

大江 光雄 坂庭 浩 山本 修三
M.Oe H.Sakaniwa S.Yamamoto

循環器 X 線診断システムに対する臨床ニーズは、カテーテルを用いて病変部を治療する方法 (IVR : Inter-Ventional Radiography) の発達とともに大幅に変容してきた。その新しいニーズにこたえるべく天井走行式 C アーム型保持装置 CAS-8000V を開発した。新装置では種々の IVR 手技に柔軟に対応するために 3 軸制御とした。また、検査のスピードアップや操作性、安全性の向上はもとより、新しい撮影方法である回転 DSA (Digital Subtraction Angiography) や下肢ステッピング DSA などを可能にした。同時に X 線絞りや X 線管などのキーコンポーネントも新しく開発した。

Clinical needs are dramatically changing in line with the progress of techniques for interventional radiography (IVR). In response to these new needs, we have developed the model CAS-8000V ceiling suspended C-arm type general angiography system. The new system has 3-axis control to enable various IVR techniques to be used.

The CAS-8000V features increased speed of diagnosis as well as enhanced operability and safety. Moreover, it makes new digital subtraction angiography (DSA) diagnostic procedures available; namely, rotational DSA and peripheral stepping DSA. Several key components have also been developed simultaneously with the development of the CAS-8000V. These are a new X-ray beam limiting device and an X-ray tube.

1 まえがき

循環器系の画像診断には、超音波、磁気共鳴映像法 (MRI)、コンピュータ断層撮影法 (CT)、核医学と種々あるが、血管の中に目的部位までカテーテルを進めて造影剤を注入し X 線撮影を行う循環器 X 線診断は、血管の病変を直接的に動画観察ができるので、最終的な確定診断法として非常に重要な診断方法である。また、近年カテーテルを病変部まで進めて、狭窄 (さく) している部分をバルーン (風船) で広げたり、腫瘍 (しゅよう) の血管に塞 (そく) 栓剤を注入して血流を止めたりする IVR の手技が発達してきてますます重要になってきている。

今回、頭腹部をはじめとする全身の血管の診断を目的とした循環器診断システムを開発したので紹介する (図 1)。

2 循環器システムの概要

循環器システムは重篤な患者の検査や治療に使用されるので、システムの操作性はもとより、非常に高い信頼性、安全性が要求される。

これらのシステムの主な構成部品は次のとおりである。

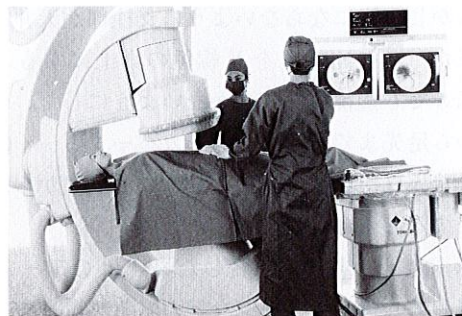


図 1. 循環器診断システムによる臨床 血管にカテーテルを挿入するので、手術室並みの清潔度が要求される。

Clinical study of angiography

- (1) X 線管—I.I. (Image Intensifier) 保持装置 X 線管と検出器の I.I. を保持するもので、複雑に走行している血管の病変を正面から診断するために患者に対してさまざまな角度から投影できなければならない。
- (2) カテーテルテーブル 患者が横たわる寝台で、天板は X 線吸収の少ないカーボン製である。
- (3) X 線高電圧発生装置 インバータ方式の高電圧発生装置により 50~150 kV の安定したパルス状の X 線が出力される。

(4) テレビカメラ X線像はI.I.で光画像に変換されてテレビカメラで検出される。心臓などの動きの速い物をシャープに撮像するために100万画素の高精細CCD(電荷結合素子)が使用される。

(5) DF装置(Digital Fluorography) テレビ画像をデジタル画像に変換して画像処理をする装置で、造影剤注入前後の画像をサブトラクション(引き算)することにより背景を消去して血管像だけにする(DSA)。また、撮影後繰り返し再生するために、 $1,024 \times 1,024$ 30 f/sで発生する連続画像を高速ディスクにリアルタイムでファイルする。DF装置により瞬時に診断ができるだけでなく、特殊なカテーテルにより各種治療(IVR)をすることができるようになった。

3 X線管-I.I.保持装置 CAS-8000V

上記システムの中で今回は新しく開発した保持装置CAS-8000Vについて紹介する。

3.1 動作原理と臨床的意義

この装置は3軸回転と天井走行する機能を備えている。これらの機能の臨床的な意義について述べる(図2)。

- (1) Cアームを入れる方向が自由に選択できる カテーテルを挿入する位置は、従来は患者右側の鼠頸(そけい)部、または右腕が主流であったが、IVR手技の多様化とともに患者左手や、頸部などいろいろな箇所から挿入されるようになった。術者がどの位置に立ってもCアームがじゃまにならないように支柱部が天井で回転する。また、この回転軸をX線錘の真上にするにより回転しても透視位置が動かないようにした。
- (2) 頭から足先までの広い範囲をカバーする Cアームを横から入れた場合、長手の動きにより頭から足先までカバーすることができる。
- (3) 緊急待避 患者が急変した場合はCアームは即座に待避して心臓マッサージなどの緊急処置をする必要が

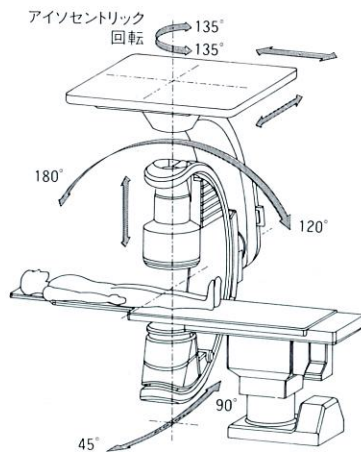


図2. CAS-8000Vの動作原理 患者の回りを自由に動けるように3軸回転、および天井走行する機構になっている。

Mechanical functions of CAS-8000V

ある。その場合、Cアーム横手の動きにより短時間に患者の上から待避させることができる。

(4) 腕透視 カテーテルを腕から挿入する場合挿入箇所を透視することがある。この場合も天井横手動により即座に腕を透視することができる。

3.2 デザインコンセプト

患者の体内にカテーテルを挿入するので、検査室は手術室並みの清潔度が要求される。そこで、清潔でかつ患者に圧迫感のないデザインにするために次の方針で開発した。

- (1) X線管とI.I.をCアームに埋め込む構造(オフセットレス)にすることによりCアームの幅を薄くし、患者の頭側からCアームを入れた時は両側から患者アクセスすることができる。
- (2) Cアームには血液や造影剤が付着しやすいので、X線管やI.I.の周辺は樹脂カバーで覆い、ケーブルもすべてカバーの中に収納し清掃しやすい構造にした。
- (3) 天井レール、支柱部、およびCアームをアルミニウムで一体成形することで部品点数を減らすとともに理想的なデザインに近づけた。特にCアームは押し出しと冷間曲げ加工により鋳物ではできないデザインを実現した。

3.3 操作性と安全性のための機能

検査をスムーズに進めるとともに患者、および操作者の安全を確保するために次のような機能を備えた。

- (1) 保持装置のスピードアップ 重体の患者を速く検査を終了させるためにCアームのスピードは15%/sと従来の約2倍にスピードアップさせた。これにより非常に速いセッティングが可能となった。
- (2) 応答性の向上 Cアームの主回転、およびスライドの駆動は制御性の良いACサーボモータを採用した。これにより応答性を良くし、停止時の振動を抑えた。またジョイスティック操作による可変スピード制御することで患者ぎりぎりの深い角度に設定できるようにした。
- (3) オートポジショニング(Auto-positioning) 操作を簡単にするために、Cアームおよびテーブルの状態をメモリしておき、ワンタッチで位置決めができる機能である。これにより基本的なパターンのほか、現在の位置をメモリしておいて、後で再現することもできる。
- (4) タッチセンサ 患者やテーブルに干渉する可能性のある部分にはタッチセンサを付けた。特にI.I.前面は新しくスポンジ内蔵のセンサを開発した。これにより患者には柔らかく接触して装置を停止させることができる(図3)。
- (5) テーブルとの干渉チェック テーブルの位置を監視してCアームのX線管が寝台に近づくとスピードダウンして警告音を出すようにした。
- (6) I.I.上下動近接スイッチ X線焦点サイズによるホケを少なくするために、I.I.はできるだけ患者に接近さ

せて撮影することが望ましい。そこで、I.I.側面にアシストスイッチを設置して患者を見ながらI.I.上下できるようにした(図4)。

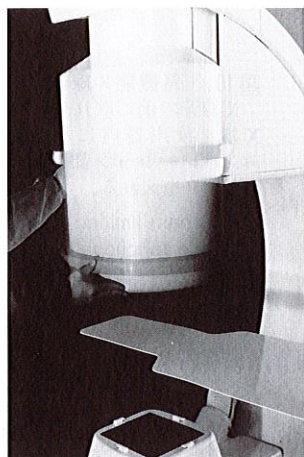


図3. タッチセンサ I.I.は患者に接触するので、スポンジ内蔵のセンサで柔らかく接触して停止するセンサ。

Touch sensor in front of I.I.



図4. I.I.近接スイッチ I.I.前後動を操作するスイッチで、患者を見ながらI.I.を近付けることができる。

Near control switch on side of I.I.

(7) X線被曝(ばく)線量の表示(オプション) IVRの場合はカテーテル操作が複雑で、どうしても透視時間が長くなる。そこで、X線絞り前面に表面線量計を設置し積算線量を術者前に表示するようにした。これにより、術者に現在の線量を把握してもらい被曝管理が容易にできるようにした。

3.4 回転DSA

血管を立体的に診断するためにCアームを回転しながら撮影する手法である(図5)。血管だけの画像にするために、撮影はまずCアームを回転してマスク像を収集し、造影剤を注入してCアームを反対方向に回転し血管像を撮影する。頭部では造影剤は約5s程度で動脈相を通過するので、Cアームスライドを30°/sの高速回転で撮影できるようにした(図6)。動脈瘤(りゅう)などの造影検査では、瘤のネックの有無や他の血管との関係を診断するために、従来は種々な角度から何回も造影する必要があったが、一回の回転DSAで診断できるようになった。

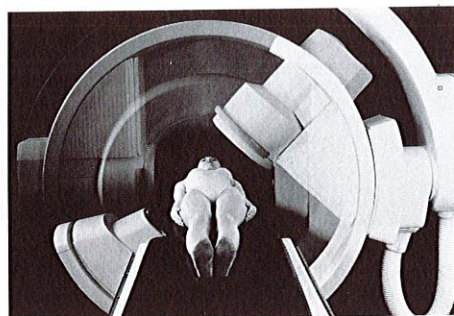


図5. 回転DSA 1回の往復回転でマスク像と血管像を撮影し同じ角度の画像間でサブトラクションしてDSA像を得る。

Rotational DSA



図6. 頭部血管の回転DSA像 30°/s回転と30f/sの連続撮影で、造影剤の流れを回転動画観察できる。

Clinical cerebral DSA image obtained by rotational DSA

3.5 下肢ステップング DSA

下腹部から足先までの血管は距離が長いために、DSAの場合は何回にも分けて造影する必要がある。また、腹部で造影剤を注入して造影剤の流れを追ってテーブルを移動して血管を追っていく撮影方法もあるが、サブトラクションできないために足先で造影剤が薄くなってくると診断を付けにくいという欠点があった。そこで、下肢ステップングDSAでは、まず足先から順に腹部までテーブルをステップスライドしてマスク像を撮影しておき、造影剤を注入して、腹部から足先に向けて造影剤の流れに従ってテーブルをステップングして血管像を撮影する。このため、ステップング精度の高いカテーテルテーブルCAT-350Bを開発した(図7、図8)。

3.6 臨床角制御

Cアームを患者頭側から入れた場合はCアームの主回転、およびスライドによるX線錘の軌跡は図9(a)のように患者中心に動くことができる。ところが、支柱部を回転して例えば患者に対して45°に入れた場合の軌跡は図9(b)のように患者に対して斜めとなるため操作が難しくなってしまう。そこで、支柱部がどの方向にあっても図9(a)の軌跡となるように主回転とスライドを複合的に制御することを臨床角制御と言う。これにより支柱部の方向を意識することなく、いつでも患者中心にCアームを操作することができる。

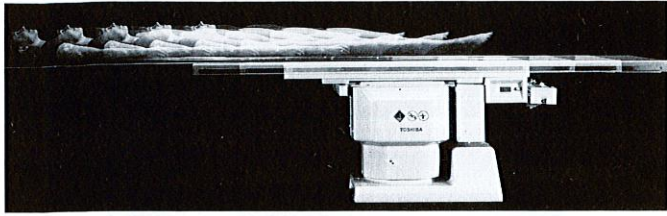


図7. 下肢ステップング DSA 腹部大動脈で造影剤を注入して造影剤の流れに従って足先まで撮影する方法。

Peripheral stepping DSA

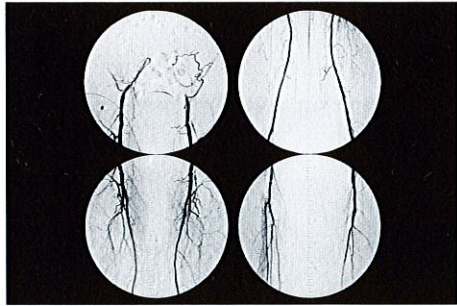
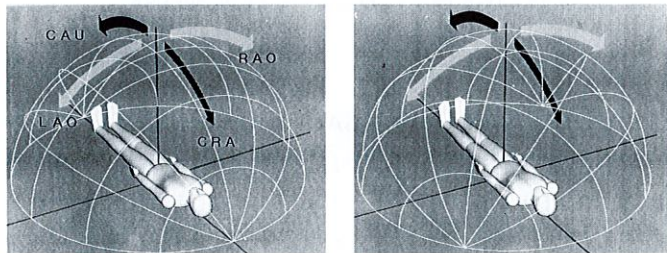


図8. 下肢ステップング DSA 像 総腸骨動脈から足先までの長い血管を骨などの背景を消去して観察できる。

Clinical image obtained by peripheral stepping DSA



(a)頭挿入

(b)45°挿入

図9. 臨床角制御 患者に対してCアームがどの角度から入っても X 線管-I.I.は患者中心の軌跡上で制御される。

Anatomical angle control

4 その他の周辺装置

4.1 高機能 X 線絞り

X 線絞りは不要な X 線を絞り込むものである。また、画像のハレーション部分に X 線を減衰させる補償フィルタを入れて画像を見やすくするものである。図 10 に今回開発した高機能 X 線絞りの原理を示す。

- (1) 方形羽根は X 線焦点にもっとも近い所と一番上の二重羽根とすることで、焦点外 X 線を除去しかつ絞り込んだときの羽根をシャープにした。
- (2) 補償フィルタは三重構造で、各フィルタは独立に回転/平行して設定できる。
- (3) 2 枚のフィルタは半分は円形で、反対側は直線の形状

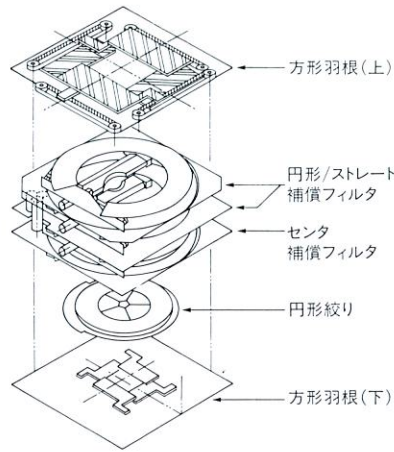


図10. 高機能 X 線絞り

X 線管の前に取り付けて X 線を検出器内に絞り込み、ハレーション部に補償フィルタを入れる。

X-ray beam limiting device with high functionality

とし、頭の場合は円形で使用し、腹部の場合は直線側を使用することができる。

- (4) 下肢ステップング DSA のときは 3 枚の補償フィルタで足の間と両端を補償する。また、撮影前にステップングの各ステージでフィルタをセットするとその位置はメモリされ、マスクおよび血管像の撮影時に同じ位置に自動セットされる。

4.2 水冷方式 X 線管

特に IVR になると治療が長時間にわたるので X 線管の蓄熱量は非常に大きくなる。そこで、従来空冷であった X 線管を水冷にすることにより、X 線管容器の冷却率を 2.8kW (従来の 2 倍) に向上させた。また、空冷ファンによる騒音がなくなり検査室を静音化させることができた。

5 あとがき

以上、新しく開発した CAS-8000V とその周辺装置を紹介した。IVR 手技の発達とともに臨床ニーズはダイナミックに変容してきている。それらの新しいニーズにこたえるべく今後とも医療の発展に貢献していきたい。



大江 光雄 Mitsuo Oe

1978 年入社。循環器システムの開発設計に従事。現在、那須工場医用機器第一技術部課長。
Nasu Works



坂庭 浩 Hiroshi Sakaniwa

1980 年入社。循環器システムの機構開発・設計に従事。現在、那須工場医用機器第一技術部主務。
Nasu Works



山本 修三 Syuzou Yamamoto

1987 入社。循環器システムのメカトロ開発・設計に従事。現在、那須工場医用機器第一技術部主務。
Nasu Works