

AeroDR 長尺システムの開発

Development of the AeroDR Stitching System

横山 智康* 山中 健司* 松坂 典広*
Tomoyasu YOKOYAMA Kenji YAMANAKA Norihiro MATSUSAKA

要旨

近年、医療撮影システムにおいてはCR (Computed Radiography) 撮影に対し画像取得の即時性で優れているDR (Digital Radiography) 撮影の普及が進んでいる。コニカミノルタでも2011年に有線/無線双方で利用可能なカセット型DR “AeroDR”を発売し、市場で高い評価を得ている。

全脊椎や全下肢などの長尺撮影においても、CR長尺カセットに2～3枚のImagingPlateを装填する手間を省き、撮影した画像をその場で確認できるDR撮影の普及が期待されている。一般的にDRによる長尺撮影では、FPD (Flat Panel Detector) の移動に伴いX線管球を連動させ、2～3回のX線照射によって撮影する。得られた分割画像は結合され、診断画像として提供される。このように、DRで長尺撮影を実現するには、X線管球とFPDを同時に制御するDR一体型X線発生装置を導入する必要がある。

AeroDR長尺システムは既設のX線発生装置を利用可能とするユニット構成・撮影方式を採用し、撮影時の操作性を向上させた。また分割撮影した画像を独自の結合・補正アルゴリズムにより、精度よく結合することを可能とした。

Abstract

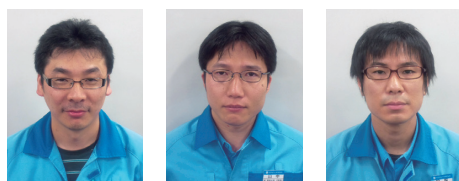
In recent years, DR (digital radiography) has rapidly gained in popularity over CR (computed radiography) in part due to its ability to immediately display captured images. Konica Minolta has figured prominently in this trend. In 2011, Konica Minolta put on the market a cassette type DR system, the highly reputed AeroDR, which is usable with both wired and wireless systems.

One of the AeroDR's popular features is the AeroDR Stitching system. When stitching such long objects as an entire spine or leg, CR systems require a great deal of time and effort loading 2 or 3 imaging plates in a long CR cassette. The AeroDR Stitching system eliminates that problem as it quickly produces images that can immediately be viewed on site.

In general, in stitching DR, the radiography is carried out by irradiating the object two or three times with a movable X-ray tube operating together with an FPD (flat panel detector). The resulting separate images are stitched together and provided for diagnosis. To achieve DR stitching, a hospital or clinic must obtain an x-ray generator integrated with a DR system in which the x-ray tube and FPD are controlled simultaneously.

In response, the AeroDR Stitching system adopted a unit structure and a radiography system which made existing x-ray generators usable and improved the operability of the DR system. Further, the AeroDR Stitching system stitches together images from separate exposures with great accuracy by means of a unique stitching correction algorithm.

執筆者



横山智康

山中健司

松坂典広

* コニカミノルタエムジー(株) 開発本部

1 はじめに

一般的にDRでの長尺撮影は、X線管球とFPDが体軸方向に移動して撮影を行うパラレル方式と、X線管球位置を固定し、X線管球の上下方向への首振り動作に合わせてFPDを体軸方向に移動させて撮影を行うチルト方式で行われている (Fig. 1)。

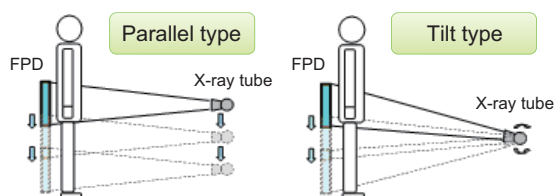


Fig. 1 Multiple exposures for stitching. When a CR stitching system is replaced by a DR stitching system, the entire x-ray system, including an x-ray tube, must be changed because the x-ray tube and the FPD are designed to operate as a pair.

両方式共にX線管球とFPDが連動するため、CR撮影からDR撮影に移行する場合、X線管球を含めたX線システムの変更が必要となる。また撮影前の準備において、撮影範囲と撮影回数に合わせてFPDの移動位置と、X線照射位置をシステムに記憶させる操作が必要となる。

AeroDR長尺システムでは、このような課題に対し、独自のスリット撮影方式を採用した撮影ユニットを設置することで、既設のX線システムを変更せずにDRでの撮影を可能とした。本スリット撮影方式により、CRと同等のX線照射範囲を設定することができ、更に新規に開発した撮影範囲自動判別機能により、分割撮影の設定を意識することなく撮影する事が可能となった。このため撮影作業効率を大幅に向上させている。また、DR長尺撮影特有の分割撮影には、上・下画像間で数秒の撮影間隔があり、体動（撮影間に被写体の位置・傾きの変化）が発生する場合がある。この問題に対して、新規に画像結合アルゴリズムを開発し、画像の結合精度を向上させることができた。

本稿では、スリット撮影方式及び撮影準備操作を軽減する撮影範囲自動判別機能、及び複数画像自動結合処理に関する技術について報告する。

2 スリット撮影方式

2.1 装置構成

AeroDR長尺システムはAeroDR長尺ユニット（以下長尺ユニット）と、AeroDR長尺X線オートバリアユニット（以下バリアユニット）、及びCS-7（以下コンソール）で構成される。構成図をFig. 2に示す。

◆長尺ユニット

- ：既設の撮影台に取り付けが可能。
- ：AeroDRパネル（以下FPD）を内蔵しベルト駆動機構により昇降。

◆バリアユニット

- ：X線コリメーターの前に設置して使用。
- ：X線を遮蔽し、FPDの領域にのみX線を照射させるスリット板を有する。
- ：撮影時にスリット板は長尺ユニットのFPDと同期して移動する。

◆コンソール

- ：FPDの画像を取得し、分割された画像の結合処理及び表示を行う。
- ：曝射タイミングを検知し、長尺ユニットに通知する。

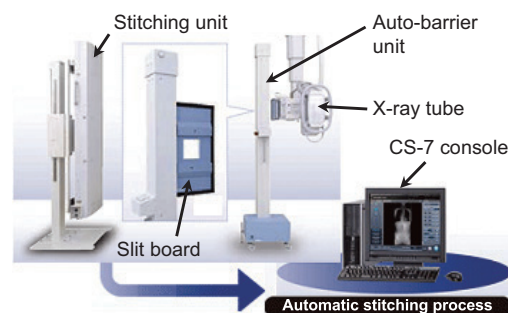


Fig. 2 The AeroDR Stitching system is composed of the AeroDR Stitching unit, an auto-barrier unit, and the CS-7 console. DR can be carried out without altering the existing radiography system by installing the AeroDR Stitching unit using the slit exposure method.

2.2 撮影手順

撮影は下記の手順で行う。

1. スリット板が退避している状態で、ユーザーはCR長尺撮影と同様に撮影範囲をX線コリメーターのハロゲン光で設定を行う。
2. バリアユニットを操作すると、自動的にスリット板が可動して、「撮影範囲自動判別機能」により、撮影範囲と撮影回数を検出する。
3. ユーザーは検出された撮影回数の曝射を行う。その際AeroDR長尺システムは、曝射タイミングに合わせて、スリット板とFPDが体軸方向に同期移動し、分割撮影を行う (Fig. 3)。
4. 撮影された画像はコンソールにて自動結合される。

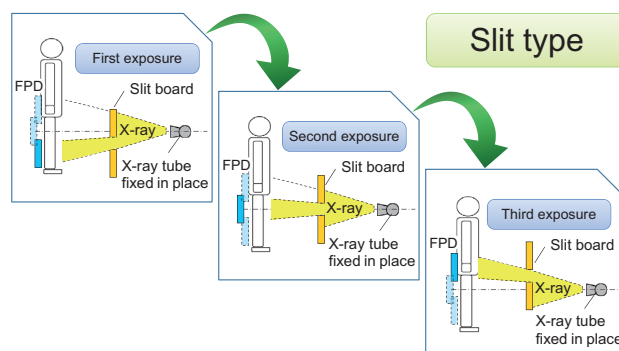


Fig. 3 Separate exposures of the AeroDR stitching system. At each position of the slit board, separate exposures are made of each FPD along the vertical axis of the body and in concert with x-ray exposure timing.

2.3 撮影範囲自動判別機能

AeroDR長尺システムは、ユーザーが撮影範囲と分割回数を設定することなく撮影が可能な「撮影範囲自動判別機能」を搭載している。

一般にX線撮影では、撮影前に撮影部位をX線コリメータのハロゲン光にて設定する。撮影範囲自動判別機能は、設定する際のハロゲン光を検出・測定し、撮影毎のFPD及びスリット板の位置を認識するようにした。これにより、CR撮影と同等に撮影範囲をハロゲン光で設定するため、CR撮影を行っていた感覚で撮影準備が行え、分割撮影の設定は自動的に行われる。

撮影範囲、長尺ユニット、バリアユニット、X線管球の関係をFig. 4に示す。撮影範囲はFig. 4のYとなり、長尺ユニット面上のハロゲン光の照射範囲である。撮影範囲Yとバリアユニット上の照射範囲XはX線管球を原点として比例関係にあり、X線管球から長尺ユニットまでの距離SIDと、X線管球からバリアユニットまでの距離 α の比と同じである。これより、バリアユニット上の照射範囲Xを検出することで撮影範囲Yを求めることができる。

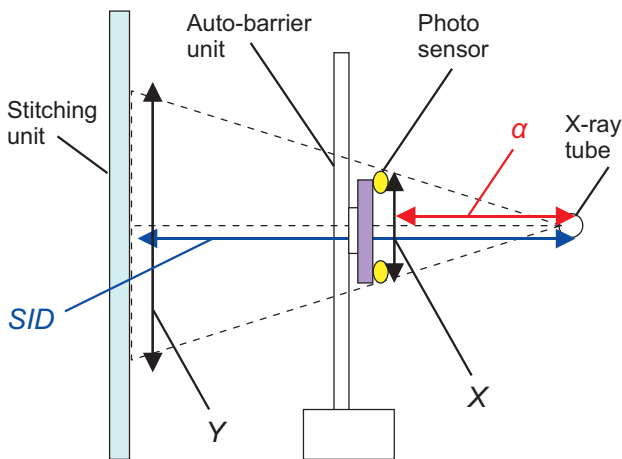


Fig. 4 AeroDR Stitching system spatial relationships. The system automatically determines the exposure region. The symbols Y, X, and α indicate, respectively, the exposure region, the irradiation region, and the distance between the x-ray tube and the exposure region. The exposure region is determined upon detecting the irradiation region. The number of separate exposures is calculated from the exposure region.

距離の比を用いて算出するため、バリアユニット上の照射範囲Xの検出時の誤差は、長尺ユニット上の撮影範囲Yへ換算すると、数倍の誤差となる。このため照射範囲Xの検出は、約0.2mmの分解能で検出処理を行っている。

バリアユニットが有するフォトセンサ付スリット板を、ハロゲン光が点灯した状態で昇降させ検出を行う。フォトセンサで得られるハロゲン光の入力プロファイルの一例をFig. 5に示す。Fig. 5中のAD値はフォトセンサの入力値を、エンコーダ値はフォトセンサの昇降量を表している。ハロゲン光の開始位置、十字影位置、終了位置より、照射範囲Xを検出する。

照射範囲XはFig. 5中の開始位置と終了位置の差分によって求められる。

ハロゲン光の入力プロファイルは、コリメータのガラス面の状態で多様に変化する。いくつかの例をFig. 6で示す。ハロゲンランプの光量低下(A)、十字影の形状(B, C)、異物の混入(D)などにより変化する。

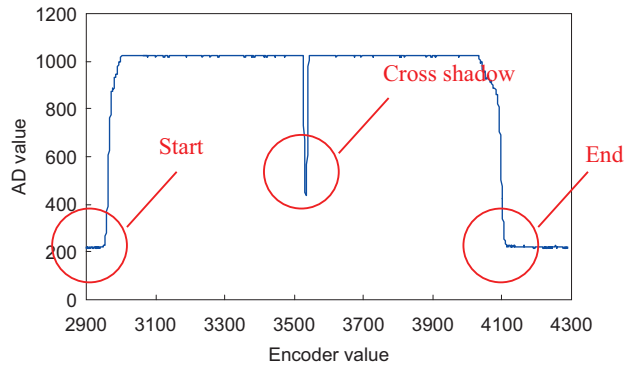


Fig. 5 The input profile of halogen light. The irradiation region X can be determined from the halogen light start point, cross shadow point, and end point. The AD value and the encoder value indicate, respectively, the input value of the photo sensors and the degree of up-and-down motion of the photo sensors.

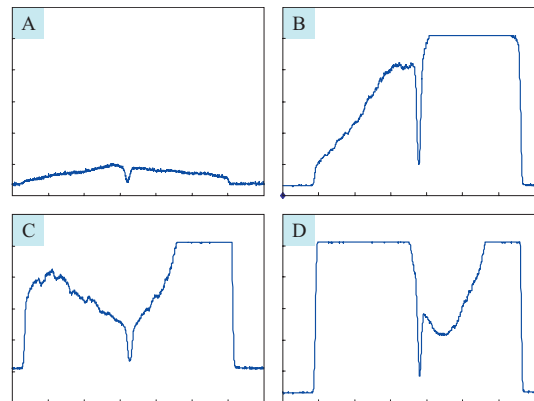


Fig. 6 Examples of an input profile. The input profile of halogen light varies with such conditions as the glass surface of the collimator lens, the amount of halogen light radiated, the shape of the cross shadow, and the presence of foreign matter.

多様なパターンのプロファイルに対応するために、設置時にゲイン調整を行い、入力AD値に対して、移動平均フィルタを用いたノイズ除去処理及び領域判定を行うことにより、安定かつ正確な位置情報の算出を実現している。

撮影範囲Yより分割撮影の回数を算出し、撮影毎のFPD停止位置と、対応したスリット板の停止位置を決定する。

撮影時に算出された停止位置へFPDとスリット板を移動させ、分割撮影を実施する。FPDとスリット板の停止位置は、画像の重複領域に影響し、安定した画像結合との妨げになる要因となる。そのため、それぞれの停止精度を誤差2mm幅以内に収めている。

3 画像の自動結合と濃度補正

長尺撮影では、分割撮影で得る複数枚の画像から、重複領域の信号値を用いて1枚の結合画像を生成する。被写体の同じ部位が重複領域に投影される。その場合、下記のような問題がある。

- ①分割撮影間に体動が発生し、上・下画像で被写体の位置が異なる。
 - ②撮影誤差（X線の光子ばらつきやディテクタで発生する誤差など）が発生し、上・下画像で濃度が異なる。
- これらの問題は、画像結合の精度が低下する要因となり、画像結合の手動調整に要する工数増加や計測結果への影響が懸念される。

そこで、AeroDR長尺システムでは、診断上重要である骨に着目し、被写体の位置にずれが無く、かつ画像間の濃度差を小さくすることで、つなぎ目が目立たない結合画像を生成する処理を開発した。

開発した処理の大きな流れをFig. 7に示す。テンプレートマッチングでは、下画像の重複領域内で骨を含むように配置した関心領域（Template）を、上画像の重複領域を含む関心領域（Reference）内で走査し、相関値が最大となるTemplateの位置を決定し、これに基づき上・下画像を重ね合わせる。その後、上・下画像間の濃度補正値を算出する。

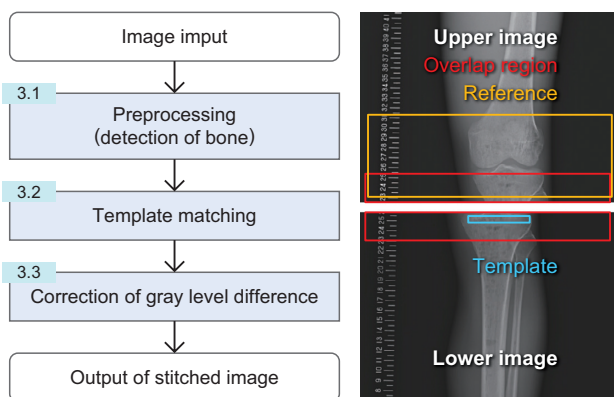


Fig. 7 Stitching algorithm flow chart. A stitched image in which the stitching is inconspicuous is formed by preprocessing the image of the bone.

3.1 前処理（骨に着目したテンプレート配置）

長尺画像は、全脊椎の診断におけるコブ角計測や全下肢の診断における大腿脛骨角計測などに用いられる。また、医療従事者が注目する構造物は骨（全脊椎画像の椎体、全下肢画像の大腿骨、下腿骨）であるため、結合画像のつなぎ目で骨の位置ずれが無いことが望まれる。

しかし、体動の影響で骨と他の構造物（スケールやマーカー、計測に関係ない骨、スキンラインなど）の配置が上・下画像で異なる場合がある。さらに、他の構造物を多く含むようにテンプレートを配置すると、つなぎ目位置の骨にずれが生じてしまう。

そこで、被写体内の骨を検出し、骨を多く含むようにテンプレートを自動で配置する設計とした。

骨は両端部に発生するエッジとその中間領域で形成される凹形状に特徴があるため、この特徴を用いて検出を行う。その際、背景構造物の信号値を減弱したうえで、骨の検出を行うことが好ましい。そこで、背景の影響を緩和するために、Rolling ball法³⁾を適用した。Rolling ball法は、画像の信号分布に対し球状の構造要素を転がし、画像の低周波成分である滑らかな曲面を生成した後、元の信号分布との差分をとることで、球の直径よりも小さい径の構造物を強調する画像処理手法である。球の直径は骨幅を考慮して設計し、骨の凹形状を強調する画像を生成した（Fig. 8）。これにより、骨の検出が容易になるため、骨を含むテンプレート配置が安定した。

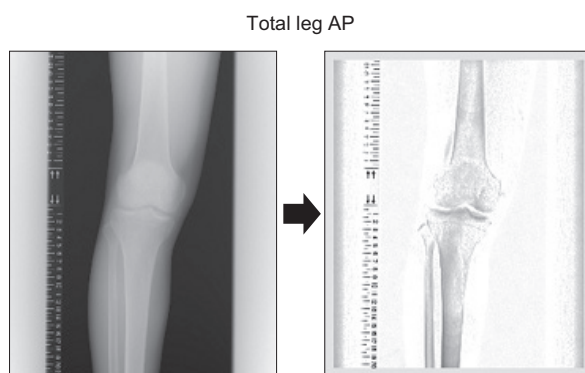


Fig. 8 Result of rolling ball method for appropriate template placement.

3.2 画像の結合（テンプレートマッチング）

撮影誤差に対応するため、テンプレートマッチングでは、下式に示す正規化相互相関を用いた。

$$\gamma(u, v) = \frac{\sum_{x,y}(f(x, y) - \bar{f}_{u,v})(t(x-u, y-v) - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{x,y}(f(x, y) - \bar{f}_{u,v})^2 \sum_{x,y}(t(x-u, y-v) - \bar{t})^2}} \quad (1)$$

上式でtはテンプレート内の信号値、x,yはテンプレート内の横縦方向座標であり、fはリファレンス内の信号値、u,vはリファレンス内に配置されるテンプレートの座標である。また、分子は相互相関値の算出項、分母は正規化項である。正規化項によって相関値が正規化されるため、被写体の同一部位にある信号値が異なる場合でも、適切な相関値が得られる。

下画像内のテンプレート配置をT(x1,y1)、u,vを上画像内の座標に換算したものをR(x2,y2)としたとき、TとRの座標（結合ポイント）を重ね合わせる。これにより垂直・水平方向に被写体の体動を補正する。

また、複数のテンプレート（T_L, T_R）を水平に配置し、各結合ポイントを重ね合わせることで、回転方向の体動を検出し、分割撮影の間に被写体の傾きを補正する（Fig. 9）。

以上により、微小な体動が発生した場合にも上・下画像を結合することが可能である。

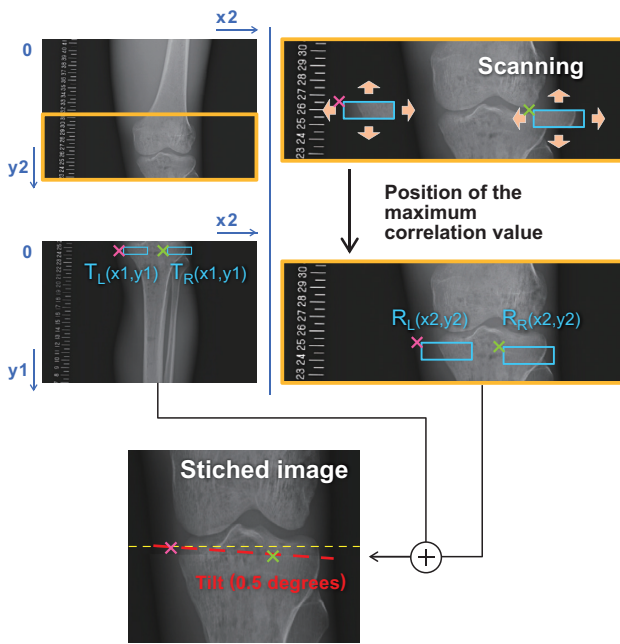


Fig. 9 Correction of object movement. With this method, the upper and lower images can be stitched together even if the object moved upon exposure.

3.3 画像結合部分の濃度補正

撮影誤差は、上・下画像間に濃度差が発生する要因となり、結合画像でつなぎ目が視覚的に目立つことがある。そこで、上・下画像で結合ポイントを通る直線上の平均信号値を算出し、平均信号値の差を濃度補正值とした (Fig. 10)。これにより、画像の濃度差を緩和し、つなぎ目が目立たなくなった。



Fig. 10 Result of correction of gray level difference. The gray level difference between the upper and lower images caused by exposure errors can be corrected.

4 まとめ

長尺撮影をCR撮影からDR撮影に移行する際に、一般的にX線管球を含めた、X線システムの変更を必要していたが、我々が開発したAeroDR長尺システムを用いることで、既設のX線システムを変更する事無く、DR長尺撮影システムを導入する事が可能となった。また、CR撮影と同様な感覚で撮影を行うことが可能となり、DR撮影特有の結合処理においても、高い結合精度をもった診断画像を提供する事が可能となった。

本製品が、DR撮影化促進の一役となり、コニカミノルタが提供するDR撮影システムの魅力を感じていただければ幸いです。

●参考文献

- 1) 徳弘 修, 他: コードレスカセット型DR“AeroDR”の開発, KONICA MINOLTA Tech.Rep., 8 (2011)
- 2) 西島 裕一, 他: カセット型DR“AeroDR”の特徴を最大限に活用した次世代コンソールステーション“CS-7”の開発, KONICA MINOLTA Tech.Rep., 9 (2012)
- 3) Peter Hall, Byeong U.Park, Berwin A. Turlach, “Rolling-ball method for estimating the boundary of the support of a point-process intensity”, Annales de l’Institut Henri Poincare (B) Probability and Statistics 38(6): 959-971 (2002)