プロジェクタカメラ系による照明制御を用いた物体認識

天野　敏之† 　長村　一樹†† 　藤澤　誠††† 　宮崎　純†††† 　加藤　博一††††

† 山形大学大学院理工学研究科　〒 992–8510 米沢市城南 4 丁目 3–16
†† 富士通株式会社 ITS センタ　〒 211–8588 川崎市中原区上小田中 4–1–1
††† 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科　〒 305–8550 つくば市 春日 1–2
†††† 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科　〒 630–0192 生駒市高山町 8916–5

あらまし　本稿ではプロジェクタカメラ系による制御された補助照明を物体認識に用いることで，照明変化に頑強な物体認識と識別困難な類似物体の識別が可能となることを示す．照明変化に頑強な物体認識では，強い陰影が生じている物体に対して同軸落射照明による画像取得と画像処理を組み合わせた陰影除去と提案手法について比較し，提案手法が最も高い認識率を得ることを確認した．類似物体の識別では，コントラストの高いテクスチャを有する類似物体を用いて評価を行った．この結果，明度を調節した均一照明を用いて取得した画像よりも提案手法で生成される近似的な HDR 画像の方が識別に有利であることが示された．

キーワード　プロジェクタカメラシステム, 照明環境制御, 高ダイナミックレンジ画像

1. はじめに

カメラとプロジェクタからなるプロジェクタカメラ系は，照射する光をカメラにより取得された観測結果に基づいて制御することで，投影像の補償のみならず投影対象の本来の見かけに基づいて実際の見かけを自在に変化することを可能にする．この技術はシーンに応じて照明を変動させる動的な照明装置として考えることもでき，照明条件により変化する陰影を除去して安定した物体認識を実現することができる．

天野ら [1] はこれに着目し，画像計測に基づく物体認識の新たな方法としてプロジェクタカメラ系を用いたシーンの明度均一化により物体認識における陰影問題の解決を試みた．しかし，物体認識の認識結果において有効であることが示されていなかった．

本研究では，プロジェクタカメラ系による照明制御を用いることで陰影除去による照明変化に頑強な物体認識手法が実現できることを実験結果より示す．また，投影像と撮影像から近似的に生成されるハイダイナミックレンジ画像 (HDR 画像) を用いることで，精度の高い類似物体の識別が可能となることも示す．

2. 関連研究

2.1 物体認識における陰影問題

照明条件の変化に対して頑健な認識を実現する方法としては，大きく分けて学習に基づく方法と照明条件に左右されない特徴を用いる方法の 2 つがある．

学習に基づく方法としては，有名な方法としてパラメトリック固有空間法により照明方向をパラメータのひとつとして学習を行う Illumination Planning [2] や学習画像から得られた基底画像を用いて入力画像の線形化を行う方法 [3] などがある．照明条件に左右されない特徴を用いる方法では，入力画像とガウシアンフィルタで算出された入力画像の低周波数成分の商を求めることで得られる Self Quotient Image(以後,SQI) [4] や，ヒストグラム平坦化 (HE) やラプラシアンガウシアンフィルタを組み合わせることにより照明条件の変化に頑強な認識手法 [5]〜[7] が提案されている．また，注目画素とその近傍の画素値との相対的な関係から陰影に不変な画像を生成する Local Binary Pattern(LBP) [8] は照明条件の変化に対して頑強な顔画像認識を実現している．

これらの解決方法において，学習に基づく方法は予め照明方向が想定出来れば頑強な認識を実現できるが，照明条件が限定できない膨大な組み合わせが想定される環境では現実的でない．後者の照明条件に左右されない特徴を用いる方法は照明条件に不変な画像を生成するものであるが，そもそも陰影により黒潰れしている部分では正しく陰影を除去する事はできない．

この際，明るい画像を計測するために補助照明を用いることが考えられるが，黒潰れがみられるほど強い陰影が生じている状況では，明部の白飛びが発生することが考えられる．従って，陰影の部分のみに明るい照明を照射するほうが効果的であり，そのような照明を実現する手段としてプロジェクタカメラ系を用いることができる．

2.2 HDR 画像の撮影と産業応用

プロジェクタカメラ系を用いた補助照明は，陰影の除去だけではなく撮影画像を投影画像で除算することにより近似的にハイダイナミックレンジ画像 (HDR 画像) を生成することができる．生産現場では視覚センサによる欠品検査が行われているが，現在欠品検査に HDR 画像を用いることで光沢物体の検査で問題となるグレアやハ

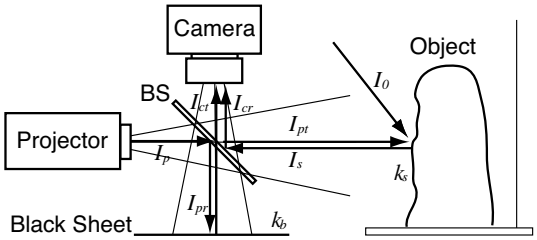


図 1　同軸光学プロジェクタカメラ系

レーションによる影響を低減して安定した検査を実現できる方法が実用化されている [9].

HDR 画像を取得する方法としては，露光時間を段階的に変えて同一のシーンを複数回撮影する方法 [10], [11] が一般的であるが，複数枚の画像を取得すため即時的な画像取得は困難である．また，複数のカメラを用いて撮影時間を削減する方法 [12] も提案されているが，HDR 画像の実時間生成は困難である．しかし，プロジェクタカメラ系を用いた手法は，近似的ではあるが撮影画像を投影画像で除算するだけで HDR 画像を生成できるため，即時的な応答が必要とされる場面では有利である．

3. 陰影除去による照明変化に頑強な物体認識

3.1 プロジェクタカメラ系による明度均一化

本研究では，図 1 に示すプロジェクタとカメラの焦点位置が一致した同軸光学系を用いる．これにより，投影対象の形状および位置の変化に対して不変なプロジェクタとカメラの画素対応が保証され，移動を伴なう 3 次元シーンに対する見かけの制御が実現できる．本研究では，このような光学系を構築して均一照明と制御照明を切り替えることにより，提案手法と同軸落射照明との比較を行う．この同軸光学系では，プロジェクタから照射される光 I_p とカメラで受光される光 I_c には，以下に示す関係がある．ただし，簡単のために投影距離による I_{pr} と I_{pt} の減衰はシーンおよび遮光スクリーンの反射率に含むものとする．また，物体表面の反射は完全拡散反射を仮定する．

プロジェクタによる投影光 I_p はビームスプリッタ（透過率 t，反射率 $r = 1 - t$）を透過し，陰影の除去を行うための補正光 I_{pt} が環境に投影される．また，ビームスプリッタにより反射された光 I_{pr} は反射率 k_b の遮光スクリーンにより吸収される．すなわち，

$$I_p = I_{pt} + I_{pr} \tag{1}$$

ただし，$I_{pt} = tI_p$，$I_{pr} = rI_p$ である．環境光と補正光により照明されているシーンからの反射光

$$I_s = k_s(I_{pt} + I_0) \tag{2}$$

はビームスプリッタにより反射され，

$$I_{cr} = rI_s = trk_sI_p + rk_sI_0 \tag{3}$$

が入射される．また，I_{pr} は遮光スクリーン上で反射し，

$$I_{ct} = tk_bI_{pr} = trk_bI_p \tag{4}$$

がカメラに入射される．従って，カメラで観察される光はこれらの合成

$$I_c = I_{cr} + I_{ct} \tag{5}$$

となる．このような光学系では，余剰光 I_{ct} によって発生するアーチファクトをどのように抑えるかが問題となる．すなわち，$I_{cr} \gg I_{ct}$ となるように光学系を設計する必要があるが，式 (3) と式 (4) を見ると，I_0 以外の要因においてアーチファクトを抑制する鍵となるのは k_s と k_b である．本研究では簡単に反射率の低い平板遮光シートによりアーチファクトを抑制する．また，I_p,I_{pt} および I_{pr} は厳密には対象物体もしくはスクリーンとの距離の二乗に反比例して減衰するため，遮光シートをなるべく遠い位置に配置することにより I_{ct} の光量を抑える．

陰影を除去する方法としては，この同軸光学系に天野ら [13] が提案したモデル予測制御を用いた見かけの制御手法を導入する．本研究では，陰影を除去するために C_{est} を白色照明での見かけとするとき，目標画像の画素毎に $R = C_{est}/|C_{est}|$ としてシーンの明度を均一化した．

提案手法は，プロジェクタによる補助照明によりシーンの明度を均一化するものである．従って，k_s が大きく，環境照明のみで目標明度を超えている場合には均一化はできない．その場合は，目標明度を物体表面の最大反射率を k_{s1} にあわせて大きくすれば良いが，反射率 k_s は

$$k_s > k_{s1} - tI_{p1}/I_0 \tag{6}$$

でないとプロジェクタの光量が足りず明度を均一化することはできない．ただし，I_{p1} はプロジェクタの最大出力光量である．別方法としては，スペキュラ部分など，極端に明るい箇所のみに減光フィルタを適用する方法が考えられる．この詳細については考察にて述べる．

3.2 照明変化に対する認識の安定性評価

汎用プロジェクタ (3LCD, 解像度 XGA) とカラーカメラ (IEEE1394, 30fps, 解像度 XGA) を用いて図 1 に示した同軸光学系を構築して提案手法の有効性を検証した．ビームスプリッタの反射率は十分な光量が投影でき，同時にノイズの少ない画像を得るため経験的に $t = 0.7$ とした．また，実験では環境照明として電球型蛍光灯 (電球 100W 相当) を用い，照射方向は図 2 に示す $\phi = -90, -45, 0, 45, 90[deg.]$ の 5 方向とした．

評価実験では環境照明 (EL) と同軸落射を想定して EL の環境にプロジェクタから均一な補助照明を照射 (WL) して画像を取得した．この 2 条件で取得された画像について 4 手法による陰影除去（画像処理による明度均一化 (UNI)，ヒストグラム平坦化 (HE)，Self Quotient Image(SQI)，Local Binary Pattern(LBP) による陰影除

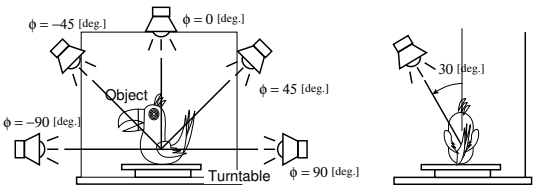


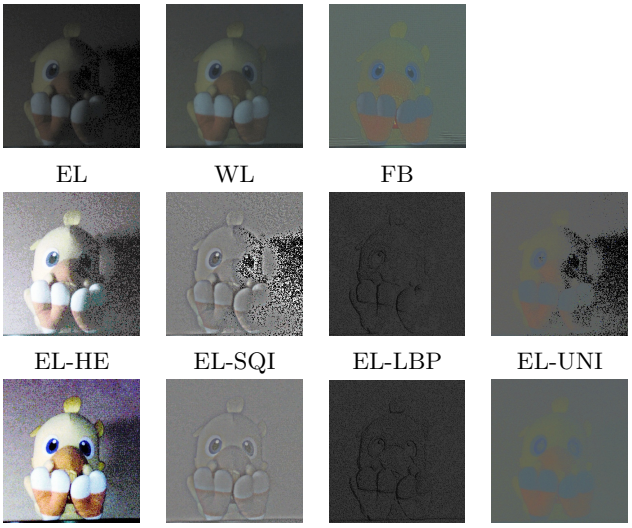
図 2　照 明 環 境



obj1　obj2　obj3　obj4

obj5　obj6　obj7　obj8

図 3　対 象 物 体



EL　WL　FB

EL-HE　EL-SQI　EL-LBP　EL-UNI

WL-HE　WL-SQI　WL-LBP　WL-UNI

図 4　画像処理による陰影の除去の例（obj2）

去）を組み合わせ，合計 8 種類の方法と 3.1 で示したプロジェクタカメラフィードバックによるシーンの明度均一化 (FB) を提案手法として比較を行った．FB はプロジェクタカメラフィードバックにより明度を均一化して陰影除去を試みるものであり，プロジェクタから照射される光の平均照射光量は WL とほぼ同じになるように設定した．

評価方法としては，対象物体を鉛直軸周り 36 ステップで回転 ($\theta = 0, 10, \ldots, 350[deg.]$) させ，図 2 で示した 5 種類の照明条件画像を取得した．この実験では図 3 に示した 8 物体を用いた．これらの中には，光沢を持つ物体（obj3, obj6, obj8）や単色物体（obj4）などもあり，物体表面の明度を均一化することが困難な物体も含む．

このような 8 物体を用い，それぞれの手法について照

表 1　前処理や画像取得方法の違いによる認識率の変化

Dim	EL	WL	WLHE	WLSQI	WLUNI	WLLBP	FB
2	16.04	42.99	53.47	42.57	72.29	26.46	**91.53**
3	11.74	59.44	68.26	46.81	74.72	47.71	**90.00**
4	11.11	63.68	81.18	53.75	85.35	57.64	**92.85**
5	8.82	71.94	73.47	52.92	92.43	71.18	**93.96**
6	14.10	80.63	82.15	56.88	94.6	75.90	**94.79**
7	14.4	82.78	72.15	57.08	95.01	71.18	**96.18**
8	13.47	83.13	81.18	57.92	96.33	70.07	**97.22**
9	13.40	84.24	82.85	60.56	96.68	77.22	**98.26**
10	13.96	87.92	83.68	61.53	97.61	75.90	**98.40**

明方向が $\phi = 0$ で撮影されたサンプル 288 枚（=36 枚 ×8 物体）を学習サンプルとして用い，$\phi = -90, -45, 45, 90$ を検証画像として固有空間法により認識率を求めた．この結果を表 1 に示す．

本研究は，プロジェクタカメラ系による補助照明が物体認識の陰影問題の改善に貢献することを示すものである．認識手法としては SIFT や SURF といった勾配をベースとした画像局所特徴量を用いることもできるが，ここでは提案手法による陰影除去の効果を容易に解析，評価できる方法として固有空間法を用いた．また，設定パラメータによる性能差による誤評価がなされないように固有空間の次元は 2 から 10 まで変化させ，すべての次元で認識率を求めた．

同軸落射照明を用いない EL-HE，EL-SQI，EL-LBP，EL-UNI では，認識率はそれぞれ最大 18.26[%]，22.08[%]，46.81[%]，15.69[%] であり，いずれも WL を併用した方法には及ばなかった．

3.3　実験結果に関する考察

表 1 に示した結果を見ると，EL では図 4 を見ると明らかなように陰影の影響が強いために低い認識率となっている．対して，白色照明を当てた WL では陰影が薄くなるため認識率は向上するが，依然として陰影による明暗差が残るために誤認識が生じている．WL に HE を施した WL-HE や，UNI を施した WL-UNI では画像処理によって明度差が除去され良好な結果が得られている．しかし，WL-SQI や WL-LBP ではエッジ部分の情報が強調され，物体色の情報が用いられないためノイズに対する耐性が弱く，WL-HE，WL-UNI ほど高い認識率は得られなかった．

これらに対して，提案手法である FB はいずれの次元でも最も高い認識率が得られた．WL-UNI は同軸落射照明で画像を取得して画像処理により明度を均一化したものであり，FB との違いは明度均一化が行われるのが，画像取得の前か後かという点である．

照明制御の方が良い結果が得られた原因としてはカメラのダイナミックレンジが考えられる．撮影画像の暗部では，値が小さいために明度を均一化ではサンプリング

による丸め誤差が大きく影響し，正しい色彩を再現できない．この極端な例は補助照明を用いない場合であり，図 4 の EL-UNI を見ると暗部では丸め誤差が生じることで正しい明度均一化処理が行われないことがわかる．また，丸め誤差以外にも，明度が飽和するような場合でも正しい色彩を求めることは不可能であり，この場合も対象の反射率に応じて照明を制御するほうが有利である．

4. HDR 画像生成を用いた類似物体の識別

4.1 明度均一化を用いた HDR 画像計測

前章ではプロジェクタカメラ系による明度均一化が，陰影が生じている物体の認識性能向上に貢献できることを示した．このような明度均一化は，陰影除去のみならずコントラストの高い物体において取得画像の白飛びや黒潰れを回避することができる．もちろん，明度均一化された画像だけでは物体表面の反射率を正しく求めることができないが，見かけの制御における投影画像 P と撮影された画像 C，さらに均一と仮定した環境光の強さ $offset$ から，白色照明による見かけ

$$C_{est} = C./(P + offset) \tag{7}$$

を近似的に推定できる．ただし，$P, C, C_{est} \in \mathcal{R}^{w \times h}$，$w, h$ は画像サイズであり，オペレータ $./$ は要素ごとの割り算を意味する．この式において，撮影される画像 C は明度均一化により一定の範囲内に抑えれているため，前章で示したように暗い部分でも丸め誤差の影響が少なく，また反射率の高い部分での飽和を防ぐこともできるため，結果的にダイナミックレンジの高い画像を取得することができる．

すなわち，図 5 に示す様に，C' の様に通常のカメラでは入射光量に対して暗電流によるノイズレベル L と最大観測レベル H により頭打ちになるが，この際に P に示すように物体の反射率に応じた補助照明を投影すると，C にように物体の反射率に関係なく撮影される画像の明度が一定となる．この C を補助照明の強さ P で割ることにより，C_{est} のように C のレンジを超えた画像を取得することが可能となる．

4.2 高コントラスト類似テクスチャ

提案手法の有効性を検証するために図 6 のように異なる模様が黒と白の反射率の大きく異なる領域に施されたテクスチャ10 種類を作成した．テクスチャ1〜3 では模様がオーバーレイされている領域が異なり，テクスチャ 1〜3 と 4〜6 では模様の色が，1〜6 と 7〜9 では模様の柄が異なる．また．テクスチャ10 は模様をオーバーレイしていない．実験ではこれらのテクスチャを円筒表面に貼りつけ，同軸落射照明と提案手法について識別性能を比較した．

予備実験として，図 6 のテクスチャ9 に対して，均一な照明 (弱，中，強) と提案手法により画像を計測し

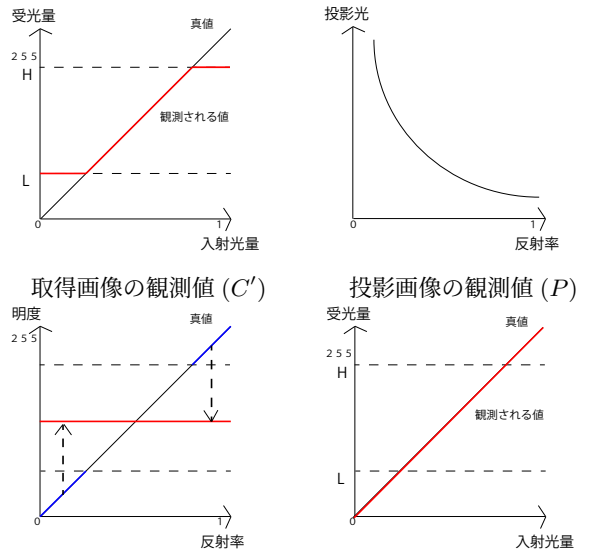
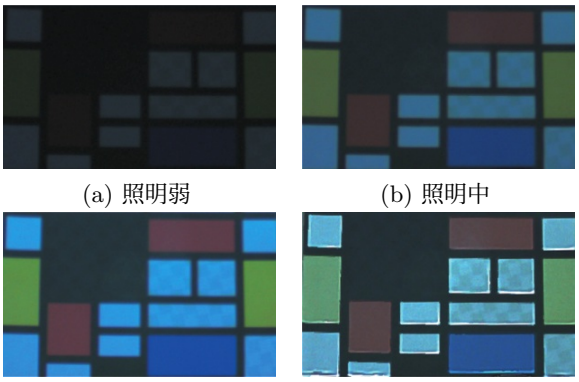


図 5　プロジェクタカメラ系による HDR 画像計測



(a) 照明弱　(b) 照明中

(c) 照明強　(d) 提案手法

図 7　照明を変化させた物体と提案手法の見え

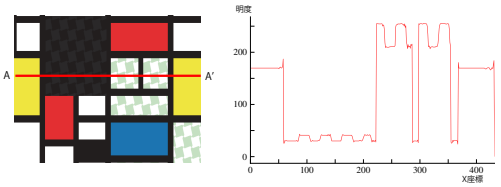


図 8　物体オリジナル画像の輝度プロファイル

(図 7)，図 8 に示す A-A' 切断面で輝度プロファイルを調べた (図 9)．図 9 において，(a) では黒色部分の模様は暗電流に埋もれてはっきりと確認することができないが，白色部分では画像が飽和していないため模様による矩形波形が確認できる．(b) では，黒色部分のノイズが相対的に減少しているが，黒色，白色のいずれでもはっきりとした矩形波形が確認できない．(c) では，黒色部分のノイズがさらに減少し，わずかながら模様に起因する波形が確認できるが，白色部分では波形が平坦になっている．これらに対して (d) では歪やスパイク状のノイズ (図中，青丸) が生じているが，黒色白色両方において模様に起因する波形が確認できる．(d) において波形に

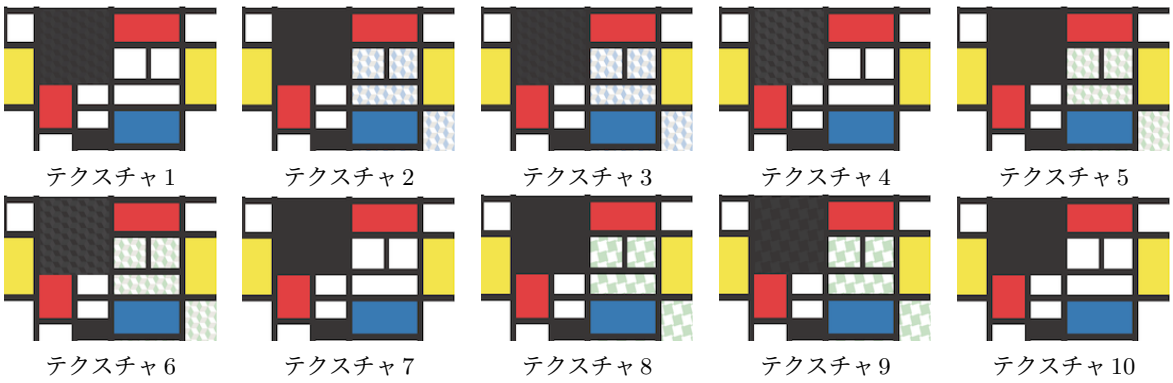
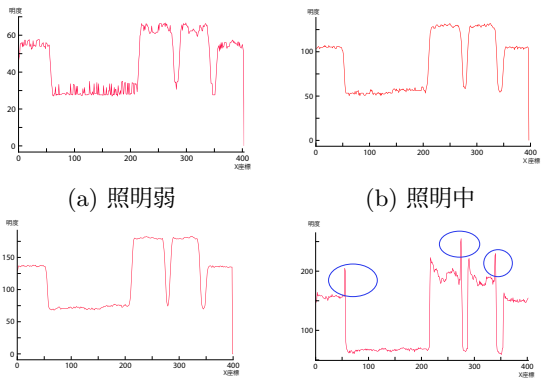


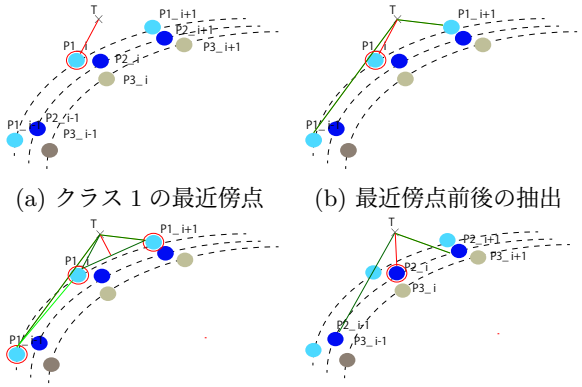
図 6　作成したテクスチャ



(a) 照明弱　(b) 照明中

(c) 照明強　(d) 提案手法

図 9　キャプチャ画像の輝度プロファイル



(a) クラス 1 の最近傍点　(b) 最近傍点前後の抽出

(c) 線分と点の距離　(d) 最も近い軌跡の探索

図 12　類似物体の識別方法

歪が生じた理由としては，環境照明を $offset$ にて場所によらず一定と仮定しているためであり，スパイク状のノイズは投影像のズレに起因する．

ノイズや明度のバラつきは，正しい HDR 画像の生成という観点に関しては問題があるが，類似物体の識別においては，物体の特徴として予め学習することができるため問題となることはないと思われる．

4.3　固有空間法を用いた学習

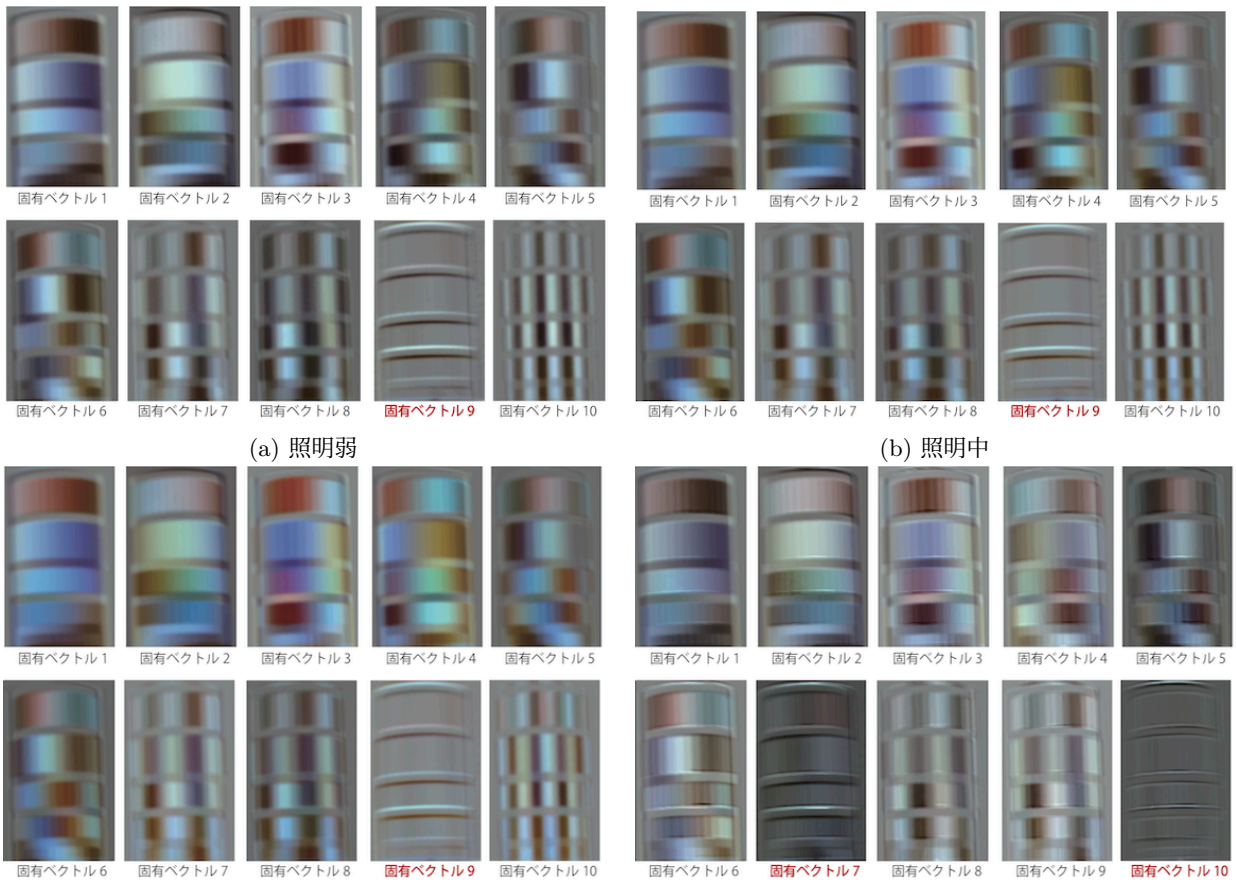
照明の強さを変化させた画像と提案手法による HDR 画像の 4 つの条件について, 類似物体の微妙なテクスチャの変化を識別できるか評価した．評価では図 6 で示したテクスチャ画像を円筒に貼りつけたものを対象物体 (それぞれ obj1〜obj10) とした．これらを鉛直軸周り 36 ステップで回転 ($\theta = 0, 10, \ldots, 350[deg.]$) させて 360 枚の学習画像を取得し，固有空間法により学習した．この時生成された固有ベクトルを図 10 に示す．また，学習により生成された固有空間上の軌跡を図 11 に示す．

図 11 を見ると，いずれも黒色テクスチャ側は軌跡が密に重なって，白色テクスチャ側では比較的分散している傾向にある．それぞれを細かく見ると，(a) の白色テクスチャ部分 (領域 A) では obj5 と obj7，obj2 と obj6,obj8,obj1 が，黒色テクスチャ部分 (領域 B) では，obj4 と obj5，obj10 と obj3,obj2 と obj8 がそれぞれ隣接している．このように 2 本もしくは複数の軌跡が隣接し不均一に分布している特性は，(b)，(c) についても同様に見られる．これらに対して，(d) では白色テクスチャ部分では大きく分散している．黒色テクスチャ部分は (a)〜(c) と同様に分散は小さいが，それぞれの軌跡が偏ることなく比較的均等に分布している．

図 11 のように軌跡の間隔よりもサンプル間隔が大きい場合には，単純に最近傍決定則を用いると正しく判定できない．そのため，図 12 に示すように軌跡を折れ線近似し，投影点と線分の距離により入力サンプルに対して最も近いクラスを求めた．具体的には，まず，(a) のように入力画像の投影点 T とクラス 1 すべての学習サンプルとの距離を求め，最近傍点 $P1_i$ を求める．次に，(b)$P1_i$ の前後のサンプル $P1_{i-1}$，$P1_{i+1}$ のサンプルを抽出し，(c) 線分 $P1_{i-1} - P1_i$ と $P1_i - P1_{i+1}$ に対して T から垂線をおろし，それぞれの線分に対する距離を求め，最小の値を T とクラス 1 との距離とする．(d) この処理を，クラス 2, クラス 3 と，すべてのクラスに対して行い，最も距離が近かったクラスを識別結果として出力する．

4.4　類似物体の識別結果

識別実験では，各物体毎 $\theta = 5, 15, \ldots, 355[deg.]$ の 36 枚を検証用サンプルとして認識率を求めた．このような評価を照明弱，照明中，照明強および提案手法のそれ



(a) 照明弱　(b) 照明中

(c) 照明強　(d) 提案手法

図 10　類似物体の固有ベクトル

表 2　類似物体の識別結果

	照明弱	照明中	照明強	提案手法
Dim2	40.56	41.39	40.56	50.83
Dim3	48.61	47.78	52.26	56.61
Dim4	43.06	43.06	49.17	60.83
Dim5	43.89	43.19	32.50	62.22
Dim6	28.06	29.17	29.44	58.89
Dim7	24.17	23.61	24.17	80.29
Dim8	14.44	14.47	16.11	78.06
Dim9	**70.83**	**68.33**	**70.28**	70.83
Dim10	63.06	61.39	61.39	**83.61**

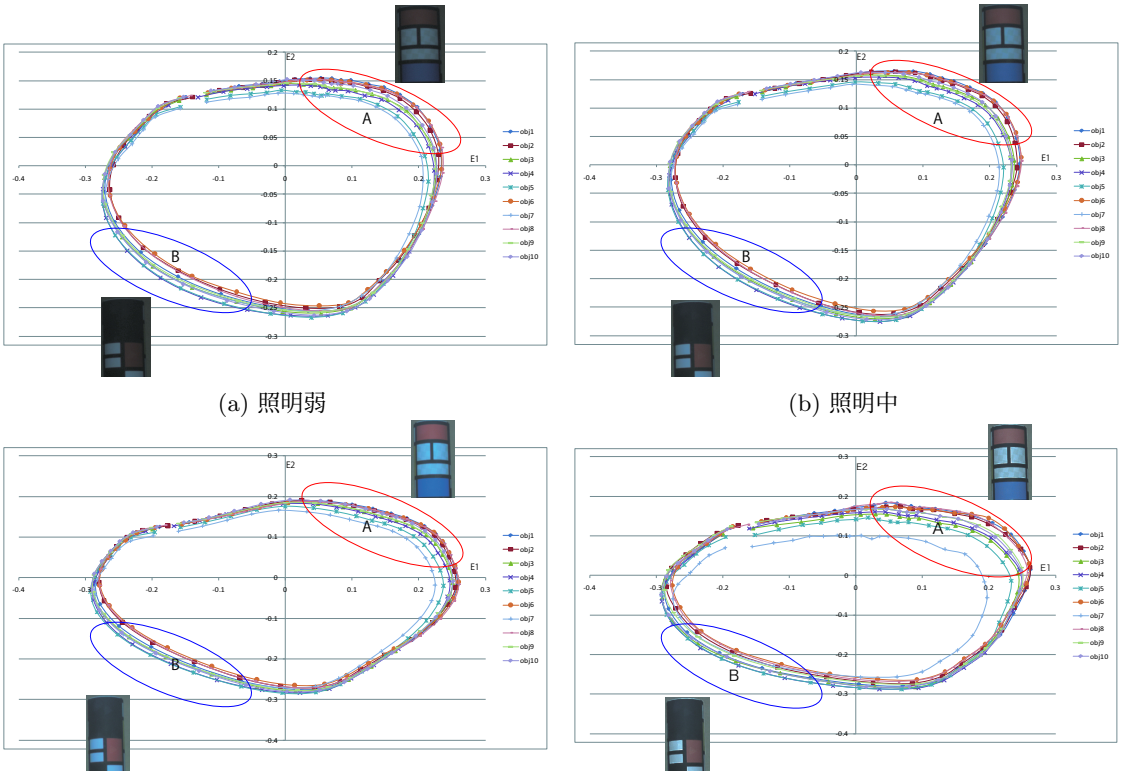
ぞれについて行った．固有空間の次元を 2 から 10 まで変化させ，均一な照明弱，中，強と提案手法により画像を取得し，先に述べた方法で識別を行った．その結果，表 2 に示す結果が得られ，提案手法が最も高い識別率を示した．

この表を見ると，提案手法において次元 7,10 と競合手法において次元 9 で識別率が大きく向上している．この理由は，図 10 に示す固有ベクトルにおいて，該当する次元の固有ベクトルが灰色画像になっていることが関係していると思われる．固有ベクトルは何らかの学習サンプルの特徴を示しているが，この固有ベクトルが灰色になるということは，サンプルの色彩の違いは表現していないと言える．また，他の固有ベクトルに見られる正弦波のような位相に感度を持つ特徴も表現していない．そのため，それ以外の特徴である模様の特徴を表し，物体識別に大きく貢献したものと推察される．また，これらの固有ベクトルでは横方向のエッジが強調してされており，縦方向の位置ズレを特徴として表現している可能性も考えられる．ただし，個々の対象物体ごとに位置を変えずに全ての方法にて画像を計測しているため，物体ごとにばらつきがあったとしても，全ての手法において設置位置に関しては全く同じ条件となっている．従って，エッジの位置ズレが識別の特徴になっていたとしても，提案手法の方がそのような位置ズレをより敏感に検出できたということに他ならない．

5. 考　　察

5.1 陰影除去による照明変化に頑強な物体認識

陰影除去による照明変化に頑強な物体認識では，固有空間法を用いて，照明方向を変えた未知の照明環境を想定した識別実験により提案手法の有効性を検証した．提案手法は表 1 で示されたように競合手法と比べて部分空間の次元の設定によらず高い識別率が得れることが確認され，実験で想定した室内環境における物体認識では照明条件の変化に対して頑強な物体認識が可能となること



(a) 照明弱　(b) 照明中

(c) 照明強　(d) 提案手法

図 11　類似物体の固有空間上の軌跡

が示された．このことから, 例えばロボットが室内環境を自律的に行動するための自己位置の認識などの画像計測手法として有用であると考えられる．

学習に基づく認識方法では, ロボットが移動しながら撮影した画像を学習した画像とマッチングすることで位置を推定する．しかし，日照の変化や照明の点灯消灯，認識対象の移動があると従来のアプローチではあらかじめ様々な照明環境を撮影した画像が必要となる．これに対して，提案手法では様々な照明条件に対して見かけを同一にできるため，見かけの変化をあらかじめ学習する必要はなく，記憶容量を削減できることが期待できる．

5.2　HDR 画像生成を用いた類似物体の識別

プロジェクタカメラ系を用いた方法論のもう一つの利点は，撮影画像と投影画像から HDR 画像を近似的に生成できることである．類似物体の判別問題では，表 2 で示されたように，照明を様々に調節してより認識に都合の良い画像取得を試みるよりも，提案手法で生成された HDR 画像を用いるほうがより高い識別率が達成できることが確認された．これは反射率が大きく異なる場合でも色や形が微妙に異なるテクスチャを識別できる階調分解能の高い画像が得られたことが貢献していると思われる．このことから, 例えば複数の同じ工業製品などを物体表面に付着したほこりや傷など微細な特徴を手がかりに見分けるアプリケーションでは，試行錯誤により適当な明るさの照明を当てて工夫する必要はなく，提案手法を用いることで簡単に見分けることが可能となることが期待できる．

5.3　ハイライト成分および強い環境照明照射に対する明度均一化

提案手法はプロジェクタカメラ系により制御された補助照明を行うものであり，この原理から物体暗部に対しての制御は有効である．しかし，ハイライト部分などのように，環境照明により目標明度よりも明るい場合は提案手法では明度を均一化できない．この問題を解決する方法としては，透過フィルタにより受光量を制限する方法が有効である．例えば，Nayar らが提案した Adaptive Dynamic Range Imaging [14] のように LCD シャッタを併用すれば，明部では LCD シャッタにより減光し，暗部は補助照明により陰影を除去することが可能となる．

この他の問題として，屋外などのように強い環境照明が照射されている状況では明度均一化が困難という問題がある．現在市販されている汎用のビデオプロジェクタは高々数千 lm であり，至近距離にフォーカスを合わせても 5000lx 程度にしかならない．屋外環境では，曇天時でも 5,000lx 以上，晴天時の日陰は 10,000lx 以上，真夏の晴天時に至っては 100,000lx 以上となる．そのため，曇天時程度の日照条件でないと本実験と同等の効果を発揮することはできない．しかし，実験結果から分かるように，補助照明として均一照明を照射するよりも提案手法により制御した照明を用いる方がより効率的であることは変わらない．

6. ま と め

本研究では，プロジェクタカメラ系を用いて認識対象の明度を制御することで，物体認識における陰影問題や識別困難な類似物体の識別問題の解決を試みる今までにない方法論を提案している．本稿では，実験結果より照明変化に頑強な物体認識が実現できることを示した．また，プロジェクタカメラ系から投影される画像と撮影画像から近似的に HDR 画像を生成することで，単純な同軸落射照明を用いる場合よりもコントラストの高いテクスチャを持つ類似物体の識別性能が向上することが示された．

文　　献

[1] 天野敏之，長村一樹，加藤博一，”プロジェクタカメラ系による陰影除去を用いた物体認識,” 画像の認識・理解シンポジウム 2010 論文集 , pp.1941–1946, 2010 .

[2] H. Murase, S.K. Nayar, ”Illumination Planning for Object Recognition Using Parametric Eigenspaces,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp.1219–1227, Dec.,1994.

[3] 岡部孝弘, 佐藤洋一, ”画像線形化に基づく物体認識手法,” 情報処理学会研究報告. Vol.34, pp.193–200, 2002.

[4] H. Wang, S. Z Li, Y. Wang, ”Face Recognition under Varying Lighting Conditions Using Self Quotient Image,” IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 819, 2004.

[5] 安藤博士, 佐々木守, 岩田穆, ”見え方に基づいた顔認識手法のための画像前処理,” 第 4 回情報科学技術フォーラム (FIT2005), I-007, 2005.

[6] Kang, M.A., Kim, J., ”Real time ob ject recognition using k-nearest neighbor in parametric eigenspace”, Proc. of the Life system modeling and simulation 2007, international conference on Bio-Inspired computational intelligence and applications, pp. 403–411, 2007.

[7] G. Finlayson, S. Hordley,G. Schaefer and G.Y. Tian, ”Illuminant and device invariance using histogram equalisation,” 11th Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications, pp. 205–211, 2003.

[8] A. Timo, H. Abdenour, and P. Matti, ”Face recognition with Local Binary Patterns,” In Proc. ECCV , pp. 469–48, 2004.

[9] `http://www.ia.omron.com/product/family/2956/index_fea.html`

[10] P.E.Debevec and J.Malik, ”Recovering high dynamic range radiance maps from photographs,” Proc. of SIGGRAPH’97, pp.369–378,1997.

[11] T. Mitsunaga and S. Nayar, “ Radiometric self calibration, ”Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 374–380, 1999.

[12] B. Wilburn, et al., ”High performance imaging using large camera arrays,” ACM Trans. on Graphics, Vol.24, No. 3, pp.765–776, 2006.

[13] 天野敏之, 加藤博一, ”モデル予測制御を用いたプロジェクタカメラ系によるアピアランス制御,” 画像の認識・理解シンポジウム 2010 論文集, pp.746–753, 2010.

[14] S. K. Nayar,V.Brazoi, ”Adaptive dynamic range imaging”:Optical control of pixel exposures over space and time,” Proc. of International Conference on Computer Vision, Vol.2, pp.1168–1175, 2003.