

一橋大学21世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

富士写真フイルム
デジタル式 X 線画像診断システムの開発

武石彰
宮原諄二
三木朋乃

2007 年 7 月

CASE#07-01

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している(詳細は <http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html> を参照のこと)。本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

一橋大学
文部科学省 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

富士写真フイルム株式会社
デジタル式 X 線画像診断システムの開発

2007/07/23

一橋大学イノベーション研究センター教授 武石 彰
東京理科大学大学院総合科学技術経営研究科教授 宮原諄二
一橋大学大学院商学研究科博士課程 三木朋乃

はじめに

優れた医療は優れた診断からはじまる。

例えば、乳がんの対策で一番重要なのは早期発見である。乳がんは日本人女性の 25 人に 1 人がかかるとされ、壮年層（30～64 歳）の女性のがん死亡原因のトップを占めている。しかし早い段階で発見して治療すれば 90%近い治癒が期待できる。少しでも早く見つければ多くの女性の命を救うことができる。そのための有望な手段として内外で普及が進んでいるのが、デジタル式の X 線画像診断システムである。

X 線画像診断システムとは、健康診断などでなじみのある、いわゆるレントゲン画像撮影装置のことである。デジタル式は、人体を通過した X 線情報をセンサーとコンピュータによってデジタル情報に変換し、写真フィルムや液晶モニターなどに画像を表示する。X 線情報をフィルムに感光させてアナログのレントゲン写真にする従来のシステムとちがって、画像処理によって診断目的にあわせた画像情報が提供できる。

乳がんの X 線画像診断¹の場合でいえば、触診では確認できないような微細な石灰化（細胞が壊死したところにカルシウムの成分が溜まったもの）を発見することが重要になるが、デジタル情報の画像処理により石灰化陰影能を高めて診断精度を上げたり、注意すべき部位を強調して診断を補助したりすることができる。高感度のセンサーと入力画像認識処理によって X 線撮影で失敗するリスクを減らして受診者の被曝線量を最小限に抑えることもできるし、画像データを効率的に保存し、伝達し、管理することもできる。こうした長所を備えたデジタル式のシステムは、乳がんの検診に限らず、X 線画像診断の様々な領域で広く浸透し、世界中の医療機関で利用され、医療の質の向上・高度化・効率化に貢献している。

このデジタル式の X 線画像診断システムを世界に先駆けて開発したのが、富士写真フィルム株式会社（以下、富士フィルム）だった。同社が 1981 年に実現した FCR (Fuji Computed Radiography) は、1970 年代以降 CT スキャン、MRI（核磁気共鳴イメージング）などコンピュータ技術を利用した新しい画像診断法が登場する中で、時代の流れに乗り遅れ気味だった X 線画像情報のデジタル化に世界ではじめて成功した画期的な技術革新であった。レントゲンフィルムの大手だった富士フィルムは、FCR で医療用診断機器システム事業に本格的に参入し、現在、デジタル式 X 線画像診断システムで世界トップの座を占めている。

富士フィルムはどのようにして FCR を開発、事業化していったのか。本ケースではその過程を記述する²。

¹ 乳がん検診用の X 線撮影のことを、一般にマンモグラフィという。乳房は軟らかい組織で出来ているため、専用のレントゲン装置を使う。

² 本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」の研究プロジェクトのひとつ「大河内賞ケース研究プロジェクト」

(<http://www.iir.hit-u.ac.jp/reserch/21COE.html>) の一環として作成したものである（本ケースでとりあげる、「放射線イメージングシステム」は 1991 年度に第 38 回大河内記念賞を受賞している。本稿を作成するにあたって、後掲の参考文献の他に以下のインタビューを参考にした：園田實氏（元富士写真フィルム株式会社常務取締役）インタビュー（1998/08/29）、加藤久豊氏（富士写真フィルム株式会社取締役常務執行役員・メディカル事業部長、富士フィルムメデ

1. 富士フィルムの概要と沿革

富士フィルムは、1934年に映画用フィルムの国産メーカーとして設立された。設立当初から独自技術の開発に力を入れてきた同社は、戦後、国内最大手の写真フィルムメーカーとして不動の地位を築き、世界でも米国コダックに次ぐ第二位の座についた。フィルム事業の他、画像情報に関する優れた技術力を活かして印刷、医療、事務機器、デジタルカメラなど多様な領域にかかわる事業を展開してきた。

2006年度現在、同社の売上高は約2.8兆円、従業員は約7.6万人を数える(連結ベース)。事業領域は、大きく①イメージングソリューション部門(フィルム、デジタルカメラなど)、②インフォメーションソリューション部門(印刷用・医療診断用・情報システム用の各種システムやフラットパネルディスプレイ材料など)、③ドキュメントソリューション部門(連結子会社の富士ゼロックスによる事業で、オフィス用複写機、プリンターなど)の三つの分野から構成されている。それぞれ、売上高の22%、37%、41%を占めている。

FCRを含む医療関連分野はインフォメーションソリューション部門に含まれ、同部門の中で26%の売り上げを占めている。富士フィルムの医療関連事業の歴史は古い。同社設立間もない1936年にX線フィルムを開発・発売したことから始まっている。長年X線用のフィルム、蛍光増感スクリーン、現像機などを供給し、この分野でも5割前後のシェアを握り、国内トップの地位を保ってきた。創業以来富士フィルムの発展を支えてきた写真フィルム事業の業績がこのところ芳しくない中で、医療関連事業は堅調に推移し、いまや富士フィルムの重要な収益の柱のひとつとなっている。その牽引役を担ってきたのがFCRを中心とする医療用画像診断システムである。

2. FCRとは

FCRの概要

X線は、物質に対する透過力を持つ波長の短い電磁波である。真空のガラス管の中で高電圧下にて陰極から出た電子が陽極の焦点に衝突して発生する。放射線の一種で、1895年にドイツのレントゲン博士によって発見されたことからレントゲン線ともいわれる。X線の透過性は物質の原子構造や厚みによって変化する。この透過性の違いを利用して医療診断に用いるのが、X線画像診断システムである。

従来のシステムはX線像を感光する写真フィルムに記録する。体内でX線が多く透過した部分は黒く、透過しにくかった部分は白く写ることで、人体内部の画像情報が得られる。

イカル株式会社取締役社長)インタビュー(2005/10/07、2007/02/08)、高野正雄氏(駒澤大学医療健康科学部診療放射線技術科学科教授)インタビュー(2006/04/04、2006/04/19、2006/11/28)(所属、役職はいずれもインタビュー当時)。お忙しいお時間を割いてご協力いただいた方々に深く感謝する。また「大河内賞ケース研究プロジェクト」を進めるに際して多くのご協力をいただいている大河内記念会にも感謝する。ただし、書かれている内容についての文責はあくまでも筆者にある。また本稿の記述は企業経営の巧拙を示すことを目的としたものではなく、分析並びに討議上の視点と資料を提供するために作成されたものである。

骨や肺の病変を描き出したり、X線を通さない造影剤（バリウムなど）を使って消化管や血管の様子を抽出したりできる。一般の写真フィルムと違って写真感光層がフィルムベースの両側にある特殊な写真フィルムであり、通常、レントゲンフィルムと呼ばれる。レントゲンフィルムの前後を蛍光増感スクリーンで挟むことから S/F（スクリーン/フィルム）システムとも呼ばれている。

これに対して、デジタル化された X 線画像診断システムである FCR は、X 線情報を、写真フィルムではなく、高感度のセンサー（イメージング・プレート）に記録し、これをレーザー光線で励起発光させて電気信号に変換し、コンピュータで画像処理して、写真フィルム、液晶モニターなどに表示する。従来のシステムでは写真フィルム自身が X 線像の記録、表示、保存の 3 つの機能を兼ねている。FCR ではこれらの機能を分離し、それぞれ最適な媒体・デバイスに分担させ、コンピュータ技術を活用し、全体をシステム化している。その基本的なプロセスと技術はおおよそ次のようになっている（図 1）。

まず、センサーである「イメージング・プレート」に X 線像を記録する。イメージング・プレートは光輝尽発光現象³を示す特殊な蛍光体（2 価のユーロピウムイオンを微量に含有させたバリウムフロロハイド化合物： $BaFX:Eu^{2+}$ ($X=Br, I$)) の結晶を用いた X 線像の記録デバイスである。この結晶は、フッ素原子 F や臭素原子などの原子空孔（結晶中の原子が存在しない場所）を存在させている。そのため X 線の刺激によって結晶中に生じた電子はその陰イオンの原子空孔に捕獲される。この状態で赤色のレーザー（He-Ne レーザーや半導体レーザー）を照射すると、捕獲されていた電子が解放され、最初の X 線の刺激に比例した強い青紫の光を発する。この結晶粒子を高密度に塗布したフレキシブルな画像センサーがイメージング・プレートである。X 線の撮影は従来の撮影方法をそのまま用いることができる。また、X 線ばかりでなく、紫外線、ガンマ線などの高エネルギー電磁波、電子線、ベータ線、アルファ線、中性子線、イオン線など、ほとんどの種類の放射線を検出することができる。

イメージング・プレートに記録された X 線情報は専用の高精度光学スキャナーで読み取られる。イメージング・プレートを精密搬送しながらその上に赤色のレーザービームを照射し、蛍光体の結晶に記録された X 線情報を光（ルミネセンス）に変換し、高効率集光ガイドを用いてこれを集め、電気信号として取り出す。

読み取られた電気信号は、対数変換後にアナログ/デジタル変換され、コンピュータのアルゴリズムにより目的に応じたデジタル画像処理がなされ、診断・解析しやすい X 線画像として再生される。表示は、写真フィルム、液晶モニターなど、目的に応じて異なる方法が利用できる。スキャナーによって画像を読み取られたイメージング・プレートは、さらに均一な光によって残像が消去され、記録可能な最初の状態に戻り、繰り返し使用でき

³ 輝尽発光（きじんはっこう：Photo-Stimulated Luminescence, PSL）現象とは、光や放射線などの最初の刺激を終了した後、発光波長よりも長い第二の光（輝尽励起）によって最初の刺激の強さに応じた蛍光（輝尽発光）を発する現象を指す。最初の光や放射線などの情報が記録され、その情報を光で読み出すことができる現象である。

る。

FCRの特長

FCRは従来のアナログ写真のシステムと比べて二つの特長をもっている。

一つには、画像情報がデジタル信号化され、アナログ情報に比べてノイズに強く、シンプルであることから、複雑な処理が可能になる。もう一つには、センサーとして用いるイメージング・プレートは、図 2 に示すように、レントゲンフィルムに比べて、放射線感度が高く、ダイナミックレンジ（感度の応答域）が広く、応答の直線性がよいという特性を備えている。それは、ほぼ一世紀に及ぶ X 線画像診断システムに飛躍的な進歩をもたらした技術革新であった（図 3）。

つまり FCR は、より豊かで良好な画像情報をより高度で多様な形で利用できるのである。このことから次のような技術的、経済的メリットが実現される。

まず、精度の高い読影・診断が可能になった。X 線画像診断は、撮影の部位によって望ましい画像特性が異なり、また受診者の体型（例えば、太っているかどうか、胸板が厚いかどうかなど）によって望ましい撮影条件が異なる。このため、従来のレントゲン写真の撮影では、部位毎に異なるフィルムを用意したり、レントゲン技師がその都度微調整したりしながら撮影を行っていた。レントゲン技師の経験と技に依存するところもあり、画質にバラツキがあった。これに対して、FCR は、X 線画像情報を高感度で取得し、従来よりも微量の X 線でも撮影が可能となり、しかも多様な部位、撮影条件に合わせて最適な画像処理を加えることができる。撮影条件の範囲を拡げ、レントゲン技師の技に左右されることなく、画像診断の水準を全般的にレベルアップし、医療の質的向上に貢献した。

第二に、X 線撮影に伴う受診者の X 線被曝線量の抑制につながった。レントゲン技師の経験と技に依存する従来のレントゲン写真の撮影では、望ましい画像情報が得られず、結果的に再撮影を余儀なくされることがある⁴。重症患者の病室内における簡易型 X 線撮影装置による撮影などは特に失敗のリスクが高い。これに対して FCR は、高感度で画像情報を取得して最適な画像処理ができる上に、スキャナーでイメージング・プレートから画像情報を読み取る際に先読みと本読みという二段階をもうけることで失敗する可能性をさらに押さえている。できるだけ被曝量を少なくするという点でその意義は大きい。

第三に、デジタル情報の様々な演算処理により、従来のレントゲン写真では抽出できなかった画像情報を示し、新しい画像診断方法も可能にした。FCR が初期に実現した成果の例をあげると、図 4 の①に示すように、血管造影剤の注入前後の二枚の画像を電子的に差し引きすることで簡単に血管造影写真が得られるようになった。しかも FCR では動脈ではなく静脈から造影剤を注入する方式が可能になった。イメージング・プレートの感度が高いおかげで静脈から心臓を経由して動脈に流れていって薄まった造影剤でも捉えることができるからである。入院を必要とする動脈からの注入に比べて、静脈注入は入院を必要とし

⁴ その比率は 5～8%程度あったともいわれている。

ないため患者の負担が軽減された⁵。

この他、エネルギーの違いや経時的な変化を演算処理して、効果的な診断画像情報を迅速に描出することができるようになった（図 4②、③）。冒頭で触れた乳がんの診断のための X 線画像処理もその一例である。

第四に、得られた画像情報の保存・伝達・管理が効率的に行えるようになり、診断業務や事務管理業務のコスト削減やスピードアップに寄与する。デジタル情報であることから、繰り返しの記録再生でデータが劣化しないし、画像圧縮処理で画像保管を効率的に行える。光ディスクによる X 線診断画像のファイリングや検索も容易になり、画像情報を送信することで遠隔地での診断も可能になる⁶。文字情報（診断情報、カルテ、照射録、会計情報など）とリンクすることも可能になる。進行しつつある医療・病院経営の情報化・ネットワーク化の一翼を担う技術となっている。

いいことづくめではない。デジタル化とはアナログ情報があるレベルで切り取って、それ以下の情報を捨て去ることに他ならない。既存のレントゲン装置に加えて、新たにイメージング・プレートと画像診断システム一式を購入するための費用も発生する。しかし、情報通信技術が急速に進歩する中で、よりきめ細かいデジタル画像情報をより低コストで提供することを実現し、FCR はこれらのハンディキャップを克服していった⁷。

デジタル X 線画像診断装置は医療の世界で高く評価され、これまで世界で累計約 10 万台（他社製を含む）が大手の医療機関を中心に導入されている。最近では小型化・低価格化が進み、開業医など小規模の医療機関にも浸透しつつある。

先鞭をつけた富士フイルムは国内では約 7 割、海外では約 5 割のシェアを占め、デジタル式 X 線画像診断システムで世界トップの地位を築いている。FCR は発売以来今日（2006 年末）にいたるまで売上拡大を続け、医療診断機器システム事業は富士フイルムの重要な収益の柱となっている。

だが、FCR の成功は、多くの困難を乗り越え、様々な努力と工夫を積み重ね、長い時間を費やした末に実現したものだった。以下、最初の構想の段階から、要素技術の開発、製品開発を経て、事業化にいたるまでの経緯を辿っていくことにしよう（付表に年表を示す）⁸。

⁵ この方法は FCR によってはじめて実現したものだが、現在では DSA（Digital Subtraction Angiography）に置き換わっている。

⁶ X 線画像情報は、病院内で最もデータ量が多く、取り扱いが困難であり、その保管の効率化の価値は大きい。従来のシステムでは膨大な数のレントゲン写真の倉庫から必要な写真を探し出すのに時間と手間がかかっていたが、FCR のシステムでは、光ディスクから必要なデータを簡単に検索・入手することが可能になる。さらには（前述のように）過去の画像データと最新の画像データを演算処理して時間的な変化を明示することも可能になる。また、専門医のいない僻地の診療所から X 線画像情報を信号回線で専門医のいる中央の病院に送り、適切に診断を行うことも可能になる。

⁷ とくに FCR の開発当初は情報処理能力が限られていた。標準化原理に従ってデジタル化によっても医療診断に可能な限り影響を及ぼさないよう最大限の開発努力が求められた。しかしその後の情報処理能力の急速な進歩により、いまでは人間の識別能力の限界を超えた記録密度と分解能を実現している。

⁸ 富士フイルムが開発した X 線画像のデジタル化技術は、医療分野にとどまらず、科学の分野で

3. 構想から開発着手へ

発端と背景

富士フィルムの足柄研究所でレントゲンフィルムを含む白黒写真フィルムの研究部門を率いていた園田実が FCR の原点となる構想を何人かの部下の技術者に持ちかけたのは、1974 年の暮れのことだった⁹。

1954 年に入社して以来富士フィルムで長年感光材料の研究に携わってきた園田は、その数年前から新しい X 線画像診断システムの開発の必要性を感じていた。X 線写真に用いるハロゲン化銀結晶自体の感度の限界、そしてそれが塗布されたフィルムとしての感度と定量測定の限界から従来の X 線写真の技術的限界を感じていたからである¹⁰。

園田は、レントゲンフィルム研究の責任者として、1971 年 8 月に「一旦蛍光スクリーンに写った X 線画像を電氣的に処理して、自由な形に変換され、それがフィルム上に記録される方式」の開発を長期研究計画の重要テーマとして提出した（図 5）。後の FCR の原点となるコンセプトであった。だが実際に開発に着手することはなかった。レントゲンフィルムの改良の仕事に追われて余裕がなかったのと、構想を実現するための具体的な技術が思い浮かばなかったからだ。

その園田がほぼ 3 年後の 1974 年の暮れになって再び構想を持ち出したのには理由があった。一つは、銀価格の急騰である。1973 年の第一次石油ショックによって高騰を始めた原油とともに銀の価格も上昇した。それまでの 1kg あたり 1 万円台だったのが 1974 年 3 月に

も重要な貢献を果たしている。上述の通り、イメージング・プレートは、従来の写真フィルムに比べると放射線に対して数十倍から数千倍の感度があり、きわめて広い応答性と直線性がある。この特性によって従来検出できなかったものが検出できるようになり、放射線強度とその分布をディスプレイ上で定量解析できる。1987 年から非医療分野向けに販売を開始したイメージング・プレートは、放射線の二次元検出器として、放射性アイソトープ（同位体）による実験手法を不可欠とする創薬や理化学の分野で利用されている。これらの分野では、イメージング・プレートによる放射線画像解析によって新しい発見が相次いだばかりでなく、実験期間の短縮、実験経費の節減、実験精度の向上、放射性廃棄処理の軽減等の効果が大きく評価されている。また、コンクリート内部の構造物を検出する非破壊検査や環境放射線の計測などといった、産業分野でも応用され、効果をあげている。これは富士フィルムが当初意図していたことではなかったが、汎用性をもった安価な放射線の二次元検出器という特徴をイメージング・プレートが持っていたことによって実現された。自然科学研究や創薬研究へ大きな影響を与える革新技術として Nature 誌から依頼を受けてイメージング・プレートに関する解説論文が掲載され (Amemiya and Miyahara, 1988)、国際的にも反響を呼んだ。さらに過去から現在に至るマイルストーンとなった重要学術論文集が米国 SPIE 学会により編纂されているが、その論文集には「蛍光体、発光ダイオード、シンチレーター分野」における最重要論文として、イメージング・プレートに関連する 3 つの学術論文が指名され、収録されている。ただし、本ケースでは FCR という医療用画像診断システムの開発と事業化に分析の焦点を当てるため、科学分野への貢献については取り扱わない。

⁹ 当時の足柄研究所の写真フィルム研究部門は大きく二つに分かれていた。カラー写真フィルム部門と白黒写真フィルム部門である。後者は、レントゲンフィルム、印刷製版用のリスフィルム、カメラ撮影用の高感度白黒フィルムなどの、カラー現像を必要としない用途の写真フィルムを指す。園田は白黒写真フィルムの開発部隊の責任者で、乳剤基礎研究室長も兼任していた。

¹⁰ 感度を上げると画質が劣化し、感度を下げなければ画質が向上しないという技術の壁があった（詳細は宮原、1999）。

は 5.7 万円まで跳ね上がった。ハロゲン化銀結晶の感光特性を利用した写真のフィルムは大量の銀を使用する。特に X 線像は通常の光学像のようにレンズなどによって直接的に縮小・拡大ができないためレントゲンフィルムのサイズが大きく、その銀の消費量は写真業界が使用する銀量の 1/3 を占めるほどだった。銀価格の高騰とともに富士フィルムのレントゲンフィルム事業は収益が悪化し、打開策が求められていた¹¹。

もう一つ、1970 年代に入ってから医療画像診断分野において画期的な技術が次々に誕生していたことも刺激になった。1971 年にアメリカの R. Damadian によって核磁気共鳴法を応用した断層撮像装置 (NMR-CT) の特許が出願され、1972 年にはイギリスのレコード会社 EMI 社の G. Haunsfield によって頭部 X 線断層スキャナーが発表された。それぞれ、現在、MRI、X 線 CT と呼ばれ、広く普及している。今日使われている電子スキャンによる実時間処理可能な超音波診断装置が日本で開発されたのも 1971 年のことだった。

X 線画像診断システムは長年の歴史によって医療診断法として確固たる地位を確立していたし、レントゲン写真は他の画像診断システムに比べて画像情報量が桁違いに大きく、原理がシンプルで、使いやすく、コストも安かった。新しい診断装置が出てきても、その地位が大きく揺らぐことはなかった。だがレントゲン写真法はエレクトロニクス化されていない唯一の画像診断法として取り残されていった。

銀価格の高騰と新しい医療診断システムの相次ぐ登場は、新しい X 線画像診断システムの本格的な検討を促した外的な要因であったが¹²、園田がかつての構想を 3 年ぶりに持ち出したのには、さらにもう一つ、富士フィルム組織内部の事情が絡んでいた。それは、1974 年の後半になって足柄研究所の白黒写真フィルムの開発部門の組織再編の方針が打ち出されたことであった。富士フィルムの事業の柱であったカラー写真用フィルムの開発体制を強化するため一部の技術者はカラー部門に異動し、レントゲンフィルムの応用開発のメンバーは同フィルムを製造している富士宮工場の第 4 製造技術課が引き継ぐことになったのである。石油ショックと銀価格高騰によるレントゲンフィルム事業の採算悪化への対応策でもあった。

問題は、この組織変更と人事異動に際して園田の配下にいた何人かの異分野の技術者達をどう処遇するかであった。これまでレントゲンフィルムの開発で実績を重ねてきた園田には他の選択肢もあった。だが組織再編・人事異動をそのまま受け入れるのではなく、全く新しい発想によって自分たちで生きる道を切り開いていけないだろうか、どうせ新しいことをやるなら思い切ったことをやろう、とあえて提案したのである。行き場を失いかけた集団が自ら道を切り拓くための企画だった。

そもそも園田のところには、従来のスクリーン/フィルム・システムの延長にはない画期

¹¹ 石油ショックや銀価格の高騰が始まる前に、ローマクラブは『成長の限界』を発表して (1972 年)、資源の有限性について大きな警告を投げかけた。園田はこれを読んで、省銀に取り組む必要性を感じていた。その後、銀価格は 1980 年 1 月には 1kg34.6 万円を記録し、レントゲンフィルムを買って塗布されている銀を取り出して売った方が儲かるという事態にまで陥る。

¹² これらの要因は富士フィルムに限った問題ではない。後に触れるように、デジタル X 線画像診断システムの開発に取り組んだ企業は他にも存在した。

的な技術の開発に関心を抱くような異分子が集まっていた。当時園田の下で開発に携わり、後に FCR の開発・商品化で活躍することになる高野正雄、宮原諄二、加藤久豊の三人は、それぞれクセのある経歴の持ち主だった。

高野は新聞社の印刷工を経験した後、大学で物理を学び、富士フィルムの足柄研究所に入社した。医療画像研究で実績を残したものの、上司と意見が合わず、園田のところに来ていた。宮原は大学で金属学を学び、別の会社で原子炉用核燃料被覆管材料開発に関わった後、富士フィルムに転職してきた。オフセット印刷材料部に配属されたものの、たまたま実習で訪れた園田の研究室に自ら希望してそのまま残った。加藤は大学で応用物理を学んだ後、富士フィルムに入社した。生産技術部に配属されたが、興味が持てず、社内の制度で米国のスタンフォード大学へ留学し、会社の仕事とは関係のない画像処理の研究に取り組んだ。留学からもどって帰る場所がなかったのを、高野が目をつけて園田の研究室に引っ張ってきた。

化学系の技術者が主流を占める富士フィルムにあって、いずれも傍流の技術者達であった¹³。傍流であったから行き場を失いかけたわけだが、傍流であったからこそ「背水の陣」で画期的な技術に挑戦することに心ひかれた。そもそも高野や加藤は、自らの経験を通じて新たな画像診断システムの可能性を感じていた。主流の技術者達を見返したいという思いを抱いていた者もいた。園田は彼等がいなければ新しいシステムの開発を提案していなかったと後に振り返っている。

基本構想と開発着手

園田から持ちかけられた構想に賛同したメンバーは、議論を重ねていった。1975 年の天皇誕生日（4 月 29 日）、基本構想を固めるため一日を費やして「第一回 New X-Ray System 検討会」と名付けられた会議が開かれた。園田を含む 7 人のメンバーが足柄工場内の古びた社内研修施設の一室に朝から集まった。

7 時間半に渡る議論の末に形作られた構想は、「X 線情報を何らかの材料で受け、それをレーザー光線で読み取ってデジタル信号化し、コンピュータで画像処理を行う」というものだった。後に実現する FCR の基本的なコンセプトがこの時点で示された（図 6）。そして、このコンセプトを実現するための技術開発課題として、①X 線情報を蓄積する新素材探し、②その素材から情報を読み取る精密な平面スキャニング技術の開発、③デジタル信号に変換された画像情報を診断に有効な画像に再構成するコンピュータのアルゴリズムの開発の三つのテーマが確認された。

その後何回か重ねた検討会を通じて、新しい X 線画像診断システムはあらゆる特性においてアナログのレントゲン写真システムに劣ってはならないというのが開発の基本方針となった。新しいシステムは、従来のスクリーン/フィルム・システムに比べて、①診断画質、②撮影感度（被ばく線量）、③撮影処理能力、④撮影コスト、⑤撮影の自由度という項目に

¹³ もうひとり、富士フィルムではじめての応用物理の博士課程出身者であった松下正も園田の下で FCR の構想作りに加わったが、開発のスタート直前に大学にもどった。

において同等以上でなければならないという方針である。加えて、既存の X 線撮影装置、撮影技術が使えることと、既存の X 線画像診断学体系に急激な変化を生ぜしめないことが目標として設定された。最初の段階で設定したこの方針が、後にみるように、FCR の成功によって重要な意味を持つことになる。医療現場における FCR の受容を可能にし、他の企業が開発したデジタル式の X 線画像診断システムをしのぐための決め手となったのである。

構想と方針を固めるかたわらで、園田はこの開発プロジェクトの承認を求めて社内に働きかけていった。高野が資料作りを手伝いながら、1975 年の 6 月に研究開発担当常務に、次いで技術開発の総括責任者であった副社長に話しを持っていき、了解を得た。三年で見込みをつけることと、開発拠点を神奈川県南足柄市の足柄研究所から埼玉県朝霞市にある中央研究所に移すことが条件だった。中央研究所への移動は、既存のレントゲンフィルムの開発部隊から距離をおいた方がいいという判断と医療機器関係の研究開発は中央研究所の所管になっていたという事情からであった。経営陣に開発構想の内容や狙いが必ずしも十分に理解されたとは思えなかったが、先の見えないプロジェクトに対して常務と副社長の支持を得られた背景には、創立以来技術を重視してきた富士フィルムの伝統や、1970 年代に入ってうたわれ始めた、写真フィルム中心の企業から総合映像情報企業への転換を目指すという経営方針があった。園田が研究者としてそれまで実績をあげており、経営層に信頼されていたことも重要だった。

8 月にメンバーの中央研究所への異動辞令が出て、園田は中央研究所長に「ミニ X レイイメージングシステム（小サイズ診断用 X 線写真撮影システム）」¹⁴ 研究計画を説明した。その時に示されたスケジュールは、1979 年 4 月までに要素技術をまとめて試験機検討会を行い、商品化すべきかどうかと検討し、もし先に進めることになれば、1981 年 4 月に試作品検討会を行って市場導入テストを行うというものだった¹⁵。

10 月に園田他メンバーが赴任した中央研究所のスペースは 5 人分の机がやっと入る部屋と倉庫を整理した実験室という手狭なものだった。園田が足柄研究所で管轄していた総勢 100 人を抱える研究開発部隊とは雲泥の差だったが、ともかくここから新しい X 線画像診断システムの研究開発が本格的にスタートした。

プロジェクトが「ミニ X レイイメージングシステムの研究開発計画」として正式に経営トップの承認を得たのはその後の 11 月 13 日のことだった。園田が常務会で説明し、最後に社長の平田九州男が承認した。新たに「NDX (New Diagnostic X-Ray) 開発推進チーム」と名付けられ、同月に社長通達によって正式に発足した。ついた予算は、3 年間で約 9 億円だった¹⁶。11 月 28 日には中央研究所で電子写真方式による X 線イメージングシステムの研究を進めていた松本誠二のグループ 6 名が新たに加わった。

¹⁴ システムが最終的に出力する写真画像の大きさは、医者による診断可能な最小の大きさ、つまり従来のレントゲンフィルムよりも小さくすることが想定されていた。

¹⁵ 以下でみていくように、FCR の開発プロジェクトはほぼこのスケジュール通りで進んでいく。実現の見通しのない時点で園田が立てたスケジュールは、結果的に、精度の高いものであった。

¹⁶ 当面 2 年間の設備予算 2.7 億円、試験材料費・雑費の年間予算が 2 億円。この予算には技術者などの人件費は含まれていない。

チームはいきなり出鼻をくじかれる。12月に富士宮工場のレントゲンフィルムの製造工程で故障が頻発し、工場長の要請を受けた副社長の命令でチームリーダーだった園田が製造部長として富士宮工場へ異動することになってしまう。経営陣にとっては見通しのない新しいシステムの開発より現業の問題を解決する方が大切だった。園田の下でサブリーダーをしていた高野は既に8月から富士宮工場の第四製造部（レントゲンフィルムの製造担当）の検査課長を主務としており、リーダーとサブリーダーがスタート早々チームを離れてしまうという多難の幕開けであった。

園田は苦肉の策として、プロジェクトのリーダーを兼務することと、研究の場所とメンバーの所属を足柄研究所に戻すことを認めてもらう。同研究所は富士宮工場に近く、画像処理に必要な大型のコンピュータもあった。1976年6月、メンバーは元の足柄研究所に再び移った。中央研究所に移ってから半年余での「出戻り」だった。兼務とはいえ園田にも高野にも実際にはチームの面倒をみる余裕はなかった。宮原が放射線画像センサー、松本が画像読み取りシステム、加藤が画像診断アルゴリズムの開発担当責任者となり、9人のメンバーでこれら三つの要素技術を3年後に実現することを目指して開発に取り組んでいった。

4. 三つの要素技術の探索、開発

画像センサー¹⁷

放射線画像センサーには具体的に次の三つの条件が求められた。①大サイズであること：既存のX線撮影装置の利用が前提になるため、少なくとも人の胸サイズである半切サイズ（35cm×45cm）と決められた。②メモリー機能を持つこと：瞬時に画像情報を取り出し同時に画像処理を行うことは不可能であったため、センサーそのものに画像情報を保持できる能力、メモリー機能を持つことが求められた。③高速で読み出しができること：病院でレントゲン撮影からプリントアウトまでを一貫して行うことを想定して、センサーから少なくとも放射線画像情報を電気信号として一分以内に取り出せることが求められた。

これらの条件を満たす技術として当初は熱蛍光線量計に使われていた熱蛍光現象が検討された。しかし熱蛍光現象では高速で高密度に情報を取り出すことは不可能だった。代わって、熱ではなく光によってセンサー表面を走査する方法が選ばれ、光読み出し可能な情報蓄積型の輝尽発光現象を示す材料探しが目標となった。

材料探しには目的とする輝尽発光特性を見つけるための高感度な測定装置が最初に必要になる。だがそのような測定装置は市販されていない。まずはその測定装置を手作りすることから仕事が始まった。

富士フィルムには蛍光体に関する技術はなかった。園田は未知の材料探しのための共同研究の相手先として、蛍光体のトップメーカーであり、従来から富士フィルムブランドの蛍光増感スクリーン供給元でもあった大日本塗料を選んだ。しかし共同研究は長くは続かなかった。共同相手である大日本塗料の小田原工場が富士フィルムのライバル企業グルー

¹⁷ 画像センサーの開発については宮原（1999、2001）に詳しい記述がある。

プに買収されてしまったためである¹⁸。

候補となる化合物は無数にあったが、輝尽蛍光体が結晶中にエネルギーを蓄えるために何らかの結晶欠陥のある「きたない結晶」であることに注目した。テレビや蛍光灯など普通の実用蛍光体は励起された時に瞬時に発光するため、完全結晶に近い単結晶、つまり「きれいな結晶」を目指して作られている。よって、求める「きたない結晶」は「きれいな結晶」の実用蛍光体開発の過程で捨てられていった材料の中にあるはずだと予測をたてた。とはいえ、捨てられていった材料は公表されることもないので、この発想は具体的な作業の指針を示しているわけではなかった。

1年、2年と探索を続けたが、要件を満たす材料は見つからなかった。材料が見つからなければ新しいシステムは成立しない。期限までに残された時間が1年強となって焦りがつのる中、宮原達は実用として使われたことのある膨大な数のX線用蛍光体を改めて見直した。すると、アルカリ土類ハロゲン化合物の一種であるバリウムフロクロライドに2価のユーロピウムイオンをドーピングしたBaFCl:Eu²⁺がそれまでの材料とは一味違う筋のよい輝尽発光特性を示した。

調べてみると、かつてこの蛍光体はフィリップスやデュポン社によりX線蛍光スクリーンとして検討されたものの実用には至らず、輝尽発光特性があることに両社の研究者は気づいていなかったことがわかった。捨てられていった材料の中に目的の材料はあるはずだと最初の予測は正しかった。その後BaFCl:Eu²⁺を改良し、塩素を臭素に置き換えたBaFBr:Eu²⁺を基本組成として採用することを決定した。プロジェクトのスタートから二年半余り経った1978年6月のことだった。

画像読み取りシステム

画像読み取りシステムは、既に放射線画像情報が蓄積されたイメージング・プレートにレーザーをあて、その時に生じる輝尽発光を電気信号として取り出す技術である。当時、画像情報を読み取るスキャナーは円筒のドラムを用いるドラムスキャナーが一般的であった。この方式だとフィルムごとにドラムを停止する作業が必要になる。目指している高速処理には程遠いものだった。そのため取り替え作業なく一方向に順次送られていく平面型スキャナーが必要だった。

平面型スキャナーを開発する上でとくに問題になったのが、イメージング・プレートからの輝尽発光をできるだけもれなく集めることだった。蛍光というのは完全拡散しやすい。レンズで集光しようとする、全空間に放射される発光の数%しか集められない。従来の

¹⁸ 当時、富士フィルムの独壇場であったオフセット印刷材料（PS版）市場に三菱化成工業が参入し始めた。富士フィルム社内は強力な侵入者に神経質になっていた。しかも三菱化成は富士フィルムの最大のライバルである小西六写真工業（現コニカミノルタ）に資本参加していた。この三菱化成が富士フィルムの共同開発相手先、つまり大日本塗料の小田原工場を突然買収し、社名も化成オプトニクスに変更してしまったのである。富士フィルムの極秘プロジェクトに関する情報が小西六写真工業に漏れることを恐れ、直ちに共同研究契約は破棄され、共同研究はご破算になった。

レントゲンフィルムと同じ感度にするには拡散した輝尽発光のうち 80%を集める必要があった。

この難題は、アクリル板の一方の端面を直線とし、他端を丸く曲げた集光ガイドを作ることで解決された。アクリル板の端面からその内部に光をいれ、全反射によって光電子増倍管に光を導くのである。形と機能から「光のちりとり」とよばれた。後から見れば単純な技術だったが、このブレークスルーによってイメージング・プレートに読み込んだ放射線画像を電気信号として取り出す要素技術が出来上がった¹⁹。

画像診断アルゴリズム

イメージング・プレートで記録し、スキャナーで読み取った電気信号を、コンピュータで処理して診断用の画像情報に転換するためのアルゴリズムを開発するのが三つ目の課題だった。

当時のコンピュータの処理能力はごく限られたものであり、膨大な画像情報を短時間で処理するにはおのずと限界があった²⁰。将来の処理速度の向上を前提に開発に取り組んだものの、できるだけ計算処理の負担を軽くしながら、しかし放射線医、臨床医が抵抗なく受け入れる診断画像をいかに実現するかが焦点となった。

画像処理には階調処理と周波数処理の二つがある。前者は画像信号をどのような濃淡に再現するかという問題である。後者は画像信号を周波数帯別にどのように処理するかという問題で、周波数の高い（低い）情報とは画像が細かい（粗い）ことを意味しており、つまり画像の精粗をどのように処理するかという問題である。レントゲンフィルムに比べて、多様な処理が可能になるのが新システムの売り物となるはずだったが、はたしてどのような処理が可能で望ましいのかチームのメンバーには皆目見当がつかなかった。

ここで大切な役割を果たしたのが「診断画像研究会」だった。園田は、研究開始に当たり社外との共同研究プロジェクトを二つ仕掛けていた。ひとつが前述の（頓挫した）大日本塗料との蛍光体に関する共同研究で、もうひとつが放射線診断医に画像処理した写真の評価をしてもらうために創設したこの研究会だった。四人の若手の優秀な専門医を集め²¹、1976年の春先から月一回のペースで実施していった。本当の目的は伏せたまま研究会を重ね、累計 1000 枚を超えるテスト画像が評価検討された。

まず、従来のレントゲン写真の画像と同じになるように処理することから始めた。当初はセンサーもスキャナーもまだできていなかったから、従来のレントゲン写真をドラムス

¹⁹ この技術は、FCR をめぐる富士フィルムの有力な特許の一つとなった。平面型スキャナーの開発には、この他、精密なモーター技術、制御コンピューター技術、光学技術が必要だった。出来上がった試験機（後述）には、精度が要求される副走査用モーターとして米国メーカー製の 1 台 200 万円もする直流モーターを採用し、その後自社でオリジナルのモーターを開発している。

²⁰ 開発に取りかかった当初、足柄研究所にあった大型汎用コンピューターで一枚のレントゲン写真の画像処理計算をするのにたっぷり一晩を要した。

²¹ 四人はレントゲンフィルムの営業部隊である富士 X レイ株式会社の助けを借りて選ばれた。それぞれ胸部診断、骨部診断、ガン診断、乳がん診断を専門とし、勤務先も出身大学も異なるメンバーが集められた。

キャナーでデジタル画像情報に変換し、これを大型コンピュータで画像処理して専門医にみせた。この段階で苦労したのは画素をどのくらいにするかという問題であった。画素を細かくすれば画像はきれいになる。しかし処理時間がかかり、コストが上がってしまう。何回も繰り返し実験するうち、どの程度デジタル化をすればいいのか分かるようになり、半年もたないうちに従来のレントゲン写真と同じ画像が再現できるようになった。

だが、従来の画像と全く同じなだけでは画像処理の意味がない。何か画像処理によって診断の向上に貢献できるようなことがないかと様々な処理を試しては評価を仰いだ。奇妙な画像も多く、いつしか「診画研」はめずらしいレントゲン写真を評価する「珍画研」と呼ばれるようになった。

研究会での検討を繰り返すうちに次第にいろいろなことが解明されていった。周波数の低い部分、つまりぼんやりと写っている部分のコントラストをあげると、医師がよい反応を示すことが分かった。さらに調べると、X線画像は周波数成分の低いところ、つまりぼんやりと大きく写っている領域に診断に必要な情報を多く持つことがわかった。一般的に、写真は、高い周波数成分、つまり細かい画像ほどぼけやすく、この部分のコントラストを上げシャープにすると人は写真を見やすいと判断する。だが、レントゲン写真においてはこのような教科書的な理論とまったく反対のことが重要であることが発見され²²、これが後に富士フィルムの重要な特許につながった。

画像として現れている部分だけではなく、解剖学的に予測される見えない部分も考慮に入れて診断していることもわかってきた。探索研究も後半に進んだ頃に、ようやく開発されたイメージング・プレートによってはじめて撮影した胸部画像を黙ってみせた。ブラインドテストである。医師達はたちどころにそれを見破った。心臓の裏側の肺の画像が鮮明に描写されていたからである。医師達はこの時初めて「診断画質研究会」の本当の目的を知らされたのであった。それはまた、かつてみたことのない画像に驚く医師達を目の当たりにして、開発メンバーが新しいシステムに大きな可能性があることを実感した瞬間でもあった。

専門医が医療の現場でどのような作業をしているのか。画像を見た時に何を見て、何を考え、なぜそのような診断をしたのか。何を欲しているのか。——開発者達は診断画質研究会での医師達との直接のやりとりを通じて理解を深め、次第にレントゲン写真を“読める”ようになっていった。多岐に渡る撮影方式、診断部位、診断方法に応じて貯蓄していった診断ノウハウを取り込みながら、画像処理アルゴリズムは様々な診断目的にあわせ

²² 象徴的なエピソードとして、責任者の加藤は次のように語っている。「手のX線写真を、画像処理できれいにシャキッと見えるように作ったんです。<いいできだな>と思ってみてもらうと、先生曰く、『加藤君ネ、ボケてるものはボケてるようにみせてくれないと困るんだ。元の写真を見ればわかるように、骨と皮膚の境目が、少しボケかかっている。骨に病気があるんだ。ところが、加藤君の写真だと、骨がシャキッと出ていて、病気がないように見える。これでは使い物にならんよ』。その骨の異常は、体のどこかの病気を反映しているんで、病気の診断の決め手となる大事な症状だというんですね。われわれ技術屋には、理解しにくかったことがいろいろありました」（柳田（1988）、256ページ）。

てより効率的で効果的なものへと熟成されていった。

要素技術開発の経緯

開発チームは、最終的には以上の三つの要素技術の開発に成功したわけだが、それは先の見えない苦しい作業が続いた末に期限ぎりぎりで実現したものだ。

開発をスタートしたものの、なかなかこれはという成果があらわれないまま二年が経過した 1977 年の暮れ、その時点でたどり着いていた技術を集めて実験が行なわれた²³。レントゲン博士による最初の X 線写真にならい、プラスチック製の手の模型（ファントム）を使ってはじめて画像をモニターに再生する実験だった。一定の成果は確認できたものの、画像の感度も精度も処理速度も目標にはほど遠かった。開発計画で要素技術を確立することになっていた 1979 年 4 月までに残されていた時間はもう一年強しかなかった。

1978 年の春先、富士宮工場での兼務から解放され、サブリーダーとしてチームを引っ張るために NDX プロジェクト専任としてもどってきた高野は、このままでは計画を達成することは難しいと考え、重点課題に開発努力を集中するよう指示を出した。迫ってくる期限に追い立てられる厳しい状況の中で一層の開発努力が続けられ、ようやく先述の感度の優れた材料が発見され、レーザー・スキャナーの集光器が開発されたのが 1978 年の半ばのことだった。より簡素化され、診断に適した画像処理のプログラムが加わり、1978 年の 10 月にはじめての人体撮影が行われた。被写体は宮原だった。放射線量は通常の 10 倍、画像読み取りは 1 時間、画像処理に 1 昼夜かかった。わかったのは、システムとしてまだ 10 倍のレベルアップが必要だということだった。依然として目標には遠く、期限は半年後に迫っていた。

X 線からの情報がシステムの中のどのプロセスで消失しているかが解析された。画像センサー担当グループにはさらに 2 倍の感度、装置開発担当グループにはさらに 5 倍の効率向上が割り振られた。画像処理担当グループには 1 分以内に処理可能なアルゴリズム開発が求められた。

目前に迫る期限に向けてそれぞれの開発努力がさらに加速された。三つの要素技術がようやく初期の目標を実現したのは、ちょうど計画で目標期限としていた 1979 年の 4 月のことだった。

5. 先行機開発、学会発表

先行機開発へ

プロジェクトは三つの要素技術をつなぎあわせた先行試作機を作る段階へと移っていく。富士宮工場長代理を兼ねながらリーダーを続けてきた園田とサブリーダーの高野は実用化研究に入っても大丈夫だと確信し、会社に NDX プロジェクトを研究プロジェクトから事業化プロジェクトへ格上げするように提案した。必要な技術の開発を実現したことに加え、

²³ NDX チームを「何にも (N)・できない (D)・X レイ (X)」チームと揶揄する声もあった。

おりしも銀価格の高騰がさらに激しさを増していたことも後押しとなって、会社はこれを認めた。

7月にNDXプロジェクトは事業化を目指す社長直属の「Fプロジェクト」と名称を変え、25人のメンバーが配属された。正規のプロジェクトチームとして組織的に独立させ、責任を明確化し、開発をより効率的に推進することを狙いとした組織変更であった。翌1980年の夏には、園田が富士宮工場長に就いたことからプロジェクト・リーダーは正式に高野に変わり、開発の内容も進め方もそれまでの画期的な技術を創造するためのものから実用システムを効率的に実現するためのものへと変わっていった。

新たな段階に移ってからも苦労は続いた。設備も含めて先行試作機を開発するために認められた予算は限られ、足柄研究所内に建てた開発拠点はプレハブの安普請だった。トイレは隣接の建物を利用し、空調はなかった。

装置を作るには電気機械系のエンジニアが必要だった。しかし、公になっていないこのプロジェクトのために社外から人を集めることはかなわなかった。集められたのは機械装置の設計開発に少しでも関わっているような社内の技術者達だった。次第に陣容は拡大し、40～50人が集められた。工場の機械設備を担当していたものも借り出されたが、自社の工場で動かす大型の機械装置をつくるのと医療現場での使用にたえる機器を設計・製造するのは、勝手の違う、似て非なる仕事だった。

経験のないもの達が集まって三つの技術をつなげて先行機を開発する試行錯誤の作業が続いた後、当初の計画より2か月遅れの1981年3月、ようやく試作機が出来上がった。暫定的についた名称は「FIDX (フジ・インテリジェント・ダイアグノシス・Xレイ)」だった。

臨床試験、学会発表

先行機が開発されると、次に急いだのが医療現場での臨床試験であった。新しい医療機器は二カ所の独立した施設で得た研究結果がないと厚生省の認可をえられない。1981年4月、協力先の国立がんセンターと関東通信病院で臨床試験がスタートした。いずれも診断画質研究会のメンバーであった放射線医の所属する医療機関であった。

この時期に臨床試験をとくに急いだのには理由があった。四年に一度開かれる国際放射線学会がちょうど同年6月にベルギーのブリュッセルで開催されることになっており、メンバーはそこで新システムの技術発表をしたいと考えていた。未知の分野へ出ていくことへの抵抗や疑念が根強かった社内の経営層を説得するためにも、また医療の世界での認知を広めるためにも、新しい診断技術に対して関心の強い欧米でまず認めてもらおうという狙いであった。なんとしても臨床試験を終え、がんセンターのお墨付きをもらった上で、海外で発表をしたかった。

国立がんセンターで臨床試験が始まると、開発メンバーはがんセンター近くの銀座丸の内ホテルのスイートルームを借り切った。寝泊まりしながら、昼は臨床試験をしてもらい、その結果を受けて夜は見張りを置きながら密かに装置を修理した。競合他社に新システムを開発していることを知られてはならなかった。これを三ヶ月続けた。

がんセンターの放射線診断部長、山田達哉は X 線技師や様々ながんの専門医の協力をえながら臨床試験を重ねていった。診断画質研究会ですでに検討していたものの、実際に臨床で使用してみると新たな問題が見つかった。ホテルに泊まり込んだメンバー達はがんセンター側から指摘される問題点に一つ一つ対応し、画像処理のプログラムを見直し、画質を改良していった。山田医師らは次第に新しいシステムの持つ技術的可能性を高く評価するようになっていった。

臨床試験でお墨付きをもらったメンバーはこの結果を受けて富士フィルムの経営会議で国際放射線学会への技術発表を認めてもらうおうとした。だが展示内容の決定に難航した。本当に価値のあるものなのか。事業としてはどのくらいの利益がでるのか。見通しが不確かな中で新システムの内容を公表するという案に経営会議でゴーサインがでなかったのである。

確実に製品として発売する見通しが立っていなければ発表すべきではないというのが富士フィルムの常識だった。フィルム業界の巨人、コダックと長年にわたって競争し、痛い目にあってきた経験から、対外発表とは、技術も完成して、工場で量産体制が整い、全国津々浦々の倉庫に納品され、明日から発売できる状態になったところではじめて行うものだと考えられていた。試作品ができたばかりで事業化の見通しも立っていないものを発表するというのは、同社では受け入れ難かった。

高野はなんとかして経営会議で認めてもらおうと説得をしたが、決まらない。本当に発表していいのか、物笑いにならないか、新システムの価値に対して経営陣は確信を持てなかった。国際放射線学会の開催日が近づき、先発した加藤はベルギーのブリュッセルの会場で二通りの展示資料を用意して待機していた。一つは新システムの基本的なコンセプトを説明する資料で、もう一つは（イメージング・プレートの説明は除いて）画像処理の部分に説明を限った資料であった。高野の「新システムの真価を海外の専門家・トップ企業に評価してもらいたい、反響がなければ商品化をあきらめる」という説得で、前者の資料で新システムを説明する展示がようやく役員会で認められたのは学会の前日だった。午前中に開かれた役員会で認められると、高野はそのまま経団連で新システムの概要を発表し、夕方の便で学会が開かれるベルギーへ飛んだ。

ようやく展示にこぎ着けたが、ふたを開けてみると展示初日の反応は芳しくなかった。来場者が富士フィルムの展示スペースの前をただ通り過ぎていただけだった。富士フィルムの目の前に展示スペースを構えていたコダックからも何の反応もなかった。

だが、不安を抱えて迎えた展示二日目、思わぬ反応があった。オランダのフィリップス社の技術担当副社長のアンガス博士が部下を連れて訪れてきた。アンガスはシステムについて詳しい説明を求めた後、優れた技術であるからぜひわが社に導入したいとその場で申し入れてきたのである。世界に名だたる医療機器メーカーのフィリップス社のいきなりの反応は大きな驚きであった²⁴。

²⁴ 加藤は当時を振り返り、「こっちはもうびっくりしちゃって。富士フィルムは一フィルムメーカー、フィリップスといえれば世界に冠たる総合電機メーカーですからね。提携といわれても何

評判は会場に広がり、次第に見学者が増えていった。アンガス訪問の翌日、学会に参加していた日本人医師が「西ドイツのシーメンス社のコーナーで『フジが大変なことをやった』と聞いた」といって訪ねてきたのをみた高野は、日本人が影響を受けやすい海外で評判をえるという狙いが当たったと、苦笑しながら喜んだ。

この出会いから始まった富士フィルムとフィリップスの関係は現在まで続き、富士フィルムからフィリップスへ FCR の OEM 供給が行われている。なにより、国立がんセンターの臨床試験で好評価を得ていたとはいえ、その真価に確信をもてなかった社内の上層部への説得材料として、海外での評価は最大級の成果となった。いきなり世界的な医療機器メーカーから価値を認めてもらったことが、FCR の事業化を後押しする決定打となった。同年 11 月には世界最大の放射線医学会にして世界最大の医学放射線機器展示会でもある北米放射線医学会 (RSNA) でも発表し、画期的な X 線画像診断システムが開発されたという世界的な評価が定まった。

6. 商品化、事業化へ

商品化、事業化

プロジェクトはいよいよ商品化・事業化の段階へと移っていく。富士フィルムは将来の電子技術の重要性を見込んで、1981 年秋に足柄研究所から 3 キロ離れたところに社内の電気系・機械系・光学系・ソフト系の技術者を集めて宮台技術開発センターを設立した。同年 7 月から商品化へ向けて試作機の開発に着手していたデジタル X 線画像診断システムのプロジェクトも、長年親しんできた足柄研究所を離れ、同センターに開発拠点を移した。

機械を人に売るといふビジネスがどういふものなのかノウハウがない富士フィルムにとって商品化は慣れないことの連続だった。多くのことを学ぶことができたのが商品開発と並行して進めたフィリップスとの OEM 交渉だった。医療機器メーカーとして歴史と実績を誇るフィリップス社のアンガスは慣れない富士フィルムに基本から教えてくれた。保証やメンテナンスの必要性もアンガスから習ったことだった。フィルム商売に専念し、自社の生産設備用の機械しか作ったことがなかった富士フィルムは、そもそも保証やメンテナンスという概念を理解していなかった。

約 1 年を費やして 1982 年 7 月に試作機の開発を終えると、商品化のために再び臨床試験に取りかかった。並行して新しいデジタル X 線画像診断システムの販売生産体制が整えられた。1982 年 12 月、レントゲンフィルム販売部門として従来からあった富士 X レイ株式会社を富士メディカルシステム株式会社 (現富士フィルムメディカル株式会社) として再編成した。同じ医療分野での販売とはいえ、レントゲンフィルムと画像診断機器では世界がまるで違う。消耗品であるフィルムは代理店を通じて販売していたが、高額な機器は医療機関に直接売り込んで上層部の理解と支持を得なくてはならない。それまで経験したこと

をしていいのかさっぱりわからなかった。我々の展示パネルも不出来で、自分たちでもわかるように説明していると思えなかった。アンガスさんはそれをいきなり評価してくれました」と述べている。

のない医療用機器システムの販売、サービス、メンテナンスの体制を整備すべく、富士メディカルシステムを設立したのであった。製造は自動現像機などを作っていた関連会社の富士機器工業が担当することになった²⁵。

つまり、富士フィルムはデジタル X 線画像診断システムの事業に自ら乗り出していくという選択肢をとったのである。第三者からみると、これはなかなか思い切った決断であった。なれない医療機器の事業には手を出さず、化学会社としてノウハウを活かせるイメージング・プレートだけを販売し、残りは他社に任せるという選択肢もありえた。だが、「いつまでもフィルム会社のままでいたくなかった。今後エレクトロニクスの時代、デジタルの時代が来ると予測される中で、自らが開発したデジタル X 線画像診断の技術を他社には渡したくない。自分たちでやりたい。自分たちで作ったものを自分たちで証明したい」というのがメンバーの思いであった。会社も、慎重な姿勢を崩さなかったが、これをサポートした。

FCR 発売、提携

1983年6月、開発したデジタル X 線画像診断システムの薬事法認可がおりた。翌月、FCR101として発売される。幅 10メートルに及ぶ大型のシステムで、価格は1億7000万円だった。CR (Computed Radiography) という名称には、EMI が開発した CT のように、コンピュータを用いた放射線画像診断法を意味する一般的な言葉として社会に普及してほしいという開発メンバーの思いが込められていた。第一号機は、1983年11月、鹿児島大学医学部に納入された。

FCR101は最終的に60台程売れた。だが最初の商品であり、「戦艦大和」と揶揄されるほどサイズが大きく、処理能力も遅く、更なる改良が必要だった。

FCR101の発売から2年後の1985年3月、第二世代機としてFCR201が発表された。これは、富士フィルムが1年前に東京芝浦電気（以下、東芝）と結んだ業務提携に基づき共同開発で商品化したものだった。富士フィルムが画像処理・光学・材料技術を、東芝がコンピュータ・システム技術をそれぞれ担当し、統合したものを富士フィルムはFCR201、東芝はTCR201として、ダブルブランドで発売した。FCR101より処理能力を上げ、設置面積を小さくし、価格は1億5000万円だった。FCR201とTCR201を合わせて、約150台売れた。

東芝との提携は、富士フィルムの上層部が持ちかけたものだった。FCR101をより高速、高精度で診断できるよう改良し、医療機器事業で長い歴史と優れた業績を持つ東芝と組んで、共同でFCR市場を拓けることを狙ったものだった。

だが現場では一貫して自主独立路線でいきたいという気持ちが強かった。このためFCR201/TCR201の開発と並行して現場では別のシステムの開発が進められた。一つは、コン

²⁵ 当時検討された事業体制の選択肢としては、この他に、製造も開発も販売も一つの会社として独立した組織にする、あるいは開発製造の会社と販売の会社を設立するという案もあった。最終的に、開発設計は富士フィルム、製造は富士機器工業、販売は富士メディカルシステムという体制がとられた。

コンピュータ処理能力を必要最小限に抑え、FCR201/TCR201 向けに富士フィルムが開発した読み取り機を組み合わせたもので、富士フィルムから FCR901 として 1986 年に 9000 万円で売り出した。もう一つ、イメージング・プレートをシステムに差し込むタイプ（カセット式）のではなく、内臓（ビルトイン式）した装置で、胸部 X 線検診などに使う立位撮影専用の FCR501 と、頭・頸・腹などの検診に使う臥位撮影専用の FCR502 の二種類も発売した。特定の部位向けに効率的な撮影を可能にするもので、FCR201 よりも 40%安い 9000 万円で売り出した。最小限の機能しかない FCR901、501、502 であったが、医療現場の評価は高く、売上げは好調だった。いずれも富士フィルムだけが扱う商品だった。

富士フィルムの独自システムが好調に売れ、また画像処理に関するノウハウを備えた富士フィルムのサポートが優れていたこともあって、東芝側の事業成果は期待を下回り、結局両社の提携は FCR201/TCR201 だけで解消された。

海外では、OEM あるいは技術供与という形でいくつかの企業と協力関係を築いた。3 年におよぶ契約交渉の末、1984 年 11 月にはフィリップス社と OEM 供給で正式に提携した。1988 年 3 月にはシーメンス社と OEM 供給で提携し、1992 年 4 月には GE への OEM 供給を開始するとともに、同分野での共同開発を行うことにも合意した。これらの提携によって FCR の国際的な普及が進んだ。

デジタル加算制度、新製品投入

継続的な製品開発や海外企業との提携に加えて、FCR の事業拡大にとってもうひとつ重要だったのは、1985 年に日本でデジタル装置を使った診療の保険点数が認められたことだった。

FCR がどんなにすばらしい技術でも、FCR で撮影することが従来のレントゲンフィルムで撮影するより費用がかかるだけで、それに応じた報酬が得られないのであれば、需要の拡大は見込めない。早期の保険点数化を目指した高野は、FCR101 を発売する前から関係者に働きかけていった。支払い側の代表として保険点数制度に関わっていた合化労連の立花会長、診療側の代表として医師会の武見太郎会長らに直接面会して理解と支持を得ながら、担当官庁の厚生省（当時）保健課長に保険点数化を訴えた²⁶。デジタル装置を使った診療は長期的に医療費抑制になり、国民の健康の向上につながるという理由から保険点数の加算が認められたのは、1985 年 3 月のことであった。通常、保険点数化には 4~5 年以上の実績を必要とする。しかしこの時は FCR 発売から 1 年半余しか経っていなかった。早くから関係者に働きかけた努力が実り、異例ともいえる早さでデジタル加算が認められ、FCR の普及にはずみがついた²⁷。

ただし、ついた保険点数は決して高いものではなかった。高すぎる保険点数は必要のな

²⁶ 高野達が武見医師会長にはじめて面談したのは 1981 年 12 月のことだった。プロジェクトチームが試作機の開発に取り組み、宮台技術開発センターに移った直後のことである。

²⁷ 同種の制度はフランスにある。GE が別の装置の普及を狙って働きかけた結果認められたもので、FCR の普及にもプラスに働いた。アメリカは民間の保険会社の方針で決まる。

い診断を奨励してしまうところがある。厚生省は慎重だった²⁸。当時の通常の X 線画像診断では四つ切りのフィルム一枚あたり 240 円の点数が認められていた。これに対して FCR に認められたデジタル加算は 40 円だった²⁹。

これでは、当時一億円以上した FCR で医療機関が投資を回収するのに 10 年から 15 年を要することを意味していた。保険点数が認められたとはいえ、これでは普及は限られてしまう。富士フィルムは進歩を続ける最先端のエレクトロニクス技術を駆使しながら、性能を高めつつ価格を下げる努力を続けた。

さきほどの FCR501、502 はその先駆けだった。1988 年に出した FCR7000 で価格は 7980 万円となり、翌 1989 年に出した AC-1 では 2800 万円まで価格を落とすことができた³⁰。システムのサイズも 2メートル余まで小型化し、スペースをとらなくてすむようになった(図7)。また、これらの新シリーズは、当時立ち上がり始めた画像診断領域におけるシステム化(PACS:後述)への対応を意図した分散処理型のシステムであった。この二つの新製品の投入により、普及が加速し、はじめて事業決算が黒字となった。

新製品の投入はその後も続き³¹、内外で FCR が普及していったのは先に見た通りである。当初は不具合が多くてメンテナンスの費用がかさんでいたが設計を見直すことで改善し、生産体制も効率化し、サービス体制も強化されていった³²。FCR 用に用意されたデジタル画像のプリンターやフィルムの販売も収益に貢献し、FCR は 90 年代に入ってから富士フィルムの収益に貢献する重要な事業の一つとなった。園田が最初の構想を描いてから約 20 年の歳月を費やした末の成果であった。

7. 結び

FCR の革新

FCR は、ほぼ一世紀に及ぶ X 線画像診断の歴史に名を残す技術革新であった。開発メンバーが書いた FCR システムの原理と特性に関する最初の論文 (Sonoda 他、1983) はドイツにあるレントゲン博物館に「診断放射線学に影響を与えた最も重要な文献の一つ」として収録されている。いままで不可能だった画像情報の提供を可能にし、情報化・ネットワーク化への道を切り開く役割も果たした。

銀価格の高騰や画像診断分野での新しい医療機器の相次ぐ登場といった流れからすれば、X 線画像診断システムのアナログ式からデジタル式への転換は遅かれ早かれ時代の必然だったのかもしれない。だが、なぜそれを富士フィルムが 1970 年代半ばに着手し、他社に先

²⁸ CT が導入された時にこの種の問題がおきていた。

²⁹ 四つ切りとはレントゲンフィルムの基本的なサイズで、10 インチ X12 インチ。FCR で撮影した場合、一枚目が 40 円、次が半額で、四枚までデジタル加算点数が認められた。

³⁰ 20 億円ほどの投資により生産体制を大きく見直した成果であった。

³¹ 事業化後の製品開発については加藤他 (1995) により詳しい記述がある。

³² 例えば、FCR7000 は、コンセプトはよかったが、品質問題を抱えた。売り上げが伸びたものの、安定した供給ができず、売れば売れば修理が増え、経費がかさんでいった。設計を含めて品質管理体制を見直し、その後、1993 年には FCR9000 シリーズ、1999 年には FCR5000 シリーズが出され、新シリーズが出るたびに品質は改善され、メンテナンスの経費は軽減されていった。

駆けて成し遂げたのだろうか。

一つの鍵は、園田以下の技術者達が自ら新しい領域を切り開くために困難な課題に挑戦してみたいと思わせる状況があ那时的レントゲンフィルム開発部門の技術者達にあったことだった。組織が再編される中、傍流である故に行き場を失いかげ、傍流である故に挑戦する意欲と自由な発想が持てた³³。

従来のアナログのシステムにあらゆる特性で劣らないものを目指し、なおかつ既存の X 線撮影装置、技術、画像診断学の体系を乱さないシステムを開発するという基本方針を掲げたことも大切だった。表 1 は、FCR と同様の狙いをもって開発された競合システムを一覧したものである。X 線画像診断装置のデジタル化という時代の要請に多くの企業と技術者が挑戦したことがわかる。そこには様々な技術の選択肢があったが、FCR はこの中で唯一従来の X 線診断システムの秩序を尊重したシステムであった。他はいずれもエレクトロニクス化、デジタル化の特長を活かすことを優先し、既存の診断システムの一部を犠牲にするところがあった。FCR は、この犠牲をよしとせず、厳しい目標を設定したからこそ医療現場で受容されたのである。

この表をみるともうひとつ面白い特徴がある。新しいシステムに挑戦した会社には既存の医療機器メーカー、X 線画像診断システムメーカーは一社も含まれていないという点だ。これは 1970 年代に登場した X 線 CT や MRI についてもいえることである。いずれの革新も、GE、フィリップス、ジーマス、東芝、日立、島津製作所といった内外の医療機器メーカーが開発したものではなかった。

富士フィルムも機器メーカーとしては新規参入だった。ただ一方で、レントゲンフィルム事業については長年の経験と実績を積んでいた点が表 1 のリストにある他の企業と違っていた。同事業を手がけていたことが、あくまでも既存の秩序を尊重した上で画期的な新システムを開発するという目標につながった³⁴。

FCR の成功は、時代の先を読み、自ら設定した困難な課題に果敢に挑戦し、優れた要素技術を開発した園田以下の優れた技術者達の才能と努力の賜物である。早くから新しいシステムの構想を持ち、異分野の研究者を集めて新しいシステムの開発プロジェクトを立ち上げた園田の功績は大きかった。そして実際にその期待に応じて最終的に優れた要素技術を開発した技術者達も見事であった。

と同時に、その技術が商品として花開き、収益性の高い事業として実を結ぶことができたのは、要素技術が開発された後の取り組みによるところが大きい。医療の世界に実績のない企業が革新を携えて新規に参入するのは容易ではない。開発初期の段階から現場の医師の声を直接吸収し、先行開発機を医療現場に持ち込み、新しい診断技術に対して関心が強い海外での紹介に積極的に取り組み、早い段階で外部からの評価を獲得したことが、懐

³³ 余談であるが、レントゲンが X 線を偶然発見したのも希望していた転勤の話がこわれたのが遠因になっている。それまでの研究から心機一転して陰極線の研究を始めて一ヶ月も経たないタイミングでの出来事だった。転勤や組織変更は技術革新の重要なきっかけになるのかもしれない。

³⁴ 同じくレントゲン写真事業に携わっていたコダックでも類似のデジタル X 線画像診断システムの開発計画が検討されたが、実行されないまま終わっている（宮原 1999）。

疑的だった経営層に事業化へ向けてアクセルを踏む決断をうながし、医療現場での受容を可能にした。また医師会や労働組合、厚生省に主体的に働きかけて保険点数のデジタル加算をいち早く実現していったことが、市場の拡大を実現した。

会社のサポートは開発当初から続いていた。だがそれは、慎重で限定的なものだった。欧州の学会で高い評価が得られるまでは社内の評価は揺れていたし、一旦高騰した銀価格が沈静化してレントゲン写真フィルム部門の収益性が回復すると、FCRの事業化は望ましくないという意見が浮上した。事業化後もなかなか収益が好転しなかったことから批判の声は絶えなかった。現場が望んだわけではなかったのに東芝との提携を決定したのも、経営層がFCR事業の将来性に確信をもっていなかったことを象徴するできごとだった。

そうした社内の抵抗を乗り越え、レントゲンフィルムメーカーであった富士フイルムが医療機器システムメーカーとして大きな成功を納めたのは、海外を含めて、社外の関係者に対して積極的に働きかけながら、技術革新を事業の成果に結びつけるための工夫と努力を重ねたからであった。高野の果たした役割は大きかった。高野はスタート時から技術者として参加し、要素技術の開発から先行機開発、そして事業化に至る一連の過程に、当初はサブリーダーとして、やがてリーダーとして携わった。1989年からは富士メディカルシステムで販売サービス体制の整備強化に取り込んだ。高野は、新たな事業を興すには、「技術の創造性」に加えて、「生産の創造性」と「市場の創造性」が必要であり³⁵、FCRが優れた事業成果に結実したのはまさにこの三つが揃ったからだと後に振り返っている。

高野は、未経験の事業のために組織体制を整え、海外企業との提携をとりまとめ、医師会や厚生省に働きかけるような仕事を積極的に望んでいたわけではなかった。その種の仕事は別の人間にやってほしかったというのが、技術者としてキャリアを続けたかった彼の本音であった。それでも高野がFCRの事業化に取り組んだのは、「自分たちの作った物を世の中で証明したい」という気持ちがあったからだった。

新たな展開と課題

事後的にみると、FCRの革新の鍵は、デジタルX線画像診断システムを記録・表示・保存という3つの機能別に分解したことにある。アナログのレントゲン写真で三位一体になっていた機能をわざわざ分解するという考え方は当初理解されなかった。「何て馬鹿なことをやっているんだ。なぜ、そんな非効率なシステムに投資するのか」とメンバーはいわれた。しかし機能の分解は、結果的に、デジタル時代の到来に伴って、医療画像ネットワークシステムにとって重要な概念となった。

早くにデジタル化されていたCTやMRIも含め、病院内の画像情報やさまざまな診断情報をデジタル化・統合化し、保管・管理する医療用画像情報ネットワーク（PACS=Picture Archiving and Communication System、以下PACS）の導入が世界の医療の現場で進行しつつある。病院内の画像情報をネットワーク化するだけでなく、インターネットを活用した

³⁵ これは石原慎太郎との共著『NOといえる日本』の中で盛田昭夫が述べていることである。

地域医療連携も可能となった。1980年代の初頭からすでにこのような概念が提示されていたが、1990年代に入ってメモリーやデータストレージ、通信速度が飛躍的に進化する中で、PACSはより現実的なものになった。PACSのビジネスでは、単に機械を売るのではなく、それらを組み合わせながら、ソフトやサービス、ソリューションを提供していくことが重要になっている。

富士フイルムはFCRの事業化によりPACSという新たなネットワークシステムの事業への足がかりを手にした。読み取り機、記録機、画像処理機を独立させて好みに応じて組み合わせるという考え方がFCR7000あたりから商品に取り入れられた。その後、FCR、CT、MRIなど各種機器から提供される大量の画像をネットワーク上で管理する、次世代型医用画像情報ネットワークシステム「SYNAPSE」の開発を米国で進め、2002年に発売して以来、これまでに日本全国で340施設以上、全世界で約1200施設において導入されている（2007年現在）。

かつての想像を超えた範囲と速度で進化を続けるデジタル化の波は、富士フイルムの事業を異質な世界へ導こうとしている。X線画像のデジタル化から始まったビジネスが、次第に多様な医療画像のデジタル化にも関わることになり、競争相手も多様化しつつある。FCRを開発したかつてのメンバーの中には、もしかしたらFCRの開発によってパンドラの箱を開けてしまった（異質な能力が求められる厳しい競争に身をさらす結果を招いた）のではないかと危惧している者もいる。

現在、リアルタイムのデジタルX線画像診断システムの開発も活発になっている。大面積の固体映像素子も夢ではなくなっており、このところ、キャノン、東芝、島津製作所、GEメディカルなど大手の医療機器メーカーから大面積のフラットパネル検出器の提案が続出している。技術的にリアルタイム画像診断が困難であるイメージング・プレート方式と、リアルタイム画像診断が可能なフラットパネル検出器方式の間で新たな戦いが始まっている。

加えて、FCRに関連して富士フイルムが80年代初頭以来取得した特許は、1990年代後半に入ってから徐々に切れていった。アグファやコニカなどが類似の商品で本格参入し、足下での競争も激しさを燃している。

今、富士フイルムは三つの課題を抱えている。一つ目は、リアルタイム画像診断技術への対処である。二つ目は、PACSに関してソフトウェア開発と事業体制の整備強化が必要である。三つ目は、情報化・ネットワーク化へむけて事業ドメインを再定義し、新たな事業戦略を構築することである。これから長期的にどこに、どのように進んでいくべきなのか。FCRの開発に当初から一貫して携わり、現在は富士フイルムのメディカル事業を統括する立場にある加藤は、「単なる画像診断から、健康管理や予後の管理までも含むトータルな医療に関わっていきたい」と今後の方向を語っている。

新しいシステムは業界外の会社が開発するというのがこれまでの医療画像診断システムの歴史だった。FCRの成功によってデジタルX線画像診断システムの大手メーカーの地位を築いた富士フイルムに次のイノベーションを先導することができるのか。富士フイルムは

そこが問われている。

(文中敬称略)

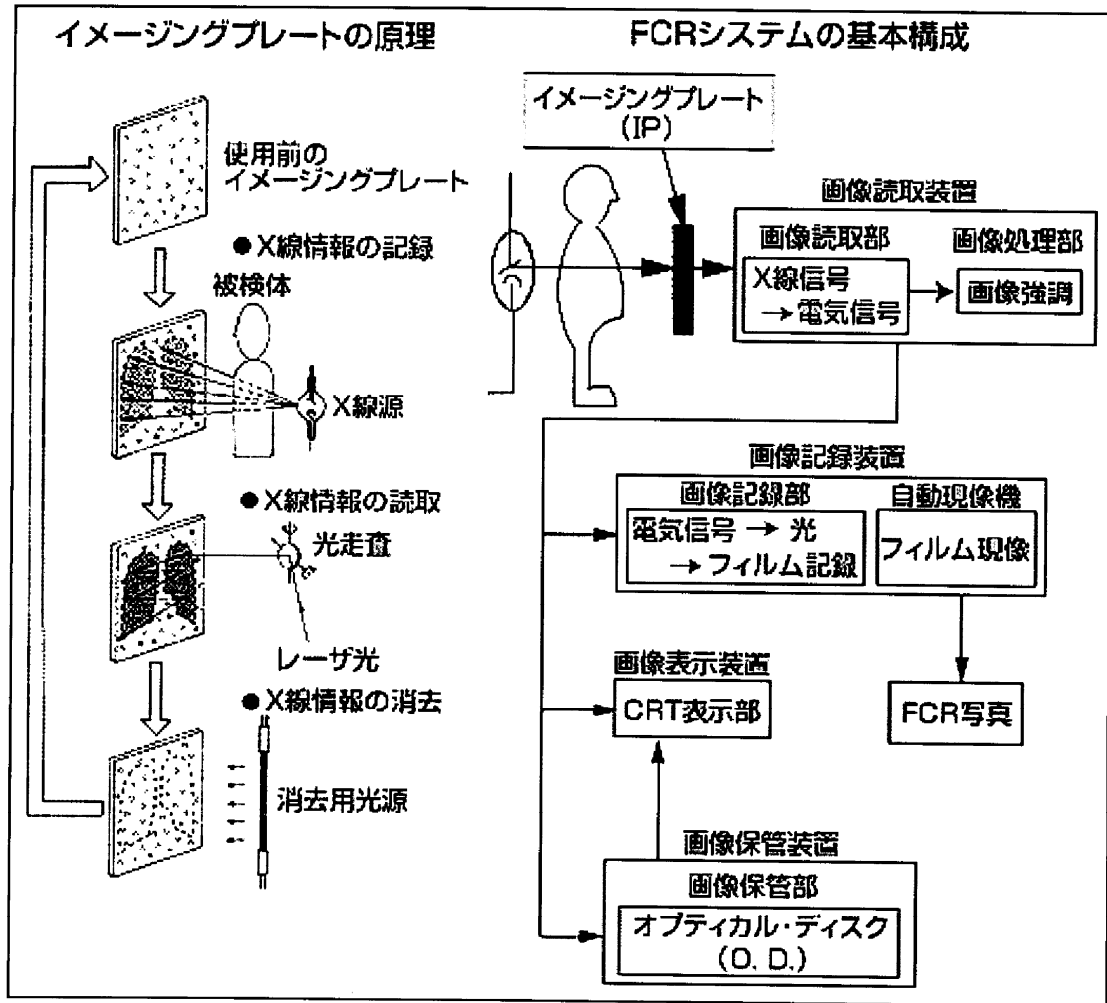
参考文献

- Amemiya, Y. and J. Miyahara. "Imaging Plate Illuminates Many Fields," *Nature*, Vol. 336, No. 6194, 1988: 89-90.
- 富士写真フイルム株式会社 <http://www.fujifilm.co.jp/>
- 富士写真メディカルシステム株式会社 <http://fms.fujifilm.co.jp/>
- 加藤久豊、鈴木俊昭、高橋健治、中島延淑、阿賀野俊孝「FCR 開発の歴史」『Fuji Medical Review』1995年、No. 6、18-36頁。
- 宮原諄二「放射線イメージングのイノベーション—イメージング・プレートとその開発—」、1999年、IIRワーキングペーパー
- 宮原諄二「放射線イメージングのイノベーション—イメージング・プレートとその開発—」イノベーション研究センター編『知識とイノベーション』2001年、103-134頁、所収。
- 宮原諄二、園田實、高野正雄、加藤久豊「放射線イメージングシステムの開発」財団法人大河内記念会『第38回大河内賞業績報告書』1991年、1-7頁。
- Sonoda, M., M. Takano, J. Miyahara, and H. Kato. "Computed Radiography Utilizing Scanning Laser Stimulated Luminescence," *Radiology*, Vol. 148, No. 3, 1983: 833-838.
- 高野正雄「FCRのブレークスルースピリットから21世紀を見つめて」『日本歯科産業学会誌』第5巻第5号、1992年2月、29-42ページ。
- 高野正雄「CRシステムの原理」『呼吸』11巻7号、1992年7月、849-855ページ。
- 高野正雄「CRのコンセプトと開発の歴史」『INNERVISION』(15・1)、2000年、14-20ページ。
- 山田、園田、高野、宮原、加藤「画期的なX線写真システム」『日経サイエンス』1984年1月号、82-91ページ。
- 柳田邦男「続・ガン回廊の朝」『NEXT』1988年3月号、244-261ページ。

付表 富士フィルム FCR の開発・事業化の経緯（年表）

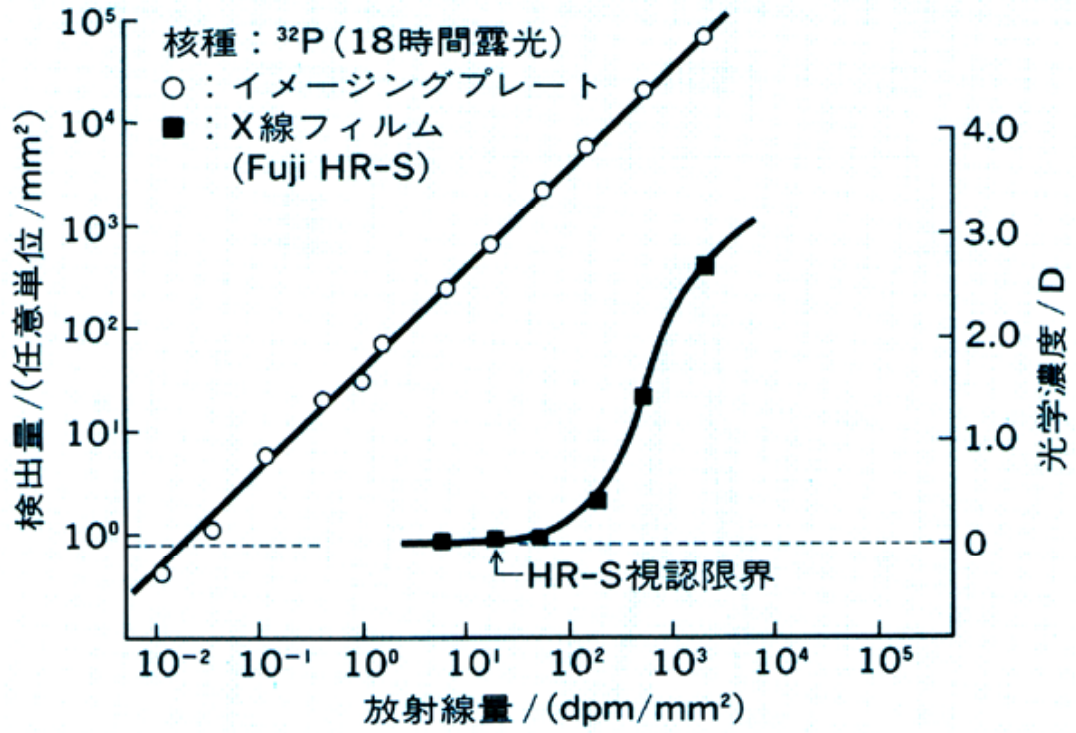
年	主な出来事
1965	富士機器販売株式会社設立
1967	富士機器販売会社から富士エックスレイ株式会社へ社名変更
1971	園田、長期研究計画提出（8）
1972	加藤、米国スタンフォード大留学
1973	
1974	足柄研究所白黒フィルム開発部門の組織再編の方針確定（10）
1975	「第一回 New X-ray System検討会」にて園田、高野、宮原、加藤、松下、高橋、福岡が「X線を光に変え、画像処理をし、画像再生して診断を行うシステム」の検討（4）/園田、副社長の福田へ開発計画説明し、三年間の期限付きで研究を認めてもらう（6）/中央研究所への異動命令（園田、宮原、加藤、高橋、寺岡）、高野は富士宮工場と兼務（8）/園田、中央研究所長に研究計画の概要説明（10）/園田、常務会で「ミニXレイメーキングシステムの研究開発」提案・承認（11）/社長通達で正式に「NDX（New Diagn
1976	診断画像研究会発足（春）/開発メンバー、足柄研究所へ異動（6）/三チーム（画像センサー、読み取りシステム、画像診断アルゴリズム）KJ法を使って問題、心配事などをまとめる（9）
1977	三つの要素技術をつなげて、最初の画像化の実験をおこなう（12）
1978	高野、富士宮工場兼務を解かれ、NDX専属に（春）/輝尽発光体としてBrを選択（6）/人体撮影
1979	三つの要素技術（センサー、読み取り、アルゴリズム）出揃う（4）/「NDXプロジェクト」を研究プロジェクトから事業化プロジェクトへ移行することを提案（4）/「Fプロジェクト」発足（7）
1980	園田、富士宮工場長就任、高野、プロジェクト・リーダーに（夏）
1981	試作機二台完成（3）/国立がんセンターで臨床実験開始（4）/Fuji Intelligent Diagnostic X-RAY SYSTEMを発表（6）/第15回国際放射線会議で世界に公表、展示二日目にフィリップスのアンガス博士から提携の打診（6）/宮台技術開発センター設立、メンバーは足柄から宮台へ（11）/北米放射線医学学会にて発表（12）
1982	富士Xレイ株式会社、富士メディカルシステム株式会社に社名変更（12）
1983	「FCR101」発売（7）/「FCR101」一号機が鹿児島大学医学部へ（11）
1984	東芝と業務提携（3）/フィリップスと提携（11）
1985	厚生省診療報酬改訂（デジタル装置を使った診療の保険点数加算承認（3）/東芝と共同でCR201商品化、「FCR201」販売を開始（4）/「FCR501、502」（ビルトインタイプ）発売
1986	「FCR901」発売（10）
1987	理科学分野画像診断システム発売
1988	シーメンスと提携（3）/「FCR7000」発売（3）/“Imaging plate illuminates many fields”と題する論文をネイチャー誌に掲載
1989	「FCR産業用」発売（10）/FCR AC-1発売（11）/北大でFCRを中心とする医療用画像情報処理システム（PACS）を実用化（12）
1991	「FCR7000M」、「FCR7501S」発売（2）/「FCR AC-1プラス」発売（4）
1992	GEと提携（4）
1993	「FCR9000」発売（3）/「FCR AC-3」発売（8）/「FCR9501」発売（10）/NECと共同で、病院内の医療画像を一括管理する「大規模情報システム」を阪大病院、大阪市立大の附属病院、大阪市立の総合医療センターの三カ所から受注（11）
1994	「FCR9502」発売（11）
1995	「FCR DX-A」発売（6）
1997	「FCR3000」発売（3）
1998	
1999	「FCR2000、3500、5000シリーズ」発売（10）
2000	富士フィルムメディカル株式会社に社名変更、資本金3億円に増資（?）/「FCR5000H」、「FCR5501H」、「FCR5501D」（立位装置）、「FCR5002D」（臥位装置）発売（2）
2001	FCRドライプリントシステム「FCR Pico SYSTEM」発売（2）/「FCR5000plusシリーズ」発売（9）/「FCR・ピコVシリーズ」発売（11）
2002	富士フィルムのFCRに関する主要な特許が切れ、その後アグファ、コニカなど各社が本格参入
2003	「FCR Speedia CS」発売（10）/「FCR PROPECT CS」発売（10）/「SYNAPSE EX」、「SYNAPSE EX PLUS」、「SYNAPSE EX KS」発売（10）
2004	富士フィルムメディカル（株）と千代田メディカル（株）が富士フィルムメディカル（株）を存続会社として合併（資本金12億円、売上高1,000億円、人員1,000名）（?）/「SYNAPSE EX」、「SYNAPSE plus」、「SYNAPSE KS」発売（10）
2005	医用画像情報システム（PACS）拡販（2）/「富士メディカルドライレーザーイメージャ DRYPIX 4000」発売/病院と診療所を結ぶ専用ネットワークを構築し、病診連携を支援するシステム「カルナ」開発（4）

図1 FCRの基本構成とイメージング・プレートの原理



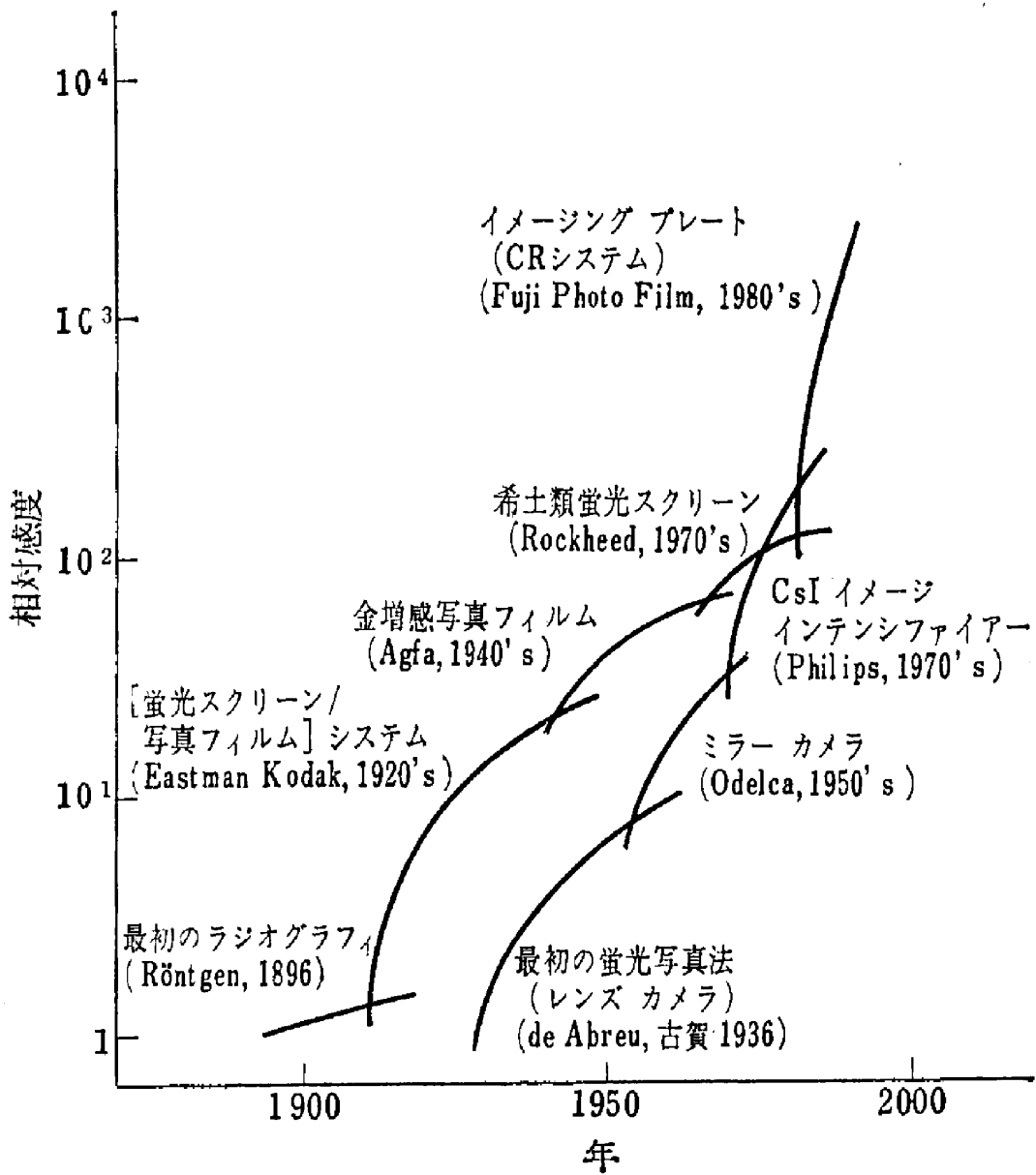
資料：富士写真フイルム

図2 イメージング・プレートの特性曲線



資料：宮原 (1999)

図3 X線ラジオグラフィの歴史



資料：宮原 (1999)

図4 FCRによる画像処理の例

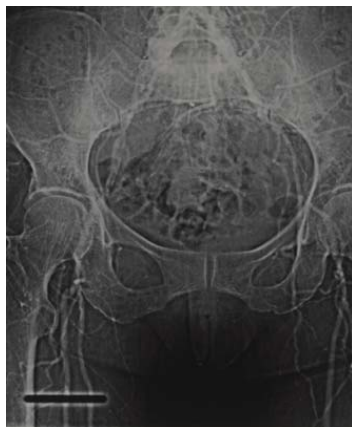
① 血管造影写真（時間差サブトラクション）

動脈（静脈）に造影剤を注入する前と後の二枚の画像を差分処理して、変化分だけを画像化する。

造影剤注入前

造影剤注入後

血管造影写真



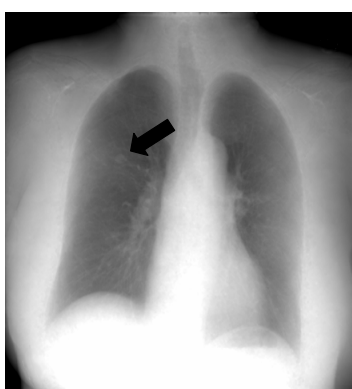
② エネルギーサブトラクション

エネルギーサブトラクション撮影によって得られた軟部組織画像や骨部画像を読影に利用することにより、肋骨などの重なった腫瘍陰影を見つけやすくする。また異常陰影にカルシウム成分がふくまれているかどうかといった陰影の鑑別がしやすくなる。

単純 X 線画増

軟部組織画像

骨部画像



③ 経時サブトラクション

過去に撮影された画像との差分画像を作成することにより、経時的な変化が描出され、肺がんなどの異常陰影が早期に発見しやすくなる。また日々刻々変化する肺炎などのびまん性病変の経時的な変化の観察に効果的。

今回撮影された画像

前回撮影された画像

経時サブトラクション

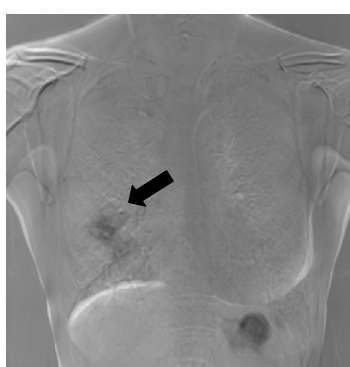


図5 レントゲン写真フィルム長期研究計画 (1971年8月)
(園田が提出したもの、一部)

1

1971. Aug. 16. 主任会議資料

医用 X 線写真の市場の将来			
研E5 園田			
前提 46. 8. 18			
1. 将来とは大体 5~10年先達(一部は30年先のびる可能性あり)			
2. 診断用の写真には、X線以外の如く Ep5 Thermography, 超音波写真、 X線写真 内視鏡、カラー写真が考えられ現にあるが、 <u>主題の X線写真に</u> <u>比して、市場としては小さいと考へる。</u>			
§1. X線写真形成方式 (Principal Feature of Imaging) の多様化。 (?は現在普及しおの存しおもの)			
No.	方式	特徴と説明	
◎	1. AgX 乳剤両面とフィルムの両面 蛍光増感紙 → 現像処理 (with screen X-ray film) (直接撮影)	現在主流をなすもので、且今後10年間に 主流である。勿論これの変形、使い方の変形、 周辺機器も含めた変化が行われるので、 これに付いて §2 以下で説明。(園田の主題 をなすもの)	
	1971. 全露(日露) 100 ^回 打/月 ↓ 1981. " 260 ^回 打/月	この方式は、年率 10~12%で10年間に 増加の一途をたどると考へる。	
△	2. AgX 乳剤両面とフィルムのみ (non screen X-ray film)	マンモグラフィ、骨の写真に使われるのみ 被曝線量から伸びは少ない	
○	3. 間接撮影 (AgX 乳剤片側フィルム + 蛍光板 + カメラ)	集団検診用として残るかも知れない 伸び。但しこれは用いられるフィルムは次の 4. (Image Intensifier) でも使われる。	
◎	4. Image Intensifier (テレビ画面) 100cm角	画面が小さく、画質がおとろい欠点があ り、 <u>被曝線量小さい</u> ので、改良の余地がある。	
△	5. Xero radiography	non screen と同様(2) 高感化はむづかしい	
△	6. X線テレビ → VTR → 再生	X線キネマが可能だが、画質が悪い	
◎	7. 像処理 (蛍光スクリーン → 電気処理 → フィルム) 高感度不要、scattering filter の LT を取り除く	一旦蛍光スクリーンで写った像を電的に処理して + 雑音の除去 + 鮮鋭化 + コントラスト化等自由 な形に処理してそれをフィルム上に記録すれば、 画質向上の合理的な進歩がある。発想的な進歩要請	
◎	8. EBR 方式 LT を取り除く	4a 方式で直接ブランク管内に露光	
△	9. 光電増感 + 電場発光像 → フィルム patent 未済	4a 方式で直接ブランク管内に露光中、 <u>研E5 藤村</u> による進歩と提案 蛍光体で光を光電増感に於いて使った電子を 蓄積して電場発光像として露光	

500-002 A4 上田 監製
富士写真フィルム株式会社 研E5 園田 提出
株式会社 東京加速器センター

図6 FCR 基本構想会議 (1975/04/29)
(高野記、一部)

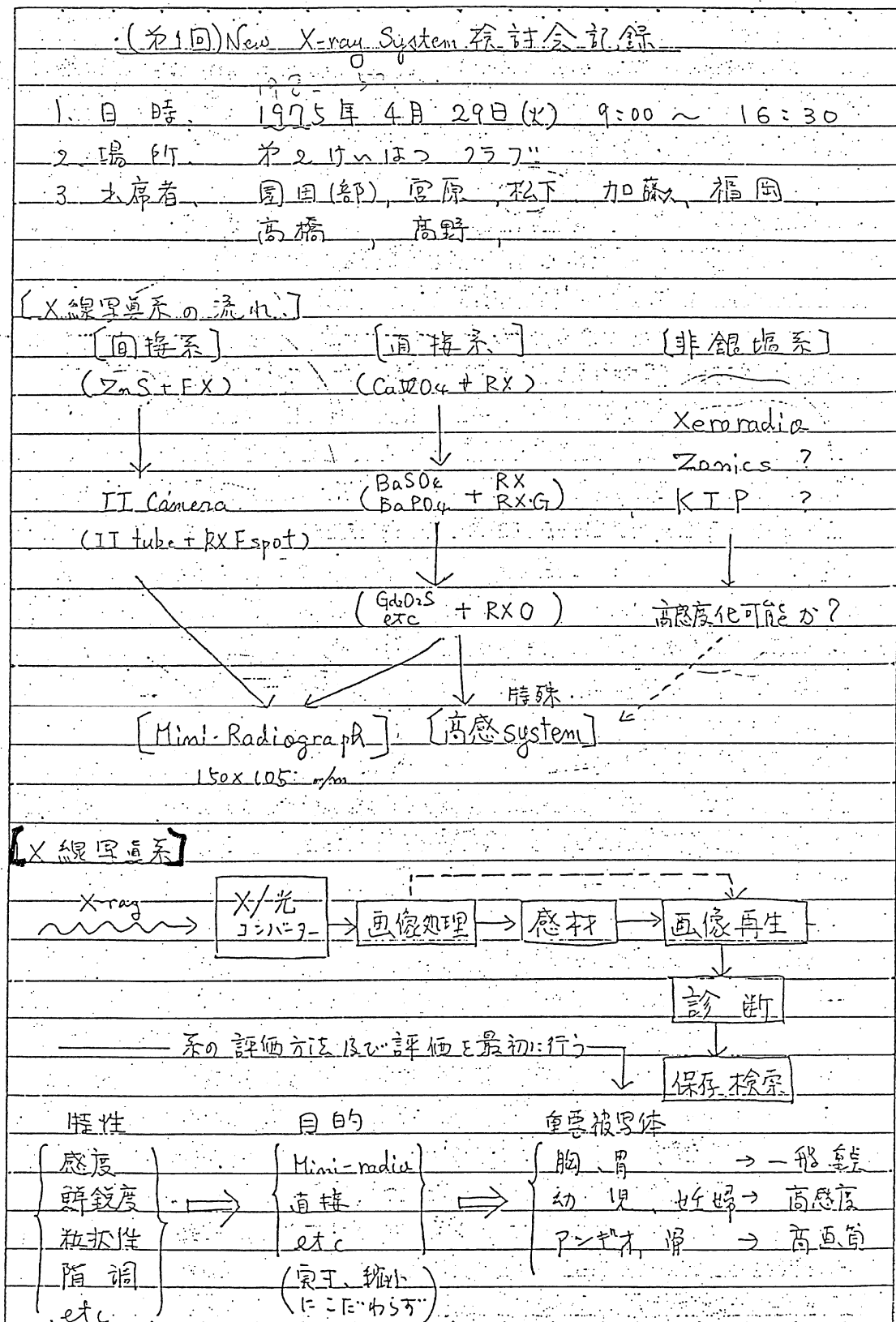
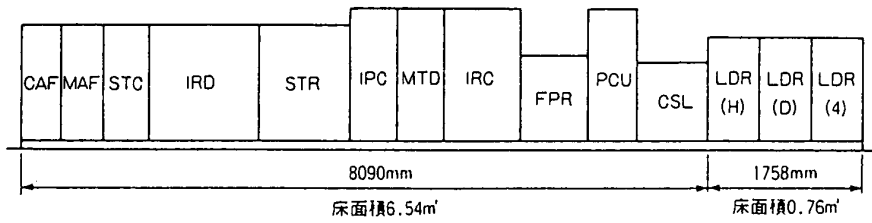


図7 FCRシリーズの比較

101システム(1983~1985)

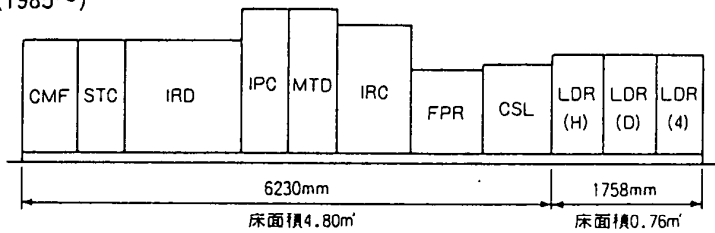
(処理能力)

大角 45枚/時
四切 40枚/時



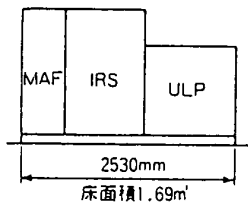
201システム(1985~)

大角 72枚/時
四切 67枚/時



7000システム(1988~)

大角 75枚/時
四切 67枚/時

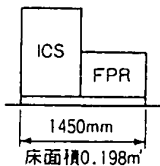


9000システム(1993~)

大角110枚/時
四切125枚/時

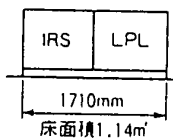
AC-1システム(1988~)

大角 40枚/時
四切 38枚/時



AC-3システム(1993~)

大角 70枚/時
四切 80枚/時



資料：加藤・鈴木・高橋・中島・阿賀野（1995）

表1 医療用デジタルX線イメージングシステムの開発競争

メーカー	富士写真フイルム (日本)	DIGIRAD (米国)	ADAC (米国)	PICKER (米国)	XONICS (米国)	AS & E (米国)
システム名称 発表	FCR 1981年	SYSTEM ONE 1983年	PDX-4800 1982年	DIGITAL CHEST 1981年	DR-2000 1983年	MICRO-DOSE 1979年
X線照射システム ・X線ビーム形状 ・最小照射時間 (s)	錐ビーム 1/100以下	錐ビーム 1/100以下	錐ビーム 1/100以下	扇ビーム 4	扇ビーム 1.5	点ビーム 5
X線像検出システム ・原理 ・検出器形状	PSL 2次元	PSL 2次元	PC 2次元	PL 1次元	PL 1次元	PL 点
・像検出方法	輝尽性蛍光プレート (BaFBr:Eu) ↓ レーザー光走査 ↓ PMT	輝尽性蛍光プレート () ↓ レーザー光走査 ↓	光導電性プレート (α-Se) ↓ マイクロエレクトロ メータ走査	1次元蛍光プレート (Gd ₂ O ₂ S:Tb) ↓ PDアレイ	シンチレータアレイ (CsI) ↓ II ↓ PDアレイ	シンチレータ (NaI) ↓ PMT
・画素数/ライン ・画素密度 (画素/mm) ・検出分解能 (ビット) ・像読取り時間 (s)	2510~1760 5~10 10 35~55	2048 6 12 30	1024 3~5 12 90	1024 2 12 4	2048 4 12 1.5	1024 2.5~6 10 5
画像表示システム ・表示方法	フィルム (レーザー画像記録)	CRT	CRT	CRT	CRT	CRT
・総画素数 ・濃度分解能 (ビット)	Max. 2510×2000 10	512×512 (6)	1024×1024 (6)	512×512 (6)	1024×1024 (6)	640×512 (6)
備考	市販中	発表のみ	発表のみ	市販中	開発中止	臨床テスト中

FCR (Fuji Computed Radiography), PSL (Photo-Stimulated Luminescence: 輝尽蛍光), PC (Photo-Conduction: 光伝導), PL (Photo-Luminescence: 蛍光), PMT (Photo-Multiplier Tube: 光電子増倍管), PD (Photo-Diode: フォトダイオード), II (Image Intensifier: イメージングインテンシファイア)

資料: 宮原 (1999)

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2009

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
------------	--------------	---	------------