フリッカー妨害より見たテレビ電話方式の フィールド周波数の選択

日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所

大 森 喬・上 田 照 夫

テレビ電話を蛍光灯照明下で用いた場合、電源周波数が 50 Hz の地域でフィールド周波数を 60 Hz にするとフリッカー妨害が生じる。この妨害に対する評価実験を行なった。また、フリッカー妨害緩和のために撮像管の残像をふやした場合の残像妨害に対する評価も行なった。さらに、フィールド周波数を 50 Hz にしたときと 60 Hz にしたとき、100 Hz 変調度、画面輝度を変化させて、どちらが好ましいか対比較実験を行なった。

1. ま え が き

テレビ電話の相互接続を容易にするため、その方式諸元を国際間で統一する問題について、1970 年来 CCITT テレビ電話作業部会で検討されている。1 MHz テレビ電話については、ライン周波数、画面のアスペクト比等について意見の一致がみられたが、フィールド周波数は電源周波数との関連があるため意見の一致を見るに至っていない。

テレビ電話は一般に明るい部屋で使用されると想定されるが、このような環境では画面輝度を高くとる必要がある。このような高輝度画面ではフリッカー妨害を緩和するために、フィールド周波数は 60 Hz にするほうが好ましいと考えられる。この場合、ヨーロッパやわが国の関東以北の地方のように電源周波数が 50 Hz の地域では、蛍光灯照明による場合、蛍光灯の点滅 (100 Hz) とフィールド周波数の干渉により 20 Hz の画面上を流れるフリッカーが発生する。このフリッカーは残像の長い撮像管を用いることにより減少させることができるが、他方、動きに対する残像妨害が発生する。両者ともに許容限内に止めるためには、どのような照明下で撮像管の残像をどの位にすればよいかについて評価実験を行なった。

電源周波数が 50 Hz の地域では、フィールド周波数を電源周波数と同じ 50 Hz にすれば蛍光灯照明によるフリ

ッカー妨害はなく、伝送帯域一定の条件下では 60 Hz にした場合にくらべて走査線数を 2 割方増やすことができるが、他方、フィールド周波数が低いため画面全体のフリッカーが生じる。周囲が暗くて画面輝度が低いときにはこのフリッカーはあまり目立たないが、上述のように実際の使用状態では画面輝度を高くしなければならないので、この場合 50 Hz のフリッカーが妨害となってしまふ。

そこで、撮像管の残像、画面最高輝度を変化させて、フィールド周波数を 50 Hz と 60 Hz に切換えた場合 (照明電源は 50 Hz)、どちらの画質が好ましいかを対比較実験により調べた。

2. 蛍光灯照明のフリッカー

蛍光灯には使用蛍光体の種類、混合比によりいろいろ種類があるが、最も一般的に用いられているのは白色、昼光色と考えられるので、本実験にはこの 2 種類の蛍光灯を用いた。

評価実験に先立ち、蛍光灯のフリッカー波形およびフリッカー量の測定を行なった。蛍光灯の光は電流の向きにかかわらずば電流の瞬時値に比例して変化するので、波形は全波整流された形となり、したがって点滅の周期は電源周波数の 2 倍になる。出力波形を写真 1 に示すが、電流が 0 の瞬間も光は 0 にならない。これは蛍光体の残光によるもので、(b) の白色蛍光灯は (a) の昼光色蛍光灯にくらべて残光の長いハロリン酸カルシウムを多く含むためにフリッカーは少なくなっている。(c) は 2 本の蛍光灯の点灯位相をずらせたフリッカーレス点

"Choice of Field Frequency in Video Telephone as Inferred from Flicker Annoyance" by Takashi Omori and Teruo Ueda (Mushino Electrical Communication Laboratory, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporations, Tokyo)

- (a) 昼光色単相 (パーセントフリッカー 48%
色温度 6500°K)
- (b) 白色単相 (パーセントフリッカー 32%
色温度 4500°K)
- (c) 白色フリッカーレス (パーセントフリッカー 48%
色温度 6500°K)

写真 1 蛍光灯照明波形 (横軸 5 ms/div)

Illumination of fluorescent lamp.

灯といわれるもので、フリッカー、力率ともに改善されている。

フリッカー量の尺度として次式で定義されるパーセントフリッカーを用いる*。

$$\text{パーセントフリッカー}(\%) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

(I : 光量)

写真 1 にそれぞれの場合のパーセントフリッカー値を示す。

* フリッカー量の尺度としてはこの他、フリッカーインデックスなる尺度もあり、後者のほうが妥当な尺度であると考えられているが、テレビ電話作業部会での申し合せに従い、ここではこの尺度を用いることにした。

なお、これらの測定はフォトマルに視感度補正用フィルターを用いて行なった。

3. 残像とカメラ出力変調度

3.1 残像の測定

残像は、ビジコンへの光を遮断してから 3 フィールド目 (50 ms 後) の出力と光をあてているときの出力の比をパーセントで表わしたものである。すなわち、

$$\text{残像}(\%) = \frac{\text{遮光後 3 フィールド目の出力}}{\text{露光時の出力}} \times 100 \quad (2)$$

で表わされる。

測定は、8 フィールドごとに 1 回、垂直同期信号に同期して垂直ブランキング期間にストロボが発光し、そのカメラ出力を数フィールドにわたってオシロスコープ上に描かせて行なった。写真 2 にその一例を示す。写真中の 4 番目の山と 1 番目の山の高さの比をパーセントで表わせば残像が求まる (山の高さは、遮光して出力が定常状態に達したときを基線として測る)。

写真 2 残像の測定 (10 ms/div)

Measurement of lag.

図 1 カメラのスペクトルレスポンス
Spectrum response of camera.

なお、本実験では撮像管にシリコンビジコンを用いたが、一般にシリコンビジコンは図1の破線に示すように長波長部の感度が高いので、総合感度を人間の視感度に近づけるための補正用フィルターを用いた（以下の実験も同様）。その特性を図1実線に示す。

3.2 カメラ出力変調度の測定

蛍光灯照明による画面上の 20 Hz フリッカー成分の尺度として次式に示すカメラ出力変調度を用いる。

$$\text{変調度 (dB)} = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{Video}_{pp}}{\text{Flicker}_{pp}} \right) \quad (3)$$

Video_{pp} (映像信号尖頭値) の値はカメラ出力をオシロスコープで測定できるが、 Flicker_{pp} (映像信号がフリッカーにより変化する最大幅) の値は絶対値も小さく、また時間的な変動幅をとり出さねばならない。その方法として次の2つが考えられる。

- (1) 選択レベルメーターを用いて、映像信号に含まれている蛍光灯照明による 100 Hz 成分を測定する方法。
- (2) メモリスコープ上で映像レベルのピークの部分に着目し (0.7 V)、その点の時間的な変動の最大値を Flicker_{pp} の値とする。

(1)の方法ではフィールド周波数の高調波である 120 Hz 成分が 100 Hz 成分に加わり、フリッカー出力が小さい場合には測定がむずかしく、また画像の振幅レベル分布により測定値が変わるので、ここでは(2)の方法を用いて Flicker_{pp} の測定を行なった。その測定方法を図2に示す。図中低域濾波器は高周波ノイズを除去してフ

図2 蛍光灯フリッカー測定の実験システム図

Block diagram of measurement of illumination flicker.

写真3 蛍光灯フリッカーの測定

Measurement of illumination flicker.

図3 残像-カメラ出力変調度特性

Relation between lag and camera output modulation.

リッカー成分を見やすくするためのもので、遮断周波数は約 400 kHz とした。 Flicker_{pp} は映像レベルのピークの部分をオシロスコープ上にとり出し、フィルターを通したのち信号の上下の最大ゆれ幅を測定して得られる。写真3はその一例である。この値を(3)式に代入すれば変調度が求まる。

3.1, 3.2 節で述べた方法により、評価実験に使用する残像の異なる4台の 1 MHz カメラを用いて、残像とカメラ出力変調度の関係を求めた。その結果を図3に示す。

4. 蛍光灯フリッカー妨害の評価実験

2章で述べたパーセントフリッカー値の異なる3種の蛍光灯照明で被写体を照射した場合の蛍光灯フリッカー妨害の評価実験を行なった。

被写体は人物肩上で、4種の残像値をもつシリコンビジコンカメラを用いて撮像した。映像出力は $\gamma=0.7$ のガンマ補正 (2点折れ線近似) を行なったのち、P4の蛍光物質を用いた9インチモニター上に表示し、視距離はラインフリッカーの影響を除くためにやや長めの $10H$ (H : 画面高さ) とした。また、画面最高輝度は 80 fL (270 cd/m²)、周囲照度は 150 lx である。被験者は研究所員 (非専門家) 20 名、各2回のくり返しで、次に示す7段階の категория評価を用いた。

7. 妨害はまったく認められない
6. どうか認められる
5. 認められるが、それほど画質を劣化させない
4. 画質を劣化させるが、妨害とは感じない
3. やや妨害となる
2. はっきり妨害となる
1. まったく使用に耐えない

パーセントフリッカーをパラメーターにして実験結果

図4 蛍光灯フリッカー妨害, 残像妨害の評価結果
Mean opinion scores of illumination flicker and lag interference.

を示すと図4実線のようなになる(図中縦棒は評価に対する標準偏差を示す)。これを変調度と平均評点(MOS)の関係に直すと図5のようなになる。許容限を評点5以上を与える人が50%以上とすると, 図6実線から蛍光灯フ

図5 カメラ出力変調度-フリッカー妨害評価
Relation between camera output modulation and mean opinion score for illumination flicker.

図6 フリッカー妨害および残像妨害に, ある評点以上を与えた被験者の割合
Percent of viewers rating picture as of stated grade or better.

図7 蛍光灯フリッカー除去法の例¹⁾
An example of illumination flicker suppression.

リッカーに対してはビジコンの残像を10%以上にすれば白色単相の蛍光灯でも許容できることがわかる(変調度27dB以上)。しかし満足な画質を得るには, フリッカーレス照明を行なうか, フリッカー抑圧回路により改善せねばならない。

フリッカー抑圧回路としては図7¹⁾に示すものが考えられている。まず種々の映像振幅レベルにおけるフリッカー量が同じになるように圧縮を行なう。この信号を帯域フィルターを通して100Hz成分を取り出し, 圧縮後の映像に逆相で加える。これで蛍光灯フリッカーは除去でき, 伸張によりもとの信号に戻す。この方法によりフリッカーは約15~20dB軽減できると報告されている¹⁾。

5. 残像妨害の評価実験

前章で述べたように, 蛍光灯フリッカー妨害を少なくするには残像の長い撮像管を用いるほうが好ましいが, あまり残像を長くすると被写体の動きにより尾を引き, 輪郭がぼやけるため画質を劣化させることになる。どの位の残像までがテレビ電話として許容できる

かについての評価実験を行なった。

シリコンビジコンは一般にターゲット電圧を上げると残像は少なくなるので、ここではターゲット電圧を変化させ5種の残像値を選んだ。

被写体は、

(A) 普通の通話中の人物肩上像

(B) 人物肩上像で、画面幅の約 60% を 2 sec の周期で首を左右に振る大きな動きをするもの

の2種類とした。その他の条件は前章と同じで、被験者は 20 名 2 回のくり返しで、7 段階のカテゴリーによった。結果は図 4 破線に示す(縦棒は標準偏差)。許容限を評点 5 以上を与える人が 50% 以上とすると、図 6 破線より残像 17~18% の場合まで速い大きな連続動作(B)も許容できるが、テレビ電話ではこのような動きは少なく、残像 20% ぐらいまで許容できると考えられる。

6. フィールド周波数 50 Hz 方式、60 Hz 方式の対比較実験

電源周波数が 50 Hz の地域でフィールド周波数を 60 Hz にすると、前述のように 20 Hz の蛍光灯フリッカー妨害を生じる。一方、フィールド周波数を 50 Hz にした場合には、蛍光灯フリッカーの問題はなくなり、走査線数も増加するが、フィールド周波数の減少による画面全体のフリッカーが生じる。ここでは蛍光灯フリッカーによるカメラ出力変調度、画面輝度を変化させたとき、50 Hz 方式と 60 Hz 方式の画面をくらべ、総合評価によりいずれの画面が好ましいか対比較を行なった。

対比較実験の準備として、フィールド周波数を 50 Hz、60 Hz 両用にするための回路変更を行なった。まず走査線数のちがいであるが、これは発振器から 50 Hz 用 VD

図 8 50 Hz 方式、60 Hz 方式対比較実験の系統図

Block diagram of paired comparison between 50 Hz and 60 Hz systems.

図 9 フィールド周波数 50 Hz 方式、60 Hz 方式の比較
Comparison of 50 Hz system with 60 Hz system.

表 1 50 Hz 方式、60 Hz 方式の諸元
Parameters of 50 Hz system and 60 Hz system

	インターレース比	フィールド周波数	走査線数	有効走査線数	水平走査周波数	伝送帯域 (-20dB)
50 Hz 方式	2:1	50 Hz	331	306	8.275 kHz	1 MHz
60 Hz 方式	2:1	60 Hz	275	250	8.25 kHz	1 MHz

パルス発生のためのカウンタダウン回路を別に作り、スイッチにより切換えるようにした。なお、両者で発振器の発振周波数が少し異なっているが、これは走査線を奇数にする(インターレースを行なう)ためである。次にカメラとモニターの垂直偏向時定数を変える必要があるが、これは時定数回路の抵抗の切換えによる。

被験者は 40 名で 2 回のくり返しとした。周囲照度は約 200 lx、視距離は走査線数とフィールド周波数などの差が認めやすいようにやや短い 7H にとった。対比較実験の系統図を図 8 に、50 Hz 方式、60 Hz 方式の方式諸元を表 1 に示す。比較には 50 Hz、60 Hz 方式の各画面を約 5 sec ごとにスイッチにより切換え、各 2 度ずつ表示した。

図 9 はその結果で、変調度、画面輝度の増加につれて 60 Hz 方式を好む割合が増加することを示している。図より画面最高輝度が 200 cd/m² ぐらい以上の明るい画面では変調度 25 dB ぐらいでも 60 Hz 方式が好まれるが、画面最高輝度が 125 cd/m² のような暗い画面では 60 Hz 方式が好まれるためには変調度を 32 dB

以上にせねばならない（図中の縦棒は、50 Hz 方式を好む側の人、60 Hz 方式を好む側の人* の平均値を結んだもので、50% 近辺ではその長さが長く、被験者の好み“画面を流れるフリッカーが気になるか、画面全体のフリッカーが気になるか”によるところが大きいことを示している）。

7. む す び

電源周波数 50 Hz の地域でフィールド周波数を 60 Hz に選んだ場合の蛍光灯フリッカー妨害、撮像管の残像による残像妨害についての評価実験、およびフィールド周波数 50 Hz 方式と 60 Hz 方式の蛍光灯フリッカー、画面全体のフリッカー、走査線数などを含めた総合評価による対比較実験を行なった。

まず蛍光灯フリッカー妨害については、フリッカーレス照明を用いることが望ましいが、白色単相式の場合でも撮像管の残像を 10% 以上にすれば許容範囲におさえることがわかった。

残像妨害については、動きの少ないテレビ電話の場合残像を 20% 以下にすれば許容できる。

50 Hz 方式と 60 Hz 方式の対比較については、画面最高輝度が 125 cd/m^2 のような暗い画面の場合、変調度を 32 dB ぐらいの値にしても 50 Hz 方式が好まれるが、画面最高輝度が 200 cd/m^2 ぐらい以上になると変調度 25 dB ぐらいの蛍光灯フリッカーの多い状態でも 60 Hz 方式が好まれるという結果を得た。

以上より、テレビ電話では撮像管の残像を 10~20% にすれば 30 数パーセント以下のパーセントフリッカーの照明に対しては蛍光灯フリッカー、残像ともに許容限内におさえられる。また、テレビ電話のように画面輝度を高くして見る場合は、電源周波数が 50 Hz の地域でもフィールド周波数は 60 Hz にするのが好ましいと考えられる。

より良質の画質を要求する場合にはフリッカーレス照明を行なうか、フリッカーの軽減対策を施すことが望ましい。フリッカー軽減対策については 4 章末尾に述べた図 7 のような方法があるが、その他、モニターの残光をもう少し長くすることも考えられる。現在モニターには残光の短い P 4 の蛍光体を用いられているが、もう少し残光の長い蛍光体を用いるほうが好ましい。テレビ電話では蛍光、残光ともに白いものでなければならず、現在 P 45（残光 1.5 ms）などが試作されているが、まだ充分とはいえない。

本実験にあたりいろいろ御指導いただいた南画像通信研究室長、実験結果について検討され有益な示唆をいただいた元画像表示研究室 池内調査役、前技術局画像機器担当 海老原調査役、同搬送担当 石野調査役、残像、カメラ出力変調度の測定について御援助いただいた画表室久樹主任、松本主任、谷沢社員、および評価実験に御協力いただいた所員の方々に心から感謝致します。

（昭和 47 年 10 月 11 日受付）

< 付 録 >

正弦波妨害検知限、許容限との関係

映像信号に 100 Hz 正弦波妨害を混入させた場合の検知限、許容限はそれぞれ約 53 dB、45 dB とされている²⁾。中山らは蛍光灯照明により生じたフリッカー妨害と 100 Hz 正弦波によるフリッカー妨害を比較評価し、前者は映像レベルにより変調をうけているが、映像信号に含まれる 100 Hz 成分の電力が等しいとき両者のフリッカー妨害はほぼ等しいとの結果を得ている²⁾（人物肩上像）。本実験により得られた検知限、許容限は約 33 dB、27 dB で、上述の結果との間に約 20 dB のひらきがある。この差は次のように考えられる。

ビジコンの等価回路を付・図 1 とし、入射光の波形を写真 1 より、

$$L(t) = 1 + A |\sin(\omega t + \varphi)|$$

$$\omega = 2\pi f, \quad f: \text{電源周波数}$$

とすると信号出力は、

付・図 1 ビジコンの等価回路（1画素分）
Equivalent circuit of vidicon.

付・図 2 蛍光灯フリッカーのカメラ出力
Camera output of illumination flicker.

* 対比較で 60 Hz 方式がいいと答えた人に 1、50 Hz 方式がいいと答えた人に 0 を与え、その合計が全体の平均より大きい人を 60 Hz を好む側の人とした。

$$V_{si\varphi} = K \{T_f + A f(\tau)\}$$

K : 定数

T_f : フレーム周期

$$f(\tau) = \int_0^{T_f} \sin\{\omega(t+\tau) + \varphi\} dt$$

$f(\tau)$ の波形を求めると付・図 2 (簡単のために $\varphi=0$ とした) のようになる。これをフーリエ級数に展開して 100 Hz 成分をとり出すと $2/(\sqrt{3}\pi)$ となる。したがって選択レベルメーターの指示値はこの $1/\sqrt{2}$, すなわち $\sqrt{2}/(\sqrt{3}\pi)$ になる。一方、メモリスコープで測られるフリッカー値は $\max \omega \cdot f(\tau) - \min \omega \cdot f(\tau)$ ゆえ、付・図 2 より $(\sqrt{3}-1)$ となり、選択レベルメーターの示す値と 9 dB の差がある。また画像の振幅レベルが一様分布に従うとすると、選択レベルメーターの指示値は、

$$\sqrt{\frac{1}{T_f} \int_0^{T_f} \left(\frac{t}{T_f}\right)^2 dt} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

となり 4.8 dB 少なくなる。さらにフリッカー成分はブランキング期間には存在しないから、このことを考慮すると約 2 dB 少なくなる。以上を総計すると、選択レベルメーターの指示値より求まる変調度は約 16 dB 大きな値となる。

また、正弦波妨害の場合は変調がかかっておらず、画面の各点で変調度が異なっているため、検知限、許容限は画像の内容によって異なってくる³⁾。これらを加味すれば、中山らの実験にみられるように、蛍光灯フリッカー妨害と正弦波フリッカー妨害に対する評価はほぼ同じと考えられる。

〔参考文献〕

- 1) CCITT SG-XV TD No. 8-E (1971)
- 2) 中山ほか: 電源非同期時における電源フリッカーの影響 (私信)
- 3) CCITT SG-XV TD No. 6-E ANNEX 4 (1972)

新講座連載予告

〔講座〕 半導体物性とデバイス

昭和 42 年 5 月以来 9 回にわたり連載いたしました「雑音」は本号をもちまして終了いたしました。7 月からは標記新講座を下記のとおり 11 回にわたって連載いたします。引き続きご愛読のほどお願いいたします。

(表 題)	(筆 者)	(掲載予定)
第 1 回 半導体物性概論	青木 昌治 (東大)	48 年 7 月
第 2 回 半導体材料の性質	山田 祥二 (静大)	8 月
第 3 回 半導体素子の特性	尾沢 修 (東芝)	9 月
第 4 回 半導体素子の特性	久留 勇 (東芝)	10 月
	前田 敬二 (東芝)	
第 5 回 プロセス技術 (1)	橋本 哲一 (日立)	12 月
第 6 回 プロセス技術 (2)	芦川 幹雄 (日立)	49 年 1 月
	倉田 一宏 (日立)	
第 7 回 IC, LSI の現状	松倉 保夫 (日電)	2 月
第 8 回 デバイスの評価	柴田 明一 (ソニー)	3 月
第 9 回 テレビ用部品としての半導体	未 定	5 月
第 10 回 新しい話題	未 定	6 月
第 11 回 新しい話題	未 定	8 月

(注) 昭和 48 年 11 月, 49 年 4 月, 49 年 7 月は特集号となりますので、本講座は休載いたします。なお、表題および筆者は変更されることがありますのでご了承ください。