



ARIB TR-B32

デジタルテレビ放送番組における ラウドネス運用規定

OPERATIONAL GUIDELINES FOR LOUDNESS
OF DIGITAL TELEVISION PROGRAMS

技 術 資 料

ARIB TECHNICAL REPORT

ARIB TR-B32 1.0版

平成23年 3月28日 策 定

社団法人 電 波 産 業 会

Association of Radio Industries and Businesses

まえがき

社団法人電波産業会は、無線機器製造者、電気通信事業者、放送機器製造者、放送事業者及び利用者の参加を得て、各種の電波利用システムに関する無線設備の標準的な仕様等の基本的な要件を「標準規格」又は「技術資料」として策定している。

「技術資料」は、国が定める技術基準と民間の任意基準をとりまとめた標準規格を踏まえて、無線設備、放送設備の適性品質、互換性の確保等を図るため、当該設備に関する測定法、解説、運用上の留意事項等を具体的に定めたものであり、策定段階における公正性及び透明性を確保するため、内外無差別に広く無線機器製造者、電気通信事業者、放送機器製造者、放送事業者及び利用者等の利害関係者の参加を得た当会の規格会議の総意により策定されたものである。

本技術資料は、デジタルテレビ放送におけるラウドネス運用基準と最大許容ピークレベルについての技術要件を取りまとめたものである。

従来、テレビ放送の番組間あるいは放送局間の音の大きさのばらつきが、視聴者の快適な視聴を阻害する要因として問題となっていた。これまでも VU メータによるレベル規制や、各放送局独自のルールなどで運用を行ってきたが、根本的な解決には至っていない。

アナログ放送では、音声の過変調が映像に影響を及ぼすことのないように、送出系にレベルを抑制する機器を挿入することが必須であり、結果として音の大きさのばらつきは緩和されていた。

一方、デジタルテレビ放送では、このような音声レベルを抑制する機器を用いずに送出するのが原則となっており、高音質な放送が可能である反面、音の大きさのばらつきが顕在化しやすいという特徴がある。2011年7月24日をもって地上アナログ放送が終了し、地上テレビ放送及びBSテレビ放送のすべてがデジタル化されるが、これを機に音の大きさのばらつきが更に拡大することが懸念されている。

このようなデジタルテレビ放送における音の大きさのばらつきに関する問題は、日本国内に留まらず国際的にも課題となっており、人間の感覚により近いラウドネスを用いた規制が進められている。既に ITU-R（国際電気通信連合・無線通信部門）では「ラウドネス測定アルゴリズム」及び「デジタルテレビ放送用番組の国際交換におけるラウドネス運用規定」を勧告しており、ATSC（米国次世代テレビシステム委員会）や EBU（欧州放送連合）においても、同様の規定が策定されている。

日本においても、デジタルテレビ放送に適した音声レベルの規定が望まれており、本技術資料の策定に至ったものである。

本技術資料が、無線機器製造者、電気通信事業者、放送機器製造者、放送事業者、利用者等に積極的に活用されることを希望する。

目次

まえがき

第1章 一般事項.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 適用範囲.....	1
1.3 参照文書.....	1
1.3.1 準拠文書.....	1
1.3.2 関連文書.....	1
1.4 用語・略語の説明.....	2
1.4.1 用語.....	2
1.4.2 略語.....	5
第2章 運用基準.....	7
2.1 ラウドネス運用基準.....	7
2.1.1 概要.....	7
2.1.2 平均ラウドネス値の測定.....	7
2.1.3 測定チャンネル.....	7
2.1.4 ターゲットラウドネス値.....	7
2.1.5 運用上の許容範囲.....	7
2.1.6 例外.....	7
2.2 トゥルーパーピーク運用基準.....	7
2.2.1 概要.....	7
2.2.2 トゥルーパーピークの測定.....	8
2.2.3 測定チャンネル.....	8
2.2.4 最大許容ピーク値.....	8
2.2.5 サンプルピークメータによる運用.....	8
第3章 ラウドネス測定アルゴリズム.....	9
3.1 ラウドネス測定アルゴリズムのブロックダイアグラム.....	9
3.2 K特性フィルタ.....	9
3.3 二乗平均.....	11
3.4 チャンネル重み付けとラウドネス値の計算.....	11
3.4.1 チャンネル重み係数.....	11

3.4.2	ラウドネス値算出の基本式と単位	12
3.5	ゲーティング関数を適用したラウドネス値の計算	12
3.5.1	ゲーティングブロックとゲーティングブロックラウドネス値	13
3.5.2	オーバーラップ法	13
3.5.3	絶対ゲーティング	14
3.5.4	相対ゲーティング	14
3.5.5	平均ラウドネス値の算出手順	14
第4章	トゥルーピーク値の測定アルゴリズム	17
4.1	トゥルーピーク値の測定法	17
4.2	トゥルーピーク測定アルゴリズム	17
4.3	トゥルーピークメータの単位	17
第5章	ラウドネスメータに求められる要件	19
5.1	ラウドネスメータ	19
5.1.1	ラウドネスメータに関する一般要件	19
解説1	運用基準に関する背景	21
1.1	経緯	21
1.2	国際勧告	21
1.3	平均ラウドネス値とターゲットラウドネス値	21
1.4	平均ラウドネス値の測定対象	22
1.5	平均ラウドネス値の測定誤差	22
1.6	平均ラウドネス値の運用上の許容範囲	22
1.7	国内運用基準	22
解説2	アライメントレベル	25
2.1	二つのアライメントレベル	25
2.2	アライメントレベルとラウドネス	25
2.3	今後のアライメントレベル運用	26
解説3	ラウドネス測定アルゴリズムと測定手順	27
3.1	ラウドネス測定アルゴリズムについて	27
3.2	ゲーティングの概念	27
3.2.1	ゲーティングブロックについて	27

3.2.2	ゲーティングブロックラウドネスについて	27
3.2.3	絶対ゲーティングについて	28
3.2.4	相対ゲーティングについて	28
3.3	オーバーラップ法について	29
3.4	平均ラウドネス値の測定フロー	30
3.5	測定の留意点	31
解説 4	サンプルピークとトゥルーピーク	33
4.1	トゥルーピーク検出の必要性	33
4.2	サンプルピーク値とトゥルーピーク値	33
4.3	オーバーサンプリングの読み取り誤差	35
4.4	トゥルーピーク運用基準の適用範囲と注意点	36
参考資料 1	音声メタデータ	37
1.1	音声のメタデータ	37
1.2	欧米でのメタデータ運用	37
1.3	メタデータによる音量コントロール	37
1.4	メタデータとターゲットラウドネス値	38

第1章 一般事項

1.1 目的

本技術資料は、ラウドネス測定アルゴリズム及びトゥルーピーク値の測定アルゴリズム、並びにこれらのアルゴリズムによる測定値に基づいた運用及びラウドネスメータに求められる要件を規定することを目的とする。

1.2 適用範囲

本技術資料は、デジタルテレビ放送において、制作、搬入、交換及び送出するすべての完成番組の音声信号に適用する。なお、番組とは、一般番組やCMなどを指す。

1.3 参照文書

1.3.1 準拠文書

次の文書は、その文書で規定される事項の一部が本技術資料に引用されている文書である。

- (1) Rec. ITU-R BS.1770 Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level
- (2) Rec. ITU-R BS.1771 Requirements for loudness and true-peak indicating meters
- (3) Rec. ITU-R BS.1864 Operational practices for loudness in the international exchange of digital television programmes

1.3.2 関連文書

次の文書は、本技術資料に基づいて運用する際に関連する文書である。

- (1) EBU R 128 -2010 Loudness normalization and permitted maximum level of audio signals
- (2) EBU Tech 3341 -2010 Loudness Metering: 'EBU Mode' metering to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128
- (3) ATSC A/85 ATSC Recommended Practice: Techniques for Establishing and Maintaining Audio Loudness for Digital Television
- (4) Rec. ITU-R BS.1726 Signal level of digital audio accompanying television in international programme exchange
- (5) EBU R 68 -2000 Alignment level in digital audio production equipment and in digital audio recorders
- (6) SMPTE RP 155 -2004 Motion Pictures and Television – Reference Level for Digital Audio Systems

1.4 用語・略語の説明

1.4.1 用語

A 特性	騒音レベルを測定するときに使用する聴感補正フィルタの特性。 「騒音レベル」は A 特性フィルタを挿入して測定した値 (A 特性音圧レベル) のことを言う。人の聴覚は周波数によって感度が異なる (例えば低域周波数の音は聞こえにくいなど) ので、騒音レベルを測定するときはマイクロフォンの入力信号に対して補正を行う必要がある。その補正に使用するのが A 特性フィルタである。
B 特性	騒音レベルを測定するときに使用していた聴感補正フィルタ特性のひとつであるが、現在の騒音計では使われていない。中レベルの騒音測定用として規定されていた。
dBTP	Rec. ITU-R BS.1770 で規定されている、オーバーサンプリングによるピークレベル測定アルゴリズムを使用したトゥルーピークメータのレベルを表す単位。トゥルーピークの測定はオーバーサンプリングの倍数が大きいほど精度は良くなるが、計算量が多くなるため、実際には 4 倍オーバーサンプリングが適当とされている。
IIR フィルタ	デジタルフィルタのひとつ。巡回型フィルタで、出力を入力にフィードバックする構成となっている。インパルスの応答が無限となる。無限インパルス応答フィルタ。
K 特性	Rec. ITU-R BS.1770 で規定されている聴感補正フィルタの特性。2 つのプリフィルタで構成されており、1 段目は頭部音響効果をシミュレーションしたフィルタで、2 段目が RLB 特性フィルタとなっている。K 特性フィルタを使用することにより、人の聴感特性に近い測定が可能となる。
LKFS	Rec. ITU-R BS.1770 で規定されているラウドネス測定アルゴリズムによって計算したラウドネス値の単位。
LU	ラウドネスメータで使用するラウドネス値の単位。ターゲットラウドネス値を 0LU としてラウドネスの相対値を表す。1LU の変化は 1dB の変化と等しい。
RLB 特性	Rec. ITU-R BS.1770 で定義されている K 特性の 2 段目のフィルタ特性。B 特性を修正した特性となっているので修正 B 特性と呼ばれる。

VU メータ	音声信号の音量を測定する計器。音声信号を Volume Unit という音量の単位に置き換え、人の感じる音量感に近いメータ指示が得られるように設計されている。入力信号に対するメータの応答時間は 0.3 秒 で 99% 指示となっており、立ち上がりの早いピーク信号には正確に応答しないという問題もあるが、長年使用されている。
オーバーサンプリング (oversampling)	アナログ信号をデジタル信号に変換するとき、又はデジタル信号をアナログ信号に変換するときに、実際のサンプリング周波数の何倍かのサンプリング周波数を用いて処理を行なうことを言う。
オーバーラップ法 (overlapping)	本技術資料では、隣接するゲーティングブロックを互いに重複させながら分割する手法のことを言う。オーバーラップの量は 75% (300ms) とする。
ゲーティング(gating)	被測定値をある閾値により分別すること。本技術資料で述べているラウドネス値の計算アルゴリズムでは、ラウドネス値を求めるために絶対ゲーティングと相対ゲーティングを用いて、閾値より小さい値を除去している。こうすることで、より主観に近いラウドネス値が得られる。
ゲーティングブロック (gating block)	本技術資料では、ラウドネス計算においてゲーティングを適用するために、入力信号を 400ms 長のブロックに分割する。その 1 区間をゲーティングブロックと呼ぶ。
サンプルピーク (sample peak)	符号化されたデジタル信号のピークのことを言う。通常のピークメータ (サンプルピークメータ) は、ある一定区間ごとのデジタル信号の最大値をピークレベルとして表示している。
ダウンミックス(down-mix)	3 チャンネル以上の音響信号を 2 (又は 1) チャンネルに再構成することを言うが、一般的には 5.1ch サラウンドサウンドを 2 チャンネル (ステレオ) に変換する場合に使用している。
ターゲットラウドネス値 (target loudness level)	番組の聴取レベルを適正に保つために目標とする「番組の平均ラウドネス値」のことを言う。
デジタル信号	本技術資料では特に指定しない限り「リニア PCM デジタル信号」のことを言う。
トゥルーピーク(true-peak)	アナログ信号のピークのことを言う。「真のピーク」とも言う。一般的に使用されているサンプルピークメータでは、サンプルとサンプルの間に実際のピークレベルが存在する場合もあり、トゥルーピークを表示できないことがある。オーバーサンプリング後

	のピークを、便宜上トゥルーピークと呼ぶ場合もあるので、混同しないこと。
ノーマライズ(normalize)	本技術資料では平均音声レベルの異なる番組を、ある基準レベルに合わせ再生音量を均一化することを言う。
フルビット(full bit)	デジタル信号の最大符号値。0dBFS や Full Scale Digital などと呼ぶこともある。
ヘッドルーム(head room)	基準レベルからクリッピングレベルまでのマージンのことを言う。デジタル信号では基準レベルからフルビットまでがヘッドルームとなる。
メタデータ(metadata)	本技術資料では音声信号に付加して、その信号の制御情報を記述したデータのことを言う。送出する音声信号にメタデータを付加することで音声品質の制御などを行うことができる。
ラウドネス(loudness)	人が感じる音の大きさ（音の感覚量）のこと。
ラウドネス値 (loudness level)	本技術資料では、デジタル録音レベルからラウドネス測定アルゴリズムに基づいて算出したラウドネスの計算値に対する、一般名称として「ラウドネス値」を使用する。ゲーティング処理を行わない場合の計算値、ゲーティングブロック（400ms 長）内での計算値、絶対ゲーティング及び相対ゲーティング後の計算値など、異なる計算方法で求めた値に対し、特に区別しない場合は「ラウドネス値」と呼び、単位に LKFS を用いる。
リニア PCM	パルス符号変調のひとつ。標本化、量子化、符号化の基本プロセスを持つが、符号化を行うときにデータ圧縮を行わない方式。一般に PCM というときリニア PCM を指すことが多い。他に APCM、ADPCM などがある。
レベルセット	機器やシステム間の基準レベルの違いを調整すること。また、デジタル信号を D/A 変換し、アナログ録音する場合もレベルセットを必要とする。
音声モード	モノ、ステレオ、2 音声、サラウンドなどの音声方式のことを言う。
絶対ゲーティング (absolute gating)	本技術資料では、無音とみなせる絶対閾値 -70LKFS 以下のゲーティングブロックを除去する処理のことを言う。
相対ゲーティング (relative gating)	本技術資料では絶対ゲーティング後のラウドネス値から 10dB 小さい相対閾値以下のゲーティングブロックを除去する処理のことを言う。

等価騒音レベル	時間とともに変動する騒音（変動騒音）について、測定区間 T の総エネルギーを時間平均してレベル表示した値。測定区間 T の平均エネルギーは音圧（瞬時音圧）を二乗してから時間平均することで求める。また、等価騒音レベルは、変動騒音区間 T での平均エネルギーと等しい平均エネルギーを持つ定常騒音の騒音レベルとして表している。等価騒音レベルは、正式には量記号に $L_{Aeq,T}$ を使用し、単位記号に dB を使用する。慣例として、量記号に L_{Aeq} 、 L_{Aeq} 及び L_{eq} を用いる場合や、単位記号の $dB(A)$ あるいは $dB A$ のみを用いて表す場合がある。等価騒音レベルを含め「騒音レベル」を測定する場合は A 特性聴感補正を用いる。
平均ラウドネス値	第3章で述べている、すべてのゲーティング処理を含んだラウドネス測定アルゴリズムを用いて算出した、任意の測定区間のラウドネス値のこと。ロングタームラウドネスあるいはインテグレートッドラウドネスと呼ぶ場合もある。また、「番組の平均ラウドネス値」と言った場合は、番組の開始から終了までを測定区間とした平均ラウドネス値のことを言う。

1.4.2 略語

AAC/HE-AAC	Advanced Audio Coding / High-Efficiency Advanced Audio Coding
AC-3	Audio Code number 3
ATSC	Advanced Television Systems Committee
dBFS	dB Full Scale
dBTP	dB True Peak
DRC	Dynamic Range Control
DTS	Digital Theater Systems
DVB-T2	Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2
E-AC-3	Enhanced AC-3
EBU	European Broadcasting Union
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
IIR	Infinite impulse response
ISO	International Organization for Standardization
ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication Sector
LFE	Low Frequency Effects
LKFS	Loudness K-weighting Full Scale

LU	Loudness Unit
MPEG	Moving Picture Experts Group
RLB	Revised Low-frequency B-weighting
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers

第2章 運用基準

2.1 ラウドネス運用基準

2.1.1 概要

番組全体の音の大きさ（ラウドネス）を一つの値で示す平均ラウドネス値を規定し、その値が番組間で一定となるように運用することにより、家庭における聴取レベル（音量）を適正に保つことを可能とする。

2.1.2 平均ラウドネス値の測定

平均ラウドネス値の測定は Rec. ITU-R BS.1770 Annex 1 に準拠し、第3章に述べるアルゴリズムを使用して行う。番組の平均ラウドネス値は、番組の開始から終了までを測定区間とし、番組当たり一つの平均ラウドネス値を求める。

2.1.3 測定チャンネル

平均ラウドネス値の測定は Rec. ITU-R BS.1770 Annex 1 に準拠し、L、R、C、Ls、Rs の5チャンネルを用いて行う。

2.1.4 ターゲットラウドネス値

番組の平均ラウドネス値の、目標とする値をターゲットラウドネス値と呼ぶ。値は-24LKFSとする。

2.1.5 運用上の許容範囲

番組の平均ラウドネス値の、運用上の許容範囲は、ターゲットラウドネス値±1dBとする。

2.1.6 例外

「創造的な制作要求」が最優先される番組の場合、ターゲットラウドネス値を下回る値を目標として制作することができる。

2.2 トゥルーピーク運用基準

2.2.1 概要

デジタル信号のサンプルピーク値は必ずしもアナログ信号のピーク（トゥルーピーク）を示してはいない。したがって、サンプル値がフルスケール以内であっても実際の信号はフルスケールを超えていることがある。このような場合、再生時にオーバーロードとなり歪みを生じる可能性がある。4倍オーバーサンプリングによるピーク測定を行うことで、オーバーロードによる歪みの発生を未然に防ぐ運用が可能となる。

2.2.2 トゥルーピークの測定

トゥルーピークの測定は Rec. ITU-R BS.1770 Annex 2 に準拠し、第 4 章で述べるアルゴリズムを使用して行う。測定に用いるメータをトゥルーピークメータと呼び、その表示単位を dBTP とする。

2.2.3 測定チャンネル

トゥルーピークの測定は Rec. ITU-R BS.1770 Annex 2 に準拠し、すべての音声チャンネルについて個別に行う。

2.2.4 最大許容ピーク値

トゥルーピークメータでの最大許容値は -1dBTP [注] とする。

[注] アナログ信号のピーク値とトゥルーピークメータで得られるピーク値の最大誤差は 0.688dB になる。したがって、 -1dBTP を最大許容レベルとして運用すれば、オーバーロードを防ぐことができる。

2.2.5 サンプルピークメータによる運用

通常のピークメータはサンプルピーク値 [注] を使用しているためトゥルーピークを表示できない場合がある。したがって、サンプルピークメータで運用する場合の最大許容値は -3dBFS とする。

[注] アナログ信号が連続する正弦波である場合、そのピーク値とサンプルピーク値の最大誤差は、信号周波数がサンプリング周波数の $1/4$ のとき、 3.01dB になる。

第3章 ラウドネス測定アルゴリズム

本技術資料で規定する Rec. ITU-R BS.1770 に準拠したデジタル信号のラウドネス測定アルゴリズムは、積分法に基づく等価騒音レベルの測定と類似したアルゴリズムであり、大きく分けて次の4つの要素からなる。

- ① K 特性フィルタ（周波数重み付け）
- ② 二乗平均算出
- ③ 各チャンネルのレベル重み付けと合算
- ④ ゲーティング関数を適用したラウドネス値の算出
 - ・オーバーラップ法を用いた入力信号の分割（ブロック化）
 - ・2段階の閾値によるゲーティング

以下、各要素について説明する。

3.1 ラウドネス測定アルゴリズムのブロックダイアグラム

図3-1 にラウドネス測定アルゴリズムのブロックダイアグラムを示す。

本測定アルゴリズムは、最大5チャンネルの入力信号（ $x_L, x_R, x_C, x_{L_s}, x_{R_s}$ ）のラウドネス測定が可能となっている。チャンネル数が5チャンネル未満の場合、幾つかの入力が未使用となる。またLFEチャンネルは測定に含めない。

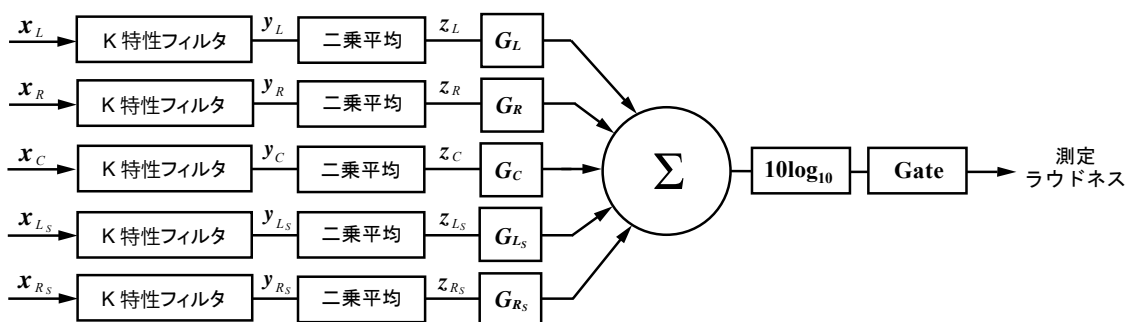


図3-1 ラウドネス測定アルゴリズムのブロックダイアグラム

3.2 K 特性フィルタ

入力信号の最初に、K 特性フィルタと呼ぶ2段階のプリフィルタを適用する。1段目のプリフィルタは、図3-2 に示す周波数応答特性を持つ。

一般に、耳に達する音は、頭部の影響を受けて周波数特性が変化する。この特性を実現するために1段目のプリフィルタは、頭部形状を硬質球体に置き換えて音響効果をシミュレートしている。

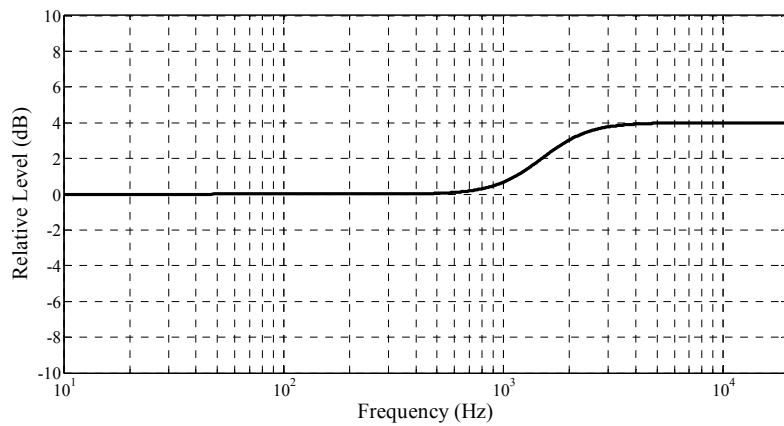


図 3-2 頭部形状の音響効果に相当するプリフィルタの周波数応答特性

2 段目のプリフィルタは、RLB 特性を持つハイパスフィルタで、図 3-3 に示す周波数応答特性を持つ。RLB 特性は、修正 B 特性と呼ばれ、かつて騒音測定に用いられていた B 特性を修正した特性となっている。

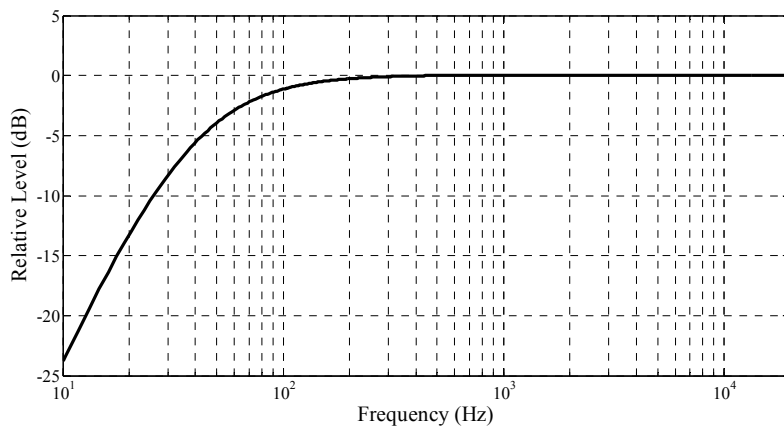


図 3-3 RLB 特性の周波数応答特性

これら 2 段階のプリフィルタは、それぞれ図 3-4 に示す 2 次の IIR フィルタとして定義され、各々、表 3-1、表 3-2 で示す係数を用いる。

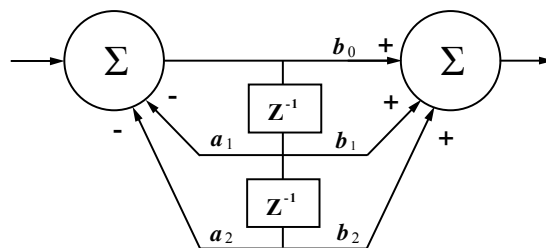


図 3-4 2 次 IIR フィルタの信号フロー図

表 3-1 第 1 段目のプリフィルタの係数

-	-	b_0	1.53512485958697
a_1	-1.69065929318241	b_1	-2.69169618940638
a_2	0.73248077421585	b_2	1.19839281085285

表 3-2 第 2 段目のプリフィルタの係数

-	-	b_0	1.0
a_1	-1.99004745483398	b_1	-2.0
a_2	0.99007225036621	b_2	1.0

表 3-1 と表 3-2 のフィルタ係数は、サンプリング周波数が 48kHz のときの値である。表に示した小数点以下 14 桁の係数は、微小変化してもアルゴリズムの性能に影響しないため、ハードウェアの演算精度に応じて有効桁数を切り下げる。

3.3 二乗平均

信号のパワーを求めるために、各チャンネルについて K 特性フィルタによって処理した信号を二乗平均する。二乗平均は測定開始から終了までの測定区間を T とすれば次式で定義される。

$$z_i = \frac{1}{T} \int_0^T y_i^2 dt \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 $i \in I$

また I は $I = \{L, R, C, Ls, Rs\}$ で示す全入力チャンネル

(y_i は K 特性フィルタによって処理された信号で、 i は L, R, C, Ls, Rs のいずれかの入力チャンネルを示す)

3.4 チャンネル重み付けとラウドネス値の計算

3.4.1 チャンネル重み係数

個々のチャンネルについて、二乗平均した値に、表 3-3 に示したチャンネルごとの重み係数を乗じる。

人が聴取する音は、到来方向（耳に対する音の入射角）によって、耳殻、頭部、肩などの影響が異なり、その結果、聴取する音量も変化する。サラウンド聴取では後方チャンネルのラウドネスが若干大きく感じられることが知られており、重み係数で補正する。

表 3-3 各チャンネルの重み係数

チャンネル	重み係数、 G_i
レフト (G_L)	1.0 (0 dB)
ライト (G_R)	1.0 (0 dB)
センタ (G_C)	1.0 (0 dB)
レフトサラウンド (G_{Ls})	1.41 (約 +1.5 dB)
ライトサラウンド (G_{Rs})	1.41 (約 +1.5 dB)

3.4.2 ラウドネス値算出の基本式と単位

前項で算出した、チャンネル重み付け後の二乗平均値を合算し、デシベルスケールに変換してラウドネス値を求める。測定区間 T のラウドネス値算出の基本式は次式で定義される。

$$\text{ラウドネス値, } L_K = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_I G_i \cdot z_i \text{ LKFS} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{ただし, } I = \{L, R, C, Ls, Rs\}$$

定数 -0.691 はプリフィルタの利得を補正する値で、この定数により 1kHz 正弦波に対するプリフィルタの入出力間利得は 0dB となる。この補正で L、C、R のいずれか一つのチャンネルに入力した 1kHz 正弦波信号のピーク値 (dBFS) とラウドネス値 (LKFS) には「ピーク値 $-3.01 =$ ラウドネス値」という関係が成り立つ。例えば -20dBFS の 1kHz 正弦波を、L、R、C のいずれか一つのチャンネルに入力した場合、ラウドネス値は -23.01LKFS となる。また、L、R、C のうち二つのチャンネルに入力した場合のラウドネス値は -20LKFS となる。

ラウドネス値の単位に用いる LKFS は、ラウドネス (Loudness)、K 特性フィルタ、フルスケール (FS: デジタルで表現できる最大値を 0 としたスケール) から定められている。LKFS 単位での 1dB のレベル増減は、1LKFS のラウドネス値増減と同等である。

3.5 ゲーティング関数を適用したラウドネス値の計算

本技術資料では、人が感じる音の大きさに近いラウドネス値の計算が可能となるように、以下の 4 つの要素からなるゲーティング関数を用いてラウドネス値を算出する。

- ① ゲーティングブロック : 入力信号を時系列上で一定時間ごとに分割した測定区間
- ② オーバーラップ法 : 測定区間を重複させながら分割する手法
- ③ 絶対ゲーティング : 無音と見なせる部分の除去
- ④ 相対ゲーティング : 小音量と見なせる部分の除去

3.5.1 ゲーティングブロックとゲーティングブロックラウドネス値

ラウドネス計算では、ゲーティングを適用するために入力信号の全測定区間 T を、長さ T_g ごとのブロックに分割する。このブロックをゲーティングブロックと呼び、ゲーティングブロック長を $T_g = 400\text{ms}$ とする。また、各々のゲーティングブロックのラウドネス値をゲーティングブロックラウドネス値と呼ぶ。

3.5.2 オーバーラップ法

隣接するゲーティングブロックについて、互いに重複（オーバーラップ）させながら分割する手法をオーバーラップ法と呼ぶ。オーバーラップの量を 75% と規定し、そのゲーティングブロック長に対する割合を $overlap = 0.75$ で表す。

また、隣接するゲーティングブロックへの移動量をスライド幅 T_s とし、そのゲーティングブロック長に対する割合を、 $step = 1 - overlap = 0.25$ で表す。

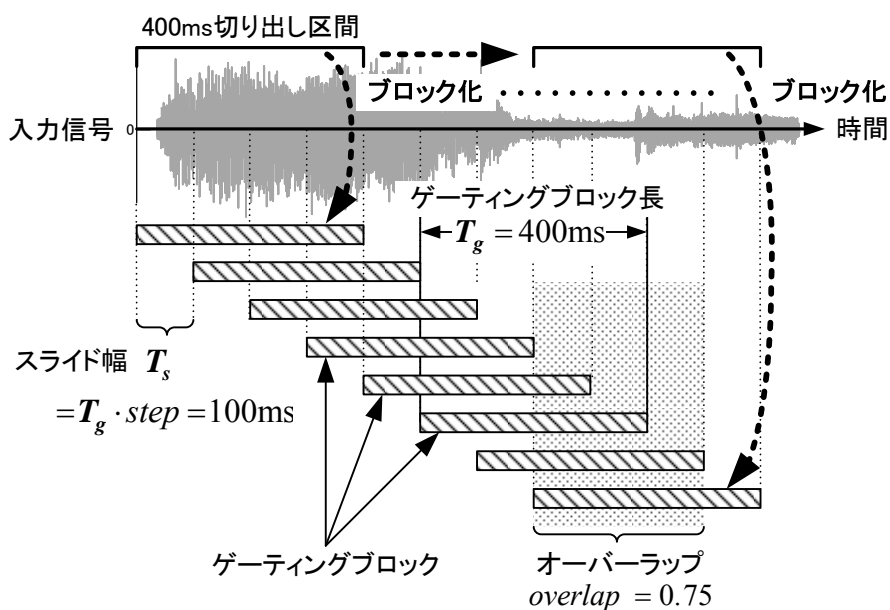


図 3-5 オーバーラップ法の概念図

図 3-5 にオーバーラップ法の概念図を示す。ゲーティングブロックを 75% ずつオーバーラップさせるため、入力信号を時間軸上で、スライド幅 $T_s = T_g \cdot step = 100\text{ms}$ ごとにスライドしながらデータを取り込む。

このとき、測定終了時（ストップ割り込みやファイルエンド）に 400ms に満たないゲーティングブロックは計算に含めない（解説 3 参照）。

3.5.3 絶対ゲーティング

測定区間内に無音部分が含まれると、人が感じる音の大きさと測定したラウドネス値との誤差が大きくなるので、無音と見なせる絶対閾値以下の部分を除去する。この処理を絶対ゲーティングと呼ぶ。

本アルゴリズムでは、絶対閾値を -70LKFS とし、ゲーティングブロックラウドネス値が絶対閾値以下となるゲーティングブロックを除去する。

3.5.4 相対ゲーティング

測定区間内に含まれる比較的音量の小さい部分を除去すると、人が感じる音の大きさと測定したラウドネス値との直線性が改善するので、絶対ゲーティング後のラウドネス値から相対的に求めた閾値（これを相対閾値と呼ぶ）以下の部分を除去する。この処理を相対ゲーティングと呼ぶ。

本アルゴリズムでは、相対閾値を絶対ゲーティング後のラウドネス値から 10dB 小さい値とし、ゲーティングブロックラウドネス値が相対閾値以下となるゲーティングブロックを除去する。

3.5.5 平均ラウドネス値の算出手順

a) ゲーティングブロックラウドネス値の算出

全測定区間 T のゲーティングブロックの総数は $\frac{T-T_g}{T_g \cdot \text{step}} + 1 = 10 \cdot T - 3$ 個となり、チャンネル i

の j 番目のゲーティングブロックの二乗平均値は、次式から求める。

$$z_{ij} = \frac{1}{T_g} \cdot \frac{T_g \cdot (j \cdot \text{step} + 1)}{T_g \cdot j \cdot \text{step}} \int y_i^2 dt$$

$$= 2.5 \cdot \int_{0.1 \cdot j}^{0.1 \cdot j + 0.4} y_i^2 dt \quad \text{ただし、} j \in \{0, 1, 2, \dots, 10 \cdot T - 4\} \quad \dots \dots \dots (3)$$

したがって、 j 番目のゲーティングブロックラウドネス値は、次式から求める。

$$l_j = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_I G_i \cdot z_{ij} \quad \dots \dots \dots (4)$$

b) 閾値とブロック集合

ゲーティングブロックラウドネス値が閾値 Γ を超えるブロックの集合 J_g を $J_g = \{j : l_j > \Gamma\}$ で表し、 J_g の要素数を $|J_g|$ で表す。

c) 絶対ゲーティング

絶対ゲーティングの閾値 Γ_a は、次式で表す。

$$\Gamma_a = -70 \text{ LKFS} \quad \dots \dots \dots (5)$$

絶対ゲーティング後のラウドネス値は、 $J_{ga} = \{j : l_j > \Gamma_a\}$ の要素の平均で、次式から求める。

$$\text{絶対ゲーティング後のラウドネス値, } L_{KGA} = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_I G_i \cdot \left(\frac{1}{|J_{ga}|} \cdot \sum_{J_{ga}} z_{ij} \right) \text{ LKFS} \dots\dots(6)$$

$$\text{ただし } J_{ga} = \{j : l_j > \Gamma_a\}, \Gamma_a = -70 \text{ LKFS}$$

d) 相対ゲーティング

相対ゲーティングの閾値 Γ_r は、前項で求めた L_{KGA} より 10dB 小さい値で、次式で表す。

$$\Gamma_r = L_{KGA} - 10 = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_I G_i \cdot \left(\frac{1}{|J_{ga}|} \cdot \sum_{J_{ga}} z_{ij} \right) - 10 \text{ LKFS} \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{ただし } J_{ga} = \{j : l_j > \Gamma_a\}, \Gamma_a = -70 \text{ LKFS}$$

したがって、相対ゲーティング後のラウドネス値 (Gated loudness level) は、

$J_g = \{j : l_j > \Gamma_r\}$ の要素の平均で、次式から求める。

$$\text{Gated loudness level, } L_{KG} = -0.691 + 10 \log_{10} \sum_I G_i \cdot \left(\frac{1}{|J_g|} \cdot \sum_{J_g} z_{ij} \right) \text{ LKFS} \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{ただし } J_g = \{j : l_j > \Gamma_r\}$$

この相対ゲーティング後のラウドネス値は、全測定区間 T の最終的な平均ラウドネス値となる。

< 余白 >

第4章 トゥルーピーク値の測定アルゴリズム

4.1 トゥルーピーク値の測定法

デジタル信号のトゥルーピーク測定は、Rec. ITU-R BS.1770 Annex 2 に記述されている方法、又は同等な結果を得られる方法に基づくものとする。

4.2 トゥルーピーク測定アルゴリズム

本技術資料では、デジタル放送で 1 チャンネルのデジタル信号（サンプリング周波数 48kHz）に含まれるトゥルーピークを測定するために必要最小限なアルゴリズムについて述べる（詳細については、Rec. ITU-R BS.1770 Annex 2 を参照）。

図 4-1 に測定アルゴリズムのブロック図を示す。

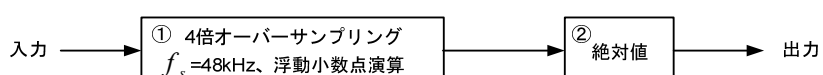


図 4-1 トゥルーピーク値の測定アルゴリズムブロック図

- ① 4 倍オーバーサンプリング：より正確なデジタル信号を得るために、 $f_s = 48\text{kHz}$ の場合 192kHz（48kHz の 4 倍）でオーバーサンプリングする。また、信号処理は浮動小数点演算で行う。
- ② 絶対値：サンプル値の絶対値を出力する。

このアルゴリズムブロックの後に表示回路が必要であり、出力された値と 100%ピークレベルとを対比させてトゥルーピーク値をメータ上に表示させる。測定値は小数点以下一桁まで表示することが望ましい。

4.3 トゥルーピークメータの単位

オーバーサンプリングによる測定アルゴリズムを使ったトゥルーピークメータは、レベル表示の単位として dBTP を用いる。dBTP 単位での 1dB のレベル増減は dBFS 単位での 1dB のレベル増減と同等である。

<余白>

第5章 ラウドネスメータに求められる要件

5.1 ラウドネスメータ

LOUDNESSメータには、番組全体の音の大きさを一つの値で示す平均ラウドネス値を計測するモードと、番組制作時にリアルタイムで使用するための短時間計測モードが必要である。本技術資料では前者の平均ラウドネス値を計測するモードの要件について述べる。なお、短時間計測モードについてはITU-Rで標準化されていないのでここでは述べていない。

5.1.1 ラウドネスメータに関する一般要件

ラウドネスレベルの測定は、第3章で記述している測定アルゴリズムに基づいた処理を行う。表5-1に一般要件を示す。

表5-1 一般要件

No.	要件	条件
1	スケール単位には LU 又は LKFS を使用すること。	必須
2	スケール単位に LU を使用する場合、OLU はターゲットラウドネス値とすること。	必須
3	平均ラウドネス値は、小数点以下一桁まで表示することを必要条件とする。その場合は、小数点以下二桁目を四捨五入で処理すること。小数点以下二桁以上の精度で表示する場合は、表示精度より下位の桁を四捨五入で処理すること。	必須
4	スイッチなどで測定の開始と終了を指定できること。	必須
5	タイムコードや外部制御で測定の開始と終了を指定できること。	任意
6	モノ測定では以下の機能を選択できること。 ・ Lch 又は Rch を選択すると L/Rch に入力信号を分配し、ラウドネス値を測定する。	任意

<余白>

解説1 運用基準に関する背景

1.1 経緯

テレビの視聴者は、番組間で音の大きさ（ラウドネス）の差が小さければ、視聴（聴取）の満足度が向上すると言われている。

ラウドネスを一定にする方法は、従来から様々な論議があった。現在までのアナログからデジタルの世界で考えると、先ず物理的条件としてメディアの種類や録音方式ごとに、最大許容レベル、ノイズレベルがある。次に、運用的な性格を持つインターフェース条件として、アライメントレベル（解説 2 参照）がある。それらの条件の中で、信号レベルはそれぞれのメディアの特性や制作内容に応じて、自由なピーク値や平均値を取っていた。

これまで「一部の放送」「映画の予告編」「あるジャンルの音楽」など、それぞれに適した音量基準や運用形態が形成されて来た経緯があり、異なる種類の番組や作品のラウドネスを一定にする方法はひとつに収束することはなかった。この結果生じた「ラウドネスの不揃い現象」は、各種メディアのデジタル信号を、レベル変更せずに録音・編集し、連続して聴いてみればよく分かる。しかし、デジタル信号のインターフェース条件は、最大レベルが「フルスケール」であり、これは全世界共通である。

録音メディアに続いて通信や放送の世界もデジタル化が進み、共通の「フルスケール」を基準として、信号レベルから求めることの可能なラウドネスを定義しようとする動きが生まれた。それはラウドネスによる運用・管理方法を番組制作に導入すれば、テレビ放送全般で、番組の「音量」を一定にすることが可能ではないか、という考えである。具体的には「ラウドネスの測定アルゴリズム」と「国際番組交換時のラウドネスレベルの運用基準」を決める動きになった。

1.2 国際勧告

以上の経緯から、2006年にラウドネス及びトゥルーピーク測定アルゴリズム Rec. ITU-R BS.1770 と、ラウドネスメータとトゥルーピーク表示に関する要求要件 Rec. ITU-R BS.1771 が勧告された。その結果、番組内容にかかわらず、同一基準でラウドネス値を測定するラウドネスメータの世界的な運用が可能となった。また、国際交換する番組のラウドネスを制作段階で揃える運用方法も合意され、2010年3月に Rec. ITU-R BS.1864 として勧告された。

ARIB のスタジオ設備開発部会スタジオ音声作業班では、2004年より ITU-R でのラウドネスに関する一連の審議に対して、検討作業や検証実験を行い、数回にわたり寄与文書を入力し、各国と協力して勧告内容の策定に寄与してきた。番組の国際交換でラウドネスが妥当な一貫性を持つことは、番組制作・放送事業者にとっても視聴者にとっても望ましいことである。

1.3 平均ラウドネス値とターゲットラウドネス値

Rec. ITU-R BS.1864 では、国際交換する番組は「平均ラウドネス値」を測定することとし、そ

の目標値を「ターゲットラウドネス値」として定めている。

ラウドネスの測定アルゴリズムは基本的に積分である。番組の平均ラウドネス値は、番組の開始から終了までの区間を正確に測定する。例えば番組途中の CM 区間などは、別番組なので測定には含めない。

1.4 平均ラウドネス値の測定対象

本技術資料では番組音声全体を測定対象としている。Rec. ITU-R BS.1864 では、視聴者にとって「ダイアログ部分が支配的である番組」の重要な要素はダイアログのラウドネスであり、番組同士ではなるべく同じレベルが望ましいとしている。しかし、現実にはダイアログを含まない番組やダイアログが支配的かどうかの判断が困難な番組もあるので、番組音声全体を測定する。

1.5 平均ラウドネス値の測定誤差

本技術資料の平均ラウドネス値を測定するアルゴリズムは明確であるため、そのアルゴリズムを正しく実装していれば、異なる測定装置で同一番組を測定しても、その測定値に問題となるような誤差は生じない。

1.6 平均ラウドネス値の運用上の許容範囲

全ての番組はターゲットラウドネス値、すなわち -24LKFS を目標に制作すべきである（第2章 2.1.6 「例外」を除く）。しかし、ターゲットラウドネス値を目標として制作しても、番組の平均ラウドネス値の測定結果がターゲットラウドネス値と厳密に一致しない場合がある。特に、生放送や、収録してすぐに放送するような生放送に準ずる制作形態では、番組の平均ラウドネス値をターゲットラウドネス値に厳密に一致させることは困難である。したがって、実際の運用では、番組の平均ラウドネス値に一定の許容範囲を設けることが必要である。

運用上の許容範囲を設ける場合は、全体的に番組の平均ラウドネス値の変動が 2dB 以内に収まるように、ターゲットラウドネス値 $\pm 1\text{dB}$ を許容範囲とすることが適切である。ただし、この許容範囲は、ターゲットラウドネス値が $\pm 1\text{dB}$ の範囲を取るという意味ではないので、運用上の許容範囲を設けた場合でもターゲットラウドネス値を目標に制作すべきである。

1.7 国内運用基準

ラウドネスによる音量管理はすべての番組制作に適用することが望ましい。Rec. ITU-R BS.1864 は国際交換のための番組制作運用基準である。しかし、テレビ放送全体を見ると、国際交換された番組とそうでない番組との混在は明らかであり、また、国際イベントの生放送なども活発に行われるテレビの状況を考慮すると、ラウドネスによる音量管理は、国内流通に限られる番組や、配信、放送（送出）を含むすべての番組に必要である。

通常、デジタル信号のレベルは、放送（伝送と送受信）や配信により変化することはない。ラウ

ドネス管理された放送番組は、放送段階での極端な加工を行わなければ、テレビ放送システム全体で一貫性を持ち、視聴者の満足度や利便性に良い影響をもたらす。

欧米ではこの国際勧告に基づいて、デジタルテレビ放送番組のラウドネス運用管理の準備が整いつつあり、ATSC A/85（北米）や EBU R 128、EBU Tech 3341（欧州）などの、各国・地域の事情と放送方式に適した基準やガイドラインの制定が行われている。

このような状況の中で、日本国内でも統一したラウドネス運用基準の必要性が高まり、本技術資料の制定となった。

<余白>

解説2 アライメントレベル

2.1 二つのアライメントレベル

Rec. ITU-R BS.1726 では国際番組交換で、放送事業者と電気通信事業者はデジタル信号のアライメントレベル（基準レベル）として、 -18dBFS か -20dBFS のどちらかの値を使用することになっている。これらの値は EBU R68 では -18dBFS 、SMPTE RP 155 では -20dBFS と定められている。

この（デジタルの）アライメントレベルは、システムや機器同士のインターフェース条件のひとつであり、デジタルシステムとアナログ通信や放送、アナログ録音との変換（D/A、A/D）では基準信号のデジタルレベルに相当する。

図 C2-1 に 2 種のアライメントレベル（AL）とデジタルレベル（dBFS）、VU メータ、アナログレベル（dBm）との関係を示す。

	dBFS		VU(a)	VU(b)		dBm
	0					
	-1					
	-2					
サンプルピーク許容値(最大)	-3					
	-4					
	-5					
	-6					
	-7					
	-8					
	-9					
	-10					
	-11					
	-12					
	-13					
	-14					
	-15					
	-16					
	-17					
AL (EBU R68)	-18			0		0/+4
	-19					
AL (SMPTE RP155)	-20		0			0/+4
	-21					
	-22					
	-23					
	-24					
	-25					

図 C2-1 デジタルアライメントレベルと VU メータとの関係

2.2 アライメントレベルとラウドネス

アライメントレベルを示す基準信号は、事前のアナログ系統機器やアナログ録音機器との相互レベル調整（レベルセット）作業などに利用されてきた。現在の運用方法では、デジタルのアライメントレベルが 2 種類規定されていることで、番組全体の音量平均値がこれに連動して上下する傾向が見られる。したがって、デジタル機器の信号同士であっても基準信号によるレベルセットを行うことがある。

しかし本来、番組のラウドネス値はアライメントレベルと直接関係しない。例えば、使用するア

ライメントレベルが異なっても、平均ラウドネス値が同じになる番組制作をすれば、再生音量に差は生じない。これは、番組内容のデジタル信号レベルがアライメントレベルの差の影響を直接受けないからである。

デジタル放送での番組交換は、共通のフルスケールを持つデジタル信号同士で行われるので、「レベルセット（事前レベル調整）なし」の運用を行う方が、品質変化やオーバーロードの可能性もなく合理的である。

統一された「ターゲットラウドネス値」によるラウドネス管理が一般化することで、今後行われる番組交換では、アライメントレベルは事前調整用途としての意味を持たなくなる。逆に、ラウドネス管理された番組で、アライメントレベルの違いによるレベルセットを行なうと、ラウドネスの一貫性が損なわれることになる。

2.3 今後のアライメントレベル運用

アライメントレベルは中継回線の品質確認用途としては今後も有用である。例えば、デジタル中継回線を通じてリアルタイム伝送されてくる番組の音声レベルが正しいか否かは、制作側放送局から事前伝送される基準信号のレベルで確認できる。これにより、途中の伝送路や系統機器の状態をある程度把握することができる。

今まで述べてきたように、ラウドネス管理された番組の伝送では、制作局のアライメントレベルと自局のアライメントレベルを一致させる目的で、系統機器のレベルセットをする必要はない。

ただし、アナログ機器との A/D、D/A 変換では、デジタルアライメントレベルはアナログ基準レベルに相当し、アナログ信号の品質に影響するため引き続き注意が必要である。

解説3 ラウドネス測定アルゴリズムと測定手順

3.1 ラウドネス測定アルゴリズムについて

Rec. ITU-R BS.1770 で規定されているラウドネス測定アルゴリズムは、第3章で述べたように騒音測定に用いる等価騒音レベルの測定アルゴリズムを応用している。

3.2 ゲーティングの概念

以下の説明は、図の煩雑さを避けるためにオーバーラップ法を適用しない図を用いた。実際の測定では、図 C3-5 のようにオーバーラップ法を用いたゲーティングブロックへの分割を行う。

3.2.1 ゲーティングブロックについて

図 C3-1 は入力された信号を 400ms ごとにゲーティングブロックに分割した状態を示す。

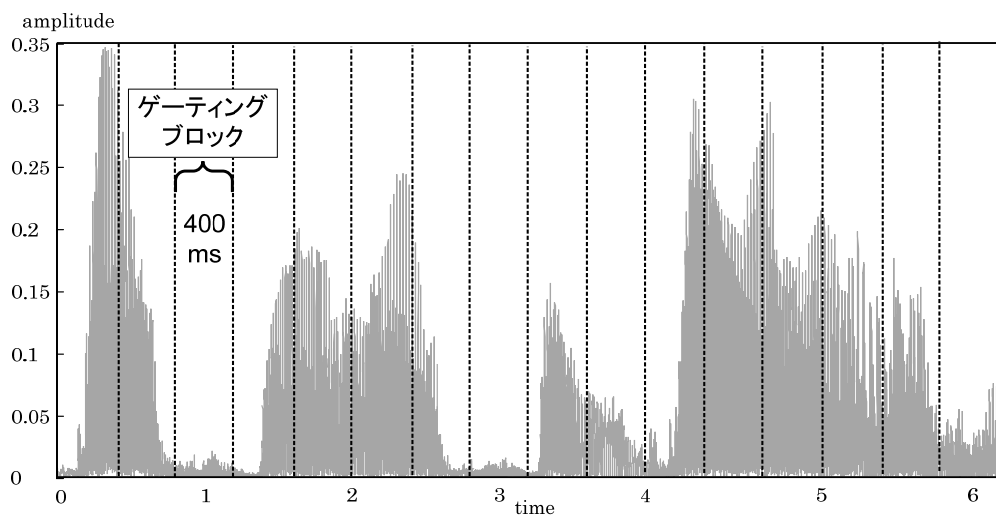


図 C3-1 ブロック化

3.2.2 ゲーティングブロックラウドネスについて

図 C3-2 に各ゲーティングブロックラウドネス値を計算した状態を示す。図では、ゲーティングブロックラウドネス値が絶対ゲーティングの閾値（ -70LKFS ）以下となる 2 箇所のゲーティングブロックを示している。

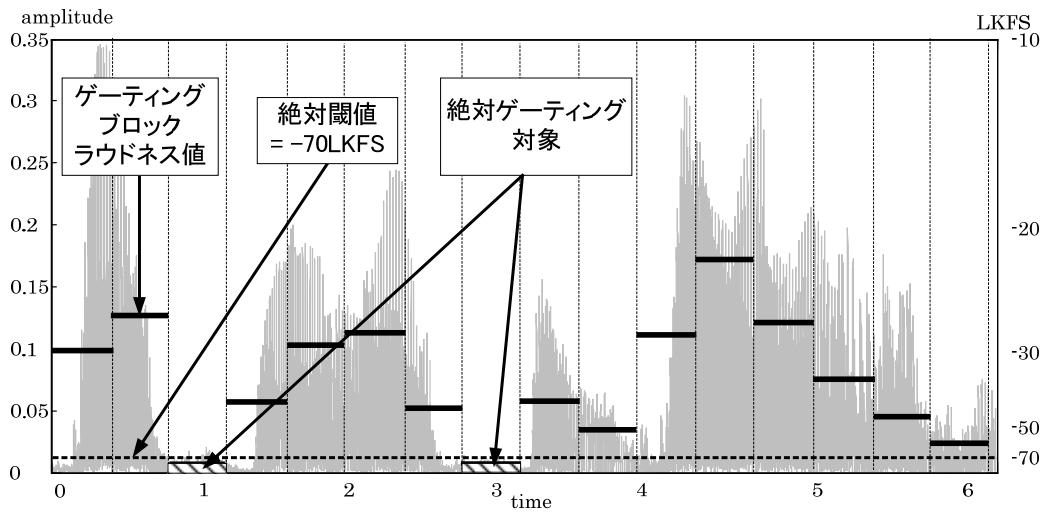


図 C3-2 ゲートングブロックラウドネス値

3.2.3 絶対ゲートングについて

図 C3-3 に、絶対ゲートング後のラウドネス値と、そのラウドネス値から 10dB 低い相対閾値及び相対ゲートングの対象となる 2 箇所のゲートングブロックを示す。なお、ゲートング計算を行うとき、閾値の条件判断は対数計算後の LKFS 単位で行うが、ラウドネス値は対数計算前の真数で平均した後に対数計算を行う。

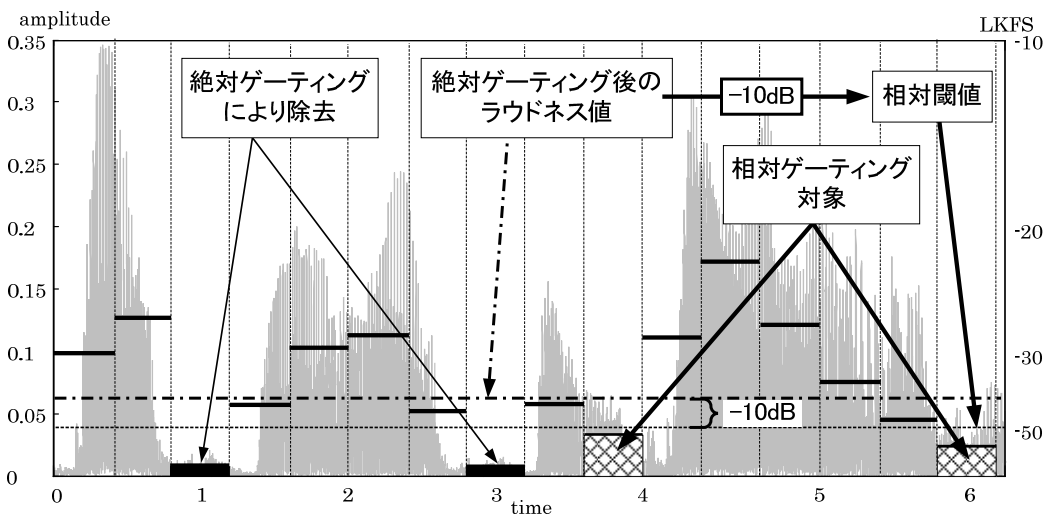


図 C3-3 絶対ゲートング

3.2.4 相対ゲートングについて

図 C3-4 に、相対ゲートングの対象となったゲートングブロックを除去した後、再計算したラウドネス値（最終平均ラウドネス値）を示す。

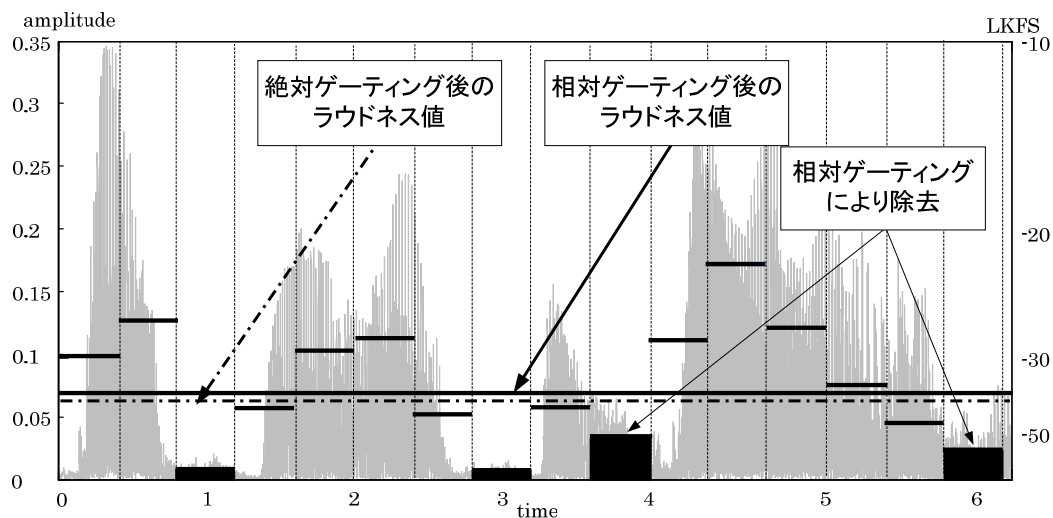


図 C3-4 相対ゲーティング

3.3 オーバーラップ法について

測定区間 T に無音区間が存在すると、測定開始点の変化によりゲーティングブロックに含まれる無音区間の割合も変化する。その結果ゲーティングブロックラウドネス値も変り、場合によっては相対ゲーティング処理に影響する。このような測定開始点の変動した場合の影響を小さくするために、ゲーティングブロックをオーバーラップさせながら測定を行う。

図 C3-5 に、オーバーラップ法の概念図を示す。図に示したように 400ms に満たなかった不完全ブロックは計算に含めない。

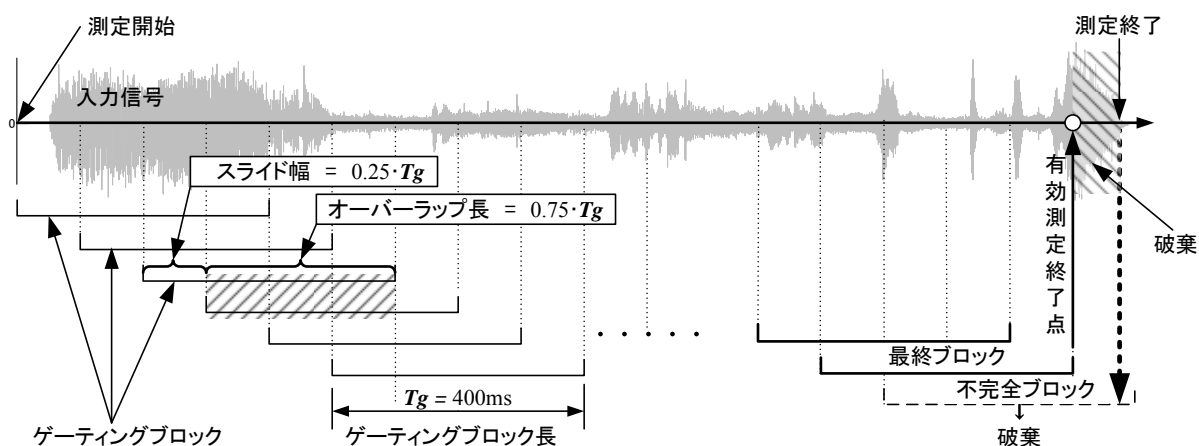


図 C3-5 オーバーラップ法概念図

3.4 平均ラウドネス値の測定フロー

図 C3-6 は、平均ラウドネス値の測定フロー例である。図中に示す番号は、第 3 章で解説している項目番号である。

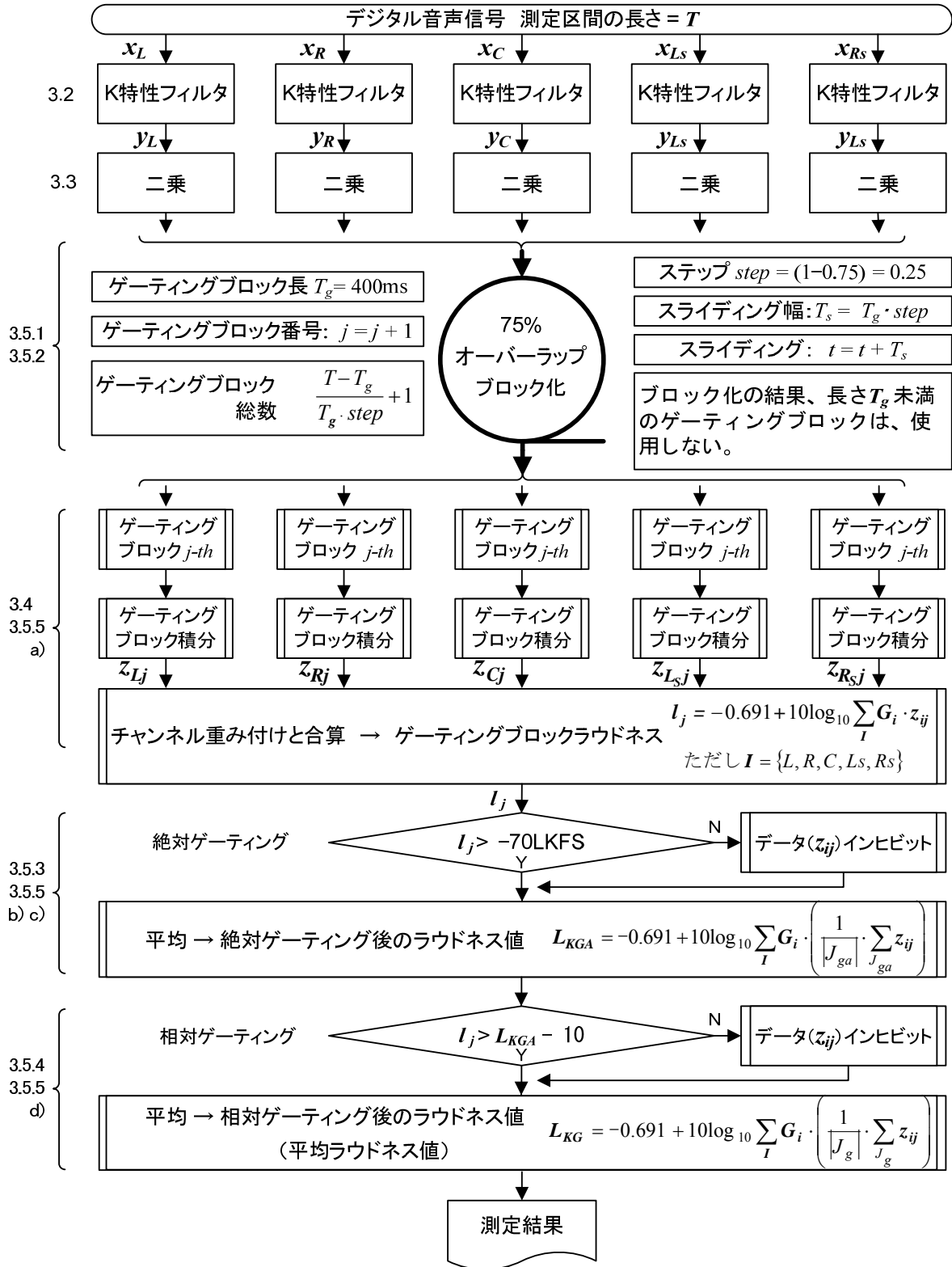


図 C3-6 平均ラウドネス値の測定フロー例

3.5 測定の留意点

本技術資料に基づくラウドネス測定アルゴリズムは、同じ信号でも測定開始のタイミングが変化すると、測定結果も変動する性質を持つ。特に測定区間が短いほどその影響が大きく、3 秒、5 秒といった短時間番組では配慮が必要となる。

しかし、測定区間が 15 秒以上ある場合、その影響は十分に小さいので無視してもよい。

<余白>

解説4 サンプルピークとトゥルーピーク

4.1 トゥルーピーク検出の必要性

デジタル信号による録音や伝送では、その信号のレベルが最大許容値であるフルビット以内に収まるように、つまりオーバーロードしないように調整を行わなければならない。そのため、ピークメータを使用したピーク値の管理が非常に重要である。

現在、日本で一般的に使用されているピークメータは、サンプリング周波数（44.1/48kHz など）で符号化された音声信号のサンプルごとのピーク値を検出し、表示している。このようなピークメータのことを「サンプルピークメータ」と言う。

しかし、高い周波数成分を含む音声信号では、ピーク値がサンプルとサンプルの間で発生している場合があるので、サンプルピークメータではアナログ信号波形の「トゥルーピーク：真のピーク」の値を検出することができない。したがって、サンプルピークメータでは 0dBFS 以下であっても、D/A 処理された段階でオーバーロードを生じ、音声出力が歪んでしまうといった現象が発生する場合がある。

そこで、デジタルテレビ放送での制作・送出段階では、デジタル信号のピーク値とクリッピングレベルであるフルビットとの間のヘッドルームを正確に把握するために、オーバーサンプリング処理を用いてサンプルとサンプルの間に存在するトゥルーピークの値を検出する「トゥルーピークメータ」の使用が必要となる。

4.2 サンプルピーク値とトゥルーピーク値

サンプルピーク値とは、音声信号をサンプリング周波数で符号化したときのピーク値のことである。一方、トゥルーピーク値とはアナログ信号波形のピーク値のことである。音声信号をデジタル化する場合、周波数が低ければアナログ波形を正確にプロットすることができるが、周波数が高くなるにつれてサンプルとサンプルの間にピーク波形が来る場合もある（図 C4-1）。

また、サンプリング開始時間（サンプリングタイミング）が異なると、同じ音声信号でもサンプルピーク値は異なってしまう（図 C4-2）。

特に、音声信号の周波数とサンプリング周波数との関係が図 C4-3 のようなタイミングになると、サンプルピーク値とトゥルーピーク値との誤差（under-read）が最も大きくなる。

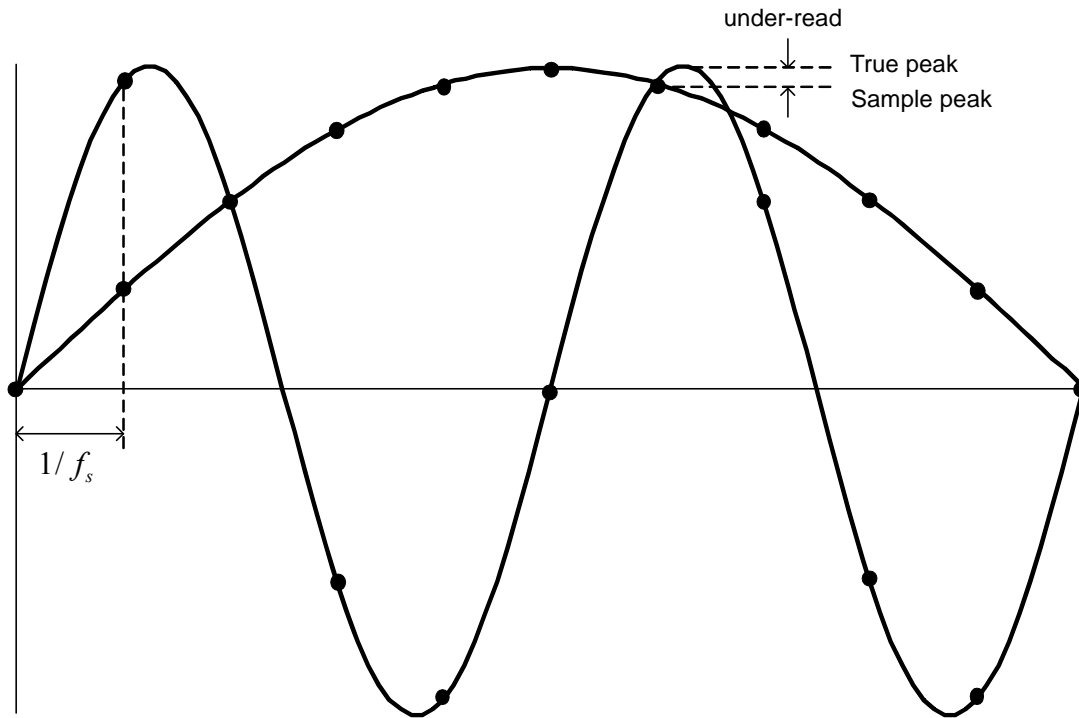


図 C4-1 サンプルピーク値と実際の波形の関係

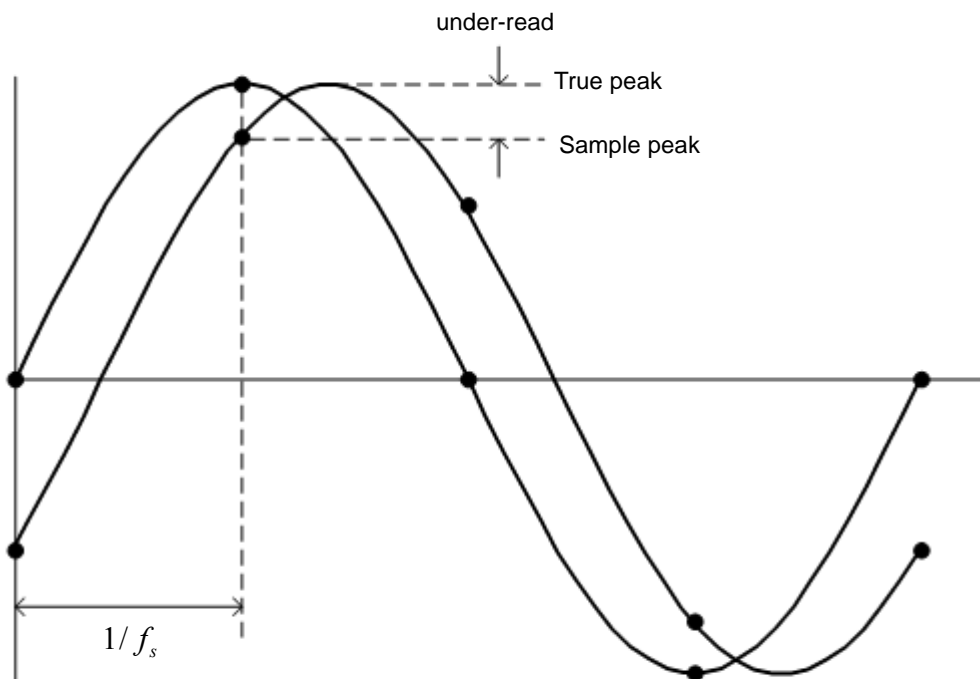


図 C4-2 サンプリングタイミングによるサンプルピーク値の違い

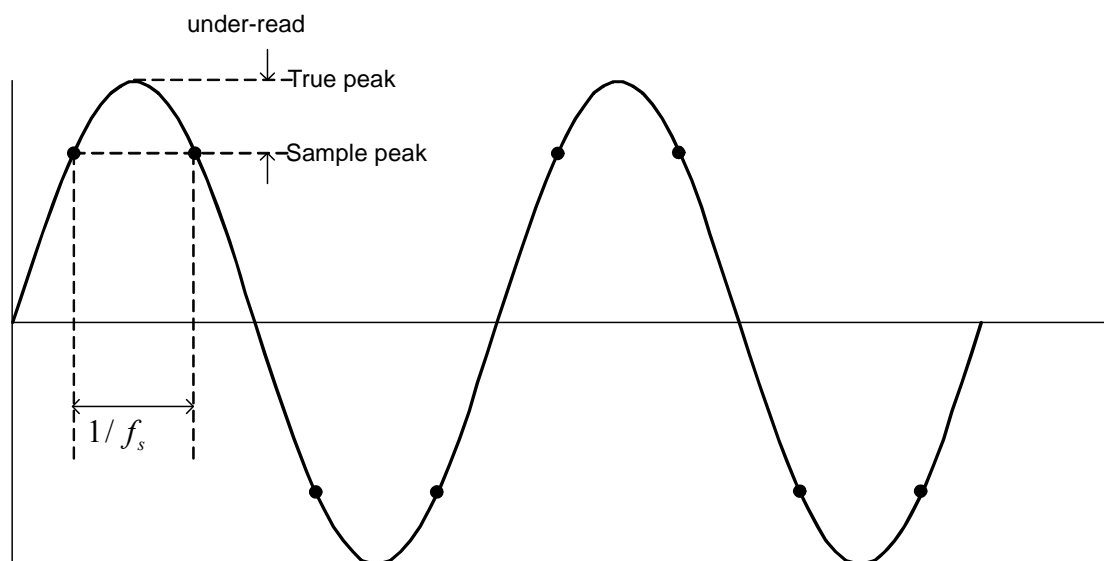


図 C4-3 サンプルピーク値とトゥルーピーク値との誤差が最大になる例

以上のことから、サンプルピークメータのピーク値が 0dBFS 以下であっても、実際の波形はサンプルとサンプルの間でピークとなっていて、D/A 変換（通常、受信機ではオーバーサンプリング技術を用いている）によりオーバーロードする波形として再現され、アナログ出力段で歪んでしまう可能性がある。

これを防ぐためには、オーバーサンプリング処理を用いてサンプルとサンプルの間の信号波形を補間し、サンプルピークメータでは測定することのできないトゥルーピークの値を検出・表示するトゥルーピークメータが必要である。

4.3 オーバーサンプリングの読み取り誤差

どのくらいのオーバーサンプリングが必要なのかは、

- ① どれくらいまで読み取り誤差を許容できるか
- ② 測定する最大周波数とサンプリング周波数との比を幾つにするかから導き出すことができる。

また、

- ・サンプリング周波数： f_s
- ・オーバーサンプリング倍数： n
- ・測定する最大周波数 f_{\max} とサンプリング周波数 f_s との比

$$(\text{maximum normalized frequency}) : f_{\text{norm}} = f_{\max} / f_s$$

とすると、

- ・ オーバーサンプリング倍数でのサンプリングの周期： $1/nf_s$
- ・ maximum normalized frequency の周期： $1/f_{norm}f_s$

となり、最大読み取り誤差は、下式で表すことができる。

$$\cdot \text{maximum under-read(dB)} = 20 \log(\cos(2\pi f_{norm} f_s / n f_s 2)) = 20 \log(\cos(\pi f_{norm} / n))$$

この式から表 C4-1 に示す、 $f_s = 48\text{kHz}$ の場合の読み取り誤差を求めることができる。

表 C4-1 n 倍オーバーサンプル時の最大読み取り誤差

	48000	48000	48000	48000	48000	48000	48000	48000	48000	48000	48000
f_{\max}	24000	21600	20000	16000	12000	10000	8000	6000	4000	2000	1000
f_{norm}	0.500	0.450	0.417	0.333	0.250	0.208	0.167	0.125	0.083	0.042	0.021
n	maximum under-read										
1	∞	16.113	11.740	6.021	3.010	2.011	1.249	0.688	0.301	0.075	0.019
2	3.010	2.379	2.011	1.249	0.688	0.474	0.301	0.169	0.075	0.019	0.005
4	0.688	0.554	0.474	0.301	0.169	0.117	0.075	0.042	0.019	0.005	0.001
8	0.169	0.136	0.117	0.075	0.042	0.029	0.019	0.010	0.005	0.001	0.000
10	0.108	0.087	0.075	0.048	0.027	0.019	0.012	0.007	0.003	0.001	0.000
12	0.075	0.060	0.052	0.033	0.019	0.013	0.008	0.005	0.002	0.001	0.000
14	0.055	0.044	0.038	0.024	0.014	0.009	0.006	0.003	0.002	0.000	0.000
16	0.042	0.034	0.029	0.019	0.010	0.007	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000

表 C4-1 から、測定する最大周波数 $f_{\max} = 20\text{kHz}$ の場合は、 $f_{\text{norm}} = 0.417$ となり、オリジナルサンプリング周波数 ($n=1$) では約 12dB、4 倍オーバーサンプリング ($n=4$) では約 0.5dB の読み取り誤差を生じる。オーバーサンプリング倍数が高いほど読み取り誤差は小さくなるが計算量は多くなる。 $f_s = 48\text{kHz}$ の場合は 4 倍オーバーサンプリングが適当であり、読み取り誤差を考慮して許容最大ピークレベルを -1dBTP としている。

4.4 トゥルーピーク運用基準の適用範囲と注意点

本技術資料の第 2 章で述べているトゥルーピークの運用基準は番組制作に適用する。

例えば中継番組のように、中継現場の制作で最大許容ピーク値 -1dBTP 以下を守っていても、中継現場から伝送されてきたデジタル信号を受信側の放送局で局内同期に合わせる (SRC でリサンプルする) 過程でサンプリングポイントが変わり、最大許容ピーク値 -1dBTP を超える可能性がある。しかし、制作時に最大許容ピーク値を守っていればトゥルーピークがオーバーロードすることはないので、受信側で再び許容範囲内に収めるために、番組全体のレベルを下げる必要はない。

参考資料 1 音声メタデータ

1.1 音声のメタデータ

デジタルテレビ放送での音声の特徴として、メタデータによる再生音声制御がある。送出する音声信号に対してメタデータを付加することで、受信機が再生する音声を家庭での視聴に適した品質に制御することが可能となる。

音声信号に関係するメタデータの代表的なものを上げると以下のようなになる。日本ではチャンネルモードとダウンミックスに関係するメタデータが使用されている。

- ・チャンネルモードに関するもの（モノ、ステレオ、二ヶ国語、サラウンドなど）
- ・ダウンミックスに関するもの
- ・ノーマライズに関するもの
- ・ダイナミックレンジコントロールに関するもの

1.2 欧米でのメタデータ運用

米国は音声フォーマットに AC-3 とこれを拡張した E-AC-3 を採用しており、メタデータによる音声信号処理が必須となっている。1項で上げた4つはすべて使用可能である。

ヨーロッパのデジタル TV 規格は ETSI で策定されており、複数の音声フォーマットが採用されている。EBU の HDTV 放送 (DVB-T2) では ETSI で採用している音声フォーマットの中から、米国と同じ AC-3/E-AC-3 と MPEG-4 AAC/HE-AAC の使用を推奨 (System A, System B) している。いずれも 1 項の 4 つのメタデータが使用可能となっている。

表 A1-1 欧米のデジタル TV 放送音声フォーマット

デジタル TV 規格	音声フォーマット
ATSC (米国)	AC-3, E-AC-3
DVB-T (欧州)	MPEG-1, MPEG-2 BC (5.1ch サラウンド)
DVB-T2 (欧州)	AC-3, E-AC-3, DTS, MPEG-4 AAC/HE-AAC(v2 含む)

1.3 メタデータによる音量コントロール

メタデータを使用する目的の一つに「音量コントロール」が上げられる。種々の番組の音量レベルをノーマライズ [注] することや、ダイナミックレンジをコントロールすることで、家庭での視聴に適した再生音声を作り出すことが可能となる。

[注] ノーマライズメタデータは、AC-3 では「ダイアログノーマライズ」、MPEG-2/4 AAC では「プログラムリファレンスレベル」と呼んでいる。

ノーマライズとダイナミックレンジコントロール (以後 DRC) はペアで使用することにより、

より効果的な“音量コントロール”が可能になる。図 A1-1、図 A1-2 にその動作概念を示す。

平均ラウドネス値の異なる番組を、ある基準レベルに合わせる（レベルシフト）のが「ノーマライズ」である。ノーマライズされた番組は、ある基準レベルを中心に再生されることになり、視聴者が行うボリューム操作を自動で行うのと同じ効果がある。

一方、番組のダイナミックレンジは様々であり、ノーマライズだけでは番組間の最大音量・最小音量の差を解消することはできない。このダイナミックレンジを家庭で視聴するのに適した範囲にコントロールするのが DRC である。簡単にいうと DRC メタデータで指定された範囲より大きい（又は小さい）レベルはコンプレッション（又はブースト）することで、家庭での視聴に最適な音声を提供することが可能となる。例えば、映画のようにダイナミックレンジが広い作品では、番組の平均ラウドネス値が -24LKFS 以下でも番組内の音量差が大きく、ボリュームコントロールが必要となる場合がある。このような場合でも、家庭での視聴に適した音声にコントロールすることができる。

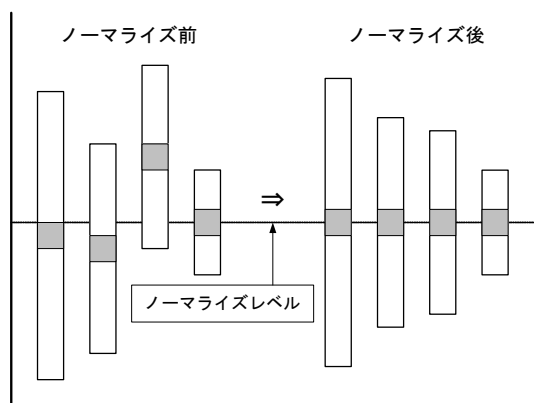


図 A1-1 ノーマライズの動作概念

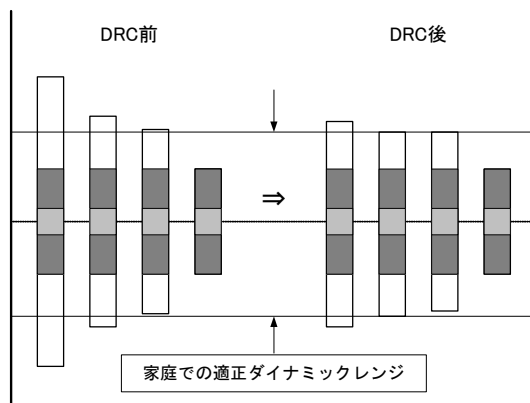


図 A1-2 DRC の動作概念

ノーマライズや DRC は音声信号を加工して送出するのではなく、受信機（デコーダ）に対する制御データとして送出する。視聴者がオリジナル音声で視聴したければこれらの機能を OFF にすればよい（機器によっては OFF 出来ない場合もある）。

1.4 メタデータとターゲットラウドネス値

図 A1-1 及び A1-2 から明らかなようにメタデータによる音声制御を行うと、制作時の番組の平均ラウドネス値と視聴者が実際に聴取する音声の平均ラウドネス値に違いを生じる場合がある。メタデータを使用した放送では制作時のラウドネス管理とともに送出時のラウドネス管理も重要になると考えられる。

デジタルテレビ放送番組におけるラウドネス運用規定
技術資料
ARIB TR-B32 1.0版

平成23年 3月 1.0版第1刷発行

発行所

社団法人 電 波 産 業 会
〒100-0013 東京都千代田区霞が関1-4-1
日土地ビル11階
電 話 03-5510-8590
F A X 03-3592-1103
