

中興經營管理叢書

初級實驗計劃法

石川 馨 松本 洋 原著
中里博明 伊東靜男
陳 文 哲 譯

中興管理顧問公司 發行

中興經營管理叢書

初級實驗計劃法

(改訂版)

(Introduction to Experimental Design)

石 川 馨

中 里 博 明

松 本 洋

伊 東 靜 男

原 著

陳 文 哲

譯

中興管理顧問公司

發 行

中文版序

實驗計劃法爲今後的工程師及科學技術研究人員所應具有之常識。

15年前，自從東京大學工學院工業化學有關科系規定實驗計劃法爲必修課程以來，我一直擔任講授此項課程，並以本書作爲教材。同時，本書在企業界亦廣泛地被利用爲技術工程人員之訓練教材。

實驗計劃法及統計分析方法在日本企業界已甚爲普及，因此，近年來日本之產業得有輝煌之成就，咸認爲得力於實施品質管制及運用實驗計劃法。

欣聞貴國之產業在近年來已有矚目之進步與發展，際此時期，拙著實驗計劃法入門書獲得機會翻譯爲中國文並在貴國出版，使我們感到榮幸及興奮，我們深信本書中文版之出版，對於貴國產業之發展當有所裨益。並希望本書能促進中日兩國之親善友誼。

在此我願意特別強調，僅學習實驗計劃法，而不加以實際運用，則對於技術之改進將毫無裨益。本項技術必須在實驗室或工廠加以運用始能發生效用，而培養運用實力。換言之，實驗計劃法，應從最簡單的方法逐步運用在實際工作上，始能期待成果。

在此謹向本書之翻譯者陳文哲先生，對於翻譯本書中文版所表現之熱忱，由衷表示感謝之意。

東京大學教授
工學博士

石川 馨

1969年4月23日

譯 者 序

工業生產之目的，在於生產滿足多數消費者所需求之高度有用性(Maximally useful)之品質與數量之產品。品質管制(Quality Control)為達成工業生產目的之一項管理活動，是要在最低經濟水準下生產高度有用性之產品，以滿足消費者之重要活動。

吾人為維持或改善工業產品之品質特性時，必須針對可能影響產品品質之各種因素加以實驗，俾便獲知有關影響產品品質之因素及其程度之情報。

在品質管制上之實驗，通常有下列三個目標。

- (1)使製程安定
- (2)使產品品質特性符合規格
- (3)發掘最經濟、最合適之生產方法

實驗計劃法應用在工廠時，可解決下列問題。

- (1)品質之標準化
- (2)提高生產效率
- (3)減少廢品，不良品
- (4)增加產量
- (5)降低成本

由上述說明可知利用統計方法之實驗計劃法，為全體品管人員、技術人員、工程師所必備之知識。譯者早年留學日本主修工業工程，返國後在東海大學等幾個大專院校擔任品質管制課程多年，深感目前在我國尚缺乏有關實驗計劃法之書籍，同時認為此

種有益之技術，亟宜倡導推廣，乃由許多有關實驗計劃法之外國書籍中，選擇日本品管泰斗石川馨博士等之巨著，利用公餘之暇翻譯，期望實驗計劃法在我國亦能成為技術工程人員之常識，以加速我國經濟成長之速度。

譯者才疏學淺，深恐譯詞未能達意，尚祈海內外賢達，不吝指正。又本書之出版，承蒙石川馨博士同意並鼓勵中國語文之翻譯，深為感謝。本書日本版發行者日本科學技術連盟專務理事高松武彥先生，出版部部長吉澤孫兵衛先生在處理本書翻譯版權方面，賜予優惠條件，併此誌謝。本書之校對工作承內子徐櫻雲女士及東海大學工業工程系畢業生張正雄君之協助，謹此誌謝。

又本書於五十八年發行以來，廣受企業界及大專院校採用為有關課程的教本。茲因本書原著已發行改訂版，故際此再版之機會，依照原著做成局部的改訂。

陳 文 哲 謹 識

民國六十四年八月

原 序

本書爲今後之研究人員、技術人員、工程師所必備之常識——實驗計劃法之入門書。既往雖有甚多斯類書籍之出版，惟因內容多有難解之處，致使許多技術人員厭惡實驗計劃法。本書係爲使這些技術人員能够輕易地進修此種有效之技巧而編著。

未能了解本書所闡述之統計方法，實驗計劃法之觀念及方法之技術人員，猶如不諳物理、化學、電工等常識之技術人員，故沒有資格被稱爲一個技術人員。

目前，統計技術在日本工業上甚爲普及，最近更有世界各地紛紛前來觀摩。此爲在技術上較歐美各國落伍之日本，迎頭趕上甚至超越它們所必需之條件。最近日本工業得以起飛之一個原因，本人深信皆得力於統計方法之普及。

本書雖以已修完3~6日之統計方法課程，或能够了解本書之姊妹編「初級品質管制教材」者爲對象所編著，但對於聰敏之初學者亦並不難了解。如以初學者爲對象舉辦企業內訓練時，可預先利用兩天時間講授統計之想法、統計量之分配、管制圖之概念等，然後以8天時間講授本書內容。因此在企業內之訓練通常需要10天〔（講課6小時+實習1小時） $\times 10=70$ 小時〕。如此安排時，每次務須做習題，藉以演練實際之運用。

統計方法猶如圍棋、象棋，務須要學習。換言之，本書之說明如同棋之規則，習題如同棋之練習，實際上在比賽時，欲贏勝對方，切勿等待修完整個棋之規則後始行比賽，如此則不可能期

望有長足之進步，同樣地，切勿把有等待修完整個統計方法或實驗計劃法再行應用之想法。修完一些規則，即行嘗試棋之練習（習題），而後加以在實戰上（實際）運用。並需抱有當遭遇問題時立即回顧規則之態度。

換言之，以規則——練習——實戰——規則——練習——實戰——規則——……之反覆做法，始能培養實力，而才有進步。上述道理在自修時亦完全相同，尤其自修時，所有例題宜應由自己嘗試。

過去有關統計方法之書籍常有發現印刷錯誤——本書或許難免例外——，若發現印刷錯誤時，敬請惠予連繫指教。

尚有一點務請留意，切勿過份沈醉於實驗計劃法之理論追究，而應該着重了解實驗計劃法，並實際運用其想法，數據之看法，結果之解釋方法及處理方法，與本身之工作貫穿學習。

又如實驗計劃法之名稱所示，計劃為實驗之最重要階段。亦可認為以計劃可決定實驗之成敗。又以變異數分析解析未依實驗計劃所做之實驗數據，將是毫無意義。如欲解析未按計劃之實驗數據時，將是非常麻煩甚至不可能解析。

本書如有助於技術人員進修實驗計劃法，而有益於國家工業之不斷成長，則感幸甚。

謹此敬祝讀者各位萬事如意，事業成功。

1963年10月1日

東京大學教授 石川 馨
工學博士

(參考) 初級實驗計劃法研習會時間表範例

(共計 8 日，分爲兩期)

〔上期〕第 1 月

月 日 \ 時 間	9:00 ~ 12:00	13:00~14:00	14:10 ~ 17:00
第 1 日	第 1 章 工業與實驗 第 2 章 推定與檢定(1) 2.1~2.2	實習 (1)	第 2 章 推定與檢定(2) 2.3 ~ 2.4
第 2 日	第 3 章 相關與迴歸	實習 (2)	第 4 章 一元配置 (1) 4.1 ~ 4.3.1
第 3 日	第 4 章 一元配置 (2) 4.3.2 ~ 5.1	實習 (3)	第 5 章 二元配置 (1) 5.2 ~ 5.2.2
第 4 日	第 5 章 二元配置 (2)	實習 (4)	第 5 章 及 第 7 章 5.2.3 ~ 5.2.5 及 7

〔下期〕第 2 月

月 日 \ 時 間	9:00 ~ 12:00	13:00~14:00	14:10 ~ 17:00
第 5 日	第 8 章 分割法、交絡法、 一部實施法(1) 8.1 ~ 8.2	實習 (5)	第 8 章 分割法、交絡法、 一部實施法(2) 8.3 ~ 8.4
第 6 日	第 9 章 直交表—1(1) 9.1 ~ 9.4	實習 (6)	第 9 章 直交表—1(2) 9.5 ~ 9.8
第 7 日	第 10 章 直交表—2	實習 (7)	第 11 章 直交表—3(1) 11.1 ~ 11.3
第 8 日	第 11 章 直交表—3(2) 11.4~ 第 12 章 實驗之實施方法	實習 (8)	討論、質詢或考試

(注) 每日之習題應於次日提出，每日下午應有 1 小時之實習。
。又第 1 月與第 2 月間應做許多習題，以期加強實力。

目 次

中文版序

譯 者 序

原 序

第 1 章 工業與實驗	1
1.1 在工業上實驗之意義	1
1.2 現場之實驗與研究室之實驗	3
1.3 既往之實驗	4
1.3.1 既往之實驗	4
1.3.2 既往實驗上易犯之錯誤	6
1.3.3 學習實驗計劃之方法	11
第 2 章 推定與檢定	13
2.1 推定之觀念	13
2.1.1 母數之推定	13
2.1.2 點推定與區間推定	14
2.2 推定之方法	15
2.2.1 母平均之推定	15
2.2.2 母變異數之推定	22
2.2.3 母不良率之推定	23

2.3 檢定之觀念	26
2.3.1 無效假設之檢定	26
2.3.2 檢定之檢出力	27
2.4 檢定之方法	29
2.4.1 有關變異數之檢定	29
2.4.2 有關平均值之檢定	31
2.4.3 有關不良率之檢定	34
第 3 章 相關與迴歸	39
3.1 散佈圖與相關表	39
3.1.1 散佈圖之看法	39
3.1.2 相關係數之計算法	39
3.2 有關相關之檢定與推定	48
3.2.1 相關之檢定	49
3.2.2 母相關係數之推定	52
3.3 迴歸之推定	52
第 4 章 一元配置	58
4.1 配置與觀念	58
4.1.1 一元配置	58
4.1.2 參數模式與變量模式	58
4.1.3 實驗之隨機化	59
4.1.4 變異數分析之觀念	61
4.2 解析法	63
4.2.1 參數模式時(重複數一定時)	63

4.2.2 變量模式時 (重複數一定時)	73
4.2.3 重複數不一定時	75
4.3 一元配置之平方和分解	80
4.4 迴歸分析	81
4.4.1 迴歸分析	81
4.4.2 直交分解	89
4.4.3 求迴歸直線之理論	91
4.4.4 直交多項式	93
第 5 章 二元配置	99
5.1 配置與觀念	99
5.1.1 二元配置	99
5.1.2 交互作用	100
5.1.3 實驗之隨機化	103
5.2 觀析法	106
5.2.1 無重複之二元配置	106
5.2.2 有重複之二元配置	115
5.2.3 作有重複實驗之注意事項	125
5.2.4 有關併入誤差項之問題	134
5.2.5 其他之注意事項	139
第 6 章 構造模式與不偏變異數之期望值	147
6.1 構造模式	147
6.2 二元配置之平方和分解	150
6.2.1 無重複時	150

6.2.2 有重複時	152
6.3 不偏變異數之期望值	155
6.3.1 一項配置	155
6.3.2 二元配置	159
6.3.3 有重複之二元配置	167
第 7 章 拉丁方格・希臘拉丁方格	174
第 8 章 分割法、交絡法、一部實施法	181
8.1 分割法	181
8.1.1 何謂分割法	181
8.1.2 分割法之特徵	185
8.1.3 分割法之構造模式	186
8.1.4 分割法之檢定與推定	187
8.2 交絡法	195
8.2.1 何謂交絡法	195
8.2.2 主效果與交互作用之計算方法	196
8.2.3 計算主效果與交互作用之 Yates 方法	201
8.3 2水準時之交絡法	203
8.3.1 完全交絡之 2^3 要因實驗	203
8.3.2 部份交絡之 2^3 要因實驗	206
8.3.3 交絡法之例題	207
8.4 一部實施法	216
第 9 章 直交表(1)—2 水準之實驗	224
9.1 前言	224

9.2 何謂直交表.....	224
9.3 2水準時之實驗	226
9.4 無交互作用時之 2 水準實驗.....	227
9.5 有交互作用時之 2 水準實驗.....	234
9.6 以線點圖之配置方法.....	237
9.7 在 2^n 型配置 4 水準之因子時.....	241
9.9 假水準之利用.....	243
第 10 章 直交表—3水準之實驗.....	249
10.1 前 言.....	249
10.2 9次之實驗： $L_9(3^4)$ 之使用法.....	249
10/2.1 無交互作用時.....	250
10.2.2 有交互作用時.....	253
10.3 27次之實驗： $L_{27}(3^{13})$ 之使用法.....	253
10.3.1 無交互作用時.....	253
10.3.2 有交互作用時.....	254
第 11 章 直交表(3).....	258
11.1 前 言.....	258
11.2 以直交表之交絡法.....	258
11.3 以直交表之分割法.....	260
11.3.1 因子之分類.....	260
11.3.2 利用直交表之分割法配置.....	260
11.3.3 利用直交表之分割法解析.....	265

11.4 登山法——爲求最適條件之計算.....	266
11.4.1 觀念.....	266
11.4.2 計劃法之概要.....	269
第 12 章 實驗之實施方法.....	273
12.1 前 言.....	273
12.2 計 劃.....	274
12.3 實 施.....	278
12.4 解 析.....	278
12.5 處 置.....	280
12.6 管 理.....	280
附 表	283

第 1 章 工業與實驗

1.1 在工業上實驗之意義

新的品質管制係開發、設計、生產、銷售及服務具有最經濟、最有用，且能滿足顧客所求品質之製品。為達成此目的，全公司之經營，總公司、製造、工場、現場、設計、技術、研究、企劃、調查、事務、物料、倉庫、銷售、營業、總務、人事、勞務、管理等各部門皆應協力合作，並確立使各部門易於執行任務之組織，實施標準化。此即以新的統計方法，將物理、化學、電機、機械等之固有技術、標準化、規程、自動控制、設備管理、計測管理、*OR*, *IE*, *MR* 等工具縱橫運用始可達成。

吾人在工業上從事生產活動時，必須基於上述品質管制之觀念與方法。為開發、設計、製造、銷售滿足消費者所需求品質之製品，以統計方法之功用最為宏大。因品質管制需基於事實客觀之數據，而予判斷及採取行動，故此種統計方法為搜集及處理數據所不可缺少之工具。通常數據有下列幾種。

- 1) 以既往之方法所搜集之過去數據
- 2) 為易於解析而搜集之日常數據
- 3) 以實驗計劃所搜集之新數據

所謂以既往方法所搜集之過去數據即指現有資料而言。對此資料，在技術上、經驗上加以研討，並應用次數分配，管制圖，母數之推定與檢定，相關分析等統計方法解析時，通常仍可獲得極有效之情報。然而有許多過去所搜集之數據，不一定符合現在所期

求之目的。例如以 1 日為組作成管制圖加以解析時，發現組內變動甚大。如欲探討此組內變動原因時，吾人發現此組內變動有機械間、工人間、測定器間、測定值間、溫濕度條件等許多要因滲入，致無法判別何種要因促成此種變動。接着為解析 1 日內之變動，而對於機械、工人加以分層搜集數據，或取溫濕度等數據實施檢定或相關分析。如此所搜集之數據，即為易於解析而搜集之日常數據。

以上兩種數據皆毋須變更日常之操作條件，且易於獲得多量之數據，及有關管理狀態之再現性等情報之優點。

然而由日常之數據欲推求 1 個或數個原因之影響，或現行技術標準、作業標準以外條件之影響，或研究新設備、新產品，則無法達成。須在製程、試驗工廠 (*pilot plant*)、實驗室等施以實驗。又需解析過去數據之結果，再行搜集易於解析之日常數據，方可達到。故以立即實施實驗之方法為最佳。

對於影響製品品質特性之原因，幾乎不可能由理論上，固有技術上或經驗上決定。因影響特性有無數之原因，且受原料、設備、作業之變動、環境條件之變動、抽樣或測定誤差等之影響。故須將此種關係施以實驗以確定其變動原因。

吾人作實驗之目的為

- 1) 確認何種要因之影響為最大 (檢定之問題)
- 2) 對於 1) 所檢出之要因，以量掌握有多少影響 (推定之問題)
- 3) 確認影響力微小之要因，對於全體有多少影響 (誤差項推定之問題)

以上述結果，作為選擇機械、設備、原料或決定作業標準之

準繩。

在實驗上對於無數原因中，為實驗目的而提出之原因稱為因子。又因子之實驗條件稱為因子之水準。例如溫度為因子時， 80°C 或 90°C 稱為水準。水準之總數稱為水準數。例如取 70°C ， 80°C ， 90°C 之水準時，其水準數為 3。

1.2 現場之實驗與研究室之實驗

在工業上實驗時，有使用現場設備及工人之實驗，與在研究室裏之實驗。有關現場與研究室之實驗，有下列幾點差異。

- 1) 由於現場從事生產作業，故須維持製程秩序、生產量及品質。但必要時亦可停止生產而作實驗。在實驗室之實驗，可與生產現場分開。
- 2) 在現場以使用生產設備實驗，因此，實驗失敗之損失浩巨。有時可能損及設備。又可能由於選擇因子或水準不當，產生許多不良品。
- 3) 在使用現場設備之實驗上，決定因子或其水準時，往往受 1) 2) 所述之各種限制。實驗順序之隨機化亦有困難。在實驗室裏選擇因子及其水準，較現場實驗容易。
- 4) 在現場實驗時，有許多工人依實驗之計劃而從事與平常作業標準不同之工作，因此對於工人須加以訓練與管理。在研究室則由少數慣練的技術人員從事實驗工作，故可作較複雜之實驗。
- 5) 在研究室之實驗，如原料、溫度、時間等因子之水準，或室溫等環境條件皆易於控制，然而在現場上之實驗，却有不能控制之原因變動，以致影響結果。因此在研究