

# 動体追尾放射線治療装置

三菱重工業株式会社  
取締役社長 大宮 英明

京都大学

総長 松本 紘

公益財団法人 先端医療振興財団

理事長 井村 裕夫

京都医療科学大学

学長 遠藤 啓吾

三菱重工業(株)	機械・鉄構事業本部	先端機器事業推進部	部長	平井	悦郎
三菱重工業(株)	機械・鉄構事業本部	先端機器事業推進部	主任	鈴木	保恒
京都大学大学院医学研究科	放射線腫瘍学画像応用治療学	教授	平岡	真寛	
京都大学大学院医学研究科	放射線腫瘍学画像応用治療学	准教授	溝脇	尚志	
京都大学大学院医学研究科	放射線腫瘍学画像応用治療学	講師	松尾	幸憲	
	先端医療振興財団	先端医療センター	診療部長	小久保	雅樹
	京都医療科学大学	医療科学部	教授	澤田	晃

## はじめに

呼吸によって体内で動く腫瘍に対して、放射線を集中して照射することには対応できておらず、その対策となる技術が課題となっていた。この課題を解決するために、動体追尾放射線治療装置を開発した。本装置は、構造本体フレームに高剛性のリング型ガントリ（0-ring構造体）を採用し、アイソセンタと呼ばれる回転中心位置にいる腫瘍に対して全周方向から、高い精度で治療用X線を照射することが可能である。呼吸に応じて動く腫瘍の3次元位置を連続的に認識し、ジンバル機構により、治療用X線の照射方向を腫瘍位置に連続的に追従させることができる。2011年9月には、世界初のリアルモニタリング下動体追尾照射治療が臨床適用されるに至っ

ている。以降、2施設において、2012年3月末までに5例の治療実績がある。

## 開発のねらい

高齢化社会の到来及びがん死亡率の増加に伴い、体に優しいがん治療法の一つである放射線治療の重要性が急速に高まっている。掛る中、肺等にできた腫瘍は呼吸によって動くため、放射線を集中して照射することは技術的に難しく、今までは腫瘍が動く範囲全体をマージンとして取りながら照射をすることで治療として必要な放射線の線量を確保してきた。しかしながら、この方法では腫瘍周りの健常組織にも放射線があたるため、少しでも健常組織にあたる量を減らす技術が治療装置として求められていた。そこで、この課題解決のために、動体追尾

放射線治療装置を開発した。

## 装置の概要

図1に動体追尾放射線治療装置を示す。カウチと呼ばれる寝台の上に患者を寝かせたままガントリ回転中心位置付近までカウチを動かし腫瘍の位置を確認しながら治療用X線が照射され治療が行われる。

図2に治療装置の構成図を示す。以下、主要な機器・装置の構成について説明する。

①構造本体フレームに高剛性のリング型ガントリ（0-ring構造体）を採用し、歪み変形を小さくすることにより、アイソセンタと呼ばれる回転中心位置にいる腫瘍に対して全周方向から、高い精度で治療用X線を照射できる。

②kV X線源と、フラットパネルディテクタ（FPD）から構成されるkV X線撮像システムをガントリ上に2対搭載し、高画質3次元静止画像やコーンビームCT画像を取得できる。

③カウチ（寝台含む1式）は、5軸方向（X, Y, Z, Roll, Pitch）に高精度で移動可能であり、患者の位置ずれを精度良く補正できる。

④ジンバル機構と呼ばれる首振り機能を有している。治療用X線を照射する加速管はジンバル機構上に搭載されており、ガントリの微小な機械的歪みによって生じる治療用X線照射位置の微小なずれをジンバル機構により補正し、高精度な照射が可能である。また、この機構により、動

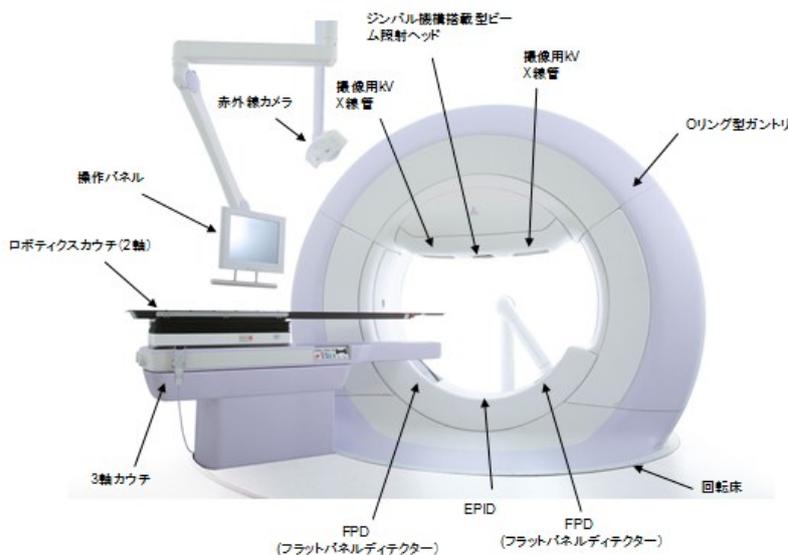


図1 動体追尾放射線治療装置

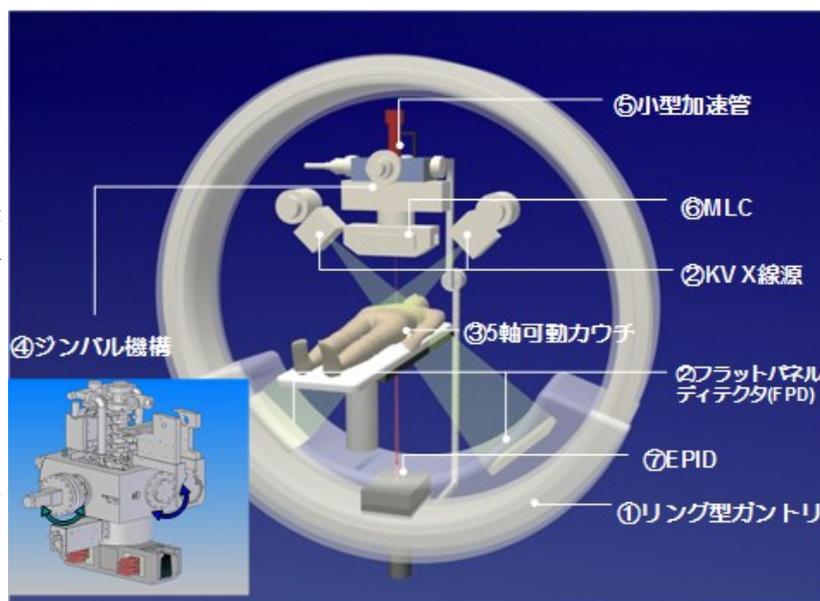


図2 治療装置の構成図

く腫瘍位置への連続的な追従が可能である。

⑤Cバンド定在波加速管（従来サイズ比1/3と小型・軽量化を達成）を、世界で初めて治療装置に搭載。小型・軽量化により、加速管をジンバル機構に搭載することが可能となった。

⑥新規開発した高速応答のMLC (Multi Leaf Collimator) は、片側30枚、計60枚のタンゲステン合金製リーフ（5mm/枚）から構成されてい

る。それらが腫瘍の形状にあわせて治療用X線の形状を成形（制御）することができるため、患者ごとに最適な照射パターンで照射することが可能である。

⑦X線照射ヘッドの対向側にEPID（Electronic Portal Imaging Device）を搭載しており、治療用X線でX線画像を撮像し、X線を照射した場所の確認・記録が可能である。本機能により、リアルタイムモニタリング下の動体追尾照射が世界で初めて可能となった。

### 技術上の特徴

動体追尾照射を可能にしたのが超小型Cバンド加速管とマルチリーフコリメータであり、**図3**に示す。従来の（Sバンド）加速管は長さが約70cm、重量が100kg近くあったが、今回開発したCバンド加速管は長さ約30cm、重量が12kgと、長さで約半分、重量で約10分の1と非常にコンパクトになっている。これにより、リング型ガントリの狭いスペースに納まるだけでなく、その中で加速管を振りながら腫瘍を追尾することが可能になった。マルチリーフコリメータは、Cバンド加速管と一体の構造となっており、パン軸およびチルト軸の2軸を使い自由に動かすことができる。この自由に動く機能を利用し、2対のkV X線撮像システムと連携することで呼吸によって動く腫瘍を追尾することが可能となった。

### 実用上の効果

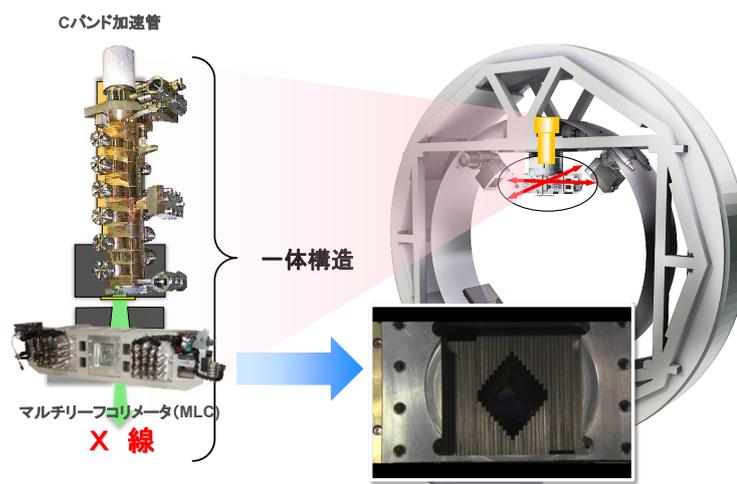


図3 超小型Cバンド加速管とマルチリーフコリメータ

**図4**に従来法と動体追尾照射法の比較を示す。従来は呼吸によって腫瘍が動く範囲全体に放射線を当てていたため照射する範囲を広く取る必要があったが、動体追尾照射法を実現したことで、呼吸によって動く腫瘍を追いかけて照射することができるようになり、照射マージンを最小限に絞りこむことが可能になるとともに照射する放射線の線量も減らすことができた。これにより腫瘍まわりの健常組織へのダメージを格段に少なくすることに成功した。

一般に、放射線治療は外科手術と違い体にメスを入れないことから体に優しい（低侵襲）治療法と言われ、症例によっては放射線治療の方が有効である場合も多い。今回、動体追尾照射が可能になったことで、放射線治療が更に低侵襲治療法として広く認知されるものと思われる。特にがんは体力の弱った高齢者の罹患率が高いことから、低侵襲治療法である放射線治療を受けることで患者の治療中あるいは治療後の生活の質（Quality of Life）向上や早期社会復帰が期待できるようになった。また、弊社は国内唯一のX線の放射線治療装置メーカーであり、治療装置構成機器には数多くの優秀な国内企業の

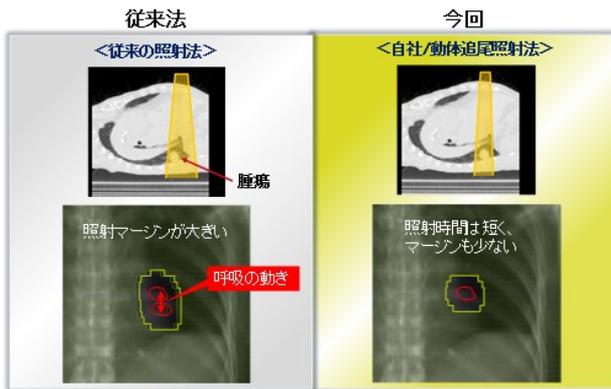


図4 従来法と動体追尾照射法の比較

技術が採用されている。近年、内閣府、経済産業省、厚生労働省が医療機器産業（市場）の拡大をビジョンとして声高に掲げている中、弊社の放射線治療装置事業の拡大は、そのまま国内医療機器関連産業（従事者）の発展・拡大にも大きく寄与するものと期待できる。

## 知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

日本国特許第4727737号

名称：放射線治療装置制御装置および目的部位位置計測方法

概要：X線画像による追尾照射を行うため、複数のテンプレートを自動的に作成し、画像の認識性能を向上させる。

日本国特許第4691587号

名称：放射線治療装置および放射線照射方法

概要：透過型線量計出力とX線ターゲット入射電荷量からエネルギーをモニターし一定になるようにRF出力を制御する。

上記特許を含め登録済み関連特許は42件、出願中のものは98件である。

## むすび

日本での放射線治療の認知度はまだまだ低く、がん患者のうち放射線治療を受ける割合も欧米の60%程度と比べ日本は25%程度と普及が遅れている。一方、がんの低侵襲治療はがん患者、特に体力の弱った高齢者には適しており、今回開発した動体追尾放射線治療装置も微力ながら放射線による低侵襲治療の普及に貢献できれば幸いである。