



Title	放送衛星による標準周波数供給実験：北海道大学における精密測定系について
Author(s)	小川, 恭孝; 加藤, 裕司; 伊藤, 精彦
Citation	北海道大學工學部研究報告, 101, 17-28
Issue Date	1980-12-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/41647
Type	bulletin (article)
File Information	101_17-28.pdf



[Instructions for use](#)

放送衛星による標準周波数供給実験*

— 北海道大学における精密測定系について —

小川 恭孝** 加藤 裕司** 伊藤 精彦**

(昭和 55 年 6 月 30 日受理)

An Experiment of Standard Frequency Dissemination via a Broadcasting Satellite

— On a Precise Measurement System in Hokkaido University —

Yasutaka OGAWA, Yuji KATO and Kiyohiko ITOH

(Received June 30, 1980)

Abstract

A color-subcarrier in a TV signal via a broadcasting satellite is expected to be an effective medium for future frequency dissemination. The difficulty inherent in use of the broadcasting satellite is a Doppler shift due to the drift around the geostationary orbit. Therefore, it is important to measure the Doppler shift of the color-subcarrier precisely and to establish a technique which cancels the effect.

This paper describes the configuration of a semi-automatic Doppler shift measurement system using the GP-IB (General Purpose Interface Bus). The system records the phase difference between a color-subcarrier and a reference signal generated from a rubidium frequency standard. The frequency of the color-subcarrier is compared precisely with that of the reference signal by measuring the phase shift versus time.

Then, this paper describes the accuracy of the rubidium frequency standard in the measurement system. Finally, it is reported that the measurement system revealed satisfactory performance.

1 ま え が き

周波数は、時刻とともに自然科学、工学において最も重要、かつ、基本的な量の一つである。我国における周波数の国家標準は、郵政省電波研究所で保持されており、その精度は、昭和 54 年現在、 10^{-13} に達している³⁾。最近の計測技術の進歩、宇宙科学、電子航法、測地技術の発展に伴い、

* この研究は、本学の特定研究費、および、放送文化基金の援助により行われている。

** 電子工学科 電波伝送工学講座

高精度の標準周波数供給法を確立することが要望されている。短波、および、長波の標準電波、ロランC電波等⁶⁾に比べ、TV信号に含まれるカラーサブキャリアを利用する方法¹⁾は、精度、経済性、使いやすさの面からみて、極めて優れた標準周波数供給法であると言える。我国においては、NHK、および、ANBが東京の局内スタジオから放送するプログラムについて、ルビジウム周波数標準を用いているので、そのカラーサブキャリア（ $5\text{ MHz} \times 63/88 = 3.579545\text{ MHz}$ ）は、高精度の標準周波数として利用可能である。又、その同期パルスは、時刻の標準供給に使用されている。しかし、ローカル局から送られるプログラムには、水晶発振器が使用されること、伝搬遅延時間がしばしば変動することなどの理由により、既存の地上回線経由で送られるTV信号は、周波数、および、時刻標準の供給媒体として必ずしも適切ではない。

現在、郵政省電波研究所、および、NHKでは、実験用中型放送衛星「ゆり」（以下、BSと略す）を用いて、新たなTV放送技術を開発する研究が鋭意進められている。一方、放送衛星のTV信号は、周波数と時刻標準の供給媒体としても注目されている。これは、あらかじめ標準供給を行うことを目的の一つとして衛星放送システムの設計を行うならば、極めて利用しやすい、周波数と時刻の供給法を形成することが可能となるためである。

BSカラーサブキャリアの短期周波数安定度は、地上回線の場合とほぼ同程度であることが既に報告されている⁴⁾⁵⁾。しかし、衛星の静止軌道からの漂動に起因するドップラシフトは、放送衛星を用いた周波数標準の供給を行う際に重大な障害となる。そのため、ドップラシフトを実測し、定量的にその特性を把握するとともに、その補正法を開発することが重要である。

北海道大学、鹿児島大学などの原子周波数標準を所有するいくつかの研究機関は、郵政省電波研究所を中心にして、BSを用いた周波数、および、時刻標準の供給実験を行う予定である。これは、BSの応用実験の一項目として実施されるものであり、昭和55年度後半に開始される計画である。

ここでは、北海道大学で構成されたカラーサブキャリア周波数精密測定系について説明し、動作試験の結果を報告している。

2 北海道大学におけるカラーサブキャリア周波数精密測定系

図1に北海道大学で構成されたカラーサブキャリア周波数精密測定系のブロック図を示す。これは、二つの信号の位相差の時間変化率から、両信号の周波数差を精密に求める測定系である¹⁾。各部分の動作の概略は、以下の通りである。

(1) 基準信号の発生

ルビジウム周波数標準の5MHz出力は、 $5/3.58\text{ MHz}$ 周波数変換器によって、 3.579545 MHz の正弦波に変換（ $5\text{ MHz} \times 63/88$ ）される。このようにして得られた信号が本測定系における基準信号となる。

(2) カラーサブキャリアの抽出

北海道大学で開発と設計が行われた平面型スロットアレー空中線⁷⁾⁸⁾を用いて受信された、BSからのTV信号は、簡易受信機により、通常のVHF帯のTV信号（2ch）に変換される。カラーサブキャリア信号（公称周波数、 3.579545 MHz ）は、カラーTV受像機の色同期回路より、シンクロスコープ用の10：1プローブと高入カインピーダンスのバッファアンプを介して抽出されている。又、通常の地上回線で伝送されるNHK-TVのカラーサブキャリアは、後で述べるようにルビジウム周波数標準の周波数測定に使用される。

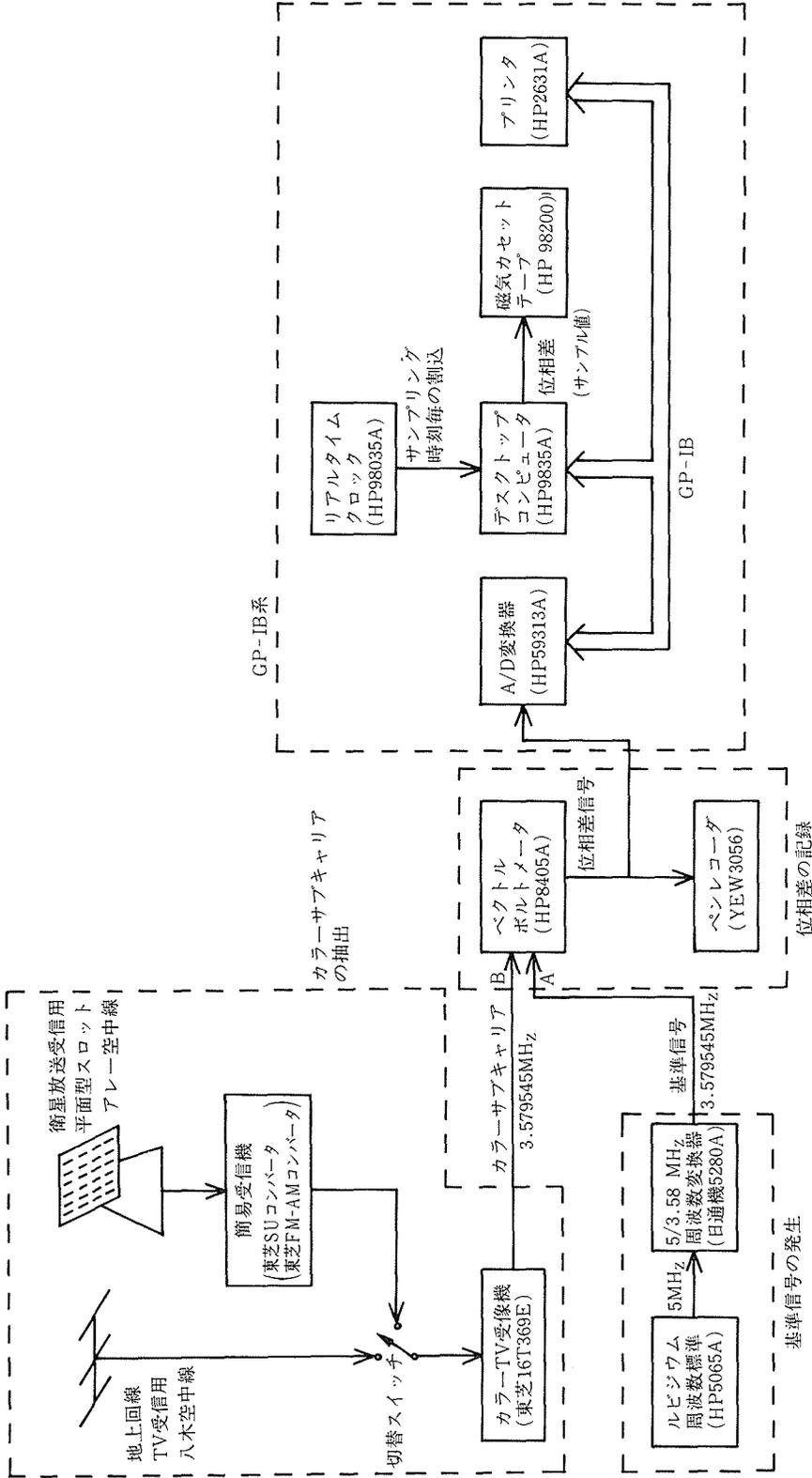


図1 北海道大学におけるカラーサブキャリア周波数精密測定系

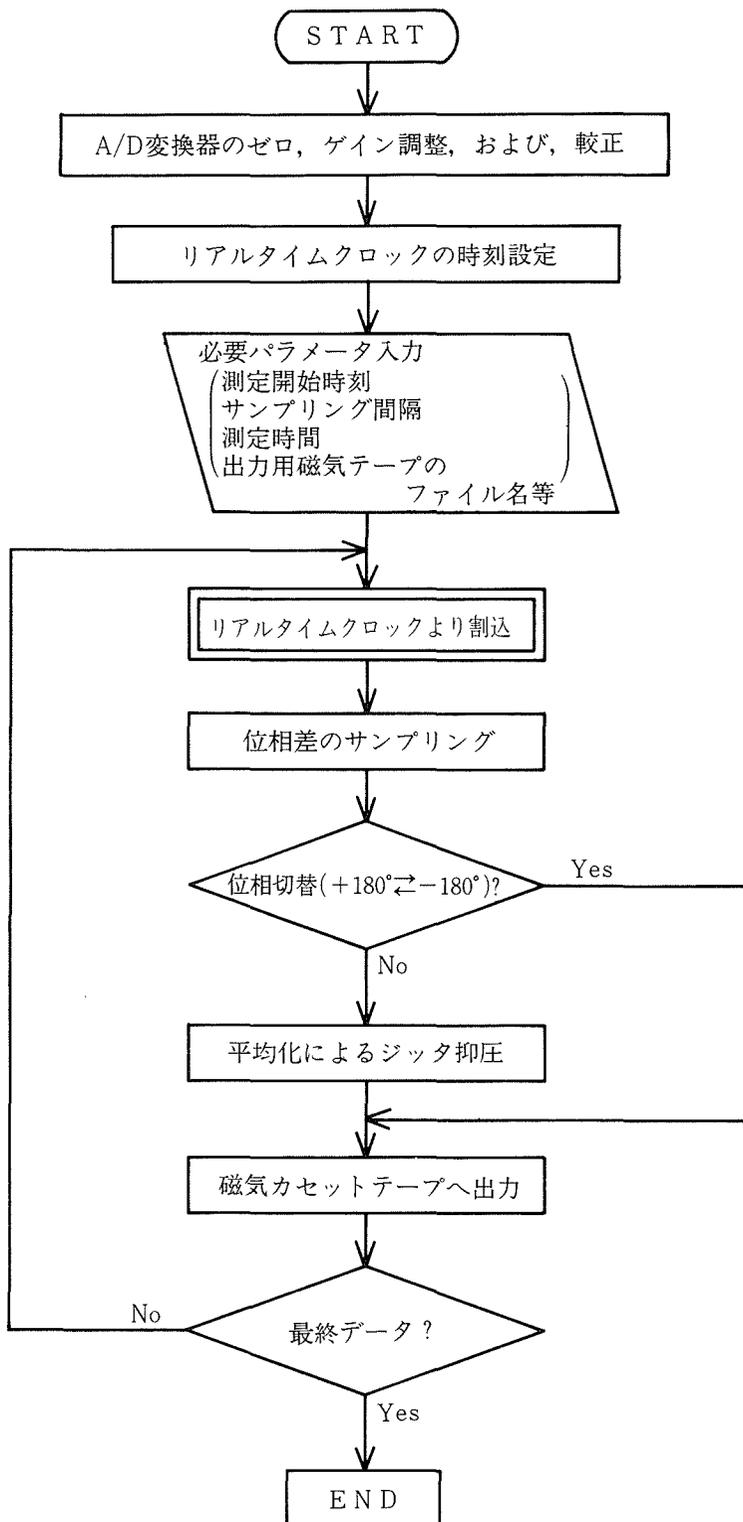


図2 位相測定用ソフトウェアのフローチャート

(3) 位相差の記録

抽出されたカラーサブキャリア信号と(1)で述べた基準信号との位相差がベクトルボルトメータにより測定され、その出力がペンレコーダーで記録される。位相差の時間変化率を読取ることによって、両信号の周波数差が精密に測定される。BS受信実験の前後に地上TV回線のカラーサブキャリアを仲介として、図1のルビジウム周波数標準と郵政省電波研究所の標準の周波数を精密に比較するならば、BSカラーサブキャリア周波数を極めて高い精度で測定することが可能である。

(4) GP-IB系

BS等の静止衛星のドップラシフトは、ほぼ24時間を周期とする日周変動を示す。そのため、必要とされる位相差信号は膨大な量になり、解析には長い時間を要する。著者らは、迅速、かつ、高精度のデータ処理を可能にするため、測定系のGP-IB (General Purpose Interface Bus) 化を行った。これは、ベクトルボルトメーター出力($\pm 180^\circ$ が $\pm 0.5\text{Volts}$ に対応)を、A/D変換器(フルスケール約 $\pm 1\text{Volt}$, 分解能 11bits)によって、周期的にサンプルし(周期は10秒程度)、得られた位相差情報を磁気カセットテープに記憶させる半自動位相記録システムである。このシステムの制御には、デスクトップコンピュータ HP9835A が用いられている。又、サンプリング時刻の検出は、リアルタイムクロックによって行われている。

これらを制御するソフトウェアの概略は、図2のフローチャートに示されている。又、参考のために、BASICを用いて書かれたプログラム全体を附録に載せている。

カラーサブキャリア位相にはジッタが含まれているので、これを除去するため、サンプリング時刻をばさんで200 msec 毎に、10~20個程度のサンプル値を求め、これらを平均して、そのサンプリング時刻の位相差としている。

磁気テープに記憶された位相情報から、BSカラーサブキャリアのドップラシフトを計算するソフトウェアは、まだ完成されていないが、デスクトップコンピュータ HP9845B のGraphics機能を用いて、測定された位相データをブラウン管に表示し、人間と対話することによって処理する予定である。これは、位相切替($+180^\circ \rightleftharpoons -180^\circ$)の回数など、人間のパターン認識機能を補助として用いることにより、ドップラシフトの正確な値を求めることが可能なためである。

GP-IB化の行われた位相測定系において、ペンレコーダーによって得られる連続位相記録は、位相跳躍の検出、ドップラシフト抑圧のための送信周波数補正⁴⁾⁵⁾の検出、GP-IB系に障害が発生したときのバックアップなどに使用される。

3 ルビジウム周波数標準の精度

図1に示した測定系において最も重要なルビジウム周波数標準は、以下のように郵政省電波研究所の国家標準と周波数比較される。

NHK-TVのカラーサブキャリア位相を図1の測定系を用いて記録する。同じ時間にわたって、郵政省電波研究所でもNHK-TVのカラーサブキャリア位相を求める。両方で得られた位相記録の差を計算すると、カラーサブキャリアの位相が相殺されるために、北海道大学のルビジウム周波数標準と郵政省電波研究所の周波数標準との位相差が求められる。このようにして得られた位相差の時間変化より、北海道大学のルビジウム周波数標準と郵政省電波研究所の標準とが周波数比較される¹⁾。番組の切替等により、位相記録には跳躍が生ずるが、共通した跳躍は相殺されるので、かなり長い時間にわたる比較が可能である。特に、NHK教育TVの位相跳躍は、NHK総合に比べて共通している場合が多いので高精度比較には有利である。これは、東京-札幌間の中

継ルートがNHK 総合より、NHK 教育の方が短いためと考えられる。昭和 55 年 1 月以降の周波数比較には、NHK 教育 TV が用いられているので、それ以前に比べ、測定精度は相当向上している。

ルビジウム周波数標準の周波数は、加えられる磁界の大きさを変えることによって調整される。これをマグネティックフィールドコントロールと呼ぶ。著者らは、図 1 に示した測定系を構成して以来、昭和 54 年 10 月 17 日と昭和 55 年 2 月 9 日の 2 度、上述のマグネティックフィールドコントロールを行い、現在（昭和 55 年 6 月）に至っている。この間のルビジウム周波数標準の周波数精度を図 3、4 に示した。これらは、全て上述の NHK-TV カラーサブキャリアを仲介に、郵政省電波研究所の標準周波数と比較して得られた結果である。BS カラーサブキャリアのドッ

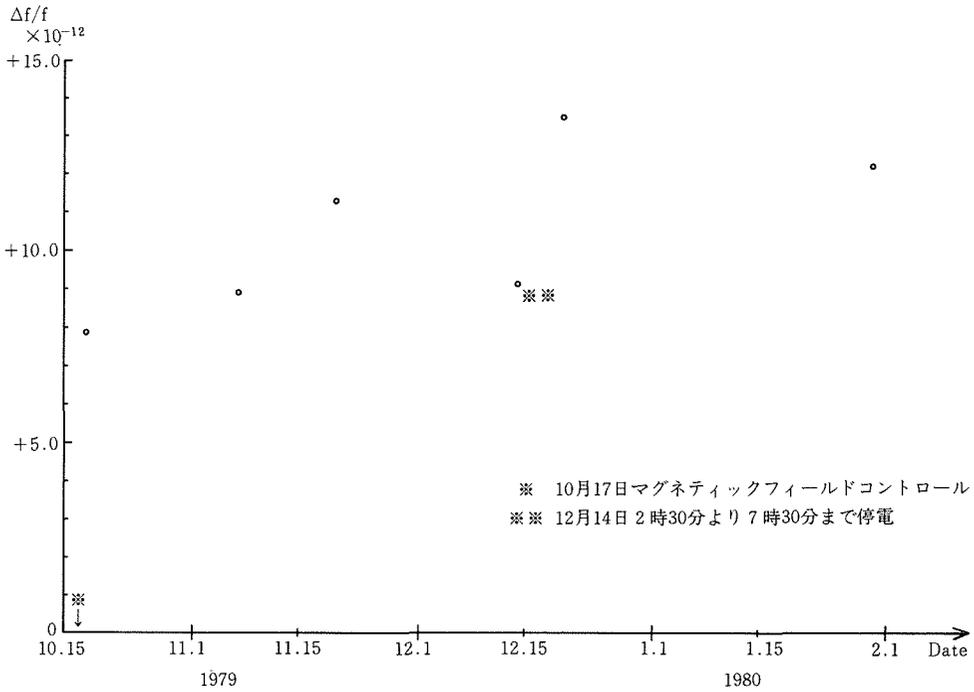


図 3 北海道大学のルビジウム周波数標準の周波数偏差 1

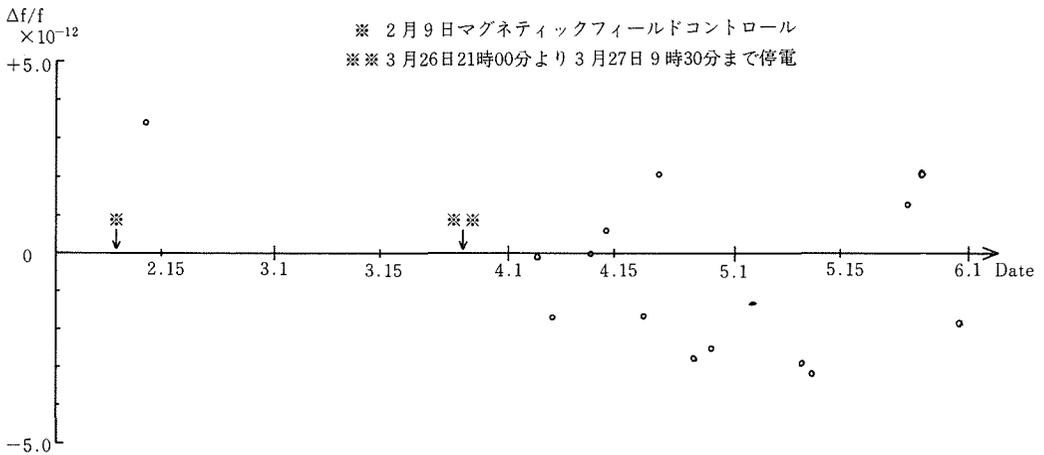


図 4 北海道大学のルビジウム周波数標準の周波数偏差 2

プラシフト値が 10^{-9} ~ 10^{-8} をピーク値とする日周変動をすること、郵政省電波研究所鹿島主局（BS送信局）における受信周波数偏倚が0になるように送信周波数の補正⁴⁾⁵⁾を行っても、札幌では最大 10^{-10} のオーダーの残留ドップラシフトが存在することから考え、北海道大学のルビジウム周波数標準は、本研究を遂行するために必要な精度を充分持っていることが明らかである。

4 動作試験結果

第2章で述べた測定系の動作試験のため、昭和54年度において数回、BS受信実験を行った。図5は、昭和54年12月18、19日におけるBSカラーサブキャリアのドップラシフト値である。これは、ペンレコーダーによって得られた連続位相記録から20分間の位相変化量を読取ることにより、BSカラーサブキャリアと図1の基準信号との周波数差を求め、更に、北海道大学と郵政省電波研究所鹿島主局のルビジウム周波数標準の誤差を補正して得たものである。図5には、BSの軌道予測値を用いた、ドップラシフトの計算値も画かれている。測定されたドップラシフトには、予想されたように、ほぼ24時間周期の日周変動が見られること、理論値ともかなり良く一致していることなどから、本論文で述べられた周波数測定系は、所望の動作をしていることが確認された。

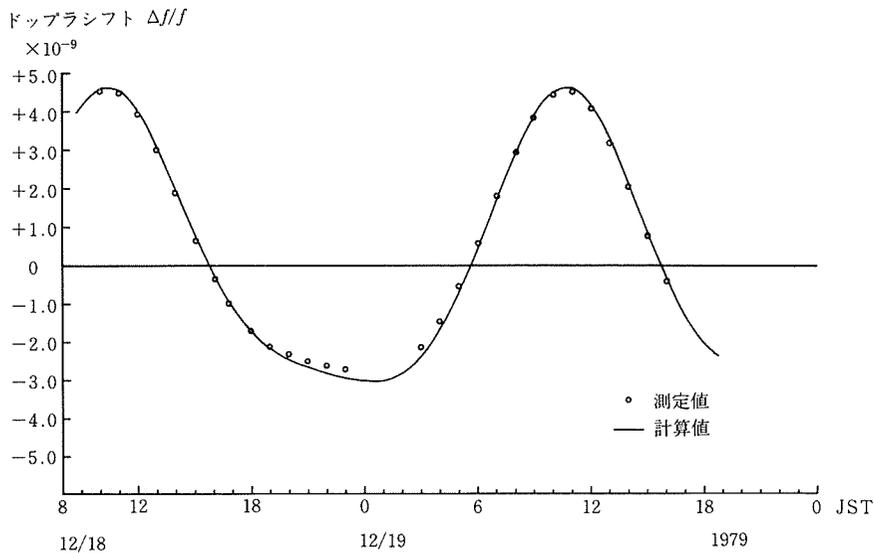


図5 北海道大学で測定されたBSカラーサブキャリアのドップラシフト

5 む す び

本論文では、放送衛星カラーサブキャリアを用いて周波数標準供給を行う際に問題となるドップラシフト値を精密に測定するシステムの概要を示し、順調に動作することを報告した。北海道大学で構成された精密測定系は、GP-IBを用いて半自動化されているが、大量のデータ処理を必要とする本実験には、極めて有効であると言える。

測定されたドップラシフト値、および、それらに対する考察は、別の機会に報告する予定である。

謝辞 種々御指導を賜わり、必要なデータを提供していただいている、郵政省電波研究所の佐分利義和周波数標準部長、小林三郎主任研究員、および、鹿児島大学の草部宏成工学部長に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 佐分利義和, 安田喜之, 小林三郎, 佐藤得男: “TV 信号を利用した時刻と周波数の精密比較”, 電波研究所季報, vol. 18, No. 99, pp. 433-444 (Nov. 1972).
- 2) 高橋富士信: “放送衛星を利用した精密時刻供給法の提案”, 電波研究所季報, vol. 22, No. 118, pp. 135-142 (June 1976).
- 3) 佐分利義和: “最近の周波数標準”, 電波技術協会報, No. 87, pp. 6-9 (Mar. 1979).
- 4) Y. Saburi, Y. Yasuda, S. Kobayashi and T. Sato. “T & F Comparisons via Broadcasting Satellite and Navigation Technology Satellite”, in Proc. 11th Ann. PTTI Planning Meeting (Nov. 1979).
- 5) 佐分利義和, 小林三郎, 佐藤得男, 斉藤義信, 高橋富士信, 安田喜之, 今江理人: “B S による標準時刻および周波数供給システムの実験計画”, 電波研究所研究発表会予稿, 第 58 回 (June 1980).
- 6) P. Kartschoff: Frequency and Time, Monographs in Physical Measurement, Academic Press (1978).
- 7) 伊藤精彦, 中岡快二郎, 松本正: “寒冷地用スロットアレイアンテナの開発”, 電子通信学会技術研究報告, EMCJ 78-5, pp. 1-8 (May 1978).
- 8) 伊藤精彦: “北大における放送衛星の直接受信について”, 電子通信学会技術研究報告, MW 79-31, pp. 1-8 (June 1979).

附 録

GP-IB系の制御プログラムを以下に示す。

```

10  REM Program  * BCFMV5 *
20  ! Broadcasting Satellite Color-subcarrier Frequency Measurement
30  ! Program Version 5
40  ! A Phase Difference between BS-Color-subcarrier and Hokudai-Rb-Output
50  ! is Measured. (Phase in deg.)
60  ON INT #9,10 GOSUB Measurement  !!! Interruption Setting Up !!!
70  CONTROL MASK 9;128                !!! Interruption Setting Up !!!
80  CARD ENABLE 9                      !!! Interruption Setting Up !!!
90  !
100 OPTION BASE 1
110 DIM R(100)
120 SHORT Mtout(100)
130 INTEGER Flag
140 !
150 Ch$="8"                            ! Channel 4 of the A/D Converter is Employed.
160 GOSUB A_d_adjust ! Zero and Gain Adjustment of A/D Converter.
170 GOSUB P_p_value ! Vector Voltmeter Outputs: +180 to Regu/ -180 to Regl
180 GOSUB Clock_check! Adjustment of the Real Time Clock.
190 Check=(Regu-Regl)/3
200 INPUT "Measurement Interval (Ti) ? (sec)",Ti
210 INPUT "Sampling Number (Ns) ? Choose from 11,21,31,41.",Ns
220 PRINT LIN(3),"Program * BCFMV5 *"
230 PRINT USING Fmt_5;Ti,Ns,Regu,Regl
240 Fmt_5: IMAGE /2X,"Measurement Interval (Ti)",DDDD," sec Sampling Number",
      DDD/2X,"Regu(+180deg)=",DDD,3X,"Regl(-180)=",DDDD
250 T=.1*(Ns-1)
260 INPUT "Approximate Measuring Time ? (Hours,Minutes)",H_m,M_m
270 Mes_time=H_m*3600+M_m*60 !! Approximate Measuring Time [sec]
280 Mtaces=0
290 INPUT "File Name ?",Mtfn$
300 Word=100 !!! Number of Words for ONE Record. !!!
310 Byte=4*Word
320 Rec=INT(Mes_time/(Ti*Word))+4 !! The File has Rec (records).
330 CREATE Mtfn$,Rec,Byte
340 PRINT " File name ";Mtfn$," Rec ";Rec;" Byte ";Byte
350 ASSIGN Mtfn$ TO #1
360 ! !!!! -----!!
370 INPUT "Beginning Time of the Measurement ? Year,Month,Date,Hour,Minute,Seco
nd",Yr,Mo,Dt,Hr,Mn,Sc
380 GOSUB Set_time_3 ! Setting up the Final Time of Measurment.
390 !
400 PRINT USING Fmt_80;Yr,Mo,Dt,Hr,Mn,Sc,Dtf,Hrf,Mnf,Scf
410 Fmt_80: IMAGE /2X,4D,X,2D,2X,"from ",2D,X,2Z,X,2Z,X,2Z,2X,"to ",2D,X,2Z,X,
      2Z,X,2Z
420 INPUT "Would You Like to Have Phase Outputs ? Y or N",Debug$
430 IF Debug$="N" THEN Main_20
440 PRINT USING Fmt_10
450 Fmt_10: IMAGE //5X,"Year Mo Dt Hr Mn Sc Phase(deg)"/
460 Main_20: !
470 ENABLE
480 Flag=-1 !! When Flag=0, Program is Ready for Termination.
490 K=1
500 PRINT #1;Yr,Mo,Dt,Hr,Mn,Sc,Dtf,Hrf,Mnf,Scf,Ti,Ns,Regu,Regl
510 GOSUB Set_time_2 ! Setting up the Real Time Clock (Match Mode)
520 !
530 !
540 Dummy: ! Dummy Section is Waiting for the Interruption.
550 DISP "Flag=";Flag;" K=";K;" Mtaces=";Mtaces;" (";Phase;"deg)"
560 Idd=0
570 Idd=Idd
580 GOTO Dummy
590 !
600 !
610 ! *****
620 !
630 A_d_adjust: ! Zero/Gain Adjustment of A/D Converter (HP59313A)
640 INPUT "Would You Like to Adjust the A/D Converter ? Y or N",Ans$
650 IF Ans$="N" THEN RETURN
660 DISP "Pull All Input Jacks on the Rear Pannel. Then Press the CONT Key."
670 PAUSE

```

```

680 A_0: DISP "Move the CAL Switch to '0' Position. Then Press the CONT K
ey."
690 PAUSE
700 A_1: GOSUB A_d_conv_1
710 DISP "A/D Conv. Output is ";Reg;"(must be 0)."

```

```

1350 DISP "Here, We Check the Real Time Clock. Press the CONT Key."
1360 PAUSE
1370 OUTPUT 9;"R"
1380 ENTER 9;Time$
1390 DISP "The Real Time Clock Said It is ";Time$;". "
1400 WAIT 5000
1410 INPUT "Is the Real Time Clock Alright ? Y or N ",Ans$
1420 IF Ans$="Y" THEN RETURN
1430 DISP "Set up the Real Time Clock Correctly, Then, Press the CONT Key."
1440 PAUSE
1450 RETURN
1460 !
1470 !
1480 ! *****
1490 !
1500 Measurement: ! Here, We Take Ns Phase-Data Every 200 m sec.
1510 BEEP
1520 OUTPUT 707;"H"&Ch$&"G"
1530 WAIT 1
1540 OUTPUT 707;"J"
1550 FOR I=1 TO Ns
1560 Bu=READBIN(707)
1570 B1=READBIN(707)
1580 IF Bu>3 THEN M_1
1590 R(I)=Bu*256+B1
1600 GOTO M 2
1610 M_1: R(I)=(Bu-255)*256+B1-256
1620 M_2:NEXT I
1630 !
1640 FOR I=2 TO Ns ! Rejection of Phase-Jump Data.
1650 IF ABS(R(I)-R(I))>Check THEN M_3
1660 NEXT I
1670 W=R(1) ! Phase Jitter is Reduced by Averaging.
1680 FOR I=2 TO Ns !
1690 W=W+R(I) !
1700 NEXT I !
1710 Phase=-180+360*(W/Ns-Reg1)/(Regu-Reg1)
1720 GOTO M 4
1730 M_3: Phase=-999
1740 M_4: !
1750 IF Debug$="N" THEN M_20
1760 PRINT USING Fmt_20;Yr,Mo,Dt,Hr,Mn,Sc,Phase
1770 Fmt_20: IMAGE 5X,4D,X,2D,X,2D,X,2Z,X,2Z,X,2Z,4X,SDDD.D
1780 M_20: !
1790 Mtout(K)=Phase
1800 IF K=Word THEN M_6
1810 K=K+1
1820 GOTO M_5
1830 M_6: GOSUB Mt_out !!!!! *** MT OUT *** !!!!!
1840 M_5: GOSUB Set_time_1 ! Dt,Hr,Mn and Sc are Updated.
1850 GOSUB Set_time_2 ! Hrb,Mnb and Scb are Updated.
1860 IF (Dt)=Dtf) AND (Hr)=Hrf) AND (Mn)=Mnf) AND (Sc)=Scf) THEN Flag=0
1870 CARD ENABLE 9 !!!
1880 RETURN
1890 !
1900 !
1910 ! *****
1920 !
1930 Set_time_1: ! Here, Dt,Hr,Mn AND Sc are Updated.
1940 Sc=Sc+Ti
1950 I=0
1960 St1_1: IF Sc<60 THEN St1_2
1970 Sc=Sc-60
1980 I=I+1
1990 GOTO St1_1
2000 St1_2: Mn=Mn+I
2010 IF Mn<60 THEN RETURN
2020 Mn=Mn-60
2030 Hr=Hr+1 !!! We Assume Ti<60*60 (1hr) holds.
2040 IF Hr<24 THEN RETURN

```

```

2050 Hr=Hr-24
2060 Dt=Dt+1
2070 RETURN
2080 !
2090 !
2100 ! *****
2110 !
2120 Set_time_2: ! Here, Hrb,Mnb and Scb are Updated.
2130 Scb=Scb-T
2140 Mnb=Mn
2150 Hrb=Hr
2160 IF Scb>=0 THEN St2_1
2170 Scb=Scb+60
2180 Mnb=Mnb-1
2190 IF Mnb>=0 THEN St2_1
2200 Mnb=Mnb+60
2210 Hrb=Hrb-1
2220 IF Hrb>=0 THEN St2_1
2230 Hrb=Hrb+24
2240 St2_1: ! Setting up the Real Time Clock (Match Mode)
2250 OUTPUT 9;"U1H,U1=01"
2260 OUTPUT 9 USING "3A,3(2Z)";"U1M",Hrb,Mnb,Scb
2270 OUTPUT 9;"U1G"
2280 RETURN
2290 !
2300 !
2310 ! *****
2320 !
2330 Mt_out: ! Phase Data are Stored on a Magnetic Tape Here.
2340 Mtaces=Mtaces+1
2350 IF Flag=0 THEN Mt_out_1
2360 PRINT #1;Mtout(*)
2370 K=1
2380 RETURN
2390 Mt_out_1: ! A Final Record.
2400 PRINT #1;Mtout(*),END
2410 ASSIGN * TO #1 !!! The File is Closed. !!!
2420 OUTPUT 9;"R"
2430 ENTER 9;Mo_ff,Dt_ff,Hr_ff,Mn_ff,Sc_ff
2440 PRINT " Final Time Date ";Dt_ff;" ";Hr_ff;"h";Mn_ff;"m";Sc_ff;"s"
2450 PRINT LIN(1)," File Name *";MtfN$;"* Mtaces(# of Accesses)=";Mtaces,LIN
(1)," * Word(Words/Record)=";Word
2460 STOP
2470 !
2480 !
2490 ! *****
2500 !
2510 Set_time_3: !! Approximate Final Time of Measurement is Set up Here.
2520 !! (Dtf,Hrf,Mnf,Scf)
2530 Dtf=Dt
2540 Hrf=Hr+H_m
2550 Mnf=Mn+M_m
2560 Scf=Sc
2570 Lw=0
2580 St3_1: IF Mnf<60 THEN St3_2
2590 Mnf=Mnf-60
2600 Lw=Lw+1
2610 GOTO St3_1
2620 St3_2: Hrf=Hrf+Lw
2630 Lw=0
2640 St3_3: IF Hrf<24 THEN St3_4
2650 Hrf=Hrf-24
2660 Lw=Lw+1
2670 GOTO St3_3
2680 St3_4: Dtf=Dtf+Lw
2690 RETURN
2700 END

```