

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

及時生產環境下具輸出入界限值之無人搬運車系統規劃研究

A Threshold Value Embedded Automated Guided Vehicle
System for JIT Manufacturing

計劃編號：NSC 87-2213-E-002-033

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：楊烽正 台大工業工程學研究所

一、中文摘要

本研究提出具輸出入界限值的無人搬運車系統規劃流程，在工作站輸出及輸入暫存區上依據各製程時間的長短設定界限值。藉由感測元件之協助，將暫存區之狀態送達派車系統，發揮及時看板的功能，符合拉式策略及低庫存的要求。本規劃流程使用數學模式計算出系統所需最少車輛數。以此車輛數規劃棋盤式單向、區域式雙向、及循環式雙向路徑三種路徑模式，再分別構建模擬模式進行系統模擬。系統效益模擬分析後使用者可根據獲致的車輛與工作站稼動率，決定是否修正車輛數，並比較這三種路徑模式的產出量與製程中平均庫存，選擇最合適的路徑規劃模式進行實際系統設置。

關鍵詞：無人搬運車，及時生產，拉式策略、輸出入界限值、系統模擬

Abstract

This research presents AGVS implementation procedures for JIT systems. The introduced AGVS is dispatched by input and output thresholds imposed on the input and output queues of work stations. Threshold values are computed based on process time. The physical states of queues are detected by sensing devices and compared with thresholds to dispatch vehicles. Mathematical model is defined to calculate required number of vehicles. Three guided-path models of AGVS are introduced: chessboard unidirectional, tandem bi-directional, and cyclic bi-directional guided-path models. Simulation models are established to perform system simulation for performance evaluation. Vehicle number is updated by analyzing the simulation results. Moreover, based on the performance evaluation, the best guided-path model should be adopted for actual system implementation.

Keywords: JIT, AGVS, Pull strategy, Threshold values, Inventory

二、計畫緣由及目的

目前在許多工廠中，及時生產 (Just-in-time) 的理論普遍用於存貨及排程控制作業上。及時生產的要求是在需求變動下，儘量減少製程中的庫存，也就是在設定的時間內以滿意的品質交付所需的產品數量。當一個工作站需要某項工件，便向前一

製程發出需求，如果能得到所需要的工件，就繼續生產。如果無法獲得所需工件，此工作站會暫停作業直到需求被滿足才從事生產。此種生產排程採用的基本原則是屬於拉式策略 (pull strategy)。其特色是在整個系統中工件的流動是用拉的，不是用推的。

及時生產系統如同其他形態的生產系統，在工作站間需要物料搬運系統的支援。隨著自動化技術的提升，採行的搬運系統已漸由傳統人工方式，進入全自動的形態，如全自動的輸送帶系統或是智慧型無人搬運車系統。及時生產系統對存貨的要求嚴格，首要目標必須降低批量減少庫存成本，但卻因此而導致運送次數增加，運輸成本激增影響運輸績效。因此必須有高效率的物料搬運系統，才能使及時生產系統徹底發揮其高度的生產效率。

本研究針對及時生產環境，提出一無人搬運車系統規劃流程，此規劃流程能提供欲引入無人搬運車的及時生產形態工廠可依循的規劃方法。

三、文獻探討

3.1 行車路徑規劃

區域式無人搬運車系統乃由若干個不重疊的單車迴圈 (single vehicle loop) 所組成。針對單車迴圈系統的研究中，Barthodi 和 Platzman (1989) 證實若採先遇到先服務的派車法則則將使搬運車所需繞行的路程最短。

Tanchoco 和 Sinriech (1992) 提出單一封閉迴路 (single closed loop) 的路徑設計以別於傳統式的路徑設計，並且比較兩者在系統產出上的差異。研究中使用整數規劃模式做為路徑設計之工具。此模式的目的是將各部門間的物料流與無人搬運車行走距離極小化，同時提出一程序以設計極佳化的單迴路 (optimal single-loop, OSL)。

循環式無人搬運車系統為丁主華 (1993) 所提出，其作業概念如同都市街道網路上的公車運輸系統。公車系統的規劃者根據乘客的分佈、搭載需求與頻率安排每一輛公車的循環車程，使公車能在設定的循環車程中完成所負責的運輸工作。甚而，公車運輸系統能隨搭載需求形態的改變而重新調配各公車的循環車程。

循環式系統的運行策略並未限定一組裝卸搬運作業專由某輛搬運車完成，而是依其需求頻率與多寡決定應由那些車輛合力分攤。同一組搬運需求

能重複地出現在相同或不同的車輛循環迴圈上。再者，循環迴圈的分派不若區域式系統型態斷然以地域性分割其搬運車的運行空間，反之採搬運需求的觀點決定每一搬運車的循環車程。希望藉由搬運需求分派車輛的搬運任務，並適度地限定搬運車的運行空間，以減低系統控制的複雜度。

3.2 界限值

Egbelu (1987) 針對無人搬運車的運作提出需求驅動派車法則 (demand-driven dispatching rule)。Egbelu 是把拉式策略用於工作站間物料搬運的肇始者，也是首位探討採用推或拉式策略不同系統需求者。一般而言，生產系統中每個工作站上皆設有輸入暫存區 (input queue) 存放送達的待加工工件，以及輸出暫存區 (output queue) 存放加工完之工件。Egbelu 在每個輸入暫存區上指定一界限值 (threshold value)。界限值是個少於輸入暫存區容量的固定數，用以發揮拉式策略，並控制在工作站間流動的工件數目。也就是說在輸入暫存區上加上一界限值，當暫存區上的工件數目低於界限值時，才向上個工作站發出需求，由無人搬運車運送所需工件。可是此派送法則卻沒有在輸出暫存區上加上限值，對於工作站內部的存貨數量無法控制，也因此在此 JIT 環境中無法達成遍及整個系統的低存貨控制目標。

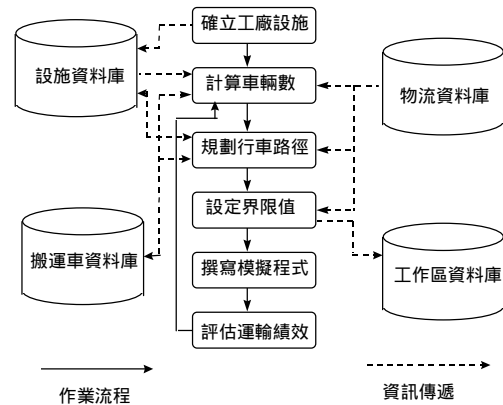
3.3 系統績效評估

多數對於無人搬運車系統設計或運作性能的文獻大致可分為理論分析 (analytical) 和系統模擬 (simulation) 兩種方法。理論分析方法常簡化探討範圍與限制因素以表成數學模式，但在實際的無人搬運車系統中常包含一些不確定性的狀況，並且這些狀況遠比理論分析所能涵蓋的範圍更為複雜，所以理論模式所處理的問題通常較不符合實際問題，無法處理實際運行中的無人搬運車系統所遇到的問題。系統模擬則在已知的無人搬運車系統中針對某些設計規格 (如車輛數目、速度) 或運作參數 (如路徑方向、指派法則) 進行系統化的變更，觀察整個系統的影響情況，

Ozden (1988) 以模擬方法探討運作參數對系統的影響，這些參數包括車輛數、拖板數、車輛裝載容量、暫存區容量、及路徑的單雙性。在既定的車輛控制管理法則下，證實這些參數皆具不可忽視的影響力。Occena 和 Yokota (1991) 使用系統模擬的方法，根據整體輸出 (throughput) 和平均庫存 (average inventory) 兩項指標，比較三種不同的派車法則的績效。

四、研究內容

本節詳細本研究提出的無人搬運車系統整個規劃流程，。整個規劃流程如圖一所示。

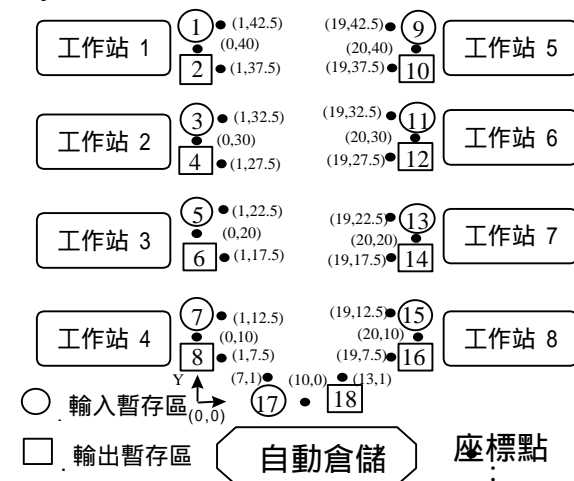


圖一 無人搬運車系統規劃流程圖

4.1 確立工廠設施

由工廠設施佈置的平面圖，經由二維座標系統之標示，將輸出入暫存區中間點以及暫存區前裝卸站的座標位置標示出來，將這些數據儲放於設施資料庫中，供後項的作業使用。

為了更清楚地解說整個規劃流程，以下將以一範例工廠為例配合說明，逐步解說引入無人搬運車之所有規劃。此範例工廠如圖二所示，由 8 個工作站和 1 個自動倉儲構成，在每個工作站與倉儲前，各有一輸入暫存區與輸出暫存區，共有 18 個暫存區。



圖二 範例工廠設施座標位置圖

4.2 車輛數計算

車輛數的求算需要一些相關數據資料，求算過程由下列幾個步驟完成：

- 步驟 1：取得車輛的性能資料，包括車輛的載貨容量，車輛負載與空車的平均速率，裝載與卸載工件的時間。
- 步驟 2：計算出搬運車每次可運送的最大工件的工件數。
- 步驟 3：列出最大工件的加工流程 需經過那幾個工作站，在每個工作站的加工時間。範例工廠最大工件之加工流程如表一。

表一、範例工件加工程序與時間

加工程序 (加工時間:分鐘)				
工作站 1(2)	工作站 6(3)	工作站 2(3)	工作站 7(4)	工作站 4(5)

步驟 4：標示同工作站輸出暫存區中間點座標位置。不以工作站中心點座標位置，其原因是工件經由搬運車在工作站間傳遞，車輛實際行走距離為暫存區與暫存區之間，但為輸出或輸入暫存區為一變數，所以取中間點。

步驟 5：完成上述資料的定義和計算後，以下列的計算式求算所需車輛數：

V_{ij} 表示從第 i 個工作站搬運工件到第 j 個工作站的次數。

\bar{t}_{ij} 表示從第 i 個工作站到第 j 個工作站的時間。

L_i 表示在第 i 個工作站載起工件的時間。

U_j 表示在第 j 個工作站放下工件的時間。

t'_{ij} 表示從第 i 個工作站載起工件，運送到第 j 個工作站放下工件所需總時間。

$$t'_{ij} = L_i + U_j + \bar{t}_{ij}$$

$$H = \sum_{ij} H_{ij} = \sum_{ij} V_{ij} t'_{ij} \text{ : 所需搬運車時間。}$$

h 為每一週期 (shift) 車輛的使用時間。

$N = [H/h]$ 為所需最少車輛數。

(1) V_{ij} 的求算需先從物流資料庫中取得加工程序的資料，以工件 A 為例，其生產需求數為 80 個，也就表示搬運車至少必須經過工作站 80 次。舉例來說， V_{16} 表示從工作站 1 到工作站 6 的次數，因為生產 80 個工件，所以此過程至少需重複 80 次， $V_{16} = 80$ 。

\bar{t}_{ij} 的求算需使用工作站間距離的從至矩陣，及搬運車的負載平均速率。以搬運車負載運行平均速率 60m/min 求算 \bar{t}_{ij} 。譬如 \bar{t}_{16} 表示從工作站 1 運送工件到工作站 6 所需時間，工作站 1 到工作站 6 的距離為 30 公尺，於是 $\bar{t}_{16} = 30 / 60 = 0.5$ (分鐘)。

(3) L_i 的求算需先從搬運車資料庫中取得車輛裝載工件的時間，以範例工廠來說，裝載工件的時間為 12 秒， L_1 表示在工作站 1 所花費的裝載時間， $L_1 = 12$ (秒) = 0.2 (分鐘)。

(4) U_j 的求算需先從搬運車資料庫中取得車輛卸載工件的時間，以範例工廠來說，裝載工件的時間為 12 秒， U_6 表示在工作站 6 所花費的裝載時間， $U_6 = 12$ (秒) = 0.2 (分鐘)。

(5) $t'_{ij} = L_i + U_j + \bar{t}_{ij}$ ，以範例工廠中工作站 1 至工作站 6 為例， $t'_{16} = L_1 + U_6 + \bar{t}_{16} = 0.5 + 0.2 + 0.2 = 0.9$ (分鐘)。

(6) $H = \sum_{ij} H_{ij} = \sum_{ij} V_{ij} t'_{ij}$ ，其中 ij 表示加工主要工件必經

的工作站，整個加總起來就是無人搬運車所必須花費最少的時間。以範例工廠工作站 1 到工作站 6 這個製程來說， $V_{16} = 80$ ， $t'_{16} = 0.9$ ， $H_{16} = V_{16} * t'_{16} = 80 * 0.9 = 72$ ，其餘製程依此方法計算可得， $H_{62} = 58.4$ ， $H_{27} = 72$ ， $H_{74} = 72$ ，此外必須包括自動倉儲到工作站 1，以及工作站 4 到自動倉儲的時間， $H_{01} = 98.4$ ， $H_{40} = 58.4$ 。全部加總為 $H = \sum_{ij} H_{ij} = 421.2$ (分鐘)。

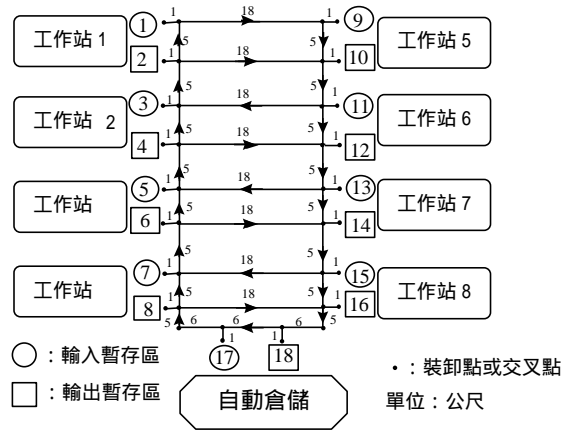
(7) h 表示一週期內車輛的使用時間，以範例工廠 8 小時之工作班時間為例，假設系統稼動率設為 80% 來計算， $h = 6.4$ (小時) = 384 (分鐘)。

(8) N 表示所需車輛數， $N = [H/h] = [421.2/384] = 2$ ， $[]$ ：高斯符號。

4.3 規劃行車路徑

€ 棋盤式單向路徑規劃法

第一種方法採用棋盤式路徑佈置和單向的路徑規劃，使車輛維持單方向前進。在無人搬運車系統中如果有兩部以上依序行走的車輛，若前面車輛停止行走，可能造成後來車輛亦停止不動，稱之為車輛阻塞。為了避免在裝卸站前的阻塞，特別在裝卸站前多設置一迴路。



圖三 棋盤式單向路徑規劃圖

以垂直或水平路徑連接各相鄰暫存區裝卸站座標點，並且在裝卸站前設置一迴路。除了標示距離外，還需標示此路段允許車輛行進方向，此路徑規劃方法只允許單方向行車，原則是相鄰兩路段採相反方向設計，避免有死胡同的情況發生。在每個路段上標示距離、與此路段允許行進方向，此資料提供系統模擬作業。範例工廠規劃成圖三所示。

€ 區域式雙向路徑規劃

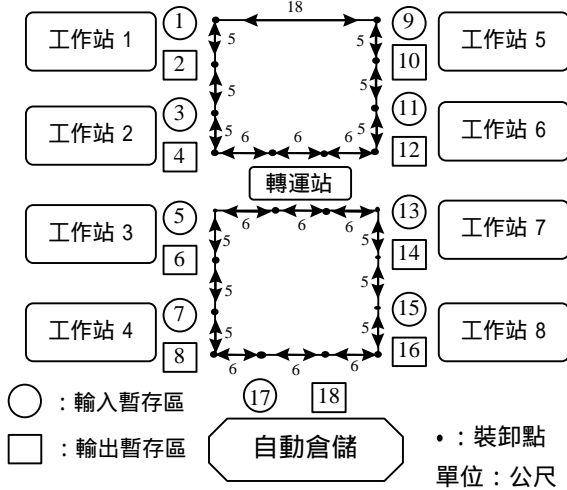
區域式路徑規劃法，其特點是具有良好擴充性可隨工廠規模變更增減車輛數目變更路徑規劃。其特色是在在單一封閉迴路內因只有一部搬運車遊走，故可雙向行駛，無碰撞或死鎖問題。在迴路設計上，應先決定使用幾輛無人搬運車，規劃迴圈數等於車輛數，迴圈間不可有重複的路段，且每個暫存區裝卸站都必須有迴圈經過，以每個迴圈繞行距離約略相等為原則。並在相鄰兩迴圈間設置轉運站，設置於兩迴圈間相鄰最近路段的中間點，如恰巧為工作站所在位置，則設置於緊臨此工作站處。

以範例工廠為例，規劃兩個迴圈，讓兩個迴圈繞行路徑約略相等，並將轉運站設置於兩迴圈之間。同樣在每個裝卸點間的路段上標示距離與行進方向，區域式路徑所有路段皆為雙向路徑，如圖四所示。

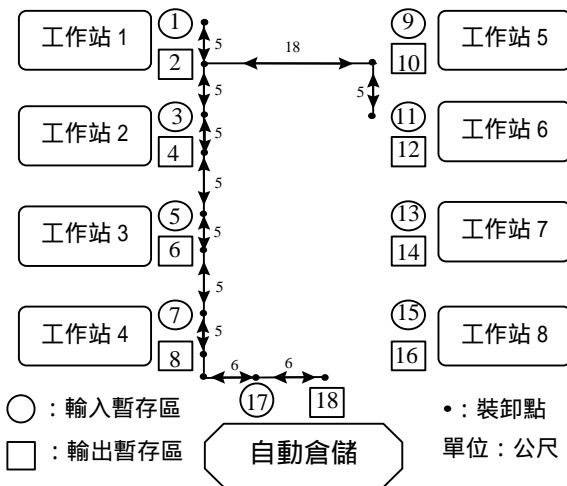
€ 循環式雙向路徑規劃法

循環式無人搬運車系統路徑規劃法為丁主華 (1993) 所提出，希望藉由搬運需求分派車輛的搬運

任務與迴圈規劃，在迴圈間允許有共用路段，當一輛車進入此路段時，其餘車輛必須等待，所以應適度地限定搬運車的運行空間，儘可能減少各個循環迴圈間的共用路段，以減低控制系統的複雜度。



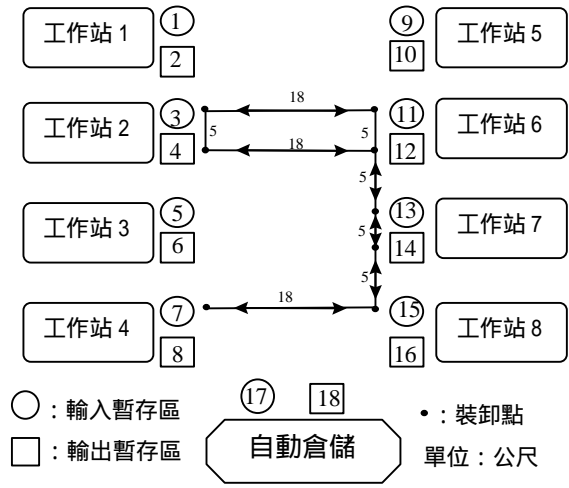
圖四 區域式雙向路徑規劃



圖五 循環式雙向路徑規劃（車輛一之迴圈）

當車輛數決定後，以其數目運行循環迴圈的規劃，涵蓋所必須經過的工作站。本研究之循環式路徑規劃方法，將共用路段改為雙軌設計，允許兩迴圈並行，此種佈置因雙軌的鋪設會占據較多平面空間，必須在工廠空間允許的情況下進行規劃，但車輛不需要等待，可降低系統的複雜度。

上述的範例工廠採用循環式路徑規劃時，兩輛車的行走迴圈如圖五和六所示，一輛搬運車負責自動倉儲、工作站 1、和工作站 6 之間的運輸，另一輛搬運車負責工作站 6、工作站 2、工作站 4、和工作站 7 之間的運輸，分別在各自迴圈上雙向來回運行。在暫存區 3 和暫存區 4 之間的路段，為兩迴圈間的重複路段採雙軌設計。完成路徑規劃後必須標示裝卸點間路段的長度與允許行進的方向，將資料儲存於設施資料庫中。



圖六 循環式雙向路徑規劃（車輛二之迴圈）

4.4 界限值設定

欲發揮拉式生產效應與管理暫存區的存貨，在輸入暫存區加上界限值以控制工作站間工件流動，輸出暫存區加上界限值控制工作站內部工件流動，因為每個工作站的加工時間 (process time) 不相同，更進一步發揮界限值的效果，本研究提出相對界限值的設定方法，如下所述：

首先針對體積最大工件計算各工作站暫存區的最大容量。且 P_j 表示最大工件在第 j 個工作站的平均加工時間， $P_{max} = \text{Max}\{P_j\}$ 為最大加工時間， $j_{max} = \{j \mid P_j = P_{max}\}$ 為進行該最長加工的工作站編號。假設 Q_j 為第 j 個工作站的暫存區容量，設定最大界限值 T_{max} ，求得 P_{max} 及 T_{max} 後各工作站的界限值則以相對比例方式設定： $T_j = T_{max} \cdot P_j / P_{max}$ 。以下條列各暫存區界限值設定的步驟：

- 步驟 1：由所有 P_j 找出最大者， P_{max} 。
- 步驟 2：由規劃者決定此系統最大界限值等於 T_{max} 。
- 步驟 3：將加工時間為 P_{max} 的工作站輸入及輸出界限值均設為 T_{max} 。
- 步驟 4：以 $T_j = T_{max} \cdot P_j / P_{max}$ 公式，設定各工作站輸入及輸出暫存區之界限值。
- 步驟 5：如果計算出的界限值大於暫存區容量時 $T_j > Q_j$ ，就以暫存區容量 Q_j 為界限值。

範例工廠界限值設定於表二：

表二 工作站界限值設定表

工作站	加工時間	輸出入界限值	暫存區容量	修正後界限值
1	2	2	5	2
2	4	4	3	3
3	0	0	4	0
4	5	5	5	5
5	0	0	6	0
6	3	3	5	3
7	4	4	5	4
8	0	0	7	0

4.5 撰寫模擬程式

完成前述有關確立設施位置、車輛數計算、路徑規劃、及設定界限值等規劃作業後，接著要撰寫系統模擬程式進行系統模擬，評估規劃出的無人搬運車系統運輸績效。

以範例工廠為例使用 SIMFACTORY 語言針對棋盤式單向、區域式雙向、與循環式雙向三種路徑

規劃分別撰寫三個相對的程式

模擬程式必須執行以界限值發揮拉式生產效應與暫存區存貨管理的功能。在工作站前有輸入與輸出暫存區，當輸入暫存區上的工件低於界限值，便通知無人搬運車運載工件到此暫存區，當輸出暫存區上的工件低於界限值，才允許工件進入工作站，並設定加工時間。程式中有關車輛之派遣，雖然都是以界限值來驅動，但有一點要特別注意，在區域式雙向的路徑中，必須要把轉運站所發出的車輛需求列為第一優先，以減輕轉運站的負荷。

統計數據，在搬運車方面包括車輛閒置(idle)、阻塞、上下工件、及移動所佔時間百分比的數據。在暫存區方面，要搜集在暫存區上的平均工件數，及流通過的工件數。在工作站方面，要統計稼動與閒置所暫時間比例。

4.6 評估運輸績效

依本研究提出的規劃程序，會產生三種路徑的模擬結果。考慮選用何種路徑規劃時，需觀察其產出量(throughput)與平均庫存(average inventory)兩項數據。產出係指模擬時程內(以一天工作8小時)離開系統的完成品。平均庫存是指模擬時程內留存在系統中完成品或未成品的平均數，包括在暫存區、無人搬運車、及工作站上的工件。

範例工廠的模擬程式執行五次後，三種規劃模式之產出量與平均庫存的數據如表三和表四。由表中數據可知區域式路徑模式的產出最大，但相對的製程中庫存也較高。

表三 各路徑規劃模式產出數

	1	2	3	4	5	平均
棋盤式單向	96	95	93	91	94	94
區域式雙向	118	115	114	115	116	116
循環式雙向	105	100	100	99	98	101

表四 各路徑規劃模式製程中庫存數

	1	2	3	4	5	平均
棋盤式單向	43	47	45	40	39	43
區域式雙向	46	44	49	47	48	47
循環式雙向	42	45	40	38	44	42

由表五可見搬運車的稼動率，三種路徑模式的車輛稼動率皆維持在80%左右。同一種路徑模式下，兩輛搬運車的稼動率也約略相等，表示生產負荷分配均勻。由表六所示三種路徑模式下工作站的稼動率，約為70%左右，稍微偏低。

表五 不同路徑模式下之搬運車稼動率(單位：%)

	棋盤式單向	區域式雙向	循環式雙向
搬運車 1	77.83	83.09	76.72
搬運車 2	74.91	84.54	78.61
平均	76.37	83.82	77.67

表六 不同路徑模式下工作站稼動率(單位：%)

	工作站 1	工作站 2	工作站 4	工作站 6	工作站 7	平均
棋盤式單向	67.92	54.81	92	48.16	66.5	65.87
區域式雙向	60.83	66.43	94.07	63.39	84.96	69.94
循環式雙向	70.64	51.57	80.11	55.5	74.87	66.54

在觀察了輸出量、製程中庫存、搬運車與工作站的稼動率後，此範例工廠決定此無人搬運車系統使用兩輛車，且在路徑規劃上採用區域式雙向路徑規劃，此結果只能適用此工廠，並不表示及時生產工廠在引入無人搬運車系統時，都以區域式雙向路徑為最適合，必須依循上述規劃流程步驟，建立三種路徑規劃模式，以系統模擬評估後，再選擇最適用的一種。

五、結果與討論

(1)為了解決無人搬運車無法像人一般閱讀看板的問題，以界限值取代看板系統，發揮拉式生產效應與管理暫存區的存貨，而為了更能發揮界限值管理製程中存貨的功能，根據工作站的加工時間與暫存區容量，採用相對界限值的設定方法。

(2)先以數學模式求得系統所需最少車輛數，以此車輛數進行路徑規劃、撰寫模擬程式，再以系統模擬評估產出量、製程中庫存、車輛與工作站稼動率後，進行車輛數的修正。

(3)提供棋盤式單向、區域式雙向、及循環式雙向三種路徑規劃方法，能規劃出三種路徑模式的無人搬運車系統，經評估產出量與製程中庫存後，供規劃者選擇最適合的無人搬運車系統，進行實際路徑佈置。

六、計畫成果自評

研究內容與計畫相符程度	研究內容與計畫相符
預期目標達成狀況	95%達成目標
研究成果學術或應用價值	產業規劃搬運系統應用
是否適合在學術期刊發表或申請專利	適合論文發表
主要發現其他有關價值	區域式搬運車路徑規劃有較佳表現

七、參考文獻

- 丁主華，「循環式無人搬運車系統之設計」，私立中原大學工業工程研究所碩士論文，民國八十二年。
- 林哲宏，「無人搬運車系統混合路徑之模式分析」，私立元智大學工業工程研究所碩士論文，民國八十年。
- Bartholdi, J. J., and Platzman, L. K., 1989, "Decentralized Control of Automated Guided Vehicles on A Simple Loop", IIE Transactions, 21, 76-81.
- Bozer, Y. A., and Sirinivasan, M. M., 1991, "Tandem Configurations for Automated Guided Vehicle Systems and The Analysis of Single Vehicle Loops," IIE Transactions, Vol. 23, No. 1, pp72-82.
- Egbelu, P. J., 1987, "Pull Versus Push Strategy for Automated Guided Vehicle Load Movement in A Batch Manufacturing System", Journal of Manufacturing Systems, 6, 359-374.
- Egbelu, P. J., and Tanchoco, J. M. A., 1984, "Characterization of Automatic Guided Vehicle Dispatching Rules", International Journal of Production Research, 22, 359-374.
- Occena, L. G., and Yokota, T., 1991, "Modeling of an Automated Auided Vehicle Systems(AGVS) in a Just-in-time Enviroment," Int. J. Prod. Res., Vol. 29, No. 3, pp. 495-511.
- Tanchoco, J. M. A., Egbelu, P. J., and Taghaboni, F., 1987, "Determination of the Total Number of Vehicles in an AGV-based Material Transport System," Material Flow, Vol. 4, pp. 33-51.
- Tanchoco, J. M. A., and Sinriech, D., 1992, "OSL-optimal Single-loop Guide Paths for AGVS," Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 3, pp. 665-681.