10. テレビジョンノイズの主観評価

NHK 技術研究所 樋 渡 涓 二

テレビジョン系におけるノイズの種類は他の通信系ととくに異なるわけではないが、具体的に分類すれば連続性ノイズ、周期性ノイズ、およびパルス性ノイズの3種があり、これらのノイズについて、それがテレビ画面に現われた場合、視覚的にどのように見えるか、あるいはその妨害度はどのように評価されるかについて従来の研究をまとめてみよう。テレビは最終的に視覚に訴えるものであるから、視覚におよぼす影響は各種の伝送系の規格や、サービスエリアの計画の基本となるものである。

1. テレビにおける連続性ノイズの見え方

まず基本的には、テレビノイズは空間的および時間的にランダムに現われるパターンであり、この刺激に対する目の基本的な性質から考えるのが正しいのであるが、十分に説明するだけの資料が不足である。古くは P. Mertz¹⁾ がテレビの連続性ノイズについて、ちょうど写真フィルムの粒状性と同じに考え、第1図のようなモデルで四角のアパーチャで走査して得られる出力波形を考え、視覚におけるノイズの実効的パワーレスポンス W_e を

$$W_e = \frac{1}{D} \int_0^\infty W(f) [\sin \pi f D T / \pi f D T]^2 df \quad (1)$$

とした。ここに $W(f)$ は単位周波数あたりのルミナンスノイズパワー、 D は(視距離/4×画面高)、 T は $D=1$

第1図 二次元の粒子モデル、矩形アパーチャで走査する

第3図 視覚モデル

においてサンプル面積を走査する時間である。(1)式にもとづいてノイズに対する視感曲線を求めた。また一方において、走査した出力のノイズパタンの零レベル交叉の実効周波数 f_e は

$$f_e = \int_0^\infty f^2 W(f) df / \int_0^\infty W(f) df \quad (2)$$

で、かつ $W_e = W/kNTD^2 f_e$ (ここに W は実際の全ノイズパワー、 k は常数、 N は画面高の走査線数)、 $f_e = f_0 / \sqrt{3}$ 、 $W = f_0 W(f)$ (ここに f_0 はノイズの上限周波数) から、 $W_e = c / \sqrt{3} W(f)$ 。

一方、平坦および三角ノイズについての実験結果と上記2つの近似理論を照合して第2図を得た。

ごく最近、オーストラリアの Budrikis²⁾ は第3図の視覚モデルにおいて

$$e(x, y, t) = K \int_0^\infty \left\{ \iint_R i(\xi, \nu, t - \tau) \exp[-\{(x - \xi)^2 + (y - \nu)^2\}^{1/2} / r_0] d\xi d\nu \times \exp[-\tau/t_0] d\tau \right. \quad (3)$$

ここに K は Gain const., r_0 は Characteristic distance, t_0 は時定数で、この3常数は閾測定によって得られ、実際は網膜の順応レベル (adaptation level) と、網膜部位の関数である。氏はこのモデルで従来の視覚心理学の Piper, Ricco, Pieron および Bunsen Roscoe の各法則を(3)式の近似計算から得られることを示し、

第2図 平坦と高域強調ノイズの見え方の相異
(W_1 , W_2 はそれぞれ平坦と高域強調ノイズの同一カットオフ周波数に対する全パワー)

"Subjective Evaluation of Television Noises" by Kenji Hiwatashi

また Blackwell のコントラスト閾値のデータ³⁾, Graham 等の目の時定数のデータ⁴⁾ も説明できるとし, (3) 式のモデルでテレビノイズの評価曲線を説明した. また同時にテレビノイズの視覚における積分効果や, 走査線構造についても説明している.

2. 連続性ランダムノイズの周波数に関する視感評価曲線 (Weighting Curve)

連続性ランダムノイズの見え方を周波数スペクトルの視感補正の曲線の測定または擬似回路の提案は, 実用上の(要求伝送規格制定)から CCIR の研究課題でもあり, きわめて多い. 周波数スペクトルについての視感評価曲線 $W(\omega)$ の測定は普通白色ノイズ (white noise) を狭帯域のフィルタを通し, そのノイズ画像をラスタ高の4倍の距離で適当な輝度で測定する. すなわち $W(\omega) > 0$, $0 \leq \omega \leq \Omega$ で, 2つの電力スペクトル密度 N_1, N_0 は

$$\int_0^{\Omega} W(\omega) N_1(\omega) d\omega = \int_0^{\Omega} W(\omega) N_0(\omega) d\omega \quad (4)$$

のとき主観的等価値である. いま N_i ($i=1 \sim m$) の異なるノイズスペクトルを作り, これが $0 \sim \Omega$ をカバーし, かつ互に独立で N_0 が近似的にこれらの線形結合で表わされるようにえらぶ. そして N_k が N_0 にくらべてひとしく見える N_k の電力利得を $1/y_k$ とすれば

(標準方式による横軸の換算は水平周波数で行なっている)

[405 本方式]

a: Gilbert, BBC Monograph (1955)

b: Kilvington, J. Television Soc. (1959)

[525 本方式]

c: Mertz, J. SMPTE (1950)

d: Christopher & Barstow, Trans. AIEE, (1954)

e: Hiwatashi & Yamaguchi, NHK Tech. J. (1958)

[625 本方式]

f: Sennhenn, Electr. Rdsch. (1959)

g: Mueller & Demus, MTZ (1959)

[819 本方式]

h: Goussot, londe electrique (1959)

第4図 各国から報告されたテレビ連続ノイズの評価曲線 (Weighting Curve)

$$\frac{1}{y_k} \int_0^{\Omega} N_k(\omega) W(\omega) d\omega = \int_0^{\Omega} N_0(\omega) W(\omega) d\omega \quad (5)$$

で求める評価曲線は

$$W(\omega) = \sum_{k=1}^m y_k G_k(\omega) \quad (6)$$

ここに $G_k(\omega)$ は近似的に

$$\int_0^{\Omega} G_k(\omega) N_r(\omega) d\omega = \begin{cases} 0 & r \neq k \\ 1 & r = k \end{cases} \quad (7)$$

を満足する関数である⁵⁾. ここに(6)式の線形結合は簡単のための仮定であって, 視覚におけるマスキングを考えれば各帯域の線形結合は, 本当は正しくない.

しかし従来のデータはほとんど(6)式を仮定しており, 各国の異なる標準方式で測定され, 提案されている^{6~18)}ので, これを水平周波数 f_h で換算して同一図面に表わしたものが第4図である. また, この評価曲線は $1/[1+(f/f_c)^2]$ で近似すること(視覚の Spread function を指数形と考える)は大体みな一致するところであって, 評価曲線の擬似回路として第5図のようなもの¹⁶⁾が提案されている. この評価曲線がぎまると, ノイズのスペクトルの形状, たとえば白色および三角ノイズに対する視覚的に等価なノイズパワーが計算できる.

第5図 連続ノイズの周波数評価関数擬似回路

標準方式	A	B	C	D	E	F
走査線数	405	405	525	273	625	525
インターレース	yes	yes	yes	no	yes	yes
垂直周波数	50	60	50	50	50	60
水平周波数	10.125	12.15	13.125	19.65	15.625	15.75
	○	●	△	▽	□	×
	G	H	I	J	K	L
走査線数	273	625	405	819	405	819
インターレース	no	yes	no	yes	no	yes
垂直周波数	60	60	50	50	60	60
水平周波数	16.38	18.75	20.25	20.475	24.3	24.57
	△	■	▽	△	▽	▲

第6図 異なる標準方式に対するテレビ連続性ノイズの評価曲線

第7図 信号レベルに対する連続性ノイズの見え方

相対値, 0dB は 30 ft-L に対応, 受信機ガンマは 2.5

- A: Hecht (1924) B: Shade RCA Rdv (1948)
C, C': Mertz SMPTE (1950)
D: Maurice BBC Mongraph (1955)
E: Hiwalashi & Yamaguchi

つぎに異なる標準方式間の換算については、やはり CCIR の課題となっており、山口 (NHK) が測定した結果¹⁹⁾がある。これは同一ブラウン管、同一物理条件、同一観測者のもとに各方式について評価関数を求めたもので、その結果は第6図に示すように 405~819 本、50 および 60 c/s、インターレース有無の 12 種の方式については f_h の換算のみでよく、 f_v (50/60 c/s) は関係がないことがわかった (CCIR, 1962, Bad Kreuznach)。

3. 連続性ランダムノイズの輝度に対する視感評価曲線

つぎにブラウン管輝度に対して見え方がどうであろうか。BBC の Maurice⁹⁾ 等はテレビ伝送系のノイズのレベル分布を計算するさい、画面輝度に対する視感 $1/3$ 乗の曲線であり、ちょうどブラウン管の特性 (3 乗) とかけ合わせると 1 になるので、ブラウン管グリッドに加わるノイズが一定ならば輝度レベルに無関係に一定に感ずるものと仮定した。Budrikis²⁾ も同様に考えている。しかし、われわれの実験では明らかに画面の黒部と白部とではノイズの見え方が異なり、第7図に示すように数 dB の差がある。さらにこれを輝度 B に対し Fechner fraction $\Delta B/B$ で示すと第8図のようである^{14, 18)}。Hacking²⁰⁾ は Moon と Spencer の古いデータ (中心視, 1~1.5 の視票, 第8図の F, G) を利用し, Fechner fraction $\Delta B/B$ に対し, ブラウン管の特性 $B - B_{\min} = kE^\gamma$ と輝度域を考慮してノイズの rms ルミナンス/平均ルミナンスを $\sigma B/B$ で表わし, かつノイズの見え方は $\log(\sigma B/\Delta B)$ に比例するとしてこれを輝度 $B/B_{\max}$ に対して求めた (第9図)。20 $\log(\sigma B/\Delta B)$ は, 単位は “dicilum” である。これによっても明らかに比較的暗部

のノイズは明部にくらべて 4 dB 以上目に感じやすいことがわかる。

4. テレビ伝送系と SN 比

上記のようにブラウン管グリッドに入るノイズが一定レベルの白色ノイズであっても、視覚としては2種類の Weighting Curve を考えなければならぬ。さて実際のテレビ伝送系においては、ノイズ源は使用する撮像管によってノイズスペクトルおよび信号レベルによるノイズ振幅を異にし、かつ伝送系においてアパーチャ補正やガンマ補正を行ったり、フィルムが介入するとそれらのノイズ分布が変化し、マイクロ中継や VTR においては FM 後に混入するノイズは復調後三角ノイズとなるなどで、最終的受信管入力におけるノイズの性質はかなり複雑である^{9, 21)}。したがって SN 比として単に p-p/rms の表現は必ずしも画像を観視したときの印象とは異なるであろう。そこでノイズの分布と視感補正特性をも加味した SN 比で表示することが望ましい。筆者はそのためスペクトル帯域とダイナミックレンジを制限した場合の

第8図 平均輝度に対する Fechner Factor を求めたもの (曲線がそれぞれ異なるのは測定に用いたパターンの相違にもとづく)

第9図 3種のノイズについて平均輝度に対する見え方 (K. Hacking)

- ①: コントラスト比 50:1. Low Adaptation Threshold, $B_{\max} = 10 f_t - L$
②: フィルムはネガフィルムを封切ポジフィルムにプリントしたものの ($B_{\max}$ はベース濃度 + 0.2)

第2表 TASOが行なった連続ノイズの評価

Comment	SN 比 50% 限界値 (dB)
1. Excellent	39 (38)
2. Fine	29.5 (29)
3. Passable	23.5 (24.5)
4. Marginal	19 (20)
5. Inferior	14 (13)
6. Unusable	

7種の Scene の平均値 (カッコ内は Miss TASO 一種)

(IRE, TASO Issue, June, 1960)

SN 比は第1表に同じ

←第10図 テレビ評価ノイズ量測定系統図

実効平均ノイズ係数 $\bar{F}_{ew}$ として

$$\bar{F}_{ew} = \frac{1}{B} \int_{f_1}^{f_2} \int_a^1 A^2 \dot{F}_f W(f) \dot{F}_a W(e) df de \quad (9)$$

を提案した。ここに B はノイズ等価帯域幅、 A は標準化した信号振幅、 $\dot{F}_f$ 、 $\dot{F}_a$ はそれぞれ周波数に対する点ノイズ指数、レベルに対する点ノイズ係数、 $W(f)$ 、 $W(e)$ は視感補正曲線である。そして SN 比としては放送の平均レベル分布を求めて、その Weighting を考えて平均値を出す。また、この測定には標準のノイズを被測定画面中にはめこんで測定する方法(第10図)を提案した¹⁸⁾。

5. 連続性ランダムノイズの評価

実際のテレビ画面におけるノイズ量に対し、検知限、

第1表 P. Mertz (SMPTE, 57, Aug., 1951)

による連続ノイズに対する評価

Comment	SN 比 50% 限界値 (dB)
1. Not Perceptible	42 (検知限)
2. Just Perceptible	37.5
3. {Definitely Perceptible, but only slight impairment to picture	33 (許容限)
4. {Impairment to Picture, but not objectionable	29.5
5. Somewhat Objectionable	25 (我慢限)
6. Definitely Objectionable	21
7. Not Usable	

SN 比表示は同期をふくまぬビデオ [信号 (p-p)/ノイズ (rms)]

第3表 NHK における連続ノイズ (受信機内 部ノイズ) の評価

Comment	テスト パターン	Kitchen Gire dB	Miss TASC dB	限界値
5. 妨害がわからない	61(39)	62(40)	65(42)	検知限
4. 妨害がわかるが気にならない	50(30)	51(31)	56(35)	許容限
3. 妨害が気になるがじやまにならない	38(19.5)	42(23)	45(26)	我慢限
2. 妨害がひどくてじやまになる				
1. 受信不能				
標準偏差 (平均)	6.0	4.4	5.3	

* 数字は受信機入力電圧(300 Ω 端子電圧)で、0dB=1 μV、カッコ内は S(ベダスタルレベルから1信号の白ピークを p-p)/N (rms) (dB)

** 評定者は NHK 受信機部職員を主体としたテレビ技術者で、実際に各地を巡廻し、受信状態を評価している者 10 名。

許容限などを求めることは置局計画などに必要なことである。一般にこの種の実験は聴視者(母集団)を代表すると思われる大勢の評定者を集め、いわゆるカテゴリー法(評定尺度法または段階評価法)によって測定されている²²⁾。

第1表は Mertz のもの、第2表は米国の TASO(Tele-vision Allocation Studying Organization) の測定²³⁾ 値であり、第3表は NHK において測定されたものである²⁴⁾。なお第3表において、4と5の間(50%)の値を検知限、4と3の間を許容限、3と2の間を我慢限と称している。また NHK で個人の巡回員の主観評価の個人内および個人間誤差をはぶくため、写真印画による基準(限度)見本を作った。これによれば入力電界で 5~6 dB の個人誤差を 2 dB 程度まで減らすことができる。

なお第1, 2, 3表から一般の画像に対する検知、許容、我慢限は 3 Mc 帯域(受信機の IF できる)に対し、それぞれ SN 比で約 42 dB, 33 dB, 25 dB と考えてよ

からう。

6. 正弦波妨害の見え方

正弦波妨害の見え方に対する基本的な視覚のデータは

第11図 テレビジョンにおける肉眼の空間正弦波レスポンス

第 12 図 正弦波妨害に対する視覚 (Goussot)

$$S = 20 \log \frac{\text{信号 } p-p \text{ 値}}{\text{妨害 } p-p \text{ 値}}$$

$$R = \text{信号}/1 \text{ Mc の妨害正弦波 (p-p 値)}$$

視覚の空間的正弦波レスポンス関数および時間的正弦波レスポンス関数である。前者の例としては Schade²⁵⁾、大上²⁶⁾、Lowry²⁷⁾、Goussot³⁰⁾ (第 12 図) および NHK 技研のデータ^{28, 29)} (第 11 図) がある。

この特性の高域は平均輝度の高いほど、パタンのコントラストの高いほど伸び、低域は中域よりやや低下する。また正弦波パターンが適当な一定速度で移動すれば中域以下の感度が上昇することが知られている^{25, 26)}。低域のレスポンス低下は Mach 現象に対応するものであろう²⁷⁾。Mach 現象とは急激に白から黒に移る部分が、さらに強調されて見えることをいう。

一方、時間的な変化に対しては矩形波フリッカの融合周波数 (Critical Fusion Frequency, C.F.F.) について古典的な 2 つの法則、すなわち Ferry-Porter* の法則と Talbot-Plateau** の法則は有名であるが、ここでは時間的正弦波の各周波数に対する視覚の閾値 (threshold)

第 13 図 眼の時間的正弦波レスポンス (D. H. Kelly 一人のもの³²⁾)

[図中 $t_r = \text{トロランド}$] $f(t) = B(1 + m \cos \omega t)$ に対する閾値を求めたもの。 m^{-1} は Amplitude Threshold という。

第 4 表 色副搬送波と音声搬送波間ビートに対する 3.58 Mc 減衰度 (dB)

	検	知	許	容
$f_i = nfh$		45		38
free		46		38
$f_i = (2n+1) \frac{fh}{2}$		33		24

第 14 図 Fowler の正弦波妨害周波数と 60 c/s フィールド周波数との差 (f) に対する妨害度評価

のデータが基本となる。この基本的な測定は、最近 Lange³¹⁾ と Kelly³²⁾ (第 13 図) が発表している。いずれも 10~20 c/s で感度が上がり、20 c/s 以上では急激に下降する。これは輝度が高いほど極端である。

* C.F.F. $\propto \log L$ (L は輝度)

** 融合したときの明るさの感じは輝度変化の平均値である。

7. 正弦波ノイズの主観評価

前節にのべた視覚の基本特性はテレビジョンに対するものではない。テレビジョンでは走査線があり、受像面の残光もあるからテレビ受像管で測定したものが実用上

第 15 図 O. H. Schode のテレビにおけるフリッカの特性

条件: 視距離 $p=4\sim5$, スクリーンの大きさ 4.5 吋 $\times$ 6 吋中心視
インターレースなし, 暗室, $t=5\%$ までの残光時間

第 16 図 受像入力 (SN 比) に対する各種妨害³⁵⁾ (NHK 技研 石橋他)

望ましい。ハム妨害の評価については、Fowler のデータ³³⁾がある。すなわち妨害信号周波数と 60 c/s フィールド周波数との差のフリッカ周波数に対し、6 段階評価を行なったもので、5~7 c/s の差周波数に最も敏感である (第 14 図)。また Schade は²⁵⁾テレビ画像でその残光時間をパラメータにして、Ferry-Poter の法則を示す測定を行なった (第 15 図)。

妨害の周波数が高くなると画面上に動揺する縞模様となって現われるが、前記空間周波数レスポンスがこれに対応する。実用上のデータとしては、同一周波放送のためのオフセット方式に関する Kell のデータ³⁴⁾は有名であるが、同一および上下隣接チャンネルの妨害を段階評価した TASO の詳しいデータがある²³⁾。

カラーテレビをはじめるにあたり、調査会が電波審議委員会に設けられ、その答申のためいくつかのデータが主として NHK で測定された。第 1 に石橋、他の測定によれば輝度信号と色信号との漏話 (2.1~4.2 Mc) について、副搬送波ドットは 3.58 Mc トラップを挿入し、

第 5 表 パルスノイズ評価の一例 (NHK)
[評定者は第 4 表と同一]

評 価	テ ス ト パ タ ー ン		Kitchen Girl	
	D*40dB	50 dB	40 dB	50 dB
検 知 限	26.8**(11.0)	43.1 (9.3)	35.1(10.4)	47.5 (5.2)
許 容 限	21.0(16.3)	17.0(11.7)	8.6(15.7)	21.8(14.3)
我 慢 限	-18.9 (5.0)	-6.5 (4.9)	-13.1 (7.6)	-2.1 (7.0)

* 希望信号レベル、300 Ω 負荷入力電圧 (1 μV=0 dB)

** 電波審議会規格雑音強度測定器準尖頭値で測った 300 Ω 負荷入力電圧

第 17 図 テレビのラストゆれの検知、許容限³⁶⁾ (石橋他)

第 18 図 反対像の評価 (石橋他). モノスコープ (テストパターン), 視距離 4 h

許容値は 3.58 Mc 減衰度 6~10 dB であり、色副搬送波と音声搬送波間 920 kc ビートは第 4 表に示す³⁵⁾。第 2 に受像入力に対する同一および隣接チャンネル妨害の検知および許容限を測定した (第 16 図)。

8. パルスノイズの主観評価

自動車点火栓ノイズや、ビデオテープのドロップアウトのようなパルス性ノイズの見え方はきわめて複雑な要素をふくんでいる。継続的な刺激に対する視覚については前後の刺激が干渉するし、刺激のあとの視覚の残像はかなり複雑な様相を呈することがわかっている。パルスノイズの場合、その数の印象は実際の数と直線的ではなく、その発生頻度とパルスのパタンの長さによってかなり異なる²⁴⁾。

またパルスノイズを多くの評定者に主観評価せしめると、ノイズの発生頻度が増すほど評価がばらつく。実際に自動車点火栓ノイズについて発生頻度を 250 c/s とした場合、受像機の電界入力 (端子電圧 300 Ω, 1 μV=0 dB) に対するパルスノイズの評価は第 5 表に示すようである。なお第 5 表は評定者の母集団の性質の異なる場合の実験³⁷⁾と約 10 dB の開きがある。

(49 頁へ続く)

を白黒テレビ信号度程にすることによって、カラーテレビ画像の解像度と SN 比を向上させるものである。色度情報用撮像管のノイズは主として再現画像の色度ノイズになり、また輝度信号の 3.58Mc 近傍ノイズによるクロミナンスノイズが減少するため、カラー画像のノイズ特性が大幅に改善される。37 年 5 月、NHK 技研において色度用として 3 吋 IO 3 本、輝度用として 4.5 吋 IO を用い撮像実験を公開したが、色度用 IO の入射光量が減って SN 比が約 1/5 に低下しても、再現画像のノイズは通常の 3 IO カメラの場合と同等に保たれることが示された。

5. む す び

クロミナンスノイズの再現画像に及ぼす影響が、輝度ノイズにくらべ無視できないことがわかった。とくにフリンジエリアで問題である²⁾。

カラーテレビのノイズに関しては、現在のところ視覚試験の資料が不十分で、たとえば NTSC 信号のノイズ評価曲線にしてもなお検討の必要があろう。色度ノイズ

に対する評価曲線、輝度ノイズと色度ノイズ、あるいは色度の違う色度ノイズ相互の視覚における相関性など調査すべきことが多く残されている。

〔参 考 文 献〕

- 1) W.F. Bailey: The Constant Luminance Principle in NTSC Color Television, Proc. IRE, 42 (1954) 60
- 2) R.D.A. Maurice: A Review of Colour Television in the U.K., Electronic Engineering, Feb., (1960) 68
- 3) ベ・エム・ペズネル: カラーテレビジョン伝送チャンネルの相対効率と雑音安定度: Техника кино и телевидения, 1959, No. 10.
- 4) A.V. Lord: Fluctuation Noise in Two Forms of the N.T.S.C. Colour Television System, Journal Brit IRE, April (1962) 322
- 5) J.M. Barstow: Intercity B-W and color television transmission, Bell Telephone System Technical Publications Monograph 2466.
- 6) ベ・エム・ペズネル: 直角サブキャリア変調カラーテレビの雑音安定度, Техника кино и телевидения, 1961, № 7
- 7) 駒井, 田所: カラーテレビ信号雑音の視覚に及ぼす影響, NHK 技術研究, 12, (1960) 393
- 8) I.J.P. James: Fluctuation Noise in Television Camera Head Amplifier P.I.E.E., Part IIIA, (1952) 706
- 9) 坂井: ビジコン用トランジスタ前置増幅器, 信学会全国大会予稿 594 (1962)
- 10) 林: 分離輝度カラー撮像方式, 信学会全国大会予稿 (1962) 598

(55 頁より続く)

9. む す び

以上のべたほかに、ノイズといえるかどうかは別として画面の上下左右の動揺、反射像などがある。画面動揺についてはデータが少なく、石橋らがゆれの周波数に対する検知、許容限を測定したものがある³⁶⁾ (第 17 図)。反射像については Müller³⁸⁾, Fowler と Christopher³⁹⁾, 石橋と白鳥の測定³⁶⁾ (第 18 図) がある。

最後に本文を草するにあたり多くのデータを参照させていただいた各研究者に深謝する。

〔参 考 文 献〕

- 1) Mrtz P: SMPTE, 54, (1950), 8-34.
- 2) Budrikis, Z.L: Proc. IRE Australia, Dec., (1961). 751-759.
- 3) Blackwell H.R: JOSA, 36, (1946), 624-643.
- 4) Graham C.H., Margaria R: Amer. J. Physiol., 113, (1935), 299-305.
- 5) Brainard R.C: IRE Trans., IT-8, No. 2, (1962) 99-106.
- 6) Christopher H.N & Barstow, J.N: Trans. AIEE, 73, pt-1, (1954) 735-741.
- 7) Cuban Telephone Co., Annex 1 to Q 14, 3rd S. G., 17th Plenary Assembly CCIR, Geneva, (1954).
- 8) Kilvington T., et al: P.O. Radio Rep., No. 2289, (1954)
- 9) Maurice R.D.A, et al: BBC Eng. Monograph, No. 3, (1955). Annex III to Rep. 84, 8th Plenary Assembly CCIR, Warsaw. (1956). CCITT, Red Book, 1, (1956).
- 10) Sennhenn E: Elektron. Rdsch., 11, (1957), 271-274 および 13, (1959), 9-12.
- 11) Maarleveld F: Rep. No. 107, R.L. of Dutch PTT, 1957.
- 12) Netherlands, Doc 12. Annex IV, CMTT Paris. (1957). Doc. 10, Appendix 4, CCIF, (1957). Doc. 9, CMTT, Monte Carlo, (1958).

- 13) USSR, Doc. 23, CMTT, Monte Carlo (1958), および Doc. XI/23, 24, 30, CCIR Moscow (1958).
- 14) Japan, Doc. 31, CMTT, Monte Carlo (1958) および Doc. 39, 41, 9th Plenary Assem. CCIR, Los Angeles (1959).
- 15) Mueller, J & Demus, E: NTZ, (1959), 181-186.
- 16) Kilvington, T: Jour. TV Soc., 9, 26-31 (1959).
- 17) Weaver L.E: Electron & Radio Eng., (1959) 170-179.
- 18) 樋渡, 山口: 電連大予 823 (1957). テレビ誌 11, (1957), 355-359. NHK 技研, 10, (1958), 260-266.
- 19) Japan, Doc. XI, CCIR, Badkreuznach, (1962). 山口: 通大 (1962).
- 20) Hacking K: Jour. Brit. IRE, April, (1962), 307-310.
- 21) 樋渡: テレビ誌 16, 8, (1962), 456-461.
- 22) Mertz P: SMPTE, 57, Ang., 89-107, (1951).
- 23) Fredendall G.L., et al: June, 1030-1034, Dean C.E: June, 1035-45, IRE TASO Issue.
- 24) 樋渡, 渡部, 長田: 通大, (1962).
- 25) Schade O.H: RCA Rev, (1948), 5-37, JOSA 46, 9, (1956) 721.
- 26) 大上: Jour. Appl. Phys., 28, (1959) 531.
- 27) Lowry E.M & De Palma, J.J: JOSA, 51, 7, (1961)
- 28) 樋渡, 山口: 通大, (1958), 502.
- 29) 渡部, 他: 通大, (1962).
- 30) Goussot L: Londe electrique, 39, (1959) 352-361, 690-700
- 31) de Lange H: JOSA, 43, (1958), 777-789.
- 32) Kelly D.H: JOSA, 51, 4, 422-429. 51, 7, (1961), 747-754. 52, 1, (1962), 89-95.
- 33) Fowler A.D: IRE, 39, (1951) 1332-1336.
- 34) Fink D.G: Television Eng. Handbook, Maple Press Co., (1957), 1-15.
- 35) 石橋, 他: 電連大予, 347 (1958).
- 36) 石橋, 白鳥: NHK 技研, No. 29, (1956)
- 37) 鈴木: テレビ誌, 16, 10, (1962) 593-598.
- 38) Müller, J: FTZ, 7, July, (1953) 20.
- 39) Fowler A.D & Christopher H.N: SMPTE, 58, June, (1952).
- 40) Moon P. and Spencer D.E: JOSA, 35, March (1945), 233-248.
- 41) 大上: 応用物理, 28, 9, (1959).