

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

藤田 広志[†], 内山 良一^{††}, 畑中 裕司^{†††}, 福岡 大輔^{††††}

[†]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

^{††}岐阜大学大学院医学系研究科医療情報学分野 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

(現 大分工業高等専門学校制御情報工学科 〒870-0152 大分市大字牧 1666)

^{†††}滋賀県立大学工学部電子システム工学科 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500

^{††††}岐阜大学教育学部技術教育講座 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

(2010 年 4 月 14 日受付)

Development of computer-aided image-diagnosis systems in “Robotics Advanced Medical Cluster” in Knowledge Cluster Gifu & Ogaki Region

Hiroshi FUJITA[†], Yoshikazu UCHIYAMA^{††}, Yuji HATANAKA^{†††} and Daisuke FUKUOKA^{††††}

[†]Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University,
Yanagido 1-1, Gifu City, Gifu 501-1194, Japan

^{††}Department of Biomedical Informatics, Graduate School of Medicine, Gifu University,
Yanagido 1-1, Gifu City, Gifu 501-1194, Japan

(Presently Department of Computer and Control Engineering, Oita National College of Technology,
Maki 1666, Oita City, Oita 870-0512, Japan)

^{†††}Department of Electronic Systems Engineering, School of Engineering, The University of Shiga Prefecture,
Hassaka-cho 2500, Hikone City, Shiga 522-8533, Japan

^{††††}Faculty of Education, Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu City, Gifu 501-1193, Japan

(Received on April 14, 2010)

Abstract : The need for utilizing image diagnosis has become important because of the recent increase in the number of screening cases in the aging population and the number of images that need to be analyzed in a sophisticated diagnostic imaging environment. We therefore engaged in the developments of computer-aided diagnosis (CAD) systems for assisting the doctors' image interpretation in five-year (2004.4-2009.3) robotics advanced medical cluster research & development project in Knowledge cluster Gifu & Ogaki region, Japan. In particular, we have developed three CAD systems for brain MR images, fundus photography, and breast ultrasonography. Some of these CAD systems have already been commercialized and have been reported to afford good results. Herein, we report the latest research results obtained in this successful project.

Key words : Computer-aided diagnosis, CAD, Brain MR, Fundus photography, Breast US

1. 知的クラスター創成事業とは

知的クラスター創成事業とは、地方自治体の主体性を重視し、知的創造の拠点たる大学、公的研究機関等を核とした、関連研究機関、研究開発型企業等による国際的な競争力のある技術革新のための集積の創成を目指す文部科学省の事業である[1]。平成 14 年（2002 年）からスタートしており（第 I 期）、14 年度に 12 地域、15 年度に 3 地域、そして 16 年度にも 3 地域が採択されている（約 5 億円/地域）。現在は第 II 期（平成 19 年度開始）が新たに開始されている。

岐阜県では、岐阜・大垣地域のロボットや IT、医療教育に関する技術や産業力をもとに、高度な医療診断、先進医療機器、質の高い医療の実現や事故防止に効果的な医療教育・訓練システム、健康福祉・介護支援システムの研究開発に取り組むことで、患者本位の安全・安心な社会の実現を目的とした医学と工学の融合による技術革新型クラスターの形成を目指し、平成 16 年（2004 年）度から 5 年間にわたり実施された[2, 3]。

具体的には、

テーマ I：低侵襲微細手術支援・教育訓練システムの開発
(早稲田大学理工学術院・藤江正克)

テーマ II：医療診断支援システムの開発
(岐阜大学医学系研究科・藤田広志)

テーマ III：医療介護支援システムの開発
(名古屋工業大学工学研究科・岩田 彰)

の 3 つの大テーマ分類で、49 社の共同研究企業が参加して、県内の大学や公的研究機関が中心となり、約 20 の研究プロジェクトが研究・開発に携わった。

テーマ I では、心拍補償ロボットの開発と心臓外科手術への応用（早稲田大・藤江正克ら）、CMC (Carbon Micro Coil) 触覚センサとその応用（岐阜大・谷 和男ら）、医療教育訓練ロボットの開発（岐阜大・高橋優三ら）、患者モデルを用いた医療・医学教育支援システムの開発（岐阜大・木島竜吾ら）、医療教育シミュレーションシステムの開発（早稲田大・梅津光生、高西淳夫ら）、冠動脈バイパス手術訓練装置の開発（早稲田大・梅津光生ら）などの研

究を行った。

テーマⅡでは、画像診断支援システムの開発（岐阜大・藤田広志ら）、ステレオ眼底画像診断支援システムの開発（岐阜大・藤田広志ら）、マルチモーダル医療診断支援システムの開発（岐阜大・速水 悟ら）、健康高齢者検査システムの開発（岐阜大・野方文雄ら）、次世代超音波システムの開発（岐阜大・野方文雄ら）などの研究を行った。

また、テーマⅢでは、聴覚機能支援システムの開発（名工大・岩田 彰ら）、食事支援・介護ロボットの開発（岐阜大・矢野賢一ら）、上肢支援型起立動作補助装置の開発（岐阜大・山田宏尚ら）、オーラルリハビリテーションロボットの開発（早稲田大・高西淳夫ら）、移動支援ロボットの開発（早稲田大・藤江正克ら）、下肢パワーアシストロボット（パワーペダル）の開発（立命館大・金岡克弥ら）、パワーペダル技術を用いた福祉システムの開発（立命館大・金岡克弥ら）、高齢者向けベッドモニタリングシステムの開発（立命館大・牧川方昭ら）などの研究を行った。プロジェクト全体の事業成果として、

- ①地域に今後のクラスター発展を目指す研究会やネットワークなどの産学官連携体制が構築できた、
- ②研究開発成果が多くの事業化成果（28件）や大学発ベンチャー（8社）に結びつき、今後の事業発展の基盤ができた、
- ③研究開発の成果が、特許（出願件数255件）やノウハウなどの形で高い技術性と国際優位性をもった知的集積となって、今後の事業発展の技術的基盤として集積できた

ことの3点を、5年間にわたって本事業に尽力された事業総括（西村 賢）はあげている[3]。

2. 画像診断支援システムの開発

われわれの研究グループでは、検診などで大量の画像が発生しており、医師からの開発・商品化の要望が高いコンピュータ支援診断（CAD）[4]システムとして、1) 脳MR画像のCAD [5]、2) 眼底画像のCAD [6]、および3) 乳腺超音波画像のCAD [7]に注目し、県内外の企業計4社と共同で、研究・開発を進めてきた（Fig.1 参照）[8]。これら全体的な成果の概要を Fig.2 に示すが、特許申請件数は本クラスターでは最高出願数であり、論文掲載数や学会における受賞数も多い。外部評価委員会からは常に最高の評価を受けており（最上位の「S」評価）、評点の平均3.6に対して、われわれの研究プロジェクトへの評点は「4.5」であった。

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

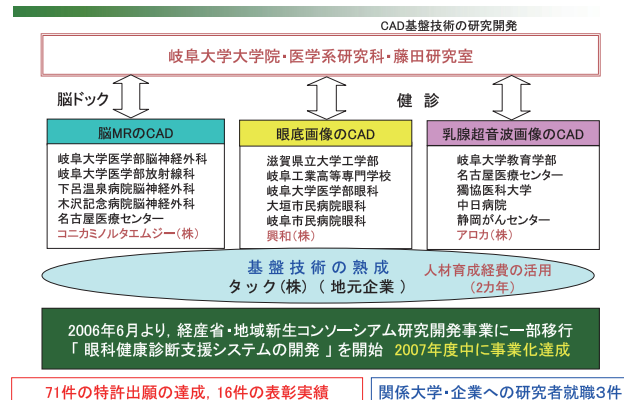


Fig.1 画像診断支援システム開発プロジェクトの共同研究体制等の構成図

以下、これらの成果の概要を、以下に順に説明する。

3. 脳 MR 画像の CAD

脳卒中は、がん、心疾患に次いで日本人の死因の第3位である。そのため、本邦では脳の病気を早期に発見し対処することを目的とした脳ドックが行われている。近年、MRIなどの画像検査装置技術が大きく進歩し、様々な脳の疾患が発見されるようになった。本研究では、脳ドックでしばしば発見される疾患であるラクナ梗塞と未破裂動脈瘤を対象にしたCADシステムの研究開発を行った。

3.1 ラクナ梗塞検出の CAD

ラクナ梗塞の存在は、その後に起り得る重篤な脳梗塞との関係が示唆されているため、その検出は重要である。しかし、加齢による脳組織の変化である血管周囲腔拡大などとの区別が困難であるとの理由から、すべてのラクナ梗塞を正しく検出することは容易ではない。

そこで、われわれはT₁強調画像とT₂強調画像をコンピュータを用いて分析することによって、ラクナ梗塞の可能性の高い個所を指摘するCADシステムを構築した[9, 10]（Fig.3）。T₂強調画像に対してトップハット変換と多重閾値処理を用いて初期候補を検出した後、T₁強調画像とT₂強調画像から大きさ、形状、信号値などの特徴量を計測し、それらを入力としたサポートベクターマシンを用いてラクナ梗塞と偽陽性を識別した[10]。現在の性能は、132症例に

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

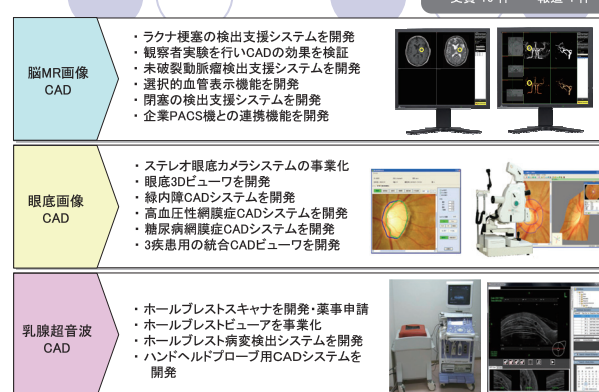


Fig.2 画像診断支援システム開発プロジェクトの成果概要

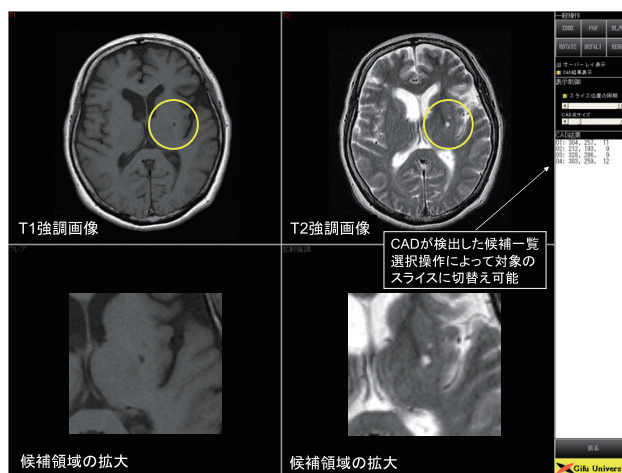


Fig.3 ラクナ梗塞検出のための CAD システム

適用した結果、ラクナ梗塞の検出率 96.8%，画像 1 枚当たりの偽陽性数 0.3 個である。

つぎに、開発したラクナ梗塞検出のための CAD システムの効果を調べるための読影実験を行った。この実験では、30 症例（ラクナ梗塞を 1 ヶ所含む症例を 15 例、ラクナ梗塞を含まない症例を 15 例）の臨床データを用いた。読影者は、最初に 18 スライスの T_1 強調画像と T_2 強調画像を読影し、その症例にラクナ梗塞が存在する確信度を選択バーによって決定した。つぎに、CAD システムの出力を参考にして確信度に変更がある場合には確信度を変更する操作を行った。実験には、9 名の放射線科医が参加した。読影実験の結果、ROC 曲線下の面積（AUC: Area Under the Curve）の平均が CAD システムの出力を参考にすることにより 0.886 から 0.930 ($p = 0.032$) に改善された (Fig.4)。この実験によってラクナ梗塞検出のための CAD は読影医の診断の正確度を向上させる可能性があることが明らかになった[11]。

読影実験の結果を詳細に分析したところ、血管周囲腔拡大をコンピュータが誤ってラクナ梗塞として検出した場合に、読影医の診断に悪い影響を与える場合があることがわかった。そこで、現在、ラクナ梗塞と血管周囲腔拡大の特徴をより詳しく分析し、ラクナ梗塞の可能性を提示する機能の開発を進めている[12]。

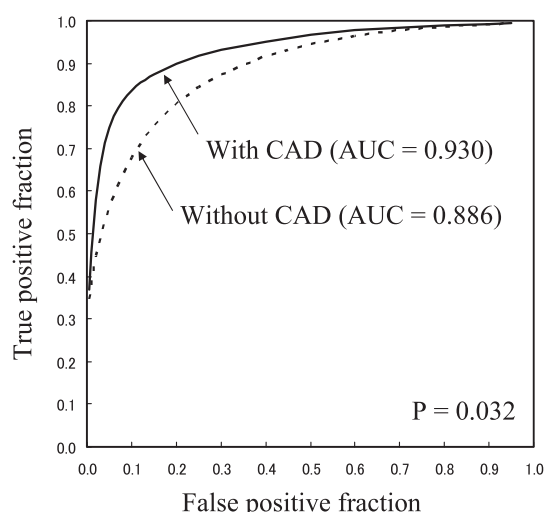


Fig.4 9 名の読影者の平均 ROC 曲線

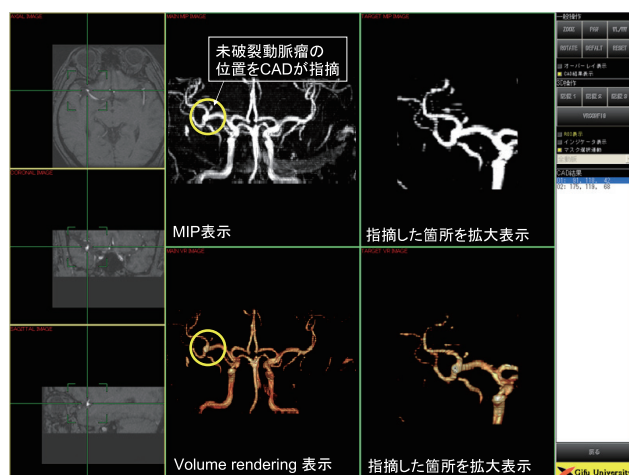


Fig.5 未破裂動脈瘤検出のための CAD システム

3.2 未破裂動脈瘤検出の CAD と閉塞検出への応用

脳動脈瘤の破裂は、くも膜下出血の主な原因である。そのため、破裂する前の未破裂脳動脈瘤を早期に発見し適切な処置を施すことが重要である。未破裂動脈瘤の存在診断には MRA 検査が使用される。MRA 画像の読影は MIP 表示が通常用いられるが、MIP 表示による読影では、隣接した血管が動脈瘤と重なるため、小さな動脈瘤も見落とすことなく検出することは困難である。

そこで、未破裂動脈瘤をコンピュータによって検出し、その位置を読影医に提示する CAD システムの研究開発を行った (Fig.5)。領域拡張法と閾値処理によって抽出した血管領域に対して 3 次元ベクトル集中度フィルタを適用し、初期候補を決定した。つぎに、各初期候補から、サイズ、形状、位置などに関する特徴量を計測した後、それらを入力としたニューラルネットワークを用いて未破裂動脈瘤と偽陽性を識別した[13]。現在の性能は、100 症例に適用した結果、未破裂動脈瘤の検出率 90%，1 症例当たりの偽陽性数 1.5 個である。

CAD システムは読影医の診断の補助として使用されるため、CAD システムの結果を確認する前に、読影医は MIP 表示された MRA 画像のすべての血管について動脈瘤が存在するかの確認をしなければならない。動脈瘤が好発する部位は、中大脳動脈分岐部などであることが知られているから、これらの好発部位を隣の血管と重なることなく異なる角度で自由に観察できる機能があれば、読影者の負担を軽減できるかもしれない。そこで、MRA 画像における血管領域を自動的に抽出し、8 つの主幹動脈を自動的に分類する手法を開発した[14]。この機能によって、読影医はリストから関心のある動脈名を選択する簡単な操作のみで、選択された動脈のターゲット MIP 表示を容易に行うことができる。

8 つの主幹動脈を自動的に抽出することができれば、それらの血管の長さを計測することが可能である。この機能を応用し閉塞が起きている異常症例を正常症例と区別する方法の開発も行った[15]。自動分類した 8 つの主幹動脈の長さの比率を求め、それらの特徴量として入力した 2 次識別器によって、正常症例と閉塞のある異常症例を判別した。99 症例の MRA 画像（正常 69 症例，異常 15 症例）に適用したところ ROC 曲線下の面積 0.94 を得た。

4. 眼底画像の CAD

人間ドックにおいて眼底検査が追加検査から必須検査に移行している。さらに、平成 20 年 4 月より施行された特定健康診査・特定保健指導において、医師が必要と判断する場合に眼底検査を実施することにより、眼底検査の件数が飛躍的に増加している。本研究では、日本人の失明要因の第 1, 2 位である緑内障、糖尿病網膜症と、健診で着目する高血圧性網膜症の所見を対象にした CAD システムの研究開発を行った。開発した各 CAD システムを Fig.6 に示すが、同一のプラットフォーム上で複数の眼底疾患を解析して表示するシステムとした。

4.1 緑内障の CAD

緑内障は、眼圧の上昇によって視神経が萎縮するために失明に繋がる疾病であるが、眼圧が正常値であっても視神経の萎縮が進行する正常眼圧緑内障に対しては、眼底検査が重要である。初期の緑内障では視神経乳頭の外観に変化が現れ、緑内障の進行が進むと視神経線維層欠損 (NFLD) が現れることから、視神経乳頭の形状解析と NFLD の自

動検出による CAD システムを開発した[16, 17].

NFLD の早期発見によって失明予防が可能であるため、NFLD を自動検出する CAD システムの研究開発を行った[16]. NFLD は血管の下部に存在する網膜層が欠損する所見であるため、最初に自動抽出した血管領域を近傍画素で補間することによって血管消去画像を作成した[18]. その後、視神経線維が直線になるように血管消去画像を直線化し、ガボールフィルターを用いて NFLD 領域を強調し、線形判別法と人工ニューラルネットワークによって NFLD を識別した. 9 箇所の NFLD を含む 162 画像に対して適用した結果、NFLD の検出率 90.9%, 画像 1 枚当たりの偽陽性数 1.0 個である.

次に、視神経乳頭の外観検査のために最重要の所見である垂直方向の乳頭陥凹 (Cup) と視神経乳頭 (Disc) の直径比 (以下 C/D 比) の半自動計測のシステムを開発した[17]. 眼科医にとって、Disc の輪郭を決定することは容易であるが、Cup の輪郭の判断は困難であることから、Cup の上下端を自動決定するシステムを構築した. 眼科医が作成した Disc のスケッチを入力とし、Disc の垂直方向の画素値プロファイルを解析することによって Cup の上下端を決定して C/D 比を算出した. 25 枚の緑内障症例の画像を含む 50 画像に適用した結果、感度が 80.0% のときに特異度が 88.0% であった. また、本システムを ROC 解析したときの ROC 曲線下の面積は 0.874 であったが、同時に求めた緑内障専門医の ROC 曲線下の面積が 0.934 であることから、本システムが眼科医の診断能に近い性能を有することが明らかになった. 近い将来に、本システムに Disc の自動抽出処理[17]を加え、C/D 比を全自動で算出するシステムに改良する予定である.

ここで、視神経乳頭はすり鉢状であり、診断時には乳頭の奥行き方向の形状変化を観察することが重要である. しかし、一般の眼底画像は二次元であるため、奥行き情報の視認が困難である. そこで、1 枚の眼底画像から擬似的に

三次元化する研究開発を行ったが[19], 臨床的に十分な表現能力には至らなかった.

そこで、われわれは視神経乳頭領域を立体的に観察できるシステムに着目し、経済産業省・地域新生コンソーシアム研究開発事業「眼底立体画像を用いた眼科健康診断支援システムの開発」プロジェクト[20]で開発した (平成 18 年 6 月～平成 20 年 3 月に実施). 当該事業下で試作した眼底ステレオカメラを Fig.7 の (a) に示す. このシステムでは、眼底をほぼ同時にステレオ撮影し、専用のステレオディスプレイによって眼底を立体的に観察することが可能である. ただし、このシステムでは深さの定量的な情報を得ることができないため、ステレオのペア画像に対して相関法と三角測量の原理を用いることによって深さを計測し[21], その深さ情報を使って三次元モデリングするシステムを開発した (Fig.7 (b)). 当該事業で開発したハードウェアについては、平成 19 年秋に共同研究先の企業が販売を開始した. さらに同企業が平成 22 年春に、開発したソフトウェアを次世代のハードウェアと組み合わせて販売を開発した.

4.2 糖尿病網膜症の CAD

初期の糖尿病網膜症は無症状で経過することが多いが、発見が遅れると失明に繋がる疾患である. 日本人の約 20 万人が糖尿病網膜症を患っていると推測され、年間で約 3 千人が本疾患で失明し続けている.

そこで、われわれは本疾患の所見である眼底出血と白斑を自動検出する CAD システムの構築を目指した[22-24]. 眼底画像は明るさやコントラストが不揃いになるモダリティであるため、非線形関数を用いた画像処理[22]を行った後に、二重構造の平滑化差分フィルタ[23]によって各病変候補を検出し、多変量解析によって病変を識別することで検出精度の向上を図っている. 眼底出血の検出性能は、71 症例に適用した結果、感度が 95.0% のときに特異度が

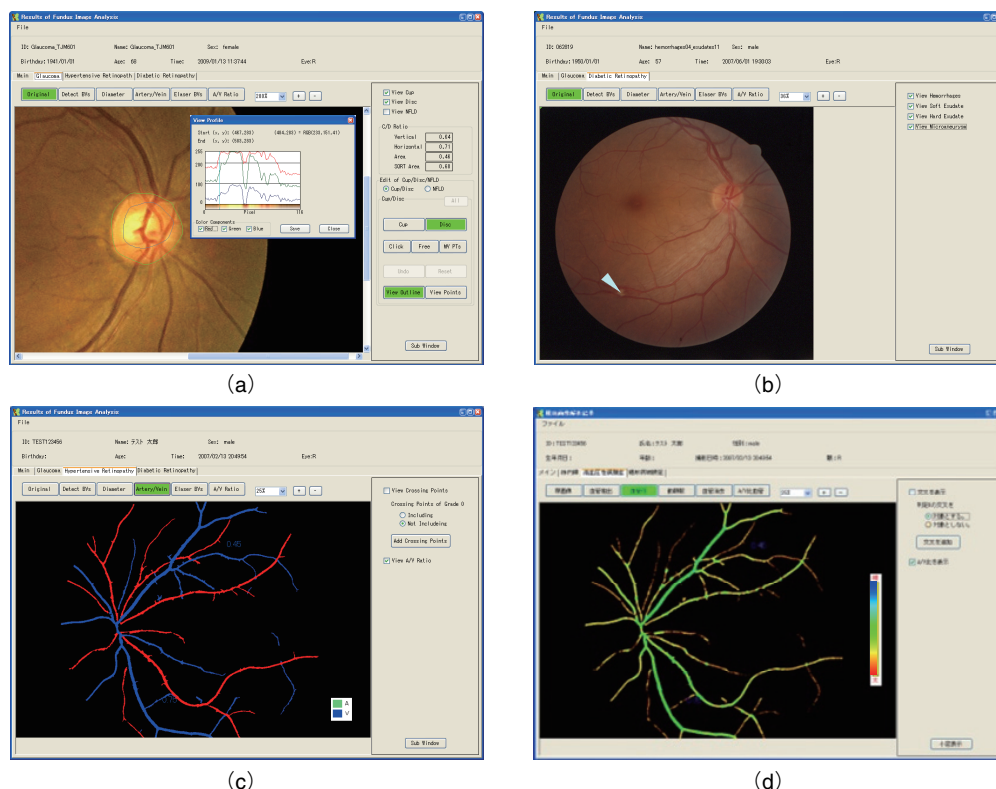


Fig.6 緑内障の CAD システム (a), 糖尿病網膜症の CAD システム (b), および高血圧性網膜症の CAD システムによる動脈と静脈の認識結果 (c) と同システムによる血管の口径計測 (d)

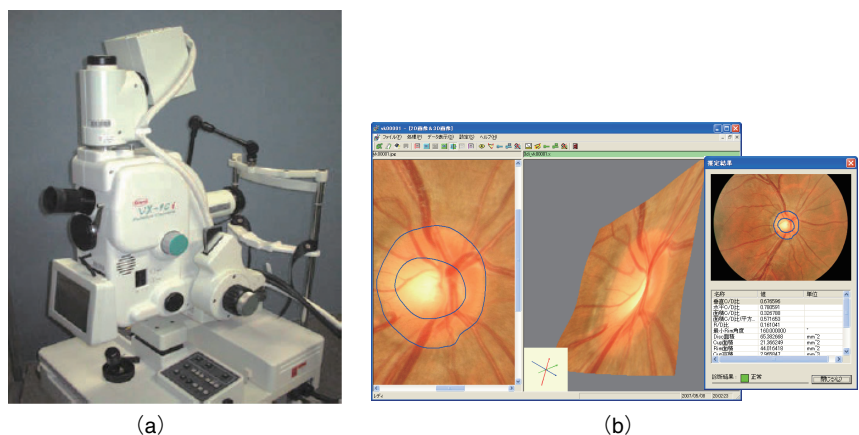


Fig.7 試作した眼底ステレオカメラ (a) と三次元モデリングソフトウェア (b)

86.3% である．同様に，白斑の検出性能は，109 症例に適用した結果，感度は 76.9%，特異度は 83.3% である．

一方で，本疾患の初期症状では毛細血管瘤や網膜点状出血が網膜領域に現れるが，検診で用いられる眼底画像における毛細血管瘤はコントラストが小さいため，眼科医間で診断結果に相違が生じることがある．毛細血管瘤の正確な診断にはフルオロセインで造影した蛍光眼底画像が用いられているが，被験者の自覚症状がないため，検診で毛細血管瘤を発見できなければ，蛍光眼底撮影されることはない問題点がある．したがって，われわれは眼底出血の自動検出と同じアプローチで非造影の眼底画像から毛細血管瘤の検出を試みた[24]．50 症例に適用した結果，検出率 54.1%，画像 1 枚当たりの偽陽性数 13 個であり，毛細血管瘤の検出に関しては，今後の長期的な研究が必要である．

4.3 高血圧性網膜症の CAD

高血圧性網膜症は全身の高血圧症の合併症であり，疾患の進行が失明に繋がる．本疾患は高血圧症の影響（H 所見）と動脈硬化の程度（S 所見）に分けられ，検診ではそれぞれの所見を 4 段階に分類されている．

H 所見は細動脈の口径不同と狭細化の程度を医師の目視評価によって診断されているため，これらを定量的に評価できるシステムを開発した[25, 26]．血管を自動抽出し[18]，分岐と交叉を自動認識して血管を枝構造に分割し[25]，枝ごとにカラー成分の情報を線形判別関数によって動静脈を認識した[25]．その後，枝毎に動脈の平均口径を求め，枝の中に平均口径の 2/3 以下の領域が含まれていれば，枝に口径不同があると判別した[25]．また，併走する動脈と静脈の平均口径の比（A/V 比）を求めることによって細動脈狭窄を認識した[26]．口径不同の性能は，70 症例に適用した結果，検出率が 75.0% のときに画像 1 枚当たりの偽陽性数は 2.9 本である．一方，細動脈狭窄の性能は，80 症例に適用した結果，検出率が 81.0% のときに画像 1 枚当たりの偽陽性数は 3.3 本である．

一方，S 所見は細動脈の血中反射の程度と動静脈の交叉現象によって診断されているが，前者は正常な若年層の細動脈も反射して見えるため，後者のみを自動検出する CAD システムを開発した[27]．血管を自動抽出し[18]，細線化処理で求めた芯線を追跡することによって動脈と静脈が交叉する領域を抽出した[25]．その後，抽出した交叉領域における動脈と静脈の口径比を求めることによって，その領域の良悪性を判定した[27]．眼底画像 91 枚に本システムを適用したとき，検出率 76.7%，画像 1 枚あたりの偽陽性数 0.36 個であった．

この他，血管の自動検出[18]を応用して，血管のパター

ンから個人を識別するシステムの開発を行った．同一人物画像 88 組を含む 580 枚の眼底画像に適用した結果，本人拒否率が 1.3×10^{-4} のときの他人受入率は 2.0×10^{-5} であることより，本システムが指紋や声紋認証に近い識別性能を有することを明らかにした[28]．

5. 乳腺超音波画像の CAD

本邦における乳がん罹患率は女性がんの第一位となり，乳がんの早期発見と早期治療を目的とした集団検診が実施されている．また，近年ではさらなる検診精度の向上を図るため超音波を用いた検診への期待も高まっている．このような背景のもと本研究では，乳がん超音波集団検診への利用を目的とした CAD システムの研究開発を行い，「ホールブレスト超音波画像を対象とした CAD システム」と「ハンドヘルドプローブを対象としたリアルタイム CAD システム」の 2 つの開発を行った．以下にその概要を述べる．

5.1 ホールブレスト画像を対象とした CAD システム

一般的なハンドヘルドプローブを用いた超音波検査は，他のモダリティと異なり撮影と診断がオペレータ依存となりやすく，また，記録性の面においても，全乳房の状態を記録することは困難である．そこで，本研究では，高田悦雄医師（獨協医科大学）とアロカ社が構築した[29, 30]，全乳房スキャナ（アロカ社製，製品型番：ASU-1004）をもとに，専用画像ホールブレストビューワ（以下，ビュー

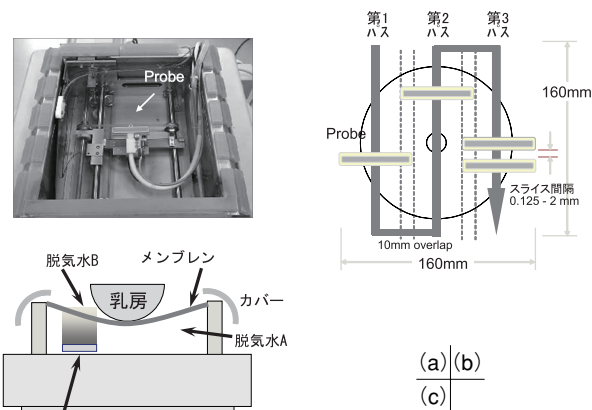


Fig.8 集団検診用乳腺ホールブレストスキャナ(アロカ社製 ASU-1004)
(a) スキャナ装置，(b) プローブの走査 (top view)，(c) プローブの走査 (side view)



Fig.9 ホールプレストビュー画面
(画面左上部:AXIAL 両側乳房画像,画面左下部:病変部の多断面再構成画像)

ワと呼ぶ)と、腫瘍検出機能の開発を行った。

本研究で用いた全乳房スキャナ ASU-1004 は Fig.8 に示すように、体表の約 16 cm×16 cm のエリアを駆動し 3 つの領域 (パス) に分割し撮影することができる。ビューワはこの 3 パスの画像を自動合成し、乳房全体のボリュームデータを生成する。Fig.9 にはビューワの表示例として両側乳房画像と、病変部の多断面再構成画像である AXIAL 像, SAGITAL 像, CORONAL 像を示す。

腫瘍検出機能においては、乳房領域中のエッジに着目し腫瘍検出を試みた。乳房の各組織 (皮膚、脂肪、乳腺、胸筋) は水平方向に層のようになって構成されるため、正常乳房へエッジ検出を行うと垂直エッジに比べ水平エッジが多く検出され、また、腫瘍が存在する場合には、エコーの欠損などの影響により、垂直エッジが検出される。このため本研究では垂直エッジに代表されるような特定のエッジの組み合わせを検出することにより、腫瘍候補位置を決定し、Watershed 法により領域分割し腫瘍候補領域を決定した。さらに、偽陽性候補を削除するため、検出した腫瘍候補領域から 5 つの特徴量 (面積、平均濃度値、重心の位置、周辺領域との濃度差、縦横比) の抽出を行い、これらの特徴量をもとに、ルールベース法と 2 次の判別分析 (QDA) により偽陽性候補の削除を行っている。正常 86 乳房、異

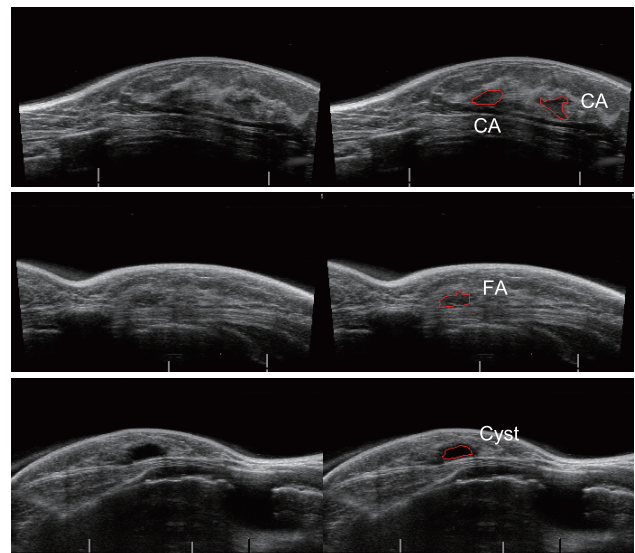


Fig.10 検出結果の一例 (左図は原画像, 右図は検出結果画像)

常 23 乳房 (36 個の腫瘍を含む。内訳は悪性腫瘍 16 例, 繊維腺腫 5 例, 嚢胞 15 例) の 109 例を用いた実験において、本検出システムの性能は真陽性率 80.6% (29/36) であり、そのときの偽陽性数は 1 乳房あたり 3.8 個であった [31, 32]。検出結果画像の一例を Fig.10 に示す。

また、これらの画像から腫瘍像の形状特徴およびエコー情報による良悪性鑑別を行った [33]。さらに応用研究として、ホールプレスト超音波画像から、乳腺組織の自動分類を行った研究 [34] などがある。

5.2 ハンドヘルドプローブを対象としたリアルタイム CAD システム

ハンドヘルドプローブを使った用手法による超音波検査は、リアルタイムに画像を提示され、アプローチに自由度があるものの、撮影の客観性と診断能がオペレータの技量に左右される可能性は否めない。そこで本研究では、ハンドヘルドプローブによる検査中の画像をリアルタイムに解析し、病変の存在をリアルタイムに通報するシステムの開発を行った [7, 35]。

Fig.11 に示すように、開発したシステムは、超音波画像を超音波診断装置から NTSC ビデオ信号によりコン

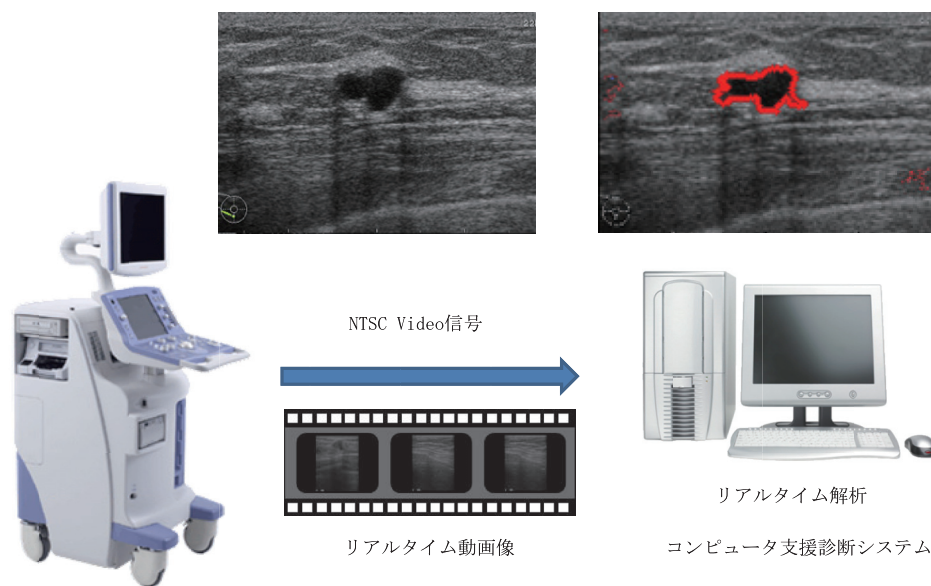


Fig.11 ハンドヘルドプローブを対象としたリアルタイム CAD システム

ピュータに出力し、リアルタイムに画像処理（一画像あたりの処理時間は 30 ms 以下）し、腫瘍が疑われる無エコーまたは低エコー領域を強調表示する。領域辺縁を自動トレースし、腫瘍の視認性を高め、また、腫瘍の形状的特徴を表示することができる。

リアルタイム性の追求により高速な画像処理が要求されるが、今後は、腫瘍パターンを学習し認識する知的処理を搭載する予定である。

6. おわりに

われわれの研究グループでは、5 年間にわたる知的クラスター創成プロジェクトの中で、医師による画像診断をコンピュータで支援すべく「画像診断支援（computer-aided diagnosis : CAD）システム」を研究・開発し、国民の健康向上に資することを目的として、世界に先駆けて（1）脳 MR 画像、（2）眼底画像、および（3）乳腺超音波画像の 3 つの画像診断領域における CAD システムの実用化をめざした。

これらの研究成果は、本稿で述べた技術的要素のほかにも、企業との連携により、近年中には製品化するシステムも創出することができており、すでに一部システムは実用化され社会貢献しはじめ、着実な成果を得ることができている。

この知的クラスター創成事業で培われた技術は、2009 年 6 月にスタートした文部科学省都市エリア産学官連携促進事業（発展型）[2010 年度より、地域産学官連携科学技術振興事業：地域イノベーションクラスタープログラムと名称変更] 岐阜県南部エリア「モノづくりと 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」プロジェクトに継承され、歯科分野の CAD 開発に現在、応用されている[36]。

謝 辞

本研究は、産官学の多方面からの多くの関係者の多大なるご協力により達成できたものであり、ここに深甚なる感謝を表します。岐阜大学および岐阜工業高等専門学校関係者、特に研究室の原 武史准教授、周 向栄助教、村松千左子助教、本プロジェクトにおける研究員として中川俊明、林佳典、G.Lee、池戸祐司、高 欣、林 達郎ら、企業（アロカ、興和、コニカミノルタエムジー、タック）の各関係者、複数の大学医学部（岐阜大学、獨協医科大学）および病院（岐阜大学、県立下呂温泉病院、木沢記念病院、大垣市民病院、岐阜市民病院、松波総合病院、揖斐厚生病院、国立名古屋医療センター、中日病院、静岡県立静岡がんセンター）関係者、岐阜県および岐阜県研究開発財団の方々、ならびに技能補佐員（大島邦彦）、事務補佐員（加藤亜希子）、研究室の学生諸氏に感謝申し上げます。また、眼底 CAD 関係では、経済産業省・地域新生コンソーシアム研究開発事業関係各位にも感謝します。

文 献

[1] http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/chiiki/cluster/index.htm
[2] 岐阜・大垣地域ロボティック先端医療クラスター、BIONICS, July, 42-45, 2006.
[3] 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事業報告書（平成 16 年度～平成

20 年度）、財団法人岐阜県研究開発財団知的クラスター本部発行、2009.

- [4] 藤田広志：CAD 実用化 10 周年－臨床現場への導入の現状と課題－、新医療、35 (10), No.406 (10 月号), 102-105, 2008.
[5] 内山良一：脳 MR・CT の CAD、日本放射線技術学会雑誌、63(12), 1454-1459, 2007.
[6] 中川俊明、畑中裕司、村松千左子、他：眼底画像のコンピュータ支援診断の現状と課題、解説、医用画像情報学会雑誌、25(4), 70-77, 2008.
[7] 福岡大輔、藤田広志：乳腺超音波コンピュータ支援診断（CAD）システム開発が目指すもの、新医療、36(10), 112-115, 2009.
[8] H.Fujita, Y.Uchiyama, T.Nakagawa, et al.: Computer-aided diagnosis: The emerging of three CAD systems induced by Japanese health care needs, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Review, 92(3), 238-248, 2008.
[9] R.Yokoyama, X.Zhang, Y.Uchiyama, et al.: Development of an automated method for detection of chronic lacunar infarct regions on brain MR images, IEICE Trans. Inf. & Syst., E90-D(6), 943-954, 2007.
[10] Y.Uchiyama, R.Yokoyama, H.Ando, et al.: Computer-aided diagnosis scheme for detection of lacunar infarcts on MR image, Academic Radiology, 14(12), 1554-1561, 2007.
[11] 内山良一、横山龍二郎、原 武史、他：脳 MR 画像におけるラクナ梗塞検出のためのコンピュータ支援診断システムの開発、信学技報（MI）、107(133), 11-16, 2007.
[12] 國枝琢也、内山良一、原 武史、他：脳 MR 画像におけるラクナ梗塞と血管周囲腔拡大の鑑別法、医用画像情報学会雑誌、26(3), 59-63, 2009.
[13] 小椋 潤、内山良一、山内将史、他：脳 MRA 画像における脳動脈瘤検出のためのコンピュータ支援診断システムの開発、医用画像情報学会雑誌、24(2), 84-89, 2007.
[14] 山内将史、内山良一、小椋 潤、他：MRA 画像における脳血管名の自動対応付け手法の開発、生体医工学、45(1), 27-35, 2007.
[15] 山内将史、内山良一、小椋 潤、他：脳 MRA 画像における閉塞の検出、Medical Imaging Technology, 26(4), 251-260, 2008.
[16] C.Muramatsu, Y.Hayashi, A. Sawada, et al.: Detection of retinal nerve fiber layer defects on retinal fundus images for early diagnosis of glaucoma. Journal of Biomedical Optics, 15(1), 016021-1-7, 2010.
[17] 畑中裕司、福田圭佑、納土 淳、他：眼底画像上の視神経乳頭部解析による緑内障リスク推定、信学技報（MI）、109(127), 25-28, 2009.
[18] 中川俊明、林 佳典、畑中裕司、他：眼底画像診断支援システムのための血管消去画像を用いた視神経乳頭の自動認識及び疑似立体視画像生成への応用。電子情報通信学会論文誌 D, J 89-D(11), 2491-2501, 2006.
[19] 中川俊明、林 佳典、畑中裕司、他：1枚の2次元眼底画像を用いた3次元眼底画像の構築。医画情誌、23(3), 85-90, 2006.
[20] 地域新生コンソーシアム研究開発事業ホームページ：<http://www.gikenzai.or.jp/consortium/>、（最終アクセス 2010.4.27）.
[21] T.Nakagawa, T.Suzuki, Y.Hayashi, et al.: Quantitative depth analysis of optic nerve head using stereo retinal

- fundus image pair. *Journal of Biomedical Optics*, 13(6), 064026-1-10, 2008.
- [22] Y.Hatanaka, T.Nakagawa, Y.Hayashi, et al.: CAD scheme to detect hemorrhages and exudates in ocular fundus images. *Proc. of SPIE Medical Imaging 2007: Computer-Aided Diagnosis*, 6514, 65142 M-1-8, 2007.
- [23] A.Mizutani, C.Muramatsu, Y.Hatanaka, et al.: Automated microaneurysm detection method based on double-ring filter in retinal fundus images, *Proc. of SPIE Medical Imaging 2009: Computer-Aided Diagnosis*, 7260, 72601N-1-72601N-8, 2009.
- [24] Y.Hatanaka, T.Nakagawa, Y.Hayashi, et al.: Improvement of automated detection method of hemorrhages in fundus images. *Proc. of the 30th IEEE EMBC*, 5429-5432, 2008.
- [25] 畑中裕司, 原 武史, 周 向栄, 他: 眼底写真における血管の追跡処理による動脈の口径不同の自動検出. *生体医工学*, 42(4), 236-240, 2005.
- [26] 林 俊文, 中川俊明, 畑中裕司, 他: 眼底画像における動脈狭窄検出のための主幹血管の認識法. *信学技報*, MI2007-131, 377-382, 2007.
- [27] 高橋 亮, 畑中裕司, 中川俊明, 他: 眼底画像における高血圧症診断支援のための血管交叉部の自動解析. *Medical Imaging Technology*, 24(4), 270-276, 2006.
- [28] 福田圭祐, 中川俊明, 畑中裕司, 他: 生体認証のための眼底画像における血管像を用いた類似度算出法. *画像電子学会誌*, 37(6), 1020-1028, 2008.
- [29] E.Takada, Y.Ikeda, D.Fukuoka, et al.: Semi-automatic ultrasonic full-breast scanner and computer-assisted detection system for breast cancer mass screening, *Proc. of SPIE Medical Imaging 2007: Ultrasonic Imaging and Signal Processing*, 6513, 651310-1-651310-8, 2007.
- [30] 伊藤壽夫: “乳癌超音波自動検診用システムについて”, *医画情誌*, 23(2), 75-78, 2006.
- [31] Y.Ikeda, D.Fukuoka, T.Hara, et al.: Development of a fully automatic scheme for detection of masses in whole breast ultrasound images, *Medical Physics*, 34(11), 4378-4388, 2007.
- [32] 池戸祐司, 福岡大輔, 原 武史, 他: 全乳房超音波画像における腫瘍像自動検出システムのための左右乳房画像の比較による偽陽性削除法, *電子情報通信学会論文誌 D*, J 91-D(7), 1923-1926, 2008.
- [33] G.N.Lee, D.Fukuoka, Y.Ikeda, et al.: Classification of benign and malignant masses in ultrasound breast image based on geometric and echo features, 9th International Workshop on Digital Mammography, *Digital Mammography*, E.A.Krupinski (Ed.), Springer Lectures Notes in Computer Science (LNCS) series: LNCS5116, 433-439, Springer, 2008.
- [34] Y.Ikeda, T.Morita, D.Fukuoka, et al.: Automated analysis of breast parenchymal patterns in whole breast ultrasound images: preliminary experience, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 4(3), 299-306, 2009.
- [35] D.Fukuoka, K.Nanri, T.Uematsu, et al.: Real-time mass detection system in breast ultrasonography, *RSNA2010 Scientific Assembly and Annual Meeting Program*, p.938, (2009).
- [36] <http://www.gikenzai.or.jp/ikou/>