

### 3.6 バックエンドの開発

木内等

K-3 バックエンド部は、フロントエンド部 (2 or 8 GHz 帯) で受信後増幅され、100-500MHz の中間周波数 (IF) 信号に周波数変換された信号を入力し、時刻符号付のデジタル信号に変換する部分であり VLBI で最も特色の出る部分である。この部分にメジャーな変更があると VLBI の世代が代わる。このことから、K-3 は“鹿島の3代目”を意味している。

VLBI では信号処理に相関処理という方式を採用しているため、各観測局で用いるバックエンドの互換性が不可欠である。互換性というのは、信号周波数、帯域、フィルタ特性、データサンプリングレート、時刻符号、データフォーマットなど相関器からみたデータが同じことを意味する。大陸間 VLBI 観測の実現を目指していた日本は、はるか先を走っていた米国の Mark-III と互換性をとる必要に迫られた。この Mark-III は新しい技術が盛り沢山であり、革新的なものであった。K-3 バックエンドの開発は、米国の Mark-III 技術に追いつくための模索だったとも言える。

当時、国立天文台では Mark-III を買って使おうという考え方があったが、これは我々の目指す方向とは一線を画するものであった。そのため、Mark-III の資料に嚙り付きながら技術習得と技術開発を行った。近年の高度に集積化された LSI と異なり、ハードウェアの試作・改修を通じブラックボックス的なところは排除することができた。我々は K-3 バックエンド開発を通じ、VLBI ハードウェアの奥深さと技術の美しさを知ることとなった。個人的感想で申し訳無いが筆者は、バックエンドで 2 回、バンド幅合成関連ハードウェア (位相校正、相関器) で 2 回、システムの美しさで鳥肌が立ったのを覚えている。

現在の技術をもってすれば、全データをデジタル化しソフトウェア処理も可能かも知れない。しかしそれは、物量と金と力にものを言わせたものにも感じられ、美しさは微塵もなく工学的興味さえ萎えてくる代物にも思える。例えば、解析的な解法と計算機にものを言わせた数値解析の違いの様なものである。そういう意味でも黎明期のシステムは本質に基づいた高精度化の工夫が盛り沢山の美しいものであった。

開発を通じ VLBI の世界の常識を叩き込まれた。それは、受信する信号は受信機雑音より弱いことが当たり前であること、受信信号のコヒーレンス (可干渉性) の維持のための周波数変換信号の高位相安定度化の重要性、周波数変換時の不要帯域 (イメージ) 信号の漏れ込み抑圧の重要性、局内遅延補正の重要性を何度も体験することとなった。日本を代表する通信関係の装置開発も行ってた有名測定器メーカーやミキサ・フィルタ等の製作を得意とする当時のベンチャー企業にも製作をお願いしたが、通信での常識 (VLBI での非常識) が壁となり、バックエンドのアナログ部の開発に時間を要した。この困難さは、電話の向こうで担当者の声がしているにも関わらず居留守を使われたという話にも象徴されるほどメーカーにも困難なものであったに違いない。最終的には、日本のメーカーは全ての技術を習

得し、我々も回路試作・実物改修を通じ、身をもって技術習得することができた。今にして思えば、全てをいじれる良き時代であったのかも知れない。

K-3 バックエンドは、バンド幅合成に最適化したデータ収集装置であり、以下の機器から構成されている。各装置の主な機能を紹介する。

#### (1) IF 分配器

100-500MHz の IF 信号をビデオコンバータ 16 台に分配する装置である。ビデオコンバータの周波数変換のための信号（ローカル信号と呼ばれる）の第 3 高調波による影響を除くため最低周波数の 3 倍が帯域内に存在しないように、Low-IF: 100-230MHz, High-IF: 210-500MHz に分離し、必要な一方を各ビデオコンバータに送る。

#### (2) ビデオ変換器（16 台）

高位相安定 10kHz ステップシンセサイザ、広帯域イメージリジェクションミキサ、7 次バターワースローパスフィルタが内蔵されている周波数変換装置であり、入力された IF 信号の指定された周波数領域をデジタル信号に変換可能な低い周波数（ビデオ信号）に周波数変換する。イメージリジェクションミキサでローカル信号の上下側波帯を分離周波数変換する。これは、相関処理時に上下側波帯で地球回転によって引き起こされるドップラ成分の位相回転（フリンジ回転：相関処理参照）が逆になり、お互いが雑音となるため、分離し片方の成分だけを用いることで信号対雑音比をよくするためである。シンセサイザの位相安定度、イメージリジェクションミキサの不要波（イメージ）抑圧性能が優位性を決めるのであるが、これらの開発が最も困難であった。シンセサイザの位相安定度は位相時ループのゲインを低雑音で如何に大きくするかが難しく、イメージリジェクションミキサでは広帯域（10kHz - 4MHz）にわたる 90 度移相器部分が問題であった。

#### (3) フォーマッタ

入力されたビデオ信号をデジタル化し、データに世界協定時（UTC）時刻を付加しレコーダに送る。デジタル化は、入力帯域の 2 倍のナイキストレートで 1 ビットサンプリングされる。1 ビットというと信号の正負のみの情報でありデータを大幅に損失すると思われがちだが、失うのは振幅情報 36%のみで位相情報の損失は無い。信号位相が重要な測地 VLBI には最適で無駄のないシステムと言える。サンプリングクロックタイミングの位相安定性が重要である。

#### (4) デコーダ

フォーマッタからレコーダに送られ記録されたデータのエラーレート検出

#### (5) 位相較正信号発生器

アンテナ低雑音増幅器以降の全ての系の遅延量を周波数特性も含め補正するための信号発生装置であり、バンド幅合成のための重要な役割を持つ。

バックエンドとは独立した機能であるが、バックエンドラック内に格納される。

(6) 基準信号分配器

全ての機器に水素メーザ原子標準からの高安定基準信号を分配する。

(7) 電源部

各機器に DC 電源を供給。

それぞれの機器にデバイスコントローラを持つ差し替え可能な（ラインリプレーサブル）装置で、国際的にスタンダードな GP-IB バスを採用している。