

[フェロー記念講演]

画像診断の向上を目指すわが医用画像工学研究

藤田 広志[†]

[†] 岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

E-mail: [†] fujita@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 「医用画像処理に関する研究と画像診断支援システムの普及においてきわめて顕著な功績をあげた」ということで、この度電子情報通信学会のフェローの称号をいただいた（2011年9月）。本記念講演では、まず筆者のこれまでの研究歴について、敢えて思い出に残る10編の原著論文を選定し、これらを用いて簡単に振り返ることとした。また、最近のコンピュータ支援検出/診断（computer-aided detection/diagnosis: CAD）に関する研究についても、筆者らが携わって来た4つの大型研究プロジェクトについて、それらの目的や成果等について概説する。

キーワード 医用画像, 医用画像評価, コンピュータ支援診断, コンピュータ支援検出, CAD

[Fellow Memorial Lecture]

My medical image-engineering research for improving image diagnosis

Hiroshi FUJITA[†]

[†] Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University

1-1 Yanagido, Gifu City, Gifu, 501-1194 Japan

E-mail: [†] fujita@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract I was honored with the Fellow of IEICE (The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers) in September, 2011, due to the remarkable contributions on the studies on medical image processing and to the spread of computer-aided image detection/diagnosis (CAD) system. First of all, for this memorial lecture, ten original papers from my past researches are selected and to describe my research history. In addition, the purpose and results on recent four big research projects related to CAD are explained briefly.

Keywords Medical Image, Medical Image Evaluation, Computer-aided Diagnosis, Computer-aided Detection, CAD

1. はじめに

筆者は、学部の卒業研究から現在に至るまで、およそ35年にわたって、一貫して医用画像の評価・解析・処理・認識に関する研究に従事してきた。医師の画像診断の質の向上を目指すことが、これらの研究の究極の目的と捕らえることができる。よって、今回、フェロー記念講演という貴重な機会を与えていただいたが、

悩んだ末に表題のようなタイトルを付けさせていただいた。以下、筆書の特に出る思い出に残る研究論文10編を敢えて選定し、これまでの研究を簡単に振り返ってみる。また、最近のコンピュータ支援診断（computer-aided diagnosis: CAD）に関する4つの大型研究プロジェクトについても、その概要などを紹介し、フェロー記念講演とさせていただく。

2. 1 0 編の原著論文にみる研究の歴史

この機会に、これまでの原著論文の中から、思い出に残る 10 編の論文を選定した[1-10] (+1 編のハンドブックを加えた[11]). どの論文も共同研究者との実験や議論など、それぞれに思い入れや感慨深い思い出があるが、ここでは敢えて 10 編に絞った次第である。なお、論文業績等については、研究室のホームページ <http://www.fjt.info.gifu-u.ac.jp/> に掲載がある。

2.1. 生涯で最初の原著論文[1]

岐阜大学において故 内田勝教授の指導の元で行った修士論文のテーマは「放射線受光系における相反則不軌特性」というもので、X 線フィルムの諸特性の中で、この特性の計測方法を考案するものであった。この現象は、ある条件下では患者被曝線量の増加をもたらす。そのため医療施設でも計測可能な測定法を開発したものであり、第 1 報目の論文が生涯で最初の原著論文となった[1]。当時、和文論文誌では必ずしも適切な投稿先がなく、応用物理学会の英文誌(通称, JJAP) に掲載されたものである。最初から英語で論文を書くことができ、結果的には良かった。なお、このテーマの継続論文をさらに 2 編、同誌に掲載されている(3 本目でようやく指導教授から筆頭著者のお許しが出た)。

2.2. 学位論文[2]

学位論文(論博:名古屋大学, 福村晃夫元教授)のテーマは「放射線像伝達系のエントロピー解析に関する研究」で、情報理論のエントロピー解析を医用画像の画質の評価等に適用したものである[2]。放射線像伝達系の入力と出力間の伝達情報量などのいくつかのタイプのエントロピーを計算して評価する新しい手法の考案であった。これらは、国立岐阜工業高等専門学校に助手として勤務した約 5 年間の研究である。

本論文は、増感紙-フィルム系の画質(粒状性からみた)をエントロピーで単一評価する提案など、およそ 10 編の論文で構成されたが[例えば 12], 学会誌への投稿先はやはり JJAP 誌であった。ただ、この時期に最初の和文論文誌への筆頭論文投稿もあり、これは X 線デュープフィルムのエントロピー解析を行ったもので、日本写真学会誌に掲載された[13]。

2.3. 留学先での最初の論文[3]

学位記の授与式(1983.8)を待たずして憧れのシカゴ大学ロスマン放射線像研究所(土井邦雄教授)への留学が実現した(1983.7-1986.3)。そこでの最初の論文は、当時、血管造影のデジタル装置として開発されたばかりの DSA (digital subtraction angiography) 装置を主観的および客観的に評価するための「動的」および「静的」な 2 種類のファントムの開発と評価に関するもので、Radiology 誌に掲載された論文である

[3]。この時代は、DSA や CR (computed radiography), あるいは新しい方式のデジタル X 線撮像系が開発・提案され、商用化もされた時代であった。よって、本論文は、筆者にとってはこれまでのアナログ系(フィルム)を対象とした研究から、デジタル系の研究への大きな転換点となった。

この論文に続き、デジタル系の新しい画質の評価法(物理特性の計測)の開発に従事し、この関係だけでも 8 編もの原著論文に携わるチャンスを得たのは幸運であった。また、留学終了後には、当時の教科書や参考書にこれらのデジタル系の画像評価法のしっかりした書籍がなく、執筆のチャンスを得た[14]。この記述内容は、その後の同種の書籍の先鞭となっている。

2.4. 最初の CAD 論文[4]

当時、シカゴ大学においてマンモグラフィの CAD, DSA における血管解析の CAD, そして胸部単純 X 線写真の CAD の研究を土井教授が始められた時期であった。この中で、血管解析の CAD の研究が筆者の最初の CAD 研究となり、CAD 研究の最初の論文となった[4]。

画像上の血管陰影は、撮像系の解像特性の劣化によりボケのある像であり、血管径が小さいほどこの影響は大きくなる。このようなボケのある画像の血管影のエッジから口径を計測すると、過大評価となる。そこで、開発を済ませたばかりの系の解像特性を表すデジタル系に固有な MTF (プリサンプルド MTF) の測定結果[15]を利用し、MTF のフーリエ逆変換から求まるボケ関数である LSF (line spread function) を用い、ボケの効果を考慮する技術(iterative deconvolution technique)によって真の血管径を求めるものである。

2.5. CR システムの物理特性の論文[5]

シカゴ大学では、上述のように、CAD 研究はもとより、多くは DSA (I.I.-TV) 系を例とした画像評価法の開発に従事した。しかし、1980 年代に本邦で独自に開発された CR については、まだ本格的な評価論文は出ていなかった。そこで、留学終了後に、山口大学の診療放射線技師の先生方の協力を得て、シカゴ大学で研究開発した評価手法を新しく CR に適用し、Med. Phys. 誌に掲載された[5]。

2.6. 引用の多い MTF 計測法の論文[6]

文献[15]の手法を改良し、angulated slit method, ときには”Fujita method”と引用される方法を IEEE 論文にまとめたものである[6]。CR を計測例としているが、その後、フラットパネル検出器(FPD)の普及により、同手法が FPD にも適用され、さらに多く引用されるようになった。これまでの自身の論文で最も多く引用された論文である。Science Citation Index によりメジャーな論文誌への引用数を調べると、333 回(2011 年 12 月 10 日時点)で、この分野ではかなりの

突出した引用数と聞いている。

2.7. 核医学分野への CAD の応用論文[7]

当時のパソコンでは、取り扱うことができる画像の大きさ（マトリックス数）には大きな制約があった。そこで注目したのが、核医学画像であり、その中でも心臓 SPECT のブルズ・アイと呼ばれる画像であった。また、当時、流行になっていたニューラルネットワーク (NN) を利用し、「心臓核医学における CAD システム」として、国立循環器病センターと阪大医学部の先生方との共同研究の成果が、米国の核医学会誌に掲載された[7]。これは同誌に最初に NN を適用した CAD 論文として高く評価され、その後、関連した CAD 論文の査読がしばしば回って来た。また、この研究は複数の新聞でも紹介され、「電算機で症例予測」、「電子頭脳が名医の診断（岐阜大助教授ら開発）」との見出しが付いた。さらには、この一連の研究内容の成果が、NN のハンドブックへの執筆にも繋がった[16]。

2.8. マンモグラフィ CAD 論文:商用化に成功[8]

これまでの諸論文の中で最も多いのが、マンモグラフィ CAD に関するものであり、このテーマを主に取り扱って（あるいは一部に）岐阜大学で学位論文を執筆した学位受領者が 10 名にのぼった。特に、マンモグラフィ CAD における微小石灰化検出フィルタ（ソーベルフィルタ処理と 3 重リングフィルタで構成）を開発した修士の学生は優秀であり[8]、本論文に加えて修士 2 年間の間に作成した論文を元に、卒業後数年してから論博で学位が授与された。

CAD の開発には、協力的でかつ診断領域の高レベルの診断能や見識を有した医師との連携が必要不可欠であるが、特に我々のマンモグラフィ CAD の研究では、遠藤登喜子医師（名古屋医療センター）らとの共同研究ができたことが大きな勝因になっている。

我々がマンモグラフィ CAD の開発を始めた最初の動機は、1980 年代後半に、木戸長一郎（当時、愛知がんセンター）先生らが豊田中央研究所との共同研究で、I. I. -TV をベースにした CAD システム[17, 18]の開発があり、その画質評価のお手伝いをしたことに端を発している。この CAD 装置はすでに当時、商用化段階に達しており（解像特性の関係から微小石灰化の検出には少し弱かったが）、検診施設でも実際に利用され始めていたため、世界初のマンモグラフィ CAD システムと思われる。

文献[8]の技術は、乳腺超音波画像におけるリアルタイム石灰化自動検出にも適用し、RSNA（北米医学放射線学会）2008 のコンピュータ教育展示で Certificate of Merit を受賞している。

一連のマンモグラフィ CAD の研究開発については、企業独自の技術も盛り込まれてはいると思われるが、

研究室の研究成果が元になり、ついには 2010 年に企業から商品化に至っている。位相コントラストマンモグラフィにも適用できるという意味では、世界初である。

2.9. 肺ノジュール検出の CAD 論文[9]

我々の研究室でも、当初は胸部単純 X 線写真の CAD や胸部 CT 画像の CAD の研究も行っていた。CT 画像の CAD では、テンプレートマッチングと GA を組み合わせた手法 (GA template-matching technique) を開発し、IEEE に論文が掲載された[9]。本論文は胸部 CT の CAD では比較的初期の論文であり、引用数が 175 回（2011 年 12 月 10 日時点）とかなり多い。なお、高次局所自己相関特徴を利用したシステム等も含め[19-21]、これらの一連の成果は、10 年の歳月を経て、文献[22]の英文書籍の中でも出版される機会を得ている。

2.10. CAD 技術の工業系への応用論文[10]

CAD 技術は工業製品（部品）の欠損や破損の自動検出にも応用が可能であるが、本例は半田付けの不具合を CT で撮影し、コンピュータで自動検出するものである[10]。この論文の筆頭著者は、当時は企業でこのような製品の開発に従事しており、本論文を中心に学位論文をまとめ、現在は医療系大学で教育・研究に従事している。

2.11. 医用画像ハンドブック[11]

原著論文ではないが、追加で 1 点を選定した。これは、長年にわたる医用画像工学の応用研究に携わった知識と経験を元に、世界初の大規模の医用画像ハンドブックの監修・編集作業に共同に従事し、2010 年 10 月に発刊されたものである[11]。本邦の多くの医用画像研究者に分担執筆をしていただいている。

3. 最近の CAD 研究

3.1. 多次元医用画像の知的診断支援

文部科学省科学研究費補助金の特定領域研究（2003 年 10 月～2007 年 3 月）「多次元医用画像の知的診断支援」（領域代表：東京農工大・小畑秀文教授）では、「解剖学的な正常構造に基づく知的 CAD」の研究に携わった[23, 24]。本研究では、人体の正常構造のモデル化を行い、1000 症例規模のデータベースを構築し、これを利用して人体の解剖学構造をコンピュータで完全自動的に認識する画像処理手順の開発を目指した（70-80% の抽出精度）。異常部位を直接的にターゲットとして検出しようとする従来型の CAD に対して、正常構造の解析という新しいアプローチに基づく次世代型 CAD としての基礎研究を行った (Fig. 1 参照 [25])。

3.2. 計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化

文部科学省科学研究費補助金の新学術領域研究（2009 年 8 月～2014 年 3 月）「医用画像に基づく計算解剖学

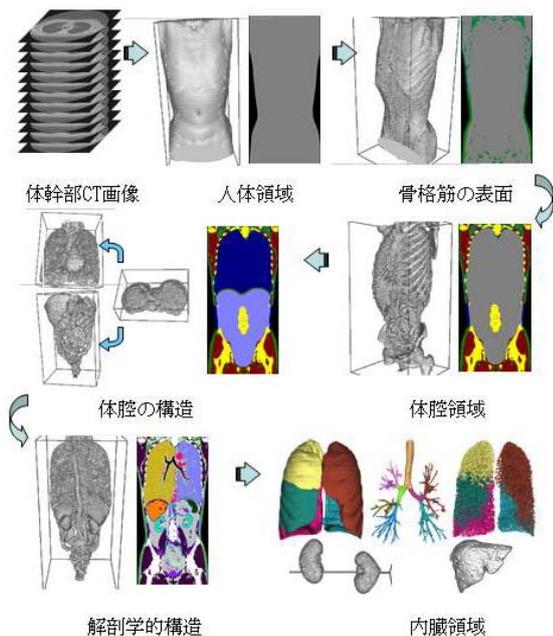


Figure 1 体幹部 CT 画像における人体の解剖構造の自動認識結果の例 [25]

の創成と診断・治療支援の高度化」(領域代表：東京農工大・小畑秀文教授) [26] は現在も継続中である。我々は計算解剖学基礎として「計算解剖モデルの構築」に従事している [27-29]。目指しているモデル構築は、次の2つの目的に大別される。すなわち、1) 人体の臓器の位置・表面形状を表現し、人体の解剖学的構造の自動認識・抽出 (model-driven segmentation) をサポートするモデルの構築、2) 人体の正常状況 (appearance of normal organs) を表現し、異常部位の検出 (model-driven diagnosis) をサポートするモデルの構築である。

この計算解剖モデルの応用として、CT 画像や PET 画像における人体の解剖学的構造の自動認識と分析を行っている。具体的には、体幹部 CT 画像からの汎用的臓器の位置検出法の提案、形状モデルに基づく腹部筋肉の自動抽出法の開発、椎体の位置検出法の提案、および FDG-PET 画像における正常体幹部の SUV 分布モデルの構築等を行っている [29]。大規模な画像データベースを用いた実験の結果から、提案したこれらの手法の有効性が示されている。

3.3. ロボティック先端医療クラスター

— 3つの CAD システムの開発 —

文部科学省知的クラスター創成事業の中で、岐阜・大垣地域 (2004年4月～2009年3月) 「ロボティック先端医療クラスター」という大型プロジェクトの中で、①脳 MR 画像、②眼底画像、③乳腺超音波画像の3つの「画像診断支援システム」(CAD) の開発を行い、大き

な成果をあげている [30]。大手医療系企業3社と地元企業1社も含めた、産官学連携、医工連携による研究プロジェクトで、最終的には事業化 (商品化) が求められた。結果として、我々の CAD 研究プロジェクトにおいて、企業単独のものも含めて、計71件の特許出願、16件の表彰実績、関連大学・企業への人材派遣3件などの成果を達成している (Fig. 2)。詳細は文献 [30] を参照されたい。

また、眼底画像の CAD 関係では、2006年6月より経産省地域新生コンソーシアム研究開発事業に採択され、「眼科健康診断支援システムの開発」を開始し (岐阜大+県内外企業2社)、2007年度途中のプロジェクト終了前に事業化を達成した。具体的には、眼底立体画像撮影装置、眼底立体画像表示装置、眼底立体画像蓄積装置、および眼底立体画像解析装置からなるシステムを開発し、企業より商品化に成功しており、緑内障の早期発見などに期待されている。

乳腺超音波画像の CAD では、現在も企業との共同研究が継続中である。ホールブレストスキャナが2010年春に薬事承認され、ビューア部に CAD による病変自動検出部 [31] を組み組みこむところがまだ研究継続中である。また、用手法を対象としたリアルタイム支援システムも継続的に研究を行っている [25]。

3.4. 都市エリア (歯科領域の CAD 開発)

上記の後継のプロジェクトとして、文部科学省 地域イノベーション戦略支援プログラム (都市エリア型) があり、岐阜県では、岐阜県南部エリア「モノづくり技術と IT を活用した高度医療機器の開発 (医療・福祉機器分野への発展)」を目指して) が採択された (2009年6月～2012年3月)。我々の研究室では、朝日大学歯学部や県内企業などとの共同研究として、「歯科領域における画像診断支援システムの開発」に現在も取り組んでいる。

本研究開発では、歯科パノラマエックス線画像に注目し、この画像から、歯科疾患のためではなく、普段、歯科医があまり利用していない貴重な患者情報として、骨粗鬆症、動脈硬化、および上顎洞病変を自動検出・解析する CAD システムの開発を行っている (Fig. 3 参照) [18, 25]。岐阜県歯科医師会の協力も得て、県内の10のクリニックでの試験も終了し、また特許申請も順調に進捗している。現在、年度内の実用機の完成を目指して、順調にプロジェクトが進行中である。歯科用 CAD システムとしての単体利用、歯科用の PACS との連携利用、およびネットワークを通じた利用方法など、各種システムに対応できる予定である。

4. おわりに

貴重な機会を利用して、「画像診断の向上を目指し

たわが医用画像工学研究」について、自身の研究を振り返る貴重な機会となった。二人の恩師（故 内田 勝先生、土井邦雄先生）のご指導を初めとして、医工両面（ときには産官学）にわたる数多くの優秀な共同研究者（企業関係者や学生も含む）に恵まれたお陰であり、ここに改めて深く深謝の意を表する次第である。なお、これらの研究テーマでお世話した学位受領者が25名（2011年末現在）に達しており、研究テーマが重要なものであったとの証左でもあると考える次第である。フェロー贈呈の理由の中に「CADの普及」という文字が見られるが、CADの本格的な普及には本邦ではまだ時間がかかりそうである。医用画像に関する若手研究者の今後の取り組みに期待するところ大である。

ここでは触れなかったが、厚生省（あるいは厚生労働省）ががん研究助成金によるCAD（当初は自動診断とも呼称されていた）に関係する研究班（鳥脇班、小畑班、長谷川班、縄野班、飯沼班）でも、CADの研究にとって大変に啓発を受けましたことに感謝します。最後に、フェローの称号授与し際してお世話になった関係各位に厚くお礼申し上げます。

文 献

- [1] S. Uchida and H. Fujita, "Reciprocity-law failure in radiographic image-forming systems," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol.18, no.3, pp.501-505, 1979.
- [2] 藤田広志, "放射線像伝達系のエントロピー解析に関する研究," 名古屋大学学位論文(工学博士), June 1983.
- [3] H. Fujita, K. Doi, H.-P. Chan, M.L. Giger, and E.E. Duda, "Dynamic and static phantoms for evaluation of digital subtraction angiographic systems," *Radiology*, vol.155, no.3, pp.799-803, 1985.
- [4] H. Fujita, K. Doi, L.E. Fencil and K.G. Chua, "Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography 2. Computerized determination of vessel sizes in digital subtraction angiography," *Medical Physics*, vol.14, no.4, pp.549-556, 1987.
- [5] H. Fujita, K. Ueda, J. Morishita, T. Fujikawa, A. Ohtsuka and T. Sai, "Basic imaging properties of a computed radiographic system with photostimulable phosphors," *Medical Physics*, vol.16, no.1, pp.52-59, 1989.
- [6] H. Fujita, D.Y. Tsai, T. Itho, K. Doi, J. Morishita, K. Ueda, and A. Ohtsuka, "A simple method for determining the modulation transfer function in digital radiography," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol.11, no.1, pp.34-39, 1992.
- [7] H. Fujita, T. Katafuchi, T. Uehara and T. Nishimura, "Application of artificial neural network to computer-aided diagnosis of coronary artery disease in myocardial SPECT bull's-eye images," *Journal of Nuclear Medicine*, vol.33, no.2, pp.272-276, 1992.
- [8] 平子賢一, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子, "乳房X線写真における微小石灰化検出フィルタの開発ー濃度勾配と3重リングフィルタ解析に基づく方法ー," *電子情報通信学会論文誌 D-II*, vol.J78-D-II, no.9, pp.1334-1345, 1995.
- [9] Y. Lee, T. Hara, H. Fujita, S. Itoh and T. Ishigaki, "Automated detection of pulmonary nodules in herical CT images based on an improved template-matching technique," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol.20, no.7, pp.595-604, 2001.
- [10] A. Teramoto, T. Murakoshi, M. Tsuzaka, and H. Fujita, "Automated solder inspection technique for BGA-mounted substrates by means of oblique computed tomography," *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, vol.30, no.4, pp.285-292, 2007.
- [11] 石田隆行, 桂川茂彦, 藤田広志, "医用画像ハンドブック," 監修(編集幹事・編集委員), オーム社, 東京, 2010.
- [12] H. Fujita and S. Uchida, "Assessment of radiographic granularity by a single number II. Interpretation of conditional entropy $H_x(y)$ in the bivariate entropy method," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol.21, no.8, pp.1238-1242, 1982.
- [13] 藤田広志, 山下一也, 内田 勝, "X線デュープフィルムのエントロピー解析," *日本写真学会誌*, vol.45, no.6, pp.428-435, 1982.
- [14] 医用画像工学(医用放射線科学講座 第14巻)(分担執筆 藤田広志), 第1章5節, 同6節, 医歯薬出版(株), 東京, 1997. 現在, 「医用画像工学」(編集 岡部哲夫, 藤田広志)として2010年に新刊になる。
- [15] H. Fujita, K. Doi and M.L. Giger, "Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 6.MTFs in II-TV digital imaging systems," vol.12, no.6, pp.713-720, 1985.
- [16] H. Fujita, "Part G: Neural Networks in Practice: Case Studies, G5.2 Neural networks for diagnosis of myocardial disease," in *Handbook of Neural Computation*, Editors in Chief E. Fiesler and R. Beale, pp.G5.2:1-G5.2:6, A joint publication of Institute of Physics Publishing Ltd and Oxford University Press, 1996.
- [17] 木戸長一郎, 遠藤登喜子, 堀田勝平, "乳癌検診に対するDMR(Digital Mammo-Radiography)の意義," *癌と化学療法*, vol.15, no.5, pp.1665-1670, 1988.
- [18] 藤田広志, "医工連携・産学官連携によるコンピュータ支援診断(CAD)システムの開発," *映像情報インダストリアル*, vol.43, no.4, pp.64-72, 2011. *映像情報 Medical*に同時掲載, vol.43, no.4, pp.339-347, 2011.
- [19] 原 武史, 藤田広志, "遺伝的アルゴリズムによる濃淡画像のテンプレートマッチング," *電子情報通信学会論文誌 D-II*, vol.J78-D-II, no.2, pp.385-388, 1995.
- [20] 李 鎔範, 児島敦司, 原 武史, 藤田広志, 伊藤茂樹, 石垣武男, "半円形モデルのテンプレートマッチングによる胸部ヘリカルCT画像における胸壁周辺の腫瘍陰影の自動検出法," *電子情報通信学会論文誌 D-II*, vol.J83-D-II, no.1, pp.419-422, 2000.
- [21] 李 鎔範, 中川俊明, 原 武史, 藤田広志, 伊藤茂樹, 石垣武男, "高次局所自己相関特徴を用いた胸部X線CT画像上の腫瘍陰影の自動検出," *医用画像情報学会雑誌*, vol.18, no.3, pp.135-143, 2001.
- [22] Y. Lee, T. Hara, D.Y. Tsai, and H. Fujita, "Concept and practice of genetic algorithm template matching

テーマⅡ 医療診断支援システムの開発
画像診断支援システムの開発

5年間の成果

特許 71 件 論文 128 件
 受賞 16 件 報道 4 件

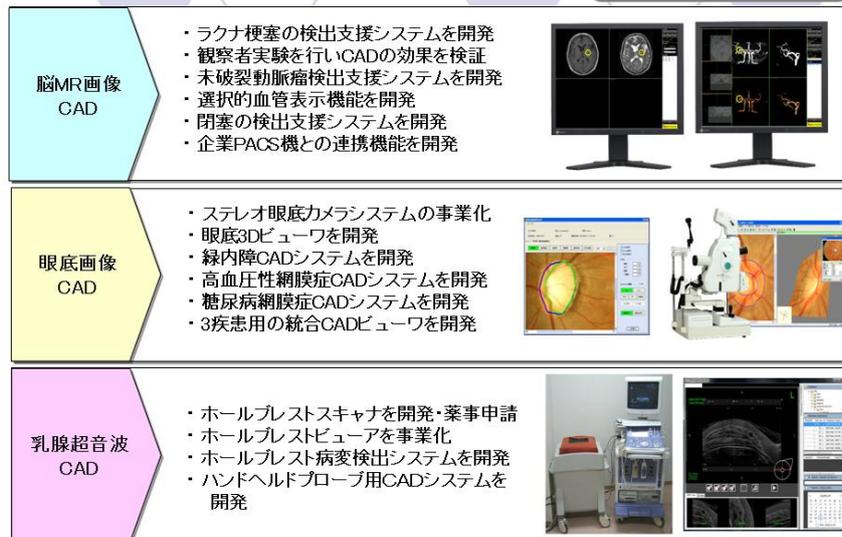


Figure 2 知的クラスタープロジェクト終了時の成果概要[30]



Figure 3 都市エリアプロジェクトで開発中の歯科 CAD システムの概要[25]

(GATM) and higher order local autocorrelation schemes in automated detection of lung nodules,” in Lung Imaging and Computer-Aided Diagnosis, eds. A.El-Baz and J.S.Suri, Chap.12, pp.267-295, CRC Press, Florida, USA, 2011.

[23] 周 向榮, 藤田広志, “体幹部領域の単純 CT 画像における解剖学的正常構造の認識,” Medical Imaging Technology, vol.24, no.3, pp.167-172, 2006.

[24] 周 向榮, 原 武史, 藤田広志, “正常構造の理解に基づく知的 CAD,” 特集 CAD 最前線 2007: 次世代 CAD システムへの挑戦 (多臓器・多疾病 CAD システム開発プロジェクトの成果), INNERVISION, vol.22, no.12, pp.21-25, 2007.

[25] 藤田広志, 原 武史, 周 向榮, 福岡大輔, 村松千左子, 林 達郎, “コンピュータ支援画像診断技術の最先端,” 非破壊検査, vol.60, no.12, pp.686-693, 2011.

[26] <http://www.comp-anatomy.org/wiki/index.php?Computational%20Anatomy>

[27] H. Fujita, T. Hara, X. Zhou, H. Chen, and H. Hoshi, “Computational anatomy: Model construction and application for anatomical structures recognition in torso CT images,” Proc. of the First International

Symposium on the Project “Computational Anatomy”, pp.58-61, 2010.

[28] H. Fujita, T. Hara, X. Zhou, X. Zhang, T. Hayashi, N. Kamiya, H. Chen, and H. Hoshi, “A01-3 Model construction for computational anatomy: Progress overview FY2 010,” Proc. of the Second International Symposium on the Project “Computational Anatomy”, 13-17, Nagoya Univ., March 6th and 7th, 2011.

[29] 藤田広志, 原 武史, 周 向榮, 林 達郎, 神谷直希, 張 学軍, 陳 華岳, 星 博昭, “計算解剖モデルの構築,” MIT (日本医用画像工学会) 誌, vol.29, no.3, pp.116-122, 2011.

[30] 藤田広志, 内山良一, 畑中裕司, 福岡大輔, “知的クラスター創成事業 (岐阜・大垣地域)「ロボティック先端医療クラスター」における画像診断支援システムの開発,” 医用画像情報学会雑誌, vol.27, no.2, pp.42-49, 2010.

[31] Y. Ikedo, D. Fukuoka, T. Hara, H. Fujita, E. Takada, T. Endo, and T. Morita, “Development of a fully automatic scheme for detection of masses in whole breast ultrasound images,” Medical Physics, vol.34, no.11, pp.4378-4388, 2007.