

動画処理による真空環境下での太陽電池アレイ放電発生位置 特定システムの開発*¹

Development of Position Identification System of Arc Discharge on a Solar Array in Vacuum by Digital Processing of Video Images

豊田 和弘*²・趙 孟 佑*²・匹田 政 幸*²
Kazuhiro TOYODA, Mengu CHO and Masayuki HIKITA

Key Words: Solar Array, Digital Processing of Video Image, Arc Position

Abstract: A system to identify the position where arc discharges occurred on a solar array in vacuum has been developed. The system is composed of a video camera, an A/D converter, a personal computer (PC) and a computer program. Analog video image of the solar array from the video camera is converted to digital one by the AD converter. The digital video image is recorded directly on a hard disk drive connected to the PC during an experiment without dropping any video frames. After the experiment, a picture image is extracted in memory bank from the stored video image by the computer program and is compared with a first frame of the video image. The position of arcs is identified by means of repeating this comparison over all frames. The system is built at a low cost with commercial hardware and reduces the time required for analysis remarkably.

1. はじめに

近年, 人工衛星に搭載されている太陽電池アレイ上での放電現象が確認され¹⁾, 放電によって太陽電池が故障した例も報告されている²⁾. そして, 太陽電池アレイ上での放電現象の解明及び放電抑制法の開発を目的とした研究が活発となっている.

放電は太陽電池アレイ上のいたるところで起き, 放電が起きた箇所はダメージを受ける. そしてダメージが積み重なることにより, 太陽電池アレイが破壊される可能性もある. 放電位置を特定することにより, 放電位置の推移, 放電とダメージの関係等を知ることができる. また開発された放電抑制法の効果を検証する上で, 放電発生場所を特定する必要がある. このため, 太陽電池アレイ上の放電現象を研究する上で放電位置の特定は欠かせない.

これまでも当研究室では放電位置の特定を行ってきた³⁾. それは, 実験後にビデオテープに撮影した映像をパソコン上に動画データとして取り込み, 動画データを1フレームずつ画像データに変換したのち更にテキスト変換してコンピュータプログラムで放電位置を特定するものであった. この方法では放電位置を特定するために非常に多くの時間と手間を必要とし(3分間の実験データの処理に約1時間), 作業効率の良いものではなかった. そこでシステムを改良し, 実験中に直接パソコン上に太陽電池アレイの映像を動

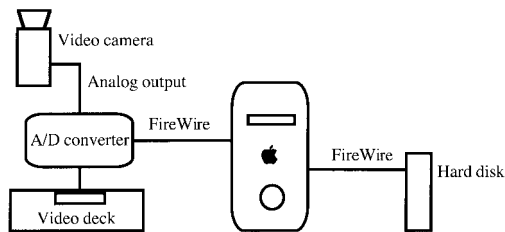
画データとして取り込み, 実験後に動画データを直接プログラムで処理することにより処理時間を大幅に短縮し, 作業効率を向上させることができた. また市販品を使うことでシステムハードウェアを安価に構成した. 本論文ではこの放電発生位置特定システムについて述べると共に, これを実験で用いることによりシステムの検証を行ったので報告する.

2. 放電発生位置特定システム

2.1 システム構成 放電発生位置特定システム構成を第1図に示す. システムはビデオカメラ, アナログ・デジタル映像変換装置, パソコン, ハードディスク, ビデオデッキ, 放電位置特定プログラムにより構成されている. ビデオカメラにより映されている実験供試体のアナログ映像が変換装置によりデジタル映像データに変換され, ハードディスクに動画データとしてリアルタイムに保存される. そして実験終了後にコンピュータプログラムにより動画データを処理し, 放電画像の抽出及び放電位置, 放電輝度データを取得する. また, 動画データは解析終了後消去するため, バックアップデータとしてアナログ・デジタル映像変換装置からのアナログ出力をビデオデッキでビデオテープに記録している.

ここでシステムに用いた各装置の説明をする. ビデオカメラにはデジタルビデオカメラ(SONY DCR-PC1)を用い, カメラから出力されているアナログ映像を使用した. このシステムで用いるカメラにはアナログ出力があればよく, 今回はデジタルビデオカメラのアナログ出力を用いたが, よ

*¹ © 2003 日本航空宇宙学会
平成14年4月15日原稿受理
*² 九州工業大学

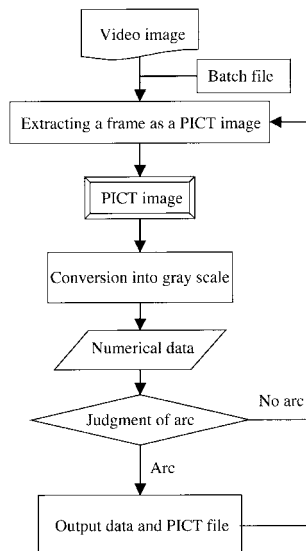


第1図 放電発生位置特定システム図

り安価なアナログ CCD カメラでも十分である。但し、発光時間の短い放電発光を確実に捕らえるためには、CCD カメラの電子シャッターをインタレースでのフィールド時間 (約 60 分の 1 秒) と同じかそれ以上にしておく必要があり、シャッタースピードを変更できる機能のついたカメラが望ましい。もし、デジタルビデオカメラのようにシャッタースピードを自動で調整するものであれば、開放時間が長くなるように供試体にあたる照明を暗くする必要がある。アナログ・デジタル変換装置には Formac 社の Studio を用いた。放電という短時間の発光現象は、動画データ (DV フォーマット) の 1 フレームの時間 (約 33 msec) より遥かに短く、動画データを取り込む際にコマ落ちすることは許されない。そのため、変換装置内でソフトウェアではなくハードウェアによりアナログデータを DV フォーマットに変換することで、パソコンに負担をかけないようにしコマ落ちを防止した。DV フォーマットは MPEG のようにフレーム間を圧縮するのではなく、各フレームを圧縮するため、動画データからフレーム画像を取り出し易いという特徴を持っている。パソコンは Apple PowerMacintosh (PowerPC G4 876 MHz) を用い、変換装置とは FireWire (IEEE1394) により接続した。またハードディスク (IODATA HAD-i80G/1394) も FireWire によりパソコンに接続されており、DV フォーマットのデータ転送速度が約 3.6 MB/s で FireWire の最大転送速度が 50 MB/s であるため十分リアルタイムに動画を記録することができる。今回用いた 80 GB のハードディスクで約 6 時間連続録画することが可能である。

2.2 放電位置解析プログラム 放電位置解析プログラムのフローチャートを第 2 図に示す。まずハードディスクに取り込まれた動画から 1 フレームをメモリ上に画像データ (PICT 形式) として読み込む。読み込まれた画像データはグレースケールに変換され、輝度がピクセルごとの数値データとなる。数値データには各画素の座標と輝度 (8 bit) が情報として含まれている。この数値データは先に読み込まれた基準となる画像データとピクセルごとに比較され、その差が設定値よりも上回っていればそのピクセルの周辺を調べ、カメラのぶれでないかを確認する。ぶれでない場合は放電とみなし、放電位置のピクセル値、輝度をファイルに書き出していく。1 つの画像データの判定を終えたのち、もしその画像に放電が含まれている場合には、メモリ上から画像ファイルとして書き出され次のフレームの判定に移る。

放電位置解析にかかる時間は、640 × 480 ピクセルの画像



第2図 放電位置解析プログラムフローチャート

サイズで動画を取り込んだ場合には動画の再生時間の約 6 倍程度になり、6 時間の実験では解析に約 36 時間程度かかることになる。以前のシステムでは解析時間を短縮するために 240 × 180 ピクセルの画像サイズで解析を行っており、解析には実験時間の約 20 倍必要であった。新システムで 240 × 180 ピクセルの画像サイズを用いて解析を行った場合、解析時間は実験時間の約 2 倍となり、以前の 20 倍と比較すると解析時間が著しく短縮される。この時間を更に短縮するために、動画を解析する時間帯をプログラム上で任意に指定できるようにした。実験では動画データだけでなく、放電電圧、放電電流等の波形データをオシロスコープを用いて、パソコン上に記録している。このデータは、放電が起きオシロスコープにトリガがかかると GPIB を介してパソコンに取り込まれるようになっている。各波形データはファイルとして読み込まれ、ファイル生成時間をヘッダとしてもっている。実験後に各ファイルの生成時間の一覧を別のファイルに書き出し、そのファイルを放電位置解析プログラムに読み込ませることによりオシロスコープデータの時間を含んだ数秒間のみを解析することができる (バッチ処理)。オシロスコープからパソコンへのデータ転送に 4 チャンネルで約 8 秒間必要であるため、オシロスコープデータの取得時間から十数秒後まで解析を行った。そのため、いくら実験時間が長くなっても解析時間は放電回数に比例するため、6 時間の実験で放電が 200 回起きた場合には、放電 1 回につき 15 秒解析すると 50 分の動画を解析することになり、解析に必要な時間は 50 分の約 6 倍の 5 時間で済む計算になる。この方法を用いることにより、36 時間から 5 時間というように大幅に解析時間を削減することができ、長時間の連続測定後の解析も短時間で行うことができるようになった。これによって実験終了後に解析プログラムを起動させれば、コンピュータの傍に人がついていなくても翌朝には放電位置が特定されているということになる。

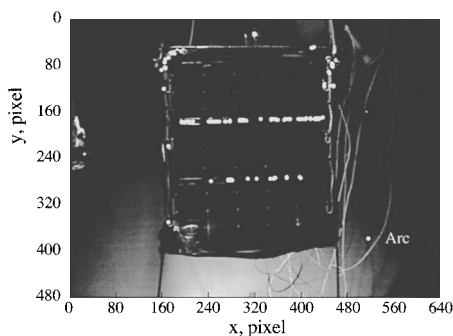
第 1 表 特定された放電回数

Source data	Arc count	True arc count	Time required for analysis
Oscilloscope 4CH	153	—	—
Movie analysis with batch file	170	169	3 h 40 min
Movie analysis full length	176	169	30 h

3. システム検証実験

実験は 5 時間 20 分連続して行った。実験手法の説明は文献 4) にある。各装置で取得できた放電回数を第 1 表に示す。測定では 4 チャンネルのオシロスコープを使って放電波形を測定した。1 チャンネル分のデータをパソコンに転送するのに約 2 秒かかるため、4 チャンネルで約 8 秒間、次に放電が起きたとしてもデータを取得することはできない。動画解析は解析する時間のとりかたを変えて 2 回行った。1 回目はオシロスコープのデータが取得された時間をリストにし、それをプログラムに読み込んで 1 回の放電につき 15 秒間のバッチ処理を行った。2 回目は、バッチ処理は用いず動画全体に対して解析を行った。また解析で放電とみなす輝度の差の閾値を 60 に設定した。表に示したように、動画解析ではオシロスコープよりも多くの放電を確認した。これはオシロスコープのデータ取込み時間中に起きた放電の取りこぼしがあったことを示しており、その放電を動画解析では検出できたことがわかる。

次に動画解析の 2 つを比較してみる。バッチ処理を行ったものより、動画全体を解析したものの方が放電数が多くなっている。しかし、取り出された画像を検査したところ、画像には放電ではないノイズが含まれていた。その結果、ノイズを除いた放電回数は 2 ケース共に 169 回となり、バッチ処理を行った場合でも放電を取りこぼすことなく検出できることが確認できた。解析に必要な時間は、バッチ処理をした場合、遥かに少なく済んだ。これらの結果からバッチ処理を行っても放電を取りこぼすことなく検出することができ、解析時間も大幅に短縮できるため、バッチ処理が利用できることがわかった。またどちらの方法にせよ、一旦処理を開始させれば終わるまで人間がコンピュータの前にいる必要はなく、以前の³⁾方法で人間が逐一各ステップでコンピュータにコマンドを打ち込んでいたのに比べて、大



第 3 図 動画解析により検出された放電位置分布

きく作業効率が向上した。

第 3 図に動画解析により検出された放電の太陽電池アレイ上での分布を示した。図の縦軸、横軸は画像のピクセル値を示しており、扱った画像は 640 × 480 ピクセルである。また図中の放電位置は動画解析によって得られた位置データをプロットしたものである。この図を見るとわかるように、動画解析を行うことによって放電が起きた位置の分布を素早く知ることができ、放電発光の輝度や面積、放電と放電の時間間隔、放電間の距離といった多くの有効な情報を得ることができる。

4. ま と め

太陽電池アレイ上での放電位置を特定するシステムを構築し、実験に適用することでシステムの検証を行った。動画をハードディスクに直接録画し、動画を直接解析して放電箇所を特定することにより、以前のシステムで人間が行っていた作業を大幅に低減することができた。また、システムを構成するハードウェアは全て商用品として広く流通しているものであり、安価にシステムを構成することができた。更に、オシロスコープで測定したデータの取得時間を用いることにより大幅に解析時間を省くことができ、5 時間 20 分の実験に含まれる 169 回の放電位置の特定には 3 時間 40 分を要しただけであった。

実験に適用した結果、太陽電池アレイ上で起きた全ての放電を解析することができ、システムが正しく機能していることが確認できた。

今後は更に高速な処理を目指し、解析プログラムを改良していく必要がある。

本研究は科研費基盤研究 (B) 及び (財) 日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行ったものである。

参 考 文 献

- 1) Hastings, D. and Garrett, H.: Spacecraft-Environment Interaction, Cambridge University Press, London, 1996.
- 2) Katz, I., Davis, V. A. and Snyder, D. B.: Mechanism for Spacecraft Charging Initiated Destruction of Solar Arrays in GEO, AIAA Paper 98-1002, 36th Aerospace Sciences Meeting, Reno, 1998.
- 3) Shiraishi, K., Cho, M. and Hikita, M.: Optical Measurement of Charging and Discharging Processes on Insulator Surface in Simulated Low Earth Orbit Plasma Environment, IEPC Paper 99-230, 1999.
- 4) 趙 孟佑, 白石 康, 匹田政幸, 國中 均: MUSES-C 搭載高電圧太陽電池のプラズマ干渉, 日本航空宇宙学会論文集, 49 (2001), pp. 268-277.