

放射線治療システム THERAC シリーズについて

松岡 暁
古島信正

○縮邑清也
久保康文

上田八寿男
(日本電気)

1. はじめに

最近リニアック等の放射線治療機の発達が著しい。高精度の治療が可能となり、種々のエネルギーでのX線や電子線で多くの照射技法が用いられている。更にオーバーライド方式の腔内照射も普及し、外部照射との併用も行われつつある。

この様に照射技法が多様化してくると個々の患者の病巣での最適治療方法を見出す事が治療医の重要な業務となってくる。^{(1),(2)}

コンピュータはまず線量分布計算のために使われ多くの使用例がある。^{(1)~(7)}しかし tumor control strategy の一環としての使用には至っていない。

更に最近では治療が計画通りに進行しているかをモニタし、変更があればそれを含めた正確で詳細な記録が取られる事が要求されてきた。^{(1),(2)}

そして治療後の患者の記録を処理し、治療成績の統計処理や、個々の症例について詳細な遡及調査 (retrospective research) が出来る事も要求されてきた。^{(1),(2)}

我々はこれらの一連の要求に応えるべくシステムの開発を継続してきた。昭和43年のTHERAC-I (国立がんセンターで使用)⁽¹⁾、昭和47年からのミニコン使用の量産形のTHERAC-II (国内8ヶ所で使用中)⁽⁶⁾が開発された。

放射線治療の全般の業務に総合的に助けとなるシステムの開発が続いて成され、THERAC-III治療計画・治療正処理システム、THERAC-C4 4MeVリニアック自動管理システム、THERAC-C18 18MeVリニアック自動管理システムの三者が互いに接続される様になった。都立駒込病院で使用されつつある。

ここではこれらのシステムを紹介する。

なおTHERACは Treatment Help Equipment in Radiotherapy by Computer あるいは THERAPEUTIC Computer の略として名付けられた。

2. システム全般の機能

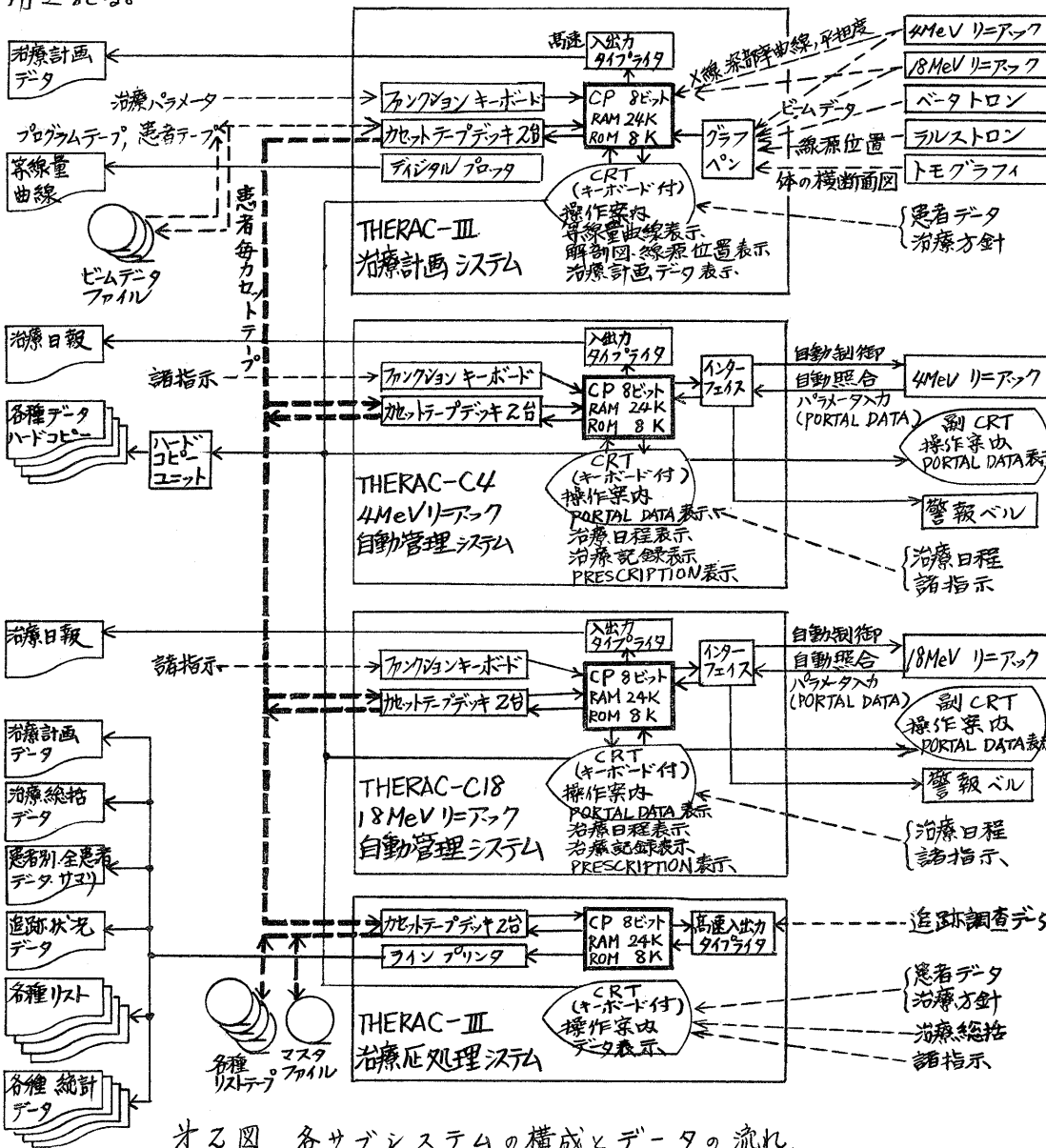
才1図は放射線治療の業務分析とそれに対応する各サブシステムの受持ちを示している。

<p>治療計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ○治療患者登録 ○治療方針登録 ○線量分布計画 (最適化) ○シミュレーション <p>THERAC-III 治療計画システム</p>	<p>治療 (診察)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○セトアップデータ登録 ○治療日程登録 (診察) ○自動照合・制御・衝突防止 ○治療記録 <p>THERAC-C4, THERAC-C18 リニアック自動管理システム</p>	<p>治療正処理</p> <ul style="list-style-type: none"> ○治療総括 ○追跡調査 ○患者データ検索 ○マスターファイル作成と検索 ○各種リスト作成 ○統計データ作成 <p>THERAC-III 治療正処理システム</p>
---	---	---

才1図 放射線治療の業務分析と各サブシステムの対応。

第2図は各サブシステムのハードウェア構成とデータの流の概略を示す。
 最下段の THERAC-III 治療症処理システムは最上段の THERAC-III 治療計画システム
 のハードウェアの一部を使用する。

THERAC-III と THERAC-C とは別々のハードウェア構成とする事もできるし、1
 部を共通に構成する事もできる。後者の場合は個々の業務は時間帯に分けて使
 用される。



第2図 各サブシステムの構成とデータの流
 実線のフローはオンライン接続を表わし、実線のフローはオフラインまたは
 オペレータによるマニュアル操作を表わす。
 太い実線は患者毎カセットテープの流れを示す。各サブシステム間を
 接続する媒体として使用される事示す。

各サブシステムのカセットテープデッキのうちの1台は患者毎カセットテープの読み書きに使用される。残りの1台はジョブプログラムの入れ換えに使用される。

なお各サブシステムは各々単独にも運用する事ができるし、任意の組み合わせでも運用する事ができる。

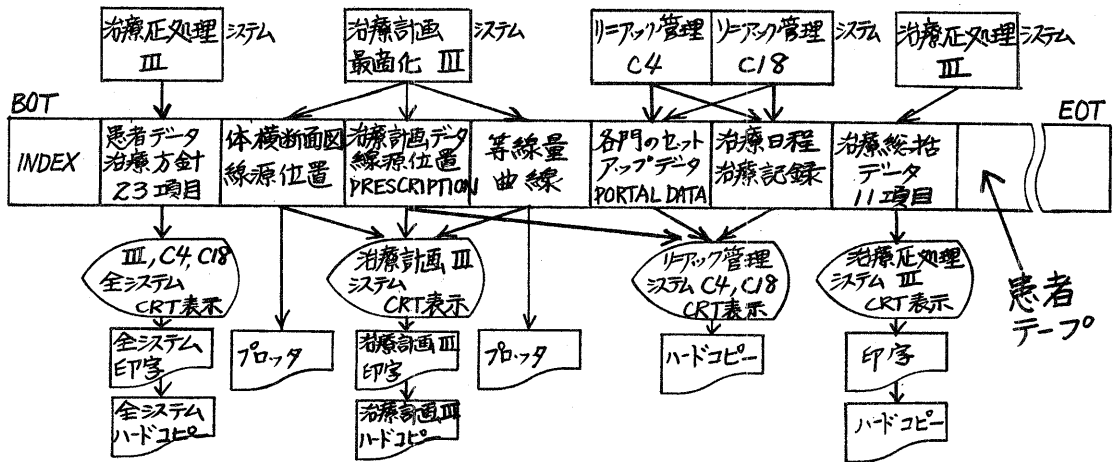
勿論、任意の単独システムから段階的に拡張していく事もできる。

オ3図は各種の治療方法の各業務に応じて各サブシステムがどの様に使われていくかを業務のフローと共に表わしたものである。

オ4図は各サブシステムを接続する媒体である患者毎カセットテープの役目を表わしている。各サブシステムで登録

治療方法	業務	治療患者データ登録	線量分布計画(最適化)	治療管理自動制御	治療総括	治療処理
4MeVリニアック X線治療		III	III	C4	III	
18MeVリニアック X線治療 電子線治療		III	III	C18	III	III
ベータトロン 電子線治療		III	III	手動操作	III	III
ラジストロン 婦人生殖器 腔内照射		III	III	手動操作	III	III

オ3図 各種の治療方法に対する各システムの業務分担
IIIは THERAC-III 治療計画・治療処理システムを、C4, C18はそれぞれ 4MeVリニアック、18MeVリニアックの自動管理システムを表わす。



オ4図 患者毎カセットテープに収録される内容と、登録・検索の関係。
患者テープモニタープログラムにより全データのINDEXを表示する事もできる。

されるデータと検索できるデータの種類を示す。

各サブシステムのハード構成、プログラム構成、データフォーマットが統一されているので患者テープが各サブシステムの共通データファイルとして使用することができる。

業務の切替はカセットテープ毎のジョブプログラムの入れ換えをボタン1つによるroll inで簡単に行える。(ROMと割込処理による。)

3. 治療計画システム THERAC-III

才5図は才3図の中の線量分布計画(最適化)業務を更に詳しく示している。患者に最適な治療条件を見出す為には治療パラメータの変化に対する線量分布のちがいを見て取捨選択を行う。(Visual Optimization)

最適として採用された線量分布は治療パラメータと共に患者テープに登録される。この内、治療パラメータはPRESCRIPTIONとして、外部照射の場合はTHERAC-C4、またはTHERAC-C18 リニアック治療管理システムで使用される。(才4図参照)

才1表は各種の線源に対する線量分布計算の主たるパフォーマンスを示す。ラジウム針による組織内照射は定量タエツプが済んでいないのでまだ臨床応用に至っていない。

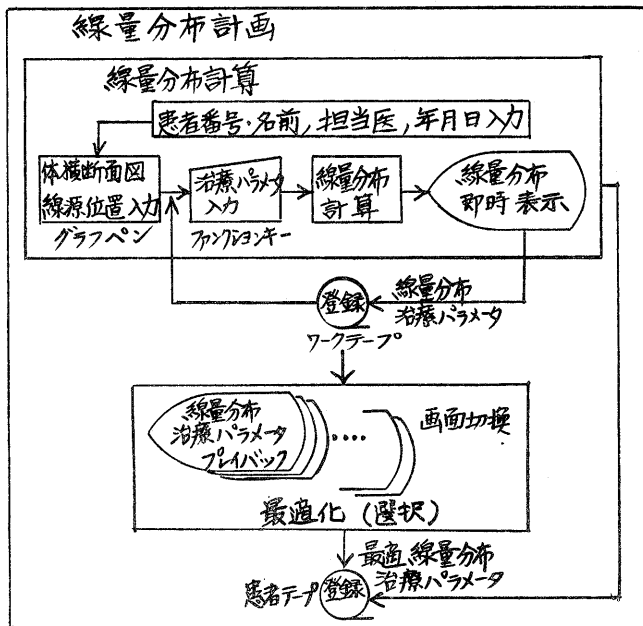
なお各門のパラメータを最大36門まで変化させての計算ができるので下記の照射技法の線量分布計算も可能である。

- (1) 全回転による打板照射
(各門のブロックフィルタの教値を変える。)
- (2) 原体コリメータ
(各門の照射寸法を変える。)
- (3) 持線照射
(各門のアイソセンタ位置と角度を変える。)

3-1. 計算方式

才1表に示した様に我々は外部照射では2つの計算方式によるプログラムを有している。

1つは茶部率曲線と平坦度曲線という直交する軸上の線量基本特性の積(突測値による変数分離法)により求める方法である。この方式では



才5図 線量分布計画フロー

外部照射, 腔内照射 共通に適用される。

項目	治療法	Li線 X線	Li線 電子線	腔内照射 (ラジウム)
計算方式		変数分離法 ビームデータ検査法	ビームデータ検査法	テーブル参照法
計算断面		ビームの中心軸を含む横断面		X, Y, Z軸に直角な面
断面の計算範囲		20 cm x 20 cm		
計算点		5mm間隔メッシュの各交点(1681点)から Bilinear Interpolationにより1mmあるいは 0.1mm間隔で線量点抽出		
主たる 可変治療パラメータ		照射線量 ガントリ角度 門数 照射野寸法 ウェッジフィルタ ブロックフィルタ アイソセンタ位置	照射線量 ガントリ角度 門数 アイソセンタ位置	タンデムオボイドの 線源強度 タンデムの各点位置 タンデムの各点の 照射時間
主たる 照射技法		STD多門照射 (最大36門) 運動照射 ウェッジフィルタ ブロックフィルタ 多門と運動の併用	SSD多門照射 (最大6門) X線との併用 照射も可	固定腔内照射 オボイド方式の 腔内照射 (ラジウム)
不均質性補正		肺・肺病巣	なし	なし

才1表 線量分布計算の主要パフォーマンス

任意の治療パラメータでのビームデータを *synthesize* するのに便利である。ウエッジフィルタやブロックフィルタ等の技法を取入れ易く、不均質補正もやり易い。操作も簡単で *turn-around time* も短い。しかし計算精度を上げる為の補正係数が治療機の寸法や線種により異なり *user* 側で自由には扱えない。また電子線ではこの方法は使えない。

他の一つはビームデータの登録・検索方式である。*user* が測定した等線量曲線を図形入力装置(グラフペン)を用いて登録してビームデータファイルを作っておき、これから検索して重ね合わせて計算する。この方式ではX線、 γ 線、電子線、のあらゆるエネルギーの、また治療機の寸法にも共通に使用でき、便利である。またX線と電子線の併用や、異なるエネルギーのビームの併用など重ね合わせも容易にできる。しかし登録されたビームデータ以外の照射条件では計算できない。また計算精度は登録するビームデータの *detail* に左右されてしまう。

我々は以上二つのプログラムを用意し、前者はリニアックのX線に、後者はリニアックとベータトロンの電子線および電子線とX線の併用の計算用として *user* に提供している。なおコバルトはいずれの方法でも使える。

腔内照射ではX、Y、Z軸に直角な任意の面での計算ができる。定義に従ったA点、B点の他に任意の二つの *reference points* の座標とそれらの点上の線量が計算されて表示される。

オーバーライド方式での *optimization* が容易に精度よく行える様にタンデムとオボイドの線源の強さ、タンデム線源の引戻し位置、照射時間などを可変パラメータとして独立させてある。押しボタンとテンキーにより自由に変えられる。

3-2. 操作方式

種々のファンクションキーとテンキーにより直截的に操作できるのを骨子としてある。しかしCRTに操作案内を表示し会話により操作を進める方法も併用してある。これは操作に不慣れた人には助けとなる。

ROM と判定処理の活用により、ファンクションキー以外の操作は不要で、例えばCPの操作は障害時以外は必要ない。

その他、ガントリ角度と照射野の入力は押しボタンによる画面を用いる事を取り入れるなど操作上の種々の工夫がされた。

図形入力では20インチのグラフペンを用いる。タブレット左側にはコマンドエリアを設けて入力せんとする図形の種類を指定できる。従ってスタイラスペンを持ったまま作業が進められる。ペンを持ち変えて他の操作を強いられることなく、スムーズに作業ができる様に工夫されている。

体の輪郭や肺の輪郭の入力では座標英数を多く取り、しかもプログラムで自動的に調整を行うので、オペレータは座標英数の配分を意識せず1筆書きで1気に入力することができる。

入力できる曲線の詳細度あるいは分解能はこれまでの他の全てのシステムに優るものであり、これにより体の凹凸によるきめ細かな補正や、肺の不均質性補正が行える。

なお肺は両肺についで、また一つの肺内病巣についで回転照射を含む照射技法を適用できる。計算精度については既発表文献(6)に述べてある。

4. リニアック治療管理システム THERAC-C4, THERAC-C18

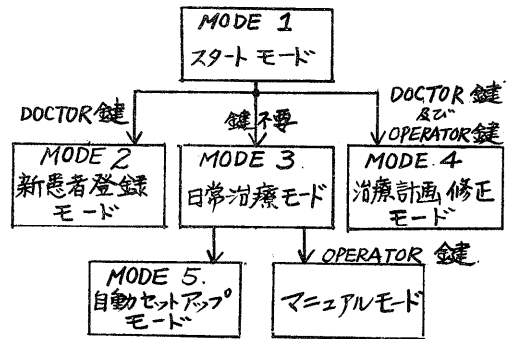
治療機の *automatic control system* には下記の4段階があるといわれている。(1)

- (1) 治療機からオンラインで自動的に治療記録を行う。
- (2) 治療計画と治療の自動照合 (*verification*) とインタロック制御。
- (3) 指定された治療条件への自動セットアップ。
- (4) 照射中の治療機の自動制御。 (*dynamic treatment*)

我々は上記のうち(1), (2), (3) を実現した。更に治療日程管理, 治療の変更に対する *flexibility* の増大, 安全性を高める為の衝突防止などがプラスされている。治療日程にわたる詳細なモニタと管理にも力が置かれたといえる。

4-1. 操作方式

DOCTOR 鍵と OPERATOR 鍵の所有如何によりシステム操作の優先順位が決める。才6図は本システムの業務分割を各モードで示し、それへの鍵による介入の仕方をフローと共に表わしている。



才6図 治療管理の各モードの種類と鍵の使用による ENTRY

MODE 1. スタートモード

毎朝のシステム起動時に通るモードで日付のセットなどが行われる。副次的に RESTART モードがあり、治療患者が変わるたびに患者番号の入力、患者テープのセット、次に入るモードの選択などが行われる。

MODE 2. 新患者登録モード

THERAC-III 治療計画システムで最適として登録された治療パラメータ "PRESCRIPTION" に従ってこれから治療せんとするセットアップデータが登録される。即ち才1回目の治療条件としてマニュアルでセットされた各門のデータを PORTAL DATA として患者テープに書く。(才7図参照)

最大6門までの PORTAL DATA が登録できる。その後才8図の左側に示される様な治療日程が CRT との会話により登録される。TUMOR DOSE は登録された PORTAL DATA に対応して自動的に記入される。診察日の指定もできる。1日の治療で最大6門まで指定できる。

MODE 3. 日常治療モード

MODE 2 で登録済の該患者の治療日程に従って当日に指定された PORTAL DATA が表示され、治療を促がす。CRT 表示は操作室と照射室の両方で成される。照射室では押しボタンを押し続ける事によりモータ駆動による自動セットアップが行われる。登録されている PORTAL DATA と進行中の PORTAL DATA の照合がセットアップ中でも自動的に行われる。照合 OK ならばモータが停止し、インタロックが接がれて照射 OK となる。これらはランプの点灯, CRT 表示などで操作室にも照射室にも判る様になっている。

K. INAMURA

*** PORTAL DATA ***

75-11-04

0000001

PORTAL NO. 2 - ARC

	PLAN	CURRENT	MODIFIED PORTAL NO 52	MODIFIED PORTAL NO.102	MODIFIED PORTAL NO.152
TUMOR DOSE	200				
METER DOSE	030	* 120			45
GANTRY	150	150			
HEAD	004	* 000		000	
UPPER JAW	010.0	010.0	010.5		
LOWER JAW	013.9	013.9	014.2		
PSA ANGLE	089	089			
LONG.	043.1	043.0			
LAT.	000.2	000.1			
HEIGHT	002.0	* 180.8		003.0	
WEDGE	000	* 002			
ENERGY	4				
MODE	X				
STOP ANGLE	180	* 200			
RADS/DEG	101	100			120
			1975.10.23.	1975.11.01.	1975.11.03.

カイロ シロカシロ ニツキ ナイ セ

NEXT PAGE

才7図 PORTAL DATA の1例。PLANは登録された計画データ、CURRENTはセットアップ中のデータ。
*印は照合の状態を示す。MODIFIED PORTALは変更された治療データを示す。

K. INAMURA

*** TREATMENT SCHEDULE ***

75-11-01

0000001

DATE	TREATMENT TIMES	PORTAL NO.	TUMOR DOSE	RECORD	TOTAL DOSE
75-10-28	01	1	0100	* GIVEN	0100
75-10-29	02	1	0100	* GIVEN	0200
75-10-30	03	1	0100	* GIVEN	0300
75-10-31	04	2	0200	*	
75-11-01	05	2	0200	*	
75-11-02				*	
75-11-03	06	1.2.	0300	* GIVEN	0600
75-11-04	07	2.1.	0300		
75-11-05	08	3.4.	0400		
75-11-06	09	5.6.	0400		
75-11-07	10	2.4.6	0730		
75-11-08	11	1.2.	0300		
75-11-09	12	3.4.	0400		
75-11-10	13	5.6.	0400		
75-11-11	14	EXAMINATION	0000		
75-11-12	15	4.2.	0400		
75-11-13	16		0000		
75-11-14	17	1.2.3.4.5.6.	1210		
75-11-15	18		0000		
75-11-16	19	6.5.2	0600		

PORTAL NO	1	2	3	4	5	6
TUMOR DOSE	0100	0200	0200	0220	0189	0310

NEXT PAGE

[MORE SCHEDULE]

才8図 治療日程の登録(左半分)と、それらに対応した治療記録の1例。
*GIVENは予定通り治療が行われたことを示す。EXAMINATIONは診察日を示す。

オ7図において PLAN の欄は登録されている計画データを、CURRENT の欄は進行中のデータを表わしている。照合が不一致のパラメータは*印で示される。

患者とガントリ間のニアミス、あるいは治療台とガントリ間のニアミスが起ると警報ベルと共にモータ駆動が停止し、CRTで手動操作を促す。これは衝突防止ロジックが、自動セットアップと自動照合のプログラムのサイクルの中に組み込まれている事による。

オ7図における MODIFIED PORTAL のデータは治療計画以外のパラメータで治療された時、それを日付と共に記録される為のものである。

該患者の当日の治療が終るたびに治療日報が印字される。該患者のカセットテープには治療の記録が照射された TUMOR DOSE の合計と共に update される。

MODE 4. 治療計画修正モード

治療日程の進行途中で計画を修正したい時、MODE 2 で登録された PORTAL DATA と治療日程の変更ができる。DOCTOR 鍵と OPERATOR 鍵の両方が要る。

5. 治療正処理システム THERAC-III

本システムは従来の *tumor registry* 腫瘍登録システムに遡及調査と統計調査の機能を加えたものとして開発された。オ9図に概要を示す。右側の } でくくられて表示されているのが本システムで実行できる業務の名前である。

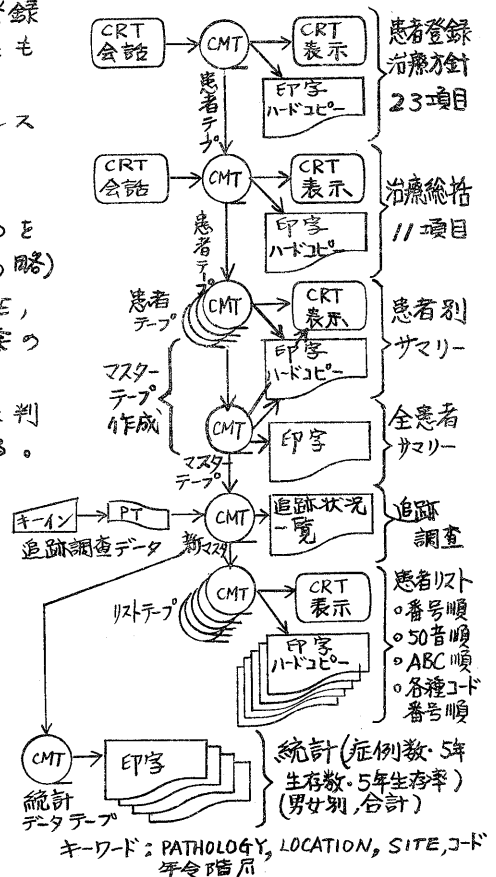
患者登録と治療方針は23項目から成るものと CRT との会話により CMT (カセットテープの略) に書く。この項目の中には PATHOLOGY CODE, LOCATION CODE, SITE CODE, など後の検索のキーワードに使われるものも含まれる。

なお PATHOLOGY CODE など治療開始までに判明し難いデータは、あとで登録する事もできる。

治療総括はこれまでの治療計画データ、治療日程、PORTAL DATA など各サブシステムで登録された患者テープの内容をプレイバックし、会話により入力していく。

患者テープからは患者のサマリーを印字させて保存する事もできる。コード化された内容はマスターテープに定期的に転記される。マスターファイルの項目はオ9図の患者リストと統計データの作成に必要なものに限られている。

300 フィートのカセットテープのマスター



オ9図 治療正処理の概要

ファイルでも 1000人分のデータが入るので、日本の大病院でも1年分の治療患者のデータを収容できる。

マスターファイルの内容は全患者のサマリーとして印字製表される。

定期的な追跡調査の結果は所定のフォーマットで紙テープにパンクしておき、マスターテープを update する形で書き込まれる。1人の患者につき7項目で5回分の追跡データを記入できる。死亡の時は死亡年月日も記入される。追跡状況一覧は次回に追跡調査を行うべき患者の抽出に便利な資料となる。

患者リストは番号順、50音順、アルファベット順、PATHOLOGY CODE 順、LOCATION CODE 順、SITE CODE 順に作成される。全患者の FULL LIST も可能であり、自分の今必要としている範囲の PARTIAL LIST も可能である。

統計データは PATHOLOGY CODE, LOCATION CODE, SITE CODE, 年齢階層をキーワードとして FULL または PARTIAL な分析ができる。各キーワードについて症例数, 5年生存数, 5年生存率が、男・女・合計で印字製表される。

遡及調査は前記のキーワードを媒介としてマクロな統計としての治療成績から患者リストに遡り、全患者サマリーから患者別サマリーへと個別のデータの検索へと移っていく事により可能である。更には等線量曲線や線源位置データ、PORTAL DATA や治療日程などの生のデータも患者リストを媒介として遡ることができる。

6. 結言.

下記の意図を持って開発された THERAC 放射線治療システムのサブシステム群を紹介した。意図は具体化され、駒込病院で使用されつつある。

(1) 患者の INDIVIDUALIZATION が徹底できること。

患者毎に1本のカセットテープが使われ、治療計画、治療管理、治療症処理の業務を通じて、データの収録と検索に供される。治療終了後はマスターファイルに転記され、あとでリストの作成や統計データ分析に利用される。空いたテープは新しい患者に再利用できる。

(2) 治療計画では OPTIMIZATION がやり易い事。

VISUAL OPTIMIZATION がやり易い様に可変パラメータを独立させ、テンキーによる簡単な変更で複数個の線量分布を登録できる。あとでプレイバックによる医師の選択で順次最適なものに絞っていく OPTIMIZATION プログラムを有する。

(3) 統合性を有する事。

治療患者の登録、治療計画、治療管理、治療症処理の各業務に亘ってスムーズな接続と運用に留意されている。患者毎カセットテープは各サブシステムに共通に使用されるデータファイルとして、フォーマットの統一、オペレーションの統一がなされている。各サブシステムの接続媒体となっている。

(4) 治療記録の遡及調査ができる事。

(5) 安全性。 リニアック自動制御ではハード、ソフトの両面から衝突防止、

操作上の対策が講じられた。

今後更に改良し、拡張する為に下記の事が課題となって残っている。

- (1) ラジウム針プログラムの臨床応用
- (2) ベータトロン及び腔内照射の PORTAL DATA あるいは IRRADIATION DATA の登録、治療日程登録による治療管理と記録。
- (3) VISUAL OPTIMIZATION の選択のプロセスにおいて定量的・客観的なメシヤ-E 設定、会話により進められる事。即ち段階的に LOGICAL OPTIMIZATION に近づけて行くこと。
- (4) 線量測定サブシステムの追加により user 側の線量分布管理の助けとすること。
- (5) 外部照射でも 3 次元計算ができること。不整形照射野の取扱いもできる事。
- (6) 自動セットアップを延長して dynamic treatment が行えること。
- (7) 外部照射と腔内照射の併用の取扱い。

7. 謝辞

本システム群は都立駒込病院に設置され、使用されている。松田忠義放射線部長はじめとする諸先生方に、開発の御協力に対して深謝致します。

THERAC シリーズの開発当初から御指導頂いた、放射線総合研究所の梅垣洋一即臨床研究部長、国立がんセンター海田政彦放射線診療部部長に感謝致します。

[文献]

- (1) "Computers in radiotherapy", Special report No. 5, British Institute of Radiology, (1971) 91, (Proceedings of the third international conference on the use of computers in radiotherapy, Glasgow, Scotland, 8-10 September 1970)
- (2) "Computers in radiation therapy" Akademiska Sjukhuset S-75014 Uppsala, Sweden, (1973), 66, (Proceedings of the fourth international conference on the use of computers in radiation therapy, Uppsala, Sweden, 7-11 August 1972)
- (3) Inamura, K., et al "Real time dose distribution display by digital computer, Nippon Acta Radiologica, 30 (1970), 315-333.
- (4) Umezaki, Y., et al "National Cancer Center radiotherapy computer system, Computer Programs in Biomedicine, 2 (1972), 200-215.
- (5) Onai, Y., et al "Considerations on methods of constructing isodose curves from minimum experimental data, Report III, Dose distribution in the thorax in 4.3 MV X-ray therapy, Nippon Acta Radiologica, 27 (1968), 57-64.
- (6) Ishida, T., et al., Inamura, K., et al., "A computer system for optimization of treatment planning in radiotherapy - the visual optimization by man-machine interaction -" Nippon Acta Radiologica, 35 (1975), 328-341,
- (7) Cunningham, J. R. and Milan, J. "Radiation treatment planning using a display oriented small computer, Computers in Biomedical Research, 3. (1969), 159-179.