

漢翔委託研究計畫

GAVM第二階段產學合作委託 刀具耗損量測與估測機制- 第一年期末報告

楊浩青 吳廷凱 陳宇叡

電機工程研究所
國立高雄第一科技大學

鄭芳田 李育壅

E化研究中心
國立成功大學

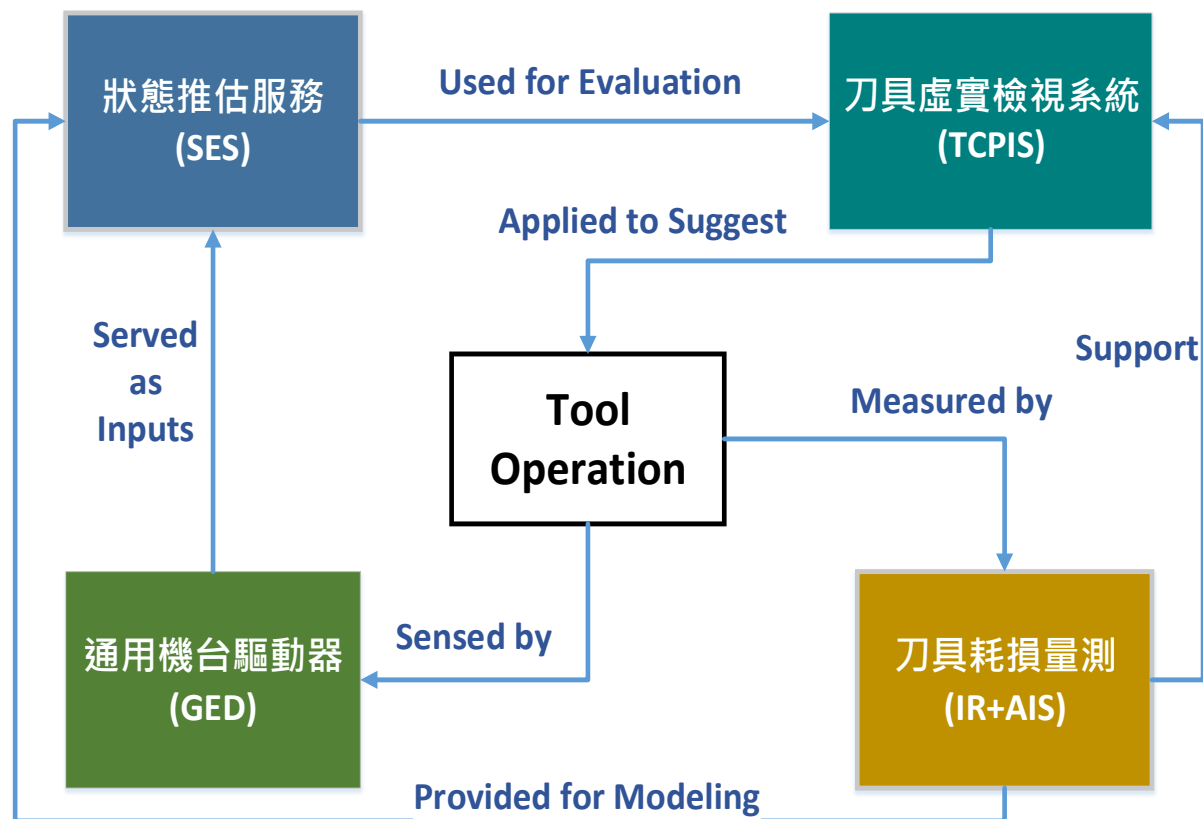
2017年12月28日

大綱

- 刀具耗損量測與估測架構
- 刀具虛實診斷系統(Tool Cyber-Physical Diagnosis System, TCPDS)
 - Online刀具檢視系統 ($nTWM=nIR+AIS$)
 - Offline刀具檢視系統 ($fTWM=fIR+AIS$)
 - 自動檢視服務 (AIS)
 - 狀態推估服務 (SES)
 - Online Demo
- 結論與未來工作

研究目的

- 刀具之損耗與耗損可由影像識別機器人(IR)與識別模組(IM)量測而得，稱為Y->physical data
- 刀具耗損過程則可透過感測加工過程的震動、電流變異、與加工工序位置等，透過GED特徵萃取後，稱之為X。
- 狀態推估服務(SES)將特徵X當成模型輸入，量測Y當成模型輸出，以估測刀具耗損情況與可用壽命-> cyber model
- 刀具虛實檢測系統(TCPIS)整合刀具實際影像輔以刀具狀態推估結果，提供刀具操作建議。
- 未來更根據AVM異常估測，與刀具可用壽命，觸發控制器以適時更換刀具。

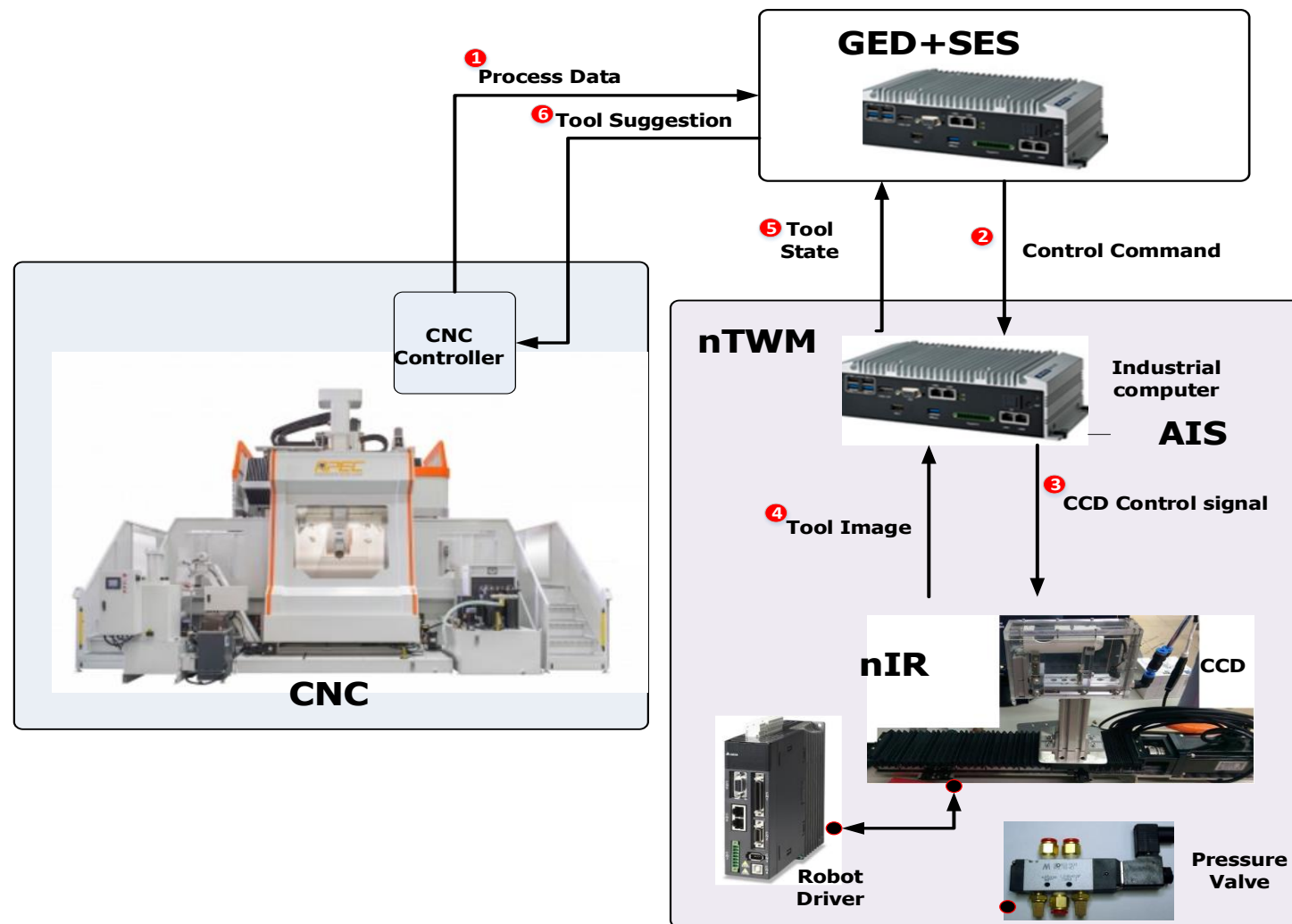


Case Study

TCPDS = (GED+SES) + nTWM

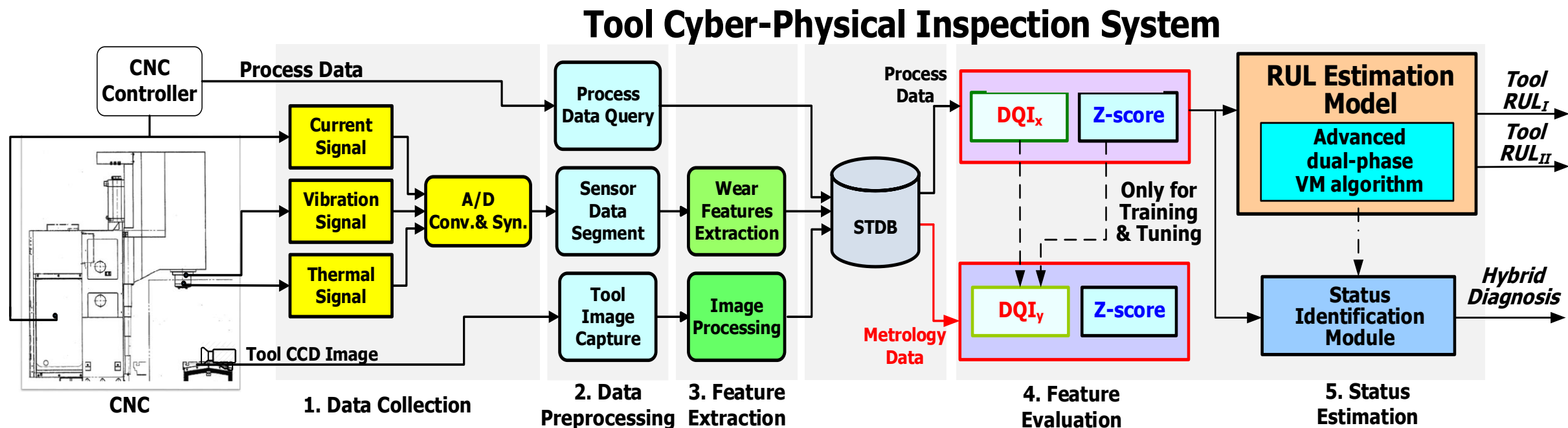
Online刀具磨耗量測 (nTWM)包含

- Online 影像機器人 (Online Image Robot, nIR)
 - CCD 顯微鏡模組
 - 光源組
 - 單軸伺服運動模組
- 自動檢視服務 (AIS)
 - 刀具種類與磨耗識別



基於AVM之刀具狀態估測服務

- AVM-TCPIS 整合
 - 資料蒐集、資料前處理、特徵萃取、特徵評估、與刀具耗損估測等。



STDB: Standard Database; DQI_x: Data Quality Index X; DQI_y: Data Quality Index Y; Z-score: standard score

Online影像機器人(nIR)

Online影像機器人包含

- CCD 顯微鏡模組：

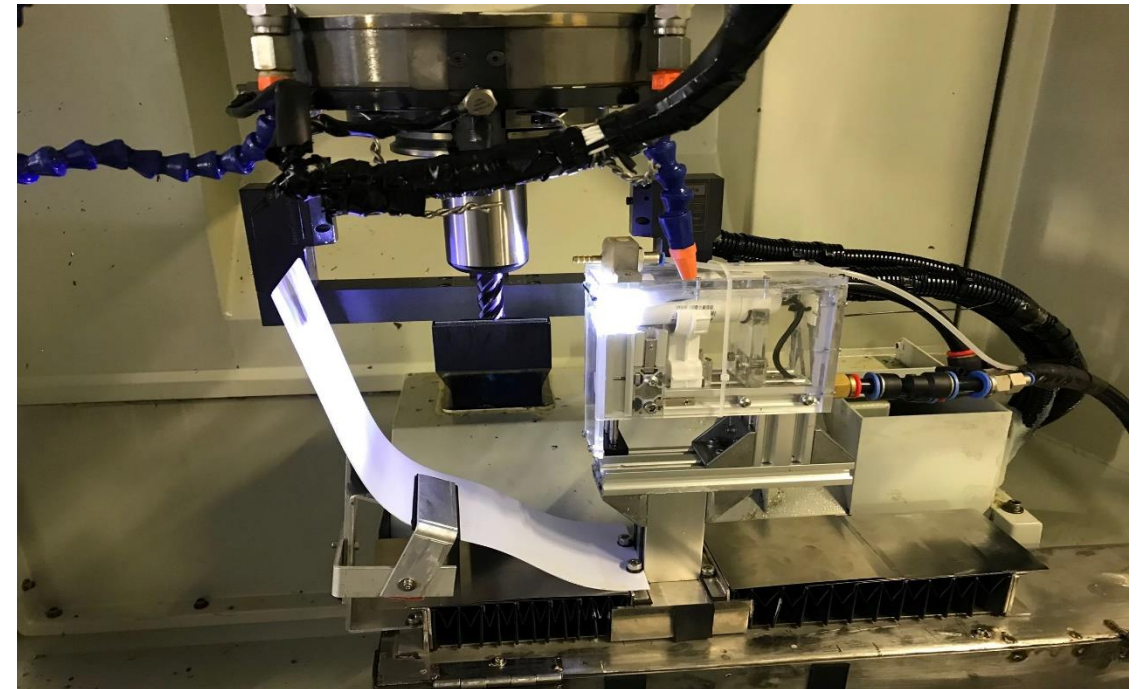
提供150X，1024 * 768 解析度，每秒 5 Frame。擷取影像時，鏡頭閘門由電磁閥控制開啟，正壓排水

- 光源與吹氣組：

前鏡頭LED環形光源，背光板提升刀具影像對比，吹氣組提供清屑。

- 單軸伺服運動模組：

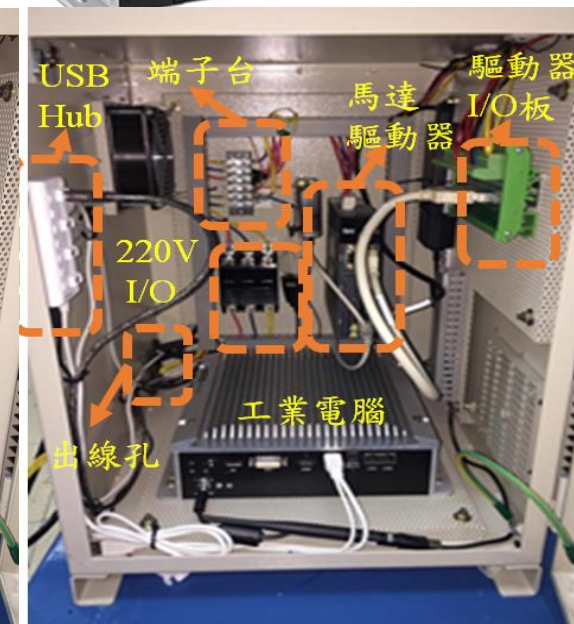
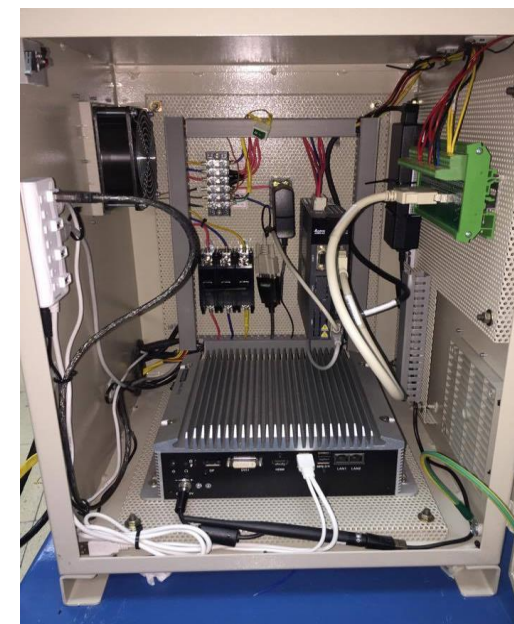
KK系列單軸機器人，包含馬達與驅動器規格，最大行程200 mm，定位精度2um。提供不同刀徑對焦功能。



Online影像機器人(nIR)

亦包含

- 工業電腦:
收集並處理刀具影像，判斷刀具類型以及磨耗狀況。
- 驅動器:
即時與驅動器通訊，透過驅動器觸發指令傳送到單軸機器人上。
- USB Hub:
驅動器通訊、RS232通訊以及刀具微影像機通訊。
- 驅動器I/O板
氣門閥控制、清潔閥控制、CCD控制。



Online刀具影像檢視流程(1/2)

Step 1: Controller執行拍照指令的 M碼

Step 2: Controller通知 GED準備進行拍照，並移動刀具(Y軸)至刀具預設拍照處。

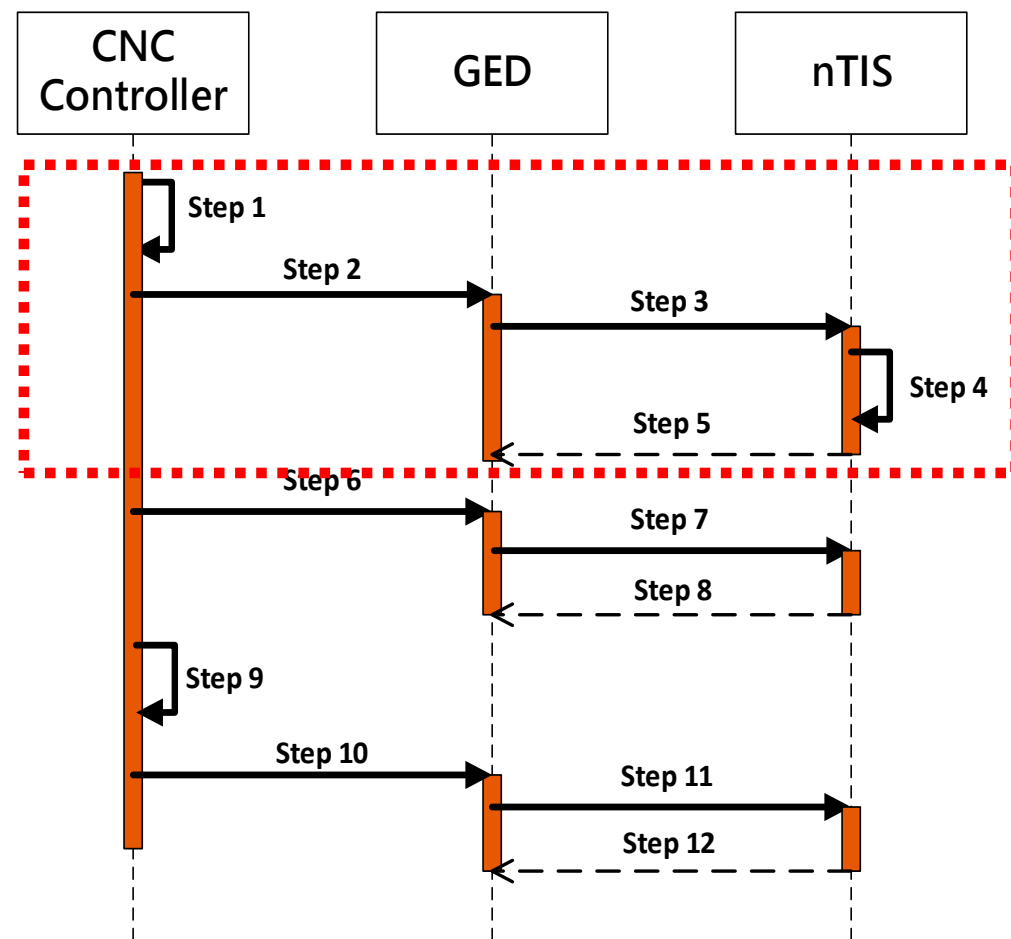
Step 3: GED將工件資訊傳遞給 nTIS：

- Operation Name：加工階段，如 OP160、OP250;
- Casing Id：工件編號 (或機匣編號)
- Hole Type：孔型，如 Flange, Scallop
- Hole Number：孔號，如 1, 2, 3, ...
- Tool Number：刀號，如 T7, T10, T13, T14, ...

Step 4: 控制機械手臂移動相機至刀具預設拍照處。

刀具可於高壓氣體噴嘴前暫停3秒 (60 rpm)，結束後再使刀具往拍攝處移動 (此時清潔閥開啟)

Step 5: nTIS回覆執行結果(成功/失敗)給 GED。



Online刀具影像檢視流程(2/2)

Step 6: Controller通知 GED可執行拍照。

Step 7: GED 通知 nTIS可執行拍照。

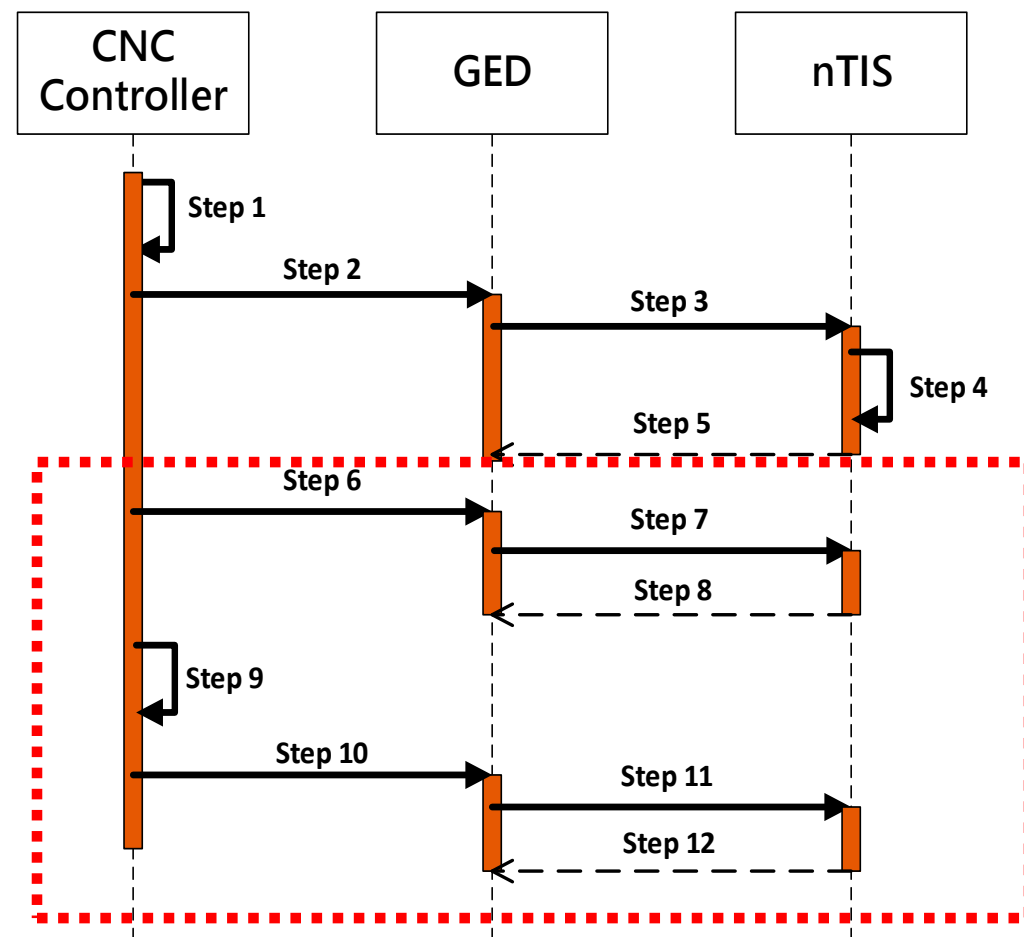
Step 8: nTIS回覆執行結果(成功/失敗)給 GED。

Step 9: Controller控制刀具旋轉，維持6秒。(亞太一主軸最低轉速為10 RPM)。(此時清潔閥關閉，而氣門閥開啟)



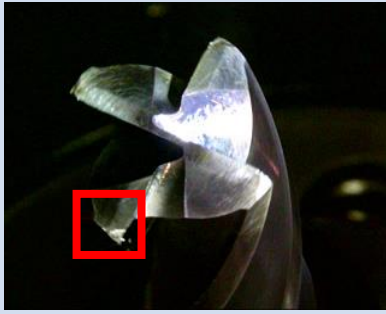
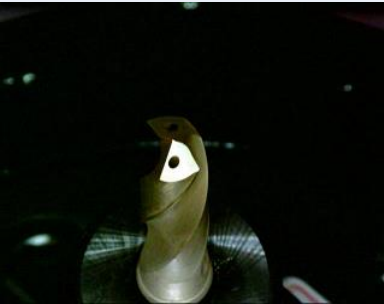
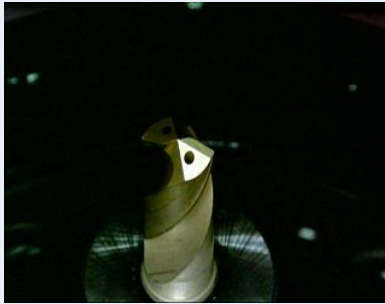
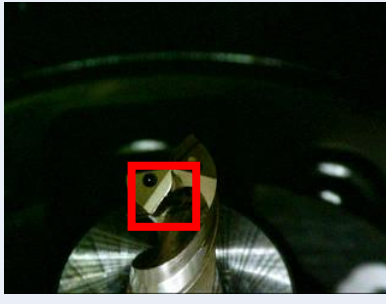



Step 10: Controller通知 GED結束拍照。

Step 11: GED通知nTIS結束拍照，控制機械手臂退回起始點。(此時氣門閥關閉)

Step 12: nTIS回覆執行結果(成功/失敗)給 GED。



Tool Images from nIR

No	Specification	Tool Images (新刀/磨耗刀)		
T5,T6	刀具型號 : END MILL 直徑 : 20MM 最短刃長 : 15MM 夾持長度 : 30MM 可加工次數 : 1			
T8,T9	刀具型號 : FAST DRILL 直徑 : 8.9MM 最短刃長 : 10MM 夾持長度 : 30MM 可加工次數 : 1			
T11,T12	刀具型號 : FAST DRILL 直徑 : 11.3MM 最短刃長 : 10MM 夾持長度 : 30MM 可加工次數 : 1			

Online刀具檢視系統 (nTIS)

Online 刀具檢視系統 (nTIS) 包含

- Image Robot錯誤指令紀錄
 - 驅動器檢查
 - 移動位置檢查
 - CCD檢查
- Image Robot I/O控制
 - 氣門閥控制
 - 清潔閥控制
 - CCD控制
- 網路通訊
 - GED溝通

online

目前刀具資訊

The screenshot displays the nTIS software interface with the following components:

- Robot Status Panel:** Shows a schematic of the robot arm with a green indicator at position 290.
- Status Panel:**

Status		
清潔閥	On	Off
氣門閥	On	Off
CCD	On	Off
- Error Panel:**

Error	
錯誤指令 (Robot)	
錯誤指令 (Driver)	
錯誤指令 (CCD)	
- Tool Message Panel:**

刀號	直徑	刀長	移動距離
T7	16	4	30
T10	9	4	30
T13	11.5	4	30
T14	11.5	4	30

目前刀具: 0 0 0 0 290
- Event Panel:**

Event	
GED - Input	TIR - Output
	動作: 移動距離
- Configuration Table:**

N	Data	Value
1	PortName	COM17
2	BaudRate	115200
3	DataBits	8
4	Parity	None
5	StopBits	One
6	ContextID	
7	加工階段	
8	工件編號	
9	孔型	
10	鑽孔編號	
11	刀號	

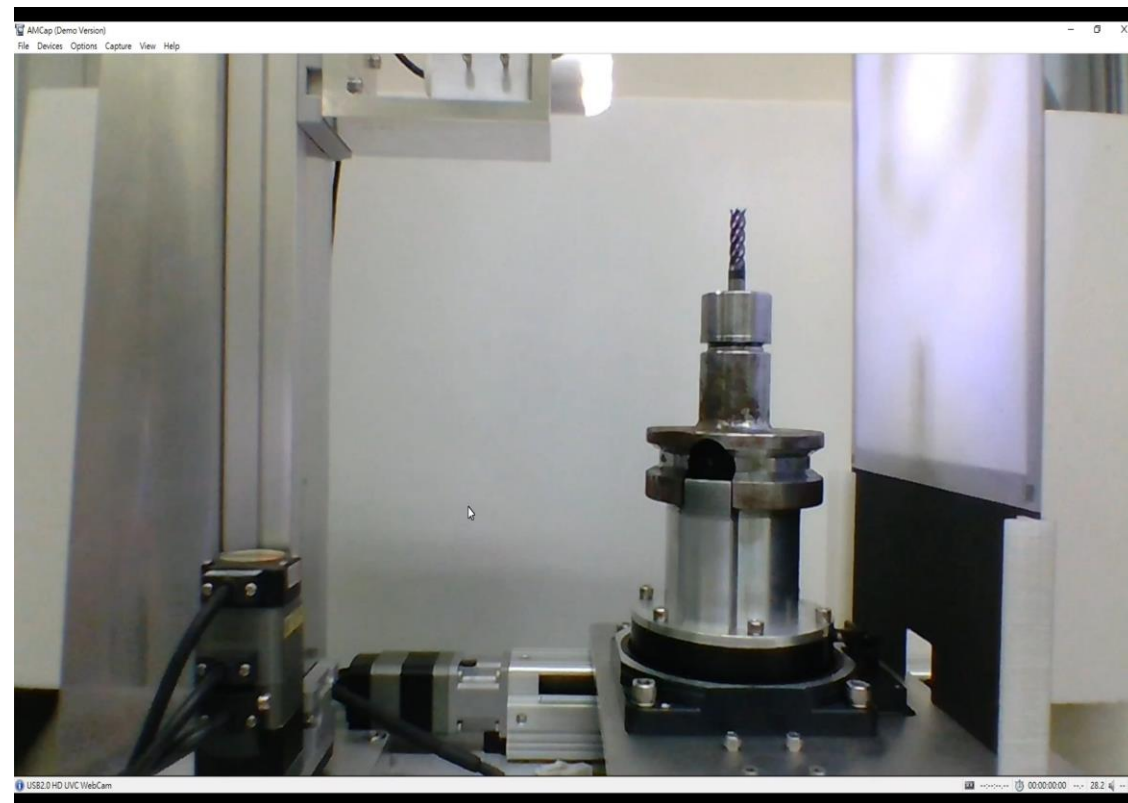
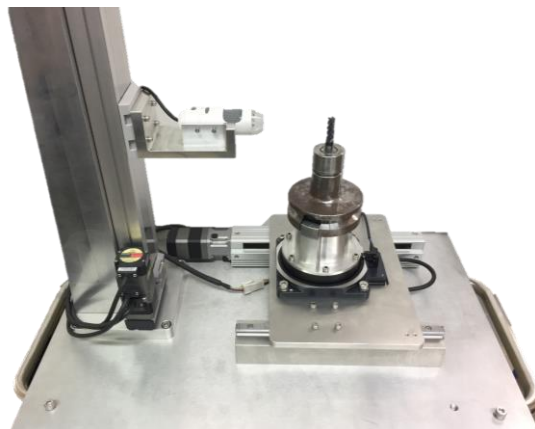
錯誤檢查

與GED網路通訊

刀具磨耗量測 (fTWM = fIR+AIS)

(Offline)刀具檢視系統 (fTWM) 包含

- CCD 顯微鏡模組：
提供150X，1024 * 768 解析度，每秒 5 Frame。
- fIR (多軸伺服運動模組):
X/Y軸定位精度: 20 μm
C軸定位精度: 15 arc/sec
提供不同刀種、刀長、刀徑自動刀刃對焦功能。



fTWM功能

- 自動對焦、單張拍照、旋轉拍照
- 刀種、刀寬、刀長判斷

Offline Form

Initialization JOG control Automatic control

Screenshot



Display



Axis Control

Multi

X 35.00 mm

Z 136.00 mm

C 0 Degree

Run

Single

Moving Distance(mm)

0.00

X+ Z+ C+

X- Z- C-

Velocity : 300 mm/s2

Open File

Display Run

Emergency

Reset alarm

Target Folder Name

Current

Rotate

Single F Distance Home

Distance Auto Focus

Tool Information

Type : 銑刀

Width : 9.0455 mm

Height : 112 mm

Center : 297 pixel

Motor Information

Current position

X 35 mm

Z 136.95 mm

C 0 Degree

Alarm

X 0000H(0)

Z 0000H(0)

C 0000H(0)

Axis Z

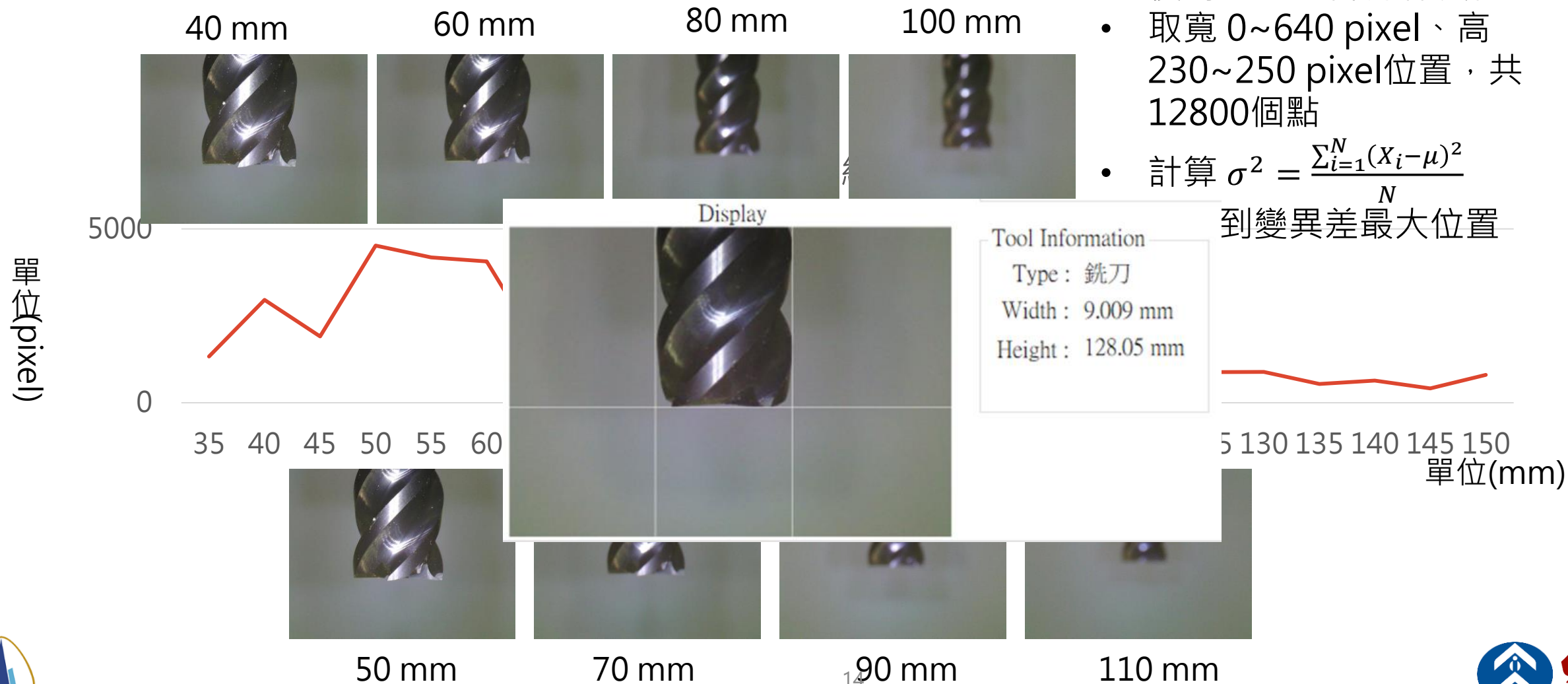
Axis C

Axis X













fTWM對比自動對焦

- 使用對比檢測對焦
- 使用 Sobel 計算梯度值
- 取寬 0~640 pixel、高 230~250 pixel 位置，共 12800 個點
- 計算 $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}$

到變異差最大位置

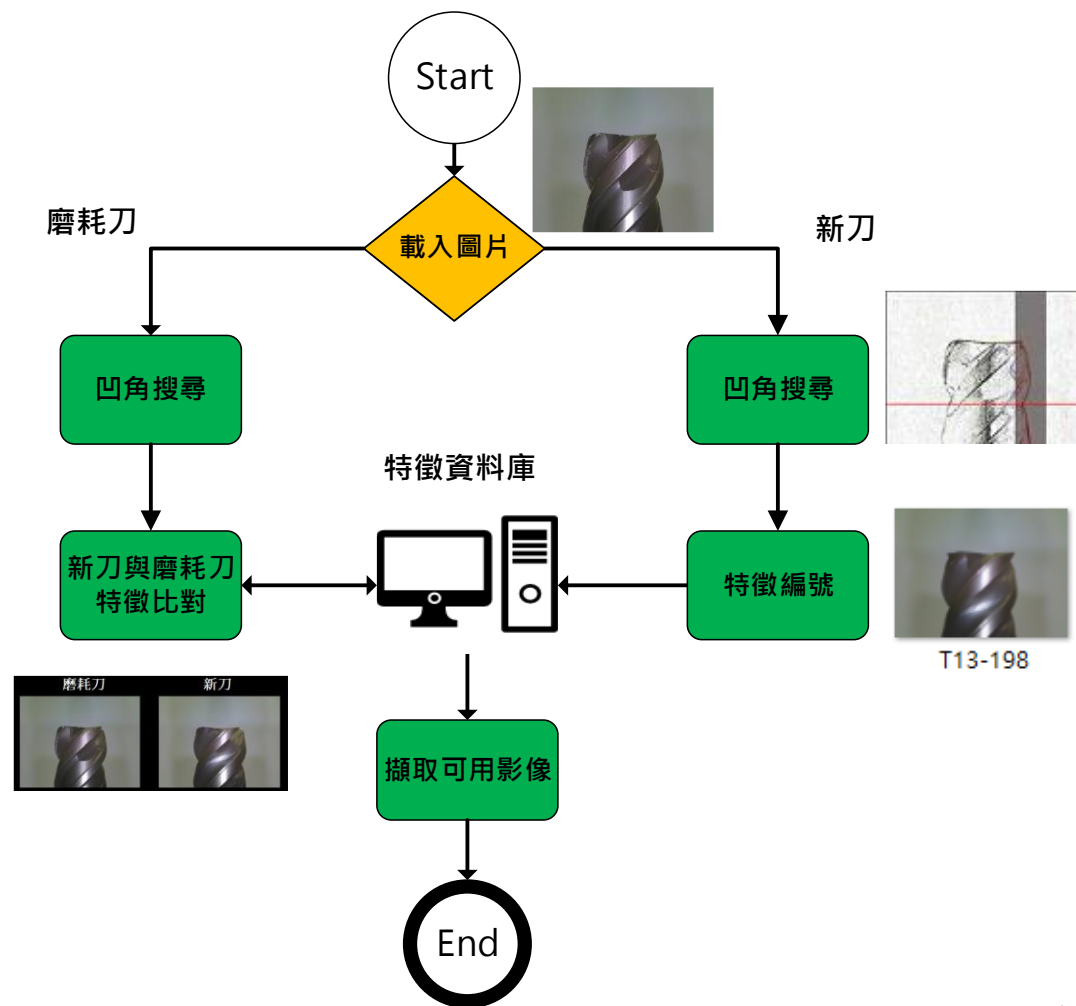
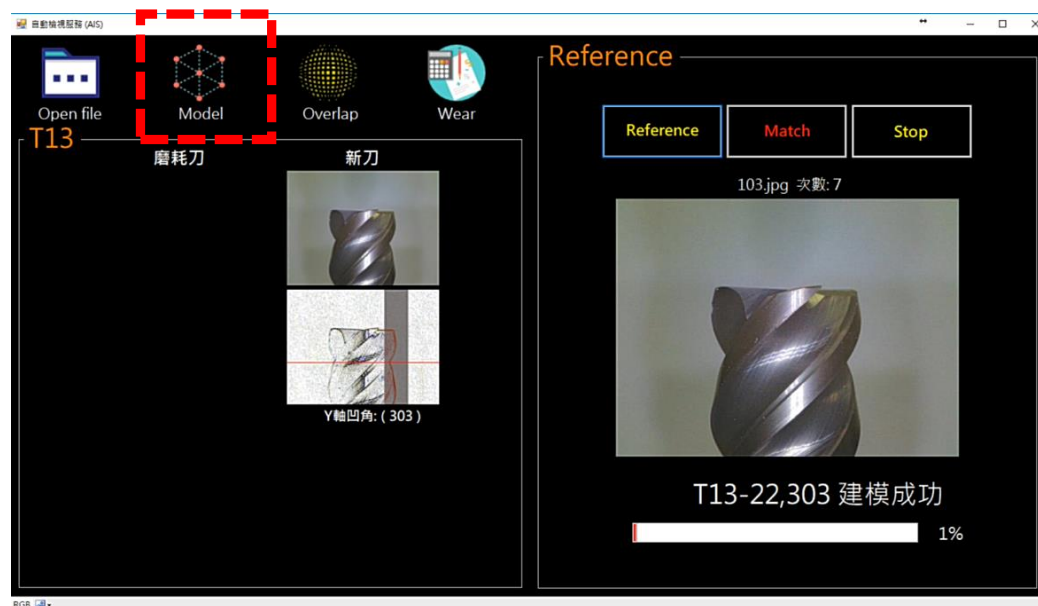


Tool Images from fIR

No	Specification	Tool Images (新刀/磨耗刀)		Tool Images (新刀/磨耗刀)	
T7	刀具型號 : END MILL 直徑 : 16MM 最短刃長 : 15MM 夾持長度 : 30MM				
T10	刀具型號 : END MILL 直徑 : 9MM 最短刃長 : 10MM 夾持長度 : 30MM				
T13	刀具型號 : END MILL 直徑 : 11.5MM 最短刃長 : 10MM 夾持長度 : 30MM				

TWM- 自動檢視服務(AIS): 特徵資料庫

- 刀具特徵編號
- 新刀特徵比對(Sobel 邊緣偵測、刀具凹角定義)
- 磨耗刀擷取可用影像
- 顯示目前資料庫進度



TWM- 自動檢視服務(AIS): 刀具特徵比對

- 邊緣點偵測

$$P_{New} = (P_{NX}, P_{NY})$$

$$P_{Wear} = (P_{WX}, P_{WY})$$

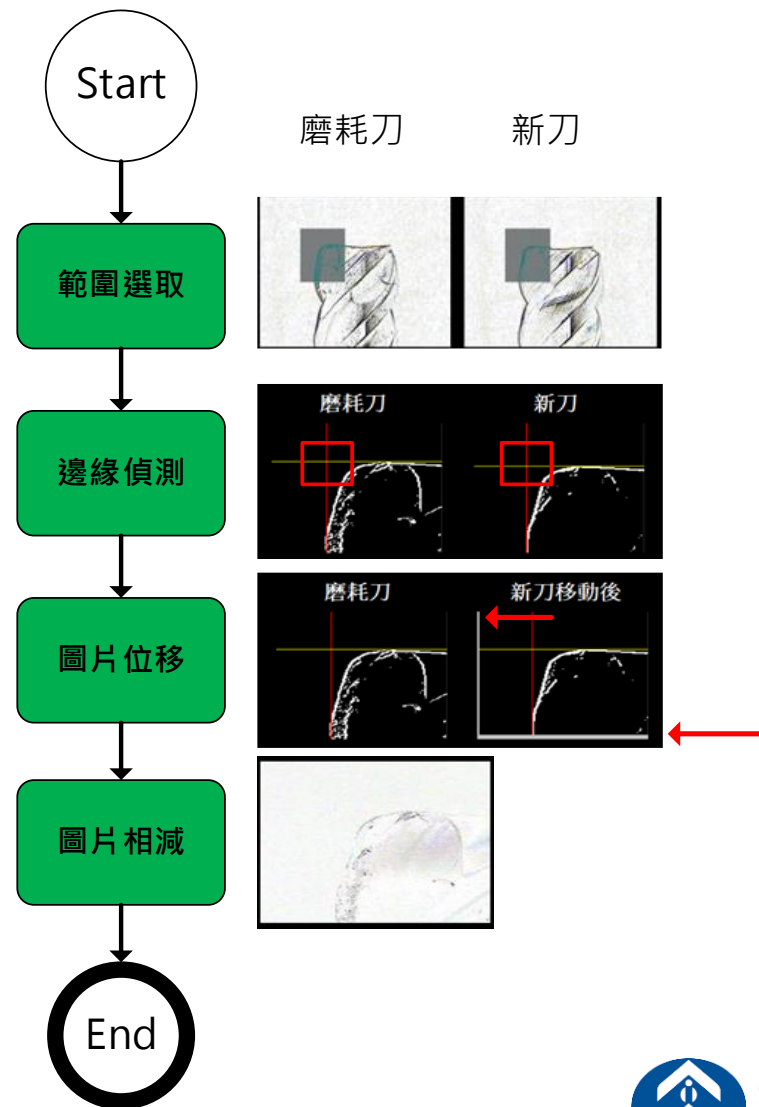
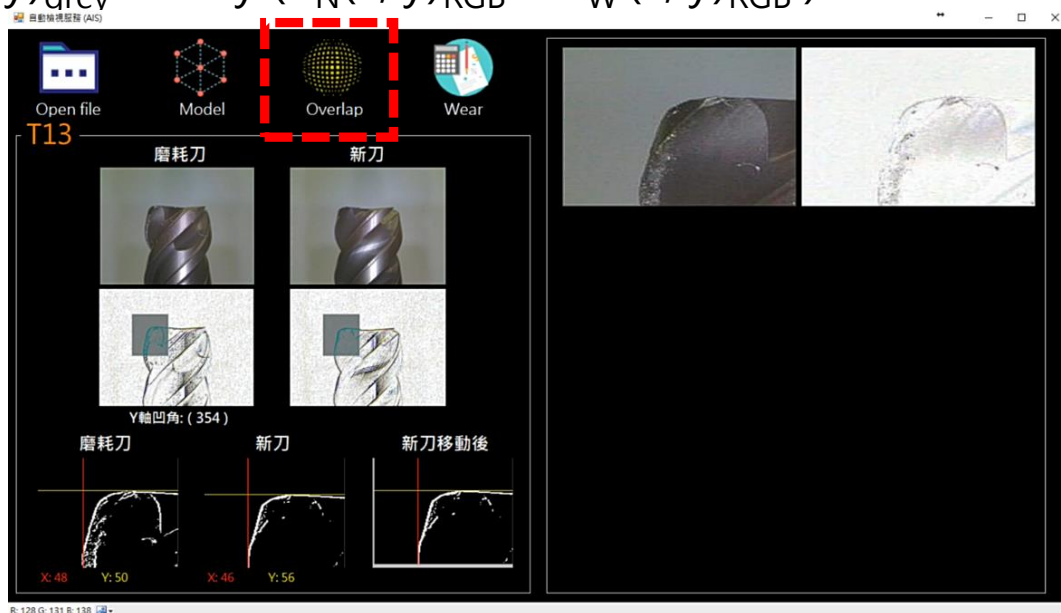
- 圖片位移

$$X_{Move} = P_{NX} - P_{WX}$$

$$Y_{Move} = P_{NY} - P_{WY}$$

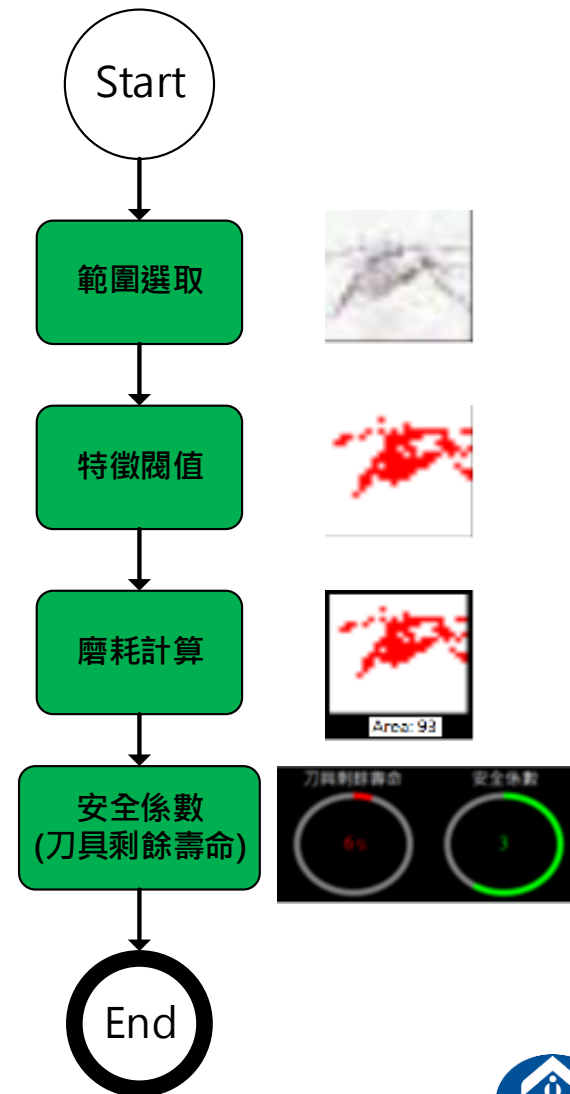
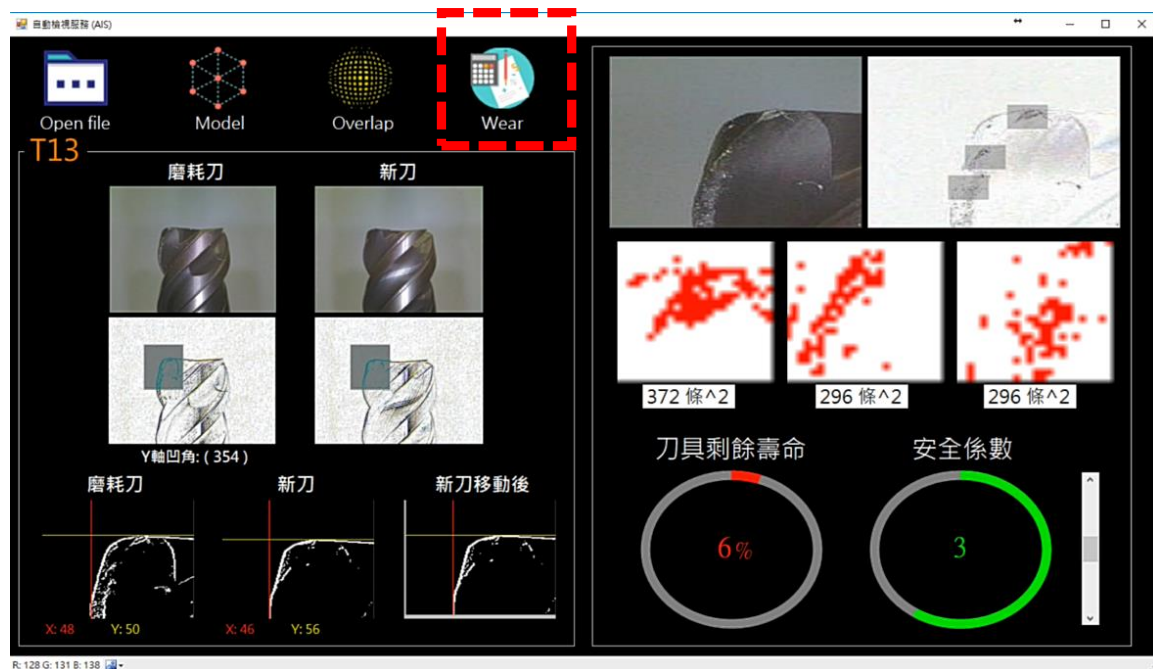
- 圖片相減

$$P_w(x, y)_{grey} = \text{Grey} (P_N(x, y)_{RGB} - P_W(x, y)_{RGB})$$



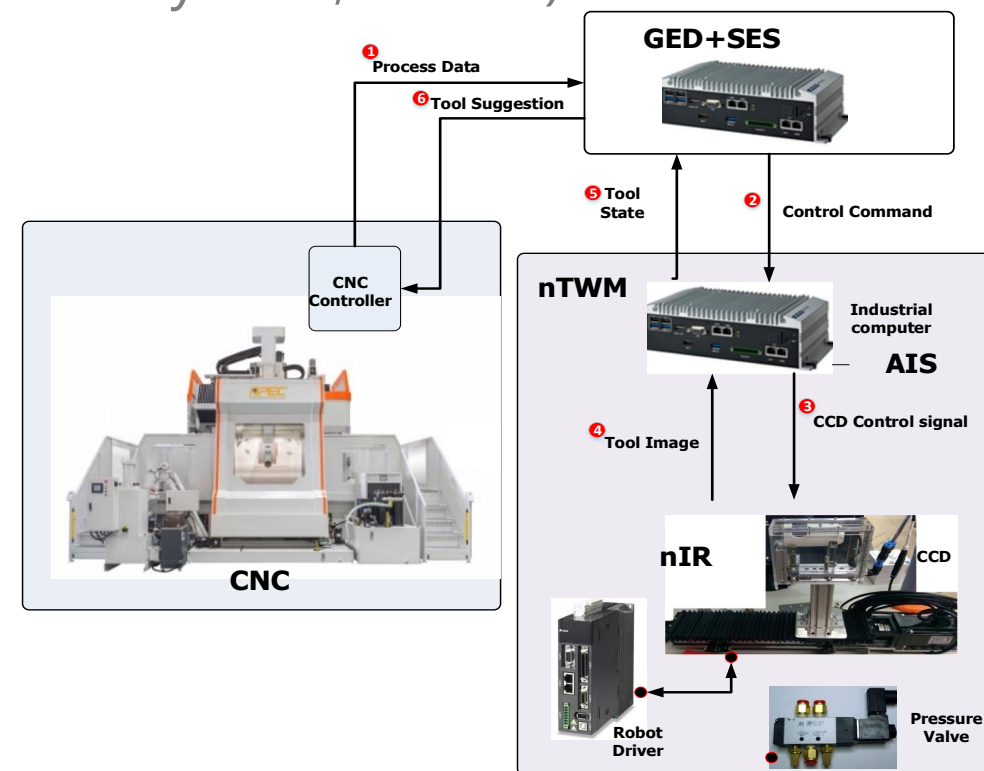
TWM- 自動檢視服務(AIS): 刀具磨耗計算

- 特徵閾值: $P_w(x,y)_{red} = 255$, if $P_w(x,y)_{grey} \leq 220$
- 磨耗計算: $\sum P_w(x,y)_{red}$
- 刀具剩餘壽命(RUL)
 - Safety Coefficient (SC = 1~5)
 - $RUL = (P_w(x,y)_{red} * SC / \sum P(x,y)) * 100\%$



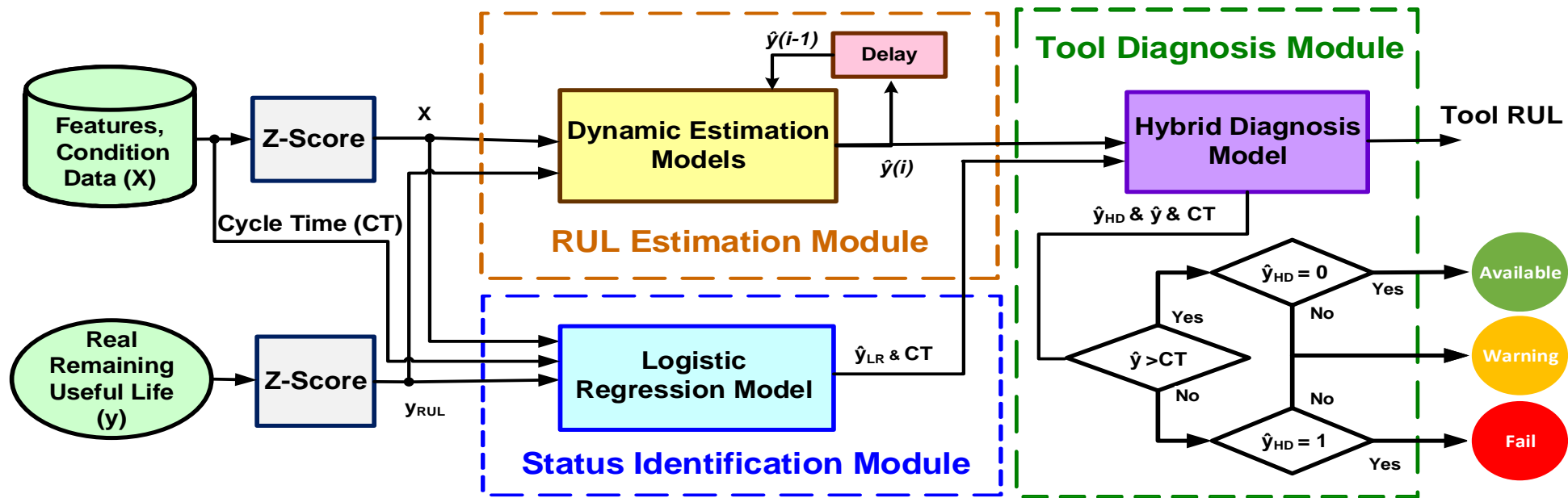
大綱

- 刀具耗損量測與估測架構
- 刀具虛實診斷系統(Tool Cyber-Physical Diagnosis System, TCPDS)
 - Online刀具檢視系統 ($nTWM=nIR+AIS$)
 - Offline刀具檢視系統 ($fTWM=fIR+AIS$)
 - 自動檢視服務 (AIS)
 - 狀態推估服務 (SES)
 - Online Demo
- 結論與未來工作



TCPDS = (GED+SES) + nTIS

- 利用動態類神經網路(DNN)與部分最小平方法(PLS)的RUL推估模組
 - 估測刀具剩餘壽命(RUL)
- 利用羅吉斯回歸(LR)之狀態識別模組
 - 偵測刀具失效
- 利用複合診斷模型，刀具診斷模組
 - 指示刀具狀態 (G/Y/R with RUL)

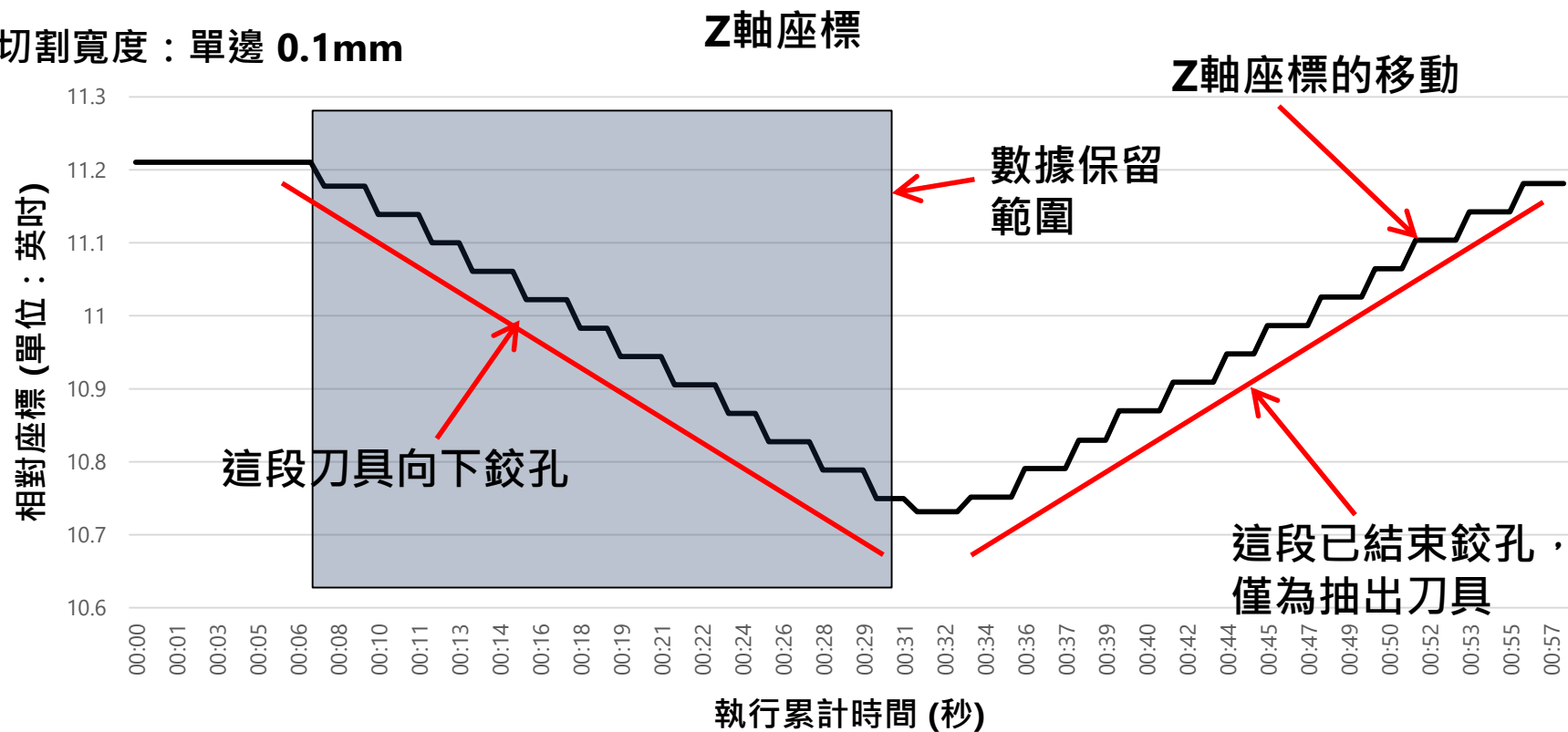


狀態推估服務(SES)

GED- T13與T14加工特徵萃取 (1/4)

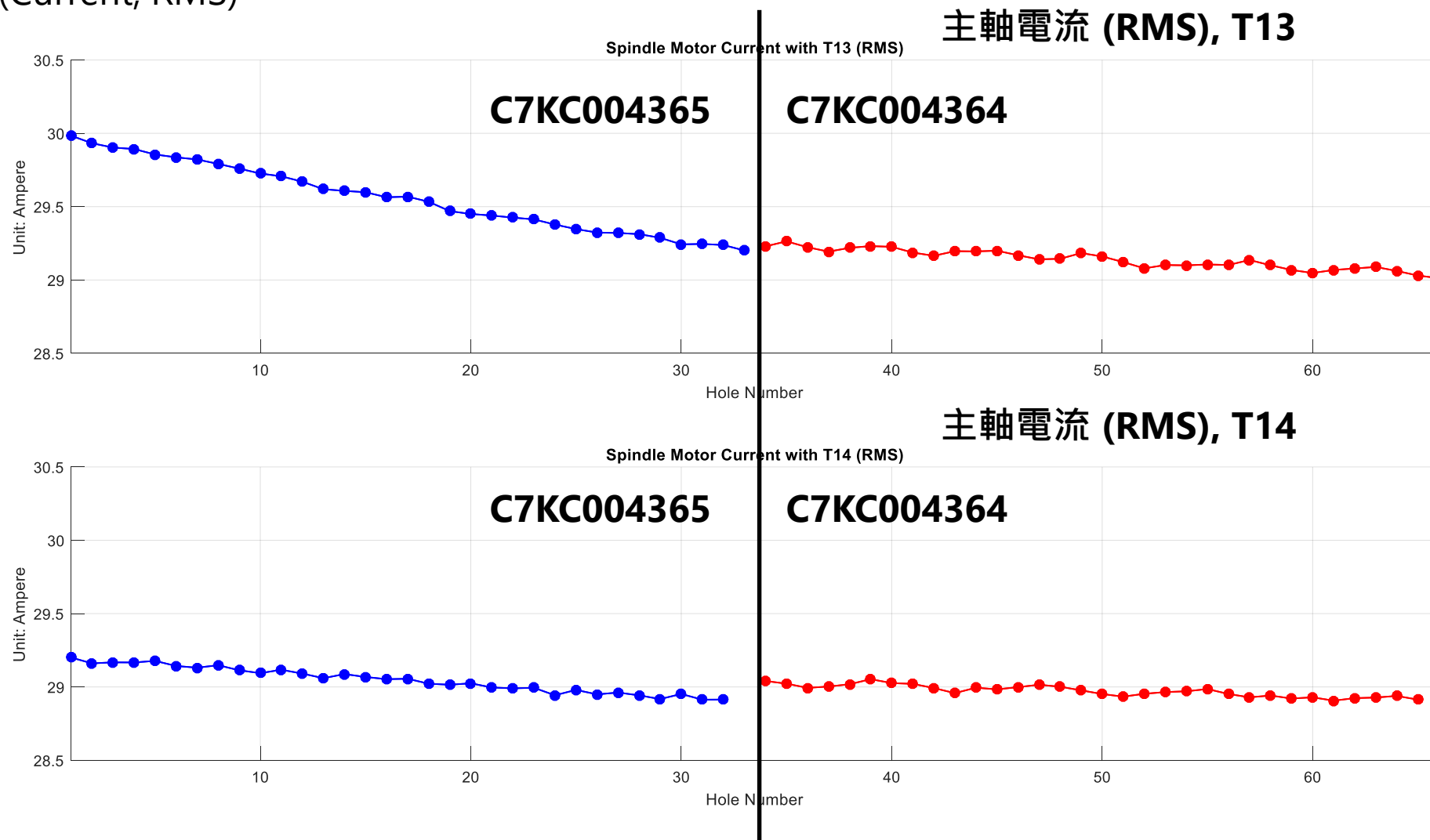
大端 Flange孔加工

- 共65孔，以兩支4刃端銑刀鉋孔 (T13, T14)
 - 每機匣 T13使用33次 (半圓)
 - 每機匣 T14使用32次 (半圓)
- 切割寬度：單邊 0.1mm



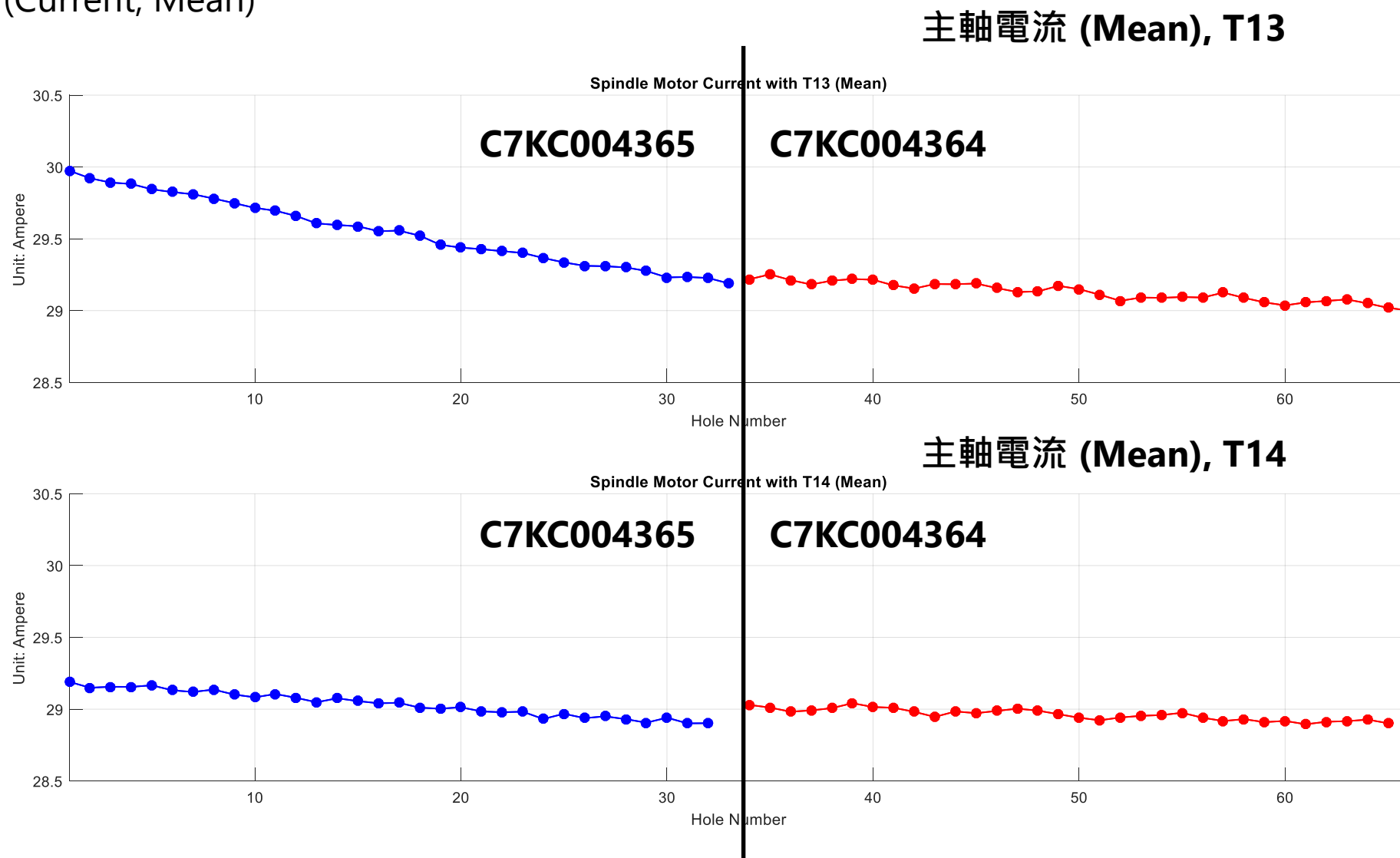
GED- T13與T14加工特徵萃取 (2/4)

T13與T14 (Current, RMS)



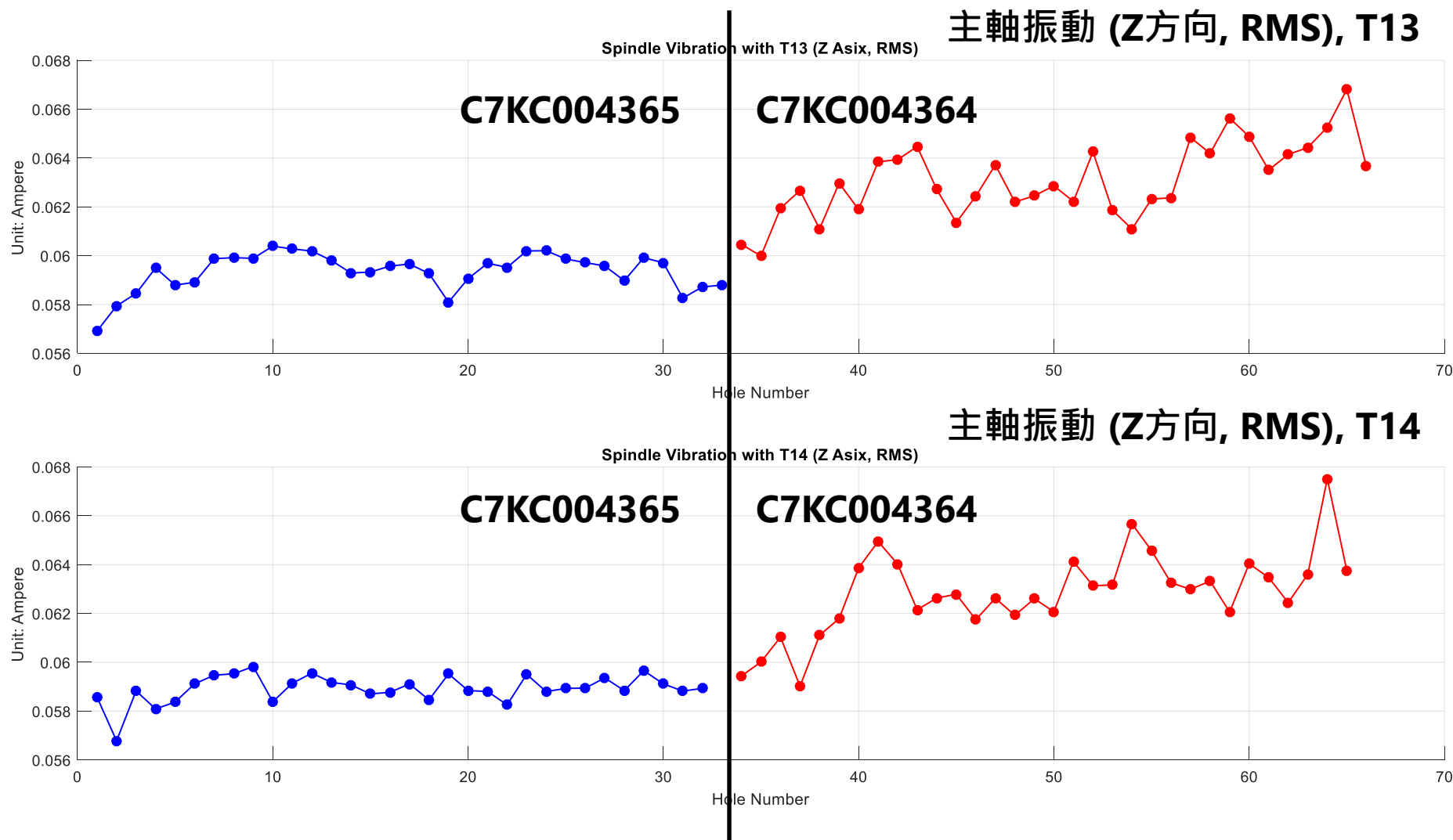
GED- T13與T14加工特徵萃取 (3/4)

T13與T14 (Current, Mean)



GED- T13與T14加工特徵萃取 (4/4)

T13與T14 (Vibration, RMS)



Case Study: TCPDS 刀具診斷

Tool RUL Prediction System

Equipment Language

Spindle

T Code

T005

Type

End-Mill

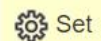
Max. Life

41.778 (min)

RUL

2%
0.633 (min)

Tool Magazine



Set

● T012	100%	15.18 (min)
● T011	100%	15.18 (min)
● T009	100%	11.33222 (min)
● T008	100%	11.33322 (min)
● T006	100%	41.778 (min)
● T005	2%	0.633 (min)

Information

Select

T005

Description

End-Mill

Max. Life

41.778 (min)

Cycle Time

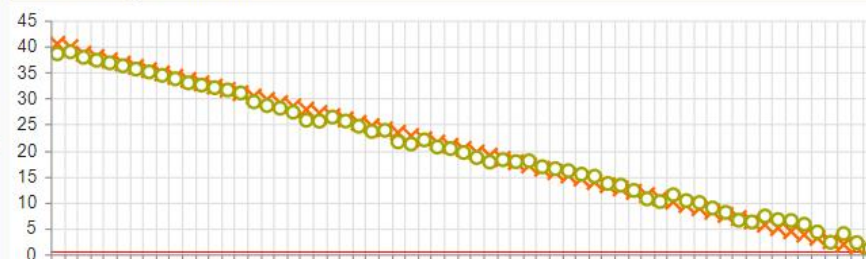
0.633 (min)

Renew

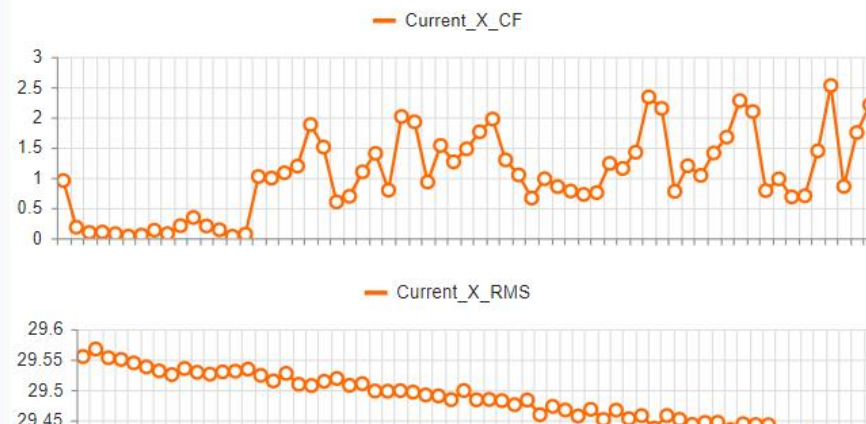
2018-01-09
02:49:23

RUL ● 0.633 (min)

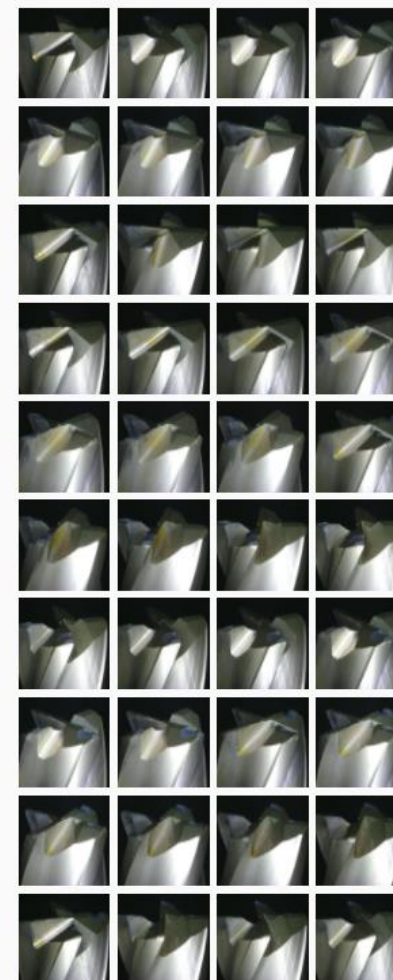
Remaining Useful Life

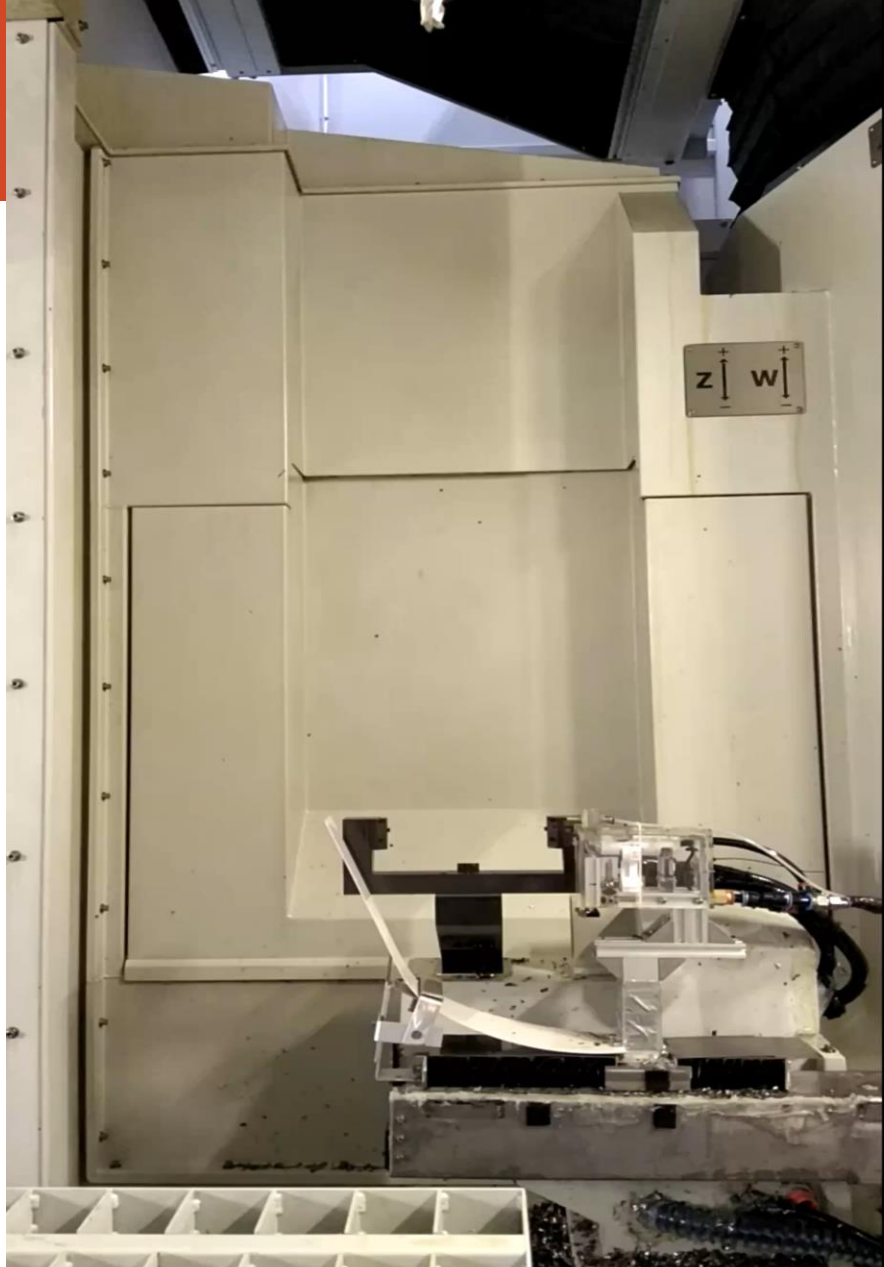


Sensor Data



Flute Image





刀具壽命預測系統

刀庫庫

修改

刀號: T005
型式: EM-20MM-CA-0-SV
刀具名稱: End-Mill
刀數: 4
刀具直徑: 20
單次切削時間: 0.633
預估使用次數: 66
可接受最大磨耗量: 0.3
安裝時間: 2018-01-09 02:49:23

Buttons: Del, Save, Cancel, PM

刀具清單

刀號	刀具名稱	刀數	刀長	預估使用次數	安裝時間
T012	Fast-Drill	2	11.3	33	2018-01-09 02:49:38
T011	Fast-Drill	2	11.3	33	2018-01-09 02:49:36
T009	Fast-Drill	2	8.9	34	2018-01-09 02:49:34
T008	Fast-Drill	2	8.9	34	2018-01-09 02:49:32
T006	End-Mill	4	20	66	2018-01-09 02:49:30
T005	End-Mill	4	20	66	2018-01-09 02:49:23

Robot

測試按鈕 流程步驟 新刀流程 相機拍攝時間

Robot

Status

清潔閥: Off
氣門閥: Off
CCD: Off

Error

錯誤指令 (Robot)	錯誤指令 (Driver)	錯誤指令 (CCD)

Tool Message

刀號	直徑	刀數	刀長	移動距離
T7	0	0	0	200
T10	16	4	30	670000
T13	9	4	30	700000
T14	11.5	4	30	700000
T14	11.5	4	30	700000

目前刀具: 0 0 0 0 290

Event

GED - Input:

TIR - Output:

Serial Port Settings

N	Data	Value
1	PortName	COM7
2	BaudRate	115200
3	DataBits	8
4	Parity	None
5	StopBits	One
6	ContextID	
7	加工階段	
8	工件編號	
9	孔型	
10	鑽孔編號	
11	刀號	

0602260100040122000000

Controller 透過 GED 將工件資訊傳遞給 TWM，TWM 移動至刀具拍攝處

已完成工作項目

刀具虛實檢視系統(Tool Cyber-Physical Inspection System, TCPIS)

- **Online刀具檢視系統(nTWM = nIR + AIS)**

- ✓ GED整合: GED可控制nIR以擷取刀具耗損影像與面積，作為繼續加工與否的判斷參考。
- ✓ 清屑與防油: nIR具吹氣裝置，可清除刀具可能卡屑；CCD具正壓環境，避免積油問題。
- ✓ 最大磨耗識別: AIS可根據刀具旋轉角度，識別最大磨耗位置。

- **Offline刀具檢視系統(fTWM = fIR + AIS)**

- ✓ 自動對刀: fIR可依判別不同刀種與刀徑自動對焦。

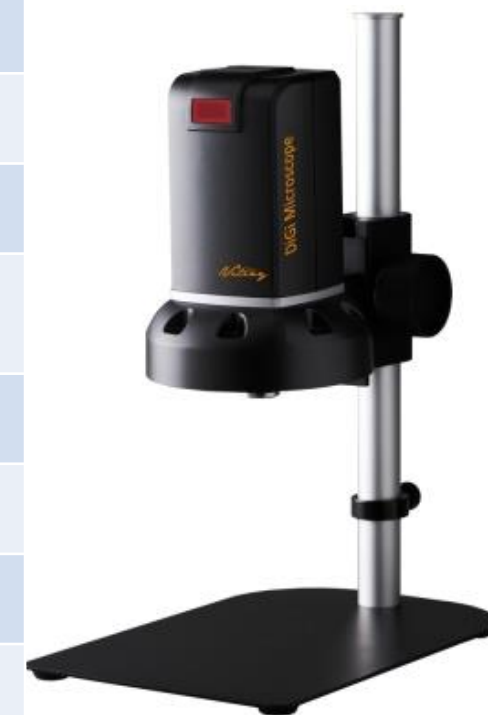
- **刀具狀態推估服務(SES)**

- ✓ HMI開發: 刀具管理人機介面。
- ✓ 特徵擷取: 配合M Code，GED可擷取對應刀具之加工特徵。

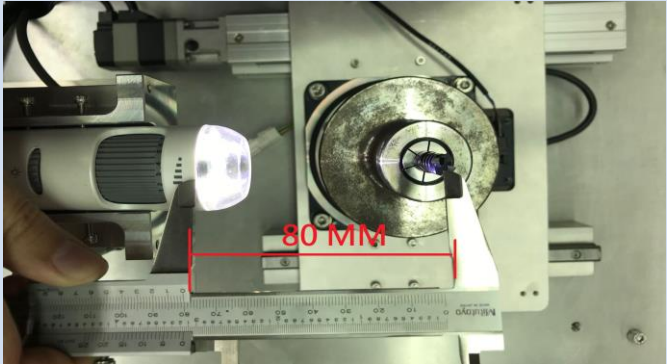


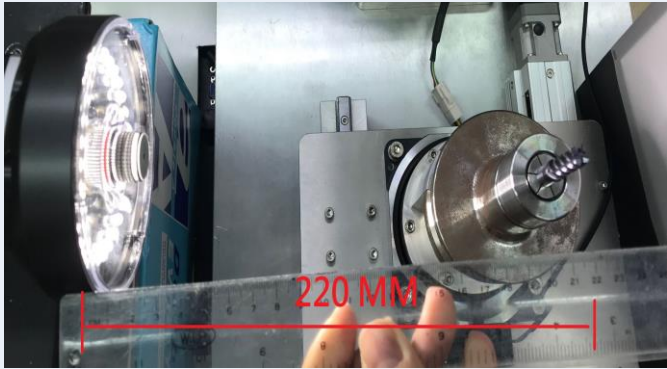


CCD 顯微鏡模組1 vs 2



規格	CCD 顯微鏡模組1	CCD 顯微鏡模組2
感光元件	500萬畫素CMOS	500萬像素CMOS
放大倍率	10 ~ 200倍	15~270倍
輔助光源	白光LED x 6	白光LED x 30
HDMI 埠	無	輸出1080P(1920*1080Pixel)影像
USB 埠	USB 2.0	USB 2.0
控制方式	電腦控制	紅外線遙控/電腦控制
對焦	手動對焦	自動對焦
尺寸	104.1(L)x34.3(W)mm	106(L)×106(W)×152(T)mm

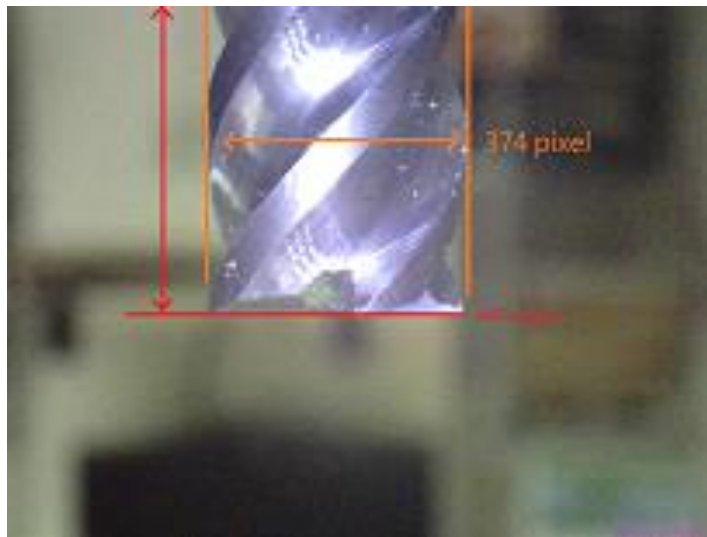


CCD 顯微鏡模組1 vs 2

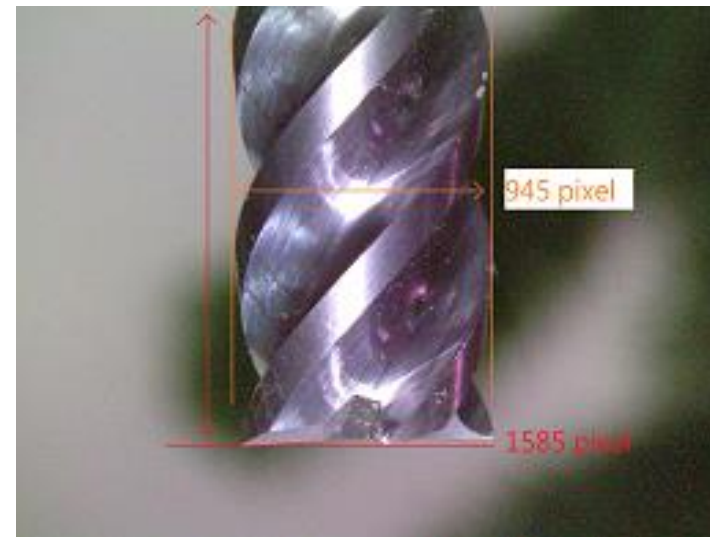
	拍攝距離	拍攝刀具	
		無背光	有背光
CCD模組1			
CCD模組2			

	拍攝距離	拍攝像素	刀具尺寸 (刀徑 * 刀長)	拍攝尺寸 (刀徑 * 刀長)	1 pixel H * W
CCD模組1	75 mm	1024 * 768 pixel	9 * 10 mm	374 * 440 pixel	20 μm * 20 μm
CCD模組2	220 mm	2592 * 1944 pixel	9 * 12 mm	945 * 1585 pixel	9 μm * 7 μm

CCD模組1



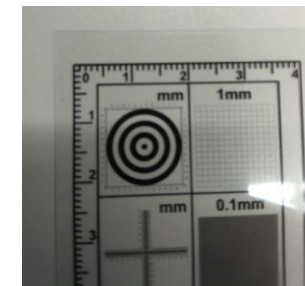
CCD模組2



CCD 顯微鏡模組2 4x vs 10x

	4x 物鏡	10x物鏡
工作距離(物鏡到尺規)	130 mm	9 mm
640 * 480 Pixel	15.2 * 11.2 mm	1.17 * 1 mm
比例 (um/pixel)	23.7 * 23.3	1.8 * 2.1

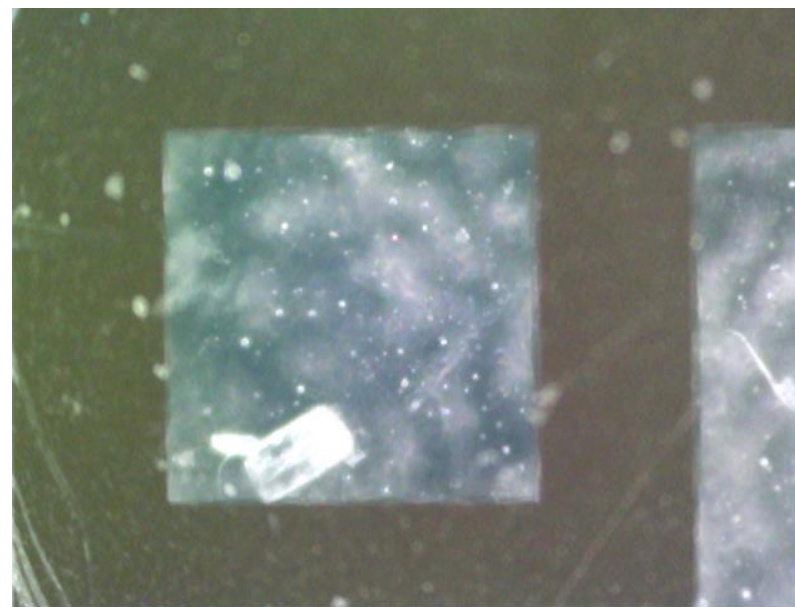
尺規表



4x



10x



工作距離



未來工作項目

刀具虛實檢視系統(Tool Cyber-Physical Inspection System, TCPIS)

- **Online刀具檢視系統(nTIS)**

- ✓ AIS磨耗與缺角視覺量測: 根據實際磨耗與缺角情況，量測最大磨耗量與缺角量。
- ✓ nIR性能提升: nIR2.0之CCD模組2.0，開發固定與防油機構。

- **Offline刀具檢視系統(fTIS)**

- ✓ AIS自動刀種識別: fIR可依判別不同刀種與刀徑自動識別，依刀把提供GED刀具編號管理。
- ✓ 整合GED: 將fTIS所識別之刀具編號自動與GED同步。

- **刀具狀態推估服務(SES)**

- ✓ HMI改善開發: 依使用者需求調整刀具管理人機介面。
- ✓ 狀態估測: 依刀具之加工特徵，估測刀具可用剩餘壽命。

Q & A