

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

Development of the CS-7, the Next-Generation Console Station Taking Full Advantage of the AeroDR Cassette DR System

西島 裕一*
Yuichi NISHIJIMA

倉橋 央*
Akira KURAHASHI

勝 嶋 和 彦*
Kazuhiko KATSUSHIMA

竹村 幸治*
Koji TAKEMURA

要旨

市場のX線撮影システムは、成熟したCR (Computed Radiography) からDR (Digital Radiography) へと、急速に世代交代している。DRは画像取得の即時性では優れるが、カセット型CRに見る自在な撮影ワークフローの観点では、多くの課題を残していた。我々は、「カセット型CRの自在性を有したDRシステム」の実現を目指し、カセット撮影ワークフローを徹底的に研究し、無線カセット型DR “AeroDR” の特徴を最大限に引き出すコンソールステーション “CS-7” を開発した。

CS-7の開発にあたっては、カセット型CRの自在性の実現だけでなく、モニター診断に最適なワークフローの実現を目標とし、当社ソフトウェアにおけるコアとすべく、今後の拡張性についても追及した。

本稿では、拡張性に優れたアーキテクチャーと、そのアーキテクチャー上で実現したカセットワークフロー、DR画像データハンドリング技術を紹介する。

Abstract

Today, the conversion from mature CR (computed radiography) to nascent DR (digital radiography) proceeds swiftly. DR excels in image acquisition speed, but lacks the flexible workflow of a cassette CR system. In response, we exhaustively studied the workflow of X-ray photography with cassettes. This led to the development of the AeroDR wireless DR cassette system, with its CS-7 console station thoroughly utilizing the features of the wireless cassette. With the CS-7, we wanted to realize the workflow flexibility of cassette CR but also wanted to create the best workflow of diagnosis using a monitor. We also pursued the future expandability of the CS-7's applications, aimed at making the CS-7 a core software product.

This paper introduces software architecture that renders the CS-7 expandable, as well as the cassette workflow and DR image-data handling technology that this architecture makes possible.

* コニカミノルタエムジー(株)
開発本部 開発部

1 はじめに

単純X線撮影のデジタル化を促進したCRシステムの普及はピークを越え、DRシステムへの置換が進んでいる。DRシステムの特徴は、撮像から画像取得までの速さ(即時性)にあるが、撮影架台やX線発生装置とDRを一体化した専用機型DRや、有線カセット型DRでは、当社 “REGIUS” シリーズに代表されるカセット型CRシステムが築いたカセット撮影ワークフローをすべてカバーすることはできず、用途が限定されていた。こうした中、無線カセット型DRシステムが近年商品化されたが、バッテリー駆動時間、軽量性、堅牢性といったハード面の課題に加え、操作性やシステムワークフローの観点から、CRカセットの利便性、自在性に対して、課題がなお残されていた。当社が開発したカセット型DR “AeroDR” は、無線LANと大容量バッテリーによる長時間ワイヤレス駆動、さらにJIS (ISO) 半切サイズの軽量性と堅牢性に優れた筐体、などの特徴を有しており、カセット型CR同等の取り扱いが可能である¹⁾。また、“AeroDR SYSTEM (当社DRシステム名称)” のコンソールステーションである “CS-7” では、画像取得の即時性はもちろん、長年のCR展開で培ったカセット撮影ワークフローを徹底研究し、AeroDRの性能を最大限に活かす操作を実現した。

2 アーキテクチャー設計

CS-7には、DR制御、画像処理といった基本機能だけでなく、複数の院内ITシステムに対する密な連携機能が必要となる。その連携も導入施設によって様々である。これら多様なシステム連携や施設規模に応じた機能変更、さらには将来にわたる機能の拡張/成長を維持していくため、ソフトウェアプロダクトライン²⁾の思想に則ったプラグイン型アーキテクチャーを考案した (Fig. 1)。

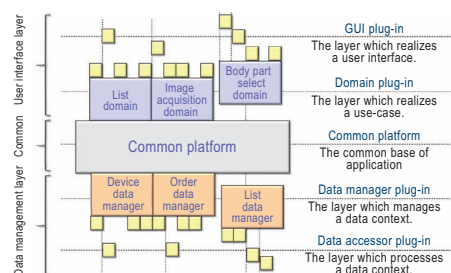


Fig. 1 CS-7 system structure.

2.1 プラグイン型アーキテクチャー

CS-7のプラグイン型アーキテクチャーは、システム全体を一つのソフトウェアとして構築するのではなく、プラットフォームと呼ばれるシステムの土台に対して、機能を実現するプラグインを接続することで構築するものである。

各プラグインにはインターフェースが定義されており、単機能を実現するプラグインが、プラットフォームを介して互いに接続されることで、より高度な機能を実現していく (Fig. 2)。

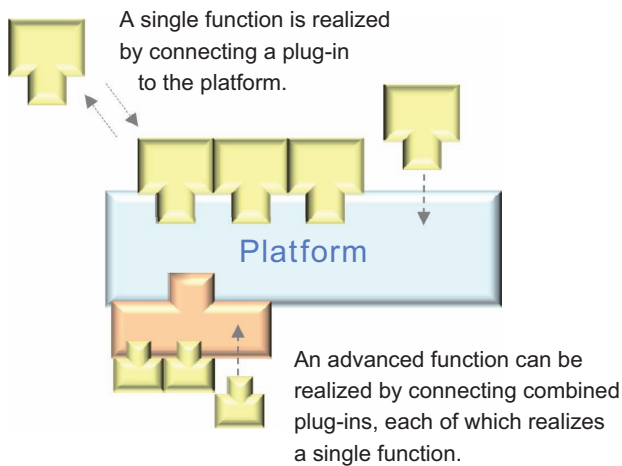


Fig. 2 Plug-in architecture.

2.2 プラグインによる機能拡張

プラグイン型アーキテクチャーの特徴は、機能がすべてプラグインとして実現されることにある。AeroDR SYSTEMの多様な運用形態も、プラグインの組合せによって柔軟に実現される。例えば、一般撮影、回診撮影、検診撮影など、運用形態に応じてシステム構成が異なる場合、求められる操作性も大きく異なる。手早い作業が必要な回診撮影には、必要最低限の操作機能だけが画面上に表示されていることが好ましい。このような、通常とは異なる画面形式への変更や、逆に機能追加に伴う画面上の機能拡張もプラグインの交換/追加によって容易に実現できる。この機能交換性/拡張性はプラグイン型アーキテクチャーの大きなメリットである (Fig. 3)。

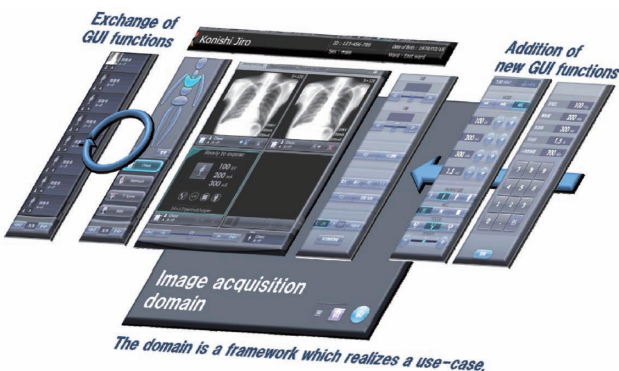


Fig. 3 Plug-in of GUI parts.

2.3 プラグインによるビジネス領域拡張

プラグインによる拡張性は機能そのものに留まらない。機能を表現する小さな粒度のプラグインモジュールは、より大きな領域を表現するプラグインモジュールであるデータマネージャーやドメインによって統括される。データマネージャーは、デバイス/データ/リソースを管理し、ドメインはユーザー操作(ユースケース)の観点で、他のプラグインモジュールを管理、統合する。いずれも、末端のプラグインモジュールの機能を大きな機能として集約するものである (Fig. 4)。

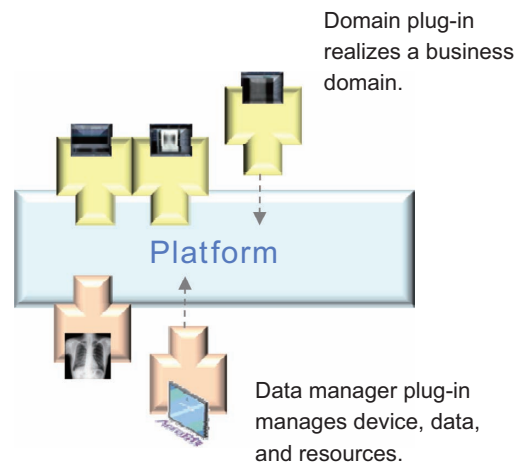


Fig. 4 Domain and data manager plug-ins.

プラグイン型アーキテクチャーのもう一つの大きなメリットは、機能単位の拡張に留まらず、新たなドメイン/データマネージャーを開発することで、新しいビジネス領域へとシステムを拡張できる点にある。例えば、撮影に必要なオーダー情報(患者情報、撮影部位情報等)の登録/管理機能を追加する場合は、オーダーリストドメイン及びオーダーリストデータマネージャーを追加し、複数の院内ITシステムとの連携用プラグイン群とデータベースアクセス用プラグインを統合する。ソフトウェアの母体に影響を及ぼさずにビジネス領域を拡張するような開発は、従来の一体型ソフトウェアでは極めて困難であるが、プラグイン型アーキテクチャーであれば容易に実現可能であり、ビジネスの発展に伴うシステム拡張要請に短期間で応えることができる。

2.4 プラグインによるAeroDR SYSTEMへの対応

AeroDR制御というコンソール基本機能も、機能とビジネス領域の拡張性に基づいて設計した撮影ドメイン/撮影データマネージャーによって実現されている。

AeroDR SYSTEMにおける個々のデバイス制御を単機能プラグインで実現し、デバイス調停を責務とする撮影データマネージャーによってそれらの状態を管理し、ユーザー操作を実現する撮影ドメインによって操作と応答を統合することで、「撮影業務」というユースケースを提供している。単機能プラグインの交換性/拡張性は、

AeroDR SYSTEMの次期拡張に対して柔軟に対応できる基盤となっている。

次章より、このアーキテクチャー上で実現したカセットワークフローを中心にCS-7の機能を掘り下げていく。

3 カセットワークフロー実現技術

操作者が求める撮影ワークフローの理想形を、「DRの即時性とカセット型CRの自在性の両立」と定義し、カセット型CRのワークフローを再度徹底的に研究した結果、カセット型DRの操作性／機能性に関して、下記2つの要件を導出した。

- 1) 撮影室内においては、複数のカセットの立位／臥位架台に対する装填状態を、操作者が記憶する必要のない(コンソールが状態変化を掌握し、常に最新状態を表示している)こと。
- 2) どのカセットをどの撮影室に持ち込んでも即時に利用可能である(カセットとコンソールの関連付けを自動的に変更できる)こと。

これらに対して、新たに「オートトラッキング」技術、「スマートGUI」技術、「ローミング」技術を開発した。

3.1 オートトラッキング技術

カセット型CRは、X線曝射と連動する必要がなく、予めカセットと画像転送先となるコンソールの関連付けを行えば、どの撮影室で撮影しても画像取得が可能である。このため、操作者は各撮影室の稼働状況や患者の状態に応じて自由にカセットを持ち運び、任意の撮影室で撮影することができる。一方、X線曝射と連動して画像を取得するDRでは、より確実にカセットとコンソールを関連付ける必要がある。特に、カセットの撮影室間の移動に加え、立位もしくは臥位架台に対する装填状態に至るまでをシステムとして掌握し、操作者に対してカセットの所在を通知すると共に、コンソールの有する撮影条件データと連動させ、対象カセットに対して確実にX線を曝射する(誤曝射を抑止する)機構が重要となる。

我々は、これをAeroDR SYSTEMとCS-7の連携技術によって実現した。AeroDRは有線／無線双方を利用可能である。ケーブルを接続すれば専用機として固定的に利用することができるし、ケーブルを外せば可搬性に優れた無線型カセットに瞬時に切り替わる。AeroDRは、ケーブルの接続状態をCS-7へリアルタイムに通知するので、CS-7はAeroDRへの接続経路の変更をもとに、あたかもAeroDRを追尾するかのように、撮影架台を特定することが可能となる。また、AeroDRには選択ボタンが存在しており、このボタンを押下することで、CS-7に対して自らが撮影対象カセットであることを通知することもできる。

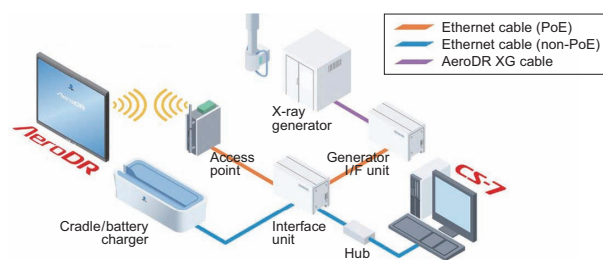


Fig. 5 AeroDR SYSTEM configuration.

3.2 スマートGUI技術

前項に記載したとおり、カセット型DRにおいては、コンソール上から、X線を曝射しようとしているカセットを確実に指定できなくてはならない。撮影室内にカセットが複数存在している場合は、操作者が、どのカセットがどの状態(立位架台装填状態、臥位架台装填状態、カセット状態)にあるかをすべて記憶しなくてはならないため、この負担の軽減が、自在なカセットワークフローの実現にあたって、重要な課題となる。

前述のオートトラッキング技術を用いれば、CS-7上での特別な操作なしに、操作者の意図と一致したカセットを自動的に選択し、撮影に移行することができる。このような、パネルの追尾に基づくGUIの構築方法を「スマートGUI」と称している。以下、2枚のカセットが存在する環境において、スマートGUIの1つの機能である自動フォーカス移動を利用する事例について説明する。

撮影室内の立位架台に装填されたカセット#1で撮影を行った後、これを立位架台から抜去し、無線カセット状態にしたとすると、CS-7のGUI上では、立位撮影からカセット撮影のオーダーへと自動的にフォーカスが移動する。その後、仮にカセット#2による撮影の必要が生じ、#2の選択ボタンを押下したならば、GUI上では撮影対象カセットが#1から#2へと自動的に変更される(Fig. 6)。

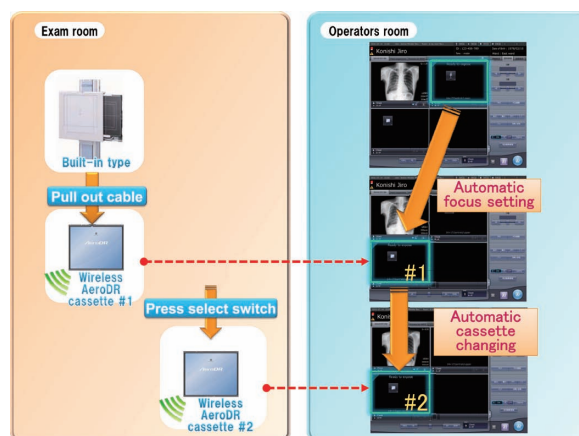


Fig. 6 Smart GUI technology.

このように、CS-7上での操作を一切必要とせず、撮影室内のカセットのケーブル接続／抜去／選択ボタン押下だけで適切な撮影装置が選択できるようになり、撮影準備における操作者の負担を軽減することが可能となった。

3.3 ローミング技術

さらに、任意の撮影室で利用中のカセットを別の撮影室に移動する際、当該のカセットを移動先のCS-7と自動的に関連付ける技術を「ローミング」技術と呼ぶ。

ローミングは、①全撮影室の全カセットに関する所在情報を全CS-7で共有する機能と、②個々のカセットに関連付いた特性データを、移動先のCS-7で利用可能とする機能とで構成される。個々のカセットは画質特性上の個体差を有しているため、個体差に依存しない均質な画質を常に取得するために、②は特に重要である。本機能を有していないカセット型DRシステムでは、カセットの移動を行う都度、特性データの移行作業やキャリブレーション作業が必要となり、DRの即時性に反する非効率を招いていた。

ローミング技術の中核をなすのはローミングマネージャー（以下、RM）と呼ばれるデータサーバーである。システム内で利用するすべてのカセットの初期所在情報は、その特性データと共にRM内に保持される。すべてのクレードル（カセットのバッテリーチャージャー）と有線接続用ケーブルの識別情報も、事前に特定の撮影室に関連付けられてRM内に保持される。また、RMの保持する情報はすべてのCS-7との間で同期されている。操作者がカセットをクレードルもしくはケーブルに接続すると、RMがこれを検知し、保持している識別情報を基に当該の接続が生じたカセットと撮影室を特定する。このとき、カセットに撮影室間移動が生じていたならば、この所在情報の変化をネットワーク内で稼働しているすべてのCS-7に対して通知する。これを受けて、移動前に当該のカセットを制御していたCS-7は制御を解除、さらに移動後の制御を受け持つCS-7が当該のカセット用特性データを用いて制御を開始する（Fig. 7）。

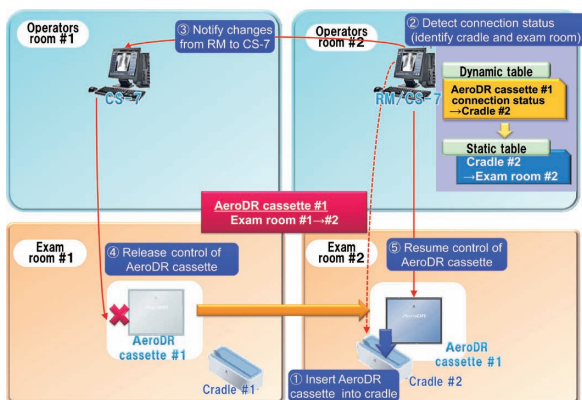


Fig. 7 Roaming technology.

上述のRM基本動作には、撮影室間のネットワーク接続状態の変化に対する堅牢性と、ユーザー操作に追従する高い応答性が求められる。堅牢性は、管理データ上のレコード数を削減した単純ファイルシステムにて実現し、専用サーバー機や汎用データベースを不要とした。さらに、データ変化イベントはUDP (User Datagram Protocol)

で、コンテンツはTCP (Transmission Control Protocol) で送受信するなど、プリミティブレベルの通信制御を行うことでオーバーヘッドを減らし、応答性を高めた。

ローミング技術の実現により、カセットを撮影室間で移動する際には、移動先の撮影室に配置されたクレードルにカセットを装填するだけ、もしくはケーブルを接続するだけの、極めてシンプルな操作が可能となった。

4 DR/PACS時代のワークフロー実現技術

当社REGIUSシリーズのコンソールステーションCS-5は、CRカセットを用いた撮影とフィルム読影のワークフローに特化した“CR/フィルム”時代のシステムがベースとなっているため、DRならではの即時性の活用とPACS上でモニター診断する運用への配慮が不十分であった。CS-7の開発にあたっては、撮影/画像調整/出力のワークフローを徹底的に見直すことにより、“DR/PACS”時代に最適化したコンソールとして、既存機能の見直しと新規機能の開発を行った。

本章では、DRならではの即時性を活かした高速プレビュー技術と、この即時性を利用した新しい撮影ワークフロー、ならびにPACS上のモニター診断に適した画像調整/出力ワークフローを実現する技術を紹介する。

4.1 高速プレビュー技術

AeroDR SYSTEMは撮影後、約1秒台という業界最高水準のファーストビューを目標にした。画像取得の即時性に優れたDRにおいては、コンソール上での画像表示の速さが特に重要となる。操作者が、表示された画像における撮影部位の配置状態（患者のポジショニング）をもとに再撮影の要否をいち早く判断できれば、次撮影準備、もしくは画像調整といった次の作業に即時移行でき、ひいては患者の拘束時間を短縮できるからである。

CS-7では、上述のファーストビューの利用目的に着目し、DR画像に特化した高速プレビュー技術を開発した。モニター上の表示画素数に最適化した、ポジショニング確認に必要な十分な解像度のデータを先行して受信し、これをファーストビュー用のプレビュー画像として表示する。さらに、プレビュー画像の表示処理中に、全画像データを受信・作成する処理を並列動作させる。本技術により、ファーストビューは有線/無線接続共に目標とした1秒台を達成し、DR撮影の即時性を最大限に引き出すことが可能となった。

4.2 AeroDRの即時性を活用したワークフロー

一般的にCRカセット撮影では、カセットと撮影条件の関連付け、患者のポジショニングとX線曝射、カセットの読み取り、再撮影の要否判断、画像調整、次撮影の準備、の順番で作業が進められる。このうち、患者のポジショニング以外は撮影室の外に設置されたコンソールを操作することで行われる。一方、患者の状態によっては、

患者の身体を支えながら撮影することもある。この場合、撮影室の外でしか画像確認や次撮影の操作ができないシステムでは、患者、操作者の双方に過大な負荷がかかってしまう。また、通常の撮影においても、撮影後、直ちに次撮影のポジショニングを行いたい（従ってプレビュー確認は撮影室の中で行いたい）という要望が存在する。

CS-7では、これらの問題を解決するため、新規デバイスである「サブモニター」制御機能および「自動1×1表示」機能を開発した。これらの機能により、撮影室の内外を問わず、画像確認やその他のコンソール操作を可能とする、新しいワークフローを実現した。

サブモニターとはCS-7と同一の情報を表示することが可能な撮影室内に配置した表示デバイスである。また、サブモニターはタッチパネル式の入力機構を有しており、ここでの操作は即時にCS-7本体に反映することができる。サブモニターの導入によるワークフローの改善を、胸部正面・側面の2方向撮影を例に挙げて説明する。

まず、撮影室にて患者を胸部正面にポジショニングし、撮影室外からX線撮影操作を行う。その直後には撮影室内のサブモニターに胸部正面画像が表示されるので、再度撮影室に入室した撮影者は、次の胸部側面撮影のポジショニングへの動線を止めることなく、再撮影の要否を撮影室内で判断することができる。再撮影が必要と判断した場合には、撮影室外に戻ることなくサブモニター上から追加撮影の準備操作を行うことができるため、スムーズに胸部正面の再撮影に移行することができる。再撮影が不要な場合も、胸部側面撮影のポジショニングを完了させたのち、その場で次撮影開始操作が可能である（Fig. 8）。

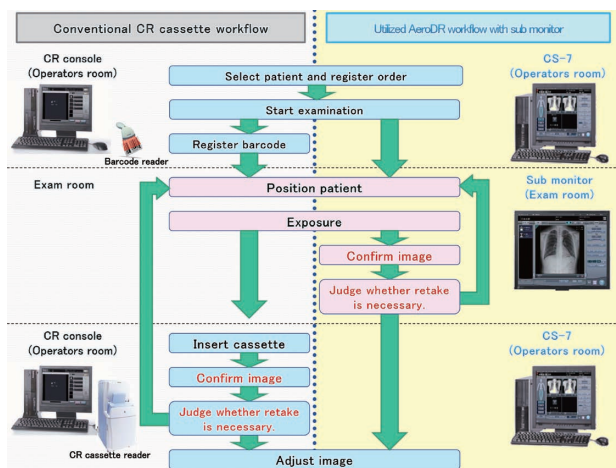


Fig. 8 CR workflow vs. DR workflow with sub monitor.

さらに、新規に開発した自動1×1表示機能を組み合わせることにより、さらなる操作性改善が可能となる。

自動1×1表示とは画像を複数コマ表示している状態でX線撮影を行うと、ファーストビュー表示時に自動で1コマ表示に切り替え、一定時間経過後に元の表示コマ数に戻す機能である。撮影前の検査全体の一覧表示と、撮

影直後の画像の詳細表示を自動で切り替える本機能をサブモニター上で動作させれば、操作者は、コンソール本体を一切操作することなく、患者とX線曝射スイッチを結ぶ最短の動線上で、患者のポジショニングとX線撮影操作に専念することができる。

これらにより、撮影のスループットは最大化し、撮影作業の効率化と患者拘束時間の軽減が可能となった。

4.3 X線照射領域の自動トリミング技術

撮影後の画像調整ワークフローの観点では、調整時間を短縮すべく、画像をX線照射領域で自動的にトリミングする機能を搭載した。

DRカセットはCRカセットに比べて高価なため、各種カセットサイズを取り揃えることが難しい。従って、DRカセット撮影ではX線照射領域に比べて大きなディテクタを使用するケースが多くなる。X線照射領域よりも大きなサイズのままPACSへ画像送信すると、画像サーバーの容量を無駄に圧迫するだけでなく、X線照射領域の絞りによって生じるX線未露光領域が読影の妨げとなる。これらを防止するには、PACSへの送信前に読影に適したサイズにトリミングする必要があるが、手作業によるトリミングは撮影スループット低下の一因となってしまふ。

CS-7では、コニカミノルタが長年培った画像処理技術により高精度でX線照射領域を認識し、その領域で自動的に画像をトリミングする機能を搭載している。これにより、画像編集時間の短縮と読影環境への迅速な画像情報の提供を実現した。

4.4 ハンギングプロトコル制御技術

画像調整後の出力ワークフローの観点では、PACS上でモニター診断を行う際の操作負荷軽減を検討した。モニター診断にあたっては、画像表示順などを読影に適する状態に変更する必要があるが、この作業が読影医の負担となる。一部のPACSでは、検査シリーズ番号や画像番号によらず、撮影部位、左右などの情報を基に画像の表示順を設定するハンギングプロトコルと呼ばれる機能を実装しているが、依然として普及は不完全な状態にある。ハンギングプロトコル非実装のPACSにおいても“DR/PACS”の有用性を享受できるように、画像データ送信元であるコンソール側からワークフローの改善を試みた。

コンソールで複数の撮影を行う場合、撮影する順番で撮影条件を管理する方が望ましく、画像出力もその順番で行うことが一般的であるが、これを簡便にPACSでの表示順に変更できるハンギングプロトコル制御機構を開発した。画面構成としては、PACSへの出力順のビュー（送信プレビュー画面）を撮影条件順のビュー（撮影画面）から独立させ、変更操作に最適な画面内で操作に専念できることを意図した。撮影画面で一連の撮影・画像調整を行った後、必要に応じて送信プレビュー画面に切り替える。また、出力順の変更操作は、プレビュー画像

のドラッグアンドドロップによって並べ替えるだけの直観操作としている。ソフトウェア内部で、検査シリーズ番号と画像番号の付番を変更することで、コンソール側の操作による、読影用画像表示順序の変更を実現している (Fig. 9)。

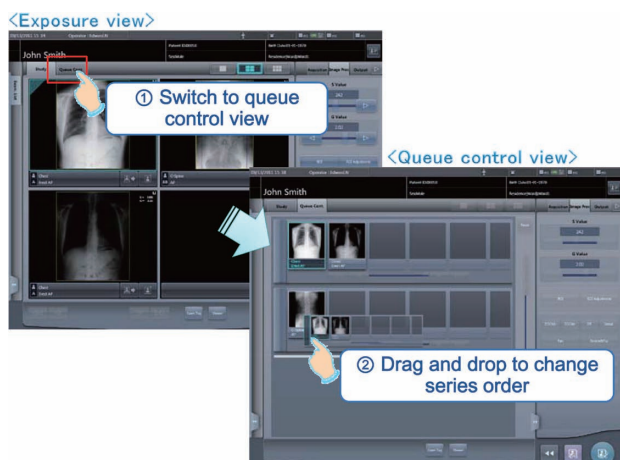


Fig. 9 Hanging protocol control.

5 まとめ

CS-7では、AeroDR SYSTEMのコア技術として開発したオートトラッキング技術、ローミング技術、スマートGUI技術により、カセット型CRの撮影ワークフローと同等以上の操作性を実現し、撮影作業のスループットを大幅に向上させた。また、高速プレビュー、サブモニター、自動1×1表示、ハンギングプロトコル制御などのDR画像ハンドリング技術により、DR/PACS時代における最適な運用を実現した。これらの機能は、実際の臨床運用を通じて、お客様から高い評価を頂いている。

今後、プラグイン型アーキテクチャーに基づくソフトウェア拡張性を強みにCS-7を発展、成長させ、新たな臨床価値を創造するコニカミノルタ医療ソリューションとして世界の医療の質向上に貢献していきたいと考えている。

●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) Klaus Pohl, 他: ソフトウェアプロダクトラインエンジニアリング, 林好一訳, 星雲社, 2008年