

國立交通大學

管理學院(工業工程與管理學程)碩士班

碩士論文



記憶體測試廠短期最終測試產能規劃模式之構建
A Short-term Final Test Capacity Planning Model for
Memory Testing Company

研究生：詹倉嘉

指導教授：許錫美 博士

中華民國九十七年六月

記憶體測試廠短期最終測試產能規劃模式之構建

研究生：詹倉嘉

指導教授：許錫美 博士

國立交通大學工業工程與管理在職專班

摘要

記憶體產業自 2007 年底開始面臨記憶體供過於求、價格快速滑落的窘境，而造成記憶體測試廠測試價格遭大幅砍價，進而影響獲利能力，並且縮減資本支出，在資金有限情況下，停止擴充自有的測試產能。因此，如何充份利用自有測試廠生產資源，獲得最大的利潤，使得測試產能規劃更形重要。

近年來在國內以記憶體測試廠為研究對象的論文，主要的研究主題大多在於作業層級的排程派工，皆未完整探討測試機台的跨機問題，及機台產值與訂單的相依的特性。測試產能規劃對測試廠重要性增加，本研究針對此部份進行研究，提出一個適合記憶體測試廠的短期產能規劃模組，在廠內各測試機型、測試配件和外包廠產能的限制下，最大化利潤為目標，以指派各客戶訂單的生產途程至適宜的機型。

關鍵字：最終測試;產能規劃;線性規劃

A Short-term Final Test Capacity Planning Model for Memory Testing Company

Student : Chang-Chia Chan

Advisor : Prof. His-Mei Hsu

Abstract

In this study, we propose a capacity planning model for memory IC final testing company in a make-to-order (MTO) production system. A special characteristic in the production line is that the revenue for a particular job is based on which types of machine to operating it. And machine hourly rates for each type vary with customers. Therefore, to maximize the operating profits for a given set of orders is considered in this study. Under the constraints of machine capacity and tooling, for maximizing the operating profit of a given set of orders, a linear programming is formulated to determine the operating machine type for each job. Based on this model, we can also determine the numbers of machine for each type to be provided by outsourcing company. Finally, we illustrate a near real case to explain the application of the proposed model and to show its performances.

Keywords: Final Test;Capacity planning;Linear Programming

誌 謝

本論文得以完成，首先由衷地感謝恩師 許錫美教授三年來的悉心指導，在其諄諄教誨之下，使我獲益良多。在論文的寫作過程之中，並不斷地給予方向與建議，使得許多錯誤得以適時地更正，終使論文能順利完成。同時感謝口試委員巫木誠、彭德保與洪一薰諸位博士於口試期間惠賜諸多寶貴的建議，使本文內容更臻完善，特此致謝。

此外，感謝公司長官張執中經理，提供了寶貴的資料、建議以及必要的協助，且在他的全力支持之下，得以順利完成學業。同時感謝嘉祐、柏仁、品正、仲良、俊維等工作伙伴們在我工作的過程之中，相互地協助，彼此共同成長。



當然，最需要感謝的是我的父母以及老婆惠瑜，由於在他們的陪伴與全力支持鼓勵下，使得我能在無顧慮的情況下完成多年的在職專班生涯，僅以此成果獻給他們。而對於曾經幫助過我的人，亦由衷的感謝你們。

倉嘉

2008.6

目錄

| | |
|-----------------------|-----|
| 中文摘要..... | I |
| 英文摘要..... | II |
| 目錄..... | i |
| 表目錄..... | iii |
| 圖目錄..... | iv |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景與動機..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 2 |
| 1.3 研究範圍與限制..... | 3 |
| 1.4 論文架構..... | 4 |
| 第二章 記憶體測試生產環境介紹..... | 5 |
| 2.1 半導體封裝測試生產流程..... | 5 |
| 2.2 半導體封裝測試廠生產特性..... | 8 |
| 第三章 文獻回顧..... | 10 |
| 3.1 產能規劃相關文獻回顧..... | 10 |
| 第四章 最終測試產能規劃模組構建..... | 15 |
| 4.1 問題定義..... | 15 |

| | |
|--------------------------|----|
| 4.2 生產系統假設..... | 16 |
| 4.3 最終測試產能規劃模組..... | 16 |
| 第五章 案例說明..... | 21 |
| 5.1 生產環境..... | 21 |
| 5.1.1 產品及機台..... | 21 |
| 5.1.2 訂單資訊..... | 22 |
| 5.1.3 測試價格、測試成本..... | 22 |
| 5.1.4 生產配件資訊..... | 23 |
| 5.2 產能規劃模式執行過程與規劃結果..... | 23 |
| 5.2.1 產能規劃模式..... | 23 |
| 5.2.2 結果分析..... | 24 |
| 5.2.3 規劃模組與現況作法比較..... | 30 |
| 第六章 結論與建議..... | 31 |
| 6.1 結論..... | 31 |
| 6.2 建議..... | 32 |
| 參考文獻..... | 33 |

表目錄

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 表 1.1 | 訂單測試價格計算..... | 2 |
| 表 3.1 | 產能規劃相關研究文獻..... | 14 |
| 表 5.1 | 測試廠機台基本資料..... | 22 |
| 表 5.2 | 測試廠機台配件基本資料..... | 23 |
| 表 5.3 | 產能規劃結果 – 機台使用數量、產值、成本及利潤..... | 24 |
| 表 5.4 | 產能規劃結果 – 生產配件使用數量..... | 25 |
| 表 5.5 | 產能規劃結果 – 產品生產安排..... | 26 |
| 表 5.6 | 產能規劃結果 – 訂單生產安排..... | 27 |
| 表 5.7 | 規劃模組與現況作法比較..... | 30 |



圖目錄


| | |
|------------------|---|
| 圖 1.1 研究架構圖..... | 3 |
|------------------|---|



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

台灣記憶體封裝測試廠商大都以 DRAM 和 Flash 的測試為主要營業對象，以測試流程中的最終測試業務(FT, Final testing)為主要工作內容。DRAM 規格自 DDRI 轉換為 DDRII 時期，由於低頻測試機台的限制較多，其測試時間又長，因而造成高頻測試機台的需求增加。高頻測試機台十分昂貴，一台要價高達 1.5~2 億元，一般記憶體封測廠商不輕易擴充此部分產能。



測試廠機台每小時測試價格，簡稱為 Hourly Rate。Hourly Rate 的訂定是在客戶下單前，客戶與測試廠間談妥每種機型每小時的測試價格。顧客的訂單，其作業項目在不同的機型上測試，作業時間可能不同。客戶訂單安排在那些機台上測試，則由測試廠指派。測試廠對每張顧客訂單的計價方式如下：該訂單在某一機型上完成測試所需時間，乘於該一機型每小時測試價格(如表 1.1 所示)。

在相同機型上，不同的客戶也可能有不同的 Hourly Rate。以表 1.1 為例，客戶 A 與客戶 B 在機型 M1 及 M2 上，皆有不同的 Hourly Rate。當客戶 A 的訂單 A-1 安排於 M1 機型上測試時，測試廠可向客戶 A 收取 3960 元的測試費用，若安排於 M2 機型上測試時，則可收取 4000

元的測試費用，對測試廠而言，將訂單 A-1 安排於 M2 機型上測試時，可比 M1 機型上測試時，多收取 40 元的測試費用。

表 1.1 訂單測試價格計算

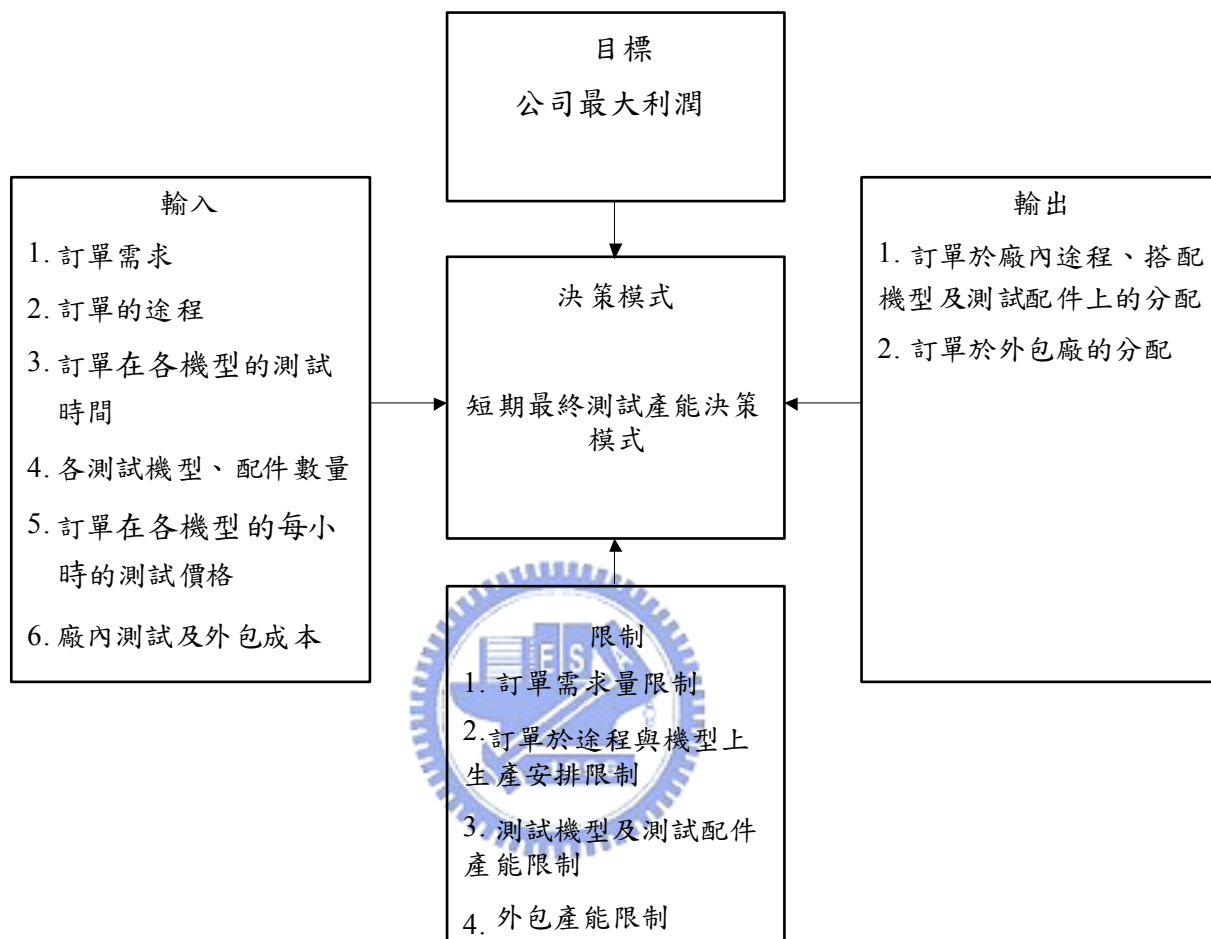
| 客戶 | 訂單 | 機型 | (1) 每小時測試價格 (Hourly Rate) | (2) 測試時間 | (3) 測試價格 = (1)*(2) |
|----|-----|----|---------------------------|----------|--------------------|
| A | A-1 | M1 | 2200 | 1.8 | 3960 |
| | | M2 | 4000 | 1 | 4000 |
| | A-2 | M1 | 2200 | 1.9 | 4180 |
| | | M2 | 4000 | 1 | 4000 |
| B | B-1 | M1 | 2300 | 1.8 | 4140 |
| | | M2 | 4100 | 1 | 4100 |
| | B-2 | M1 | 2300 | 1.7 | 3910 |
| | | M2 | 4100 | 1 | 4100 |

由上述可知，若將顧客訂單的各項作業指派到適宜的機型測試，不僅可提高機台利用率，亦可增加記憶體測試廠的營收與獲利。因此，記憶體測試廠如何指派客戶訂單生產的途程至適宜的機型，以提升利潤，是一值得研究的議題。

1.2 研究目的

本研究探討記憶體封裝測試廠商的最終測試，進行訂單與機型的指派問題。主要研究目的是在廠內各測試機型、測試配件和外包廠產能的限制下，最大化利潤為目標，構建決策模式，以指派各客戶訂單的生產途程至適宜的機型。

本研究的輸出、入資料，目標及限制如圖 1.1 所示。



1.3 研究範圍與限制

本研究的範圍與假設如下：

1. 所需輸入之各項資訊，例如訂單需求數量、訂單的途程與測試時間、各測試機型與測試配件之數量及最大產能、外包產能、訂單測試價格、廠內測試及外包成本等，均為已知。

2. 產能需求規劃只針對最終測試機台進行。
3. 將各機型的設置時間及當機狀態視為固定參數。

1.4 論文架構

本論文架構如下：

第一章 緒論

第二章 記憶體測試生產環境介紹

第三章 文獻探討

第四章 最終測試產能規劃模組構建

第五章 案例說明

第六章 結論與建議



第二章 記憶體測試生產環境介紹

以下將以某家半導體封裝測試公司為對象(簡稱 C 公司)，介紹產品的整個生產流程，與記憶體測試階段的生產環境。

2.1 半導體封裝測試生產流程

半導體封裝測試流程可分為晶片針測修護、IC 封裝及 IC 測試，其中記憶體測試廠的產品流程包含進貨檢驗、最終測試、預燒、蓋印、電性抽測、目檢及包裝出貨等。而測試流程大致分為前段測試流程與後段測試流程，最終測試、預燒及電性抽測屬於前段測試流程；而蓋印及目檢則屬於後段測試流程。以下簡述本研究的記憶體測試生產環境(前段測試流程)。



2.1.1 最終測試(Final Test, FT1、FT2、FT3)

待測品在完成發料至線上後，上測試機台去測試。測試機的主要功能在於透過所寫之測試程式(Test Program)，發出待測品所需的電性訊號，並接受待測品所回應的電性訊號，作出產品電性測試結果的判斷。以下為不同的最終測試階段(FT1、FT2、FT3)特性簡介：

FT1(Final Test 1)測試：

晶片封裝完成後，在常溫(22+/-3°C)下所進行之初步電性測試，將在封裝時造成之不良(如：Leakage, Open/Short 等)先行挑出，同時也

進行部份功能之測試(Function Test)，若為良品則進入預燒步驟。

FT2(Final Test 2)測試：

產品在經過預燒流程後，即進行 FT2 測試，將預燒後產生之不良挑出，同時也在此站以高溫(通常是 $85\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，並加溫 3 分鐘)測試，區分產品的速度(如：35NS, 40NS, 45NS..)；完成後如未蓋印，或要改速度及品名蓋印碼，則送往蓋印部門蓋印(或擦蓋)。

FT3(Final Test 3)測試：

第三道測試，也是最後一道測試程序，在模擬 PC 使用者的條件(即 $22\pm 3^{\circ}\text{C}$) 下，確定產品在出貨前之可靠性。



除了測試機台外，待測品要完成電性測試還需要以下測試配件。

1、分類機(Handler)

分類機的功能除了能提供 IC 的測試環境(高溫、低溫)外，還對完成測試後的 IC 進行分類(Bin)的動作。

2、測試程式(Test Program)

測試程式的設計與待測品的電性特性息息相關，在每個不同的測試階段 (FT1、FT2、FT3) 及不同的測試機台種類間，都需要不同的測試程式。

3、測試機台介面(Hi-Fix)

記憶體測試機台在測試不同封裝型態的產品時，需更換 Hi-Fix，Hi-Fix 為待測品接腳上的訊號連接上測試機台的測試頭上的訊號傳送接點的一個轉換介面。

2.1.2 預燒(Burn in)

在 FT1 之後，所測出之良品都會上預燒爐裡去 Burn In，其目的在於提供一個高溫、高電壓、高電流的環境，使生命週期較短的待測品在 Burn In 的過程中提早的顯現出來。在預燒階段所需使用的配件為 Burn in Board。



2.1.3 電性抽測(EQC)：

電性抽測，是依據客戶要求進行隨機取樣(若無特別需求，則依廠內標準為之)並依各產品之 QC 程式執行測試。其目的在於驗證整個測試流程中作業準確性。換言之，是站在客戶的立場所進行的測試作業。通過後即完成所有之測試作業動作，往下一步驟—目檢後即可準備出貨。

2.2 半導體封裝測試廠生產特性

1. 測試廠是以接訂單的方式運作，本質上屬於代工服務，本身並沒有自己的產品，在廠內流動的產品都是由客戶所提供，因此，測試廠的營收主要決定於客戶對測試機台的報價與測試機台的產能，而非販賣產品的價值。
2. 測試流程是隨著客戶的需求而調整，而測試時所需的機台、程式及配件等也隨著產品的特性不同很有所差異，客戶通常會對於測試流程與作業參數加以要求與規範。另外，有時客戶會指定測試機台之品牌與種類。
3. 待測品物流移動的單位，稱之為測試批，即使是同一產品，每一測試批裡的數量也都不相同，而且不能任意分批或併批。在生產線上，常有量產之產品與工程實驗品一起進行測試，也有些大批量訂單與小批量訂單同時測試。
4. 一般來說，待測品在一家測試廠中，會有許多適合此種產品電性特性的測試機台可供其選擇；以 DDR2 測試為例，C 公司具備的測試機台就包含了 T5581、T5585、T5592 及 T5593 等機型。進行跨機之目的在於提高機台產能的使用率，由於測試機具有投資成

本高、折舊速度快的缺點，提高機台產能的使用率將是測試廠所要努力的目標。

5. 測試機台存在著設置相依的問題，當在同一機台上，前後批的測試程式、測試配件或測試條件(如測試溫度)有所不同時，機台則需要重新設置(Setup)，而設置時間的長短決定於前後批的產品組合，若重新設置的頻率增加，產能也相對會受到影響。



第三章 文獻回顧

3.1 產能規劃相關文獻回顧

線性規劃(Linear Programming)與模擬(Simulation)是產能規劃常用的工具，Leachman 與 Carmon[1] 針對具有回流特性的製程，與某些加工作業可選擇多種機型中的某一型加工(Alternative Machine Types)的生產系統，假設各工件在各可替代機器的加工時間的關係必須呈固定比例，及在替代機器產能負荷及機台產能限制下，利用線性規劃方法，以求得在生產計劃期間最佳的产品組合及其生產數量。

Yi-Feng Hung 與 Leachman[2] 提出以線性規劃(LP)及離散事件模擬(discrete-event simulation)的方法，求解在半導體工廠中，考量存貨、在製品的分配及產能限制之下，求得生產投料表。首先給訂產品生產週期時間(flow time)，以期望利益最大為目標，利用線性規劃求得生產投料表。隨之，以此投料表做為模擬系統的輸入資料，再由模擬系統中，得到產品生產週期時間來修正前一線性規劃模組的生產週期時間，透過反覆的運算，直到線性規劃與模擬結果差異不大為止。

半導體後段測試由於在機台設備、製造流程、附屬物件及附屬關係極為複雜。雖然工廠利用簡單的派工規則來作排程，例如以先進先出(FIFO)、最早交期法等來選擇工件。然而，這樣的派工規則卻無

法達到機台利用率及生產週期的最佳化。Sivakumar[3]以多變量離散事件模擬(discrete event simulation)為基礎, 設計出一套接近線上即時的動態排程模擬系統及生產週期時間最佳化系統, 應用在半導體測試廠的複雜生產系統。

Gupta 與 Sivakumar[4] 提出在半導體製造的生產系統, 考量多目標 (例如生產週期時間、機台利用率、達交率等), 利用離散事件模擬 (discrete event simulation) 及妥協規劃法(ComPromise Programming) 方法, 求解工件加工優序。其結果和一般的派工法則做比較, 如 SPT(Shortest processing time)、EDD(Earliest due date), 在平均生產週期時間(減少16.7%)、訂單延遲(減少25.6%)、機台利用率(改善21.6%) 有較佳的績效。

近年來在國內以記憶體測試廠為研究對象的論文, 主要的研究主題大多在於作業層級的排程派工, 僅有少數幾篇針對記憶體測試廠做策略性的生產規劃研究。黃氏[5]的研究中, 為了減低因產品組合變動, 造成機群產能負荷不均的影響, 為使系統能夠更彈性地面對各種產品組合與需求量的變動, 提出以產能負荷平準化為原則的各機群產能負荷指派方式, 在固定的資源上限下, 配合各機型產能利用率一致的假設前提, 並以最大化最小剩餘產能為目標, 建立問題線性規劃

模式，針對測試機群與預燒機群的負荷分配進行粗估產能規劃。該研究所發展的生產規劃模組，對於各機群產能負荷的控制以及生產週期時間的估算而言，得到相當之成效，不過該模組並未結合測試配件數量上的控制，對測試機台而言，在實際運作時會因測試配件數量之限制而導致測試機台閒置。

李氏[6]以工作負荷平衡的觀念，以模組化的方式發展機台與治具產能平衡啟發式演算法。針對執行完模組之後，產能短缺或過剩的現象，進行改善的工作，以期達到機台與治具的產能負荷狀況的平滑，降低產能不足或過多的發生頻率。該研究的目標在藉由預估生產資源的負荷程度後，以產能負荷平衡的目的，分配生產資源，對於測試機型的跨機問題及選機決策之使用，並未深入的探討。

其它關於產能規劃的論文，大多以 IC 設計公司及 IDM 專屬針測廠為研究對象。方氏[7]是以專業 IC 設計公司為對象，以降低生產成本及延誤率為目標，顧客訂單為輸入值，在下游代工廠的產能狀況、生產成本、生產時間及機台限制等相關因素的考量下，利用線性規劃建構產能分派模式，並以線性規劃軟體—lingo 求得各代工廠的生產產品組合，較適用於預測型產品。該研究的產能規劃只依整體產能需求及產能限制進行求解，並不考慮產品在生產機型上的限制。

許氏[8]是利用線性規劃來構建一個 IC 產品的淨需求模式，其中考慮 IC 產品的分級(Bin)問題，在滿足各限制條件下，以最終測試的生產成本與產品的存貨成本最小化為目標，來完成中長期的外包產能需求規劃。該研究利用線性規劃構建淨需求模式，以求得 IC 產品在最終測試的淨需求投入量，接著利用淨產能需求計劃，將產品需求轉化成產能需求，較適用於預測型產品及中長期的產能需求規劃。

謝氏[9]提出一個產能決策模式，決定各期所需的外包機台數。首先以二階段線性規劃模組對 MTO 產品與 MTS 產品決定各針測廠所需各種機型的機台數。隨之，構建一個針測廠生產系統的模擬模式，檢測線性規劃模式求出的基本解是否能滿足 MTO 產品訂單生產週期，並提出機台數量的調整機制，以滿足 MTO 產品訂單要求的生產週期。該研究中，針對 MTO 產品是以作業時間較短的機台優先分派，與專業測試代工廠針對 MTO，以營收與獲利為目標的分派方式有所差異。

綜觀以上的研究，皆未完整探討測試機台的跨機問題，及機台產值與訂單的相依的特性。C 公司希望產能分配能達到生產收益最大化之目標，因此本研究將探討如何將各訂單的產品及其測試道次安排於最適機台上，以最大化生產收益。

茲將以上五篇文獻與本文研究之不同處整理如表 3.1:

表 3.1 產能規劃相關研究文獻

| 作者 | 本文 | 黃氏 | 李氏 | 方氏 | 許氏 | 謝氏 |
|--------|----------------|----------------|----------------|------------|-----------------|-------------|
| 規劃層級 | 短期規劃 | 短期規劃 | 短期規劃 | 短期規劃 | 中長期規劃 | 短期規劃 |
| 對象 | 記憶體測試廠 | 記憶體測試廠 | 半導體測試廠 | IC設計公司 | IC設計公司 | IDM廠之專屬針測廠 |
| 研究問題 | 記憶體IC最終測試廠生產規劃 | 記憶體IC最終測試廠生產規劃 | 半導體測試廠產能規劃 | 封測外包產能規劃 | 封測外包產能規劃 | 外包產能規劃 |
| 目標 | 公司利潤最大化 | 最大化最小剩餘產能 | 降低產能不足或過多的發生頻率 | 降低生產成本及延誤率 | 生產成本與產品的存貨成本最小化 | 外包產能租用成本最小化 |
| 解題方法 | 線性規劃/模擬 | 線性規劃/模擬 | 啟發式演算法 | 線性規劃 | 線性規劃/啟發式法則 | 線性規劃/模擬 |
| 研究考量 | | | | | | |
| 自有測試廠 | 訂單分配 | ◎ | ◎ | ◎ | | ◎ |
| | 訂單途程 | ◎ | ◎ | ◎ | | ◎ |
| | 訂單測試價格 | ◎ | | | | |
| | 機型產能限制 | ◎ | ◎ | ◎ | | ◎ |
| | 配件產能限制 | ◎ | | ◎ | | ◎ |
| | 製程規格能力 | ◎ | ◎ | ◎ | | ◎ |
| | 機型測試成本 | ◎ | | | | |
| 機型跨機問題 | ◎ | ◎ | | | | ◎ |
| 外包測試廠 | 訂單分配 | ◎ | | | ◎ | ◎ |
| | 訂單途程 | ◎ | | | | ◎ |
| | 機型產能限制 | ◎ | | | ◎ | ◎ |
| | 製程規格能力 | ◎ | | | ◎ | ◎ |
| | 外包成本 | ◎ | | | ◎ | ◎ |

第四章 最終測試產能規劃模組構建

4.1 問題定義

本研究的生產情境如下：

1. 為訂單式生產(MTO)，規劃時間內的訂單已知，每張訂單僅有一種待測試的產品。若數量太大則可拆單，視為多張訂單。因此每張訂單僅含一個測試批。每張訂單各道次可用的機型已知，可能有多種可用的機型。
2. 產能來源有自有測試廠及外包測試廠。自有測試廠與外包測試廠所能提供的各測試機型的機台數目為已知。
3. 自有測試廠的機台使用成本屬於固定成本，不論是否滿載或閒置，公司仍需分攤固定資產的折舊，因此在測試機台指派上要儘可能使用自有測試廠的產能，減少外包的成本發生。此外，外包的產品型號及測試流程需經客戶驗證過，才能使用外包產能。
4. 機台單位時間的產值因訂單、產品及測試道次而定。

在滿足限制條件下，以最大收益為目標，如何將各訂單的產品及其測試道次安排於最適機台上，是本研究的研究主題。

4.2 生產系統假設

本研究的生產系統假設條件如下：

- a. 僅考慮自有測試廠的配件資源數量限制，不考慮外包測試廠配件數量限制
- b. 考慮各個最終測試站點的先後次序，不考慮非最終測試機台設備的限制，如預燒機台的不足
- c. 不考慮產品的搬運移動時間
- d. 各機台的可用時間是指已扣除機台的設置時間及當機時間，上述時間是以預估值估算。模擬驗算時，再將實際值帶入驗證。
- e. 為了在測試機台指派上要儘可能使用自有測試廠的產能，廠內成本僅考慮變動成本；但外包成本包含固定成本及變動成本，其成本會恆大於廠內成本。

本研究首先以線性規劃模式進行產能規劃，針對產品優先分配自有測試廠，在自有測試廠產能不足的情況下，重新調整自有測試廠與外包測試廠間的產能分配。

4.3 最終測試產能規劃模組

本研究針對自有測試廠與外包測試廠間的產能規劃模組，規劃求解模式中使用的各種符號說明如下：

符號上下標

i : 測試訂單類別, $i = 1, 2, \dots, I$

j : 測試站點序列, $j = 1, 2, \dots, J$

k : 測試機台群組, $k = 1, 2, \dots, K$

l : 測試配件群組, $l = 1, 2, \dots, L$

決策變數

A_{ijkl} : 訂單 i 於第 j 道測試, 安排在機型 k 上使用配件 l 的數量

O_{ijk} : 訂單 i 於第 j 道測試, 安排在外包機型 k 上的數量

B_{ij} : 訂單 i 於第 j 道測試, 無法安排上機的數量

Y_{ijk} : 訂單 i 於第 j 道測試, 是否安排在機型 k 上測試

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{安排在 } k \text{ 機型測試} \\ 0 & \text{不在 } k \text{ 機型測試} \end{cases}$$

參數設定

R_{ij} : 訂單 i , 在第 j 道測試的需求數量

M_k : 機型 k 的機台可用數量

M_{kl} : 機型 k 下配件 l 的數量

U_k : 機型 k 的單一機台最大可用時間

T_{ijk} : 訂單 i 於第 j 道測試在機型 k 上, 所需要的作業時間

V_{ijk} : 訂單 i 於第 j 道測試在機型 k 上, 所能得到的產值

C_{ijk} : 訂單 i 於第 j 道測試在機型 k 上, 所需要花費的廠內成本

E_{ijk} : 外包機型 k 的機台可用數量

S_{ijk} : 訂單 i 於第 j 道測試在機型 k 上, 所需要花費的外包價格

自有測試廠與外包測試廠間的產能規劃模組構建如下：

Objective

$$\text{Max} \quad \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l A_{ijkl} (V_{ijk} - C_{ijk}) + O_{ijk} (V_{ijk} - S_{ijk}) \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_k \sum_l A_{ijkl} \leq \sum_k Y_{ijk1} R_{ij}, \text{ for each } i \text{ and } j \quad (2)$$

$$\sum_k O_{ijk} \leq \sum_k Y_{ijk2} R_{ij}, \text{ for each } i \text{ and } j \quad (3)$$

$$B_{ij} = (1 - \sum_k Y_{ijk1} - \sum_k Y_{ijk2}) R_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_k \sum_l A_{ijkl} + \sum_k O_{ijkl} + B_{ij} = R_{ij}, \text{ for each } i \text{ and } j \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l A_{ijkl} T_{ijk} \leq M_k U_k, \text{ for each } k \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j A_{ijkl} T_{ijk} \leq M_{kl} U_k, \text{ for each } k \text{ and } l \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l O_{ijkl} T_{ijk} \leq E_k U_k, \text{ for each } k \quad (8)$$

$$\sum_k \sum_l A_{i(j+1)kl} + O_{i(j+1)k} \leq \sum_k \sum_l A_{ijkl} + O_{ijk},$$

for each i and $j=1,2,\dots,J-1$ (9)

$$\sum_k Y_{ijk1} + \sum_k Y_{ijk2} \leq 1 \quad Y_{ijka} = 0 \text{ or } 1 \quad a = 1,2$$

在自有測試廠與外包測試廠間的產能規劃模式中，目標式(1)是達成公司最大獲利為規劃目標下，訂單於自有測試廠及外包測試廠內，測試機型、測試配件資源的使用分配。限制式(2)、(3)、(4)是每一張訂單的每一道測試必須同時在自有測試廠或外包測試廠進行。限制式(5)是每一張訂單的實際投入量必須等於訂單的需求量。限制式(6)與限制式(7)是廠內機台與配件的產能限制，限制式(6)是每一機型的總實際使用時間不能多於總最大可用時間。限制式(7)是每一配件的總實際使用時間不能多於總最大可用時間。限制式(8)是外包機台的產能限制，外包每一機型的總實際使用時間不能多於總最大可用時間。限制式(9)是測試流程先後順序的限制，每一訂單在此道測試的廠內投入批量和外包批量的加總不能多於在前一道測試的廠內投入批量和外包批量的加總。在自有測試廠與外包測試廠間的產能規劃模式可求出訂單在自有測試廠與外包測試廠間各機型與配件使用數量。

因該線性規劃模式無法反應真實的收益情形，因此本研究將構建一個記憶體測試廠的生產案例，以線性規劃所求出的訂單在自有測試

廠與外包測試廠間的各機型與配件使用數量，檢測線性規劃模式求出的基本解是否產生最大收益。



第五章 案例說明

為說明本文提出的最終測試產能規劃模組，本研究以一專業記憶體測試廠及其合作的外包廠為例，以說明第四章建構之規劃模組的應用。

5.1 生產環境

有關本案例的產品、製程、測試機台類型、訂單測試價格、廠內測試及外包成本等資料主要來自國內某專業記憶體測試廠所提供的實際資料。在此案例的測試廠分別為自有測試廠(T1)及外包的測試廠(T2)。



5.1.1 產品及機台

該案例中的產品有 8 種產品型號，每種產品型號的訂單，僅能在該型號已驗證過的測試廠及測試機型作業，其在各種測試機型的作業時間不同且已知。

此案例的測試機型共有 M1、M2、M3、M4 與 M5 五種。自有測試廠備有上述等五種機型的機台，外包的測試廠則有 M2、M3、M4 三種測試機型的機台。各測試廠具備的測試機型與機台數，以及各機型的可使用率的假設如表 5.1。

表 5.1 測試廠機台基本資料

| 廠別 | T1(自有測試廠) | | | | | T2(外包測試廠) | | |
|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M2 | M3 | M4 |
| 機台數 | 4 | 3 | 12 | 14 | 10 | 1 | 2 | 2 |
| 機台使用率 | 83% | 83% | 83% | 83% | 83% | 83% | 83% | 83% |

每種產品的測試流程大多為二道測試，僅少部分的產品會經過一道或三道不同的測試程式作業。測試的程序須依照客戶的規範進行，因此，本案例需設定產品於各個最終測試站點的先後次序，但不考慮測試站點與站點間的非測試作業。

5.1.2 訂單資訊

本案例為訂單式生產(MTO)，規劃時間內的訂單總數(50張訂單)及各訂單的內容為已知，訂單內容為：產品型號、數量、價格。本案例假設每張訂單僅訂購一種產品，若實際上有訂單訂購多種產品，則依產品種類拆為多張訂單。另假設期初沒有在製品存貨。

5.1.3 測試價格、測試成本

測試廠的每小時測試價格，簡稱為 Hourly Rate。Hourly Rate 的訂定是在客戶下單前，客戶與測試廠間談妥每種機型的價格。顧客的訂單，其作業項目在不同的機型上測試，作業時間也可能不同。客戶訂單安排在那些機台上測試，則由測試廠指派。測試廠對每張顧客訂單的計價方式如下：該訂單在某一機型上完成測試所需時間，乘於該一

機型每小時測試價格。

因此，本案例首先將每張訂單的需求數量及價格，轉換為單一測試批，及該測試批在各種機型上測試的測試售價，此即為公司能得到的產值。各測試批的成本，依其在各機型的總測試時間乘於各機型的變動成本計算，若在外包廠測試，則以其所需花費的外包成本計算。

5.1.4 生產配件資訊

不同封裝型態的產品在不同測試機型上測試須使用不同的 Hi-Fix，本案例假設自有測試廠內，各測試機型的 Hi-Fix 數量亦為已知，各測試機型與 Hi-Fix 數量假設如表 5.2。

表 5.2 測試廠機台配件基本資料

| 機型 | 測試配件數量 | | | | | | | |
|----|--------|---|---|---|---|---|---|---|
| M1 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| M2 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| M3 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| | 2 | 6 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| M4 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| | 2 | 1 | 2 | 7 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| M5 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 |

5.2 產能規劃模式執行過程與規劃結果

5.2.1 產能規劃模式

已知規劃時間內的訂單組合、自有測試廠與外包測試廠產能限

制、自有測試廠生產配件限制、測試流程先後順序的限制、測試價格及測試成本。將上述資料代入第四章構建之規劃模組，以 Excel Solver 為工具進行求解。

5.2.2 結果分析

依 4.3 產能規劃模組中的式子建立限制規劃模式，求出產品產能規劃基本解，包括訂單在自有測試廠各型測試機台與外包測試廠的各型測試機台使用數量、產值、成本及利潤(表 5.3)。

求解結果最大利潤為新台幣 4,035,563 元，總產值為新台幣 7,776,956 元，總成本為新台幣 3,741,393 元(其中包含廠內變動成本 3,668,069 元與外包成本 73,324 元)。在機台使用數量上，自有測試廠的 M3、M4、M5 機型，皆已達到使用率滿載，但 M1、M2 則仍有使用的空間，另外需使用外包測試廠的 M4 機型。

表 5.3 產能規劃結果 - 機台使用數量、產值、成本及利潤

| 廠別 | T1(自有測試廠) | | | | | T2(外包測試廠) | | | 合計 |
|--------|-----------|-----|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|-------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M2 | M3 | M4 | |
| 可用機台數 | 4 | 3 | 12 | 14 | 10 | 1 | 2 | 2 | |
| 使用機台數 | 3.6 | 2.7 | 12.0 | 14.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | |
| 未使用機台數 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 1.4 | |
| 實際使用率 | 75% | 75% | 83% | 83% | 83% | 0% | 0% | 25% | |
| 產值(仟元) | 178 | 258 | 1,656 | 2,665 | 2,904 | 0 | 0 | 116 | 7,777 |
| 成本(仟元) | 107 | 148 | 835 | 1,176 | 1,402 | 0 | 0 | 73 | 3,741 |
| 利潤(仟元) | 71 | 110 | 821 | 1,489 | 1,502 | 0 | 0 | 43 | 4,036 |

在自有測試廠各生產配件使用數量上(表 5.4),M1 機型需使用 A、G 型的配件,且 G 型的配件已達最大可用數量,M2 機型需使用 A、C、G 型的配件,M3 機型需使用 A、B、E、G、H 型的配件,且 B、G 型的配件已達最大可用數量,M4 機型需使用除了 G 型以外的配件,且 B、H 型的配件已達最大可用數量,M5 機型需使用 B、D、F 型的配件。

表 5.4 產能規劃結果 - 生產配件使用數量

| 機型 | 測試配件數量 | | | | | | | |
|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| M1 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 可用數量 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 使用數量 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.9 |
| M2 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 可用數量 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 使用數量 | 0.9 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 0.6 |
| M3 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 可用數量 | 2 | 6 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| 使用數量 | 1.4 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 1.0 | 0.4 |
| M4 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 可用數量 | 2 | 1 | 2 | 7 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| 使用數量 | 1.8 | 1.0 | 1.7 | 6.5 | 0.6 | 0.4 | 0.0 | 2.0 |
| M5 | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 可用數量 | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 使用數量 | 0.0 | 5.4 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 |

此外,依上述結果,產品(8 種產品型號)的生產安排如表 5.5 所示。
 訂單(50 張訂單組合)的生產安排如表 5.6 所示。

表 5.5 產能規劃結果 - 產品生產安排

| 產品 | T1(自有測試廠) | | | | | T2(外包測試廠) | | |
|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M2 | M3 | M4 |
| Prod1 | 0.7 | 0.9 | 1.4 | 1.8 | | | | |
| Prod2 | | | 6.0 | 1.0 | 5.4 | | | 0.4 |
| Prod3 | | 0.3 | | 1.7 | | | | 0.2 |
| Prod4 | | | | 6.5 | 3.2 | | | |
| Prod5 | | | 3.2 | 0.6 | | | | |
| Prod6 | | | | 0.4 | 1.4 | | | |
| Prod7 | 2.0 | 0.9 | 1.0 | | | | | |
| Prod8 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 2.0 | | | | |
| 合計 | 3.6 | 2.7 | 12.0 | 14.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 |



表 5.6 產能規劃結果 - 訂單生產安排 (Order1~17)

| 訂單 | 站點 | T1(自有測試廠) | | | | | T2(外包測試廠) | | |
|-----|----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----------|----|-----|
| | | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M2 | M3 | M4 |
| I1 | J1 | | 0.2 | | | | | | |
| | J2 | | | | | | | | 0.1 |
| | J3 | | 0.2 | | | | | | |
| I2 | J1 | | | | | 0.3 | | | |
| | J2 | | | | | 0.5 | | | |
| I3 | J1 | | | 0.2 | | | | | |
| | J2 | 0.2 | | | | | | | |
| | J3 | 0.3 | | | | | | | |
| I4 | J1 | | | 0.4 | | | | | |
| | J2 | | | 0.3 | | | | | |
| | J3 | | | 0.4 | | | | | |
| I5 | J1 | | | | 0.4 | | | | |
| | J2 | | | | | 0.3 | | | |
| I6 | J1 | | | | | 0.1 | | | |
| | J2 | | | | | 0.1 | | | |
| | J3 | | | | | 0.1 | | | |
| I7 | J1 | | | | 1.0 | | | | |
| | J2 | | | | 1.2 | | | | |
| I8 | J1 | | | 0.6 | | | | | |
| | J2 | | | | | 0.5 | | | |
| I9 | J1 | | | | 0.3 | | | | |
| | J2 | | | 0.4 | | | | | |
| | J3 | | | | 0.3 | | | | |
| I10 | J1 | | | | 0.4 | | | | |
| | J2 | | | | 0.3 | | | | |
| | J3 | | | | 0.4 | | | | |
| I11 | J1 | | | | 0.1 | | | | |
| | J2 | | | | | | | | 0.1 |
| | J3 | | | | 0.1 | | | | |
| I12 | J1 | | | | | 0.2 | | | |
| | J2 | | | | | 0.4 | | | |
| I13 | J1 | | | 0.2 | | | | | |
| | J2 | 0.3 | | | | | | | |
| | J3 | 0.3 | | | | | | | |
| I14 | J1 | | | 0.3 | | | | | |
| | J2 | | | | 0.2 | | | | |
| | J3 | | | 0.4 | | | | | |
| I15 | J1 | | | | | 0.3 | | | |
| | J2 | | | | | 0.3 | | | |
| I16 | J1 | | | | | 0.1 | | | |
| | J2 | | | | | 0.1 | | | |
| | J3 | | | | | 0.1 | | | |
| I17 | J1 | | | | | 0.6 | | | |
| | J2 | | | | 1.0 | | | | |

表 5.6 產能規劃結果 - 訂單生產安排 (Order18~34)

| 訂單 | 站點 | T1(自有測試廠) | | | | | T2(外包測試廠) | | |
|-----|----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----------|----|-----|
| | | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M2 | M3 | M4 |
| I18 | J1 | | | | | 0.3 | | | |
| | J2 | | | | | 0.4 | | | |
| I19 | J1 | | | 0.4 | | | | | |
| | J2 | | | 0.4 | | | | | |
| | J3 | | | 0.4 | | | | | |
| I20 | J1 | | | | 0.3 | | | | |
| | J2 | | 0.5 | | | | | | |
| | J3 | | | | 0.4 | | | | |
| I21 | J1 | | | | 0.1 | | | | |
| | J2 | | | | 0.1 | | | | |
| | J3 | | | | 0.1 | | | | |
| I22 | J1 | | | | | 0.3 | | | |
| | J2 | | | | | 0.4 | | | |
| I23 | J1 | | 0.3 | | | | | | |
| | J2 | 0.2 | | | | | | | |
| | J3 | | | 0.1 | | | | | |
| I24 | J1 | | | 0.4 | | | | | |
| | J2 | | | 0.3 | | | | | |
| | J3 | | | 0.4 | | | | | |
| I25 | J1 | | | | | 0.2 | | | |
| | J2 | | | | | 0.3 | | | |
| I26 | J1 | | | | | 0.1 | | | |
| | J2 | | | | | 0.1 | | | |
| | J3 | | | | | 0.1 | | | |
| I27 | J1 | | | | 1.0 | | | | |
| | J2 | | | | 1.1 | | | | |
| I28 | J1 | | | | | 0.3 | | | |
| | J2 | | | | | 0.5 | | | |
| I29 | J1 | | | 0.5 | | | | | |
| | J2 | | | 0.5 | | | | | |
| | J3 | | | | | | | | 0.4 |
| I30 | J1 | | | | 0.3 | | | | |
| | J2 | 0.7 | | | | | | | |
| | J3 | | | | 0.3 | | | | |
| I31 | J1 | | | | 0.1 | | | | |
| | J2 | | | | 0.2 | | | | |
| | J3 | | | | 0.1 | | | | |
| I32 | J1 | | | | | 0.2 | | | |
| | J2 | | | 0.8 | | | | | |
| I33 | J1 | | 0.3 | | | | | | |
| | J2 | 0.2 | | | | | | | |
| | J3 | | | 0.1 | | | | | |
| I34 | J1 | | | | 0.2 | | | | |
| | J2 | | | | 0.2 | | | | |
| | J3 | | | 0.4 | | | | | |

表 5.6 產能規劃結果 - 訂單生產安排 (Order35~50)

| 訂單 | 站點 | T1(自有測試廠) | | | | | T2(外包測試廠) | | |
|-----|----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----------|----|----|
| | | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M2 | M3 | M4 |
| I35 | J1 | | | | | 0.3 | | | |
| | J2 | | | | | 0.3 | | | |
| I36 | J1 | | | | | 0.1 | | | |
| | J2 | | | | | 0.1 | | | |
| | J3 | | | | | 0.1 | | | |
| I37 | J1 | | | | 0.8 | | | | |
| | J2 | | | | | 0.6 | | | |
| I38 | J1 | | | | | 0.3 | | | |
| | J2 | | | | | 0.5 | | | |
| I39 | J1 | | | | 0.3 | | | | |
| | J2 | | | 0.4 | | | | | |
| | J3 | | | 0.4 | | | | | |
| I40 | J1 | | | 0.4 | | | | | |
| | J2 | | | | 0.2 | | | | |
| | J3 | | | | 0.4 | | | | |
| I41 | J1 | | | | | 0.2 | | | |
| | J2 | | | | | 0.3 | | | |
| I42 | J1 | | | 0.4 | | | | | |
| | J2 | | | | 0.2 | | | | |
| | J3 | | | | 0.4 | | | | |
| I43 | J1 | | 0.3 | | | | | | |
| | J2 | 0.2 | | | | | | | |
| | J3 | | | 0.1 | | | | | |
| I44 | J1 | | | | 0.1 | | | | |
| | J2 | | | | 0.2 | | | | |
| | J3 | | | | 0.1 | | | | |
| I45 | J1 | | | 0.4 | | | | | |
| | J2 | | | 0.4 | | | | | |
| | J3 | | | 0.4 | | | | | |
| I46 | J1 | | | | 0.1 | | | | |
| | J2 | | | | 0.2 | | | | |
| | J3 | | | | 0.1 | | | | |
| I47 | J1 | | | | | 0.2 | | | |
| | J2 | | | | 0.4 | | | | |
| I48 | J1 | | 0.6 | | | | | | |
| | J2 | 0.8 | | | | | | | |
| | J3 | | | | 0.4 | | | | |
| I49 | J1 | | | 0.2 | | | | | |
| | J2 | 0.2 | | | | | | | |
| | J3 | | | 0.1 | | | | | |
| I50 | J1 | | | 0.4 | | | | | |
| | J2 | | 0.4 | | | | | | |
| | J3 | | | 0.5 | | | | | |

5.2.3 規劃模組與現況作法比較

依照現況作法，是以人工手動安排訂單，依作業時間長短順序安排，以作業時間最短之訂單為首要優先(測試批作業時間 $M1 > M2 > M3 > M4 > M5$)，再依次往下一張訂單進行配置，直至該型機台數量或配件數量不足。依上述的方式，得到的結果最大利潤為新台幣 3,938,196 元，總產值為新台幣 7,717,686 元，總成本為新台幣 3,779,490 元(其中包含廠內變動成本 3,446,157 元與外包成本 333,333 元)。由表 5.7 差異分析可見，新的規劃模組方式比現況作法，可增加每天利潤新台幣 97,367 元 ($\uparrow 2.5\%$)，每天總產值上升新台幣 59,270 元 ($\uparrow 0.8\%$)，且每天總成本降低新台幣 38,097 元 ($\downarrow 1.0\%$)。以每月 30 天推估計算，每月的利潤可增加新台幣 2,921,010 元。

表 5.7 規劃模組與現況作法比較

| | 現況作法 (1) | 規劃模組 (2) | 差異分析 (2)-(1) |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|--------------|
| 總產值 | 7,717,686 | 7,776,956 | 59,270 |
| 總成本 | 3,779,490 | 3,741,393 | -38,097 |
| 最大利潤 | 3,938,196 | 4,035,563 | 97,367 |
| 每月利潤增加 $97,367(\text{新台幣/天}) * 30(\text{天/月}) = 2,921,010(\text{新台幣/月})$ | | | |

第六章 結論與建議

6.1 結論

記憶體產業自 2007 年底開始面臨記憶體供過於求、價格快速滑落的窘境，而造成記憶體測試廠測試價格遭大幅砍價，進而影響獲利能力，並且縮減資本支出，在資金有限情況下，停止擴充自有的測試產能。因此，如何充份利用自有測試廠生產資源，獲得最大的利潤，使得測試產能規劃更形重要。

近年來在國內以記憶體測試廠為研究對象的論文，主要的研究主題大多在於作業層級的排程派工，皆未完整探討測試機台的跨機問題，及機台產值與訂單的相依的特性。測試產能規劃對測試廠重要性增加，本研究針對此部份進行研究，提出一個適合記憶體測試廠的短期產能規劃模組，在廠內各測試機型、測試配件和外包廠產能的限制下，最大化利潤為目標，以指派各客戶訂單的生產途程至適宜的機型。

在本研究中的案例說明，可以發現本研究所提出的產能規劃模組能有效的提升公司的產值與利潤，並且減少成本的支出。

6.2 建議

在本研究中有些缺失，建議未來可以進行改善：

1. 本研究的規劃模組是將各機型的設置時間及當機狀態視為固定參數，但測試機台存在著設置相依的問題，當在同一機台上，前後批的測試程式、測試配件或測試條件(如測試溫度)有所不同時，機台則需要重新設置(Setup)，而設置時間的長短決定於前後批的產品組合，若重新設置的頻率增加，產能也相對會受到影響。因此建議在設置時間的考量上，可以做更符合實際情況的修正。



2. 在線性規劃求解階段，所需輸入之各項資訊，例如訂單需求數量、訂單的途程與測試時間、各測試機型與測試配件之數量及最大產能、外包產能、訂單測試價格、廠內測試及外包成本等，均為已知。吾人將生產配件資源列為產能限制條件，但未考慮在投資新的生產配件下，是否會有利潤更佳化的產能規劃結果產生。因此建議在未來研究時可以在規劃模組中做更詳細的設計。

參考文獻

- [1] R. C. Leachman, T. F. Carmon, “On Capacity Modeling For Production Planning With Alternative Machine Types”, *IIE Transaction*, Vol. 24, No.4, pp. 62-72, Sep 1992.
- [2] Yi-Feng Hung and Robert C. Leachman, “A Production Planning Methodology for Semiconductor Manufacturing Base on Iterative Simulation and Linear Programming Calculations,” in *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1996, pp.257-269
- [3] A.I. Sivakumar, “Optimization Of Cycle Time And Utilization In Semiconductor Test Manufacturing Using Simulation Based, On-Line, Near-Real-Time Scheduling System,” in *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1999, pp. 727-735
- [4] A.K. Gupta, A.I. Sivakumar, “Multi-objective scheduling of two-job families on a single machine,” in *Omega*, 2005, pp. 399-405
- [5] 黃信榮，「記憶體 IC 最終測試廠主生產規劃系統之構建」，交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2003
- [6] 李晉裕，「半導體測試廠有限資源產能規劃研究」，中原大學工業工程學系碩士論文，2000
- [7] 方淑儒，「IC 設計公司產能分派模式之構建」，交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2001
- [8] 許世洲，「IC 設計公司的外包產能規劃」，交通大學工業工程與管理學系博士論文，2003

[9] 謝瑞蓉，「IDM 廠短期針測產能規劃模式之構建」，交通大學管理學院碩士在職專班工業工程與管理組碩士論文，2004

