

# 測定結果の信頼性とガイドライン達成確率 - 高調波流出電流の推定を例として -

番匠大輔, 林 重雄, 田村坦之, 長岡直人, 山田直也



文部科学省私立大学社会連携研究推進拠点  
関西大学政策グリッドコンピューティング実験センター

Policy Grid Computing Laboratory,  
Kansai University  
Suita, Osaka 564-8680 Japan  
URL : <http://www.pglab.kansai-u.ac.jp/>  
e-mail : [pglab@jm.kansai-u.ac.jp](mailto:pglab@jm.kansai-u.ac.jp)  
tel. 06-6368-1177  
fax. 06-6330-3304

## **関西大学政策グリッドコンピューティング実験センターからのお願い**

本ディスカッションペーパーシリーズを転載、引用、参照されたい場合には、ご面倒ですが、弊センター（[pglab@jm.kansai-u.ac.jp](mailto:pglab@jm.kansai-u.ac.jp)）宛にご連絡いただきますようお願い申し上げます。

## **Attention from Policy Grid Computing Laboratory, Kansai University**

Please reprint, cite or quote WITH consulting Kansai University Policy Grid Computing Laboratory ([pglab@jm.kansai-u.ac.jp](mailto:pglab@jm.kansai-u.ac.jp)).

# 測定結果の信頼性とガイドライン達成確率

## - 高調波流出電流の推定を例として -

番匠大輔<sup>1</sup>, 林 重雄<sup>2</sup>, 田村坦之<sup>3</sup>, 長岡直人<sup>4</sup>, 山田直也<sup>4</sup>

### Reliability in Measurements and Clearing Probability

#### - An Estimate in Outflows of Harmonics Current -

Daisuke Banjo<sup>1</sup>, Shigeo Hayashi<sup>2</sup>, Hiroyuki Tamura<sup>3</sup>, Naoto Nagaoka<sup>4</sup>, Naoya Yamada<sup>4</sup>

#### 概要

高調波とは、商用周波数の整数倍の周波数を持つ交流電圧および交流電流である。高調波は受電設備に障害を与えるため、特定需要家は配電系統へ流出する高調波電流を規模に応じて抑制しなければならない。しかしながら、測定精度が十分でない場合、流出する高調波電流の推定結果にも不確実性が伴い、配電系統へ流出する高調波電流が許容量を超えているか否か判別することが困難になる。そこで本稿では、測定誤差に起因して生じる推定結果の不確実性を定量化し、推定結果そのものだけでなく、推定結果の信頼性も含めた高調波電流の評価を行う。

#### Abstract

In this paper we propose a method of evaluating harmonic currents under uncertainty caused by measurement error. The harmonics arise by the customer at the receiving points (RP). In the proposed method we calculate the most probable values and the absolute errors of the harmonics arising at the RP of the customer by using the reliability data of the measuring instruments and then evaluate the probability that the harmonics stay within the limits of the guideline.

キーワード：高調波，需要家，誤差伝播，達成確率

Keywords: Harmonics, Consumer, Error Propagation, Clearing Probability

---

1 関西大学 大学院工学研究科

2 関西大学 先端科学技術推進機構

3 関西大学 工学部

4 三菱電機ビルテクノサービス株式会社

## 1. まえがき

半導体機器の普及により，需要家から配電系統へ流出する高調波が問題になっている。そのため，高圧または特別高圧で受電し，一定規模以上の高調波発生機器を有する需要家（以下，特定需要家）は，資源エネルギー庁公益事業部より公表されている「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」（以下，ガイドライン）に従い，配電系統へ流出する高調波電流を一定値以下に抑えなければならない。

高調波抑制対策ガイドラインのような政策的制約が満たされているかどうか評価するためには，評価結果だけでなくその信頼性についても十分に考慮する必要がある。例えば，財政政策を例にとると，将来の財政収支を政策的制約とみなすことができるが，経済成長率などの仮定をどのように置くかによって結果が大きく異なる。また統計データは精度に限りがあり，実社会を完全にとらえきれているとは限らない。高調波抑制対策の場合，十分な測定精度が常に得られるわけではなく，判定を誤る可能性が生じる。

高調波は非線形負荷から発生し，電力系統の各所に分流する。ある需要家の非線形負荷で発生した高調波は別の需要家にも分流する。そのため，電力系統と需要家をつなぐ受電点には，当該の需要家にある高調波発生源に起因した高調波の成分（以下，需要家側に起因する高調波電流）だけでなく，他の需要家など当該需要家の外にある高調波発生源に起因した高調波の成分（以下，系統側に起因する高調波電流）も含まれている。ガイドラインを遵守するためには，需要家側に起因する高調波電流を知る必要があるが，需要家側に起因する高調波電流だけを直接測定することは物理的に不可能である。また，当該の需要家にある各負荷をそれぞれ直接測定し，系統側への分流比率を乗じてベクトル的に足し合わせることによって，需要家側に起因する高調波電流を算出することも可能であるが，複数の測定箇所での時間の同期を取る必要などがあるため多くの労力を要する。

従来，高調波電流を発生源別に分離する手法として，受電点において測定した電圧・電流の結果から高調波発生源と高調波インピーダンス（アドミタンス）を推定して分離する手法がよく知られている[1]-[3]。また電力系統と需要家の設備データが既知である場合には，そのデータから高調波インピーダンスを推定し，受電点において測定した電圧・電流の結果から高調波発生源を推定して分離することができる[4]-[5]。

受電点を流れる高調波電流を分離するためには受電点において電圧・電流を測定する必要があるが，十分な測定精度が得られないことが多い。そのため，高調波の測定結果を用いて計算を行うときには，最確値だけでなく計算結果の絶対誤差も評価することが重要である[6]。筆者らは，需要家側に起因する高調波電流の計算に際して最確値と絶対誤差を算出する。さらに，ガイドラインにある上限値と需要家側に起因する高調波電流の計算結果を比較するため，需要家側に起因する高調波電流がガイドラインの上限値以下に納まっている確率（以下，ガイドライン達成確率）を計算する。計算したガイドライン達成確率か

ら計算結果の信頼度を定量的に評価し、計算結果に生じる誤差を考慮した高調波電流の評価を行う。

## 2. 高調波電流の発生源別分離手法

受電点には、需要家側に起因する高調波電流と系統側に起因する高調波電流が流れている。ガイドラインには需要家側に起因する高調波電流の上限値が定められているが、需要家側に起因する高調波電流だけを直接測定することは不可能である。系統側に起因する高調波電流が需要家側に起因する高調波電流に比べて十分に小さい場合には受電点電流の測定値をそのままガイドラインと比較することもできるが、そうでない場合には需要家側に起因する高調波電流と系統側に起因する高調波電流を分離する必要がある。需要家側に起因する高調波電流と系統側に起因する高調波電流を分離するためには、まず需要家側の高調波発生源を推定し、推定した高調波発生電流に系統側への分流比率（以下、流出係数）を乗じて需要家側に起因する高調波電流を分離する。

### 2.1 系統モデル

受電設備の系統図を Fig. 1 に示し、等価回路を Fig. 2 に示す。

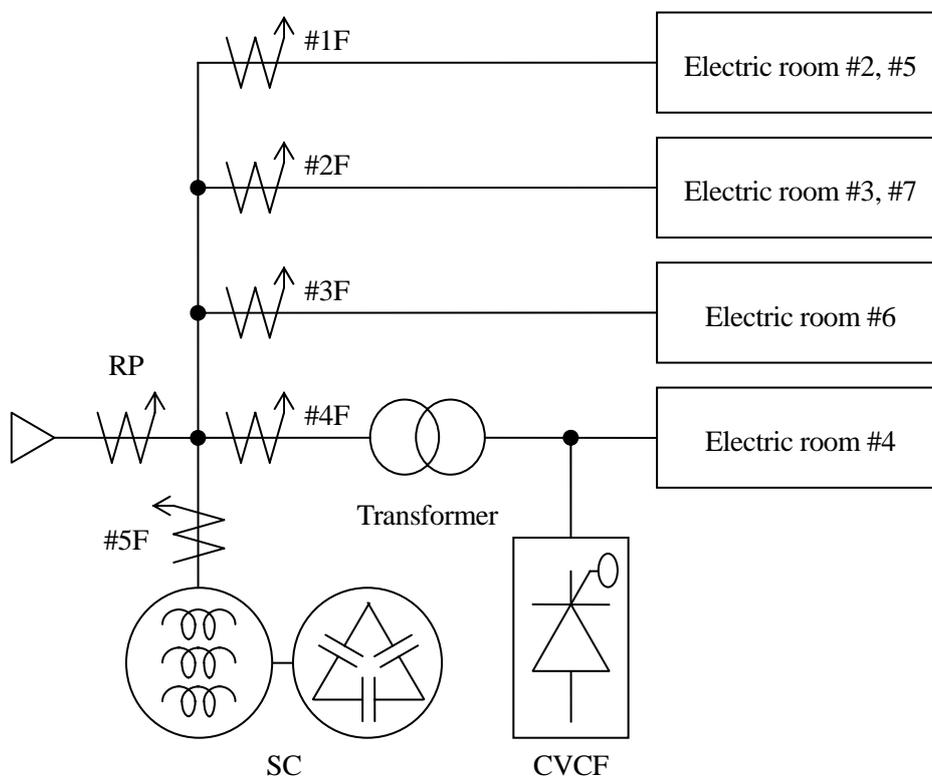


Fig. 1. System diagram of the access to electricity

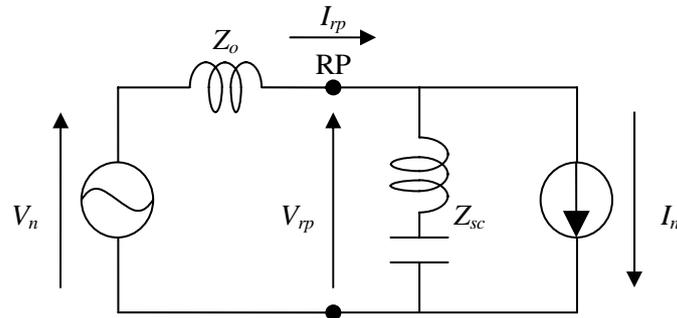


Fig . 2. Equivalent circuit of examination system in Fig. 1

$I_n$  : 需要家側の高調波発生電流,  $I_{rp}$  : 受電点電流,  
 $V_n$  : 系統側の高調波発生電圧,  $V_{rp}$  : 受電点電圧  
 $Z_{sc}$  : SC のインピーダンス,  $Z_o$  : 外部系統のインピーダンス

## 2.2 高調波発生源の推定

### (1) 線間電圧から相電圧への変換

検討対象の受電設備は三相三線式である。そこで二つの線間電圧から相電圧を算出する。非接地系の場合、R 相電圧  $V_R$  と T 相電圧  $V_T$  の算出式は

$$\begin{cases} V_R = \frac{2V_{RS} - V_{TS}}{3} \\ V_T = \frac{2V_{TS} - V_{RS}}{3} \end{cases} \quad (1)$$

となる。ただし、 $V_{RS}$  は RS 相間の線間電圧、 $V_{TS}$  は TS 相間の線間電圧である。

### (2) 高調波発生電流の算出

高調波発生電流  $I_n$  を算出するためには、受電点電圧  $V_{rp}$  と受電点電流  $I_{rp}$  を測定すればよい。キルヒホッフの電流則から高調波発生電流  $I_n$  の算出式は

$$I_n = I_{rp} - \frac{V_{rp}}{Z_{sc}} \quad (2)$$

となる。なお、高調波が発生しない一般負荷の高調波インピーダンスは、SC のインピーダンス  $Z_{sc}$  に比べて十分に大きいとする。

## 2.3 流出係数の算出

### (1) 外部系統のインピーダンスの算出

需要家側から系統側へ流出する高調波電流は、当該需要家の受電設備だけでなく、系統側の設備にも影響を受ける。当該需要家を除いた系統側の構成を Fig. 3 に示し、等価回路を Fig. 4 に示す。

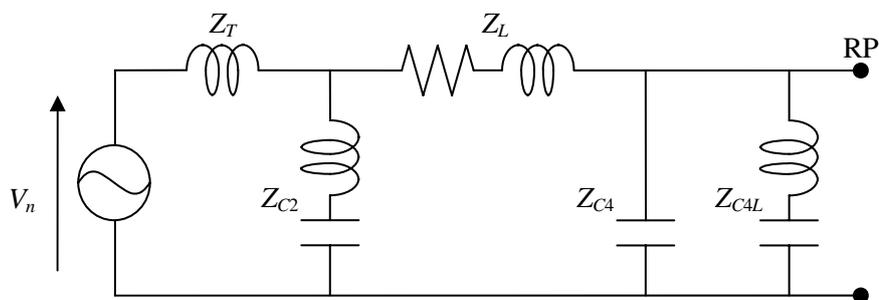


Fig . 3. Power system diagram

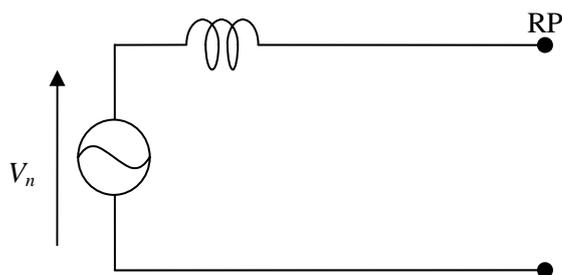


Fig . 4. Equivalent circuit of power system

$Z_T$  : 配電用変電所における変圧器のインピーダンス

$Z_{C2}$  : 配電変電所における SC のインピーダンス

$Z_L$  : 配電線のインピーダンス

$Z_{C4}$  : 直列リアクトル無し SC を持つ需要家群のインピーダンス

$Z_{C4L}$  : 直列リアクトル有り SC を持つ需要家群のインピーダンス

外部システムのインピーダンスを算出するためのデータはその都度調達することが望ましいが、調達が困難な時には文献[7]を用いることとする。

## (2) 流出係数の算出

高調波発生源で発生した高調波発生電流  $I_n$  は、系統側だけでなく SC にも分流する (Fig. 2 参照)。したがって、流出係数  $k_o$  の算出式は式(3)となる。

$$k_o = \frac{Z_{sc}}{Z_o + Z_{sc}} \quad (3)$$

## 2.4 需要家側に起因する高調波電流の算出

需要家側に起因する高調波電流を算出するためには、当該需要家にある高調波発生源から発生した高調波発生電流  $I_n$  に流出係数  $k_o$  を乗じればよい。したがって、需要家側に起因する高調波電流  $I_{rpC}$  は式(4)となる。

$$\begin{aligned} I_{rpC} &= k_o I_o \\ &= \frac{Z_{sc} I_{rp} - V_{rp}}{Z_o + Z_{sc}} \end{aligned} \quad (4)$$

## 3. 高調波測定における誤差

### 3.1 誤差が生じる要因

以下では、計算結果に誤差が生じる要因を列挙する。

#### (1) 外部系統の設備容量の調査結果

外部系統の設備容量の調査結果は大きく 2 つに分けることができる。1 つは電力会社の設備に関する調査結果であり、もう 1 つは外部の他の需要家の設備に関する調査結果である。特に、外部の他の需要家の設備に関する調査結果には、調査漏れがある可能性がある。

#### (2) PT・CT

計器用変圧器（以下、PT）や計器用変流器（以下、CT）などの計測器はその達成誤差が規格によって決められており、その範囲で誤差が発生する。

#### (3) 測定器

測定器では、バッファ増幅器の特性により生じる誤差と A/D 変換による量子化誤差、フーリエ変換時のサンプリング誤差に起因した解析誤差が発生する。

### 3.2 絶対誤差の算出

需要家側に起因する高調波電流を算出するためには、まず極座標系の測定値を直交座標系に変換し、さらに線間電圧から相電圧に変換する必要がある。その上でキルヒホッフの法則に基づいた回路方程式を解く必要がある。誤差の大きい測定値を用いて計算を行う以上、最終的な結果にどの程度の誤差が生じるか十分に検討する必要がある。

$m$  個の測定値  $x_1, \dots, x_m$  の絶対誤差をそれぞれ  $\Delta x_1, \dots, \Delta x_m$  とし、 $x_1, \dots, x_m$  の誤差が互いに独立かつランダムであると仮定すると、 $m$  個の測定値からなる計算値  $C(x_1, \dots, x_m)$  の絶対誤差  $\Delta C$  は

$$\Delta C = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial C}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (5)$$

となる[8]。式 (5) を見ると、仮に測定値の誤差が小さい場合でも偏微分係数が大きいと、計算値の誤差も大きくなる可能性があることがわかる。

例えば需要家側に起因する R 相高調波電流の振幅であるが、需要家側の R 相高調波電流を求めるためには R 相受電点電流の振幅  $\alpha_{rpR}$  と位相  $\theta_{rpR}$ 、RS 相受電点電圧の振幅  $\beta_{rpRS}$  と位相  $\phi_{rpRS}$ 、TS 相受電点電圧の振幅  $\gamma_{rpTS}$  と位相  $\phi_{rpTS}$  の計 6 つの測定値が必要である (式 (1) および式 (6) 参照)。測定値だけでなく需要家群の SC の総容量  $S_{C4}$  にも誤差が生じるため、需要家側に起因する R 相高調波電流の振幅  $I_{rpCRA}$  の絶対誤差  $\Delta I_{rpCRA}$  は

$$\begin{aligned} \Delta I_{rpCRA} = & \left\{ \left( \frac{\partial I_{rpCRA}}{\partial \alpha_{rpR}} \Delta \alpha_{rpR} \right)^2 + \left( \frac{\partial I_{rpCRA}}{\partial \theta_{rpR}} \Delta \theta_{rpR} \right)^2 \right. \\ & + \left( \frac{\partial I_{rpCRA}}{\partial \beta_{rpRS}} \Delta \beta_{rpRS} \right)^2 + \left( \frac{\partial I_{rpCRA}}{\partial \phi_{rpRS}} \Delta \phi_{rpRS} \right)^2 \\ & + \left( \frac{\partial I_{rpCRA}}{\partial \gamma_{rpTS}} \Delta \gamma_{rpTS} \right)^2 + \left( \frac{\partial I_{rpCRA}}{\partial \phi_{rpTS}} \Delta \phi_{rpTS} \right)^2 \\ & \left. + \left( \frac{\partial I_{rpCRA}}{\partial S_{C4}} \Delta S_{C4} \right)^2 \right\}^{0.5} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。例えば、中括弧の内側、第一項が  $I_{rpRA}$  の測定誤差に起因した誤差成分である。なお  $\Delta S_{C4}$  は調査漏れの誤差である。各測定値の誤差は互いに独立かつランダムに発生する。

### 3.3 ガイドライン達成確率

ガイドラインには、需要家側に起因する高調波電流の振幅について上限値が定められている。振幅は 0 以上の範囲で定義されているため、需要家側に起因する高調波電流の振幅  $I_{rpCA}$  の測定値は、最頻値が最確値  $I_{rpCA0}$ 、標準偏差が誤差  $\Delta I_{rpCA}$  の切断正規分布[9]に従うと仮定する。切断正規分布を Fig .5 に示す。

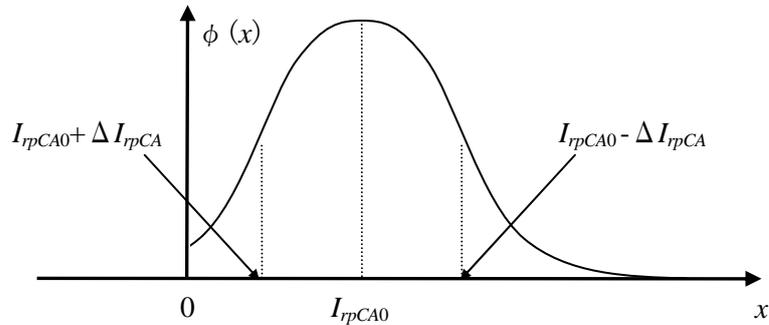


Fig. 5. Truncated normal distribution

ガイドラインの上限値を  $I_g$  ( $>0$ ) とすると、ガイドライン達成確率  $P_{in}$  は式 (7) となる。ただし  $\phi$  は  $I_{pCA}$  の確率密度関数である。

$$P_{in} = \int_0^{I_g} \phi(x) dx \quad (7)$$

ガイドライン達成確率の算出方法は以下のとおりである。

- Step 1.** 式 (4) を用いて需要家側に起因する高調波電流の振幅の最確値を算出する。
- Step 2.** 式 (6) を用いて需要家側に起因する高調波電流の振幅の絶対誤差を算出する。
- Step 3.** 算出した最確値と絶対誤差から切断正規分布の確率密度関数を導出する。
- Step 4.** 導出した確率密度関数をガイドラインの上限値以下の範囲で数値積分する。

## 4. 測定データの収集

誤差の影響も含めた高調波電流の発生源別分離手法の有用性を実証するため、受電設備の測定データを用いて高調波電流を分離し、ガイドラインとの比較を行う。

### 4.1 受電設備の概要

対象の受電設備がある電力システムの系統周波数は 50Hz である。受電電圧は 6.6kV であり、契約電力は 850kW である。フィーダ別に 4 つの負荷があるが、第 4 電気室の負荷が 24 時間稼動であるため、停電時の対策として無停電電源装置（以下、CVCF）が付設されている（Fig. 1 参照）。対象の受電設備は非接地系であるため、測定した線間電圧を相電圧に変換して検証を行う。

### 4.2 測定系の誤差

高調波の振幅および位相は、基本波に基づく測定レンジで測定されたひずみ波にフーリエ変換を施して計算される。そのため基本波に比べて振幅が小さい高調波の測定値は、おのずと大きな相対誤差を有する。従って測定値を使用した計算値も大きな誤差を有している可能性があり、ガイドラインと比較するためには、測定誤差が計算結果におよぼす影響について十分に検討する必要がある。

測定系の概要を Fig. 6 に、測定系の誤差を Table 1 に示す。電圧・電流の測定データは、PT・CT を介し、入力ユニットを通して測定器本体に送られる。測定器本体は送られた測定データにフーリエ変換を施し、最終的な測定結果を出力する。この測定の過程で発生する誤差として、PT・CT で生じる誤差、バッファ増幅器で生じる誤差、測定器本体で生じる誤差が考えられる。

振幅の誤差は、測定レンジのフルスケールに比例する成分と読取値に比例する成分から成っている。フルスケールに比例する誤差成分の主な要因は A/D 変換時に生じる量子化

誤差である。高調波測定器の測定レンジは基本波に基づいた測定レンジであり、基本波に比べて小さい高調波のフルスケールに比例する誤差成分は無視できない。したがって、量子化誤差も十分に考慮して絶対誤差（式（6）参照）を算出する必要がある。

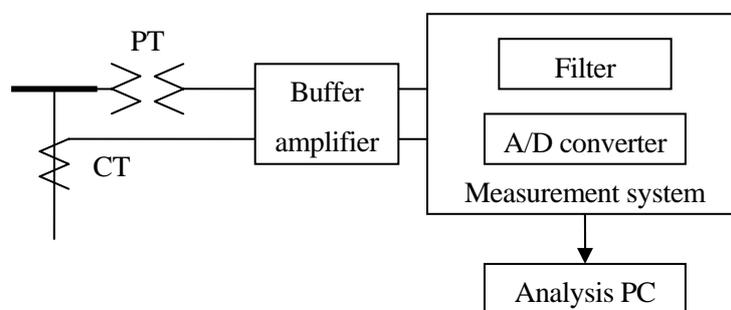


Fig. 6. Diagram of Measurement System

Table 1 Measurement errors of measuring system

| Occurrence point of error | Accuracy of amplitude                           | Accuracy of phase                          |
|---------------------------|---|--|
| PT・CT                     | $\pm 0.5\% \text{rdg.}, \pm 0.05\% \text{f.s.}$ | $\pm 0.5 \text{deg}$                       |
| Buffer amplifier          | $\pm 0.3\% \text{rdg.}, \pm 0.2\% \text{f.s.}$  | $\pm 0.5 \text{deg}$                       |
| Measuring equipment body  | $\pm 0.05\% \text{f.s.}$                        | $\pm 0.0248 \times 100 \div a \text{ deg}$ |

Notice 1: %rdg is %reading

Notice 2: %f.s. is %fullscale

Notice 3:  $a$  is measured value/measurement range ratio

#### 4.3 外部システムのインピーダンスの調査誤差

他の需要家の SC の容量の調査結果には、調査漏れがある可能性がある。本論文では、需要家群の SC 容量の総和 SC4 の相対誤差を 50% と仮定するが、一般に外部システムのインピーダンスは受電設備にある SC のインピーダンスに比べて小さく、調査誤差の影響は限定される。

### 5. 高調波電流の分離結果とガイドラインとの比較

本節では、高調波発生電流、流出係数および需要家側に起因する高調波電流の計算結果の妥当性を検証する。なお、5次、7次、11次の高調波に対象にして検証を行う。

需要家側に起因する高調波電流を直接測定することは不可能であるが、その計算過程で必要な高調波発生電流を直接測定することは可能である。そこで高調波発生電流については、直接測定した結果と計算結果を比較する。SC やフィルタがあると高調波発生電流を直接測定できないため、SC とフィルタを取り外して測定を行う。

設備構成を Table 2 にまとめる。設備構成タイプ 1 は受電点を流れる高調波電流を分離してガイドラインとの比較を行う設備構成である。設備構成タイプ 2 は高調波発生電流を直接測定するための設備構成である。

Table 2 Composition of facilities

| Type | SC     |
|------|--------|
| 1    | 100kVA |
| 2    | OFF    |

### 5.1 高調波発生電流

設備構成タイプ 1 において受電点で測定した電圧・電流の値から計算した高調波発生電流の振幅（計算値）と、設備構成タイプ 2 において第一から第四フィードの四つの高調波発生源をそれぞれ直接測定してベクトルの的に足し合わせた高調波発生電流の振幅（測定値）を Fig. 7 に示す。第一から第四フィードの高調波発生源では、5 次と 11 次の高調波が多く発生している。測定値の誤差の範囲はすべて計算値の誤差の範囲より広い。これは、測定値とはいえどもベクトルの的に足し合わせるために計算過程で誤差が拡大しやすく、また測定値は計算値より測定箇所が多いためである。

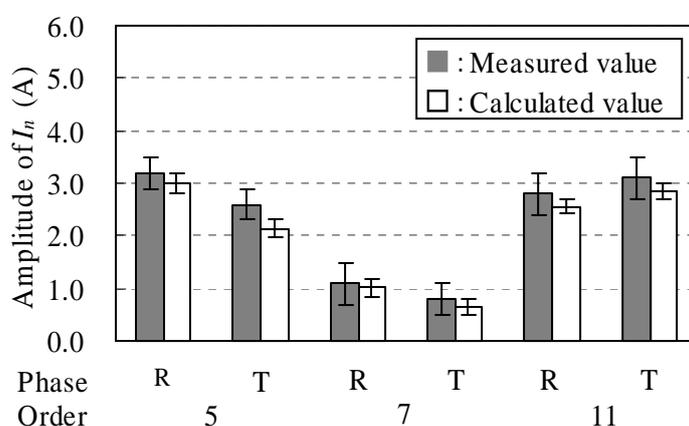


Fig. 7. Comparison of harmonics current sources

### 5.2 流出係数

第一から第四フィードの高調波発生源の流出係数の絶対値を Fig. 8 に示す。5 次の流出係数の絶対値は約 1.0 であり、5 次の高調波のほぼすべてが系統側へ流出することがわかる。7 次の流出係数は、5 次や 11 次の流出係数に比べ、誤差の範囲が非常に大きい。これは、外部系統の高調波インピーダンスの絶対値が 7 次付近で最大になるためである。11 次の流

出係数は 1.0 を超えている。これは、外部システムの容量性リアクタンスと受電設備内にある SC の誘導性リアクタンスが並列共振に近い状態を引き起こしているためであり、系統条件によっては高調波電流の拡大現象が起こることがわかる。

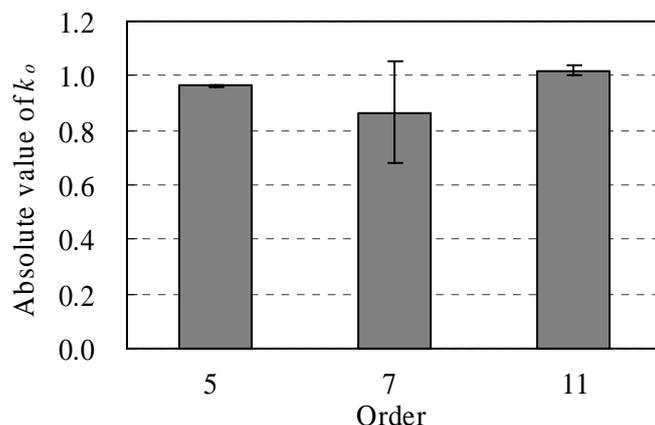


Fig. 8. Absolute value of outflow factor

### 5.3 需要家側に起因する高調波電流

設備構成タイプ 1 において測定した結果を用いて算出した需要家側に起因する高調波電流の振幅とガイドラインの上限値を Fig. 9 に、ガイドライン達成確率を Fig. 10 に示す。5 次の R 相では、最確値でこそガイドラインの上限値を超えていないものの、上限値を超えている可能性があり、複数回にわたって測定を行うなどのより詳細な検討が必要である。7 次では、R 相と T 相ともに上限値以下の値になっている。11 次では、明らかにガイドラインの上限値を超えており、フィルタの設置など、高調波抑制対策が必要である。

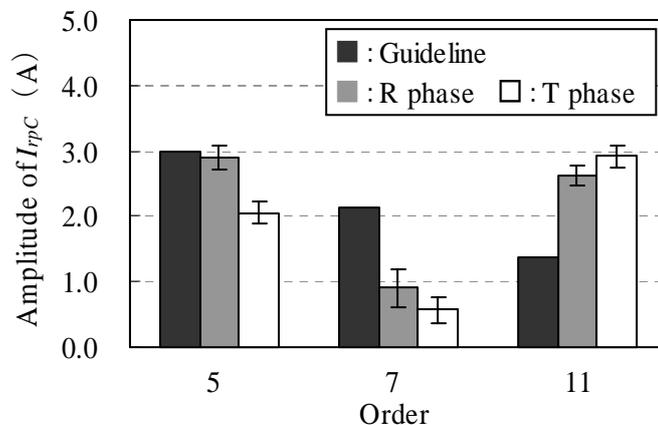


Fig. 9. The customer's element

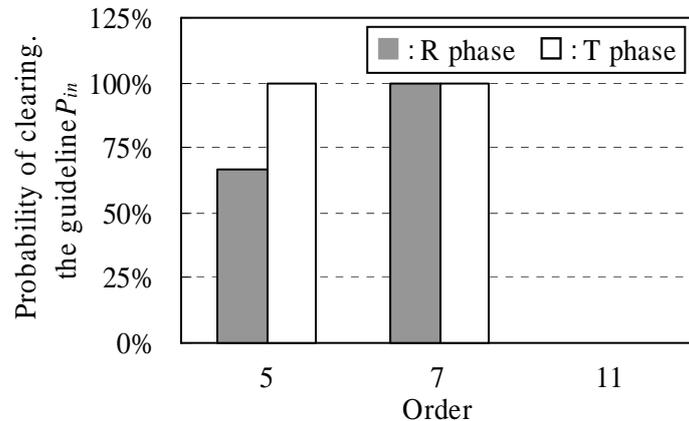


Fig. 10. Probability of clearing the guideline

## 6. むすび

受電点の高調波電流を系統側に起因する高調波電流と需要家側に起因する高調波電流に分離する手法を実証した。

高調波は基本波に比べて振幅が非常に小さいため、その計測結果の精度は必ずしも十分でない。したがって、ガイドラインを達成しているかどうかの評価をするためには誤差について考慮する必要がある。そこで切断正規分布を仮定してガイドライン達成確率の算出し、需要家側に起因する高調波電流の分離結果の信頼度を定量的に評価することを提案した。受電設備において高調波電流を評価するとき、測定値を用いて計算した結果に含まれる誤差は大きく、その信頼度を定量的に評価することが重要であると考えられる。

本稿では、高調波抑制対策を例とし、ガイドライン達成確率を定義して測定誤差という不確実性が計算結果に与える影響について検討を行った。高調波抑制対策ガイドラインにかかわらず政策的制約について考える際には、直面する不確実性の程度を小さくすることがなによりも重要である。しかしながら、測定器や統計データの精度は有限であって不確実性がゼロにならない以上、各種の不確実性が存在することを前提にして政策的制約を設けることが重要である。

最後に、本研究に尽力していただいた三菱電機ビルテクノサービス株式会社の関係各位ならびに関西大学 旧電力システム研究室の諸兄に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 雪平謙二:「配電用変電所における高調波電流の方向別分離手法」, 電学論 B, Vol. 117-B, No. 3, pp. 308-315 (1997)
- [2] W. Xu and Y. Liu: “A Method for Determining Customer and Utility Harmonic Contributions at the Point of Common Coupling,” IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 15, No. 2, pp. 804-811 (2000)
- [3] C. Li, W. Xu and T. Tayjasanant: “A ‘Critical Impedance’-based Method for Identifying Harmonic Sources,” IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 19, No. 2, pp. 671-678 (2004)
- [4] 元井一朝, 萩本達也, 川田明, 林重雄, 斉藤薫, 山田直也:「受電点のみのデータを用いた高調波流出電流の解析法」, 電気学会全国大会講演論文集, Vol. 1999, No. 7, pp. 7.183-7.184 (1999)
- [5] 施俊彦, 川田明, 林重雄, 斉藤薫, 山田直也:「ビル設備における高調波電流の評価法」, 電気設備学会研究発表会講演論文集, Vol. 19th, pp. 195-7.198 (2001)
- [6] 金尾則一, 山下益功, 柳田孫肖, 水上宗久, 雪平謙二:「電力系統における高調波の状態推定の実証」, 電学論 B, Vol. 122-B, No. 4, pp. 536-544 (2002)
- [7] 電力用コンデンサ予防保全調査専門委員会:「わが国における電力用並列コンデンサの設置状況, 稼働状況および無効電力配分状況に関する調査結果」, 電気学会技術報告, 第 655 号 (1994)
- [8] J. R. Taylor: “An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements,” University Science Books (1982)
- [9] 蓑谷千鳳彦:「統計分布ハンドブック」, 朝倉書店 (2003)