

### III. 3 K-4 型高密度レコーダ

浜 真一\* 木内 等\* 雨谷 純\*

(平成元年10月6日受理)

#### III. 3 THE K-4 HIGH DENSITY DATA RECORDER

By

Shin'ichi HAMA, Hitoshi KIUCHI, and Jun AMAGAI

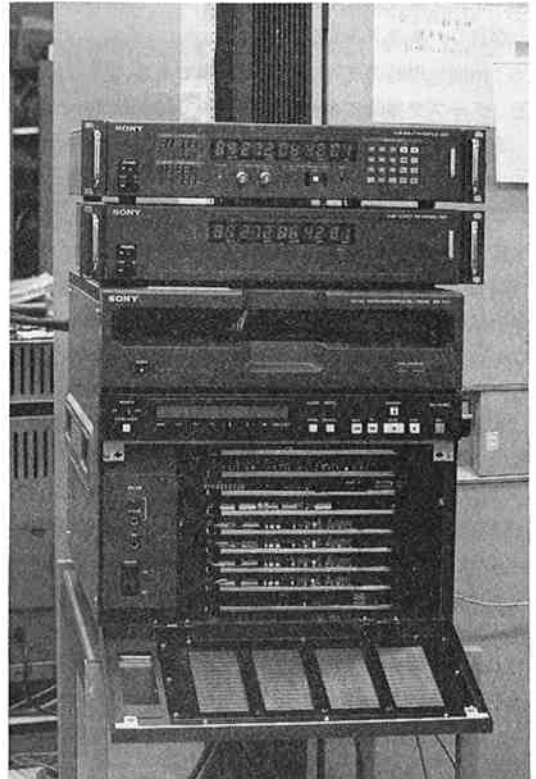
The K-4 high density data recorder system is developed based on a digital VTR for broadcasting. Therefore, the input interface and output interface are designed to make the K-4 recorder compatible with the K-3 (or Mark-III) data format. The adoption of a high density cassette tape instead of a heavy open reel tape makes transportation and tape operation much easier than the K-3 (or Mark-III) recorder. The ability to synchronize VTR tapes is very useful in correlation processing of VLBI tapes.

The recorder and the output interface are explained in this section.

#### 1. はじめに

現在のK-3レコーダ(ハネウェルM-96改造)<sup>(1)</sup>では、VLBI実験の生データは33.3 kbps×28トラックという高密度で記録されており、テープ一巻あたり100 Gbitにも達するが、それでも通常の測地VLBI実験になると30本前後の磁気テープが必要となる。このテープは非常に高価でしかも重いので、テープのコスト、輸送費、取り扱いの手間は膨大なものとなり、VLBI実験の問題点の一つになっている。そこで、現在使用中のデータレコーダを改造してトラック密度を上げる方法(Mark-IIIa)、あるいは全く別のヘリカルスキャン方式のレコーダを用いて記録密度を上げる方法など高密度化の努力が傾けられている。

通信総合研究所では、後者の方式でK-4型高密度データレコーダを開発した。K-4型高密度データレコーダはソニー社製の放送局用デジタルVTRをもとに開発したもので、現行のK-3又はMark-IIIタイプのデータと整合性をとるため、入力と出力とにインターフェイスを設けた。K-4レコーダは従来の大型オープンリールテープに替わり、高密度で小型軽量のカセットテープを利用しているので、媒体の輸送・管理は大幅に楽になった。またデータレコーダ自体の調相機能を利用することにより、相関処理ソフトウェアにおけるテープ同期



第1図 K-4型データレコーダシステムの外観

\* 関東支所 鹿島宇宙通信センター 第三宇宙通信研究室

の負担も軽減された。このデータレコーダは1989年6月の国内実験に用いられ、順調に相関処理まで行なうことが確認されている<sup>(2)</sup>。

第1図にデータレコーダの外観を示す。入力インターフェイスについては、データ収集装置として3.2章<sup>(2)</sup>を参照して頂きたい。

## 2. K-4方式と Mark-IIIa方式との比較

米国 Mark-IIIa は現在の Mark-III レコーダ、テープを用い、高密度ヘッドをテープ長手方向に対し直角方向にずらしていくことにより、データレコーダの高密度化を達成している<sup>(3)</sup>。第1表にK-4方式と Mark-IIIa方式の違いを示した。まず Mark-IIIa方式の利点を挙げると、

- ① テープ一巻に記録できるデータ量が大きい。
  - ② 国際実験に使われており、互換性がある。
  - ③ 現行の K-3 (又は Mark-III) レコーダの改造で対応できる。
- 次にK-4方式の方が優れているのは、
- ④ テープがカセットであり、軽く、小さく、扱い易い。
  - ⑤ レコーダ自体が軽く、持ち運び容易である。
  - ⑥ テープ速度がはるかに遅いのでテープ走行の安定性が良く、トラブルが少ない。
  - ⑦ 相関処理時のテープ同期が簡単である。
  - ⑧ テープ交換時にオープンリールではトラブルが生じることがあるが、カセットでは容易に交換できる。
  - ⑨ 国産品なので、トラブルや保守の対応が迅速・確実である(国内使用の場合)。

K-4の最大の特徴はまさに④にある。①のように、一回の実験に要するテープ自体の数は Mark-IIIa方式が少ないが、大きく重いオープンリールのテープ2本とカセット4個の比較では、普通はカセットの方が好まれるであろう。②の国際的な実験での地位であるが、これは③とも合わせ、現在不利なのは否めない。当分国際実験は Mark-IIIaで、その他の国内等の実験はK-4で行なうということになるだろうが、外国にもK-4システムを採用するよう、積極的に働きかけていかなければならない。実際、IERS(国際地球回転事業)ネットワークやオーストラリアなどのように、K-4システムに強い興味を持っているところが少なからずある。

4つのプレート上にまたがっている我が国では、効率よく多地点で VLBI 実験を行なうことが必要であり、その中には当然南鳥島、父島、南大東島といった離島も含まれる。このような場所にはレコーダを始めとして必要な機材を現地に運送して実験を行なうわけで、小型・軽

第1表 K-4方式と Mark-IIIa方式との比較

	K-4(Lカセット)	Mark-IIIa
レコーダ寸法	436×414×656 mm	559×2076×737 mm
レコーダ重量	65 kg	250 kg
消費電力	450 W	1000 W
カセット/ リール寸法	206×366×33 mm	直径355.6 mm, 幅30 mm
テープ幅	19.01 mm	25.35 mm
テープ重量	1.37 kg	4.3 kg
テープ保磁力	850 Oe(68000 A/m)	680 Oe(54100 A/m)
記録トラック幅	45 μm	40 μm
記録密度	19.64 Mb/in <sup>2</sup>	11.2 Mb/in <sup>2</sup>
記録容量	770 Gb(200分)*	1200 Gb(337分)
誤り率	1×10 <sup>-10</sup>	1×10 <sup>-4</sup> 程度
ヘッド	ロータリー	固定
テンション方式	メカニカル	真空コラム
テープ速度	0.11 m/s	3.43 m/s

\* 16 μm厚テープの場合

第2表 ビットレートと記録容量の関係

ビットレート [Mb/s]	記録時間 [分]		テープ速度 [mm/s]
	Lカセット	Mカセット	
256	50( 61)	22( 27)	423.8
128	100( 123)	45( 55)	211.9
64	200( 247)	90( 111)	105.9
32	400( 494)	180( 222)	53.0
16	800( 989)	360( 445)	26.5
10.7	1200(1484)	540( 668)	17.7

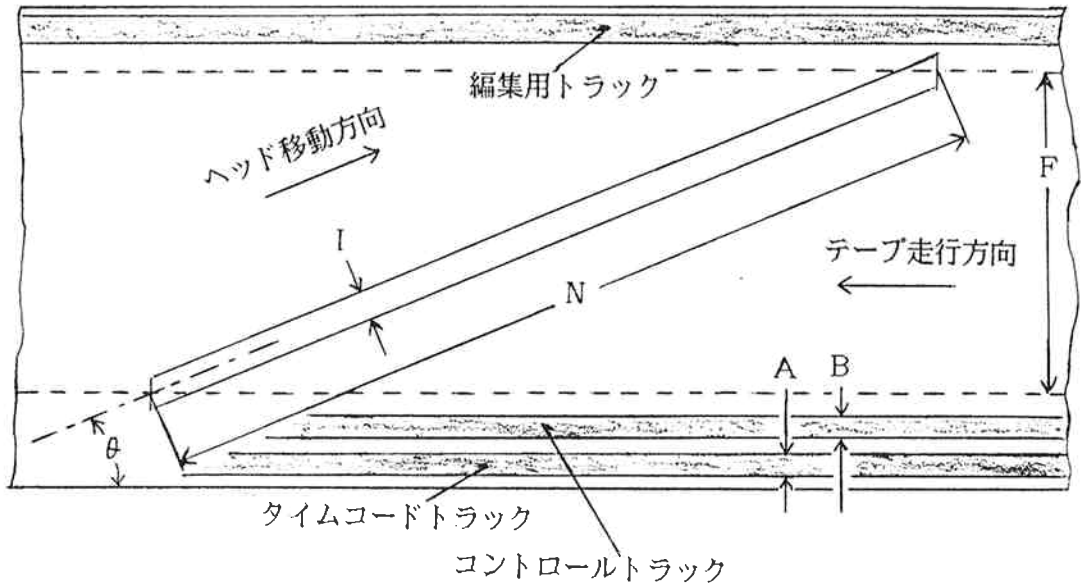
16 μm厚テープの場合、( )内は13 μmの場合

量な機材が必須となる。Mark-IIIaのレコーダは人手での持ち運びが難しく、精密なテープ走行が要求されることを考えると、運送そのものが好ましくない。

⑦⑧⑨も、現実の運用を考えると重要な利点である。

## 3. レコーダ部

テープは市販の D1 規格<sup>(3)</sup>テープがそのまま使え、特殊な性能は要求されない。D1 規格のテープはその大きさによって3種類あり、定常実験には容量の大きいLカセットを使うが、試験的な実験には小さくて軽いM又はSカセットも使うことができる。レコーダ部自体にカセットの識別機能があるので、オペレータがLやMの設定をする必要はない。間違えてD-2規格のメタルテープを入れた場合も自動的に判別する。テープ厚は現在では16 μmだが近い将来13 μm厚のテープも予定されており、さらに大量のデータが記録できることになる。第2表にビットレートと記録容量の関係を、L及びMカセットについて示した。通常の24時間測定 VLBI 実験ではビットレート 64 Mbps、記録時間は半分の12時間である。6~7時間毎に一巻の K-4 Lカセットテープを交換す



第2図 テープ上への記録フォーマット

第3表 K-4レコーダのデータ記録仕様及び第2図の各部の寸法

記録フォーマット 誤り訂正コード ガードバンド	ANSI X3B6 リード・ソロモン積符号 なし (アジマス記録)
A: タイムコードトラック幅	0.5 mm
B: コントロールトラック幅	0.5 mm
F: データ領域幅	16.0 mm
I: トラック幅	0.045 mm
N: データトラック長	170.0 mm
θ: トラック角	5.4005°

ることになるが、オープンリールと異なり自動交換装置も可能である。そうすれば相関処理時のテープ交換の省力化にも役立つ。

テープ上へのデータ記録の様子を第2図に示す。記録フォーマットはID-1規格<sup>(4)</sup>をもとにしたもので、規格を第3表に示す。K-4レコーダでは、アジマス記録即ち隣り合うトラックでヘッドの角度を変えて記録し、記録密度を上げている。このレコーダではアジマスが±15°異なるペア4組、合計8個のヘッドで記録・再生をしている。テープ幅は19.010mmでその許容蛇行量は6μm p-pである。なおトラック毎の消去ヘッドはないが、テープ全体に亘る消去ヘッドを持っている。

レコーダ部一台は、データ収集時には入力インターフェイス一台と、相関処理時には出力インターフェイス一台と対応しており、レコーダ部のリモート制御は各インターフェイスを通じてGP-IBで行なわれる。プロトコルは現行のK-3レコーダと同じルールを採用している

ので、オペレータには違和感がない。各インターフェイスとレコーダとの通信部はRS422を利用している。

誤り率は誤り訂正前のエラーを $10^{-4}$ とした場合、訂正後 $10^{-10}$ となる。VLBIでは時刻データが読めれば、誤りがランダムならば $10^{-3}$ 程度のエラーでも問題にならないので、この性能は過剰なほどである。VTRを改造したのでデータのインターリーブやシャッフリングというVLBIには不要なテクニックも用いてあり、これらをVLBI用に最適化すれば、さらに高密度・大容量化できる可能性も持っている。なお各ヘッド別の誤り数がコマンドによってモニタできる。

またK-4レコーダにはプリロールという頭出しの機能がある。これは記録時にテープのコントロール・トラックにアドレスを与えておき、再生時にこのアドレスを用いて素早く任意のデータを探せるものであり、相関処理<sup>(6)</sup>時にデータの時刻を揃えるのに非常に役立つ。

#### 4. 出力インターフェイス

出力インターフェイスの概略を第3図に、仕様を第4表に示す。出力インターフェイスは、K-4レコーダの汎用8ビット並列出力をK-3(Mark-III)タイプの相関器入力に合わせるよう信号を変換する装置で、レコーダ部一台に出力インターフェイス一台が対応する。レコーダ部で記録されているデータはヘッドもパリティもない。ここで5ms毎のヘッドすなわち時刻符号、シンクワード、AUX符号をデータに重ね書きする。AUX符号はソフトウェアで設定できる。出力はパリティを付加したK-3形式(4.5Mbps)と付加していない形式(4M



第4表 出力インターフェイスの仕様

寸法	424×88×550 mm
重量	13 kg
消費電力	60 W
レコーダ部との通信	RS-422
ホスト計算機からの制御	GP-IB

bps) が用意されている。信号レベルは相関器入力に合わせ、ECL コンプリメンタリである。

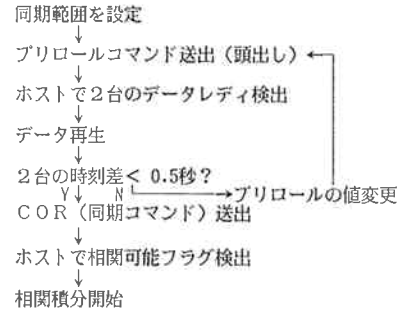
相関処理時に用いる際には二台以上のK-4型レコーダを同時に扱うことになるが、そのうち一台がマスターに指定され、他はスレーブに指定される。次節で述べるように出力インターフェイスは複数テープの同期機能も持つ。

### 5. 相関処理におけるテープ同期

このレコーダはもともと放送局用のものなので、複数のレコーダのタイミングを合わせて再生するいわゆる「調相」機能を持っている。この機能を改造して、VLBI データの相関処理時に複数台のレコーダを一ビット単位で同期できるようにした。

出力インターフェイスを第4図に示すようなシーケンスで制御するだけでスレーブのレコーダがマスターのレコーダに同期される。これはK-3 (あるいはMark-III) の複雑な同期制御に比べると非常に簡単で、レコーダが3台以上になるとこの利点はさらに強調される。ただVLBIの場合は、2台のレコーダをぴったり同期させるのではなく、 $\tau_g$  (幾何学的遅延時間) と両局がそれぞれ持っている基準時計の時刻差を考慮したぶんだけずらして同期させなければならない。ずらす量は基線や電波源によって異なるが、地球上で  $\tau_g$  は最大約 40 ms である。(時刻差は通常の VLBI 局では数  $\mu$ s 以内である) 出力インターフェイスには 256 kb/チャンネルの容量の内蔵バッファメモリがあり、このずれを設定することができる。

同期達成までに要する時間は、同期誤差の初期値に大きく依存する。現在、最初の同期誤差が 0.5 秒以内の場合約 10 秒以下で同期状態に達するが、同期誤差の初期値が数秒あった場合、40 秒程度かかって同期に達する。しかしいったん二台のテープを再生してその同期誤差がわかれば、それを考慮して二台のテープを巻きもどし、もう一度再生すると、同期までに要する時間は 10 秒程度に抑えることができた。これは原理的に三台以上になっても同期にかかる時間は同じである。Mark-IIIa のテープ同期には、二台で約 10 秒、三台以上で 30 秒程度かかっているので、レコーダ三台以上では K-4 の方が優れていると言える。同期に要する時間は、出力インターフェイ



第4図 二台のレコーダを同期制御するシーケンス

スの ROM 中のアルゴリズムの改良で、将来大幅に短縮される予定である。

二台のK-4レコーダの同期処理プログラムは既に完成し、実運用にはいっている。

### 6. さいごに

以上述べたようにK-4レコーダ及び入力、出力インターフェイスが完成し、実際のVLBI実験でも性能を確認した<sup>(2)</sup>。また相関処理も順調に行なうことができた。

今後K-4レコーダとK-3 (又はMark-III) レコーダとが混在するような実験も予定されているので、K-4レコーダとK-3レコーダとの同期処理プログラムを開発中である。

現在はK-4レコーダの使用は日本が主導権を持っている実験に限られているが、将来は通常の国際実験にもK-4が使われるように努力したい。そのためには外国局からK-4記録のテープが次々に送られてきても処理していける体制が必要になるであろう。

最後に、このレコーダやインターフェイスの開発にあたっていただいたソニー側の担当の方々、K-4レコーダ開発計画を推進した川口前室長 (現国立天文台助教授) に感謝する。

### 参考文献

- (1) 浜, 雨谷, 「II-6 データレコーダ」電波研季報「K-3型超長基線電波干渉計(VLBI)システム開発特集号」, 1984年。
- (2) 木内, 浜, 雨谷, 「K-4 バックエンド」本季报特集号。
- (3) 浜, 高橋, 久木木, 文屋, 「VLBI 高密度記録改造の現状」, 信学全大 B-166, 1989年。
- (4) SMPTE 225M 及び 226M。
- (5) ANSI X3B6/88-12 Project 592-D, 1988。
- (6) 杉本, 「III-1 K-3型相関・一次処理システム 概説」電波研季報「K-3型超長基線電波干渉計(VLBI)システム開発特集号」, 1984年。