

スマート洗面化粧台へ向けた床面振動計測と行動認識の検討

小山貴之^{†1} 平井重行^{†2}

概要：日常生活行動のライフログ取得や、生活行動に応じてインタラクティブに動作する生活支援システムの研究として、住宅の洗面化粧台をスマート化する研究に取り組んでいる。IoT化の流れの中で、センサ内蔵歯ブラシで歯磨き動作を計測することなどが可能になってきたが、手洗いや顔洗いなどはモノを使うわけではなく計測が困難と言える。だが、歯磨きを含め手洗い、顔洗いなどの行動には、手腕の往復運動が含まれ、その振動が身体から足裏に伝わることに我々は着目し、床面に設置したセンサでそれら行動の振動計測を行い、行動認識や応用に利用できると考えた。本稿では、手洗い、顔洗い、歯磨きの3種類の行動に対し、床に設置したセンサで足裏の荷重バランスの変動（重心変動）を計測し、データ解析した結果について報告する。また、それらの変化パターンが見られることから、SVMによって行動認識を試みたところ、重心変動が行動認識に有意に利用できることを確認した。

1. はじめに

日常生活での行動計測を行ってライフログとして記録したり、インタラクティブシステムとして利用する研究が数多く行われている。また、最近ではウェアラブル端末の普及や、Internet of Things (IoT) プームにより、様々なスマートデバイスや家電製品がネットワーク越しにデータ取得してライフログとして活用できたり、他システムと連携して応用できるようにもなっている。そのような中で、住宅における日常生活に目を向けると、キッチンやリビングにおける生活行動の認識や応用に関する研究は数多くある。一方で、トイレや洗面台、浴室などの生活習慣上で毎日欠かさず利用する箇所での行動計測や応用システムに関する研究は、比較的少ないと言える。特にそれらは脱衣する場所であり、プライバシーの観点からカメラ設置の心理的影響が大きいことから、従来の画像処理技術以外の手段で取り組むことが実用化へ向けて大事と考えられる。我々は、そのような観点で洗面台の日常生活行動を検討したところ、歯磨きや洗顔、手洗いなどの行為には手腕の往復運動が含まれていることに気が付いた。そして、その動きの振動は身体を伝搬して足裏まで伝わっていることから、床面での足裏の圧力分布や荷重バランスの変動を見ることで、それぞれの行為や個人を認識できるのではないかと考えた。その技術が実現できれば、従来通りの洗面台での行為を行うだけで、ライフログやインタラクティブなシステム、ひいてはスマート洗面化粧台へと応用ができると考えられる。本研究はそのような狙いのもと、床面での荷重バランス計測とその解析を元にした個人識別と行動認識の実現を目的としている。本稿では、そのための基礎的な実験を通じて、個人識別と行動認識の可能性について検討、考察を行う。

2. 関連研究

2.1 日常生活における住宅での行動の計測

今井らの研究 [6] では、机上での布巾掛けやノート PC 操作、筆記動作などを荷重センサの値から行動識別を行っている。倉橋らの研究 [7] では、トイレにおけるトイレレットペーパー使用時の巻き取り方の個人差を利用して、ペーパーホルダの芯に角速度センサを設置して個人識別を行う手法を提案している。石田らの研究 [8] では、冷蔵庫のハンドル部分に設置した圧力センサで、冷蔵庫扉の開閉時の動作から個人識別を行う手法を提案している。これらは、周囲の住環境側に設置されたセンサを活用し、住人の日常生活の自然な振る舞いから行動計測を試みている。

一方で、大内らの ActivityAnalyzer [9] の研究では、スマートフォン内蔵の加速度センサで人の動作状態を判定した上で、マイクからの環境音で行動認識を試みている。これはスマートフォンを宅内で持ち歩いているという前提の手法であり、自宅内で持ち歩かない人には適用できない手法と言える。その観点から、我々の研究ではデバイスを身に付けることを前提にせず、前述の住環境側に設置されたセンサを利用しての行動計測・認識を行う。

2.2 スマート洗面台

洗面台に設置したカメラからの画像認識を利用して、家族内の個人にプライベートな情報提示を行うシステム [10] や、歯ブラシに RFID タグや加速度センサを取り付けて個人および行動識別を行うシステム [11] の研究がある。また、化粧台として化粧支援を行うシステム [12] の研究が行われている。洗面台の使われ方として、朝起きてからの時間帯や、夜の就寝前の時間帯など、定期的に利用される事が多いことが特徴である。朝であれば洗顔や朝食後の歯磨き、出かける前の身だしなみを整えるなどが行われ、学校や仕事からの帰宅時には手洗いやうがいを定期的に行う。洗面台は浴室の傍にあることが多いことから、風呂上がりに鏡を見ながらドライヤーで髪を乾かすことなども考えられる。これらの定期的に行う行為があることから、ライフログとしてそれらを記録することは重要な要素と言える。

^{†1} 京都産業大学大学院 先端情報学研究科
Department of Frontier Informatics, Graduate School of Kyoto Sangyo University
^{†2} 京都産業大学 コンピュータ理工学部
Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

3. 洗面台日常生活行動とその計測の可能性

洗面台における日常的な生活行動は、人によって固有の行動パターンや実施曜日・時間帯を持つことが考えられる。行動パターンに関しては、例えば、洗顔の際に湯水を顔につけてから石鹸を手にとって泡立てて顔に付ける人がいれば、いきなり手で石鹸を泡立てて顔に付ける人もいる。また泡立て方やそれにかかる時間、湯水で顔の洗い流す行為の回数やそれにかかる時間は人によってパターン化されていることが考えられる。歯磨き時も同様に、ブラッシングの仕方は、人によって歯ブラシの角度、手首や腕の動かし方はある程度パターン化されていると言える。さらに、洗面台の高さや奥行き距離、および個人の身長や腰の高さなどの相対的な関係により、洗顔時や歯磨き時の前屈み具合なども人によって変わると考えられる。これらの行為中に前屈みになったり、腕を動かしたりする行為は、足裏の荷重分布を変化させることに繋がるとも言え、その際の荷重分布を計測すれば、個人特有の荷重バランスパターンが現れることが推測できる。本研究においては、これら洗面台での日常生活行動による足裏荷重バランスパターンや体重そのものを計測することで、行動識別ができるのではないかと考えた。そして、同時に変動パターンの波形特性により、洗顔や歯磨きなどの行動そのものを認識することも可能と考えている。そこで、次章以降では幾つかの行動について荷重バランスを実際に計測した結果について述べ、個人識別や行動認識に対する可能性について検討を行う。

4. 日常生活行動の床面荷重バランスの計測

本章では、洗面台での日常生活行動による個人特有の足裏荷重バランス変動パターンを計測する基礎実験について述べる。ここでは、床面での圧力センサを設置する前の基礎実験として、市販ゲーム機用の荷重バランスが計測できるボード状計測デバイス(任天堂社製バランス Wii ボード、以下センサボードと記載)を用いた(図1参照)。このセンサボードの4隅には歪みゲージが内蔵されており、それらが4chのセンサ出力として荷重バランスが計測できる。また、センサボード状で人が静止している状態では、4chのデータの合算値が体重に相当することから、体重計としても利用できる。以下、実際の洗面化粧台前で、センサボードを用いた基礎実験とその結果について述べる。

4.1 基礎実験の概要

実験は、京都産業大学内に建築された実験住宅 Ξ Home(くすいーほーむ)内の洗面化粧台(図2参照)の前に、センサボードを設置して行った。センサボードの各歪みゲージは設置された場所からそれぞれ、左前を TL (Top Left)、右前を TR (Top Right)、左後ろを BL (Bottom Left)、右後ろを BR (Bottom Right) と呼称する。これらはそれぞれ 50Hz サンプルングされており、Bluetooth を通じて他のコンピュータでデータ取得が可能である。PC 側では受

信したデータを一旦収録し、収録後にその波形の解析を行う。PC 上のデータ収録プログラムは C++で開発し、Wii Remote ライブラリを利用した。また、波形の解析には MATLAB を利用した。実験の被験者は健康な成人3名(男性3名)で、洗面台前に設置したセンサボード上で、それぞれ「手洗い」「顔洗い」「歯磨き」の3つの行動を20回ずつ行ってもらい、その荷重バランスの変動を計測した。また体重に関する参考データとしてセンサボード上で直立時の値も計測した。このデータ収集の様子はビデオ撮影も行った。データ解析時の各行動中の動きや時刻のラベル付けに利用した。データ解析については、計測波形の基礎的な特徴、周波数領域における解析、重心位置を用いた解析を行った。

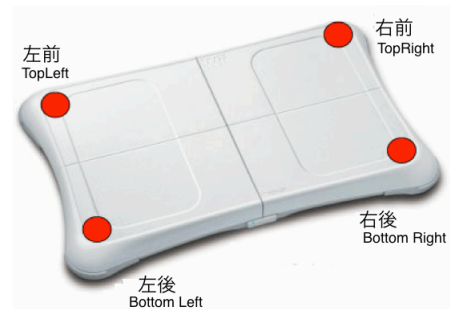


図1 任天堂社製バランス Wii ボード
Figure 1 Balance Wii Board



図2 研究で利用した洗面化粧台
Figure 2 Washstand for Measuring Activities

4.2 基礎実験の計測結果とデータ解析

4.2.1 計測データへの行為ラベル付け

行動内における周期運動が確認されたものにラベル付けを行った。手洗い行動は水で手をすりあわせる動き、石鹸把持は石鹸を持ち、手を擦り合わせる動きであり、次に顔洗い行動手で水をすくい、顔を洗う動き、洗顔フォームを利用し顔を洗う動きである。細かい動作にも変化はあるが、すべてラベル付けを行うのは困難であるため、歯磨きでは磨き場所について注目し、右奥歯、左奥歯、前歯の3種類の磨き位置を別のラベルとしてラベル付けを行った。

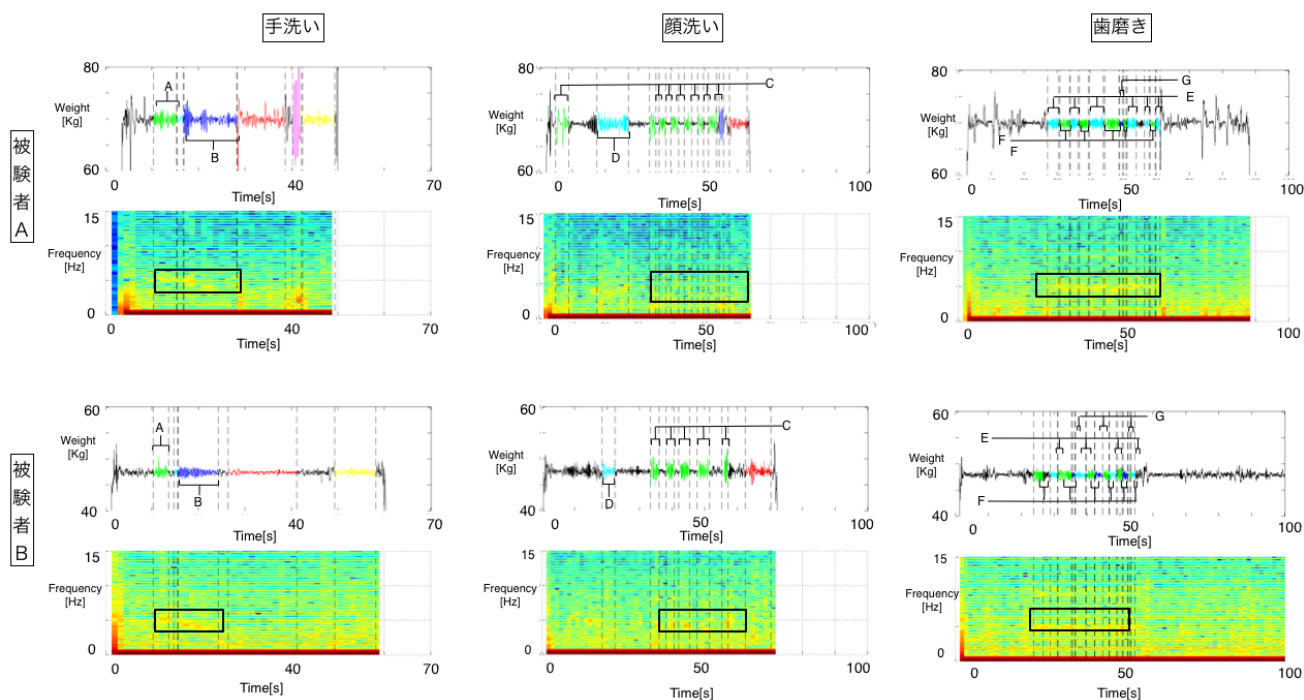


図 3 被験者 2 名の各行動におけるセンサ信号合算波形とそのスペクトログラム

Figure 3 Total wave forms of sensor outputs and their spectrograms of two participants

表 1 洗面台前行動の中での行為

Table 1 Behaviors of Activities in Front of Washstand

行動名	行為名
手洗い	(A) 水手洗い
	(B) 石鹸把持
顔洗い	(C) 水顔洗い
	(D) 洗顔
歯磨き	(E) 右奥歯
	(F) 左奥歯
	(G) 前歯

4.2.2 波形の特徴と周波数成分の特徴について

図 3 に表したのは、センサボードから得られる 4 センサの値の合算値を波形と以下の要件を使用し、スペクトラム分析の結果である。

- ・ 切り出し窓幅 : 128 [sample] (2.56sec)
- ・ 仕様窓 : ハミング窓
- ・ FFT フレーム長 : 64 [sample] (1.28sec)
- ・ 窓のステップ幅 : 256 [sample]

合算値の波形から読み取れる特徴としては、両被験者の手洗いの (B) を見ると、振幅や時間長に違いがある。このような違いは他の行為にも確認でき、個人特徴として有用であると考えられる。また、洗顔や歯磨きのデータを見ると、それぞれの中の行為の順序が被験者によって違うこ

とも確認できる。

一方で、スペクトログラムの特徴としては、3 種類の行動ともに 3~7Hz 付近に比較的強い成分が含まれていることが読み取れる。これは、人の手腕がおよそその程度の周波数で往復運動を行っていることを表している。これにより、洗面台での生活行動を計測、認識するには、この周波数帯に着目すれば良いことが確認できた。

4.2.3 荷重バランス変動について

4ch の各データが荷重バランスを表すものだが、それを次の式により重心としてそれぞれ X 軸, Y 軸値に変換する。

$$CogX = (TL + BL) - (TR + BR) \quad \dots \text{式 1}$$

$$CogY = (TL + TR) - (BL + BR) \quad \dots \text{式 2}$$

図 4 に、手洗い、洗顔、歯磨き、それぞれの行動の重心の時間変化をグラフとして示す。CogX の値が大きいと重心は洗面台に向かって左寄り、CogY は値が大きいと洗面台へ向かって前方向に重心が偏ることを表している。

この図 4 から読み取れる特徴としては、どの行動においても、CogX の振幅より CogY の振幅のほうが大きくなっていることが挙げられる。これは、洗面台に向かって左右よりも前後方向の荷重バランスの変動が起こっていることを表している。手洗いや洗顔では両腕は交互に前後に振ることが、このような形で現れている。

次に、行動毎の特徴として、歯磨きの行為 E, F, G の区間すべてにおいて、CogX と CogY のどちらも振幅が小さいことがあるほか、洗顔において CogY の変化が大きいことが読み取れる。これらは個人による腕の振り方 (振る大きさ) や重心位置の違いとして現れると考えられ、振動

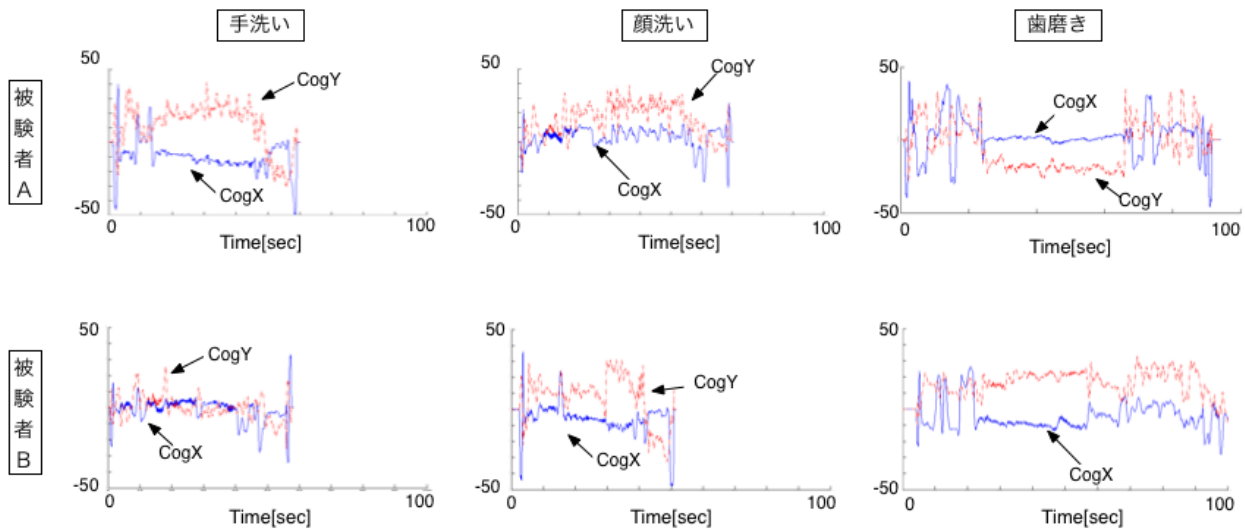


図 4 被験者 2 名の各行動における重心バランス
 Figure 4 Center of Gravity wave forms of two participant

成分の大きさや向きを利用することで個人識別に利用できることが考えられる。また、手洗いや洗顔のような洗面台に向かって前傾姿勢になることが多い動作と歯磨きとは、CogY の全体的な値が全く違うほか、洗顔には CogY で短時間の急激な変動も見られる。これらの特徴は行動の識別に有用であることが考えられる。

以上のデータの特徴から、重心位置とその変動の大きさなどを見ることで行動や個人の識別の可能性が示唆された。

5. 重心位置の変動を用いた行動認識の試み

洗面台前での行動をリアルタイムに認識することを目指して、Support Vector Machine (SVM) による機械学習とその性能評価を行った。本章では、4 節の結果を考慮して特徴量を作成、選出し、学習用データ 15 個を用いて SVM 識別器を構築した内容について述べる。

5.1 特徴量の作成・選出

図 5 に特徴量算出の流れを示す。まず、4.2 節で確認できた特徴を利用するため 3~7Hz 帯域をバンドパスフィルタにて抽出し FFT 処理を行い、4.3 節の重心位置を算出し、表 2 示した特徴量を作成した。Cog-X, Cog-Y は時間軸情報であるため、登場後から 1 秒間の窓を 0.5 秒ずつスライドさせた 5 秒分のデータを使用する。Cog-cov は切り出した区間毎に共分散を求め、順に並べたデータ(図 1 参照)を特徴量とする。

5.2 識別結果・考察

各行動間同士の 4 つのモデルを作成した。表内は、テストデータに対する正答率である。

顔洗いとの識別率が高いのは、重心位置が X 軸方向の分散が低く、Y 軸への分散が高いため、他の 2 行動との識別が容易である事が確認できた。

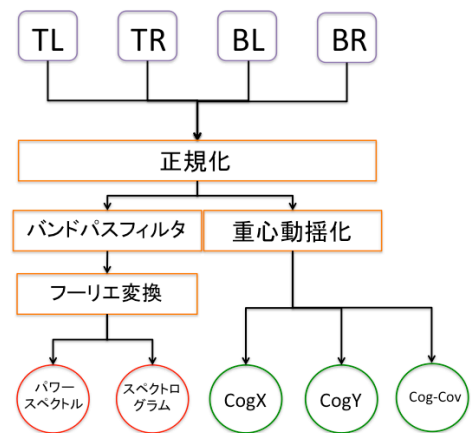


図 5 特徴量算出処理

Figure 5 Feature of calculation processing

特徴量ベクトル	Cog-X(250sample)	Cog-Y(250sample)	Cog-cov(15sample)

図 6 SVM に用いた特徴量ベクトル

Figure 6 The feature vector for SVM

表 2 3 行動間の識別率

Table 2 Accuracy between 3 action

	手洗い	顔洗い	歯磨き
手洗い		67%	83%
顔洗い			50%
歯磨き			
3 行動識別	33.33%		

6. おわりに

本研究ではライフログ取得やインタラクティブに動作するスマート洗面台の実現へ向けて、洗面化粧台前で行う日常生活行動の計測や認識について取り組んでいる。手洗い、顔洗い、歯磨きの行動に含まれる手腕の往復運動の力が身体から足裏に伝わり、床面で計測できることを確認した。また、周波数解析から3~7Hz帯の成分に特徴があることなども確認でき、SVMで行動を識別することを試みた。現時点では、それら3行動での識別はあまり性能が良くないが、ある程度は可能であることを確認している。今後は、データ解析をより行って、認識のための特徴量を再検討すると共に、行動だけでなく個人も識別できるように改良を重ねる予定である。

参考文献

- 1) 西田佳史, 武田正資, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正: 圧力センサによる睡眠中の呼吸/体位の無侵襲/無拘束な計測; 日本ロボット学会誌 Vol.16, No.5, pp.705-711 (1998)
- 2) 太田裕治, 元岡展久, 椎尾一郎, 塚田浩二, 神原啓介: ユビキタスコンピューティング実験住宅における無侵襲歩行モニタリング; 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌, pp.383-387 (2010)
- 3) 笠間勇輝, 宮崎敏明: 室内における赤外線センサを用いた複数人の移動軌跡推定法の提案; 情報処理学会全国大会講演論文集 2013, Vol.1, pp.141-143 (2013)
- 4) 大西諒, 平井重行: RFIDを用いた浴室内行動計測の基礎検討; 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.6, pp.1932-1941 (2008)
- 5) 大西諒, 平井重行: RFID付き浴室物品の使用履歴からの入浴行動推定; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008 論文集 (2008)
- 6) 今井淳南, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦: 荷重センサを用いた机上動作の認識システムの設計と実装; マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, pp.1180-1187, (2013)
- 7) 倉橋真也, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦: トイレ使用者識別のためのペーパー回転センシングデバイス; 情報処理学会インタラクシオン 2015 論文集, C54 (2015)
- 8) 石田茜, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦: 圧力センサを用いた冷蔵庫開閉動作特徴に基づく個人識別手法の提案; 情報処理学会インタラクシオン 2015 論文集, C65 (2015)
- 9) 大内一成, 土井 美和子, 加速度と音で日々の生活行動を認識する ActivityAnalyzer, 情報処理学会インタラクシオン 2011 論文集, 1CR3-7 (2011)
- 10) 西田佳史, 平山敏行, 柿倉正義, 堀俊夫, 末廣尚士, 平井成興: 3次元視覚を用いた洗面台型ディスプレイ; 電気学会研究会資料. SC, システム制御研究会 2001, No.1, pp.19-24 (2001)
- 11) 藤波香織, カウサルファヒム, 中島達夫: 鏡を拡張したコンテクトウェア情報表示装置; 情報処理学会論文誌 論文誌ジャーナル Vol.49, No.6, pp.1972-1983 (2008)
- 12) Eriko Iwabuchi, Maki Nakagawa, Itiro Siio, Smart Makeup Mirror: Computer-Augmented Mirror to Aid Makeup Application; Proc.HCII2009, LNCS- 5613, pp.495-503 (2009)
- 13) 平井重行, 藤井元, 佐近田展康, 井口征士: 新たなアメニティ空間を目指した浴室:入浴状態を音で表現する風呂システム; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.3, pp.287-294 (2004)
- 14) 大西諒, 平井重行: RFIDを用いた浴室内行動計測の基礎検討; 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.6, pp.1932-1941 (2008)
- 15) 榊原吉伸, 林宏憲, 平井重行: TubTouch:湯水の影響 や自由形

状への適用を考慮した浴槽タッチ UI 環境; 情報処理学会論文誌 Vol.54, No.4, pp.1538-1550 (2013)

16) 矢内浩文, 横田直樹: 身体動揺時系列に含まれる個人特徴の分析とその応用; 電子情報通信学会技術研究報告 NLP-105 pp.1-4 (2005)

17) 加藤真明, 矢内浩文: 重心動揺パターンに基づく個人識別の可能性; 電子情報通信学会技術研究報告 HIP-103 (743), pp.35-39 (2004)