スペースシャトル搭載用大画面カメラ

A Large Format Camera for Shuttle

Frederick J. Doyle**

訳者 村井俊治***

概要 NASAは、現在焦点距離30.5 cm、フィルムサイズ23 cm×46 cmを有する地形図作成用高性能カメラを製作中である。このカメラは、スペースシャトルの初めの方の飛行に搭載される予定になっている。設計高度300 km上空から、225 km×450 kmの範囲をカバーし、使用フィルムにより地上解像力は14 mないし25 mである。フィルムが飛行方向に長手サイズになるようにしてあるので、基線長／高度の比を1.2まで上げられる。したがって20 mないし30 mの等高線間隔の地形図の作成が可能である。

もし、実験飛行から得られた写真が期待どおり良好な場合には、ほぼ円軌道で自由飛行する宇宙船にこのカメラが搭載され、何ヶ月にもわたって撮影が行われる。フィルムはシャトルにより回収される。

ジェミニ計画で手持ちのハッセルブラッドカメラにより最初の宇宙写真撮影が行われた時から、写真測量技術者は、軌道衛星により、空中写真測量から宇宙写真測量へと理論を拡張できるものと考えていた。LANDSAT計画の広範な成功にもかかわらず、写真測量技術者は、LANDSATの映像が低解像力でかつ実体視ができないために、実体図化が不可能であることに不満をもってきた。

1967年の昔に、国立科学アカデミーの『地球観測衛星の有効利用に関する委員会』は、世界中の地形図作成が可能なカメラシステムの開発を答申した。この答申によれば、システムは標定のための地形図用フレームカメラと、平面的な詳細図化のためのパノラマカメラで構成されていた。この方法の可能性を検討するために、アポロ15号、16号、17号に似たようなシステムが導入され、月軌道で実験された。これらの写真の測定にもとずいて、月面上の点が三次元座標で30 mの間隔の密度で標定され、2万5千分の1の縮尺のオルソフォトマップが作成された。このようなシステムが地球観測軌道に採用されるよう何度か提案されながら、種々の理由により、このシステムは実現されなかった。

1. カメラの設計

NASAは現在スペースシャトルに搭載する機器として大画面カメラ (Large Format Camera: LFC) を開発している。このカメラの諸元は以下のとおりである。

焦点距離 = 30.5 cm

フィルムサイズ = 23 cm×46 cm

口径 = $f/16.0$

カメラは、フィルムの長手サイズが飛行方向になるように搭載される。

レンズは、図1に示されるように、9つの光学要素のほかに、周辺減光防止用のフィルタで構成されている。画面全体で最大15 μm の歪があり、中央の23 cm×23 cmの範囲で10 μm の歪が生じる。このレンズは、0.40 μm から0.90 μm の波長の間で色補正がなされる。レンズ中央に光学フィルタを挿入することができるようになっており、白黒フィルム、カラーフィルムおよび赤外フィルムに対するカラーバランスが補正される。これらのフィルタは外部からの指令によりモーターを駆動させて変えることができる。このレンズは、ミリ

* この論文は昭和53年5月31日に行われた国際写真測量学会 (ISP) の第1部会の東京シンポジウムで発表されたものである。

** 米国地質調査所

*** 東京大学生産技術研究所 ISP第一部会 Secretary
「写真測量とリモートセンシング」 Vol. 16, No. 4, 1977

Fig. 1 LFC Lens Configuration

Fig. 2 Dynamic Ground Resolution at 2:1 Contrast

当り 80 本ペアーの解像力をもち、周辺部でも最低ミリ当り 50 本ペアーの解像力を有する。このレンズによる地上解像力は図 2 に示される。通常運行高度 300 km (160 海里) において、白黒フィルムで大体 14 m、赤外カラーフィルムで 25 m の地上解像力となる。この値は写真解像力であって、LANDSAT のように光学—電気システムで通常用いられる画素サイズの値でないことに注意してほしい。14 m の写真解像力は、画像上で詳細が認識できる画素サイズで言えば、6 m の画素サイズに匹敵する。レンズの原型はすでに試作されて検査されている。歪および解像力に関しては検証済みである。

レンズの中間に設けられるシャッターは、従来型のもとはべ同じで、回転ディスク型か開閉ブレード型である。高分解能の白黒フィルムおよびカラーフィルムに露光を与えるにはシャッター速度を比較的低速にする必要がある。露光時間は、0.006 秒から 0.024 秒までの範囲をとることができ、オペレータの指示または露出計によって設定される。この露出計は 5° の視野

Fig. 3 LFC Film Magazine

角を有し、露光前の 15 秒間の光量を積分する。この場合、雲、雪、太陽の鏡面光などの高反射光を無視する。

図 3 に示されるように、カメラには最大 2,000 m のフィルム、4,000 画面分のマガジンが取り付けられている。この多量のフィルムをかかえるフィルムスプールはきわめて重くなるので、始動および停止の際の振動を防ぐために撮影中は連続的に回転させる必要がある。そのため、フィルム送り側とフィルム巻取側の両方に軽量の遊びのローラーを備えつけてカメラの作動中にフィルムが直接スプールに力が伝わらないようにする。レンズコーンとカメラ後部の間に負圧の圧力差をかけてフィルムが圧定板に密着するように圧定する。圧力差を作るのにチッ素ガスが用いられる。これにより、静電気の発生とフィルムの破損を防止できる。フィルムが圧定板に密着している間、この圧定板は前動ぶれ補整 (Forward Motion Compensation: FMC) のために飛行方向に動くことになっている。FMC の範囲は、秒当り 0.010 ラジアンから 0.045 ラジアンの間であり、これは、スペースシャトルの通常運行高度に対して適切な値となっている。この FMC のために、高解像フィルムに必要なだけ露光時間を長くすることができる。圧定板には 5 cm 間隔のレゾーが切られている。このレゾーは、0.05 mm の丸印で、圧定板のうしろから発光ダイオードで照射されている。レゾーは指令により点滅ができるようになっている。おそらく、最初と最後の方の写真だけレゾーが同時撮影される予定である。

図 4 は、写真の画枠を示している。中央の上下辺と左右辺に設けられた指標により主点の位置が決定される。中央の 23 cm × 23 cm の 4 隅にも指標が設けられる。注記データとして撮影時刻、軌道、写真番号がうつし込まれる。

Fig. 4 Focal Plane Fiducials and Reseau

Fig. 5 B/H Ratios at 80% Overlap

Fig. 6 Terrain Coverage Dimensions

2. カメラの操作

通常は、80%のオーバーラップをとる。指令により60%および10%にすることもできる。図5に示されるように、オーバーラップの選択によって、基線/高度比を0.3から1.2にすることができる。全体で80%のオーバーラップの場合、中央部の23 cm × 23 cmについては60%のオーバーラップとなり、B/H比は0.3となる。焦点距離が30.5 cmのカメラで撮影された空中写真を扱える写真測量図化機なら、この中央部のオーバーラップ部の図化が可能である。最大のB/H比を有するオーバーラップ写真の利点は、写真測量図化機を用いる際に主点の位置が23 cm × 23 cmのダイヤポジの中心からはるかに離れていることである。

図6に示されるように、軌道高度に対して地上の撮

Fig. 7 Position Accuracy

Fig. 8 Elevation Accuracy

影範囲がきわめて広い。たとえば、300kmの通常高度の場合で、撮影される地上の範囲は225 km× 450 km（120カイリ× 240カイリ）である。

図7は、写真面上で0.015mmの精度を持たすことができると仮定した場合の位置精度を示している。300 kmの高度で、地上15 mに相当する精度であり、縮尺1 : 50,000の地図作成が可能となる。図8は、種々のB/H比に対する高さの測定の精度を示している。300 kmの高度の場合で、10 mより良い高さの精度を有している。これは、30 mの等高線間隔の地図作成が可能であることを示している。

3. 宇宙船への搭載

カメラは最初に、図9に示すようにシャトルの後部のERNOパレットの中に積み込まれる。カメラの制御

Fig. 9 LFC on Pallet in Cargo Bay

とシャトルのシステムとの関係をいかにするかの研究がなされた。これによれば、シャトルが地球を視準する態勢になり、かつ照明条件が良好なときはいつでも撮影が行われる。船員が雲の被覆状態を見て撮影の停止をすることができるので、フィルムの節約ができる利点がある。カメラはシャトルの全搭載重量のほんの小さな一部であるので、軌道諸元は、大きな搭載重量の機器によって定められてしまう。残念ながら最初の方のシャトルの飛行の軌道角は小さい値なので、軌道にのる期間は5日ないし7日間だけになってしまう。現在の計画では、このカメラは、1980年8月の第9回

目のミッションに搭載される予定である。このときの撮影範囲は、北緯25°と南緯25°の間に限られる。したがって、南アメリカ、アフリカ、東南アジア、オーストラリアは撮影されるが、アメリカ、ヨーロッパ、ソビエト、中国は殆ど撮影されない。これより遅いミッションの飛行の軌道角は大きな値となっているので、撮影範囲を広げることができる。図10は、アメリカ合衆国をカバーするのに最適なミッションを示している。

Fig. 10 Optimized US Coverage

短期間で多目的の有人衛星から宇宙写真を撮影するのは効率が良いことは明らかである。また、船員の業務時間、宇宙船の機能や姿勢および軌道諸元に対する要求には常に制約がある。この初期の実験ミッションから取られた写真が有用であることがわかった場合には、その後、自由飛行型の宇宙船にこのカメラが搭載される。すなわち、シャトルの地上からの打上げに特殊な設計が施されている多数回利用型宇宙船（MMS : Multimission Modular Spacecraft）である。西部海岸のバンデンベルグ空軍基地のシャトル打上げ施設が完成する1983年には円軌道をとることが可能となる。このMMSには、1台または2台のカメラが搭載され、独自の電源、姿勢制御および指令とデータ処理システムが備えられる。電源は太陽電池から供給される。図11に示されるように、宇宙船はシャ

Fig. 11 LFC on Free Flying Spacecraft

Fig. 12 LFC World-Wide Coverage

トルから出された遠隔操作アームにより支持される。フィルムが撮影完了すると、MMSはシャトルに引き寄せられ、宇宙飛行士によりマガジンの交換がなされる。マガジンが交換された後は再びもとの位置に戻る。この宇宙船は、定期的に地上に持って帰り、オーバー

ホールの点検をうける。図12は、この宇宙船方式の場合の撮影範囲を示している。

このシステムが実現すると、写真測量技術者は、世界中の任意の地球の5万分の1の地形図が作成できることになる。(1978.7.26受付)