

# デジタル複写機の空間フィルタ設定方法

A calculating method of digital spatial filter

東 浦 功 典\*  
Toura, Kousuke

田 中 一 義\*  
Tanaka, Kazuyoshi

In this paper, we describe how to determine the matrix parameter for digital filter which have a great influence on the copying quality. We calculate the factors of scanner and printer separately and combine them later. By adopting these factors in digital copying machines, we can get the clear small letters even if the paper is re-copied many times. With this method, we can obtain the accurate and the best parameter in a short time, even in various copying conditions.

## 1 はじめに

画像を扱う機器における画質の向上はユーザーのニーズであり、デジタル複写機においても画質向上の様々なアプローチが行われてきた。これらのアプローチの一つとしてデジタル画像処理の技術開発は重要な役割を担っている。デジタル画像処理の中でもベーシックな画質の制御技術として空間フィルタ処理が広く活用されている。空間フィルタ処理において、その特性を決めるのが空間フィルタ係数であり、この値を如何に設定するかがデジタル複写機の画質を決める上で重要なポイントとなる。

初期のデジタル複写機のように複写機の画質を制御する条件が少なく、かつサイズの小さい空間フィルタを使用している場合には、各条件毎に出力画像の主観評価を行って空間フィルタの増幅特性を合わせ込む様な手法でも各条件に対応した空間フィルタ係数をテーブル化して機械へ組み込む事が可能であった。しかし近年のデジタル複写機のように、画質を制御する多様な複写条件を持ち、かつサイズの大きい空間フィルタを使用する場合には、前述の様なアプローチによる特性の最適化は条件の数が膨大になる為事実上不可能であり、仮に可能であったとしても全ての条件の空間フィルタ係数を機械に組み込む為には、大規模な係数テーブルとそれに対応したソフト制御が必要になる。

今回、変倍率・画像回転処理の有／無・原稿画像の種類等の多様な複写条件を持つデジタル複写機において、それぞれの複写条件における空間フィルタ係数の最適化を行う手法として、画像の入出力装置のMTFを近似式で表し、複写条件に対応するMTFから所望する空間フィルタの増幅特性を得て、この特性に近似した空間フィルタ係数を所定の計算式で算出するという手法を試みた。この手法によれば、多様な複写条件の全ての場合に対し

\* 機器開発統括部 第二開発センター

て最適化された空間フィルタ係数を、膨大なテーブルを持たずに得る事が可能となる。

以下、本手法について報告する。

## 2 デジタル複写機及び画像処理

### 2.1 デジタル複写機

まず、デジタル複写機の複写プロセスを説明する。デジタル複写機の概略構成の例をFig.1に示す。

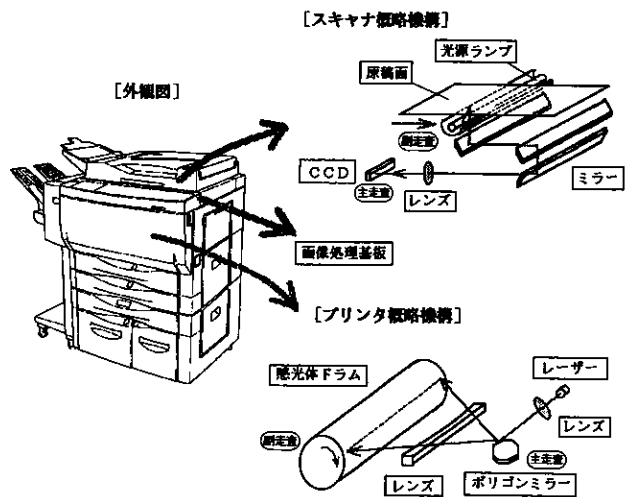


Fig.1 デジタル複写機の概略構成の例

デジタル複写機の概略の複写プロセスは、下記の手順で行われる。

- (1) 原稿画像をCCDを使ったイメージスキャナ部（以後“スキャナ”と称する）で読み取り、デジタル画像データに変換する。スキャナは、原稿を静置し、原稿に対して光源ランプで入射光を発生し、反射した光をミラー・レンズを介してラインCCDで受光し、1次元画像を得る（この方向を“スキャナ主走査方向”

と称する)。さらに光源ランプ部を原稿に沿って走査させる事により(この方向を“スキャナ副走査方向”と称する)、2次元画像を得る。

- (2) 読み取った画像データに対して画質操作・画像編集等の画像処理を行う。詳細は下記2.2に記述する。
- (3) 画像処理したデータをプリンタ部(以後“プリンタ”と称する)で出力する。プリンタは、感光体ドラムに対してレーザー光をポリゴンミラーでラスタスキャンさせ、1次元画像を得る(この方向を“プリンタ主走査方向”と称する)。さらに感光体ドラムを回転させる事により(この方向を“プリンタ副走査方向”と称する)2次元画像を得る。

## 2.2 デジタル複写機の画像処理

デジタル複写機の画像処理は、入力される画像データに対して主に以下に示す操作を行う。

- (1) スキャナ・プリンタのMTF<sup>\*1</sup>補正及び階調特性の補正
  - (2) エッジ強調・モアレ除去等の画質補正
  - (3) 原稿画像の種類に適した画質調整を行う為の画像判別
  - (4) 変倍・90°画像回転<sup>\*2</sup>、Nin1<sup>\*3</sup>等の画像編集
- Fig.2 にデジタル複写機の画像処理回路の例を示す。

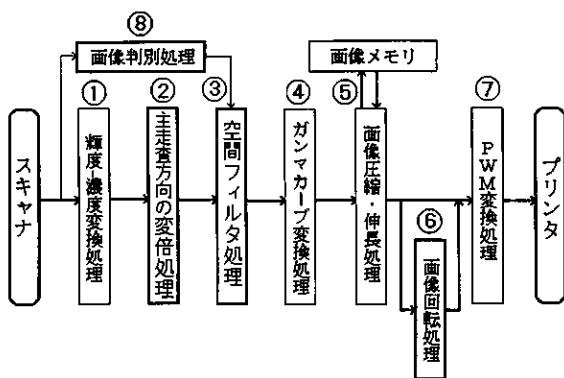


Fig.2 デジタル複写機の画像処理回路の例

以下、Fig.2の中から主な内容を説明する。

### ② 主走査方向の変倍処理

複写条件により、画像データに対して主走査方向の変倍処理を行う。

尚、副走査方向の変倍は、前記2.1に示した光源ランプ部の走査速度を変える事により、機械的な操作で行う事ができる。

### ③ 空間フィルタ処理

スキャナ・プリンタのMTF補正や、エッジ強調・

モアレ除去等の画質補正を行う。空間フィルタの係数は、⑧画像判別処理の結果によって切り替える事ができる。

### ⑥ 画像回転処理

複写条件により、画像データの向きを90°回転させる。

### ⑧ 画像判別処理

読み取った原稿の各領域における画像の種類を判別する。この結果は、空間フィルタ処理に反映される。

## 2.3 空間フィルタ処理の仕組み

デジタル画像データは、各データが一定の間隔でサンプリングされている事により、周波数を単位とした振幅データと位相データに変換する事が可能である。空間フィルタ処理を行う事は、周波数毎の振幅を操作する事であり、これにより様々な画質補正が可能となる。

## 3 従来の空間フィルタ係数の設定方法

### 3.1 従来の空間フィルタ係数の設定方法

初期のデジタル複写機のように、複写機の画質を制御する条件が少なく、かつサイズの小さい空間フィルタを使用している場合には、空間フィルタ係数の設定を下記に示す様な手法で行っても、機械へ組み込む事が可能であった。

- (1) 等倍(変倍率 = 100%)時のMTFを測定し、等倍時の空間フィルタ係数を決める。
- (2) 変倍等の諸複写条件に対応した空間フィルタ係数は、等倍時の空間フィルタ係数を参考にした暫定的な空間フィルタ係数を使って画像を出力し、その画像に対して目視による主観評価を行い、空間フィルタ係数をモディファイする。

### 3.2 従来の空間フィルタ係数の設定方法の問題点

しかしこの様な手法は、下記に示す欠点がある。

#### (1) 膨大な設定時間が必要

全ての複写条件を設定するには膨大なサンプルの出力と評価が必要となり、時間がかかる。よって、実現可能な手段として、複写条件を適当な範囲に分類して空間フィルタ係数を設定する。

例1 : 50%変倍~60%変倍は同一の空間フィルタ係数を使用する。

例2 : 独立変倍<sup>\*4</sup>時には1方向のMTF変動には対応せず、例えば主走査方向の変倍率により空間フィルタ係数を決定する。

その結果、設定誤差が発生し、詳細な設定が不可能となる。

#### (2) 複写機に保持できるデータ量の限界

全ての複写条件を設定するには、膨大な量のデータを保持する必要がある。よって、実現可能な手段

\*4 原稿の縦方向と横方向を異なる倍率により変倍操作を行う。

\*1 Modulation Transfer Function = 空間伝達数

画像データの伝達特性を周波数毎に表した値

\*2 画像の出力方向を90°回転させる機能

\*3 複数枚の原稿画像を1枚に集約する機能

として、複写条件を適当な範囲に分類して設定する。この結果、設定誤差が発生し、詳細な設定が不可能となる。

- (3) 各機械への対応が困難・他機種への応用性が低い  
主観評価を行う事によりデータベースでの設定ができないので、各機械間で機械誤差による MTF の差があった場合、その誤差に適応した空間フィルタ係数を設定するには膨大な時間がかかる。よって、高精度な画質管理は困難である。

また同様な理由で、他機種への応用性は低い。

#### 4 今回提案する空間フィルタ係数の設定方法

今回提案する方法によれば、短時間で詳細かつ少ない記憶情報量での空間フィルタ係数の設定が可能であり近年のデジタル複写機の様に画質を制御する多様な複写条件を持ち、かつサイズの大きい空間フィルタを使用する場合にも適用が可能である。

しかも、多様な機種あるいは個々の機械に対して適用する事が可能である。

今回提案する空間フィルタ係数の概略の設定方法は以下の通りである。

- (1) スキャナ・プリンタの MTF を測定し、その近似式を求める。
- (2) 変倍率・画像回転の有／無等の諸複写条件により複写を行った時の画像の入力から出力までの MTF (以後“総合 MTF”と称する) を求める。
- (3) 求めた総合 MTF から理想的な値、つまり空間フィルタ処理を行う事により MTF = 1 になる様な空間フィルタの増幅特性を設定する。

さらに、原稿画像の種類を考慮した増幅特性に調整する。

- (4) (3) で求めた増幅特性から空間フィルタ係数を算出する。

以下、順を追って詳細に説明する。

##### 4.1 スキャナ・プリンタ MTF の測定

総合 MTF を求める際のベースとなるスキャナ・プリンタの MTF を測定する。

MTF の測定方法は、いくつかの手法が知られているが<sup>\*5</sup>、下記に示す方法で行う事ができる。

###### (1) スキャナ MTF の測定

複数周期の振幅を持った周波数・振幅が既知である原稿画像をスキャナで読み込み、得られた画像データに対してフーリエ変換を行って周波数解析し、各周波数の振幅を得る。原稿画像の振幅と得られた画像の振幅を比較する事により、スキャナの MTF が得られる。

ここで前記 2.1 で示した様な構造のデジタル複写

機では、スキャナの主走査方向と副走査方向の作像方法の違いにより、各方向の MTF が異なる場合が多い。よって、この測定を主走査方向・副走査方向で別々に行う。

Fig. 3 にこの方法で測定したスキャナ MTF の例を示す。この例は、等倍 (変倍率 = 100%) 時の MTF を示す。

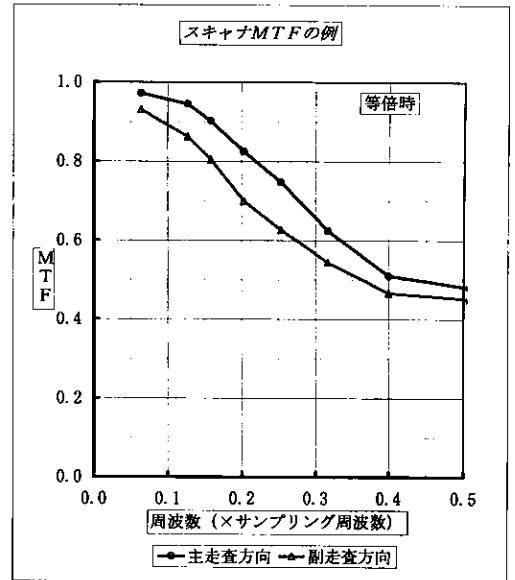


Fig. 3 スキャナ MTF の例 (等倍時)

###### (2) プリンタ MTF の測定

複数周期の振幅を持った周波数・振幅が既知である画像データをプリンタで出力し、出力した画像を高解像度の濃度計 (計算に必要な最高周波数のデータが得られる解像度が必要) で読み取り、各周波数の濃度変化データを得る。このデータに対してフーリエ変換を行って周波数解析し、各周波数の振幅を得る。原画像データの振幅と得られた画像の振幅を比較する事により、プリンタの MTF が得られる。

プリンタにおいても、主走査方向と副走査方向の作像方法の違いにより、各方向の MTF が異なる場合が多い。よって、この測定を主走査方向・副走査方向で別々に行う。

Fig. 4 にこの方法で測定したプリンタ MTF の例を示す。

このプリンタ MTF を多次関数で近似する。この事により、少ない記憶情報量でプリンタ MTF を表す事が可能となる。

\* 5 Line Spread Function method  
(細線画像の広がりから MTF を求める方法) 等

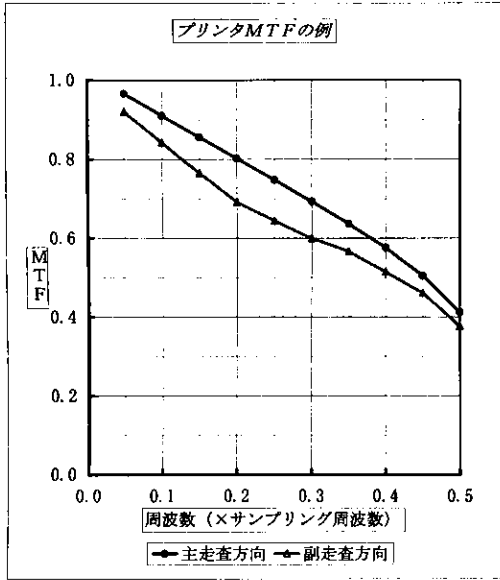


Fig. 4 プリンタ MTF の例

## 4.2 総合 MTF の算出

### 4.2.1 変倍による MTF の調整

(1) デジタル画像処理における変倍操作は、等倍画像からの周波数変換と捉える事ができる。例えば、ある原稿を50%のサイズに縮小したとすると、デジタル画像処理では画像の周波数が2倍になったと捉える事ができる。よって画像のサンプリング周波数を基準とした場合、スキャナ MTF は変倍率によって異なる値を示す。

Fig. 5 に、各変倍率におけるスキャナ MTF の例を示す。この例は、スキャナの副走査方向の MTF を示す。

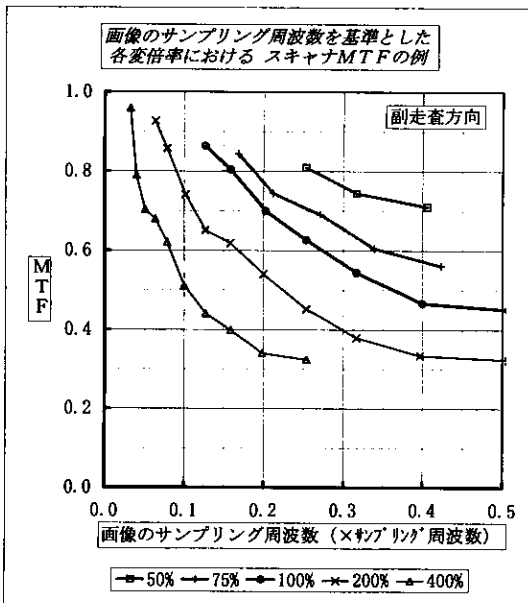


Fig. 5 画像のサンプリング周波数を基準とした各変倍率におけるスキャナ MTF の例 (副走査方向)

(2) この様な変動に対して、スキャナ MTF を簡潔に算出する方法を示す。

Fig. 6 は、Fig. 5 のグラフの横軸を画像のサンプリング周波数から原稿画像の周波数、つまり原稿画像の線数に変換したものである。この変換は、画像読み込み後の画像周波数から読み込み前の画像周波数への線形変換である。

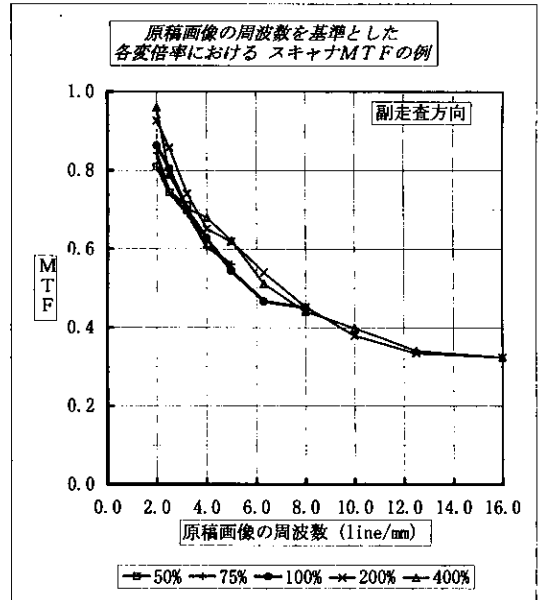


Fig. 6 原稿画像の周波数を基準とした各変倍率におけるスキャナ MTF の例 (副走査方向)

この図から、変倍操作が行われても原稿画像の周波数とスキャナ MTF の関係はほぼ一定である事が解る。よって変倍によるスキャナ MTF の変動は、ある一定の関係式から求められる。

例えば、変倍率 = 100% の場合に 0.0 ~ 8.0 (line/mm) の範囲にある画像データは、50% 縮小時には 0.0 ~ 16.0 (line/mm)、200% 拡大時には 0.0 ~ 4.0 (line/mm) の範囲に変動する。よって、各変倍率に対応した周波数領域のデータを参照すれば変倍時の MTF が求められる。

(3) この原稿画像の周波数とスキャナ MTF の関係を多次関数で近似する。この事により、少ない記憶情報量でスキャナ MTF を表す事が可能となる。

(4) 尚、前記 2.2 に示した構成の様に、変倍処理を画像処理及びスキャナの機械的操作で行う場合、プリンタ MTF の変倍による変動は無い。

### 4.2.2 画像回転処理による MTF の調整

指定された複写条件により 90° 画像回転処理を行う場合、前記 2.2 に示した画像処理回路の様に空間フィルタ処理後に画像回転処理が行われる構成では、主走査方向として空間フィルタ処理を行った画像データは 90° 回転してプリンタの副走査方向で出力される。同様に、副走

査方向として空間フィルタ処理を行った画像データは、プリンタの主走査方向で出力される。よって、90°画像回転時にはプリンタ MTF の主走査方向と副走査方向を入れ替えて総合 MTF を算出する必要がある。

尚、空間フィルタ処理前に画像回転処理が行われる様な回路構成の場合には、スキャナ MTF の主走査方向と副走査方向を入れ替える必要がある。

#### 4.2.3 総合 MTF の算出

以上の様な操作により得られた主走査方向と副走査方向のスキャナ MTF とプリンタ MTF を組み合わせて総合 MTF を算出する。組み合わせ方法は、例えば積算（カスケード）による方法で行える。下記にその例を示す。

$$\text{主走査方向の総合 MTF} = T_m$$

$$\text{副走査方向の総合 MTF} = T_s$$

$$\text{スキャナ的主走査方向 MTF} = S_m$$

$$\text{スキャナの副走査方向 MTF} = S_s$$

$$\text{プリンタの主走査方向 MTF} = P_m$$

$$\text{プリンタの副走査方向 MTF} = P_s$$

とすると

##### (1) 90°画像回転処理を行わない場合

$$T_m = S_m \times P_m$$

$$T_s = S_s \times P_s$$

##### (2) 90°画像回転処理を行う場合

$$T_m = S_m \times P_s$$

$$T_s = S_s \times P_m$$

#### 4.3 空間フィルタ増幅特性の設定

##### 4.3.1 基本的な増幅特性の設定

基本的には総合 MTF を理想的な値、つまり空間フィルタ処理を行う事により MTF = 1 になる様な空間フィルタの増幅特性を設定する。すなわち、総合 MTF の逆数を空間フィルタの増幅特性とする。しかし、このような特性の空間フィルタで処理すると、画像の種類によってはモアレが発生する等の不適切な画像となる場合がある。

##### 4.3.2 画像の種類による空間フィルタ増幅特性の調整

前記 2.2 に示した画像処理回路の様に、原稿画像の種類を判別する画像判別処理の結果により使用する空間フィルタ係数を切り換えられる回路構成では、画像の種類毎に最適な空間フィルタ処理を行う事ができる。

例えば、原稿画像を“文字”・“網点”・“写真”に分類した場合、各画像の空間フィルタは下記の様な増幅特性に設定する。

##### (1) 文字画像

特に文字のエッジ部分においてスキャナ・プリンタの MTF による劣化を補正した画像が良好である。つまり、総合 MTF の逆数を空間フィルタの増幅特性とする。

##### (2) 網点画像

モアレの発生は、特定周波数に属する画像データの干渉によって発生する。よって、モアレが発生す

る周波数を特定してその周波数の増幅を低くする様な空間フィルタの増幅特性に調整する必要がある。この調整により、モアレの発生を低減・防止する事ができる。

#### (3) 写真画像

写真画像では階調性が重視される。総合 MTF の逆数を増幅特性とする空間フィルタで処理した場合、写真画像のエッジ部分、例えば 髪の毛等が強調され硬質な画像となり、階調性が損なわれる場合がある。また、画像データ上にある小さなノイズが再現され、ベタ部が滑らかでなくなる場合がある。よって、階調性を損なわず、また画像がボケない程度の弱い MTF 補正が適当である。

#### 4.4 空間フィルタ係数の算出

この様にして調整した空間フィルタの増幅特性から空間フィルタ係数を求める方法としていくつかの手法が知られているが\*6、空間フィルタの増幅特性を伝達関数\*7とし、Z変換\*8を用いて連立1次方程式を解く方法により空間フィルタ係数を求める事ができる。この方法では、行列計算等の算術式で所望の増幅特性に近似した空間フィルタ係数を求める事ができる。

#### 4.5 今回の方法の複写機への組み込み

今回の方法では複写機本体が記憶する必要がある情報は、スキャナ・プリンタ MTF の近似式係数と諸複写条件のみであり、極めて少ない。この事は今回の方法の大きなメリットの1つであり、極めて少ない記憶情報量から一定の計算により諸複写条件に対応した空間フィルタ係数を設定する事ができる。

しかも、独立変倍を含む多段階にわたる変倍や画像回転の有/無、画像の種類への対応等の多様な設定条件に対しても一定の計算方法で、情報量を増やす事無く詳細に設定する事が可能である。

計算に必要な時間は、計算式を工夫する事により複写動作に影響を与えない程度にする事が可能である。

実際に複写機に組み込む際には、近似式の誤差・空間フィルタのサイズ・空間フィルタ係数として扱える数字の精度や範囲・計算精度等により、理想特性からの誤差が発生するが、空間フィルタのサイズが5×5以上であると理想特性からの誤差を小さくする事ができ、画質への影響は少なくなる。

#### 4.6 空間フィルタ係数の設定例

下記に示す条件における空間フィルタ係数の設定例を示す。

・空間フィルタのサイズ = 5 × 5

・複写条件：

(A) 主走査方向変倍率 = 200 %

\*6 窓関数法、周波数変換法等

\*7 空間フィルタの入出力の関係式

\*8 標本系列に対する複素数の整級数

(B) 副走査方向変倍率 = 50 %

(C) 90° 画像回転 = 有り

(D) 画像の種類 = 文字

・ MTF の近似式 (3 次関数とする) :

(a) スキャナ(主) :

$$y = -0.45 \cdot x^3 + 1.50 \cdot x^2 - 1.74 \cdot x + 1$$

(b) スキャナ(副) :

$$y = -0.93 \cdot x^3 + 2.31 \cdot x^2 - 2.11 \cdot x + 1$$

(c) プリンタ(主) :

$$y = -1.43 \cdot x^3 + 0.43 \cdot x^2 - 1.04 \cdot x + 1$$

(d) プリンタ(副) :

$$y = -4.49 \cdot x^3 + 4.08 \cdot x^2 - 2.17 \cdot x + 1$$

#### (1) 変倍率に応じた空間周波数上の指示点設定

空間フィルタのサイズ = 5 × 5 の条件により、計算に必要な 2 次元空間周波数上の指示点をスキャナ、プリンタでそれぞれに定める。この際、スキャナの指示点は主走査方向及び副走査方向の変倍率に応じて定める。

#### (2) スキャナ・プリンタ MTF の算出

上記(1)で定めた指示点を MTF の近似式 = 上記 (a) ~ (d) に入力し、スキャナの主走査方向・副走査方向の MTF (Sm、Ss とする) 及びプリンタの主走査方向・副走査方向の MTF (Pm、Ps とする) を求める。

#### (3) 総合 MTF の算出

90° 画像回転 = 有りの条件により、プリンタの MTF を主走査方向と副走査方向で入れ換えて、下記の式で総合 MTF (Tm、Ts とする) を算出する。

$$T_m = S_m \times P_s$$

$$T_s = S_s \times P_m$$

#### (4) 空間フィルタ増幅特性の設定

画像の種類 = 文字の条件により、総合 MTF の逆数を空間フィルタの増幅特性とする。

$$\text{主走査方向の空間フィルタ増幅特性} = 1 / T_m$$

$$\text{副走査方向の空間フィルタ増幅特性} = 1 / T_s$$

#### (5) 空間フィルタ係数の計算

上記(1)の指示点及び上記(4)の結果から、所定の計算式により空間フィルタ係数を算出する。

#### (6) 空間フィルタ係数の算出結果

以上の様に計算された空間フィルタの増幅特性を Fig. 7 に示す。

## 5 まとめ

### 5.1 本手法のメリット

#### (1) 効率の良い設定が可能

主観評価によらず、測定データに基づき、短い検討期間での空間フィルタ係数の設定が可能である。

#### (2) 詳細な設定が極めて少ない記憶情報量で可能従来の方法では対応不可能あるいは対応困難な詳細な設定が極めて少ない記憶情報量で可能である。

#### (3) 応用性が高い設定が可能

顧客のニーズにきめ細かく対応する為、複写機製品は多品種に及んでいる。本手法は、多様な機種あるいは個々の機械に対して対応が可能であり、空間フィルタの設定効率を飛躍的に向上させるものである。

#### (4) 実現性が高い

計算時間や計算誤差の観点からも十分に実現可能なレベルである。

### 5.2 本手法の効果

本手法によれば、デジタル複写機における空間フィルタ係数の設定効率が飛躍的に向上し、しかも極めて少ない記憶情報量から空間フィルタ係数の詳細な設定が可能となる。

### 5.3 本手法の注意点

#### (1) MTF の測定精度

本手法のキーポイントとして、高精度な MTF 測定が必要である。MTF は、原稿画像・原稿濃度等の画像条件により変化する可能性があり、また様々な手法で算出が可能であるが、実機の特性に近似した結果が得られるものでなければならない。

#### (2) 計算エラーのチェック・修正機能

本手法では、MTF の値や計算条件によっては計算結果の発散あるいは計算不能となる場合がある。このような場合、所望する空間フィルタの増幅特性とは異なる計算結果となる。このような場合でも複写機としてのコピー画質を落とさない対策として、所望でない計算結果が算出されない様なチェック・修正機能が必要である。

## ●参考文献

(1) 吹抜敬彦著『画像のデジタル信号処理』

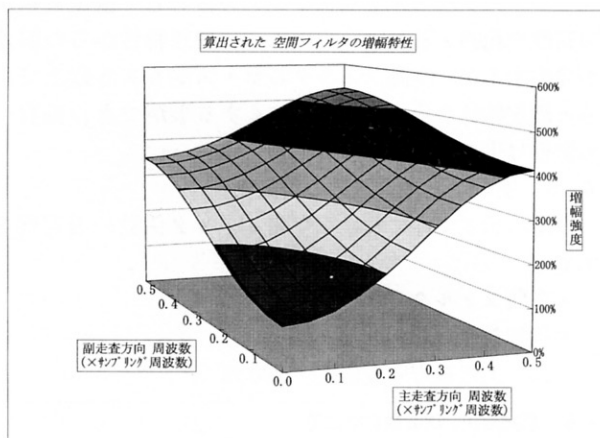


Fig. 7 算出された空間フィルタの増幅特性