

REGIUS MODEL 170 用集光技術の開発

The Development of Light Collection Technology for Konica X-ray Direct Digitizer, REGIUS MODEL 170

石本 清士*
Ishimoto, Kiyoshi

三本 孝博*
Mitsumoto, Takahiro

米川 久*
Yonekawa, Hisashi

島田 文生*
Shimada, Fumio

The Konica new computed radiography (CR) system, REGIUS MODEL 170, is characterized by compactness, superior image quality, high performance and utility for "Ultimate Resource Sharing" system. In CR systems, it is necessary to collect the emitted light from a storage phosphor imaging plate as much as possible in order to obtain superior image quality. We have developed a light collector with high collection efficiency for CR systems. This paper describes the technology of the new light collector realized in REGIUS MODEL 170.

1 はじめに

近年、医療施設における X 線撮影は S/F 系に代わり、輝尽性蛍光体を X 線ディテクタとして用いたコンピュータドラジオグラフィ（以下、CR と略記する）システムが急速に普及してきた。これは画質が S/F 並になったこと、広いダイナミックレンジによる撮影ミスの減少、診断に適した画像処理が可能なこと、その他デジタル化による様々なメリットを享受できることが認知されてきたためと考えられる。当社もカセットタイプ CR REGIUS (レジウス) MODEL 150 の後継機として REGIUS MODEL 170 を 2002 年 8 月に発売開始した。REGIUS MODEL 170 は小型、高画質、超分散処理を特徴とするデジタル X 線入力装置であり、診療所から大病院まで対応可能な商品である。本装置を開発するにあたってクリアすべき重要な要素技術の 1 つに、新集光系の開発があった。輝尽性蛍光体プレートから放射される輝尽発光は非常に微弱、かつほぼ完全拡散光であるため、低コストで効率よく集光することが難しく、非常に高価な長い光電面をもつ長尺フォトマルチプライヤー（以下、長尺 PMT と略記する）を使用せざるを得なかった。今回アンモナイト集光管と名付けた特殊な構造をもつ集光効率の高い集光管と小型フォトマルチプライヤー（以下、小型 PMT と略記する）の組み合わせにより、低コストな集光系を開発することができたので、集光管を中心に新集光系に採用した技術について報告する。

2 CR システムの読取系基本構成

一般的な CR システムは、放射線画像情報を蓄積した輝尽性蛍光体プレートに励起光を照射するためのレーザ走査光学系と励起光の照射により輝尽性蛍光体から放射される輝尽発光を検出するための PMT と輝尽発光を PMT まで導く導光板を備えている。輝尽性蛍光体プレートはレーザ走査方向と垂直に一定の速度で搬送される。

* MG カンパニー MG 開発センター MI システムグループ

PMT により検出された画像信号は、対数アンプを経て AD 変換器によりデジタル化され、各種画像処理を施された後、モニタ等に表示される。

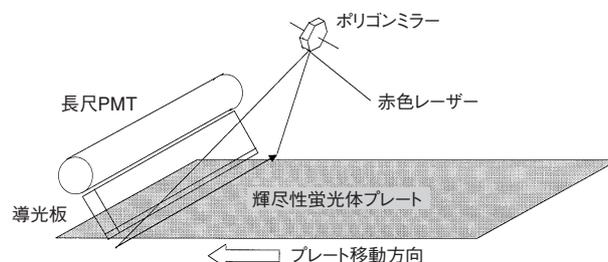


Fig.1 Structure of the collection/detection system

3 集光方式の検討

3.1 各種集光系の構造

良好な画質を得るためには、輝尽性蛍光体からの発光を効率よく受光することが重要である。受光量は $100\text{pW} \sim 1\ \mu\text{W}$ 程度と非常に微弱であり、また発光はほぼ完全拡散光であることから、効率よく集光することが非常に難しく、さまざまな方式が考案されている。

Fig. 2 はアクリル集光体を経由し、長手の受光面を持つ長尺 PMT を利用したものであり、集光効率が良い反面、非常に高価な PMT を使用しなければならない。また、小型 PMT と比較し光電変換効率が 2 割程度劣っている。

Fig. 3 はアクリルの板を曲げ加工し小型の PMT の受光面に導光するものである。R をつけた部分から光が漏れ集光効率が低下するという欠点があり、また熱をかけて変形させるため製作が難しいという問題がある。

Fig. 4 は高反射率の反射体を内面にもつ筒状の集光器であるが、製作が容易である反面、一度入射した光が PMT に到達する前に受光スリットから漏れ、集光効率が低下するという欠点がある。

Fig. 5 は小型 PMT をレーザ光の走査方向に並べる方式であり、コストがかかる。

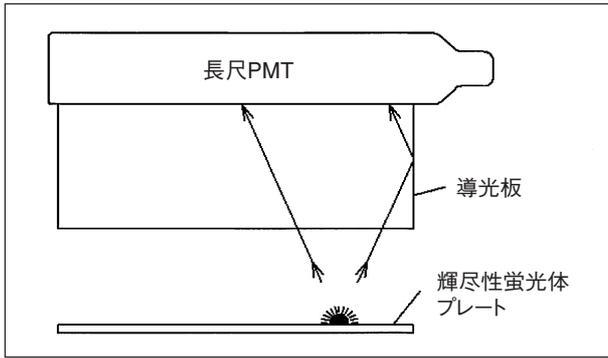


Fig.2 Light Collector (A)

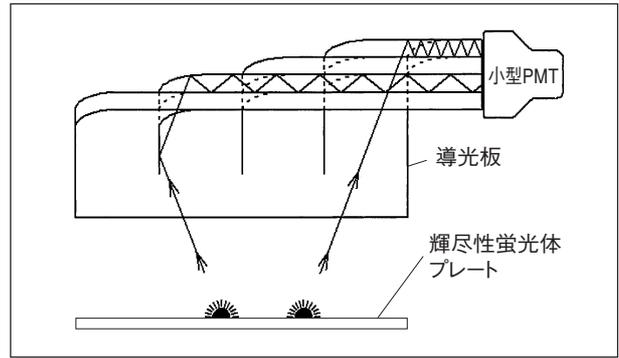


Fig.3 Light Collector (B)

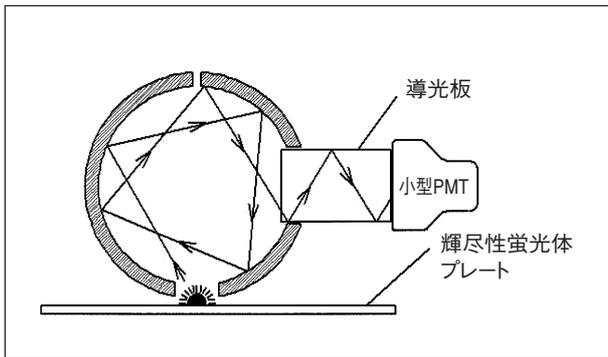


Fig.4 Light Collector (C)

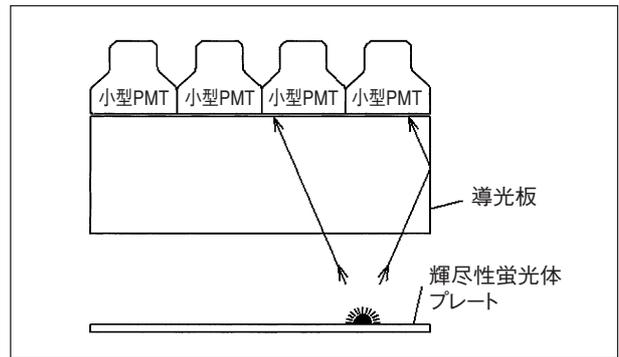


Fig.5 Light Collector (D)

3. 2 アンモナイト集光管

3. 2. 1 構造と集光原理

我々は低コスト、高集光効率、高信頼性の集光系を開発すべく、アンモナイト構造の集光構造を考案した。側面から見ると半径の異なる2つの半円の中心をずらした構造になっており、内面には高反射率のミラーが設けられている。スリットには輝尽光を導光する導光板が接続される。また、正面から見るとテーパ構造を有している。小型PMTは断面積の大きい方の端面に設置され、反対側の端面にはセンサ側に光を反射させるための折返しミラーが設置されている。

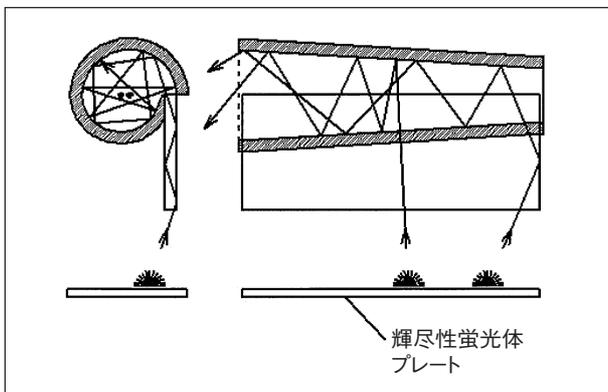


Fig.6 New Light Collector

3. 2. 2 集光効率向上の原理

集光効率を低下させないためには、集光管内部に入射した光が入射スリットから再び漏れないようにすること、また集光管内部に設置されたミラーによる反射ロスを減少させることである。すなわち、センサに到達するまでに反射する回数をできるだけ減らすこと、ミラーの反射率を極めて高くする必要がある。

導光板端面から入射した輝尽光は、Fig. 6に示すようにアンモナイト集光管内面で反時計周りに反射を繰り返すが、集光管の2つの中心の間を通過した光は回転方向を変え、時計周りに反射を始める。この時計周りに反射した光のうちスリットに設けた導光板端面に到達したもののだけ集光管から漏れ出すことになる。したがって、集光管に入射した光がスリットから漏れ出る前に集光管端部に設けた小型PMTに到達させるようにしてやれば光をロスすることなくPMTへと導くことができる。また、幅手方向にテーパ構造をとることにより、PMTに到達するまでの反射回数を削減させ、スリットからの漏れ光を削減させる効果、およびミラーによる反射ロスを削減させる効果がある。このように、アンモナイト構造とテーパ構造を組み合わせることで高い集光効率を達成した。

3. 3 シミュレーション

3. 3. 1 集光管単体

Fig. 7のように集光管入射スリットに完全拡散光の点光源を配置し、集光管端部に配置されたPMT受光面に到達

する光線数と各光線の強度からPMT受光面に到達する光量をシミュレーションした。Fig. 8に集光管内面のミラーの反射率が98%のときと100%のときのシミュレーション結果を示す。反射率が98%のとき、アンモナイト構造をもつ集光管により、70%以上の集光効率が得られることが分った。

3. 3. 2 導光板+集光管

集光系の実用化にあたっては、導光板の寸法が画像のムラ（シェーディング）に与える影響についてもシミュレーションを行った。読取幅が14インチ幅の場合、導光板の長さを100～150mm程度にすることによりシェーディングを±10%以内にする事ができることが分った。

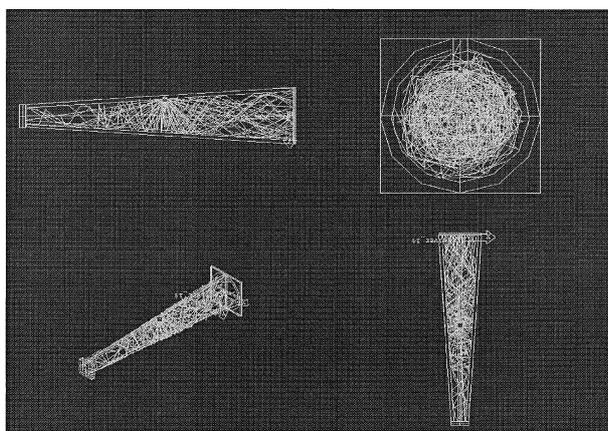


Fig.7 Simulation of Collection Efficiency

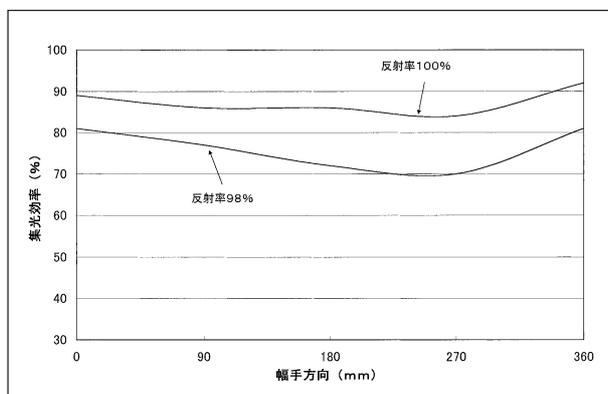


Fig.8 The simulation results of Collection Efficiency

4 集光管の作製方法

4. 1 構造

集光管内面のミラーを製作する方法として、反射シートを内面に貼る。ミラーを塗布する。化学研磨した高反射率のアルミ板を使用する等考えられるが、我々は高い反射率が得られること、生産性が良いこと、品質が安定していることからアルミ蒸着膜を採用することにした。

4. 2 蒸着膜構成と性能

4. 2. 1 分光反射率シミュレーション

集光管内面のミラーには入射角度の違う様々な光が入射するため、広い範囲の入射角度において高い反射率が要求される。結果をFig. 9に示す。410±20nmにおいて、広い範囲の入射角度で98%以上の反射率が得られる可能性のある膜構成を見出した。

4. 2. 2 ミラー形状および試作ミラーの分光反射率

実際の蒸着では、集光管内面を1回の蒸着で所望の反射率を得ることは困難なため、集光管の円周および円筒方向に複数に分割して蒸着を行う方式を採用した。ミラーを試作した結果、410±20nmにおいて、目標の反射率98%以上が得られることを確認した。

4. 3 蒸着基板

アンモナイト構造のような複雑な形状のものを製作するには樹脂成形を採用する必要があったが、蒸着基板として樹脂を採用する場合、蒸着時の耐熱性、蒸着基板間

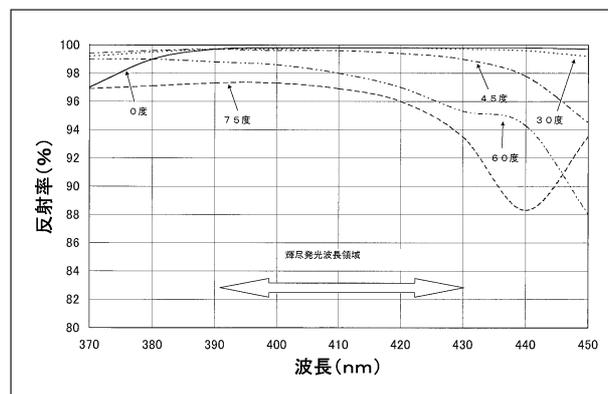


Fig.9 Reflectance of mirror

の密着性、反射特性の経時劣化、加工精度の確保等の課題があった。我々は、上記問題を解決するため最適な樹脂を探索し、信頼性が高く、経時劣化のない反射膜を形成できる樹脂基板の実用化に成功した。

4. 4 集光管成形技術

4. 4. 1 成形

樹脂成形方法には、射出成形・圧空成形など方式は多種存在するが、寸法安定性を考慮し射出成形を選択した。

また、反射率98%以上を達成するために上記4.2.2のように集光管を円周方向に複数に分割する必要があったが、隣あう部品同士ではめ込み構造とし、アンモナイト構造内側の反射面を段差無くつなぎ合わせて構成することが出来るようにした。

4. 4. 2 集光管の組立性

分割された個々の部品を保持するための部品についても、集光性能を損なうことなくかつ生産性を良くするような設計を行った。集光管の組立時に治工具なしに各ミラーの位置決めが確実に出来ること、ユニット組立の際

に時間を要するビス固定や接着は極力行わないことを設計目標として、Fig.10のような方式を考案した。

これにより、各ミラーを保持するためのネジ固定や接着を行うことなく、かつ調整作業が無くても各部品的位置決めが確実に行えるため、これら複雑な部品構成にもかかわらず容易に組み立て可能となり、生産性を大幅に向上することが可能となった。

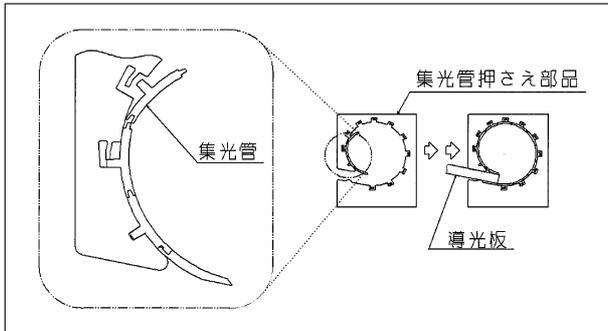


Fig.10 Side view of New Light Collector

5 集光ユニット

5.1 構成

集光ユニットとしての構成はFig.12のように、左から「折り返しミラー～集光管(小)～集光管(大)～小型PMT」の構成とした。また、集光管相互および折り返しミラーとの接合部については、入れ子構造とし、ミラー面の継ぎ目の段差をほとんど無くすことで、集光効率の低下を防ぐことができた。

5.2 ユニット化時の組立性

集光ユニットの組立においても集光管の組立てと同様に生産性に重点を置き設計を行った。個々の構成ユニットの固定に関しては交換作業性を考慮し、位置合わせは光学ユニットのシャーシに対してはめ込み構造とした。これによりユニット組立や交換の際にも調整作業無しで作業を行えるようにした。

また、折り返しミラーについては集光管(小)にバネ部材で常に押し付けて保持する構成とした。

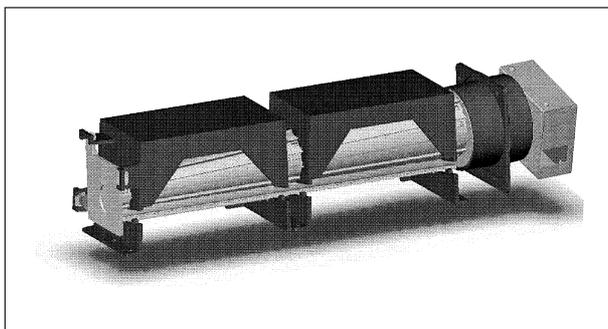


Fig.11 New Light Collector with PMT

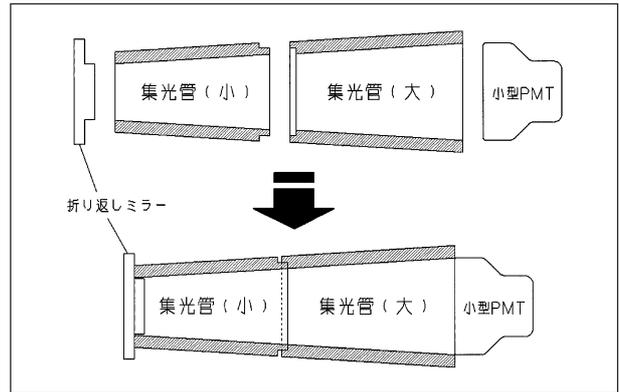


Fig.12 Structure of New Light Collector

6 集光系の集光効率

実際に製作した集光管と導光板を組み合わせた集光系の集光効率をFig.13に示す。目標の70%程度の集光効率を得られることを確認した。シミュレーション結果とシェーディングの形が違うのは導光板の光路長方向の長さによりシェーディングの形が影響を受けるためである。

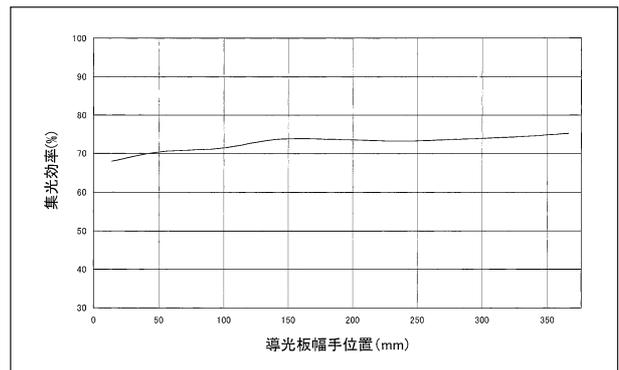


Fig.13 Collection Efficiency of New Light Collector with Light Guide

7 まとめ

アンモナイト構造の集光管が高い集光効率を有することをシミュレーションにより確認した。また、集光管の構成、ミラーに用いるアルミ蒸着膜の蒸着技術、蒸着基板の成形技術、および治工具やビス固定・接着を必要としない組立方式を開発し、高精度で集光効率の高い集光系の開発に成功した。この技術をREGIUS MODEL 170に適用し、小型化、高画質化を図ると同時に高度な画像処理の搭載、ユーザフレンドリーなIF、超分散処理の特徴を加え、ユーザに大きなメリットをもたらす装置を開発した。

●参考文献

- 1) 長東 等、Konica Tech. Rep.,10,71(1997)
- 2) 中澤 等、Konica Tech. Rep., 9,35(1996)