

いつ液体レンズを マシンビジョン光学系に組み込むか

ニック・シシユカ

焦点が調整可能なレンズにより、イメージングシステムの全体的な速度と柔軟性が高まる。

液体レンズはこの10年間を通して、マシンビジョン分野における最も興味深い新技術だった。液体レンズを採用することで、これまでは複数のシステムが必要だった処理が、単一のレンズとカメラによって実行可能になり、マシンビジョンシステムの設計にかつてないほどの柔軟性がもたらされる。現時点でいくつかの種類の液体レンズ技術が市場に存在するが、本稿では、レンズの種類には関係のない視点で、液体レンズ(焦点が調整可能なレンズ)のマシンビジョン光学系への組み込みについて解説する。

液体レンズとは、従来のガラスやプラスチック製のレンズとは異なって液体を使用し、電流または電圧(液体レンズの種類による)の印加によって曲率が変化する、一連のさまざまな種類のレンズを指す語である。任意の焦点距離において、液体レンズは、概して従来型のレンズと同じように動作し、

材料と曲率によってレンズの光学的パワーが決まる(図1)。しかし、液体レンズは曲率が変更可能で、曲率を調整することによって焦点距離が変わるため、実質的にはほぼ無限の数のレンズとして機能することができる。この柔軟性を、マシンビジョンレンズの作動距離の変更を利用することができる。

多くの従来型の固定焦点距離レンズでは、一連のレンズ素子を、相対的な素子間隔は一定に保ったまま、同時に動かすことによって、焦点位置の変更が行われる。撮像対象物がレンズから遠ざかるにつれて、レンズの後側焦点距離(Back Focal Length: BFL)は短くなる。後側焦点距離とは、レンズの後側面から焦点面までの距離のことである。反対に、対象物の距離が長くなると、後側焦点距離は長くなる。この焦点調整方法は、レンズの焦点を一度だけ合わせて、動作中は二度と変更しない場合に有効である。しかし、マシ

ンビジョンがますます広い分野に導入されるようになり、新しいセンサ技術によってシステム機能の限界が押し上げられる中、光学系にはさらなる柔軟性が求められるようになっている。液体レンズは、焦点調整の制約を克服するものである。レンズアセンブリの焦点をすばやく正確に合わせる事が可能で、アセンブリの可動部品を物理的に動かす代わりに、曲率を調整することによって、後側焦点距離を変更する。

液体レンズは、複数の方法でマシンビジョン光学系に組み込むことができる。例えば、レンズの前または後ろに追加するか、既存レンズの真ん中に挿入する(図2)という選択肢がある。既存レンズへの追加は、多くの用途に対して有効だが、達成できる機能に限界もある。液体レンズの構造に基づいて、レンズ全体をゼロから設計することが、液体レンズを組み込むための最適な方法である。

そのようにしてレンズを設計すれば、従来型レンズの被写界深度の制約や、焦点を変更する速度の問題が克服できるなどのメリットが得られる。従来型レンズでは、被写界深度はFナンバーによって制約され、Fナンバーが大きいくほど被写界深度は深くなる。バーコード読み取りなど、物流関連の用途では、Fナンバーが大きく被写界深度が深いレンズが用いられることが多いが、長い距離にわたって撮像することも必要である。しかし、Fナンバーを大きくすることには、被写界深度が深くなることに伴う、2つの顕著な欠点があ

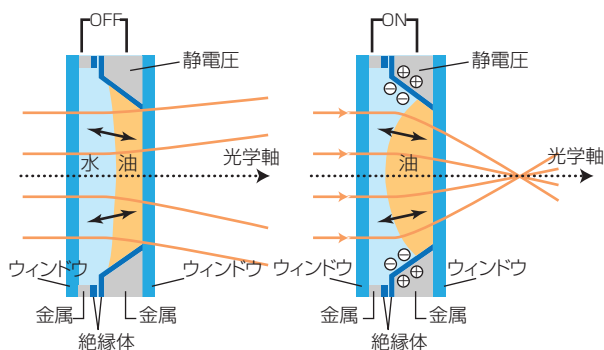


図1 2つの異なる曲率で動作する液体レンズ。同じレンズで曲率を正にも負にもできることに注目。

る。全体的な解像度が低下することと、開口サイズが小さくなってシステムに入る光量が少なくなるために、露光時間を長くしなければならなくなることである。液体レンズを組み込んで対物レンズを設計すれば、その両方の欠点を回避できる。

液体レンズは、非常に高速に(数十ミリ秒)焦点が変更可能であるため、被写界深度の浅いレンズはもはや問題とはならない。液体レンズが組み込まれた対物レンズは、できる限りFナンバーが小さくなるように設計する必要がある、従来のマシンビジョンレンズのような可変絞りは不要である。また、液体レンズを採用する対物レンズでは、Fナンバーを大きくすることに意味はない。従来型レンズの被写界深度の制約を克服することを、そもそもの目的として設計されているためである。

Fナンバーを大きくすると露光時間を長くする必要があり、それによっても、液体レンズによる焦点変更の速度が低下する。Fナンバーが大きく、より多くの光を集めるために露光時間を長くしなければならない場合は、液体レンズの速度は最大限に生かされない。図3は、可変絞りなしの液体レンズに基づいて設計されたレンズの一例である。

開口サイズが固定であることに加えて、焦点を設定するための機械的調整が不要であることも、液体レンズに基づいて設計された対物レンズの重要な特長である。図3のレンズのように、液体レンズの曲率の変更のみによって焦点調整を行い、焦点調整プロセスを簡素化するのが理想的である。既存の対物レンズに液体レンズを追加する方法では、システムは液体レンズを組み込むことを想定して設計されたものではないため、焦点を設定するための機



図2 マシンビジョン用対物レンズに液体レンズを追加するための2つの方法。左側は、焦点距離35mmのレンズの中央に液体レンズを挿入している。右側は、25mmレンズの対物レンズの前に液体レンズを追加している。

械的調整が必要となる可能性がある。機械的調整は、レンジを低下させる一方で、さまざまな距離における性能の最適化に役立つ。

しかし、これによってレンズの使いやすさは大きく低下し、焦点面に無限の機

解空間が生成される。この無限の解空間は、複数のインスタンスを持つシステムを開発する場合に、性能の再現性に悪影響を与える。液体レンズのみによって焦点調整を行い、機械的調整を必要としないレンズを設計すれば、レンズの焦点調整はより単純明快なプロセスとなり、性能もより予測可能になる。

液体レンズを採用した光学システムを設計する場合に検討すべき項目は多く存在するが、最も重要なこととして覚えておいてほしいのは、液体レンズをシステムに組み込むことにしたそもそもの理由である。ほぼ必ず、イメージングシステムの速度と柔軟性の向上がその理由であるため、そのことを念頭に、実装時のすべての設計上の判断を行うべきである。

著者紹介

ニック・シシュカ (Nick Sischka) は、米エドモンド・オプティクス社 (Edmund Optics) のイメージング・セールス事業担当マネージャー。URL: www.edmundoptics.com



図3 液体レンズの構造に基づいてゼロから設計した対物レンズ。液体レンズに合わせて完全に最適化されているため、開口調整はなく、機械的な焦点調整機構もないことに注目。