

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

調整需求預測、存貨水準與產能之整合模式

Determining Safety Stocks, Regulating forecasts, and Capacity planning in ATO Environments

計畫編號：NSC 90-2218 -E-009-031

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：許錫美

執行機構及單位名稱：國立交通大學工業工程與管理學系

計畫參與人員：王文派

1、中文摘要

在產品多樣化、需求不確定與交期短縮的生產環境下，廠商在生產規劃上，面臨極為嚴厲的挑戰。廠商常因預測不準，備不對料，出現材料高額庫存，卻無法滿足顧客需求的窘境。本研究在需求不確定性之訂單式組裝的生產環境下，考量存貨持有成本、缺貨損失與產能閒置等相關總成本最小化之準則下，構建多期、多產品之需求預測調整、材料安全存量水準與瓶頸機台產能水準之決策模式。此外，在考量產品生命週期各階段不同的需求特性與成本結構下，構建決策模式以提供適當的資訊給生產管理部門進行產能投資與零件備料決策之參考。

關鍵字：訂單式組裝、生命週期、需求預測、安全存量、產能調節。

Abstract

For the sake of alleviating the influences of demand uncertainty in assemble-to-order (ATO) environments, the strategies of regulating dealers' forecast demands, determining appropriate safety stocks, and deciding the numbers of key machines are usually adopted by manufacturers. In this paper, we propose a linear programming model to manage these production planning problems.

Key Words: Assemble-to-Order ; Life Cycle ; Forecasting ; Safety Stock ; Capacity Adjustment .

2、緣由與目的

由於顧客需求品味多變、產業營運國際化與全球化趨勢，及生產技術不斷創新，導

致廠商必須生產多樣化的商品，以因應顧客所需。且為快速回應顧客需求，爭取更多的商機，允諾客戶的交期日益縮短。因此，在需求不確定性，產品多樣化，與交期縮短的市場環境下，製造商在需求預測、備料、與產能規劃上，面臨以下之困境：

- 預測困難：由於市場全球化、產品技術日新、產品生命週期縮短、以及顧客需求品味多變，造成需求預測誤差程度擴大，預測技術難以掌握市場脈動，如此使得備料作業更臻困擾，在在都使得企業容易招致嚴重的損失。
- 高備料存貨：由於產品種類繁多，當顧客需求無法滿足時，通常不耐久等，會隨即尋求其他廠牌商品替代，形成商機損失的壓力，促使備料數量必須維持在一個極高的水準，進而導致存貨成本大增。
- 低顧客服務水準：由於高科技產品的生命週期短，且產品種類繁多，可能因備料不確實而降低成品可利用率，從而使顧客服務水準下滑，但卻須付出高額の存貨成本。

企業為因應需求不確定性及產品多樣化對營運所造成之衝擊，其產品的生產系統大多以訂單式組裝(assemble-to-order, ATO)之方式進行。為求快速回應顧客之需求，訂單交期一般皆小於產品的生產週期。因此廠商需先依預測資料進行基本零組件之採購。當訂單到達時，依客戶要求的規格進行最後的組裝。

然而，產品需求預測與未來實際需求量經常不符，可能造成備料不足，無法接單而

降低了顧客服務水準，形成商機的損失；反之，則因備料過多，造成材料庫存成本過高而積壓資本。企業在面對需求不確定性時，傳統作法通常是以持有安全存量的方式作為因應對策[1,2]。另外經銷商所提之預測資料經常依客戶的特性，資料的可信度不同，如何進行調整？此外，針對生產系統規劃瓶頸機台的產能水準，建立適時的調節機制，使企業得以順應市場需求之波動進行生產，亦為必要的手法[3,4]。

因此，本研究發展適用於訂單式組裝生產環境之調整需求預測、訂定安全存量水準，設定瓶頸機台產能水準之備料決策分析模式，期能減少因需求變異而造成企業經營之損失。

3、問題定義

本文所討論的生產型態為單一階段的裝配型工廠，其產品由多種材料或零件所組裝而成，所需材料及零件皆向外部供應商採購，工廠本身只做裝配作業；其生產系統是採滾動排程法進行內部的生產規劃。由組裝廠之備料量與顧客下單量決定每期各項產品的組裝生產數量，且備料導期遠大於組裝導期。因訂單式組裝之環境，故每期只生產顧客要求的產品種類與數量，完成品在期末均運交顧客，廠內並無完成品庫存。業務人員在各期期初會要求下游客戶對各項產品預估未來每一期的需求數量，收集所有預測值後做必要的調整，並執行物料需求展開，向其上游供應商訂購所需之材料及零件，待客戶實際下單時，生產部門按照實際訂單內容取料進行最後產品之組裝。

下列為構建模式時所考量之諸項假設：(1) 零件、材料的採購：任何已發出之材料採購訂單不能任意取消，各項零件材料之採購過程所需的正常前置時間為一定值，無法緊急訂購，且所有零件材料之採購數量皆會準時交貨。(2) 物料需求展開：本研究使用單層之物料需求展開。(3) 產品缺貨：若生產系統無法滿足客戶實際需求數量，此時因供給不足是僅喪失訂單，並

無商譽之損失，且欠缺的數量亦無須後補。

(4) 產品結構：本研究假設不同產品之間有程度不一的零件共用性。(5) 滾動排程規劃：為求掌控客戶需求的最新訊息，每期所需的各式零件材料，都需在前置時間容許的最遲訂購點發出。由於需求預測活動會隨著實際時點的逼近，其預測誤差也將隨之縮小，因此吾人即可藉由滾動排程規劃方法的實施，將最新的產品需求預測資料納入生產規劃中加以更新舊有的需求資訊，以利生產作業活動的展開。以兩期顧客需求預測資料為例之滾動排程規劃。設若顧客在週期 t 時對產品 p 之下單量為 FD_{tp0} ，並被要求對該產品在未來兩期之需求量作預測，即 $FD_{(t+1)p1}$ 與 $FD_{(t+2)p2}$ ，這二項需求預測量為備料導期分別為 1 期與 2 期之物料在採購作業上的參考依據，皆為暫時性的，且在未來兩期預測時將被更新，亦即在週期 $t+1$ 時顧客之下單量為 $FD_{(t+1)p0}$ ，並提供 $t+2$ 期與 $t+3$ 期之預測需求量，即 $FD_{(t+2)p1}$ 與 $FD_{(t+3)p2}$ ，此時 $FD_{(t+1)p1}$ 已被 $FD_{(t+1)p0}$ 所更新，且 $FD_{(t+2)p2}$ 亦被 $FD_{(t+2)p1}$ 所更新，依此類推而完成未來在各期之生產規劃。

1. 需求預測：採用銷售人員匯集意見法，由業務人員在每期一開始要求客戶預估未來若干需求週期的數量，並匯集各項產品預估值。
2. 需求預測誤差：利用客戶過去的需求預測資料與實際下單數量，可建立需求預測能力方面的資訊，以作為所提模式的系統輸入。
3. 關鍵資源之產能調整：為因應需求之變化，生產系統有能力與可行途徑(外包、租借機台、與相關產業互換產能等機制或手法)，在短期生產規劃中，做適時地調撥或調整，而並不僅侷限於長期之產能規劃範圍。

4、模式構建

4.1 決定瓶頸機台數量之模式構建

此模式不調整需求預測、無安全存量、僅決定瓶頸機台數量。

本研究所使用的指標與符號說明如下： 構建，並應用前述之符號定義列示如下：

1. 指標與參數：

- t : 生產系統運作週期, $t = 1, 2, \dots, T$;
- c : 生產系統所使用之零組件編號, $c = 1, 2, \dots, C$;
- p : 最終完成品編號, $p = 1, 2, \dots, P$;
- j : 瓶頸機台編號, $j = 1, 2, \dots, J$;
- X_p : 產品 p 每單位缺貨處罰成本;
- \check{S}_c : 零件 c 每單位存貨持有成本;
- u_j : 瓶頸機台 j 每單位產能閒置處罰成本;
- l_c : 取得零件 c 之前置時間;
- CL_j : 瓶頸機台 j 每單位可用之產能水準;
- u_{pc} : 生產一單位產品 p 時所需零件 c 之用量;
- FD_{tp} : 配銷商於第 $(t-l_c)$ 期, 對產品 p 在第 t 期時之需求所作出的預測; 當 $l_c = 0$ 時, 即表示產品 p 在第 t 期的實際需求。
- 第一項為缺貨損失處罰成本, 反應各期因產品缺貨而導致訂單流失的商機損失, 計算所有該賺而為賺到的利潤, X_p 為產品 p 之獲利率乘上它的總材料成本可得之;
- 第二項為零件存貨持有成本, 加總每一期每一種零件庫存所引發之持有成本, \check{S}_c 即為零件 c 的單位採購成本乘上其折舊率而得之;
- 第三項為瓶頸機台閒置處罰成本, 加總每一期每一瓶頸機台因實際使用量低於其可用量而形成閒置時所課以之處罰成本, u_j 可由瓶頸機台 j 之機器採購成本除以其壽命期間可提供的總使用數量而得之。

2. 程序變數：

- S_p : 產品 p 須達成的服務水準;
- SO_p : 第 t 期時, 產品 p 的缺貨量;
- I_{tc} : 第 t 期時, 零件 c 的期末存貨水準;
- $EI_{(t-1)c}$: 第 $(t-1)$ 期時, 預估零件 c 在第 $(t-l_c)$ 期的期末存貨水準;
- TU_{tpc} : 第 t 期時, 產品 p 所需零件 c 之總用量;
- Q_{tcl_c} : 第 $(t-l_c)$ 期時, 對零件 c 之訂購量, 並可於第 t 期時送達;
- AP_{tp} : 第 t 期時, 產品 p 實際的生產數量。

4.1.2 限制式說明

1. 第 t 期產品 p 之生產量與實際需求間的關係式：

$$FD_{tp0} \geq AP_{tp}$$

2. 第 t 期產品 p 之生產量與瓶頸機台可用產能間的關係式：

$$\sum_{p=1}^P AP_{tp} \leq CL_j * K_j$$

3. 第 t 期產品 p 之生產量與須達成之服務水準間的關係式：

$$AP_{tp} = S_p * FD_{tp0}$$

4. 第 t 期產品 p 之缺貨量等式：

$$SO_p = FD_{tp0} - AP_{tp}$$

5. 第 t 期零件 c 之期末實際存貨等式：

$$I_{tc} = I_{(t-1)c} + Q_{tcl_c} - \sum_{p=1}^P TU_{tpc}$$

3. 決策變數：

K_j = 瓶頸機台 j 的最適數量。

4.1.1 目標函數說明

因產能限制了生產系統的產出率, 瓶頸機台的產能限制了整體的產能。在考量高額投資之設備資源的經費限制, 高投資關鍵資源的閒置情形應儘可能地避免。

目標函數以最小化缺貨損失、存貨持有, 與瓶頸機台產能閒置三項成本之總合

亦即期初存貨水準加上當期到貨量(本模式假設其到貨量即為訂貨

量)減去當期實際使用量,即可獲得各項材料在各規劃週期期末的存貨水準。

6. 零件 c 之訂購等式:

$$Q_{tcl_c} = \sum_{p=1}^P FD_{tpl_c} * u_{pc} - EI_{(t-1)c}$$

亦即針對產品需求預測數量(FD_{tpl_c})並配合產品-材料用量表(BOM)的顯示關係(u_{pc}),展開對材料 c 的毛需求預估,扣除預估該物料期初的期望存貨水準 $EI_{(t-1)c}$,即可計算各物料在其訂購前置時間(l_c)時應該進行訂購的數量 Q_{tcl_c} 。

7. 預估零件 c 之期末存貨量等式:

$$EI_{(t-1)c} = I_{(t-l_c)c} + \sum_{i=1}^{l_c-1} Q_{[t-(l_c-i)]ci} - \sum_{i=1}^{l_c-1} \sum_{p=1}^P FD_{[t-(l_c-i)]pi} * u_{pc}$$

而各物料 c 期初的期望存貨水準 $EI_{(t-1)c}$ 為進行採購之當期的存貨水準 $I_{(t-l_c)c}$ 加上由該期至物料到貨前一期之間各期的訂購數量總和 $\sum_{i=1}^{l_c-1} Q_{[t-(l_c-i)]ci}$ 與之間各期的預估使用數量 $\sum_{i=1}^{l_c-1} \sum_{p=1}^P FD_{[t-(l_c-i)]pi} * u_{pc}$ 之差額而計算得知。

8. 第 t 期產品 p 之實際生產量與零件 c 之實際耗用量等式:

$$TU_{tpc} = AP_p * u_{pc}$$

9. 零件 c 之實際耗用量與其可用量等式:

$$I_{(t-1)c} + Q_{tcl_c} \geq \sum_{p=1}^P TU_{tpc}$$

4.2 決定安全存量與瓶頸機台數量之模式構建

此模式考慮設定安全存量,及關鍵機台數量,但不調整需求預測。目標函數與 4.1 之模式相同,僅在限制式 6(零件 c 之訂購

等式)略作修正。決策變數除瓶頸機台的最適數量 K_j 之外,另增加對零件 c 設定之安全存量水準, SS_c ; 亦即,

限制式 6. 零件 c 之訂購等式:

$$Q_{tcl_c} = SS_c + \sum_{p=1}^P FD_{tpl_c} * u_{pc} - EI_{(t-1)c}$$

即針對產品需求預測數量(FD_{tpl_c})並配合產品-材料用量表(BOM)的顯示關係(u_{pc}),展開對材料 c 的毛需求預估,加上該物料所應維持的安全存量 SS_c 後,再扣除預估該物料期初的期望存貨水準 $EI_{(t-1)c}$,即可計算各物料在其訂購前置時間(l_c)時應該進行訂購的數量 Q_{tcl_c} 。而整體模式型態列示如下:

$$\text{Min. } \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P X_p * SO_p + \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \check{S}_c * I_{tc} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J u_j * (CL_j * K_j - \sum_{p=1}^P AP_p)$$

s. t. $FD_{tp0} \geq AP_p$

$$\sum_{p=1}^P AP_p \leq CL_j * K_j$$

$$AP_p = S_p * FD_{tp0}$$

$$SO_p = FD_{tp0} - AP_p$$

$$I_{tc} = I_{(t-1)c} + Q_{tcl_c} - \sum_{p=1}^P TU_{tpc}$$

$$Q_{tcl_c} = SS_c + \sum_{p=1}^P FD_{tpl_c} * u_{pc} - EI_{(t-1)c}$$

$$EI_{(t-1)c} = I_{(t-l_c)c} + \sum_{i=1}^{l_c-1} Q_{[t-(l_c-i)]ci}$$

$$- \sum_{i=1}^{l_c-1} \sum_{p=1}^P FD_{[t-(l_c-i)]pi} * u_{pc}$$

$$TU_{tpc} = AP_p * u_{pc}$$

$$I_{(t-1)c} + Q_{tcl_c} \geq \sum_{p=1}^P TU_{tpc}$$

4.3 調整需求預測、決定安全存量與瓶頸機台數量之模式構建

此模式考慮同時調整需求預測,設定安全存量,與決定關鍵機台數量。目標函數與 4.1 之模式相同,僅在限制式 6(零件 c 之訂購等式)與限制式 7 略作修正。此外,另增加需求預測值範圍之限制式。同時,決策變數除

瓶頸機台的最適數量 K_j ，零件 c 之安全存量水準 SS_c 之外，並增加了需求預測調整值， r_{plc} 。說明如下：

限制式 6. 零件 c 之訂購等式：

$$Q_{tcl_c} = SS_c + \sum_{p=1}^P FD_{tp_l_c} * u_{pc} * r_{pl_c} - EI_{(t-1)c}$$

亦即針對產品需求預測數量 ($FD_{tp_l_c}$) 予以調整(調整因子 r_{pl_c}) 並配合產品-材料用量表(BOM)的顯示關係 (u_{pc})，展開對材料 c 的毛需求預估，加上該物料所應維持的安全存量 SS_c 後，再扣除預估該物料期初的期望存貨水準 $EI_{(t-1)c}$ ，即可計算各物料在其訂購前置時間 (l_c) 時應該進行訂購的數量 Q_{tcl_c} 。

預估零件 c 之期末存貨量等式：

$$EI_{(t-1)c} = I_{(t-l_c)c} + \sum_{i=1}^{l_c-1} Q_{[t-(l_c-i)]ci} - \sum_{i=1}^{l_c-1} \sum_{p=1}^P FD_{[t-(l_c-i)]pi} * u_{pc} * r_{pl_c}$$

而各物料 c 期初的期望存貨水準 $EI_{(t-1)c}$ 為進行採購之當期的存貨水準 $I_{(t-l_c)c}$ 加上由該期至物料到貨前一期之間各期的訂購數量總和 $\sum_{i=1}^{l_c-1} Q_{[t-(l_c-i)]ci}$ 與之間各期的預估使用數量 $\sum_{i=1}^{l_c-1} \sum_{p=1}^P FD_{[t-(l_c-i)]pi} * u_{pc} * r_{pl_c}$ 之差額而計算得知。

需求預測調整因子範圍：

$$0 \leq r_{pl_c} \leq 2$$

當 $r_{pl_c} = 1$ 時，表示應維持顧客所提供之需求預測值不予修正；當 $r_{pl_c} < 1$ (或 $r_{pl_c} > 1$) 時，表示應予以調低(或調高)需求預測值至原來的 $r_{pl_c} * 100\%$ 。而整體模式型態列示如下：

$$\text{Min. } \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P X_p * SO_{tp} + \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \check{S}_c * I_{tc} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J u_j * (CL_j * K_j - \sum_{p=1}^P AP_{tp})$$

$$\text{s. t. } FD_{tp0} \geq AP_{tp}$$

$$\sum_{p=1}^P AP_{tp} \leq CL_j * K_j$$

$$AP_{tp} = S_p * FD_{tp0}$$

$$SO_{tp} = FD_{tp0} - AP_{tp}$$

$$I_{tc} = I_{(t-1)c} + Q_{tcl_c} - \sum_{p=1}^P TU_{tpc}$$

$$Q_{tcl_c} = SS_c + \sum_{p=1}^P FD_{tp_l_c} * u_{pc} * r_{pl_c} - EI_{(t-1)c}$$

$$EI_{(t-1)c} = I_{(t-l_c)c} + \sum_{i=1}^{l_c-1} Q_{[t-(l_c-i)]ci}$$

$$- \sum_{i=1}^{l_c-1} \sum_{p=1}^P FD_{[t-(l_c-i)]pi} * u_{pc} * r_{pl_c}$$

$$TU_{tpc} = AP_{tp} * u_{pc}$$

$$I_{(t-1)c} + Q_{tcl_c} \geq \sum_{p=1}^P TU_{tpc}$$

$$0 \leq r_{pl_c} \leq 2$$

5、產品生命週期為基之備料決策模式

1. 指標與參數：

t : 生產系統運作週期, $t = 1, 2, \dots, T$;

c : 生產系統所使用之零組件編號, $c = 1, 2, \dots, C$;

p : 最終完成品編號, $p = 1, 2, \dots, P$;

j : 瓶頸機台編號, $j = 1, 2, \dots, J$;

g : 產品生命週期階段, $g = 1$ (導入期), 2 (成熟期), 3 (衰退期);

X_{pg} : 於階段 g 時，產品 p 每單位缺貨處罰成本；

\check{S}_{cg} : 於階段 g 時，零件 c 每單位存貨持有成本；

u_{jg} : 於階段 g 時，瓶頸機台 j 每單位產能閒置處罰成本；

l_c : 取得零件 c 之前置時間；

CL_j : 瓶頸機台 j 每單位可用之產能水準；

u_{pc} : 生產一單位產品 p 時所需零件 c 之用量；

FD_{pgl_c} : 配銷商於階段 g 之 $(t-l_c)$ 期，對產品 p 在第 t 期時之需求量所作的預測；
當 $l_c=0$ 時，即表示產品 p 在第 t 期的實際需求量。

2. 程序變數：

S_{pg} : 於階段 g 時，產品 p 須達成的服務水準；

SO_{pg} : 於階段 g 之第 t 期時，產品 p 的缺貨量；

I_{icg} : 於階段 g 之第 t 期時，零件 c 的期末存貨水準；

$EI_{(t-1)cg}$: 於階段 g 之第 $(t-1)$ 期時，預估零件 c 在第 $(t-l_c)$ 期的期末存貨水準；

TU_{pcg} : 於階段 g 之第 t 期時，產品 p 所需零件 c 之總用量；

Q_{icgl_c} : 於階段 g 之第 $(t-l_c)$ 期時，對零件 c 之訂購量，並可於第 t 期時送達；

AP_{pg} = 於階段 g 之第 t 期時，產品 p 實際的生產數量。

3. 決策變數：

K_{jg} : 於階段 g 時，瓶頸機台 j 的最適數量。

SS_{cg} : 零件 c 之安全存量水準

r_{pgl_c} 需求預測調整值 r_{pgl_c}

調整需求預測、決定安全存量與瓶頸機台數量之模式構建

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{g=1}^3 \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \chi_{pg} * SO_{pg} + \sum_{g=1}^3 \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \check{S}_{cg} * I_{icg} \\ & + \sum_{g=1}^3 \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J PC_{jg} * (CL_j * K_{jg} - \sum_{p=1}^P AP_{pg}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{s. t. } & FD_{pg0} \geq AP_{pg} \\ & \sum_{p=1}^P AP_{pg} \leq CL_j * K_{jg} \end{aligned}$$

$$AP_{pg} - \dots - FD_{pg0}$$

$$SO_{pg} = FD_{pg0} - AP_{pg}$$

$$I_{icg} = I_{(t-1)cg} + Q_{icgl_c} - \sum_{p=1}^P TU_{pcg}$$

$$Q_{icgl_c} = SS_{cg} + \sum_{p=1}^P FD_{pgl_c} * u_{pc} * r_{pgl_c} - EI_{(t-1)cg}$$

$$EI_{(t-1)cg} = I_{(t-l_c)cg} + \sum_{i=1}^{l_c-1} Q_{(t-l_c-i)cg}$$

$$- \sum_{i=1}^{l_c-1} \sum_{p=1}^P FD_{(t-l_c-i)pgi} * u_{pc} * r_{pgi}$$

$$TU_{pcg} = AP_{pg} * u_{pc}$$

$$I_{(t-1)cg} + Q_{icgl_c} \geq \sum_{p=1}^P TU_{pcg}$$

$$0 \leq r_{pgl_c} \leq 2$$

6. 結論

本文針對訂單式組裝環境，在考量產品生命週期各階段不同的需求特性與成本結構，以最小化缺貨損失、存貨持有，與瓶頸機台產能閒置三項成本之總合為目標，構建調整產品需求預測、訂定零件安全存貨水準，與設定瓶頸機台數量之多期、多產品線性規劃備料決策模式。

本研究構建之模式連結企業之銷售、購料，與製造部門。對於客戶所提供之產品需求預測，進行調整；並訂定零件安全存貨水準，與設定適當的瓶頸機台數量。以減低需求不確定性的影響。

經由範例之探討對於零件安全存貨水準可得以下之結論：

a. 由於風險分攤的效果(risk pooling)，共用性零件所需的存貨水準與安全存貨的數量均較獨立性零件為低，吾人可見提高零件共用性與模組化程度，將有效地舒緩產品多樣化造成備料困擾的衝擊，降低訂單組裝之生產系統的庫存成本壓力。

b. 無論是共用件或獨立件，其訂購前置時間愈短的零件所需之存貨水準與安全存貨均較訂購前置時間長者為低，吾人可見材料訂購導期亦為訂單組裝系統提昇作業績效之關鍵因子。

6.2 未來展望暨後續研究

在後續之研究方面，可依下列幾個方向作更進一步的探究：

a. 未來可朝向動態之需求型態探究，使本研

究更臻完善與實用，提供決策者之參考。

- b. 本研究僅以最小化成本目標函數來進行分析，而在其他的目標函數或多目標決策環境的考量，諸如提高存貨周轉率、客戶服務水準、資金限制等，都是現實環境中常需同時面臨的抉擇，亦是值得探究之後續研究課題。

7、參考文獻

- [1] Baker, K. R. "Safety stocks and component commonality", *Operations Management*, Vol.6 No.1, pp.13-22, 1985.
- [2] Baker, K. R., Magazine, M. J. and Nuttle, H. L. W., "The effect of commonality on safety stocks in a simple inventory model", *Management Science*, Vol. 32, No.8, pp.982-988, 1988.
- [3] Balachandran, B. V., Balakrishnan, R. and Sivaramakrishnan, K., "Capacity planning with demand uncertainty", *The Engineering Economist*, Vol.43, No.1, pp.49-72, 1997
- [4] Fumero, F. and Vercellis, C., "Capacity analysis in repetitive assemble-to-order manufacturing system", *European Journal of Operations Research*, Vol. 78, pp.203-215, 1994.

8、計劃成果自評

研究內容與原計劃書相符，預期目標皆已達成。該計畫研究成果已撰寫成論文，投稿工業工程領域國際期刊。該計畫研究成果可供電子資訊產業在製造及採購之參考。