

# 国際標準化に対応した 高電圧・大電力試験の最新動向

～試験所の有効活用により、国際標準への適合を目指す～

東京大学 石井 勝<sup>◇1</sup>

金沢大学 田中 康規<sup>◇2</sup>

株式会社 日立製作所 木田 順三<sup>◇3</sup>

## 1. まえがき

世界的な課題である地球環境問題について、さまざまな国・地域・分野にて対策への取り組みがなされており、電力・エネルギー事業分野は、持続可能な社会の実現を目指す全世界的な活動において根幹をなす重要な要素の一つといえる。地球温暖化防止を目的としたカーボンニュートラルを目指すグリーン成長戦略にのっとり、脱炭素化への対応も求められる等、従前からは電機業界を取り巻く環境が大きく変化している。このようなグローバルな動向においては、各国が相互に協調した取り組みが必要となり、国際標準への対応の重要性が増してきている。

このような業界の状況の中、一般社団法人 日本電機工業会 (JEMA) における国際標準への対応の取り組みの一環として、日本高電圧・インパルス試験所委員会 (JHILL: Japan High-voltage Impulse testing Laboratory Liaison)<sup>(1)</sup> と日本短絡試験委員会 (JSTC: Japan Short Circuit Testing Committee)<sup>(2)</sup> を組織し、電力用機器の高電圧・大電力試験に関わる標準化・適合性評価活動に取り組んできた。変圧器や開閉装置などをはじめとした各種電力用機器の性能、信頼性を検証する高電圧・大電力試験が国際標準に適合するための調査、検討、提案を実施している。性能検証や形式試験が国際標準に適合していると、その結果や試験報告書は国内のみならず、国外の多くの国でも受け入れ可能となる利点がある。

本稿では、国際標準化に対応した高電圧・大電力試験に関する最近の国内外の標準化動向と、それに対応する

べく取り組んでいる活動について紹介する。なお、本稿では、いわゆる短絡試験の場合は、試験時に大電流と高電圧を扱うので大電力試験 (High Power Test) と表記し、測定の場合は、計測する物理量である高電圧大電流と表記する。

## 2. 規格動向、国際標準化

高電圧・大電力試験に関する規格は、国際的には IEC 技術委員会 TC42 「高電圧大電流試験技術」にて制定、改訂が行われている。最近では、IEC60060-1、-2 「高電圧試験技術 (一般定義および試験要求事項、測定システム)」や IEC62475 「大電流試験技術 (試験電流および測定システムの定義および要求事項)」等の主要規格の改訂作業も開始されており、数年後の改訂版の発刊を目指している。国内では、TC42 に対応する「高電圧試験法標準化委員会」が電気学会に設置されており、IEC への仕様提案や電気規格調査会標準規格である JEC (Japanese Electrotechnical Committee) 規格の制定、改正に取り組んでいる。

最近の主要な動向として、JEC の各機器に共通する高電圧・大電力試験に関する水平規格である JEC-0201、-0202 および -213 等が、前述の IEC 規格との整合を考慮した規格に移行されることが決定し、新規格 (JEC-0203、-0204) として発刊される予定となったことがある<sup>(3)</sup>。特に重要な改正事項は、国際標準化への対応も考慮し、高電圧大電流測定システムに対して、適切な計量の国家標準とトレーサブルな校正や、性能評価試験の実施項目・頻度と、測定の不確かさ評価の要求が規定され

◇1 東京大学名誉教授

◇2 金沢大学 理工研究域 電子情報通信学系 教授

◇3 株式会社 日立製作所 パワーグリッドビジネスユニット 日立事業所 高電圧大電力試験所

たことである。これらの高電圧・大電力試験に関する規格は、変圧器や開閉装置などの各種電力用機器の規格からは試験方法を規定する共通規格として引用されることが多い。さらには JEC-0201、-0202 は JEM 等の JEC 以外の規格から引用され、JIS から参考文献や関連規格として参照されている場合もあり、今回の規格改正に伴い国際標準への対応が必要となる範囲が広いと考えられる。

規格に関する国際標準化活動は、変圧器、開閉装置および避雷器、またはそれらに共通する水平規格を例にした場合、表に示す体制で対応されている。IEC 等の国際規格で規定された仕様を国内規格に適用するだけではなく、国内での標準的な仕様や技術的な知見を国際標準として提案し、採用されるための活動も重要である。各機器規格においても、国際規格への仕様提案、反映も含めて国際標準化対応が進められ、わが国の国際競争力やプレゼンスの維持向上への取組みが継続的に実施されている。

表 規格に対応している委員会

対象	IEC	電気学会の担当委員会
電力用変圧器	TC14	電力用変圧器標準化 (兼 IEC TC14 国内)
高圧開閉装置 及び制御装置	TC17 SC17A SC17C	開閉装置標準化 (兼 IEC TC17 国内 IEC TC17/SC17A 国内 IEC SC17C 国内)
避雷器	TC37	避雷器標準化 (兼 IEC TC37 国内)
高電圧・大電 流試験技術	TC42	高電圧試験方法標準化 (兼 IEC TC42 国内)

### 3. 試験能力、品質の適合性

試験の実施例として、高電圧試験の一般的な構成例を図 1 に示す。同じ試験品に対して同じ試験仕様で試験を実施した場合、同じ試験結果が再現するべきであり、試験所等の実施機関が異なっても同じ結果が得られる再現性が重要である。もし試験ごとに異なる結果が出る場合、試験品の性能や品質の保証が困難になる。この試験再現性を実現するためには、各試験所が試験を実施する能力やその品質が一定レベル以上であることが重要となり、標準化活動における重要なポイントといえる。試験の能力や品質に関する要求事項は、試験方法あるいは試験対象である機器や製品の規格に記述されており、試験所はこの要求事項を満足するように試験を実施する。

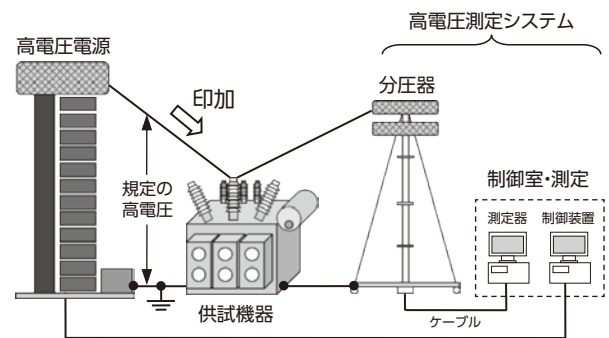


図 1 高電圧試験の基本的な構成 (4)

試験所の技術能力やマネジメントシステムを客観的に評価し、規格への適合性を判定する方法として試験所認定制度がある。高電圧・大電力試験分野でも試験所認定制度が活用されており、JHILL、JSTC に参画している各試験所も、認定機関の審査を受けて、ISO/IEC17025 「試験所および校正機関の能力に関する一般要求事項」に基づいて認定を取得している<sup>(5)(6)</sup>。これらの認定を取得した試験所は、その能力や品質が第三者の視点で評価されていることはもちろん、試験および試験結果である報告書が国際的にも通用する互換性のあることが確認されている。これらの試験所は、国内規格に準拠した試験も実施可能であり、その実施能力や品質はグローバル水準を満足していると考えられる。また、メーカーに属した試験所が多いが、外部からの試験依頼にも、各所の設備能力に応じて高電圧・大電力試験や測定システムの比較試験等が実施可能である。

試験所が有する試験能力の妥当性を評価する方法として、試験所間で試験結果を比較する技能試験があり、その要求事項が ISO/IEC17043 「適合性評価—技能試験に対する一般要求事項」に規定されている。高電圧試験の場合、JHILL が運営している技能試験のプログラムを活用することができる<sup>(4)</sup>。試験内容は、図 2 に示すような気中ギャップの放電特性を測定するものである。JHILL は技能試験提供者の認定は取得していないが、高電圧試験分野の試験所を認定している国内の認定機関である公益財団法人 日本適合性認定協会 (JAB: Japan Accreditation Board) から、高電圧分野の試験所として認定を取得するためには JHILL が開催する技能試験に参加することが要求されている。

この技能試験は隔年で実施されており、各回で指定される試験が実施可能であれば、認定された試験所でなくとも各社各機関からの参加も可能である。参加機関で同



一条件の試験を実施し、各機関から提出された結果を匿名化した上で統計的にデータ処理して、試験結果の分布を評価する。参加機関には全体の結果の分布における自機関の結果が分かる報告書が提出されるので、自機関の試験結果の全体に対する偏差や妥当性が定量的に比較評価でき、参加機関の試験技能の改善に活用できる。

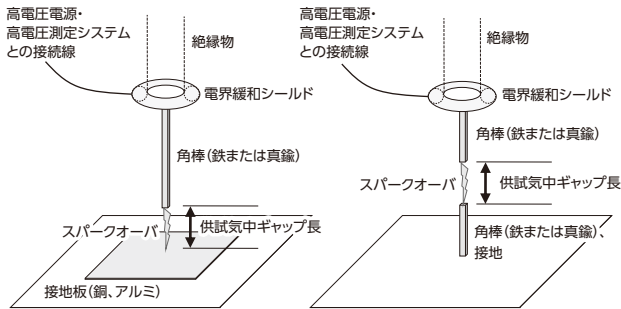


図2 JHILL 技能試験の供試ギャップ形態<sup>(4)</sup>

高電圧・大電力試験を実施する場合、当然のことではあるが、各種関連規格の要求事項に適合した試験を実施する必要がある。しかし、評価対象である試験品およびそれらへの試験仕様が多種多様であることや、各機関が使用している試験設備ごとの特性や仕様に違いがあることから、試験の再現性を確保するために、規格の要求事項や試験の実施方法を正しく理解して、適切な方法で試験を実施する必要がある。そのための取組みの一つに、大電力試験では、世界各地の大電力試験所が参画して技術的な議論や情報交換を行っている国際短絡試験協会 (STL: Short-circuit Testing Liaison) の活動がある<sup>(7)</sup>。2022年時点で12カ国41試験所がメンバーとして参画している。STLでは短絡試験などのIEC規格の解釈を通じて、規格の課題とその対応策を議論し、適切な規格の解釈に基づく国際的な共通理解の形成に取り組んでいる。STL内には規格ごとに専門の作業会を構成して議論されており、その検討内容は、次の規格改訂の参考にもなっている。また、試験方法や試験結果の妥当性についても議論しており、事実上、大電力試験技術の国際標準化について議論する場になっている。JSTCは日本からのメンバーとしてSTLの活動に参画しており、JSTCに参画している学識経験者や各試験所が日本からの意見を提案して、国際標準への反映にもつなげている。

## 4. 計測システムの同等性

高電圧・大電力試験では、図3に示すような高電圧、大電流を発生させる電源装置で発生させた電圧、電流を、分圧器や分流器などを使用して測定する。試験の再現性を担保するためには、測定結果は、同じ測定を実施した場合には同じデータが得られるべきであり、試験を実施する試験機関が異なっても同様に、同じデータが得られるべきである。このような計測システムの同等性を実現するためには、国や地域が異なる試験所であっても、同等の測定結果が得られて測定データの再現性があることを評価し、検証された計測システムが使用されている必要がある。試験結果、測定結果が国際的にも通用するためには、上記のような計測システムの国際的な同等性が重要であり、高電圧・大電力試験においても要求される事項である。

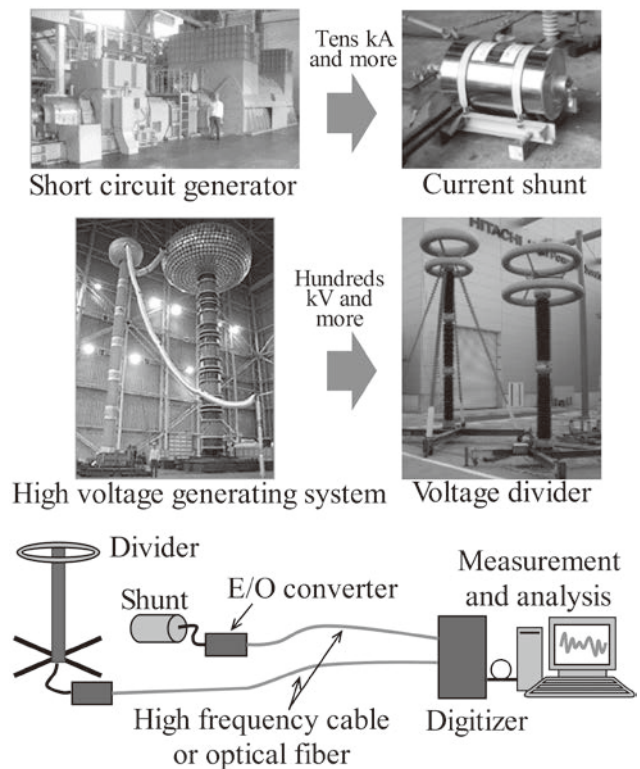


図3 高電圧大電流測定システムの構成例<sup>(8)</sup>

計測システムの同等性を確認し、評価する方法として、測定の国際的な比較試験や巡回試験への参加、国際相互承認を受けている校正機関を利用した校正の実施がある。高電圧測定の比較試験として、欧州国家計量標準研究所協会 (EURAMET: European Association of National Metrology Institutes) が主催するイン

パルス電圧測定の国際比較試験があり、最近では13カ国が参加して2017年から実施された<sup>(9)</sup>。日本からは国立研究開発法人 産業技術研究所計量標準総合センター(NMIJ: National Metrology Institute of Japan)に承認をいただいてJHILLが参加した。国際比較試験の幹事国から比較試験用の参照測定システムが参加各国に巡回され、参加機関は、この参照測定システムと機関が管理している標準測定システムとの比較試験を規定の条件で実施する。参加機関は測定データを幹事国に提出し、全機関のデータを統計的に処理して測定値の偏差を求め、互換性が評価される。日本からは図4に示すよう

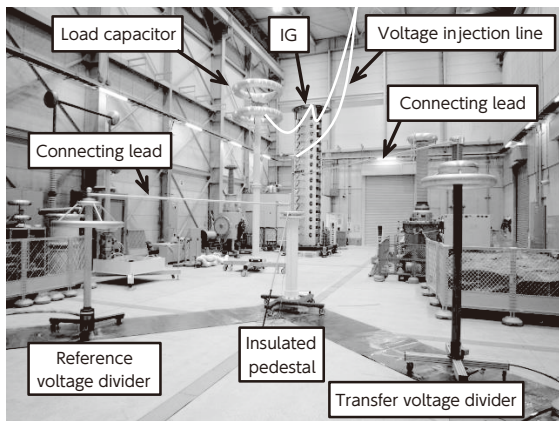


図4 比較試験の実施状況<sup>(11)</sup>

に、JHILLで管理している雷インパルス電圧測定システムを用いて測定した。この測定システムは国内のインパルス高電圧校正サービスにおいて参照標準としても使用されている計測システムである<sup>(10)</sup>。評価結果は、全参加機関が測定を要求される優先試験ケースにおいて、他の参加機関の標準測定システムとの互換性があることが確認され、良好であった。

大電流測定の比較試験として、STLがおおむね5年ごとに開催している分流器の巡回試験がある<sup>(12)</sup>。この巡回試験では、図5に示すように、STLで維持管理している校正された参照用の分流器が世界各地の各参加試験所に巡回され、参加機関がそれぞれで比較校正試験を実施する。大電流測定用の分流器は、校正機関で校正すると、校正機関の設備容量などの制約のため、分流器の定格電流よりも一桁程度ほど小さい電流での校正しかできない場合がある。一方、この巡回試験では、参照用の大電流用分流器を基準とした、実際の大電流試験で測定する電流値相当での比較校正ができる実用的な試験となっている。校正試験の条件は、各参加試験所が必要とする校正をそれぞれで実施する方式であるが、JSTCがアジア、北米地域の試験所のデータを取りまとめ、校正結果が比較評価されている<sup>(13)</sup>。その結果、校正結果のばらつきは十分に小さく、参加試験所の大電流測定に

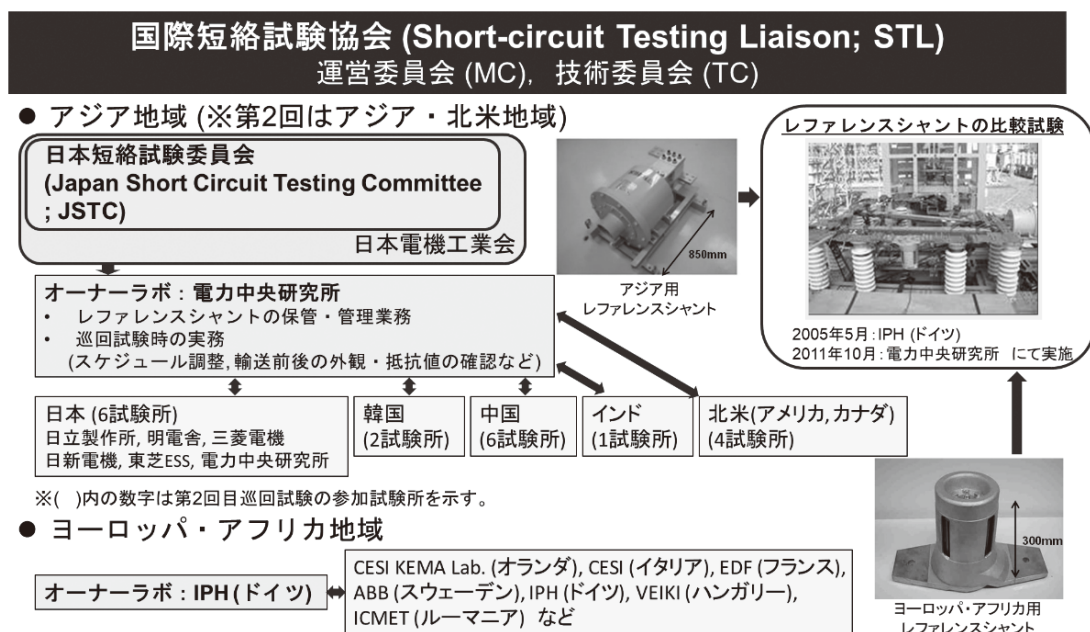


図5 STLシャント巡回試験<sup>(12)</sup>



は同等性があると判断できた。この巡回試験には、国内からは JSTC に参画している試験所が参加していたが、JSTC に参画していない機関の参加も可能である。巡回試験への参加希望がある場合は JSTC へ問い合わせいただきたい。

測定の確からしさを担保するためには、校正した測定器を使用して測定することが不可欠である。ひとことで校正と言っても、その内容には幾つか種類があるため、測定データを国際的にも通用するデータにするためには、国際的に通用する仕様で校正を実施する必要がある。具体的には、国家標準へのトレーサビリティが確立され、国際的な相互承認を受けている校正サービスを活用するのが良い<sup>(8)</sup>。近年、高電圧大電流測定分野でも、国内で国際試験所認定協会機構 (ILAC: International Laboratory Accreditation Cooperation) の相互承認協定 (MRA: Mutual Recognition Arrangement) の認定を受けた校正サービスが利用できるように整備されている。校正事業者や校正サービスが計量法校正事業者登録制度 JCSS の認定を受けていると、その校正が計量法に基づく計量トレーサビリティ制度を満足している証明にもなる。このような校正サービスを活用すると、測定のスケールファクタや不確かさの根拠が明確になるとともに、校正証明書は各国でも通用し、また、前述した改正 JEC での要求事項も満足する。

## 5. 結言

社会のグローバル化が急速に進んでいる昨今、国内の市場や業界へのグローバル市場からの影響は大きく、その動向を注視して国際標準化への対応を計画的に進めることの重要性が今後も高まっていくと考えられる。国際標準化に対応することの利点として、機器製品のユーザ側からは、検討、選択、採用できる機種やメーカーの範囲が広がり、より合理的な設備の調達、導入が可能になることが挙げられる。メーカー側からは、製品として対応せねばならない仕様を整理、統合できるので、製品の製造や開発のリソースを集中することができる。また、対象とする顧客の範囲がグローバルに拡大し展開可能となる。

国際標準化に対応した高電圧・大電力試験については、本稿にて紹介したとおり、JHILL、JSTC に参画している各試験所が提供しているサービスを活用することで実施可能である。また、自機関で試験を実施する場合は、日本電気計器検定所 (JEMIC) などの校正機関から提供されている校正サービスを利用して測定システムを校正する方法もある。これらの試験所、校正機関は ISO/IEC 17025 の要求事項に適合した認定を取得しており、国際標準に対応した試験報告書、校正証明書が発行可能であり、国内市場はもとより、グローバル市場にも通用する試験結果として活用できる。

### (参考文献)

- (1) 日本高電圧・インパルス試験所委員会 JHILL ホームページ: <http://jema-net.or.jp/Japanese/standard/jhill/> (2022/12)
- (2) 日本短絡試験委員会 JSTC ホームページ: <http://jema-net.or.jp/Japanese/standard/jstc/> (2022/12)
- (3) 日野悦弘、山田慎、松本詠治、鈴木洋典: 高電圧機器・試験関連規格の最新動向、令和 4 年電気学会全国大会シンポジウム S10-7 (2022)
- (4) 日野悦弘、脇本隆之、石井勝、井上博史: 高電圧試験能力の適合性確認プログラム (JHILL 技能試験)、令和 4 年電気学会全国大会シンポジウム S10-2 (2022)
- (5) 日本高電圧・インパルス試験所委員会 JHILL メンバ試験所: <http://jema-net.or.jp/Japanese/standard/jhill/laboratory.html> (2022/12)
- (6) 日本短絡試験委員会 JSTC メンバ試験所: <http://jema-net.or.jp/Japanese/standard/jstc/laboratory.html> (2022/12)
- (7) 森正、田中康規: 大電力試験の国際標準化活動と国際短絡試験協会 (STL)、令和 4 年電気学会全国大会シンポジウム S10-3 (2022)
- (8) 木田順三: 国際標準化に対応した高電圧・大電力試験の最新動向 グローバルに対応できる高電圧・大電力測定の校正、令和 4 年電気学会全国大会シンポジウム S10-4 (2022)
- (9) 宮崎悟、五島久司、脇本隆之、石井勝: 計測システムの国際的同等性～高電圧試験へ、令和 4 年電気学会全国大会シンポジウム S10-5 (2022)
- (10) 石井勝、田中康規、木田順三: 国際標準化に対応した高電圧・大電力試験の最新動向 総論、令和 4 年電気学会全国大会シンポジウム S10-1 (2022)
- (11) 宮崎悟、五島久司、脇本隆之、石井勝: 雷インパルス高電圧基準計測システムの国際的互換性、電気学会 B 論文誌、Vol.141, No.8, pp.547-550 (2021)
- (12) 神足将司、合田豊: 計測システムの国際的同等性～大電力試験へ、令和 4 年電気学会全国大会シンポジウム S10-6 (2022)
- (13) Yutaka Goda, Minkyu Kim, An Wang, Yugal Agrawal and Frank P. DeCesaro: "Second Round of Comparison Tests for High-Current Shunts in High-Power Laboratories in Asia and North America with an STL Reference Shunt" Proceedings of the 21th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2019), Vol. 2, pp. 693-703 (2019)