ライティング技術の現場応用

～波長変調照明と空間変調投影を中心に～

LEDの発展により、
今までにないライティングを行い、
有益な映像情報を獲得することや視覚心理効果
を生み出すことが容易になりました。特に、多種多様な
色のLEDを用いた波長変調照明の登場により、従来の白熱電球
や蛍光灯とは異なるカラーライティングが実現可能となりました。一方、
コンピュータビジョン、コンピュータグラフィクス、VR/ARなどの研究
分野では、プロジェクタを空間変調が可能な照明システムと位置づけて、有益な
画像情報の獲得やビジュアルエフェクトの創出に応用する研究が行われています。
これらは、Computational Illuminationやプロジェクションマッピングなどの技
術として、広く利用されています。

このように、波長変調照明装置としてのLED、空間変調照明装置としてのプロジェク
タの研究は現在十分な実用段階に達し、さまざまな産業分野で技術展開されるよう
になりました。そこで、本特集では、「計測・検査（マシンビジョン）」、「ヘルスケア・医療」、
「芸術・メディアアート」における現場応用を中心に、「LED」、「プロジェクタ」が変調
照明装置としてどのように利用されているかを紹介していただきました。著者の
皆様には、お忙しいところご執筆いただき、この場を借りて御礼申し上げます。
本特集を通じて、多くの読者の方々に興味をもっていただくとともに、次世代
ライティング技術への発展につながれば幸いです。

なお、本特集は、長沼宏昌、渡部大志両編集幹事、ならびに
私が担当いたしました。

編集幹事 平井経太

1章 計測・検査(マシンビジョン)

1-1 LEDの画像検査・マシンビジョン応用

増村 茂樹†

キーワード：マシンビジョンライティング、画像処理、検査、照明技術、可変照射立体角、観察立体角

1. まえがき

この十数年で、マシンビジョン応用の照明は、そのほとんどがLED照明となった。これには種々の理由が考えられるが、第1にカスタマイズの容易さが挙げられる。マシンビジョンシステムに適用する照明系は、一般的に、在庫があってすぐ購入できる標準品でも優に500種類を越え、それでも実際に最適化を図ろうとすると、適用される数の約半数がカスタマイズ品となっている。

第2にLEDの照射形態が挙げられる。生活用途向けの照明は、特殊な場合を除いて、そのほとんどがその光源部で均等拡散をする照明であるが、マシンビジョン用途向けには、主に暗視野において、その配光特性が極めて狭い砲弾型のLEDが多用される。

第3にその発光方式と安定性が挙げられ、照射波長のスペクトル分布が比較的狭く、対象物の分光特性によってそのコントラストを比較的制御しやすいことと、熱のケアさえ適度に行えば、その輝度が比較的安定であること。第4にその寿命の長いことが挙げられる。

しかし、この中で最も決定的な理由は、光源1個が小さく、カスタマイズが容易であるということであろう。本稿では、マシンビジョンシステムにおいて、なぜ照明系のカスタマイズがそんなに重要なのか、という理由を明らかにするとともに、その設計の方法論を提示する。

なお、本稿の内容は変調技術と直接関連はないが、本稿で紹介する照明技術では、対象とする物体の光物性を勘案し、物体光の明るさとそのプロファイルを最適化する設計過程で、光の4つの変化要素を独立変数として扱うことから、変調技術と本技術とを合わせれば、機械の視覚のための照明として、より安定な照明が可能になるものと考ええる。

2. 画像検査と「ものづくり」

さて、画像検査と「ものづくり」とは、切っても切れない

† マシンビジョンライティング株式会社

"Measurement and Inspection (Machine Vision): Image Inspection with LED @ Application for Machine Vision" by Shigeki Masumura (Machine Vision Lighting Inc., Tokyo)

強いつながりがある。画像関連技術に国を挙げてその発展を推進しているのはドイツであるが、ドイツは元々「ものづくり」を国策として標榜している国の1つである。事実、世界最大の画像技術展がStuttgartで開催され、米国をはじめ世界中の画像関連の企業がこぞって参加する展示会で、まさに世界的規模でそれぞれの技術を競う場の1つとなっている。

(1) ものづくりと自動化

現在ではものづくりの世界でも自動化が進み、いわゆるFA (Factory Automation) 化がきちんできるところが、品質の面でも性能の面でも世界をリードしているといえる。

図1のマンユファクチャリング構造の変化¹⁾に示したように、これまでは、人間が、性能を引き出す道具として機械や装置を使い、ものづくりが行われてきた。これが現在では、自動化できるところは機械がこれに代わり、人間は、主に、自らの視覚機能を駆使して作業しなければならないところで、ものづくりに参画している。

したがって、さらなるFA化を進めようとする、その人間の視覚機能 (Human Vision) を機械の視覚 (Machine Vision) に置き換えなければならない。

しかし、そうすると今度は、マシンビジョンが直接的に全体としての性能や品質を左右することになる。

そこでの人間の役割は、マシンビジョンシステムをどの

図1 マンユファクチャリング構造の変化

ように適切に動作させるかというところで、間接的に「ものづくり」の全体制御をすることである。

ここで、留意すべきは、マシンビジョンシステムが人間と同じようには、その視覚機能を果たせないということである。視覚機能そのものは、人間のこころの機能であって、近年の人工知能の研究の中に置いても、機械による視覚機能の実現はその大きな課題であった。

(2) 人工知能とマシンビジョン

マシンビジョンシステムは、元々、映像情報を入力として人間と同じような認識・判断をさせるためのシステムとして研究されてきた。それは、1956年のダートマス会議を原点とする人工知能への取組みの中で発展してきたが²⁾、カーネギーメロン大の金出教授は、すべての理解をこの入力映像から導き出そうとするシーン理解において、「コンピュータビジョンとAIの離婚³⁾」という言葉を使って、人工知能的な映像理解の難しさを表現されている。

ここで、AIとはArtificial Intelligenceの略で、人工知能のことを指す。人工知能をベースに考えれば、その照明は人間の視覚の用に供するものと同じ、物体を単に明るく照らす道具として、従来の照明技術を適用しても何ら支障を来すことはないはずである。

しかし、人間の視覚機能の大部分は精神世界、すなわち「こころ」の世界で機能しているものであり、機械がこの機能を果たすに十分な「こころ」を持たない限り、機械の視覚機能、すなわちマシンビジョンを安定に動作させることは難しいのである⁴⁾。

このことは、最近話題のディープラーニングにおいても、基本的には同じである。その学習課程がどんなに複雑で、どんなにその量が多くても、サンプルとして学習させたものに対しては高い正答率を実現できるが、別のものを見せると、その正答率を維持することが難しいのである。画像を認識するに当たって、その本質的な特徴情報を学習できたシステムは幸いであるが、実はそうとばかりはいえないことが多いのである。

対して、マシンビジョンライティングでは、その物体認識における本質的な特徴情報を厳選し、その抽出過程を最適化して高S/Nな画像を取得するので、或る特定の条件下に限定すると、極めて高い認識率で物体を認識することができるのである。

言い換えると、物体認識と1対1に対応する、いかに本質的な特徴情報を高S/Nで抽出するか、という最適化設計過程がマシンビジョンライティングなのである。

ここで、物体認識のための特徴情報は1つとは限らないことを注記しておく。

3. マシンビジョン用途向け照明の特異性

マシンビジョンの構成要素は、図2に示すビジョンシステムの機能要素⁵⁾のとおりである。

図2 ビジョンシステムの機能要素

構成要素は、照明系、結像系、撮像系、処理系、および通信系の5つである。これが人間の見る映像を得るシステムなら、それぞれの機能要素の役割は、説明すべくもないであろう。しかし、このシステムを、自ら画像認識をするマシンビジョンシステムとして構成する際には、それぞれの機能要素が果たす役割は大きく変化する。

すなわち、処理系はあらかじめ与えられた画像処理プログラムを実行する、いわば、系としては組合せ回路に近いもので、入力としての画像が与えられた時には、その処理結果がほとんどの場合一意に決まってしまう。

また、撮像系に関しても、少なくとも現状のカメラでは、光センサ上に結像された光の明暗を一定の条件のもとで画像の濃淡に変換するものであり、結像系に到ってはこれも或る一定の条件下で、物体の各点から発せられた光を、もう一度光センサ上に結像させるのがその機能である。したがって、どのような画像を取得するか、つまり物体の「何を、どのように見るか」ということを決めるために、能動的に視覚機能の中核となって機能している要素は、実際に対象となる物体の光物性によって、最適な照射光を照射し、物体の各点から発せられる物体光の変化量を直接的に制御している照明系なのである。

照明系は、抽出しようとする特徴情報を認識可能な光を照射し、その特徴点において物体光の変化を発現させている能動的な機能を果たしているのである。

しかし、できあがったシステムを見ると、その照明系がいかに巧妙に作られていようと、単に物体に光を照射している一般的な道具に見えてしまう。しかし、これは結果論であって、機械にとっては、現に照明から照射されている光そのものは、物体を見るために必要十分なものではない。機械がその物体を認識するための十分条件として、その照明系の最適化設計過程そのものが、いわば、物体を明るく照らしてくれる光なのである。

パラドクシカルではあるが、マシンビジョン用途向けの照明メーカとして、単に照明器具を販売しているだけのメーカでは、その照明に対する付加価値は極めて低いが、その照明をどのように使用するか、若しくは、目的の物体認識を実現するための最適化設計を提供してくれるメーカ

では、その照明に対する付加価値は限りなく高いものとなるのである。

例えば、照明としては同じ形状をした照明であっても、適用しようとするマシンビジョンシステムに対して、目には見えない最適化設計過程があったかどうかによって、その付加価値は大きく異なってくるということである。

4. マシンビジョンシステムにおける照明の役割

ここで、図1をもう一度よく見て頂くと、人間の視覚機能には、人間の肉体部分と、その精神世界(こころ)しか存在しないが、機械の視覚では、肉体としての人の目に相当するカメラと、脳に相当するコンピュータのほかに、照明が存在していることに気付かれるであろう。

つまり、ヒューマンビジョンにとっては単に物体を明るくする役割である照明が、マシンビジョンにおいては視覚機能の最前面に位置しているのである。

これは、「どのように光を照射したら、その物体がどのように見えるか」という範疇、いわゆる「光の当て方によって、物体の見え方が変わる」という従来の考え方からは帰結し得ない結果であり、当然、その最適化設計のアプローチからして、まったく異なるものであるといつてよい。

(1) 色覚の本質とマシンビジョンへの適用

例えば、人間が物体を見ると、通常、物体には色がついて見え、その色でさまざまな判断をなして、物体認識をしているように思えるであろう。しかし、その本質は、少々異なっている。

図3に、人間の色覚の本質的な成り立ちを示す。人間の目には結像作用のある水晶体があり、それが物体の各点から発せられた物体光を、もう一度、網膜上の点に集めている。この点の明るさは、その点に相当する物体の点からどれくらいの光エネルギーが、目の瞳内に放射されているかによって決まり、その点の連続が網膜上に形成される物体の濃淡像となっている。

人間の網膜面には、その感度帯域が異なる3種類の視細胞が存在する。L、M、S錐体細胞である。L錐体細胞はその

の可視帯域の比較的長波長領域の光に対して感度があり、S細胞は短波長帯域、M細胞はその中間帯域の光に対して感度がある。すなわち、それぞれの錐体細胞は、光の波長帯域を3つに分けて、それぞれの帯域での濃淡画像を見ているわけである。

人間は、このL、M、S錐体細胞の濃淡の組合せを、精神世界で色に変換し、物体に色を付けて見ている。

つまり、色というのは、実際の物体についていて、それを人間が感知しているのではなく、人間の側が勝手に物体に色を付けて見ているわけである。

その元になっているのはL、M、S錐体細胞のそれぞれの単純な濃淡情報である。

言い換えると、人間は、物体からの各波長帯域の光の濃淡を、色という指標に変換してその濃淡像を評価し、勝手に色づけしてものを見ているに過ぎない。いわば、単なる物体の濃淡像に塗り絵をし、それで物体認識をしているようなものである。

しかし、地球上に存在する動物で、人間と同じように三原色で物体に色を付けて見ているのは、人間を含む僅かなほ乳類のみである。鳥類をはじめとする多くの動物達は、人間の見えない紫外域を含め、4原色でものを見ているのが一般的なのである⁶⁾。

結局、視覚情報の中で、われわれは色が最も重要な情報であるように思っているが、実はそれは心理量であって、この世で客観的に測れる物理量ではないのである。つまり、物体に色がついているのではなく、われわれが勝手に色づけしてものを見ているなら、機械の視覚においては、本質的に、その物体にどんな色を付けて見てやろうか、というアプローチが必要になってくるのは至極当然であろう。

このアプローチは、一般にわれわれが照明を使っているのを見ているのと、まったく逆のアプローチになっていることに気付かれるだろう。つまり、照明といっても、機械の視覚のための照明は、物体を明るく照らすための照明ではなく、例えば、物体に色を付けて見るのと同様に「物体の、何をどのように見るか」ということを決めるための照明なので、その設計アプローチも最適化設計過程も、通常の照明とはまったく違ったものになるのである。

ところが、画像処理に携わっている専門家でも、こと照明に関しては、ごく簡単に、物体を明るくする照明に少し毛が生えた程度だろう、と考え、ここで手を抜かれることが多いのである。そうすると、システムとしてはまともなものできないばかりか、それが市場拡大と技術の進歩普及にブレーキを掛けてしまうのである。

現状の画像関連市場の分析を求められることもあるが、私は、先ず第一にこのことを挙げて憚らない。

図4に、心理量と物理量の関係を示す¹⁰⁾。

心理量である色に対応する、物理量としてのスペクトル分布は無限に存在するが、人間はそれらを皆同じ色として

図3 物体輝度の濃淡像の色のイメージーション

図4 視覚情報における心理量と物理量の関係

認識する。人間の色に対応する物理量として心理物理量なる尺度が、例えば、RGBの三刺激値などとして利用されているが、これは人間が見て始めてなり立つもので、物理量のみですべての判断をなさねばならない機械にとっては、心理物理量でさえ、その判断の精度を高めるのには逆効果になることも多い。つまり、カラーカメラは人間の心理量の尺度に合わせて設定してあるので、人間が見れば実物と同じように見えるかも知れないが、機械の視覚では必ずしも良好に機能するとはいえないのである。

(2) 照射光と物体光の関係

ここで、避けて通れないことが一つある。それは、物体からは物体光が発せられているという認識である。

われわれの一般的な認識は、物体に光を当てると物体が明るくなってものが見える、というところまでである。

では、「物体が明るくなるとは、どういうことなのか」と問うと、「そんな当たり前のことを聞くな」とばかりに、それは、「照射した光が物体にあたって跳ね返ってきているから、物体が明るく見えるのだ」といわれる。果たして、本当にそうだろうか。

実は、これは、間違いなのである。

物体に照射された光は、一旦物体に吸収されるのである。そこで、照射光としてはもうなくなってしまうので、ここまでなら、光を照射してもそれが吸収されて真っ暗になっておしまい、ということになる。しかし、次の瞬間、物体が新たな光源となって光を再放射するのである。これを物体光⁷⁾という。物体から、新たに光が発せられるので、物体が光源のごとく明るく見えるのである。

つまり、照射光は、その物体に光源となるためのエネルギーを供給し、そのエネルギーを元に、物体は物体光を放っているのである。

そんなはずはない。例えば、鏡に光を照射したら、鏡か

図5 直接光と散乱光

らは、単に鏡で反射された照射光が返ってきているのではないかと反論される方もおられるだろう。しかし、残念ながら、この感覚では、マシンビジョン用途向けの照明設計はできないといっているだろう。鏡から返される反射光も、反射光という名前がついていることもあって、まさに照射光が跳ね返ってきているように考えておられる方も少なくないだろうが、実際にはこれは物体光であって、照射された光そのものではない。

鏡は平坦な金属面を利用しているが、鏡に照射された光は、この金属の表層面の自由電子にほぼすべてのエネルギーを渡し、自らは消えてしまう。次の瞬間、その自由電子の振動が、新たな光を再放射しているのである。これを、物体光という。

物体光は大きく2つに分けることができる。直接光 (direct light) と散乱光 (scattered light) である⁷⁾。

図5⁸⁾ (a) に示すように、直接光とは、照射光が物体界面に到達して、そのあと、単一の方向にその伝搬方向を変えるだけの物体光で、散乱光は物体界面で複数のあらゆる方向に均等に分割されて再放射される物体光である。もう気付かれたかも知れないが、物体光のネーミングには、元の照射光が反射したり透過したりしているという意味合いを避けた用語になっているのである。

そして、驚くべきは、直接光はその明るさが照明の輝度に比例し、散乱光は照度⁹⁾に比例しているという事実である。図5⁸⁾において、照明をワーク面に近づけたり遠ざけたりしてみると、その事実に驚かれることだろう。

照明を被写体面に近づけると照度が上がり、物体面は明るく見え、遠ざけると照度が下がって暗く見える。そんなことは当たり前だと思われるだろうが、しかし、それは図5⁸⁾という、(b) の散乱光の場合だけである。図5 (a) の直接光の場合、照度はその明るさに無関係なので、照明を遠ざけても近づけても、その明るさには変化がないのである。

これは、直接光の明るさが照明の輝度に比例しているからで、例えば、何万光年も遠くに離れている星であっても、星そのものは小さいかもしれないが明るく輝いている。しかし、その星の明かりで本を読もうと思っても、それは無理な相談である。本の表面からは散乱光が返されており、これは照度に比例するが、星は見えていても、その照度は限りなく0に近い。だから、星明かりで本が読めないのは、当たり前のことなのである。

一般に、物体から返される物体光は、この直接光成分と散乱光成分から成り、比率はともあれ、この両者の特性を押さえない限り、物体光の明るさを自由に制御することは難しい。特に、光沢のある物体や金属表面などの撮像が難しいのはそのためである。

マシンビジョンライティングは、この直接光と散乱光の明るさを自由に制御することができる照明の最適化設計手法として確立され、日本インダストリアルイメージング協会 (JIIA: Japan Industrial Imaging Association) を通じて、2010年に国内での照明規格 JIIA LI-001-2010 が成立し、2011年に国際規格として、世界で始めて認証された⁹⁾。

5. 照明系の最適化設計

機械の視覚のための照明設計は、人間の視覚用途における照明とはそのアプローチにおいてさえ、大きく異なっている。

まず、前節で紹介した直接光と散乱光であるが、人間の視覚の場合には、そのほとんどが散乱光によるもので、直接光はむしろその邪魔をするものとされてきた。人間の視覚を前提に置く一般的な光学の世界も、散乱光を中心に構築されていることは否めない。しかし、マシンビジョンでは直接光を観察することが、筆者の経験では恐らく半数を超えるであろう。

散乱光を見るものも、それなりに難しい案件はあるが、概して簡単な案件が多く、通常照明、例えば、ハロゲン電球や蛍光灯などでケリがつくものも少なくない。

しかし、直接光を観察するものは、実は光学系も元々散乱光を観察することを前提条件として設計されており、直接光の場合は観察系の条件も、撮像画像の濃淡プロファイルに大きく効いてくることから、撮像そのものが困難なものが多く、マシンビジョンライティングの最適化の知識なしには、どうしていいのかも皆目検討が付かないものになってしまう。

そこで、照明の最適化設計技術としては、物体光を直接光成分と散乱光成分に分けて考えることが、最初の第1歩となる。それが、直接光を観察する明視野照明法と散乱光を観察する暗視野照明法である。当然ながら、両者で、その最適化へのアプローチは、扱う物体光の特性が違うので、大きく異なることを注記しておく。

次に重要になるのは、光が波であり粒でもあるという認識である。このことが深く理解されていないと、光の4つの変化要素に基づいて最適化をなしていく過程そのものが危なっかしくなってくる。

機械の視覚機能における照明系の最適化設計のために、人間の視覚機能とその評価の構造に対して、機械のそれと対比させたものを図6に示す¹¹⁾。

心理量としては、われわれが感覚的には絶対量だと思っている「明るさ」や「色」がこれに相当し、その人間の明る

図6 視覚機能における評価量と光の変化量の関係

さ感覚に合わせた尺度として輝度 $[cd/m^2]$ や照度 $[lm/m^2]$ 、色感覚に関してはRGB三刺激値などの心理物理量があるが、これらは、物理量としては放射輝度 $[W/sr \cdot m^2]$ や放射照度 $[W/m^2]$ 、光エネルギーとしてのスペクトル分布に対応しているが、両者は場合によっては大きく異なってしまいうことも少なくない。

人間が、これらの物理量に対して一定の評価をしている感覚量のようなものが心理量である。

心理量そのものは物理量で表すことができないので、心理物理量を対応させているが、機械の視覚に関しては、もちろんこれに囚われる必要はなく、元々、物理量でしか判定できないので、光の変化を図6に示したように4つの独立変数ごとに最適化していくことになる。

すなわち、それぞれの変化要素の変化を特徴情報の抽出に対してS/Nの大きくなる方向へ発現させるのが、照射光側の最適化となり、照明によって発現した光の変化を光の明暗に変換するのが観察光学系であり、さらにこれを画像の濃淡に変換し、その画像の濃淡プロファイルを画像処理によってどのように演算していくかを念頭に置いて、全体の最適化を図っていく。

その過程において、LEDの狭い配光特性は、伝搬方向の変化の最適化に、そして発光波長帯域が比較的に狭い特徴は、

波長の変化の最適化に、また両者の特徴を利用すれば、照射角度が整った偏光を照射することもできる。

そして、何より、1個の光源が数ミリ程度と小さいことから、これをアレイ上に並べたり、角度を付けて実装することにより、極めて精密にその全体としての配光特性を制御可能な点が、LED照明をして、画像処理用途向けの標準照明にまで押し上げた原動力であろうと思う。

6. 検査用照明への応用例

LEDを検査用照明として応用した例として、マシンビジョンライティング社製のVISA照明をご紹介します。

VISAとはVariable Irradiation Solid Angleの略で、可変照射立体角という意味である。

図7に、VISA照明の外観写真を示す。

このVISA照明は、2015年2016年を通して、最も優秀な技術に与えられる第22回目のVISION AWARDを受賞し、文字通り世界をリードする技術として認められた。

VISION AWARDとは、ドイツのStuttgartで開催される世界最大のVISION SHOWで、世界中のマシンビジョン業界の光センサやカメラ、レンズ、システム等のすべての関連技術の中から、その年の最も革新的な技術に送られる賞である。今年で22回目を迎えるが、日本企業が選ばれたのは今回が初めて、しかも照明に対する受賞としては、全体を通して今回が初めてのことである。

彼らは世界中の新しい技術をいち早く見つけ、業界全体としてそれを皆で後押しする、ということを一貫して行ってきた。おかげで、ドイツの技術力は高く、画像関連技術でも世界のトップを走っている。

では、なぜ、VISA照明が、栄えある第22回のVISION AWARDに選ばれたのか。それは、これまでレーザを駆使しても難しかった、金属面や光沢面を持つ物体表面の3D情報を、スキャンも何もすることなく1ショットで撮像できるVISA照明が、画像検査業界、ひいてはものづくり全体において、極めて大きなインパクトを与える可能性が高い、という判断をされたからであろう。受賞名は、「Machine Vision Lighting Inc., VISA-method lighting (Variable Irradiation Solid Angle) - overturning conventional wisdom about lighting, Shigeki Masumura」である。

ここでは、簡単にVISA照明の特徴的な技術内容を概説する。

図8¹²⁾に、従来型の照明とVISA照明の照射形態を示す。

従来照明では、図(a)に示したように、被写体面の箇所が違えば、それぞれの点に対する光の照射条件は少なからず異なってしまう。照度を得ようとして照明を被写体に近づければこの差は大きくなってしまい、遠ざければ暗くなるのと同時に自由度が極端に低くなってしまふ。

例えば平行光を使えば、どの点でも照射条件は同じになり、被写体面を均一に照射することはできる。しかし、こ

- ・左から、VISA-25, 30, 50, 100と、それぞれの照射窓の大きさをシリーズ化されている。
- ・最大照射立体角の大きさは、どれも平面半角で10°程度であり、被写体の各点に対して任意形状の照射立体角を均一に形成できる。

図7 VISA可変照射立体角照明シリーズ

- ・VISA照明は、被写体面のすべての点において、その照射光の照射条件を同一にすることができる。

図8 VISA照明と従来型照明の被写体面への照射立体角構造比較

の場合は各点に対する照射立体角が0になってしまい、被写体面の凹凸に対して、物体光の明暗プロファイルを最適化することができなくなってしまう。

ここで、照射立体角とは物体の各点を頂点とし、この点にどの範囲から光が照射されるかを示す任意形状の錐体のことを指す。

これに対して、VISA照明では、物体面のどの点においても、照明からの距離に依存せず、すべて同じ照射条件にすることができる。しかも、その照射立体角の形状を、図9¹²⁾に示すように、任意に制御することができる。

すなわち、VISA照明では、非常にシビアな照射条件でしか見えないような微小な特徴情報を、必要とする視野範囲内のすべての点で、同じ条件で抽出することが可能となる。

また、VISA照明の応用の1つとして、照射立体角を図10に示すような照射波長帯域ごとの多層照射立体角にすれば、これまでその撮像が極めて難しかった金属面の3D情報を、非接触でしかもスキャンすることなく1ショットで、カラーグラデーション画像に変換した画像を取得することができるようになる。

図11は使用済みの硬貨の撮像例だが、金属面の傾き情報

図9 VISA照明による照射立体角の設定例

図10 多層照射立体角の設定

図11 使用済み硬貨の撮像例

がカラーグラデーションに変換された、3D形状の1次微分の絶対値に相当する画像が取得できる。

図11 (a) は、従来型の面発光の同軸照明で撮像したもので、(b) と (c) は、VISA 照明を用いて、それぞれ、多層照射立体角の角度範囲を変えて撮像した画像である。

いわば、この画像の中には、大きな傾きも小さな傾きも、傷や、凹み、欠け等のすべての情報が判別可能な状態で含まれているわけで、このVISA 照明に拠って、これまで難しかった金属面や光沢面を持つ物体の外観検査に、革新的な変革がもたらされるであろう。

7. むすび

以上で、マシンビジョン画像処理用途向け照明、および検査用照明を概観したが、マシンビジョン用途向けの照明技術は、別途、照明規格が必要なほど、その設計アプローチや最適化設計過程が、いわゆる一般照明と大きく異なっていることがご理解頂けたであろう。しかし、照明メーカーの技術者でさえ、そのことに気付いている者はそう多くは

ない。しかし、これは、もう、次世代のものづくりへ向けた、重要な基礎技術なのである。少なくとも、VISA 照明の技術がヨーロッパの VISION AWARD に選ばれたことで、日本の技術だけでなく、ものづくりを国策とすべき日本の指導者達に、少しでもこの画像処理用照明技術の一端が伝わればと願い、本稿の筆を置くこととする。

(2016年11月11日受付)

〔文 献〕

- 1) 増村茂樹：“マシンビジョンライティング基礎編-画像処理照明技術～マシンビジョン画像処理システムにおけるライティング技術の基礎と応用～”，日本インダストリアルイメージング協会，p.67 (図4.3) (June 2007)
- 2) 増村茂樹：“連載「光の使命を果たせ」(第102回) 連載100回記念特別企画 (3) マシンビジョンの目指すべき道”，映像情報インダストリアル，産業開発機構，44，9，pp.57-63 (Sep. 2012)
- 3) 金出武雄：“コンピュータビジョン”，信学誌，83，1，pp.32-37 (Jan. 2000)
- 4) 増村茂樹：“マシンビジョンライティング実践編-画像処理照明技術～マシンビジョン画像処理システムにおけるライティング技術の基礎と応用～”，日本インダストリアルイメージング協会，pp.ii-iii (Nov. 2013)
- 5) 増村茂樹：“マシンビジョンライティング応用編”，日本インダストリアルイメージング協会，p.12 (図2.1) (July 2010)
- 6) T.H.Goldsmith: "What Birds See", ScientificC American (July 2006)
- 7) 照明規格：JIIA LI-001-2013：“マシンビジョン・画像処理システム用照明—設計の基礎事項と照射光の明るさに関する仕様”，日本インダストリアルイメージング協会 (JIIA) (Apr. 2013)
- 8) 増村茂樹：“マシンビジョンライティング基礎編-画像処理照明技術～マシンビジョン画像処理システムにおけるライティング技術の基礎と応用～”，日本インダストリアルイメージング協会，p.12 (図2.1) (June 2007)
- 9) 増村茂樹：“マシンビジョンライティングのための照明規格”，映像情学誌，66，6，p.488-491 (June 2012)
- 10) 増村茂樹：“マシンビジョンライティング実践編-画像処理照明技術～マシンビジョン画像処理システムにおけるライティング技術の基礎と応用～”，日本インダストリアルイメージング協会，p.8 (図1.2)，p.22 (図2.5) (Nov. 2013)
- 11) 増村茂樹：“マシンビジョンライティング実践編-画像処理照明技術～マシンビジョン画像処理システムにおけるライティング技術の基礎と応用～”，日本インダストリアルイメージング協会，p.82 (図5.3) (Nov. 2013)
- 12) 増村茂樹：“照明の常識を変える VISA (可変照射立体角) 照明”，映像情報インダストリアル，日本インダストリアルイメージング協会，47，12，pp.34-44 (Dec. 2015)

増村 茂樹 1981年，京都大学工学部卒業。15年間 (株) 日立製作所中央研究所にて，マイコンをはじめとするシステム LSI の研究開発に従事。その後出家し，仏門に入って5年間仏教を学ぶ。還俗後，シーシーエス (株) 入社。マシンビジョン用途向けライティング技術を確立し，2011年，この技術が JIIA を通じてグローバル標準として認証された。その後，2014年，マシンビジョンライティング (株) を創立。代表取締役社長に就任し，現在に至る。各学会等での招待論文・講演をはじめ，各種専門誌への論文投稿，連載記事執筆，大学等での講義，各企業向けの講演を随時実施。厚生労働省所管高度職業能力開発促進センター (愛称：高度ポリテク) 外部講師。2006年，日本インダストリアルイメージング協会 (JIIA) 理事を経て，2013年まで，副代表理事。2006年～2014年，同協会照明分科会主査，同協会撮像技術専門委員会委員長。著書に「マシンビジョンライティング基礎編」(2007)，「マシンビジョンライティング応用編」(2010)，「マシンビジョンライティング実践編」(2013) がある。2016年，ドイツで開かれた世界最大の展示会で VISION AWARD 第1位を受賞。