

国産標準信号発生器電氣的性能の現状

一日・機・検・試験結果の数理統計的処理一

吉 田 昭 二

On Electrical Performance of Japan-made Standard Signal Generators

-Statistical treatment on results of test by J.M.I.-

Shōji YOSHIDA

A standard signal generator is used for testing radio receivers and amplifiers, and also often as source of test power for radio frequency bridge, etc.

Recently, the performance of standard signal generator has been rapid progress for the precise measurement of the "two-signal selectivity" of receivers, etc.

The author has made closer investigations, utilizing statistical method on results of test by Japan Machinery and Metals Inspection Institute, and has found the excellent performance of Japan-made standard signal generators.

まえがき

標準信号発生器（SSG以下SGと略記する）は受信機，増幅器等の諸特性の測定および調整に欠くことのできない測定器であるばかりでなく，各種の通信計測，電子計測に使用され高周波標準電源として極めて重要なものである。このSGの規格については電波技術審議会により昭和27年度に「全波信号発生器の標準規格」を，昭和29年度に「混信分離能力測定用信号発生器規格を推奨することが答申された。これに沿って実際に設計製作されたSGの性能を客観的立場から調査し，その現状を知ると共に問題点をピックアップするため，かつて筆者は電子機械工業会電子計測器技術委員会の協力のもとに国産6台，外国製2台（米国GR社製および英国 Marconi¹⁾社製）について，23項目にわたる詳細な性能調査を実施し^{1) 2)}問題点を指摘した。

その後10年以上経過し電子機器の急速な発達に伴い，SGの性能も飛躍的に向上したものと推察される。また規格，試験法についても前記電波技術審議会の答申も古くなり，またJISとの関係もあって電子機械工業会により昭和40年にCES規格が制定されている。一方最近のSGの性能の現状を知るデータとしては日本機械金属検査協会（以下日・機・検と略記する）において，昭和38年4月より1ケ年間試験された国産SGの性能調査結果が報告³⁾されている。この結果からわれわれは現在のSGの水準を知ることができるが，これを更に数理統計的

に処理することにより一層詳細な情報を得ることができると考え，以下のような統計的推定および検定を行ったので報告する。

区別 製造 年別	長中短波用		超短波用	
	台数	百分率(%)	台数	百分率(%)
39	3		2	
38	17		7	
37	14		3	
36	7		2	
35	4		1	
34	5		0	
33	4		2	
32	2		0	
計	56		17	

図一 供試機の製造年度別台数

1. 統計的処理方法^{4) 5) 6)}

統計的取り扱いにかかる前に，まず第一にこれらの標本（供試機）分布は，わが国で現在使用されているSGの完全な縮図となっているか，すなわちサンプリング理論にしたがう無作為抽出とみなし得るかどうかということ，第二にこれらの標本が正規分布とみなし得るかどうかという問題がある。

前者は日・機・検に校正試験を依頼してきた状況によってきまり，図1の製造年別台数をみれば大略わが国にお

けるSGの使用状況の分布になっているのではないかと想像される。厳密にはわが国におけるSGの生産状況、使用状況との相関をとればよい訳であるが、仮りに無作為抽出とみなし得ないとしてもわれわれには資料はこれだけしかないのである。後者については適合性の検定を行えば判定できるが、各ヒストグラムについてこれを実施することは時間的にも労力的にも大変であり、仮りに有意差が認められたとしても前者と同様、公的機関において公正な立場で試験され発表されたデータはこれだけしかない訳である。

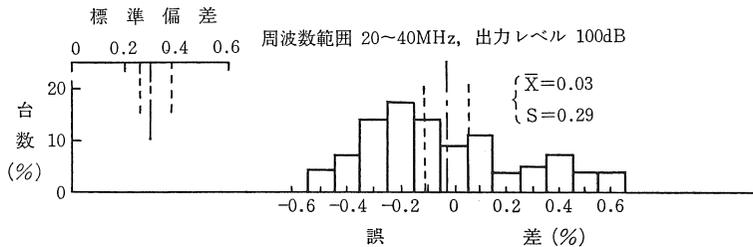
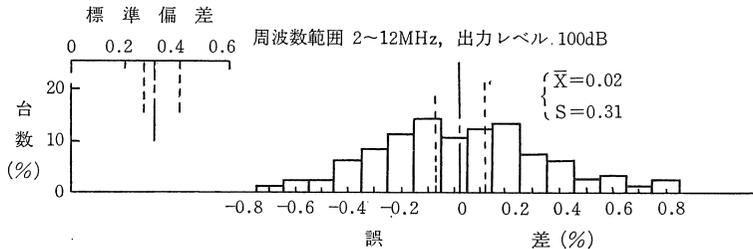
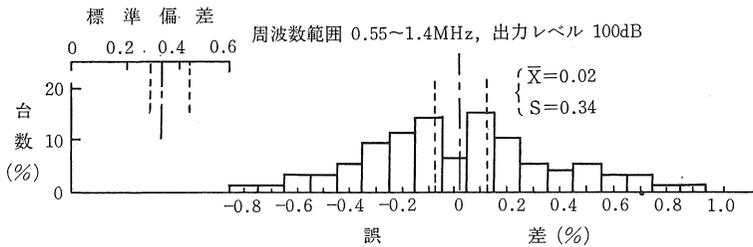
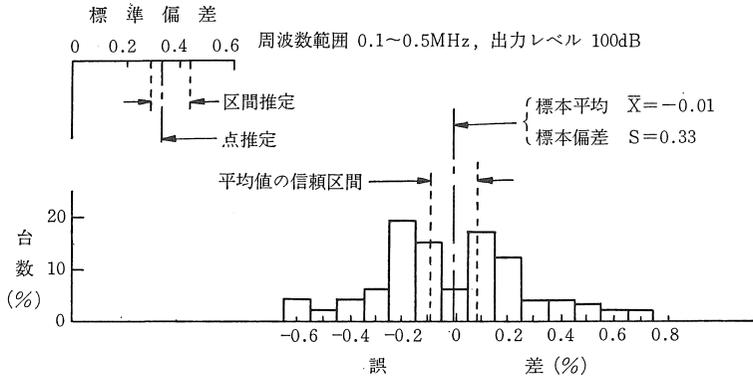
したがって少し乱暴ではあるが、これらの標本はランダムサンプルで正規性をもっていると仮定し、これらを統計処理することによってわが国で現在使用されている国産SGの性能を推定することにする。

1.1 標本平均、標本分散の計算

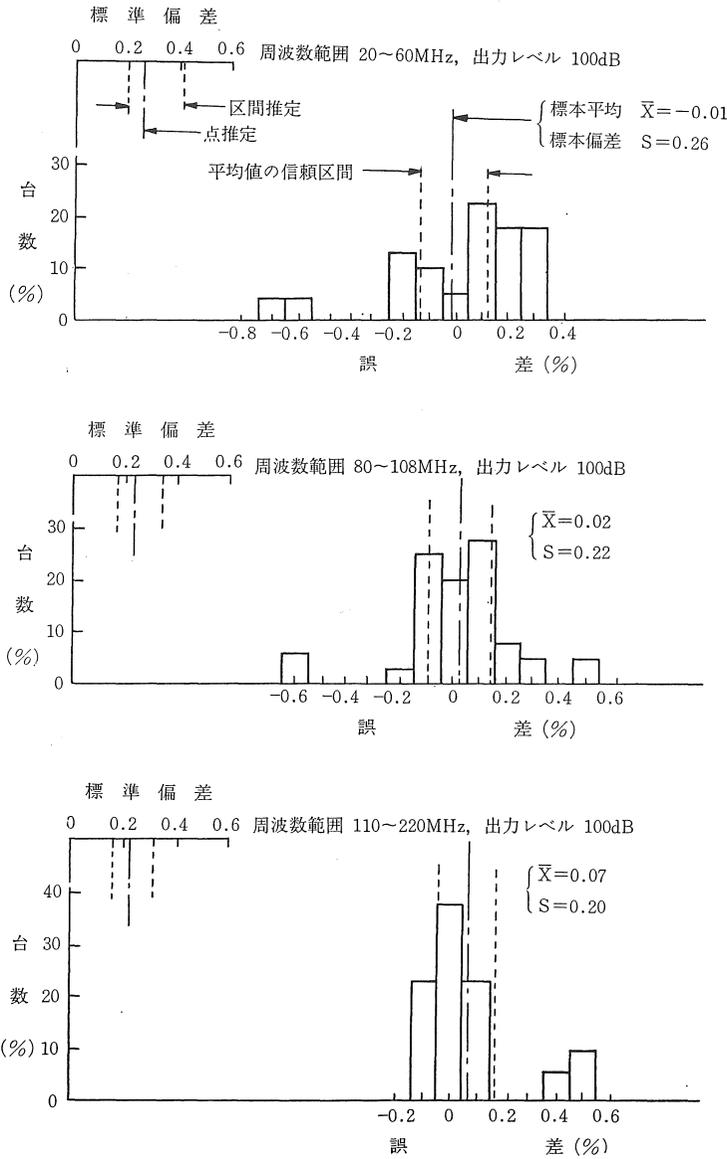
各ヒストグラムの代表値である各標本の平均 \bar{x} 、分散 s^2 および標本偏差 s は次式によった

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k f_i t_i, \quad s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k f_i t_i^2 - \bar{x}^2$$

ただし、 n 個の値 $x_1, x_2 \dots x_k$ のうち f_1 個は t_1, f_2 個



図一 2 周波数直読目盛誤差 (長中短波用)



図一 3 周波数直読目盛誤差 (超短波用)

は $t_2 \dots f_k$ 個は t_k とする。

図 2 以下の各ヒストグラムにこの \bar{x} , s の値を併記した。

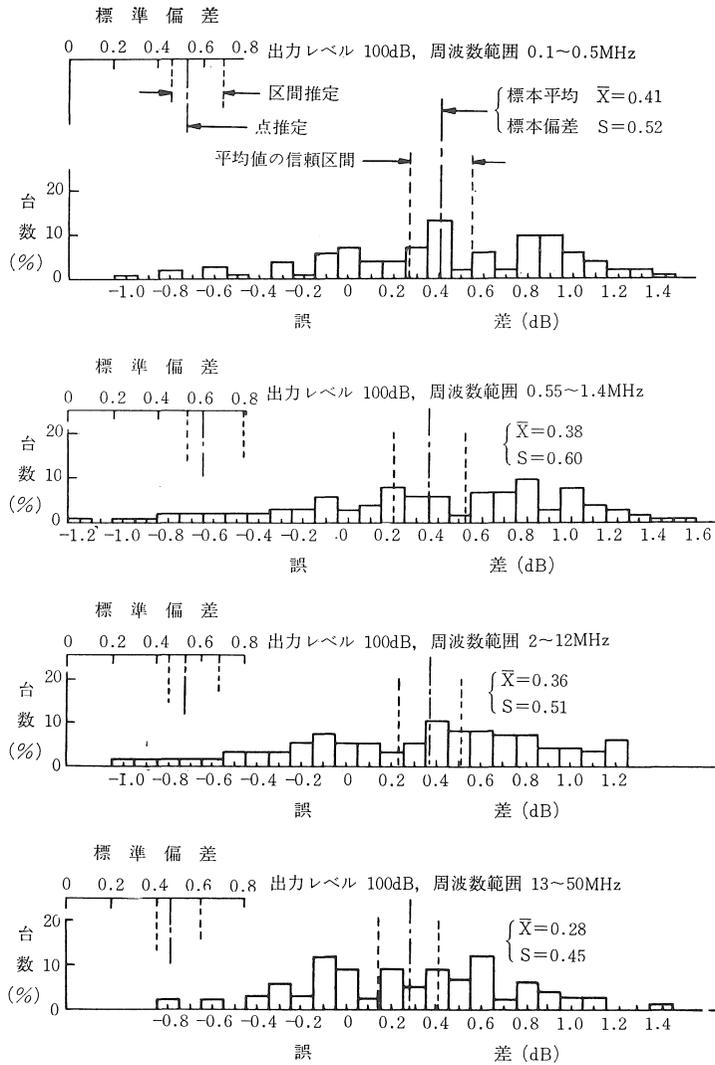
1.2 平均の区間推定

標本平均 \bar{x} は最尤推定値であるが、一般に母平均 μ はある巾の中にあると考えるのがより妥当であるので t 分布表より次式により求めた。

$$P_r \left\{ \bar{x} - \frac{t_0}{\sqrt{n-1}} s < \mu < \bar{x} + \frac{t_0}{\sqrt{n-1}} s \right\} = 1 - \alpha$$

ただし、 t_0 ; 自由度 $n-1$ に相当する t 分布表の値、 α ; 危険率でこの場合 5%、 P_r ; 信頼係数 $1 - \alpha = 95\%$ となる確率

なお、上式は母分散未知の場合の推定法であるが、長中短波用の場合は標本数 $n=56$ と多く $\sigma \approx s$ とみなせるので次式を使用してもよいが、計算も大して繁雑ではないので統一する意味において上式によった。



図一 4 出力基準レベル誤差 (長中短波用)

$$P_r \left\{ \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} < u_0 \right\} = 1 - \alpha$$

ただし u_0 ; 信頼係数95%に相当する N -分布表の値
 図2以下の各ヒストグラムにこの信頼係数95%の区間推定を併記した。

1.3 分散の推定

母分散 σ^2 の点推定として不偏推定値を, 区間推定は χ^2 -分布表より次式により求めた。

$$\sigma^2 = \frac{n}{n-1} S^2, \quad P_r \left\{ \frac{nS^2}{\chi_2^2} < \sigma^2 < \frac{nS^2}{\chi_1^2} \right\} = 1 - \alpha.$$

ただし, χ_1^2, χ_2^2 ; 自由度 $n-1$, 信頼係数 $1-\alpha=97.5\%$ および 2.5% に相当する χ^2 -分布表の値

図2以下の各ヒストグラムの左上部に分散の点推定お

よび信頼係数97.5%, 2.5%に対する区間推定を標準偏差として表示した。

1.4 等分散の検定

2つの分散の間の有意差の有無について F -分布表により検定した。

$$F = \frac{n_1 S_1^2 / (n_1 - 1)}{n_2 S_2^2 / (n_2 - 1)} \geq F_0 \text{ のとき仮説 } H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ を棄却する}$$

ただし, F_0 ; 自由度 $n_1-1, n_2-1, \alpha=1\%$ に相当する F -分布表の値

2つ以上の分散の場合その最大と最小について検定し, 有意差があれば次に大きい分散について検定するという方法をとった。

1.5 平均値の差の検定

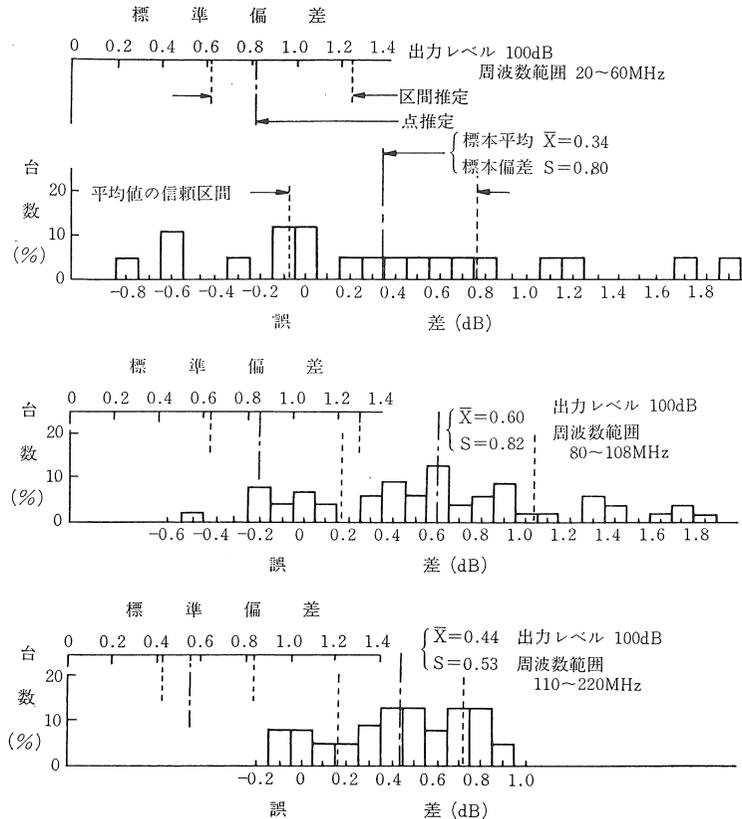


図-5 出力基準レベル誤差 (超短波用)

母分散の等しい2つの平均値の間の有意差の有無について t -分布表により検定した。

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2}}} \geq t_0 \text{ のとき仮説 } H_0; \mu_1 = \mu_2 \text{ を棄却する}$$

超短波用では標本の大きさ $n=17$ であるが、長中短波用の場合 $n=56$ と大きいので近似検定として N -分布表を用い次式によった。

$$u = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2)}} \geq u_0 \text{ のとき仮説 } H_0; \mu_1 = \mu_2 \text{ を棄却する。}$$

ただし、 $t_0, u_0; \alpha=1\%$ に対する t -分布表、 N -分布表の値

なお等分散でないとき、あるいは等分散かどうかかわからないときは welch の方法を用いるとよいと云われているが、数学上の問題、または特殊な場合以外は分散に違いがあるとき平均値の差を論じて意味のないことが多い。まず分散に差のある原因を追究し、処置をとって等分散となつてから平均値の差について考える方がよいが、ここでは等分散の仮説が棄却される場合についても、一応平均値の差について検定し表1表2では※印を付して区別した。また本報告に使用した記号および用語

は文部省統計数理研究所発行のプリント^{7) 8)} によつた。

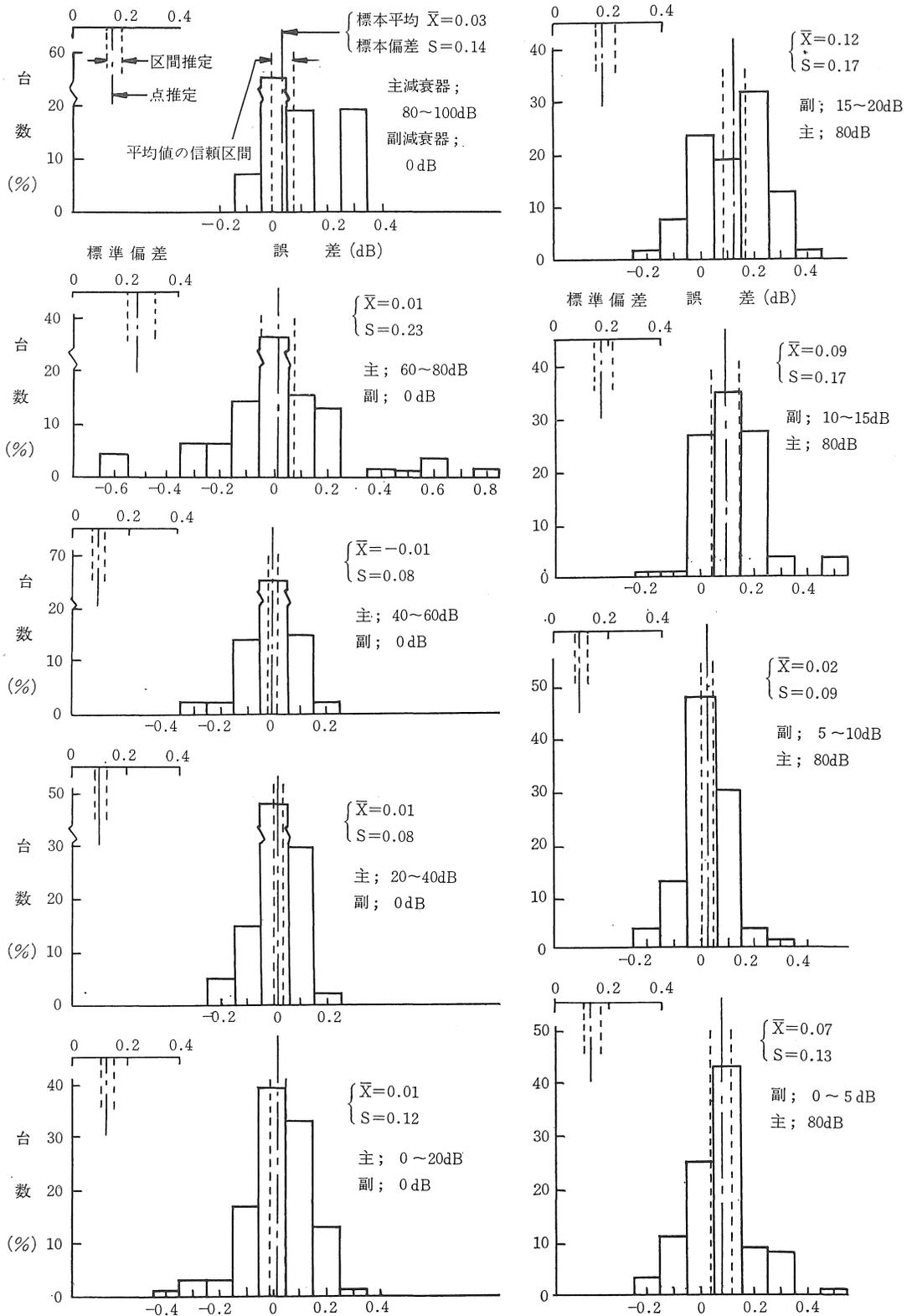
2. 試験方法、試験結果³⁾ および統計結果

周波数、レベル、減衰器、変調周波数、変調度、ひずみ率の各項目についての試験方法の概要を述べ、試験データよりの統計結果から母集団である現在の国産SGの技術水準を推定すると次のようになる。

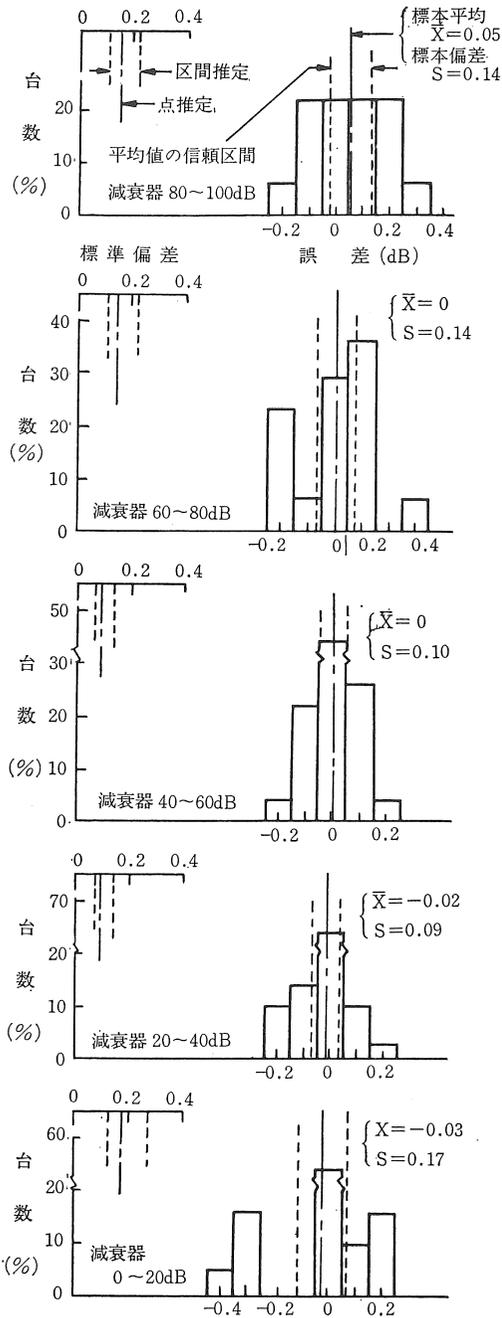
2.1 周波数直読目盛誤差

無変調搬送波の周波数は出力指示が 100dB になるよう、長中短波用では主として主減衰器を 80dB 、副減衰器を 20dB とし、超短波用では減衰器を 100dB とし、出力ケーブルに整合負荷を接続して周波数カウンタにより測定され、カウンタは適時標準電波により校正して使用されている。水晶発振器による校正器を内蔵する長中短波用では 1MHz を、超短波用では 100MHz を自己校正して後測定され、校正器を内蔵していないものは周波数微細調整目盛を零として試験されている。

長中短波用の場合の周波数の最低は $30\sim 50\text{KHz}$ 、最高は $30\sim 50\text{MHz}$ でこれを4つの範囲に分けて整理し、その測定値の分布、統計結果は図2および表1に示すとおりとなり、この結果からつぎのことが云える。平均は $-0.03\sim 0.02\%$ でこれが最尤推定値であるが、信頼係数



図一六 減衰器誤差 (長中短使用1MHz)



図一七 減衰器誤差 (超短波使用)

を95%にとった場合の区間推定値は $\pm 0.11\%$ である。標準偏差は信頼係数95%の信頼区間が $0.26 \sim 0.44\%$ であり、周波数に関して分散、平均共に有意水準1%で有意差なく、周波数の高低によってバラツキはないと考えて差しつかえない。

超短波用の最低周波数は $10 \sim 20MHz$ 、最高周波数は

$200 \sim 500MHz$ で、これを3つの範囲に区分整理した結果は図3、表2に示すとおりであり、これから平均は $-0.01 \sim 0.07\%$ 、信頼区間 $-0.15 \sim 0.18\%$ 、標準偏差の信頼区間は $0.15 \sim 0.41\%$ で、やはり周波数 $20 \sim 220MHz$ の範囲で周波数によりバラツキはないと考えられる。

2.2 出力基準レベル誤差

無変調搬送波の出力基準レベルは整合負荷を接続した状態で、 $100dB$ をバレッタブリッジを使用した校正用受信機によって測定されている。

測定値の分布、統計結果は図4、図5および表1、表2に示すようになり、長中短波用の場合の平均は $0.28 \sim 0.41dB$ 、信頼係数95%で $0.15 \sim 0.55dB$ である。また有意水準1%で有意差なく出力レベルの周波数特性はないとみて差しつかえない。標準偏差も $0.4 \sim 0.78dB$ 以内にあることが95%確かで周波数によって有意差なくバラツキは一定であるとみてよい。超短波用については平均は $0.34 \sim 0.59dB$ 、信頼区間 $-0.08 \sim 0.72dB$ 標準偏差の信頼区間は $0.62 \sim 1.29dB$ となっておりいずれも周波数範囲によって有意な差は認められない、平均がいずれも正になっている点については厳密には検定をしてみないとわからないが、試験装置についても検討の必要があるかと考えられる。

2.3 減衰器誤差

減衰器の試験は校正用受信機内の中間周波減衰器との比較によって行われており、長中短波用では主減衰器と副減衰器を備えているのでこれらを別々に周波数 $1MHz$ について試験してある。超短波用は周波数 $98MHz$ で行われている。

測定値の分布、統計結果は図6、図7および表1、表2にまとめたとおりであり、長中短波用で副減衰器を $0dB$ とし主減衰器を $20dB$ ずつ変化した場合平均は $-0.01 \sim 0.03dB$ で信頼係数95%でその平均は $-0.03 \sim 0.07dB$ であることは確かである。主減衰器を $80dB$ とし副減衰器を $5dB$ ずつ変化したときの平均は $0.02 \sim 0.12dB$ 、信頼区間は $0 \sim 0.16dB$ である。標準偏差はそれぞれ $0.07 \sim 0.3dB$ 、 $0.08 \sim 0.22dB$ で主減衰器 $0 \sim 20dB$ 、 $60 \sim 100dB$ 、副減衰器 $10 \sim 20dB$ のステップについて1%有意水準で有意差が認められる。これはいずれも減衰器が全部抜けた位置、および全部入った位置に相当するので、その構造等に問題があるのではないかと推察される。超短波用では平均は $-0.03 \sim 0.05dB$ 、信頼区間は $-0.12 \sim 0.13dB$ で標準偏差も $0.07 \sim 0.27dB$ となっており有意差は $0 \sim 20dB$ の範囲についてのみ認められる。超短波帯では減衰器は殆んどがリアクタンス形であり、 $0 \sim 20dB$ の範囲は挿入損失に影響する部分となるので、この程度の結果ができることは原理的にも了解されよう。これ

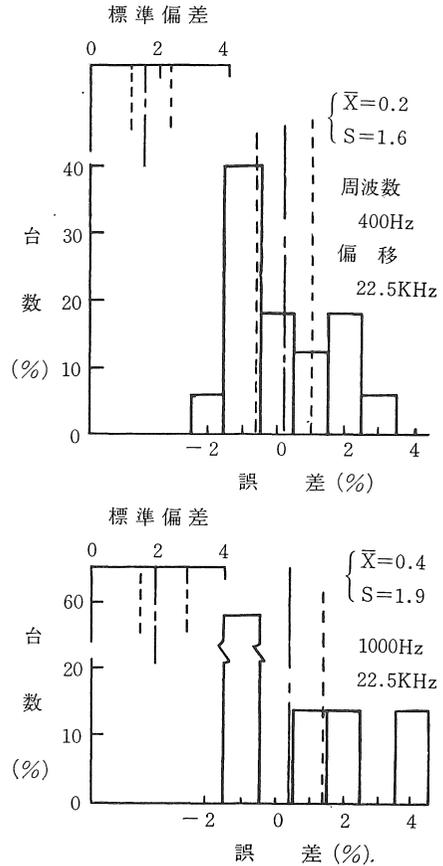
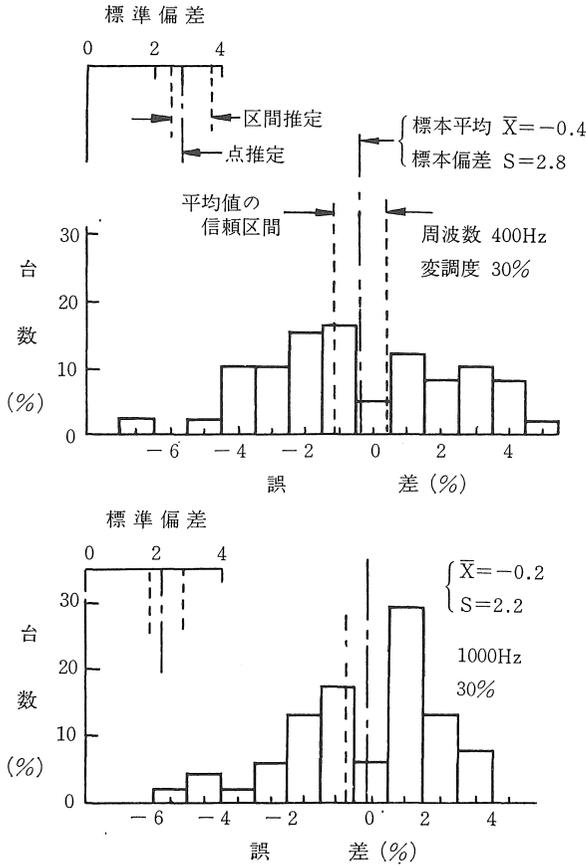
らの値はすべて $0.3dB$ 以下で実用上は全然問題でなく、この程度の値は試験装置の誤差と同程度であると云える。

2.4 内部変調周波数誤差

30%変調 $1MHz$ 、および $22.5KHz$ 偏移 $98MHz$ の被変調搬送波を直線検波器に加え検波された低周波の周波数をカウンタによって測定されたものである。

測定結果の分布、統計結果は図8および表1、表2に示した通りであって長中短波用の平均は $-0.2\sim-0.4\%$ 95%信頼係数で $-1.2\sim0.4\%$ 、標準偏差は $2.0\sim3.7\%$ で有意水準1%で有意差はない。超短波用で平均 $0.2\sim0.4\%$ 信頼区間 $-0.6\sim1.4\%$ 標準偏差 $1.2\sim2.9\%$ で有意差は認められない。

2.5 変調度誤差



(a) 長中短波用 (1MHz .100dB)

(b) 超短波用 (98MHz.100dB)

図-8 内部変調周波数誤差

2.4項と同様長中短波用では30%変調、 $1MHz$ の被変調波をオシロスコープに加え、変調エンベロープの最大最小振幅の差と和の比から求めたものであり、超短波用の場合は $22.5KHz$ 偏移、 $98MHz$ の被変調波をスペクトラムアナライザにより、搬送波零法によって測定している。

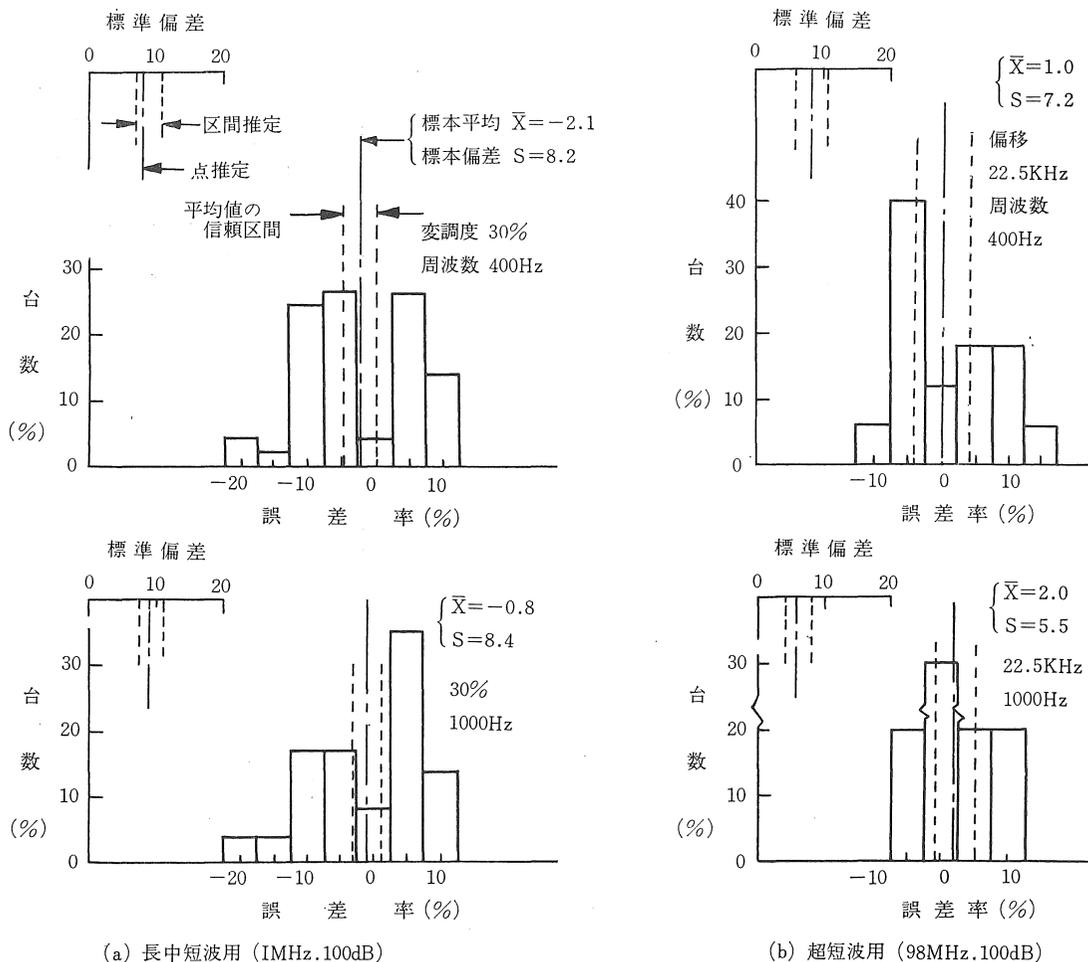
測定結果の分布、統計結果は図9および表1、表2のとおりで長中短波用で平均 $-0.8\sim-2.1\%$ 、信頼係数95%で $-4.5\sim1.4\%$ となり、標準偏差は $7.3\sim11\%$ の間となり有意差はない。超短波用で平均 $1\sim2\%$ 、信頼区間 $2.8\sim4.9\%$ 、標準偏差 $4.2\sim11.3\%$ となり有意差は認められないし、勿論この程度の周波数の間で有意差を生ずる原

因も考えられない。またこれらの値は他の項目に比して大きいようにも思われるが、現在の変調度測定の方法から云っても、これらは測定器の誤差と同程度と考えられる。

2.6 変調ひずみ率

2.4項と同様の状態の被変調波を、直線検波器で検波した後ひずみ率計によって測定したものである。

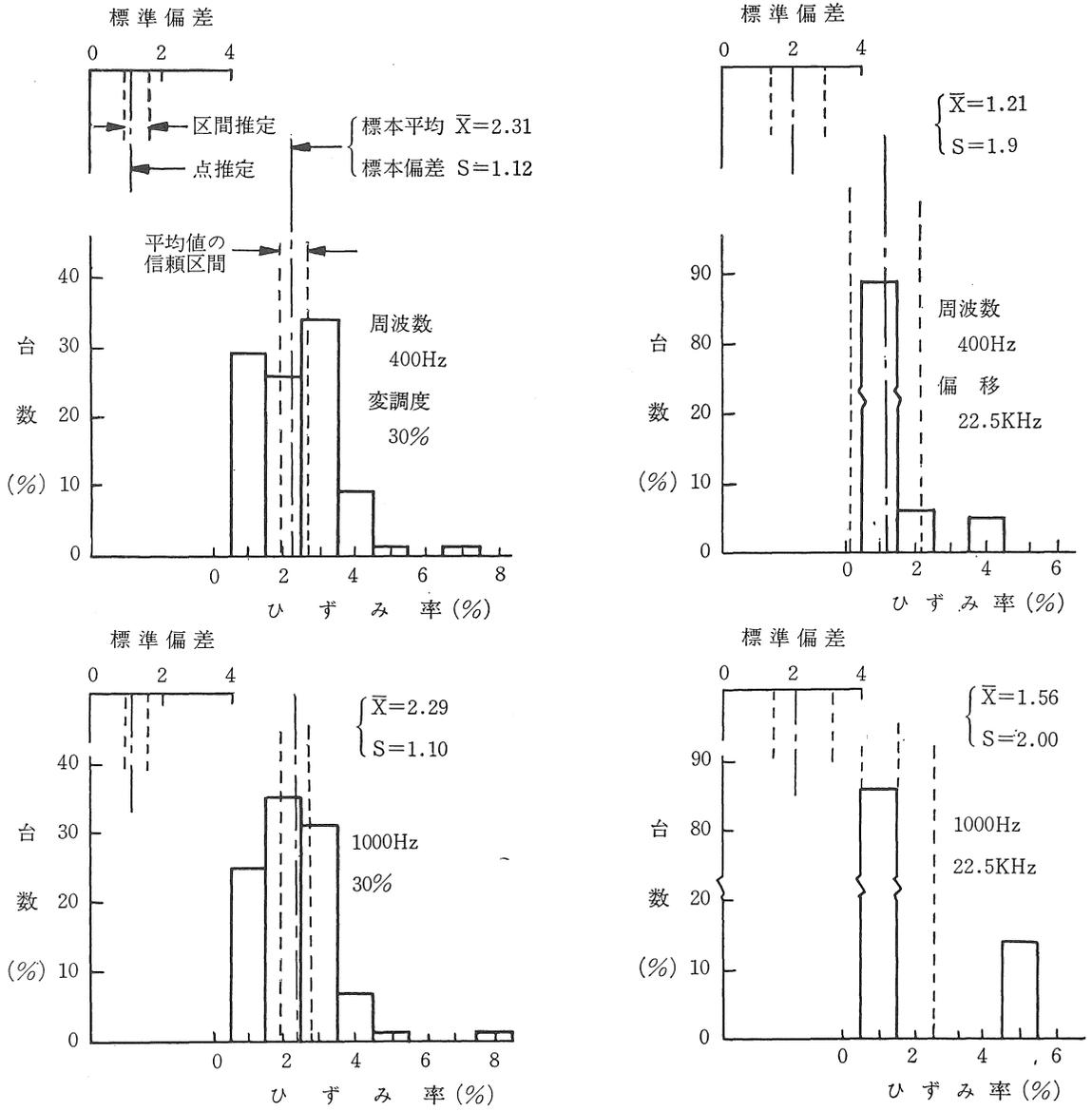
測定結果の分布、統計結果は図10および表1、表2に示したとおりで長中短波用で平均 2.3% 、信頼係数95%で $2.0\sim2.6\%$ 、標準偏差 $1.0\sim1.5\%$ で有意差はない。超短波用では平均 $1.2\sim1.6\%$ 、信頼区間 $0.2\sim2.6\%$ 、標準偏差 $1.5\sim3.1\%$ で勿論有意差は認められない



(a) 長中短波用 (1MHz.100dB)

(b) 超短波用 (98MHz.100dB)

図—9 変 調 度 誤 差



(a) 長中短波用 (1MHz:100dB)

(b) 超短波用 (98MHz:100dB)

図-10 変調ひずみ率

表1 各項目別統計値(長中短波用)

項目		周波数直読目盛誤差(%)				出力基準レベル誤差(dB)			
		MHZ 0.1~0.5	MHZ 0.55~1.4	MHZ 2~12	MHZ 20~40	MHZ 0.1~0.5	MHZ 0.55~1.4	MHZ 2~12	MHZ 13~50
母平均	μ	-0.01	0.02	0.02	-0.03	0.41	0.37	0.36	0.28
信頼	区間	± 0.09	± 0.09	± 0.09	± 0.08	± 0.14	± 0.16	± 0.14	± 0.13
母標準	偏差 σ	0.34	0.34	0.31	0.30	0.53	0.60	0.52	0.46
信頼	区間	0.29	0.29	0.27	0.26	0.46	0.53	0.45	0.40
		0.44	0.44	0.41	0.38	0.69	0.78	0.67	0.60
有意差	分散	なし				なし			
	平均	なし				なし			

項目		減衰器誤差(dB)								
		主減衰器(副減衰器0dB)					副減衰器(主減衰器80dB)			
		dB 0~20	dB 20~40	dB 40~60	dB 60~80	dB 80~100	dB 0~5	dB 5~10	dB 10~15	dB 15~20
母平均	μ	0.01	0.01	-0.01	0.01	0.03	0.07	0.02	0.09	0.12
信頼	区間	± 0.03	± 0.02	± 0.02	± 0.06	± 0.04	± 0.04	± 0.02	± 0.05	± 0.04
母標準	偏差 σ	0.12	0.09	0.08	0.23	0.14	0.13	0.09	0.17	0.18
信頼	区間	0.11	0.08	0.07	0.20	0.12	0.11	0.08	0.15	0.16
		0.16	0.12	0.11	0.30	0.18	0.17	0.12	0.22	0.23
有意差	分散	あり	なし		あり			なし		あり
	平均	※	なし		※	※	なし		※	あり

※印については本文1.5参照

項目		変調周波数誤差(%)		変調度誤差(%)		変調ひずみ率(%)	
		Hz 400	Hz 1,000	Hz 400	Hz 1,000	Hz 400	Hz 1,000
母平均	μ	-0.4	-0.2	-2.1	-0.8	2.3	2.3
信頼	区間	± 0.8	± 0.6	± 2.4	± 2.2	± 0.3	± 0.3
母標準	偏差 σ	2.8	2.2	8.3	8.5	1.1	1.1
信頼	区間	2.5	2.0	7.3	7.5	1.0	1.0
		3.7	2.9	10.8	11.0	1.5	1.5
有意差	分散	なし		なし		なし	
	平均	なし		なし		なし	

表 2 各項目別統計値（超短波用）

項目		周波数直読目盛誤差(%)			出力基準レベル誤差(dB)		
		MHZ 20~60	MHZ 80~108	MHZ 110~220	MHZ 20~60	MHZ 80~108	MHZ 110~220
統計値	母平均 μ	-0.01	0.02	0.07	0.34	0.59	0.44
	信頼区間	± 0.14	± 0.12	± 0.11	± 0.42	± 0.44	± 0.28
	母標準偏差 σ	0.27	0.23	0.22	0.82	0.85	0.55
	信頼区間	0.20	0.17	0.15	0.62	0.63	0.41
		0.41	0.34	0.31	1.25	1.29	0.83
有意差	分散	なし			なし		
	平均	なし			なし		

項目		減衰器誤差(dB)				
		dB 0~20	dB 20~40	dB 40~60	dB 60~80	dB 80~100
統計値	母平均 μ	-0.03	-0.02	0.01	0.01	0.05
	信頼区間	± 0.09	± 0.05	± 0.05	± 0.07	± 0.08
	母標準偏差 σ	0.18	0.09	0.09	0.14	0.15
	信頼区間	0.13	0.07	0.07	0.11	0.11
		0.27	0.14	0.14	0.22	0.22
有意差	分散	あり	なし			
	平均	※		なし		

項目		変調周波数誤差(%)		変調度誤差(%)		変調ひずみ率(%)	
		Hz 400	Hz 1,000	Hz 400	Hz 1,000	Hz 400	Hz 1,000
統計値	母平均 μ	0.2	0.4	1.0	2.0	1.2	1.6
	信頼区間	± 0.8	± 1.0	± 3.8	± 2.9	± 1.0	± 1.0
	母標準偏差 σ	1.6	1.9	7.4	5.7	2.0	2.0
	信頼区間	1.2	1.5	5.7	4.2	1.5	1.6
		2.4	2.9	11.3	8.6	3.0	3.1
有意差	分散	なし		なし		なし	
	平均	なし		なし		なし	

む す び

公的機関において公正な立場にたつて試験された国産SGの主要な電気的性能のデータについて、数理統計的手法を用いて分析した結果は以上のとおりである。勿論このデータは統計的手段によって、国産標準信号発生器の性能の現状を知る目的をもって実施されたものでは

ないので、これを統計的に処理するに当たっては多少の無理があり、前述のごとき仮定を設けざるを得なかったのである。

一般に統計調査を実施するにはその企画ということが非常に重要である。すなわち、目的を定めそれによりサンプリングの方法、集計の方法等が充分検討されて後実

験、統計処理が行われるのが通例である。ここで採用したデータはユーザが標準維持の目的で日・機・検に委託校正を依頼し、約1ケ年にわたり長中短波用56台、超短波用17台について試験されたものを利用し、その客観性信頼性に着目して統計調査を実施したものである。

次に一般に云われているように、統計学は決して結論を与えるものではなく示唆を与えるに過ぎないものであって、結論はあくまでその結果を利用する立場の側にあるということも重要なことと思われる。したがって、この結果の評価については各自それぞれの立場で行われるべきであるが、過去にこの種の調査を実施し、またSGに関心をもつ筆者の所見を述べると次のようになる。

国産標準信号発生器は約10年以前の性能より予期した以上に著しい向上を示しており、今回の試験項目は少ないが試験対象が現用中のもので、しかも長期間使用されているにもかかわらず、仕様規格より非常に優れた性能を示している。これはまた試験項目としてとり上げられていない各部の切換器、調整器等の機械的機構も良好な性能を維持していることを示すものと考えられる。以上の調査結果がユーザ、メーカその他の各位の多少とも参考になれば幸いである。

終りにデータの提供について便宜をいただいた日・機・検・名古屋検査所鈴木検査第二課長、ならびに本調査のとりまとめにあたって日頃御援助をいただいている本学竹松教授はじめ、電子工学科教室の各位に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 神崎・中村・吉田; 全波標準信号発生器の性能について 電波研究所季報, Vol. 3, No. 12, July 1957
- 2) 中村・吉田; 標準信号発生器の振巾変調に伴う周波数変調の混入について 電波研究所季報 Vol. 4, No. 15, April 1958
- 3) 電子機械第二検査部測定器試験室; 国産標準信号発生器の性能調査 JMI ニュース No. 75, July 1964
- 4) A. H. Bowker, G. J. Lieberman ; Engineering statistics. Prentice-Hall, Inc
- 5) 依田浩; 技術者の統計学 宝文館
- 6) 岡松正泰; 推計学ノート オーム社
- 7) 文部省統計数理研究所編; 確率および統計入門
- 8) 同上; 推定論および検定論