

# ネットワーク分析の生産工程短期計画への応用

## 第 1 報

工藤市兵衛, 鈴木 達夫, 松広 尚臣

### Application of Network Analysis to Short Term Plan for Production Processes

#### Part 1

Ichibei KUDO, Tatsuo SUZUKI, Naoyoshi MATSUHIRO

本研究は生産工程が短期の工程実施計画において、VTR分析により、作業所要時間を分析し、ネットワーク分析することにより、

1. 工程の相互関係の把握
2. 合理的な工程短縮
3. 重点管理工程の把握による工期の確実化
4. 状況の変化に対する弾力的工程管理
5. マンパワースケジューリング

について実際の企業でのデータから検討したものである。

## 1 緒 言

企業の工程実施計画の目的は経済的な工程を決定し、生産現場の状況の変化に即応する管理を重ねながら、所定の品質の物を期間に完成することである。

分かりやすく言えば、「よい品」を「早く」そして、「安く」作るということである。「よい品」ということは品質の向上と均一化という2つの意味を持ち、「早く」作るということは生産の迅速化、すなわち、仕掛品の減少と納期の確実化で言うならば、日程の維持である。そして、「安く」作るということは物の節約、作業時間の短縮、稼働率の向上である。

企業の競争が激しくなるにつれて、「よい品」、「早く」、「安く」の3つの要素をいかに製品に充当させていくかが企業としての絶対の責務となってくる。

これらの3要素がそれぞれにからみ合って、互いの条件に制約を加えているが、特に納期上の問題はすべての基礎となり、価格の割高や品質の安定などを直ちにもたらしすもので、結果に及ぼす影響は他の2要素に比べて値するものと言える。

特に中小企業の多くが取っている多種少量生産の工程実施計画の方法について絞って見れば、上記の作業日程

計画は作業の標準化が行なわれていない中で、完成予定日又は納期に間に合うように作業が行なわれているだけで、途中の作業状態が把握できない状態である。このため、作業はすべて各作業者の好きなどおりに行なわれていたり、工程の途中で時間配分なども各作業者が考えてやってみたり、熟練者と未熟練者の差がはっきり出てしまったりする。このような状態では作業進捗状況が適確につかめられないし、ロスタイムの消化も上手に把握できない。

これらの欠点を補うには、各段階の停滞の発見によって、それを是正し、市場の要求、又は、目標とする期日までに作業を完了させるためには、仕事の流し方やレイアウト改善を行う一方、生産計画を確立して進捗の管理を十分行ない、遅れの防止をすることが必要となる。

最近の傾向としては、短納期であることが受注条件の特色となっている。多種少量生産工場では、仕様変更、飛入品、などの外部要因による遅延要素が多く、納期に振り回されやすいので平素から、これに対する臨機応変な処置が取られるような工程管理の充実した体制が必要である。

本研究は以上の観点から、1つの問題解決の一案として、VTR分析の応用による作業分析からネットワーク手法を用いることにより前後作業の関係、並列作業や

作業開始の時期などを総合的に検討し、全体の所要時間の短縮、重要工程の把握、有効的な作業人員の割付など、生産の管理システムの問題点の解明を研究しようとするもので、第1報として報告するものである。

## 2 問題提起

従来、多種多量受注生産においてはその管理手法として、ガントチャート<sup>(1)</sup>、ライン・オブ・バランス<sup>(2)</sup>、工程流れ図<sup>(3)</sup>、斜線式計画図表<sup>(4)</sup>、マイルストーン・チャート手法<sup>(5)</sup>等が用いられてきているが、その中でもガントチャートは最も広く利用されている。

しかし、ガントチャートは、

1. グラフで表現されたそれぞれの作業の間に存在する相互関係を把握するには不十分である。
2. 日程管理上の重点をどの作業に置くかといった判断がむずかしい。
3. 時間見積りの不確実性とか、余裕を表わすのに役に立たない。
4. 計画段階での案の練り直し、実施段階は入ってからの状況の変化に対する弾力性に欠ける。

などの欠点を持ち、他の手法においても上記のいずれかの欠点を持っている。

今日では複雑な計画・管理が要求され、さらに機能プラス Cost、あるいは有効な人員、資機材の配分まで期待されるので、ネットワーク分析はその点では作業の順序関係を簡単に分析し、表現し、作業の手順をより合理的にしたい時に極めて有効な働きをする。

ネットワーク分析の現場における活用としては一般的に余力調整、工期短縮などの計画面と作業の優先順位や作業編成等の作業改善があげられるが、製造期間が短期の工程計画において、

1. 工程の相互関係の把握
2. 合理的な工期短縮
3. 重点管理工程の把握による工期の確実化
4. 状況の変化に対する弾力的工程管理
5. マンパワースケジューリング<sup>(6)</sup>

について、ネットワーク分析を応用して見ることにする。

註1. ガント・チャート (Gantt Chart) は、ガント (Henry・L・Gantt) によって、1917年に考案されたものである。ガント・チャートは時間の間隔と水平の棒線とを用いて作業成績の全部、又は一部を時間との関係において、測定するところの図表体系である。この手法には、①ガント式割当図表②ガント式負担図表③ガント式進度図表の3種の方法がある。

註2. 工程能力の不均衡を是正して、すべての工程に無駄のない最も経済的なラインを編成することが大切なことである。つまり、完全なシステムとして、それぞれの納期に製品を完了するのに必要な日程上の重要な節点としての生産計画とコントロールのシステム。

註3. 複雑な工程を解明したり、新しいアイデアや企画の手順を明示することを目的とし、各作業の順序関係を図示する点が特徴。

註4. この手法は手配番数を応用した計画表であり、横軸に休日を除いた実働日数、縦軸に基準日程による手配番数を取る。

註5. この手法は横軸に時間を取り、縦軸にプロジェクト要素を取った図表上に左から右へ対角線上に時間の流れに従って、重要な節点がリストしてある。

註6. マンパワースケジューリングは、全工程において、作業人員の適性配置をクリティカルパスとフローートの考え方をいれて行なおうとするものである。

## 3 研究設定手順

実際の工場において、キュービクルを生産しているラインを調査分析することにした。キュービクルラインは取付工程と組立工程とに分けて分析を行なった。分析にはVTR分析法を利用し、テレビ画面にビデオタイマー(日・時・分・秒)を表示し、作業開始から作業終了までをVTR装置に録画させる一方、作業順序、作業要素の概要を把握し、調査・記録したデータは以下の手順にて分析を行なった、

1. データシートを作成するための作業要素の把握。
2. 作業の前後関係・相互関係を明らかにする。
3. 各作業の所要時間を出す。(表1)  
VTR装置に録画したテープを分析し、テレビ画面上のビデオタイマーから、作業所要時間値を算出する。
4. ネットワークを作成する。  
先行作業と後続作業を用いて、ネットワークを作成した。
5. 代表時間値の決定。<sup>(7)</sup>  
三点見積法を用い、各作業の時間値を決定した。
6. アクティビティ表にまとめる。<sup>(8)</sup>(表2)  
最早開始時刻・最早終了時刻最遅開始時刻・最遅終了時刻・全余裕・自由余裕を求める。
7. クリティカル・パスを見つけ出す。  
全余裕=0なる作業を見つけ出すことによりクリティカル・パスを見つけ出す。
8. 山くずしによる人員配置を行う。

表 1 作業所要時間

結合点 (i j)	作業名	所要時間			
		a	m	b	t
(100 101)	ベース設置	2.4	4.65	8.0	4.83
(100 102)	柱, 天井梁等運搬	6.1	8.2	8.9	7.93
(100 105)	扉枠運搬	3.6	4.8	5.7	4.75
(100 114)	気中負荷開閉器等運搬	2.7	3.85	7.0	4.18
(100 115)	小物調達	0.7	1.4	2.5	1.47
(100 119)	LBS 取付台調達	0.4	0.8	1.0	0.77
(100 120)	共用チャンネル調達	0.6	2.05	3.4	2.03
(100 135)	MOF 部品調達	0.4	0.95	1.7	0.98
(101 103)	柱取付用ボルト配置	1.2	1.35	1.6	1.37
(102 103)	柱配置	0.5	0.9	1.3	0.90
(102 108)	ドアストッパー組立	1.7	2.2	2.8	2.22
(102 111)	天井補助板C穴あけ	1.9	3.3	4.3	3.23
(103 104)	柱取付	4.6	6.35	7.5	6.25
(104 107)	扉枠取付用ボルト配置	0.8	1.05	1.5	1.08
(104 108)	ドアストッパー取付用ボルト配置	0.9	1.15	1.6	1.18
(105 106)	扉枠取付	1.3	1.65	2.3	1.70
(107 109)	扉枠ボルト組込	2.9	3.65	5.0	3.75
(108 109)	ドアストッパー取付	3.3	4.85	6.8	4.92
(109 110)	天井梁A・B取付	5.5	7.1	10.3	7.37
(110 112)	前部天井補助板, 天井横梁取付	8.1	9.7	13.9	10.13
(111 112)	後部天井補助板, 天井横梁取付	5.7	8.65	13.3	8.93
(112 113)	天井梁取付	1.8	2.5	3.7	2.58
(113 117)	柱D取付	2.3	3.2	4.3	3.27
(114 129)	気中負荷開閉器組立	8.5	9.85	12.2	10.02
(114 130)	蛍光灯組立	1.4	2.5	4.3	2.62
(115 116)	高圧接地継電器組立	5.2	9.25	10.6	8.8
(116 118)	小物ボルト付	1.8	2.75	4.1	2.82
(117 121)	トランス取付用床穴あけ	18.9	24.9	32.3	25.13
(118 125)	小物取付	1.1	1.95	4.0	2.02
(119 124)	LBS 取付台穴あけ	4.1	5.9	6.8	5.75
(120 122)	共用チャンネルボルト付	4.1	6.15	7.1	5.97
(122 123)	共用チャンネル取付	5.3	7.25	8.7	7.17
(123 125)	パネル取付柱取付	2.4	3.1	5.1	3.32
(124 125)	LBS 取付台取付	3.1	4.1	5.7	4.20
(125 126)	ボルト締	16.3	19.35	24.1	19.63
(126 132)	トランス運搬	6.3	11.0	15.3	10.93
(127 136)	GR取付	0.7	0.9	1.3	0.93
(128 200)	ヒューズ・ジスコン棒取付	0.3	0.6	1.0	0.62
(129 133)	気中負荷開閉器取付	4.7	5.55	6.1	5.50
(130 200)	蛍光灯取付	1.3	2.05	2.7	2.03
(131 136)	ガイシ取付	2.9	3.85	4.6	3.82
(132 136)	トランス取付	5.9	8.75	17.0	9.65
(133 134)	コンデンサ取付	4.0	5.3	6.7	5.32
(134 200)	避雷器取付	5.2	5.6	5.8	5.57
(135 136)	MOF 組立	1.9	2.95	3.7	2.97
(136 200)	MOF 取付	3.8	4.75	6.8	4.93

表 2 作 業 日 程 表

結合点 (i, j)	作 業 名	所 要 時 間 t(DM)	最 早		最 遅		全余裕 TF	自 由 裕 度 FF	カ リ バ ス イ ス C P
			開 始 ES	終 了 EF	開 始 LS	終 了 LF			
(100 101)	ベース設置	4.8	0.0	4.8	2.7	7.5	2.7	0	
(100 102)	柱, 天井梁等運搬	8.0	0.0	8.0	0.0	8.0	0	0	※
(100 105)	扉枠運搬	4.8	0.0	4.8	10.4	65.2	10.4	10.4	
(100 114)	気中負荷開閉器等運搬	4.2	0.0	4.2	62.9	67.1	62.9	0	
(100 115)	小物調達	1.7	0.0	1.7	65.4	67.1	15.4	2.5	
(100 119)	LBS取付台調達	0.8	0.0	0.8	70.7	71.5	62.1	0	
(100 120)	共同チャンネル調達	2.0	0.0	2.0	62.1	64.1	63.5	0	
(100 135)	MOF部品調達	0.9	0.0	0.9	118.2	119.1	118.2	0	
(101 102)	ダミー	0.0	4.8	4.8	8.0	8.0	3.2	3.2	
(101 103)	柱取付用ボルト配置	1.4	4.8	6.2	7.5	8.9	2.7	2.7	
(102 103)	柱配置	0.9	8.0	8.9	8.0	8.9	0	0	※
(102 108)	ドアストッパー組立	2.2	8.0	10.2	14.7	16.9	6.7	6.7	
(102 111)	天井補助板(穴あけ)	3.2	8.0	11.2	27.2	30.4	19.2	18.0	
(103 104)	柱取付	6.3	8.9	15.2	8.9	15.2	0	0	※
(104 105)	ダミー	0.0	15.2	15.2	15.2	15.2	0	0	
(104 107)	扉枠取付用ボルト配置	1.1	15.2	16.3	16.9	18.0	1.7	0.6	
(104 108)	ストッパー取付用ボルト配置	1.2	15.2	16.4	15.7	16.9	0.5	0.5	※
(105 106)	扉枠取付	1.7	15.2	16.9	15.2	16.9	0	0	※
(106 107)	ダミー	0.0	16.9	16.9	18.0	18.0	1.1	0	
(106 108)	ダミー	0.0	16.9	16.9	19.6	16.9	0	0	※
(107 109)	扉枠ボルト組込	3.8	16.9	20.7	18.0	21.8	1.1	1.1	
(108 109)	ドアストッパー取付	4.9	16.9	21.8	16.9	21.8	0	0	※
(109 110)	天井梁A・B取付	7.4	21.8	29.2	21.8	29.2	0	0	※
(110 111)	ダミー	0.0	29.2	29.2	30.4	30.4	1.2	0	
(110 112)	前部天井補助板天井横梁取付	10.1	29.2	39.3	29.2	39.3	0	0	※
(111 112)	後部天井補助板天井横梁取付	8.9	29.2	38.1	30.4	39.3	1.2	1.2	
(112 113)	天井梁取付	2.6	39.3	41.9	39.3	41.9	0	0	※
(113 117)	柱D取付	3.2	41.9	45.1	41.9	45.1	0	0	※

最早開始時刻による山積みを行い, 次に余裕時間を考慮しながら, 山をできるだけ滑らかにし, 平準化することにより, 人員の整理を行う。

#### 9. 実施計画にまとめる。

以上の手順により, 生産工程短期計画にネットワーク分析が応用できるかを検討する。

註7. 三点見積法とはネットワーク手法で1つのアクティビティに対して, 3つの見積り時間を推定し, これから確率的に期待値を算出する方式をいう。この3つの値は楽観値 a, 最可能値 m, 非観値 b である。楽観値とは万事がうまく運んだ場合のアクティビティを完成させるための最小時間であり, 最可能値とはアクティビティを完成させるために普通にかかる時間であり, 非観値とはアクティビティを完成させるために必要な最大時間である。以上の3つの

見積り時間から, 統計的に1つの見積り時間を算出する。この見積り値は平均時間値であり, この時間値により, アクティビティを完成できる可能性は50%である。この期待値を  $T_e$  で表わし,  $T_e = (a + 4m + b) / 6$  で示す。

註8. 表1の作業所要時間及び表2の作業日程表は一部分の表であり, 実際は結合点261までである。図1~4も一部分の図である。

#### 4 結果及び考察

(1) アローダイヤグラム(図1)から見た検討。

キュービクル作業における問題点を上げると以下の点を指摘できる。

イ. 作業順序が各作業員ごとに異なる。

ロ. 作業員が同じ場合でも1台1台生産することに作

業順序が異なる場合がある。

- ハ. 未熟練者は作業の順序, 相互関係が理解できなくて, 熟練者の指導を受けなければ作業をスムーズに行うことができない。
- ニ. 受注生産形態であるから, 製品が多少異なることもある。
- 以上のような状態において, アローダイアグラムを作成し, 作業の順序, 相互関係を明確にすることにより, 次の効果がある。
- イ. 作業順序を各作業員に統一できる。  
このことは作業管理がしやすくなる。
- ロ. 作業順序を統一することによって, 進捗管理がしやすくなり, それによって, 資材管理の能率が上がる。
- ハ. 熟練者, 未熟練者の格差が是正できる。  
つまり, 作業順序を統一することによって, 未熟練者が熟練者を頼りにすることが緩和される。
- ニ. 受注において, 多少形態が異なった製品の受注を受けても, 戸惑うことなく, アローダイアグラムに挿入することによって, 直ちに作業の挿入場所がわかる。
- 以上の点から, 作業形態を改善するためには, このアローダイアグラムが効果的であることが理解できる。
- (2) 結合時刻と所要時間を示すアローダイアグラム図 2 から見た検討。
- この日程計算から, アローダイアグラムに表示された各作業の余裕, クリティカル・パスの作業明確になる。
- このクリティカル・パスが表示できることによって
- イ. 工期の最小期間が明示できる。この場合, 人員は考慮に入れなくて, 作業の順序, 相互関係によって, 工期を決定した場合である。
- ロ. クリティカル・パスによって, この製品を生産する場のネック作業が解ることによって, 工期を護るための重点管理ができる。
- ハ. 工期短縮のための対策が具体的に立てやすい。
- ニ. 日程の確実化によって, 受注を受けやすくなる。
- ホ. 各作業の余裕がわかることによって, 進捗管理がしやすくなる。
- などの利点がある。

(3) 山くずし (図 4) から見た検討。

すべての作業を最早開始時刻でスタートさせたものを基本として, クリティカル・パス上の所要時間内で各作業を移動させることによって, 必要人員を求めようとしたものである。その図表が (図 3) で, その結果が図 4 である。この結果から見ると, 現在工場で行

なわれていた 1 台当りの作業人員 2 人~7 人という状態が 4 人 5 人必要となってくる。しかしながら, これは前述したような作業時間と比較すると極端な短縮されているので, 現在の人員でこの生産作業を行なうとすれば, 9 時間程度でできることになる。以上の場合には工期制限内で行なったものであるが, この計画において, まだ手持ち人員の制限をオーバーすれば, そのオーバーする分をカットして作業を移動することにより, 工期は山積みのはねが延びることになる。しかし, 完成が許される範囲内の遅れであれば, その方が人員計画としては好ましい時もある。又, 逆に手持ち状態の作業人員を現在進行中の作業で応援を受け入れることが可能な作業 (クリティカル・パス作業) に回すことによって, 工期短縮が可能になる。

(4) 以上の分析結果から見た検討から, 問題提起の中の項目について考察する。

① 工程の相互関係の把握

前述したように, アローダイアグラムが工程の相互関係の把握することにおいては効果的であることが確かめられた。

又, このアローダイアグラムに新しい作業関係ができたときには, 担当者と話し合うことによって, より完璧なアローダイアグラムになってくる。これはアローダイアグラム作成の副産物であるが, アローダイアグラムを作成するときに作業員, 管理担当者等で話し合うことによって, コミュニケーションが持たれ, 会社における上下関係が円滑になる。

② 合理的な日程短縮

前述したように, クリティカル・パスによる工期と現在の工期とでは極端に短縮されている。前述した所要人数の面のほかに日程短縮を進めるための諸要素を具体的に述べる事ができる。

③ 重点管理の把握による工期の確実化

工期を護るためのネック工程が図示されることによって, 進捗管理を重点的に行なえば, 工期は確実に護ることができる。工期が確実になれば, 生産計画, 受注が行ないやすくなる。

④ 状況の変化に対する弾力的工程管理

新しい作業関係が出て来たり, 製品が多少となってもアローダイアグラムによって, 明確に作業関係を表わすことができる。又, 工期の間で一定の時刻に進捗チェックを行い, 後の作業計画をすばやく立て直しができる。

⑤ マンパワースケジューリング

山くずしの結果で述べたように, ただ単にクリティカル・パス作業時間内における人員の割付けを行っただけであるが, 実際にはコスト面, 工期・所要

人数の制限など、複雑な条件が重なり合っている中で、もっと深くこの問題は追求しなければならない。

## 5 結 言

以上、受注生産形態の短期生産で同型の製品を生産している特殊な生産形態であるが、ネットワーク手法を用いることによって、有効的改善ができる。

ネットワーク手法の有効性を確かめるために山くずしされた後の結果をガントチャートに図示して比較して見るとわかることである。

従来のガントチャートは1つの要素作業の変・変更で他の作業にどのように波及したか分かりにくいので訂正がしにくい。又、総所要時間見積りの精度が分からない欠点があると言われており、たとえば、

1. 作業もれの危険性
2. 作業計画が過去の経験や直感によって、立てられる傾向があり、本当に必要な作業順序になっていない危険性がある。
3. 何か問題が発生する以前にそれを解決してしまおうとする意図の欠如。
4. 作業順序を決定した背景が他の人にとって、明瞭化なく、計画立案者自身、それを忘れてしまうことがしばしばあるというような重大な過失を起しやすい。
5. ガントチャートにおいては、各作業の長さが一目瞭然であるが各作業間との連絡という質的なものが多少犠牲になっている。
6. 工期短縮を行うのにも具体的な答えがすぐに出て来ない。

など、実際にガントチャートに表わして見ることでより、ネットワーク手法の有効性が明確となる。しかしながら、ガントチャートを否定するのではなく、ネットワーク分析の手助けとして活用することがよりよい工程実施計画にすることができる。たとえば、組立て作業日程計画を作成する際、基準日程計画の一資料としてガントチャートを書き現し見やすくすることができるわけである。

そして、ネットワーク分析の利点は熟練者がやっていたことを第1線の作業員誰れもがやりくり方法を見つけ出すことができる点である。

今回の本研究は生産工程の作業内容とその実施計画が従来、大まかな形で示されていたものが系統的に示されたにすぎない。今後の研究課題としては人員・資材・資金に関連して、より明確な日程計画を表示し、組織的・統合的に検討し、全体の所要時間短縮まで考えていかなければならない。

## 参 考 文 献

1. 金高慶三著 ネットワークによる工程表の作成と管理の実務 建設経営社 1967年 p.91
2. R・L・エリス=B・N・ベイカー著 パート入門 技報堂 43年 p.74
3. 五百井清右衛門著 ネットワークプランニング 日刊工業新聞社 48年 p.72~73
4. W・ボリス著 プロダクション・コントロール 建帛者 45年 p.246

(昭和51年1月10日付受)



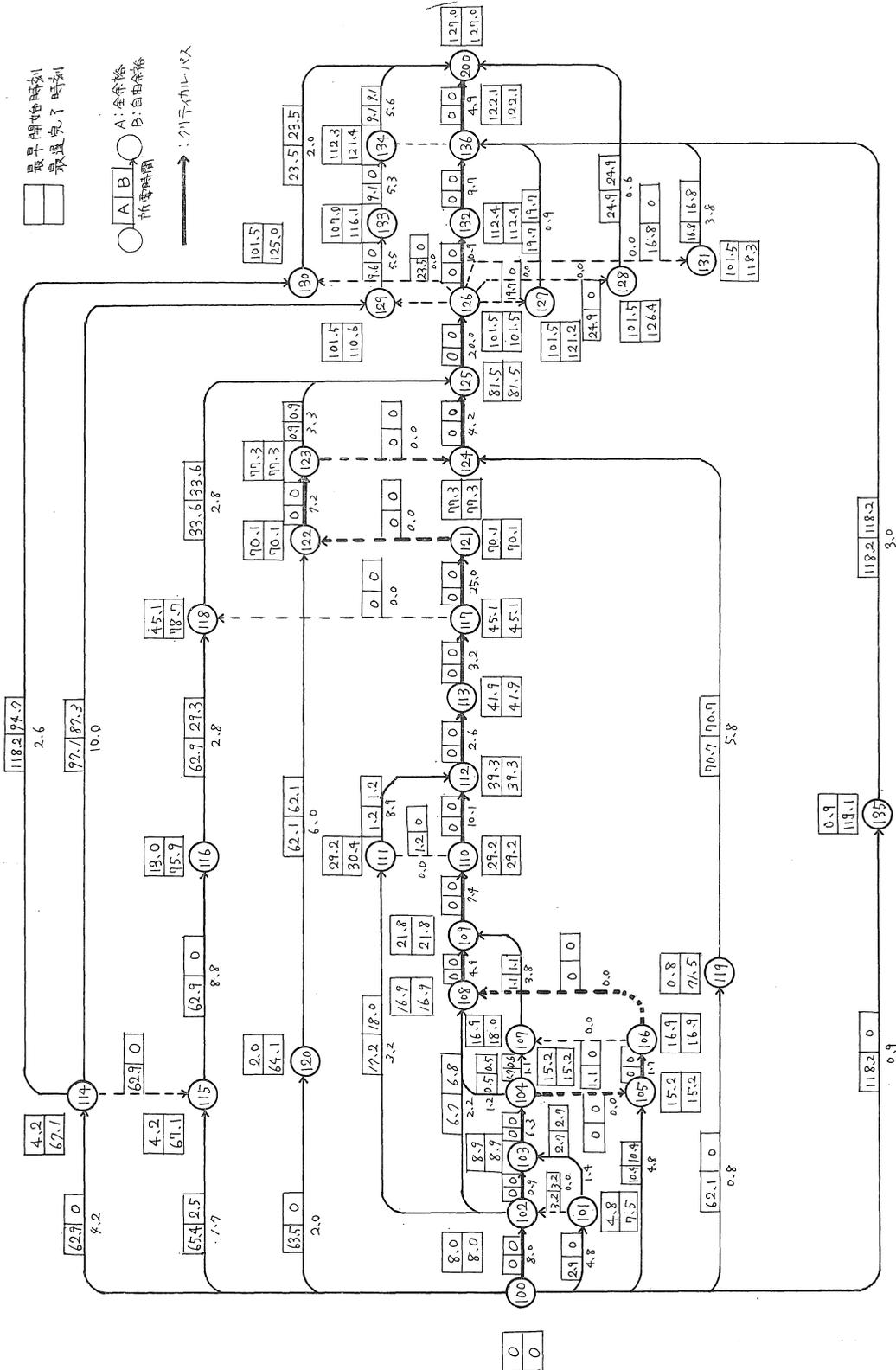


図2 結合点時刻と所要時間を示すアロウダイアグラム

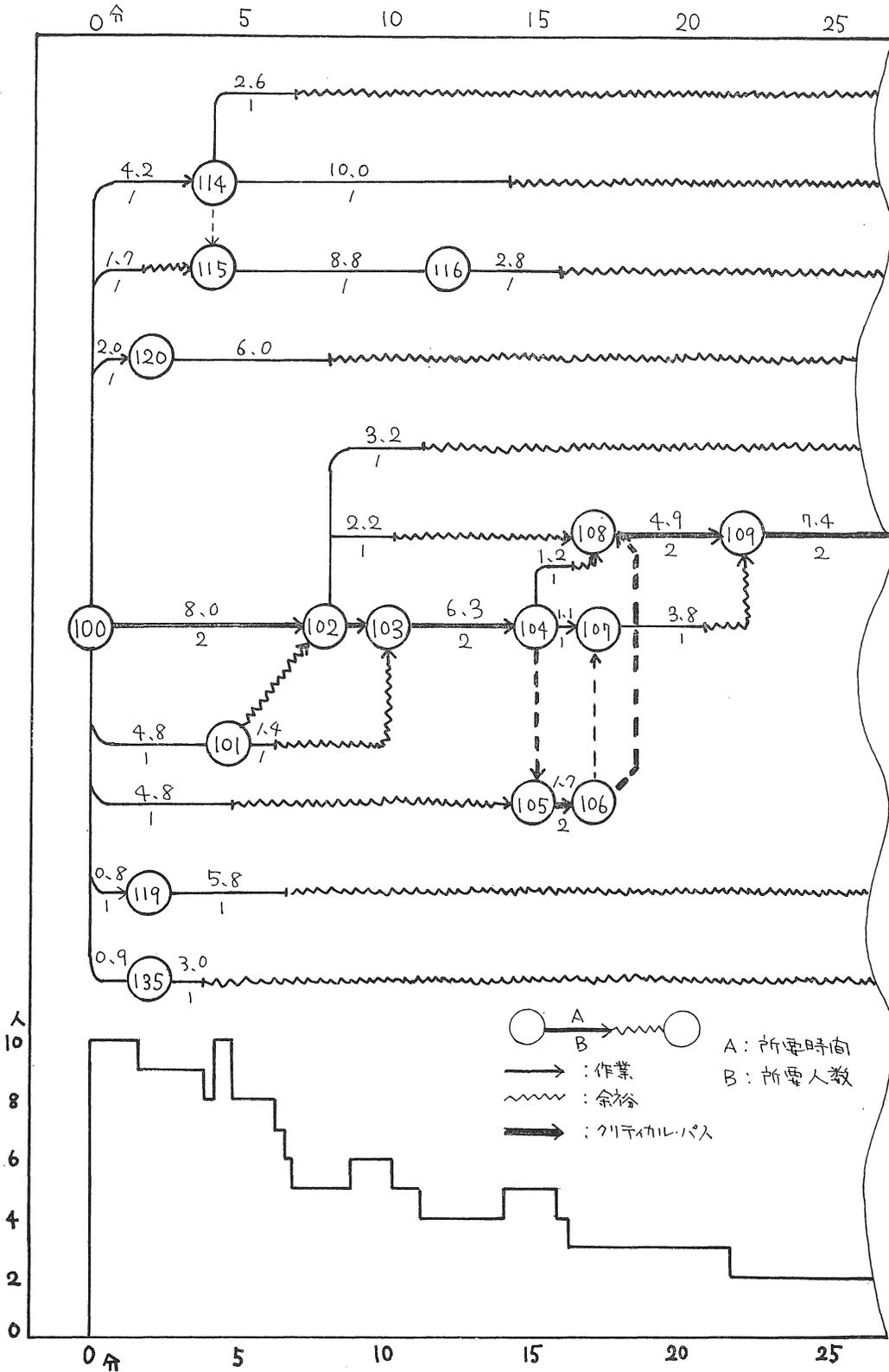


図3 作業最早開始時刻で始めた場合のネットワークと人員の山積表

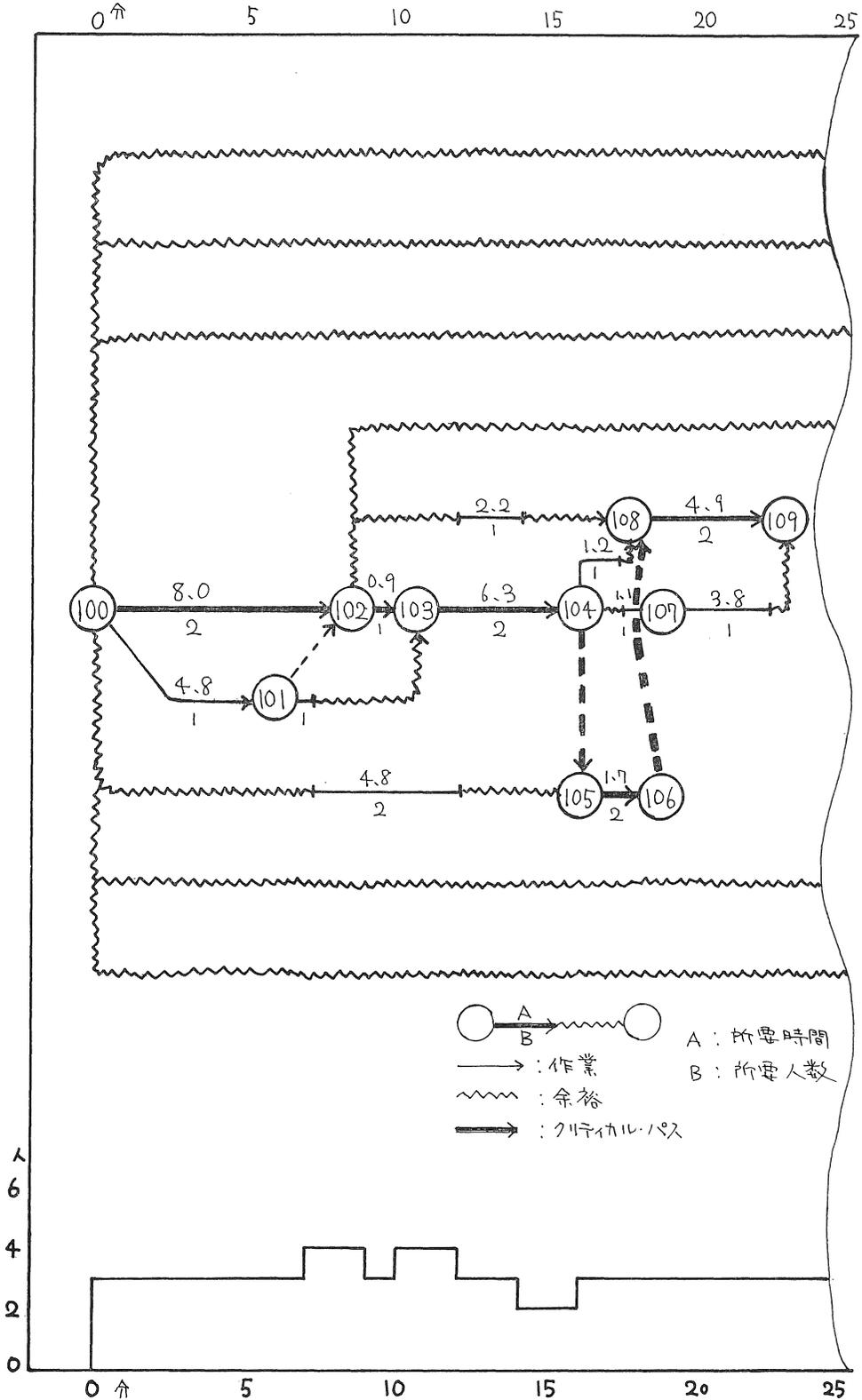


図4 山くずしを行った場合のネットワーク