

地球観測画像情報処理システム

LANDSAT Image Data Processing System

近年、地球資源の有効利用や環境保全に対する認識が高まり、人工衛星によるリモートセンシングが産業を変える技術として世界各国で注目されている中で、日立制御用計算機HIDIC 80による我が国で初めての「ランドサット」衛星画像情報処理システムを開発した。

ここでは、日本のシステムへの要請、システムの構成と内容、そしてこのシステムの中核として今回開発した高速画像処理方式について述べる。

本システムでは、アレイプロセッサ、画像ディスプレイなどを結合して、観測画像情報のひずみ補正の全デジタル方式による高速・高精度処理を可能としており、専用ミニコンピュータを核として、コストパフォーマンスの極めて高い複合計算機システムを実現している。

1 緒言

近年、地球資源の有効利用や環境保全が世界的な問題として表面化しているが、その解決手段としてNASA (National Aeronautics and Space Administration : アメリカ航空宇宙局)の打上げによる地球観測衛星「ランドサット」を利用したリモートセンシング(遠隔探査)が世界各国で注目されている。地球を宇宙からながめて地表の物体を認識し、種々の計測を行ない、また、変化を調べることは、人類にとっては有史以来初めての情報を得るということであり、このリモートセンシングという技術のもたらす波及効果には図り知れないものがある。

このような背景の中で、宇宙開発事業団は、「ランドサット」による地球観測画像情報を我が国で受信、処理するための地上設備を国産技術で建設することを決定し、日立製作所は記録システムと処理システムを製作し、昭和54年春完成した。

ここでは、地上設備全体の中でも、その性能及び成果物の品質を決定する上で中核となる地球観測画像情報処理システムに関し、我が国でのシステムへの要請、システムの構成と内容、そして今回新たに開発した複合計算機システムによる高速画像処理方式について述べる。なお、成果物の品質を左右する最も重要な因子である観測画像情報のひずみ補正方式については、本号同時掲載の「全デジタル方式による高精度地球観測画像情報処理技術」で紹介しているのでこれを参照されたい。

以下に論述する内容は、すべて「ランドサット」のMSS (Multi-Spectral Scanner : 多重スペクトル放射計) によって撮影された観測画像情報だけを対象としている。

2 我が国における地球観測画像情報処理システムへの要請

我が国の「ランドサット」地上局は、埼玉県比企郡鳩山村の地球観測センターである。地球観測センターでは、図1に示す領域のランドサットからの画像データを受信することができ、それを処理するための画像情報処理システムへの要請としては、計画段階での幾つかの調査の結果、主に次のような事項が取り上げられた。

(1) 「ランドサット」が全地球表面を撮影して再び元の位置にもどってくるまでの期間(18日間)に、我が国の周辺を含む図

高橋正展*	Masanobu Takahashi
荒木一則*	Kazunori Araki
山本康成*	Yasunari Yamamoto
太田秀夫**	Hideo Ôta
久保 裕**	Yutaka Kubo
井手寿之**	Jushi Ide
井原廣一***	Hirokazu Ihara

1の中で、定常的に処理する領域のすべての観測画像情報を処理できるスループットをもっていること。

(2) 我が国は土地が狭く、土地の細分化が進んでいるため、十分高い幾何学的ひずみ補正精度をもっていること。

(3) 我が国は四方が海で囲まれているため、海上領域の観測画像情報も重要であるとの認識から、その高精度補正も可能であること。

(4) 本システムの運用開始前に、NASAなどからCCT (画像情報入り計算機用磁気テープ) を購入して利用している利用者に対して混乱を与えないように、NASAと整合性のあるフォーマットのCCTを作成できること。

以上の要請に基づき、画像情報処理システムへの要求条件は表1に示すように定められている。

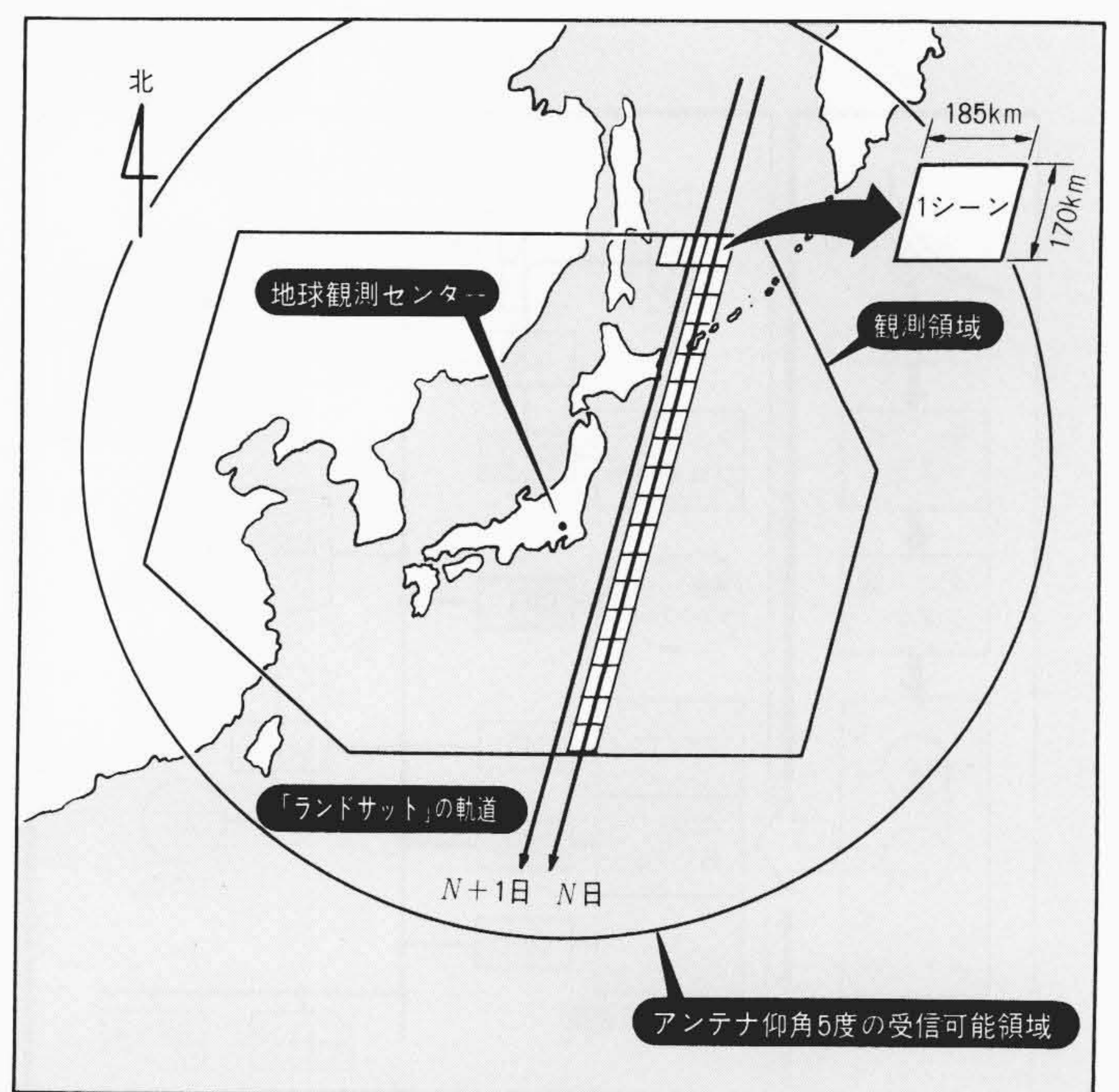


図1 我が国の観測領域 我が国のランドサット地上局である地球観測センターを中心とする、我が国の観測領域を図示したものである。

* 宇宙開発事業団 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所システム開発研究所

表1 画像情報処理システムの要求条件 我が国での「ランドサット」の画像情報処理システムに対して、高いスループット、精度に加えて多様な機能が要求されている。

項 目	内 容	
スループット	バルク処理	200シン/18日間(103時間)以上
	精密処理	185シン/18日間(103時間)以上
幾何学的ひずみ補正精度	バルク処理	1,000m rms
	精密処理	80m rms
	精密レジストレーション	40m rms
	海上領域処理	1,000m rms
放射計ひずみ補正精度	±1量子レベル	
地図投影法	UTM, HOM	
リサンプリング	NN, BL, CC	
GCP関連法	既登録GCPを用いた自動相関	
	画像ディスプレイを用いた手動相関	
CCTフォーマット	NASA標準(BSQ, BIL, BIP ₂)	
フィルムフォーマット	フィルムサイズ	70mm
	縮 尺	1/3,369,000
	色	白黒/カラー

注1：用語説明
(1)18日間(103時間)「ランドサット」は、18日目ごとに同じ軌道を通る(18日間で地球の全表面を撮影する)。103時間とは18日間の通常運用時間の合計であり、この時間によりスループットを規定している。
(2)バルク処理(衛星の軌道・姿勢計算による幾何学的ひずみ補正及び放射計ひずみ補正を行なう。)
(3)精密処理[バルク処理に加えてGCP(地上基準点)を用いて幾何学的ひずみ補正の精度を上げる。]
(4)精密レジストレーション(撮影時間を異にする二つの同一シーンの観測画像情報を、正確に重ね合わせるための補正を行なう。)
(5)海上領域処理[GCPのない海上領域に対して、GCPをもつ(地上領域を含む)シーンから内外挿することにより、高精度の幾何学的ひずみ補正を行なう。]
(6)リサンプリング(画素データ補正時の内挿処理)
注2：略語説明
(1)UTM(Universal Transverse Mercator)
(2)HOM(Hotine Oblique Mercator)
(3)NN(Nearest Neighbor)
(4)BL(Bilinear)
(5)CC(Cubic Convolution)

3 システムの構成と内容

3.1 ハードウェアシステム構成

表1に示した要求条件に基づき、画像情報処理システムのハードウェアシステムは、観測画像情報のひずみ補正処理を担当する画像処理システムと、画像処理システムが作成した補正画像情報を一般利用者へ提供するための成果物(CCT, フィルム)の作成を担当する出力作成システムの二つから構成されている。図2に画像情報処理システムのハードウェア構成を示す。

(1) 画像処理システム

日立制御用計算機HIDIC 80(64k語、倍精度フローティングプロセッサ付)を中核に、まず記憶装置は、画像情報の高速転送時のバッファとしてグローバルメモリ160k語、大量の画像情報を格納するための大容量ディスク300Mバイト、そしてプログラム格納用の固定ヘッドディスク2M語で構成している。また、衛星画像処理特有のハードウェアとして、観測画像情報を記録、再生するためのHDDR(高密度デジタル記録装置)及びその周辺装置、並びに画像情報を表示するための画像ディスプレイ、各画素に対するひずみ補正処理を高速に行なうためのアレイプロセッサを、五つのCIFC(インタフェース変換制御装置)を介して結合している。

補正画像情報をCCTとして出力し、出力作成システムへ渡すための磁気テープ装置は、処理の高速化のため125ipsとい

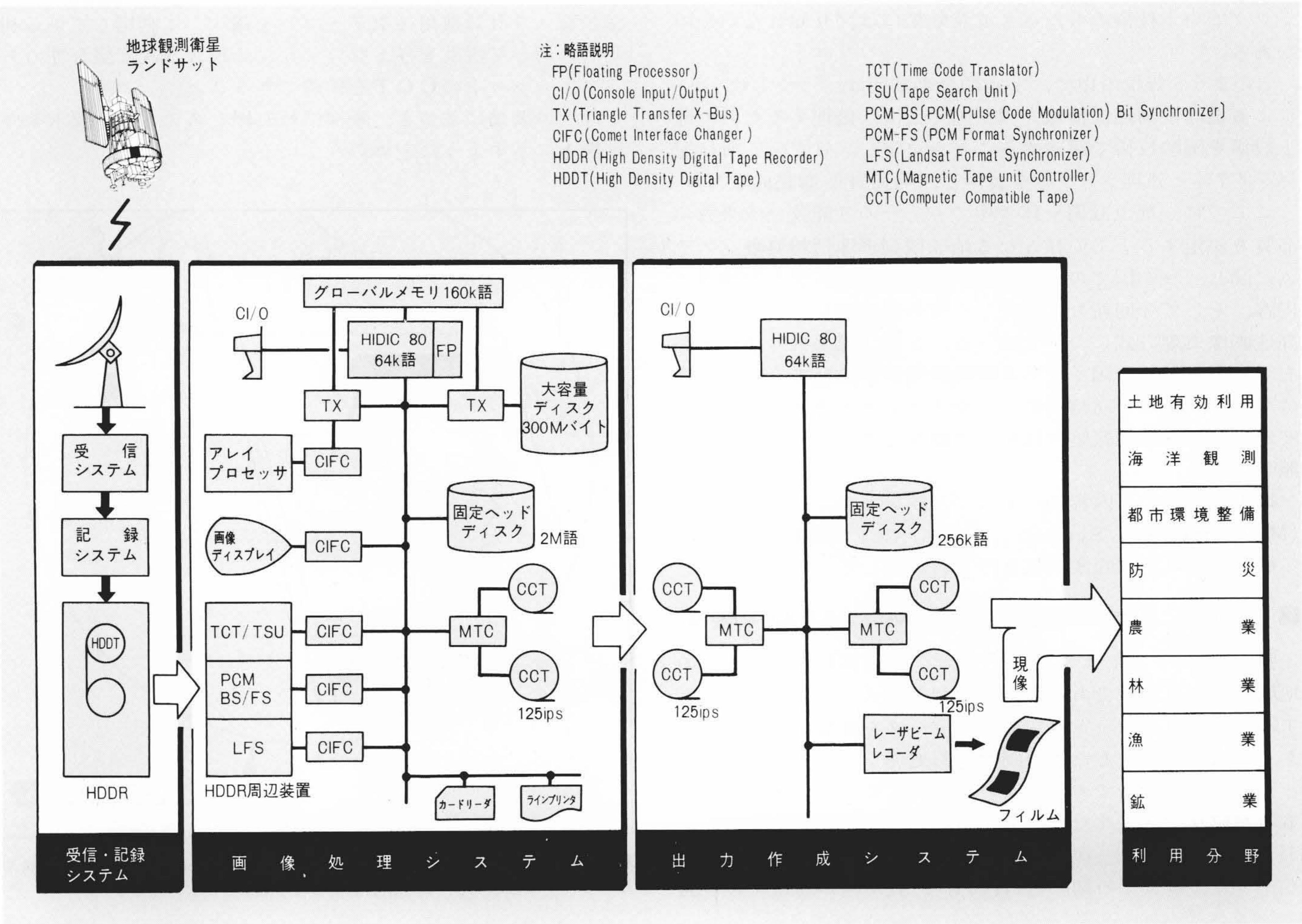


図2 画像情報処理システムのハードウェア構成 観測画像情報のひずみ補正を行ない、補正画像情報をCCTとして出力する画像処理システムと、オリジナルCCTから一般利用者向けにそのコピーと白黒フィルム、カラーフィルムを作成する出力作成システムの二つから構成される。

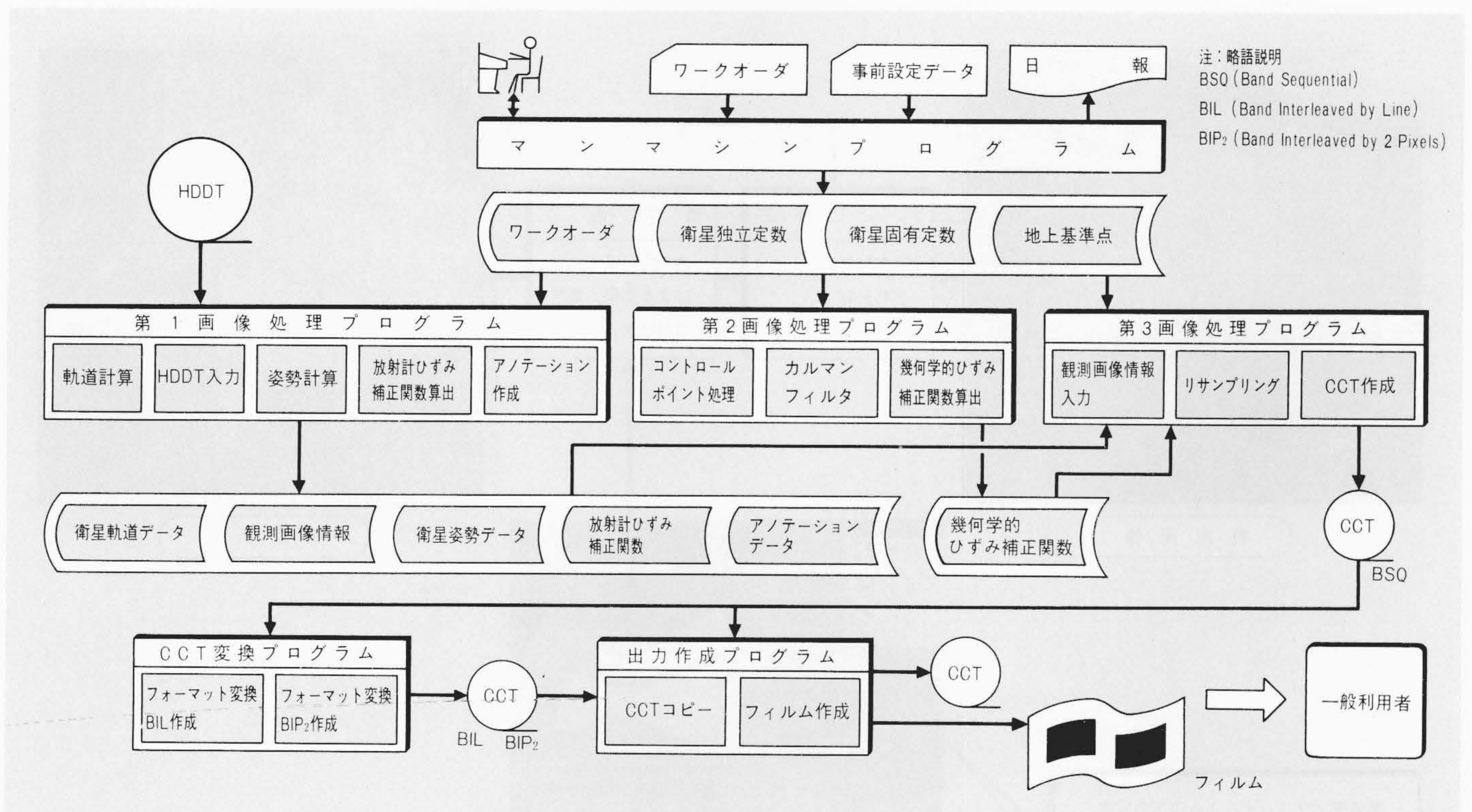


図3 画像情報処理システムのソフトウェア構成 受信画像データをHDDTから読み込み、各種ひずみ補正を行ない、CCT及びフィルムを作成するまでのプログラムの処理内容とデータの流れを示す。

うミニコンピュータ用としては高速のものを採用した。

(2) 出力作成システム

別のHIDIC 80 (64 k 語) を中核として、これに白黒フィルム及びカラーフィルム作成用にレーザビームレコーダ (20 ライン/秒) を、また CCT コピー作成のために、画像処理システムと同様な高速磁気テープ装置を結合している。

3.2 ソフトウェアシステム構成と処理内容

図2のハードウェア構成に基づき、観測画像情報に対してひずみ補正処理を行ない成果物を作成するための画像情報処理システムのソフトウェア構成を図3に示す。

各プログラムの処理内容は次に述べるとおりである。

3.2.1 マンマシンプログラム

- (1) オペレータと画像処理プログラムの中間に位置し、タイプライタを介した計算機との会話を処理する。
- (2) 画像処理の内容を計算機に対して指示するためのワークオーダー (画像処理内容指示情報) の入力を行なう。
- (3) 衛星固有定数、衛星独立定数、GCP (地上基準点) 情報などの事前設定データの入力を行なう。
- (4) 毎日の処理内容を記録するための日報ファイルを出力する。

3.2.2 第1画像処理プログラム

- (1) NASA から定期的にテレックスで送られてくるエフェメリスデータ (軌道に関する情報) を用いて軌道計算を行なう。
- (2) HDDT (High Density Digital Tape) から観測画像情報及び補助データを読み込む。この中で観測画像情報フォーマットから大容量ディスクへの格納フォーマットへ変換するために、全画素の並べ替えも行なっている。
- (3) 衛星の姿勢角を計算する。
- (4) WRS (Worldwide Reference System: 世界参照座標システム) に従った観測画像情報のフレーミングを行なう。

- (5) 衛星から送られてくる較正データを用いて、放射計ひずみ補正関数を作成する。

- (6) 各種アノテーション (注釈) データを作成する。

3.2.3 第2画像処理プログラム

- (1) GCP の登録、抽出、相関処理を行ない、カルマンフィルタを用いて衛星の姿勢角などの高精度推定を行なう。
- (2) 各種幾何学的ひずみ量を計算し、各種地図座標へ変換するための幾何学的ひずみ補正関数を算出する。

3.2.4 第3画像処理プログラム

- (1) 第1、第2画像処理プログラムで計算した放射計ひずみ補正関数及び幾何学的ひずみ補正関数に基づき、観測画像情報のひずみ補正 (リサンプリング) を実施する。
- (2) 補正画像情報を CCT として出力する。

3.2.5 CCT変換プログラム

- (1) 多様な利用者のニーズに対応するため、第3画像処理プログラムで作成した CCT を、各種フォーマットに変換する。

3.2.6 出力作成プログラム

- (1) CCT から白黒フィルム及びカラーのフィルム (潜像) を作成する。
- (2) 各種 CCT のコピーを作成する。

以上の各プログラムの処理により、未補正の観測画像情報を補正画像情報とするまでのひずみ補正処理の概要を図4に示す。

3.3 成果物の内容

画像情報処理システムの成果物として一般利用者に提供されるのは、補正画像情報を記録した CCT と、それをフィルムとして出力し現象、プリントした写真である。

CCT は、利用者の様々な用途や画像情報解析システムの規模に適応するために、図5に示すような3種類のフォーマッ

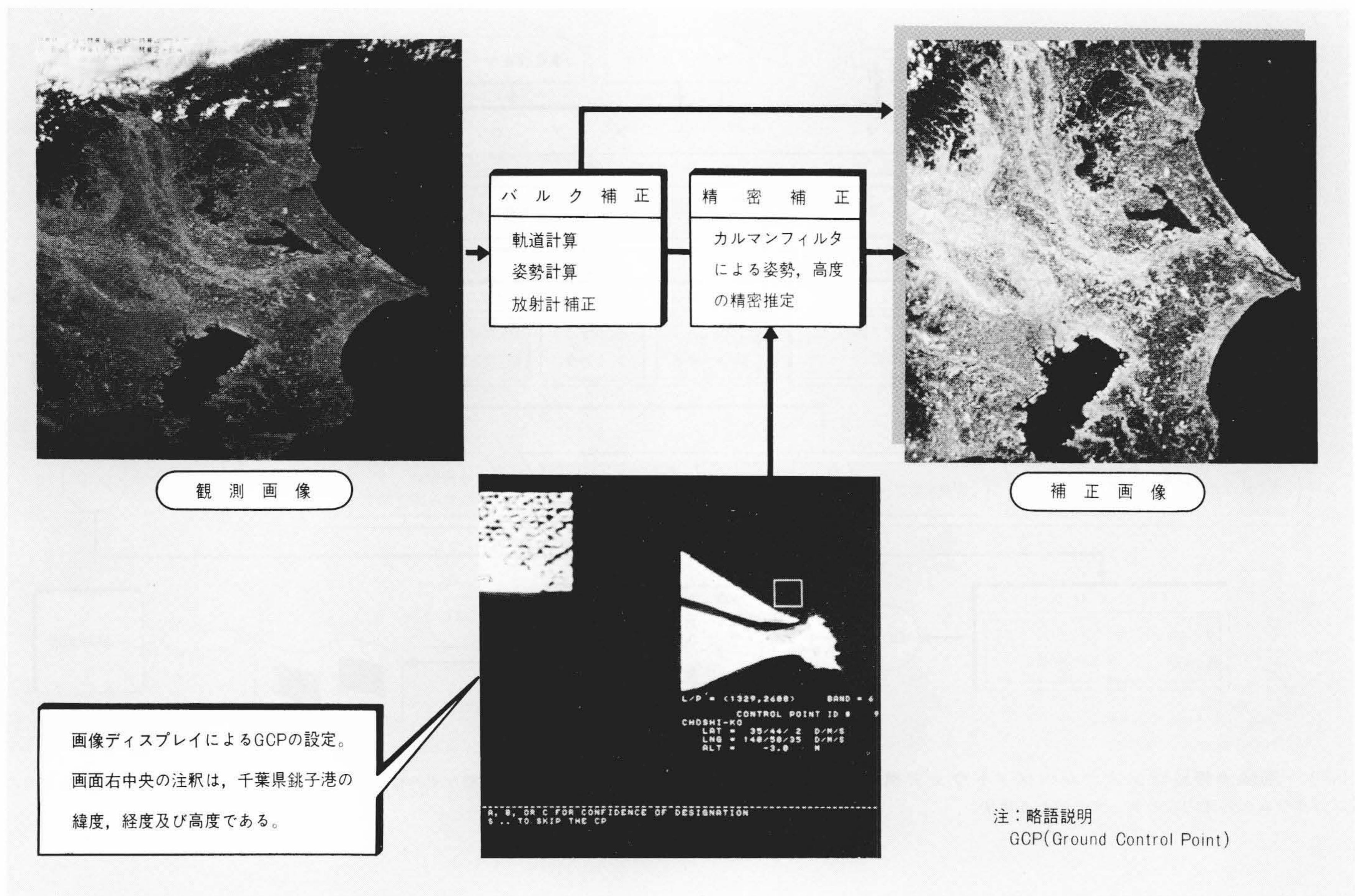


図 4 観測画像情報のひずみ補正処理の概要 観測画像情報から補正画像情報とするまでのひずみ補正処理の概要を示す(写真は画像ディスプレイ表示画像である)。

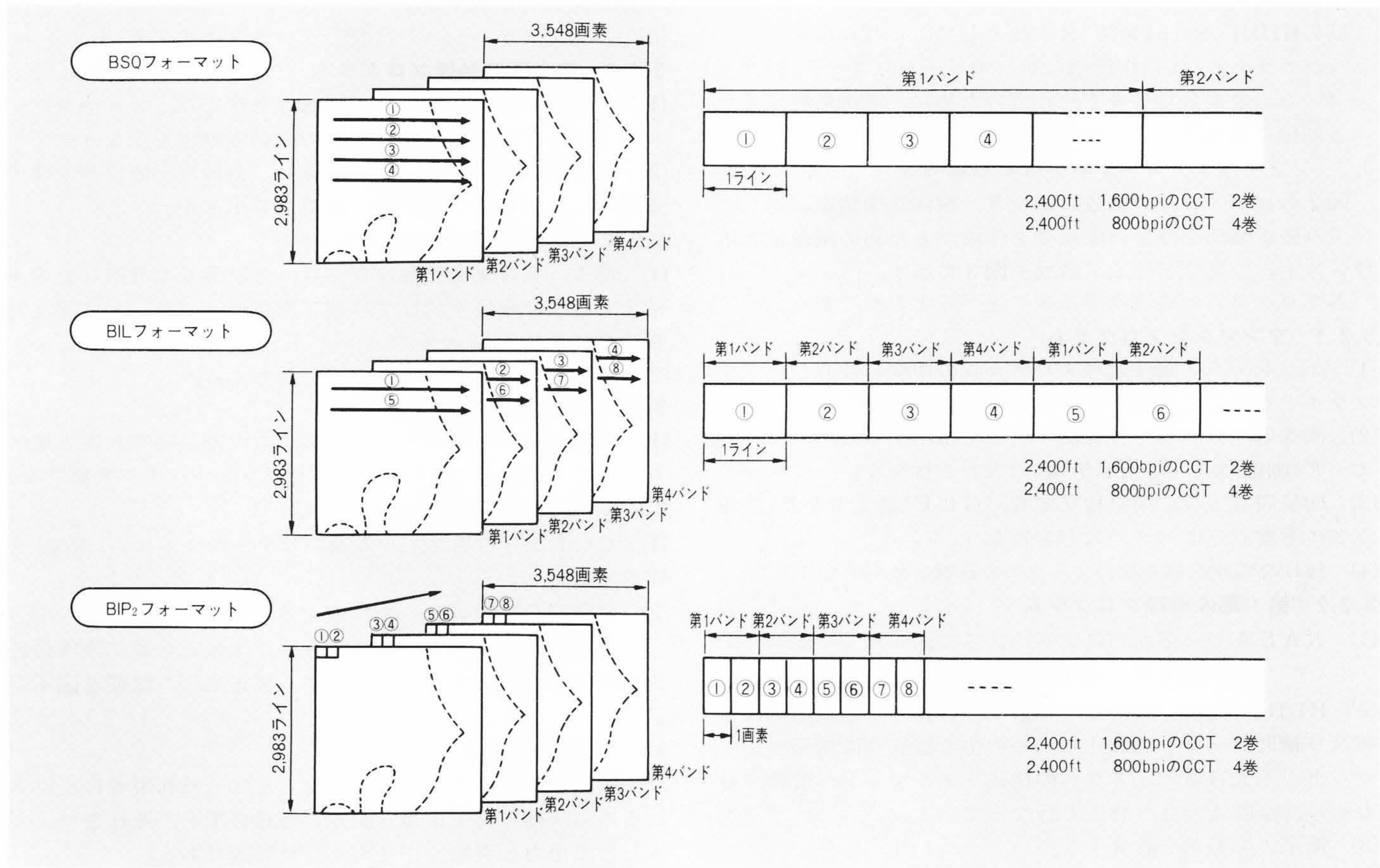


図 5 CCTの各種フォーマット CCTフォーマットとしては、利用者の様々な用途や画像情報解析システムの規模に適応するために、BSQ、BIL及びBIP₂の3種類の提供が可能である。

トで提供される。B S Q (Band Sequential) フォーマットは、白黒画像を波長帯域(バンド)ごとに順次作成する場合に有利であり、B I L (Band Interleaved by Line) フォーマットは、カラー画像の作成や複数バンド間の比較を行なう場合に有利である。また、BIP₂ (Band Interleaved by 2 Pixels) フォーマットは、各バンドの画素値を比較する場合に有利であり、小規模のシステムでの解析評価に適している。

図6は一般利用者に提供される写真の例である。写真の下部に書き込まれたアノテーションやグレースケールを用いて、どのような条件で作成されたものかを知ることができる。

4 高速画像処理方式

表1の要求条件でのスループットを1シーン当たりの処理時間に変換すると、粗処理(バルク処理)、精密処理の各々に対し、1,854秒(約31分)、2,004秒(約34分)になる。これは、観測画像情報の全画素値に対して補正を行ない、補正画像情報(1シーン当たり約50Mバイト)とすることを考えると、1画素当たりの処理時間は約40 μ sとなる。すなわち、40 μ sで前述した3.2.2、3.2.3及び3.2.4のすべてのプログラム処理を完了するということであり、汎用ミニコンピュータ単独システムの能力をはるかに超えるものとなる。

ここでは、このハードウェアシステム上の壁を打破した高速画像処理方式について述べる。

4.1 画像ミックスによる比較

一般に計算機システムの処理能力を評価する尺度の一つとして、ミックス(平均命令実行時間)があり、科学技術計算で

のGibsonミックスはよく知られている。今回のシステム構成の方式検討の過程で、各種のシステム構成案を画像処理に適用した場合の処理能力の評価尺度として、画像ミックスという概念を導入した。

画像ミックスは、次式により定義する。

$$M_I = \frac{M_G \cdot S_G + M_P \cdot S_P \cdot N}{S_I}$$

ここに M_I : 画像ミックス(画像処理での平均命令平均実行時間)

M_G : 画像処理の中の科学技術計算部に対応するGibsonミックス

M_P : 画像処理の中の繰返し画素処理部に対応する画素ミックス

N : 画像処理の対象としている画素数

S_I : 画像処理命令ステップ数($S_G + S_P \cdot N$)

S_G : 画像処理の中の科学技術計算部命令ステップ数

S_P : 画像処理の中の繰返し画素処理部命令ステップ数

この画像ミックスが、画素数の増加に対してどのように変化するかを、次の三通りのシステム構成について比較してみる。

- (1) 汎用ミニコンピュータ単独システム構成
- (2) 汎用大形計算機単独システム構成
- (3) 科学技術計算部を専用ミニコンピュータ、繰返し画素処理部をアレイプロセッサで分担させた複合計算機システム構成

図7はその比較結果を示すものである。画素数の増加に伴



図6 補正画像写真の例(「ランドサット」3号から昭和54年11月9日受信した津軽海峡) 出力作成システムでは、補正画像をこのフォーマットでフィルムに出力する。利用者は、写真下部のアノテーション及びグレースケールを参考にして、それぞれの目的に使用することになる。アノテーションは次の項目より構成される。

- (1) 撮影年月日
- (2) 画像中心の経緯度
- (3) WRS(パス番号、ロウ番号)
- (4) 画像中心の経緯度(公称値)
- (5) センサ種別
- (6) バンド番号
- (7) 衛星の進行方向
- (8) 太陽角度
- (9) 処理の条件
- (10) 機関名/衛星コード
- (11) シーン識別番号

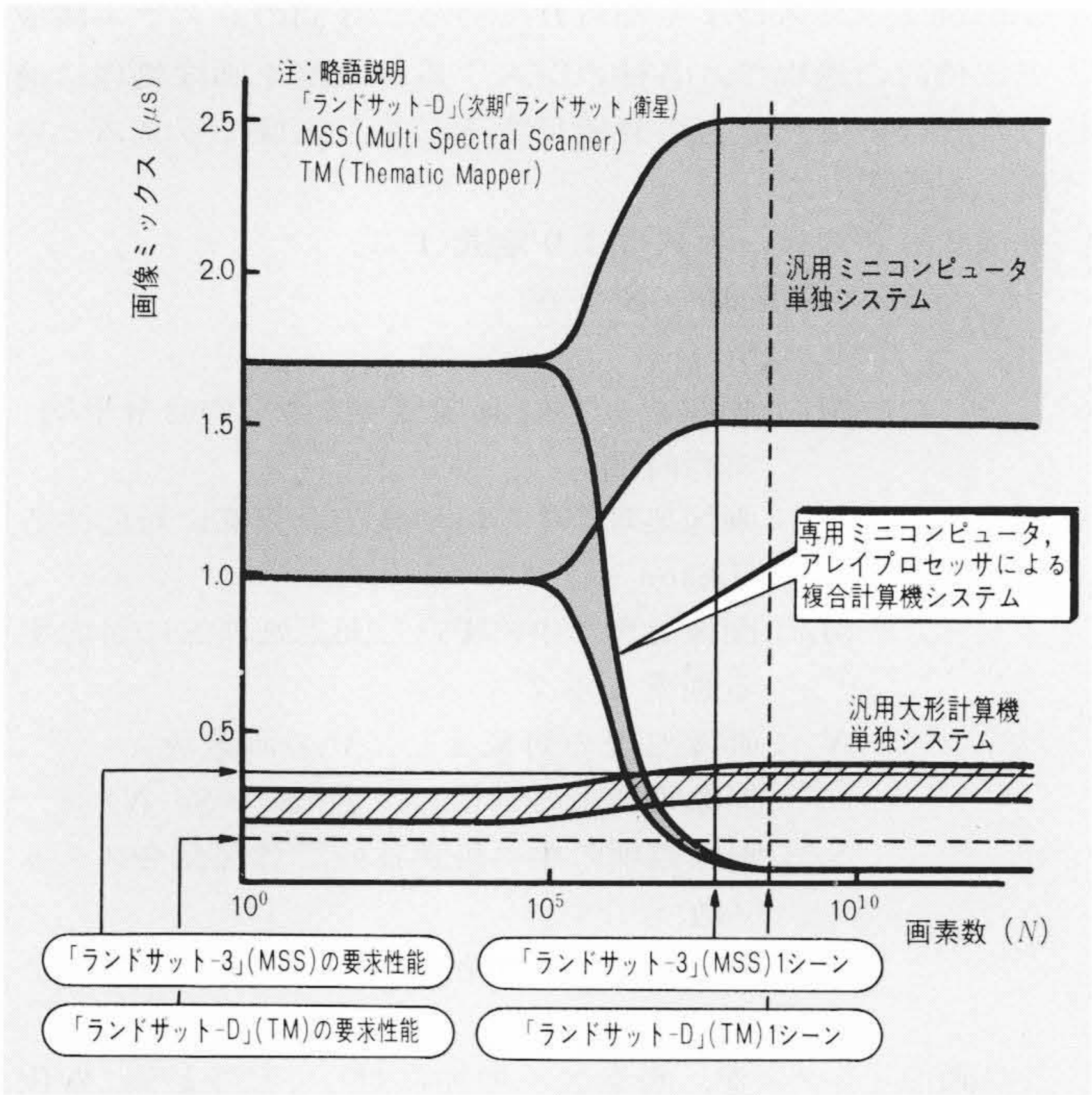


図7 画像ミックスによる比較 横軸に画像処理の対象とする画素数を、縦軸に画像処理能力評価指数としての画像ミックスをとり、3種類のシステムの性能比較を行なっている。専用ミニコンピュータとアレイプロセッサによる複合計算機システムの画像処理分野での威力がよく分かる。

い、繰返し画素処理をアレイプロセッサに分担させた複合計算機システム化による効果が大きくなることが分かる。

特に、画素数が 10^7 を超える領域で、ミニコンピュータを核とする複合計算機システムが、汎用大型計算機よりも高い性能を持つことができるという事実は、コストパフォーマンスの高さで、この種の画像処理システムの構成方式の主流になるものと考えられる。

4.2 高速画像処理方式

以上の検討結果に基づき、今回の画像処理システムでは、処理の高速化のため軌道計算、姿勢計算などの科学技術計算を日立制御用計算機HIDIC 80で行ない、繰返し画素処理部は専用のアレイプロセッサで分担する複合計算機システム構成を基本とした。

図8に、今回導入した複合計算機システムによる高速画像処理方式を示す。図2と対応させながら参照されたい。

本方式の特徴を、次に列挙する。

- (1) 画像処理全体を、画像メモリを中心に画像入力部、画像格納部、画像処理部、画像出力部及び画像表示部の五つに分け、各々専用のハードウェアを対応させたこと。
- (2) 画像入力部では、画像データの受信時のフォーマットと処理時のフォーマットの違いから必要となる画素の並べ替え処理と画情情報のヒストグラム作成を、CPU (中央処理装置)への入力前にマイクロコンピュータなどで行なうことにより高速化したこと。
- (3) 画像情報が往復する画像処理部、画像格納部では500kバイト/s以上の高速データ転送を実現させたこと。また、高速データ転送による負荷のCPU処理への影響を避けるため、CPUを介さずに画像メモリへ直接データ転送を行なう方式 (TX-BUS)を採り入れたこと。
- (4) アレイプロセッサの結合に際しては、その効果を最大限に引き出すため、データ転送に伴うプログラムオーバーヘッドを最少化するように、マイクロコンピュータによるデータチ

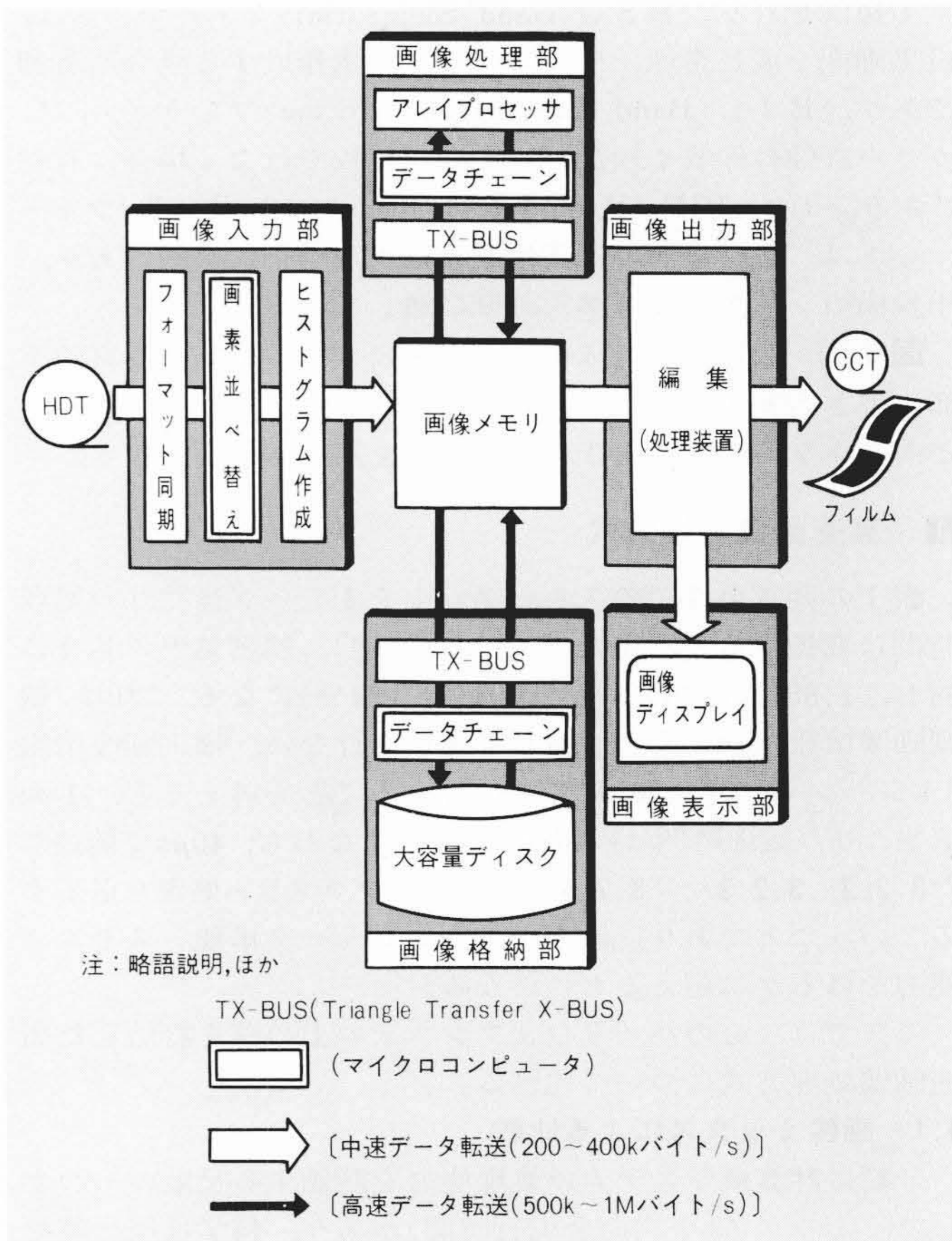


図8 複合計算機システムによる高速画像処理方式 バッファメモリとしての画像メモリを中核に、画像入力部、画像格納部、画像処理部、画像出力部、画像表示部、と画像処理機能を5分割し、更にデータの高速転送手段を有機的に組み入れることにより、高速画像処理を実現している。

チェーン機能を介する方式としたこと。

(5) 大容量ディスクに対しても、大量データの連続転送を可能とするため、マイクロコンピュータによるデータチェーン機能を介して結合したこと。

以上述べた高性能化方式により、1シーン当たりの処理時間 (HDDT入力からCCT出力まで)の実測値として、バルク処理約21分、精密処理約24分という結果を得た。これは単一ストリーム処理の結果であり、本方式を拡張してパイプライン処理を行なえば更に高速化が可能である。

5 結 言

国産の日立制御用計算機HIDIC 80により、ミニコンピュータベースのコストパフォーマンスの高いコンパクトな画像処理システムを完成した。

本システムの完成により、「ランドサット」による地球観測画像情報の入手が従来とは比較にならぬほど容易になり、リモートセンシング技術の進歩も急激に加速されるものと確信する。

今後は、本システムで開発した技術を基盤に、新しい衛星への対応及び地球観測画像情報の利用技術の両面で、新しい技術の開発に全力で取り組む考えである。

終わりに、本システムの完成に絶大な御協力をいただいた関係各位に対し感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) U.S. Geological Survey : Landsat Data Users' Handbook, Revised Edition, 1979, U.S. Department of Interior