

軌道輸送システム用計画設計サポートシステム “TRANSPLAN”

“TRANSPLAN” — Computer Aided Planning and Designing System for Urban Guideway Transit System

最近、地下鉄など新規の軌道輸送システムの導入に当たって、都市計画に適合し、かつコストパフォーマンスを最適とするシステムが強く要求され、従来どちらかという定性的に考えられていたシステムの計画・設計を、具体的・定量的に評価しながら進めることが不可欠となってきた。

TRANSPLANはこの要求にこたえるものとして開発したもので、都市交通計画レベルのHOPPS、軌道システム計画レベルのSTEPS、運転制御システム設計レベルのJUMPSから成る軌道輸送システム用の計画設計サポートシステムである。

このシステムは、大規模・複雑な軌道システムの計画・設計での困難な問題を、構造化の技法とモデル化の技術によって解決してプログラム化し、計算機によって算出した結果をグラフィカルに得るものである。

これによって、より良い・新しいシステムの開発を効率よく進めることができるようになった。

宮本捷二*	Miyamoto Shôji
井原廣一*	Ihara Hirokazu
刈谷志津郎**	Kariya Shizuo
今泉藤麿***	Imaizumi Fujimaro
大島弘安****	Ôshima Hiroyasu

1 緒言

近年、地方都市の人口増加やニュータウンの建設などにより、地下鉄、モノレール、新交通システムなど新規の軌道輸送システムの導入計画が国内外の各地で活発に計画されている^{1),2)}。従来、新しい交通システムの計画・設計は、システムの複雑さと規模の大きさのため、どちらかという経験に基づく定性的な検討によって行なわれる場合が多かった。

しかし、最近のように、より高い性能と機能をもったシステムを実現したいという要求が高まってくると、どうしても定量的・総合的な評価に基づいて、コストパフォーマンスを最適とするシステムを開発することが必要となってくる^{3),4)}。

更に、開発期間を短縮したいという要求もあり、システムが出来上がってから時間をかけて現地で試験調整を行なうことができないため、事前にシステム性能を確認し、設計段階で十分に試験・吟味することが必要となってきた。

このような要求にこたえるものとして、計算機によって、軌道輸送システムの計画・設計をサポートするシステムであるTransit Planning System(以下、TRANSPLANと略す)と名付けた総合的なデザインシステムの開発を進めてきた。

2 軌道輸送システムの計画・設計手順とTRANSPLAN

軌道輸送システムの計画・設計手順をマクロにみると、図1(a)に示すように3段階に分けることができる。すなわち、

(1) 都市交通計画

都市計画に基づいて、都市の将来を予測し、交通需要を推定する。これにのっとり、地域住民、システム計画運営者など関係者の利害を均衡させるような新システムを選択する。

(2) 軌道システム計画

選択された新システムにつき、コストパフォーマンスを最適とするような車両運行条件、各種設備規模などシステムの基本仕様を決定する。

(3) 運転制御システム設計

基本仕様に沿って、要求性能を満足するような電動機容量、制御パラメータなど、機器の詳細仕様を決定する。

日立製作所は、このような軌道輸送システムの計画・設計をサポートするツールとして、この3レベルに対応させた、HOPPS、STEPS、JUMPSの3サブシステムから成る、同図(b)に示すTRANSPLANの開発を進めてきた⁵⁾。

以下各サブシステムにつき、その概要と応用例について述べる。

3 都市交通計画サポートシステム(HOPPS)⁶⁾

都市計画で将来の土地利用計画が定まり、交通需要の推定が行なわれると、それに沿ってシステムの導入計画が立てられる。すなわち、どのように路線を設定し、どこに駅を設けるかを決定する。ここで計画者は、幾つかの代替案の中から最適なものを選定しなければならないが、このときマクロに見ると利用者を含んだ住民側と計画者との利害が対立することになるため、その利害をいかに均衡させ、皆が満足するシステムを選ぶかが重要な問題である。

そこでHOPPSでは、新しい路線の代替案をネットワークとしてとらえ、この問題を整数計画問題として取り扱うこととしてモデル化した。すなわち、路線の代替案ネットワークについて、その候補路線を採用するときには1とし、採用しないときには0として定式化するものである。

このようにモデル化した問題を解くに当たっては、コストの定量化と住民側の効用(これは住民の選好性と同様のものである)を定量化することが必要となるが、後者の定量化は極めて困難な問題である。従来は、意識調査が主に用いられてきたが、そのデータが不正確であることから、HOPPSでは大新聞の不動産広告をデータとして利用することにした。すな

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム事業部 *** 日立製作所水戸工場 **** 日立製作所機電事業本部

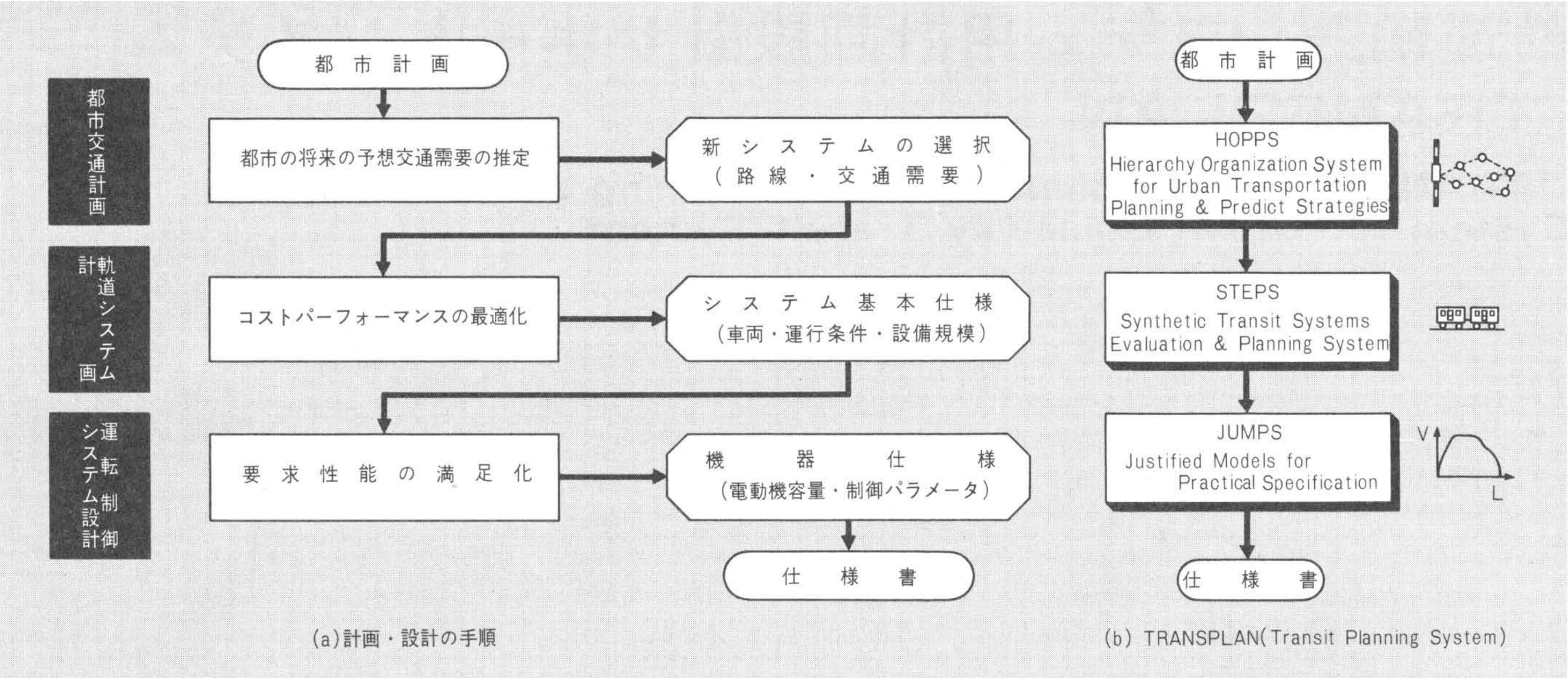


図1 軌道輸送システムの計画設計手順とTRANSPLAN (a)計画・設計の手順 (b)TRANSPLAN (Transit Planning System) 計画・設計の手順を3段階に分け、それに合わせてサポートシステムを構成している。

わち、真剣な取引に関するものであり、買手である住民の選好が正直に反映されたものと考えられるからである。このデータを基に、各要因と選好度との関係を回帰モデルによって分析するものである。ケーススタディによると、例えば、都心からの所要時間という要因に対する価値は1分短くなると6万円、また電車の乗換回数については1回少なくなると87万円の価値があるという結果を得ている。

このようにして、HOPPSでは、利用者と計画者の利害を均衡させたシステムを選択することができるわけである。

4 軌道システム計画のサポートシステム(STEPS)⁷⁾

STEPSでサポートする軌道システム計画のレベルでは、路線、交通需要などを制約条件として、計画運営者、利用者などの評価を最適とするようなシステムの基本仕様を決める。

- このレベルの計画での特徴を構造的にとらえてみると、
- (1) 表1に例示したシステムを決定する設計項目が100以上と多く、かつ密接な関連があるために、多変数を同時に決定しなければならない問題
 - (2) 多数の関与者が、各々独自の価値観から評価を行なうため、最適をどう定義するかという多目的な評価を行なう問題の2点が挙げられる。

軌道輸送システムの計画を難しくしているこの二つの特徴に対し、STEPSでは次の対策によりモデル化を実現した。

表1 軌道システムの設計変数 システムの基本仕様となる変数だけでも100以上と多い。

項 目	設 計 変 数
車 両	車両定員、車両長、加減速度など
軌 道	ループ曲率半径、閉塞区間数など
駅	ホーム長、ホーム幅、券売機数など
基 地	基地路線長、基地面積、検修線長など
給 電 設 備	ピーク消費電力、変電所数・規模など
制 御 方 式	表定速度、ダイヤ、同時走行必要列車数など
経 営 管 理	監視員数、保守員数、事務員数など

- (1) 設計項目の数を、最適化計算が可能となる程度まで減少させるため、図2に示す手順でシステムの構造化を行ない、システムの構成を決定する変数を抽出した。すなわち、設計変数の関係を有向グラフで表現し、先に開発したシステム計画技法であるPPDS⁸⁾により、このグラフを単純化し、独立変数として、(i)車両定員、(ii)列車定員、(iii)最高速度、(iv)ドア占有率(ドア部長さ/車両長)の4変数を選んだ。

- (2) 計画運営者の評価指標であるコストを重点とし、利用者などの評価に対しては、最大乗車待ち時間といったような許容限界値を設定することによって、評価のスカラ化を図った。

このような対策をとったことにより、図3に示すように環境から決められる前提条件と四つの独立変数の値を入力し、システム変数と評価値である建設コスト及び運営コストを得るプログラムを構成することができた。なお、建設コストは、資本回収係数(CRF: Capital Recovery Factor)を用いて

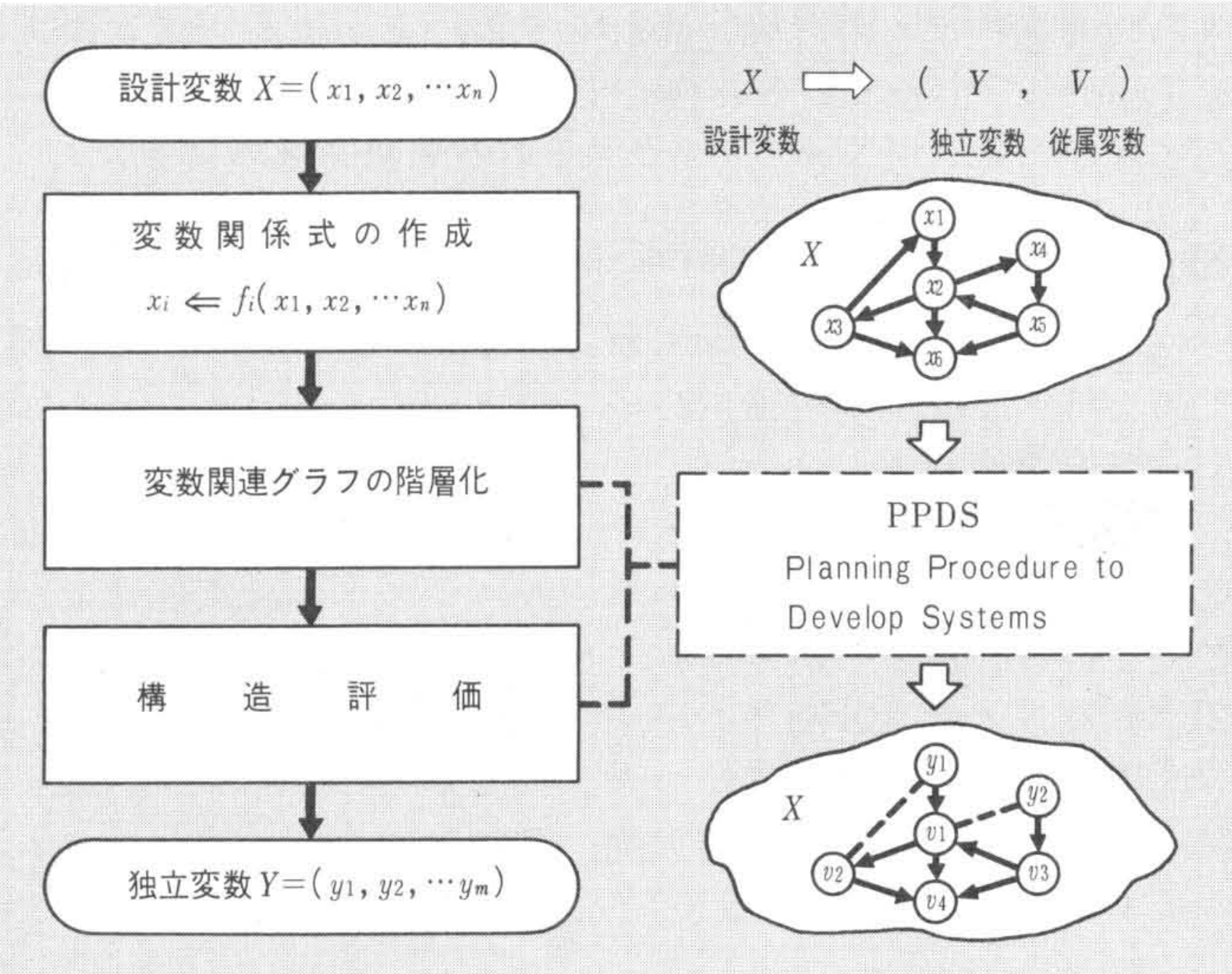


図2 軌道輸送システム計画モデルの構造化 多くの設計変数を、構造化の手法によって少ない数の独立変数と従属変数に分類する。

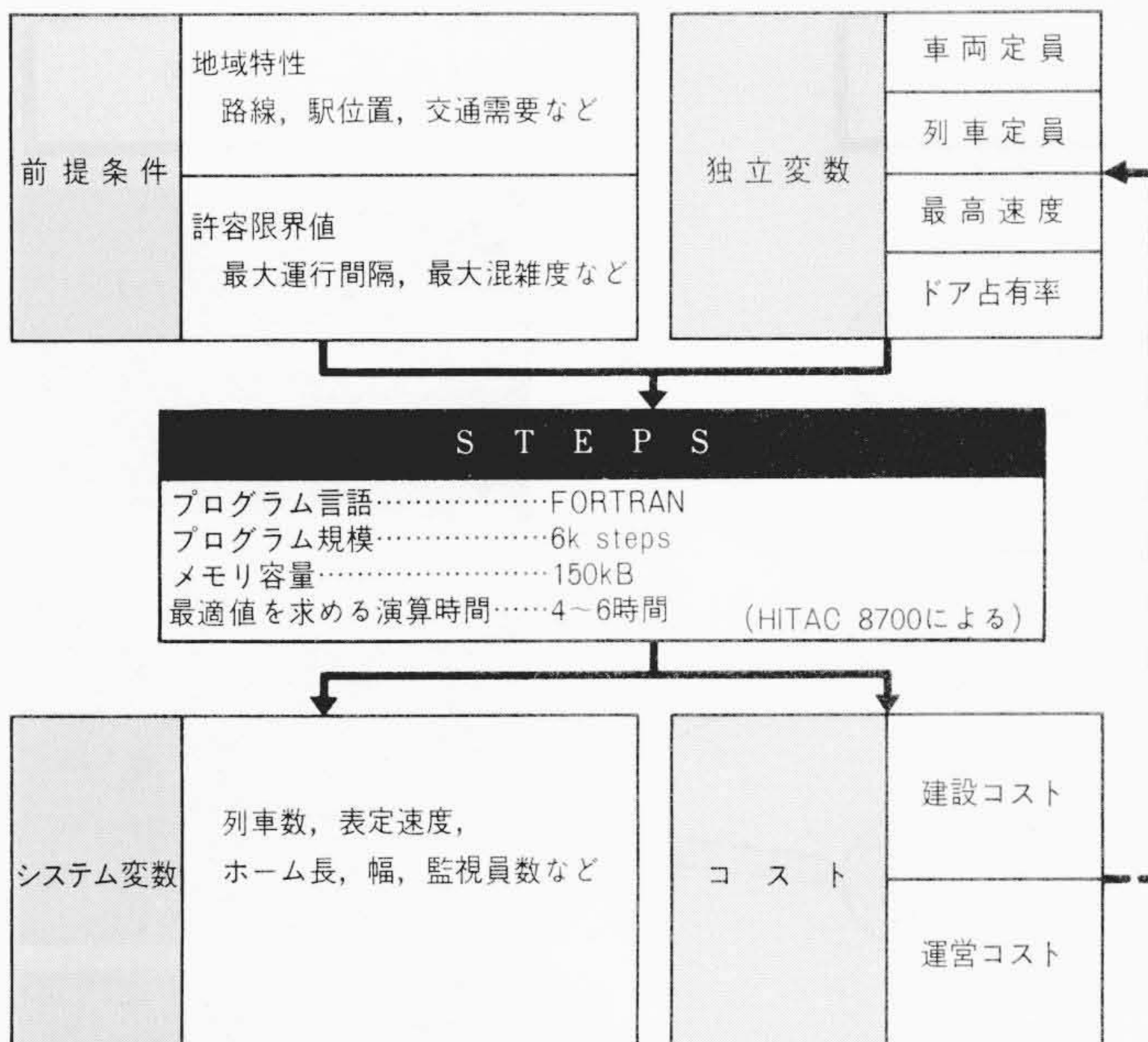


図3 STEPSの機能 前提条件と独立変数の値を入力し、システム変数とコストとを得る。

年間資本コストに換算し、これに運営コストを加えて年間トータルコストを算出している。

ケーススタディとして、STEPSを標準的な中量軌道輸送システム（路線長7km、駅数9、駅間距離600～1,300m）に適用し、最適なシステム諸元を求めた。図4に結果の一例として車両定員とコストの関係を示すが、これにより、交通需要が標準の3倍程度までならば、75人前後の定員の車両を運行するのがよいといえる。また、最高速度は50km/h、ドア占有率は35%が最適という結果を得た。

このように、STEPSによれば、コストパフォーマンスを最適とするシステムの基本仕様が容易に算出できる。

5 運転制御システム設計サポートシステム(JUMPS)^{(9),(10)}

5.1 運転制御システムの設計とJUMPSの特徴

軌道輸送システムを制御の観点からみると、その機能は大きく次の3項から成る。

- (1) 運行管理……………列車群の管理制御
- (2) 自動運転制御……………速度制限(ATC)、定速運転(CSC)、駅停止(TASC)などの制御
- (3) 電力管理……………変電所負荷の管理制御

これらの機能をもったシステムを設計するに当たって、性能面での主要な評価指標として次に述べるような項目が挙げられる。

(1) システムの制御特性

乗心地、目標速度に対する追従性、駅での停止精度、運行乱れ時の回復時間などで、車両特性や制御方式などによって決まる。

(2) 表定速度

停車時間を含んだ全路線の平均速度であり、路線条件、信号条件、車両特性などによって決まる。

(3) 運転時隔

輸送力を決める要因であり、信号方式、車両特性、駅停車時間などによって決まる。

(4) 消費電力量

加速時の消費電力と、制動時の回生電力により求まり、車両特性、運行方式などによって決まる。

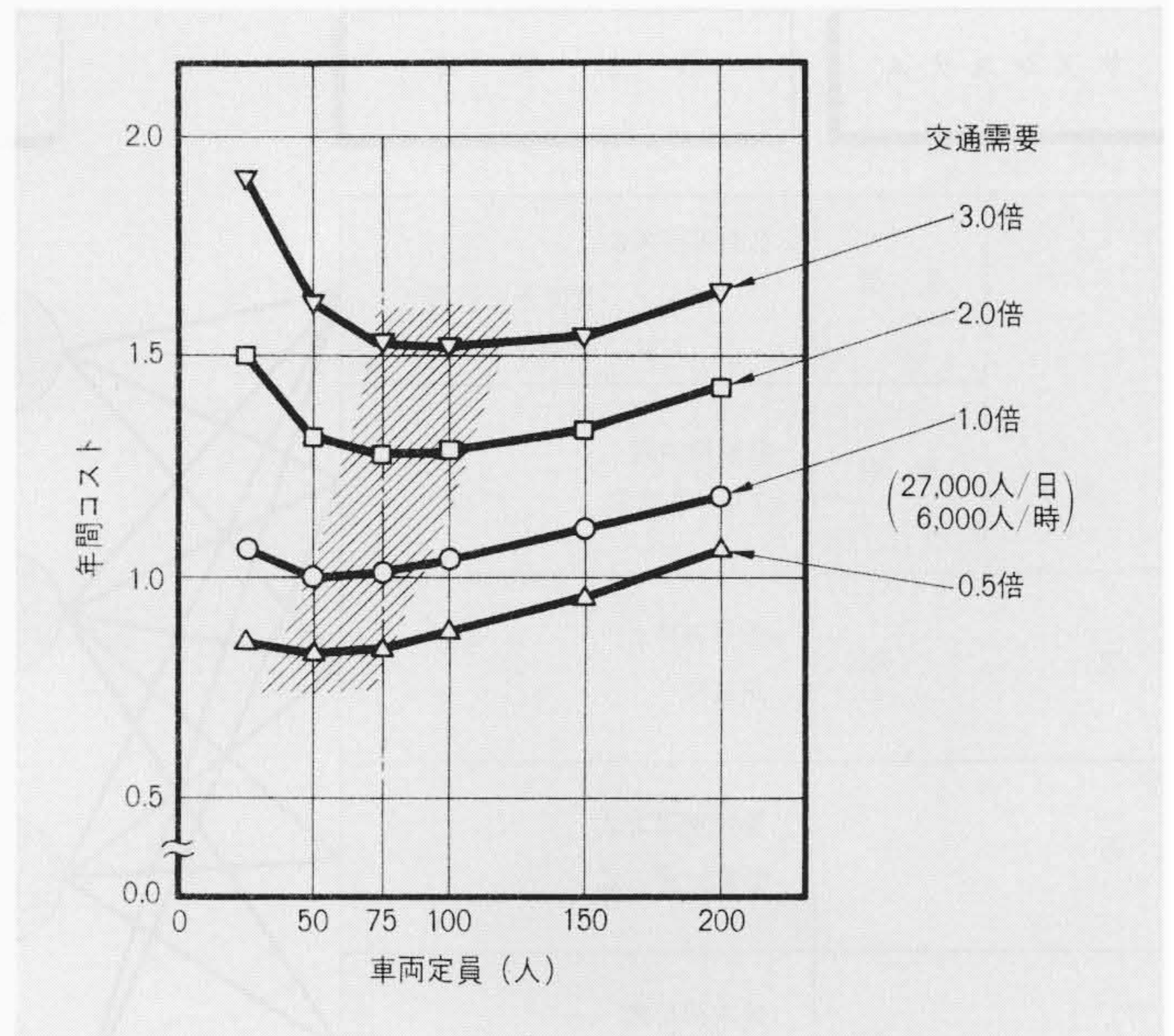


図4 STEPSによるケーススタディの結果 車両定員とコストの関係を示しており、75人乗りの車両を運行するのが最適であることが分かる。

このような評価指標に基づいて、要求された性能を満足させるシステムを設計するわけであるが、この設計に当たっての問題点として次の2点がある。

- (1) STEPSの場合と同様、設計変数が多く、かつ変数間及び評価指標との関係が複雑である。
- (2) 設計の段階によって、マクロなものから詳細なものまでと、評価のために得たい情報のレベルが異なる。

そこで、JUMPSの開発に当たっては、(1)に対してはダイナミックシミュレータによって複雑な関係を明らかにすることとし、(2)に対してはシステムを階層的にモデル化することによって対処することにした。

更に、すべての軌道システムに適用できるように、対象によって異なると考えられる条件・方式は、データとして与える構成としてプログラムの汎用化を図った。また、設計を効率よく進めるため、シミュレーションの結果を製図機及びディスプレイ上にグラフィカルに出力すると同時に、計算機と対話しながら各種条件を変更設定しシミュレーションを実行できるようにして、設計作業の特徴である試行錯誤による検討を容易にした。

JUMPSによる設計サポートの状況をまとめたのが図5である。

5.2 シミュレーションモデル

JUMPSのシミュレーションモデルは、路線、列車、信号、運行管理及び電力と軌道システム全体を総合的にシミュレーションできるようにしたものである。このモデルの作成に当たっては、前述した階層的な考えに基づいた構成とし、これによって粗いシミュレーションから詳細なシミュレーションまでを任意に選択して実現できるようにした。すなわち、電気-機械系のシステムは一般的に連立方程式によってその特性が表現されるが、これを独立変数の関係が明らかとなるような関数形式でモデル化するものである。

これにより、関数を任意に選ぶことによって、目的に応じたモデル化が実現できることになる。

このような考え方にのっとり構成したシミュレーションモデルと関係式を図6に示す。

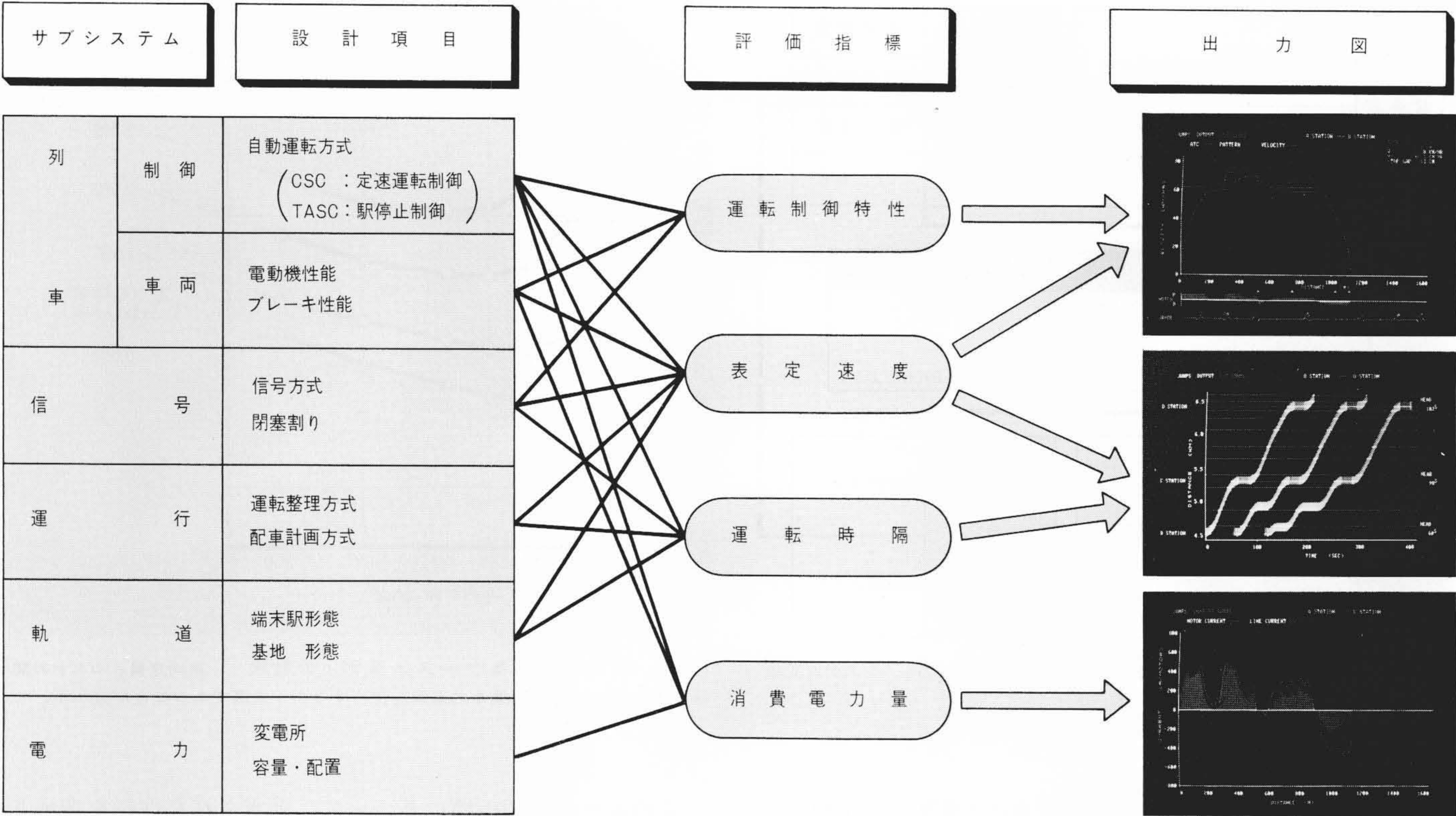


図5 JUMPSによる設計のサポート JUMPSでは軌道輸送システム全体を総合的にシミュレーションし、設計のための評価指標を検討しやすいようにグラフィカルに出力する。

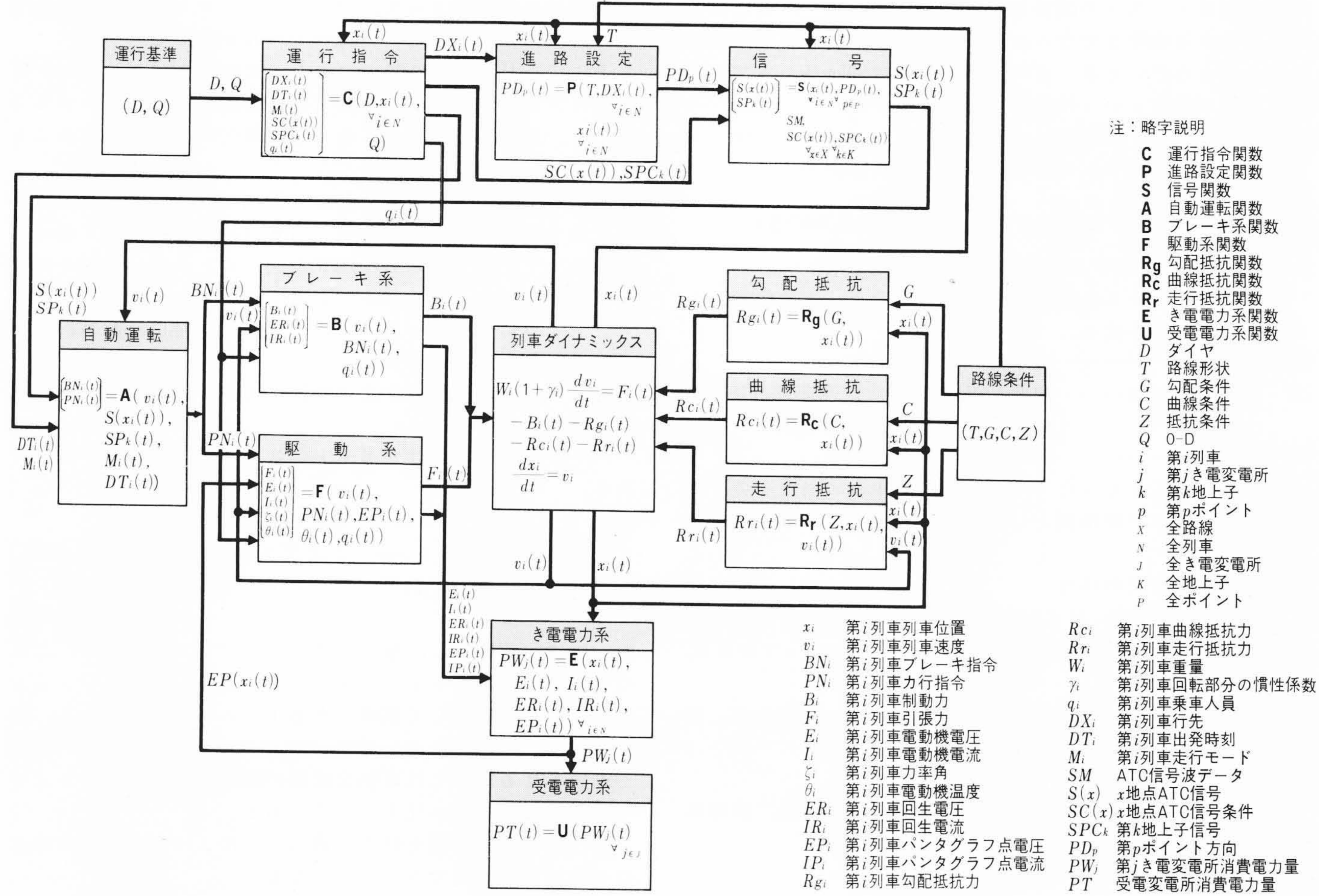


図6 JUMPSのシミュレーションモデル 階層的モデル化の思想によって構成した軌道システム全体を、総合的にシミュレーションできるモデルである。

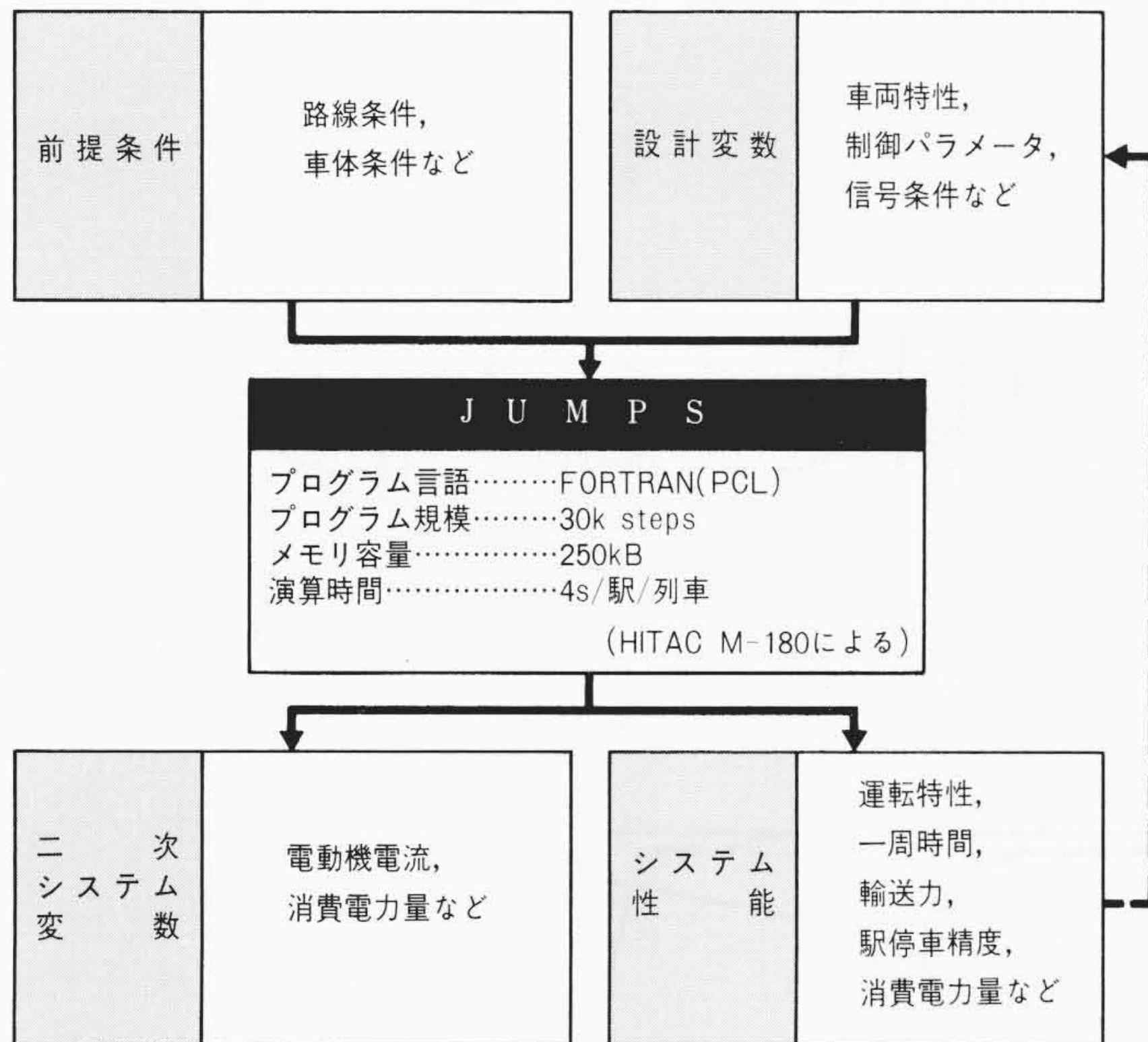


図7 JUMPSの機能 前提条件と設計変数を入力し、二次システム変数とシステム性能を得る。



図8 ディスプレイを介しての会話形設計 設計者はキーボードによりシミュレーション条件を設定し、すぐにシミュレーション結果を確認評価することができる。

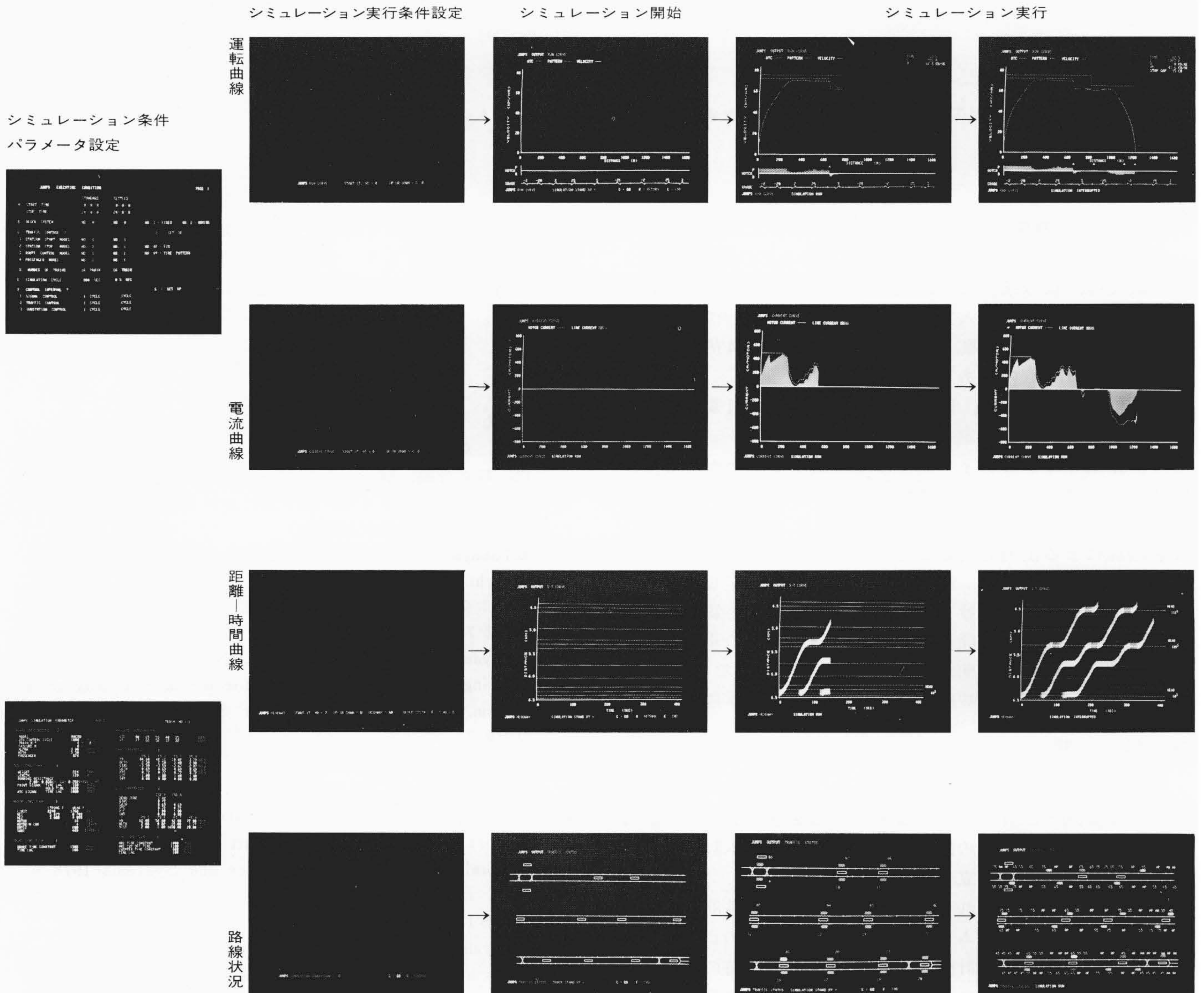


図9 JUMPSのディスプレイ出力 シミュレーションを開始すると、計算結果は順次ディスプレイ上に表示される。

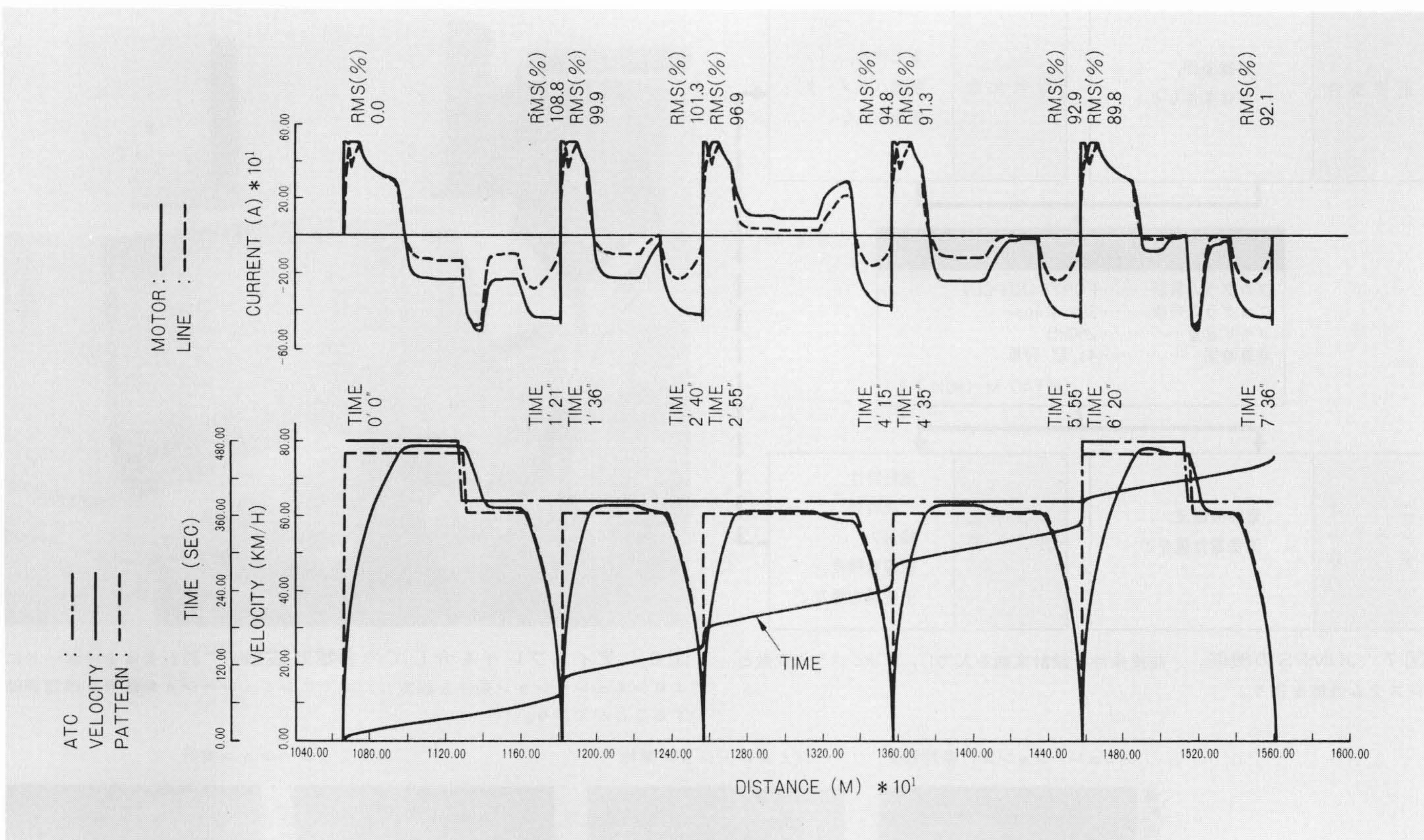


図10 JUMPSの製図機出力 シミュレーション結果を評価しやすい形のグラフで保存できる。

5.3 JUMPSの適用

JUMPSは図7に示すように、路線条件などの前提条件と、電動機性能、信号条件など、要求性能を実現するために求めようとする変数の値を入力して、前述した評価指標のデータを検討しやすい運転曲線、距離-時間曲線、電力負荷曲線などの形で出力するものである。

会話形JUMPSでは、図8に示すように、設計変数をキーボードを介して変更設定し、すぐにシミュレーションを実行して、結果をカラーディスプレイで確認することができる。図9にディスプレイによる条件の設定とシミュレーション実行の様態を示す。なお、ハードコピーとして図10に示すような製図機による出力も得ることができる。

このJUMPSにより、従来複雑な計算と雲形定規を使って多くの人手と時間をかけていた設計作業の効率と質を、大きく向上させることが可能になると同時に、実際の車両による機能・性能の試験を事前に済ませてしまうことができるため、システムの開発期間を短縮することができるようになった。

6 結 言

TRANSPLANは以上述べたように、軌道輸送システムの具体的な計画・設計に一つのよりどころを与えるもので、今までにも、地下鉄などの設計に当たってシステム計画を支える有効な手段として役立ってきた。

今後、新しく導入される交通システムは、高性能かつ省資源化を目指したシステムとなる動向にある。このようなシステムを開発するには、計画・設計段階から運用時のことまでを十分に考慮しないとコストパフォーマンスの良いシステムとすることはできない。このような検討には、膨大な時間と複雑な計算が必要となるため、TRANSPLANのような計

画設計サポートシステムがますます必要となってくる。このTRANSPLANにより、今後新しく建設される軌道輸送システムの計画・設計が、安全かつ迅速に行なえることになると確信する。

参考文献

- 1) 竹村, 刈谷, ほか2名: 鉄道における管理と運用業務の自動化, 日立評論, 58, 605(昭51-8)
- 2) 石田, 高岡, ほか4名: 地下鉄における列車制御システム, 日立評論, 58, 609(昭51-8)
- 3) A.Tabata et al.: Recent Railway Automation Systems, Hitachi Review, 27, 85(1978-2)
- 4) 刈谷: 交通システムにおける評価手法, モノレール32, 13(昭52-7)
- 5) S.Miyamoto et al.: TRANSPLAN-A computer assisted planning and designing system for urban guideway transit system, 1978 Summer Computer Simulation Conference, (1978-7)
- 6) 江藤, 田畑: 数理計画法による新交通システムの評価, 第12回鉄道サイバネ, 23(昭51-11)
- 7) S.Miyamoto et al.: STEPS-A planning and designing support system for urban transit system, The 4th International Congress of Cybernetics and Systems(1978-8)
- 8) 春名, ほか1名: システム開発の手順, 昭52電気学会全国大会, S13-4(昭52-7)
- 9) S.Miyamoto et al.: JUMPS-A design support system for urban automated guideway transit system, 1978 International Conference on Cybernetics and Society(1978-11)
- 10) 宮本, ほか9名: 軌道輸送システム用会話形設計サポートシステムの開発, 第15回鉄道サイバネ(昭53-11)