

心臓カテーテル検査におけるグラフィカルで 効率的な所見入力を可能にした 電子カルテ・インタフェースの開発

森悠紀¹⁾ 五十嵐健夫¹⁾ 原口亮²⁾ 大川常吉³⁾ 吉田達雄³⁾ 稲田紘⁴⁾ 中沢一雄²⁾

近年のハードウェア性能の向上やユーザインタフェースの改善により、電子カルテは比較的使い易いものとなってきた。しかし、電子カルテのさらなる普及を目指すためには、電子化のメリットを活かし、コンピュータがユーザの意思をくみ取り、操作を支援するようなインタフェースの改善が必要と考えられる。そこで我々は、手書きスケッチに基づくモデリング技術を用いて、心臓カテーテル検査のための効率的な所見入力を可能にする電子カルテ・インタフェースの開発を行った。また、データの構造化や他システムとの連携を図るために、データの自動構造化アルゴリズムを作成し、XMLによるデータ出力機能を実装した。本システムでは、冠動脈シェーマのテンプレートに対して狭窄の部位や程度を簡便に入力することができる。さらに、冠動脈シェーマから、AHA基準に基づく分節番号ごとの表が自動的に出力可能である。効率的でわかりやすい所見入力ということだけでなく、患者への病態や治療計画などの効果的な説明ツールとしての応用が考えられる。

キーワード： インタフェース、電子カルテ、心臓カテーテル検査、冠動脈シェーマ、XML

Development of Effective User Interface for Graphical Finding Report in Cardiac Catheterization : Mori Yuki¹⁾, Igarashi Takeo¹⁾, Haraguchi Ryo²⁾, Okawa Tsunekichi³⁾, Yoshida Tatsuo³⁾, Inada Hiroshi⁴⁾, Nakazawa Kazuo²⁾

Recently it has become easy to use medical electronic record systems thanks to the improvement in the hardware performance and user interface. However, in order to further medical electronic record systems, it is necessary to improve user interfaces so that it can take advantage of computerization and support operations reflecting the user's intension. We therefore developed an effective interface for graphical finding reporting in the cardiac catheterization using hand-written sketches. In addition, to cooperate with other systems, we developed an algorithm that can extract semantic information from the graphical representation and store it in XML format. In this system, the user can easily record the position and degree of a stenosis on a template of coronary schema. The system can also generate a table in the format specified in AHA Committee Report. This system is useful not only as a tool for efficiently generating finding reports but also as an effective explanation tool for patients.

Keywords: user interface, electric medical record, cardiac catheterization, coronary schema, XML format

1. はじめに

従来、入力負荷が高いなどの批判があった電子カルテ^{1,2)}も、ハードウェア性能の向上やユーザインタフェースの改善により、比較的使い易いものになってきた。しかし、電子カルテのさらなる普及を目指すためには、電子化のメリット

を活かして入力負荷を軽減し操作を支援するようなインタフェースの改善が必要と考える。これまで我々は紙カルテの自由度の高さを継承した電子カルテを実現するため、ペン入力インタフェースを用いた手書き電子カルテシステムの開発を行っ

1) 東京大学大学院情報理工学系研究科

2) 国立循環器病センター研究所

3) 日本光電工業株式会社

4) 兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

TEL: 03-5841-4091

FAX: 03-3818-4607

Email: yuki@ui.is.s.u-tokyo.ac.jp

てきた³⁻¹⁰。我々の開発したペン入力インタフェースでは、特定の入力フィールドを設けずにカルテ画面の任意の位置に手書できる特徴がある。医療従事者の自由な思考スタイルに合わせた迅速な入力を可能にするだけでなく、ペン入力ならではのさまざまな支援機能^{7,8)}や、セキュリティ向上のための認証機能⁹⁾、手書き文字認識・検索機能¹⁰⁾などを実現した。しかしながら、一方でペン入力インタフェースではデータの構造化や他システムとの連携が困難であるという問題点があった。

ペン入力インタフェースではシェーマを書き込んだり貼り付けたりすることが簡便にできる。このようなシェーマを中心とした電子カルテ・インタフェースの考え方は、眼科や耳鼻科、歯科口腔外科といった診療科には特に有効なものである。実際、このような診療科領域において、従来型の電子カルテの導入が困難であるという問題点が指摘されている¹¹⁻¹³。心臓カテーテル検査および治療においても、その所見や治療計画などについてシェーマを活用しながらカルテに記載することが有効である。現状の電子カルテでは、構造化した表を埋めていくテンプレート形式のものが主流であり、所見や治療計画を記載するには必ずしも十分ではない。またシェーマの作成および利用に関しても、通常のペイント系のツールではジオメトリ等の編集が困難で、画像データとして処理されるためデータ量が増加するという欠点も挙げられる。

そこで我々は、手書きスケッチに基づくモデリング技術を用いて、心臓カテーテル検査のための効率的所見入力を可能にする電子カルテ・インタフェースの開発を行った。また、データの構造化や他システムとの連携を図るために、データの自動構造化アルゴリズムを考案し、XMLによるデータ出力機能を実装した。これにより、電子カルテシステムのシェーマ記載における問題点を克服できる可能性を示す。

2. インタフェースの基本機能

冠動脈造影所見の記載およびカテーテル治療計画を図的に記入するためのインタフェースを開発

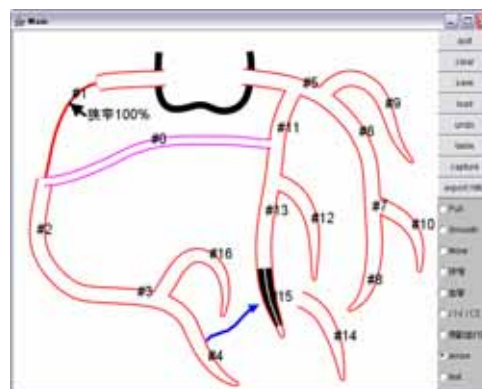


図1：冠動脈シェーマの記載例

した。開発システムを使用した冠動脈シェーマの記載例を図1に示す。操作は、主にマウスによる操作によって行われ、紙の上にペンで図を描くような感覚での操作が可能である。また、血管上にマウスカーソルをのせると、血管の名称とその部分(PROXIMAL, MIDDLE, DISTAL)をシステムの右上に表示する。表示される血管名称の分類や所見の記載は、広く用いられているAHA (American Heart Association) のCommittee Reportに基づく記載方法^{14,15)}に準じた形で行うことができる。さらに、必要に応じて血管のセグメントの境界線を表示させることもできる。

インタフェースのデザインに当たっては、右ボタンでポップアップメニューが表示されるなど、広く使われているWindowsアプリケーションに準じて作成しており、はじめてシステムに触れるユーザでも短期間で使い方を習得できる。以下に、各機能の概要について説明する。各機能の実装アルゴリズムについては、4章で述べる。

2.1. 血管の書き込みと編集

システムを起動すると、まずデフォルトの冠動脈のシェーマが表示される。ユーザはこの上に所見や治療計画について記述していく。デフォルトの冠動脈シェーマを個々の患者の冠動脈形状に対応させるために、血管のジオメトリ編集機能を提供する。具体的には、新しい血管を描き加えたり、既存の血管を削除したり、形状を変化させたりすることができる。

血管を追加する場合には、画面右端のツールパ

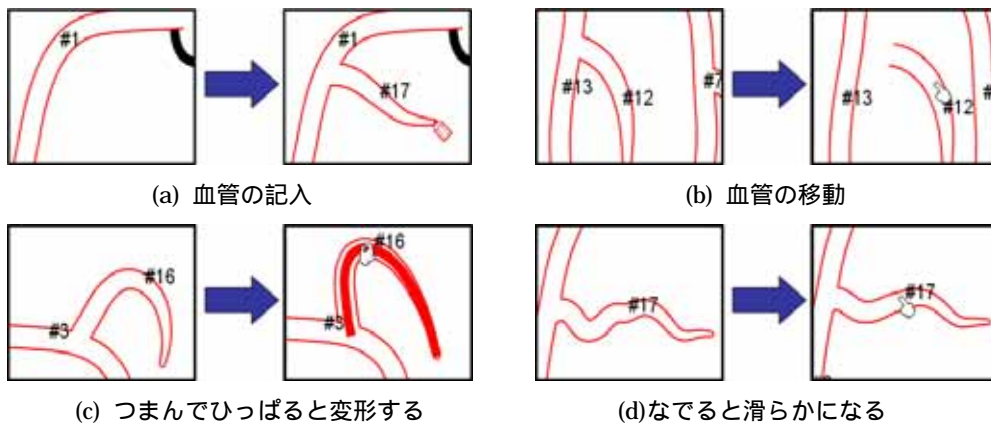


図 2：血管に対する編集操作

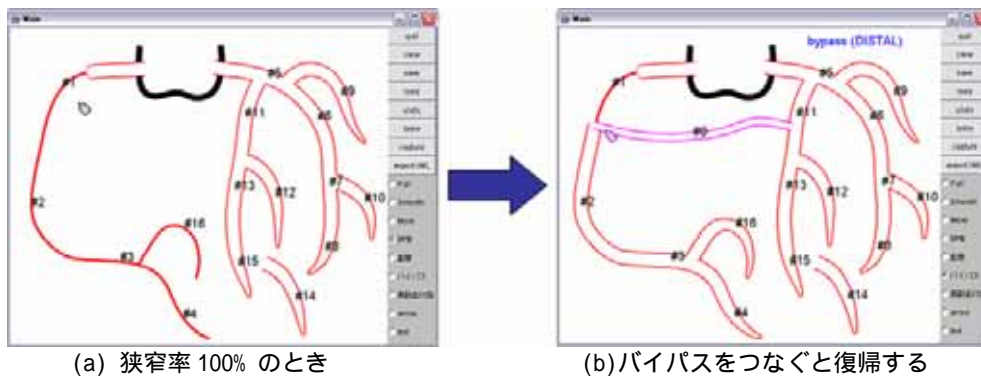


図 3：バイパスによる完全閉塞復帰の例

レットから血管描画ツールを選んだ後、画面内で左ボタンドラッグする(図 2 (a))。描かれた血管がすでにある血管に接続されている場合には、接続部の形状が適切に表現される。また、血管の末端は徐々に細くなるように表現される。血管を削除する場合には、既存の血管の上で右ボタンクリックして現れるポップアップメニューから delete を選択する。削除された血管がつながっていた血管の形状は自動的に補正される。

血管の位置を移動する場合には、ツールパレットから移動ツールを選択し、画面上の血管に対して左ボタンドラッグを行う(図 2 (b))。血管の形状を変更する場合には、ツールパレットから変形ツールを選択した後、左ボタンドラッグで既存の血管をつかんで移動する(図 2 (c))。この操作は、細かい形状特徴を保持しながら全体の形状を変形するという特殊な形状変形アルゴリズム¹⁶⁾を利用する。また、手書きで描かれた血管を滑らかにする

ためのツールとして smoothing ツールを用意する。このツールを選択した後、目的とする血管に対して左ボタンドラッグでこするような操作を行うと、徐々に細かい凸凹が無くなり形状が滑らかに変化する(図 2 (d))。

2.2. 狭窄の書き込み

上記の操作によって、冠動脈の形状を適切に設定した後、狭窄の書き込みを行う。この場合には、まず画面右側のツールパレットから狭窄追加ツールを選択したあと、対象とする血管上で左ボタンドラッグすることで、その部分に狭窄が記入される。ドラッグ操作が終わった後、すぐに簡単なダイアログが表示され、狭窄の種類 (Generic, Calcification, Diffuse など) や狭窄率など必要な情報の設定が行われる。既存の狭窄のプロパティを変更する場合には、マウスの右ボタンでプロパティを選ぶことで、同様のダイアログが表示される。

表示される狭窄の形状は、狭窄率によって適切に変化する。

狭窄が 100% に設定された場合には、完全に血流が止まった状態であるので、血流がそこから先には届かないことを示すため、そこから先の血管は幅をもたない線として表示される (図 3 (a))。枝分かれなどがある場合にも、下流に位置する血管は自動的に検出されて適切に処理される。ステント処置などによって狭窄率が 100% で無くなった場合には、下流の血管の表示も線表示から通常表示に戻される (図 3 (b))。

2.3. バイパス・側副血行路の記入

バイパスを追加することも可能である。狭窄によって血液が流れなくなった血管に対して血液が順調に流れている血管からバイパスをつなぐと、血管の表示が復帰する (図 3 (b))。また、バイパスに対しても血管と同じように狭窄を書き加えることができる。さらに、削除やつまんでひっぱる編集など、血管と同様の編集が可能である。

側副血行路も記入することができ、どの向きに側副血行路が成長しているかを曲線の矢印で表現する。

2.4. その他の機能

カルテ記載には注釈が必須である。術後の経過や特記すべき事項などの所見を文字と直線矢印を用いて、適宜自由な位置に書き加えることができる。直観的メモが自由に入力できることで連想記憶にも有効であり、思考過程を補助することができる。

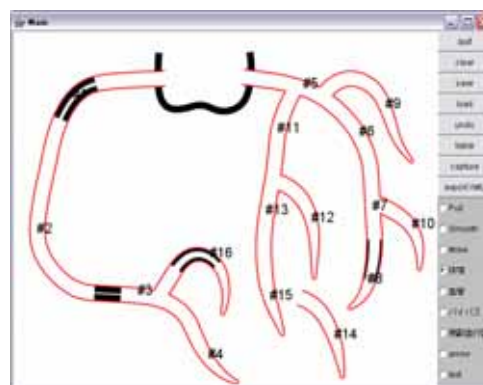
また、冠動脈シェーマで編集したデータはファイルとして保存および読み出しを可能とし、後日内容を確認したり追加の編集を行ったりすることができる。保存形式はベクトルデータで保存されるため、データ量が削減できる。さらに、PNG 形式で画像として出力することも可能であり、ワープロソフトなどの外部ソフトウェア上に取り込んで利用することができる。

デフォルトの冠動脈のシェーマを適宜編集することも可能で、新たに作成した冠動脈の状態をデ

フォルトの形状として登録し直すことも容易にできる。

3. データの構造化および他システムとの連携

冠動脈狭窄病変には、coronary angiography (CAG) による評価が用いられており、CAG 評価は冠動脈の形態や狭窄率を知るうえで重要である。そこで、冠動脈シェーマに入力されたデータを、冠動脈シェーマのジオメトリからコンピュータが自動的に判断して、AHA 基準に基づく冠動脈の分節番号ごとに自動的に構造化するアルゴリズムを作成した。アルゴリズムの詳細は次章で述べる。また、構造化されたデータは XML 形式によって出力される。この XML ファイルを用いることで自動的に表を作成することが可能となる。開発システムの冠動脈シェーマに狭窄を記入した例を図 4 (a) に示す。このデータを元に自動的に出力された XML ファイルが図 4 (b) である。システムにより出力された XML ファイルは CAG 評価を表示するシ



a) シェーマへの記載

```
<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS" ?>
<- cca1>
<- cca1>
<prepcc>75</prepcc>
<irregular>0</irregular>
<diffuse>1</diffuse>
<segmental>0</segmental>
<undefined>0</undefined>
<washeddelay>0</washeddelay>
</cca1>
<- cca2>
<prepcc>0</prepcc>
<irregular>0</irregular>
<diffuse>0</diffuse>
<segmental>0</segmental>
<undefined>0</undefined>
<washeddelay>0</washeddelay>
</cca2>
<- cca3>
<prepcc>90</prepcc>
<irregular>0</irregular>
<diffuse>0</diffuse>
<segmental>1</segmental>
<undefined>0</undefined>
<washeddelay>0</washeddelay>
</cca3>
<- cca4pd>
<prepcc>0</prepcc>
<irregular>0</irregular>
<diffuse>0</diffuse>
</cca4pd>
```

Segment	Pre PCI	Irregular	Calcification	Diffuse	Segmental	Undefined
RCA1	75	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	90	0	0	0	0	0
4AV	0	0	0	0	0	0
4PD	60	0	0	0	0	0
LMT5	0	0	0	0	0	0
LAD6	0	0	0	0	0	0
7	26	0	0	0	0	0
8	26	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
LCX11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0

(b) シェーマから自動生成される XML (c) XML から自動生成される CAG 評価表

図 4: XML を用いた CAG 評価表の自動生成の例

システムに対応した XML 形式となっているため、これを入力することにより、開発システムで冠動脈シエマに記入したデータに対応する CAG 評価の表を自動で作成することが可能となる(図 4 (c)) .

4. 実装アルゴリズム

本システムは、Java™ 言語を用いて記述されており、幅広いプラットフォームで動作可能である。表示については Java2D を利用している。以下、いくつかの機能について、実装アルゴリズムを簡単に述べる。

4.1. 血管の形状表示

血管は中空の赤い線として表現され、枝分かれなども適切に表現される(図 1)。このような表現を実現するため、本システムでは、血管を微小区間からなる折れ線として表現している。表示時には、まずすべての血管の場所に赤い太い線を描き、その後に同じ場所に白で少し細い線を描いている。また、先へ行くほど細くなる形状を表現するため、血管は微小区間毎に先に行くほど細くなるように太さが定義されており、赤い線と白い線の太さをその値によって変化させている。

4.2. Pull 機能

血管をつまんで引っ張るアルゴリズムは、Igarashi らの手法¹⁶⁾を用いている。ポリライン(折れ線)として表現された曲線の隣り合う 3 点を結んで三角形として、この三角形の歪みを最小化するという計算によって実現される。この手法を用い

ることで、曲線を「つまんでひっぱる」だけで、細かい形状特長を維持しながら大きな変形を実行することが可能となる(図 2 (c))。また、ユーザが遠くへ引っ張ると徐々に変形範囲がひろがる「ひきはがし」インタフェース¹⁶⁾を実装しているため、ユーザが変形範囲を事前に指定する必要はない。

4.3. スムージング

スムージングは、手書きで描いた血管に含まれるノイズを除去し滑らかにする機能である。内部的には、血管の上でマウスをこするよう動かしたときに、ポインタが通過した領域に存在する折れ線の各点を、その点における折れ角度が周囲の点での折れ角度と等しくなるような位置へ移動する。この処理を、一連の領域内にある点に対して何度も繰り返すことで全体的にノイズが徐々に除去される(図 2 (d))。

4.4. 狭窄とバイパスによる血流の変化

狭窄によって血管が線表示になる表現は、血管に描き込まれている狭窄の狭窄率が 100%であった時に、血管の枝分かれ構造を辿ることでその地点より下流にある血管を検出し、それらの太さを 0 にすることで実現される(図 3 (a))。バイパスをつなぐことで血管表示が復活する表現は、狭窄の場合と同様、枝分かれ構造を辿ることでそれより下流にある血管を検出し、それらの太さを元に戻すことで実現される(図 3 (b))。

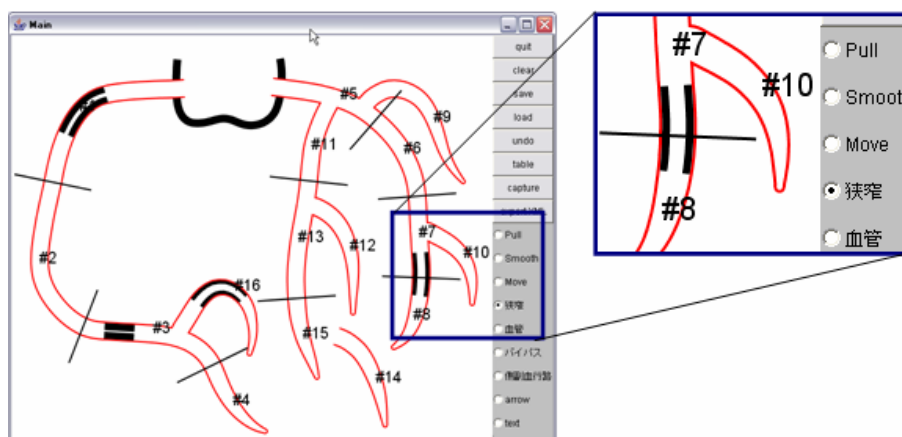


図 5 : 複数の分節にまたがった狭窄の例

4.5. データの自動構造化

冠動脈の形態や狭窄率を知るうえで重要な CAG 評価表を作成するため、冠動脈シェーマに描かれた狭窄のデータに対してデータの構造化を行う。CAG 評価表とは、冠動脈の分節番号ごとに狭窄の有無、狭窄率、狭窄の種類を格納した表(図 4 (c)) のことである。冠動脈シェーマに入力されたデータから狭窄のデータに対する構造化を行うことで自動的に CAG 評価表を作成することが可能となる。まず、狭窄記入時に狭窄の始点と終点を冠動脈のジオメトリと対応させることで、記入した狭窄が属している冠動脈の分節番号を求める。狭窄を記入し、ダイアログによる狭窄へのプロパティ設定後には、それぞれの狭窄が、1)狭窄 ID、2)狭窄が属している冠動脈の分節番号、3)狭窄率、4)狭窄の種類、の情報を保持していることになる。狭窄 ID は、入力順に番号が割り当てられる。このとき、属している冠動脈のセグメント側にも、狭窄 ID が渡される。その後、すべての冠動脈セグメントに対し、狭窄の有無を判定し、狭窄が存在する場合にはその狭窄の情報を適切なフォーマットにしたがって XML 化する(図 4 (b))。

狭窄が複数のセグメントにまたがっている場合には、複数のセグメントに属しているとみなす。図 4 で示した狭窄のうち、LAD7 と LAD8 に描かれている狭窄が複数のセグメントにまたがっている例である。わかりやすいようにセグメントの境界線表示を ON にした状態を図 5 に示す。

5. 考 察

開発したインタフェースは、電子カルテのさらなる普及を目指すことを目的としたものであった。そのために、現状のシェーマ記載に関する電子カルテの問題点に着目した上で、電子化のメリットをさらに活かし、コンピュータがユーザの意思をくみ取り操作を支援するようなインタフェースを開発した。現状では試作レベルであり、実際に臨床現場で運用した上での評価は行っていないが、開発システムに対して専門家から以下のような意見が得られた。

1) シェーマを患者個人のジオメトリに適応

させることが容易。

- 2) シェーマはビットマップデータではなくベクトルデータで保存するため、データ量が大幅に少なくでき、システムからのデータベースへの問い合わせ時におけるレスポンスの低下も引き起こしにくい。
- 3) XML を用いることで、カルテに記載した内容を AHA 分類に沿った表形式で出力することが可能であり、また他システムとの連携も容易。
- 4) シェーマを描きながら同じディスプレイ上で検査画像を参照することができるため、効率的な記載が可能となる。
- 5) AHA 基準では現状にそぐわない症例も多数存在する。したがって AHA 基準で対応できない症例や、さらなる例外処理に対する工夫が必要。

本システムを利用することで冠動脈シェーマのテンプレートに対して狭窄の部位や程度を簡便に入力することができる。また、従来の紙面上でのカルテ記載では実現できなかったバイパス手術後の血管回復なども視覚化することが可能となった。これらにより、シェーマ記載に関する問題点に対して、電子カルテによる解決の可能性を示すことができたと考える。一方で、心臓カテーテル検査におけるカルテ記載は入力者ごと施設ごとに多様である。また今回参照した AHA の Committee Report における基準自体も作成から 30 年以上が経過し、これまでの基準では分類しきれない症例の存在や基準自体の曖昧さから、改訂の必要性に迫られている。本システムはシェーマを基本としたインタフェースを用いており、図記入と文字注釈を活用することができる。そのため、現時点で想定していない冠動脈奇形などの症例などが将来的に発生しても、少なくともシステムの制約から入力できないという事態は避けることができる。しかし、入力データの構造化という観点からは AHA の基準を外れることはできない。したがって、本システムの課題として、新しいレポート作成基準や症例に対するさらなる柔軟性が考えられる。

開発したインタフェースは心臓カテーテル検査

における所見入力だけでなく、耳鼻科、眼科、口腔外科などのシェーマを必要とする診療科にも応用が可能である。また、効率的でわかりやすい所見入力ということだけでなく、患者への病態や治療計画などの効果的な説明ツールとしての応用が考えられる。今後臨床現場での運用を行い、現場からのフィードバックを基にシステムの問題点を抽出し改善を図る予定である。

6. まとめと今後の課題

手書きスケッチに基づくモデリング技術を用いて、心臓カテテル検査のための効率的所見入力を可能にする電子カルテ・インタフェースの開発を行った。また、データの構造化や他システムとの連携を図るために、データの自動構造化アルゴリズムを考案し、XMLによるデータ出力機能を実装した。開発したインタフェースによりシェーマ記載に関する電子カルテの問題点を改善することができると思われる。

開発したインタフェースは特別なシステムを必要としないため、低コストで導入可能であり、将来の発展性は高いと考えられる。実際に臨床現場で運用した上での評価をすると共に、それを元にさらなる改良をし、実用段階まで発展させたい。また、3次元画像による冠動脈疾患の診断が広まりつつある状況にあわせて、3次元シェーマ記載機能を実現させたい。

謝 辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2)16500311, 基盤研究(B)18300157), 文部科学省リーディングプロジェクト「細胞・生体機能シミュレーションプロジェクト」による成果の一部である。

文 献

- 1) 松村泰志. 電子カルテと病院情報システム. 医療情報学 2001; **21**(3): 211-22.
- 2) 松村泰志. 電子カルテの現状と課題. 最新医学 2003; **58**(8): 46-51.
- 3) 五十嵐健夫, 芦原貴司, 永田 啓, 高田雅弘, 中沢一雄. 最新ペンコンピューティング技術に基づく電子カルテインタフェース: カルテ記載者のストレス軽減を目指して. 医療情報学 2000; **20**(Suppl.): 482-3.

- 4) 中沢一雄, 芦原貴司, 八尾武憲ら. 電子カルテインタフェースにおけるペンコンピューティングの有効性と診療支援について. 医療情報学 2001; **21**(Suppl.): 362-3.
- 5) 中沢一雄, 芦原貴司, 八尾武憲ら. 手書き入力を支援するペン入力型電子カルテインタフェースの提案. 医療情報学 2002; **22**(Suppl.): 364-5.
- 6) 中沢一雄, 五十嵐健夫. 電子カルテ普及に向けたペン入力インタフェース. 新医療 2003; **345**: 74-7.
- 7) 坂地広之, 池川禎一, 五十嵐健夫ら. 電子カルテの入力改善を目指した手書き文字インタフェースの実装. 医療情報学 2001; **21**(Suppl.): 358-9.
- 8) 五十嵐健夫, 芦原貴司, 八尾武憲ら. ペン入力を用いた電子カルテシステムのための各種入力手法の検討. 医療情報学 2001; **21**(Suppl.): 408-9.
- 9) 五十嵐健夫, 守屋 潔, 芦原貴司ら. ID付きペンによるオペレーションレベルでの個人認証. 医療情報学 2002; **22**(Suppl.): 775-6.
- 10) 中沢一雄, 原口亮, 八尾武憲ら. 手書き文字の高度な認識・検索機能を備えた電子カルテのペン入力インタフェース. 医療情報学 2005; **25**(2), 81-6.
- 11) 永田啓, 杉本喜久, 中沢一雄ら. 医療者の思考過程に即したユーザーインタフェースを実装した電子カルテシステムの考え方とその実装. 医療情報学 2005; **25**(Suppl.): 545-6.3.
- 12) 新家眞, 東範行, 伊藤逸毅ら. 大学附属病院および国立病院眼科における完全(ペーパーレス)電子カルテ化導入について. 新医療 2004; **31**(9): 104-7.
- 13) 坂部長正, 荒井和夫, 阿部和也, 井上秀朗, 酒井俊一, 渡辺行雄. 耳鼻咽喉科領域におけるカルテ電子化の諸問題. 医療情報学 2001; **21**(1): 131-6.
- 14) 西村 恒彦(編), 南都 伸介(編), 吉田 清(編), 石田 良雄(編)「虚血性心疾患 病態に応じた画像診断法」, メジカルセンス, 2000年.
- 15) Austen G. W, Eswards J, Frye R. L., et al. "A Reporting System on Patients Evaluated for Coronary Artery Disease", Circulation, 1975; **51**(4 Suppl.): 5-40.
- 16) Igarashi T, Moscovich T, Hughes J F. As-Rigid-As-Possible Shape Manipulation. ACM Transactions on Computer Graphics 2005; **24**(3): 1134-41.