

V-5. 精密局内遅延時間測定

吉野 泰造* 川口則幸*

PRECISE TOTAL INSTRUMENTAL DELAY MEASUREMENT

By

Taizoh YOSHINO and Noriyuki KAWAGUCHI

1. ま え が き

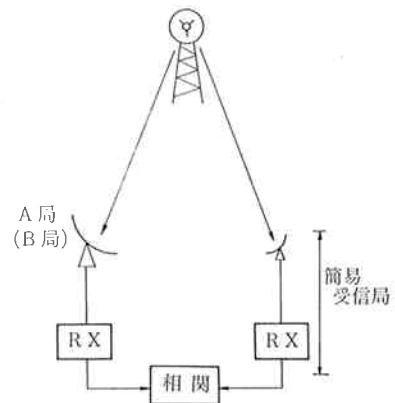
現在のV L B Iシステムは、相対遅延時間の決定精度10 ns を目標にして作られている。したがって、局内遅延時間の測定精度もこのオーダーにあればよかった。しかし、将来の超高精度V L B Iの開発に際しては、局内遅延時間の測定精度もこれに追従して行く必要がある。

現在の局内遅延時間測定精度が10 ns を切れないのは、測定器精度と測定システム双方に問題がある。そこで、現在の方法と全く異った局内遅延時間の測定方法が要求される。

2. 比較法による精密測定

現在の局内遅延時間測定法は、本特集号、III-3. 局内遅延時間測定に述べられている。この方法は、簡便な道具で測定可能であるというメリットを持つ反面、その測定精度は10 ns を割っていない。この原因の例として、測定器側ではメジャーとしてのオシロスコープの管面誤差の問題がある。また、測定システムでは、高速スイッチングによって得た鋭い立ち上りのパルス変調波が周波数通降されることにより、その立ち上り時間が増大し、立ち上りのエッジを利用した遅延時間の測定に誤差をもたらしている。更に、給電部の遅延時間は計算値であるが、この値は信号の通路に介在するフィルタ等でわずかな誤差を生じていると思われる。このため、1局の局内遅延時間の絶対測定には困難が伴っていた。

しかし、10 ns 以下の分解能による時間間隔の測定能力は、V L B Iシステム自身が持っているため、第1図に示したように、メジャーとなる移動の容易な簡易受信

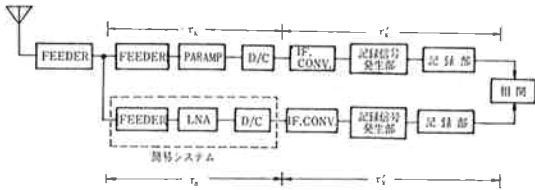


第1図 簡易受信局を用いた総合局内遅延時間測定システム

局と電波源を用意し、簡易受信局と各々の局とのV L B I実験による測定値の差をとれば、そのシステムと同等の精度で局内遅延時間差が求まる。この場合、簡易受信局のアンテナとV L B I実験用のアンテナを接近させ、しかも、到来電波に対し波面が一致して受信されるようにセットすれば、アンテナ系から、信号に時刻符号が付されるまでの総合的な測定が一挙に行える、というメリットがある。しかし、各々の局における実験で、上記のように簡易受信局のアンテナを正確にセットすることは容易ではない。

この点を解決するには、第2図のように、給電部の途中から分波した信号を、別系統の簡易システムに導き、アンテナ部の遅延時間は計算で求めれば、アンテナ位置セッティングの問題は無くなり、また、特別に電波源を用意する必要はなく、天空雑音を受信すれば十分である。このとき、分波する手前(アンテナ側)には、単純な計算で遅延時間が求められる導波管だけが含まれるようにする。また、簡易システムは全システムを用意する必要はなく、例えば、鹿島局で測定中には、使用していない

*鹿島支所 第三宇宙通信研究室



第2図 第1図における電波源位置セッティングの困難を除去した総合局内遅延時間測定システム(鹿島局における測定例)

横須賀局の装置の内から、移動の容易な装置を利用すればよい。したがって、現在のシステムに対応して考えると、IFコンバータ以降のシステムが移動可能であることから、簡易システムは給電部から、ダウンコンバータまでを用意すればよいことになる。以上の内容は、次のように表せば容易に理解できる。

鹿島局と、例えば横須賀局の、分波した点からダウンコンバータまで、また、IFコンバータ以降の遅延時間をそれぞれ $\tau_K, \tau_K', \tau_Y, \tau_Y'$ とおき(第2図参照)、簡易システムのそれを τ_s とし、鹿島局、横須賀局に簡易システムを適用して測定した局内遅延時間差を、それぞれ a, b とすると、

$$a = (\tau_K + \tau_K') - (\tau_s + \tau_Y'), \quad \dots\dots(1)$$

$$b = (\tau_Y + \tau_Y') - (\tau_s + \tau_K'), \quad \dots\dots(2)$$

$$\therefore a - b = \{(\tau_K + \tau_K') - (\tau_Y + \tau_Y')\} + (\tau_K' - \tau_Y'). \quad \dots\dots(3)$$

ここで我々の求めるのは、式(3)の中括弧内の値であり、 $(a-b)$ が既知で、 $(\tau_K' - \tau_Y')$ も、III-3. 局内遅延時間測定に記されている方法と同様に知り得るからこの値は容易に求まる。更に、アンテナ部と給電部の一部の遅延時間を理論計算すれば、総合的な2局の局内遅延時間差が決定できる。しかし、この値は、実測値と理論値が混合されているという欠点を持っている。また、分波のための素子として OMT (偏分波器) は、遅延の解析が比較的容易で適当と考えられるが、これを1次放射器の直後に備えていないシステムでは、これを付加するための実際上の問題が生ずると思われる。また、局内遅延測定の際、給電部を大幅に変更すると、実際のシステムに対応した局内遅延時間を導くために、それだけ理論計算による補正の量を増さねばならず得策でない。

以上のような点から、アンテナを含む簡易受信局による方法(第1図の方法)と給電部で信号を分波する方法(第2図の方法)は、それぞれ一長一短があり、いずれを選択するかは実際のシステムに即して考えねばならない。

3. 新たな問題点

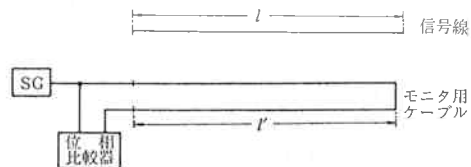
局内遅延時間を常時、直接モニタすることは困難であ

り、現在は、これを時間的に一定と見なして扱っている。現システムの 10 ns の精度はケーブル長に換算すると約 2 m であり、これ以上の変動は考えにくい、次のステップとして考えている 0.1 ns の精度では約 2 cm となり、問題視せざるを得ない。信号系統で、この程度の変動が問題になるため、環境条件の局内遅延時間に対する影響等を把握しておく必要がある。電子機器一般に対して影響の大きい環境条件としては、通常、温度を考慮に入ればよいので、個々の装置に対しては温度対遅延時間特性を測定しておき、周囲温度から、各装置における遅延時間の変化を知ればよい。しかし、ケーブルによる遅延時間においては、考慮すべき点が多い。

ケーブル遅延に対して影響する要素として、(1)自重による伸び、(2)温度変化による伸縮、(3)ケーブルの製品上のばらつき等が考えられる。(1)は、ケーブル長のオフセット量としての効果しかもたない。また、(2)の効果は、ケーブルの全長に渡って、必ずしも一樣な周囲温度ではない点、及び(3)の影響から、単純に周囲温度から推測できない。PE (Polyethylene) や PVC (Polyvinyl chloride) の同軸ケーブルにおいて、絶縁用に用いられている高分子材料、及び芯線としての銅のそれぞれの線膨張率は、 $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 、及び $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ であるため⁽⁴⁾、前者と後者で、その数値は1オーダー異なり、相互の力関係から遅延に関係する芯線の本来の線膨張率以上の効果が生ずると考えられる。

ここで、100m のケーブルと、 25°C の温度変化を仮定し、線膨張率を小さく見積もって 2×10^{-5} とすると 5cm となり、2cm 以上のケーブル長変化が予想される。

これらのケーブル長変化に対する遅延時間変化モニタの方法の1例を、第3図に示した。ここでは、信号線としてのケーブルとモニタ用ケーブルの製品上のばらつきが同様であると仮定し、長さ l の信号線に沿ってモニタ用ケーブルを等距離、敷設する。これにより、両ケーブルの環境条件は等しくなり、モニタ用ケーブルの遅延時間を位相比較器で測定すれば、信号用ケーブルにおける遅延時間はモニタできる。また、このとき、信号線とモニタ用のケーブル長を各々、 l, l' とし、導体の線膨張率を α 、温度変化を T 、両ケーブルの長さの差を Δ としこれらの値を大きめにとり、 $l \sim 100\text{m}$ 、 $\alpha \sim 2 \times 10^{-4}$ 、 $T \sim 25^{\circ}\text{C}$ 、 $(l-l') \sim 1\text{m}$ 、とすると、



第3図 ケーブルの伸縮による局内遅延時間変動のモニタ

$$\Delta = \alpha T(l-l') = 5 \times 10^{-3} [m]. \quad \dots(4)$$

したがって、 l と l' の設定誤差 1 m に対し、ケーブルの伸びの差は 5 mm 以下であり、0.1 ns の精度で問題になる 2 cm の長さには比べ無視できる。

以上のように、VLBI で、0.1 ns の精度を追求する段階に入ると、局内遅延時間を時間的に不変な値と見なすことはできなくなる。したがって、更に高精度の VLBI を目指すには、システム全体の電気長の変動要因を十分把握しておく必要がある。

4. む す び

局内遅延時間の決定精度は、測地など、今後の応用面において、更に、一層重要となってくるであろう。以上の方法によれば、VLBI の遅延時間決定精度に伴い、これと同程度の局内遅延時間決定精度が得られる。

しかし、局内遅延時間の測定結果を裏付けるデータが少いので、従来の方法における測定も coarse の測定として実行し、新しい測定法による値をサポートする意味がある。そこで、この面でも測定精度の向上を図るよう、検討を続けることが望ましい。なお、既に従来の測定方法でも測定器の読取精度が ± 1 ns を達成できるものが出現しているため、局内遅延時間決定の測定器における誤差は一段と小さくなった。

最後に、日頃御指導頂く生島支所長、川尻第三宇宙通信研究室長に感謝するとともに、有意義な御討論を頂いた第三宇宙通信研究室の皆様、深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 平山博編、電子通信工学ポケットブック、pp. 309, 丸善、Apr. 1970.

