

# 電気接点のダークブリッジの研究 (I) -ダークブリッジの生成-

○久保田 啓義† 佐々木 俊介‡ 石田 広幸‡ 高木 相‡

† 東北文化学園大学大学院

‡ 東北文化学園大学

あらまし

電気接点を超微速度で開離すると光らないブリッジができる。これをダークブリッジ (Dark Bridge) という。これはいわゆる a-spot が成長したものである。本文はこれを生成するための接点微速度開離装置と鉄接点で生成したダークブリッジの映像を示す。鉄はブリッジが安定にできることが知られている。微速度開離装置には精密な微小ギャップを作るために開発された長尺の鋼鉄製片持ち梁 (長さ 100cm、厚さ 1cm、幅 3cm) を用いた。本文はこの片持ち梁による微速度開離装置と生成されたダークブリッジの例を映像で示すとともに、このダークブリッジが持つ特異な非線形電圧-電流特性 (V-I 特性) を示す。

## Study of Dark Bridge in Electrical Contacts (I) –Artificial Formation of Dark Bridge- Hiromichi KUBOTA †, Shunsuke SASAKI ‡, Hiroyuki ISHIDA ‡, Tasuku TAKAGI ‡

Abstract

Ordinarily observed electrical contact bridge is luminous due to high speed electrodes separation, but non-luminous bridge appears between contacts when they are separated with extremely slow speed. The non-luminous bridge is called Dark Bridge which can be seen as an elongated a-spot. This paper mentions the equipment for producing dark bridge. A special tool was used for making the dark bridge: cantilever system made by hard iron of which dimension is 100cm long with 1cm thickness and 3cm width. Very accurate gap can be created with very slow speed and dark bridge can be produced. The system is mentioned in this article along with produced dark bridge image and a typical non-linear V-I characteristics.

Key words: electrical contacts, a-spot, dark bridge, non-linear V-I characteristics,

### 1.はじめに

電気接点の開離初期の現象はいわゆる a-spot からの橋絡(ブリッジ)の形成から始まる。通常は熔融金属のブリッジであり、これは接触部が瞬間的に高温になるため、明るく光るブリッジが形成される。そして接点开離とともに消滅する。

接点开離時のブリッジ現象は古くから研究されている。L.Jones 氏は鉄接点开離時のブリッジの発生から切断までの過程を初めて自作の高速度カメラによって撮影することに成功し、これを 1966 年に発表している[1]。我が国では窪野隆能氏の詳細な研究がある。窪野氏の実験は鉄、白金、パラジウムを対象としている。鉄は切断時にブリッジが出来やすいことと酸化しやすいことから実用接点には使用されないが、ブリッジの研究としては都合のよい材料であった。窪野氏は実験とともに詳細な理論的考察を行っている[2]-[4]。笹本猛氏はリードスイッチ接点の調査から、その寿命がブリッジによって起こる材料の転移が主な原因であることを突き止め、接点表面のメッキの厚さの

最適化により接点开離時のブリッジ切断がブリッジのちょうど中間で起こるように設計することで、切断時の材料転移(一方の電極材料が他方の電極に移ること)を抑えることが可能であるとのアイデアから理論的研究と実験を積み重ねて、長寿命のリードスイッチの開発に成功している。これは実用的研究の成果としては特筆すべきものである[5]。

これらの研究は接点开離時の動的ブリッジを静的モデルによって解析したものでその成果は限定的であると言わざるを得ない。

電気接点开離時には必ずブリッジが発生することはよく知られているが、このブリッジは瞬間的なもので、接点があるギャップまで開くと必ず消滅する。通常、電極開離時に接点間に存在すブリッジは熔融ブリッジである。従ってこの状態のブリッジは可視光を伴う。

本研究で扱うブリッジ(ダークブリッジ)は可視光を伴わないブリッジである。このようなブリッジは、電気接点を極めて遅い速度で開離するこ

とによって生成することができる。可視光を伴わないブリッジはダークブリッジ (Dark Bridge) と命名された[6]。

本研究は筆者らによって確認された光らないブリッジ(Dark Bridge)の性質を明らかにすること、及びその利用法 (例えば微振動センサへの応用) の可能性を模索することを目的としている。

まず、本文では、ダークブリッジの生成法から生成したダークブリッジの例とその電気的特性について述べる。ここでは鉄接点の場合を中心に述べるが、引き続き本研究の続編 (II) 以降においては各種の金属材料の場合についても述べる機会持つ予定である。

ダークブリッジの生成には極微速度開離条件を実現することが必要である。開離速度は毎秒あたり早くても数  $\mu\text{m/s}$  以下でなければならない。この条件は接点开離が熱平衡条件下でなければならないことによる[7]。この条件を実現するために筆者らは長尺の精密な片持ち梁 (鋼鉄製) を使用したこの装置は極微小ギャップ放電現象の研究用として開発されたものである[8]。

以下この装置の詳細と生成された鉄のダークブリッジの写真と電気的特性についてのべる。

## 2.ダークブリッジの生成

### 2.1 片持ち梁

片持ち梁とは、梁の一端が固定され、もう一端は自由に移動することができる梁で、固定端と自由端を持つ梁である。自由端に変位を与えると、固定端は動きがないため、固定端に近づくほど、自由端の変位が縮小される。

本研究で用いる片持ち梁は、鋼鉄ロッドから切り出したものである。土台に溶接などで固定作成したものと違い、固定端の安定性は非常に高い。梁の長さは100cm (幅3cm、厚さ1cm) である。図1に片持ち梁の全体像、図2にスケッチを示す。自由端の変位 (D) と任意の点  $l$  における変位 ( $d\ell$ ) の関係を(1)式に示す[9]。

$$d\ell = \frac{3L\ell^2 - \ell^3}{2L^3} \cdot DL \quad (1)$$

図3に本実験の場合の数値計算結果を示す。

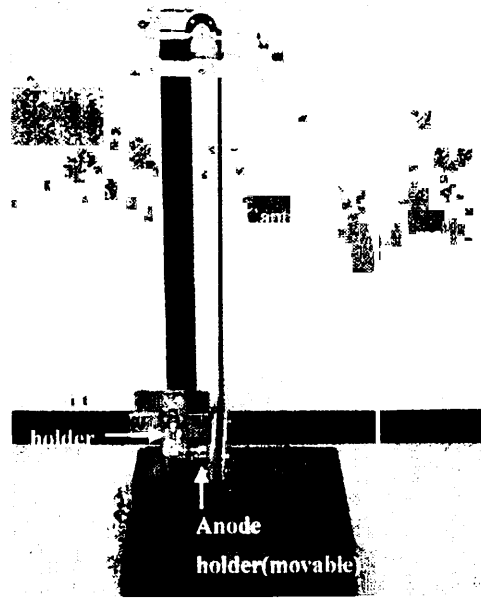


図1 片持ち梁の全体像

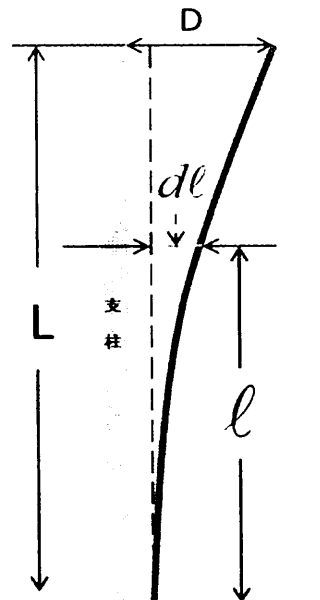


図2 片持ち梁のスケッチ

図2で、Lは梁の長さ、Dは自由端に与える変位、 $l$ は固定端から任意の長さ、 $d\ell$ は任意の長さ $l$ で得られる変位である。接点電極は片持ち梁に取り付けた電極ホルダに固定する。固定側の電極は梁に隣接する支柱に固定する。陽極を可働側とし、陰極を固定する。

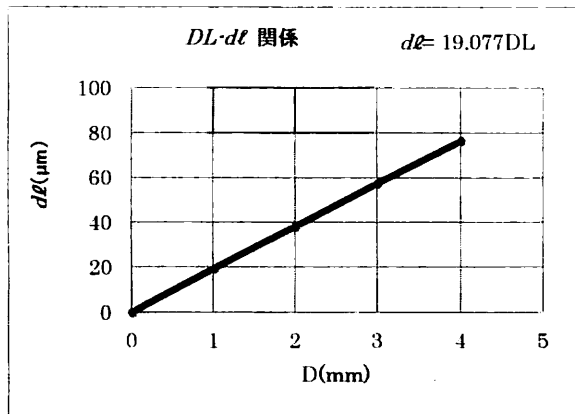


図3 (1)式の計算結果 (本実験)

図3は本研究で使用した(1)式の計算結果である。先端の変位  $D=1\text{mm}$  に対して訳  $20\mu\text{m}$  の変位が得られる。

### 3. 鉄のダークブリッジ

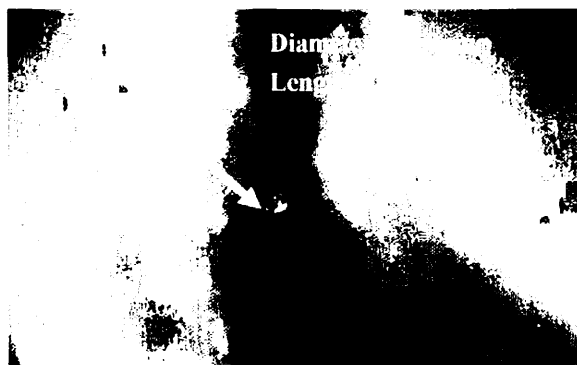


図4 鉄のダークブリッジ

図4は片持ち梁に取り付けた鉄接点の陽極を毎秒  $2\mu\text{m/s}$  程度の速度で開離方向に動かして得られたダークブリッジのイメージである。

### 4. ダークブリッジの V-I 特性

図5はダークブリッジの電流  $I$  に対する接点電圧  $V$  を測定し、これを V-I 特性としてプロットしたものである。最初の測定は図の initial からである。ここから微速度で電極を開離方向へ微速度で移動する。そして  $9.5\mu\text{m}$  ごとに V-I 特性をとる。そうするとこの場合 initial と  $9.5\mu\text{m}$  の陽極移動では特性に大きい変化はなくともひとつの直線上にプロットされた。しかし次にさらに  $9.5\mu\text{m}$  移動させたところ ( $19\mu\text{m}$  のデータ) では特性はやはり直線であったが、その傾斜は小さくなった。こ

れは接触抵抗が大きくなったことを意味する。

しかし、さらに  $9.5\mu\text{m}$  移動させたところ ( $28.5\mu\text{m}$  ①のデータ) では全く異なるカーブとなった。このカーブの信ぴょう性を確かめるため、①の測定終了後、少し負方向に電極を移動させて、再び同じ  $28.5\mu\text{m}$  の位置に戻して測定して得られたのが  $28.5\mu\text{m}$  ②のカーブである。測定値に差があるが形は同じものとなった。よってこの測定には誤りはなかったことがわかった。

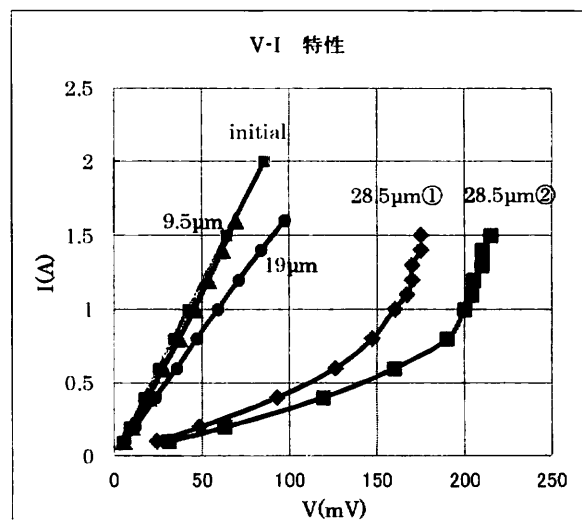


図5 通常接触からダークブリッジまでの V-I 特性

後にこの不思議な特性を示すカーブがどのようなものかを検討したところ、このカーブのはじめの (電圧、電流の小さいところ) は直線であり、その後中間部は指数関数関係が成立することが分かった。さらにその先は不安定で値が用意に定まらない現象であることが分かった。これらについては次の報告で詳しい検討結果を述べる予定である。

### 5. 微速度開離時の接触現象

図5の実験からダークブリッジの電圧-電流特性の線形から非線形への変化はダークブリッジのどの時点で起こるのかは詳しい実験からの推定を要する。接点の微速度精密開離装置は将来多くの実験的知見を得る道具となると思われる。

図6は接点开離時には多点接触から一点接触を経て最後はブリッジの切断によって開離状態となるという動的現象の内、多点接触から一点接触になる過程を実際に追跡したものである。電気接点の微速度開離によって初めて接触電圧の変化を観

察できたものと言える。

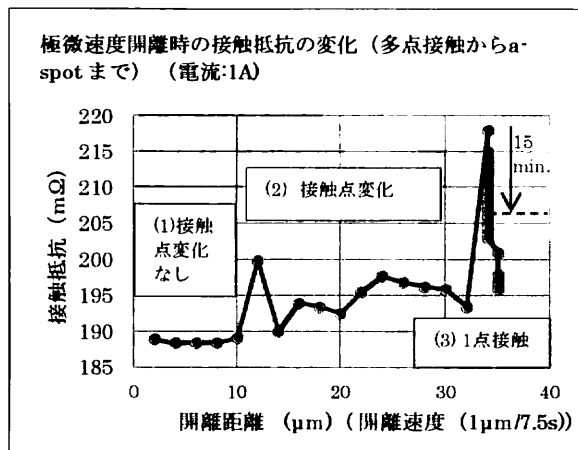


図6 電極の微小移動による多点接触から1点接触 (a-spot) の実現

図6は開離速度  $1 \mu\text{m/s}$  で鉄接点を開離させた時の接触電圧の測定結果である。開離距離  $2 \mu\text{m}$  ごとに接触電圧を測定した。図中に示すように、(1)初期の変化しない領域がある。この範囲は多点接触と考えられるので接触電圧はあまり変化していない。初めて変化するのは  $10 \mu\text{m}$  からである。

\*実際の開離距離は目盛通りとは考えられない。(ホルダのバネ性で実際は電極が動いていない可能性がある)。目盛  $10 \mu\text{m}$  から電極が動き出したとも考えられる。

(2)目盛  $10 \sim 32 \mu\text{m}$  の間は接触点は多点と考えられる。

\*ここでは接触点の数が変化している。電極は必ずしも垂直に動いているとは考えられない横方向にも動いている可能性がある。

(3)目盛が  $34 \mu\text{m}$  で突然接触電圧が上昇した。そして、時間とともに電圧は低下した。15分間観測した。その後  $1 \mu\text{m}$  開いて  $35 \mu\text{m}$  にした。電圧が下降する現象が続いた。

\*ここは明らかに一点接触となったものと考えられる。単一 a-spot の出現である。電圧が時間とともに下降するのは接触部で発生する熱による接触面積の増加によるものと考えられる。

(4)この状態からさらに開くとダークブリッジが成長するものと考えられる。

## 6. おわりに

本文は鉄接点におけるダークブリッジの生成法と特異な V-I 特性が発生することを示した。ダークブリッジに関してはパラジウムで初めて実現

しているが[6],その性質については明にしていない。今般鉄を取り上げて、片持ち梁を用いた精密な電極の極低速度移動法を確立し、鉄接点間に光らないブリッジ(ダークブリッジ)を生成してその電気的性質の一部を明らかにした。鉄は最もよく知られており、また、最も多く使われていることから、今後の他の金属での調査研究との比較で重要な位置づけとなりものと考えられる。今後引き続き研究を進展させて逐次発表する予定である。終わりに、電気接点ブリッジの研究で大きい成果を得られている静岡大学名誉教授窪野隆能先生には貴重な資料を提供して頂いた。ここに御礼申し上げる次第である。

## 参考文献

- [1] F. Llewellyn-Jones, J. Price: "HIGH PHOTOGRAPHY OF EXPLODING CONTACT BRIDGE AND THE INVESTIGATION OF THE MICROPLASMA", Proc. of the Third International Research Symposium on Electric Contact Phenomena, p.301 (June, 1966)
- [2] 窪野 隆能, 真野 國夫: コンタクトの橋絡現象に関する研究 その1.橋絡現象についての概要, 東北大学電通談話会記録, "第43号1号(昭和49年2月)
- [3] 窪野 隆能, 真野 國夫: コンタクトの橋絡現象に関する研究 その2. 同種金属対向コンタクトにおける開離時接触電圧の観測, 東北大学電通談話会記録, "第43号4号(昭和49年11月)
- [4] 窪野 隆能, 真野 國夫: コンタクトの橋絡現象に関する研究 その3. 大気中の鉄橋絡の観察, 東北大学電通談話会記録, "第43号4号(昭和49年11月)
- [5] 笹本 猛, "リードスイッチにおけるコンタクトのブリッジ転移の研究", 昭和54年度東北大学博士学位論文
- [6] Hiroyuki Ishida, Masanari Taniguchi, Tasuku Takagi I. "Precise Measurement of Dark Bridge between Micro-gap Electrical Contacts in a state of Thermal Equilibrium Condition", IEEE 2005 Instrumentation and Measurement Technology Conference, IM5382, Ontario, Canada, 17-19 May, 2005.
- [7] Hiroyuki Ishida, Masanari Taniguchi, Hideaki Sone, Hiroshi Inoue, Tasuku Takagi: "Relationship between Length and Diameter of Contact Bridge Formed under Thermal Equilibrium Condition", IEICE Technical Report(Proc. Is-EMD2004), Vol.104, No.356(EMD2004-78), pp.47-53, (Oct.2004) (at Chitose), and IEICE Trans. On Electronics, Vol.E88-c, No.8, p p . 1 5 6 6 - 1 5 7 2 ( A u g . 2 0 0 5 )
- [8] 美野峰男: 修士論文 (1967年, 東北大学)
- [9] 谷口正成: 学位論文 (1994年, 東北大学)