

# 最適設備容量計画技法“PLANET”と物流システムへの応用

## Systems Planning Method by Network-type Work Flow Model “PLANET” and Its Applications

近年、物流環境の変化のため、物流システムの見直しや新システムの計画が盛んである。その計画に当たっては、最適な設備容量、人員の算定が重要である。そのため、日立製作所では以下に述べるような特長をもつ最適設備容量計画技法“PLANET”を開発した。

(1) 処理設備だけでなく、負荷変動への対処のための保管設備も含めた負荷平滑化計算法の開発により、計画精度の向上が期待できる。(2) 物の流れと作業手順の規制とを一体化した対象記述形式の開発により、システムの条件記述が容易となり、計画日数の短縮が期待できる。(3) 設備故障対処のための余力評価など、多様な計算機出力が得られる。

本稿では、石炭ヤードと自動倉庫の設備容量計画への適用例を中心に、“PLANET”の概要について述べる。

都島 功\* *Isao Tsushima*  
大場雅博\* *Masahiro Ooba*  
岩本哲夫\* *Tetsuo Iwamoto*

### 1 緒 言

最近、各方面で物流システムの改善が計画、実施されている。石油確保の不安から石炭火力が見直され、石炭ヤードの建設が多数計画されている例や、省力化、スペースの有効利用のため、生産工程間のバッファとして自動倉庫が導入され始めた例などは顕著なものである。

物流システムを計画する際には、最適な設備容量、人員を短期間で決定できる技法が必要である。しかし、従来技法は、(1) 処理設備だけでなく、その負荷変動への対処のために設けられた保管設備も含めた、トータルな設備容量計画ができないこと、(2) 計画のためのモデル作りに時間がかかり、各種条件下での総合的な検討ができないことなどの問題点をもつ。

今回日立製作所では、これらの問題点解決のため、最適設備容量計画技法“PLANET”<sup>1),2)</sup>(Systems Planning Method by Network-type Work Flow Model)を開発したので、その概要について述べる。

### 2 従来技法の問題点

設備容量計画法は、次の3項目を満たさなければならない。

(1) 総費用(=設備費+人件費)を最小にする設備容量、人員が算出できること。

これは、稼働時、設備(以下、人も含む。)の過不足が生じない設備容量が算出できることを意味する。

(2) 短期間で計画できること。

計画段階では、計画結果によっては、扱ひ量などの外部仕様が変更される。最終的な計画案に至るまでには、仕様の変更、設備容量の算出が繰り返されるのが普通である。各種条件下での検討を可能にするためには、短期間で各ケースの検討ができなければならない。

(3) 計画根拠が示せること。

最終結果としての設備容量だけでなく、その算出根拠、例えば、設備の稼働状況などを出力することが必要である。

以上の項目について従来技法をながめると、それぞれ以下に述べるような問題点をもつ。

#### (a) スタティックな計画技法

これは、入出荷量の平均値を基に設備容量を求めるものである。通常、入出荷量は時間的に変動するため、設備は過負荷であったり、無作業となったりする。スタティックな計画技法では、これを設備の稼働率というパラメータで考慮しているが、一般に、そのパラメータは安全サイドにみて低めに設定される。そのため、本技法による計画案には、過剰計画のものが少なからず見受けられる。

#### (b) GPSS<sup>3)</sup>(General Purpose System Simulator)などのシミュレータ

これは、入出荷量の時間変動を考慮できるが、以下に述べるような問題点をもつ。計画対象となる設備や設備間の連結関係、そして、物の流れの制御規則をGPSSなどのシミュレーション言語を用いて記述し、シミュレータを作成する。物の流れの制御規則は、各設備に到着した扱ひ物に対し、設備ごとに優先処理規則として与える。そのため、物の流れが複雑な対象の場合には、扱ひ物の処理順序をシステム全体の効率を考慮して制御するのは、GPSSなどのシミュレータでは難しい。

また、各種条件下での検討を短期間で実施することは困難である。というのは、条件変更のためのシミュレータ改造に手間がかかるからである。

#### (c) PERT/LOAD<sup>4)</sup>(Program Evaluation and Review Technique)などの最適化技法

システム全体の効率を考慮して、設備容量を算出する最適化技法の一つにPERT/LOADがある。しかし、これはクレーンなどの処理設備しか扱えない。そのため、処理設備の負荷平滑化を考慮して設けられた保管設備の効果を含めた、トータル設備容量計画が不可能である。

\* 日立製作所システム開発研究所

### 3 最適設備容量計画技法“PLANET”

#### 3.1 対象の図表現言語

計画対象となる物流システムでは、それぞれ各仕事の作業順序や物の流れ(設備間の結合関係)が異なる。これらを表現するため、“PLANET”では図1(a)に示すような対象表現言語を用意している。仕事の作業手順は、PERTのアローダイアグラムで表わす。物の流れは、仕事が行なわれると起きる。それは、設備の三つ組( $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$ )で表現される。これは物を保管設備 $r_A$ から取り出し、それらを処理設備 $r_B$ で処理し、それらを保管設備 $r_C$ にストアすることを示す。

具体的な対象の設備容量計画を行なうには、その対象を上記した表現言語で記述するだけでよい。そのため、各種条件下での設備計画が短期間で可能である。

#### 3.2 負荷平滑化計算法

設備容量は、その設備の負荷のピーク値で決まる。したがって、必要最小限の設備容量は、保管設備に一時滞留させることの効果を有効に生かした負荷平滑化計算によって求めることができる。この負荷平滑化計算に当たっては、次の条件を考慮する必要がある。

- (1) 各仕事の納期を満たすこと。
- (2) 仕事の実行順序規制(PERTのアローダイアグラムで表現される。)を守ること。
- (3) 各種保管設備の容量制限を満たすこと。

以上の条件を満たすもとで、かつ各設備が幾つかの仕事に対して要求されるという状況下で、負荷平滑化を図ることは非常に難しい問題である。その問題は、組合せ的な問題となり、特殊なケースを除き解析的に解くことは不可能であり、一般にヒューリスティックな解法が要求される。“PLANET”ではグラフ理論の分野でグリーディ算法と呼ばれる種類の下記の新しいアルゴリズムを開発した。

まず、各仕事の最早着手可能時刻と最遅着手可能時刻とが、PERT/TIMEアルゴリズム<sup>4)</sup>によって計算される。次に、これらの仕事は、最早着手可能時刻の早いものから順番に設備に割り付けられる。そして各仕事の実行時刻は、各設備の負

荷が、その容量を超えてはいけないという条件下で、できるだけ早く実行されるように決められる。一つずつ仕事の実行時刻を決めることによって発生する欠点は、この方法によって低減される。

#### 3.3 多様な出力結果

最終結果としての設備容量だけでなく、以下に示す結果も出力する〔図1(d)〕。

- (1) 各設備の負荷状況
- (2) 設備故障対処のためのシステム余力
- (3) 感度解析(例:扱い量の増大に対する設備容量の増分)など。

### 4 物流システムへの適用

#### 4.1 石炭ヤード設備容量計画への適用例

作業には、大きく分けて受入れと払い出しとがある。

##### (1) 受入れ

船で入荷した石炭は、アンローダにより陸揚げされ、コンベヤを介し、スタッカでヤードに銘柄別に山積みされる。その山は石炭パイルと呼ばれる。

##### (2) 払い出し

石炭は、銘柄別の石炭パイルからリクレーマにより切り出され、コンベヤを介し混炭ビンへ搬送される。ここで、複数銘柄の石炭を混ぜ、硫黄分の均一化が図られる。混炭された石炭は、コンベヤを介しバンカへ送られる。バンカは、夜間電力用の石炭を貯蔵するためのものである(夜間、ヤード作業は実施しない)。最後は、バンカからボイラへ、石炭消費量の時間分布に応じて石炭が送られる。

図2は、“PLANET”への入力データを示す。この例では、3銘柄の石炭を2台のリクレーマで混炭するレイアウトを考えている。

図3は、“PLANET”の出力結果例を示す。同図(a)は、混炭比、石炭消費量をパラメータとして、(リクレーマ設備費と混炭ビン設備費)とリクレーマ能力との定量的な関係を示す結果である。リクレーマが2台のため、それは、同時に、3本の混炭ビンのうち2本にしかサービスできない。サービスを受けていない混炭ビンが空になる直前に、その混炭ビンへリクレーマ

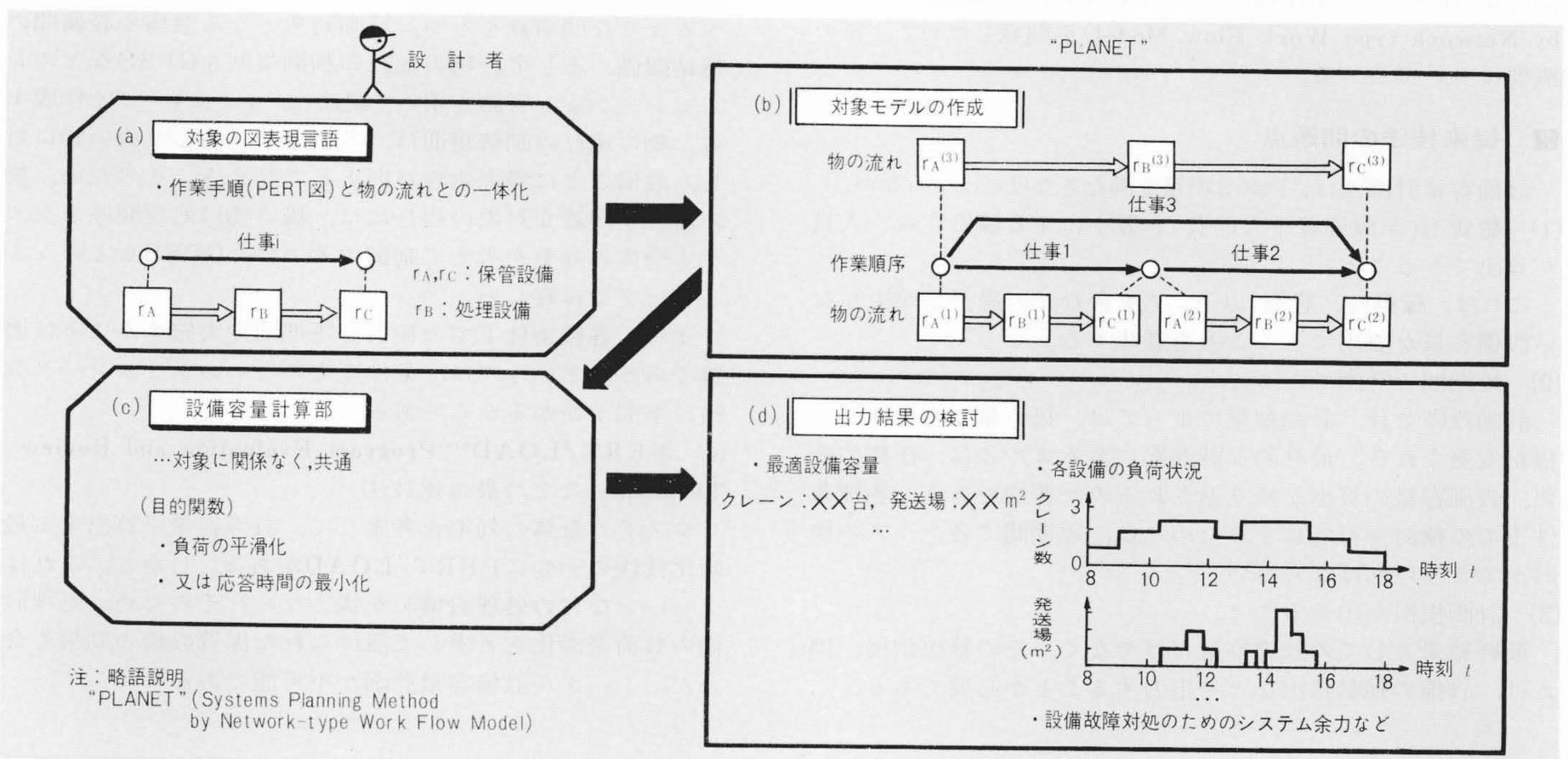


図1 “PLANET”による計画手順 “PLANET”は図表現言語で対象を記述するだけで、各種の物流システム設備計画へ適用できる。

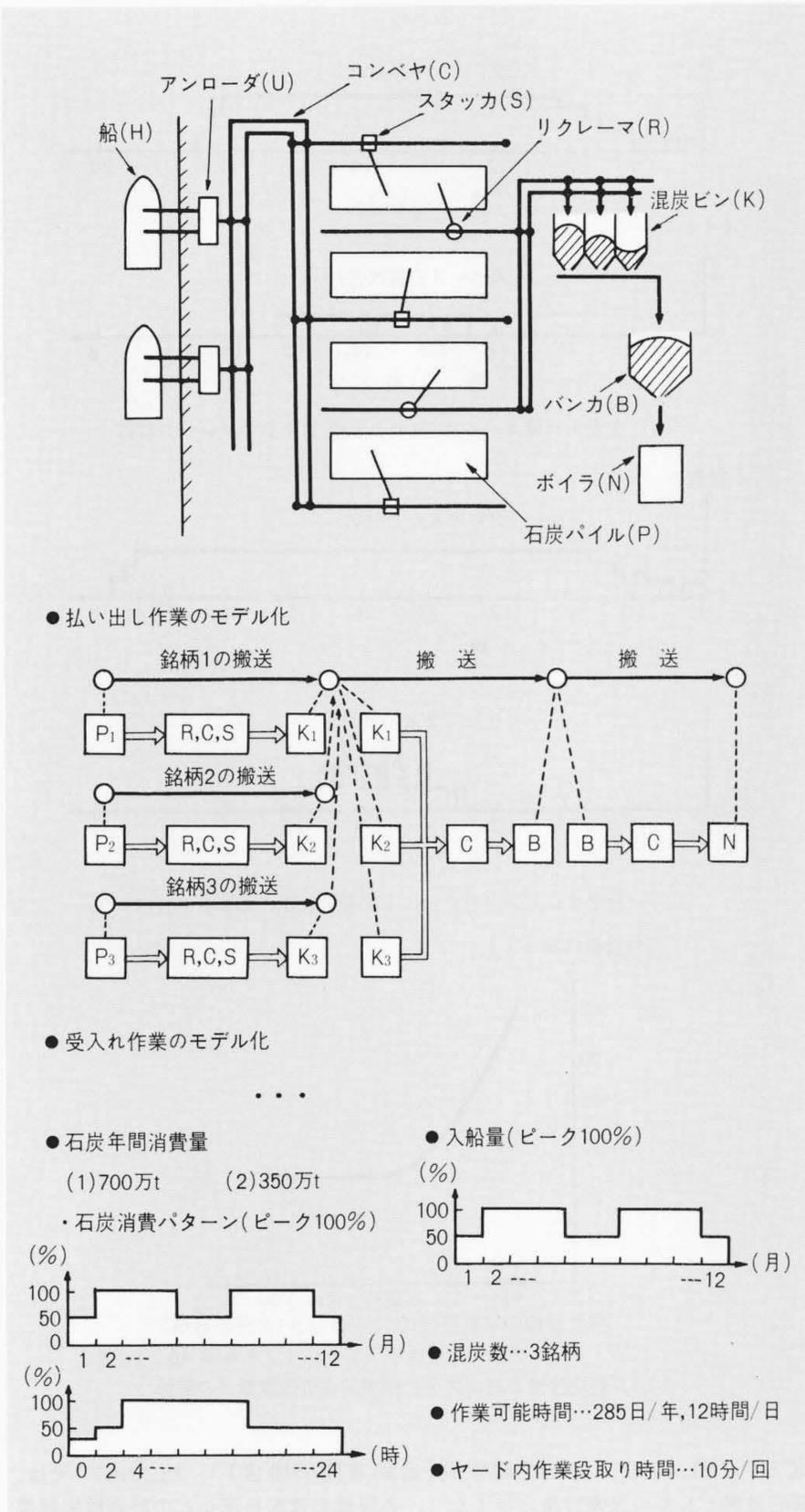


図2 “PLANET”への入力データ(石炭ヤードの場合) “PLANET”では、その対象の図表表現言語により、レイアウトや設備間の連結関係の変更が容易に実施できる。

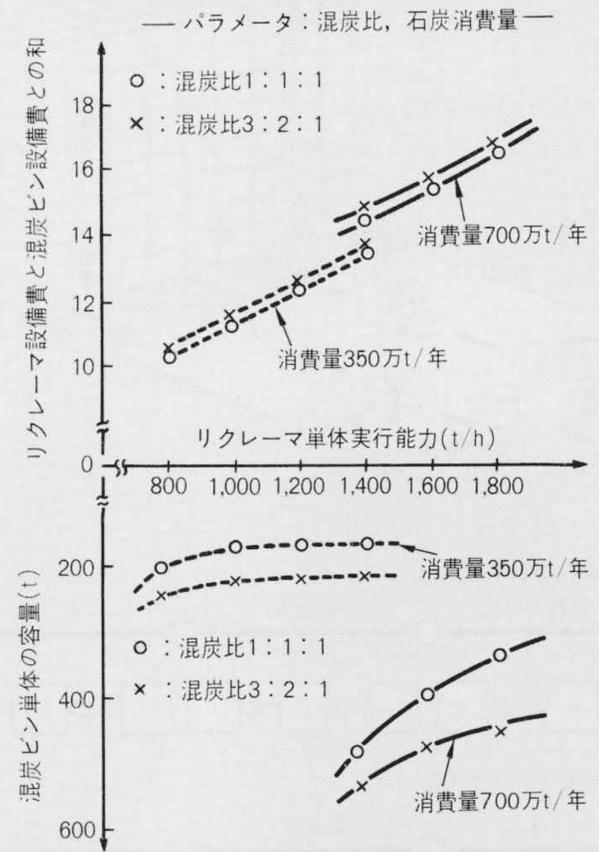
を割り付ける必要がある。この割付け変更は段取りと呼ばれるもので無作業である。この無作業時間を低減するには、混炭ビンの容量を大きくすればよい。すなわち、リクレーマ能力と混炭ビンの容量とは補完関係にある。この定量的関係は同図に示すとおりである。

図3(b)は、船の大きさと石炭消費量とをパラメータとして、(アンローダ設備費+滞船料)とアンローダ能力との定量的関係を示すものである。滞船料は、船の拘束時間に対しヤード側が船会社へ支払う費用である。アンローダ能力を大きくすれば、設備費は増大するが、一方、滞船料は低減される。結果は、石炭消費量700万t/年、船10万tの場合、アンローダ単体の実効能力を900t/h程度に設定すると、コストが最小になることを示している。

#### 4.2 自動倉庫設備容量計画への適用例

適用対象とした自動倉庫での仕事の順序と物の流れとを図4に示す。仕事には大きく分けて、入庫関連の仕事と発送関

(a) リクレーマ設備費+混炭ビン設備費とリクレーマ能力との関係



(b) アンローダ設備費+滞船料とアンローダ能力との関係

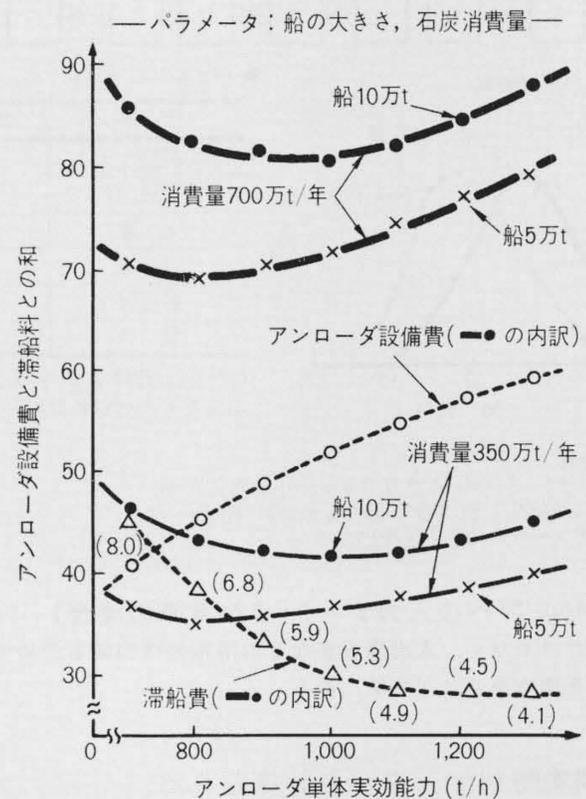


図3 “PLANET”の出力結果例(石炭ヤードの場合) “PLANET”は図示の結果以外に、設備故障対処のためのシステム余力評価など、多種の計算機出力が可能である。

連の仕事がある。

#### (1) 入庫関連の仕事

フォークリフトにより、トラックから荷受入れ場へ荷が卸される。次に、フォークリフトにより、入庫コンベヤへ荷が搬送される。その荷は、スタッククレーンにより、ラックに入庫される。

#### (2) 発送関連の仕事

荷はラックからスタッククレーンにより出庫され、出庫コンベヤまで運ばれる。次に、フォークリフトにより、荷は発送場へ搬送される。フォークリフトは、その荷をトラックに積み込む。

仕事の最早着手可能時刻と最遅着手可能時刻とは、図4の

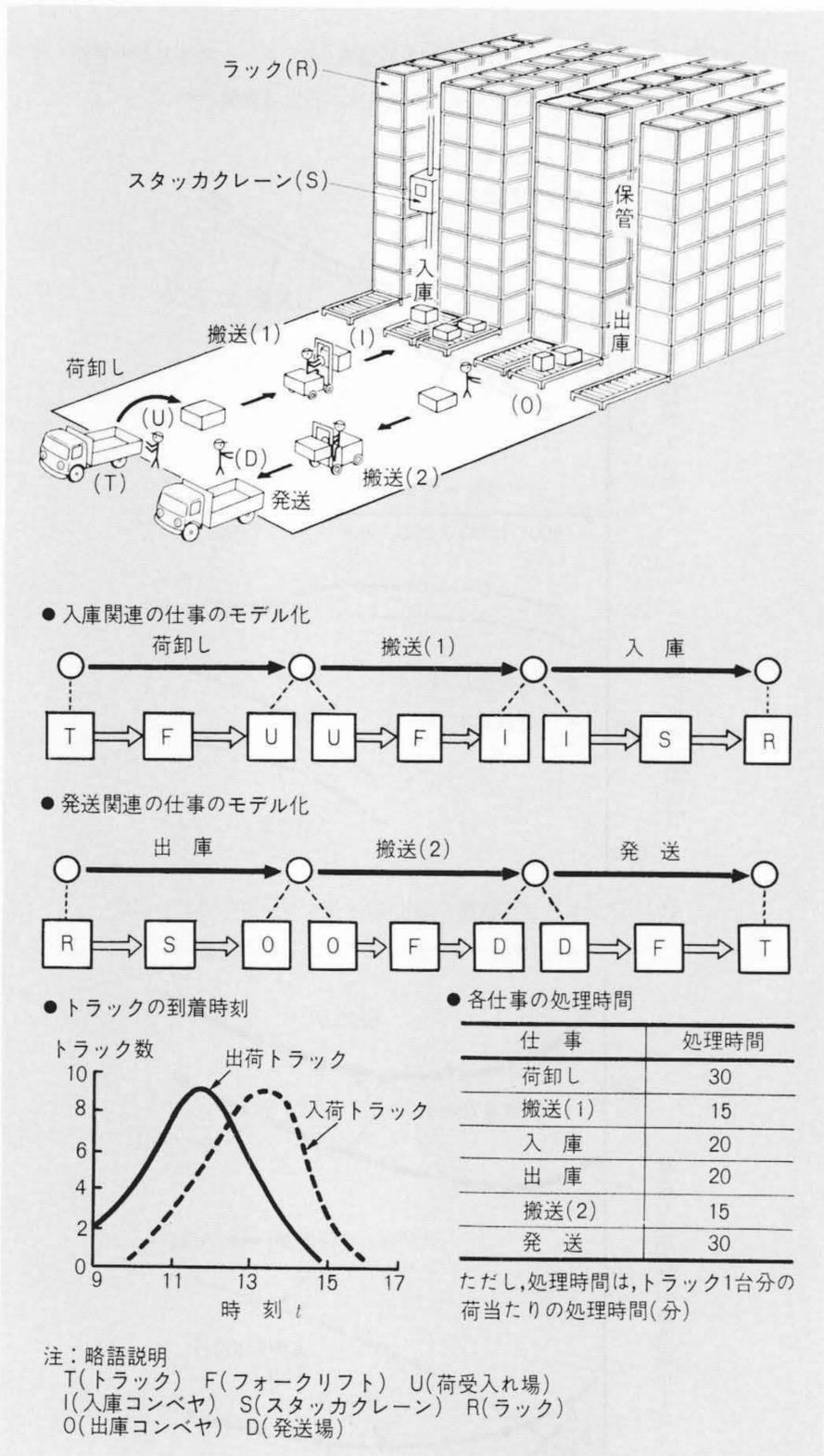


図4 “PLANET”への入力データ(自動倉庫の場合) “PLANET”では、荷役作業だけでなく、入出庫設定などの情報処理作業も含めて、最適な設備容量、人員を求めることが可能である。

トラック到着時刻データから計算される。  
 仕事の負荷を図4に示す。各仕事によって占有されるスペースは、トラックの容積によって量られる。  
 図5(a)は、荷受入れ場の容量が1の場合の、スタッカクレーンと荷受入れ場との負荷を示す。これらは、提案した負荷平滑化計算法によって計算された。本ケースでは、5台のスタッカクレーンが必要とされることを示す。図5(b)は、もしスタッカクレーンの容量が4台に低減されるならば、荷受入れ場で必要とされるスペースは3となることを示す。図5(c)は、処理設備の総コストと保管設備の総容量との量的な関係を示す。ここで、スタッカクレーンの単価：フォークリフトの単価=5:1が仮定されている。

## 5 結 言

物流システムを主な対象とした最適設備容量計画技法“PLANET”を開発し、その概要について紹介した。その骨子は次に述べるとおりである。

- (1) 処理設備だけでなく、その負荷変動への対処を考慮して

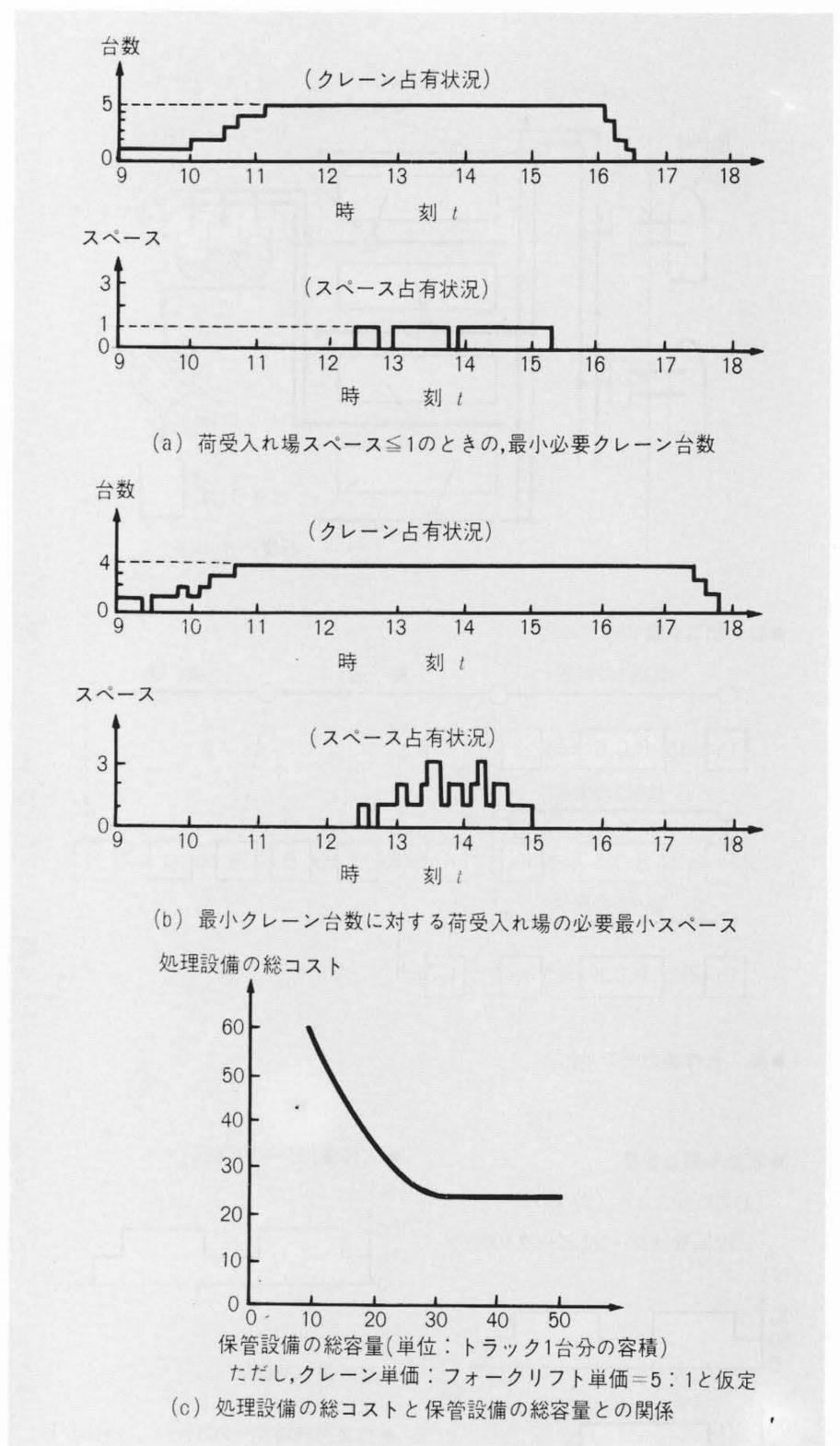


図5 “PLANET”の出力結果例(自動倉庫の場合) “PLANET”では、最終結果としての設備容量だけでなく、各設備の運転状況などの計画根拠結果も出力する。

設けられた保管設備を含めた負荷平滑化計算法を開発した。これによって、計画精度を向上した。  
 (2) 物の流れを設備間の連結関係で、作業手順の規制は、PERT図で表現する対象表現形式を開発した。これにより、システムの条件記述が容易となり、計画日数が短縮された。  
 (3) 設備故障対処のためのシステム余力、扱い量の増大に対する設備容量の増分などの感度解析など、多様な出力結果が得られる。

現在、各種物流システムの計画に適用するとともに、ベルトコンベヤなどの連続処理形の設備を含むシステムへも適用できるように“PLANET”の機能拡充を進めている。

## 参考文献

- 1) I. Tsushima, et al. : An Extension of Resource Allocation Problems and Its Applications, The 1980 International Conference on Cybernetics and Society (1980-10)
- 2) 大場、外：離散的システムの設備容量計画手法、第19回SICE 学術講演会(昭55-8)
- 3) マイヤー、外：シミュレーションの方法、日本経営出版会(昭47-8)
- 4) 刀根：PERT講座 I、東洋経済新報社(昭44-5)