

「テープ録音機物語」

その52 ワウ・フラッターの規格

あべ よしはる
阿部 美春

1 ワウ・フラッターの定義

もし何らかの原因で、録音時あるいは再生時にテープ速度が速くなったり、遅くなったり、しかも周期的に変動したとすれば、再生音は当然速さの変動に伴って変化する。テープ駆動に多くの回転体を使うテープレコーダー*1の場合は、回転部分の僅かな偏心、ガタ、摩擦、アンバランス、スリップなどが回転むらとなってテープ速度に周期的な変動を起こさせる。その結果、再生音は周波数の動揺となって現れ、ちょうど周波数変調を受けたようになる。発振器からの音やピアノの音を録音し、再生してみるとよくわかる。音がふるえたり、濁ったりするのは、このテープ速度の変動が原因である。

テープ速度の変動によって生じる再生周波数信号の動揺、これをワウ・フラッター(Wow and Flutter)と呼び、その動揺の周期の比較的遅いものをワウ、早いものをフラッターとよんでいる。極めて緩やかな動揺は、ドリフト(Drift)といい、ワウ・フラッターとは区別している。

JIS規格(C5569-1991)⁽³⁷²⁾ではIEC規格⁽³⁸⁷⁾にならってワウとフラッターをワウ・フラッターの周波数によってつぎのように定義している。

フラッター：録音再生の過程で再生信号の生じた周波数の変動のうち、その変動の周波数が10Hzを超えるもの。

ワウ：録音再生の過程で再生信号に生じた周波数の変動が0.1Hzから10Hzまでのもの。

ドリフト：録音再生中における、記録媒体のゆるやかな速さの変動。

米国では一般的に総称してフラッターと呼び、変

動の周波数が約6Hz~100Hzをフラッター、約0.5Hz~6Hzをワウ、約0.5Hz以下をドリフト、約100Hz以上を周波数変調(Friction)雑音(またはScrape Flutter)として区別している⁽³⁹²⁾。

注*1 デジタル式テープレコーダーの場合は、たとえ回転部分にワウ・フラッターがあっても、再生側で水晶発振器のクロックで整形されるので、その水晶の精度までワウ・フラッターを小さくすることができる。耳の検知限以下と考えてよい(日本オーディオ協会編「デジタルオーディオ事典」より)。

2 ワウ・フラッターと聴感⁽³⁷⁹⁾⁽³⁸⁰⁾⁽³⁸⁵⁾⁽³⁹⁰⁾⁽¹⁸⁾

人間の耳はレベルの変動に対しては比較的鈍感であるが、周波数の変動には敏感で、ワウ・フラッターの良否はテープレコーダーの品質を決める重要な要素の一つである。

回転部分の多いテープレコーダーのワウ・フラッターの成分は複雑であり、また周期性をもっている。図52-1にワウ・フラッターの波形の一例、すなわち時間と共に変化するテープ速度の変動の状態を示す。

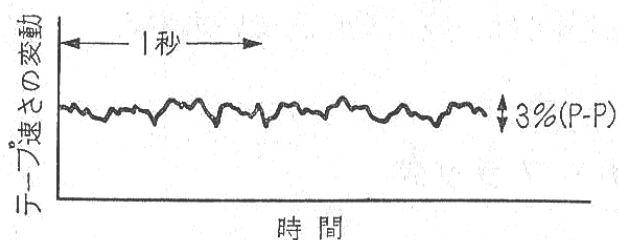


図52-1 ワウ・フラッター波形の例

図52-2はワウ・フラッターの周波数分析の一例、すなわち変動の周期(ワウ・フラッター周波数)対変動量(ワウ・フラッター量)を示す。

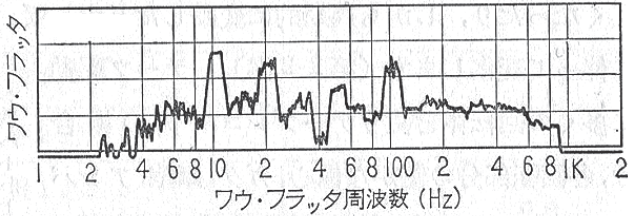


図52-2 ワウ・フラッターの周波数分析例

ワウ・フラッターのある音で、たとえば最大の変動周波数から最小の変動周波数に至り、さらに最大の変動周波数に帰るように周期的に毎秒繰り返す周波数変動の移動回数をワウ・フラッター周波数といい、録音信号の周波数(f_0)と最大変動周波数偏差(Δf_0)との百分率($\pm \Delta f_0/f_0 \times 100\%$)で表わしたものをワウ・フラッター量といっている。もしワウ・フラッターが各部分から生じ、各種の周期をもつワウ・フラッターが合成されたものであるとすれば、各々のワウ・フラッター周波数とその変動量(ワウ・フラッター量)の間には聴感上関係がある。

テープレコーダーからの再生音に現れるワウ・フラッター、すなわち音程の上下は、その周期が非常に遅い場合(3Hz以下)、特に持続音の場合、よくきかれるワウとなって聞こえ、これより早い周期(3~10Hz付近)では震音(周波数変調された音:ウオーブルトーン)として聞こえる。さらに早い周期では再生音が濁って感じる。いいかえれば、ワウ・フラッターの周波数成分によってわれわれの耳には違った心理的影響が与えられるというわけである。

またわれわれの耳はワウ・フラッター周波数や変動波形そして録音信号の内容によってワウ・フラッター量の感じ方が違ってくる。たとえば同じテープレコーダーでピアノの音を聞き、ワウ・フラッターを感じても、人の声だと感じなかったり、また同じワウ・フラッター量でも、フラッター周波数成分の違う2つのテープレコーダーで同じプログラムのも

のを再生したとき、一方のテープレコーダーで目立つワウ・フラッターが他方では目立たないということがある。

NHK 技研の実験結果によれば⁽³⁸⁰⁾、

- (a) 信号の周波数には関係ない。
- (b) 信号音は複合音のほうが純音より目立つ。
しかし、実際には音楽や会話などの複合音はレベルの変化やビブラートのように、すでに周波数変動を伴っている場合が多いのでわかりにくい。
- (c) 減衰音は減衰が早いほど目立つ。ピアノの場合はむしろ持続音的な部分があるため目立つ。
- (d) 変動波形(ワウ・フラッター)は、波高率の高い波形、すなわちパルス的な変動の方が正弦波的な変動より目立つ。
- (e) 信号音の大きさにはあまり関係ない。
- (f) 変動の周期(ワウ・フラッター周波数)は3Hz前後が目立つ、後述の重み曲線(聴感補正曲線)は検知限の周波数特性から定められたものである(図52-3)。
- (g) プログラムによる差は表52-1に示すようにピアノ独奏が目立ち、シンホニー、男声の順になっている。

など、いろいろな角度から聴感試験が行われ、その結果からワウ・フラッターの試験方法と判定規程が決められていた。

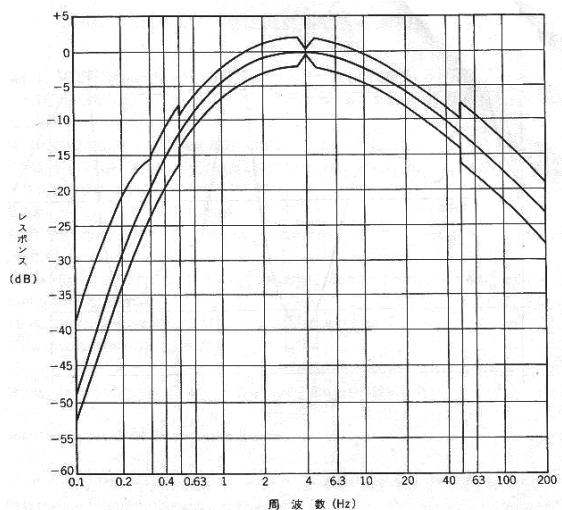


図52-3 ワウ・フラッターの聴感補正曲線

単位：%(聴感補正実効値)

音源の種類	検知限	許容限
ピアノ独奏	0.14	0.31
シンホニ 1	0.35	0.69
シンホニ 2	0.43	0.67
シンホニ 3	0.42	0.62
男 声	0.86	1.89

備考 検知限：変動のある音をきかせ、確率0.5で変動があるとしたときの変動量をもって検知限とする。
許容限：変動のある音をきかせ、確率0.5で変動が気にならないと答えたときの変動量をもって許容限とする。

表 52-1 ワウ・フラッターの許容値

3 ワウ・フラッター量の測定と表示

ワウ・フラッターに関する規格は1950年代後半頃から主にドイツ、アメリカ、日本など、それぞれ独自の規格が作られ、そのため、ワウ・フラッター測定値も異なり、相互比較が困難であった。

放送番組の国際的交換のために、CCIR(国際通信諮問委員会)が番組の技術的な質の観点からワウ・フラッターの測定や、許容値についての提案が早くだされていた^(375~378)。

測定上の問題としては、

- (1) 測定するワウ・フラッター周波数
- (2) 測定する信号周波数
- (3) ワウ・フラッター周波数に対する重みづけ(聴感補正)
- (4) 測定計器の整流および動的特性が焦点であった。

(1)、(2)については大きな議論もなく意見の一致をみたが、(3)の重みづけに対してはワウ・フラッターの検知限の周波数特性の実験結果から重み曲線(聴感補正曲線)が各国から提案された。それらの平均的な特性に近いドイツのDIN規格^(381,382)の重み曲線が早くに採択され、規定周波数範囲や信号周波数と

ともに、1970年にはCCIR勧告⁽³⁸³⁾として決定された。

CCIR勧告は、0.2Hz~200Hzのワウ・フラッター一周波数を測定できること、信号周波数は3,000Hzまたは3,150Hz、重み曲線は図52-3のようにすると述べられている。

しかし、計器の整流方式については意見が対立し、r.m.s.(平均値または実効値)かpeak(尖頭値)かを明記することで、択一の決定はされていなかった。

r.m.s.とpeakの対立は放送局などで番組音のレベルを監視し、調整するために用いるプログラマターや音量計についても同じようなことがある。

アメリカ*2、日本*3などでは実効値的な考えによって決められているのに対して、ヨーロッパではピーク指示的なものが用いられている。

音の大きさの感覚は、音圧のピーク値に比例しているものではなく、音の持続時間が少なくとも150msくらいまでは、継続時間が長いほど、同じ音圧値でも大きくきこえることは衆知のことである。

指示計の形式と聴感との関係について、両者は必ずしも了解に至っていないが、指示計の読みやすさの点からピーク計を可とする意見などもあって、大勢はDIN規格を基調とするweighted peak(聴感補正尖頭値)に集約され、ようやく米国の賛同*4⁽³⁸⁶⁾⁽³⁸⁸⁾⁽³⁹¹⁾もあって、IEC勧告として国際的な統一となってきた。したがって、IEEE規格がr.m.s.からpeakに変わったように、遅ればせながらJIS規格においても1991年になってようやくpeak指示となった。

測定信号周波数は3,150Hzに変更された。これは音響の測定において1,000Hzを含む1/nオクターブ間隔の周波数が望ましいとするISO規格*5から決まった値である。

また、測定はテープレコーダーの録音または再生のどちらかについて行い、それができない場合は供試録音機で3,150Hz純音を録音し、これを数回再生して各回の測定値の相加平均を計算で求めてもよいとしている。

メーターの動特性については、測定用のパルス波形を含めて、その波形を加えたときの指針の触れで規定している。

動特性を明確に規定していたのはDINが最初で、CCIR (=IEC)がこれになっている。DINとCCIRの違いは放電時定数のみで充電時定数は同じである。

指示計の動特性は最終的にはIEC(国際電気標準会議)規格に落ち着いたのでその詳細についてはIECに準じたJIS C5569-1991から以下に記す。

『指示計の動特性：指示計は、入力に繰り返し周期1Hzで一方向性の形波信号(パルス時間A)を加えたとき、パルスの振幅に等しいピーク・ツー・ピーク値($2\Delta f_{\sin \max}$)をもつ4Hzの正弦波で周波数変調された信号によって得られる指示値のB%を指示しなければならない(図53-4参照)。

$$2\Delta f_{\text{pulse}} = \Delta f_{\text{sin max}}$$

復帰の指示値は、繰り返し周期1Hz、持続時間100msのパルス信号を加えたとき、パルス間で36~44%の範囲内でなければならない。

動特性は、聴感補正回路を含む測定系全体を含んだものとする。』

表52-2にワウ・フラッター規格の変遷を、表52-3に1960年以降のワウ・フラッターの性能規格(例)の変遷を示す

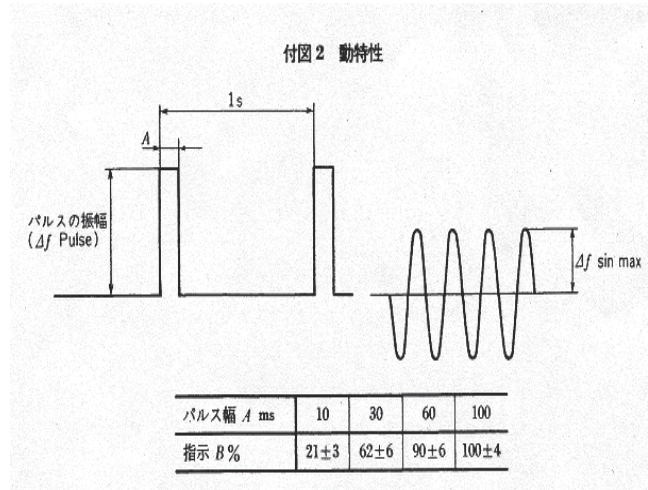


図52-4 ワウ・フラッターメーターの動特性

年	国	規格名	規格番号	測定周波数(Hz)	周波数範囲(Hz)	聴感補正	メーター指示	メーター動特性
1953	米	IRE	193	3000	0.5-200	なし	平均値	規定なし
1953	〃	NARTB		〃	〃	〃	尖頭値	〃
1954	〃	ANSI	Z57.1	〃	〃	〃	平均値	〃
1960	日	JIS	C 5511	〃	規定なし	JIS	実効値	〃
1962	独	DIN	45 507	3150	0.2-200	DIN	尖頭値	DIN
1964	日	BSS	21-9603	3000	0.5-100	JIS	実効値	〃
1965	米	NAB		〃	〃	DIN	平均値	ASA標準音量計
1966	独	DIN	45 507	3150	0.2-200	〃	尖頭値	DIN
1966	日	JIS	C 5551	3000	〃	〃	実効値	パルス幅5秒
1966	国際	CCIR	409-2	3000/3150	〃	〃	尖頭値	CCIR
1971	米	IEEE	193	3150	〃	〃	〃	〃
〃	〃	ANSI	S.4.3 draft	〃	〃	〃	〃	〃
1972	国際	IEC	386	〃	〃	〃	〃	〃
1982	米	AES	AES6	〃	〃	〃	〃	〃
〃	〃	ANSI	S4.3	〃	〃	〃	〃	〃
1991	日	JIS	C 5569	〃	〃	〃	〃	〃

表52-2 ワウ・フラッター規格の変遷

年	国	規格名	規格番号	メーター指示	測定方法	業務用			一般用		
						38	19	9.5	19	9.5	4.8
1960	日	JIS	C 5511	聴感補正実効値	再生 録音再生				0.25 0.35	0.5 0.7	
1965	米	NAB		非聴感補正平均値 聴感補正平均値	再生 "	0.15 0.05	0.2 0.07	0.25 0.1			
1966	日	JIS	C 5511	聴感補正実効値	"				0.15/0.25	0.4	1
1974	独	DIN	45 511	聴感補正尖頭値	録音再生	±0.1	±0.15		±0.2 (HF用)		
1975	"	"	45 500	"	"				±0.2		
1976	"	"	45 511	"	"				±0.3	±0.5	
1981	国際	IEC	94-1	"	再生	0.06	0.1		0.2	0.3	0.4
1996	日	JIS	C 5562	"	再生	0.06	0.1		0.2	0.3	0.4

表 52-3 ワウ・フラッターの性能規格の変遷(1960 年以降)

注*2 米国放送連盟 (NAB) の磁気録音再生に関する規格 (1965 年) は標準音量計(ASA=ANSI C-16.5-1961)を用いた平均値整流の実効値指示方式であった。1971 年になってようやく IEEE 規格が IEC に準じ、Weighted Peak (聴感補正尖頭値) 表示に変わった。

IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) は米国に本部をもつ電気電子学会で、専門分野ごとに 39 の Society と称する分科会を持ち、それぞれに会誌(論文誌)を発行している。他に主な活動として標準化活動 (規格の制定) を行っている(フリー百科事典-Wikipedia より)。

注*3 日本の規格は 1957 年頃、NHK で数名の被験者を対象にした実験結果に基づいて BSS (放送標準仕様書) で実効値整流の実効値指示方式に定められ、その後 JIS 規格 (C-5550-1967) に採用されていたが、1991 年の JIS 改正で、IEC に準じて、聴感補正尖頭値表示に変わった。

なお、重み曲線 (聴感補正曲線) に関して日本では、JIS C5551-1966 以降、国際的に共通な DIN 規格 (=IEC 386) が採用されているが、旧 JIS (C 5511-1960) までは BSS 21-9603 (1964) に準じた補正曲線が使われていた (図 52-5)。

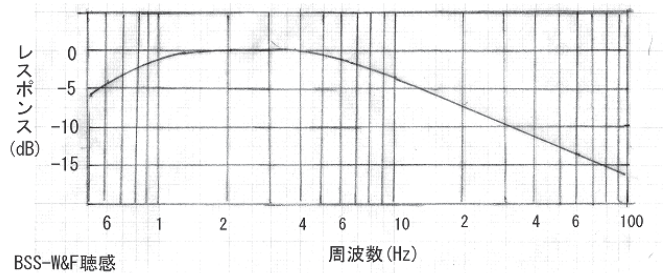


図 52-5 BSS 規格 (1964) のワウ・フラッター聴感補正曲線

注*4 IEEE 193-1971=ANSI S.4.3-Draft

注*5 ISO 266:Acoustics-Preferred Frequencies (本物語「その 50」、3 項参照)

4 ワウ・フラッターメーター (384)(389)

図 52-6 にワウ・フラッターのブロックダイアグラムの一例を示す。

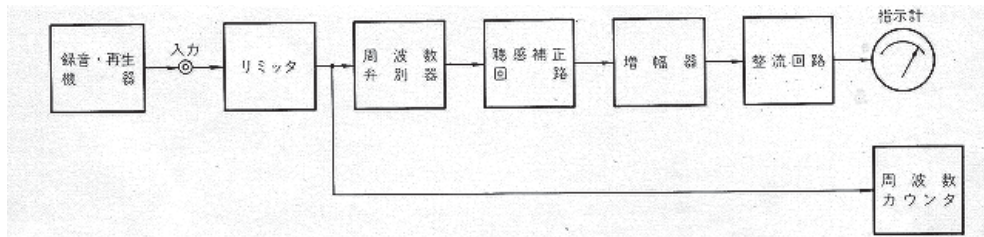


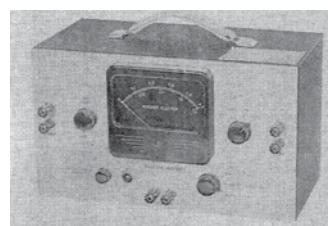
図 52-6 ワウ・フラッターメーターのブロックダイヤ(例)

回転機器で発生する回転速度のむら、すなわちワウ・フラッターは周波数変調波であって、FM 受信機と同様の原理で、その偏移量を測定できると考えてよい。

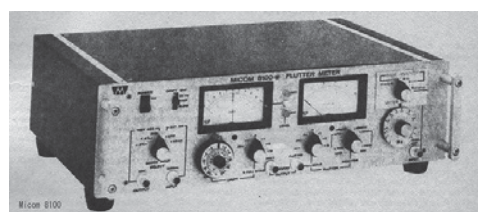
一定の信号周波数 3,150Hz (または 3,000Hz) の連続した信号を、例えば、テープレコーダーで録音・再生し、周波数変調と振幅変調の影響を受けたこの信号をワウ・フラッターメーターに加え、振幅制限回路(リミッター)で振幅変調の影響を取り除いた後、3,150Hz の周波数弁別器により周波数変調波を検波してワウ・フラッター信号のみを取り出す。そして規定の聴感補正回路を通して増幅した後、規定の指示方式に基づいた回路で整流し、その信号によってメーターを振らせるという構成になっている。

また、ワウ・フラッターメーターは周波数カウンターを内蔵し、テープ速さ、回転数などを測れるように多機能に設計されたワウ・フラッターメーターもある。

写真 51-1~51-4 と表 51-4 に代表的なワウ・フラッターメーターの例 (1973 年頃) を示す。



(a) SENTINEL FL-3 (米)



(b) MICOM 8100 (米)



(c) EMT 424 (独)



(d) 目黒電波 MK-668 (日)

写真 52-1 ワウフラッターメーター(例)

		SENTINELL	EMT	MICOM	目黒電波
		FL-3D-1	424	8100	MK-668
種別		普及品	高級品	高級品	中級品
製造国		米	独	米	日
用途		工場	開発部門	開発部門	工場
基本規格		IRE	DIN	NAB/DIN	JIS/NAB/CCIR
測定中心周波数	(Hz)	3000	3150	3000	3000
測定範囲		2レンジ 2/0.5	6レンジ 0.03/0.1/0.3 1/3/10	7レンジ 0.01/0.03/0.1 0.3/1/3/10	4レンジ 0.1/0.3/ 1-3
周波数特性	平坦 (Hz)	0.5-250 0.5-6 6-250	0.2-300 0.2-10	0.3-200(DIN) 0.5-200(NAB)	0.5-200 0.5-6 6-200
	聴感補正		DIN	DIN	DIN
メーター指示方式		平均値	尖頭値	平均値/尖頭値	実効値/平均値/尖頭値
メーター動特性	指示計読み シグマ法		DIN	NAB/DIN	JIS/NAB/CCIR
周波数分析	周波数 帯域幅		1/2/3シグマ 1-100Hz ±20%	0.5-600Hz ±5%@3dB	
テープ速さ測定 自己校正			可能	可能	3k±1kHz

表 52-4 主なワウ・フラッターメーター例 (1973 年頃)

謝辞

今回は主に境久雄氏のご厚意でNHK技研の頃書かれた論文等から抜粋転載させていただきました。また、室岡衛氏(元目黒電波、故人)、J.McKnight氏(元Ampex)他の論文、記事からも参考にさせていただきました。ここに厚く謝意を表します。

【参考文献】

- (18) 阿部美春編著「テープレコーダー」NHK出版(1969.03)
- (361) JIS C5550-1967 テープレコーダ
- (372) JIS C5569-1991 録音再生機器におけるテープ速度変動の測定方法
- (375) CCIR Study Programme No.74(X), Question No.42, Geneva 1951-London 1953
- (376) CCIR Doc.187, London 1953(U.S.A.), IEEE Standard 193-1953, ANSI Standard Z57.1-1954
- (377) CCIR Doc.65 Warsaw, 1956(Germany)
- (378) CCIR Doc.364, Warsaw, 1956(Japan)
- (379) 黒木総一郎「ワウ・フラッターはどこまで許せるか」放送技術(1956.10)
- (380) 黒木総一郎、境久雄「フラッターの検知限とその表示方法について」NHK技術研究第30号(1957.03)
- (381) DIN 45507-1962" Messgerate für Frequenzschwankungen bei Schallspeichergeräten (1962.10)
- (382) DIN 45507-1966 Messgerate für Frequenzschwankungen bei Schallspeichergeräten (1966.10) DIN45 シリーズ翻訳、(社)関西電子工業振興センター-1976.01)
- (383) CCIR Recommendation 402-2-1966
- (384) 室岡衛「ワウ・フラッターメーターの取扱い方」電子計測(1967.11)
- (385) Hisao Sakai"Perceptibility of Wow and Flutter" J.AES (1970.06)
- (386) J.G.Mcknight "Weighted peak Flutter measurement- A Summary of the New IEEE Standard" J.AES(1971.11)
- (387) IEC Publication 386(1972) Method of measurement of speed fluctuation in sound recording and reproducing equipment
- (388) J.G.Mcknight"Development of a Standard Measurement to Predict Subjective Flutter" IEEE transactions on Audio and Electroacoustics Vol.AU-20, No.1 (1972.03)
- (389) 室岡衛「ワウ・フラッタの測定技術と諸問題」目黒伝播測器株技術資料 No.103 (1973.09)
- (390) 境久雄「ワウ。フラッター」日本音響学会誌 29巻12号(1973.12)
- (391) J.G.McKnight "The new standard for Weighted Peak Flutter Measurements" db(1974.01)
- (392) AES6-1982(ANSI S4.3-1982) Method for Measurement of Weighted Peak Flutter of Sound Recording and Reproducing Equipment