

# CATV伝送路の接触障害による電磁妨害の測定

## Measurement of electromagnetic disturbance on CATV transmission line caused from contact failure

林優一\*, 曾根秀昭\*, \*\*

Yu-ichi Hayashi\*, Hideaki Sone\*, \*\*

\*東北大学大学院情報科学研究科, \*\*東北大学情報シナジーセンター

\*Graduate School of Information Sciences, TOHOKU University,

\*\*Tohoku University Information Synergy Center

キーワード: ケーブルテレビ (CATV), 伝送路 (transmission line), 接触障害 (contact failure), 電磁妨害 (electromagnetic disturbance)

連絡先: 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6 番 3 号東北大学情報シナジーセンター・本館・曾根研究室  
林優一, Tel.: (022)217-6094, Fax.: (022)217-6096, E-mail: yu-ichi@mail.tais.tohoku.ac.jp

### 1. はじめに

インターネットの普及に伴い、マンションやアパートなどの集合住宅においてCATVインターネットを利用した接続が増加している。CATVインターネットにおいて利用者の端末から通信相手の端末にデータを送信する際、利用する周波数帯域を上り帯域といい、この周波数帯域は10~55MHz (Fig.1) である。また、相手の端末から利用者の端末にデータを受信する周波数帯域を下り帯域という。

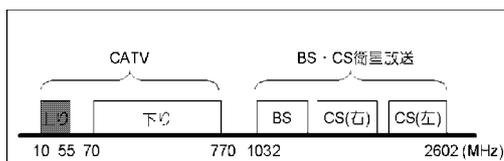


Fig. 1 CATVインターネット上り周波数帯域

CATVインターネット利用者は上記の周波数帯域を利用して利用者端末から通信相手先にデータの

送信を行うが、その際、送信されたデータはCATV施設のセンターを経由する。利用者の引き込み伝送路上において、上り周波数帯に雑音が入り込んだ場合、各利用者においてはごく小さな雑音であっても、CATV施設センターにおいては流合雑音としてネットワーク利用の障害となることが報告されている<sup>1, 2)</sup>。こうした状況下で各利用者の家庭において、上り周波数帯域への雑音混入を防止することは重要な課題である。CATVインターネットの主な利用場所である家庭で雑音を発生させる家電製品の雑音種別や、それらから発生する雑音の調査・研究は、熱雑音やスプリアスについてはリビングアメニティ協会の調査報告書<sup>1)</sup>、ユニバーサルモータにおける整流アークと電磁雑音<sup>3)</sup>、電気接点放電のCATVインターネット上り周波数帯域への影響に関する考察<sup>4)</sup>などによりなされている。

例としてFig.2は整流子モータから発生する雑音を測定<sup>3)</sup>した結果であるが、CATV上り帯域周波

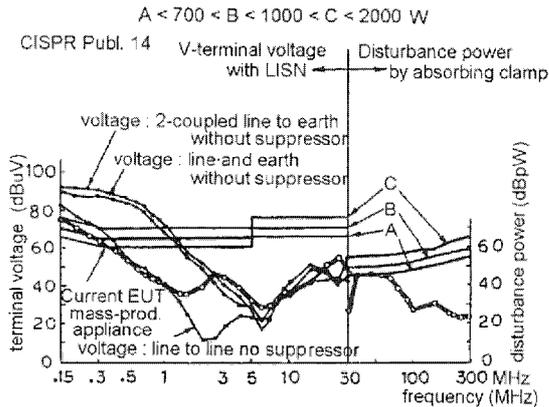


Fig. 2 整流子モータの雑音測定結果

数と重なるような比較的広い範囲で雑音を発生している。上記にあげた研究・報告では、家電製品の中には上り周波数帯域に含まれる雑音を発生させる例が示されており、家庭内CATV伝送路において雑音が混入しやすい状況が発生した場合の通信障害が危惧される。

専門的技術者に常時保守されていない家庭内伝送路においてはコネクタの緩みや接触不良が発生する可能性があり、接触不良発生時に家庭内電化製品から発生する雑音が混入することが推測され、その調査・報告は重要である。

しかし、雑音の混入しやすい状況として経験的に知られているが、この問題について十分検討がなされていない。ケーブルと分配機等におけるコネクタの接触不良について、本論文では酸化被膜抵抗器を利用して接触不良をモデル化し、伝送路の随所で発生するコネクタ接触不良発生・増大時の雑音混入について検討をおこなった。また、実験では伝送路への雑音の飛び込みを直接測定するのではなく、伝送路へ10MHz～60MHzの周波数帯域においてシグナルジェネレータを利用し、任意の強度で信号を発生させ伝送路に送信し、伝送路から漏洩する電磁界をプローブで検出することにより雑音の飛び込み程度の評価をおこなった。

## 2. 酸化皮膜抵抗器を利用した接触不良のモデル

主に電磁界ノイズが混入する部位は、経験的に、接触不良が発生したコネクタ部位(Fig.3)であることが知られており、接触不良は、コネクタの緩みや酸化、有機物の付着による汚染により引き起こされる。

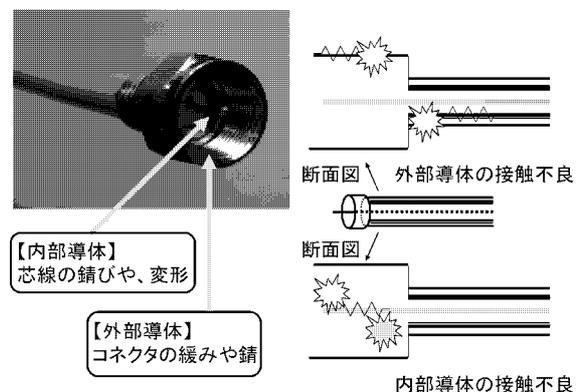


Fig. 3 酸化皮膜抵抗器付加によるコネクタ接続不良の模式図

これらを原因として、接触抵抗の上昇がおり、その部位が高周波のアンテナとなって、電磁界の放射や、その部位への飛び込みが発生(Fig.4)する可能性がある。本章では実験システム(Fig.7)を利用して接触不良を、同軸ケーブルへの酸化皮膜抵抗器の並列付加という形でシミュレートし、接触不良によるインピーダンスの乱れから同軸ケーブルから放射される電磁界ノイズをコイルと微小ダイポールにより測定をおこなった。また、測定は10～60MHzにおいて10MHz毎に120dB $\mu$ Vを同軸伝送路に送出した。

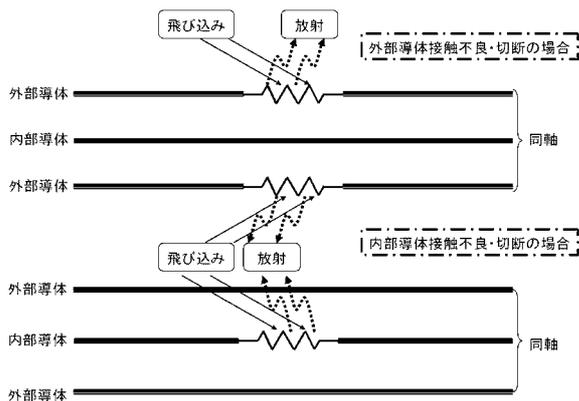


Fig. 4 酸化皮膜抵抗器付加によるコネクタ接続不良の模式図

### 3. 実験システム

実験に利用した同軸ケーブルは特性インピーダンス75Ω、芯線には軟銅線、絶縁体には発泡ポリエチレン、外部導体にはアルミ箔と軟銅線編組、それらを被服ビニルで覆ったラミネート型S-5C-FB 4m(Fig.5)を利用し、Fig.6の方法において、主にコイル、比較対象のため微小ダイポールを用いて漏洩電磁界を測定した。

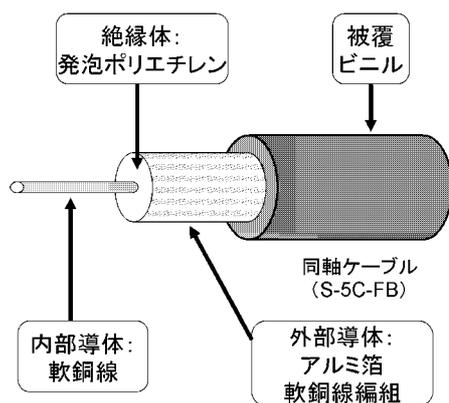


Fig. 5 ラミネート型同軸ケーブル

また、実験構成はシグナルジェネレータから10MHz～60MHzの信号120dBμVを発生させ、伝送路である同軸ケーブルに送信し、同軸ケーブルを挟んで

シグナルジェネレータの向かいにオシロスコープを設置し、同軸ケーブル内の電圧を測定した。伝送路の高さは床から1mのところを釣り糸を渡して同軸ケーブルを固定し、測定環境は測定器以外の電子機器の動いていない講義室で机を4m以上はなしておこなった。下記は手順を整理し、まとめたものである。

- 1) 10MHz～60MHzの周波数を10MHz毎にシグナルジェネレータから発振し同軸ケーブル(Fig.5)に送信
- 2) 同軸ケーブルからの電磁界をトロイダルコア(T-50#10)にホルマル線(直径0.8mm)を巻きプローブ(Fig.6左)としたものを伝送路中央に配置し検出、また比較のためにプローブに微小ダイポール(Fig.6右)を利用
- 3) プローブにより検出された信号をアンプで40dB増幅し、スペクトラムアナライザで取得
- 4) PCからGPIBを用い、スペクトラムアナライザで検出した波形を数値データとして取得、取得後データにフィルタを施し、各周波数の最大レベルを抽出
- 5) オシロスコープを利用し、同軸ケーブル内の電圧を測定

また、以降の測定では同軸ケーブル伝送路4mに測定毎に変化するケーブルの状態を再現したものを付加しておこなった。

### 4. 測定結果

測定は内部導体接触不良モデルと外部導体接触不良モデルについておこなった。内部導体接触不良モデルでは芯線を切断した場合と切断をおこなわない伝送路との比較をおこなった。外部導体接触不良モデルは4種(0Ω, 2Ω, 10Ω, 50Ω)の各抵抗器3

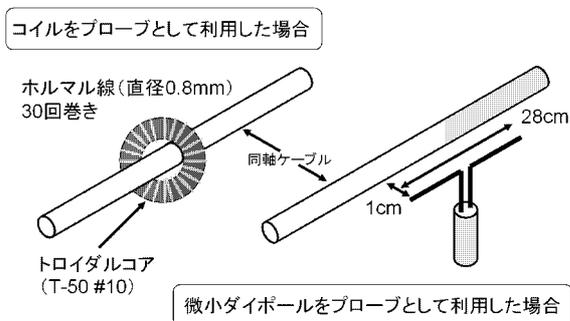


Fig. 6 コイルと微小ダイポールアンテナによる漏洩電磁界の測定

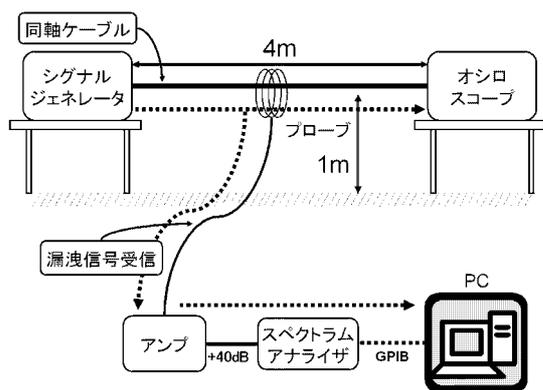


Fig. 7 実験システム

つずつ同軸ケーブル周上、並列に伝送路付加した状態と付加しない伝送路との比較をおこなった。

#### 4.1 内部導体接触不良モデル

はじめに、同軸ケーブルの内部導体(芯線)部分が接続不良をおこしたり、切断された場合の漏洩電磁界について測定を行った。Fig.8は芯線を切断した場合の漏洩電磁界を測定したものを示している。芯線を切断した場合、オシロスコープにおいて同軸伝送路内の電圧は検出されなかった。また、芯線切断は $\infty\Omega$ の抵抗器を付加した場合に等しく、その場合においても漏洩電磁界は抵抗器の付加をおこなっていない同軸ケーブルと比べてほとんど差異のないものとなった。

本測定において芯線の接触不良や切断について十分抵抗値が大きい場合、または芯線が切断された場合は接触不良の発生が起こっていない状態の同軸伝送路と同様の漏洩レベルであるということを観測した。

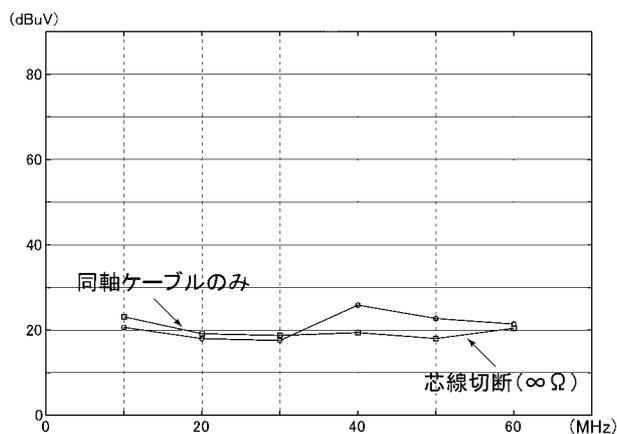


Fig. 8 芯線を切断した場合の漏洩電磁界強度

#### 4.2 外部導体接触不良モデル

図7のように $0\Omega$ 、 $2\Omega$ 、 $10\Omega$ 、 $50\Omega$ の各値の酸化皮膜抵抗器を同軸ケーブルに並列に3つずつ付加(Fig.9)し、抵抗器は同軸ケーブルの編組・シール

ド部分を一度切断し付加するため、 $0\Omega$ の抵抗（酸化皮膜抵抗器に利用されている導体を利用）を付加した場合も比較し、切断における電磁界漏洩の影響を抵抗器付加をおこなわない同軸ケーブルと比較し、抵抗器付加の場合に比べ電磁妨害が小さいことを確認した。

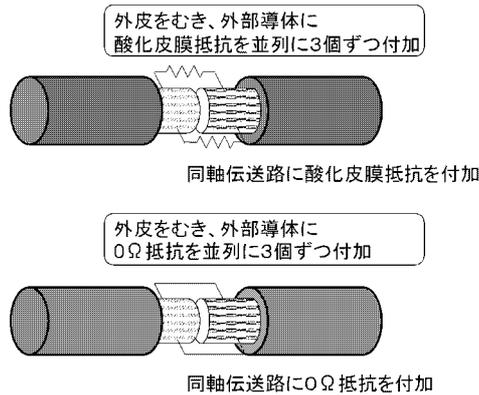


Fig. 9 同軸ケーブルへの抵抗器挿入

芯線切断時と同様、外部導体へ抵抗器付加をおこなう実験においても酸化皮膜抵抗器を接続せずに外部導体を完全に切断した場合（酸化皮膜抵抗器 $\infty\Omega$ ）もおこない、各値の抵抗器付加の場合と比較を行った。

抵抗値の増大に従ってプローブで検出する電磁界が強くなっていることがFig.10よりわかる。また、実験システムのFig.7にあるように同軸の一方で同軸伝送路の電圧をオシロスコープで測定をおこなった。

また、Fig.11は微小ダイポールをFig.6のように配置し、漏洩電磁界を測定した結果を表しているが、コイルを利用して検出した際の漏洩電磁界と差は見られなかった。

Fig.12より、オシロスコープで検出した電圧の値は切断時以外、どの抵抗器付加時でも差異はほとんどみられないが、電磁妨害は抵抗値が上がるほど強くなるということがFig.10に示したとおりに観測さ

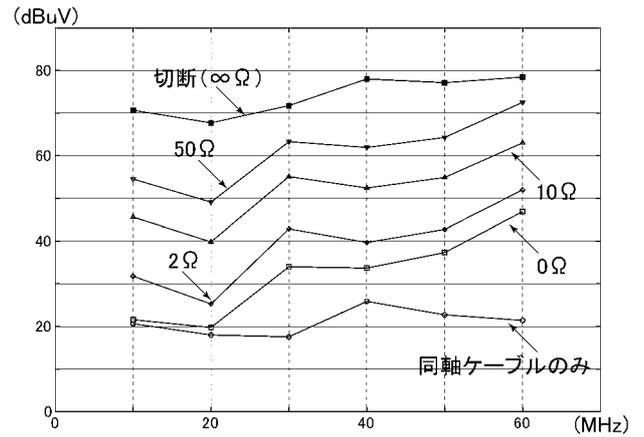


Fig. 10 抵抗器付加時の漏洩電界強度(コイルによる検出)

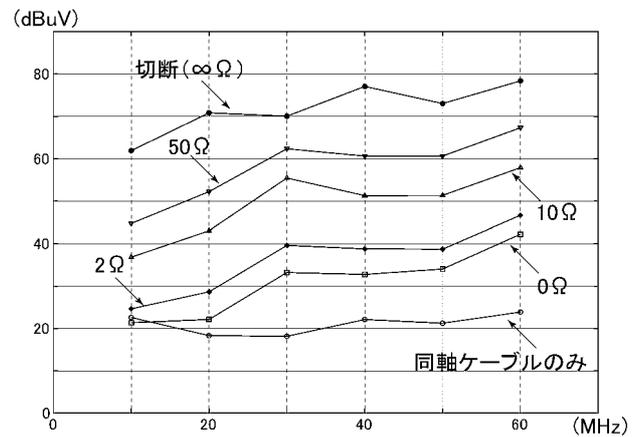


Fig. 11 抵抗器付加時の漏洩電界強度(微小ダイポールによる検出)

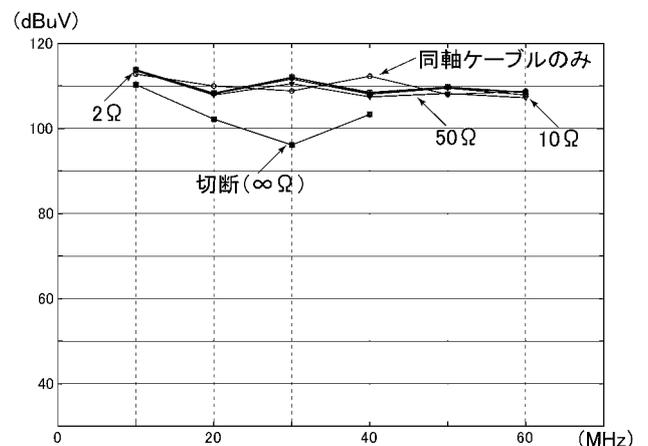


Fig. 12 抵抗器付加時の電圧変化の割合

れ、抵抗値の差はTable.1のようになっている。

Table 1 抵抗値増加における漏洩電磁界増大値

	dB
0.67Ω (2Ω) → 3.33 (10Ω)	+13.98dB
3.33Ω (10Ω) → 16.67 (50Ω)	+13.92dB

さらに、各周波数毎の漏洩電磁界強度をX軸に各抵抗器の倍率をとり、Fig.13の位置にプロットした。付加なし(No resistance)と0Ωの間で値が変化しているが、これは抵抗器を付加する際に抵抗器と伝送路の間で取り付け方によりループアンテナを形成し、それにより漏洩が発生することが予想され、本測定は誤差とみなすこととする。各周波数帯において、抵抗値の増加が漏洩電磁強度の増加に比例していることがTable.1, Fig.13よりわかる。これはコネクタの緩み具合が悪化したり、酸化や有機物の付着による汚染が進行したりする場合抵抗値が高くなり、CATV伝送路上り周波数帯域において漏洩電磁界が増加することを示唆している。

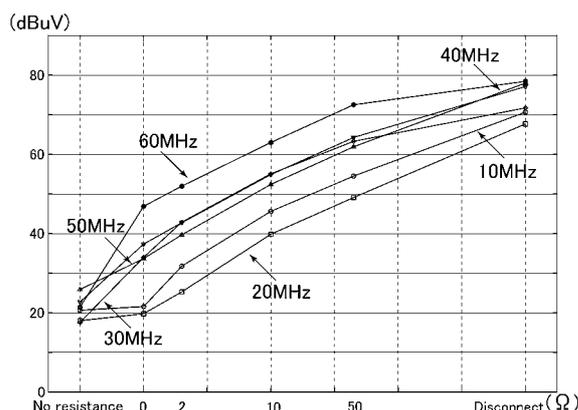


Fig. 13 酸化皮膜抵抗器付加時の周波数毎の漏洩電界強度

## 5. 今後の課題

今回の測定において、コモン・モード・ノイズについては一切検討は行わなかったが、シグナルジェネレータやオシロスコープはある程度の静電容量を保有しているため、床面に対して緩やかな接続をしている。そのような状況下ではFig.14にみられるように、回路を構成するので、これらを直流的に切断するためにトランスを作成し、簡単な実験をおこなった。

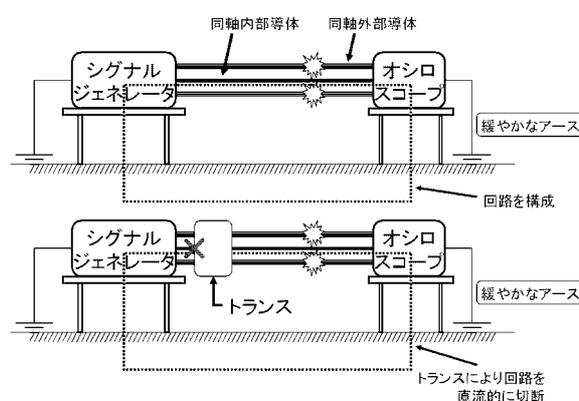


Fig. 14 トランスによる直流回路切断の様子

トランスはFig.15にある、トロイダルコアに銅線を巻き付けBNCコネクタに接続したものをアルミケースでシールドしたものを利用した。また、Fig.15にある抵抗器は酸化皮膜抵抗器であり、シグナルジェネレータの特性インピーダンスが50Ωとなっていることより、高い出力を得るために付加したものである。

トランスを付加した場合の漏洩電界強度は全ての抵抗器付加時において高い値で漏洩していることがコイルをプローブとして観測されたが、トランスと各抵抗器を付加した場合と、トランスのみを付加した場合の漏洩電界強度にほとんど差異がなく、トランス部分から発生した電磁界を測定しているものと考えられる。トランスからの電磁妨害の原因として、同軸ケーブルからトランスへの

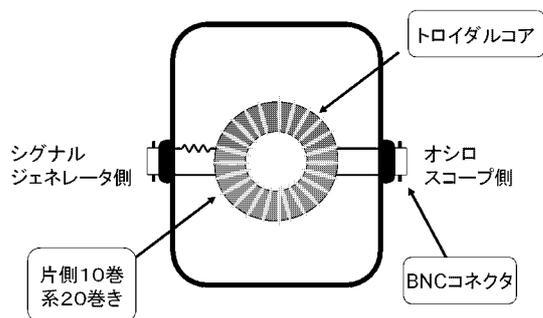


Fig. 15 トランスの構造

接続部分では同軸構造が失われるため、接続部分が高周波のアンテナになり、その部分から強い電磁界が発生しているものと考えられ、この電磁妨害の抑止は今後の検討課題である。

また、他の課題として、今回の実験では線形的な酸化皮膜抵抗器を利用し接触不良を再現したが、本来、コネクタの緩みや酸化、有機物の付着による汚染により引きこされる接触不良の抵抗値は非線形であることが知られており<sup>5)</sup>、今後はダイオードなどの非線形抵抗器を利用し、有機物や酸化におけるコネクタの汚染を忠実に実験環境に反映させることを検討している。また、抵抗器を付加する場合には電位基準点の設定についても合わせて検討が必要である。

## 6. まとめ

測定結果から芯線切断時には電圧が検出されないため、多くの場合、信号の不達によりあらかじめ利用者により検出される可能性が高く接触不良が放置される可能性は低いと判断されるが、外部導体を切断した場合には、高い値の抵抗器を付加した場合にも伝送路内の電圧はほとんど変化しないため、外部導体に対して、酸化皮膜や有機物の付着が発生し、接触不良が引き起こされた場合は

その特定が困難であると考えられる。測定において抵抗値が増加した場合には従属して漏洩電磁界強度も増加することから、コネクタ部分においては外部導体の対酸化や汚染に備えることが重要と考えられる。本実験では接触抵抗値が増大することにより漏洩する電磁界が増大することが明らかになった。

## 参考文献

- 1) (株)リビングアメニティ協会, テレビ共同受信機委員会, "集合住宅におけるCATV上り帯域の流合雑音調査,"リビングアメニティ協会, 東京都, 2001.
- 2) Wolters, R.P.C., "Characteristics of upstream channel noise in CATV-networks," Eindhoven University of Technology, 1996
- 3) 鈴木俊, 栗原和美, 真瀬寛, 高橋久美雄: "ユニバーサルモータにおける整流アークと電磁雑音"電学論D, 118巻6号, pp. 773 - 779, Oct. 1998.
- 4) 相田貞蔵, 平松正成, 杉浦敏博, 佐藤利三郎: "電気接点放電のCATVインターネット上り周波数帯域への影響に関する考察", 信学技報, EMD 2003-11, pp.5-10, 2003
- 5) Eisuke Takano, "Contact Current Distortion Due to Tunnel Effect," IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Montreal Technical Program 6:1, 2001