

「パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法」  
標準特別委員会

委員長 田中 康寛

幹事 福間 眞澄

幹事補佐 村上 義信, 三宅 弘晃

## 1. はじめに

このテクニカルレポートは、電圧印加により電気絶縁材料中に蓄積する空間電荷分布を測定する手法として、世界各国で広く使用されているパルス静電応力 (Pulsed Electro-acoustic : PEA と略記) 法と呼ばれる測定手法の標準的な校正法について紹介するものである。パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法標準特別委員会において 2009 年 4 月に制定作業に着手し、慎重審議の結果、2012 年 7 月に成案を得て、2012 年 7 月 31 日に規格役員会の承認を経て制定された。

## 2. 背景

日本の研究者によって開発された空間電荷分布測定法の一つである PEA 法は、誘電・絶縁材料を評価する技術として、すでに多くの研究者により利用されている。しかしながら、PEA 法により得られた測定結果を統一して比較するための校正法に関する規格が存在しておらず、その校正は PEA 法を使用する測定者に委ねられているのが実情である。電気学会では、過去にも標準的な計測法をまとめるための調査専門委員会を設立し、技術報告 (第 834 号) を発刊したが、規格化までには至っていない。一方、PEA 法は海外でも多く使用されているため、海外の利用者からも校正法の規格化を求める声が多く上がり、CIGRE (国際大電力システム会議) のワーキンググループでその規格化が検討され (Technical Brochure, No. 288, TF D1.12.01)、その後 IEC (国際電気標準会議) に引き継がれる形で、校正法に関する技術仕様書 (Technical Specification : TS と略記) を制定する活動が開始され、

発刊に至っている (IEC/TS 62758)。PEA 法は、日本の研究者により開発された日本発の技術であるので、IEC において TS が制定されることに平行して、我が国の JEC においても TR を制定すべきであろうという声が電気規格調査会で上がってきた。そこで、電気規格調査会では 2009 年 4 月に「パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法標準特別委員会」を設立し、この度、標記のテクニカルレポートの発刊に至った。

## 3. 内容

このテクニカルレポートの要旨は次の事項である。

- (1) PEA 法の校正法の原理について詳細に記述するとともに、PEA 法の測定原理の詳細についても、付録として紹介している。PEA 法の校正法としては、標準的な板状の試料 (ポリメタクリル酸メチル : PMMA) に直流電圧を印加し、得られる信号を位置的に積分して求めた電界分布が、(印加した電圧) / (試料の厚さ) に等しくなるように校正する手法を紹介している。
- (2) PEA 法に使用される測定装置の構成について紹介し、標準的な校正法の手順について具体的に記述している。すなわち、試料の設置方法、印加するパルス電圧の選択、信号処理などについて、詳細に記述している。
- (3) 上記の校正法を用いて校正された、標準的な空間電荷分布の測定結果例や、各種の試料についての測定結果を紹介している。すなわち、高分子絶縁材料の絶縁破壊と空間電荷の関係や、伝導電流と空間電荷分布の関係などを調査した例についても示している。

特に上記 (2) の校正手順については、IEC/TS においても提案された新たな手法についての手順が日本語で記してあり、今後、絶縁材料の研究・開発を行うために PEA 法を使って空間電荷の蓄積を評価する機会がある方にとっては、標準的な校正法を学ぶことのできる有益なテクニカルレポートであるので、関係する立場の方にはぜひご活用いただきたい。

# JEC-TR

電気学会 電気規格調査会テクニカルレポート

パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法

JEC-TR-61004-2012

# JEC-TR-61004<sup>-2012</sup>

電気学会 電気規格調査会テクニカルレポート

## パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法

### 緒 言

#### 1. 制定の経緯と要旨

このテクニカルレポート (Technical Report: TRと略記) は、パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法標準特別委員会において2009年4月に制定作業に着手し、慎重審議の結果、2012年7月に成案を得て、2012年7月31日に規格委員会の承認を経て制定されたものである。

日本の研究者によって開発された空間電荷分布測定法の一つであるパルス静電応力 (Pulsed Electro-acoustic: PEAと略記) 法は、誘電・絶縁材料を評価する技術として、既に多くの研究者により利用されている。しかしながら、PEA法により得られた測定結果を統一して比較するための校正法に関する規格が存在しておらず、その校正はPEA法を使用する測定者に委ねられているのが実情である。電気学会では、過去にも標準的な計測法をまとめるための調査専門委員会を設立し、技術報告 (第834号) を発刊したが、規格化までには至っていない。一方、PEA法は海外でも多く使用されているため、海外の利用者からも校正法の規格化を求めめる声が多く上がり、CIGRE (国際大電力システム会議) のワーキンググループでその規格化 (Technical Brochure, No. 288, TF D1.12.01) が検討され、その後IEC (国際電気標準会議) に引き継がれる形で、校正法に関する技術仕様書 (Technical Specification: TSと略記) を制定する活動が開始されている。PEA法は、日本の研究者により開発された日本発の技術であるので、IECにおいてTSSが制定される前に、我が国のJECにおいてTRを制定すべきであろうという声が電気規格調査会であってきた。この度PEA法による空間電荷分布測定 of 校正法に関するJEC-TRを作成することにより、今後、PEA法を絶縁材料システム設計の基本的な計測法として確立することに寄与できる。

#### 2. 対応国際規格名

現在のところ、該当する国際規格は存在しない。但し、このTRを基にIECのTSを作成する予定である。

#### 3. 引用規格名

このTR作成にあたっては、参考にした、または引用した規格は特にない。

#### 4. 標準特別委員会

標準特別委員会名：パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法標準特別委員会

委員長	田中 康寛	(東京都大学)	委員	西森 才将	(日東電工)
幹事	福岡 真澄	(松江工業高等専門学校)	同	橋本 雄一	(大同大学)
委員	大木 義路	(早稲田大学)	同	穂積 直裕	(豊橋技術科学大学)
同	門脇 一則	(愛媛大学)	同	前野 恭	(情報通信研究機構)
同	河野 唯通	(フアイブラボ)	同	水野 健彦	(ビスキヤス)
同	清水 教之	(名城大学)	同	村田 義直	(ジェイ・パワー・システムズ)
同	高田 達雄	(東京都大学)	幹事補佐	三宅 弘晃	(東京都大学)
同	長尾 雅行	(豊橋技術科学大学)	同	村上 義信	(豊橋技術科学大学)

標準化委員会名：電気材料部会兼電気材料標準化委員会

部会長	大木 義路	(早稲田大学)	委員	高野 哲美	(富士電機)
副部会長	山野 芳昭	(千葉大学)	同	田中 俊哉	(ビスキヤス)
幹事	平井 直志	(早稲田大学)	同	田中 康寛	(東京都大学)
同	本間 宏也	(電力中央研究所)	同	平野 嘉彦	(東芝)
委員	阿部 晋	(神奈川大学)	同	宮城 克徳	(金沢工業大学)
同	岡本 達希	(電力中央研究所)	同	薮本 政男	(新日本製鐵)
同	金子 剛	(金子技術研究所)	同	渡邊 英紀	(元首都大学東京)
同	木村 健	(奈良工業高等専門学校)	幹事補佐	布施 則一	(電力中央研究所)
同	小林 金也	(日立製作所)			

# JEC-TR-61004-2012

電気学会 電気規格調査会テクニカルレポート

## パルス静電応力法による空間電荷分布測定の校正法

### 目 次

1. 適用範囲	5
2. 用語の意味	5
2.1 空間電荷	5
2.2 パルス静電応力 (PEA) 法	5
2.3 圧電素子	5
2.4 校正	5
2.5 デコンボリューション処理	6
3. 測定信号校正に先立つ基本法則	6
3.1 誘電率と誘導電荷密度	6
3.2 誘電体中の電荷と電位の式	6
3.3 電界により電荷に働く力	6
3.4 特性音響インピーダンスと圧力波の発生	6
3.5 圧力波の透過, 反射	7
3.6 マクスウェル応力	7
3.7 線形システムの応答	7
4. 校正原理	8
4.1 校正法の概略	8
4.2 実際の校正波形例	9
5. 校正手順	10
5.1 校正手順概略	10
5.2 測定環境	10
5.3 校正用試料の準備と設置	10
5.4 信号波形の取得	12
5.5 信号処理	14
5.6 線形性の確認と空間電荷分布測定	16
5.7 線形性の確認例	16
5.8 実際の空間電荷分布の測定例	17

解説	パルス静電応力 (PEA) 法の原理と測定装置構成	20
解説1.	PEA法の原理	20
解説1.1	PEA法における応力の発生	20
解説1.2	圧力波の伝搬と特性音響インピーダンス	21
解説1.3	界面に作用する力により発生する圧力波の伝搬の割合	22
解説1.4	界面における圧力波の透過と反射	22
解説1.5	PEA法における圧力波の発生と伝搬	22
解説1.6	圧電素子による電気信号への変換	25
解説1.7	測定の位置分解能	26
解説2.	デコンボリューション処理	27
解説2.1	装置の伝達関数の算出	27
解説2.2	測定波形のデコンボリューション処理	28
解説2.3	測定結果の校正法	30
解説2.4	ガウシアンフィルタ	31
解説3.	測定装置	33
解説3.1	測定装置本体	33
解説3.2	パルス電圧発生器	34
解説3.3	直流高電圧電源	34
解説3.4	デジタルオシロスコープ	35

This is a preview - click here to buy the full publication



IEC/TS 62758

Edition 1.0 2012-09

# TECHNICAL SPECIFICATION



---

**Calibration of space charge measuring equipment based on the pulsed electro-acoustic (PEA) measurement principle**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

PRICE CODE



---

ICS 17.220.99; 29.035.01; 29.080.30

ISBN 978-2-83220-336-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.**

## CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope .....	7
2 Normative references .....	7
3 Terms and definitions .....	7
4 Basic theory for measurement.....	8
4.1 Permittivity and induced charge density .....	8
4.2 Charge in dielectrics and Poisson’s law.....	8
4.3 Coulombic force of charge in electric field .....	9
4.4 Reflection and transmission of pressure wave .....	9
4.5 Maxwell stress.....	9
4.6 Response of linear system.....	10
5 Procedure to calibrate the space charge measurement.....	10
5.1 Principle of calibration .....	10
5.1.1 General .....	10
5.1.2 Typical result of calibration measurement .....	11
5.2 Sample preparation .....	12
5.2.1 Sample for calibration measurement.....	12
5.2.2 Sample placement .....	13
5.3 Data acquisition.....	13
5.3.1 Pulse voltage test .....	13
5.3.2 Averaging .....	13
5.3.3 Data acquisition for calibration .....	14
5.3.4 Signal obtained under short circuit condition.....	15
5.4 Data processing and calibration .....	15
5.4.1 Deconvolution.....	15
5.4.2 Calibration for horizontal axis and calculation of waveform for electric field distribution .....	16
5.4.3 Calibration for electric field and charge density distributions .....	16
5.4.4 Confirmation of linearity of measurement.....	17
5.4.5 Typical test results by expert members of project team .....	17
Annex A (informative) Theory of PEA method .....	21
Bibliography .....	35
Figure 1 – Theoretical distributions for calibration measurement .....	11
Figure 2 – Typical result of calibration measurement .....	12
Figure 3 – Drop of silicone oil and sample placement .....	13
Figure 4 – Pulse voltage application test .....	13
Figure 5 – Dependence of averaging number .....	14
Figure 6 – Measurement of waveform for calibration.....	15
Figure 7 – Confirmation of absence of space charge accumulation during d.c. voltage application for calibration .....	15
Figure 8 – Deconvolution and calibration.....	16
Figure 9 – Calibration for electric field and charge density distributions.....	17

Figure 10 – Confirmation of linearity measurement .....	17
Figure 11 – Results of calibration test by research Group A .....	18
Figure 12 – Results of calibration test by research Group B .....	18
Figure 13 – Results of calibration test by research Group C .....	19
Figure 14 – Results of calibration test by research Group D .....	19
Figure 15 – Results of calibration test by research Group E .....	19
Figure A.1 – Principle of acoustic wave generation in PEA method .....	22
Figure A.2 – Pressure wave propagation in PEA measurement system .....	24
Figure A.3 – Response of piezo-transducer .....	25
Figure A.4 – Transform from pressure to amount of charge induced on piezo-transducer .....	25
Figure A.5 – Relationship between the pulse width and thickness of piezo-transducer .....	26
Figure A.6 – Adequate spatial resolution .....	27
Figure A.7 – Example of two types of signal .....	29
Figure A.8 – Calculation flow for deconvolution .....	30
Figure A.9 – Effect of Gaussian filter .....	31
Figure A.10 – PEA measurement apparatus .....	32
Figure A.11 – Equivalent circuit for voltage application .....	33
Figure A.12 – Equivalent circuit for signal detection .....	34
Table 1 – Measurement resolution .....	20

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

### **CALIBRATION OF SPACE CHARGE MEASURING EQUIPMENT BASED ON THE PULSED ELECTRO-ACOUSTIC (PEA) MEASUREMENT PRINCIPLE**

#### FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 62758, which is a technical specification, has been prepared by technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
112/206/DTS	112/219/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical specification can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- transformed into an International Standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

A bilingual version of this publication may be issued at a later date.

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## INTRODUCTION

The pulsed electro-acoustic (PEA) method has been used to measure space charge distribution in dielectric materials by many researchers, and it has been accepted, in general, as a useful method to understand the electrical properties of dielectric materials. However, since PEA measurement equipments have been developed/used independently by different researchers over the world, there has not yet been any standard way to evaluate whether a system works properly. The IEC has therefore established a project team to create a standard procedure to evaluate PEA measurement equipment. This technical specification is the result.

## **CALIBRATION OF SPACE CHARGE MEASURING EQUIPMENT BASED ON THE PULSED ELECTRO-ACOUSTIC (PEA) MEASUREMENT PRINCIPLE**

### **1 Scope**

IEC 62758, which is a technical specification, presents a standard method to estimate the performance of a pulsed electro-acoustic (PEA) measurement system. For this purpose, a systematic procedure is recommended for the calibration of the measurement system. Using the procedure, users can estimate whether the system works properly or not.

### **2 Normative references**

None.