

CCD マイクロカメラモジュール

CCD Micro Camera Module

大井 一成
K. Oi

木村 正信
M. Kimura

飯倉 省一
S. Iikura

当社は通商産業省のマイクロマシンプロジェクトにおいて、目視検査用 CCD (電荷結合素子) マイクロカメラの研究開発を担当している。最終的に要求されるマイクロカメラは、直径 5 mm、長さ 15 mm 程度の寸法の中に撮影レンズ、撮像素子、駆動回路、信号処理回路、通信制御回路、焦点調節機構、視線変更機構などを具備した電子の眼となる。

マイクロマシンシステムの当面の開発ターゲットは、発電施設用高度メンテナンス技術であるが、高性能のマイクロカメラモジュールは医療、各種検査をはじめとする広い応用が考えられる。市場規模から特にパーソナル携帯機器、埋め込み型機器への応用に期待が大きい。

Toshiba is a member of the micromachine national project being promoted by Japan's Ministry of International Trade and Industry (MITI), and is developing a CCD micro camera module. Our target is to realize a CCD micro camera module that is 5 mm in diameter and 15 mm in length and includes a reflection and refraction lens, a CCD, a CCD driver, a signal processor, a communication circuit, a control circuit, a lens focusing actuator, and a pan-tilt actuator. This module will be an electrical eye with functions similar to those of the human eye.

The CCD micro camera module is expected to have a wide range of applications. In addition to use in inspection devices for nuclear power plants and in medical endoscopy, there are strong expectations for applications in the field of personal mobile equipment because of the huge scale of that market.

1 まえがき

当社は通商産業省の“発電施設用高度メンテナンス技術開発プロジェクト”，通称“マイクロマシンプロジェクト”

に参加している。このプロジェクトは、平成 3 年度から平成 12 年度までの 10 年間で前期、後期の各 5 年に分けて、国内 27 団体、海外 3 団体が、要素技術の開発とシステム化技術の開発を進めている。

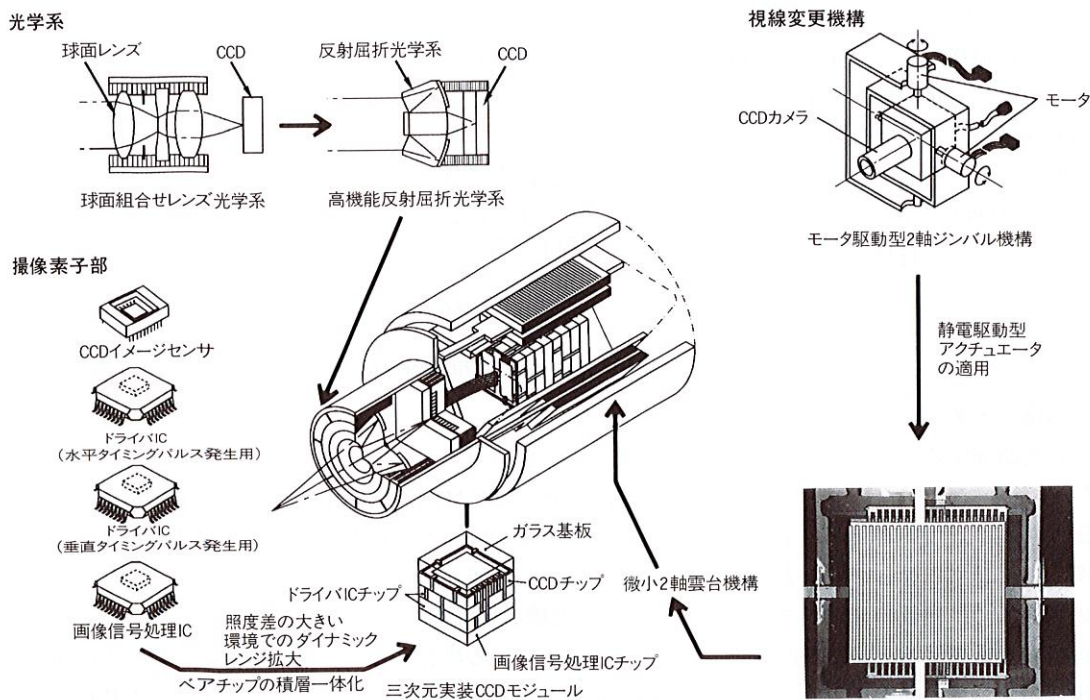


図1. CCD マイクロカメラモジュールの全体構成概念
レンズ、CCD とその周辺回路、視線変更機構とそのアクチュエータなどの要素部品を一体化する。

Configuration of CCD micro camera module

マイクロマシンシステムは、有索のマザーマシン、無索検査モジュール、検査用マイクロカプセルから成る階層化された検査作業システムである。各階層はホストコンピュータを介して、通信手段により連結されて協動的に作業を行うことになる。

当社のテーマ“マイクロ視覚の研究”は、後期に3社で開発する無索検査モジュールに搭載する目視検査用の CCD マイクロカメラとその画像通信・カメラ制御技術の開発である。特に、マイクロマシンプロジェクトでの可視光領域の CCD カメラは当社が担当している。

CCD マイクロカメラモジュールは、焦点調節、視線変更ができる高機能な超小型カメラシステムである。医療用・工業用電子内視鏡ではカメラに対して強い小型化要求があるが、最近ではパーソナルな携帯機器からの超小型カメラの要求が特に強く、最大の市場と期待されている。

こうしたなか、マイクロマシンプロジェクト前期の成果として、長さを極小にするための反射屈折光学系、超小型の静電式アクチュエータ、広ダイナミックレンジ撮像技術、回路を最小形状で実現するための三次元実装技術などの要素技術を開発した。これらの要素技術を用いて直径 10 mm、長さ 14 mm の中に CCD 撮像素子と視線変更機構を一体化したマイクロカメラヘッドを試作したので紹介する。

2 システム概要

CCD マイクロカメラモジュールの役目は、移動機構をもった無索検査モジュールの先端部に装備されて、目視検査用の映像信号を取り込み、映像信号をホストコンピュータへ伝送することである。

図 1 に目視検査用 CCD マイクロカメラモジュールの最終目標の概念を示す。モジュールは撮像レンズ、焦点調節機構、視線変更機構、撮像素子、信号処理回路、通信制御回路、各種アクチュエータ駆動回路が一体化される。今回はレンズ、CCD、視線変更機構までの一体化試作を行った。最終的にはこれらの機能をすべて具備した $\phi 5 \times 15$ mm 程度の大きさのマイクロカメラモジュールを目標としている。

3 要素技術

以下にレンズ、視線変更機構、実装、広ダイナミックレンジ撮像の各要素技術について紹介する。

3.1 反射屈折型レンズ

光学系としては可能な限り明るく、短いことが要求される。焦点距離、解像度、明るさ、ひずみなど必要な光学性能を実現するため、通常のレンズでは複数のレンズを用いた群構成となっており、複数のレンズ厚みと光路長が加算されて長くなる。この群構成のレンズの機能を 1 枚のレン

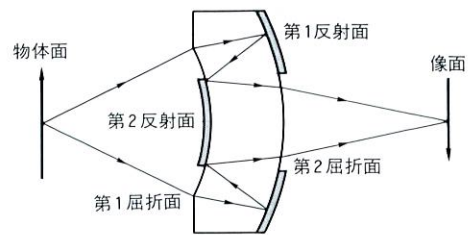


図2. 反射屈折レンズの構成 凹凸面レンズを用い、光路がレンズ内を折り返すことでレンズ長を短縮させた。

Structure of reflection and refraction lens

ズで実現するのが反射屈折型レンズである。

図 2 に反射屈折型レンズの構成を示す。反射屈折型レンズは凹凸面レンズである。被写体からの光線はレンズ凹面の第 1 屈折面に入射して進み、レンズ内の第 1 反射面で反射した後レンズ内を逆進し、レンズ内の第 2 反射面で反射した後レンズ凸面の第 2 屈折面からレンズの外に出て CCD 上に結像する。このように光路がレンズ内を折り返すことにより、レンズ 3 枚分相当の光学的効果とともに、レンズ長の短縮が可能になった。

図 3 はレンズの製造方法を示す。機械的に荒加工して概略のレンズ形状にした石英の素材に、イオンシャワーを照射して削り、非球面を形成する。次に細く絞ったイオンビームで、研磨あるいはその逆に盛り上げを行い、最終的な光学面を形成してレンズとして完成する。

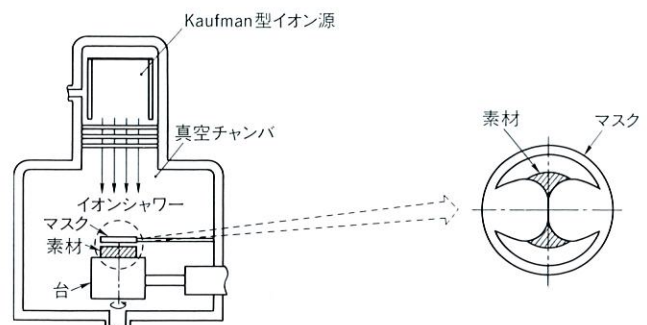


図3. 反射屈折レンズの製造方法 イオンシャワーを照射して非球面レンズを形成する。

Ion shower lens fabrication process

試作したレンズは外形 $\phi 3 \times 1.25$ mm で、10 mm 先の被写体での分解能 $20 \mu\text{m}$ でこのとき F 値約 6 であった。図 4 に試作レンズの外観を示す。

3.2 視線変更機構

目視検査をする場合、カメラ視線を変更し観察方向が自由に選べる視線変更機構が必要である。視線変更機構はア

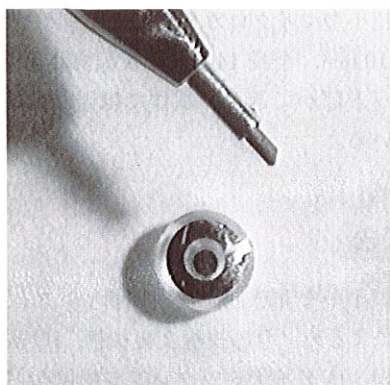


図4. 反射屈折レンズ 外形 $\phi 3 \times 1.25$ mm の試作レンズ。
Fabricated lens

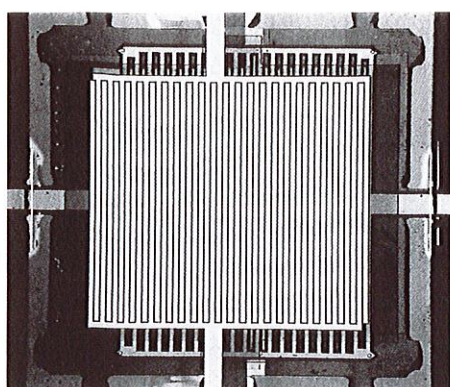


図5. 静電アクチュエータ 視線変更機構に用いる静電吸引式のマイクロアクチュエータ。
Electrostatic actuator

クチュエータと CCD カメラ支持部から成る。図5はシリコンプロセスで加工したリニアモータの一種である、静電吸引式のマイクロアクチュエータを示す。くし形電極を配置した2枚のガラス板の空間にシリコンのはしご形切片を挟んだ形をしている。くし形電極と可動切片間に交番電圧を加えると可動切片が電極に吸引、反発され、上下の電極の間隙(げき)を往復する。上下の電極ピッチは180度位相をずらしてあるため、電極間を往復するたびに可動切片はくし形電極1ピッチ分ずつ移動する。このアクチュエータ3枚を120度の角度で並べて各可動切片の往復運動を CCD の台座に差動的に伝えることで、カメラの視線を変える視線変更機構が構成できる。試作した視線変更機構では、水平方向で10度以上の視線角度の変更ができた。図6に試作した視線変更機構の外観を示す。

3.3 実装

マイクロカメラモジュールでは、CCD を駆動して映像信号を取り込み、視線変更や広ダイナミックレンジ撮像などを行わせるために CCD とその周辺回路の複数の LSI を用い

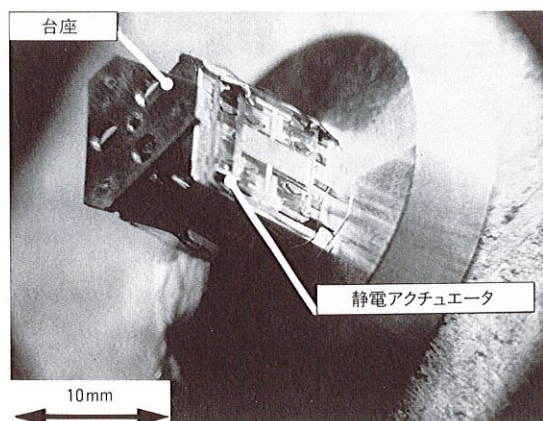


図6. 視線変更機構 水平方向で10度以上の視線角度の変更ができる。
Pan-tilter

る。それらを単に平面実装したのでは面積が大きくなってマイクロカメラモジュールを実現できない。小型化検討の結果、CCD とその周辺 IC をパッケージに入れずチップの形で用い、それらを積層したうえで IC チップ間に端面配線を施して接続する構造にした。その結果、撮像に最低限必要な CCD のチップ面積を最大前方投影面積とすることができ、体積の極小化が図れた。

三次元実装のプロセスは、まず IC のボンディングパッドに厚膜の銅メッキを施して端面に配線を引き出すための電極を形成し、次に IC 間を端面で配線する順序で行う。端面電極は $50 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 以上の面積が望ましい。

図7は電極形成法を示し、図8に厚膜用レジストの形成と模擬 IC チップに施した試作端面電極を示す。

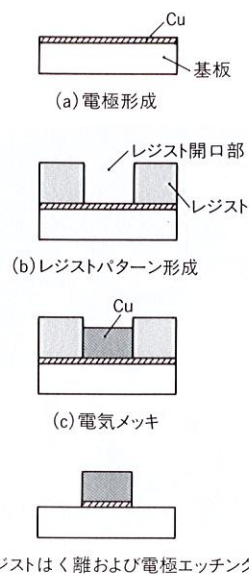


図7. 電極形成プロセス シリコンウェーハ上に厚膜の銅メッキを施し、配線を引き出すための電極を形成する。

Electrode fabrication process

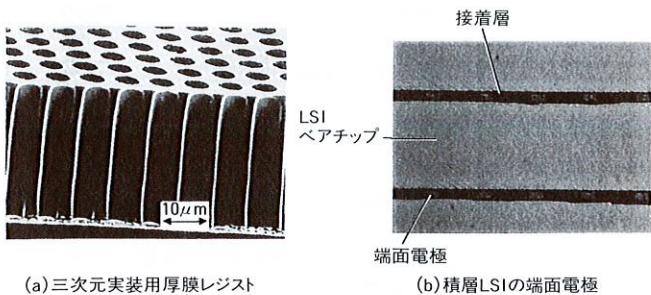


図8. 三次元配線 LSIを重ねて端面電極に配線接続して三次元実装モジュールにする。

3-dimensional wiring process

3.4 広ダイナミックレンジ撮像技術

マイクロマシンは乏しいエネルギー環境の下で動作するため、照明条件もかなり悪く、被写体照度は暗部から明部までかなり広い範囲となる。通常のビデオカメラでは撮影ダイナミックレンジが60 dB (1,000倍)程度しかないため、ダイナミックレンジが100 dB (100,000倍)以上ある人の目のようにとらえることはできない。

そこで、CCDの感度を変えて撮影した複数の映像信号を合成することで広いダイナミックレンジを得た。白黒カメラで通常のカメラの約170倍、単板カラーカメラで通常のカメラの約16倍のダイナミックレンジ拡大が得られた。単板カラーカメラでの拡大率の低下は、信号対雑音比が白黒カメラに比べて悪い上に、人間の視覚が色の変化に対して感度が高いことが原因である。

4 試作結果

試作した反射屈折レンズとCCDと静電アクチュエータを

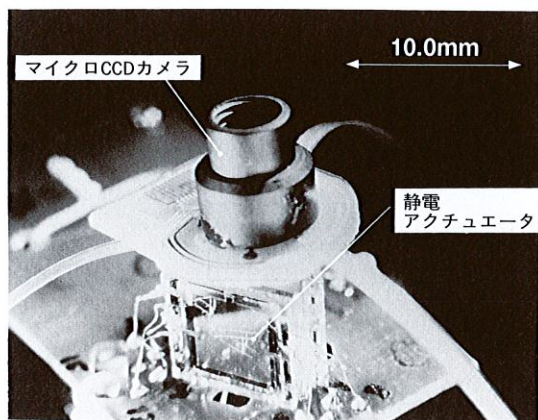


図9. 試作した CCD マイクロカメラモジュール 外形φ10×14 mmの視線変更機能付き試作機。

Prototype of CCD micro camera module

一体化した超小型マイクロカメラモジュールの外観を図9に示す。直径10 mm、全長14 mmの視線変更機能付きマイクロカメラヘッド部ができた。試作では周辺回路などは外付けとなっている。

5 あとがき

従来にない小型な非球面・反射屈折レンズ、静電式アクチュエータによるカメラの視線変更機構、IC端面を利用した三次元配線、広ダイナミックレンジ撮像などのマイクロカメラモジュールの要素技術が開発できた。今後、マイクロマシンプロジェクトの後期でさらにデバイスの高度化を図り、また周辺回路のIC化により平成12年度には自律移動可能な目視検査システムを構築することを目標としている。そこでの成果は、実用的なマイクロカメラモジュールとして携帯機器をはじめとする幅広い分野に応用されるであろう。

この研究開発は、レンズ開発を当社生産技術研究所、端面配線技術を材料・デバイス研究所、アクチュエータ開発と全体まとめを機械・エネルギー研究所、CCDカメラシステムと信号処理システム開発をマルチメディア技術研究所の体制で行った。

なお、この研究開発の一部は通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発制度に基づく“マイクロマシン技術の研究開発”の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けた(財)マイクロマシンセンターの再委託業務として、当社が実施したものである。

文献

- (1) 大井一成, 他: 目視検査用 CCD マイクロカメラデバイス, 第1回・国際マイクロマシンシンポジウム予稿集, pp.131-134 (1995)
- (2) Robert Braham, et al: Toward an Artificial Eye, IEEE SPECTRUM, pp.20-74 (1996)



大井 一成 Kazushige Oi

マルチメディア技術研究所開発第二部グループ長。ビデオカメラシステムの研究開発に従事。テレビジョン学会会員。Multimedia Engineering Lab.



木村 正信 Masanobu Kimura

マルチメディア技術研究所開発第二部主査。ビデオカメラシステムの研究開発に従事。テレビジョン学会会員。Multimedia Engineering Lab.



飯倉 省一 Shoichi Iikura

研究開発センター 機械・エネルギー研究所主幹。先端ロボティクス技術、マイクロマシン技術の研究開発に従事。日本機械学会会員。Energy & Mechanical Research Labs.