

## 2-2-2 高周波電力計の校正 2 (1 mW, 75 Ω)

酒井孝次郎 杉山 功 瀬端好一 西山 巖 藤井勝巳

NICT では電波法に基づき高周波電力計の校正を行っているが、入力インピーダンスが 75 Ω の N 型同軸コネクタを入力端子とした高周波電力計のための広帯域 (100 kHz ~ 2 GHz まで) 小電力 (1 mW) 用校正システムを新たに開発した。校正は同時比較法を用いて、その拡張不確かさ (包含係数  $k=2$ ) は 10 MHz 未満で 2.5 %、10 MHz 以上で 1.2 % である。

### 1 まえがき

NICT では、長年にわたり入力インピーダンス 75 Ω の N 型同軸コネクタを入力端子とした電力計の校正業務を、校正電力 10 W、周波数 1 ~ 500 MHz の範囲で実施してきた。近年、4 K・8 K テレビジョン放送をはじめとして、特性インピーダンス 75 Ω の伝送線路を用いたシステムの使用周波数帯域の高周波化が進み、電力測定の需要が高まってきていることから、校正電力 1 mW かつ広帯域化 (100 kHz ~ 2 GHz) に対応した入力インピーダンス 75 Ω の N 型同軸コネクタ入力の小電力電力計校正システムを開発した。

本稿では開発した校正システムの校正方法、特長、校正結果及び校正の不確かさについて述べる。

### 2 校正係数の定義

一般に、終端型の高周波電力計は、図 1 に示すようにセンサ部と指示部に分かれ、その間を専用ケーブルにより接続される構成となっている。電力計の校正で求めるものは、センサ部に入射する電力  $P_{in}$  と電力計に表示される指示値  $P_M$  の比である校正係数  $K$  であり、式 (1) で定義される値である。

$$K = \frac{P_M}{P_{in}} \quad (1)$$

例えば、 $P_{in}$  が 1 mW、 $P_M$  が 0.99 mW の場合、校

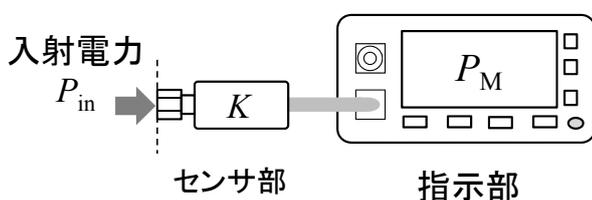


図 1 高周波電力計の構成

正係数  $K$  は 0.99 となる。 $K$  が分かっているならば、 $P_M/K = 0.99/0.99 = 1$  mW となり、指示値と校正係数より入射電力を求めることができる。

### 3 校正方法

#### 3.1 校正の原理

高周波電力計の最も簡易な校正方法として、図 2 の構成による比較法がある。この方法は、信号源から出力された同一の信号を校正係数 ( $K_{STD}$ ) が既知の標準電力計で測定し、指示値 ( $P_M^{STD}$ ) を取得した後、校正係数 ( $K_{DUT}$ ) が未知の被校正電力計に置き換えて測定し、指示値 ( $P_M^{DUT}$ ) を取得することにより、式 (2) のとおり未知の  $K_{DUT}$  を求めることができる。

$$\text{入射電力} = \frac{P_M^{STD}}{K_{STD}} = \frac{P_M^{DUT}}{K_{DUT}} \quad \therefore K_{DUT} = K_{STD} \frac{P_M^{DUT}}{P_M^{STD}} \quad (2)$$

ただし、式 (2) は図 2 の基準面において反射係数が 0 の理想的な条件の場合であり、実際は電力計の反射係数 ( $\Gamma_{STD}$ 、 $\Gamma_{DUT}$ ) 及び信号源の反射係数 ( $\Gamma_G$ ) の影響を受けるため式 (3) のようになる。

$$K_{DUT} = K_{STD} \frac{P_M^{DUT}}{P_M^{STD}} \left| \frac{1 - \Gamma_G \Gamma_{DUT}}{1 - \Gamma_G \Gamma_{STD}} \right|^2 \quad (3)$$

比較法では、特性インピーダンスが同じ同軸コネクタを有する電力計同士を直接比較する必要がある。しかしながら、高周波電力 1 mW の国家標準は、50 Ω の同軸線路に対してのみ供給され、75 Ω の同軸線路を用いては供給されていない。そのため、NICT が持つ国家標準にトレーサブルな標準電力計も入力インピーダンスが 50 Ω であり、入力インピーダンスが 75 Ω のコネクタを有する電力計を校正することはできない。

この問題を解決するために、図 3 のように被校正電力計の前段に 50 Ω と 75 Ω の特性インピーダンスを変換する機器 (以下「50 Ω/75 Ω 変換器」という。) を挿入

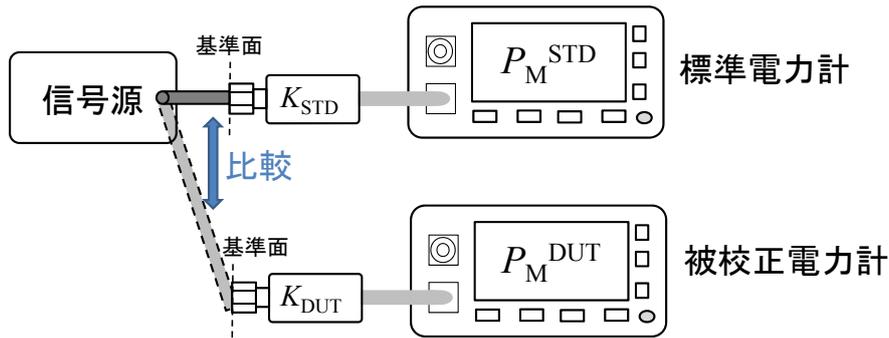


図2 比較法による電力計校正

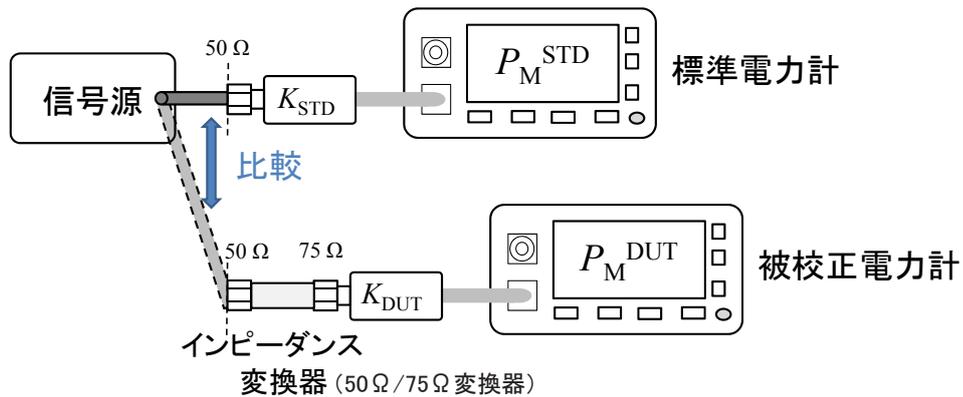


図3 インピーダンス変換器 (50 Ω / 75 Ω 変換器) を使った比較法

して校正を行うことを考えた場合、50 Ω/75 Ω 変換器自体の電気的特性 ( $S$  パラメータ) を別途測定し、補正する必要がある。また、比較法では、式 (3) のとおり測定が困難な信号源の反射係数 ( $\Gamma_G$ ) も求めなければならない。加えて、標準電力計の測定時と被校正電力計の測定時の信号源の出力が一定である必要がある。

そこで、新たに開発した校正システムでは信号源の出力変動が校正結果に影響を与えず、かつ信号源の反射係数 ( $\Gamma_G$ ) の測定が不要な同時比較法 [1] を適用した。

通常、同時比較法においても標準電力計と被校正電力計は入力インピーダンスが同じである必要があるが、図 4 のように 50 Ω/75 Ω 変換器及びその変換器のロス分を補正する固定減衰器をパワー・スプリッタと組み合わせた構成とすることにより、入力インピーダンス 50 Ω の標準電力計による 75 Ω の被校正電力計の校正を可能とした。

開発した校正システムでは、信号源から出力される高周波信号は、パワー・スプリッタに輸入、分配される。分配された一方の出力信号は 50 Ω/75 Ω 変換器を経由して被校正電力計に輸入される。また、他方の出力信号は固定減衰器を経由して標準電力計に輸入される。

### 3.2 校正手順

校正は制御用 PC (Windows) の校正プログラムにより以下の手順で行われる。

- ① 信号源 (SG) を校正周波数に設定、出力する。
- ② 被校正電力計の指示値が 1 mW となるよう SG 出力を調整する。
- ③ 標準電力計の指示値と被校正電力計の指示値の比を設定回数 (通常 100 回) 分、測定する。
- ④ 校正周波数ごとに①～③を繰り返す。
- ⑤ 設定された校正回数 (通常 5 回) 分 ①～④を繰り返す。
- ⑥ 測定結果から次式を用いて被校正電力計の校正係数  $K_{DUT}$  を求める。

$$K_{DUT} = K_{STD} \left| \frac{S_{31}}{S_{21}} \right|^2 \left( \frac{P_M^{DUT}}{P_M^{STD}} \right) M \quad (4)$$

ここで、 $M$  は、

$$M = \left| \frac{1 - \Gamma_{g2} \Gamma_{DUT}}{1 - \Gamma_{g3} \Gamma_{STD}} \right|^2 \quad (5)$$

また、

$$\Gamma_{g2} = S_{22} - S_{32} \frac{S_{21}}{S_{31}} \quad (6)$$

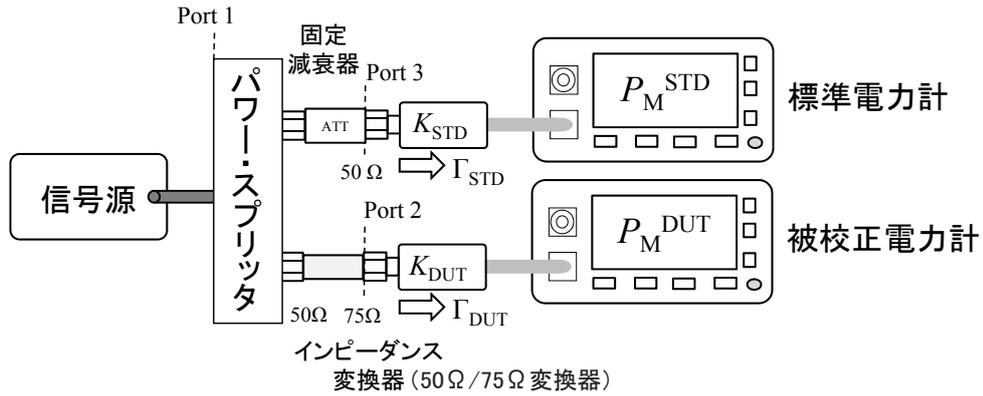


図4 同時比較法による電力計校正

$$\Gamma_{g3} = S_{33} - S_{23} \frac{S_{31}}{S_{21}} \quad (7)$$

式(4)、(6)、(7)における $S$ パラメータは、図4におけるパワー・スプリッタ、固定減衰器、50 Ω/75 Ω変換器の入出力面であるPort1-3を開口面とした3開口素子(以下「パワー・スプリッタ」という。)の $S$ パラメータである。このようなインピーダンスが異なる入出力端子を有するデバイスの $S$ パラメータをベクトル・ネットワーク・アナライザで測定する場合、測定前のスルー校正において、電気的特性が未知の50 Ω/75 Ω変換器を接続して校正を行うことになるが、この変換器の特性を除去する校正法として「Unknown Throughによる校正法」[2]があり、この方法による校正を行った後に $S$ パラメータの測定を行う。

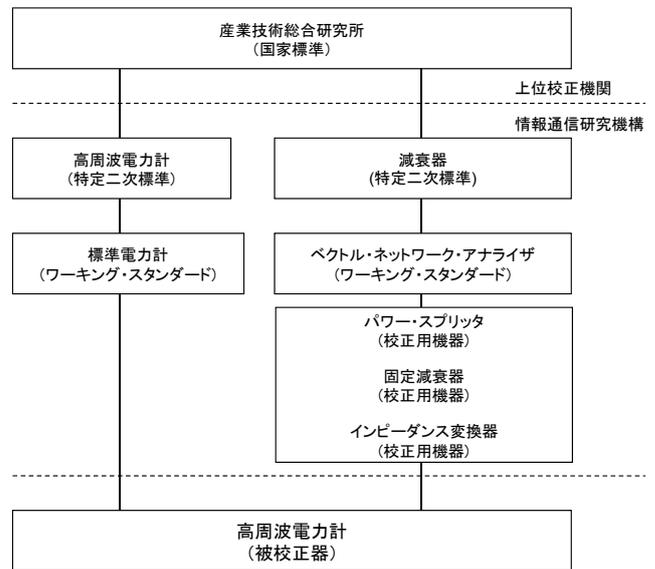


図5 トレーサビリティ体系

### 3.3 国家標準とのトレーサビリティ

本校正に関する国家標準とのトレーサビリティ体系を図5に示す。標準電力計は、特定二次標準の高周波電力計により2-2-1に示す方法により校正され、反射係数、 $S$ パラメータを測定するベクトル・ネットワーク・アナライザは特定二次標準の減衰器により校正されることにより、国家標準とのトレーサビリティが確保されている。

## 4 特長

開発した校正システムの外観図を図6に示す。本校正システムの最大の特長は、入力インピーダンス50 Ωの標準電力計により75 Ωの被校正電力計を校正する点にあるが、この点以外にシステムを構築する上で考慮した点、品質の高い校正結果を得るための校正技術及び性能を維持するために必要な保守項目について述べる。

- (1) 作業性、保守性を考慮し、図6のとおり被校正電力計を含め19インチ小型(13U)ラックに収

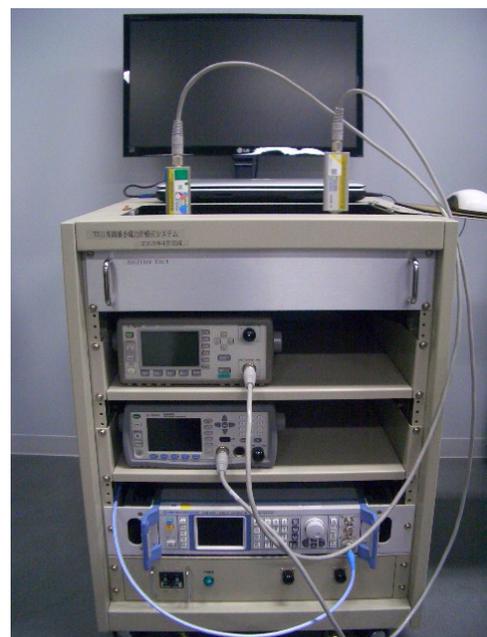


図6 高周波電力計校正システム(1 mW, 75 Ω)外観図

## 2 較正技術の研究開発

容し、省スペース化を図った。

- (2) 標準電力計及び被校正電力計の接続面(図4のPort2, 3)は、電力計のセンサ部分の自重による接続面への影響を均一化するため、図6のとおりセンサ部分を垂直に接続する配置とした。
- (3) 被校正電力計のセンサ部分のコネクタの接続によるばらつきを評価するため、5回の校正の各回終了後、360度を5分割した約72度センサ部分を回転させて再接続し測定する。ただし、回転させる時はコネクタ接続面の摩耗劣化を防ぐため、確実にコネクタを取り外してから回転

させ、再接続する必要がある。

- (4) コネクタの接続には、トルク・レンチを使用し規定のトルクで締め付けることにより、測定の再現性を確保する。
- (5) 標準電力計(50Ω)及び被校正電力計(75Ω)の接続面は、図7のとおり両者ともN型同軸コネクタであり、その形状は中心導体の径の大きさ(図7の矢印部分)以外は同一寸法であり、非常に見分けづらい。仮に、図4のPort2(75Ωメス)に標準電力計センサ(50Ωオス)を間違って接続した場合、中心導体の径の違いにより、Port2(75Ωメス)の中心導体を破損させることになる。この誤接続を防止するため、Port2の接続面脇に接続しようとしているコネクタが「75ΩN型コネクタ」であることを再確認させるため注意書を記載している。
- (6) 保守項目



図7 N型同軸コネクタの形状

- (a) 本校正システムの正常性確認のため1年に1回、妥当性確認用被校正電力計の校正を行い、システムが正常に動作することを確認するとともに校正結果の経年変化、妥当性をチェックする。
- (b) トレーサビリティ確認のため半年に1回、ベクトル・ネットワーク・アナライザで高周波減衰器(特定二次標準器)の減衰量を測定し、上位校正値と比較することにより経年変化、妥当性を確認する。また、このベクトル・ネットワーク・アナライザでパワー・スプリッタ

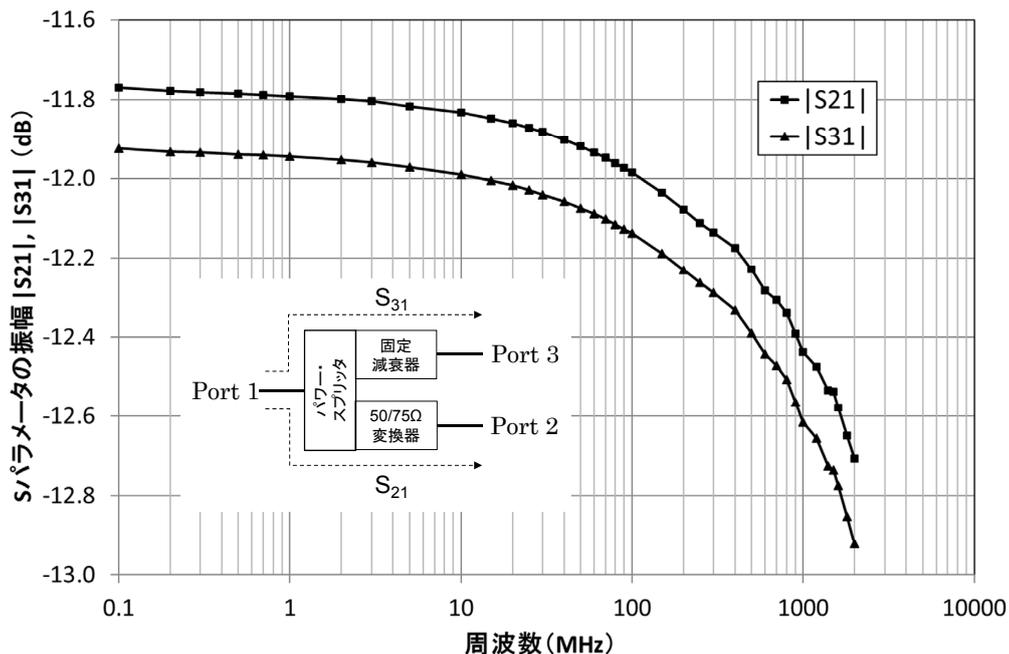


図8 パワー・スプリッタのSパラメータ測定結果の例

の  $S$  パラメータを測定し、経年変化、妥当性をチェックする。 $S$  パラメータ測定結果の例を図 8 に示す。 $S_{21}$  と  $S_{31}$  の差分(約 0.2 dB)は、固定減衰器と 50 Ω/75 Ω 変換器の減衰量の差であるが、この差は式 (4) の  $|S_{31}/S_{21}|^2$  により補正されるため、校正結果に影響を与えるものではない。

## 5 校正結果

開発した校正システムを用いて、入力インピーダンス 75 Ω のセンサ部(キーサイト・テクノロジー社製: 8483 A)と指示部(同社製: E4418 B)を被校正電力計として校正を行った。

図 9 に校正結果の例を示す。実線(●)が今回開発した校正システムによる校正結果、破線(▲)がキーサイト・テクノロジー社による校正係数であり、これ

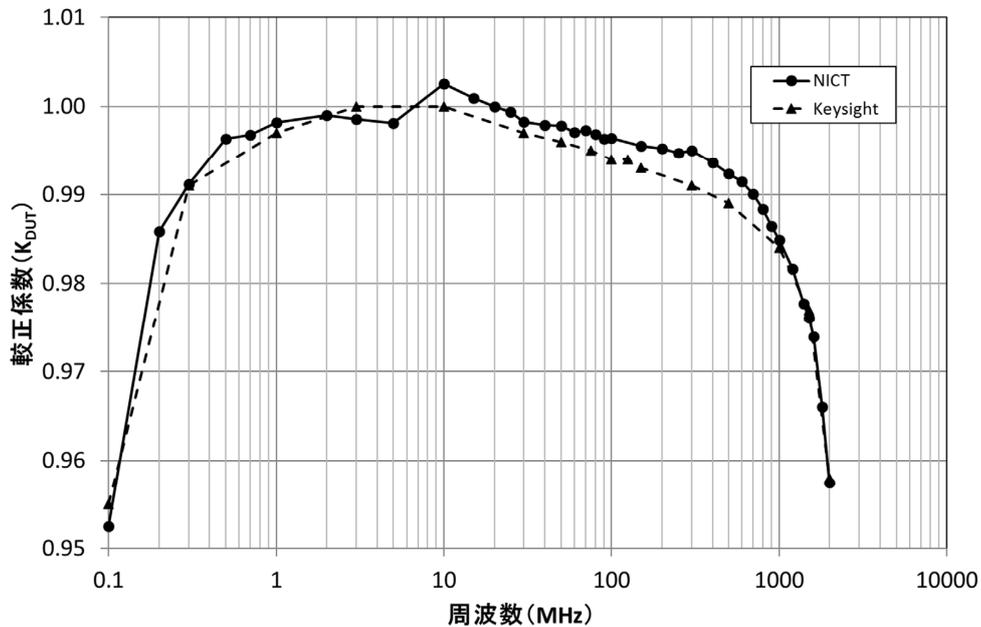


図 9 校正結果の例

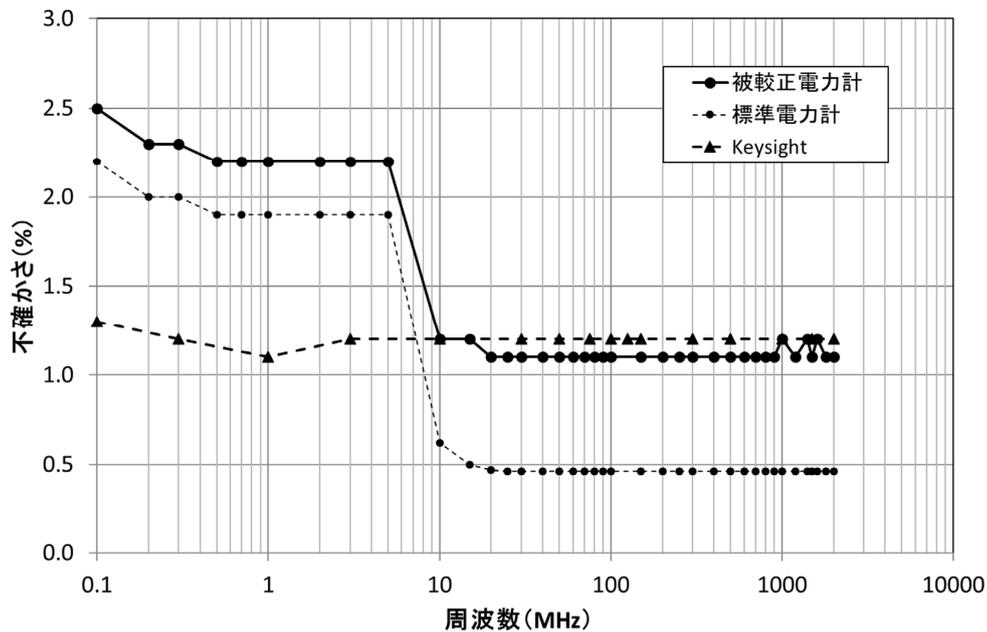


図 10 不確かさの比較

は米国の国家標準機関である NIST (National Institute of Standards and Technology) にトレーサブルな校正係数である。両者は全周波数において、次に述べる不確かさの範囲内でよく一致しており、良好な校正結果と考えられる。

## 6 校正の不確かさ

開発した校正システムによる校正結果に付随する不確かさ  $u(K_{DUT})$  は、不確かさの伝播則より次式となる [3]。

$$\frac{u(K_{DUT})}{K_{DUT}} = \sqrt{\begin{aligned} & (+1)^2 \left\{ \frac{u(K_{STD})}{K_{STD}} \right\}^2 + (+2)^2 \left\{ \frac{u(|S_{31}|)}{|S_{31}|} \right\}^2 + (-2)^2 \left\{ \frac{u(|S_{21}|)}{|S_{21}|} \right\}^2 \\ & + (+1)^2 \left\{ \frac{u(P_M^{DUT})}{P_M^{DUT}} \right\}^2 + (-1)^2 \left\{ \frac{u(P_M^{STD})}{P_M^{STD}} \right\}^2 + (+1)^2 \left\{ \frac{u(M)}{M} \right\}^2 \\ & + (+1)^2 \left\{ \frac{s(K_{DUT})}{K_{DUT}} \right\}^2 \end{aligned}} \quad (8)$$

不確かさの各要因は、式 (8) 右辺第 1 項より順に①標準電力計の校正不確かさ、②パワー・スプリッタ Port1-3 間の減衰量 ( $S$  パラメータ) の不確かさ、③パワー・スプリッタ Port1-2 間の減衰量 ( $S$  パラメータ) の不確かさ、④被校正電力計の測定分解能、⑤標準電力計の測定分解能、⑥標準電力計とパワー・スプリッタ及び被校正電力計とパワー・スプリッタ間の不整合、⑦測定のばらつきがある。ただし、式 (8) 右辺の中括弧の直前の括弧内の値は、各要因に対する感度係数  $c(x)$  を表す。

①については、上位校正の不確かさを用いる (正規分布)。②③については、国家標準にトレーサブルな仲介高周波減衰器により校正されたベクトル・ネットワーク・アナライザで測定した時の不確かさを用いる (正規分布)。④⑤は標準電力計及び被校正電力計の表示桁から決定する (一様分布)。⑥は標準電力計及び被校正電力計の反射係数とパワー・スプリッタの  $S$  パラメータを実測算出する ( $U$  分布)。⑦は測定を 5 回繰り返し行い、ばらつきを求める (正規分布)。

図 10 に不確かさの比較結果を示す。キーサイト・テクノロジー社による校正の不確かさと比較して 10 MHz 未満で不確かさが大きいのは上位校正の不確かさが大きいことに起因している。また、10 MHz 以上ではキーサイト・テクノロジー社の不確かさと同等もしくは 0.1% 小さいことから、システムとして校正業務に十分な性能を有すると判断される。

表 1、2 に校正不確かさの算出例を示す。表 1 は不確かさが最大である周波数 100 kHz、表 2 は最高周波数 2 GHz の校正不確かさのバジェットである。表 1 において、不確かさを大きくしている主な要因として標準電力計の校正不確かさ  $u(K_{STD})$  であることが分か

るが、上位校正機関 (産業技術総合研究所) における校正結果に付随する不確かさであるため自ら改善することは難しい。それ以外では、の  $S$  パラメータの不確かさ  $u(|S_{31}|)$  及び  $u(|S_{21}|)$  が要因となっている。今後は、この減衰量測定の不確かさを小さくする方法を検討する。

## 7 あとがき

周波数範囲が 100 kHz ~ 2 GHz において、入力インピーダンスが 75  $\Omega$  の N 型同軸コネクタ入力の小電力 (1 mW) 電力計校正システムを開発し、実際に校正を行い校正システムが持つ校正の不確かさを求めた。10 MHz 未満で 2.5%、10 MHz 以上で 1.2% の拡張不確かさで電力計の校正が可能であることが分かった。

今後の課題としては、パワー・スプリッタの  $S$  パラメータの不確かさを小さくする方法の検討を含めた校正品質の維持・向上である。

### 【付録】 式 (4) の導出

図 4 に示す同時比較法の校正システムにおいて、Port1 に信号源、Port2 に被校正電力計、Port3 に標準電力計が接続された状態を、 $S$  パラメータを用いて表すと、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{23} & S_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (A.1)$$

$$a_1 = a_G + \Gamma_G b_1 \quad (A.2)$$

$$a_2 = \Gamma_{DUT} b_2 \quad (A.3)$$

$$a_3 = \Gamma_{STD} b_3 \quad (A.4)$$

ただし、 $S$  行列はパワー・スプリッタを含む点線で示した 3 Port 回路の特性を表しており、 $a_G$  は信号源の出射波、 $\Gamma_G$  は信号源の反射係数、 $\Gamma_{DUT}$  は被校正電力計の反射係数、 $\Gamma_{STD}$  は標準電力計の反射係数である。

これらの式から、被校正電力計に入射する電力  $P_{in}^{DUT}$  及び標準電力計に入射する電力  $P_{in}^{STD}$  を求めると、それぞれ、

$$P_{in}^{DUT} = |b_2|^2 = \left| \frac{D_{(2S1)(11)}}{D} \right|^2 |a_G|^2 \quad (A.5)$$

$$P_{in}^{STD} = |b_3|^2 = \left| \frac{D_{(3S1)(11)}}{D} \right|^2 |a_G|^2 \quad (A.6)$$

表 1 不確かさバジレットの例 (100 kHz, 1 mW)

| 不確かさの要因          |                   | 不確かさ                | 分布 | 除数         | 標準不確かさ $u(x)$ | 感度係数 $c(x)$ | 不確かさへの寄与 $ c(x) u(x)$ |
|------------------|-------------------|---------------------|----|------------|---------------|-------------|-----------------------|
| $K_{STD}$        | 標準器               | 2.20 %<br>( $k=2$ ) | 正規 | 2          | 1.10 %        | 1           | 1.10 %                |
| $S_{31}$         | 減衰量               | 0.015 dB            | 正規 | 1          | 0.17 %        | 2           | 0.35 %                |
| $S_{21}$         |                   | 0.015 dB            | 正規 | 1          | 0.17 %        | -2          | 0.35 %                |
| $P_M^{DUT}$      | 電力計<br>分解能<br>4 桁 | 0.05 %              | 一様 | $\sqrt{3}$ | 0.03 %        | 1           | 0.03 %                |
| $P_M^{STD}$      |                   | 0.05 %              | 一様 | $\sqrt{3}$ | 0.03 %        | -1          | 0.03 %                |
| $M$              | 不整合               | 0.06 %              | U  | $\sqrt{2}$ | 0.04 %        | 1           | 0.04 %                |
| $s(K_{DUT})$     | 再現性               | 0.09 %              | 正規 | $\sqrt{5}$ | 0.04 %        | 1           | 0.04 %                |
| 合成標準不確かさ         |                   |                     |    |            |               |             | 1.21 %                |
| 拡張不確かさ ( $k=2$ ) |                   |                     |    |            |               |             | 2.5 %                 |

表 2 不確かさバジレットの例 (2 GHz, 1 mW)

| 不確かさの要因          |                   | 不確かさ                | 分布 | 除数         | 標準不確かさ $u(x)$ | 感度係数 $c(x)$ | 不確かさへの寄与 $ c(x) u(x)$ |
|------------------|-------------------|---------------------|----|------------|---------------|-------------|-----------------------|
| $K_{STD}$        | 標準器               | 0.46 %<br>( $k=2$ ) | 正規 | 2          | 0.23 %        | 1           | 0.23 %                |
| $S_{31}$         | 減衰量               | 0.015 dB            | 正規 | 1          | 0.17 %        | 2           | 0.35 %                |
| $S_{21}$         |                   | 0.015 dB            | 正規 | 1          | 0.17 %        | -2          | 0.35 %                |
| $P_M^{DUT}$      | 電力計<br>分解能<br>4 桁 | 0.05 %              | 一様 | $\sqrt{3}$ | 0.03 %        | 1           | 0.03 %                |
| $P_M^{STD}$      |                   | 0.05 %              | 一様 | $\sqrt{3}$ | 0.03 %        | -1          | 0.03 %                |
| $M$              | 不整合               | 0.07 %              | U  | $\sqrt{2}$ | 0.05 %        | 1           | 0.05 %                |
| $s(K_{DUT})$     | 再現性               | 0.11 %              | 正規 | $\sqrt{5}$ | 0.05 %        | 1           | 0.05 %                |
| 合成標準不確かさ         |                   |                     |    |            |               |             | 0.55 %                |
| 拡張不確かさ ( $k=2$ ) |                   |                     |    |            |               |             | 1.1 %                 |

ただし、

$$D = \det \begin{bmatrix} 1 - S_{11}\Gamma_G & -S_{12}\Gamma_{DUT} & -S_{13}\Gamma_{STD} \\ -S_{21}\Gamma_G & 1 - S_{22}\Gamma_{DUT} & -S_{23}\Gamma_{STD} \\ -S_{31}\Gamma_G & -S_{32}\Gamma_{DUT} & 1 - S_{33}\Gamma_{STD} \end{bmatrix} \quad (A.7)$$

$$D_{(2S1)(11)} = \det \begin{bmatrix} S_{21} & -S_{23}\Gamma_{STD} \\ S_{31} & 1 - S_{33}\Gamma_{STD} \end{bmatrix} = S_{21} \left\{ 1 - \left( S_{33} - S_{23} \frac{S_{31}}{S_{21}} \right) \Gamma_{STD} \right\} \quad (A.8)$$

$$D_{(3S1)(11)} = \det \begin{bmatrix} 1 - S_{22}\Gamma_{DUT} & S_{21} \\ -S_{32}\Gamma_{DUT} & S_{31} \end{bmatrix} = S_{31} \left\{ 1 - \left( S_{22} - S_{32} \frac{S_{21}}{S_{31}} \right) \Gamma_{DUT} \right\} \quad (A.9)$$

である。ここで、 $\det[A]$  は、行列  $A$  の行列式を表す。

いま、2つの入射電力を同時に測定して比を求めると、式(A.5)、(A.6)より、

$$\frac{P_M^{DUT}}{P_M^{STD}} = \frac{K_{DUT}}{K_{STD}} \frac{P_{in}^{DUT}}{P_{in}^{STD}} = \frac{K_{DUT}}{K_{STD}} \frac{|D_{(2S1)(11)}|^2}{|D_{(3S1)(11)}|^2} = \frac{K_{DUT}}{K_{STD}} \frac{|S_{21}|^2}{|S_{31}|^2} \frac{\left| 1 - \left( S_{33} - S_{23} \frac{S_{31}}{S_{21}} \right) \Gamma_{STD} \right|^2}{\left| 1 - \left( S_{22} - S_{32} \frac{S_{21}}{S_{31}} \right) \Gamma_{DUT} \right|^2} \quad (A.10)$$

を得る。ここで、 $P_{in}^{DUT} = P_M^{DUT}/K_{DUT}$  及び  $P_{in}^{STD} = P_M^{STD}/K_{STD}$  の関係を用いた。式変形すれば、以下のとおり、式(4)が得られる。

$$K_{DUT} = K_{STD} \frac{|S_{31}|^2 \left( \frac{P_M^{DUT}}{P_M^{STD}} \right)}{|S_{21}|^2} \frac{\left| 1 - \left( S_{22} - S_{32} \frac{S_{21}}{S_{31}} \right) \Gamma_{DUT} \right|^2}{\left| 1 - \left( S_{33} - S_{23} \frac{S_{31}}{S_{21}} \right) \Gamma_{STD} \right|^2} \quad (A.11)$$

式の導出過程において、式(A.7)で示した行列式  $D$  は消去されるため、実際に求める必要はない。このこ

## 2 較正技術の研究開発

とは、信号源の反射係数 ( $\Gamma_G$ ) が未知でよいことを意味しており、同時比較法の大きな特長である。

### 【参考文献】

- 1 島岡一博, “高周波電力計の比較校正方法におけるモデル式の理論解説,” 第 17 回高周波クラブ会合, 産業技術総合研究所計量標準総合センター, Feb. 2014
- 2 岩崎俊, “電磁波計測 —ネットワークアナライザとアンテナ—,” コロナ社, Oct. 2007
- 3 飯塚幸三 監修, “計測における不確かさの表現ガイド,” 日本規格協会, Nov. 1996.



**酒井孝次郎** (さかい こうじろう)

電磁波研究所  
電磁環境研究室  
有期研究技術員  
無線用測定器の較正



**杉山 功** (すぎやま つとむ)

電磁波研究所  
電磁環境研究室  
主任研究員  
無線用測定器の較正



**瀬端好一** (せばた こういち)

電磁波研究所  
電磁環境研究室  
主任研究員  
無線用測定器の較正、測地学



**西山 巖** (にしやま いわお)

電磁波研究所  
電磁環境研究室  
無線用測定器の較正



**藤井勝巳** (ふじい かつみ)

電磁波研究所  
電磁環境研究室  
研究マネージャー  
博士(工学)  
無線用測定器の較正、環境電磁工学