

文書画像処理装置への適用を目的とした高速・高画質  
を両立するデジタル画像処理に関する研究

2015年2月

中村敏明

## 要旨

現在、世の中に広く普及している文書画像処理装置として、イメージスキャナ、ファクシミリ、プリンタ、複写機、および、それらを融合したマルチファンクションプリンタがある。情報共有を目的とした既存文書の電子情報化の推進や、デスクトップ・パブリッシングによる文書作成の一般化により、文書画像処理装置の需要は増加の一途を辿っており、世界的に大きな市場を形成している。文書画像処理装置はビジネス分野での利用が多く、パーソナルコンピュータの処理能力の進歩に合わせ、更なる処理能力と処理速度の向上が強く望まれている。そのため、文書画像処理装置に適用する画像処理は、ハードウェアで実現して装置に搭載することが必要不可欠な条件となっている。

本研究の目的は、ファクシミリの読み取り系と、カラーレーザプリンタの記録系の画像処理における課題を抽出し、その課題を解決するため、ハードウェア化に適した高速な画像処理方式を研究開発することである。そして、上記研究成果を搭載した文書画像処理装置を広く社会に提供することである。そのため、画像処理における課題に加え、製品適用に向け画像処理 LSI として装置に搭載することを前提に、デジタル回路化に適した画像処理方式であることをもう一つの研究課題とした。

本論文は 8 章から構成されており、以下に各章の概要を記す。

第 1 章では、本研究の背景と目的について論じる。文書の電子情報化の流れに乗り、マルチファンクションプリンタを中心に文書画像処理装置の市場は世界的に成長を続けており、この分野に関する研究のニーズは高い。本研究では、ファクシミリとカラーレーザプリンタにおける画像処理上の課題を研究対象とし、製品に LSI として実装するためにデジタル回路で実現する高速な画像処理方式の研究開発を目的とする。

第 2 章では、文書画像処理装置を構成する画像処理機能の概要と、本研究の具体的な課題について論じる。最初に、イメージスキャナ、ファクシミリ、カラーレーザプリンタ、マルチファンクションプリンタの画像処理の動作概要を説明する。次に、本研究で取り組んだ課題として、文書画像を 2 値化した際に生じるモアレ、ノッチの発生、そしてカラーレーザプリンタでの色補正の処理時間、印刷した際に生じる色ずれ、不鮮明なエッジ画像について記す。また、本研究の成果を文書画像処理装置に適用するための製品化での課題を記す。

第 3 章では、網点画像を 2 値化する際に生じるモアレを抑圧し、かつ文字を鮮明に

出力するモアレ抑圧エッジ強調フィルタの研究について論じる。最初に、従来のエッジ強調フィルタによるモアレの発生原因を明らかにする。次に、主走査、副走査方向の空間周波数で高い振幅利得を示し、斜め方向の空間周波数で低い振幅利得を示すフィルタの実現方法を記す。そして、誤差拡散 2 値化出力において、網点領域のモアレを抑圧し、鮮明な文字出力が得られることを示す。

第 4 章では、文書画像の 2 値化の際に、文字や細線などの水平、垂直エッジに生じるノッチの除去を目的としたエッジ検出ノッチ除去 2 値化について論じる。最初に、文書画像中の水平、垂直エッジを検出する。次に、エッジ部分の画素において、1 画素前の 2 値化出力と同じ 2 値化結果連続しやすいように 2 値化しきい値を制御することでノッチの生じない 2 値出力が得られることを記す。そして、単純 2 値化出力において、水平、垂直エッジ部のノッチの発生を大幅に抑制した画像出力が得られることを示す。

第 5 章では、入力画像データ (RGB 値) を補正し、プリンタの色再現特性を改善するための色補正を高速化する色情報判別色補正について論じる。ルックアップテーブルと補間演算を組み合わせ、画像圧縮後の色データに対する色補正処理をハードウェア化した。さらに、元の色情報に応じて補間演算を省略する機能を加えたことで、色補正処理時間を大幅に短縮できることを示す。

第 6 章では、カラーレーザプリンタの色ずれを低減する像域分離 UCR について論じる。文書画像を 1 画素単位に黒エッジか否かを判別し、黒エッジの画素は、処理の対象となる画素と隣接する画素の色情報から UCR 処理を行う。それ以外の画素には、従来からの単一画素の色情報から UCR を行う方式を適用する。印刷結果において、黒エッジ部で顕著に目立つ色ずれを大幅に低減できることを示す。

第 7 章では、カラーレーザプリンタの出力画像において、高階調と高精細を両立する像域別多値ディザについて論じる。最初に、入力画像に対して 1 画素毎に、エッジ部、エッジ隣接部およびそれ以外の像域に判別する。次に、エッジ部には濃度パターン型、エッジ隣接部にはドット分散型、それ以外の領域にはドット集中型の多値ディザを適用する。印刷結果において文字・線画領域の高解像度化と絵柄領域の高階調化を両立できることを示す。

第 8 章では、本論文を総括するとともに、本研究における今後の課題と、更なる展開について論じる。

# 目次

1. 緒論	1
1.1 背景	
1.2 目的	
2. 研究対象と課題	4
2.1 緒言	
2.2 文書画像処理装置	
2.2.1 イメージスキャナ	
2.2.2 ファクシミリ	
2.2.3 カラーレーザプリンタ	
2.2.4 マルチファンクションプリンタ	
2.3 研究課題	
2.3.1 エッジ強調によって生じるモアレ	
2.3.2 2値化によって生じるノッチ	
2.3.3 色補正の処理時間	
2.3.4 黒エッジ部の色のはみ出し	
2.3.5 不鮮明な画像エッジ部	
2.4 製品適用の課題	
2章の参考文献	
3. モアレ抑圧エッジ強調フィルタ	23
3.1 緒言	
3.2 高画質化処理方式	
3.2.1 ファクシミリの画像処理	
3.2.2 文字，絵柄混在画像の高画質化処理方式	
3.2.3 提案方式の基本概念	
3.3 モアレ抑圧エッジ強調	
3.3.1 画像の特性	
3.3.2 従来方式の問題点	
3.3.3 モアレ抑圧エッジ強調フィルタの実現	

3.3.4	モアレ抑圧エッジ強調フィルタの特性	
3.4	評価	
3.4.1	画質評価	
3.4.2	符号化効率	
3章	の参考文献	
4.	エッジ検出ノッチ除去2値化	36
4.1	緒言	
4.2	方法	
4.2.1	水平, 垂直エッジ検出	
4.2.2	2値化しきい値制御	
4.3	結果と検討	
4.3.1	画質	
4.3.2	符号化効率	
4章	の参考文献	
5.	色情報判別色補正	49
5.1	緒言	
5.2	カラープリンタコントローラ	
5.3	色補正処理の機能	
5.3.1	色かぶり補正	
5.3.2	色補正	
5.4	ハードウェア方式	
5.4.1	色補正処理フロー	
5.4.2	色補正ハードウェア	
5.5	色補正の高速化	
5.5.1	圧縮データによる色補正	
5.5.2	補正データの一括読み込み	
5.5.3	パレット色モード	
5.5.4	グリッドモード	
5.6	速度評価	
5章	の参考文献	
6.	像域分離UCR	61

6.1	緒言	
6.2	UCR 処理	
6.2.1	スケルトン型墨率制御	
6.2.2	カラーレーザプリンタでの問題点	
6.3	像域分離 UCR 方式	
6.3.1	概要	
6.3.2	実現方法	
6.4	出力画像の評価	
6.4.1	黒エッジ検出方式の評価	
6.4.2	UCR 処理結果の評価	
6.5	まとめ	
	6 章の参考文献	
7.	像域別多値ディザ	74
7.1	緒言	
7.2	像域別多値ディザ方式の検討	
7.2.1	像域判別	
7.2.2	濃度パターン型多値ディザ	
7.2.3	ドット集中型変形閾値多値ディザ	
7.2.4	ドット分散型変形閾値多値ディザ	
7.3	実現手段	
7.4	出力画像の評価	
7.4.1	エッジ部の評価	
7.4.2	多値ディザ方式の評価	
	7 章の参考文献	
8.	結論	89
8.1	本論文の結論	
8.2	今後の課題と展開	
	・謝辞	
	・研究論文, 研究発表	
	・特許公報, 調査報告書	

# 1. 緒論

## 1.1 背景

文書画像処理装置は、文書に記載された情報を読み取り電子情報に変換するイメージスキャナと、電子情報を文書情報に変換し用紙に印刷するプリンタとに大別される。現在、世の中に広く普及している文書画像処理装置の主な製品としては、イメージスキャナ、ファクシミリ、プリンタ、複写機、それらを融合したマルチファンクションプリンタ等がある。

イメージスキャナについては、1985年頃からビジネスとして立ち上がり、製品形態としてモノクロスキャナ、カラーキャナ、両面スキャナ、さらには非接触スキャナへと発展してきた。利用用途としては、古文書や実書籍の電子書籍化や、名刺の電子データ化による顧客管理など、クラウドに代表される大規模データベースによる情報共有の流れと相まって需要は高く、更なる高速化と小型化そして低コスト化が要求される。

ファクシミリについては、1972年の公衆通信回線を利用した通信の自由化（回線開放）、1976年にA4サイズ原稿を3分で送信するG2規格の勧告、1980年にA4サイズ原稿を1分で送信するG3規格の勧告等の通信の開放、改定を経てビジネス分野で広く普及し、1990年代に入ると電話機能と一体の形態で家庭へと普及した。ファクシミリ単体製品の販売台数としては1997年にピークを迎え、その後減少の一途を辿っており、現在は、複写機との一体型、電話機との一体型など複合機器の形態で発展している。扱われる文書画像は文字、絵柄の混在した画像が多く、電送後の画像の高画質化と、複合機の一部機能であることから小型、低コストで実現することが必要である。

プリンタについては、パソコンやワークステーションで扱う文書画像のカラー化、及びその普及と共に、作成したカラー画像を出力するカラープリンタの市場が大きく伸びた。特に、安価なカラーインクジェットプリンタにおいて高精細なカラー出力が可能となったことから、カラープリンタは各家庭に広く普及した。ビジネス分野においては、印字品質、印刷速度、印刷コスト等の点からレーザープリンタが主流である。現在、レーザープリンタの特徴を生かしたコンティニューストーン（1画素多階調表現）印字方式がカラーレーザープリンタで一般化しており、画質の競争から印刷スピードの競争、更には価格の競争へと推移してきている。

複写機については、デジタルカラー画像処理の技術により、複写単体機能からスキャン・プリント・コピー・ファクシミリなどの機能を融合したマルチファンクションプリンタに発展してきており、今後さらなる高画質化、高速化、高機能化が要求される。

図 1.1 にマルチファンクションプリンタの市場規模を示す。昨今、文字や画像の電子化により紙の文書は無くなる方向と言われてきたが、パーソナルコンピュータによるデスクトップ・パブリッシング技術の普及により、文書画像の紙への印刷は増加の一途を辿っている。その結果として、文書画像処理装置の代表格であるマルチファンクションプリンタの需要は高く、出荷台数は約 700 万台／期の状況である。

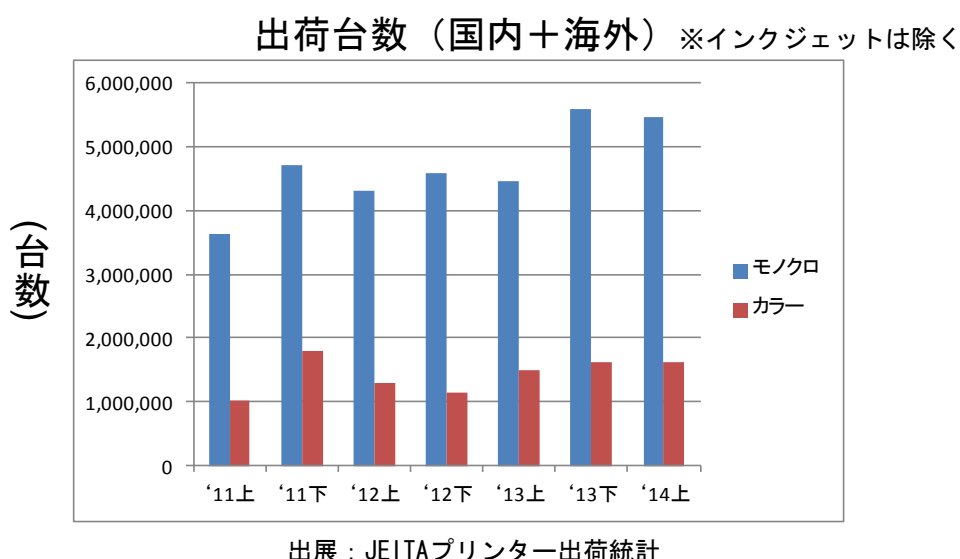


図 1.1 マルチファンクションプリンタの出荷台数

## 1.2 目的

本研究の目的は、文書画像処理装置の読み取り系と記録系における画像処理の課題を解決するための高速高画質化処理を提供することである。図 1.2 に本研究で取り組む課題を示す。

### (1) 読み取り系

読み取り系においては、ファクシミリのデジタル画像処理を研究対象とし、読み取った画像データを 2 値化処理する際の、

- ①網点画像の 2 値化で生じるモアレ発生の抑圧と文字、細線の鮮明化
- ②文字、線画の輪郭部に発生するノッチの除去



についてファクシミリ製品に LSI として実装するため、デジタル回路で実現する高速な画像処理方法の研究開発を目的とする。

(2) 記録系

記録系においては、カラーレーザープリンタのデジタル画像処理を研究対象とし、

- ① 入力画像 RGB 値をプリンタの特性に合わせた RGB 値へ変換する高速色補正
- ②印刷位置ずれによる色のはみ出しを抑制する UCR (下色除去)
- ③文字、線画領域の高解像度化と絵柄領域の高階調化を両立する多値ディザ処理

についてプリンタ製品に LSI として実装するため、デジタル回路で実現する高速な画像処理方法の研究開発を目的とする。

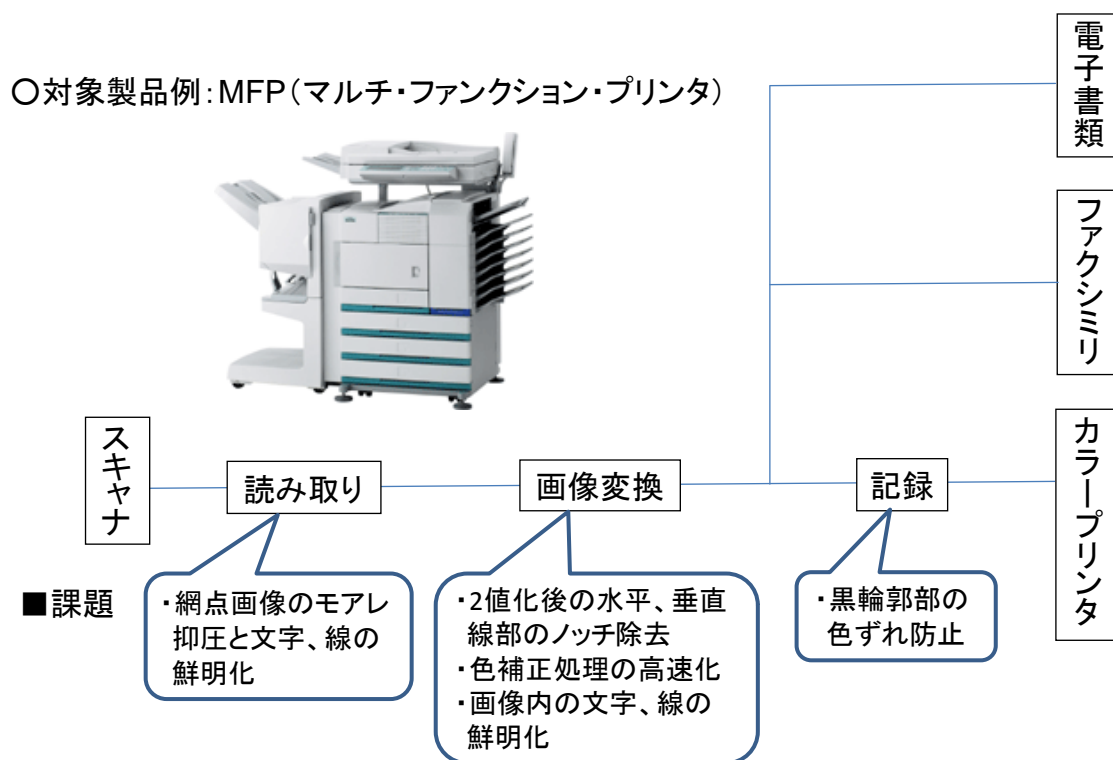


図 1.2 本研究で取り組む課題

## 2. 研究対象と課題

### 2.1 緒言

本章では、最初に本研究の対象である、イメージスキャナ、ファクシミリ、カラーレーザープリンタ、マルチファンクションプリンタに搭載している画像処理の内容を説明する。次に、研究の対象となる画像処理と具体的な問題点について説明する。そして、研究成果を製品に搭載するための課題について説明する。

### 2.2 文書画像処理装置

#### 2.2.1 イメージスキャナ

イメージスキャナは、文書中の文字、線画、写真などの画像情報をデジタルデータに変換する装置である。図2.1にイメージスキャナの画像処理[1]を示す。イメージスキャナの画像処理は、センサや読み取り系による歪みを除去する画像補正と、補正画像を他の形式の画像データへ変換する画像編集に大別できる。以下、各処理について説明する。

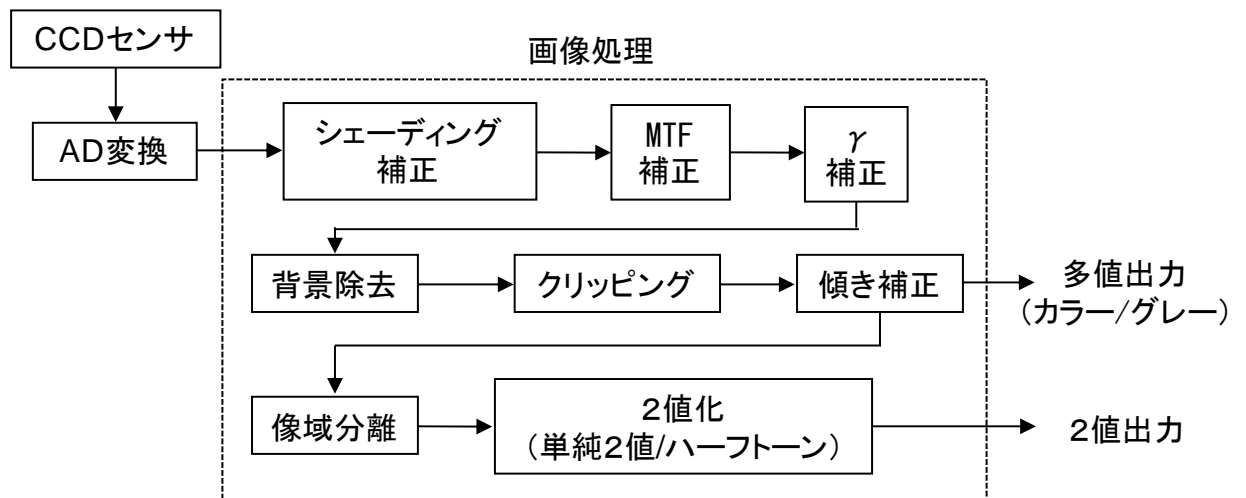


図 2.1 イメージスキャナの画像処理

#### (1) CCDセンサ

原稿を微小な画素に分割し、RGBの3原色に色分解して電気信号に変換する。通常はR, G, B各色のフィルタを表面に塗布した3ラインのCCDが用いられ、解像度600dpiの場合、1ラインあたり7000個のフォトダイオードで読み取る。原稿面を縮小光学系でCCD面上に結像してカラー原稿の色分解信号を得るが、読み取り方法として、ラインセンサを

固定して原稿を副走査方向に移動させて画素情報を読み取る方法と、原稿を固定してラインセンサを移動させる方法がある。

#### (2) A/D変換

センサで読み取った画素情報に対して画像処理を施すため、1画素毎にデジタル信号に変換する。

#### (3) シェーディング補正

主走査 1 ライン上の画像を 1 画素単位に画像の濃淡に応じた電圧値に変換する CCD センサは、一例としてフォトダイオードを横に 2048 個並べた構成である。各ダイオードは感度や転送効率などの特性が異なる光源が一定に照射されない、集光レンズの透過光量が中央と端部で異なるなどの理由で、同じ明るさの原稿を読み取っても各画素で読み取りレベルが異なる。これを補正し、同じ明るさのものを読み取った場合に、全ての画素で同じ出力(レベル)にする処理がシェーディング補正である。補正方式としては、文書を読み取る前に、白色の基準画像を読み取り、1 ライン分の画像データをメモリに記憶しておき、このデータを基に、文書の読取信号を正規化する手法が一般的に用いられている[2]。

#### (4) MTF補正

CCDセンサで、フォトダイオードである隣接画素への光量漏れ、読み取り光学系の持つ空間周波数特性や解像度などの条件により、高周波数域でのMTF(変調伝達係数: Modulation Transfer Function)特性が減衰し、画像の再現性が低下する。その結果、文字、線画や自然画像のエッジ部でぼけが生じて鮮明さが失われる。そのため、高域成分を強調して鮮鋭度を回復する必要がある[3]。

MTFは、入力系の各周波数におけるコントラスト(信号比)の伝達係数を示し、次式で定義される。

$$MTF = \frac{(O_{\max} - O_{\min}) / (O_{\max} + O_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})} \quad (2.1)$$

ここで、 $I_{\max}$ :入力レベルの最大値、 $I_{\min}$ :入力レベルの最小値、 $O_{\max}$ :出力レベルの最大値、 $O_{\min}$ :出力レベルの最小値である。

高精度なMTF補正では、点広がり関数PSF(Point Spread Function)により、系におけるぼけ関数を求め、その逆関数フィルタを作用させることで空間周波数特性を復元する。しかし一般的には、近似的に注目画素と隣接画素との差に係数をかけ、得られた値を注目画素に加える手法が用いられる[4]。

#### (5) $\gamma$ 補正

$\gamma$  補正は、センサの階調特性の非直線性を補正し、読み取り系として入力値と出力値が比例するように補正する。一般に、センサによる光電変換では、非直線関係があり、 $x$ をセンサの入力信号、 $y$ をセンサの出力信号とすると、

$$y = x^\gamma \quad (2.2)$$

の関係が成立する。ここで、 $\gamma$ の値としては、例えば撮像素子では0.7~1.0、表示系のCRT (Cathode Ray Tube)では2.2などの値が使われる。実際の補正方法としては、べき乗の逆変換である対数演算を行うのではなく、 $y$ を入力として与えて $x$ の補正值を得る、変換ルックアップテーブル[5]を用いることが多い。

#### (6) 背景除去

青焼原稿や新聞のように入力原稿の背景に色がついている場合、背景値の変動補正(ピーク値補正)を行うことで判読性、画質の向上が可能である。背景除去としては、背景検出エリア(主走査線1ライン分や、対象となる画素の周辺領域など)で最小濃度値の画素を検出し、この画素値を白(最小濃度)として正規化することで地濃度の影響を取り除く方法[2]がある。

#### (7) クリッピング

スキャナで取り込んだ画像のうち指定した一部分だけを切り出して残し、他の部分を消去する処理[6]を行う。原稿と原稿以外の部分を切り分けする機能も含む。

#### (8) 傾き補正

原稿領域を判定し、原稿領域の上下左右端から原稿外形をたどることで、原稿の傾きを推定する。これを基に、正立した画像へのマッピングを実行する。原稿押さえのガラス面を鏡面にして原稿以上の反射率を判定基準にする方法、原稿内の文字列の並びの方向から傾きの角度を推定して補正する方法[7]などがある。

#### (9) 像域分離

画像を文字領域とそれ以外の領域に分離し、それぞれに異なる画像処理を施すことで画質や符号化効率を向上させる。画像の領域を分離する方法として、4×4画素など局所的な領域内での濃度値の最大値と最小値を求め、しきい値と比較することで異なる2値化処理の結果を選択する手法[8]がある。この手法は、カラー画像や網点画像の判別も含めた種々の改良[9]~[11]が提案されている。しかし、局所領域による判別では誤判別が避けられないため、画面全体をマクロに解析して分離する手法[12]も提案

されている。

#### (10) 2値化

文字や線画などを2値化する単純2値化と、写真や網点画像などの濃淡画像を2値化するディザ2値化と誤差拡散2値化がある。以下、これらの機能を説明する。

##### ① 純2値化

文書画像を1画素毎に固定しきい値と比較し、その大小に応じて1か0の2値に変換する。1は黒、0は白を表す。文字や線画などは、白背景の上に黒に代表される単一色で表現されていることが多いため、2値化することで情報を保持しながら画像のデータ量を大幅に削減することができる。しかし、文書中の画素を全て同一のしきい値で2値化すると、新聞や青焼き原稿など背景に色がある場合に、背景が黒として2値化され文字情報の視認性が悪くなる場合がある。このため、しきい値を周囲の画素値から決定する手法[13]や、しきい値にヒステリシスを持たせる手法[14]などが提案されている。

##### ②ディザ2値化

ディザ法は、単純2値化のしきい値を小さな領域において、一定規則により組織的に変化させることで擬似的に中間調を表現する手法である。例として、4×4画素の領域ごとに16個のしきい値テーブルから順番にしきい値を選択して2値化する方法がある。ディザ2値化は処理が容易である反面、文字や線画の輪郭部がぼけて鮮鋭さが失われることや、網点画像を2値化すると網点の周期とディザのしきい値の周期の違いからモアレが生じ、画質が劣化する[15]などの問題がある。

##### ③誤差拡散2値化

誤差拡散法は、2値化前後の画素値の差(誤差)を隣接する周辺画素に分配し、その画素領域の2値化前と後での画素値の総計を極力小さくする手法である。例えば、黒(255)～白(0)の8ビットで画素値を表現している場合、2値化前の値200に対し2値化後の値が黒(255)と出力された場合は、差55を、これから2値化する右隣の画素と左下、真下、右下の3画素の値から一定の分配比率に応じて減算する。結果として、複数画素で構成するマクロな領域での2値化前後の濃度差を小さく保つことができ、ディザ法で問題となった文字や線画の輪郭部のぼけや、ディザしきい値の周期性による網点画像でのモアレ発生は抑制できる。しかし、誤差分を分配する画素の位置や分配比率の選び方により、原面に無い幾何学模様の発生や、孤立点が多く出力されることによる符号化効率の低下などの課題がある。

## 2.2.2 ファクシミリ

ファクシミリは文書を画像情報に変換後、通信時間の短縮のため、符号化を施した後、通信回線を通じて相手方に電送する。受け側は、受信した符号データを復号化し、画像情報に復元し、記録紙にプリンタで印刷する。図1.4にファクシミリの画像処理[16]を示す。以下、ファクシミリで行う処理について説明する。なお、CCDセンサ、AD変換、シェーディング補正、 $\gamma$ 補正、MTF補正および2値化についてはイメージスキャナと同じ内容であり説明は省略する。

### (1) ピーク値補正

新聞紙や再生紙など、文字情報の背景が白でなく着色されている場合、2値化を行うと背景が“白”として出力されず出力画像での画質劣化が生じる。それを防止するため、主走査1ライン毎に画素値の最大値（白）と最小値（黒）を検出し、2値化のしきい値が、一定の比率でその間の値となるように制御し、背景の画素が必ず“0”（白）として2値化されるようにする。ただし、この処理は、後述する単純2値化の場合であり、擬似中間調2値化の場合は、背景も忠実に再現する必要があるため、ピーク値は反射板または紙送りローラの色を読み取り、その最大値（白）をピーク値として利用し、原稿1ページ内でピーク値を固定する。

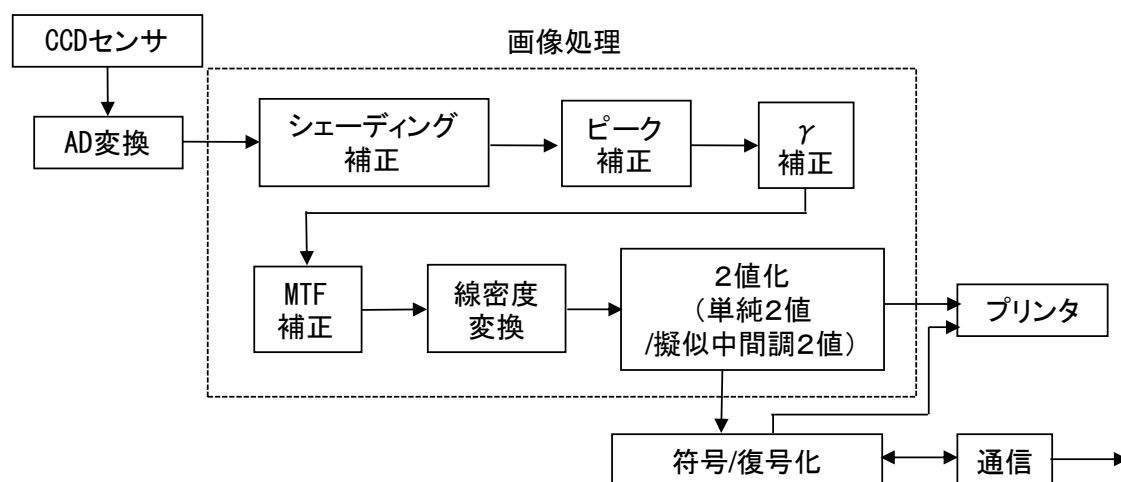


図 2.2 ファクシミリの画像処理

### (2) 線密度変換

解像度の変換と拡大・縮小を行う。拡大は、拡大率に応じた周期で1画素を生成し、隣接する2画素の間に挿入する。縮小は、縮小率に応じた周期で隣接する2画素を1画素に変換する[17]。上記処理を主走査方向、副走査方向の画素について実施する。

### (3) 符号化／復号化

送信側から受信側への電送時間の短縮のため、送信側で2値化データを符号化して圧縮し伝送する。受信側では、受信したデータを復号化し、画像データを復元する。代表的な符号化方式としては次の2つがある。

#### ①1次元符号化方式 (MH)

1ラインごとに画像データを処理してデータを圧縮する符号化方式である。一般の文書の2値画像データが黒または白の連続が多いことを利用したデータの圧縮方法である。黒（または白）画素の連続した数（ランレングス）を符号に変換して送信し、受信側で元の画素に復元する。出現頻度の高いランレングスから順番に短い符号に割り付けて、画像データを符号化することにより、送信データを短く（圧縮）することができ、結果として送信時間を短縮できる。一般にA4サイズの文字原稿の画像情報を6分の1に圧縮できるため、ファクシミリでは約1分で電送できる。

#### ②2次元符号化方式

文字や簡単な図形が中心の原稿は、画像データの上の行と下の行は殆ど同じで、変化が少ない。この性質を利用してデータ量の大幅な圧縮を図ったのがRAC (Relative Address Coding) である。RACは下の画像データを一段上のデータ（参照ライン）と比較して、変化している箇所を検出し、その位置を符号化してデータを圧縮する方式である。参照ラインのデータが圧縮なしの場合をMR (Modified Read) 方式、参照ラインのデータがMH方式（上記「1次元符号化方式」）で圧縮されている場合をMMR (Modified Modified Read) 方式という。

### (4)記録

受信側で復元した受信データを用紙に印刷する。主な記録方式として次の3方式がある。

#### ① 熱記録方式

感熱記録紙は熱により黒を発色する。ファクシミリの場合は8個/mmの間隔で横一線に並べた発熱体（サーマルヘッド）を感熱記録紙に接触させて画像を得る。構造が簡単でコストが安く、多くの普及型ファクシミリで採用された。この方式の短所は、記録紙上の画像が長期保存により退色することである。

#### ②電子写真記録方式

感光ドラムを「帯電」させ、レーザーを照射することで、照射された箇所の電荷が放電して電荷像（潜像）を作る。次に、帯電させた黒色の微細な粉末（トナー）を感

光ドラムに近づけ、電荷のない部分にトナーを付着させる(現像)。そして、感光ドラムに用紙を押し付け、トナーを用紙に移動する(転写)。最後に、ドラムを通過した用紙に強いフラッシュ光を当て、トナーを用紙に溶着させる(定着)。この方式は、印字品質が良く印刷速度が速いが、複雑な構造のため、製品および印刷のコストが高い。

### ③熱転写方式

普通紙の上にフィルム状の熱転写リボンを重ねて発熱体(サーマルヘッド)に接触させると、熱が加わった箇所にリボンの色(ファクシミリの場合は黒)を転写する。初期のファクシミリは、熱転写リボンにロール紙が使用されていたが、最近ではA4またはB4サイズのカット紙が使用されている。

### 2.2.3 カラーレーザプリンタ

図 2.3 にカラーレーザプリンタの画像処理[18]を示す。以下に各処理の概要を説明する。

#### (1) プリンタドライバ

印刷の対象となる文書をページ記述言語 PDL(Page Description Language)に変換し、直接接続またはネットワークを介してプリンタに印刷データを送信する。

#### (2) PDL デコンポーザ

ページ記述言語で入力された文書データを解釈して、文字コードや線画の座標、線の長さ、幅などの情報(ベクトルデータ)を文書 1 ページ分の画素データの集合(ラスターデータ)に変換する。

#### (3) 色補正

プリンタの色再現特性は、温度・湿度等の周囲の環境に影響されやすく、時間的な変動が大きい。システム全体での色再現特性を安定に保つために、大きな時間的な変動

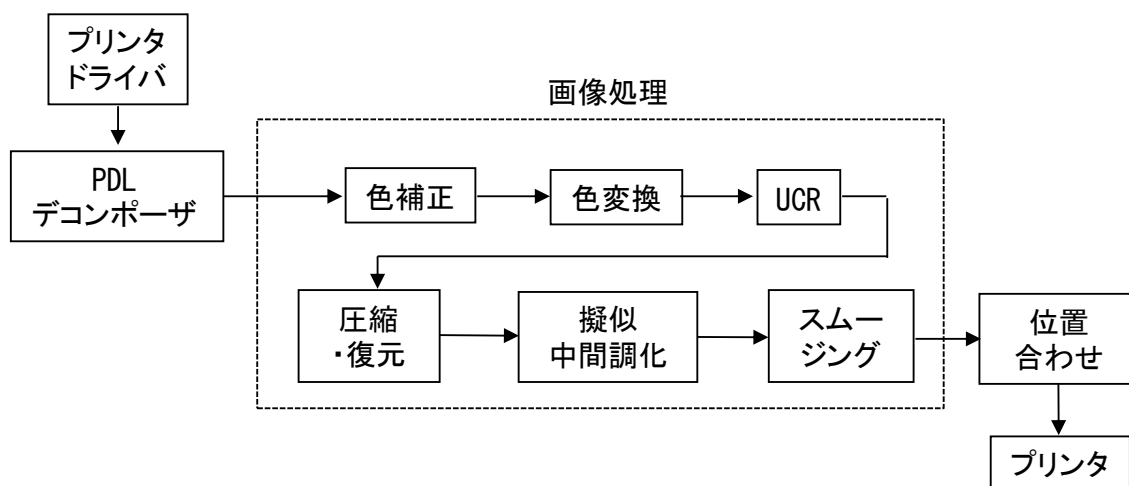


図 2.3 カラーレーザプリンタの画像処理



に対して画像の色信号の変換で対処する．具体的には，プリンタ内部に測色するセンサを設置したり，スキャナを測色計として用い，印刷した色のパッチを測色して変換後の色情報を得る．得られた色情報を基に，印刷する文書画像の色信号を補正するという制御がよく行われる．

RGB の色補正としては，(2.3)式に示すような入力色空間を多項式で出力色空間に変換するマトリックスマスキングと，入力色空間を格子状に区切り，その各局所の中を一次式で補間変換する DLUT(Direct Look up Table)が代表的な方法[19]である．変換の精度は前者より後者のほうが高い．入力で定義される色を忠実に再現することが理想であるが，プリンタ出力の色空間の非線形特性への対応，入力画像の色域(Gamut)とプリンタ出力の色域の狭さを対策するための Gamut 圧縮などの課題[19]がある．

$$\begin{bmatrix} D_R \\ D_G \\ D_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

ここで， $D_R$ ， $D_G$ ， $D_B$ は補正後の RGB 値である．

#### (4) 色変換

RGB 形式または CMY 形式の色信号で入力されたラスタデータをプリンタの出力色と一致させるため，各プリンタ固有の CMY 形式の色信号に変換する．CMY はインクやトナー等の色素による光の吸収を利用して色を表現する方法で，シアン(Cyan)，マゼンタ(Magenta)，イエロー(Yellow)の頭文字を取ったものである．

RGB 信号は輝度に比例した信号であるため，記録濃度信号 CMY へは対数を用いて変換する．例えば，補色の関係から，8bit で処理する場合，式(2.4)のようにして変換する．ここで， $A$ は定数である．

$$\begin{cases} C = -A \log_{255} \frac{R}{255} \\ M = -A \log_{255} \frac{G}{255} \\ Y = -A \log_{255} \frac{B}{255} \end{cases} \quad (2.4)$$

但し，変換時間の短縮や実現容易化のため，前述の色補正において，予め対数特性も含めて RGB 値を補正しておき，補正後の RGB 値を式(2.5)に入力して CMY 値に変換する例もある．ここで， $R'$ ， $G'$ ， $B'$ は補正後の RGB 値である．

$$\begin{cases} C = 255 - R' \\ M = 255 - G' \\ Y = 255 - B' \end{cases} \quad (2.5)$$

#### (5) UCR (下色除去)

CMY の信号から新たに K の信号を作り出す処理である。K は本来はキー・プレート (Key Plate) の頭文字を取ったものであるが、一般には黒 (black) の信号を示している。

理想的には、色の三原色である CMY の信号に基づき、3 色を混ぜれば黒になるが、実際のトナーの分光特性によっては黒にならない。そこで、黒トナーを使うため、CMY の信号から (2.6) 式と (2.7) 式により新たに CMYK の 4 色の信号に変換する。この処理は一般に UCR (Under Color Removal) と呼ばれる。効果としては、

- ・ 黒文字の品質向上
- ・ CMY のレジストレーションずれによる画質劣化の低減
- ・ グレーバランスの安定化

が挙げられる。

$$K = \alpha \text{MIN}(C, M, Y) \quad (2.6)$$

$$\begin{cases} C' = C - \beta K \\ M' = M - \beta K \\ Y' = Y - \beta K \end{cases} \quad (2.7)$$

ここで、MIN は引数の最小値をとる関数、 $\alpha$ 、 $\beta$  は定数である。

#### (6) 圧縮/復元

レーザプリンタの感光体へ画像信号を書き込む ROS (Raster Output Scanner) は一定速度で回転しているため、それに同期した画像信号の入力が必要である。しかし、PDL デコンポーザでの処理時間は画像情報に依存し文書ごとに異なる。そのため、次の色変換とキャリブレーション後に展開されるラスタデータは、一旦ページメモリに格納される。複数ページを連続して印刷する場合を前提とするため、それに相当する大容量のメモリが必要となる。そこで、メモリ格納前に圧縮し、読み出すときに復元することでメモリ容量を削減する。圧縮のアルゴリズムとしては、JPEG などの標準方式やメーカー独自の方式[20]がある。

#### (7) 擬似中間調化

レーザプリンタは CMYK 各色 2 値で出力する。そのため、入力の多値画像を擬似的に多値画像に見える 2 値画像に変換する必要がある。擬似中間調処理には、周期的に配置したドットの面積率で濃度を表現する網点スクリーンや、微小ドットを非周期的に配置し、その密度で濃度を表現する FM スクリーニング (例として誤差拡散 2 値化) がある [21]。レーザプリンタでは印刷時の MTF 特性が十分でないために、網点スクリーン

の方がドット再現性の点で適している。階調性と解像度が両立するように網点形状を選ぶ必要があり、特にカラーレーザープリンタの場合には、色ごとの重ね合わせによるモアレを考慮する必要がある。

#### (8) スムージング

プリント対象のラスタ画像情報が、プリンタの持つ記録解像度より低い場合、プリンタで印刷ドットを補間し、斜線部のギザギザ(ジャギー)を低減し滑らかな斜線を再現する。スムージングを適用する画素の判定は各社独自に工夫したテンプレートを用意し、そのテンプレートに合致した画素に対してスムージングを行う。

#### (9) 位置合わせ

YMCK 各色の画像を正確に重ね合わせ、特にプリント後の画像の輪郭部で目立つ色のはみ出しを防止する処理である。位置合わせにはプリンタ機構部の制御と記録信号の制御がある。CMYK 各色版の位置合わせは、主走査のビデオ同期(水平同期)信号と、これに直交する副走査のページ同期(垂直同期)信号で制御する。このとき発生する最大1走査分の誤差は許容せざるを得ないのが現状である。

### 2.2.4 マルチファンクションプリンタ

マルチファンクションプリンタは、先に説明したイメージスキャナとカラーレーザープリンタを結合し、複写機能に加えファクシミリやネットワークの通信機能を付加したものである。

図 2.4 に画像処理のフローを示す。以下、各処理について説明する。なお、シェーディング補正とγ補正は 2.2.1 イメージスキャナで、色補正と色変換および擬似中間調は 2.2.3 カラーレーザープリンタで説明した内容と同じであるため説明を省略する。

#### (1) 像域分離

一般的に、文字/細線はより鮮鋭に、写真などの濃淡画像はモアレを抑制して滑らかに出力することが理想である。また、黒い文字や細線は、CMYK の 4 色で出力すると、プリンタの位置ずれで画質劣化を生じる場合があり、K 単色で出力した方が多い場合が多い。そこで、後述するエッジ強調、色補正、擬似中間調などの処理を原稿画像の特徴によって切替える必要が生じる。像域分離処理は読み取った文書画像の局所的な特徴を抽出し、注目画素が文字、写真、網点領域に属するのか、無彩色、有彩色領域に属するのか等の判定を行う。

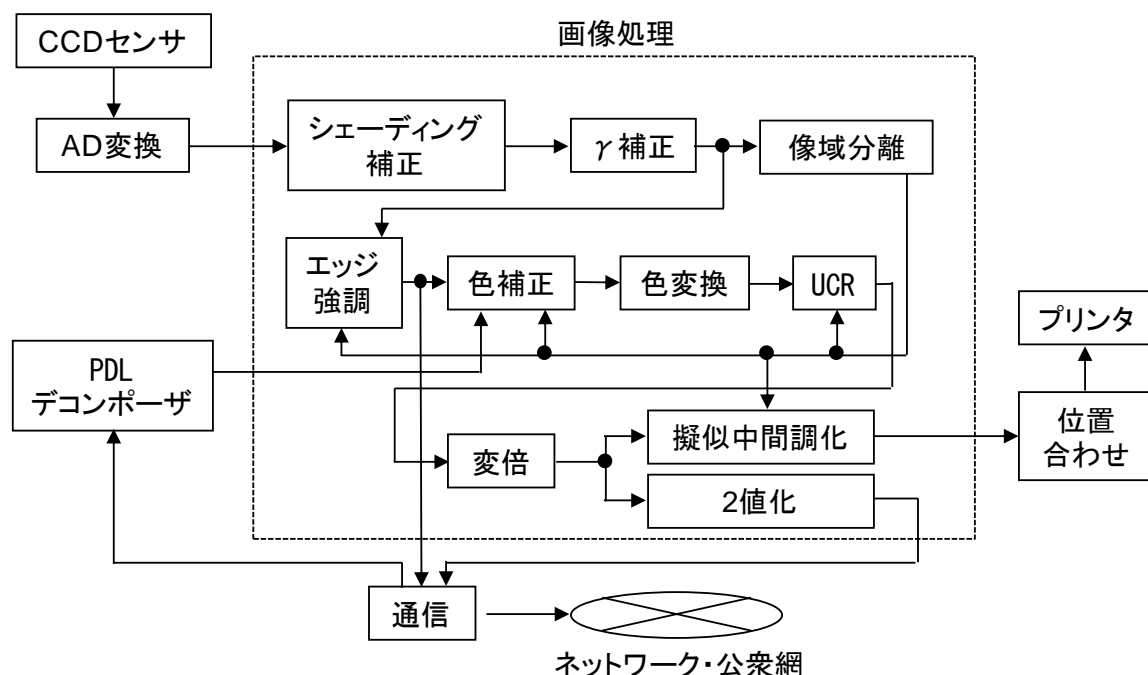


図 2.4 マルチファンクションプリンタの画像処理

判定した結果が例えば黒文字領域であった場合は、色補正部で黒単色に置き換え、かつフィルタ処理部でエッジ強調を行う。またカラーの網点領域と判断された場合は、CMYKの4色への置き換えと、モアレ抑制のためのスムージングを行う。必要に応じて誤差拡散やディザなどの擬似中間調処理の切り替えを行う場合もある。

### (2) エッジ強調

スキャナーで読み取った画像をそのまま出力すると、レンズ、CCDなど読み取り光学系やプリンタによる解像力低下で記録画像にぼけが生じる。電子写真プリンタによる解像力低下は、現像/潜像での孤立ドットの形成時や転写/定着時のトナーの飛び散り等により発生する。ぼけた画像を鮮明にするためにエッジ強調フィルタ処理を行う。エッジ強調フィルタは、通常、 $5 \times 5$ 画素もしくは $7 \times 7$ 画素で畳み込み演算を行うものが多い。画像を鮮鋭にするためにフィルタを強くかけ過ぎると、元画像にはないモアレ（干渉縞）が現れる場合がある。モアレは、印刷物の網点画像の領域で生じやすい。モアレを抑制するためには、フィルタ処理の空間周波数特性(MTF特性)を適切に設定する必要がある。

### (3) 変倍

デジタル複写機で変倍を行う場合、副走査は光学系の読み取り速度を変えて、1画素に対応する原稿上の走査幅を変える。主走査は、画素の大きさが変えられない

ので、線形補間をして画素数の調整を行う。近年は、副走査もデジタル的に変倍処理するデジタルカラー複写機も製品化されつつある。デジタル変倍の手法として、ニアレストネイバー、バイリニア、バイキュービックなどがある。

## 2.3 研究課題

2.2節で説明した文書画像処理装置において、本研究で取り組んだ課題について説明する。図2.5に、マルチファンクションプリンタの場合について本研究課題のある箇所を示す。

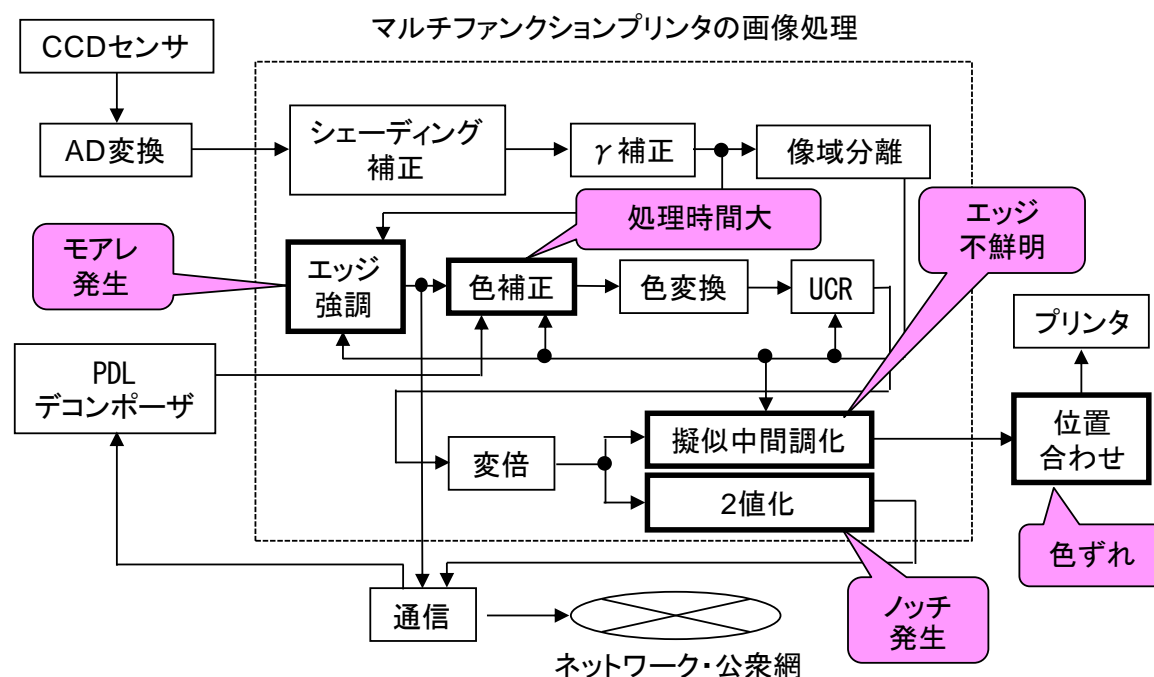


図 2.5 本研究の課題

### 2.3.1 エッジ強調によって生じるモアレ

文字、細線のボケによる画質劣化を防止するため MTF 補正やエッジ強調のフィルタ処理が行われるが、これを疑似中間調処理で 2 値化すると網点領域でモアレを発生する可能性がある。図 2.6 に疑似中間調 2 値化後に生じたモアレの例を示す。画像は、電子写真学会テストチャート No. 1-R の 133 線/インチの網点画像を解像度 8 画素/mm の CCD ラインセンサで読み取り、エッジ強調フィルタ処理後、誤差拡散法で 2 値化した結果である。

モアレの発生する原因は、網点のドットピッチと CCD センサの画素ピッチの違いによる。元画像をデジタル処理するためにサンプリングするが、元画像の空間周波数

とサンプリングの周波数の違いによる折り返し歪が生じる．その歪をエッジ強調フィルタで増幅することで2値画像にモアレが生じる．

2値画像のモアレは画質の劣化のみでなく，黒の孤立ドットが多数現れることとなるため符号化の効率が低くなる．そのため，ファクシミリやマルチファンクションプリンタでの電送時間を増加させる要因となる．

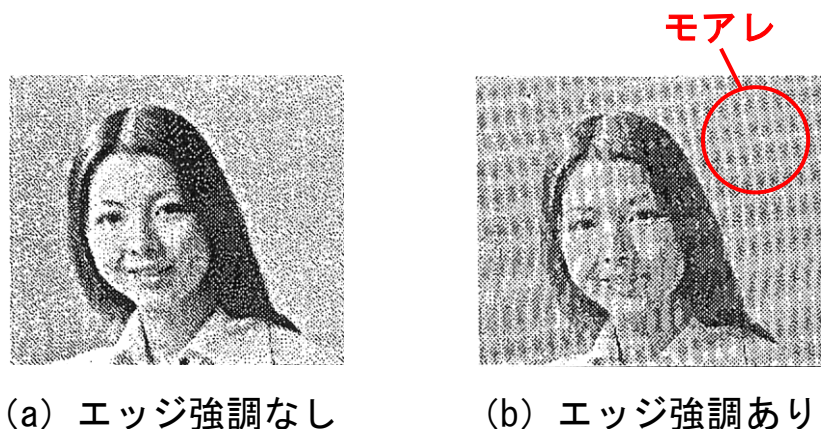


図 2.6 エッジ強調によって生じるモアレ

### 2.3.2 2値化によって生じるノッチ

ノッチとは読み取った画像情報を単純2値化した際にエッジ領域に生じるノイズであり，エッジビジネスとも呼ばれる．図 2.7 に単純2値化出力に生じたノッチの例を示す．画像は，画像電子学会ファクシミリテストチャート No.2 の幅  $125\mu\text{m}$  (1画素幅) の水平，垂直線を解像度 8 画素/mm の CCD ラインセンサで読み取り，エッジ強調フィルタ処理後，単純2値化処理した結果である．

ノッチの原因としては，元画像のエッジを構成する画素の濃淡値が同一でないこと，CCD ラインセンサの各画素の光電変換素子の特性バラツキ，ラインセンサから出力される画像のアナログ信号や AD 変換器へ混入するデジタル回路からのクロックノイズなどが挙げられる．

さらに2値化出力の高画質化のためにエッジ強調フィルタ処理を行うが，隣接する画素間の画素値の差が大きくなるため，エッジの領域の画素値の不均一性がさらに助長されノッチを発生しやすくする．

ファクシミリやマルチファンクションプリンタで2値画像を電送する際，通常のノ

一マル送信（副走査解像度 3.85 ライン/mm）の場合は垂直方向のノッチが 0.26mm と長く非常に目障りとなる。また、ノッチは主走査、副走査方向のエッジ部の孤立ドットであるため、モアレの場合と同様に電送時間の増加を招く。

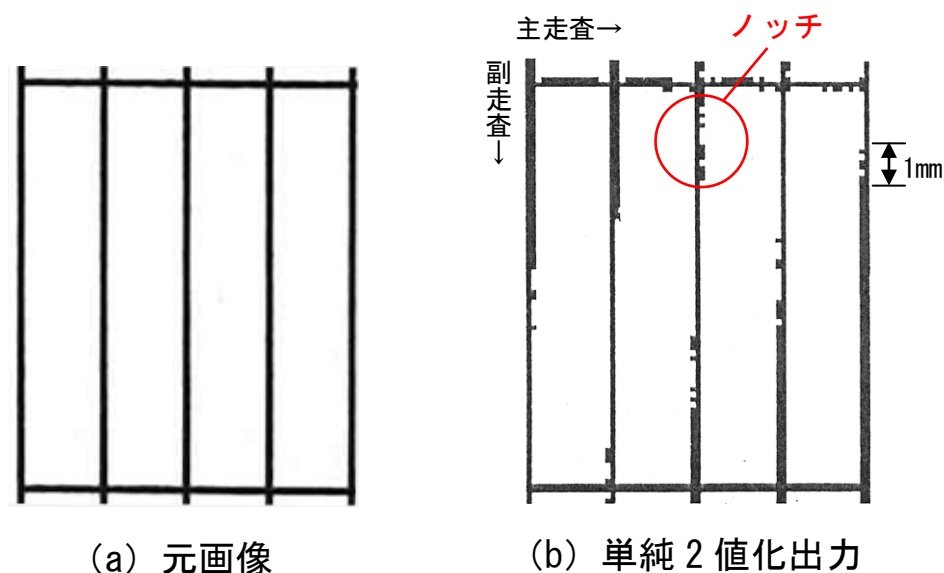


図 2.7 単純 2 値化画像

### 2.3.3 色補正の処理時間

カラーレーザプリンタやマルチファンクションプリンタで行っている色補正処理は、RGB3 色のデジタル値で入力される画像データを、プリンタのインクやトナーの色の特性に合わせた RGB 値に補正する。色補正は文書画像を構成する全ての画素について 1 画素単位に実行するため、図 2.8 に示すように、ルックアップテーブルと線形補間を行う論理回路の組み合わせで高速化を図る。入力する RGB 各色 8 ビット/画素のデータのうち、上位 4 ビット(計 12 ビット)をルックアップテーブルである ROM にアドレス信号として入力し、それに対応する RGB 補正值の上位 4 ビットのデータを読み出す。その後、RGB 値の下位 4 ビット(計 12 ビット)から線形補間演算による線形近似値として RGB 補正值の下位 4 ビットを求める。そして、RGB 補正值から図 2.8 に示す色変換により CMY 値に変換する。

レーザプリンタの場合、インクジェットプリンタのようにライン単位で印刷を休止することができないため、1 ページ分の CMYK データがページメモリに用意できた時点でプリントを開始する。そのため、色補正の処理時間が印刷開始から印刷終了までの時間を大きく左右する。

また 1 度に複数ページを連続して印刷する方式のため、色補正の処理時間がプリン

タに搭載するページメモリの容量を決める。例えば、どんな文書画像でも色補正がプリント1ページ分の時間内で収まれば、プリンタ機構部がプリント中の画像データを読み出している1ページ分と、プリンタコントローラが色補正中の画像データを書き込んでいる1ページ分の計2ページ分のページメモリ搭載で済む。

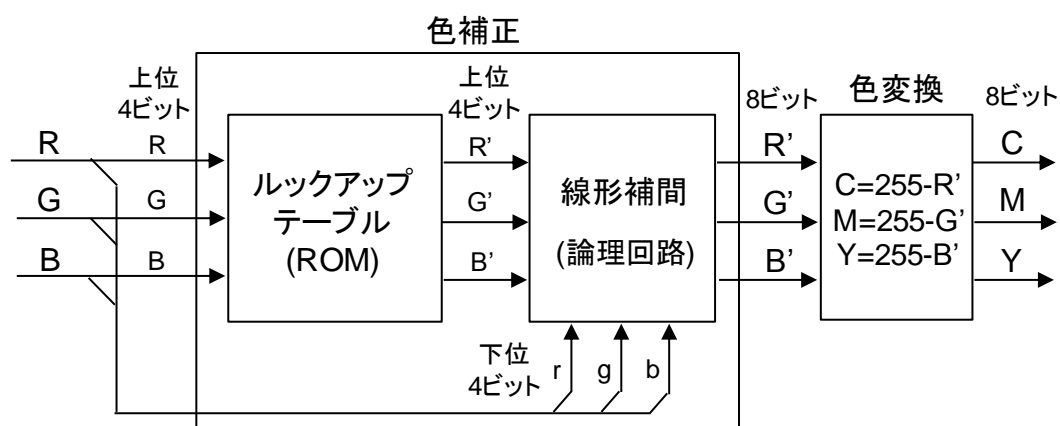


図 2.8 論理回路による色補正

### 2.3.4 黒エッジ部の色ずれ

一般にカラーレーザープリンタでは、UCR 処理により黒画像は C, M, Y, K の 4 色のトナーを重ね合せて用紙に付着させることで表現する。しかし、上記 4 色のトナーを 1 ページ単位に各色独立にプリントするために、プリンタ機構部の変動により各色のプリント位置が完全に一致しない。そのため、プリント出力において、特に黒エッジ部で元画像にない CMY の不要な色のはみ出しが生じる。図 2.9 に黒エッジ部の色ずれの一例を示す。画像は SCID のテストチャート No.1 の格子模様である。

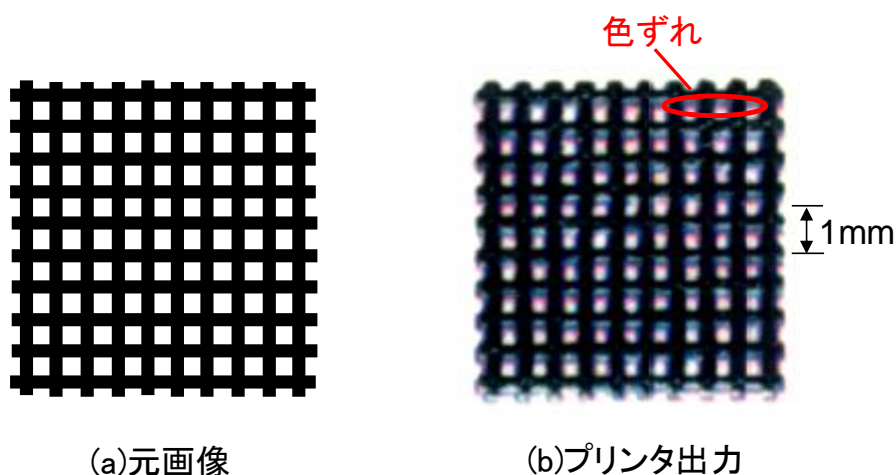


図 2.9 黒エッジ部の色ずれ



### 2.3.5 不鮮明な画像エッジ部

カラーレーザープリンタでは、画像の階調を変形しきい値順序型多値ディザとパルス幅変調の組み合わせで用紙に再現するのが主流である。変形閾値順序型多値ディザは、階調のリニアリティー及びプリンタ機構系の変動に対する安定性に適しており [22] [23]、各色毎に網点の線数とスクリーン角を変えることで、4色の網点の重なり周期に起因する色のモアレの発生を防止している。

図 2.10 に、多値ディザによる印刷画像の一例を示す。画像は SCID のテストチャート No.5 の白抜きの小文字部分の画像である。この多値ディザは、空間周波数の低いディザマトリクスを使い、隣接する複数の印刷画素の集合である網点で画像を表現する。さらに4色の網点のスクリーン角を異ならせているため、特に中間調の文字、細線等の空間周波数の高い画像が不鮮明となる。

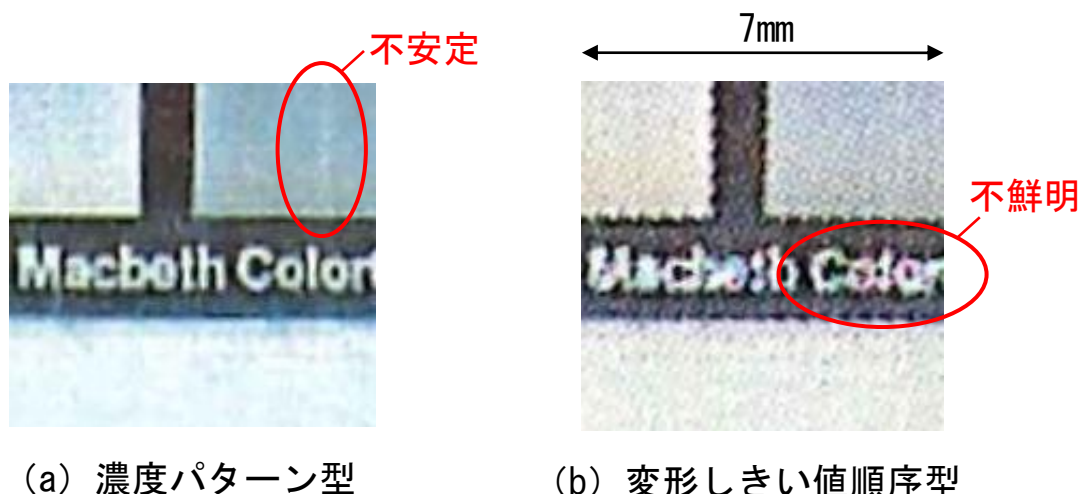


図 2.10 多値ディザによる印刷画像

## 2.4 製品適用の課題

文書画像処理装置は、一般的にビジネス分野での利用が多く、高速な画像処理が要求される。カラーレーザープリンタを例に挙げると、

- ・入力画像：A3 サイズ、RGB ラスタデータ (7016×9921 画素、24bit/画素)
- ・プリント出力速度：60 枚/分 (最大)

であり、PC で行う一般的な画像処理のように、1 ページ分の文書画像データからマクロに文字領域や画像領域を識別し、各領域に最適な画像処理を行うなどの、分単位の時間を要する処理は許されない。

以上のことから、文書画像処理装置に適用する画像処理はハードウェアで実現する

ことが必須であり、各メーカーそれぞれ独自の画像処理 LSI を開発し、製品に搭載している。図 2.11 はカラーレーザプリンタのコントローラの一構成例である。本研究の成果を製品に適用する場合は、デジタル回路化し、図 2.11 の中央に位置する画像処理 LSI への実装が必要である。

そこで、本研究では、デジタル回路による製品適用のため、下記の項目を条件とした。

- ・画像処理の並列実行（パイプライン処理）による高速化。
- ・主な演算回路は、加算器、減算器、比較器、シフトとする。乗算器と除算器は極力使用せずビットシフトにより 2 のべき乗による乗算、除算を行うことで回路規模を抑える。
- ・複数画素による画像処理に必要なラインバッファは 2～4 ラインとすることで、LSI 内蔵のメモリ容量の少ない SRAM で実現し、高速なメモリアクセスを可能とする。

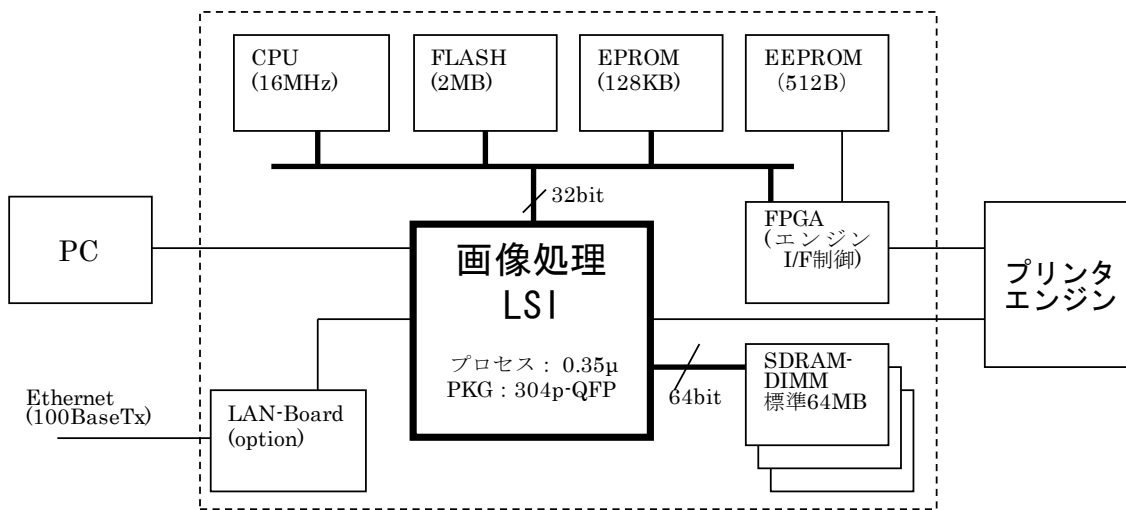


図 2.11 プリンタコントローラ

## 2章の参考文献

- [1] 画像電子学会編, カラー画像処理とデバイス, pp. 21-30, 東京電機大学出版局, 2004.
- [2] 多々内允晴, 中島啓介, 永井謙治, “読取り画像信号処理用高速・高精度CMOS LSI”, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. 70, No. 12, pp. 1583-1591, 1987.
- [3] 谷萩隆嗣, 野口考樹, “2次元デジタルフィルタによるぼけ画像の復元”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J64, No. 2, pp. 156-163, 1980.
- [4] 江尻公一, “画像修正技術”, 電子写真学会誌, Vol. 24, No. 1, pp. 42-50, 1985.
- [5] 富永昌治, “カラーマネジメントシステム入門(〈特集〉カラーマネジメントの基礎)”, 日本色彩学会誌, Vol. 28, No. 1, pp. 52-58, 2004.
- [6] 笹川 賢太郎, 尾川浩一, “共起行列を用いた文書画像からの写真領域の抽出”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. 77, No. 3, pp. 548-556, 1994.
- [7] 横山佳弘, 黒須康雄, 藤縄雅章, “文書画像の傾き角度検出精度の評価”, 情報処理学会第45回全国大会講演論文集, pp. 375-376, 1992.
- [8] 鉄谷信二, 越智 宏, “2値画像と濃淡画像の混在する原稿の2値化処理法”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J67, No. 7, pp. 781-788, 1984.
- [9] 南日俊彦, “文字・写真・網点印刷の混在する画像の2値化処理方法”, 画像電子学会第25回年次大会予稿集, pp. 91-94, 1989.
- [10] 上野博, 辻健三, “網点写真の2値化法”, 画像電子学会誌, Vol. 15, No. 4, pp. 377-388, 1986.
- [11] 大内敏, 今尾薫, 山田和作, “文字/絵柄(網点, 写真)混在画像の像域分離方式”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. 75, No. 1, pp. 39-47, 1992.
- [12] 越智宏, “階層処理による高品質多値誤差拡散法”, 画像電子学会誌, Vol. 24, No. 1, pp. 10-17, 1995.
- [13] 大津展之, “判別および最小2乗法に基づく自動しきい値選定法” 電子通信学会論文誌(D), Vol. J63, No. 4, pp. 349-356, 1980.
- [14] T. Fukinuki, “Notchless Bi-Level Quantizer for Facsimile and Its Effect on Coding Efficiency”, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol. 26, No. 5, pp. 611-618, 1978.
- [15] 中村敏明, 中島啓介, 篠田伸一, “モアレ抑圧エッジ強調フィルタによる高画質化方式”, 画像電子学会誌, Vol. 22, No. 5, pp. 445-450, 1993.
- [16] 画像電子学会編, カラー画像処理とデバイス, pp. 153-168, 東京電機大学出版

局, 2004.

- [17] 正嶋博, 葛貫壮四郎, 中島啓介, 坂東忠秋, 平沢宏太郎, “二値画像の各種拡大/縮小方式の性能評価および処理速度改良方式”, 情報処理学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 920-925, 1985.
- [18] 画像電子学会編, カラー画像処理とデバイス, pp. 138-145, 東京電機大学出版局, 2004.
- [19] 小寺宏暉, “デジタルプリントにおける色再現”, 画像電子学会誌, Vol. 14, No. 5, pp. 298 - 307, 1985.
- [20] 犬塚達基, 浜田長晴, “カラー画像情報の符号化処理方法”, 特許公報, 特公平 6-7688.
- [21] 三浦祥司, “「FM スクリーン印刷の現状と課題」 FM スクリーンの動向”, 日本印刷学会誌, Vol. 42, No. 2, pp. 74-77, 2005.
- [22] 大西 勝, 鮫島一博, “静電記録に適した多値ディザのしきい値配列”, 画像電子学会全国大会予稿集, No. 21, pp. 1-4, 1980.
- [23] 河村尚登, 門脇秀次郎, 北島信夫, “電子写真におけるデジタル・カラー・プリンティングの中間調再現法 (Ⅲ) ”, 電子写真学会誌, Vol. 25, No. 1, pp. 31-44, 1986.

## 3. モアレ抑圧エッジ強調フィルタ

### 3.1 緒言

現在、ファクシミリが利用される領域は、従来のビジネス分野から小規模事業所、さらには家庭へと広がった。ところで家庭におけるファクシミリの利用形態を考えた場合、扱われる文書画像は文字、絵柄の混在した画像が多くなり、また文書画像の電送に加え複写機としての利用が多くなった。したがって高画質化を低コストで実現することは大きな課題である。

従来からファクシミリでは文字、細線の高画質化のためエッジ強調処理[1]が行われているが、これを擬似中間調処理に適用すると、網点領域でモアレを発生し画質劣化を生じる場合がある。それを解決する手段として文字領域、写真領域、網点領域を判別してそれぞれの領域に最適な画像処理を行う像域分離処理[2]があり、採用している製品もある。

しかしながら、現状の画質をみると、白地上の文字は鮮明になる一方で、写真領域や網点領域の画質が劣化している場合が多い。理由として像域の誤判定があげられる。画像出力に不自然さを生じずに高画質化を達成する為には判定精度をあげる必要があるが、大規模な判定回路を必要とし低コスト化には適さない。

以上のような状況を踏まえ、注目画素が網点領域にあれば平滑特性を示し、エッジ領域にあれば強調特性を示すモアレ抑圧エッジ強調処理と、誤差拡散処理で構成する高画質化処理方式を開発した。本方式を解像度 8 本/mm のラインセンサで読み取った画像に対し適用した結果、従来、網点領域に発生していたモアレが抑圧され、また文字部の再現性を向上し得ることが確認できた。

### 3.2 高画質化処理方式

#### 3.2.1 ファクシミリの画像処理

ファクシミリは階調画像を黒、白の 2 値で出力する。2 値化の方法としては固定しきい値処理と擬似中間調処理がある。

固定しきい値処理は、ある一定のしきい値より濃度の高い画素を黒、低い画素を白として記録するもので文字画像の処理には適しているが絵柄画像の階調表現出力はできない。

擬似中間調処理は局所領域における平均濃度を 2 値出力時の黒、白画素数の割合に対応させることで擬似的に階調を表現するもので、代表的な処理方法としてディザ法

[3], 誤差拡散法[4]がある. ディザ法は, 2 値化のしきい値をある周期に従って一画素単位に変化させることで, 局所領域における黒画素と白画素の出現確率を制御し階調を表現する方法である.

誤差拡散法は, 固定しきい値による 2 値化前と後の濃度差を隣接する画素の濃度に加算することで, 局所的に 2 値化前と後の平均濃度を同じにしようとする方式である. 両方式とも 2 値による絵柄領域の階調表現出力には適しているが, 黒画素を分散させる処理のため文字再現性が劣る.

したがって, 一枚の原稿に文字および絵柄の混在したものを上記方式のそれぞれで 2 値化出力した場合, 文字領域と絵柄領域の再現性を両立させることはできず次節に述べる方式が考えられた.

### 3.2.2 文字, 絵柄混在画像の高画質化処理方式

ここでは, 文字, 絵柄の混在画像の高画質 2 値化を実現する従来の代表的な方式と, その問題点について述べる. 図 3.1 の (a) と (b) に従来の方式を, (c) に本方式の特徴を示す.

No	高画質化方式	画質		回路規模
		文字	絵柄	
(a)	<pre> graph LR     A[ ] --&gt; B[像域判定]     A --&gt; C[ディザ]     A --&gt; D[単純2値]     B --&gt; E[セレクタ]     C --&gt; E     D --&gt; E             </pre>	○ (白地) × (絵柄)	○ (写真) × (網点)	×
(b)	<pre> graph LR     A[ ] --&gt; B[エッジ強調]     B --&gt; C[誤差拡散]             </pre>	○ (白地) ○ (絵柄)	○ (写真) × (網点)	○
(c)	<pre> graph LR     A[ ] --&gt; B[モアレ抑圧 エッジ強調]     B --&gt; C[誤差拡散]             </pre>	○ (白地) ○ (絵柄)	○ (写真) ○ (網点)	○

図 3.1 高画質 2 値化方式

### (1) 像域分離方式

この方式は図 3. 1 の (a) に示したように一般に注目画素が網点領域にあると判定された場合には擬似中間調 2 値化処理を行ない，エッジ領域にあると判定された場合には固定しきい値処理を行う [2]。

図 3. 2 に網点画像の一例を示す。一般に，新聞や雑誌に掲載されている写真やイラストは規則的に配置した網点（ドットの集合）で構成されている。画像の濃淡はドットの大きさで表現する。また，網点にはドットの配列方向を定義するスクリーン角があり。モノクロ画像においては水平に対し  $45^\circ$  が一般的である。

像域分離は，白地の原稿上の文字領域や，写真領域では比較的簡単な論理で精度良く判定できるが，絵柄上の文字領域や網点写真領域では誤判定が生じやすい。このため判定結果で 2 値化処理の二者択一を行った場合，誤判定により出力画像に著しい画質劣化を引き起こす場合がある。像域判定精度を向上させるためには複雑な判定論理と参照画素領域を大きくする必要があり，回路規模が増大する傾向がある。

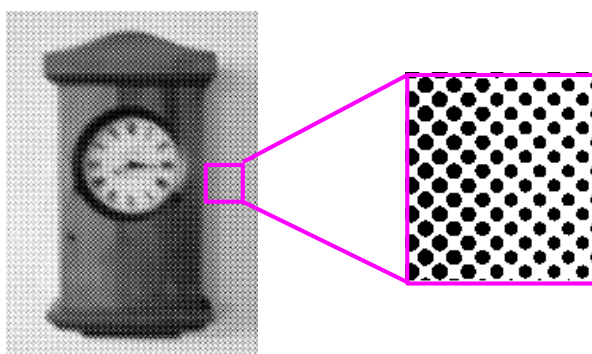


図 3. 2 網点画像

### (2) エッジ強調+誤差拡散方式

この方式は図 3. 1 の (b) に示したように，エッジ領域で画像信号を増幅させる特性をもったフィルタと，擬似中間調処理方式としてはディザ方式に比べ文字領域の再現性に優れた誤差拡散方式を直列に結合したものである [3]。像域の誤判定により 2 値化処理を切り替える方式ではないため，絵柄上の文字領域の画質劣化は無いが，網点領域でモアレが発生する。モアレは網点写真を 2 値化処理したときに原画像にない規則的なモザイク模様が発生するものである。

図 3. 3 にモアレの発生メカニズムを示す。モアレの発生する原因は，網点のドットピッチと CCD センサの画素ピッチの違いによる。元画像をデジタル処理するためにサンプリングするが，元画像の空間周波数とサンプリングの周波数の違いによる折り

網点画像 (133lpi, スクリーン角 45° )

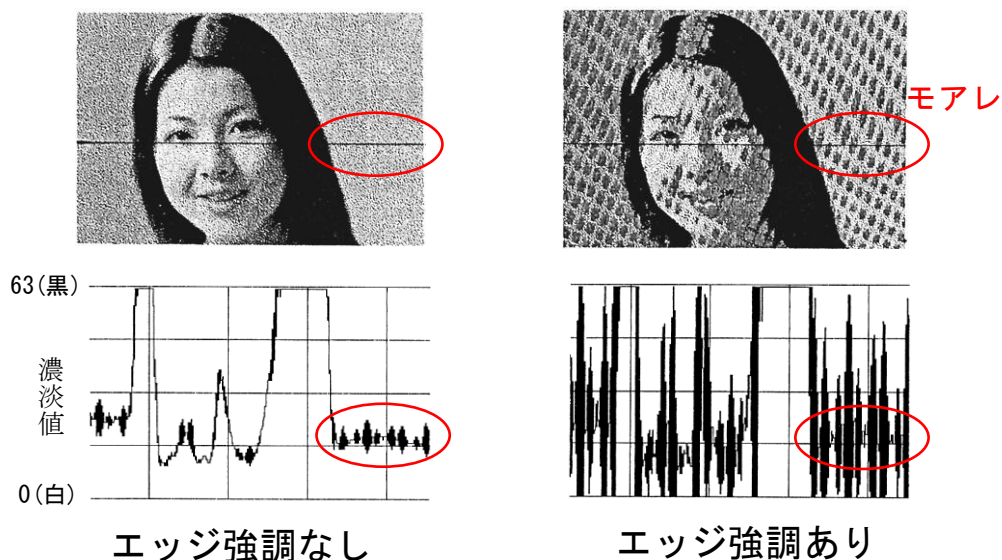


図 3.3 モアレの発生メカニズム

返し歪が生じる (図 3.3 左側の赤丸で囲んだ領域) [4]. その歪をエッジ強調フィルタで増幅することで 2 値画像にモアレが生じる (図 3.3 右側の赤丸で囲んだ領域) .

### 3.2.3 提案方式の基本概念

図 3.1 の (c) は本論文で提案する高画質化処理方式の概念を示したものである. 本方式は (b) のエッジ強調+誤差拡散方式を基本に, エッジ強調処理の代わりに, 網点領域でのモアレの発生箇所では平滑化に働き, 文字領域では強調化に働く特性を持つモアレ抑圧エッジ強調フィルタとすることで高画質を実現するものである. このフィルタについては, 3.3.3 節以後で詳述する.

## 3.3 モアレ抑圧エッジ強調

### 3.3.1 画像の特性

一般的な原稿において良く使われる平仮名, 片仮名, 漢字, 英数文字について, 同サイズの文字で比較した場合, 誤差拡散処理により最も画質劣化が目立つのは, 空間周波数において高域周波数成分の比率が高い漢字である. そこで, 文字領域の代表として漢字領域と, モアレの発生が顕著となる網点領域との空間周波数特性を調べた.

図 3.4 は, 文字領域と網点領域についての誤差拡散出力画像と空間周波数特性である. 誤差拡散出力画像は, 図 3.1 の (b) 方式の処理を施したものであり, 読み取り, 記録とも解像度 8 本/mm である. 空間周波数特性は, 解像度 8 本/mm でサンプリング後の画像信号について 2 次元フーリエ変換を行い, 各周波数成分の振幅利得を比で示した



ものである。副走査周波数が0のときの主走査軸は縦エッジの空間周波数を示しており、主走査周波数が0のときの副走査軸は横エッジの空間周波数を示している。また、原点0から主、副走査とも8本/mmの方向は斜め45°方向のエッジの空間周波数を示している。

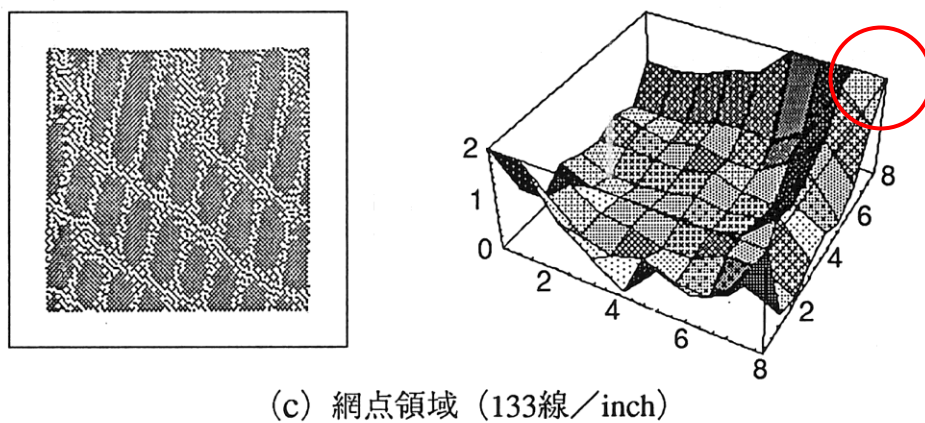
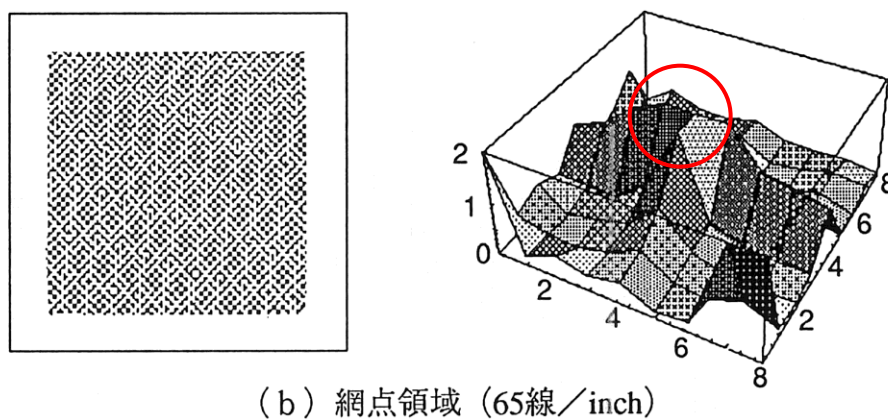
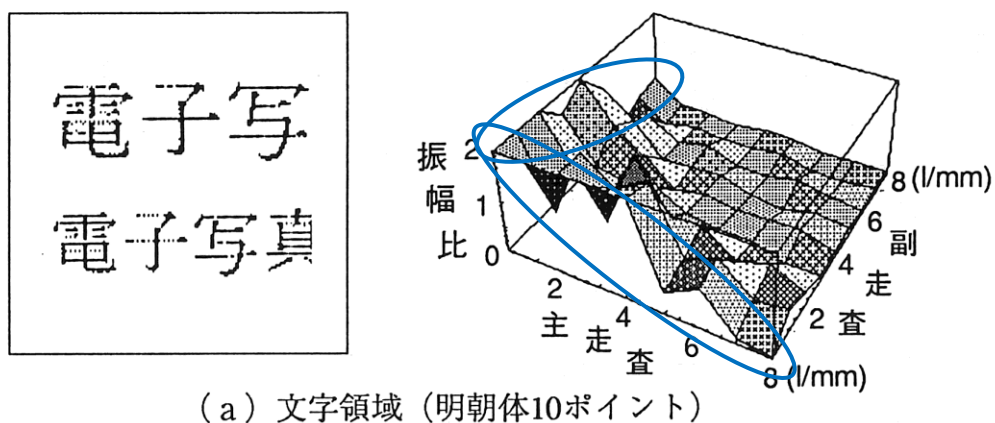


図 3.4 画像の空間周波数特性

各画像領域での周波数特性を比較すると、文字領域では主走査方向と副走査方向に高い利得が分布している。これは縦方向、横方向のエッジ領域が多いことを示している。65線/インチの網点領域では、斜め方向の4本/mmを中心とした領域に高い利得が分布している。これは、主走査2画素×副走査2画素で構成される4画素単位の高濃度領域と低濃度領域が交互に現われるような領域が多いことを示している。また、133線/インチの網点領域では、斜め方向の8本/mmを中心とした領域に利得の高い周波数成分が分布している。これは、1画素単位の高濃度画素と低濃度画素が交互に現われるような領域が多いことを示している。また、これらの領域以外のモアレの発生している網点領域でも同様の傾向を示している。

### 3.3.2 従来方式の問題点

一般にファクシミリにおけるエッジ強調処理は主走査および副走査方向の2次元のデジタルフィルタ処理[1]により実現している。フィルタ処理は、処理の対象となる画素およびその周辺画素で構成される局所領域に対し、各画素位置に対応する係数でコンボリューション演算を行うことで実現する[6]。代表的なエッジ強調フィルタの係数[1]と空間周波数特性を図3.5に示す。

図3.5の周波数特性をみると全体的に周波数が高域になるにつれて利得が高くなるが、斜め方向で特に高い利得を示す。したがって、斜め方向に周波数利得のピークを持つ網点領域にエッジ強調処理を施すと、斜め方向の高域周波数成分が極端に増幅され、誤差拡散出力にモアレとなって現われる。

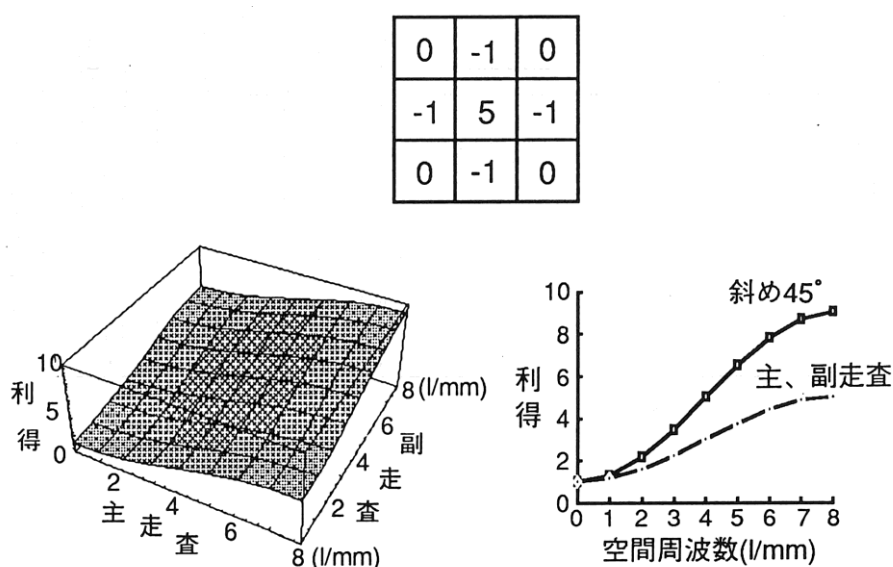


図 3.5 エッジ強調フィルタの空間周波数特性

### 3.3.3 モアレ抑圧エッジ強調フィルタの実現

図 3.4 の画像の空間周波数特性より、主走査方向、副走査方向の高域周波数成分を増幅することで文字領域の再現性を改善し、斜め方向の高域周波数成分を減衰させることで網点領域のモアレを抑圧する方式とする。実現方法として、主走査方向および副走査方向のエッジ強調フィルタの高周波数利得を維持しながら、斜め方向の高周波数利得に対し減衰特性をもった 2 次元デジタルフィルタとする。

一般的に、予め得たい周波数特性を定めて、そこからフィルタ係数を算出することで理想的なフィルタ特性を得ることが可能であるが、本研究では、論理回路による LSI への実装を目的とするため、下記の制約を設けた。

- ・除算演算をビットシフトで行えるよう、フィルタの係数を 2 のべき乗とする。
- ・副走査方向を 3 画素とし、2 本のラインメモリで構成する。

そして、下記の 3 段階で検討を行った。

- ・モアレ抑圧のため、斜め方向の高域周波数減衰特性の高い平滑フィルタの検討。
- ・文字再現性の向上のため縦横エッジ強調フィルタの検討。
- ・上記平滑フィルタと 2 つのフィルタの合成。

次に各段階の詳細を以下に説明する。

#### (1) 平滑フィルタの検討

網点領域の誤差拡散出力におけるモアレは、斜め方向の高域周波数成分を増幅することが原因である。したがって、斜め方向の減衰特性が高く、かつ文字領域の劣化を抑えるため、主走査、副走査の減衰特性の低い平滑フィルタを検討した。斜め  $45^\circ$  方向の周波数 8 本/mm は、1 画素分の高濃度画素と低濃度画素で構成する市松模様でモデル化できる。同様に 4 本/mm は、主走査 2 画素×副走査 2 画素の高濃度領域と低濃度領域で構成する市松模様でモデル化できる。したがって 4 本/mm 以上の斜め方向の周波数利得を下げるためには、1 本の走査線方向で連続する 3 画素以上で平滑演算を行うことが必要である。ラインバッファの増加を抑えることを考慮して副走査方向 3 画素で平滑演算を行う方式とし、フィルタの係数を検討した。図 3.6 は 3 種類の平滑フィルタの係数と、その主走査方向、副走査方向および主走査線に対し斜め  $45^\circ$  方向のそれぞれの空間周波数利得を示したものである。(a) はフィルタ係数の各画素位置の重みを一定にしたものであるが、主、副走査方向の高周波数領域の減衰率が高く、縦横方向のエッジの濃度保存性が悪い。そこで、平滑処理の対象となる画素位置に対し斜め方向の画素位置の係数を 0 とし、縦方向、横方向の画素との間で平滑演算を行うフ

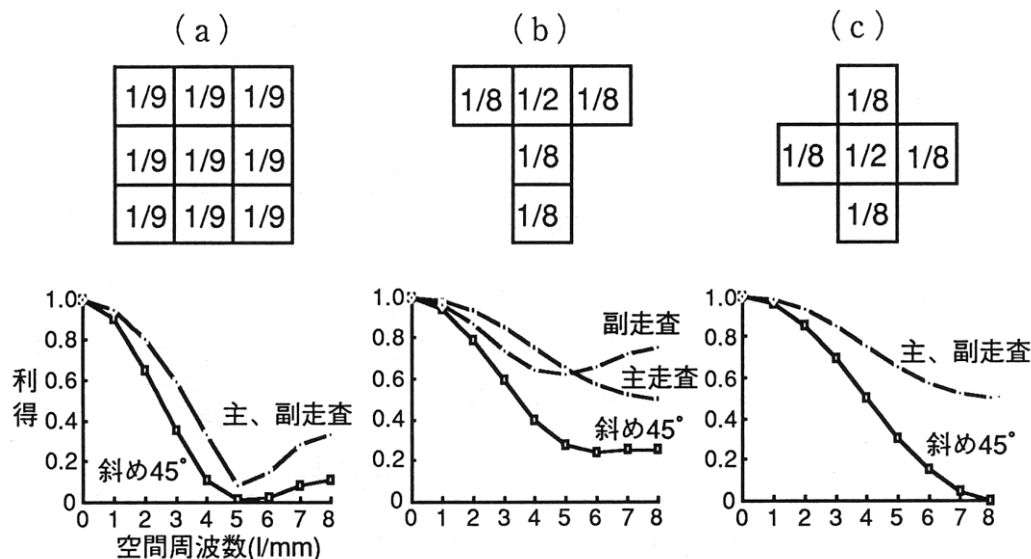


図 3.6 平滑フィルタの空間周波数特性

フィルタとする。具体的には図 3.6 の (b) および (c) に示すように、平滑処理の対象となる画素位置の係数を  $1/2$  とし、その縦方向、横方向に連続する画素位置の係数を  $1/8$  とすることで構成する。その結果、斜め方向で減衰率が高く、かつ主、副走査方向の減衰率の低い周波数特性が得られる。

### (2) エッジ強調

つぎに (1) のフィルタ処理で平滑処理された画像信号に対して主走査、副走査方向のエッジを強調することを考える。図 3.7 にエッジ強調フィルタの係数と空間周波数特性を示す。(a) は従来のエッジ強調フィルタで主走査、副走査方向の利得よりも斜め方向の利得が高くモアレの発生が顕著となる。そこで、強調処理の対象となる画素に対し縦横方向の画素位置の係数を  $0$  とし、斜め方向の画素位置との間で強調演算を行うフィルタとする。具体的には図 3.7 の (b) に示すように、強調処理の対象となる画素位置の係数を  $5$  とし、その斜め方向の画素位置の係数を  $-1$  とすることで構成する。その結果、主走査、副走査方向の高域周波数利得が高く、かつ斜め方向で  $4$  本/mm を境に利得が低くなる特性が得られる。

### (3) フィルタの合成

図 3.8 はモアレ抑圧エッジ強調フィルタの設計方法を示したものである。(a) において a~o までのアルファベットは主走査方向 5 画素、副走査方向 3 画素の領域における画素位置を示す。モアレ抑圧エッジ強調フィルタは注目画素 h 対し、上記 (1), (2) の処理を一回のコンボリューション演算で実現する。以下フィルタ係数の決定方法について図 3.8 の (b), (c) を用いて説明する。まず最初に図 3.8 の (b) に示す平滑処理を行う。画素 h に対して図 3.6 に示す (c) の平滑フィルタでコンボリューション演算を行う。

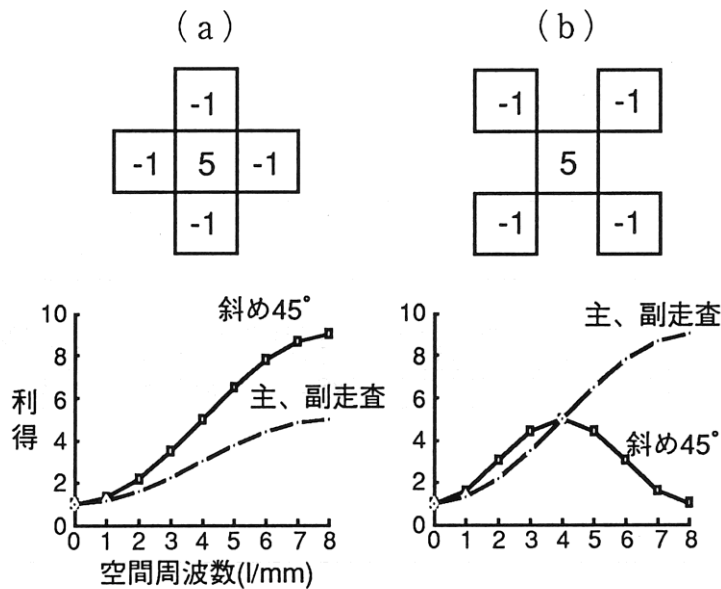


図 3.7 強調フィルタの空間周波数特性

演算結果  $A(h)$  は (3.1) 式で表わせる.

$$A(h) = \frac{1}{2}h + \frac{1}{8}(c + g + i + m) \quad (3.1)$$

また画素  $b, d, l, n$  に対しては図 3.6 に示す (b) の平滑フィルタでコンボリューション演算を行う. 演算結果はそれぞれ (3.2) ~ (3.5) 式で表せる. 画素  $b, d$  に対しては下方向に連続する画素を用いて平滑化を行い, 画素  $l, n$  に対しては上方向に連続する画素を用いて平滑化を行うことで副走査方向の必要画素数を 3 画素に抑える. その結果, フィルタ演算に必要な画像を記憶するためのラインメモリの数を従来のエッジ強調フィルタと同じ 3 ラインに抑さえることができる.

$$A(b) = \frac{1}{2}b + \frac{1}{8}(a + c + g + l) \quad (3.2)$$

$$A(d) = \frac{1}{2}d + \frac{1}{8}(c + e + i + n) \quad (3.3)$$

$$A(l) = \frac{1}{2}l + \frac{1}{8}(b + g + k + m) \quad (3.4)$$

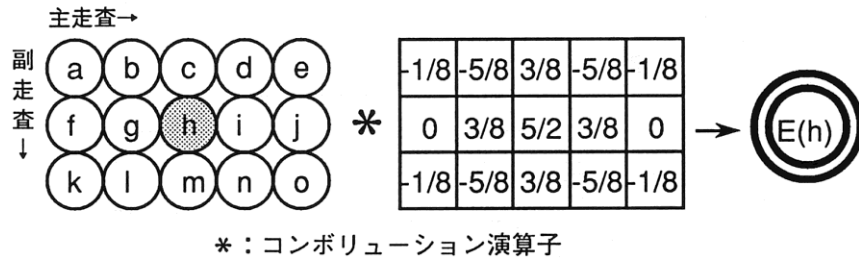
$$A(n) = \frac{1}{2}n + \frac{1}{8}(d + i + m + o) \quad (3.5)$$

次に上記平滑化で求めた  $A(h)$  に対し, 図 3.7 に示す (b) の強調フィルタでコンボリューション演算を行う. この場合の周辺画素を  $A(b), A(d), A(l), A(n)$  とする. 演算結果  $E(h)$  は (3.6) 式で表せる.

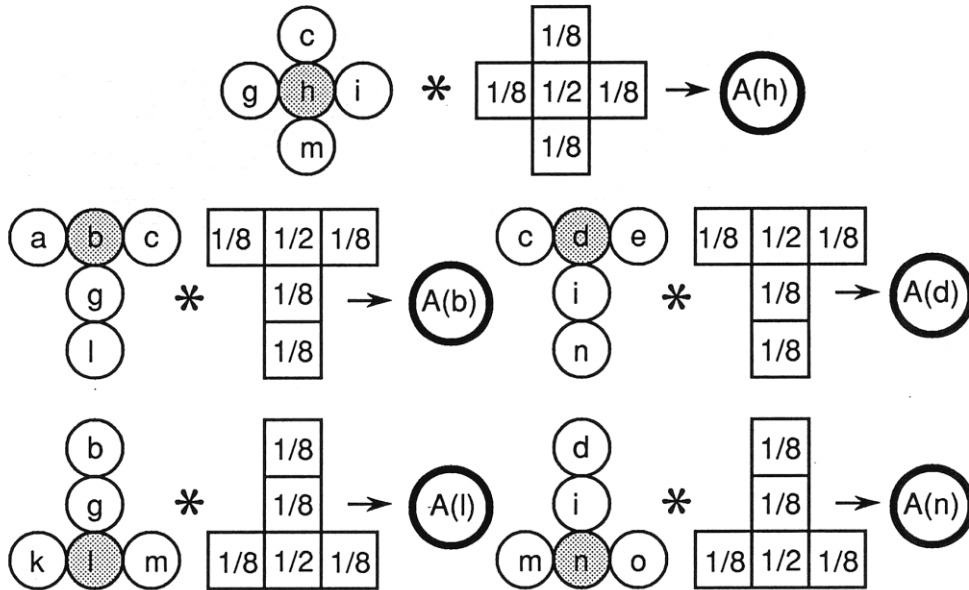
$$E(h) = 5A(h) - A(b) - A(d) - A(l) - A(n) \quad (3.6)$$

(3.6) 式に (3.1) ~ (3.5) 式を代入すると (3.7) 式となり  $a \sim o$  の画素位置に対応するフィルタの係数が求まる.

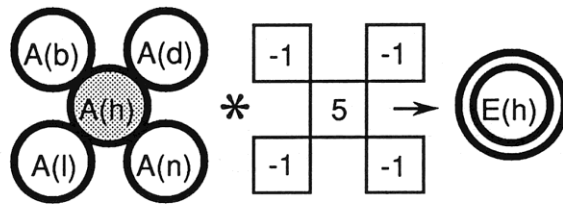
$$E(h) = -\frac{1}{8}a - \frac{5}{8}b + \frac{3}{8}c - \frac{5}{8}d - \frac{1}{8}e + \frac{3}{8}g + \frac{5}{2}h + \frac{3}{8}i - \frac{1}{8}k - \frac{5}{8}l + \frac{3}{8}m - \frac{5}{8}n - \frac{1}{8}o \quad (3.7)$$



(a) モアレ抑圧エッジ強調処理



(b) 平滑処理



(c) 強調処理

図 3.8 モアレ抑圧エッジ強調フィルタの設計

### 3.3.4 モアレ抑圧エッジ強調フィルタの特性

上記手法により求めたモアレ抑圧エッジ強調フィルタの空間周波数特性を図 3.9 に示す。図 3.5 のエッジ強調フィルタの特性と比較すると明らかなように、主走査、副走査方向では高域周波数領域において高い利得を得ている。一方、斜め方向では、3 本/mm を境に周波数が高くなるに従い利得が低くなる特性を示している。

-1/8	-5/8	3/8	-5/8	-1/8
0	3/8	5/2	3/8	0
-1/8	-5/8	3/8	-5/8	-1/8

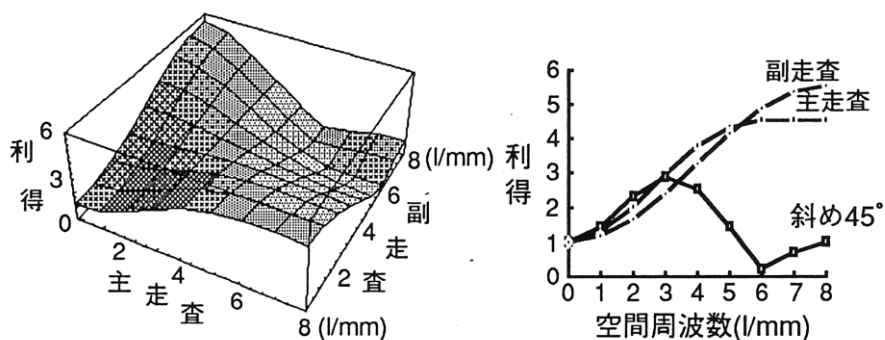


図 3.9 モアレ抑圧エッジ強調フィルタの空間周波数特性

### 3.4 評価

#### 3.4.1 画質評価

図 3.10 に、エッジ強調処理を行わない場合、エッジ強調処理を行った場合、モアレ抑圧エッジ強調処理を行った場合の各画像について、誤差拡散処理で 2 値出力した結果を示す。評価に用いた画像はテストチャート電子写真学会 No. 1-R の 65 線/インチおよび 133 線/インチの網点画像と、明朝書体で表現された大きさ 20 級から 8 級の文字画像である。画像の読取りは解像度 8 本/mm の CCD ラインセンサで行い、画像処理出力は解像度 8 本/mm の感熱記録ヘッドで行った。

誤差拡散のみの場合、網点領域においてはモアレを発生しないが絵柄の輪郭がボケる。また文字領域では細線の再現性の低下が著しい。エッジ強調を行った場合、絵柄の輪郭や文字領域の再現性は改善されるが、モアレが発生し網点領域の画質劣化が著しい。本論文で提案したモアレ抑圧エッジ強調を行った場合、網点領域においては、65 線/インチではモアレは発生しているが、エッジ強調の場合に比べかなり抑圧されている。133 線/インチではモアレは発生しない。また文字領域においては、エッジ強調と同等の再現性を得ている。

また、電子写真学会テストチャート No. 2-R, No. 3, No. 4, 画像電子学会テストチャート No. 1, No. 2, No. 3, No. 4, および、実際の使用を想定したファクシミリ製品評価

用のテストチャートにて画質評価を行い、網点と文字・線画の画質向上と、他の部分において画質劣化のないことを確認した。

方式	誤差拡散	エッジ強調 + 誤差拡散	モアレ抑圧エッジ強調 + 誤差拡散
網点 (65線/inchi)			
網点 (133線/inchi)			
文字	20 電子写真 ABCD 16 電子写真テ ABCDE 14 電子写真テ ABCDEF 12 電子写真テスト ABCDEFG 10 電子写真テストチ ABCDEFGHI 8 電子写真テストチャー ABCDEFGHIJK	20 電子写真 ABCD 16 電子写真テ ABCDE 14 電子写真テ ABCDEF 12 電子写真テスト ABCDEFG 10 電子写真テストチ ABCDEFGHI 8 電子写真テストチャー ABCDEFGHIJK	20 電子写真 ABCD 16 電子写真テ ABCDE 14 電子写真テ ABCDEF 12 電子写真テスト ABCDEFG 10 電子写真テストチ ABCDEFGHI 8 電子写真テストチャー ABCDEFGHIJK

図 3.10 画像出力結果

### 3.4.2 符号化効率

ファクシミリでは画質とともに電送時間短縮のための符号化効率の向上は重要な課題である。そこで上記3方式における符号化効率を調べた。図3.11は、電子写真学会テストチャート No.1-R 全体の画像を上記3方式で処理した後、MH符号化方式とMR符号化方式[7]で符号化した場合の圧縮率を比較したものである。圧縮率は符号化前のデータ量を1として示した。モアレ抑圧エッジ強調処理を行った場合、モアレの抑圧と文字再現性の向上により孤立点の発生が減少し、エッジ強調方式に対しMR符号化方式の圧縮率は13%向上している。



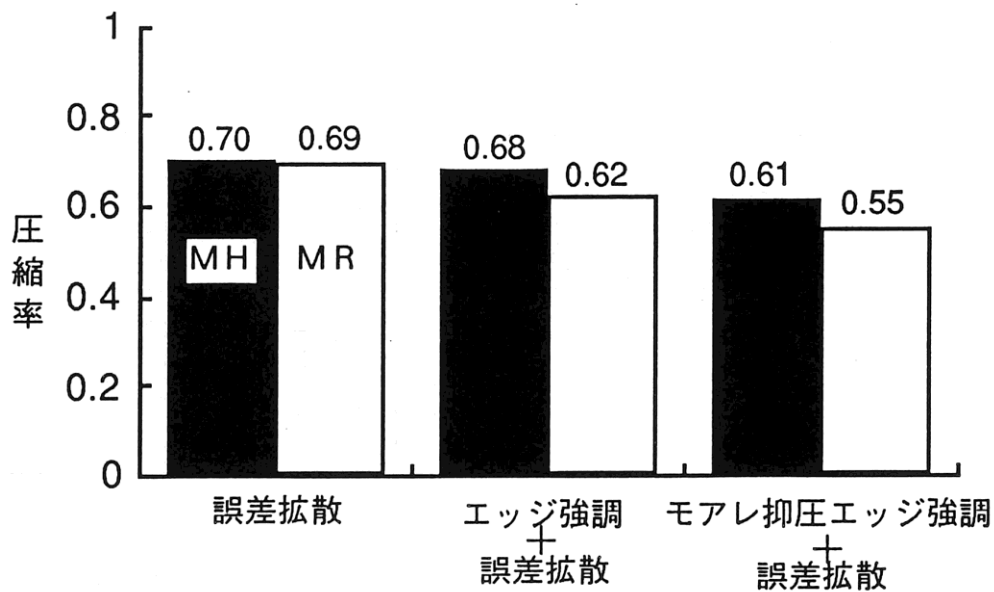


図 3.11 符号化効率

### 3 章の参考文献

- [1] K.Nakashima, et al., “High-quality image Processing Architecture for Facsimiles” Journal of Electronic Imaging, Vol. 1(1), pp. 61-67, 1992.
- [2] 牧野, 赤田, ”濃淡領域を含む’文書画像の2値再生について”, 電子通信学会論文誌, J65-D, 1, 1982.
- [3] 多々内充晴, “文書画像の2値化処理に関する検討”, 画像電子学会誌, Vol. 18, No. 4, pp. 209-216, 1989.
- [4] R.Floyd, L.Steinberg, “An Adaptive Algorithm for Spatial Gray scale”, SID 75 Digest, pp. 36-37, 1975.
- [5] 高島, 白淵, “文字・写真混在画像の網点化”, 電子通信学会技術報告, IE 83-67, pp. 13-18, 1983.
- [6] T.Honda, et al., “Compacting Technologies For Small size Personal Facsimile”, IEEE Transaction On Consumer Electronics, Vol. 38, No. 3, pp. 417-423, 1992.
- [7] “テレマティック・サービスのための端末装置とプロトコル”, 日本 ITU 協会, pp. 18-31.

## 4. エッジ検出ノッチ除去 2 値化

### 4.1 緒言

ファクシミリによる画像伝送の改善すべき課題の一つとして、ノッチ発生に起因する画質劣化と電送時間の増大が挙げられる。ノッチとは読み取った画像情報を一定のしきい値で黒、白に 2 値化した際にエッジ領域に生じるノイズである。特にノーマル送信（副走査解像度 3.85 ライン/mm）時は垂直方向のノッチが 1/4mm と長く非常に目障りとなる。

ノッチの原因としては、読み取り原稿上のエッジの非直線性、センサ各画素ごとの光電変換素子の特性バラッキ、デジタル回路からのアナログ回路へのクロックノイズの混入などが挙げられる。さらに現状のファクシミリでは 2 値化出力の解像度を上げるために、デジタルフィルタによるエッジ強調処理を行うのが一般的であり、その結果ノッチの発生を助長する傾向にある。この課題を克服するため既に報告された方式としては、2 値化しきい値にヒステリシス特性をもたせる方式がある。2 値化のためのしきい値を 2 通り用意して、着目画素を 2 値化する際に、隣接画素の 2 値出力が白の時は、高しきい値を用いて着目画素の 2 値出力が白となる確率を高め、反対に隣接画素の 2 値出力が黒のときは、低しきい値を用いて着目画素の 2 値出力が黒となる確率を高める [1]。

この方式を全ての画像領域に対して適用すると、図 4.1 に示すように、エッジ領域でない中間濃度領域で、2 値化結果に白スジ、黒スジなどが現われ画質劣化を起こす場合がある。

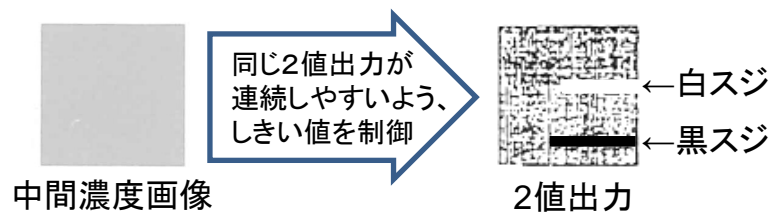


図 4.1 ヒステリシス 2 値化結果

また、別の方法として画像の 2 値化結果からノッチ領域を検出して除去する方式がある。2 画素×2 画素の領域の論理演算でノイズ成分を検出し、オリジナルな 2 値化出力からその成分を除去する方式である [2]。この方式は、情報とノッチを正確に区別することが困難なため、小文字領域では文字のツブレが、細線領域ではカスレが発生する場合がある。

同じく、2 値化結果からノッチを除去する方式として、2 値出力からパターンマッチングでノッチ発生領域を検出し、ノッチ発生領域を白画素と黒画素の多い方の色に置き換える方法がある[3]。この方式は、原稿 1 ページ分の 2 値化結果をあらかじめ用意する必要があること、さらに垂直または水平エッジの始点と終点が検出できてからそのエッジを多数決論理で白、黒どちらにするか決定するため、1 画素単位のノッチ除去処理時間がエッジの長さにより変動し、画像のページメモリを持たず、原稿の読み取りと送信をリアルタイムに行うファクシミリには採用することが難しい。

そこで、非ノッチ発生領域に弊害を与えない高精度なノッチ除去がリアルタイムで可能な方式として、濃淡画像情報から、ノッチが発生した場合に画質劣化として認識されやすい水平および垂直のエッジを検出し、検出した画素に対し隣接画素の 2 値化結果に応じた 2 値化しきい値を選択して 2 値化する方式を開発した。

#### 4.2 方法

図 4.2 に今回開発した方式のブロック図を示す。図中の網かけしたブロックが新規に開発した機能である。本方式の基本的な考え方は、シェーディング補正処理による正規化で得られた 64 階調の画素データ (6 ビット/画素) から注目画素が水平エッジまたは垂直エッジに属するかを検出し、注目画素をエッジ強調した後にノッチ除去 2 値化処理を行うことでノッチの少ない 2 値出力を得るというものである。

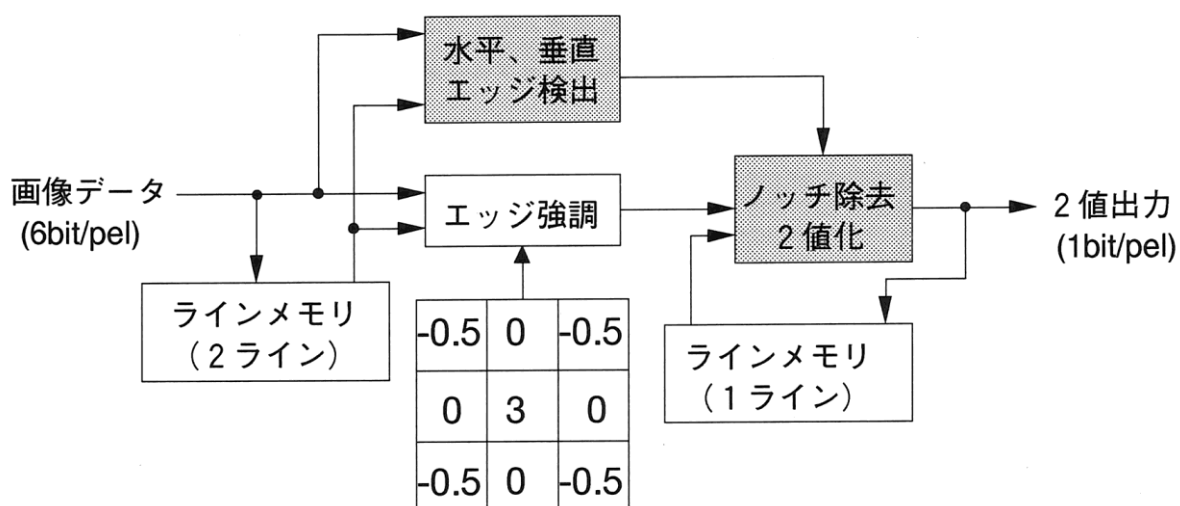


図 4.2 ノッチ除去 2 値化方式

図 4.3 は本方式の画像処理に用いるウィンドウを示したものである。水平、垂直エッジ検出ブロックでは、図 4.3 のウィンドウ (a) に示すように、注目画素 P11 とそれに隣接する 8 画素の計 9 画素の 64 階調表現された濃淡情報 (6 ビット/画素) から、注目画素 P11 が水平エッジまたは垂直エッジに属するかを検出する。

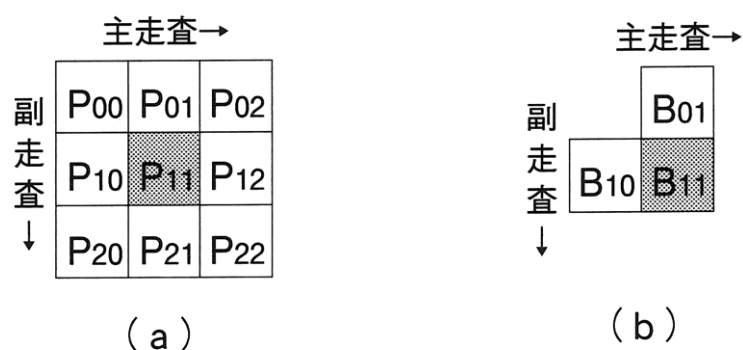


図 4.3 画像処理ウィンドウ

ノッチ除去 2 値化ブロックでは図 4.3 の (b) に示すように注目画素 P11 の 2 値化結果 B11 を得るために、水平エッジに属する場合は P10 の 2 値化結果 B10 を参照し、垂直エッジに属する場合は P01 の 2 値化結果 B01 を参照する。エッジ強調は図 4.3 の (a) に示す注目画素を中心とした主走査 3 画素、副走査 3 画素の計 9 画素の画像処理ウィンドウに対し図 4.2 に示すエッジ強調係数のコンボリューション演算 [4] で実現する。中心の係数に対し斜め方向に非ゼロの係数を配した理由は、注目画素が水平または垂直方向に連なる 1 画素幅の細線である場合に、最大の強調度 (3 倍) を示すようにするためである。この結果、これらの組合せで表現される場合が多い罫線や漢字において 2 値化時のカスレやツプレの発生を抑えることができる。

また水平、垂直エッジ検出も同じ画像処理ウィンドウを使って注目画素の属性を検出する。具体的には注目画素の属する主走査ラインとその前ラインの画素濃淡情報を 2 ライン分のラインメモリに記憶しておき、次ラインの画素濃淡情報入力に同期して順次読み出して処理を行う。したがって注目画素の濃淡情報入力から、エッジ検出およびエッジ強調の出力に 1 ライン分の遅延がある。ノッチ除去 2 値化は垂直エッジと判定された場合に、注目画素の上の画素の 2 値化結果を参照するため、前ラインの 2 値化結果を 1 ライン分のラインメモリに記憶しておき、注目画素の入力に同期して順次読み出す。ノッチ除去 2 値化は、入力された注目画素のエッジ強調出力に対し、1 画素の遅延もなく 2 値化結果を出力する。

以上の結果より、今回開発したノッチ除去 2 値化方式は、従来からファクシミリに搭載されているエッジ強調+固定しきい値 2 値化方式と同じく、1 ラインの遅延で 2 値化結果が得られる。したがって読み取りながら画像電送を行うファクシミリのリアルタイム動作に適した方式である。

#### 4.2.1 水平, 垂直エッジ検出

エッジ強調前の複数画素領域の濃淡情報から、注目画素が、ノッチの出現確率の高い水平エッジ、または垂直エッジに属しているかを検出する。エッジ強調前（ただしシェーディング補正後）の濃淡情報からエッジに属することを検出する理由は、エッジ強調前のノッチ部分の濃度と隣接画素間の濃淡差が小さく、本来の画像情報と区別しやすいが、エッジ強調後ではその濃淡差が増幅され、本来の画像情報であるのか、またはノッチであるのかの識別が難しくなるためと、エッジ強調用のラインメモリを共用できるためである。

図 4.4 に水平垂直エッジ検出アルゴリズムを示す。また、図 4.5 は水平垂直エッジ検出のためのマッチングを取るためのマスクパターンである。図 4.5 の水平エッジで、中心画素が白のマスクが水平白パターン、黒のマスクが水平黒パターンである。垂直エッジについても同様である。

最初に、注目画素 P11 周辺の 8 画素の値の平均値  $P_{av}$  を求める。次に、一定値  $\alpha$  を加減算して  $ETH+$ 、 $ETH-$  を求め、それらを 2 値化しきい値として注目画素 P11 および周辺 8 画素を 2 値化する。2 値化しきい値より画素値が大きい場合は 2 値化結果を黒に、それ以外は白にする。 $ETH+$  で 2 値化した場合は、図 4.5 の水平白パターンと垂直白パターンでマッチングを行う。 $ETH-$  で 2 値化した場合は、図 4.5 の水平黒パターンと垂直黒パターンでマッチングを行う。

以上の処理を読み取り原稿上の全ての画素について 1 画素単位に行い、注目画素が水平エッジまたは垂直エッジに属するのか、それ以外の領域に属するのかを検出する。

図 4.6 に本アルゴリズムによる水平、垂直エッジ検出結果を示す。評価に使った画像は、画像電子学会ファクシミリテストチャート No.2 中の下記の画像パターンである。

- ・エッジ検出可能な空間周波数限界を調べるため垂直線パターン（上部）
- ・水平、垂直エッジ以外のエッジ領域における誤検出を調べるための放射線パターン（中央部）
- ・中間調領域（非エッジ領域）における誤検出を調べるための濃度パターン（右部）

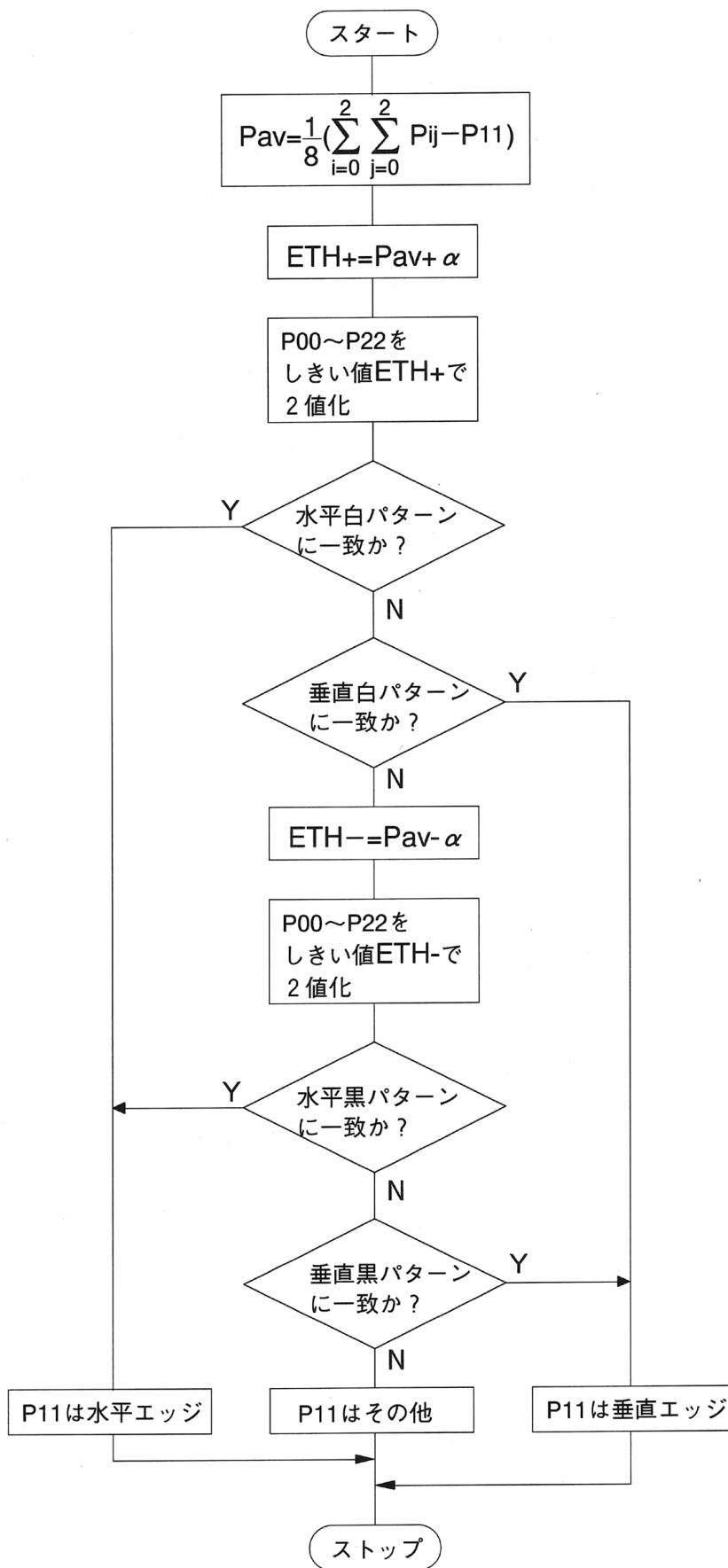


図 4.4 水平，垂直エッジ検出

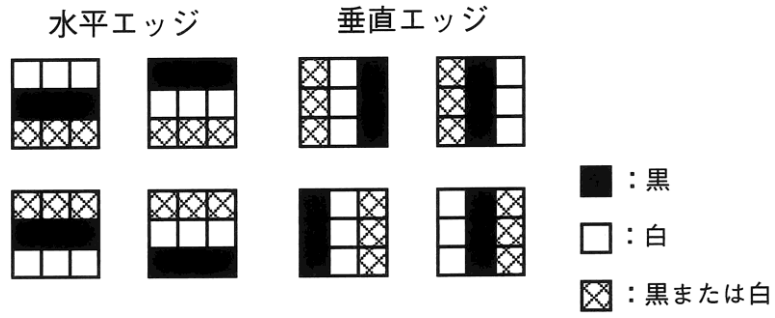


図 4.5 水平, 垂直エッジ検出パターン

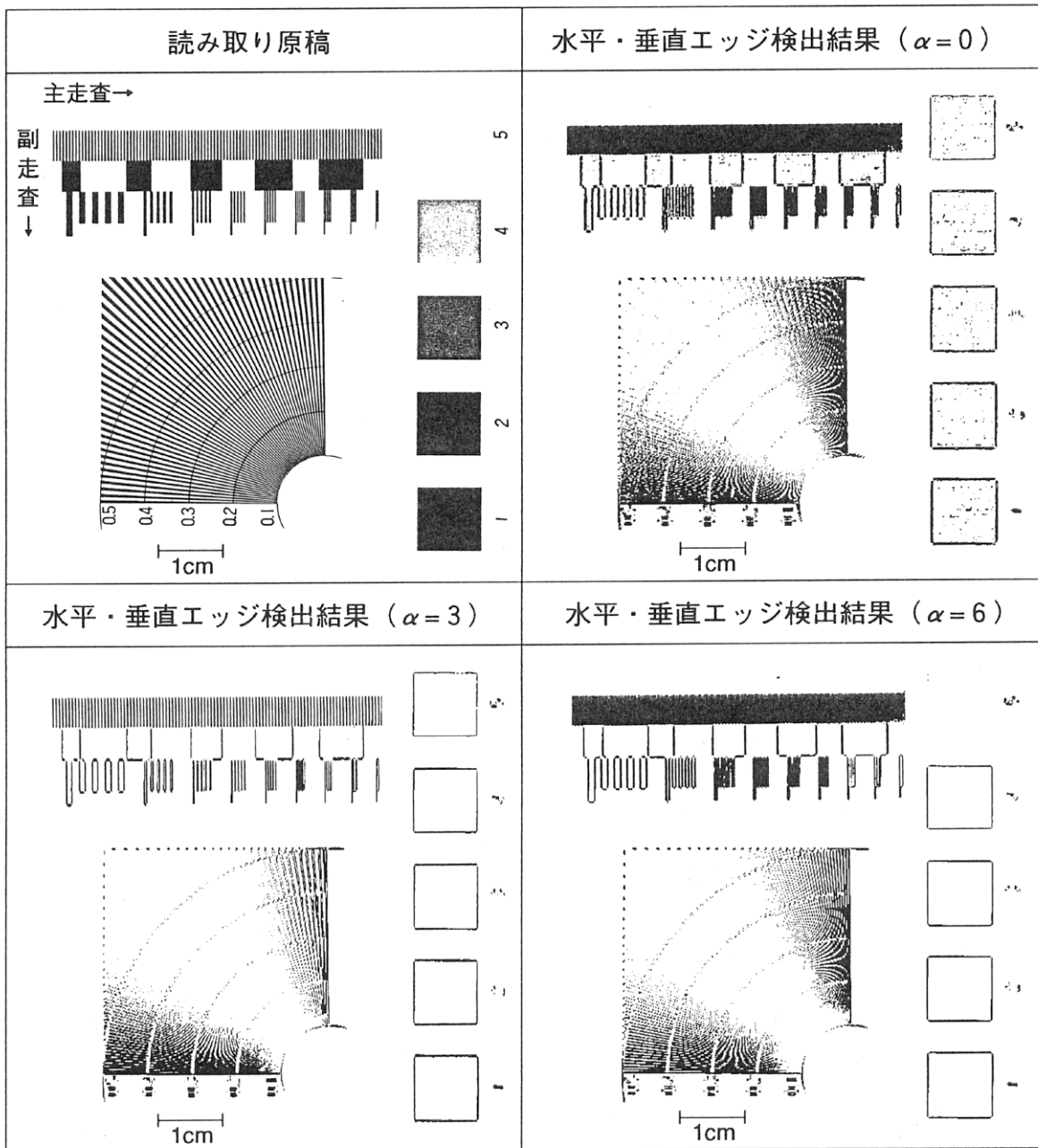


図 4.6 水平, 垂直エッジ検出結果

各画像を主走査 8 ライン/mm, 副走査 7.7 ライン/mm の解像度で読み取り, 一定値  $\alpha$  の値をパラメータとし, 水平または垂直エッジとして検出した画素を黒で, それ以外を白で表した. 代表的な 3 通りの結果について述べる. 最初に  $\alpha=0$  のとき, 濃淡パターンの内部において誤検出が多発している. この場合エッジ以外の領域で 2 値出力に弊害を起こす可能性が高い.  $\alpha=3$  のとき, 垂直線パターン, 放射線パターン, 濃淡パターンのそれぞれにおいて誤検出がほとんどない.  $\alpha=6$  のとき, 垂直線パターンにおいて, 誤検出が目立つ. この場合, 細線の 2 値出力にツブレやカスレが生じる可能性が高い. 以上の結果より, 本方式の検討に用いた画像シミュレーションにおいては  $\alpha=3$  を採用した.

#### 4.2.2 2 値化しきい値制御

注目画素が水平エッジに属している場合, 注目画素を 2 値化した際に, その左画素の 2 値化結果と同じ 2 値出力となりやすいように 2 値化しきい値を選択する. また注目画素が垂直エッジに属している場合, 注目画素を 2 値化した際に, その上画素の 2 値化結果と同じ 2 値出力となりやすいように 2 値化しきい値を選択する.

図 4.7 にノッチ除去 2 値化処理のアルゴリズムを示す. 注目画素 P11 が水平エッジであると判定された場合は, その左画素の 2 値出力 B10 に応じて, P11 のエッジ強調出力 PE11 を 2 値化するためのしきい値を変化させる. 具体的には, B10 が白のときは, 2 値化しきい値を標準しきい値 BTH より高い値  $BTH + \Delta$  とし, P11 の 2 値化結果 B11 が白となる確率を高くする. 反対に B10 が黒のときは, 2 値化しきい値を  $BTH - \Delta$  とし, P11 の 2 値化結果 B11 が黒となる確率を高くする. 次に注目画素が垂直エッジに属する場合には, その上画素の 2 値化結果 B11 の値に応じて, 水平エッジの場合と同様に 2 値化しきい値を切り替える. P11 がその他の領域に属するときは, 標準しきい値 BTH で 2 値化を行う.

図 4.8 に 2 値化しきい値制御の動作例を示す. 図 4.8 の (a) において網かけ領域は読み取り原稿を, また, 小さな升目は, 読み取りセンサの 1 画素単位の読み取り窓を示している. (b) は (a) の太線で示される主走査線上の各画素の濃淡値を示したものであり, 値が大きいほど画素濃度が高いことを示す. また (b) で網かけされた濃淡値は, 水平エッジと判定された画素であることを示す. 太線は 2 値化しきい値を示し, 各画素の濃淡値がこの値より大きいときは, 2 値化結果として黒を出力する. 濃淡値が 2 値化しきい値以下のときは, 2 値化結果として白を出力する.

ここで 2 値化しきい値の制御を (b) で説明する. まず, 左から 4 画素目までは非エ



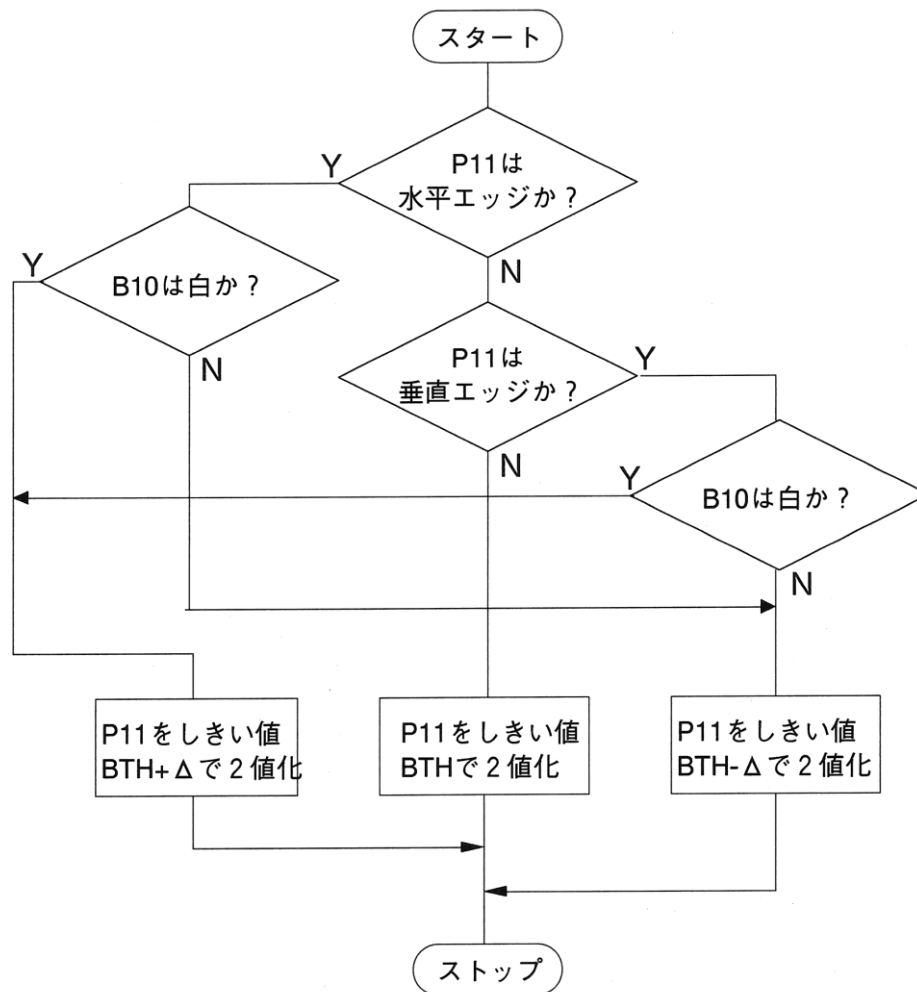


図 4.7 2 値化しきい値制御

ッジであるため、2 値化しきい値は標準しきい値 BTH が選択される。5 画素目は水平エッジ領域と判定されたため、4 画素目の 2 値化結果が黒であることから、2 値化しきい値は  $BTH - \Delta$  が選択される。以後 10 画素目まで左隣の 2 値化結果が黒となることから、 $BTH - \Delta$  が選択される。11 画素目から 15 画素目までは非エッジ領域であるため、2 値化しきい値は再び BTH が選択される。16 画素目は水平エッジ領域と判定されたため、15 画素目の 2 値化結果が白であることから、2 値化しきい値は  $BTH + \Delta$  が選択される。以後 21 画素目まで左隣の 2 値化結果が白となることから、 $BTH + \Delta$  が選択される。その結果、(c) に示すようにノッチのない 2 値化結果が得られる。

ここでのポイントは、4 画素目、11 画素目および 15 画素目は水平エッジ領域の端部であるが、図 4.5 の水平、垂直パターンに一致しないため、エッジ領域として判定せず、標準しきい値 BTH で 2 値化することである。つまりエッジ領域の端部画素は必ず標準しきい値で 2 値化することで、従来方式の 2 値化結果と一致させ、そこから内側のエッジ構成画素についてノッチ除去処理を施す点である。例えば 1 画素幅の横細線

を水平エッジ領域として検出した場合、その端点の2値化結果が黒の場合は、この横細線が黒として出力されるように次画素以降の2値化しきい値が制御され、細線の消失が防げる。また、原稿の背景画像の灰色の汚れを水平エッジとして検出した場合、端点が白であれば、それ以後の2値化しきい値は白として出力されるように次画素以降の2値化しきい値が制御されるため、汚れが黒として2値出力されるのを防げる。

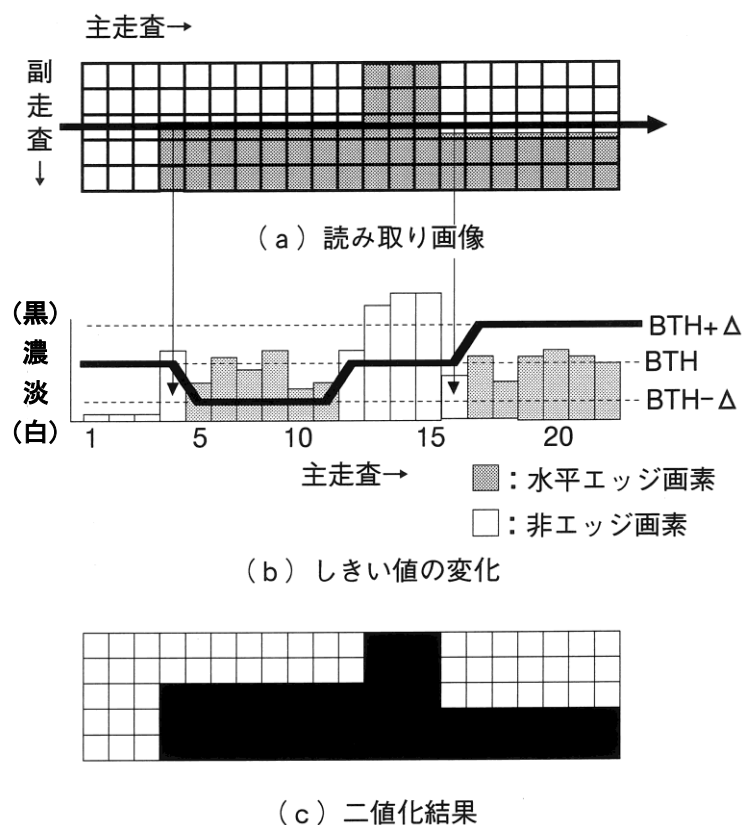


図 4.8 2 値化しきい値制御の動作例

図 4.9 は、2 値化しきい値パラメータ  $\Delta$  の値とノッチ除去効果の関係を示したものである。特徴をよく表している 3 通りについて説明する。2 値化前の画素単位の濃淡情報は黒を 63、白を 0 とした 64 階調とし、標準 2 値化しきい値 BTH の値を 20 とした。 $\Delta=0$  の場合、つまり、全ての領域を単一しきい値 BTH で 2 値化した場合、水平、垂直方向のエッジ部分にノッチが顕著に現われている。 $\Delta=10$  の場合、数字 1 の太線の水平エッジ領域でノッチ除去が十分でない。 $\Delta=15$  の場合、十分なノッチ除去効果が得られている。 $\Delta=20$  の場合、数字 5 や 4 の水平 3 本ラインにおいて上 2 本の右端部が黒画素でつながってしまう。これは、2 本の右端部間の白画素が垂直エッジとして誤

検出され、さらに、2値化しきい値  $BTH - \Delta = 0$  のため、右端部間の白画素が黒に2値化された結果である。以上の結果より、 $\Delta$  の値を大きくするにつれノッチ除去効果が大きくなるが、エッジの誤判定領域での画質劣化が多くなることがわかる。本方式の検討に使用した画像読み取りシミュレーションにおいては  $\Delta = 15$  を最適値と定めた。

原稿の読み取り時に、ピーク補正により文字と地濃度の濃度差は正規化されるため、 $\Delta$  の値は原稿によらず一定で良いが、製品に適用する場合、白地に文字だけの原稿に加え、文字と画像の混在する原稿や、新聞のように地濃度のある原稿など、複数のテスト原稿について検証を行い、 $\Delta$  の値を決める必要がある。

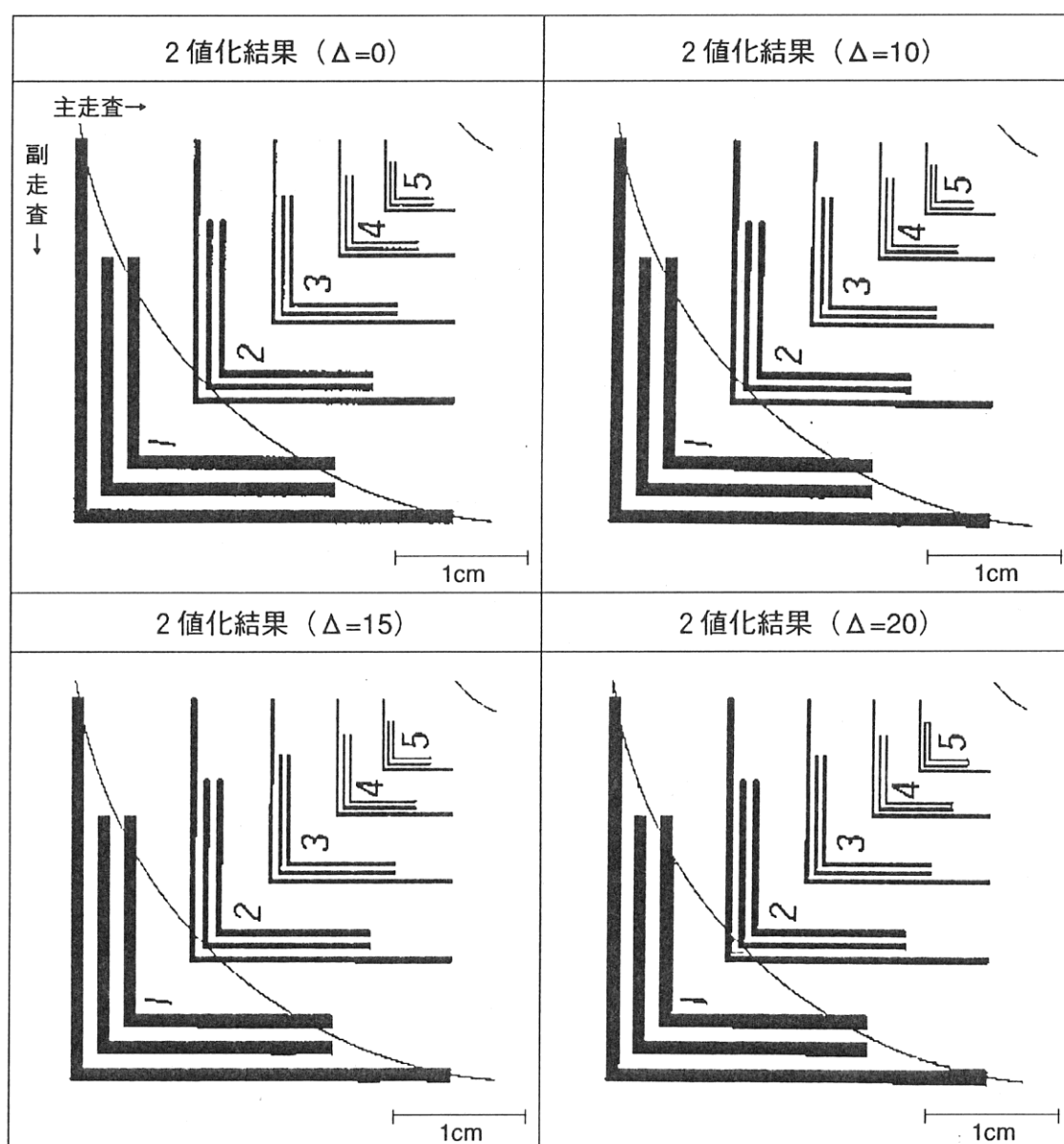


図 4.9 2 値化しきい値とノッチ

## 4.3 結果と検討

### 4.3.1 画質

図 4.10 に、画像電子学会ファクシミリテストチャート No.2 の文字、細線、中間調領域について、固定しきい値 2 値化と、ノッチ除去 2 値化で出力した画像サンプルを示す。出力画像は解像度 8 本/mm の密着ラインセンサで読み取った画像に対しシェーディング補正を行い、黒が 63、白が 0 の 64 階調の濃淡情報に正規化した後に、図 4.2 に示した係数のエッジ強調演算を行い、2 値化しきい値=20、 $\Delta=15$  で 2 値化した。画像サンプルとして、文字領域は 14 ポイントの大きさの文字について比較した。細線領域は幅 125  $\mu\text{m}$  (1 画素幅) の水平、垂直線について比較した。中間調領域は濃淡値が 30 近傍の領域 (数字 3) , 20 近傍の濃淡領域 (数字 4) , 10 近傍の領域 (数字 5) について比較した。

文字領域においては、固定しきい値 2 値化では水平エッジ、垂直エッジ領域でノッチが発生しているのに対し、ノッチ除去 2 値化ではノッチが目立たない 2 値出力が得られている。細線領域においては、固定しきい値 2 値化では、細線画素が読み取りラインセンサのインフェーズからアウトフェーズに移り変わる箇所で、ノッチが多発しているのに対し、ノッチ除去 2 値化では細線の交差する領域でノッチが残るが、それ以外では細線の途切れもなくノッチが除去できている。中間調領域では、各濃淡領域において、固定しきい値 2 値化とノッチ除去 2 値化による画質の差はほとんど無く、ノッチ除去 2 値化による画質劣化は生じていない。

また、電子写真学会テストチャート No.2-R, No.3, No.4, 画像電子学会ファクシミリテストチャート No.1, No.2, No.3, No.4, および、実際の使用を想定したファクシミリ製品評価用のテストチャートにて画質評価を行い、文字・線画のノッチ除去による画質向上と、他の部分において画質劣化のないことを確認した。

### 4.3.2 符号化効率

表 4.1 に固定しきい値 2 値化とノッチ除去 2 値化の符号化効率を示す。画像電子学会ファクシミリテストチャート No.2 を、主走査 8 ライン/mm, 副走査 7.7 ライン/mm の解像度で読み取り、各方式で 2 値化を行った後、ファクシミリで標準化されている MH, MR 符号化[5]で符号化を行った。数値は 1 画素当りの符号量を示している。また ( ) 内の数値は固定しきい値 2 値化の符号化に対する比率を示したものである。

ノッチ除去 2 値化方式は固定しきい値 2 値化に対し、MH 符号化で約 2.5%, MR 符号化で約 6%符号化効率が向上している。MR 符号化が MH 符号化に対し改善効果が大きい

	固定しきい値 2 値化	ノッチ除去 2 値化 ( $\alpha=3$ 、 $\Delta=15$ )
文字領域	<p>主走査→ 副走査↓</p> <p>5mm</p>	<p>5mm</p>
細線領域	<p>主走査→ 副走査↓</p> <p>5mm</p>	<p>5mm</p>
中間調領域	<p>主走査→ 副走査↓</p> <p>3</p> <p>ABCDEF GH STUVWX YZ</p> <p>4</p> <p>ABCDEF GH STUVWX YZ</p> <p>5</p> <p>1cm</p>	<p>3</p> <p>ABCDEF GH STUVWX YZ</p> <p>4</p> <p>ABCDEF GH STUVWX YZ</p> <p>5</p> <p>1cm</p>

図 4.10 2 値化結果の比較

のは、MH 符号化は水平方向の白の連続する画素数および黒の連続する画素数（ランレングス）を基に符号化するため、垂直方向のノッチの増減にはあまり影響を受けないのに対し、MR 符号化は水平方向および垂直方向のランレングスを基に符号化するため水平方向および垂直方向のノッチの有無に影響を受けるからである。

表 4.1 符号化効率

評価画像：画像電子学会No2チャート

符号化方式		MH		MR	
2 値化方式		(bit/pel)		(bit/pel)	
固定しきい値 2 値化		0.2322	(1)	0.1456	(1)
ノッチ除去 2 値化	$\Delta=10$	0.2269	(0.9772)	0.1374	(0.9437)
	$\Delta=15$	0.2262	(0.9742)	0.1367	(0.9389)

#### 4 章の参考文献

- [1] T.Fukinuki, “Notchless Bi-Level Quantizer for Facsimile and Its Effect on Coding Efficiency”, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol. 26, No. 5, pp. 611-618, 1978.
- [2] 鈴木晃ほか 2 名, “可変ウィンドウを用いたノッチ除去法”, 春季電子情報通信学会全国大会講演論文集, 分冊 7, pp. 177, 1990.
- [3] 滝田久美, 富永英義, “文書画像における画像内演算とその応用に関する考察”, 電子通信学会技術報告 Vol. 90, No. 450, pp. 63-70, 1991.
- [4] 中村敏明ほか 2 名, “モアレ抑圧エッジ強調フィルタによる高画質化処理方式”, 画像電子学会誌, Vol. 22, No. 5, pp. 445-450, 1993.
- [5] 日本 ITU 協会, “テレマティック・サービスのための端末装置とプロトコル”, CCITT BLUEBOOK VOLUME VII FACSIMILE VII 3 pp. 18-13, 1991.

## 5. 色情報判別色補正

### 5.1 緒言

パソコン，ワークステーションのカラー化及びその普及と共に，作成したカラー画像を出力するカラープリンタの市場が大きく伸びてきており，カラープリンタの低コスト化，高画質，高速出力に関する開発競争は熾烈なものがある．特に，比較的安価なカラーインクジェットプリンタにおいて高精細なカラー出力が実現されたことから，カラープリンタは身近なものになっている．

一方，カラーレーザプリンタをエンジンとするハイエンド（高機能，高価格）機種は，日立は世界に先駆けて卓上型カラープリンタを開発し，海外のプリンタメーカーに OEM 供給してきた．その後，国内外のメーカー各社から，レーザプリンタの特徴を生かしたコンティニユアストーン（1画素多階調表現）方式の発売が相次ぎ，現在，コンティニユアストーン印字がカラーレーザプリンタの常識となっており，画質の競争から印刷スピードの競争および価格競争へと推移している．

本研究の目的は，プリンタでオリジナル画像に限りなく近い色表現を行うため，要となる色補正処理を高速に行うハードウェア方式を開発し，製品化する事である．

### 5.2 カラープリンタコントローラ

図 5.1 にカラープリンタコントローラのハードウェア構成を示す．コントローラハードウェアは 1 枚の電子パッケージ上に，今回開発した，図の中央部分の ASIC と CPU，制御用プログラムを蓄積する EPROM，EEPROM，フラッシュメモリ，エンジンインタフェースと，色の階調データのパルス幅変調を行う FPGA，およびページ単位の画像データを蓄積するページメモリである SDRAM で構成される．色変換機能を含むコントローラ ASIC はスタンダードセルで開発し，論理規模は約 60 万ゲートである．論理設計は回路記述言語である VHDL で行った．ASIC の主な機能としては，印刷用画像処理と，ユーザ PC とのデータ伝送のためのセントロニクスインタフェース，カラー圧縮画像データや文字圧縮データの伸長である．色補正処理は，前回の ASIC には無く，今回，高画質化と高速化を両立するために，新たに開発し搭載した機能である．

### 5.3 色補正処理の機能

今回開発した色補正処理ハードウェアは，色かぶり補正，色補正，限定色印刷チェックの 3 つの機能で構成される．以下，各機能の概要を説明する．

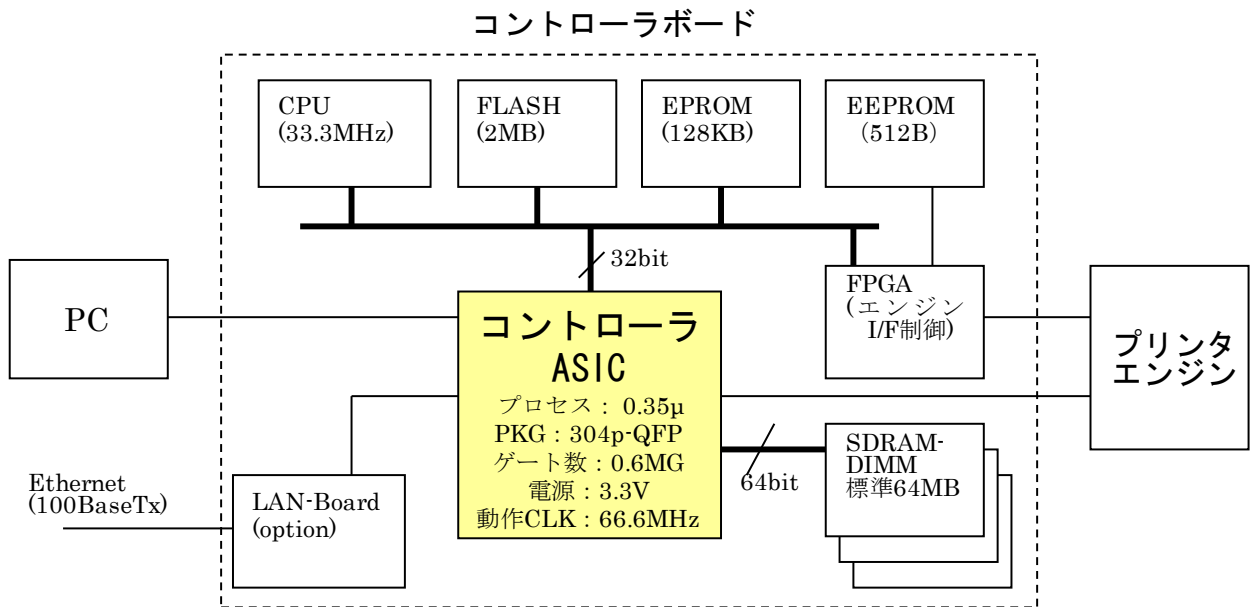
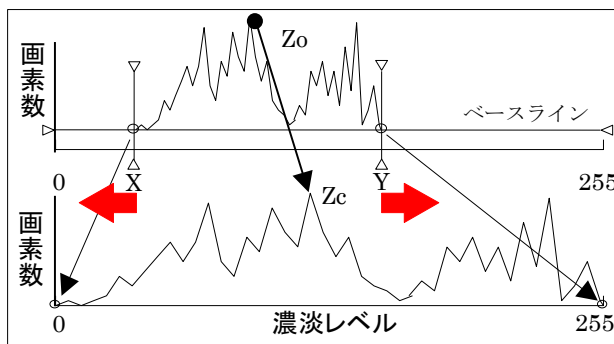


図 5.1 カラープリンタコントローラのハード構成

### 5.3.1 色かぶり補正

図 5.2 に色かぶり補正処理の内容を示す。色かぶり補正は、画像データ全体のコントラストが低く、くすんだ色合いに見える状態を補正する機能である。具体的な処理としては、画像全体の RGB 各色のヒストグラム[1]を求め、その最小値を黒に、最大値を白に広げることで、色域を広げてコントラストを高める。



補正対象画素階調値 :  $Z_o$   
 低階調しきい値 :  $X$   
 高階調しきい値 :  $Y$   
 補正後階調値 :  $Z_c$

$$\text{計算式} : Z_c = (Z_o - X) \times (255 \div (Y - X))$$

図 5.2 色かぶり補正処理



### 5.3.2 色補正

図 5.3 に色補正処理の内容を示す。色補正処理は、ディスプレイとプリンタの色出力特性を補正する機能[2]である。RGB24bit (各色 256 階調) の色空間を 4096 段階 (RGB 各色 16 階調毎) に分割する。各色 16 段階は RGB 各 8 bit の上位 4bit を割り当てる。そして色補正データは上記 4096 段階の各値に対応する補正值を用意する。RGB 各 8 bit の下位 4bit に対する補正值は、上記 4096 段階の補正值を線形補間演算することによって求める。補正值  $Cc$  を求める補間演算式は次式となる。

$$Cc = aceQ_1 + bceQ_2 + adeQ_3 + bdeQ_4 + acfQ_5 + bcfQ_6 + adfQ_7 + bdfQ_8 \quad (5.1)$$

$P_1 \sim P_8$  は補正前の RGB 上位 4bit で形成する立方体の各座標、 $Q_1 \sim Q_8$  は  $P_1 \sim P_8$  に対する補正後の RGB 上位 4bit で形成する空間の座標、 $b$  は B の下位 4bit、 $d$  は G の下位 4bit、 $f$  は R の下位 4bit で、 $a + b = c + d = e + f = 15$  である。

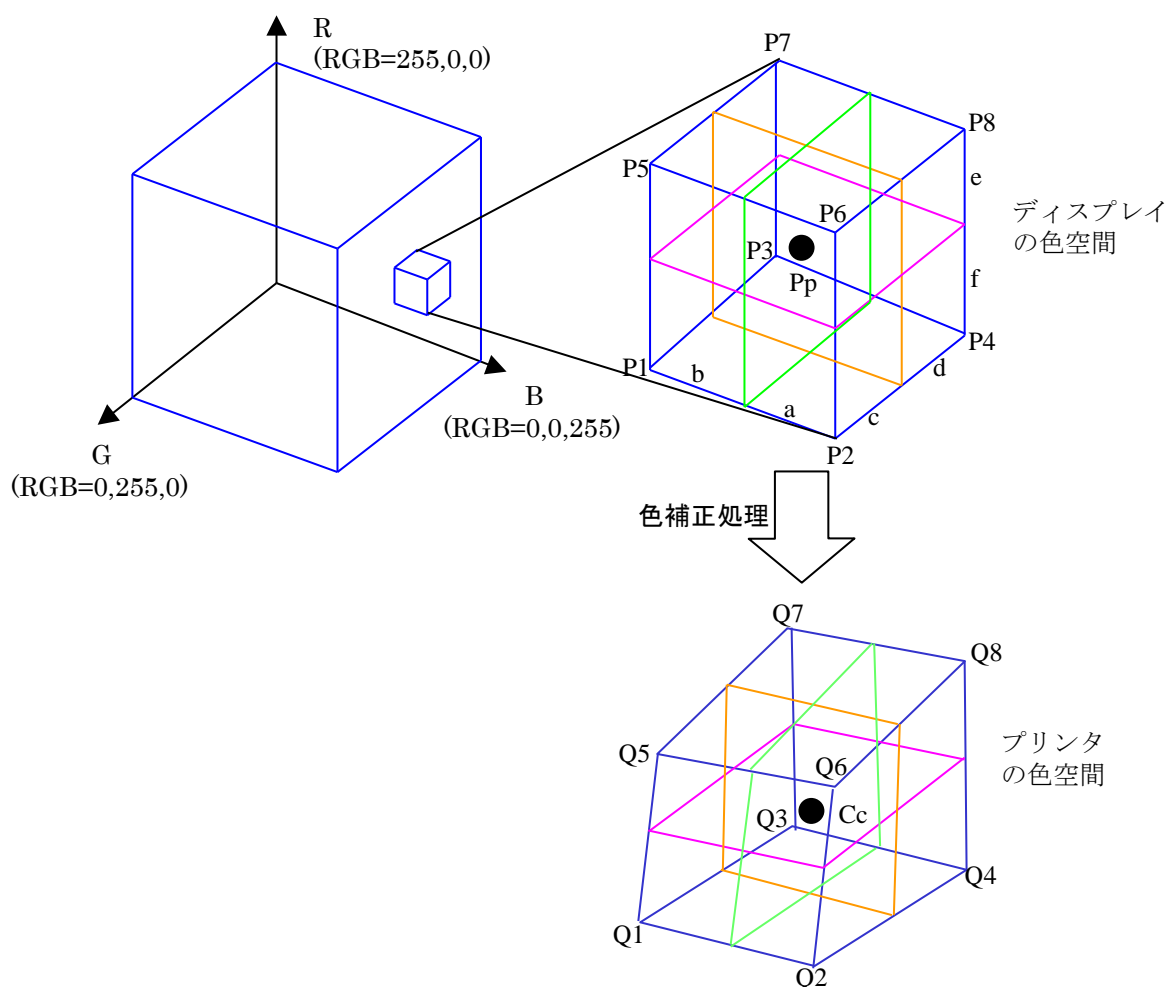


図 5.3 色補正処理

### 5.3.3 限定色印刷チェック

色補正処理後の色データ値をチェックし、CMYK4色のトナー中で、ドキュメント1ページ内で一度も使用されない色を検出する機能である。例えば、ページ内の使用色がKとMだけであった場合、本来は4回の印刷プロセスで印刷処理を実行するところを2回の印刷プロセスで実行でき、印刷速度を向上できる。

## 5.4 ハードウェア方式

### 5.4.1 色補正処理フロー

図5.4に色補正処理フローを示す。処理は、CPU、色補正部、DRAM間で実行される。CPUと色補正部での信号のやり取りは、処理開始時の各種パラメータのレジスタへの設定と処理の起動、および終了時の割り込み信号の受け付けと、限定色印刷チェック結果レジスタのリードである。またDRAMからのデータのやり取りは、色補正の対象となる元画像データ、色補正テーブルデータのリード及び、色補正後の画像データのライトである。色補正処理の動作は、1色単位に、色かぶり補正、色補正、限定色印刷チェックの順で行う。また色補正開始前のモード選択パラメータの設定で、色かぶり補正のアリ/ナシ、色補正のアリ/ナシを切り替えられる。

図5.5に色補正処理タイムチャートを示す。色補正処理は、DRAMからの補正前の8色分の色データリード、8回の色補正処理、DRAMへの8色分の色補正後のデータライトを1基本シーケンスとして動作する。DRAMとのデータのやり取りはDMACを介して行なう。通常の1色単位の色補正処理（色かぶり補正→色補正→限定色印刷チェック）に36クロック、パレット色モード、格子点色モードの場合は15クロックで処理を行う。また色かぶり補正においてアリ/ナシでの処理数の違いは無く、どちらも9クロックで処理を行う。他機能との間でのDMACの競合によるウェイトの発生が無い場合、8色分の色補正処理は296クロックで実行する。

### 5.4.2 色補正ハードウェア

図5.6に色補正演算部の構成を示す。色補正処理では補間演算が処理の中心となる。少ない論理規模で高速動作を実現するための論理構成とした。

色補正演算式(5.1)は下式のように変形できる。

$$C_c = \{(Q_1 \times a + Q_2 \times b) \times c + (Q_3 \times a + Q_4 \times b) \times d\} \times e \\ + \{(Q_5 \times a + Q_6 \times b) \times c + (Q_7 \times a + Q_8 \times b) \times d\} \times f \quad (5.2)$$

そこで、色補正の補間演算ハードウェアは  $E_u = \{Q_n \times x + Q_m \times y\}$  を一つの演算コアとした。(図中の四角で囲まれた部分)、そして  $E_u$  を2個並列に配置し、2クロック

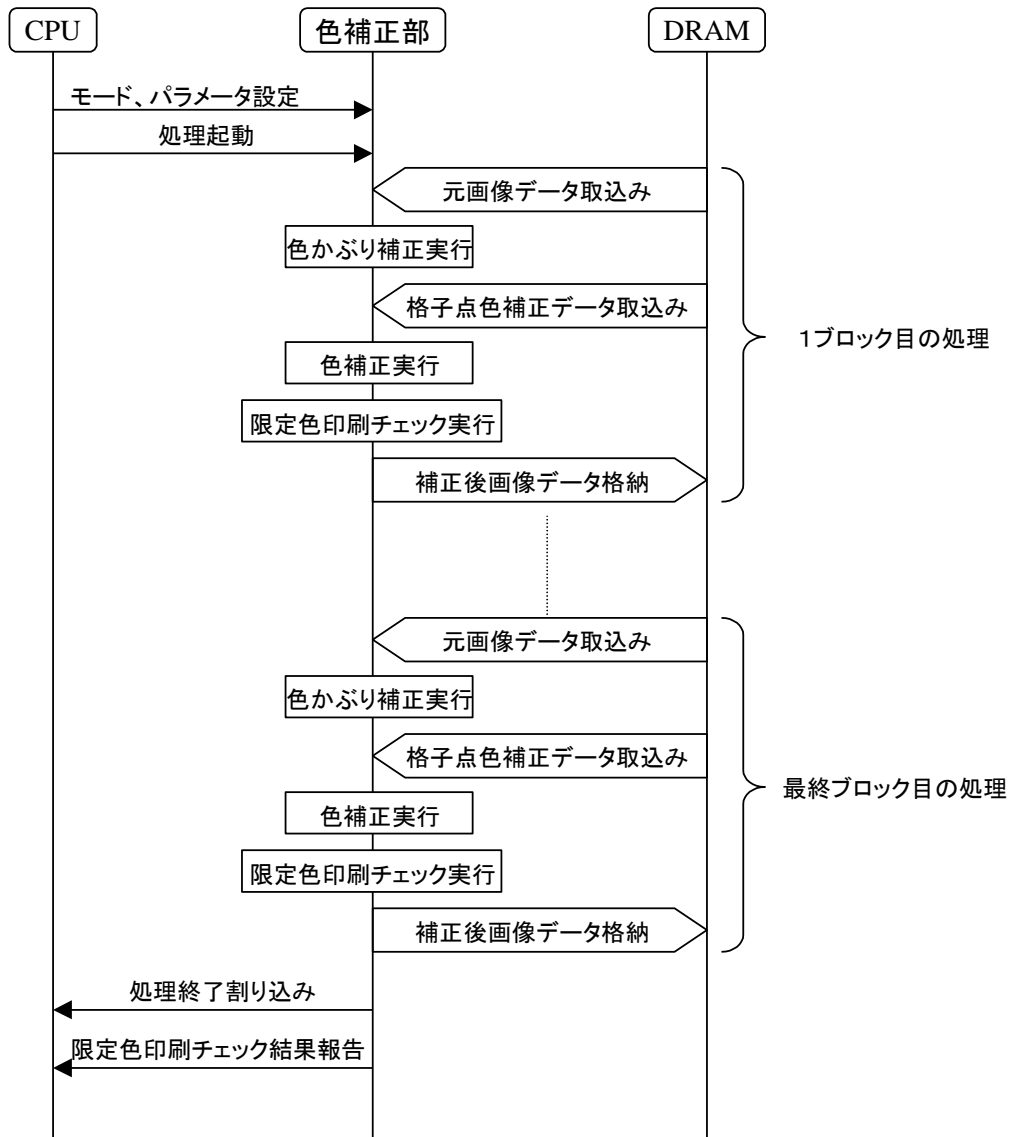


図 5.4 色補正処理シーケンス

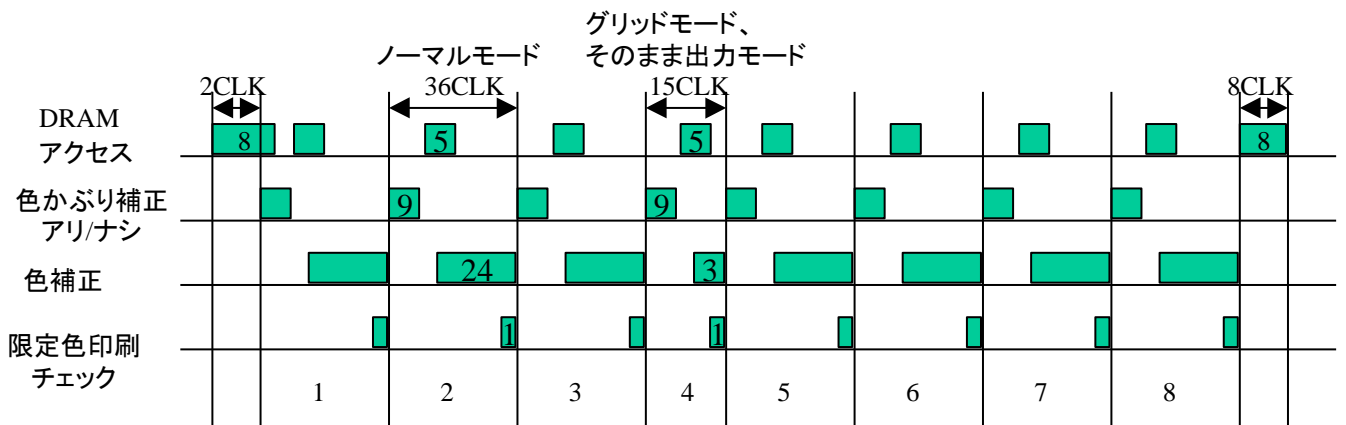


図 5.5 色補正処理タイムチャート

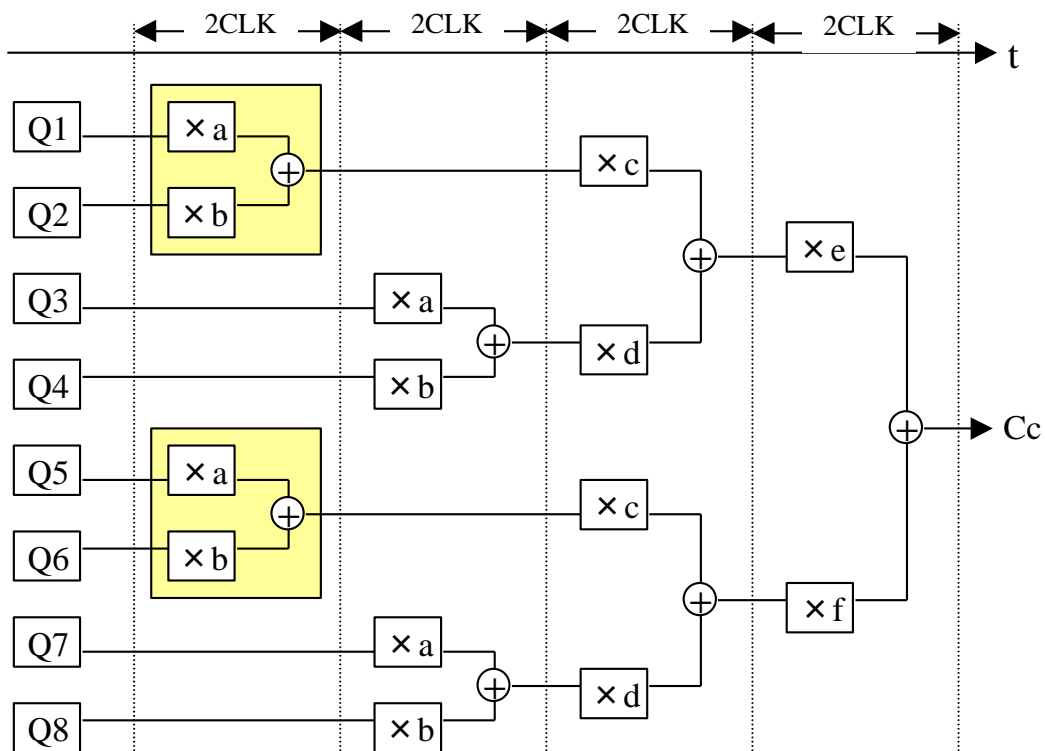


図 5.6 色補正補間演算部の構成

クを 1 演算サイクルとして、4 サイクルで補間演算を行う方式とした。

## 5.5 色補正の高速化

色補正処理の中で、最も処理に時間がかかるのは、色補正補間演算である。そこで、今回の色補正ハードウェアでは、以下に記す、4 つの高速化技術を開発し搭載した。

### 5.5.1 圧縮データによる色補正

図 5.7 に圧縮データによる色補正処理の流れを示す。従来方式においては、色補正処理は 1 ページ全ての画像について 1 画素毎に色補正補間演算を行うため、非常に時間のかかる処理である。

本方式では、色補正処理を行うデータ数を削減するため、1 ページ分の元画像データを日立独自の BTC 圧縮処理[3]を行い画像データ量を削減する。BTC 圧縮処理は、 $8 \times 8$  画素の RGB データを 2 色または 4 色の RGB データで近似する。画像内容に関わらず、常に  $8 \times 8$  画素のブロック単位に 2 または 4 色に変換するため、圧縮率は固定である。2 色モードの場合、 $RGB24bit \times 64$  個の計 1536bit のデータが、2 個の RGB データ ( $24bit \times 2$  個) と 64 個の画素位置にどちらの色のデータを割り当てるかを示す  $1bit \times 64$  個の計 112bit となり、元画像データの 7.3% に圧縮される (4 色モードの場合は

14.6%に圧縮される)。

それを一旦 DRAM で構成されるページメモリに蓄積し、そこから色データのみを抽出して色補正処理を実行する。4色の BTC 圧縮処理では、64 個の色データを 4 個の色データに置換するので、色補正処理数は、圧縮処理なしに対して 6.25%で済む。色補正処理後のデータはページメモリ内の元の位置に再び蓄積される。1 ページ分の処理が完了すると、伸長処理部で 600dpi, 24bit/画素のビットマップデータに変換され、プリンタエンジンに出力される。

表 5.1 に圧縮データによる処理工数を示す。表は日立製プリンタ BEAMSTAR4110 の最大印刷サイズ：A3 ノビで印刷する画像データを BTC 圧縮の 4 つのモードで処理した後に色補正処理を行った場合の速度向上効果を示したものである。この方式により、従来機では、ユーザの PC 内でプリンタドライバソフトにより実行し、印刷速度低下の一要因となっていた色補正処理を、ユーザの PC に負荷をかけることなく、プリンタ側で最大 6.22 秒で処理を完了することができた。

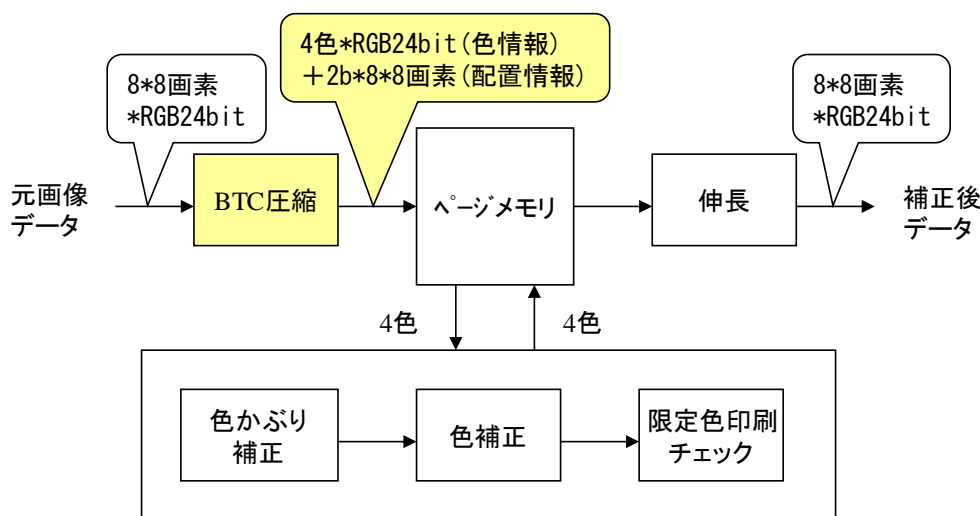


図 5.7 データ圧縮による色補正処理数の低減

表 5.1 圧縮データによる色補正処理の効果

BTC圧縮モード	元画素数(個)	圧縮率(色情報のみ)	圧縮時画素数(個)	8色分処理クロック数	総クロック数	処理時間(s)
600dpi,4色	89M (7808*11392)	6.2%	5.56M	296	207.2M	6.22
600dpi,2色		3.1%	2.78M	298	104.3M	3.13
300dpi,4色	22M (3904*5696)	25.3%	5.56M	294	205.8M	6.17
300dpi,2色		12.6%	2.78M	294	102.9M	3.09

印刷画像サイズ:A3ノビ、ASIC動作周波数:33MHz

### 5.5.2 補正データの一括読み込み

図 5.8 に補正データテーブル構成を示す。従来方式においては、4096 個の色空間の格子（立方体）に分割したことで、4096 個の格子点に対応する補正データ 4096 色分（1色当たり RGB 計 24bit）を用意すれば済む。しかし、一つの立方格子の頂点データ 8 個がそれぞれ別アドレスに格納されているため、DRAM アクセスが 8 回となり処理時間の増大を招く。

本方式では、各立方格子の頂点データに対応する補正值を DRAM アクセス 1 回で済ませるために、各立方格子の原点（図では P3）に対応する DRAM のアドレスに頂点 8 個（P1～P8）に対応する補正值（Q1～Q8）を 1 ワード（8Byte）に格納する構成とした。この結果、テーブルを格納するメモリの容量は、各立方格子の原点に対応する 1 つの補正值を格納する方式に比べ 8 倍に増加するが、DRAM へのアクセスは、連続 3 ワードの DMA リード 1 回で実現できた。

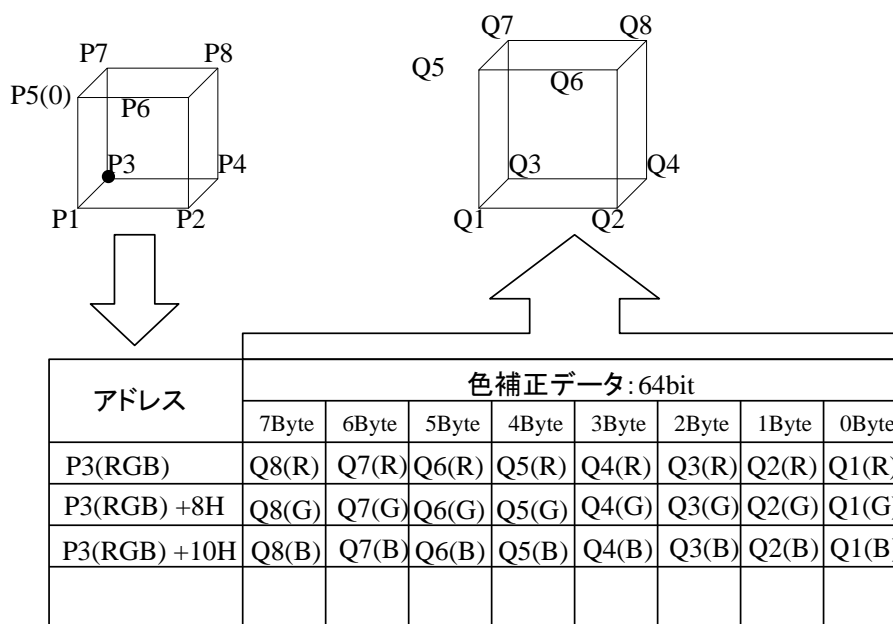


図 5.8 格子点色補正データの一括取り込み

### 5.5.3 パレット色モード

図 5.9 にパレット色モードの機能図を示す。一般的なビジネス文書では、背景は白、文字は黒、グラフィックスはパレット色（R, G, B, C, M, Y）が多く使われており、これらの色について色補正演算を省略することは、1 ページ全体の色補正処理の高速化に有効である。しかし、従来方式では色データの値によらず、常に補間演算を行うのが一

一般的である。

本方式では、パレット色モードとして、元画像データが白 (RGB=255, 255, 255) , 黒 (RGB=0, 0, 0) , 赤 (RGB=255, 0, 0), 緑 (RGB=0, 255, 0), 青 (RGB=0, 0, 255), シアン (RGB=0, 255, 255), マゼンタ (RGB=255, 0, 255), イエロー (RGB=255, 255, 0)であった場合に、色補正演算を省略して、そのまま出力するモードを設けた。

具体的な動作は、図 5.9 において、パレット色検出部で元画像データが上記 8 色に該当するか否かを検出し、該当した場合は、DMA I/F から DMAC に対し DREQ を発行するのではなく、内部の擬似 DACK 発生回路に出力する。擬似 DACK 発生回路は、1 クロック後に無条件で DACK を返す。その後、色補正シーケンスに移行する。擬似 DACK 発生回路を設けたのは、DMAC による、色補正テーブルである DRAM アクセスを省略して、直ちに色補正シーケンスに移行させるためである。色補正シーケンスでは、セレクタで色補正後データとして元画像データを選択しそのまま出力する。

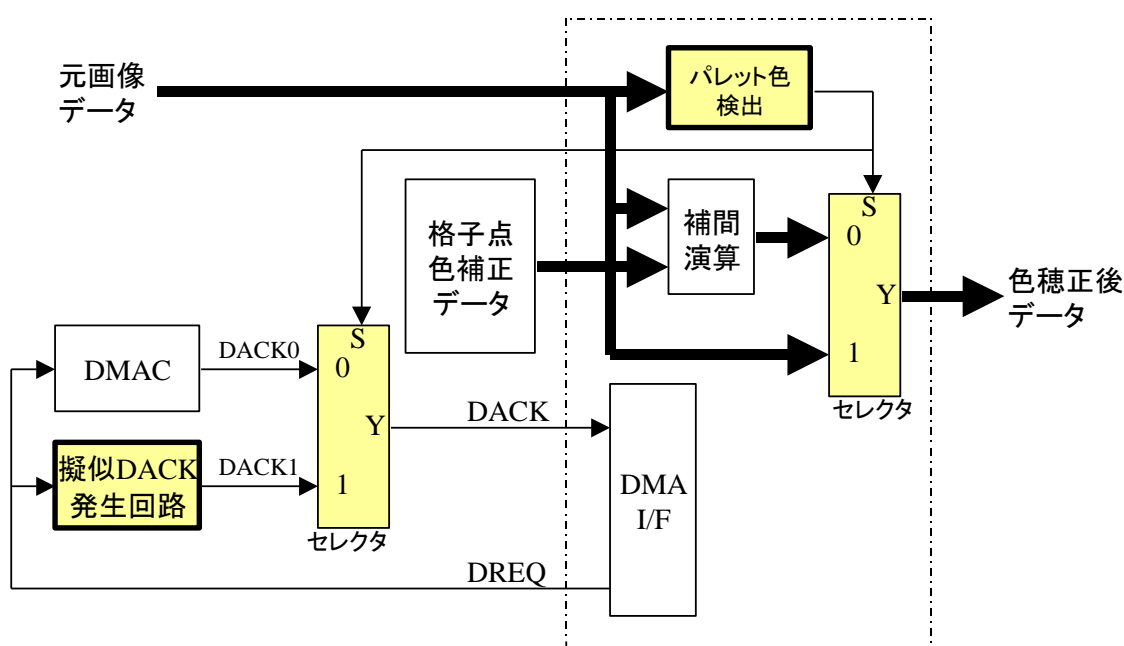


図 5.9 パレット色モード

#### 5.5.4 グリッドモード

図 5.10 にグリッドモードを示す。パレットモード同様、従来方式では色データの値によらず補間演算を行うのが一般的である。本方式では、グリッドモードとして、元画像データ値が、4096 個ある色空間を表現する任意の立方格子 (グリッド) の頂点上

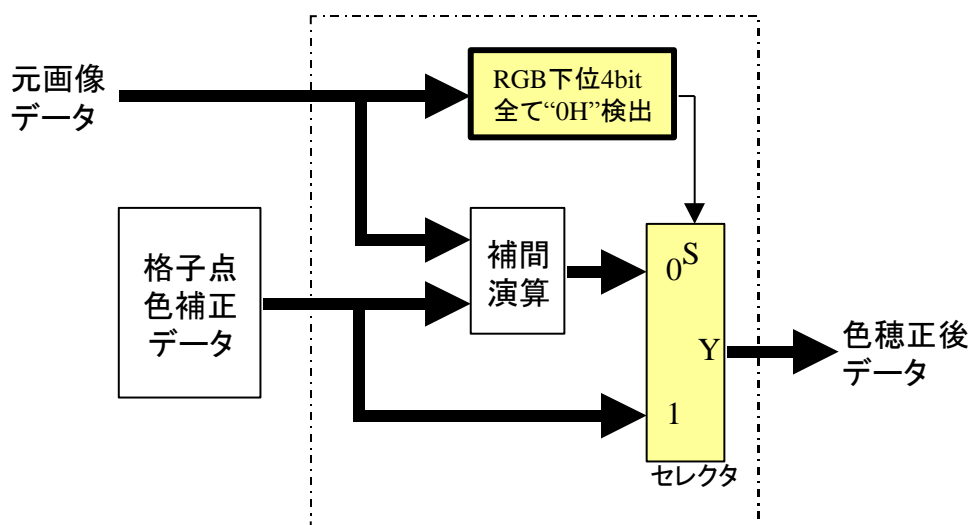


図 5.10 グリッドモード

にある場合、色補正補間演算を省略するモードを設けた。

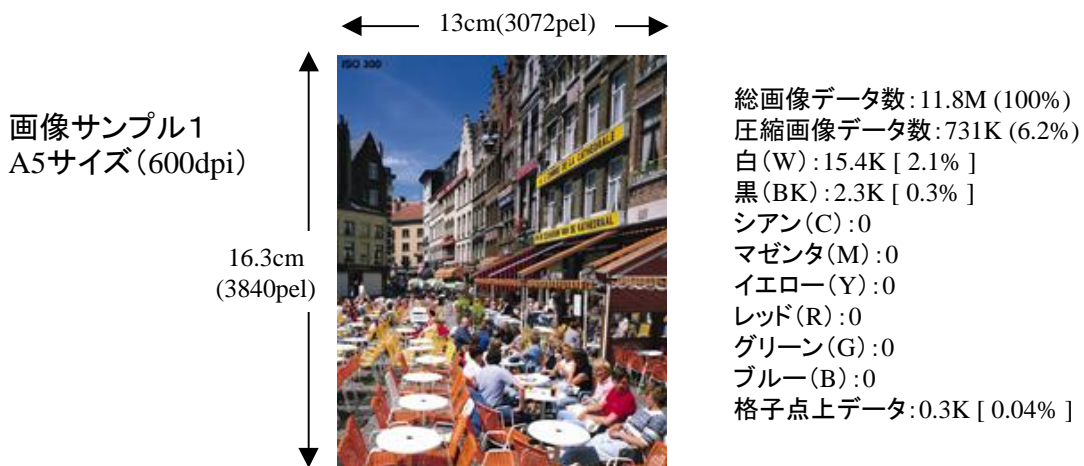
具体的には、格子点データ検出部において、元画像データの RGB 信号の下位 4 ビットがすべて 0 である場合、格子点上の色データであると判定する。格子点上データの場合、DRAM から入力した色補正データをセレクタで選択して、補間演算を行わず、色補正後データとして出力する。

## 5.6 速度評価

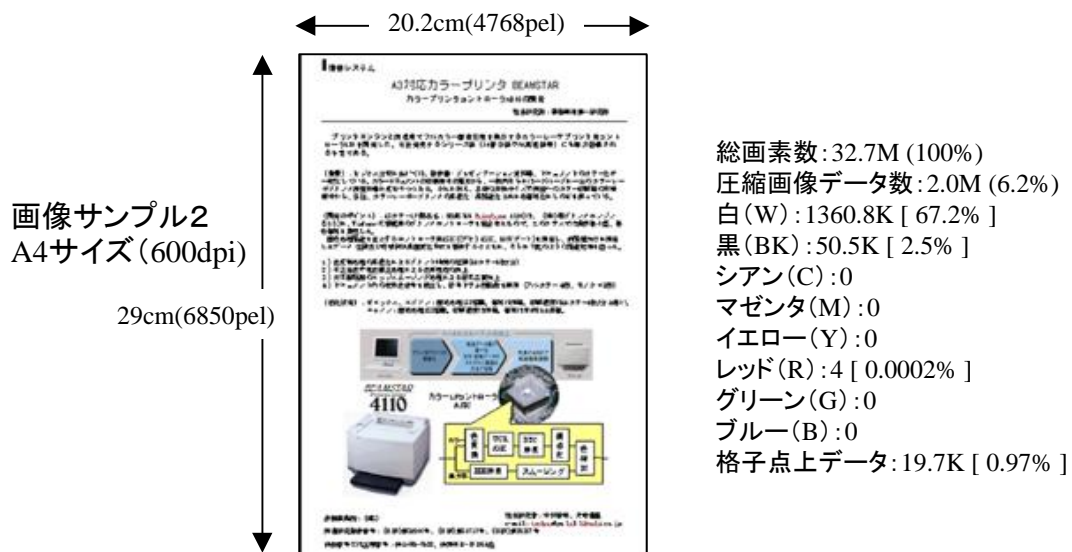
図 5.11 に色補正ハードウェアの速度評価結果を示す。画像サンプル 1 は、自然画像 (SCID テストチャート No.2[4])、画像サンプル 2 は、テキストと画像の混在画像 (独自に作成) である。評価した BTC 圧縮方式のモードは 600dpi, 4 色モード (画像解像度 600dpi で、主走査 8 画素×副走査 8 画素の 64 画素分の色データを 4 個の色データに変換) を仮定した。処理時間は、ASIC の動作周波数 33MHz, また DMAC とのやり取りが全て最速 (ノーウェイト) で行われたと仮定して机上計算で求めた。

両方の画像サンプルに共通の顕著な効果として、圧縮後の色データによる色補正処理を行うことで処理時間を元画像データの場合に対し 94%削減することができた。さらに、サンプル 2 のような、ビジネス文書として頻繁に使われる、テキストと画像の混在画像においては、圧縮のみの場合に対し、パレットモードで 40%の削減、グリッドモードで 0.5%程度の削減効果を確認した。





処理方式	処理時間(シミュレーション値)
元画像	14.4s
圧縮	892ms
圧縮+パレットモード	880ms
圧縮+パレットモード+グリッドモード	880ms



処理方式	処理時間(シミュレーション値)
元画像	39.8s
圧縮	2472ms
圧縮+パレットモード	1496ms
圧縮+パレットモード+グリッドモード	1484ms

図 5.11 色補正処理時間評価結果

## 5章の参考文献

- [1] 日本規格協会, JIS ハンドブック 色彩, pp. 95-113, 1994.
- [2] 田村秀行監修, コンピュータ画像処理入門, 第 5 章, 総研出版, 1985.
- [3] 犬塚達基, 浜田長晴, “カラー画像情報の符号化処理方法” 特許公報,  
特公平 6-7688.
- [4] 画像処理技術標準化委員会, “高精細カラーデジタル標準画像データ”, 日本規格協会, 1995.

## 6. 像域分離 UCR

### 6.1 緒言

一般にカラーレーザプリンタでは、印刷用紙に、C（シアン）、M（マゼンタ）、Y（イエロー）の3色のトナーを重ね合わせて付着させることで、カラー画像を表現する。しかし、黒をC,M,Yの重ね合せで表現した場合、①印刷結果を完全な黒色にするのが困難、②1つの黒画素に対してC,M,Y3色分のトナーを同時に消費するという問題があり、上記3色に黒トナーを加えた計4色により、UCR（Under Color Removal：下色除去）と呼ばれる方法[1]で、カラー画像を再現するのが一般的である。具体的には、1画素を表現するC,M,Yの色信号中の最小値を選択し、この値に墨率を乗じてKの信号値を求める[2]。そして、上記求めたKの量をC,M,Yの各信号値から減算したものを新たなC,M,Yの信号値とする。

この墨率の決定方法としては、1画素のC,M,Yの各信号値を基に、1～0の範囲内で、一定値あるいは明るさに応じて変化させる方法等が提案されている[3]。明るさに応じて変化させる場合、白～黒のグレー領域は黒を主成分とした4色の色の重ね合わせで表現される。

ここで、カラーレーザプリンタの動作について説明する。図6.1左側のコントローラ部において、R,G,Bの色信号として入力される文書画像データは、色変換とUCRの処理を経てC,M,Y,Kの4つの色信号に変換される。そして、1ページ単位のC,M,Y,K値をそれぞれ異なるページメモリに一旦格納する。次に、パルス幅変調で、1画素単位に、その値に比例した幅のパルス信号に変換しプリンタ機構部へ出力する。この処理は、1ページ分のC値の出力が終了したら1ページ分のM値の出力を行うというように4色のパルス信号をページ単位に順番に出力する。

プリンタ機構部では、そのパルス信号をレーザビームに変換して感光体ドラムに照射し（潜像）、その部分にトナーを静電気力で付着させ（現像）、用紙に転写することで印刷結果を得る。ここで、潜像、現像、転写の一連の動作を1色毎にページ単位に順番に実行するため、1画素単位に4色の印刷位置を一致させるためには高い位置合わせの精度が要求される。プリンタ機構部において、温度や湿度等の環境変動や経年変動によりC,M,Y,K各色トナーの印刷位置ずれが生じると、画像の輪郭領域で、元画像にない色ずれが生じる。特に、黒画像と白画像の境界部分における、C,M,Yの色ずれは非常に目立つ。

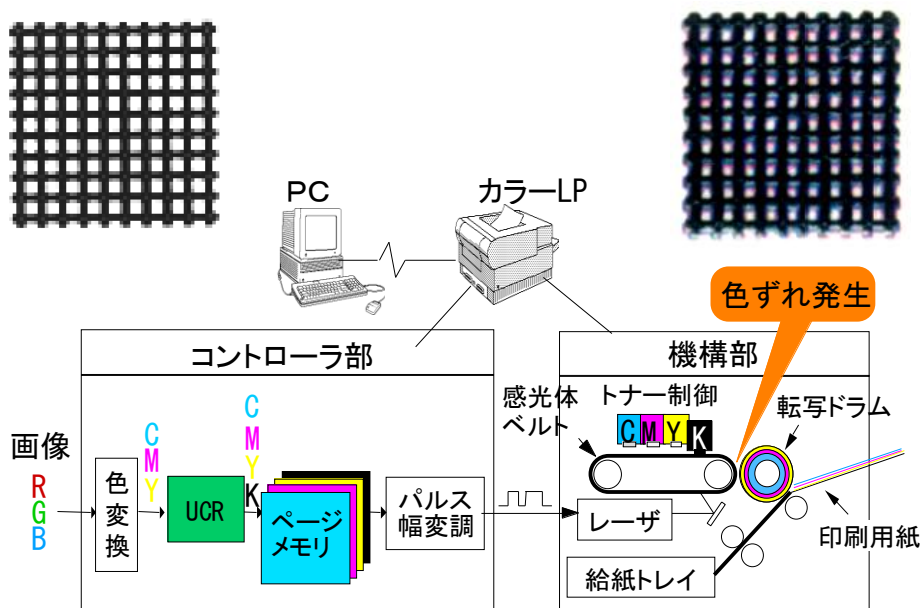


図 6.1 カラーレーザープリンタの動作

この対策方法として、黒輪郭部に対してエッジ強調処理を行い、エッジ部の明度を実際より下げることにより墨率を上げ、黒トナー量を増加、かつ C, M, Y 量を少なくすることで色ずれを目立たなくする方法[4]が提案されている。この方法は、黒輪郭まわりの画像が白である場合を前提にしており、輪郭まわりがカラー画像の場合に、色ずれによる輪郭部とその周囲との間の白抜けについては考慮していない。

また、周辺がカラー画像である黒文字の輪郭部に対し、色ずれにより生じる文字まわりの白抜けを防止するため、黒文字輪郭部に周辺部の色情報を重畳して印刷することで、黒画素の印刷位置が 1 画素ずれても白抜けを発生しない方式が提案され、実用化されている[5]。この方式は、黒のテキスト情報等を背景画像と合成する際に有効であるが、自然画像内に含まれる濃度勾配をもった黒輪郭部での色ずれについては考慮していない。

そこで、カラーレーザープリンタにおいて、文書内の黒文字や自然画像内の濃度勾配をもつ黒輪郭部において、印刷時の色ずれによる不要な色トナーのはみ出しを低減する事を目的に、像域分離[6][7]を適用した UCR 方式を開発した。本方式は、プリンタコントローラにおいて、ラスタイメージに展開した後のカラー文書画像データを、1 画素単位に黒エッジ領域とそれ以外の領域に判別する。そして、黒エッジ領域は、処理の対象となる画素と隣接する周辺画素の色情報から UCR 処理を行い、それ以外の領域では、単一画素の色情報から UCR を行う従来方式を適用するものである。上記方式

を実機に搭載し、印刷出力を評価した結果、黒画像の輪郭部分において、色ずれを低減できる結果を得た。

## 6.2 UCR 処理

図 6.2 に UCR の処理を示す。1 画素を表現する C,M,Y の色データの最小値  $\text{MIN}(C, M, Y)$  を算出し、この値に、K (ブラック) に置換する係数  $\alpha$  (以下、墨率  $\alpha$  と称す) を乗算して K の色データ値を求める。そして、上記求めた K の値を C, M, Y の各色データ値から減算したものを、新たな C, M, Y の色データ値とする。ここで、C, M, Y, K は、それぞれ 256 階調 (0~255 の整数値) のデジタルデータである。

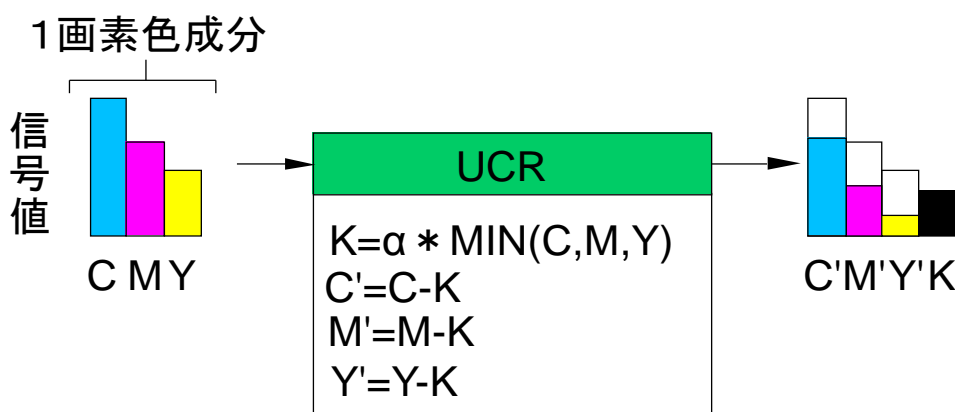


図 6.2 UCR (Under Color Removal)

### 6.2.1 スケルトン型墨率制御

UCR における墨率  $\alpha$  は 30~40% が一般的 [3] なようであるが、この場合、黒に近い明度の低い色域で C, M, Y が含まれ、また逆に、白に近い明度の高い色域で K が含まれるため、印刷結果での色再現範囲を狭める場合がある。

そこで今回は、明度が低ければ墨率を高く、明度が高ければ墨率を低く設定するスケルトンブラック方式 [3] の考え方を適用する。具体的には、下記 (6.2) 式で墨率  $\alpha$  を定義した。1 画素の色データ値 C, M, Y のみから墨率を決定するため、明るさ L を、黒成分 (3 色の最小値) に反比例した値と定義し、次式で算出する。

$$L = 1 - \frac{\text{MIN}(C, M, Y)}{255} \quad (6.1)$$

式 (6.1) より墨率  $\alpha$  は、次式で算出する。結果は、図 6.3 左側のような特性となる。

$$\alpha = 1 - L = \frac{\text{MIN}(C, M, Y)}{255} \quad (6.2)$$

図 6.3 右側に、上記式で求めたグレー領域における色成分 C, M, Y, K のグラフを示す。グラフの縦軸は白から黒までのグレー256 階調を示す。横軸はグレー階調の 4 色成分 (C, M, Y, K) を示す。直線 C, M, Y は UCR 処理前の各データ値を示し、グレー階調の領域のため、すべて同一の値をとる理想的な特性と仮定する。曲線 K は (6.2) 式の墨率により得られる K の値であり、(6.3) 式で示される。

$$K = \alpha \text{MIN}(C, M, Y) = \frac{\text{MIN}(C, M, Y)^2}{255} \quad (6.3)$$

また曲線 C', M', Y' は UCR 処理後の C, M, Y の各値を示しており、各 UCR 前の値から K 値を減算した値であり、次式で示される。

$$\begin{cases} C' = C - K \\ M' = M - K \\ Y' = Y - K \end{cases} \quad (6.4)$$

図 6.4 左側の画像は、 $\alpha = 1.0$  とした場合の印刷結果である。黒トナーの影響により、明度とコントラストが共に低い画像となっている。右側の画像は、式 (6.2) の  $\alpha$  を適用した場合の印刷結果である。背景部分は明度が保たれており、また黒の画像領域は黒トナーで印刷され、明度とコントラストの高い鮮やかな画像となっている。

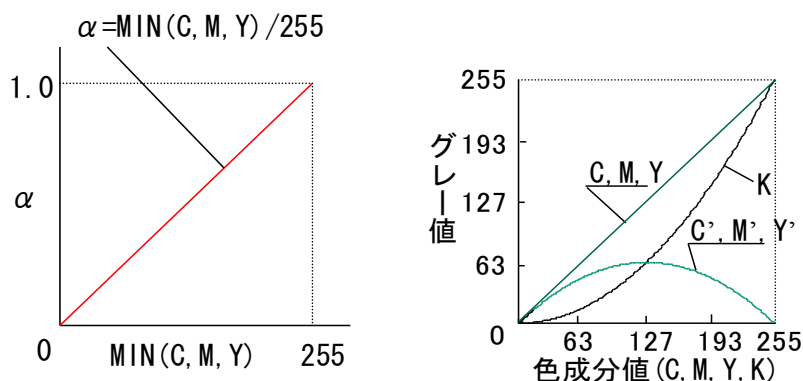


図 6.3 グレー領域での UCR

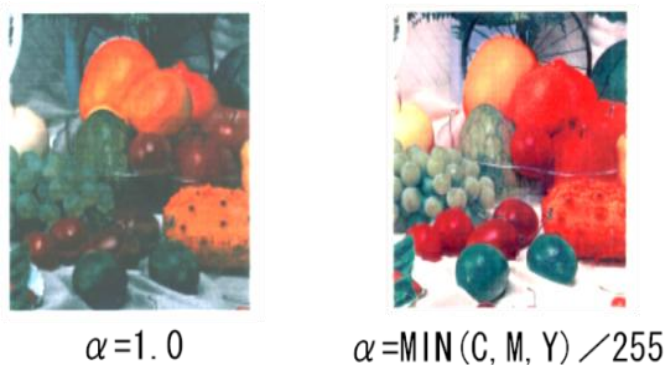


図 6.4  $\alpha$  の違いによる印刷結果

このように、白側の明度の高い画像では、K への置換比率を低く、逆に黒側の明度の低い画像では K への置換比率を高くすることで印刷結果の色再現領域を広げることが可能となる。

### 6.2.2 カラーレーザプリンタでの問題点

前提条件として、C, M, Y, K 各色に印刷位置不整合が生じているプリンタでカラー画像を印刷する場合を考える。前述のスケルトン型の UCR 方式は、黒文字等の黒輪郭部に濃度勾配が無い画像では、墨率  $\alpha = 100\%$  となり、黒トナー1色で印刷されるため色ずれは生じない。この点では、墨率  $\alpha = 30\%$  等の一定値に固定した方式[1]に対して有利である。

しかし、自然画像などの濃度勾配を持った黒輪郭部では、勾配部分の画素に対して墨率は 100%より低い値が適用されるため、C, M, Y 成分が混合され、印刷結果に色ずれが生じる。図 6.5 の左側は、縦方向の黒輪郭部分の隣接する 3 画素の C, M, Y の各信号値を示したものである。各色 8 ビット/画素のデジタル信号で表現され、値が大きい程、階調値が高い。中心の画素は黒と白の中間値の画素である。この画素に、前記のスケルトン型 UCR 処理を行った場合、グレー階調値が 127 のときは、式 (6.2) より、墨率  $\alpha = 50\%$  であり、式 (6.3) と (6.4) より、UCR 処理後の C, M, Y, K の各値は全て 63 となる。したがってエッジ領域では C, M, Y, K 4 色が重なった印刷となる。プリンタ機構部の経時変動や調整不備等で、各色の印刷位置がずれている場合、各色の印刷ドットが完全に重ならず、色ずれが生じる。

実際に上記問題が生じる具体的な画像例としては、デジタルカメラやスキャナから入力した画像の印刷結果の黒輪郭部分や、文字のエッジスムージング[8]で、黒輪郭部の隣に中間濃度の補間画素を付加した場合の印刷結果などである。

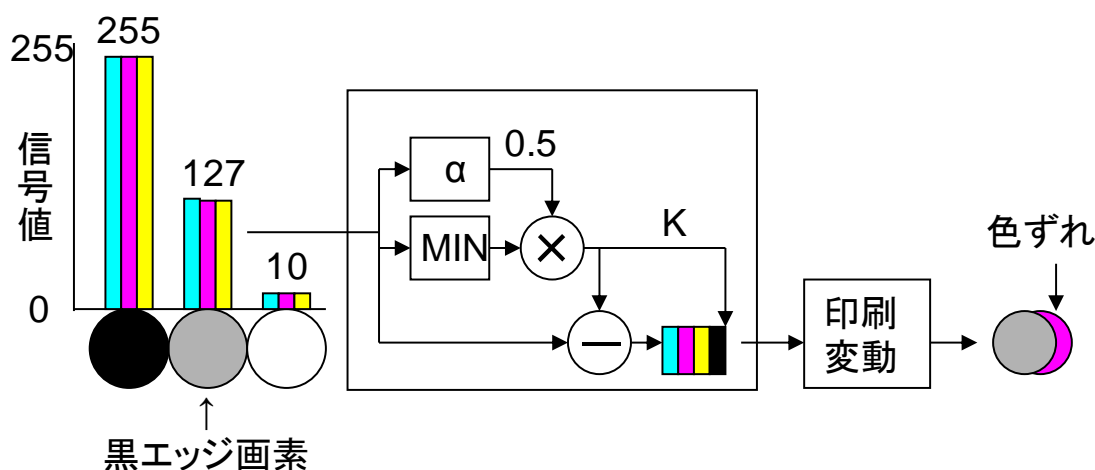


図 6.5 単一画素 UCR

## 6.3 像域分離 UCR 方式

### 6.3.1 概要

図 6.6 に像域分離 UCR 処理を示す。黒輪郭部での色ずれを抑制することを目的とし、最初に原画像データから黒エッジ部を検出する。そして、黒エッジ部に対しては複数画素 UCR を、それ以外の画素には従来 방식である単一画素 UCR を行う。

#### (1) 黒エッジ検出

黒エッジ検出では、黒輪郭部における、黒と白の間の中間濃度の画素を検出する。具体的には、検出対象となる画素と上下左右斜め方向に隣接する 8 画素の黒成分値を求め、その中の最大値が、黒エッジ検出の対象となる画素の黒成分値に対し、一定値以上大きな値であれば、検出対象の画素を黒エッジと判別する。

#### (2) 複数画素 UCR

図 6.7 に複数画素 UCR 方式のブロック図を示す。本方式では、黒エッジ検出で求めた最も黒成分値の高い画素から墨率  $\alpha$  を求める。図 6.7 においては、中心画素の左隣の画素がそれに該当する。その画素値を用いて (6.3) 式で  $\alpha$  を求めると、 $\alpha = 0.9$  となる。この値を中心画素の Y 値に乗算して  $K=117$  が求まる。次に  $C'$ 、 $M'$ 、 $Y'$  を求める場合、従来のように UCR の対象となる画素の C, M, Y 値から K の値を減算して求めるのではなく、中心画素を中心点として、墨率を求めた画素の位置と対角方向にある画素の C, M, Y 値を  $C'$ 、 $M'$ 、 $Y'$  とする。図 5.5 においては、中心画素の右隣の画素がそれに該当する。その結果、中心画素の Y 値の 90% が K に置き換わり、かつ UCR 後の C, M, Y 値は隣接画素と同じ信号値となる。

以上の処理により黒エッジがぼけず、かつプリンタエンジンの各色の印刷位置にずれが生じていても、隣接画素と同じ色成分値となるため色ずれが生じない。

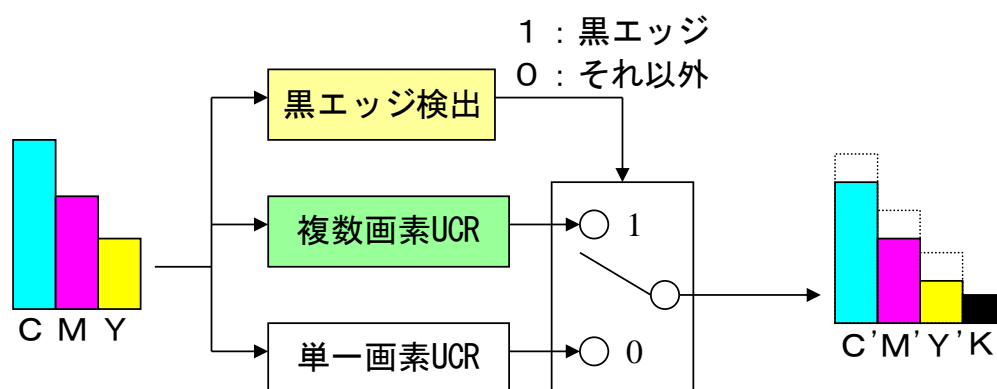


図 6.6 像域分離 UCR



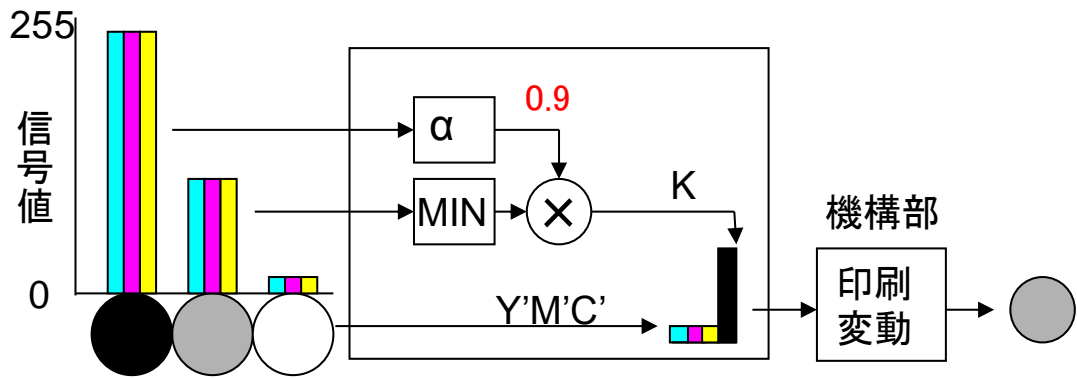


図 6.7 複数画素 UCR

(3) 単一画素 UCR

黒エッジ検出で、非黒エッジと判別された画素は、明度の高い輪郭部または、広い範囲で均一な色が分布している非輪郭部であることから、図 6.5 に示す、従来の単一画素の色成分値による UCR 方式を適用する。

6.3.2 実現方法

図 6.9 に像域分離 UCR のフローチャートを示す。

(1) 黒エッジ検出

図 6.8 にエッジ検出用の画素ウィンドウを示す。中央の P0 の画素がエッジ検出の対象となる画素である。この画素のデータ値と、その周囲の 8 画素 P1~P8 のデータ値から、P0 が黒エッジか否かを判別する。以下、図 6.9 のフローチャートにより説明する。まず最初に、各画素の C, M, Y 値の最小値を黒成分値 B として求める。次に、周囲 8 画素の中で黒成分値の最大値を持つ画素 Ba を検出する。そして、Ba と P0 の黒成分値 B0 の差分 D を求め、その値が判別しきい値 TH より大きければ、注目画素 P0 を黒エッジと判定する。今回、複数の画像サンプルを用いた印刷実験により、判別しきい値 TH=127 を適用した。

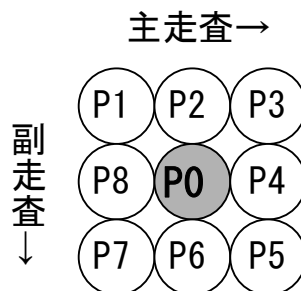


図 6.8 エッジ検出用ウィンド

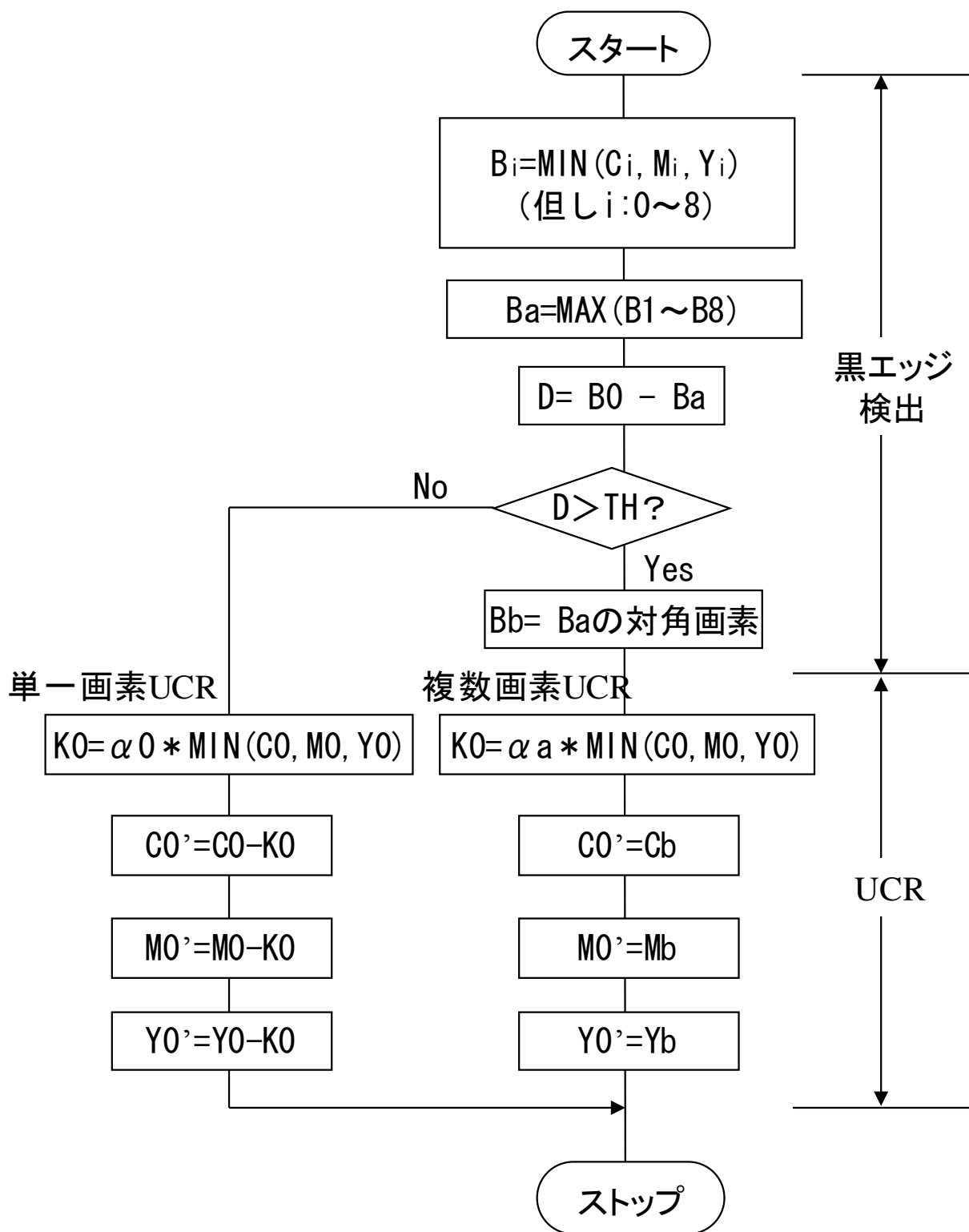


図 6.9 像域分離 UCR フローチャート

## (2) 複数画素 UCR

図 6.9 のフローチャートにおいて、P0 が黒エッジと判別された場合は、墨率  $\alpha$  は周囲 8 画素で最も K 値の高い画素 Pa から式 (6.3) にて求める。この墨率を P0 の C, M, Y 成分の最小値に乘算して K 値 K0 を求める。次に UCR 後の C, M, Y 値は、P0 を中心に Pa と対角の位置にある画素 Bb の C, M, Y 値に置き換える。

## (3) 単一画素 UCR

図 6.9 のフローチャートにおいて、P0 が非黒エッジと判別された場合は、墨率  $\alpha$  は P0 から式 (6.3) にて求める。この墨率を P0 の C, M, Y 値の最小値に乘算して K 値 K0 を求める。次に UCR 後の C, M, Y 値は、P0 の C, M, Y 値の各々から K0 の値を減算したものを新たな C, M, Y 値とする。

### 6.4 出力画像の評価

サンプル画像に対し、単一画素 UCR および像域分離 UCR を施した後にカラーレーザプリンタで印刷を行ない、画質評価を行なった。実験に使用したプリンタは、日立製カラーレーザプリンタ試作機で解像度は主走査 300dpi, 副走査 600dpi である。実験に使用したサンプル画像データは SCID のテストチャート No.1[10]の解像度 300dpi, C, M, Y, K 各色 8 ビット/画素の画像データを使用した。実験方法としては、次の順序で行った。

- ① ワークステーション上で、2つの UCR 方式のアルゴリズムを実行する画像処理プログラムを C 言語で記述。
- ② 画像サンプルデータに対して 2つの UCR 方式のプログラムを実行し、出力データ (1 ページ分の C, M, Y, K 各色 4 ビット/画素のデータ) をバッファメモリ装置に蓄積。
- ③ プリンタの印刷速度に同期させて、バッファメモリ装置から、1 画素ごとに画像データを出力し、パルス幅変調回路によりパルス幅変調処理[10]を実行。
- ④ パルス幅変調出力信号をプリンタエンジンに出力し、印刷。

#### 6.4.1 黒エッジ検出方式の評価

図 6.10 の左側に黒線画像と自然画像のサンプル画像および、画像中の線分 A-A' および C-C' の濃淡分布を 256 レベルで示す。右側に各サンプル画像の黒エッジ検出結果を示す。黒エッジと判別された画素を黒で示している。また、画像中の線分 C-C' および D-D' の黒エッジ検出結果を 255, それ以外を 0 レベルで示す。

黒線画像でのエッジ検出結果を見ると、輪郭部分の白から黒への遷移領域 (ア) の画素が黒エッジ (イ) として精度良く検出されている。自然画像においては、濃度は高いが

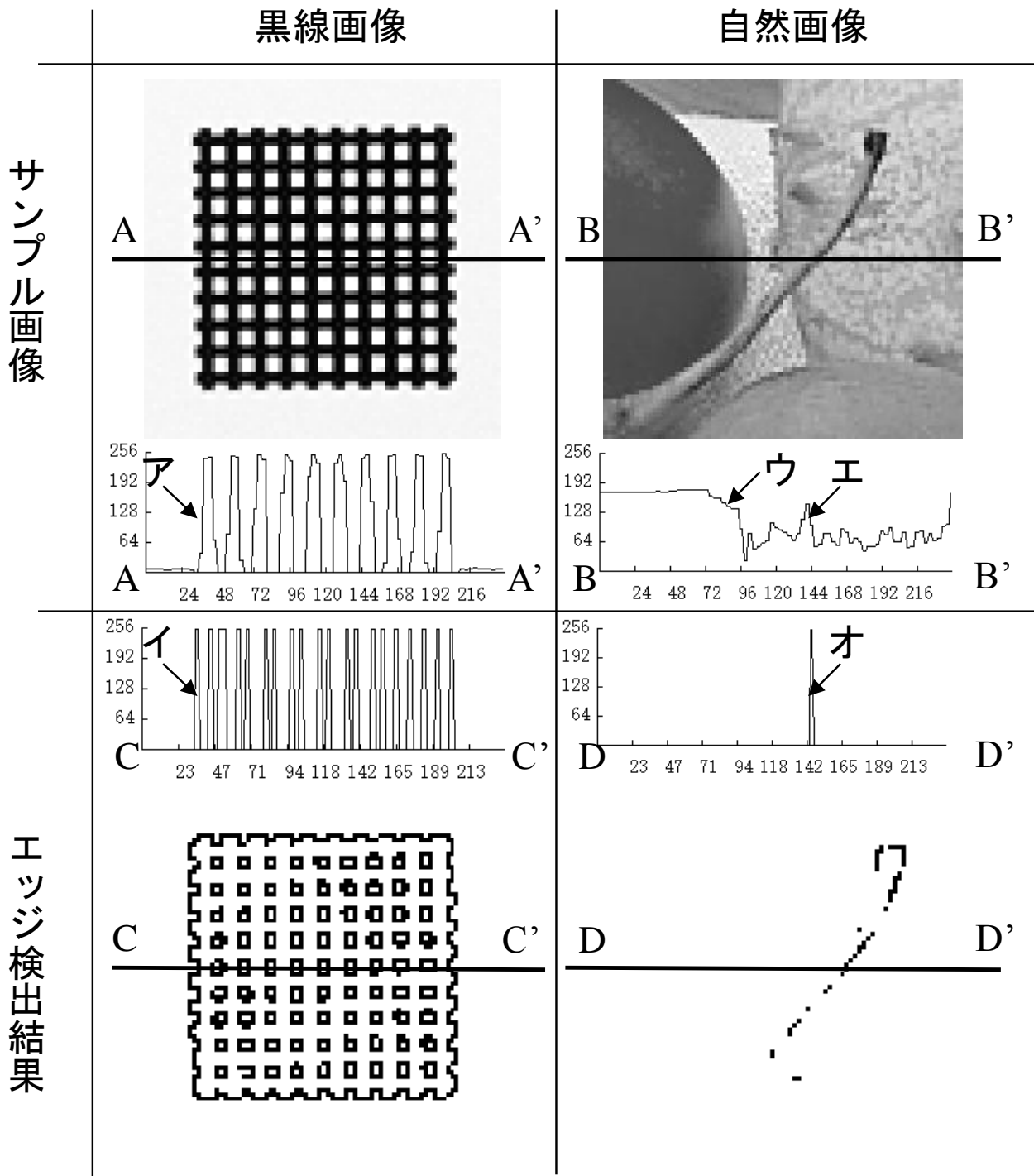


図 6.10 黒エッジ検出結果

勾配の緩やかなエッジ(ウ)は黒エッジとして検出されず、濃度の高い方が 128 レベル以上で、隣接画素間の濃度差が 64 レベル以上ある領域(エ)が黒エッジ(オ)として検出されている。以上の結果より、色ずれが顕著に目立つ黒エッジ領域が精度良く検出されていることがわかる。

#### 6.4.2 UCR 処理結果の評価

図 6.11 に、単一画素方式と本方式による UCR 処理後の印刷画像を示す。各画像の下のグラフは、従来の単一画素 UCR 方式と、今回開発した像域分離 UCR 方式における、黒線画像と自然画像の印刷サンプル画像、および各印刷画像の線分で示された主走査線上の画素の墨率  $\alpha$  を示したものである。実験では、マゼンタの印刷位置は黒に対して右に  $150\mu\text{m}$ 、下に  $15\mu\text{m}$  ずれており、またシアン印刷位置は黒に対して右に  $100\mu\text{m}$ 、下に  $10\mu\text{m}$  ずれているカラーレーザープリンタの試作機を使用した。

##### (1) 単一画素方式

黒線画像の印刷サンプル上の線分 E-E' の墨率分布において、カの丸で囲んだ波形に示すように、頂点の尖った波形となっており、中心部は黒濃度が高く、墨率  $\alpha$  は 1.0 に近い値を示しているが、輪郭部に近づくにつれて、墨率  $\alpha$  は 0.5 程度に低くなっていることがわかる。したがって、輪郭部では黒への変換率が 50% であり、C, M, Y 値が 50% 含まれている。その結果、印刷結果の画像を見ると、色ずれが顕著に現れている。自然画像の印刷サンプル上の線分 G-G' の墨率分布においても同様に、クの丸で囲んだ波形に示すように、頂点の尖った波形となっており、黒輪郭部において、色ずれが生じているが、周囲の画素が白でなく様々な色が混在しているため、色ずれは目立たない。

##### (2) 像域分離方式

黒線画像の印刷サンプル上の線分 F-F' の墨率分布において、キの丸で囲んだ波形に示すように、頂点が丸みを帯び、幅の太い波形となっている。中心部は黒濃度が高く、墨率  $\alpha$  は 1.0 に近い値を示しているが、輪郭部においても、墨率  $\alpha$  は 1.0 程度に保たれていることがわかる。したがって、輪郭部では黒への変換率が 100% に近く、C, M, Y 成分がほとんど含まれていない。従って、印刷結果の画像を見ると、色ずれの発生が抑えられている。自然画像の印刷サンプル上の線分 H-H' の墨率分布においても同様に、ケの丸で囲んだ波形に示すように、幅の太い波形となっており、黒輪郭部において、色ずれが抑えられている。しかしながら、黒輪郭部の周囲が白などの単一色でない自然画像については、単一画素方式に対し顕著な効果は顕われていない。

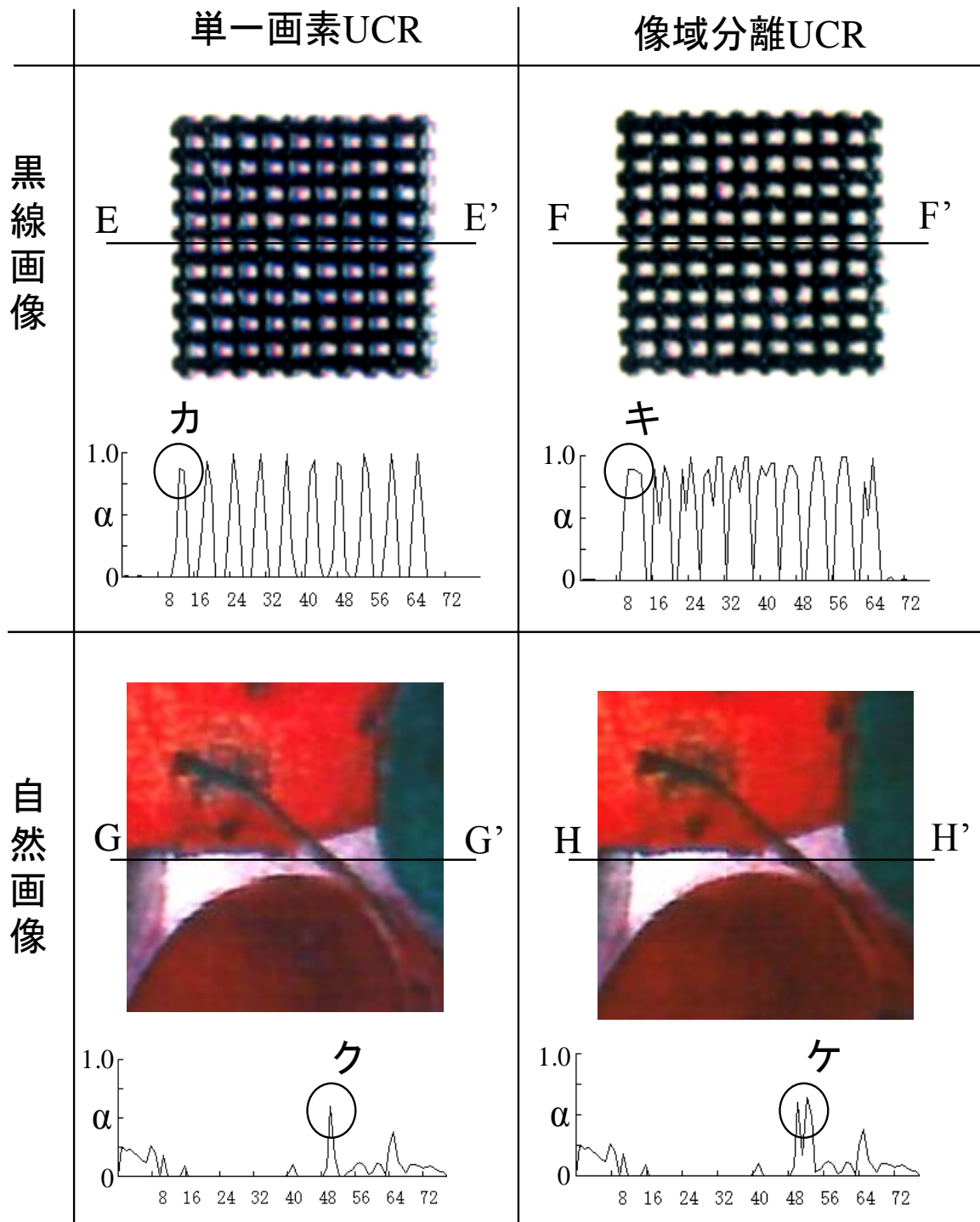


図 6.11 印刷結果

## 6.5 まとめ

カラーレーザプリンタを対象とした UCR 処理において、画像の黒エッジ部を検出し、黒エッジ部には、その隣接する画素値より算出した墨率  $\alpha$  を適用することで各色の印刷位置ずれに起因する黒エッジ部の色ずれを抑え、黒エッジ以外の領域では画質の劣化を生じない、像域分離 UCR 処理を開発した。

電子写真学会テストチャート No. 5-1, SCID テストチャート No. 1~No. 8 および、実際の使用を想定したカラーレーザプリンタ製品評価用のテストチャートにて画質評価を行い、黒エッジ部分の色ずれ抑制による画質向上と、他の部分において画質劣化のないことを確認した。

## 6章の参考文献

- [1] 電子写真学会編, 電子写真技術の基礎と応用, pp. 575-576, コロナ社, 1988.
- [2] 田島譲二, “カラーマスキングⅡ”, 画像電子学会誌, Vol. 18, No. 2, pp. 44-48, 1989.
- [3] 中村千穂, 田宗道弘, “墨加刷の理論と実際”, 電子写真学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 315-323, 1990.
- [4] 吉田 正, “カラー画像処理方式”, 公開特許公報 昭 61-1171.
- [5] 富士ゼロックス, “DocuColor 1250CP 製品カタログ”, pp. 6, 2000.
- [6] 大内敏, 今尾薫, 山田和作, “文字/絵柄(網点, 写真)混在画像の像域分離方式”, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. 75, No. 1, pp. 39-47, 1992.
- [7] 瀬政孝義, 高橋利至, 吉田雅之, 小野文孝, “文字/網点/写真混在画像の 2 値化表現—像域分離変数を用いた連続的適応 2 値化—”, 画像電子学会誌, Vol. 20, No. 5, pp. 476-483, 1991.
- [8] 田村秀行, “コンピュータ画像処理入門”, pp. 104-105, 総研出版, 1985.
- [9] 電子写真学会編, 電子写真技術の基礎と応用, pp. 580-588, コロナ社, 1988.
- [10] 画像処理技術標準化委員会, “高精細カラーデジタル標準画像データ”, 日本規格協会, 1995.

## 7. 像域別多値ディザ

### 7.1 緒言

近年、カラーコピー機やカラープリンタとして、カラーレーザプリンタが広く普及している。レーザプリンタでは、画像の階調を印刷ドットの面積に変換する面積階調法で表現する。面積階調法の実現手段としてパルス幅変調があるが、パルス幅変調で安定的に印刷用紙上に再現できる階調数は数階調～数十階調程度であるため、前処理として多値ディザを行うことで、印刷用紙上で表現する階調数を増やしている[1] [2]。多値ディザの方式としては、印刷1画素を1ドットとして表現する濃度パターン型多値ディザ[3]と、複数の印刷画素の集合を網点として表現する変形閾値順序型多値ディザ[4] [5]等が報告されている。レーザプリンタでは、画像情報に応じて、感光体にレーザ光を照射し（潜像）、その部分にトナーを静電気力で付着させ（現像）、用紙に転写することで印刷結果を得る。上記を実現する上で、複雑な機構系の変動が問題になる。そのため、変形閾値順序型多値ディザの方が表現する階調のリニアリティー及び上記機構系の変動に対する安定性において適している[4] [5]。

一方、濃度パターン型多値ディザは1印刷画素単位で階調を表現するため、中間調の文字、細線等の空間周波数の高い画像の表現には適しているが、上記機構系の変動に対して常に安定した階調特性を得るのは困難である[6]～[8]。

また、カラーレーザプリンタでは、4色のトナーの組み合わせでカラー画像を表現するが、各色毎に網点の線数とスクリーン角を変えることで、4色の網点の重なり周期に起因する色のモアレ縞の発生を防止できる。

以上のような事情で、カラーレーザプリンタにおいては、変形閾値順序型多値ディザが主流となっている[9] [10]。この多値ディザ方式は、空間周波数になるべく低周波になるディザマトリクスを使い、隣接する複数の印刷画素の集合で網点を表現し、さらに4色の網点のスクリーン角を異ならせることで、安定した階調表現性を実現できる反面、中間調の文字、細線等の空間周波数の高い画像の再現性が悪いという問題がある。

その問題点を改善する方法として、文書データ内のテキストデータとイメージデータを区別できる情報の形式でプリンタに入力し、テキストデータには濃度パターン型多値ディザを、イメージデータには変形閾値順序型多値ディザを適用する方法[8]が提案、実用化されている。しかしながら、イメージデータに含まれる文字、細線や物体



の輪郭などは変形閾値順序型多値ディザが適用されるため、印刷時の解像度は低下する。

本研究では、カラー画像の階調表現性に優れる変形閾値順序型多値ディザをベースに、1画素ごとにエッジと判別した画像部分に濃度パターン型多値ディザを適用することで、印刷時のイメージデータ内の文字、線画領域の解像度向上を目的とした。最初に、画像のエッジ部を検出し、エッジ部に濃度パターン型多値ディザを適用した場合に、エッジ周囲画素で濃度パターン型と変形閾値順序型の多値ディザによる記録線数の違いから画質劣化が生じることを述べる。

次に、その問題点を解決するため、エッジの周囲画素に対し、ドット分散型の多値ディザ処理を施すことにより、画質劣化を生じず、文字、線画部分の高解像度化を確認した。

## 7.2 像域別多値ディザ方式の検討

カラーレーザープリンタで主流となっている変形閾値順序型多値ディザでは中間調の文字・線画等の高解像印刷ができないという問題に対し、1画素単位に、属する画像領域を判別し、各々に適した多値ディザを選択する像域別多値ディザ方式を検討した。以下、具体的な検討方法について述べる。

図 7.1 にその画像処理フローを示す。像域別多値ディザは、入力される1画素（解像度 300dpi）ごとに像域を判別する。そして、プリンタ出力の解像度（主走査 3001pi, 副走査 6001pi）で、像域に応じた多値ディザを行う。パルス幅変調は、画素データ値を印刷紙面上へのトナーの付着面積へ変換するために、1画素単位に、その値に比例した幅のパルス信号に変換する処理である。

図 7.2 にパルス幅変調処理の概要を示す。プリンタエンジンでは、そのパルス信号幅の期間、レーザービームを感光体ドラムに照射し、その部分にトナーを付着させることで印刷用紙上に1画素毎の階調を表現する。1画素のC, M, Y, K各色のデータが256階調（8ビット/画素）で表わされていて、パルス幅変調で印刷用紙に表現できる階調が16階調（4ビット/画素）である場合、各色の画素データを8ビットから4ビットに削減する必要がある。単純に8ビット内の下位4ビットを切り捨てた場合、256階調が16階調になり、緩やかに階調が変化する画像領域において、階調変化が階段状に表現される[1]。そこでパルス幅変調の前に多値ディザ処理を行うことにより、複数の画素の集合体により表現する階調数を増加する。

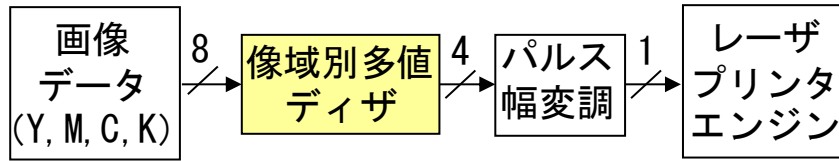


図 7.1 画像処理フロー

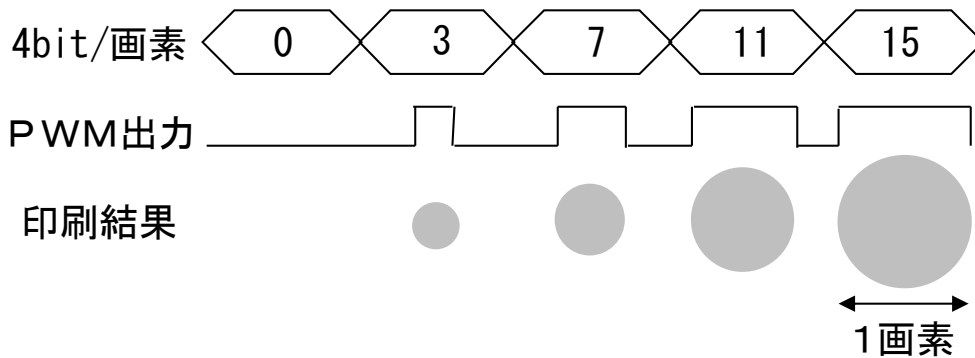


図 7.2 パルス幅変調

図 7.3 に今回検討した 2 つの像域別多値ディザ方式を示す．方式 1 は最初に C, M, Y, K 各色 8 ビット／画素で表現されている 1 画素単位の画像データに対し，画像のエッジ部に属しているか否かを像域判別部にて判別する．次に，エッジ部に属していれば濃度パターン型多値ディザを施し，属していなければドット集中型の変形閾値多値ディザを行う．また方式 2 は，エッジと非エッジ部の判別に加え，エッジ隣接部を判別し，その画素にドット分散型の変形閾値多値ディザを施す．

以下，各方式を構成する画像処理について具体的に説明する．

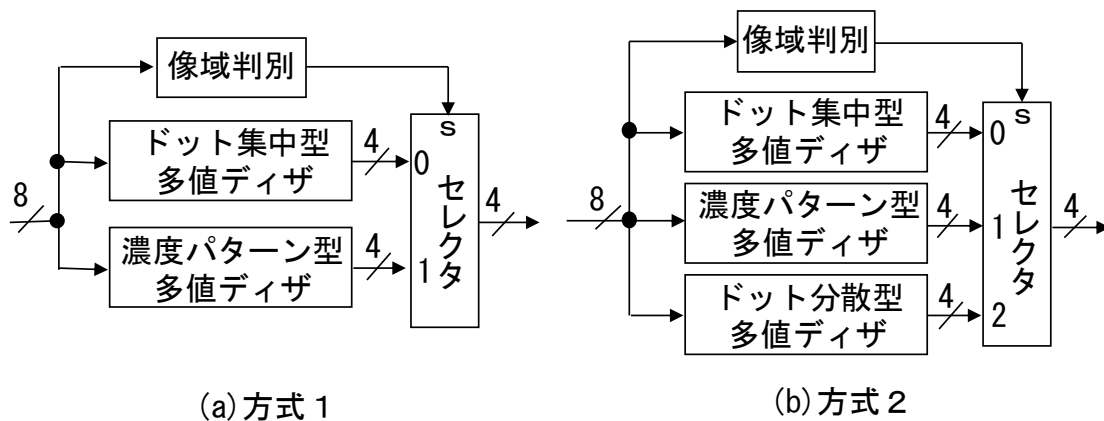


図 7.3 像域別多値ディザ

## 7.2.1 像域判別

エッジを画素単位に判別する方法として、判別対象の画素の斜め4方向に位置する画素に対し3×3画素のサブウィンドウで中央値を求め、その4つの値の相関性に基づき対象画素のエッジ判別を行う方法[16]等、用途に応じて多くのエッジ判別方法が提案されている。今回は、プリンタの印刷速度に合わせて像域判別を行うハードウェア化を考慮し、数値演算が少なく、論理回路での実現が容易な方法とする。以下、今回の像域判別方法について説明する。図 7.4 に像域判別のための画素ウィンドウを示す。中央の P00 の画素が像域判別の対象となる画素である。P00 及び P10~P17 は 0(白)~255(黒)の 256 階調の値をとる。また、図 7.5 にエッジ判別のためのラプラシアンオペレータ[13]を、図 7.6 に像域判別アルゴリズムのフローチャートを示す。

最初に、ラプラシアンオペレータ演算結果の絶対値 $|K|$ を判別しきい値 TH と比較し、 $|K|$ が TH より大きければ、注目画素 P00 をエッジ  $\alpha$  と判定する。今回、複数の画像サンプルを用いた印刷実験により、判別しきい値 TH=50 とした。次に、エッジ  $\alpha$  として判別された画素の隣接画素をエッジ  $\beta$  と判別する。図 7.4 の P00 がらラプシアン演算により非エッジと判別された場合でも、画素 P10~P17 のうち、少なくとも1つがエッジ  $\alpha$  と判別されていれば、P00 をエッジ  $\beta$  とする。そして、エッジ  $\alpha$  および  $\beta$  の画素を統一してエッジ画素とする。これは、画像データ内で視覚的に連続して見える輪郭領域のエッジ判別結果が不連続になることを防ぐためである。

次に、エッジ部と判別された画素に隣接する画素をエッジ隣接部とする。具体的には、画素 P10~P17 にエッジ  $\alpha$  が無く、エッジ  $\beta$  が有れば P00 をエッジ隣接画素とする。今回の像域判別では、明るさと色彩において差異の大きな部分をエッジと判別するため、C, M, Y, K 各色の画像データ (8ビット/画素) 毎に像域判別を行う。図 7.3 の (b) 方式 2 に示すセレクタの選択信号を S とすると、4 色の判別結果の内、1 色以上エッジ  $\alpha$  または  $\beta$  があれば S=1, 4 色全て平坦部であれば S=0, 上記以外を S=2 とし最終的な像域判別結果とする。

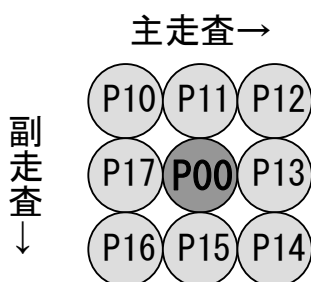


図 7.4 像域判別ウィンド

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

図 7.5 ラプラシアン オペレータ

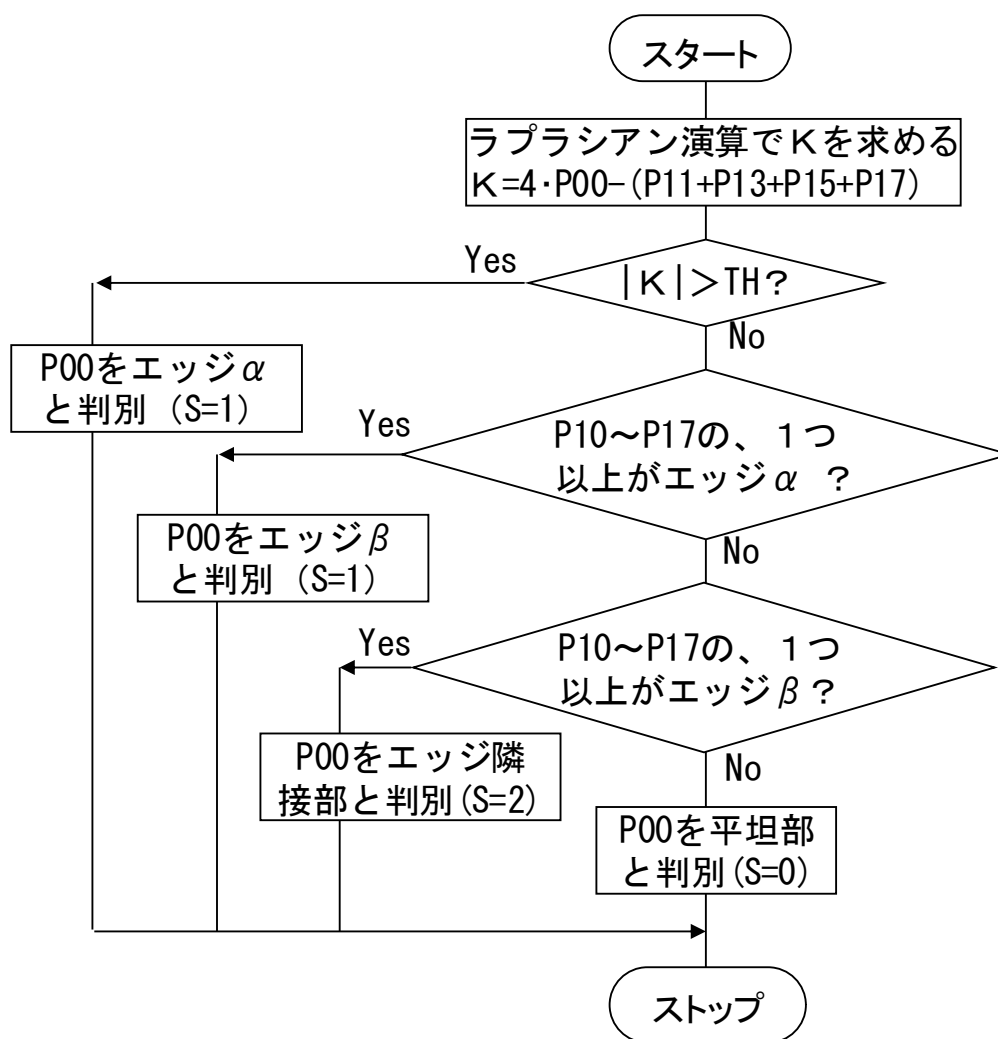


図 7.6 像域判別アルゴリズム

### 7.2.2 濃度パターン型多値ディザ

濃度パターン型多値ディザの実現方法を図 7.7 に示す。入力画像データ 1 画素 (300dpi) をプリンタの出力解像度 (主走査 300lpi, 副走査 600lpi) に合わせるため、同じ画素値を持つ  $1 \times 2$  画素に 2 分割して入力する。  $4 \times 4$  個の長方形で構成するディザマトリクスのうち 1 個の長方形が分割後の入力 1 画素に対応する。入力画像データ 1 画素 (300dpi) の像域判別結果がエッジ部の場合、分割した  $1 \times 2$  画素に対してこの多値ディザを適用する。処理動作としては、C, M, Y, K 各色 8 ビット / 画素のデータの下位 4 ビットを、その画素位置に対応したディザマトリクスの出力と一画素毎に順次比較し、その 2 値結果 (“1” または “0”) を上位 4 ビットから減算する。 Roberts の方法等 [11] [12] では、乱数を擬似雑音として与える方法が提案されているが、今回

は、ハードウェア化を考慮して、空間周波数の高いドット分散型ディザマトリクス（ベイヤーパターン）[1]を採用した。その結果、ディザ処理出力の”1”出力が16画素内の一箇所に集まることなく分散され、16画素の集合で256階調を表現できる。この処理の印刷パターンの模式図を図7.10の(a)に示す。パターンの特徴として、印刷1画素ごとに中間レベルの印刷パターンとなり、網点線数は印刷解像度と等しい主走査300lpi、副走査600lpiであり、画像を高解像で印刷できる。この処理による印刷サンプルを図7.12に示す。

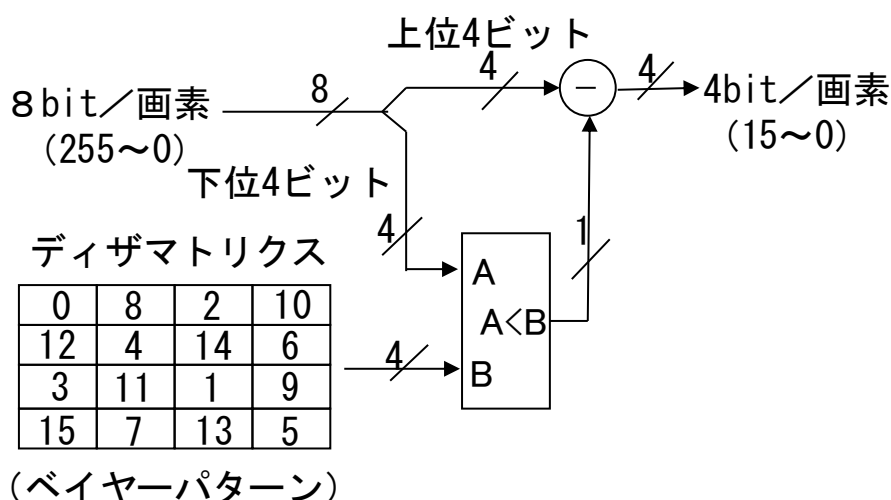


図 7.7 濃度パターン型多値ディザ

### 7.2.3 ドット集中型変形閾値多値ディザ

ドット集中型変形閾値順序型多値ディザ（以下ドット集中型多値ディザと称す）の実現方法を図7.8に示す。濃度パターン型多値ディザの場合と同じく、入力画像データ1画素を同じ画素値を持つ1×2画素に2分割して入力する。5×10個の長方形で構成するディザマトリクスのうち1個の長方形が分割後の入力1画素に対応する。入力画像データ1画素の像域判別結果が平坦部の場合、分割した1×2画素に対してこの多値ディザを適用する。処理動作としては、C, M, Y, K各色の8ビット/画素の画像データから、その画素位置に対応したディザマトリクスの値を減算し、その出力が15以上であれば15とし、また0以下であれば0とする。0から15の間の値はそのまま出力する。この処理による印刷パターンを図7.10の(b)に示す。この図のように、図7.8のドット集中型ディザマトリクス[1]で多値ディザを行うことで、入力画素値が大きくなるにつれて、中間レベルの印刷画素をなるべく少なくするようにしきい値を配

置しており、着色領域が一箇所に集中しながら増えていく、網点線数が 1331pi の印刷パターンとなる。ここで、画像データ値が大きくなるにつれて、縦方向にドットが成長するようにした理由は、プリンタのトナー転写ドラムの回転方向である縦方向の速度変動による印刷ムラを吸収するためである。さらに、各色の網点スクリーン角を異ならせることで、感光体ドラムの送りムラ等の、プリンタ機構部の変動に起因する印刷時の色ムラや、色モアレの発生を抑えるため、図 7.9 の左側のように、各色ごとにディザマトリクスのしきい値配置を変える。網点スクリーン角とは、図 7.9 の左側で、グレーの画素の並び方向の水平軸に対する角度であり、各色で異なっている。印刷時に各色を重ね合わせると、図 7.9 右側のように規則的なパターンが生じ、色モアレを抑制できる。この処理による印刷サンプルを図 7.12 に示す。

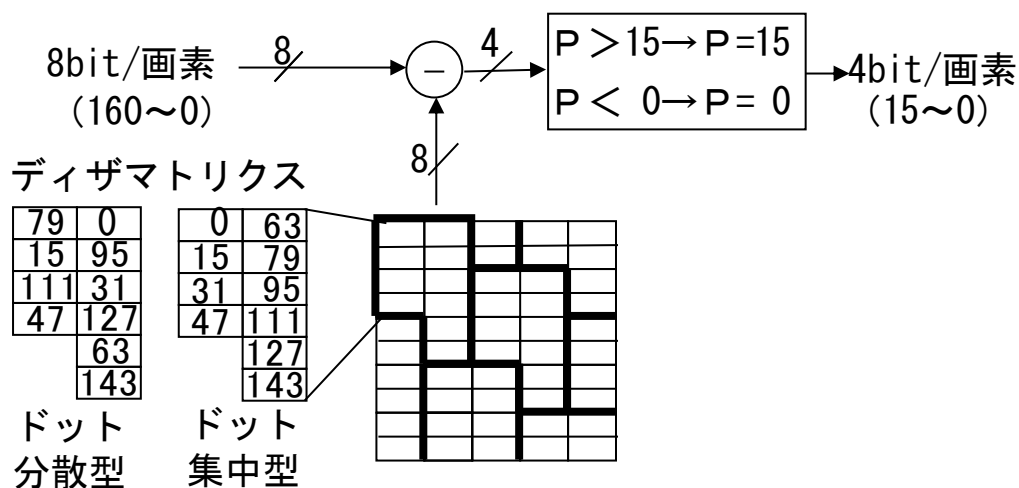


図 7.8 ドット集中型およびドット分散型多値ディザ

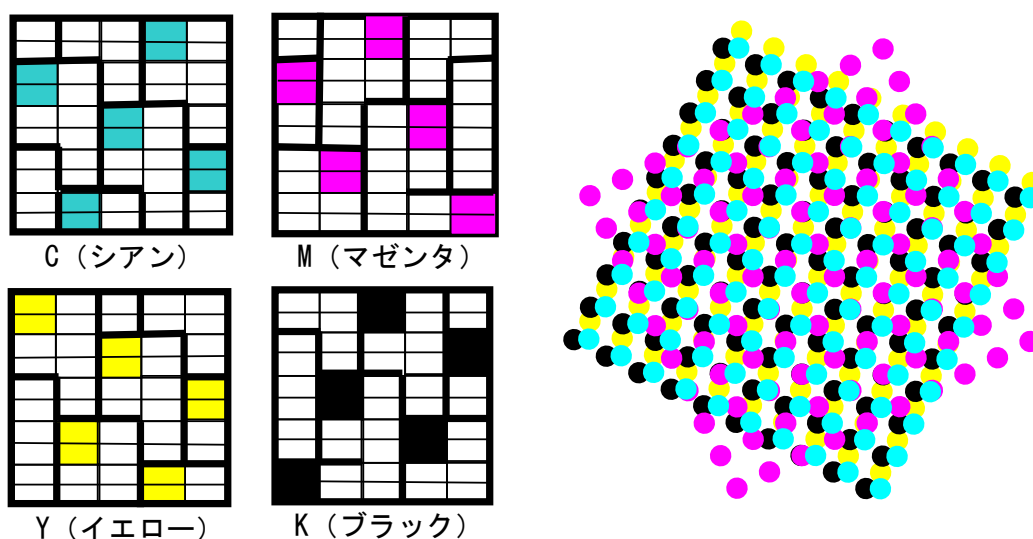


図 7.9 スクリーン角とドット配置

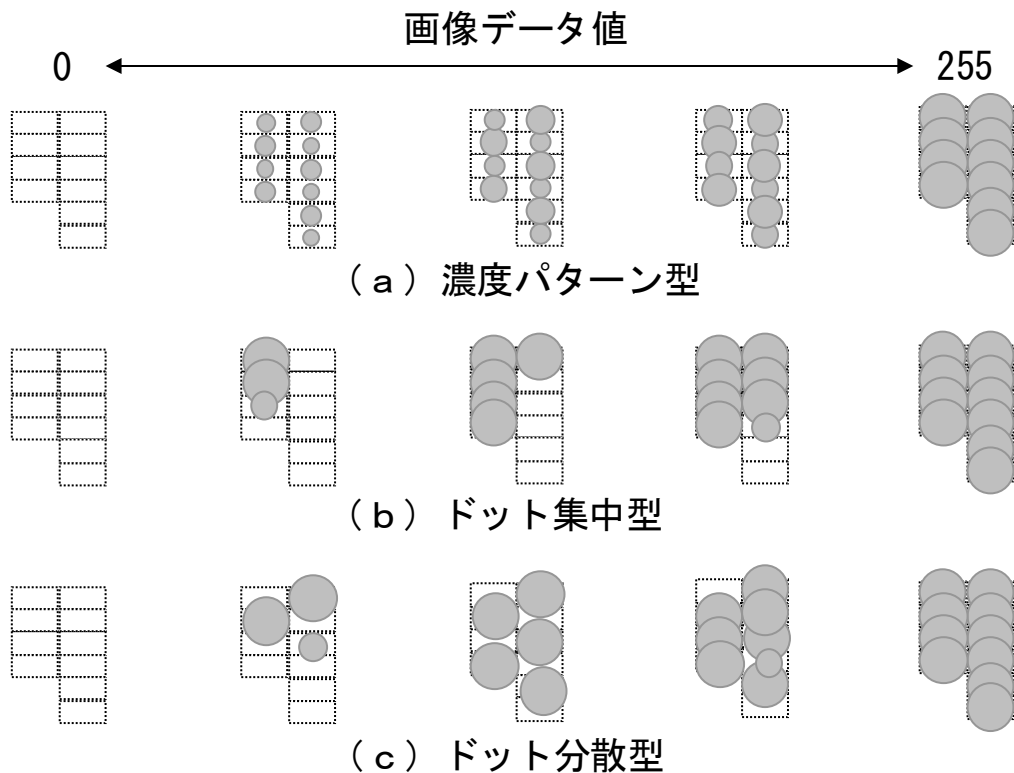


図 7.10 多値ディザ印刷パターン

#### 7.2.4 ドット分散型変形閾値多値ディザ

ドット分散型変形閾値順序型多値ディザ（以下ドット分散型多値ディザと称す）の実現方法は、図 7.8 に示すように、ドット集中型多値ディザと同一であり、ディザマトリクスを分散型ディザマトリクスに変更することで実現する。入力画像データ 1 画素の像域判別結果がエッジ隣接部の場合、分割した  $1 \times 2$  画素に対してこの多値ディザを適用する。画像データ値の小さな段階から、トナーの付着画素が左列と右列に分散するようにディザマトリクス値を決定した。図 7.10 の (c) に画像データを 0~255 に変化した場合の印刷パターンの模式図を示す。図 7.10 の (b) に比べて、画像データ値が 0 から大きくなるに従い、分散するようにドットが出現する、網点線数が 2681pi の印刷パターンとなる。

### 7.3 実現手段

本方式は、カラーレーザプリンタに搭載し、印刷速度に同期して実行する必要があるため、半導体集積回路等のハードウェアで実現する。図 7.1 の画像処理フローにおいて、文書 1 ページ分の画像データを蓄積するページメモリは、リードライト可能な半導体メモリ（DRAM）とする。印刷速度が A4 原稿で 3 ページ/分、解像度が主走査

300lpi, 副走査 600lpi のプリンタに搭載する場合, 面積階調処理は, プリンタエンジン側から入力される主走査同期信号を起動信号として, 1 走査線毎に, 1 画素単位に DRAM から画像信号を読み出し, 画像処理速度 12MHz/画素で実行する. そしてパルス幅変調は, 12MHz で 4 ビット/画素の入力に対して, 16 通りの幅のパルスを発生させる必要があるため, クロック速度としては, 8 倍の 96MHz で動作するジョンソンカウンタ [14] を論理回路で構成する. また, 動作前に初期設定するパラメータとしては, 前述の 3 種類のディザマトリクスと, エッジ判別用のしきい値があり, これらはレジスタファイルで構成し, プリンタの初期設定時にプリンタコントローラからデータ設定を行う.

#### 7.4 出力画像の評価

サンプル画像に対し, ドット集中型多値ディザ, 濃度パターン型多値ディザおよび像域別多値ディザ方式 (方式 2) を施した後にカラーレーザプリンタで出力を行ない, 画質評価を行なった. 実験に使用したプリンタは, 日立製カラーレーザプリンタ試作機で解像度は主走査 300dpi, 副走査 600dpi である. 実験に使用したサンプル画像データは SCID [15] のテストチャート No. 5 の解像度 300dpi, C, M, Y, K 各色 8 ビット/画素の画像データを使用した. 実験方法としては, 次の順序で行った.

- ① ワークステーション上で, 各面積階調方式のアルゴリズムを実行する画像処理プログラムを C 言語により作成.
- ② 画像サンプルデータに対して各面積階調方式のプログラムを実行し, 出力データ (1 ページ分の C, M, Y, K 各色 4 ビット/画素のデータ) をバッファメモリ装置に蓄積.
- ③ プリンタの印刷速度に同期させて, バッファメモリ装置から, 1 画素ごとに画像データを出力し, 論理回路であるジョンソンカウンタで実現したパルス幅変調回路によりパルス幅変調処理を実行. パルス幅変調出力信号をプリンタエンジンから用紙に印刷.

##### 7.4.1 エッジ部の評価

図 7.11 に像域判別結果と, 図 7.3 に示した 2 つの像域別多値ディザ方式による出力結果を示す. 評価に用いた画像は日本規格協会の SCID No. 5 である. (a) のエッジ判別結果は, エッジ (S=1) と判別された画素を白で, エッジ隣接画素 (S=2) と判別された画素を赤で示している. (b) および (c) は, 2 つの方式による印刷サンプル画像と, 画像中の線分 A-A' および B-B' で示す主走査線上の画像を (7.1) 式でカラー (RGB) から輝度 (Gray) に変換したデータ分布を示している. 人間の眼は画素の輝度



変化には敏感であるが、色変化には鈍感であるという視覚特性がある[17] ことから、エッジ部と平坦部の再現性を輝度のデータ分布で比較した。

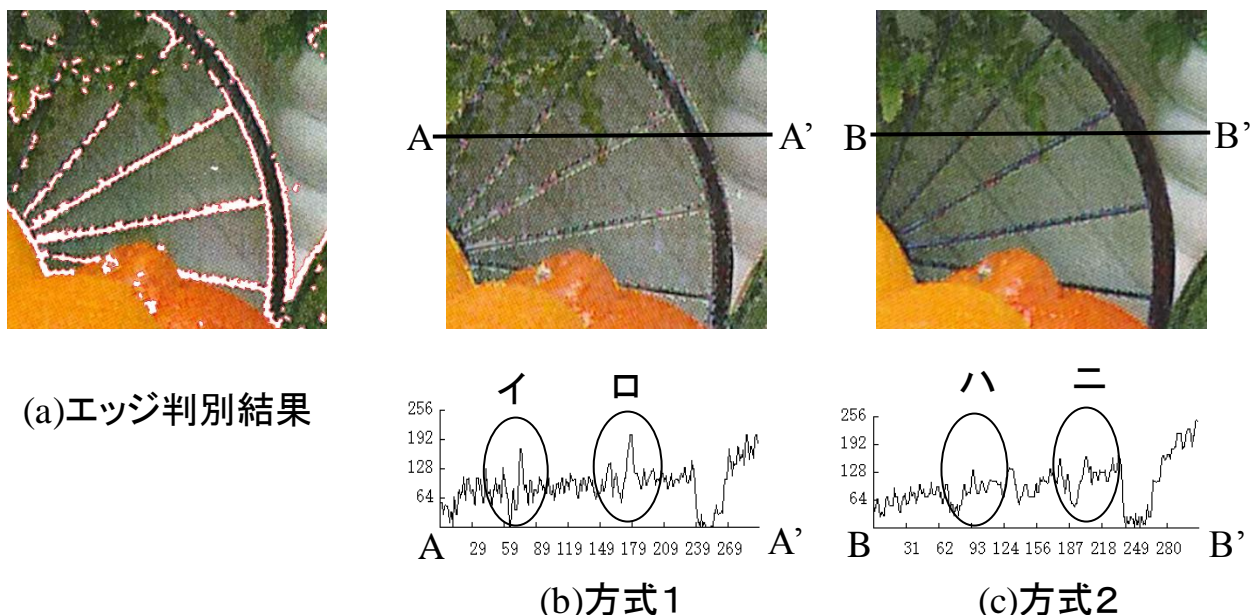
$$Gray = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (7.1)$$

(1)方式1

方式1では、印刷サンプル画像内の車輪のスポークの輪郭部分に、エッジと平坦部の境界部で隙間が生じている。線分A-A'の画像データ分布において、楕円イおよびロで囲まれた部分を見ると明らかなように、車輪のスポークと背景の境界部に、上方向（白側）に突出した波形が生じている。これは、エッジは300lpiに対し、平坦部は133lpiと、隣接する網点線数が大きく異なることにより生じた隙間である。

(2)方式2

方式2では、エッジ部と平坦部の境界に隙間が目立たない。線分B-B'の画像データ分布において、楕円ハ、ニで囲まれた部分を見ると、方式1で車輪のスポークと背景の境界部にある、上方向に突出した波形は生じていない。濃度パターン型多値ディザの網点線数300lpiとドット集中型多値ディザの網点線数133lpiの間に、その中間程度の網点線数となる分散型多値ディザで生成した画像を挟むことで、隙間を目立たなくしている。



出力画像: ISO JIS-SCID No.5 自転車

図 7.11 像域判別方式の比較

#### 7.4.2 多値ディザ方式の評価

図 7.12 に各多値ディザ方式によるプリンタ出力結果を示す。濃度パターン多値ディザ、ドット集中型多値ディザ、および像域別多値ディザ方式 2 による線画像と自然画像の出力サンプル画像と、各印刷画像上の線分で示された主走査線上の画像を、(7.1) 式でカラー (RGB) からグレー (Gray) に変換したデータ分布を示している。像域別多値ディザは方式 2 について評価した。また各多値ディザ方式により得られた出力サンプルに対し画質の主観評価を行った。表 7.1 に示す 5 段階のカテゴリーを評価尺度とし、被験者 11 人の平均評点による評価尺度法により行った。使用した出力サンプルの画像は日本規格協会 SCID No. 5 である。昼光色蛍光灯の照明下で、視距離を 30cm とし、観察した。主観評価結果を表 2 に示す。以下、各多値ディザ方式について評価結果を述べる。

##### (1) 濃度パターン型多値ディザ

濃度パターン多値ディザでは、文字画像は判別可能であるが、色の均一な背景領域において色ムラが生じている。また、線画像では、出力サンプルの線分 A-A' の画像データ分布において、中心部から左右の端に行くに従い、波形の周期が長く、振幅も大きくなっていき、放射状の線画像パターンが再現性良く印刷されている。一方、自然画像では、印刷サンプルの線分 D-D' の画像データ分布において、楕円ニで囲まれた部分に示すように、印刷サンプル中央に位置するオレンジの表面の緩やかな濃淡変化が再現できず、一様な階調となっている。また、表 7.2 の主観評価結果においては、文字画像、線画像では高い評点を、自然画像では低い評点となっている。

##### (2) ドット集中型多値ディザ

ドット集中型多値ディザでは、文字画像は判別困難であるが、背景領域では均一な色再現ができています。また、線画像では線分 B-B' の画像データ分布において、楕円ロで囲まれた波形を見ると、放射線パターンの中心部に近づくにつれて、波形の周期性は崩れ、放射線パターンの周期と網点の周期の干渉から元画像にないモアレが発生しており、再現可能な空間周波数が低いことがわかる。一方、自然画像においては、線分 E-E' の画像データ分布内の楕円ホで囲まれた波形を見ると、オレンジの表面の緩やかな濃淡変化を再現していることがわかる。また、表 7.2 の主観評価結果では、文字画像、線画像では低い評点を、自然画像では高い評点となっている。

### (3) 像域別多値ディザ

像域別多値ディザ（方式2）では、文字画像は判別可能であり、背景領域では均一な色再現ができています。また、線画像では、線分 C-C' の画像データ分布で、楕円ハで囲まれた波形を見ると、濃度パターン型に近い波形を示しており、モアレも生じていません。自然画像では、線分 F-F' の画像データ分布で、楕円ハで囲まれた波形を見ると、ドット集中型多値ディザと同様に、オレンジの皮の表面の緩やかな濃淡変化を再現している。表 7.2 の主観評価結果では、文字画像、線画像および自然画像でともに高い評点を獲得している。

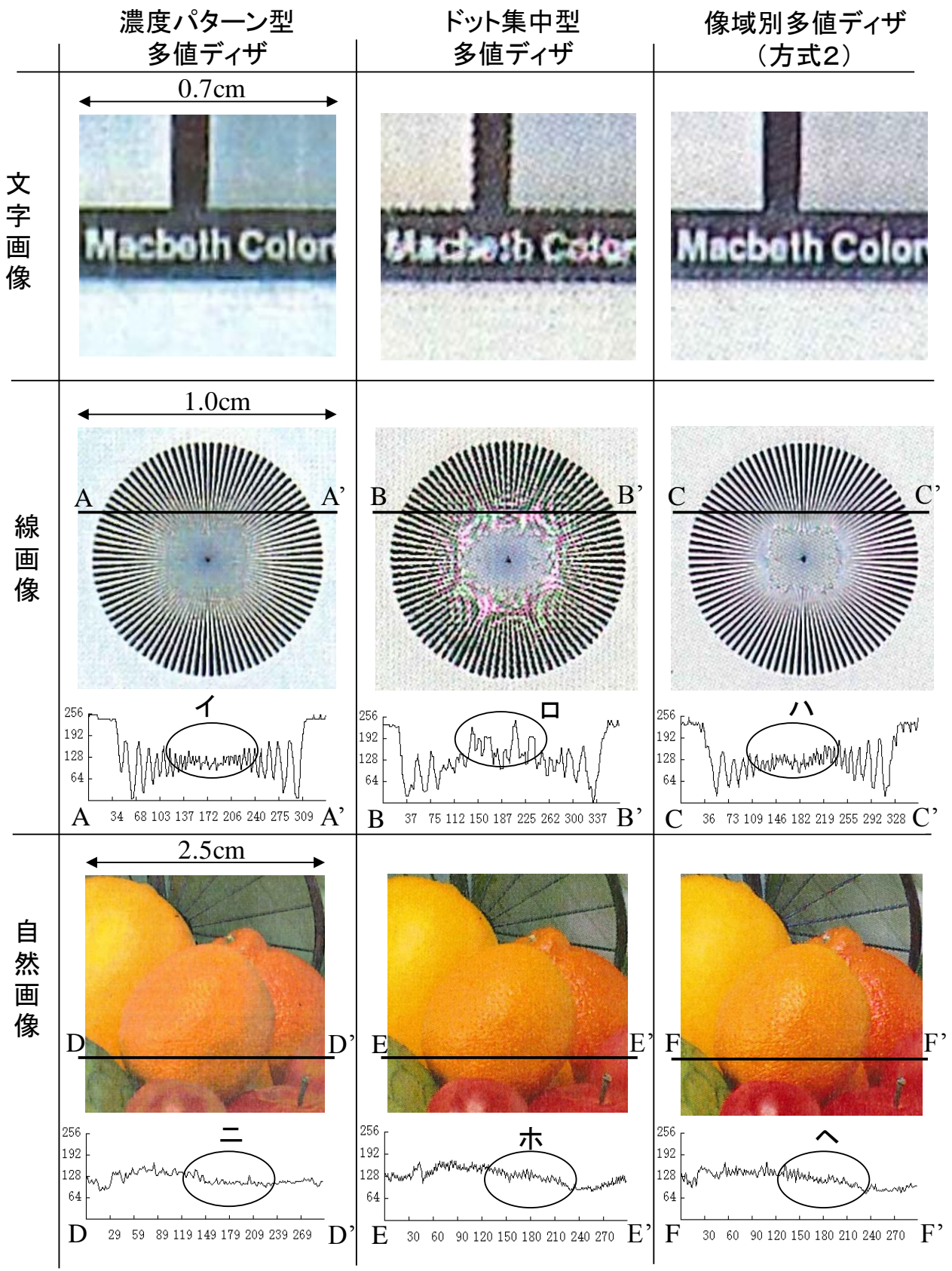
また、電子写真学会テストチャート No. 5-1、SCID テストチャート No. 1~No. 8 および、実際の使用を想定したカラーレーザープリンタ製品評価用のテストチャートにて画質評価を行い、文字、線画および絵柄部分の画質向上と、他の部分において画質劣化のないことを確認した。

表 7.1 主観評価尺度

評点	評価カテゴリー
5	非常に良い
4	良い
3	普通
2	悪い
1	非常に悪い

表 7.2 主観評価結果

多値ディザ方式	自然画像	文字・線画像
濃度パターン型	2.1	4.2
ドット集中型	3.8	2.1
像域別(方式2)	4.9	4.3



出力画像: ISO JIS-SCID No.5 自転車

図 7.12 プリンタ出力結果

## 7章の参考文献

- [1] 電子写真学会編, 電子写真技術の基礎と応用, pp. 580-588, コロナ社, 1988.
- [2] 上野 裕, 小野文孝, 岩田修司, 大西良一, “多値ディザ法とそのデータ圧縮”, 画像電子学会全国大会予稿集, Vol. 6, No. 16, pp. 1-4, 1978.
- [3] 小野文孝, 田賀由佳子, “濃度パターン型多値ディザ表示”, 昭 57 電子通学会全国大会予稿集, Vol. 1, No. 679, pp. 339, 1982.
- [4] 大西 勝, 鮫島一博, “静電記録に適した多値ディザのしきい値配列”, 画像電子学会全国大会予稿集, No. 21, pp. 1-4, 1980.
- [5] 河村尚登, 門脇秀次郎, 北島信夫, “電子写真におけるデジタル・カラー・プリンティングの中間調再現法 (Ⅲ)”, 電子写真学会誌, Vol. 25, No. 1, pp. 31-44, 1986.
- [6] 河村尚登, 門脇秀次郎, 北島信夫, “電子写真におけるデジタル・カラー・プリンティングの中間調再現法 (Ⅱ)”, 電子写真学会誌, Vol. 24, No. 3, pp. 157-158, 1985.
- [7] 田中知明, 星野坦之, “電子写真によるカラー画像の高品質記録”, 電子情報通信学会論文誌 (C), Vol. J69, No. 9, pp. 1178-1184, 1986.
- [8] 小林信也, 安西正保, “隣接ドット結合型パルス幅変調によるレーザプリンタの多値中間調記録”, 画像電子学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 10-15, 1988.
- [9] 稲葉隆治, 浅野和夫, 小松康夫, “Low Cost Color Printer DPC1616 のカラー画質設計”, 電子情報通信学会技術報告, EID2001-127, pp. 1-6, 2002.
- [10] 松代博之, 八巻隆徳, 本橋 武, 山根浩一, 水木正孝, “高速 A3 フルカラーレーザープリンタ IPSiO Color 5000”, リコーテクニカルレポート, No. 25, pp. 140-145, Nov. 1999.
- [11] L. G. Roberts, “Picture Coding Using Pseudo-Random Noise”, IEEE Trans., Inf. Theory, 8, pp. 145, 1962.
- [12] B. Lippel, “Effect of dither on luminance quantization of pictures”, IEEE Trans., Comm. Technol., COM-19, pp. 879-888, 1971.
- [13] 田村秀行, “コンピュータ画像処理入門”, pp. 118-125, 総研出版, 1985.
- [14] 小林芳直, “ASIC の論理回路設計法”, CQ 出版社, pp. 181-194, 1988.
- [15] 画像処理技術標準化委員会, “高精細カラーデジタル標準画像データ”, 日本規格協会, 1995.
- [16] Chin-Hsing Lin, Jia-Shiuan Tsai, Ching-Te Chiu, “Switching Bilateral Filter With a Texture/Noise Detector for Universal Noise Removal”, IEEE

Trans. , Image Processing, Vol. 19, No. 9, pp. 2307-2320, 2010.

- [17] デジタル画像処理編集委員会, “デジタル画像処理” , CG-ARTS 協会, pp. 299, 2004.

## 8. 結論

### 8.1 本論文の結論

(1) 文字領域にはエッジ強調に，網点領域には平滑化に作用する，モアレ抑圧エッジ強調フィルタと誤差拡散処理による高画質化処理方式を開発した．この方式により網点領域のモアレを抑圧し，文字領域の再現性を改善でき，絵柄，文字混在画像の高画質 2 値出力，および符号化効率の向上に効果があることを確認した．

(2) ファクシミリなどのリアルタイム動作に適した，水平・垂直エッジ検出と 2 値化しきい値制御によるノッチ除去 2 値化方式を開発した．この方式により非エッジ領域に画質劣化を生じないノッチの除去効果と，固定しきい値 2 値化方式に比較して約 6% の符号化効率向上を確認した．

(3) 色補正処理ハードウェアを開発し，カラープリンタコントローラ用 ASIC に搭載した．色補正処理の高速化技術として，

圧縮データによる色補正演算

補正データの一括読み込み

パレットモード

グリッドモード

を開発したことで，A4 サイズ原稿に対して 1.5 秒で処理をできる，高速な色補正処理を実現した．

(4) カラーレーザプリンタにおいて，文書内の黒文字や，自然画像内の濃度勾配をもつ黒輪郭部において，印刷時の色ずれによる不要な色のトナーのはみ出しを低減する事を目的に，像域分離を適用した UCR（下色除去）方式を開発した．本方式は，1 画素単位に黒エッジ領域とそれ以外の領域に判別し，黒エッジ領域は，処理の対象となる画素と隣接する複数画素の色情報から UCR 処理を行い，それ以外の領域では，単一画素の色情報から UCR を行う単一画素方式を適用する．本方式を実機に搭載し，印刷出力を評価した結果，黒画像の輪郭部分において，色ずれを低減できる結果を得た．

(5) カラーレーザプリンタで印刷する文書画像において，画像データを 1 画素毎に，エッジ部，エッジ隣接部を判別し，エッジ部には濃度パターン型多値ディザ，エッジ隣接部にはドット分散型多値ディザ，それ以外の領域はドット集中型多値ディザを施す，像域別多値ディザ方式を開発した．実機での画質評価において，画像領域ごとのディザ処理の違いによる画質劣化を生じることなく，文字画像，線画像の高精細化と，

絵柄画像，写真画像の高階調化を両立できる結果を得た．

## 8.2 今後の課題と展開

### (1) モアレ抑圧エッジ強調フィルタ

電子ブックやタブレット PC などの普及により，ディスプレイ上の網点画像を任意の倍率に拡大して読むケースが多い．その場合，サンプリングの周波数が動的に変化するため，網点線数とサンプリング周期から瞬時にフィルタ係数を決定する，動的なモアレ抑圧フィルタの検討があげられる．

### (2) エッジ検出ノッチ除去 2 値化

本研究では，2 値化しきい値の変位量  $\Delta$  を固定値としていたが，ノッチの除去率をさらに高めるために，エッジ部の画素の濃度分布から，エッジ単位または画素単位に最適な変位量  $\Delta$  を求める方式の検討があげられる．また，今後の展開として，画像認識の前処理として 2 値化処理がよく行われる．本方式を適用することで，ノイズを効果的に除去して画像の認識率向上に寄与することが考えられる．

### (3) 色情報判別色補正

本方式はハードウェア化を前提に開発したため，色補正の演算に乗算が不要で簡易なアルゴリズムであるからソフトウェアによる実装に適している．したがって，今後の展開として，電子ブックやタブレット PC などの表示パネルへの適用が考えられる．

### (4) 像域分離 UCR

本研究では，色ずれの特に目立つ黒エッジ部を対象にしたが，黒以外の C, M, Y の任意の組み合わせからなるエッジは文書上に多く存在する．更なる高画質の印刷画像を得るために，黒以外の色のエッジ領域での色ずれを抑える画像処理方式の検討があげられる．

### (5) 像域別多値ディザ

本研究では，エッジ部，エッジ隣接部およびそれ以外の 3 つの領域を判別し，それぞれに適した多値ディザのパターンを選択したが，エッジの判別ではなく，エッジの度合いに応じて連続的に多値ディザのパターン（網点の線数）を変化させる方式の検討があげられる．



## 謝辞

本論文を纏めるにあたり，終始，ご指導とご助言を頂きました，群馬大学理工学研究院の伊藤直史准教授に心より感謝いたします。

本論文を審査頂き，ご教示を頂きました，群馬大学理工学研究院の太田直哉教授，小林春夫教授，横尾英俊教授，奥寛雅准教授に心より感謝いたします。

本論文を纏める機会を与えて頂きました，（株）日立製作所日立研究所長 西野由高氏，同情報制御研究センタ長 三上浩幸氏に心より感謝いたします。

本論文を纏める機会を与えて頂き，終始，ご理解とご支援を頂きました，（株）日立製作所日立研究所グリーンモビリティ研究部長 白石拓也氏，同部 GM4 ユニットリーダー主任研究員 成沢文雄氏，同部元 GM4 ユニットリーダー主任研究員 櫻井康平氏に心より感謝いたします。

研究開発を業務とする道を開いて頂き，そして，本研究を推進するにあたり，熱心にご指導とご鞭撻を頂いた，元日立研究所 小嶋康行氏に心より感謝いたします。

本研究の基盤となるファクシミリの読み取り画像処理とハードウェア化に関し，ご指導とご鞭撻を頂いた，元日立研究所 多々内允晴氏に心より感謝いたします。

本研究を推進するにあたり，ご指導とご鞭撻を頂いた，元日立研究所 中村浩三氏，浜田長晴氏，堀康郎氏に心より感謝いたします。

本研究の共同研究者である，元日立研究所 中島啓介氏，日立研究所 犬塚達基氏，篠田伸一氏，城学氏，豊田康隆氏に心より感謝いたします。

最後に，研究開発の業務および本論文の纏めにおいて，常に支え，暖かく見守ってくれた家族 中村伸子，中村健人，中村杏菜に心より感謝いたします。

## 研究論文, 研究発表

### 研究論文

1. 中村敏明, 中島啓介, 篠田伸一, “モアレ抑圧エッジ強調フィルタによる高画質化処理方式”, 画像電子学会誌, Vol. 22, No. 5, pp. 445-450, 1993.
2. 中村敏明, 中島啓介, 篠田伸一, “エッジ検出しきい値制御によるノッチ除去2値化方式”, 画像電子学会誌, Vol. 26, No. 2, pp. 86-93, 1997.
3. 中村敏明, 城学, “カラーレーザプリンタにおける像域別多値ディザ方式”, 電子情報通信学会論文誌(D), Vol. J97-D, No. 9, pp. 1503-1509, 2014.
4. Keisuke Nakashima, Shinichi Shinoda, Yasuyuki Kojima, Yasuro Hori, Toshiaki Nakamura, Noboru Suemori, “High-quality image processing architecture for facsimiles”, Journal of Electronic Image, Vol. 1, No. 1, pp. 61-67, 1992.
5. 鄭希元, 後藤康, 青野宇紀, 中村敏明, 林雅秀, “自動車走行制御向け MEMS 型 3 軸複合化センサ”, 電気学会誌, Vol. 131, No. 8, pp. 279-285, 2011.

### 研究発表

1. 中村敏明, 武井徹, 篠田伸一, 小嶋康行, 戎井栄三, 高橋徳和, “パーソナルファクシミリ&コピーHI-TWINの開発(2)ーハードウェアとLED光源を用いた読取り制御ー”, 電子情報通信学会秋季大会, 1991.
2. 中村敏明, 篠田伸一, 中島啓介, 犬塚達基, “モアレ抑圧エッジ強調フィルタによるデジタル画像の高画質化処理方式”, 画像電子学会第20回年次大会&国際セッション, 1992.
3. 中村敏明, 篠田伸一, 浅田昭宏, 小堀智生, 細田昌仁, “メモリ量一定誤差拡散によるハーフトーン処理”, 電子情報通信学会総合大会, 1995.
4. 中村敏明, 城学, 犬塚達基, 中島啓介, 岡田正, “エッジ検出UCRによる黒エッジ部の色ずれ制御”, 電子情報通信学会総合大会, 1997.
5. 中村敏明, 城学, 犬塚達基, 岡田正, “像域判別多値ディザ方式の開発”, 電子情報通信学会総合大会, 1999.
6. 武井徹, 中村敏明, 中島啓介, 小嶋康行, 室矢秀樹, 中沢秀夫, “パーソナルファクシミリ&コピーHI-TWINの開発(1)ーシステムと読み取り方式ー”, 電子情報通信学会秋季大会, 1991.

7. 篠田伸一, 中村敏明, 浅田昭宏, 小堀智生, 箕田博文, “文字絵柄混在画像の高画質化処理”, 電子情報通信学会総合大会, 1995.
8. 大辻信也, 中村敏明, “エッジのクリアさを保持する解像度変換方式の検討”, 電子情報通信学会総合大会, 1999.
9. Hiroshi Iwasawa, Masahiro Matsumoto, Toshiaki Nakamura, Satoshi Asano, Yutaka Kobayashi, Masahida Hayashi, “Highly-reliable One-chip Signal Processor LSI for One Angular-rate and Two Acceleration Sensor Using Dual DSPs ”, International Conference on Solid State Devices and Materials, 2008.
10. 浅野哲, 松本昌大, 中村敏明, 岩澤寛, 林雅秀, 小林裕, “並列 DSP を用いた多軸検出センサ用高信頼 LSI の開発”, 電気学会茨城支所研究発表会, 2009.

## 特許公報， 調査報告書

### 特許公報

特許番号	名称	登録年月	共同発明者名
特許第2555199号	画像読み取り方法	平8年8月	中島啓介、多々内允晴、末森登
特許第2615005号	半導体集積回路	平9年3月	永井謙治、建岡正行
特許第2658897号	画像読み取り装置およびそれを用いたファクシミリ装置	平9年6月	中島啓介、多々内允晴、末森登
米国特許 第5649031号	高画質化処理装置	平9年7月	中島啓介、中村浩三、篠田伸一、犬塚達基
特許第3031038号	文書通信システム	平12年2月	小嶋康行、中村浩三、葛貫壮四郎、横田孝義、横須賀靖
特許第3111502号	ファクシミリ装置	平12年9月	葛貫壮四郎、横田孝義、渡辺真理子、中村浩三
特許第3279327号	画像処理方法	平14年2月	中島啓介、青木知明、小嶋康行、高岡和彦
特許第3302862号	カラー画像信号の圧縮方法、画像符号化復号化装置	平14年4月	犬塚達基
特許第3351017号	通信システム	平14年9月	堀康郎、中村浩三、横須賀靖、葛貫壮四郎、角田義人
特許第3497864号	信号処理装置	平15年11月	犬塚達基、中村浩三、中島啓介
特許第3517587号	書籍自動販売システム	平16年1月	藤井大、宮坂徹、小林信也、中野廣茂、北井 正
特許第3555430号	画像歪補正装置及びこれを用いた画像処理装置及び方法	平16年5月	篠田伸一、中島啓介、小西義治、杉山健治
特許第3582988号	非接触型画像読取装置	平16年8月	中島啓介、篠田伸一、小西義治
米国特許 第6731400号	コントローラ	平16年9月	犬塚達基、城学
特許第3608955号	非接触型画像読取装置及びこれを用いたシステム	平16年10月	中島啓介、篠田伸一、小西義治
特許第3639397号	像域別カラー画像処理装置、画像出力装置、画像処理方法および記憶媒体	平17年1月	城学、犬塚達基
特許第3796956号	表示装置	平18年4月	池田光二、下村哲也、中島啓介、犬塚達基
特許第4210466号	判別装置	平20年10月	竹澤由高、上村敏郎、加納光成、水野英治
特許第4241499号	画像入力装置	平21年1月	篠田伸一、小林芳樹、杉山健治
特許第4423239号	画像読み取り装置	平21年12月	篠田伸一、杉山健治
特許第4422515号	紙様類鑑別装置	平21年12月	上村敏郎、水野英治、影広達彦、伴正樹
特許第4475202号	列車扉検出装置	平22年3月	竹澤由高、西迫智治
特許第4576441号	角速度センサ	平22年8月	松本昌大、岡田
特許第4879252号	角速度検出装置	平23年11月	岩澤寛、松本昌大
特許第5081852号	容量式センサおよび角速度センサ	平24年9月	岩澤寛、松本昌大、浅野哲
特許第5183374号	角速度検出装置	平25年4月	岩澤寛
特許第5227977号	角速度センサ	平25年3月	浅野哲、松本昌大
特許第5244562号	角速度検出装置	平25年4月	松本昌大
特許第5249001号	物理量センサ及び物理量センサの制御装置	平25年7月	浅野哲、松本昌大
特許第5284911号	静電容量型物理量センサ及び角速度センサ	平25年9月	岩澤寛、松本昌大
特許第5492302号	慣性センサ	平26年5月	山中 聖子、鄭 希元、林 雅秀
特許第5554684号	物理量検出装置、ネットワークシステム	平26年7月	林 雅秀

## 調査報告書

名称	発行年月	書名	共著者名
文化財等に関する情報のデジタル化保存の方策に関する調査報告書	1999年3月	(財)新映像産業推進センター報告書	大川元一、山田哲也、山本薫之
調査報告書「文化財等に関する情報のデジタル化保存の方策に関する調査報告書-欧州事例及び権利問題編-」	2000年3月	(財)新映像産業推進センター報告書	大川元一、山田哲也、山本薫之
調査報告書「電気技術史データベースに関する調査検討」	2004年11月	電気学会技術報告書	大来雄二、町田一朗、野田健一、片山紀生、坂部茂一、住吉秀樹、中村正規、札幌野順、松本吉弘、三木彬生、柳沢武、山田昭彦