

土地区画整理のための設計支援システムの開発

A Computer-aided Design System for Land Re-adjustment Projects

川口有一郎* 中村英夫** 吉岡直行***

By Yuichiro KAWAGUCHI, Hideo NAKAMURA, Naoyuki YOSHIOKA

Conventional design procedures for land re-adjustment planning have some deficiencies such as irrational creation of design parameters, insufficient communication with land owners because of shortage of technical information.

In order to reduce such deficiencies of design procedures, it might be effective to apply a computer-aided design system, which can perform the design procedure incorporating the characteristics of project sites, alternative locations for public facilities, configuration of street network, etc.

The paper describes the underlying concept of the system and detailed procedure of using it for making design plans for land re-adjustment projects.

The system consists of three stages of design procedure; namely for design of block configuration, estimation of land lot value and replotting design. We discuss, in particular, the replotting design method which applies the heuristic design process with the expert-knowledge mainly based on the binary tree model.

1. はじめに

「都市計画の母」なる用語に象徴されるように土地区画整理事業が、わが国の市街地整備において果たした役割は極めて大きい（1984年現在、DID地区の約30%、面積にして約30万haを整備）。また、高度成長期における生産基盤重視から、安定成長期における生活基盤重視への国土基盤整備のニーズの変化、あるいは、財源の効果的運用、土地の有効利用といった面から、今後この事業の役割が益々高められるものと考えられる。

以上のような土地区画整理の重要性は、その手法が①公共側と民間との協同的な街づくりを可能にし、

②街路を始めとする公共施設整備による開発利益を減歩等の形で合理的に吸収できるという特徴に起因している。

ところが、この特徴ゆえに、住民の価値観の多様化、ライフスタイルの変化等を背景として、その事業展開において様々な問題が生じている¹⁾。特に、計画段階において地権者に提示される情報が漠然としたもの（平均減歩率等）に限定されるために、地権者の合意形成をはかることが困難なこと。あるいは、計画策定においては、その大部分を入手に頼っているために、時間的、経済的な制約から合理的な計画の策定が困難であることといった問題が指摘されている。

このような計画策定における問題を改善するためには、対象地区の性格や公共施設の配置等の種々の制約を充分考慮した設計案を効率よく作成することが可能で、住民の意向を明示的に扱いうる計画作成

* 正会員 工修 読売理工学院助教授 土木工学科

** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

*** 学生員 東京大学大学院

(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

手法の確立が必要である。

近年の計算機性能の向上あるいはデータベース、画像処理、CAD及びAI等のコンピュータ技術の発達は、このような合理的な計画作成の支援を可能ならしめる重要な要素である。特に、経験則によって対応せざるを得なかった設計問題を計算機で取り扱う可能性を見いだした知識工学の手法は、区画整理における設計支援への新たなアプローチを示唆している。

本研究は、以上のようなシステム構築の一つの試みであり、土地区画整理の合理的な設計を計算機により支援するための基本的な考え方、及びその具体的な方法について報告するものである。

2. 計算機による土地区画整理の設計支援の方法

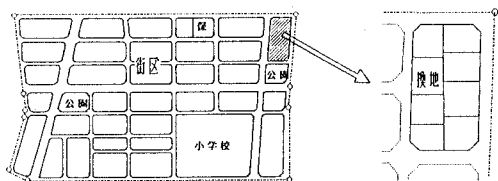
(1) 土地区画整理の設計の概要と特徴

a) 土地区画整理の設計の概要²⁾

土地区画整理の設計においては、将来の街づくりの青写真的内容を定める街区設計と画地の再配置による換地を定める換地設計がその中心となる。

街区設計は、対象地区の地理的、地形的な条件や基本計画の土地利用区分、幹線道路網あるいは居住環境等を設計条件として、区画道路構成や公共施設配置、及び街区を設計する(図-1 a)ものである。また、換地設計は、街区設計で定められた街区内に整理前の各筆の土地に対応した宅地の位置・面積・形状を定める設計である(図-1 b)。この換地設計においては、整理前後の宅地の利用価値の増加を土地評価によって計測し、換地配分の根拠としている。通常この土地評価には、路線価方式評価法が用いられている。

b) 土地区画整理の設計の特徴



a. 街区設計

b. 換地設計

図-1 土地区画整理の設計

土地区画整理における設計の特徴として次のものがあげられる。

①経験重視の設計

街区設計、及び換地設計は、道路や街区・画地を単に物理的に配置するだけでなく、社会と個人あるいは土地利用と交通等の調和を考慮して人工的に良好な社会空間を設計するものである。したがって、その設計結果は、計画テーマで設定された整備目標の達成度、宅地の利用価値、及び住民に対する公平性、あるいは事業の採算性といった様々な観点から総合的に評価される。特に、換地設計においては、「照応の原則」といった総合的な評価基準が法的に定められている(区画整合法第89条)。

このような総合的な評価を行うために、例えば土地評価においては、路線価パラメータが評価者の経験的な判断によって決められる。また、換地設計における様々な換地計算式³⁾の存在は、「照応の原則」を事業ごとに経験的に解釈せざるをえないことを示すものである。

これらの換地計算式を理論的に体系づける試みもあるが³⁾、土地所有者の減歩の方法は事業を施行する地区によって異なり、その標準化は極めて困難である。

②試行錯誤による設計過程

また、土地区画整理の設計には多くの試行錯誤過程が含まれている。たとえば、街区設計においては、種々のパターンの道路構成や都市施設配置の組合せ、あるいは街区の規模・形状等を様々な視点から検討しなければならない、多くの試行がなされる。

換地設計においては、幾何学的な拘束条件のもとで受益と負担のバランスや住民の意向といったものを考慮して換地配分を決定しなければならない。さらに、換地配分の根拠となる土地評価においては、路線価算定式のパラメータの設定に客観的方法が存在しないため、固定資産税評価額等との整合性や換地による減歩率等を考慮して試行錯誤的に評価値を決定しなければならない。

(2) 計算機による設計支援の基本的な考え方

a) 従来の計算機による設計支援の問題

従来から事業における事務処理及び計算作業の効率化を図るために、区画整理の業務の電算化が進められてきた。これらの計算機システムは、事業に伴

多量の計算や調書等の作成を効率よく支援する観点からの有効性は認められるが、前項で述べたような特徴を有する設計の作成を合理的に支援し、計画段階の問題を改善する観点からは極めて不十分である。

また、土地評価においては、その評価を効率的に支援するシステムが提案されている^{4), 5)}。しかしながら区画整理の土地評価は、換地による権利者の受益と負担の調和を図り、事業費に充てる保留地設定といった目的で行われるものであり、換地設計等と土地評価が独立して存在するものではない。したがって、これらの評価システムのみでは区画整理支援システムとしては、不十分である。

b) 支援の基本的な考え方と支援方法

本研究においては、前節で述べた特徴を有する土地区画整理の設計の合理性の向上を図るため、以下の視点に立脚したシステム構築を行う。

①設計者と機械との合理的な組合せ

試行錯誤的な設計過程は、設計解の探索とその選択の反復である。解の探索を機械処理とし、解の選択と制約条件等の付与を設計者が行うというように機械処理に適宜人間の判断を介在させるマンマシンシステムによって、設計解の探索とその選択を効率よく行うことができる。

②計算機による区画整理の設計支援の方法論

上記①のようなマン・マシンシステムを構築するには、対象地区の状態をモデル化して計算機上に表現しなければならない。この状態記述モデルは、地区の地形等の物理的状態の記述だけでなく、道路や筆地等の幾何学的特徴やそれらの相互関連等を記述する必要がある。

また、先述したように経験的な手法によって設計される部分が多く、このようなモデルの変更をアルゴリズム記述だけで行うのは困難である。そのため、経験者の知識を記述し、その利用によってこの部分を補う方法を確立すべきである。

本論文では、換地設計支援において、このような方法論に基づいて、地区を木構造モデルで、また経験知識を記号表現で記述するシステム構築の可能性を検討している。

③種々の規範のもとでの最適化

設計の解は可能な限り数理的に求められるべきで

あるが、目的関数は一つのものとは言えない。そのために、様々な規範（例えば、換地移動距離最小等）、すなわちいくつかの目的関数のもとでの最適化により解を見いだすことになる。

この最適化の結果を用いて換地設計を行う方法においては、すでに報告⁶⁾したとおりである。

3. 支援システムの全体構成

本支援システムは、基本的には、街区設計支援、土地評価支援、及び換地設計支援の3つのサブシステムにより構成する。図-2に、その基本構成を示す。また、各サブシステムの内容については、次章以下においてその概要を述べる。これらの3つのサブシステムは、機能的には各々独立としたものであるが、データ側から見れば、データベースにより統合されたシステム構成となっている。

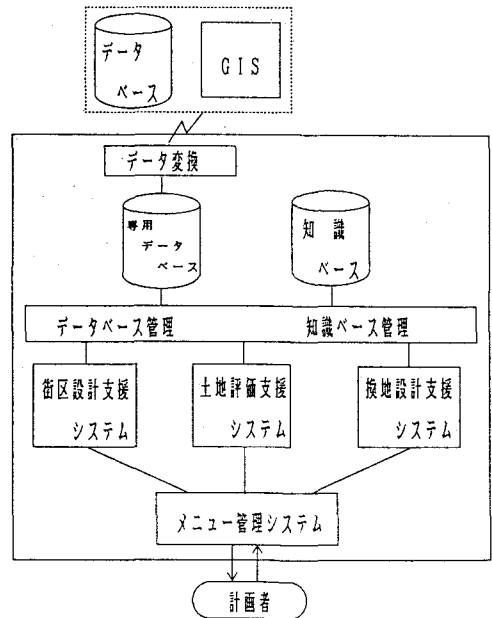


図-2 支援システムの基本構成

土地区画整理の計画設計には、中縮尺から大縮尺の種々の地図情報や地籍等に関するデータが必要である。近年、マッピングシステムや地理情報システム等これらのデータが整備されつつあり、一部ではあるが地方公共団体及び民間のコンサルタントでは既に実用化の段階を迎えている。

これらの地図等の数値データを有効に活用することは、本支援システムの実用性の見地からも重要であることから、地理的データの管理（入力、解析、出力等）は、汎用的な地理情報システム（GIS）を利用できる構成とする。したがって、本支援システムの専用データベースは、GISのデータと同じデータ構造を持ち、小規模な地理的データや図形データを処理できる簡易なものとなっている。

なお、ハードウェアは16ビット・パソコンを中心とし、これに図形入出力装置を付加する構成とする。

4. 街区設計支援システムの概要

（1）街区設計支援システムの特徴

街区設計の中核は道路と街区の設計にある。設計条件となる機能計画においては、基本計画や自然的要因や地理的要因、社会的要因等を総合的に判断しながら、道路や街区に求められる機能を抽出しなければならない。街区設計支援システムでは、設計作業を中断する事なく、必要な多種多様な情報を画面上に表示させることによって設計者の意思決定支援を行う。

また、区画道路網や街区の構成の決定においては、標準的なパターンを様々な視点から試行できるように、あるパターンを選択すると幹線道路や方位等を考慮して街区が自動設計されるようになっている。さらに、このようにして得られた設計案に対して容易に道路の位置の変更や街区の修正が可能なCADシステムとなっている。街区設計支援の概要を図-3に示す。

なお、街区設計により得られた街区の面積や形状あるいは街路との隣接関係などは、資金計画や換地設計、土地評価における基礎データとなる。街区設計システムにより得られる図形情報の幾何的性状の抽出等の処理は専用データベースにおいて行われる。

（2）街区設計支援システムの機能の概要

街区設計支援システムはパソコン汎用CADシステム（Auto-CAD）上に構築している。すなわち、街区や道路の設計手順をLISP言語を用いて関数的に記述し、必要な機能をCADのコマンドとして実現している。

構築した機能は以下のとおりである。

a) 街路設計に関する機能

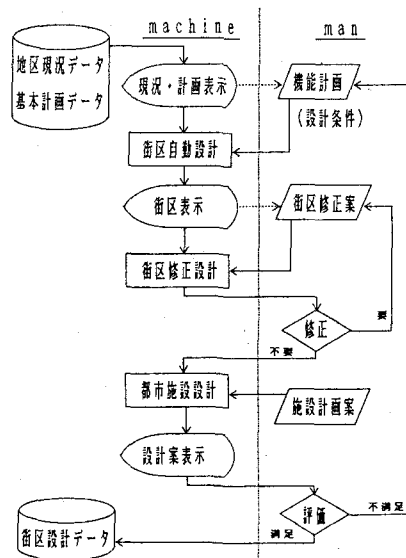


図-3 街区設計CADのシステムフロー

街路をマニュアル操作で設計作図する機能で、①街路作図機能 ②交差点作図機能 ③連続屈折街路作図機能の下位機能からなる。

b) 街区設計に関する機能

街区設計の主要な条件を入力することによって標準的な街区規模を確保して、定められた街区パターンを自動設計する機能で、以下の3つの下位機能からなる。

①格子状街区パターン設計機能：街区を描く区域の輪郭を入力し、区画道路の幅員を入力することにより、自動的に標準寸法（長辺120～180m、短辺40～60m）の街区形状を作図する。長方形以外に平行四辺形や台形、三角形の街区も設計可能である。

②通過交通遮断街区パターン設計機能：通過交通を遮断するように補助幹線街路を自動的に配置し、街区設計を行う。

③袋路、ループ式街区パターン設計機能：あるまとまった街区集合の中央に歩道（緑道）を通すことによって、ループ等を形成するように街区設計を自動的に行う。

c) 設計修正に関する機能

マニュアル操作や自動設計の結果に対して、修正設計をする機能で、①街路の挿入機能 ②街路の削除機能といった機能からなる。

5. 土地評価支援システム

(1) 土地評価支援システムの特徴

本システムでは評価者が、路線価を構成するパラメータの容易な入力を実現することによって、作業の効率性を向上している。すなわち、入力されるパラメータに対して画地の評価計算を自動的に行い、人間はその結果をみて、パラメータを修正するといったフィードバックシステムになっている(図-4参照)。

その際、画地の種類や形状といった画地修正係数の決定に関する判断の自動化を行うことによって評価作業の効率化を図ると共に、路線価を付すべき道路を分割したり、不整形画地を分割するといった、図形操作の作業を画面上で対話的に実施することが可能である。

なお、図-4に示すように、路線価パラメータの初期値決定において必要とされる専門家の知識や地区の実状に関する情報を知識ベースとして蓄え、これを利用してパラメータ決定をも支援するエキスパートシステムの実現の可能性を検討している。現段階においては、市販のエキスパートツールを用いて簡単な試験的なシステムを構築した段階である。

(2) 土地評価支援システムの機能の概要

a) 路線価パラメータ入力機能

路線価パラメータを入力する機能であり、①街路係数入力機能 ②接近係数入力機能 ③宅地係数入力機能の3つの下位機能からなる。

b) 路線価計算機能

パラメータを用いて路線価を計算する機能で、次の下位機能からなる。

①道路分割機能：路線価を付設する道路を定義すると共に、路線を区別するための図形分割機能を有する。

②路線価計算機能：各パラメータと道路データ(幅員や施設との距離)を用いて、路線価指数を計算する。指数は、整理前の最高を1000コとして計算し、他の路線の指数は比例計算で求める。

c) 画地評価機能

隣接する路線の路線価を標準として、各筆ごとの修正要素を加味して、評価指数を算出する機能で、次の下位機能からなる。

①画地分類機能：画地と道路の隣接関係を地図デー

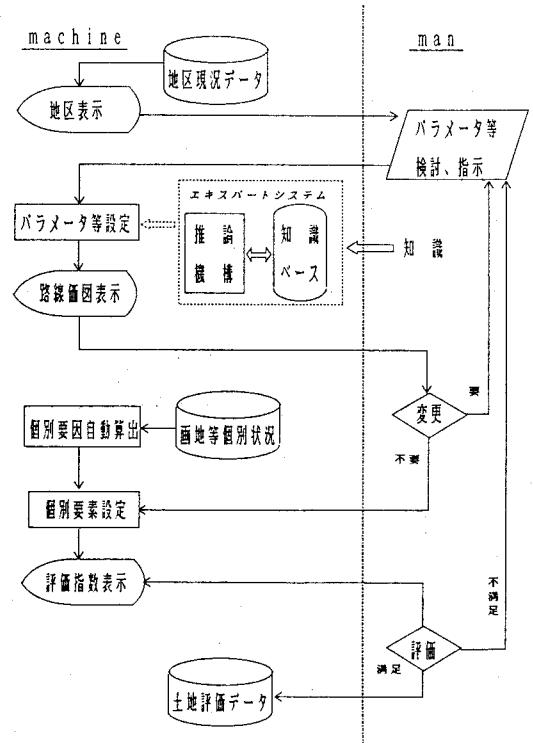


図-4 土地評価支援のシステムフロー

タを用いて自動的に判断し、画地を普通地、角地、正背路線地、三・四方路線地および島地に分類する。

②形状分類機能：画地の形状(長方形、平行四辺形、三角形および袋路)を、ポリゴンデータから自動分類する。形状の認識には、パターン認識におけるテンプレートマッチング技法を用いている。

③間口算出機能：道路と接する画地の辺の中で、路線価が最大の辺の間口として定義してその長さを求める。

④奥行算出機能：画地を構成する点の中で、上で定義された辺の中央からの距離が最大のものと、次に遠いものを選び出し、その2点の中間点と間口との距離を奥行としての距離を求める。

⑤各筆情報修正機能

⑥画地評価計算機能：各路線価と各修正係数および地積等から、画地の評価指数を計算する。

⑦画地分割機能：一筆地を分割して評価する場合に画面上で容易に図形分割することが可能である。

6. 換地設計支援システム

(1) 換地設計のCAD作成が困難な原因

土木構造物の設計のようにCAD化がかなり進んでいる他の設計問題と違い、換地設計には以下に挙げるような特殊性が存在するために、CADシステムの作成が困難になっている。

- a) 換地のモデル的表現が困難である。
どのような設計問題においても、設計対象のモデル化が行われ、そうして得られたモデルをもとに設計が行われる。換地設計においては、各画地と街区の位置関係や画地相互の位置関係等を計算機上で容易に操作できるように、それらをモデル的に表現する必要がある。しかしながら、これらの位置関係の操作は極めて高い自由度を要求すること、また人間の設計者が行う場合には、無意識のうちに視覚的判断を下しているため、これらのモデル的表現は難しいものになっている。

- b) 設計条件が明確な形で与えられない。
土木構造物の設計では、設計者の裁量によって同種の構造物の安全性・使用性の水準に不均衡が生じるのを避けるために、設計に関する基本事項を規定した設計規準が存在しており、その中で設計条件の多くは、許容応力度のように数値の形で明確かつ具体的に与えられる。それに対し、換地設計においても同様な換地設計基準は存在するが、その中で設計条件は具体的な内容を欠く文章の形で表現されている。設計基準に記載されている設計条件には原則的な条件が多く、また、設計の際に考慮されるのに設計基準には記載されていない設計条件も多いため、実際の設計においてどのような設計条件を設定するかは設計者の裁量に任されている。

(2) 換地設計のCADの要件

上記のような換地設計の特殊性のために、換地設計のCADを作成するには、a) 換地設計のモデル的表現、b) 設計条件の表現、に関して新たな方法論を確立しなければならない。

- a) 換地の位置関係の記述モデル
換地位置を決めるのに設計者は2次元座標系で示されるような街区や画地の絶対的な位置よりも、むしろ、街区や画地の相対的な位置を判断の材料としている。人間の設計者は、街区及び画地の位置・形状などの視覚情報から、街区と各画地の位置関係及

び画地相互の位置関係を無意識のうちに組織化し、理解することができるが、計算機は座標値データから街区や画地の絶対的な位置を把握することはできるが、それらのデータをもとに位置関係をモデル的に記述する方法を与えておかなければ、相対的な位置を理解することはできない。

そこで、図-5のように木構造を用いて、換地の位置関係を表現するモデルを設定する。この木構造モデルは、特定の規則に従った順番に街区の内部を長軸方向、または、短軸方向で分割し、最終的に一つの小領域が一つの画地になるまで繰り返し領域の2分割を行う状況を表現したものである。

計算機による換地割り込みは、整理前の画地の位置関係からこの木構造モデルを生成し、この関係が

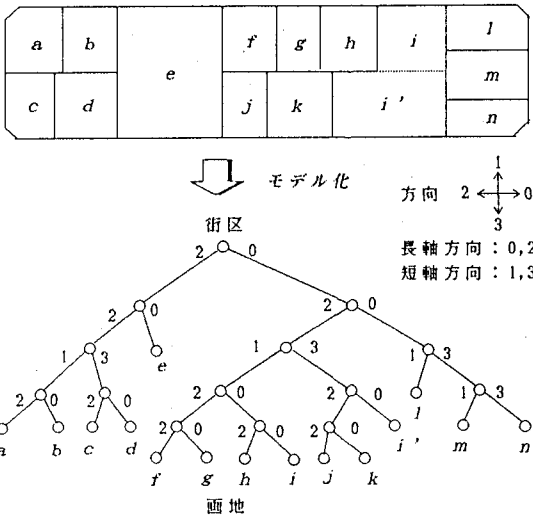


図-5 換地位置の記述モデル

表-1 PROLOGによる設計条件の記述

PROLOGによる表現	通常の表現
地積の照応(X):-許容地積(X), 許容減歩率(X), 許容地積(X):-地積(X,Y), Y>=100, 許容減歩率(X):-減歩率(X,Z), Z>0,Z<50.	画地Xの地積が100㎡以上であり、かつ、 減歩率が0%から50%の間である。 ならば、 画地Xは地積に関し照応している。
利用状況の照応(X):-土地利用(X,Y), 換地(X,Z), 利用可能(Z,Y).	画地Xの整理前の土地利用がYで、 画地Xの換地ZがY利用可能である。 ならば、 Xは利用状況に関し照応している。

保存されるように整理後の画地位置を定めることによって行う。

b) 設計条件の記号的表現

前述のように換地設計の設計条件は、換地設計基準にすべてが記載されているわけではないので、まず、設計に必要となるすべての設計条件を明らかにし、そのうえで、文章形式で与えられる設計条件を計算機が理解できるような形式に変換する必要がある。そのため、表-1のように記号処理が可能なプログラミング言語Prologを用いて、設計条件を述語と呼ばれる記号で表現する。

(3) 換地設計のCADシステムの概要

上記の換地位置関係のモデルと設計条件の記号的表現の方法を取り入れた換地設計のCADシステムの構成は、図-6のようになっている。換地設計のCADシステムは、大きく分けて、a) 設計案の作成、b) 設計案の解析・評価、c) 設計案の修正、の3つの部分に分けられる。それぞれの部分の概要を以下に記す。

a) 設計案の作成

換地設計の設計条件の中で、原位置換地の原則は最も基本的な設計条件であり、対象地域、時代によらず、どのような区画整理にも共通に存在する。一部の例外を除いて、大部分の画地はこの条件に従って換地位置が決められる。ところが、原位置換地の原則以外の条件は、対象地域、時代によって異なることが多い。このことに対応して、設計案の作成は、原位置換地に関しては効率性重視のアルゴリズムによる処理、原位置換地以外に関しては柔軟性重視のエキスパートシステムと人間による処理、という2つの処理系を統合することによって行う。図-6における自動換地位置決めと前処理がそれぞれに対応する。

自動換地位置決めは、整理前の画地の代表点（主に図心）の位置及び換地計算式で決められる整理後の画地評価額から、前述の換地位置モデルを生成し、整理後の画地の位置を決めるものである。これは以下の3段階から構成されている。

<第1段階>画地と街区の距離によって、各画地を街区へ振り分ける（図-7参照）。

<第2段階>整理前の画地の位置をもとにモデルを生成し、各画地の街区内の位置を決める（図-8参

照）。

<第3段階>整理後の画地の正確な土地評価を行い、正確な筆界線を引く（図-8参照）。

前処理は、原位置換地できない画地や保留地の整理後の位置を自動換地位置決めの前に指定するための処理である。この際、処理の手続きが定式化できるものについてはエキスパートシステムが処理を行

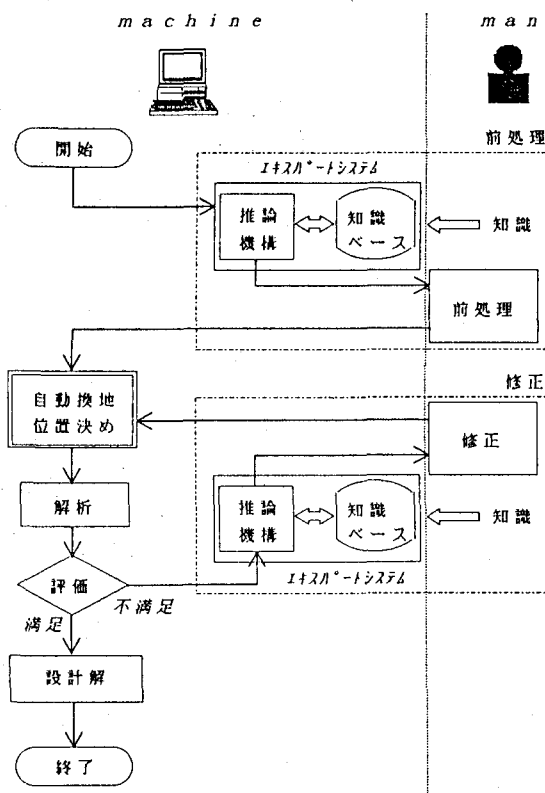


図-6 換地設計CADのシステムフロー

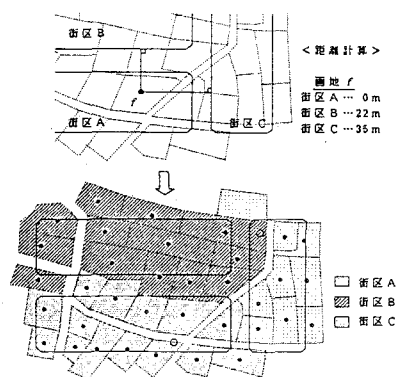


図-7 各画地の街区への振り分け

い、定式化できないものについては人間が行う。

b) 設計案の解析・評価

Prologによって設計条件を記号的に表現することにより、設計案の評価は、すべての画地に対し設計条件を表すすべての述語の論理積が真であるかを調べることによって設計案の評価を行うことができる。すなわち、

∀画地Xに対して、

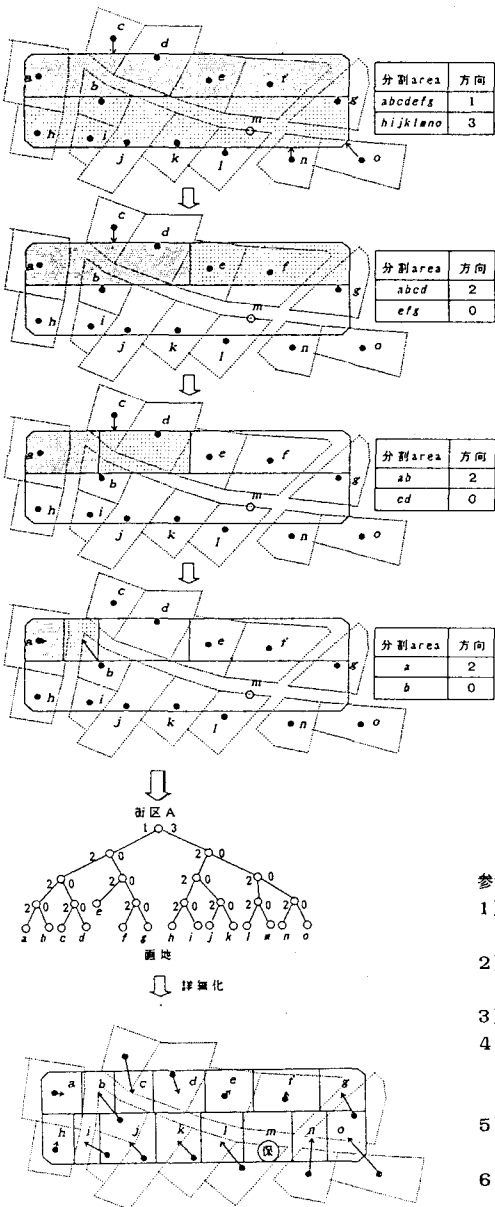


図-8 換地位置決定の過程

要求満足(X):-位置の照応(X),地積の照応(X),…,

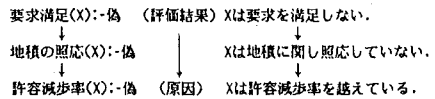
<すべての条件>

という述語が真であれば画地(X)については特に問題がないことになる。

c) 設計案の修正

設計案の作成における前処理と同様に、設計条件を満足させなくしている原因及びその原因を排除するための修正の手続きが定式化できるものについてはエキスパートシステムが処理し、定式化できないものについては人間が処理する。

原因分析の定式化の例



7. おわりに

本研究においては、土地区画整理における計画設計の代替案を効率良く作成することが可能で、住民の合意形成に資する設計支援の概念を示した。また、合理的な設計を計算機で支援する具体的な方法を提案した。すなわちそこでは、街区設計、換地設計、及び土地評価の3つの基本的なサブシステムの構想等を作成し、その一部についてプロトタイプシステムを実際に構築した。本研究は着手してまだ間がないために、筆者らが目標とするシステムの基本構想と実現の可能性を示したにすぎない。トータルなシステムの開発には、未だいくつかの課題が残されているが、さらに改良を進めたい。

最後に本研究に際して、片岡潔、及び児玉直樹の両君にプログラム作成の協力をいただいたことをここに、記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 井上孝 : 都市整備における区画整理手法の通用性, 区画整理に関する国際セミナー報告書1985, Pp. 7-20, 1986年3月
- 2) 渡部与四郎: 区画整理の計画と実施 上・下, 全日本建設技術協会, 1975年 など
- 3) 山本哲 : 換地計算理論, 愛知県都市整備協会, 1986年10月
- 4) 山中英生他: 小型計算機を利用した区画整理事業における土地評価支援システムの開発, 土木学会第12回電算利用に関するシンポジウム講演会, 1987年10月
- 5) 枝村俊郎他: 土地区画整理事業における土地評価エキスパートシステムの開発, 昭和63年度土木学会関西支部年次講演会, 1988年4月
- 6) 中村英夫他: 土地区画整理事業計画支援システム, 土木学会第42回年次講演会, 1987年9月