

# 機器人控制器 MRC01 之開發及 機器人設備導入實例

近藤 大生 日下部 和明

為透過設備自動化節省人力，機器人的導入案例有增加的趨勢。然而，市售的工業機器人於尺寸上有所限制，且多為大型機器，故「機器人自製化」的需求也不斷高漲。若要控制自製機器人，就需要與機器人控制相關的知識，但其中的複雜程度成了導入自製機器人時會遇到的一道高聳門檻。

本次開發的機器人控制器 **MRC01** 及專用程式設計軟體 **MRC Studio**，其開發理念即是以讓第一次製作機器人的設備設計者也能輕鬆控制機器人。

本文將概述 **MRC01** 及 **MRC Studio** 的技術與功能，並介紹一些設備起動時間、程式編寫時間因自製機器人導入公司內部設備而獲得縮短的實際案例。

## 1. 前言

近年來，全世界工業機器人的販賣數量大幅增加。尤其是輸送、搬運等容易自動化的製程，業界多加速導入機器人以節省人力。為求解決因工作年齡人口減少<sup>(1)</sup>導致的人手不足，可以想見，世界上很多國家在未來都會繼續發展機器人自動化。

導入機器人時，通常會導入市售的工業機器人。然而，市售的工業機器人於尺寸上有所限制，且多為大型機器，因此較難加裝至現有的設備上。因此，越來越多業界人士開始追求「自製機器人」及可用來控制自製機器人的機器人控制器。

本文將說明為因應此追求而開發的機器人控制器 **MRC01** 及專用程式設計軟體 **MRC Studio**（參閱圖 1）之技術與功能。



圖 1 MRC01 及 MRC Studio

## 2. 機器人控制所需技術

垂直關節型機器人及水平關節型機器人為典型的工業機器人（參閱圖 2）。由於每具機器人的可動範圍、速度、精度等特性均不同，故依照用途導入最適合的機器人相當重要。在此說明控制各種機器人時所需之技術。

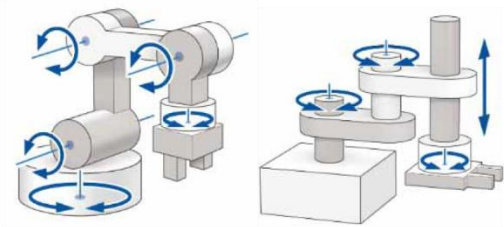


圖 2 典型工業機器人的構造

### 2.1. 何謂機器人控制

我們將機器人實際上進行作業的指尖位置稱為 Tool Center Point（以下簡稱 TCP）。機器人控制指的並非分別控制驅動機器人各關節的馬達動作，而是控制機器人整體，以便如臂使指地操控 TCP 的位置、速度或軌跡，而這也是機器人控制器的基本功能（參閱圖 3）。

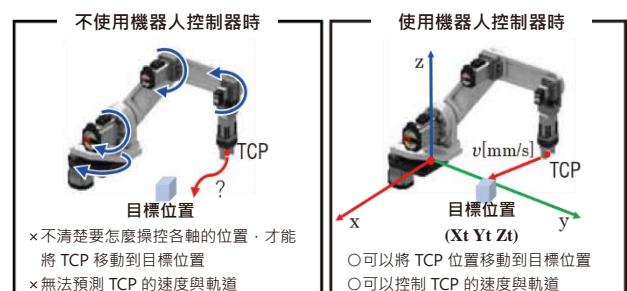
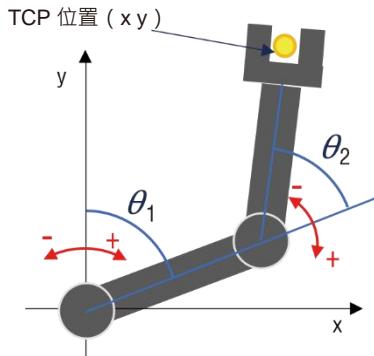


圖 3 機器人的運轉

## 2.2. 正向運動學及逆向運動學

控制機器人時，運動學計算 (Kinematics 計算) 扮演著相當重要的角色。運動學計算是一種座標變換，用於計算機器人的 TCP 位置與執行各關節的角度變換。其中分為由各關節角度計算 TCP 位置的「正向運動學計算」，以及由 TCP 位置計算各關節角度的「逆向運動學計算」2 種，彼此存在逆轉換的關係 (參閱圖 4)。欲控制機器人，就必須使用上述計算，並依據機器人的構造改變計算方法。機器人構造越複雜，運動學計算也就越繁複。



$$\begin{aligned} \text{TCP 位置: } r &= \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\ \text{關節角度: } \theta &= \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix} \\ \text{正向運動學: } \theta &\rightarrow r \\ \text{逆向運動學: } r &\rightarrow \theta \end{aligned}$$

圖 4 2 連結水平關節型機器人的運動學

進行運動學計算時，第一步需要定義代表 TCP 位置的直交座標系統 (基座座標系統)、各關節的原點位置，以及運轉方向符號。若各關節的原點位置及運轉方向偏離該定義，即無法正確控制機器人。運動學計算尚需機械手臂長等各部位條件資訊，因此設定正確的條件資訊亦屬重要。

此外，依據機器人構造的不同，有時單一 TCP 位置可能對應多個姿勢 (右手座標系/左手座標系)，因此逆向運動學計算亦會有多個解 (參閱圖 5)。部分機器人的關節部可能會隨姿勢變化而與周圍碰撞，或導致可動範圍改變，故控制時需要根據作業內容選擇適當的姿勢。

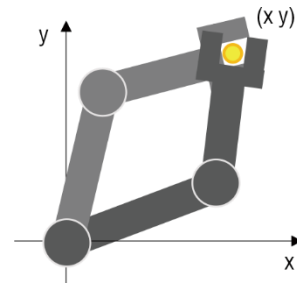


圖 5 逆向運動學中解的重複性

## 2.3. 奇異點

機器人中存在因其構造而不可能控制的姿勢，我們將這種姿勢稱為奇異點 (參閱圖 6)。在奇異點附近時，部分關節的速度會急遽上升 (參閱圖 7)。

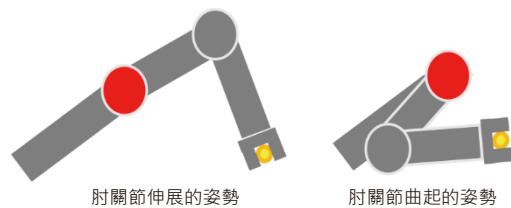


圖 6 會造成奇異點的典型姿勢

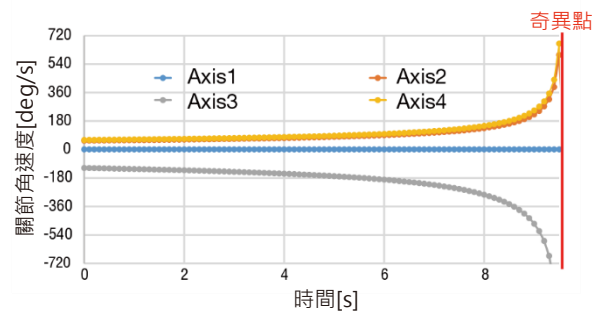


圖 7 4 軸垂直關節型奇異點附近的關節速度變化

機器人運動學計算可以求出會造成奇異點的姿勢。為安全控制機器人，我們需要將會於奇異點附近發生的關節速度急遽上升防範於未然。

## 2.4. 軌跡控制

控制運轉 TCP 軌跡時，我們可以逆向運動學計算軌跡上各點的直交座標系統，並藉此算出各關節的角度及速度曲線 (參閱圖 8)。

各關節的角度及速度曲線基本上都是會隨著時間變化的複雜曲線，如欲讓各部位馬達遵照曲線同步運轉，即需具備高度的動作控制技術，方能控制機器人。

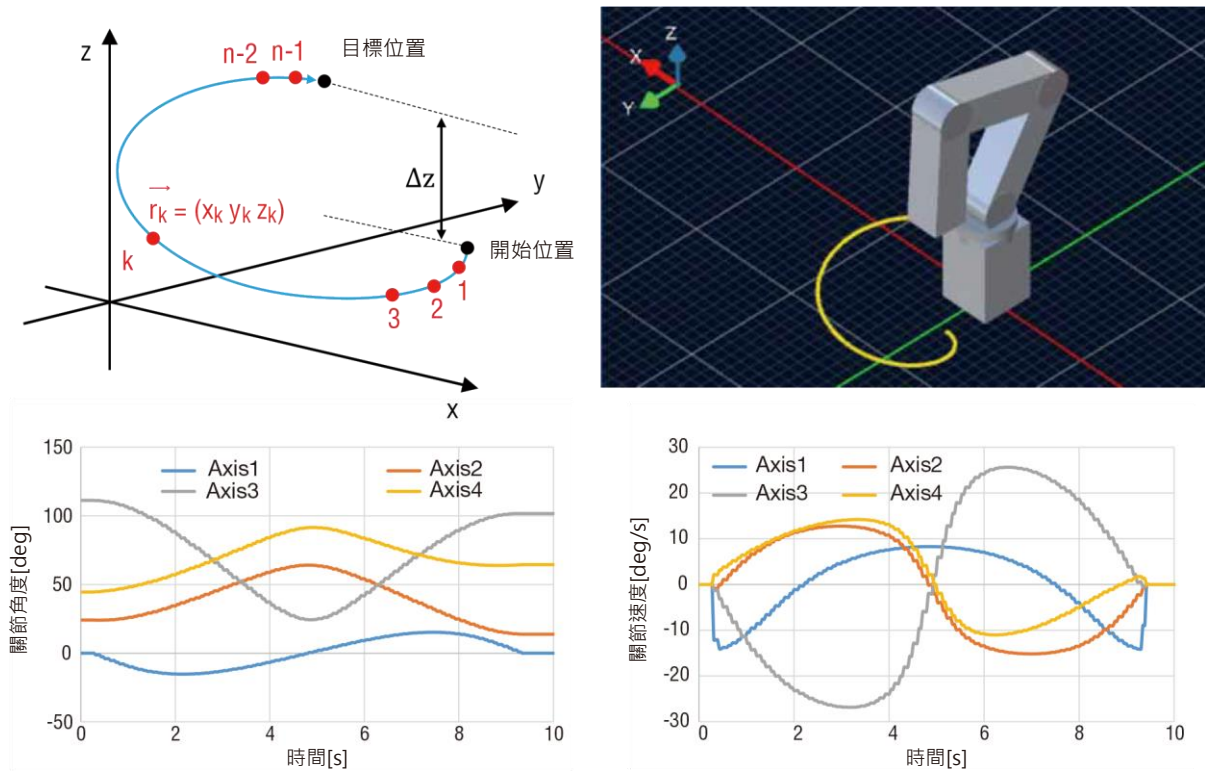


圖 8 4 軸垂直關節型螺旋插值運轉範例

### 3. 機器人控制器 MRC01

#### 3.1. 對應機器人的構造

MRC01 為搭載了免電池絕對式編碼器<sup>(2)</sup>的機器人控制器，專為 **QSTEP AZ** 系列馬達控制所開發。只要將機器人的構造及機構條件資訊輸入 MRC01 中，即可以同樣的方法操作機器人，無需在在意其構造。

有時雖可能因機器人構造而產生 OFFSET，但 MRC01 採用的構造模型已將這些 OFFSET 納入考量，並會依此進行運動學計算（參閱圖 9）。因此，只要設定適當的機構條件資訊，即使是構造自由度較高的自製機器人亦可運轉。此外，本控制器亦支援對末端效應器軸的控制。

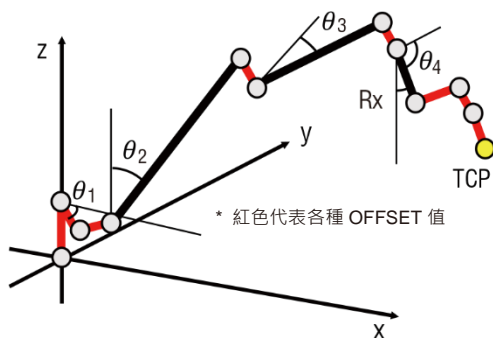


圖 9 MRC01 的 4 軸垂直關節型機器人構造模型

#### 3.2. 系統構成

MRC01 支援 EtherNet/IP<sup>TM</sup> (註 1)。

僅需對 EtherNet/IP<sup>TM</sup> 的上位機器傳送 I/O 控制及運轉資料，即可輕鬆控制自製機器人。(3)



圖 10 MRC01 的系統構成

此外，MRC01 還搭載了直接輸出入點數，分別為 8 點輸入及 8 點輸出。只要輸入信號，即可實現運轉起動/停止、周邊機器控制等各種控制。

(注 1) EtherNet/IP<sup>TM</sup> 是 ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) 的商標

### 3.3. MRC01 對應的座標系統

示教機器人時，若能依據動作選擇適當的座標系統，即可直覺式地對構造複雜的機器人進行示教，最大程度地發揮機器人所擁有的動作自由度，編寫出各式各樣的動作程式。我們將接著說明 **MRC01** 示教所能選擇的座標系統及其定義。

#### 1) 直角座標系統 (XYZ) [單位：mm]

直角座標系統是最常使用的一種座標系統，又可細分為將原點位置固定於機器人基座安裝面中央的「基座座標系統」，以及可任意變更原點位置的「用戶座標系統」兩種 (參閱圖 11)。

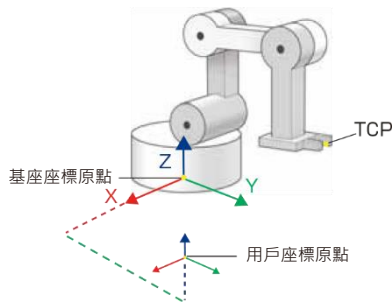


圖 11 直角座標系統

#### 2) 手尖角度座標系統 (RxRyRz) [單位：deg]

此座標系統用於控制可於垂直關節型或水平關節型機器人設定的機械手臂手尖角度 (參閱圖 12)。可不拘於機器人的姿勢，維持一定的手尖角度，以各種角度抓取工作物。

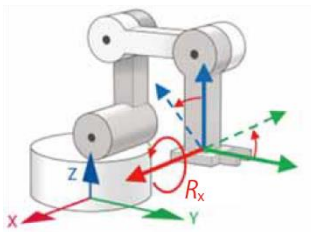


圖 12 手尖角度座標系統

#### 3) 工具座標系統 (TxTyTz) [單位：mm]

此為以機器人的手尖位置為原點的直角座標系統 (參閱圖 13)。各座標的方向會因手尖角度而有所變化。可維持手尖角度，朝面對方向執行前進或後退動作。

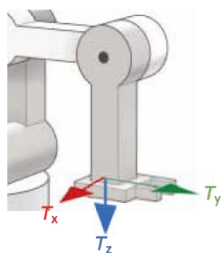


圖 13 工具座標系統

#### 4) 軸座標系統 (J1 J2 J3.....) [單位：deg or mm]

此為可顯示機器人各關節運轉角度 (若為直線動作機構則為移動量) 的座標系統 (參閱圖 14)。用於想讓特定軸單獨動作時。

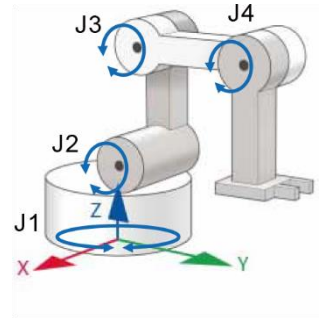


圖 14 軸座標系統

### 3.4. 運轉功能

**MRC01** 的運轉功能如表 1 所示。

表 1 運轉功能一覽表

運轉的種類	說明	支援 I/F
程式運轉	<ul style="list-style-type: none"> <li>執行使用 MRC Studio 製作、寫入的程式</li> <li>於執行固定運轉時使用，可減輕上位程式的負擔</li> </ul>	EtherNet/IP™ 直接輸入
直接資料運轉	<ul style="list-style-type: none"> <li>於上位機器重寫運轉資料的同時進行運轉</li> <li>對無法根據狀況下達指令的情況有效</li> </ul>	EtherNet/IP™
JOG / 寸動 / ZHOME 運轉	<ul style="list-style-type: none"> <li>將特定信號設為 ON 後即可執行的運轉 (JOG、寸動、ZHOME)</li> </ul>	EtherNet/IP™ 直接輸入

如欲使機器人透過安裝於其上的攝影機檢知目標位置動作 (參閱圖 15A)，使用直接資料運轉即可減輕上位側機器的程式製作負擔；欲使機器人執行搬運至規定位置等固定動作時 (參閱圖 15B)，使用程式運轉亦可達到同樣效果。

最多可儲存 64 個運轉程式，且各運轉程式可組合最多由 128 個命令組成的程序。



圖 15 機器人與攝影機的配合

另可執行 JOG 運轉、寸動運轉 (定量進給運轉)、ZHOME 運轉 (高速原點復歸運轉) 等僅需輸入特定信號即可執行的運轉。



**MRC01** 程式運轉及直接資料運轉可執行的運轉命令如表 2 所示。本控制器亦支援典型的插值運轉，如用於控制 TCP 軌跡的「直線」及「圓弧／螺旋」，以及預設為取放用途的「拱形」等。此外，「P to P」為不保證 TCP 軌跡的運轉，但由於採用線性插值法，故可達到高速運轉。「P to P」於部分機器人上可切換右手座標系統／左手座標系統的姿勢。

表 2 運轉命令一覽表

命令	說明
P to P	<ul style="list-style-type: none"> <li>各馬達會對目標位置執行最短定位</li> <li>雖無法保證軌跡，但採用線性插值法，可快速移動</li> <li>SCARA 機器人可變更右手 / 左手</li> </ul>
直線	<ul style="list-style-type: none"> <li>以線性插值法移動到目標位置</li> </ul>
圓弧 / 螺旋	<ul style="list-style-type: none"> <li>以圓弧 (X-Y 座標上) 插值法移動到目標位置</li> <li>若設定座標，亦可採用螺旋插值法</li> </ul>
拱形	<ul style="list-style-type: none"> <li>以拱形的軌跡移動</li> <li>執行上昇⇒水平移動⇒下降動作時可維持一定速度</li> <li>可僅透過拱形命令執行取放動作</li> </ul>
托板	<ul style="list-style-type: none"> <li>疊棧用命令</li> </ul>
PtoP / 直線 / 拱形	<ul style="list-style-type: none"> <li>執行以專用參數設定的疊棧動作</li> </ul>
軸移動	<ul style="list-style-type: none"> <li>僅移動指定軸 (馬達)</li> </ul>
末端效應器	<ul style="list-style-type: none"> <li>僅移動末端效應器</li> <li>可執行推壓運轉</li> </ul>
原點復歸	<ul style="list-style-type: none"> <li>將 TCP 移動至用戶座標系統的原點位置</li> </ul>

此外，亦支援可輕鬆執行疊棧的「棧板命令」、僅移動特定軸的「軸移動」命令，以及可透過末端效應器推壓運轉實現工作物夾持動作的「末端效應器」命令。

可於程式運轉使用的控制命令如表 3 所示。只要運用上述命令，即便沒有上位機器，亦可透過 **MRC01** 的 I/O 控制周邊機器或組合簡易程序。

表 3 控制命令一覽表

命令	說明
待機 (時間)	於指定時間內停止執行程式
待機 (信號)	在特定信號變為 ON 或 OFF 前停止執行程式
回路 (起點 / 終點)	讓位於起點命令及終點命令間的程序重複指定次數
信號輸出	將特定信號設為 ON 或 OFF

## 4. 保護功能

**MRC01** 搭載了各種功能，可減低因操作或設定錯誤，導致機器人執行非預期動作或接觸人員及周邊機器的風險。

### 4.1. 奇異點保護

所有多關節機器人，如垂直關節型機器人及水平關節型機器

人均有奇異點。

**MRC01** 搭載了「奇異點保護功能」，當機器人接近奇異點，可能採取導致關節速度急遽上升的危險動作時，即會停止運轉，並以 Alarm 通知。可減低示教機器人途中軸速度急遽上升等風險。

### 4.2. 滑動模式

機器人停止時，若任一軸因外力而被施加了過大負載時，此功能能讓其不回到原本位置。

當作業人員或周邊機器誤碰撞機器人時，馬達將因外力而產生大量的位置偏差。此時，通常的馬達控制將執行以較大轉矩使其返回原本位置的動作，但此舉在有些情況下可能導致新的碰撞。

設定滑移模式後，即可減低上述新接觸風險的產生 (參閱圖 16)。此外，亦可於滑移後的位置重新開始運轉。

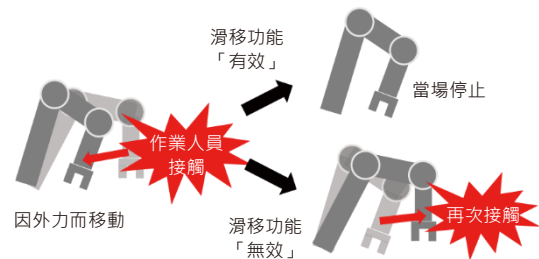


圖 16 設定滑移模式時的動作

### 4.3. 運轉過程檢知軸異常停止功能

機器人運轉過程中，如有任何一軸發生異常，以致不能運轉時，此功能將使全軸停止，並讓機器人停止動作。如機器人運轉時任一軸停止或無法以控制器的指令追蹤時，即無法控制其沿著直線或圓弧等軌跡移動，將導致非預期動作。為避免上述情形，本控制器搭載了可讓所有軸停止，並以 Alarm 發出通知的功能。

### 4.4. 位置極限、速度極限

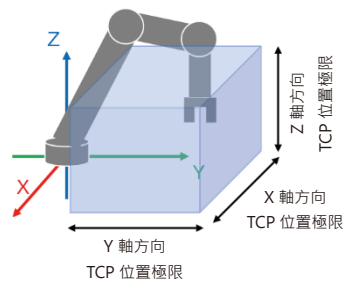


圖 17 TCP 位置極限範例

**MRC01** 中搭載了機器人 TCP 與各馬達的位置極限與速度極限功能 (參閱圖 17)。防止因操作失誤等引起的非預期速度或動作，即可減低其與周邊機器接觸或損壞的風險。

## 5. 將 MRC01 及自製機器人導入生產設備的實例

本章節將說明於公司內部產線使用 MRC01 達成自動化的實例。

### 5.1. 自動化產線概要

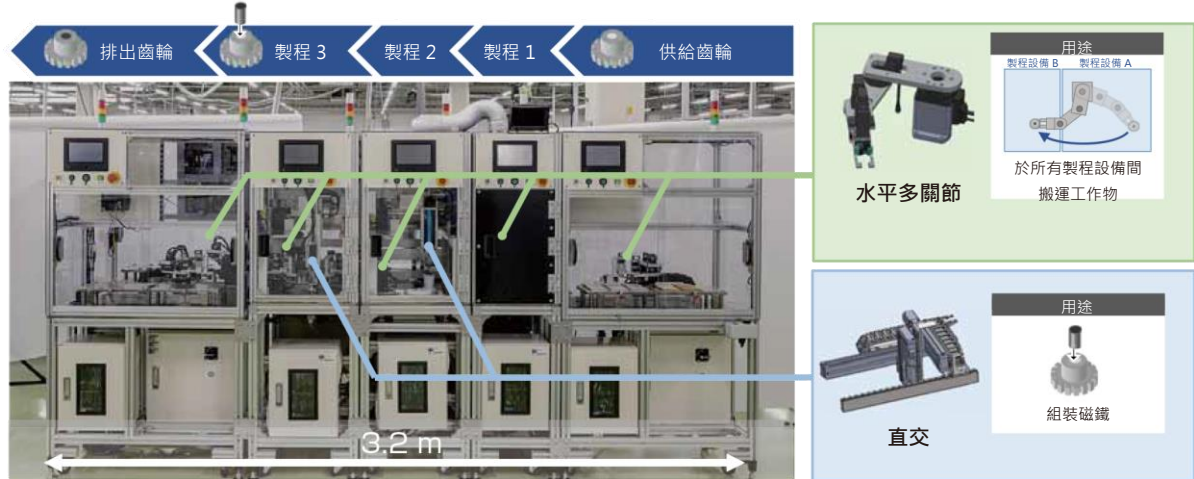


圖 18 自動化產線概要

圖 18 為將磁鐵組裝於齒輪上的自動化產線。將各製程設備予以標準化，配合製程連結各設備。此種作法具有下列優點。

- 可對不同製程設計設備、驗證動作
- 容易變更製程（替換、新增、刪除設備等）
- 因設備皆已標準化，故各設備容易挪用至其他產線

本設備於製程間的齒輪搬運及製程 2、製程 3 的磁鐵組裝部採用了運用 MRC01 的自製機器人。由於使用的並非市面上的機器人，而是配合設備大小的機器人，可實現設備的小型化。系統構成如圖 19 所示。於搬運部使用水平關節型機器人，磁鐵組裝部則使用直交機器人，且控制各機器人的 MRC01 與管理設備內及整體製程的 PLC 相互連接。

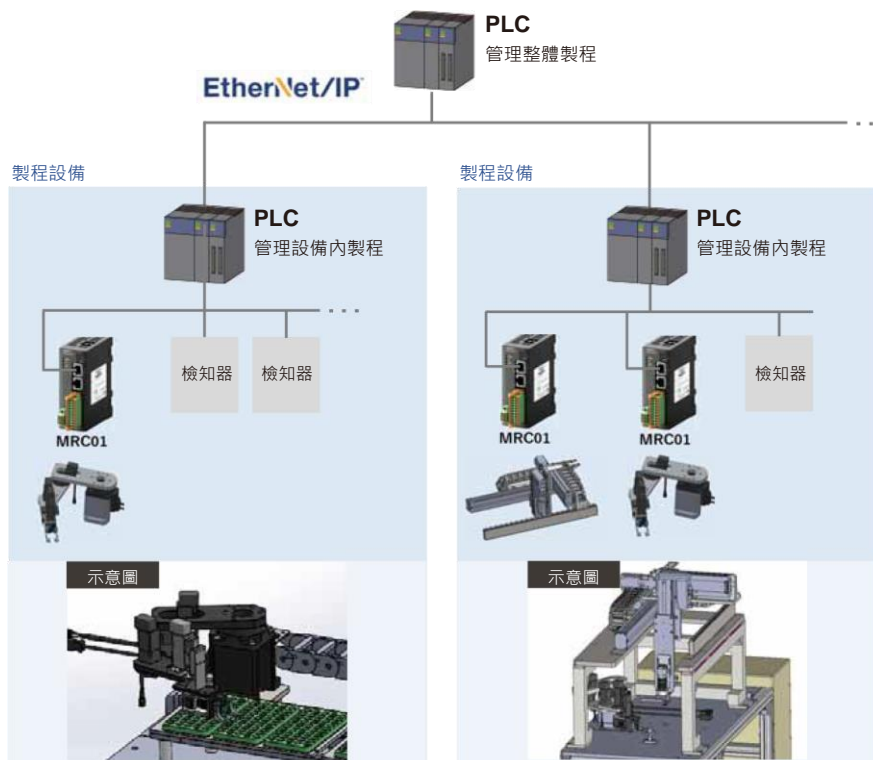


圖 19 系統構成示意圖

## 5.2. 水平關節型機器人的自製化

為達成設備的標準化及小型化，本設備採用了足以組裝進狹窄設備內的機器人，於有限的空間中實現了高自由度，有助追求高精度的定位動作。搬運用機器人則採用水平關節型機器人，具備相較於可動範圍而言設置面積小、姿勢自由度高之特性。此外，由於市面上的機器人並無適合本設備的大小，故針對 **MRC01** 實施了自製機器人設計。如此一來，便可於有限範圍內確保高自由度，並同時實現高精度的定位動作，而這樣的成果是市面上機器人難以企及的。（參閱圖 20、21）



圖 20 水平關節型機器人 (自製)

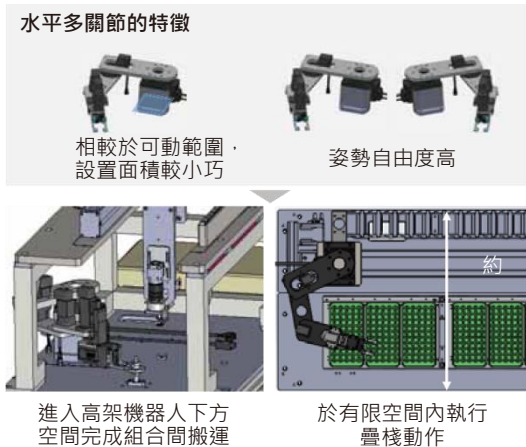


圖 21 水平關節型機器人的特徵與使用實例

## 6. MRC01 的設備導入效果

運用 **MRC01** 管理機器人動作，可於各種場合提升作業效率，例如起動設備、變更動作、將機器人挪用至其他設備等。

### 6.1. 輕鬆操作自製多關節機器人

為如臂使指地操控自製的多關節機器人，如第 2 章所述，需對各馬達進行複雜的控制。不過，由於本設備使用了 **MRC01**，故無需在意控制的複雜程度，可如直交機器人一般，於直交座標系統操作多關節機器人或對其進行示教（參閱圖 22）。即使您對設備設計並不熟悉，亦只需 1 小時左右，即可製作出可讓機器人動作的程式。

### 6.2. MRC01 與 PLC 程式提升作業效率

若欲以 PLC 控制包含機器人在內的所有機器，需一次編寫出可執行運動學設定、機器人動作、其他周邊機器動作的程式，會對 PLC 負責人員造成相當大的負擔。

不過，只要對 **MRC01** 使用 **MRC Studio**，即可獨立編寫機器人動作程式並對其進行測試，無需借助 PLC。

由於可獨立於 PLC 程式之外設計機器人動作，故可將作業分派給多位負責人員，提高設備起動過程的效率。

此外，後續若需變更機器人動作，亦無需更動 PLC 程式，而僅需編輯 **MRC Studio**，故可以較低工時完成變更。



圖 22 MRC Studio 示教示意圖

### 6.3. 縮短各種機器人操作的學習時間

欲根據用途使用各種市面上機器人時，需要學習多家廠商的機器人操作方法，操作學習會花費很長的時間。但若使用 **MRC01**，無論機器人種類為直交、水平關節型或垂直關節型，**MRC Studio** 的操作方法及 PLC 對 **MRC01** 的連接、通訊方法均不會改變。因此，機器人負責人員只要學習一次操作方法，下次需要起動別的機器人時，便無需學習新的操作方法。以本設備的實例而言，學習如何使用 **MRC01** 操作直交機器人後，即可操作水平關節型機器人，大幅縮短了起動時間。

## 7. 總結

**MRC01** 是可讓人員輕鬆控制自製機器人的機器人控制器，可對應構造各不相同的機器人。

由於當今工作年齡人口不斷減少的趨勢，導入機器人的需求不斷增加，而本產品即專為此需求開發。今後我們亦會新增擴充功能與支援機器人，提升便利性與安全性，開發出可滿足客戶多樣需求的產品。

### 參考文獻

- (1) 日本總務省 網站〈人口減少的現況〉  
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd101100.html>  
 (2022/3/18)
- (2) 根岸 德行，〈無需電池的多圈數絕對式編碼器之開發〉，RENGA，No.179，(2014)，pp.1-3
- (3) ODVA 網站，ODVA (Open DeviceNet Vender Association)，  
<http://www.odva.org/>，(2022/3/2)

### 作者



近藤 大生

控制機器系統事業部



日下部 和明

控制機器系統事業部