

コネクタ寿命に対する微摺動摩耗現象における 摺動距離の影響

Influence of Fretting Corrosion on Lifetime of Tin Plated Connectors

齋藤 寧¹⁾ 澤田滋¹⁾ 玉井輝雄¹⁾ 飯田和生¹⁾ 服部康弘²⁾

Yasushi Saitoh¹⁾ Shigeru Sawada¹⁾ Terutaka Tamai¹⁾ Kazuo Iida¹⁾ Yasuhiro Hattori²⁾

1. はじめに

私たちが日常使用している自動車に搭載されている電気電子機器は増加しており、その制御は電子化が進み、さらに動力にも電気が使われている。それらを接続するためには、電線やコネクタが必要で、その数も増加している。そのため、自動車の信頼性を考慮する上で、コネクタの接続信頼性は益々重要なものになってきている。

コネクタは小型化が進んでおり、それに伴い接触荷重の低減が要求されている。その要求によってコネクタ接触部で引き起こされる問題として微摺動摩耗現象により接触抵抗が上昇し、不具合の発生することがある。微摺動摩耗現象による高抵抗化した接触抵抗については今までの研究でよく知られている¹⁻¹⁵⁾。

本研究ではコネクタの信頼性という観点から初期の安定した状態から急速に接触抵抗が上昇し始める摺動回数を寿命として微摺動摩耗現象へ摺動距離が与える影響を検討した。

また、摺動距離が短い長寿命時の表面状態について詳細に観察を行い、摺動時の表面状態の推移について検討を行った。

2. 実験方法

本実験では摺動距離をパラメータとして微摺動摩耗実験を行った。実際の自動車内のコネクタ接点上では路面状態による振動やエンジン駆動による振動など異なる摺動距離が多く存在するという事実がある。

実験装置は専用の微摺動摩耗試験機を用い、試料に微摺動摩耗を生じさせ、そのときの接触抵抗の変化を測定した。使用した試験装置の概略を図1に、試料形状と測定方法を図2に示す。

試料は平板側、エンボス側の2枚を一組とし、ともに $3\mu\text{m}$ のスズめっきが施されている銅合金板を用いた。エンボス側には曲率半径 $R=1\text{mm}$ の打ち出しがある。試料は両側とも測

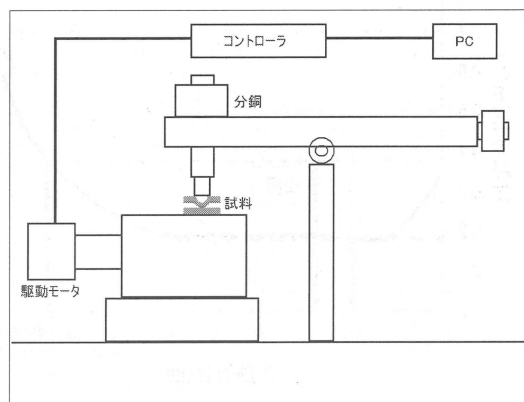


図1 微摺動摩耗試験機

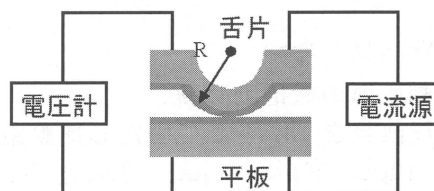


図2 試料形状、測定方法

- 1) 三重大学大学院工学研究科社会連携講座 車載ネットワーク技術研究室
Vehicle Network Technology Laboratory, Graduate School of Engineering, Mie University
- 2) ㈱オートネットワーク技術研究所 回路接続研究部
Circuits and Connection R&D Division, AutoNetworks Technologies, Ltd.

定用の電線をはんだ付けした後、アセトンを使用した超音波洗浄を5分行った。

洗浄後、下側の試料となる平板側はモータと連結された台にねじで固定した。上側の試料となる舌片側は接着剤で装置固定端の取り付け面に接着固定し、固定後、天秤を用いて垂直方向から分銅により接触荷重を加えた。

接触抵抗測定には図2のように四端子法を用い(通電電流 10mA、開放端電圧 1V)、摺動10回毎の測定結果をコンピュータに出力させた。

モータによって試料に起こす微摺動の摺動周波数は1Hz、摺動波形は正弦波、荷重は3Nと一定とし、摺動距離を7.5 μm から1000 μm まで変化させて行った。

本研究では、図3のように接触抵抗値が微摺動初期の安定した抵抗値から上昇し2倍となる摺動回数を接触抵抗の急激な上昇が始まる摺動回数に対応するとし、この摺動回数を

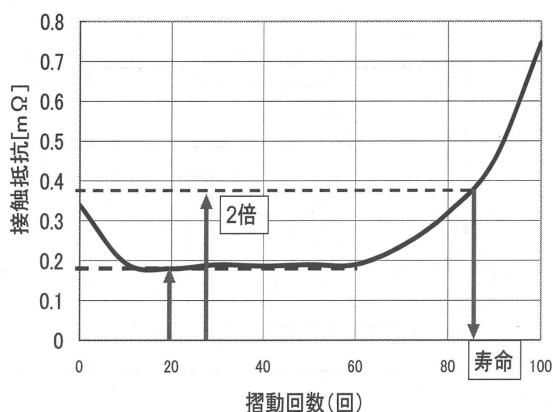


図3 寿命の定義

接点の寿命と定義した。

3. 実験結果と考察

3.1 摺動距離の微摺動試験

摺動周波数を1Hzとして固定し摺動距離を7.5 μm 、10 μm 、20 μm 、50 μm 、100 μm 、500 μm 、1000 μm と変化させたときの微摺動試験を行った。それぞれ10回行った微摺動試験結果の平均の寿命を図4に示す。図4から、摺動距離が小さくなればなるほど寿命が伸びることが確認できる。

微摺動時には接触面積が摺動の行き帰りで重なり、大気中への接触面の曝露が軽減されるガスタイト性が考えられる。そのため、接

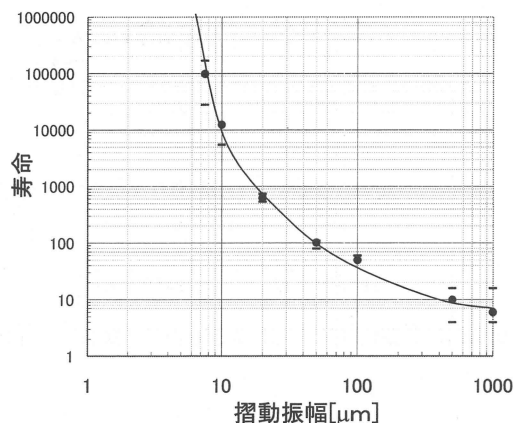
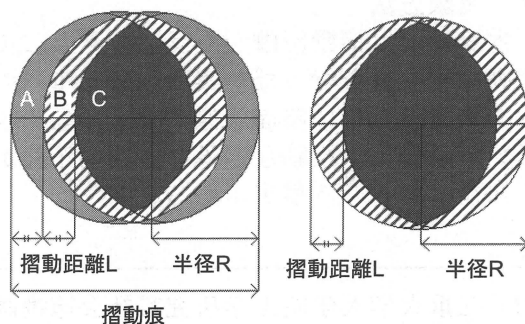


図4 寿命曲線平均

触抵抗上昇の原因であるスズの酸化が起こりにくくなり接触抵抗の上昇が抑制される。これが摺動距離と寿命の関係の原因と考えられる。この微摺動におけるガスタイト性は接触面の状態で異なる。図5のように摺動距離が短い時には平板側に3種類の接点状態が形成されると考えた。

- 摺動により接触面が大気中に曝露されるため、ガスタイト性がない非ガスタイト面。(図5中のA部分)
- 摺動により接触面自体は曝露されないが、非ガスタイト面に存在するスズと摺動の過程で接することで間接的に大気に暴露され、ガスタイト性における酸化の抑制効果が減少する非完全ガスタイト面。(図5中のB部分)
- 摺動により接触面自体曝露されず、かつ、間接的にも非ガスタイト面と接触しない完全ガスタイト面。(図5中のC部分)

この3種類の接触面の性質からも、摺動距離が短くなるほど接点のガスタイト性が強くなり、酸化の抑制効果が大きくなることが考



(a) 平板側 (b) エンボス側

図5 接点表面

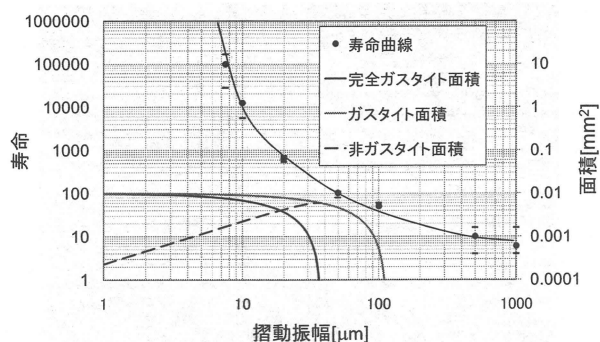


図6 寿命曲線とガスタイト面

えられる。

そのため各面の面積変化が寿命にどのような影響を与えているかをみるために、先ほどの図4の寿命曲線に各面の面積変化を書き加えると図6のようになる。

図6から完全ガスタイト面がほぼ飽和するとき、微撓動摩耗現象の影響による寿命は十分長い。完全ガスタイト面積の減少に伴い寿命も顕著に減少する。完全ガスタイト面がなくなると寿命は100回以下となり非完全ガスタイト面の減少に伴い緩やかに減少する。ガスタイト面積が完全なくなると寿命は非常に小さな値となる。このことからガスタイト面と寿命には相関性があることがわかる。

この寿命について撓動回数ではなく寿命に至るまでに動いた総撓動距離に注目してグラフを描き直すと、図7が得られる。

この図7から完全ガスタイト面が形成されていない状態では一定の寿命距離となっており、撓動距離と寿命の積は一定となる。完全ガスタイト面が形成されると寿命距離が飛躍的に向上する。そのためガスタイト性について詳細に観察するために、完全ガスタイト面

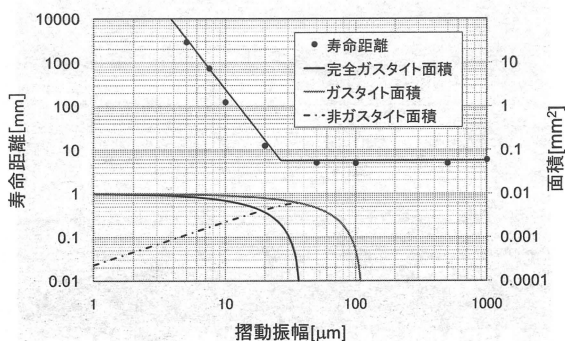


図7 寿命距離とガスタイト面

を形成している撓動距離 10 μ m の撓動時の表面状態の詳細な観察を行った。

3.2 接触抵抗の時間変化のモデル化

完全ガスタイト面を形成する条件である撓動距離 10 μ m の撓動試験の接触抵抗変化のグラフの10回の平均を図8に示す。撓動回数3000回程までは接触抵抗の上昇は見られず、その後、接触抵抗は撓動回数の増加と共に増

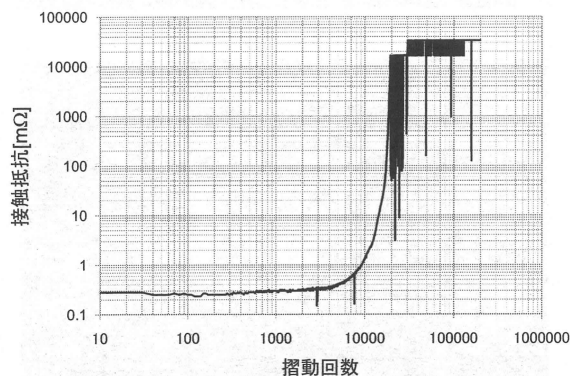


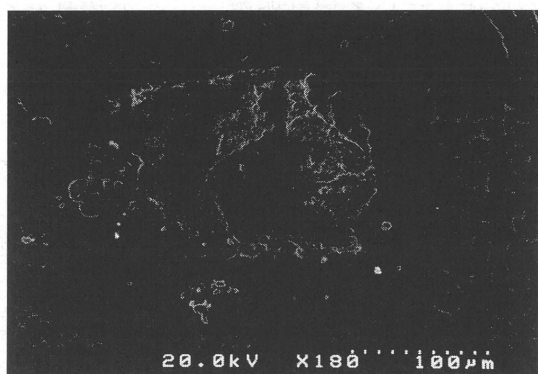
図8 接触抵抗変化

加した。

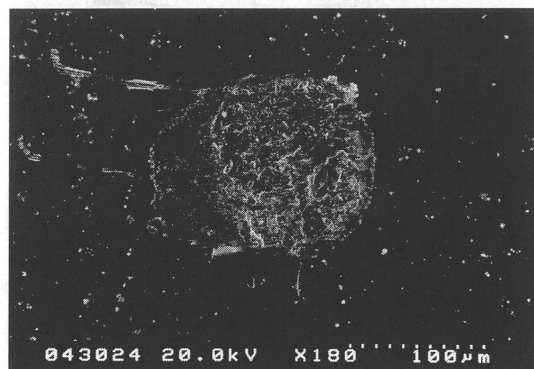
撓動時の表面状態がどのように推移していくのか様子を観察するために撓動回数100、1000、5000、10000回の表面状態について走査型電子顕微鏡 (SEM) により表面観察を行った。

まず、撓動回数100回の表面状態を観察した。撓動回数100回では接触抵抗は上昇していない。図9に撓動回数100回のSEM像を示す。エンボス側、平板側共にスズが激しく凝着しているのがわかる。また、端部ではスズ自体押し出されており、撓動回数100回では摩耗粉はほとんど生成されていない。そのため、撓動回数100回の状態では接触はスズ同士の接触と考えられる。次に撓動回数1000回の表面状態を観察した。

撓動回数1000回では撓動回数100回と同じくまだ接触抵抗は上昇していない。図10に撓動回数1000回のSEM像を示す。100回の時と同様にエンボス側、平板側共にスズが凝着しているのがわかる。また、端部では100回と同様スズ自体押し出されており、撓動回数1000回でも摩耗粉はほとんど生成されていない。そのため、撓動回数1000回の状態では接触はスズ同士の接触といえる。

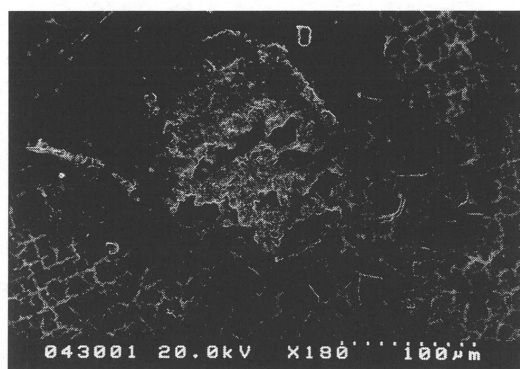


(a) エンボス側

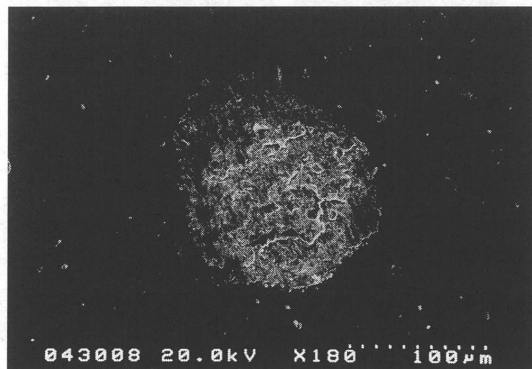


(b) 平板側

図 9 摺動回数 100 回

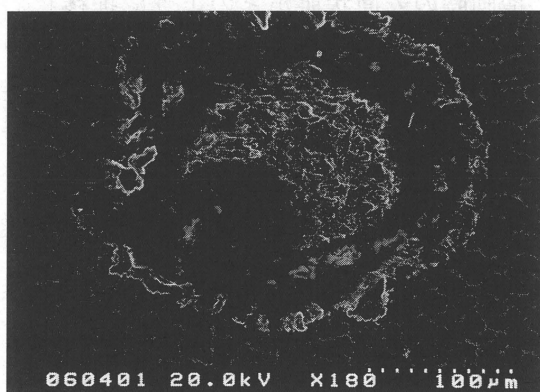


(a) エンボス側

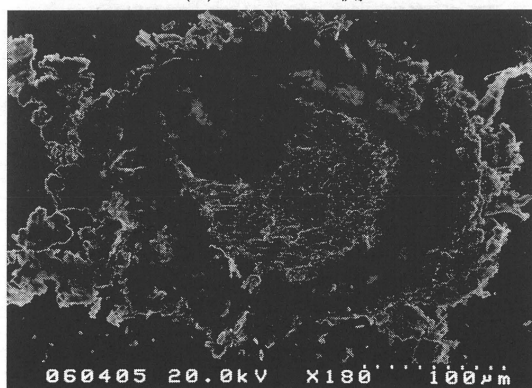


(b) 平板側

図 10 摺動回数 1000 回

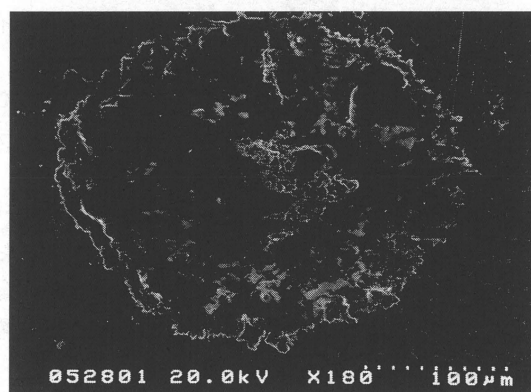


(a) エンボス側

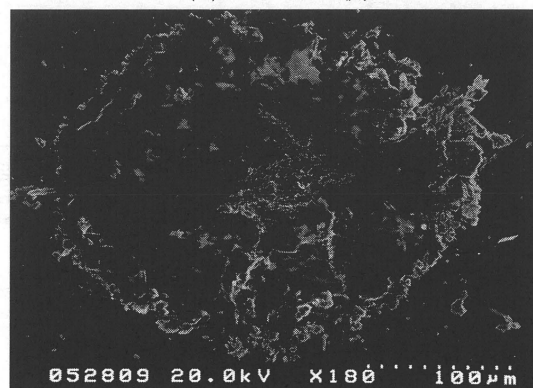


(b) 平板側

図 11 摺動回数 5000 回



(a) エンボス側



(b) 平板側

図 12 摺動回数 10000 回

次に、摺動回数 5000 回の表面状態を観察した。摺動回数 5000 回では摺動回数 1000 回までとは異なり接触抵抗の上昇が起こり始めている。

図 11 に摺動回数 5000 回の SEM 像を示す。摺動回数 5000 回では摩耗はかなり進行しており、それに伴い、接触面積が大きくなっている。また、接触痕外部に酸化スズ摩耗粉と思われる押し出しがみられ、接触痕内の外周側では酸化スズ摩耗粉と思われる堆積がみられる。しかし、中央部ではほとんど摩耗粉がみられず、100 回までで見られた凝着痕が観察された。

このことは摩耗粉が接触部の応力が高い部分でできるため摺動痕の外周部で摩耗粉の堆積が始まり、そこから摩耗粉は酸化され摺動により内部への引き込みや、外部への押し出しが進行するためだと考えられる。しかし、摺動回数 5000 回では摩耗粉の内側への引き込みによる堆積はまだ中央部にまで達しておらず、そのため中央部ではスズ同士の接触であり、接触部全体の面積に対してこのスズでの接触の部分の割合が高いので導通性が保たれ、接触抵抗がそれ程には上昇していないと考えられる。

最後に、摺動回数 10000 回の表面状態を観察した。摺動回数 10000 回では接触抵抗は本研究の寿命の抵抗値であり、初期の安定した値の 2 倍となっている。

図 12 に摺動回数 10000 回の SEM 像を示す。摺動回数 10000 回では摩耗はさらに進行しており、酸化スズ摩耗粉は摺動により内部への引き込みや、外部への押し出しが増加している。内側への引き込みの増加に伴い、中央部のスズ同士での接触部分が減少しており、この中央部のスズ同士の接触部の減少に伴い、接触抵抗が上昇し始めたのではないかと考えられる。

各摺動回数の SEM 結果から、微摺動摩耗現象は摺動回数が少ない段階ではあまり摩耗粉が生成されず、堆積も起きないため接触抵抗は低い値を示す。徐々に摩耗が進行していくと摩耗粉の生成、堆積が応力の最も大きい接触痕外周部分から始まる。生成された摩耗粉はその後酸化されて内部に引き込まれたり、外部に排出され始める。しかし、この段階では電流は接触痕の中央部にあるスズ同士の接

触により導通しているため接触抵抗は低いままである。さらに進行が進むと、接触痕の中央部のスズ接触部が小さくなるため接触抵抗は上昇し始める。

このことから微摺動摩耗現象における接触抵抗の上昇のメカニズムは摩耗による摩耗粉の生成、堆積、酸化、引き込みによりスズ同士の接触部が減少し、スズの間に摩耗粉を挟み込むことで起こっていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、スズめっき接点における寿命の要因として摩耗粉の生成、堆積、酸化が挙げられる中で、摺動距離に着目した。

摺動距離の変更に伴い、エンボスと平板の摺動痕や接触面が変化し、摺動時にエンボスと平板が常に接触し、大気に曝露されていない部分(ガスタイト面)ができ、酸化抑制効果が得られる。その効果による寿命の変化は以下の通りである。

摺動距離を変更することで、ガスタイト面が変化する。ガスタイト面中の完全ガスタイト面となる部分が存在しないとき寿命は寿命距離が一定の値となり摺動距離と寿命の積は一定値となる。完全ガスタイト面が存在すると寿命距離が飛躍的に向上し、そのため寿命も急激に延びる。

完全ガスタイト面を形成している時の微摺動摩耗現象での接触抵抗上昇のメカニズムは、摩耗粉の生成、堆積、酸化そしてそれが内側に引き込まれることでスズ同士の接触となる部分が減少し起こることがわかった。

参考文献

- 1) J. M. Hooyer, and K. Peekstok. "THE Influence of Practical Contact Parameters of Fretting Corrosion of Tin-bass Low-Level Connector Contacts", Proc. Holm Conf on Electrical Contacts, P.43, 1987.
- 2) A.Lee, M.S.Mamrick, and A. Mao. "Fretting Corrosion of Tin at Elevated Temperatures", Proc. Holm Conf on Electrical Contacts, pP.87, 1988.
- 3) A.Lee. "Thermal Cycling Induced Wiping Wear of Connector Contacts at 150 degrees C", Proc. Holm Conf on Electrical Contacts, P.132, 1997.
- 4) J. L. Queffelec, N. BEN Jemma, and D. Travers. "MATERIALS AND CONTACT SHAPE STUDIES FOR AUTOMOBILE CONNECTOR DEVELOPMENT", Proc. Holm Conf on Electrical Contacts, P.225, 1990.

- 5) J. Swingler, and J. W. McBride. "The Degradation of Road Tested Automotive Connectors", Proc. Holm Conf on Electrical Contacts, P.146, 1999.
- 6) T.Ito, et.al. "Microscopy Study of Fretting Corrosion of Tin Plated Contacts", Proc. IEEE Holm Conf on Electrical Contacts, P.218, 2007.
- 7) 佐藤尚幸,他, "スズめっき接点における微摺動摩耗現象とその周波数依存性", 第 82 回継電器・コンタクトテクノロジー研究会技術資料, No.82-4 2007.
- 8) Y.Saitoh, et.al. "Frequency Influencing of Fretting Corrosion of Tin Plated Contacts", 7th International Session on Electromechanical Devices, P.1, 2007.
- 9) 佐藤尚幸,他, "スズめっき接点における微摺動摩耗現象とその周波数依存性", 第 88 回継電器・コンタクトテクノロジー研究会技術資料, No.88-5 2008.
- 10) 佐藤尚幸,他, "微摺動摩耗現象による接触抵抗変化の機構に関する研究", 電子情報通信学会技術研究報告, EMD2007-119, Vol.107, No.485, 2008.
- 11) N.Sato, et.al. "Study of Behavior of Contact Resistance of Fretting Corrosion" Proc. ICEC 2008.
- 12) 池田博榮,他, "錫めっきコネクタの寿命に対する微摺動摩耗の影響", 第 94 回継電器・コンタクトテクノロジー研究会, No940-3, 2008
- 13) N.Sato, et.al. "Study of Fretting Corrosion in Early Stage" Proc. ISEMD 2007, sendai.
- 14) 伊藤大二,他, "微摺動摩耗現象によるコネクタ寿命の研究", 電子情報通信学会技術研究報告, EMD2008-123, Vol.108, No.434, 2009.
- 15) 野々川正輝,他, "微摺動摩耗現象への流動パラフィンの効果の研究", 電子情報通信学会技術研究報告, EMD2008-147, Vol.108, No.466, 2009.