

東 海 大 學

工業工程與經營資訊研究所

碩士論文

應用基因演算法於物料配置規劃之研究
-以網路通訊設備製造業為例



研 究 生：李禹澐
指 導 教 授：王立志 教授

中 華 民 國 九 十 九 年 六 月

**A study of genetic algorithm in material allocation
planning for network communication equipment industry**

By
Yu-Yun Lee

Advisor: Prof. Li-Chih Wang

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and
Enterprise Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2010
Taichung , Taiwan , Republic of China

應用基因演算法於物料配置規劃之研究

-以網路通訊設備製造業為例

學生：李禹澐

指導教授：王立志 教授

東海大學工業工程與經營資訊研究所

摘要

本研究探討網路通設備製造業之物料規劃，其物料規劃具有以下特殊考量：(1)原物料多具有共用性；(2)生產排程必須考量齊料，使製程能連續加工及避免產線平衡異動。因此，為了達到『物料最大化』，使物料規劃的整體收益最大，齊料邏輯與共用料配置具有關鍵性的影響，成了當前網路通訊設備製造業在物料規劃重要的議題。

現今企業不論是透過 ERP 或先進規劃排程 (Advanced Planning and Scheduling) 系統等企業應用軟體進行物料規劃，多採用以優先權為基礎 (priority-based) 啟發式的規劃方法。然而，這樣的方法雖然求得可行解，卻無法達到最佳解或近似最佳解。過去物料規劃的研究中，甚少針對網路通訊設備業之齊料邏輯與共用料配置進行探討，大多數的研究多採用由上而下 (top-down) 的規劃邏輯，關注在未來應如何規劃，考量批量、產能限制、需求變動等種種因素，希望達到最小化的成本；卻鮮少以由下而上 (bottom-up) 的規劃邏輯，在現階段的需求無法被完全滿足，如何規劃及配置資源，使整體規劃收益能更佳。

因此，本研究考量網路通訊設備製造業之物料規劃特性與齊料邏輯，在多階產品、多品項、多共用料的環境下，提出一基因演算法求解如何配置共用料以提升物料規劃之收益。最後，進行演算法之績效評估並與優先權為基礎 (priority-based) 的啟發式規劃方法比較及驗證。

關鍵字詞：物料規劃、共用料、基因演算法、網路通訊設備製造業

A study of genetic algorithm in material allocation planning for network communication equipment industry

Student: Yu-Yun Lee

Advisor: Prof. Li-Chih Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

Enterprises today are facing ever increasing challenges because of evolving globalization and the increasingly severe competitive environment, how to efficiently using and planning resource has become an important issue to enhance a business's competitiveness. This study uses a case of network communication equipment manufacturer. A network communication equipment manufacturer, not only produces switch, router and wireless modem, but also develops the network communication software. Because the product specifications are very complicated and vary dramatically, many materials are common parts for different products, moreover, must consider the process continuous and avoid changing the line balance. To achieve “maximizing the material”, that means maximizing the profit after material planning, become an important issue of material planning in network communication equipment manufacturer.

In past, most of researches for material planning focus on establish the lot size of production and purchase, few consideration product structure, using the Top-down planning logic, or not allow backorders. Actually few in view of in existing materials and limited resources, using Bottom-up planning logic to efficiently allocate the current resource to fulfill the demand.

Hence, this study proposed an algorithm, consider the material planning characteristic in network communication equipment manufacturer, for environment of multi-level product, multi items, multi common parts, and also consider the full-scale material planning(齊料) logic, then using genetic algorithm to solve the issue of “maximizing the material” in network communication equipment manufacturer.

Keywords: material planning, common part, genetic algorithm, network communication equipment manufacture

致謝

兩年的研究所生涯，轉眼即逝，在過程當中，有歡笑也有淚水。選擇了東海，讓我在這兩年的期間，不僅培養了專業領域的知識與技能，更重要的還有學習做事的態度及與人合作相處的方法。另外，在面對問題的處理手法及態度，沉靜的思考，理性的解決，也是深深受到了東海研究所的薰陶。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妹妹，在我無力甚至感到想放棄的時候，總是無怨無悔的鼓勵我，也因為他們的鼓勵與支持，我才能順利完成我的研究。且要感謝女友奕樺的體諒與打氣，陪伴我度過這麼關鍵與煎熬的時刻。

本論文得以完成，首先要感謝指導教授 王立志老師以及鄭辰仰老師的教導，也因為在學期間能接觸許多專案，讓我更能體會業界實際營運的狀況及困境，透過分析，將理論結合實務，體驗更多與別人不同的經歷。此外，論文口試期間，承蒙 交通大學 鍾淑馨老師，雲林科技大學 袁明鑑老師及東海大學 鄭辰仰老師提供寶貴的意見，使本研究能夠有更好的結果。

最後，感謝在碩士生活裡，淑芬學姊與公司的諸位學長們，在我做研究感到最迷惘的時候，能伸出那恰到好處的援手，給予有效且正確的建議，讓我更清楚該釐清的方向；此外，也深深感謝煥升，多少個夜晚，不論在生活上或是研究上都能一起扶持走過這段時光；還要感謝文冠、世倫、怡芳、政祐、佳興與明修，常常與我一起討論研究及生活週遭的事情，亦要感謝研究室的學弟妹，閔雄、閔智、鈺勛、章昱、晉瑋及惠菁在研究生活上的協助。

李禹澐 謹致於

東海大學工業工程與經營資訊學系

民國九十九年六月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	3
1.3 研究目的與範圍.....	5
1.4 研究方法與步驟.....	5
1.5 論文架構.....	5
第二章 文獻探討.....	7
2.1 企業應用系統.....	7
2.2 物料規劃相關研究.....	8
2.3 基因演算法.....	13
第三章 物料最大化之基因演算法.....	18
3.1 網路通訊設備製造業生產與物料規劃特性說明.....	18
3.1.1 網路通訊設備製造業生產特性.....	18
3.1.2 網路通訊設備製造業物料規劃特性.....	20
3.2 企業現行啟發式規劃概念說明.....	21
3.3 齊料優先之物料配置模組.....	23
3.3.1 齊料優先之物料配置模組在先進物料規劃系統的定位.....	23
3.3.2 齊料優先之物料配置模組運作說明.....	24
3.3.3 齊料優先之物料配置模組簡要模式.....	25
3.4 物料最大化之基因演算法說明.....	30
3.4.1 假設條件.....	30
3.4.2 已知條件.....	30
3.4.3 符號定義.....	30
3.4.4 目標函數.....	33
3.4.5 物料最大化之基因演算法限制.....	33
3.4.6 物料最大化之基因演算法.....	37
3.4.6.1 產生並儲存使用共用料品項的集合.....	37
3.4.6.2 展算各品項的需求及齊料狀態.....	38
3.4.6.3 產生初始 GA 的染色體.....	39
3.4.6.4 基因演算法程序.....	40
3.4.6.4.1 執行交配程序.....	40
3.4.6.4.2 執行突變程序.....	41
3.4.7 範例情境說明.....	42

3.4.7.1	產生並儲存使用共用料品項的集合.....	43
3.4.7.2	展算各品項的需求及齊料狀態.....	45
3.4.7.3	產生初始 GA 的染色體.....	50
3.4.7.4	計算適應函數.....	56
3.4.7.5	執行交配程序.....	60
3.4.7.6	執行突變程序.....	62
3.4.7.7	計算適應函數.....	64
第四章	績效評估.....	75
4.1	實驗方式與環境建構.....	75
4.1.1	實驗環境.....	75
4.1.2	實驗因子及基因演算法參數.....	76
4.2	實驗設計及分析.....	78
4.2.1	各種環境因子集合之基因演算法參數設定.....	78
4.2.2	本研究之模式與現行啟發式規劃方法比較.....	81
第五章	結論與未來發展方向.....	85
5.1	結論.....	85
5.2	未來發展方向.....	85
參考文獻	86
附錄一	：產生並儲存使用共用料的品項集合.....	88
附錄二	：產生初始 GA 的染色體.....	89
附錄三	：基因演算法-交配.....	96
附錄四	：基因演算法-突變.....	97
附錄五	：環境組合 B 之基因演算法參數設定.....	98
附錄六	：環境組合 C 之基因演算法參數設定.....	100
附錄七	：環境組合 D 之基因演算法參數設定.....	102
附錄八	：環境組合 E 之基因演算法參數設定.....	104
附錄九	：環境組合 F 之基因演算法參數設定.....	106

圖目錄

圖 1.1 通訊產業範圍與架構(資料來源：工研院 IEK(2005 年)).....	1
圖 1.2 網通產業供應鏈架構圖.....	2
圖 1.3 網路通訊設備製造業主要產品.....	2
圖 1.4 一般網路通訊設備產品製程.....	3
圖 1.5 完整物料規劃流程示意圖.....	4
圖 1.6 論文架構圖.....	6
圖 2.1 獨立進行需求規劃與供給規劃.....	8
圖 2.2 基因演算法流程圖.....	13
圖 2.3 延展樹為基礎編碼與解碼示意圖.....	15
圖 2.4 不同 puffer number 代表結構示意圖.....	16
圖 2.5 交配方式示意圖.....	16
圖 2.6 突變方式示意圖.....	16
圖 3.1 Batch 型產品製程示意圖.....	19
圖 3.2 連批型產品製程示意圖.....	19
圖 3.3 印刷電路板及內鑲元件.....	20
圖 3.4 Batch 型產品的齊料與開工關係示意圖.....	20
圖 3.5 連批型產品的齊料與開工關係示意圖.....	21
圖 3.6 物料規劃流程示意圖.....	22
圖 3.7 priority-based 啟發式規劃示意圖.....	22
圖 3.8 先進物料規劃系統功能示意圖.....	24
圖 3.9 齊料優先之物料配置模組運作示意圖.....	24
圖 3.10 齊料邏輯下之物料配置簡要模式示意圖.....	25
圖 3.11 範例產品結構示意圖.....	26
圖 3.12 第一期需求經配置後齊料狀態示意圖.....	27
圖 3.13 週期間規劃後產出資訊示意圖.....	29
圖 3.14 第二期需求經配置後齊料狀態示意圖.....	29
圖 3.15 物料最大化之基因演算法搜尋步驟.....	37
圖 3.16 範例情境對應物料最大化之基因演算法示意圖.....	42
圖 3.17 產品結構圖.....	42
圖 3.18 產生並儲存使用共用料品項的集合.....	43
圖 3.19 共用情況一.....	43
圖 3.20 共用情況二.....	44
圖 3.21 共用情況三.....	44
圖 3.22 無共用情況.....	44
圖 3.23 展算各品項的需求及齊料狀態.....	45
圖 3.24 產生初始 GA 的染色體.....	50
圖 3.25 產生初始母代示意圖.....	50

圖 3.26 計算適應函數.....	56
圖 3.27 配置後品項齊料結果示意圖(一).....	56
圖 3.28 配置後品項齊料結果示意圖(二).....	58
圖 3.29 執行交配程序.....	60
圖 3.30 母代交配染色體產生示意圖.....	61
圖 3.31 交配染色體合理性檢查產生示意圖.....	61
圖 3.32 交配染色體結果示意圖.....	62
圖 3.33 執行突變程序.....	62
圖 3.34 突變前染色體選擇集合示意圖.....	63
圖 3.35 染色體突變過程示意圖.....	63
圖 3.36 突變染色體合理性檢查產生示意圖.....	64
圖 3.37 交配染色體產生.....	64
圖 3.38 完成基因演算法所得到的子代.....	65
圖 3.39 offspring1 配置後品項齊料結果示意圖.....	68
圖 3.40 完成基因過程所得到的子代.....	69
圖 3.41 offspring4 配置後品項齊料結果示意圖.....	72
圖 4.1 物料規劃環境示意圖.....	75
圖 4.2 Batch 型產品的齊料與開工關係示意圖.....	76
圖 4.3 環境組合 A 各基因演算法參數集合之最適值及執行時間.....	80
圖 4.4 環境因子組合 A 在不同控制因子下總收益比較.....	82
圖 4.5 環境因子組合 A 在不同控制因子下成品缺貨比較.....	83
圖 4.6 環境因子組合 A 在不同控制因子下成品收益比較.....	83
圖 4.7 環境因子組合 A 在不同控制因子下成品收益比較.....	84

表目錄

表 1.1 我國主要通訊產品產值及產量(單位：億元，千台).....	1
表 2.1 物料規劃相關文獻整理.....	12
表 3.1 各週期成品需求數量.....	26
表 3.2 半成品期初庫存數量.....	26
表 3.3 原物料期初庫存數量.....	26
表 3.4 各期預計新進採購之品項.....	27
表 3.5 第一期成品收益相關資訊.....	27
表 3.6 第一期半成品剩餘庫存資訊.....	28
表 3.7 第一期原物料剩餘庫存資訊.....	28
表 3.8 規劃後各期預計齊料可生產之品項.....	29
表 3.9 成品需求數量及相關資訊.....	45
表 3.10 半成品現有數量及相關資訊.....	45
表 3.11 成品需求數量及相關資訊.....	46
表 3.12 計算成品需求.....	47
表 3.13 計算半成品需求表一.....	48
表 3.14 計算半成品需求表二.....	49
表 3.15 非共用料配置結果.....	51
表 3.16 非共用料配置結果.....	52
表 3.17 上階半成品配置齊料結果.....	52
表 3.18 計算半成品需求配置表一.....	53
表 3.19 計算半成品需求配置表二.....	54
表 3.20 判斷成品所需品項是否齊料.....	54
表 3.21 計算成品共用料配置數量與齊料結果.....	55
表 3.22 成品所需品項是否齊料.....	55
表 3.23 成品收益相關資訊(一).....	56
表 3.24 半成品剩餘庫存資訊(一).....	57
表 3.25 原物料剩餘庫存及採購資訊(一).....	57
表 3.26 成品收益相關資訊(二).....	58
表 3.27 半成品剩餘庫存資訊(二).....	58
表 3.28 原物料剩餘庫存及採購資訊(二).....	59
表 3.29 offspring1 半成品需求物料配置(一).....	65
表 3.30 offspring1 半成品需求物料配置(二).....	66
表 3.31 offspring1 判斷成品所需品項是否齊料.....	66
表 3.32 offspring1 成品共用料配置數量與齊料結果.....	67
表 3.33 offspring1 成品所需品項是否齊料.....	67
表 3.34 offspring1 成品收益相關資訊(三).....	68
表 3.35 offspring1 半成品剩餘庫存資訊(三).....	68

表 3.36 offspring1 原物料剩餘庫存及採購資訊(三)	69
表 3.37 offspring4 半成品需求物料配置(一)	70
表 3.38 offspring4 半成品需求物料配置(二)	70
表 3.39 offsping4 判斷成品所需品項是否齊料	71
表 3.40 offsping4 成品共用料配置數量與齊料結果	71
表 3.41 offsping4 成品所需品項是否齊料	71
表 3.42 offspring1 成品收益相關資訊(三)	72
表 3.43 offspring1 半成品剩餘庫存資訊(三)	73
表 3.44 offspring1 原物料剩餘庫存及採購資訊(三)	73
表 3.45 規劃結果彙總比較表	74
表 4.1 環境因子	77
表 4.2 控制因子	77
表 4.3 基因演算法參數	78
表 4.4 環境因子集合表	78
表 4.5 基因演算法參數集合表	79
表 4.6 各基因演算法參數集合之執行時間及最適值彙整表	80
表 4.7 環境因子組合 A 在不同控制因子下總收益比較表	82
表 4.8 不同共用料比例下成品缺貨比較表	83
表 4.9 不同共用料比例下成品收益比較表	84
表 4.10 不同共用料比例下半成品存貨比較表	84

第一章 緒論

1.1 研究背景

近年來，網路通訊產品製造業在台灣扮演著重要的角色，根據台灣經濟研究院產經資料庫統計的資料顯示，雖然經過 2009 年金融海嘯的衝擊，但在新興市場國家需求熱絡帶動，加上無線網路 WiMAX 技術越趨成熟，中高階產品代工出貨的比重提升下，產值仍呈現成長。

表 1.1 我國主要通訊產品產值及產量(單位：億元，千台)

	DSL CPE		Cable CPE		LAN Switch		WiMAX	
	產值	產量	產值	產量	產值	產量(千埠)	產值	產量
2008 年	539	57,221	412	24,893	461	227,686	62	1,182
2009 年	467	53,099	417	25,390	475	220,487	89	3,178

資料來源：工研院 IEK，台灣經濟研究院產經資料庫整理(2009 年)

林昌亮(2006)整理出通訊產業粗略分為兩支，分別是通訊工業與通訊服務，如圖 1.1，其中通訊服務包含第一類及第二類電信服務；而網路通訊產品製造業便是屬於通訊工業中，通訊設備部份種類繁多，包括網路傳輸與交換的設備、寬頻接取設備、區域網路設備、乃至用戶端設備及各種網路應用設備。



圖 1.1 通訊產業範圍與架構(資料來源：工研院 IEK(2005 年))

在通訊設備製造的供應鏈上中下游分別如圖 1.2 所示，整體而言是由上游的晶片設計廠商(如 Broadcom、Marvell 及 Atheros 等)、晶片製造(如 TSMC、UMC 等)到中下游的系統設計製造商(智邦、正文及亞旭等)所組成。

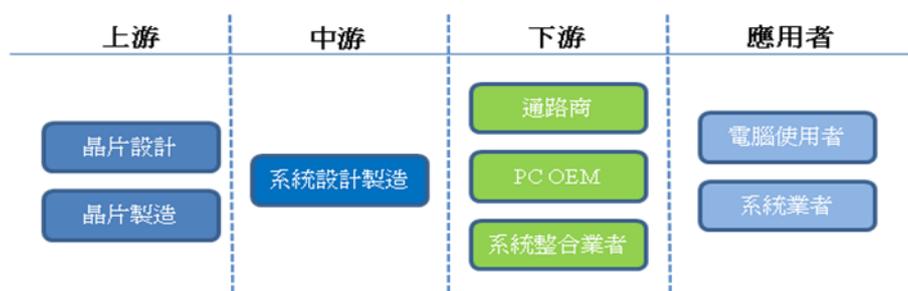


圖 1.2 網通產業供應鏈架構圖

本研究的對象為中游的系統設計製造商，屬於電子組裝業的一環，黃俊龍(2001)以台灣電子組裝業說明其特性，分別有產品種類規格多樣化、產品標準化與產品生命週期短、新產品的附加價值高、多以代工為主、以出口為導向及全球產業垂直分工發展等。

網路通訊設備製造業的產品種類規格多樣化，見圖 1.3，主要的產品有以下幾種：



圖 1.3 網路通訊設備製造業主要產品

1. 電腦網路系統(Computer Network System)包括硬體、系統軟體、網路應用軟體與網路工作站
2. 用戶端通訊電子設備(Customer Premises Equipment)包括硬體、系統軟體與應用軟體。

3. 光電通訊設備(Optoelectronic Communication Subsystem)包括光纖網路、光電通訊模組、光纖中繼器。
4. 與上列產品相關之不斷電系統，電源供應器及其零組件。

1.2 研究動機

如前一小節所提到，網路通訊設備製造業的產品種類規格繁多，因此在生產及物料規劃上更加複雜與困難，以下簡要敘述網路通訊設備製造業之生產與物料規劃特性。

一般而言，網路通訊設備製造業的生產製程與大多數電子組裝業的製程相似，分別有表面黏著技術(SMT)、插件、溫升測試(Burn-in)和包裝，大部份的製程加工時間都很短，詳細的產品加工製程如圖 1.4。



圖 1.4 一般網路通訊設備產品製程

由於生產現場的人力規劃與產線平衡規劃較為複雜，因此規劃時會儘量避免已完成的產線平衡有所異動；另外，規劃的同時，儘量以製程能連續，避免因缺料造成停工，將產品分為 Batch 型與連批型。加上所需採購關鍵物料的前置時間較長(如：印刷電路板等)，生產過程迅速，因而衍伸物料規劃時如何有效利用現有庫存數量，計算物料配置及齊料的重要性。除了計算各品項物料需求的齊料狀態，生管人員又必須同時考慮多共用料的配置，故『物料最大化』，亦即如何配置共用料使整體物料規劃的收益能

最大化，便成為規劃時的重要目標及挑戰。

蕭聖倫(2003)指出現在的企業資源規劃(Enterprise Resource Planning; ERP)系統針對企業整體資源規劃，大多沿用傳統物料需求規劃(Material Requirement Planning; MRP)邏輯，透過設定優先權來決定物料滿足的順序。正因此，現行的 ERP 系統並無法完全滿足網路通訊設備製造業的物料規劃特性。

為了達到『物料最大化』，現行企業的規劃人員在規劃主生產排程(Master Production Schedule; MPS)時，大多透過 ERP 將需求資料彙總後，不論是透過先進規劃排程(Advanced Planning and Scheduling; APS)系統，或者透過人為的方式，都是以優先權為基礎(priority-based)啟發式的規劃方法，設定需求滿足的物料配置優先順序。經過計算得到現有的物料配置結果、齊料可開工的品項等資訊，再交由單據規劃模組考量前置時間、已開立單據等因素後，作時間推移的計算，開立新的工單及採購單。現行做法雖然可以簡化規劃的邏輯、避免不同品項的部份齊料、減少生產的換線時間及產線平衡異動，卻沒有辦法考量完整的物料資訊找出較佳的物料配置結果。本研究主要針對齊料配置計算模組進行探討。

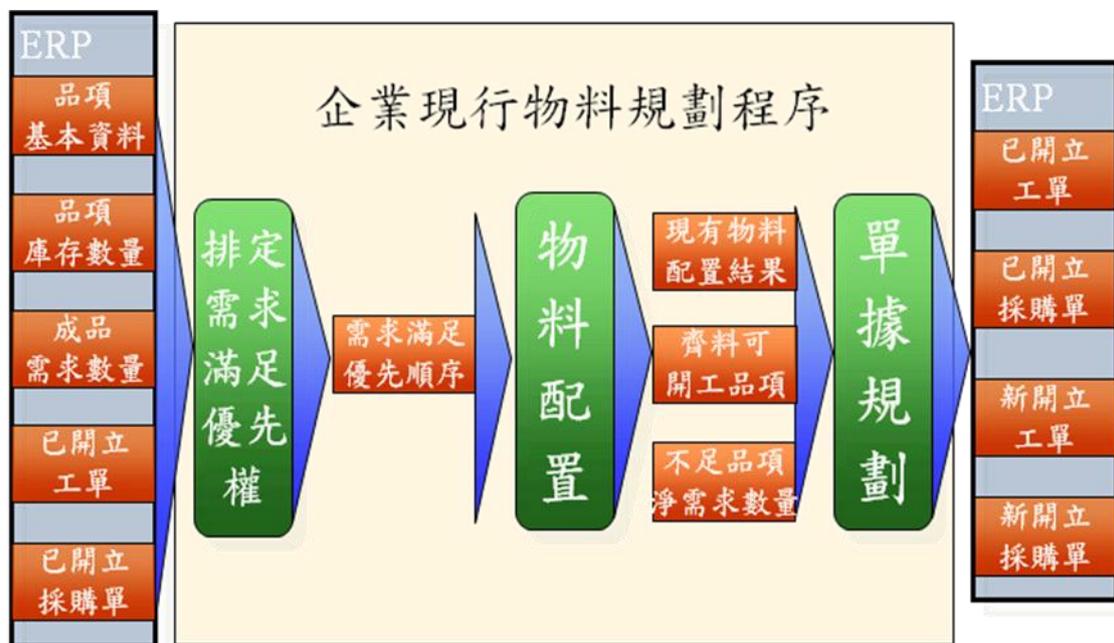


圖 1.5 完整物料規劃流程示意圖

另外，物料配置是屬於一種樹狀結構的搜尋，由產品結構推算各品項的需求與配置數量，考慮到共用料配置必須同時加上齊料判斷的邏輯。Kilpelainen (1992)發表的論文提到並證明在求解樹狀結構的問題時，若搜尋

過程有使用到邏輯變數(logical variables)，將會是個 *NP-Hard* 的問題。

目前鮮少文獻探討有關網路通訊設備製造業生產規劃及物料規劃之特性。有鑑於此，如何考量網路通訊設備製造業的生產特性，建構一套適用於物料最大化的物料配置模組，能夠有效求解以供規劃人員參考，是相當值得研究之議題。

1.3 研究目的與範圍

基於上述背景與動機，本研究將考量網路通訊製造業物料規劃的相關特性，利用基因演算法規劃 MPS 階段各品項需求物料的配置，在已知的物料相關資訊，如成本、現有庫存數量及需求數量等，求解出物料的配置方式，使整體物料配置後之收益最大。研究目的如下：

1. 歸納網路通訊設備製造業多階產品、多共用料的物料規劃模式的特性
2. 考量網路通訊設備製造業 Batch 型產品齊料之特性，提出物料配置之規劃方法，利用基因演算法求得最高收益以解決物料配置之問題

1.4 研究方法與步驟

本研究針對網路通訊設備製造業物料最大化之議題，考量共用料配置與齊料的特性，應用基因演算求解。首先，本研究將探討有關企業應用系統、物料規劃及基因演算法中有關物料規劃的相關文獻，以作為提出物料規劃演算法的依據；進而提出物料最大化之基因演算法，並透過範例說明演算法細部之流程與邏輯。最後，本研究所提物料規劃之基因演算法特與業界現行的規劃方式進行比較與效益分析。

1.5 論文架構

本研究共分為五章如圖 1.6 所示，第一章緒論說明研究背景、動機及目的，並概略說明研究方法。第二章文獻探討則針對企業應用系統、物料規劃及基因演算法的相關文獻進行蒐集與探討。第三章簡單說明網路通訊設備製造業現行規劃概念，接著針對所提出物料最大化之基因演算法說明，並以範例情境詳細介紹邏輯之演算過程。第四章透過與現行做法比較，評估演算法績效。第五章總結本研究所獲致的成果，並提出後續研究的建議。

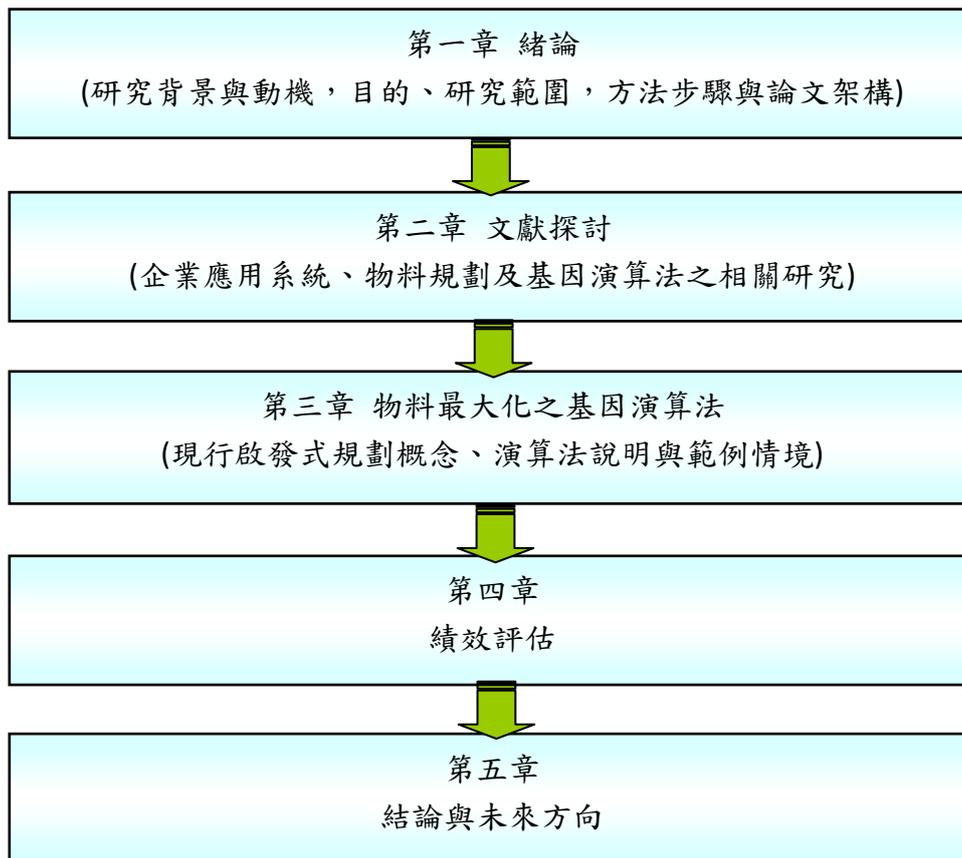


圖 1.6 論文架構圖

第二章 文獻探討

本章分別針對企業應用系統、物料規劃及基因演算法中有關物料規劃相關文獻等三方面進行探討。

2.1 企業應用系統

現行企業大多透過 ERP 及 MRP 系統，甚至使用 excel 以人為的方式進行物料規劃；蕭聖倫(2003)指出現在的企業資源規劃(Enterprise Resource Planning; ERP)系統針對企業整體資源規劃，大多沿用傳統物料需求規劃(Material Requirement Planning; MRP)邏輯，最早物料需求規劃起源於 Orlicky (1975) 所提出獨立需求與相依需求的概念。APICS(1989)對物料需求規劃的定義為：「物料需求規劃為使用物料清單、存貨狀態與主生產排程結果，計算出物料需求的技術」。整體而言，物料需求規劃乃以主生產排程為主要輸入，考慮物料清單(Bill of Material; BOM)、存貨狀態及產能情況，規劃出為完成某成品之主生產排程(Master Production Schedule; MPS)所需各零組件的預定生產排程或採購計畫。

物料需求規劃系統是一種利用電腦來處理物料的訂購與生產排程系統。據 Johnson D.與 Labarre (1991)的研究報告指出有 85%以上的企業皆使用物料需求規劃作為企業生產計畫與管制的工具。Spencer 與 Cox (1995)也發現大部份企業在生產製造之計畫方法常運用及時性生產系統(Just in Time; JIT)、限制理論(Theory of Constraints; TOC)等概念，但 Lamouri 與 Thomas (2000)在研究中也提到，公司內部的應用資訊系統均以物料需求規劃之概念為設計基礎。

Luscombe(1993)提到，由於沒有替代的物料需求規劃方法，故 30 多年來 MRP 系統一直是受製造業所採用；Ho 與 Lau (1994)及 Nakagiri 與 Kuriyama (1996)皆指出 MRP 仍是現今生產計畫與管制的主要方法。

MRP 系統局部性的物料規劃決策，使得整體規劃結果評估不易，王立志(2006)也歸納出傳統的生產規劃與排程系統的缺點如下：

1. 循序式規劃方式
2. 排程邏輯上的問題
3. 獨立進行需求規劃與供給規劃

4. 系統無法有效整合
5. 批次式規劃
6. 單點規劃範圍
7. 無法作為良好的決策支援工具

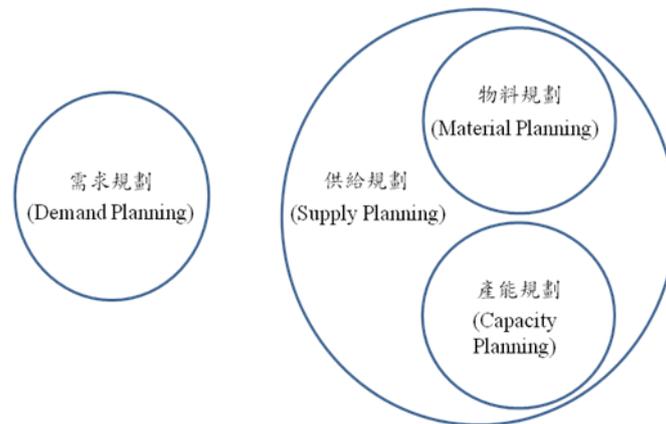


圖 2.1 獨立進行需求規劃與供給規劃

其中排程的邏輯假定產能無限，加上供給規劃(包括物料與產能)與需求規劃都是獨立進行，如圖 2.1，造成需求與供給之間的特性與限制無法同時考慮；Anastasia 等人(2004)也指出大多數的規劃人員都使用固定的前置時間及 MRP 的邏輯作為協調的依據，使得企業無法透過 ERP、MRP 系統或人為的方式滿足規劃上的需求。

Musselman(2002)提到，可以透過模擬的方式來改善 MRP 系統的不足，但缺點是必須維護完整的資料及流程上的限制，才能產生較好的規劃結果。然而，在現實環境中因為不同的產業別，會有其產品結構與生產製程特性，現有的 ERP 系統或 MRP 系統在設計上除了無法考量不同的產業特性外，規劃人員也難以維護大量的資料，當資料發生變更時，又必須花費大量的時間重新維護及規劃。

綜合上述，企業雖然透過各式各樣的企業應用系統來管理及規劃，卻因系統本身的設計與邏輯並無法滿足各種產業的特殊需求，如產品結構、製程特性及流程安排等，造成規劃上的困難。

2.2 物料規劃相關研究

由於企業應用系統在生產及物料規劃的邏輯皆是以 MRP 理論為基礎，無法考量產業的各種需求；本研究的對象為網路通訊設備製造業，有

其特殊的產品結構及規劃齊料的方式，若採用傳統 MRP 的邏輯，根據物料清單(Bill of material, BOM)由上到下(Top-Down)的計算原物料需求時，在規劃時無法同步考量共用料配置與齊料的因素。本小節將探討近年來與物料規劃相關的文獻。

Euwe 與 Wortmann (1997)指出大部分的物料規劃依照 MRP 為基礎的邏輯執行，主要的缺點包含規劃批量、產品結構、產能限制與替代計劃上缺乏彈性，導致 MRP 在應用時的困境，因此許多學者針對 MRP 所缺乏的彈性進行研究與改善。

許多學者在不考慮產能限制的條件下探討有關 MRP 的相關議題，例如 Anders(1995)考量 MRP 的規劃缺少自動追溯時間的能力(automatic time-phasing)，對於單據需要異動的調整能力較差，因此提出覆蓋時間規劃(Cover-Time Planning; CTP)方法，考量以下幾點：主生產排程(master production schedule; MPS)、預期的覆蓋時間、是否要釋放訂單至現場、訂單重新排序及有無看板的影響，主要求解物料需求率及供給時間因素。Dellaert 等人(2000)針對 MRP 系統中多階批量(multilevel lot-sizing; MLLS)的生產規劃問題，在不考慮產能限制，並考慮一般性的產品結構，利用啟發式演算法求得各期間內應生產各品項的數量及最小成本。Lyu & Lee (2001)利用平行式演算法(parallel algorithm)解決動態批量問題(dynamic lot-sizing)解決 MRP 系統對於生產結構過於複雜，計算成本必須花費大量時間，在不考量產品結構與產能限制下，如何動態調整週期內的生產批量，以求得最小存貨成本與整備成本。Dellaert 與 Jeunet(2003)針對 MRP 系統中多階批量(multilevel lot-sizing; MLLS)的生產規劃問題，在不考慮產能限制及變動的時間成本下，求解規模可達 500 各組成品項，利用基因演算法求解期間內應生產各品項的數量及最小成本。J. C. Ho 等人(2007)針對單一階層(single-level)的 MRP 系統庫存因品質損耗對於批量(lot-sizing)的影響，提出一啟發式演算法，不考慮產能及成品缺貨，探討庫存耗損的狀況下各期間規劃的批量大小，目標是最小化整體成本。另外，MRP 邏輯可用來展開及追溯已知前製時間及有限的批量大小的製令及採購令，卻無法以整體的角度計算製令以及採購令所需物料最佳化數量，因此 Mehmet(2006)提出一側約束流網絡(Flow Network with Side Constraints; FNCS)方法，考量週期、產品結構與存貨等相關資訊，透過線性規劃找出最小成本下應生產與

採購的數量；但其線性規劃模式限定產品階層數為三階，產品數量擴大時也會影響到求解的效率。Han 等人(2009)針對 MRP 系統中多階批量(multilevel lot-sizing; MLLS)的生產規劃問題，在不考慮產能限制及產品結構下，提出一粒子群最佳化演算法(Particle Swarm Optimization; PSO)，一次針對單一成品(finish good)進行規劃，目標是最小化在規劃期間內的整備成本與庫存持有成本。

也有部分學者加入了產能限制，來達到更完整的物料規劃，如 Suerie 與 Stadtler(2003)利用混整數規劃，(multi-item Capacitated Lot-Sizing Problem; CLSP)，考慮多品項、有限產能、原物料供給無限的連批生產，希望最小化庫存成本與整備成本。Akrami 等人(2006)提出了一混整數之非線性規劃模型求解彈性式生產流程下經濟批量與排程(economic lot-sizng and scheduling)的問題，由於問題過於複雜，因此該利用基因演算法與禁忌搜尋法(tabu search algorithm)求解相同的問題，在考量產能限制、多階層製程、多品項的條件下，規劃出最小化庫存成本與整備成本。Kämpf 與 Köchel(2006)考慮多產品產能隨機的批量問題(multi-item Capacitated Stochastic Lot-Sizing Problem; CSLSP)，考慮單一階層(single-level)成品面對不確定性的需求、原物料供給無限、產能有限及有存貨政策的情況下，透過模擬，找出各期間應生產的數量及剩餘的存貨，使規劃成本最小。Song(2006)以訂單式生產(Make-to-Order; MTO)的環境下為探討對象，此研究目標主要找出最佳原物料釋放至現場的時間使總成本為最小化，總成本包含在製品(Work-in-Progress; WIP)持有成本，產品過早完成成本和產品延遲成本。考量資源有限、產能有限、產品結構為多階及製程加工時間為隨機的眾多因素，Song 使用基因演算法將各階製程時間隨機化，於總成本最小化的限制下，找尋釋放物料至現場的最佳時間。Moreno 與 Montagna (2009)以批次生產的環境下為探討對象，考量多工廠、多製程、多產品、時間、製程時間、批次次數以及物料平衡因素(某產品在各製程所需存放的物料數量)的眾多因素，制定一個混合整數線性規劃模型，可得到最大收益的全體最佳化與合理的製造批量及物料採購數量。

少數學者則探討有關採購規劃相關的特殊議題，例如 James(2009)以 TFT-LCD 產業為例，因 TFT-LCD 產業物料規劃繁複，對於不同供應商採購時的購買比例及物料該如何分配給訂單，故 James et al.提出單期關鍵料

規劃模型(Single-period critical material planning; SPCMP)及多期關鍵料規劃模型(Multi-period critical material planning; MPCMP)並應用替代物料清單(alternative bill of material; ABOM)的觀念，利用線性規劃找出對於不同供應商購買原物料的購買比例最佳化及顧客偏好因素。

Gao-Ji Sun(2010)考慮現今市場為原物料單位價格與供應量不確定的環境，故制定一個兩階化模糊物料購買規劃(material procurement planning; MPP)，將市場的材料單位價格和供應量假定為模糊變量的分配與已知的可能性，考量產品結構下求解物料購買總成本小於某一允許投資水準。

綜合上述，本研究將近年來學者研究有關物料規劃的議題、研究方法與考量因素彙整於表 2.1。由表可知，大部份的物料規劃研究關注在未來應如何規劃，如何考量批量、庫存耗損、產能、需求變動、採購不確定性等種種因素下，希望達到最小化的整備成本、庫存整本、生產成本與採購成本，且通常假設不允許缺貨；少數的研究加入一般性產品結構、製程單階或多階等因素，透過由上而下的規劃各週期生產批量，然而卻少有研究針對物料及資源有限的情況下，當現階段的需求無法被完全滿足時，如何規劃及配置資源，使整體規劃收益能更佳。

表 2.1 物料規劃相關文獻整理

作者	年份	問題	方法	產能	產品結構	存貨	單產品	多產品	成品缺貨	規劃方式 由上到下	規劃方式 由下到上
Dellaert et al.	2000	Lot size problem	Genetic algorithm		V	V		V		V	
Lyu & Lee	2001	Dynamic Lot size problem	Parallel algorithm			V		V		V	
Dellaert & Jeunet	2003	Lot size problem	heuristics		V	V				V	
Suerie & Stadtler	2003	Lot size problem	Mixed integer programming	V	V			V	V	V	
Akrami et al.	2006	economic lot-sizing and scheduling	Genetic algorithm & Tabu search algorithm	V		V		V		V	
Mehmet	2006	Purchase Lot size	Linear programming		V	V		V		V	
Kämpf & Köchel	2006	Lot size problem	Simulation optimizations	V	V			V		V	
J. C. Ho et al.	2007	Lot size problem	heuristics			V	V			V	
Han et al.	2009	Lot size problem	Genetic algorithm		V		V			V	
Moreno & Montagna	2009	Lot size problem	Mixed integer programming	V	V			V		V	
James et al.	2009	Purchase Lot size	Linear programming	V	V			V		V	
Gao-Ji et al.	2010	Purchase Lot size	Two-stage fuzzy MPP model		V		V			V	
本研究	2010	material allocation planning	Genetic algorithm		V	V		V	V		V

2.3 基因演算法

由上一小節可知，大多數的研究利用基因演算法進行物料規劃與生產規劃，Mula 等人(2006)針對不確定性生產規劃的 review 中提到，當生產規劃的特性與限制增加後，使用如基因演算法、模糊理論或模擬可以得到較好的結果。由於網路通訊設備製造業的物料規劃用料繁多，加上物料規劃共用料配置及齊料的邏輯，本研究希望藉由基因演算法來解決物料最大化之議題。

基因演算法有下列優點：

1. 產生可解釋的結果
2. 結果易於應用
3. 可以處理的資料型範圍極大
4. 可以用在最適化 (optimization) 問題上

基因演算法主要運用三種基本運算來模仿自然界的生物演化過程，包括天擇(Selection)、交配(Crossover)、突變(Mutation)及停止條件(Stopping criterion)，主要的流程如圖 2.2，而在進行這些運算時，必須先決定編碼(Encoding)與適應函數，各步驟分別簡述如下：

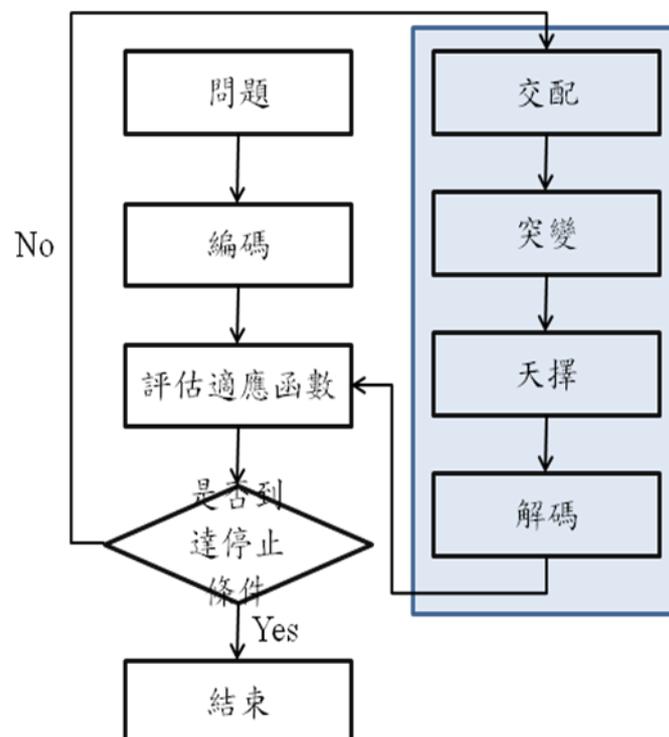


圖 2.2 基因演算法流程圖

1. 編碼(Encoding)

使用基因演算法時，因考量的問題、特性、限制上的不同，會有不同型式的編碼原則，一般而言分為二進位編碼、實數編碼及符號編碼，一個染色體會具有多個基因，而基因的數目就代表欲求解問題的參數數目。

2. 適應函數(Fitness function)

染色體解碼後代入適應函數即可求得適應值，適應函數主要用以評估每個染色體的優劣，並指出族群演化的發展方向，通常適應函數為問題最佳化的目標函數，但有時目標函數需經過正規化處理。

3. 交配(Crossover)

基因演算法中，藉由母代染色體間的基因互換，母代染色體會隨機的配對，互換基。藉由這種方式，染色體間可互換資訊，以使得子代染色體能有最佳的適合度函數值。交配的方式分為單點交配、兩點交配、多點交配及均一交配。

4. 突變(Mutation)

基因演算法中，交配後產生的子代有一定的機率發生突變，個體間的變異性，使求解更有機會跳脫局部的求解範圍。突變的方式分為單點突變、區間內突變，區間內突變又分為反置(Inversion)突變及取代(Displacement)突變。

5. 天擇(Selection)

天擇運算子隨機從母代族群中挑選染色體，以繁衍子代。染色體被選中的機率與其適合度函數值成比例。適合度函數值越高，其被選擇的機率就會越高；反之，則被選擇的機率越低。選擇機制係模擬自然界適者生存的機制。

6. 解碼(Decoding)

天擇後針對所得到的染色體進行解碼，通常經特殊編碼的問題都必須經過解碼的過程才能計算適應函數，通常解碼的過程會根據不同的問題由研究人員自行設計。

7. 停止條件(Stop criterion)

一般常見的停止條件可透過設定演化的世代數、電腦運算演化時間或

在連續演化多個世代後，最佳化的目標函數直接相同或增加率未超過一定的百分比。

上述介紹了基因演算法的基本定義與概念，由於基因演算法為一近似最佳化求解工具，特別適合於有效解答空間很大、非線性、甚至無法確定可解的問題，是傳統決定性最佳化(Deterministic Optimization)或貪婪法則(Greedy Heuristics)無法做到的。

本研究主要參考 Syarif、Yun 與 Gen 三位學者(2002)提出針對多階運籌(multi stage logistic)規劃以延展樹為基礎之基因演算法概念，該研究中，使用二元變數(binary variable)加上 puffer number 來表達多階層之間運籌路徑。

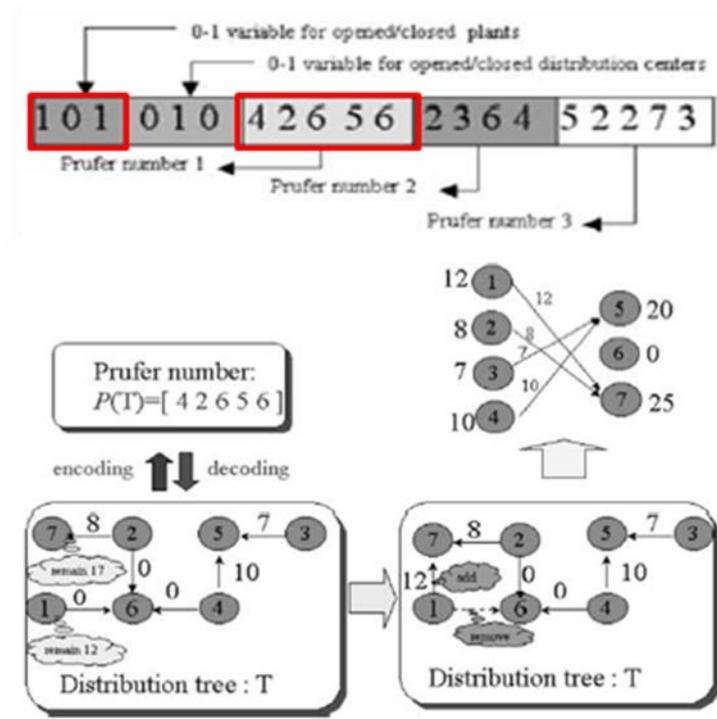


圖 2.3 延展樹為基礎編碼與解碼示意圖(Syarif et al., 2002)

如圖 2.3，上方的染色體由二元變數表是表示各階層開啟的廠區，puffer number 表示樹狀各階層的運籌路徑結構，透過其編碼與解碼的程序，求解出染色體所代表的運籌計畫。

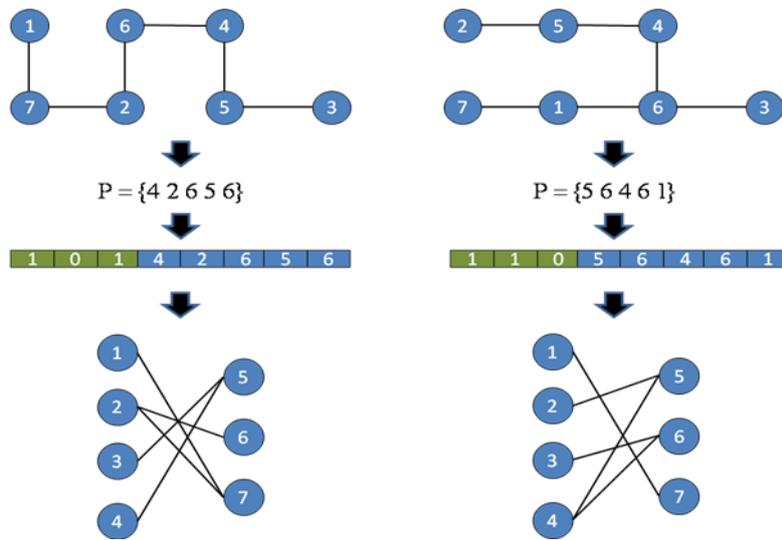


圖 2.4 不同 puffer number 代表結構示意圖

因此不同的 puffer number 代表規劃出來的方案及選擇路徑的不同，見圖 2.4，該研究中使用 puffer number 來解決替代路徑的方案選擇。

該研究基因演算法交配方式採用單點交配，是各階層及 puffer number 表式的基因片段內隨機尋找交配點，將兩個母代右邊的基因片段作交換，如圖 2.5；突變方式採用反置與移位的方式，如圖 2.6。

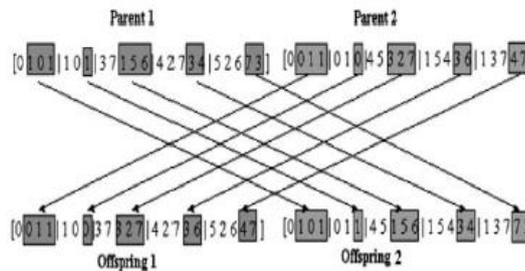


圖 2.5 交配方式示意圖(Syarif et al., 2002)

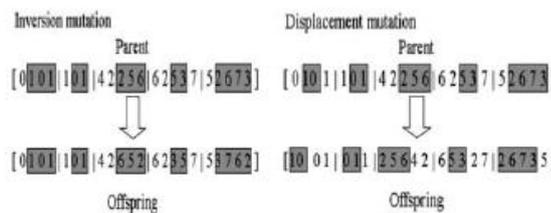


圖 2.6 突變方式示意圖(Syarif et al., 2002)

本研究應用 Syarif、Yun 與 Gen 三位學者(2002)使用二元變數於齊料概念的表示物料是否齊料，同時參考該研究基因演算法之作法及概念。由於

本研究著眼於網路通訊設備製造業之共用料配置的議題，主要解決產品結構上共用的關係，有別於該研究替代路徑的關係，故不採用 puffer number；此外，本研究所提出之基因演算的方式與該研究相似，但在交配與突變的過程中，加入了共用料概念表達與演化的限制，以便提出符合網路通訊設備製造業物料規劃特性之基因演算法。

第三章 物料最大化之基因演算法

本章節先詳述網路通訊設備製造業之生產與物料規劃特性，了解其問題之難處，進而說明本研究所提出物料最大化之基因演算法，在品項需求及庫存數量已知，考量多產品、多階層及多原物料共用的一般性產品結構，納入共用料配置與 Batch 型產品齊料的方式，以提供較佳的共用料配置方式與物料規劃結果。本章節主要內容與架構為：3.1 節網路通訊設備製造業生產與物料規劃特性說明，3.2 節現行啟發式規劃概念說明，3.3 節齊料優先之物料配置模組，3.4 節物料最大化之基因演算法。

3.1 網路通訊設備製造業生產與物料規劃特性說明

3.1.1 網路通訊設備製造業生產特性

整體而言，網路通訊設備製造業的生產製程與大多數電子組裝業的製程相似，分別有表面黏著技術(SMT)、插件、溫升測試(Burn-in)和包裝，大部份的製程加工時間都很短。由於網路通訊設備製造業的產線平衡較為複雜，因此生管人員在進行規劃時，會儘量避免已完成的產線平衡有所異動；另外，規劃的同時，儘量以製程能連續，避免因缺料造成停工，將產品分為 Batch 型與連批型，以下將針對兩種類型產品的生產特型進行說明。

如圖 3.1，在 Batch 型產品的生產過程中，插件、溫升測試與包裝須要連續加工，因此在主版 C1 插件的製程開工前必須將所需物料備齊，包含主版 SMT 製程完工的半成品 D1、副版 C1、C2 及原物料都必須備齊。換言之，主版半成品 D1、副版及副版半成品齊料可先開工，而 D1 及副版完工主版才可以開工。

3.1.2 網路通訊設備製造業物料規劃特性



圖 3.3 印刷電路板及內鑲元件

從上述可得知，由於網路通訊設備製造業製程時間很短，規劃時如何利用現有的物料庫存及資源進行生產，使生產過程順暢，齊料配置的需求對於網路通訊設備製造業相當重要。大部分的網路通訊產品都有印刷電路板及相關元件，如圖 3.3，由於產品種類及規格多樣化，使用共用料比例高，即不同規格的產品可能使用相同的原物料，如電容器、晶片及印刷電路板等。

以物料清單(Bill Of Material; BOM)的角度來說明物料齊料對於製程開工的影響，以圖 3.4 為例，Batch 型產品的物料規劃不需等待產品結構中所有物料全部到齊才開始做，半成品不論是 C 或 D 都是齊料即可開工。

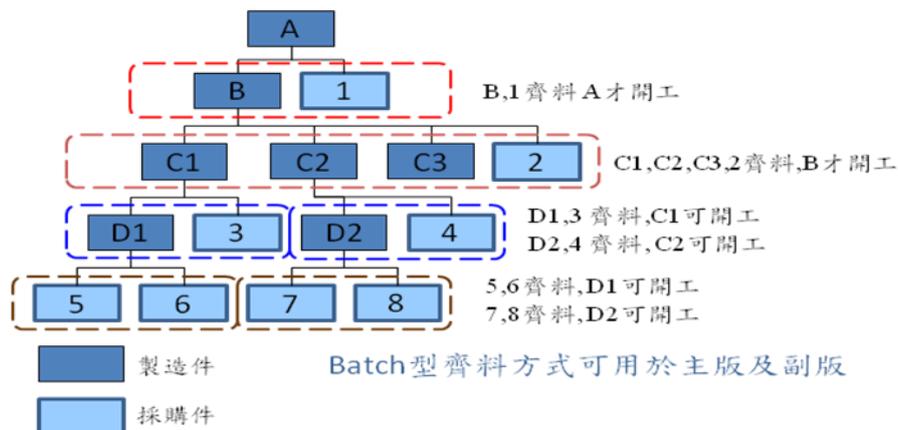


圖 3.4 Batch 型產品的齊料與開工關係示意圖

而從圖 3.5 可看出，連批型產品中 Batch 齊料的方式僅限於副版 C2 及

C3，意謂副版及副版半成品齊料即可開工；而主版必須等所有原物料及副版都齊料才可以開工。

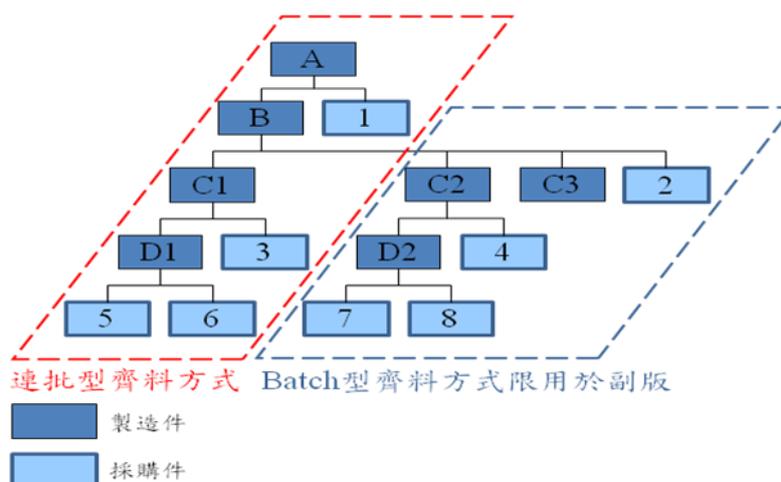


圖 3.5 連批型產品的齊料與開工關係示意圖

綜合前述兩小節可得知，網路通訊設備製造業的生產特性十分複雜，必須考量齊料的限制，其中共用料配置又對齊料具有關鍵性的影響，對網路通訊設備製造業的規劃人員而言，如何配置共用料使整體物料規劃的收益能最大化，便成為規劃時的重要目標及挑戰。

3.2 企業現行啟發式規劃概念說明

本小節說明網路通訊設備製造業現行針對主生產排程 (Master Production Planning) 的規劃方式，為了達到『物料最大化』，規劃人員在規劃 MPS 時，不論是透過 ERP、先進規劃排程 (Advanced Planning and Scheduling) 系統，或者透過人為規劃等，都是使用以優先權為基礎 (priority-based) 的啟發式規劃方法進行規劃，以各產品的期望收益設定共用料配置的優先順序，其物料規劃流程如圖 3.6 所示，大致上分為排定需求優先權、物料配置與單據規劃三個步驟：

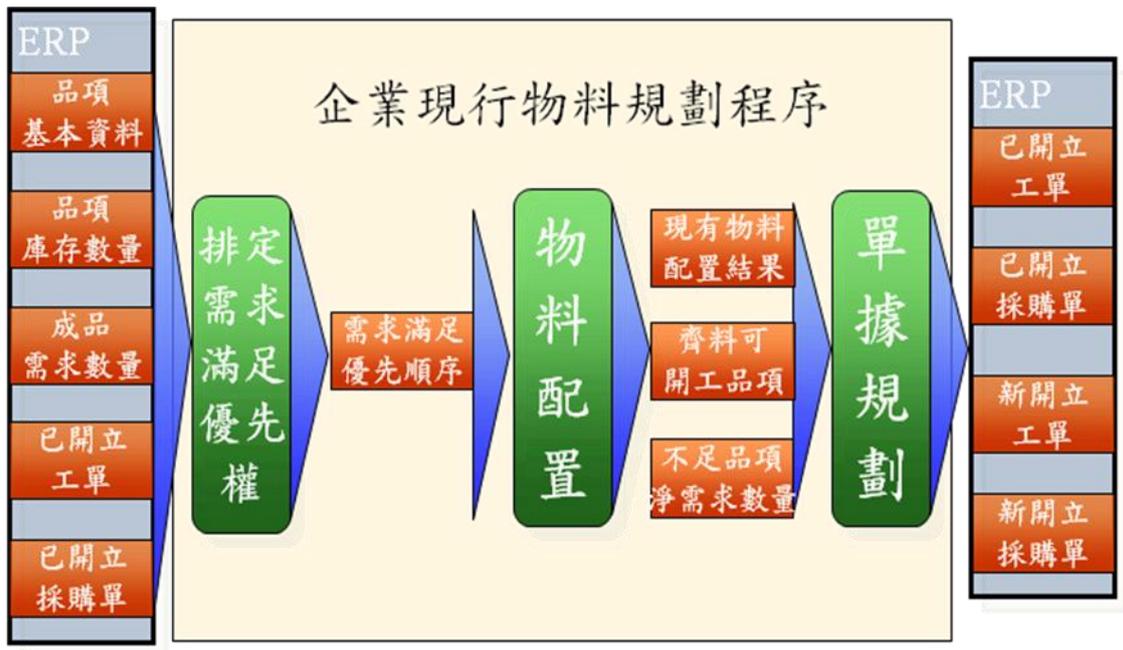


圖 3.6 物料規劃流程示意圖

在網路通訊設備製造業的物料規劃流程中，會先將 ERP 中的品項基本資料(ex：品項、BOM 表等)、品項庫存數量、成品的需求數量、已開立單據等，作為計算齊料配置的已知資訊。接著透過 priority-based 啟發式規劃(見圖 3.7)來決定如何在現有庫存數量下，排定滿足需求的優先順序。



圖 3.7 priority-based 啟發式規劃示意圖

由圖 3.7 中可知，規劃人員得到滿足需求的優先順序後，會逐筆依照優先順序計算各品項所需用料的配置數量。由於關鍵物料的前置時間較長，因此針對當次規劃時現有的庫存數量進行齊料配置的規劃。規劃時考量齊料原則『半成品齊料可先配置』，希望透過這樣的方式達到物料最大化

之目的與減少產能規劃時的不便。齊料配置完成後，產生現有物料配置的齊料結果、齊料可開工品項等資訊，經過單據規劃，考量品項生產及採購的前置時間，產生單據，並計算單據的預計開工及完工時間。

然而在緒論時提到，大部分的網路通訊產品都有印刷電路板及相關元件，由於產品種類及規格多樣化，使用共用料比例高，對物料規劃而言，共用料的配置對於產品之間的齊料狀況有極大的影響。例如，2.2 節小結提到，大多數的物料規劃或生產規劃的研究著重於由上而下(top-down)的方式，決定何時該生產多少數量的何種物料，期望規劃出在各時間週期，有足夠物料及產能來滿足需求；鮮少考慮產品缺貨成本，忽略了某些關鍵物料的採購前置時間較長，無法及時因應需求，在現有物料及資源有限的情況，如何以由下而上(bottom-up)的方式規劃物料配置配置及生產，有效利用現有資源的規劃概念。

有鑑於此，本研究在下一小節將說明提出物料最大化之基因演算法，在假設條件與已知條件下，考量在現有的物料庫存及齊料原則，如何針對現有物料進行配置，以達到物料最大化之目標。

3.3 齊料優先之物料配置模組

本小節將針對齊料優先之物料配置模組作詳細的說明，包含在先進物料規劃系統中的定位、齊料優先之物料配置模組的運作說明，最後說明本論文的研究範疇-齊料優先之物料配置模組的簡要模式。

3.3.1 齊料優先之物料配置模組在先進物料規劃系統的定位

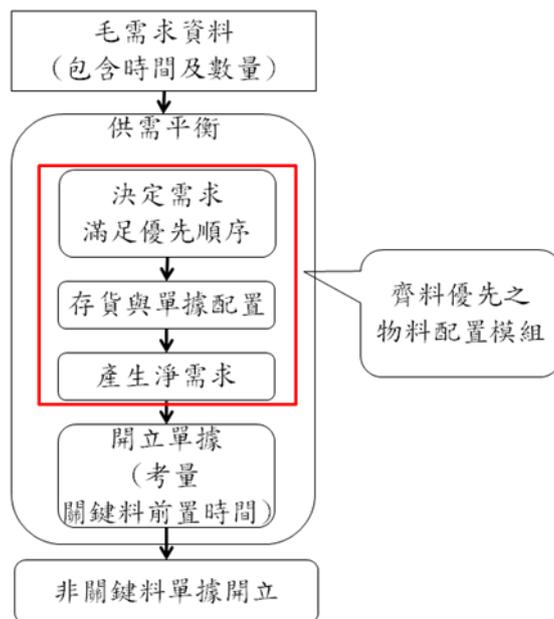


圖 3.8 先進物料規劃系統功能示意圖

一般而言，先進的物料規劃系統中包含兩個部份(見圖 3.8)：供需平衡及非關鍵料單據開立。其中，供需平衡包含決定需求優先順序、存貨與單據配置、產生淨需求、開立單據。在開立單據時需考量關鍵料的前置時間，以計算單據的開完工日期等。而本研究針所提出以齊料邏輯為基礎之物料配置規劃方法在先進物料規劃排程中主要扮演存貨與單據配置及產生淨需求資訊的角色。

3.3.2 齊料優先之物料配置模組運作說明

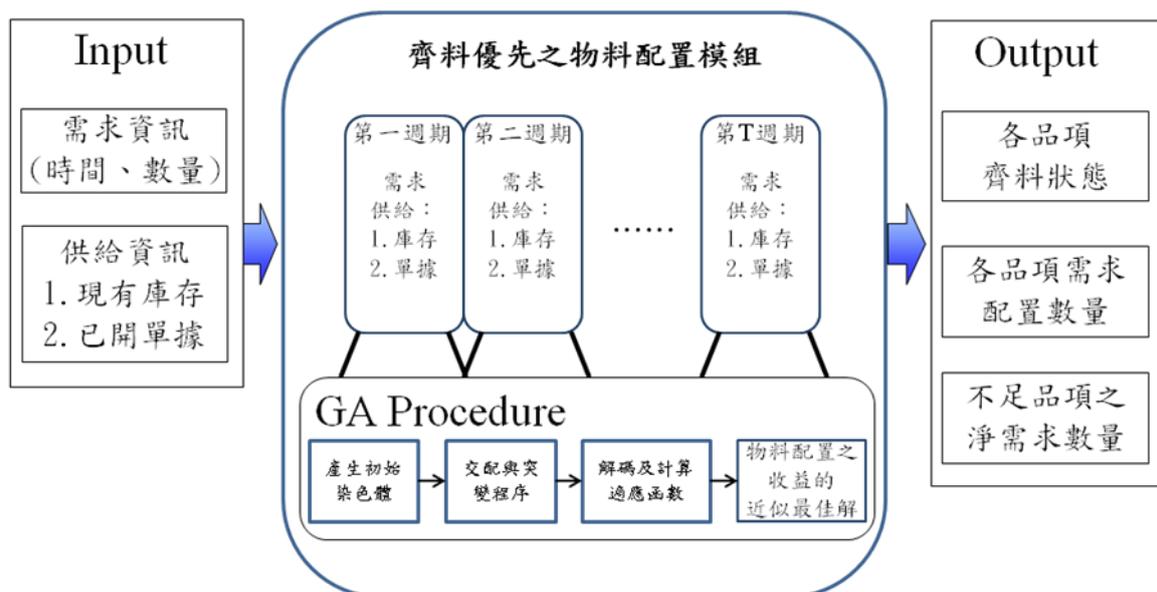


圖 3.9 齊料優先之物料配置模組運作示意圖

齊料優先之物料配置模組運作(見圖 3.9)時會先輸入需求與供給的資訊，需求部份包含需求品項、數量及時間；供給資訊包含現有庫存數量與已開立單據(工單及採購單)。

接著透過基因演算法的產生初始的染色體、交配與突變的程序及解碼並計算適應函數等，找出各週期下物料配置之收益的近似最佳解。最後，計算各品項的齊料狀態、需求配置的數量、不足品項的淨需求數量等資訊，作為先進物料規劃系統開立單據及計算開完工日的依據。

然而，齊料優先之物料配置模組在運作過程中，最為複雜的運算邏輯必須同時考量齊料與共用料配置。因此，本研究將針對此部份，提出一物料配置之方法。

3.3.3 齊料優先之物料配置模組簡要模式

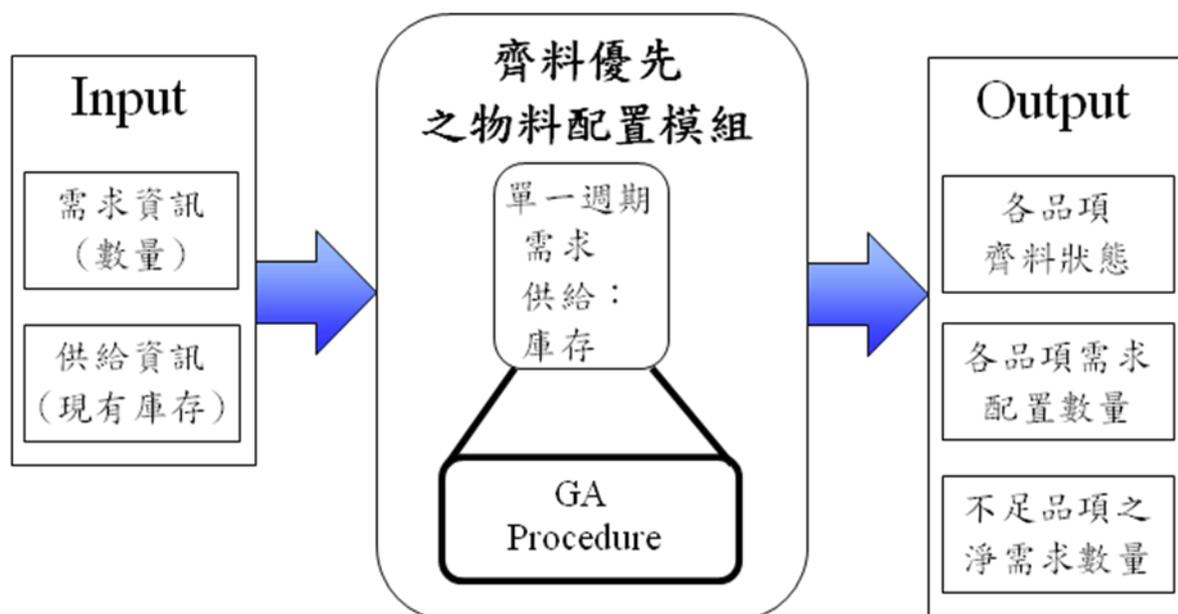


圖 3.10 齊料邏輯下之物料配置簡要模式示意圖

由於齊料優先之物料配置運算邏輯十分複雜，因此本研究簡化其模式(見圖 3.10)，針對單一週期內、單一供給來源(現有庫存)及各成品項在週期內為單一需求的物料配置問題，考慮齊料邏輯與多共用料配置進行求解。計算出各品項的齊料狀態、需求配置的數量、不足品項的淨需求數量等資訊，作為先進物料規劃系統開立單據及計算開完工日的依據。

以下將透過一範例說明，在單一週期下規劃的產出資訊，如何交由下一週期規劃使用。範例中規劃週期共兩期，假設有三種 Batch 型產品，產

品結構如圖 3.11。各週期需求如表 3.1。各品項期初庫存如表 3.2 及 3.3。各期新進採購品項如表 3.4。

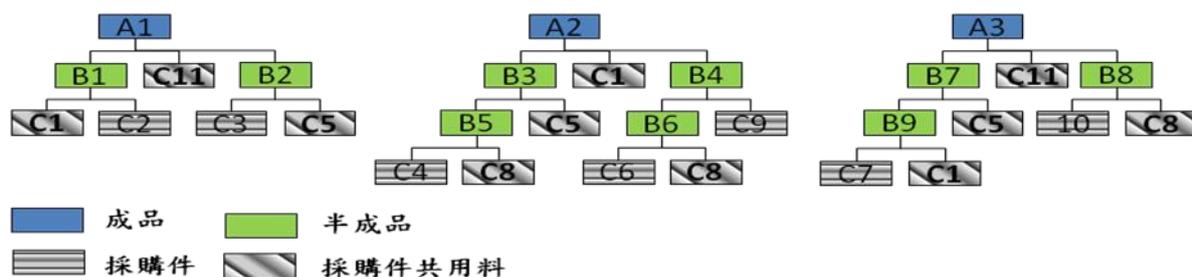


圖 3.11 範例產品結構示意圖

表 3.1 各週期成品需求數量

週期	品項	數量	售價	缺貨處罰成本
第一週期	A1	130	\$150	\$15
	A2	120	\$180	\$18
	A3	150	\$200	\$20
第二週期	A1	100	\$150	\$15
	A3	120	\$200	\$20

表 3.2 半成品期初庫存數量

半成品	現有庫存數量	單位庫存成本
B1	10	\$8
B2	10	\$5
B3	0	\$9
B4	20	\$8
B5	10	\$6
B6	20	\$6
B7	0	\$8
B8	10	\$5
B9	10	\$5

表 3.3 原物料期初庫存數量

採購件	現有庫存數量	單位採購成本
C1	260	\$2
C2	20	\$4

採購件	現有庫存數量	單位採購成本
C3	130	\$2
C4	120	\$3
C5	150	\$2
C6	80	\$3
C7	250	\$2
C8	260	\$5
C9	120	\$3
C10	250	\$3
C11	160	\$2

表 3.4 各期預計新進採購之品項

週期	品項	數量
第一週期	C2	120
	C5	130
第二週期	C2	100
	C1	220
	C5	250
	C8	190
	C11	250

首先針對第一週期的需求進行現有可用物料配置，透過基因演算法的搜尋後，得到配置後各品項齊料狀態如圖 3.12。粗體字表示齊料可開工生產，斜體字表示缺料無法生產；而配置結果如表 3.5、3.6 及 3.7。

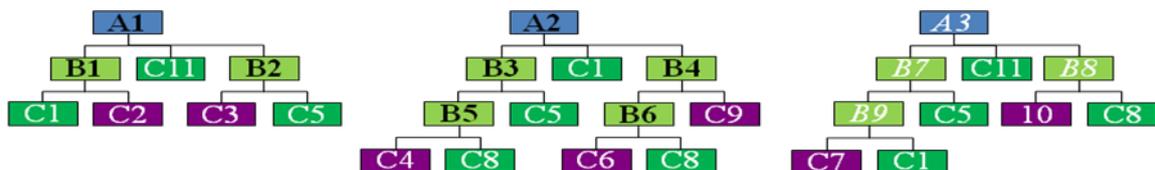


圖 3.12 第一期需求經配置後齊料狀態示意圖

表 3.5 第一期成品收益相關資訊

產品	需求數量	缺貨單位成本	缺貨數量	售價	利潤	缺貨成本
A1	130	\$15	0	\$150	\$19500	\$0
A2	120	\$18	0	\$180	\$21600	\$0
A3	150	\$20	150	\$200	\$0	\$3000

表 3.6 第一期半成品剩餘庫存資訊

半成品	剩於庫存數量	庫存單位成本	庫存成本
B1	0	\$8	\$0
B2	0	\$5	\$0
B3	0	\$9	\$0
B4	0	\$8	\$0
B5	0	\$6	\$0
B6	0	\$6	\$0
B7	0	\$8	\$0
B8	10	\$5	\$50
B9	10	\$5	\$50

表 3.7 第一期原物料剩餘庫存資訊

採購件	庫存單位成本	剩餘庫存數量	庫存成本	不足應採購數量
C1	\$2	20	\$40	120
C2	\$4	20	\$80	0
C3	\$2	10	\$20	0
C4	\$3	10	\$30	0
C5	\$2	40	\$80	110
C6	\$3	0	\$240	0
C7	\$2	250	\$500	0
C8	\$5	70	\$350	70
C9	\$3	20	\$60	0
C10	\$3	250	\$750	0
C11	\$2	30	\$60	120

配置後第一期無法滿足之品項必須納入第二期的需求一起計算，各品項剩餘庫存數量當成第二週期的期初可用庫存，並將第二週期可使用之採購品項納入可供給數量，再透過基因演算法進行第二週期的物料配置(見圖 3.13)。

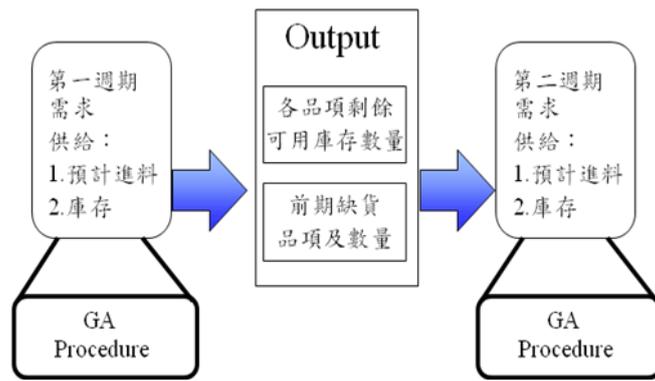


圖 3.13 週期間規劃後產出資訊示意圖

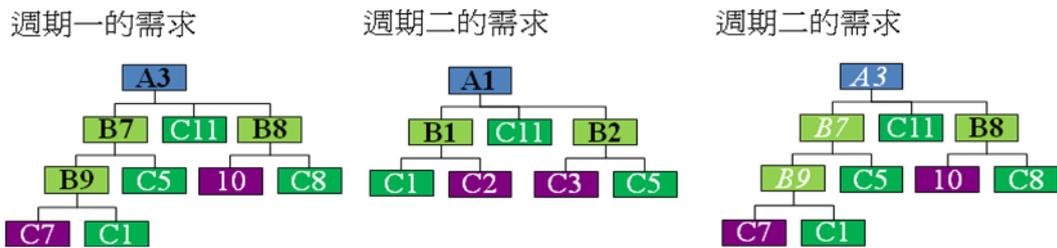


圖 3.14 第二期需求經配置後齊料狀態示意圖

承接第一週期規劃後的資訊(剩餘庫存及未滿足品項)，配置後需求齊料狀態如圖 3.14，粗體字的部份表示齊料可開工；斜體字的部份表示缺料無法開工。從圖可以看出，第一期無法滿足成品 A3 的需求，在第二期因有可用的採購物料可齊料滿足需求。而第二週期的需求由於數量有限，只有成品 A1 可以滿足，成品 A3 的部分只能先完成半成品 B8 的部分。

經過上述配置後，得到各週期齊料之品項及不足品項之淨需求數量等資訊，各週期齊料可立即進行生產的數量(見表 3.8)。先進物料規劃系統便會針對齊料及不齊料的品項，經過時間推移得到各工單的預計開工及預計完工之時間。

表 3.8 規劃後各期預計齊料可生產之品項

品項	齊料時間	預計生產數量	品項	齊料時間	預計生產數量
A1	第一週期	130	A3	第二週期	150
B1	第一週期	120	B7	第二週期	150
B2	第一週期	120	B8	第二週期	140
A2	第一週期	120	B9	第二週期	140
B3	第一週期	120	A1	第二週期	100
B4	第一週期	100	B1	第二週期	100
B5	第一週期	110	B2	第二週期	100
B6	第一週期	80			

3.4 物料最大化之基因演算法說明

3.4.1 假設條件

1. 品項組成比例皆為 1：1
2. 僅考慮 Batch 式產品結構的齊料方式
3. 半成品不共用
4. 考慮單一期間各成品項之 MPS 需求
5. 不考慮已開立單據(工單及採購單)
6. 不考慮品項替代關係

3.4.2 已知條件

1. 組成資訊
 - (1) 所有成品之物料清單(BOM)已知
 - (2) 原物料可配置給成品或半成品
2. 數量資訊
 - (1) 各成品需求數量已知
 - (2) 成品庫存數量為 0
 - (3) 各品項現有庫存數量已知
 - (4) 各品項間需求數量已知
3. 成本資訊
 - (1) 成品缺貨處罰成本已知
 - (2) 半成品單位庫存成本已知
 - (3) 原物料單位庫存成本已知
4. 收益資訊
 - (1) 成品單位售價已知

3.4.3 符號定義

1. 下標說明：

i : 成品種類	$i=1, 2, \dots, I$
j : 半成品種類	$j=1, 2, \dots$
k : 原物料種類	$k=1, 2, \dots$
g : 使用共用料品項的組別	$g=1, 2, \dots, G$

2. 參數說明：

(1) 品項組成參數：

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{半成品}j\text{為成品}i\text{之下階用料} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{原物料}k\text{為半成品}j\text{之下階用料} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Z_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{原物料}k\text{為成品}i\text{之下階用料} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$W_{jj'} = \begin{cases} 1, & \text{半成品}j'\text{為半成品}j\text{之下階用料} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

G_g^{FS} : 第 g 組使用共用料的品項集合

$G_g^{FS} = (i, i', \dots, i^{(m)}, j, j', \dots, j^{(p)})_k$: 第 g 組成品 i 與半成品 j 使用原物料 k 的集合

(2) 成本：

C_i^{FP} : 成品 i 缺貨的單位處罰成本

C_j^{SH} : 半成品 j 的單位庫存持有成本

C_k^{MP} : 原物料 k 的單位庫存成本

(3) 售價：

P_i^{FS} : 成品 i 的單位售價

(4) 數量

Q_i^{FD} : 成品 i 的需求數量

Q_j^{SD} : 半成品 j 的需求數量

Q_k^{MD} : 原物料 k 的需求數量

Q_j^{SI} : 半成品 j 的現有庫存數量

Q_k^{MI} : 原物料 k 的現有庫存數量

Q_{ij}^{FSD} : 成品 i 對半成品 j 的需求數量

Q_{ij}^{FSN} : 成品 i 對半成品 j 的淨需求數量

Q_{ik}^{FMD} : 成品 i 對原物料 k 的需求數量

Q_{ik}^{FMN} : 成品 i 對原物料 k 的淨需求數量

$Q_{jj'}^{SD}$: 半成品 j 對半成品 j' 的需求數量

$Q_{jj'}^{SN}$: 半成品 j 對半成品 j' 的淨需求數量

Q_{jk}^{SMD} : 半成品 j 對原物料 k 的需求數量

Q_{jk}^{SMN} : 半成品 j 對原物料 k 的淨需求數量

Q_{ik}^{MF} : 原物料 k 供給成品 i 的配置數量

Q_{jk}^{MS} : 原物料 k 供給半成品 j 的配置數量

$Q_{jj'}^{SS}$: 半成品 j' 供給半成品 j 的配置數量

Q_{ij}^{SF} : 半成品 j 供給成品 i 的配置數量

Q_j^S : 半成品 j 的完成數量

(5) 齊料變數 :

FM_{ij}^{SF} : 半成品 j 對成品 i 供給的齊料狀態

FM_{ik}^{MF} : 原物料 k 對成品 i 供給的齊料狀態

FM_{jk}^{MS} : 原物料 k 對半成品 j 供給的齊料狀態

$FM_{jj'}^{SS}$: 半成品 j' 對半成品 j 供給的齊料狀態

FM_k^M : 原物料 k 需求的齊料狀態

FM_j^S : 半成品 j 需求的齊料狀態

FM_i^F : 成品 i 需求的齊料狀態

3. 決策變數說明：

Q_i^F : 成品 i 的完成數量

Q_i^{SHF} : 成品 i 的缺貨數量

Q_j^{RS} : 半成品 j 的剩餘庫存數量

Q_k^{RM} : 原物料 k 的剩餘庫存數量

3.4.4 目標函數

總收益

$$Z = \sum_i^I P_i^{FS} Q_i^F - \left(\sum_i^I C_i^{FP} Q_i^{SHF} + \sum_j^J C_j^{SH} Q_j^{RS} + \sum_k^K C_k^{MP} Q_k^{RM} \right) \quad (1)$$

公式(1)代表齊料成品之期望收益減去總成本，總成本則包含缺貨成品處罰成本、剩餘半成品庫存成本及剩餘原物料庫存成本三個部份。

3.4.5 物料最大化之基因演算法限制

網路通訊設備製造業在物料規劃時中有許多限制，而物料最大化之基因演算法所需考量的限制式如下所示：

1. 庫存數量平衡及供需平衡

(1) 成品 i 的需求數量 = 成品 i 完成數量 + 成品 i 缺貨數量

$$Q_i^{FD} = FM_i^F Q_i^F + (1 - FM_i^F) Q_i^{SHF} \quad \forall i \quad (2)$$

(2) 原物料 k 的剩餘庫存數量 = 原物料 k 現有庫存數量 - (原物料 k 配置給

半成品 j 的數量+原物料 k 配置給成品 i 的數量)

$$Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - \left(\sum_i Z_{ik} Q_{ik}^{MF} + \sum_j Y_{jk} Q_{jk}^{MS} \right) \quad \forall k \quad (3)$$

(3) 半成品 j 的剩餘庫存數量=半成品 j 現有庫存數量+半成品 j 完成數量-半成品 j 配置給成品 i 的數量或-半成品 j 配置給上階半成品 j' 的數量

$$Q_j^{RS} = Q_j^{SI} + Q_j^S - X_{ij} Q_{ij}^{SF} - W_{j'j} Q_{j'j}^{SS} \quad \forall j \neq j' \quad (4)$$

2. 展算需求限制

(1) 成品 i 的需求數量=成品 i 對半成品 j 的需求數量

$$Q_i^{FD} = X_{ij} Q_{ij}^{FSD} \quad \forall i \quad (5)$$

(2) 成品 i 對半成品 j 的淨需求數量：若成品 i 對半成品 j 的需求數量大於半成品 j 現有庫存數量，則為式(7)，反之為 0。

$$Q_{ij}^{FSN} = \begin{cases} Q_{ij}^{FSD} - Q_j^{SI} & \text{if } Q_{ij}^{FSD} - Q_j^{SI} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall X_{ij} = 1 \quad (6)$$

(3) 成品 i 的需求數量=成品 i 對原物料 k 的需求數量

$$Q_i^{FD} = Z_{ik} Q_{ik}^{FMD} \quad \forall i \quad (7)$$

(4) 成品 i 對非共用料 k 的淨需求數量：若成品 i 對非共用料 k 的需求數量大於非共用料 k 現有庫存數量，則為式(10)，反之為 0。

$$Q_{ik}^{FMN} = \begin{cases} Q_{ik}^{FMD} - Q_k^{MI} & \text{if } Q_{ik}^{FMD} - Q_k^{MI} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall Z_{ik} = 1 \quad (8)$$

(5) 半成品 j 對半成品 j' 的需求數量=成品 i 對半成品 j 的淨需求數量或上階半成品 j'' 對半成品 j 的淨需求數量

$$Q_{jj'}^{SD} = X_{ij} Q_{ij}^{FSN} + W_{j''j} Q_{j''j}^{SN} \quad \forall j \neq j', j \neq j'' \quad (9)$$

(6) 半成品 j 對半成品 j' 的淨需求數量：半成品 j 對半成品 j' 的需求數量大於半成品 j' 的現有庫存數量，則為式(11)，反之為 0。

$$Q_{jj'}^{SN} = \begin{cases} Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI} & \text{if } Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall W_{jj'} = 1 \quad (10)$$

(7) 半成品 j' 對原物料 k 的需求數量 = 成品 i 對半成品 j' 的淨需求數量或上階半成品 j 對半成品 j' 的淨需求數量

$$Q_{j'k}^{SMD} = X_{ij'} Q_{ij'}^{FSN} + W_{jj'} Q_{jj'}^{SN} \quad \forall Y_{j'k} = 1, j \neq j' \quad (11)$$

(8) 半成品 j 對非共用料 k 的淨需求數量：若半成品 j 對非共用料 k 的需求數量大於非共用料 k 現有庫存數量，則為式(13)，反之為 0。

$$Q_{jk}^{SMN} = \begin{cases} Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI} & \text{if } Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall Y_{jk} = 1 \quad (12)$$

3. 供給上限

(1) 原物料 k 的現有庫存數量 \geq 配置給成品 i 的數量 + 配置給半成品 j 的數量

$$Q_k^{MI} \geq \sum_i Z_{ik} Q_{ik}^{MF} + \sum_j Y_{jk} Q_{jk}^{MS} \quad \forall k \quad (13)$$

(2) 半成品 j' 現有庫存數量 + 半成品 j' 完成數量 \geq 半成品 j' 配置給成品 i 的數量或半成品 j' 配置給半成品 j 的數量

$$Q_{j'}^{SI} + FM_{j'}^S Q_{j'}^S \geq X_{ij'} Q_{ij'}^{SF} + W_{jj'} Q_{jj'}^{SS} \quad \forall j \neq j' \quad (14)$$

4. 配置數量計算

(1) 若原物料 k 有配置給成品 i ，則原物料 k 配置給成品 i 的數量 = 成品 i 對原物料 k 的需求數量，反之為 0。

$$Q_{ik}^{MF} = \begin{cases} Q_{ik}^{FMD} & \text{if } FM_{ik}^{MF} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall Z_{ik} = 1 \quad (15)$$

(2) 若原物料 k 有配置給半成品 j ，則原物料 k 配置給半成品 j 的數量 = 半成品 j 對原物料 k 的需求數量，反之為 0。

$$Q_{jk}^{MS} = \begin{cases} Q_{jk}^{SMD} & \text{if } FM_{jk}^{MS} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall Y_{jk} = 1 \quad (16)$$

(3) 若半成品 j 有配置給成品 i ，則半成品 j 配置給成品 i 的數量 = 成品 i

對半成品 j 的需求數量，反之為 0。

$$Q_{ij}^{SF} = \begin{cases} Q_{ij}^{FSD} & \text{if } FM_{jk}^{MS} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall X_{ij} = 1 \quad (17)$$

(4) 若半成品 j' 有配置給半成品 j ，則半成品 j' 配置給半成品 j 的數量 = 半成品 j 對半成品 j' 的需求數量，反之為 0。

$$Q_{jj'}^{SS} = \begin{cases} Q_{jj'}^{SD} & \text{if } FM_{jj'}^{SS} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall W_{jj'} = 1 \quad (18)$$

5. 齊料判斷限制

(1) 成品 i 齊料 = 成品 i 所需原物料 k 齊料且成品 i 所需半成品 j 齊料

$$FM_i^F = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_{ik} FM_{ik}^{MF} X_{ij} FM_{ij}^{SF} = 1 \quad \forall i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

(2) 半成品 j 齊料

= 半成品 j 所需原物料 k 齊料且半成品 j 所需半成品 j' 齊料 或

= 半成品 j 所需原物料 k 齊料

$$FM_j^S = \begin{cases} 0 & \text{if } FM_{jk}^{MS} FM_{jj'}^{SS} = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \neq j', k \quad (20)$$

(3) 原物料 k 齊料

= 成品 i 所需原物料 k 都齊料且半成品 j 所需原物料 k 都齊料 或

= 成品 i 所需原物料 k 都齊料 或

= 半成品 j 所需原物料 k 都齊料

$$FM_k^M = \begin{cases} 0 & \text{if } FM_{ik}^{MF} FM_{jk}^{MS} = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i, j, k \quad (21)$$

6. 半成品不共用

(1) 半成品 j' 只能用來組成成品 i 或半成品 j

$$X_{ij'} + W_{jj'} = 1 \quad \forall j \neq j' \quad (22)$$

3.4.6 物料最大化之基因演算法

考量上述限制，本研究提出物料最大化之基因演算法針對共用料的物料規劃問題，對共用料作最有效的配置以使整體物料規劃的收益最大化。完整的規劃過程分為四階段：(1)產生並儲存使用共用料的品項集合，(2)由需求數量展算各品項的需求及齊料狀態，(3)針對使用共用料的半成品隨機產生並修正預期的齊料結果，作為基因演算法的染色體，(4)透過基因演算法找出配置共用料的近似最佳解。圖 3.15 說明了這四個階段的程序。

Process:

Generate and save 使用共用料 k 的品項集合(3.4.6.1);
Calculate 展算各品項的需求及齊料狀態(3.4.6.2);
Generate 初始 GA 的染色體(3.4.6.3);
Calculate 各品項配置數量及齊料狀態(3.4.6.3);
Check 初始 GA 染色體的合理性並進行修正(3.4.6.3);
Calculate 適應函數(3.4.6.3);

while(停止條件尚未到達) **do**;

Process 基因演算法程序(3.4.6.4);
Calculate 各品項配置數量(3.4.6.3);
Calculate 適應函數(3.4.6.3);
Process GA selection 的程序(3.4.6.4);

end while

End procedure

圖 3.15 物料最大化之基因演算法搜尋步驟

3.4.6.1 產生並儲存使用共用料品項的集合

此程序主要是要找出所有使用相同原物料 k 的品項，並產生一個集合將這些品項儲存起來，主要用途是執行基因演算法時，作為交配與突變的限制，產生使用共用料品項的集合完整步驟如下(pseudo cod 詳見附錄二)：

Step 1：載入所有的產品結構

Step 2：檢查共用關係

Step 2.1：檢查相同的原物料 k 是否可組成不同的半成品

Step 2.2：檢查相同的原物料 k 是否可組成不同的成品

Step 2.3：檢查相同的原物料 k 是否可以組成半成品及成品

Step 3：若 Step 2.1~Step 2.3 中其中一者成立，則產生一個使用共用料 k 的品項集合 G_g^{FS} ，並將使用共用料 k 的半成品 $j, j', \dots, j^{(p)}$ 及成品 $i, i', \dots, i^{(m)}$ 儲存並得到 $G_g^{FS} = (i, i', \dots, i^{(m)}, j, j', \dots, j^{(p)})_k$

Step 4：重複 Step 2 與 Step 3，直到所有原物料都檢查完畢

3.4.6.2 展算各品項的需求及齊料狀態

為了求得近似最佳解，本研究採用基因演算法，搜尋共用料如何配置，並找出整體物料規劃的最大總收益。在產生初始化染色體前，必須先由於成品需求數量、各成品之 BOM 與各品項現有庫存數量已知，從成品需求數量 Q_i^{FD} 及 BOM，根據 BOM 可以計算出各品項之間的需求數量，同時也可得到各原物料的齊料碼 FM_k^M 與各半成品與成品所需非共用料的齊料碼 FM_{jk}^{MS} 及 FM_{ik}^{MF} 。故本研究假設上述資訊為已知，因此不做詳細的程序說明。展算各品項的需求及齊料狀態的步驟如下：

Step 1：計算所有品項所需半成品 j 、非共用料 k 的淨需求數量

Step 1.1：由成品 i 的需求數量 Q_i^{FD} 由上而下推得成品 i 對半成品 j 及非共用料 k 的需求數量 Q_{ij}^{FSD} 、 Q_{ik}^{FMD} ，並扣除半成品 j 及非共用料 k 的現有庫存數量 Q_j^{SI} 、 Q_k^{MI} ，計算出成品所需半成品 j 及非共用料 k 的淨需求數量 Q_{ij}^{FSN} 、 Q_{ik}^{FMN}

Step 1.2：用 Step 1.1 產生的半成品 j 的需求數量計算所需半成品 j' 及原物料 k 的需求數量 $Q_{jj'}^{SD}$ 、 Q_{jk}^{SMD} ，並扣除現有半成品 j' 及非共用料原物料 k 的現有庫存數量 $Q_{j'}^{SI}$ 、 Q_k^{MI} 計算所需的半成品 j' 淨需求數量與非共用原物料的淨需求數量 $Q_{jj'}^{SN}$ 、 Q_{jk}^{SMN}

Step 2：計算所有成品 i 及半成品 j 對共用料 k 的需求數量 Q_{ik}^{FMD} 、 Q_{jk}^{SMD}

3.4.6.3 產生初始 GA 的染色體

產生初始的 GA 染色體主要包含隨機產生母代、計算配置數量與齊料狀態及計算適應函數，完整的程序可參照附錄二。產生初始 GA 的染色體步驟如下(pseudo code 詳見附錄二)：

Step 1：針對非共用料已齊料的半成品隨機決定共用料是否配置（預計齊料）；”1”表配置共用料，”0”表不配置共用料。

Step 2：根據隨機產生的齊料結果，計算半成品 j 所需共用料之配置。

Step 2.1：計算非共用料供給數量 Q_{jk}^{MS} ，配置後剩餘庫存數量 Q_k^{RM} ，並確認半成品 j 對非共用料 k 的齊料狀態 FM_{jk}^{MS}

Step 2.2：計算半成品 j 所需共用料 k 的配置數量 Q_{jk}^{MS}

Step 2.2.1：針對沒有半成品對半成品關係的半成品，計算共用料配置數量 Q_{jk}^{MS} 與確認半成品 j 對共用料 k 的齊料結果 FM_{jk}^{MS}

Step 2.2.2：計算下階半成品 j' 及原物料 k 對半成品 j 的配置數量 $Q_{jj'}^{SS}$ 、 Q_{jk}^{MS} ，並確認半成品 j 對半成品 j' 與共用料 k 的齊料狀態 $FM_{jj'}^{SS}$ 、 FM_{jk}^{MS} 。

註：若不同半成品皆預期配置共用料(都為 1)，不同半成品非共用料的部分都齊料，但共用料數量無法滿足全部需求，擇優先配置給生產成半成品後，半成品庫存持有成本 C_j^{SH} 較高的。

Step 3：根據 Step 2 修正半成品 j 的齊料狀況並更新各半成品 j 與原物料 k 的剩餘庫存數量。

Step 3.1：若半成品 j 所需的其中一原物料無法齊料，則將原物料已配置的數量釋出(release)，加回剩餘庫存數量 Q_k^{RM} ，再將配置的數量 Q_{jk}^{MS} 設為 0

Step 3.2：若半成品 j' 所需的半成品 j 為缺料或原物料 k 缺料，則將已配置的半成品 j' 數量 $Q_{jj'}^{SS}$ 釋出(release)，加回半成品 j' 的剩餘庫存數量 $Q_{j'}^{RS}$ ，再將配置的數量 $Q_{jj'}^{SS}$ 設為 0；或將原物料 k

已配置的數量 Q_{jk}^{MS} 加回剩餘庫存數量 Q_k^{RM} ，再將配置的數量 Q_{jk}^{MS} 設為 0

Step 3.3：若半成品 j 所需的半成品 j' 的齊料狀態與原物料 k 的齊料狀態都為 1 時，將半成品 j 的現有庫存數量更新為半成品 j 的需求數量 Q_j^{SD} 。

Step 4：根據半成品 j 及非共用原物料 k 的齊料狀況，決定成品 i 所需的共用料 k 如何配置

Step 4.1：計算共用料配置給成品 i 的數量 Q_{ik}^{MF} ，並計算共用料 k 的剩餘庫存數量 Q_k^{RM}

Step 4.2：若成品 i 所需半成品 j 及原物料 k 的齊料狀態都為 1，則將成品的完成數量 Q_i^F 更新為成品 i 的需求數量 Q_i^{FD}

註：配置時需考慮以下情形：(1)配置時以所需半成品 j 及非共用料 k 都齊料的優先配置 (2) 若超過一種成品 i 所需的半成品 j 及非共用料 k 都齊料，則配置給成品售價 P_i^{FS} 較高的成品 i

Step 5：利用公式(1)計算染色體所代表的總收益

利用隨機產生預期齊料結果，配置物料及修正後，產生母代染色體，相關輸出的數量資訊包含 Q_i^F 、 Q_i^{SF} 、 Q_j^{RS} 、 Q_k^{RM} 及 Q_k^{PM} ，計算出染色體所代表的總收益，並進入基因演算法程序。

3.4.6.4 基因演算法程序

3.4.6.4.1 執行交配程序

基因演算法的程序包含交配與突變兩個部份。首先進行交配程序，隨機選取 n 組的共用料集合，並將兩個母代染色體出現在集合內的半成品齊料碼進行交換，產生子代並檢查上下階齊料的合理性，淘汰不合理的子代。交配程序的步驟如下(pseudo code 詳見附錄三)：

Step 1：從 g 組的集合中隨機選取 n 組的集合($n=1,2,\dots,g-1$)，集合不能全部選取是為了避免染色體全部交換，造成產生出沒有任何改變的子代

Step 2：將染色體內半成品齊料碼 FM_j^S 依照選取的集合 G_g^{FS} 內含有的半成品進行染色體之間交換

Step 3：檢查子代染色體之合理性。將下階缺料，上階卻齊料的子代淘汰

3.4.6.4.2 執行突變程序

進行突變程序時，隨機選取 n 組的共用料集合，並將子代染色體出現在集合內的半成品齊料碼進行變換。若集合內只有一個半成品，則將染色體內的半成品齊料碼作 0 或 1 的變換；檢查合理性時，除了檢查子代上下階齊料的合理性，還必須檢查是否出現半成品齊料碼為 1 的共用料需求總量是否大於現有庫存數量的不合理情形，將不合理的子代淘汰。突變程序的步驟如下(pseudo code 詳見附錄四)：

Step 1：從 g 組的集合中隨機選取 n 組的集合 ($n=1,2,\dots,g$)

Step 2：將染色體內半成品齊料碼 FM_j^S 依照選取的集合 G_g^{FS} 內含有的半成品進行染色體交換。若集合內只有一半成品 j ，且染色體內的半成品齊料碼 $FM_j^S=1$ ，則將半成品齊料碼 FM_j^S 改為 0；反之，則將半成品齊料碼 FM_j^S 改為 1。

Step 3：檢查子代染色體之合理性：

1. 將下階缺料，上階卻齊料的子代淘汰。
2. 將齊料碼為 1 的共用料需求總量大於現有庫存數量的子代淘汰。

執行完交配與突變程序後，根據所設定的基因參數，包含每世代染色體數目、執行代數及終止條件。選擇較好的子代持續演化，直到執行代數完成或者到達終止條件。

3.4.7 範例情境說明.

本節將利用範例說明上述物料最大化之基因演算法，主要程序如圖 3.16，總共分為產生並儲存使用共用料品項的集合、展算各品項的需求及齊料狀態、產生初始 GA 的染色體、計算適應函數、執行交配程序、執行突變程序及解碼並計算適應函數七個部份。範例情境對應物料最大化之基因演算法示意圖如下：

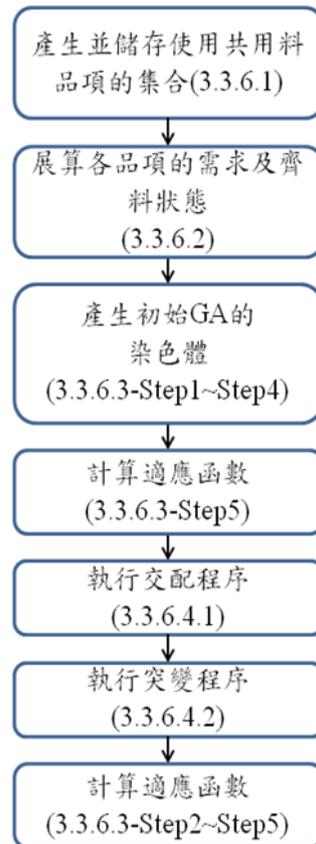


圖 3.16 範例情境對應物料最大化之基因演算法示意圖

首先介紹本範例情境，成品不需使用非共用料，假設有三種成品，各有其產品結構如圖 3.17。

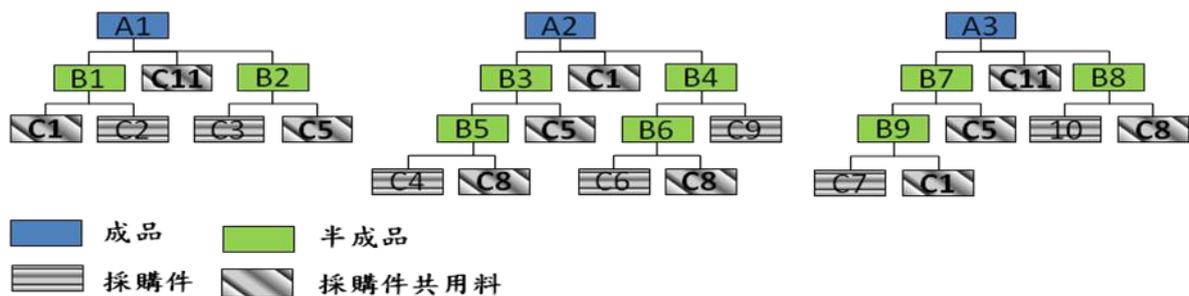


圖 3.17 產品結構圖

3.4.7.1 產生並儲存使用共用料品項的集合

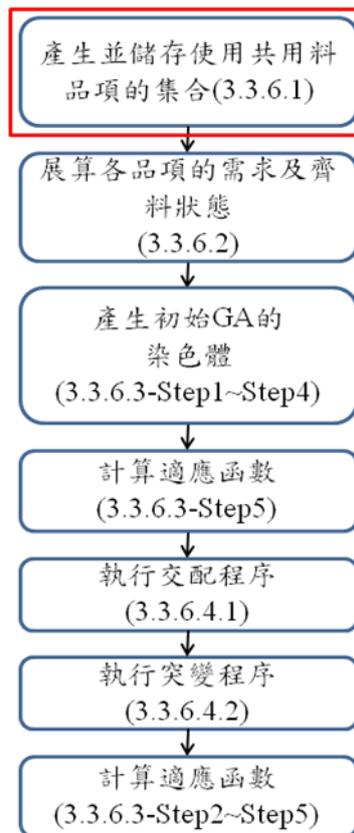


圖 3.18 產生並儲存使用共用料品項的集合

在執行產生母代前，第一個程序是必須找出使用相同原物料 k 的品項集合 G_g^{FS} ，逐一檢查各原物料 k 與成品 i 或半成品 j 的關係。各原物料 k 與各品項的關係可能會包含以下四種情況：

1. 原物料 k 能用來組成一種以上的半成品 j ：相同的 k 出現超過一個以上的 $Y_{jk}=1$ 。如圖 3.19 粗的連結線條，C5 可組成 B2、B3 及 B7，C8 可以組成 B5、B6 及 B8 等兩種情況，此時分別產生第一組及第二組集合 G_1^{FS} 及 G_2^{FS} ，並分別儲存 $G_1^{FS} = (B2, B3, B7)_{C5}$ 及 $G_2^{FS} = (B5, B6, B8)_{C8}$ 。

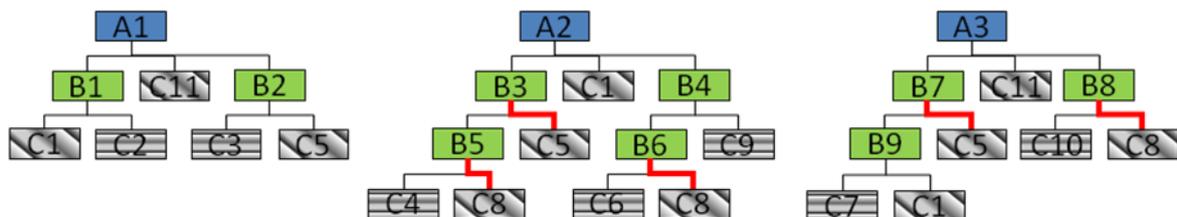


圖 3.19 共用情況一

2. 原物料 k 能用來組成一種以上的成品 i ：相同的 k 出現超過一個以上的 $Z_{ik} = 1$ 。如圖 3.20 粗的連結線條，C11 可組成 A1 及 A3，此時產生第三組集合 G_3^{FS} ，並儲存 $G_3^{FS} = (A1, A3)_{C11}$ 。

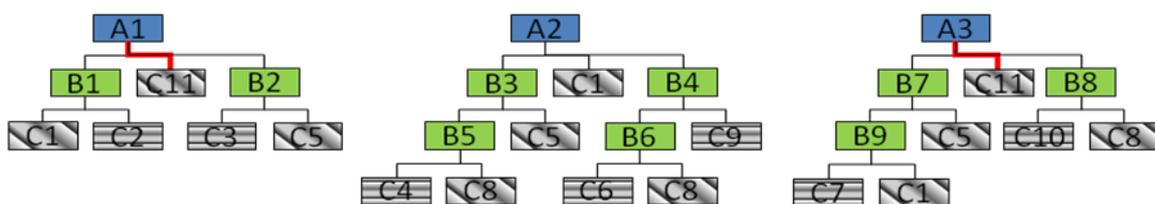


圖 3.20 共用情況二

3. 原物料 k 能用來組成一種以上的半成品 j 及一種以上的成品 i ：相同的 k 同時出現 $Y_{jk} = 1$ 和 $Z_{ik} = 1$ 。如圖 3.21 粗的連結線條，C1 可組成半成品 B1 及 B9，也可以組成成品 A2，此時產生第四組集合 G_4^{FS} ，並儲存 $G_4^{FS} = (A2, B1, B9)_{C1}$ 。

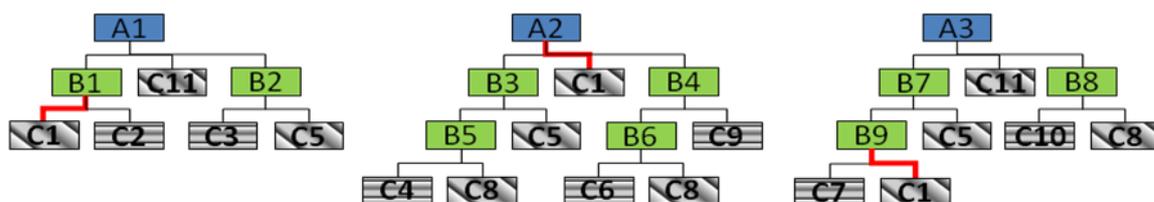


圖 3.21 共用情況三

4. 原物料 k 只能供給一種半成品 j 或一種成品 i ：相同的 k 只出現 $Y_{jk} = 1$ 或者只出現 $Z_{ik} = 1$ 。以範例的產品結構，如圖 3.22，原物料 C2、C3、C4、C6、C7、C9、C10 (橫紋的方塊) 都是屬於這種情況，此時不需執行任何動作。

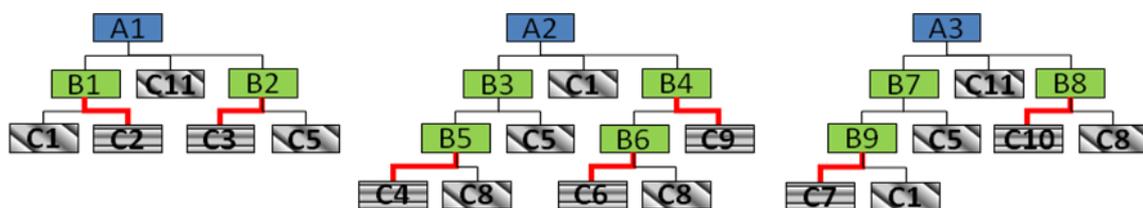


圖 3.22 無共用情況

完成此程序後，便會得到四組使用不同共用料的品項集合，分別為 $G_1^{FS} = (B2, B3, B7)_{C5}$ 、 $G_2^{FS} = (B5, B6, B8)_{C8}$ 、 $G_3^{FS} = (A1, A3)_{C11}$ 及 $G_4^{FS} = (A2, B1, B9)_{C1}$ 。

3.4.7.2 展算各品項的需求及齊料狀態

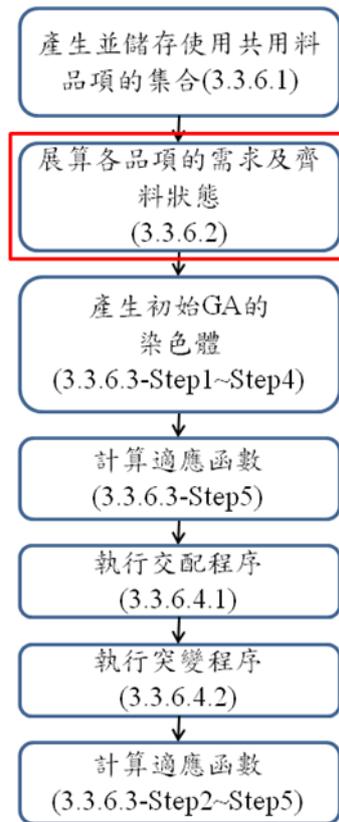


圖 3.23 展算各品項的需求及齊料狀態

接著載入已知的資料，如成品需求數量及相關資訊(見表 3.9)、各品項現有庫存數量及相關資訊(見表 3.10 及表 3.11)。

表 3.9 成品需求數量及相關資訊

產品 i	需求數量 (Q_i^{FD})	缺貨成本 (C_i^{FP})	售價 (P_i^{FS})
A1	130	\$15	\$150
A2	120	\$18	\$180
A3	150	\$20	\$200

表 3.10 半成品現有數量及相關資訊

半成品 j	現有庫存數量 (Q_j^{SI})	單位庫存成本 (C_j^{SH})
B1	10	\$8

半成品	現有庫存數量	單位庫存成本
B2	10	\$5
B3	0	\$9
B4	20	\$8
B5	10	\$6
B6	20	\$6
B7	0	\$8
B8	10	\$5
B9	10	\$5

表 3.11 成品需求數量及相關資訊

採購件 k	現有庫存數量 (Q_k^{MI})	單位庫存成本 (C_k^{MP})
C1	260	\$2
C2	140	\$4
C3	130	\$2
C4	120	\$3
C5	280	\$2
C6	80	\$3
C7	150	\$2
C8	260	\$5
C9	120	\$3
C10	150	\$3
C11	160	\$2

載入上述資訊及 BOM 表時，可以由上往下直接推算出各成品下各品項的需求數量及對非共用物料的齊料狀態；共用料的部份因尚未配置，故沒有淨需求數量 Q_{ik}^{FMN} ，而成品對共用料的需求數量 Q_{ik}^{FMD} 等於成品的需求數量 Q_i^{FD} ，半成品對共用料的需求數量 Q_{jk}^{SMD} 等於成品或半成品對半成品的淨需求數量 Q_{ij}^{FSN} 及 Q_{jj}^{SN} 。若共用料 k 所需的總量 $\sum_j Q_{jk}^{SMD}$ 小於庫存數量 Q_k^{MI} ，則共用料 k 的應採購數量 $Q_k^{PM} = \sum_j Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI}$ ，齊料狀態為 $0 (FM_k^M)$ 。

計算成品對非共用料的需求數量時，若成品 i 的需求數量大於原物料 k 的現有庫存數量 ($Q_{ik}^{FMD} - Q_k^{MI} > 0$)，則成品 i 對原物料 k 的淨需求數量等於原物料 k 的應採購數量 ($Q_{ik}^{FMN} = Q_k^{FPM} = Q_{ik}^{FMD} - Q_k^{MI}$)，齊料狀態為 0 ($FM_{ik}^{MF} = 0$)；反之，成品 i 對原物料 k 的淨需求數量等於 0 ($Q_{ik}^{FMN} = 0$)，齊料狀態為 1 ($FM_{ik}^{MF} = 1$)。

同理，計算成品對半成品的需求數量時，若成品 i 的需求數量大於半成品 j 的現有庫存數量 ($Q_{ij}^{FSD} - Q_j^{SI} > 0$)，則可得到成品 i 對半成品 j 的淨需求數量 ($Q_{ij}^{FSN} = Q_{ij}^{FSD} - Q_j^{SI}$)，齊料狀態為 0 ($FM_{ij}^{SF} = 0$)；反之，成品 i 對半成品 j 的淨需求數量等於 0 ($Q_{ij}^{FSN} = 0$)，齊料狀態為 1 ($FM_{ij}^{SF} = 1$)，成品需求計算得到的結果見表 3.12。

表 3.12 計算成品需求

產品 i	成品需求 Q_i^{FD}	品項 j, k	需求數量 $Q_{ij}^{FSD}, Q_{ik}^{FMD}$	現有庫存數量 Q_j^{SI}, Q_k^{MI}	淨需求數量 $Q_{ij}^{FSN}^{**}, Q_{ik}^{FMN}^*$	齊料狀態 $FM_{ij}^{SF}^{**}, FM_{ik}^{MF}^*$
A1	130	B1	130	10	120	0
		B2	130	10	120	0
		C11	130	160		0
A2	120	B3	120	0	120	0
		B4	120	20	100	0
		C1	120	260		0
A3	150	B7	150	0	150	0
		B8	150	10	140	0
		C11	150	160		0

註：* $Q_{ik}^{FMD} - Q_k^{MI} > 0 \rightarrow Q_{ik}^{FMN} = Q_k^{FPM} = Q_{ik}^{FMD} - Q_k^{MI}, FM_{ik}^{MF} = 0$
 $Q_{ik}^{FMD} - Q_k^{MI} \leq 0 \rightarrow Q_{ik}^{FMN} = 0, FM_{ik}^{MF} = 0$
** $Q_{ij}^{FSD} - Q_j^{SI} > 0 \rightarrow Q_{ij}^{FSN} = Q_{ij}^{FSD} - Q_j^{SI}, FM_{ij}^{SF} = 0$
 $Q_{ij}^{FSD} - Q_j^{SI} \leq 0 \rightarrow Q_{ij}^{FSN} = 0, FM_{ij}^{SF} = 1$

得到成品 i 對半成品 j 的淨需求，計算半成品 j 對下階半成品 j' 的需求

數量時，若半成品 j 的淨需求數量大於下階半成品 j' 的現有庫存數量 ($Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI} > 0$)，則可得到半成品 j 對半成品 j' 的淨需求數量 ($Q_{jj'}^{SN} = Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI}$)，齊料狀態為 0 ($FM_{jj'}^{SS} = 0$)；反之，半成品 j 對下階半成品 j' 的淨需求數量等於 0 ($Q_{jj'}^{SN} = 0$)，齊料狀態為 1 ($FM_{jj'}^{SS} = 1$)。

計算半成品對非共用料的需求數量時，若半成品 j 的需求數量(來源包含成品對半成品 j 或半成品 j 對半成品 j') 大於原物料 k 的現有庫存數量 ($Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI} > 0$)，則原物料 k 的淨需求數量等於原物料 k 的應採購數量 ($Q_{jk}^{SMN} = Q_k^{FPM} = Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI}$)，齊料狀態為 0 ($FM_{jk}^{MS} = 0$)；反之，半成品 j 對對原物料 k 的淨需求數量等於 0 ($Q_{jk}^{SMN} = 0$)，齊料狀態為 1 ($FM_{jk}^{MS} = 1$)。完整的半成品需求計算見表 3.13 及表 3.14。

表 3.13 計算半成品需求表一

品項 j	品項需求 Q_{ij}^{FSN}	品項 j', k	需求數量 $Q_{jj'}^{SD}, Q_{jk}^{SMD}$	現有庫存數量 Q_j^{SI}, Q_k^{MI}	淨需求數量 $Q_{jk}^{SMN}^{**}, Q_{jj'}^{SN}^*$	齊料狀態 $FM_{jk}^{MS}^{**}, FM_{jj'}^{SS}^*$
B1	120	C1	120	260		0
		C2	120	140	0	1
B2	120	C3	120	130	0	1
		C5	120	280		0
B3	120	B5	120	10	110	0
		C5	120	280		0
B4	100	B6	100	20	80	0
		C9	100	120	0	1
B7	150	B9	150	10	140	0
		C5	150	280		0
B8	140	C10	140	150	0	1
		C8	260	260		0
註：* $Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI} > 0 \rightarrow Q_{jj'}^{SN} = Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI}, FM_{jj'}^{SS} = 0$ $Q_{jj'}^{SD} - Q_{j'}^{SI} \leq 0 \rightarrow Q_{jj'}^{SN} = 0, FM_{jj'}^{SS} = 1$						

$$** Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI} > 0 \rightarrow Q_{jk}^{SMN} = Q_k^{FPM} = Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI}, FM_{jk}^{MS} = 0$$

$$Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI} \leq 0 \rightarrow Q_{jk}^{SMN} = 0, FM_{jk}^{MS} = 1$$

表 3.14 計算半成品需求表二

品項 j	品項需求 Q_{jj}^{SN}	品項 k	需求數量 Q_{jk}^{SMD}	現有庫存數量 Q_k^{MI}	淨需求數量 $Q_{jk}^{SMN} **$	齊料狀態 $FM_{jk}^{MS} *$
B5	110	C4	120	120	0	1
		C8	260	260		0
B6	80	C6	80	80	0	1
		C8	260	260		0
B9	140	C7	140	150	0	1
		C1	260	260		0
註： * $Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI} > 0 \rightarrow Q_{jk}^{SMN} = Q_k^{FPM} = Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI}, FM_{jk}^{MS} = 0$ $Q_{jk}^{SMD} - Q_k^{MI} \leq 0 \rightarrow Q_{jk}^{SMN} = 0, FM_{jk}^{MS} = 1$						

3.4.7.3 產生初始 GA 的染色體



圖 3.24 產生初始 GA 的染色體

有了上述的齊料及各品項間的需求資訊，本研究利用需要使用共用料且所需非共用料部份已經齊料的半成品齊料碼 FM_j^S ，隨機產生基因當作初始的母代染色體。如圖 3.25，由於半成品 B4 並沒有使用非共用料，因此並沒有產生基因。

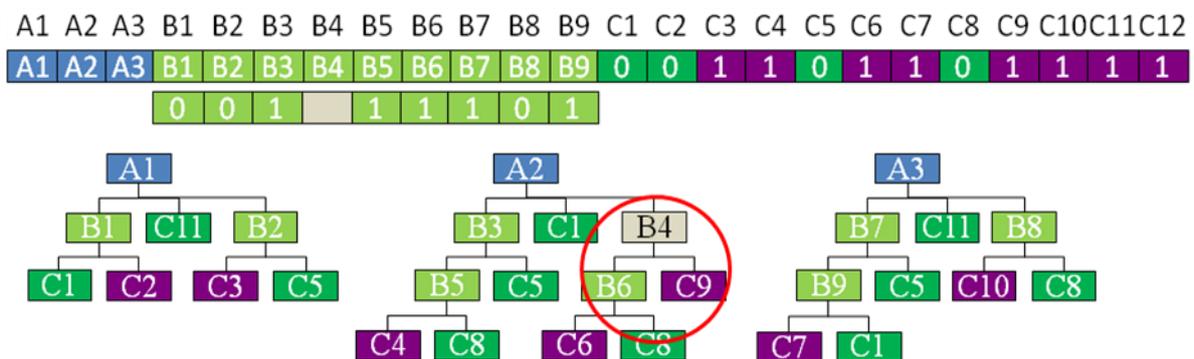


圖 3.25 產生初始母代示意圖

根據隨機產生的染色體，開始配置數量，配置時由下往上，先處理只有半成品對原物料關係的品項，包含 B1、B2、B5、B6、B9 及 B8，將非

共用料與共用料配置的結果分成表 3.15 及表 3.16。

由於非共用料在推算需求時已經計算過齊料狀態，因此配置時，若齊料狀態為 1，表示庫存數量可以滿足，因此非共用料配置數量為半成品 j 對原物料 k 的需求數量 ($Q_{jk}^{MS} = Q_{jk}^{SMD}$)，應採購數量等於 0 ($Q_{jk}^{PM} = 0$)，剩餘庫存數量等於現有庫存數量減去配置數量 ($Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$)。反之，齊料狀態為 0，則配置數量等於 0 ($FM_{jk}^{MS} = 0$)，剩餘庫存數量等於現有庫存數量 ($Q_k^{RM} = Q_k^{MI}$)，應採購數量等於淨需求數量 ($Q_{jk}^{PM} = Q_{jk}^{SMN}$)。

表 3.15 非共用料配置結果

半成品 j	需求 品項 k	淨需求 數量 Q_{jk}^{SMN}	庫存 數量 Q_k^{MI}	配置 數量 $Q_{jk}^{MS} *$	採購 數量 $Q_k^{PM} *$	剩餘庫 存數量 $Q_k^{RM} *$	齊料 狀態 FM_{jk}^{MS}
B1	C2	0	140	120	0	20	1
B2	C3	0	130	120	0	10	1
B4	C9	0	120	100	0	20	1
B8	C10	0	150	140	0	10	1
B5	C4	0	120	110	0	10	1
B6	C6	0	80	80	0	0	1
B9	C7	0	150	140	0	10	1
註： $* FM_{jk}^{MS} = 1 \rightarrow Q_{jk}^{MS} = Q_{jk}^{SMD}, Q_{jk}^{PM} = 0, Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$ $FM_{jk}^{MS} = 0 \rightarrow Q_{jk}^{MS} = 0, Q_{jk}^{PM} = Q_{jk}^{SMN}, Q_k^{RM} = Q_k^{MI}$							

共用料部份粗體字為隨機產生共用料配置的齊料結果，共用料配置詳見表 3.16，配置時可能發生以下幾種狀況：

1. 若為 1，配置數量等於半成品需求數量；若為 0，則配置數量等於 0。
2. 若為 1，若發生兩個以上半成品都需配置共用料，則先從半成品庫存成本較高的先配置。本研究假設售價較高的成品通常所需的半成品成本相對較高，因此配給半成品成本較高的，比較有可能讓成品售價較高的品

項先被滿足。

- 若為 1，但庫存數量無法滿足需求，則尋找半成品庫存成本次高的滿足且齊料碼也為 1 的半成品，往後以此類推。

表 3.16 非共用料配置結果

半 成 品 j	需 求 品 項 k	需 求 數 量 Q_{jk}^{SMD}	庫 存 數 量 Q_k^{MI}	配 置 數 量 Q_{jk}^{MS}	剩 餘 庫 存 數 量 Q_k^{RM}	齊 料 狀 態 FM_{jk}^{MS}
B1	C1	120	260	0	260	0
B2	C5	120	280	0	280	0
B3	C5	120	280	120	160	1
B5	C8	110	260	110	150	1
B6	C8	80	150	80	70	1
B7	C5	150	160	150	10	1
B8	C8	140	70	0	70	0
B9	C1	140	260	140	120	1

由上兩表得知，B5、B6 及 B9 所需非共用料及共用料的部份都齊料，因此分別將三個品項的現有庫存數量更新為上階半成品 B3、B4 及 B7 的需求數量 $Q_{jj'}^{SD}$ 及齊料碼為 1 ($FM_{jj'}^{SS} = 1$)，表示可以滿足上階半成品需求，見表 3.17。

表 3.17 上階半成品配置齊料結果

半 成 品 j	需 求 品 項 j'	*需 求 數 量 $Q_{jj'}^{SD}$	庫 存 數 量 Q_j^{SI} (更新前)	庫 存 數 量 Q_j^{SI} (更新後)	配 置 數 量 $Q_{jj'}^{SS}$	剩 餘 庫 存 數 量 $Q_{j'}^{RS}$	齊 料 狀 態 $FM_{jj'}^{SS}$
B3	B5	120	10	120	120	0	1
B4	B6	100	20	100	100	0	1
B7	B9	150	10	150	150	0	1

註：若需求半成品 j 下面的原物料都為齊料，則將半成品現有庫存數量更新為 $Q_{jj'}^{SD}$

配置完成後必須修正齊料結果，若半成品所需物料沒有完全齊料，則配置數量 Q_{jk}^{SMD} 釋出(release)，加回剩餘庫存數量 Q_k^{RM} ，配置結果如表 3.18 與表 3.19。以半成品 B1 為例，雖然 C2 配置數量充足，但由於 C1 無法滿足，因此必須將 C2 所配置給 B1 的 120 件釋出，剩餘庫存數量更新後為 140 件。其餘以此類推。

表 3.18 計算半成品需求配置表一

半成品 j	需求品項 k	需求數量 Q_{jk}^{SMD}	配置數量 Q_{jk}^{SMD}	剩餘庫存數量 Q_k^{RM} (更新前)	對應齊料結果 FM_{jk}^{MS}	品項齊料狀態 FM_j^S	剩餘庫存數量 Q_k^{RM} (更新後)
B1	C1	120	0	120	0	0	120
	C2		120	20	1		140
B2	C3	120	120	10	1	0	130
	C5		0	10	0		10
B5	C4	110	110	10	1	1	10
	C8		110	70	1		70
B6	C6	80	80	0	1	1	0
	C8		80	70	1		70
B8	C10	140	140	10	1	0	150
	C8		0	70	0		70
B9	C7	140	140	10	1	1	10
	C1		140	120	1		120

另外，B4 沒有使用共用料，沒有初始值，但經過配置後確認為齊料，因此將 B4 的齊料結果修正為 1，見表 3.19。

表 3.19 計算半成品需求配置表二

半成品 j	需求 品項 j', k	需求 數量 $Q_{jj'}^{SD}, Q_{jk}^{SMD}$	配置 數量 $Q_{jj'}^{SS}, Q_{jk}^{SMD}$	剩餘庫 存數量 Q_k^{RM} (更新前)	對應齊 料結果 FM_{jk}^{MS}	品項齊 料狀態 FM_j^S	剩餘庫存 數量 Q_k^{RM} (更新後)
B3	B5	120	120	0	1	1	0
	C5	120	120	10	1		10
B4	B6	100	100	0	1	1	0
	C9	100	100	20	1		20
B7	B9	150	150	0	1	1	0
	C5	150	150	10	1		10

此時由於 B3、B4 及 B7 都已齊料，因此將 B3、B4 的現有庫存數量更新為成品 A2 對 B3、B4 的需求數量 Q_{ij}^{FSD} ，並將齊料碼更新為 1 ($FM_{ij}^{SF} = 1$)，表示可以滿足成品需。同理，B7 的數量及齊料碼更新方式同 B3 及 B4。

至此，成品以下的品項皆已配置完成，接著判斷成品的共用料如何配置，根據成品所需半成品及非共用料齊料狀態 FM_{ij}^{SF} 及 FM_{ik}^{MF} ，判定是否將共用料配置給成品(見表 3.20)，配置時可能包含以下情況：

1. 配置時以所需半成品 j 及非共用料 k 都齊料的優先配置。
2. 若超過一種以上成品 i 所需的半成品 j 及非共用料 k 都齊料，則共用料配置給成品售價 P_i^{FS} 較高的成品 i 。

表 3.20 判斷成品所需品項是否齊料

成品 i	半成品 j	齊料結果 FM_{ij}^{SF}
A1	B1	0
	B2	0
A3	B7	1
	B8	0
A2	B3	1
	B4	1

由上表可知，A2 所需的品項都齊料，因此計算成品共用料的配置數量

Q_{ik}^{MF} 、齊料結果 FM_{ik}^{MF} 及剩餘庫存數量 Q_k^{RM} ，成品配置共用料的結果見表 3.21。

表 3.21 計算成品共用料配置數量與齊料結果

產品 i	需求數量 Q_{ik}^{FMD}	原物料 k	配置數量 Q_{ik}^{MF}	齊料結果 FM_{ik}^{MF}	剩餘庫存數量 Q_k^{RM}
A1	130	C11	0	0	160
A3	150	C11	0	0	
A2	120	C1	120	1	0
註：由於 A1 與 A2 所需半成品皆不齊料，因此配置數量都為 0					

成品所需共用料配置完成後，計算成品的完成數量，及更新各半成品的剩餘庫存數量(見表 3.22)，若成品的齊料結果為 1，則成品的完成數量 Q_i^F 等於成品的需求數量 Q_i^{FD} ，成品所需已完成半成品的剩餘庫存數量為 0 ($Q_j^{RS} = 0$)，成品缺貨數量為 0 ($Q_i^{SF} = 0$)；反之，成品的齊料結果為 0，成品的完成數量為 0 ($Q_i^F = 0$)，成品所需成半成品的齊料結果若為 1 ($FM_{ij}^{SF} = 1$)，剩餘庫存數量為已配置數量 ($Q_j^{RS} = Q_{ij}^{SF}$)；若成品所需的半成品齊料狀況 0 ($FM_{ij}^{SF} = 0$)，兩種狀況的成品缺貨數量皆為成品的需求數量 ($Q_i^{SF} = Q_i^{FD}$)。

表 3.22 成品所需品項是否齊料

產品 i	成品需求 數量 Q_i^{FD}	品 項 j', k	齊料結果 $FM_{ij}^{SF}, FM_{ik}^{MF}$	配置數量 Q_{ij}^{SF}, Q_{ik}^{MF}	剩餘庫存 數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新前)	剩餘庫存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新後)	成品齊料 結果 FM_i^F
A1	130	B1	0	0	10	10	0
		B2	0	0	10	10	
		C11	0	0	160	160	
A2	120	C1	1	120	0	0	1
		B3	1	120	0	0	
		B4	1	120	0	0	
A3	150	B7	1	150	0	150	0
		B8	0	0	10	10	
		C11	0	0	160	160	
註： $FM_i^F = 1 \rightarrow Q_i^F = Q_i^{FD}, Q_j^{RS} = 0, Q_i^{SF} = 0$ $FM_i^F = 0 \rightarrow Q_i^F = 0, Q_j^{RS} = Q_{ij}^{SF}, Q_i^{SF} = Q_i^{FD}$							

3.4.7.4 計算適應函數

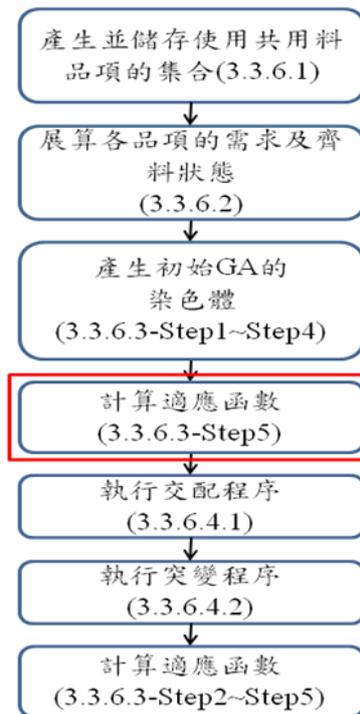


圖 3.26 計算適應函數

有了各成品需求配置結果及各品項配置後的剩餘庫存數量，可將齊料結果呈現在產品結構與染色體(如圖 3.27)，配置後品項為斜體字表示缺料，粗體字表示齊料；染色體中 0 表示缺料，1 表示齊料。

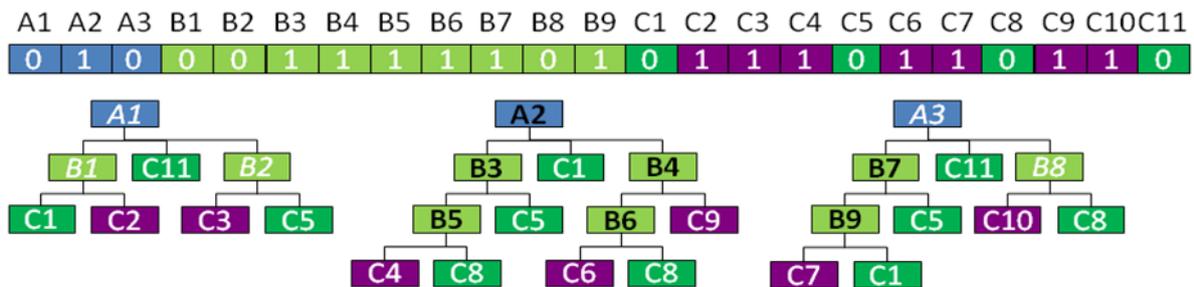


圖 3.27 配置後品項齊料結果示意圖(一)

承接上一小節可得到配置後的相關資訊，見表 3.23、3.24 及 3.25。

表 3.23 成品收益相關資訊(一)

產品 i	需求數量 Q_i^{FD}	缺貨單位成本 C_i^{FP}	缺貨數量 Q_i^{SF}	售價 P_i^{FS}	利潤 $P_i^{FS} \times Q_i^F$	缺貨成本 $C_i^{FP} \times Q_i^{SF}$
A1	130	\$15	130	\$150	\$0	\$1950
A2	120	\$18	0	\$180	\$21600	\$0
A3	150	\$20	150	\$200	\$0	\$3000

表 3.24 半成品剩餘庫存資訊(一)

半成品 j	剩於庫存數量 Q_j^{RS}	庫存單位成本 C_j^{SH}	庫存成本 $C_j^{SH} \times Q_j^{RS}$
B1	10	\$8	\$80
B2	10	\$5	\$50
B3	0	\$9	\$0
B4	0	\$8	\$0
B5	0	\$6	\$0
B6	0	\$6	\$0
B7	150	\$8	\$1200
B8	10	\$5	\$50
B9	0	\$5	\$0

表 3.25 原物料剩餘庫存及採購資訊(一)

採購件 k	採購單價 C_k^{MP}	剩餘庫存數量 Q_k^{RM}	庫存成本 $C_k^{MP} \times Q_k^{RM}$	應採購數量 Q_k^{PM}	採購成本 $C_k^{MP} \times Q_k^{PM}$
C1	\$2	0	\$0	120	\$240
C2	\$4	140	\$560	0	\$0
C3	\$2	130	\$260	0	\$0
C4	\$3	10	\$30	0	\$0
C5	\$2	10	\$20	110	\$220
C6	\$3	0	\$0	0	\$0
C7	\$2	10	\$20	0	\$0
C8	\$5	70	\$350	70	\$350
C9	\$3	20	\$60	0	\$0
C10	\$3	150	\$450	0	\$0
C11	\$2	160	\$320	120	\$240

並利用相關資訊及方程式(1)計算適應函數：

總收益(一)

$$Z = \sum_i^I P_i^{FS} Q_i^F - \left(\sum_i^I C_i^{FP} Q_i^{SHF} + \sum_j^J C_j^{SH} Q_j^{RS} + \sum_k^K C_k^{MP} Q_k^{RM} \right)$$

$$= 21600 - (4950 + 1380 + 2070 + 1050)$$

$$= 13200$$

同樣的方式，可以再產生另一組初始的母代，見圖 3.28，並計算出相關資訊，如表 3.26、3.27 及 3.28。

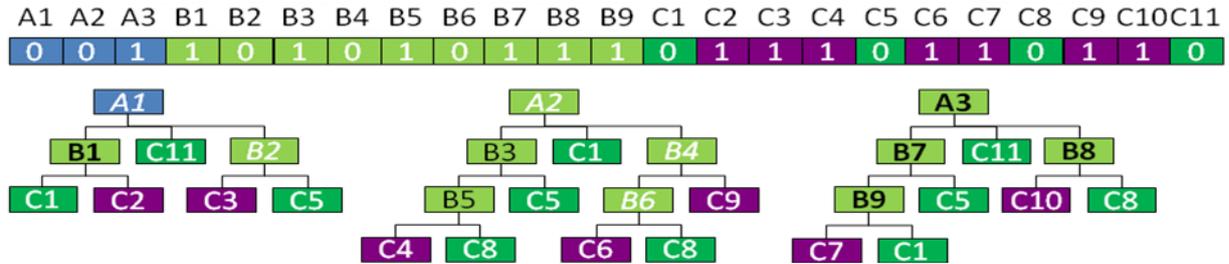


圖 3.28 配置後品項齊料結果示意圖(二)

表 3.26 成品收益相關資訊(二)

產品 i	需求數量 Q_i^{FD}	缺貨單位成本 C_i^{FP}	缺貨數量 Q_i^{SF}	售價 P_i^{FS}	利潤 $P_i^{FS} \times Q_i^F$	缺貨成本 $C_i^{FP} \times Q_i^{SF}$
A1	130	\$15	130	\$150	\$0	\$1950
A2	120	\$18	120	\$180	\$0	\$2160
A3	150	\$20	0	\$200	\$30000	\$3000

表 3.27 半成品剩餘庫存資訊(二)

半成品 j	剩於庫存數量 Q_j^{RS}	庫存單位成本 C_j^{SH}	庫存成本 $C_j^{SH} \times Q_j^{RS}$
B1	130	\$8	\$1040
B2	10	\$5	\$50
B3	120	\$9	\$1080
B4	20	\$8	\$160
B5	0	\$6	\$0
B6	20	\$6	\$120
B7	0	\$8	\$0
B8	0	\$5	\$0
B9	0	\$5	\$0

表 3.28 原物料剩餘庫存及採購資訊(二)

採購件 k	採購 單價 C_k^{MP}	剩餘庫 存數量 Q_k^{RM}	庫存成本 $C_k^{MP} \times Q_k^{RM}$	應採購 數量 Q_k^{PM}	採購成本 $C_k^{MP} \times Q_k^{PM}$
C1	\$2	0	\$0	120	\$240
C2	\$4	20	\$80	0	\$0
C3	\$2	130	\$260	0	\$0
C4	\$3	10	\$30	0	\$0
C5	\$2	10	\$20	110	\$220
C6	\$3	80	\$240	0	\$0
C7	\$2	10	\$20	0	\$0
C8	\$5	10	\$50	70	\$350
C9	\$3	120	\$360	0	\$0
C10	\$3	10	\$30	0	\$0
C11	\$2	10	\$20	120	\$240

同樣透過相關資訊及方程式(1)計算適應函數：

總收益(二)

$$\begin{aligned}
 Z &= \sum_i^I P_i^{FS} Q_i^F - \left(\sum_i^I C_i^{FP} Q_i^{SHF} + \sum_j^J C_j^{SH} Q_j^{RS} + \sum_k^K C_k^{MP} Q_k^{RM} \right) \\
 &= 30000 - (3720 + 2450 + 1110 + 1050) \\
 &= 22720
 \end{aligned}$$

3.4.7.5 執行交配程序

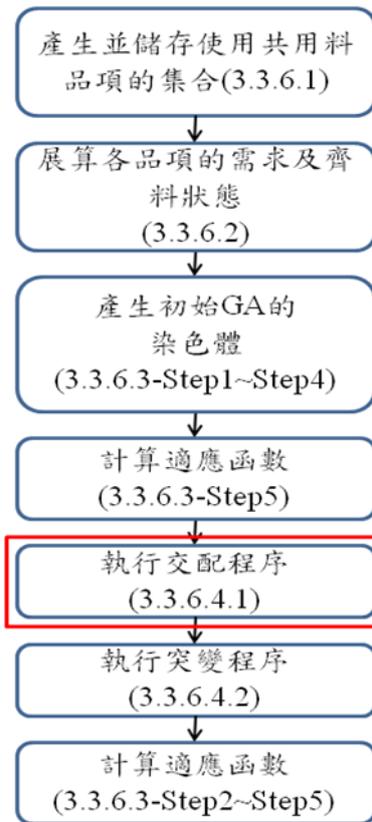


圖 3.29 執行交配程序

母代染色體交配時，針對半成品的部分進行交配，需使用 3.3.6.1 節所產生的共用料集合， $G_1^{FS} = (B2, B3, B7)_{C5}$ 、 $G_2^{FS} = (B5, B6, B8)_{C8}$ 、 $G_3^{FS} = (A1, A3)_{C11}$ 及 $G_4^{FS} = (A2, B1, B9)_{C11}$ ，由於 $G_3^{FS} = (A1, A3)_{C11}$ 的集合內只有成品，故不予採用。

交配時分為三個步驟，隨機選取 n ($n=1,2,\dots,g-1$) 組的集合、染色體依照選取的集合進行染色體交換及檢查合理性，第一個步驟選取 n 組的原因是避免全部的集合都選取，若所有使用共用料的染色體都交配，會導致染色體沒有改變。

Step1：隨機選取 n 組的集合，扣掉 $G_3^{FS} = (A1, A3)_{C11}$ ，還剩下三組可以選取的集合 $G_1^{FS} = (B2, B3, B7)_{C5}$ 、 $G_2^{FS} = (B5, B6, B8)_{C8}$ 及 $G_4^{FS} = (A2, B1, B9)_{C11}$ ，第一次隨機選取 $G_2^{FS} = (B5, B6, B8)_{C8}$ 及 $G_4^{FS} = (A2, B1, B9)_{C11}$ 。

Step2：依照選取的集合內含有的半成品進行染色體交換，也就是將兩個母體染色體中代表第二個集合內的 B5、B6 及 B8 與第四個集合內 B1 與 B9

進行交換，如圖 3.30。

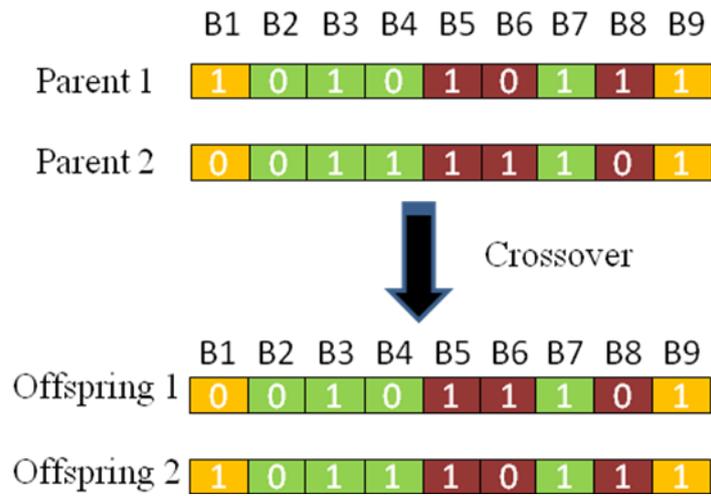


圖 3.30 母代交配染色體產生示意圖

Step3：檢查合理性，主要檢查上下階的齊料關係，如圖 3.31，交配後的 offspring 2 的染色體發生半成品 B6 為缺料，但上階半成品 B4 卻是齊料的狀況，此乃不合理現象，因此剔除 offspring 2，並保留 offspring 1，重複 Step 1~3，再重新產生新的子代。

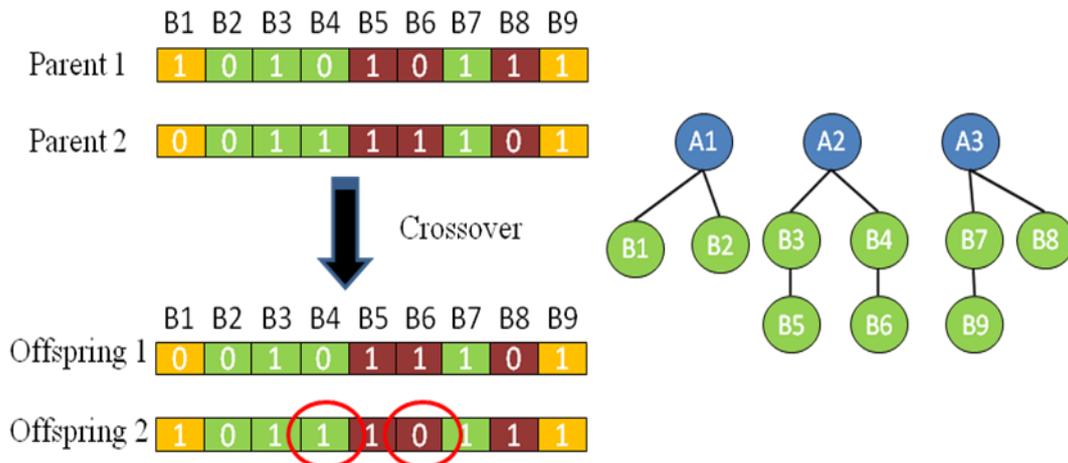


圖 3.31 交配染色體合理性檢查產生示意圖

重複 Step1~3，這次隨機選取的組別為 $G_1^{FS} = (B2, B3, B7)_{C5}$ 及 $G_4^{FS} = (A2, B1, B9)_{C11}$ ，同樣進行染色體交換及檢查合理性如圖 3.32，最後得到 offspring 1、offspring 3 及 offspring 4 三個合理的子代染色體。

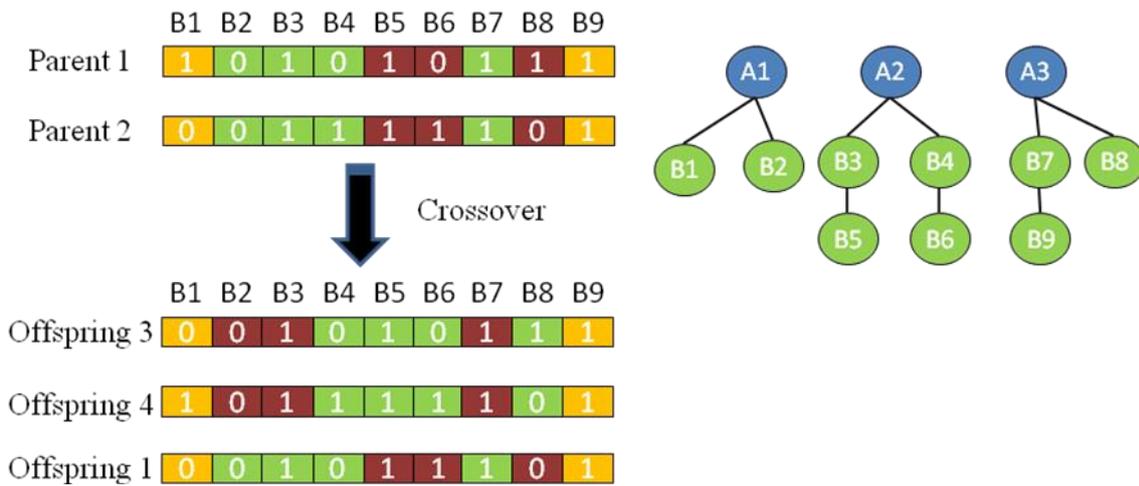


圖 3.32 交配染色體結果示意圖

3.4.7.6 執行突變程序

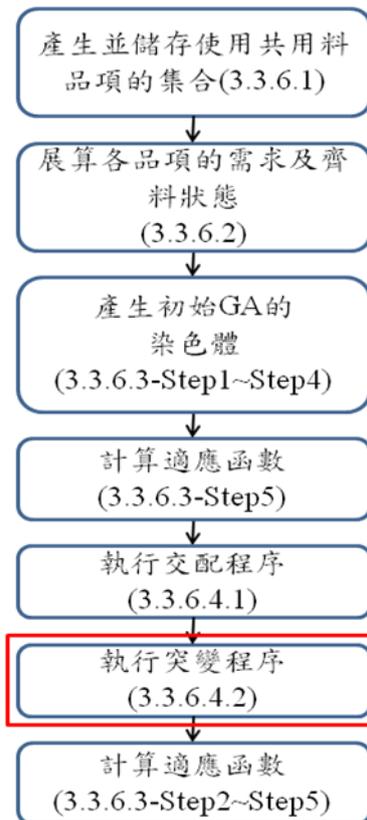


圖 3.33 執行突變程序

承接交配所產生的子代染色體，突變染色體產生同樣利用 3.3.6.1 節所產生的共用料集合 $G_1^{FS} = (B2, B3, B7)_{C5}$ 、 $G_2^{FS} = (B5, B6, B8)_{C8}$ 及 $G_4^{FS} = (A2, B1, B9)_{C11}$ ，分為三個步驟，各子代隨機選取 n 個集合、各染色體依照選取的集合進行染色體內基因突變及檢查合理性。

Step1：各子代隨機選取 n ($n=1,2,\dots,g-1$)組集合：每個子代都有機率隨機選取數量不同的集合，根據各自選到集合內的品項，進行突變的染色體位置互換，本範例假設三個子代都發生突變，且各自選擇了不同的組數與組別，見圖 3.34。

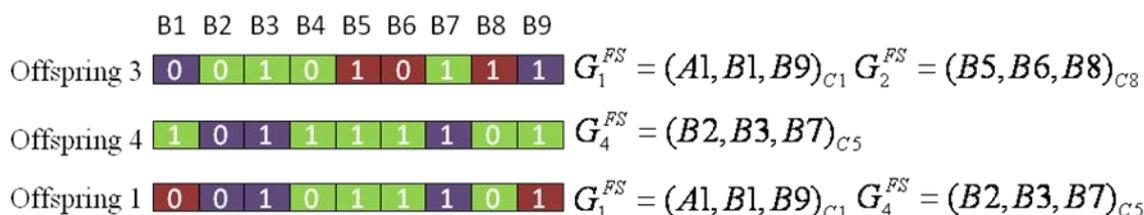


圖 3.34 突變前染色體選擇集合示意圖

Step2：各染色體依照選取的集合進行染色體內基因交換：如 offspring3 選擇了組別一與二，因此 offspring3 所代表的染色體，B1 與 B9 隨機互換、B5、B6 與 B7 隨機互換，其餘以此類推；若選擇到的集合內只有一半成品，其餘為成品，則突變方式由 1 轉成 0 或由 0 轉成 1。

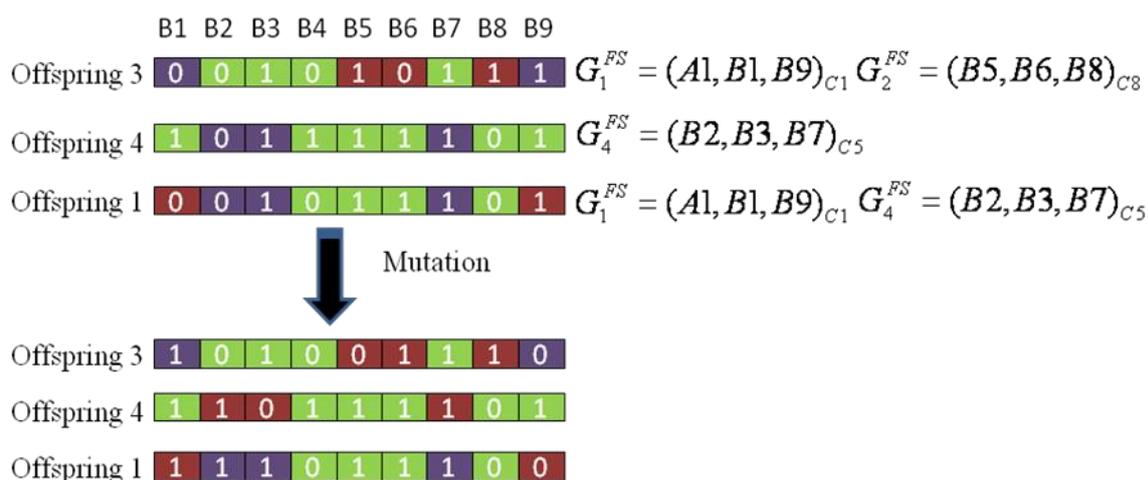


圖 3.35 染色體突變過程示意圖

Step3：檢查合理性：突變時需做兩種不同的合理性檢查，第一個部份同交配的合理性檢查，必須檢視上下階的齊料關係，如圖 3.36，offspring3 的染色體發生半成品 B5 為缺料，但上階半成品 B3 卻是齊料的狀況，此乃不合理現象，因此將 offspring3 剔除；第二個部份是檢查突變後染色體區間內的突變的品項對共用料需求量的總和 Q_{jk}^{SMD} 與現有庫存數量 Q_k^{MI} ，若突變後的總和小於現有庫存數量，則染色體亦不合理，必須刪除，表示現有庫存並無法滿足。本範例選擇的品項突變前後數量皆小於等於現有庫存數量，因此檢查完合理性，剩下 offspring4 與 offspring1。

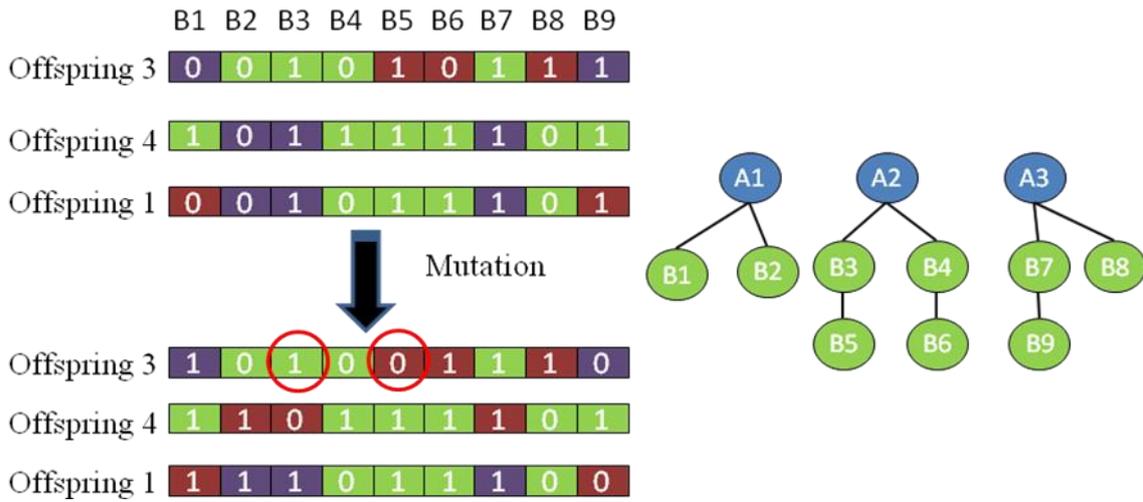


圖 3.36 突變染色體合理性檢查產生示意圖

3.4.7.7 計算適應函數

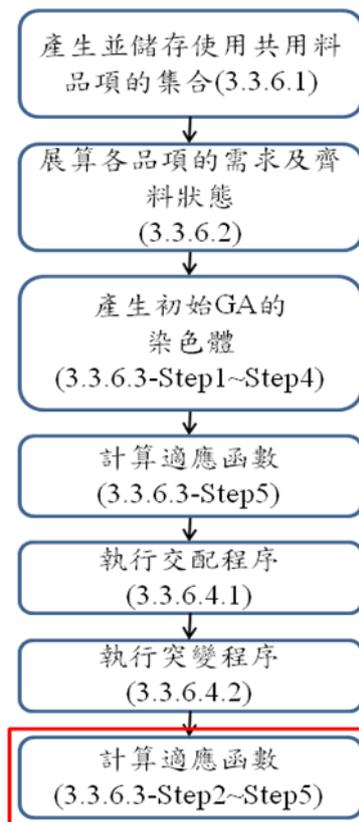


圖 3.37 交配染色體產生

完成基因演算法時得到新的子代染色體如圖 3.38，利用染色體所代表的齊料結果進行半成品的共用料配置，首先處理只有半成品對原物料關係的品項，包含 B1、B2、B5、B6、B9 及 B8，Offspring1 的半成品配置結果

見表 3.29。

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Offspring 1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
Offspring 4	1	1	0	1	1	1	1	0	1

圖 3.38 完成基因演算法所得到的子代

表 3.29 offspring1 半成品需求物料配置(一)

半成品 j	需求 數量 Q_{jk}^{SMD}	需求 品項 k	現有庫 存數量 Q_k^{MI}	配置 數量 Q_{jk}^{MS}	剩餘庫 存數量 Q_k^{RM}	齊料 結果 FM_j^S
B1	120	C1	260	120	140	1
		C2	140	120	20	
B2	120	C3	130	120	10	1
		C5	280	120	160	
B5	110	C4	120	110	10	1
		C8	260	110	150	
B6	80	C6	80	80	0	1
		C8	150	80	70	
B8	140	C10	150	0	150	0
		C8	70	0	70	
B9	140	C7	150	0	150	0
		C1	140	0	140	

由上表得知，B5 及 B6 所需非共用料及共用料皆齊料，因此分別將兩個品項的現有庫存數量更新為上階半成品 B3、B4 的需求數量 Q_{jj}^{SD} ，表示可以滿足上階半成品需求，見表 3.30。其中 B4 的齊料結果雖然為 0，但 B6 齊料，B4 所需的原物料為非共用料也可以滿足需求，故配置 B6 與 C9 足量滿足 B4，並修正 B4 的齊料結果。

表 3.30 offspring1 半成品需求物料配置(二)

半 成 品 j	需求數量 $Q_{jj'}^{SD}, Q_{jk}^{SMD}$	需求 品項 j', k	現有庫存數量 Q_j^{SI}, Q_k^{MI}	配置數量 Q_{jk}^{SMD}	剩餘庫存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM}	齊料 結果 FM_j^S
B3	120	C5	160	120	40	1
		B5	120	120	0	
B4	100	C9	120	100	20	1
		B6	100	100	0	
B7	150	B9	10	0	10	0
		C5	40	0	40	
<p>註：若下階半成品齊料，則 $Q_{jj'}^{SS} = Q_{jj'}^{SD}$，$Q_{j'}^{RS} = 0$，$Q_j^{SI} = Q_{ij}^{SF}$</p> <p>若下階半成品不齊料，則 $Q_{jj'}^{SS} = 0$，$Q_{j'}^{RS} = Q_j^{SI}$</p> <p>註：計算半成品對半成品時，若下階半成品齊料，則所需其餘的原物料為非共用料時，配置數量足量滿足需求，並修正上階半成品的齊料結果。</p>						

接著同樣判斷成品所需的品項是否其料，以決定是否配置共用料，見表 3.31。

表 3.31 offspring1 判斷成品所需品項是否齊料

成品 i	半成品 j	齊料結果 FM_{ij}^{SF}
A1	B1	1
	B2	1
A3	B7	0
	B8	0
A2	B3	1
	B4	1

offspring1 的染色體配置後得到 A1 及 A2 所需的半成品都齊料，因此將共用料配置給 A1 及 A2。

表 3.32 offspring1 成品共用料配置數量與齊料結果

產品 i	需求數量 Q_{ik}^{FMD}	原物料 k	配置數量 Q_{ik}^{MF}	齊料結果 FM_{ik}^{MF}	剩餘庫存數量 Q_k^{RM}
A1	130	C11	130	1	30
A3	150	C11	0	0	
A2	120	C1	120	1	140

配置後同 3.3.6.3 小節，判斷成品 i 的齊料結果，並更新成品所需半成品 j 及原物料 k 的剩餘庫存數量 Q_j^{RS} 及 Q_k^{RM} 。

表 3.33 offspring1 成品所需品項是否齊料

產品 i	成品需求數量 Q_i^{FD}	品項 j, k	齊料結果 $FM_{ij}^{SF}, FM_{ik}^{MF}$	配置數量 Q_{ij}^{SF}, Q_{ik}^{MF}	剩餘庫存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新後)	剩餘庫存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新後)	成品齊料結果 FM_i^F
A1	130	B1	0	130	0	0	1
		B2	0	130	0	0	
		C11	0	130	30	30	
A2	120	C1	1	120	20	20	1
		B3	1	120	0	0	
		B4	1	120	0	0	
A3	150	B7	0	0	0	0	0
		B8	0	0	10	10	
		C11	0	0	30	30	

註： $FM_i^F = 1 \rightarrow Q_i^F = Q_i^{FD}, Q_j^{RS} = 0, Q_i^{SF} = 0$
 $FM_i^F = 0 \rightarrow Q_i^F = 0, Q_j^{RS} = Q_{ij}^{SF}, Q_i^{SF} = Q_i^{FD}$

有了各成品需求配置結果及各品項配置後的剩餘庫存數量，同 3.3.6.4 小節，圖 3.39 為 offspring1 配置的結果，品項斜體字表示缺料，粗體字表示齊料；染色體中 0 表示缺料，1 表示齊料。

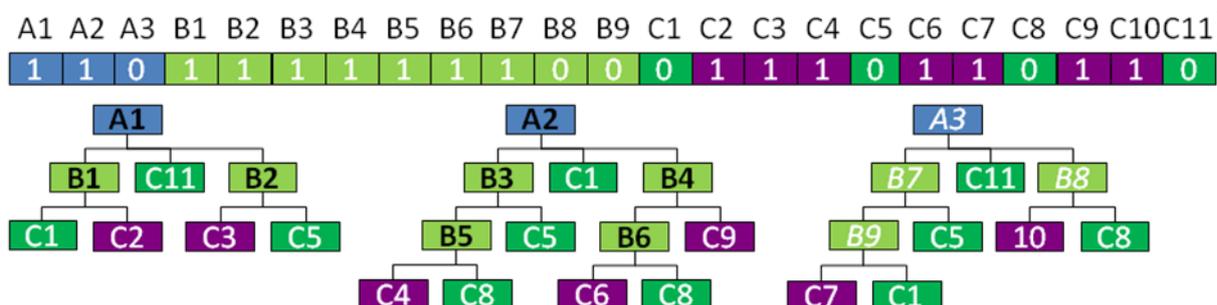


圖 3.39 offspring1 配置後品項齊料結果示意圖

offspring1 配置後的相關資訊，見表 3.34、3.35 及 3.36。

表 3.34 offspring1 成品收益相關資訊(三)

產品 i	需求數量 Q_i^{FD}	缺貨單位成本 C_i^{FP}	缺貨數量 Q_i^{SF}	售價 P_i^{FS}	利潤 $P_i^{FS} \times Q_i^F$	缺貨成本 $C_i^{FP} \times Q_i^{SF}$
A1	130	\$15	130	\$150	\$19500	\$0
A2	120	\$18	0	\$180	\$21600	\$0
A3	150	\$20	150	\$200	\$0	\$3000

表 3.35 offspring1 半成品剩餘庫存資訊(三)

半成品 j	剩於庫存數量 Q_j^{RS}	庫存單位成本 C_j^{SH}	庫存成本 $C_j^{SH} \times Q_j^{RS}$
B1	0	\$8	\$0
B2	0	\$5	\$0
B3	0	\$9	\$0
B4	0	\$8	\$0
B5	0	\$6	\$0
B6	0	\$6	\$0
B7	0	\$8	\$0
B8	10	\$5	\$50
B9	10	\$5	\$50

表 3.36 offspring1 原物料剩餘庫存及採購資訊(三)

採購件 k	採購單價 C_k^{MP}	剩餘庫存數量 Q_k^{RM}	庫存成本 $C_k^{MP} \times Q_k^{RM}$	應採購數量 Q_k^{PM}
C1	\$2	20	\$40	120
C2	\$4	20	\$80	0
C3	\$2	10	\$20	0
C4	\$3	10	\$30	0
C5	\$2	40	\$80	110
C6	\$3	0	\$240	0
C7	\$2	150	\$300	0
C8	\$5	70	\$350	70
C9	\$3	20	\$60	0
C10	\$3	150	\$450	0
C11	\$2	30	\$60	120

並利用相關資訊及方程式(1)計算適應函數：

offspring1 總收益

$$Z = \sum_i^I P_i^{FS} Q_i^F - \left(\sum_i^I C_i^{FP} Q_i^{SHF} + \sum_j^J C_j^{SH} Q_j^{RS} + \sum_k^K C_k^{MP} Q_k^{RM} \right)$$

$$= 41100 - (3000 + 100 + 1710)$$

$$= 36290$$

同樣的解碼方式，利用圖 3.40 中 offspring4 的染色體進行配置結果見表 3.37 及表 3.38。



圖 3.40 完成基因過程所得到的子代

表 3.37 offspring4 半成品需求物料配置(一)

半成品 j	需求數量 Q_{jk}^{SMD}	需求品項 k	現有庫存數量 Q_k^{MI}	配置數量 Q_{jk}^{MS}	剩餘庫存數量 Q_k^{RM}	齊料結果 FM_j^S
B1	120	C1	260	120	140	1
		C2	140	120	20	
B2	120	C3	130	120	10	1
		C5	280	120	160	
B5	110	C4	120	110	10	1
		C8	260	110	150	
B6	80	C6	80	80	0	1
		C8	150	80	70	
B8	140	C10	150	0	150	0
		C8	70	0	70	
B9	140	C7	150	140	10	1
		C1	140	140	0	

表 3.38 offspring4 半成品需求物料配置(二)

半成品 j	需求數量 $Q_{jj'}^{SD}, Q_{jk}^{SMD}$	需求品項 j', k	現有庫存數量 Q_j^{SI}, Q_k^{MI}	配置數量 Q_{jk}^{SMD}	剩餘庫存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM}	齊料結果 FM_j^S
B3	120	C5	160	0	160	0
		B5	120	0	120	
B4	100	C9	120	100	20	1
		B6	100	100	0	
B7	150	B9	10	150	0	1
		C5	40	150	10	

註：若下階半成品齊料，則 $Q_{jj'}^{SS} = Q_{jj'}^{SD}$ ， $Q_{j'}^{RS} = 0$ ， $Q_j^{SI} = Q_{ij}^{SF}$ ；若下階半成品不齊料，則 $Q_{jj'}^{SS} = 0$ ， $Q_{j'}^{RS} = Q_j^{SI}$ （計算半成品對半成品時，若下階半成品齊料，則所需其餘的原物料為非共用料時，配置數量足量滿足需求，並修正上階半成品的齊料結果。）

接著同樣判斷成品所需的品項是否其料，以決定是否配置共用料，見表 3.39。

表 3.39 offspring4 判斷成品所需品項是否齊料

成品 i	半成品 j	齊料結果 FM_{ij}^{SF}
A1	B1	1
	B2	1
A3	B7	1
	B8	0
A2	B3	0
	B4	1

Offspring4 的染色體配置後得到 A1 所需的半成品都齊料，因此將共用料配置給 A1。

表 3.40 offspring4 成品共用料配置數量與齊料結果

產品 i	需求數量 Q_{ik}^{FMD}	原物料 k	配置數量 Q_{ik}^{MF}	齊料結果 FM_{ik}^{MF}	剩餘庫存數量 Q_k^{RM}
A1	130	C11	130	1	30
A3	150	C11	0	0	
A2	120	C1	0	0	140

配置後同 3.3.6.3 小節，判斷成品 i 的齊料結果，並更新成品所需半成品 j 及原物料 k 的剩餘庫存數量 Q_j^{RS} 及 Q_k^{RM} 。

表 3.41 offspring4 成品所需品項是否齊料

產品 i	成品需求 數量 Q_i^{FD}	品 項 j, k	齊料結果 $FM_{ij}^{SF}, FM_{ik}^{MF}$	配置數量 Q_{ij}^{SF}, Q_{ik}^{MF}	剩餘庫 存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新後)	剩餘庫 存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新後)	成品齊料 結果 FM_i^F
A1	130	B1	1	130	0	0	1
		B2	1	130	0	0	
		C11	1	130	0	30	

產品 i	成品需求 數量 Q_i^{FD}	品 項 j, k	齊料結果 $FM_{ij}^{SF}, FM_{ik}^{MF}$	配置數量 Q_{ij}^{SF}, Q_{ik}^{MF}	剩餘庫 存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新後)	剩餘庫 存數量 Q_j^{RS}, Q_k^{RM} (更新後)	成品齊料 結果 FM_i^F
A2	120	C1	0	0	0	20	0
		B3	0	0	0	0	
		B4	1	120	0	120	
A3	150	B7	1	150	0	150	0
		B8	0	0	10	10	
		C11	0	0	30	30	

註： $FM_i^F = 1 \rightarrow Q_i^F = Q_i^{FD}, Q_j^{RS} = 0, Q_i^{SF} = 0$
 $FM_i^F = 0 \rightarrow Q_i^F = 0, Q_j^{RS} = Q_{ij}^{SF}, Q_i^{SF} = Q_i^{FD}$

有了各成品需求配置結果及各品項配置後的剩餘庫存數量，同 3.3.6.4 小節，圖 3.41 為 offspring4 配置的結果，品項斜體字表示缺料，粗體字表示齊料；染色體中 0 表示缺料，1 表示齊料。

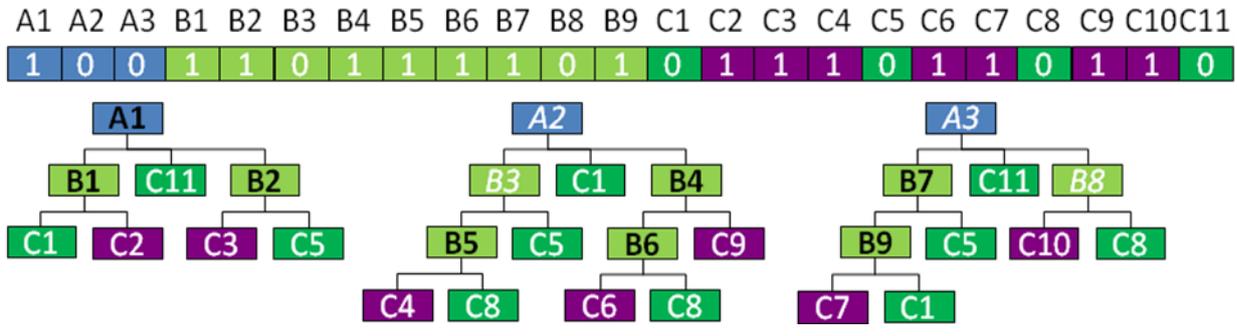


圖 3.41 offspring4 配置後品項齊料結果示意圖

Offspring4 配置後的相關資訊，見表 3.42、3.43 及 3.44

表 3.42 offspring1 成品收益相關資訊(三)

產品 i	需求數量 Q_i^{FD}	缺貨單位成本 C_i^{FP}	缺貨數量 Q_i^{SF}	售價 P_i^{FS}	利潤 $P_i^{FS} \times Q_i^F$	缺貨成本 $C_i^{FP} \times Q_i^{SF}$
A1	130	\$15	0	\$150	\$19500	\$0
A2	120	\$18	120	\$180	\$0	\$2160
A3	150	\$20	150	\$200	\$0	\$3000

表 3.43 offspring1 半成品剩餘庫存資訊(三)

半成品 j	剩於庫存數量 Q_j^{RS}	庫存單位成本 C_j^{SH}	庫存成本 $C_j^{SH} \times Q_j^{RS}$
B1	0	\$8	\$0
B2	0	\$5	\$0
B3	0	\$9	\$0
B4	120	\$8	\$960
B5	120	\$6	\$720
B6	0	\$6	\$0
B7	150	\$8	\$1200
B8	10	\$5	\$50
B9	0	\$5	\$50

表 3.44 offspring1 原物料剩餘庫存及採購資訊(三)

採購件 k	採購 單價 C_k^{MP}	剩餘庫 存數量 Q_k^{RM}	庫存成本 $C_k^{MP} \times Q_k^{RM}$	應採購 數量 Q_k^{PM}
C1	\$2	0	\$0	120
C2	\$4	20	\$80	0
C3	\$2	10	\$20	0
C4	\$3	10	\$30	0
C5	\$2	10	\$20	110
C6	\$3	0	\$0	0
C7	\$2	10	\$20	0
C8	\$5	70	\$350	70
C9	\$3	20	\$60	0
C10	\$3	150	\$450	0
C11	\$2	30	\$60	120

並利用相關資訊及方程式(1)計算適應函數：

offspring4 總收益

$$Z = \sum_i^I P_i^{FS} Q_i^F - \left(\sum_i^I C_i^{FP} Q_i^{SHF} + \sum_j^J C_j^{SH} Q_j^{RS} + \sum_k^K C_k^{MP} Q_k^{RM} \right)$$

$$= 19500 - (5160 + 2980 + 1090)$$

$$= 10270$$

最後判斷是否已達停止條件，若已達到中止條件，則結束驗算法之運算，取得在有限時間內，最佳的物料最大化規劃結果，其產出結果包含：

1. 物料最大化之總收益(包含成品收益及缺貨)
2. 各品項齊料結果
3. 各品項剩餘庫存

總結 3.3.7 小節，經過物料最大化基因演算法前後所得的收益彙總如表 3.45，可以經規劃後所最佳的結果為 offspring1。

表 3.45 規劃結果彙總比較表

規劃結果	總收益	成品收益	缺貨成本	存貨總成本
Parent1	\$12150	\$21600	\$4950	\$3450
Parent2	\$21670	\$30000	\$3720	\$3560
Offspring1	\$35240	\$41100	\$3000	\$1810
Offspring4	\$9220	\$19500	\$5160	\$4070

第四章 績效評估

本章節利用實驗設計之方法，以不同的環境因子及其水準設計出各種物料規劃的集合，並透過實驗，在考慮規劃結果(總收益)及執行時間下，找出各種物料規劃最適當的基因演算法之參數設定(包含世代數量、交配機率、突變機率及執行代數)。此外，利用相同的案例背景，以總收益及成品缺貨數量為維度，進一步比較本研究所提出物料最大化之基因演算模式與業界現行啟發式規劃方法。本章節區分為兩節，第 4.1 節說明整體實驗的環境建構，第 4.2 節進行實驗設計，呈現其結果與分析。

4.1 實驗方式與環境建構

4.1.1 實驗環境

1. 需求資訊：

本研究考量的需求資訊為各成品項的需求量，透過規劃將有限的物料配置，找出成品需求滿足與否，考量配置後的成品缺貨成本、半成品庫存成本、原物料庫存成本及採購成本等；另外，成品需求透過隨機的方式，決定各成品的需求數量。

2. 多階產品、多品項、多共用料的物料規劃環境：

本研究探討之產品結構可適用於產品多階層、多個品項及多共用料的物料規劃環境，如圖 4.1，其中原物料用來組成多種半成品及成品，不考慮半成品共用，共用料的配置將會影響各品項的齊料情形。

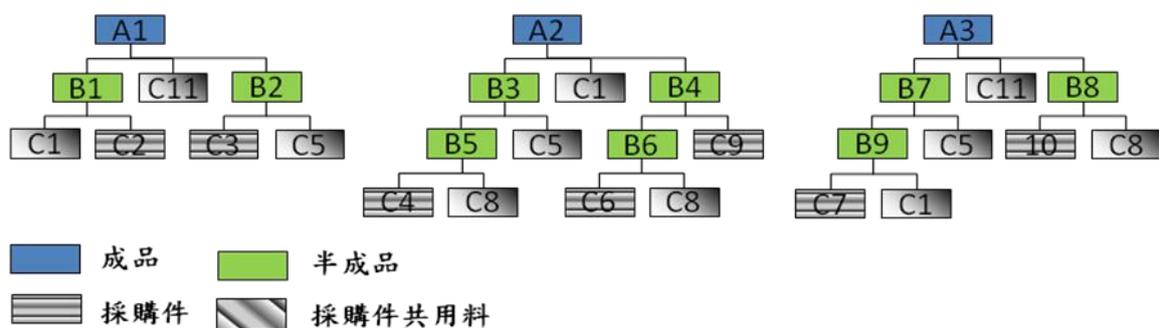


圖 4.1 物料規劃環境示意圖

3. Batch 型產品的產品結構：

網路通訊設備製造業具備有 Batch 型與連批型產品結構的特性，本研究考量 Batch 型的齊料方式，成品不齊料、半成品齊料可先配置。

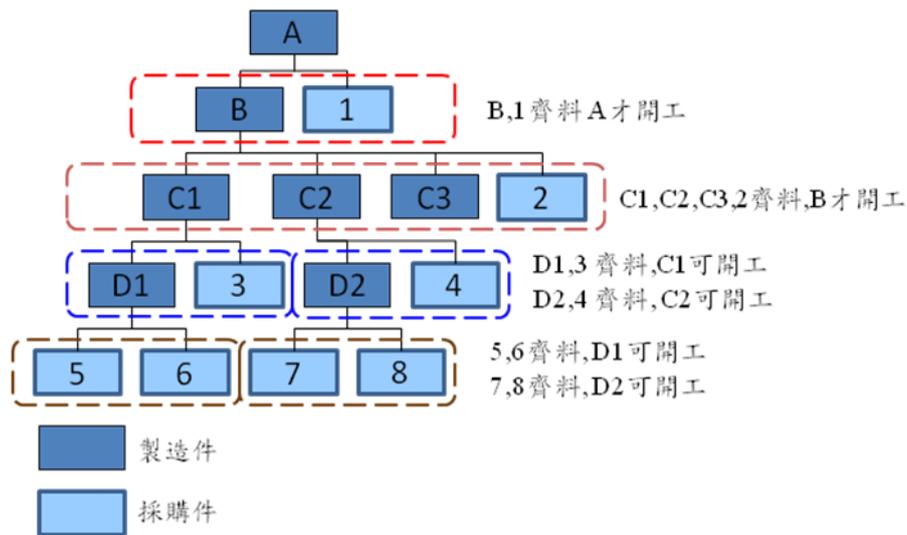


圖 4.2 Batch 型產品的齊料與開工關係示意圖

4. 進行實驗之作業系統環境：

本實驗之作業系統為 Windows XP Professional SP3，CPU 為 AMD Intel(R) Core(TM)2 Quad Q8200 2.33GHz，1.97GB RAM，求解工具為 Dev C++。

4.1.2 實驗因子及基因演算法參數

實驗因子可區分為環境因子及控制因子，其中，環境因子包含品項種類多寡、產品的階層數；而控制因子為共用料種類多寡；就基因演算法而言，其參數設定包含每世代之染色體數、進行交配之機率、進行突變之機率及執行代數。以下將詳細說明各種因子及參數。

1. 環境因子

(1) 品項種類因子：

品項種類因子分為種類多、一般及少三個水準，種類多，表示有 300 種成品、800 種半成品及 1500 種原物料；種類一般等表示有 150 種成品、400 種半成品及 750 種原物料，種類少表示有 75 種成品、200 種半成品及 300 種原物料。

(2) 產品階層數種類因子：

產品階層數種類因子分為種類多與種類少兩個水準，種類多因子的產品階層數包含 2 階~3 階；種類少因子的產品階層數包含 2 階~5 階

各環境因子的水準整理如表 4.1

表 4.1 環境因子

環境因子	因子水準	說明		
品項種類因子	品項屬性	成品	半成品	原物料
	種類多	300 種	800 種	1500 種
	種類一般	150 種	400 種	750 種
	種類少	75 種	200 種	300 種
產品階層數種類因子	種類少	產品階層數包含 2 階及 3 階		
	種類多	產品階層數包含 2 階、3 階、4 階及 5 階		

2. 控制因子

(1) 共用料種類因子：

網路通訊設備製造業具有多共用料的產品結構特性，由於共用料種類之多寡將會影響物料規劃的複雜性，因此本研究將共用料類型的分為三種水準高、中及低三種。種類多表示原物料中 75% 為共用料；中表示有 50% 為共用料；低表示有 25% 為共用料，分別將控制因子整理如表 4.2。

表 4.2 控制因子

控制因子	因子水準	說明
共用料種類因子	高	75% 為共用料
	中	50% 為共用料
	低	25% 為共用料

3. 基因演算法參數

基因演算法的參數主要分為四個部份，每世代染色體數目、任兩染色體發生交配的機率、每世代各染色體發生突變的機率及執行代數。

(1) 每世代染色體數目：

每世代染色體數量分為三種水準，分別為 50 個染色體、35 個染色體及 20 個染色體。

(2) 交配的機率：

交配的機率分為高與低兩種水準，高水準的機率為 15%；低水準的機率為 10%。

(3) 突變的機率：

突變的機率分為高與低兩種水準，高水準的機率為 15%；低水準的機率為 10%。

(4) 執行代數：

執行代數可區分為 300 代及 100 代兩種水準。此外，若連續 10 個世代之最適值(總收益)相同時，則停止運算，反之，則繼續執行直到達成所設定之執行代數。

基因演算法各種參數設定因子及其水準如表 4.3：

表 4.3 基因演算法參數

環境因子	因子水準	說明
每世代染色體數目	種類多	每世代產生 50 個染色體
	種類一般	每世代產生 35 個染色體
	種類少	每世代產生 20 個染色體
進行交配之機率	機率高	交配機率為 15%
	機率低	交配機率為 10%
進行突變之機率	機率高	染色體發生突變的機率為 15%
	機率低	染色體發生突變的機率為 10%
執行代數	代數多	執行 300 世代
	代數少	執行 100 世代
終止條件： (a) 到達執行代數 (b) 連續 10 個世代最適值相同		

4.2 實驗設計及分析

4.2.1 各種環境因子集合之基因演算法參數設定

承 4.1 節所提及之各種環境因子組合，此部分進一步說明在各種環境因子組合下(如表 4.4 所示)，如何設定最適當的相關參數於本研究所提出之基因演算法，包含每世代染色體數、進行交配之機率、進行突變之機率及執行代數，其考量因素為規劃的執行時間及其規劃結果(總收益)。

表 4.4 環境因子集合表

環境因子組合	品項種類	產品階層數種類
環境因子組合 A	種類多	種類多

環境因子組合	品項種類	產品階層數種類
環境因子組合 B	種類一般	種類多
環境因子組合 C	種類少	種類多
環境因子組合 D	種類多	種類少
環境因子組合 E	種類一般	種類少
環境因子組合 F	種類少	種類少

以環境組合 A 為例，品項種類多及產品階層種類多，詳細資訊包含：成品 300 種、半成品 800 種及原物料 1500 種，產品階層種類包含 2、3、4 及 5 階四種不同階層數的產品。

同樣承接 4.1 節，所有基因演算法參數的集合如表 4.5

表 4.5 基因演算法參數集合表

基因參數組合	每世代染色體數	交配機率	突變機率	執行代數
1	20	10%	10%	100
2	20	15%	10%	100
3	20	10%	10%	300
4	20	15%	10%	300
5	35	10%	10%	100
6	35	15%	10%	100
7	35	10%	10%	300
8	35	15%	10%	300
9	50	10%	10%	100
10	50	15%	10%	100
11	50	10%	10%	300
12	50	15%	10%	300
13	20	10%	15%	100
14	20	15%	15%	100
15	20	10%	15%	300
16	20	15%	15%	300
17	35	10%	15%	100
18	35	15%	15%	100
19	35	10%	15%	300
20	35	15%	15%	300
21	50	10%	15%	100
22	50	15%	15%	100
23	50	10%	15%	300
24	50	15%	15%	300

在環境集合 A 下，各種基因演算法參數集合所求得之總收益及其規劃

執行時間如圖 4.3 所示。

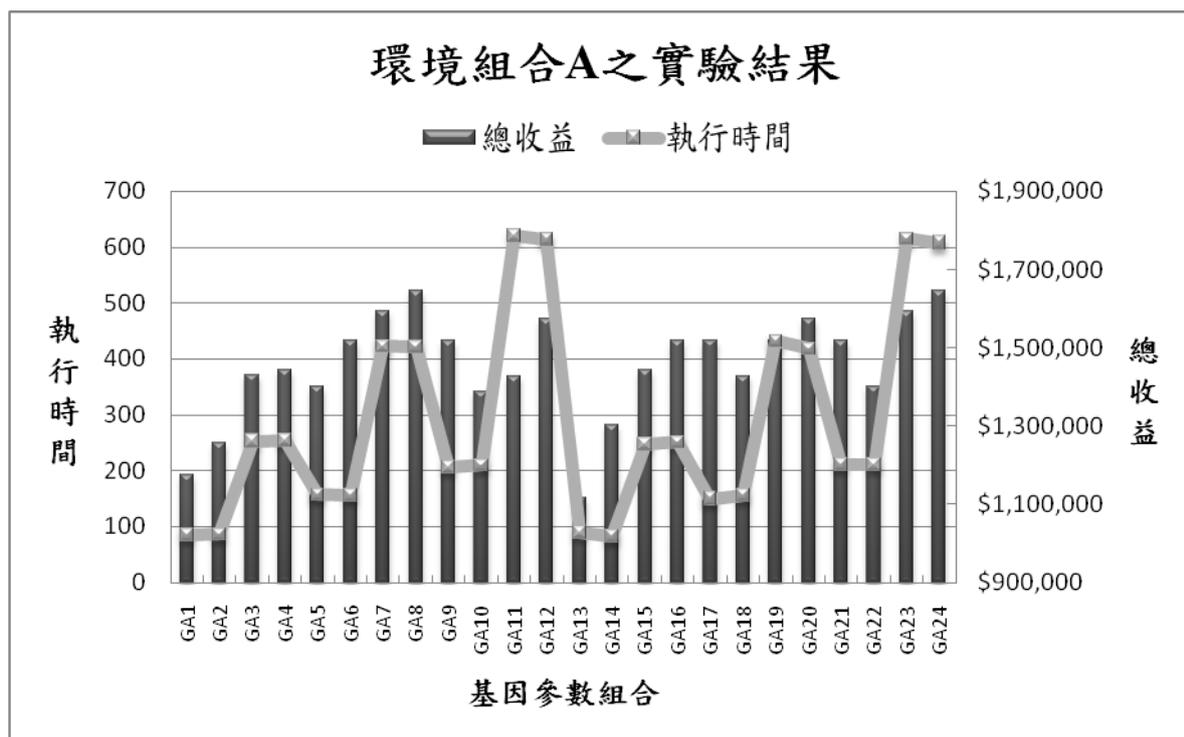


圖 4.3 環境組合 A 各基因演算法參數集合之最適值及執行時間

然而，考量執行時間及規劃結果(總收益)，雖然編號為 24 之基因演算法參數組合具有最好的規劃結果，但其所需之規劃時間較長，因此，選取與編號為 24 之基因演算法參數組合之總收益差異小於 5%，具有最短執行時間者為最適當之基因演算法參數集合，相關資訊如表 4.6 所示。

表 4.6 各基因演算法參數集合之執行時間及最適值彙整表

基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
1	\$1,173,696	28.69%		85
2	\$1,256,534	23.66%		86
3	\$1,428,525	13.21%		253
4	\$1,442,719	12.34%		254
5	\$1,401,441	14.85%		157
6	\$1,518,907	7.71%		156
7	\$1,592,717	3.23%	V	423
8	\$1,645,870	0	V	421
9	\$1,517,325	7.81%		206
10	\$1,387,275	15.71%		210
11	\$1,426,090	13.35%		621
12	\$1,573,877	4.37%	V	614
13	\$1,116,697	32.15%		89

基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
14	\$1,301,248	20.94%		83
15	\$1,443,997	12.27%		248
16	\$1,517,325	7.81%		251
17	\$1,517,325	7.81%		150
18	\$1,426,346	13.34%		156
19	\$1,518,907	7.71%		432
20	\$1,573,877	4.37%	V	418
21	\$1,517,325	7.81%		211
22	\$1,401,441	14.85%		211
23	\$1,592,717	3.23%	V	615
24	\$1,645,870	0	V	608
現行啟發式規劃	\$961,641	改善幅度	\$684,229	

根據表 4.6 得知，在編號為 8 與 24 之基因參數組合得到最適值，與這兩組總收益差異小於 5% 者有編號 7、8、12、20 及 23 等 5 組。其中以編號 20 之基因演算法參數組合具有最短的執行時間，因此，在環境集合 A 下，最適當的基因演算法參數集合為編號 20，即成品 300 種、半成品 800 種及原物料 1500 種，產品階層種類包含 2、3、4 及 5 階四種不同階層數的產品最適當的基因演算法參數設定為每世代染色體數為 35，進行交配之機率為 10%，進行突變之機率為 15%，以及執行 300 個世代，進一步而言，由於此環境規模較大，此參數設定在於染色體、交配機率及突變機率皆為較大者，故能搜尋到較佳的解，為考量規劃求解時間，因此在可行方案內選擇染色體數目為一般，在交配機率與突變機率大的基因參數組合。其餘各環境組合之最適當基因演算法參數設定整理於附錄。

4.2.2 本研究之模式與現行啟發式規劃方法比較

除了探討各個環境組合最適當的基因演算法參數設定外，本研究以品項種類多及產品階層種類多的環境(環境組合 A)，比較現行以優先權為基礎(priority-based)的啟發式規劃方法與本研究所提出之物料最大化基因演算法的規劃結果，並以總收益的觀點，探討兩種方法於共用料配置對成品收益、成品缺貨與半成品存貨成本之影響。

考量在網路通訊設備製造業的產品種類及規格多樣化，且共用料繁多，在原物料及半成品現有庫存可供數量有限的情況下，考量 Batch 型產品齊料的特性下，如何有效配置共用料，達到物料最大化之目的。就物

料規劃的總收益而言，在不同的控制因子水準(共用料品項多寡)下，比較本研究物料最大化之基因演算法與現行啟發式規劃方法。

從表 4.7 及圖 4.4 中可以得知，在品項種類多及產品階層種類多的環境(環境組合 A)，不同控制因子下，不論共用料少或多，本研究所提出之方法在總收益的部分皆較現行啟發式的方法佳，且 1500 種原物料中共用料比例從 25% 增加至 75% 時，總收益改善幅度也有明顯的增加。

表 4.7 環境因子組合 A 在不同控制因子下總收益比較表

總收益比較表	水準低	水準中	水準高
共用料比例	25% 為共用料	50% 為共用料	75% 為共用料
本研究方法	\$1,239,291	\$1,339,268	\$1,645,870
啟發式方法	\$906,355	\$922,476	\$961,641
改善幅度	36.73%	45.18%	71.15%

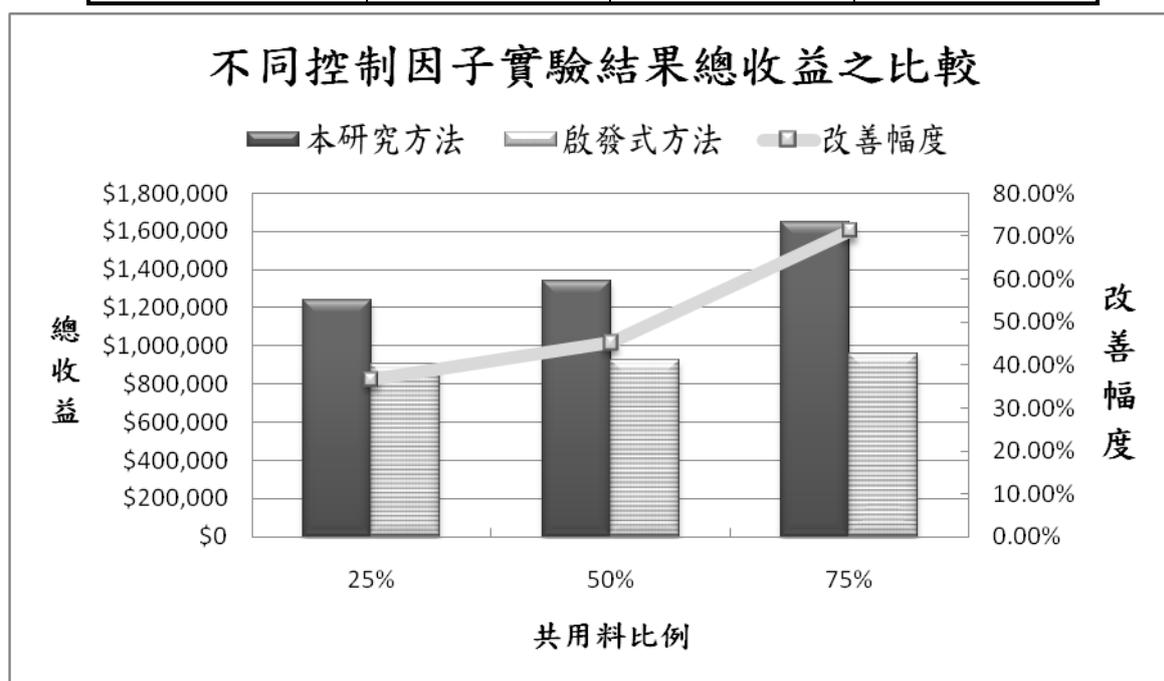


圖 4.4 環境因子組合 A 在不同控制因子下總收益比較

從表 4.7 及圖 4.4 中可以得知，在品項種類多及產品階層種類多的環境(環境組合 A)，不同控制因子下，不論共用料少或多，本研究所提出之方法在總收益的部分皆較現行啟發式的方法佳，且 1500 種原物料中共用料比例從 25% 增加至 75% 時，總收益改善幅度也有明顯的增加。

從下圖 4.5 及表 4.8 中可以得知，在原料數量有限的環境下，僅能滿足部份的需求時，本研究所提出之基因演算法仍較優先權為基礎之啟發式

規劃方法在缺貨成本方面有些微的改善。從成品收益的角度觀察，如圖 4.6 及表 4.9，可看出透過本研究之方法有效配置共用料，即使缺貨改善幅度不高，卻能使成品收益有效提升。且隨著共用料比例的增加，改善幅度也隨之增加。

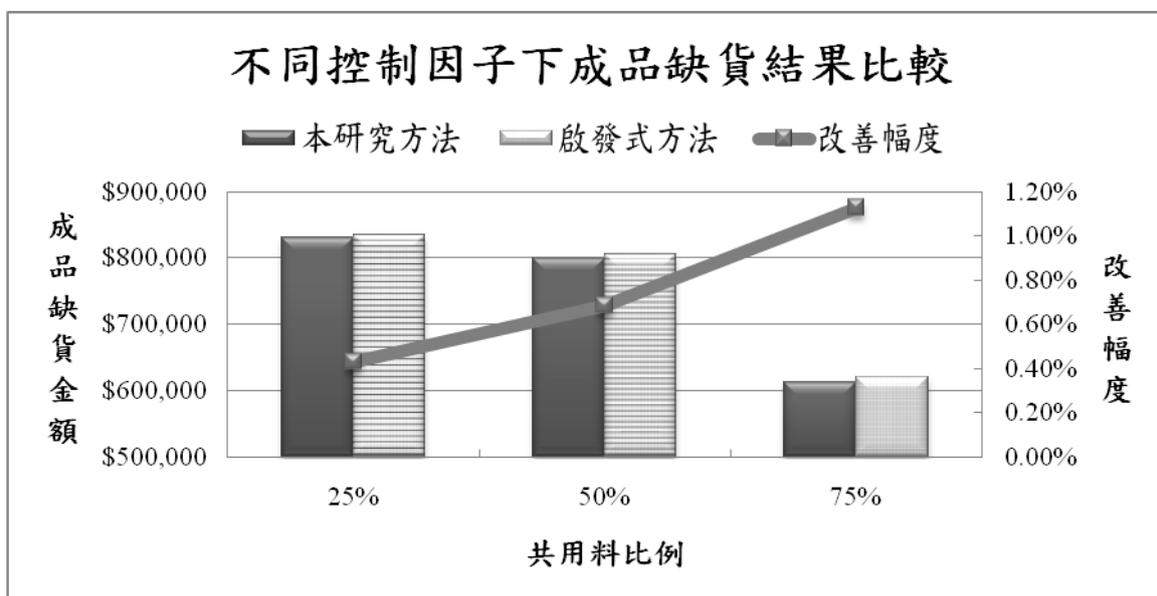


圖 4.5 環境因子組合 A 在不同控制因子下成品缺貨比較

表 4.8 不同共用料比例下成品缺貨比較表

共用料比例	本研究方法	啟發式方法	改善幅度
25%	\$831,182	\$834,764	0.43%
50%	\$800,671	\$806,189	0.68%
75%	\$612,586	\$619,571	1.13%

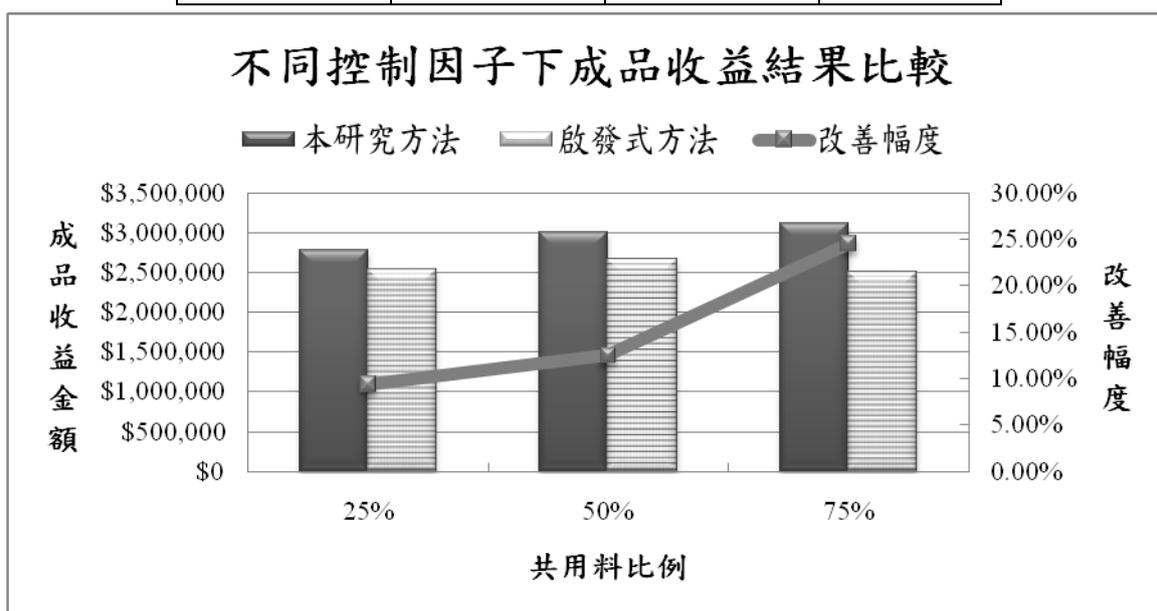


圖 4.6 環境因子組合 A 在不同控制因子下成品收益比較

表 4.9 不同共用料比例下成品收益比較表

共用料比例	本研究方法	啟發式方法	改善幅度
25%	\$2,774,918	\$2,536,959	9.38%
50%	\$3,004,360	\$2,670,861	12.49%
75%	\$3,115,940	\$2,502,588	24.51%

從半成品存貨的角度觀察，如圖 4.7 及表 4.10 可看出隨著不同的控制因子，即共用料比例越高，半成品存貨的改善幅度也有明顯的增加，本研究所提出之基因演算法在半成品存貨明顯優於以優先權為基礎之方法，最大的主因在於以優先權為基礎的規劃方法容易造成雖然可完成半成品，缺無法製造為成品，造成半成品庫存數量大幅提升，也是導致整體收益大幅下降的關鍵。

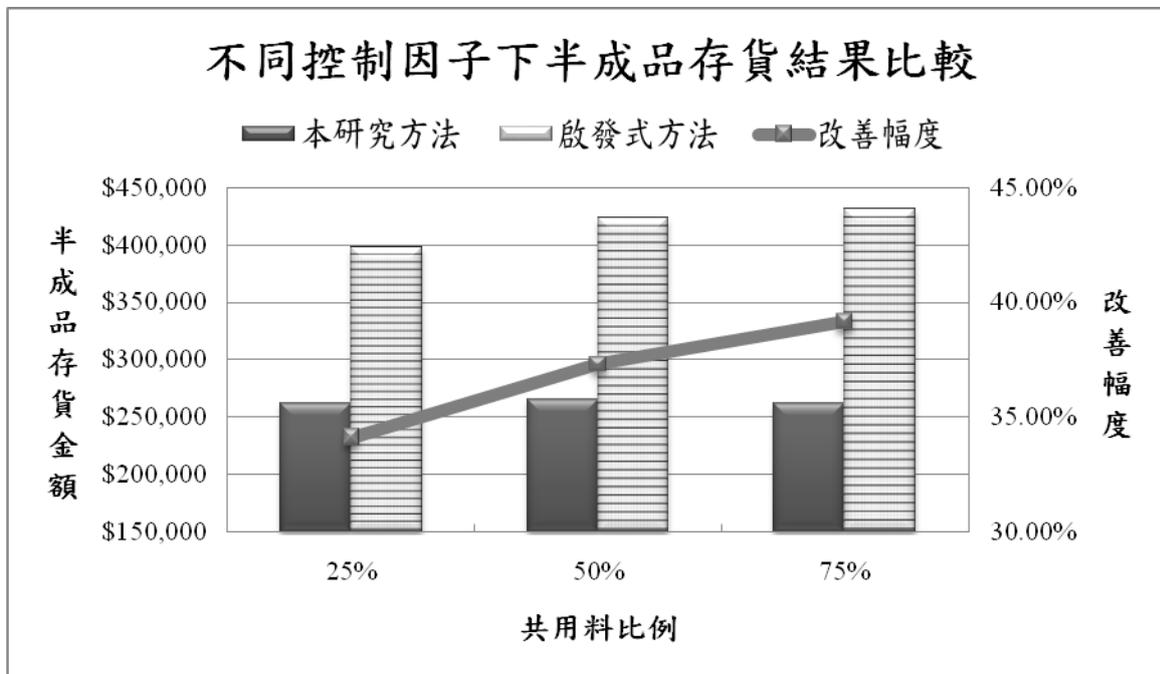


圖 4.7 環境因子組合 A 在不同控制因子下半成品存貨比較

表 4.10 不同共用料比例下半成品存貨比較表

共用料比例	本研究方法	啟發式方法	改善幅度
25%	\$262,064	\$397,815	34.12%
50%	\$265,632	\$423,729	37.31%
75%	\$262,512	\$431,429	39.15%

綜合 4.2.2 小節實驗觀察結果，可得知在物料有限的情況下，本研究所提出物料最大化之基因演算法不論在成品缺貨、成品收益及半成品庫存，皆優於現行以優先權為基礎(priority-based)的啟發式規劃方法，能更有效配置共用料，且隨著共用料比例的增加，各項指標的改善幅度皆能有所提升。

第五章 結論與未來發展方向

5.1 結論

本研究提出一物料最大化之基因演算法，考量網路通訊設備製造業物料規劃特型，包含多階產品、多品項、Batch 型產品計算齊料的方式及共用料的產品結構等，解決物料規劃之問題。目的為提供規劃人員於多產品及多共用料的物料規劃時，以整體物料規劃之總收益最大為目標，決定如何將現有共用料配置給多品項，並計算配置後各品項的齊料狀態。

此外，利用本研究模式與業界現行以優先權為基礎(priority-based)的啟發式規劃方法進行比較，透過實驗結果分別以總收益、成品收益、成品缺貨、半成品庫存成本等不同角度進行觀察，本研究模式皆優於業界現行啟發式規劃方法，能提供規劃人員較好的規劃結果，以供參考。

5.2 未來發展方向

本研究所提出的模式，在收益與成本上表現頗佳，但本模式是以一些基本假設為前提下所建立，主要是考量 Batch 型式的產品與齊料方式，利用基因演算法解決共用料配置之問題，因此建議未來可改進的研究方向如下：

1. 探討如何同時計算 Batch 型與連批型的產品結構下共用料的配置，以達到更完整的物料規劃。
2. 考量已開立單據，如已開立工單及在途量等，考量週期並針對已開立單據的配置，進行規劃求解。
3. 本研究主要考慮共用料產品結構下的物料配置，未來可加入替代料的產品結構，同時考量替代料與共用料之配置，進行規劃求解。

參考文獻

- [1] Akrami, B., Karimi, B., & Moattar Hosseini, S. M. (2006). Two metaheuristic methods for the common cycle economic lot sizing and scheduling in flexible flow shops with limited intermediate buffers: The finite horizon case. *Applied Mathematics and Computation*, 183(1), 634-645.
- [2] Segerstedt A. (1995). Cover-Time Planning, a method for calculation of material requirements. *International Journal of Production Economics*, 41(1~3).
- [3] Dellaert, N., & Jeunet, J. (2000). Solving large unconstrained multilevel lot-sizing problems using a hybrid genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 38(5), 1083 - 1099.
- [4] Dellaert, N. P., & Jeunet, J. (2003). Randomized multi-level lot-sizing heuristics for general product structures. *European Journal of Operational Research*, 148(1), 211-228.
- [5] Euwe, M. J., & Wortmann, H. (1997). Planning systems in the next century (I). *Computers in Industry*, 34(2), 233-237.
- [6] Sun G.J., Lin. Y.K., Lan Y. F. (2010). Optimizing material procurement planning problem by two-stage fuzzy programming. *Computers & Industrial Engineering*, 58(1).
- [7] Han, Y., Tang, J., Kaku, I., & Mu, L. (2009). Solving uncapacitated multilevel lot-sizing problems using a particle swarm optimization with flexible inertial weight. *Computers & Mathematics with Applications*, 57(11-12), 1748-1755.
- [8] Ho, C.J., & Lau, H.-S. (1994). Evaluating the impact of lead time uncertainty in material requirements planning systems. *European Journal of Operational Research*, 75(1), 89-99.
- [9] Ho, J. C., Solis, A. O., & Chang, Y. L. (2007). An evaluation of lot-sizing heuristics for deteriorating inventory in material requirements planning systems. *Computers & Operations Research*, 34(9), 2562-2575.
- [10] Lin, J.T., Chen T.L., Lin Y. T. (2009). Critical material planning for TFT-LCD production industry. *International Journal of Production Economics*, 122(2).
- [11] Johnson D. and Labarre , J. (1991). Inventory control: a target for MIS support. *Production and Inventory Management*, first quarter, pp. 62-66.
- [12] Kämpf, M., & Köchel, P. (2006). Simulation-based sequencing and lot size optimisation for a production-and-inventory system with multiple items. *International Journal of Production Economics*, 104(1), 191-200.
- [13] Kilpelainen, P. (1992). *Tree Matching Problems with applications to structured text databases*. University of Helsinki.
- [14] Lamouri, S., & Thomas, A. (2000). The two level master production schedule and planning bills in a just in time MRP context. *International Journal of Production Economics*, 64(1-3), 409-415.
- [15] Luscombe, M. (1993). *MRPII, integrating the business: a practical guide for managers:*

Hardcover.

- [16] Lyu, J. J., & Lee, M.C. (2001). A parallel algorithm for the dynamic lot-sizing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 41(2), 127-134.
- [17] Moreno, M. S., & Montagna, J. M. (2009). A multiperiod model for production planning and design in a multiproduct batch environment. *Mathematical and Computer Modeling*, 4(7~8).
- [18] Mula, J., Poler, R., Garc-Sabater, J. P., & Lario, F. C. (2006). Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 271-285.
- [19] Musselman, K. (2002). The role of simulation in advanced planning and scheduling. *Winter Simulation Conference*
- [20] Nakagiri, D., & Kuriyama, S. (1996). A study of production management with MRP. *International Journal of Production Economics*, 44, pp. 27-33.
- [21] Song, D.P. (2006). Raw material release time control for complex make-to-order products with stochastic processing times. *International Journal of Production Economics*, 103(1).
- [22] Spencer, M. S., & Cox, J. F. (1995). The role of MRP in repetitive manufacturing. *International Journal of Production Research*, 33(7), 1881 - 1899.
- [23] Suerie, C., & Stadler, H. (2003). The Capacitated Lot-Sizing Problem with Linked Lot Sizes. *Management Science*, 49(8), 1039-1054.
- [24] Syarif, A., Yun, Y., & Gen, M. (2002). Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1-2), 299-314.
- [25] Zoryk-Schalla, A. J., Fransoo, J. C., & Kok., T. G. d. (2004). Modeling the planning process in advanced planning systems. *Information & Management*, 42(1), 75-87.
- [26] 王立志. (2006). 系統化運籌與供應鏈管理-企業營運新典範. 滄海書局.
- [27] 林昌亮. (2006). 協同設計及企業電子化與運籌績效影響之研究—以台灣網通產業為例. 碩士論文. 國立成功大學.
- [28] 黃俊龍. (2001). 應用基因演算法建立電子裝配業之資源配置決策模式. 碩士論文. 私立東海大學.
- [29] 蕭聖倫. (2003). APS 與 ERP 系統整合方法之探討. 碩士論文. 私立東海大學.

附錄一：產生並儲存使用共用料的品項集合

Procedure：產生並儲存使用共用料的品項集合

Begin

Step1：Load 所有含 k 的品項組成參數

Step2：check 原物料 k 的共用關係

For all k

If 共用料 k 供給不同半成品 j (不同 j 的 $Y_{jk} = 1$)

then generate $G_g^{FS} = (j, j', \dots, j^{(p)})_k$

Else if 共用料 k 供給不同成品 i (不同 i 的 $Z_{ik} = 1$)

then generate $G_g^{FS} = (i, i', \dots, i^{(m)})_k$

Else if 共用料 k 可供給半成品 j 與成品 i (相同 k 的 $Y_{jk} = 1$ and $Z_{ik} = 1$)

then generate $G_g^{FS} = (i, i', \dots, i^{(m)}, j, j', \dots, j^{(p)})_k$

Else

End if

End for

Step3：Save 所有產生的集合 G_g^{FS}

Step4：Repeat **Step2** 和 **Step3** 直到所有的原物料 k 都檢查完畢

End

附錄二：產生初始 GA 的染色體

Procedure: 產生初始 GA 的染色體

Input:

各成品的需求數量 Q_i^{FD}

各品項現有庫存數量 Q_j^{SI} 、 Q_k^{MI}

各品項間的需求數量 Q_{ij}^{FSD} 、 Q_{ij}^{FSN} 、 Q_{ik}^{FMD} 、 Q_{ik}^{FMN} 、 $Q_{jj'}^{SD}$ 、 $Q_{jj'}^{SN}$ 、 Q_{jk}^{SMD} 、 Q_{jk}^{SMN}

各品項間的齊料碼 FM_{ij}^{SF} 、 FM_{ik}^{MF} 、 FM_{jk}^{MS} 、 $FM_{jj'}^{SS}$

各半成品的庫存持有成本 C_j^{SH}

各成品售價 P_i^{SF}

Begin

Generate four matrices: A[FM_j^S]_{1xj}, B[FM_j^S]_{1xj}, C[C_j^{SH}]_{1xj}, D[P_i^{SF}]_{1xi}

Sort C[C_j^{SH}]_{1xj} (從大到小)

Sort D[P_i^{SF}]_{1xi} (從大到小)

Do while (半成品 j 有使用共用料且所需非共用料 j 的齊料碼 FM_{jk}^{MS} 皆為 1)

Set $FM_j^S =$ generate stochastically 1 or 0

(依照預期的齊料碼對下階半成品進行配置)

For all j

Set $FM_{jk}^{MS} = FM_j^S$

If $FM_{jk}^{MS} = 1$ 的個數 > 1 (where k is the same and do not exist

any $W_{jj'} = 1$) **then**

For all j

Set $Q_{jk}^{SMD} = Q_{jk}^{MS}$ (where j 's inventory cost C_j^{SH} 最高開始配起)

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

If $Q_k^{RM} < 0$ **then**

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{RM} + Q_{jk}^{MS}$

Set $Q_{jk}^{MS} = 0$

Else

Set $Q_k^{MI} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

End If

Else

Set $Q_{jk}^{MS} = 0$

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI}$

Set $FM_j^S = 0$

End If

End For

End while

(檢查並更新下階半成品齊料與現有庫存)

For all j (where j do not exist any $W_{jj'} = 1$)

For all k

If all $FM_{jk}^{MS} = 1$ **then**

Set $Q_j^{SI} = Q_{jj'}^{SD}$

Set $Q_{jj'}^{SS} = Q_{jj'}^{SD}$

Set $FM_j^S = 1$

Set $FM_{jj'}^{SS} = 1$

Else (where 其中一 k 的 $FM_{jk}^{MS} = 0$)

If $Q_{jk}^{MS} < 0$ **then**

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{RM} + Q_{jk}^{MS}$

Set $Q_k^{MI} = Q_k^{MI} + Q_{jk}^{MS}$

Set $Q_{jk}^{MS} = 0$

Set $FM_j^S = 0$

Else

End If

End If

End for

End for

(追溯上階半成品的配置與齊料)

For all j (where j has $W_{jj'} = 1$)

Set $FM_{jk}^{MS} = FM_j^S$ (where k is common part)

If $FM_j^S = 1$ **then**

If $FM_{jj'}^{SS} = 1$ **then**

If $FM_{jk}^{MS} = 1$ 的個數 >1 (where k is the same) **then**

For all j

Set $Q_{jk}^{SMD} = Q_{jk}^{MS}$ (where j' inventory cost C_j^{SH} 最高開始配)

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

If $Q_k^{RM} < 0$ **then**

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{RM} + Q_{jk}^{MS}$

Set $Q_{jk}^{MS} = 0$

Set $FM_{jk}^{MS} = 0$

Set $FM_j^S = 0$

Else

Set $Q_k^{MI} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

Set $Q_{j'}^{SI} = Q_{jj'}^{SD}$

End If

Else If $FM_{jk}^{MS} = 1$ (only one j for k) **then**

Set $Q_{jk}^{SMD} = Q_{jk}^{MS}$

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

If $Q_k^{RM} < 0$ **then**

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{RM} + Q_{jk}^{MS}$

Set $Q_{jk}^{MS} = 0$

Set $FM_{jk}^{MS} = 0$

Set $Q_{jj'}^{SS} = 0$

Set $FM_j^S = 0$

Else

Set $Q_k^{MI} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

Set $Q_{j'}^{SI} = Q_{jj'}^{SD}$

End If

Else If $FM_{jk}^{MS} = 0$ **then**

Set $Q_{jk}^{SMD} = 0$

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI}$

Set $Q_{jj'}^{SS} = 0$

Set $FM_j^S = 0$

End If

Else

Set $Q_{jk}^{MS} = 0$

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{jk}^{SMD}$

Set $Q_{j'}^{RS} = Q_{j'}^{SI}$

Set $FM_j^S = 0$

Else

End If

End for

(檢查並更新半成品與半成品齊料及更新現有庫存)

For all j (where j has $W_{jj'} = 1$)

If all $FM_{jj'}^{SS} = 1$ and $FM_{jk}^{MS} = 1$ then

Set $Q_j^{SI} = Q_{jj'}^{SD}$

Set $Q_{jj'}^{SS} = Q_{jj'}^{SD}$

Set $FM_j^S = 1$

Else

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{RM} + Q_{jk}^{MS}$ (where $FM_{jk}^{MS} = 1$)

Set $Q_k^{MI} = Q_k^{MI} + Q_{jk}^{MS}$ (where $FM_{jk}^{MS} = 1$)

Set $Q_{jk}^{MS} = 0$ (where $FM_{jk}^{MS} = 1$)

Set $Q_{jj'}^{SS} = 0$ (where $FM_{jj'}^{SS} = 1$)

Set $Q_j^{SI} = Q_j^{RS}$

Set $FM_j^S = 0$

End If

End for

(檢查並更新半成品與半成品齊料及更新現有庫存)

For all j (where j has $X_{ij} = 1$)

If all $FM_{ij}^{SS} = 1$ and $FM_{jk}^{MS} = 1$ then

Set $Q_{ij}^{SF} = Q_{ij}^{FSD}$

Set $Q_j^{SI} = 0$

Set $FM_{ij}^{SF} = 1$

Else

Set $FM_{ij}^{SF} = 0$

Set $Q_j^{RS} = Q_j^{SI}$

End If

End for

(檢查成品所需物料齊料狀態與配置數量)

For all i

If all $FM_{ij}^{SF} = 1$ $FM_{ik}^{MF} = 1$ 的個數 > 1 (where k is the same) then

For all i

Set $Q_{ik}^{MF} = Q_{ij}^{FSD}$ (where i 's selling price P_i^{FS} 最高開始配)

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI} - Q_{ik}^{MF}$

If $Q_k^{RM} < 0$ then

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{RM} + Q_{ik}^{MF}$

Set $Q_{ik}^{MF} = 0$

Else

Set $Q_k^{MI} = Q_k^{MI} - Q_{ik}^{MF}$

End If

Else

Set $Q_{ik}^{MF} = 0$

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{MI}$

Set $FM_i^F = 0$

End If

End For

End for

(檢查成品齊料及 release 非齊料成品需求物料已配置數量)

For all i

If all $FM_{ij}^{SF} = 1$ and $FM_{ik}^{MF} = 1$ then

Set $FM_i^F = 1$

Set $Q_i^{SF} = 0$

Set $Q_i^F = Q_i^{FD}$

Else

Set $FM_i^F = 0$

Set $Q_i^{SF} = Q_i^{FD}$

Set $Q_i^F = 0$

Set $Q_{ij}^{SF} = 0$ (where $FM_{ij}^{SF} = 1$)

Set $Q_j^{RS} = Q_{ij}^{FSD}$ (where $FM_{ij}^{SF} = 1$)

Set $Q_{ik}^{MF} = 0$ (where $FM_{ik}^{MF} = 1$)

Set $Q_k^{RM} = Q_k^{RM} + Q_{ik}^{FMD}$ (where $FM_{ik}^{MF} = 1$)

End If

End for

Output Q_i^F 、 Q_i^{SF} 、 Q_j^{RS} 、 Q_k^{RM} 及 Q_k^{PM}

Output $A = [FM_j^S]_{1 \times j}$ and $B = [FM_j^S]_{1 \times j}$

End

附錄三：基因演算法-交配

Procedure: Crossover

Input: $A = [FM_j^S]_{1 \times j}$ and $B = [FM_j^S]_{1 \times j}$

Input: g , G_g^{FS} (where G_g^{FS} has j), $W_{jj'}$ (where $W_{jj'} = 1$)

Begin

Create two temporary matrices: $C [FM_j^S]_{1 \times j}$, $D [FM_j^S]_{1 \times j}$

Set matrix C = matrix A and matrix D = matrix B

Set n = randomly chosen from 1 to $g-1$

Select n groups of G_g^{FS}

Change FM_j^S between matrix C and matrix D (where j is in the selection G_g^{FS})

Check matrix C and matrix D

If $FM_j^S = 1$ and $W_{jj'} = 1$ **then**

If $FM_{j'}^S = 0$ **then**

Delete matrix

Else

Save matrix where ($FM_j^S = 1, W_{jj'} = 1$ and $FM_{j'}^S = 1$)

End If

Else

End If

Else

End If

Then generate two offsprings C and D

End

附錄四：基因演算法-突變

Procedure: Mutation

Input: $C = [FM_j^S]_{1 \times j}$, $D = [FM_j^S]_{1 \times j}$

Input: g , G_g^{FS} (where G_g^{FS} has j), $W_{jj'}$ (where $W_{jj'} = 1$), Q_k^{MI} , Q_{jk}^{SMD}

Begin

Set n = randomly chose from 1 to g

Select n groups of G_g^{FS}

If number of j in $G_g^{FS} = 1$ **then**

If $FM_j^S = 0$ **then**

Set $FM_j^S = 1$

Else

Set $FM_j^S = 0$

End If

Else Randomly Change position of FM_j^S in matrix C and matrix D (where j is in the selection G_g^{FS})

End If

Check matrix C and matrix D

If $FM_j^S = 1$ and $W_{jj'} = 1$ **then**

If $FM_{j'}^S = 0$ **then** Delete matrix

Else

If $\sum_j Q_{jk}^{SMD} > Q_k^{MI}$ **then** Delete matrix

Else

End If

End If

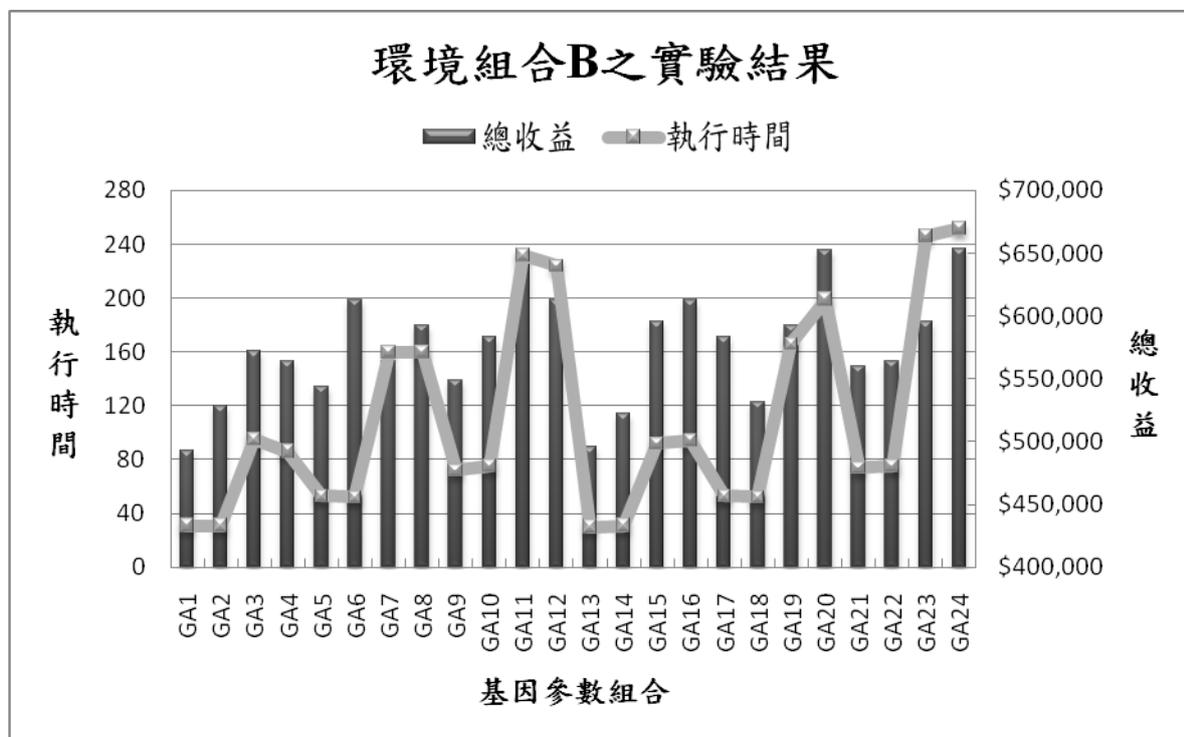
End If

Then generate two offsprings C' and D'

End

附錄五：環境組合 B 之基因演算法參數設定

以環境組合 B 為例，品項種類一般及產品階層種類多，詳細資訊包含：成品 150 種、半成品 400 種及原物料 750 種，產品階層種類包含 2、3、4 及 5 階四種不同階層數的產品



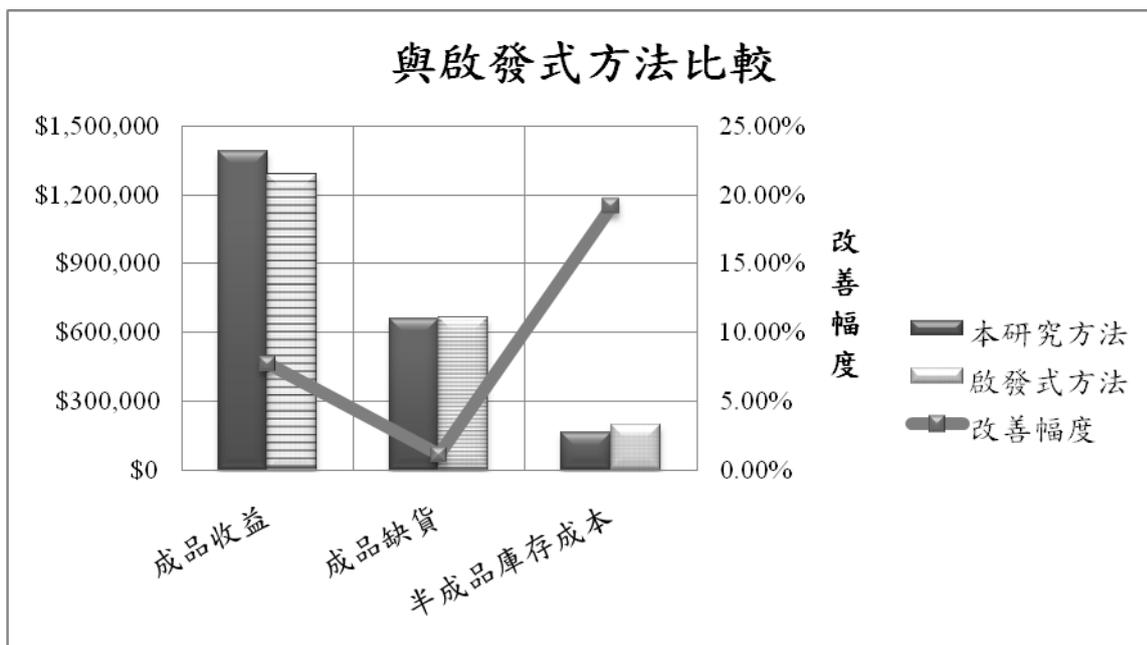
基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
1	\$492,337	0.246907		31
2	\$528,864	0.191034		31
3	\$572,065	0.124952		95
4	\$564,269	0.136877		86
5	\$543,459	0.168709		53
6	\$613,049	0.062262		52
7	\$564,269	0.136877		160
8	\$592,099	0.094308		160
9	\$549,069	0.160128		72
10	\$583,519	0.107432		75
11	\$653,753	0	V	232
12	\$613,049	0.062262		224
13	\$495,580	0.241946		30
14	\$521,949	0.201611		31
15	\$595,964	0.088396		92
16	\$613,049	0.062262		94

基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
17	\$583,519	0.107432		53
18	\$531,034	0.187715		52
19	\$592,099	0.094308		166
20	\$652,994	0.001161	V	199
21	\$560,206	0.143092		74
22	\$563,543	0.137988		75
23	\$595,964	0.088396		246
24	\$653,753	0	V	252
現行啟發式規劃	\$410,874	改善幅度	\$242,829	

在環境組合 B 下，最適當的基因演算法參數集合為第 20 組，在品項種類少及產品階層種類多，即成品 150 種、半成品 400 種及原物料 750 種，產品階層種類包含 2、3、4 及 5 階四種不同階層數的產品的環境下，最適當的基因演算法參數設定為每世代染色體數為 35，進行交配之機率為 15%，進行突變之機率為 15%，以及執行 300 個世代。

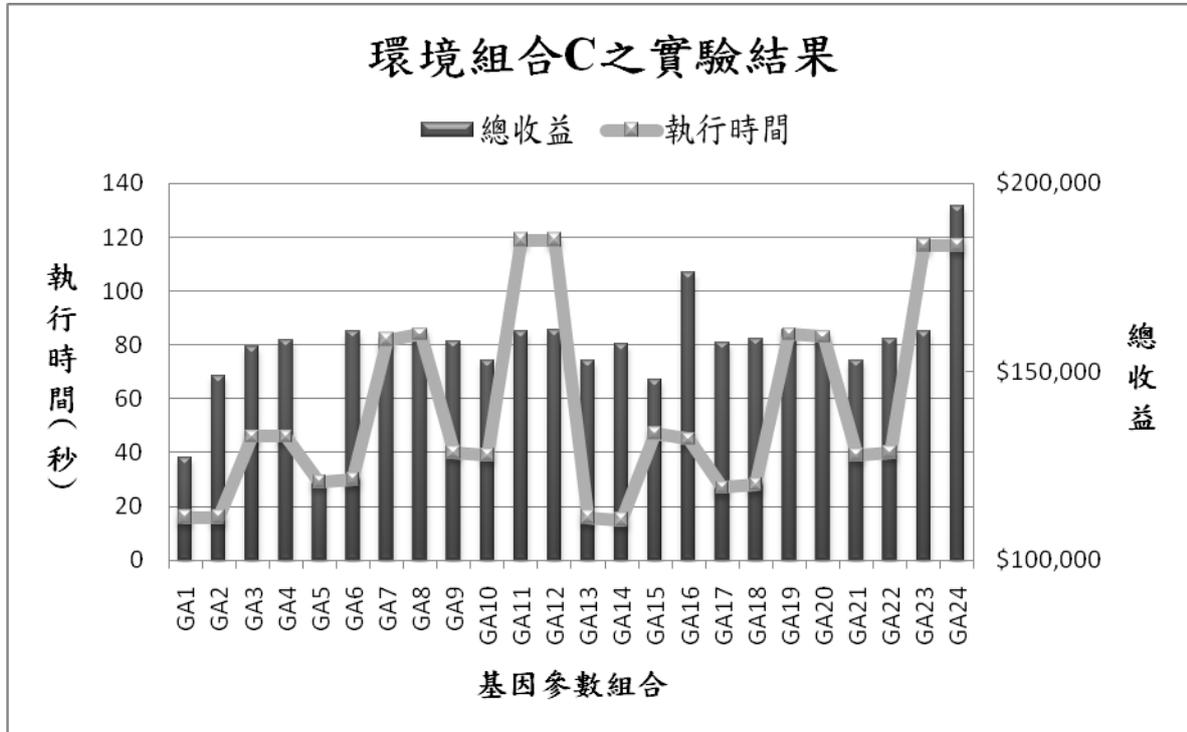
另外，基因演算法在可行方案中最佳總收益的部份較現行啟發式的規劃方法，改善了\$242,829。在成品收益、成品缺貨及半成品庫存部份的相關資訊及改善幅度如下表：

	成品收益	成品缺貨	半成品庫存成本
本研究方法	\$1,389,982	\$659,428	\$160,274
啟發式方法	\$1,290,535	\$666,751	\$198,254
改善幅度	7.71%	1.10%	19.16%



附錄六：環境組合 C 之基因演算法參數設定

以環境組合 C 為例，品項種類少及產品階層種類多，詳細資訊包含：成品 75 種、半成品 200 種及原物料 300 種，產品階層種類包含 2、3、4 及 5 階四種不同階層數的產品。



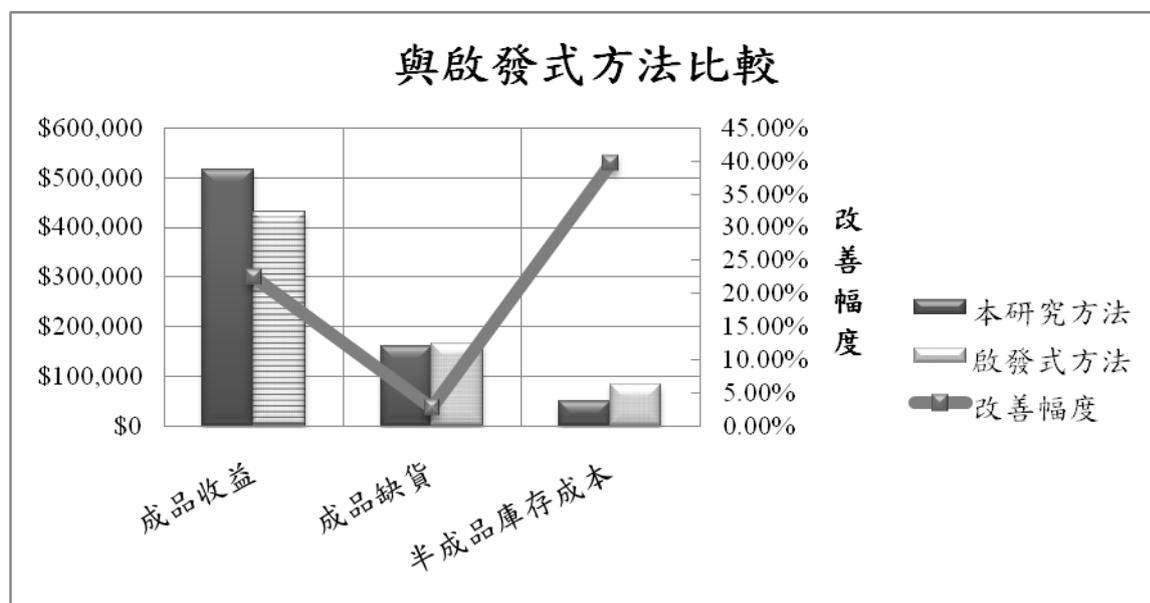
基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
1	\$127,336	0.344153		16
2	\$149,061	0.232258		16
3	\$156,621	0.193320		46
4	\$158,561	0.183328		46
5	\$122,278	0.370204		29
6	\$160,716	0.172228		30
7	\$158,871	0.181731		82
8	\$160,716	0.172228		84
9	\$158,036	0.186032		40
10	\$153,027	0.211831		39
11	\$160,834	0.171621		119
12	\$160,952	0.171013		119
13	\$153,027	0.211831		16
14	\$157,275	0.189951		15
15	\$148,035	0.237542		47

基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
16	\$176,358	0.091664		45
17	\$157,576	0.188401		27
18	\$158,871	0.181731		28
19	\$160,952	0.171013		84
20	\$159,317	0.179434		83
21	\$153,027	0.211831		39
22	\$158,871	0.181731		40
23	\$160,716	0.172228		117
24	\$194,155	0	V	117
現行啟發式規劃	\$87,509	改善幅度	\$109,646	

在環境組合 C 下，最適當的基因演算法參數集合為第 16 組，在品項種類少及產品階層種類多，即成品 75 種、半成品 200 種及原物料 300 種，產品階層種類包含 2、3、4 及 5 階四種不同階層數的產品的環境下，最適當的基因演算法參數設定為每世代染色體數為 50，進行交配之機率為 15%，進行突變之機率為 15%，以及執行 300 個世代。

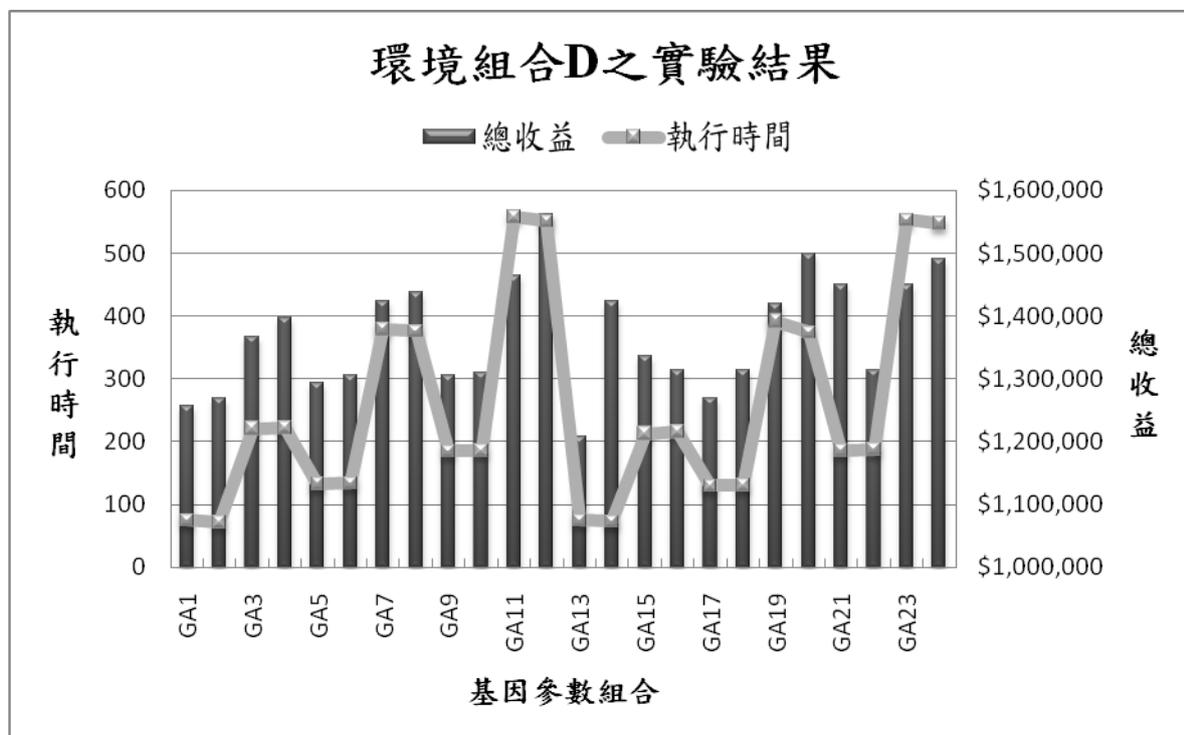
另外，基因演算法在可行方案最佳總收益的部份較現行啟發式的規劃方法，改善了\$109,646。在成品收益、成品缺貨及半成品庫存部份的相關資訊及改善幅度如下表：

	成品收益	成品缺貨	半成品庫存成本
本研究方法	\$515,867	\$160,837	\$49,713
啟發式方法	\$430,219	\$165,342	\$82,366
改善幅度	22.42%	2.72%	39.64%



附錄七：環境組合 D 之基因演算法參數設定

以環境組合 D 為例，品項種類多及產品階層種類少，詳細資訊包含：成品 300 種、半成品 800 種及原物料 1500 種，產品階層種類包含 2 階及 3 階兩種不同階層數的產品。



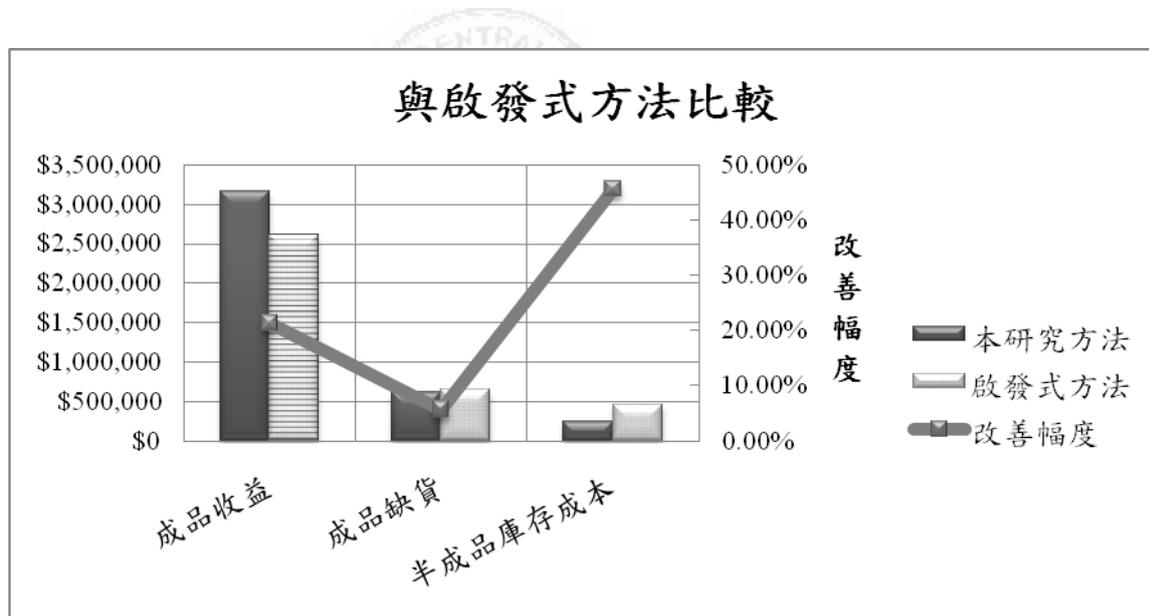
基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
1	\$1,256,236	0.196271		75
2	\$1,269,566	0.187742		72
3	\$1,367,074	0.125357		221
4	\$1,396,729	0.106385		222
5	\$1,293,322	0.172543		133
6	\$1,304,873	0.165153		134
7	\$1,422,866	0.089663		379
8	\$1,438,126	0.079899		376
9	\$1,304,804	0.165197		185
10	\$1,309,405	0.162254		186
11	\$1,464,497	0.063027		558
12	\$1,563,009	0	V	551
13	\$1,207,759	0.227286		75
14	\$1,422,866	0.089663		73
15	\$1,336,182	0.145122		213

基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
16	\$1,313,504	0.159631		216
17	\$1,269,566	0.187742		130
18	\$1,313,504	0.159631		131
19	\$1,419,071	0.09209		392
20	\$1,499,439	0.040672	V	374
21	\$1,450,209	0.072169		186
22	\$1,313,504	0.159631		188
23	\$1,450,782	0.071802		553
24	\$1,491,171	0.045961	V	548
現行啟發式規劃	\$1,149,856	改善幅度	\$413,153	

在環境組合 D 下，最適當的基因演算法參數集合為第 20 組，在品項種類少及產品階層種類少，即成品 300 種、半成品 800 種及原物料 1500 種，產品階層種類包含 2 及 3 階兩種不同階層數的產品的環境下，最適當的基因演算法參數設定為每世代染色體數為 35，進行交配之機率為 15%，進行突變之機率為 15%，以及執行 300 個世代。

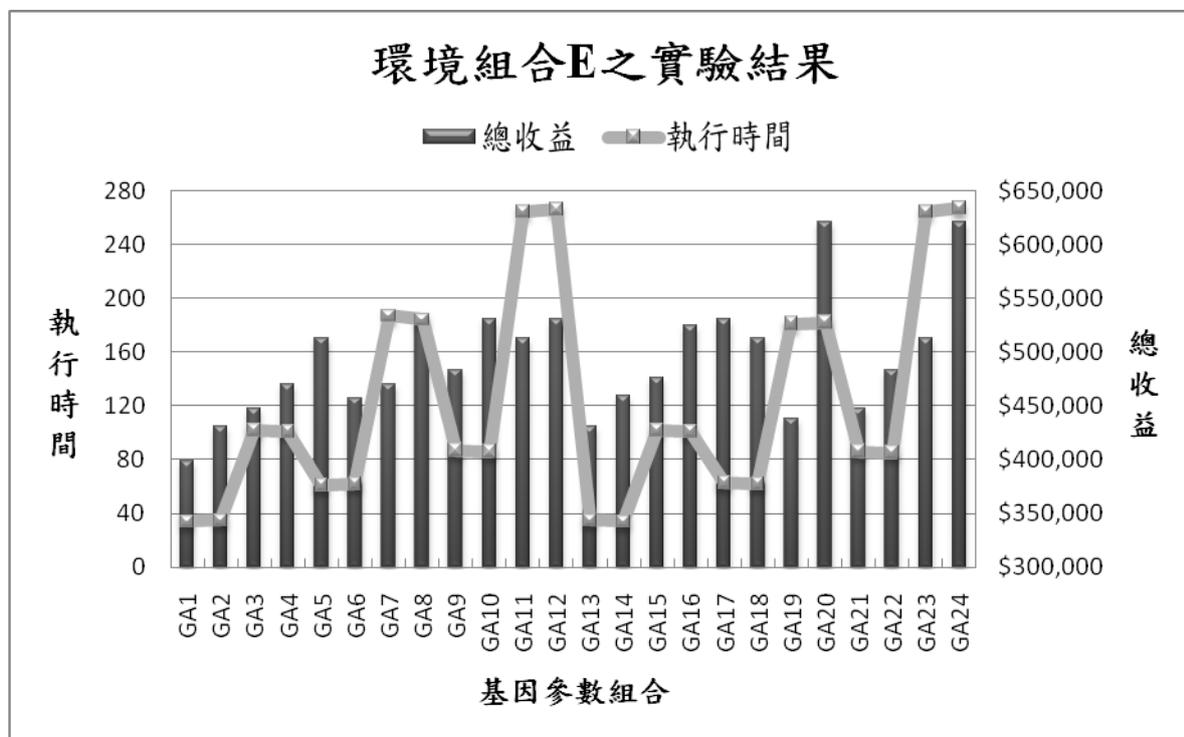
另外，基因演算法在可行方案最佳總收益的部份較現行啟發式的規劃方法，改善了\$413,153。在成品收益、成品缺貨及半成品庫存部份的相關資訊及改善幅度如下表：

	成品收益	成品缺貨	半成品庫存成本
本研究方法	\$3,172,255	\$616,287	\$247,587
啟發式方法	\$2,613,922	\$653,124	\$456,213
改善幅度	21.36%	5.64%	45.73%



附錄八：環境組合 E 之基因演算法參數設定

以環境組合 E 為例，品項種類一般及產品階層種類少，詳細資訊包含：成品 150 種、半成品 400 種及原物料 750 種，產品階層種類包含 2 階及 3 階兩種不同階層數的產品。



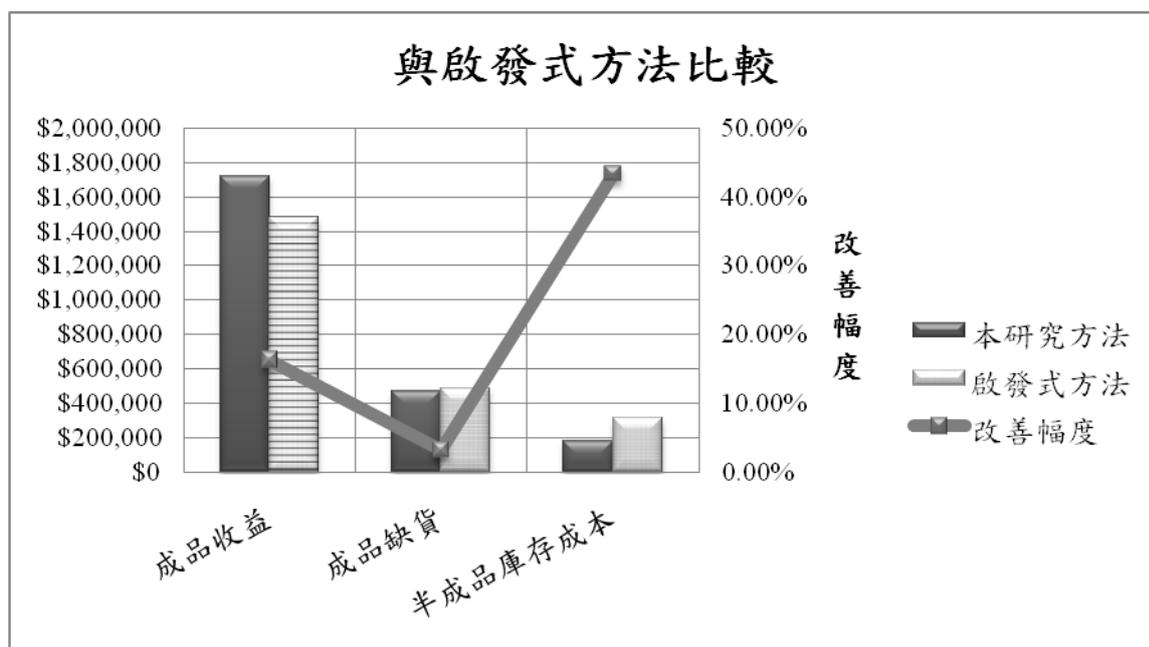
基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
1	\$399,084	0.357349		34
2	\$430,304	0.307074		35
3	\$447,061	0.280090		102
4	\$469,990	0.243167		101
5	\$512,749	0.174312		61
6	\$457,510	0.263264		62
7	\$469,990	0.243167		187
8	\$530,994	0.144932		184
9	\$482,830	0.222491		87
10	\$530,994	0.144932		86
11	\$512,749	0.174312		264
12	\$530,994	0.144932		266
13	\$430,304	0.307074		35
14	\$459,558	0.259966		34
15	\$476,382	0.232874		102
16	\$524,894	0.154755		101

基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
17	\$530,994	0.144932		63
18	\$512,749	0.174312		62
19	\$438,068	0.294572		181
20	\$620,996	0	V	182
21	\$447,061	0.280090		86
22	\$482,830	0.222491		85
23	\$512,749	0.174312		264
24	\$620,996	0	V	267
現行啟發式規劃	\$311,887	改善幅度	\$309,109	

在環境組合 E 下，最適當的基因演算法參數集合為第 20 組，在品項種類少及產品階層種類少，即成品 150 種、半成品 400 種及原物料 750 種，產品階層種類包含 2 及 3 階兩種不同階層數的產品的環境下，最適當的基因演算法參數設定為每世代染色體數為 35，進行交配之機率為 15%，進行突變之機率為 15%，以及執行 300 個世代。

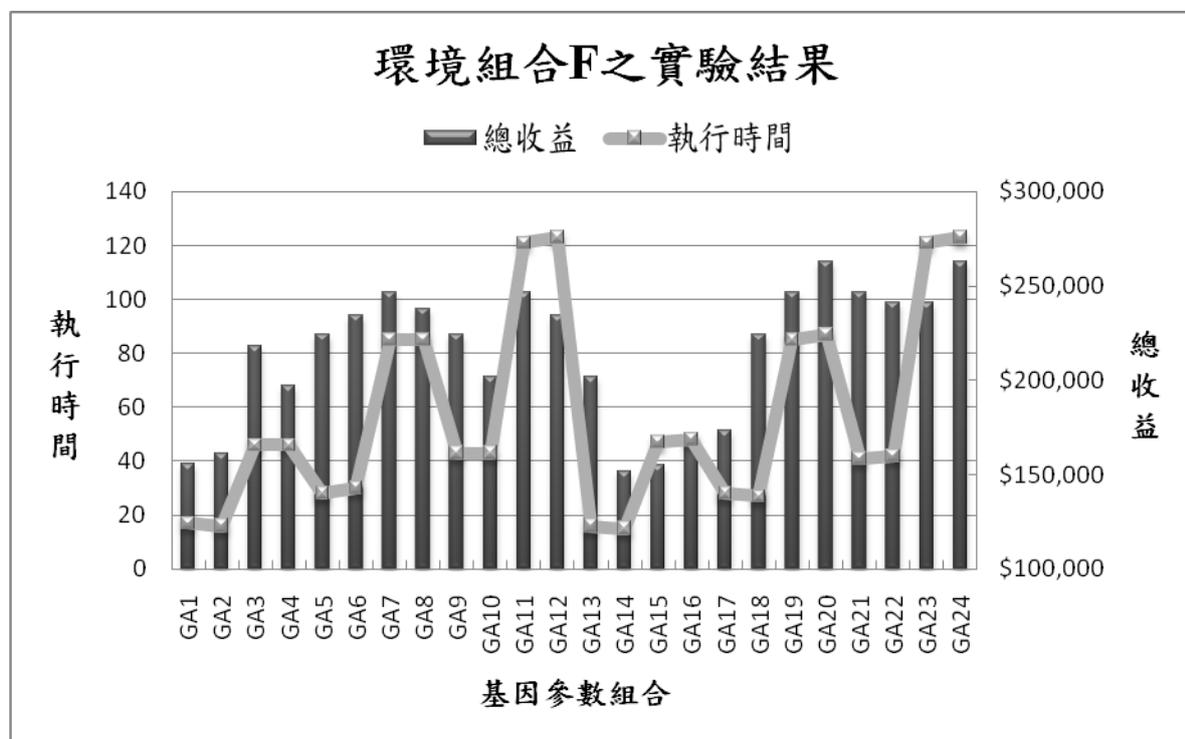
另外，基因演算法在可行方案最佳總收益的部份較現行啟發式的規劃方法，改善了\$309,109。在成品收益、成品缺貨及半成品庫存部份的相關資訊及改善幅度如下表：

	成品收益	成品缺貨	半成品庫存成本
本研究方法	\$1,719,551	\$468,212	\$177,984
啟發式方法	\$1,478,830	\$483,464	\$314,212
改善幅度	16.28%	3.15%	43.36%



附錄九：環境組合 F 之基因演算法參數設定

以環境組合 F 為例，品項種類少及產品階層種類少，詳細資訊包含：成品 75 種、半成品 200 種及原物料 300 種，產品階層種類包含 2 階及 3 階兩種不同階層數的產品。



基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
1	\$155,635	0.407921		17
2	\$160,938	0.387747		16
3	\$218,441	0.168990		46
4	\$197,206	0.249774		46
5	\$224,003	0.147830		28
6	\$234,171	0.109149		30
7	\$246,662	0.061629		85
8	\$238,100	0.094202		85
9	\$224,003	0.147830		43
10	\$201,614	0.233004		43
11	\$246,662	0.061629		121
12	\$234,171	0.109149		123
13	\$201,614	0.233004		16
14	\$151,849	0.422324		15
15	\$154,792	0.411128		47

基因參數組合	適應函數值	差異百分比	可行方案(<5%)	執行時間
16	\$172,005	0.345645		48
17	\$173,107	0.341453		28
18	\$224,003	0.147830		27
19	\$246,662	0.061629		85
20	\$262,862	0	V	87
21	\$246,662	0.061629		41
22	\$241,193	0.082435		42
23	\$241,193	0.082435		121
24	\$262,862	0	V	123
現行啟發式規劃	\$88,190	改善幅度	\$174,642	

在環境組合 F 下，最適當的基因演算法參數集合為第 20 組，在品項種類少及產品階層種類少，即成品 75 種、半成品 200 種及原物料 300 種，產品階層種類包含 2 及 3 階兩種不同階層數的產品的環境下，最適當的基因演算法參數設定為每世代染色體數為 35，進行交配之機率為 15%，進行突變之機率為 15%，以及執行 300 個世代。

另外，基因演算法在可行方案最佳總收益的部份較現行啟發式的規劃方法，改善了\$174,642。在成品收益、成品缺貨及半成品庫存部份的相關資訊及改善幅度如下表：

	成品收益	成品缺貨	半成品庫存成本
本研究方法	\$743,171	\$237,119	\$73,022
啟發式方法	\$589,985	\$244,139	\$111,541
改善幅度	25.96%	2.88%	34.53%

