

画像処理による割り箸原形の外観検査システムの開発

齊藤 剛史^{1,a)}

概要：本研究では割り箸生産における選別工程の機械化を目標とし、画像処理による割り箸原形の外観検査システムの試作機を開発する。本論文で処理対象とする割り箸原形は杉材である。この原形に対して2台のカメラで撮影した画像を用いて (A) 目込み・目粗, (B) 皮付き・非皮付き, (C) 半赤・非半赤の3項目を検査する手法を提案する。検査項目 (A) に対しては輝度値波形の解析により木目数を計測する手法, 検査項目 (B) に対しては HS 色空間において判別分析を適用する手法, 検査項目 (C) に対しては輝度値波形の傾きを定量化して判別する手法をそれぞれ提案する。試作機を稼働させて 2000 本の原形画像を撮影して判別実験を行った。その結果, 全ての項目において 0.96 以上の高い正解率を確認し提案手法の有効性を確認した。

キーワード：外観検査システム, 画像処理, 割り箸, 木目

Abstract: The goal of our project is the mechanization of the sorting process in wooden chopsticks production, and in this paper, we develop an initial inspection system for wooden chopsticks by image processing. The material of target chopsticks is cedar. Our system takes two images with two cameras to one sample. We propose the discrimination methods for three inspection items, (A) fine grain or rough grain, (B) non-unpeeled or unpeeled sample, and (C) non-reddish or reddish sample. With developed test system, we took 2000 samples and evaluated our method. As the results, the high accuracy rates of 0.96 or more were obtained in all items. We confirmed the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Inspection system, image processing, chopsticks, wood grain.

1. はじめに

割り箸は日本人の木の文化と共に開発された箸であり, その製法は (1) 端材や間伐材を原料とする製法と (2) 大量生産が可能な原木を丸ごと全て割り箸にする製法の2種類に分けられる [1]. (1) は高級箸として利用される国産箸の製法であり, (2) は安価な大衆箸として利用される海外産の製法である。これら2製法とも, 原料の切断, 煮沸などの工程には機械が導入されているが, 木目などの外観検査による良品・不良品の選別工程の機械化は進まれておらず人手で行われている。この要因として, 国内の割り箸生産メーカーが少なく, かつ小規模な家内工業が多いことが考えられる。

割り箸生産における外観検査に関する唯一の研究として, 白川らは割り箸製造工程の省力化を目的とした割り箸自動選別装置を開発している [2]。このシステムは断裁直後の

工程を考慮しているため, 粗大片や短尺箸・小片の除去機構が含まれている。選別は断裁直後と乾燥直後の2工程を行っており, 形状に関しては, 反り, 曲がり, カップ, ねじれ, 材幅大, 材薄, 割裂面不整, 段違い, 材短, 面粗, その他の11項目, 色に関しては, 腐れ, 汚れ, 変色, 木口汚れの4項目, 生き節の大きさ, などを項目としている。しかし, 2で後述する本論文で対象とする検査項目は [2] で提案されている工程の後工程である。したがって, 本論文では従来取り組まれていない割り箸原形の検査項目に対する画像処理による外観検査システムの試作機を開発する。

割り箸以外の木材の外観検査に関する研究として, 本田と三高は木質床材製造工程の外観検査において, その欠陥を木目欠陥, 単板破損欠陥 (表面つや異常), 表面の凹凸欠陥の三つに大別する自動検査方法を提案している [3]。Ruzらはラジアタパイン板画像から生き節や死に節, 穴など10種の欠陥を検出する手法 [4], Todorokiらはアメリカトガサワラのベニア板画像から節を検出する手法 [5], Hietaniemiらは木材の強度を分類することを目的とし, 松材画像を用いて節を分類する手法 [6] を提案している。

¹ 九州工業大学
Kyushu Institute of Technology, Kawazu 680-4, Iizuka,
Fukuoka 820-8502, Japan

^{a)} saito@ces.kyutech.ac.jp



図 1 代表的な原形サンプル

2. 割り箸原形

本研究で検査対象とする割り箸の原形は杉材であり、丸太から角材や板等に引いたあとに残る皮の付いた端材（背板と呼ばれる）を加工したものである。この原形を検査して、天削箸や元禄箸のような 2 本に割らずに溝を入れた割り箸、利休箸のような 1 本ずつの組箸、あるいは不良品のいずれかに判別される。本研究で検査対象とする割り箸の代表的な原形サンプルを図 1 に示す。標準的な原形のサイズは全長 240mm、幅は持ち手側 14~15mm、先端側 7~8mm、厚さは約 5mm である。

本研究で対象とする検査項目は従来、人手で選別されている下記 3 項目である。全ての原形は (A)~(C) の項目において、いずれかに判別される。

- (A) 目込み・目粗：目込みは、木目の間隔が狭く木目が込み入っている原形である。一方、目粗は、木目の間隔が広く目が粗い原形である。目込みのサンプルを図 1 最上段、目粗のサンプルを図 1 上から 2 段目に示す。両者は木目数で判別される。
- (B) 皮付き・非皮付き：原形は背板を利用するため、原形に木の皮が残っていることがある。皮が付いている原形を皮付きと呼び、皮が付いていない原形を非皮付きと呼ぶ。皮付きのサンプルを図 1 上から 3 段目に示す。その他のサンプルは非皮付きである。
- (C) 半赤・非半赤：樹木の構造上の特徴として、木部（木材）周辺部には着色が少ない若い木部（辺材と呼ばれる）、中心部には着色した古い木部（心材と呼ばれる）が存在する [6]。杉の辺材は白色、心材は淡紅色~暗赤褐色である。原形は端材であり、概して白色であるが、中には赤みのある心材が含まれており、これらが含まれている原形を半赤と呼ぶ。一方、赤みが無い原形を非半赤と呼ぶ。割り箸生産では、半赤と呼ばれるが、一般的に用いられる変色と同じ意味をもつ。半赤のサンプルを図 1 最下段に示す。その他のサンプルは非半赤に判別される。

全ての検査項目に対して適した判別基準を設けることが望ましい。しかし、木材は自然物であり、かつ生産地、伐採時期などによる個体間のばらつきが大きい。そのため実



図 2 外観検査システムの試作機外観

際には作業者が生産量に応じた判断基準を設けている。本研究で開発する外観検査システムを実利用する場合、作業者が判別基準を容易に修正できることが望ましい。(A) は木目数で判断されるため、作業者によるしきい値を設定する方針を採用する。一方、(B)(C) に関しては、システムを利用する前に作業者が複数の原形サンプルを目視で判定し、その結果を用いて最も精度の高い判別条件を算出する方針を採る。通常、目込み、かつ非皮付き、かつ非半赤が良品として利用される。しかし、良品・不良品の判断に用いる検査項目は作業者が決めるため、本論文では 3 項目を高精度に判別する手法の提案を目的とする。

3. 外観検査システム試作機の概要

本研究で開発した外観検査システムの試作機を図 2 に示す。システムの処理の流れは以下の通りである。(1) 図 2 左側にあるホッパーに材料である割り箸原形を投入する。(2) ホッパーから 1 本ずつ原形を搬送コンベアに乗せる。(3) サーボモーターは運転モードになり、搬送コンベア上の原形を検査位置に搬送する。(4) カバー内にある検査位置に着くとモーターは休止モードに変わりコンベアが停止する。(5) 休止モードに変更後、実験的に決めた 0.1sec の待機時間を経過した後に 2 台のカメラで原形を撮影する。(6) モーターは再び運転モードに変わり、次の原形を検査位置に搬送するためコンベアが動く。運転モードの間に提案手法を適用し原形を検査し、検査結果をモニタに表示する。(7) 検査結果をもとに後方の仕分け位置で原形を振り分ける。つまりストップ・アンド・ゴーを繰り返しながらコンベアが動く。ここでコンベアの 1 回の搬送時間は 0.4sec であり、この間に加減速を行う。平均搬送速度は 75mm/sec である。

試作機では図 3 に示すように、原形と並行に設置した白色 LED2 本を照明として、2 台のカメラ (C1: Point Grey Research 社製 Flea2, C2: Buffalo 社製 BSW32K02HRD) で検査対象の原形を同時に撮影する。これらの機器は図 2

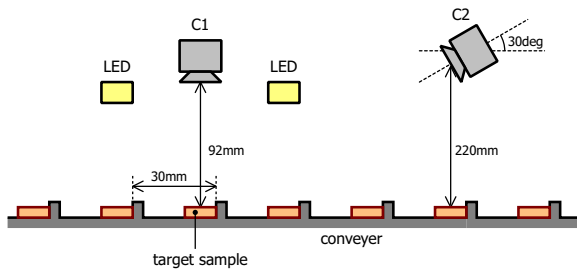


図3 撮影機構

に示すユニット内に固定されている。C1, C2により撮影された画像例を図4に示す。C1, C2の画像サイズはそれぞれ1024 × 768画素, 2048 × 1536画素である。撮影画像にはコンベア上で搬送される複数本の原形が写る。C1は持ち手側, C2は側面全体を撮影対象とする。C1画像は(A)~(C)の全ての検査項目で利用するが、特に木目数を正確に計測するために近接して撮影する。一方, C2画像は検査項目(B)のみに利用するが、皮が付いている位置は、原形側面のどの部分であるか不明である。このため側面全体を撮影する。また、これら原形は搬送コンベアの制御によってほぼ同じ場所に位置しているため、撮影画像の特定範囲内のみを解析すればよい。試作機では原形の片側のみを撮影し検査する。反対側については、現在の撮影機構と同じものを用意して原形を反転させる機構を組み込むことで検査可能となる。

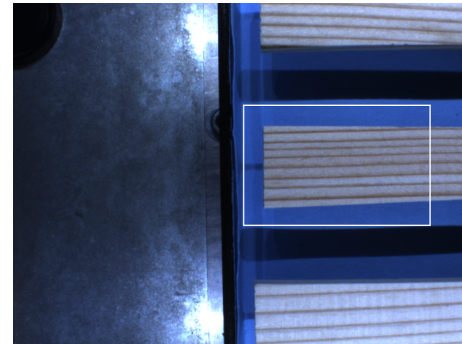
本システムは、割り箸とカメラおよび照明の位置関係等が整備された環境での運用を想定する。異なる場所においても外光にロバストで安定に動作するため、図3で示す撮影機構を固定するユニットに、カバーを装着している。正面のみユニット内が観察できるようにグレースモークを採用し、その他4面は不透明カバーを採用している。図2中央に見える黒っぽい物体がユニットのカバーである。これにより実環境下で本システムを設置・運用する際のコストを考慮しなくてもよい。

4. 判別アルゴリズム

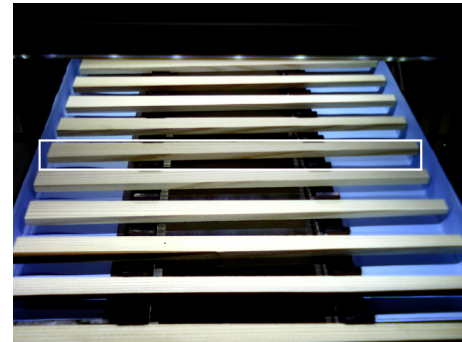
4.1 境界線検出

図4に示すように撮影画像には複数本の原形が写る。原形の位置は全てのサンプルでほぼ同じ位置で観測できるため、事前に観測範囲(図中の白枠内)を設定し、観測範囲内のみで処理を適用することにより処理時間の短縮を図る。ただし、検査するために観測範囲内において、C1画像では背景と原形の境界、C2画像では上面と側面の境界を検出する必要がある。

C1画像は木目数を計測するために正確な原形領域の抽出が要求される。ここで原形の背後は青色背景であり、原形と背景の境界部分の輝度変化は大きい。そこで垂直成分と水平成分それぞれにおいて赤成分におけるSobelフィル



(a) C1 画像



(b) C2 画像

図4 撮影画像

タを適用して平均エッジ値を求め、最大エッジ値となる位置を境界点として検出する。

C2画像は検査項目(B)のみで利用するが、C1画像と異なり正確な原形と背景の境界線の検出は不要である。C2画像では原形上面と側面の境界線を基準に皮付きを計測するための色観測領域を設ける。そこでC2画像に対してはこの境界線を検出する。原形の上面と側面は、同じ材質であるが照明の影響を受け上面は側面より明るく写る。そのため両面の境界では輝度値の変化が生じてエッジ値が大きくなる。この性質を利用してC1画像と同様に中央付近のエッジ値の最大点を境界線として検出する。

4.2 目込み・目粗

目込みと目粗の判別基準には木目数が用いられる。原形の木目はおおそ水平方向に流れているが、木材は自然物であるため、木目は同じでなく色の変動や木目の太さに違いが見られる。また木材を裁断し原形を作る際、断面は裁断により微小な凹凸ができる。これらの影響を軽減するため、本論文では画素単位で木目を検出せず、領域を図5(a)に示すように短冊領域に等分割して各短冊領域内で木目を検出する。

垂直方向 y の輝度変化 $I(y)$ において木目は極小値の位置に観測できる。様々な太さの木目があり、一つの木目の中に複数の極小値が検出されることがある。そこでしきい値を与え、しきい値以下の区間に木目一つがあると判断し N_g を計測する。このとき一定のしきい値を用いず、 $I(y)$

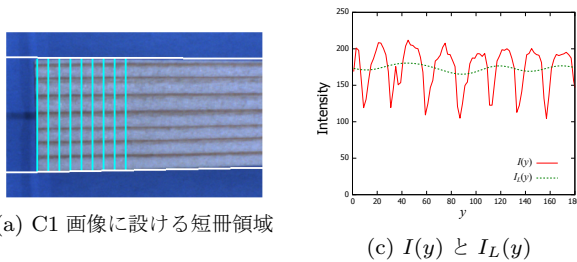


図 5 木目検出

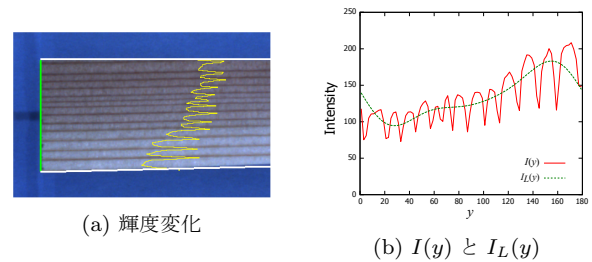


図 7 半赤サンプルの輝度値プロファイル

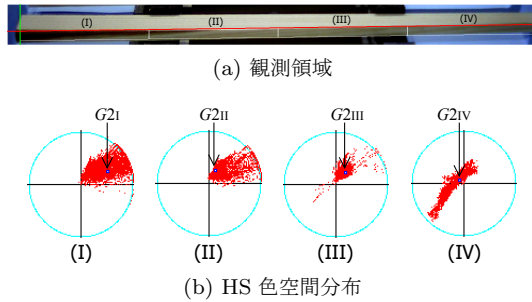


図 6 皮付き判別処理 (C2 画像)

に対してローパスフィルタ (LPF) を適用して得られる低周波波形 $I_L(y)$ をしきい値として利用する。図 5(b) の実線は $I(y)$ 、点線は $I_L(y)$ である。複数の短冊領域より得られる木目数の最頻値を N_g として定義する。目込みと目粗を判別するため、しきい値木目数 T_g を与え、 $N_g \geq T_g$ の場合は目込み、 $N_g < T_g$ の場合は目粗に分類する。

4.3 皮付き

皮の色は原形の側面に付いているが、皮の位置や大きさはサンプルごとに異なる。そこで皮領域を抽出するのではなく、側面付近に観測領域を設け、観測領域内の色分布を用いて皮らしさを判定する手法を提案する。また皮は側面のみからでなく上面からでも観測できる場合がある。そこで C2 画像だけでなく C1 画像も用いて皮付きを判別する。

C2 画像に対しては上面と側面の境界線を上辺として、図 6(a) に示すような側面側 (画像空間では下側) に一定距離離れた位置までの矩形を観測領域として設ける。皮は側面のどこに付いているか不明であるため、観測領域は (I)~(IV) の 4 等分した領域とする。各観測領域内に含まれる画素色を RGB 色空間から HSV 色空間に変換して HS 色空間の分布の重心を求める (図 6(b))。皮付きを判別するために、学習用サンプルを用いて HS 色空間の分布重心座標に対して線形判別分析を適用し判別関数 $f(x, y)$ を求める。各領域の重心座標 (x_g, y_g) を求め、 $f(x_g, y_g) > 0$ ならば皮付き、 $f(x_g, y_g) \leq 0$ ならば非皮付きと判定する。

C1 画像に対しては検出された境界線を中心に上下一定距離離れた範囲までの矩形を観測領域として設ける。この上下二つの領域内に含まれる画素より HS 色空間分布の重心を求め、C2 画像と同様に線形判別分析により皮付きと非皮付きを判別する。

4.4 半赤

木目検出で得られた低周波波形 $I_L(y)$ に対して最小二乗法を適用して近似直線の傾き a を求める。次に半赤判別用にしきい値 T_s を用意し、 $a \geq T_s$ の場合は半赤、 $a < T_s$ の場合は非半赤と分類する。図 7 に半赤サンプルの輝度値プロファイルを示す。

5. 評価実験

5.1 実験条件

開発した検査システムを稼働させて 2000 本の原形を撮影した。これらはある時期に一つの生産地で伐採された木材をもとに加工された原形である。撮影画像を解析したところ、C1 画像の持ち手側の平均縦幅は 178 画素、C2 画像の原形領域の平均横幅は 1678 画素、持ち手側の平均縦幅は 84 画素、先端側の平均縦幅は 58 画素であった。

図 8 に C1 画像例を示す。図 8(a)~(c) は木目数の少ない目粗、その他が目込みの代表的なサンプルである。サンプルには個体間のバラツキがあることが確認できる。

2000 本の原形に対して境界線検出法を適用した。検出結果が正しく得られているか目視で確認した結果、C1 画像の上側境界線、下側境界線、左側境界線の検出成功率はそれぞれ 99.95%, 99.80%, 99.90% であった。また C2 画像の左側境界線、右側境界線、上面と側面の境界線の検出成功率はそれぞれ 99.97%, 99.95%, 99.90% であった。2000 本に対して検出失敗は高々 5 本であり、提案手法の高い検出精度を確認した。

本論文では判別アルゴリズムの精度を定量的に評価するため、全ての画像に対して検査対象の 3 項目に関する正解を目視で求めた。判別結果をもとに True Positive (TP), False Negative (FN), False Positive (FP), True Negative (TN) を求めて正解率 $ACC = (TP+TN)/(TP+FP+TN+FN)$ を算出した [6]。ACC の値域は $[0, 1]$ であり、1 に近づくほど精度が高いことを意味する。

5.2 目込み・目粗判別実験

2000 枚の撮影画像のうち、目込み FG は 1907 枚、目粗 RG は 93 枚であった。これらを均等に二つのグループに分類し、両者をそれぞれ学習用データ、テスト用データとして提案手法を適用した。その結果、正解率は 0.967 であ

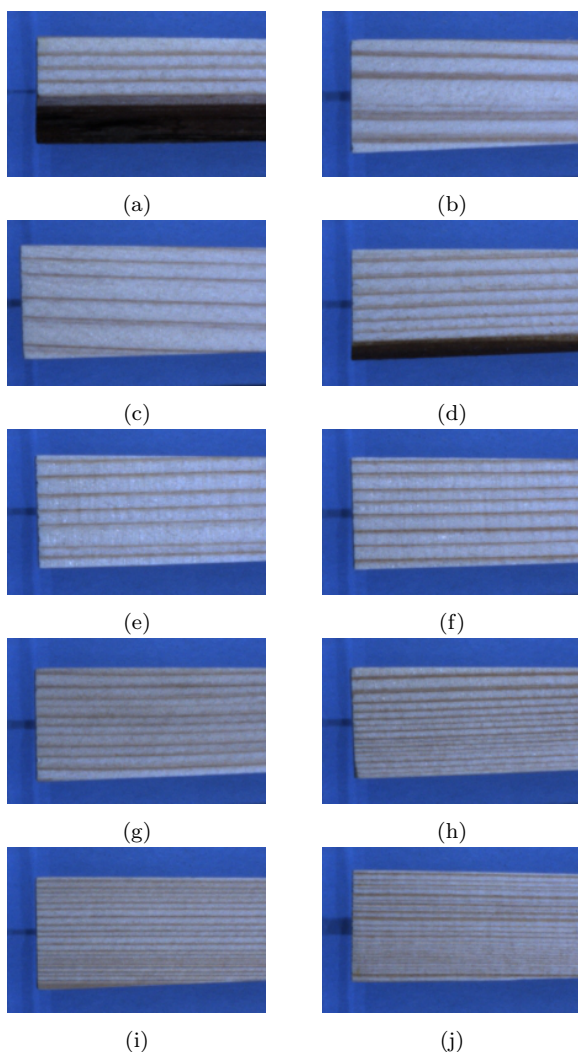


図 8 C1 画像例

た。提案手法は目込みの取りこぼしが少ない傾向にあった。また目視で与えた木目数と提案手法で検出した木目数の差を計算した結果、木目数の平均誤差は 0.66 本であった。ただし、LPF の遮断周波数は 3 を採用、またしきい値木目数は作業者が選んだ $T_g = 6$ とした。

5.3 皮付き・非皮付き判別実験

2000 枚の撮影画像のうち、非皮付き NB は 1874 枚、皮付き B は 126 枚であった。これらを均等に二つのグループに分類し、実験を実施した。その結果、C2 の 4 領域のみをそれぞれ用いた場合の精度は 0.982, 0.986, 0.991, 0.993 であった。また C2 の全 4 領域を用いた場合は 0.980, C1 のみの場合は 0.993, C1 あるいは C2 のいずれかで皮付きと判定された場合に皮付きに分類した場合は 0.979 の正解率を得られた。

5.4 半赤・非半赤判別実験

2000 枚の撮影画像のうち、非半赤 NR は 1963 枚、半赤 R は 37 枚であった。これらを均等に二つのグループに分類し、実験を実施した。その結果、遮断周波数 5, $T_S = 0.35$

で最も良好な正解率 0.991 を得た。

5.5 処理時間

提案手法を用いて C1 画像と C2 画像の二つの画像を用いた 1 サンプルあたりの処理時間は、PC (CPU: Core i3-530 2.93GHz) を用いたところ平均 0.067sec であった。人手による外観検査の場合、8 時間で 20,000 膳検査されている。つまり 1 本あたり 0.694sec である。試作機の待機時間 0.1sec を含めると、本システムは人手の約 4 倍の速度で検査でき、効率化を図れることを確認した。

6. おわりに

本論文は、画像処理による割り箸原形の検査システムの開発を目的とし、試作検査システムの開発および目込み・目粗、皮付き・非皮付き、半赤・非半赤の 3 検査項目を判別する手法を提案した。提案手法は原形の性質を効率的に利用し、2000 本の原形を撮影して判別実験を行った。その結果、いずれの項目においても 0.96 以上の高い正解率を確認し、提案手法の有効性を確認した。さらに処理時間に関しては人手に比べ約 4 倍の高速化を達成した。

実験に用いた原形は特定の生産地・伐採時期の木材を利用している。本システムを実利用する場合、複数の生産地・伐採時期の原形を用いる。そのため今後の課題としてこれらのサンプルを用いた実験を通じて提案手法の有効性を評価すると共に本システムの実利用が挙げられる。

謝辞 本論文は既発表論文 [7] を加筆・修正したものである。本研究においてご協力を頂いた、株式会社東郷電機製作所の福井幸美氏、前田和雄氏および評価等に協力を頂いた今村将訓氏、末富康寛氏に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 環境三四郎: 割り箸から見た環境問題 2006, <http://www.sanshiro.ne.jp> (2006).
- [2] 白川真也, 伊藤博之, 齊藤光雄: 割箸自動選別装置の開発, 林産試験場報, Vol. 8, No. 6, pp. 1-11 (1994).
- [3] 本田達也, 三高良介: 化粧木質床材の自動外観検査法, パナソニック電工技報, Vol. 57, No. 4, pp. 51-956 (1996).
- [4] Ruz, G. A., Estevez, P. A. and Perez, C. A.: A neurofuzzy color image segmentation method for wood surface defect detection, *Forest Products Journal*, Vol. 55, No. 4, pp. 52-58 (2005).
- [5] Todoroki, C. L., Lowell, E. C. and Dykstra, D.: Automated know detection with visual post-processing of Douglas-fir veneer images, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 70, pp. 163-171 (2010).
- [6] Hietaniemi, R., Hannuksela, J. and Silven, O.: Camera based lumber strength classification system, *Proc. of IAPR Conference on Machine Vision and Applications (MVA2011)*, pp. 251-254 (2011).
- [7] 齊藤剛史, 今村将訓, 福井幸美: 画像処理による割り箸原形の外観検査システムの開発, 信学論, Vol. J96-D, No. 10, pp. 2570-2579 (2013).