

# 地球観測画像情報記録システム

## LANDSAT Image Data Recording System

高空から撮像した地球観測画像により地球の状態を判別するリモートセンシング技術は、近年急速に発達した。特に、アメリカの地球観測衛星「ランドサット」によって取得される、いわゆる「ランドサット」データは、各分野で有用であることが全世界の研究者から報告されている。

我が国でも、「ランドサット」データの需要が高まり、宇宙開発事業団は、「ランドサット」から送信される電波の受信から画像作成までの一貫した作業を行なう地球観測センターを建設した。

このセンターで観測画像情報を記録する地球観測画像情報記録システムは、全デジタル記録とリアルタイムクイックルックが可能という特長がある。この論文では、これらの点について概説する。

### 1 緒言

昭和54年春に「ランドサット」画像情報の取得を目的とした宇宙開発事業団地球観測センターが完成し、現在順調に稼働中である。

同センターの基幹設備である地球観測画像記録システム及び同画像情報処理システムは、宇宙開発事業団の指導及び米国TRW社の技術協力のもとに、日立製作所で開発納入した。

この論文では、「ランドサット」システムの概要、宇宙開発事業団地球観測センター建設の経緯及びセンター設備の構成を紹介し、宇宙開発事業団と日立製作所が分担開発した画像情報記録システムについて詳述する。

なお、画像情報処理システムについては、本号別掲載の「地球観測画像情報処理システム」で紹介しているので、これを参照されたい。

### 2 「ランドサット」システム及び我が国におけるデータ取得の概要

宇宙開発により実用化された分野の一つに、宇宙から撮像した地球観測画像により地球の状態を知るリモートセンシングがある。地球観測画像として始めに想起されるのは、毎日の天気予報で見られる気象衛星「ひまわり」の画像であろう。このように、人工衛星から地球観測画像を撮影することは、広範囲の地球の状態を定期的に知ることができるという利点がある。この利点を生かして、NASA(National Aeronautics and Space Administration:アメリカ航空宇宙局)は地球の環境、資源を探索する目的で1972年に地球観測衛星「ランドサット」を打ち上げた。

「ランドサット」には、2種類のセンサが搭載されている。一つはMSS(Multi-Spectral Scanner:多重スペクトル放射計)で、これは振動走査鏡を使ったライン走査形の光学セ

※1) 太陽同期軌道(この軌道の利点は、軌道面と太陽方向とのなす角がほぼ一定であるので、衛星は同緯度上を毎日ほぼ同時刻に通過する。衛星から地球を見ると太陽照射角がほぼ一定であるので、光学センサに同一の条件を与える。またこの軌道は極軌道に近いので、ほぼ全地球をカバーできるからデータ解析に有利である。)

高橋正展\* Masanobu Takahashi  
 荒木一則\* Kazunori Araki  
 山本康成\* Yasunari Yamamoto  
 池田雅彦\*\* Masahiko Ikeda  
 原田泰亘\*\*\* Yoshinobu Harada  
 松井康夫\*\*\* Yasuo Matsui

ンサであり、図1に示すように衛星進行直角方向に連続的に185km幅の地表を観測する。もう一つは、RBV(Return-Beam Vidicon:リターンビームビジコン)で、これは撮像管を用いた瞬時撮像形センサである。図2に示すように、2台のカメラが98km×183kmの地表を撮像する。表1に各センサの主要仕様をまとめて示す。

「ランドサット」の軌道は、北極から南極に向かう高度約915kmの太陽同期軌道<sup>※1)</sup>である。「ランドサット」は、センサを常に地表に向けながら地球を回り1日で14周するが、地上

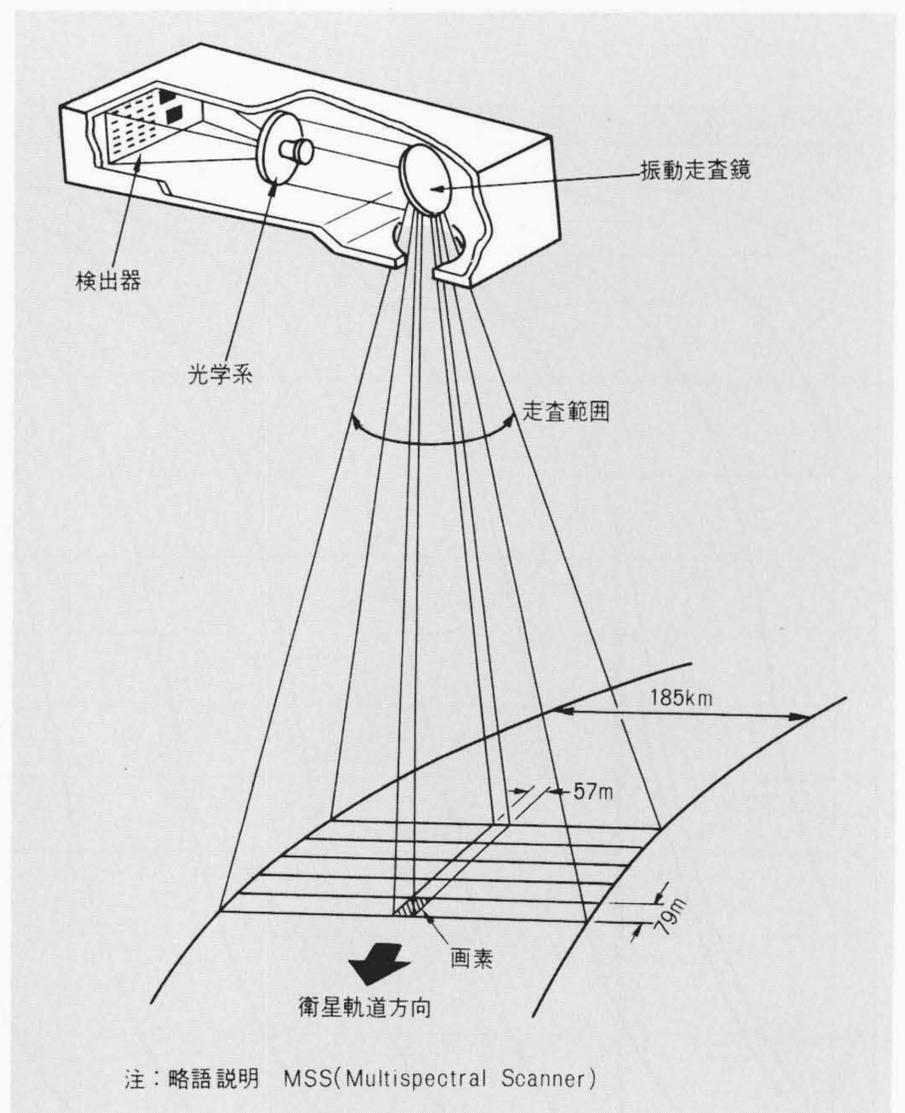


図1 「ランドサット」のMSSによる地表面の走査 MSSは、185km幅の地表を連続的に走査する。

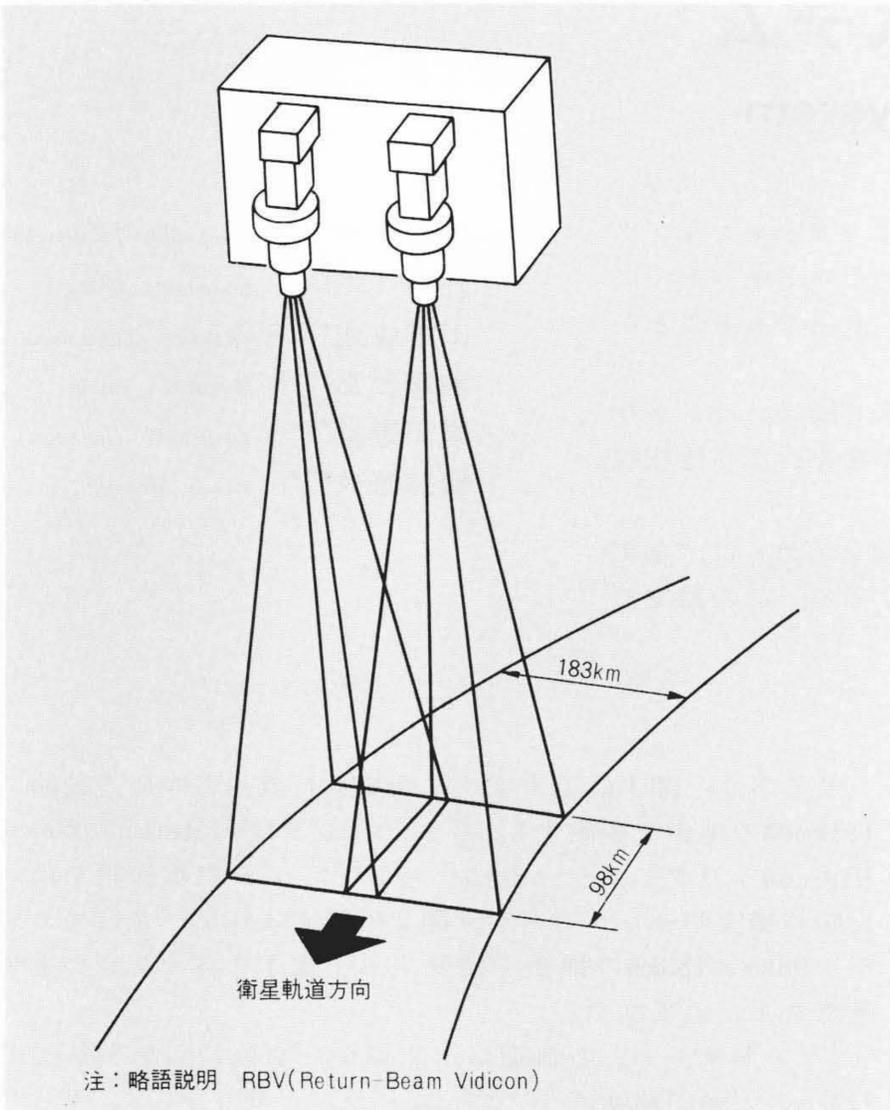


図2 「ランドサット」のRBVによる地表面の撮像 RBVは、12.5秒ごとに183km×98kmの地表を撮像する。

表1 「ランドサット」のセンサ MSS及びRBVの主要仕様をまとめて示す。MSSはデジタル信号で、RBVはアナログ信号で送出されている。

信号名	内 容		仕 様
MSS	地球観測データ		デジタルシリアル信号 15M bps  3,240画素×2,043ライン で185km四方のデータを 送出する。
	波長 (μm)	分解能 (m)	
	0.5~0.6	80	
	0.6~0.7	80	
RBV	地球観測データ		アナログ信号 DC~3.2MHz(-20dB) 走査線4,125本で98km四 方のデータを送出する。
	波 長	—	
	0.505~0.750μm	—	

から見ると地球が自転しているため1周ごとに違った軌道を通り、18日目ごとに同じ軌道を通る(図3参照)。したがって、18日目ごとの画像の比較により、地表の状態変化をモニタできる。

NASAは「ランドサット」データを全世界の研究者に公開した。その研究結果<sup>2)</sup>によれば、例えば植生環境、作物の識別、成育状態、鉱物資源探査、海洋汚染モニタなどに利用できることが分かった。しかし、NASA経由では、撮影後すぐには画像を入手できない、衛星に搭載されているテープレコーダは、電力と寿命から我が国の画像をいつも撮像することはできないなどの不都合があり、また「ランドサット」データに対する国内の需要も大きく、宇宙開発事業団は「ランドサット」電波を受信し、コンピュータ、その他各種装置により画像処

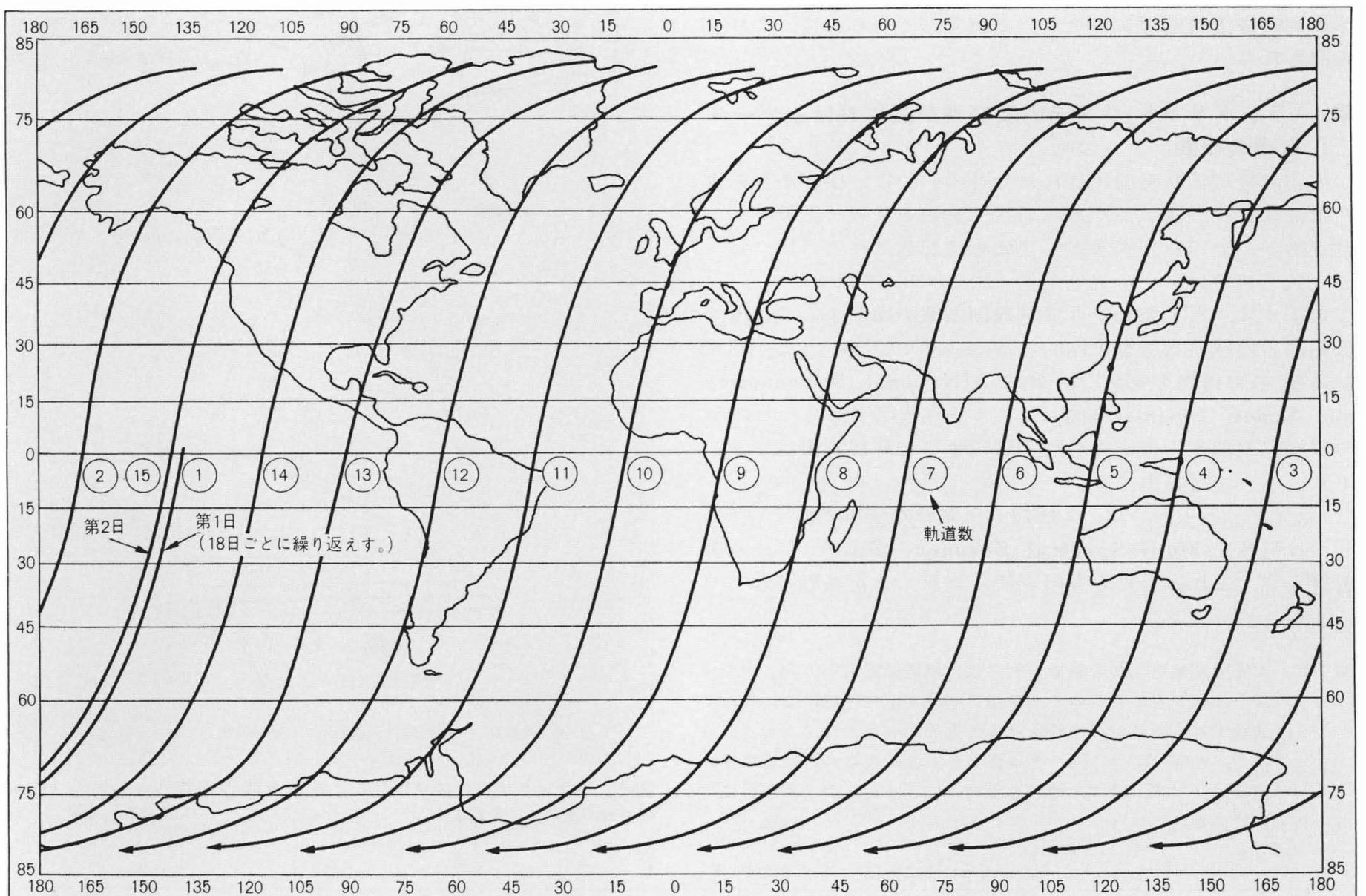


図3 「ランドサット」の軌道 「ランドサット」は地球を1日14周し、18日で始めの軌道にもどる。

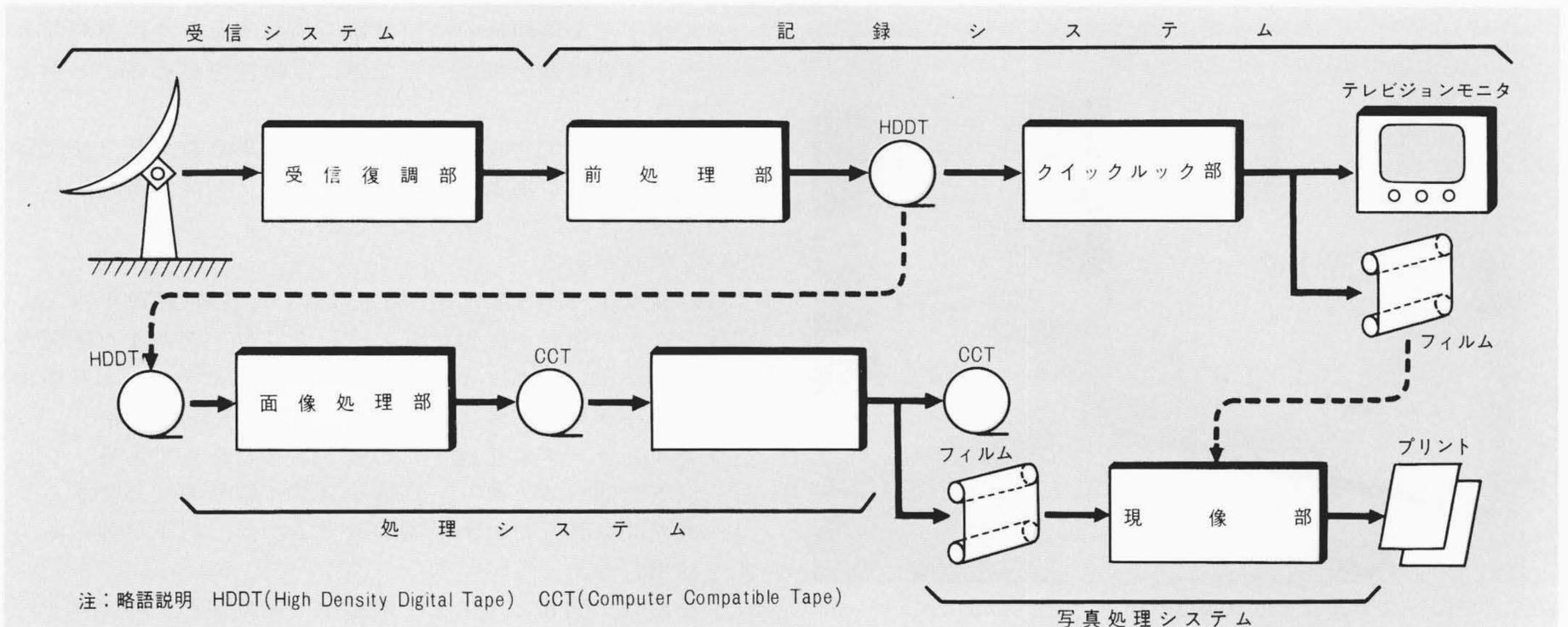


図4 地球観測センターの構成 地球観測センターは、「ランドサット」電波を受信してコンピュータにより画像処理し、フィルムやCCTを作成するシステムである。

理を行ない、いろいろな解析ができるような写真、フィルム及びCCT(画像情報入り計算機用磁気テープ)を作成する地球観測センターを、埼玉県比企郡鳩山村に建設した。このセンターは、以下に述べる四つのシステムから構成されている(図4参照)。

- (1) 地球観測画像情報受信システム
- (2) 地球観測画像情報記録システム
- (3) 地球観測画像情報処理システム
- (4) 写真処理システム

なお、各システムの主要機能を表2にまとめて示す。

以下、地球観測画像情報記録システムについて述べる。

### 3 地球観測画像情報記録システム

#### 3.1 地球観測画像情報記録システムに要求される機能

記録システムの役割は、受信された「ランドサット」からの情報を、HDDT(High Density Digital Tape)に記録し、また、その情報をリアルタイムでテレビジョンモニタに表示し、フィルムに記録することである。その要求機能を要約すると、

- (1) 観測画像情報の再生時の劣化が、できるだけ少ない方式で記録すること。
- (2) 記録した観測画像情報を、再生速度を落として処理システムに出力すること。
- (3) テスト信号を発生し、システムのチェックが可能なこと。
- (4) リアルタイムでのクイックルックが可能なこと。

表2 地球観測センターの機能 地球観測センターの各システムの機能をまとめて示す。センターは、四つのシステムから構成されている。

システム名	機能
受信システム	1.「ランドサット」の電波の受信、復調 2.「ランドサット」の追尾
記録システム	1.復調された観測画像情報*の記録 2.リアルタイムで画像をテレビジョンモニタし、フィルムに記録
処理システム	1.観測画像情報に含まれるひずみの補正 2.補正画像情報**をフィルムに記録
写真処理システム	記録及び処理システムで記録したフィルムの現像

注：\* 観測画像情報(「ランドサット」から送出される画像情報で、幾何学的ひずみ及び放射計ひずみが含まれている。)

\*\* 補正画像情報(処理システムで、上記のひずみを補正したあとの画像情報)

などが挙げられる。

#### 3.2 構成の概要

記録システムは、図5に示すように「前処理部」、「記録部」、「テスト部」及び「クイックルック部」の四つのブロックから構成されている。

受信システムから入力された観測画像情報は、「前処理部」で記録しやすい信号に変換され、「記録部」のHDDR(High Density Digital Tape Recorder:高密度デジタル記録装置)でHDDTに記録される。いったんHDDTに記録された観測画像情報は、必要に応じて画像処理のため処理システムに出力される。「テスト部」は、「ランドサット」と同じフォーマットのテストパターン信号を出力し、記録システムのチェックばかりでなく、受信システムや処理システムまでも含めたチェックを行なう。また、「クイックルック部」は、リアルタイム又はHDDTに記録されている観測画像情報のモニタ及びフィルム記録を行なう。図6に、記録システムの「クイックルック部」の外観を示す。

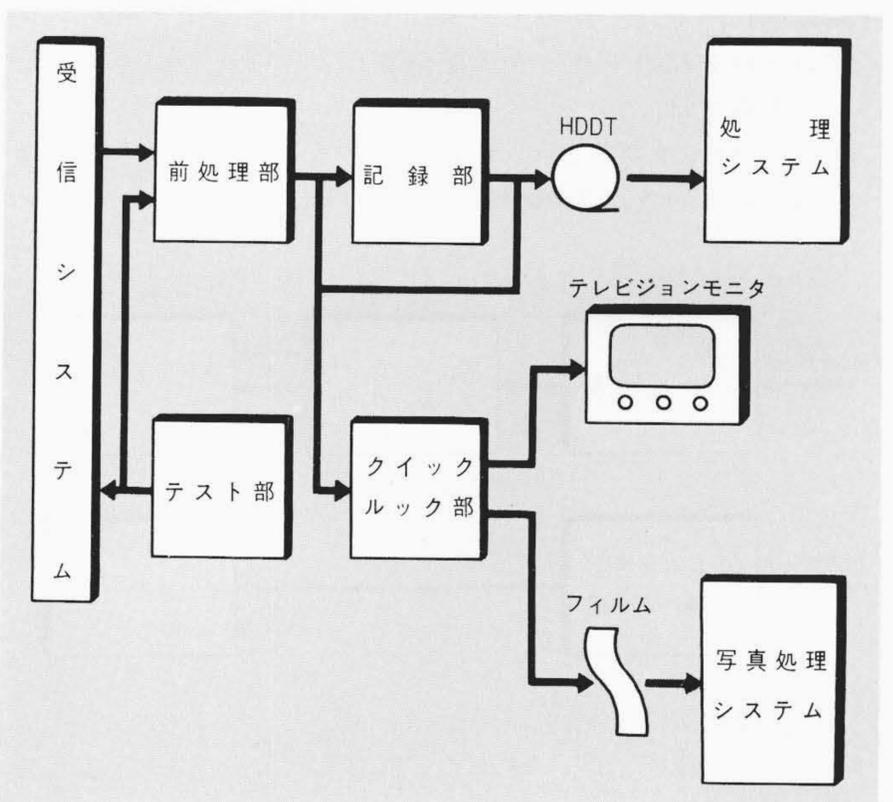


図5 記録システムの機能ブロック図 記録システムは、「ランドサット」からの観測画像情報をHDDTに記録し、リアルタイムでテレビジョンモニタに表示してフィルムに記録する。

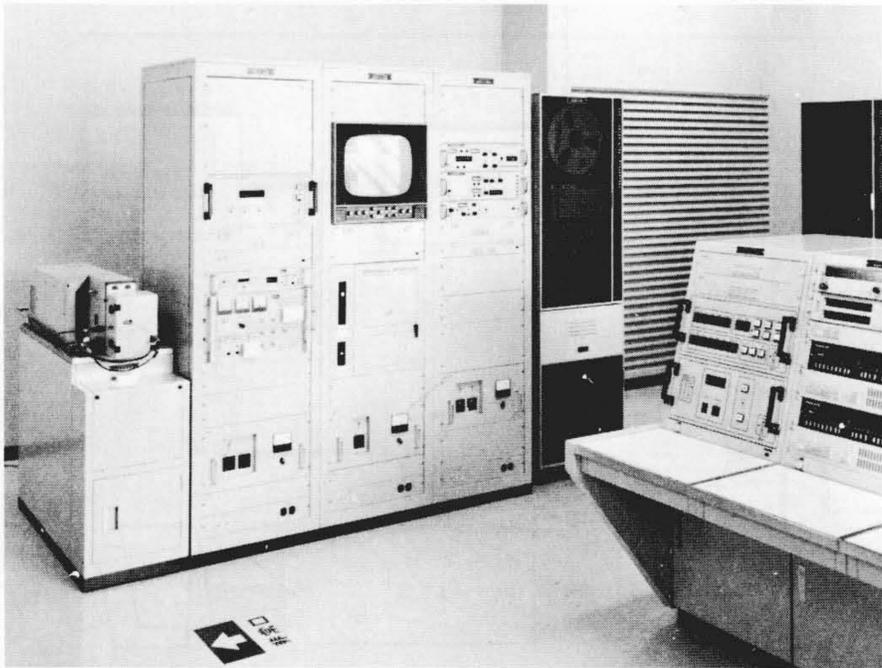


図6 記録システムクイックルック部 記録システムのクイックルック部を示す。左側にフィルム記録装置、中央にテレビジョンモニターがある。

#### 4 地球観測画像情報記録システムの特徴

「ランドサット」地上局は、国外では既に数局が運用されているが、観測画像情報の記録方式は必ずしも同じではない。本システムでは、他局のシステムにはない特長のある記録方式を採用した。ここでは、NASAの記録方式と比較してその特長を述べる。

次に、リアルタイムで観測衛星画像をモニタでき、同時にハードコピーも作成できるクイックルック方式についても述べる。

##### 4.1 記録方式

###### (1) Multi-Spectral Scanner

MSSデータは、「ランドサット」内でA-D変換され、15M bpsのシリアルデジタル信号に編集され、地上に送信されている。

NASA方式では、図7に示すとおり、MSSデータは、ビット同期後デマルチプレクサで24個の検出器ごとのデータに再編集され、それぞれのデータはマルチトラックデータレコーダのそれぞれのトラックに記録される。

この方式では、

- (a) 「デマルチプレクサ」が必要である。衛星データの記録システムという、失敗が許されないシステムでは、受信か

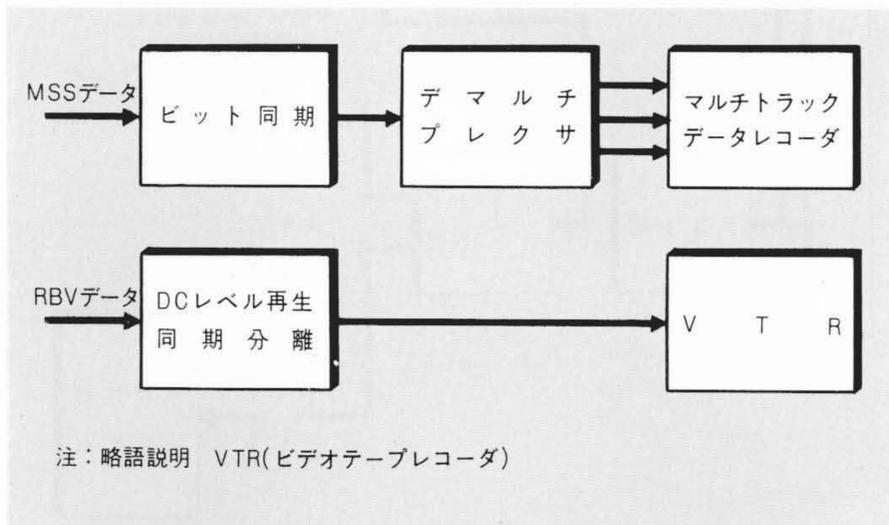


図7 NASAの記録方式 MSSはデマルチプレクサ後、パラレルデータレコーダに、RBVはDCレベル再生後、VTRに記録する。

ら記録までを信頼性の高い機器で構成することは当然であるが、構成機器を少なくして更に信頼性を高めることがより望ましい。

- (b) いったんデマルチプレクサで再編集したデータを記録するため、他の地上局が同じデマルチプレクサを使用していなければ記録データの互換性がない。という欠点がある。

この欠点は、NASAが地上局を設計した当時(1971年)には、高速シリアル信号を記録できるデータレコーダがまだ開発されていなかったため、いったんデマルチプレクサにより検出器ごとのパラレル信号に再編集し、ビットレートを落として、パラレルレコーダに記録する必要があったからである。しかし、以下で述べるとおり、高速シリアル信号を記録できるレコーダが開発されたため、本システムでは、以下に述べる方式を採用した。

すなわち、図8に示すようにビット同期後のシリアルデータをそのままSISO(Serial-In Serial-Out)方式のHDDR(MSS HDDR)で記録する。

このHDDRは、ブロック図(図9)に示すように、入力シリアルデータをいったんパラレルデータに変換し、これらパラレルデータに同期符号を付加し、それぞれ別トラックに記録する装置である。再生時には、各トラックごとにデータを再生し、記録時に付加した同期符号に基づき、各トラック間の時間のずれ(スキュー)を補正し、パラレルシリアル変換し、入力と同じシリアルデータに復旧して出力する。表3にHDDRの仕様を記す。

本システムの方式では、NASA方式に比べてデマルチプレクサが不要であり、より少ない機器で記録できることから信頼性が向上する。また、「ランドサット」から送出されるフォーマットのままで記録するので、他の地上局でも必ずこのフォーマットデータを処理しているため、互換性をもたせることができる。

###### (2) Return-Beam Vidicon

RBVは、「ランドサット」から3.2MHz帯域のアナログ画像信号で送信されているため、記録前にDC成分の再生(DCレベルドリフトの補正)が必要である。

NASAでは図7で示すとおり、DC成分再生後、ただちにVTR(ビデオテープレコーダ)に記録している。しかし、この方式ではアナログ記録であるので、再生時の画像品質の劣化が大きいという欠点がある。

本システムでは、DC成分再生後にA-D変換を行ない、更

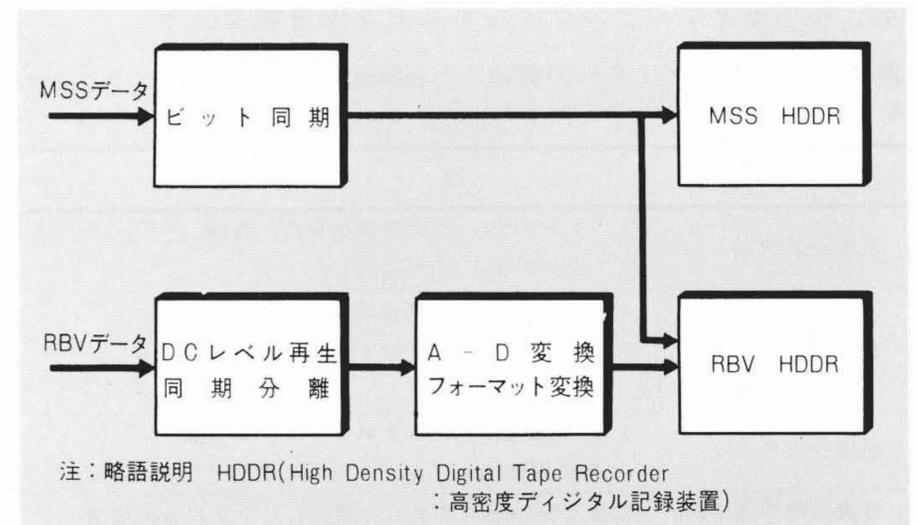
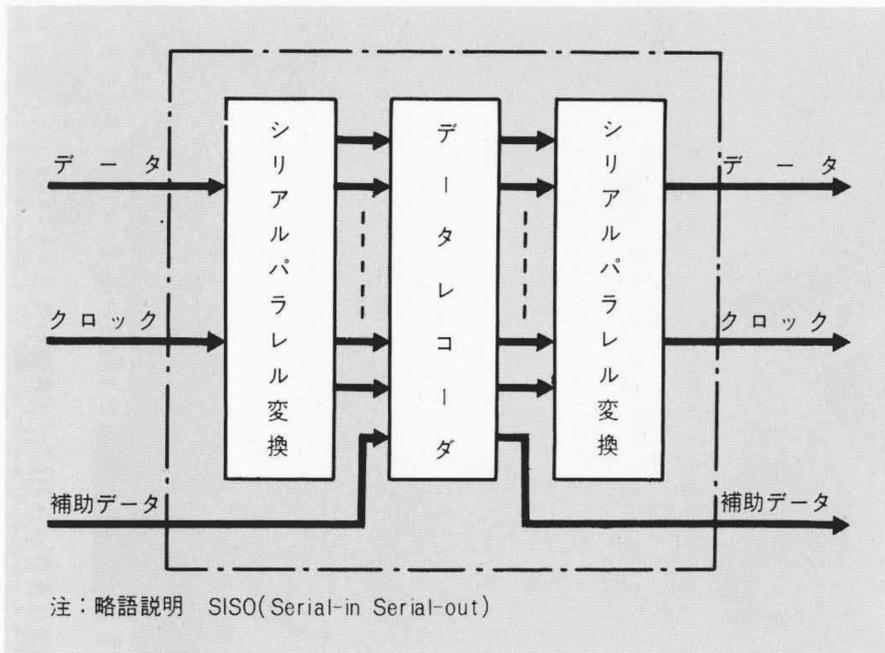


図8 本システムの記録方式 MSSはビット同期後、シリアルデータでMSS HDDRに、RBVはDCレベル再生、A-D変換及びフォーマット変換後、シリアルデータでRBV HDDRに記録する。RBV HDDRでMSSの記録もできる。



注：略語説明 SISO(Serial-in Serial-out)

図9 SISO方式HDDR シリアルデータは、いったんパラレルデータに分けられ、各トラックに記録される。再生されたパラレルデータは、再びシリアルデータに変換され出力される。

表3 HDDRの仕様 MSS HDDR及びRBV HDDRの仕様をまとめて示す。RBV HDDRはテープ速度を落として、MSSデータを記録できる。

項目	MSS HDDR	RBV HDDR
入力データレート	15M bps(90ips)	40M bps(120ips)又は 15M bps (45ips)
出力データレート	15~0.94M bps	40~1.88M bps
ビット誤り率	10 <sup>-6</sup> 以下	10 <sup>-6</sup> 以下
記録時間 (14inリール)	15分間	12分間

注：MSSデータレートは15M bps、RBVデータレートは40M bpsで、RBV HDDRでMSS HDDRのバックアップは可能である。

に、MSSと同一のフォーマットの40M bpsのシリアルデジタル信号に編集し、SISO方式のHDDR(RBV HDDR)に記録する方式を採用した。

この方式では、

- (a) デジタル信号の記録、再生であるので画像品質の劣化がほとんどない。
- (b) MSSと同じフォーマットに編集しているため、処理システムとクイックルックでのハードウェアとソフトウェアの共通化ができる。
- (c) 記録時のテープ速度を落とすことにより、RBV HDDRにMSSを記録することができ、MSS HDDR故障時のバックアップが可能である。

という特長をもたせることができた。

#### 4.2 クイックルック

処理システムは、衛星通過後にHDDRの再生速度を落として観測画像情報を処理するため、リアルタイム画像を入手することはできない。しかし、山火事、流氷、洪水、火山噴火などの緊急を要する現象のモニタのために、リアルタイムで画像を入手する必要がある。

この目的のために、記録システムには、クイックルック装置が含まれている。クイックルックでは、リアルタイムで目視により「ランドサット」画像を確認できるテレビジョンモニタと、ハードコピーとして保存できるフィルム記録の機能がある。前者は主に緊急用のモニタとして使用し、後者は各

画像の雲量のチェックが可能であるので、処理システムで処理すべき画像決定の参考や利用者が精密処理済画像の入手の参考用カタログに使用できる。なお、これらの機能はリアルタイム観測画像情報ばかりでなく、いったんHDDRに記録された観測画像情報についてもHDDR再生により可能である。

以下では、テレビジョンモニタとフィルム記録に分けて述べる。

##### (1) テレビジョンモニタ

テレビジョンモニタは、目で画像をチェックするためのものであるから、テレビジョン放送と同程度の分解能で十分であり、512画素×512ライン×64輝度レベルとした。

また表示方式として、「ランドサット」からは画像が連続して送出されているので、常に最近の512ライン分の画像をテレビジョンモニタに表示し、あたかも衛星の窓から地球を見ているかのように、テレビジョンモニタ画面が連続して動く方式(スクロール方式)とした。

この目的のために必要な機能としては、

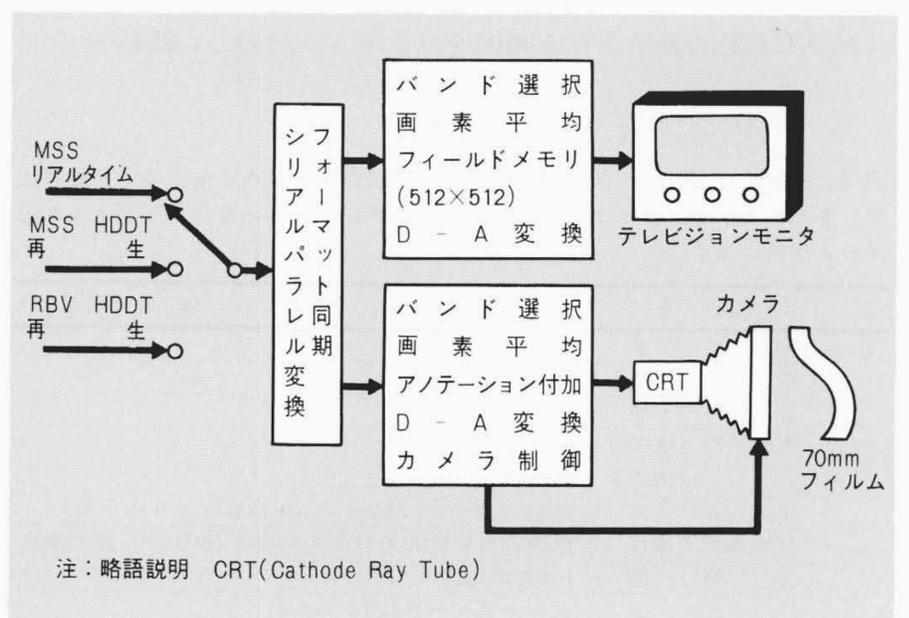
- (a) 入力シリアル観測画像情報のフレーム同期及びシリアルパラレル変換
- (b) モニタすべきセンサと波長帯域(バンド)の設定
- (c) デマルチプレクシング
- (d) 画素を512画素×512ラインまでの平均化
- (e) 1画面分のフィールドメモリ及びスクロール表示

がある。

入力データが高速であるので、(b)の設定にマイクロコンピュータを用いる外はすべてランダムロジックにより処理を行なっている。また、スクロール表示のために、512×512×6ビットのフィールドメモリをダイナミックRAMメモリで構成した。

具体的な信号の流れは、図10に示すように、入力高速シリアル観測画像情報は、フレーム同期のちシリアルパラレル変換され、設定されたセンサ/バンドの観測画像情報だけ選択、平均されフィールドメモリにいったん記憶される。以上の動作とは独立にテレビジョン表示のために、フィールドメモリの内容は順次読み出され、D-A変換のちテレビジョン同期信号を付加され、テレビジョンモニタに出力される。

図11にテレビジョンモニタに表示された関東地方の画像を示す。



注：略語説明 CRT(Cathode Ray Tube)

図10 クイックルック部ブロック図 スイッチ切換により、MSS又はRBVのいずれか一つのバンドのクイックルック画像のモニタ及びフィルム撮像ができる。



図11 CRTモニタ画像(関東地方) モニタ画像はリアルタイムで見ることができるため、公害監視、山火事など緊急を要する項目、あるいは雲量の測定に有効である。

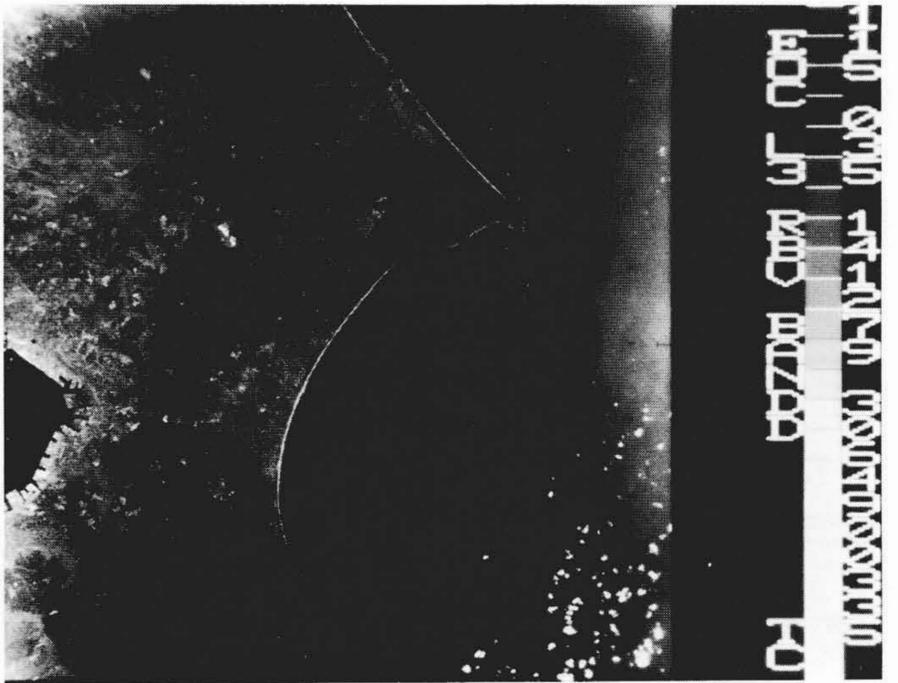


図12 RBVクイックルックフィルム画像(関東北方) 右端がアノテーションである。

(2) フィルム記録

既に述べたフィルム記録の目的から、以下の機能が必要である。

- (a) 高分解能ハードコピーの作成
- (b) 連続的に送出される画像のフレーミング
- (c) 画像のひずみ補正
- (d) 画像の識別のためのアノテーションの付加

MSS データは185km四方の画像が25秒間で送出されるため、これを記録するには高速高分解能のハードコピー装置が必要である。本システムでは、分解能1,000本のCRT (Cathode Ray Tube) のけい光面を70mmカメラで撮影する方式を採用した(図10参照)。この方式では、テレビジョンモニタのようにフィールドメモリはもたずに、カメラのシャッターを開放のまま順次CRTに表示される画像をフィルムに記録し、25秒分の記

表4 クイックルック部の仕様 記録システムクイックルック部の仕様をまとめて示す。クイックルックとして、テレビジョンモニタとフィルム記録の2種類がある。

	項目	仕様
テレビジョン	モニタ	17形白黒CRT
	表示方式	スクロール
	分解能	512×512
	画素平均 (MSS) (RBV)	6画素×6ライン 9画素×12ライン
フィルム記録	フィルムサイズ	MSSで55mm×55mm(70mm白黒フィルム使用)
	ひずみ補正項目	地球の自転によるひずみの補正(MSS) 縦・横比
	分解能	1,000本以上
	アノテーション	グレースケール(22レベル) バンド番号, 衛星番号, 年月日, 時・分・秒など
	画素平均 (MSS) (RBV)	3画素×2ライン 5画素×4ライン

録が終わるとフィルムを巻き上げ、次の画像の記録を開始する。

フレーミングは、処理システムも採用しているWRS (Worldwide Reference System: 世界参照座標システム) に対応させた。具体的には、事前に「ランドサット」の軌道に関する情報から計算したその日に受信する最初の画像の受信開始時刻を設定しておき、その時刻から25秒ごとの撮影を繰り返す。

画像のひずみの詳細については、本誌特集論文「全デジタル方式による高精度地球画像情報処理技術」に述べているので、これを参照されたい。クイックルックではこれらひずみの中で、いちばん大きなひずみである縦・横比ひずみ(センサ視野が正方形でないために起こる)と地球自転に基づくひずみ(MSS特有のひずみで、センサが185km四方の画像を送出するまでに地球が自転することにより起こる。したがって、RBVでは補正は不要である。)を補正している。

フィルムには、画像の識別情報をフィルムの端に記録している。これがアノテーション(注釈)であり、WRSに対応した、ロー番号、パス番号、撮影した年月日・時・分・秒、センサ名、衛星番号などが含まれている。

図12にRBVのフィルムの例を、また、表4にクイックルックの仕様をまとめて示す。

5 結 言

画像情報の再生時の劣化を最小とするために全デジタル記録方式を採用し、リアルタイムクイックルックを可能とした地球観測画像情報記録システムについて述べ、更に、2種類のセンサデータを同じフォーマットに再編集し記録することにより、画像情報処理システムのハードウェアとソフトウェアの最適結合を図り、全システムとして最適化を行なったことを述べた。

終わりに、御指導、御鞭撻をいただいた関係各位に対し厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) U.S. Geological Survey: Landsat Data Users' Handbook Revised Edition, 1979, U.S. Department of Interior
- 2) キヤノンイメージ編集室: リモートセンシング, 昭和49年, キヤノン株式会社