ランダムに事故の生ずる自動機械群への適正工員配置

その 5. 紡績工場における二、三の実例*

千 住 鎮 雄**

The Optimum Assignment of Repairmen in Serving
Automatic Machines

Part 5. Some Examples in Spinning Mills

by Shizuo SENJU

The distributions of continuous running time of machines and repairing time of each breakdown of machines in spinning mills are examined.

Actual availabilities of various kinds of machines in spinning mills are compared with their theoretical values derived before, and when there are great differences between them, the reasons are discussed.

1. 緒 言

紡績工場で使われている多種類の自動機械の中で、不規則な停台のあまり生じないものはその生産量が容易に計算できるので問題ないが、精梳綿機、練篠機および織機は 1 人の工員が多数の機械を受持ち、かつ、それらの機械は糸切れ、スライバー切れ、その他の原因でひん繁にとまるので、従来考察して来た機械干渉のために生産量が著しく低下する。したがってこれらの機械群に対する工員の適正な配置法、生産計画、生産管理の方法を検討するためには、確率論的立場に立たなければならない。既報の理論結果をこれらの紡績機械に適用するためには、その推論の基礎となる仮定または前提を実情調査によって検討し、かつ、必要に応じて紡績工場特有の条件に適するごとく修正しなければならない。本報においては精梳綿機、練篠機、織機に関する実情調査を行い、理論の基礎となる仮定の妥当性を確かめ、理論値と実情とが相違する場合にはその理由を考察した。

2. 精梳綿機、練篠機、織機の実情調査

ランダムに事故の生ずる自動機械の平均実動率を求めるには、完全な状態に整備されて運転を開始した自動機械が、初めて事故のために運転を中止するに至るまでの連続運転時間 X の分布と、事故を修理するに要する実修理時間 Y の分布を知ることが必要である。精梳綿機、練篠機に関するおもな停止原因は、(1) 原料切れ、(2) 満管揚げ、(3) スライバー切れ、(4) 機

械保全(修理)であり、織機のおもな停止原因は、(1) 機掛、(2) 機械保全、(3) 経糸切れ、経糸ゆるみ、緯糸切れ、織りきずきずもどき、機械故障その他があげられる。特に、ランダムな事故の原因として、前者ではスライバー切れ、後者では経糸切れが、それぞれ大部分を占めている。以下、これら全部を含めた調査結果を示す。

(i) 連続運転時間 X の分布 練篠機および織機の連続運転時間 X の分布を第 1 図 (a), (b), (c) に示す。 X の分布はともに指数型とみなされるが、次にその理由を考えてみる。

短時間内に手軽にできる注油、掃除などは普通機械をとめずに行うので問題なく、また、規則的な間隔で繰返される長時間を要する分解修理等は確率論の対象とはならないので、別個に考察すべきであろう。また材料の補給に関しては、練篠機では機械をとめず全く連続的な運転ができるし、織機でも一定の織上げについて規則的に繰返され、かつ回数も所要時間もわずかなので機械干渉の問題とはならず、満管揚げのための停止も回数が少く所要時間も短いので別にすることができる。したがって、練篠機および織機のランダムな停止原因はほとんどスライバー切れおよび糸切れである。すなわち、ある時刻 t に動いている機械が次の微少時間 Δt 内に糸切れによってとまる確率は、糸が常に高速度で移動し次々に新しい部分が現われるゆえ弱い糸の部分の現われる確率に等しく、したがって、その時刻 t までの連続運転時間の長短に無関係に常に $\lambda \Delta t$ で表わされる。ただし λ は単位実動時間内の平均事故数に等しく、事故定数と呼ばれている定数である。すなわち、連続運転時間 X の密度関数を $f(x)$ とすれば、時刻 t まで事故の生じない条件の下で次の微

* 昭和 32 年 10 月 14 日 創立 60 周年記念東京講演会において講演、原稿受付 昭和 32 年 12 月 2 日。

** 正員、慶応義塾大学工学部(東京都北多摩郡小金井町小金井794)。

第1図 紡績機械の連続運転時間 X の分布
() 内の n はデータの数を示す。

少時間 Δt 内に事故の生じる確率が、時刻 t と $t + \Delta t$ との間で事故の生じる確率に等しいゆえ

$$\left\{1 - \int_0^t f(x) dx\right\} \cdot \lambda \Delta t = f(t) \cdot \Delta t$$

ただし $\int_0^\infty f(x) dx = 1$

なる関係がある。したがってこれを解いて

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \dots\dots\dots (1)$$

が得られ、分布が指数型になることには十分の妥当性があることがわかる。練篠機、織機のみでなく、糸切れ、スライバー切れなどが停止原因となる多くの紡績機械において、その連続運転時間 X の分布がほとんどみな指数型となるのは、この理由によるものと思われる。

(ii) 修理時間の分布 精梳綿機、練篠機および織機について、事故の修理に要する実修理時間 Y の分布を第2図 (a), (b), (c) に示す。時間はいずれも修理に着手してから完了するまでの実修理時間とし、歩行時間および停止してから修理を受けるまでの待ち

時間を含まない。図からわかるように、実修理時間の分布は工員の熟練程度によって平均値および変動係数は異なるが、一般に次のごとき密度関数 $f(x)$:

$$f(x) = \frac{(\nu/m)^\nu}{\Gamma(\nu)} x^{\nu-1} e^{-\nu x/m} \quad (0 < x, m, \nu) \dots\dots (2)$$

を有するガンマ分布に従うことがわかる。特に $\nu=1$ の場合に指数分布となる。実際の工場においては、工員が停止機械まで歩く間は他の仕事はできないゆえ、機械の実動率を問題とする限りは歩行時間も修理時間の中に含ませて考えるべきであろう。このように歩行時間を修理時間に含めた場合の修理時間の分布を第2図 (d) に示す。やはりガンマ分布に従うとみなすことができる。

3. 練篠機管理への応用

ある紡績工場において、3人の工員A, B, Cが同一型式の練篠機をそれぞれ9台、9台、10台ずつ受持っていた。工員達は停止機械の修理の外に、(1) 材料

第2図 紡績機械の修理時間 Y の分布
() 内の n はデータの数を示す。

および半製品の運搬と段取り、(2) 簡単な掃除などの補助的な仕事もしなければならない。各工員はそれぞれ受持機械のみの仕事をして、互に手伝うことはせず、次々ととまる機械を追って修理するが、適当にその間で、上述の補助仕事を行う。このような条件下で調査した結果を第1表に示す。練條機の停止原因には既述のように幾つかの種類があり、それぞれによって、単位実動時間内の平均事故回数および平均修理時間が異なる。いま2台以上の機械が異なる原因により

とまっていた、工員がそのうちの1台を選ぶとき、修理時間の短い方を先に選べば機械干渉による損失が少なくて済むことは容易に想像されるが、その差は非常に小さいことがわかっている⁽¹⁾ので、ここでは停止原因について差別をつけない。

さて第1表をみるに、工員、A、Bに関して、機械実動率の理論値と観測値との差が非常に大きいことが目につく。その理由を考えてみるに、工員は上述のごとく、停止した機械の修理と補助仕事の両方をしなければならないが、もしその補助の仕事が、停止機械が1台もない手あきの時間内に行える程度の分量であれば、機械の実動率は就業因数と持台数とに対応する理論値よりも有意に低下するはずはなく、その低下理由は外に求めなければならない。

いま、原料および半製品の運搬と段取りに要する時間が、機械1台の単位実動時間に対して τ 時間の割合であるとし、機械の平均実動率を a_k' で表わせば、 k 台の機械が1時間に生産する量に対して必要な準備段取時間および修理時間はそれぞれ $ka_k'\tau$, $ka_k'\rho$ となる。一方、1時間以内の工員の実動時間は1時間を越えることはできないゆえ

$$ka_k'\tau + ka_k'\rho \leq 1$$

なる制限がある。すなわち実際の機械実動率 a_k' について整理すれば

$$a_k' \leq \frac{1}{k(\tau + \rho)} \quad \text{.....(3)}$$

なる制限を受けている。また、 k 台の機械を受持つ工員が補助仕事を問題にせず、停止機械を発見するや直ちにその修理を行う場合の理論実動率を a_k で表わせば、実際の実動率の平均値 a_k' は理論実動率を越えないはずであるから

$$a_k' \leq a_k \quad \text{.....(4)}$$

なる制限もを受けている。すなわち、 a_k' は二つの制限式(3)および(4)の小さい方によって制限を受ける。いまの場合については、工員Aに対しては $\tau=0.033$,

第1表 練條機の調査結果

	工 員 A	工 員 B	工 員 C
持 台 数 k	9	9	10
事 故 定 数 λ	0.002 18 回/秒	0.002 41 回/秒	0.003 06 回/秒
実 修 理 時 間 の 合 計 T	1 350 秒	1 790 秒	2 879 秒
修 理 回 数 N	117 回	127 回	184 回
実 修 理 時 間 $m=T/N$	11.5 秒/回	14.1 秒/回	15.6 秒/回
歩行時間を含んだ修理時間 m'	14.5 秒/回	17.1 秒/回	18.6 秒/回
就 業 因 数 $\rho=\lambda m'$	0.032	0.041	0.057
理 論 機 械 実 動 率 a_k	0.961	0.947	0.916
実 測 機 械 実 動 率 a_k'	0.842	0.729	0.864

$\rho=0.032$, $k=9$ なるゆえ, (3) 式から $a_k' \leq 1.71$ となるに対し, (4) 式からは $a_k' \leq 0.961$ となり, 工具 B に対しては $\tau=0.033$, $\rho=0.041$, $k=9$ なるゆえ, (3) 式から $a_k' \leq 1.50$ となるに対し, (4) 式からは $a_k' \leq 0.947$ となるゆえ, とともに第1の制限は全然きいておらず, 与えられた補助仕事は手待ちの間に十分行うことのできる分量であることがわかる。したがって実際の実動率が 0.842 または 0.729 と大幅に低下していることの原因は, 工具が停止機械の発見後もなおしばらく不急の補助仕事をつづけ, きりのよいところまで行ってからはじめて修理におもむく習慣による。したがってこの点をめいりょうに作業標準として徹底せしめることによって, 10%程度の生産増加は容易であると思われる。

4. 規則巡回における実動率の調査

第3図に示すような定まった巡路に従って巡回している工員が, 1人で25台の織機をもっている場合の機械実動率に関する調査結果を要約すると次のようになる。

- 1 巡回の平均所要時間: $C_N=7.2$ 分
 - 1 巡回中の延修理時間の平均値: $\alpha_N=5.2$ 分
 - 1 巡回中の平均修理回数=7.8 回
 - 1 回の平均修理時間: $r=0.67$ 分
 - 正味の歩行時間の平均値: $w=7.2$ 分- 5.2 分=2分
- さて, 1巡回中の延修理時間と1巡回に要した時間

第3図 織布工場の1巡回

4 iv

第4図 正味歩行時間を示すグラフ

との関係を示す第4図からわかるとおり, 正味の歩行時間は巡回中の修理回数にはほとんど無関係に一定であると考えられる。

次に, 前報(その4)における(9)式に代入すれば

$$1-e^{-\lambda C_N}=0.310$$

が得られるゆえ, 同じく第4図から上式を満足する λC_N は 0.37 であることがわかる。したがって

$$\text{糸切れ定数 } \lambda=0.37/C_N=0.51 \text{ 回/分} \cdots (5)$$

$$\text{就業因数 } \rho=\lambda r=0.0342 \cdots (6)$$

が直ちに得られる。すなわち理論実動率 a_N を求めれば

$$a_N=\frac{1-\rho}{\lambda C_N}(1-e^{-\lambda C_N})=0.81 \cdots (7)$$

となる。一方, 調査結果から別に機械の実動率 a_N' を求めれば 158.5 分間における待時間と修理時間の合計延 621 分を差引けば

$$a_N'=\frac{158.5 \times 25 - 621}{158.5 \times 25} = 0.84 \cdots (8)$$

となり, 実際の実動率は理論値の約3%だけ理論値よりも多い値を示している。第3図からわかるとおり, ここにいう1巡回とは実質的には2巡回に相当しているのでこの立場から計算してみると

$$C_N=3.6 \text{ 分}, \alpha_N=2.6 \text{ 分}, w=1 \text{ 分}, r=0.67 \text{ 分}$$

となり

$$1-e^{-\lambda C_N}=0.155$$

すなわち

$$\lambda C_N=0.17$$

したがって

$$\lambda=0.047, \rho=0.0316$$

が得られる。すなわち前報の第4図によって理論実動率を求めれば

$$a_N=\frac{1-\rho}{\lambda C_N}(1-e^{-\lambda C_N})=0.88 \cdots (9)$$

となり, 実際の調査結果とよく一致する。

5. 織布工場における実例

某織布工場において実際の歩行距離を調べた結果を次に記す。

1 工員の持台数は112台。35回のスナップ・サンプリングの結果によれば, 待合せ機械は平均 0.40 台。連続2時間の調査を2回行ったが, 四角内の数字は2時間内の各機械の停止回数。織機は2台ずつ背中合せにおいてあるため横の通路は2台間隔となっている。これをあらためて1行とみなすと, 第5図の場合, 縦が6列, 横が9行となるゆえ, 既報(その3)の(28)式および(29)式はそれぞれ次のようになる。

$$E(X)=\frac{l_1}{3}\left(6+\frac{2}{6}\right)=2.11 \times l_1$$

$$E(Y)=\frac{l_2}{3}\left(9-\frac{1}{9}\right)=2.96 \times l_2$$

一方, 実情調査の結果から1回当りの歩行距離の平均値を求めると, 第5図(a)の場合に

第 5 図 (a) 織布工場における実情調査

第 5 図 (b) 織布工場における実情調査

$$\bar{x}=1.83 \times l_1, \bar{y}=1.92 \times l_2$$

となり、第 5 図 (b) の場合に

$$\bar{x}=1.98 \times l_1, \bar{y}=2.05 \times l_2$$

となって、待合せ現象のために、完全にランダムな場

合よりも平均約 20% だけ歩行距離が減少している。したがって、1 回当りの平均歩行距離を概略、推定したい場合には、機械が長方形型に並んでいるとき、その周囲の長さの約 12~15% と見て大差ないことがわかる。

ただし、ここに得られた調査結果によれば、待合せ現象による歩行距離の低下は y 方向において特に著しいことがわかる。これは待合せ機械が 2 台以上あってその中の 1 台を工具が選ぶときに

(i) $l_1 < l_2$ であること

(ii) y 方向の通路が歩きにくいこと

などのために、工具は y 方向よりはむしろ x 方向の通路を好んで選ぶことから納得できる。

6. 結 び

本報における結論を要約すれば次のようになる。

(i) 精梳綿機、練篠機、織機に関しては、連続運転時間 X は指数分布、実修理時間 Y はガンマ分布に従うとみなすことができる。

(ii) 練篠機の実情調査の結果によれば、機械の実動率は理論値よりも非常に小さいが、これは附随作業の量が多過ぎるためではなくて、作業標準の不徹底が原因であることがわかった。

(iii) 工具が規則正しい巡路に従って、受持っている織機を巡回しているときの機械実動率を調査した結果、理論的に求めた値は実情ときわめてよく一致した。

(iv) 1 工具が 112 台の織機を受持つ場合の平均歩行距離を調査した結果、1 回当りの歩行距離は、機械が長方形に並んでいる場合に、その周囲の約 12~15% に相当する長さに等しいと見てさしつかえないことがわかった。

文 献

- (1) F.Benson and D.R. Cox, *J.Roy. Statist. Soc., B.* 13(1951), 65.

超硬工具協会事業計画決定

超硬工具協会では、このほど総会を開いて昭和33年度の事業計画をつぎのとおり決定した。

1. 需要の開拓 (1) 関連産業との提携強化による有効需要の喚起。(2) 研究会、講習会、展示会、見本市などの推進、ならびに協力。(3) 需要者に対する技術指導および共同研究による新需要面の開拓など。

2. 資材関係 (1) 主副資材とくにタングステン鉱石、コバルト、カーボンブラック、稀有金属など輸入物資の確保。(2) 国産タングステン鉱石の実情はあくならびに対策研究。(3) 海外市況の調査。(4) 資材の入手斡旋。

3. 技術関係 (1) 国際的新品種の国産化ならびに加工技術向上への研究。(2) 新需要面の技術的研究。(3) 外国規格、技術ならびに製品の調査。(4) JIS の制定ならびに検討。(5) 官公立試験研究機関との連絡強化。

4. その他 (1) 機械工業振興法の実施に対する協力、対策ならびに研究。(2) セラミック工具の研究、対策。(3) 固定資産耐用年数の短縮ならびに企業合理化促進法にもとづく指定機種拡大。(4) 設備の近代化ならびに生産性向上への協力。(5) 国有財産超硬工具払下げに関する対策。
(服部敏夫)