日本太陽エネルギー学会　第９回セミナ
「太陽光発電システムの火災リスク対策における現状と課題(2)」

電気火災におけるアーク（電弧）について

日東工業(株)
テクニカルセンター
安藤健志

放電

出典: フリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia）』

放電（ほうでん）は電極間にかかる電位差によって、間に存在する気体に絶縁破壊が生じ電子が放出され、電流が流れる現象である。形態により、雷のような**火花放電**、**コロナ放電**、**グロー放電**、**アーク放電**に分類される。(電極を使用しない放電についてはその他の放電を参照)

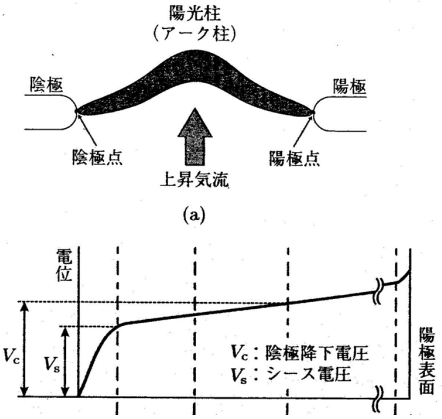
もしくは、コンデンサや電池において、蓄積された電荷を失う現象である。この現象の対義語は充電。

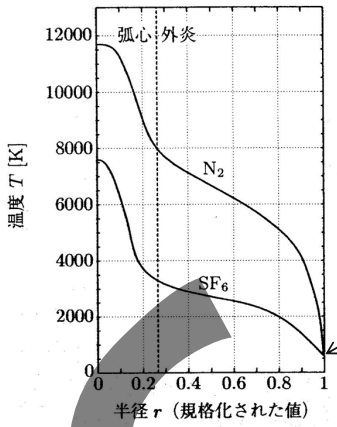
典型的な放電は電極間の気体で発生するもので、低圧の気体中ではより低い電位差で発生する。電流を伝えるものは、電極から供給される電子、宇宙線などにより電離された空気中のイオン、電界中で加速された電子が気体分子に衝突して新たに電離されてできた気体イオンである。

・火花放電　：　絶縁破壊による放電、間欠的　　例：雷、自動車プラグ、接触不良
・アーク放電　：　プラズマ、電流の継続に伴う高温と高周波ノイズの発生

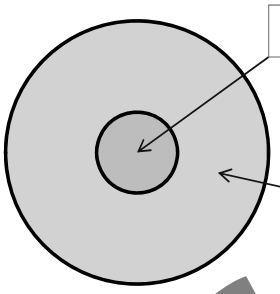
アーク（電弧： Electric Arc）

高電圧大電流工学 電気学会大学講座
4.3アーク放電 p.83-87，2000年2月





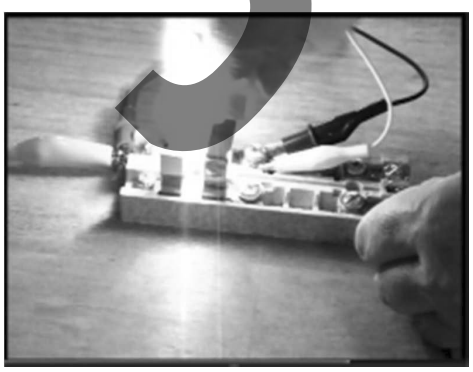
アーク柱（陽光柱）断面図

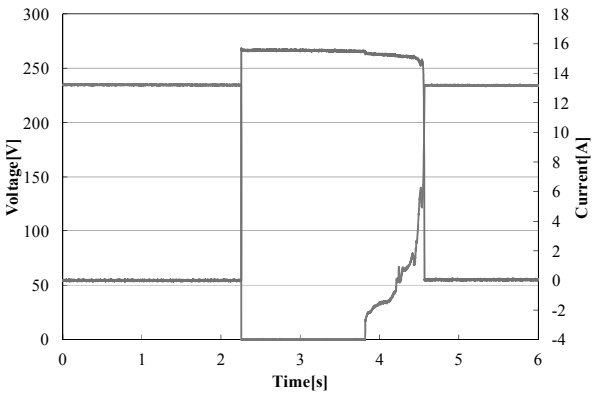


アークコア(弧心)・・・温度が極めて高く電流密度大

外炎・・・温度、電流密度は少し小さいが化学的に活性

太陽光パネル アーク実験



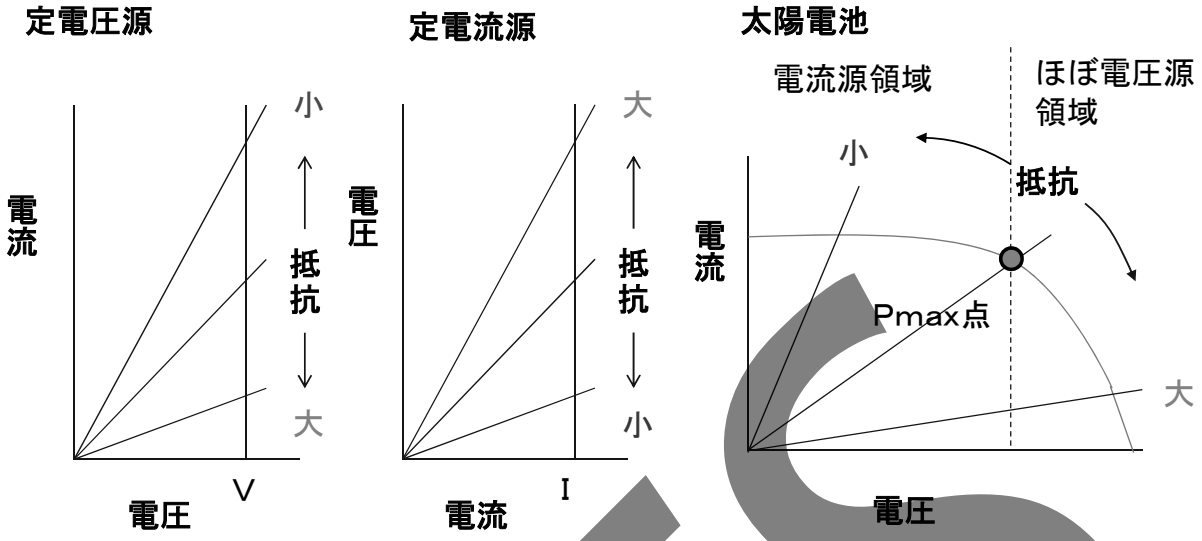


動画

動画

日射強度1020[W/m²]

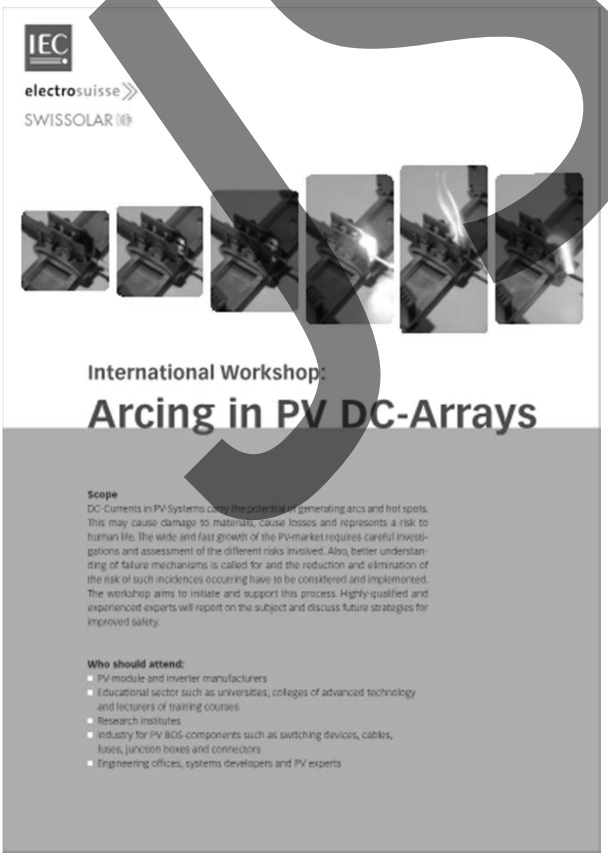
電源の種類とI-V特性



・柱上トランス
（商用交流電源）
・鉛蓄電池等

・直流リアクトル
・交流L分
・その他電流源

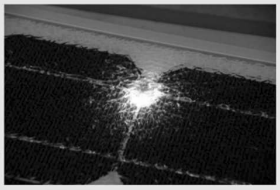
International Workshop ,Arcing in Photovoltaic DC-Arrays, Burgdorf 10,2007 出典（1）



出典（2）

Failure Mechanismen of Contact Faults in the DC- Circuit of the PV Arrays

- Are the existing safety concepts for grid-connected photovoltaic systems sufficient? -

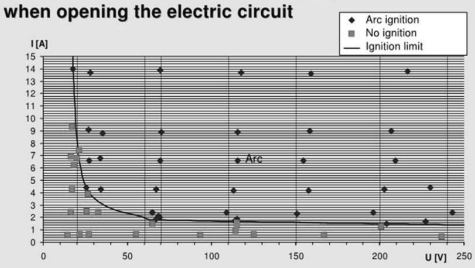


Willi Vaaßen, Jan Zornikau
TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
Am Grauen Stein, 51105 Köln, Germany
Tel.: 0221/ 806 2910, Fax 0221/806 1350
E-Mail: willi.vaassen@de.tuv.com
Internet: www.eco-tuv.com

TÜVRheinland® Precisely Right.

Electric arc investigations

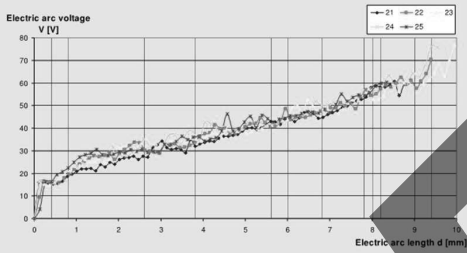
Circuits and voltages at electric arc ignition when opening the electric circuit



TÜVRheinland® Precisely Right.

Electric arc investigations

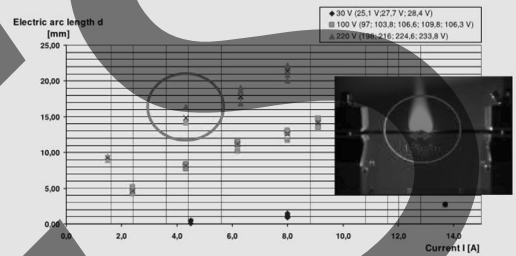
Dependence of the electric arc voltage from the electric arc length



TÜVRheinland® Precisely Right.

Electric arc investigations

Maximum electric arc length in dependence of voltage and current



TÜVRheinland® Precisely Right.

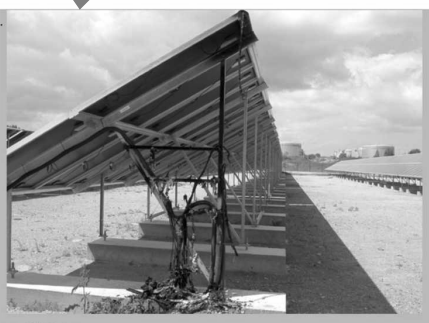
出典（3）

Arcing potential in fuses: missing standards for adequate testing of fuses in PV application

Dipl.-Ing. Ing.(grad) Peter Kremer
Head of DKE K373 and K221.1.4 (VDE and DIN)

Arcing potential in fuses

3 PROBLEMS WITH FUSE-LINKS

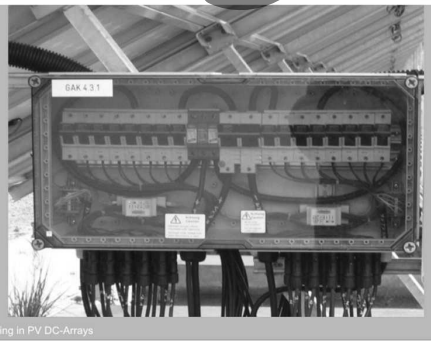


Picture 4:

The day after without PV array junction box

Arcing potential in fuses

3 PROBLEMS WITH FUSE-LINKS



Picture 3:

PV array junction box in operation
This PV array junction box with 8 fuses in “+” string cable and 8 fuses in “–“ string cable was operating properly for 2 years in a multi megawatt PV power plant.

Arcing potential in fuses

3 PROBLEMS WITH FUSE-LINKS

Picture 5:

PV generator junction box commissioning

Arcing potential in fuses

3 PROBLEMS WITH FUSE-LINKS

Picture 6:

A very nice standing arc

Arcing in PV DC-Arrays

Arcing potential in fuses

4 Conclusion

If we have to install fuses in PV installations then we need a PV fuse standard for requirements and testing (e.g. arcing test) including fuse-holder.

Ask PV module manufacturers for the specification of the recommended fuse-link.

Arcing in PV DC-Arrays

Arcing potential in fuses

3 PROBLEMS WITH FUSE-LINKS

Picture 7:

Bye bye junction box

Arcing in PV DC-Arrays

Arcing potential in fuses

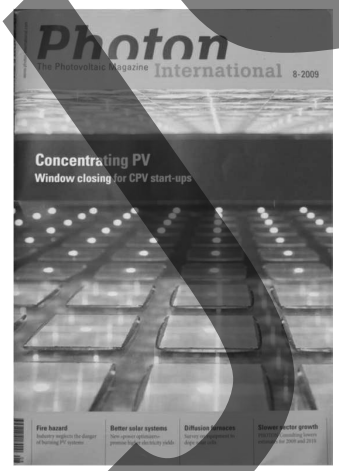
4 Conclusion

Use only approved PV-fuse-links if they are available.

Prefer fuse-less PV installations that's the best solution because it is easy, very save and reliable.

Arcing in PV DC-Arrays

ドイツPV火災事例　Photon　2009/8



BP Solar's product recall

Since 2003, installers have submitted frightening reports of charred junction boxes in BP Solar's modules. The manufacturer reacted as you would expect a multinational concern like BP to react, considering its solar division's total turnover is so insignificant when compared to its other divisions: it didn't do a thing. The BP wheels only got moving once it was clear that the module problem would have repercussions for the entire company's reputation. Believe it or not, at the end of 2006, a whole 3 years after the first complaint, the company launched a product recall.

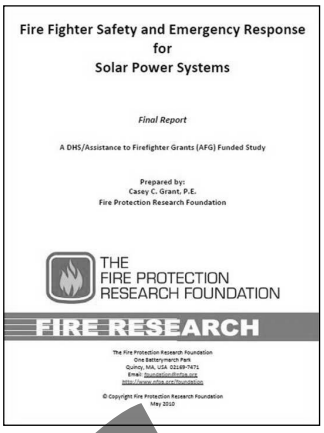
Indeed, the problem was highly combustible: cold solders inside the junction boxes produced faulty contacts and, in turn, electric arcs. BP suggested that customers with systems installed near combustible materials shut down their systems and began to replace the faulty products in the winter of 2006. This recall is still ongoing, a fact demonstrated by the missing modules in the 5 MW system in Bürstadt, Germany.

A year later, in December 2007, BP Solar was struck by another problem. This time it wasn't a fire hazard, but the risk of electric shock. Apparently, the cell connections were cut with shears rather than a gravity knife. The result was metal bands with sharp edges that could damage the back-side foil. In a worst case scenario, this could result in insulation defects and energize the solar generator.

When the second breakdown occurred, the company reacted in good time and without the need for any outside pressure, and started another recall. This recall could be considered almost exemplary; in fact, in certain ways, BP Solar even profited. Since then, many installers and system operators have realized: a malfunction like the one that struck BP can happen to other manufacturers, but not every company is in a position to launch a similar recall. ●jh

▲ The 5-MW system in Bürstadt, Germany, just prior to its completion in April 2005. Of 31 sections – each located on half a shed roof – 15 were covered with BP Solar's Saturn-5 modules, which were recalled in 2008. Today, 11 of these sections are still waiting on new modules. The fire on June 21 started in a section of the system covered with Saturn-7 modules (pictured here, at the back right, near the tower)

アメリカ



出典(4)

・2003年ごろからPV火災消火時消防士が感電することがあり問題視されはじめた
・2010年5月 「太陽電池に対する消防士の安全かつ迅速な対応」
火災保護研究協会が発行(2013/10改訂)
・2011年 NFPA70 NEC 690.11 アーク事故回路保護 追加

NEC ARTICLE690 Solar Photovoltaic (PV)Systems

2008年版	2011年版
690.10 自立型システム	690.10 自立型システム
	690.11 アーク事故回路保護(直流)
Ⅲ 断路装置	Ⅲ 断路装置
690.13 全ての導体	690.13 全ての導体

690.11

80V以上のPVシステムにはリストに載ったアーク事故回路を遮断する装置を設置しなければならない。

ナショナルセミコンダクターアーク検出評価ボード

National Semiconductor

NEWS RELEASE

For More Information Contact

National Semiconductor Corporation
2900 Semiconductor Drive
PO Box 58090
Santa Clara, CA 95052-8090 USA
+1 408 721 5000 Tel
www.national.com

ナショナル セミコンダクター 太陽光発電システムの危険なアーク故障を検出するSolarMagicチップセットとファームウェアを発表

米国電気規約(NEC)準拠のアナログ・フロント・エンドICとマルチバンド・ダイナミック・フィルタリング・ファームウェア

2011年6月9日

アーク評価ボード 2011年半ば

環境の中にある色々なノイズ(ノイズ)からアークによる成分を検出するフィルタ技術(アナログ)を用い、-40 C から+125 C の動作温度範囲をもち、大きさが 50 mm × 30 mm の最小サイズを実現した。

特性

- 耐圧(絶縁) 1000 V
- 最大直流電流 15 A
- LED 表示
- 動作温度範囲 -40 C ~ +125 C
- サイズ 50 mm × 30 mm
- 低所要電力 < 400 mW

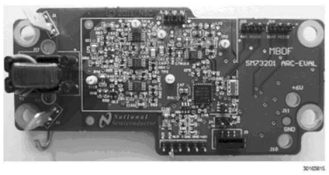


FIGURE 1. Evaluation board

アークと正常時のスペクトル比較(10～30kHz)

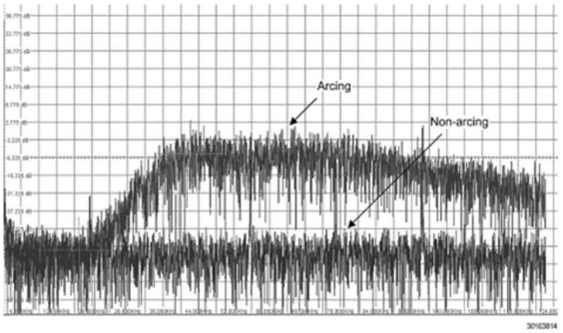


FIGURE 2. Spectrum of Digitized Current on SM73201

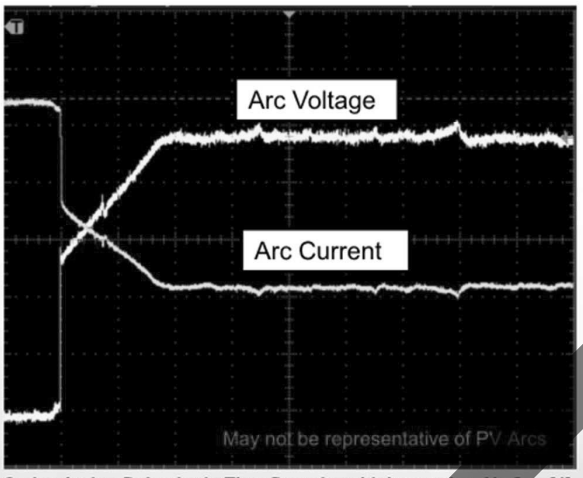
Overview of Arc-Faults and Detection Challenges

出典(5)

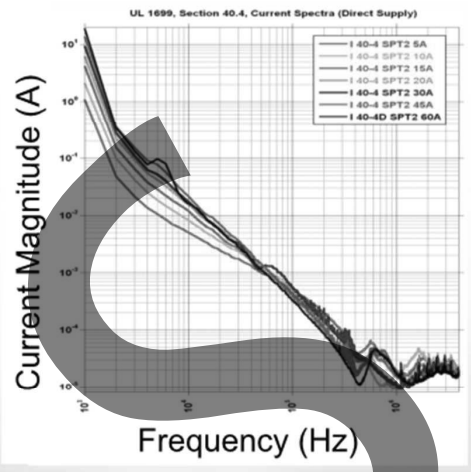
2/8/2011

Jay Johnson
Sandia National Labs
(505) 284-9586, jjohns2@sandia.gov

- **What is the electrical behavior of an arc?**
  - In series arcs, voltage surges and current drops [4]
  - The arcing frequency content is approximately 1/f (pink) noise.



Series Arcing Behavior in Time Domain with Increasing Air Gap [4]



Arcing in Frequency Domain [5]

[4] Hastings, J. K., Zuercher, J.C. and Hetzmannseder, E., "Electrical Arcing and Material Ignition Levels," SAE 2004 World Congress & Exhibition, Detroit, MI, March 2004.
[5] Brazis, P. W. Jr., Private Transaction with Underwriters Laboratories.

出典(6)

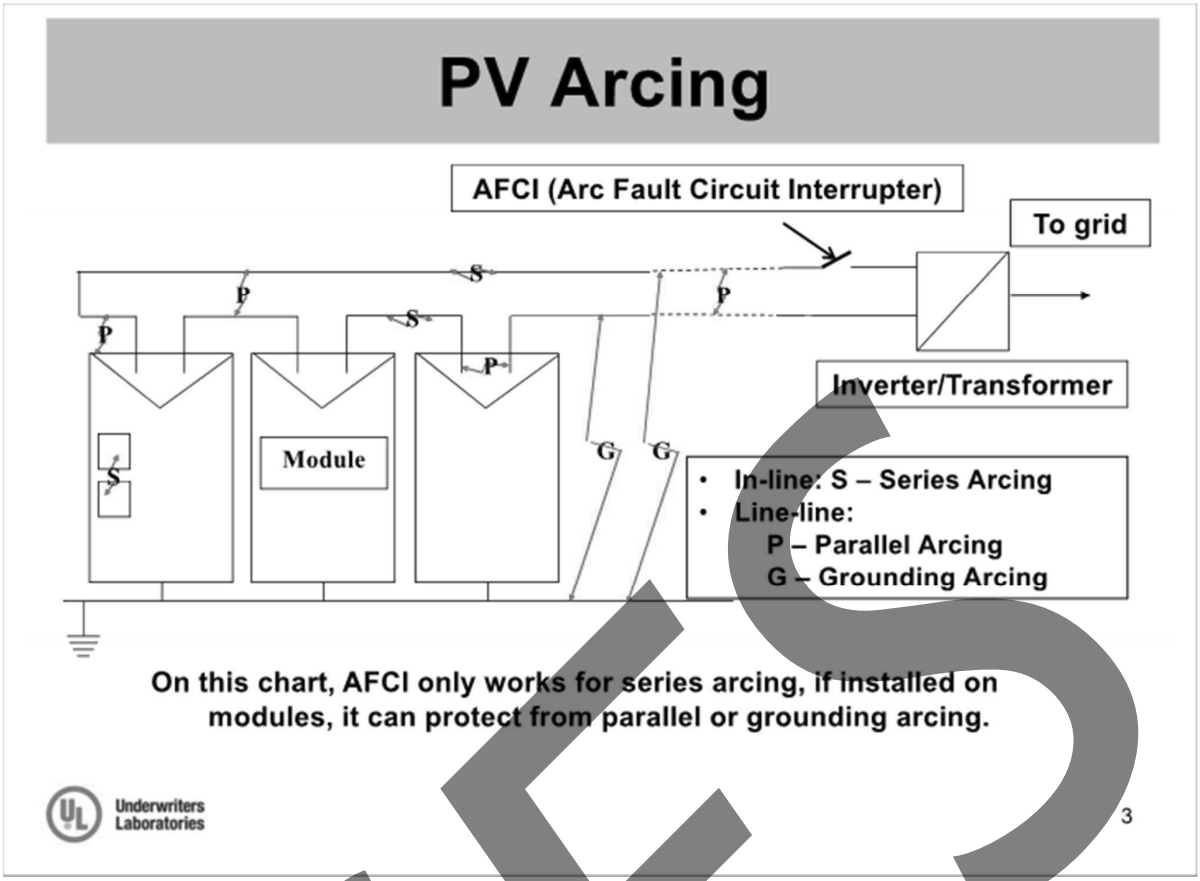
the standard in safety

PV Arc Fault Protection

Tim Zgonena
Underwriters Laboratories Inc (UL)

February 8, 2011

Residential PV Arc and Fire 2/10/2009



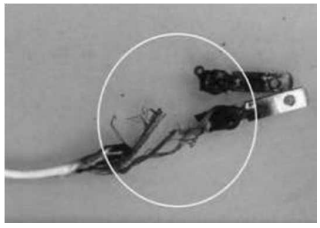
電気火災の種類

- ・金原現象・・・・・・・・・・・・・・・ラス張り建材での配線工事不良による木材の炭化・発火（？）
- ・亜酸化銅増殖発熱現象・・端子部の電気接続不良による火花・微小間欠アークによる
  亜酸化銅を介した通電発熱・発火・極間短絡・アークに至る
- ・トラッキング・・・・・・・・・・・・・絶縁物の炭化により極間短絡、アークの発生による発火
  コンセントへの埃堆積による極間短絡・アーク・火災
- ・アーク・・・・・・・・・・・・・・・・・電気火災原因の最終形

電気痕と火災　http://www7a.biglobe.ne.jp/~fireschool2/d-A1-56-3.html

短絡痕には、**「一次痕」と「二次痕」そして「熱の溶融塊」がある。**

・一次痕は火災出火場所に多く、二次痕はコードなどが炎で焼け落ちて極間短絡などで発生する。（溶融痕は高温により電線部材が溶けて出来るようである）



プラグの直近で、半断線で
短絡出火した一次痕

換気扇の器具コードに
発生した二次痕

JST 日本科学技術振興機構 記事番号 83A0318114
1982年12月13日登録 電機学会環境安全研究会資料

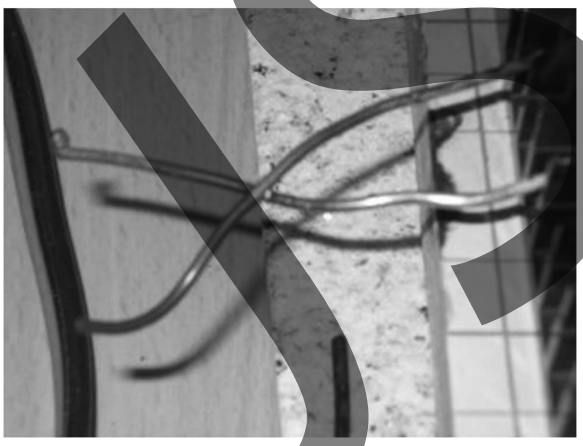
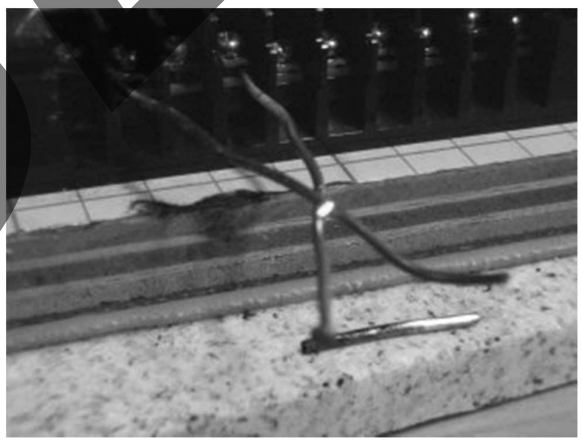
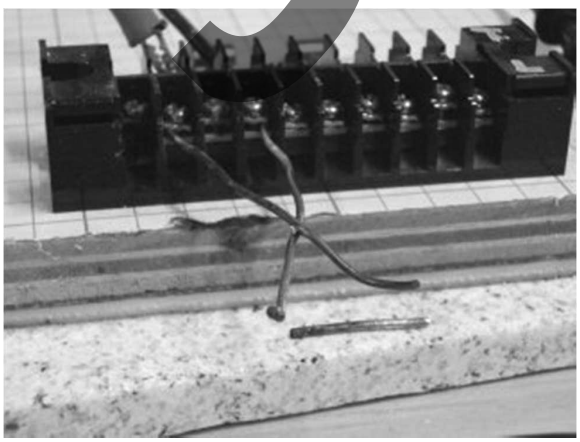
ES 83-2.

電流による亜酸化銅の増殖・発熱現象

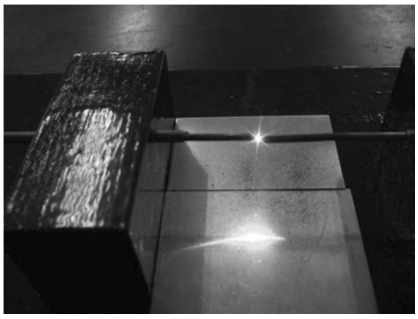
堀田 悦博 北西 晃久
(名古屋市消防局)

1. まえがき

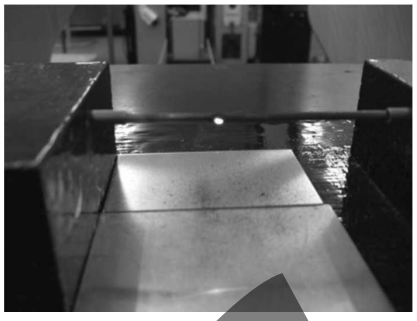
電気回路の一部分に銅または銅合金をもって構成される接触点があって、その接触状態が電気的に不良になった場合、未知のあるキッカケによって接触点に亜酸化銅(Cu_2O)が生成し、それが電流の作用によって成長して行くことがある。この現象が発生しているときは、抵抗発熱によるかなりの温度上昇があるため、一般の電気器具または設備の一部においてこの現象が発生すると、一アンペア未満の小電流によっても絶縁物や支持造営材を加熱して発火させるほどの発熱をすることが確認され、実際にしばしば火災の原因になっている。従来不可解とされた小電流による電線等の接続点の発熱発火の機構は、この現象によって説明できるのであり、火災ないし故障の発生防止のためにも注意を払うべき現象である。

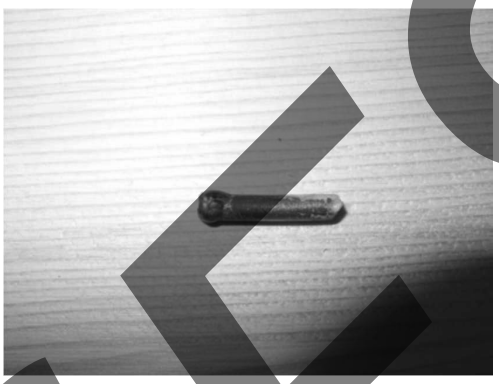

60.3V　5.6A　アーク



数度のアーク実験で亜酸化銅増殖
発熱になった

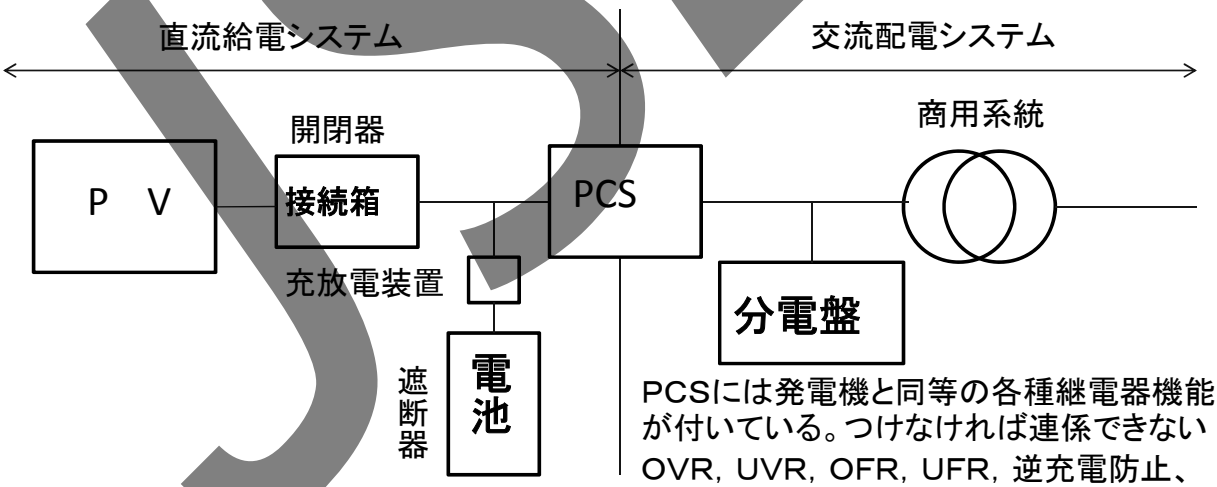


実験後の銅材の先端　電気痕ではなく亜酸化銅



動画

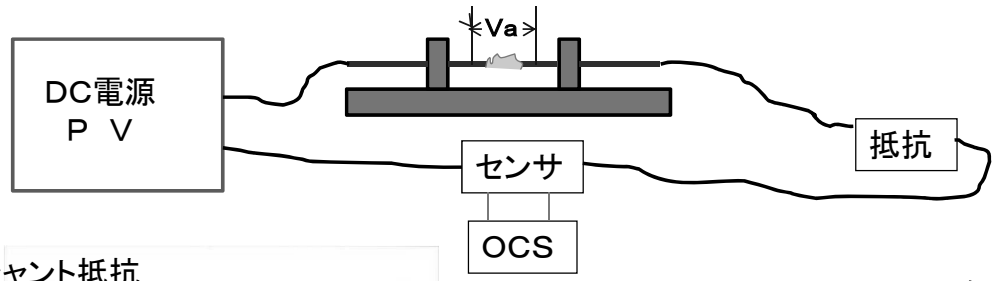
太陽光発電システム例



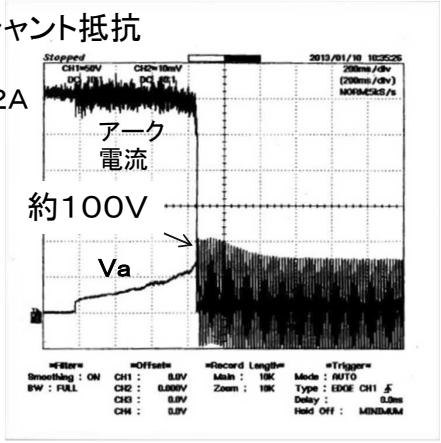
PCSには発電機と同等の各種継電器機能が付いている。つけなければ連係できない
OVR，UVR，OFR，UFR，逆充電防止、地絡保護等

PV，蓄電池の付いたモデルハウス

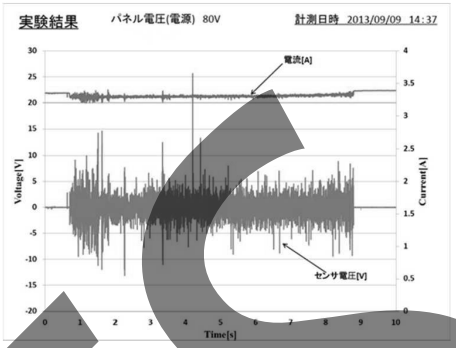
6kWh
リチウムイオン電池

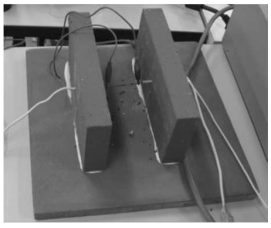


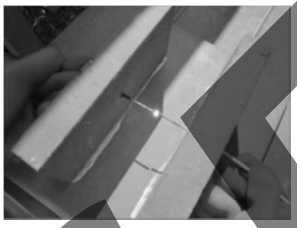
シャント抵抗

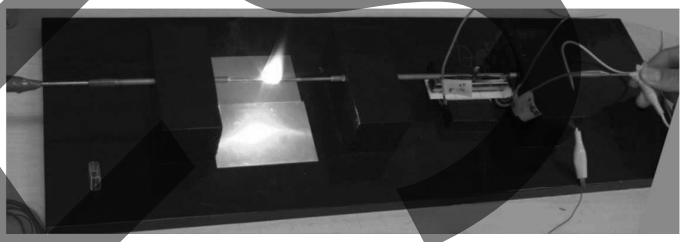


DC－CTなど



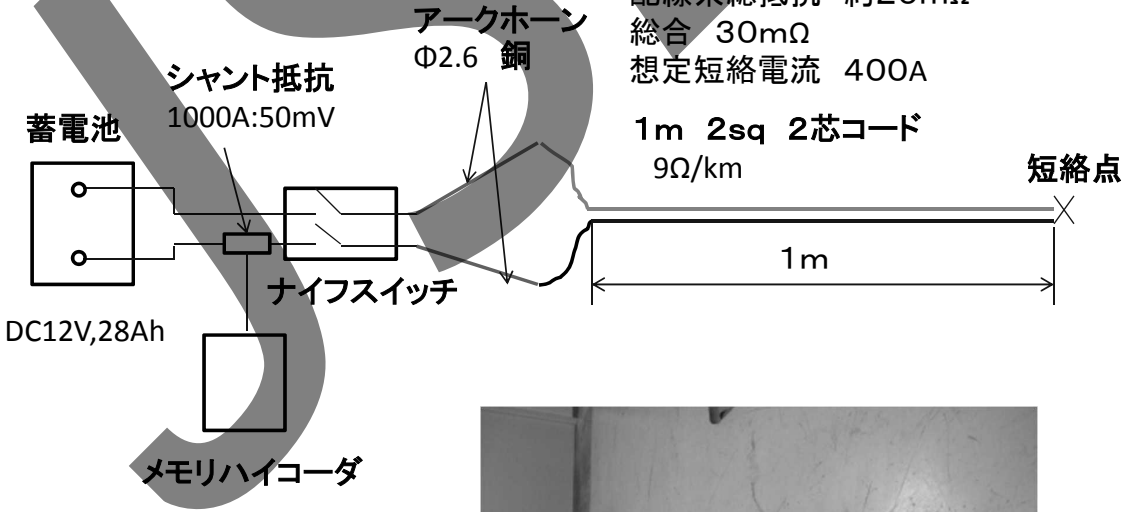


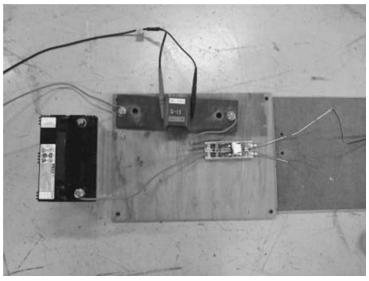


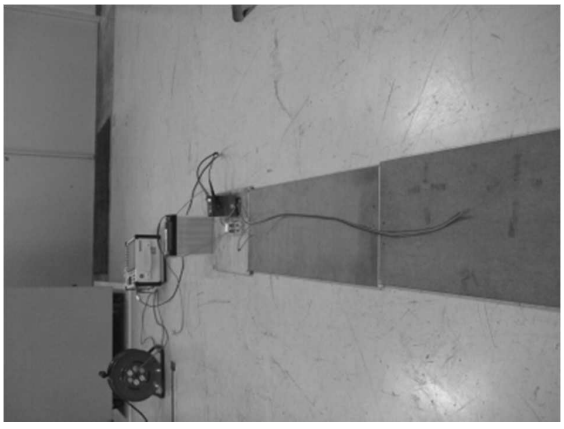


蓄電池短絡実験

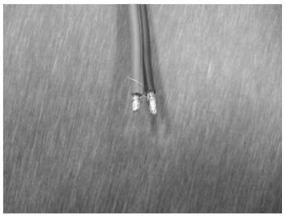
蓄電池内部インピーダンス　約10mΩ
配線系総抵抗　約20mΩ
総合　30mΩ
想定短絡電流　400A







Φ0.2で先端短絡



短絡線溶断のみ
最大400A程度

動画

芯線1本短絡

芯線溶断のみ
最大400A程度

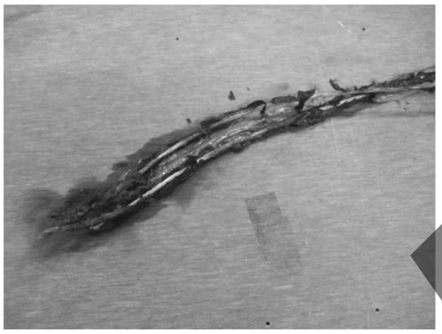
動画

両極よりあわせ

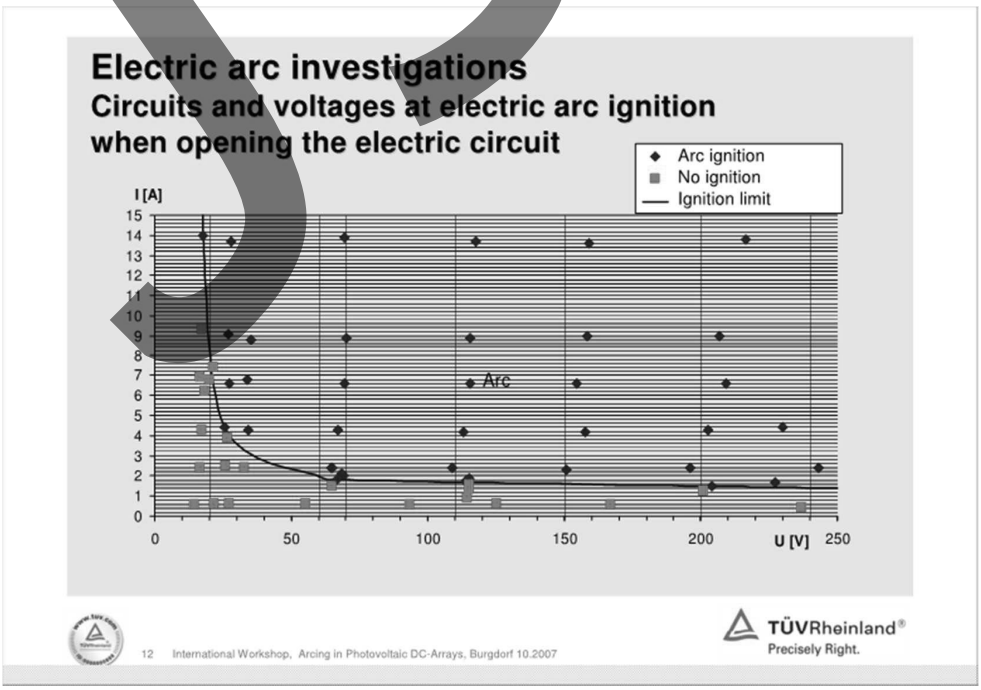
被覆が溶け電磁反発で電線が離れる
200Aで継続中止

動画

より合わせでの短絡結果



・電流は200A～400Aと大きくても、電圧が12V程度と低いためアークは出なかった
アークを出すには電池が4直程度は必要
・先端を寄った場合は過電流で加熱し被覆が溶け、電磁反発で芯線は離れる
また芯線は赤熱し抵抗が大きくなり電流は200Aとなった



出典一覧

(1)http://www.pvtest.ch/fileadmin/user_upload/lab1/pv/Workshop_Tagungen/Flyer_minutes_workshop_arcing.pdf#search='International++Workshop+%2CArcing+in+Photovoltaic+DCArrays%2C+Burgdorf++10%2C2007'

(2)http://www.pvtest.ch/fileadmin/user_upload/lab1/pv/Workshop_Tagungen/W_Vaassen_Lichtbogen-Burgdorf_E.pdf

(3)http://www.pvtest.ch/fileadmin/user_upload/lab1/pv/Workshop_Tagungen/C_Koerner_Arcing_potential_in_fuses_DKE_Kremer_1031.pdf

(4)http://www.nfpa.org/~/media/Files/Research/Research%20Foundation/Research%20Foundation%20reports/For%20emergency%20responders/RFFirefighterTacticsSolarPowerRevised.pdf#search='Fire+Figter+Safety+and+Emergency+Response+for+Solar+Syastems'

(5)http://www.solarabcs.org/about/publications/meeting_presentations_minutes/2011/02/pdfs/Johnson_Presentation.pdf

(6)http://www.solarabcs.org/about/publications/meeting_presentations_minutes/2011/02/pdfs/Zgonena_Presentation.pdf#search='PV+ARK+PROTECTION+UL+8%2F2011'

ご拝聴ありがとうございました