

---

# X 線フラットパネルセンサ アプリケーションマニュアル

---

本製品をご使用になる前に、本書をよくお読みください。  
本書は常時簡便に参照できるような状態で保管してください。

## はじめに

このたびは、浜松ホトニクス製フラットパネルセンサ(以下、単に“センサ”と呼称します)をご購入いただきありがとうございます。センサをご使用になる前に、このアプリケーションマニュアルをよくお読みください。本書には、センサの画像品質を高めるための方法やアプリケーションに組み込む際の重要な注意事項が示してあります。センサを取り扱う際は、本書および取扱説明書をよくお読みの上、内容を必ず理解してから安全にご使用ください。

## 目次

はじめに .....	2
目次 .....	3
1. 画像補正について .....	4
1-1. リファレンス画像の準備 .....	5
1-1-1. Dark 画像の準備 .....	5
1-1-2. 平均化された X 線画像の作成 .....	5
1-1-3. リファレンス画像の作成 .....	5
1-2. Dark 補正 .....	6
1-2-1. リファレンスとなる Dark 画像の準備 .....	6
1-2-2. オブジェクト X 線画像の取得 .....	6
1-2-3. Dark 補正の実行 .....	6
1-3. シェーディング補正 .....	7
1-4. 欠陥ライン補正 .....	7
1-5. 補足～平均化枚数～ .....	8
2. 装置に組み込む際の注意 .....	9
2-1. ハードウェア上の注意点 .....	9
2-1-1. 組み込み .....	9
2-1-2. EMC について .....	10
2-1-3. 電源供給のタイミングについて .....	11
2-1-4. フレームレートについて .....	11
2-2. ソフトウェア上の注意点 .....	12
2-2-1. 画像処理の順番 .....	12
2-2-2. アプリケーションの Bit 数 .....	12
2-3. その他の注意点 .....	13
2-3-1. LTPS(Low Temperature Poly Silicon) .....	13
2-3-2. 画像再構成 .....	18
2-3-3. 異常発生時 .....	20
改訂履歴 .....	21

# 1. 画像補正について

センサで撮影された生画像には、Dark オフセットのムラ、X 線感度の不均一性、シンチレータ材料の傷などが含まれています。また、X 線源が持つ照射線量の空間的不均一性もシェーディング画像の不均一性の原因となります。これらの成分を除去するために、必ず画像補正を行ってください。

また、センサは長期間の X 線照射により劣化し、Dark オフセット出力の増加や感度低下が発生します。そのため、要求画質に応じてリファレンス画像は定期的に取得し直してください。また、リファレンス画像はオブジェクト画像取得時と同じ条件(管電圧、管電流、フィルタ、線量、フレームレート、スキャンモード、ゲイン)で撮影してください。また、Dark オフセット出力は動作温度や電源投入からの経過時間に依存して変動します。そのため、補正用の Dark 画像を毎撮影ごとに取得し、それらを用いて画像補正を行う事で精度の高い画像を得ることができます。撮影ごとの取得が難しい場合は要求画質に応じて取得頻度の検討を行ってください。

なお本章の内容は一般的な補正方法を記載したものです。画質を向上させるためには、要求される画質に応じた適切な画像補正をご検討ください。

基本的な画像補正の手順は以下の通りです。

- (1) リファレンスの X 線画像と Dark 画像の取得(定期的に)
- (2) オブジェクトの X 線画像と Dark 画像の取得(毎撮影毎)
- (3) Dark 補正の実行
- (4) シェーディング補正の実行
- (5) 欠陥ライン補正の実行

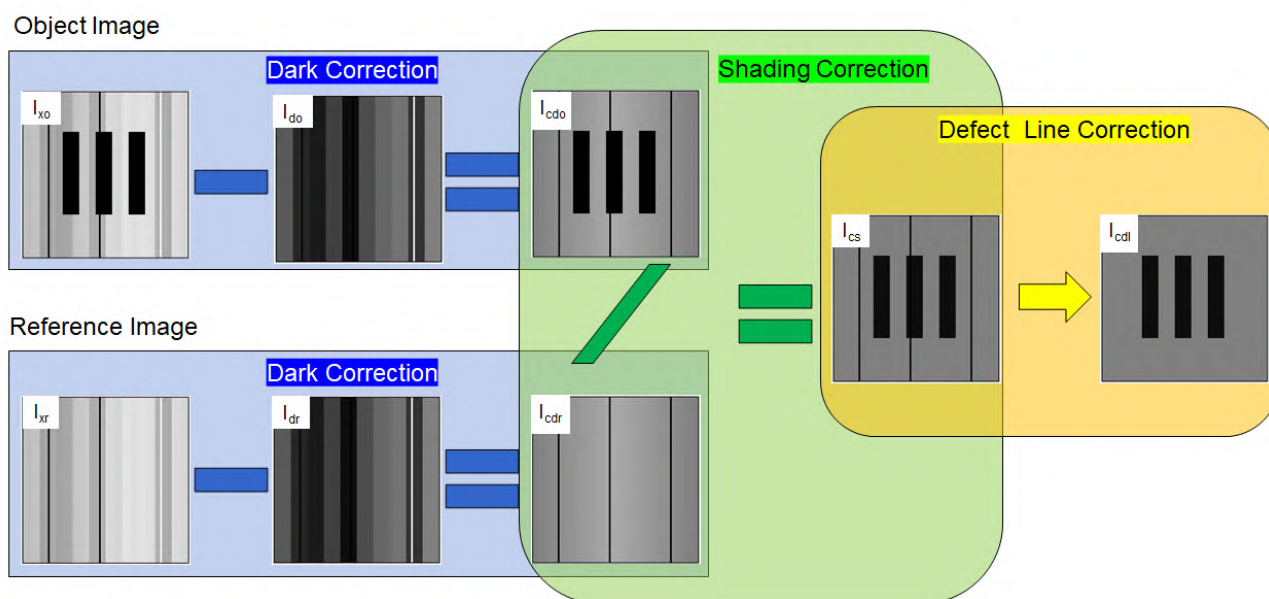


図 1-1 画像補正の概要

## 1-1. リファレンス画像の準備

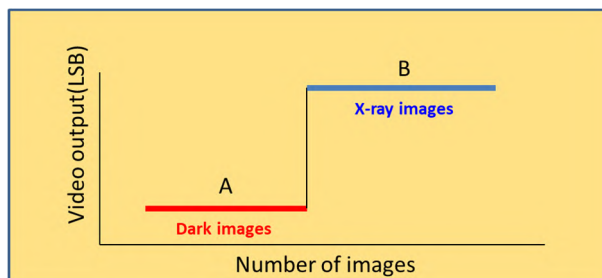


図 1-2 リファレンス画像の取得シーケンス

図 1-2 に示すようにオブジェクトがない状態の Dark から X 線照射までの画像を連続して撮影します。

### 1-1-1. Dark 画像の準備

Dark 部 A(図 1-2 赤線領域)の画像を平均化した画像  $I_{dr}$  (Dark Image for Reference) を作成します。

なお撮影中にフレームレートを変化させてご使用される場合は、そのフレームレートごとに Dark 画像を取得する必要があります。

### 1-1-2. 平均化された X 線画像の作成

X 線照射部 B(図 1-2 青線領域)を平均化した画像  $I_{xr}$  (X-ray Image for Reference) を作成します。正確な補正を行うためには、この X 線画像の出力値がオブジェクト X 線画像の出力値に近いことが必要です。

### 1-1-3. リファレンス画像の作成

$I_{xr}$  から  $I_{dr}$  を減算し、Dark 補正済リファレンス画像  $I_{cdr}$  (Dark Corrected Image for Reference) を作成します。

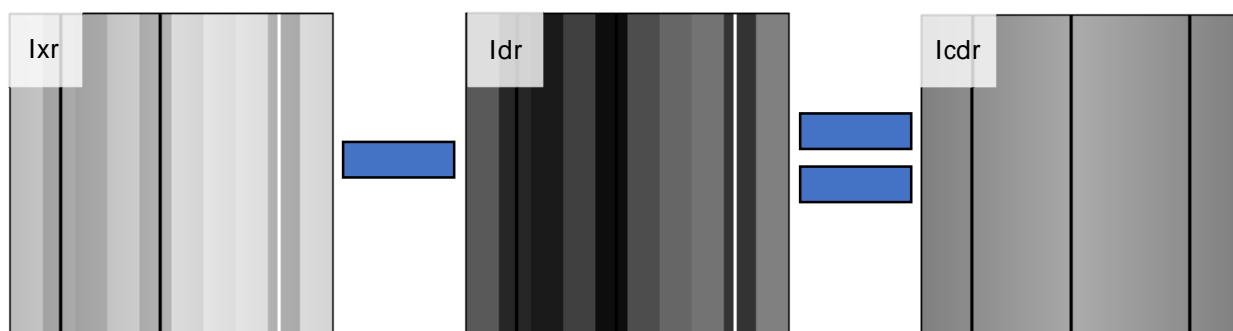


図 1-3 シェーディング補正用リファレンス画像の作成

## 1 - 2 . Dark 補正

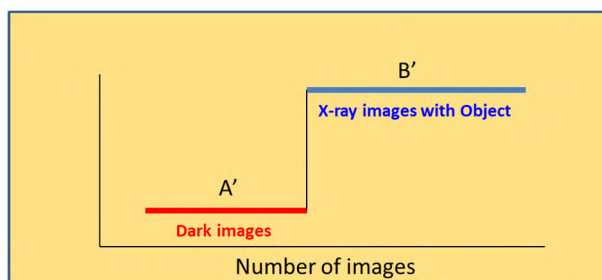


図 1-4 オブジェクト画像の取得シーケンス

図 1-4 に示すようにオブジェクトがある状態の Dark から X 線照射までの画像を連続して撮影します。  
Dark 補正用の Dark 画像は必ず X 線撮影の直前に取得してください。

### 1 - 2 - 1 . リファレンスとなる Dark 画像の準備

Dark 部 A (図 1-4 赤線領域)の画像を平均化した画像 Ido (Dark Image with Object) を作成します。  
なお撮影中にフレームレートを変化させてご使用される場合は、そのフレームレートごとに Dark 画像を取得する必要があります。

### 1 - 2 - 2 . オブジェクト X 線画像の取得

X 線照射部 B (図 1-4 青線領域)のオブジェクトが写っている状態での X 線画像を Ixo (Image X-ray with Object) とします。

### 1 - 2 - 3 . Dark 補正の実行

各 Ixo から Ido を減算し、Dark 補正済オブジェクト画像 Icdο (Dark Corrected Image with Object) を作成します。

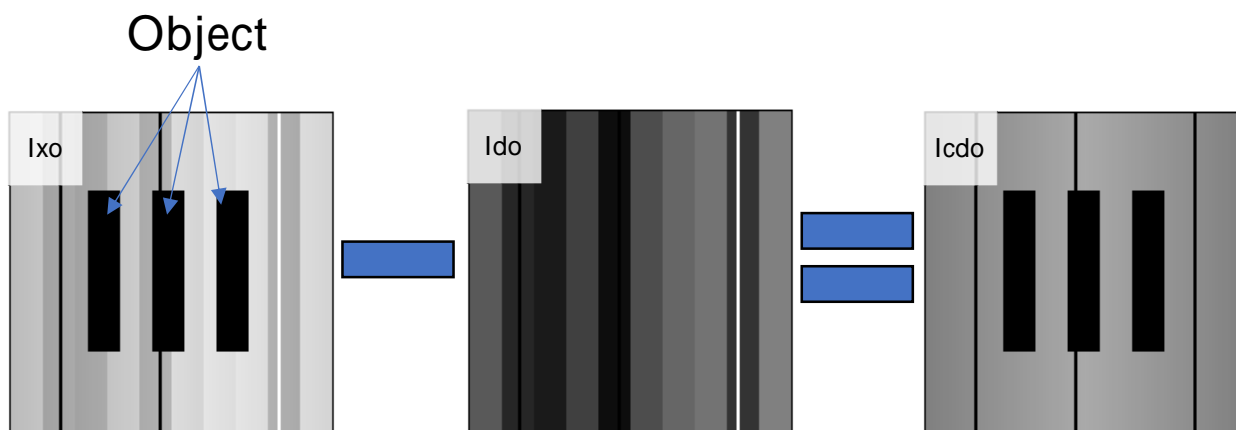


図 1-5 Dark 補正済オブジェクト画像の作成

### 1 - 3 . シェーディング補正

Dark 補正したオブジェクト画像  $I_{cdo}$  を Dark 補正したリファレンス画像  $I_{cdr}$  で除算し、シェーディング補正済画像  $I_{cs}$  (Shading Corrected Image) を作成します。

$$I_{cs}(x,y) = c \cdot \frac{I_{cdo}(x,y)}{I_{cdr}(x,y)} \quad (1-1)$$

$C$  :  $I_{cdr}(x,y)$ の平均値

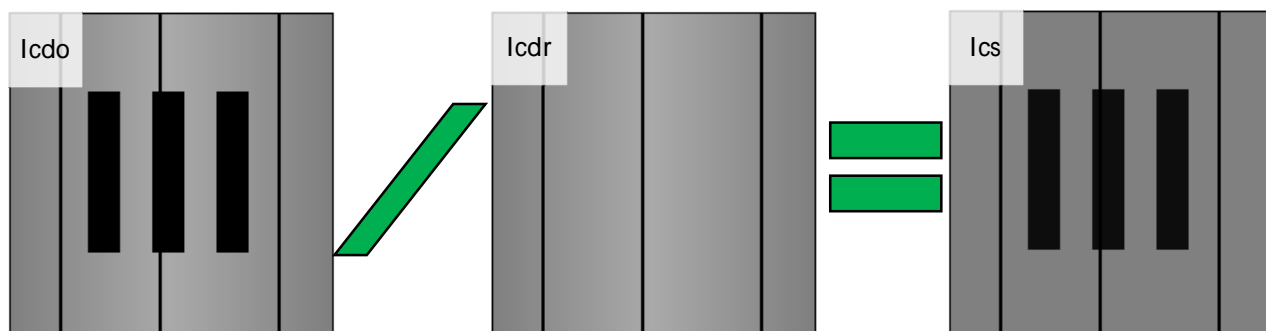


図 1-6 シェーディング補正の実行

### 1 - 4 . 欠陥ライン補正

シェーディング補正済画像  $I_{cs}$  から欠陥ラインを抽出します。欠陥ラインの定義はセンサにより異なりますので個別のデータシートをご参照ください。最も簡単な欠陥ライン補正では、隣接する画素の出力値の平均値を使用して欠陥ラインを補完します。

$$V(p,y) = \frac{V(p+1,y) + V(p-1,y)}{2} \quad (1-2)$$

$V(p,y)$  : 欠陥ラインの出力値

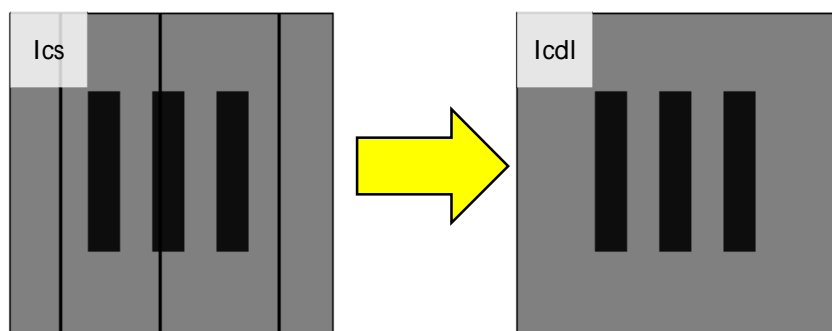


図 1-7 欠陥ライン補正の実行

(I\_cdl: Defect Line Corrected Image)

## 1 - 5. 補足～平均化枚数～

["1-1-1. Dark 画像の準備"](#)、["1-1-2. 平均化された X 線画像の作成"](#)、["1-2-1. リファレンスとなる Dark 画像の準備"](#)

で行う平均化の際は、少なくとも 50 枚以上の画像を使用して平均化してください。特にシェーディング補正では、平均化に用いられる画像枚数が多いほどノイズの影響が少なくなります。最終的に得られた平均化画像の出力は整数に丸めてください。

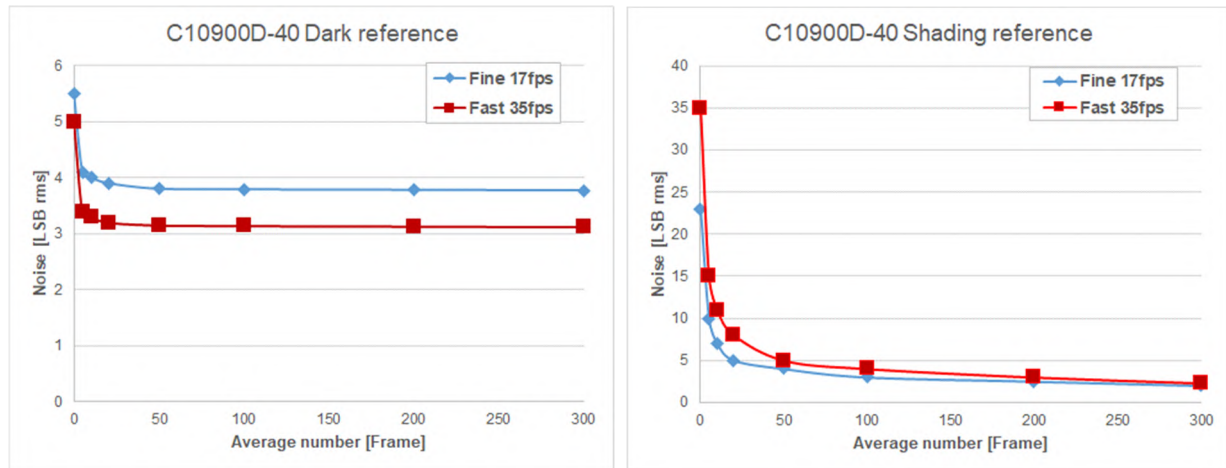


図 1-8 平均化枚数とノイズの関係



## 2. 装置に組み込む際の注意

本章ではセンサを装置に組み込む際の注意点について紹介します。

### 2-1. ハードウェア上の注意点

ハードウェアの設計に関して、以下の項目に注意して装置に必要な対策を施してください。

#### 2-1-1. 組み込み

センサを装置に組み込む際には、以下の点に注意してください。

- ・ センサをシャーシに取り付ける際には、センサの全ての固定穴を使って固定してください。
- ・ センサの固定穴は装置のグラウンドと接続するようにしてください。
- ・ センサによっては重量が大きいものもあるため、固定の際は最適な固定方法を設計してください。
- ・ センサの中には受光面に対する X 線照射角度の目安が定められているものがあります。お使いのセンサが該当する場合にはその目安をお守りください。詳細は個別のデータシートをご参照ください。
- ・ センサには動作保証温度が定められています。センサ動作中の周囲温度が動作保証温度範囲を超えないような設計をしてください。また特性や信頼性に影響することがありますのでセンサを結露させないようにしてください。センサの温度仕様については個別のデータシートをご参照ください。
- ・ 装置からの伝導/放射ノイズによって画像にノイズが乗る場合があります。グラウンドの取り方やケーブルのシールド処理、モータなどのノイズ源を遮蔽した上でセンサからの距離を離すなどの対策を実施してください。
- ・ センサにケーブルおよび装置を接続する際はセンサの電源を切ってください。
- ・ センサに接続されるケーブル類に強いストレスがかからないようにしてください。
- ・ センサのコネクタ付近でのケーブルの湾曲は避けてください。ストレス軽減のためケーブルの固定などの対策を実施してください。

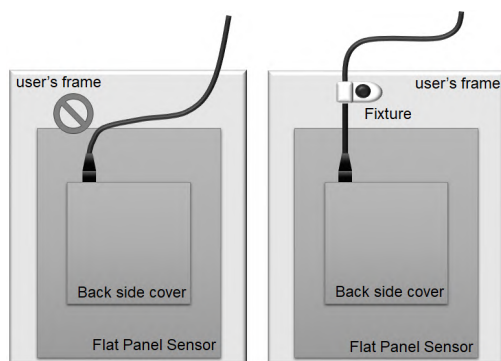


図 2-1 ケーブルの固定例

## 2-1-2. EMC について

ベアボードタイプのセンサは筐体に覆われていないため、装置に要求される EMC 指令に準拠するようにセンサをシールドする必要があります。センサのシールドは有効受光部を含めセンサ全体を覆うようにすることが有効です。一般的に、筐体には金属を使用し、X 線入射窓は高い X 線透過率を得るためにカーボンファイバー(CFRP)板を使用します。

また、筐体の有無に関わらずセンサに接続されるケーブルはシールドされている必要があります。ケーブルのシールドには、シールドケーブルやフェライトコアを使用する事が有効です。

また、外来ノイズにより画像にノイズが発生する場合があります。装置の中にノイズ源となっているものがないか、機器同士の接続やセンサのグラウンドの取り方によりグラウンドループが発生していないかを確認していただき、外来ノイズの影響を軽減させることも重要となります。グラウンドループが大きかったり複数あったりするとループが一つのコイルとして働くことで誘導電流が発生しグラウンドが不安定にある可能性があります。

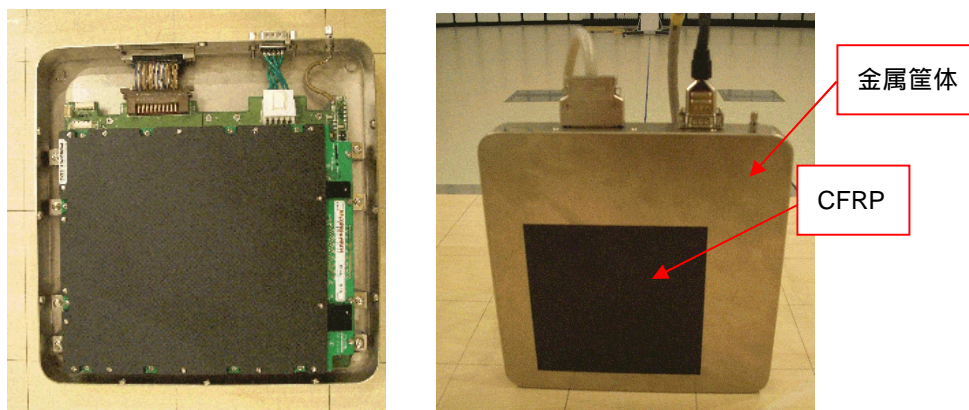


図 2-2 センサのシールド例(左：筐体内側 右：筐体外側)

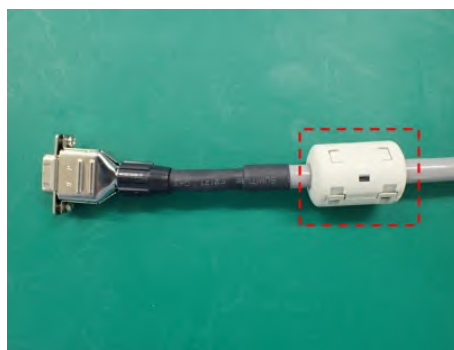


図 2-3 シールドケーブルの例(赤枠：フェライトコア)

### 2-1-3. 電源供給のタイミングについて

電源投入直後から熱平衡状態に達するまでの間にビデオ出力が変化(ドリフト)することがあります。また、センサの温度によって Dark 画像の出力が変化することがあります。補正用画像と撮影画像の撮影条件(電源投入からの時間、センサの温度)が異なる場合、期待する補正効果が得られない可能性があります。そのため、センサへ電源を供給する際は、撮影時以外は電源供給を停止させること(オートパワーオフ)や電源投入から撮影開始の時間を常に一定にする事が有効です。

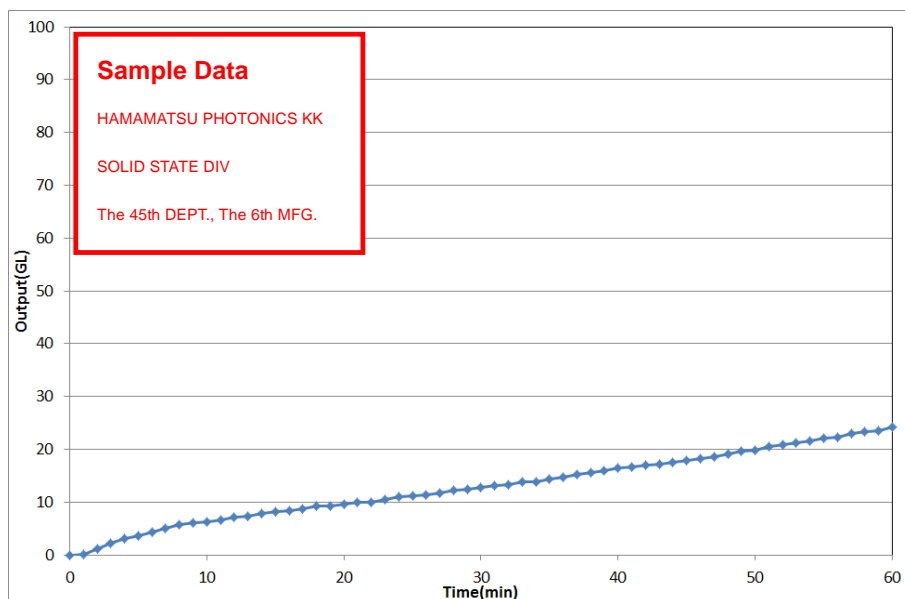


図 2-4 電源投入からの Dark オフセット出力のドリフト例

### 2-1-4. フレームレートについて

センサはフレームレートにより Dark 画像や X 線照射画像の出力が変化します。連続的に画像を取得する際、補正用画像と異なるフレームレートで撮影を行うと期待する補正効果が得られない場合があります。そのため、連続的に画像を取得する際はフレームレートを固定して使用してください。

## 2-2. ソフトウェア上の注意点

---

ソフトウェアの設計に関して、以下の項目に注意して必要な対策を施してください。

### 2-2-1. 画像処理の順番

センサの生画像からより高画質な画像を得るには画像補正を行う必要があります。詳細は ["1. 画像補正について"](#) をご覧ください。また場合によっては、ノイズ除去等のフィルタ処理を行うこともあります。これらの画像処理は処理の順番によって得られる画質が変化します。そのため弊社では、画像処理手順は下記を推奨しています。

- (1) Dark/シェーディング補正
- (2) 欠陥ライン補正
- (3) フィルタ処理(ノイズ除去)

X線CT等の画像再構成を行うアプリケーションについては、上記の画像処理を行った画像を用いて再構成を行うことで、高画質の画像を得ることができます。

### 2-2-2. アプリケーションの Bit 数

GigE インターフェースタイプのセンサについては弊社が提供している DCAM 等のドライバは 32bit OS、64bit OS の両方をサポートしています。装置のアプリケーションを作成する際は、これらの仕様を確認の上、作成してください。また、64bit OS でアプリケーションを作成する際は、必ず 64bit アプリケーションで作成してください。64bit OS で 32bit アプリケーションを作成すると、コンピュータの性能を最大限に発揮することができない場合があります。

## 2-3. その他の注意点

### 2-3-1. LTPS(Low Temperature Poly Silicon)

弊社フラットパネルセンサには、CMOS タイプのセンサだけでなく LTPS 技術を採用したタイプのセンサもラインアップされています。LTPS 技術を採用したことで CMOS タイプでは作製が困難であった大受光面のイメージセンサを実現しています。また、LTPS は通常のアモルファスシリコンと比べてキャリア移動度が高く、高速応答の TFT を作製できるというメリットもあります。一方、LTPS タイプ特有の動作、特性を持ち合わせています。LTPS タイプのセンサを使用する際は以下に示す特性に注意してください。

#### ■ 感度/Dark のムラについて

CMOS タイプ、LTPS タイプともに Si を基材としていますが、イメージセンサ製造方法、および構造が異なります。そのため、LTPS タイプの生画像には固定パターンの感度ムラや Dark 画像ムラが存在します。ただし、これらの固定パターンは Dark 補正やシェーディング補正で改善できます。画像の補正方法については、["1. 画像補正について"](#)を参照してください。

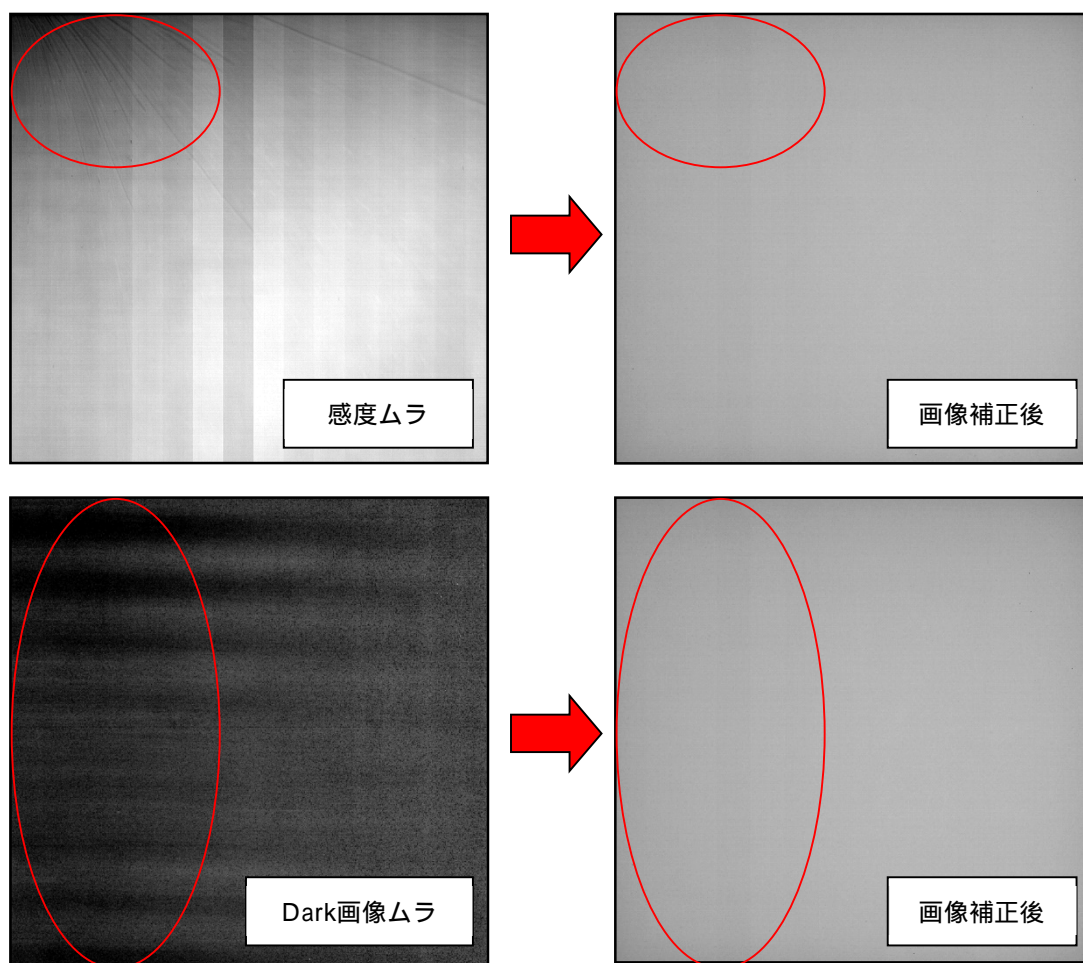


図 2-5 感度ムラと Dark 画像ムラ例

### ■ Blinker 画素について

LTPS には Blinker 画素が存在します。Blinker 画素とは、通常の画素のノイズレベルと比較して、出力変動が大きい画素になります。ただしフラットパネルセンサの全画素のうち、Blinker 画素の発生数は非常に少なく、Blinker 画素をどのように定義するかにもよりますが、センサ全体の画素数に対しておよそ 0.01%程度の発生率になります。Blinker 画素は、欠陥画素として定義して、補正していただくことを推奨します。

#### ・ Blinker 画素の発生原因

LTPS は、アモルファスシリコンをレーザーアニールすることによって作製しますが、レーザーアニールによってできるポリシリコンの大きさにはばらつきが発生します。それが起因して粒子の界面欠陥準位が発生し、そこにキャリアが捕縛されて Blinker 画素が発生します。

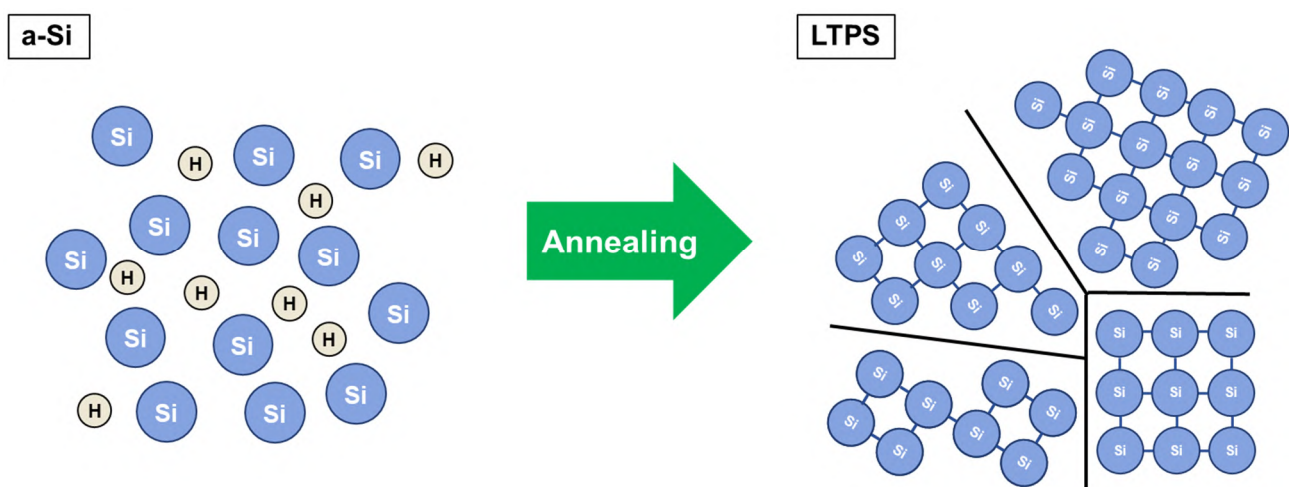


図 2-6 LTPS の組成



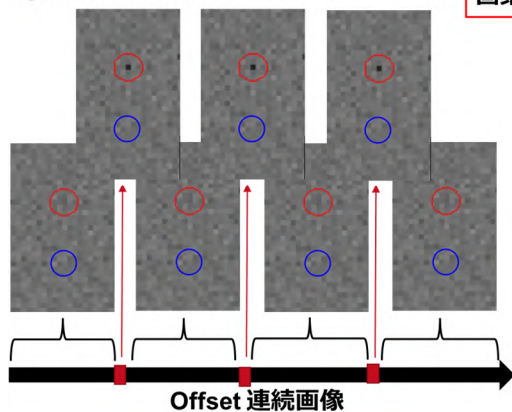
### ・Blinker 画素の種類

Blinker 画素には以下の 2 つのパターンが存在します。

#### <タイプ A>

突然、画素の出力が大きく変動し、その後すぐに通常の出力に戻るタイプ

- : Blinker画素
- : 通常の画素



通常の画素は出力がほぼ一定で安定しているが、タイプAのBlinker画素は出力の変動が大きく、突然通常の出力から変動する。

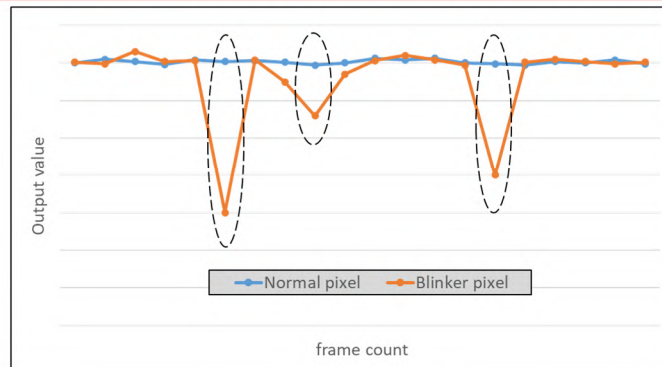
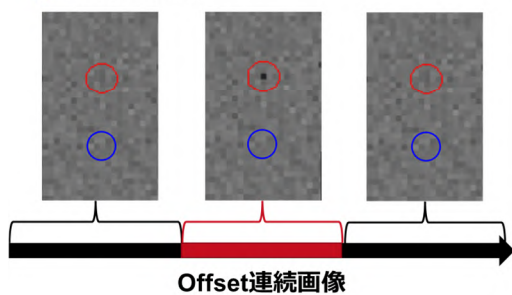


図 2-7 Blinker タイプ A

#### <タイプ B>

一定期間（数～数十フレーム）出力がシフトし、その後通常の出力に戻るタイプ

- : Blinker画素
- : 通常の画素



通常の画素は出力がほぼ一定で安定しているが、タイプBのBlinker画素は一定期間の間、出力がシフトし、その後元の出力に戻る。

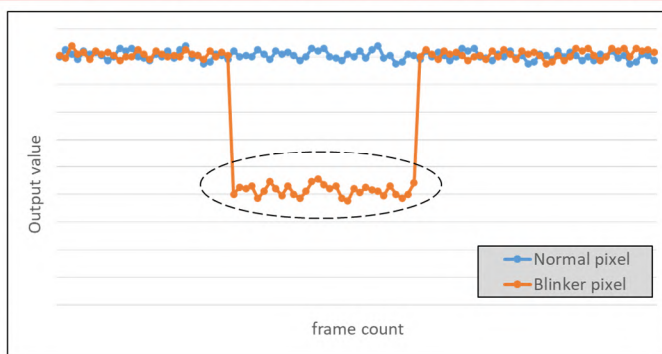


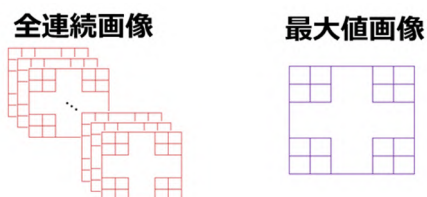
図 2-8 Blinker タイプ B

### ・Blinker 画素の検出方法

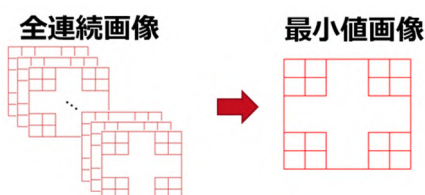
基本的に、Blinker 画素は Offset の連続画像（Dark の連続画像）を取得することによって、検出することが可能です。Blinker 画素を抽出するために、数百から数千枚の Offset の連続画像を取得することをお勧めいたします。一部の Blinker 画素は、非常に低周期で変動するため、多くの枚数を取得して評価することが望ましいです。Offset 画像の具体的な取得枚数は、お客様がご要望する画質レベルに依存します。

#### <タイプ A>

各画素毎に、全連続画像の最大値を算出します。



各画素ごとに、全連続画像の最小値を算出します。



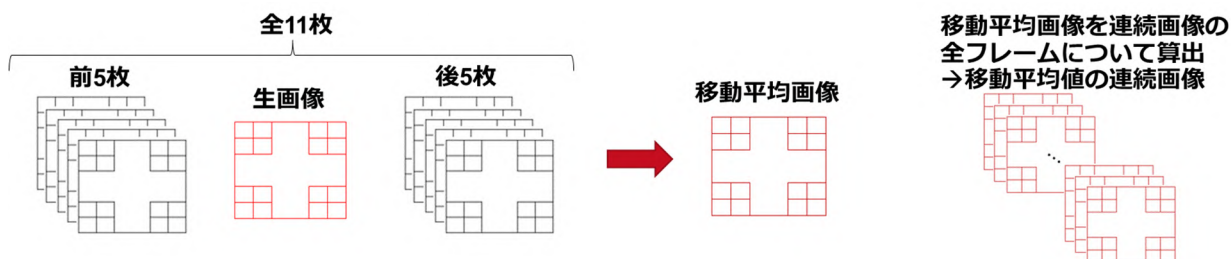
各画素ごとに、P-P 値（ピーク to ピーク値、最大値から最小値を引き算した値）を算出します。



P-P 値がある値（閾値）よりも大きい画素を、Blinker 画素と定義します。  
閾値は、お客様がご要望される画質レベルに依存します。

#### <タイプ B>

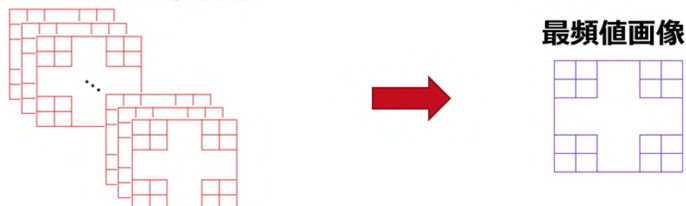
各画素ごとに、連続画像の全フレームについて、前後 5 枚ずつの移動平均値（Simple Moving Average）を算出します。





各画素ごとに、全フレームの移動平均値の最頻値を算出します。

#### 移動平均値の連続画像



各画素ごとに、移動平均値の連続画像の全フレームについて、「(移動平均値) - (最頻値)」を算出します。

#### 移動平均値の連続画像

#### 最頻値画像

#### 「(移動平均値) - (最頻値)」の連続画像



各画素ごとに、「(移動平均値) - (最頻値)」の連続画像の最大値を算出します。このときに出来る画像を「最終画像」と定義します。

#### 「(移動平均値) - (最頻値)」の連続画像



「最終画像」の出力値がある値(閾値)よりも大きい画素を、Blinker 画素と定義します。

閾値は、お客様がご要望される画質レベルに依存します。

#### ・Blinker 画素に関するサポートに関して

Blinker 画素に関するご質問やお困りになっていることがありましたら、お手数をお掛けいたしますが、弊社までご連絡下さい。最大限のサポートをいたします。

ご要望があれば、弊社の量産ラインにて手法.I または手法.II を用いて Blinker Map を作成し、お客様にご提供することも可能です。その場合、お客様にて Blinker 検出を行う必要はなく、Blinker Map 内の Blinker 画素を欠陥補正するだけで十分となります。

また、現在弊社では、事前に取得した多数の画像からあらかじめ Blinker Map を準備する必要がない Blinker 検出・補正ソフトを開発しております。こちらに関しましても、進展があり次第連絡させていただきます。

## 2-3-2. 画像再構成

X線CT撮影やパノラマ撮影のように、複数枚の撮影画像から1枚の画像(CT画像やサミング画像)を再構成するアプリケーションでは、撮影中に得られる生画像の画質によって再構成画像の画質が大きく異なってきます。パノラマ画像の概念を図2-9に示します。このような再構成画像の画質を向上させるために、以下の対策例を参考にしてください。ただし、各装置の照射条件、装置設計にも依存しますので、装置に最適な対策をご検討ください。

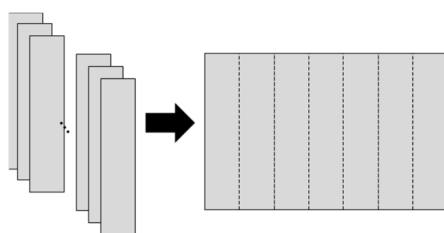


図 2-9 パノラマ画像の概念図

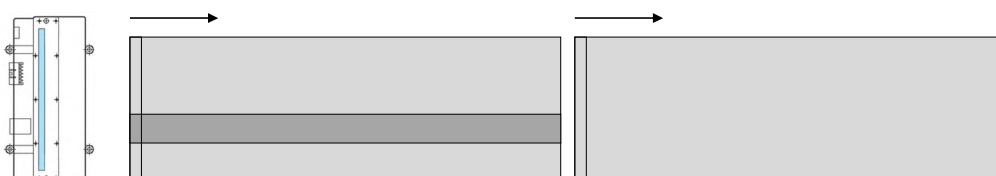


図 2-10 画質向上対策実施前後の画質の違い(左：対策前、右：対策後)

### ■ 対策例

#### (1) 入射 X 線量を上げる。

これにより、センサの出力が上がり画像中のノイズの影響を抑えることができます。ただしオブジェクトの被ばくも増えてしまいますのでご注意ください。

#### (2) X 線照射量の安定した X 線源を選択する。

これにより、線源のゆらぎによる出力変動を抑えることができます

#### (3) リップルノイズの小さい電源を使用する。

これにより、電源由来のノイズ(スクロールノイズ等)を抑えることができます。

#### (4) 撮影中は一定のフレームレートで使用する。

Dark オフセット出力はフレームレートによって変化します。そのため、フレームレートを動的に変化させると Dark 補正の精度が低下してしまいます。撮影中にフレームレートを動的に変化させる場合は、それぞれのフレームレートごとに Dark 補正を行ってください。

#### (5) 補正用のリファレンス画像は定期的に取得し直す。

センサの感度は X 線の照射によって劣化するため、シェーディング補正用のリファレンス画像は定期的に取得し直してください。

#### (6) 画像処理を行う際は、整数ではなく浮動小数点を用いて処理を行う。

出力の低い画像の場合、小数点以下の情報が非常に重要となります。そのため、浮動小数点で計算することで精度の高い画像処理を行うことができます。

## (7) 画像再構成はX線が照射されたエリアのみを用いて行う。

コリメータを使用して有効受光部を部分的に遮蔽する場合は、画像再構成はX線が照射されたエリアのみを用いて行ってください(図 2-11)。なお、シェーディング補正用のリファレンス画像には、コリメータを使用せずに有効受光部全面にX線を照射した画像を使用することを推奨しています。

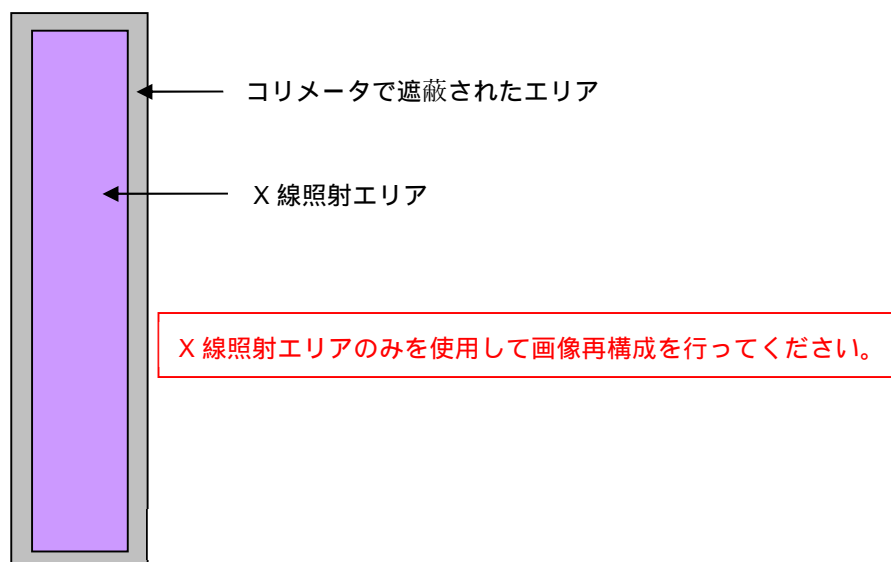


図 2-11 C10500D, C10502D シリーズのコリメート例

## (8) X線照射中のDarkオフセット出力を推定しDark補正を行う。

Dark補正について、X線照射前後のDarkオフセット出力から照射中のDarkオフセット出力を計算し、それらを用いてDark補正を行う方法もあります。この方法では、照射前後のDarkオフセット出力からX線照射中のDarkオフセット出力を線形近似しDark補正を行います。

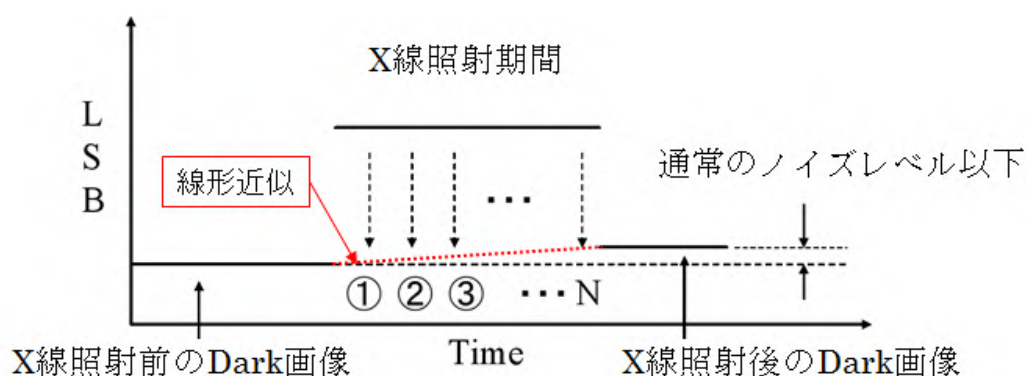


図 2-12 X線照射中のDarkオフセット出力の推定

## (9) ドリフトを考慮して撮影開始のタイミングを決める。

照射線量が少ない場合や高速撮影の場合など、信号量が少なくなるアプリケーションではドリフトの影響が出やすいため [2-1-3 電源供給のタイミングについて](#) を参考にドリフトの影響を軽減する対策を講じてください。

### 2 - 3 - 3. 異常発生時

センサを搭載した装置に異常が発生した際、センサに原因があるかどうかを判別するためにはセンサから出力される生画像が非常に重要となります。CT 画像等の再構成画像ではセンサの状態を確認することができません。一方で、生画像があればセンサの状態を確認することができる可能性があります。そのため、アプリケーションを作成する際は、一定期間内もしくはエラーが発生した際に生画像と各補正に使用にした画像を保存しておくような機能を実装することを推奨します。

# 改訂履歴

改定日付	改訂	改定内容
2022 年 8 月 1 日	初版	-
2024 年 4 月 1 日	A 版	・ Blinker 画素の詳細説明を追加

製品に関するご質問・相談は、お問い合わせフォーム、またはお近くの営業所へお電話でお問い合わせください。

[お問い合わせ先] <https://www.hamamatsu.com/jp/ja/support/inquiry.html>

本資料の記載内容について、弊社の許諾なしに転載または複製することを禁じます。

---

## 浜松ホトニクス株式会社

固体事業部 〒435-8558 静岡県浜松市中央区市野町 1126-1