

ハンディになった400Mc帯可搬無線機

木村 正道
松島 成幸

●解説●

400Mc帯可搬無線機は非常災害や臨時回線作成に備えて全国に約100台が配備され、地震や水害等で活躍しているが、24通話路用であるため装置類が相当大形で、出動する場合は大形トラックが必要であり、設営も楽でなく、少なくとも機動性に富む装置とはいいがたい。

60Mc帯の諸装置はすでに全トランジスタ化により非常に取扱いが楽になっているので、今回400Mc帯についてもできるだけトランジスタを導入して小形軽量化を図り、せめてライトバンで出動できる程度のものにするともに、各種電源種別への適応、保守の簡易化等を盛り込んだ使いやすい無線機を目標にして試作装置を作成し試験を行った。

試験結果は良好で実用化の見通しが得られ、すでに特仕を制定したが、本文では試作装置について概要を紹介する。なお、本装置と組み合わせて使用する搬送端局についてはすでに全トランジスタ化されているが、運搬はかなりたいへんなので、現在小形軽量化の検討が行われている。

1 はしがき

400Mc帯可搬無線機(24通話路)は、臨時・非常回線用として活躍しているが、搬送端局装置が全トランジスタであるのに対し、無線機は受信機の一部にトランジスタが使用されているが、大部分は真空管で構成されている。

可搬無線機としては、信頼性の向上と小形軽量化は特に望まれるところであり、現在のトランジスタ技術からみて送信出力管を除き全トラ化が可能である見通しのもとに、

本試作機についての試用試験は42年2~3月に実施し、十分所期の性能を有することが確認されたので、その概要をここに紹介する。

2 装置開発の経過

2.1 設計方針

現行のTZ-401形可搬無線機は、昭和35年に実用化された真空管式の多重電話無線機で、夏山、冬山、国体、非常災害等に際して活躍し、通信線の確保に数多くの実績を上げているが、その形状、重量の面で機動性を欠くため全トラ化が強く要望されるところとなり、新装置の開発を進めることとなった。

基本方針としては、

- (1) 小形軽量化(従来の重量・容積の約1/4)
- (2) 信頼性の向上(全トラ化)
- (3) 保守の軽減(バンド内無調整)
- (4) 使用電源の拡大(DC \pm 21Vでも使用可能)

をねらい、試作機の完成をみたが、設計段階における開発の推移について大略述べることにする。

2.2 開発の経過

2.2.1 雑音配分について

当初固定回線(TR-6形)並みに、中心局—集中局間2中継の可能性を追求し、1無線区間54dB(無評価)を目標としたが、空中線利得、給電線損失等で固定用と同じ回線規格を満足するのはむずかしく、従来の移動無線機と同様に、無線区間48dB(無評価)として回線設計を行った。

なお、臨時・非常用回線は、置局の点から相当むりな伝搬路も予想されるため、極力送受信機の性能を上げる努力をし、回線品質の向上に留意した。

無線区間の雑音配分

$$\frac{S}{N+D} = 48\text{dB} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{熱雑音} \quad 53\text{dB} \\ \text{準漏話雑音} \quad 53\text{dB} \\ \text{干渉雑音} \quad 53\text{dB} \end{array} \right. \quad \text{(無評価)}$$

(a) 熱雑音

諸元を次のごとく規定すると、

P = 送信出力 50W	47dBm
NF = 雑音指数	11dB
KT = 定数	-174dB
fc = 帯域幅 (4kc×2)	39dB
mp = 変調指数	$\frac{2}{\sqrt{24}}=0.41\text{rad}$
mp^2 =	-8dB
L = 伝搬損失 50km	118dB

区間距離 50km で空中線系の利得がないとき熱雑音は、

$$S/N = (mp)^2 \frac{P}{L, NF, KT, fc} = 45\text{dB}$$

となり、空中線系を入れると、

$$\text{空中線利得} \left(\begin{array}{l} 4 \text{素子八木} \\ 9\text{dB} \times 2 \end{array} \right) \quad 18\text{dB}$$

$$\text{給電系損失} \left(\begin{array}{l} 8\text{D-2V} \\ 30\text{m} \times 2 \end{array} \right) \quad 8\text{dB}$$

であるので、 $S/N=45+10=55\text{dB}$ となり、雑音配分からみて約 2dB の保守マージンが見込まれる。

(b) 準漏話雑音

TZ401 形と同一の D/U 比を確保しなければならないという条件と、変調度 0.41rad/ch という条件から機器の規格を算出し、第 1 表のように各部に配分し設計した。

第 1 表 各部の雑音配分と設計値

	配分値	2 次歪	3 次歪
変調器	67dB	0.3%/rad (68.8dB)	0.5%/rad ² (71dB)
復調器	57.8dB	0.75%/±250kc (58dB)	3.5%/±250kc ² (71dB)
FM 部分 の位相歪	55.8dB	120mμs/±250kc (56dB)	700mμs/±250kc ² (62dB)

2.2.2 送信部性能について

TZ-401 形では、通倍数 144、送信出力 50W の真空管式であったが、今回は送信出力を 5W と 50W に分け、区間距離に応じた送信出力が選べるよう考慮した。

5W 出力段に使用する半導体は、最初 RCA で開発した 2N3735、または 2N3733 相当品の使用を考えたが、450Mc 帯における能率があまりよくないため、トランジスタの使用を中止し、比較的高性能のバラクタ SV89E を使用した。ただし、今後のトランジスタの開発をまって将来は変更する予定である。

5W 出力部は、アイソレータ、BPF の挿入により、外部インピーダンスの影響を極力抑えている。なお通倍数はスプリアス輻射、歪率、送信部 S/N の向上を図るため、従来 144 通倍であったものを 12 通倍とし、特性の改善と回路の簡素化が図られた。

50W 送信出力管は、高性能セラミック板極管 4F16 を使用し、放熱は伝導冷却としたので、強制空冷用の冷却ファンの騒音、障害等は皆無となった。

2.2.3 受信部性能について

受信方式は、従来の二重スーパをやめ、中間周波数 10.7Mc のシングルスーパとした。局発の通倍数は試作機では 12 であるが、将来は 8 通倍とする方針である。

従来の真空管式に比較し、大幅に小形化されたほか高性能低雑音のトランジスタ (2SC463) の採用により受信機単体の熱雑音が改善され、 $NF=6\text{dB}$ の実測結果が得られている。

加うるに搬送周波増幅に使用した 2SC281, 2SC152 により、従来底打ちレベルの限界といわれた 70dB を越える S/N 特性が得られた。

また D/U 特性は中間周波段の集中濾波器の通過帯域幅をなるべく広くとって従来と同等以上の特性を得ることを検討し、各部の利得配分を適当な値にとることにより所要の D/U 特性を満足し、かつ良好な Delay 特性によって歪雑音が約 6dB 改善された。

2.2.4 電源について

送受信部は AC100V, DC $\frac{-21V}{-48}$ V で使用可能とし、50W 送信増幅部は AC100V で動作する構成とした。ただし、実用化の装置では、50W 送信増幅部も DC 電源で使えるよう DC コンバータ (DC 用 50W 電源盤) を考慮する。

2.2.5 構造について

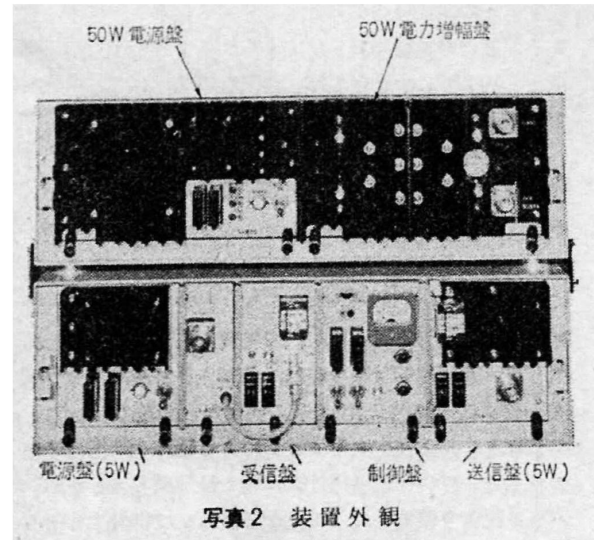
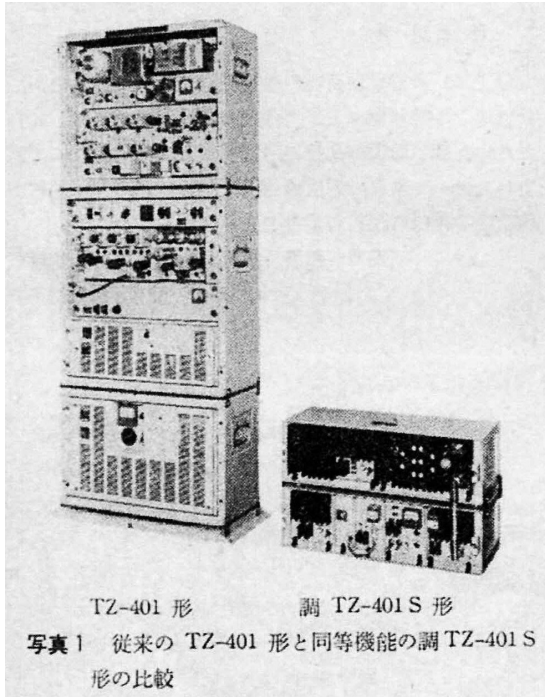
超小形をねらい、1 人で楽に持ち運べる大きさと重量にするため、現時点で許される限界を追求した結果、従来の装置との比較写真を見てもわかるように、重量、容積とも約 1/4 に小形化され、移動無線機としての機能を十分に発揮することが可能となった。

実装方式は、各パネルともプラグイン方式であり、接栓には信頼度の高いものを用い、振動によるパネルの脱落を防止するため各パネルをロック板で締め付ける構造とした。

送信増幅部の送信出力管冷却には、従来のファンによる強制空冷をやめ、ペパートロン蒸気冷却法や、放熱板による伝導冷却法について検討した結果、後者を採用した。

連続運転試験の結果、温度上昇は最高部分で室温 +30°C であり、出力管の特性から問題のないことが確認され、強制空冷用ファンによる騒音や障害は皆無となった。

打合せ電話機は試作機では別構成としたが、パネル配置を整理して、実用化の装置には実装するよう検討を加えている。



2.2.6 その他

使用温度範囲は、冬期の屋外、夏期の機械室内の使用を考え、 $-10^{\circ} \sim +45^{\circ}\text{C}$ とした。また従来の装置では、周波数を変更する場合、送受信機ともに段間の調整作業がかなり面倒で機動性を欠くため、即座に周波数変更がだれにでもできるよう $417.5 \sim 420\text{Mc}$, $455.5 \sim 458\text{Mc}$ の各バンド内 (2.5Mc) は無調整とし、しかも電気的性能を満足できる構造とした。

伝送帯域は打合せ用が $0.3 \sim 4\text{kc}$ で、多重電話信号は電波監理局の通達による 24 通話路用の帯域である従来と同じの $12 \sim 108\text{kc}$ としたが、T-12, T-12Tr 方式や T-12S, T-12STr, T-8S 方式にも接続されることもあるので、若干帯域を広げ $8 \sim 120\text{kc}$ が伝送可能である。

対向装置としては、従来の TZ-401 形と組み合わせることも多いので、変調入力レベル、復調出力レベル、伝送帯域を合わせ、回線作成が可能となるよう配慮した。

ただし打合せ回線のレベルダイヤは、旧装置では S/N の点で問題が多いので、今回は 0dBm 入力するとき 1rad 変調とした。したがって、対向使用のときは、回線の実情に応じた変調に該当装置を合わせる必要がある。

3 装置の概要

3.1 構造

装置の外観を写真 2 に示す。

本機は全トランジスタ化された 5W 送受信部本体と、伝導冷却真空管式の 50W 送信増幅部より構成され、5W 送受信部単独でも使用できるようになっている。

3.2 本機の特長

(1) 送信出力 5W までの完全固体化により信頼性の向上と、大幅な小形軽量化により可搬無線機としての機動性がさらに加味されている。すなわち、5W 出力で使用する場合は 50W 送信増幅部を除いた本体だけで、完全固体化の特長を十分に生かして使用することができる。

(2) 本機の完全固体化により、動作がきわめて安定であるので、保守点検箇所や、調整部分はほとんどなく各パネルはプラグイン構造であるので保守はきわめて容易である。

(3) 50W 送信増幅部には、伝導冷却による自然空冷方式を採用して長寿命のセラミック真空管を用いて完全固体化の特長を十分に生かし、保守の点も冷却用の送風機が一扫されたため、はるかに容易になっている。

(4) 小形化と固体化に伴い、必然的に指定周波数帯域内の無調整化を行い、指定された帯域内は水晶発振ユニットの交換をパネル前面で行うだけで運用周波数の変更が可能である。

ただし、50W 送信増幅盤は、パネル前面の「PA FINE」の調整をとりなおす必要がある。

3.3 回路構成

装置の回路構成を第 1 図に示す。

3.3.1 送信系統

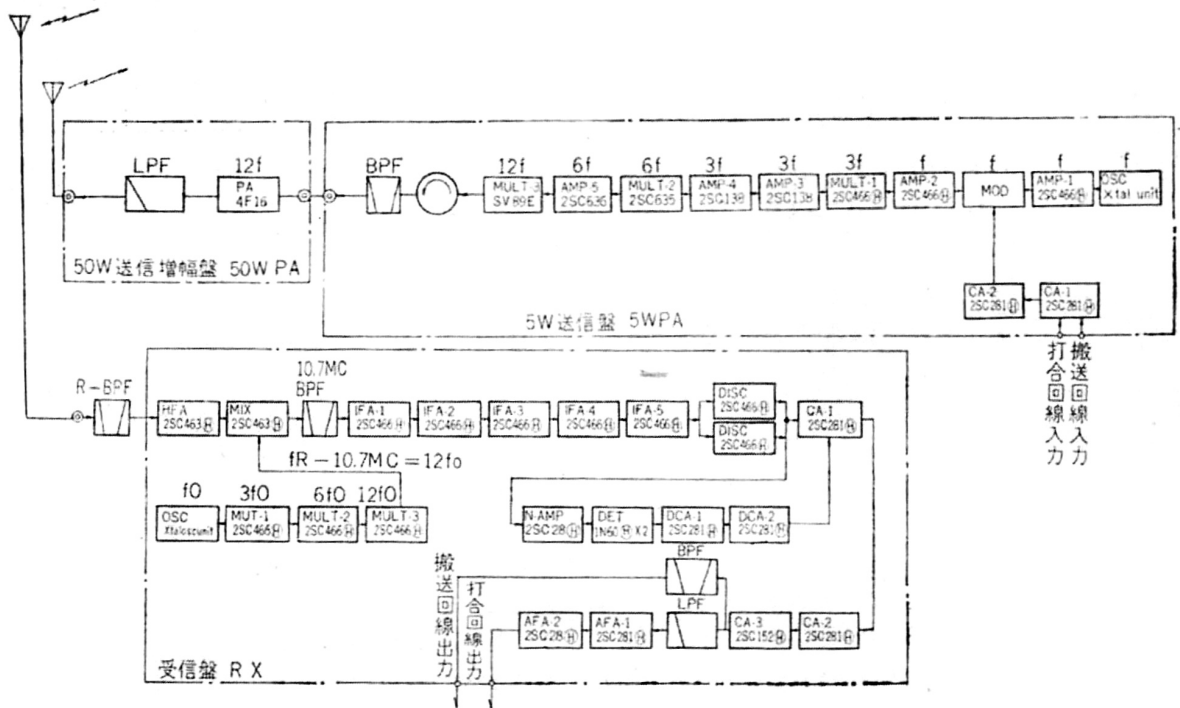
5W 送信盤は固体化された出力 5W の送信盤であり、使用トランジスタはすべてシリコントランジスタであるので、ほとんど周囲温度の影響を受けない。

発振器 (OSC) は、水晶振動子とトランジスタを組み合わせた発振ユニットであり、周波数安定度は $-10^{\circ} \sim$

+45°Cにおいて $\pm 2 \times 10^{-5}$ 以内である。

発振器出力は、緩衝増幅器 (AMP-1) で増幅され、変調器 (MOD) に加えられる。変調器は搬送増幅器 (CA-

1, CA-2) で増幅された搬送信号、打合せ信号により位相変調を受け、その変調出力は増幅器 (AMP-2) で増幅され、通倍器 (MULT-1) で3通倍される。



第1図 回路構成図

通倍された出力は増幅器2段 (AMP-3, AMP-4) で増幅され、通倍器 (MULT-2) に加えられ2通倍される。

次に“AMP-5”で増幅“MULT-3”で2通倍となった信号は合計12通倍され、その出力はサーキュレータを通り、帯域濾波器を経て出力端子 (T-OUT) に出てくる。

50W電力増幅部はトランジスタに大出力のものが無いため真空管4F16を使用している。真空管には伝導冷却管を使用し、送風機は使用していない。本盤は5W送信盤を励振として使用し出力50Wを得ている。

出力側はキャビティを使用して高能率に動作するように設計され、出力側にはスプリアス輻射を減衰させる目的でフィルタ (LPF) が挿入されている。

3.3.2 受信系統

本機は水晶制御のスーパーヘテロダイン方式周波数変調受信機であり、すべてトラ化してある。

使用トランジスタは送信部と同じくシリコントランジスタを使用しているため、周囲温度の変化に対してほとんど影響を受けない。空中線で受信された高周波入力、同軸形4段の高周波濾波器を通して高周波増幅器 (HFA) にはいる。

高周波濾波器は帯域内でほとんど平坦な特性をもち、また映像周波数に対し十分な減衰特性を有している。

高周波増幅器 (HFA) には雑音指数の非常によいシリコントランジスタを使用しているため、NFの優秀な受信機となっている。高周波増幅器 (HFA) で増幅された高周波信号は、ミキサー (MIX) にはいる。

一方、局発信号は発振器 (OSC) より通倍器 (MULT-1, 2, 3) で12通倍 ($3 \times 2 \times 2$) されてミキサーで混合される。発振器には、水晶振動子とトランジスタを組み合わせた発振ユニットを用いてあり、周波数安定度は周囲温度 $-10^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ において $\pm 2 \times 10^{-5}$ 以内である。

また局発振周波数は (受信周波数 -10.7Mc) / 12である。ミキサーの出力は10.7Mcの帯域濾波器を経て中間周波増幅器 (IFA-1~5) で増幅されて弁別器 (DISC) にはいる。

弁別器出力は搬送波増幅器 (CA-1) で増幅され、積分回路を経て、2段増幅器 (CA2~3) で所要の出力まで増幅され、濾波器 (BPF) を経て出力端子に出る。

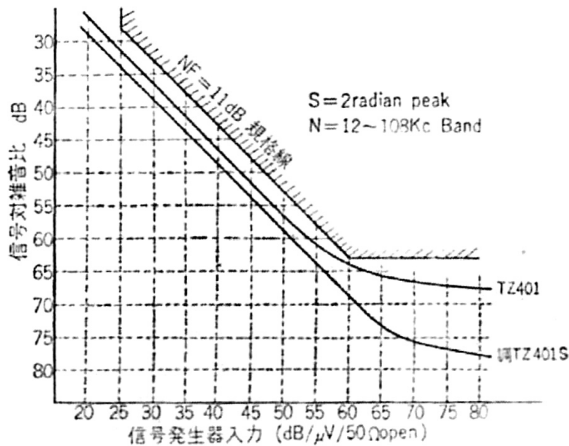
一方、打合せ回線は2段増幅器 (CA2~3) の出力を濾波器 (LPF) で分波して取出し、増幅器2段 (AFA1~2) で増幅し所要の出力を得ている。スケルチは弁別器出力の雑音成分を増幅器 (N-AMP) で増幅し整流して直流増幅器2段 (DCA-1~2) で直流増幅して、搬送波増幅器 (CA-1) を制御して、出力をON, OFFしている。

4 試験結果

4.1 単体試験

(1) S/N 特性

第2図に示すように受信機より発生する熱雑音については、従来の401形可搬無線機と比較し雑音指数は8dBから6dBに、底打ちレベルは67.5dBから77.5dBに改善されている。

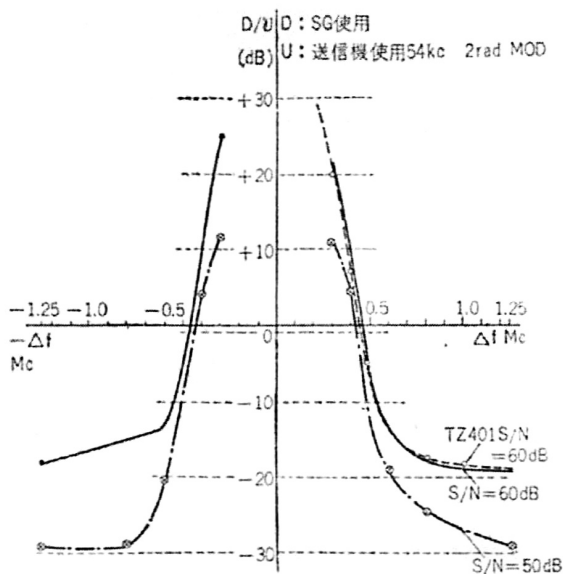


第2図 受信機 S/N 特性の比較

これらの改善は高周波増幅器または搬送周波増幅器に使用した高性能低雑音のトランジスタによってもたらされたものである。

(2) D/U 特性

第3図に示すように旧形のTZ401形と大差なく、並設回線の周波数間隔を約600kcまで近づけて使用することが可能である。



第3図 D/U 特性

すなわち同方向送信のとき、周波数間隔が600kcであ

ればD/U特性からS/N60以上とれるので問題なく、中継時の逆方向隣接周波数300kcについては、雑音配分の干渉雑音53dBを満足するためのD/U比は+14dBであるので、7素子八木空中線(TZ402形空中線)を使用してF/Bの改善を図れば満足することができる。

なお本測定は、 $S/N = \frac{60}{50}$ dBを確保できるD/Uの値で、希望波は信号発生器を使用して60dBμを入れ、干渉波は送信機を使用し54kcの2rad変調をかけ測定したものである。

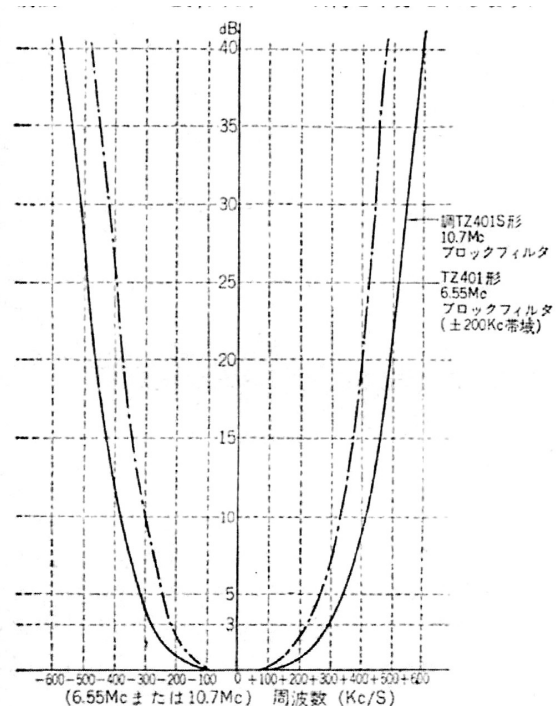
(3) 通過帯域幅特性

今回の調TZ401S形では、高周波トランジスタの出現により、全トラ化が可能となり、したがって、受信機の構成も高周波増幅に低雑音の2SC463を1段用い、次段で $f_R = 10.7$ Mcの局発周波数と混合して1st IFの10.7Mcに変換するシングルスーパーとすることに成功した。

旧形ではIFブロックフィルタ(6.55Mc)製作上の周波数制約と利得配分のうえから、二重スーパーヘテロダイン(1st IF 25Mc)方式とし、2nd IFのトップにIFブロックフィルタの挿入を余儀なくされ、所要D/Uを得るためには、妨害波の1st IFの利得が問題となるので、所要の帯域を犠牲にして選択度をとるべく通過帯域幅をせばめていた。

今回の装置は中間周波増幅部の最前段にフィルタを挿入し、IF利得を十分とれるようになったので、IF以前の利得はあまり必要でなく、理想的な利得配分ができたので、フィルタの通過帯域幅は遅延特性を確保するよう若干広げることができたのである。

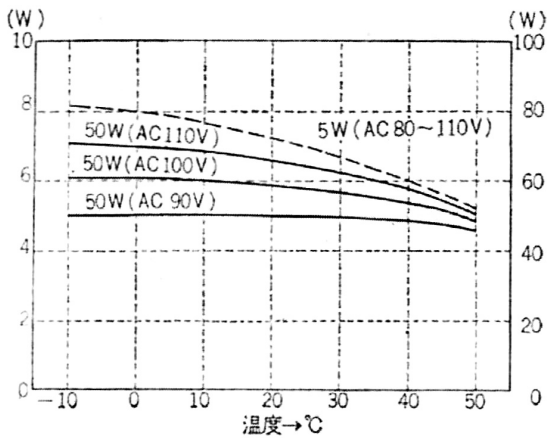
第4図にブロックフィルタの新旧比較の通過帯域幅特性を示す。



第4図 通過帯域幅特性 (ブロックフィルタ特性の比較)

(4) 送信出力

第5図に示すごとく温度特性については、5W PA の特性が支配的で $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ において約 30% の出力変化がみられる。



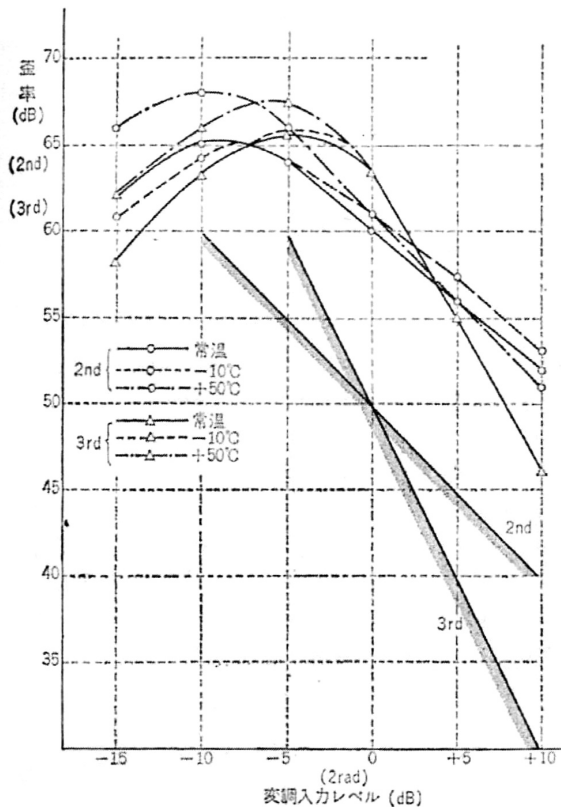
第5図 送信出力温度特性 (5W および 50W)

次に電源電圧変動については、5W PA 段は電源安定回路によりほとんど変化なく、50W PA では AC100V \pm 10% で +8% \sim -16% の出力変化が測定された。

ただし仕様書規格は温度変化による出力変動と電源変動による出力変動は +20/-50% 以内であり、電波法の規格からいっても実用上は支障ないがさらに性能向上のための検討を進めたい。

(5) 高周波歪減衰量

第6図に示すごとく、 $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ の温度変化に



第6図 高調波歪減衰量

対する特性を測定した。

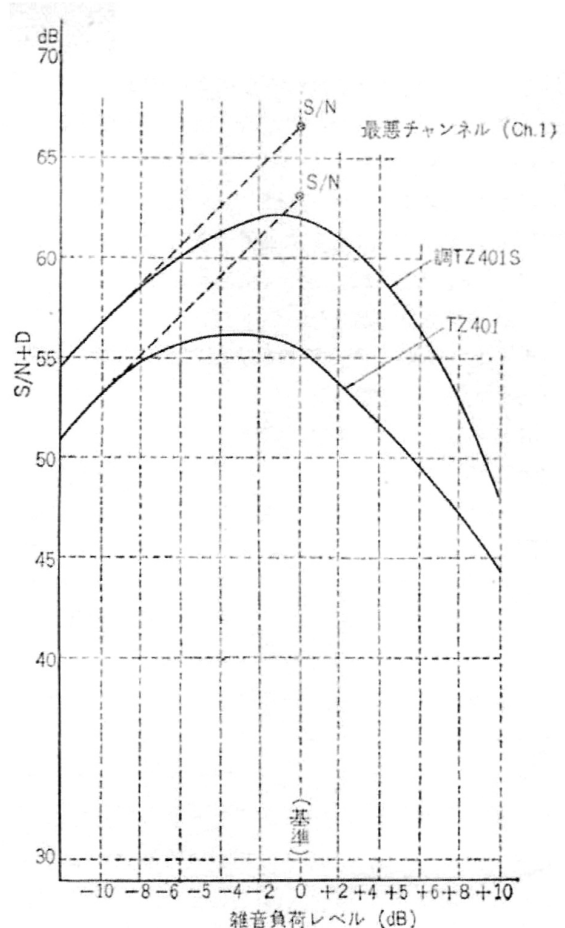
測定は直線検波器との組み合わせで送信機に 54kc の 2rad 変調をかけたときの 2nd と、36kc 2rad 変調時の 3rd を 108kc の BPF を通して行ったが、2nd, 3rd とともに 60dB 以上あり、仕様書規格 50dB 以上を十分満足することができた。

これは通倍数の通減 (144 \rightarrow 12) と変調器の特性向上によるもので、温度変化 60°C に対しても特性の急激な変化はなく、安定した特性を示している。

また送信機の S/N も前項と同様な温度変化に対し 67 \sim 70dB の結果が得られ問題ない。

(6) 雑音負荷特性

送受総合の雑音負荷試験を 24ch 雑音負荷で、14kc, 56kc, 105kc の各周波数帯域で周囲温度、無線周波数を変えて各種の条件で測定した。試験結果の代表的なものを第7図に示すごとく、最悪チャンネル (14kc) で 64dB が得られ、雑音配分に対して十分余裕のある値が得られた。



第7図 雑音負荷特性

TZ-401 形に比較して約 6.5dB の性能向上がみられるが、受信部の雑音指数と底打ち雑音レベルの改善および集中濾波器の帯域特性改良によってもたらされたものと思われる。

温度特性については送信部は $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ の変化

第 2 表 周波数変更による特性変動

諸元 區別	測定項目	調 仕 規 格	H-BAND			BAND	L-BAND			BAND
			L	M	H	内変化量	L	M	H	内変化量
送 信 部	50W 送信出力 (W)	50 ^{+20%} _{-50%}	54	54	53.5	-1.1%	55	55	55	0
	5W 送信出力 (W)	5 ^{+20%} _{-50%}	6.8	6.8	6.7	-1.5%	7	7	7	0
	歪率 2 次 (54kc 2rad)(dB)	50 以上	60	60	61	1	58	61	58	3
	歪率 3 次 (36kc 2rad)(dB)	50 以上	63.5	63.5	63.5	0	63	63	63	0
	S/N(54kc 2rad)(dB)	—	68.5	68.5	68.5	0	70.5	70.5	70.5	0
	直線性 (2~5.5rad)(dB)	8.8±1	9.2	9.2	9.1	0.1	8.5	8.5	8.5	0
	スプリアス (11/12f)(dB)	60 以下	104	100	102.5	4	107	107	106	1
	” (13/12f)(dB)	”	—	—	—	—	—	—	—	—
	” (1/2f)(dB)	”	89.5	100	99.5	10.5	95	93.5	98	4.5
	” (2f)(dB)	”	82	81.5	90	8.5	75	75	80	5
” (3f)(dB)	”	—	—	—	—	—	—	—	—	
受 信 部	出力レベル (54kc 2rad)(dBm)	—	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0
	S/N(入力 50dBμ の時の 12~108kc の S/N)(dB)	53 以上	58.5	58.5	58.5	0	58	58	58	0
	スプリアス感度 (dB)	60 以下	97	95	90	7	85	86	82	4
送 受 総 合	雑音負荷試験 14kc(dB)	—	62	62	61	1	60	61	61	1
	” 56kc(dB)	—	65	65	65	0	64	64	64	0
	” 105kc(dB)	—	65	65	65	0	65	65	65	0

注. H-BAND L : 455.5Mc L-BAND L : 417.5Mc
M : 456.75Mc M : 418.75Mc
H : 458.0Mc H : 420.0Mc

装置は各 BAND とも M 波に調整済みで、周波数の変更は X'tal の交換と、
50W PA の「PA FINE」で POWER MAX に調整後、各項目について測定したものである。

で約 1dB、受信部は約 3dB の変動であった。この受信部の変動原因は調査の結果、集中波器のチタコンの温度特性の不良が判明し、特性のよいものに取り替えて改善された。

(7) 温度上昇試験

50W PA 内部と筐体実装時の前面放熱板の温度を 6~10 時間連続運転後測定した。

測定結果は、出力管キャビティ部が最高の温度を示し、室温より 30°C の温度上昇となっているが、真空管の許容温度は 250°C まで許されるので特性上支障はない。

(8) 周波数変更による特性変動チェック

本装置の特長であるバンド内 (2,5Mc) 無調整について、その特性をチェックするため、送受信部の周波数を X'tal の交換と、簡単な「PA FINE」の調整により変更し、前後の特性変動をチェックしたところ、第 2 表の結果を得た。

送信部については、出力、歪率、S/N、直線性ともに変動幅は微小であり、スプリアスについては若干の変化が認められるが、最悪値が -75dB であるので特に問題とな

る量ではない。

受信部については、出力レベル、S/N は変化なく、スプリアス感度について約 7dB の変化が認められるが、これも絶対値が 82dB であるので問題となる量ではない。

最後に送受総合の雑音負荷試験であるが、周波数変更による特性の劣化はなく、安定した特性を示している。

以上の点から今回の方式は従来の周波数変更に伴う調整作業の煩雑さや、調整技術の個人差による特性の変動を一挙に解決する手段としては当を得たものであり、今後の移動無線サービスに寄与するところは非常に大きいと思われる。

5 あとがき

以上 400Mc 帯移動用可搬無線機の固体電子化を図った調 TZ-101S 形可搬無線機について、開発の経過、主要性能、試験結果の解説を行った。

本装置は試作機であるのでこの実績を母体として昨年来より細部検討を行い、旧仕様の TR-6 形、TZ-401 形に

代わる新機種として、TZ403 形 $\frac{1}{2}$ 号無線送受信装置（1号固定用，2号移動用）の本格的な実用化を進め，近く仕様書が制定される運びとなる。

なお，搬送端局装置のほうも現在小形化が進められ，近日中には無線機と同程度の軽量の新機種が完成する見込みである。

終わりに本装置の試用試験にご協力いただいた電気通信研究所移動無線研究室，東京無線電信調整所技術課の各位に感謝の意を表す。

（筆者 木村氏 技術局調査部門移動無線担当調査員）
松島氏 同 担当