

マイクロ波無線機の 周波数の高精度化について

局発を外部信号に同期させる実験 2

2005年11月20日

JF1WKX 勝間 伸雄

全国マイクロウエーブ合同ミーティング

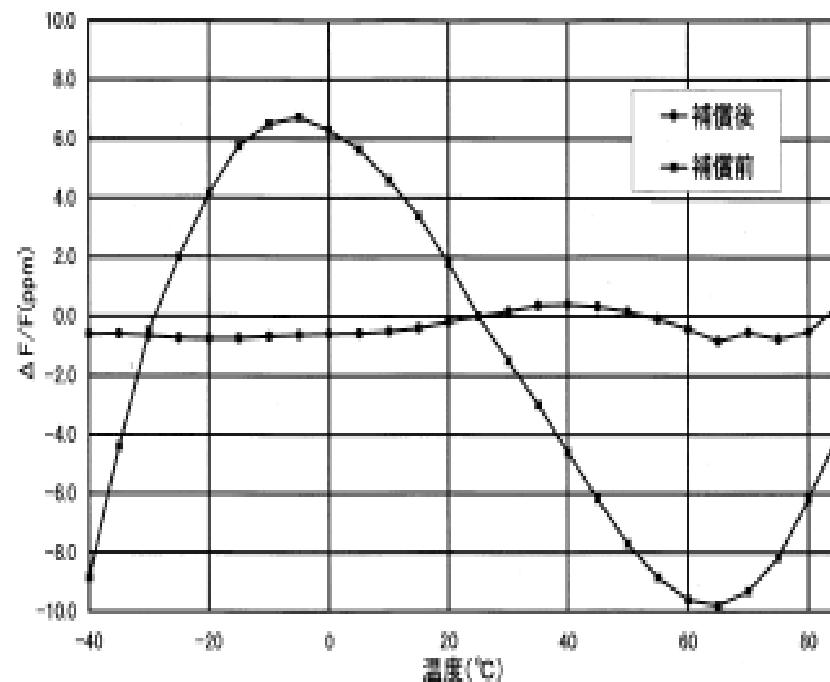
内容

- ⇒ 周波数の誤差について
- ⇒ OMの実験例、業務用機器の例
- ⇒ 回路の製作と通信実験
- ⇒ GHz帯PLL-VCOの製作
- ⇒ 特性の測定
- ⇒ まとめ
- ⇒ その他の応用例

発振周波数の誤差の影響

水晶発振器の50の
周波数変動は10ppm程度
24GHzでは数10KHz以上の
誤差

- ・待ち受け受信は困難
- ・移動実験では、アンテナ
の方向と周波数を探す
ことになる



FUJITSU GENERAL TECHNICAL JOURNAL 1999 No.1

「高安定KuバンドPLL LNB」より

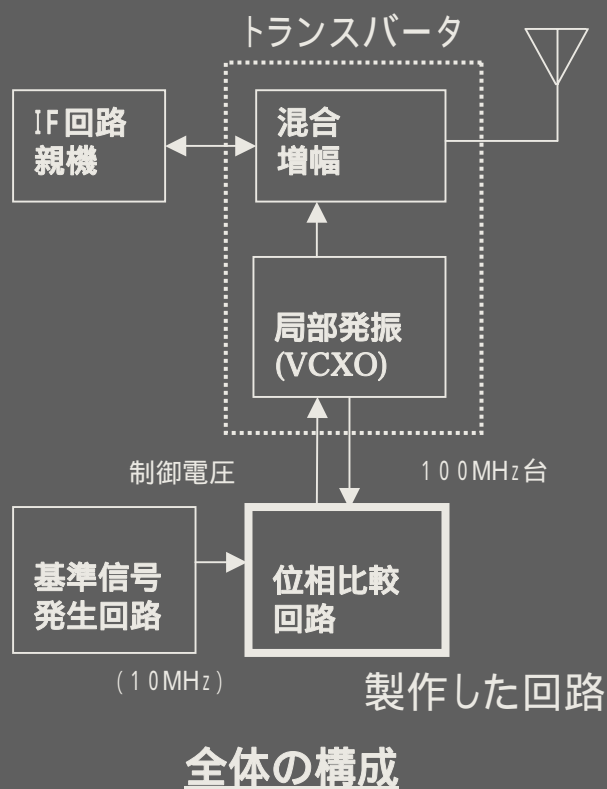
周波数誤差の目標値

「SSBで待ち受け受信が出来るようにしたい」

24GHzで1KHz以内 = 0.4×10^{-9} (0.0005ppm)

- ・ルビジウム発振器、GPS受信機、
カラー同期信号等の誤差レベルが必要

正確な信号に局発を同期させる



周波数の基準となる基準信号
(GPS受信機、ルビジウム発振器、
TV放送カラー同期信号など)
局部発振回路
(トランスバータの内部の回路)
局部発振信号と基準信号の位相
比較回路

トランスバータは、
・マキ電機UTVシリーズ
・DB6NT
・自作機
など。

業務用機器の例 (VSAT)



L BandからKu Bandへのアップコンバータ

Phase Noise (SSB)

- 60 dBc/Hz max. @ 100 Hz
- 70 dBc/Hz max. @ 1 kHz
- 80 dBc/Hz max. @ 10 kHz
- 90 dBc/Hz max. @ 100 kHz

Required External Reference Signal

Frequency : 10 MHz

Input Power : -5 to +5 dBm

Phase Noise :

- 135 dBc/Hz max. @ 100 Hz
 - 140 dBc/Hz max. @ 1 kHz
 - 143 dBc/Hz max. @ 10 kHz
- (NJT5024 / 24Fカタログより)

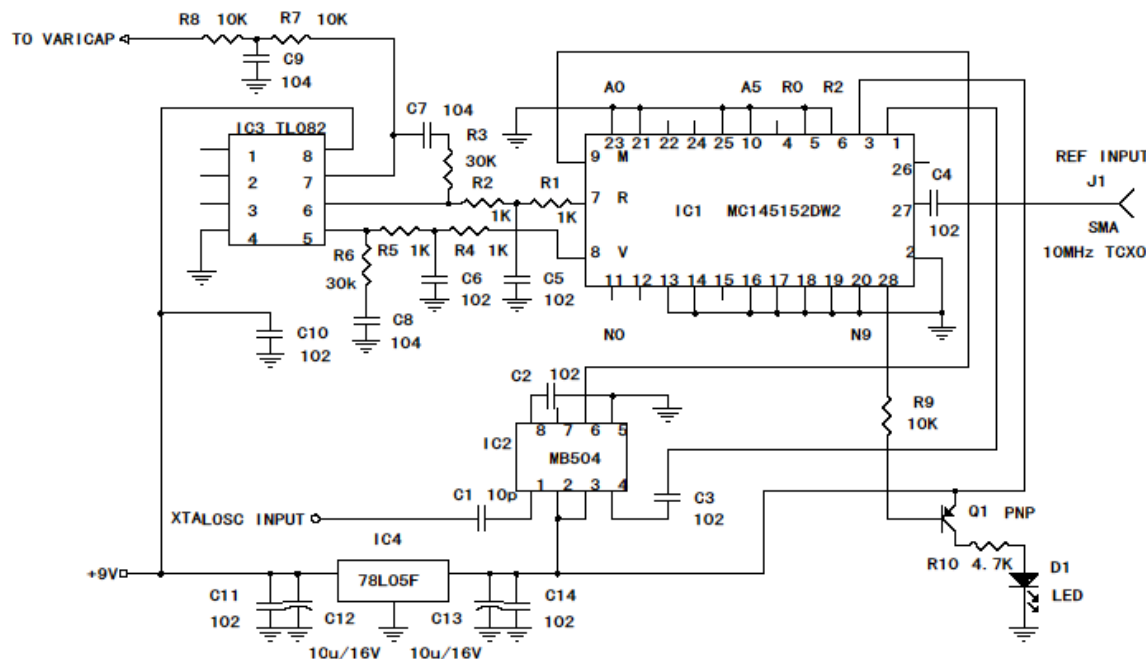


<http://hakone.eri.u-tokyo.ac.jp/vrc/VSAT.htm>

局発 (13.05GHz) を外部の基準信号 (10MHz) に同期させている。
周波数の確度アップと位相ノイズ低減が目的。

OMの実験例 (XPLL)

- ・JA1EPK大日方 OMが発表
- ・汎用PLL IC MC145152 + MB504を使用し、2GHz台まで対応



OMの実験例 (Reflock)

- ・CT1DMKが発表 <http://w3ref.cfn.ist.utl.pt/cupido/reflock.html>
- ・100MHz前後のVCXO
- ・CPLDを使った分周器
と位相比較器
- ・8つの周波数を
プリセット
- ・JAの周波数対応はCPLDの再コンパイルが必要

Reflockの検討結果

- ⇒ Reflockは日本でポピュラーなUTVシリーズに対応しておらず、作者に頼んでプログラムを作ってもらわないといけない。(言葉の障壁)
- ⇒ ループフィルタの追加、入力アンプの安定化など課題があった。

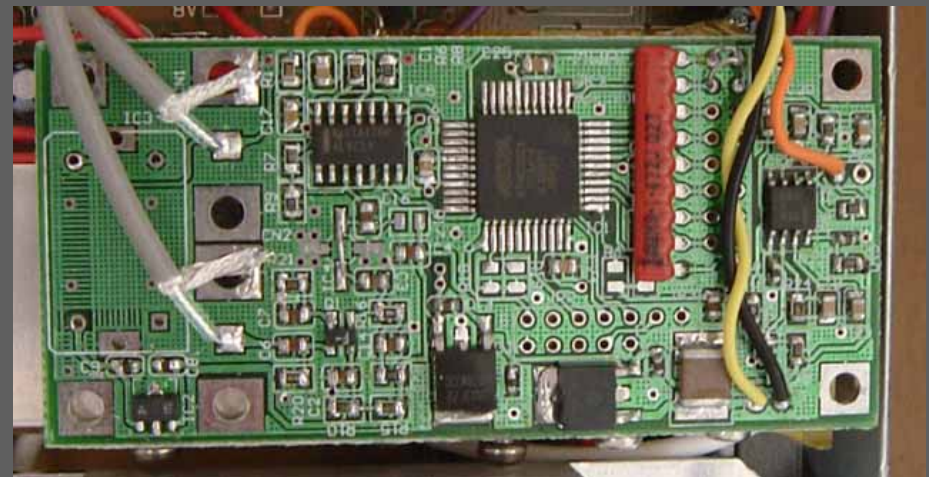
新しくCPLDのソースを起こしオリジナル回路を開発した。「マイクロウェーブチャレンジ2004」で報告

Solid Lockで「Solilock」

(JA7AVQ田村OM命名)

ReflockとSolilock

⇒ Reflockに入力アンプとフィルタを追加

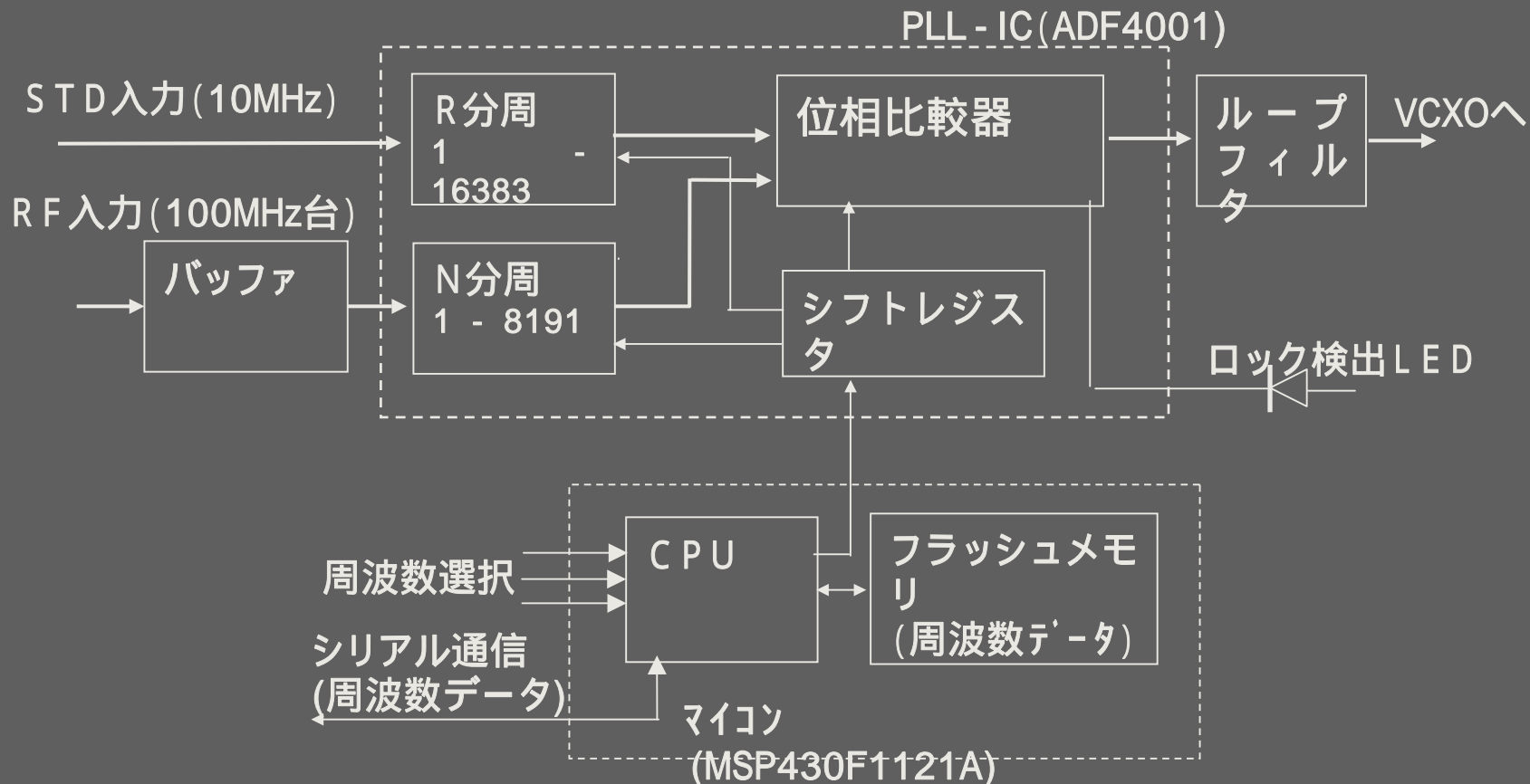


Solilockも色々と不満点が...

Solilock 3の開発

- ⇒ Solilockは新しい周波数への対応が困難
 - ソースの書換、コンパイル、CPLDへの書込を都度行う。
(記述の文法を覚え、開発環境・書込装置を揃えるのはとても大変なので、「誰でも使える」とは言えない)
 - 分周比によってはマクロセルが不足することがある。
 - ⇒ 機能の追加
 - いろいろな周波数に簡単に対応したい
 - ロック検出が欲しい
 - その他の特性も改善したい
- 回路を見直して新しいバージョンを作りました。

Solilock3 ブロック図



Solilock3 ブロック図

周波数の簡単設定

- ⇒ 周波数の設定データは、マイコンに内蔵のフラッシュメモリに記憶
- ⇒ フラッシュメモリはパソコンから書き換えが可能
- ⇒ PLLの分周比の計算、設定データへの変換、マイコンとの通信を行うPCソフトを開発

周波数、逡倍数、STD周波数を入力して、
クリックするだけで設定完了

周波数設定ソフト

Solilock Configurator

LowLevelCommand | Manual Write | ComPort

Frequency	PD Pol	MUX Out	Current1 (mA)
LocalOutput(MHz) <input type="text" value="22740"/>	<input type="radio"/> NEG	<input type="radio"/> 3State <input type="radio"/> R Div	<input type="radio"/> 0.625 <input type="radio"/> 3.125
Multiplier(Order) <input type="text" value="200"/>	<input type="radio"/> POS	<input checked="" type="radio"/> D LD <input type="radio"/> Open D	<input type="radio"/> 1.25 <input type="radio"/> 3.75
VCO(MHz) 113.7		<input type="radio"/> N Div <input type="radio"/> S Data	<input type="radio"/> 1.875 <input type="radio"/> 4.375
STD(MHz) <input type="text" value="10"/>		<input type="radio"/> AVdd <input type="radio"/> GND	<input checked="" type="radio"/> 2.5 <input type="radio"/> 5

LDP	AntiBackLash	TimerCountCTRL	CP Out
<input checked="" type="radio"/> 3cycle	<input checked="" type="radio"/> 2.9ns	<input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 19 <input type="radio"/> 35 <input type="radio"/> 51	<input checked="" type="radio"/> Normal
<input type="radio"/> 5cycle	<input type="radio"/> 1.3ns	<input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 23 <input type="radio"/> 39 <input type="radio"/> 55	<input type="radio"/> 3 State
	<input type="radio"/> 6.0ns	<input type="radio"/> 11 <input type="radio"/> 27 <input type="radio"/> 43 <input type="radio"/> 59	
		<input type="radio"/> 15 <input type="radio"/> 31 <input type="radio"/> 47 <input type="radio"/> 63	

RatioFinder	Result	MemoryChannel
N Counter 1137	Register1 <input type="text" value="00000190"/>	<input checked="" type="radio"/> ch0 <input type="radio"/> ch4
R Counter 100	Register2 <input type="text" value="00047101"/>	<input type="radio"/> ch1 <input type="radio"/> ch5
PD(kHz) 100	Register3 <input type="text" value="000D8093"/>	<input type="radio"/> ch2 <input type="radio"/> ch6
<input type="button" value="prev"/> <input checked="" type="button" value="next"/> <input type="button" value="reset"/>		<input type="radio"/> ch3 <input type="radio"/> ch7
		<input type="button" value="write"/>

Select Solilock Solilock 3 Solilock G

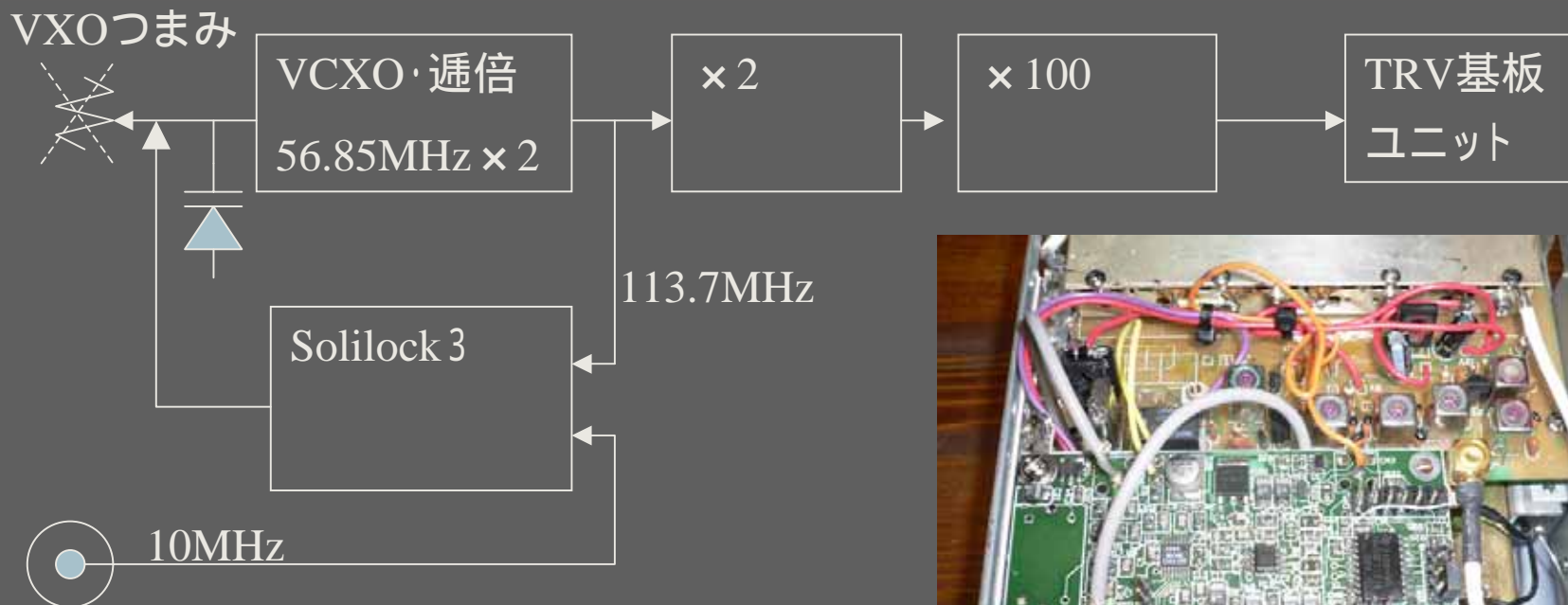
Solilock Configurator V0.91

JF1WKX 2005

低消費電力化

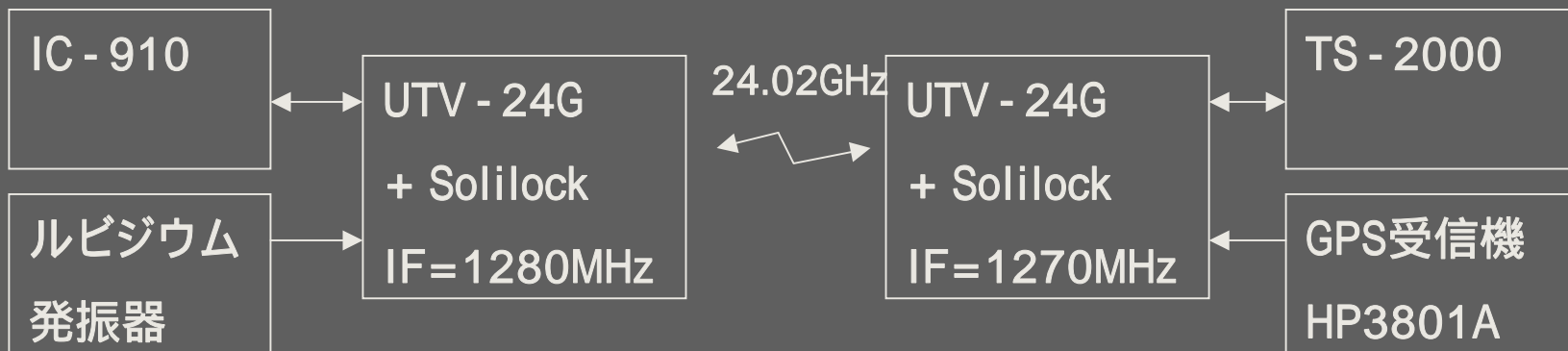
- ⇒ 消費電力の大きいCPLDではなくPLLICを利用することで、1.8W 約0.2Wに低減した。
- ⇒ CPLDでは、STD信号、RF信号をロジックレベルに波形整形していた。
PLLICは、信号を小振幅、正弦波のまま入力できる。
スプリアスのIFへの混入が改善された。

Solilock 3の組込例

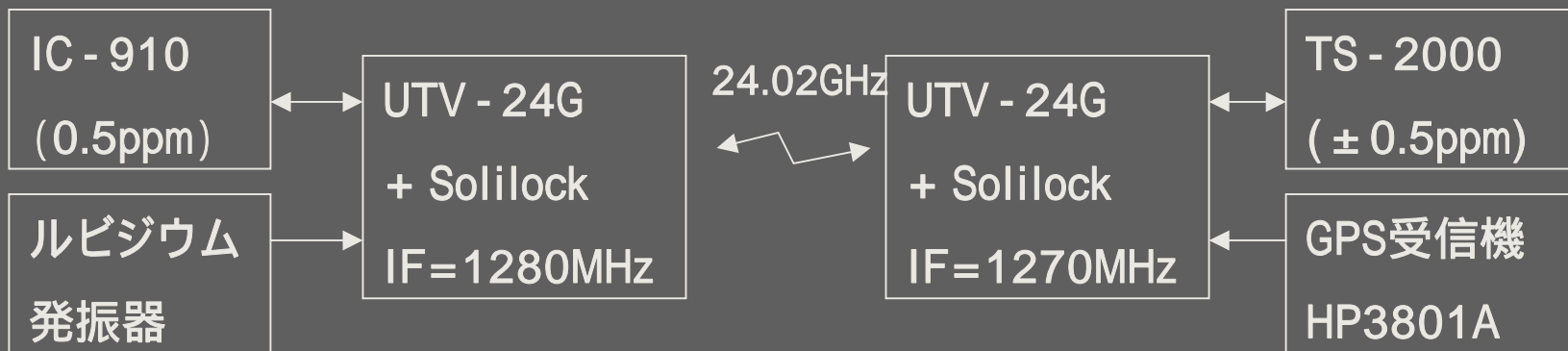


UTV - 24GのVCXO電圧にフィードバック

通信実験



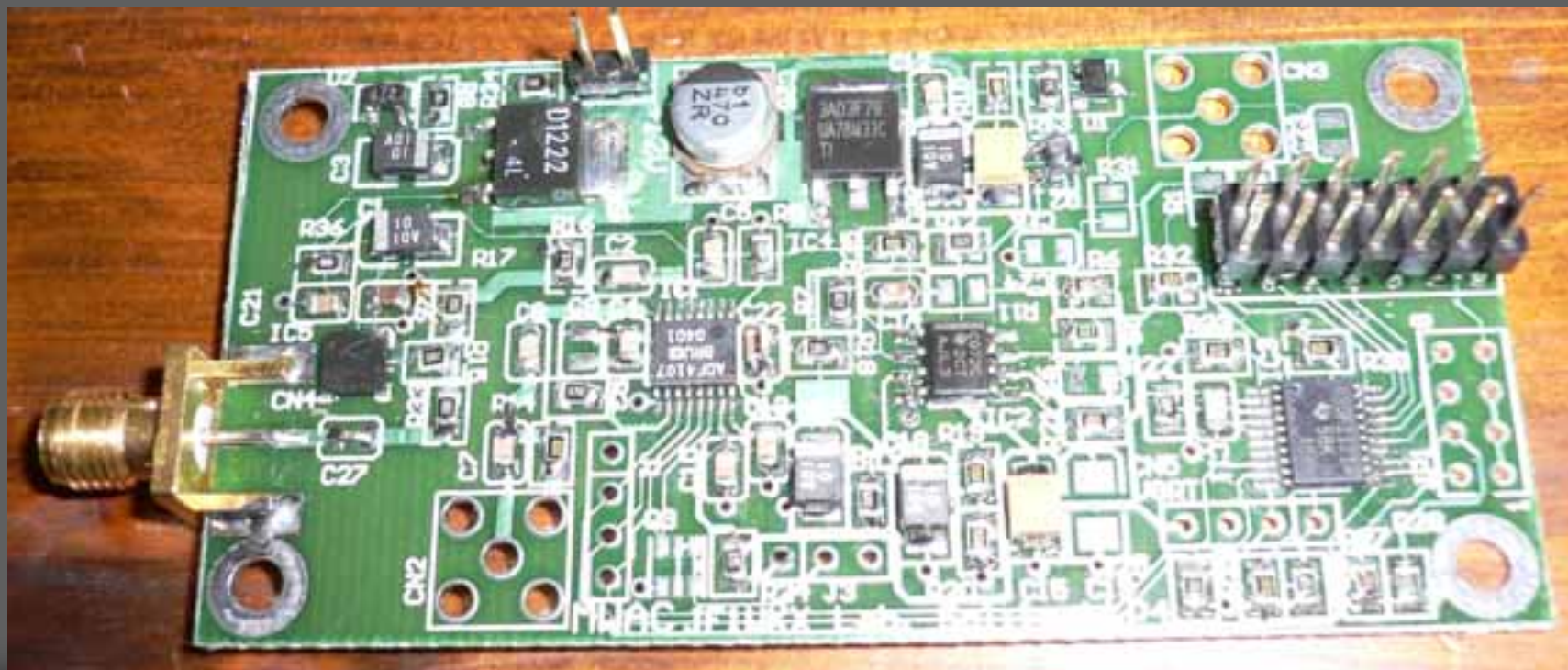
周波数の誤差



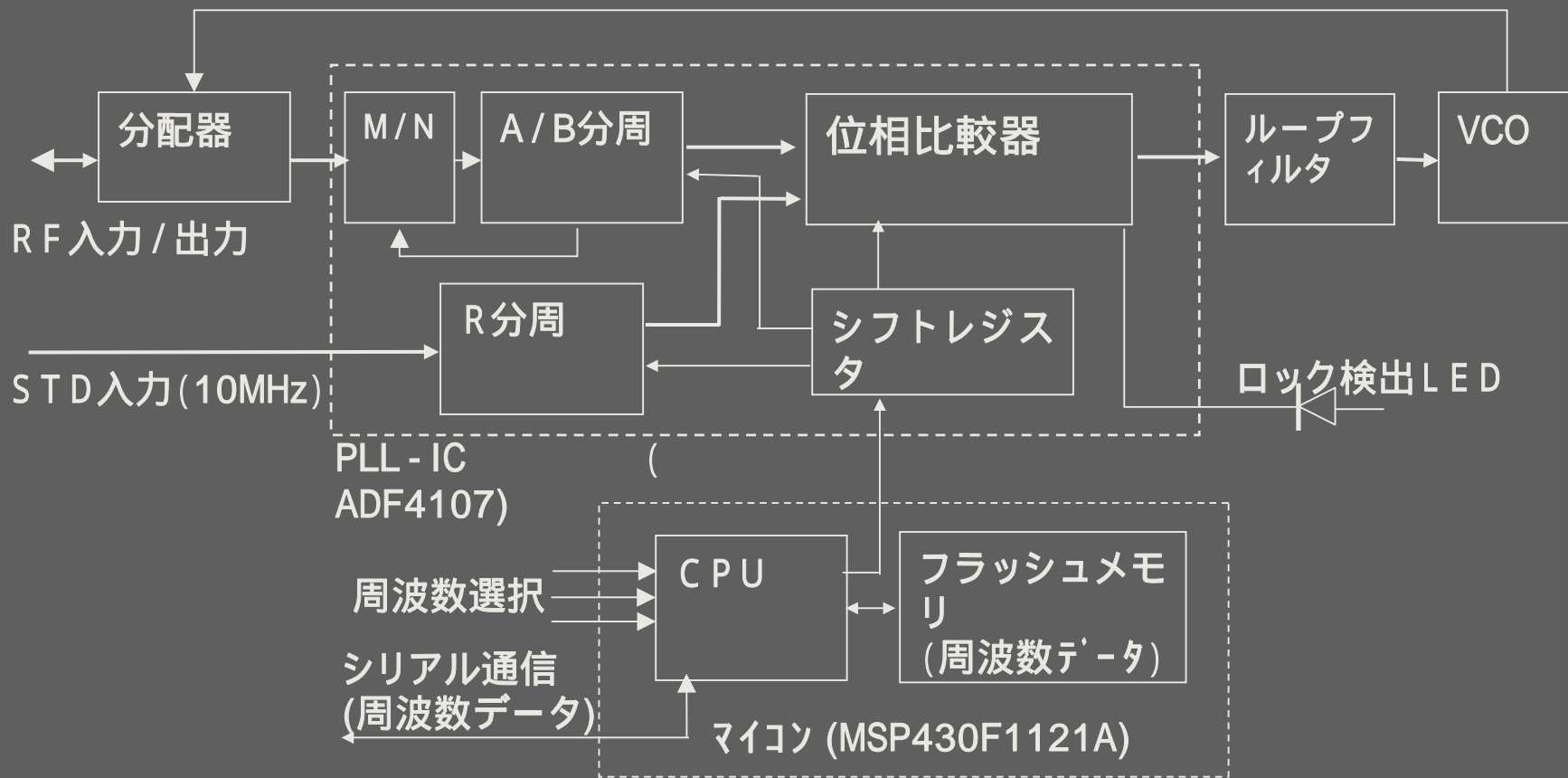
周波数ずれは910Hz

GHz帯PLL - VCOの実験

- ⇒ GHz帯を直接発振する。
- ⇒ Solilock 3 (VHF水晶×逡倍)との比較

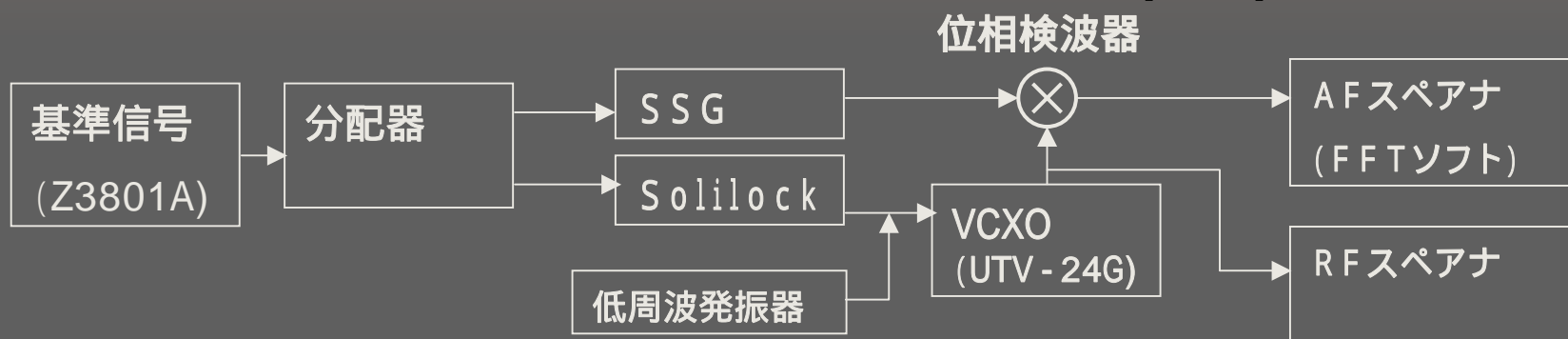


ブロック図



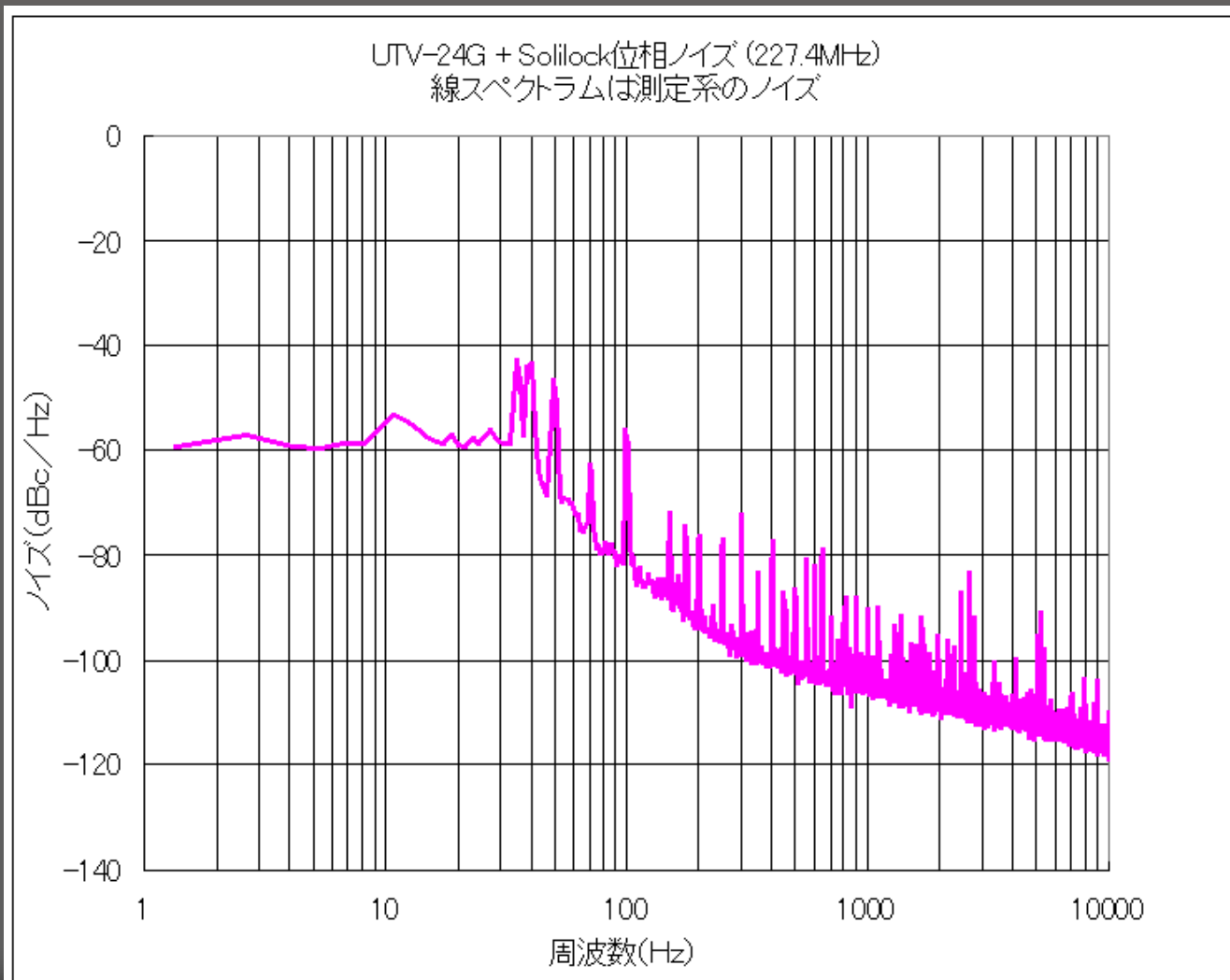
Solilock Gブロック図

位相ノイズの測定方法(1)

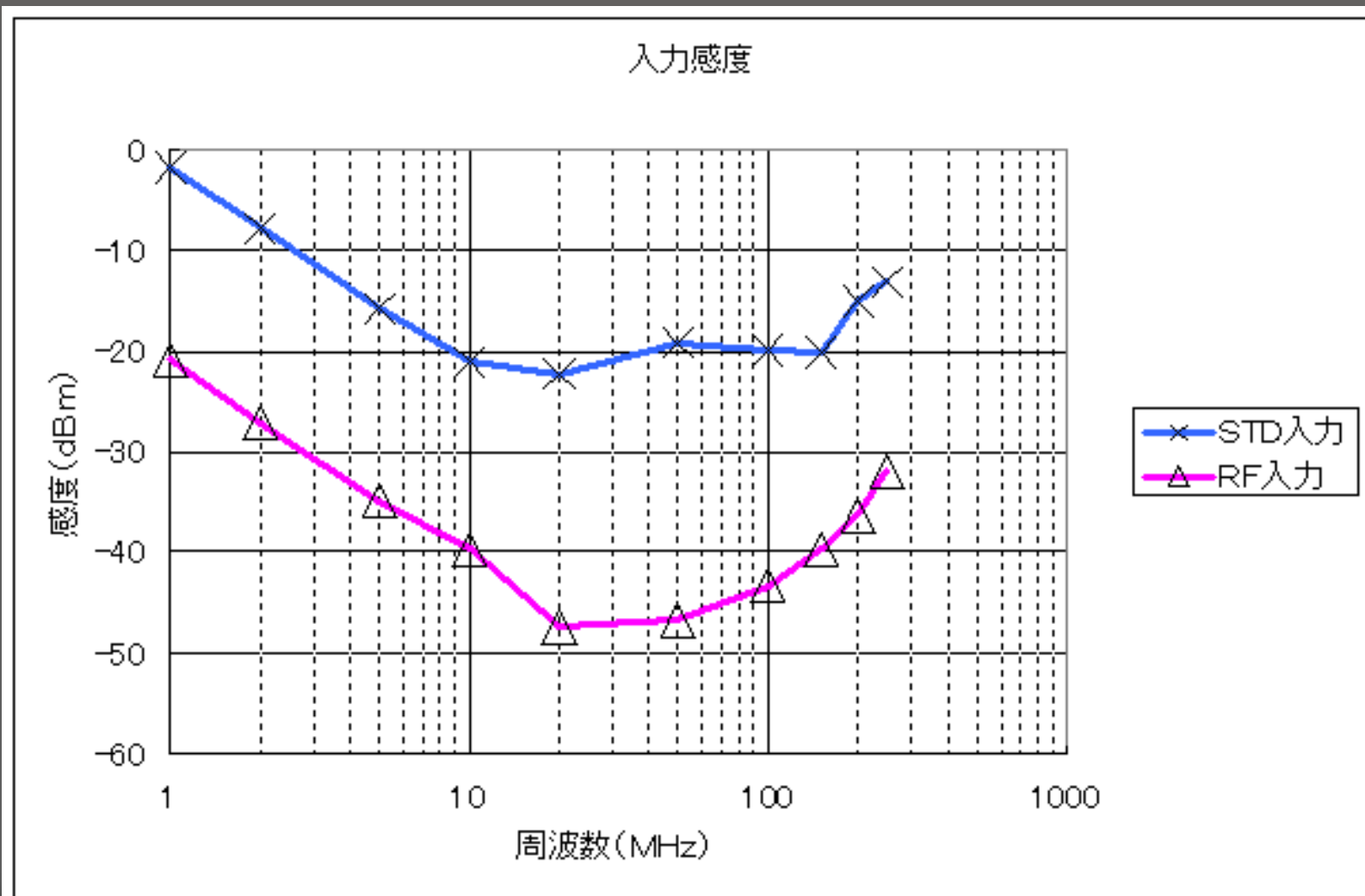


- ⇒ SSGとSolilockを一つの信号に同期させる。二つの信号の位相差は不明だが一定になる。
- ⇒ VCXOを1kHz、40dBcで変調する。そのときの位相検波器の出力レベルを基準レベルにする。
- ⇒ 得られた生データに、位相検波器の f 特(6dB/oct)、AFスペアナの帯域幅の補正を行う。

Solilock3 位相ノイズ



Solilock 3 入力感度特性

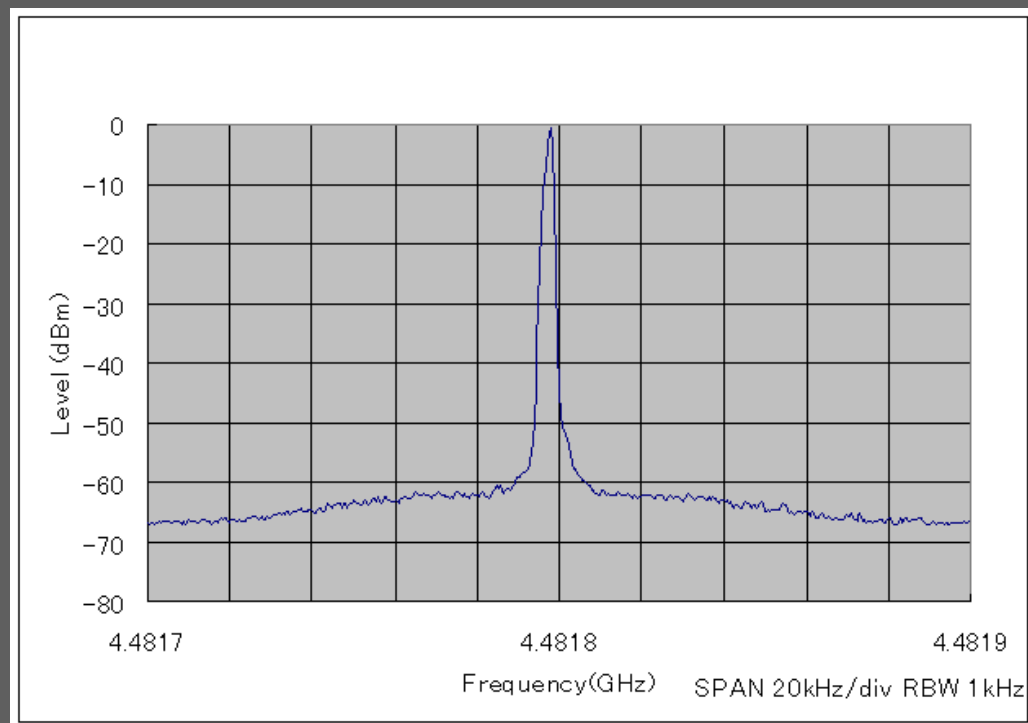


位相ノイズの測定方法(2)

⇒ スペアナでキャリアとのレベル差を求める。

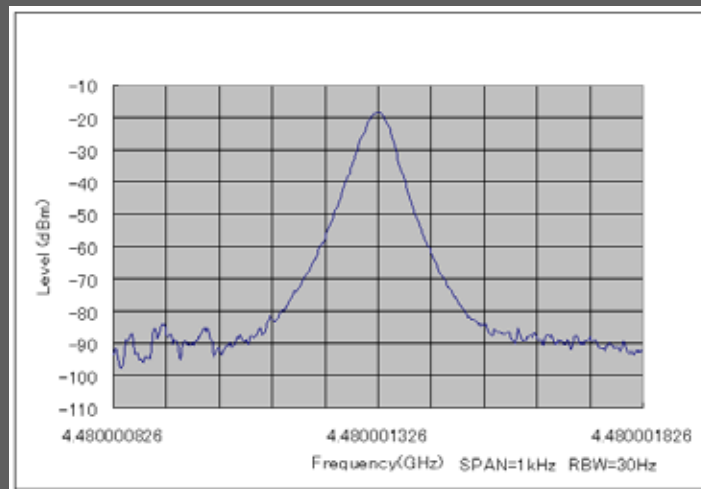
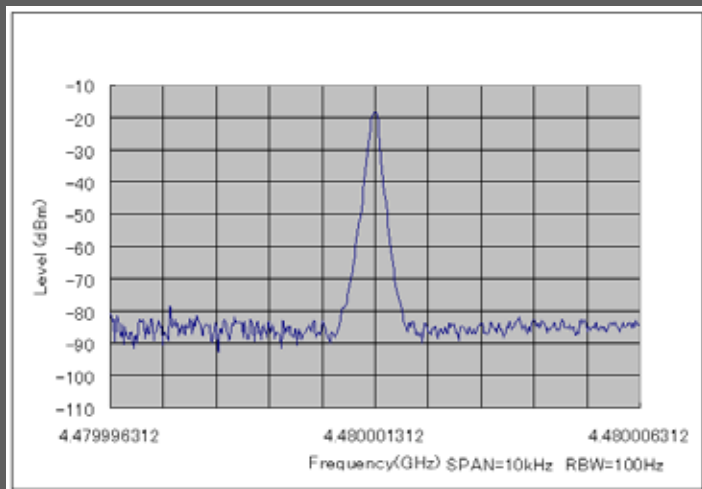
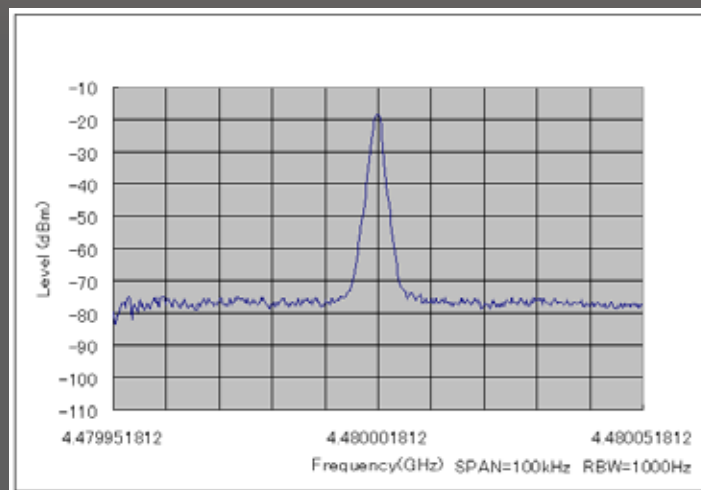
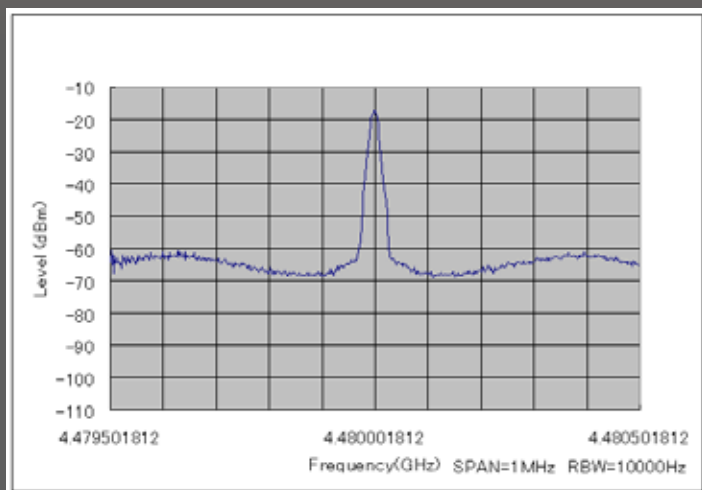
⇒ 測定分解能 (RBW) の補正をする。

dBc/Hzへの変換は
「読み値」 - $10\log(\text{RBW})$

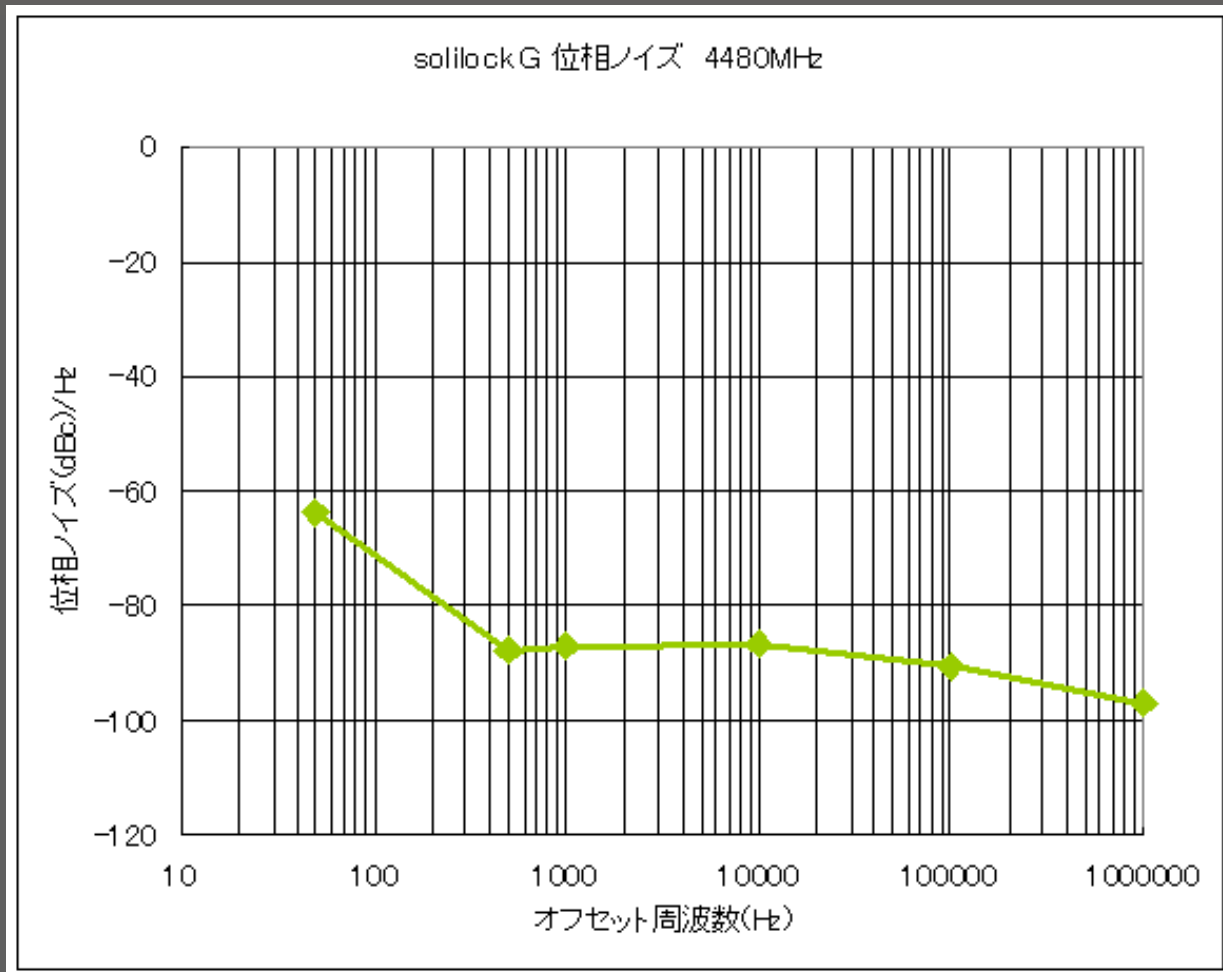


⇒ 図では $-65 - 10\log(1000) = -95\text{dBc/Hz}$

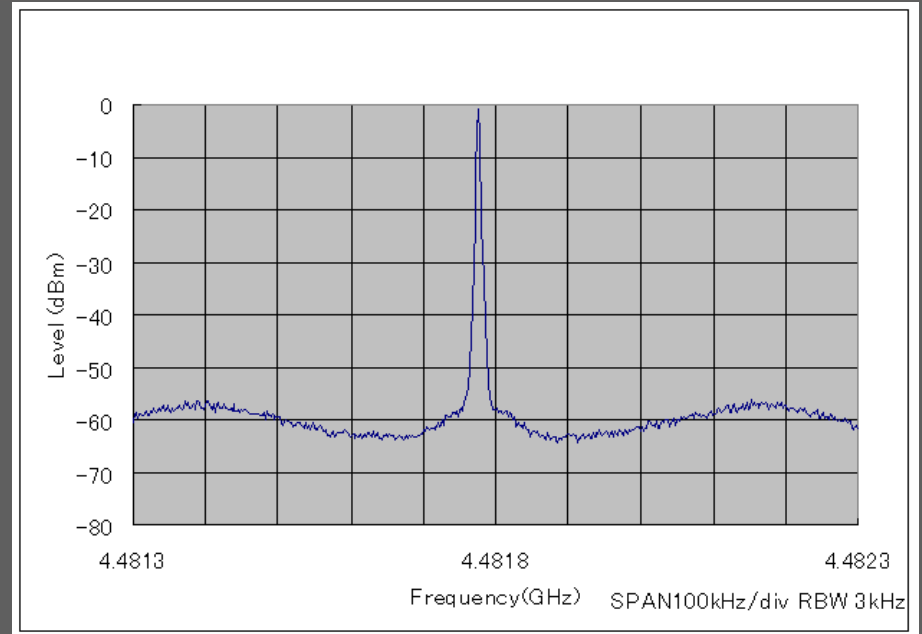
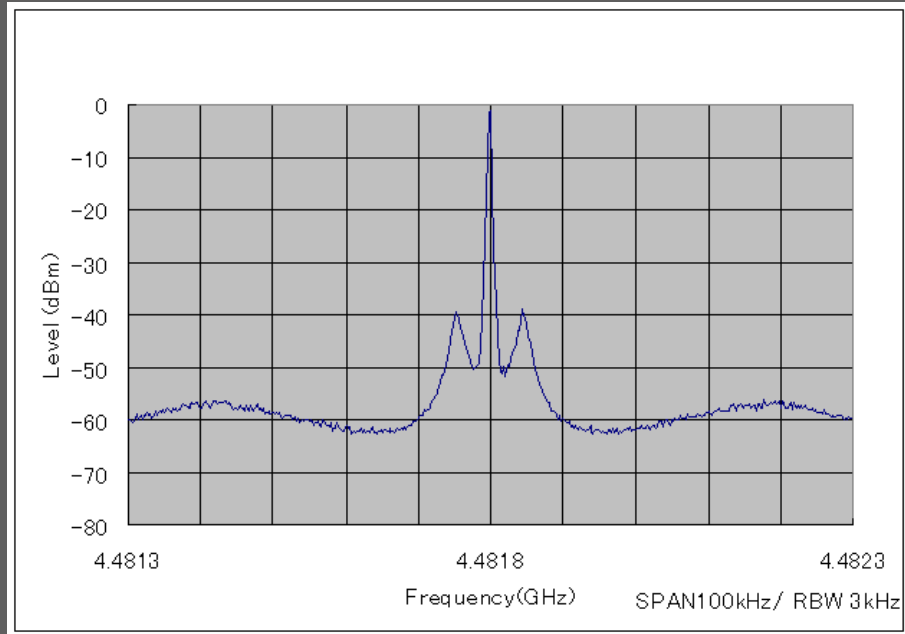
Soliloock G 位相ノイズ



Solilock G 位相ノイズ



基準信号のノイズの影響

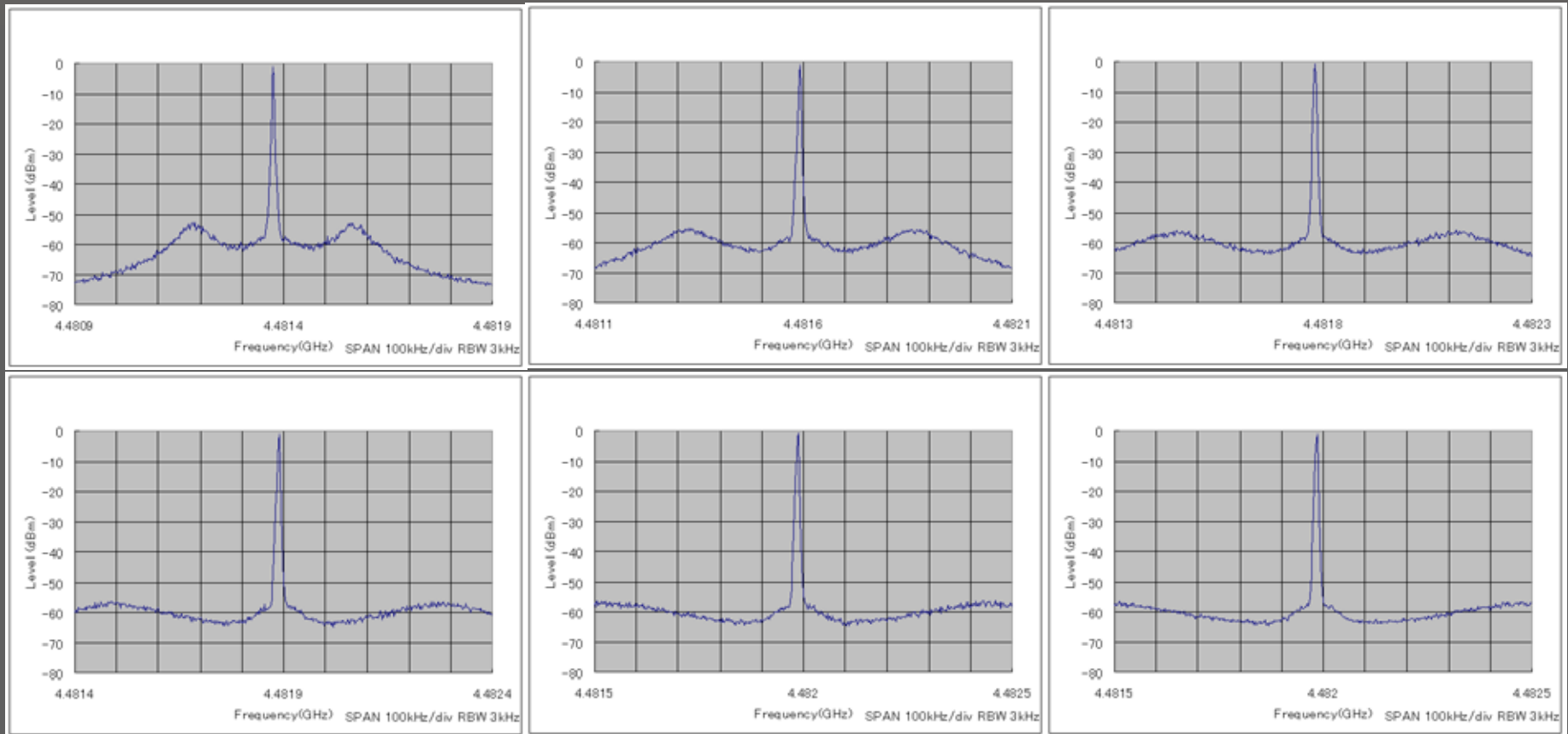


三端子電源 (TA78L05) のノイズが基準発振回路 (TCXO) の信号を変調している？

470uFを電源出力にパラ付けしたら50kHz付近のノイズがなくなった。

ループゲインの影響

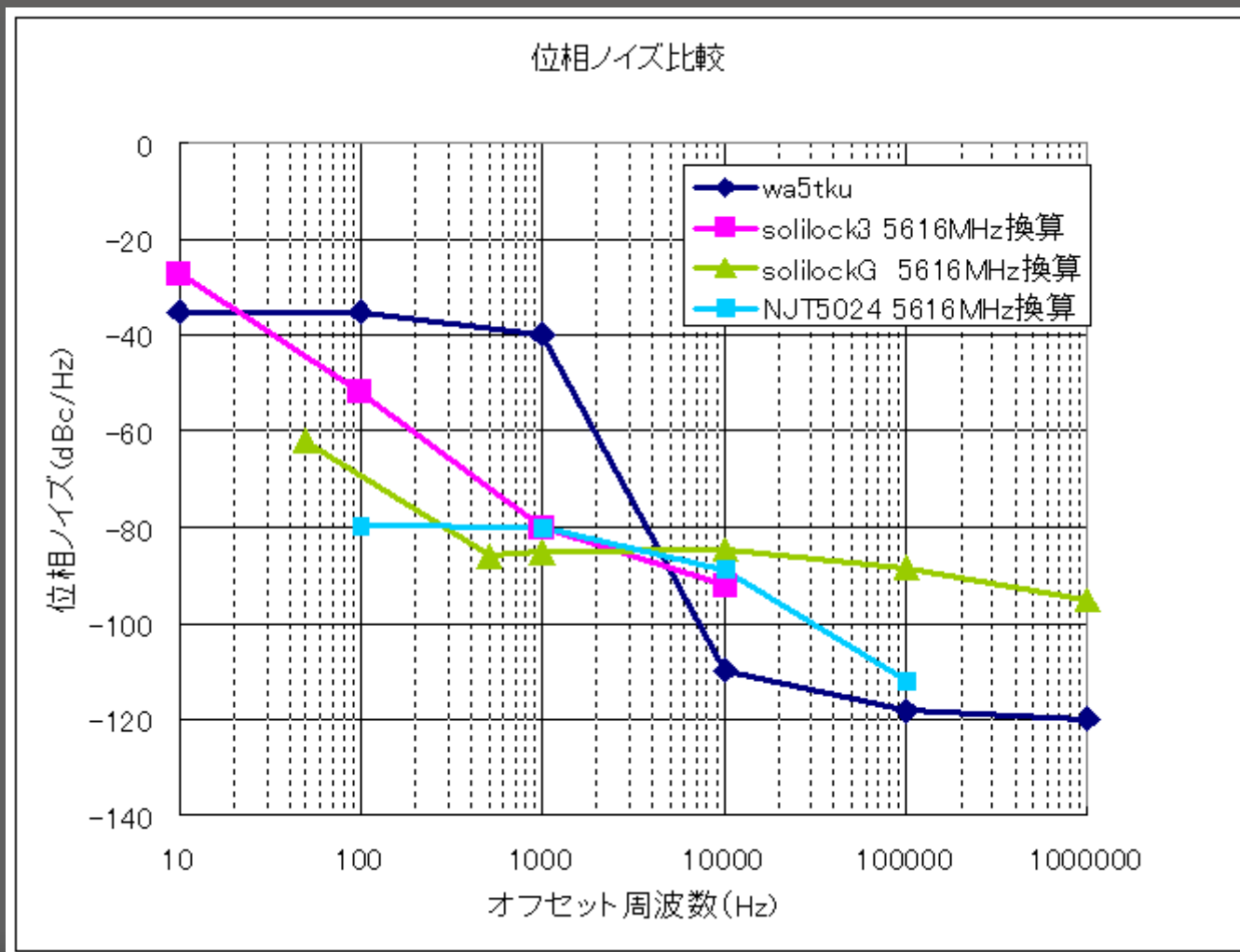
ループゲイン 小 (位相比較器電流小)



ループゲイン大 (電流大)

VCOの感度のばらつきは位相比較器電流で調整可能

位相ノイズの比較



外部同期化のまとめ

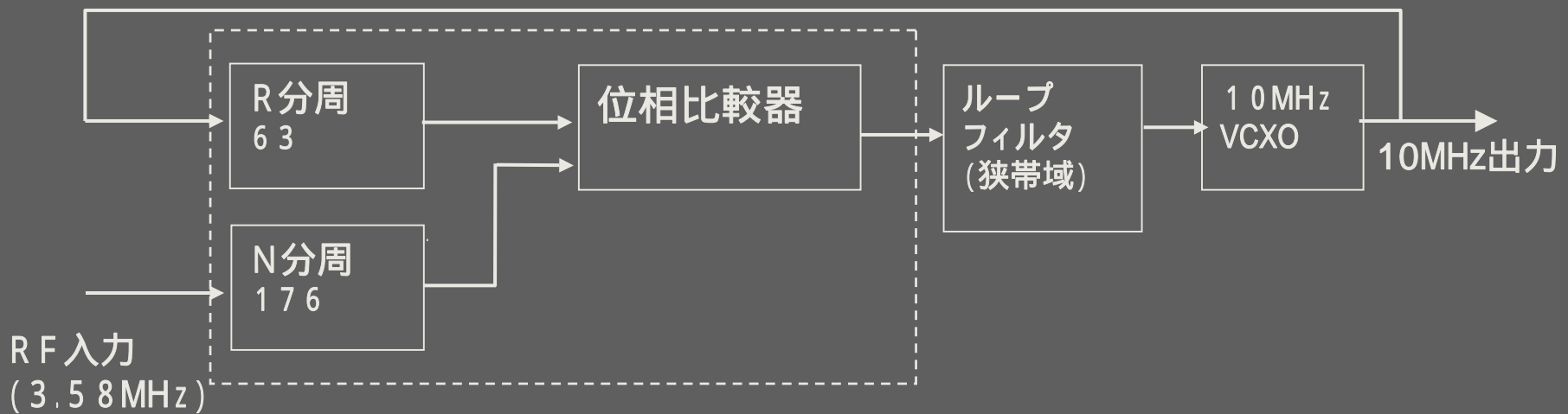
- ⇒ 高精度の信号に同期させることで待ち受け受信が出来るようになった
- ⇒ VHF帯水晶・逡倍回路の組合せと、GHz帯直接発振の得失

原発振	基準信号のCN	逡倍によるCN
VHF水晶	影響小	劣化大
GHz直接	影響大	劣化小

原発振、基準発振の純度がキーポイント

Solilock 3の応用(1)

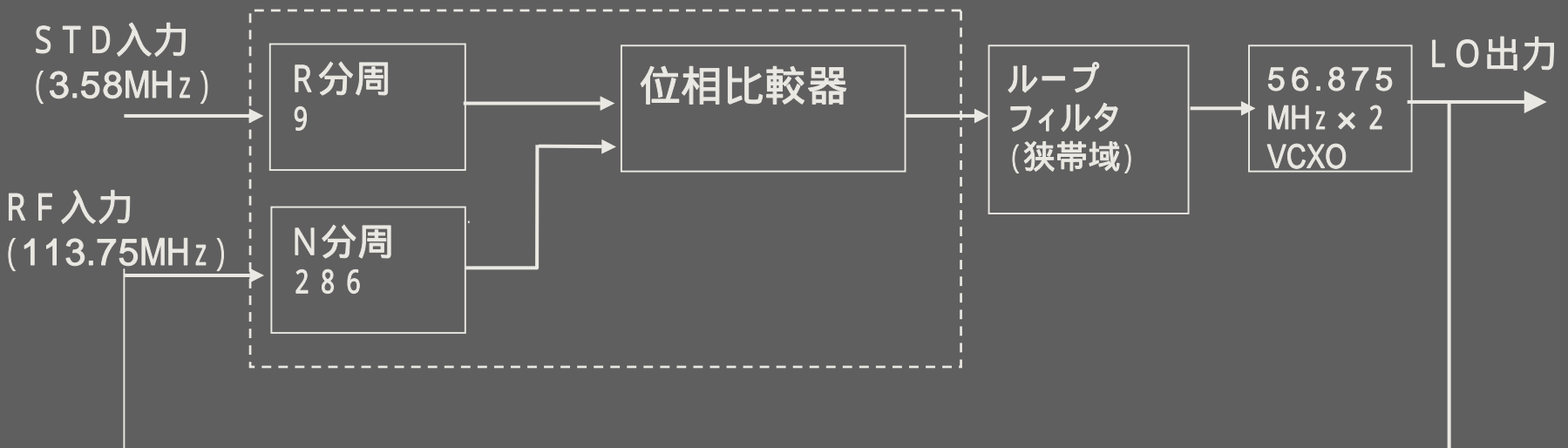
⇒ カラー同期信号から10MHzを作る



ヒント: 3.58MHzは354.375 / 99MHz

Solilock 3の応用(2)

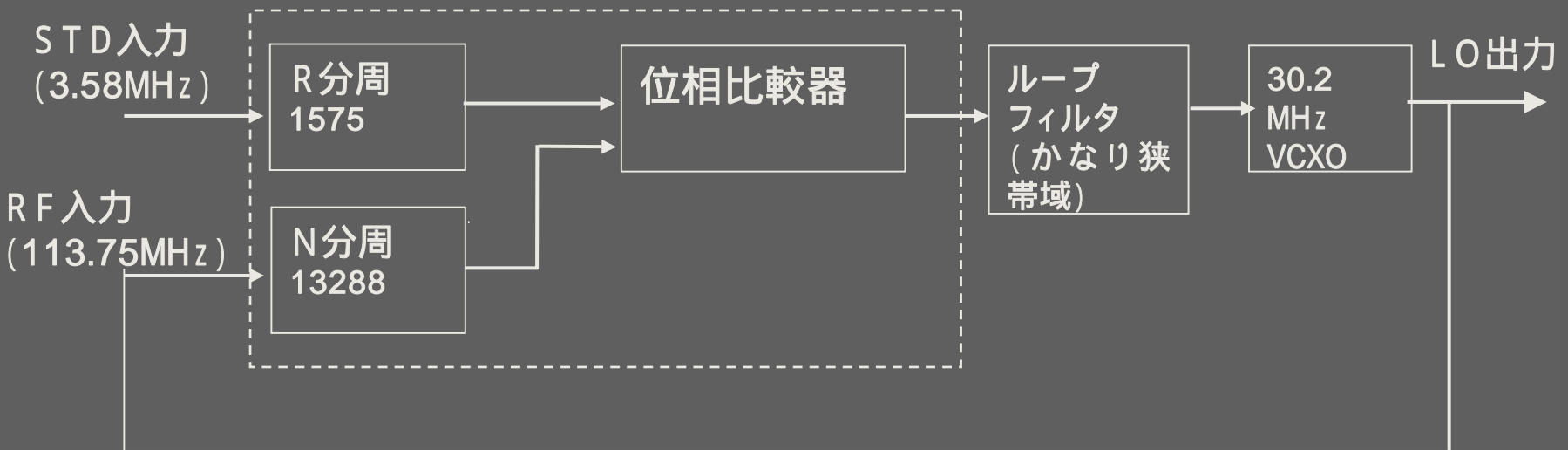
- ⇒ カラー同期信号にUTV - 24Gを同期
- ⇒ IF=1270MHz用の水晶(56.875MHz)を利用



BS放送を利用すれば電源ONで即オンエア。高価な信号源が不要。衛星が見える場所なら同じ周波数にロックする。

Solilock 3の応用(3)

⇒ IC-910の外部同期化



STD=10MHzならR=50、N=151

謝辞

Solilock、Solilock3の開発にあたり、

- ⇒ JA1BWD宮崎OM、JA1CUY菱木OM、JA1DUC小沢OM、JA1ENB田子OM、JG1QGF種村OMほかMWACメンバーの2年間にわたる協力をいただきました。
- ⇒ JA7AVQ田村OMには外部同期方式の動向に関する情報をいただきました。
- ⇒ JA6XKQ武安OMには業務用機器の情報と、性能評価に関して助言をいただきました。

皆さんに深く感謝します。



おわり