

手づくりの衛星写真受画装置

山口 意颯男*

1. まえがき

人類初の人工衛星スプートニク (No. 1, 1957. 10. 4) が地球を回る軌道に乗った時、あの 20.006 MHz の信号を聞いた感激、頭上通過の際に起こる急激なビート周波数の変化から、ドップラ効果、電波の速さ、人工衛星の速度等が改めて実感されたことが昨日のように思われる。地球を2時間弱で一周し、正確に、全く正確に計算された時刻に再びわれわれの頭上に達し、これが名の示す通り天体の運行法則に支配された一つの“星”であることがわれわれに示された。その後、米ソの熾烈な宇宙競争が始まり、現在では日夜数千個以上の物体が頭上を通過(静止)するようになっている。

超高空からの観測が気象学への貢献が大であることは言うまでもなく、1959. 2. 17に早くもバンガード2号が最初の気象衛星として打ち上げられた。その後 TIROS-I (1964. 4. 1)~X, NIMBUS, ESSA, NOAA, ITOS 等々の名称で数多くの極軌道衛星が実用に供されている。ここで筆筆すべきことは、TIROS VIII 以降の気象衛星にはいわゆる APT¹⁾ (Automatic Picture Transmission) 自動送画装置があり、衛星直下の写真を撮影するとほぼ同時刻に地上に向けて放送する機能をもっている。これに使用される電波型式は、特殊な部品をなるべく用いずに、市販品を利用して容易に受信装置を作ることができるように構成されている。この型式は一部修正して現在も使用され、静止衛星よりの信号にも受け継がれている。もちろん、部品購入、製作に要する費用も個人レベルの支出に充分耐えられる額であることは言うまでもない。

私は無線通信としての気象衛星に興味を持ち、気象研究所台風研究室の渡辺室長(現気象衛星センター)の御指導により1966年秋に ESSA II の受信を開始してから、今日の「ひまわり」の HR-FAX 受信まで種々の装

置を作った。これらは、いわゆるジャンク部品を一部に用いているため、そのままを組立記事としても一般性はない。したがって、本稿では私が「手づくり」した静止衛星「ひまわり」受信装置を中心にその概略を記し、実際に読者諸氏が受信装置の設置計画をたてられる時の個々のケースでの問題点の抽出に少しでもお役に立てば筆者望外の喜びである。

2. 「ひまわり」よりの画像信号

140°E の赤道上空 36,000 km の静止軌道上にある「ひまわり」は、毎分 100 回の自転を利用して地球表面を走査し、この信号を、地上局 CDAS (埼玉県鳩山村) が受信し、データ処理センタ DPC (清瀬) で電算機処理をして、ファクシミリ信号の型とし、「ひまわり」を経由して再び地上に向けて送信している。これを利用して再び地上に向けて送信している。これを利用して再び地上に向けて送信している。これを利用して再び地上に向けて送信している。これを第 1 図に示し、以下各部分について述べる。

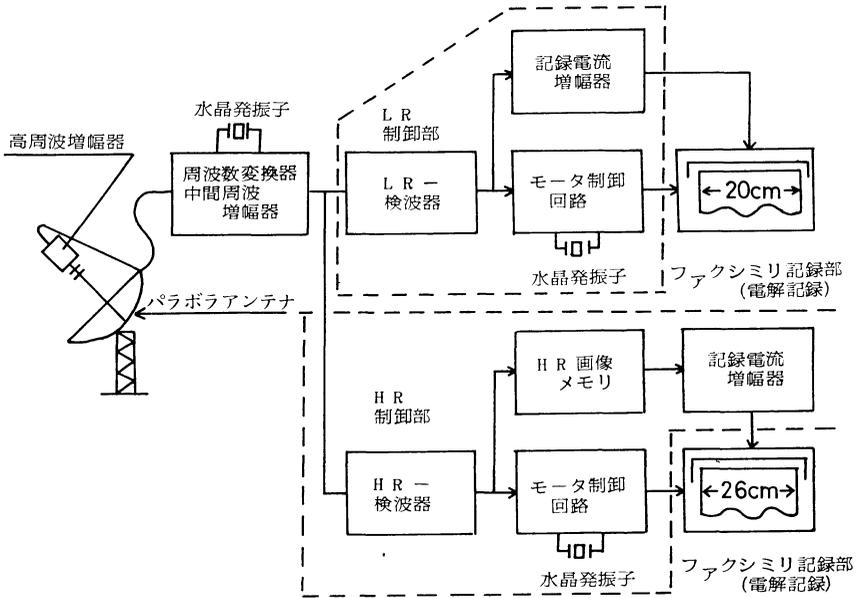
2.1 ファクシミリ²⁾³⁾

読者諸氏には天気図の電送等ですでにおなじみであろうし、近年オフィス機器として脚光をあびつつある。原理的には同一であるが、「ひまわり」に用いられている方式と事務用のものとの大きな相違は、後者は文字や線のごとく白または黒の 2 値信号を送受すればよいが、気象写真の場合は写真でいう中間調、すなわち、10~数十段階の濃度差を表現しなければならず、これが全装置の性能を決定する。これの記録部の入手または製作が手づくり受信装置の一つの難関である。私の場合はいわゆるジャンク品を購入できたが、誰でもどこでも中古品が入手可能とは限らず、しかるべきメーカーより新品を購入するなり、ある程度の機械工作を行なって製作される必要がある。第 1 表に、中間調を表現可能なファクシミリ記録方式の一覧表を示した。

2.2 パラボラアンテナ⁴⁾

銀色に輝くパラボラアンテナは宇宙通信のシンボルである。「ひまわり」の受信には、LR-FAX 用には直径

* I. Yamaguchi, キヤノン技術研究所。



信号周波数	LR / 69 / MHz
	HR / 687. / MHz
第一中間周波数	283 MHz
第二中間周波数	45 MHz
局部発振周波数	LR 54.866 MHz
	HR 54.736 MHz

第1図 受信装置の構式。

2.5 m, HR-FAX 用としては直径 4 m のものが推奨されている。幸いに「ひまわり」の周波数が 1.7 GHz (波長約 18 cm) と割合低いため、面の寸法精度は 1~2 cm 位のずれはまず問題にならず、鏡面も金属板の必要もなく、1~2 cm 角の金網でも充分である。しかし、長期的な安定度、機械的強度等は設置される場所の状況、保守人員等々から構造を決める必要がある。第 2 図に示したものは、私が、図面一枚で、窓枠、階段等を製造する町の鉄工場に依頼し、2 週間で完成し、価格は 20 万円弱のものである。直径は敷地の寸法から 3.2 m である。支柱は、アマチュア無線用に市販されている 2.5 m 単位の単価 2~3 万円の鉄塔を地中へ約 1 m コンクリートで埋めたものである。周囲を家に囲まれた都会地の地表にあるため風圧は全く問題ないと考えている。

2.3 マイクロウェーブ受信機⁵⁾

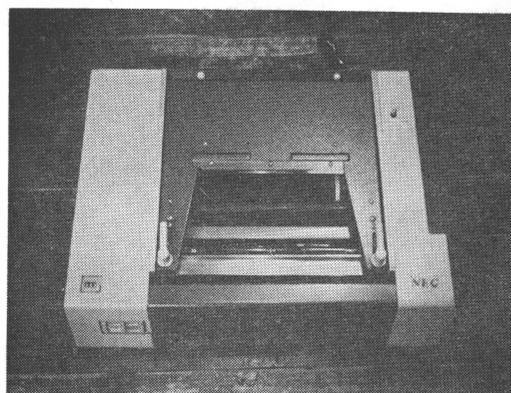
2.3.1 高周波増幅器

アンテナの大きさと共に受信画質の良否を決める部分で、手づくりの第 2 の難関であろう。非専門分野の方には全く手が出ないといっても過言ではなからう。しかし、幸い最近アマチュア無線家の数も増大し、諸氏の周囲でも超短波やマイクロウェーブで活躍されている局の発見も可能であろうから、これらの協力を求められるのも早道であろう。

「ひまわり」が計画された当初に比して、マイクロウェーブ用の低雑音トランジスタは格段に進歩し、1~2 万円で充分以上の性能をもち、1,500 円のもの 2 ケでも第 3 図のごとく受信可能であり、実用上は問題はないであろう。私の場合、この部分をパラボラアンテナの焦

第1表 ファクシミリに用いられる記録方式

記録方式	原 理	解 像 度	中間調	速 度	欠 点	その他
銀塩写真 ドライシムバー	画像信号を LED, レーザ, CRT で光の明暗に変え, 写真印画紙ま たはフィルムに感光させる	100 本/mm	50段以上	最高	現像処理	ドラム式で 自作可能
放電破壊	表面が白く内部が黒色導電体層の 特殊な紙の表面を数十～数百Vの 電圧で破壊し発色をさせる	5 本/mm	3～4段	10 KHz		ジャンク入 手容易
通電感熱	記録紙中を通る信号電流の発熱に より発色する	10本/mm	6段以上			自作向き
感 熱	特殊発熱ヘッドで感熱記録紙を発 色	4～10本/mm	(数段)	数 KHz	記録ヘッ ドが高価	
電 解	特殊液で湿った紙を電解して発色	4 本/mm	6～10段	10 KHz	変色, 湿 式	筆者使用中
静 電	特殊絶縁紙に細い針金1本～2,000 本で電荷を与えトナーをかけて発 色	10本/mm以上	2段 16段(特 殊方式)	100 KHz	現像処理	自作困難

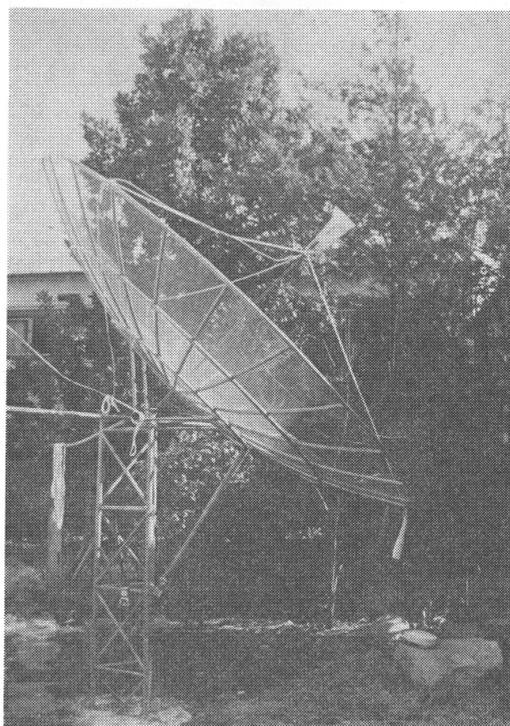


第1表付図 電解記録方式の記録部の一例。

点部分に3素子の八木宇田アンテナと共に設置し(第2図), 屋内への引込み線による損失の減少をはかった。屋外に放置されているから茶筒とポリゴミ袋による防水構造をとっている。

2.3.2 周波数変換器, 中間周波増幅器

普通のラジオ, テレビ等は, 同調回路にコイルとコンデンサが用いられているが, マイクロウェーブの場合は立体回路, 分布定数回路が用いられる。これらの回路が高い性能を長期間保つために, 商用機は一般に金属のブロックから機械加工により切り出して作られる。しかし, 第4図のごとく, いわゆるプリント基板どうしを半田付けして作ることも可能である。このためか, 私の装置は2～3ヶ月に1回ネジを微調整するとよくなるよう



第2図 自作パラボリアンテナ。

な気がする。

最近の中間周波増幅器は先頭に集中型フィルタを置く型式が一般的であるが, 設計, 調整の容易さから, 古

い TV 技術ではあるが、1ヶ20円のトランジスタラジオのコイルを数個用いた分散配置方式をとり、1MHzの帯域幅を得ている。

中間周波を検波して、LR-FAX の場合は 2,400 Hz の DSB-AM 信号を、HR-FAX では 99 KHz \pm 29 KHz の FM 信号を得るのは、IC 1個のみである。この IC は 10.7 MHz の FM ラジオ用の流用であるが、45MHz

でも充分動作している。

2.4 画像信号検波器

2.4.1 LR-FAX 検波器

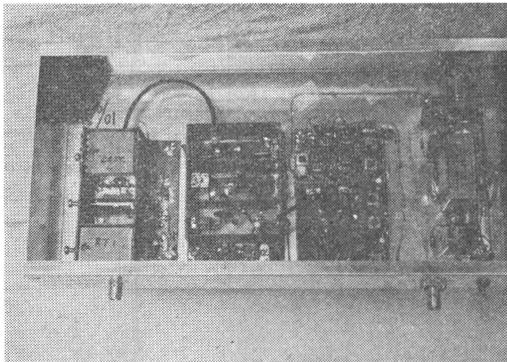
2,400 Hz を中心として $\pm 1,600$ Hz の幅をもつ DSB 信号から直流 -1,600 Hz のビデオ信号を得る回路で、IC オペアンプによるアクティブフィルタと両波整流回路からできている。ビデオ信号は、信号がある時が白、ない時が黒に相当する。

2.4.2 HR-FAX 検波器

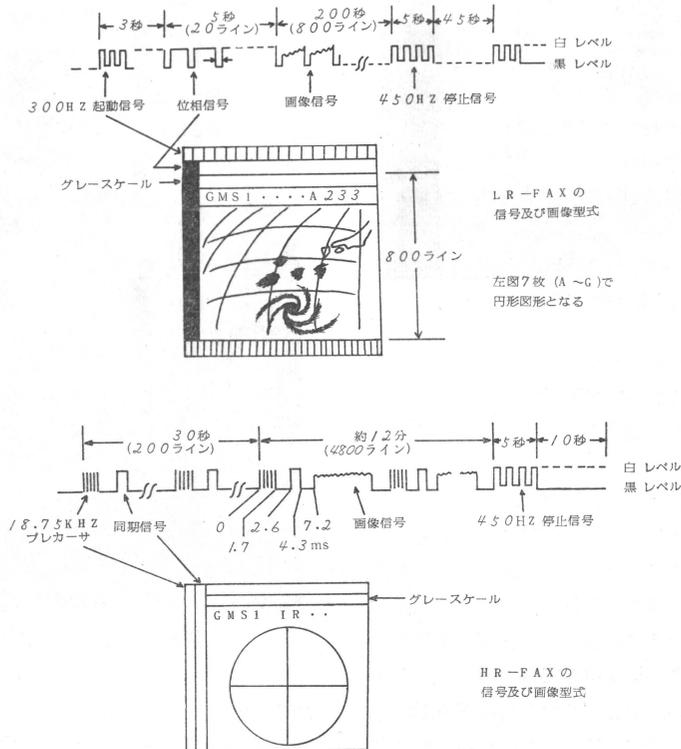
HR の画像信号は、99 KHz のサブキャリアを ± 29 KHz の幅で FM して送られている。これを IC 2ヶのパルス幅変調方式で検波し、直流 -23 KHz の画像信号を復元している。

LR および HR-FAX 共に、画像信号は直流を含むが、低周波であるから、信号処理回路は1ヶ100円程度の IC オペアンプと C, R 部品で、フィルタ、増幅器、コンパレータ等すべて作ることができる。

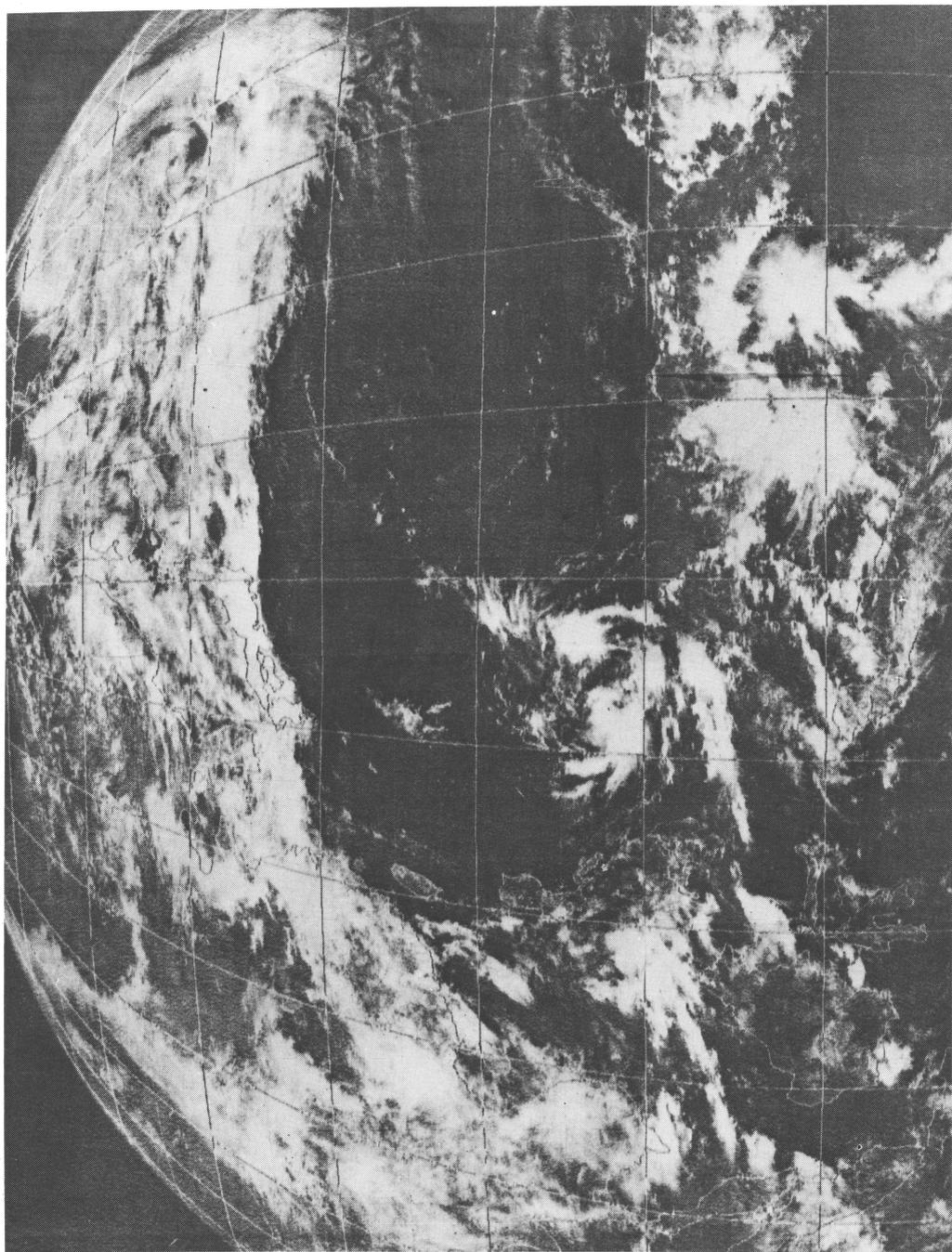
第5図に、LR および HR-FAX の画像型式、画像信号の構成を示す。



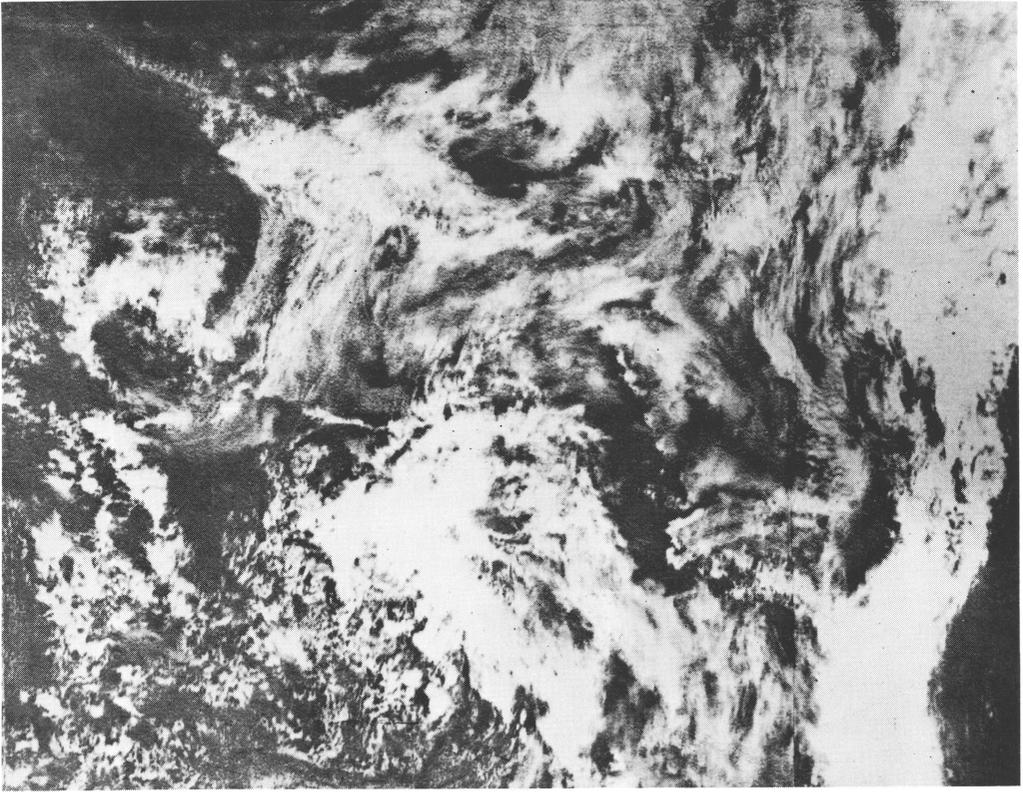
第4図 周波数変換器



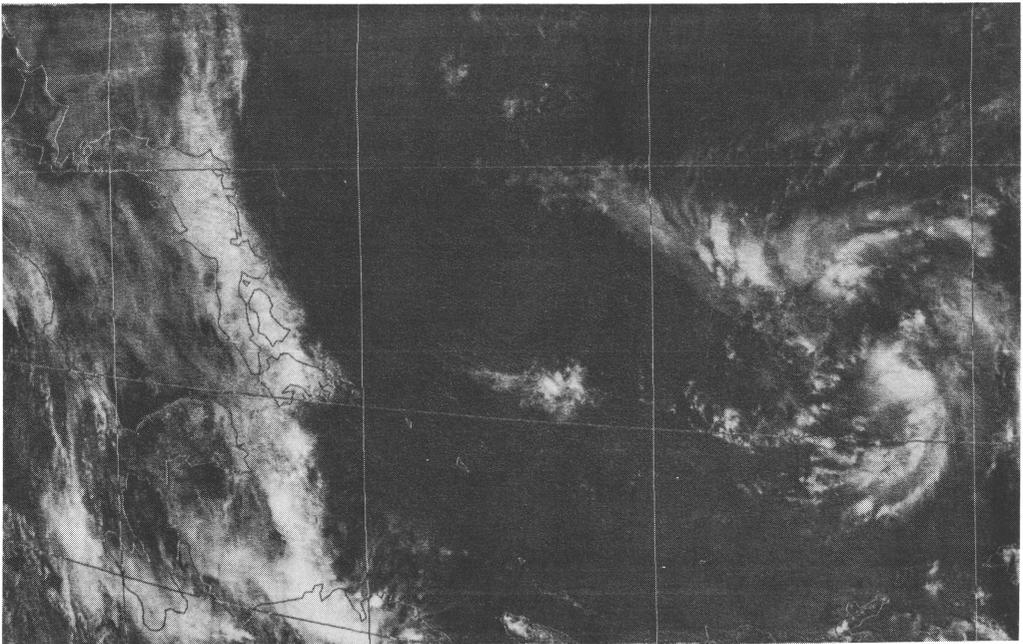
第5図 LR および HR-FAX の画像型式。



第3図 LR-FAX 受信画 (1979.6.30.03Z)



第 8 図 TIROS-N 受信画 (1979. 6. 30. 14: 38, IR).



第 6 図 HR-FAX 受信画 (1979. 6. 30. 06Z. VIS).

2.5 モータ制御回路

大部分 IC によるデジタル回路である。LR-FAX の場合は、画像信号に先行する 300 Hz の起動信号を LC フィルタで検出してモータのスイッチを ON にし、正規のスピードよりやや遅く回転させ、黒の同期信号が記録画面の端部に来た時に正規のスピードに復帰させて同期動作を行なう。

HR-FAX の場合は名画像ラインの先頭にある 18.75 KHz のプレカーサを検出し、これが16個以上連続して到来した場合モータスイッチを入れ、白同期信号が画面の端部に来たことを検出して同期動作を行なう。

停止は 450 Hz 信号を検出してモータを切る。

モータは交流電源で直接回すのではなく、 10^{-6} の精度をもつ安定な水晶発振器から発生させた 60 Hz をトランスレス電源のトランジスタ増幅器で 50 W の電力として駆動している。

2.6 HR 画像メモリ⁶⁾

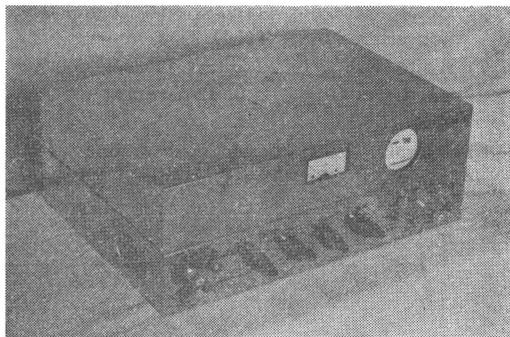
HR-FAX の画像信号は、横方向（主走査方向）に 6,000 点の分解能をもっている。分解能が 4 本/mm 程度である一般的なファクシミリで、HR-FAX の全性能を記録しようとすれば、 $6,000/4=1,500$ 、1.5 m の記録幅が必要となり実用的ではない。そこで、自分の必要とする地域のみ、たとえば日本列島および近傍のみの画像を A4 または B4 判 20~25 cm 幅で得る方式を私は用いている。原理は、1 本の走査線中 (150 ms) で必要な部分の 25 ms のみを A/D 変換して、デジタルメモリに記憶させ、これを 1 走査時間 150 ms 中に順次はき出し記録していく方法である。記録例を第 6 図に示す。B4 判の電解記録紙であるが、富士山の位置も何とか読み取ることができる。

2.7 記録電流増幅器

画像信号を電解記録紙を発色させるに必要な 100~200 mA に増幅する回路で、トランジスタのコレクタ側に記録紙をおき定電流特性をもたせている。通電記録方式にでも適用できるであろう。以上 2.4、2.5、2.6 をまとめて一つのケースに収容した制御部を第 7 図に示す。

3. TIROS-N⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾

「ひまわり」以外の気象衛星として、現在高度 850 km の極軌道を通るアメリカの TIROS-N が、毎日地方時 03 および 15 時頃頭上近くを通過して、赤外および可視の ATP 放送をしている。現在のところ、1 日午後および早期各 2 回しか受画できないが、高度が低いため画像は非常に鮮明である (第 8 図)。なお、7 月初旬に



第 7 図 制御部 (写真)。

NOAA-6 として 0730 および 1930 頃頭上を通過する衛星も計画されている。APT の周波数は、TIROS-N は 137.5 MHz、NOAA-6 は 137.62 MHz と扱いやすく、市販 FM 受信機、アマチュア用 144 MHz 帯受信機等のちょっとした改造と簡単なダイポールアンテナで直ちに受信可能である。しかし、やや特殊な八木宇田アンテナを用いれば受信画像の質は飛躍的に向上する。このアンテナの自作は容易であり、方向および仰角可変用ローテータもアマチュア用品が 2~3 万円で購入できる。追尾は手動で充分であり、マイコン制御にもおもしろい対象である。画像信号検波器以降の回路の大部分が LR-FAX と共用可能である。

気象学のみでなく天文学をも含めての教育効果は「ひまわり」よりも極軌道衛星の方が高いとも思える。

4. まとめ

以上のきわめて簡単な説明で諸氏が直ちに受信装置を製作可能であるとは思わないが、実際に御計画になる時の何らかの御参考になれば幸いである。たとえば、大学等で各領域の学生諸氏が協同されれば、半年~1 年位で完成できる手頃なプロジェクトではなからうか。

終わりに、多大の御指導をいただいた気象庁気象衛星室の皆様へ深く感謝いたします。

文 献

- 1) 窪田啓次郎, 1973: ファクシミリとその応用, 産報.
- 2) 小林一雄, 1973: ファクシミリ, オーム社.
- 3) 電気通信学会編, 1979: 電子通信ハンドブック, オーム社.
- 4) 関口利男, 榎本肇, 1964: 電波工学, オーム社.
- 5) CQ 出版編, 1977: アマチュアの V. UHF 技術, CQ 出版.
- 6) Vermillion, C. H., 1975: Weather Satellite

- Picture Receiving Stations, APT Digital Scan Converter, NASA TN-D 7994.
- 7) White, R.M., 1969: Direct Transmission System Users Guide, U.S. Department of Commerce/ESSA.
- 8) Schwalb, A., 1972: Modified Version of the Improved TIROS Operational Satellite (ITOS G), U.S. Department of Commerce/NOAA.
- 9) 山口意颯男, 1969: 気象衛星をとらえる, 天文と気象, 12, 8-14.
- 10) 城守司, 1978: 気象衛星 NOAA の電波, Ham Journal, 14, 92-94.



続 気象学入門講座

- 気象学へのガイダンス (25.4)
- [基礎コース]
- 気象解析の手引き (25.5)
- 気象力学・気象熱力学 (25.6)
- 気象放射学
- 高層大気物理学入門 (25.5)
- 雲物理学・降水物理学 (25.8)
- 大気電気学・大気化学 (25.12)
- 気象観測と気象器械
- 気象統計について (25.7)
- 気候学
- 生活と気象 (25.6)
- [アドヴァンスト・コース]
- 気象予測論 (25.7)

これからの予定

- 回転流体力学を学ぶために (25.6)
- 対流論 (25.6)
- 中小規模現象の気象学 (25.11)
- 大気大循環論 (26.2)
- エーロゾルの気象学
- 気候変動論
- 熱帯気象学 (25.8)
- 高層大気力学の諸問題 (25.9)
- 高層大気物性 (26.3)
- 大気境界層の物理
- 衛星気象学 (25.8)
- レーダ気象学
- 惑星気象学 (25.7)
- 自動気象観測(隔測)・通報システ

(太字は既に掲載されたもの、カッコ内は掲載された巻号)

- 応用気象学
- 大気汚染の気象学
- 実験気象学 (25.10, 26.5)
- 天候・気候変化の気象学
- 海洋気象学 (25.9)
- 極地気象学 (26.9)
- 気象災害論 (25.9)
- 気象教育論
- 気象データ処理法 (26.4)

[研究のすすめ方]

- 最近の気象資料 (26.8)
- 論文の書き方
- 気象学教科書・参考書のリスト