第四章 多產品比例模式下之機台組合模型

本章節主要是探討晶圓代工廠多產品生產比例之機台規劃問題。需具備可生產多種產品比例的能力，是目前晶圓代工廠的潮流與特性。代工廠的主要產品爲邏輯產品與記憶體產品，前者屬於訂單生產的服務型態。而產品訂單與半導體產業的淡旺季(季節性)具有密切的相關性，因此代工廠訂單的組合在年度當中會隨著淡旺季的變化而調整，所以晶圓廠的機台設備需能夠配合訂單組合的調整而生產不同的產品比例。

本論文所提出的多產品生產比例機台規劃模型，所考慮的環境背景，是針對當需求面很強時業者建新廠的機台規劃問題。在這個模型下，我們考慮了週期時間與機台採購預算的限制，目標是決定一組最適機台組合使得營業利潤最大。過去有一些探討機台組合問題的文獻[1, 2, 4, 5, 6, 13]也考慮了週期時間因素，然而這些研究均在單一產品比例的假設下進行規劃。所謂單一產品比例是指，在全部的規劃時程內生產的產品比例是固定的，但晶圓代工廠卻常常需要生產不同的產品比例。單一產品比例的機台規劃方式，在產品需求比例改變時往往會導致機台組合的不適。這種不適的機台組合最後將造成作業績效不佳，例如，產量低或週期時間長。由此可見，針對某一特定產品比例所規劃的最佳機台組合，未必適合生產另一產品比例。所以單一產品比例的機台規劃模型無法使用來分析多產品比例的機台規劃問題。

本研究主題針對以上的問題，建構一個多產品比例機台決策模型，使用基因演算法加以解決。我們也以數值案例的結果與單一產品比例模型比較，發現利潤值有明顯的差距，以本研究的應用案例利潤差距最大可達 87%，顯示本研究的機台決策模型有實質的應用價值。最後本研究將基因演算法所收集的資料彙整成成本利潤關係圖，可讓決策者在採購機台時能根據公司的預算成本選擇最佳利潤之機台組合。

4.1 多產品比例下機台組合之的環境描述與最佳化模型

在本小節我們描述的機台規劃模型，爲建新廠的機台規劃問題。本問題考慮多產品生產比例，目的是決定一組最佳機台組合以使工廠利潤最大。基於作業目標及財務因素的考量，這組最佳機台組合同時需滿足生產的平均週期時間要求，和預算的限制。

我們以下列的例子說明上述的問題。有一晶圓代工業者欲建一座新廠以擴充產能，因此面臨機台採購的問題。業者主要生產 A、B 兩種家族產品，此二產品有不同的市場價格。根據以往的經驗顯示上半年需求的產品比例，與下半年需求的產品比例並不相同。上半年需求的產品比例爲(A: B) = (0.7: 0.3)，下半年爲(A: B) = (0.5: 0.5)。工廠希望生產的週期時間不能超過 30 天，新機台採購預算爲美金 12 億元。則工廠應該如何採購機台，才能使每年的利潤最大。模型的假設如下：

假設

(1) 新廠的機台決策

本問題是針對一個新晶圓廠所作的機台規劃。

(2) 規劃期間需生產多個產品比例

業者因爲季節因素的考量，所以需要生產生產多個產品比例。

(3) 規劃期間爲一年

本問題爲新廠的機台規劃問題，依業界的慣例規劃時程爲一年。

(4) 生產週期時間不能超過預定的目標週期時間

因爲目標週期時間爲晶圓代工業者的主要績效指標，所以生產週期時間不能過長。

(5) 有機台採購預算限制

公司對於機台採購所需的投資金額有財務預算的考量。

以下爲我們的問題描述。

我們假設有一晶圓廠在規劃時程內，預計需生產 L 個產品比例。若以 T 代表全部的規劃時程長度，則 T 可劃分成 L 個時間長度使得 $T=\sum_{k=1}^{L} t_k$ ；其中在每一個時間長度 t_k 中需生產某一特定產品比例 PX_k。我們使用一組向量 $(r_{1k}:\ldots:r_{ik}:\ldots:r_{nk})$ 來代表產品比例 PX_k，其中 n 爲所需生產的產品家族的種類，且 $\sum_{i=1}^{n} r_{ik}=1$ 。符號 r_{ik} 在產品比例 PX_k 中代表產品種類 i 在情境 k 的生產比例。對於每一個產品比例 PX_k 的情境，所生產的目標週期時間均爲 CT_0。讓 $X=(x_1,\ldots,x_j,\ldots,x_m)^T$ 代表一組機台組合，其中 x_j 爲第 j 種機台群的數量。讓 B 爲機台採購預算，N 爲機台攤提折舊的期數。p_i 爲第 i 種產品的單位售價，p_i 爲第 i 種產品的單位變動成本。所以對於第 k 情境的產品比例而言，其平均售價 $(\overline{p_k})$ 和平均變動成本 $(\overline{v_k})$ 的計算可以寫成下列數學式：

$$\overline{p_k}=\sum_{i=1}^{n} p_i r_{ik}\,; \qquad \overline{v_k}=\sum_{i=1}^{n} v_i r_{ik}$$

本章節所描述的機台規劃問題可以表達成下列數學模式：

$$MXTP:\ \ \underset{X}{Max}\sum_{k=1}^{L} t_k\cdot Q_k(X)\cdot(\overline{p_k}-\overline{v_k})-\frac{C\cdot X}{N} \tag{24}$$

s. t.

$$CX\le B \tag{25}$$

$$Q_k(X)=f_{qb}(X;PX_k,CT_0) \tag{26}$$

x_j 爲非負整數

以上的 $MXTP$ 問題中，$Q_k(X)$ 代表一組機台組合 X 在 k 情境的產品比例下最大產量，該產量需使平均週期時間需小於等於一目標值 CT_0 。$Q_k(X)$ 可以使用

函數 f_{qb} 加以計算，其中下標 qb 代表 f_{qb} 是由等候模型與二元搜尋法合併應用的函數。函數 f_{qb} 可以計算情境(X, PX_k , CT_0)的最大產出量。 f_{qb} 的數學詳細推導於下一節討論。

以上的數學式中，X 爲決策變數。目標函數是使整段規劃時期的利潤達到最大，目標函數的第一項爲邊際貢獻利潤(總收入減掉總變動成本)，第二項爲機台在規劃時期的折舊成本。

第一個限制式代表機台採購成本需在預算之內。第二個限制式表示機台組合 X 在情境(PX_k, CT_0)中的產量。更明白的說，在情境 PX_k 中，當機台組合 X 的平均週期時間等於 CT_0 時，X 的產量爲 $Q_k(X)$。第三個限制式使機台數量變數爲整數解。

以上的數學規劃我們假設業者的預測需求很高，所以工廠的產量總是低於所預測的需求。如此假設的理由是因爲當業者考慮新建一座晶圓廠時，必定是未來的經濟景氣顯得非常樂觀才會有建廠的想法。在此情況下，業者很容易高估未來的需求。我們知道未來的需求攸關著業者的機台投資決策，爲了避免業者高估未來景氣而增加機台投資風險，本研究使用兩個做法觀念加以控制。第一，我們使用預算來限制投資的產能(產量)；第二，需求的預測需考慮生產的產品比例。根據我們與實務界的訪談，我們以上的規劃想法很吻合一般業者的做法。

4.2 機台組合的最大產量估計

在 3.2 節的 *MDTP* 問題中，我們曾經討論對一特定產品比例 PX_0 與一特定目標週期時間 CT_0，函數 f_{qb} 能夠計算機台組合 X 的最大產量 $Q(X)$，其數學式爲

$$Q(X) = f_{qb}(X\,;\,PX_0,\,CT_0) \tag{27}$$

因爲本主題的 *MXTP* 問題牽涉到多產品比例的情境，我們希望能估計一組機台組合 X 在情境 k 的產品比例下最大產量，該產量需使平均週期時間需小於等於一目標值 CT_0 。我們將數學式(27)修改成數學式(28)，該公式可以針對情境 k

的產品比例 PX_k，估計一機台組合的最大產量。

$$Q_k(X) = f_{qb}(X; PX_k, CT_0) \qquad (28)$$

最大產出量的計算方法，其分析過程討論如下。等候模型的輸入與輸出關係，大致上可以使用數學式(8)來加以表達。此方程式的意義是，當我們給定產品比例(PX_0)和晶圓片的投料率(或到達率)(R_0)時，等候模型(f_q)便可快速的計算一機台組合(X_i)的生產平均週期時間(*CTi*)。

我們將上述的二元搜尋程序以數學式(11)的函數 f_{qb} 來表達，其中下標 *qb* 代表等候模型與二元搜尋方法的合併應用。數學式(11)表示對一情境(PX_0, CT_0)，(對一特定產品組合 PX_0 與一特定目標週期時間 CT_0)，函數 f_{qb} 能夠計算機台組合 X 的最大產量 $Q(X)$。

4.3 基因演算法之求解方法

因為 *MXTP* 模式包含非線性方程組和整數解的問題，再加上晶圓廠機台種類很多，以致於解的空間非常廣闊，這些因素均造成 *MXTP* 為難解的問題。有鑑於此，我們使用基因演算法來解決 *MXTP* 問題。

4.3.1 染色體的表達

我們以一條染色體來代表一組機台組合。染色體為一組由整數組成的向量，該向量包含 *m* 個元素，每個元素(每個基因)代表每一種機台的數量。染色體的結構如下所示，其中元素 x_j 為第 *j* 種機台的數量。

$$X = [x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_m]$$

4.3.2 適合度的評估函數

在我們所提出的基因演算法當中，一組機台解的好壞主要取決於其適合度的高低。我們的適合度函數定義如下：

$$F(X)=[\sum_{k=1}^{L} t_k \cdot Q_k(X)\cdot(\overline{p_k}-\overline{v_k})-\frac{CX}{N}]-Y\cdot(CX-B) \tag{29}$$

$$Y=\begin{cases}0, \text{ if } CX \le B \\ M, \text{otherwise}\end{cases} ;$$

其中 M 爲一個很大的整數。

以上的適合度函數，第一項爲問題的目標函數，第二項爲預算限制式的處罰機制[32]。當有機台解的機台成本操出預算時，處罰機制便會產生一個負數使此機台解的適應質變小。我們的適合度函數將目標式與限制式結合，能使基因演算法朝正確的方向搜尋。

至於其他的 GA 相關說明，包括基因的交配與突變方式、選擇方法、搜尋終止條件，與主題一的方式相同，讀者可見於 3.4 節。

4.4 基因演算法之搜尋空間

因爲 *MXTP* 問題的解空間很大，我們需訂定一個有效的搜尋空間以節省基因演算法的搜尋時間。在本研究所提出的演算法當中，每一個基因的值是從區間 $[LB(x_j^f), UB(x_j^f)]$ 內隨機選擇一整數。我們訂定搜尋空間的方法，是以文獻[5]的方法爲基礎，該研究是探討單一產品比例的機台規劃問題。以下我們先回顧文獻[5]，再說明搜尋空間的訂定步驟。

4.4.1 相關的機台規劃模型文獻回顧

文獻[5]的機台規劃問題其數學模型如下：

$$\underset{X}{Min}\, C\cdot X$$

s. t.

$CT(X) \le CT_0$

$CT(X) = f_q(X; PX_0, Q_0)$

x_j　爲非負整數

當給定情境(PX_0, Q_0)時，以上的模型可以決定一組成本最低的機台組合，並且該機台組合生產的平均週期時間需小於等於業者預定的目標值 CT_0。Connors 等作者[5]提出邊際分配方法以期能有效的找出最佳解。爲了方便以下的說明，我們定義 $f_q(X; PX_0, Q_0)$ 爲機台組合 X 在以下兩條件的平均週期時間-產品比例爲 PX_0 且產量爲 Q_0。 $f_q(X; PX_0, Q_0)$ 詳細的計算說明可參考 4.3 節。

邊際分配方法[5]的步驟如下

步驟 1：讓 $X = (1, 1, \ldots, 1)$

步驟 2：計算 X 的平均週期時間

$$CT(X) = f_q(X; PX_0, Q_0) \tag{30}$$

步驟 3：檢查 X 是否爲答案

若 $CT(X) \le CT_0$ 則 X 爲答案，並且停止。

步驟 4：修正 X

/*決定要增加哪一種機台群才能最有效的降低平均週期時間*/

$$k = \arg\max_j \left(\frac{CT(X) - CT(X + E_j)}{c_j}\right), j = 1, \ldots m$$

其中 E_j 爲第 j 個方向的單位向量，c_j 爲第 j 種機台群的單位成本。

/*　修正　X */

$X = X + E_j$, 至步驟 3。

值得我們注意的是對任一特定產量 Q_0 而言，最低成本的機台組合 X^*同時也表示 X^* 能產生最大的利潤。一組機台組合在情境(PX_0, CT_0, Q_0)的利潤可以寫成下列數學式，其中第一項爲邊際貢獻，第二項爲機台成本。

$$\text{利潤} = L \cdot Q_0 \cdot (\overline{p_0} - \overline{v_0}) - C \cdot X$$

在上式中，因爲 L, Q_0, $\overline{p_0}$, 和 $\overline{v_0}$ 爲常數，所以邊際貢獻當然也爲常數。因此，在情境(PX_0, CT_0, Q_0)之下的最低成本機台解與最大利潤機台解是相同的。我們使用數學式(31)的函數 f_{qm}，來代表文獻[4]對於單一產品比例的機台規劃問題的解法。其中下標 qm 表示函數 f_{qm} 爲等候模型與邊際分配方法的合併應用。所以當給定一個情境(PX_0, CT_0, Q_0)，函數 f_{qm} 便可決定一組能產生最大利潤的機台組合。

$$X = f_{qm}(PX_0, CT_0, Q_0) \tag{31}$$

4.4.2 訂定 $UB(x_j)$ 和 $LB(x_j)$

我們決定機台群 j 的數量搜尋上界 $UB(x_j)$ 和下界 $LB(x_j)$的方法，主要是以數學式(27)爲基礎加以發展。首先，我們讓 Δq 爲一個很小的正整數。

步驟 1：針對每一種產品比例 PX_k，分別計算其似近最佳機台組和解 X_k^u 。

對於每一種產品比例 PX_k, (k = 1, …, L)

開始

決定產量 Q_k^u，使得 Q_k^u 所對應的機台組合 X_k^u 的成本非常接近採購預算。

亦即，

$$C \cdot X_k^u < B \quad \text{和} \quad C \cdot Y_k^u \geq B$$

其中 $X_k^u = f_{qm}(PX_k, CT_0, Q_k^u)$， $Y_k^u = f_{qm}(PX_k, CT_0, Q_k^u + \Delta q)$

結束

步驟 2：決定 $UB(x_j)$ 和 $LB(x_j)$

對於 $j = 1, \dots m$, /*對於每一種機台群 j*/

$$UB(x_j) = Max(x_{1j}^u, \dots, x_{kj}^u, \dots, x_{Lj}^u), (k = 1, \dots L)$$

$$LB(x_j) = Min(x_{1j}^u, \dots, x_{kj}^u, \dots, x_{Lj}^u), (k = 1, \dots L)$$

其中 x_{kj}^u 為 X_k^u 中的第 k 個元素，其意義是第 j 種機台群的機台數量。

4.5 數值範例說明

本主題所提出的演算法使用 C^{++}電腦語言來寫成程式，並於 Pentium IV 電腦執行。我們使用不同產品比例的組合來測試我們的演算法。為了更真實的反應實務界的晶圓廠狀況，我們所測試的案例工廠其規模很接近真實的晶圓廠。案例工廠包含 101 種機台群，每一種產品的加工道次約為 400 至 500 道。該晶圓廠生產兩種家族產品 A 和 B，我們並且以 $(A: B)$來表示二者之間的產品比例。假設該廠生產兩種產品比例 PX_1 和 PX_2，在規劃時程中每一種產品比例的生產時間長度各為 50%。表 4.1 為四個測試案例其產品比例的資料。這四個案例分別代表兩個產品比例之間不同的變動程度。例如，案例 1 代表兩個產品比例之間有很大的變動，以致兩個產品比例差異頗大；另一方面，案例 4 代表兩個產品比例之間只有微小的變動，所以二者差異較小。表 4.1 同時也列出 4 個案例中各個產品比例 k 的平均邊際貢獻($\overline{p_k} - \overline{v_k}$) 。兩種產品比例的平均週期時間目標值均設為 28 天。

表 4.1　四個案例的產品比例資料

	PX_1=(A:B)	$\overline{p_1}-\overline{v_1}$ (美元/片)	PX_2=(A:B)	$\overline{p_2}-\overline{v_2}$ (美元/片)
案例 1	(0.9:0.1)	1600	(0.5:0.5)	1500
案例 2	(0.8:0.2)	1575	(0.5:0.5)	1500
案例 3	(0.7:0.3)	1550	(0.5:0.5)	1500
案例 4	(0.6:0.4)	1525	(0.5:0.5)	1500

產品的資料顯示產品 *A* 和產品 *B* 的加工途徑有很大的不同。表 4.2 爲產品加工的部分資料，此表顯示生產兩種產品時需經過各機台群的加工(拜訪)次數。以編號第 85 號的機台群爲例，產品 *A* 在生產過程中需至該機台群加工 12 次；然而產品 *B* 的加工過程中卻無需經過該機台群。因此，當 *A* 在產品比例的份量較重時，第 85 號機台群的採購成本(數量)所佔的預算百分比也較大。從此表我們可以明白，當產品比例變動時，所需的機台種類與個數也會有所不同。案例的機台採購成本爲美金 12.2 億元。

爲了測試解的品質，我們將 *MXTP* 問題的最適機台解與單一產品比例的機台解相比較。若真時需求產品比例的情境爲 50% PX_1 和 50% PX_2。讓 X_m 代表 *MXTP* 問題的最適機台解；X_1 代表只考慮生產單一產品比例 PX_1(亦即 100% PX_1)的最適機台解；X_2 代表生產 100% PX_2 的最適機台解。讓兩種產品比例使用加權平均的方式整合成單一產品比例，而 X_w 代表此狀況下的最適機台解。例如，以案例 1 而言，其加權平均的產品比例爲(0.7, 0.3)，此結果是將兩種產品比例加以平均而得到的，其加權平均的計算方式爲(0.5×0.9+0.5×0.5, 0.5×0.1+0.50.5)。表 4.3 及表 4.4 是比較這四組機台解(X_m, X_1, X_2, 和 X_w)的利潤結果。表 4.3 及表 4.4 的資料顯示，對於多產品比例的機台規劃問題，X_m 在這四個案例中的表現均較其他三組解好。從這兩張表我們也可以看出，在一筆固定的採購預算之下，當產品比例便動的幅度愈大時其利潤則愈低。例如，案例 1 的利潤比案例 4 的利潤低。

表 4.2 產品 *A* 和 *B* 的加工途徑之差異

機台群編號	機台單位成本	VFA	VFB	｜VFA- VFB｜
4	$0.34	18	24	6
7	$1.09	6	14	8
8	$4.25	6	13	7
16	$1.63	5	12	7
17	$0.83	5	11	6
20	$1.63	3	10	7
21	$0.34	18	25	7
29	$0.17	7	30	23
34	$3.73	2	10	8
53	$1.02	0	9	9
63	$13.01	4	11	7
82	$0.19	39	0	39
83	$3.87	26	0	26
84	$1.02	12	0	12
85	$9.64	12	0	12
86	$1.63	24	0	24
87	$0.84	12	0	12
88	$0.34	26	0	26
89	$0.52	6	0	6
90	$2.62	7	0	7
91	$1.03	25	0	25
92	$1.09	19	0	19
93	$3.72	13	0	13
94	$3.76	6	0	6
95	$3.00	6	0	6
96	$4.09	6	0	6
97	$4.09	6	0	6
98	$3.87	6	0	6

VFA: Visit Frequency of Product A

VFB: Visit Frequency of Product B

｜VFA- VFB｜:The difference between VFA and VFB

金額單位: 百萬美元

表 4.3　四個案例的利潤結果比較　　　　　(單位:百萬美元)

案例	PX_1, PX_2	X_m	X_1	X_2	X_w
案例 1	(0.9:0.1), (0.5:0.5)	283.96	151.83	245.40	204.90
案例 2	(0.8:0.2), (0.5:0.5)	290.54	210.15	265.89	231.96
案例 3	(0.7:0.3), (0.5:0.5)	319.32	264.44	292.06	303.79
案例 4	(0.6:0.4), (0.5:0.5)	348.18	321.98	326.88	328.54

表 4.4 四個案例的利潤差距的百分比　　　　　(單位:百萬美元)

案例	PX_1, PX_2	X_m	X_1	X_2	X_w
案例 1	(0.9:0.1), (0.5:0.5)	0.00	87.03%*	15.71%	38.59%
案例 2	(0.8:0.2), (0.5:0.5)	0.00	38.26%	9.27%	25.25%
案例 3	(0.7:0.3), (0.5:0.5)	0.00	20.76%	9.33%	5.11%
案例 4	(0.6:0.4), (0.5:0.5)	0.00	8.14%	6.51%	5.98%

*利潤差距的百分比 87.03%的計算式爲(283.96-151.83)/151.83

表 4.5 爲案例 1 答案的詳細結果。此表的數據，若我們以產量來看，當生產的產品比例爲 PX_1 時 X_1 可生產最多的產量。類似的情形，當生產的產品比例爲 PX_2 時 X_2 的產出量最大。例如，當產品比例爲 PX_1 時 X_1 的產出量爲 405.6×10^3 片/年，當產品比例爲 PX_2 時 X_2 的產出量爲 393.6×10^3 片/年。但若兩種產品比例都需生產時，則 X_1 和 X_2 的整體表現卻不如 X_m。因此，適合某一產品比例的機台組合不一定適合其他產品比例的生產。其原因便是在於產品之間的加工途徑相去盛遠(表二中產品 A 與 B 的加工途徑)。至於 X_w 代表一般人以很直覺的方式，使用加權平均方式將兩種產品比例整合成一種產品比例，所規劃的機台組合。雖然 X_w 的規劃方式很合理，但在本文的實驗中 X_w 的利潤值還是明顯的低於 X_m。所以解決 *MXTP* 問題，並不能直覺的使用加權平均的產品比例來進行機台規劃。

表 4.5 案例 1 的詳細結果

	X_m		X_1		X_2		X_w	
產品比例	PX_1	PX_2	PX_1	PX_2	PX_1	PX_2	PX_1	PX_2
產量(千片/ 年)	298.5	376.2	405.6	89.4	232.8	393.6	315.6	251.7
機台的折舊成本(百萬美元)	243.64		243.26		2451.79		241.16	
利潤(百萬美元)	283.96		151.83		245.4		204.90	
利潤差距百分比	0%		87.03%*		15.71%		38.59%	

表 4.6 爲案例 1 的目標週期時間對利潤與機台投資成本的敏感度分析。表 4.6 顯示當目標週期時間愈短時，所需的機台投資金額越多，利潤則越少。在目標週期時間爲 14 天時，甚至利潤減少了一半以上。所以表 4.6 可以在決策者訂定目標週期時間時，提供有用的資訊。圖 4.1 爲目標週期時間對利潤的相對圖。

表 4.6 不同週期時間限制下的利潤與機台投資成本 (單位:百萬美元)

目標週期時間	14 天	21 天	28 天	35 天	42 天
利潤	114.87	272.98	283.96	295.97	297.13
機台折舊成本	243.61	243.70	242.25	243.70	243.56

表 4.7 爲基因演算法與模擬退火法和禁忌搜尋法的利潤答案。我們在此所使用的模擬退火法相關參數爲：起始溫度 = 1000000，降溫函數係數 = 0.99，降溫方式爲每更新 100 次解則降溫一次。禁忌搜尋法相關參數爲：鄰近區域大小 = 100，禁忌名單的形式爲記錄目標值較好的變數值[28]，這些變數值可被保留 5 個迭代數不能被改變。在表中的基因演算法答案比模擬退火法好，利潤差距百分比約從 2.39%至 5.51%。禁忌搜尋法在案例 2 的答案比基因演算法好，但其他三案例則不如基因演算法，其他三案例的利潤差距百分比約從 2.52%至 16.31%。此表顯示基因演算法在我們案例的應用均能提供良好的機台組合。

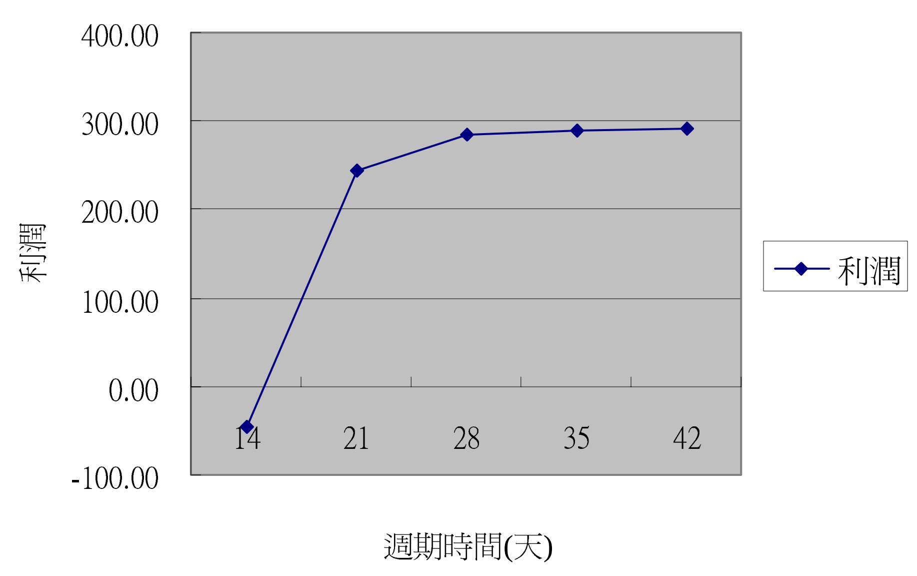

圖4.1 週期時間與利潤相對圖

表 4.7 基因演算法與其他啓發式方法的利潤結果比較 (單位：百萬美元)

應用案例	基因演算法	模擬退火法	禁忌搜尋法
案例 1	283.96	269.14	244.140
案例 2	290.54	281.87	300.86
案例 3	319.32	306.96	307.65
案例 4	348.18	340.06	339.62

在表 4.8 中，GA、SA、TS 三者的計算時間比較，以模擬退火法較快，禁忌搜尋法的較慢。因爲機台決策爲長期的產能決策，所以本研究使用基因演算法的計算時間雖爲 18 小時，我們認爲是合理的決策時效。

表 4.8 基因演算法與其他啓發式方法的計算時間

解法	基因演算法	模擬退火法	禁忌搜尋法
計算時間	18 小時	16 小時	21 小時

我們所使用的基因參數的設定如下。交配率設為 P_{cr} = 0.6，突變率設為 P_{mu} = 0.005，染色體的母體大小設為 N_p =50。搜尋的終止條件定為，當一機台組和解經歷了 N_G = 1000 代演化仍能維持其為母體中最好的解。全部的解搜尋空間可以表達成 $\prod_{j=1}^{m}(UB(x_j)-LB(x_j)+1)$ 。在我們應用的案例中，全部的搜尋空間約為 1.86×10^{34} 組解，而我們所提出的基因演算法約測試了 5.1×10^{5} 組解。為了檢驗本研究所提出的基因演算法之可靠性，我們以案例 1 進行 50 次實驗。我們計算 50 次實驗的平均適應值為 282.08，適應值的變異係數(C.V.)相對於其平均值為 1.39%。這 50 次實驗的統計資料顯示本研究所提出的基因演算法具有足夠的可靠性。

此外，當採購預算改變時，GA 的方法也能快速的估計其利潤。在我們的實驗當中，GA 結束前演化的代數約為 4000 代。在 GA 的搜尋過程中，我們將每一代最好機台解的資料加以收集。我們並且將這些解依其機台成本高低，從美金 9 億至 14 億分成 50 個組別，讓每一個組別的成本差距為 1 千萬。我們從每一個組別當中的機台解選出最大利潤者成為該組別的最佳機台代表，並繪製這些機台代表的成本相對利潤圖於圖 4.2。這個圖形的意義是代表一筆採購預算的利潤下限值。這些資訊能提供決策者對機台決策整體性的了解，使決策者能評估預算減少或增加時對利潤之影響。

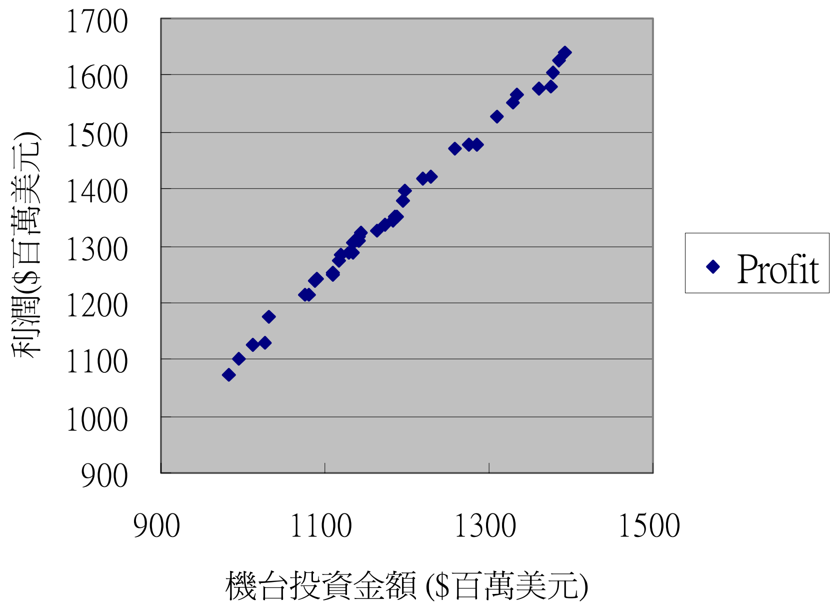

圖4.2 機台投資金額及其對應之最低利潤