

# DRシステムPLAUDRの開発

— 「人に優しい」DRを目指して—

The Development of the PLAUDR Digital Radiography System

冠 城 光 男\*

Mitsuo KABURAGI

儀 同 智 紀\*

Tomonori GIDOU

牟 田 健 二\*

Kenji MUTA

## 要旨

病院で広く使われている一般撮影用デジタルX線撮影装置には、イメージングプレート等のディテクタを内包したカセットでX線撮影を行い、その後、読取装置で別途読み取りを行うカセット型と、ディテクタが組み込まれたX線撮影装置で撮影を行い、撮影直後に同一装置で読み取りを行うビルトイン型の2種類がある。筆者らは、ビルトイン型のDR装置として、高い安全性と、使い勝手の良いワークフローを提供する立位、臥位2タイプのDR撮影装置PLAUDRを開発した。

本稿では、①リーダ昇降の迅速化と、新たな握り棒形状による撮影ポーズの最適化、②新規に配置したLCDサブパネルによる撮影ワークフローの改善、③安全性に配慮した設計内容などを中心に報告する。

## Abstract

Two types of general x-ray digital imaging systems are widely used in hospitals. One is the cassette system, in which the imaging plate, functioning as a detector, is carried in a cassette, which shuttles after exposure from the x-ray machine to a separate image reader. The other system is a single unit system in which the detector and image reader are built into the x-ray machine, so that images are read immediately after exposure. The PLAUDR digital radiography (DR) system is a single-unit system of two versions: a wall stand version and an elevating bed version. Each was developed to provide a high level of patient safety and an easy-to-use workflow for the radiological technician. Reported on here are 1) the acceleration of the up-and-down movement of the reader sub-unit and the optimization of patient positioning through the adoption of a new design of patient grip, 2) the optimization of workflow by means of an additional LCD sub-panel, and 3) the maintenance of patient safety.

\* コニカミノルタエムジー(株) 開発センター 開発部

## 1 はじめに

コニカミノルタは、ビルトイン型CR (Computed Radiography) システムとして1996年にREGIUS Model330/530, 2001年にREGIUS Model350/550を発売した。その後、X線吸収に優れる臭化セシウム (CsBr) を柱状結晶させた高感度プレート (Vプレート) の開発に成功。このプレートを搭載したREGIUS Model 370/570を2005年に発売し、市場より高画質なCR撮影装置として好評を得ている。

今回開発したビルトイン型DRシステムPLAUDRでは、X線ディテクタ部に、ヨウ化セシウム(CsI)シンチレータを配したFPD (Flat Panel Detector) を採用し、さらなる高画質化と高速読取を実現した。

PLAUDRの開発では、FPD最大の特徴である“撮影業務の効率化”をさらに推し進めるべく、ワークフローの改善に取り組んだ。また、迅速な作業を提供しつつ、安全性を最大限に配慮した設計を心がけた。

## 2 ビルトイン型CRシステムの課題

ビルトイン型CRシステムにおいてユーザから課題として挙げられた主な意見は、以下の通りであった。

- 1) 画像取得に時間がかかる。
- 2) ポジショニングに時間がかかる。
- 3) 患者IDが撮影装置で確認しづらい。
- 4) 再撮影の要否判断に手間がかかる。
- 5) 更なる安全性の向上。

これらの課題を解決するため、PLAUDRでは「迅速性」と「安全性」の双方を兼ね備えた「人に優しい」DRをコンセプトに開発を行った。

## 3 迅速性の実現

### 3.1 DRシステムの画像取得時間

CRシステムでは、通常レーザー走査 (主走査) や機械動作 (副走査) を伴う画像読み取りを行うため、9s前後の画像読取時間が必要であった。一方、DRシステム

の画像取得時間は、全画像領域の画像情報を瞬時に取得できるため、画像読取からプレビュー画像表示完了までを5s前後で実現できる。詳細には、画素数の他、PD (Photo Diode), TFT (Thin Film Transistor), 読み出しIC素子の応答時間と画像転送速度、さらに画像処理時間が加算された時間で決定される。DRシステムでの大きな構造差異は無く、各社システムの画像取得時間はほぼ同等であるため、ポジショニングや再撮の要否判断を含む撮影業務全体の所要時間は上記2項に掲げた課題の内、2) ~ 4) に大きく影響される。これらの課題に対して、以下3. 2項, 3. 3項に示す対応で改善を行った。

### 3. 2 ポジショニングの迅速化

ポジショニングとは、患者の身長にあわせてリーダ部を昇降する作業と、部位にあわせた撮影のポーズを決める作業で構成されている。前者ではリーダ部の昇降時間の迅速化として手動昇降方式を採用した。後者では、握り棒の形状を改善することで、部位に応じた患者の撮影ポーズを最適化し、ポジショニング時間の短縮を図った。

#### 3. 2. 1 手動昇降方式の検討

電動昇降方式を使用している立位タイプのDRユーザにヒアリングしたところ、電動昇降方式は昇降時間が長く、介添えした状態でポーズを維持するときの負担が大きいため、応答性の良い手動昇降方式を求める意見が多かった。例えば電動昇降方式では、200mm程度の距離を移動させる場合でも、昇降速度の制約（主に安全性の観点からの速度制限）から4 ~ 5s程度かかってしまう。一方、手動昇降方式を使用しているユーザからは、既存のDR撮影装置の手動昇降は起動が重くて使いづらいという意見が多かった (Fig.1)。

この調査より、既存の立位タイプDR装置では、ユーザが求める使い勝手の良い手動昇降方式が実現できていないことが分かった。そこで、PLAUDR (立位タイプ) では、起動が軽く応答性の良い手動昇降方式の開発に取り組んだ。

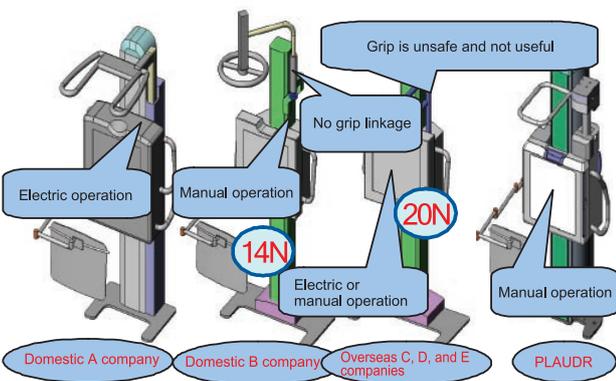


Fig.1 Up-and-down image reader system and its relation to the patient grip

手動昇降方式では、FPDを有するリーダ部と、リーダ部相当の重量を有するバランス部とが滑車を介してワイヤで保持され、均衡を保つよう設計されている。このため、理論上、垂直方向の重量差はキャンセルされ、起動時負荷は殆ど発生しない。ところが、現実にはリーダ部に防護スクリーンと握り棒が装備され、また、リーダ部形状の複雑化も加わり、作用点と重心の位置ずれが生じてしまう。その結果、重心の回りにモーメントが発生し、起動が重くなるという課題があった。さらには、安全性と使い勝手のトレードオフが発生した。安全性を重んじ、握り棒を強固に設計すると、その分リーダ部の重量が増加し、重心回りのモーメントも増大して、さらに起動が重くなるという問題が発生した。安全性を犠牲にせずに、手動昇降の起動を軽くする技術開発に取り組む必要があった。

まずはじめに、起動の重さの目標値を決めるため、女性の技師を含む20名以上の被験者により、実験機を用いた手動昇降の評価実験を行った。その結果、負荷を感じない起動の重さは、10N以下であることが分かった。

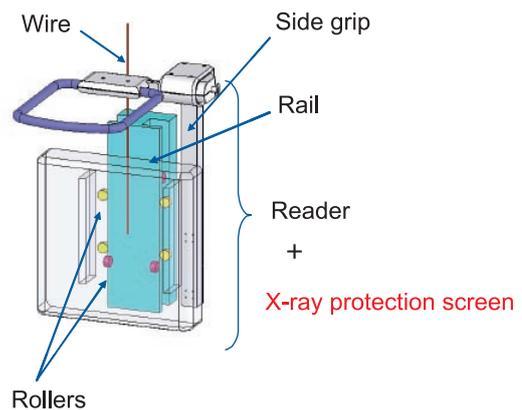


Fig.2 Reader up-and-down structure

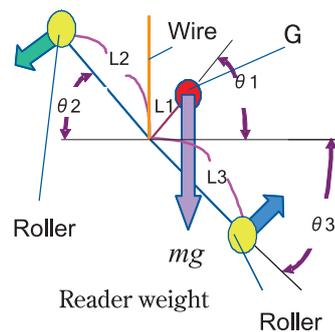


Fig.3 Balance relation of a moment

安全性を確保しつつ、この目標を達成するために、リーダ部重心まわりのモーメントの解析を行った。Fig.2に示すリーダ部構造において、リーダ部の重心まわりのモーメントはFig.3のように表わされる。また、起動の重さを式で表わすと(1)式となる。

$$\text{起動力 } F = \frac{L_1 \cdot mg \cdot \cos \theta_1}{L_2 \cdot \sin \theta_2 + L_3 \cdot \sin \theta_3} \quad (1)$$

起動を軽くするには、重心まわりの釣り合いに関して、(1)式のFを10N以下にする必要がある。これを実現するために、以下の対応を行った。

- ①重心をワイヤ（支点）に近づける。
- ②リーダ部を軽量化する。
- ③リーダ部を支持するコロの間隔をできるだけ広げる。

また、オプション品である防護スクリーンは、装備選択可能のため、装備した場合としない場合とでリーダ部の重心位置が変化して、起動力が一定にならない。そこで、防護スクリーン対象位置に調整ウェイトを入れて、防護スクリーンの有無に関わらず、常に一定の起動力で操作できるようにした。

以上の対応を行うことで、安全性を犠牲にすることなく、手動昇降方式での起動の重さ10N以下を実現した。これにより、立位タイプのPLAUDRにて、安全かつ迅速な手動昇降が可能となった。

### 3.2.2 握り棒形状の改善

立位タイプの撮影装置で使用される握り棒は、身体の支えのみならず、撮影の補助としても使われる。例えば、胸部正面撮影では、患者の両肩がリーダ部に密着するように正面握り棒を握らせて撮影が行われる (Fig.4)。様々な体型をカバーできる理想的な握り棒を探索した結果、正面握り棒では下側に奥行きをとり、上側は人体側に近づける三次元形状を採用した。結果として、最適なポジショニングを容易に実現できる理想的な正面握り棒が完成した。

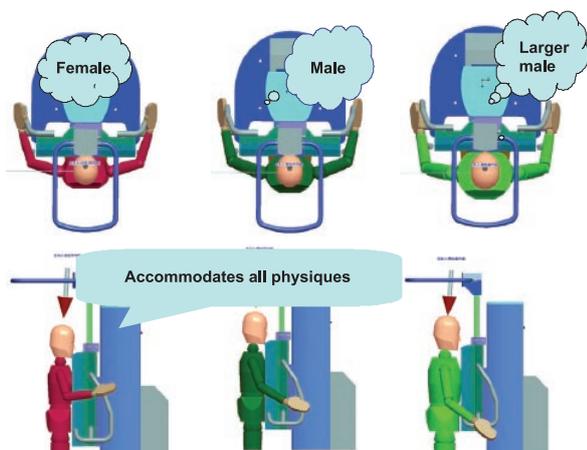


Fig.4 Grip design

## 3.3 撮影確認作業の迅速化

### 3.3.1 CRとDRシステム一元化ワークフローの提供

従来から好評を得ているREGIUSコンソールCS-3（以下CS-3と呼ぶ）は、1台で、CRのビルトイン型（立位、臥位）と、カセット型の両タイプを制御することができる。今回、その思想を継承したPLAUDR用コンソールCS-5（以下CS-5と呼ぶ）をPLAUDRと同時に開発した。PLAUDRとCS-5の提供可能なシステム構成をFig.5に示す。

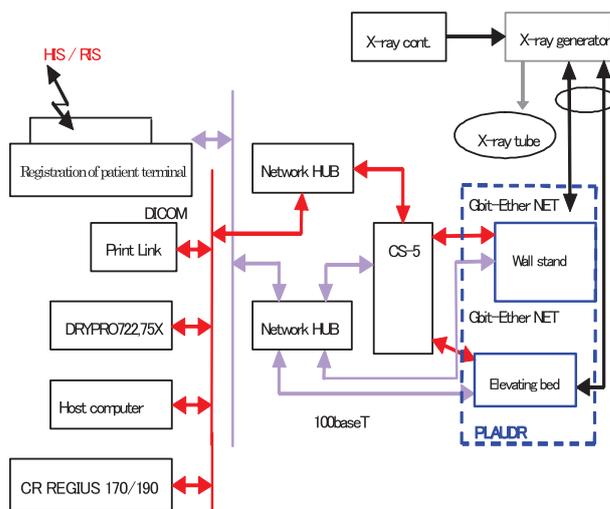


Fig.5 System block diagram

CS-5は、DRであるPLAUDRの立位、臥位のオーダと、カセット型CRのオーダを、一元操作することが可能である。また、CRとDRの何れを選択した場合でも、撮影画像の確認や各種画像処理の実行など、CS-5が提供する様々な機能を、同一の画面操作で実施することができる。

### 3.3.2 LCDサブパネルによる撮影ワークフローの改善

従来のビルトイン型の撮影装置では、撮影装置本体側で、患者氏名や患者IDを確認し、X線照射野を選択する機能を提供していた。しかしながら、画像確認や、撮影装置を立位・臥位間で変更する操作など、多くの機能はコンソールでしか実現できなかつたため、ユーザは、必要に応じて撮影装置とコンソール間を行き来しなければならず、作業の効率化、迅速化の大きな妨げとなっていた。PLAUDRの開発では、ユーザへのヒアリングを通して、コンソール機能の中から撮影装置上で使いたい機能を抽出し、装置本体側に用意したLCDサブパネルにて抽出された機能を使えるようにシステムを組んだ。これにより撮影室の出入りを最小限にする理想的な撮影ワークフローを実現した。

PLAUDRの制御関係を示すブロック図をFig.6に示す。装置本体側のLCDサブパネルとして、タッチパネル付きのBOX型PC（以下CIPと呼ぶ）を採用し、CS-5をマ

スター、CIPをスレーブとして両者をEthernet接続した。CS-5側からはCIPで必要とする情報を提供し、CIPでの操作結果は逐次CS-5側に通知される。また、撮影装置本体に内蔵の制御基板（Fig6中のMCB）とCIPをシリアル通信接続することで、MCBより取得した装置情報を、CIPからCS-5へ通知する仕組みを実現した。X線照射スイッチに関わる情報も、MCBからCIP経由で、CS-5へ通知される。一方、FPDはGiga-bit Ethernetを経由してCS-5と接続されており、取得された画像データはFPDから直接CS-5へ転送される。FPDのキャリブレーションや補正処理もCS-5が実施する。FPDがキャリブレーション等準備中であることや、FPDのエラー情報は、CS-5からCIPに通知され、CIP上のLCDサブパネルでも確認できるようになっている。

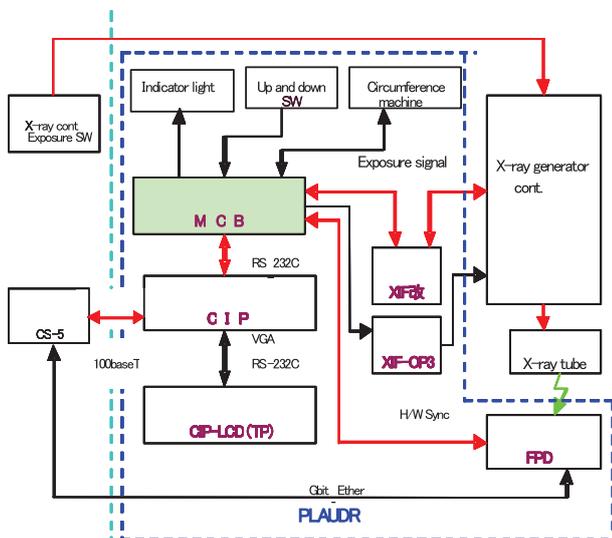


Fig.6 Control block diagram

### 3.3.3 LCD表示の工夫

撮影のワークフローは、撮影オーダがHIS（病院情報システム）/RIS（放射線情報システム）から自動的にCS-5に送られた後、以下の手順で行われる。それぞれの手順において以下の工夫を行った。

#### 1) 患者氏名、患者IDの確認（視認性の向上）

従来機では、カタカナもしくは英数字が32文字/1行の表示パネルを採用していたため、氏名等が視認しづらい問題があった。これを改善するために、LCDサブパネルには10インチの大型LCDを採用し、患者指名、患者IDを画面上方に24ポイントの大きな文字で表示するようにした（Fig.7）。

また、LCDを保持するアームは多関節とし、上下方向にチルト機能も付加することで、立ち位置からの死角を無くした。これにより、患者と技師の双方でLCD表示内容を確認することが可能となり、撮影までの作業を確実に進めることができるようになった。特に、



Fig.7 Confirmation screen

検診においては、この迅速化の効果は大きい。

#### 2) ポジショニングの迅速化

ポジショニングの迅速化については、3.2項を参照のこと。

#### 3) 撮影部位や撮影条件の確認と変更

臨床の現場では、患者の状態に応じて、急遽、撮影条件等の変更が必要とされる場合がある。PLAUDRでは、これらの要求に応じるため、LCDサブパネル上で、撮影部位、画像サイズ、画像切り出し位置等の撮影条件を確認・変更できるようにした。また、患者の状態に応じて別の撮影装置にオーダを振り替える機能も実現した（Fig.7）。

#### 4) 画像確認と再撮影の要否判断

患者情報や撮影条件のみならず、撮影画像についてもLCDサブパネル上で確認できれば、撮影ワークフローをさらに改善することができる。PLAUDRでは、通常コンソール（CS-5）画面上で行なわれる画像確認作業を、装置本体側に用意されたLCDサブパネル上でも実施できるようにした。LCDサブパネル上には3画像まで同時に表示可能とし（Fig.7）、スクロールにより残りの画像も確認できるようにした。また、各画像をタッチすると画像が拡大表示されるため、モーションアーチファクトの確認が容易となり、再撮影の判断が装置本体側で瞬時にできるメリットがある。なお、撮影画像の表示/非表示については選択可能とした。

このLCDサブパネルは、装置のメンテナンス、エラー状況等の確認にも使用される（Fig.8）。



Fig.8 Status screen

## 4 安全性の向上

PLAUDRは、ユーザの接触が多い装置であるため、撮影作業中における様々な安全性が求められている。

### 1) 立位タイプの安全性の実現

立位タイプの安全性は、筐体剛性確保や側面握り棒の回避機構等々なところに施されているが、最も重要なのは、リーダ部落下を防止する安全機構である。PLAUDRではリーダ部を保持しているワイヤをメインワイヤとサブワイヤの2本構成とし、サブワイヤの長さを10mmたるませることにより、サブワイヤは殆ど消耗の無い状態を維持させる設計とした。これにより、仮にメインワイヤが破断した場合でも、サブワイヤが新品同様の耐久性でリーダ部を保持することができ、落下量もJIS4703の規定（落下量15mm以内）を満足することができる。さらに、リーダを保持しているメインワイヤを直接センサで監視することでワイヤ切れを検知し、リーダ保持用の電磁フォルダを作動させることでリーダ部の落下を阻止する仕組みを取り入れた。電磁フォルダは、成人男性が寄り掛かった加重に十分耐えられるものを2系統持たせることで、さらなる安全性を確保している（Fig.9）。

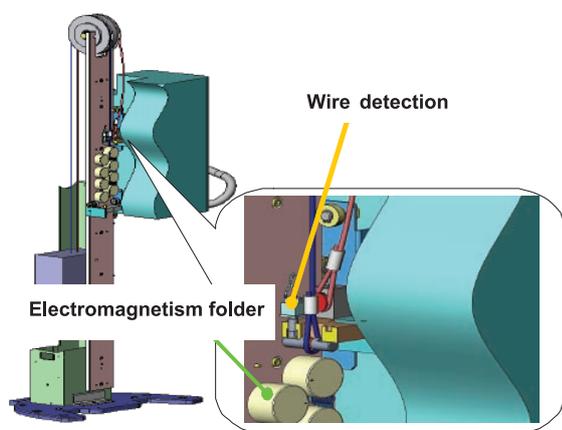


Fig.9 Wire detection

### 2) 臥位タイプの安全性の実現

臥位タイプの安全性の確保として、天板の動作に注目した。まず、本体部と天板部とのクリアランスを十分取ることで、天板操作時におけるユーザの指の挟み込みを防止した。さらに、従来機で使い勝手を良くするために考案された天板下部稜線のタッチセンサを、安全機構としても動作するように工夫した。まず、天板部が床面から600mmの通常使用位置では、タッチセンサは天板の位置変更用として機能する。一方、天板下降時には、タッチセンサは膝の挟み込み等を防止するための安全スイッチとして動作する。この機構により、天板下降時に、人

体が天板により圧迫されると、直ちに下降動作が停止する仕組みを実現した（Fig.10）。

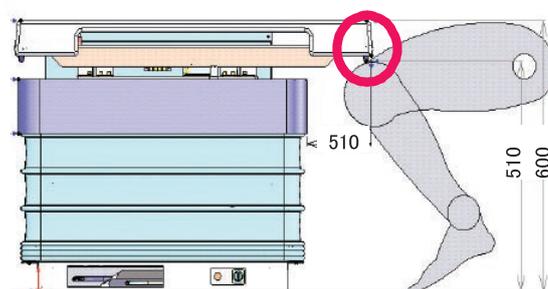


Fig.10 Knee detection

また、車椅子対応として、従来機より天板最低位置を40mm下げ、車椅子の標準高さに適合させることで、車椅子から天板への移動時の負担を軽減し安全性を確保した。

さらに、立位タイプ、臥位タイプで共通に装備された識別表示灯のLEDにより、エラー発生を含む装置の状態をユーザが容易に視認できるようにした（Fig.11）。

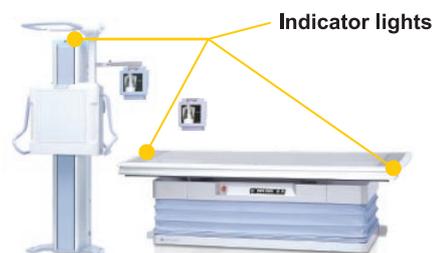


Fig.11 PLAUDR C30/C50 systems

## 5 まとめ

FPDの採用により、画像取得の即時性を実現すると共に、患者情報・撮影条件の確認作業やポジショニング作業、画像確認作業など、撮影ワークフロー全体を効率化・迅速化する新DRシステム、PLAUDRを開発した。さらに、撮影時の安全性も両立させることで、ユーザに安心して使って頂ける「人に優しい」DRシステムを実現した。本システムが、様々な医療の現場で使用され、病気の早期発見や医療の質の向上に寄与できることを期待する。

### ●参考文献

- 1) JISハンドブック2006 放射線（能） 日本規格協会
- 2) 医用電気機器のEMC JIST0601-1-2 第2版原案解説
- 3) 本田 哲・柳多貴文・笠井恵民・中野 寧  
KONICA MINOLTA Tech. Rep., 3, 72 (2006)