イメージディセクター管の S 形ひずみの解析

浜松テレビ株式会社 土 屋 裕

電磁集束・電磁偏向型イメージディセクター管の S 形ひずみの解析を行った。均一加速電界型イメージ部のモデルを設定してダイナミックホークス動作時の集束点の軌跡を求め、電界に対する合成磁界の傾き角と S 形ひずみの関係、S 形ひずみを考慮したときの設計上のパラメーターの選び方とその限界などを明らかにした。計算結果は中心部で実測値とよく一致する。周辺部では、さらに、集束磁界のフレアの影響を考慮する必要がある。

1. ま え が き

近年、イメージディセクター管は性能が向上し、蓄積型の撮像管では本質的に不可能な高速移動物体の撮像やランダム走査などを利用した高精度の計測装置に広く利用されるようになった^{1)~3)}。しかし、装置に要求される計測精度が向上するとともに、イメージディセクター管のラスターひずみが無視できない問題となってきた。

電磁集束・電磁偏向型イメージディセクター管で生じるラスターひずみの主なものは、たる形あるいは糸巻形のひずみと S 形ひずみである。たる形あるいは糸巻形ひずみは像の倍率が画面中心からの距離の関数となるもので、偏向コイル電流の制御や計測値のデジタル処理によって、比較的容易に補正することができる。一方、S 形ひずみは像の回転角が画面中心からの距離の関数となるもので複雑な補正が必要となるから、その除去にはイメージディセクター管自体の改良が望まれる。

本論文では、標準的なイメージディセクター管のイメージ部の電磁界座標模型として均一加速電界と均一集束磁界および均一偏向磁界が共存する場を仮定し、この場における電子軌道を計算して S 形ひずみを解析する。このとき、集束磁界と偏向磁界を合成した磁界の方向に座標軸を設定して計算を簡単にし⁴⁾、ダイナミックホークス動作時の集束点の位置を計算して、電界（管軸方向）に対する合成磁界の交角と S 形ひずみの関係を求める。

つぎに、S 形ひずみの発生原因は上記の交角が偏向によって変化するためであること、S 形ひずみを考慮したときの設計上のパラメーターの選び方とその限界などを明らかにする。さらに、計算結果と実測値を比較し、中

心部分では両者がよく一致すること、周辺部分ではイメージ部内で像が回転するため集束磁界のフレアが S 形ひずみを増大させることを示す。

2. イメージ部の電磁界座標模型

電磁集束・電磁偏向型イメージディセクター管のイメージ部では、管軸方向に加速電界と集束磁界を加え、これと直交する方向に偏向磁界を加える。このようなイメージ部では、光電面付近の低速領域における電磁界の非均一性がラスターひずみに大きく影響することが経験的に知られている。そこで、なるべく均一な電磁界となるように、多数のリング状に分割した電極で加速したり、イメージ部より長いソレノイドによる集束磁界を利用するなどの工夫がなされている。

このような x 方向にのみ偏向を行うイメージ部の電磁界座標模型として、図 1 に示すように、均一加速電界 $E_z (< 0)$ 、均一集束磁界 B_x および均一偏向磁界 B_z が共存する円柱を仮定する。図 1 において、座標原点は光電面の中心、アパーチャは z 軸上の距離 l のところに

図 1 イメージ部の電磁界座標模型

Coordinates of electromagnetic and magnetic fields in the image section of an image dissector tube.

"Electron-optical Analysis of S-shape Distortion in an Image Dissector Tube" by Yutaka Tsuchiya (Hamamatsu TV Co., Ltd., Hamamatsu)

あり、原点から出た電子の集束点は偏向磁界 B_x によって $B_x=0$ のときの集束点 α から α' に移動する。

集束点の位置を求めるための電子軌道の計算は、図1に示すように、集束磁界と偏向磁界を合成した磁界の方向が Z 軸となるように xyz 座標を角度 θ だけ回転した XYZ 座標で行うと簡単になり、この座標変換では、

$$\left. \begin{aligned} x &= X \cos \theta + Z \sin \theta \\ y &= Y \\ z &= Z \cos \theta - X \sin \theta \\ B_x &= B_z \sin \theta \\ B_z &= B_z \cos \theta \\ E_x &= -E_z \sin \theta \\ E_z &= E_z \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

が成立する。ここで、添字 X, Y および Z は電磁界の X, Y および Z 軸成分を表わす。

3. 集束点の位置の計算

集束点の位置は電子軌道を計算して求めることができる。このとき、電子運動は定常電磁界内で起るものと考えてよい。これは、イメージ部内の電子の飛行時間が 10^{-8} sec 程度*1であり、ラスタ面の端から他端に 10^{-5} sec 程度でランダムアクセスするような高速走査時でも電子運動は定常電磁界内で起るとみなせるためである。

電子（電荷 $-e$ 、質量 m ）の運動方程式は、

$$\frac{dv_x}{dt} = -w \left(\frac{E_x}{B_z} + v_y \right) \quad (2)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = w v_x \quad (3)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = -w \frac{E_z}{B_z} \quad (4)$$

$$\text{ただし } w = B_z e / m \quad (5)$$

となる。ここで、 v_x, v_y および v_z は X, Y および Z

図2 初速度が零の電子の軌道

The trajectory of the electron having zero initial velocity.

*1 イメージ部内の電子は集束磁界によって、らせん運動をする。集束状態ではこの運動の回転数が整数となり、1回転に要する時間 T は集束磁界 B を用いて、

$$T = 2\pi m / eB \approx 3.57 \times 10^{-11} \times B^{-1}$$

となる。イメージディセクター管の標準的な動作値（1ループ動作）として、 $B = 30 \times 10^{-4}$ (Wb/m²) を代入すると $T \approx 1.2 \times 10^{-8}$ (sec) となる。

軸方向の速度成分である。

$t=0$ のとき原点を初速度成分がそれぞれ $v_x=a$, $v_y=b$ および $v_z=c$ で出た電子の位置 (X, Y, Z) を、(2)~(4)式を解いて求めると次式となる。

$$\left. \begin{aligned} X &= -\frac{E_x}{w B_z} (1 - \cos \omega t) + \frac{1}{w} \{a \sin \omega t \\ &\quad - b(1 - \cos \omega t)\} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} Y &= -\frac{E_x}{w B_z} (\omega t - \sin \omega t) + \frac{1}{w} \{a(1 - \cos \omega t) \\ &\quad + b \sin \omega t\} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$Z = -\frac{w E_z}{2 B_z} t^2 + c t \quad (8)$$

(6)~(8)式の第1項は初速度が零の電子の軌道（以下主軌道と呼ぶ）を表わすもので、これは図2に示すように、 YZ 平面上の放物線に沿ったらせん運動となる。

また、第2項は初速度の影響を表わすものである。

(8)式で初速度 c の影響が無視できる場合*2には、任意の初速度成分 a, b を持つ電子は主軌道に沿ったらせん運動を行い、

$$\omega t = 2n\pi \quad (n \text{ は正の整数}) \quad (9)$$

となるとき主軌道上の1点に会する。このように(9)式はイメージ部の集束条件を表わすものとなり、通常 n のことをループ数と呼ぶ。

(6)~(8)式に(9)式を代入して集束点の XYZ 座標を求め、(1)式の関係を用いて座標変換すると、

$$x = z \tan \theta \quad (10)$$

$$y = \frac{2mn\pi E_x \sin \theta \cos^2 \theta}{e B_z^2} \quad (11)$$

$$z = -\frac{2mn\pi \cos^2 \theta}{e B_z} \left(\frac{n\pi E_x \cos^2 \theta}{B_z} - c \right) \quad (12)$$

となる。さらに、近似式（付録I参照）を用いて整理すると、集束点の xyz 座標は次のようになる。

$$x = z \tan \theta \quad (13)$$

$$y = -x / n\pi \cos \theta \quad (14)$$

$$z = -(2mn^2\pi^2 E_x \cos^4 \theta) / e B_z^2 \quad (15)$$

4. ダイナミックホーカス動作時の走査線の方程式

(15)式で z が $\cos \theta$ の関数となるため集束面が曲面となる。したがって、全面での解像度を上げるためにはダイナミックホーカス動作を図って集束面を平面にしないてはならない。また、ダイナミックホーカスには電界

*2 光電子のエネルギーを $0 \sim 1$ eV としたとき、 c は $0 \sim 5.93 \times 10^5$ (m/sec) となる。*1に示す値を用いると(8)式第2項は $ct \approx 0 \sim 7 \times 10^{-3}$ (m) となり、初速度 c によって集束位置の Z 座標が約 7 mm ばらつくことになる。しかし、この値は標準的なイメージ部の長さ 82 mm の約 1/12 であり、さらに付録Iに示すように初速度 c に起因する集束位置の xy 座標の変動も小さいため、このように考えてよい。

図3 集束点の軌跡 ($\phi_0 = \cot^{-1}(-n\pi)$)
The locus of the focusing point.

による方式と磁界による方式があり、両者を比較検討しておく必要がある。

ダイナミックホークス条件は、(15)式で z が θ に関係なく定数 l となるもので、

$$E_z = E_{z0} / \cos^4 \theta \quad (16)$$

$$\text{または } B_z = B_{z0} \cos^2 \theta \quad (17)$$

で与えられる。ここで、 E_{z0} は $\theta=0$ のとき $z=l$ となる加速電界の値、同様に B_{z0} は集束磁界の値である。また、前者は電界によるダイナミックホークス条件、後者は磁界による条件となる。

このとき、集束位置は(13)~(15)式で $z=l$ とし、

$$\begin{cases} x = l \tan \theta \\ y = -x / n\pi \cos \theta \\ z = l \end{cases} \quad (18)$$

$$(19)$$

$$(20)$$

$$\text{ただし } \tan \theta = B_z / B_z \quad (21)$$

となる。

(19)式は xy 平面における集束点の軌跡（走査線の方程式）を表わすもので、図3に示すように、偏向量の増加とともに集束位置が回転するいわゆるS形ひずみを生じる。さらに、イメージ部内で像が回転し、ラスター中心における偏向磁界と走査線の傾角 ϕ_0 は、

$$\phi_0 = \cot^{-1}(-n\pi) \quad (22)$$

となり、1ループ動作のとき約 -18° 、2ループ動作のとき約 -9° 回転する。

このようなS形ひずみや像の回転は、付録IIに示すように、無電界空間で偏向したときや電界と磁界が常に平行あるいは直交する場合には生じない。

電界によるダイナミックホークスを行う場合は、(21)式で B_z が定数となるから(18)式から明らかなように、偏向量 x が偏向磁界 B_z に比例する。これに対して、磁界による場合には、 B_z が(17)式に示す関係にあるため x が B_z に比例しなくなり、前者よりも複雑なラスターひずみを生じる。このように、ひずみを問題にする場合には電界によるダイナミックホークスが有利となるから、以下ではこの場合について述べる。

5. S形ひずみの解析

前章では、ダイナミックホークス動作時にラスター面

の中心を通る走査線の方程式を求め、

- (1) 加速電界に対する合成磁界の交角 θ が偏向とともに変化するため、S形ひずみが生じること。
- (2) ラスター面が偏向磁界方向に対して ϕ_0 だけ回転すること。
- (3) 電界によるダイナミックホークス動作は磁界によるものに比べて、ひずみが小さいこと。

を示した。

このようなS形ひずみを定量的に表わすには、ラスター面（図3に示す $x'y'$ 座標）で考える必要があり、このとき、偏向量をイメージ部の長さ l で規格化しておくことと便利である。これは、(18)~(20)式からも明らかなように物理的に相似形となるイメージ部のラスターひずみが l で規格化したラスター面で同一となるためである。

図3に示すように、 xy 座標を ϕ_0 だけ回転した $x'y'$ 座標で考えると、走査線の方程式は(18)、(19)式を座標変換して次式となる。

$$\begin{cases} \frac{x'}{l} = \tan \theta \cos \phi_0 \left(1 + \frac{1}{n^2 \pi^2 \cos \theta} \right) \\ \frac{y'}{l} = \tan \theta \cdot \frac{\cos \phi_0}{n\pi} \left(1 - \frac{1}{\cos \theta} \right) \end{cases} \quad (23)$$

$$(24)$$

$$\text{ただし } \phi_0 = \cot^{-1}(-n\pi)$$

ラスターひずみについて考えると、まず(24)式で y'/l が $\cos \theta$ の関数となるからS形ひずみを生じる。さらに(23)式で x'/l が $\cos \theta$ の関数となるから、偏向磁界の増加とともに単位磁界変化当りの偏向量がわずかに増加する糸巻形のひずみも含まれることになる。しかし、(23)式は $n^2 \pi^2 \cos \theta \gg (1 - \cos \theta)$ となるとき、

$$\frac{x'}{l} = \tan \theta \cos \phi_0 \left(1 + \frac{2}{n^2 \pi^2} \right) \quad (25)$$

と近似することができ、この式を用いたとき(23)式の値に対する誤差は $n=1$ 、 $\tan \theta=0.3$ のとき約 0.4% であるから、糸巻形ひずみは無視してよい。

図4は(23)、(24)式から θ を消去し、 n をパラメータ

図4 偏向量 x'/l と y' 軸方向のひずみの関係
(n : ループ数)

Relation between the deflection length x'/l and the distortion in the direction of y' .

図5 S形ひずみ率 δ と $\tan \theta$, x'/l の関係

Relations among the S-shape distortion factor δ , $\tan \theta$ and x'/l .

ーとして、 x'/l と y'/l の関係をグラフで示したものである。 x' 軸方向への偏向量が増加すると、これと直角な y' 軸方向へのずれ量が増加し、走査線がS形にひずむ。また、2ループ動作時のひずみは1ループ動作時の約1/2倍になる。この図から、ループ数 n 、イメージ部の長さ l および偏向量 x' を与えたときの y' 軸方向へのずれ量が求まり、均一加速電界型イメージ部のラスターひずみが計算できる。

このようなS形ひずみの度合は偏向量に対するずれ量の比で表記できるから、S形ひずみ率を x' 軸方向への規格化偏向量に対する y' 軸方向への規格化ずれ量の割合 (%) として次のように定義する。

$$\text{S形ひずみ率 } \delta = \frac{y'/l}{x'/l} \times 100(\%) \quad (26)$$

x'/l と y'/l は(23)、(24)式で与えられるから、 θ をパラメーターとして δ を求めると、

$$\delta = \frac{n\pi(\cos \theta - 1)}{n^2\pi^2 \cos \theta + 1} \times 100 \quad (27)$$

となる。

図5はS形ひずみ率 δ と $\tan \theta$ および $\tan \theta$ と規格化偏向量 x'/l の関係をグラフで示したものである。この図によって、許容ひずみ率 δ を与えたときの設計上のパラメーター $\tan \theta$ および規格化偏向量 x'/l が求まり、さらに、偏向量 x' を与えればイメージ部の長さ l が求まる。偏向量 x' が最大となるのはラスター面の端部であり、通常、ラスター面の大きさは必要な解像度と有効なアパーチャ径などによって決まる。

なお、磁界によるダイナミックホークス動作時には、

図6 S形ひずみ率 δ の実測値と計算値の比較

Comparison of the S-shape distortion factor by theoretical and experimental results.

電界の場合より大きな糸巻形ひずみを生じるが、S形ひずみ率 δ は電界の場合と同じ関係になる。

図6は画面中心を通る走査線の形状に関する実測値と計算値の比較を図示したものである。実測に用いたイメージディセクター管はHTV-R570(2.25インチ径)である。この管は有効光電面が35.56mmφ(1.4インチ径)であり、イメージ部の長さは $l \approx 82$ mm である。

実測値は、既製のイメージディセクターカメラを1ループ動作に設定し、 y' 軸(垂直)偏向動作を停止したまま x' 軸(水平)偏向コイルに流す直流電流を変化させ、レンズを介して撮像している被写体上で走査位置を求めてプロットし、これを光電面上の値に換算したものである。また、計算値は(27)式から求めたものである。

図6では偏向量 x' が13mm(このとき $\tan \theta \approx 0.15$)程度までは実測値と計算値がよく一致する。 x' が13mm以上になるとS形ひずみの実測値が急に大きくなるが、これは集束磁界のフレアによる影響と思われる。

図7は実測に用いた集束コイル(均一巻線密度)とイメージディセクター管の位置関係を示す。図から明らかに、光電面とアパーチャは集束コイルの端部にあり、この部分の磁界は端効果によって少し広がる。しかし、アパーチャに流入する電子の軌道はほぼ光電面を底面、アパーチャを頂点とする3角すいの中にあると考えてよい。したがって、アパーチャ側では集束磁界のフレア、すなわち端効果の影響は少なく、光電面側でのフレア

図7 イメージディセクター管と集束コイルの位置関係
Arrangement of the image disector tube and the focusing coil.

図 8 集束磁界の端効果による影響

Influence of the radical component due to the flare of the magnetic focusing field.

アがラスターひずみに大きな影響を与える。

光電面付近の周辺部では集束磁界がフレアによって z 軸成分の他にコイル中心に向う半径方向成分 B_{fr} を持つことになり、この成分はさらに x 軸成分 B_{fx} と y 軸成分 B_{fy} に分解することができる。この結果、イメージ部の電磁界は今までに解析してきた電磁界座標模型の光電面付近に B_{fx} と B_{fy} が重畳したものとなり、この様子を図 8 に示す。

このうち、 B_{fx} は偏向磁界 B_x と同一方向であるが、 B_{fy} は偏向磁界 B_x と直交するから y' 軸方向の偏向作用が生じ、これは今まで述べてきたS形ひずみを増大する方向に働く。また、 B_{fy} は周辺ほど大きくなるから、 B_{fy} に起因するS形ひずみも周辺ほど大きくなる。したがって、周辺でのS形ひずみを小さくするためには集束磁界の光電面側のフレアを小さくすることが必要になる。

6. む す び

電磁集束・電磁偏向型イメージディセクター管のイメージ部の電磁界座標模型として、均一加速電界、均一集束磁界および均一偏向磁界が共存する場合を仮定し、電子軌道を計算して、ダイナミックホークス動作時のラスターひずみの計算方法およびその結果について述べ、S形ひずみを考慮したときの設計上のパラメーターの選び方およびその限界について明らかにした。

さらに、このようなイメージ部で生じるS形ひずみの発生原因は電界に対する合成磁界の交角が偏向によって変化するためであることを明らかにした。この結果、S形ひずみをなくするには、無電界空間を設けてそこで偏向する、電界と磁界が常時平行あるいは直角となるようにするなどの考慮が必要となる。また、光電面付近の集束磁界のフレアはS形ひずみを増大するから、これを小

さくすることも重要である。

これらの解析結果は、撮像蓄積管やイメージオルシコンなどのイメージ部に磁界を加えて記録画像をシフトさせる場合のひずみにも適用できる。

おわりに、日頃御指導いただいている鈴木義二電子管グループ長、倉沢一男第4部門長ならびに、実測データを提供して下さった吉岡淳一、鶴沢弘侑の諸氏、その他関係各位に深く感謝します。

(昭和51年1月16日受付、昭和51年4月17日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 鈴木、倉沢：イメージディセクターとその計測テレビジョンへの応用、テレビ誌、25, 7 (1971) 558-568
- 2) 土屋、宮木、堀木：イメージ・ディセクタによるトロリー線摩耗幅測定装置、テレビ学会電子装置研資、165 (1974)
- 3) 堀木、市川、安松、土屋、丹羽：イメージ・ディセクターによるトロリー線摩耗計測システムの設計、テレビ誌、投稿中
- 4) 松山、多田、木名瀬：オルシコンの設計と動作について、信学誌、34, 6 (1951) 303-311

〈付 録〉

I. 集束点の xyz 座標

集束点の xyz 座標を示す(10)~(12)式を変形すると

$$x = z \tan \theta \quad (\text{付} \cdot 1)$$

$$y = \frac{-x}{\frac{B_z}{E_z \cos \theta} \left(\frac{n\pi E_z \cos^2 \theta}{B_z} - c \right)} \quad (\text{付} \cdot 2)$$

$$z = -\frac{2mn\pi \cos^2 \theta (n\pi E_z \cos^2 \theta - c)}{eB_z} \quad (\text{付} \cdot 3)$$

となる。イメージディセクター管の標準的な動作値として、 $n=1$ 、 $E_z = -600/82 \times 10^{-3} (\text{V/m})$ 、 $B_z = 30 \times 10^{-4} (\text{Wb/m}^2)$ 、 $(\tan \theta)_{\max} \approx 0.2$ を用いると(付・2)、(付・3)式で $n\pi E_z \cos^2 \theta / B_z \approx 7.36 \times 10^6 (\text{m/sec})$ となるため、初速度 c (脚注 *2 参照) を無視することができ、(13)~(15)式に示す近似式が成立する。

II. 他の電磁界座標模型とS形ひずみの関係

無電界空間で電磁偏向を行う場合には、 $E_x = E_y = E_z = 0$ となるから、本文と同様にして集束点の位置を求めると、(10)~(12)式で $E_z = 0$ としたものとなり、

$$x = z \tan \theta \quad (\text{付} \cdot 4)$$

$$y = 0 \quad (\text{付} \cdot 5)$$

$$z = 2mn\pi c \cos^2 \theta / eB_z \quad (\text{付} \cdot 6)$$

となる。ここで、 c は偏向を行う無電界空間へ入射する電子の初速度であり、ダイナミックホークス条件は、

$$\left. \begin{aligned} c &= C_0 / \cos^2 \theta \\ \text{または } B_z &= B_{z0} \cos^2 \theta \end{aligned} \right\} \quad (\text{付} \cdot 7)$$

である。ここで、 C_0 は $\theta=0$ のとき $z=l$ となる初速度の値である。したがって、ダイナミックホークス動作

時の集束点の xyz 座標は (付・4)～(付・6) 式で $z=l$ とおいたものとなり, S 形ひずみや像の回転を生じない

電極構造などを考慮して電界と磁界が常に平行となるようにした場合には, 電界成分として E_z のみを考えればよく, 本文と同様にして集束点を求めると,

$$\begin{cases} x=z \tan \theta & (\text{付} \cdot 8) \\ y=0 & (\text{付} \cdot 9) \\ z=-2mn^2\pi^2 E_z \cos^4 \theta / eB_z^2 & (\text{付} \cdot 10) \end{cases}$$

となる. このときのダイナミックホークス条件は本文の (16), (17) 式となり, 集束点の xyz 座標は (付・8)～(付・10) 式で $z=l$ とおいたものとなる. したがって, このときも S 形ひずみや像の回転を生じない.

電界と磁界が常に直交する条件を満足する場合は電磁集束・静電偏向型イメージ部となり, この場合も S 形ひずみを生じない.

技術メモ

ECPNL

Equivalent Continuous Percieved Noise Level の略で, 航空機騒音の評価単位である.

航空機騒音は, いわゆる間欠性騒音で, 騒音発生時と暗騒音の差が 50 dB～60 dB に達することもある.

このような騒音の心理的なうるささ (Annoyance) は, 騒音発生時のピークレベルとともに, 騒音エネルギーの累積効果によって定まる.

一定時間 (t_2-t_1) 内の全騒音エネルギーの平均レベル L_p は

$$\bar{L}_p = 10 \log_{10} \frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \quad (1)$$

で与えられる. ただし, $L(t)$ は騒音レベルの瞬時値である.

一方, 騒音のやかましさ (Noisiness) をあらわす単位 EPNL (Effective Percieved Noise Level, 実効感覚騒音レベル) に基いて, 各騒音発生を (1) 式によって平均したものが ECPNL で

$$\text{ECPNL} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{\text{EPNL}_i}{10}} \cdot T_i \quad (2)$$

ただし, T ; 観測期間

N ; 騒音の発生回数

EPNL_i ; i 番目の騒音発生の感覚騒音レベルのピーク値

T_i ; i 番目の騒音発生の継続時間

となる.

国際的約束では観測時間を 1 日 ($T=86,400$ 秒) と

し, 騒音の平均継続時間を 10 秒 ($T_i=10$ 秒) とすることになっているから, (2) 式を変形すると

$$\text{ECPNL} = \overline{\text{EPNL}} + 10 \log_{10} N - 39.4 \quad (3)$$

となる.

ところで, わが国の騒音規制法などにおける一般騒音の評価単位である dB(A) (ホン) と PNL の間には

$$\text{EPNL} \doteq (A) + 13 \quad (4)$$

なる関係があるから

$$\text{ECPNL} \doteq \overline{\text{dB}(A)} + 10 \log_{10} N - 27 \quad (5)$$

が得られる.

このように ECPNL は, 間欠騒音を連続騒音に換算したら実効的にどの程度のレベルになるかを示した評価量である.

なお騒音のうるさは, 物理的には同じレベルでも発生時間帯によって心理反応として変化することが知られているから, 発生時間帯の重みづけをして

$$\begin{aligned} \text{WECPNL} &= \overline{\text{dB}(A)} \\ &+ 10 \log_{10} (N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 27 \end{aligned} \quad (6)$$

N_1 : 7 時～19 時の騒音発生回数

N_2 : 19 時～22 時の "

N_3 : 22 時～7 時の "

とし, わが国における航空機騒音の環境基準は, この評価法によっている.

西宮 元 (NHK 技研)