運転保全 (電気関係 3 交替勤務) 要員 数の検討について*

会 員 山 田 豊**
米 田 稔

1. 要 旨

当工場電気課では作業内容をホール ソート カードによって分類集計し、PMおよび作業調査のための資料として活用しているが、この集計資料に通信工学における待合わせの理論を適用して、各部門の3交替勤務者(当工場ではシフト勤務といっている)の定員を決める理論的な裏付けと、各部門間の作業のバランスを調べてみた。

さらにモンテカルロ法によって、シミュレーションを行なってみたが、上記の理論値とよく似ており、したがって細かいことをいわずに理論値を用いても、さしつかえないことがわかった。

また、上記理論から地域的に分散して保全を行なうよりは、1カ所に集中して保全を行なう方が現場へのサービスがよくなり、また、サービスを一定とすればより少ない人員でたりることの理論的な裏付けを行なった。

なお、さらに電気課3部門のシフトを集中化した場合の欠勤者に対する予備人員を、何人ぐらいに置けばよいかということを検討し、実施にうつし、大幅の合理化を図り得たのでここに紹介する。

2. 結 論

(1) 紡績工場、レーヨン工場、付属設備の3部門にわかれていた電気関係3交替部門を一本化した場合、現在の30名(10名×3シフト)を理論的には21名(7名×3シフト)に節減しても、ほぼ同程度の製造部門に対するサービスが得られる。

(2) この場合のシフト予備人員は約3名(1名×3シフト)で適当といえる。したがって予備人員として3名を考慮しても、現在より6名の人員節減となる。

(3) 当工場電気課の場合、欠勤者の確率分布はきわめてポアソン分布に似ているので、予備人員の理論的適用が容易である。このことは紡績、レーヨン、付属の3部門に区分しても同様のことがいえる。(ただし、ここでいう欠勤者とは公休、休暇、代休などすべての休みを含めたものをいう)

3. 詳 細

3.1 理論的シフト要員数の検討

(a) 一般理論との対応

詳細な数式の説明は参考文献にゆずることとして、第1、2表のごとく通信呼理論(待合わせ理論)と作業調査や、作業内容の対応の仮定を成立させ、通信呼理論をそのまま適用する。

すなわち、1つの作業申込みが生じた場合、その申込作業がただちに処理されずに、とにかく待合わせなければならぬ確率を $M(0)$ とし $N \rightarrow \infty$ とすれば、ポアソン到着、指数分布サービス、窓口が S 個並列にある場合($M/M/S$ の場合)となり、時間(t)より長く待つ確率は次式で表わせる。²⁾

(第1表) 作業調査上の通信呼理論との対応

通 信 呼 の 理 論	記 号	作 業 調 査
単位時間における平均呼数	λ	単位時間に起こる平均作業件数
平均保留時間	$\bar{t}$	平均作業継続時間
出線の同時接続数	r	作業の同時申込数
入 線 数	N	作業申込場所数
出 線 数	n	シフト勤務者数
サービス率	μ	サービス率 $\left(= \frac{1}{\bar{t}} \right)$

* Determining the Number of Maintenance Persons in Driving Electrically in Three-shift system.

** Y. Yamada and M. Yoneda, Members. 東洋レーヨン(株)愛媛工場

(第2表) 作業内容上の通信呼理論との対応

通信呼の理論	作業内容
1. 呼は空いたおのおのの入線から純偶然的に生起する(いずれの時間を取っても、とくに呼の起りやすいまたは起りにくいような傾向はない)	1. 作業の申込は各作業申込場所から純偶然的に生起する(いずれの時間を取っても、とくに作業の起りやすいまたは起りにくいような傾向はない)
2. おのおのの呼はたがい独立である	2. おのおのの作業はたがい独立である
3. 呼の同時発生する確率はポアソン分布にしたがう	3. 作業の同時発生する確率はポアソン分布にしたがう
4. 生起した呼は出線が全部ふさがっていないければ、その中のどれかを必ずとらえて入線と出線とは接続される	4. 生起した作業はシフト勤務者が全部出払っていないければ、その中のどれかを必ずとらえて作業に向かわせる
5. 出線が全部ふさがっている場合は、入線を保留したまま待合わせる	5. 勤務者が全部出払っている場合には、作業の申込を保留したまま待たせる
6. 待合わせ中の呼は出線が空き次第生起した順番に接続される	6. 待合わせ中の申込は勤務者が帰り次第申込まれた順番に処理される
7. 呼の保留時間はポアソン分布にしたがうが、近似的に指数分布にしたがうと見てもさしつかえない	7. 作業の継続時間はポアソン分布にしたがうが、近似的に指数分布にしたがうと見てもさしつかえない

$$M(\gamma > t) = \frac{\frac{a^{n-1}}{(n-1)!} \left(\frac{a}{n-a} \right)}{\sum_{r=0}^{n-1} \frac{a^r}{r!} + \frac{a^{n-1}}{(n-1)!} \left(\frac{a}{n-a} \right)} e^{-(n-a)\mu t} \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式からわかるように $M(\gamma > t)$ は n, a, t が決定すれば計算することができる。

($a = \lambda/\mu$ .....traffic intensity)

n は人員の配置で決まり、 a は作業方法、設備、組織などによって異なるもので、ホール ソート カードによる実測のデータから決めることができる。

なお、大切なことはこの理論を通じての時間の単位は、平均作業継続時間 $\bar{t}$ に直して時間を選ぶことである。

(b) 3 部門分散の場合

紡績、レーヨン、付属の3部門に分散配置したときに対する結果は、第3表および第1図のごとくである。

図中の各曲線は作業量によって決まるもので、各部門シフト人員数によって、製造現場の要求する作業が待たされる確率を示すものである。

現状では経験的にみて、現場作業の待たされる確率 $M(0)$ は 1/100 程度でだいたい満足すべきものである。この場合の1シフト人員を3部門合計すると10名(10名×3シフト=30名)となる。

(第3表) 3 部門分散の場合の待ち確率

部署別		レーヨン工場部門	付属設備部門	紡績工場部門	(参 考)
項目別					
平均作業継続時間 $\bar{t}$ (min)		13.684	32.187	12.478	
平均作業件数 λ (件/min)		0.033	0.0203	0.017	
$a = \lambda \times \bar{t}$		0.451	0.653	0.211	1.000
$M(0)$ $t=0 \text{ min}$	$n=1$	0.451	0.653	0.211	1.000
	" 2	8.30×10^{-2}	1.60×10^{-1}	2.02×10^{-2}	0.333
	" 3	1.04×10^{-2}	3.05×10^{-2}	1.36×10^{-3}	9.26×10^{-2}
	" 4	1.24×10^{-3}	4.72×10^{-3}	6.16×10^{-4}	2.04×10^{-3}
	" 5	1.02×10^{-4}	5.93×10^{-4}	2.95×10^{-5}	3.83×10^{-3}
$M(t)$ $t=10 \text{ min}$	$n=1$	3.2×10^{-1}	5.8×10^{-1}	1.4×10^{-1}	1.000
	" 2	2.7×10^{-2}	1.0×10^{-1}	7.8×10^{-3}	1.6×10^{-1}
	" 3	1.6×10^{-3}	1.9×10^{-2}		2.2×10^{-2}
	" 4		1.7×10^{-3}		2.3×10^{-3}
	" 5				4.0×10^{-4}

(第4表) 3 部門統合の場合の待ち確率 (現状の仕事量で)

$\bar{t}=20.55 \text{ (min)}$		$\lambda=0.064 \text{ (件/min)}$			$a=1.315$	
	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	
$M(t) (t=0 \text{ min})$	1.77×10^{-1}	4.97×10^{-2}	1.19×10^{-2}	2.48×10^{-3}		4.45×10^{-4}

(第5表) 3部門統合の場合の待ち確率(仕事量の増大を見込む)

$\bar{t}=20.55 \text{ (min)}$	$\lambda=0.096 \text{ (件/min)}$			$a=1.973$	
	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$
$M(t) (t=0 \text{ min})$	4.32×10^{-1}	1.67×10^{-1}	5.69×10^{-2}	1.69×10^{-2}	4.46×10^{-3}

- (c) 3部門統合の場合
- 各部門を分散配置して保全を行なうよりは、1カ所に集中して保全を行なう方が現場へのサービスがよくなり、またサービスを一定とすればより少ない人員でたりる。
- (1) 組織改革や監視室、詰所の統合集中化という観点に立って、3部門を一本化したと考えた場合の結果を第4表に示す。
- (2) 3部門を統合した第4表より(すなわち統合前の作業量より)さらに仕事量が1.5倍になった場合を考えると、第5表のごとくなる。
- (3) 第5表の $M(0)$ をグラフに表わすと第2図のごとくである。
- (4) 第2図に示すごとく、3部門統合すれば現状と同程度のサービスもして、理論的には7名(7名×3シフト=21名)でよいことになるので、9名(3名×3シフト)の人員節減を図ることができる。

(第2図) 3部門のシフトを統合した場合に現場申込作業の待たされる確率

(第1図) 各部門のシフト人数に対する現場申込作業の待たされる確率

3.2 シフト予備人員の検討

- (a) 理論的な考え方
- シフト予備人員の考え方では、上記統合されたシフト人員に対する予備人員は、いかにして決めるかということであるが、

- いま S : 予備人員数
 k : 作業者の欠勤数
 C_1 : 予備員1名が1日手待ちとなる場合の損失
 C_2 : 作業者1名が欠勤して予備員を置かない場合の工程の損失
 $Q(s)$: 予備人員数によって決まる1日の総費用の期待値
 $P(k)$: 作業員 k 名が欠勤する確率
- とすると、ここに S 名の予備人員がいて、 k 名の欠勤、休暇があった場合の費用は、ある1日を考えるとなつぎの2つの中のいずれかとなる。
- $$\left. \begin{aligned} C_1(S-k) & \cdots \cdots k \leq S \text{ のとき} \\ C_2(k-S) & \cdots \cdots k > S \text{ のとき} \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (2)$$
- ところが k は日によって異なる数である。しかし k のいろいろな値が起こる確率、すなわち $P(k)$ については過去のデータの集積によって知ることができるので、
- (2) 式の k の特定の値にともなう費用は
- $$\left. \begin{aligned} P(k) \cdot (S-k) \cdot C_1 & \cdots \cdots k \leq S \text{ のとき} \\ P(k) \cdot (k-S) \cdot C_2 & \cdots \cdots k > S \text{ のとき} \end{aligned} \right\} \cdots (3)$$
- のいずれかである。

もし、 $k=S$ であれば期待費用は0に等しくなる。当然性のある最適人員とは、長い目で見たこれらの損失の

和の期待値が最小となる人員である。

総期待費用を求めるには、 k の可能な各値を伴う費用のすべてを加え合わさなければならない。したがって、 S 名の予備員がいる場合の総期待費用 $Q(S)$ は

$$Q(S) = C_1 \sum_{k=0}^S P(k) (S-k) + C_2 \sum_{k=S+1}^{\infty} P(k) (k-S) \quad \dots\dots\dots (4)$$

で表わされる。

(4) 式の $Q(S)$ を最小にする S の値が最適予備人員となるわけであるが、一般に差分法による関数 $Q(S)$ の極所的最小値は

$$\Delta Q(S) > 0, \quad \Delta Q(S-1) < 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

の 2 式を満足する S の値によって与えられる。ここに

$$\Delta Q(S) = Q(S-1) - Q(S) \quad \dots\dots\dots (6)$$

であり

$$\Delta Q(S-1) = Q(S) - Q(S-1) \quad \dots\dots\dots (7)$$

である。

(6) 式を (4) 式について求めると (8) 式が得られ、(7) 式を (4) 式について求めると (9) 式が得られる。

$$\sum_{k=0}^S P(k) > \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\sum_{k=0}^{S-1} P(k) < \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

したがって (8), (9) 式から (10) 式を得るが

$$\sum_{k=0}^{S-1} P(k) < \frac{C_2}{C_1 + C_2} < \sum_{k=0}^S P(k) \quad \dots\dots\dots (10)$$

この (10) 式を満足する S の値が $Q(k)$ の最小値を与える。

(b) 欠勤者数の生起確率

第 3 図のヒストグラムは、過去 1 年間の実働 307 日間にわたる資料を調査した結果である。

(1) たとえば第 3 図(a)についてみると、1 年間を通じて 1 名の欠勤者もない日は約 19 日間、1 名の欠勤者のある日が約 18 日間、これを 307 日間を 100 % として度数分布で表わしたのが、第 3 図(a)(b)(c)それぞれのヒストグラムである。

(2) 同図曲線は、上表平均欠勤者数 (m) を代入し

(第 6 表) 過去の欠勤状況

	課全体の 場 合	運 動 掛 全体の場合	レーヨン部 門の場合
実 働 日 数	307日	307日	307日
平均在籍人員 (l)	124.4名	46.1名	20名
平均欠勤率 (P)	5.29%	5.29%	4.86%
平均欠勤者数 (m)	6.58名	2.44名	0.97名

(第 3 図 a) 課全体の欠勤率分布 (実績)

(第 3 図 b) 運転掛全体の欠勤率分布 (実績)

(第 3 図 c) レーヨン部門の欠勤率分布実績

たポアソン分布すなわち、在籍 l 名で長期間にわたる平均の欠勤率が P である場合、 k 名が欠勤する確率は

$$\left. \begin{aligned} P(k) &= e^{-m} \frac{m^k}{k!} \\ m &= l \cdot P \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

なるポアソン分布曲線で課全体、運転掛全体、レーヨン

部門の場合ともにポアソン分布によく近似しているので、適用がきわめて便利ことがわかった。

(c) 最適予備人員の決定

一番問題になるのは最適予備人員決定のための資料 C_1 , C_2 を決めることである。 C_1 は工賃を使えばよいが、 C_2 の機械損失を正確に求めることはなかなか困難であるので、いまかりに欠勤者の補充を残業などの形でまかなうものとし、 C_2 を残業手当のみとし、工程の損失を考えに入れない場合は $C_1=1175$ 円

$$C_2=(1175\times1.25)\text{円} \quad \therefore \frac{C_2}{C_1+C_2}=0.56$$

したがって

$$\sum_{k=0}^{S-1} P(k) < 0.56 < \sum_{k=0}^S P(k) \dots\dots\dots (12)$$

を満足する S を求めればよいわけであるが、当課 $P(k)$ が、きわめてポアソン分布に近似しているから、平均欠勤者数を代入したポアソン分布表をそのまま利用して、これを第7表の運転掛全体 ($m=2.44$) の欄から求めると、 $S=3$ 人となる。

(第7表) 予備人員の計算およびその決定
Poisson の分布線

	課全体 ($m=6.58$)		運転掛全体 ($m=2.44$)		レーヨン部門 ($m=0.97$)	
k	$P(k)$	$\Sigma P(k)$	$P(k)$	$\Sigma P(k)$	$P(k)$	$\Sigma P(k)$
0	0.0014	0.0014	0.0821	0.0821	0.3679	0.3679
1	0.0090	0.0104	0.2052	0.2873	0.3679	0.7358
2	0.0296	0.0400	0.2565	0.5438	0.1839	0.9197
3	0.0652	0.1052	0.2138	0.7576	0.0613	0.9813
4	0.1076	0.2128	0.1336	0.8912	0.0153	0.9963
5	0.1420	0.3548	0.0668	0.9580	0.0031	9.9994
6	0.1562	0.5110	0.0276	0.9858	0.0005	0.9999
7	0.1472	0.6582	0.0099	0.9957	0.0001	1.0000
8	0.1215	0.7797	0.0031	0.9988	0.0000	
9	0.0891	0.8688	0.0009	0.9997		
10	0.0588	0.9276	0.0002	0.9999		
11	0.0353	0.9629	0.0000			
12	0.0194	0.9823				
13	0.0099	0.9922				

4. 実施結果

(1) 前述の理論値にもとづき、昭和38年1月から3

部門の統合を行ない、7名×3シフトで実施にうつした。

同時にその予備人員については、受電所をシフトの待期場所として、受電所運転監視要員(3名×3シフト)の予備員との融通を図らせることとしたので、実際は予備人員としては見込まず、3名×3シフトの削減のまま支障なく行なっている。

(2) 部門の各工場での待期監視を廃止するため、受電所の中央監視センタ室において、紡績工場、レーヨン工場、付属設備の各主要電気設備を、中央遠方監視制御する方式を採用した。これに要した設備費は下記のごとくで、採算検討はMAPPI計算で投資額目安170万円/人以下で、回収年月を10年以下とした。

(第8表) 中央遠方監視制御に要した費用
(単位：千円)

項 目	機器費	配線材料費	工事費	計
紡績工場の 中央監視に要した費用	700	1100	360	2160
レーヨン工場の 中央監視に要した費用	1900	2260	1090	5250
付属設備の 中央監視に要した費用	600	1000	380	1980
計	3200	4390	1830	9390

(3) 6カ月間試行後、再度前記の待合わせ理論を用いた“OR的手法”および、実際の作業チェックの“IE的手法”により再検討したが、だ当な人員であったといえる。

(4) なお、最繁時がほとんど日勤者勤務時間中であるので、日勤の機動班を設置することを検討することにより、3交替勤務者のさらに削減も可能である。

参考文献

1) 近藤次郎：経営と管理のための数学入門，日科技連

2) 森村英典，大前義次：待ち行列の理論と実際，日科技連，P31，88，234

3) 水野幸男：ORによる在庫管理入門，日科技連，P116