

記憶體模組產業之多廠區生產規劃模式

研究生：吳政穎

指導教授：王立志 博士

東海大學工業工程與經營資訊研究所

摘要

記憶體模組產業是位於產業鏈的中游，其原料記憶體晶片(Chip)是來自於上游晶圓廠之晶圓製造開始，由記憶體模組商依產品規格購入所需顆粒，以表面黏著生產技術(Surface-mount technology; SMT)將其他元件鑲嵌於印刷電路版上，製程較為單純。由於原料記憶體晶片製程複雜，因此有相當於三個月的採購前置時間，且不一定每次都能取得足夠數量或是確切的晶片規格，記憶體模組的產品結構替代性高，同一種原料可以組合成不同的成品項目，在如此的特性之下，記憶體模組產業是屬於物料為主的生產環境。

在全球以及多廠的生產環境之下，生產規劃比單廠區更加複雜困難，因此本研究考量記憶體模組產業特性，以及多階多廠的生產環境，發展一個以成本極小化為目標的多廠區生產規劃模式，考慮物料替代特性、物料調撥支援特性，以及運輸、產能限制，產生每日生產計劃，供規劃人員進行生產規劃時之參考依據。

最後，利用 Cplex 軟體進行本研究的數理規劃模式之運算，經由實驗設計得知本模式所適用的產業環境範圍，並與現行業界規劃方式比較其規劃結果。

關鍵字：多廠區生產規劃、數理規劃、訂單分配、記憶體模組

Multi-site Production Planning Model for Memory Module Industry

Student: Cheng Ying Wu

Advisor: Dr. Li-Chih Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

The memory module industry is located in the middle of the chain of memory industry, the processes of memory module is assemble several components with surface-mount technology on the print circuit board. This industry have long lead time to obtain the key material chip that produced from wafer fabrication factories with approximate 3 months and highly BOM alternative. Hence, the memory module industry must allocate the limit of supply to fulfill customer's demands effectively.

Besides, the multi-site production environment has more challenges than single-site, this research proposed a linear program model with the constraints such as material, capacity, transportation, material support between production sites, and the objective of the model is minimize the integrated manufacturing costs and employed the model with the software ILOG CPLEX. Via experimentation to compare the effectiveness between the mathematical model and the plan method that enterprise does. And also, get the suitable range of the model.

Keywords: Multi-site production plan, Mathematical Programming, Order Allocation, Memory Module.

謝 誌

兩年的研究生涯，不長也不短，非工業工程背景的我，在這段時間裡歷經不少困難，除了在專業領域上，還有人性層面的議題皆有所學習與深刻體會，這兩年對我的成長與發展有著深遠的影響。

研究所就讀期間，最要感謝的是我的父母親還有姐姐，因為他們我才能心無旁騖的專心在學業上，謝謝女友惠貞的支持與打氣，她總是耐心的陪我渡過許多內心煎熬的時候，也是我堅持下去的最大原動力，我要把這份榮耀獻給他們。

本論文得以完成，首先要感謝指導老師 王立志教授這兩年來的教導，讓我們有機會瞭解實際業界營運情形，並將理論與實務結合，體驗到與別人不同的學習經驗，此外，論文口試期間，承蒙元智大學 袁明鑑老師、東海大學 王文清老師提供寶貴的意見，使本研究能夠有一個好的結果。

碩士生活裡，感謝宏霖學長，在我做研究感到最迷惘的時候伸出那隻恰到好處的援手，給予真正有效且正確的建議；與建璋、本善一起在 Moss 唇槍舌戰的日子難以忘記；同一間研究室的啟偉，抱歉害你有被客訴的危機，但也謝謝你提供了相聚同樂的所在，以及熱心的弼仁，總是能得到他適時的幫助；還有靈魂人物外加超級無敵霹靂宇宙大美女淑芬姐，讓研究室能夠 get high；還有研究室的立品、獻琨、信宏、阿賈與小 Ma，謝謝你們在研究生活上的協助。

吳政穎 于東海 2008.7.

目 錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
謝 誌.....	III
目 錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	3
1.3 研究目的.....	4
1.4 研究步驟與方法.....	5
第二章 文獻探討.....	8
2.1 記憶體模組產業介紹.....	8
2.1.1 記憶體模組產業現況.....	8
2.1.2 產業上、中、下游之關聯性.....	8
2.1.3 市場供需狀況.....	10
2.1.4 記憶體模組製程簡介.....	11
2.2 多廠區生產規劃的特性.....	12
2.3 多廠區生產規劃的架構.....	17
2.4 多廠區生產規劃方式.....	20

第三章 多廠區生產規劃模式.....	32
3.1 記憶體模組產業供應鏈結構.....	32
3.2 記憶體模組產業在多廠生產規劃所遭遇之挑戰.....	34
3.3 多階多廠之生產規劃模式.....	36
3.3.1 多階多廠區生產規劃架構.....	37
3.4 多階多廠生產規劃模式說明.....	39
3.4.1 假設條件.....	39
3.4.2 已知條件.....	39
3.4.3 符號定義.....	40
3.4.4 目標函數.....	44
3.4.5 限制條件說明.....	46
3.5 多階多廠生產規劃模式範例.....	50
3.5.1 範例情境.....	50
3.5.2 已知參數設定.....	51
3.5.3 以範例情境說明本模式限制式.....	53
第四章 實驗設計與結果分析.....	62
4.1 實驗方式與環境建構.....	62
4.1.1 實驗環境.....	62
4.1.2 實驗因子及水準設定.....	64
4.1.3 實驗情境.....	65
4.2 實驗結果與分析.....	68
4.2.1 情境一：本研究規劃模式與業界生產規劃方法進行比較結果.....	68
4.2.2 情境二：模式適用範圍實驗結果.....	73
4.2.3 情境三：參數分析實驗結果.....	74

第五章 結論與未來發展方向	78
5.1 結論	78
5.2 未來發展方向	78
參考文獻	79
附錄一：配銷中心 BOM 耗用數量	83
附錄二：製造廠至配銷中心運輸量	84
附錄三：製造廠半成品產出計劃	85
附錄四：製造廠 BOM 耗用	86
附錄五：原料存貨情形	87
附錄六：原料調撥輸出	88
附錄七：原料調撥輸入	89
附錄八：參數分析實驗結果	91
附錄九：各成本交互作用對於物料存貨數量的影響	93
附錄十：各成本交互作用對於半成品存貨數量的影響	94

圖目錄

圖 1.1 研究步驟	7
圖 2.1 產業上、中、下游之關聯性	10
圖 2.2 2006 DRAM 模組應用分佈 資料來源：IDC (2006/3Q).....	11
圖 2.3 記憶體模組製程	12
圖 2.4 全域與區域的排程	16
圖 2.5 多廠區規劃系統架構	18
圖 2.6 多廠區中央規劃控制架構	19
圖 2.7 多廠與多樣化產品分配模式	23
圖 3.1 供應鏈網絡架構	33
圖 3.2 記憶體模組產品結構範例	34
圖 3.3 多階多廠生產規劃方法	38
圖 4.1 生產環境與結構	63
圖 4.2 情境一實驗架構	66
圖 4.3 情境二實驗架構	67
圖 4.4 情境三實驗架構	68
圖 4.5 小供應鏈規模成本比較(需求變異 0.3)	69
圖 4.6 小供應鏈規模成本比較(需求變異 0.6)	70
圖 4.7 大供應鏈規模成本比較(需求變異 0.3)	70
圖 4.8 大供應鏈規模成本比較(需求變異 0.6)	71
圖 4.9 小供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.3)	71
圖 4.10 小供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.6)	72
圖 4.11 大供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.3).....	72
圖 4.12 大供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.6)	73

圖 4.13 各因子水準下之求解效率	74
圖 4.14 各種成本對調撥數量影響情形	75
圖 4.15 X1、X2、X3 三種成本對調撥數量的交互作用影響.....	75
圖 4.16 各種成本對物料存貨數量影響情形	76
圖 4.17 各種成本對半成品存貨數量影響情形	76

表目錄

表 2.1 全域、區域與運輸排程的建模內容	15
表 2.2 預知式與反應式排程的優缺點比較表	17
表 2.3 生產規劃相關研究 (本研究整理).....	31
表 3.1 產品用料組合範例	35
表 3.2 成品項與 BOM 對應表	46
表 3.3 BOM 的使用數量	47
表 3.4 半成品項與 BOM 對應表.....	48
表 3.5 BOM(X)編號與成品項、半成品項對應關係.....	50
表 3.6 BOM(Y)編號與半成品項、原物料對應關係.....	51
表 3.7 各項相關作業成本及設定	51
表 3.8 各配銷中心產品需求數量	52
表 3.9 各配銷中心半成品預計供給量	52
表 3.10 各製造廠原物料預計供給量	52
表 3.11 第 7 期配送中心 1 對成品 0 的產出量	53
表 3.12 成品項與 BOM(X)編號對應表	54
表 3.13 BOM(X)編號使用數量.....	54
表 3.14 各製造廠運輸至配銷中心 1 的半成品數量	55
表 3.15 半成品與 BOM(X)對應表	55
表 3.16 各製造廠所提供的半成品數量	56
表 3.17 半成品與 BOM(Y)編號之對應關係	57
表 3.18 製造廠於各週期對 BOM(Y)編號的使用數量	57
表 3.19 原物料與 BOM(Y)編號的對應關係	58
表 3.20 各製造廠原物料耗用情形	58

表 3.21 各製造廠原物料調撥輸出量	59
表 3.22 各製造廠的調撥輸入量	59
表 3.23 各製造廠調撥輸出量	60
表 4.1 情境一實驗因子水準組合	65
表 4.2 情境二實驗因子水準組合	66
表 4.3 情境三實驗因子水準組合	68
表 4.8 各因子水準下之求解時間(單位為秒)	73

第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著全球化市場的競爭壓力，以及客戶需求不斷增加的環境中，企業所面臨的生產活動，已從過去的單廠演變成跨國多廠的生產模式。在多廠區生產規劃環境下，企業以擴廠或合併的方式擴充產能，也使單廠區的生產管理問題，衍生到複雜的多廠區規劃問題，包含各廠之間的產能平衡、資源共享及生產特性、產品組合及各廠區之製造成本等。企業首先面對的即是如何有效運用各廠的生產資源，降低成本，以達到最大獲利。

多廠區生產規劃的問題相當複雜，特別當訂單數量、供應鏈規模、規劃週期、產品結構複雜度增加時，問題的複雜程度會以指數型成長。因此，企業目前多數採用「經驗法則(啟發式法則)」實行「訂單分配」到各個製造廠，此種規劃方式在降低總成本與提昇服務水準的效益並不顯著。因此，必須發展一良好的最佳化訂單分配模式，輔助企業各製造廠間之訂單分配，並從全面性的角度進行生產、運輸、廠間支援、物料等規劃實為一個重要的議題。

一般而言，依據不同的產業及其生產特性與限制，供應鏈生產規劃模式可區分為需求導向(demand driven)，與供給導向(supply driven)；在需求導向供應鏈生產模式中，企業依照客戶需求，分配生產資源以滿足訂單需求，例如企業會根據訂單需求，包含品項、交期、數量、交貨地點，進行生產規劃以及資源分配，決定何時以及在何處生產以滿足需求。

而在記憶體模組產業供應鏈中，生產規劃是以供給情形做為主要驅動源頭，企業依據原料供給狀況，需求情形以及歷史銷售業績，先決定要組裝成哪一類產品後分配至哪一地區進行銷售，再依此進行生產規劃，排定

生產計劃，決定什麼時間在哪一個製造廠區生產何種產品與數量。

在記憶體模組產業中，其關鍵原物料來自於晶圓廠所生產的記憶體晶片(Chip)，其製造原理是在空白晶圓(Prime Wafer)片上，以蝕刻或堆疊方式經離子植入、擴散、薄膜等手續刻劃出所需電路，完成晶圓(Wafer)之製造，此為前段製程。前段製程所完成之晶圓切割為晶粒(Die)後再經由封裝、測試(此為所謂後段製程)，即成為一顆顆的晶片(Chip)出售。

記憶體晶片從空白晶圓投片到封裝測試後，約需經歷四百多道製造手續，其間所耗費之生產時間約需三個月，所以目前之供給量在三個月前已經就決定了；而目前之生產量要三個月後才能有產出，因此記憶體晶片之供需有三個月之時間差，產出量缺乏快速而即時的彈性，這也是記憶體模組產業比經濟景氣波動有更劇烈的起伏之原因之一。

記憶體模組產業位於產業鏈的中游，記憶體製造由上游晶圓廠之晶圓製造開始，再由記憶體模組商依產品規格購入所需顆粒，加上所需的印刷電路版(PCB)、控制晶片、相關主被動元件等，以表面黏著生產技術(Surface-mount technology; SMT)將各元件鑲嵌於印刷電路版上，經功能測試後，完成產品製造過程。

記憶體模組在製程上並不複雜，較不具專業的技術，但由於產品結構具替代特性，不同的關鍵原料可以組成相同的成品項目，加上價格波動快速的市場特性，以及上游關鍵料供貨不穩定，在這樣的環境之下，記憶體模組產業明顯地是以物料為主的生產環境；再者，記憶體模組產業上游原料供應來源為晶圓製造廠，該產業仍是計劃性生產的環境，製造前置時間長，且全球市場中晶圓的供貨來源有限，不一定每次都能提供足夠數量，或是確切滿足中游記憶體模組廠所需型別之晶片顆粒，造成關鍵原料供給

不穩定，因此如何在規劃週期內有效的分配這些有限的關鍵原料，是規劃的重點之一。

總體而言，針對多廠區生產規劃問題，整體規劃內容與範圍相較於單廠更為複雜，必須考量製造廠之間彼此的資源整合，包含製造產能、運輸、原料等，以全體資源規劃最佳化為目標，加上供給導向以及價格波動快速的產業特性，更需以協調物料資源，降低平均庫存水準與庫存成本為規劃重點。

1.2 研究動機

過去文獻對於多廠區的訂單分配、存貨問題、產能規劃等相關生產規劃問題都有大量的研究，其相關主題所用的建模方法大致上可分為兩類，第一類是運用數學模式尋找問題的最佳解，一般常用線性規劃與混整數規劃的方法，學者 Vollmann 與 D.J.Wu 提出，追求供應鏈最佳化之議題，以數學模式來闡述生產規劃問題是最有效率的方式。

另一種則是使用系統模擬方式來模擬真實世界所面臨的環境，依據所輸入的模型參數來評估不同方案的結果，模擬系統提供的結果有可能是部份最佳化，而非整體的最佳化，且無法提供規劃人員瞭解系統的運作狀態及處理過程，此為模擬技術的缺點。

陳恩齊(2003)指出，隨著顧客需求量的增加，利用擴廠或外包方式來擴充產能，已為普遍之實務的方法，導致企業的生產環境，由過去的單廠生產環境，變成多廠生產環境，這樣的生產環境下，企業的生產規劃將不再單純，須另外發展多廠規劃與排程(Multi-Site Planning and Scheduling)方法，整合多廠生產資源，進行規劃與排程，以滿足現今顧客需求與交期。

Luc Cassivi et al.(2003)提到在需求導向供應鏈中(顧客導向)，企業必須要有彈性的供應鏈策略或是優質的銷售價格保有競爭優勢。但在供給導向供應鏈中，產品售價受到上游半導體產業原料供給情形相當大的影響，價格波動迅速，有一日數變的情形發生。Lanshun et al.(2006)使用 Lagrangian Relaxation 方法，以市場需求為導向，進行多廠區的生產規劃，整合採購、生產等運籌規劃，使總成本降低。Chern et al.(2007)以啟發式演算法，在成本最底的目標下解決主排程問題。

在多廠區生產環境之下，生產規劃比單一廠區更加複雜困難，也由於複雜的產業特性，會造成規劃人員在規劃工作上的困難；另外，原料的購入成本波動劇烈，需將成本較高以及共用替代較低的物料優先使用，避免導致企業存貨成本的激增，因此各製造廠之間物料應要能夠彼此支援，減少平均庫存水準及成本。而目前以供給為導向的多廠區生產規劃模式，在過去的研究中甚少被提出，大多以需求來驅動生產規劃，且無同時考慮

1. 多階多廠
2. 多替代多階層產品結構
3. 製造廠間物料調撥支援
4. 運輸及生產前置時間等特性及限制

因此在考量供給導向供應鏈及多廠區環境的特性之下，建構一套適用之訂單分配模式，在合理規劃時間內，以及有限供應鏈資源限制下求得有效解，成為協助規劃人員決定需求分配的參考依據，是值得研究之議題。

1.3 研究目的

基於上述背景與動機，本研究針對多廠區的生產規劃，以及記憶體模組產業之特性進行分析，提出適用於記憶體模組產業之多廠區生產規劃模式，並定義本研究所探討的多廠區生產規劃問題。針對此問題，提出數理規劃模式，在考量供應鏈特性之相關限制條件下，例如產能限制、物料限制、運輸等限制條件，規劃各個廠區的訂單分配數量，並以記憶體模組產業所構成的多廠區生產環境為例，說明與驗證本方法之適用性。具體而言，本研究主要目如下：

1. 考慮記憶體模組產業特性，以及多廠區的生產環境，發展一個以成本極小化為目標的多廠區生產規劃模式，考量特性及限制如下：

- (1) 產品結構替代特性
- (2) 製造廠間物料調撥特性
- (3) 運輸及生產前置時間
- (4) 產能限制

以此模式規劃每日投料計劃與產出計劃、物料調撥、運輸計劃以及各原料存貨情形等，以做為規劃人員在進行生產規劃時之參考依據。

2. 經由實驗設計與分析，探討如下結果：

- (1) 比較本模式與現行業界使用的規劃模式之優劣
- (2) 本模式的適用範圍
- (3) 透過參數分析觀察成本對決策的影響

1.4 研究步驟與方法

為了達到上述研究目的，本研究依據圖 1.1 的研究步驟進行。

1. 多廠區生產規劃技術與分析架構：本研究針對多廠區生產規劃 (multi-site production planning) 流程、規劃邏輯與生產限制等特性進行瞭解，並整理目前用於解決多廠區生產規劃之規劃技術，瞭解在多廠區生產規劃時，會考慮到哪些特性與限制，以及用何種技術來解決多廠區生產規劃的問題。
2. 記憶體模組產業特性瞭解：針對記憶體模組產業之規劃特性進行分析整理。
3. 問題定義與描述：根據多廠區生產規劃以及記憶體模組產業之生產特性，進行問題分析與定義，瞭解多廠區生產規劃時，所可能遭遇之問題。
4. 規劃概念與規劃模式說明：提出多廠區生產規劃概念，解決訂單分配、物料規劃等問題，並以記憶體模組產業做為範例加以說明規劃模式與概念。
5. 實驗設計與分析：設計一套實驗方法，比較不同實驗環境下，分析本模式之優劣程度以及適用範圍。
6. 結論與建議：藉由實驗分析的結果，提出結論以及未來可延伸性的議題。

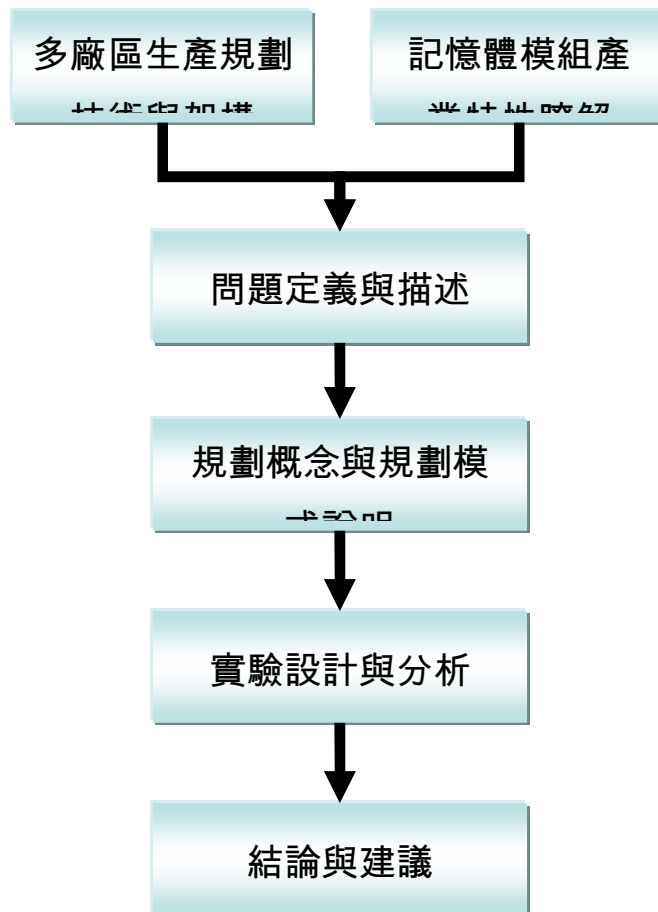


圖 1.1 研究步驟

第二章 文獻探討

本節分別對記憶體模組產業、多廠區生產規劃的特性、架構與規劃方式等三方面探討。

2.1 記憶體模組產業介紹

2.1.1 記憶體模組產業現況

記憶體模組(Memory Module)係將可儲存並處理大量資料的記憶體顆粒(Chip)，以表面黏著(SMT)生產製程將記憶體顆粒鑲嵌於印刷電路板上(PCB)，利用接觸電腦連接插槽端子，將 DRAM 儲存之資料傳送到電腦處理器，達成提升電腦處理速度及擴充記憶容量之目的，是電腦不可或缺之重要零組件之一。一般而言，標準型記憶體模組主要應用於桌上型電腦及筆記型電腦，隨資訊化程度提高，電腦處理速度加快，所需搭配的儲存容量亦與日俱增，且因自行組裝容易，故汰換率較高，全球市場規模大。目前知名供應商如 Kingston、創見、威剛公司等。

由於記憶體模組製程單純、流通性佳且不需投入龐大之資本支出，因而吸引許多相關業者紛紛設立，由於記憶體模組之價格與原料(Chip)之漲跌息息相關，整體產業受景氣波動影響甚深，因此模組廠商必須保持最佳的營運效率、以最低的成本，搭配良好的行銷通路才能在激烈的競爭環境中存活。

2.1.2 產業上、中、下游之關聯性

就記憶體模組所屬產業之上、中、下游關聯性圖示如圖 2.1 所示。

1. 上游：

若以記憶體模組廠商為中游，則上游為記憶體模組相關生產原料製造業。記憶體模組的主要材料包括記憶體晶片、印刷電路板、被動元件、控制晶片等。

2. 中游：

記憶體模組產業的中游為記憶體模組之製造及買賣廠商，主要是將記憶體、印刷電路板、被動元件、控制晶片等原料加工製造成記憶體模組之電子元件成品，銷售予下游應用廠商。原料記憶體晶片佔記憶體模組產品成本比重高，關鍵原料價格波動將影響獲利，半導體產業之市場價格主要係為市場即時供需價格，價格波動迅速，有一日數變之情況；就記憶體模組廠商而言，面對之客戶為通路商、系統廠商以及最終消費者等，係屬於整體記憶體產業之中游，此一市場情勢中，記憶體模組廠商面對及時性價格變動狀況，故在策略上以現貨價格為參考依據，規避價格波動風險。

3. 下游：

記憶體模組產業下游為電子產品應用廠商，包括主機板廠商、繪圖卡廠商、筆記型電腦廠商、PC 組裝廠、經銷商、代理商、家電廠商、數位產品廠商、通訊產品廠商及消費性電子產品廠商等。

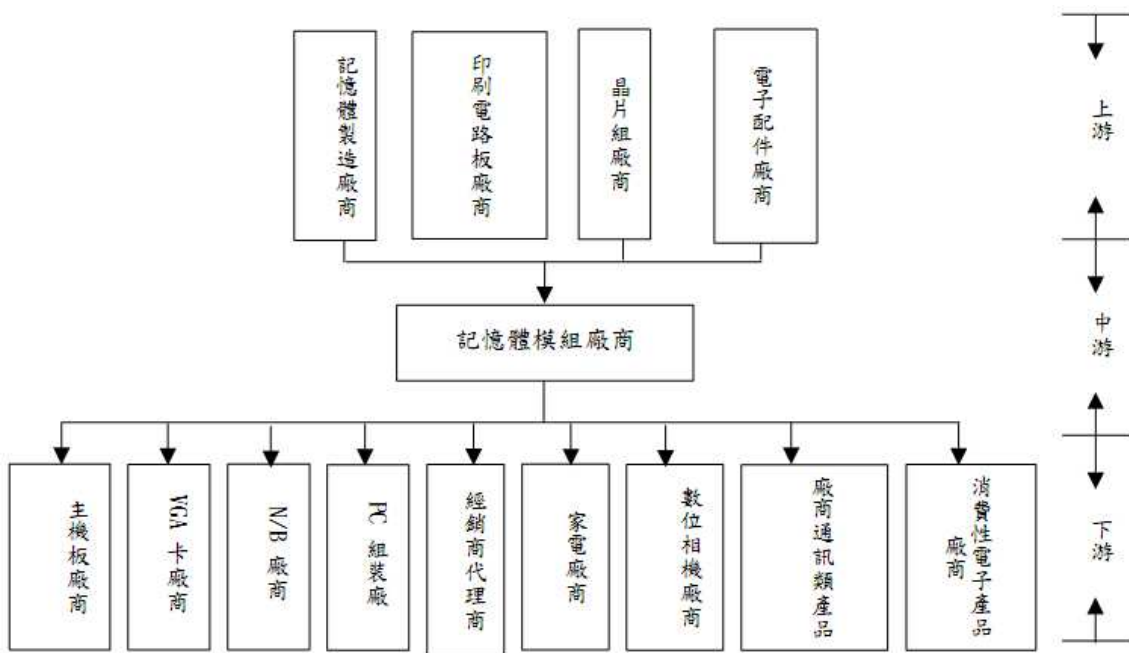


圖 2.1 產業上、中、下游之關聯性

2.1.3 市場供需狀況

1. 供給面

由全球 DRAM 製造廠商家數觀之，從 1994 年、1995 年鼎盛的 30 餘家，到目前僅剩 10 家左右，就 DRAM 產業而言，每當 DRAM 產業不景氣，就會有廠商淡出或退出 DRAM 市場，造成 DRAM 產業不斷版圖重整，目前全球 DRAM 產業主要供應廠商包括韓國的三星(Samsung)、海力士(Hynix)、美國的美光(Micron)、德國的英飛凌(Infineon)、與國內南亞(Nanya)、華邦、茂德和力晶等等。

由於 DRAM 產業的環境越來越具挑戰，歷年來廠商數目減少，就市場占有率角度而言，全球整個市場的集中度不斷提升，全球前五大 DRAM 廠市占率已經由 2001 年之 78.8% 上升至 2004 年之 82.6%，若再加上相關合作廠商的關係，則全球前五大 DRAM 集團將佔有九成的全球 DRAM 市場，供給市場已經逐漸趨近寡占。

2. 需求面

DRAM 的應用產品主要可分為三大類，第一類是資訊應用類：如桌上型電腦、筆記型電腦、記憶體模組、伺服器、工作站、大型以上等級電腦和硬碟等；第二類為通訊應用類：如手機、答錄機、傳真機、路由器等；第三類是消費性應用類：如遊戲機、視訊轉換器、印表機及 DVD 播放器。

以記憶體產品的應用面來看，包括個人電腦、繪圖卡、遊戲機、消費性電子產品及手機等，而目前絕大部份仍在個人電腦領域。由圖 2.2 可看出，整體記憶體模組應用仍是以電腦相關應用為大宗。

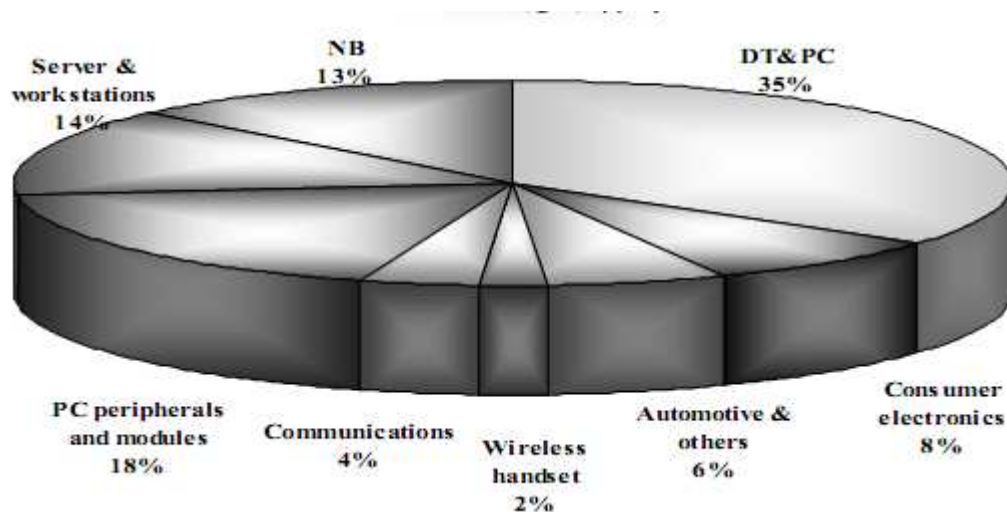


圖 2.2 2006 DRAM 模組應用分佈 資料來源：IDC (2006/3Q)

2.1.4 記憶體模組製程簡介

記憶體模組(Memory Module)是將可儲存並處理大量資料的記憶體顆粒，以表面黏著(Surface-mount technology ;SMT)生產製程將記憶體顆粒鑲嵌於印刷電路板上，其製程如圖 2.3 所示。記憶體模組產業製程單純，準備好記憶體晶片以及其他相關零組件後，進行 SMT 加工，將晶片與其他零組組合後，再進行切割動作，即為我們在市面上所見的以條為單位的記憶體模組，經過打印以及檢驗後即可出貨。

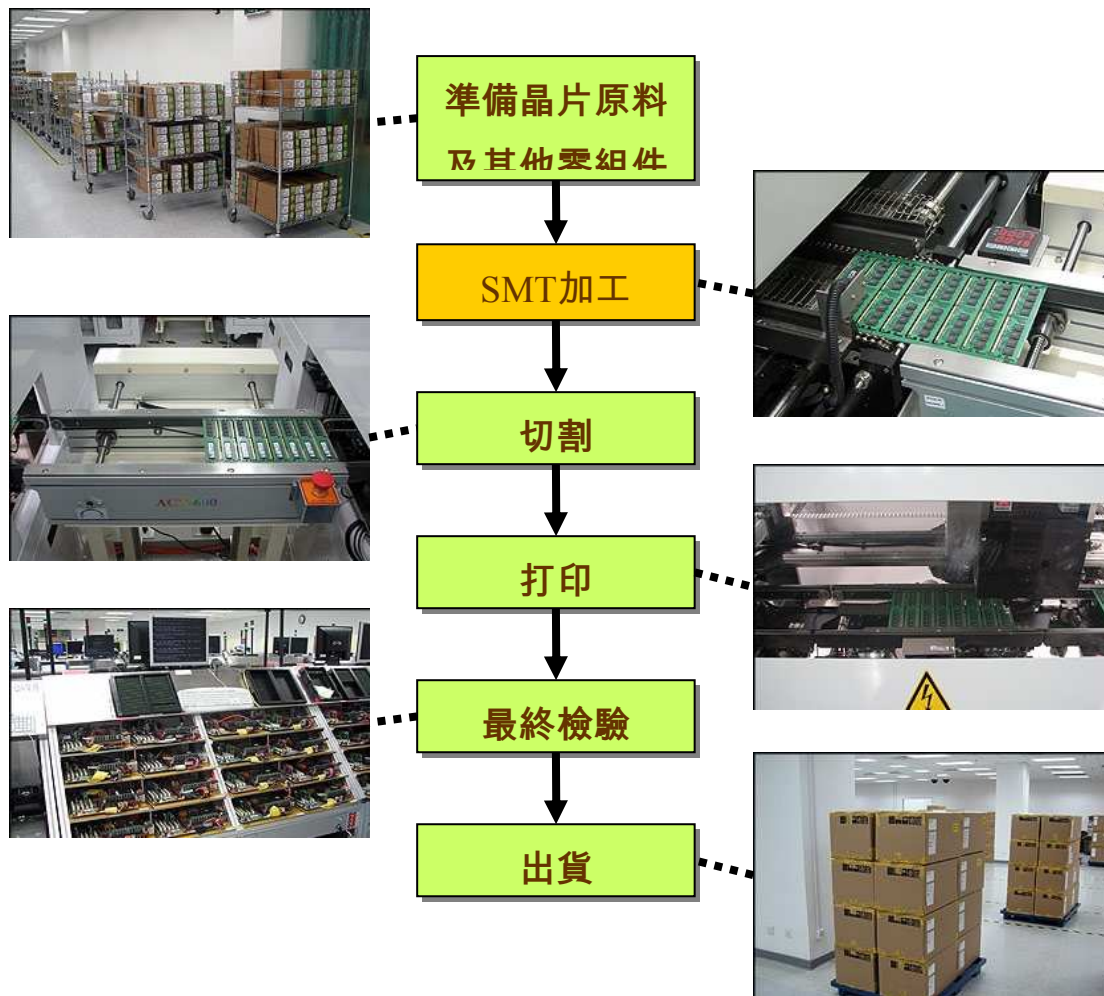


圖 2.3 記憶體模組製程

2.2 多廠區生產規劃的特性

一般而言，生產規劃與控制的資訊包括訂單資訊(顧客資料、顧客訂單、預測資料)，產品結構的資料，生產途程，採購零件和賣出物料的供應商資訊，現有存貨的詳細資料，在製品的資料，資源的資料等等。對於多廠區的生產規劃與控制系統，額外添加如供應鏈方面的資料，供應商與外包商的資料。

Sabri 及 Beamon 定義供應鏈規劃是為控制存貨、採購及配銷的方法 (methods)、資源設施(facilities)、供應商(supplies)、顧客(customers)、產品(products)。

為了分析供應鏈，Erengus et al.(1999)研究從供應鏈網路及其每層次的生產/配銷規劃進行分類討論：

- 供應商(supplier stage)
 - 工廠(plant stage)
 - 運輸網路(transformation network)
 - 運輸/分配決策(transformation/allocation decision)
 - 存貨
- 配銷(distribution stage)
 - 配銷網路(distribution network)
 - 位置/分配決策(location/allocation decision)
 - 存貨

Thierry et al.(1995) 認為多廠區的生產系統中，產品的製造流程是需要使用不同廠區內的資源。換句話說，單一產品的生產是具有替代性的，比如相同企業下的二個廠區，對某個生產流程可能具有相同製程能力或是具有互補能力。解決多廠區生產規劃的問題，是藉由改善相同企業下不同生產單位間生產規劃與控制的合作關係。因此，這樣的問題主要是要決定不同生產單位需要生產的品項數量與各個生產單位間的運輸數量。它具有以下的基本資料：

- 相同的企業下有不同的生產單位及其產能效益
- 用於生產零件的物料清單
- 生產不同組件與最終料件需要的資源數量
- 生產單位間的運輸時間

及限制條件：

- 產能限制
- 存貨與生產及運輸的平衡式
- 生產單位間生產與需求的限制
- 需求與運輸的限制

Kerschxmer and Tournas (2003)指出一個多廠區的企業，將會面對客戶隨機的訂單需求量，且各廠區都會有本身的產能限制，而營運總部以及各製造廠區之間的生產資訊不透明，將可能減低企業內部的作業效率，故各企業目前皆積極地發展多廠區的生產規劃平台。

Sauer et al. (1998)認為多廠區生產規劃，可視為不同廠區間的生產流程分配問題，主要的特性有：

1. 不同生產廠區之間，其生產流程有很複雜的相互依賴性。
 - (1) A 工廠所製造的產品可能為 B 工廠所需要的。
 - (2) 相同的產品可能被不同廠區被製造。
 - (3) 不同的工廠之間零件運輸問題。
2. 全域排程需要的資訊類型是以一般性資料來取代精確資料，例如：
 - (1) 以機器群組來替代單一機器的產能資訊
 - (2) 中間或最終產品所估計的製造時間
3. 單一廠區的現有排程系統需整合。
4. 企業下所有工廠，原本分散的排程活動需合作共同進行。
5. 單一廠區的實際狀況之不確定性。

故多廠區生產系統的目標即為減少分散性排程的複雜度，並同時改善各廠

區生產排程的品質。

此外，Sauer 及 Appellrath(2000)將多廠區生產系統的排程問題分為全域(gloxl)排程、區域(local)排程與運輸排程(如表 2.1)。全域層次的主要任務是產生每個位置(location)中需要被製造的中間產品(intermediate product)之需求量(如圖 2.4 所示)及不影響其他廠區的同時，提供足夠的彈性使得區域排程(指的是單一位置)能夠反應區域性的干擾事件。它可以藉由加入緩衝時間的啟發式法則及模糊技術來最佳化機器群組的平均負荷。

並對此架構下，提出區域排程與全域排程的需要進行同步規劃，其同步規劃方式如下：

1. 全域被動排程(Gloxl Predictive Scheduling)針對多廠環境下所有的訂單進行分配，決定個別廠區的投料時間、數量及預估產出時間。區域被動排程(Local Predictive Scheduling)則根據全域式排程所排的結果，針對單一廠區內部進行排程。
2. 若在區域內發生了變動，則會將變動的狀況反應到區域主動式排程(Local Reactive Scheduling)。
3. 區域主動排程會針對變動的狀況進行重新排程，若並不影響全域排程的狀況則不需要進行重排。但如果會影響到全域排程結果，則會將結果反應回全域主動排程。
4. 全域主動排程則針對變動的部分進行重排，若是影響到其他廠區則通知各區域主動排程進行重排。
5. 若仍然無法解決，則重複步驟 2 到步驟 4

表 2.1 全域、區域與運輸排程的建模內容【31】

	區域式排程	運輸排程	全域式排程
資源 (Resource)	機台	運輸車輛	機器群組
產品 (Product)	產品是由許多作業組成	使用特定運輸車輛的中間產品	產品是由許多半成品所組成的
訂單 (Order)	內部訂單，對象為廠內產物	中間產品的內部訂單	外部訂單，對象為最終產物
必要限制 (Hard Constraint)	1. 需排程所有的訂單 2. 需考慮生產途程及產品需求	根據技術需求(車輛種類、運輸產能)，排定所有訂單	1. 需排程所有外部訂單 2. 需考慮生產途程及產品需求
軟性限制 (Soft Constraint)	1. 較高的機器使用率 2. 滿足交期 3. 較小在製品的花費	準時交貨(meet due dates)，最佳化車輛使用率，最小化成本	1. 滿足交期 2. 最小化運送時間及成本 3. 平衡生產負荷 4. 減少庫存成本

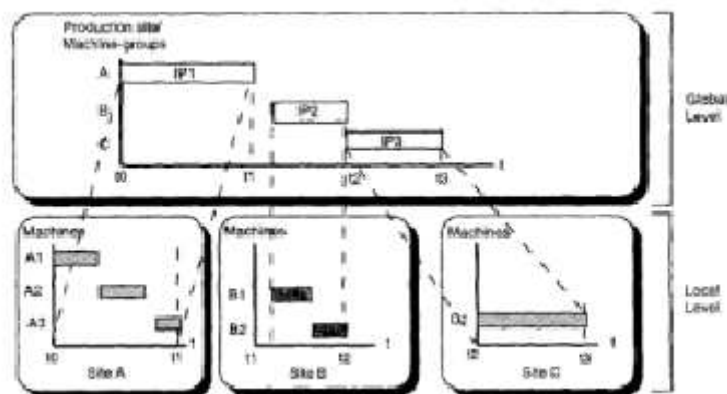


圖 2.4 全域與區域的排程【31】

全域排程根據規劃特性又可以細分為預知式(proactive)與反應式(reactive)，其優缺點整理如表 2.2：

表 2.2 預知式與反應式排程的優缺點比較表【31】

	全域的預知式排程	全域的反應式排程
優點	<ul style="list-style-type: none"> • 整體最佳化，做多目標決策分析。 • 將區域性排程所發生的干擾視為限制條件，一次做好長期規劃。 	<ul style="list-style-type: none"> • 有效地運用區域性排程，做較精確的目標規劃。 • 當區域性排程發生干擾，只需做部份規劃，有利於即時回應資訊。
缺點	<ul style="list-style-type: none"> • 無法正確反應區域性排程所發生的干擾，可能積壓多餘的產能或庫存。 • 當區域性排程發生干擾，需要重新做整體最佳化。 	<ul style="list-style-type: none"> • 一旦多個區域性排程發生變異而其相依性太高時，規劃執行時間將會很長，或需要很複雜的演算法來規劃。

為了協調廠區間的運輸，多廠區生產規劃通常處理一個可共享的庫存。因此，企業藉由數個具有互補或替代生產能力的廠區，去規劃每個廠區間的互動合作。綜合上述，在多廠區生產系統的環境中，產品的生產流程是需要使用跨廠區間的資源，亦即產品的生產流程是存在替代性。解決多廠區生產的問題，是要改善不同廠區之間在生產規劃與控制層面的合作問題。因此，本論文預定要解決多廠區生產規劃的問題可以設定為決定規劃週期中，單一廠區內需要生產及不同廠區間需要運輸的品項數量。

2.3 多廠區生產規劃的架構

Sauer, J., G. Suelmann (1998)並將多廠區生產系統的規劃問題稱為 MUST (MUlti-SiTe) 問題，並提出解決此類問題的一般架構如圖 2.5 所示。

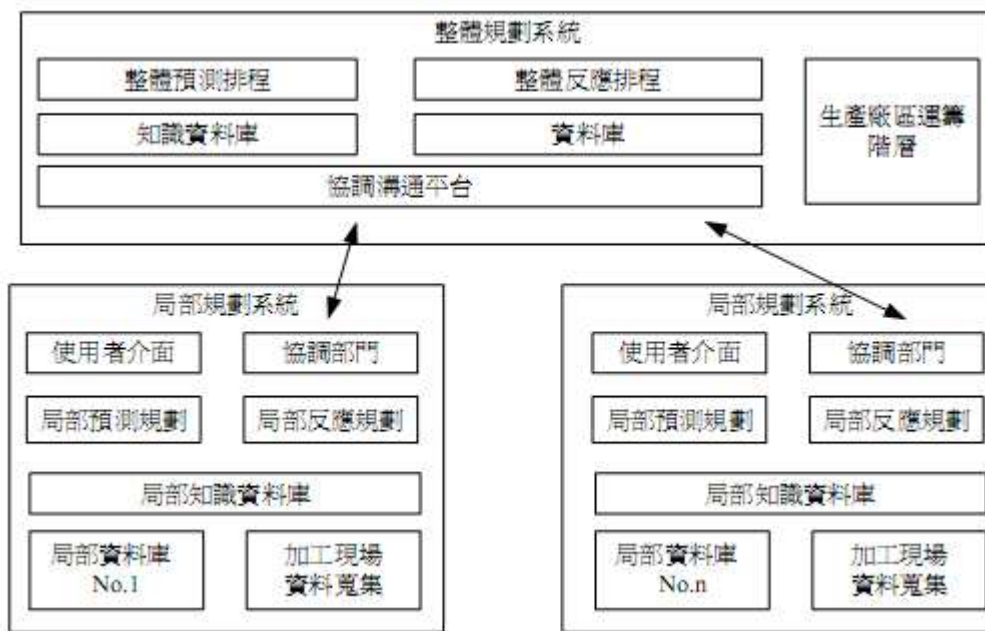


圖 2.5 多廠區規劃系統架構【30】

Thierry et al.(1995)也提出中央規劃控制系統(Centralized multi-site planning and control)，利用階層式規劃方式統籌企業整體規劃以解決多廠區的生產規劃問題。集中式的規劃流程為先收集分散獨立的各廠區的資料經過彙整後。再經由一個集中式的多廠區生產規劃核心規劃出結果，最後再把規劃結果傳送至各廠區生產單位，各廠區遵循其結果執行，如圖 2.6 所示。

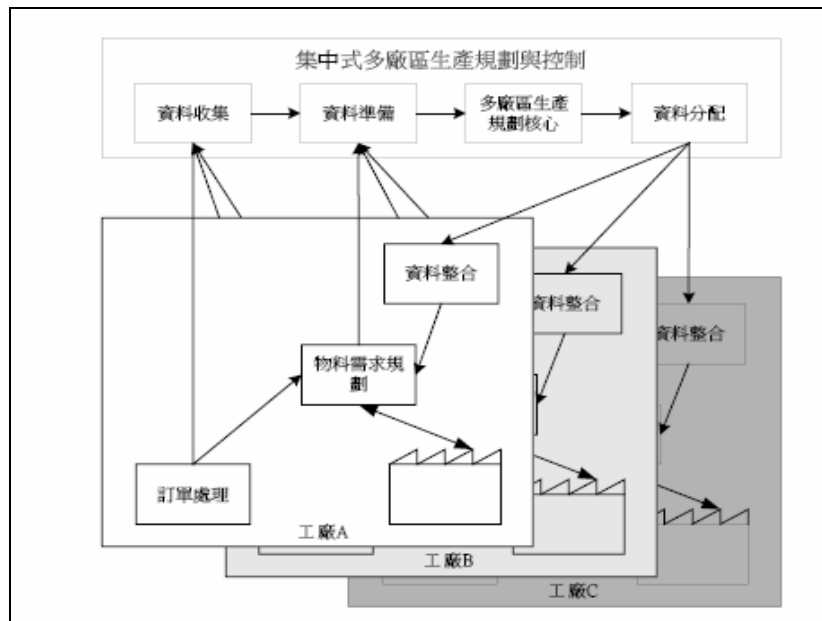


圖 2.6 多廠區中央規劃控制架構【34】

郭乃蓁基於平衡負荷的理念，以關鍵資源為監控重點，提出晶圓製造廠多廠間的訂單抵換機制，主要分為三個模組：

1. 產能推估模組：

這個模組中，首先透過各廠已知的生產規劃資訊及顧客換單資訊，逐一檢測插入訂單於各廠的達交可行性。接著基於平衡關鍵資源產能供需面的理念，針對可以滿足插 / 換單交期之各廠，推估、比較已規劃工單與插入工單對系統關鍵資源的產能供需狀況，以搜尋出初步的候選工單。

2. 訂單分派模組：

獲取初步候選工單後，在訂單分派模組口中，首先透過篩選階段，分析候選工單與插入工單在作業策略面及產能面的異同，以進行候選工單的篩選，提升抵換效率。其次經由排序階段，依據通過篩選機制的候選工單所能提供之瓶頸資源產能量、投料時點先後等準則，進行一合理的候選工單抵換優先權排序，以協助挑選出最適抵換方案，並分派插入工單至生產系統。

3. 抵換評估模組：

承續訂單分派模組搜尋出最適抵換方案，首先因應各廠訂單異動的結果進行重排程。其次比較訂單抵換前後，系統各項績效指標的變動情形，如關鍵機種利用率、系統彈性、工單延誤資訊等，以確保系統變動狀況為一可接受的範圍。另外，亦可透過此相關資訊的提供，協助接單人員決策是否允諾顧客的換單要求或做為其索價的依據。

因此，中央規劃的多廠區生產規劃系統之架構，一般以傳遞「訂單資訊」的方式做為單廠區生產排程系統的溝通協調機制。大致而言，「訂單資訊」除了包含基本的「顧客資料」及「產品資料」外，最重要的資訊是多廠區生產系統所彙總的需求，經由規劃後所分配給各個廠區的訂單「數量」及其「交期」資訊。換句話說，多廠區生產規劃系統的功能模組主要考量各種生產因子及限制，再決定訂單數量及其交期，進而達成多廠區生產系統的生產目標【8】。

2.4 多廠區生產規劃方式

Timpe and Kallrath (2000)以各項生產因子(如需求數量、各廠區產能、物料流量、存貨等)為限制條件，提出一混合整數線性規劃(Mixed-Integer Linear Programming, MILP)，期望在企業的整體營運目標下，求各廠區的生產數量。該研究利用混合整數線性規劃構建求解模式，可能發生求解費時的現象，而每個規劃區間只能進行一次生產轉換，此為較大的限制。

蔡與哲(2000)也以作業研究中的混合整數線性規劃為基礎，來解決多廠生產下的資源分配與生產規劃，並透過數學之運算，尋求以成本極小化為目標函式的最佳解答；該模式主要是應用在生產運籌管理中的「主排程規

劃」 (Master Planning ; MP)與「工廠規劃」 (Factory Planning ; FP)這兩個層次，在模式的設計上，以電子組裝廠商的生產程序、及其在生產排程上所卻解決之問題，做為模式規劃的基礎。在模式中，同步考量生產成本、物料採購成本、物料存貨成本與工廠開工成本等總成本最小化，及因應實狀況的限制條件，如下：

1. 需求量限制式
2. 產能限制式
3. 物料平衡限制式
4. 物料存貨限制式

與可供彈性選擇的限制條件，如下：

1. 物料採購限制式
2. 生產線開工限制式

謝志欣(2001)同樣指出過去解決供應鏈問題，最常用的方法為混合整數線性規劃模式，若使用線性規劃模型，因變數相當複雜、限制式過多，常有無解的情形。該研究提出另一種解決問題模式，以網路流量管理的啟發式(Heuristic)演算法，解決供應鏈的廠商指派與訂單規劃排程問題。該研究的方法主要分為四大步驟，首先將具有不同生產程序之節點分離，執行產能初始化，第二步驟則是將所有產能轉換為以最終產品為產能單位。第三步驟，根據使用者需求選擇適合訂單排序方式與參數，訂單排序後便可執行該演算法核心步驟，每筆訂單依序規劃排程。

在對每一張訂單規劃排程時，找出最小成本之廠商組合，然後尋找與安排適當生產量，當此廠商組合無法滿足需求時，調整供應鏈網路圖形以尋找次佳之廠商組合，不斷重複上述步驟直到訂單需求滿足或供應鏈已無

任何產能幫助生產為止。當交貨時距限制下需求仍未滿足，延遲一個交貨時距，重複上述之方法，直到訂單需求完全滿足為止。

Sauer 及 Appellrath(1998)採用階層式的規劃方式外，同時將模糊理論的概念(fuzzy concept)及啟發式演算法應用於排程問題當中，期望藉由加入模糊理論的概念，使生產管理人員在利用不明確的資料進行整體排程規劃(gloxl level scheduling)時，同時能兼顧到各個工廠間(local level scheduling)排程計畫的穩健性與協調性。

該研究處理模式是結合啟發式的排程策略、問題的分解及模糊資料和法則的處理。訂單為主的問題分解過程如下：系統粗略評估排定的訂單；看起來“較困難完成”的訂單優先被製造，以使得目標可被達成。因此，訂單會被特定的評估計劃所分類。這使得中間產品的訂單能適時地被分派至適當的機器群組。這些法則主要應用於最佳化平衡工作負荷(load balancing)，或避免瓶頸資源(avoid bottleneck resources)。其求解目標為：最佳化機器使用率(optimizing machine utilization.)與所有訂單準時達交(meeting all due dates.)。

而模糊資料和法則的處理可分為以下三大步驟：

1. 排序(sequence)：根據法則來區分訂單的重要性
2. 排程(schedule)：根據由法則(考量軟、硬性限制條件)所決定訂單次序中的位置，而每個訂單會評價所有可能被分派的機器群組。位置評價愈大表示愈適合的機器群組將被排定
3. 計算物料需求(material demand)：彙總所有產品的資料來計算物料需求。

Arntzen et al. (1995)等學者提出全球化供應鏈模式(Gloxl Supply Chain Management, GSCM)，考量多廠區、多種產品及多配送中心的生產與配送，

以製造成本、存貨成本及運送成本最小為目標，決定配送中心的個數及相對位置、各配送中心負責的顧客及產品與配送中心

Jayaraman and Pirkul (2001)利用多階層生產模式方式整合協調多廠間生產規劃，將製造工廠產能與零售商的產能限制一併考慮，建立混合式整數線性規劃模式，考量固定成本與變動成本的總成本最小，取得混合式分配生產之多階生產規劃模式，有效改善過去無法有效解決多廠整合協調生產的問題，其模型如圖 2.7 所示。

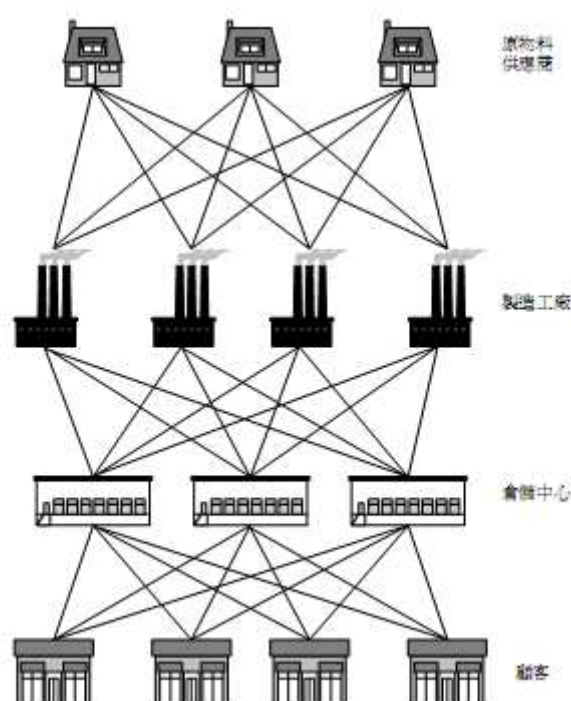


圖 2.7 多廠與多樣化產品分配模式【23】

Samxsivan(2002)提出多廠區規劃問題所規劃的主要內容與產出為(1)每個廠區所要生產的產品種類與數量，(2)每個廠區在各個規劃期末所需持有的存貨數量，(3)廠區與廠區之間的轉換數量。

Shen et al. (2003)研究以網際網路為基礎建設的網路合作代理人系統 (Internet-enabled collaborative agent systems)，其中包含基本通訊與協同服務、獨立組件、原型與機械裝置等架構都是用來發展網路合作代理人系統。

此網路合作代理人系統主要運用於供應鏈管理系統與網路企業，並將此網路合作代理人系統運用於多廠區的生產規劃。

Vercellis(1999)針對兩階層(每個工廠有兩個連續的製造階段)的供應鏈提出多廠的生產規劃與產能分配模式，將需求量分配至不同區域生產，以滿足訂單需求且每一廠區具有相同的生產流程，亦即具有相同生產特性之工廠完成訂單需求之生產。作者針對此多廠區規劃問題，建立線性規劃模式，在考量上下游的製造成本、存貨成本、短缺成本、運輸成本、及加班成本等成本最小的情況下，求得最低成本的訂單需求分配量，滿足訂單需求。

Timpe et al.(2000)以一個具有數家生產工廠及銷售據點為研究對象，以訂單數量、工廠產能、物料流量、存貨及運送為限制條件，在公司獲利最大目標下，利用混合整數線性規劃建立模式，探討在供應鏈體系中包含物料的取得、運送、生產、庫存與分配之市場之垂直多廠間之生產規劃模式，以求得工廠最適當的生產數量，主要著重在分配及協調各工廠間之生產數量，但此模式並未考慮到訂單交期為此模式之缺點。

Moon et al.(2002)針對多廠區供應鏈(Multi-site supply chain, MSC) 體系提出一個整合製程規劃及排程模式。利用基因演算法以最小延遲成本為目標，考量替代機台排程、機台加工時間、作業加工順序及交期制訂等資料，可求得最佳的操作機台及加工廠區選擇。

Gnoni et al.(2003)研究中提出多廠區生產環境批量排程問題(lot sizing and scheduling problem)，以混合(hybrid)模式將結合混整數線性規劃與模擬系統，考量產能限制(例如:機台的故障、相依順序的設置時間)與每個時段下多種產品的需求數量不確定性求出最小化的設置時間、庫存與固定成

本。並且適用於兩種不同的生產策略:區域 A 的生產以比較真實生產計劃的指標，其結果在全域的生產策略較佳。

Giglio et al.(2003)提出多廠區物料需求規劃模式(MRP multi-site model)，考量各廠的產能限制、各廠之間物料調撥所需的時間與運輸承載上限、供應商供給限制，並利用數學模式建立模式以混整數規劃求出全系統成本最小包括：庫存成本、設置成本、物料成本、生產成本、持有成本、加班費用、產能閒置等，以幫助在現實複雜的生產環境所面臨到此決策問題，但此研究並無針對最終品項有多種需求來源與客戶要求的產品品質等級為限制條件，將其放入此規劃模式內。

王世欽(2002)則是探討 TFT-LCD 產業中多階與多廠的生產特性與限制，並且考慮多廠區訂單分配的問題，使用基因演算法發展多廠區訂單分配模式。整篇論文定義 TFT-LCD 產業為一重視產能規劃與預測生產之產業，作者針對由訂單詢問到開立製令作一多廠區之規劃，其中考量每階段的分級率和良率、物料的分配、生產成本、庫存成本、路徑限制、及運輸限制；另以達交配置流程 (Available to Promise; ATP)、換單流程及產能配置 (Capacity to Promise; CTP) 規劃流程來達到在產能限制下之最佳化生產。文中更提出以法則編輯和競標式分配法使各單廠主動爭取製令來達成水平互補及績效最佳化的目標。但其模組製程假設為存貨式生產(MTS)，使得採用其模式時可能會發生大量且頻繁的換單流程，與業界實際作法略有出入。

劉基全(2003)提出，將多層上下游生產環境下多廠整合生產規劃問題模式化成整數線性規劃問題。由於此整數線性規劃問題過於複雜，本研究乃將其重新整理後，並運用拉氏釋限法(Lagrangian Relaxation)，將此整數線

性規劃問題區分為最終組裝廠及半成品製造廠兩類的子問題。並在給定拉氏乘數(Lagrangian multiplier)之值後，此兩類的子問題可以依據各自目標函數中，決策變數之係數，以由小而大的順序，依序賦予生產數量而迅速求得解答。再發展一套啟發式演算法來求得可行解。該啟發式演算法規劃訂單之生產數量在時間推移上，是由期望完成日(expected finish date)當期、而後往前、而後往後之方式，並同時考慮上游所有相關工廠之可生產量。在時間推移上，由期望完成日當期、而後往前、而後往後以規劃訂單之生產數量之方式，可以使訂單延遲成本有效地降低；而考慮上游所有相關工廠之可生產量以規劃訂單之生產數量之方式，則可以有效降低在製品庫存成本。

黃建中(2003)針對利用模擬方法，發展以限制為基礎的模擬方法(Constraint-Xsed Simulation)，應用於 TFT-LCD 多廠的規劃與排程問題，求出每個廠區的投產計劃、可允諾量(Available to promise, ATP)、關鍵性物料採購計劃以及運輸計劃等規劃結果。

周哲維(2003)探討多廠區製造環境的整體物料規劃問題，針對多廠訂單分配、各廠區物料需求的展開、跨廠的物料規劃及各廠區物料安全存量的設定等物料相關問題，以線性規劃(Linear Programming, LP)方法考量物料成本(各廠訂單所需物料缺少的數量乘以各廠區購買物料的單位成本)最低之下，分配訂單到各廠。較特別的是以物料角度來作為規劃的重點。模式之中包含四個模組。：

1. 多廠訂單分配模式：以各廠物料存貨為基礎分配訂單；
2. 多廠物料需求展開模式：根據各廠區訂單產品需求，將訂單需求的物料項目與數量展開；

3. 跨廠物料規劃模式：利用本研究提出跨廠規劃物料分類方法，分類適用於跨廠物料規劃模式的物料，再針對這些物料進行跨廠物料規劃，得到最佳的物料採購決策與各廠區間彼此物料支援決策；
4. 跨廠安全存量設定模式：採用多廠存貨風險共擔策略下的各廠安全存量設定。

Guinet(2001)指出數個生產單位稱為多廠區。在最低的成本下，以供給來滿足不確定需求。這些成本因素包括廠區內資源(處理成本、持有成本、整置成本)，顧客方面(運輸成本、延遲成本)，控制生產系統所帶來的管理成本(製程能力，強韌性，彈性等等)。該研究提出二階段的生產管理方法來控制多廠區生產系統。它除了最佳化上述成本外，更考慮資源產能的限制條件。多廠區生產系統的目標是回答二個相關的問題：「誰要生產？」與「何時生產及生產那一個零件？」其考量的限制條件包含：

1. 每個需求(特定週期內特定產品)都被滿足；
2. 每個週期，每個廠區內的有限處理及儲存產能；
3. 每個需求至少被分配給一個(特定週期內特定廠區的)資源。
4. 每個廠區在某週期內至多滿足 N 個需求量；
5. 運輸上的分配問題；
6. 考量整置時間；
7. 物料清單(Bill of Material；BOM)上的產品結構關係。

該研究的多廠區生產規劃之啟發式法則是依據每個週期及每個廠區來規劃產品的處理。首先，由各廠區執行生產規劃。第二步，將每個短期規劃問題各別交給多工作站的啟發式排程法來執行，以便最小化訂單最大延

遲時間。為了同步化廠區間的排程，選擇以提升瓶頸運作(shifting bottleneck)的方法來規劃。第三步，依照各廠區的生產力排序，以「供應商-顧客」的關係來連結整個排程問題。也就是以訂單交期與開立時間來遞推排程。

Watson and Polito (2003)提出分配資源規劃(Distribution Resource Planning, DRP)與限制理論為基礎的啟發式解法，針對多產品類別、多階層實體的訂單分配做出成本的評估，對於供應鏈體系中的分配法則，本研究指出以限制理論為基礎的評估方法將可為生產系統帶來較高的績效。

Lanshun Nie et al.(2006)利用 Lagrangian Relaxation 及 Genetic Algorithm，於多階層的供應鏈網絡中，進行多廠區的生產規劃，目標在於使整體供應鏈網絡總成本達到最小。

C.-C. Chern et al.(2007)提出一啟發式演算法(Multi-objective master planning algorithm, MOMPA)，解決具有多種產品的多廠區主排程規劃問題，主要有三個最小化目標，1. 延遲處罰最小 2. 使用外包產能最小 3. 生產、處理、運輸以及成品存貨持有成本最小，考量到產能限制以及訂單交期。

林慈傑(2002)針對多廠訂單分配問題，先以混整數規劃模式建模式，再發展類運輸問題(Quasi-Transportation Problem, QTP)模式化多廠訂單分配問題，再利用遺傳演算法(Genetic Algorithm)求解，而每個工廠擁有不同的生產產能與生產製造成本。其目標以訂單交期與成本為主，包括總製造成本、配送(出貨)成本、總整備成本、總訂單交期延遲成本，在產能與交期限制之下來分配訂單，但不考慮物料限制，假設物料都足夠。

劉珮伶(2004) 提出一考慮產品配送下之多廠區訂單分配模式，以外、內兩個門檻值接受法，以兩階段求解的方式決定第一階段之多廠區訂單分

配決策，並將訂單分配決策交與第二階段決定產品配送路徑，考量兩階段決策互相影響下，求解多廠訂單分配中的工廠生產成本，及包含生產成本、產品配送成本及配送距離成本之總成本，再將第二階段之結果回饋於第一階段進行決策，以反覆影響的方式同時降低生產成本及配送成本，得到總成本最小之多廠區訂單分配決策。

張文昌(2004)針對一般企業在多廠訂單分配的作法，提出以企業整體資源考量下所做的多廠訂單分配模式運作，使整體的變動成本最小為目標，以各製造廠在整個企業中所扮演的主要目的(例如：試產、量產)為依據，並配合企業整體未來規劃方向來訂定訂單分配模式。以客戶重要度及交期考量來作為訂單分配之主要依據，客戶重要度則包括未來公司有潛力的新產品開發、重要客戶等。

余家福(2005)，將多廠區訂單分配問題區分為「單產品多廠區訂單分配問題」和「多產品多廠區訂單分配問題」，在產能資源限制下，分別建構混合整數規劃數學模式，以訂單分配後的系統總成本(包括整備成本、製造成本、存置成本及運輸成本)最小化為目標，求解各廠在各時期的生產計畫。

Timpe and Kallrath (2000)以一個具有多個製造工廠及銷售據點的化學企業為研究對象，以訂單數量、工廠產能、物料流量、存貨及運送為限制條件，建構以混合整數線性規劃的問題模式，解決公司在獲利最大目標下，各工廠最適當的生產數量。

陳亞男(2001)對供應鏈多廠生產規劃問題進行探討，利用混合形整數線性規劃的分是建立兩種以成本為目標式的模式：「單階決策模式」與「二階決策模式」。其中二階決策模式的訂單分配模式，考慮變動生產成本、固定開工成本、運輸成本、延遲成本以及產能限制，在最小成本的目標下，

求出各張訂單適合的生產工廠。

張美滿(2002)研究多廠區跨廠產能規劃，探討未來三個月訂單分配，考量各廠區過去歷史的銷售產能負荷，在整體生產的製造成本與延誤成本最小的情況下，求得知各廠區所應生產的訂單數量與產品類別。

Watson and Polito (2003)提出一個以限制理論為基礎的啟發式模式，運用於傳統供應鏈對於多樣產品、多階層的實體分配環境，改善系統在成本上的表現。此研究以一製造商為例，分別用分配資源規劃(Distribution Resource Planning, DRP)與限制理論為基礎的啟發式模式兩種方法，分別比較此製造商對於多樣產品、多階層實體的訂單分配在成本上的績效，其結果顯示限制理論為基礎的啟發式模式分配之訂單在成本上的績效最佳。

綜合以上所述，將有關生產規劃之建模方法、考慮條件、目標及求解方法整理如表 2.3，在記憶體模組產業中，物料是驅動整個生產規劃的源頭，且需同時考慮到多廠區生產、多階及多替代的產品結構特性、製造廠間的物料調撥支援、產能限制以及生產與運輸前置時間，使的規劃人員已無法有效率的使用人工方式計算具有效益的規劃結果，從過去研究中，有關多廠區的訂單分配，以各廠區產能負荷平衡與製造成本為考量準則，鮮少同時考慮上述提及的各項特性及限制，及以各廠區的物料存貨作為訂單分配的依據。因此本研究將針對多廠區訂單分配的問題，從企業統一承接訂單後，以配銷中心以及各廠區現有生產物料與零組件存貨數量為基礎，提出以線性規劃方法建立的多廠訂單分配模式，其目的在尋找可足夠提供訂單生產物料之廠區，得到訂單應分配至何處製造工廠生產，訂單之物料成本為最小，提供決策者對訂單分配的參考。

表 2.3 生產規劃相關研究 (本研究整理)

		C.-C. Chern et al.(2007)	Lanshun Nie et al.(2006)	Giglio et al.(2003)	周氏 (2003)	王氏 (2002)	本論文
	廠區	單階多廠	多階多廠	單階多廠	單階多廠	多階多廠	多階多廠
考量特性	多階產品結構			✓			✓
	半成品替代						✓
	物料替代				✓		✓
	物料調撥			✓	✓		✓
	訂單交期	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	產能限制	✓	✓			✓	✓
	運輸前置時間			✓	✓	✓	✓
規劃方法	啟發式演算法	基因演算法	混整數規劃	線性規劃	線性規劃	線性規劃	

第三章 多廠區生產規劃模式

3.1 記憶體模組產業供應鏈結構

記憶體模組產業決策制定的源頭，在於上游原料的供給情形。本研究分別從供應鏈網絡架構、供應鏈網絡各階之關係以及產品結構，來定義本模式所研究的供應鏈之結構。

1. 供應鏈網絡架構：

如圖 3.1 所示，記憶體模組產業的供應鏈網絡通常可分成三個階層，第一階層的供應商 $S_i (i=1, 2, \dots, I)$ ，主要提供各個生產廠區所需求原料，而這些供給來源的情形，對於後續的生產決策制定，具有相當大的影響能力。

第二階層的製造廠 $M_j (j=1, 2, \dots, J)$ ，是將原料來料轉換成為記憶體模組的地方，在決定生產的半成品以及成品項目與數量時，是以原料供給情形以及各地區配銷中心的銷售記錄做為生產依據；此一階層為企業在分配供給，用以滿足需求時的來源。

第三階層則是配銷中心 $D_k (k=1, 2, \dots, K)$ ，負責將成品分配給客戶，而此一階層配銷中心會依據歷史銷售資料、目前各廠區供給狀況以及客戶需求，產生第二階的需求來源。

2. 製造端與其他階層之間的關係：

供應商提供各種的原物料/零組件給製造廠，製造廠將關鍵物料記憶體晶片與其他各種元件組合後，運送到配銷中心，而配銷中心再依造不同的銷售地區，包裝成最終成品後銷售給顧客。在如此的供應鏈關係下，是由製造端所取得的原物料/零組件數量為生產規劃源頭，製造端根據向供應商取得的原物料/零組件數量多寡，來決定欲組裝為哪些成品項目，以及決定

分配給各個配銷中心多少數量的成品項目；而配銷中心再根據所分配到的數量盡量滿足顧客需求。

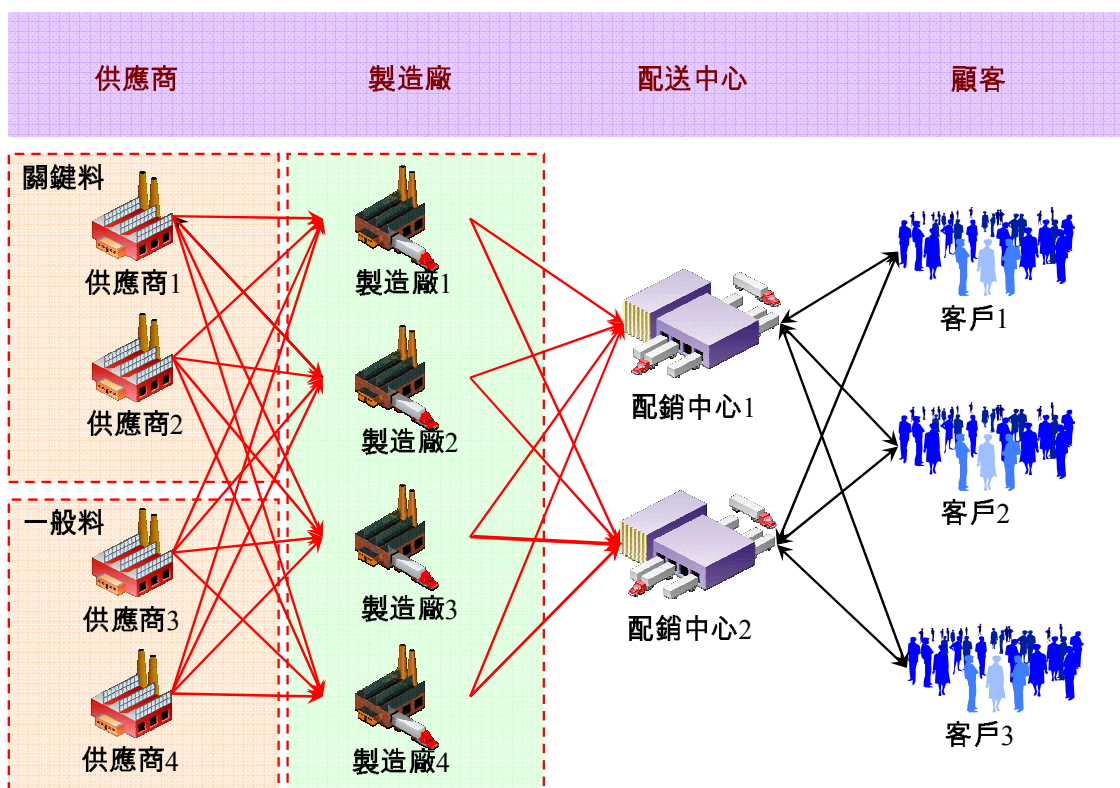


圖 3.1 供應鏈網絡架構

3. 產品結構：

在記憶體模組產業中，製造廠根據各廠現有的原物料供給(包含可用庫存、在途量及預計供給)情形，決定要使用哪些原物料，組成相對應的半成品及成品時，必須考量到產品結構，例如圖 3.2 所示，品項 A、B、C 為最終成品，r 代表半成品項，m 代表原物料/零組件。 $r_1^{(A)}$ 代表半成品 r_1 可組裝為成品項 A， $r_2^{(A,B)}$ 代表半成品項 r_2 可組裝為成品項 A 或成品項 B，品項 A 可以選擇由 $r_1^{(A)}$ 或是 $r_2^{(A,B)}$ 兩種半成品項其中之一組裝成；而半成品項 $r_1^{(A)}$ 可由 $m_1^{(r_1^{(A)})}$ 以及 $m_2^{(r_1^{(A)}, r_2^{(A,B)})}$ 兩種原物料組成，同時 $m_1^{(r_1^{(A)}, r_2^{(A,B)})}$ 也可組成 $r_2^{(A,B)}$ 。經由上述可知，不同的原物料可以組成不同的半成品項，而同一個半成品項又

可以組裝成不同的成品項。

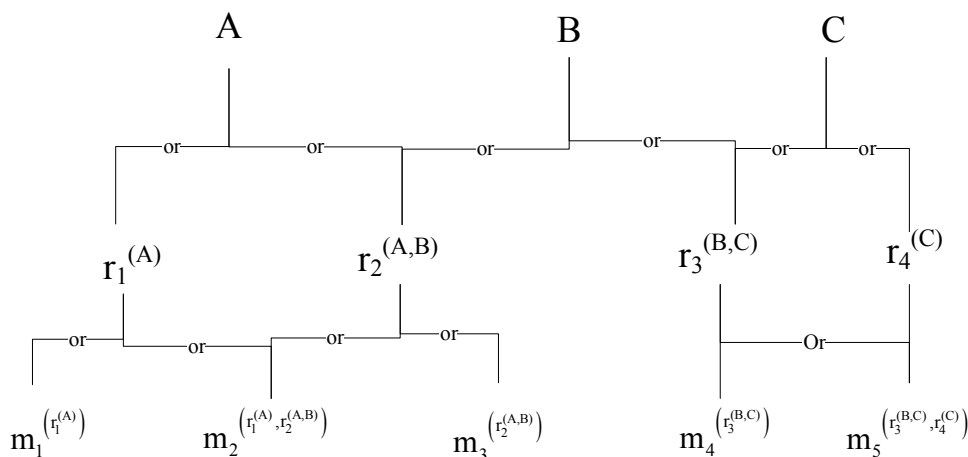


圖 3.2 記憶體模組產品結構範例

3.2 記憶體模組產業在多廠生產規劃所遭遇之挑戰

根據記憶體模組產業供應鏈中各階層之間的關係及各角色所負責的項目，主要分為二大類問題，而每一類的問題隨著本身特性不同，可再區分為數項子問題，分別說明如下：

1. 物料供給面

(1) 物料限制：

在記憶體模組產業中，原物料成本通常占生產總成本相當大的比率，且由於關鍵物料記憶體晶片從空白晶圓投片到封裝測試後，約需經歷四百多道製造手續，其間所耗費之生產時間約需三個月，因此記憶體晶片之供需有三個月之時間差，所以記憶體模組的生產規劃是以供給情形做為主要驅動源頭，在進行生產規劃時必須以物料庫存成本最低為生產時的決策依據。

(2) 物料組裝問題：

由於記憶體模組產業所存在的產品結構關係，現有的原物料可以組裝成不同的半成品，而這些半成品又可以包裝成不同的成品，如同表 3.1 所示，一種成品可以利用多種的用料組合來滿足，而且每種用料的替代性高，為了滿足市場需求，同時避免庫存成本太高，決定成品的用料組合也是生產規劃時所必須考量的因素。

表 3.1 產品用料組合範例

成品	BOM	記憶體模組	記憶體顆粒
DDR-II667 1G	BOM1	DRAM1	CHIP1
	BOM2	DRAM1	CHIP2
	BOM3	DRAM2	CHIP2
	BOM4	DRAM2	CHIP3
	BOM5	DRAM3	CHIP1
	BOM6	DRAM3	CHIP3

(3) 物料調撥支援：

在多廠區的生產環境中，由於各製造廠所分配的需求不穩定，以及產能的限制，造成製造廠間物料存貨不平衡的狀態，加上記憶體模組產業的關鍵物料採購前置時間相當長，使得製造廠區物料存貨的積壓或不足，導致存貨成本或是缺貨數量增加的風險，因此當企業進行多廠區生產規劃時，應將各製造廠之間的物料存貨共享，製造廠間能彼此支援以降低平均庫存水準及成本。

2. 生產製造面

(1) 多階層供應鏈網絡：

在記憶體模組產業供應鏈網絡中，生產規劃所考量的層級不是只

有包含生產製造，需考量不同廠區之間的相依性，製造廠所組裝出來的記憶體模組可以運送到不同的配銷中心再進行最後包裝以滿足需求；因此，當需求來自於多個不同的區域配銷中心時，則必須考量從製造廠到配銷中心的運輸前置時間，決定以各製造廠的優先順序來滿足配銷中心的需求。

(2) 各項成本：

相同的品項可在不同的廠區製造並且擁有不同的製造成本，而進行多廠區生產規劃時，必須考量各項不同的成本，例如各廠區的運輸成本，各廠區間的物料調撥成本，各種品項的單位存貨成本，以及製造成本。本研究進行多廠生產規劃時，是以最小化總成本為主要目標。

(3) 生產與運輸前置時間限制：

當原物料/半成品從某個廠加工完畢後，需要轉運到其他工廠或配銷中心時，必須考量運輸數量與時程上的限制。另外，為了同時滿足顧客需求且避免庫存太高，經常會執行物料庫存調撥，將部分庫存從製造廠轉運到其他廠區，而轉運過程中也必須考量運輸時間限制。

(4) 產能限制：

除了物料供給限制外，各廠區皆有資源及產能限制。不同廠區的生產產能供給限制下，當物料足夠而產能不足時，也無法在此廠區進行生產。

3.3 多階多廠之生產規劃模式

本節針對問題定義中探討的記憶體模組產業之多廠生產規劃特性，提出多階多廠生產規劃方法。以下內容對本模式規劃架構，以及數學模式與

範例進行說明。

3.3.1 多階多廠區生產規劃架構

經由上一節的問題定義分析以及多階多廠區規劃問題特性之說明可得知，一個多階多廠區規劃問題主要在探討訂單、物料與廠區三者之間的關聯性。

訂單與廠區之間的關係在多廠生產環境中，會遇到訂單分配的問題，也就是如何分配訂單到各廠區進行生產，以達到生產規劃所追求的目標，當訂單分配問題解決後，可得到各廠區在生產規劃期間內所需要生產的訂單量以及運輸項目及數量。

各廠區執行生產規劃的過程中，需要知道各張訂單耗用的物料以及供應的時間點，所以訂單與物料之間的關係在於進行物料分配，得知每張訂單使用的物料耗用時間點。決定訂單與廠區之間的關係以及訂單與物料之間的關係後，因為訂單已知在那個廠區生產，同時也得知使用的物料，所以可推出廠區與物料之間的關係。

多廠區規劃所處理的訂單分配、物料規劃與各廠排程三個階段會因為應用的產業之生產特性而造成所著重的階段有所不同。Taal(1997)提到生產規劃與排程主要可區分為兩種模式，一種是物料導向規劃模式(Material-Oriented Planning)，另一個為產能導向規劃模式(Capacity-Oriented Planning)，本研究探討的多廠規劃之生產模式，以接單式生產為主，並以物料導向規劃模式為基礎提出多階多廠區生產規劃模式，考量基本運輸、調撥前置時間與產能限制，以及物料多替代特性，而規劃的結果主要是各製造廠以及配銷中心的日投產計劃，以及各製造廠的日運輸與調撥計劃。

圖 3.3 為本研究之多階多廠生產規劃方法，訂單需求來自各配銷中心

銷售區域之顧客以及需求預測，第一階段依據各配銷中心所持有之半成品庫存數量以及存貨成本，產生配銷中心半成品耗用計劃，並求得各配銷中心所需額外向各製造廠要求的半成品數量，由於配銷中心將半成品包裝為成品的速度相當快，故本階段不考慮各配銷中心之產能限制；第二階段考慮各製造廠原物料、產能、製造前置時間、與各配銷中心以及製造廠之間運輸前置時間、製造廠之間的物料調撥前置時間以及各項成本等因素，最後求得各配銷中心缺貨數量、各配銷中心以及各製造廠區投入生產的成品與半成品數量、每日投產計劃，製造廠每日運輸計劃以及原物料調撥計劃，提供規劃人員作為參考依據。

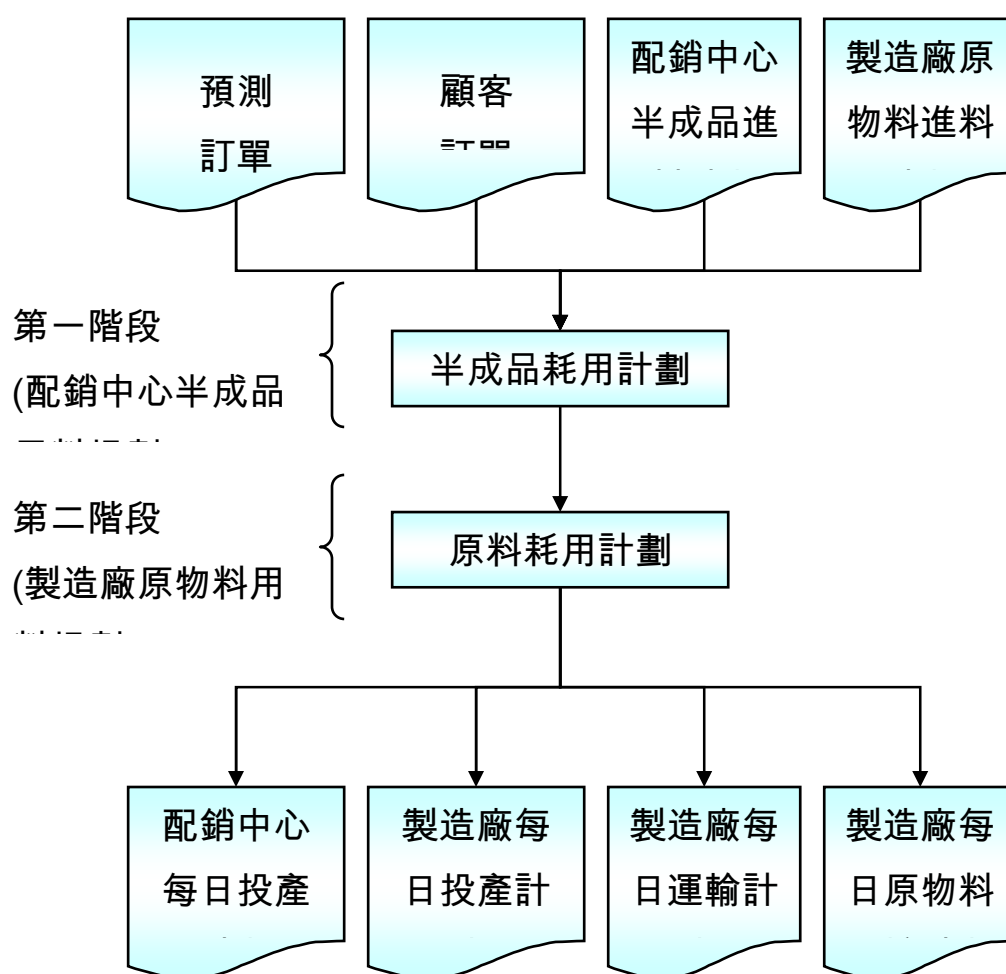


圖 3.3 多階多廠生產規劃方法

3.4 多階多廠生產規劃模式說明

3.4.1 假設條件

1. 需求已由各配銷中心彙總過，是為淨需求
2. 每一製造廠運輸至配銷中心時間、各製造廠原物料調撥運輸時間、產品製造時間以及所有成本皆為已知。
3. 各配銷中心半成品預定供給量為已知
4. 各製造廠關鍵物料預定供給量為已知
5. 配銷中心無產能上限
6. 配銷中心不進行半成品調撥計劃
7. 規劃週期內，原物料單位持有成本不會改變
8. 不考慮生產良率或機台故障率
9. 關鍵物料的預計供給計劃已知且必能允諾

3.4.2 已知條件

1. 需求資訊
 - (1) 各規劃週期成品需求數量
2. 供給資訊
 - (1) 製造廠運輸至配銷中心前置時間
 - (2) 配銷中心將半成品包裝至成品前置時間
 - (3) 製造廠由原物料生產至半成品前置時間
 - (4) 各製造廠產能上限
 - (5) 各製造廠間物料調撥前置時間

- (6) 各製造廠原物料預計供給計劃
- (7) 成品、半成品、原物料與 BOM 對應表

3. 成本資訊

- (1) 需求缺量懲罰成本
- (2) 成品項製造成本
- (3) 半成品項製造成本
- (4) 半成品存貨成本
- (5) 物料存貨成本
- (6) 物料調撥成本

3.4.3 符號定義

1. 下標說明

t : 生產週期	$t=1, 2, \dots, T$
p : 成品項編號	$p=1, 2, \dots, P$
s : 半成品編號	$s=1, 2, \dots, S$
m : 原物料編號	$m=1, 2, \dots, M$
d : 配銷中心編號	$d=1, 2, \dots, D$
f' : 調撥輸出廠	$f'=1, 2, \dots, F$
f : 製造廠編號	$f=1, 2, \dots, F$
x : 配送中心參考的 BOM 編號	$x=1, 2, \dots, X$
y : 製造廠參考的 BOM 編號	$y=1, 2, \dots, Y$

2. 符號定義：

$D_{t,d,p}$ ：第 t 期配送中心 d 對成品 p 的需求量

$PNC_{d,p}$ ：配銷中心 d 對成品 p 的缺量處罰值

$TLT_{f,d}$ ：製造廠 f 運輸至配送中心 d 的前置時間

$FLLT_{f,f}$ ：製造廠 f 運輸至 f 的前置時間

$FMLT_{d,p}$ ：配送中心 d 生產成品 p 的前置時間

$MLT_{f,s}$ ：製造廠 f 生產半成品 s 的前置時間

$PB_{p,x}$ ：成品 p 與 BOM(x) 的對應關係

$SFB_{s,x}$ ：半成品 s 與 BOM(x) 的對應關係

$MB_{m,y}$ ：原料 m 與 BOM(y) 的對應關係

$DCSFE_{t,d,s}$ ：第 t 期配送中心 d 的半成品 s 預計供給數量

$FME_{t,f,m}$ ：第 t 期製造廠 f 的原料 m 預計供給數量

$TRC_{f,d}$ ：製造廠 f 運輸至配送中心 d 的成本

$SPC_{f,f}$ ：製造廠 f 調撥至製造廠 f 的成本

$FPC_{d,p}$ ：配送中心 d 生產成品 p 的單位成本

$SFPC_{f,s}$ ：製造廠 f 生產半成品 s 的單位成本

$MSC_{f,m}$ ：製造廠 f 對原料 m 的單位庫存成本

$SFSC_{d,s}$ ：配送中心 d 對半成品 s 的單位庫存成本

$CL_{t,f}$ ：第 t 期製造廠 f 的總產能上限

3. 決策變數：

$LQ_{t,d,p}$: 第 t 期配送中心 d 對成品 p 的缺貨數量

$DCMQ_{t,d,p}$: 第 t 期配送中心 d 對成品 p 的供給量

$DCBQ_{t,d,x}$: 第 t 期配送中心 d 對 BOM(x) 的需求量

$DCSFAQ_{t,d,s}$: 第 t 期配送中心 d 對半成品 s 的期末可用量

$SQ_{t,f,d,s}$: 第 t 期製造廠 f 運送至配送中心 d 的半成品 s 運輸數量

$FMQ_{t,f,s}$: 第 t 期製造廠 f 對半成品 s 的產出量

$FBQ_{t,f,y}$: 第 t 期製造廠 f 對 BOM(y) 的耗用數量

$MAQ_{t,f,m}$: 第 t 期製造廠 f 對原料 m 的期末可用量

$OQ_{t,f',m}$: 第 t 期製造廠 f' 對原料 m 的調撥輸出量

$IQ_{t,f',f,m}$: 第 t 期製造廠 f 對接收 f' 原料 m 的數量

4. 目標式 :

$Min Z =$

$$\begin{aligned}
& \sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^P LQ_{t,d,p} \times PNC_{d,p} + \\
& \sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S DCSFAQ_{t,d,s} \times SFSC_{d,s} + \\
& \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D MAQ_{t,f,m} \times MSC_{f,m} + \\
& \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S SQ_{t,f,d,s} \times TRC_{f,d} + \\
& \sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^P DCMQ_{t,d,p} \times FPC_{d,p} + \\
& \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S FMQ_{t,f,s} \times SFPC_{f,s} + \\
& \sum_{t=1}^T \sum_{f'=1}^F \sum_{f=1}^F \sum_{m=1}^M IQ_{t,f',f,m} \times SPC_{f',f}
\end{aligned}$$

5. 限制式

$$(1) D_{t,d,p} = LQ_{t,d,p} + DCMQ_{t,d,p}$$

$$(2) DCMQ_{(t+FMLT_{d,p}),d,p} = \sum_{x=1, \forall PB_{p,x}=1}^X DCBQ_{t,d,x}$$

$$\begin{aligned}
(3) DCSFAQ_{t,d,s} &= DCSFAQ_{(t-1),d,s} + DCSFE_{t,d,s} \\
&+ \sum_{f=1}^F SQ_{t,f,d,s} - \sum_{x=1, \forall SFB_{s,x}=1}^X DCBQ_{t,d,x}
\end{aligned}$$

$$(4) FMQ_{t,f,s} = \sum_{d=1}^D SQ_{(t+TLT_{f,d}),f,d,s}$$

$$(5) FMQ_{(t+MLT_{f,s}),f,s} = \sum_{y=1, \forall SFB_{s,y}=1}^Y FBQ_{t,f,y}$$

$$(6) \quad MAQ_{t,f,m} = MAQ_{(t-1),f,m} + FME_{t,f,m} + \sum_{f'=1, \forall f' \neq f}^F IQ_{t,f',f,m} \\ - OQ_{t,f,m} - \sum_{y=1, \forall MB_{m,y}=1}^Y FBQ_{t,f,y}$$

$$(7) \quad \sum_{s=1}^S FMQ_{t,f,s} \leq CL_{t,f}$$

$$(8) \quad OQ_{t,f',m} = \sum_{f=1}^F IQ_{(t+FTLT_{f',f}),f',f,m}$$

3.4.4 目標函數

1. 各需求之缺量懲罰

各配銷中心所訂定之缺量懲罰，除了使規劃結果儘可能避免訂單缺量的狀況發生之外，還可以訂定不同的懲罰值決定各配銷中心被滿足的優先順序；在目標式中給予各配銷中心的各成品項未滿足量($LQ_{t,d,p}$)乘以一個懲罰值($PNC_{d,p}$)。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^P LQ_{t,d,p} \times PNC_{d,p} \dots (\text{缺量成本})$$

2. 各配銷中心半成品存貨成本

各配銷中心的給予適當的半成品存貨成本 ($SFSC_{d,s}$)，乘以配銷中心在各時期的半成品之可用量($DCSFAQ_{t,d,s}$)，即為半成品存貨成本，而不同的單位存貨成本可以決定不同的半成品耗用優先順序。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S DCSFAQ_{t,d,s} \times SFSC_{d,s} \dots (\text{半成品存貨成本})$$

3. 各製造廠原物料存貨成本

各製造廠區 f 的關鍵原物料 m 給予適當的原物料存貨成本 ($MSC_{f,m}$)，

乘以製造廠區 f 在各時期的原物料 m 之可用量($MAQ_{t,f,m}$)，即為原料存貨成本，而各製造廠 m 可以給予不同物料不同的原料存貨成本，將單位持有成本較高之原物料，指定較高的存貨成本，可讓購入成本較高之原料優先耗用。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D MAQ_{t,f,m} \times MSC_{f,m} \dots (\text{原料存貨成本})$$

4. 各製造廠運送半成品至各配銷中心之運輸成本

當配銷中心 d 的半成品項 s 數量不足以滿足需求時，必須向各製造廠 f 要求提供半成品項 s ；因此，求解結果會決定各製造廠 f 運輸半成品項 s 至各配銷中心 d 的數量及半成品項種類，而目標式也需將運輸成本納入考量，將各製造廠 f 運送至配銷中心 d 的品項數量($SQ_{t,f,d,s}$)乘以單位運輸成本($TRC_{f,d}$)。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S SQ_{t,f,d,s} \times TRC_{f,d} \dots (\text{半成品運輸成本})$$

5. 各配銷中心製造成品項之製造成本

各配銷中心 d 製造成品項 p 時的製造成本($FPC_{d,p}$)，乘以各配銷中心 d 所應投入的成品數量($DCMQ_{t,d,p}$)，此即為製造成品項 p 時的製造成本。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^P DCMQ_{t,d,p} \times FPC_{d,p} \dots (\text{成品製造成本})$$

6. 各製造廠製造半成品項之製造成本

各製造廠 m 製造半成品項 s 時的製造成本($SFPC_{f,s}$)，乘以各製造廠 f 所應投入的半成品數量($FMQ_{t,f,s}$)，此即為製造半成品項 s 時的製造成本。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S FMQ_{t,f,s} \times SFPC_{f,s} \dots (\text{半成品製造成本})$$

7. 各製造廠原物料調撥成本

各製造廠區 f 彼此間可以互相調撥關鍵物料 m ，其調撥的成本為 $(SPC_{f_2,f})$ ，乘以各製造廠區 f 彼此間調撥的數量 $(IQ_{t,f_2,f,m})$ ，即為調撥的成本。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{f'=1}^F \sum_{f=1}^F \sum_{m=1}^M IQ_{t,f',f,m} \times SPC_{f',f} \dots (\text{原物料調撥成本})$$

3.4.5 限制條件說明

1. 限制式一：供需平衡

本研究的規劃為追求整體的成本最小化，需求有可能無法被滿足，所以會有未滿足量 $(LQ_{t,d,p})$ ，當需求無法滿足時，必須給予適當的未滿足量懲罰值 $(PNC_{d,p})$ 。因此在規劃時會先去判定此需求由配銷中心 d 提供多少數量 $(DCMQ_{t,d,p})$ ，以及未滿足量 $(LQ_{t,d,p})$ 其限制式為：

$$D_{t,d,p} = LQ_{t,d,p} + DCMQ_{t,d,p}$$

2. 限制式二：BOM 的使用量要等於成品製造需求

配送中心 d 於 t 期需提供的成品數量 $(DCMQ_{t,d,p})$ ，等於必須耗用的 BOM 編號 x 數量，即產品型號對應的 BOM 編號 x 用量 $(DCBQ_{t,d,x})$ 之加總，並考慮製造前置時間 $(FMLT_{d,p})$ ，主要是為了能夠將成品 p 與半成品 s 的產品結構關係做一連結。如表 3.2，製造成品項 0 之對應 BOM 編號 x 分別為 0、1，因此，當配送中心 1 於第 4 期需提供成品 0 數量 500 時 $(DCMQ_{4,1,0} = 500)$ ，則 BOM0 與 BOM1 的使用數量總合要等於 500 $(\sum_{x=1, \forall PB_{p,x}=1}^X DCBQ_{3,1,x} = 500)$ ，結果如

表 3.3 所示，其限制式為：

$$DCMQ_{(t+FMLT_{d,p}),d,p} = \sum_{x=1, \forall PB_{p,x}=1}^X DCBQ_{t,d,x}$$

表 3.2 成品項與 BOM 對應表

成品項 (p)	BOM 編號 (x)	對應關係 ($PB_{p,x}$)
0	0	1
0	1	1
0	2	0
0	3	0
0	4	0
0	5	0
0	6	0

表 3.3 BOM 的使用數量

配送中心 (d)	成品項(p)/週期(t)	2	3	4
1	0			500
製造前置時間=1				
配送中心 (d)	BOM(x)使用量/週期(t)	2	3	4
1	0		400	
1	1		100	

3. 限制式三：半成品存貨平衡

由於半成品 s 本身是根據預測所生產，所以在配銷中心 d 半成品的預定供給計畫($DCSFE_{t,d,s}$)為已知資料，在半成品的本期可用量($DCSFAQ_{t,d,s}$)計算是由前期期末庫存($DCSFAQ_{(t-1),d,s}$)加上預計供給數量($DCSFE_{t,d,s}$)加上各製造廠提供之運輸量($\sum_{f=1}^F SQ_{t,f,d,s}$)扣除本期半成品耗用量($\sum_{x=1, \forall SFB_{s,x}=1}^X DCBQ_{t,d,x}$)，其

限制式為：

$$DCSFAQ_{t,d,s} = DCSFAQ_{(t-1),d,s} + DCSFE_{t,d,s} + \sum_{f=1}^F SQ_{t,f,d,s} - \sum_{x=1, \forall SFB_{s,x}=1}^X DCBQ_{t,d,x}$$

4. 限制式四：運輸平衡

製造廠 f 為了在各期能運送半成品 s 至各配銷中心 d ，必須在符合運輸

時間之下，提供能滿足各配銷中心 d 對於半成品 s 的需求數量，即製造廠提供給各配銷中心 d 的運輸量 $(\sum_{d=1}^D SQ_{(t+TLT_{f,d}),f,d,s})$ 等於製造廠在符合運輸前置時間下，對半成品 s 的產出量 $(FMQ_{t,f,s})$ ，其限制式為：

$$FMQ_{t,f,s} = \sum_{d=1}^D SQ_{(t+TLT_{f,d}),f,d,s}$$

5. 限制式五：BOM 的使用量等於半成品製造需求

每一個 BOM 編號 y 會對應不同的半成品 s ，例如當 $SFB_{s,y} = 1$ 表示 BOM 編號 y 可以用於生產半成品 s 。本限制式主要是藉由使用 y 數量 $(FBQ_{t,f,y})$ 去推得所需原物料 m 的耗用量，並符合物料耗用限制，其意義為第 t 期製造廠 f 需提供半成品 s 的數量等於該半成品 s 對應 BOM 編號 y 的使用量。如表 3.4 所示，半成品 0 可使用 BOM 編號 y 為 0 與 1 進行生產；例如，若製造廠 0 於第 5 期需提供半成品 1 數量 500 單位 $(FMQ_{5,0,1})$ ，則在考量 1 天的製造前置時間之下， y 編號 0 與 1 使用量加總需等於 400 單位 $(FBQ_{4,0,0} + FBQ_{4,0,1} = 400)$ 。

表 3.4 半成品項與 BOM 對應表

半成品 (s)	BOM 編號 (y)	對應關係 ($SFB_{s,y}$)
0	0	1
0	1	1
0	2	0
0	3	0

其限制式為：

$$FMQ_{(t+MLT_{f,s}),f,s} = \sum_{y=1, \forall SFB_{s,y}=1}^Y FBQ_{t,f,y}$$

6. 限制式六：原物料存貨平衡

物料的本期可用量($MAQ_{t,f,m}$)計算是由庫存($MAQ_{(t-1),f,m}$)加上預計供給數量($FME_{t,f,m}$)加上向其他製造廠(f)要求調撥數量($\sum_{f'=1, \forall f' \neq f}^F IQ_{t,f',f,m}$)扣除本期調撥輸出量($OQ_{t,f,m}$)再扣物料耗用量($\sum_{y=1, \forall MB_{m,y}=1}^Y FBQ_{t,f,y}$)，其限制式為：

$$MAQ_{t,f,m} = MAQ_{(t-1),f,m} + FME_{t,f,m} + \sum_{f'=1, \forall f' \neq f}^F IQ_{t,f',f,m} - OQ_{t,f,m} - \sum_{y=1, \forall MB_{m,y}=1}^Y FBQ_{t,f,y}$$

7. 限制式七：產能限制

各製造廠 f 所投入生產的半成品數量($\sum_{s=1}^S FMQ_{t,f,s}$)加總必須小於等於該廠的總產能上限($CL_{t,f}$)，由於本研究之產業，對於產能較不重視，因此只給予一個粗略的產能限制，其限制式為：

$$\sum_{s=1}^S FMQ_{t,f,s} \leq CL_{t,f}$$

8. 限制式八：調撥運輸平衡

大多製造產業皆有物料調撥的特性，製造廠區 f' (輸出廠)調撥輸出的數量($OQ_{t,f',m}$)會等於各製造廠區 f (輸入廠)接收來自於製造廠 f' 調撥數量總合

($\sum_{f=1}^F IQ_{(t+FLLT_{f',f}),f',f,m}$)，其限制式為：

$$OQ_{t,f',m} = \sum_{f=1}^F IQ_{(t+FLLT_{f',f}),f',f,m}$$

3.5 多階多廠生產規劃模式範例

本研究以記憶體模組產業的生產規劃進行探討，需求資料包含該訂單的產品類型、需求來源、訂單交期等，範例中之供應環境包含配 2 個配銷中心，3 個製造廠，而產品種類設定為 2 種，產品定位為接單式生產(Make To Order)環境，配銷中心會有來自於製造廠的半成品預計供給數量，製造廠會有關鍵原物料之預計供給數量，其供應來源為上游晶圓廠。求解結果之所有輸出皆置於最後的附錄中。

3.5.1 範例情境

本小節先以簡單的範例來解釋，假設成品 p 有兩種類型，主要建模的關鍵物料以晶圓顆粒為主，其他關鍵零組件再根據本模式擴充變數即可。首先介紹本範例情境之產品結構關係，由表格3.5得知成品項與半成品項的對應關係，共有3種BOM編號 X_i ($i=0,1,2$)，2種成品項 P_j ($j=0,1$)以及3種半成品項 S_k ($k=0,1$)。表3.6整理半成品項與原物料 m 項的對應關係，共有4種BOM編號 Y_l ($l=0,1,2,3$)所對應的半成品 S_k ($k=0,1$)以及物料 M_n ($n=0,1,2,3$)，例如成品種類 $p=0$ 可以使用BOM編號 $x=0,1$ ，所使用的半成品 $s=0$ ，原物料 $m=0,1$ ，由於情境中配銷中心 d 與製造廠 f 所產出之產品結構最高階之項目不同，所以必須分為二種不同的BOM表給予不同屬性的基地參考使用，但其整體產品結構對應關係仍然保持其一致性。

表 3.5 BOM(x)編號與成品項、半成品項對應關係

BOM 編號 (x)	成品項 (p)	半成品項 (s)
0	0	0
1		1
2	1	0

表 3.6 BOM(y)編號與半成品項、原物料對應關係

BOM 編號 (<i>y</i>)	半成品項 (<i>s</i>)	原物料 (<i>m</i>)
0	0	0
1		1
2	1	2
3		3

3.5.2 已知參數設定

表3.7為本範例中各項相關作業成本及已知變數設定。

表 3.7 各項相關作業成本及設定

已知變數	變數代號	數值
缺量懲罰成本	$PNC_{d,p}$	各配銷中心各種產品皆為 1000
半成品存貨成本	$SFSC_{d,s}$	30 元/各配銷中心/各半成品
原物料存貨成本	$MSC_{f,m}$	10 元/各製造廠/各原物料
運輸成本	$TRC_{f,d}$	100 元/製造廠 0 至配銷中心 0 110 元/製造廠 0 至配銷中心 1 100 元/製造廠 1 至配銷中心 0 100 元/製造廠 1 至配銷中心 1 110 元/製造廠 2 至配銷中心 0 100 元/製造廠 2 至配銷中心 1
成品製造成本	$FPC_{d,p}$	100 元/各配銷中心/各成品項
半成品製造成本	$SFPC_{f,s}$	50 元/各製造廠/各半成品項
調撥成本	$SPC_{f_2,f}$	25 元/製造廠 f 調撥至 f_2
製造廠至配銷中心運輸前置時間	TLT_{f,d_1}	1 天/製造廠 0 至配銷中心 0 2 天/製造廠 0 至配銷中心 1

		1 天/製造廠 1 至配銷中心 0 1 天/製造廠 1 至配銷中心 1 2 天/製造廠 2 至配銷中心 0 1 天/製造廠 2 至配銷中心 1
調撥前置時間	$F T L T_{f_2, f}$	皆為 1 天
成品製造前置時間	$F M L T_{d, p}$	皆為 1 天
半成品製造前置時間	$M L T_{f, s}$	皆為 1 天
產能上限	$C L_{t, f}$	製造廠 0 為 1000 單位/天 製造廠 1 為 700 單位/天 製造廠 2 為 400 單位/天

範例中假設一個星期的需求量如表3.8所示，而由配銷中心 d 與製造廠 f 所提供的半成品 s 與原料 m 預計供給量如表3.9及3.10所示。

表 3.8 各配銷中心產品需求數量

配銷中心 (d)	產品(p)/週期(t)	4	5	6	7	8	9	10
0	0	588	603	581	573	578	581	606
0	1	536	556	536	547	539	536	551
1	0	611	576	607	630	621	646	635
1	1	667	666	655	645	679	658	656

表 3.9 各配銷中心半成品預計供給量

配銷中心 (d)	半成品(s)/週期(t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 3.10 各製造廠原物料預計供給量

製造廠(f)	原物料(m)/週期(t)	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	200	200	200	200	200	200	200	200
0	1	200	200	200	200	200	200	200	200

0	2	200	200	200	200	200	200	200	200
0	3	200	200	200	200	200	200	200	200
1	0	200	200	200	200	200	200	200	200
1	1	200	200	200	200	200	200	200	200
1	2	200	200	200	200	200	200	200	200
1	3	200	200	200	200	200	200	200	200
2	0	200	200	200	200	200	200	200	200
2	1	200	200	200	200	200	200	200	200
2	2	200	200	200	200	200	200	200	200
2	3	200	200	200	200	200	200	200	200

3.5.3 以範例情境說明本模式限制式

本範例是以ILOG Cplex 11.0軟體進行求解運算，其結果為總成本16,747,725元。以下將限制式搭配求解結果進行說明。

1. 限制式一：供需平衡

由表3.8第6欄第4列為例， $D_{7,1,0}$ 代表配銷中心1對於成品0在第7週期的需求量為630單位。 $DCMQ_{7,1,0}$ 為決策變數，由表3.11第6欄第4列得知配銷中心1在第7週期能提供成品0的數量為630單位，所以該需求量完全被滿足，無缺量情形發生。

因此限制式一即為：

$$D_{7,1,0}(630) = LQ_{7,1,0}(0) + DCMQ_{7,1,0}(630)$$

表 3. 11 第 7 期配送中心 1 對成品 0 的產出量

配送中心 (d)	成品項(p)/週期(t)	4	5	6	7	8	9	10
0	0	588	603	581	573	578	581	606
0	1	536	556	536	547	539	536	551
1	0	611	576	607	630	621	646	635
1	1	667	666	655	645	679	658	656

2. 限制式二：BOM的使用量要等於成品製造需求

表格3.12第1欄代表成品項編號p，第2欄代表BOM(x)編號，當第3欄對

應關係($PB_{p,x}$)的值為1時，代表該成品項 p 可使用BOM(x)進行生產，例如成品項0與BOM(x)編號0、1的對應關係等於1，即 $PB_{0,0}=1$ 、 $PB_{0,1}=1$ ，表示成品項0可使用編號0與1之BOM(x)表。

而經由限制式一計算後，配銷中心1在週期7對於成品0的產出數量為630，所以表3.13第6欄第5、6列得知，配銷中心1於第7期需提供成品的數量回推半成品製造為成品的前置時間(1天)，即為該配銷中心1成品0對應之BOM(x)表分配使用數量，分別為BOM(x)編號0($DCBQ_{6,1,0}=0$)，以及BOM編號1 ($DCBQ_{6,1,1}=630$)，此決策變數($DCBQ_{t,d,x}$)是為了將成品與半成品之產品結構關係做一連結關係，以及滿足限制式三之半成品存貨平衡限制所設立。

因此限制式二即為：

$$DCMQ_{7,1,1}(630) = DCBQ_{6,1,0}(0) + DCBQ_{6,1,1}(630)$$

表 3. 12 成品項與 BOM(x)編號對應表

成品項 (p)	BOM 編號 (x)	對應關係 ($PB_{p,x}$)
0	0	1
0	1	1
0	2	0

表 3. 13 BOM(x)編號使用數量

配銷中心 (d)	BOM 編號(x)/週期(t)	3	4	5	6	7	8	9
0	0	49	72	0	58	0	0	0
0	1	539	531	581	515	578	581	606
0	2	536	556	536	547	539	536	551
1	0	0	0	0	0	0	0	82
1	1	611	576	607	630	621	646	553
1	2	667	666	655	645	679	658	656

3. 限制式三：半成品存貨平衡

此限制式除了計算每一週期存放於配銷中心 d 之半成品存貨數量，同時也推算出為了滿足需求，該配銷中心能夠向其他製造廠要求多少半成品數量。由表格3.14第7欄第5、9、13，製造廠1於第6期提供530單位的半成品1至配銷中心1，製造廠0與2則無提供任何數量給配銷中心1。此外，從表格3.15的對應表可得知，半成品 (s) 1與BOM (y) 編號1之對應關係為 $1(SFB_{1,1} = 1)$ ，表示半成品1可以使用BOM (x) 編號1進行生產，而表3.13第6欄第6列得知可知配銷中心1於第6期使用630單位編號 x 為1的BOM。

因此限制式三即為：

$$DCSFAQ_{6,1,1}(0) = DCSFAQ_{5,1,1}(0) + DCSFE_{6,1,1}(100) + SQ_{6,0,1,1}(0) + SQ_{6,1,1,1}(530) + SQ_{6,2,1,1}(0) - DCBQ_{6,1,1}(630)$$

表 3. 14 各製造廠運輸至配銷中心 1 的半成品數量

製造廠 (f)	配銷中心 (d)	半成品項(s)/週期(t)	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	7	528	82	505	108	0	86
0	0	1	95	157	473	0	0	362	200
0	1	0	0	265	0	445	0	492	638
0	1	1	0	305	315	<u>0</u>	410	400	0
1	0	0	278	0	0	0	131	436	337
1	0	1	144	274	8	70	278	118	0
1	1	0	122	300	500	100	180	0	0
1	1	1	156	126	192	<u>530</u>	111	146	363
2	0	0	0	0	354	0	200	0	28
2	0	1	0	0	0	345	200	1	306
2	1	0	245	1	55	0	399	66	0
2	1	1	155	45	0	<u>0</u>	0	0	90

表 3. 15 半成品與 BOM (x) 對應表

半成品項 (s)	BOM 編號 (x)	對應關係 ($SFB_{s,x}$)
-----------------	-------------------	-------------------------

0	0	1
	1	0
	2	1
1	0	0
	1	1
	2	0

4. 限制式四：運輸平衡

為了能夠滿足限制式三的運輸量，在第6週期需要運輸530單位的半成品1至配銷中心1，製造廠1必須在符合前置時間之下，提供至少530單位的產出(可能還有提供至其他配銷中心的半成品1)，從表格3.16第6欄第5列得知，製造廠於第5週期提供600單位的半成品1，其中70單位運輸至配銷中心0，530單位運送至配銷中心1(即本範例所追蹤探討之需求)。

因此限制式四即為：

$$FMQ_{5,1,1}(600) = SQ_{6,1,0,1}(70) + SQ_{6,1,1,1}(530)$$

表 3. 16 各製造廠所提供的半成品數量

製造廠 (<i>f</i>)	半成品項(<i>s</i>)/週期(<i>t</i>)	2	3	4	5	6	7	8
0	0	272	528	527	505	600	638	379
0	1	400	472	473	410	400	362	200
1	0	400	300	500	100	311	436	337
1	1	300	400	200	600	389	264	363
2	0	245	355	55	200	399	94	310
2	1	155	45	345	200	1	306	90

5. 限制式五：BOM的使用量等於半成品製造需求

若要滿足限制式四的產出量，則必須在符合半成品製造前置時間之下，先決定所要使用的BOM(*y*)表，提前投料進行生產，表格3.17可得知半成品1可使用之BOM(*y*)編號為2與3，而由表格3.18第3欄第8、9列的對應關係可知，半成品1可使用BOM(*y*)編號2、3，因此製造廠1於週期4使用了400單位Y為2的BOM編號以及200單位Y為3的BOM編號。

因此限制式五即為：

$$FMQ_{5,1,1}(600) = FBQ_{4,1,2}(400) + FBQ_{4,1,3}(200)$$

表 3. 17 半成品與 BOM(y)編號之對應關係

半成品 (s)	BOM 編號 (y)	對應關係 (SFB _{s,y})
0	0	1
	1	1
	2	0
	3	0
1	0	0
	1	0
	2	1
	3	1

表 3. 18 製造廠於各週期對 BOM(y)編號的使用數量

製造廠 (f)	BOM 編號(y)/週期(t)	1	2	3	4	5	6	7
0	0	72	328	200	32	100	616	0
0	1	200	200	327	473	500	22	379
0	2	200	245	200	210	200	162	0
0	3	200	227	273	200	200	200	200
1	0	200	200	200	0	111	236	253
1	1	200	100	300	100	200	200	84
1	2	200	200	0	400	189	64	163
1	3	100	200	200	200	200	200	200
2	0	45	355	55	200	200	94	306
2	1	200	0	0	0	199	0	4
2	2	155	45	345	200	1	306	90
2	3	0	0	0	0	0	0	0

6. 限制式六：原物料存貨平衡

此限制式主要在於計算各週期 t 的原物料 m 期末存貨數量，除此之外，當本身的原物料 m 存貨不足時，在總成本最小的目標之下，還可推算出向其他製造廠要求的調撥數量($IQ_{t,f',f,m}$)，以及原物料的耗用數量($FBQ_{t,f,m}$)。表3.19為原物料與BOM(y)的對應關係，若 $MB_{m,y} = 1$ 表示該原物料 m 可使用BOM編號 y 進行生產；由表3.20第6欄第8、9列可得知製造廠1於週期4投入400單位

的原物料2與200單位的原物料3；而表3.21第6欄第8、9列可知製造廠1於週期4對原物料2與3的調撥輸出量($OQ_{t,f,m}$)皆為0；表格3.22第6欄第2、3、4、5列以及22、23、24、25列可得知，輸入廠 f 於週期4沒有接收來自其他製造廠的原物料調撥數量。

因此限制式六即為：

$$MAQ_{4,1,2}(0) = MAQ_{3,1,2}(200) + FME_{4,1,2}(200) + IQ_{4,0,1,2}(0) + IQ_{4,2,1,2}(0) - OQ_{4,1,2}(0) - FBQ_{4,1,2}(400)$$

$$MAQ_{4,1,3}(0) = MAQ_{3,1,3}(0) + FME_{4,1,3}(200) + IQ_{4,0,1,3}(0) + IQ_{4,2,1,3}(0) - OQ_{4,1,3}(0) - FBQ_{4,1,3}(200)$$

表 3. 19 原物料與 BOM(y)編號的對應關係

原物料 (m)	BOM 編號 (y)	對應關係 ($MB_{m,y}$)
0	0	1
	1	0
	2	0
	3	0
1	0	0
	1	1
	2	0
	3	0
2	0	0
	1	0
	2	1
	3	0
3	0	0
	1	0
	2	0
	3	1

表 3. 20 各製造廠原物料耗用情形

製造廠 (f)	BOM 編號(y)/週期(t)	1	2	3	4	5	6	7
0	0	72	328	200	32	100	616	0
0	1	200	200	327	473	500	22	379

0	2	200	245	200	210	200	162	0
0	3	200	227	273	200	200	200	200
1	0	200	200	200	0	111	236	253
1	1	200	100	300	100	200	200	84
1	2	200	200	0	400	189	64	163
1	3	100	200	200	200	200	200	200
2	0	45	355	55	200	200	94	306
2	1	200	0	0	0	199	0	4
2	2	155	45	345	200	1	306	90
2	3	0	0	0	0	0	0	0

表 3. 21 各製造廠原物料調撥輸出量

製造廠 (f)	原物料(m)/週期(t)	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	200	0	0	0
1	1	0	0	0	100	0	0	116
1	2	0	0	0	0	0	0	0
1	3	100	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	145	0	0	0	0
2	1	0	200	200	200	1	0	0
2	2	45	0	10	0	93	0	110
2	3	0	0	0	0	0	0	0

表 3. 22 各製造廠的調撥輸入量

輸出廠 (f_2)	輸入廠 (f)	原物料(m)/週期(t)	2	3	4	5	6	7
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	2	0	0	0	0	0	0
0	1	3	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0
0	2	1	0	0	0	0	0	0
0	2	2	0	0	0	0	0	0
0	2	3	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	200	0	0
1	0	1	0	0	0	100	0	0
1	0	2	0	0	0	0	0	0
1	0	3	100	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	0	0
1	2	2	0	0	0	0	0	0
1	2	3	0	0	0	0	0	0

2	0	0	0	0	145	0	0	0
2	0	1	0	200	200	200	1	0
2	0	2	45	0	10	0	93	0
2	0	3	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	<u>0</u>	0	0	0
2	1	1	0	0	<u>0</u>	0	0	0
2	1	2	0	0	<u>0</u>	0	0	0
2	1	3	0	0	<u>0</u>	0	0	0

7. 限制式七：產能限制

經由表格3.16第3~9欄第4、5列，可明顯看出，製造廠1每日所產出的品項數量總合，符合每期700單位的總產能上限。

因此限制式七即為：

$$FMQ_{4,1,0}(500) + FMQ_{4,1,1}(200) \leq CL_{4,1}(700)$$

8. 限制式八：調撥運輸平衡

由於本範例追蹤之製造廠1並無任何調撥數量，因此使用製造廠0做說明，由表格3.22第6欄第18、19、20可知，製造廠0於第4期接受來自於製造廠2的原物料0、1、2，調撥數量分別為145、200、10單位，再由表格3.23第6欄第10、11、12列第可得知，製造廠2於第3期對原物料0、1、2的調撥輸出量與製造廠0於第4期的調撥輸入量相符合。

因此限制式八即為：

$$OQ_{3,2,0}(145) = IQ_{4,2,0,0}(145) + IQ_{4,2,1,0}(0)$$

$$OQ_{3,2,1}(200) = IQ_{4,2,0,1}(200) + IQ_{4,2,1,1}(0)$$

$$OQ_{3,2,2}(10) = IQ_{4,2,0,2}(10) + IQ_{4,2,1,2}(0)$$

表 3.23 各製造廠調撥輸出量

製造廠 (f)	原物料(m)/週期(t)	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0	0

0	1	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	200
1	1	0	0	0	0	100
1	2	0	0	0	0	0
1	3	0	100	0	0	0
2	0	0	0	0	<u>145</u>	0
2	1	0	0	200	<u>200</u>	200
2	2	0	45	0	<u>10</u>	0
2	3	0	0	0	0	0

第四章 實驗設計與結果分析

本章利用實驗設計的方式，以不同實驗因子設計出各種不同組合的多廠區問題，透過實驗設計，比較本研究所提出的數理規劃模式與業界生產規劃方法進行比較，為了比較本研究所發展之模式與業界規劃模式之差異，本研究以JAVA語言實作目前A公司之生產規劃方式，並於實驗第一部份以一個相同案例做為輸入資料，使用本研究發展之數理模式與業界生產規劃方式進行求解並比較其規劃結果；第二部份則以不同的因子與水準之組合，進行本模式深入的實驗以及分析。本章分為3節，第4.1節說明整體實驗環境建構，第4.2節呈現實驗結果與分析。

4.1 實驗方式與環境建構

4.1.1 實驗環境

1. 訂單資訊：

不同的產品會有不同的平均下單數量，例如成品1(DDR4000-1G)顧客平均下單數量為1000條，符合常態分配，而訂單數量的變異程度為0.3，則訂單之實驗資料需符合 $N(1000, 1000*0.3)$ ；同理，當變異程度為0.6時，則訂單之實驗資料需符合 $N(1000, 1000*0.6)$ 。

2. 規劃時間：

總規劃時間為一個月，每期生產規劃時間長度為1天，故生產規劃期數為30期。

3. 多階多廠生產環境與結構：

本研究探討之生產結構如圖4.1所示。多階多廠結構包含多3個以上製造廠以及2個以上配銷中心(稍後於次小節詳細定義因子水準)，由於記憶體

模組產業最重要之原物料為晶圓顆粒，因此本實驗只考量此一關鍵物料，而上游晶圓顆粒供應商依據預測給予允諾供應計劃，故每期會有預計原物料供給各製造廠；而製造廠依據企業目標，進行記憶體模組(DRAM Module)的計劃性生產，並運送至各配銷中心，因此配銷中心每期會有預計記憶體模組供應計劃；而配銷中心彙總規劃週期內之實際訂單需求，將之包裝至最終成品項。

4. 產品物料清單：

製造廠的關鍵物料為記憶體晶片，將記憶體晶片、印刷電路版(PCB)及其他其他零件,例如電阻以及電容進行組裝後，即為配銷中心的供應來源(DRAM Module)，配銷中心再依照不同的訂單需求，將DRAM包裝為最終完成品後，出貨給客戶。

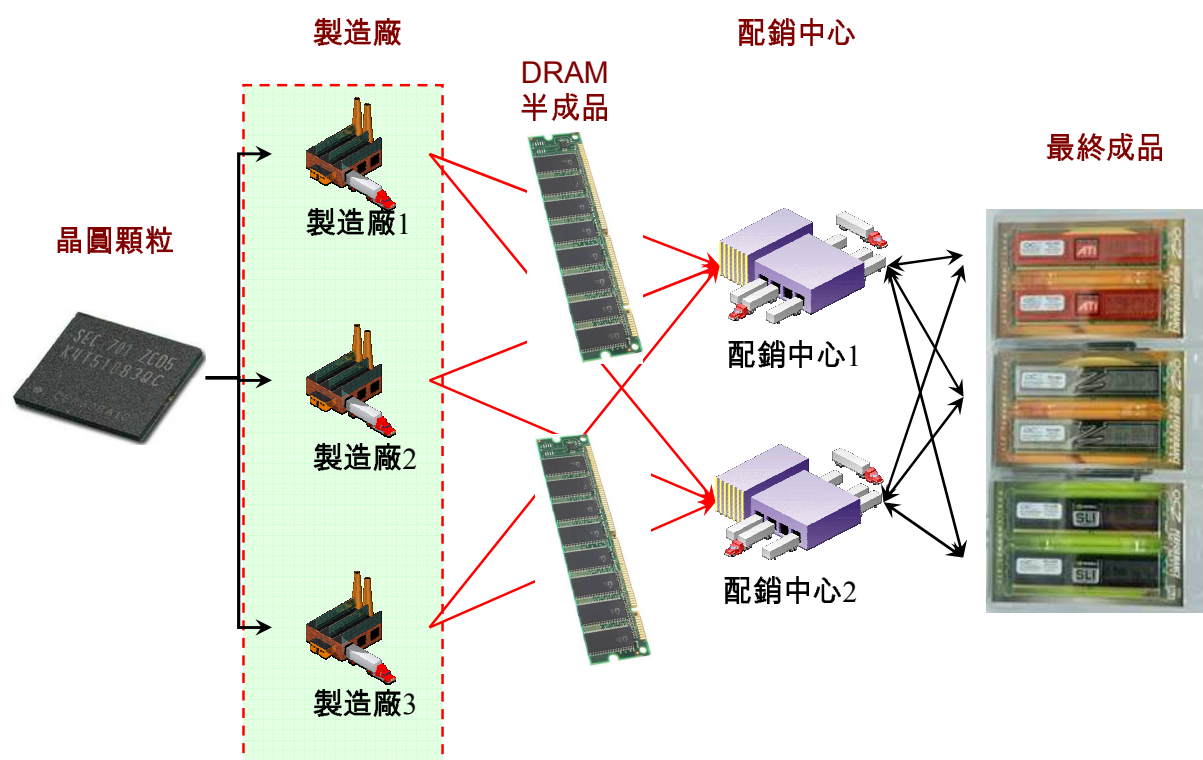


圖 4.1 生產環境與結構

5. 進行實驗之作業系統環境：

本實驗之作業系統為Windows XP Professional SP2，CPU為Intel Celeron

2.8GHz，504MB RAM，求解軟體為ILOG CPLEX 11。

4.1.2 實驗因子及水準設定

在決定問題大小時，我們考慮下列四種實驗因子：

1. A因子：供應鏈規模

大供應鏈規模中有6個製造廠以及5個配銷中心；小供應鏈規模中有3個製造廠以及2個配銷中心。

2. B因子：產品種類

一般而言，企業在進行生產規劃時，通常會規劃三個月左右需求，訂單筆數至少1000筆以上，因此當產品種類到達30種以上，且為小供應鏈規模時，訂單筆數已超過1000筆，因此選擇2、6、10、14、18、22、26、30最多30種產品共8個水準。

3. C因子：需求水準(需求對供給的比例)

需求水準分為60%、90%與120%，計算方式是以總供給數量乘以不同負荷水準得總需求數量，將總需求數量除以產品種類數得到各種產品在規劃週期中的總需求數量(\bar{d})，再以符從uniform($\bar{d} - r \times \bar{d}$ ， $\bar{d} + r \times \bar{d}$)分配給不同產品，即為各個不同產品在規劃週期中的總需求數量。

4. D因子：需求變異

由於顧客下單的數量不會都是平均的數量，且數量的大小與規劃的結果有關係，所以因子水準設定在需求環境穩定的低變異0.3與需求環境波動的高變異0.6兩種水準；訂單需求變異0.3是指以各產品需求量的平均值(μ_p)乘以0.3的變異程度為 $0.3\mu_p$ ，因此在此水準之下，訂單的需求數量符合Normal(μ_p ， $0.3\mu_p$)的數量；同樣的，水準2為Normal(μ_p ， $0.6\mu_p$)的數量。

4.1.3 實驗情境

1. 情境一：本研究規劃模式與業界生產規劃方法進行比較

情境一選擇60%、90%與120%做為需求水準，以及0.3與0.6的需求變異，比較在不同供應鏈規模以及不同需求水準以及需求變異之下，二種規劃模式的績效，以18種產品種類進行各種水準組合的比較，整理如表4.1，實驗架構如圖4.2。

表 4.1 情境一實驗因子水準組合

供應鏈規模	需求水準	需求變異	績效指標
小	60%	0.3	1.總成本 2.缺貨數量
	90%	0.3	
	120%	0.3	
	60%	0.6	
	90%	0.6	
	120%	0.6	
大	60%	0.3	
	90%	0.3	
	120%	0.3	
	60%	0.6	
	90%	0.6	
	120%	0.6	

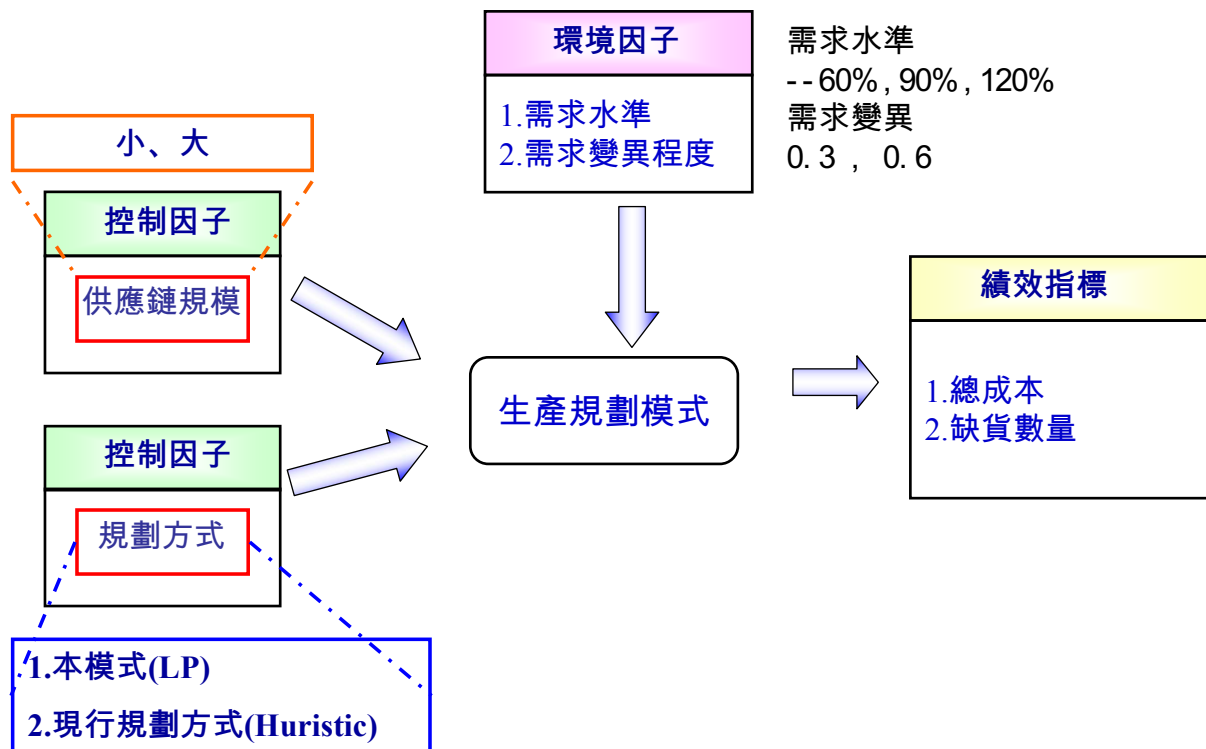


圖 4.2 情境一實驗架構

2. 情境二：驗證模式的適用範圍

由於LP是屬於NP-hard(Non-deterministic Polynomial Hard)問題，求解時間隨問題規模呈指數增加，因此本情境目的在於了解本模式的求解範圍。情境二的實驗架構如圖4.3所示，以供應鏈規模及產品種類做為控制因子，績效指標為求解時間(秒為單位)，因子水準組合整理如表4.2，共有七種產品種類因子水準，2種供應鏈規模因子水準。

表 4.2 情境二實驗因子水準組合

供應鏈規模	產品種類	績效指標
小	2	求解時間(秒)
	6	
	10	
	14	
	18	
	26	

	30	
大	2	
	6	
供應鏈規模	產品種類	績效指標
大	10	求解時間(秒)
	14	
	18	
	26	
	30	

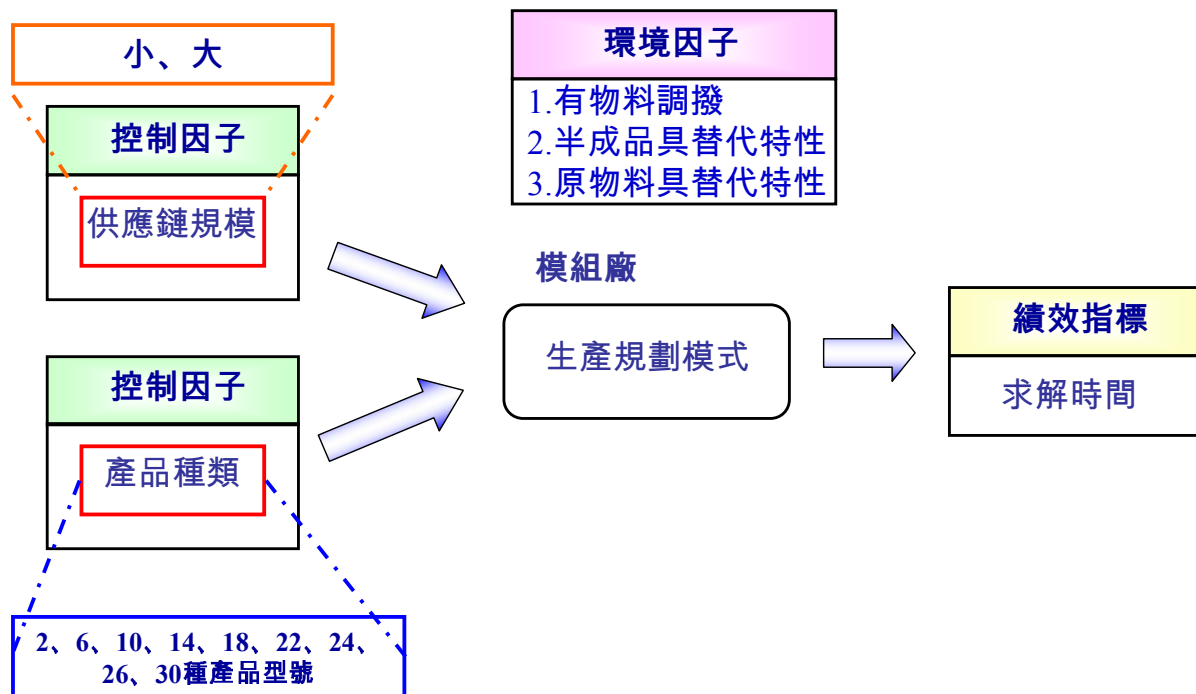


圖 4.3 情境二實驗架構

3. 情境三：參數分析

為了瞭解成本因子對本模式規劃結果的影響，主要針對製造廠間調撥成本($X1$)、半成品存貨成本($X2$)、物料存貨成本($X3$)以及製造廠運輸至配銷中心的運輸成本($X4$)，在需求水準90%以及需求變異0.6之下的環境，用18種不同產品種類以及小供應鏈規模進行求解，再利用SPSS軟體進行ANOVA分析，探討各種成本對於物料調撥數量($Y1$)、物料存貨數量($Y2$)以及半成品

存貨數量(Y_3)的影響表現，每種成本因子取20、70以及120三種水準，共81種組合，整理如表4.3，以及情境三之實驗架構如下圖4.4所示。

表 4.3 情境三實驗因子水準組合

代號	調撥成本 (X_1)	半成品存貨 成本(X_2)	物料存貨 成本(X_3)	運輸成本 (X_4)	績效指標
1	20	20	20	20	1.總成本 2.半成品存貨量 3.物料存貨量 4.調撥量
2	20	20	20	70	
3	20	20	70	20	
.	
.	
.	
79	120	120	120	20	
80	120	120	120	70	
81	120	120	120	120	

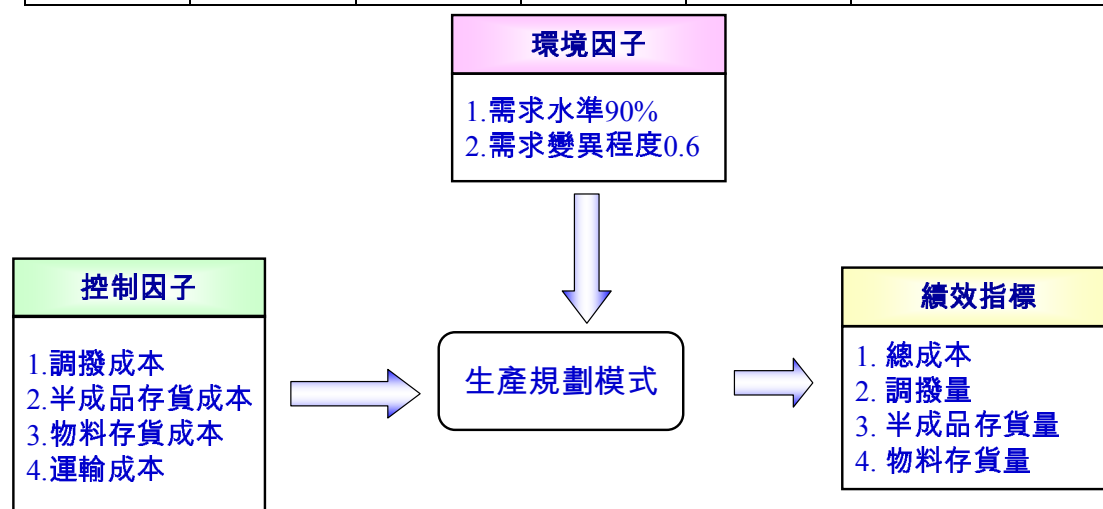


圖 4.4 情境三實驗架構

4.2 實驗結果與分析

4.2.1 情境一：本研究規劃模式與業界生產規劃方法進行比較結果

情境一比較在不同供應鏈規模之下，本研究以及啟發法的規劃結果，

共有六種不同水準組合，其代號表示意義為：

- A. 需求水準 60%，需求變異 0.3；
- B. 需求水準 90%，需求變異 0.3；
- C. 需求水準 120%，需求變異 0.3；
- D. 需求水準 60%，需求變異 0.6；
- E. 需求水準 90%，需求變異 0.6；
- F. 需求水準 120%，需求變異 0.6。

1. 成本績效之比較

圖 4.5 為供應鏈規模小且需求變異 0.3 之下，各種需求水準之成本比較，圖 4.6 為供應鏈規模小且需求變異 0.6 之下，各種需求水準之成本比較；本模式在小供應鏈規模下，各水準組合的求解結果，總成本的表現皆優於啟發式法則所規劃的結果。

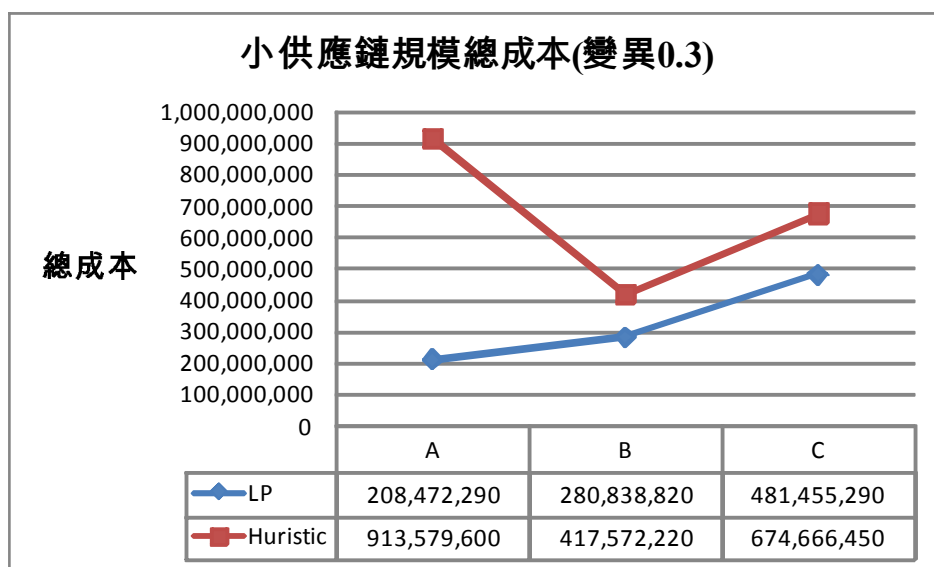


圖 4.5 小供應鏈規模成本比較(需求變異 0.3)

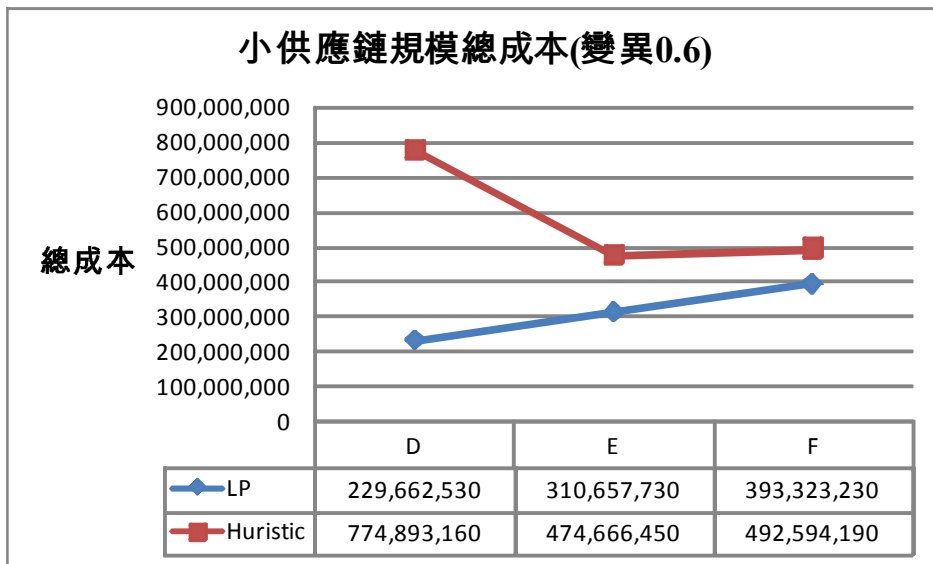


圖 4.6 小供應鏈規模成本比較(需求變異 0.6)

圖 4.7 為供應鏈規模大且需求變異 0.3 之下，各種需求水準之成本比較，圖 4.8 為供應鏈規模大且需求變異 0.6 之下，各種需求水準之成本比較；大供應鏈規模下，本模式在各水準組合的求解結果，總成本表現皆優於啟發式法則所規劃的結果。

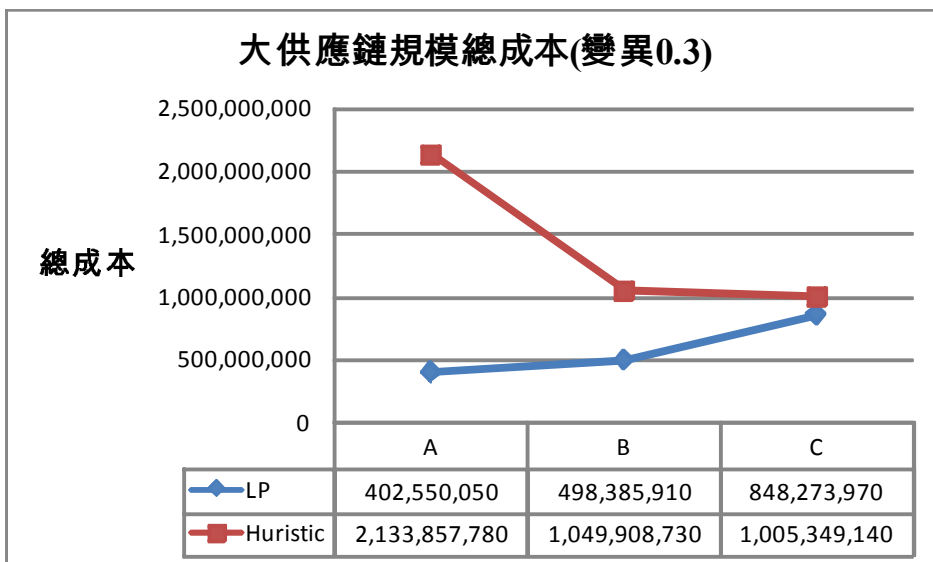


圖 4.7 大供應鏈規模成本比較(需求變異 0.3)

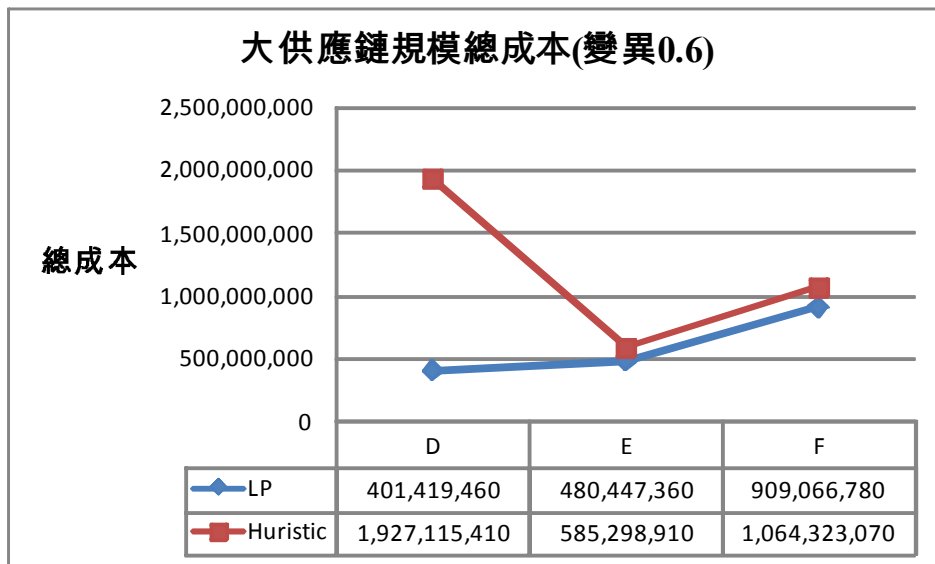


圖 4.8 大供應鏈規模成本比較(需求變異 0.6)

2. 缺貨績效之比較

圖 4.9 為供應鏈規模小且需求變異 0.3 之下，各種需求水準之缺量比較，圖 4.10 為供應鏈規模小且需求變異 0.6 之下，各種需求水準之缺量比較；本模式在小供應鏈規模下，各水準組合的求解結果，缺量情況的表現皆優於啟發式法則所規劃的結果。

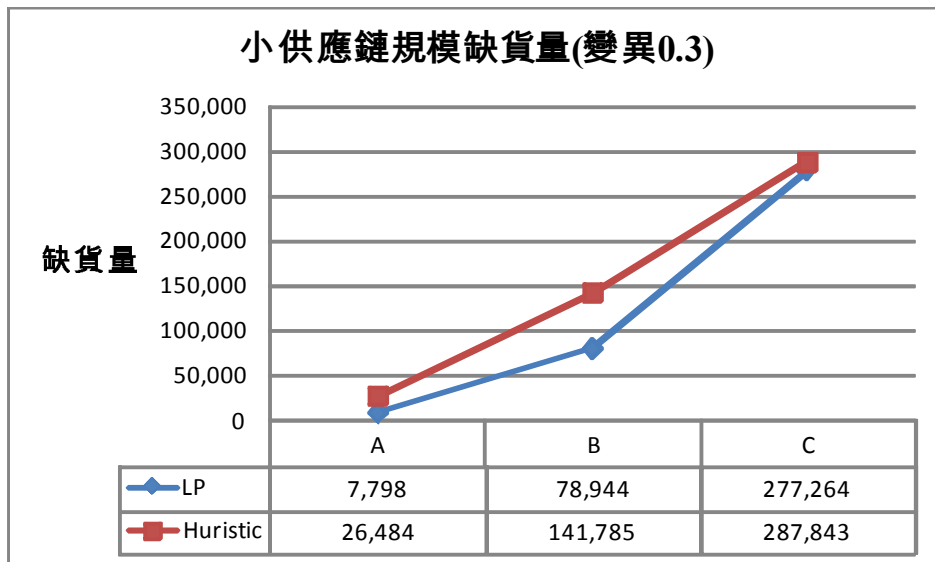


圖 4.9 小供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.3)

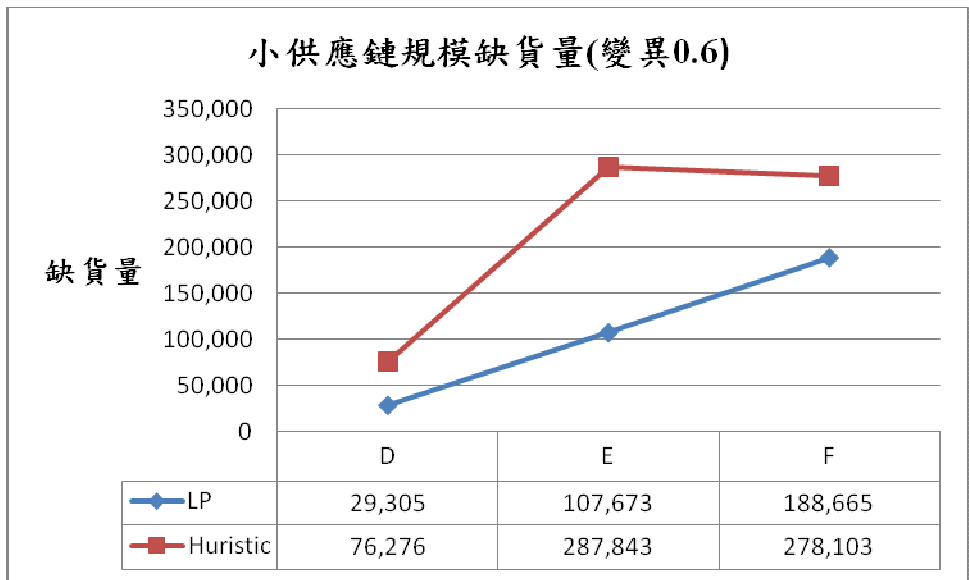


圖 4. 10 小供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.6)

圖 4.11 為供應鏈規模大且需求變異 0.3 之下，各種需求水準之缺量比較，圖 4.12 為供應鏈規模大且需求變異 0.6 之下，各種需求水準之缺量比較；本模式在大供應鏈規模下，各水準組合的求解結果，缺量情況的表現皆優於啟發式法則所規劃的結果。

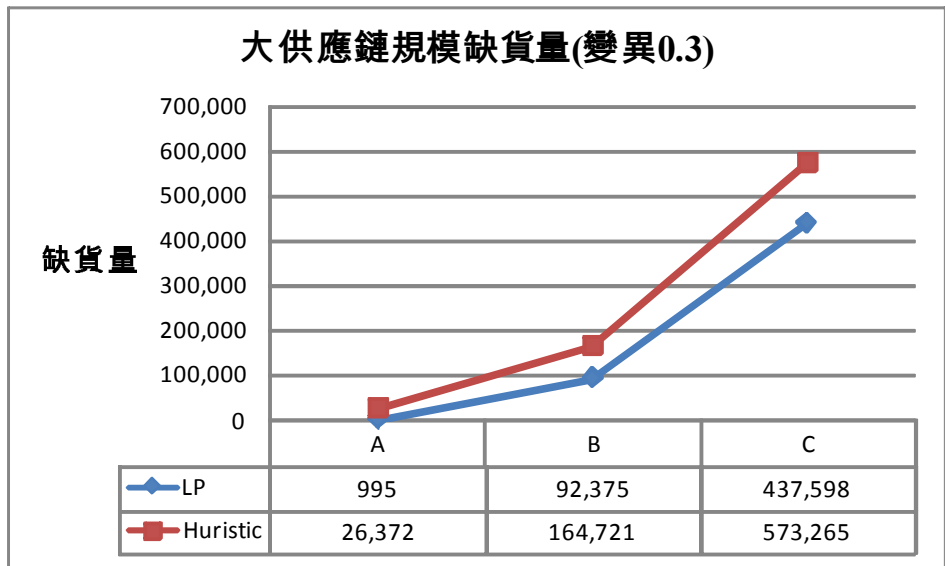


圖 4. 11 大供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.3)

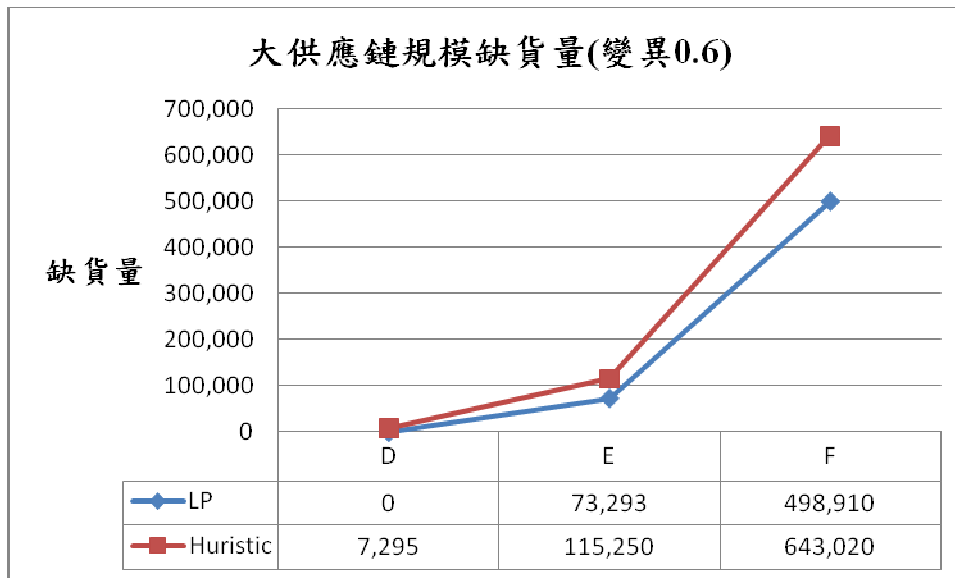


圖 4. 12 大供應鏈規模缺量比較(需求變異 0.6)

3. 小結

本研究主要在提出一個多階多廠區生產規劃之訂單分配方法，和目前業界規劃方法比較，以及其驗證其適用性，經由實驗設計結果得知，在六種不同的環境需求水準組合之下，以及 2 種不同的供應鏈規模大小，證明了本研究所提的方法之規劃結果，皆優於目前業界所使用的啟發式規劃方法。

4.2.2 情境二：模式適用範圍實驗結果

求解結果如表4.4以及圖4.13所示，小供應鏈規模最快與最慢求解時間平均為2秒及189秒，大供應鏈規模最快與最慢求解時間平均為7秒及597秒，由此結果可看出，在各個因子水準底下，本模式都有相當優異的求解時間。

表 4. 4 各因子水準下之求解時間(單位為秒)

供應鏈規模/產品種類	2	6	10	14	18	22	26	30
小	2	5	8	25	40	90	132	189

大	7	21	68	140	203	327	432	597
---	---	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

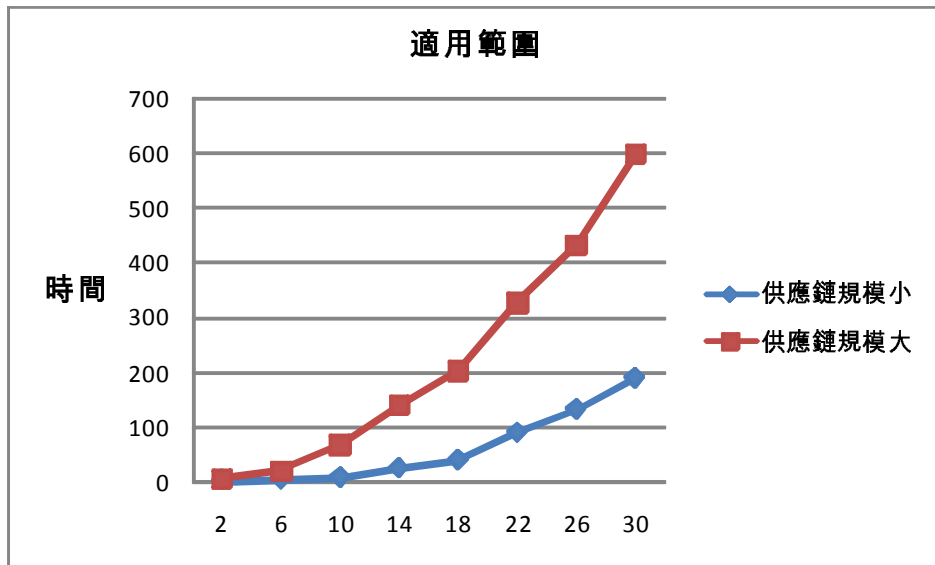


圖 4.13 各因子水準下之求解效率

經由實驗結果呈現，小型供應鏈規模(3個製造廠2個配銷中心)之下，30種不同產品種類，求解速度平均為189秒(約3分鐘)，訂單數量達到1,620張，非零變數達72,428個；大型供應鏈規模(6個製造廠5個配銷中心)之下，30種不同產品種類，求解速度平均為596秒(約10分鐘)，訂單數量達到4,050張，非零變數達251,419個，因此在求解效率上，本模式有優異的表現。

4.2.3 情境三：參數分析實驗結果

由於情境三之實驗數據共有 81 組，因此將實驗結果以表格排版於最後附錄頁次中，並使用統計軟體 SPSS 將實驗結果進行 ANOVA 分析。以下將針對調撥數量、物料存貨數量以及半成品存貨數量進行說明。

1. 各種成本對調撥數量(Y1)影響情形

如圖 4.14，在 $\alpha = 0.05$ 下，運輸成本(X4)對於調撥數量的影響並不顯著，而由圖 4.15 得知，除去運輸成本後再進行交互作用分析的結果來看，調撥

數量主要受到調撥成本(X1)、半成品存貨成本(X2)以及物料存貨成本(X3)所影響，其中又以調撥成本(X1)影響最甚(F 值最高)，而 X1、X2、X3 三者的交互作用關係對調撥數量的影響顯著。從附錄八的實驗結果可觀察，當調撥成本小於物料單位庫存持有成本時，容易產生許多不必要的調撥行為；當調撥成本大於物料單位庫存持有成本時，製造廠間只進行必要或是完全不進行調撥行為。

依變數: Y1

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	4.6545E+14 ^a	9	5.172E+13	47.263	.000
X1	1.7814E+14	2	8.907E+13	81.400	.000
X2	2.2075E+13	2	1.104E+13	10.087	.000
X3	3.0285E+13	2	1.514E+13	13.839	.000
X4	1.2871E+12	2	6.436E+11	.588	.558
誤差	7.8784E+13	72	1.094E+12		
總和	5.4423E+14	81			

圖 4.14 各種成本對調撥數量影響情形

依變數: Y1

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	5.2295E+14 ^a	27	1.937E+13	49.153	.000
X1	1.7814E+14	2	8.907E+13	226.037	.000
X2	2.2075E+13	2	1.104E+13	28.011	.000
X3	3.0285E+13	2	1.514E+13	38.428	.000
X1 * X2	1.9891E+13	4	4.973E+12	12.620	.000
X1 * X3	1.3440E+13	4	3.360E+12	8.527	.000
X2 * X3	1.1883E+13	4	2.971E+12	7.539	.000
X1 * X2 * X3	1.3579E+13	8	1.697E+12	4.308	.000
誤差	2.1279E+13	54	3.940E+11		
總和	5.4423E+14	81			

圖 4.15 X1、X2、X3 三種成本對調撥數量的交互作用影響

2. 各種成本對物料存貨數量(Y2)影響情形

如圖 4.16，在 $\alpha = 0.05$ 下，四種成本對於物料存貨成本皆有顯著影響，但是從附錄九的 SPSS 分析結果發現，運輸成本(X4)與另外三種成本的交互作用對於物料存貨數量並無顯著影響，即物料存貨量受到調撥成本(X1)、半成品單位存貨持有成本(X2)以及物料單位存貨持有成本影響較大，其中又以物料單位存貨持有成本(X3)影響最甚(F 值最高)，因為當物料單位存貨持有成本越高時，製造廠間會進行調撥行為，或是盡量將物料組裝成半成

品。

依變數: Y2

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.01E+13 ^a	9	1.1E+12	132.947	.000
X1	1.82E+11	2	9.1E+10	10.776	.000
X2	2.09E+11	2	1.0E+11	12.359	.000
X3	4.96E+11	2	2.5E+11	29.358	.000
X4	2.43E+10	2	1.2E+10	1.442	.243
誤差	6.08E+11	72	8.4E+09		
總和	1.07E+13	81			

圖 4.16 各種成本對物料存貨數量影響情形

3. 各種成本對半成品存貨數量(Y3)影響情形

如圖 4.17，在 $\alpha = 0.05$ 下，四種成本對於物料存貨成本皆有顯著影響，但是從附錄十的 SPSS 分析結果發現，運輸成本(X4)與另外三種成本的交互作用對於半成品存貨數量並無顯著影響，意即半成品存貨數量受到調撥成本(X1)、半成品單位存貨持有成本(X2)以及物料單位存貨持有成本影響較大，其中又以物料單位存貨持有成本(X3)影響最甚(F 值最高)，因為當物料單位存貨持有成本越高時，會盡量將物料組裝成半成品。

依變數: Y3

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.7881E+12 ^a	9	1.987E+11	23.271	.000
X1	1.7843E+11	2	8.922E+10	10.449	.000
X2	2.1385E+11	2	1.069E+11	12.523	.000
X3	4.9475E+11	2	2.474E+11	28.974	.000
X4	23098184321	2	1.155E+10	1.353	.265
誤差	6.1472E+11	72	8537780526		
總和	2.4028E+12	81			

圖 4.17 各種成本對半成品存貨數量影響情形

4. 小結

由情境三的實驗結果可歸納出，調撥成本、物料單位存貨持有成本以及半成品單位存貨持有成本交互作用對於調撥數量、物料存貨數量以及半成品存貨數量有較顯著之影響，當調撥成本低於物料單位存貨持有成本

時，容易產生不必要的調撥支援行為，當調撥成本高於物料單位存貨持有成本時，則製造廠只進行必要或完全不進行調撥行為。而當半成品單位存貨持有成本小於物料單位存貨持有成本時，製造廠會將剩餘的物料盡量生產為半成品，使半成品存貨數量上升；而從各項實驗結果來看，製造廠至配銷中心的運輸成本對於調撥以及存貨數量之影響較不顯著。

第五章 結論與未來發展方向

5.1 結論

本研究針對多廠區生產規劃議題提出一套整數規劃模式，進行求解各廠區的投產、物料支援以及運輸計劃，實驗結果顯示，應用本研究提出的規劃模式，在需求水準 60%、90%以及 120%環境之下，以及不同的供應鏈規模大小，規劃的成本績效、缺貨以及存貨水準的表現皆優於目前業界所使用的規劃模式。

本模式不但在改進成本績效方面的效果頗佳，在求解效率的表現上，也有快速求解的優點，經由實驗結果呈現，小型供應鏈規模(3 個製造廠 2 個配銷中心)之下，30 種不同產品種類，求解速度平均為 189 秒(約 3 分鐘)，訂單數量達到 1,620 張，非零變數達 72,428 個；大型供應鏈規模(6 個製造廠 5 個配銷中心)之下，30 種不同產品種類，求解速度平均為 596 秒(約 10 分鐘)，訂單數量達到 4,050 張，非零變數達 251,419 個，因此不論在求解效率或是效益上，本模式皆有優異的表現。

5.2 未來發展方向

本研究所提出的模式，在效率以及效益的表現頗佳，但本模式是以一些基本假設為前提下所建立，因此建議未來可改進的研究方向如下：

1. 由於原料的價格波動快速，在規劃週期內可能會不斷變動，因此未來可使用模擬方法，針對原料價格波動的議題，進行規劃求解。
2. 針對全球型供應鏈的運輸活動方面，考量運輸的工具、產能以及各國的關稅，使運輸成本能在符合最小成本的目標之下，快速送達目的地，也是一個值得發展的議題。

參考文獻

1. 王世欽，「多廠區訂單系統之分配模式—以液晶顯示器產業為例」，東海大學工業工程與經營資訊研究所碩士論文，2002 年。
2. 林進添，「有限產能與物料下之跨廠區多階製程訂單分配」，元智大學工業工程與管理研究所，碩士論文 2004 年。
3. 林慈傑，「以遺傳演算法求解類運輸問題模式化的多廠訂單分配問題」，臺灣大學工業工程學研究所碩士論文，2002 年。
4. 周哲維，「多廠區整體物料規劃」，元智大學工業工程與管理研究所碩士論文，2003 年。
5. 張文昌，「在企業資源整合考量下建立多廠訂單分配模式之研究」，元智大學工業工程與管理研究所碩士論文，2004 年。
6. 張美滿，「多廠區跨廠產能規劃之探討」，元智大學工業工程與管理學系碩士論文，2002 年。
7. 黃建中，「多廠區規劃與排程--以 TFT-LCD 廠為例」，清華大學工業工程與工程管理研究所碩士論文，2003 年。
8. 郭乃蕓，「晶圓製造廠多廠間訂單抵換機制之構建」，交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2001 年。
9. 陳亞男，「多廠生產規劃之供應鏈決策支援模式」，台灣大學商學研究所碩士論文，2001 年。
10. 陳恩齊，「推式多廠區生產規劃與排程-以 TFT-LCD 面板產業為例」，國立清華大學碩士論文，2003 年。
11. 曾煥雯，「跨廠訂單分配模式之建構—應用模擬退火演算法」，元智大學工業工程與管理學系，碩士論文，2000 年。
12. 余家福，「考量產能限制下多廠區訂單分配問題之研究」，元智大學工業工程與管理研究所碩士論文，2005 年。
13. 蔡與哲，「運用先進規劃排程之概念建立多廠生產的資源分配與生產規劃模式」，

- 台灣大學商學研究所碩士論文，2000年。
14. 劉基金，「多層上下游生產環境下多廠整合生產規劃問題之研究」，國立台灣大學商學研究所博士論文，2003年。
 15. 劉珮伶，「考量產品配送下之多廠區訂單分配問題—應用門檻值接受法」，元智大學工業工程與管理研究所碩士論文，2004年。
 16. 謝志欣，「供應鏈管理之主規劃排程演算法—以最短路徑演算法滿足所有訂單需求」，台灣大學資訊管理研究所碩士論文，2001年。
 17. Arntzen, B. C., Brown, G. G., Harrion, T. P., and Trafton, L. L., "Gloxi supply chain management at digital equipment corporation," *Interface* Vol. 25, pp. 69-93, 1995.
 18. Chern, C.C. and J.S. Hsieh, "A heuristic Algorithm for Master Planning that Satisfies Multiple Objectives," *Science Direct Journal, Computers & Operations Research*, pp. 3419-3513, 2007.
 19. Cassivi, L., Louis A. Lefebvre, "Supply Chain Planning and Execution Tool Efficiency," *HEC Montreal*, 2003.
 20. Giglio, D., and R. Minciardi, "Modelling and optimization of multi-site production systems in supply chain networks" *IEEE*, 2003.
 21. Gnoni, M. G., R. Iavagnilio., G. Mossa, G. Mummolo, and A. Di Leva, "Production planning of a multi-site manufacturing system by hybrid modelling: A case study from the automotive industry," *International Journal of production economics*, Vol. 85, pp.251-262, 2003.
 22. Guinet, A., "Multi-site planning: a transshipment problem," *International Journal of Production Economics*, Vol. 74, pp. 21-32, 2001.
 23. Jang, Y. J., S. Y. Jang, B. M. Chang and J. Park, "A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, pp. 263-281, 2002.
 24. Kerschxmer, R., and Tournas, Y., "In-house competition, organizational slack, and the business cycle," *European Economic Review*, Vol. 47, pp. 505-520, 2003.
 25. Lanshun N., X. Xiaofei, and Z. Dechen, "Collaborative Planning in Supply Chains by

- Lagrangian Relaxation and Genetic Algorithms,"*The Sixth World Congress, Intelligent Control and Automation*, pp. 7258-7262, 2006.
26. Erengus, S. S., N. C. Simpson and A. J. Vakharia, "Integrated production/distribution planning in supply chains: an invited review,"*European Journal of Operational Research*, Vol. 115, pp.219-236, 1999.
 27. Moon, C., J. Kim, and S. Hur, "Integrated process planning and scheduling with minimizing total tardiness in multi plants supply chain,"*computers & Industrial Engineering*, 2002.
 28. Sabri, E. H. and B. M. Beamon, "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design,"*Omega*, Vol. 28, pp. 581-598, 2000.
 29. Samxsivan, M. and C. P. Schmidt, "A heuristic procedure for solving multi-plant, multi-item, multi-period capacitated lot-sizing problems," *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 19, pp. 87-105, 2002.
 30. Sauer, J., G. Suelmann, and H.J. Appelrath., " Multi-site scheduling with fuzzy concepts,"*International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 19, pp.145-160, 1998
 31. Sauer, J., and H. J. Appelrath, "Integrating transportation in a multi-site scheduling environment,"*Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000.
 32. Shen, W., R. Kremer, M. Ulieru and D. Norrie, "A collaborative agent-xsed infrastructure for Internet-enabled collaborative enterprises,"*International Journal of Production Research*, Vol. 41, pp. 1621-1638, 2003.
 33. Timple, C. H., and J. Kallrath, "Optimal planning in large multi-site production networks,"*European Journal of Operational Research*, Vol. 126, pp. 422-435, 2000.
 34. Thierry, C., P. Besnard, D. Ghattas and G. Bel, "Multi-Site Planning: Non Flexible Production Units and Set-Up Time Treatment,"*INRLA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation*, Vol. 3, pp.261-269, 1995.
 35. Timpe, C. H and J. Kallrath, "Optimal Planning in large multi-site production networks,"*European Journal of Operational Research*, Vol. 126, pp. 422-435, 2000.
 36. Chan, T.S. and S.H. Chung , "A multi-criterion genetic algorithm for order distribution in

a demand driven supply chain,"*International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17, pp. 339 - 351, 2004

37. Verellis, C., "Multi-plant production planning in capacitated self-configuring two-stage serial systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, pp.451-460, 1999.
38. Watson, K, and T. Polito, "Comparison of DRP and TOC financial performance within a multi-product, multi-echelon physical distribution environment,"*International Journal of Production Research*, Vol. 41, pp. 741-765, 2003.

附錄一：配銷中心 BOM 耗用數量

配銷中心	BOM/週期	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	49	72	0	58	0	0	0	0	0	33	0	0
0	1	0	0	0	539	531	581	515	578	581	606	567	597	534	573	584
0	2	0	0	0	536	556	536	547	539	536	551	525	548	567	570	564
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	611	576	607	630	621	646	553	594	613	601	646	594
1	2	0	0	0	667	666	655	645	679	658	656	635	641	630	685	632

配銷中心	BOM/週期	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	148	250	0	0	0
0	1	566	360	616	564	562	654	607	583	555	581	544	433	337	551	605	0
0	2	513	503	499	558	556	555	538	516	538	527	576	584	529	532	504	0
1	0	146	0	0	0	0	0	0	0	0	51	61	303	0	98	0	0
1	1	447	611	620	620	622	618	655	605	589	546	532	313	617	548	609	0
1	2	664	680	678	642	618	674	647	685	624	692	679	665	650	684	664	0

附錄二：製造廠至配銷中心運輸量

製造廠	DC	半成品項	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	7	528	82	505	108	0	86	0	89	0	270	412
0	0	1	0	0	0	95	157	473	0	0	362	200	218	381	335	200	278
0	1	0	0	0	0	0	265	0	445	0	492	638	293	0	530	478	332
0	1	1	0	0	0	0	305	315	0	410	400	0	0	429	0	78	0
1	0	0	0	0	0	278	0	0	0	131	436	337	115	359	500	200	0
1	0	1	0	0	0	144	274	8	70	278	118	0	249	116	99	273	206
1	1	0	0	0	0	122	300	500	100	180	0	0	1	141	0	0	0
1	1	1	0	0	0	156	126	192	530	111	146	363	335	84	101	227	494
2	0	0	0	0	0	0	0	354	0	200	0	28	310	0	0	0	52
2	0	1	0	0	0	0	0	0	345	200	1	306	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	245	1	55	0	399	66	0	241	400	0	107	200
2	1	1	0	0	0	155	45	0	0	0	0	90	159	0	400	241	0

製造廠	DC	半成品項	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	60	0	330	0	142	455	438	244	438	173	200	600	379	432	400	0
0	0	1	266	194	516	342	400	88	400	135	230	481	444	133	237	451	482	0
0	1	0	310	523	0	154	118	458	145	162	73	243	216	0	0	0	0	0
0	1	1	0	151	467	0	186	0	312	0	65	0	32	213	267	30	0	0
1	0	0	353	617	69	98	302	0	0	172	0	254	276	32	300	0	4	0
1	0	1	0	66	0	82	62	466	107	0	225	0	0	200	0	0	23	0
1	1	0	0	17	578	0	0	116	350	23	51	0	24	468	150	282	164	0
1	1	1	347	0	53	520	336	118	243	505	424	446	400	0	250	418	509	0
2	0	0	0	0	0	360	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	200	0	0	40	0	0	0	348	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	400	40	0	388	400	0	52	400	400	400	400	400	400	400	400	0
2	1	1	0	360	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄三：製造廠半成品產出計劃

製造廠	半成品項	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	272	528	527	505	600	638	379	0	619	478	602	722	583
0	1	0	0	400	472	473	410	400	362	200	647	381	413	200	278	417
1	0	0	0	400	300	500	100	311	436	337	116	500	500	200	0	353
1	1	0	0	300	400	200	600	389	264	363	584	200	200	500	700	347
2	0	0	0	245	355	55	200	399	94	310	241	400	0	159	200	400
2	1	0	0	155	45	345	200	1	306	90	159	0	400	241	200	0

製造廠	半成品項	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	484	118	600	600	600	317	681	389	200	600	379	432	400	0	0
0	1	661	516	528	400	400	400	200	230	513	657	400	267	451	482	0	0
1	0	634	647	98	302	116	350	195	51	254	300	500	450	282	168	0	0
1	1	66	53	602	398	584	350	505	649	446	400	200	250	418	532	0	0
2	0	40	360	400	400	0	52	400	400	400	400	400	400	400	400	0	0
2	1	360	40	0	0	400	348	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄四：製造廠 BOM 耗用

製造廠	BOM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	72	328	200	32	100	616	0	0	103	278	402	356	583	0
0	1	0	200	200	327	473	500	22	379	0	516	200	200	366	0	0
0	2	0	200	245	200	210	200	162	0	641	200	0	0	78	261	661
0	3	0	200	227	273	200	200	200	200	6	181	413	200	200	156	0
1	0	0	200	200	200	0	111	236	253	116	100	300	200	0	353	0
1	1	0	200	100	300	100	200	200	84	0	400	200	0	0	0	634
1	2	0	200	200	0	400	189	64	163	384	0	0	300	500	200	66
1	3	0	100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	147	0
2	0	0	45	355	55	200	200	94	306	0	400	0	159	200	400	40
2	1	0	200	0	0	0	199	0	4	241	0	0	0	0	0	0
2	2	0	155	45	345	200	1	306	90	159	0	400	241	200	0	360
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

製造廠	BOM	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	0	0	118	600	282	200	0	400	189	0	411	168	232	200
0	1	484	0	0	318	400	317	281	200	200	189	211	200	200
0	2	72	328	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
0	3	444	200	200	200	200	0	30	313	457	200	67	251	282
1	0	447	98	302	0	350	195	51	254	300	0	450	200	0
1	1	200	0	0	116	0	0	0	0	0	500	0	82	168
1	2	53	0	147	584	350	200	154	246	200	0	50	218	532
1	3	0	602	251	0	0	305	495	200	200	200	200	200	0
2	0	360	0	400	0	0	400	400	0	0	400	400	0	0
2	1	0	400	0	0	52	0	0	400	400	0	0	400	400
2	2	40	0	0	400	348	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄五：原料存貨情形

製造廠	原料	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	128	0	0	313	613	197	397	597	778	700	539	383	0	200	400
0	1	0	0	0	73	0	0	179	0	316	0	0	0	0	200	400	116
0	2	0	0	0	0	0	0	131	331	0	0	200	400	522	461	0	128
0	3	0	0	73	0	0	0	0	0	194	213	0	0	0	44	244	0
1	0	0	0	0	0	0	89	53	0	0	100	0	0	200	47	247	0
1	1	0	0	100	0	0	0	0	0	200	0	0	34	234	434	0	0
1	2	0	0	0	200	0	11	147	184	0	200	400	300	0	0	134	281
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	253	453
2	0	0	155	0	0	0	0	106	0	200	0	159	200	200	0	160	0
2	1	0	0	0	0	0	0	200	396	355	555	755	955	1155	1355	1555	1755
2	2	0	0	155	0	0	106	0	0	41	241	41	0	0	200	40	200
2	3	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000

製造廠	原料	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	482	82	0	0	200	0	11	211	0	32	0	0	200	400	600
0	1	316	516	398	198	81	0	0	0	11	0	0	0	200	400	600
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	400	600
0	3	0	0	0	0	200	370	257	0	0	133	82	0	200	400	600
1	0	102	0	200	50	55	204	150	50	250	0	0	200	400	600	800
1	1	200	400	484	684	884	1084	1284	1484	1184	1384	1502	1534	1734	1934	2134
1	2	481	534	150	0	0	46	0	0	200	350	332	0	200	400	600
1	3	51	0	200	400	295	0	0	0	0	0	0	200	400	600	800
2	0	200	0	200	400	200	0	200	400	200	0	200	400	600	800	1000
2	1	1555	1755	1955	2103	2303	2503	2303	2103	2303	2503	2303	2103	2303	2503	2703
2	2	400	600	400	252	452	652	852	1052	1252	1452	1652	1852	2052	2252	2452
2	3	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000	5200	5400	5600	5800	6000

附錄六：原料調撥輸出

製造廠	原料	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	200	0	0	0	0	84	0	0	0
1	1	0	0	0	100	0	0	0	116	0	0	0	166
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	145	0	0	0	0	0	0	41	0
2	1	0	0	200	200	200	1	0	0	0	0	0	0
2	2	0	45	0	10	0	93	0	110	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄七：原料調撥輸入

製造廠 2	製造廠 1	原料	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	84	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	100	0	0	116	0	0	0	166
1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	3	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145	0	5	6	7	8	9	0	41	0
製造廠 2	製造廠 1	原料	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
2	0	1	0	0	0	200	200	200	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	45	0	10	0	93	0	110	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄八：參數分析實驗結果

	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3
代號	調撥成本	半成品存貨成本	物料存貨成本	運輸成本	調撥數量	物料存貨	半成品存貨
1	20	20	20	20	2,286,300	437,447	4,000
2	20	20	20	70	2,337,639	437,446	4,000
3	20	20	20	120	2,416,677	437,446	4,000
4	20	20	70	20	881,100	142,650	298,796
5	20	20	70	70	4,394,766	437,446	4,000
6	20	20	70	120	4,629,702	437,447	4,000
7	20	20	120	20	881,100	142,650	298,796
8	20	20	120	70	881,100	142,650	298,796
9	20	20	120	120	4,352,493	437,446	4,000
10	20	70	20	20	2,752,339	437,446	4,000
11	20	70	20	70	2,549,135	437,446	4,000
12	20	70	20	120	2,382,203	437,446	4,000
13	20	70	70	20	5,089,500	437,446	4,000
14	20	70	70	70	5,089,500	437,446	4,000
15	20	70	70	120	5,089,500	437,446	4,000
16	20	70	120	20	5,003,500	394,446	47,000
17	20	70	120	70	5,089,500	437,446	4,000
18	20	70	120	120	5,089,500	437,446	4,000
19	20	120	20	20	2,955,401	437,446	4,000
20	20	120	20	70	2,699,984	437,446	4,000
21	20	120	20	120	2,532,024	437,446	4,000
22	20	120	70	20	5,089,500	437,446	4,000
23	20	120	70	70	5,089,500	437,446	4,000
24	20	120	70	120	5,089,500	437,446	4,000
25	20	120	120	20	5,089,500	437,446	4,000
26	20	120	120	70	5,089,500	437,446	4,000
27	20	120	120	120	5,089,487	437,447	4,000
28	70	20	20	20	0	437,446	4,000
29	70	20	20	70	0	437,446	4,000
30	70	20	20	120	0	437,446	4,000
31	70	20	70	20	616,549	142,650	298,796
32	70	20	70	70	603,676	142,650	298,796
33	70	20	70	120	53,135	142,650	298,796
34	70	20	120	20	881,212	142,657	298,794
35	70	20	120	70	881,100	142,650	298,796
36	70	20	120	120	881,096	142,650	298,797
37	70	70	20	20	0	437,446	4,000
38	70	70	20	70	0	437,446	4,000
39	70	70	20	120	0	437,446	4,000
40	70	70	70	20	453,925	142,651	298,797
41	70	70	70	70	444,310	142,657	298,794
42	70	70	70	120	2,798,270	437,446	4,000
43	70	70	120	20	881,106	142,651	298,796

	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3
代號	調撥成本	半成品存貨成本	物料存貨成本	運輸成本	調撥數量	物料存貨	半成品存貨
44	70	70	120	70	881,100	142,650	298,796
45	70	70	120	120	881,100	142,650	298,797
46	70	120	20	20	0	437,446	4,000
47	70	120	20	70	0	437,446	4,000
48	70	120	20	120	0	437,446	4,000
49	70	120	70	20	3,098,599	394,446	47,000
50	70	120	70	70	2,520,588	437,446	4,000
51	70	120	70	120	2,472,261	437,446	4,000
52	70	120	120	20	4,976,044	385,294	56,152
53	70	120	120	70	5,003,500	394,446	47,000
54	70	120	120	120	5,089,500	437,446	4,000
55	120	20	20	20	0	437,446	4,000
56	120	20	20	70	0	437,446	4,000
57	120	20	20	120	0	437,446	4,000
58	120	20	70	20	31,050	142,650	298,796
59	120	20	70	70	31,050	142,650	298,796
60	120	20	70	120	29,900	143,800	297,646
61	120	20	120	20	601,859	142,650	298,796
62	120	20	120	70	589,454	142,650	298,796
63	120	20	120	120	536,569	142,650	298,796
64	120	70	20	20	0	437,446	4,000
65	120	70	20	70	0	437,446	4,000
66	120	70	20	120	0	437,446	4,000
67	120	70	70	20	0	437,446	4,000
68	120	70	70	70	0	173,700	267,746
69	120	70	70	120	0	437,446	4,000
70	120	70	120	20	52,082	142,658	298,797
71	120	70	120	70	463,242	142,650	298,796
72	120	70	120	120	469,709	142,650	298,796
73	120	120	20	20	0	437,447	4,000
74	120	120	20	70	0	437,446	4,000
75	120	120	20	120	0	437,447	4,000
76	120	120	70	20	0	394,446	4,700
77	120	120	70	70	0	437,446	4,000
78	120	120	70	120	0	437,446	4,000
79	120	120	120	20	504,766	142,650	298,796
80	120	120	120	70	453,703	142,650	298,796
81	120	120	120	120	473,628	142,650	298,796

附錄九：各成本交互作用對於物料存貨數量的影響

X1、X2、X3 交互作用

依變數: Y2

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.0482E+13 ^a	27	3.882E+11	92.991	.000
X1	1.8191E+11	2	9.096E+10	21.788	.000
X2	2.0863E+11	2	1.043E+11	24.987	.000
X3	4.9559E+11	2	2.478E+11	59.357	.000
X1 * X2	56583924811	4	1.415E+10	3.389	.015
X1 * X3	1.3748E+11	4	3.437E+10	8.233	.000
X2 * X3	1.1913E+11	4	2.978E+10	7.134	.000
X1 * X2 * X3	93426325886	8	1.168E+10	2.797	.011
誤差	2.2543E+11	54	4174673476		
總和	1.0707E+13	81			

X1、X2、X4 交互作用

依變數: Y2

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	9.7310E+12 ^a	27	3.604E+11	19.940	.000
X1	1.8191E+11	2	9.096E+10	5.032	.010
X2	2.0863E+11	2	1.043E+11	5.771	.005
X4	24344397637	2	1.217E+10	.673	.514
X1 * X2	56583924811	4	1.415E+10	.783	.541
X1 * X4	12355987104	4	3088996776	.171	.952
X2 * X4	13738284482	4	3434571120	.190	.943
X1 * X2 * X4	44603726898	8	5575465862	.308	.960
誤差	9.7603E+11	54	1.807E+10		
總和	1.0707E+13	81			

X1、X3、X4 交互作用

依變數: Y2

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.0082E+13 ^a	27	3.734E+11	32.270	.000
X1	1.8191E+11	2	9.096E+10	7.860	.001
X3	4.9559E+11	2	2.478E+11	21.414	.000
X4	24344397637	2	1.217E+10	1.052	.356
X1 * X3	1.3748E+11	4	3.437E+10	2.970	.027
X1 * X4	12355987104	4	3088996776	.267	.898
X3 * X4	14685342381	4	3671335595	.317	.865
X1 * X3 * X4	26950505018	8	3368813127	.291	.966
誤差	6.2486E+11	54	1.157E+10		
總和	1.0707E+13	81			

X2、X3、X4 交互作用

依變數: Y2

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.0105E+13 ^a	27	3.743E+11	33.600	.000
X2	2.0863E+11	2	1.043E+11	9.364	.000
X3	4.9559E+11	2	2.478E+11	22.245	.000
X4	24344397637	2	1.217E+10	1.093	.343
X2 * X3	1.1913E+11	4	2.978E+10	2.674	.042
X2 * X4	13738284482	4	3434571120	.308	.871
X3 * X4	14685342381	4	3671335595	.330	.857
X2 * X3 * X4	40549900827	8	5068737603	.455	.882
誤差	6.0152E+11	54	1.114E+10		
總和	1.0707E+13	81			

附錄十：各成本交互作用對於半成品存貨數量的影響

X1、X2、X3 交互作用

依變數: Y3

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	2.1786E+12 ^a	27	8.069E+10	19.435	.000
X1	1.7843E+11	2	8.922E+10	21.488	.000
X2	2.1385E+11	2	1.069E+11	25.753	.000
X3	4.9475E+11	2	2.474E+11	59.582	.000
X1 * X2	54822406634	4	1.371E+10	3.301	.017
X1 * X3	1.3932E+11	4	3.483E+10	8.389	.000
X2 * X3	1.2264E+11	4	3.066E+10	7.385	.000
X1 * X2 * X3	96829915695	8	1.210E+10	2.915	.009
誤差	2.2420E+11	54	4151874200		
總和	2.4028E+12	81			

X1、X2、X4 交互作用

依變數: Y3

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.4197E+12 ^a	27	5.258E+10	2.888	.000
X1	1.7843E+11	2	8.922E+10	4.900	.011
X2	2.1385E+11	2	1.069E+11	5.873	.005
X4	23098184321	2	1.155E+10	.634	.534
X1 * X2	54822406634	4	1.371E+10	.753	.561
X1 * X4	14288109028	4	3572027257	.196	.939
X2 * X4	14386597519	4	3596649380	.198	.939
X1 * X2 * X4	42858600346	8	5357325043	.294	.965
誤差	9.8311E+11	54	1.821E+10		
總和	2.4028E+12	81			

X1、X3、X4 交互作用

依變數: Y3

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.7709E+12 ^a	27	6.559E+10	5.605	.000
X1	1.7843E+11	2	8.922E+10	7.623	.001
X3	4.9475E+11	2	2.474E+11	21.138	.000
X4	23098184321	2	1.155E+10	.987	.379
X1 * X3	1.3932E+11	4	3.483E+10	2.976	.027
X1 * X4	14288109028	4	3572027257	.305	.873
X3 * X4	13577387665	4	3394346916	.290	.883
X1 * X3 * X4	29430455870	8	3678806984	.314	.957
誤差	6.3195E+11	54	1.170E+10		
總和	2.4028E+12	81			

X2、X3、X4 交互作用

依變數: Y3

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
模式	1.8013E+12 ^a	27	6.672E+10	5.989	.000
X2	2.1385E+11	2	1.069E+11	9.599	.000
X3	4.9475E+11	2	2.474E+11	22.208	.000
X4	23098184321	2	1.155E+10	1.037	.362
X2 * X3	1.2264E+11	4	3.066E+10	2.753	.037
X2 * X4	14386597519	4	3596649380	.323	.861
X3 * X4	13577387665	4	3394346916	.305	.874
X2 * X3 * X4	41037794159	8	5129724270	.461	.878
誤差	6.0151E+11	54	1.114E+10		
總和	2.4028E+12	81			