U.D.C. 〔681.32.06:159.95〕:711.14:〔801.311+912.43〕

地図情報エキスパートシステム—GENTLE—

General Topographical Land-use Expert System —GENTLE—

嶋田　茂* Shigeru Shimada
江尻正員** Masakazu Ejiri

地方自治体や公共事業体での各種計画の策定支援のために，対話応答特性のよい地図情報処理システムが求められている。このような地図情報処理システムでは，文字，数値，テキスト，画像などのいわゆるマルチメディア情報を効率よく管理できるばかりでなく，処理効率がよく，しかも親しみやすいマンマシンインタフェースを備える必要がある。そこで今回，知識処理技術の導入によりマルチメディアが扱え，良好なマンマシン特性を実現させた将来形地図情報処理システムのプロトタイプ(GENTLE)を開発した。本論文では，このGENTLEで実現したマルチメディアデータベースの構成方式と自然語インタフェースの方式を中心に述べる。

マルチメディアデータベースでは，各メディア別に管理されている内容を関係形式で統合化し，更にスキーマ情報を知識ベースに記憶することによって高度な検索特性を実現している。一方，自然語インタフェースでは，地名を含む複文を解釈できるほか，幾何的な関係の表現を見つけることによって，あらかじめデータベースに幾何的関係が記憶されていない場合にも推論検索が可能となるなどの機能を実現した。最後に，住宅地図を用いた各種の検索例を示し，GENTLEで実現した諸機能の一部を紹介する。

1 緒　言

市役所，県庁など地方行政体での地域計画策定や，電力，水道などの公共事業体での設備計画策定の支援などでは，対話応答特性の良い地図情報処理システムの実用化が望まれている。

最近，グラフィックス技術の進展などにより，このような要求にこたえる実用システムが発表されるようになってきた[1)~3)]。しかし，今までのシステムは図形情報のほかに，名称，属性などの文字・数値データ，文書などのテキストデータ，航空写真などの画像データなど，いわゆるマルチメディア情報を効率的に統合管理する機能や，効率的で親しみやすいマンマシンインタフェース機能の点で必ずしも満足できるものではなかった。

日立製作所は，これらへの対応として高度な図形処理技術とその図面情報処理システムへの応用の研究を進めているが[4)]，このたび，その一環としてLisp言語を用いた地図情報処理システムのプロトタイプGENTLE※)(General Topographical Land-use Expert System)[5)]を開発した。このシステムでは，知識ベースに基づく関係データベースの拡張によりマルチメディア情報への対応を図っているほか，自然語インタフェースによる高度なマンマシン機能も実現している。

※)　ソフトウェア名称

2 エキスパートシステムとしての位置づけ

現在，実用化が精力的に進められている地図情報処理システムは，**図1**に示すように大きく出版形と検索形の二つに分類できる。この出版形のシステムでは，地図データそのものを作成することを目的としており，出版物又はCRT(Cathode Ray Tube)への表示が鮮明であることが要求される。一方，検索形のシステムでは，各種の数値・文字データを地図上に関係づけて表示できるような高度に構造化されたデータベースの利用を前提としており，各種の計画支援が対話応答性よく実行可能となることが要求される。更にこの検索形システムは，地図情報処理一般が扱えるはん(汎)用システムと，上下水道，電力，ガス，警察といった部門別の専用システムとに分類できる。今回作成したエキスパートシステムGENTLEは検索形に属するもので，そのなかでも特にはん用システムの位置づけにある。

さて，上記検索形のシステムで，対話応答特性に優れたものを実現するためには，ユーザーが求める抽象的な要求から，いかに早く具体的な検索手続きを得るかが重要である。しかもこの検索手続きは，システム構成やデータベースの持つ意味情報を反映した効率のよいものでなければならない。現行の一般のエキスパートシステムでは，このような種類の情報が手続きオブジェクトの中の制御情報として埋め込まれるこ

* 日立製作所中央研究所　** 日立製作所中央研究所 工学博士

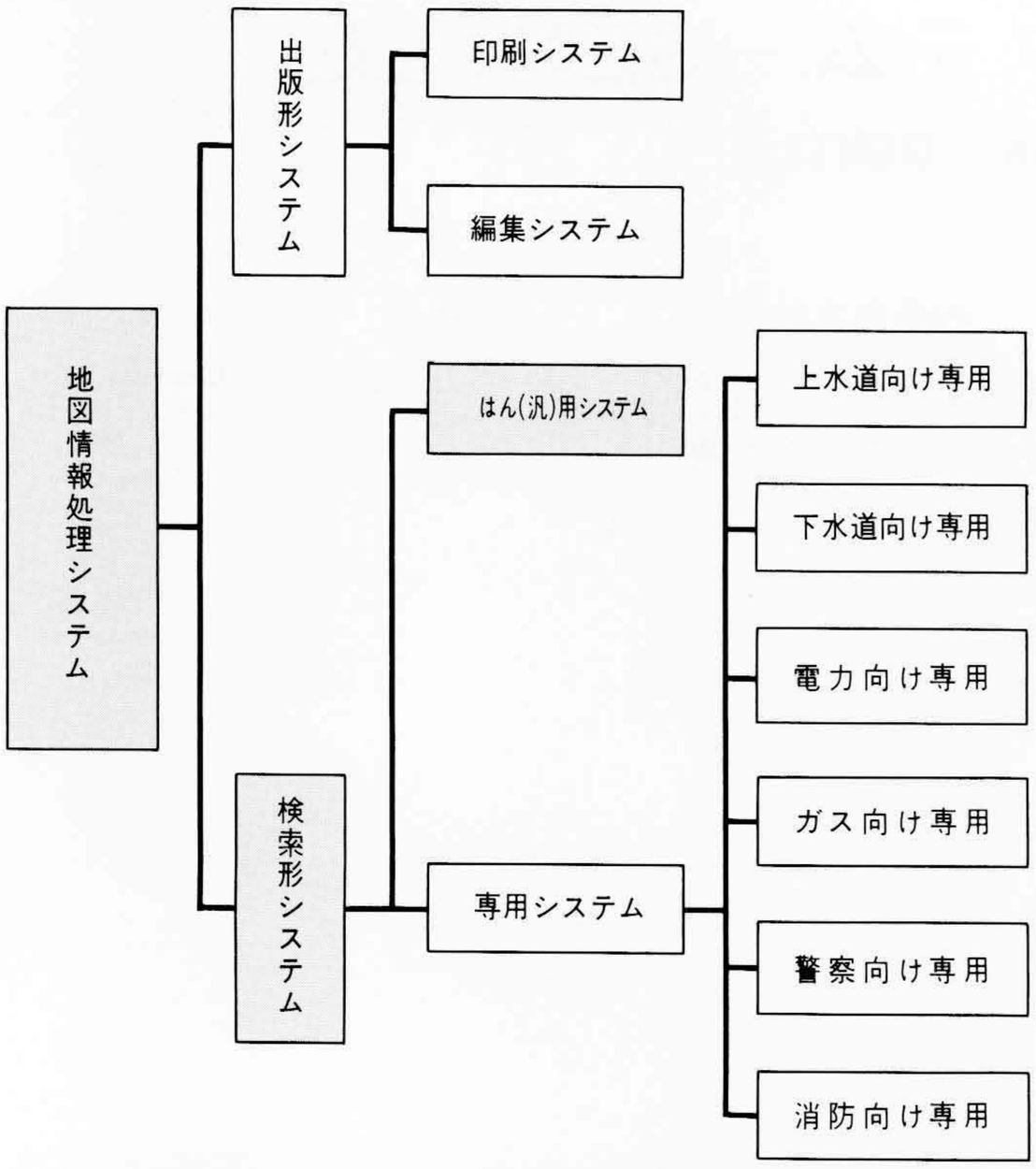
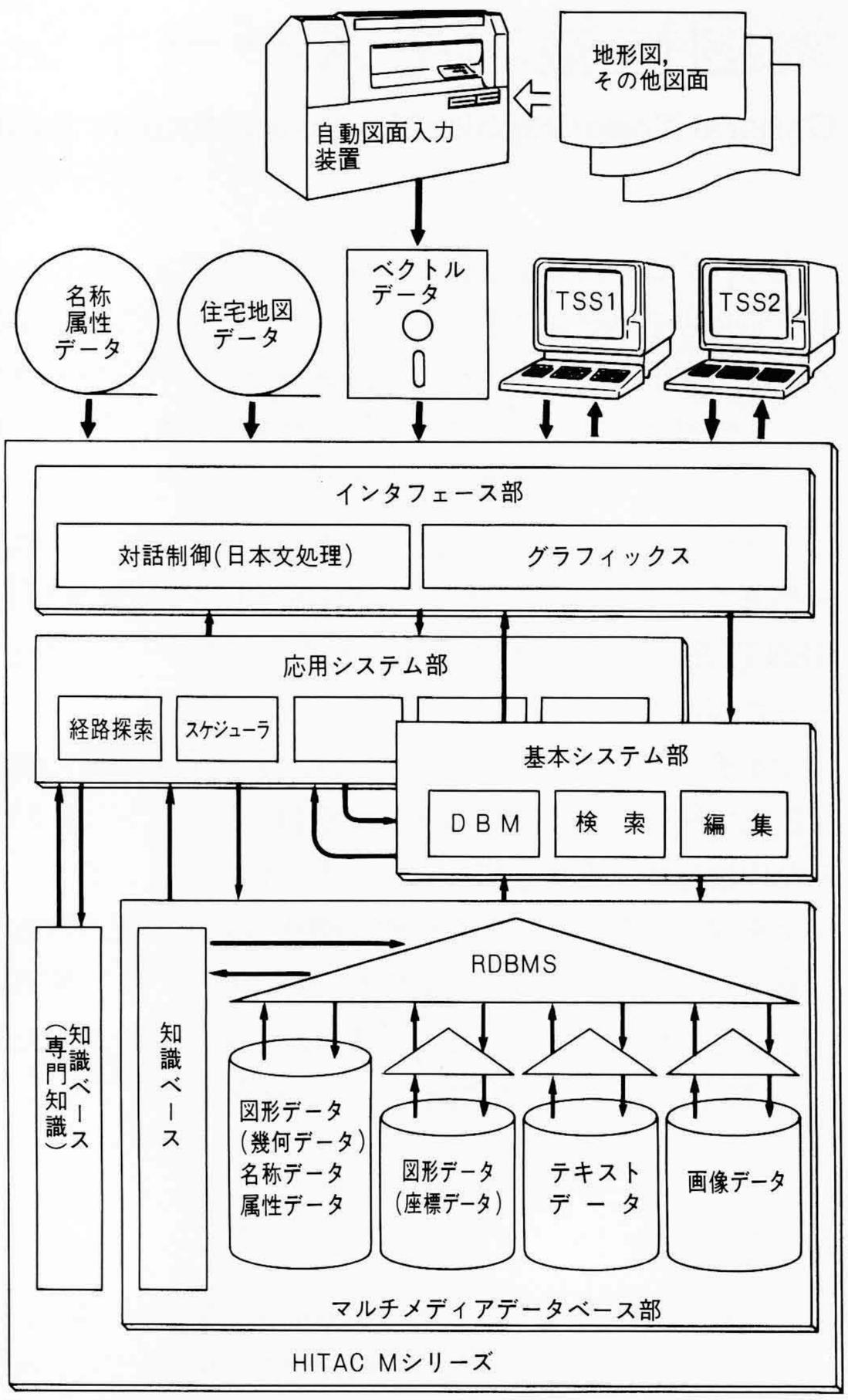


図1 地図情報処理システムの分類 地図情報処理システムを大別すると，出版形と検索形に分かれ，GENTLEは検索形のはん(汎)用システムの位置づけにある。



注：略語説明 DBM(Data Base Manager)
RDBMS(Relational Data Base Management System)

図2 GENTLEのシステム構成 自動図面入力装置からの図面データは，いったんマルチメディアデータベースの座標データ部に格納され，基本システム部の編集機能により構造化が行われ図形データとなる。

とが多く，知識ベースとして取り上げられることは少なかった。むしろ知識として取り上げられるのは，例えば上下水道施設の診断規則といった，いわゆる専門的なノウハウ的知識であった。しかし，このようなノウハウ的知識だけでは，その専門以外の問い合わせに満足な応答が得られなくなったり，推論内容がデータベース構造を無視した能率の悪いものであったりする。したがって，結果的にユーザーからみれば，対話応答性の悪いものとみなされるので，ノウハウ的知識だけでは対話応答性そのものを直接改善することには寄与しない。GENTLEでは，上記専門知識のほかに，システム構成やデータベースの意味に関する情報も知識として扱っており，特にこのデータベースの意味に関する知識は，後述するようにデータベースのスキーマ情報として記憶しており，検索効率向上のための重要な役割を果たしている。本論文では，システム構成やデータベース構造に関する知識が，対話応答特性を改善する効果を中心に述べることにする。

3 システム構成

GENTLEは**図2**に示すように，HITAC Mシリーズ大形コンピュータのTSS(Time Sharing System)環境下で稼働するシステムとして構成されている[5]。地図は，まず自動図面入力装置(オートディジタイザ)[4]によって座標値の集合としてディジタル化され，いったんマルチメディアデータベースに登録される。次いでTSS端末から編集機能によりこの図形要素を，建築物，道路経路といった主題ごとに分離し階層化する。そして更に，各階層での図形要素に対して，点，線，面などの性質を与える幾何的な構造化や，これらの図形要素と名称，属性，画像など関係のあるメディア相互間での対応づけのための統合化が行われる。この場合，図形要素としては既に編集されている市販の住宅地図データ(例えば，ゼンリン—日立開発[3])を，また名称・属性要素としては既存のデータをそれぞれ利用することができる。このように統合化されたマルチメディアデータベースは，GENTLEを構成する各種のシステム部，すなわちインタフェース部，応用システム部，基本システム部から効率的に参照される。

基本システム部は，DBM(データベース管理)・検索・編集の三つの基本処理から構成され，**図1**でのはん用システムのための標準的な機能を提供する。この各処理の概要を**表1**に示す。そのなかで，例えば検索機能に関しては，マルチメディアデータベース内の知識ベースを用いることにより，後述するような推論検索が可能となっている。

表1　各処理部の機能概要　GENTLEで実現した機能を，基本処理と応用処理に分類してまとめている。これらの各機能は，コマンド又はメニューにより直接起動させることができる。

大分類	中分類	内容
基本処理	DBM	データ完備状況確認 メインメモリへのロード ファイルへの格納
	検索	環境設定(ウインドウ，表示層，色，線種，フォントなど) 同一メディア内検索(名称，属性，画像，図形，テキスト内) メディア相互間検索(名称～属性～画像～図形～テキスト間) 幾何特性による推論検索
	編集	環境設定(ページ間整合・編集環境の設定) 同一メディア内編集(名称，属性，画像，図形，テキスト内) メディア相互間編集(名称～属性～画像～図形～テキスト間)
	システムコール	
応用処理	経路探索	最短距離探索 最小時間探索 複合探索(最短距離・最小時間混合，巡回経路など)
	スケジューラ	均等分割方式 線形計画方式

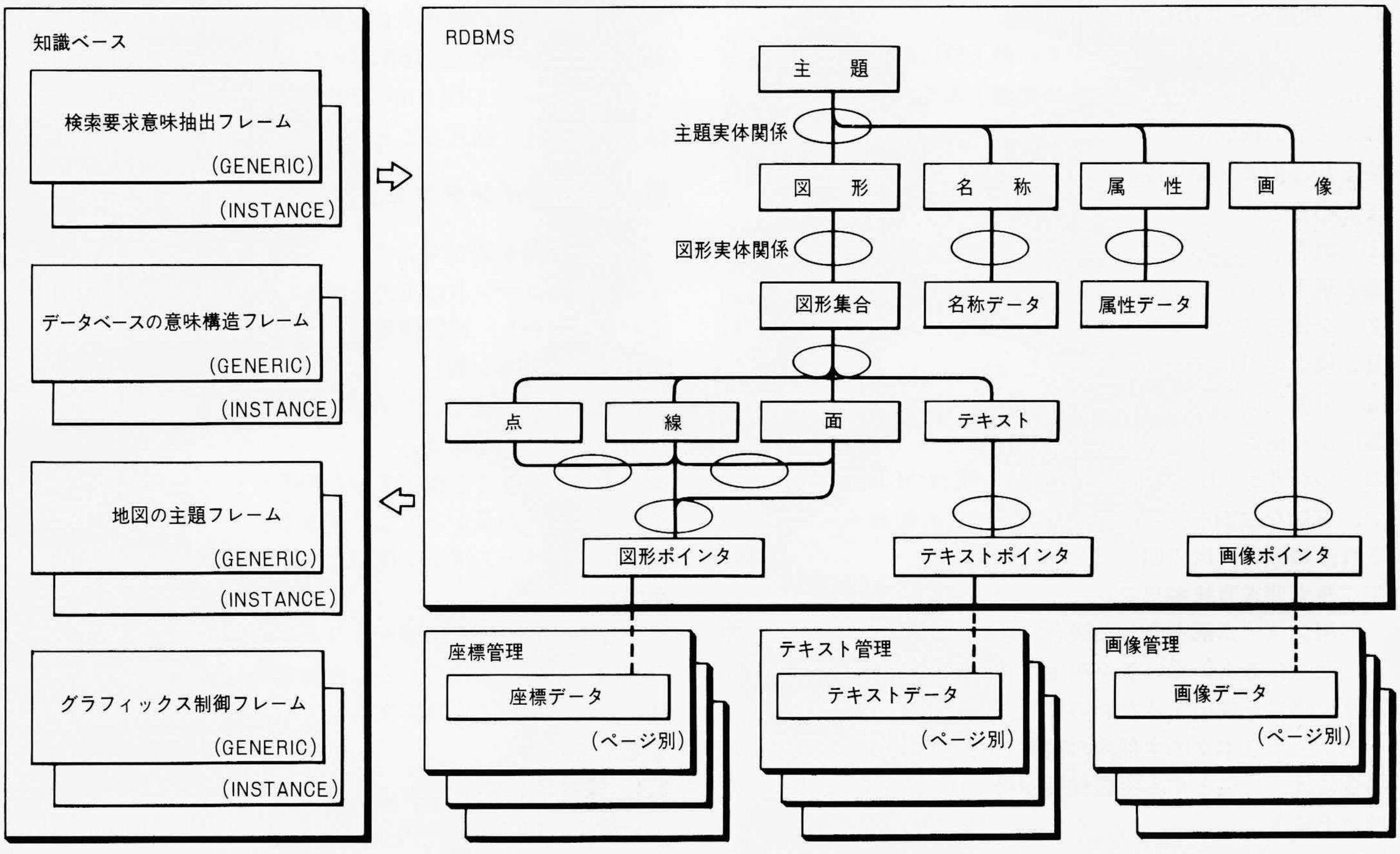
一方，応用システム部は，基本処理の組合せや専門知識を用いた推論処理によって，**図1**での各種の専用システムのための特殊な機能を提供する。**図2**や**表1**では，市街地案内専用システムで使われるような経路探索処理や，経路を巡るためのスケジュール推定処理などの例を示すが，一般に専用システムごとにその構成は大きく異なる。

そしてこれらの各機能の実行のために，インタフェース部を，従来のメニューやコマンドによる直接的な命令方式と日本文処理部の自然語インタフェースによる命令方式とを併用できるように構成し，高度で親しみやすいマンマシンインタフェースを実現している。

4　マルチメディアデータベースの構造

4.1　構　造

GENTLEのマルチメディアデータベースは，**図3**に示すように，図形，テキスト，画像などメディアごとに独立して管理されているそれぞれの要素が，互いに関係形式で結合された構成になっており，更にその上に知識ベースが配置されている。また，**図4**はマルチメディアデータベースの図形成分の構造の概念を示したもので，大きく主題成分と背景成分の二つに分類される。主題成分は，建築物，道路経路といった特定の主題に関する記号を地図の中から取り出し，主題単位に階層化したものである。一方，背景成分は，図面自動入力



注：略語説明など　RDBMS(Relational Data Base Management System)，GENERIC〔はん(汎)化知識〕，INSTANCE(事象知識)

実体，関係

図3　マルチメディアデータベースの構造　座標，テキスト，画像などメディア別に専用管理されている内容を，ポインタレベルで関係データベース化し，他の名称，属性などと統合化すると同時に，これらのスキーマ情報を知識ベースに記憶する。

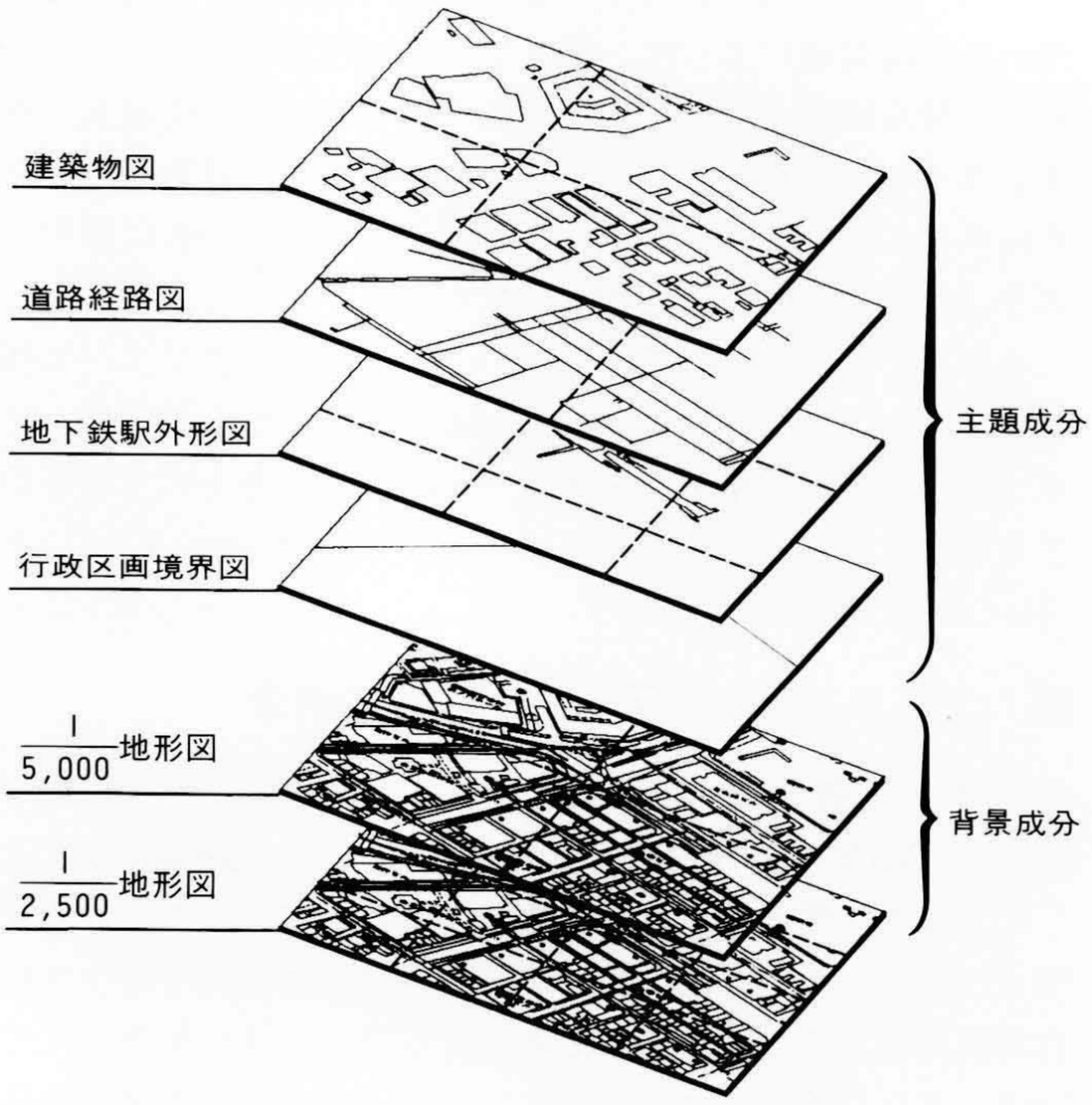


図4 階層化された図形成分 図形成分は，大きく主題成分と背景成分とに階層化され，主題成分は更に建築物，道路経路などの主題別に階層化される。

装置により座標データに変換したものを用いているが，これはラスタ形式の画像データとも置換可能である。

4.2 知識ベースの役割とその構造

マルチメディアデータベースの最上位に配置した知識ベースは，はん用システムのための知識とみなすことができ，主にシステム構成やデータベーススキーマに関する知識を記憶する。このような知識ベースを用いることの効果を一般的にまとめると，

(1) 既存データベースの概要と利用方法が要約された形で知識表現されているので，多様なデータベースに適応できる。

(2) 全体のスキーマを一元的に見通せるので，各メディアに及ぶ検索に対しても効率が低下しない。

(3) 分散指向のデータベースに対して，スキーマを使った推論により検索効率が向上する。

の三つが考えられる。特に(1)と(2)は，現行のGENTLEの構成で，有効な役割を持っている。そしてこの知識ベースに記憶される知識は，次の四つに分類される。

(1) 検索要求意味抽出フレーム

応用システム部を介した複合的な要求や，自然語による要求に含まれるあいまいさを明確にし，その日本文中に含まれる意味構造を抽出するための知識。

例：要求日本文の主部内の固有名詞が地名と推定できない場合には，対象とする主題候補が得られるまでユーザーへの確認手続きを行う。

(2) データベースの意味構造フレーム

データベースの構造と，メディア相互間の関係構造や各関係が持つ意味情報に関する知識。

例：「建築物属性」の項目は{所在機関名，住所，電話番号，階数，高さ，面積}で，前の3項目は既存のスキーマ情報から抽出する。

(3) 地図の主題フレーム

地図上の建築物，道路などの一般的な主題に関する知識で，検索要求の不足情報を推論する場合の根拠となる。

例：「首都高速道路」は「高速道路」の一つで，最高制限速度は60～100km/h，平均車線幅は4車線で，首都高速道路公団によって管理される。

(4) グラフィックス制御フレーム

建物，道路経路など複数の主題を同時に表示する場合や，複数の検索結果を前の結果と区別して表示する場合などに必要な線の色，線種，塗りつぶしパターンなどのグラフィックスに関する知識。

例：表示対象図形が，既に赤色・右斜線の表示様式ならば，次は青色・左斜線の表示様式を使う。

そして，これらの知識の表現形式としては，従来のフレーム形に加え，手続き及びルール形知識の記述も容易なハイブリッド形知識表現を用いている。その一般形と具体的な記述例とを**図5**(a)，(b)に示す。

特に，データベースの意味構造に関する知識を用いる主な理由は，検索の効率化にある。すなわち，本システムでは検索要求が与えられると，データベースの各関係テーブルを検索するための適切な検索手順を推論し，これによりむだなデータベースの検索回数を最小限にとどめている。以上のマルチメディアデータベースとしての新しい構成を採ることの効果を，検索速度の観点から定量的に把握するため，従来の関係形式による一次元的な管理を行う場合[1]と本提案による場合とを，$\frac{1}{2,500}$の地形図を用いて実験的に比較した結果，二けた以上の高速化が図れることを確認した[6]。

5 自然語インタフェース

従来から効率的なマンマシンインタフェースとして，メニュー選択やコマンドに工夫を凝らした各種の方式が検討されている。しかし，地図情報処理システムでは，一般に次の理由で十分な対応が難しい。

(1) 地図上の地名などを示す固有名詞や，施設図などの特有な用語が多く使われる。

(2) 表示主題などを指定するためのパラメータ項目が多いため，メニューの量が多くなりすぎる。

(3) データベース構造が複雑となるので，検索手続きも複雑かつ長くなる。

そこで，表現の自由度がより大きな自然語インタフェースの利用が重要となってくる。今回実現した自然語の入力方式は，ローマ字による日本文入力であり，将来的には音声入力を考えている。

5.1 検索日本文の表現

一般に，地図情報処理システムで対象とする地図の適用範囲は，上下水道，電力，ガス，警察，消防など極めて広く，各専用システム別に専用の知識ベースを備えることが多い。しかし，検索要求としては専用の知識ベースで扱う範囲を越えた一般的な内容に及ぶことも多いと予想される。そこで

```
(FRAME
    (FRAME-NAME frame-name (arg-1･･･arg-n))
    (FRAME-TYPE frame-type)
    (IF-LIST    if-part expression)
    (THEN-LIST  then-part expression) )
 ;where
 《arg-1,,arg-n》 are arguments of method,
 《frame-type》  is one of
    {DEFINITION,RULE,METHOD,DEMON},and
 《if- or then-part expression》 is
    (SLOT (FACET (VALUE))).
```

(a) ハイブリッド形知識表現の一般形

```
:RDB Generic
(FRAME
    (FRAME-NAME    RDB)
    (FRAME-TYPE    DEMON)
    (IF-LIST
        (*PROCESS       (#VALUE       (CHECK-RDB))) )
    (THEN-LIST
        (*TABLE        ((#NAME        (GET-RDB-NAME))
                        (#PLACE       (CHECK-PLACE) )
                        (#PROP        (GET-RDB-PROP))))
        (*FIELDS        (#NAME        (GET-FIELDS-NAME))) ))
```

```
:RDB Instance
(FRAME
    (FRAME-NAME    RDB017)
    (FRAME-TYPE    DEF)
    (IF-LIST       NIL)
    (THEN-LIST
        (*TABLE        ((#NAME        (FACE-T-IN-LINE))
                        (#PLACE       (EDB))
                        (#PROP        (GEO-GEO
                                       FACE-T-LINE
                                       CONTAIN))) )
        (*FIELDS        (#NAME        (FACE-T LINE))) ))
```

(b) データベーススキーマの記述例

図5　知識ベースの記述方式　(b)でのGenericには，マルチメディアデータベースのRDBMSで管理される部分のスキーマを調べるための手続きが事象駆動形で記述される。一方，Instanceには町などを示す面と道路などを示す線との関係が実際に存在することを示す。

GENTLEでは，マルチメディアデータベースの最上位に設けた知識ベースに，建築物，道路などの一般的な主題に関する簡単な知識や図形の幾何関係を扱うための知識を記憶し，日本文に含まれる意味抽出から，具体的な検索手続きを自動的に推論する方式を実現した。これによって，あらかじめデータベースに定義されていない関係も推論可能となるので，検索の適用範囲が広がる効果が得られた。日本文からの推論検索を行う場合，GENTLEで使用可能な日本文の形式は**図6**に示す程度のものであり，同図中の連体修飾部には，**表2**に示すような幾何的位相関係を記述する表現が扱えるようにした。

5.2　自然語インタフェースの構成

自然語に近い日本文による要求から，具体的なデータベース検索手続きを得るまでの自然語インタフェースの全体構成を，検索要求文の変換過程を中心にして図式化すると**図7**のようになる。同図の左側は，人間との対話を直接行う端末を示し，右側はデータがファイルされているマルチメディアデータベースを示す。

(1)　構文解析部

端末からある検索要求を日本文で与えると，システムは構文解析を起動させ，日本文を構文解析木に変換する。この構文解析では，固有名詞など辞書にない単語が現れた場合には，「～都・道・府・県」，「～市」，「～町」，「～街道」，「東～」といった地名に関する語句を手掛かりに地名候補を推定し，更に「＊県←＊市←＊町」といった地名の順序に関するシンタックスを使って地名を確定させる手法を導入していることに特徴がある。これにより日本語辞書が大幅に節約され，構文解析の実行が高速になる効果を持つ。

(2)　意味抽出部

次に，意味抽出フレーム軌道により，検索要求の意味構造が解析され，構文解析木は要求分析フレームQAF(Query Analysis Frame)に変換される。そして，抽出したQAFを基に確認用応答文を作成し，システムが解釈した内容が正しいかどうかをユーザーに確認する。抽出された意味構造が正し

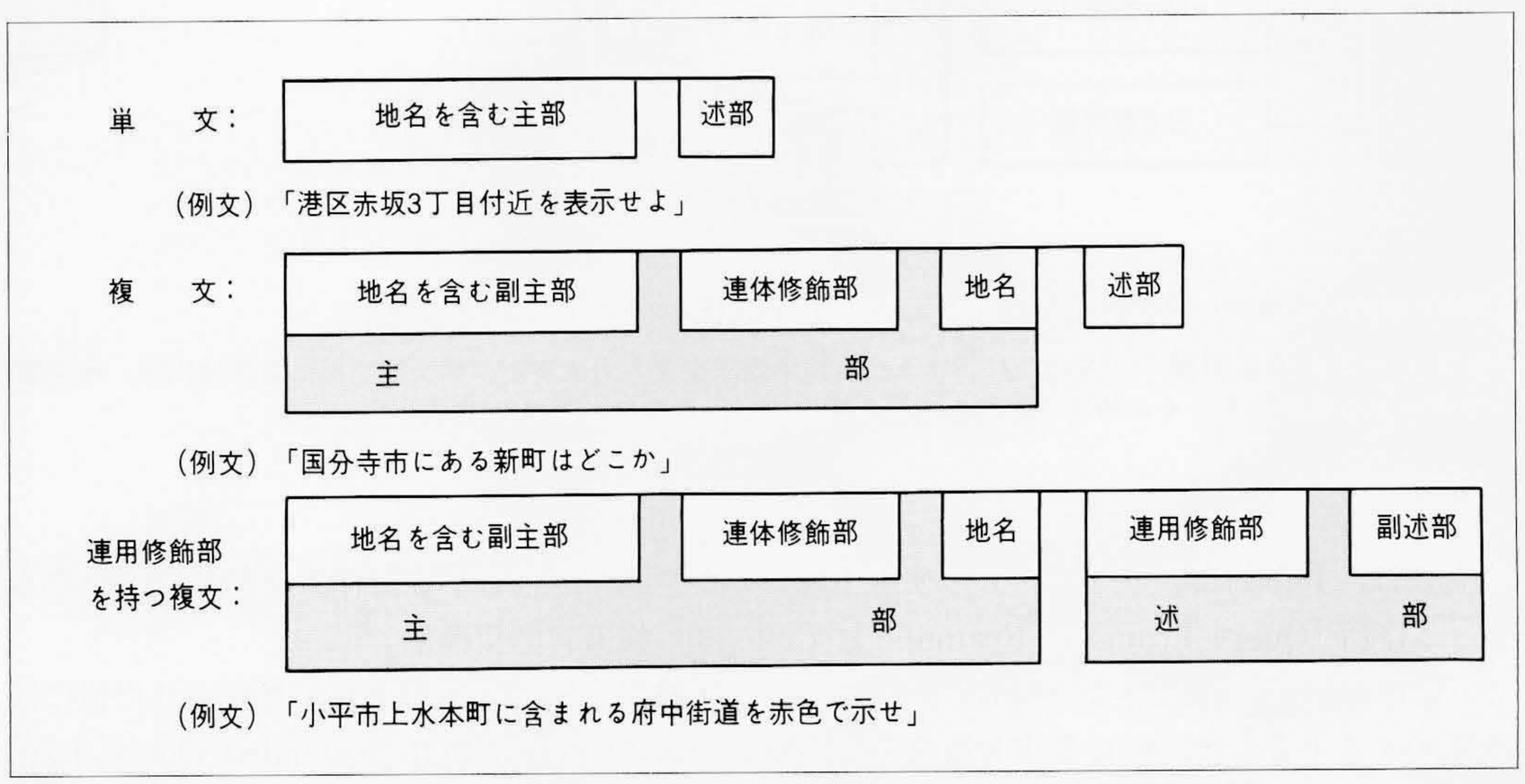
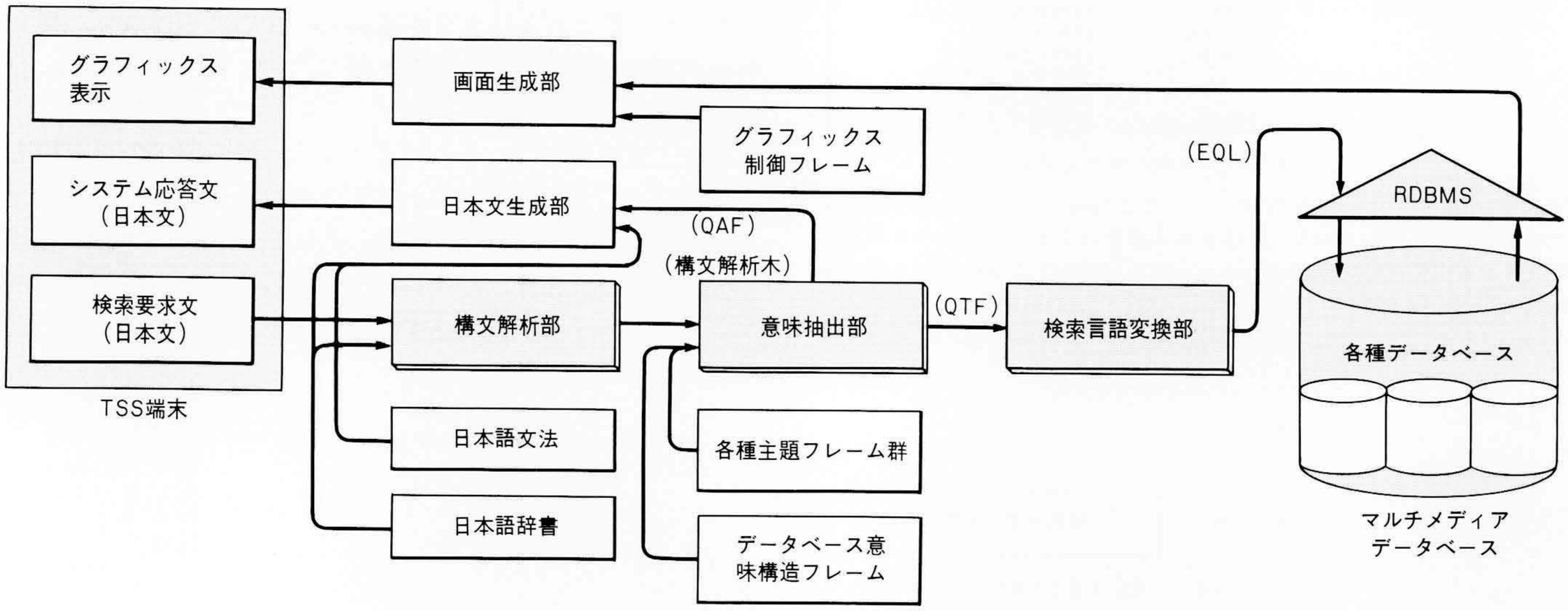


図6　GENTLEで使用可能な日本文の文型　入力用日本文としては，主部と述部がそれぞれ一つ存在する複文を基本とし，主部，述部とも修飾部を持つ簡単な複文程度の表現が可能である。

表2 幾何的位相関係の記述例　検索対象とする図形要素を横方向へ，位相関係として参照する要素を縦方向へそれぞれ配置し，すべての組合せについてまとめた。したがって，例えば「～に含まれる」といった同じ日本文の表現でも，複数の場合が存在する。

参照要素＼検索対象	点			線			面		
	条件	イメージ	表現例	条件	イメージ	表現例	条件	イメージ	表現例
点	近傍 (NEARE)		～近くの	近傍 (NEARE)		～近くの	包含 (CONTAIN)		～を含む
	一致 (UNIFY)		～と一致する	通過 (PASS)		～を通る	接触 (TOUCH)		～上にある
				距離 (DISTANCE)		～離れた			
線	近傍 (NEARE)		～近くの	交差 (CROSS)		～と交わる	交差 (CROSS)		～と交わる
	距離 (DISTANCE)		～離れた	延長交差 (E-CROSS)		～延長上で交わる	接触 (TOUCH)		～に接する
	延長線上 (EXTENT)		～延長上にある	平行 (PARALELL)		～と平行する	包含 (CONTAIN)		～を含む
	線上 (ONLINE)		～の上にある	近接 (NEARE)		～近くの			
	特徴点上 (ON-POINT)		～＊点上にある	点間距離 (DISTANCE)		～の距離にある			
				重畳 (OVERLAP)		～と重なる			
				延長線上 (EXTET)		～の延長上にある			
面	包含 (CONTAIN)		～に含まれる	包含 (CONTAIN)		～に含まれる	包含 (CONTAIN)		～に含まれる
	境界上 (ONBOUND)		～の境界上の	交差 (CROSS)		～と交わる	交差 (CROSS)		～と交わる
	距離 (DISTANCE)		～離れた	接触 (TOUCH)		～と接する	距離 (DISTANCE)		～離れた



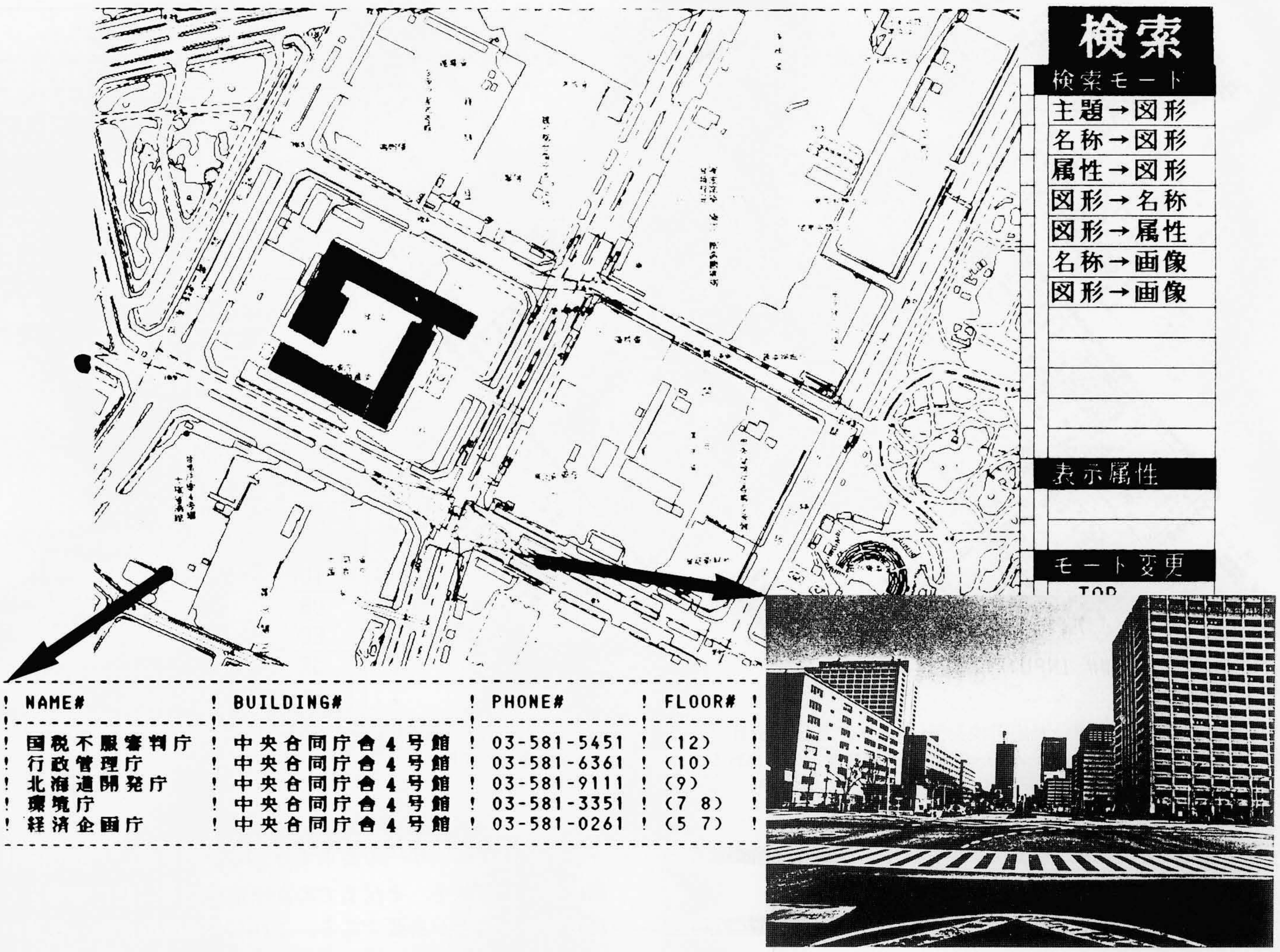
注：略語説明　QAF(Query Analysis Frame)，QTF(Query Translate Frame)，EQL(Extended Query Language)

図7 自然語インタフェースの方式概要　左側のTSS端末から検索要求文を入力すると，構文解析部，意味抽出部，検索言語変換部を経た後，マルチメディアデータベースを検索する。その結果を画面生成部で再構成し，グラフィックス表示する。

いと判断された場合には，具体的なデータベースの検索手続きを要求解釈フレームQTF(Query Translate Frame)として推定する。しかし，QTFとして推定できない場合には，ユーザーにその理由を説明するとともに，特に要求日本文の連体修飾部が幾何の関係を示している場合には，幾何フレームにより幾何的な処理手続きの中の一つで解決可能であるかどうかを調べ，代替となる検索プランを推定する。

(3) 検索言語変換部

検索手続きがQTFとして推定された後には，関係データベースの検索言語EQL(Extended Query Language)への変換規則を用いて，データベースの検索を実行するための検索プラン(EQLで記述された具体的な検索手順)を作成する。一般



注：斜線部建物(名称“SHOU”で検索された建物)，塗りつぶし部建物(名称“GAIMU”で検索された建物)，三角マーク(景色画像の表示可能位置)

図8　各種の基本的検索例(霞が関付近)　縦線で示された建物図形から，その建物に存在する省庁名称，電話番号などの属性データの検索例を矢印で示す。一方，三角マークの先端方向に見た景色画像の検索例を矢印で示す。

に検索プランは，複数個考えられることが多く，システムは検索プランを意味のある検索結果が得られるまで順に評価する。

そして，意味のある検索結果が得られると評価された検索プランに基づき，システムは実際にデータベースを検索し，得られた結果を端末に表示する。この表示を行う場合には，グラフィックス制御フレームを用いて，所定の画面となるように構成する。

6　検索例

実際の地図を用いて，GENTLEの持つ各種の検索機能を実施した例について説明する。まず，マルチメディアデータベースへの基本的な検索例を示す。**図8**は東京都庁発行の$\frac{1}{2,500}$地形図の霞が関付近である。同図中斜め線のハッチングの付いた建物群は，部分名称“SHOU”とマッチングのとれた箇所であることが示されており，建設省や大蔵省など多数の要素が検索されている。その他，ある建物図形から，それに対応関係のある住所，電話番号など属性データの検索機能や，ある地点からの方向を示すマーク(同図中の三角形)を選択すると，その方向から見た景色画像を検索後，カラーディザでCRTに表示する機能などを実現している。

次に，応用的な検索の例として，複数の検索箇所を巡る経路探索の実用例を**図9**に示す。同図は，$\frac{1}{1,500}$住宅地図[3]の銀座5丁目，6丁目付近を示しており，同図中斜線で示したのは印象派の作品を所有する画廊で，特に塗りつぶし部はルノアールの作品を展示している画廊を示す。そしてそれらを巡る最短経路の探索結果を連続十字線で示している。

以上二つの実例で，システムへの命令は，メニューやコマンドと並行して自然語に近い日本文でも与えることが可能で，特に日本文の場合には**図10**に示す専用のシステムブラウザを用意し，親しみやすいマンマシン特性を実現している。

7　結　言

図形や画像など特性の異なるメディア情報を，関係データベースの上に知識ベースを配したマルチメディアデータベースとして一元的に管理し，更に高度なマンマシン性を持つ地図情報処理システムGENTLEのプロトタイプの開発結果について紹介した。本システムは，将来システムを指向した研究開発の一成果であり，まだ特定用途向けの実用システムをね

図9 住宅地図を用いた応用検索例(銀座5丁目，6丁目付近)　画廊を巡る回遊路の起点を「オリエント」と称する喫茶店とし，終点を「銀座駅7番出口」として，ルノアールの作品のあるすべての画廊を見て回る最短経路を連続十字線で示す。

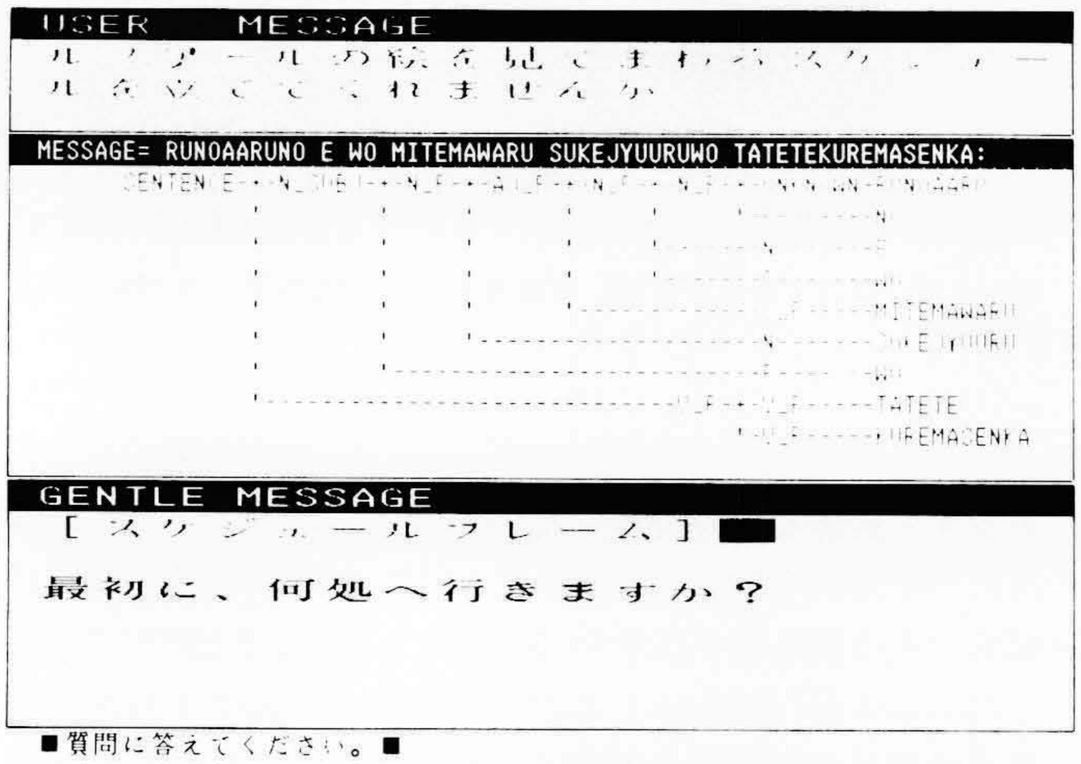


図10 システムブラウザの例　ブラウザ上段はユーザーの入力文の確認応答，中段は日本文の構文解析結果，下段はシステムの応答にそれぞれ対応しており，様式は自由に設定できる。

らったものではないため，実用化に際しては用途に応じて特定機能の強化や主題の絞り込みなどが必要と考えられる。また，試作した自然語インタフェースは，マンマシン性の高度化には極めて効果的であった。しかし，まだ比較的簡単な日本文の意味抽出が確認できた段階であり，必ずしも十分実用的であるとは言い切れない面がある。更に，実際のシステムの運用上で問題となるのは，ユーザーからの要求日本文に含まれる誤りを排除し，省略や不確定性を補うためのユーザーとシステム間の対話である。この対話を円滑かつ効率よく行うためには，ユーザーの要求する意味を聞き直し，新たに明確になった意味を，それまでの意味抽出結果に更に効率よく反映させることが必要である。これらの課題を含め，将来のシステムに必要とされる諸機能について，今後更に研究を進めたいと考えている。

なお，本研究では，Lisp言語として東京大学で開発されたUTI-Lispを利用させていただいた。ここに付記し感謝申し上げる。

参考文献

1) 松家，外：地域計画策定支援システム，情報処理，Vol.23, No.9 (1982)
2) 三枝，外：地理情報システムWING，情報処理学会第26回全国大会予稿，6M-2～6M-6，pp.1463～1471(1983)
3) 林，外：住宅地図情報利用システムの開発，日立評論，**66**，12，901～904(昭59-12)
4) M.Ejiri, et al.：Automatic Recognition of Design Drawings and Maps, Proc. of IE³ 7th Int.Conf. on Pattern Recognition pp.1296～1305(1984)
5) 嶋田，外：地図情報エキスパートシステムGENTLE，情報処理学会アドバンスドデータベースシンポジウム，pp.93～101 (1985)
6) 嶋田，外：日本語インタフェイスを有する知識処理型マルチメディア地図情報処理システムGENTLE，情報処理学会論文誌，Vol.27，No.12(1986)