



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 [I]

—— ライティング技術とは何か ——

Lighting Technology for Machine Vision and Image Processing
System [I] : What is Lighting Technology ?

増村茂樹

1. はじめに

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では、LED (Light Emitting Diode) を利用して光源そのものをカスタマイズすることによって、光の照射範囲や照射角度はもとより、照射輝度、照射波長、平行度等を高度に制御し、安定で高 SN 比の撮像画像を得ることに成功している。特に FA 用途向けのライティング技術は、今や製造のインライン、オフラインを問わず、QC 現場や検査工程も含めてそのパフォーマンスと歩留りを根底から支える重要な基礎技術となっている⁽¹⁾。本稿では、従来の「照明のあて方」といったノウハウ的な要素を超えて、光と物体との相互作用に基づく物体認識の原点に戻り、ライティング技術とはどんなものなのか、どうしたらいいのかを撮像例を挙げながら考えてみたい。

2. マシンビジョンとライティング技術

マシンビジョン (Machine Vision) とは、人間の視覚 (ヒューマンビジョン : Human Vision) に対比して機械の視覚のことをいい⁽²⁾、主に FA フィールドで使用されている。別な言い方では、それぞれのフィールドでロボットビジョン (Robot Vision) といったり、コンピュータ

ビジョン (Computer Vision) といったりしている⁽³⁾。

ここ数年、マシンビジョン画像処理システムによる FA 化が急ピッチで進行し、それとともに、これまでとりたてて顧みられることのなかった照明系の設計が、正に時代の寵児として脚光を浴びることになった。

2.1 マシンビジョンの特異性

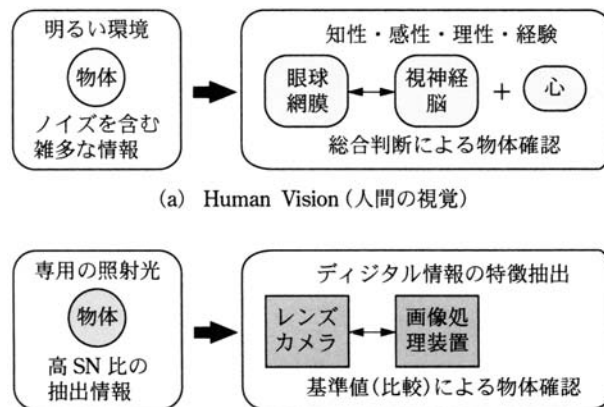
マシンビジョンシステムでは CCD (Charge Coupled Device) や CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサを介して対象物の画像を二次元のデジタル情報として取り込む。その画像情報はパソコンや組込用シングルチップマイコンを利用した画像処理によって解析される。FA 用途では各種製造・検査装置において、位置合わせ等の制御から、外観検査、寸歩測定、文字やコードの読み取りなどに適用されている。

(1) ヒューマンビジョンとの対比

図 1 に示すように、ヒューマンビジョンでは目を通して光を取り入れ、その物理的な刺激だけではなく、過去

目 次	
[I]	ライティング技術とは何か (4月号)
[II]	物体認識とライティング設計の基礎 (6月号)
[III・完]	ライティングの基本方式とその最適化 (7月号)

増村茂樹 正員 シーシーエス株式会社
E-mail s-masumura@ccs-inc.co.jp
Shigeki MASUMURA Member (CCS Inc. . Tokyo. 〒1-0022. Kyoto-shi. 602-8011 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.88 No.4 pp.284-288 2005年1月



(a) Human Vision (人間の視覚)

(b) Machine Vision (機械の視覚)

図 1 人間と機械の視覚の機能比較

に蓄積した様々な知識や経験，場合によっては勘を働かせて推測で目で見ただのものを総合判断しているようだ。心の部分を使っての総合判断ということで，人間の視覚の判断結果は絶妙なあいまいさを伴っている。

一方マシンビジョンにおいては，カメラを介して得られたデジタル画像を画像処理によって加工し，着目する特徴点を抽出し，基準値に照らし合わせてそれが何であるかを判定する。この基準値が，人間でいえば経験や知識に相当する。しかし，残念ながら機械には心がないので，いわゆるあいまいな判断をすることができない。

そこで，装置の誤動作を防ぎ正確を期する必要から，最初の画像情報の段階で，着目する特徴情報を抽出するに足るだけの高いSN比が要求される。これを実現するために，高度にチューニングされたライティングシステムが必要とされているわけである。

(2) ライティングシステムの役割

ライティング技術 (Lighting Technology) とは，光を介して，様々なものを認識するための照明法を開発し，ライティングシステムの最適化設計をする技術のことを指す⁽¹⁾。

FA用途向けマシンビジョンでは，「ライティング技術がその正否の80%を握っている」といわれている⁽¹⁾。ライティング技術はマシンビジョンの発展とともにあり，マシンビジョンシステムの設計開発に不可欠なものとして，マシンビジョンライティング (Machine Vision Lighting) と呼ばれることもある。このマシンビジョンライティングは，人間の視覚の世界でおなじみのいわゆる一般照明技術とは違って，光と物質との相互作用に着目し，目的とする特定の視覚情報を安定に抽出するという役割を担っている。

一般に照明というと，「明るくする」ということが第一義的に考えられる。しかしながら，「明るくする」ということは，「明らかにする」という命題をおのずから含んでいる。したがって，「明らかにする」目的と対象がある以上，どのように「明るくする」かという方法論が存在するのも至極当然であろう⁽²⁾。

2.2 FA用途におけるライティング技術

ここ数年，マシンビジョン (Machine Vision) の躍進によって小規模な製造現場にまでFA化が進み，そこでは製造装置や検査装置そのものが視覚認識機能をもって種々の判断をしており，製造条件の制御や製造動作の制御，並びに様々な検査をインラインで実施して製品の品質や信頼性を格段に向上させている⁽³⁾。

(1) FA化とライティング技術

図2に，FA化によるマニュファクチャリング構造の変化を示した。人間が道具として使用してきた機械装置

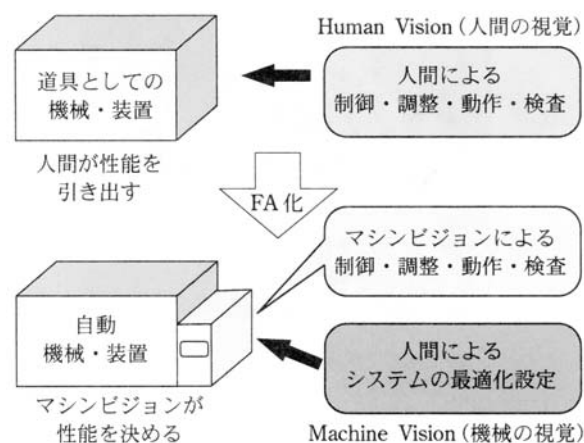


図2 FA化によるマニュファクチャリング構造の変化

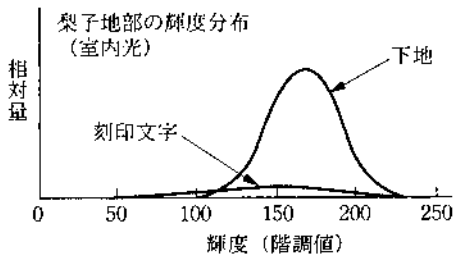
では，いわゆるヒューマンビジョンによる総合判断が不可欠であって，様々なセンサによって得られた数値データとともに，人間がこれを直接制御していた。すなわち，今までは人間が機械・装置の性能を決めていたわけであり，製造業においては多くの専門熟練者が必要であった。

それが，FA化によって，その装置の機能動作そのものの性能をマシンビジョンシステムが決定するようになってきた。製造現場においては，正に機械・装置そのものが視覚認識機能を持ってロボット化しているわけである。このマシンビジョンシステムの性能は，その判断材料になっている画像品質によって大きく左右される。そしてその画像品質は，光による物体認識そのものを本質的に可能ならしめているライティング技術が支えているのである。

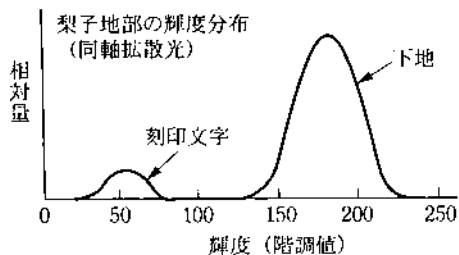
(2) マシンビジョンライティングの役割

一般照明では，例えば机の上を照らしている電気スタンドのように，照射するものが変わっても照明の位置や角度を変えれば同じ照明で大抵は用が済む。しかしFA用途では，照射する製品の仕様が変われば，それに合わせたライティングシステムの再設計が必要となる。なぜなら，SN比を高めるために既にできる限りのチューニングがなされているからである。被検物の条件が変われば，画像の濃淡差に大きく変化が現れたり，安定性やSN比に問題の発生することが多い。そして，このライティングシステムがうまく適合していないと，どんなにその製造装置や検査装置が優れた機能や性能を持っていても，その性能は大きく低下してしまうことになる。

したがって最近では，必要な画像品質を根底から支えているライティングそのものが，実は最も融通の利かない部分だということが理解され始め，製品，機械・装置の設計開発段階から最優先でライティング方式の検討がなされ，それに従って搬送系や周辺の制御系，加工手段等の設計が進められるようになってきている。



(a) 一般室内光での撮像例



(b) 同軸拡散光での撮像例

図3 梨子地金属表面の刻印文字や傷等の撮像例

(3) 情報抽出のためのライティング

図3に、梨子地の金属表面における刻印文字・傷等の撮像例を示す。

梨子地の金属表面は、その反射光に直接光と散乱光の双方が少なからず含まれており、比較的表面的微細な変化がとらえにくいワークの一つである。

図3の(a)の室内光による撮像例では、その照射光が拡散光であるために、梨子地の金属表面が比較的のっぺりとした感じで、特に小さな薄い傷などは消え込んでしまっていて見えにくい。

これに比べて図3の(b)の撮像例は、面発光の同軸照明で撮像したものである。文字部や傷の箇所と他の梨子

地金属表面とではその輝度分布に明らかに差があることは、輝度分布グラフで文字部と梨子地部の分布が離れていることから明らかである。この画像で文字や傷を判別するには、輝度値110程度のところにしきい値を設定すれば、単なる二値化であってもいとも簡単に判別ができることが分かる。

これは、同軸照明の拡散光の方が、室内光に比べてずっと平行度が高く、文字部や傷の部分の直接反射光がほとんど返ってこなくなることによる。

しかし、このワークにもっと平行度の高い光を照射すると、金属の梨子地部分も暗くなってしまい、逆に文字部のSN比が劣化してしまう。したがって、梨子地部の明るさを保つには、その反射率に応じた最適な平行度の照射光を選択する必要がある。また、この撮像例では波長660nmのLED光源を使用しているが、梨子地部の散乱率を抑制して直接反射光成分の減衰を防いでいる。

3. ライティングの原点

ライティング技術を駆使するためには、比較的指向性の強い小さなLED素子が大きな役割を演じる。照射輝度分布や照射角度、平行度や照射波長など、物体に照射する光の空間的・物理的特性を自在に設定できることにより、対象となる物体の特徴点を安定に抽出することができるのである。LED照明が画像処理用の標準照明⁽⁷⁾とまでいわれているのは、この理由による。なぜLED照明が有利なのかその理由は後述するとして、ここでは図4にLED照明のラインナップ例を示す。実際には、LED照明として標準的な照明だけでも500種類を超える。この数だけでも、ライティングシステム的设计に際して、いかに各案件ごとに照射実験を含めた高度なカスタマイズ設計が必要かということがうかがえる。



図4 LED照明のラインナップの一部

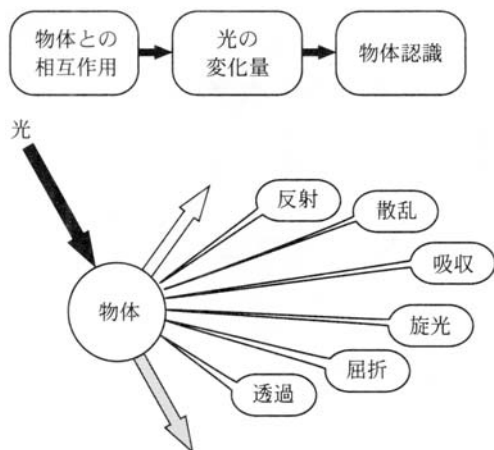


図5 光の変化量をとらえる物体認識

3.1 物体認識とライティング技術

視覚を通じて物体を認識するとき、私たちはまるでその物体そのものを見ているような気になってしまいますが、実はそうではない。私たちは、単に、物体に照射された光を見ているにすぎないのである。

(1) 物体認識のメカニズム

図5に、光による物体認識の様子を模式的に示す。

生まれてこのかた何十年と肉体の目で物体を見ていると、視覚で認識した姿とその物体にまつわる様々な情報とが対応付けられ、あたかもその物体の本質を見ているつもりになってしまう。しかし実際には、私たちが見ているのは物体から返ってくる光だけであり、その物体の本質を見ているわけではないのである。

もう少し詳しくいうと、私たちは、物体に照射した光が、その物体から受けた影響の「変化量」を感知しているにすぎない。当然、それは物体の本質のある面を投影して見ているようなもので、照射する光の特性や照射方法によって、正しく臆（おぼろ）のように千変万化しながら姿を変えてしまう。これをどのように制御するかは、照射光と物体との相互作用をどのように利用し、その変化量をどのように検出するかにかかっている。ここに、ライティングの原点がある。

(2) 視覚情報とライティング設計

人間の五感の中で最も高度な認識方法が、視覚だといわれている。画像を使って外界を認識する視覚能力は、人間の脳の最も大きな部分を視覚野が占めることからみて、最も重要な情報チャネルといえる⁽⁵⁾。

光から得られる情報にはどんなものがあるだろうか。画像情報に直接かかわるものとして、まずは明暗があり、次に色情報がある。色情報は光の特定波長帯域の明暗にほかならないので、結局視覚認識においては、光から得られる様々な情報を明暗として取り出して観察していることになる。

したがって、ライティングシステムの設計においてまず最初に検討すべき事項は、着目する特徴点について、その特徴点をどのようにして明暗情報に変換するか、すなわちその特徴点において物体との相互作用が最も大きく変化するものを選択し、その相互作用をどのように発現させて、更にその変化をどのようにして捕そくするかということである。

すなわち、ライティングシステムの設計は単に照明系の設計にとどまらず、撮像光学系（結像光学系とイメージセンサを使用したカメラ等も含んで）の条件設定も非常に重要なファクタとなることを意味している。

3.2 光と物体の相互関係

光は電磁波であり、この世に存在するあらゆる物体もまた自ら電磁波を発している。ライティングを考えるにあたっては、この電磁波が物体との相互作用によってどのような影響を受けるか、またそれをどのように抽出して、どのように検出するかといった事項を、丹念に拾い上げていく必要がある。

(1) 光の明暗の変化

光の明暗の変化は、時間的変化であることもあるし、空間的変化のこともある。静止画を扱うなら、明暗の空間的変化をとらえることになる。

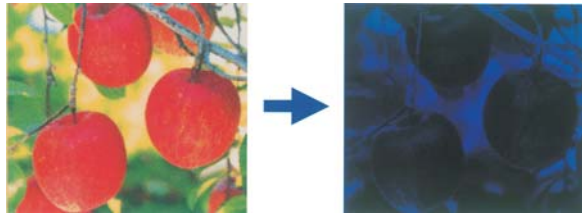
その明暗の変化は、光と物体との相互作用の結果もたらされるものである。だから真っ暗だと、元々変化そのものをとらえることができないので、その結果何も見えないということになる。真っ暗にすると本当に何も見えなくなる理由はここにある。

光の明暗の変化は、物体認識にとってその要であり、一様に明るくても暗くても物体認識をすることはできない。いわば、その明暗のコントラストを、いかに安定に発生させるかがライティングの使命といえる。

(2) 光と物体の相互作用

図5に示したように、物体に照射された光は、物体との相互作用により、何らかの影響を受ける。その影響には様々なものがあり、通常の視覚情報に関連する主なものでも、反射、散乱、吸収、旋光、屈折、透過のほか、回折、干渉、蛍光などがある。そして、この相互作用によって、物体に照射された光は、その進路を変えたり、光量に変化したり、ある一部の帯域の光が吸収されてスペクトル分布が変化したりする。

私たちはこの光の「変化量」を見ているにすぎないわけだから、そこに物体が存在したとしても、この物体が照射光に対して何の影響も及ぼさなければ、私たちの目には何も見えないことになる。また、物体が光に対して影響を与えたとしても、人間の目がこれをとらえられなければ同じことが起る。人間の目がとらえられる光の波



(a) 自然光のもとでのリンゴ (b) 青い光を照射

図6 照射光によるリンゴの色変化

長は、高々 400~700nm 程度であり、この世に人間の目に見えないものはたくさんあるわけである。

マシンビジョンライティングでは、光と物体との相互作用によって生じる光の変化量を、その目的に応じて選択的に抽出する。そしてこの視覚情報の抽出をどれだけ安定に実現できるかは、ライティングシステム的设计にかかっている。

(3) 色と光の明暗

おいしそうな赤いリンゴを見ると、私たちはリンゴの本質まで見ているつもりで、その赤みや表面のつややかさから、どれくらいの歯触りでどれくらいの甘さかということまで思い浮かべることができる。これは、実は私たちが心の部分を使って物体認識を行っているからである。ところで、果たしてリンゴの赤い色は、そのリンゴが本質的に備えているものであろうか。

答えは否である。なぜならリンゴの色は、照射する光のスペクトル分布を変えただけで、いとも簡単にその色調を大きく変化させる。したがって、リンゴの赤い色はリンゴが持っている色ではなく、照射する光の方にその元がありそうである。

図6に示すように、赤いリンゴに青い光を照射すると、通常は紫色になると考えるのが普通だ。これは、リンゴの赤い色が青い光のもとでも赤の主張をし、赤が青色がかって見えるのではないかと思うことによる。しかし実際に青い光を照射すると、赤い色はどこにもなく青だけの世界になって、赤いリンゴは黒リンゴになってしまう。

青い光を照射すると青以外の色は全くなくなってしまい、青い光が反射されれば青く見えるし、吸収されれば黒く見える。すなわち、青か黒かの世界で白い色もない。色のない状態は白だと考えるのが普通だが、実は光の世界では色のない状態は黒なのである。

私たちは物体そのものを直接見ることができず、物体に照射された光しか見ることができない。したがって、そのもとの照射光の波長成分に変化があれば、当然物体から返ってくる波長成分も変化してしまうわけである。

図7に、このリンゴに赤、緑、青の光を照射した場合に、各色での濃淡差がどのようになるかを示す。

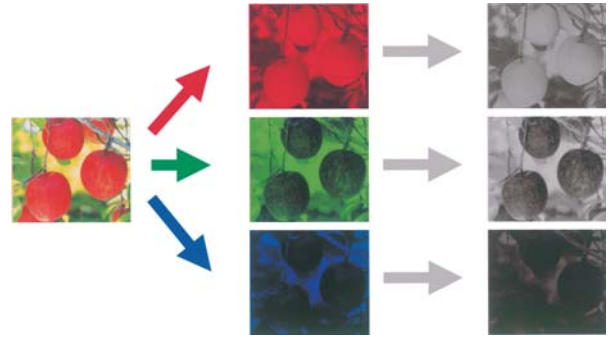


図7 照射光によるリンゴの濃淡変化

色情報を取り去って輝度情報だけを見ると、青い光を照射した場合は黒リンゴになるが、赤い光を照射した場合は白リンゴになる。すなわち、リンゴの赤い色は、赤い色の光を反射し、青や緑の光を吸収することが分かる。照射光の波長帯域を狭めた結果、図に示したようにコントラストの高い濃淡画像を得ることができる。

視覚による物体認識において「色」は非常に重要な情報に思えるが、その元は光の各波長域における明暗情報にほかならない。光と物体との相互作用の結果、照射した光のスペクトル分布が変化し、その変化量を人間の目が「色」情報に置き換えて認識しているわけである。

文 献

- (1) 増村茂樹, “ライティング技術とは何か,” 画像ラボ, vol.15, no.4, pp.95-98, 日本工業出版, April 2004.
- (2) 江尻正員, “マシンビジョン総論,” O plus E, vol.24, no.12, pp.1335-1341, 新技術コミュニケーションズ, Dec. 2002.
- (3) 谷口慶治, 画像処理工学 基礎編, 共立出版, 東京, Nov. 1996.
- (4) 増村茂樹, “マシンビジョンにおけるライティング技術とその展望,” 映像情報インダストリアル, vol.35, no.7, pp.65-69, 産業開発機構, July 2003.
- (5) 増村茂樹, “ライティングの意味と必要性--連載・光の使命を果たせ--マシンビジョンシステムにおけるライティング技術の基礎と応用,” 映像情報インダストリアル, vol.36, no.4, pp.50-51, 産業開発機構, April 2004.
- (6) 増村茂樹, “LEDライティング技術とその展望,” 映像情報インダストリアル, vol.35, no.7, pp.70-81, 産業開発機構, July 2003.
- (7) キリンテクノシステム, “画像処理応用検査システムの構成要素と導入のポイント,” 画像ラボ, vol.13, no.4, pp.51-60, 日本工業出版, April 2002.
- (8) 金出武雄, “コンピュータビジョン,” 信学誌, vol.83, no.1, pp.32-37, Jan. 2000.



増村 茂樹 (正員)

昭56京大・工・金属卒。同年日立マイコン(株)入社。以来15年間、(株)日立製作所中央研究所にてマイコン及びシステム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)に入社し、ライティング技術の確立に尽力する。現在、同社主幹技師。