

第1章 田口方法概論

Taguchi Methods Overview

- 1.1 歷史回顧（A Historical Review）
- 1.2 實例：瓷磚製程設計（Design of Tile Manufacturing Process）
- 1.3 實例：煞車組件設計（Design of a Brake Assembly）
- 1.4 田口方法摘要（Taguchi Methods Summary）

第1.1節 歷史回顧

A Historical Review

1.1-1 戰後的日本（Postwar Japan）

1.1-2 田口玄一博士（Dr. Genichi Taguchi）

1.1-3 美國供應商協會（American Supplier Institute, ASI）

1.1-4 英文著作（English Publications）

1.1-5 台灣（Taiwan）

1.1-1 戰後的日本（Postwar Japan）

- 戰後的日本企業家及學者深深體會到要重建日本的經濟，必須落實「品質」的概念，才能將日本的商品銷售出去。
- 他們開始引進西方的統計學手法，將它應用在品質的改善上。
- **W. Edward Deming**等被禮聘至日本。
- 田口玄一在當時的日本已經是一位蠻有名望的工程師。

1.1-2 田口玄一博士 (Dr. Genichi Taguchi)



- 出生於1924年。
- 1949年，日本電話電報公司要進行一個龐大的專案計劃，將全國的通訊系統更新。
- 1950年，他加入日本電話電報公司新成立的電子通訊實驗室，並同時擔任日本企業的顧問。
- 於此期間他逐漸發展出獨特的「品質工程學」。
- 1957-1958年間，田口博士出版了「實驗設計」一書。
- 到1970年代晚期，田口博士的「品質工程學」在日本已經普遍受到肯定。
- 1983年田口博士開始擔任「美國供應商協會」執行總裁。

1.1-3 美國供應商協會（American Supplier Institute, ASI）

- 1980年代是美國工業的低潮年代。
- 美國人開始思考如何提升產品的品質，開始向日本探索品質的秘密。
- 深入視察過日本工業的美國學者發現，每一家日本公司都在使用一種類似「實驗設計法」的方法在進行品質改良的實驗。
- 這套基本理論源自西方但被西方工業界忽視、在日本加以改良、並應用在日本工業界已有幾十年的品質改善方法立刻被介紹到美國，並被美國工業界稱為「田口方法」（Taguchi Methods）。

美國供應商協會

- 1981年，在底特律的一些汽車公司及零組件供應商成立了非營利性的 American Supplier Institute。
- 同年特聘Dr. W. Edward Deming回美國，並將Statistical Process Control（SPC），介紹給工業界。
- 1982年3月，ASI組團赴日本考察，並將田口博士以及他的品質工程學介紹給美國工業界。

1.1-4 英文著作 (English Publications)

- 1986-1987年間有幾本田口博士的書籍被翻譯成英文並在美國出版，這些是西方學者研究田口方法的主要橋樑。
- 1987年，ASI將直交表整理出版。
- 1980年，田口博士造訪美國AT&T貝爾實驗室。
- 1989年Dr. Madhav S. Phadke寫了一本介紹田口方法的書。這是第一本由美國人所執筆的田口方法書籍，其內容可以視為美國學者對田口方法的界定。
- 1990年以後，田口博士的許多其它日文著作也陸續被翻譯成英文。
- 2005年，田口博士、Subir Chowdhury、及吳玉印先生將田口方法做了總整理，並出版了一本近1700頁的英文巨作。
- 吳玉印先生來自台灣，畢業於成大化工系，他在田口方法的推廣方面（無論是在美國或是在台灣）做了很大的貢獻。

1.1-5 台灣 (Taiwan)

- 吳玉印先生曾經將許多田口博士的日文書籍翻譯成中文。
- 在國內，首先負起田口方法推廣工作的是半官方機構「中國生產力中心」。
- 1987年，在ASI的協助下，這個機構成立了「田口式品質工程發行委員會」，並在1990年至1995年期間，陸續將田口博士的日文著作翻譯成中文書。從此田口方法開始被國內工業界廣泛地認識。
- 國內目前有許多公司在應用田口方法，尤其是高科技產業。
- 大學院校普遍開設田口方法或類似的課程。
- 工業界人士也普遍知道田口方法的存在。
- 但是整體而言，工業界對品質提升所投入的精神和資金還是相當有限。

第1.2節 實例：瓷磚製程設計

Design of Tile Manufacturing Process

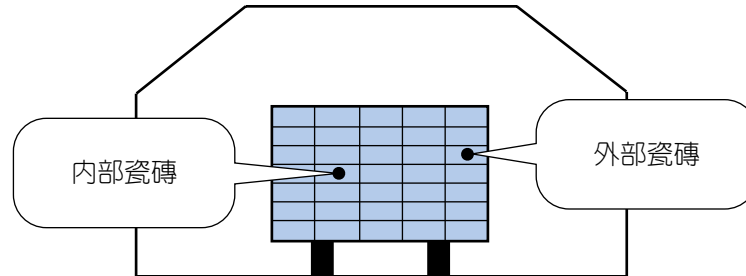
- 1.2-1 問題描述 (Problem Description)
- 1.2-2 品質特性 (Quality Characteristics)
- 1.2-3 理想機能 (Ideal Function)
- 1.2-4 控制因子 (Control Factors)
- 1.2-5 控制因子的變動水準 (Levels of Control Factors)
- 1.2-6 干擾因子 (Noise Factors)
- 1.2-7 實驗直交表 (Orthogonal Array)
- 1.2-8 實驗記錄表及實驗數據 (Experimental Log/Data)
- 1.2-9 S/N比 (S/N Ratios)
- 1.2-10 因子效應 (Factor Effects)

實例：瓷磚製程設計

- 1.2-11 反應表及反應圖（Response Table/Graph）
- 1.2-12 品質特性的反應表及反應圖
- 1.2-13 控制因子的分類（Classification of Control Factors）
- 1.2-14 製程最佳化（Process Optimization）
- 1.2-15 確認（Confirmation）
- 1.2-16 預測（Prediction）
- 1.2-17 確認實驗（Confirmation Experiments）
- 1.2-18 製程改善前後的比較（Comparison）
- 1.2-19 後語（Remark）

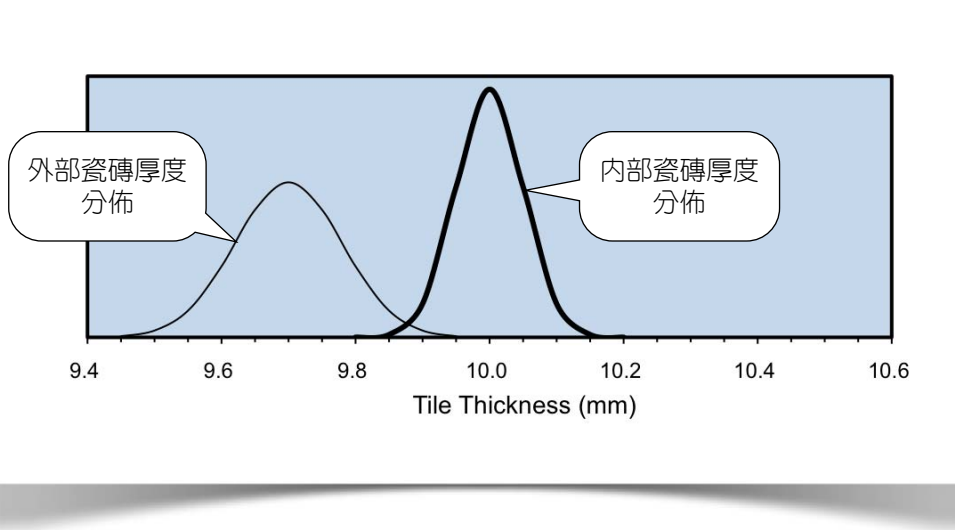
1.2-1 問題描述 (Problem Description)

- 某瓷磚公司向德國買了一套隧道式燒窯 (tunnel kiln)，試運轉階段即發現有嚴重的品質問題：瓷磚尺寸變異過大。
- 某一瓷磚，其厚度的規格是 10 ± 0.15 mm，卻有約40%瓷磚超出公差範圍之外。
- 內部瓷磚因受熱較均勻，厚度變異不大，但是外部瓷磚因受熱較不均勻，厚度變異較大。



問題描述

- 統計數據顯示內部瓷磚大部份符合規格要求，但是外部瓷磚卻大部份不符合規格要求。
- 德國廠商認為必須修改此燒窯的設計，但需要額外的五十萬日元費用。
- 瓷磚公司決定試試新的瓷磚製造配方，希望能降低不良率至可接受的範圍。



1.2-2 品質特性 (Quality Characteristics)

- 工程師打算進行一系列有系統的窯燒實驗、量測每個瓷磚的厚度、再統計不良率。
- 在田口方法的術語中，實驗的量測值或觀察值稱為「品質特性」。本實例中的品質特性為「瓷磚厚度」（單位：mm）。
- 我們以 y 來代表品質特性。

1.2-3 理想機能（Ideal Function）

- 一個品質特性有其理想值（ideal value）；理想值又稱為目標值（target value）或標稱值（nominal value）。我們以 m 來代表目標值。
- 在本例中，品質特性 y 的目標值 $m = 10.0 \text{ mm}$ ，所以我們用下式 來代表瓷磚製程的「理想機能」（Ideal Function）：

$$y = m \quad (1.2-1 \text{式})$$

- 此理想機能稱為「望目」（nominal-the-best），此品質特性稱為望目特性。

理想機能

- 其它類型的理想機能有：望小（smaller-the-better）、望大（larger-the-better）、及動態（dynamic）等。
- 望小可視為目標值是0；望大可視為目標值是無窮大；所謂「動態」則是指目標值是變動的。
- 望目、望小、及望大三種理想機能，因為其目標值是固定的，所以稱為「靜態」（static）的理想機能，其品質特性則稱為靜態品質特性。
- 1.3節（煞車組件設計）是一個動態的例子。
- 第4章（品質計量方法）會更深入討論上述4種基本的理想機能。
- 4.6節（其他理想機能）會介紹其它更複雜形式的理想機能。

1.2-4 控制因子（Control Factors）

- 在所有影響品質特性的因子中，他們挑選出影響較大的8個因子。他們想要調整這8個因子，希望能解決目前的品質問題。
- 這些想要在實驗的過程中有系統地變動的設計參數稱為「控制因子」。我們使用英文字母A, B, C, …等來代表控制因子。
- 實驗的目的是要決定控制因子的設定值。

表1.2-1 瓷磚製程控制因子

因子	說明	原設計值
A	石灰石（limestone）含量	1%
B	壽山石（agalmatolite）含量	53%
C	壽山石種類	S-type
D	燒粉（chamotte）含量	1%
E	添加物粒徑	Standard
F	窯燒程序	Type-2
G	長石含量	4%
H	黏土（clay）種類	K+G

控制因子

- 控制因子的選擇常常是工程師面對的挑戰之一。
- 控制因子的選擇除了有賴工程師的經驗外，必要的話可以先進行「篩選實驗」（**screen experiments**）。
- 在所有影響到品質特性的因子中，工程師必須能區分出「控制因子」與「干擾因子」（**noise factors**）。
- 控制因子是在生產線上可以設定的製程參數，而干擾因子是在生產線上無法設定的。
- 簡單地說，工程師可以決定其設定值的因子稱為控制因子，而工程師無法控制的因子稱為干擾因子。

1.2-5 控制因子的變動水準 (Levels of Control Factors)

- 工程師需要進行一系列的實驗來了解這8個控制因子對瓷磚厚度的影響。基本步驟是：有系統地去變動這8個因子、實際去進行窯燒、再做資料分析。

表1.2-2 瓷磚製程控制因子水準表

因子	說明	Level 1	Level 2	Level 3
A	石灰石 (limestone) 含量	5%	1%	
B	壽山石 (agalmatolite) 含量	43%	53%	63%
C	壽山石種類	M-type	S-type	T-type
D	燒粉 (chamotte) 含量	0%	1%	3%
E	添加物粒徑	Smaller	Standard	Larger
F	窯燒程序	Type-1	Type-2	Type-3
G	長石含量	7%	4%	0%
H	黏土 (clay) 種類	K-type	K+G	G-type

註：陰影部份 (Level 2) 為原設計值

1.2-6 干擾因子 (Noise Factors)

- 工程師無法控制的因子稱為干擾因子。用另一種說法，在一定的控制因子組合下，造成品質特性（瓷磚厚度）變異的因子稱為干擾因子。譬如環境溼度、原料的來源等都是可能的干擾因子。
- 本實例中，「瓷磚在台車的位置」是唯一考慮的干擾因子，其它的干擾因子被認為不是那麼重要。
- 實驗的目的在找出一組製程配方，使得瓷磚厚度能儘量分佈在 10.00 ± 0.15 mm內。
- 工程師們選擇了台車不同位置的瓷磚來量測其尺寸，每組實驗共量測7片瓷磚。

干擾因子

- 實驗的目的是要決定各控制因子的水準，使得品質特性的平均值達到目標值，而且不良品越少越好，亦即變異越少越好。
- 一個變異很小的製程稱為穩健製程（robust process）。
- 為了設計一個穩健的製程，我們必須讓干擾因子在各組實驗中發揮其影響力，並且觀察干擾因子對品質特性影響程度。
- 工程師希望能決定出一組控制因子組合，使得干擾因子對品質特性的影響是最低的。
- 以上「穩健製程設計」（robust process design）的觀念是田口品質設計方法最核心的教條，我們會在本書中一再強調這個觀念。

1.2-7 實驗直交表（Orthogonal Array）

- 如果8個控制因子所有變動水準的組合都要做實驗的話，則一共需要4374 ($2^1 \times 3^7$) 次實驗。
- 他們利用了田口博士所設計的一個稱為 L_{18} 的「直交表」（表1.2-3），只須進行18組實驗。
- 直交表提供了有系統地、而且有效率地變動控制因子的方法。
- 直交表的每一直行（column）可以配置一個控制因子。

表1.2-3 L_{18} 直交表

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

實驗直交表

- 所謂「直交」(orthogonal)是指兩行之間，所有水準組合出現的次數都是一樣多。
- 譬如表1.2-3中的A, B兩直行中，出現(1,1), (1,2), (1,3), (2,1), (2,2), (2,3)的次數都是3次。其他任何兩行之間都有這種直交關係。
- 一個實驗陣列，如果任何兩行之間都有直交關係，則此實驗陣列稱為一個直交表。
- 使用直交表除了可以大量降低實驗成本以外，最大的好處是簡化資料分析的工作。

表1.2-3 L₁₈直交表

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

1.2-8 實驗記錄表及實驗數據 (Experimental Log/Data)

表1.2-4 實驗紀錄表及實驗數據

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.18	10.18	10.12	10.06	10.02	9.98	10.20
2	1	1	2	2	2	2	2	2	10.03	10.01	9.98	9.96	9.91	9.89	10.12
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9.81	9.78	9.74	9.74	9.71	9.68	9.87
4	1	2	1	1	2	2	3	3	10.09	10.08	10.07	9.99	9.92	9.88	10.14
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10.06	10.05	10.05	9.89	9.85	9.78	10.12
6	1	2	3	3	1	1	2	2	10.20	10.19	10.18	10.17	10.14	10.13	10.22
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.91	9.88	9.88	9.84	9.82	9.80	9.93
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.32	10.28	10.25	10.20	10.18	10.18	10.36
9	1	3	3	1	3	2	1	2	10.04	10.02	10.01	9.98	9.95	9.89	10.11
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10.00	9.98	9.93	9.80	9.77	9.70	10.15
11	2	1	2	1	1	3	3	2	9.97	9.97	9.91	9.88	9.87	9.85	10.05
12	2	1	3	2	2	1	1	3	10.06	9.94	9.90	9.88	9.80	9.72	10.12
13	2	2	1	2	3	1	3	2	10.15	10.08	10.04	9.98	9.91	9.90	10.22
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.91	9.87	9.86	9.87	9.85	9.80	10.02
15	2	2	3	1	2	3	2	1	10.02	10.00	9.95	9.92	9.78	9.71	10.06
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.08	10.00	9.99	9.95	9.92	9.85	10.14
17	2	3	2	1	3	1	2	3	10.07	10.02	9.89	9.89	9.85	9.76	10.19
18	2	3	3	2	1	2	3	1	10.10	10.08	10.05	9.99	9.97	9.95	10.12

1.2-9 S/N比 (S/N Ratios)

表1.2-5 各組實驗的平均值、標準偏差、及S/N比

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	y	S	S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.18	10.18	10.12	10.06	10.02	9.98	10.20	10.11	0.087	41.3
2	1	1	2	2	2	2	2	2	10.03	10.01	9.98	9.96	9.91	9.89	10.12	9.99	0.078	42.2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9.81	9.78	9.74	9.74	9.71	9.68	9.87	9.76	0.064	43.6
4	1	2	1	1	2	2	3	3	10.09	10.08	10.07	9.99	9.92	9.88	10.14	10.02	0.096	40.3
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10.06	10.05	10.05	9.89	9.85	9.78	10.12	9.97	0.129	37.7
6	1	2	3	3	1	1	2	2	10.20	10.19	10.18	10.17	10.14	10.13	10.22	10.18	0.032	50.0
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.91	9.88	9.88	9.84	9.82	9.80	9.93	9.87	0.048	46.3
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.32	10.28	10.25	10.20	10.18	10.18	10.36	10.25	0.071	43.2
9	1	3	3	1	3	2	1	2	10.04	10.02	10.01	9.98	9.95	9.89	10.11	10.00	0.070	43.1
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10.00	9.98	9.93	9.80	9.77	9.70	10.15	9.90	0.156	36.0
11	2	1	2	1	1	3	3	2	9.97	9.97	9.91	9.88	9.87	9.85	10.05	9.93	0.071	42.9
12	2	1	3	2	2	1	1	3	10.06	9.94	9.90	9.88	9.80	9.72	10.12	9.92	0.139	37.1
13	2	2	1	2	3	1	3	2	10.15	10.08	10.04	9.98	9.91	9.90	10.22	10.04	0.120	38.5
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.91	9.87	9.86	9.87	9.85	9.80	10.02	9.88	0.069	43.2
15	2	2	3	1	2	3	2	1	10.02	10.00	9.95	9.92	9.78	9.71	10.06	9.92	0.129	37.7
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.08	10.00	9.99	9.95	9.92	9.85	10.14	9.99	0.097	40.2
17	2	3	2	1	3	1	2	3	10.07	10.02	9.89	9.89	9.85	9.76	10.19	9.95	0.147	36.6
18	2	3	3	2	1	2	3	1	10.10	10.08	10.05	9.99	9.97	9.95	10.12	10.04	0.067	43.5

Ave = 41.3

1.2-9 S/N比 (S/N Ratios)

- 品質特性的量測值（或是其平均值）通常並不適合直接用來作為品質指標。
- 在田口方法中，**S/N比**（信號雜訊比，**signal-to-noise ratio**）常用來作為品質的計量單位。
- 本例中的**S/N比**代表量測值（亦即品質特性）的變異程度。**S/N**值越大表示標準偏差越小，亦即變異越小（品質越佳）。
- 資料分析目的是希望能獲得一組因子組合，使得**S/N**最大化，而 \bar{y} 等於10.00。
- 基本構想是將8個因子分類，有些用來最大化**S/N**，有些用來調整 \bar{y} 。
- 為了將8個因子分類，我們必須先瞭解每個因子對**S/N**或 \bar{y} 的影響。

$$S/N = -10 \log \frac{S^2}{\bar{y}^2} \quad (1.2-2 \text{式})$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (1.2-3 \text{式})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (1.2-4 \text{式})$$

1.2-10 因子效應 (Factor Effects)

- 所謂因子效應是指控制因子的變動對 S/N 比或品質特性影響的大小。
- 譬如因子 A 由第1水準變動到第2水準（亦即石灰石含量由5%降至1%）時， S/N 比（或品質特性）的平均變動量稱為 A 的因子效應，我們可以表示成 $E_A^{1 \rightarrow 2}$ 。
- 因子 B 由第1水準變動到第2水準時， S/N 比（或品質特性）的平均變動量可以記為 $E_B^{1 \rightarrow 2}$ ，而因子 B 由第2水準變動到第3水準時， S/N 比（或品質特性）的平均變動量可以記為 $E_B^{2 \rightarrow 3}$ 。

因子效應

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

S/N
41.3
42.2
43.6
40.3
37.7
50.0
46.3
43.2
43.1
36.0
42.9
37.1
38.5
43.2
37.7
40.2
36.6
43.5

$$\bar{\eta}_{A1} = \frac{41.3 + 42.2 + 43.6 + 40.3 + 37.7 + 50.0 + 46.3 + 43.2 + 43.1}{9} = 43.10$$

$$\bar{\eta}_{A2} = \frac{36.0 + 42.9 + 37.1 + 38.5 + 43.2 + 37.7 + 40.2 + 36.6 + 43.5}{9} = 39.51$$

$$E_A^{1 \rightarrow 2} = 39.51 - 43.10 = -3.59$$

因子效應

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

S/N
41.3
42.2
43.6
40.3
37.7
50.0
46.3
43.2
43.1
36.0
42.9
37.1
38.5
43.2
37.7
40.2
36.6
43.5

$$\bar{\eta}_{B1} = \frac{41.3 + 42.2 + 43.6 + 36.0 + 42.9 + 37.1}{6} = 40.52$$

$$\bar{\eta}_{B2} = \frac{40.3 + 37.7 + 50.0 + 38.5 + 43.2 + 37.7}{6} = 41.24$$

$$\bar{\eta}_{B3} = \frac{46.3 + 43.2 + 43.1 + 40.2 + 36.6 + 43.5}{6} = 42.16$$

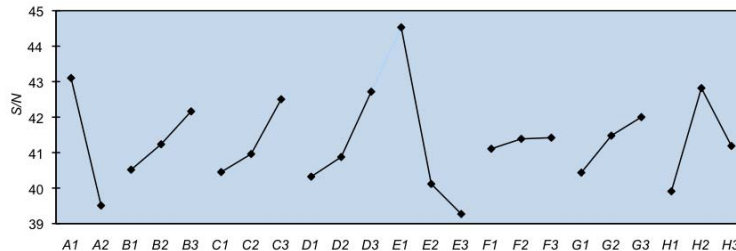
$$E_B^{1 \rightarrow 2} = 41.24 - 40.52 = 0.72$$

$$E_B^{2 \rightarrow 3} = 42.16 - 41.24 = 0.92$$

1.2-11 反應表及反應圖 (Response Table/Graph)

表1.2-6 S/N比的因子反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	43.1	40.5	40.5	40.3	44.5	41.1	40.4	39.9
Level 2	39.5	41.2	41.0	40.9	40.1	41.4	41.5	42.8
Level 3		42.2	42.5	42.7	39.3	41.4	42.0	41.2
$E^{1 \rightarrow 2}$	-3.6	0.7	0.5	0.6	-4.4	0.3	1.0	2.9
$E^{2 \rightarrow 3}$		0.9	1.5	1.8	-0.8	0.0	0.5	-1.6
Range	3.6	1.6	2.1	2.4	5.3	0.3	1.6	2.9
Rank	2	6	5	4	1	8	7	3
Significant?	yes	no	yes	yes	yes	no	no	yes



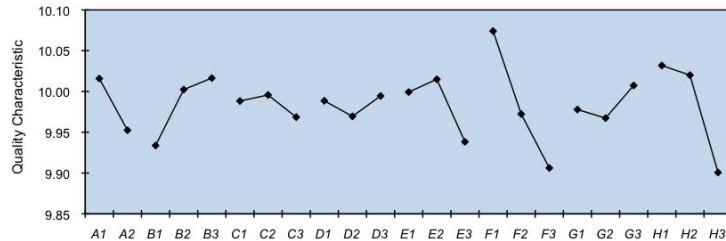
反應表及反應圖

- 一個因子的變動會對 S/N 比（或品質特性）產生顯著的（significant）影響時，我們稱此因子為重要因子（significant factor）。
- 統計學中的「變異分析」（analysis of variance）其中一個目的就是用來決定因子的重要性（significance）。
- 目前，我們暫時用另一種較簡單的方法（稱為「一半準則」）來決定因子的重要性。這種簡單的方法雖然沒有統計的理論基礎，但是常常可以得到和「變異分析」同樣的結論。

1.2-12 品質特性的反應表及反應圖

表1.2-7 品質特性的因子反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	10.02	9.93	9.99	9.99	10.00	10.07	9.98	10.03
Level 2	9.95	10.00	10.00	9.97	10.02	9.97	9.97	10.02
Level 3		10.02	9.97	9.99	9.94	9.91	10.01	9.90
$E^{1 \rightarrow 2}$	-0.06	0.07	0.01	-0.02	0.02	-0.10	-0.01	-0.01
$E^{2 \rightarrow 3}$		0.01	-0.03	0.03	-0.08	-0.07	0.04	-0.12
Range	0.06	0.08	0.03	0.03	0.08	0.17	0.04	0.13
Rank	5	3	7	8	4	1	6	2
Significant?	yes	yes	no	no	yes	yes	no	yes



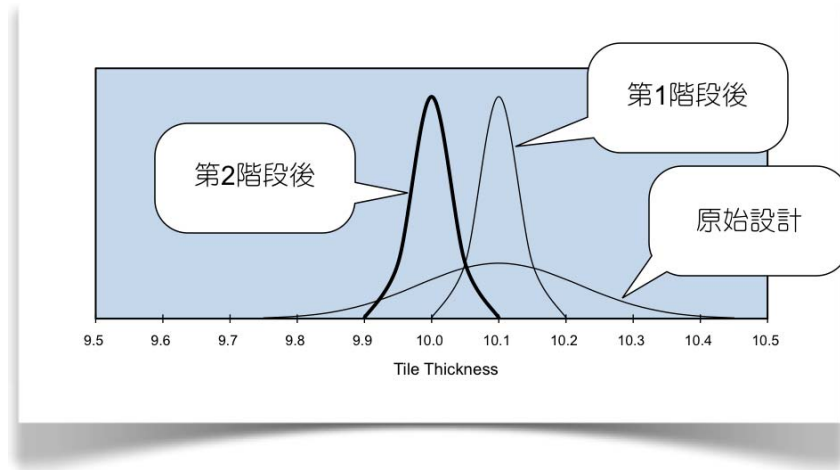
1.2-13 控制因子的分類 (Classification of Control Factors)

表1.2-8 控制因子的分類

因子類別	是否有影響 S/N?	是否有影響 品質特性?	控制因子	用途
1	Yes	Yes/No	A, C, D, E, H	用來縮小變異
2	No	Yes	B, F	用來調整品質特性至目標值
3	No	No	G	用來降低成本

- 第1類是對S/N具有影響力的因子，可以用來最大化S/N比，亦即縮小變異。
- 其餘因子再分為兩類：第2類是對品質特性有影響力的因子，用來調整品質特性的平均值至目標值而不致於改變品質特性的變異，這一類控制因子又稱為「調整因子」（adjustment factors）。
- 第3類是對S/N及品質特性都不具影響的因子，用來降低成本。

1.2-14 製程最佳化 (Process Optimization)



- 先利用第1類因子，來最大化 S/N 比，亦即使品質特性的變異縮成最小。
- 再利用第2類因子，調整品質特性的平均值至目標值但變異維持不變。
- 最後利用第3類因子來降低成本；這一階段不影響分佈曲線的形狀。

製程最佳化

- 先調整第1類控制因子 (A, C, D, E, H) 來最大化 S/N 比：

$A1 \quad B? \quad C3 \quad D3 \quad E1 \quad F? \quad G? \quad H2$

- 再調整第2類控制因子，亦即 B （壽山石含量）及 F （窯燒程序），來使瓷磚厚度平均值達到目標值。但是 F 並不適合做為調整因子。工程師決定將 F 維持在原來的水準。通常調整品質特性平均值至目標值都是由生產現場的工程師做機動性的調整。第二階段最佳化的結果：

$A1 \quad (B) \quad C3 \quad D3 \quad E1 \quad F2 \quad G? \quad H2$

- 最後， G 因子（長石含量）是屬於第3類控制因子，我們可以使用最少的長石含量，來使生產成本降至最小，所以最後的最佳製程配方是

$A1 \quad (B) \quad C3 \quad D3 \quad E1 \quad F2 \quad G3 \quad H2$ (1.2-5式)

1.2-15 確認（Confirmation）

- 在製程參數最佳化的程序中，我們使用了一個假設：因子效應是獨立的。當我們依據反應分析的結果來決定某一因子的最佳值時，我們假設它並不受其它因子的設定值而有所不同。
- 譬如我們說「當**A**因子由第2水準改變到第1水準時，**S/N**比會增加3.6，所以**A**應該選擇第1水準」時，我們假設無論**B**因子設定在水準1或水準2，這句話都是正確的。但是實際上有可能**B**因子設定在水準1或水準2時，**S/N**比的變化是不同的，甚至可能是方向都顛倒過來了。
- 當**A**因子的效應會隨著**B**因子的設定值而改變時，我們稱此二因子間存在著交互作用（**interaction**）。只有在因子間沒有交互作用時，因子效應才能獨立地考慮，結論才是可靠的，

確認

- 在因子效應能獨立地考慮的涵義也等同於因子效應可以疊加起來。譬如從原始製程（*A2 C2 D2 E2 H2*） 改變至最佳製程（*A1 C3 D3 E1 H2*）時，*S/N*比增加了

$$\begin{aligned}\Delta S/N &= E_A^{2 \rightarrow 1} + E_C^{2 \rightarrow 3} + E_D^{2 \rightarrow 3} + E_E^{2 \rightarrow 1} + E_H^{2 \rightarrow 2} \\ &= 3.6 + 1.5 + 1.8 + 4.4 + 0 \\ &= 11.3\end{aligned}\quad (1.2-7\text{式})$$

- 注意，我們只考慮重要因子（*A, C, D, E, H*）的效應，因為「不重要因子」的效應在統計上並沒有實質的意義。
- 如果我們能經由實驗來確認因子效應的確是可以疊加的，那麼我們就可以說因子效應是能獨立地考慮的，亦即假設是合理的，所以結論是可靠的。

確認

- 一般採用下列步驟來確認此結論：
 - 預測在原始設計及最佳設計下的S/N比；
 - 在原始設計及最佳設計下，實際進行確認實驗，並分別計算其S/N比；
 - 比較預測值及實驗值，若足夠接近，則可以結論是可靠的，否則結論是可疑的。

1.2-16 預測 (Prediction)

$$\eta = \bar{\eta} + (\bar{\eta}_{Ai} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{Bj} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{Ck} - \bar{\eta}) + \cdots \quad (1.2-8\text{式})$$

$$\begin{aligned}\eta_{\text{original}} &= \bar{\eta} + (\bar{\eta}_{A2} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{C2} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{D2} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{E2} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{H2} - \bar{\eta}) \\ &= 41.3 + (39.5 - 41.3) + (41.0 - 41.3) \\ &\quad + (40.9 - 41.3) + (40.1 - 41.3) + (42.8 - 41.3) \\ &= 41.3 - 1.8 - 0.3 - 0.4 - 1.2 + 1.5 \\ &= 39.1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_{\text{optimal}} &= \bar{\eta} + (\bar{\eta}_{A1} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{C3} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{D3} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{E1} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{H2} - \bar{\eta}) \\ &= 41.3 + (43.1 - 41.3) + (42.5 - 41.3) \\ &\quad + (42.7 - 41.3) + (44.5 - 41.3) + (42.8 - 41.3) \\ &= 41.3 + 1.8 + 1.2 + 1.4 + 3.2 + 1.5 \\ &= 50.4\end{aligned}$$

$$\Delta S/N = 50.4 - 39.1 = 11.3$$

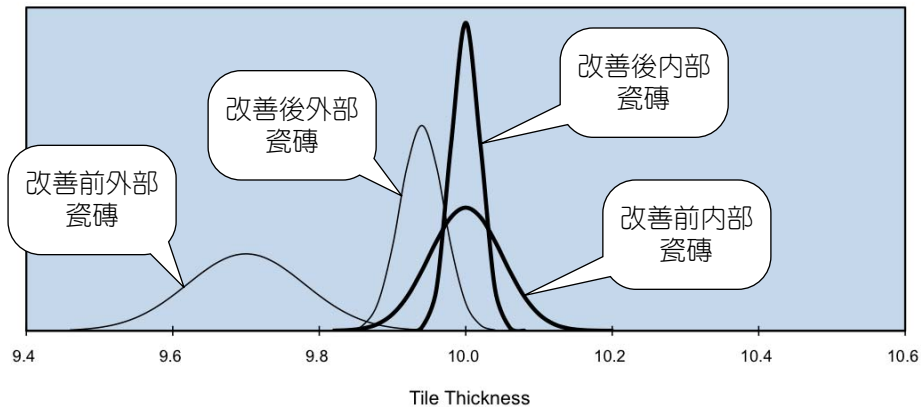
1.2-17 確認實驗 (Confirmation Experiments)

表1.2-9 確認實驗值與預測值的比較

	$P1$	$P2$	$P3$	$P4$	$P5$	$P6$	$P7$	\bar{y}	S	S/N	
										Experiment	Predicted
Original	10.15	10.11	10.02	9.96	9.89	9.86	10.18	10.02	0.12	38.6	39.1
	10.14	10.12	10.01	9.94	9.91	9.88	10.17				
Optimal	10.08	10.06	10.03	10.02	10.03	10.01	10.09	10.04	0.03	50.1	50.4
	10.07	10.05	10.04	10.02	10.02	9.99	10.09				
Improvement =										11.6	11.4

- 第5.4節我們會來介紹測試預測值與實驗值是否有很好的一致性的統計方法，目前我們是以直覺及經驗來判斷的。
- 結論：1.2-6式的結論可以應用在生產線上，而且因子反應分析的數據（反應圖及反應表）可以作為日後製程調整的參考。

1.2-18 製程改善前後的比較（Comparison）



1.2-19 後語（Remark）

- 本實例示範了「田口方法」最重要的精神：工程師們不是去「消除」引起瓷磚厚度變異的因素（瓷磚位置），因為那通常是不可能，或是很昂貴的；工程師們選擇了一組製程配方，使得這個因素對瓷磚厚度的干擾降低至最小，來達到機能穩定的目的。

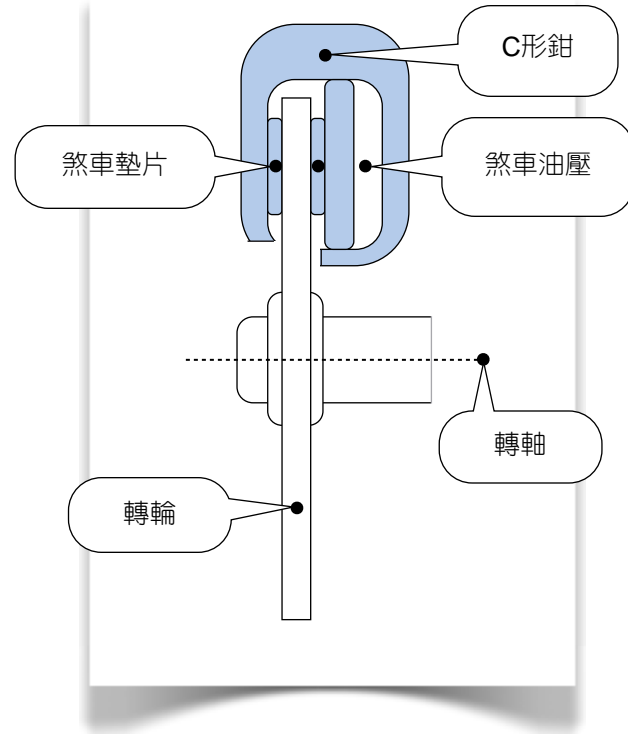
第1.3節 實例：煞車組件設計

Design of a Brake Assembly

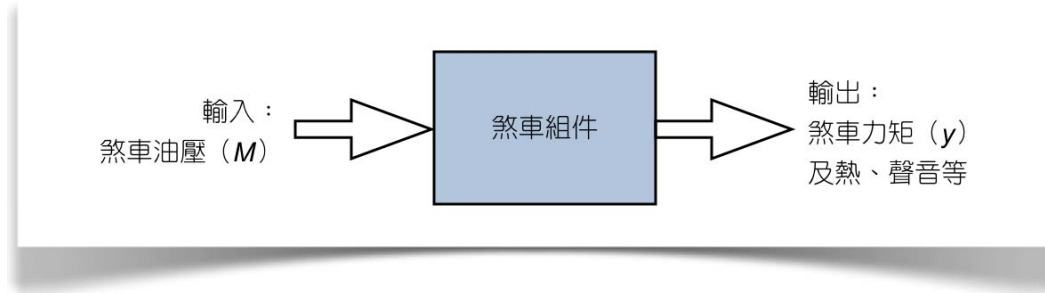
- 1.3-1 問題描述 (Problem Description)
- 1.3-2 品質特性及理想機能 (Quality Characteristics and Ideal Function)
- 1.3-3 信號因子 (Signal Factors)
- 1.3-4 控制因子 (Control Factors)
- 1.3-5 干擾因子 (Noise Factors)
- 1.3-6 實驗直交表 (Orthogonal Array)
- 1.3-7 實驗數據與S/N比計算 (Raw Data and S/N Ratios)
- 1.3-8 因子反應分析 (Factor Response Analysis)
- 1.3-9 設計最佳化 (Design Optimization)
- 1.3-10 確認 (Confirmation)
- 1.3-11 設計改善前後的比較 (Comparison)

1.3-1 問題描述 (Problem Description)

- 日本一家汽車零組件廠為了改善一煞車組件的品質，著手進行此煞車組件的重新設計工作。
- 駕駛者施加一力量在煞車踏板上後，引起煞車油壓（**brake fluid pressure**）上升並帶動了C形鉗（**caliper**），使得煞車墊片（**pad**）對著轉輪（**rotor**）接觸並施壓。煞車墊片與轉輪的磨擦產生了煞車力矩（**braking torque**）。



問題描述



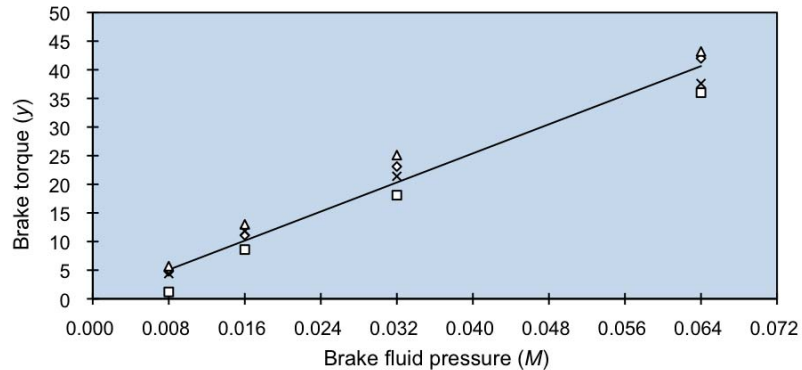
- 系統輸入的總能量必須等於系統輸出的總能量，亦即煞車油壓的能量轉換成煞車力矩、熱、及聲音。
- 磨擦熱及聲音代表能量的浪費，煞車力矩才是有用的部份：磨擦熱及聲音必須越小越好，而煞車力矩必須越大越好。煞車系統的機械效率（**efficiency**）可以用下式表示：

$$\beta = \frac{y}{M} \quad (1.3-1 \text{式})$$

問題描述

- 從機械效率的觀點， β 應該是越大越好。
- 另一方面，從操控性的觀點， β 事實上也代表煞車系統的靈敏度（sensitivity）
- 從靈敏度的觀點， β 不只是越大越好（越靈敏），而且要求要穩定：亦即不讓使用者感覺到有時候煞車很「銳利」，有時候卻很「遲鈍」。

問題描述



🌐 這個 M - y 圖顯示煞車的靈敏度不穩定，容易受到干擾因子的影響，理想的實驗數據值應該落在一直線上，如此才是一個穩定的煞車系統；此外 β 值也有提高的空間。

1.3-2 品質特性及理想機能

- 本例中，品質特性是煞車力矩。
- 理想的煞車組件是：煞車力矩（ y ）和煞車油壓（ M ）之間形成一直線關係

$$y = \beta M \quad (1.3-2\text{式})$$

- 當品質特性的理想值隨著某一因子而改變時，我們稱之為動態的品質特性。
- 1.3-2式是一通過原點的直線，所以稱為「原點直線型」的理想機能。

1.3-3 信號因子（Signal Factors）

- 煞車油壓並非是一個設計參數，工程師是無法控制的，而是系統使用者（駕駛者）可以自行改變的因子，是一種系統的輸入值，這種因子稱之為「信號因子」。
- 在動態特性中，品質特性的理想值是隨著信號因子而改變的。
- 信號因子之變動水準範圍通常考慮使用者可能輸入的最大範圍：

$M = \text{煞車油壓（單位：kgf/mm}^2\text{）}$

$M1 = 0.008, M2 = 0.016, M3 = 0.032, M4 = 0.064$

1.3-4 控制因子（Control Factors）

表1.3-1 煞車組件設計的控制因子及水準表

因子	說明	Level 1	Level 2	Level 3
A	墊片材料（pad material）	Type-1	Type-2	
B	墊片形狀（pad shape）	Shape-1	Shape-2	Shape-3
C	墊片曲線（pad curve profile）	Type-1	Type-2	Type-3
D	墊片添加物（pad additive）	Low	Medium	High
E	轉輪材料（rotor material）	Gray	Cast	Steel
F	墊片漸縮（pad taper）	Low	Medium	High
G	漸縮厚度（tapering thickness）	Low	Medium	High
H	轉輪結構（rotor structure）	Type-1	Type-2	Type-3

註：陰影部份為原設計值

1.3-5 干擾因子 (Noise Factors)

- 影響品質特性的因子，有些是無法控制的，譬如周遭的溫度、濕度等。
- 這些不可控制或不願意去控制的因子統稱為干擾因子；干擾因子是使得品質特性產生變異的因子。
- 煞車組件設計的目標是：煞車力矩與煞車油壓間維持線性關係。亦即選擇設計參數，使得煞車力矩因為干擾因子的影響而偏離直線的程度減至最小；換句話說，使得這個煞車組件對這些干擾因子是足夠穩健的。
- 在田口方法中，「高品質」的意義是強調產品或製程的穩健性，意即品質特性受干擾因子的影響很小，所以田口方法又稱為「穩健品質設計法」。

干擾因子

- 造成煞車力矩變異的主要干擾因子是：煞車墊片的溫度、周遭的濕度、煞車墊片的磨耗程度。
- 如果煞車力矩對這些主要的干擾因子夠穩健，則此設計必定對其它次要的干擾因子也夠穩健。
- 在高溫（煞車頻繁）、潮濕（下雨天）、高磨耗（舊的煞車墊片）的條件下，煞車力矩有降低的傾向，反之，在低溫（煞車較不頻繁）、乾燥（晴天）、低磨耗（新的煞車墊片）的條件下，煞車力矩有升高的傾向。
- 這些資訊使得3個主要的干擾因子可以進一步複合成單一的干擾因子 N 。工程師具體地定出實驗用的兩個水準如下：

$N1 = 360^{\circ}\text{F}$ 墊片溫度，潮濕的環境，及80%墊片磨耗

$N2 = 60^{\circ}\text{F}$ 墊片溫度，乾燥的環境，及10%墊片磨耗

干擾因子

- 此外，縱使煞車油壓是一個定值時，在整個煞車過程的時間中，所量測到的煞車力矩也會隨著時間而有些變異。
- 理想上，當煞車油壓維持不變時，煞車力矩也希望維持均勻不變，換句話說，希望煞車力矩不隨著時間而有變異。
- 依此，工程師們考慮另一干擾因子 Q ，並定義其兩個水準如下：

$Q1$ = 煞車過程所量測到的最大煞車力矩

$Q2$ = 煞車過程所量測到的最小煞車力矩

1.3-6 實驗直交表 (Orthogonal Array)

表1.3-2 實驗記錄表

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H	M = 0.008		M = 0.016		M = 0.032		M = 0.064	
									N1		N2		N1		N2	
									Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2
1	Type-1	Shape-1	Type-1	Low	Gray	Low	Low	Type-1								
2	Type-1	Shape-1	Type-2	Medium	Cast	Medium	Medium	Type-2								
3	Type-1	Shape-1	Type-3	High	Steel	High	High	Type-3								
4	Type-1	Shape-2	Type-1	Low	Cast	Medium	High	Type-3								
5	Type-1	Shape-2	Type-2	Medium	Steel	High	Low	Type-1								
6	Type-1	Shape-2	Type-3	High	Gray	Low	Medium	Type-2								
7	Type-1	Shape-3	Type-1	Medium	Gray	High	Medium	Type-3								
8	Type-1	Shape-3	Type-2	High	Cast	Low	High	Type-1								
9	Type-1	Shape-3	Type-3	Low	Steel	Medium	Low	Type-2								
10	Type-2	Shape-1	Type-1	High	Steel	Medium	Medium	Type-1								
11	Type-2	Shape-1	Type-2	Low	Gray	High	High	Type-2								
12	Type-2	Shape-1	Type-3	Medium	Cast	Low	Low	Type-3								
13	Type-2	Shape-2	Type-1	Medium	Steel	Low	High	Type-2								
14	Type-2	Shape-2	Type-2	High	Gray	Medium	Low	Type-3								
15	Type-2	Shape-2	Type-3	Low	Cast	High	Medium	Type-1								
16	Type-2	Shape-3	Type-1	High	Cast	High	Low	Type-2								
17	Type-2	Shape-3	Type-2	Low	Steel	Low	Medium	Type-3								
18	Type-2	Shape-3	Type-3	Medium	Gray	Medium	High	Type-1								

1.3-7 實驗數據與S/N比計算 (Raw Data and S/N Ratios)

表1.3-3 實驗數據與S/N比

Exp.	M = 0.008				M = 0.016				M = 0.032				M = 0.064				β	S_d	S/N
	N1		N2		N1		N2		N1		N2		N1		N2				
	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2			
1	4.8	0.9	5.8	0.8	8.5	6.5	11.5	6.8	20.4	13.2	25.0	16.2	36.9	32.7	43.5	34.5	573	3.6	44.0
2	4.5	2.5	5.7	3.2	12.5	9.6	13.0	10.0	23.5	20.3	25.1	21.4	42.0	36.0	43.2	36.1	634	2.7	47.4
3	5.9	5.2	6.8	5.9	10.6	9.3	11.4	10.2	23.5	22.0	24.3	22.5	42.9	40.3	43.8	40.6	668	1.5	53.2
4	4.5	2.1	5.7	3.0	12.1	8.9	14.3	10.5	22.1	16.9	24.2	20.0	41.0	34.0	42.4	37.6	618	2.8	46.9
5	6.5	2.1	7.8	3.2	12.3	6.9	13.2	8.6	23.3	17.2	24.3	18.3	44.3	36.9	48.9	37.2	652	3.5	45.3
6	5.0	4.2	5.8	4.3	11.5	9.4	12.3	9.9	20.8	16.8	21.0	18.5	43.0	40.2	43.1	41.0	644	1.5	52.4
7	5.2	4.0	5.6	4.5	11.8	9.1	12.3	10.1	21.2	17.5	20.0	18.3	40.3	36.2	42.2	38.2	614	1.7	51.4
8	2.4	0.0	4.3	2.8	6.7	4.0	7.2	3.6	16.3	11.1	18.3	12.3	30.1	27.8	34.3	30.6	466	2.6	45.0
9	6.3	4.8	7.8	6.1	12.1	9.3	13.5	11.9	24.4	19.6	26.3	22.3	48.5	40.3	50.2	44.0	718	2.6	48.9
10	2.1	0.0	2.9	0.0	4.9	0.0	7.4	4.2	18.3	9.5	17.7	10.8	32.0	26.3	35.3	28.1	455	3.8	41.6
11	4.9	1.2	7.6	1.8	11.3	6.5	15.3	6.8	23.4	15.0	25.1	17.2	40.1	33.2	50.5	35.5	622	4.7	42.4
12	5.1	4.4	6.4	4.4	10.1	7.8	11.2	8.5	21.7	18.7	22.1	20.1	43.1	41.2	44.4	41.5	657	1.4	53.3
13	2.1	0.0	5.4	0.6	6.7	1.2	7.3	2.3	13.4	9.4	16.4	11.1	38.9	27.9	43.3	31.1	505	5.0	40.0
14	5.9	5.0	6.8	5.2	13.3	12.0	14.2	13.3	24.9	23.1	26.3	25.4	47.9	46.3	49.7	47.2	756	1.3	55.3
15	3.2	0.0	3.9	1.8	8.7	3.2	9.6	5.1	13.2	7.9	19.5	11.1	38.2	32.1	42.5	33.0	528	4.5	41.5
16	4.1	2.7	5.9	4.4	12.3	8.7	13.7	9.2	24.3	18.9	25.5	20.2	44.3	39.0	47.7	42.4	679	2.6	48.4
17	2.3	0.8	3.2	2.1	10.2	8.0	12.5	8.8	21.6	16.5	23.6	20.4	38.8	32.4	41.1	36.6	591	2.9	46.3
18	1.2	0.0	5.1	1.2	7.8	2.3	13.0	5.0	20.3	11.1	21.2	12.4	40.1	31.6	45.1	32.0	557	4.8	41.2

Average = 608 46.9

實驗數據與S/N比計算

β 是這16個數據的迴歸直線的斜率：

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n M_i y_i}{\sum_{i=1}^n M_i^2} \quad (1.3-3式)$$

S_d 代表這16個資料點偏離迴歸直線的量，計算如下

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \beta M_i)^2}{n-1}} \quad (1.3-4式)$$

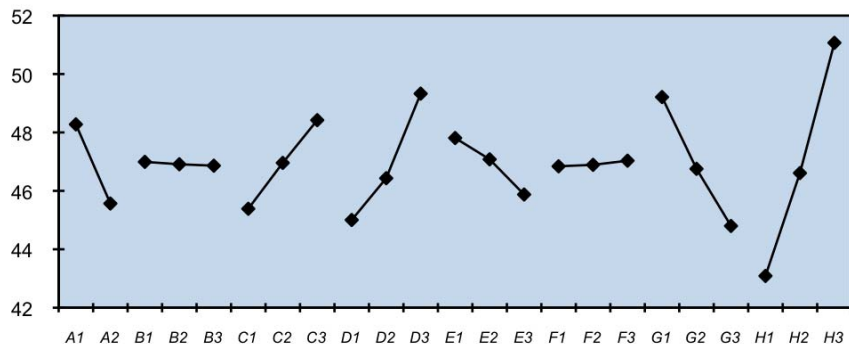
而S/N的計算如下：

$$S/N = -10 \log \frac{S_d^2}{\beta^2} \quad (1.3-5式)$$

1.3-8 因子反應分析 (Factor Response Analysis)

表1.3-4 S/N比的因子反應表

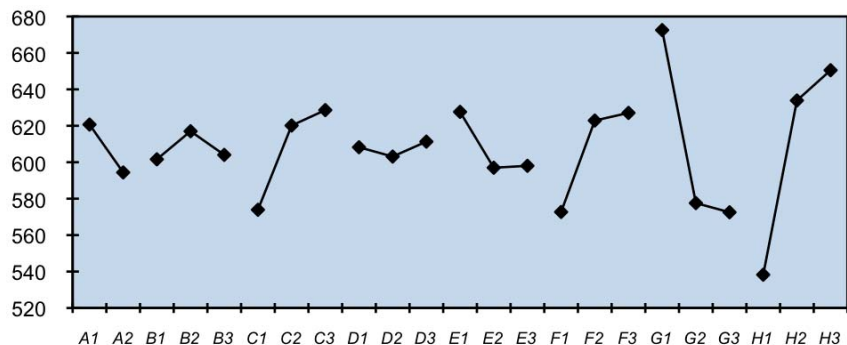
	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	48.3	47.0	45.4	45.0	47.8	46.8	49.2	43.1
Level 2	45.6	46.9	47.0	46.4	47.1	46.9	46.8	46.6
Level 3		46.9	48.4	49.3	45.9	47.0	44.8	51.1
Range	2.7	0.1	3.0	4.3	1.9	0.2	4.4	8.0
Rank	5	8	4	3	6	7	2	1



因子反應分析

表1.3-5 β 的因子反應表

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
Level 1	621	602	574	608	628	573	673	538
Level 2	594	617	620	603	597	623	578	634
Level 3		604	629	611	598	627	573	651
Range	26	15	55	8	31	54	100	112
Rank	6	7	3	8	5	4	2	1



1.3-9 設計最佳化 (Design Optimization)

- 最佳化的程序分成兩個步驟：先縮小變異，亦即最大化 S/N 比；再最大化煞車效率 β 。
- 為了進行兩階段最佳化（two-stage optimization）的程序，我們先將控制因子分成3類。
- 目前我們還是以的一半準則來判斷因子是否有影響力：

表1.3-6 控制因子的分類

因子類別	是否影響 S/N ?	是否影響 β ?	控制因子	用途
1	Yes	Yes/No	A, C, D, G, H	用來縮小變異
2	No	Yes	E, F	用來調整靈敏性至最大值
3	No	No	B	用來降低成本

設計最佳化

先調整第1類因子 (A, C, D, G, H) 來最大化 S/N 比，

$A1 \quad B? \quad C3 \quad D3 \quad E? \quad F? \quad G1 \quad H3$

接著調整第2類因子 (E 及 F) 來使煞車靈敏性達到最大值，

$A1 \quad B? \quad C3 \quad D3 \quad E1 \quad F3 \quad G1 \quad H3$

最後調整第3類因子 (B) 來最小化成本，

$A1 \quad B1 \quad C3 \quad D3 \quad E1 \quad F3 \quad G1 \quad H3$ (1.3-6式)

1.3-10 確認 (Confirmation)

預測

表1.3-7 新舊設計下的 S/N 及 β 預測值

Factor	Original Design			New Design		
	Level	Response		Level	Response	
		S/N	β		S/N	β
A	1	48.3		1	48.3	
B	2			1		
C	2	47.0	620	3	48.4	629
D	2	46.4		3	49.3	
E	2		597	1		628
F	2		623	3		627
G	2	46.8	578	1	49.2	673
H	2	46.6	634	3	51.1	651
Average		46.9	608		46.9	608
Predicted		47.3	621		58.6	776

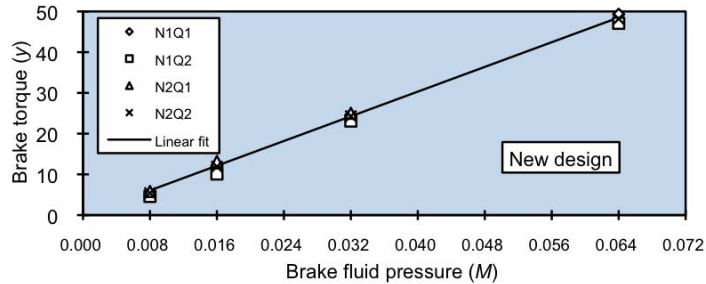
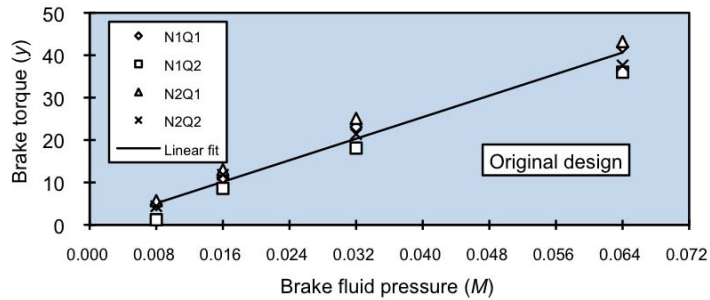
確認實驗

表1.3-8 確認實驗數據

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H	M = 0.008				M = 0.016				M = 0.032				M = 0.064				β	S_d	S/N
									N1		N2		N1		N2		N1		N2		N1		N2				
									Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2			
Original	1	2	2	2	2	2	2	2	4.8	1.2	5.7	4.4	11.1	8.6	13.0	11.8	23.1	18.1	25.1	21.4	42.0	36.0	43.2	37.6	635	2.7	47.6
New	1	1	3	3	1	3	1	3	5.3	4.6	5.8	5.4	12.2	10.1	13.2	11.9	24.6	23.1	25.0	24.3	49.3	47.1	50.1	48.2	758	1.0	57.4

Gain = 123 9.8

1.3-11 設計改善前後的比較 (Comparison)



第1.4節 田口方法摘要

Taguchi Methods Summary

1.4-1 工程研發的步驟 (Engineering Design Process)

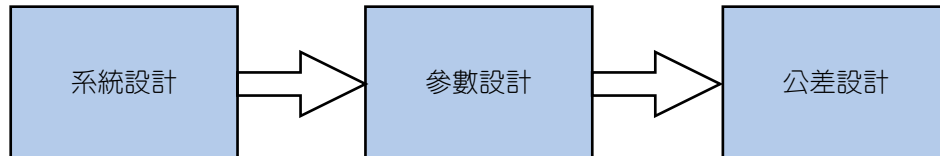
1.4-2 穩健參數設計法 (Robust Parameter Design)

1.4-3 田口方法的步驟 (Steps of Taguchi Methods)

1.4-4 本書其它章節的課題 (Topics in Other Chapters)

1.4-1 工程研發的步驟（Engineering Design Process）

- 工程系統通常是模組化而且是階層化的，也就是說大的工程系統是由小的工程系統組成，小的工程系統是由更小的工程系統組成。
- 所謂「工程系統」可能是指一個大而複雜的產品或生產線，或是一個小而簡單的零件或製程。
- 任何一個工程系統的設計或研發工作可以視為由三個主要步驟構成。
- 以影響最終產品的品質而言，這三個步驟的重要性依次是：系統設計、參數設計、及公差設計。



系統設計（System Design）

- 工程師將現有的技術及市場上已存在的模組做一系統整合，以達到產品或製程的機能上的需求。
- 對橋樑設計而言，這步驟包含了選擇結構系統及施工方法等。
- 對電腦設計而言，這步驟包含了選擇處理器、記憶體、硬碟等。
- 經過這個步驟後，工程師必須能夠明確地畫出一個系統構架。
- 這個步驟的成功有賴於工程師具備廣泛的工程知識，及對現有技術及市場的掌握。這個步驟是最終產品成敗的主要關鍵。

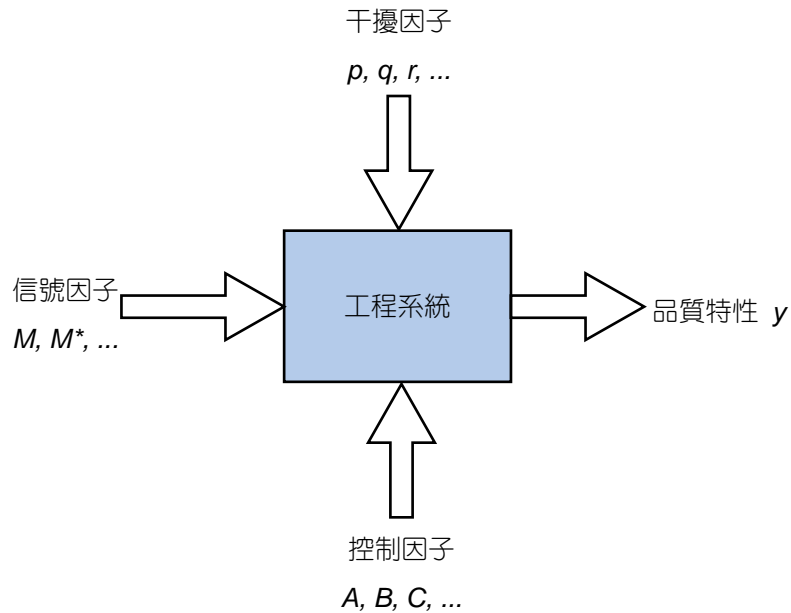
參數設計（Parameter Design）

- 系統設計完成後，會留下許多系統參數需要進一步決定。
- 對橋樑設計而言，這步驟包含了各結構元件尺寸的決定以滿足橋樑的機能。
- 對電腦設計而言，這步驟包含了每個電子組件在空間上的安排，使得熱量可以有效地排放，不致於影響電腦的機能。
- 對電路板設計而言，這個步驟包含了決定電阻、電容大小。
- 工程師決定這些參數的過程稱為「參數設計」，這是一般所界定的「田口方法」的主要範圍，也是本書的討論範圍。
- 參數設計的目標是去決定設計參數，使得系統達到它理想的機能，包括這些機能的變異必須達到最小，也就是品質損失達到最小，而且成本能夠最小化。

公差設計（Tolerance Design）

- 一個系統經過參數設計後，如果還要進一步縮小機能變異，亦即進一步提高品質，可以訴諸「公差設計」。
- 在田口方法中，「公差設計」是去調整系統參數的公差值（tolerance），使得系統的機能變異進一步縮小。
- 譬如電路板設計，經由使用較精密的電阻（公差較小）可以降低機能變異。
- 當一個系統參數的公差值被縮小時，通常會使得系統的機能變異縮小，亦即品質損失會減小。但是，公差值縮小通常表示成本的提高。
- 品質損失的減小和成本的提高間必須作一個比較，當前者大於後者時，公差值的縮小才是值得的。
- 同理，當一個系統參數的公差值被放大時，如果成本的降低比品質損失的增加要大時，公差值的放大是值得的。

1.4-2 穩健參數設計法 (Robust Parameter Design)



穩健參數設計法

- 控制因子是系統的設計參數，也就是工程師可以控制的因子。
- 信號因子是由系統外部輸入的值，是由此系統的使用者來控制的因子。
- 系統的品質特性有一個理想值，稱為理想機能。當此理想值是固定值時，我們稱此為靜態的品質特性，當此理想值是隨著信號因子而改變時，我們稱此為動態的品質特性。
- 只有動態的系統才有信號因子，靜態的系統並沒有任何信號因子。

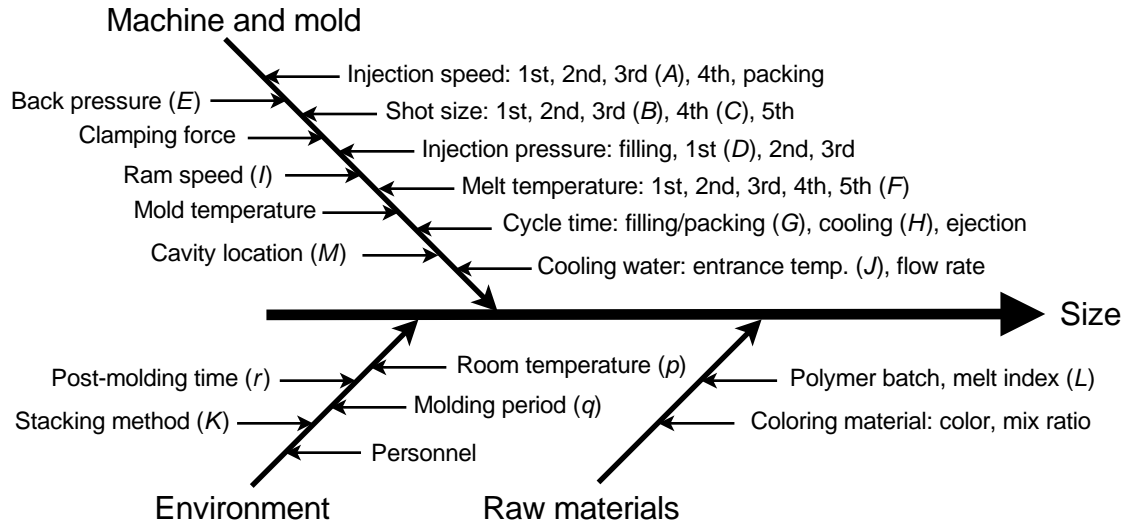
穩健參數設計法

- 在一定的控制因子及信號因子下，所有會造成品質特性偏離其理想值的因子都稱為干擾因子。
- 干擾因子可以分為兩大類：內部干擾及外部干擾。內部干擾是指控制因子的變異，而外部干擾是指外在環境的變化。
- 參數設計是指去決定控制因子，使得品質特性盡量達到它的理想值：（1）平均值盡量落在理想值上，（2）變異盡量接近零。
- 當一個系統的機能不因干擾因子的變化而有太大的變異時，亦即對干擾因子的變化不敏感時，我們說這個系統是穩健的。
- 田口方法又稱為穩健參數設計法。

1.4-3 田口方法的步驟（Steps of Taguchi Methods）

- 問題定義
- 決定品質特性、理想機能
- 列出影響品質特性的因子
- 決定各種因子及變動水準
- 設計實驗直交表
- 執行實驗
- 資料分析
- 設計最佳化
- 確認
- 準備下一個循環

魚骨圖



1.4-4 本書其它章節的課題

- 田口方法基本上是從傳統的「實驗設計法」（DOE）改良而來的。
- 實驗設計法的基本構想是以實驗所獲得的數據來建構一個「實驗模式」，希望能用這個實驗模式來預測系統的行為。
- 有別於傳統實驗設計法之處可以歸納為兩方面：（1）「田口方法」在提升實驗效率上作了很多改革，亦即減少實驗次數，讓工業界可以接受並廣為應用。這主要歸因於「田口式直交表」及「加法模式」的應用。（2）「田口方法」將傳統的「實驗設計法」和「穩健品質設計」的構想結合，並以簡潔的S/N比計算程序來實踐這個構想。
- 「利用最少的實驗數據來建構最精確的實驗模式」是「田口方法」最核心的價值，本書其它章節的大部份內容都是在此目標下的衍生課題。