

計装プロジェクトにおけるマネジメント手法 及びその適用の研究

A Method of Network Planning for Instrumentation Project and its Application

芥川 伸**・山口 楠雄*
Shin AKUTAGAWA and Kusuo YAMAGUCHI

プロジェクトの計画管理に PERT 等のネットワーク技法が有効なことはよく知られている。しかし従来の発表例では、建設、工事等に関するものが多かった。本論文では、これらと異なる面を含むプラント計装の設計から工事までのプロジェクトについて、実際の必要性により、ネットワーク作成ならびにプログラム・システムの両面から、マン・スケジューリングを中心として適応化を行ない、さらにこの適用を行なったのでこれについて報告したい。

1. はじめに

プロジェクトとは計画管理の対象物の総称であるが、その規模も内容もきわめて多種多様にわたっている。しかしこれらに共通していることは、現在からある将来にわたって行動あるいは作業を必要とし、その作業には人員、資材、機械、方法、費用等が伴ない、また不確定要素が含まれることである。今日われわれの利用できるこれらの諸資源の量も、またプロジェクトの規模も飛躍的に増大した中で、これら諸資源を調和のとれた形で駆使しながら、目標の達成をはかることがプロジェクト・マネジメントの仕事である。とくに、大規模、複雑かつ技術水準の高いプロジェクトを短期間で完成すること、計画予定の変更等にも柔軟に対応できること、広い分野を含むので管理が緻密なこと、さらにできれば最小のコストで達成することが必須条件である。また契約ベースのプロジェクトでは、納期通りに、予定費用内で、要求される信頼性と性能を保ち、利益を確保して達成することが必要である。

プロジェクト・マネジメントを行なうのがプロジェクト・マネジャーを中心としたグループである。その作業内容を列挙すると、プランニング、プロジェクト管理、財務管理、原価管理、利益の維持、発注側との調整、文書管理、作業停止時の処理などであるが、このうちとくに重要なのがプランニングとその実際における進行の管理である。従来は、これにガント・チャートが使用されてきたが、これは工程を棒グラフで表わしたもので、見やすく、使いやすい反面、工程の順序関係が不明瞭で、管理重点の置き所がわからず、計画変更等の状況の変化に応ずる弾力性に欠けており、緻密な管理が困難であった。

これに対して近年、計算機を用いた有力な技法が登場してきた。それが PERT, CPM をはじめとする一連の

ネットワーク分析の手法である。1958年に PERT (Program Evaluation and Review Technique) および CPM (Critical Path Method) が開発された。これは工程の順序関係および所要日数という2次元の要素をネットワークに表現することにより、従来の方法の欠点を解決したものである。またこれは実用性も高く、PERT, CPM に続いて PERT と原価管理を結びつけた PERT/COST, 信頼性管理と結びつけた PRISM, 多重プロジェクトの資源配分を行なう RAMPS 等が次々と開発されてきたことは周知の通りである。

しかし一方で、これら大規模化する管理システムの欠点として入出力データの膨大さ、複雑さが著しくなり、とくに小形プロジェクトでは使いきれないという事態が生じてきた。また管理の緻密化もある程度以上になるとプロジェクト一般が本来もついている流動性、不確実性のために実効を生じなくなり、またプロジェクト個々によっても管理ポイントが異なってくるため1つのプログラム・システムでは万能というわけにはいかないことになる。また、ネットワーク作成についても一般的モデル等はありません、個々のプロジェクトごとに最適のネットワークを考えなくてはならない。すなわち、プロジェクトには個別の特徴があり、ネットワーク作成、プログラム・システムの両面とも、個別に最適化をはかることが十分な成功を収めるために必要であると考えられる。

従来の発表例では PERT に向けた建設、工事についてのものが多く、これらはもともと人的資源制約がそれほど厳しくないプロジェクトであり、人的資源制約の厳しい設計等については、ネットワーク、プログラム・システム共に工夫を要することが明らかであった。

本論文では、資源制約、工期制約の非常に厳しいプラント計装の設計から工事までのプロジェクトに対し、ネットワーク、プログラム・システムの両面から、マン・スケジューリングを中心として適応化を行ったので

* 東京大学生産技術研究所 第3部

** " 元大学院生

その方法と適用について述べる。これらは実際に新しく建設される精製糖工場のプラント計装の設計から工事までについて行なったもので、類似のプロジェクトにも応用できることを目標としてまとめたものである。

ネットワーク技法, PERT そのものなどについてはすでに多くの発表があり、よく知られているので解説を省略する。

2. 計装プロジェクトとネットワーク

精製糖工場のプラント計装の設計から工事までを計装プロジェクトと称し、プロセス自動化のための計器、弁、シーケンス制御装置、パネル、デスク等について Fig. 1 に示すような作業の流れから成っている。

予定工期は約 1 年 6 ヶ月である。設計関係は全工数の 45% を占め、しかも日数的には長期間 (最大 4 ヶ月) にわたる調達作業の前に位置しているために、全体の日程への影響が最も大きい。

また、打合せ、基本設計には、高度の能力を持つ限られた固定メンバーしかあてられないので、作業内容の程度と設計者の個人能力差を十分考慮する必要がある。続く詳細設計はいくらか広い範囲から動員可能である。またシーケンス関係の設計者と計装工事関係の設計者も、内容が異なるので区別する必要がある。調達はバルブ、計器、板金等多数にのぼり、納期は千差万別である。製造はパネル、デスク、リレーボックスの組立て、配線で、配線が工数の 8 割を占め、これには動員可能な人数が空間的に制約される。検査は総合シーケンステストで、これも設計担当者が行なう。工事は配管・配線、バルブ計器の取付け等で、容易に動員可能であるが、建築、機械設備等を請負う他の工事会社との工程調整が、バーチャートで決められていて、勝手なスケジュールを組めない。

以上から、ネットワーク作成の主力な設計にむけられた。設計はパネル・デスク関係 (43 工程)、シーケンス関

係 (54 工程)、計装工事関係 (27 工程) に大きく分類され、前 2 者は製造へつながり、最後者は基礎工事へつながる。それらのネックとなっているものは、発注側との打合せ、および基本設計であった。これらは能力的に高度なものが要求され、動員不可能であるが、これに続く詳細設計で動員による短縮が可能であったので、打合せが、原糖、汙過、結晶缶、液糖、包装、ユーティリティ、警報と進んでゆくことと製造におけるパネル、デスク、リレーボックスの区分の調整から、7 つのブロックにわけ、Fig. 2 に示すような構造のネットワークを組むことにより、工期の短縮を実現した。A1 から E1 までの一つのサブネットワークが約 40 の作業から成っている。

また、工事においては、他社との工程調整から、精糖本館のフロア毎にわけて、15 のサブネットワークに並列化を行なった。これらサブネットワークの 1 例を Fig. 3 に示す。

サブネットワークに分解する前の基本的ネットワークでは、ノード数 102、作業数 893 (うちダミーは 281) に増加し、かわりに工期は半分近く短縮される予定工期をぎりぎり満たすものになった。

3. マン・スケジューリング可能な PERT 系プログラム・システム

このようなプロジェクトには単なる PERT/TIME では不十分であり、バーチャートによる工程調整、多職種で、職種毎に決められた制限人員を満たすデータを与えるものでなくてはならず、また工期を指定した場合に最低限必要な人数、制限人員と工期の関係を示す表も与えるものが望ましく、これらに山積みグラフやカレンダー表示、マイルストーンだけの表示、コスト表示を付加えたプログラム・システムを完成した。これはまた各作業の延べ工数から、制限人員を満たすような日数・人数の決定と、それを用いた日程計画を同時に決める機能を持っている。

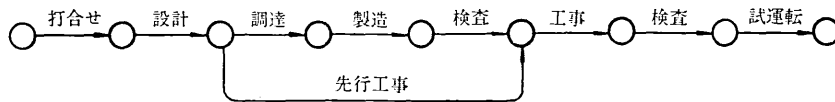


Fig. 1 計装プロジェクトの流れ

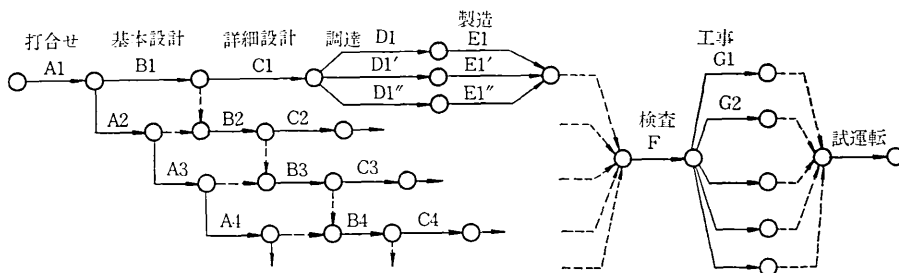


Fig. 2 ネットワークの基本構造

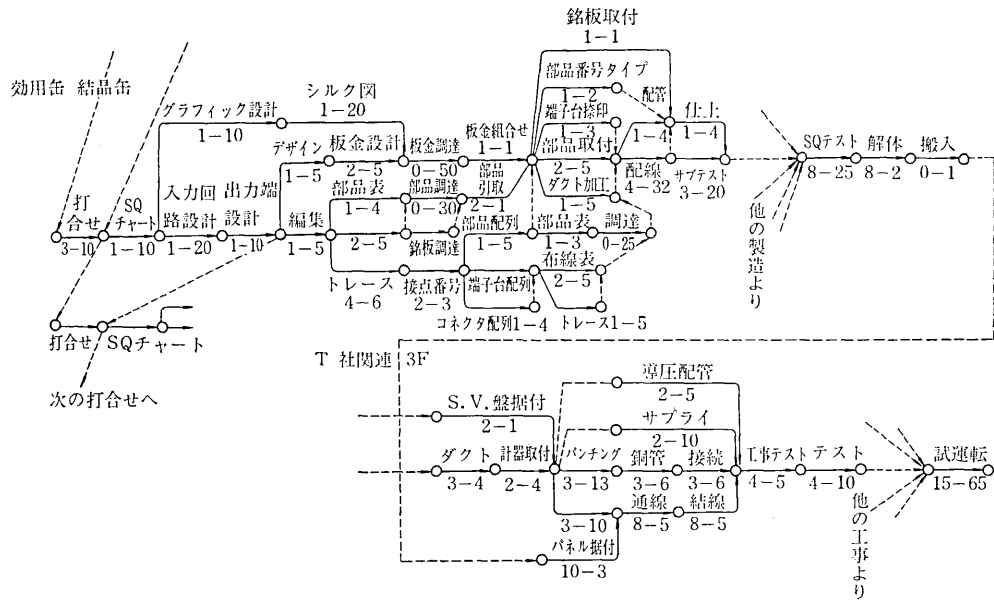


Fig. 3 サブネットワーク例

上述の如く、人数制限の厳しいプロジェクトなので、その制限を満たす計画しか実際には使用できず、人数を有効に配分することが、最も重要な目標であった。

まず基本となる PERT/TIME プログラムは、トポロジカル・オーダリングを用いず、ACTIVITY Table, NODE Table に読み込まれた入力 node 番号はその Table 番地で代表される。これはのちのマン・スケジューリング・プログラムにおいてランダム・アクセスの必要があるからである。この PERT/TIME 計算結果を用いて、次の見積り自動修正アルゴリズムにより、マン・スケジューリングを行なう。

1. PERT/TIME により各作業の最早開始日程 (EST), 最遅開始日程 (LST), 最遅終了日程 (LFT) を求める。
2. クロックを開始日にあわせる。
3. 先行作業の終了した、手順的に開始可能な作業のうち、 $EST \leq \text{クロック}$ なるものを待機リストへ、 $EST > \text{クロック}$ なるものを時間待ちリストへのせる。
4. 実行リストで終了日程 (FT) の最小なる作業 X を選ぶ。
5. 待機リストから優先順に、ただし LST が作業 X の FT より小さい範囲で、かつ制限人員を越えない範囲で実行リストへ移し、その作業の開始日程 $ST = \text{クロック}$ とし、X を再選。
6. a) 制限人員に達したら、10 へ。
b) 作業 X の FT にひっかかったら、また待機リストが空になったら、7 へ。

7. a) 実行リスト中に過去の時刻に追加動員を受けていない作業がなければ、8 へ。
b) もしあれば、その最優先の作業に 1 人追加動員し、FT, 日数を訂正する。
イ) 制限人員に達したら 10 へ。
ロ) 達しなければ 7 (b) へ。
8. 待機リストから優先順に制限人員を越えない範囲で実行リストへ移し、 $ST = \text{クロック}$ とする。
9. 制限人員に達しても、待機リストが空になっても 10 へ。
10. クロックを 1 つ進める。
11. 時間待ちリストで $EST = \text{クロック}$ なる作業があれば、待機リストへ移す。
12. 実行リストで $FT = \text{クロック}$ なる作業があれば、実行リストからはずす。
13. 3 へ戻る。

以上である。

すなわち、制限人員を設けて実行作業を制限し、またその際、人数に余裕のあるときは、その余裕人員を実行中の作業にふりあて、それらの作業の所要日数を短縮するというものであり、各作業の見積りを可変とし、延べ工数として扱うものである。

フローチャートを Fig. 4 に示す。ただし、待機リスト等の優先順は、LST の小なるもの、LST が等しければ日数の短いもの、さらに等しければ人数の小なるものをもって優先とした。追加動員は 1 作業 1 時刻に限定した。

ここに入力コントロールカードにより随意に、追加動

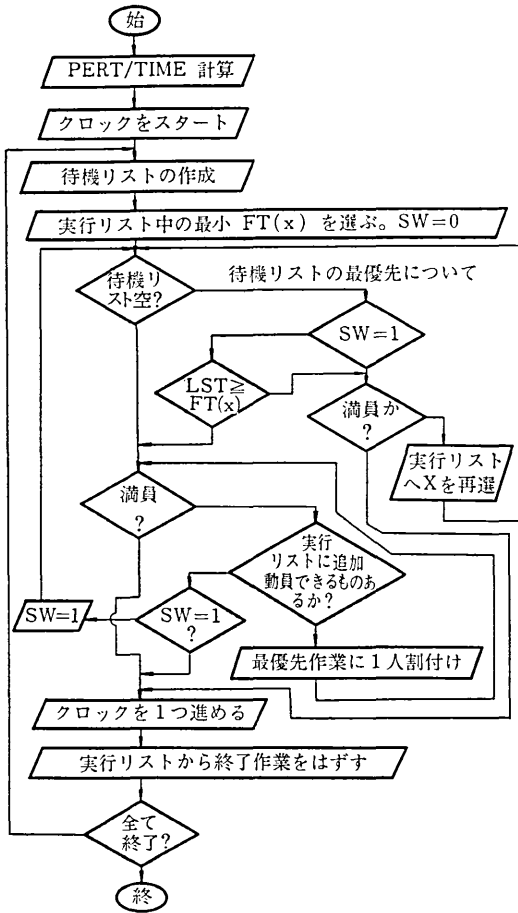


Fig. 4 見積り自動修正フローチャート

員をせず各作業の見積りを固定しての制限人数をみたと資源制約下計画を得ることもできる。この両機能を二段階に用いることにより、制限条件の厳しい場合にも各作業に、プロジェクト全体からみての最適な日数・人数を個別に定めて、かつ全体での制限も満足させるという難しさの一つの解決をえた。また、アルゴリズムの4~9を各職種毎に行なうことにより、容易に多職種の場合に拡張できる。しかしながら整数計算であるので、端数のロスができること、およびアルゴリズムの欠点(長いパスの先頭部で特に追加動員される。)をカバーするためには、ネットワークにおいて作業が十分に細分化、並列化されており、一作業の見積り人数が制限人数に対して、十分に小さいことが必要条件である、用いたネットワークにおいては、一作業の平均延べ工数は16.5人日であった。

さらに、工事におけるバーチャートによる日程調整の結果を、PERT/TIMEに取り入れること、マイルストーンノードを読み込んだの要約出力、入出力を暦日で行なうためのカレンダー機能、エラー検出機能をあわせもち、簡単なコスト管理も行なえるトータル・システムを構成した。その概略を Fig.5

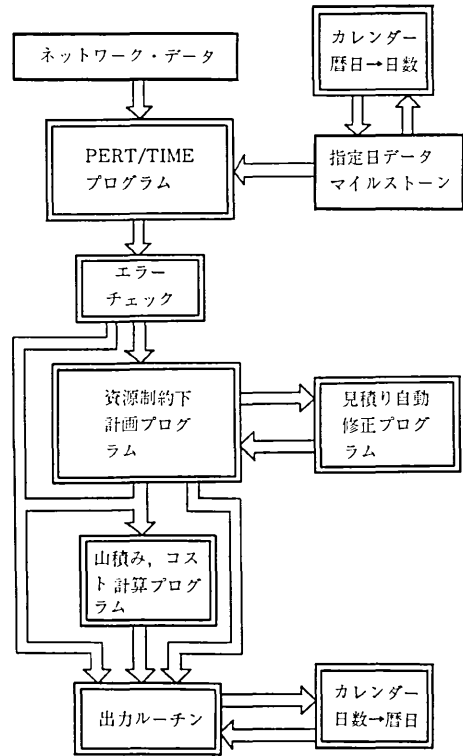


Fig. 5 トータル・システム概略図

に示す。

4. 実施経過

詳細なネットワークを完成し、実行計画を決定したのは、昭和48年6月であった。そのときの日程計画を Table 1 に、設計の制限人数を15人としての山積み計画を Fig.6 に、累積コスト予想曲線を Fig.7 にそれぞれ

Table 1 実行計画

	開始日程	終了日程	期間
設計(基本)	11 48. 6.13	73 48. 8.31	2カ月半
	(詳細) 13 48. 6.13	80 48. 9.10	3カ月
製造	77 48. 9. 5	207 49. 2.25	6カ月
SQ テスト	164 48.12.27	187 49. 1.31	1カ月
工事(J社)	131 48.11.15	236 49. 4. 1	4カ月半
	(T社) 154 48.12.14	284 49. 5.28	5カ月半
試運転	285 49. 5.29	349 49. 8.13	2カ月半
計	11 48. 6.13	349 49. 8.13	14カ月

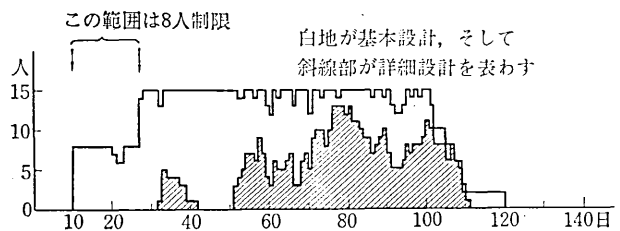


Fig. 6 15人制限での設計山積み計画

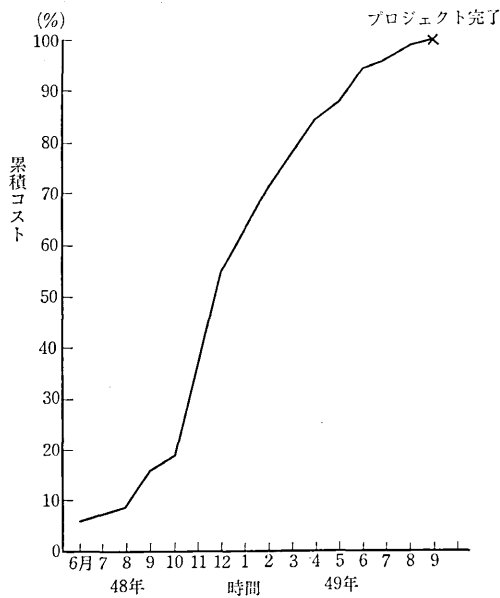


Fig. 7 プロジェクト費用予想曲線

れ示す。しかし設計の 15 人の動員が実現できず、プロジェクトの進行につれて、遅れが徐々に増してゆき、ついに外部から設計技術者を雇入れることと、残業とで遅れを回復した。

遅れのもう一つの原因としては、発注側との打合せが長びき、仕様の修正変更が多発したこともあげられる。実際の作業時間のうちで、ネットワークの作業の占めた割合が半分程度であったのも、これらの影響が大きい。

また製造についても、結局、外注に出すこととなっ

た。この工事については今なお実行中であり、この説明は次の機会にゆずる。

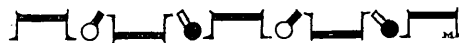
5. おわりに

特に設計におけるマン・スケジューリングの問題を、ネットワーク構造、プログラム・システムの両面から補完的に解決を試み、プロジェクトの規模、特徴にあったプログラム・システムを完成することができ、実際にも動員計画に対して細かく有効な助言を与えることができた。

最後に、本研究に絶大な御協力をいただいた計装プロジェクト関係の各位、とくに梅本氏ならびに山口研究室の諸氏に深謝します。
(1974 年 5 月 18 日受理)

参 考 文 献

- 1) 刀根, PERT 講座 I~IV, 東洋経済新報社, 1966.
- 2) J. Brennan, APPLICATIONS OF CRITICAL PATH TECHNIQUES, The English Universities Press Ltd., 1968.
- 3) P. J. Burman, PRECEDENCE NETWORKS for project planning and control, McGraw-Hill, 1972.
- 4) 沢井, 森, 山口, 精製糖工程の総合制御システム, 計測と制御, 6-2, 1967, 2.
- 5) 沢井, 森, 山口, 精製糖工程の総合制御システム, 生研報告, 19-5, 1969, 10.
- 6) 山口, 芥川, プロジェクト・マネジメントの計装への適用について, 計測自動制御学会学術講演会論文集, 3818, 1973, 8.
- 7) 芥川, 山口, マン・スケジューリングを含む計装プロジェクト管理, 電気学会全国大会論文集, 1119, 1974, 3.



正 誤 表 (6 月 号)

頁	段	行	種 別	正	誤
227			表 1, 1 の U_0	4.9	4.8
"			" , 3 の U_0	9.7	8.7
"			" , 5 の U_0	18.8	18.3
228			図 8 の上の表の数値	9.7	19.5
229			図 10 の (1) 実験 No. 1	$Ar=1.52 \times 10^{-1}$	$Ar=1.52 \times 10^1$
231	左	上 15	本 文	deformation	deformtion
"	右	上 7	"	bottom	bottem
232	左	—	Fig. 3 の説明	acceleration	accelearction
"	右	—	Fig. 6 "	size	sive