

# ジョセフソン電圧標準装置のための位相同期回路

計測標準研究部門 吉田 春雄

## ジョセフソン電圧標準に求められていたもの

よく知られているように、現代の直流電圧標準はジョセフソン効果によって実現されている。すなわち、超伝導状態にあるジョセフソン接合にミリ波(またはマイクロ波)を照射すると、 $V_n = n f / K_J \cdot 90$ で表される  $n$  次の量子化電圧  $V_n$  が発生する。照射する周波数の正確さがそのまま直流電圧の正確さに対応している。1989年までは、世界的にみてジョセフソン電圧標準装置のミリ波周波数安定度は概ね8桁であることから、ミリ波周波数安定度のもう2桁の向上が切望されていた。

## 周波数安定化の実現

### —吉田回路の成功—

ミリ波周波数の安定化には、図に示すジョセフソン電圧標準装置の概念中赤枠の部分のPLL(位相同期回路)の構成が重要な意味を持つ。これまでの装置は、PLLを構成するつもりでも閉ループ構成要素であるガン発振器の駆動回路(millitech社製)に周波数応答性の悪いパワートランジ

スタを使っているため、“周波数安定化回路”しか形成していなかったのである。

このPLLを構成するためには、駆動回路も含めてより高い周波数のトランジスタを採用し、十分な周波数応答特性を確保して、かつ閉回路の発振防止のために総合利得が0dBになる周波数では-180度に対して45度程度の位相余裕を確保しなければならない。これは、自動制御理論の基本であって、“吉田回路”といわれるものはジョセフソン電圧標準装置用にそれを実現したものにすぎない。具体的には、その吉田回路により94GHzのガン発振器を10MHzの原子周波数基準源をもとに11桁で周波数安定化することが出来たのである。この成果は、ジョセフソン電圧分野にとって画期的な事であったといえる。

## 標準研究機関への供給

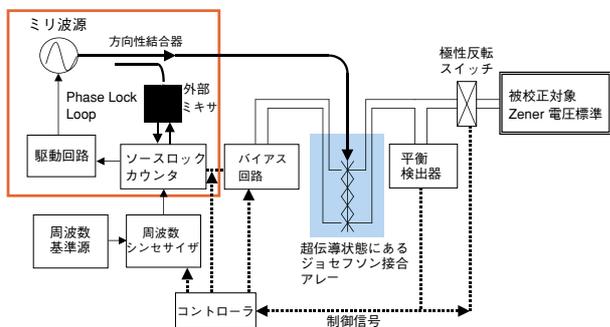
写真は最新の吉田回路の外観である。1990年に開発以来、表に示すように我が国の国家標準のみならずBIPM(国際度量衡局)など多くの標準研究

機関に採用されている。1993年にはBIPMのT. J. QUINN局長から当時のIV国際比較に大きな貢献をしたとして感謝状をもらっている。工業技術院時代は電子技術総合研究所から各研究機関に寄贈してきたが、産総研になってからは販売することにした。つい最近もBNM-LNE(フランスの国立標準研究所)に商品として3台販売し、設置完了したところである。

## 「お互いに補いあうことによって乗り越えた8桁の壁」

吉田回路の成功は、ジョセフソン電圧標準の開発という共通目標に向けて、電圧標準の専門家と高周波技術開発の専門家の交流から生まれた成果である。

異なった分野の人たちとのぶつかり合いは、時として期待以上の実りをもたらす事があると実感する。産総研のように多くの異なる分野の研究者が集うところは、まさにそのような機会に恵まれたところである。お互いに分野の枠を越えて大いに語りあい、触発しあって大きな花を咲かせたいものである。



●図：ジョセフソン電圧標準装置の概念



●写真：最新の吉田回路の外観

供給先機関	国	数量	時期
ETL	日本	2	1990,1996
BIPM	国際局	3	1991,1992,1994
NIST(Gaithersburg)	米国	1	1991
ADVANTEST	日本	2	1991,1997
NRC	カナダ	1	1991
NIST(Boulder)	米国	1	1992
NPL	英国	2	1992,1995
KRISS	韓国	1	1994
JEMIC	日本	1	1994
SIRIM	マレーシア	1	1995
BNM-LNE	フランス	2+3	1995,1998,2002
MSL	ニュージーランド	1	1996
PSB	シンガポール	1	1996
SCL	香港	1	1997
SP	スウェーデン	1	1999
PTB	ドイツ	1	2000

●表：ジョセフソン電圧標準装置(1V,10V)のミリ波位相同期回路供給一覧

# 放射能標準の国際比較

計測標準研究部門 檜野 良穂

## 急増した国際比較とGlobal MRA

放射能標準の分野では、今年が国際比較の当たり年である。3月にフランスから Tl-204 の放射能溶液が届いたのをきっかけに、5月にドイツから P-32、7月にはベルギーと英国から Zn-65 と Am-241 のアンブルがそれぞれ送られてきた。9月には我が国から Ir-192 の溶液を BIPM (国際度量衡局) 経由で 17 カ国に送らねばならない。きちんとした測定には、アンブルから溶液を取り出して秤量し、乾燥させる線源調整の作業を含めて、少なくとも 1 ヶ月を要する。これが 5 核種もまとめて実施されるのであるから、まさしくてんてこまいの忙しさである。従来 BIPM 経由の正式な国際比較は、概ね 2 年に 1 核種のペースで行われてきたのだが、なぜこのように急増したのだろうか？ その原因は、Global MRA と呼ばれる各国の研究機関が発行する証明書の同等性を認める協定にある。協定には幾つかの付属文書があり、その中の Appendix C は、各国が提供する標準の不確かさを含めた一覧表である。放射能の分野では、現在ドイツが約 450、フランスが 170、英国が 180 項目もの長大なリストを提出している。対抗上、我が国からも 216 項目のリストを出したが、問題は、この表に載せた項目の測定能力を、国際比較を通して証明することが求められていることである。すなわち、証明書が同等であるには、それを発行した機関の能力が同等であることが前提という、いわば単純な原理であるが、実際の対応に追われる身としては大変である。

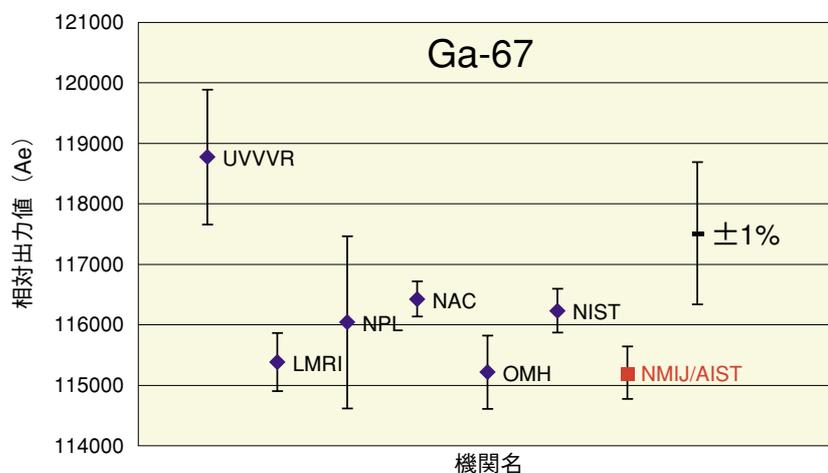
## 国際比較の活用：論より証拠

忙しい反面、国際比較は測定値の確かさを明らかにするため、極めて有効である。幸か不幸か、放射能標

準の不確かさは 0.1% から 10% 程度のオーダーで、はるか雲の上の話ではなく、実際の日常業務活動に密着したレベルである。昨年、産総研と放射性医薬品を製造する製薬メーカーとの間で、Ga-67 という放射性核種 (癌の転移状態等を調べる。年間売り上げは、製品価格で約 100 億円。) の比較測定を実施したが、産総研と製薬メーカーの値に約 2~4% の差違が生じた。たまたま、全メーカーが産総研より大きな値を付けており、産総研の値をそのまま取り入れると、全体では億の単位の損失となるため、確証が必要となった。そこで、Ga-67 線源を BIPM に送付し、他の国家標準機関の結果と比較を実施した。BIPM では、 $\gamma$  線を放出する核種について、各国の標準機関から随時送付されるサンプルを、加圧型電離箱で BIPM が持つラジウム線源 (半減期 1600 年) と比較測定し、その結果を公表している。Ga-67 の比較の結果は、図に示すように英、米、仏の主要な標準機関と 1% 以内で一致

しており、グラフから一目瞭然、論より証拠で産総研の値の確かさを納得してもらうことが出来た。このように、国際比較は忙しい反面、測定技術の腕を磨き、その実力を示す何よりの機会である。

このほか、Global MRA の協定では、アジア、ヨーロッパ、北アメリカ等の地域毎にグループを構成し、BIPM とリンクした形の国際比較を効率的に実施する考えが取り入れられている。アジア地区には APMP (Asia Pacific Metrology Program) が組織され、我が国は現在その議長と事務局を担当しており、アジア地域での計量標準に関して主導的役割を果たすべき立場にある。これまで、放射能に関しては、アジア近隣諸国の主要な研究機関と積極的な国際比較を実施してきたが、今後とも地域全体での国際比較はもちろん、二国間や小規模な国際比較にも積極的にチャレンジして行きたいと考えている。



●図：各国の標準機関 (チェコ(UUVVR)、仏(LMRI)、英(NPL)、南ア(NAC)、ハンガリー(OMH)、米(NIST)、日(NMIJ/AIST)) から BIPM に送付された Ga-67 線源を比較測定した結果  
縦軸の Ae 値は、BIPM の所有するラジウム線源と同じ出力電流を発生するのに必要な Ga-67 放射能 (kBq) である。

# 地質情報の普及と高度利用に関する研究

地球科学情報研究部門 村田 泰章

## 地質情報発信の現状

産総研地質調査総合センターでは、研究成果を地質図や主題別地球科学図として出版すると共に、他の調査データ等も含めて数値地質図 (<http://www.gs.jp/Map/JP/dgm.htm>) やRIO-DB (<http://www.aist.go.jp/RIODB/jearth.html>) として公開している。現在までに数値地質図15枚/セット、RIO-DB 12個を公開している。

これらの公開情報は、地質図のように調査した結果から作成される地質情報と、その所在等を収録したメタデータがあるが、個別に開発した公開方法を採用しているため、利用者はそれぞれにアクセスしなければならず、また、開発者にとっても基本的な検索や表示といった機能を各々が開発しなければならない等の問題があった。また、メタデータに関しても、データそのものの整備・公開と、総合化が遅れている。そこで、これらの課題を解決して地質情報が総合的に利用されるために、地質分野の研究ユニットと関連部門の融合的共同研究を今年度からの3年計画で実施している。

## 研究の概要

この研究では、地質情報を発信する総合的なシステムとして、以下の3層から成る階層構造を考え(図)、全体が一つのシステムとして機能するためのデータの整備とシステム開発を行っている。

最下層は、地質調査総合センターで個別に開発される数値地質図やインターネット・データベース等の個別データベース群である。個別データベースの開発自体は今回の研究対象ではないが、この個別データベースの標準化を推進するために、地質図の凡例における岩石・層序コードの標準化、および高精度で汎用性のある標準複合年代尺度の確立の研究を行う。

中間に、個別データベースが収録している各データの位置と属性情報を収録し、インターネットを通して個別データベース群の網羅的な検索表示を可能とする「地質情報インデックス」を構築する。「地質情報インデックス」と個別データベースとの間の、情報の双方向のやり取りはXML (eXtensible Markup Language: 拡張可能なマーク付け言語) 形式により行われる。さらに、「地質情報インデックス」には、例えば標高データと重力データから地殻表層部の平均岩石密度を解析するといった、複数の地質情報を統合して新たな地質情報を解析する機能を組み込むための研究も行う。

一番上は、それぞれのデータベースや地質図等の出版物の概要、範囲等をXML形式で収録するメタデータである。メタデータは、現在はいくつかに分かれて整備されているが、それらを総合化して、日本だけではなく広くアジア地域を視野に入れて整備し、グローバルに網羅的な検索を可能とするシステムの開発研究を行う。

これら3つの違いは、個別データベースでは、詳細なデータを収録してその特性に適した検索・表示機能を提供する。「地質情報インデックス」では、個別データベースの中の位置情報と最小限の属性情報を収録して、データベース群を網羅的に検索し位置を表示する機能を提供する。メタデータでは、データベースの収録範囲や作成者、連絡先等を収録して、データベースの利用方法等の情報を提供する。ユーザーは

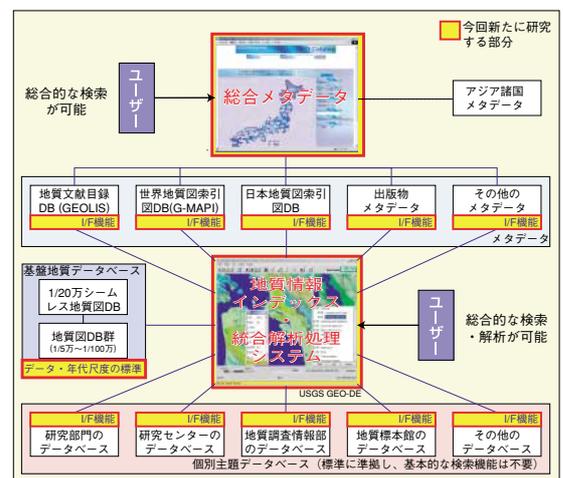
この階層を利用して、例えば「地質情報インデックス」で検索した後、さらにデータの詳細を調べるために、検索条件を維持したまま個別データベースへアクセスすることもできる。

## 研究の波及効果

この研究によって、(1)地質情報の普及と総合化による高度利用が促進されること、(2)今後の個別データベースの開発に指針を与え、個別データベースの開発が促進されること、(3)アジア諸国の地質情報ネットワーク構築に我が国のリーダーシップを発揮できること、(4)政府の「GISアクションプログラム2002-2005」の確実な推進などが期待される。

## 将来構想

この研究で構築される「地質情報インデックス」、メタデータ等の一連の検索・表示システムは、将来的には、地質情報に関するデータを産総研の内外から網羅的に収集して公開するデータセンターの基本機能へと発展させたいと考えている。その際には、検索したデータ(原情報)のダウンロードや、データが多量の場合にはCD-Rにコピーして郵送する等のサービスを確立して、さらに高度な利用を図りたいユーザーへ対応していきたい。



●図：開発中のシステム階層構造