研究論文

サージイミュニティ試験の効率化に対する妥当性評価

福嶋　祐一*　石井　啓貴*　松本　好勝*

Validity Evaluation for Improving Efficiency of Surge Immunity Test

FUKUSHIMA Yuichi*, ISHII Hirotaka* and MATSUMOTO Yoshikatsu*

抄　　録

電気製品のノイズ耐性を調べるイミュニティ試験のひとつであるサージイミュニティ試験では，連続するサージの印加間隔が規格においては通常1 分間に1 回となっていることから試験時間が長期化し，開発スケジュールを圧迫する要因となっている。本研究では，印加間隔を短くして試験の効率化を図った場合において，試験結果に影響しないことを実験的に確認した。

1.　緒　　言

電気製品は EMC（Electro-Magnetic Compatibility：電磁両立性）性能を担保するために国内外の法規によって定められている EMC 試験を実施することが求められる。規格によっては，ノイズに対する耐性を調べるイミュニティ試験を求められることがある。イミュニティ試験のひとつに IEC 61000-4-5 [1] などで規定されるサージイミュニティ試験がある。サージイミュニティ試験は電力系統の開閉や，誘導雷の過渡現象によって発生するサージに対する耐性を確認するための試験で，連続するサージの印加は 1 分間に 1 回であることが多い。これは規格において，「1 分間に 1 回よりも短い間隔で行った試験結果が不適合であっても，1 分間に 1 回の試験結果が適合する場合はこれを優先する。」[1) 2)] と規定されていることによる。1 分間隔の印加かつ規格によって試験レベル 3 のサージイミュニティ試験が求められている場合，単相接地付きの試験品は 5 時間 20 分，三相三線接地付きの試験品は 10 時間もの試験時間が必要となる。

顧客ニーズが多様で多品種小ロットの製品が求められる昨今，開発のためのリードタイムについても短縮が求められている。そのような中で，サージイミュニティ試験の試験時間が企業の開発の負担となっている。

そこで本研究では，サージイミュニティ試験の試験間隔を短くした場合に，サージ保護部品にどのような影響が出るかを調べ，試験時間短縮による効率化の妥当性を評価することを目的とする。

2.　サージ保護と試験時の印加間隔

2.1　バリスタの概要

サージに対する保護のひとつとして最も一般的に用いられるのがバリスタである。バリスタは，Variable Resistor に由来しており，印加される電圧に対して抵抗値が変化する素子のことを指す。バリスタの等価回路は，図 1 に示すよう

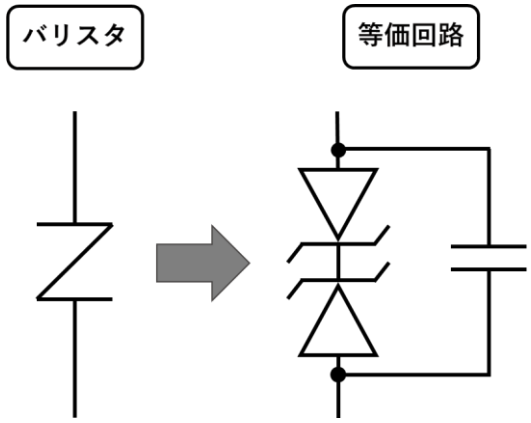


図 1　バリスタの等価回路

* 中越技術支援センター

にふたつのツェナーダイオードを互いに逆向きに接続し，コンデンサを並列接続した構造である。そのため，製品が通常使用する電圧範囲では高抵抗として振る舞い，サージなどの過渡電圧が印加された場合に低抵抗として振る舞う。この振る舞いによって，製品にとって致命的なダメージを及ぼす過渡電圧が製品に印加された場合に過渡電流がバリスタ内を流れ，製品本体へのダメージを軽減することができる。

2.2 バリスタの劣化

バリスタは繰り返しストレス（サージエネルギ，温度，湿度など）が繰り返し加わることで劣化することが知られている。代表的な劣化としては，バリスタ電圧の低下 [3]や，それに伴う漏れ電流の増加 [4]などがある。これらの劣化によっては，バリスタの破壊につながることがある。(一社)電子情報技術産業協会(JEITA)では，バリスタ電圧の初期値に対して 10 %変化したときを寿命と判定すべきとしている [3]。

2.3 試験時の印加間隔

代表的な国際規格や日本産業規格(JIS)では，サージ波形の印加間隔について「1 分間に 1 回よりも短い間隔で行った試験結果が不適合であっても，1 分間に 1 回の試験結果が適合する場合はこれを優先する。」[1) 2)]と規定している。この理由について規格上では明記されていないが，バリスタ等のサージ保護部品の温度上昇を抑えることが目的であると推察する。サージ保護のためにバリスタが製品に組み込まれている場合，バリスタはサージ吸収時に電流が流れるため発熱する。通常，サージは連続的に発生しにくいため，バリスタのサイズは単発的なサージに伴う発熱に耐え得るように設計される。サージを短い時間間隔で印加すると温度が異常に上昇して単発的なサージでは発生しえない焼損に至る可能性がある。そのため，試験規格上は放熱のための時間として，印加間隔を 1 分まで伸ばすことが認められているものと考えられる。

3. 効率化の妥当性確認方法

3.1 評価基準

2.2節において述べたように，バリスタは繰り返しストレスが加わることによって劣化する。劣化の確認の評価基準として，バリスタ電圧および漏れ電流について着目する。前者においては，カタログ値などで決められているバリスタ電圧を評価基準とした。後者においては，漏れ電流そのものを測定することが難しいため，バリスタのインピーダンスを評価基準とすることとした。また 2.3 節において，時間短縮をすることによってバリスタ自体が発熱し焼損する可能性についても触れた。このことから，バリスタの温度上昇値も今回の評価基準とした。

3.2 評価基準の測定方法

3.2.1 バリスタ電圧

カタログなどで規定される直流電流（代表的には 1 mA）が流れたときのバリスタの両端電圧を測定する。当所内にはバリスタ電圧を測定する設備がないため，菊水電子工業(株)製の耐電圧試験器 TOS5302 を用いてバリスタ電圧を推定することとした。具体的には，当該試験器にて 1 mA の電流がバリスタに流れたときの交流電圧の実効値をバリスタ電圧として規定した。

3.2.2 インピーダンス

日置電機(株)製インピーダンスアナライザ IM7587 およびテストフィクスチャ IM9202 を用いてインピーダンスの周波数特性を測定した。測定周波数範囲は，測定器の測定限度である 1 MHz～600 MHz までとした。

3.2.3 温度上昇

温度上昇の測定には，NEC Avio 赤外線テクノロジー(株)（現　日本アビオニクス(株)）製のサーモグラフィ TVS-500EX を使用した。バリスタには放射率 0.95 の黒体テープを貼付し，サーモグラフィにより温度を測定した。雰囲気温度の測定には，評価基板周辺の空中に黒体テープ

を用意し，サーモグラフィにより測定した。

3.3　評価基板

図 2 に示す回路図を基に評価基板を製作した。今回は試験対象を国内の交流 100 V 製品の一般的な仕様である単相 2 線式（接地線なし）を想定した基板とした。バリスタがショート破壊した際に備えてヒューズを実装し，負荷として定格出力 800 W の電熱ヒータを用いた。バリスタの接続部については，はんだ付け方法の違いによる影響を防ぐため，リード部品を挿入可能なコネクタを用意し，バリスタを実装した。

3.4　バリスタの選定

バリスタにはサージ保護として最も一般的な酸化亜鉛バリスタを使用した。今回はパナソニックインダストリー(株)製のバリスタ ZNR の D タイプ V シリーズから選定した。選定にあたっては，パナソニックインダストリー(株)が公開しているテクニカルガイドを参考とした[5]。IEC 61000-4-5 で定義される試験レベル 3 のサージ波形を想定し，部品を選定した。バリスタ電圧については，テクニカルガイドで単相2線交流100 V 製品に推奨されている 360 V とした。バリスタの部品サイズは，試験規格どおり下位の試験レベルの試験も実施することを想定したサージ寿命から，ERZV07D361（ϕ7 mm サイズ），ERZV10D361（ϕ10 mm サイズ），ERZV14D361（ϕ14 mm サイズ）の 3 種類を選定し，ϕ10 mm サイズが計算上最も適切である。

3.5　サージ試験方法

サージ試験には(株)ノイズ研究所製雷サージ試験器 LSS-6330-C63A を用いた。試験レベルは電気製品に一般的に指定されるレベル 3 とした。規格どおり 0 °，90 °，180 °，270 °の位相角において，それぞれ 5 回の正極性および負極性サージを印加した。単相 2 線式の製品の場合，試験レベル 2 および 3 の電圧レベルでの試験が必要で，計 80 回サージを印加した。印加間隔については，従来どおりの 1 分間隔印加と，試験器の仕様上の最短時間である 5 秒間隔印加の 2 種類を実施した。それぞれ 5 個ずつサンプルを試験し，評価基準に沿った測定を行った。

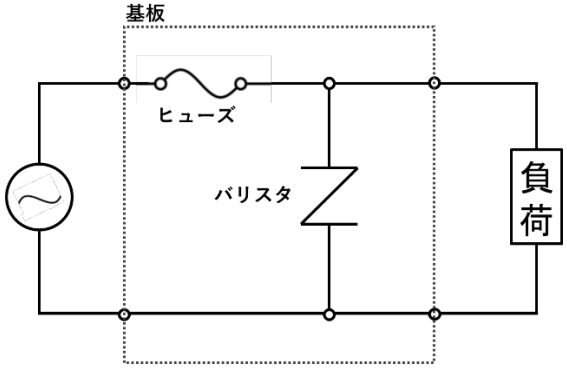


図 2　評価基板回路図

4.　妥当性確認結果

4.1　バリスタ電圧

バリスタ電圧を測定した結果を図 3 に示す。各測定結果は，5 個ずつのサンプルの平均値と 99.7 %信頼区間である 3σ 区間を示すエラーバーを表示している。試験前後，印加間隔の違い,サージ寿命（部品サイズ）の違いによるバリスタ電圧の違いに有意な差は確認できなかった。このことから，5 秒間隔印加の場合でも試験レベル 3 に耐えうることがわかった。

4.2　インピーダンス

表 1 にインピーダンスの周波数特性の測定結果を示す。各測定結果は 5 個ずつのサンプルの平均値を示す。各部品サイズにおいて，試験前後，印加間隔の違いによるインピーダンスの有意な差を確認できなかった。このことから，5 秒間隔印加の場合でも漏れ電流が増大するような重大な劣化がないことを確認した。

4.3　温度上昇

図 4 に温度上昇の測定結果を示す。各部品サイズにおいて，5秒間隔印加の温度上昇値が1分間隔印加に比べ大きくなることがわかった。部

品サイズが小さいほど温度上昇値が大きくなることがわかる。最もサイズの小さい ERZV07D361 でも平均温度上昇が 27.16℃であり，通常の試験環境下において部品の使用温度範囲（85 ℃）を逸脱する可能性は低いと考えられる。

5. 結　　言

(1) 長時間の試験が必要なサージ試験において，印加間隔短縮による効率化を図った際に懸案となるバリスタの劣化について調査した。

(2) 1 分間隔と 5 秒間隔でサージを印加した場合において，バリスタに性能劣化は確認されなかった。

(3) 5 秒間隔でサージを印加した場合は，1 分間隔で印加した場合に比べ，バリスタの温度が上昇したが，部品性能に影響するレベルではなかった。

(4) より厳しい試験レベルや，対地間のサージ印加がある接地付きの製品の場合などを今後検証する必要がある。

参考文献

1) International Electrotechnical Commission, “IEC 61000-4-5 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test” (2017).

2) (一財) 日本規格協会, “JIS C 61000-4-5　電磁両立性－第 4-5 部：試験及び測定技術－サージイミュニティ試験” (2018).

3) (一社) 電子情報技術産業協会, “RCR-4311 バリスタの安全アプリケーションガイド” (2021).

4) https://www.koaglobal.com/product/caution/varistor, “バリスタの使用上の注意事項” ,(閲覧 2025-2-13).

5) https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/AWA0000/ast-ind-226710.pdf, “ZNR サージアブソーバテクニカルガイド” , (閲覧 2025-2-13).

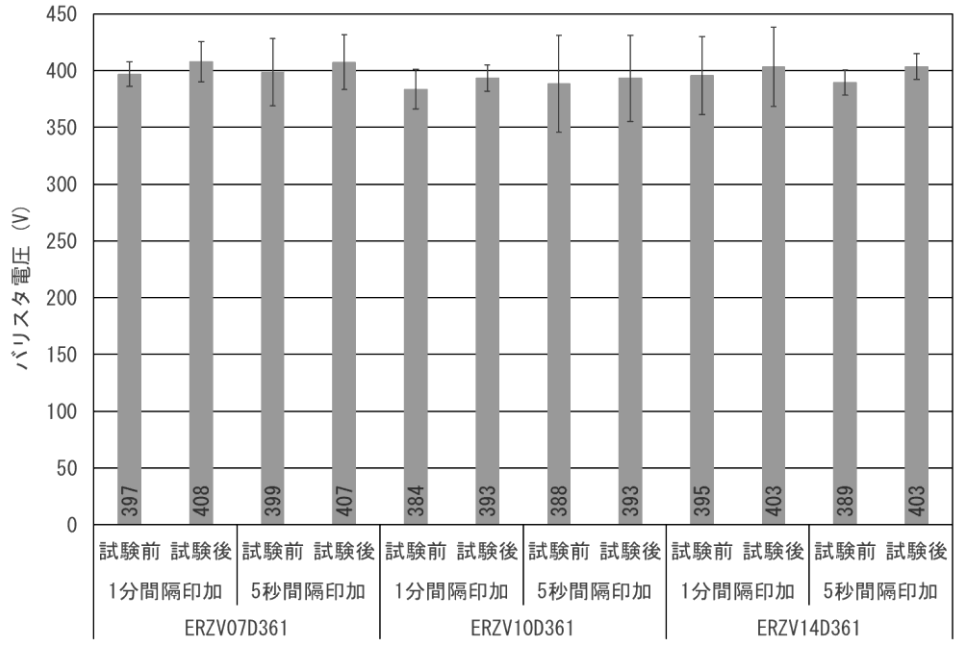
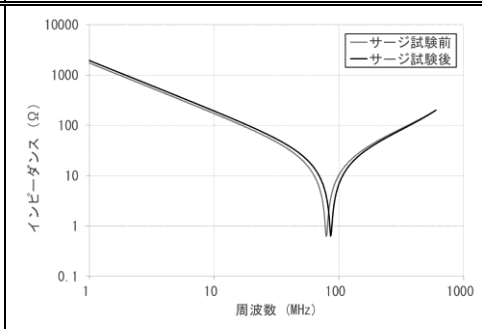
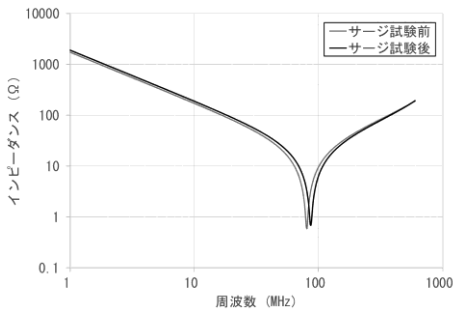
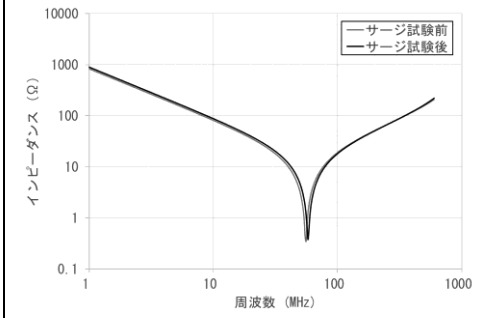
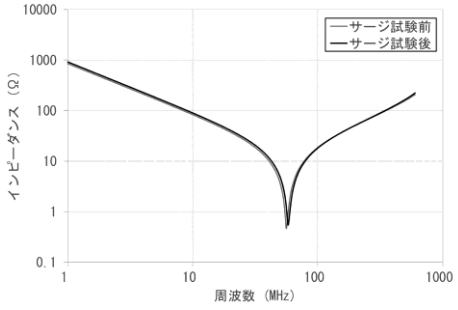
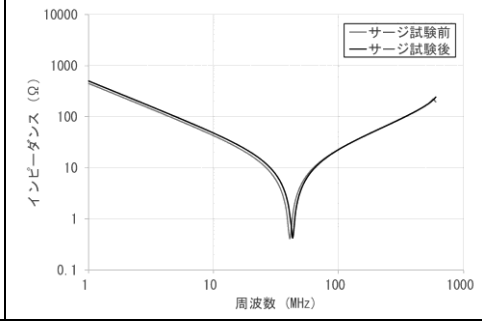
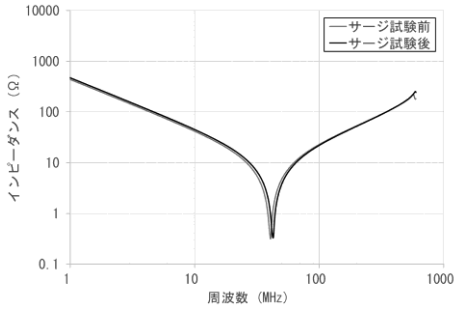


図 3　バリスタ電圧の測定結果

表１　インピーダンスの周波数特性の測定結果

型名	1 分間隔印加	5 秒間隔印加
ERZV07D361		
ERZV10D361		
ERZV14D361		

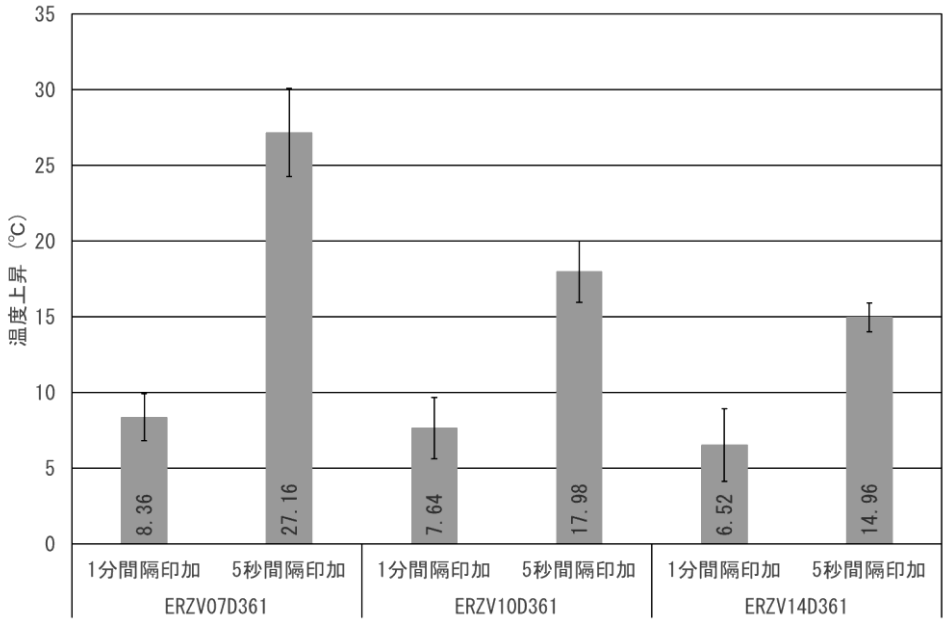


図４　温度上昇の測定結果