

智慧聲紋分析於迴轉機械之應用

羅佐良

工研院機械與系統所 智慧機械技術組



由高速化邁向高效能化

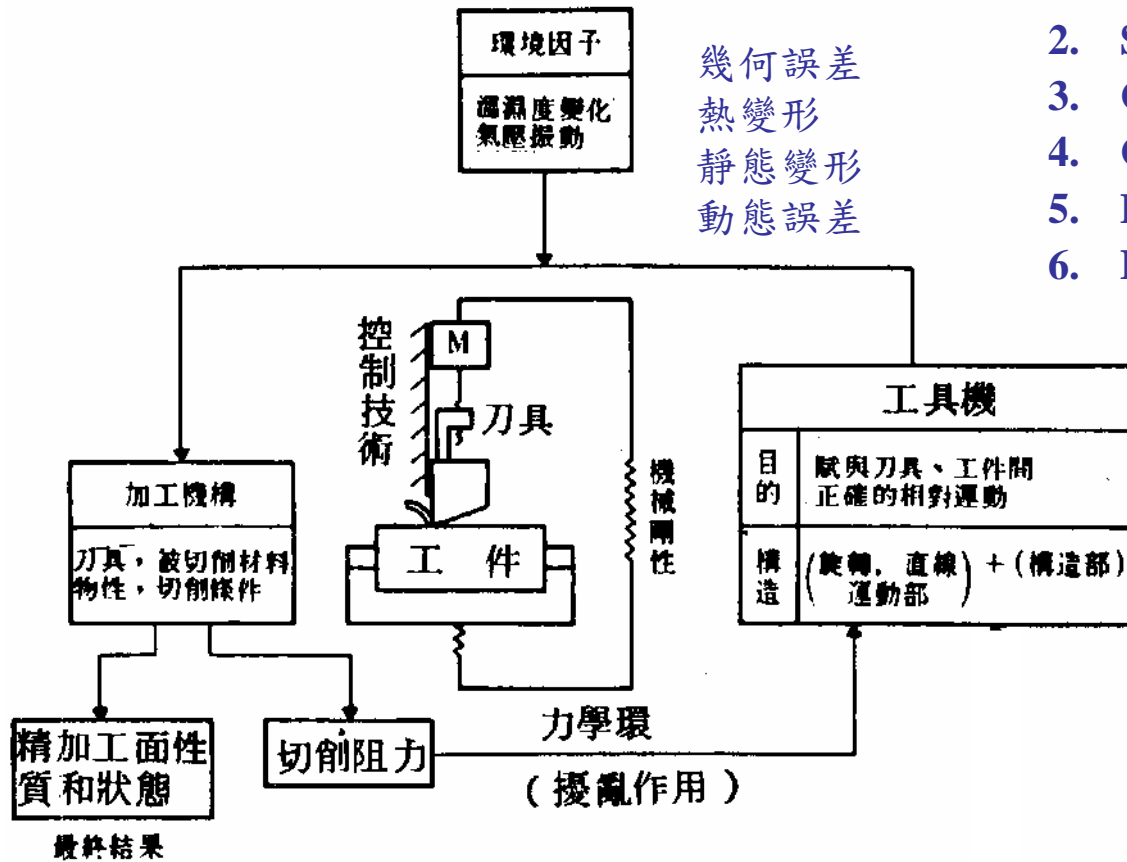
導入複合化與
智能化技術

年代 (西元)	60-69	70-79	80-89	90-99	2000-09	2010-19*
進給速度 (m/min)	5	10	20	75	>120	>500
加減速 (g)	0.1	0.2	0.6	1.5	>2	>8
主軸轉速 (rpm)	4,000	6,000	15,000	40,000	>60,000	>100,000
主軸馬力 (kW)	4	6	10	30	>60	>100



Coupling dynamics of environment-, kinematic-, structure- and servo- loops

1. Kinematic loop
2. Structure loop
3. CNC & Servo loop
4. Cutting process
5. Path programming
6. Environment



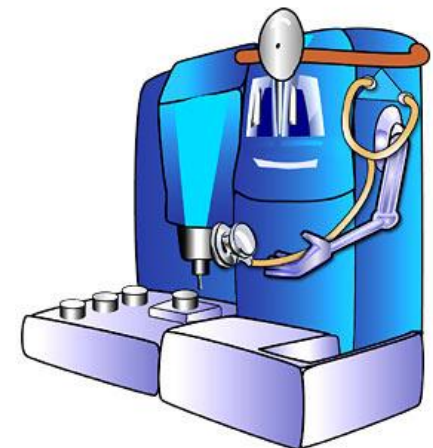
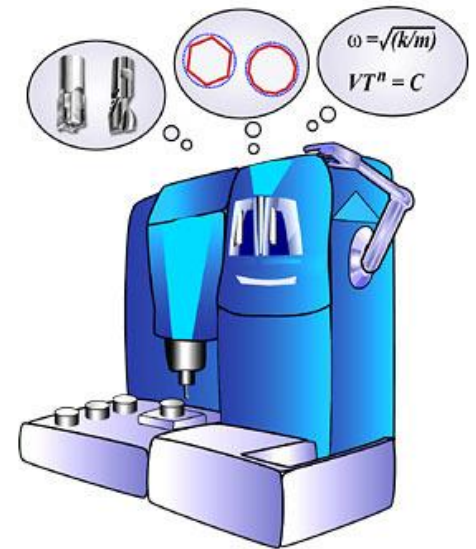
Smart Machining System(智能化)

Kennametal Corporation:

在美國汽車加工業中由於缺乏可靠的線上監控技術，在保守的心態下只使用到了刀具的允許切削速度的58%，也僅使用了刀具允許壽命的38%即被拋棄，這在美國每一年就造成將近100億美元的損失。

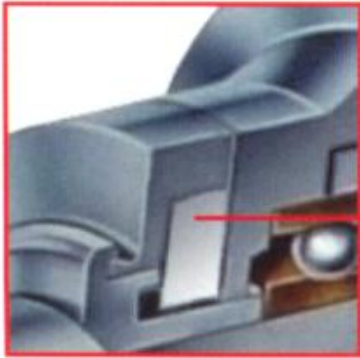
Maintenance and Reliability Center - University of Tennessee:

某家美國的大型飛機製造廠一年須耗用將近一千隻主軸，主軸的運轉壽命約在40~400小時之間，如果加上刀具破損與工件等造成的非預期停機，則生產力損失更加可觀。根據估計美國每年約耗費 \$5000~7000億美元在設備維護上，如果採用智慧型監控技術預期每年可省下 \$1000~2000億費用。



Smart Spindle

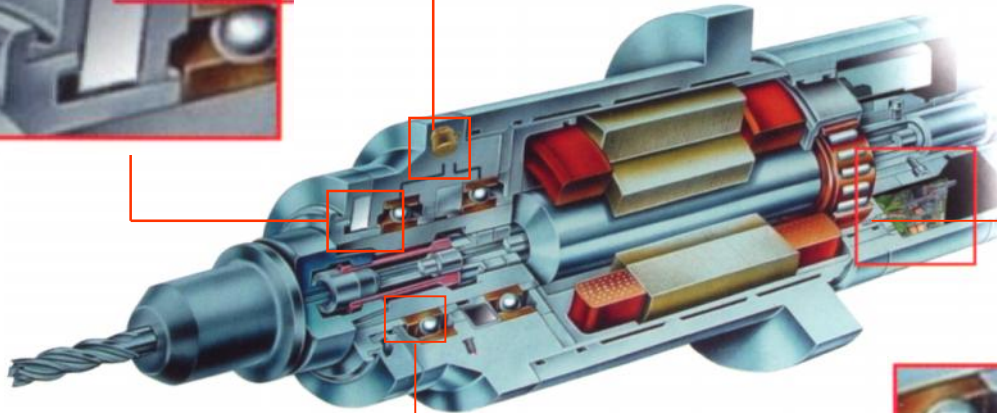
Axial thermal displacement measurement



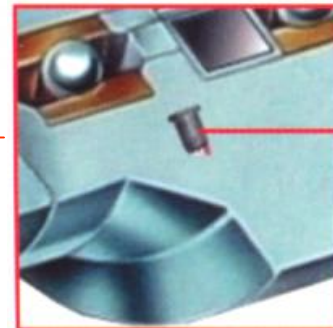
Vibration Monitoring



Diagnostic module



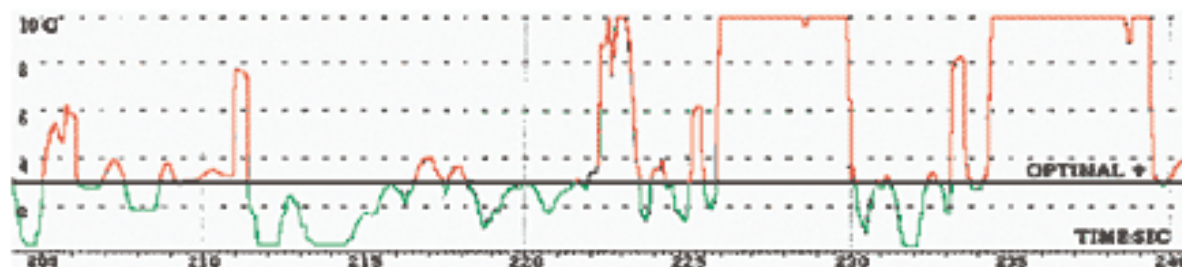
Temperature monitoring



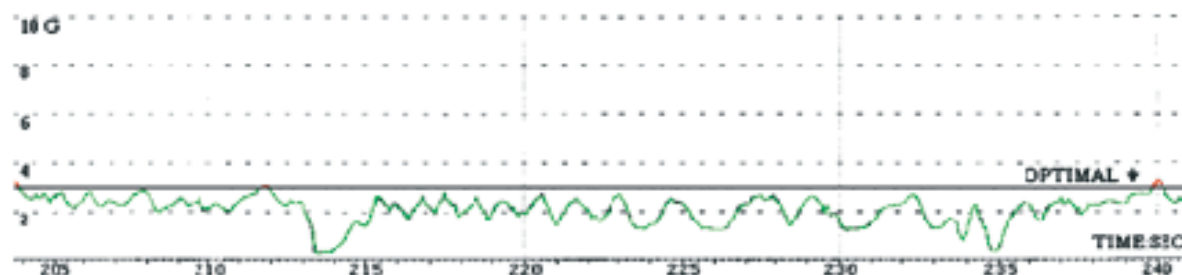
APS (Advanced process system)

將主軸切削振動分為0-10G等級，0-3G表示良好與安全狀態（綠色指示），3-7G表示操作人員必須調整加工條件以避免縮短主軸壽命(黃色)，7-10G表示必須立即停止否則主軸、刀具或刀具會造成損傷(紅色)

Before optimization

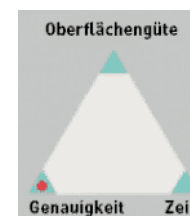
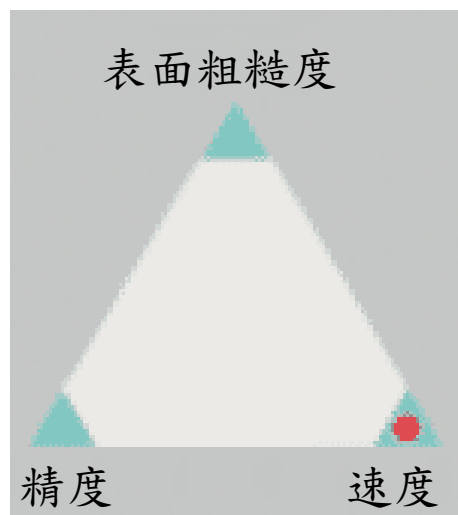


After optimization



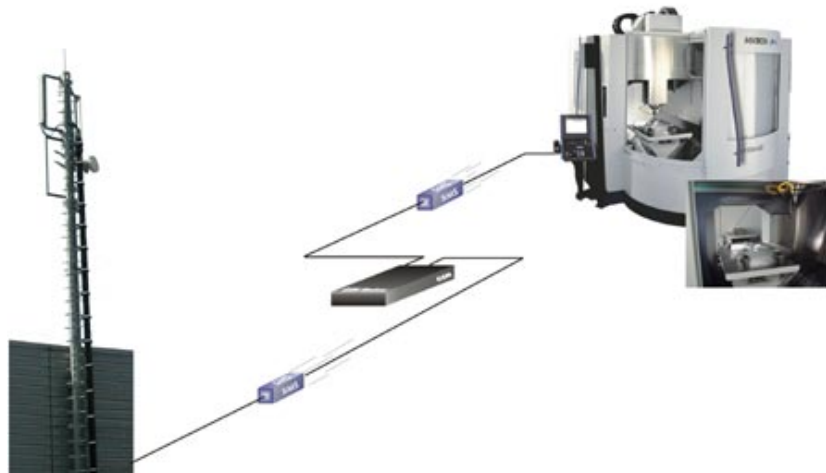
OSS (Operator support system)

- 將目標分為速度(time), 精度(accuracy)和表面粗糙度(surface quality), 並組成一個三角形的總體目標, OSS會根據總體目標調整最佳的加工參數。



RNS (Remote notification system)

- 在晚上和週末時都可以手機隨時監控和接收工具機的加工狀態。
- 機器有任何異常狀態時，立即自動通知所指定的工作人員的手機。



Mikron RNS
VCP 1000 DURO
04.02.05 20:35
Error
26 TOOL NOT CORRECT IN
MAG
Chappuis, Etienne, Besuchet



Smart Five-axis Machining System

Smart Spindle and Tooling



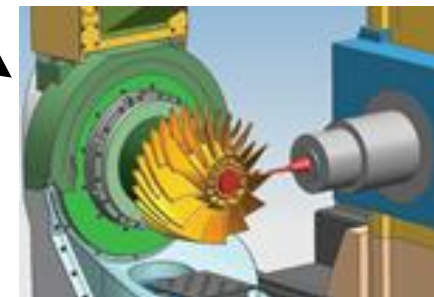
Intelligent Ballscrew



Calibration & Error Compensation



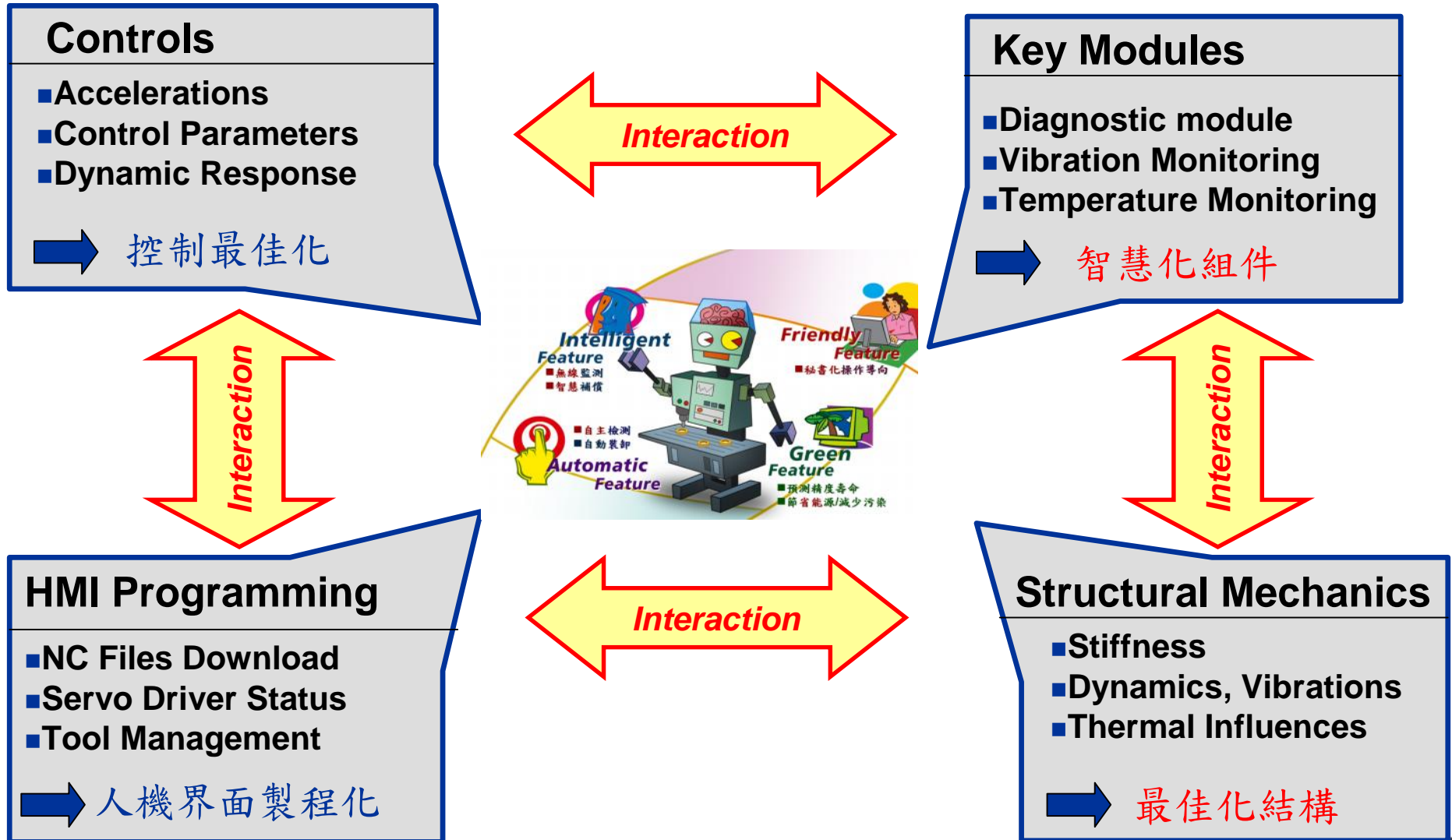
Intelligent five-axis CAM software



Intelligent CNC/servo



智能化工具機的架構





Intelligent Feature

- 無線監測
- 智慧補償



Friendly Feature

- 秘書化操作導向



Automatic Feature

- 自主檢測
- 自動裝卸



Green Feature

- 預測精度壽命
- 節省能源/減少污染

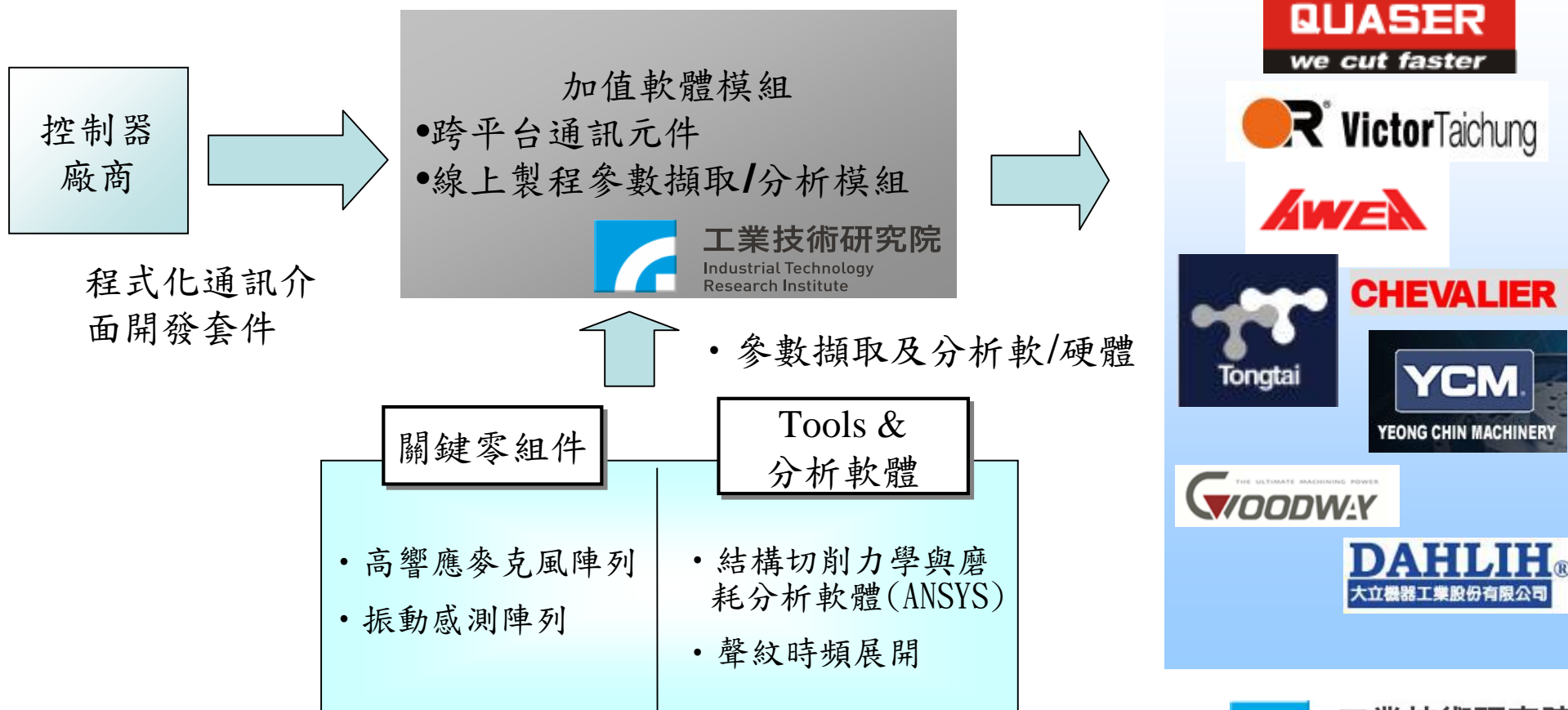
智慧化增值軟體及智慧化關鍵組件是工具機差異化及高值化關鍵

- 精度壽命監控技術
- 加工製程優化技術



工具機精度壽命監控技術

- 提供測試驗證載具
- 共用開發環境技術移轉
- 模組化人機通訊元件開發

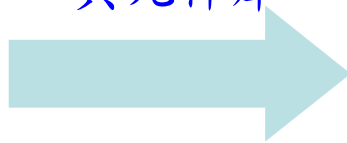


關鍵技術與指標

關鍵技術:

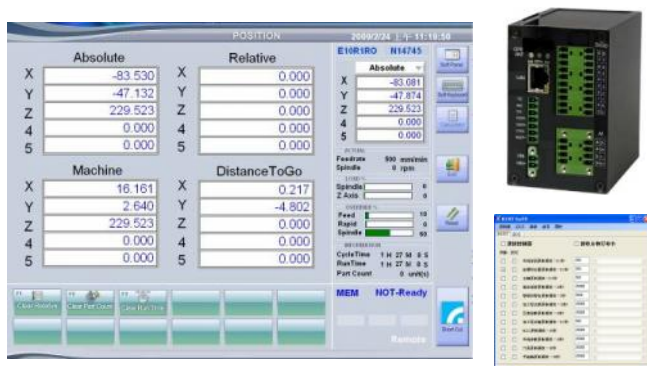
- 跨設備控制介面與元件庫技術
- 非接觸式振動量測技術
- 即時加工參數適應性調整技術

跨設備智慧人機
與元件庫

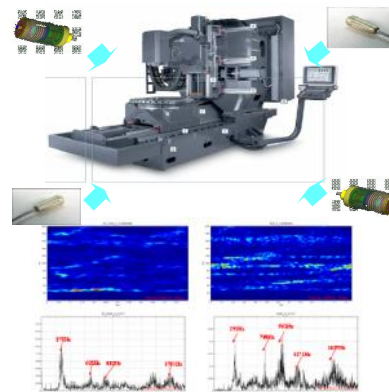


技術指標:

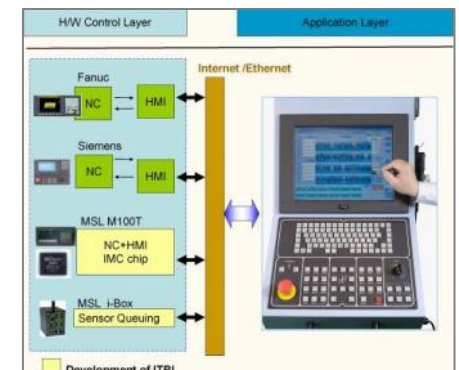
- 建立Siemens、Heidenhain、Fanuc等三家商用控制器專用之通訊元件庫
- 開發即時加工參數適應性調整技術，主軸振動抑制 $<3G$ ，主軸振動量由 $4\mu m \rightarrow 1\mu m$



跨設備介面及通訊元件



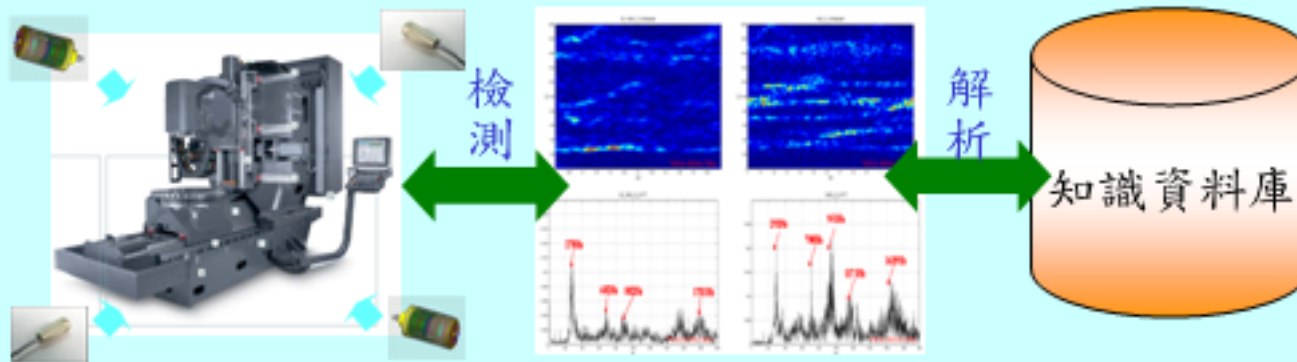
線上製程參數擷取與分析



跨設備智慧人機與元件庫
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

工具機精度壽命監控技術

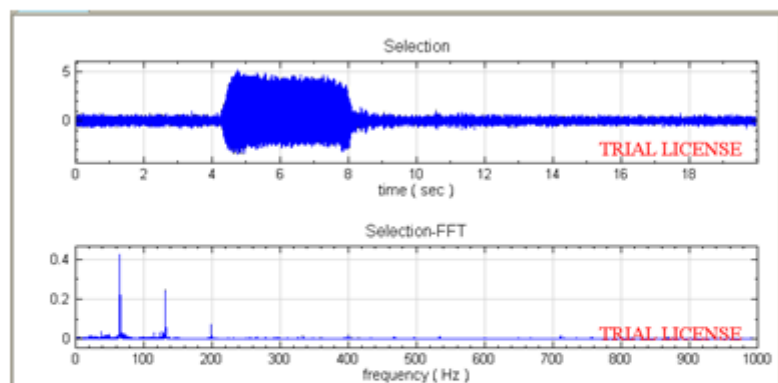
ITRI - 工具機聲紋檢測技術



- **技術說明：**依據時頻分析及頻譜分析技術，並加入時間軸資訊，判斷其機械聲紋。再經由建立各種損壞狀況的特徵聲紋時頻圖，架構品質知識資料庫。以非破壞方式診斷機械品質狀況，改善機台出廠前品質問題，降低機台維護成本。

兩刃端銑刀 2000RPM (實際轉速 2007~2013RPM)

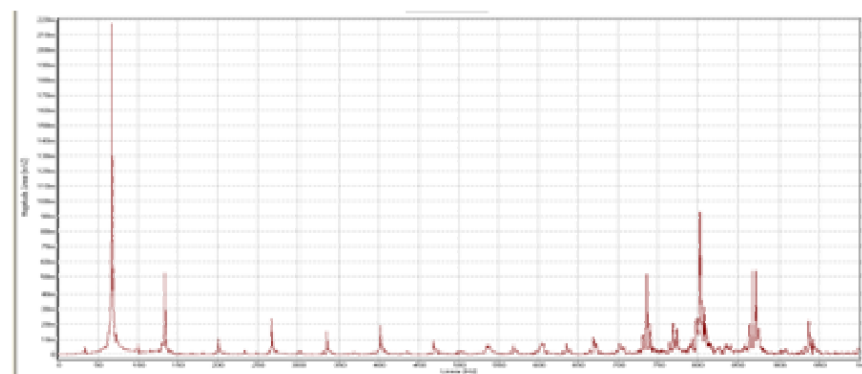
聲紋分析



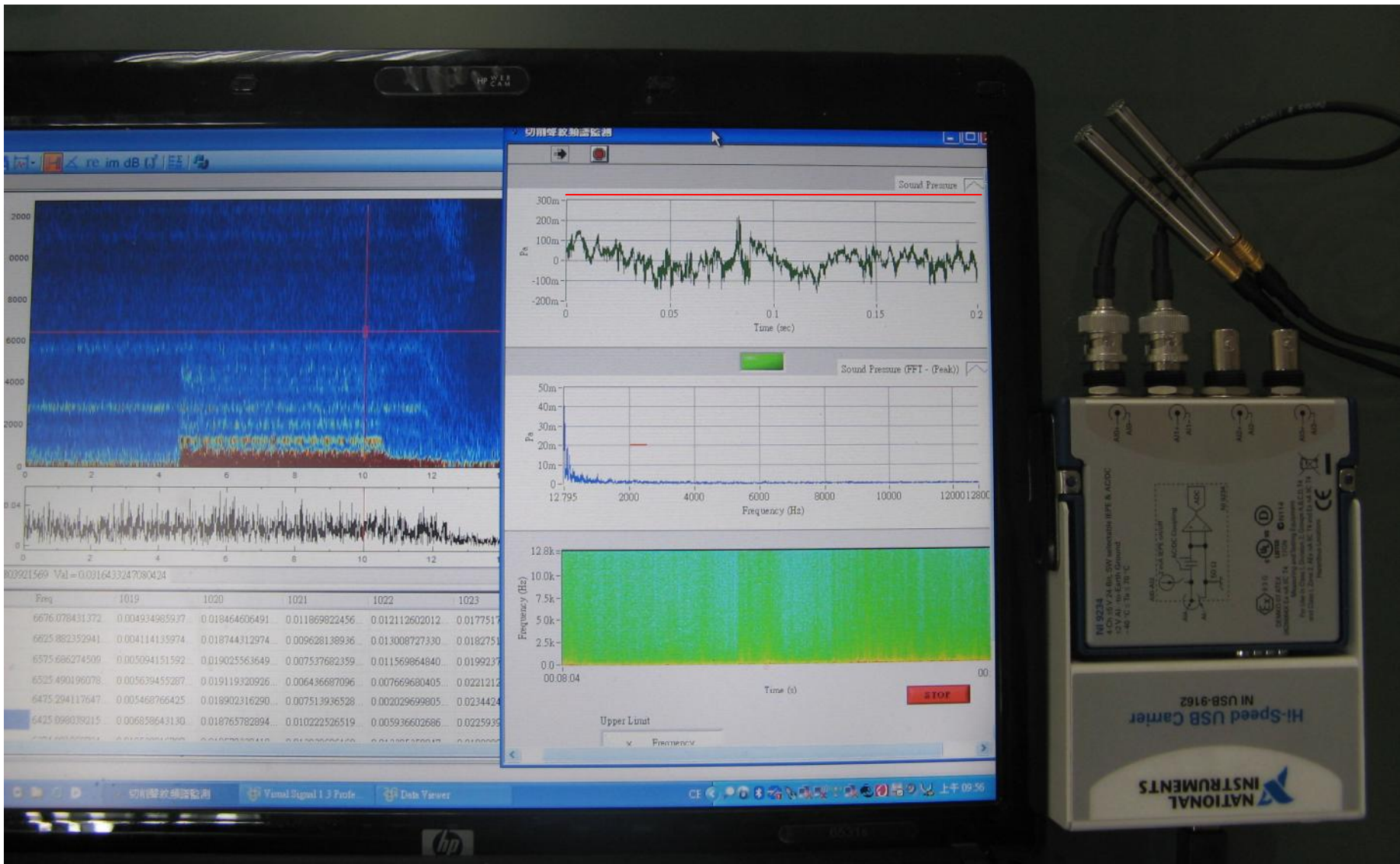
根據轉速和端銑刀刃數可預測出切削的頻率

公式如下: (切削轉速÷60)×刀刃數

	聲紋頻率(HZ)	理論頻率(HZ)
第一頻	66.87	66.67
第二頻	133.74	133.33
第三頻	200.62	200.01

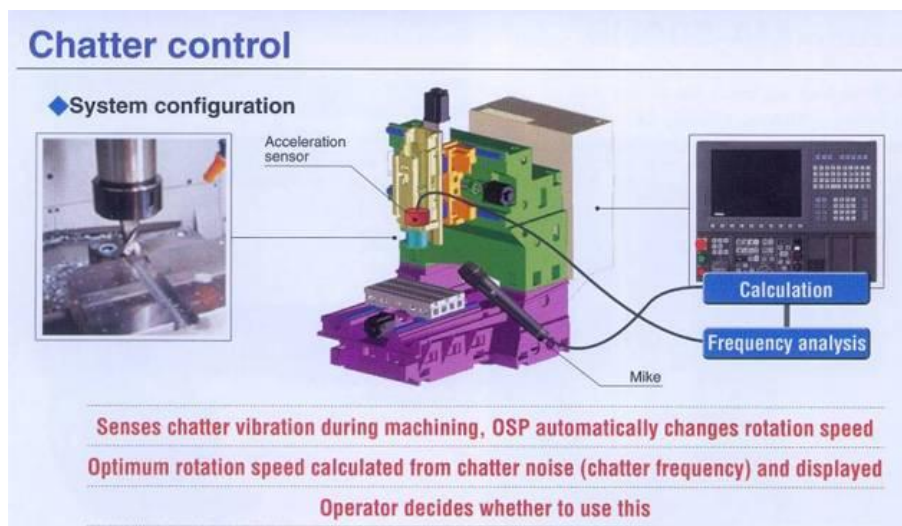
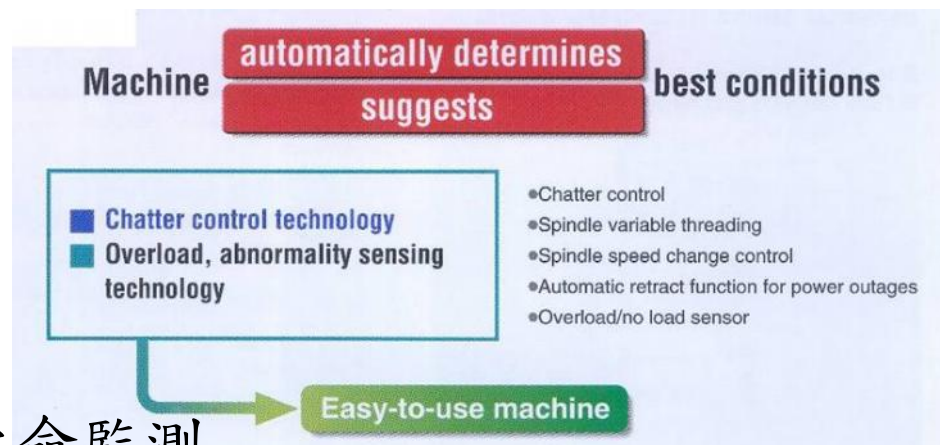


	加速規頻率(HZ)	理論頻率(HZ)
第一頻	66.88	66.67
第二頻	133.75	133.33
第三頻	200.62	200.01

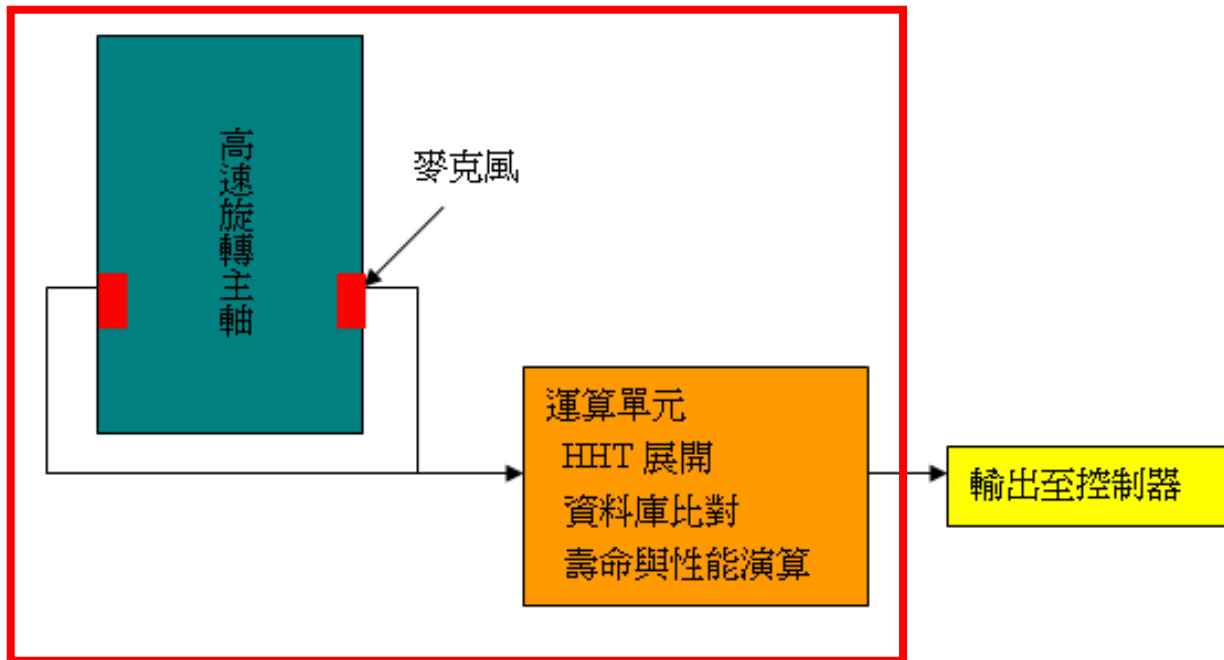


聲紋量測於高精度之工具機械檢測應用

- 損壞判斷
- 壽命預估
- 維修預警
- 加工監測（顫振）
- 智慧精密旋轉機械壽命監測



智慧精密旋轉機械壽命監測儀

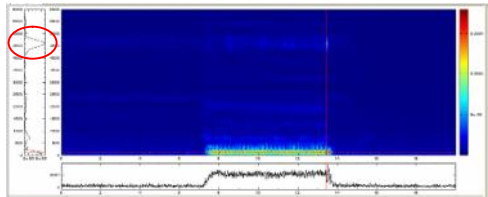


智慧精密旋轉機械壽命監測儀架構

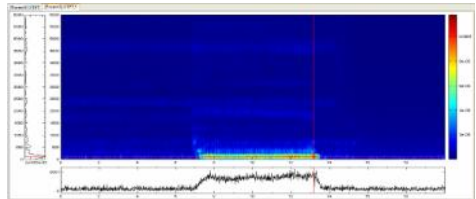
加工製程優化技術

- 材料:SKD11(HRC49) 主軸轉速:3500rpm
- 兩刃端銑刀規格:UET1002 DHF
- 進給:300(mm/min)

實驗編號	切削深度(mm)	表面粗糙度(Ra)	振刀紋
A1	1	0.41	無
A2	2	0.4	無
A3	3	0.42	無
A4	4	0.43	無
A5	5	0.5	有
B1	1	0.49	無
B2	2	0.52	無
B3	3	0.48	無
B4	4	0.5	無
B5	5	0.53	有



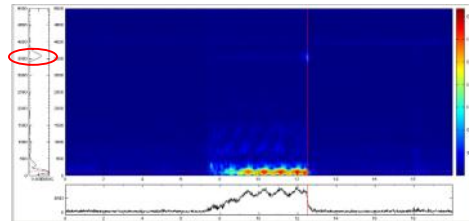
B5(發生顫振)



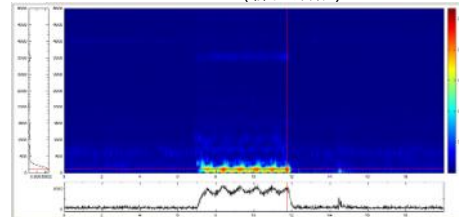
B2(無發生)

- 材料:SKD11(HRC20) 主軸轉速:3000rpm
- 兩刃端銑刀規格:ETG1002 DHF
- 進給:300(mm/min)

實驗編號	切削深度(mm)	表面粗糙度(Ra)	振刀紋
A1	0.2	0.32	無
A2	0.4	0.32	無
A3	0.5	0.28	無
A4	0.6	0.31	無
A5	0.8	0.32	無
A6	1.6	0.28	無
A7	1.8	0.28	無
A8	2	0.3	無
A9	2.2	0.28	無
A10	2.4	0.3	無
A11	2.6	0.34	無
A12	2.8	0.3	有
A13	3	0.33	有



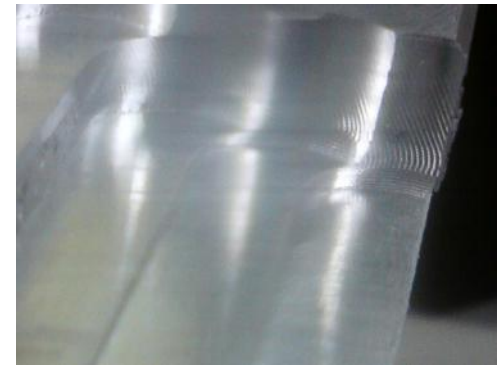
A13(發生顫振)



A7(無發生)

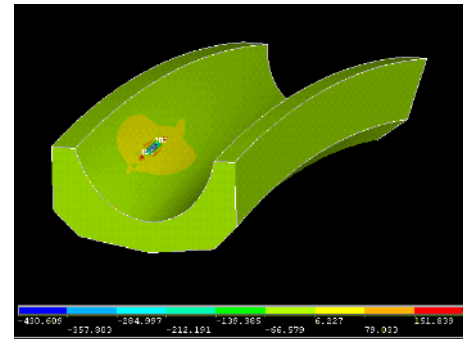
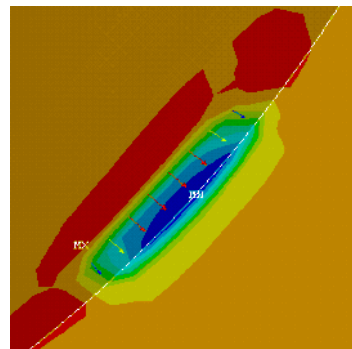
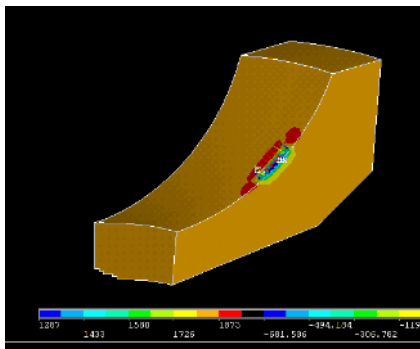
已做過材質
鋁材、SKD11(HRC20)、SKD11(HRC49)
預計未來可做實驗之材質(已有材料)
S45C(HRC30)、S45C(HRC20)

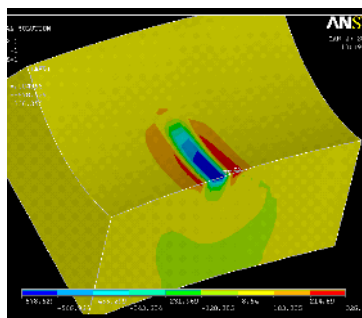
然後依進給條件、主軸轉速、切深
刀具形式皆可做出許多聲紋相關資料
並建立資料庫。



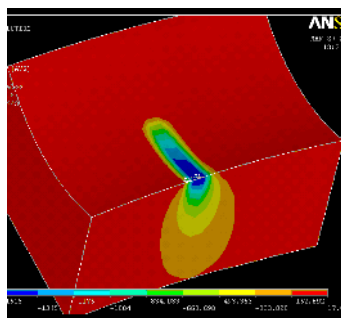
磨耗與切削資料庫 (ANSYS)

對於滾動接觸行為之探討，通常可以應用赫茲接觸理論（Hertz contact theorem）來描述鋼珠與接觸介面的一些接觸力量與變形關係，根據理論可知，當外力將兩接觸物相互擠壓時，接觸介面之變形量與外力形成非線性關係。因此，當接觸力增加時，兩物體間變形量變大而接觸介面勁度也會相對提高，此時整個系統的動態行為就有所不同。所以為了得到正確的動態反應，必須定義適當的介面勁度。有關Hertz接觸介面勁度計算的方法，利用接觸勁度可計算磨耗量。提案人可確切掌握磨耗分析技術

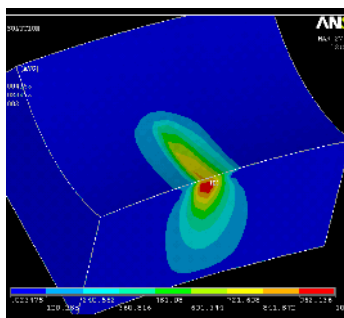




Max principal stress



Max compressive stress



Max Shear stress

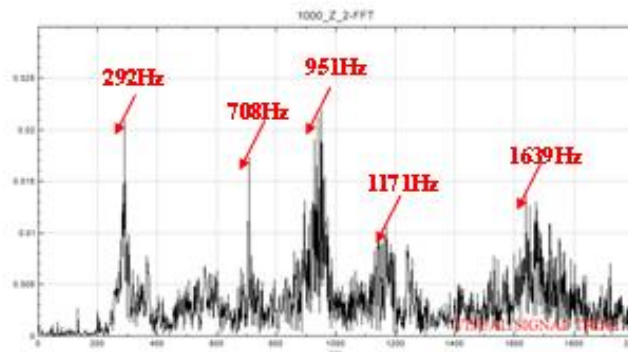
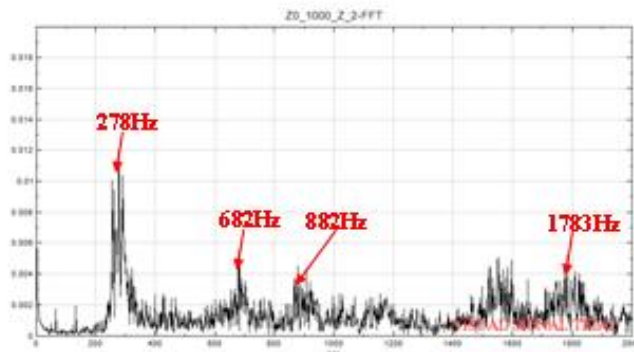
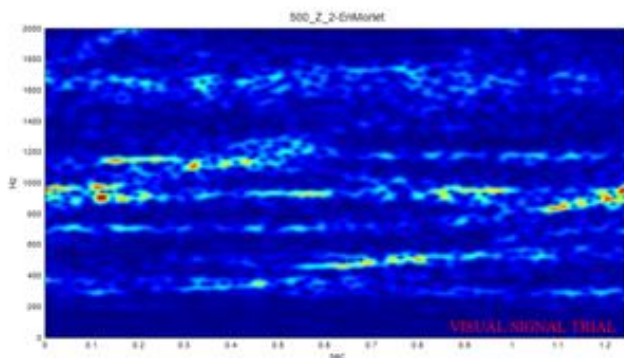
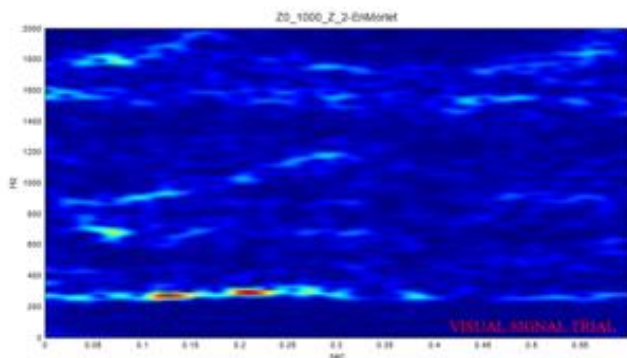
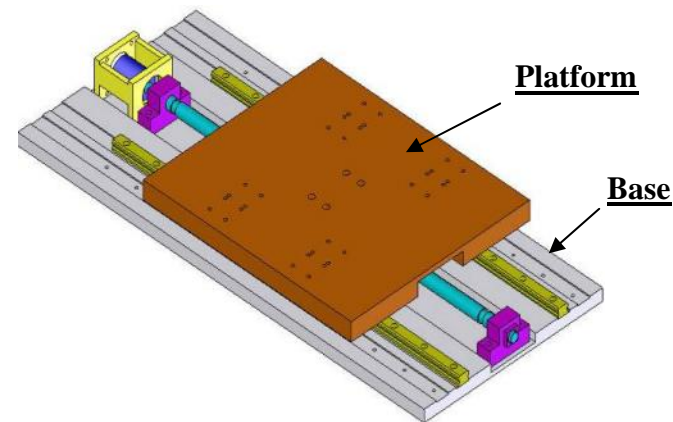
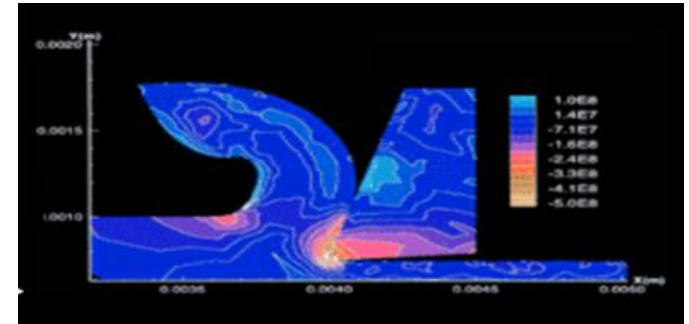
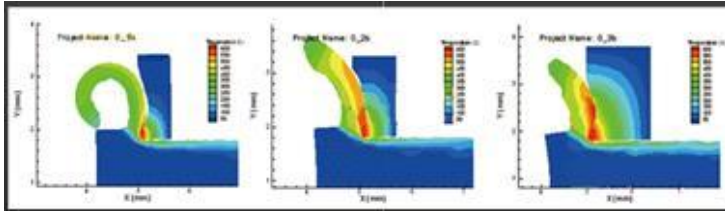


圖 2 進給平台在 Z 軸向 (上下) 之振動特徵 (左) 低預壓線軌 (右) 高預壓線軌 (轉速 1000RPM)



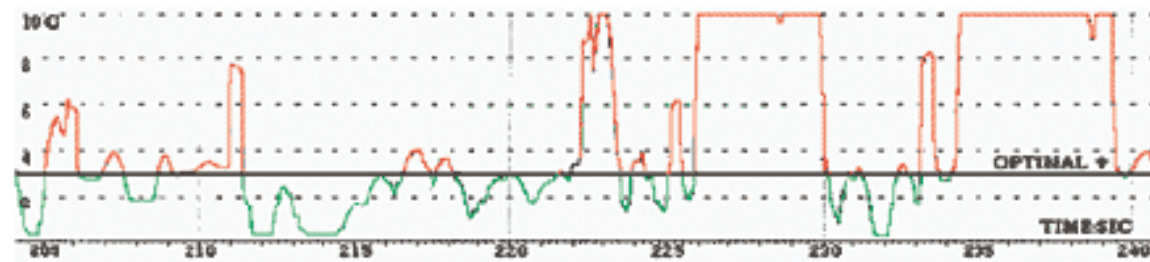
加工製程優化技術

技術指標：主軸振動抑制 $\leq 3G$

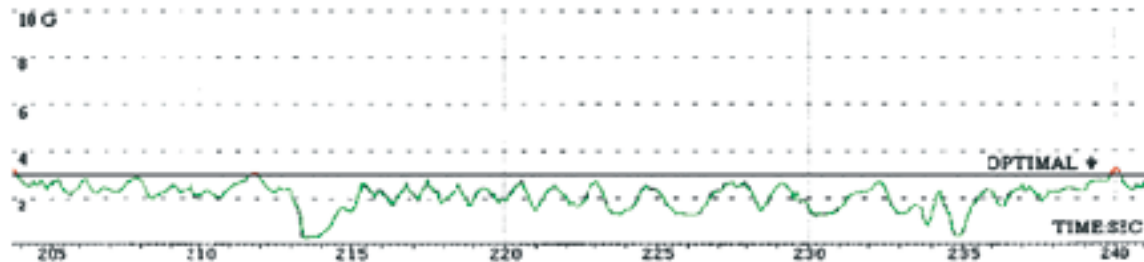


建構切削力學之有限元素模式 (ANSYS)

Before optimization



After optimization



將主軸切削振動分為0-10G等級，0-3G表示良好與安全狀態（綠色指示），3-7G表示操作人員必須調整加工條件以避免縮短主軸壽命（黃色），7-10G表示必須立即停止否則主軸、刀具或刀具會造成損傷（紅色）

Thank you for your attention!

