

TCT - 900Sとヘリカルスキャン

1. 前書き

JIRA電子博物館の編集会議にてCT開発余話を載せる事、その中でTCT 900S(東芝製、引用文を除き、以後900Sと略す)とヘリカルスキャンは非常に技術史としてユニークなもので、苦労話等を載せる事に成ったとの事で、私が指名された。

900S、ヘリカル共に、非常に多数の方々に関与されているが、私が本格的に関与したのは、製品試作機段階の1984年からで、900Sの商品化、更にヘリカルの搭載、900S後継機(Xシリーズ)も含め東芝CTの新ラインアップ化の過程であった。

時を経て、携った方々は、今や社内(東芝メディカルシステムズ(株))に殆ど居なくなってしまった。

CT史においてこの様な重要な過程に関与できた事に感謝すると共に、携った者として記録に留めて置く責任があると思い、お受けする事にした。

今や、マルチスライスCT全盛、64列の商品化で、心臓領域への適用も本格化しつつあるが、既に4D-CTや顕微鏡CT等々、将来に向けての胎動も伺え、CTは未だ驚異的スピードで進化を続けている。このCTの隆盛もヘリカルによってもたらされたものと言って過言では無いが、そのヘリカルも900Sの登場無くしては生み出される事は無かったか、大幅に遅れた事になったであろうし、今の画像診断の様相も全く変わっていたのかも知れない。

900Sの登場はCTからMRIへと変わりつつあった潮流に一石を投じたが、単なる波紋に留まらず、現在に続く大きな流れを導く事になった。

900S登場の1985年頃、CTは第三世代(RR方式;電子博物館RR方式参照、以後RR方式と略す)全盛時代で、新たな臨床応用にも限界が見え始めて来て、コストパフォーマンスの高い装置に向かってのモデルチェンジが主流であった。

時流はCTであげた収益を臨床的、事業的に将来性の高いMRIに投資する方向にあった。当然、当社も、CTからMRIに経営資源をシフトする方向にあったから、900Sは1985年に商品化され無かったら、日の目を見る事も無かったのではないかと痛感している。

連続全回転CT(以後スリッピングCTと称す)で他社が追隨して来るのに数年を要した事でも、900S無かりせば、きっとヘリカルの実用化は大きく遅れ、マルチスライスCT全盛時代到来も遅れた事であろう。従って、ヘリカルを語る時900S抜きに語れ無いし、900Sを語るとすると、プラットフォームとなったEMI社のCT-7070(1977年RSNA展示)からと言うのが話の段取りであろう。

また、ヘリカルに関して幾多の賞を頂いているが、特許考案者や関係者により、受賞を記念しての資料が多く存在している。繰り返すが、900Sとヘリカルには、多くの方々携った。様々なプロジェクト、ワーキンググループが編成され、900Sの責任者も多くの方々勤められ奮闘された。

時々の事業部長、技師長、CT事業担当部長、技術部長、製造部長等の経営幹部にとってその都度苦渋の決断を強いられたのでは無いかと推察するし、各コンポーネント毎にとんでもない仕様達成の為の苦闘があったで

あろう。これら全てをひっくるめて、様々な局面で900Sと、ヘリカルに因縁の深い荒館、ヘリカル考案者の森、およびヘリカル再構成開発を担当した東木の3名が市村賞を受賞した。この受賞を記念して「市村賞を受賞して」という一文を、森と荒館が共に東芝医用機器技報に寄せている。これは社外秘に付、公開でき無いので、差し支え無い範囲で、引用させて頂く事にし、伝聞・資料を参考に、補足する事にする。

2. CT - 7070からTCT - 83 (TCT - 83企画と実証機試作)

CT - 7070から900Sへの経緯については、牧野純夫著「企業存滅のキーワードX線CTビジネスの実践例から」(参考資料1) およびJIRA会報2003.7牧野純夫、他著「日本の放射線機器の戦後発展史・・・21」の「X線CTの発祥・・・ 世代の進展 連続全回転X線CTの始まり」(参考資料2)で述べられている。

若干補足すると、東芝は1978年に国産初のRR方式の全身用CT (TCT - 60A)を商品化していたが、引続き、様々な意味での技術革新を果たせる様な新形式のCTを模索し始め、1979年、設立間もないBIR社 (EMI社の技術陣にて設立された「Bio Imaging Research」社)と一緒に、世界中の何処も追従でき無いCTの構想検討が開始された。

この時の東芝側担当が後日ヘリカル考案者となり、紫綬褒章も受章する事になった森で、1981年に高速高分解能のスリッピングCTの構想に至り、TCT - 83と呼ばれた実証機の開発が着手された。

上述と重複する所もあるが、以下に「市村賞を受賞して (東芝医用機器技報)」から部分引用する (引用箇所は以下の様に『引用文 (著者)』で明示する。)

『普及型ではともかくも、高性能CTでは海外他社の後塵を拝していた当社は、1980年頃から、次世代型CTの開発を検討していた。あらゆる基本性能が文句無く世界最高で、他社の追従を許さない、という趣旨のCTである。担当には私が据えられ、パートナーとして米国BIR社がいた。世界最初のCTを作ったのは英国EMI社だが、そのEMIもCT事業は解体におよび、解散した開発陣の一部により結成されたのがBIRである。新型CTの構想案の主体はBIRであった。BIRからの最初の提案は私の目から見れば原理的に無意味なものであったりして、一時期BIRの能力を疑っていたのだが、やがて出てきた計画案がコードネームTCT - 83である。後にこの商品版がTCT 900Sと呼ばれることになるので、以下83もまとめて900Sと記す。このCTのいくつかの重要な特徴の一つが、やがてヘリカルにつながることになる、スリッピングによる高速連続スキャン (毎秒1スキャン)である。900Sの開発に踏み切るにあたっては、困難かつ大規模な開発になることが明らかで、その臨床価値もはっきりしていなかったから、暫く懐疑と逡巡の時期があったが、結局1981年下期に、私をヘッドとしてBIRと東芝の混成チームにより、実証機の開発に突入していった。連続回転による1秒スキャンの初画像を得て、1984年度から東芝のみによる製品試作と製品開発に入った。(森)』

TCT - 60Aは機械的拡大撮影とも言うべきシフト機構等ユニークな特長を有していたが、撮影視野が40cm (海外他社48cm) 線管電圧120KV (海外他社140KV)と主要仕様で見劣りし、国内向けには全く問題無かったが、国際商品としては不向きであった。TCT - 60AはTCT - 80A、TCT - 70Aへとシリーズ展開されて、国内トップシェア (50%前後)を維持していたが、この展開と並行して、900Sが国際市場でも通用し、他社の追従できない装置として企画され、開発が進められていた。900Sは本当に「とんでも無い装置 (森の言葉)」であった。色々な意味で「とんでも無かった」のだが、筆頭は「仕様」、次いでこれを実現する為に要求される「技術」等、製品化後も「とんでもない」事が付き纏ったが、偉大な装置、であ

った。「とんでもない900S」にチャレンジする事で、東芝CTチームには「とんでもない」事でもチャレンジし実現していく風土が育まれたのではないかと思う。

実現の為に幾多の技術的ブレークスルーを必要とし、当時の最先端の技術・部品・材料、中には、未踏技術と言ってもよい物も含まれていた。

初期構想では、フルスキャン0.5秒等々も含まれていたが、実現性から破棄され、挑戦して実現性の高い仕様に絞り込まれた。架台にはCT-7070で実績のあるNR方式(電子博物館NR方式参照)を取り入れた。EMI社はリング状アーティファクトの面からRR方式に否定的で、CT-7070にはNR方式が採用されていた。CT-7070で実績があった事、高速SCANでのX線検出効率面から固体検出器が必須である事、RR方式向け固体検出器が存在していなかった事、等から、NR方式を踏襲し、リング状アーティファクト問題のリスクを回避した様である。X線検出器には固体検出器を採用し2304素子を全周に配置する事で設計された。肝心の素子は実証機でZnWO4とCdWO4の比較評価も行い、最終的にCdWO4採用となった。当時の固体検出器は特性上RR方式には使えないと言われていた。RR方式で高速SCAN可能な検出素子が存在していたら、NR方式は日の目を見なかった可能性も大きかったと思う。当時はRR方式ではXeガスを用いたイオンチェンバー方式が主流(シーメンスは半導体検出器であったが)であったが、実証機の企画が固まりつつあった1981年に当時の牧野技監(現JIRA電子博物館長)から総合研究所にGOSを候補としてシンチレータの開発依頼が出されている。

900Sが出なかったら、日の目を見なかったか、実用化が遅れたであろう技術は他にも沢山あるだろう。実証機の大きな成果として商品に引き継がれたのは、NR方式の架台、検出器系、基本ソフト(C言語)、マルチプロセッサシステム、スリップリング、等である。この中で、スリップリングは文字通りスリップリングCT実現の為に必須要素であった。架台の回転部に搭載されたX線管に電力と制御信号を伝えるのに、従来はケーブルが用いられていたが、架台の固定部と回転部にスリップリングを配置しスリップリング経由で、電力と信号を伝達する事で、連続回転が可能となった。線管への高電圧(±70KV)供給には、耐圧力構造のステータ・ロータで絶縁ガスを封入した高圧スリップリング(HVSR)、信号用に低圧スリップリング(LVSR)と、2種類のスリップリングを実用化した。スリップリングの実用化だけで、一つの物語が語れるであろうが、語り部に相応しい方はもう居ない。スリップリングはVarianのCTで実例があったが、1秒/回転に対応するスリップリングは未踏領域であった。

当時東芝のRR方式は全てパルスX線であったが、900Sでは連続線を使用する事になり、インバータジェネレータの開発が進められていたが、実証機には間に合わず、既存の高圧発生器が用いられた。

エレクトロニクス系はハードもソフトウェアも全く新規であった。連続1秒の高速SCANから得られる多量データ処理の為に、当時の最先端技術が積極的に取り入れられた。マイクロプロセッサとして68000X3個、Z80X7個からなる分散システムで、高速アレイプロセッサが前処理、再構成、画像処理、をするシステムであった。プリント配線基板サイズは大きく(473mmX407mm)しかも4層から8層の多層基板が主で、一部、両面実装基板、マルチワイヤード基板(MWB)もあり、これらに最新の半導体等の部品が実装された。サイズだけでも合わせられれば、少しは楽になったのであろうが、最新・最高の物をかき集めるのが先決で、標準化の優先度は下げられたのであろう。

適応できる自製設備も無く、組立て・試験の引受け手の確保も大変であったが、技術としてこなれるのにも時間

を必要とした。

実証機が設置されたB I Rに東芝の技術者が乗り込みB I Rと協力して、何とか1秒S C A Nの画像を出しに漕ぎ着けたが、安定稼動には、一山も二山も残しての実証機稼動であった。

3 . T C T - 9 0 0 S 製品試作

実証機で、1秒/S C A N、空間分解能0 . 3 5 mm、高速データ転送2 0 0 Mバイト/秒等の当初の主要目標がクリアされ、製品化に向かって踏み出す事になった。実証機の進行中に、製品化を目指しての仕様検討が進められ、1 9 8 4年5月に製品試作のG Oが出て、1 9 8 4年8月の製品計画会議にて、「1 9 8 5年2月に製品試作機のフィールドテスト(以後F Tと略す)開始、1 9 8 5年7月初生産、1 9 8 5年度売上国内1 0台、輸出4台」の計画が承認された。

フルスキャン1秒、スキャン間休止時間0秒、空間分解能0 . 3 5 mm、密度分解能2 mm/0 . 3 5 %、再構成時間(HR)1 5秒(6秒:オプション)と、高速1秒スキャンで連続全回転によるスキャン間休止0秒という、当時としては超高速であった。それだけで無く、画質をはじめあらゆる面で、当時主流のR R方式C Tの仕様を圧倒しており、前述の様に「とんでもない仕様」であった。この達成の為に、惜しみ無く最先端技術が取り込まれていた。

製品試作は実証機が部分改良された物であったが、適用技術は充分こなれておらず、まともに動かす事が最優先であった。

動かす事に汲々としている一方で、とんでも無い原価が明らかに成りつつあった。

とびっきりの材料・技術を注ぎ込んでいたのだから、当たり前と言えば当たり前で、試作機の積上げ原価は目標原価(当初の見込み原価)の数倍となり、試作機の工程が進むに連れて、高く成って行く毎日で、真っ青に成ったのを覚えている。

バラック同然の試作機を磨き上げながら、製品へフィードバックし、製品の完成度を高める努力をする一方、大幅なコストダウンの為に再設計をせねばならず、コスト下げの一方で、安定化が振り出しに戻る事も起こりがちで、いたちごっこ?モグラ叩きか?と言っても良い状況であった。

4 . 福島県立医大付属病院に製品試作機を設置

福島県立医科大(以後福島医大と略す)とはE M Iの全身用C T - 5 0 0 0での治験以来、C Tの共同研究施設として、ご指導を頂いて来た。

『1 9 8 4年度から東芝のみによる製品試作と製品開発に入った。製品試作機は福島医大に1 9 8 5年2月に搬入された。試作機とはいうものの、完成度はかなり低く、福島医大の先生方を苦労に巻き込んでしまって申し訳ない思いであった。持って帰れと言わずに辛抱された先生方に感謝している。(森)』

予定期日とは言え、あの仕上がり具合で良く出荷したものだとは当時は思ったが、M R Iへと投資をシフトしている趨勢にあって、あの時の出荷無くしては、9 0 0 Sは永久に日の目を見る事はなかったかも知れないと今は思えてくる。製品試作機が設置されてから、工場の技術者が張り付き、さながら工場の実験室のおもむきとなったが、片倉技師長、鈴木主任技師、の熱心なご指導。叱咤激励によって、製品試作から製品に向けての改良評価、改造の実施が進められた。商品らしく纏められたのも熱き御指導の賜物で、感謝に耐えない。そんな訳で、当初は品質も安定せず、現地からS O Sを受けて、しばしば、東北道を車を飛ばして部品を運んだものである。

5 . 9 0 0 S 製品化

実証機、製品試作の経験が反映される形で製品試作と並行して製品開発が進められていた。

繰り返すが、とんでもない仕様達成には、当時の最先端の部品・材料・技術が投入されていて、商品化となると、部品・材料・調達・組立て・試験、設備、等々様々な面で当時の水準を越える物が要求されていた為、標準部品化の為に認定作業、規格・規定の整備に工場内外多方面の協力が必要とされた。製品試作機は殆ど実証機程度であったから、製品化に向けての大変更が多かったが、福島医大でのフィールドテスト結果を反映する為、その都度設計変更を余儀なくされ、製造部門の苦勞も尋常では無かった。

設計変更に伴うロスも多く発生していたが、安定稼働が最優先であった。前述の様に製品試作機にて、原価はとんでも無く高額になっていたが、製品1号機の原価はこの様なロスを含めて、更に高額になるのは、当たり前と言えば当たり前であった。原価低減は企業体として死活問題であり、必至に取り組みざるを得なかったが、以後、安定稼働、原価低減、臨床応用開発の3大宿題を抱えて、完成度向上の弛まぬ努力を強いられる事となった。コスト、品質等の面で、こなれるには時日を要した。安定化と原価低減は相反する関係にあり、共に設計変更を要し、安定化でコストアップ、原価低減で評価のやり直しと、開発費も膨れ上がる一方であった。

エレクトロニクス系を例に挙げると、部品・材料をカタログ仕様通りに設計しても、カタログ仕様には現れない、微妙な差が、回路動作に影響する程、エレクトロニクス回路設計は限界設計が強いられていた。

躍起と成って安定動作を確保し、回路を固めても、原価低減の為に、部品を変更したり、回路を手直しすると、振り出しに戻ってしまう為、設計変更の都度、修羅場と成り勝ちであった。同じ種類のICでも、メーカーの違いだけでも動作が変わるし、プリント配線基板の互換性も危うく成るし、見方によっては八方塞がりであったが、ひたすらゴール目指して、いたちごっこでも頑張り通した。

この様な状況で、900Sの商品化が打ち切られていたら・・・、CTはどう成っていたのであろうか？現在のCTの隆盛・将来に向けての希望どころか、東芝のCTもどう成ったか判らない。本当に興亡の分水嶺に居たのだとの感慨も一塩である。目標原価に至らず、期待収益には程遠い状況ではあったが、予定の7月から3ヶ月遅れて1985年10月に何とか、初生産出荷に漕ぎ着けた。同時に、森を始め初期からのメンバーは顧客に張り付く事になった。当時のX線CTはコストパフォーマンスの良好なRR方式が主流と成り、性能・臨床応用等々、両面から、行き着く所迄行き着き、停滞気味の感が有ったのに対し、MRIは臨床面での有効性が着目され成長過程に有った。主たる医用機器メーカーは勿論、異業種からのMRIへの参入企業も多く、熾烈な市場争奪合戦が始まっており、当然主たる医用機器メーカーは開発投資をCTよりMRIに切り替える方向にあった。

この様な時期、時代の趨勢に逆らう様に登場した900Sは衝撃的であった。兎も角900Sは出荷され、高速性、高分解能等々で、市場にインパクトを与えたが、安定性や応用ソフト面で完成度が不十分で会った為、暫く、完成度向上の努力が強いられた。この間に、東芝としてもCTで収益あげ、MRIに投資するとの明確な方針が出され、開発体制もMRIにシフトしている最中であったし、一緒だった、CTとMRがそれぞれ独立の技術部となり、CTからMRIに移る技術者も多かった。ヘリカル考案者の森もこの時にMRIに移り、ヘリカルの伝承が一時途絶える事になった。

他社が追随出来ない装置は生み出されたが、他社の900S叩きは強烈で、市場を席捲するには至らなかった。瞬間風速だったが、米国でのシェアが10%を超えた辺りから、GEの積極的攻撃に晒される事になった。GEはスリッピングCTはやらないと公言する一方で、RR方式で初の固体検出器を搭載した最速2秒スキャンのHiLightを投入し強烈なプロモーション活動を展開してきた。

GEの固体検出器は残光が長く、高速スキャンには不向きではあったが、2秒SCANでの画質は評価出来るものであった。メジャーなCTメーカーとしては、一番遅かったが、結局GEもスリッピングCTを製品化した。乗り掛かった船、コストダウンと安定化は必須で、東芝CTのフラグシップとしての必須事項をクリアしてからも、世界に冠たる900Sとして恥じない仕様と性能の維持の為にバージョンアップが続けられた。再構成時間の改善、X線管大容量化による撮影条件改良、アプリケーションの充実と改良等、ヘリカル搭載へと進化して行く事になった。この頃、既に900S後継の検討も進められていた(後述)。東芝に次いで、シーメンス社がRR方式で連続回転型CTを出したが、東芝に遅れる事約3年で、1987年暮れ頃であった。

6. ヘリカル特許特許

私が900Sに関与し始めた頃にはヘリカルの言葉は耳にする事は無かったが、森特許の存在は承知していた。何時どうして知ったのか覚えていない。当時、東芝のCT事業は特許収支の面で、ひたすら外資に特許料を支払う一方であり、特許収支の改善が求められていた。全社的に特許戦略活動が推奨されていた事もあって、特許戦略会議を設け、積極的に特許発掘と戦略的申請に取り組んでいたが、この時に森特許の存在を知ったのであろう。初期製品の取り纏めに汲々としていた頃は、考案者の森を始め900S初期メンバーはヘリカルどころでは無く、ヘリカルを口に出すのも憚られる状況であったのだろう。藤田保健衛生大学(以後保大と略す)、福島医大からの強い取組み要請にも応えられ無い時期が長く続いた(後述)。

商品としての体を成して、落ち着いた頃には、森はMRIに移っていたが、ヘリカルへの本格的取組みが開始され、特許収支対策とし当時の飯沼技師長以下特許専門家の指導で森特許を核にヘリカル特許網の構築を図った。以下に考案者 森の「市村賞を受賞して」からヘリカルについての部分を引用する。

『ヘリカルスキャンの概念自体は自明で、CTの発明でノーベル賞を受賞したハウンスフィールドも将来のCTの一形態としてイメージしていたらしい。勿論、高速連続回転のCTをものにする事が前提となる。これは私たちが900Sで実現させようとしていた。しかし、それだけではまだヘリカルはできない。一断面の投影データのセットが矛盾のない形で完備していなければ、再構成した画像も妥当な画質とはならない。投影データを採りつつ断面位置が動いてしまうヘリカルは、まさにルール違反である。ヘリカルは、誰でもイメージしつつ、誰でも「ちょっと待てよ」となる、そういうものだったわけである。私としても、まずは高速連続回転CTを作るから、ヘリカルは将来賢い人が研究してくれ、という気持ちであった。

しかし、900Sの開発が本格化し始めたころ、気持ちが変わった。大難産になるに違いない900Sを開発する以上は、こういう装置でなければできないこと、つまりヘリカルを我々の財産にしておく必要があると思えてきた。他社も考えているかもしれないという気もしてきた(結局これは幻影で、そのときは既にG社やS社はMRの重要性を見抜き、CTからMRへ開発資源をシフトしていた)。

特許上の方策だけでも講じておくのは、900Sの主設計者である私の責務のように思われた。必ず取り組まねばならないはずの画質問題に道筋をつけて権利化すればよい、と考えた。画像再構成理論というとなしそうですが、画像なんて所詮近似の産物だと思えば、問題を完全に解決する必要などない、問題を緩和できればそれでよい、と思われた。特許にはいろいろ書きこんだ。クレームは、事実上ヘリカルそのものを権利化できるよう、一般性をもつ表現を意識した。この結果、現在のところ、他社のヘリカルの実施形態は全てこの特許の権利の枠内に収まっている。特許庁出願は1982年12月、900Sの実験機開発が

たけなわになりつつあった頃である。(森)』

7. ヘリカル試行

900S開発当初から開発者の意識にヘリカルはあったが、900Sそのものが当時として、自動車と言うF1マシン、それも、他社の追従を許さない画期的な物であったので、目標とする基本性能を安定に発揮する事を最優先とせざるを得ず、原理的にリスクの高いヘリカルは結果的に後回しにされていた。

古い資料を辿ると、1984年8月31日の製品計画会議で900Sの製品化が正式に承認されたが、この時の指摘事項に「高速SCAN スパイラルの可能性 特長だせ」の記録あり。当初計画ではスパイラルがメニューとして意識はされていた。またデータ収集部(DAS)立案デザインレビュー(1983年11月9日実施)の記録には「ヘリカルスキャン時等にて(スキャン時除く)Table Position がサンプル毎に必要な」の記述あり、ヘリカル実施が意識されていた。1983年6月28日付けの「83の特長 及び 拡張性」というタイトルの図表には、秀でた拡張性の一つとして、「SPIRALスキャン」としてヘリカルが図示されていた。先達たちの情熱に感動させられたが、古い資料を探せば、ヘリカルについてもっと出てきそうだが、別の機会にゆだねたい。

今だもって不可解なのは、歴史を紐解くと構想段階では存在していたのに、製品化の過程で消えてしまい、環境が整ってから、当たり前の如く実現された事である。900Sは其れだけ、そこに行き着く過程が大変であったから、と言う事だろうか？

後日、社内では名称をスパイラル、ヘリカル、どちらにするか討議され、ヘリカルと呼ぶ事に正式に決めたが、森によると、当時からヘリカルが正しかったようである。

保大、福島医大、国立ガンセンタ等、東芝の有力施設からヘリカルのアイデアが提示され、早期実現を強く求められたが、登場してから数年経過しても、900Sは品質問題、コスト問題、の決着、当初計画のメニューの整備、等々、焦眉の事が多く、ヘリカルを着手する環境になかった。

痺れを切らして、保大(片田、安野、辻岡、他)では1987年11月に連続スキャン中に無理やり天板を引っ張って、原始的ヘリカルスキャンの画像出しに成功した。これは世界初のヘリカルスキャン実施例となった。当時Z方向の補間処理も何も処理していないにも関わらず利用価値ある画像が得られ、将来性を予感させるものであった為、ヘリカルスキャン早期実装が督促される根拠となった。

保大、福島医大とも、自ら天板を引っ張ってヘリカル試行するという実力行使をもって、東芝に詰め寄って来られたが、なかなか要求に、お応えする事が出来なかった。

東芝でも、社内で天板引っ張って試行していたが、誰が何時ごろ試行したか判然としない。写真を見せられ、何も補正していないにも関わらず、ソコソコで行けると感じさえる画質であった事だけ覚えている。

ヘリカルは、連続SCAN中に、被写体を天板毎体軸方向に動かしてしまうという、全く新しい撮影方法であった(電子博物館参照)。撮影中に被写体を動かすとモーションアーチファクトと呼ぶ偽像を生じる為、撮影に際し被写体が動かない様に、呼吸を止める指導をするのが一般的なのに、それを積極的に被写体を動かすと言えば、常識的には否定されるのが当たり前であった。スキャン速度の遅いCTや従来のRR方式では実現性に乏しいが、スリッピングCT、しかも高速スキャンになると、急速にその可能性が高まるが、従来のアキシャル画像相当の画像を得るに新再構成法が必要になる。映画のように動体を単位時間あたりのコマ数を増やし撮影し、連続的に観察すれば動体画像として観察できる、その一コマコマの画質は、露出時間と露光時間(シャッター

速度)に依存するのであるから、CTも寝台の位置さえ把握していれば、時々刻々入力されるプロジェクションデータをアキシャルの2次元平面でなく、体軸方向も含めた3次元データとして扱って再構成すれば良さそうだと、直感的に理解できる。

1989年にX線管の大容量化(1.5 2MHU)、画像再構成高速化(キット)、新ソフト(V6ソフトウェア)等による900Sのバージョンアップする計画が纏まり、ヤット一段落の感じを持つ事が出来た。

そこで、1988年下期から東木を担当としてヘリカル開発(体軸方向補間;森特許)が着手され、遅ればせながら、1989年から保大、福島医大で基礎実験を開始する事が出来た。

最初はスライス幅が厚い360°補間であったが、その後スライス幅の薄い対抗ビーム補間も開発され、ヘリカルは急速に受け入れられて行った。

1989年10月10日名古屋で開かれた第28回断層撮影報研究会(大会長名大佐久間教授)で福島医大(木村、片倉、鈴木、ほか)から「CTの基礎的研究 第9報 螺旋状スキャン(ヘリカルスキャン)の試みー」
として報告され、優秀賞を受賞している。

当初計画ではRSNA発表をターゲットにしていた事、1987年暮れにシーメンスがスリッピングCTを発表していた点から、計画通りRSNAで発表する事を進言したが、他社のスリッピングCTの追随状況から時期尚早と判断され、1989年のRSNAでのアナウンスは見送られた。ところが、シーメンスよりスパイラルスキャンがアナウンスされ、大衝撃を受けた。今だもって、世界的にシーメンスのスパイラルが印象付けられており、千載一遇のチャンスを失った事を残念に思っている。もっと強く進言すれば良かったと大いに反省させられた。ワールドカップを戦っている時に、溜めを作るゆとりは無いと、つくづく思う。

企画段階からヘリカルは企画され、特許も出願済みであったにも関わらず、実際に世の中に登場するには歳月を要したのは、他社の追随を許さないという「とんでもないCT」であったからで、思いを達成するには実力不足であったという事が、ヤット当初目論見に近づいてヘリカルに取り掛かったが、CTの一応用では無く、CTの本流となる、とんでもない事であった。

900Sは、狙い通り、暫く他社の追従を許さない画期的CTとなったが、ヘリカル標準搭載までには更に約5年を要した。

『なお、ヘリカルがスムーズに臨床の場で使われるようになったのには、TCT-900Sがヘリカルに耐える骨組み、つまり高速大量の連続データをさばく収集・処理系や、三次元画像を高速に処理できるプロセッサなど、時代の水準を超えたものを持っていた、ということも預かっている。ヘリカルのために用意したものではないので、これはラッキーであった。(森)』

8. TCT-900Sの臨床応用展開、そしてヘリカルスキャンへ

1989年から保大、福島医大、国立ガンセンタ等8施設で順次FTを実施し、1990年11月2日に薬事認可を得て販売活動を開始した。国立ガンセンタより、ヘリカルが肺癌検診でも有効との新聞発表(1990.10.31付け)があり、ヘリカルへの注目度が一気に高まり、900S既納顧客からも注文が殺到した。試行は何とか成ったが、商品化には、X線管、プロセッサ等の強化が必須ではあり、これらを強化して1991年6月には他社に先駆け商品出荷を達成し、1991年上期だけで14台納入した。

900Sでの臨床応用については、上述の内容と重複するところもあるが、異なった視点として「市村賞を受賞

して」で荒館が寄せた「TCT-900Sの臨床応用展開、そしてヘリカルスキャンへ」を引用させて貰う。『TCT-900Sを商品として早期に完成させる、という命題をもって私は開発リ-ダを引き継いだ。1985年のことである。この時900Sは目標とした仕様を満足してなく、まずは製品として完成させることが必須であった。他社が1秒スリッピングCTを開発するのに、900S発表後3~5年を要したことを思えば、あるいは900S発表時期が早すぎたとも言えるし、世界を大きくリードしたとも言えるだろう。

画質問題として散乱線問題の解決、高速スキャン問題では、8スライス/20秒の達成、各種ソフトウェアの開発、必要な開発を続ける一方、1秒連続回転を活かした新しい臨床応用も臨床側を中心に次々に開始された。藤田保健衛生大による脳血流状態をシネモ-ドで描出するDynamic subtraction cine-CT、視神経などの動きを描出するEOM CT (External Ocular Muscle Movement)、国立がんセンタによるラピッドスキャンによる腫瘍の鑑別診断への応用、また画質向上研究では福島医大との共同で散乱線補正法の開発、など臨床応用が進むにつれ900Sの評価は次第に高まった。

1987年頃には900Sは立派な最先端のスキャナとして評され始めた。次なる課題はラピッドスキャンの性能向上であった。このスキャン法は20秒間に6~8スキャンを可能としていた。課題は一回の呼吸休止期間にどの位の領域がスキャンできるかと言うことである。一回の呼吸休止期間に例えば肝臓の全領域をスキャンしたいという強い要求がいくつかの施設からだされていた。寝台の移動、停止制御の改善では限界に達したと考えられ、「寝台を止めずに動かし続けたら？」という意見は多く、ヘリカルスキャンの可能性について議論を開始した。成功すれば臨床側からの要望には応えられる。工場では頭部ファントムで寝台を手動で動かし実験し、意外な程ア-チファクトが少なく何とかなるとの感触を得ており、基礎検討を進めていた。従来CTと比較すれば、ヘリカル画質はやや劣り、実用化までには詳細な検討を必要とした。

ヘリカルスキャン画質に対して、従来スキャンに比べ劣るために駄目だと言う主張はヘリカルの臨床有用性の前に影をひそめたが、世界に先駆けて提唱することは並大抵のことではできない。今までに経験したことのないスキャン法であり、基本画質、たくさんあるスキャンパラメ-タと画質の関係の見極め、臨床応用の可能性など、検討課題は山積していた。

1987年頃であった。藤田保健衛生大で寝台を手動で動かし、実験を開始し次には造影剤注入装置を利用し、寝台をスキャン中に動かす事を始めた。正に、ヘリカルスキャンのスタートであった。これで臨床デ-タの入手が可能になり、一気にヘリカル臨床画質評価が進んだ。

ヘリカルスキャンの臨床研究は、ある意味において楽しい研究であったと言える。苦しかったのは前提となるスリッピングによる30秒連続スキャンを安定に動かすということであった。途中でX線管が放電をしたら、検査を無駄にする。これは当初、30秒の連続スキャンに成功した時その場に居合わせた人から拍手がおこったということでも想像できるだろう。

1988~89年にかけてはヘリカルスキャンの多くの臨床評価を進めており、89年にはその可能性を確信していた。1989年、藤田保健衛生大から北米放射線学会での発表の打診があった。この時点での他社の動きと言え、1988年にS社がスリッピングCTを発表しているだけであった。ヘリカル発表は焦る必要はないと考え、1990年発表を目標で進めることにした。

結果はS社は89年にヘリカルスキャンを大々的に発表、一気にCTはヘリカル時代に突入した。当社も遅れずに900S/HELIX、X force とヘリカルスキャナを発表できたが、世界に先駆けて事をおこすことの難しさを実

感じた。時にはやや早いと思える段階で大々的にアピールを展開することもリーダーになる為には必要との感想はこの時以来私の脳裏を離れない。

一呼吸休止期間にスキャン完了という、究極のラピッドスキャンとして開発を進める一方、ヘリカルが登場をCTルネッサンスと言わせた大きな要因はその高速性と三次元画像を臨床応用に有用なレベルまでに向上させたことだ。これがなかったらヘリカルはCTの一臨床応用機能にとどまったであろう。

私は当時、肺の断面変換像を机上においていた。従来のCTスキャンでは肺血管像を断面変換しても断面と次の断面に段差が生じてしまう。ヘリカルはこれを解決できる可能性があり、必ず高画質な断面変換像をつくらうと机上に置いていた。肺のデータを入手し、断面変換像、三次元像を作成し、信じられない画像を得た時の感動は今も忘れられない。1991年頃からはヘリカルスキャンが次第に普及し、現在では販売するCTは殆どヘリカルスキャナである。低迷する画像診断装置の市場にあって、CT市場が微増しているのもヘリカルスキャンが大きく寄与していると思われる。(荒館)』

9.900S以降

900Sの製品試作が進む頃から、900S後継の検討が開始されており、900Sも一段落、ヘリカルに本腰が入る1988年頃にNR方式を踏襲するか、RR方式に切替えるかが討議された。

900S後継はRR方式で行くと決めたが、NR方式で進めて来た東芝の最高級機をRR方式に替える事による、市場、東芝顧客の反応が一番心配であった。

東芝RR方式CTの後継シリーズとしてコンピュータ系をUNIXとするXシリーズの開発が進んでいたが、Xシリーズに900Sの資産を移植する事で、Xシリーズの最高級機を900S後継とする事にした。

900Sから手を抜き、Xシリーズによる900S後継を急ぐべしとの意見も強かったが、900Sを東芝のフラグシップとして完成させ、ダウングレード版としてRR方式スリッピングCT(Xforce)次いで、900S後継の真打(Xvigor)登場のシナリオとした。

Xvigorは900Sの後継に相応しく、900Sを超えて、世界No.1を目指しており、900Sで培った、技術・知識、更に将来に向けての夢が注ぎ込まれた。

スキャンしながらリアルタイム再構成し、逐次動画で表示する、所謂リアルテクノロジー(900Sではデータ量、データ処理プロセスの複雑さ、他で不可能であった)また、900S開発当初より進めて来た、固体検出器をRR方式CTに適用する為の要素技術、等々、長年の地道な要素開発努力を、Xvigorで開花させる事が出来た。

Xforceには、RR方式として一般的で一番リスクの少ない、Xe検出器を踏襲する事にした。

900Sのダウングレード版とはいえながらも、後日のXvigorへのアップグレードを前提とし、X線光学系(幾何学的X線管球、患者、検出器の配置)は、Xvigorと共通にしていた為、世界最大の開孔径72cm、撮影領域径50cmで、画質を保証する為には、Xe検出器のX線検出効率を飛躍的に高める事が必須であった。高圧ガスに関する法令に問題無い限界まで封入Xeガス圧を高めてたが、スキャン速度は、1.5秒/回転となった。

900Sに続き、Xforceにもヘリカルが搭載され、900Sを超えるXvigorも登場し、ヘリカル時代の本格到来となった。

10.あしがき

マルチスライスCT全盛、ボリュームCT、4D-CT、が標榜されているが、900Sで実現された連続全回転型CTがヘリカルSCANを経て辿りついたが、当時のCT開発マップには立体CT等の言葉も表れており、夢物語とも捉えられかねないビジョンが既に描かれていた。夢物語でも描いておけば、其れを実現する技術・環境がいつれ追っかけて来るであろうとの考えがあったが、本当にそうなった事に感慨を覚える。

予見させる事と実現には大きなギャップがあり、実現の為の幾多の技術的ブレークスルーが必要であった。それに向かって進められる環境も必要であるが、一番大切な事は、携る者の意思と努力が一番必要であると、つくづく感じる。今現在とんでもない事であっても、その道を極めた人が描くものであったら、夢に終わらず、実現できると信じている。同じ夢の実現に向かって共に苦労して頂いた、保大、福島医大、国立がんセンタ等の諸先生方は、僭越な言い方で失礼とは思いますが、同志であったのだと、感じる。片田先生が良くおっしゃるように、メーカーの人間は装置を造れても、使いこなす事はできない。医療に従事される先生方と、同志と言える位の相互の信頼関係を築いて、未来が切り開かれて行く事で、メーカーとしての社会性も発露でき、メーカーに属する者も、医療の一翼を担うとの自負も実感できると信じる。

年表

- 1979年 「とんでもないCT」の構想検討開始
- 1980年 具体案として高速高分解能の連続回転型CTの構想（後のTCT-900S）
- 1981年 TCT-900Sの実証機開発にGO
- 1982年 夏、ヘリカルを検討、特許提案（出願12月）
- 1983年 実証機で1秒スキヤンの画像化成功。製品試作フェーズへ移行
- 1985年 製品試作機の臨床テスト開始（福島医大2月据え付け）
製品1号機出荷（硅肺労災10月）
- 1987年 シーメンス社も高速スリップリングCT発表
藤田保健衛生大学と福島県立医科大学によるヘリカルもどき実験
- 1988年 ヘリカル開発開始、国内学会で学術発表
- 1989年 シーメンス社、米国学会でヘリカル（スパイラル）を学術発表
- 1990年 東芝、シーメンス社、各々ヘリカル（スパイラル）商品化

ヘリカルに関する主たる受賞履歴

- 1989年 第28回断層映像研究会(大会長名大佐久間教授)
「CTの基礎的研究 第9報 螺旋状スキヤン(ヘリカルスキヤン)の試みー」
福島医大(木村、片倉)
- 1992年 第2回日経BP技術賞(医療部門)
「X線CTのヘリカルスキヤン技術」
名古屋保健衛生大学 衛生学部 片田和廣他
- 1993年 (財)機械振興協会 第28回機械振興協会賞(通商産業大臣賞)、
「ヘリカルスキヤンX線CT装置の開発」

東芝(平尾, 森)

藤田学園保健衛生大学(片田)

福島県立医科大学(木村)

国立がんセンタ(森山)

1998年に(財)新技術開発財団 市村産業賞(功績賞)、

「ヘリカルスキャンX線CT装置の開発」

東芝(森, 荒館, 東木)

1999年に(社)発明協会 全国発明表彰 科学技術庁長官発明賞

東芝(森)

2000年に科学技術庁長官賞(科学技術功労者表彰)

東芝(森)

2001年に紫綬褒章

東芝(森)

参考資料

1. 牧野純夫：企業存滅のキーワードX線CTビジネスの実践例から、日本プランニングセンター、1987.1
2. 牧野純夫：日本の放射線機器の戦後史・・・21 X線CTの発祥・・・ 世代の進展 連続全回転X線CTの始まり、JIRA会報 2003.7、30-34
3. 岡田 光治：百年を取り戻す男たち ヒューマン・コミット、日本X線CT事始、医療科学社、1993.5、
4. 森 一生、斉藤清人、朝比奈清敬：全身用X線CT TCT-900S、東芝レビュー42(2) 80-82、1987
5. 森 一生：X線断層撮影装置、特許公報1990、特許第2128454号
6. 東木裕介、利府俊裕、荒館 博、平尾芳樹、大山永昭：ヘリカルスキャンにおける補間再構成法の検討、Medical Imaging Technology 8、253-254、1990
7. 木村和衛、片倉俊彦、鈴木憲二：CTの基礎的研究 第9報 - 螺旋状スキャン(ヘリカルスキャン)の試み一、断層撮影法研究会誌 16(3) 247-250、1989
8. 東木裕介：ヘリカルスキャンの新技術と臨床応用、メディカルレビュー 16、43-48、1992
9. 佐藤文夫、平尾芳樹、森 一生、片田和廣、木村和衛、森山紀之：第28回機械振興協会賞受賞者業績概要、通商産業大臣賞 ヘリカルスキャンX線CT装置の開発 機会振興協会雑誌、26(12) 59-62、1993
10. 平尾芳樹：第28回機械振興協会賞を受賞して、機会振興協会雑誌、26(12) 22-26、1993
11. 森 一生：ヘリカルCTの開発経緯、価値、今後の展望、日本循環器学会専門医誌 循環器専門医 7(1) 137-145
12. 片田和廣：CTパラダイム CTとともに歩んだ四半世紀、新医療、1997.10、65-72
13. 片田和廣：講座 画像診断 原理と歴史、呼吸、16(7) 1025-1033、1997
14. 木村和衛、古賀佑彦、監修：ヘリカルスキャンの基礎と臨床 連続回転型CTの応用、1993、医療科学社
15. 木村和衛、片倉俊彦、鈴木 憲二：高速X線CTの臨床的效果 第1報、映像情報 18(10) 303、488-493、1986
16. 志田寿夫他：高速高解像力CT TCT-900Sの肺疾患への適応、第15回断層撮影法研究会、1986、岡山
17. 木村和衛、片倉俊彦、鈴木憲二：高速X線CTの臨床的效果 第2報、断層撮影法研究会雑誌 14.31-36.1987

18. 木村和衛、片倉俊彦、鈴木憲二：全身用X線CT TCT-900Sの使用経験、メディカルレビュー、vol111,NO.2,9-19,1987
19. 森 一生他：全身用X線CT TCT-900S、東芝レビュー、42.2.80-82,1987
20. 山田耕三他；小型肺野型肺癌のX線像、臨床画像、vol1.4、No.11,1988
21. 片田和廣他；特集 螺旋走査型CTの現状と問題点、日独医報、vol38、No.3、7-128、1993
22. Katada K, Anno H, Koga S et al: Three-dimensional angioimaging with helical scanning CT, Radiology 1990;177,364
23. Tuzioka K, Katada K, Anno H et al: Basic examination of helical scanning CT, Radiology 1990,177,344
24. Kalender W et al; Single-breath-hold spiral volumetric CT by continuous patient translation and scanner rotation, Radiology 1989,173,414
25. Kalender W et al; Spiral volumetric CT with single breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation, Radiology 1990,176,181-183
26. Anno H, Kondo T, Katada K et al; Three-dimensional coronary angioimaging with helical CT, Radiology, 1991,181,336



