

田口法應用於探討類 MeltFlipper 之圓角改變對流動平衡的影響分析

Study on the Flowing Balance Effect considering the Round-Angles of the MeltFlipper-Like using Taguchi Method

林肇民^{*1,2}
Chao-Ming Lin

楊偉聖²
Wei-Sheng Yang

譚仲明²
Chung-Ming Tan

¹ 國立嘉義大學 機械與能源工程學系

² 吳鳳科技大學 光機電暨材料研究所

¹Department of Mechanical and Energy Engineering, National Chiayi University

²Graduate School of Opto-Mechatronics and Materials, WuFeng University

摘要

本文在模擬塑膠射出成型中，利用田口法對於類MeltFlipper流動平衡元件進行改變圓角幾何的模擬實驗，期許得到含有最佳流動平衡元件的一模八穴流道。為了探討最佳的圓角幾何參數，使用田口法(其中包含有 $L_9(3^4)$ 直交表、信雜比S/N值和平均數分析)統計和計算得出最佳參數並進行確認模擬實驗，在Moldex3D模擬實驗中得出一組最佳參數組合，其參數組合為A(3mm)、B(5mm)、和C(3mm)，最佳參數組合的S/N值為39.913並且流動平衡度為99.004%。

關鍵詞：MeltFlipper、流動不平衡、田口法、模流分析、圓角

Abstract

In this paper, the authors try to use the Taguchi method to analyze the round-angle effect of the MeltFlipper-like device in the flowing balance of the injection molding processing. The major aim is to obtain the optimal balance performance of the 8 multi-cavity parts. To explore the optimum round-angle parameters, the Taguchi method including (the orthogonal array $L_9 3^4$, the signal-to-noise ratio S/N, and the analysis of means-ANOM) is employed to analyze the affect factors of mold filling imbalances and to determine the optimum parameters. The Moldex3D software is used to process the injection molding experiments. The results show that the optimal combination of control factor (level) is A(1), B(3), and C(1), and the combination parameters of the optimum process with S/N=39.913 can elevate the balance performance to 99.004%.

Keywords: MeltFlipper-like, Flowing Imbalance, Taguchi Method, Mold Flow Analysis, Round-Angle.

一、前言

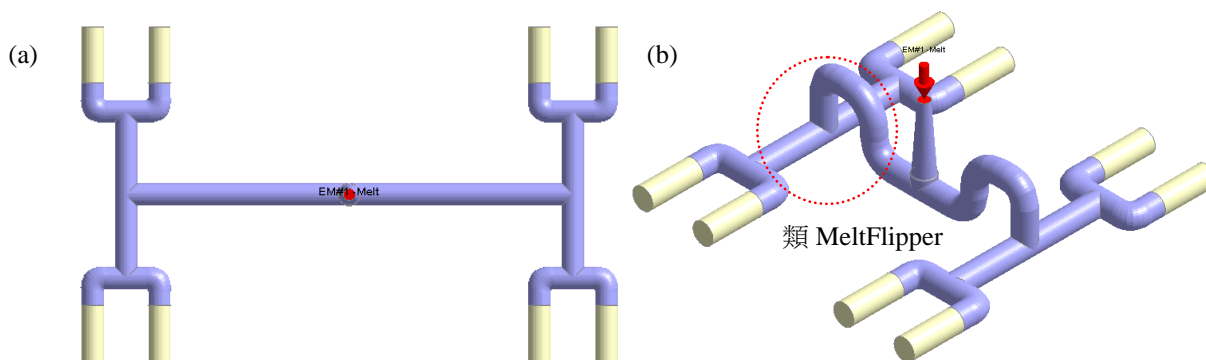
塑膠製品的製造方式可分為射出成型、擠壓成型、轉移成型、吹塑成型等幾種，其中以射出成型為目前業界中被廣泛的使用，它能夠大量的快速生產多形式之塑膠製品，塑膠材料可為熱塑性及熱固性兩大類，在生活中塑膠製品之所以能夠被大量的使用是因為它具備高產量、輕巧性、便利性以及多用途等等。射出成型固然很好但是流動不平衡至今還是射出成型最大的困難點，影響流動不平衡是由轉角效應、剪切效應所導致的高溫熱塑料、以及模具設計等相關因素，流動不平衡會影響產品的良率下降，使製造成本



大幅上升。射出成型所使用的流道樣式可分為兩大類，幾何平衡流道與非幾何平衡流道，幾何平衡流道是因它塑料從進澆口到各模穴距離是相等的，與非幾何平衡流道相比具有較佳的品質一致性，幾何平衡流道雖然幾何已平衡但是塑料到至各模穴的平衡度卻是沒有達到平衡，造成幾何平衡流道不平衡因素有很多但是主要為剪切效應以及轉角效應所造成，

剪切效應是高溫熱塑料在流道流動過程中靠近模壁的熱塑料會因冷卻水路或模溫等相關因素造成熱塑料熱量流失凝固，即為固化層，但熱塑料中心部份依然繼續流動，流動部份與固化層會發生互相剪切造成塑料溫度上升，導致塑料溫度不均勻繼續充填；轉角效應是因為熱塑料在流動過程中發生剪切效應所產生的不均勻熱塑料，再經過分流處時候會使不均勻的熱塑料分流，偏高溫部份會較快速流動充填較靠近內側模穴，較低部分則流至較外側部分，造成各模穴熱塑料充填完成時間不一致，目前射出成型產業中模具大都採用一模多穴，如一模八穴，圖一(a)所示、一模十六穴、和一模三十二穴等會使剪切效應與轉角效應更加嚴重，造成塑料充填滿各模穴時間相差更大導致後續保壓、翹曲等不一致使產品品質的下滑[1]。至今解決流動不平衡的方法有很多，其中有MeltFlipper多模穴模具熔膠翻轉專利技術、使用微混合器、熱流道系統等技術來改善剪切效應與轉角效應所造成流動不平衡使產品良率提高，進而達到降低成本，MeltFlipper是將塑料在流道中的溫度和剪切率分佈重新調整，促使各模穴內具有對等的壓力、溫度、黏度，使各模穴充填達到平衡[2]圖一(b)所示；微混合器主要是藉由特殊的流道型式，促使兩種不同性質的流體接觸面積增加，進而達到相互混合的效果[3]；熱流道系統是由分流板、噴嘴、加熱元件以及溫控器等四項元件所構成，來達到無流道系統進而每個噴嘴對應各個模穴來改善[4]。

田口法主要是以較少的模擬實驗次數，經相關公式以及分析比較後得出最佳參數，再經確認實驗來提升產品的品質，文中是以MeltFlipper多模穴模具熔膠翻轉專利技術之概念來進行實驗，並使用田口方法來進行本次模擬實驗輔助，找出本文中之最佳參數。



圖一、(a)一模八穴示意圖；(b) 類MeltFlipper示意圖

二、理論分析

CAE(Computer-aided engineerig)理論基礎

電腦輔助工程(CAE)的技術種類有三種為有限元素分析法、邊界元素法、有線插分法等，其中有限元素分析法是目前法業界及學術界中較普遍使用來計算物理現象的理論，有限元素分析法是預先把所需之物體，分割為有限量的微小元素，各元素的物理性質各有不同，最後在應用電腦的數值處理能力分析各項物理量[5]。

MeltFlipper

MeltFlipper多模穴模具熔膠翻轉專利技術是Beaumont Technologies, Inc. (BTI) 公司所研發之技術，MeltFlipper是將塑料在流道中的溫度和剪切率分佈重新調整，將塑料在



流入次流道前，重新配置溫度與剪切率分佈，促使各模穴內具有對等的壓力、溫度、黏度，使各模穴充填達到平衡[6]。

田口理論基礎

圖二是利用田口實驗法來對本實驗的流程示意圖，其詳細內容如下：

一、定義目標函數是田口法分析過程中決定目標函數及其特性，根據品質特性的種類將目標函數轉換成信雜比，其計算公式以望大、望目、望小等特性來決定，本文採用望小公式其方程式如下(1)所示。

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{\sigma_1^2} \right) \quad (1)$$

二、定義設計參數及水準表，模擬實驗中所改變的設計參數在田口法中稱之為控制因子在進行田口法分析前，必須先對目標函數的各設計參數設定水準數，並在其適當範圍設定水準值。

三、選擇直交表，直交表是進行分析各項設計參數影響目標函數的基礎，所以在進行模擬實驗時必須依照直交表所設定各設計參數水準來進行，否則所有的分析將是無效的。

四、平均數分析(Analysis of mean, ANOM)主要的目的在於明瞭每一個設計參數所設定的各水準下，對目標函數之影響趨勢以及最佳組合水準。在執行分析前必須先行做下列的計算：

A. 根據直交表之規劃進行實驗，每一個設計參數在不同水準下模擬實驗中所得結果的信雜比平均值。以設計變數A為例計算如(2)式。

$$M_A = \frac{1}{n_A} \sum_{i=1}^{L_A} (S/N)_{Ai} \quad (2)$$

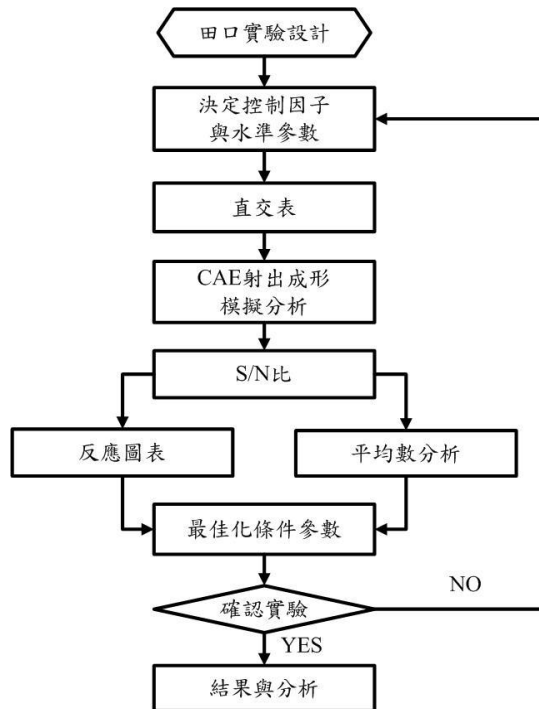
B. 計算全部實驗結果的信雜比之平均值如式(3)。

$$M = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N (S/N)_j \quad (3)$$

C. 依據步驟A和B所得出之信雜比平均數畫出回應圖，並可據以得知各設計參數於各個設計水準之信雜比平均值的變化趨勢，斜率越大者表示該設計參數對目標函數的影響越顯著。同時根據回應圖選取各設計參數的信雜比之平均值最大者，為該設計參數的最佳水準。

五、確認模擬實驗，由平均數分析得知之最佳設計參數組合，經由模擬實驗過後確認是否有改善其品質[7、8]。



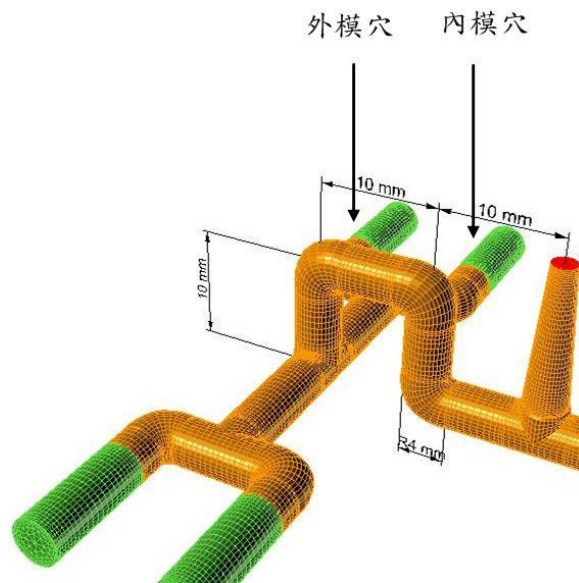


圖二、田口實驗流程圖

流動平衡度

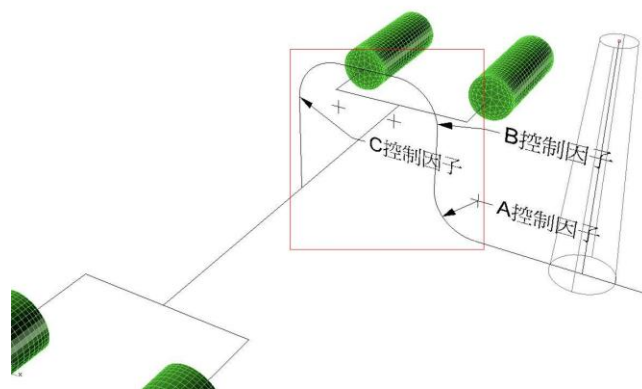
根據定義『平衡度』(Balance Performance, B.P.)，假設模具進澆口到各模穴底部的時間為 t_a 、 t_b ，時間長短為 $t_a > t_b$ 。因此，定義各個模穴的平衡度為 t_{cav} / t_{ref} ，其中 t_{cav} 為填滿該模穴所需時間， t_{ref} 為參考時間。如我們採 $t_{ref} = t_a$ ，則可定義內模穴平衡度為 t_b / t_a ，而因為我們使用的為一模八穴，只有兩種塑流情形，所以可以將b的平衡度表示為該模具整體平衡度來表示[9, 10]。以數學方式表示如下：

$$\text{平衡度(B.P.)} = t_{cav} / t_{ref} = t_b / t_a \times 100\%$$



圖三、一模八穴H型流道實體網格圖





圖四、控制因子示意圖

三、模擬條件

模型設計

本文使用一模八穴 H 型流道來進行設計，因 H 型流道為幾何平衡流道，其塑料流動現象指有兩種為流向內模穴及外模穴等兩種現象，故文中我們圖示皆以剖半以半對稱流道示意，並定義每組流道中塑料，由射出機台噴嘴經過流道最後流至各模穴路程相同如圖三所示，在圖四中框選處為我們所放置的流道平衡元件，圖中所標示的為我們本模擬實驗所改變參數的位置，同時也是田口法中的控制因子表一為我們控制因子及各模擬實驗所需的參數水準表，我們使用 $L_9(3^4)$ 直交表來做本文所需的模擬實驗組合方式，如表二所示，在選定控制因子以及水準表我們將依水準表所設定之參數帶入 $L_9(3^4)$ 直交表來做本次模擬實驗模型設定，如表三所示。

表一、控制因子水準表

Factor	Content	Level 1	Level 2	Level 3
A	A round-angle (mm)	3	4	5
B	B round-angle (mm)	3	4	5
C	C round-angle (mm)	3	4	5

表二、 $L_9(3^4)$ 直交表

Exp.	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2



表三、模擬實驗組合

Exp.	A(mm)	B(mm)	C(mm)
1	3	3	3
2	4	4	4
3	5	5	5
4	3	4	5
5	4	5	3
6	5	3	4
7	3	5	4
8	4	3	5
9	5	4	3

材料與加工方式

塑料材料為聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)，其特性為無色透明、耐熱、抗衝擊及阻燃，在普通使用溫度內都有良好的機械性能，表四為我們模擬射出成型加工參數表。

表四. 成型加工參數表

Filling setting	
Melt Temperature	330°C
Mold Temperature	100°C
Maximum injection pressure	300MPa
Packing setting	
Packing Time	5sec
Maximum packing pressure	300MPa

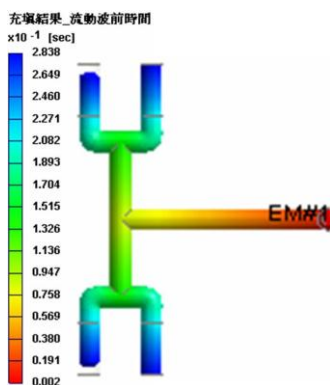
四、結果與討論

在結果與討論裡，首先進行 H 型流道的模擬分析，觀察塑料的流動情形，再加入不同的元件，對 H 型流道的流動現象改變，並經過田口法分析後得到本文較佳的組合，在經確認模擬實驗後來探討本實驗的目標是否達到。

充填流動分析

H 型流道流動不平衡之原因，主要是受到剪切效應產生的高溫塑料以及轉角效應所造成。因此我們針對 H 型流道加入九種經由 MeltFlipper 概念所設計的流道平衡元件，使溫度和剪切率在分流處之前進行分散，使較均勻熱塑料能流入各模穴，由圖五中我們得知內側模穴充填完成，外模穴還未充填完成，此現象被稱為流動不平衡。由數據分析得知，H 型流道內模穴充填所需時間與整體流道充填完成時間，可由計算平衡度之方程式計算出該組流動的平衡度，其各組流道數據由表五所示。





圖五、H型流道波前示意圖

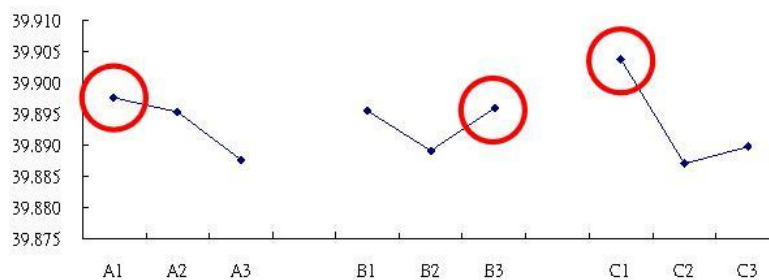
表五、各組流動平衡度

Exp.	A(mm)	B(mm)	C(mm)	平衡度
Original	3	3	3	97.559%
1	4	4	4	98.975%
2	5	5	5	98.684%
3	3	4	5	98.710%
4	4	5	3	98.754%
5	5	3	4	98.966%
6	3	5	4	98.683%
7	4	3	5	98.754%
8	5	4	3	98.754%
9	3	5	3	98.754%

田口分析

表六中平衡度以B.P.示之，根據表一控制因子水準中，藉由表二的 $L_9(3^4)$ 直交表對進行以Rhinoceros4.0 模擬分析所需的組別設計，在得出各模擬實驗平衡度數據後，計算各組的S/N值，計算S/N值必要條件是確認我們是要用望大、望小或者是望目等公式來求解，本實驗所預期目標是流動平衡度越高越好，故我們採用望大特性之方程式來計算S/N值，將九組數據依序計算出S/N值，經由S/N比數據整出每一加工條件在不同水準下的流動平衡度差異S/N反應表，如表七所示並繪製S/N反應圖，在圖六中顯示了各控制因子的參數所對應的S/N比，其中較為突出的三個部份，所影響效果較大。在S/N反應圖中以半數法則的控制因子C對本文實驗中影響效果較大，我們採用所有控制因子中最為突出的參數及為最佳參數組合來進行設計流道，並與各組別其他外在條件相同的情況下進行設計並分析，其中我們所採用的元件尺寸如下，A圓角尺寸為3mm、B圓角尺寸為5mm、C圓角尺寸為3mm，進行最後的確認模擬實驗。





圖六、 S/N反應圖

表六、S/N實驗數據

Exp.	A(mm)	B(mm)	C(mm)	B.P.	S/N
1	3	3	3	98.975	39.911
2	4	4	4	98.684	39.885
3	5	5	5	98.710	39.887
4	3	4	5	98.754	39.891
5	4	5	3	98.966	39.910
6	5	3	4	98.683	39.885
7	3	5	4	98.754	39.891
8	4	3	5	98.754	39.891
9	5	4	3	98.754	39.891

表七、S/N反應表

	A	B	C
Level 1	39.898	39.895	39.904
Level 2	39.895	39.889	39.887
Level 3	39.888	39.896	39.890
Range	0.010	0.007	0.017
Rank	2	3	1
Significant?	no	no	yes

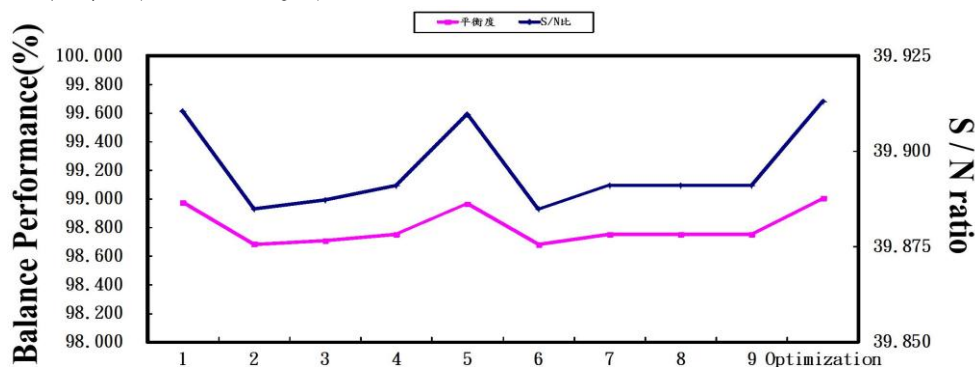


表八、S/N比與平衡度數據表

Exp.	A(mm)	B(mm)	C(mm)	B.P.	S/N比
1	3	3	3	98.975%	39.911
2	4	4	4	98.684%	39.885
3	5	5	5	98.710%	39.887
4	3	4	5	98.754%	39.891
5	4	5	3	98.966%	39.910
6	5	3	4	98.683%	39.885
7	3	5	4	98.754%	39.891
8	4	3	5	98.754%	39.891
9	5	4	3	98.754%	39.891
Optimization	3	5	3	99.004 %	39.913

變更設計

表八中顯示了各組別的平衡度與S/N比，其中包括了我們在前面所找出的最佳參數組合，其數據結果我們繪製成圖，如圖七所示，圖中以第2組別A圓角尺寸為4mm、B圓角尺寸為4mm、C圓角尺寸為4mm和第6組A圓角尺寸為5mm、B圓角尺寸為3mm、C圓角尺寸為4mm，其平衡度最差，以我們經由田口法模擬實驗中得出本文中最佳參數組合A1B3C1的平衡度較佳，可達到99.004%。



圖七、S/N比與平衡度曲線圖

五、結論

本文中我們以幾何平衡流道為基礎模型，加入以MeltFlipper為概念的流動平衡元件，並使用田口法來進行模擬組合參數，使用Moldex3D模流分析軟體進行模擬實驗分析，經模擬實驗比較分析得到下面幾點結論：

一. 流動平衡元件對平衡度之效果：

在文中我們經模擬實驗得知未加任何元件的原始幾何平衡流道其平衡度為97.56%，而其它加有流動平衡元件的模擬組合以及最佳參數所得知平衡度皆比未加入流動平衡元件為佳。

二. 田口法對本實驗的影響：

經模擬實驗分析中得出最佳參數組合為以A(3mm)、B(5mm)、和C(3mm)，其中C控



制因子對本實驗影響最大然而B控制因子所影響效果較小，在經確認模擬實驗後得出平衡度比所有模擬參數組別為佳。

本文以MeltFlipper為概念使用田口法對幾何平衡流道進行模擬實驗分析比較後，所得出最佳參數組合的幾何平衡流道，能夠有效的提高原始幾何平衡流道的平衡度，其中以C控制因子對本模擬實驗影響最大，它能夠更加有效的使熔膠平均對稱的流入分流處，使熔膠均勻的流置各模穴，達到本次模擬實驗所期許的使用田口法來改善平衡度的目的。

參考文獻

- [1] 林肇民、鄭釗瀚，流道轉角效應對流動平衡影響之分析，吳鳳科技大學第十八期吳鳳學報 p.60~74，2010。
- [2] MeltFlipper™ 熔膠專利翻轉技術，科盛股份有限公司。
- [3] 林肇民、張維霖、許祥瑋、林芳宇，微混合器概念應用於射出成型加工之流道平衡系統，中國機械工程學會第二十五屆全國學術研討會論文集，2008年11月21日、22日。
- [4] 王建華、徐佩弦，注射模的熱流道技術，機械工業出版社，北京、2005.11。
- [5] 林肇民、張維霖、林芳宇、許祥瑋，射出成型流道系統的流動平衡探討及改善，吳鳳科技大學第十六期吳鳳學報，p.113~124，2008。
- [6] 張維霖，射出成型流動平衡分析與改善，碩士論文，吳鳳技術學院光機電暨材料研究所，嘉義，2009。
- [7] 李輝煌，田口方法品質設計的原理與實務，高立圖書有限公司，2011.1。
- [8] 鄭釗瀚，多模穴模組流道系統之流動平衡分析，碩士論文，吳鳳科技大學光機電暨材料研究所，嘉義，2011。
- [9] 王克勤，新型微混合器之設計與流場分析，國立成功大學機械工程學系碩士論文，2002。
- [10] 張榮語、陳彥成、王宇寧，塑膠射出成型流道平衡與流道設計最佳化，國立清華大學化工系 CAE 研究室，其網址: http://www.tmdia.org.tw/images_service/。

