Camera & Imaging Products Association

カメラ映像機器工業会規格

Standard of the Camera & Imaging Products Association

CIPA DC-003 - 2003

デジタルカメラの解像度測定方法

Resolution Measurement Methods for Digital Cameras

2003 年 12 月 17 日制定

作　成

標準化委員会

Standardization Committee

発　行

有限責任中間法人カメラ映像機器工業会

Camera & Imaging Products Association

目　次

デジタルカメラの解像度測定方法

Resolution Measurement Methods of Digital Cameras

1. 適用範囲

CIPA 規格　DC-003(2003)（以下本規格）は民生用デジタルスチルカメラ（以下 DSC）に適用する。静止画の解像度をカタログ等に記載するには本規格に定められた測定法を用いる。

2. 引用規格及び文書

次に掲げる規格は，本規格に引用されることによって，本規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格は，その最新版（追補を含む）を適用する。

ISO12233: 2000 Photography - Electronic still-picture cameras - Resolution measurements

ISO7589: 2002 Photography - Illuminants for sensitometry - Specifications for daylight, incandescent tungsten and printer

3. 用語及び定義

a) 解像度 resolution 折り返りを除いてどこまで細かいパターンが解像できるかの限界。画面高さあたりの本数で表現する。

b) 折り返り aliasing 標本化周波数が画像信号の最高周波数の２倍より小さいときに，標本化周波数の高調波の周りの側帯波が重なって生ずるノイズ。（新版写真用語辞典 (株)写真工業出版社 1988）

4. テストチャート

4.1 ISO12233 解像度チャート

本規格は ISO12233 を基本とし，テストチャート（**図** 4.1，以下 ISO チャート）も ISO12233 用をそのまま利用する。ISO チャートには色々なパターンが含まれているが，本規格（視覚解像度）用には，水平方向に J1,K1，垂直方向に J2,K2，斜め 45 度方向に JD,KD のパターンを用いる。（IS012233 には 3 種類の測定法が記載されている。ISO チャートの入手方法と併せて，**9.　ISO12233 について**参照。）

ISO チャートを使用する場合，そのまま使わなくてもよい。必要な部分を切り出し，再配置したものを使用してもよい。

4.2 ISO チャートに記載された数字の意味

ISO チャートは有効高さ（**図** 4.1 を横長に見て太枠の内側の高さ）が画面いっぱいに撮影されたとき，パターンの数字×100 が画面高さあたりの本数になるよう作られている。必ずしも画面いっぱいに撮影しなくともよいが，この場合はキャリブレーションが必要になる（**5.2 フレーミング** 参照）。

4.3 ISO チャート以外のチャート

ISO チャートと同様のものを自作して使用してもよい。この場合は ISO12233 に定める以下の事項を満たさねばならない（ISO チャートは当然これらを満たしている)。

a) 白地部の反射率 Rmax と大面積黒部の反射率 Rmin の比が 80＞Rmax/Rmin＞40 であること (ISO12233 の 4.5) 。

b) 位置精度は各々のパターンが所定の位置に対して 0.2mm（画面高さの±0.1%）であること (ISO12233 の 4.8) 。

c) 線幅は±5%であること (ISO12233 の 4.8) 。

d) 双曲線パターン K1，K2 の最も細い部分(の白部と黒部)の反射率比 Rmax/Rmin が 18 以上であること。ただしこれは「推奨」レベル (ISO12233 の AnnexB) 。

透過型のチャートも使用可とする。この場合は上記項目の反射率を透過率に置き換えて解釈する。透過型を使用する際は拡散光で照明する。

反射型／透過型いずれの場合でも，評価用パターンは分光的にニュートラルでなければならない。

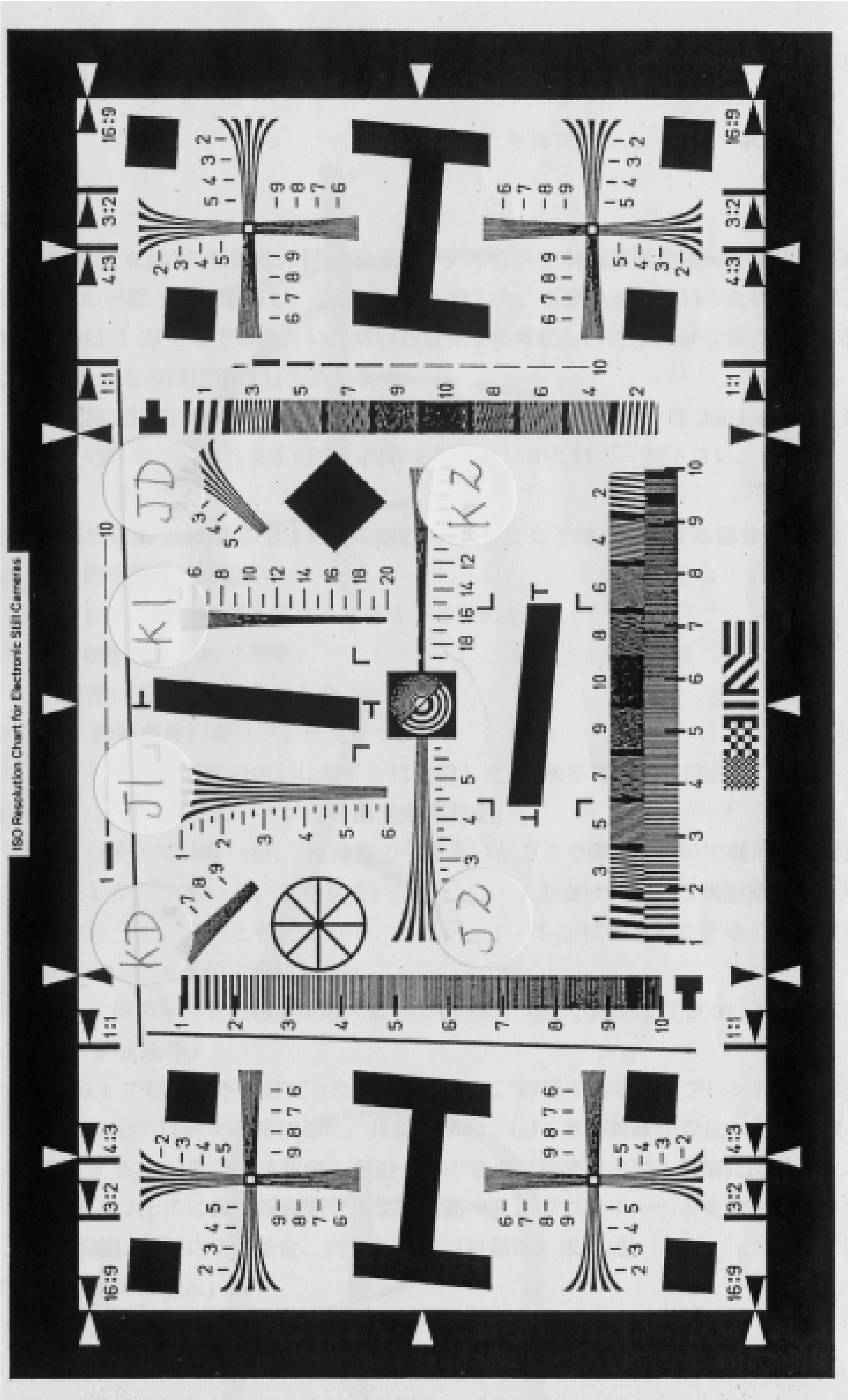


図 4.1　ISO12233 解像度チャート

5. 撮影条件

5.1 照明

光源は ISO7589 に準じて規定される，「昼光」（デフォルト）または「タングステン」を用いる。チャートはカメラが信号を出力するのに十分な明るさで照明する。チャートのどの部分でも，照度が中央付近の±10%以内に入るように照明する。照明光源から出た光がカメラレンズに直接入らぬよう注意する。チャートの周辺には反射率の低いものを配置し，フレア光の影響を最小にする。

5.2 フレーミング

チャートはカメラの焦点面と平行に，かつ横長に見たときの水平方向の太枠が画面の水平枠に平行になるようセットする。ISO12233 ではチャートの有効高さ（図 **4.1** を横長に見て太枠の内側の高さ）が画面いっぱいになるよう撮影する，としている。実際にはこのように撮影することはかなり難しいので，小さめに撮影してもよい。この場合は「画面全体の垂直画素数／画面中のチャート有効高さにあたる画素数」を乗算してキャリブレートする。

5.3 カメラ条件設定の原則

本規格にしたがって解像度を測定する場合，カメラのパラメータは工場出荷時の設定とすることを原則とする。工場出荷時の設定以外で測定した場合はその設定を明記する。もし工場出荷時の設定では確定できないパラメータがあった場合は，そのカメラのユーザーに使用される可能性が最も高いとメーカーが想定する設定で測定し，その設定を特定できる情報を明記する。

説明と例　工場出荷時の設定としたのは，その機種において最もユーザーが使用すると各社が考えている設定が，工場出荷時の設定と等しいであろうという前提に基づいている。しかし，工場出荷時設定では測定条件が確定できない場合がありうる。例えば機能切り替えダイヤルが on/off スイッチと共通で，「off→再生→標準画質撮影→非圧縮撮影」の順で切り換えられるカメラで，工場出荷時の設定が off であるような場合である。この場合はそのカメラのユーザーに使用される可能性が最も高いとメーカーが想定する条件（例えば標準画質撮影）で測定し，その設定を特定できる情報を明記する。

5.4 露光条件設定

特に規定しない。

5.5 フォーカシング

特に規定しない。

5.6 ホワイトバランス

カメラのホワイトバランスは照明光源に対し適切に調節されていなければならない。

5.7 ズーム位置

特に規定しない。

6. 測定条件

DSC の解像度は，前記 ISO チャートを撮影した画像をプリントしたもの，またはモニタに表示したものを視覚的に評価して求める。視覚的に評価するのと同様な処理を行うソフトウェアで評価してもよい。

6.1 プリント上での評価

ばらつきを極力少なくするため，次の 2 点を評価基準とする。

a) 視覚解像度評価パターンのくさび線数が変化（5 本→4 本のように）した空間周波数を解像度とする。単位は画面高さあたりの本数で表わす。

b) 観察の際は，必ず低い周波数側から追う。

プリント倍率は任意とする。

6.2 モニタ上での評価

ばらつきを極力少なくするため，次の 2 点を評価基準とする。

a) 視覚解像度評価パターンのくさび線数が変化（5 本→4 本のように）した空間周波数を解像度とする。単位は画面高さあたりの本数で表わす。

b) 観察の際は，必ず低い周波数側から追う。

モニタ観察時のズーム倍率は任意とする。

6.3 ソフトウェアによる測定

6.1， 6.2 はいずれも目視で解像度を評価する方法であるが，これらは簡便である反面，イ)個人差が入る，ロ)繰り返し再現性が保証されない，ハ)画像出力するディスプレイやプリンタに影響を受ける，等の欠点がある。これらの再現性やデバイス依存性の問題を避けるため，目視で視覚解像度を求めるのと同様な処理を行なうコンピュータソフトウェアで解像度を評価してもよいものとする。コンピュータソフトウェアで解像度を求めることは本規格制定時に委員より提案され，提供されたソフトウェアを各社（最終的には 10 社）がテストし，目視で求めたのと良い一致を得たので本規格書で取り上げることにした。ソフトウェアの概略は附属書 1 に，ソフトウェアに使用したアルゴリズム内容は附属書 2，附属書 3 に，テストの結果は附属書 4 に，各々示す。

附属書 1, 附属書 2 及び附属書 3 に示したソフトウェアは本規格書の電子ファイルが提供されているウェブサイト（web site）からダウンロードできる。なお同様のソフトウェアを自作して使用してもよい。

7. 表記事項

解像度の表記を行なう場合、説明あるいは宣伝媒体（以下媒体という）によらず以下に従うものとする。**7.2～7.4** の事項に関しては、仕様一覧、性能一覧などの欄に解像度を記載する場合は必ず記載するものとする。

7.1 解像度の数値

CIPA 解像度測定方法規格による測定法によって定められた条件下で計測された解像度のみを表記する。解像度が 600 本以上になるものは 50 本単位で表記するのが望ましい。50

本の根拠は附属書 4 に示す。

CIPA 解像度測定法規格による解像度の測定方向には(1)水平, (2)垂直, (3)斜め 45 度右上り, (4)斜め 45 度右下がりの 4 方向がある（斜め 45 度は右上がり／右下がりで数値が異なる場合がある）。この 4 方向のうち最も低い数値は必ず表記する。

それ以外の数値を表記する場合は、必ず近傍に最も低い数値を併記するものとする。

7.2 **解像度の測定方向**

複数の測定方向による数値を表記する場合に限り、解像度の測定方向を併記しなければならない。なお、簡単化のために「斜め 45 度右上がり」を「右上がり」、「斜め 45 度右下がり」を「右下がり」と表記してもよい。また、「斜め 45 度右上がり」、「斜め 45 度右下がり」のどちらか一方の数値を表記する場合は「斜め」と省略してよい。

7.3 **解像度の測定方法**

a)原則：撮影条件、テストチャート、測定方法を含め「CIPA 規格による」、「CIPA 準拠」、あるいは「CIPA」と簡略化して表記する。

b)例外：解像度が記載されているものと同一の説明・宣伝媒体、或いは別の媒体に CIPA 解像度測定方法に基づく測定結果であることが表記されている場合は、測定方法の表記を省略することが出来るものとする。

7.4 **カメラ条件**

カメラパラメータを工場出荷時の設定以外にして測定した場合は，その条件を解像度表記の近傍に表記する。（「**5.3 カメラ条件設定の原則**」参照）

7.5 **測定条件**

測定時にプリント，モニタ，ソフトウェアのどれを用いたかを併記してもよい。その場合は、解像度表記の近傍にこれを表記するものとする。（「**6. 測定条件**」参照）

8. **表記例**

解像度の測定結果が水平 1250 本，垂直 1200 本，斜め 45 度右上り 1150 本，斜め 45 度右下がり 1100 本の場合の表記例を以下に示す。

表記例 1) 最も低い数値のみを記載した例

解像度：1100 本（CIPA 準拠）

表記例 2) 最も高い数値と最も低い数値を記載した例

解像度：水平 1250 本，斜め 1100 本（CIPA 規格による）

表記例 3) 水平，垂直と最も低い数値を記載した例

解像度：水平 1250 本、垂直 1200 本，斜め 1100 本 （CIPA）

表記例 4) 全ての数値を記載した例

解像度：水平 1250 本，垂直 1200 本，右上り 1150 本，右下がり 1100 本（CIPA 規格による。モニタにて評価。）

表記例 5) カメラの条件を追加記載した例

解像度：1100 本（RAW 記録時，その他は CIPA 規格による。モニタにて評価。）

9.ISO12233 について

DSC の解像度測定法で 2000 年に成立した。本規格はこの ISO12233 に記載された 3 種類の測定法の一つである視覚解像度 visual resolution を標準測定法とするものである。

ISO12233 には視覚解像度のほかに，限界解像度 limiting resolution と空間周波数応答 spatial frequency response（SFR）の 2 つが記載されている。限界解像度は折り返りの影響を拾って異常に高い値を示すことがあることが，本規格制定のための実験で明らかになった。SFR は白／黒の境界をフーリエ解析するもので，ばらつきが大きいこと，視覚解像度や限界解像度とかけ離れた結果になることがあること，など欠点がしばしば指摘されている（例：岡野幸夫　日本光学会誌，5(6),p.582(1998)）。

ISO チャートは O.T.O リサーチ社(〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 1-34-12 竹内ビル Tel. 03-3208-7821,Fax 03-3200-2889)から入手できる。技術的な問い合わせについては ISO/TC42 日本国内協議会(〒102-0082 東京都千代田区一番町 25 JCII ビル　写真感光材料工業会内 Tel. 03-5276-3561,Fax 03-5276-3563)で受け付けることになっている。注文の際には「ISO12233 電子スチルカメラ用解像度チャート」と指定する。

附属書 1（参考） 限界解像判定ソフトウェア HYRes の概略

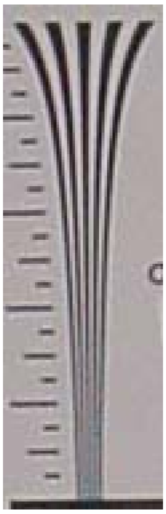
本文中で述べたように，コンピュータソフトウェアで視覚解像度を求めることが本規格制定時に委員の一人より提案されたので，提供されたソフトウェアを各社でテストした。その結果，目視で求めた解像度と良い一致を得たので本規格書に含めた。ここではソフトウェアの概略を述べる（アルゴリズムの詳細は附属書 2 に示す）。本規格書ではこのソフトウェアを HYRes と呼ぶ。

1. 前処理・切り出し

HYRes は BMP ファイルフォーマットに対応している。これ以外のフォーマットで記録された画像データは，事前に適当な画像処理ソフトウェアでフォーマット変換しておく。画像ファイルを HYRes で読み出し，視覚解像度評価パターンの部分を切り出す。HYRes は附属書 1 図 1 のように主走査方向がくさびを横切る形にデータを持ち，演算を行なっている。垂直か斜め 45 度がくさびを横切る場合，HYRes はデータを自動判定し，回転させてから，計算処理を行なっている。45 度回転は手法によって解像度に影響が出ることが予想されるので，次の 2 点を原則とした。

a) 間引かない：情報が欠落するので間引かない。
b) 補間は前置補間とする：補間で新たな画素を発生させる際，両隣を平均すると白と黒の間の画素はグレイになる。元々なかった色が生じるのは解像度測定に好ましくない影響が出るおそれがあるので，補間は前置補間とする。

これら 2 点を原則にした 45 度回転のアルゴリズムを附属書 3 に示す。



附属書1 図 1

2. メイン処理･くさび線数変化の検出

本ソフトウェア HYRes は目視で評価する場合の二つの基準，すなわち，

a) 視覚解像度評価パターンのくさび線数が変化（5 本→4 本のように）した空間周波数を解像度とする。単位は画面高さあたりの本数で表わす。

b) 観察の際は，必ず低い周波数側から追う。

のふたつをソフトウェアで行うものである。附属書 1 図 1 に沿って説明する。

切り出した画像中のくさび線数（5 本または 9 本）が演算に必要となるので，手入力する。

まずくさび開始ライン検出を行う。画像は附属書 1 図 1 のように，主走査方向がくさび線を横切るように前処理されているので，画像データを上端から水平にスキャンしてくさびが始まるライン WSL を検出する。1 ライン読んでは最小の 3 値を選び出し，その 3 値の平均値とライン全点の平均値との差が最初のラインの 5 倍になったときにくさびが始まったと解釈することで行う。

くさび線数のカウントにはそのままスキャンを続け，各ラインの極大値，極小値を検出する。このときノイズやうねりの影響を除くため，ある閾値未満の変化は無視するようにした。閾値は 1 ライン全点の平均値と，最も小さい 3 点の平均値との差，の 1/4 に初期設定する。スキャンするラインが高周波に移って最初の閾値設定では検出できなくなったときに閾値を序序に減少させせて検出を繰り返すようにした。このようにして極小値と極大値を数える。このようにして数えた黒線数が，最初に手入力したくさび線数と一致しなくなったとき，そのラインを解像度限界ライン LML とする。

さらにスキャンを続け，くさびパターンの最終ライン WEL を見つける。これは各ラインの振幅を求め，ひとつ前のラインの振幅に比して，急激に減少したときをもって判断する。

3. 演算処理

最後に WSL，LML，WEL を用いて解像度を計算する。ISO チャートの視覚解像度パターンは空間周波数が長さ方向にリニアに変化する，いわゆるリニアスイープチャートである。その長さは有効画面高さ(20cm)の 0.3 倍(=6cm)である。ISO チャートは本来有効画面高さが撮影画面高さいっぱいに撮影されるように設計されているが，必ずしもこのように撮影しなくても，画面全体の高さ PHT とくさびの長さ(WEL- WSL)の比と 0.3 の積を補正係数 C として，解像度を求める。

5 本くさびの場合

$$\text{解像度} = (100 + 500 \times (LML - WSL) / (WEL - WSL)) \times C \quad \cdots \quad (1\text{-}1)$$

9 本くさびの場合

$$\text{解像度} = (500 + 1500 \times (LML - WSL) / (WEL - WSL)) \times C \quad \cdots \quad (1\text{-}2)$$

ただし，C は補正係数

$$C = 0.3 \times PHT / (WEL - WSL) \quad \cdots \quad (1\text{-}3)$$

附属書 2（参考） HYRes の限界解像判定アルゴリズムの説明

1. はじめに

画像データをソフトウェア解析する手法は，出力デバイスや測定者に依存しないから，原理的に再現性の高い結果を期待できる。ただし必須要件として，従来から使用され実績ある方法，目視による視覚解像度法（以下目視法）との相関がとれねばならない。

ソフトウェア法による結果は如何なる出力デバイスによってもこれ以上は再現できないという画像データの情報限界を示すものと解釈するとすれば，充分な性能の出力デバイスを使用した場合の目視法による測定結果とはほぼ同じ結果が得られる必要がある。

HYRes による処理は，測定者が解像限界点を目視判定するときとほぼ同じ判定アルゴリズムを採用したことを最大の特徴としており，目視法との高い相関が得られることは実験でも確認済みである（附属書 4 参照)。

以下，HYRes のアルゴリズムを附属書 2 図 1 から附属書 2 図 3 までのフローチャートを参照しつつ説明する。

2. 処理の概要

HYRes は，附属書 1 図 1 に例示したようなくさびパターンを含む矩形領域のデータに対して，水平を主走査方向として前述の線数の検出を行い，垂直を副走査方向として周波数スイープを行うことにより，解像限界の空間周波数を求める。

a) 附属書 2 図 1 は，HYRes による解像度測定のメインフローである。

b) 附属書 2 図 2 には，メインフローの m05 に当たるくさび開始ライン WSL 検出のサブフローSR1 と，解像本数算出の式を示す。

c) 附属書 2 図 3 は，メインフローの m10 に当たる黒線検出のサブフローSR2 を示す。

＊ ここでは，水平方向座標 i は右向きを正，垂直方向座標 j は下向きを正にとるものとし，画像全体の垂直画素数を PH t , 切り出された矩形画像の水平, 垂直画素数をそれぞれ Lx+1, Ly+1 とする。また画像データは明るいほど数値が大きいものとする。

3. メインフロー

附属書 2 図 1 に基づいて説明する。処理ステップ m01，m02 で画像データを読み込み，m03 でデータの白部分（ここでは最上行）の平均値を背景白レベル BWL とする。さらに m04 で同じ部分からノイズレベルとして最小 3 値の偏差平均値を取得する。これは後段でスレッシュホールドの設定に利用される（偏差平均値とは，「偏差」すなわち「各データと全体平均値との差分」の平均値のことである)。次の m05 ではくさびの開始ライン WSL（上端）を検出する。これはくさびの長さ検出と，解像限界判定ループの開始行に用いる。次の m06 では WSL に数行（2～3 行）を足して，解像度限界判定ループの開始行をずらしているが，これは例えば垂直アパーチャなど各種画像処理の影響による動作不良を回避するためである。

m07，m08 では解像限界判定ループで使用する各スレッシュホールドレベルの初期値を設定している（これらはループ中で再設定される）。m09 ではその他一般的なパラメータを初期化している（なお，上述の最小３値の偏差平均値は，白黒波に対しては「全振幅の半分＝半振幅を平均値と黒レベルとの差として測定したもの」とも見なせるため，黒側半振幅とも称している）。

m10 以下で解像限界の判定を行う。後述する SR2 の処理によって，各行毎に黒線数 BCT を取得する。この SR2 での黒線数の取得が目視で線数を数えることに相当している。m11 はその黒線数が本来のくさび線数 WCT と等しいかどうか判定する分岐である。等しければ m23～m25→m10 の行更新ループによって，次行の判定に移行する。また一旦等しくないと判断された場合は，m12 の分岐により始まる m28→m29→m10 の閾値更新ループにより，黒線判定のスレッシュホールドレベル ETH1 を引き下げて再判定する。

最終的には，検出された黒線の数 BCT が，くさびの本数 WCT に一致しなくなった時に，その直前の行を解像度限界行 LML として検出する（m14）。この後はくさび下端の検出のために黒線が 1 本も検出されなくなるまで m16 の分岐により m31～m33 を経由して行更新ループを繰返し（その間処理ステップ m13→m16 ジャンプ），m16 によって黒線なしが判定されたらこの行をくさび下端 WEL として検出する。

以上のようにして求めたくさび開始行 WSL 及びくさび下端行 WEL および解像限界行から解像本数を求める。この解像本数は，各くさびタイプ WCT に合わせてそれぞれの式（附属書 2 図 2 の「解像本数算出」）で求められる。これらの 2 式の意味については附属書 2 図 2 に記したとおりである。

なお，解像度限界行 LML がくさび下端行 WEL から 3 行以内にあれば，“ 全解像 ” と表示してチャート倍率の変更を促し，処理を終了する（m22→m36）。このケースは，垂直アパーチャの影響などで測定が不安定になる可能性を懸念したためである。一方，くさび下端行 WEL が解像限界行 LML よりも大きくなければ（m23 や m31 から分岐したエラー処理を経た場合これに該当），“ 測定不能 ”のエラーを表示して処理を終了する（m19→m35）。

4. くさび開始ライン WSL 検出のサブフローSR1

附属書 2 図 2 に基づいて説明する。基本的には各ライン(j)を順に調べ，当該ラインの振幅（ここでは最小 3 値の偏差平均値［黒側半振幅］を採用）が所定値 ETH0 よりも大きくなるところを検出し（s104），これを WSL とする（s105）。検出スレッシュホールド値 ETH0 は s101 にて指定（ここでは m04 で求めたノイズレベル NL の 5 倍を使用）している。s102 は次行への移行（インクリメント）であり，s103→s106 の分岐は開始ラインが検出できなかった場合のエラー処理である。

5. 黒線検出（黒線数 BCT 取得）のサブフローSR2

附属書 2 図 3 に基づいて説明する。本フローは特に重要であるため，具体的な制御の説明に先立ち意図について述べる。

人が白黒線数を目視で認識する過程では，測定者自身が意識することは無くとも極めて

高度な判断が行われている。具体的にはまず，くさびの高周波領域，特に解像度限界付近では振幅が極めて小さくなるため，白黒線に対応する輝度変化の局所的な振幅が，カメラの周波数特性やシェーディングの影響でくさび全体に生じるうねり（低周波の輝度変化）に比して小さくなる場合がある。このような場合，例えばある黒線の値（輝度極小値）の方が別の白線の値（輝度極大値）よりも大きいといった状態が生じ得る。人の目はこのようなシェーディング等によるうねりが存在しても，これに影響されずに，局所的な変化に反応してくさびの白黒の線を認識することができる。

またその一方で，くさびの低周波領域（振幅が大きい領域）では，その白黒エッジ付近にはカメラの周波数特性（特にエッジ強調処理）の影響でかなり大きな振幅の波状の輝度変化（リンギング）が付随することが多い（この輝度変化は限界解像度付近のくさび画像の振幅［輝度変化］よりはるかに大きいこともめずらしくない）が，この場合でもリンギングの振幅が当該低周波のくさび画像の輝度振幅に比して充分小さければ，人の目はこれを正しく無視する。また，この他画像全体に重畳されている一般のノイズ（ランダムノイズなど）についても，当該周波数におけるくさび画像の振幅（輝度変化）よりも小さい場合は同じく無視される。すなわち，人の目はくさび画像としての輝度変化より小さな変化は無視することで，ノイズ等によるレベルの変化とくさびのパターンとは混同せずに正しく白黒の線を認識する。

HYRes の黒線検出のアルゴリズムは，上記のような高度な認識作用を簡単な処理で実現するものである。

本サブフローの構成は大きく３つに分けられる。s201～s218 の右端黒線検出，s219～s236 の左端黒線検出，s237 以後の中間黒線検出である。すなわちくさびを構成する複数の黒線を，右端，左端，中間の順に認識して数を数える。両端を分けるのは，上述のリンギングの影響回避のためである。まず，基本である中間黒線検出から説明する。

基本的には１ライン中の輝度データ変化を解析し，極小値として黒線を検出する。ただし上述のようにノイズ等による相対的に小さな変化を無視するために，所定値以上の累積変化があった場合にのみ変化を認めるような処理が必要になる。このため, 局所最大値 LMx からの ETH１を超えた減少（s238）または局所最小値 LMn からの ETH１を超えた増加（s239）のみを有効な増減として検出するようにした。局所最大値 LMｘおよび局所最小値 LMｎとは，上記の（閾値 ETH１を越えた）有効な変化が検出された時にそのデータの値にリセットされる（s246, s247）が, 有効な変化が検出されない場合はそのデータ値が LMn より小さい場合に LMn がその値に更新され（s248），LMx より大きい場合に LMx がその値に更新される（s249）ものであるから,「前回有効な変化が検出されて以来現在までのデータに関する最大値および最小値」である。このような局所最大値と局所最小値に対する所定の閾値以上の減少または増加のみを変化として検出することで，ノイズやうねりの影響を排除しつつ極値として白黒線が検出され得るようになっている（したがって, 閾値 ETH１は，変化の検出感度に相当するものと言える）。

そして黒線の検出（極小値の認識）自体は，減少判定（s238→s246 によるフラグ設定 z(i)=0）後の増加判定（s239→s247 によるフラグ設定 z(i)=1）を，s243 によって検出して行なっている。極小値が検出されない限り，s244，245→s238 のループによって，次列の判定を繰り返す。

極小値を検出したら，該当する列位置である i-1 を当該行 j の黒線位置の一つとして登録し（s250：情報利用の便宜のため，必須ではない）ｓ251 黒線数 BCT を１追加する。

この黒線検出の判定に用いる閾値 ETH1 の値は上述のとおりメインフローにおける m27～m28→m10 の閾値更新ループによって，必要に応じて適宜減じられていく。すなわち測定動作実行初期の低周波領域の白黒検出時には閾値 ETH1 を比較的大きな値とし，検出が高周波領域に移行していくに従って，それまでの閾値によって所定の線数が検出不能になった場合に限り閾値 ETH1 の値を減じて検出を繰り返す。

この中間黒線検出に先立つ左右両端の検出はほぼ同様に行なわれるが，主な相違点は，

- 検出はくさびの外側から内側に向けて行うため，右端検出については走査が左右逆向きになる（s210）。右端の位置を順方向走査時の範囲限界 BEnd に登録する（s218）。
- リンギングの影響を回避するため，減少判定だけは ETH1 とは異なる閾値 ETH2 を使用する（s204，s221）。なお，ETH2 の値はメインフローm25 または m32 において当該行の振幅に基づいて（ここでは黒側半値幅の 1/4 を採用）決定される。
- 走査の開始位置を各行(j)毎に指定し直す（s213，ｓ230）。これは目視読取りのためにくさびに付帯しているスケール（目盛）画像を避けて走査するための措置である。すなわち，このステップは s204（s221）で当該行のくさびの右端（左端）を検出して分岐したものだから，その時点の i（検出された端値）から，スケール部にかからない範囲で多少の余裕を見て数画素程度くさびの外側にシフトした位置を指定している。

等である。

このようにして，まず右端（s201～s218）次に左端（s219～s236）そして中間（s237 以後）の順に黒線を認識して，中間黒線検出における s245 において走査領域が，走査の範囲限界 BEnd に達したら当該行に関する黒線検出を完了する（s245～s253）。

6. まとめ

以上まとめれば，HYRes の解像限界判定アルゴリズムは以下の特徴を有し，従来為し得なかった，目視判定とほぼ等価な判定をソフトウェアで行うことを可能にしている。

- 基本的にデータの変化（極値）にのみ基づいて黒線検出を行うから，シェーディング等によるうねりが存在していても，影響されることなく波（黒線）を検出できる。
- 各周波数領域に応じてノイズの影響を適応的に排除し，最終的には（限界解像周波数では）ETH１=0 で検出を行うから，レスポンスが最小となった状態の輝度変化まで検出することができる。すなわち，全周波数領域にわたってかつ限界までくさびのパターンのみを検出できる。

スタート

画像データY(i,j)読み込み　m01

くさびタイプ（本数WCT）および
全画像高PHt読込み（手入力値より）　m02

背景白レベルBWL取得
（ただし画像上端行の全平均）　m03

背景ノイズレベルNL取得
（ただし画像上端行の最小3値の偏差平均）　m04

くさび開始ライン（WSL）検出　m05(SR01)

読取り判定開始行(注)DtSt設定
（DtSt = WSL + JOFS）　m06

注)開始行は斜め処理の場
合さらに係数を乗じる

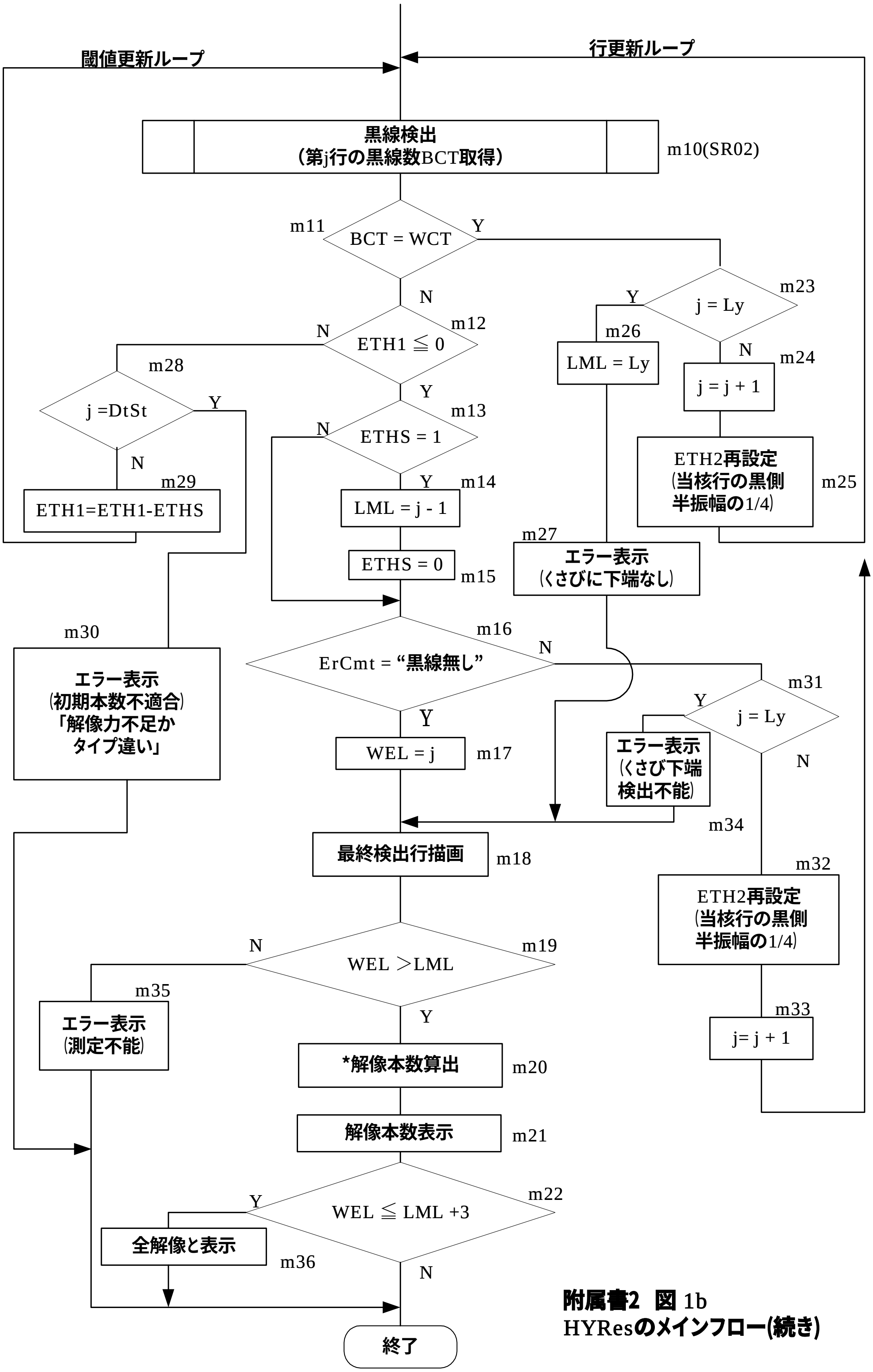
ETH2の初期設定：
開始行の黒側半振幅（ただし最小3値の偏差平均）
の1/4に設定　m07

ETH1の初期設定
ETH1 = ETH2　m08

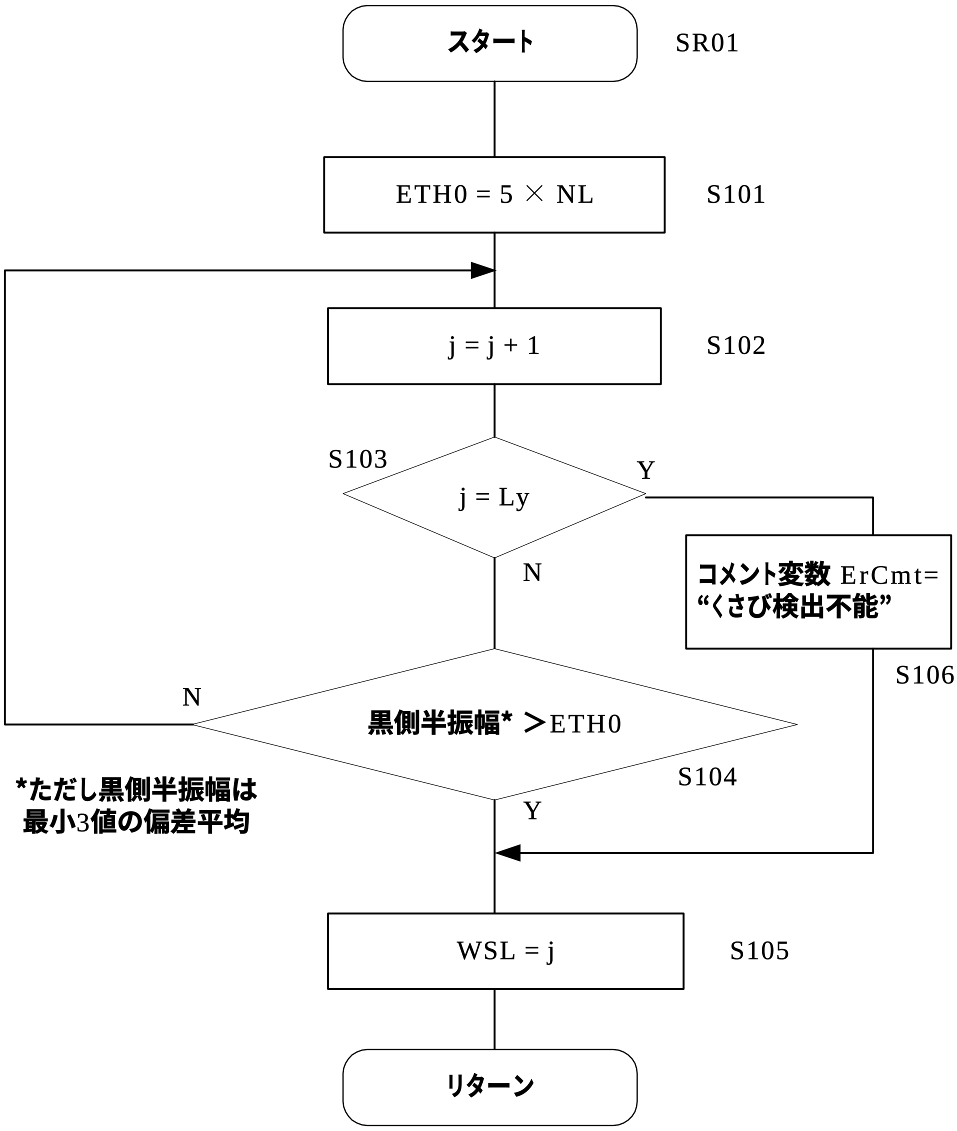
各種パラメータ初期化　m09

・解像限界行 LML=0
・TH値可変ステップ　ETHS=1
・くさび下端行WEL=WSL(開始行)
・順走査初期位置(走査左端)iLst=0
・逆走査初期位置iRst=Lx
＊0, Lxは切出し画像左右両端に対応

付属書2 図1a HYResのメインフロー（図1bに続く）



附属書2 図 1b
HYResのメインフロー(続き)



附属書2　図2
くさび開始ラインWSL検出のサブサローと解像本数算出の式

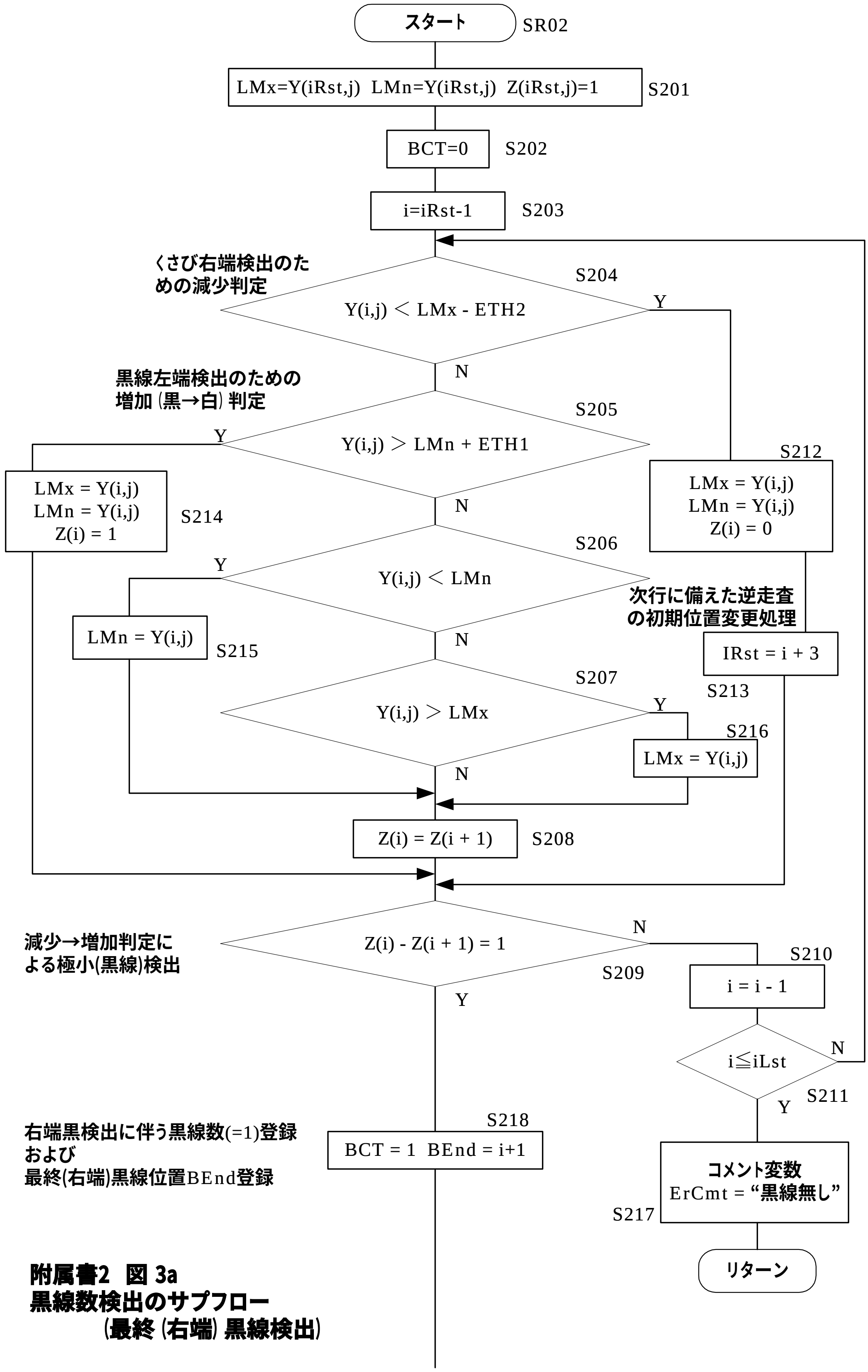
解像本数算出の式

WCT=5（5本くさびの場合）

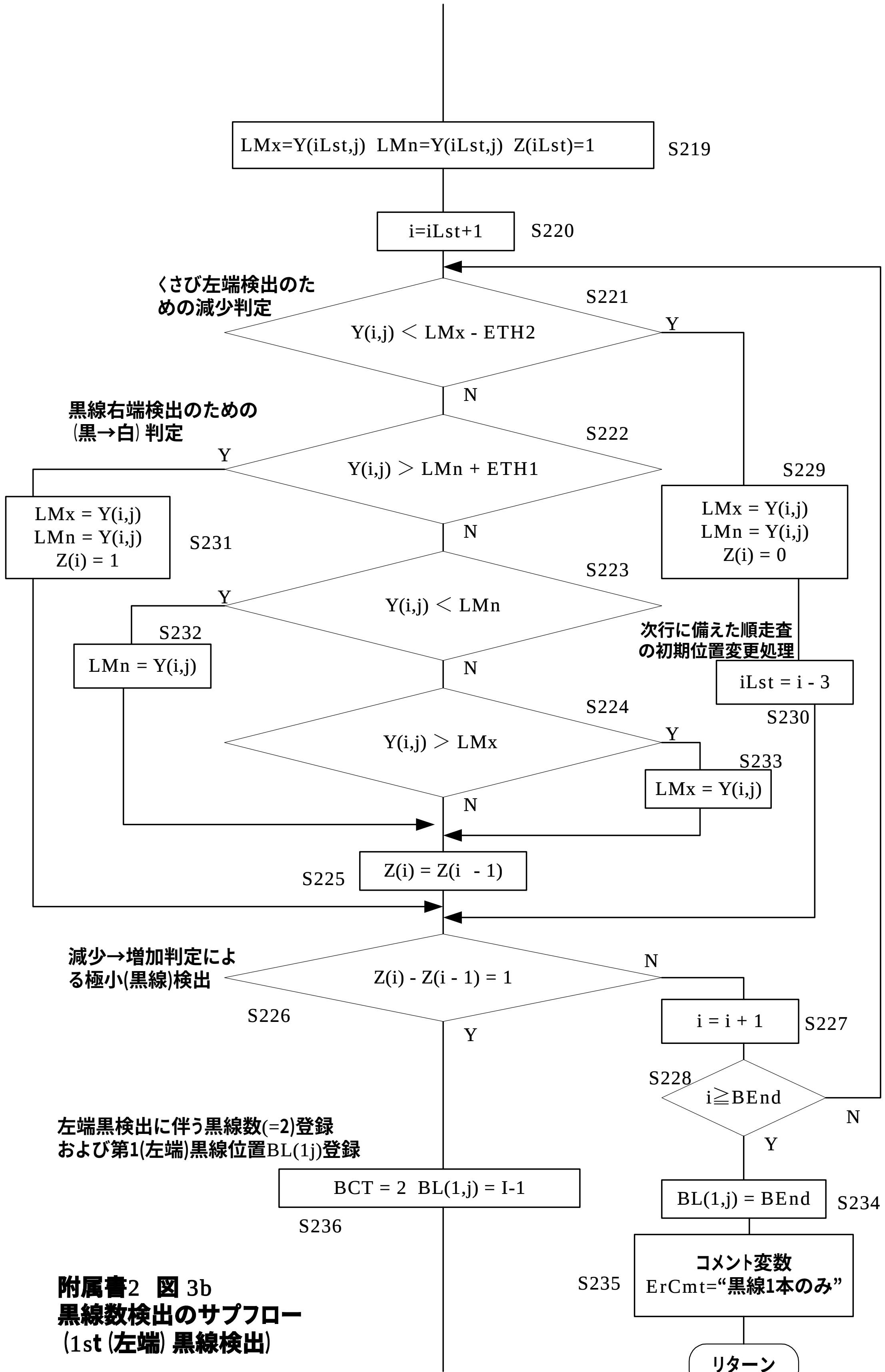
$$Res = \frac{100 + 500 \times (LML - WSL)/(WEL - WSL)}{10/3 \times (WEL - WSL)/PHt}$$

WCT=9（9本くさびの場合）

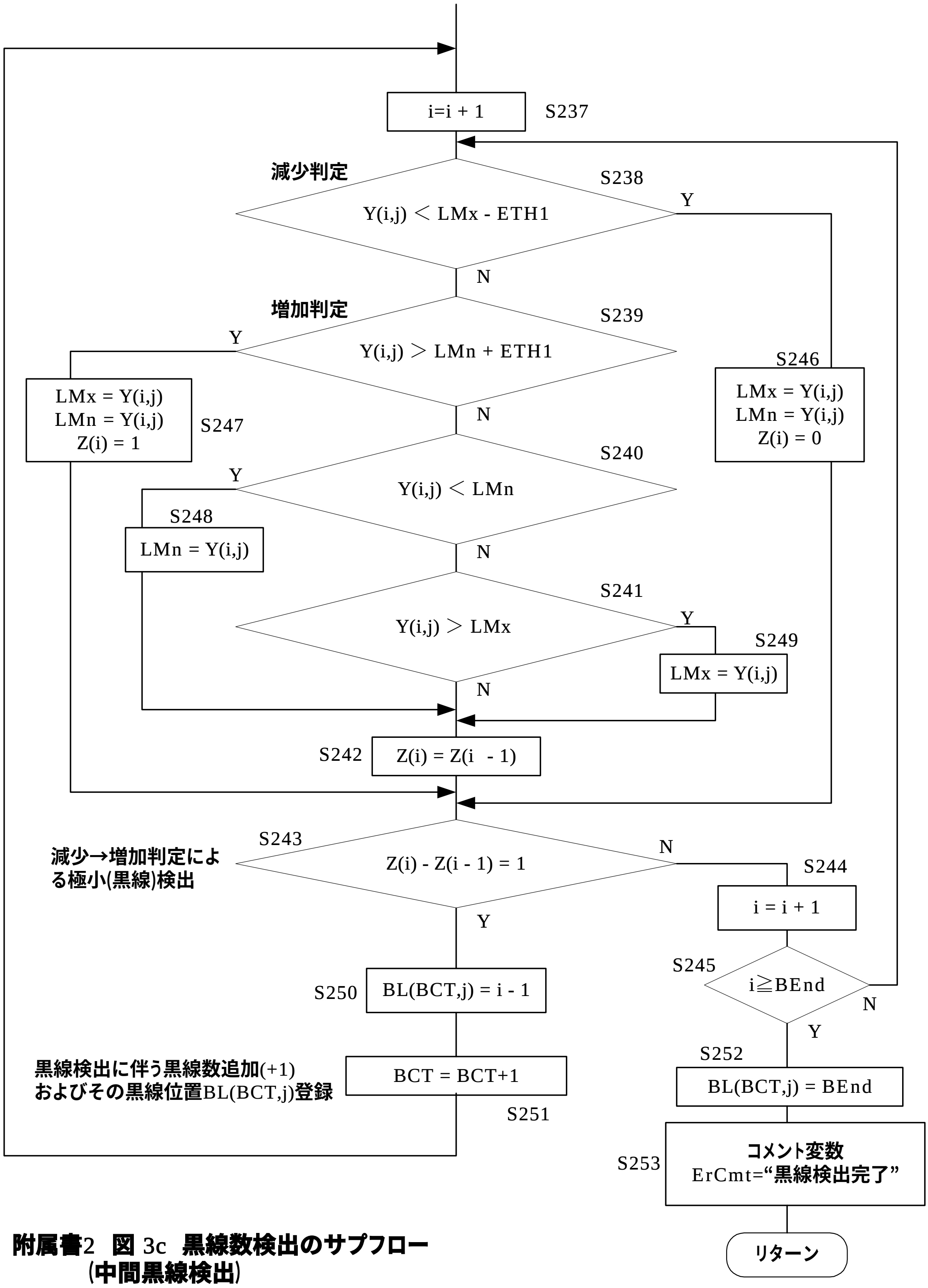
$$Res = \frac{500 + 1500 \times (LML - WSL)/(WEL - WSL)}{10/3 \times (WEL - WSL)/PHt}$$



附属書2 図 3a
黒線数検出のサブフロー
（最終（右端）黒線検出）



附属書2 図 3b
黒線数検出のサブフロー
（1st（左端）黒線検出）



附属書2　図 3c　黒線数検出のサブフロー
(中間黒線検出)

附属書 3（参考）解像度測定用 45 度画像回転アルゴリズムの説明

1. 背景

視覚解像度と同様な処理を行うソフトウェア HYRes については附属書 1，附属書 2 で述べた。HYRes のメインアルゴリズムは水平方向の解像度を判定するよう作られているので，垂直および斜め 45 度方向の解像度を判定する際には，メイン処理前に内部で画像を回転させている。90 度の回転は特に説明しないが，45 度の回転は何らかの補間（前置補間も含む）が必要になる。補間手法は解像度に影響すると考えられるので，標準的な手法を定めておく必要がある。

そこで前置補間を前提に以下を記載する。

2. 処理方法

次の 2 点を考慮した。(1)45 度回転を行うときに画素を間引くと情報が欠落するので，間引かない。(2)画素数を増やす際，両隣を平均すると，白と黒の間の画素はグレイになる。元々なかった色が生じることは，好ましくない影響の恐れがあるので，前置補間とする。

これら 2 点を考慮した 45 度回転アルゴリズムを HYRes に組み込んだ。附属書 3 図 1，附属書 3 図 2 に処理前後の様子を示す。この例では時計方向に回転させているが，半時計方向の回転ももちろん可能である。

5	10	15	20	25
4	9	14	19	24
3	8	13	18	23
2	7	12	17	22
1	6	11	16	21

附属書 3 図 1　**45 度回転前の配列**

				5				
			4	5	10			
		3	4	9	10	15		
	2	3	8	9	14	15	20	
1	2	7	8	13	14	19	20	25
1	6	7	12	13	18	19	24	25
	6	11	12	17	18	23	24	
		11	16	17	22	23		
			16	21	22			
				21				

附属書 3 図 2　附属書 3 図 1 **を時計方向に 45 度回転させた例**

水平方向画素数 Lx，垂直方向画素数 Ly の画像を時計方向に 45 度回転させる場合は元の画像データ X(i, j) から式(3-1)，(3-2)を用い，二つのデータを生成することで行う。

$$Y(Ly + i - j,\ i + j) = X(i, j) \qquad (3\text{-}1)$$

$$Y(Ly + i - j,\ i + j + 1) = X(i, j) \qquad (3\text{-}2)$$

反時計方向に 45 度回転させる場合は元の画像データ X(i, j) から式(3-3)，(3-4)を用い，二つのデータを生成することで行う。

$$Y(i + j,\ Lx - i + j) = X(i, j) \qquad (3\text{-}3)$$

$$Y(i + j,\ Lx - i + j + 1) = X(i, j) \qquad (3\text{-}4)$$

附属書 4（参考） 本規格制定にあたり実験で確認した事項

本規格制定時に有志委員 5 名でいくつかの実験を行なった。有志委員名は解説参照。

1. 目視で視覚解像度を判定する際のばらつき（プリントおよびモニタ上）

測定器を使わず目視で解像度を評価することは簡便である反面，個人差が入ったり，繰り返し再現性が保証されない等の欠点がある。実際にどのくらいばらつくかを調べておくことは重要と考え，テストした。

本規格で解像度を 50 本単位にまるめることにした根拠はこの実験結果である。

1.1 プリント上で目視評価したときのばらつき

18 種の DSC で ISO チャートを撮影した画像を，富士写真フイルム製 PG4000 プリンタで A3 サイズにプリントし，有志委員が視覚解像度を評価した。結果を附属書 4 表 1，に示す。

	平均	標準偏差
水平	57.9	37.5
垂直	78.5	36.1
斜め 45 度	75.7	55.1

附属書 4 表 1　**プリント上視覚解像度のばらつき本数（ばらつき＝最大値－最小値）**

1.2 モニタ上で目視評価したときのばらつき

プリント上で視覚解像度を評価した後，同じ画像データを有志委員が各自のモニタ環境で見て視覚解像度を求めた。拡大倍率等の条件は任意とした。１名だけが液晶モニタ，他４名は CRT モニタで評価したが差はなかった。結果を附属書 4 表 2，に示す。

プリントで評価したときよりもばらつき，すなわち標準偏差が小さいが，メンバーが評価に慣れたことも因子の一つと考えられる（同じ人が繰り返し評価すればばらつきを小さくできると考えられる）。

	平均	**標準偏差**
水平	59.9	28.1
垂直	72.1	37.3
斜め 45 度	68.7	43.5

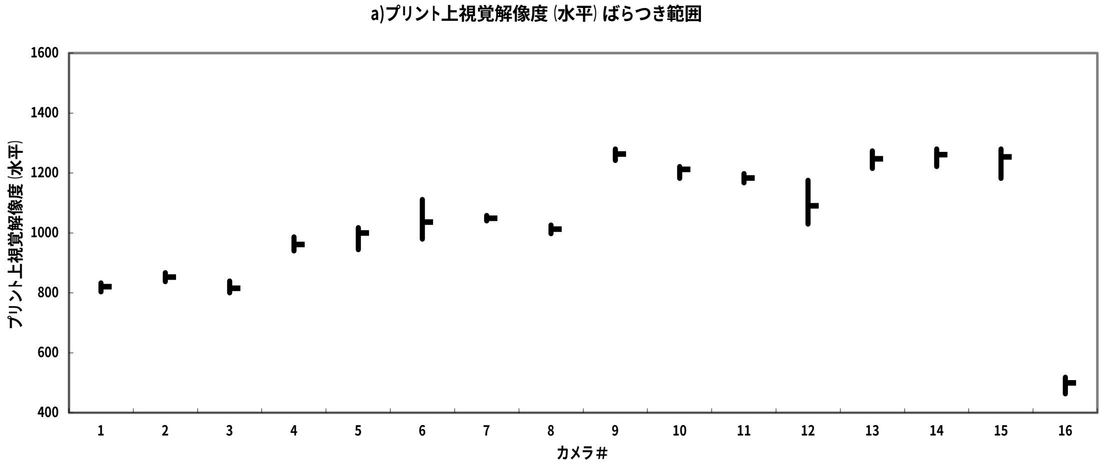
附属書 4 表 2　**モニタ上視覚解像度のばらつき本数 (ばらつき＝最大値－最小値)**

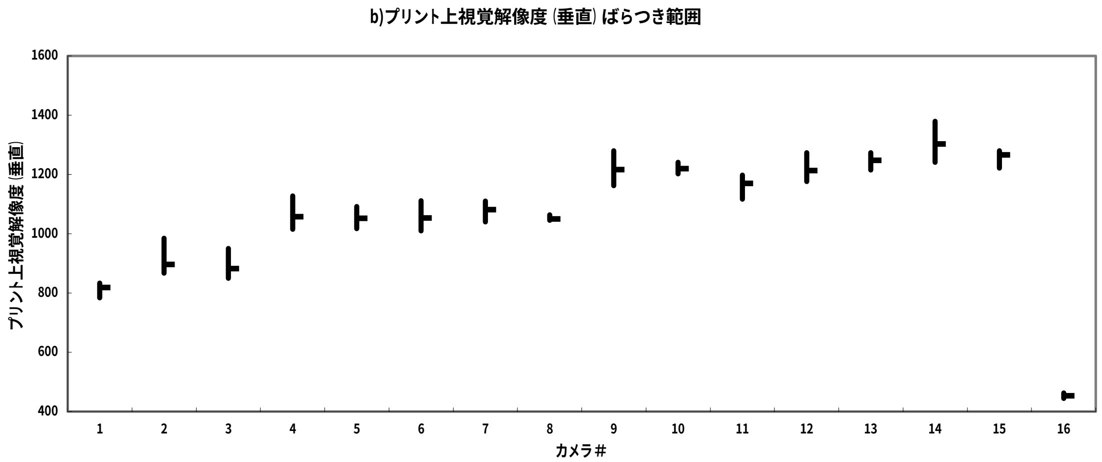
2. 視覚解像度をコンピュータソフトウェアで行う場合の目視判定との差

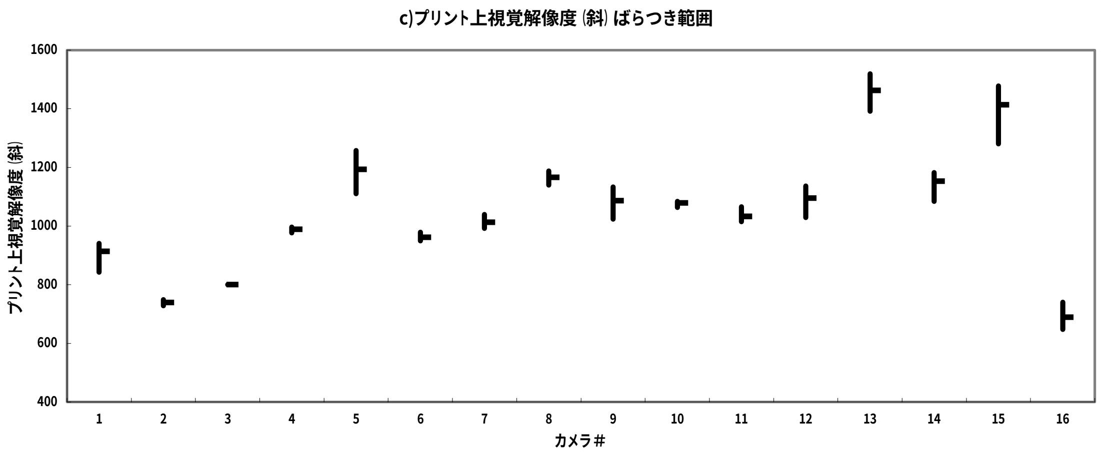
コンピュータソフトウェア HYRes2 の算出値と，モニタ上で求めた視覚解像度(委員 5 名の平均値)を比較した結果を附属書 4 表 3，に示す。まずまずの一致を示したので，ソフトウェアで視覚解像度を測定してもよいと判断した。

	平均	**標準偏差**
水平	26.1	16.1
垂直	19.8	22.8
斜め 45 度	29.5	19.2

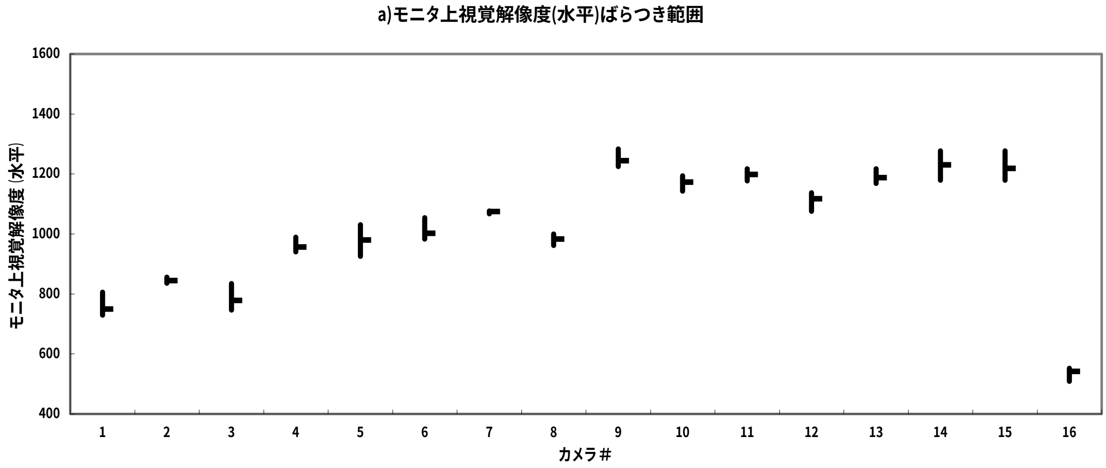
附属書 4 表 3　**モニタ上視覚解像度とソフトウェア算出値の差**

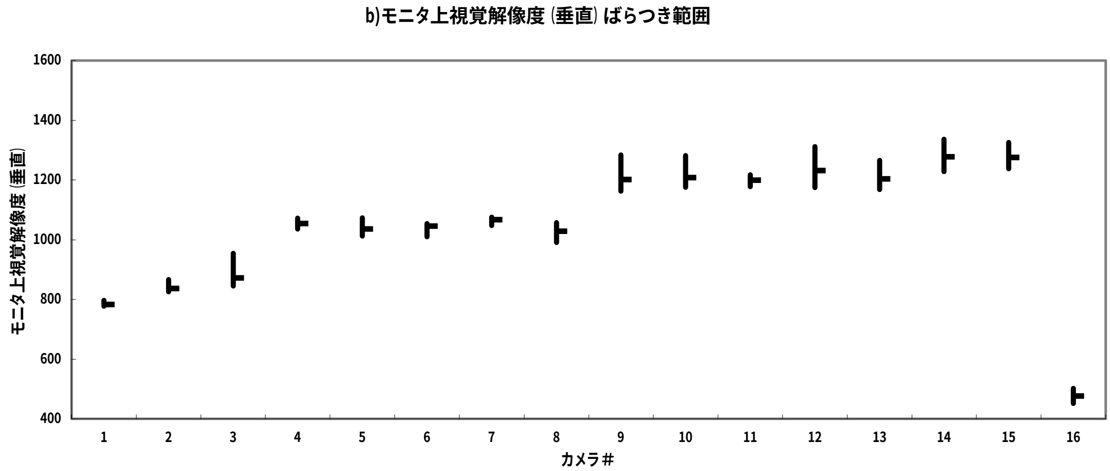


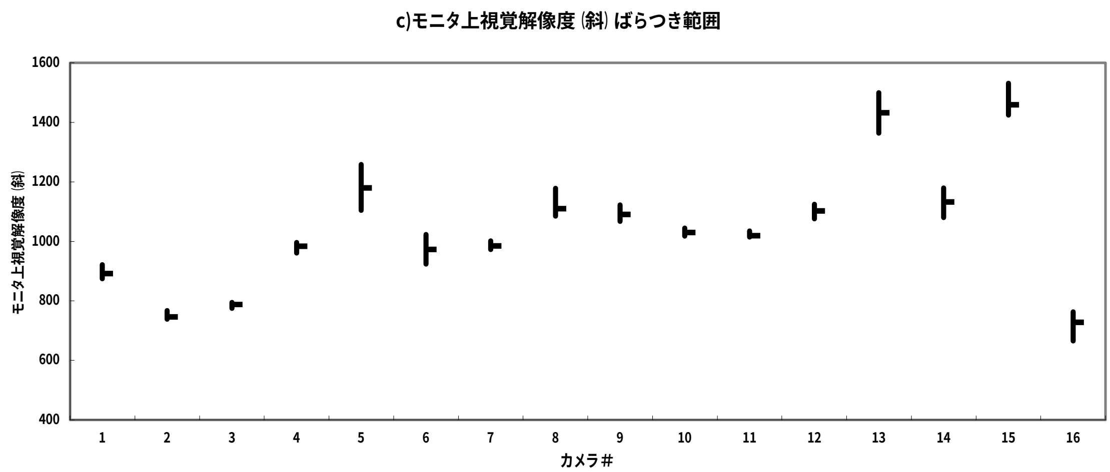




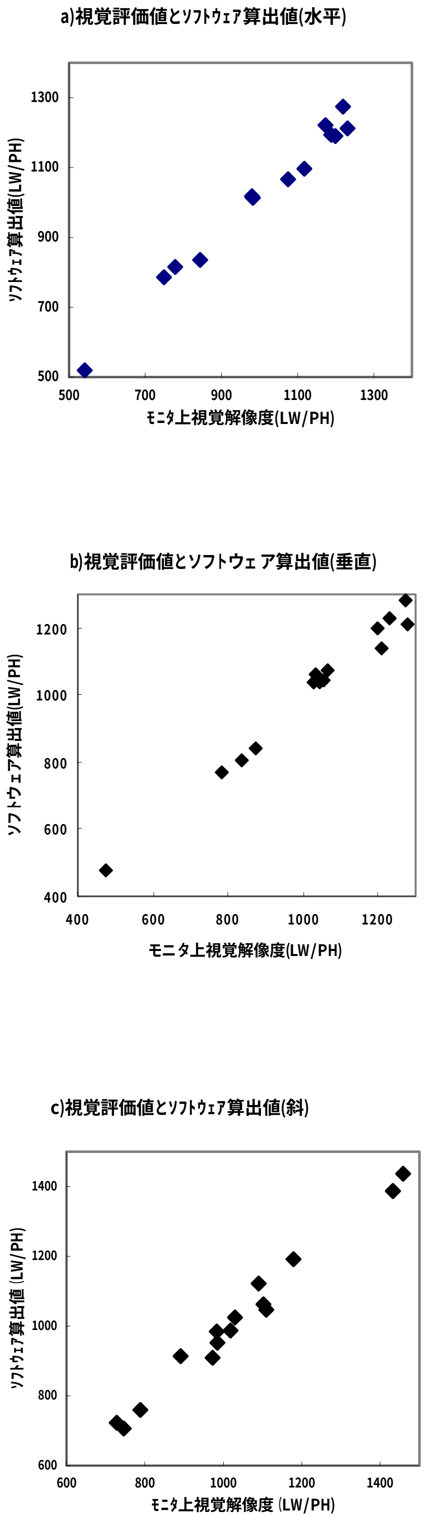
附属書4　図１　プリント上視覚解像度のばらつき







附属書4　図2　モニタ上視覚解像度のばらつき



附属書 4　図 3　モニタ上視覚解像度とソフトウェア算出解像度値

デジタルカメラの解像度測定方法　解説

この解説は，本体及び附属書に規定・記載した事柄，並びにこれらに関連した事柄を説明するもので，規格の一部ではない。

1. 制定の趣旨及び経緯

1.1 趣旨

2000 年春，富士写真フイルム(株)は，DSC のカタログに解像度を記載したいとして，記載法の標準化を日本写真機工業会（当時の名称，現カメラ映像機器工業会，以下日写工）に提案した。日写工はこれを受け 2000 年 5 月 16 日，会員会社にアンケートを行なった。回答したのは 14 社で，審議することに対しては全社賛成，うち 12 社が審議への参加を表明した。そこで日写工デジタルカメラ技術小委員会の下に解像度分科会が発足した。主査は提案社である富士写真フイルムが務めることになった。第 1 回会議は 8 月 28 日に行なわれた

1.2 経過

分科会の発足時，DSC の解像度測定法である ISO12233 の成立が確実視されていた。そこで主査は解像度測定に必須であるチャートをはじめ，利用できるものは極力 ISO12233 から利用する方針を述べ，全社が賛成した。

当初主査が提案したのは ISO12233 の限界解像度で，ソフトウェアも用意した。これに対し目視判定の視覚解像度が良いのではないか，という意見が数社から出た。また DSC は偽色が出るので解像度を求めても信頼性があるのか，と規格そのものを問う発言もあった。そこで 6 社からなる有志委員会を発足させ，技術的な議論を行なうことにした。

有志委員会で実験を行なったところ，限界解像度は折り返りの影響を拾って異常に高い値を示すことがあることが明らかになった。一方視覚解像度は a)視覚解像度評価パターンのくさび線数が変化（5 本→4 本のように）した空間周波数を解像度とする，b)観察の際，必ず低い周波数側から追う，の 2 つの約束事を設けることでかなり抑えられることも分った。テストチャート撮影画をプリント，モニタの両方に出力して評価したが，結果はほぼ一致し，ばらつきの程度も同じだった。さらに委員の一人が，この 2 つの約束事のソフトウェア化を制作も含めて提案したので，ソフトウェアのテストも有志委員会で行なった。テストの結果，ソフトウェアの算出値と目視の測定値が良い一致を示した。（付属書 4 参照）

以上の結果を有志委員会の結論として, 分科会に, a)視覚解像度を標準測定法とする, b), 評価はプリント，モニタ，ソフトウェアのどれで行なってもよい，を提案した。

分科会ではこの提案に基づいて議論した。最も活発な議論になったのは結果の表記方法だった。（**2.審議中特に問題となった事項**を参照。）これらの議論を経て，2002 年 7 月 26 日の第 20 回分科会で議論した内容が最終ドラフトとなり，2002 年 9 月 11 日の第 21 回分科会で反対意見なしとして技術的な議論を終了した。

2. 審議中特に問題となった事項

結果の表記方法についての議論が分科会全体を通じて最も活発であった。
どの方向でも同じ解像度が得られるフイルムと異なり，DSC の解像度は水平と垂直で異なる。さらに斜め 45 度方向も右上がりと右下がりでも異なることが予想されることから，どこまで表記するかは難問であった。議論の末，本規格書（7.　**結果の提示**）のようにまとまったが，意見の調整に相当な努力が必要であった。

審議委員　本規格制定に際しての審議は、主として標準化委員会技術作業部会の解像度分科会 (Resolution Sub-Working Group) が行なった。以下にその委員を示す。

[標準化委員会]

委員長	鮎澤　巌（コニカ株式会社）	コニカミノルタ テクノロジーセンター株式会社
副委員長	櫻田　信晶	キヤノン株式会社
	市村　英一	ソニー株式会社
	後藤　哲朗	株式会社ニコン
	飯田　敏晴	富士写真フイルム株式会社

[技術作業部会]

部会長	三浦　康晶	株式会社ニコン
副部会長	吉田　英明 (オリンパス光学工業株式会社)	オリンパス株式会社
	大谷　格	キヤノン株式会社
	中山　正明	松下電器産業株式会社

[普及作業部会]

部会長	碓井　章生 (旭光学工業株式会社)	ペンタックス株式会社
副部会長	松平　光生	キヤノン株式会社
	岩田　道広 (ミノルタ株式会社)	コニカミノルタカメラ株式会社

［解像度分科会］

主査	次田　誠	富士写真フイルム株式会社
副主査	吉田　英明 （オリンパス光学工業株式会社）	オリンパス株式会社
委員	柳田　重邦	カシオ計算機株式会社
	藤井　一郎	カシオ計算機株式会社
	佐野　孝治	カシオ計算機株式会社
	大塚　博幸	キヤノン株式会社
	田水　伸也	京セラ株式会社
	皆川　博幸	京セラ株式会社
	八尋　稔	コダック株式会社
	接待　恒一	コダック株式会社
	土屋　憲法（コニカ株式会社）	コニカミノルタオプト株式会社
	長谷川　靖（ミノルタ株式会社）	コニカミノルタカメラ株式会社
	浮田　真二	三洋電機株式会社
	薄井　高文	シャープ株式会社
	原田　幸一	シャープ株式会社
	白川　政信	セイコーエプソン株式会社
	小嶋　貴義	セイコーエプソン株式会社
	関根　義之	ソニー株式会社
	加藤　直哉	ソニー株式会社
	桜庭　省吾	株式会社タムロン
	田村　喜久雄	株式会社タムロン
	酒井　澄夫	株式会社東芝
	大貫　正夫	株式会社ニコン
	阿部　泰彦	日本電産コパル株式会社
	衣笠　敏郎	株式会社日立製作所
	阿部　哲也（旭光学工業株式会社）	ペンタックス株式会社
	阪上　茂生	松下電器産業株式会社
	山本　靖利	松下電器産業株式会社
	福島　積	松下電器産業株式会社
	鈴木　俊宏	株式会社リコー
	中平　寿昭	株式会社リコー
	吉田　彰宏	株式会社リコー

また本規格の表記事項に関しては、普及作業部会のカタログ分科会も審議に加わった。

[カタログ分科会]

主査	飯田　敏晴	富士写真フイルム株式会社
副主査	松平　光生	キヤノン株式会社
委員	榎本　一樹 （オリンパス光学工業株式会社）	オリンパス株式会社
	久保木　弘恵 （オリンパス光学工業株式会社）	オリンパス株式会社
	仁井田　隆	カシオ計算機株式会社
	織田　篤彦	京セラ株式会社
	荒井　啓次	コダック株式会社
	岡部　久美（ミノルタ株式会社）	コニカミノルタカメラ株式会社
	木下　基浩（コニカ株式会社）	コニカミノルタカメラ株式会社
	塩崎　正樹	三洋電機株式会社
	濱島　隆史	シャープ株式会社
	青島　秀美	セイコーエプソン株式会社
	白川　政信	セイコーエプソン株式会社
	山田　雅子	セイコーエプソン株式会社
	宮澤　恵三博	セイコーエプソン株式会社
	小林　美枝	ソニー株式会社
	金城　正道	株式会社タムロン
	秋山　源	株式会社東芝
	山口　克巳	株式会社東芝
	飯田　昌世	株式会社ニコン
	巻島　杉夫	富士写真フイルム株式会社
	相部　知一（旭光学工業株式会社）	ペンタックス株式会社
	佐々木　直樹 （旭光学工業株式会社）	ペンタックス株式会社
	瀬尾　修三（旭光学工業株式会社）	ペンタックス株式会社
	中野　浩一（旭光学工業株式会社）	ペンタックス株式会社
	藤崎　敦	松下電器産業株式会社
	山崎　功浩	株式会社リコー
	涌本　光昭	株式会社リコー

CIPA DC-003-2003

2003 年 12 月発行

発行　有限責任中間法人　カメラ映像機器工業会
〒102-0082 東京都千代田区一番町 25 番地 JCII ビル
TEL 03-5276-3891　　FAX 03-5276-3893