

機械手臂研磨拋光 與去毛邊

2018.10.11

@淡江大學機電系

BOORER
YOUR EXPERT IN ROBOTIC TOOLS

研磨、拋光、去毛邊簡介

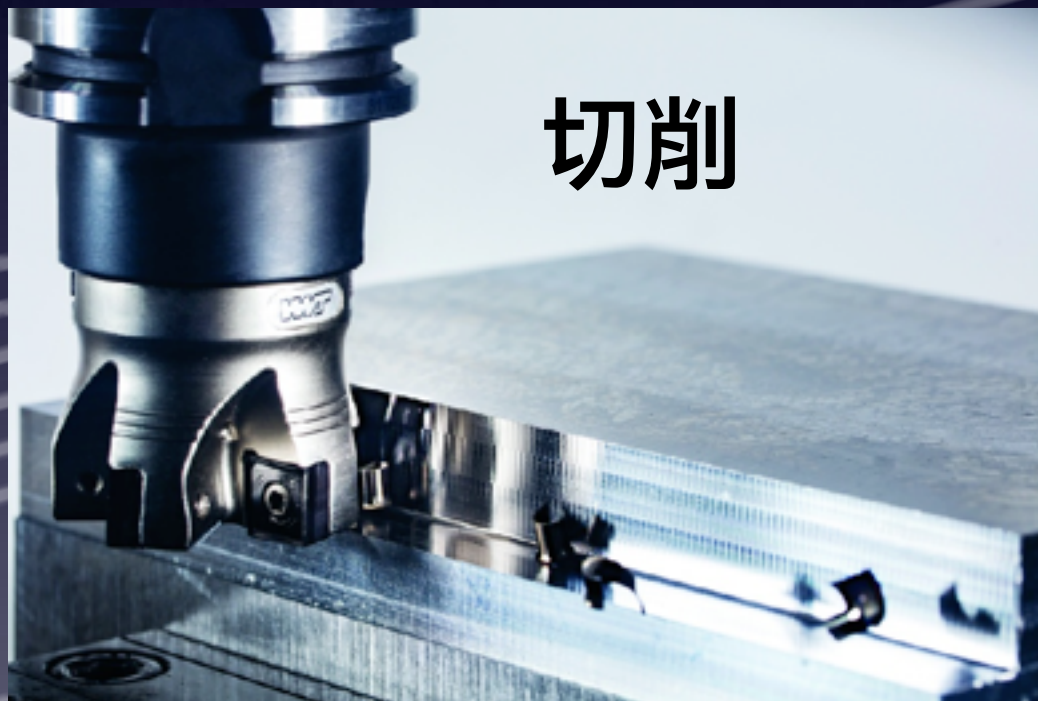
- 何謂研磨拋光
- 何謂去毛邊
- 學校裡沒教的那一半

BOOSTER
YOUR EXPERT IN ROBOTIC TOOLS

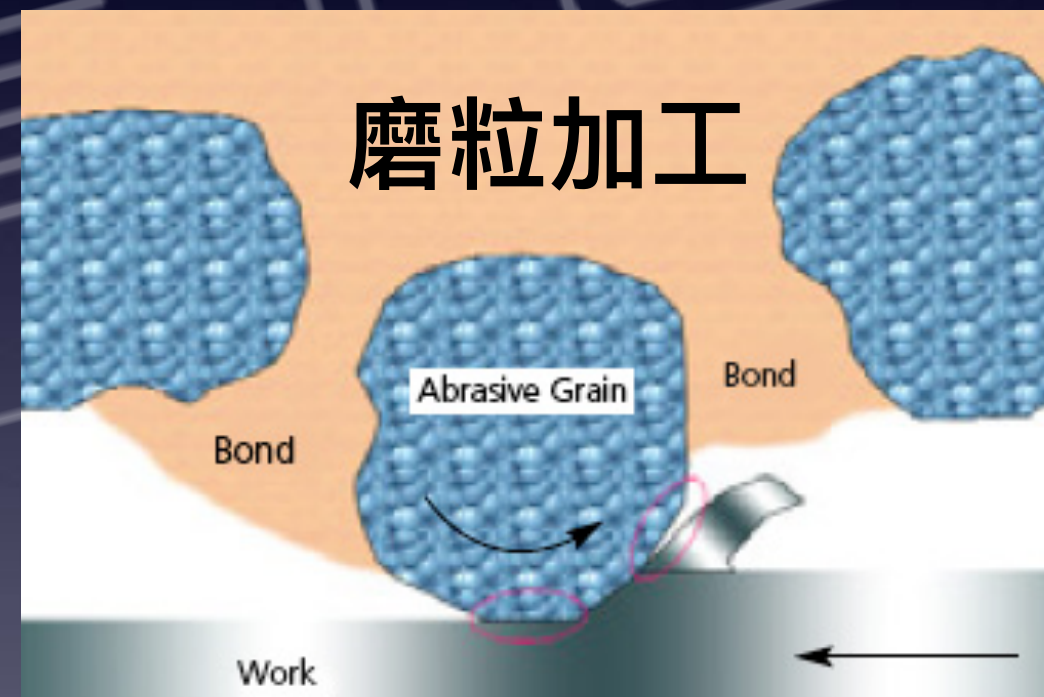
研磨、拋光、去毛邊簡介

何謂研磨拋光

又稱為磨粒加工，磨粒的切刃對工件施加剪力所致塑性變形，進而產生切屑分離



- 切刃：刀具(機械結構)
- 設計好的刃角、切刃數等參數

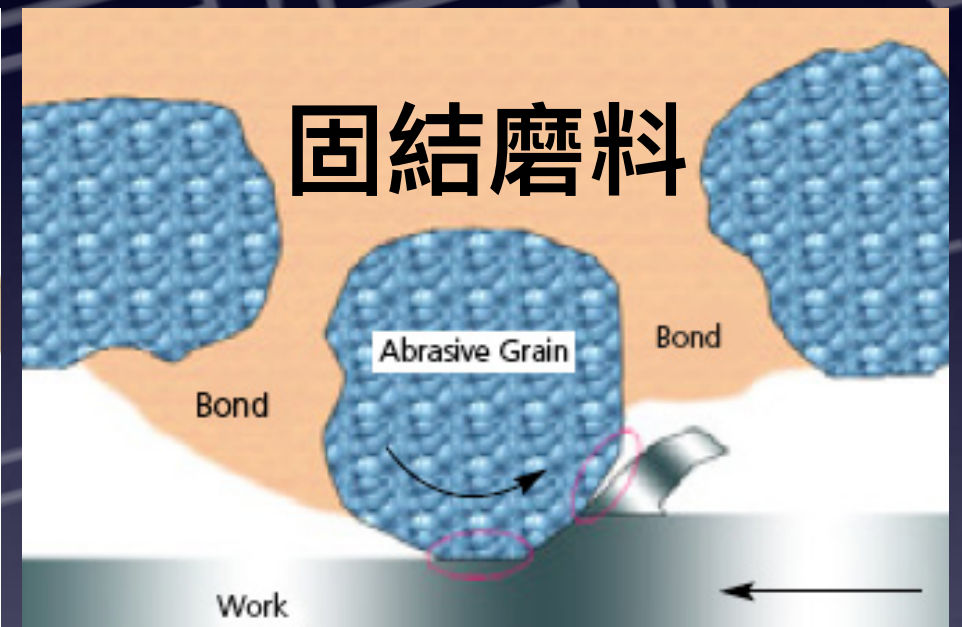
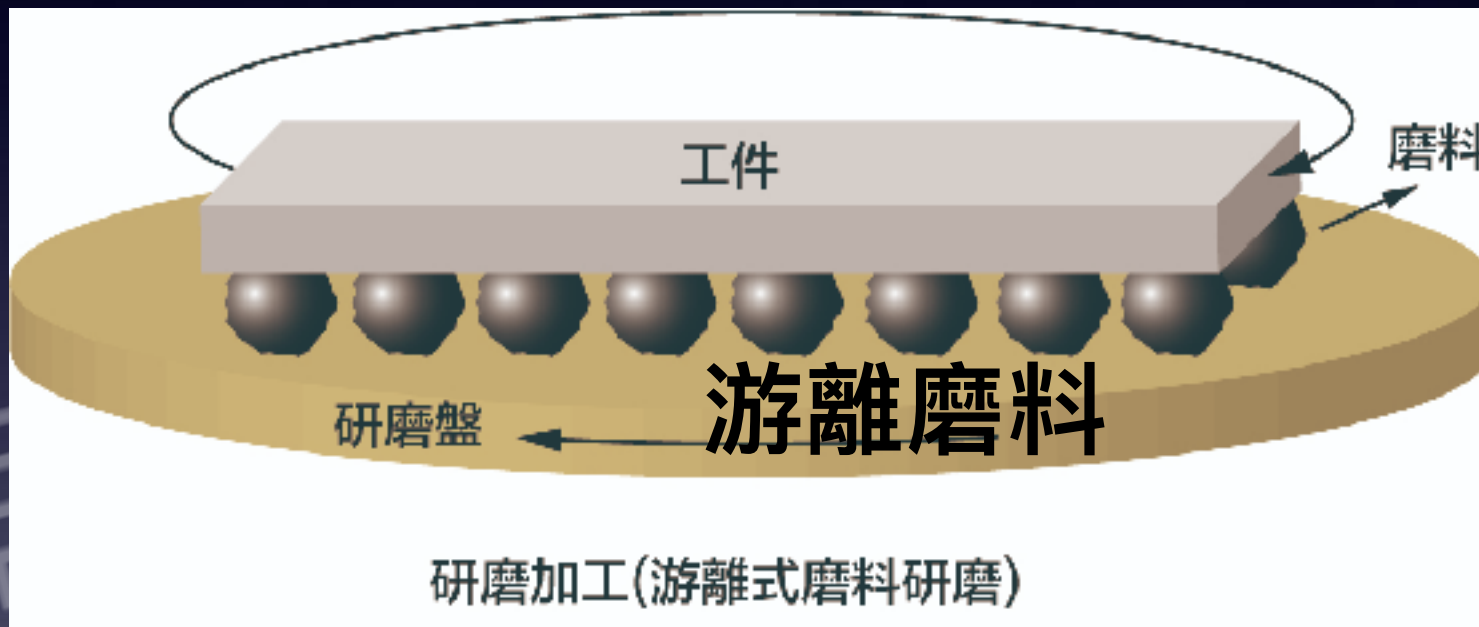


- 切刃：磨粒(隨機形狀)
- 不定刃角與切刃數

研磨、拋光、去毛邊簡介

何謂研磨拋光

游離磨料與固結磨料



- 構成：游離磨料 + 液態或半固態介質 + 背靠材

- 材料移除率低、表面粗糙度佳、尺寸不容易控制(未必)

- 構成：固結磨料 + 結合劑 + 塑形或黏附在其他結構

- 材料移除率高、表面粗糙度差、尺寸容易控制(未必)

研磨、拋光、去毛邊簡介

何謂研磨拋光

進給控制與力量控制



- 機械動力、機械傳動
- 控制工件的尺寸形狀
- 通常使用砂輪(Grinding)
- 製作平面、圓柱、齒輪、螺桿等習知的機械構造或幾何形狀



- 種類多不易分類
- 工件形狀多樣，多半不是簡單幾何圖形

研磨、拋光、去毛邊簡介

何謂研磨拋光

以學名來說分為三種

磨削、輪磨(grinding)：使用砂輪及進給控制，材料移除率較高

研磨(lapping)：固定磨料或游離磨料都有，使用壓力控制，材料移除率較低

拋光(polishing)：使用游離磨料及壓力控制，移除材料很低，通常目的是為了改善表面

研磨、拋光、去毛邊簡介

何謂研磨拋光

以俗名來說只分兩種

研磨(grinding、sanding)：以目的而論，通常是為了移除材料

拋光(polishing、buffing)：通常是為了提升表面粗糙度與亮度，目的不在尺寸

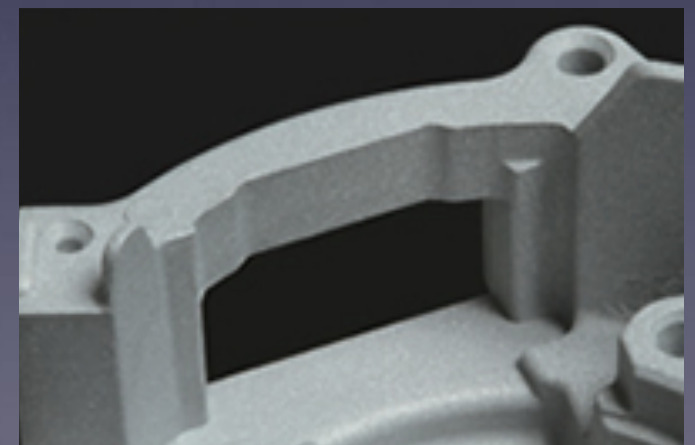
研磨拋光的工法與應用太廣，不論學名或俗名的定義，都可能有不足的地方，要特別注意其指涉的內容

研磨、拋光、去毛邊簡介

何謂去毛邊

毛邊沒有嚴謹的學術定義

- 塑性成形(鑄造、射出成形、鍛造等)的工件，其
 - 模具的合模線滲漏，在工件上留下餘料
 - 模具劣化產生坑洞，導致工件表面突起
- 機械加工(車銑磨)的工件，其
 - 切屑沒有與工件表面完全斷開
 - 兩面相交稜線不平滑，有尖銳或阻礙感



研磨、拋光、去毛邊簡介

何謂去毛邊

去毛邊也沒有嚴謹的學術定義

- 機械加工
- 人工
滾銑刀、砂輪、砂帶、砂紙、刷子
- 噴砂、滾動、流體
- 冷凍
- 雷射

去毛邊

deburr

deflashing

研磨、拋光、去毛邊簡介

學校裡沒教的那一半

人工研磨拋光與去毛邊

- 都是在其他機械製造後面的修飾工作
- 方法與材料千奇百怪，難以分類及理論化
- 現場師傅有經驗但不知所以然，本科生不做這一行

研磨、拋光、去毛邊簡介

學校裡沒教的那一半

人工研磨拋光與去毛邊

- 近年情況漸漸改變
- 這些工作沒有提升會拖累整個製造業
- 需要工程專長人才投入協助自動化

機械手臂研磨拋光去毛邊

- 目的（想解決什麼問題？）
- 為什麼是機械手臂？
- 光靠機械手臂就可以嗎？
 - 關鍵技術
 - 應用實例

機械手臂研磨拋光去毛邊

目的（想解決什麼問題）



機械手臂研磨拋光去毛邊

目的（想解決什麼問題）

- 人工研磨拋光去毛邊是傳統製造業的痛點
 - 資方觀點：
 - 產能瓶頸
 - 自動化過於複雜、生產彈性低
 - 勞方觀點：
 - 嫌惡工作（危險、辛苦、骯髒）
 - 無發展性，不符現代人價值觀

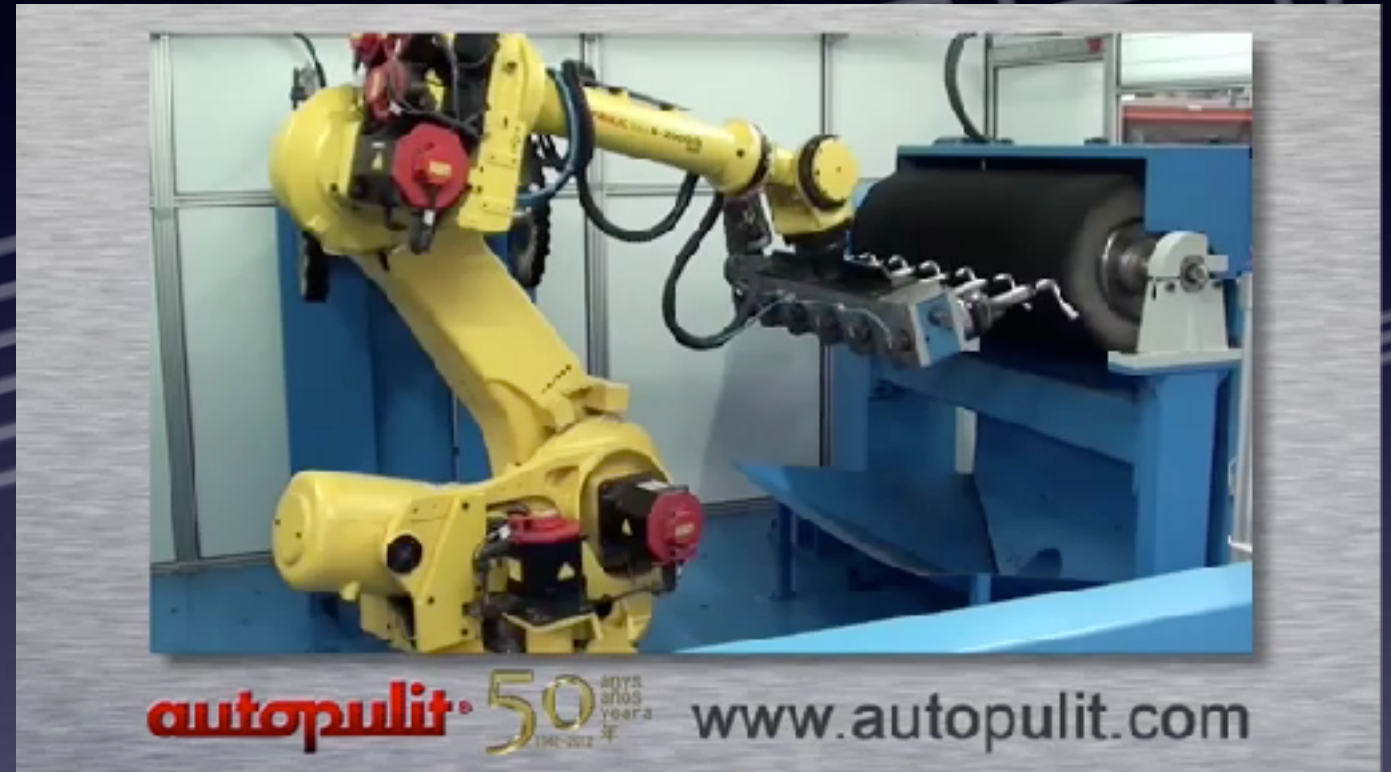
機械手臂研磨拋光去毛邊

目的（想解決什麼問題）

- 機器人搶走人類的工作？
 - 人類「不想要」的工作
 - 就業市場「供不應求」
 - 產業成本結構 vs 薪資需求
 - 新工作永遠會被創造出來
 - 想想IT產業，我們憑空創造了一個世界

機械手臂研磨拋光去毛邊

為什麼是機械手臂？



- 自由度低
- 機構複雜度高、重複性高
- 生產彈性低

- 自由度高
- 複雜度低、重複性低
- 生產彈性高

機械手臂研磨拋光去毛邊

光靠機械手臂就可以嗎？

- **複雜路徑問題**

如何在複雜曲面上產生工作路徑
模仿人的手勢

- **位置(進給)控制模式問題**

各種誤差：形狀公差、定位誤差、材料損耗
接觸不穩定

- **剛性、精度問題**

人 < 機械手臂 < 工具機、專用機

機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

- **複雜路徑問題**
軟體路徑生成
表面工藝
- **位置控制模式問題**
誤差補償與力量控制
- **剛性、精度問題**
座標及精度校正
加工量補償

機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

複雜路徑問題

- 軟體路徑生成
- 表面工藝

BOOSTER
YOUR EXPERT IN ROBOTIC TOOLS

機械手臂研磨拋光去毛邊
複雜路徑問題
軟體路徑生成

早期的路徑產生方式

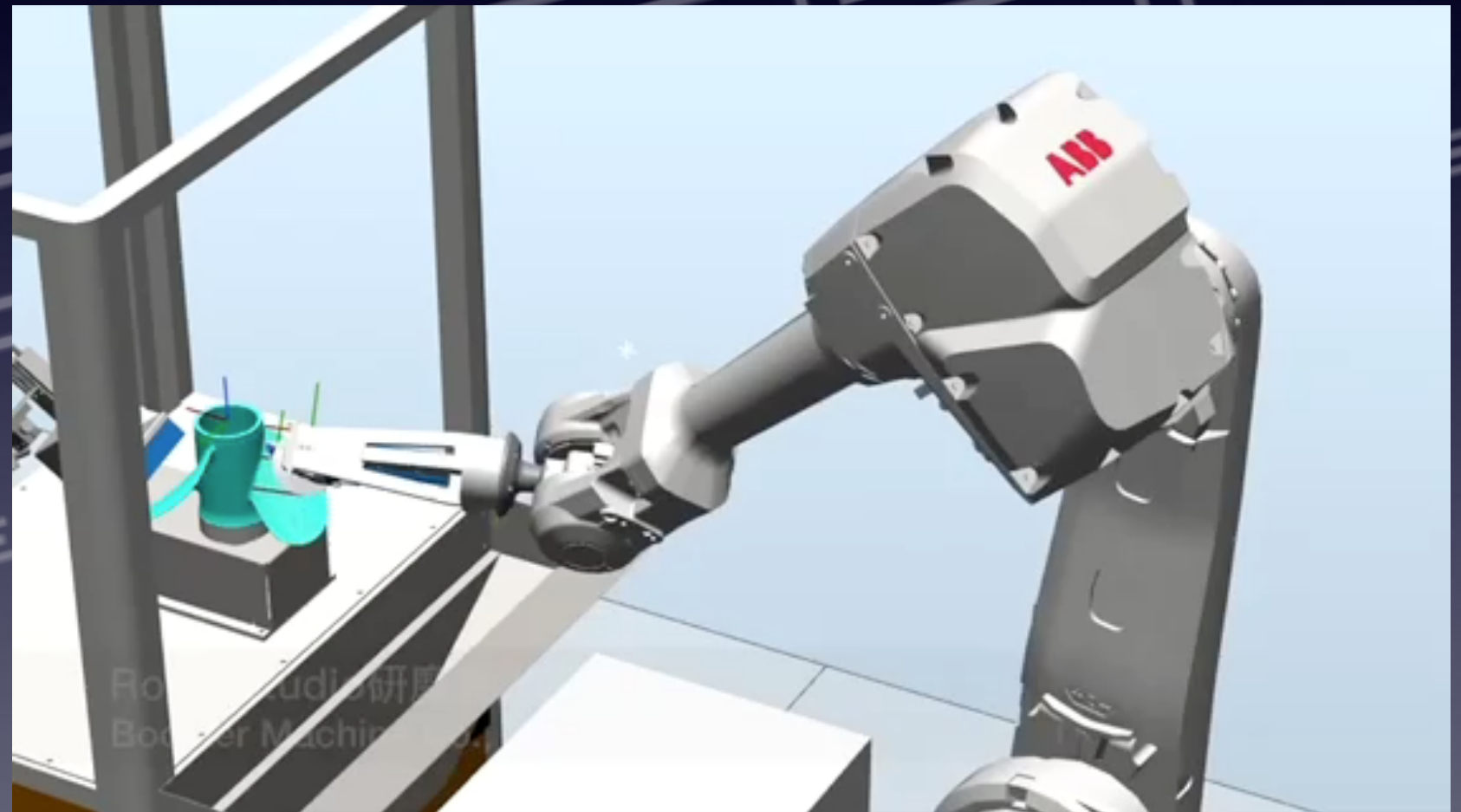
- Playback (lead through)
- Teach-in
- Offline Teach-in with Software



機械手臂研磨拋光去毛邊
複雜路徑問題
軟體路徑生成

先進的路徑產生方式

- 類似CAM的概念
- 沿著幾何特徵，以設定好的方式自動產生路徑



機械手臂研磨拋光去毛邊
複雜路徑問題
表面工藝



EAR
OTIC TOOLS

機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

位置控制模式問題

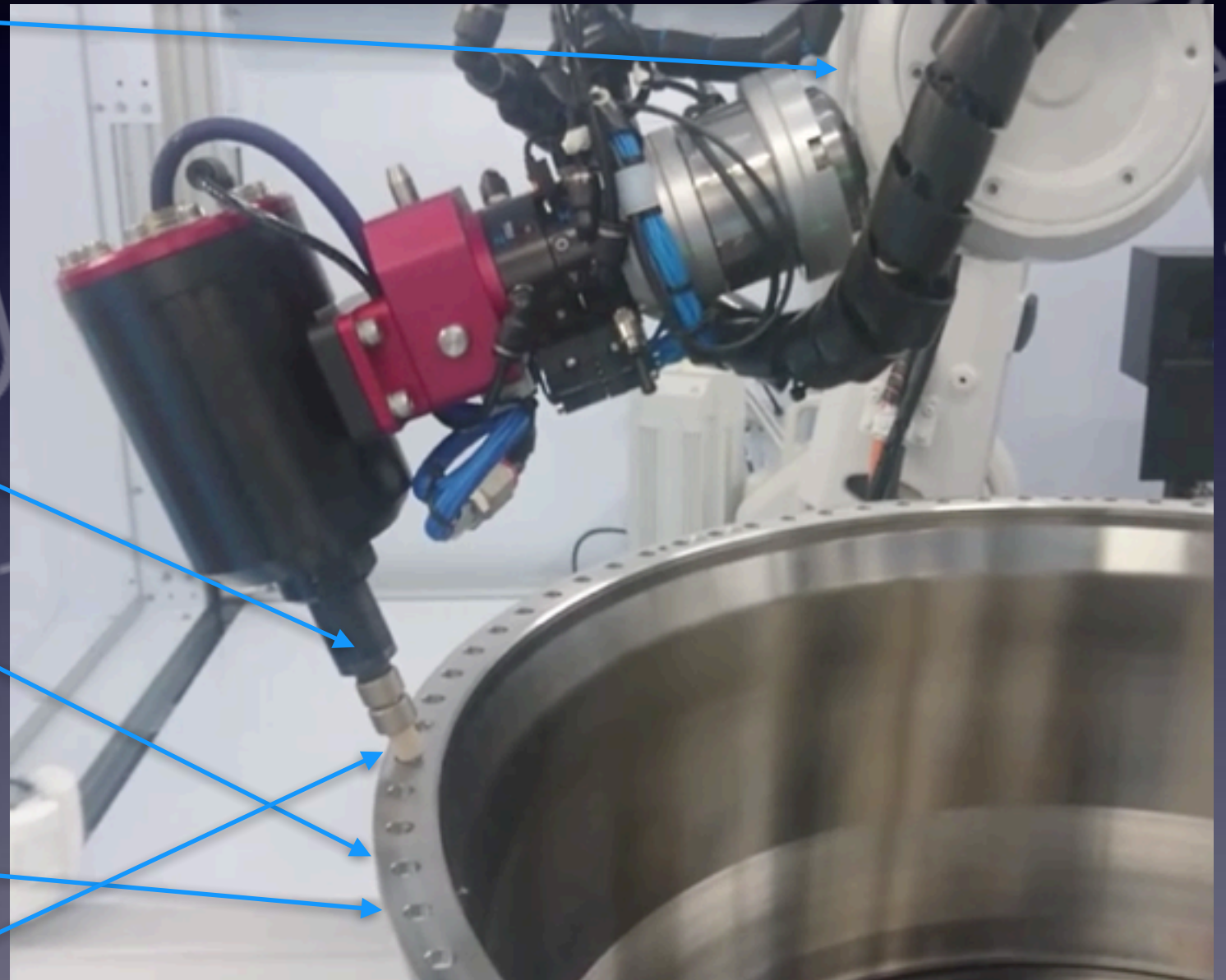
- 誤差補償與力量控制

BOOSTER
YOUR EXPERT IN ROBOTIC TOOLS

機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題

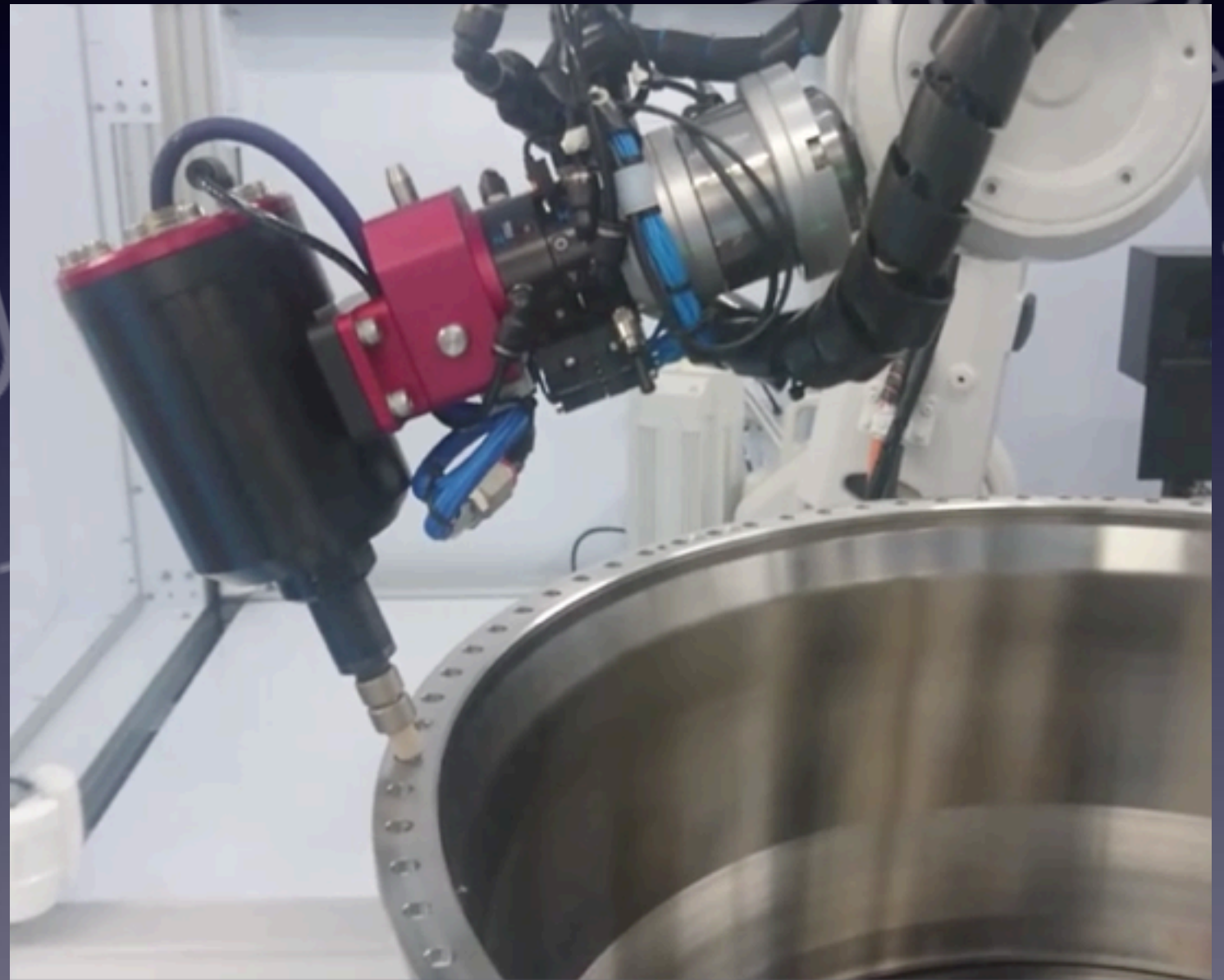
誤差補償與力量控制

- 機械手臂定位誤差
 - 絕對精度誤差
 - 重複精度誤差
- 手臂前端工具定位誤差
- 外部工作物定位誤差
- 形狀誤差
 - 製造公差
 - 磨耗或彈性變形



機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題
誤差補償與力量控制

- 誤差造成的問題
 - 無接觸或過切
 - 研磨量變化大
 - 發生碰撞



機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題

誤差補償與力量控制

- 人工研磨拋光去毛邊的工作原則是給定的接觸力量，從工件的最外層慢慢消耗材料，在單次動作中不涉及工件尺寸的控制
- 其結果除了有一定的尺寸要求以外，通常還需要滿足肉眼對外觀的要求以及觸感上的要求



機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題

誤差補償與力量控制

- 位置控制模式 → 力量控制(浮動)模式

力量控制
Force Control

浮動(順應性)
Compliance

- 模仿人工的模式
- 位置不再是最重要的控制項
- 工件與工具以設定好的力量保持接觸
- 各種誤差都被吸收(補償)掉

機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題

誤差補償與力量控制

- 力量控制種類

- Through-the-arm

機械手臂加上力感應元件，從位置模式切換成位置/力量混合模式

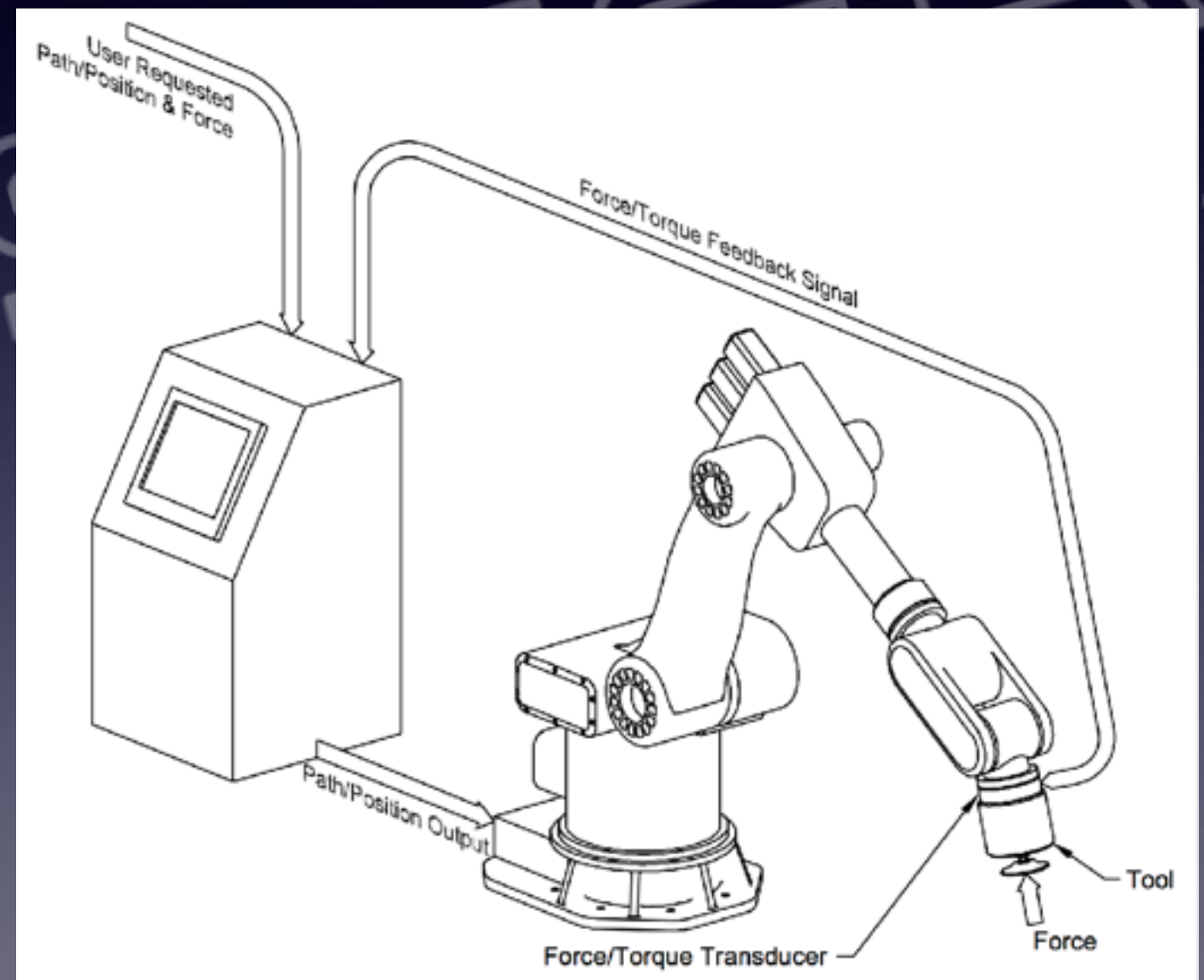
- Around-the-arm

機械手臂依然執行位置模式，由手臂的周邊裝置提供力量控制的功能

機械手臂研磨拋光去毛邊 位置控制模式問題 誤差補償與力量控制

• Through-the-arm力量控制

- 優雅、符合直覺
- 透過手臂位置調整形成接觸力的改變
- 接觸力受剛性影響很大
- 系統反應速度慢
- 僅能使用在低速工作、低剛性與相對平坦的接觸面



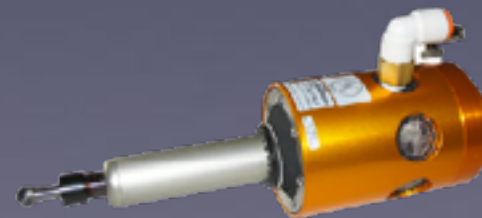
機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題
誤差補償與力量控制



機械手臂研磨拋光去毛邊 位置控制模式問題 誤差補償與力量控制

• Around-the-arm力量控制

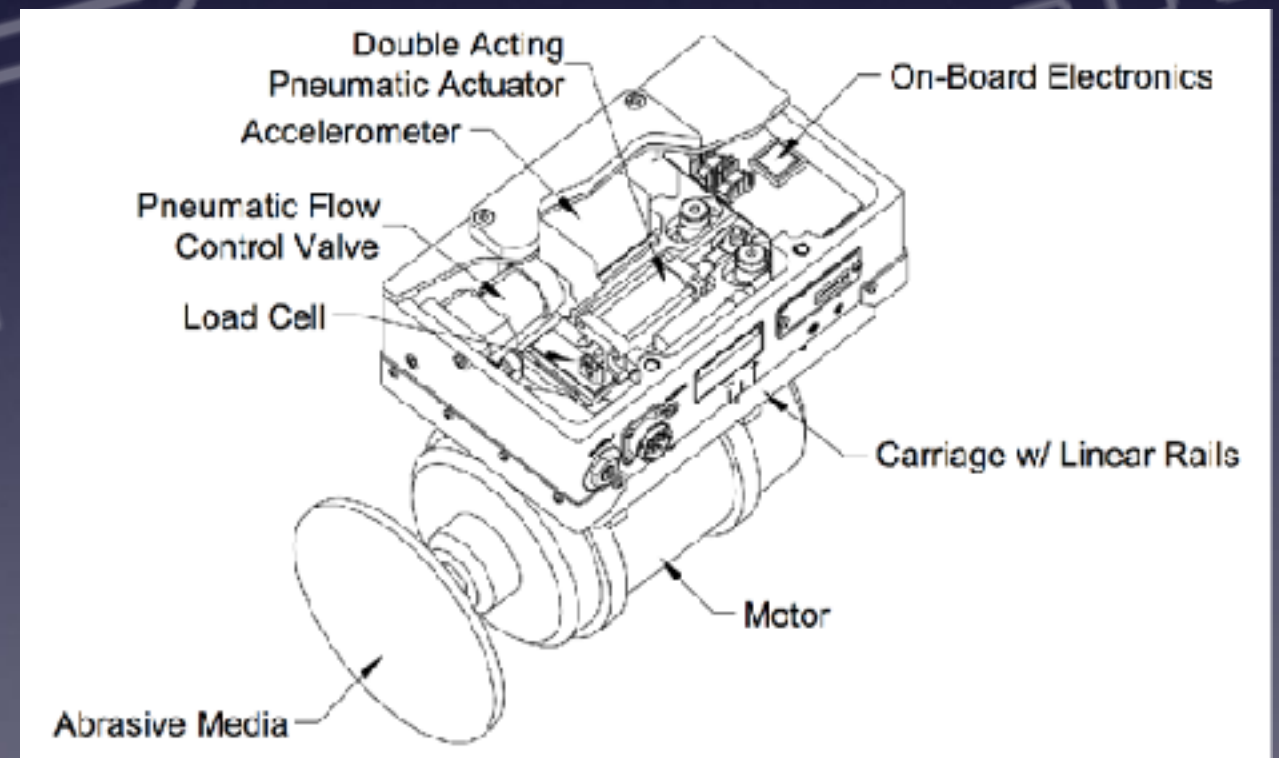
- 手臂負責大範圍運動，控制簡單
- 力的控制與手臂動作切割，由更適合的機構負責
- 力控的機構可以安裝在手臂上或地上
- 低剛性系統、有利維持穩定的接觸力
- 自由度、泛用性較低



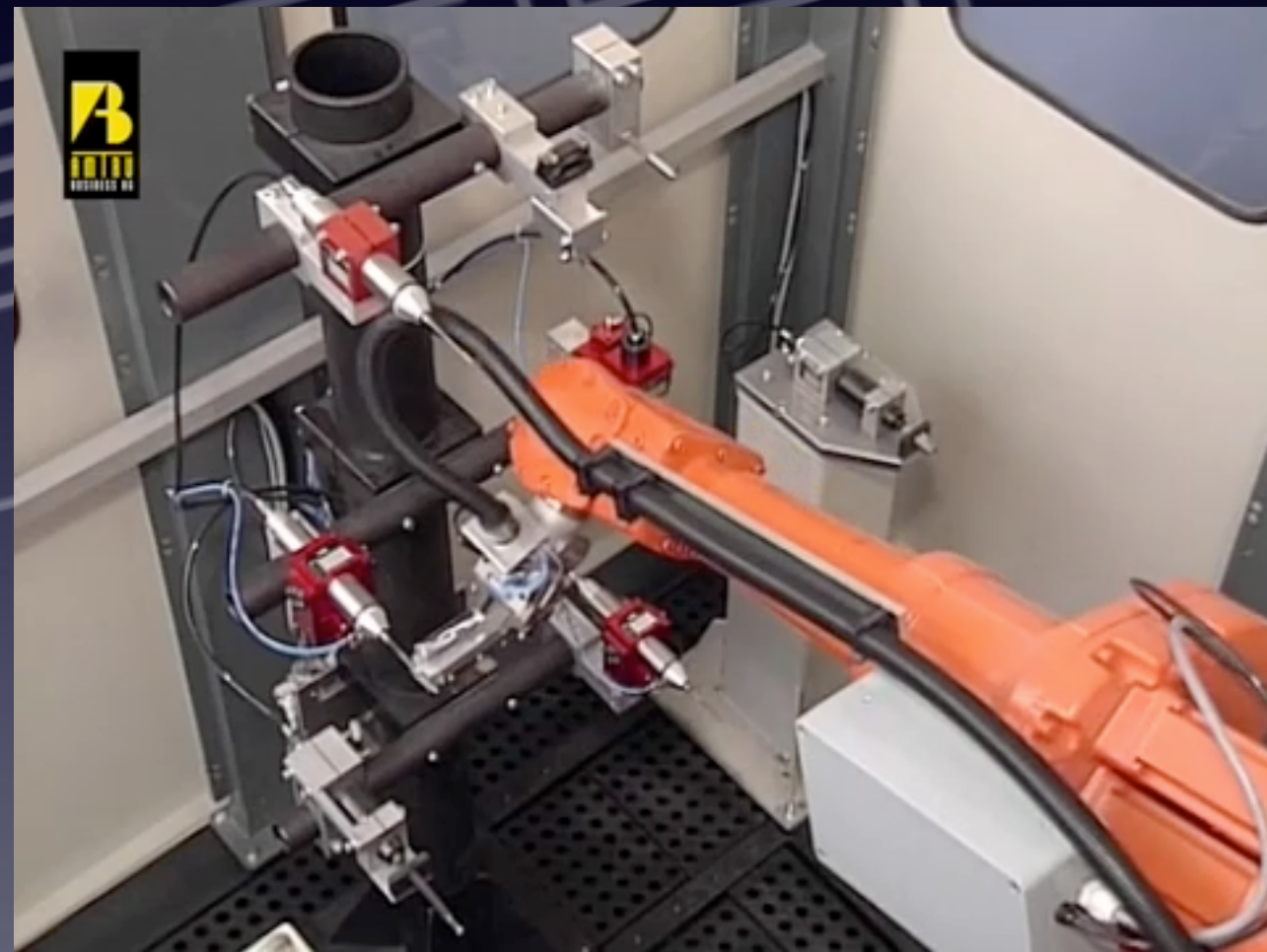
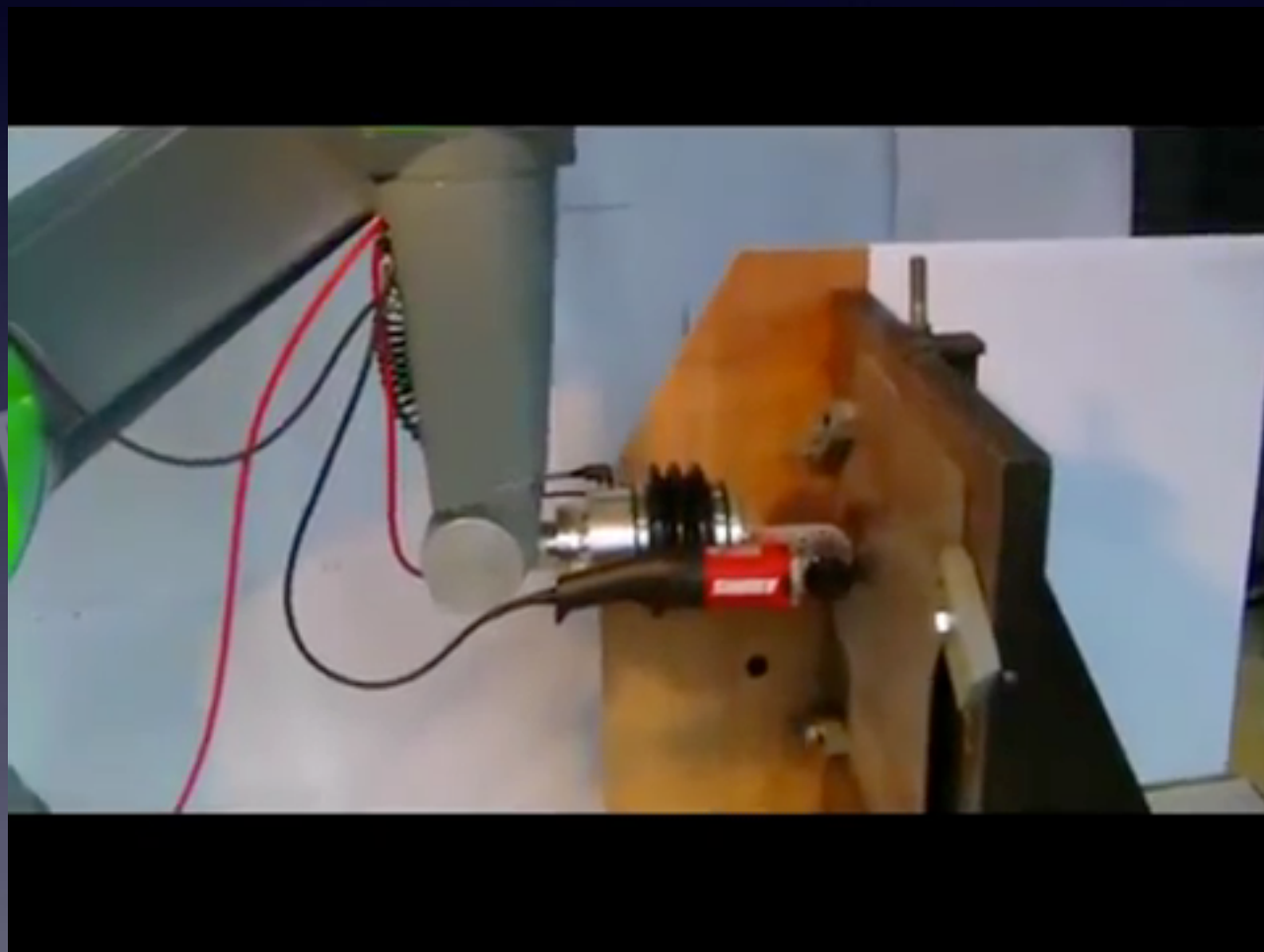
機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題
誤差補償與力量控制

- **Around-the-arm力量控制**

- 被動式(無回授)
例如：彈簧
- 主動式(回授控制與補償)
例如：氣壓缸、音圈馬達
Load cell回授力量大小
加速規偵測重力並補償



機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題
誤差補償與力量控制



機械手臂研磨拋光去毛邊
位置控制模式問題
誤差補償與力量控制



RFS-01
機械手臂鑄件後加工系統

機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

剛性、精度問題

- 座標及精度校正
- 加工量補償

BOOSTER
YOUR EXPERT IN ROBOTIC TOOLS

機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

剛性、精度問題



輪廓度要求
 $0.2 \pm 0.1 \text{mm}$



空間線段導角
 $R0.3 \pm 0.2 \text{mm}$

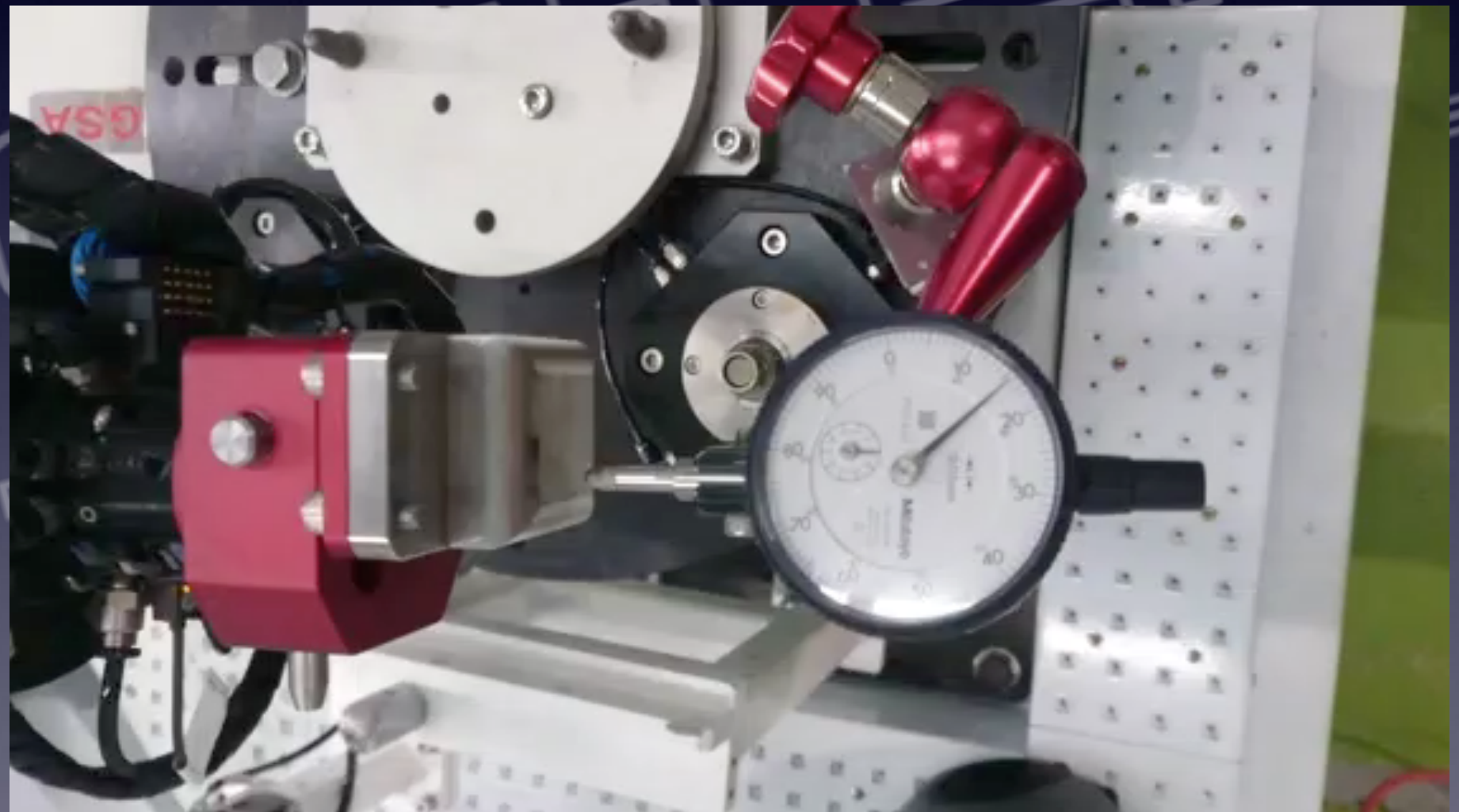


機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

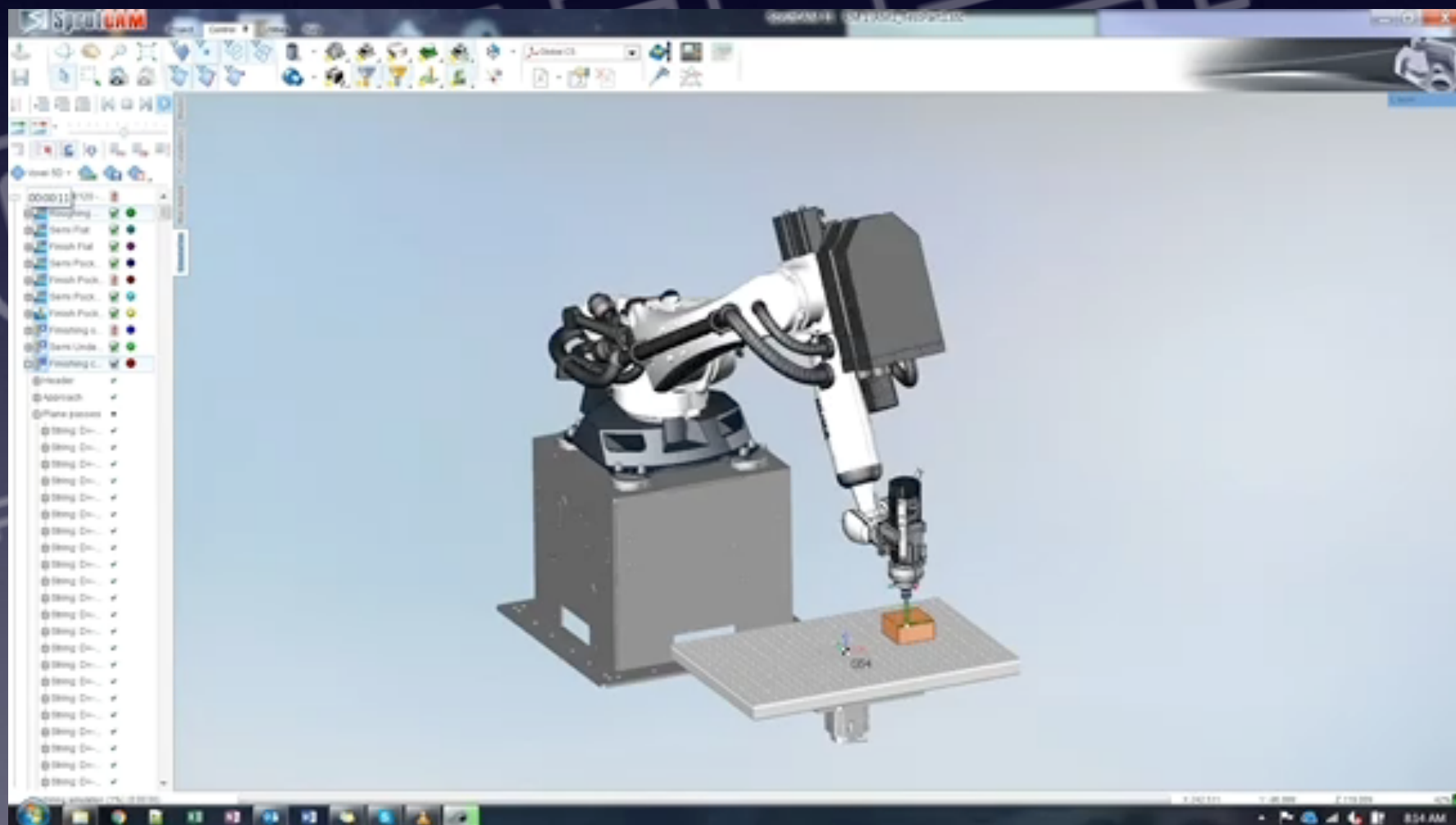
剛性、精度問題

- 空間多方向
重複精度
 $\pm 0.05\text{mm}$ 以
內
- 重複精度受
限元件特性
難以改善



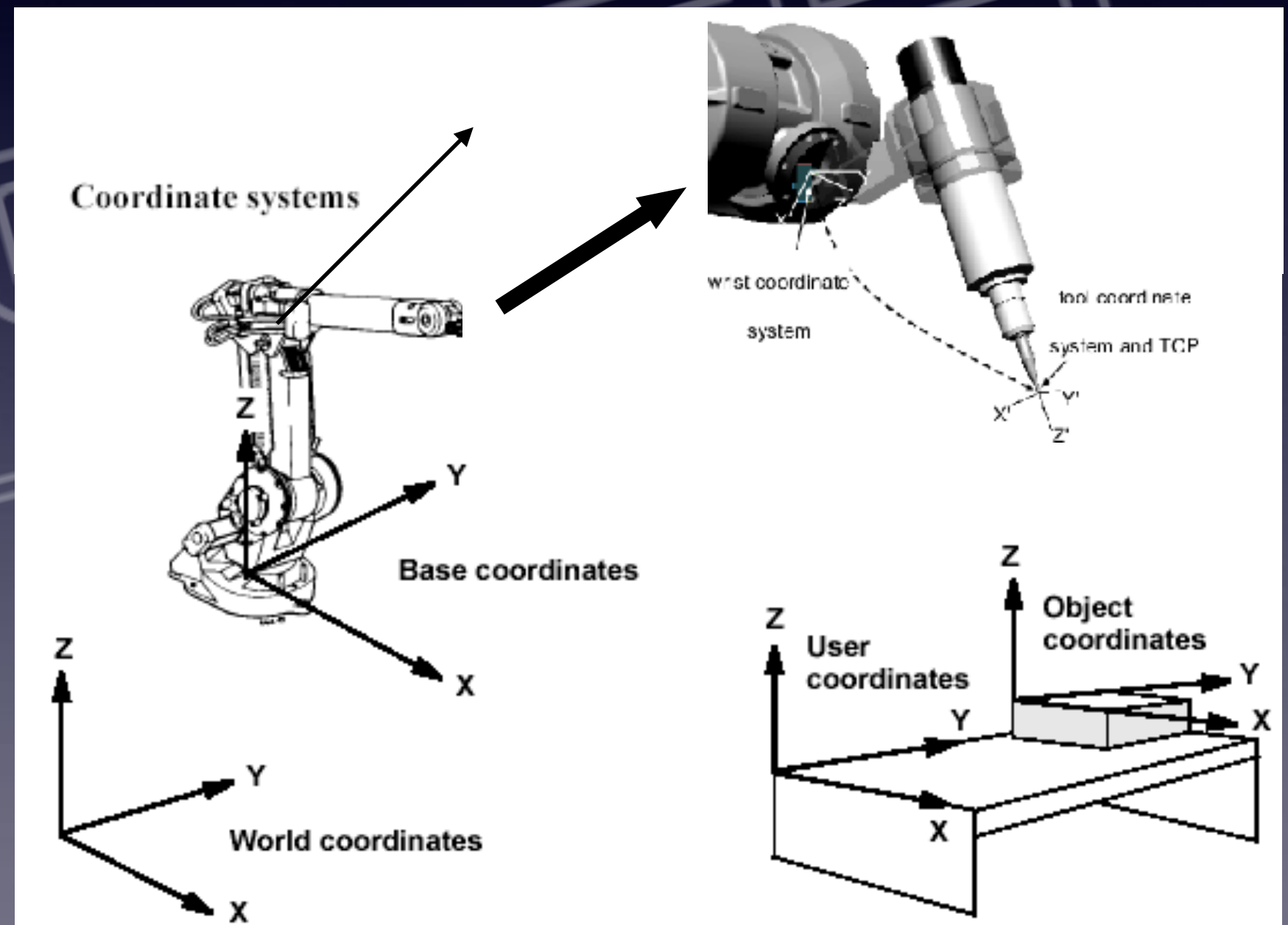
機械手臂研磨拋光去毛邊 關鍵技術 剛性、精度問題

- 絕對精度誤差產生於理想空間與機構空間的差異
- 小範圍絕對精度誤差 $\pm 0.3\text{mm}$ ，大範圍可達數 mm
- 不只尺寸差異，空間幾何也會扭曲
- 絕對精度可透過校正補償大幅改善



機械手臂研磨拋光去毛邊
關鍵技術
剛性、精度問題

- 手臂基座標/
世界座標
- 腕座標/
工具座標及
TCP
- 使用者座標/
工件座標



機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

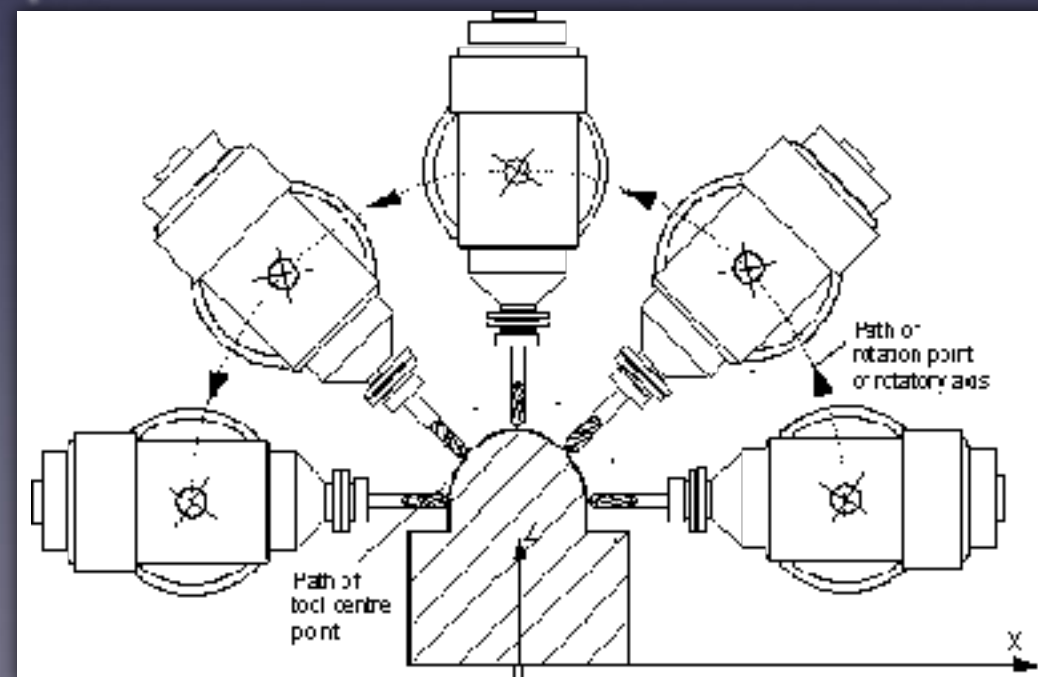
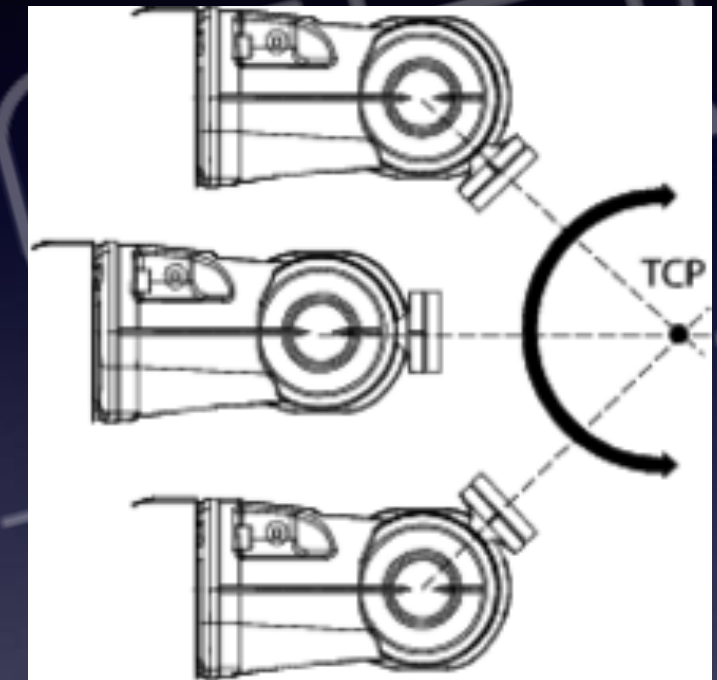
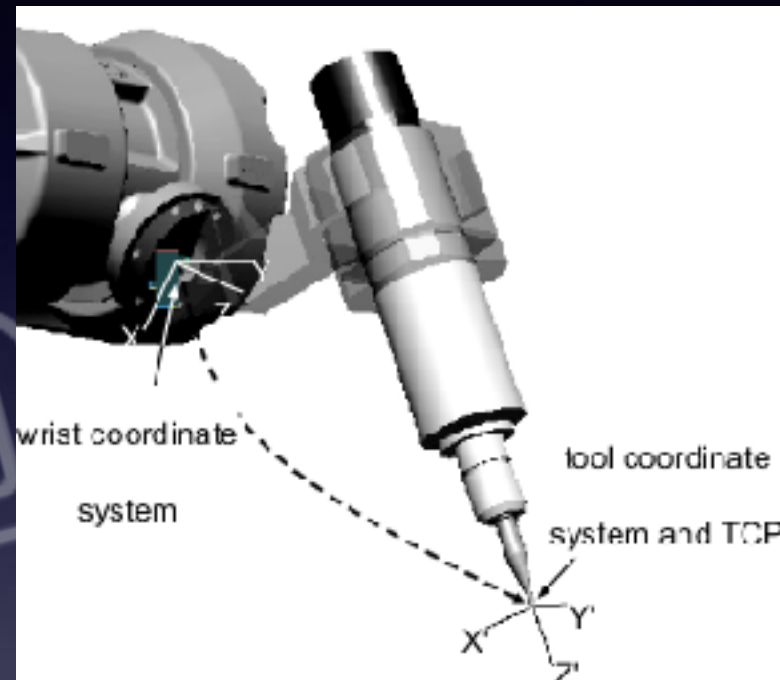
剛性、精度問題

- 工具座標

- 取代腕座標來描述運動

- 更簡捷

- 更直覺

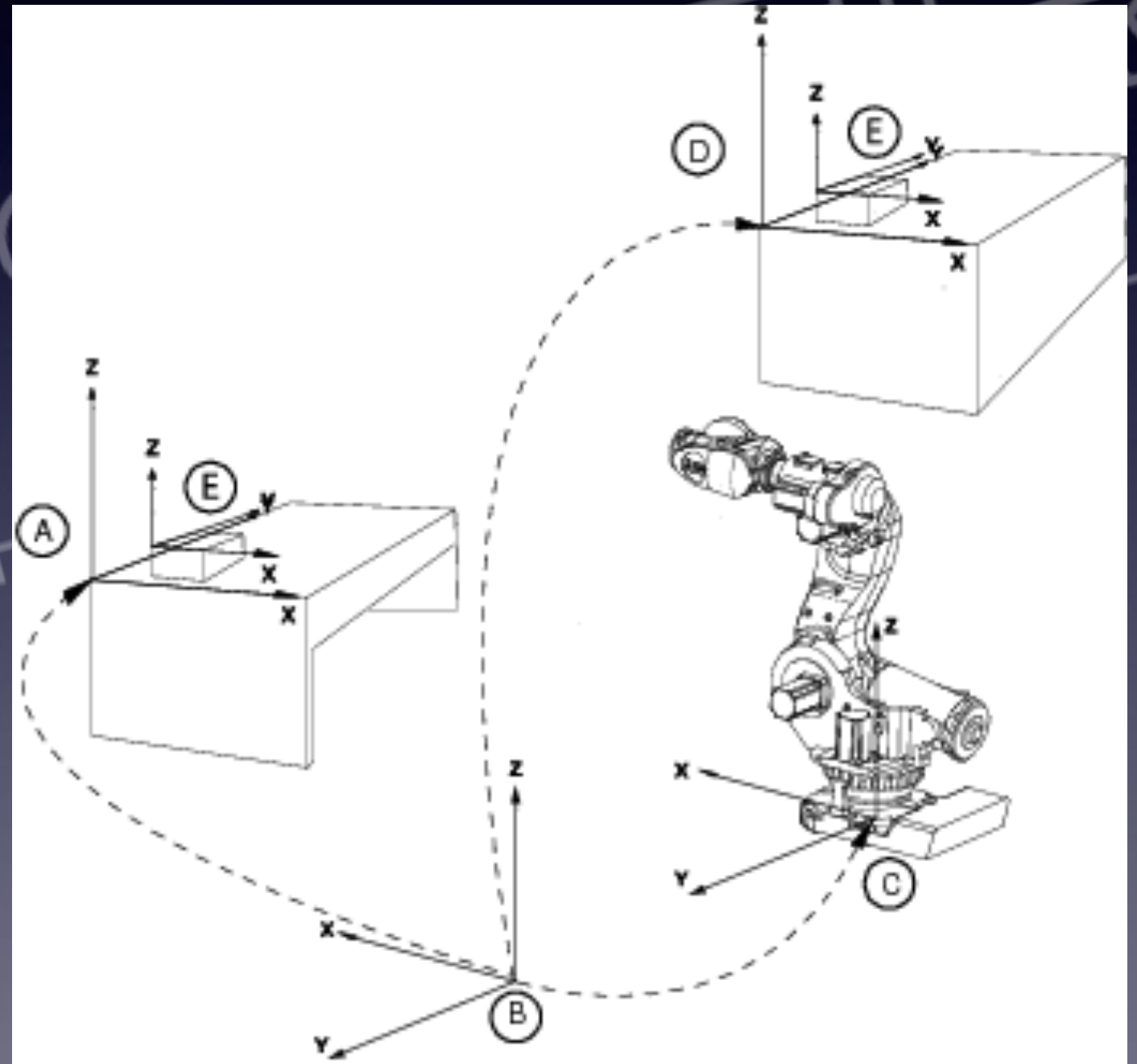


機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

剛性、精度問題

- 使用者座標/
工件座標
 - 取代世界座標系來
描述運動
 - 更簡捷
 - 更直覺
 - 方便快速複製路徑

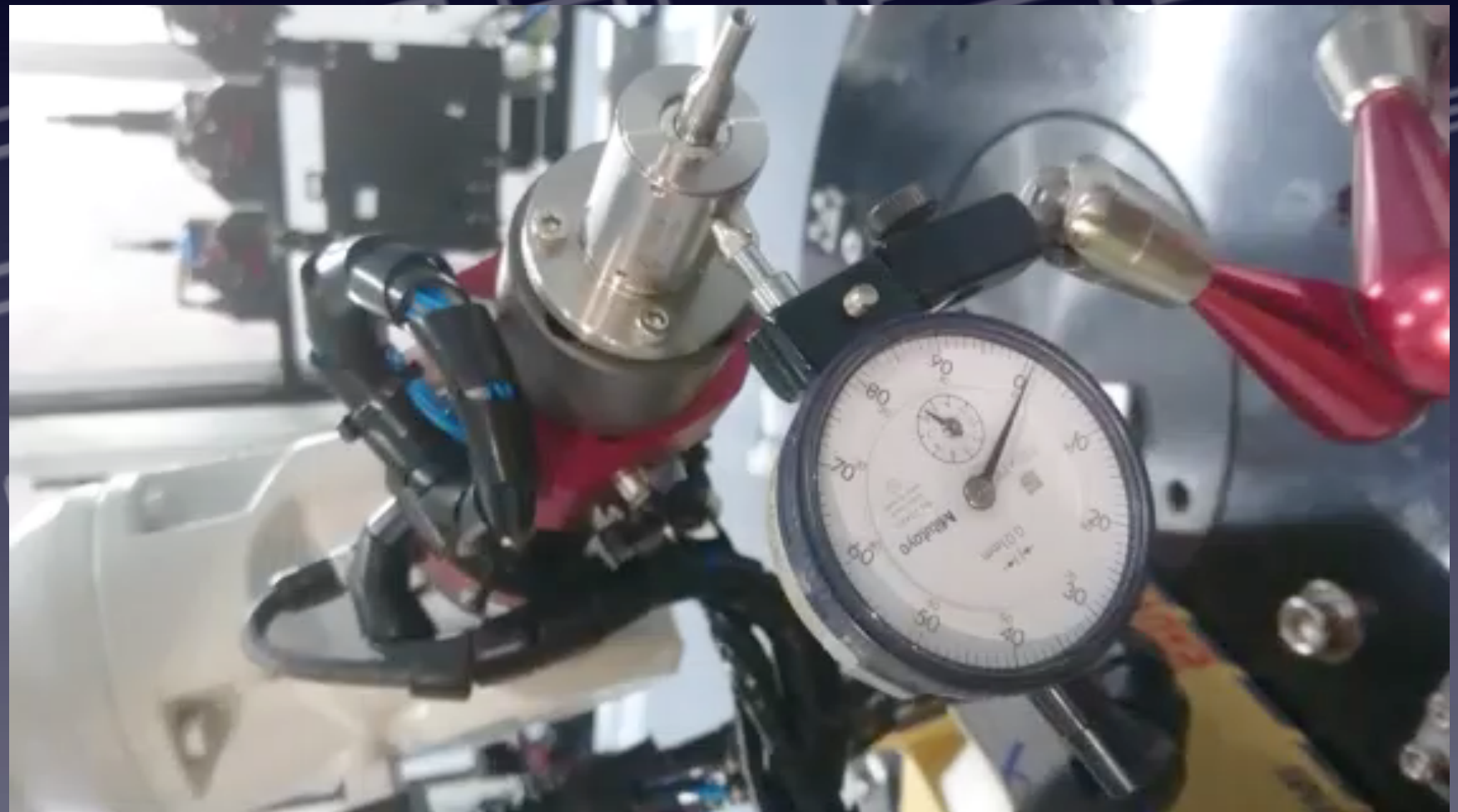


機械手臂研磨拋光去毛邊

關鍵技術

剛性、精度問題

- 機構間隙約有 0.3~0.4mm
- 剛性是變形的遞增函數，接近原始位置的剛性比起直交三軸平台差很多
- 剛性受限元件與機械設計，後天無法改善



機械手臂研磨拋光去毛邊

剛性、精度問題

座標及精度校正

- 精度校正
 - 絕對精度校正
 - 腕座標—>工具座標校正
 - 手臂基座標—>使用者座標/工件座標校正

機械手臂研磨拋光去毛邊
剛性、精度問題
座標及精度校正

- 絕對精度校正
 - 數mm誤差
可縮減到十
幾條
 - 輸入控制器
或輸入路徑
生成軟體兩
種方式

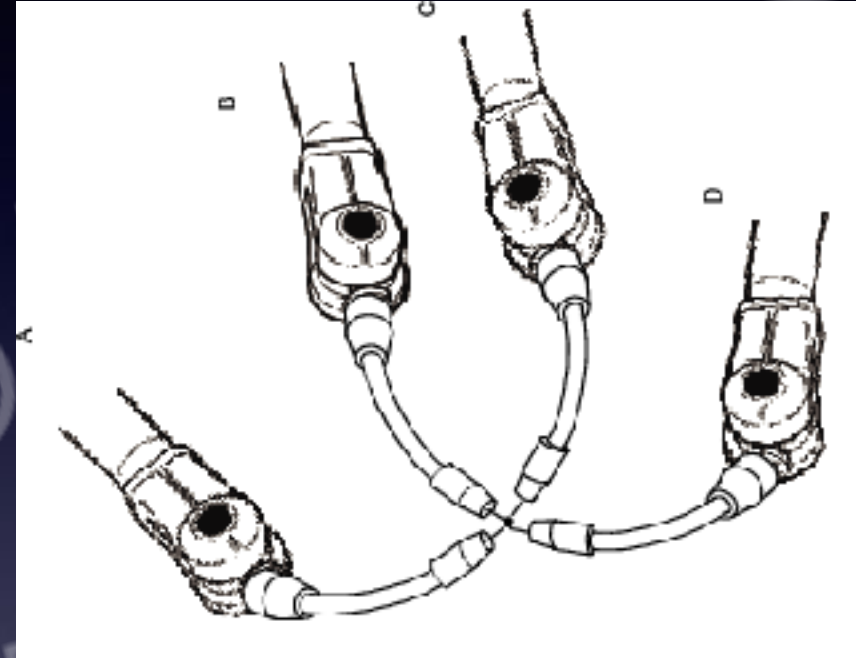


機械手臂研磨拋光去毛邊

剛性、精度問題

座標及精度校正

- 工具座標校正/
四點重合校正法
 - 精確度低，最佳
0.3mm左右
 - 校正速度慢
 - 無法自動化
 - 針尖並非期望的
TCP位置



機械手臂研磨拋光去毛邊
剛性、精度問題
座標及精度校正

- 工具座標校正/
光學感測器校正
 - 精確度高
 - 速度快
 - 自動化
- 可應用於多種
外型上的TCP

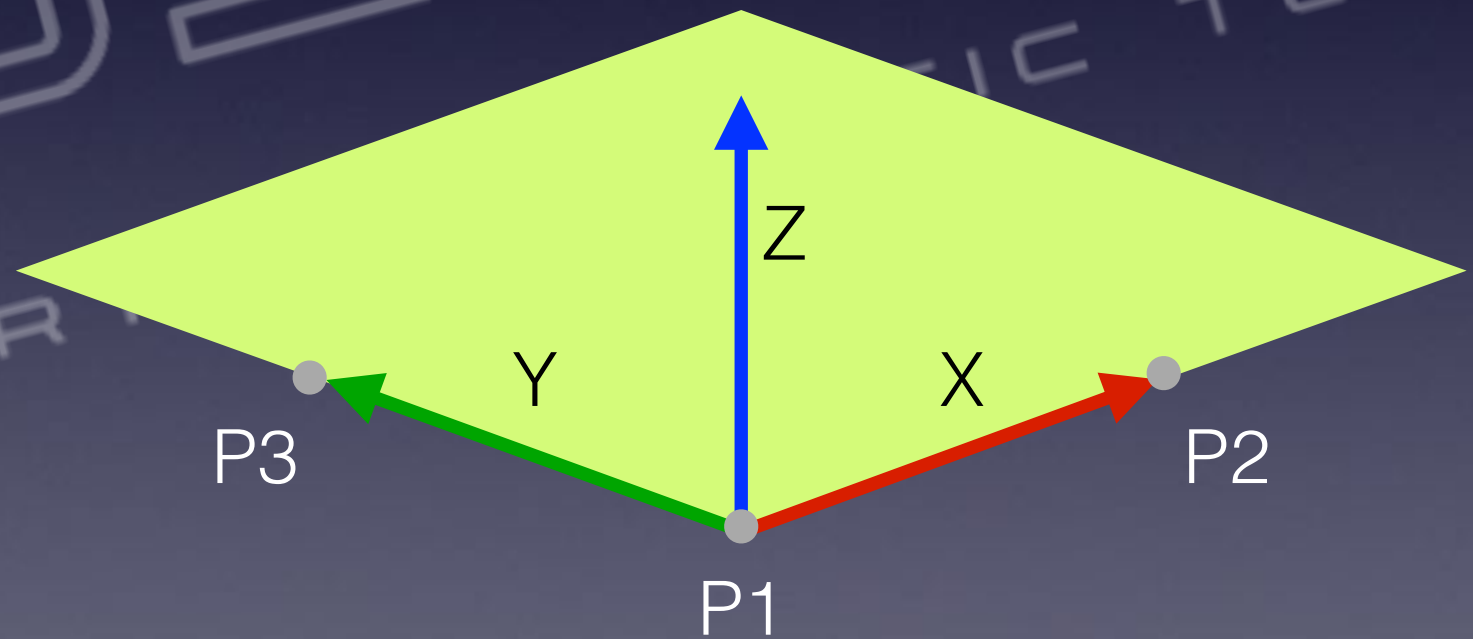


機械手臂研磨拋光去毛邊

剛性、精度問題

座標及精度校正

- 工件座標校正/
平面三點校正
- 精確度低
- 速度慢
- 無法自動化
- 必須具備平面
特徵



機械手臂研磨拋光去毛邊
剛性、精度問題
座標及精度校正

- 工件座標校正/
探針量測
 - 精確度高
 - 可自動化
 - 可自由設計各種幾何的校正方式



機械手臂研磨拋光去毛邊

剛性與精度問題

研磨量補償

- 工作機械有所謂的「母性原則」，由A機器製造出的零件做成B機器，則B機器的精度將不會高於A機器。
- 就母性原則來說，機械手臂採用位置控制製造出來的精度已經被定死在十幾條的範圍。若不是每個環節都校正得當，精度還會更差。

機械手臂研磨拋光去毛邊

剛性與精度問題

研磨量補償

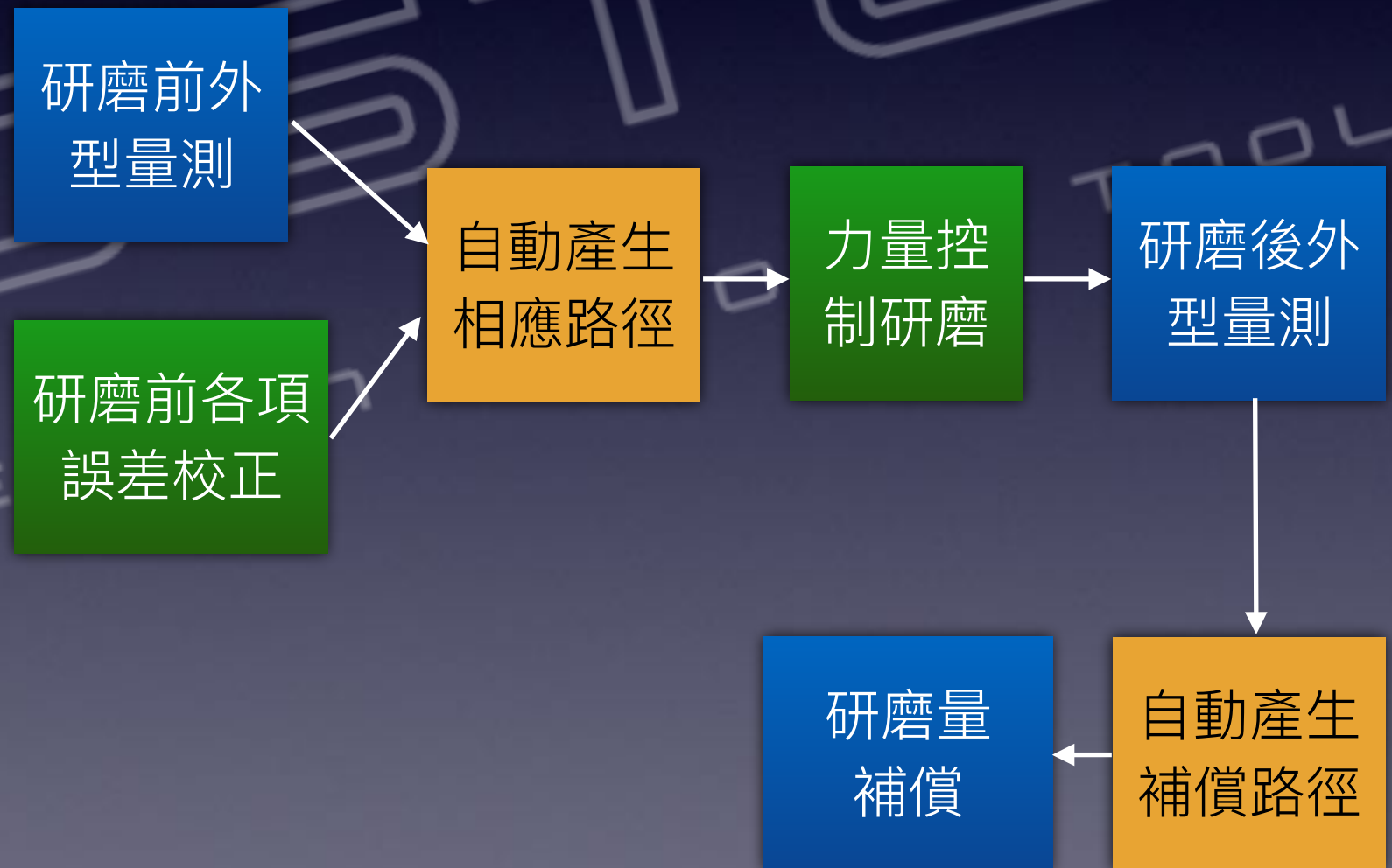
- 大家也許聽過所謂的鏟花，靠人的手藝可以提高機器的精度。
- 其根本原理，就是避免使用位置控制的模式，只要小心的控制加工力道，並隨時做量測回饋，人手可以做出非常精準的機械，機械手臂也具有同樣的可能性，但其過程可能複雜得多。

機械手臂研磨拋光去毛邊

剛性與精度問題

研磨量補償

- 右圖是最完整的加工補償策略
- 目前可以做到綠色
- 藍色部分還不是很完整
- 橘色部分還沒有



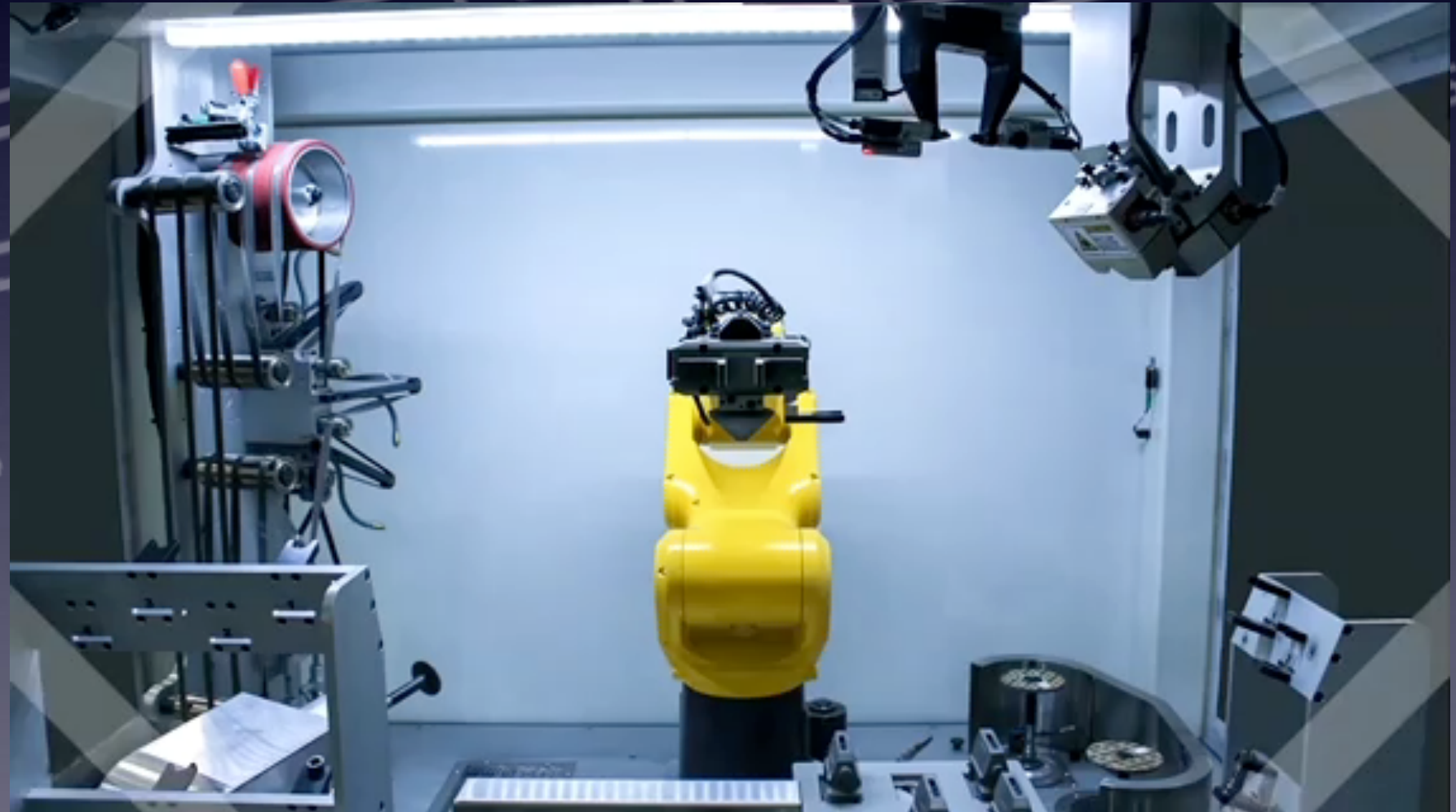
機械手臂研磨拋光去毛邊
剛性與精度問題
研磨量補償

- 全工件3D掃描目前還沒進入大量運用階段
 - 成本太高
 - 精度不足
 - 時間太長



機械手臂研磨拋光去毛邊
剛性與精度問題
研磨量補償

- 研磨時採用力量控制
- 研磨完進行輪廓量測(三處線掃描)
- 補償研磨量
- 精度 $\pm 37.5\mu\text{m}$



機械手臂研磨拋光去毛邊 應用實例



RFS-01
Deburring of Die-casting Parts

機械手臂研磨拋光去毛邊 應用實例



Thanks for your attention

BOOSTER
YOUR EXPERT IN ROBOTIC TOOLS