UL大電流アーク発火試験方法の発火点の判定方法

正 員 杉 江 忠 (日立化成)

正 員 山 本 喜 万 (日立化成)

Method of Determining Ignition Point for High Current Arc Ignition Test Method Specified in UL Standard

Tadashi Sugie, Member(Hitachi Chemical Co., Ltd.), Yoshikazu Yamamoto, Member(Hitachi Chemical Co., Ltd.)

High current arc ignition test is a method for testing flammability of polymeric insulating materials specified in UL standard. The determination of ignition point has a difficulty in distinguishing the ignition light of materials from the arc light of electrode itself. We analyzed the light generated during arc ignition test and found that mainly the ignition light of materials is generated while electrodes contact each other and that both light overlap while electrodes separate each other. We have designed a measuring circuit that can detect only the light generated while the electrodes contact each other. Accordingly the determination for ignition point was performed by measuring mainly the ignition light of materials with the circuit. Test results showed that the ignition point of several materials could be determined easily by using the light detecting circuit of our design.

キーワード：UL燃焼試験方法，大電流アーク発火試験

1. まえがき

大電流アーク発火試験方法は、Underwriters Laboratories Inc., (以下UL) の安全規格の高分子絶縁材料(以下材料)に対する燃焼試験方法の一つである。筆者らは、この試験方法には種々の問題があり、試験結果の信頼性が乏しいことを報告⁽¹⁾⁽²⁾した。

その最大の原因は発火点判定の方法にある。即ち、発火時間が瞬時で発火前後の変化を捕らえることが困難であるにもかかわらず、肉眼による目視判定で行われているためである。筆者らは、発火によって発生する光を、目視判定に代わって、計測器で行うことを検討した。目視では判別しにくかった発火光を、計測器判定方法によって判別し、試験結果の信頼性を向上することができた。⁽³⁾⁽⁴⁾

しかし、この計測器判定方法には、電極の断続によるアーク光と材料の発火光が混在しているため、発火光を判別しにくい欠点があった。強力なアーク光に発火光が重なるため、発火光の判別が困難になっている。そこでアーク光と発火光を硫化カドミウム光導電体素子(以下CdS)を用いて電圧に変換し、その電圧波形を分析した結果、電極接触時には主に材料の発火光が検出され、電極離脱時はアーク光と発火光が重なって発生することがわかった。

その違いを利用して電極接触時に発生する光を測定することによって、発火点を容易に判定できる方法を確立したのでその結果を報告する。

2. 供試料

試料の名称と公称厚さを表1に示す。

表1 供試料

Table 1. Samples used for test

試 番	材 料 名 称	公称厚さ (mm)
(1)	ポリカーボネート(A),(B)	3.2
(2)	ポリスチレン	3.2
(3)	アクリロニトリル・ブタジェン・ スチレン共重合樹脂(ABS)	3.2
(4)	紙・フェノール樹脂積層板	1.6

熱可塑性樹脂としてポリカーボネート(A),(B),ポリスチレン及びABSを用いた。熱硬化性樹脂として紙・フェノール樹脂積層板を用いた。試料の寸法は長さ127mm×幅12.7mm×厚さ1.6mmまたは3.2mmである。

3. 試験方法と装置

<3.1> 大電流アーク発火試験方法

図1にUL規格の基本回路を示す。直径3.2mmの銅棒の先端の角度30度のノミ状に加工した固定電極と、直径3.2mmのステンレススチール棒（以下SUS）の先端の総角度を60度の円錐状に加工した可動電極を試料の上に設置する。可動電極を水平または45度上方向から毎分40回の速度で固定電極に接触を繰り返し、試料が発火するまでか、発火しなければ200回まで続け、電極接触回数の何回目で発火するかを目視で測定する方法である。試験回路の条件は、印加電圧240V、電極短絡時の回路電流は32.5A、力率は0.5に調整する。

以上の試験方法はUL規格に準拠しているが、発火判定は目視ではなく、アーク光と発火光を電圧に変換して記録計で記録し、発火光と重なって発生するアーク光の影響を除くため、閾値を設けた点異なる。

図2に可動電極を水平方向に移動する試験結果の代表例として、ポリカーボネート（A）の発火時の写真を示す。

図1 大電流アーク発火試験回路

Fig.1 High current arc ignition test circuit.

図2 発火状態（試料：ポリカーボネート（A））

Fig.3 An example of igniting state. (Sample: Polycarbonate(A))

この写真から、アーク光と発火光を目視で判別することは極めて困難であることがわかる。

<3.2> 発火試験中の全光測定装置

試料が発火した時には、アーク光と発火光が混在してい

る。図3には本誌⁽⁴⁾で報告したように光全体をCdSで検出し、電圧変換して測定する回路を示す。

図3 全光の測定回路

Fig.3 Measuring circuit of total light

試験前に発火点判定の閾値を設定するため、試料を置かない状態で電極だけを毎分40回の速度で断続させ、その時の①-②間のアーク光検出電圧（以下検出電圧）を記録する。その結果からアーク光の最大検出電圧を見つけ、その値より高い電圧を閾値に設定する。

次に新しい電極に交換し、試料を置いて試験を行い同様に検出電圧を記録する。その検出電圧が閾値を最初に超えた時を試料の発火と判定し、その時の電極接触回数を定める。一度設定した閾値は、試験条件を変更しない限り以後の試験の発火判定にも使用する。この閾値は電極アーク光の検出電圧を発火光のそれと見誤らないようにする目的で設定したものである。

<3.3> 電極接触時の光測定回路

図4（a）と（b）に測定回路⁽⁵⁾を示す。図4（a）は光の変化を電圧出力として検出する図3の測定回路に、電極接触時だけ閉回路をつくる接点を付加したものである。図4（b）は電極接触時だけ電圧出力を検出できるようにするための制御回路である。

図4 電極接触時の光測定回路

Fig.4 Measuring circuit of light for contacting electrodes.

電極接触時に閉になる図4 (b) のリミットスイッチLSの信号を受け、電極が離れる寸前までの時間を可変抵抗器VR-1で設定し、電極離脱時のアーク光が発生する直前(電極接触後約40ms後)に補助リレーXを励磁し、図4 (a) のX(補助リレーのB接点)を開にして、測定検出電圧を遮断する。この回路により電極が離脱時に発生する検出電圧は出力端子に発生しないため、電極接触時の検出電圧だけを測定記録できる。この場合も事前に電極のアーク光の最大検出電圧より高い閾値を設定し、それを最初に超えた時を発火と判定した。

4. 実験結果と検討

4.1 電極接触と離脱時の光検出電圧

発火し易い材料であるポリカーボネート(B)を試料として、可動電極を水平移動する条件で試験を行った時の検出電圧を、図3の測定回路を用いて測定した。その記録結果を図5に示す。

図5 アーク発火試験中の検出電圧

Fig.5 Detected voltage in arc ignition test.
(Sample: Polycarbonate(B))

図6 発火時の検出電圧波形 (図5の※印)

Fig.6 Detected voltage-waveform at ignition.
(※ marked in Fig.5)

試料が目視でも明らかに発火と判定できる図5の※印の電圧をオシロスコープで測定した結果を図6に示す。両図から電極を1回接触、離脱して試料が発火した場合には電極接触時と離脱時に二つの電圧波形が測定されている。

次に同じ試験条件で電極の下に試料を置かずに電極を接触、離脱を繰り返した時のアーク光による検出電圧の記録結果を図7に示す。繰り返し毎の検出電圧はかなりばらつき

があり、また、試験中に両電極の状態が変化するためか電極の接触、離脱動作をしているにもかかわらず、発光が生じない場合もある。図7の→印の検出電圧をオシロスコープで測定した結果を図8に示す。

図7 電極接触回数と検出電圧 (試料: なし)
Fig.7 Number of electrode contacting times and detected voltage. (Without sample)

図8 電極接触、離脱時の電圧波形 (図7の→印)
Fig.8 Voltage-waveform at contact and separate timings of electrode. (→marked in Fig.7)

電極が接近、接触する過程のアーク放電は、パーシェンカーブの空気の火花電圧340V(ピーク値)で発生する。

本試験条件240V(ピーク値339.4V)では、火花放電は起こりにくいが起ると考えられる。一方、電極の離脱時は離脱前の電流が約0.5A以上で離脱後の電圧が20V以上ならば接点アーク⁽⁶⁾が発生する。従って、本試験回路条件の電圧240V、電流32.5Aでは、図8のように電極接触時には火花放電が発生し、電極離脱時には接点アークが発生する。本試験の開始初期と試料発火時の火花放電、接点アーク及び発火それぞれに発生する光の検出電圧を図6、8からモデル的に図示すると図9のようになる。

図9 検出電圧波形のモデル

Fig.9 Model of detected voltage-waveform.

電極接触時は火花放電光と発火光が重なるが、火花放電光は発火光に比べて極めて短時間の現象であるため、図8で明らかなように、使用したCdSでは十分に応答できない。従って、発火光が主に検出される。電極離脱時は図8の接点アーク光と発火光が重なって、図6のように大きな検出電圧が検出される。

以上の結果から電極接触時の検出電圧を選択的に測定する方が、電極離脱時の検出電圧を測定するよりも、発火点を見分け安いことがわかる。

〈4.2〉 各種材料の光検出電圧測定による発火点判定

各種材料について図3の測定回路を用いて電極接触・離脱時の全光を測定する方法と図4(a)と(b)の測定回路を用いて電極接触光の検出電圧だけを測定する方法とで発火までの電極接触回数を測定した。前者の測定結果を図の上に、後者の測定結果を図の下に対比して示す。

UL規格の発火点の判定は目視判定であり、閾値を設定して判定する規定はないが、本報では〈3.2〉項と〈3.3〉項に述べた要領で設定した閾値を用いて発火の判定を行った。

電極接触時と離脱時の全光の検出電圧を測定する場合の閾値は、試料を置かない状態での火花放電と接点アーク全光の検出電圧が、電極移動方向によらず、25 mVを超えない⁽⁴⁾ことから25 mVに設定した。

電極接触時の検出電圧を測定する場合の閾値は、試料を置かない状態で接触時の火花放電による検出電圧が、電極移動方向によらず10 mVを超えないことを確認し、10 mVに設定した。以下それぞれの閾値を用いて発火の判定を行った。図10は可動電極を45度移動する方法で行ったポリカーボネート(A)の試験結果を示す。

図10 電極接触回数と検出電圧
(試料：ポリカーボネート(A))

Fig.10 Number of electrode contacting times and detected voltage. (Sample: Polycarbonate (A))

図10の上の図は電極接触回数毎の全光の検出電圧の記録結果を示す。この時の発火は閾値25 mVを最初に超え

た時の電極接触回数から7回目と判定する。

次に図10の下図は電極接触回数毎の電極接触光の検出電圧の記録結果を示す。この時の発火は閾値の10 mVを最初に超えた時の電極接触回数から、16回目と判定する。以下に示す材料の試験結果についても同様に、先に設定した閾値を適用して発火の電極接触回数を決定した。

図11は図10と同じ試験条件で行ったポリカーボネート(B)の結果を示す。この場合は、全光及び電極接触光測定方法とも発火の電極接触回数は3回目で一致した。

図11 電極接触回数と検出電圧
(試料：ポリカーボネート(B))

Fig.11 Number of electrode contacting times and detected voltage. (Sample: Polycarbonate (B))

図12, 13は可動電極をそれぞれ水平と45度上方向に移動する方法で行った紙・フェノール樹脂積層板の結果を示す。図12の発火点の電極接触回数は、全光測定の場合29回目、電極接触光測定の場合32回目と近似した結果が得られた。

図12 電極接触回数と検出電圧
(試料：紙・フェノール樹脂積層板)

Fig.12 Number of electrode contacting times and detected voltage. (Sample: Phenol paper laminate)

図13の結果も19回目と21回目と近似した結果が得られた。電極の移動方向の違いは、45度上方向の方が約10回程少なくなっているが、電極接触・離脱を繰返した時のアーク発生のばらつきを考慮すると常にそうなるとは考えにくい。

図13 電極接触回数と検出電圧
(試料: 紙・フェノール樹脂積層板)

Fig.13 Number of electrode contacting times and detected voltage. (Sample: Phenol paper laminate)

図14は可動電極を水平移動で行ったポリスチレンの結果を示す。発火点の電極接触回数は、全光測定の場合80回目となるが、電極接触光測定の場合は、検出電圧が閾値10mVを超えないため、ここでは100回以上と判定され、大きな差が生じた。全光測定の場合は22mVと24mVの検出電圧が記録されている。仮に閾値を設定せずに判定した場合は、更に大きな差が生ずる可能性がある。

図14 電極接触回数と検出電圧
(試料: ポリスチレン)

Fig.14 Number of electrode contacting times and detected voltage. (Sample: Polystyrene)

図15は図14と同様の条件で行ったABSの結果を示す。発火点の電極回数は全光測定の場合76回目であるが電極接触光測定の場合はポリスチレンと同様に、閾値10

mVを超える検出電圧がなく、やはり100回以上と判定できる。この場合も全光測定の閾値を設定せずに判定した場合は、更に大きな差が生じる可能性がある。

表2に図10～15の結果から決定した発火の電極接触回数をまとめて示す。

図15 電極接触回数と検出電圧(試料: ABS)
Fig.15 Number of electrode contacting times and detected voltage. (Sample: ABS)

表2 発火点判定方法と発火までの電極接触回数
Table 2. Determination method for ignition point and contacting times of electrodes to ignite.

発火点の判定方法	単位: 回			
	全光測定	電極接触光測定		
判定基準電圧 (mV)	25	10		
可動電極材質	SUS	SUS		
電極移動方向	45度上	水平	45度上	水平
ポリカーボネート(A)	7	—	16	—
ポリカーボネート(B)	3	—	3	—
紙・フェノール樹脂積層板	19	29	21	32
ポリスチレン	—	80	—	100<
ABS	—	76	—	100<

表2から発火しやすいポリカーボネート(A), (B), 紙・フェノール樹脂積層板は発火光が明確に出るため、検出電圧の測定方法によって大きな差はない。しかし、発火しにくいポリスチレン, ABSは発火光が出にくいため、全光測定する方法では電極の接触・離脱で発生するアーク光を発火光と見誤り易く、差が大きく出易い。それに対して電極接触時の検出電圧を選択的に測定する方法は、特に発火しにくい材料の発火の判定に有効である。

5. あとがき

UL大電流アーク発火試験方法において、試験中に発生する全光の検出電圧を測定する方法と電極接触光を測定する方法により、各種材料の発火点の判定実験を行った。その結果を要約すると次のとおりである。

(1) 試料を置かない状態で電極の接触、離脱を繰返した時に発生するアーク光は、電極接触時の火花放電と電極離脱時の接点アークによるものである。また、繰返し

によるアーク光はばらつきがあり、時々アークが出ないこともある。

- (2) 試料を置いた状態で電極の接触、離脱を繰返し、試料が発火した場合の発火光は、電極接触時と離脱時の両方で発生する。
- (3) 電極接触時の火花放電の光は、発火光に比べて極めて短時間の現象のため、ここで使用したCdSでは十分応答できず、重なって発生する発火光が主に検出され発火光を見分け易い。
- (4) 電極離脱時に発生する接点アーク光は、発火光と重なって発生するため、発火光を見分けにくい。
- (5) 電極接触時の光検出電圧を、選択的に測定する方法は発火を判定し易く、特に発火しにくい材料の発火の判定に有効である。

以上述べたように、UL大電流アーク発火試験方法の発火判定は、電極接触光を選択的に測定する計測器を用いることによって、目視判定はもとより、既報⁽⁴⁾の全光を測定する方法と比べて信頼性を更に向上することができた。

今後、本試験方法の信頼性を一層向上させるためには本文でも触れたように、試料を発火させるエネルギー源である電極断続時のアークを、均一に発生させる検討が必要である。

最後に本研究を進めるにあたり、種々ご指導いただいた秋田大学の能登教授(当時)に感謝の意を表します。

(平成7年10月6日受付, 平成8年1月17日再受付)

文 献

- (1) 山本喜万: 「UL大電流アーク発火試験の発火点の改良案について」, 絶縁材料研究会資料, EIM-77-44 (昭52)

- (2) 山本喜万・杉江忠・藤村克人: 「UL大電流アーク発火試験の信頼性向上対策」, 絶縁材料研究会資料, EIM-78-28 (昭53)
- (3) 山本喜万・杉江忠: 「UL大電流アーク発火試験におけるプラスチック材料の検出方法について」, 絶縁材料研究会資料, EIM-80-2 (昭55)
- (4) 杉江忠・山本喜万: 「UL大電流アーク発火試験方法に関する二・三の実験」, 電学論 A, 107, No.6, 305~311 (昭62-6)
- (5) 山本喜万・杉江忠: 「プラスチック材料の試験片の燃焼光の検出方法」, 特許公報, 昭63-8421 (昭63)
- (6) 電気学会: 「放電ハンドブック」改訂新版, 164 (昭1)

杉江 忠 (正員) 1939年4月29日生まれ。62年3月茨城大学電気工学科卒業。同年日立製作所山崎工場入社。63年10月日立化成工業分離独立に伴い継続勤務。主として絶縁材料の試験、絶縁処理システムの開発、品質保証業務に従事し現在に至る。

山本 喜万 (正員) 1942年7月19日生まれ。61年3月長野松本工業高校電気科卒業。同年4月日立製作所山崎工場入社。63年10月日立化成工業分離独立に伴い継続勤務。65年3月日立茨城工業専門学校電気工学科卒業。絶縁材料の試験方法改良、試験装置の開発に従事し現在に至る。電検二種及び電気管理士。