示し、縦軸はある検出効率における、放射能絶対値(シミュレーション上での原子核崩壊数)と見かけの放射能の比から 1 を引いたもの、即ち補正係数である。実験的には、検出効率と見かけの放射能が得られるので、この補正係数を用いることで、放射能絶対値が計算できることがわかる。今後、実際に線源校正装置と校正用線源を製作し、この校正用線源を用いて PET 装置の遠隔校正実験を行う予定である。

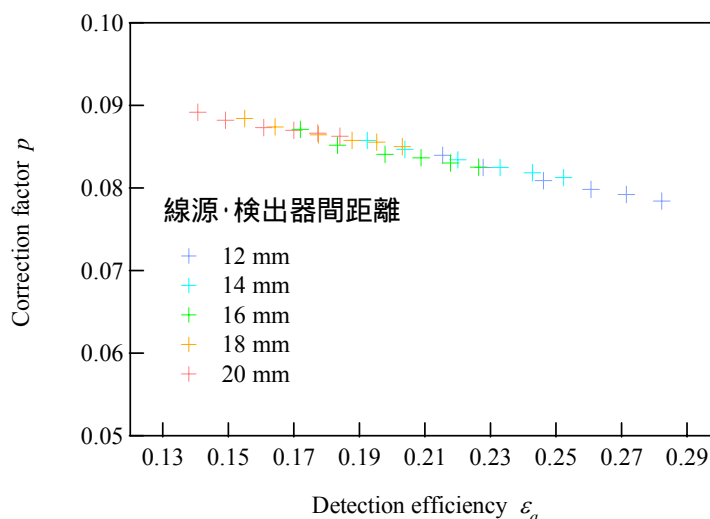


図 2.4-5 検出効率と補正係数

(b) 中性子測定装置に関する遠隔校正技術の開発

1) 熱中性子校正の遠隔校正

熱中性子に対して産総研標準場の中性子スペクトルは、MCNP4C モンテカルロコードで計算して得られている。しかし、黒鉛パイルを用いた熱中性子場は中性子挙動が複雑であり実験的に中性子スペクトルを得るのが難しい。そこで本研究では中性子スペクトルを実験的に精度良く得ることのできる、体系が単純化することのできる原子力機構・3号炉(JRR3)即発ガンマ線分析装置と京都大学原子炉実験所電子線形加速器(京大炉)の2箇所を実験を行った。

以下に示すように、三箇所の熱中性子場は中性子の発生方法や施設の構造が全て大きく異なるため、遠隔校正の可能性と課題を知る上で大変重要な試験となった。

産総研熱中性子場は、図 2.4-6 に示すように 190×190×230 cm の黒鉛パイルの中心に

148 GBq の $Am-Be$ 中性子線源を装荷することによって構成されている。得られる熱中性子フルエンス率の範囲は、 $50 \sim 10^4 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり、線源強度に依存して上限がある。

一方、原子力機構の熱中性子場は研究 3 号炉（通称 JRR-3）から中性子ガイドによって引き出される熱中性子を利用している。中性子は直径約 5.5 mm のビーム状で得られ、途中に ${}^6\text{Li}$ を含んだ材料で作製されたチョッパーを置くことによって、中性子がパルス的に得られ、中性子飛行時間法を用いて中性子スペクトル（図 2.4-7(a)）を実験的に得られる。この施設の特徴は、熱外中性子（0.5 eV 以上のエネルギーを持つ中性子）成分が大変に少なく、 $10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上という非常に高強度な中性子が得られることにある。

京大炉の熱中性子場は、直線型電子線加速器で加速された電子と Ta（タンタル）ターゲットとの光核反応により発生する中性子を水減速材で減速して得られる。中性子はパルス状に得られ、中性子飛行時間法によって中性子スペクトルが実験的に求められる。中性子は、約 20 mm 直径のビーム状で得られ、ターゲットから 11 m の地点で検出器の測定が行われた。

仲介検出器としては、減速材がついていない裸の ${}^3\text{He}$ 比例計数管と直径が 3 インチの減速材付 ${}^3\text{He}$ 比例計数管の 2 種類を用いて行った。2 種類の仲介検出器を用いることにより熱中性子と熱外中性子の関係がより鮮明になるためである。

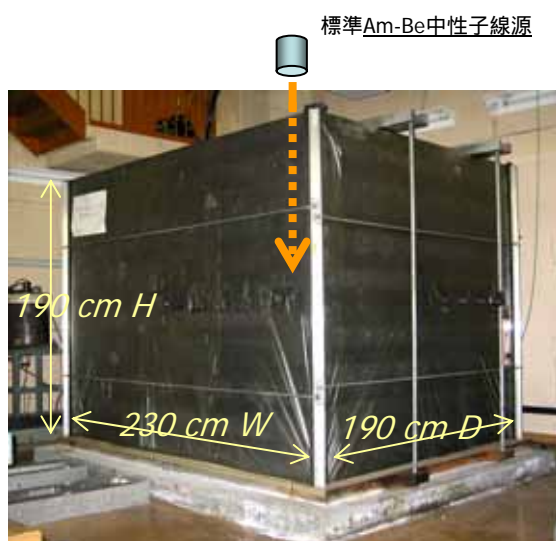


図 2.5-6 産総研の黒鉛パイルによる熱中性子標準場

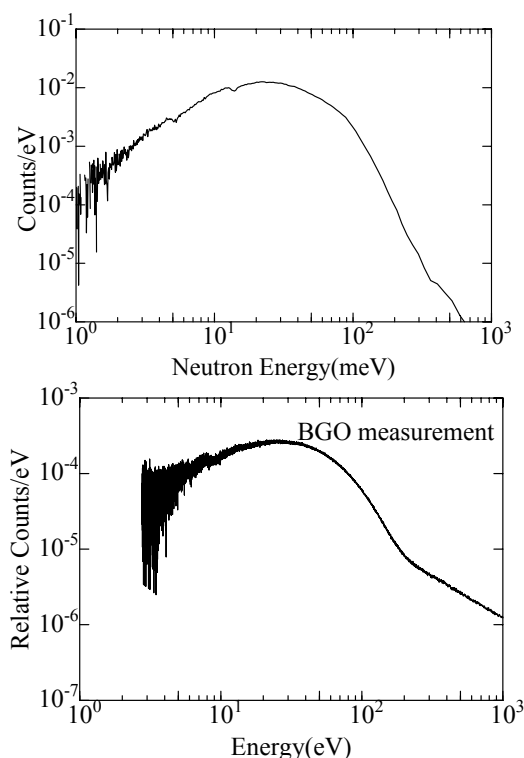


図 2.5-7 (a) 原子力機構と(b) 京大炉の熱中性子場のスペクトル

熱中性子の試験では、金箔の放射化法を用いて検出器への入射中性子数の絶対測定も行った。その結果、入射中性子あたりの計数は各施設で表 2.4-2 のように得られた。熱中

中性子に対する感度はスペクトルの違いによって、10～40%変化することがわかる。MCNP4C モンテカルロコードを用いて各施設での実験体系で検出感度の計算を行ったところ、実験結果との差は5～13%であった。すなわち、13%以下の不確かさでスペクトルの効果を補正することができる。この不確かさの主な要因は、入射ビームの空間分布情報及び飛行時間と検出器の出力波高の関係の不確かさにあった。この点を今後追求することにより不確かさは改善できると期待される。一方で、熱中性子に対する試験では、遠隔校正によってフラックスが大きな場への拡張の可能性を示すことができた。

表 2.4-2 各施設における仲介検出器の検出感度（入射中性子あたりの計数）の違い

	球形 ^3He 比例計数管	ボナー球
京大炉	4.05E-02(3.4%)	5.39E-03(3.4%)
原子力機構	5.64E-02(1.8%)	6.07E-03(4.3%)
相対感度(機構/京大炉)	1.39(3.8%)	1.13(5.5%)
相対感度(計算)	1.46	1.31

2) 中速中性子校正 (144 keV)

中速中性子に対する試験は、144 keV のエネルギー点に対して東京大学弥生炉（以下、弥生）との間で行った。

産総研 144 keV 中速中性子標準場は、4 MV ペレット加速器からの陽子ビームと LiF ターゲットによる $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$ 反応によって構成されている。

一方、弥生は原子炉からの中性子を Si の 共鳴フィルターを透過させることにより 144 keV 中性子が得られる。照射場の概略図を図 2.4-8 に示す。

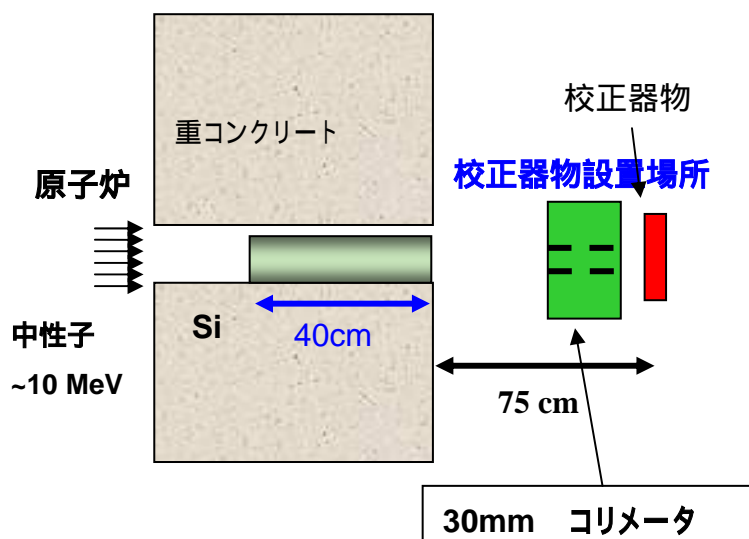


図 2.5-8 弥生の照射体系の概略図

ビーム孔の外に中性子遮蔽材であるボロン入りポリエチレンで作製された 30mm のコリメータを設置してある。校正器物は、そのコリメータの下流に設置される。この照射体

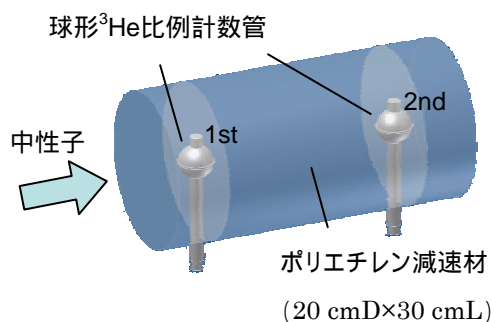
系では、144 keV の他に 50 keV の中性子も存在すること、原子炉からの高エネルギー側のバックグラウンド、熱外中性子バックグラウンドがある。従って、場に合わせたバックグラウンド評価が必要となった。最終的に、原子炉 2 kW で運転時に上記の体系において 144 keV の単色中性子フルエンス率が $2 \times 10^2 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり、不確かさは 10%であった。大きな不確かさの要因は、主にバックグラウンド評価にある。

3) 連続スペクトル中性子標準の遠隔校正

3-1) 仲介検出器

連続スペクトル中性子（幅広いエネルギー領域で中性子が生成）の場合は、単色中性子の場合のようにあるエネルギー点でピークを持つような応答の仲介検出器を用いることは難しい。その理由は、連続的にエネルギー分布をもっているため、あるエネルギーに特徴的な検出器を用いれば、飛来する中性子の一部のみを用いて中性子場の評価を行うことになってしまうからである。従って、連続スペクトル中性子に対する仲介検出器としては、減速材を複数（5 個以上）用いる複合的な検出器か、20 MeV までのエネルギー領域で検出効率が一定であるような応答平坦検出器であることが望ましい。輸送にできるだけコストをかけないというコンセプトから、本研究では複数の減速材を利用するのではなく、応答平坦検出器を用いることとした。現在使用されている応答平坦検出器としてはロングカウンタが一般的である。しかしながら、ロングカウンタは重量にして 40～50 kg あるのが一般的で仲介検出器としては適さない。そこで、10 kg 以下の重量の応答平坦検出器を開発した。検出器の概要は図 2.4-9 に示すとおりである。直径 20 cm、長さ 30 cm のポリエチレン減速材の中に、球形 ^3He 比例計数管を 2 台装荷する。2 台の検出器の ^3He ガス圧を調整することにより、2 台の検出器で得られる計数の和はエネルギーによらずほぼ一定となる。

本検出器の開発によって、施設間のスペクトルの微妙な違いによる補正が極めて小さくなり、トランスファに関わる不確かさも小さくなる。



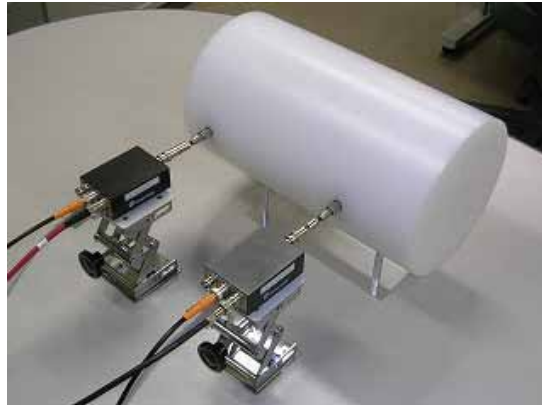


図 2.5-9 連続スペクトル中性子用仲介検出器

3-2) RI 中性子線源による校正

民間企業 A が所有する中性子照射場において試験を行った。A の照射場は Am-Be 中性子線源 を中性子源として用いている。

産総研では、Am-Be 中性子線源からの中性子フルエンスは、Am-Be 中性子線源の中性子放出率から計算によって導出される。室内散乱中性子や空気中の散乱の影響については、速中性子と同様の方法で求められる。この試験の不確かさは、表 2.4-3 のようになる。連続スペクトル中性子フルエンスは、線源の中性子放出率から導出する方法もある。この場合、不確かさとしては約 3.0 % (最高測定能力) で校正を行うことができる。今回の試験では、中性子放出率から導出する方法と比較して、線源を移動しなくて良いというメリットと同等の不確かさが得られるということを示すことができた。

表 2.4-3 連続スペクトル中性子に対する遠隔校正の不確かさバジェット

不確かさの要因	不確かさ(%)
産総研での感度校正の不確かさ	2.0 ~ 3.0
仲介検出器の設置位置	0.4
仲介検出器の測定不確かさ	0.5
産総研の中性子スペクトルとの違いによる影響	1.0
シャドーコーン法の不確かさ	1.0
空気、線源内散乱中性子の影響	0.3
相対合成不確かさ ($k=1$)	2.7 ~ 3.5

(6) 実用化の見通し

(a) 成果の実用化可能性

整備した遠隔校正によって、依頼試験として既に 5 件、校正証明書を発行している。また、jcss 校正として、2008 年度に 3 件着手して、2009 年 4 月に同件数の校正証明書を

発行し、2009 年度に 8 件、校正証明書を発行する予定となっている。これに加え、日本アイソトープ協会からも近い将来 JCSS 校正が行えると期待され、日本アイソトープ協会から、全国の医療用放射性核種製造事業者や病院に対して、遠隔校正サービスが提供できると期待される。海外に対しては、核医学診断の普及に伴い、放射能標準を立ち上げようとする国々に、遠隔校正技術を利用して、標準の立ち上げを支援する活動を始めた。現在は、ベトナムの放射能標準の立ち上げの支援を開始しつつあるところである。また、タイに対しても遠隔校正実験を行う予定である。

放射能の遠隔校正は、産総研計量標準総合センターの校正サービスの中に組み込まれており、事業として供給、維持する体制が整備されている。

(b) 波及効果

技術的には、放射線モニタリング装置や放射線治療用線量測定装置など、放射線関連装置についても遠隔校正が適用できると期待される。経済的には、安価に簡便に校正が行えるようになることで、汚染検査装置、医療用放射能測定装置に対して定期校正事業の規模の拡大が期待できる。社会的には定期校正がなされ、計測機器の信頼性が高まることで、国民の安全・安心の獲得が期待できる。

本プロジェクトの実施により、PET 装置の校正用線源の放射能測定手法等、放射能計測法に関する研究開発の促進に寄与することも出来た。また、遠隔校正の定期校正が実施されるようになれば、放射線技師の放射線計測、放射線測定装置の校正に関する、知識や経験の向上が得られると期待される。

(7) 目標達成状況

(a) 研究成果の達成状況

放射能分野の最終目標は以下のものであった。ICタグを利用した遠隔校正システムの開発を行い、原子力発電施設、放射能測定器メーカー、病院等、一般ユーザへの遠隔校正技術の利用を拡大し、校正時の線源の移動を軽減し、管理を効率的に実施することを可能にするとともに、これまで必ずしも末端の現場測定器まで繋がっていなかった放射線関連量のトレーサビリティを不確かさ20%以下で徹底させる。そのためにICタグ、ICタグ入出力装置及び線源が組み込まれた校正装置、ICタグあるいはICタグ入出力装置付の放射能測定装置、並びに統合管理システムを開発しシステムの実証試験を行う。

この目標に対して、以下の研究活動の成果が得られている。IC タグ付きの線源、および、IC タグ読込書込装置付線源校正装置、IC タグ付の放射能測定装置の試験は終了し、統合管理システムを開発し、放射能測定装置を使用している校正事業者である日本アイソトープ協会とシステムの実証試験を行って、不確かさ 20%以下でシステムの実証試験を行えた。日本アイソトープ協会に汚染検査装置の遠隔校正について技術移転を行い、実証試験を行った。遠隔中性子校正においては、熱中性子、単色中性子、連続スペクトル中性子標準の仲介検出器を開発し、遠隔校正のできる体制を構築した。また、依頼試験に基づ

く放射能の遠隔校正はすでに実施しており、JCSS 制度に基づく放射能の遠隔校正も、H20 年度に開始した。国際計量研究連絡委員会において、計量器校正情報システム開発の進捗を、計量関係者に報告し、エンドユーザまでの実用化への提起を行った。さらに、中間評価の提言を受け、医療用診断装置の遠隔校正のための仲介標準線源の新たな線源校正手法を計算機シミュレーションにより試験した。このように、目標以上の成果が得られている。

(b) 研究成果の意義

遠隔校正が実現されたことで、簡便に安価に校正が行えるようになった。現在まで校正事業者による定期的な校正が行われてこなかった放射能測定装置についても、定期的校正がしやすい環境が創出された。さらに、近年、国民の安全・安心の観点から、トレーサビリティ要求が高まってきたことと相まって、放射能測定装置の校正のニーズが拡大すると期待できる。

また、遠隔地の放射能測定装置を操作することで、遠隔校正を行うサービスを、世界に先駆けて開始することができた。

遠隔校正により、簡便に安価に校正を行うというコンセプトに基づき、新たな展開を進めようと試みている。核医学診断装置の校正は、現在、医療現場で現場の作業担当者により、短半減期核種を用いて、労力のかかる方法で行われている。そこで、核医学診断装置に対して、比較的長半減期で、かつ、点状の小線源を新たに開発し、簡便に安価に遠隔校正することの検討を開始している。この技術は、疾患の発症前診断、薬効の投薬前診断などの定量評価のためにも転用でき、近年における放射性同位体の利用の減少トレンドの中で、放射性同位体の利用を大きく促進するものであると期待される。

本研究開発の成果は、すでに、電離箱、半導体検出器、液体シンチレーションカウンタ、マルチワイヤ式比例計数管に対して実用化しており、汚染検査装置や、医療用放射能測定装置に対しても実証実験により、実用化が可能な状態となっている。また、単色中性子フルエンス測定装置、連続スペクトル中性子フルエンス測定装置、熱中性子フルエンス測定装置に対しても実証実験により、実用化が可能な状態となっており、汎用性が高いといえる。

上記のような目標を上回る成果、および将来の発展性から鑑みて、投入された予算に見合った成果が得られていると考えられる。

本研究開発の成果は、一般雑誌である「原子力 EYE」、「計測と計量標準」あるいは、産総研の広報誌「産総研 Today(AIST Today)」にも掲載されており、また学術会議、学術雑誌でも発表しており、研究成果の公開性は高いといえる。

(c) 放射能の遠隔校正サービスと JCSS 制度に基づく遠隔校正

H16 年度より依頼試験制度による遠隔校正サービスを開始していた。依頼試験制度は、産総研独自の校正である。この制度に基づき平成 18 年度から平成 20 年度の間に 3 件校

正証明書を発行した（表 2.4-4）。（平成 17 年には 2 件発行している。）さらに NITE(National Institute of Technology and Evaluation、製品評価技術基盤機構)から本研究開発による遠隔校正サービスが ISO/IEC17025(国際標準化機構及び国際電気標準会議が定めた校正機関に関する基準)の要求事項に適合しているかどうか審査を受けると共に、海外の専門家からピアレビューを受け、その結果、JCSS 制度に基づいて遠隔校正サービスを行えるようになった。2008 年度には 3 件着手して、2009 年 4 月に校正証明書を同件数発行した。2009 年度には 8 件、JCSS 制度に基づく遠隔校正を行う予定である。

表 2.4-4 本研究開発期間中に行った遠隔校正

年度	種別	件数	校正実施場所	校正器物等	仲介器
平成 18 年	依頼試験	1	日本アイソトープ協会	Ba-133 線放出率	Ba-133 線源
平成 19 年	依頼試験	1	日本アイソトープ協会	標準線源付電離箱	In-111
平成 20 年	依頼試験	1	日本アイソトープ協会	標準線源付電離箱	Mo-99
平成 20 年	jcss	2	日本アイソトープ協会	マルチヤ式比例計数管	Am-241,Cl-36
平成 20 年	jcss	1	日本アイソトープ協会	液体シンプレクソカウンタ	H-3,C-14,Sr-90

(d) 知的財産権等の取得及び標準化の取り組み

本研究の基本特許は、特開 2007-93323（発明の名称：遠隔校正方法及び方式、出願人：産業技術総合研究所、発明者：吉田春雄）による。また、国際標準化に向けてはタイとの遠隔校正実験、ベトナムとの遠隔校正による放射能標準の立ち上げの支援を通じて、国際的コンセンサスを獲得しようとしている段階であり、これらの地道な活動を通じて、支持を得ながら標準化の提案をしていきたいと考えている。

標準化については jcss に基づく標準供給体制が整ったことで、JIS 等の工業標準におけるトレーサビリティ要求に対して、ユーザ側での対応が容易になった。

(e) 成果の普及

論文の発表は、研究内容を踏まえ、applied radiation and isotopes 誌や AIP conference proceedings 誌、IFMBE proceedings 誌、The 5th KOREA-JAPAN Joint Meeting on Medical Physics 誌において行っており、適切に行われていると考えている。

成果の受取手であるユーザに対しては、e-trace セミナー、放射線・放射能・中性子クラブ、国際標準研究連絡会議等に於いて、計量器校正情報システム開発の進捗を、計量関係者に報告し、エンドユーザまでの実用化への提起を行った。

また、キュリーメータ（医療用放射能測定装置）および、PET 装置の校正に関するシンポジウムを行った。キュリーメータおよび PET 装置は癌診断のため広く用いられてい

るが、これらの校正は一部を除き JCSS の枠組みで行われてはいない。特に PET 装置は同じ対象物を測定した場合における装置間或いは施設間での画像の差異の定量的評価が課題となっている。そこで、校正の重要性について理解を深めてもらうため、2008 年 4 月には、JRC2008 大会(Japan Radiology Congress)において、日本医学物理学会と日本放射線技術学会の企画による JRC 合同シンポジウム「PET 装置の校正と定量性の向上」を開催した。この中で、校正サービスとして遠隔校正が行えるようになったことを紹介した。今後、キュリーメータおよび PET 装置の校正について遠隔校正が有用であることを医療に携わる人々にアピールしていく予定である。

登録事業者である日本アイソトープ協会から、近い将来、医療用放射性核種製造事業者や病院等に対して、遠隔校正による校正サービスが開始されると期待されている。

一般向けには、一般雑誌である「原子力 EYE」、「計測標準と計量管理」、「産総研 Today(AIST Today)」において、成果を発表した。

外部発表状況

18FY

特許 0 件

論文・解説 4 件

(査読あり) 1 件

- 1) 佐藤 泰、柚木 彰、檜野 良穂、山田 崇裕、藤井香織、"MONTE CALRO CALCULATION FOR AN ABSOLUTE MEASUREMENT OF ^{99m}Tc ", KEK proceedings , No. 2006-7, (2006), pp.185-190、

(査読無し) 3 件

- 1) 佐藤 泰、柚木 彰、檜野 良穂、黒澤 忠弘、加藤 昌弘、原野 英樹、松本 哲郎、下山 哲矢、工藤 勝久、山田 崇裕、松本 幹雄、鈴木健二、畠山 智、土井幸一、齊藤 義弘、鈴木 敏和、鈴木 和年、福村 利光、宮本 勝宏、寅松 千枝、岩本明憲、遠藤健一、松原昌平、"The remote calibration of radioisotope calibrators", IFMBE proceedings , No.14, (2006), pp.1949-1952、
- 2) 佐藤 泰、柚木 彰、檜野 良穂、山田 崇裕、"Response calculation for standard ionization chambers in APMP using EGS4 Monte Carlo code", APPLIED RADIATION AND ISOTOPEs , No.64, Vol.10-11 , (2006), pp.1211-1214
- 3) 佐藤 泰、"放射能測定装置の遠隔校正", 計測標準と計量管理 , 56-2 , (2006), pp.31-35

口頭発表 5 件

- 1) 医療用放射能測定装置の遠隔校正, 佐藤 泰、柚木 彰、檜野 良穂、黒澤 忠弘、加藤 昌弘、原野 英樹、松本 哲郎、下山 哲矢、山田 崇裕、松本 幹雄、鈴木健二、畠山

智、土井幸一、齊藤 義弘、鈴木 敏和、鈴木 和年、福村 利光、宮本 勝宏、岩本明憲、遠藤健一、松原昌平、日本医学物理学会、横浜、2006/04/08

- 2) 佐藤 泰、柚木 彰、檜野 良穂、黒澤 忠弘、加藤 昌弘、原野 英樹、松本 哲郎、下山 哲矢、工藤 勝久、山田 崇裕、松本 幹雄、鈴木健二、畠山 智、土井幸一、齊藤 義弘、鈴木 敏和、鈴木 和年、福村 利光、宮本 勝宏、寅松 千枝、岩本明憲、遠藤健一、松原昌平、The remote calibration of radioisotope calibrators、World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering、ソウル、韓国、2006/08/28
- 3) 佐藤 泰、柚木 彰、檜野 良穂、山田 崇裕、松本 幹雄、放射能遠隔校正の開発と遠隔校正サービス、日本原子力学会、札幌、2006/09/27
- 4) 佐藤 泰、柚木 彰、原野 英樹、松本 哲郎、下山 哲矢、畑 寿起、森山 健太郎、工藤 勝久、檜野 良穂、放射能測定装置の遠隔校正、計量標準総合センター成果発表会、つくば市、2007/02/15
- 5) 松本 哲郎、原野 英樹、下山 哲矢、佐藤 泰、瓜谷 章、堀順一、松江秀明、瀬川麻里子、工藤 勝久、熱中性子標準トランスファにおけるスペクトル効果、第 54 回応用物理学関係連合講演会、東京、2007/3/29

その他の公表 0 件

19 FY

特許 0 件

論文・解説 2 件

(査読あり) 1 件

- 1) “放射能絶対測定と国際比較”，佐藤 泰，放射線，Vol.33, No.1, (2007), pp.3-10

(査読なし) 1 件

- 1) “放射能標準における遠隔校正”，佐藤 泰，産総研 Today，Vol.8, No.3，(2008), pp.32-32

口頭発表 9 件

- 1) 佐藤 泰、山田 崇裕、鈴木 敏和、寅松 千枝、柚木 彰、檜野 良穂、原野 英樹、松本 哲郎、下山哲矢、黒澤 忠弘、加藤 昌弘、工藤 勝久、松本 幹雄、鈴木健二、脇谷 雄一郎、伊藤じゅん、畠山 智、土井幸一、齊藤 義弘、鈴木 和年、福村 利光、宮本 勝宏、岩本明憲、遠藤健一、松原昌平、“Remote calibration of radioisotope calibrators”，PTB-BIPM Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology、ベルリン、2007/06/07
- 2) 佐藤 泰、山田 崇裕、畑 寿起、森山 健太郎、柚木 彰、檜野 良穂、“The detection

efficiency variation method for 4 - coincidence counting using an ink-jet printer ” , International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications , 南アフリカ、2007/09/03

- 3) 佐藤 泰、村山 秀雄、山田 崇裕、柚木 彰、檜野 良穂、河田 燕 , “ ^{85}Sr を用いた DOI 検出器の検出効率測定におけるモンテカルロシミュレーション計算 ” , 医学物理学学会 , 横浜、2007/04/14
- 4) “ 4 - 同時測定におけるインクジェットプリンタを用いた検出非効率変化法 ” , アイソトープ・放射線研究発表会 , 東京、2007/07/04
- 5) 佐藤 泰、山田 崇裕、畑 寿起、森山 健太郎、柚木 彰、檜野 良穂、河田 燕 , “ PET 装置のトレーサビリティの確立 ” , 佐藤 泰 , 次世代 PET 研究会 , 千葉市、2007/07/30
- 6) 佐藤 泰、原野 英樹、松本 哲郎、山田 崇裕、海野 泰裕、畑 寿起、森山 健太郎、柚木 彰、檜野 良穂、工藤 勝久、河田 燕 , “ 4 - 同時計数におけるスピニングによる検出非効率変化法 ” , 日本原子力学会 , 福岡県、2007/09/28
- 7) 佐藤 泰、松本 哲郎、原野 英樹、海野 泰裕、畑 寿起、森山 健太郎、柚木 彰、檜野 良穂、工藤 勝久 , “ 汚染検査装置の遠隔校正 ” , 計量標準総合センター成果報告会 , つくば、2007/12/14
- 8) 佐藤 泰、福田 大治、田中啓一、黒澤 忠弘、山田 崇裕、海野 泰裕、脇谷雄一郎、柚木 彰、檜野 良穂 , “ ^{125}I シード線源より放出される X 線および γ 線のスペクトル測定 ” , 応用物理学学会 , 千葉県、2008/03/30
- 9) 松本哲郎、原野英樹、工藤勝久、瓜谷章、 “ 中性子測定器の校正技術 ”、応用物理学学会放射線分科会 2008 年春のシンポジウム、千葉 ,2008/3/29

その他の公表 0 件

20FY

特許 0 件

論文・解説 6 件

(査読あり) 2 件

- 1) 佐藤 泰、山田 崇裕、畑 寿起、森山 健太郎、柚木 彰、檜野 良穂 , “The detection efficiency variation method for 4 - coincidence counting using an ink-jet printer” , APPLIED RADIATION AND ISOTOPES , Vol.66, No.6, (2008), pp.691-693、
- 2) 佐藤 泰、原野 英樹、松本 哲郎、西山 潤、森山 健太郎、海野 泰裕、山田 崇裕、柚木 彰、檜野 良穂、工藤 勝久、”Measurement of Activated Au foils by $2 + 2 -$ Coincidence Counting and EGS5 Monte Carlo Calculation”、AIP Conference Proceedings , Vol.1099, (2009), pp.907-911

(査読なし) 4 件

- 1) 佐藤 泰、海野 泰裕、“放射能標準”、電気学会原子力研究会資料、No. NE08, (2008), pp. 1-6
- 2) 佐藤 泰、村山 秀雄、長谷川智之、山田 崇裕、海野 泰裕、柚木 彰、檜野 良穂、“Monte Carlo simulation of annihilation radiation - γ ray coincidence measurement for ^{22}Na standard source used for calibration of PET devices”, The 5th KOREA-JAPAN Joint Meeting on Medical Physics(ISSN 1226-5829), (2008), PS2-15
- 3) 佐藤 泰、村山 秀雄、“PET 装置の校正と定量性の向上”、医学物理、Vol.28、No.3、(2008), pp.77-102、
- 4) 佐藤 泰、織田 圭一、村山 秀雄、“PET 装置の校正と定量性の向上”、日本放射線技術学会雑誌、Vol. 65、No.1、(2009), pp.65-71、

口頭発表 9 件

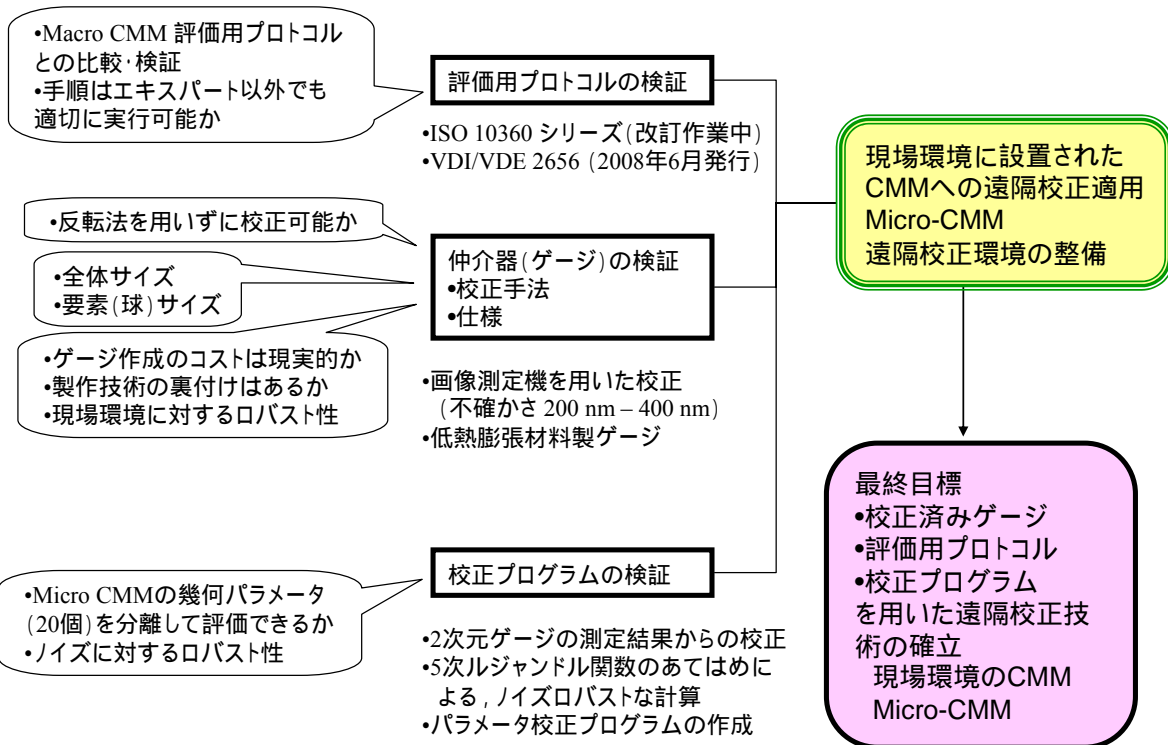
- 1) 佐藤 泰、山田 崇裕、海野 泰裕、柚木 彰、檜野 良穂、“ ^{111}In の放射能絶対測定に対するインクジェットプリンタによる検出効率変化法の適用”、アイソトープ・放射線研究発表会、東京都、2008/07/05
- 2) 佐藤 泰、海野 泰裕、黒澤 忠弘、山田 崇裕、柚木 彰、檜野 良穂、“I-125 用放射線量測定装置の遠隔校正実験”、アイソトープ・放射線研究発表会、東京都、2008/07/05
- 3) 佐藤 泰、原野 英樹松本 哲郎、西山 潤、森山 健太郎、海野 泰裕、山田 崇裕、柚木 彰、檜野 良穂、工藤 勝久、“Measurement of Activated Au foils by ^{22}Na + ^{22}Na - Coincidence Counting and EGS5 Monte Carlo Calculation”, 20th International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry、米国、2008/08/14
- 4) 佐藤 泰、原野 英樹松本 哲郎、西山 潤、森山 健太郎、海野 泰裕、山田 崇裕、柚木 彰、檜野 良穂、工藤 勝久、“ ^{22}Na + ^{22}Na - 同時計数による放射化金箔の放射能測定とモンテカルロ計算”、日本原子力学会、高知県、2008/09/04
- 5) 佐藤 泰、海野 泰裕、“放射能標準”、電気学会原子力研究会、東京都、2008/09/11
- 6) 佐藤 泰、村山 秀雄、長谷川智之、山田 崇裕、海野 泰裕、柚木 彰、檜野 良穂、“Monte Carlo simulation of annihilation radiation - γ ray coincidence measurement for ^{22}Na standard source used for calibration of PET devices”, The 5th KOREA-JAPAN Joint Meeting on Medical Physics、韓国、2008/09/11
- 7) 佐藤 泰、山田崇裕、松本哲郎、原野英樹、海野泰裕、西山潤、森山健太郎、柚木彰、檜野良穂、工藤勝久、“計量器校正情報システム開発(放射能分野)”、第 12 回 e-trace 成果普及セミナー、つくば市、2008/12/15
- 8) 佐藤 泰、山田崇裕、松本哲郎、原野英樹、海野泰裕、西山潤、森山健太郎、柚木彰、檜野良穂、工藤勝久、“計量器校正情報システム開発(放射能分野)”、計量器校正情報シ

STEM開発運営委員会、川崎市、200/01/15

- 9) 佐藤 泰、山田崇裕、松本哲郎、原野英樹、海野泰裕、西山潤、森山健太郎、柚木彰、
松野良穂、工藤勝久、“計量器校正情報システム開発(放射能分野) ”、国際計量研究連
絡委員会、つくば市、2009/02/12

その他の公表 0 件

-2.5 三次元測定機標準



(1) 研究開発の概要

インターネットを利用した、遠隔校正による三次元測定機の測定の不確かさの算出、ならびに仲介標準器を用いた幾何学誤差測定法を確立する。また、外国標準機関との間で遠隔不確かさ決定の実証を行う。この技術を確立することにより、三次元測定機を使う多くのユーザがトレーサブルな測定を行うことができる体制を確立する。さらに、産業界からの要請が多い任意・微細形状用三次元測定機を遠隔校正するため、仲介標準器(ゲージ)を開発する。またゲージを用いてユーザが装置をトレーサブルに校正、評価する手続きの確立、標準化を進め、遠隔校正時に重要となるユーザ側測定環境モニタ手法を確立する。

(2) 中間目標

(a) 15 年度中間目標

産総研の所有する 2 台の三次元測定機を使用して、お互いの測定機をネットワーク経由で遠隔操作できる技術を確立し、実証実験を行う。産総研の外部にある産総研と同機種
の測定機を使用して、ネットワーク経由で遠隔操作できる技術を確立し、実証実験を行う。

(b) 17 年度中間目標

三次元測定機の不確かさを算出するために必要な基礎データを、ネットワークを利用して遠隔操作により測定し取得するシステムを確立する。具体的には、産総研の内部・外部
にある産総研と同機種・異機種の三次元測定機に対応したシステムを確立する。また遠隔
校正による不確かさは $3 \mu\text{m} / 1 \text{m}$ を達成する。

(3) 最終目標

任意・微細形状標準器を遠隔校正するため、測定長さ 50 mm に対して不確かさ 500
nm 以下で値付けられた仲介標準器（ゲージ）の開発を行う。さらにユーザがゲージを用
いて三次元測定機を校正・評価する手続きの確立と標準化を進める。

(4) 本研究内容の構成

本研究では下記の項目について開発を行った。

- (a) 三次元測定の不確かさ推定
- (b) 三次元測定機遠隔校正の標準手順確立
- (c) 三次元測定機遠隔校正の利用利便性向上
- (d) 任意・微細形状用三次元測定機のための遠隔校正環境整備
- (e) ユーザ側測定機環境モニタ手法開発

(5) これまでの成果

(5-1) H17 までの研究成果のまとめ

いわゆる三次元測定機（CMM）の校正と呼ばれる作業には二つの異なるものがある。
一つ目は、ブロックゲージなどの校正済みの長さ標準器を測定し、校正値と測定値の差を
比較することにより、その CMM の測定精度を評価するものである。もう一つは、装置
の移動機構が有する真直度を始めとする運動誤差を評価するものであり、ボールプレート
やレーザ干渉計を用いてその作業は行われる。混乱を避けるため、正しい用語ではないか
も知れないが、前者を測定精度評価、後者を幾何学誤差評価と呼ぶことにする。

CMM は多機能かつ複雑な装置であり、使い方によって測定の不確かさは大きく変化す
る。したがって装置そのものの校正を完全に行うことは不可能であり、測定誤差評価のみ
を行って校正とすることが多い。その手順は ISO 10360-2 (JIS B 7440-2) に規定され
ている。

幾何学誤差評価は、その結果を装置の制御パラメータに反映させることにより、装置の性能を向上させることができる。したがってメーカー自身によって行われるのが普通である。またパラメータに反映しない場合は、幾何学誤差は不確かさの算出に有用な元データとなるが、これについての詳細は省略する。

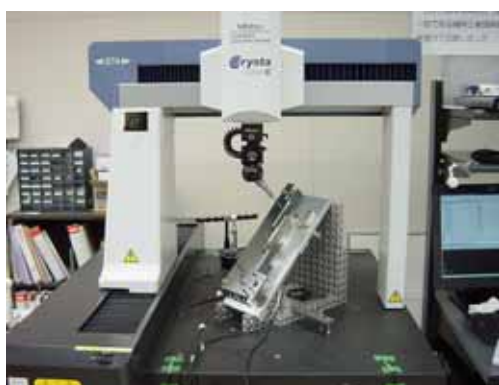
e-trace によって行う校正は、測定精度評価と幾何学誤差評価の双方が可能であるが、現在主にメーカーによって行われている校正は、より簡便な前者のみである。e-trace プロジェクトで行った技術を用いれば、どちらの校正も可能である。

現在はどちらの校正を行うにしても、十分な知識をもつ熟練した技術者がブロックゲージ、ボールプレート、レーザ干渉計などのゲージや測定機を持って現地に赴き、多大な時間、労力を費やして測定と解析を行わなければならない。それに伴い、依頼者にも多大な費用が課せられる。そこで本研究では、熟練者がユーザ側に出向くことなく、インターネットを利用して CMM の校正を行うことにより、人的、時間的コストの削減を目指したシステム開発を行った。

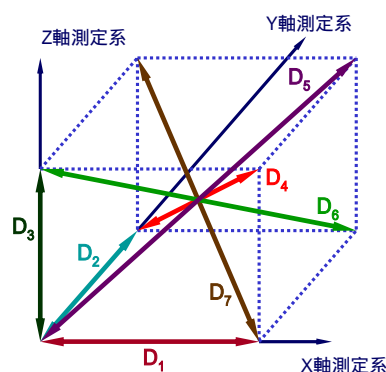
(5-2) H18-H20 の成果

(a) 三次元測定の不確かさ推定

これまでに三次元測定機の測定誤差評価を遠隔で行う技術を開発した。この技術では図 2.5-1 に示すように複数の方向で仲介標準器（ゲージ）を測定し、図 2.5-2 に示すように寸法測定誤差を評価する。ここでは各方向での寸法測定誤差が、メーカーもしくはユーザが規定する最大許容誤差（Maximum Permissive Error: MPE）を超えるか否かの検査を行っている。



(a)



(b)

図 2.5-1 三次元測定機による仲介標準器測定 (a) と測定誤差評価方向 (b)

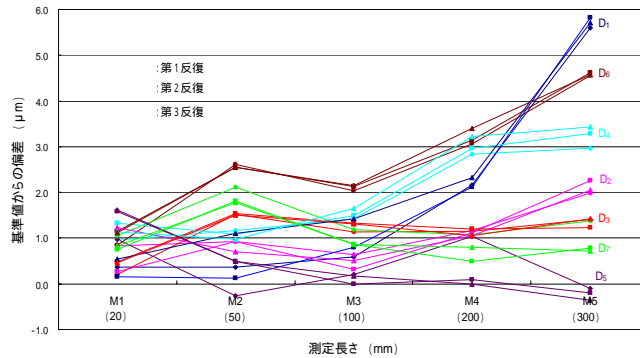


図 2.5-2 各方向での寸法測定誤差

この検査では、三次元測定機による寸法測定誤差がどの程度であるかを知ることはできないものの、その三次元測定機を用いて座標測定および任意の形状の測定を行ったときの誤差がどの程度であるかを知ることはできない。一般に三次元測定機ユーザが知りたいのは、その三次元測定機を用いて任意の形状などを測定したときの不確かさである。そこで CDT 研究所の中村哲夫氏の協力を得て、寸法測定誤差評価結果から座標測定の不確かさを推定する手法の開発と検証を行った。

この方法では各方向における寸法測定誤差に対して分散分析を行い、表 2.5-1 に示すような分散分析表を作成する。分散分析表から、下記の計算により座標測定の拡張不確かさを推定する。

$$u_c = \sqrt{\sigma_{e3}^2 + \sigma_{e2}^2 + \sigma_{M \times D}^2 + \sigma_M^2 + \sigma_D^2 + \sigma_m^2}$$

$$U = \pm 2u_c$$

図 2.5-2 の例の場合、拡張不確かさは 3.97 μm となる。

この方法で推定した不確かさは測定における最悪値に近いものであり、やや過大推定になる。本手法は発展途上ではあるものの、単なる寸法測定誤差の評価だけでなく実際の三次元測定機の運用にあたって重要な情報である座標測定の不確かさを推定できるようになったことで、ユーザにとって有益な情報を提供できるようになった。

表 2.5-1 寸法測定誤差についての分散分析表

要因	二乗和	自由度	不偏分散	不偏分散の期待値
m 一般平均	753.0460	1	753.0460 **	$e_3^2+2 e_2^2+10 e_1^2+6 M \times D^2+14 M \times R^2+42 M^2+30 D^2+70 R^2+210 m^2$
R 反復測定	0.3028	2	0.1514 *	$e_3^2+2 e_2^2+10 e_1^2+14 M \times R^2+70 R^2$
D 測定方向	113.2480	6	18.8747 *	$e_3^2+2 e_2^2+10 e_1^2+6 M \times D^2+30 D^2$
e1 一次誤差	1.8356	12	0.1530 *	$e_3^2+2 e_2^2+10 e_1^2$
M 測定長さ	193.4081	4	48.3520	$e_3^2+2 e_2^2+6 M \times D^2+14 M \times R^2+42 M^2$
R × M 交互作用	0.7856	8	0.0982 **	$e_3^2+2 e_2^2+14 M \times R^2$
D × M 交互作用	141.7458	24	5.9061	$e_3^2+2 e_2^2+6 M \times D^2$
e2 二次誤差	4.4852	48	0.0934 **	$e_3^2+2 e_2^2$
e3 繰り返し誤差	2.1119	105	0.0201	e_3^2
T		210		

(b) 三次元測定機遠隔校正の標準手順確立

(5-1) 項で述べたように、三次元測定機の遠隔校正では測定精度評価と幾何学誤差評価の両方が可能である。ここで測定精度評価については ISO 10360 シリーズや JIS B 7440 シリーズなどで方法規格として標準的な評価手順が定められているのに対し、幾何学誤差評価については標準的な評価手順が定められておらず、測定機メーカーや校正者ごとに様々である。今後、産総研が三次元測定機の遠隔校正において幾何学誤差評価を行っていくためには、標準的な幾何学誤差評価手法として以下を定めておく必要がある。

- 1) 仲介標準器の標準的な測定姿勢
- 2) 仲介標準器の測定誤差から三次元測定機の幾何学誤差を算出する標準的な処理

産総研が保有する三次元測定機に対して自ら幾何学誤差評価を行う場合、ホールプレートと呼ばれる二次元的に座標値が校正された仲介標準器を 6 つの姿勢で測定し、その誤差から三次元測定機のもつ 21 個の幾何学誤差を評価している。この手順を標準化し、今後の遠隔校正で利用するための環境を整備した。ここでは図 2.5-3 に示す 6 つの姿勢を標準的な仲介標準器測定姿勢とした。

産総研で三次元測定機の幾何学誤差評価を行う場合、仲介標準器の測定誤差から 21 個の幾何学誤差を推定し、それぞれに対して 20 mm ピッチもしくは 40 mm ピッチの指定した点を通るスプライン曲線を当てはめる。この方法では計算が複雑になるため、これを簡略化し、幾何学誤差を 5 次のルジャンドル多項式に当てはめる方法を標準的な計算手順とした。あわせて、それぞれの姿勢における仲介標準器の測定誤差入力することで、三次元測定機のもつ 21 個の幾何学誤差を評価することができるプログラムを作成した。

これにより、遠隔で三次元測定機の幾何学誤差評価を行うためのソフト面での環境が整備できた。

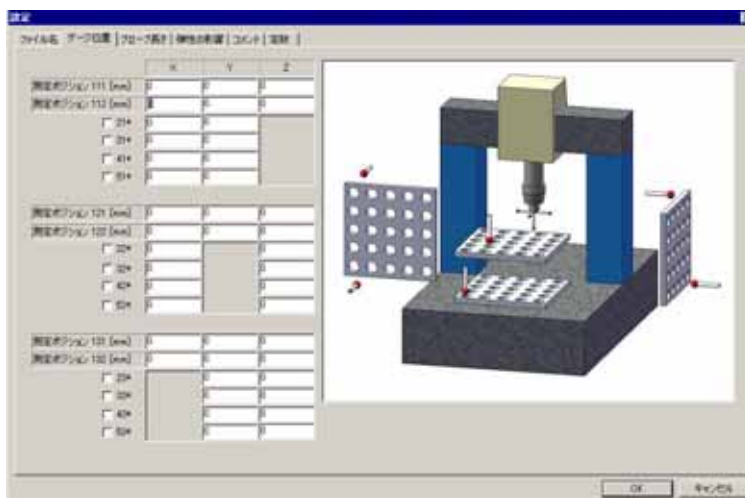


図 2.5-3 幾何学誤差評価のための標準的な仲介標準器測定姿勢

(c) 三次元測定機遠隔校正の利用利便性向上

これまで産総研では、気温がほぼ 20 に管理されている測定室環境に設置された三次元測定機に対して測定精度評価を行う遠隔校正を提供してきた。近年では工場などの現場環境にも三次元測定機が設置され、利用される場面が増えてきている。現場環境に設置された三次元測定機は台数が多く、製造ラインの一部をなしているために検査のための停止時間をなるべく短くしたい。そのため、短期間、低コストで検査を行うことのできる遠隔校正への潜在需要がある。

現場環境に設置された三次元測定機に遠隔校正を適用する上で問題となるのは、設置環境の温度変化である。気温が一定となるように管理されている測定室環境とは異なり、工場などの現場環境では日間、年間での温度変化がある。例えば冬期の場合、設置環境の温度は 15 から 18 程度と、温度の変動および偏りを持っている。このような環境で遠隔校正を行った場合、測定時の温度変化による影響を補正する必要が生じるため、校正の不確かさが増大する。このうち、仲介標準器についてこの問題を避けるために、低熱膨張材料製（ガラス製およびセラミックス製）の仲介標準器を用意した（図 2.5-4）。これらの仲介標準器は JIS B 7506:2004 に定める K 級ブロックゲージに相当する精度で加工されており、20 nm 程度の不確かさで値付けられている。これらの仲介標準器を用いることにより、温度変化の大きい環境に設置された三次元測定機に対しても小さい不確かさで測定誤差評価についての遠隔校正を行えるようになった。



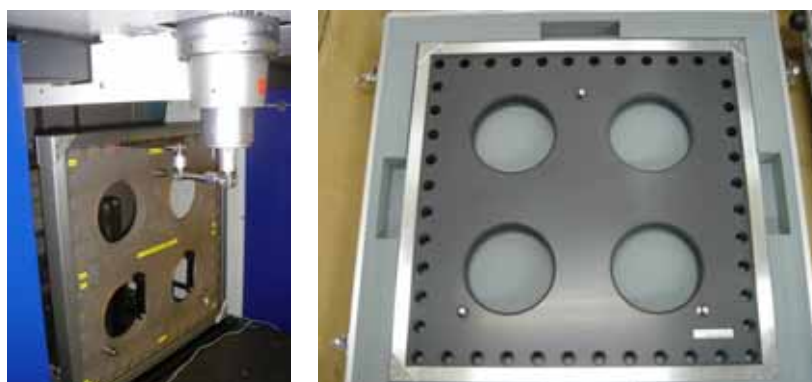
図 2.5-4 低熱膨張材料で作成された仲介標準器

三次元測定機の幾何学誤差評価を行う場合、小さい不確かさで値付けられた仲介標準器が必要となる。産総研でこの評価を行う場合、図 2.5-5 (a) に示す、高品位な仲介標準器を使用する。この仲介標準器は一般には入手が難しく、また産総研からユーザに送付することはほぼ不可能である。そのため、将来、幾何学誤差評価の遠隔校正サービスを提供するには、一般でも入手可能かつ高品位な仲介標準器を用意する必要があった。

産総研では低熱膨張材料製ブロックゲージに使用されている特殊なセラミックスに注目

した。この材料は低熱膨張ガラス（現在産総研で使用している仲介標準器に使用されている材料）よりも剛性が高く、加工性が良い。また日本国内で製造、加工が可能である。そこで産総研ではこの低熱膨張セラミックスを用いて、産総研で使用している仲介標準器と同じ設計値をもつ仲介標準器を作成した。これを図 2.5-5 (b) に示す。

新しく作成した仲介標準器は熱膨張せず、かつ従来産総研で用いてきたものと同程度の不確かさ（250 nm）で値付けできる。今後、ユーザの保有する三次元測定機の幾何学誤差を評価する場合には、新しい仲介標準器を使用する。これにより、遠隔で三次元測定機の幾何学誤差評価を行うためのハード面での環境が整備できた。



(a)

(b)

図 2.5-5 幾何学誤差評価のための仲介標準器

低熱膨張ガラス製 (a) および低熱膨張セラミックス製 (b)

(d) 任意・微細形状用三次元測定機のための遠隔校正環境整備

これまで三次元測定機は数十 mm から数百 mm の大きさを持つ機械要素などの測定に利用されてきた。近年では商品性能の向上のために機械要素の小型化、精密化が進められており、その製造工程において微小な機械要素の測定が求められており、このような微小機械要素の測定にも三次元測定機が利用されてきている（図 2.5-6）。これらの三次元測定機についても、測定の信頼性を確保する必要があり、測定機の校正を行う必要がある。

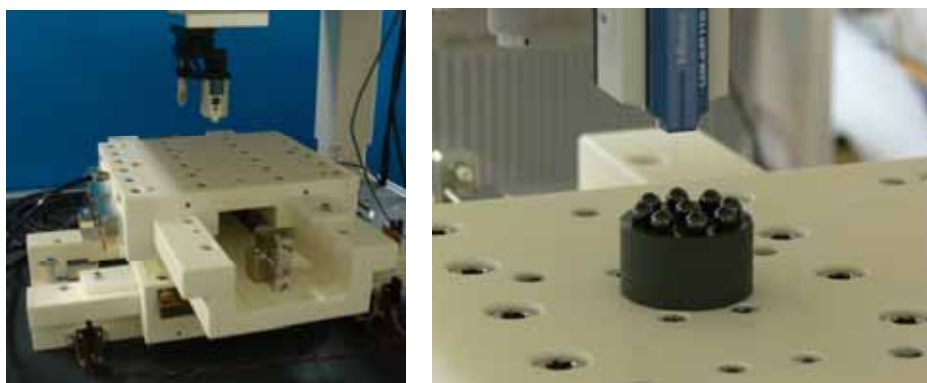


図 2.5-6 産総研で開発した任意・微細形状用三次元測定機

微小機械要素測定用の三次元測定機（Micro CMM）の校正も、基本的には通常の三次元測定機の遠隔校正と同じく、寸法測定誤差あるいは幾何学誤差の評価を行えばよい。しかし Micro CMM はプローブ姿勢を変化させることができないなど、機構上の制限を持つため、通常の三次元測定機の校正手順をそのまま適用することはできない。そのため、機構上の制限を考慮した校正手順を定める必要がある。また Micro CMM は 1990 年代から研究が始まった比較的新しい装置であり、これを評価するための仲介標準器については、その構造、値付け手法も含めて研究途上であるため、仲介標準器の開発も行う必要がある。

Micro CMM と同様の機構上の制限をもつ座標測定システムの精度評価法としては、走査型プローブ顕微鏡の精度評価法についてのガイドライン、VDI/VDE 2656 Part 1: Determination of geometric quantities by Scanning Probe Microscopes - Calibration of Measurement Systems, 2006. など存在する。Micro CMM の校正である測定誤差評価については、これを準用すればよい。同ガイドラインは走査型プローブ顕微鏡の持つ幾何学誤差の評価法についても記述しており、Micro CMM の幾何学誤差評価についても準用可能である。

一方、Micro CMM 用の仲介標準器については、未だ未整備である。これは仲介標準器の製造技術よりも値付け技術の能力不足が大きな原因である。測定機の校正では、小さい不確かさで値付けられた仲介標準器が必要である。これは校正に使用した仲介標準器の不確かさが、校正の不確かさの下限值を与えるからである。現状では Micro CMM で仲介標準器を直接値付けする場合、世界的に見てもその不確かさの下限值は 250 nm 程度までしか達成されていない。これは Micro CMM のプローブシステム由来の不確かさが大きいことと、Micro CMM 用仲介標準器の値付けにおいて反転法を利用できないためである。そのため、より小さい不確かさで仲介標準器に値付け可能な手法が必要となる。産総研では画像測定機（Video CMM）を用いた比較測定により、Micro CMM 用の仲介標準器に値付けを行う方法を開発している。その模式図を図 2.5-7 に示す。



図 2.5-7 任意・微細形状用三次元測定機のための仲介標準器校正

この方法では小さい不確かさで値付けられた Video CMM 用の仲介標準器を用意できれば、それと同等の不確かさで Micro CMM 用の仲介標準器に値付けすることができる。産総研では反転法を適用可能な Video CMM 用仲介標準器を開発しており、その値付けの不確かさは測定長さ 100 mm に対して 200 nm 程度である。これは不確かさ 100 nm の標準尺をトレーサとして値付けしたときの値であり、今後、より測定不確かさの小さいレーザ干渉計などをトレーサに使用することで、100 nm 以下の不確かさで Video CMM 用仲介標準器に値付けできる。これを用いることにより、Micro CMM を 200 nm 程度の不確かさで校正できる見込みである。

(e) ユーザ側測定機環境モニタ手法開発

前述したように、温度変化の大きい環境に設置された三次元測定機に対して小さい不確かさで測定誤差評価についての遠隔校正を行うためには、低熱膨張材料製の仲介標準器を用いる。これにより仲介標準器の熱膨張補正に由来する校正の不確かさを低減できる。さらに校正の不確かさを低減するためには、三次元測定機側の熱膨張補正に由来する不確かさを低減しなければならない。

三次元測定機の熱膨張補正量を適切に評価する方法の一つとして、産総研から仲介標準器とともに温度計を送付し、三次元測定機の XYZ 各軸に取り付けられたスケールの温度を測定する方法が考えられる。しかし一般に三次元測定機のスケールはカバーなどで覆われており、外部から温度計を取り付けることが難しい。また温度計の取り付けなどで時間コストなどが増加することから、三次元測定機の校正を短時間かつ低コストで実現する、という遠隔校正の趣旨と矛盾してしまう。

そこで財団法人機械振興協会技術研究所と共同で、簡易に三次元測定機の熱膨張補正量を評価する方法を開発した。この方法は寸法がほぼ同じで熱膨張係数が異なる 2 つの仲介標準器を同じ温度環境に設置し、両者の測定値からその設置環境の温度および三次元測定機の熱膨張補正量を算出するものである。ここで一方の仲介標準器に前述した低熱膨張材料製の仲介標準器を使用することで、三次元測定機の熱膨張補正量を小さい不確かさで算出することができる。図 2.5-8 に、低熱膨張材料性仲介標準器を用いて三次元測定機の熱膨張補正量を求める実験の様子を示す。

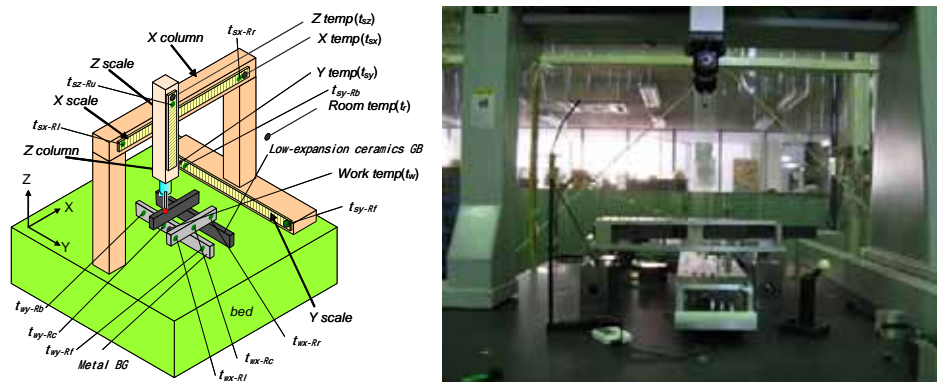


図 2.5-8 低熱膨張材料性仲介標準器の測定を通した熱膨張補正量算出

工場レベルの温度環境に設置された三次元測定機を用いて行った実験の結果を図 2.5-9 に示す。この実験は冬期に行ったため、設置環境の温度が 16.5 から 17.5 と、測定室レベルの温度環境よりも低い。この環境下で鋼製、低熱膨張材料製の 2 つの仲介標準器を測定し、熱膨張補正量を求め、仲介標準器の測定量を補正することで、三次元測定機の寸法測定誤差を求めた。その結果を図 2.5-9 (b) に示す。実験の結果、この手法を用いて低熱膨張材料製の仲介標準器測定結果をすることで、三次元測定機の設置環境の温度が変動しても寸法測定誤差を安定して評価できることが確認できた。

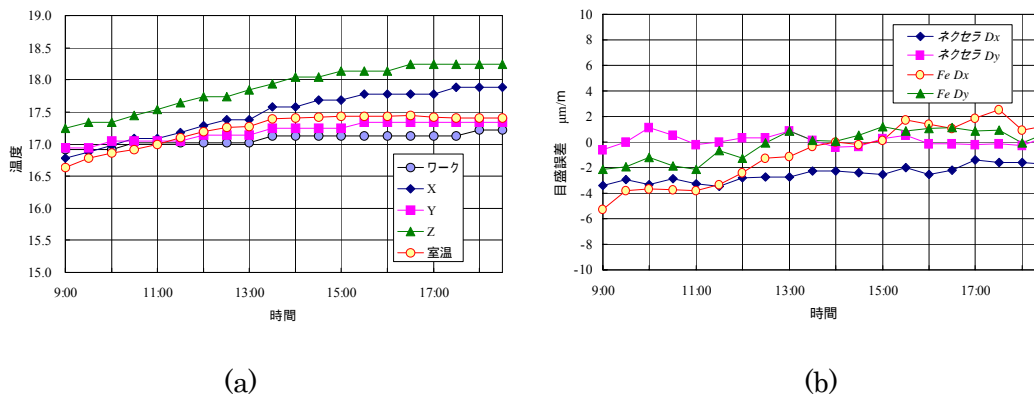


図 2.5-9 低熱膨張材料性仲介標準器の測定を通したユーザ側測定環境モニタ
(a) 各軸およびワーク温度 (b) 測定結果から計算した寸法測定誤差

(6) 実用化の見通し

既に本事業の成果を用いて、測定室環境に設置された三次元測定機の測定精度評価を行う遠隔校正サービスを提供している。これに加えて第二期の研究成果により、より設置台数の多い現場環境でも三次元測定機の遠隔校正が行える環境を整備した。また、三次元測定機の幾何学誤差評価を遠隔で行うため、ソフト面、ハード面での環境を整備した。これにより三次元測定機の遠隔校正の対象範囲を広げることができる。

(7) 目標の達成状況

本事業を通して、ユーザがゲージを用いて三次元測定機の測定精度評価、幾何学誤差評価を行える手順の標準化と、評価に必要なゲージおよびプログラムなどソフト、ハード両面での整備を行った。これにより三次元測定機の遠隔校正の高度化および利便性を高めた。

また任意・微細形状標準器を遠隔校正するために必要となるゲージについて、測定長さ 100 mm に対して不確かさ 200 nm 程度で値付ける手法を開発した。この手法を用いることにより、Micro CMM を 200 nm 程度の不確かさで校正できる見込みである。

外部発表状況

H18FY

特許 0 件

論文、解説 0 件

口頭発表 2 件

- 1) 大澤尊光、“三次元測定機の遠隔校正技術”、光計測シンポジウム 2006、横浜、平成 18 年 6 月 7 日
- 2) 佐藤理、“Coordinate measuring system for large size artefacts -- A laser tracking interferometer system based on trilateration”、KAIST-NMIJ Joint Workshop 2006 on Precision Metrology、大田（韓国）、平成 18 年 12 月 21 日

その他の公表 0 件

H19FY

特許 0 件

論文、解説 0 件

口頭発表 2 件

- 1) 大澤尊光、“Remote calibration system for coordinate measuring machines”、PTB-BIPM workshop、ベルリン（ドイツ）、平成 19 年 6 月 7 日
- 2) 大澤尊光、“Current status on ISO standards of CMMs and precise measuring methods for CMM measurements”、APMP TCL Workshop - CMM Metrology、シドニー（オーストラリア）、平成 19 年 10 月 30 日
- 3) 佐藤理、“Advanced coordinate metrology: from Coordinate Measuring Machines to Coordinate Measuring Systems”、APMP TCL Workshop - CMM Metrology、シドニー（オーストラリア）、平成 19 年 10 月 30 日

その他の公表 0 件

H20FY

特許 0 件

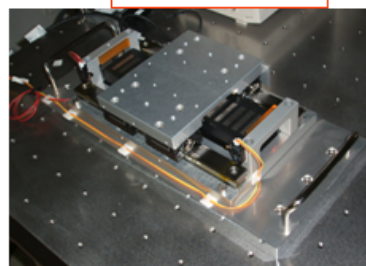
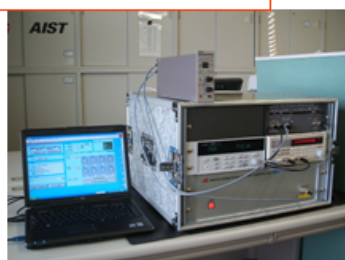
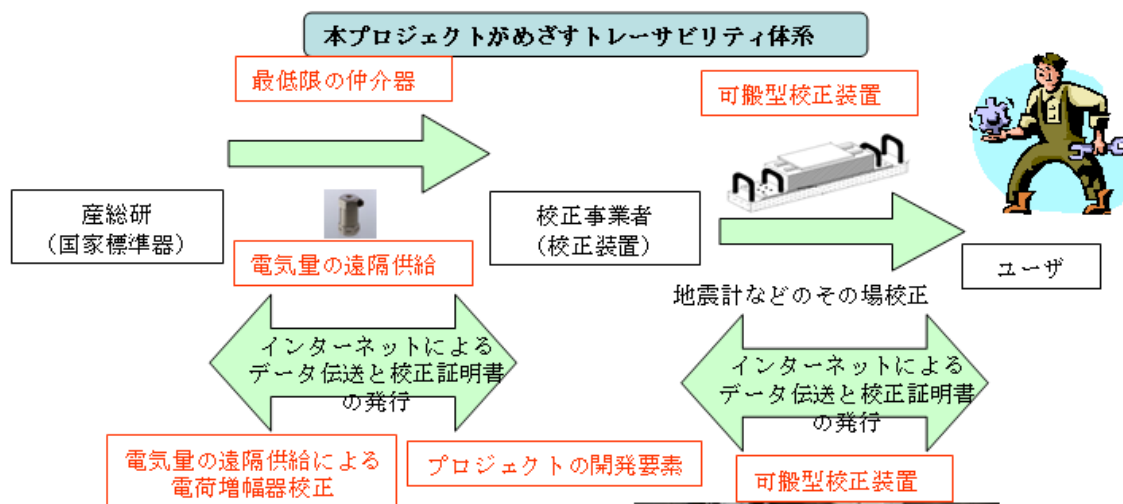
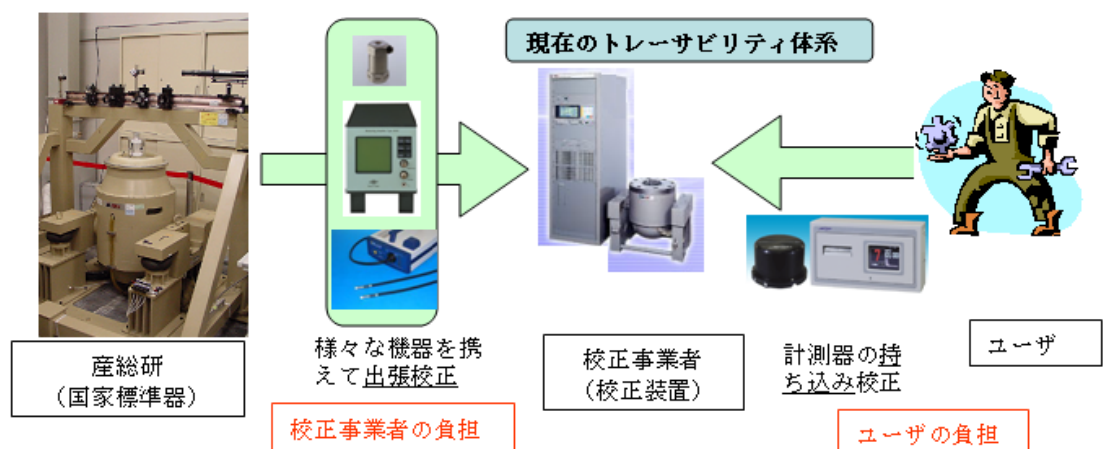
論文、解説 0 件

口頭発表 0 件

その他の公表 2 件

- 1) 佐藤理、“第 11 回 e-trace 成果普及セミナー (CMM) ”、e-trace 成果普及セミナー、つくば、平成 20 年 10 月 22 日
- 2) 佐藤理、“座標測定機用標準の開発 ”、産総研 Today Vol.8 (2008) No. 11、平成 20 年 11 月 4 日

-2.6 振動・加速度標準



波及効果：低コスト、校正事業者の負担軽減、校正器物の拡大、校正装置自体の廉価化

(1) 研究開発の概要

振動計測は地震などの地質分野、ビルや橋梁など建築分野、手持ち工具の安全性など労働衛生分野、自動車などの開発や設備診断などの工学分野で古くから重要な位置を占めてきた。振動量は構造物の耐震性や手持ち工具の安全性などを評価、確保する上で重要であり、信頼性、客観性、公平性の担保のために、各国標準研究所で国家標準が設定されている。また近年では自動車の衝突エアバッグの起動やノートパソコンの落下検出などに MEMS 型加速度計が用いられ、測定範囲の拡大と共に適用分野が広がっている。振動加速度の JCSS 制度は 1998 年から開始されているが、認定機関による校正の普及と共に、地震計など移動が困難な振動計測装置のその場校正や、MEMS 型加速度計など大量生産された振動計測装置の安価な校正手段が求められている。

振動量は振動数 (Hz) と振幅 (加速度、速度、長さ) によって特徴づけられる、動的組立量である。測定原理 (及び検出量) としては サイズモ式センサ、近接センサ (長さ) 及び 電磁誘導型センサ (速度) などがあげられる。このうち、近接センサや電磁誘導型センサは基準点に対する相対的な測定である。これは地震や移動中の自動車振動など、外部に基準点を求めるのが困難な現象は測定できない。これに対しサイズモ式センサは空間座標に対する振動量を加速度または速度として直接測定できるため、広く用いられている。今日国家標準機関における振動量の標準 (振動加速度標準) とは、このようなサイズモ式センサの校正装置を指している。

図 2.6-1 は国家標準器として用いられる一次校正装置の原理である。校正対象の加速度計は加振機に取り付けられ、正弦状に励振される。振動振幅はレーザ干渉計によって測定される一方、加速度計からも出力 (電気量) され、その感度は単位加速度あたりの電気量 (電圧や電荷など) として与えられる。校正装置全体は空間座標に対して固定されていると見なし得るよう、地面振動や空調機器などの外来振動を十分絶縁する必要がある。また、校正装置自体に加振機という振動源があるため、寄生振動の発生など悪影響が生じぬよう、校正装置全体に十分な剛性が必要とされる。このような校正装置を実現するためには大がかりな防振台を必要とするなど、コストがかかる。さらに振動数に応じた加振機や、振幅に応じた分解能・ダイナミックレンジを有するレーザ干渉計を必要とするため、複数の校正装置により国家標準が維持される。

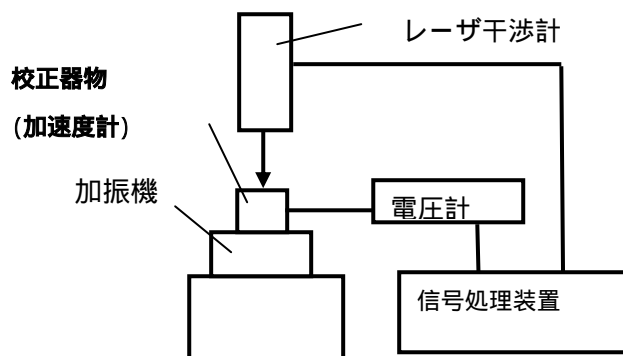


図 2.6-1 一次校正装置の原理図

これに対し図 2.6-2 は一般の校正機関などで用いられる二次校正装置の原理を示している。加振機には校正対象とともに、一次校正装置で校正された加速度計が取り付けられる。この加速度計を参照標準として、校正対象の感度を比較校正する。二次校正装置は、高価なレーザ干渉計を必要とせず、また多少外来振動が重畳されても比較校正においてその外来振動がキャンセルされるため、防振台が簡素化できるなど、比較的安価に校正装置が実現できる利点がある。

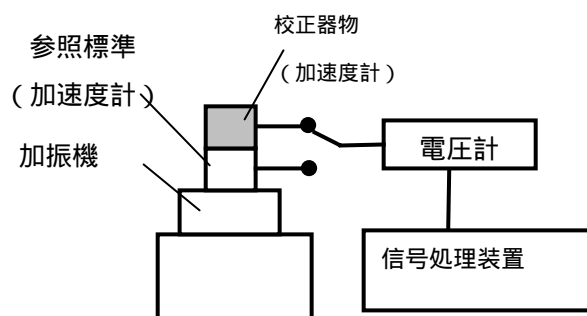


図 2.6-2 二次振動校正装置の原理

二次校正装置の国家標準では、参照標準となる加速度計をトランスファ標準器としてトレーサビリティが確保される。なお、通常振動計測器はピックアップと付帯するアンプなどから構成される。

近年の消費者の安全志向、高付加価値指向に伴い、自動車の衝突安全性や静粛性、家電製品の静粛性などが市場における訴求力となっている。また、高層建築や原子力プラントなどの耐震性評価等に関心が高まっている。これらの産業分野において、振動加速度の測定が重要性を増しており、標準の供給を望む声が大きくなっている状況の中、振動加速度標準に関わる各種技術（校正装置、トランスファ標準器、等）のポータビリティを向上し、最終的に遠隔校正を実現しようとするのが本研究の目的である。

振動加速度標準は、一般に振動を発生させる加振機と、その振動を定量化するレーザ干渉計または参照用振動加速度計（トランスファ標準器）からなり、大規模ゆえ移動することが困難である。本研究テーマでは、可搬型加振機、参照用振動加速度計の評価装置、振動加速度計の電荷増幅器部分の評価装置などを開発する。これらの装置開発により校正コストの低減が可能となり、また地震計などいったん設置すると移送が困難で再校正が難しかった機器のその場校正が可能となる。

(2) 中間目標

(a) 15年度中間目標

該当無し

(b) 17 年度中間目標

該当無し

(3) 最終目標

産業界における振動計や地震による高層ビル振動等への対応を目指し、国家計量標準にトレーサブルで輸送可能な振動加速度計遠隔校正システムを確立する。現存する校正事業者に対しては、産総研からの出張校正に必要な機器の一部を遠隔校正し、校正不確かさを損なわずに工数・費用を低減するシステムを構築する。地震計など、振動加速度計校正業者に持ち込めないユーザを対象に、振動数 1 Hz ~ 160 Hz において校正可能な可搬型校正装置の開発を行う。この際印加する振動数、及び、振動加速度振幅の分解能として、0.05 Hz, 0.005 m/s² (不確かさ 0.1 %) を実現する。

(4) 本研究内容の構成 (中テーマ等を箇条書きにして簡潔に説明して下さい)

(4-1) 可搬型加振機の開発

通常の加振機ではボイスコイル型の電磁アクチュエータを用いている。しかし移送可能な小型のアクチュエータでは発生力が限られ、励振可能なピックアップの質量は事実上数十グラム程度に限られていた。例えば地震計のピックアップ部 (感振器) は数キログラム以上の質量があり、従来の校正装置ではそのまま励振することが出来ない。今回目的とするように、ユーザサイドでその場校正を実現しようとしたとき、感振器のようなコンポーネントも含む様々な対象を校正出来ることが望ましい。このため従来にない小型軽量、大出力の加振機を必要とする。さらに遠隔校正のために、校正データの取得やある程度の操作をインターネット経由で出来ることが必要となる。以上のことから、加振機にはサーボ制御式のリアモータを用い、十分な励振力を持つと同時に、インターネット経由で振幅や振動数を制御可能な、可搬型加振機を開発した。

(4-2) 振動加速度計の電荷増幅器部分校正装置の開発

JCSS 制度における振動加速度の標準供給では、サイズモ式センサである圧電式加速度ピックアップと、その出力を増幅する電荷増幅器を一体の校正器物として扱い、電圧感度を校正している。しかし、ユーザは対となる加速度ピックアップと電荷増幅器を適時交換することも多く、加速度ピックアップと電荷増幅器を、独立して校正するニーズが大きい。圧電式加速度ピックアップは、加速度に比例した電荷を発生させる。既知の電圧とキャパシタンスにより電荷を発生させ、等価的な電荷量を電荷増幅器に加えることでチャージアンプの校正が可能である。また、電荷増幅器の感度 (単位入力電荷あたりの出力電圧) の他、位相も主要な特性として重要であるが、そのためには位相差計または波形メモリ (デジタルオシロスコープ) が必要となる。これらの電圧源、位相差計または波形メモリは能動デバイスであるため、その定期的な校正が必要となり、また移動や環境変化による影響を受けやすい。標準電圧源や位相差計などの能動デバイスを含まず、安定性に優れた

受動デバイスを主体とする校正装置を開発した。

(5) これまでの成果

(5-1) H17 までの研究成果のまとめ

該当無し

(5-2) H18-H20 の成果

(a) 可搬型加振機の開発

通常の校正装置では、加振機にボイスコイル型の電磁アクチュエータを用いている。しかし移送可能な小型のアクチュエータでは発生力が限られ、励振可能なセンサの質量は事実上数十グラム程度に限られていた。例えば地震計のピックアップ部（感振器）は数キログラム以上の質量があり、従来の校正装置ではそのまま励振することが出来ない。今回目的とするように、ユーザサイドでその場校正を実現しようとしたとき、感振器のようなコンポーネントも含む様々な対象を校正出来ることが望ましい。このため従来にない小型軽量、大出力の加振機を必要とする。さらに遠隔校正のために、校正データの取得やある程度の操作をインターネット経由で出来ることが必要となる。

以上のことから、加振機にはサーボ制御式のリニアモータを用いた。図 2.6-3 は装置の外観（コンテナを開梱したところ）、図 2.6-4 は校正を行っている状態である。



図 2.6-3 可搬型加振機の外観

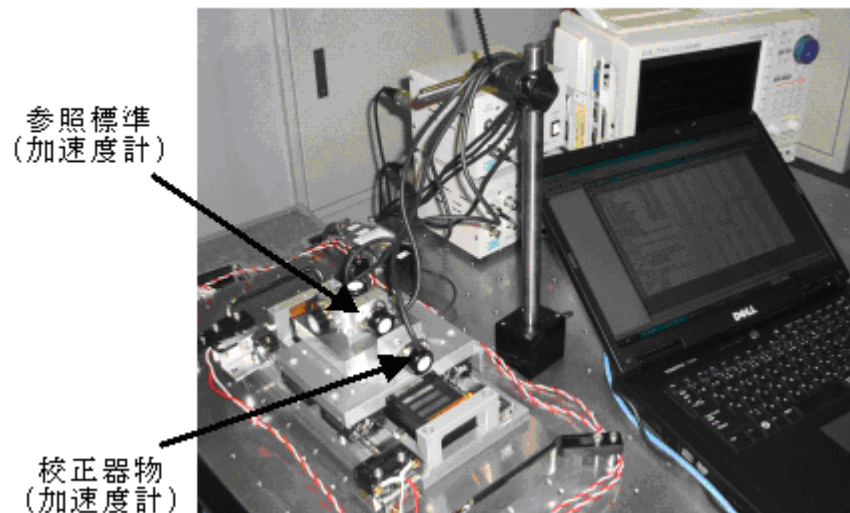


図 2.6-4 可搬型加振機による校正

加振機とドライブアンプ、制御装置および仲介用の加速度計はアルミ製のコンテナにパッキングでき、質量は約 25 kg である。なおユーザは加振機を据付ける剛性が確保されたテーブルを用意する必要がある。加振機の制御装置はインターネット経由で起動、停止、振動数と振幅の制御及び動作のモニタが可能である。加振機の振幅制御には、リニアエンコーダによる変位測定値を用いている。ただしこの変位測定は加振機の制御のみに用いられ、校正値の算出には関与しない。これは冒頭で述べたとおり、リニアエンコーダによる変位測定値は基準点に対する相対値であり、空間座標に対する値と異なる可能性があるためである。特にユーザがテーブルを用意する本方式の場合、地面振動や加振機の励振ノイズによる校正装置全体の揺れが前もって評価できないため、校正値はあくまで参照標準となる加速度計との比較として算出される。算出された校正値が添付ファイルとして電子メールで校正機関に送付されるシステムを、再委託機関と共同で開発した。

本装置に用いた加振機の最大発生力は 270 N であり、ボイスコイル型加振機に比べ重量比で数倍～数十倍の加振力を有する。反面ドライブアンプは軽量で、交流二相 100 V で駆動可能である。振幅の制御に用いられるリニアエンコーダの分解能は 0.1 mm 未満であり、校正対象である加速度計の許容加速度などに応じて振幅値を極めて高分解能で設定可能である。(ただし装置を設置するテーブルの剛性不足や外来振動などにより実際に発生される加速度は異なる可能性がある)

図 2.6-5 は校正における参照標準、校正対象の出力を示す。良好な正弦波状の振動が発生されていることが見て取れる。

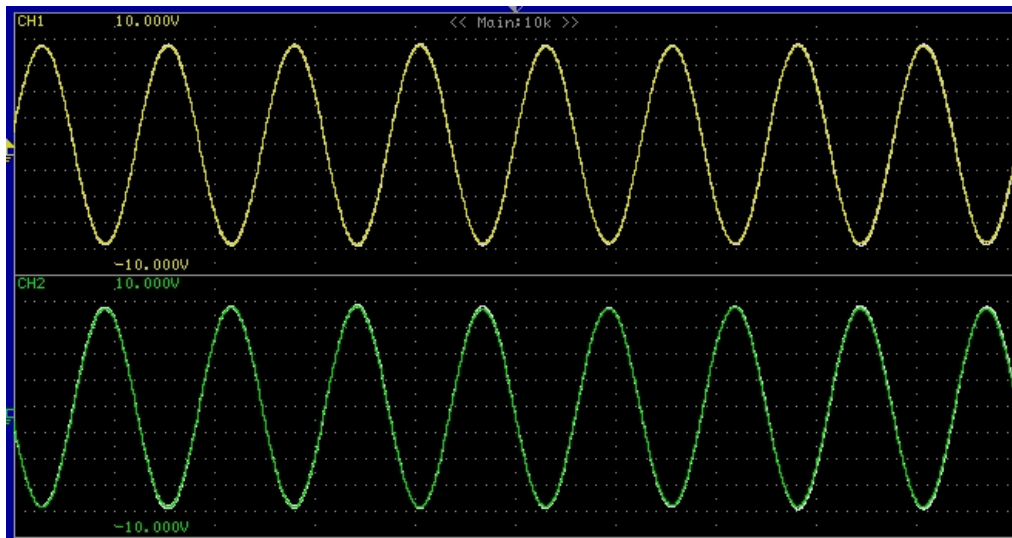


図 2.6-5 160 Hz における参照振動加速度計出力（上段）と校正器物からの出力（下段）

(b) 振動加速度計の電荷増幅器部分の評価装置の開発

1) 概要

JCSS 制度における振動加速度の標準供給では、サイズモ式センサである圧電式加速度ピックアップと、その出力を増幅する電荷増幅器を一体の校正器物として扱い、電圧感度を校正している。しかし、ユーザは対となる加速度ピックアップと電荷増幅器を適時交換することも多く、加速度ピックアップと電荷増幅器を、独立して校正するニーズが大きい。電荷増幅器を独立に校正できればトランスファ標準器が簡素化される。また、電荷増幅器校正においてトレーサビリティが求められる基本量は、電気量、時間に帰着されるため、最終的に遠隔校正が可能である。

2) 原理とプロトタイプ

電荷増幅器の等価回路と校正原理は、図 2.6-6 で与えられる。すなわち圧電式加速度ピックアップからの出力に相当する既知の電荷量を標準キャパシタンスにより発生させることで、入力（電荷）と出力（通常電圧）の比を評価する。この際周波数特性として、増幅率および位相の関係を使用周波数帯域（数十 Hz ~ 数十 kHz）に渡り評価できることが必要である。

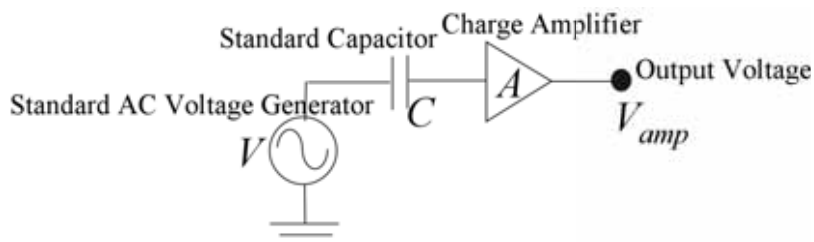


図 2.6-6 電荷増幅器の等価回路と構成原理

このような校正を行うために必要なシステムとしては図 2.6-7 に示すいくつかの構成が

考えられる。

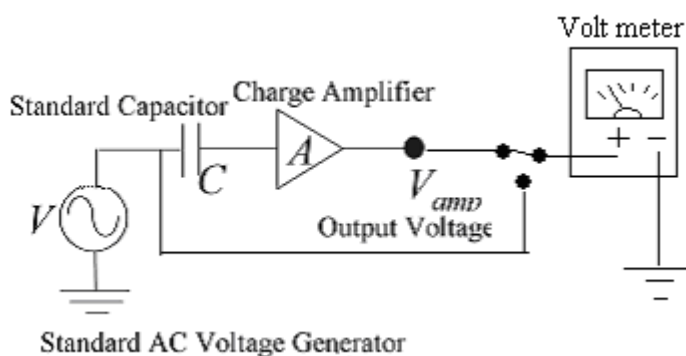


図 2.6-7(a) 電圧計による入力量と出力量の比較

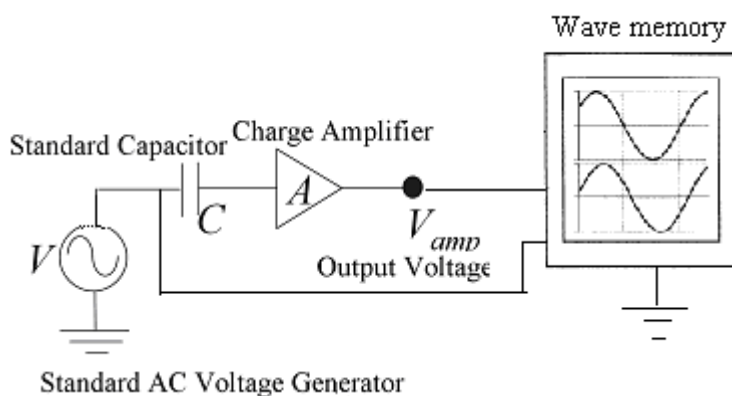


図 2.6-7 (b) 波形メモリによる入力量と出力量の時間領域での比較

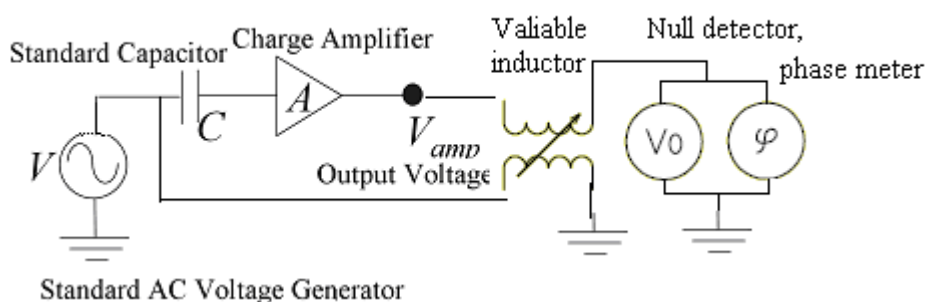


図 2.6-7 (c) 可変相互インダクタと零点検出器、位相差計による比較

これらのうち、(a)は標準キャパシタンス及び電圧計、または交流電圧発生装置がトレーサブルであることが要求される。また位相は評価できない。(b)は位相の評価が可能であるが、波形メモリの各入力におけるリニアリティ評価が必須となる。(c)では電荷増幅器の出力値と入力値とを可変相互インダクタンスでバランスさせることでゲインを、位相差計で位相を評価する方法である。可変相互インダクタは受動デバイスであり極めて安定度が高いこと、零点検出器、位相差計はそれぞれ対称性による自己校正が可能であるこ

と、などから高い可搬性が期待できる。このため図 2.6-7(c)に示した構成を基本とする装置を開発した。なお可変相互インダクタンスは 2 器の誘導分圧器及び電圧注入トランスから構成することが可能である。

図 2.6-8 は装置の概要である。いま、時間を t 、校正周波数を f 、信号発生器からの出力電圧振幅を \hat{V}_{in} とする。このとき、誘導分圧器 1 及び誘導分圧器 2 への交流入力電圧は、互いに 90 度の位相差をもつように設定され、それぞれ、 $\hat{V}_{in} \cos 2\pi ft$ 、 $\hat{V}_{in} \sin 2\pi ft$ と表される。これらの交流電圧は誘導分圧器 1 及び誘導分圧器 2 によってそれぞれ分圧される。電圧注入トランスの 1 次側には、誘導分圧器 2 で分圧された電圧が印加され、電圧注入トランスの 2 次側に、逆方向で巻数比に比例した誘導起電力が発生する。

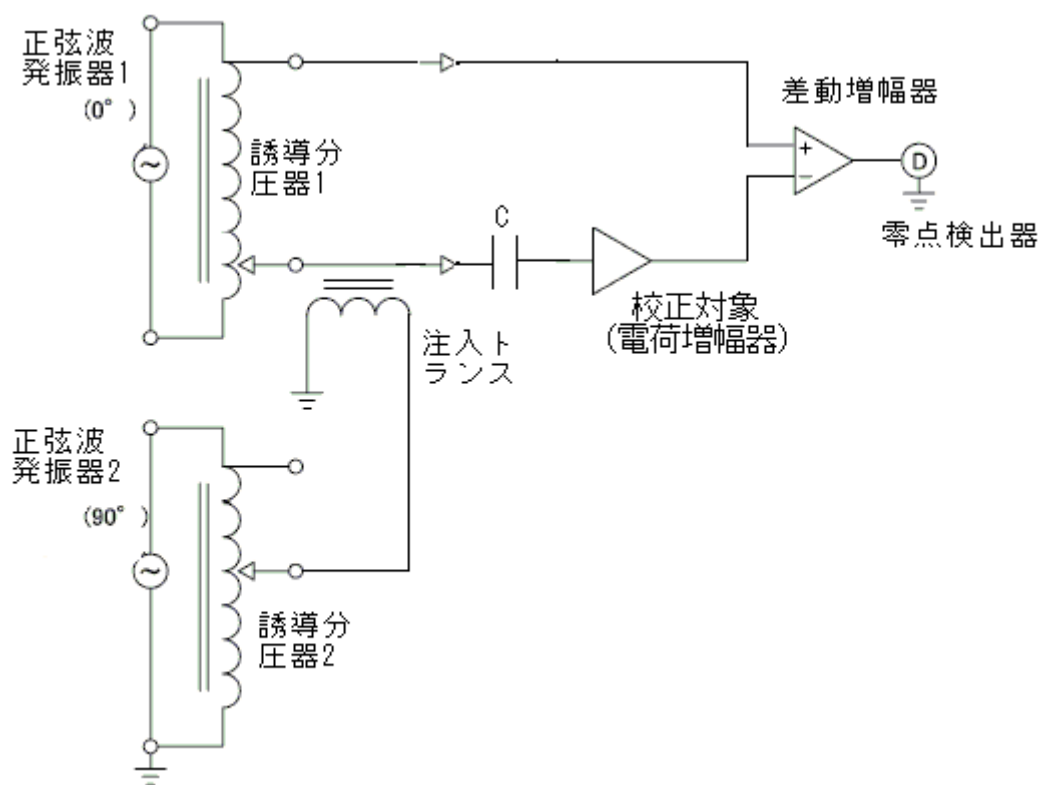


図 2.6-8 校正装置の原理図

したがって、標準キャパシタンスへの入力電圧 $V_{Cin}(t)$ は、誘導分圧器 1 で分圧された電圧と電圧注入トランスを介して加えられる注入電圧の和で表され、次式で与えられる。

$$V_{Cin}(t) = R_1 \hat{V}_{in} \cos 2\pi ft + R_2 R_3 \hat{V}_{in} \sin 2\pi ft$$

ここで、誘導分圧器 1 の分圧比を R_1 、誘導分圧器 2 の分圧比を R_2 、電圧注入トランスの巻数比を R_3 とする。さらに、この式は以下のように変形することができる。

$$V_{Cin}(t) = \sqrt{R_1^2 + (R_2 R_3)^2} \hat{V}_{in} \cos\left(2\pi ft - \arctan \frac{R_2 R_3}{R_1}\right)$$

次に、 \hat{V}_{Cin} と標準キャパシタンスによって発生する電荷が電荷増幅器に入力される。したがって、電荷増幅器の出力電圧 $V_{Cout}(t)$ は、

$$V_{Cout}(t) = A_{CA} C \sqrt{R_1^2 + (R_2 R_3)^2} \hat{V}_{in} \cos\left(2\pi ft - \arctan \frac{R_2 R_3}{R_1} + \phi_{CA}\right)$$

と表される。ここで、標準キャパシタンスの静電容量を C 、電荷増幅器の増幅率を A_{CA} 、電荷増幅器の位相遅れを ϕ_{CA} とする。電荷増幅器の位相遅れを $\arctan \frac{R_2 R_3}{R_1}$ に等しくなる

ように、且つ、 $\hat{V}_{in} \cos 2\pi ft$ と $V_{Cout}(t)$ が等しくなるように、分圧比を調整することによって、以下の式が成り立つ。

$$\hat{V}_{in} \cos 2\pi ft = A_{CA} C \sqrt{R_1^2 + (R_2 R_3)^2} \hat{V}_{in} \cos 2\pi ft$$

上式より、電荷増幅器の増幅率は、

$$A_{CA} = \left(C \sqrt{R_1^2 + (R_2 R_3)^2} \right)^{-1}$$

と表され、標準キャパシタンスの静電容量と誘導分圧器の分圧比という高精度に安定した電気量から決定される。

一方、電荷増幅器の位相遅れは、

$$\phi_{CA} = \arctan \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

と表され、誘導分圧器の分圧比と電圧注入トランスの巻数比で決定することができる。従って、増幅率及び位相遅れは受動デバイスから決定されることから、外乱やノイズ等の入力電圧の変動の影響を受けることなく、高精度に増幅率及び位相遅れの校正が可能となる。従来の校正法では入力電圧を信号発生器で発生させ、出力電圧を電圧計で取得していたため、信号発生器の電圧変動や校正不確かさが、電荷増幅器の校正不確かさとして、支配的であった。また、外乱やノイズ等の影響が直接不確かさとして反映されていた。本校正法では、誘導分圧器という受動デバイスで増幅率及び位相遅れを求めめるため、従来支配的であった不確かさ要因が影響しない。ただし、分圧比計測の不確かさが不確かさ要因として新たに加わるが、信号発生器の校正不確かさや入力電圧変動によるばらつきと比較して、誘導分圧器による分圧比計測の相対不確かさは 10^{-5} オーダー程度と非常に小さいため、電荷増幅器の校正不確かさは小さくなる。また、安定な受動デバイスからなるため、輸送や環境変化の影響を受けにくく、遠隔校正装置に適していると考えられる。

以上の検討の元で、まず原理を確認するためのプロトタイプを作製した。図 2.6-9 はプロトタイプの外観である。実際の機器構成では零点検出器と位相差計はロックインアンプにより構成される。

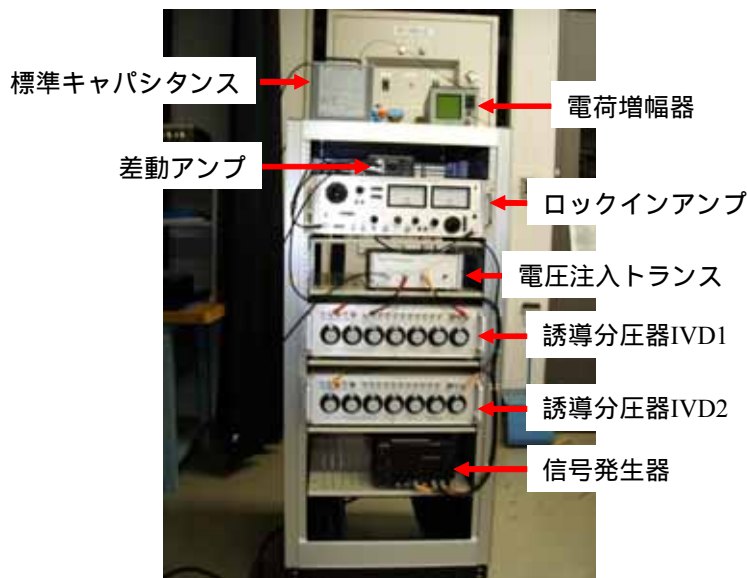


図 2.6-9 校正装置のプロトタイプ

これまでに 20 Hz ~ 10 kHz において、0.001 ~ 0.01 %の相対拡張不確かさ ($k=2$) で校正が可能であることを確認している。また、位相特性についても校正が可能である。図 2.6-10 は市販の電荷増幅器の位相特性を評価した例である。

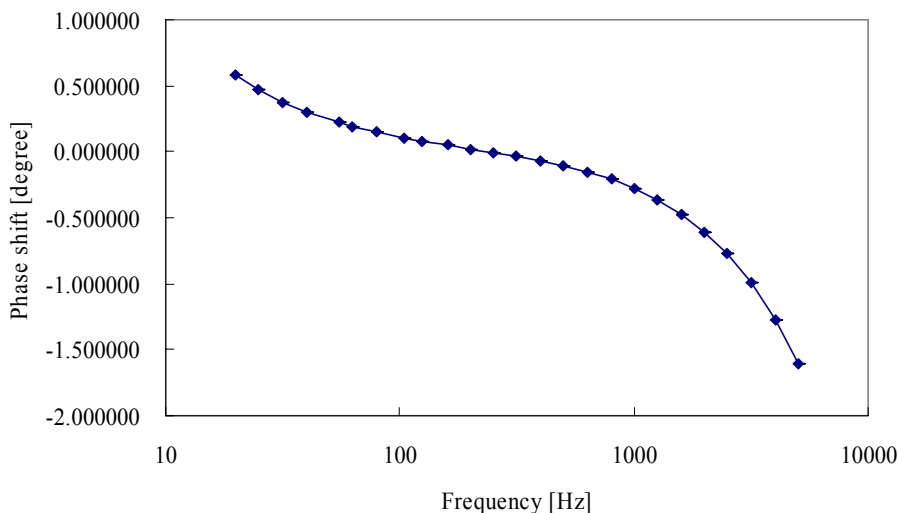


図 2.6-10 電荷増幅器の位相特性評価結果

本校正装置は標準キャパシタンス、可変相互インダクタンス等、安定した受動デバイスから構成されるため、初期特性が長期にわたり得られることが期待できる。また、ロックインアンプなどのその他のデバイスは事実上校正不要である。さらに小型化、自動化の余

地があるため、ユーザレベルで装備することも可能である。以上の成果から、従来加速度ピックアップと電荷増幅器を一体としてトランスファ標準器としていたところ、加速度ピックアップ単体をトランスファ標準器に位置付ける目処がついた。

3) 小型化とインターネットによる運用

プロトタイプでは既存の誘導分圧器などを用いたため、装置が大型であった。また操作がすべて手動であった。装置を小型化し、また操作を自動で行い、さらに校正結果をインターネットで送付するための開発を行った。

まず小型化、自動化については、誘導分圧器、電圧注入トランスを一体化し、さらに分圧比をマトリックスリレーで自動的に可変出来る装置を開発した。図 2.6-11 は開発した装置の内部である。

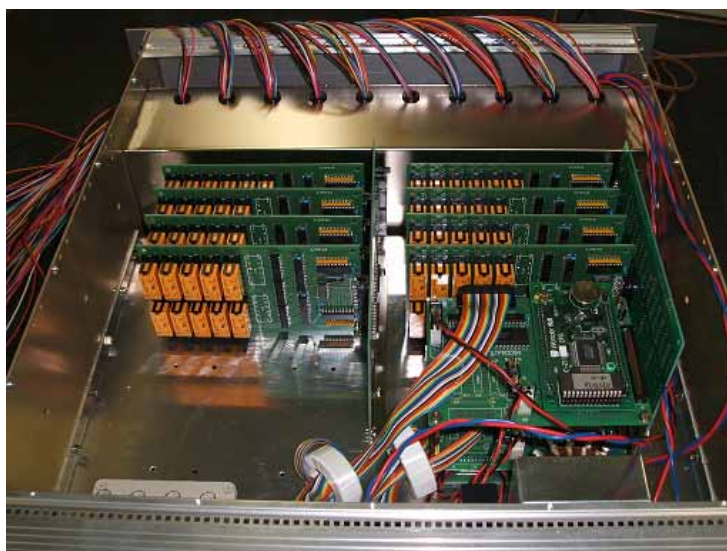


図 2.6-11 開発した一体型誘導分圧器・電圧注入トランス

図 2.6-12 は一体型誘導分圧器・電圧注入トランスを中心に、信号発生器、作動増幅器、電圧計などを組み合わせた校正装置の外観である。可搬型加振機と同様に、アルミ製のコンテナにパッキングされ、搬送可能な物としている。この中に信号発生器、誘導分圧器、電圧注入トランス、標準キャパシタンスなど、電荷増幅器の校正に必要な全ての要素を含んでいる。誘導分圧器の分圧比は基準信号と電荷増幅器からの出力が平衡されるよう、自動的にスキャンされる。図 2.6-13 は校正状態と、校正プログラムの操作画面を示す。校正値は添付ファイルとして電子メールで校正機関に送付される。



図 2.6-12 校正装置の外観

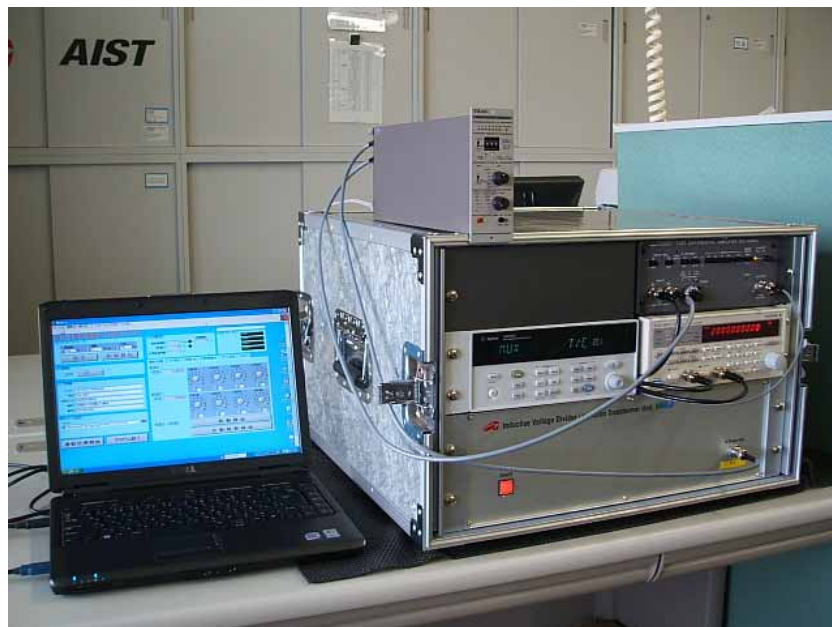


図 2.6-13 校正状態

本装置は既に振動校正装置を有する校正事業者において校正の工数を低減し、ユーザに利便をもたらす手段として有効と期待される。

(6) 実用化の見通し

開発した装置をタイに輸送し、現地で実証実験を行った。輸送による影響などが無く、初期の性能を発揮できることなどを確認できた。

今後の展開については下記のような課題が残されている。

- ・現地での加振機の据付や校正器物の取り付けに一定の技能が要求されること
- ・機械的動作を伴うことから、無人運転や遠隔運転には配慮が必要とされること
- ・今回適用したサーボ式の加振機でフィードバックパラメータの設定を行う必要があり、

事前に校正器物の質量などに応じた調整が必要であること。

以上の課題を踏まえ、さらに不確かさの検証や自動化を進めたいと考えている。

(7) 目標の達成状況（基本計画の最終目標に対する達成状況を記載）

(a) 可搬型加振機の開発

地震計など、振動加速度計を校正事業者を持ち込めないユーザを対象に、振動数 1 Hz ~ 160 Hz において校正可能な可搬型校正装置の開発を行い、この際印加する振動数及び振動加速度振幅の分解能として 0.05 Hz, 0.005 m/s²（不確かさ 0.1%）を実現する、という目標に対し、下記の通り実現した。開発した加振機の振動数分解可能は 0.05 Hz 以下と良好な性能を示した。また、加振機振幅の制御に用いられるリニアエンコーダの分解能は 0.1 mm より良好であり、例えば 1 Hz における加速度振幅設定分解能は 0.004 m/s² に相当し、目標とした分解能を上回る性能を得た。（ただし装置を設置するテーブルの剛性不足や外来振動などにより実際に発生される加速度は異なる可能性がある）

開発した装置は海外への移送にも耐え、十分な信頼性があると考えられる。

(b) 振動加速度計の電荷増幅器部分校正装置の開発

本装置はユーザにおける電荷増幅器校正を実現すると共に、既に振動校正装置を有する校正事業者において校正の工数を低減し、利便やコスト低減をもたらす手段として有効である。本装置は電磁気関係で開発された LCR メータの校正原理を援用しており、プロジェクト全体での融合的な成果である。開発した装置は海外への移送にも耐え、十分な信頼性があると考えられる。

外部発表状況

18FY

特許 0 件

論文、解説 0 件

その他の公表 1 件

1) 振動加速度標準の実用化に向けて、第 7 回 e-trace 成果普及セミナー, 2007/1/25.

19FY

特許 1 件

1) 臼田, 中村, 大田: “利得位相校正装置”, 特開 2009-047579 (2009)

論文、解説 1 件

(査読あり)

- 1) T. Usuda, A. Oota, H. Nozato, T. Ishigami, H. Nakamura, K. Kudo, “Development of charge amplifier calibration system employing substitution method”, Proc. of IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 and 1st TC22 International Conference, Merida Mexico(Nov. 2007), ID-106.

口頭発表 1 件

- 1) T. Usuda, “Concept of on-site vibration calibration service employing e-trace scheme”, PTB-BIPM Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology, Berlin Germany, 7th May 2007.

その他の公表 0 件

20FY

特許 0 件

論文、解説 3 件

(査読あり)

- 1) T. Usuda, A. Oota, H. Nozato, Y. Hino, H. Aoyama, “Transportable calibration system for vibration transducers”, Proc. of the MME2008, Aachen, Germany (Sep. 2008), pp303-306.
- 2) T. Usuda, A. Oota, H. Nozato, Y. Hino, H. Aoyama, “Transportable vibration calibration system employing e-trace scheme”, Proc. of the IMAC-XXVII, Orland USA(Feb. 2009), Paper No.119.

(査読なし)

- 1) 臼田, “ 振動計測装置の遠隔校正技術 ”, 計測標準と計量管理, Vol.58, No.4, pp.62-66(2009).

口頭発表 3 件

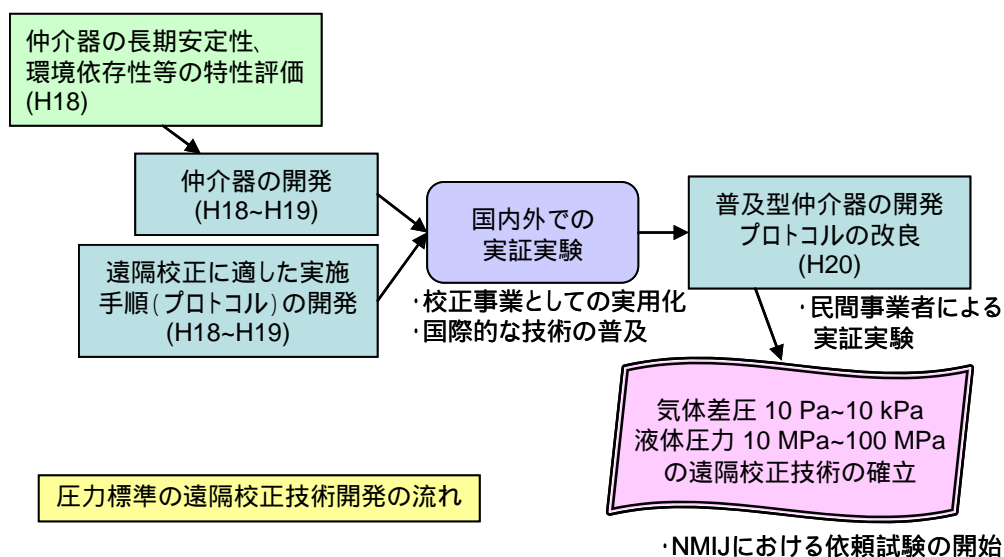
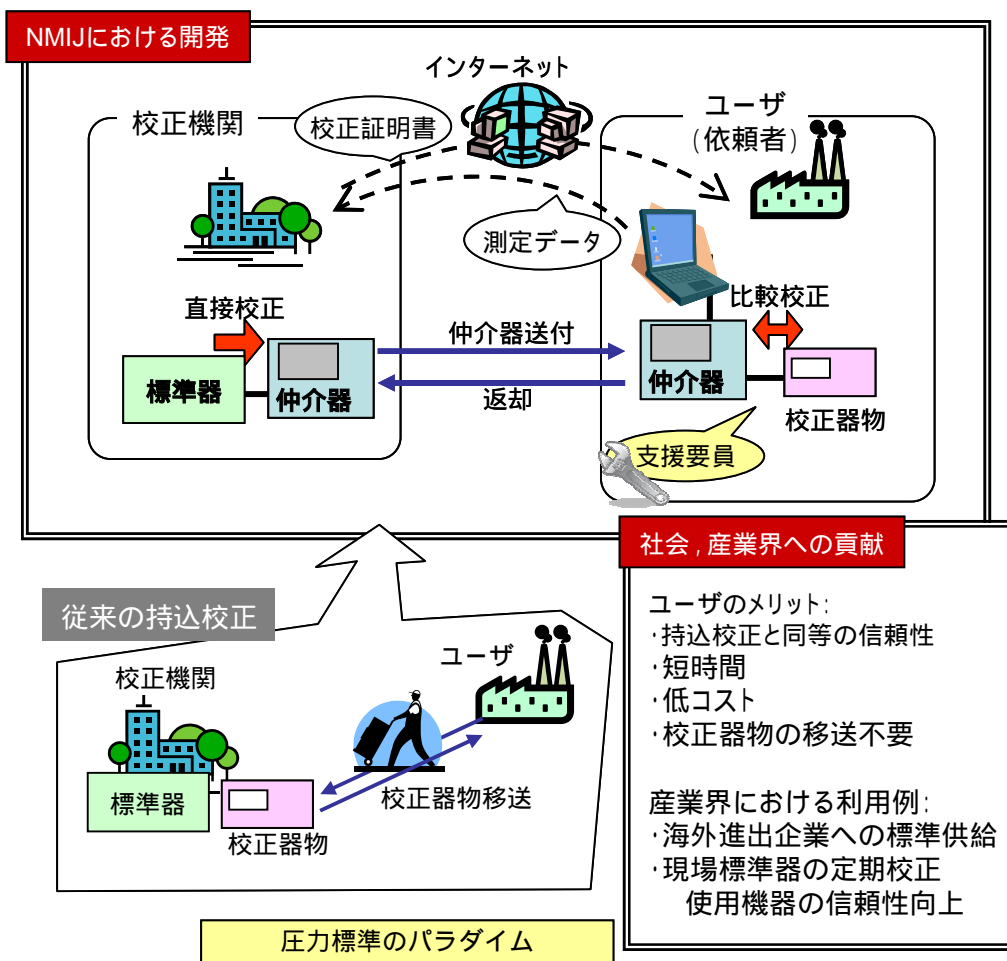
- 1) 臼田, “ 振動加速度計の校正における遠隔地校正の試み ”, 第 7 回振動計測クラブ, 2008/7/24
- 1) T. Usuda, A. Oota, H. Nozato, H. Aoyama, “On-Site Calibration Service For Vibration Transducers Employing E-Trace Scheme”, 79th Shock and vibration Symposium, Orland USA, 28th Oct. 2008.
- 2) 臼田, “ 振動計測の遠隔校正技術 ”, 計測標準フォーラム第 6 回合同講演会, 大田区産

業プラザ, 2008/11/21.

その他の公表 1件

- 1) e-trace 成果普及セミナー開催、“振動加速度標準の遠隔校正について”, 第13回 e-trace 成果普及セミナー, 2009/2/4.

-2.7 圧力標準



(1) 研究開発の概要

現在、産業技術総合研究所（以下、産総研）では、大気圧の10万分の1（1 Pa）から1万倍（1 GPa）の9桁に及ぶ圧力範囲で国家標準を整備し、産業界からの様々な校正依頼に応えている。産総研からの標準供給の形態としては、これまでは依頼者の圧力計を校正機関に持ち込んで校正を実施するいわゆる“持込校正”を行ってきた。民間の校正事業者によるJCSS校正も同様である。しかしながら、持込校正では校正器物を設置場所から校正機関へ移動させる手間がかかるため、圧力標準トレーサビリティ体系のさらなる拡充のためには、より簡便で効率的な、新たな標準供給の形態を検討することが必要である。その手段として圧力分野においても「遠隔校正」の研究開発が進められた。

圧力の遠隔校正においては「物理仲介器」を用いる方法を選択した。校正機関において評価した仲介器を依頼者の校正器物の設置されている場所（遠隔地）に送付することで、校正器物を移動させずに校正を行うことができる。送付された仲介器と校正器物を接続するなどの簡単な作業は「支援要員」と呼ばれる教育訓練を受けた要員が行うものとする。

本研究開発では、産業界からの需要が高く開発が効果的となる2つの圧力範囲「気体差圧 10 Pa から 10 kPa」と「液体圧力 10 MPa から 100 MPa」において、圧力標準の遠隔校正技術の開発を進めた。校正対象は高精度デジタル圧力計とし、目標とする校正の拡張不確かさ（ $k = 2$ ）は、それぞれ、気体差圧で100 mPa または0.01 %以下、液体圧力で0.01 %以下とした。

遠隔校正システムを実現するために、上記の2つの圧力範囲において高精度デジタル圧力計を利用した物理仲介器を開発し、遠隔校正実施手順（プロトコル）を確立した。仲介器には高精度デジタル圧力計、圧力調整器、環境条件モニタなどを搭載し、これらをパソコンの測定プログラムから制御することで全自動で校正が行われ、インターネットなどを通して測定データが校正機関へと送信される。また、校正実施手順としては、常に一定した校正が行われるように、遠隔校正の依頼を受けてから校正終了までの手順を、校正機関・支援要員・依頼者それぞれについて定めた。

開発した仲介器や実施手順の信頼性は、実証実験によって確認した。国内の圧力JCSS事業者を再委託先事業者とし、気体差圧と液体圧力それぞれの圧力範囲において協力して実証実験を行った。平成18年度および19年度は産総研から上記校正事業者へ、平成20年度はそれらの校正事業者からユーザへと、2段階に分けて普及に向けた実験を行った。

成果普及としては、国内の学会や講演会での成果報告をはじめとして、国際会議での発表や国外でのデモンストレーションなどを通じて、国際的なルール形成のための議論も深めた。

(2) 中間目標

(a) 15年度中間目標

圧力標準遠隔校正システムの実験モデルを試作し、産総研の内部でネットワークを利用して実証試験を実施する。

(b) 17 年度中間目標

移動モデルの気体圧力標準遠隔校正システムを構築し、産業技術総合研究所外部との間のネットワークを利用して実証試験を実施する。圧力範囲は 10 kPa ~ 100 kPa、不確かさは 0.03 % とする。

(3) 最終目標

産業界からの需要の高い、気体差圧 10 Pa ~ 10 kPa (不確かさ : 100 mPa または 0.01 % 以下)、液体圧力 10 MPa ~ 100 MPa (不確かさ : 0.01 % 以下) のそれぞれの圧力範囲において、標準供給が可能なデジタル圧力計に基づく小型で安定な仲介標準器を開発し、校正手法の高度化を進め、遠隔圧力校正に適した測定手順の開発を進める。

(4) 本研究内容の構成

圧力の遠隔校正は、高精度デジタル圧力計を利用した「物理的仲介器」を用いる。具体的な校正の流れの例を図 2.7-1 に示す。まず(1)依頼者から校正の申請があると、(2)校正機関は校正済みの「遠隔校正用仲介器」を依頼者のサイトに送付する。現場では「支援要員」と呼ばれる作業者が仲介器と校正器物を接続し、遠隔校正の測定を開始する。(3)自動で測定が行われ、校正データはインターネットなどを通じて校正機関に送信される。(4)測定終了後、仲介器は校正機関に返却され、校正機関において校正値が算出され、(5)校正証明書が発行される。

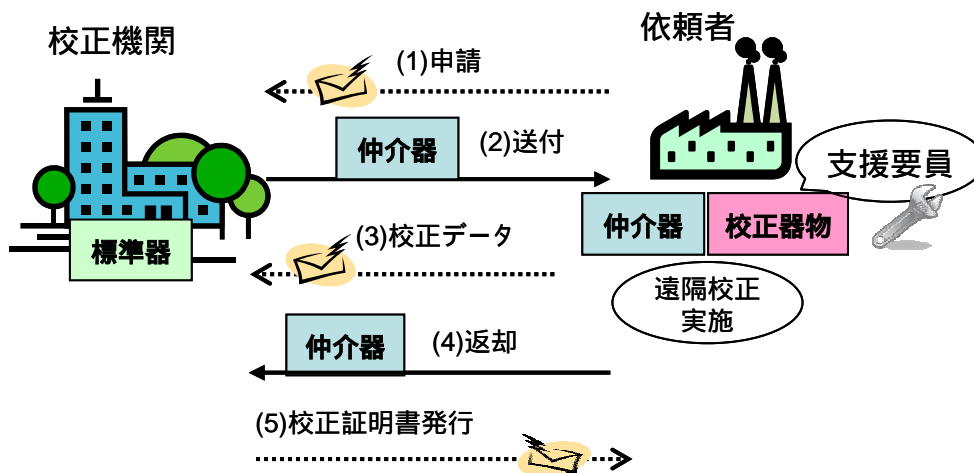


図 2.7-1 圧力遠隔校正の流れ

持込校正と遠隔校正の大きな違いは、校正場所と作業者にある。持込校正は「校正機関において」「校正機関の要員」が校正作業を行うのに対し、遠隔校正では、「依頼者のサイトにおいて」支援要員が簡単な設置作業などを行い、「仲介器が自動で測定」することが特徴である。

このようなシステムを構築するために、技術開発を具体的に次の 3 つの項目に分けて進めることとした。(1)仲介器の開発、(2)校正の実施手順の開発、(3)開発物を検証するための実証実験である。これらの開発を年度ごとに目標を設定して行った。以下に研究内容の構成を述べる。

- (a) 開発を行う圧力範囲の選択
- (b) 仲介器に搭載する圧力計の特性評価
- (c) 遠隔校正用仲介器の開発
- (d) 遠隔校正用測定手順(プロトコル)の開発
- (e) 実証実験
- (f) 普及活動

(5) これまでの成果

(5-1) H17 までの研究成果のまとめ

気体絶対圧力の圧力範囲 10 kPa ~ 100 kPa において、遠隔校正システムの試作を行った。平成 13 年度には仲介器に用いる圧力計として数種類のセンサの特性評価を行い、その結果からシリコンレゾナントセンサを選定した。翌平成 14 年度には、選定した圧力計を改造し、これと圧力調整器、環境条件モニタなどを組み合わせて自動校正可能な遠隔校正装置のプロトタイプを試作した。開発した装置を用いて、産総研内においてネットワークを経由した測定実験を実施し、同一 LAN 内では装置構成や測定データの送受信に問題がないことを確認した。プロトタイプは各装置を校正台上にそのまま配管接続した評価用だったが、平成 15 年度には、これを基に搬送可能な仲介器の試作器を製作した。この試作器を用いて産総研(つくば市)と横河電機株式会社(甲府市)との間で、ネットワークを利用した遠隔校正実験を実施し、目標不確かさ 0.03 % に対して 0.02 % の不確かさで校正できる技術的見通しを得た。これにより平成 17 年度の中間目標を前倒して達成し、終了した。

(5-2) H18-H20 の成果

(a) 開発を行う圧力範囲の選択

今期は、特に産業界からの要請の多い圧力範囲を 2 つ、開発対象として選択した。これは、「産業界の要請の最も多い範囲から実用化する方がよい」との中間評価指摘事項への対応としても意義のある圧力範囲である。すなわち、一方の気体差圧の測定は、産業界のあらゆる分野で用いられているクリーンルームの空調制御などに必要不可欠であるが、この範囲では、標準器(2 台の重錘形圧力天びんを用いる装置)を校正事業者が常用に維持するのは負担が非常に大きく、使いやすい標準器が整備されていない実状があった。もう一方の液体圧力 10 MPa ~ 100 MPa は、産総研から供給している jcss 校正では最も校正件数の多い範囲で、この範囲が簡便に供給できるようになれば、その波及効果は大きいと考えられる。

上記のような理由から 2 つの圧力範囲を選択し、校正の目標不確かさを、校正対象となる高精度デジタル圧力計を校正するのに十分、かつ、現在の校正能力で対応可能な大きさに設定した。本研究開発において圧力媒体は、産総研で通常の標準供給に使用している純窒素（気体）およびセバケイト（液体）を使用することとした。

(b) 仲介器に搭載する圧力計の特性評価

今回のような遠隔校正用仲介器の開発が現実的になったのは、近年、優れた性能を有するデジタル圧力計が利用しやすくなってきたためである。圧力の国際比較においても既にこれらの圧力計が仲介標準器として使われている。産総研でも国際比較幹事国としてデジタル圧力計を利用した複数の仲介標準器の開発を行っており、その際に、仲介標準器に搭載する圧力計の特性評価項目、また校正結果の利用方法などの経験を得ている。今回はその経験を活かしてセンサの選定・評価を行った。また対象とする圧力範囲では、特性のよいセンサが手に入りやすいこともメリットである。

その結果として、気体差圧では、国際比較等で優れた実績を持ち、感圧部にシリコンレゾナントセンサを利用する圧力計を採用した。また液体圧力の開発においては、水晶振動素子有感圧部に持つ水晶振動式圧力計を採用した。

これは、中間評価の指摘事項「(仲介器に搭載する)希望の特性のデバイスは、多数の出来たものの中から選択する必要がある。この点がこの仲介器の特徴であり、問題点でもある。」への対応になる。

平成 18 年度の初めに、選択した各圧力範囲において、それぞれ仲介器に搭載する圧力計をより信頼性ある機器として使用するためのデジタル圧力計の特性評価技術・校正手法の高度化を行った。

はじめに実用標準器を使用したデジタル圧力計の校正手法について検討し、その結果定められた校正手法を用いて、仲介器に用いる複数の圧力計の校正を定期的に繰り返し、安定性を評価した。すなわち、本校正の実用標準器には、その特性が既知の重錘形圧力天びん、またはデジタル圧力計を使用しているので、事前の特性評価で得られた補正を施し、計算から標準の発生圧力 P_S を求めることができる。各校正圧力点において、 P_S と仲介器の各圧力計 TS から得られる表示値 I_{TS} との関係を求めることにより、仲介器の特性を評価可能である。仲介器に使用した各デジタル圧力計の短期安定性は目標とする不確かさの 20 % 以下であり、本開発の達成に十分であることがわかった。

図 2.7-2 に気体差圧の圧力計特性評価の一例を示す。3 回の結果が示されているが、それぞれ 3 サイクル以上の校正から求められている。各圧力点における結果の差は最大でも 20 mPa 以内であり、良好な再現性が示されている。気体差圧では、加圧方法にも工夫をし、ゼロ点ドリフトなどの特性の影響を減らすようにしている。

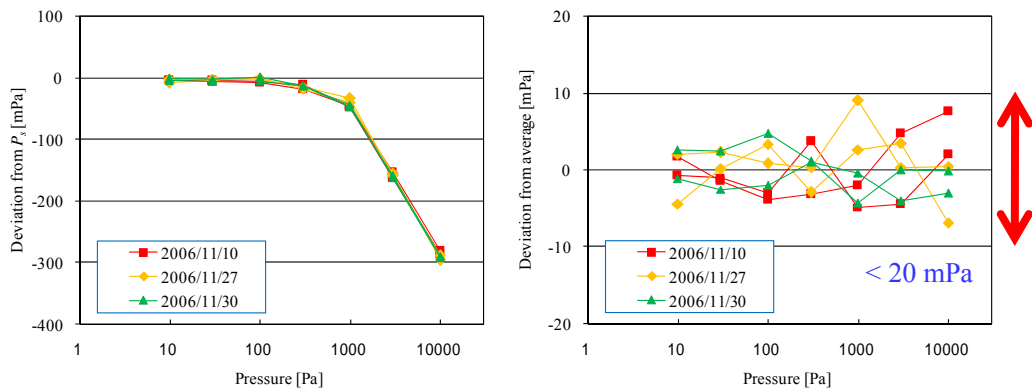


図 2.7-2 仲介器に用いた気体差圧計の特性曲線の例（左:標準からの偏差、右:平均値からの偏差）

同様に、図 2.7-3 に液体圧力の圧力計特性評価の一例を示す。圧力範囲は、1 回目の校正は 100 MPa まで、2、3 回目の校正は 50 MPa までとした。1 回目の測定結果には昇圧時と降圧時に得られた結果にヒステリシスが示されている。但し、各圧力点における相対的な差は最大でも 20×10^{-6} 以内であり、本開発の目的に十分な再現性が示されている。

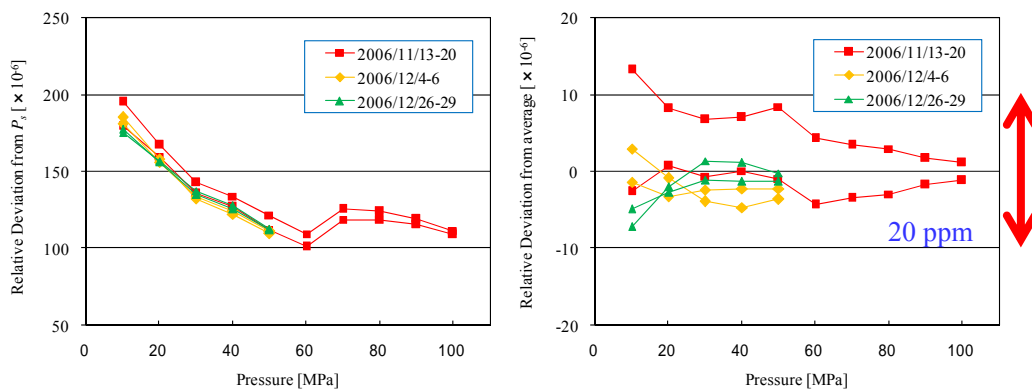


図 2.7-3 仲介器に用いた液体圧力計の特性曲線の例（左:標準からの偏差、右:平均値からの偏差）

(c) 遠隔校正用仲介器の開発

仲介器は文字通り、校正機関の維持する参照値を校正器物に値付けする際の仲介となる装置である。したがって、標準器に近い高い信頼性をもつシステムであることが求められる。すなわち、

- ・安定性：移送後も常に正しい出力を得られること。
- ・可搬性、堅牢性：一般の宅配業者による移送を可能とするよう堅牢であること。小型・軽量であること。梱包が容易になるように本体部品類はなるべく一体化していること。
- ・操作性：支援要員が圧力校正に関する専門知識を有しない場合でも、効率的に間違いなく作業が進められるように、操作が容易であること。不必要な機能にはアクセスできない

ようにし、誤操作を防ぐこと。

・安全性：校正準備中及び校正中に、過大圧等の発生を防ぎ、過大圧発生時も校正器物や仲介器を守る。また、支援要員による圧力配管の接続作業で圧力漏れが発生しにくいような構造にすること。

などの性能が同時に求められる。

そして上記の要件を考慮し、仲介器に搭載すべき機能を以下のようにまとめた。

- ・自動計測制御機能：常に一定の手順で校正圧力を発生・調整する。測定データを取得し、記録する。
- ・環境条件測定機能：校正中の環境条件を記録する。移送中の環境条件や振動を記録する。
- ・通信機能：測定データを校正機関に送信する。
- ・自己診断機能：移送後に、搭載した圧力計や内部配管の状態をチェックする。
- ・作業支援機能：(パソコンの画面上に)作業手順を表示し、支援要員が次に行うべき作業を指示する。

このような必要な機能を搭載した仲介器本体の概要が図 2.7-4 である。

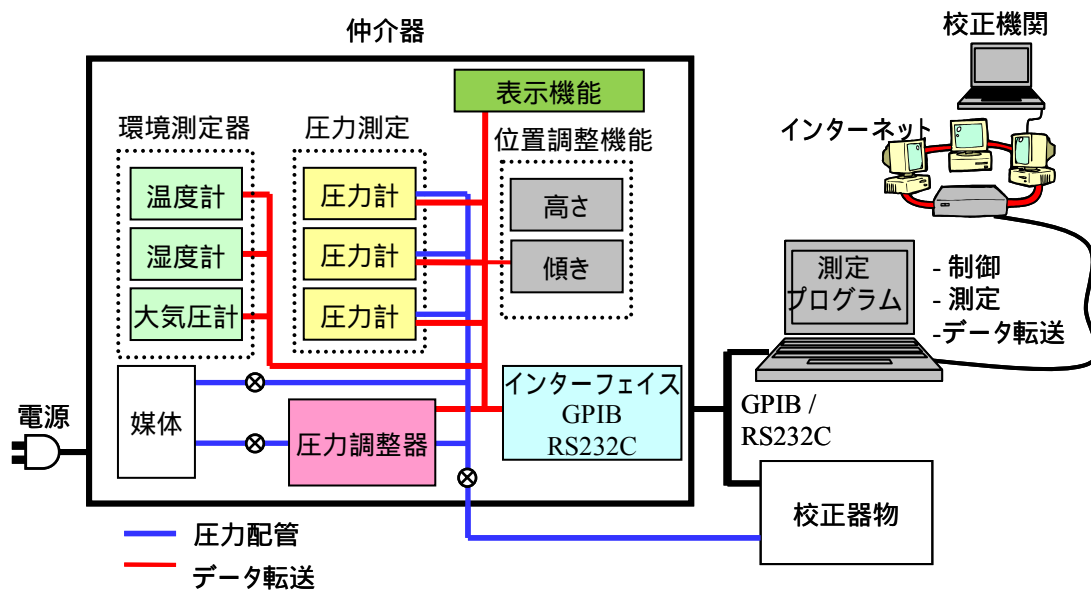


図 2.7-4 遠隔校正用仲介器の概念図

仲介器の開発はまず、仲介器に必要な機能を実現するための性能を持つ装置を組み合わせた「プロトタイプ」の製作からはじめた。このプロトタイプから発展させて、平成 18 年度には、必要な機能を一体の筐体に収めた「統合型仲介器」を製作、翌平成 19 年度には、統合型を高機能化させた「高機能型仲介器」を製作した。最終年度の平成 20 年度には、より低コストで操作性を向上させた「普及型仲介器」を開発した。以下、これらの 4 機種について順を追って説明する。

1) プロトタイプの製作

前節(b)で述べた特性評価済みの高精度デジタル圧力計（気体差圧においては、感圧部にシリコンレゾナントセンサを搭載する圧力計、液体圧力においては、水晶振動式圧力計）を複数個、校正圧力を印加するための圧力調整器、校正実施環境条件を記録するための環境モニタ（温度計、湿度計、大気圧計）、圧力計の傾きをモニタするための傾斜計などを組み合わせたプロトタイプを製作した。図 2.7-5 および図 2.7-6 に、それぞれ気体差圧用、液体圧力用の装置写真を示す。全ての装置の制御とデータ取得はノートパソコンで行う。インターフェイスはGP-IB および RS-232C である。

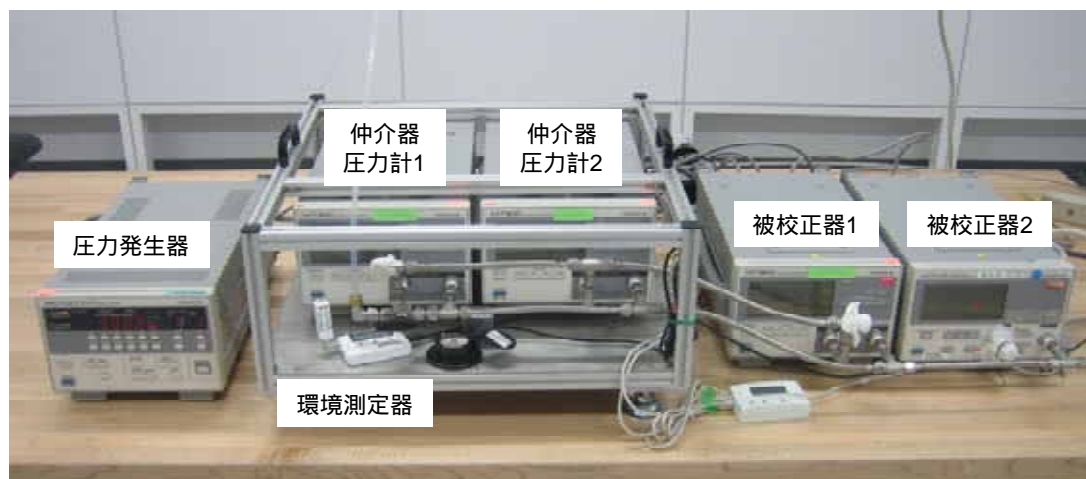


図 2.7-5 気体差圧用仲介器のプロトタイプ



図 2.7-6 液体圧力用仲介器のプロトタイプ

2) 平成 18 年度遠隔校正用仲介器（統合型）の開発

プロトタイプを基に、プロトタイプに使用した高精度圧力計・発生器などを一体に組み込んだ仲介器を、気体差圧と液体圧力の各圧力範囲において開発した。仲介器の信頼性を

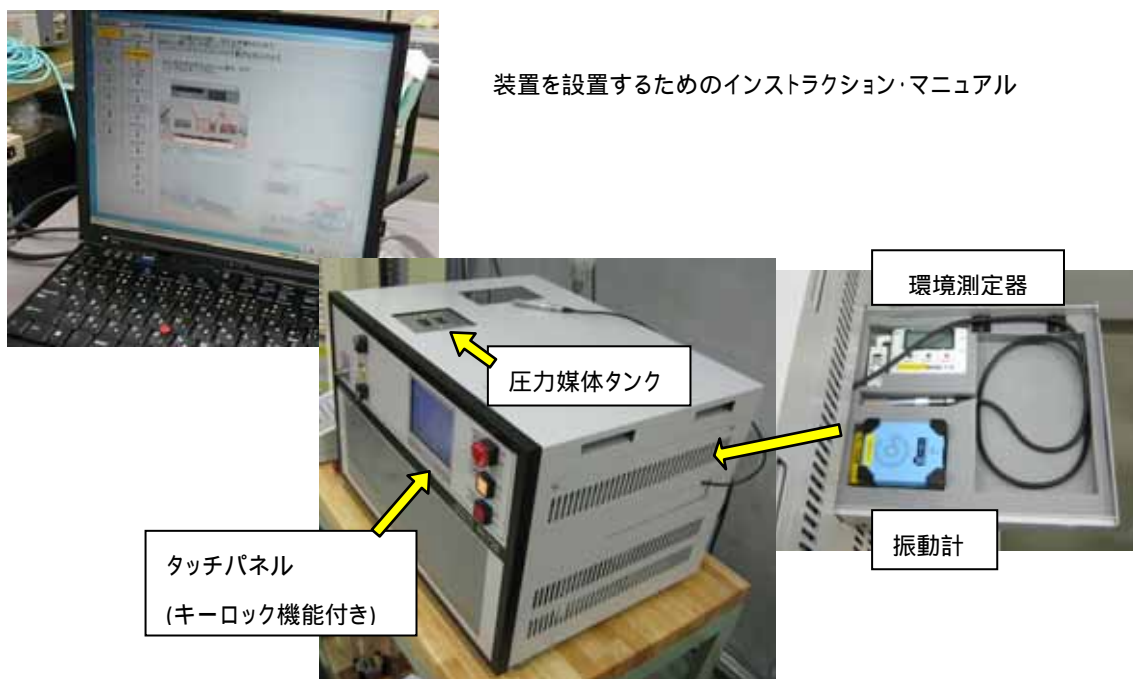
確保するため、各仲介器には複数の高精度圧力計を搭載した（気体差圧には 3 台、液体圧力には 2 台）。図 2.7-7 に両方の仲介器の写真を示す。この仲介器には、図 2.7-5 および図 2.7-6 に見える「仲介器圧力計 1、2」、圧力発生器、環境測定器など全てが一体となって収められている。気体差圧の仲介器は横河電機株式会社、液体圧力の仲介器は長野計器株式会社で製作されたものである。



図 2.7-7 開発した H18 統合型仲介器。(左) 気体差圧用、(右) 液体圧力用

3) 平成 19 年度遠隔校正用仲介器（高機能型）の開発

平成 19 年度には、前年度に製作した統合型仲介器を改良した仲介器を開発した。この仲介器の主要な特徴は、これまで移送箱に直接入れていた移送時の環境モニタなどを本体に組み込むなどして、前年度の仲介器よりも多機能化を図った点にある。さらに気体差圧では、ノートパソコンの画面上で支援要員へ作業指示を行うソフトウェアの開発、操作ミスを防ぐために不要なボタン類を削除するなどの本体パネルの改良を行った。また液体圧力では、本体にキーロック機能や自己診断機能、リークチェック機能を持たせたことなどによって、操作性および信頼性を向上させた。これらの仲介器の特性試験と校正を産総研において行い、性能を確認した。



装置を設置するためのインストラクション・マニュアル

図 2.7-8 H19 高機能型伸介器。

(左上) 気体差圧用の制御ソフトウェアによって表示されたマニュアル画面。

(右 2 枚) 液体圧力用伸介器の改良部分

4) 平成 20 年度遠隔校正用伸介器 (普及型) の開発

H18 伸介器、H19 伸介器による実験などをふまえて、平成 20 年度には新たな伸介器を製作した。開発コンセプトは、より利便性の高い普及型の伸介器である。前年度までの伸介器は複数の圧力計を内蔵し信頼性を高めていたが、そのトレードオフとして本体重量が増し高価になるため、普及への 1 つの障害となることが想定できた。これまでの実験から、現状の設計・移送方法であれば、センサの安定性は短期的には十分に保たれることが確認できていたため、この伸介器では内蔵センサは 1 個に減らすことにした。その他の冗長性をもたせていた部分についてもできるだけスリム化し、本体の小型化、軽量化、低コスト化をはかった。またユーザインターフェイスやソフトウェアの改良も同時に行った。

また、これまでに概要を述べてきた 3 種類の伸介器の特長をそれぞれ気体差圧、液体圧力ごとに以下のスペック表にまとめる。

表 2.7-1 気体差圧用伸介器のスペック

	H18 (S38)	H19 (S41)	H20 (S43)
外形寸法(WxDxH)	430x450x340	430x450x340	430x400x340
重量	約 38 kg	約 39 kg	約 33 kg
搭載圧力計	横河電機 RSG 3 個	横河電機 RSG 3 個	横河電機 RSG 1 個

校正環境モニタ (温湿度、大気圧)	VAISALA HMT100 横河電機 FP101A	VAISALA HMT100 横河電機 FP101A	VAISALA HMT100 横河電機 FP101A
ライン圧力モニタ	横河電機 FP101A	横河電機 FP101A	なし
水準器	丸型気泡式水準器 デジタル傾斜角センサ	丸型気泡式水準器 デジタル傾斜角センサ	丸型気泡式水準器 デジタル傾斜角センサ
移送環境モニタ	(外部取付)	おんどとり TR-73U 振動計 G-MEN	おんどとり TR-73U 振動計 G-MEN
追加された機能		専用計測ソフトウェア	測定中の画面消去

表 2.7-2 液体圧力用伸介器のスペック

	H18 (PC72E 0371)	H19 (PC72E 0421)	H20 (PC72E 0476)
外形寸法(WxDxH)	540×506×460	590×450×380	500×400×360
重量	約 50 kg	約 50 kg	約 36 kg
搭載圧力計	Paroscientific, Inc. 9000-15K 2 台	Paroscientific, Inc. 9000-15K 2 台	Paroscientific, Inc. 9000-15K 1 台
校正環境モニタ	おんどとり TR-73U	VAISALA HMT100 横河電機 FP101A	おんどとり TR-73U
水準器	気泡式水準器(2方向) デジタル傾斜角センサ	丸型気泡式水準器 デジタル傾斜角センサ	丸型気泡式水準器
移送環境モニタ	(外部取付)	おんどとり TR-73U 振動計 G-MEN	おんどとり TR-73U 振動計 G-MEN
追加された機能		キーロック機能 自己診断機能 リークチェック機能	分離可能な媒体タンク 自己診断機能の改良

(d) 遠隔校正用測定手順（プロトコル）の開発

「現場担当者の技能教育が必要ではないか」の中間評価指摘事項への対応として：

現場作業は技能教育を受けて、資格認定された「支援要員」のみが現場担当者として作業することとした。これを確実にするための手順なども同時に定めている。また、支援要員の作業が校正結果に大きな影響を及ぼさないように手順や装置を工夫した。具体的には、簡単に接続できるような配管形状にする、校正器物を常に同じ高さに設置できるような設置台を用意する、設置後の状況を写真によって校正機関が確認するなどである。

以下に、支援要員の教育訓練を含めた測定手順の開発について述べる。

持込校正である現在の依頼試験や jcsc 校正と同等の信頼性を確保するために、研究室

で使用している校正手順書に照らし合わせて、遠隔校正の依頼を受けてから校正終了までの手順（プロトコル）を作成した。

プロトコルの作成にあたっては、校正機関・支援要員・依頼者の各役割について、それぞれ権限と責任の範囲を明確にした。作成したプロトコルは、最終的には「アクティビティ図」と呼ぶ全体の流れを示したフローチャートに似た図で管理することとした。この図には校正機関・支援要員・依頼者の作業の相関と時間的な流れや残すべき文書記録などが明示的に示されている。一例を図 2.7-9 に示す。この図には想定されるエラーに関するフローも記述している。

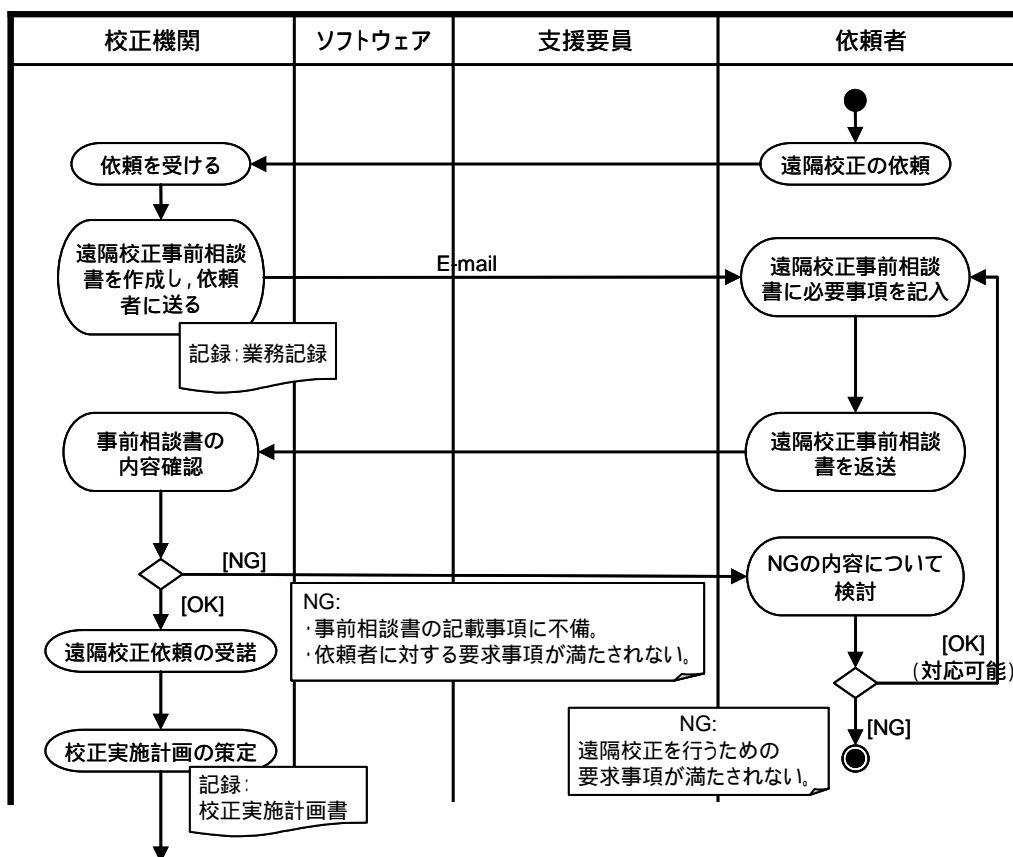


図 2.7-9 アクティビティ図の例 (校正依頼～受諾)

プロトコルを作成する上で特に注意したのは、遠隔校正では校正実施場所が依頼者のサイトであり、かつ校正機関の要員が校正システムを直接操作することができない点である。そのため、これまでの持込校正と同等の信頼性を確保するためには、特に遠隔地で校正を行うという観点から、仲介器システムなどのハード面および測定手順などのソフト面に十分な安全対策を講じる必要があった。また、校正事業として認定を受ける場合には、校正手順は ISO/IEC 17025 などの規格や指針に適合するように構築されていなくてはならない。遠隔校正に関する要求事項は、たとえば「TCRP21 ASNITE 試験事業者又は校正事業者認定の一般要求事項 (第 2 版)」の付属書 4 に記述されており、当面はこの要求事項

に適合することを目安にプロトコルを作成した。

プロトコルの中には、仲介器の移送に関する手順、支援要員の作業手順、支援要員の教育訓練や技能評価のプログラムなどが含まれる。特に、支援要員の現場での作業は校正の成否に関わるため、現場での作業をなるべく簡単にし、作業手順や連絡手順などを記述した詳細なマニュアルを作成した。このマニュアルは実証実験に使用し、再委託先事業者の意見なども参考にしながら改良を加えた。

操作性のよい仲介器および操作手順を開発したことは、支援要員の教育訓練項目を減らし、教育訓練の確実な実施につながった。また教育訓練のプログラムを整備することで、どの要員に対しても同レベルの教育訓練が行えるようになった。具体的には、教育訓練は概要説明と実際に装置を用いた実習から成り、ほぼ半日程度で終了する。技能レベルの異なる複数の要員が作成した教育訓練プログラムで教育訓練を受け、それぞれ実証実験で作業を行ったが、次節(e)で述べるように、いずれも同等の校正結果が得られていることから、教育訓練プログラムの効果がでていることを確認した。

(e) 実証実験

1) 平成 18 年度実証実験 -- プロトタイプによる機能確認

圧力遠隔校正に適した測定手順の検討と遠隔校正時における仲介器の安定性評価を目的として、プロトタイプを用いて遠隔校正実験を実施した。このときの遠隔校正実験では、仲介器のプロトタイプを遠隔地に運搬し、制御用パソコンを遠隔操作することにより、遠隔校正を実施した。遠隔地での作業スペースの確保、遠隔地で必要となる電源、ネットワークポート、作動媒体等は、本実験を共同実施したそれぞれの校正事業者（再委託先事業者）により準備された。

一回の遠隔校正実験で、特性評価で使用したのと同じ校正方法を最低 3 サイクル行った。仲介器に複数の圧力計を用いたので、標準の値 P_s を求める際は、信頼性向上のために各圧力計から得られる値の平均値を用いた。校正器物表示値と標準との差 ($I_{DUT} - P_s$) から、公称表示値における校正值を求めた。

[気体差圧] 再委託先事業者である横河電機株式会社と、10 Pa ~ 10 kPa の圧力範囲の遠隔校正実験を実施した。仲介器プロトタイプを山梨県甲府市にある横河電機株式会社甲府事業所に運搬し、産総研からの遠隔操作により校正を実施した。

第 1 回目：2006 年 12 月 6 ~ 7 日

第 2 回目：2006 年 12 月 25 ~ 26 日

[液体圧力] 再委託先事業者である長野計器株式会社と 10 MPa ~ 50 MPa の圧力範囲の遠隔校正実験を実施した。仲介器プロトタイプを長野県上田市にある長野計器株式会社上田計測機器工場に運搬し、産総研からの遠隔操作により校正を実施した。

第 1 回目：2006 年 11 月 30 日～12 月 1 日

第 2 回目：2006 年 12 月 18～19 日

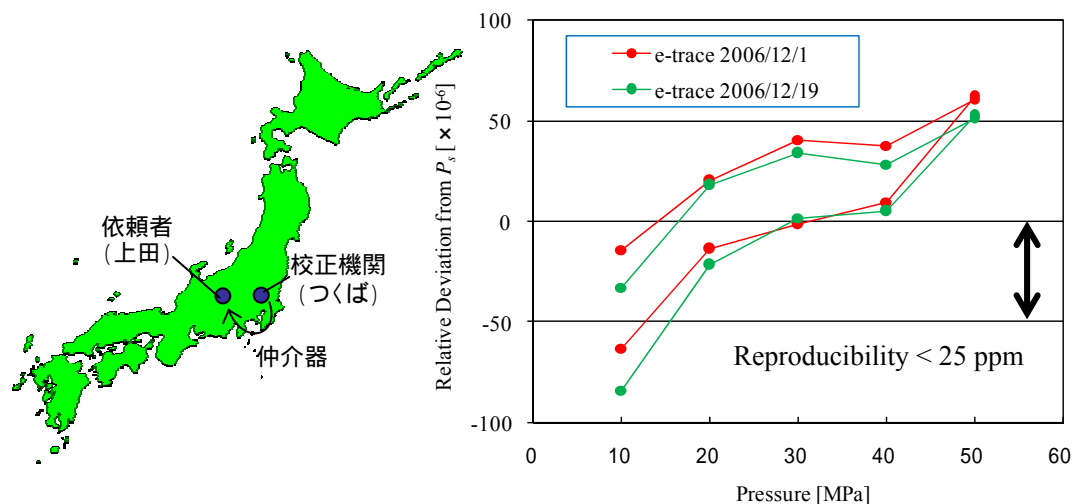


図 2.7-10 液体圧力遠隔校正実験における校正結果

図 2.7-10 に液体圧力の遠隔校正実験における校正器物の校正結果の一例を示す。この校正器物に対して、昇圧・降圧毎の各圧力点における 2 回の結果の相対差は、最大でも 25×10^{-6} 以内であった。また、本校正器物は再委託先事業者により、遠隔校正実施の前後に重錘形圧力天びんを用いたシステムにより校正され、その特性及び不確かさが評価された。遠隔校正実験の結果と事業者が実施した校正結果との差は、事業者が主張する不確かさに比較して十分小さかった。

どちらの圧力範囲の実証実験においても、プロトタイプに備えた装置の機能は十分で、これらを仲介器として一体に組み上げればよいことがわかった。加えて、信頼性を確保するための確認手順などを含むプロトコルを確立すればよいことが明確になった。

2) 平成 19 年度実証実験 -- 国内外の移送実験、プロトコルの確認

プロトタイプを基に平成 18 年度に製作した統合型仲介器の性能評価を行い、プロトコルを作成した。この統合型仲介器とプロトコルを用いて、各圧力範囲で再委託先事業者との実証実験を行った。気体差圧は、産総研と横河電機（山梨県甲府市）との間で、また液体圧力は、産総研と長野計器（長野県上田市）との間で、それぞれ 2 回ずつ実証実験を行った。本年度の実験の目標としては、開発した校正実施手順（プロトコル）の有効性の確認、仲介器が様々な移送環境に耐えられる堅牢性を持っていることの検証とした。気体差圧の実験結果の例を図 2.7.12 に示す。液体圧力においても同様によい結果が得られている。

[プロトコルの有効性確認] 各実証実験において、校正機関と支援要員および依頼者の作

業や連絡などをプロトコルにしたがって行い、有効に機能することを確認した。

支援要員については、両圧力範囲とも、1 回目は産総研の担当者が作業を行ったが、2 回目は各再委託先事業者の校正担当者が教育訓練を受け、実際の現場作業を行った。平成 18 年度同様に、どの実験においても目標とする不確かさに対して十分小さな再現性で校正値を得ることができた。このことから、校正結果が支援要員の違いによって左右されないようなプロトコルが確立できていること、また支援要員教育プログラムに問題がないことが確認できた。

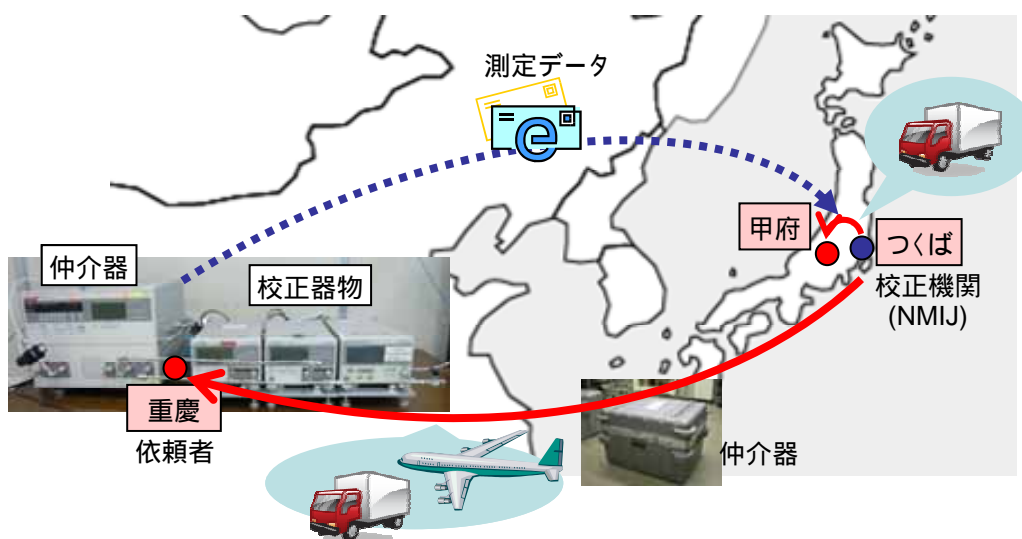


図 2.7-11 実証実験の概念図（気体差圧）

[国外への実証実験] 2007 年 9 月に、重慶（中国）の重慶横河川儀有限公司（横河電機の中国合弁会社）との間でも実証実験を行った。仲介器の移送箱に取り付けた振動計の記録などから、移送中に大きな衝撃を受けたことがわかったが、実験で得られた校正値は、これまでの国内で行った校正値から変化していなかった。このことから仲介器が十分な堅牢性を持つことが確認でき、国外の依頼者に対しても国内と同等に遠隔校正を行えることを実証した。

国内と異なるインフラ環境下での実証実験を行うことで、通信や装置の設置準備に関して事前確認に必要な項目の追加や、通信ソフトウェアの改良につながった。

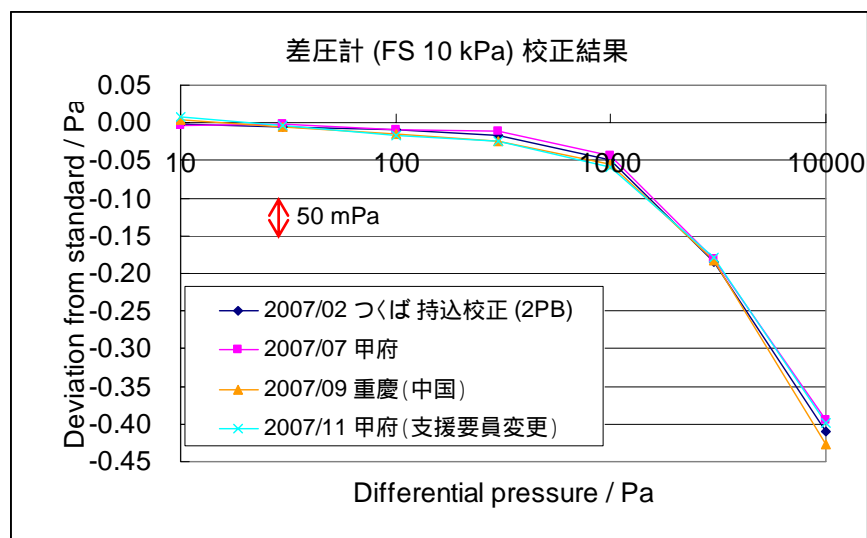


図 2.7-12 気体差圧の差圧計校正結果の例。持込校正と各遠隔校正による値、国内外における遠隔校正、異なる支援要員による作業など、異なる条件下での校正値も一致している。

3) 平成 20 年度実証実験 -- 実用化に向けて

前年度までは産総研から校正事業者（再委託先事業者）への遠隔校正を行ってきたが、最終年度は再委託先事業者である校正事業者が主体となり、校正事業者からユーザへの遠隔校正実験を行った。具体的には、気体差圧は横河電機株式会社が校正機関となり、校正依頼者の横河レンタ・リース株式会社へ、また液体圧力は長野計器株式会社が校正機関となり、校正依頼者の株式会社ナガノ計装へ遠隔校正実験を 2 回ずつ行った。

[気体差圧] 2 回目の実験で、横河電機の教育担当者が横河レンタ・リースの支援要員に対して教育訓練を行った。校正現場となる横河レンタ・リースにおいては、社内 LAN 回線を利用せず、データ送信には携帯電話を利用した。ソフトウェアの通信部分の改修やプロトコルの細かい変更などを必要としたが、実験では問題なくデータ送信ができた。社内 LAN を利用しない場合の対処方法について考察することができた。

[液体圧力] 1 回目の実験の前に、長野計器の教育担当者がナガノ計装の支援要員に対して教育訓練を行い、2 回とも同じ支援要員で実験を繰り返すことで、手順に関する問題点の抽出を行った。ここでは初めて校正を行う型式の器物への対処法、依頼者サイトにおいて問題が生じた際の校正機関・支援要員・依頼者の権限と行動について、より詳細な規程が必要であることが明確になった。

(f) 国外への普及活動

- ・2007 年 6 月 4 日～8 日 ドイツで行われた PTB-BIPM ワークショップに参加し、圧力遠隔校正について講演を行った。
- ・2007 年 11 月 29 日 メキシコで行われた IMEKO TC16 にて、圧力遠隔校正の開発に

ついて成果報告を行った。

- ・2008年8月6日 タイのラマ・ガーデン・ホテルで開催された e-trace セミナーで装置のデモンストレーションと圧力遠隔校正についての講演を行った。
- ・2008年8月7日～8日 NIMT（タイ国国家計量研究所）での e-trace ワークショップにおいて、装置のデモンストレーションと技術の紹介を行った。



図 2.7-13 タイ(NIMT)における e-trace ワークショップでの技術紹介の様子

(6) 実用化の見通し

[産総研における依頼試験開始]

2008年2月に、産総研からの遠隔校正による高精度圧力計の依頼試験を開始した。

- ・高精度圧力計（気体差圧：遠隔校正）10 Pa 以上 10 kPa 以下
- ・高精度圧力計（液体圧力：遠隔校正）10 MPa 以上 100 MPa 以下

本研究開発においては、再委託先事業者からの協力を得て、各圧力範囲において圧力遠隔校正用仲介器を開発した。これらの仲介器を実際に用いることで、校正事業者からユーザへの遠隔校正実験にも成功しており、実験に参加した事業者からはコスト面での問題が解決すれば実用化も期待できるとの意見を得ている。

今後の事業の可能性としては、以下のような利用法が特に有効と考えられる。

- ・校正事業者がすでに行っている現場校正の代わりに使用
- ・校正機関の要員が立ち入りできない特殊な環境下での校正に使用
- ・各地の工場などに分散した計測機器の品質管理に使用

(7) 目標の達成状況（基本計画の最終目標に対する達成状況を記載）

気体差圧および液体圧力の2つの圧力範囲において安定で可搬型の装置を開発し、校正手法を確立、依頼試験を立ち上げた。これによって、最終目標は達成したと考えている。

仲介器には高精度圧力計・発生器を一体に組み込み、発生圧力を自動制御できるものと

した。従来の持込校正と同等の信頼性が確保できるような校正実施手順を作成した。圧力校正事業者である再委託先事業者（横河電機株式会社、長野計器株式会社）と協力して遠隔校正実験を実施し、開発した仲介器の性能や校正実施手順の信頼性を確認した。移送を含む仲介器の繰り返し性は、全ての実証実験を通して 0.005 % 以下であり、目標不確かさを達成できることが確認できている。また開発したプロトコルを用いることで一般の校正事業者からユーザに対しても遠隔校正を実施できる見通しが得られた。

当初の目標に加え、中国企業への校正実証実験の成功や、タイで開催された e-trace セミナーでの装置デモンストレーションと技術の紹介などによって、他国の多くの計測標準関係者にも当該技術の有用性が認知されてきている。今後、遠隔校正により我が国の圧力標準トレーサビリティの拡充されていくことが期待される。

外部発表状況

18FY

特許 0 件

論文、解説 2 件

（査読なし）

- 1) M. Kojima, K. Saitou, T. Kobata: “ Characterization of Transfer Standard for Small Differential Pressure, Proceedings of 6th International Conference on Advances in Metrology (AdMet-2006) ”, National Physical Laboratory (NPLI) and Metrology Society of India (MSI), 9 (2006).
- 2) T. Kobata, M. Kojima: “ Pressure Standards and Calibration Services using Pressure Balances at NMIJ/AIST, Proceedings of 6th International Conference on Advances in Metrology (AdMet-2006) ”, National Physical Laboratory (NPLI) and Metrology Society of India (MSI), 45 (2006).

口頭発表 6 件

- 1) 小島、小島、梶川、“圧力標準の遠隔校正技術の開発”、第 23 回センシングフォーラム計測部門大会、計測自動制御学会、つくば、2006/10/2
- 2) 小島、小島、斉藤、“デジタル差圧計の特性評価手法の検討”、第 23 回センシングフォーラム計測部門大会、計測自動制御学会、つくば、2006/10/2.
- 3) M. Kojima, K. Saitou, T. Kobata, “Characterization of Transfer Standard for Small Differential Pressure”, 3rd APMP Pressure and Vacuum Workshop, National Physical Laboratory (NPLI) and Metrology Society of India (MSI), New Delhi, India, 2006/12/11.
- 4) T. Kobata, M. Kojima, “Pressure Standards and Calibration Services using Pressure Balances at NMIJ/AIST”, 6th International Conference on Advances in Metrology

(AdMet-2006), National Physical Laboratory (NPLI) and Metrology Society of India (MSI), New Delhi, India, 2006/12/11.

- 5) 小畠、小島、梶川、他、“圧力標準における研究開発の現状”、計量標準総合センター第10回成果発表会、計量標準総合センター、つくば 2007/1/19.
- 6) 小島、斉藤、小畠、“差圧標準供給のためのデジタル圧力計の特性評価”、計量標準総合センター第10回成果発表会、計量標準総合センター、つくば 2007/1/19.

その他の公表 0 件

19FY

特許 0 件

論文、解説 0 件

口頭発表 7 件

- 1) T. Kobata, M. Kojima, H. Kajikawa, “ Development of remote calibration technology for pressure standards ”, PTB-BIPM Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology , PTB and BIPM, Berlin, Germany, 2007/6/7.
- 2) T. Kobata, “ Present State and Prospect of Pressure Standard at NMIJ/AIST ” , 6th ASEAN Seminar and Workshop on Measurement Standards in Bangkok, JICA/NIMT Project and NMIJ, Bangkok, Thailand, 2007/8/22.
- 3) 小畠、小島、梶川、“圧力標準の遠隔校正技術の開発(第2報)”、第24回センシングフォーラム計測部門大会、計測自動制御学会、仙台、2007/10/25.
- 4) M. Kojima, K. Saitou, T. Kobata, “ Study on calibration procedure for differential pressure transducers ”, IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 & 1st TC22 International Conference, International Measurement Confederation, Merida, Mexico, 2007/11/29.
- 5) T. Kobata, M. Kojima, H. Kajikawa, “ Towards establishment of remote calibration for pressure standards ”, IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 & 1st TC22 International Conference, International Measurement Confederation, Merida, Mexico, 2007/11/29.
- 6) 小畠、小島、梶川、他、“圧力標準の開発・維持・供給”、計量標準総合センター第13回成果発表会、計量標準総合センター、つくば、2008/1/17.
- 7) 小島、斉藤、小畠、“校正条件によるデジタル差圧計出力への影響評価”、計量標準総合センター第13回成果発表会、計量標準総合センター、つくば、2008/1/17.

その他の公表 1 件（プレス発表等）

- 1) プレス発表 “ 圧力（気体差圧）の遠隔校正に日本で初めて成功 ”（横河電機株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所の共同発表）、2007/11/1

20FY

特許 0 件

論文、解説 1 件

（査読なし）

- 1) 小島、梶川、小畠、デジタル圧力計のための遠隔校正技術の開発、計測標準と計量管理 Vol.58、No.4、2009.

口頭発表 5 件

- 1) 小島、梶川、小畠、“ 圧力標準における遠隔校正技術の開発 ”、第 23 回国際計量計測展 / INTERMEASURE 2008、東京国際展示場、2008/4/25
- 2) M. Kojima, H. Kajikawa, T. Kobata, “ Remote calibration system for pressure standards ”, e-trace seminar and workshop, Bangkok, Thailand, 2008/8/6
- 3) 梶川、小島、小畠、“ 圧力標準の遠隔校正用仲介器の開発 ”、第 25 回センシングフォーラム計測部門大会、計測自動制御学会、佐賀市、2008/9/26
- 4) 小島、梶川、小畠、“ 圧力遠隔校正に適した測定手順の開発 ”、第 25 回センシングフォーラム計測部門大会、計測自動制御学会、佐賀市、2008/9/26
- 5) 小島、梶川、小畠、“ デジタル圧力計のための遠隔校正技術の開発 ”、計測標準フォーラム第 6 回合同講演会、大田区、2008/11/21

その他の公表 0 件

IV . 実用化、事業化の見通しについて

- 1 . 成果の実用化の可能性

これまで述べたとおり、NEDO プロジェクトとしての「計量器校正情報システム研究開発」は、目標を達成しており、成功裡に終わることが出来た。GPS 利用などの直接比較型では、国家標準レベルの超高精度標準が、世界中、どこでも入手可能となっている。これらは、-1.4 の成果普及で述べたとおり、多くの実証実験で証明されており、例えば、時間周波数は、タイのバンコックにあるタイ国国家計量研究所 (NIMT) との国際比較が行われた。長さ標準でも、光波距離計の遠隔校正システムを用いて、韓国で開催された国際比較に参加し、良好な結果を得ている。さらに、電気のインピーダンスや、圧力、放射能、3次元などの仲介器を介する方式でも、多くの実証実験が行われてきた。なかでも、圧力における産総研と山梨の工場、産総研と中国の重慶工場の実証試験は、ビデオ映像化され、国際度量衡総会に集まった、世界各国の標準研究所長会議で紹介され、大いに注目を集めることが出来たなど、これらの実証実験は、広報普及活動にも寄与している。

実用化に関する具体的な可能性を知的基盤の活用、供給の観点から検証すると、時間周波数標準は既に産総研からの jcss 校正を開始し、さらに、民間の JCSS 事業者も認証されるに至っている。放射能も、仲介となる線源を介して jcss 校正が開始されており、同様の手法を用いた民間の JCSS 校正も検討が進められているところである。電気標準も、仲介器を用いる方式での JCSS 参加が検討されている。電気標準に関しては、さらに、第1期で進められたジョセフソンの一次電圧標準の小型化も着実に進展しており、実用的なプログラマブルジョセフソン素子と小型冷凍機との組合せにより、液体ヘリウムの入手困難な場所でも電圧の一次標準が入手可能になっている。小型化された装置は国内ベンチャー企業を通して、インドネシア標準研究機関に1台輸出されており、周波数標準と組み合わせ、我が国の一次標準がアジア諸国で活躍する日も遠くないと思われる。これらの他にも、既に個々のテーマ毎の説明において、実用化の可能性が展開されている。

その際重要なポイントは、国際的な合意を形成しつつ、システム整備を行う必要がある点である。即ち、CIPM MRA によって、各国の一次標準の同等性が承認され、ISO/IEC 17025 の導入で計測の品質システムに関する整合性が確立されたとは言え、現状のこれらの体系は、遠隔校正技術が出来る以前のレベルで構築されている。また、各国の規制、特に安全安心に関する規制は、それぞれの国の事情を反映しているため、必ずしも整合性がとれていない部分がある。このため、-1.3 で述べたとおり、ISO/IEC 17025 の見直しを ISO/CASCO に提案しており、ILAC での遠隔校正における認証条件の設定に関する議論にも参加し、積極的な発言を行っている。この様に、遠隔校正システムの国際規格化を進めると共に、このプロジェクトを通じて開発された頑強で輸送に適した仲介標準器などは、今後積極的に JIS 化し、引いては ISO あるいは IEC の規格に採用されるよう、今後とも継続して努力してゆく予定である。

- 2 . 波及効果

NEDO プロジェクトとして「計測器校正情報システム研究開発」は、「速く、安く、正確に」標準を供給することをキーワードとして研究開発が進められてきた。従って、最も期待される波及効果とは、この研究を通じて確立された技術が、実際に一般の計測機器の校正に利用されることであり、その結果、我が国の校正コストが他国よりも安く設定され、産業基盤の強化に貢献する事である。これは、近年トレーサビリティは「安全・安心」の観点から重視されていることにも密接に関連している。例えば、電子機器には電磁波が周辺電子機器の誤作動を誘発することを防ぐため、不要な電磁放射を制限する電磁両立性 (Electro-Magnetic Compatibility (EMC)) 試験が各国で義務づけられており、欧米では、試験を行う測定機器のトレーサビリティ証明を求めているようになっている。その他の電気製品も、電気製品安全のための絶縁試験などに用いる測定機器に、トレーサビリティが求められている。しかしながら、例えば、セラミックコンデンサの全品検査を行っているメーカなどでは、一工場あたりに 2000 台もの測定器が並んでおり、これら全てに、従来の校正手法でトレーサビリティを与えるのは不可能である。同様に、自動車工場などにおいても、証明を必要とする計測機器は、一工場で 6000 台に及ぶと言われている。

さらに、中国を始めとする途上国においても、自国製品の品質保証の重要さと、自国産業保護の観点から、ISO10012 の計測マネジメントシステムで要求される測定機器の管理を求めており、この点からも製造現場の計測機器に、如何にしてトレーサビリティを及ぼすかが、今後の重要なポイントとなっている。また、ガンの放射線治療は患者への負担をあまり掛けないことから、近年著しい伸びを見せているが、正常な細胞を出来る限り殺さず、ガン細胞のみにダメージを与えるには、高精度の線量モニタリングが必要で、且つ多くの症例比較を行うにも、トレーサビリティの重要性が認識されてきている。これらの場合に必要なことも、やはり実際の現場で使用される測定機器にまで、トレーサビリティを与えることである。

さらに、このような品質保証と計測のトレーサビリティの観点から、今後重要となるキーワードは「品質の見える化」である。最近のパソコンをはじめ、特に海外で製造された電化製品には、様々なロゴマークが入っているが、それらの多くは、品質を保証するための製品マークや規格認証マークである。即ち、EMC 試験合格、CE 規格適合などの規格適合に加え、インテル社の CPU 使用とか ISO9000 シリーズ認証取得工場で製造したなどの、ある種の宣伝を兼ねた、品質の表示が行われている。これらの傾向は、欧米や中国で顕著であり、今後我が国の製品も、"Made in Japan"が品質の証、とあぐらをかいていられる状況ではない。この「品質の見える化」を進めるポイントこそ、製品チェックの現場で用いられる計測機器のトレーサビリティである。本プロジェクトで開発された遠隔校正技術は、従来の第 3 者認証が可能な計測機器にはもちろんのこと、汎用のオシロスコープやネットワークアナライザなど、測定対象の幅が広く、様々な量目から複雑に組み立てられている標準に対しても、LCR 交流インピーダンス標準仲介器のような、頑健で、校正プロセスをパッケージした校正ソフトと組み合わせることにより、標準供給が可能と

なっている。

この様に、本プロジェクトにおいて、技術的な基礎は既に固められている。今後はユーザがこの技術を用いて、現場計測機器の「自己校正・データ管理」することが可能な、運用制度面の整備が期待される。即ち、多くの現場計測器を、従来の校正事業者による校正を行うのでは、校正費用が膨大になり、現状に対応させることは不可能である。従って、工場などの製造現場において、日々行われている日常点検業務を「校正」として、トレーサビリティを与えることが出来るシステム作りが求められる。計測のトレーサビリティの定義は、不確かさの評価を含めた、とぎれのない比較校正の連鎖により、SI 標準に繋がることである。従って、日常の計測機器の点検作業において、その計測機器が、必要とされる不確かさの範囲内で、正しく作動していることを確認・記録し、その確認作業に用いた上位計測機器は、自社の測定室において、さらに上位の計測器によって、必要な不確かさの範囲で作動していることを定期的に確認・記録してゆく。この様な、社内点検結果を、例えば Web 上で第 3 者機関に登録し、データ管理することにより、ISO10012 や各種規制に対応した「品質の見える化」を行う際の計測器のトレーサビリティ証明として使えるようシステム設計し、現場計測機器まで過大な負担を求めることなく、トレーサビリティを普及させて行くことが期待される。図 - 1 にその概念図を示した。

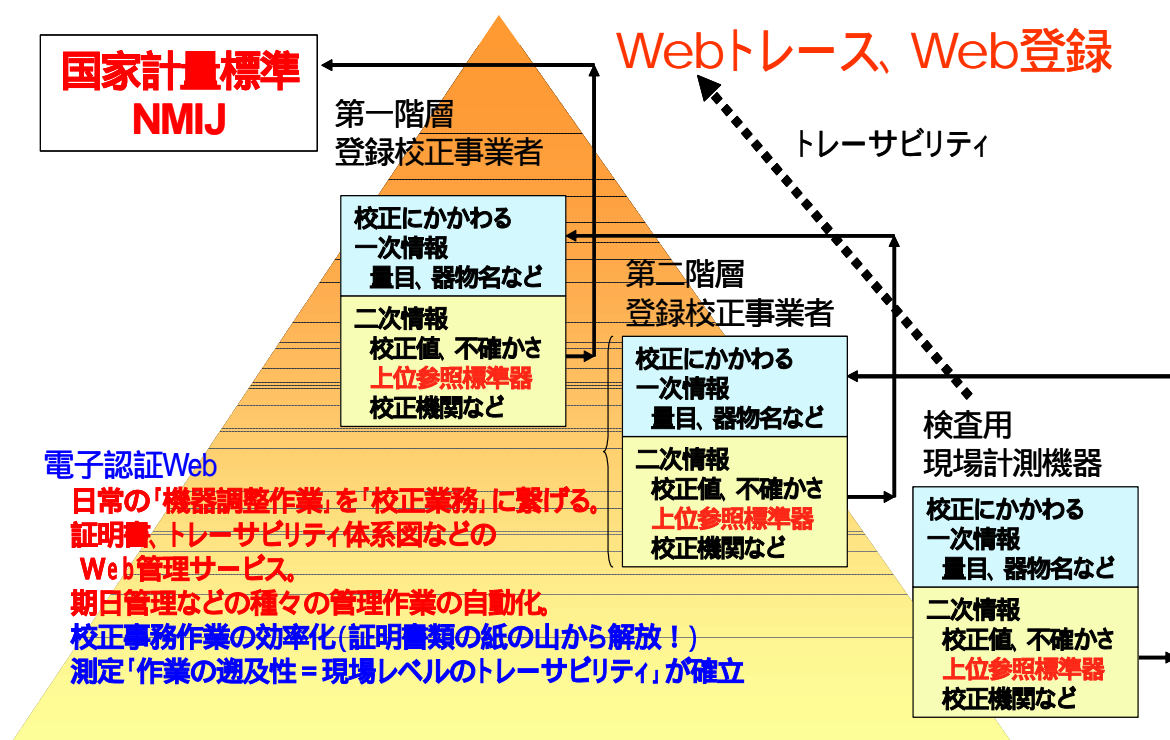


図 - 1 将来の Web 登録システムを取り入れたトレーサビリティ普及の概念。

加えて、近年のデータ通信技術の進展は、目を見張るものがある。例えば、この遠隔校正プロジェクトを開始した平成 13 年の時点では非常に高価なシステムであったテレビ会

議は、現在では市販の数千円の Web カメラとインターネットに接続可能なパソコンがあれば、簡単に世界中で繋げることが出来る。また、測定機器に通信機能を持たせたり、測定結果を記憶させたりする機能は、既に殆ど全ての上位機器に備わっており、汎用機器にまで及びつつある。さらに、IC タグの入出力システムや情報書き込み用のフラッシュメモリーも、小型化・大容量化・低価格化が一段と進んでおり、測定機器のスマート化は今後ともさらに進化して行くものと考えられる。その際の IC タグによる計測器管理技術などに、本プロジェクトの成果が生かされることが期待される。

また、現場測定機器の自己管理を進めることは、各企業内の校正室の拡充と校正に関わる人材育成にも有効で、しかも前述の「製品の品質の見える化」にも貢献するものである。本来、遠隔校正方式は、大量の測定器の管理や校正結果の Web 登録・情報管理に適している。本プロジェクトの波及効果として、製造や試験・検査の現場で用いられる数多くの測定機器に遠隔校正方式でトレーサビリティを及ぼし、我が国の基礎である製造産業の品質向上や安全安心の様々な規制対応、即ち「品質の見える化」に貢献し、その結果として、JCSS 制度を含む校正事業全体が、産業基盤として我が国の発展に、さらに寄与して行くことが期待される。