

クリニック向け小型CRシステム REGIUS Σの開発

Development of the REGIUS Σ, a New Compact CR System Suitable for Clinics

川口 学*	北村 光晴*	萩原 清志*
Manabu KAWAGUCHI	Mitsuharu KITAMURA	Kiyoshi HAGIWARA
亀田 活司*	伊藤 毅*	野澤 肇*
Katsushi KAMEDA	Tsuyoshi ITO	Hajime NOZAWA

要旨

REGIUS Σシステムは、小型軽量、超簡単操作、そしてエコロジーにも配慮した、クリニック向けCR (Computed Radiography) として開発された。我々は、輝尽性蛍光体プレートを一新させ、レーザーイメージャーで培った搬送技術を採用することにより、重量を従来機REGIUS MODEL110の約1/3以下にし、かつ超コンパクトな卓上タイプのCRを実現した。また、カセットがプレート搬送系の一部を担うことで装置の小型軽量化に大きく貢献し、更に樹脂成形化することにより、従来カセットからの軽量化も達成した。

更に、蛍光体の消去性能を改良し、消去光源に高輝度LED素子を採用、かつシミュレーション技術を駆使した放熱系の最適設計により、小型放熱ファンを1個のみとし、ファン動作時間を最小限に抑えることで、従来機のREGIUS MODEL110以上の静音性と従来機の約1/2の消費電力量を達成した。

Abstract

The REGIUS Σ system provides clinics with a small, light, pro-ecology, ultra-easily operable CR (computed radiography) system. By redesigning our stimulative phosphor plate and adopting transport technologies used in our laser imagers, we achieved an ultra-compact desktop CR system less than a third the weight of the current MODEL110. Further, our new cassette hosts part of the plate transport path and uses molded resin for part of the new cassette instead of carbon and metal, making the cassette lighter.

Furthermore, we reduced the number of cooling fans to a single, compact cooling fan, and minimized the operating time of that fan by improving phosphor erasability, by adopting a high-intensity LED erasing light source, and by designing an optimum heat radiation system using thermal flow simulation. The result: less noise and about half the power consumption of the MODEL110.

1 はじめに

X線画像診断システムは、1990年代後半からCRシステムが普及し、2010年代からDR (Digital Radiography) システムが登場した。コニカミノルタでは、据え置き型CRである“REGIUS MODEL210” (以下MODEL210)、“REGIUS MODEL110” (以下MODEL110) やカセット型DR“AeroDR”の展開をしており、好評を得ている。

REGIUS Σは、クリニック向けCRとして安価・小型軽量・超簡単操作・エコロジーをコンセプトとして、カセットならびにプレートの新規開発を経て、2011年5月に市場展開された (Fig. 1)。

本稿では、REGIUS Σの小型軽量化および超簡単操作に関わる、装置・カセット・プレート技術・省エネルギー技術について報告する。



Fig. 1 The REGIUS Σ.

2 小型・軽量・省電力・低騒音・省スペース化

2.1 小型化

装置本体の小型化は、カセットからプレートだけを取り出して搬送させること、搬送経路を最短にすること、従来機以上に徹底したユニット配置の最適化を行うこと、機構的に装置と親和性があるカセット構造とすることにより実現した。

2.1.1 搬送経路の最短化

コニカミノルタが提供する従来のCRシステムであるMODEL210やMODEL110は、リジット型カセットを装置内部に取り込んでから、カセット一体型プレートを光走査して潜像を読み込む方式を採用している。その内のMODEL110では、光学ユニットをリニアモーターで搬送する方式を採用することで、カセット一体型プレート方式のCRとしては画期的な小型化を実現した。

*コニカミノルタエムジー(株)
開発本部開発部

一方、REGIUS Σシステムは、超小型軽量を実現するため、フレキシブルな輝尽性蛍光体プレートをU字状に曲げながら搬送する方式を新規採用した。更に、搬送ローラーは、搬送経路を最短にすることにより、カセットからプレートを出し入れする1対の挿入部ローラーと、読み取り搬送に使用する2対の副走査部ローラーの合計3対のみのローラー構成を実現した。

更に、高輝度LED素子を新規採用したことによる消去部の小型化に加え、MODEL210とMODEL110で採用したアンモナイト集光管からストリップ型ライトガイドへ変更したことも搬送経路の最短化に大きく貢献した。

2.1.2 カセット構造

カセットは、プレートを取り出しながら読み取り搬送するために、内部にトレイを配置しカセット自身も搬送系の一部となる構造とした (Fig. 2)。また、カセットからプレートが引き出された時の位置規制の機能をカセット内に配置することで、プレートの斜め搬送を回避した。

更に、各サイズのカセット裏側の中央部に、装置がトレイを引き出すインターフェース部やロック機構を配置することで、装置のカセット開閉機構を簡素化した。

カセット構造は、従来機種まで撮影面側に使用されていたカーボン材料と金属材料を、軽量化のために樹脂成形品に変更した。樹脂成形品により懸念された強度低下は、内部の樹脂補強材を追加することと、開閉部を極力小さくすることにより解決した。

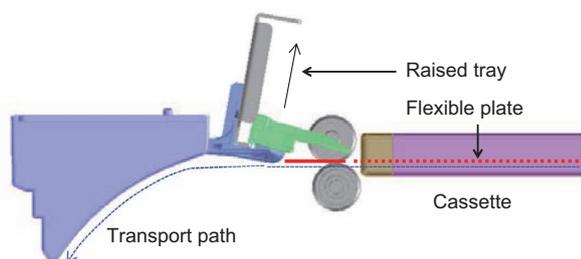


Fig. 2 Cassette-assisted transport of flexible plate.

2.2 軽量化

装置本体の軽量化は、無駄のない高剛性設計、徹底した樹脂部品の採用、そして防振構造の簡素化により実現した。

2.2.1 本体の構造設計

以下の四点により、装置本体の軽量化かつ高剛性化の両立を実現した。

- 1) 骨格を形成する板金を薄肉化する。
- 2) 最大限の樹脂化を行う。
- 3) 各ユニットが構造体の一部を担うような配置ならびに結合方式とする。
- 4) ユーザーが直接触れる樹脂外装も全体剛性の向上に寄与できるよう、樹脂外装自身の剛性向上に加え、骨格に密着させる結合方式とする。

2.2.2 防振構造

画像ムラは外部から受ける振動により発生し、画像品質の低下をもたらす。従来機のMODEL110¹⁾などは、搬送系を個別にフローティングする二重構造を採用しているため、装置本体の大型化、重量増が余儀なくされている。

REGIUS Σは、光学系の保持剛性の向上と、樹脂製の底板の採用と、振動吸収性能の高い防振ゴムを装置本体底面に配置することで、防振性能と軽量化の両立を実現した。

2.3 省電力・低騒音・省スペース化

REGIUS Σは、徹底した消費電力の抑制と高効率な放熱システムを達成し、放熱機構の軽量化および多くのユーザーに影響する「静音性」を目指した。

実装される複数のモータ駆動シーケンスの効率化を図ること、消去に必要な消費電力を抑制すること、電源供給効率が低い小型電源を選定すること、放熱効率を最大化することにより実現した。

2.3.1 LEDの採用

MODEL110の消去部は、高速処理に必要な輝度を得るため、ハロゲンランプ、専用制御基板、専用トランスから構成される。この構成が、装置重量および消費電力増に影響を与えている。REGIUS Σの基本コンセプトである「小型・軽量・省電力」を実現させるためには、トランスを排除すること、少ない消費電力で消去性能を確保することが技術課題であった。

MODEL210とMODEL110で採用したハロゲンと比べて、光変換効率が高く、かつ小型である高輝度LED素子をREGIUS Σでは採用することとした。1素子あたりの光量は少ないが、小型である高輝度LED素子を多数並べることで、必要な消去性能が見込めることが分かった。本高輝度LEDの実用化が、システムの消費電力の抑制ならびに小型・軽量化へ大きく貢献している。

2.3.2 放熱設計によるファン数量の最小化

以下の三点により、装置本体に搭載するファン数量を最小限にすることとした。

- 1) 発熱密度が高い電源ユニットを他のデバイスから隔離することで、熱移動の影響を排除する。
- 2) 電源ユニットを配置する空間温度を抑制するために、配置スペースに換気口を設けて、効率良い自然対流放熱を実現させる。
- 3) 自然対流と輻射を最大限に活用するため、装置本体表面を最大限に活用する。これらの放熱方式は、電力を使用せず騒音も出さないため、「静音性」に大きく貢献する。

以上の課題に対して、CFD (Computational fluid dynamics: 以下CFD) による3次元熱流体解析を行い、放熱効率の最大化を図れる電源ユニットの配置位置と換気口形状を導出した (Fig. 3)。

更に、砂や埃の舞い込みによる電源ユニットのショートを回避するため、防塵性も考慮した。自然対流時の流速から想定される綿埃が換気口から侵入しないことを見積もり、実際に内部に侵入しないことを確認している。(Fig. 4)。

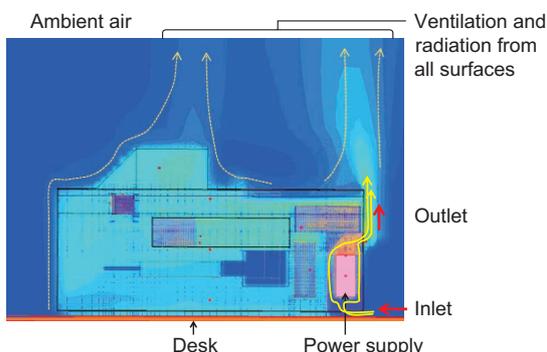


Fig. 3 Lateral view of 3D thermal flow simulation.

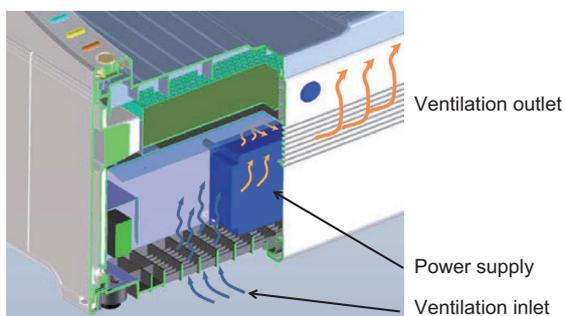


Fig. 4 Efficient ventilation of power supply.

2. 3. 3 高効率静音化設計

消去部の所要放熱量は、高輝度LED素子の新規採用により大幅に抑制できた。これにより、放熱機構の更なる小型化が可能となった。より小型軽量で低騒音な放熱機構の実現に向けて、小型の軸流ファン1個と放熱器を組み合わせた放熱設計の最適化をCFDにより行った。

以下の四点により高効率な静音化設計を実現した。

- 1) 高輝度LED素子を高密度実装した一体基板を所定の温度ならびに温度勾配以下に抑制しながら、放熱器の放熱効率の最大化と軽量化を同時に図る。
- 2) 流路を直進的かつ最短とし、流体損失を極小化する。また、CFDを活用してパラメータ設計(品質工学)による最適化を行う。
- 3) 流体損失特性を考慮したファンの選定とファン出力を最大化する回転数の設定を行う。また、周囲部材との共振を回避する。
- 4) 流路間の勘合面の隙間または段差により発生する風切り音を極小化する。併せて、その勘合面から埃が侵入しない設計とする。

2. 3. 4 自由度の高いレイアウト

REGIUS Σは卓上タイプのCRであり、設置場所の融通性を向上できるよう、壁に密着させても換気効率が低

減しないよう考慮する必要があった (Fig. 5)。

そこで、CFDにより換気口から壁までの距離と放熱性能ならびに騒音影響を定量化し (Fig. 6)、換気口近傍の外装表面形状を設計した。これにより、ユーザーは限られた卓上スペースを有効活用できる。



Fig. 5 The space-saving REGIUS Σ facilitates efficient layouts.

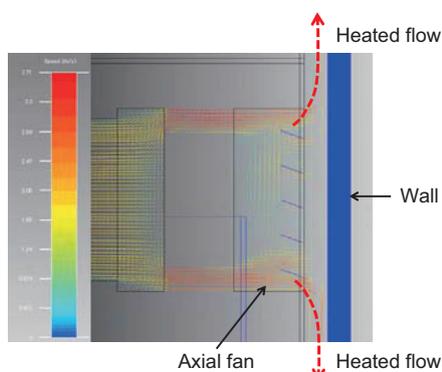


Fig. 6 View of outlet using 3D thermal flow simulation.

2. 4 自社従来機との比較

小型軽量化および静音化設計を経て、卓上タイプのREGIUS Σの装置重量ならびに騒音は、従来機種に比べ、大きく改善された。

装置重量では、MODEL110の約1/3以下、MODEL210の約1/6以下と大きな優位性を確保できた (Table 1)。

更に、待機時には無音、動作時にはMODEL110ならびにMODEL210よりも10dB以上の騒音を抑制できた。また、REGIUS Σのファンの騒音は消去中のみに限定され、ユーザーへ与えるストレスを低く抑えた。

Table 1 CR system models compared.

Apparatus	REGIUS Σ	MODEL110	MODEL210
Photo			
Location	Desktop	Floor	Floor
Weight (kg)	28	100	170
Dimensions (mm)	W510 D610 H355	W740 D365 H747	W580 D580 H1230
Ratio of occupied space	1	1.83	3.75

2.5 フレキシブルプレートFP-1Sの新規開発

2.5.1 プレート設計

REGIUS Σシステムの小型軽量化、省電力化を実現するため、輝尽性蛍光体プレート“FP-1S”の開発においては、フレキシブル化に向けた物性設計と新規高輝度LED素子により消去可能な蛍光体の設計を実施した (Fig. 7)。



Fig. 7 FP-1S: a new flexible stimuable phosphor plate.

2.5.2 新規プレートの物性設計

プレートの新規物性設計においては、大きく2つの設計要素があった。一つは、カセット内および搬送系内のプレート曲げ剛性設計、もう一つは搬送安定性と耐傷性を両立するプレート表面物性設計であった。

プレート曲げ剛性設計における課題は、装置本体とカセット内部で要求される物性が異なることが挙げられる。装置本体が、プレートをU字状に曲げた状態で搬送させるため、プレートの曲げ剛性が大きくなると安定した搬送が得られない。一方、ユーザーがカセットを落下させた場合、プレートの曲げ剛性が小さくなると座屈が発生し、プレートが変形する。以上の相反する環境に適合させるため、プレートの剛性設計として、蛍光体の分散に用いる樹脂の硬さと支持体の剛性に着目した。硬さの異なる数種類の樹脂を組み合わせ、更に最適な支持体を選択することで、システムとして最適な剛性と柔軟性を実現させた。

プレート表面物性設計の課題は、プレート表面の静摩擦係数を確保して安定搬送を実現させること、および耐傷性を両立させることにある。一般的には、耐傷性を向上させるために表面を粗面化して搬送ローラーとの接触面積を低減する手法がとられるが、それでは静摩擦係数が下がり、搬送力が低下してしまう。この相反する課題を解決させるため、マット剤による表面形状の制御と有機フィルムを組み合わせ、耐傷性に優れた新しい構造を開発した。マット剤の粒径、形状、存在量を最適化することにより、耐傷性に優れ、かつ搬送力を確保できるプレート表面形状を実現した (Fig. 8)。

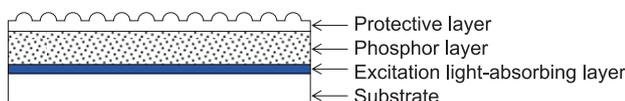


Fig. 8 Layer structure of the FP-1S plate.

2.5.3 蛍光体設計

蛍光体設計は、蛍光体性能を消去部に採用する高輝度LED素子に適用させることであった。従来機用のBaFI:Eu系蛍光体^{2),3)}に加えて、REGIUS Σ用として新たにBaFBrI:Eu系蛍光体を開発した。

BaFBrI:Eu系蛍光体設計では、蛍光体粒子の焼成プロセスにおける焼成雰囲気ガスおよび温度の最適化を図ることで、REGIUS Σシステムに適合した良好な発光特性と消去特性を達成することができた。結晶内の電子トラップ順位が安定化したことに起因すると考える。

3 省電力化およびCO₂低減による環境への配慮

読取時および消去時共に必要最小限のモータのみを駆動させること、高輝度LED素子の新規採用により消去に必要な消費電力を大幅に抑制することにより、REGIUS Σの消費電力量を、従来機のMODEL 110の約1/2以下までに抑制した。

また、徹底した小型軽量化により、製造に伴う消費電力と製品の消費電力を合算した総消費電力をCO₂へ換算すると、REGIUS Σは、従来機のMODEL 110と比較して約1/2以下にまで抑制した。

4 まとめ

我々は、従来機のMODEL 110に対して装置重量約1/3以下、消費電力約1/2以下の、小型軽量かつ省電力の卓上タイプCR、REGIUS Σを開発した。

本製品の開発にあたっては、「小型・軽量・超簡単操作・省電力」を目指し、装置、カセットならびにプレートの全てを新規開発した。従来機と比較して搬送経路を最短化したこと、消去用高輝度LED素子を新規採用したこと、小型ファンを1個のみとしたこと、そしてシミュレーション技術を随所に駆使したことで、我々が目指した卓上タイプCRの開発を成功させることができた。

本製品が、世界中の様々な現場で活躍するユーザーの方々に有効活用され、コニカミノルタが提供するCRの魅力を感じていただければ幸いである。そしてコニカミノルタは、本製品に満足することなく、世界中のお客様にとってより革新的な製品開発に挑戦し続け、今後も世界中のあらゆる医療現場の質の向上に貢献し続けていきたい。

●参考文献

- 1) 渡辺和彦, 野澤肇, 安藤正和, 石坂哲: REGIUS MODEL 110の開発, Konica Minolta Tech. Rep. 5, 21 (2008).
- 2) 若松秀明, 中野寧, 本田哲: REGIUS MODEL 150用輝尽性蛍光体プレートの開発, Konica Tech. Rep. 13, 19 (2000)
- 3) 柳多貴文, 若松秀明, 本田哲, 中野寧: REGIUS MODEL 170用輝尽性蛍光体プレートの開発, Konica Tech. Rep. 16, 129 (2003)