

ガラスるつぼの破損に對する統計的考察 (第2報)

— るつぼ壽命の管理に對する逐次解析の應用 —

宮 城 精 吉*

Statistical Consideration on the Damage of Glass-Pots

(Part 2) Application of the Sequential Analysis
on the Life-Control of Pots

By Seikichi Miyagi

Mobara Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

As it was shown in preceding report, the author assumed that the occurrence of damage of glass-pots, working in the glass-furnace, followed to Poisson's exponential law.

For the statistical quality control of daily damage of glass-pots, he used the sequential sampling inspection diagram, proposed by A. Wald and found it was suitable to the life-control of glass-pots in his factory.

[I] 緒 言

前報⁽¹⁾において筆者はガラス熔解用のるつぼ群の破損出現の分布はほぼ Poisson 分布に従うことを示し、るつぼの平均壽命、或いは平均破損數 ν の意義の大きいことを論じた。

ところが前報においては、 ν を常數のごとく取扱っているが、實際の現場においては必ずしも常數として扱えないのである。るつぼ材質の變動、操爐技術の力量、其他の因子により、るつぼ壽命の長短が招來せられ、管理限度を外れた破損の出現も起り得ることが考えられる。

前報に論じた如く、現場の採算上、 ν 意義は重大である故、現場の擔當者はるつぼの平均破損數 ν の變化に即應して適切なる對應手段を講じて行かねばならぬのである。

たとえば、破損率の増大に應じて常備の豫備るつぼの

* 日立製作所茂原工場

保有數を變更させると共に、るつぼ破損率の増大がるつぼ材質の低下に基因するか、或は、操爐作業者の過失、または技術低下に因るものか、遲滞なく検出する處置に出ねばならぬのである。

そうすると、前報に述べた如く、長期間のるつぼ平均破損率を集計して、これから ν を算出して比較すると言うような悠長な方法を探ることが許されない。最短日數の觀察によりるつぼの破損状況を把握して行くと言う方式を採用せねばならない。

本報においては初めに基準の常數たる平均破損數 ν_0 を假定してこれを單純假説とし毎日發生するるつぼの破損をこれと比較し檢定する手段を考えて見よう。これがために A. Wald によつて創始せられた逐次解析 (Sequential Analysis) の方法を利用することを試みた⁽²⁾。

[II] るつぼの壽命管理圖

Poisson 分布に従う特性の管理圖には、3シグマ法⁽³⁾で言えば、いわゆる C- 管理圖とか pn- 管理圖が用い

られるところがあるが、平均出現数が1日、0.3程度、見本の大きさと言ふべきるつぼの稼働總数が10本以下では、この種の管理圖は不適當である。その理由は言うまでもなく、平均出現数 ν と見本の大きさが小さいために檢定の精度が甚だしく劣るためである。

よつて管理圖の打點を1日毎に區切らず、連続した各日の打點の動向を見て管理の良否を判定しなければならぬと言ふ手法を採らざるを得なくなる。かゝる考慮の下に手近に利用し得るのはWaldの逐次解析檢査圖を管理圖に應用して、累積出現度數を打點して行く方法を採ることである。

Waldの逐次解析については、なお論議の餘地がある様であり、また、同時に稼働する n 個のるつぼの破損の問題を無限母集團より抽出した大きさ n の獨立見本と見做すことは理論的には、いささか杜撰のような氣もするが、現場の利用としては、これで充分間に合う様に思へたので實用して見た。

Waldの逐次解析については坂元平八氏⁽²⁾などによつて再三紹介せられている故、こゝに細述の必要はなからう。たゞ本問題に適合せしめるために多少の變改を行つたが、その要領は次のごとくである。

(1) るつぼの壽命の限界日數を2通り設ける。すなわち Z_1 (日)以上の長命ならば管理は良好とし平均壽命を更に長く見積ることとする。また Z_2 (日)以下の短命ならば管理不良と認定する。

(2) 2つの危険率 α および β を定める。

α は平均壽命 Z が $Z \geq Z_1$ であるに關わらず管理不良と判定せられる危険率(抜取檢査の生産者危険に相當する)

β は平均壽命 Z が $Z \leq Z_2$ であるに關わらず管理良好と判定せられる危険率(消費者危険に相當)

(3) 上述の Z_1, Z_2, α および β を豫め規定して後述の管理圖の限度線設定のための基礎數値とする。そして、これらの數値より次の諸量を計算する。

$$h_1 = \frac{\log(1-\alpha) - \log \beta}{\log\left(\frac{Z_1-1}{Z_2-1}\right)} \quad (1)$$

$$h_2 = \frac{\log(1-\beta) - \log \alpha}{\log\left(\frac{Z_1-1}{Z_2-1}\right)} \quad (2)$$

$$s = 1 - \frac{\log(Z_1/Z_2)}{\log\left(\frac{Z_1-1}{Z_2-1}\right)} \quad (3)$$

これは逐次抜取檢査における上限および下限不良率 p_1 および p_2 に對し

$$p_1 = \frac{1}{Z_1}, \quad p_2 = \frac{1}{Z_2} \quad (4)$$

としてWaldの原式に代入したに過ぎない。

(4) 熔解爐のるつぼ群のるつぼの使用數を m とし記録開始以後の経過日數を t とする。また t 日までの累積破損數を d とし、管理の上限 d_2 および下限 d_1 を次式で定める。

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= -h_1 + s(mt) \\ d_2 &= h_2 + s(mt) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(5) 経過日數 t 日までのるつぼ破損の累計を d とするとき

$d \leq d_1$ ならば管理は合格

$d \geq d_2$ ならば管理は不合格

と判定する。管理が合格と言ふことが何回も相續いて起るならば、前述の Z を更に長く見積り Z_1 および Z_2 を變更して別な限度線を引くのである。

また連続して $d_1 < d < d_2$ ならば Z_1 と Z_2 との壽命の限界内で管理せられていると見る。

(6) 記録方法は逐次檢査の場合と全く同様である。方眼紙上に(5)式に相當する2つの斜線を引き、累積破損數 d の打點が d_1 か d_2 の斜線の外へ逸脱するまで續けて行く。

以上は逐次抜取檢査の方式をそのまま流用したものであつて、るつぼ破損の問題にこれを適用することの理論的根據については検討の餘地もあるが、後述の如く日常管理に利用して大過ない様である。實例を以て説明しよう。

[III] 逐次檢査圖を利用した管理圖の實例

逐次檢査圖の檢査圖の一例は第1圖または第2圖に示

すぐとくである。検査圖には2本の平行な斜線を設け、斜線の上の外側を不合格圏、下の外側は合格圏、2本の斜線に挟まれた部分は検査續行域である。

るつぼの寿命の限度が $Z_1 \sim Z_2$ (日) である場合、2種類の危険率 α, β を適當に與えて、斜線を引くことが出来るが、我々の場合においては Z_2 が最も重視すべきである。すなわち、るつぼの寿命が Z_2 (日) 以下であつたならば遅滞なく之が検出せられねばならない。

然しながら Z_1 や α については、可成り幅のある數値の選び方が出来るであろう。そうすると斜線の内側の検査續行域は相當、幅を廣くして、相次ぐ打點がこの間に狂つて上側の斜線よりも外側に出さえしなければ管理は不良ではないと判定すると言う行き方もあろう。

前報の第2表に示したるつぼ破損の記録を、この考えの下に逐次解析圖に示して見よう。

[實例 1]

(1) るつぼの寿命の限度は次のごとく考える。

$$Z_1 = 50 \text{ 日}, Z_2 = 20 \text{ 日}$$

(2) 2種の危険率を $\alpha = \beta = 0.05$ と定めて見る。そうすると前記の(1)式および(2)式の關係から

$$h_1 = h_2$$

(3) この場合、熔解爐の中で同時使用したるつぼの數は10本である故、 $m = 10$

(4) よつて下限および上限の限度直線式は次のごとくになる。

$$h_1 = h_2 = 3.18 \text{ (本)}$$

$$s = 0.0328 \text{ (本/日)}$$

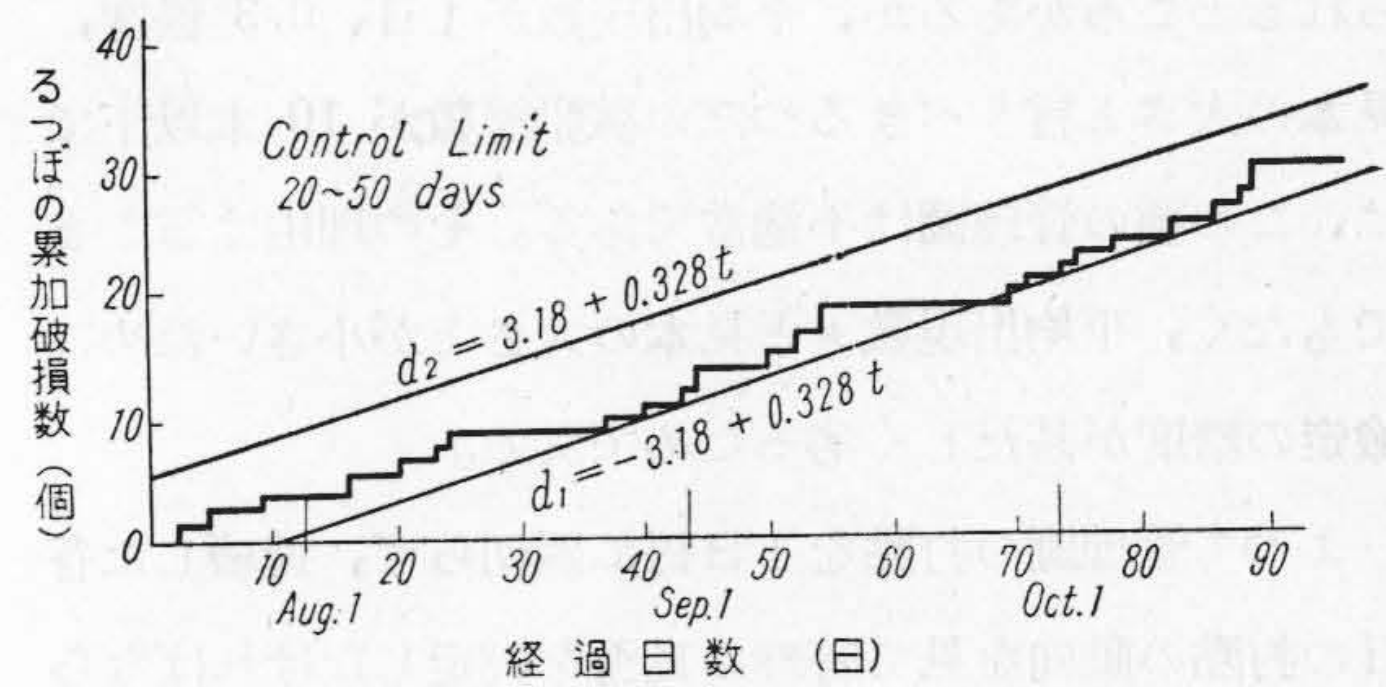
$$ms = 0.328 \text{ (本/日)}$$

よつて

$$d_1 = -3.18 + 0.328t \quad (6)$$

$$d_2 = 3.18 + 0.328t$$

(5) 上式をグラフ上に斜線として表わし、前報の第2表の、各日の破損の數字を順次打點して行けば第1圖のごとくなる。同圖は始發點から約3カ月間を打點したが、この期間中打點は殆ど全部、上下斜線の間に入つており、日々の寿命管理は20日~50日の間に管理されていることが判る。



第1圖 るつぼ破損の逐次記録圖 (管理良好状態)

Fig. 1 Sequential Recording Diagram of Damage of Glass-Pots. (Under Favorable Control)

[實例 2]

同様の管理圖を用い8本爐で管理がより良好ならざる場合の實例を示そう。この場合は爐の修理の直後で操爐の調整圓滑ならず、また外部より購入したるつぼの材質が當初は劣悪であつた。かゝる理由のためるつぼの平均寿命は短かく、限度線を逸脱しているのは第2圖に示すごとくである。

(1) 最初、限度線は前例と同様に $Z_1 = 50$ 日、 $Z_2 = 20$ 日として s を求め、また、るつぼの個數は $m = 8$ として限度線を算出した。前例と同様に

$\alpha = \beta = 0.05$ として次式の通りである。

$$d_1 = -3.18 + 0.263t \quad (7)$$

$$d_2 = 3.18 + 0.263t$$

この限度線は第2圖の2本の點線である。

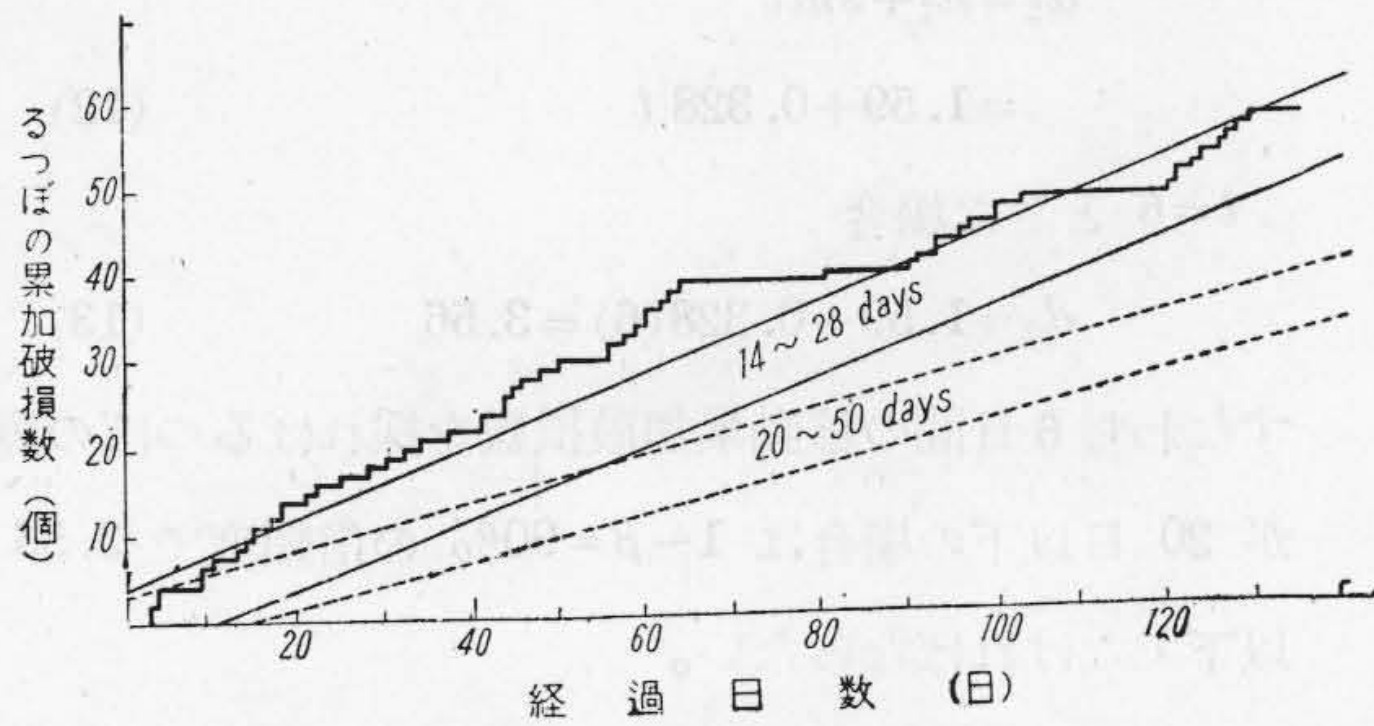
當初の破損は到底この限度線に入らず $Z_2 = 20$ 日の上部の限度線より外れて管理不良の状況を如實に示している。

(2) よつて、るつぼ寿命の限度を甘くして、2週間乃至4週間 ($Z_1 = 20$ 日、 $Z_2 = 14$ 日) を目標として管理を行うこととし、その限度線を次の如く算出した。第2圖の實線で示すごとくである。

$$d_1' = -4.03 + 0.405t \quad (8)$$

$$d_2' = 4.03 + 0.405t$$

當初は、この甘い限度線にも入らず、何度も不合格圏内である所の d_2 -直線より上の領域に打點が逸脱した。然し、この現場ではその後、るつぼ材質の試験を強化し、爐のドラフト調節に改善を加え、るつぼ寿命の延長に努



第2圖 るつぼ破損の逐次記録圖 (前半管理不調)
 Fig. 2 Sequential Recording Diagram of Damage of Glass-Pots. (Showing the Transition from Unfavorable to Favorable Control)

力した結果、2カ月以後からは殆んど $Z_1=50$ 日、 $Z_2=20$ 日なる(7)式の限度線に入る状態となつた。

[實際使用の場合のグラフ化]

第1圖や第2圖は説明を看易からしめるために數カ月間の數値を一つのグラフに打點してあるが、實際の使用の場合には、かゝる長期間、同一のグラフを用いるわけではない。長くとも1カ月で區切り、その期間の破損の全體を把握し、前月の破損状況から翌月の限度線を設定して行くと言う方法を探り、その間打點の傾向を見て不調の技術上の對應手段を採ることは勿論である。

この斜線管理圖の缺點は打點が一旦、下部の d_1 -直線に接觸するまで來り、次の打點で破損が急増して上部の d_2 -直線に接觸するような場合も起り得るのである。かゝる場合は、もちろん管理不良である。然し、その次の打點が、更に上下2直線の間に入つたとしたならば實際問題としては黙過してもよろしいと考えられる。

[記録紙による方法]

逐次抜取検査ではグラフによる方法と記録紙による方法とがあるのは周知である。斜線のグラフの上に打點した場合には、打點が上下の限度線の外へ逸脱した時に、一々原點に戻つて打點を再出發する必要があり、その度毎にグラフを作製するのは不便である。

よつて斜線の管理圖は上級の製造管理者の用途に當て末端の管理者は記録紙を用いた方がよい。

すなわち、豫め定められたる Z_1, Z_2, α および β よ

り d_1 または d_2 と t との関係、換言すれば(5)式より t に應ずる d_1 と d_2 を算出しておく。これを第1表のごとく使用し、日毎に破損するるつぼの累加破損數 d を記入して行くのである。その一例は第1表に示すごとくである。

第1表 るつぼ管理の逐次記録
 ($Z_1=28$ 日、 $Z_2=14$ 日 $\alpha=\beta=0.05$)

月日	経過日數 t	合格限度 d_1	出現破損數	累加破損數 d	不合格破損數 d_2	記 事
2-21	1	—	0	0	4	3月1日に て $d=d_2$ となり、不 合格と判定 管理不良と する。
22	2	—	0	0	4	
23	3	—	2	2	4	
24	4	—	2	4	5	
25	5	—	0	4	5	
26	6	—	0	4	5	
27	7	—	0	4	6	
28	8	—	0	4	6	
3-1	9	0	2	6	6	
2	10	0	1	7	7	この日より 再出發して 記録更新
3	11	1	·	·	7	
4	12	1	·	·	8	
5	13	2	·	·	8	

[IV] 移動平均を用いる管理圖

前節に示したような逐次検査法の管理圖に對する流用は通常管理圖法の概念から言えば、むしろ變則である故、何とかして管理限度を設けた通常管理圖の形式に改めたい希望が起る。然るに平均出現率が微小であり且つまた見本の大きさが僅少なことを餘儀なくせられた場合の管理圖には通常 C-管理圖は利用し得ぬ場合があり、本報の場合も正にそれである。

よつて或る順番の抽出に當つて、當の順番の出現數のみを表示せず、それより遡つた順番の見本の出現數を累加して、その累加値を打點して行く方法が考えられる。この累加値の平均を求めれば、それは、いわゆる移動平均 (Moving Mean) である。具體的に言えば毎日1回づゝ抽出を行う場合に7月6日の特性表示をするためにはこれより6日遡つた7月1日以来のるつぼ破損數を累

加し、また7月7日の表示には7月2日以来の破損数を累加するのであつて、これを6で割れば6日間の移動平均が毎日求められることとなる。

ところで移動累加数、或いは移動平均を通常の管理圖に打點した場合、特性値が Poisson の出現数であつたとしても直ちに通常の管理限度線を用いることが許されない。その理由は言うまでもなく、移動平均は相互に獨立ではなく、前の打點の持続効果があるためであつて移動平均の管理限度は獨立見本の管理限度よりも狭い筈である。

移動平均の管理圖作製法は既に研究せられていることであろうが筆者は未だその文獻に接していない。よつて次の方法を探つた。

前報の第2表に示されたるつぼの破損系列の場合、 $Z_1=50$ 日、 $Z_2=20$ 日として、本報の[實例1]には、 $\alpha=\beta=0.05$ として逐次検査圖を畫いたが、これでは限界の幅が廣すぎるので $\alpha=0.20$, $\beta=0.10$ として見た。すると

$$h_1=2.20, \quad h_2=1.59, \quad s=0.0323$$

となる。

ところで、逐次抜取検査の場合、不良率の幅を

$$p_1 < p < p_2 \tag{9}$$

として、不良率の下限 p_1 , 上限 p_2 を與えるとき採擇するに好ましからぬ仕切 p_2 が、 h_1, h_2 および s によつて與えられる検査圖によつて、棄却と檢定せられる抜取の平均個數 (Average Sampling Number ASN) \bar{n}_{p_2} に對する公式は次の如くである⁽²⁾。

$$\bar{n}_{p_2} = \{(1-\beta)h_2 - \beta h_1 - \beta h_1\} / (p_2 - s) \tag{10}$$

上記の数値 $\alpha=0.20$, $\beta=0.10$ として h_1, h_2 および s を (10) 式に入れ且つまた

$$p_2 = 1/Z_2 = 1/20 = 0.05 \quad \text{であると言ふことを考えると}$$

$$\bar{n}_{p_2} = 58 \text{ 個} \tag{11}$$

熔解爐のるつぼ個數は $m=10$ である故、1日に大き10の抜取を行うこととなり、るつぼの壽命が $Z_2 \leq 20$ 日である場合に検査が完了する個數は58個、すなわち5.8日である。よつて6日間の移動平均を採ることとした。

さて $\alpha=0.20$, $\beta=0.10$ の場合、検査の上限線は

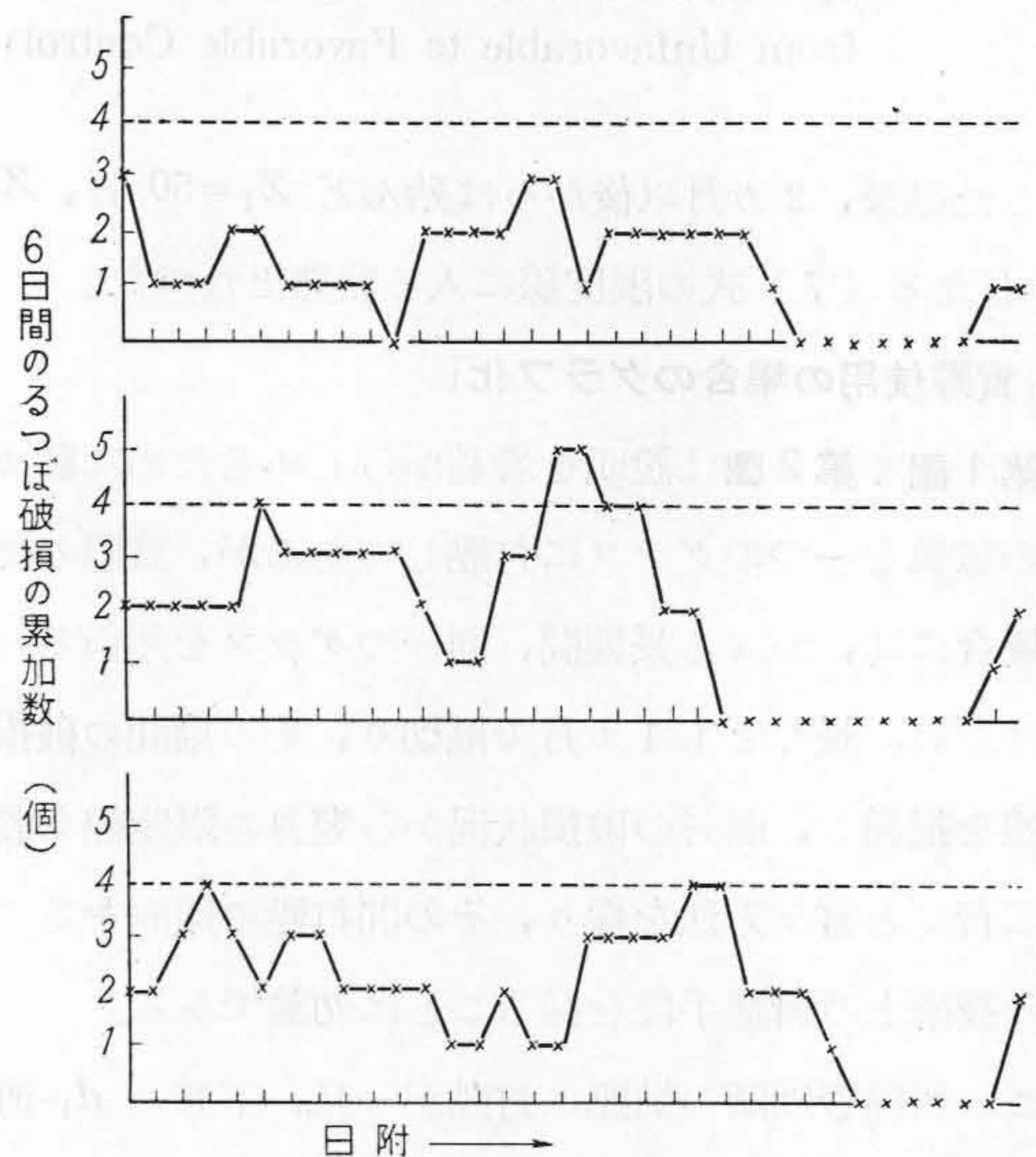
$$d_2 = h_2 + smt \\ = 1.59 + 0.328t \tag{12}$$

$t=6$ とした場合

$$d_2 = 1.59 + 0.328(6) = 3.56 \tag{13}$$

すなわち6日間の移動累加破損数を採ればるつぼの壽命が20日以下の場合は $1-\beta=90\%$ の信頼度で3.56個以下でなければならない。

第3圖は第1圖と同じデータを移動累加數の管理圖として示したものである。



第3圖 るつぼ破損の移動累加數の管理圖

(6日前以來の破損數の加算を日毎に打點する)

Fig. 3 Control Chart of Damage of Glass-Pots.

移動平均の管理限度算出法の別な考え方は1日平均のるつぼ破損数を ν として、前報の考え方で

$$\alpha = \sum_{x=0}^{u+1} \frac{e^{-6\nu} (6\nu)^x}{x!} \tag{14}$$

として確率 α に對應した上限 n を求めることにある。

$$\nu \approx 0.3, \quad 6\nu \approx 2.0 \tag{15}$$

と考えれば數表により

$$u=3 \quad \alpha=0.143 \quad (14.3\%)$$

$$u=4 \quad \alpha=0.053 \quad (5.3\%)$$

である。

よつて6日間の移動累加破損數の上限は前述の場合を

も考較し4と見込むこととした。第3圖には上限管理限度=4として管理圖を描いた。前述の逐次解析の式より導出した限度は3.56であるが實用的には4として差支えないであろう。第3圖の打點のうちで4を超えるものは殆どない。

[V] 結 言

前報においては、ガラスるつぼの破損の實體を統計的に解析し、本報においては破損の分布がPoisson型であるとの前提の下にWald流の逐次解析の公式を借用してるつぼの破損を管理圖化することを試みた。

本報はもとより数理統計論的根據が薄弱であつて、これを提出して世の學者の教えを乞いたい念願を有つものである。

筆者は以前ガラス工場の現場にあり、るつぼ破損の實體把握と、壽命延長の技術的處理には苦い經驗を持つていたが、現場を去るに際して、本報の管理圖方式を後繼

者に引繼いだ。

この管理圖は2年前から現場で實施せられ、管理の指針として實用的効果を少からず收めて來ており、その後現場では更に進んで本報のるつぼ群としての總括的な統計的處理から個々のるつぼの壽命の分析にまで進んでいる。

擲筆に當り、貴重なる資料を提供せられたる腰山原料課長並びにデーター整理に當られたる長岡爲行氏に謝意を表する。

参 考 文 獻

- (1) 宮城精吉：ガラスるつぼの破損に対する統計的考察(第1報)破損の分布型、日立評論、昭25年11月號
- (2) 坂元平八、アメリカにおける新しい抜取検査法、電氣日本、昭23年10月號、11月號
- (3) 規格協會(邦譯)アメリカ規格、品質管理方式 昭25年7月

第33卷 日 立 評 論 第3號

- ◎刷子の諸特性を考慮した整流理論(その一).....日立製作所・日立研究所・一木利信
- ◎パイロット・ワイヤー式及び逆限時式饋電線保護方式.....日立製作所多賀工場 {小林哲郎
三田勝茂
- ◎格子支持線の影響を考慮した三極真空管の特性計算式.....日立製作所茂原工場・澤田良嘉
- ◎ポーラログラフ法による非鐵金屬の定量分析.....日立製作所龜戸工場・武藤徳平
- ◎鋼板のプレス曲げにおける曲げ型選定について.....日立製作所笠戸工場 {元田 收
安田益一
- ◎薄鐵板壓延用チルドロールに發生する熱應力について.....日立製作所若松工場・河原英麿

東京都品川區
大井坂下町2717

日 立 評 論 社

誌代 ¥ 30.00 千6.00
六册 ¥ 200.00 (送料共)