



聲紋解析於高精度加工機開發與應用

工業技術研究院機械與系統研究所

羅佐良 工程師



高精度加工機開發與應用

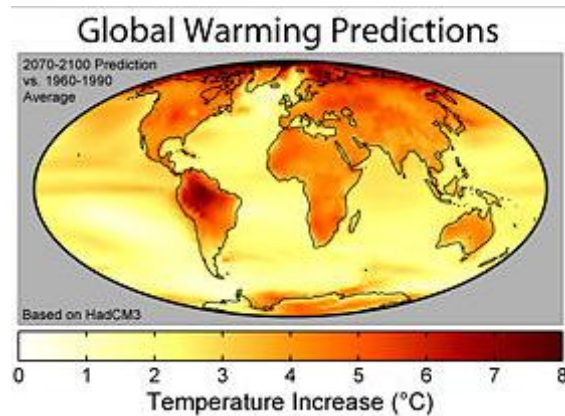
DRIVING FORCE

• 全球暖化

節能、環保意識高漲，未來工具機產品之綠色政策為基本需求。

• 全球化 & M型社會

全球化與M型化社會趨勢下，大量客製化需求與產品變異性大增。



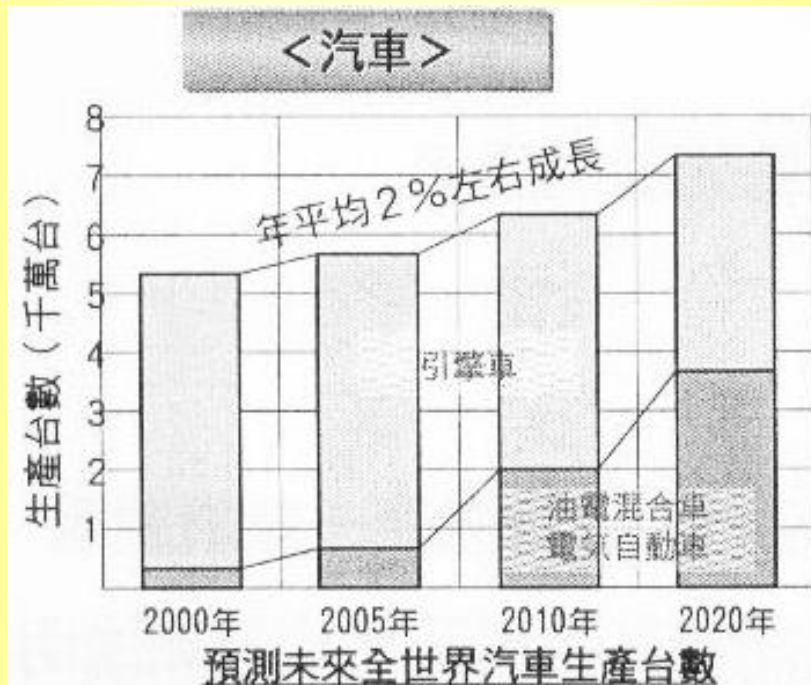


高精度加工機應用市場定位

- 3C產品高效能製造系統
- 新興市場汽車零組件代工製造系統

<汽車市場變化>--<製造型態變化>

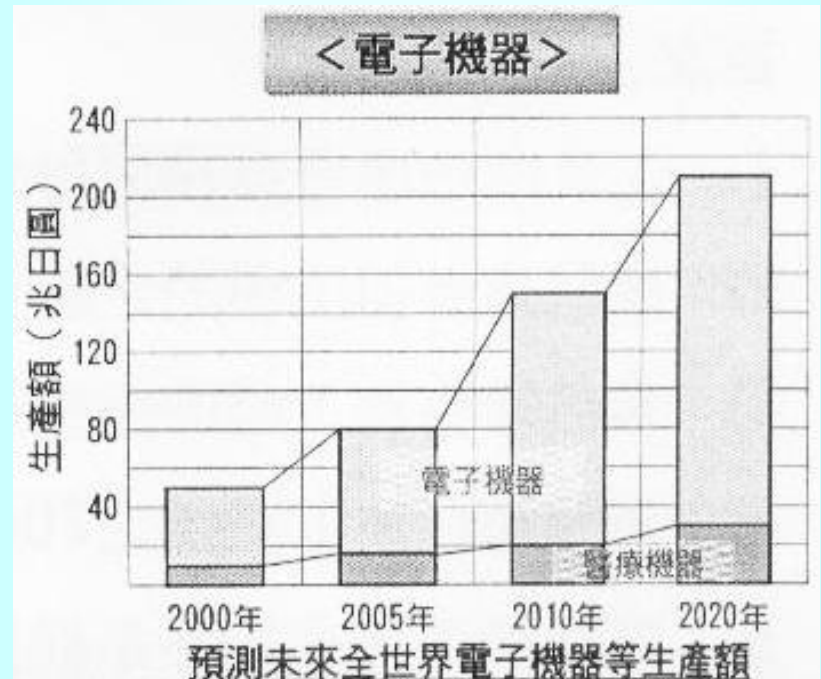
- 提昇引擎效率-**超高精度、小型化**
- 電動車趨勢 -增加新的零件



工具機有60~70%用於汽車產業

<電子產品變化> --<製造型態變化>

- 電子機器小型化-**超高精度模具加工**
- 生醫等領域 -**細微部品超精密加工**



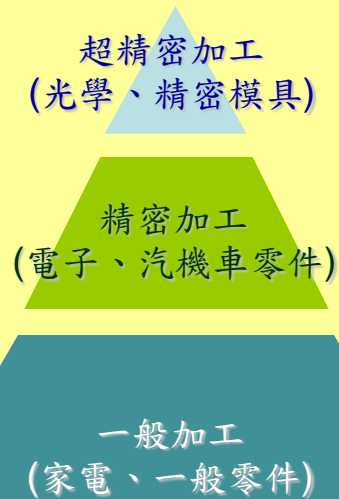
21世紀成長製品-電子機器相關領域



Trend of the Machine Tools

Value

2010
加工等級導向



A+
Taiwan

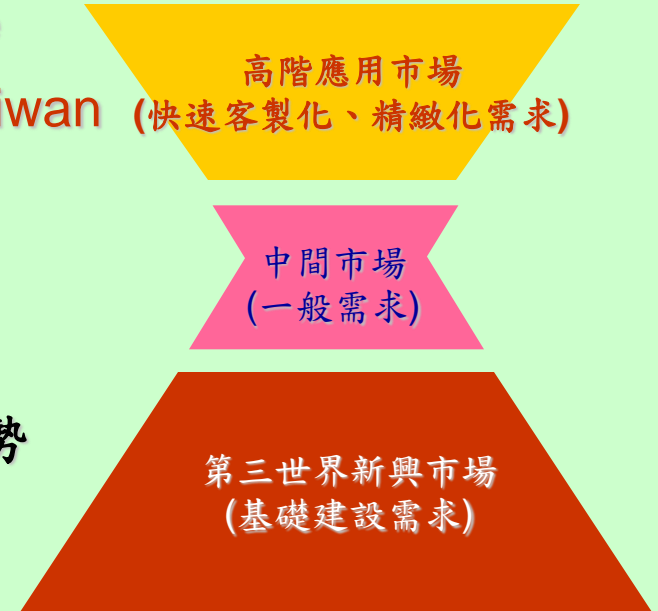
- Intelligent
- Done in one

Taiwan (快速客製化、精緻化需求)

M型化趨勢

節能、環保趨勢

2020
全球市場需求導向



Quantity

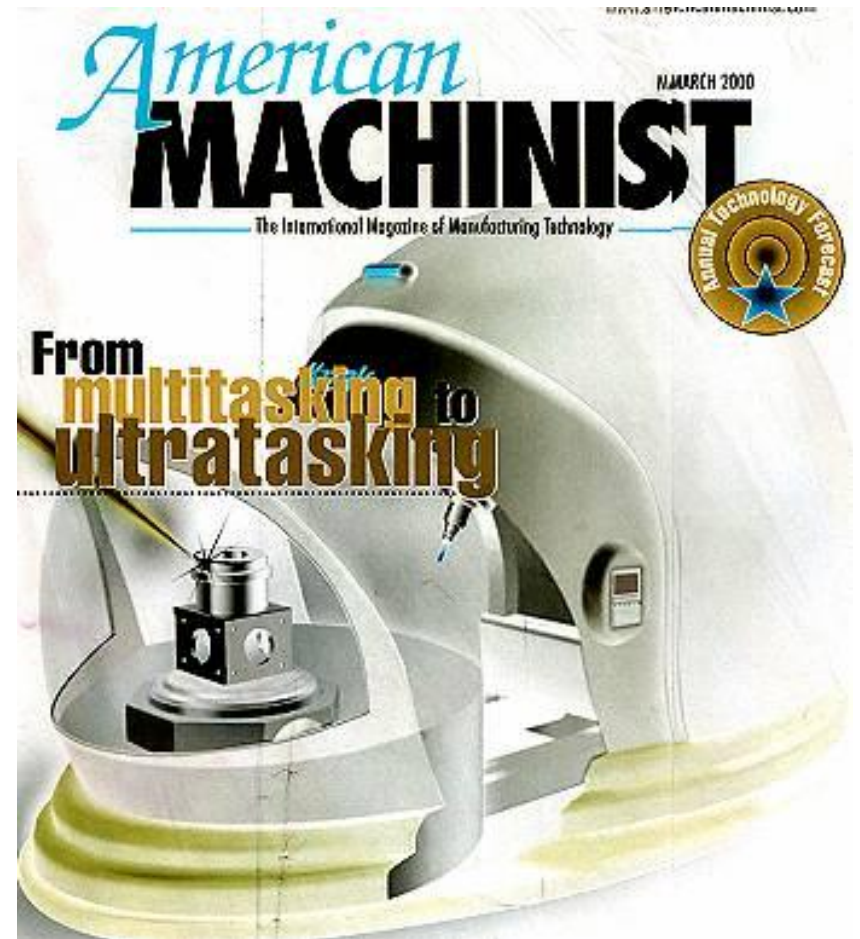


i³-machine tool 意涵

整合設計-加工-檢驗資訊之智慧化工具機



Intelligent
Integration
Information





NEEDS of the Machine Tools

- **友善界面需求**
 - 男女皆可操作，不再仰賴有經驗之操作人員。
- **綠色節能需求**
 - 減少能源消耗，強化原物料之回收再利用。
- **智慧決策需求**
 - 減少人為調機、診斷、與維護，提升加工精度與產品壽命。
- **自動裝卸需求**
 - 縮短生產時程，減少技術人力的依賴。
- **Done in One需求**
 - 整合多重製程與檢測功能，因應大量客製化與產品變異需求。



**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



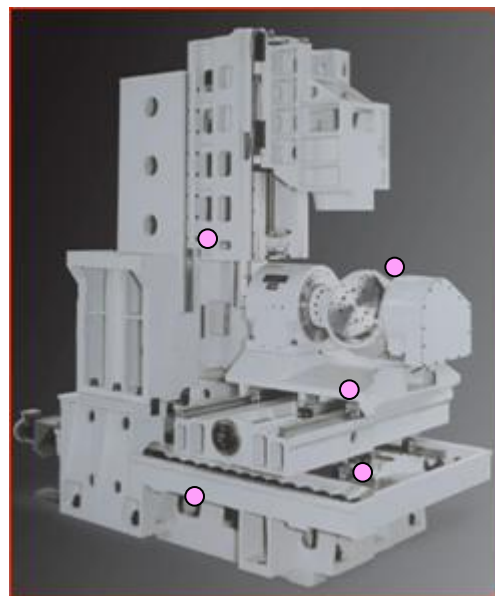
架構

Wireless-based Intelligent components

Intelligent Spindle, Tooling,
Ballscrew, etc.



ICT + MT



Future-proof Value-added software

Intelligent CAD/CAM software



Error-free Intelligent functions

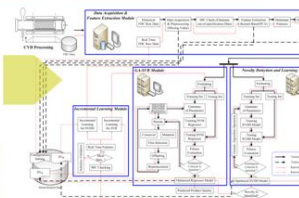
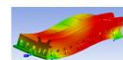
Intelligent Error Compensation

Thermal sensor array Learning mechanism Compensation

Real sensing



Virtual sensing



Compensation



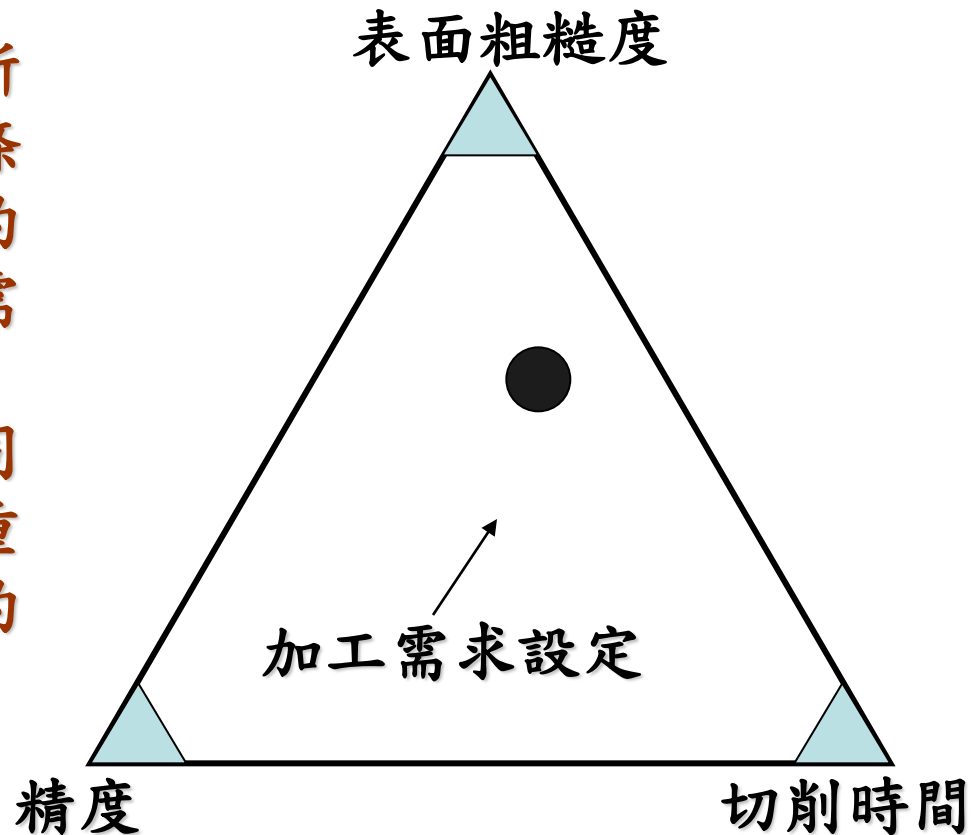


國外工具機大廠相關技術發展 (瑞士MIKRON-Smart Machine) Intelligent Operating System

針對工件不同的加工需求，所需要設定的加工參數與切削條件也不同，若想要達成最佳的切削結果，機器的操作人員需要豐富的切削經驗。

智能化操作系統可以根據不同的切削需求提供各種不同權重的切削參數設定，達成切削的需求。

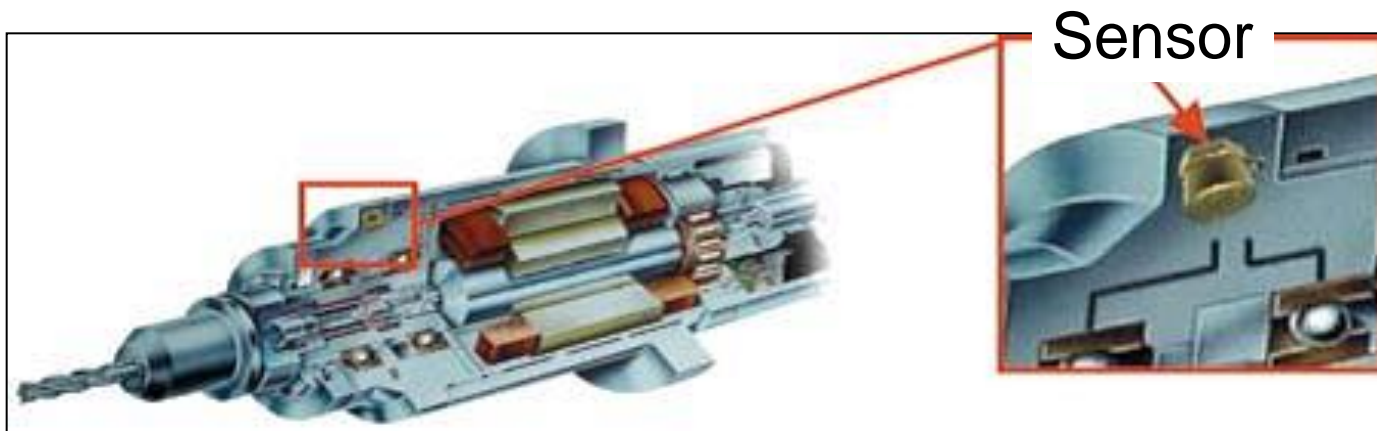
優點：
• 優質的人機操作介面
• 降低操作人員成本





國外工具機大廠相關技術發展 (瑞士MIKRON-Smart Machine)

Smart Spindle



- 優點：
- 改善加工件品質 (避免振動所產生的切削紋路)
 - 避免機器在極限狀況下運轉
 - 延長機器與刀具的壽命



- ITRI 精度壽命監控計畫
- ITRI 加工製程優化計畫





技術策略

- 非接觸式量測技術-麥克風（透過時頻轉換）
- 即時，智慧化補償
- 多目標與功能性

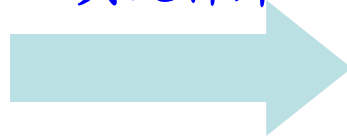


關鍵技術與指標

關鍵技術:

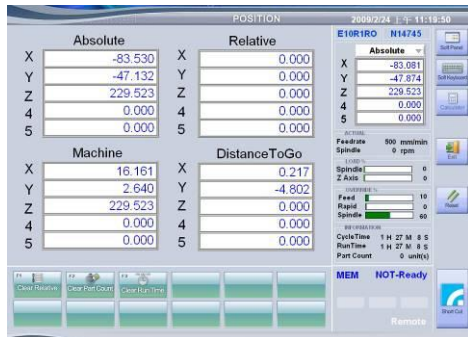
- 跨設備控制介面與元件庫技術
- 非接觸式振動量測技術
- 即時加工參數適應性調整技術

跨設備智慧人機
與元件庫

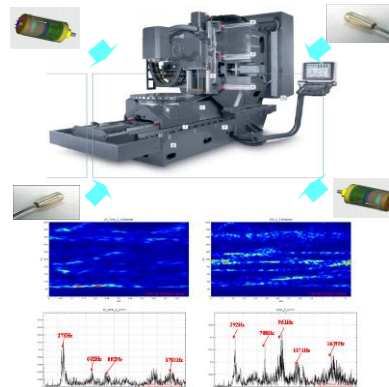


技術指標:

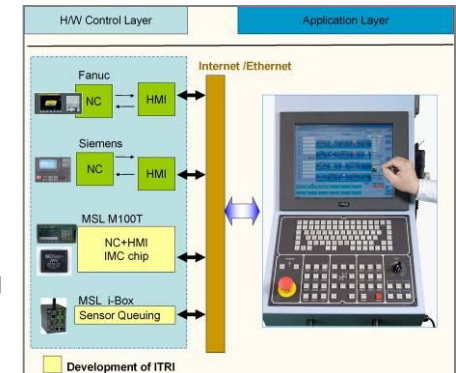
- 建立Siemens、Heidenhain、Fanuc等三家商用控制器專用之通訊元件庫
- 開發即時加工參數適應性調整技術，主軸振動抑制 $<3G$ ，主軸振動量由 $4\mu m \rightarrow 1\mu m$



跨設備介面及通訊元件



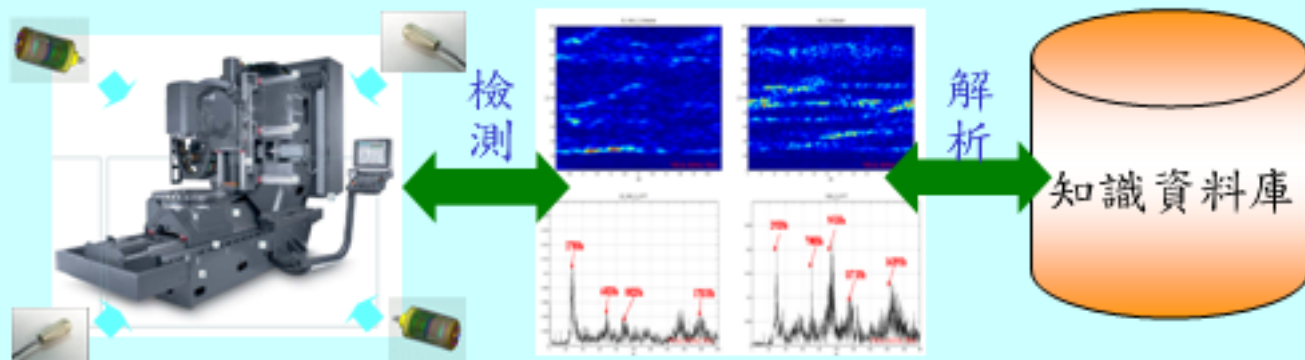
線上製程參數擷取與分析



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

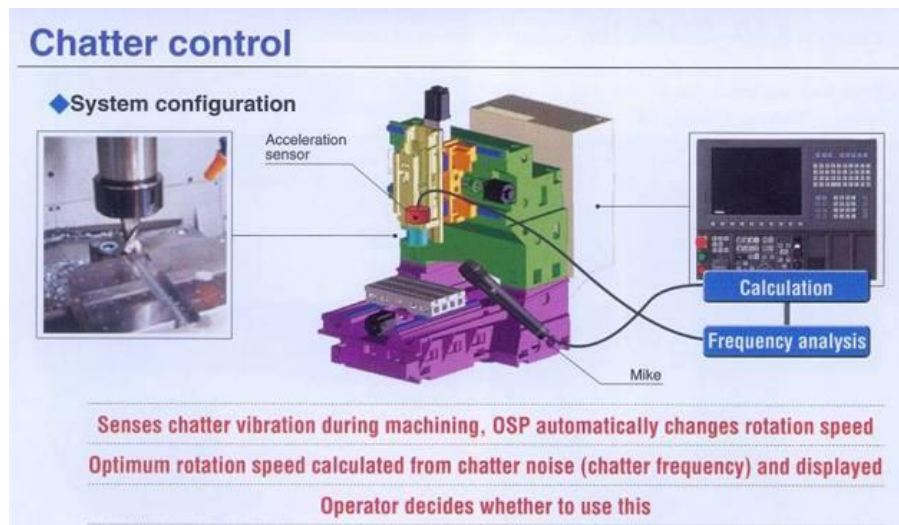
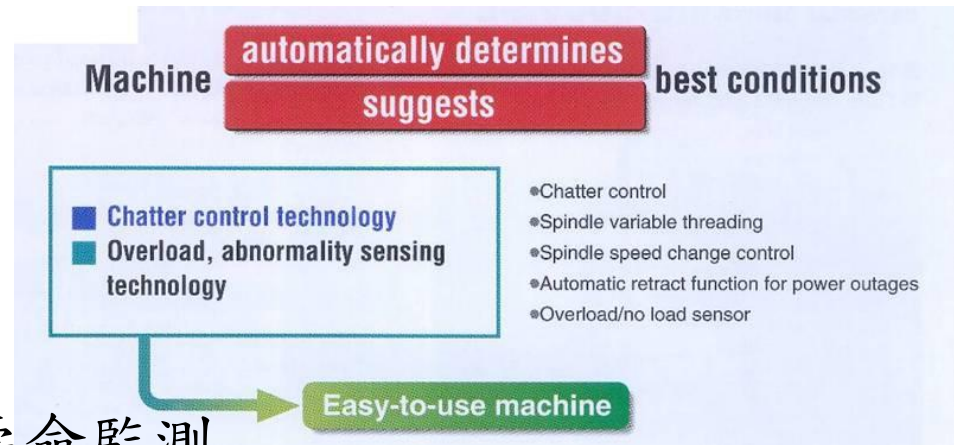


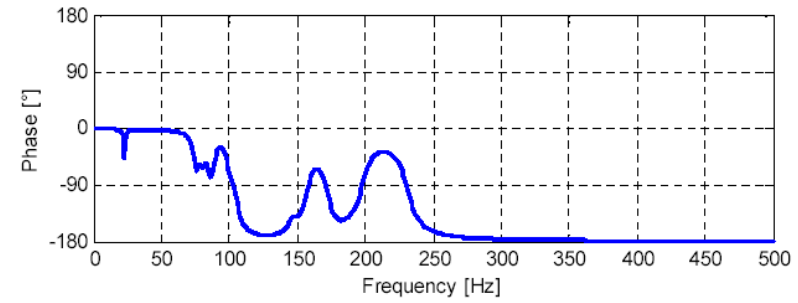
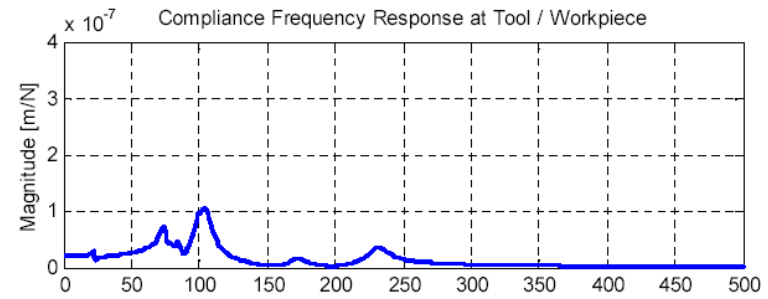
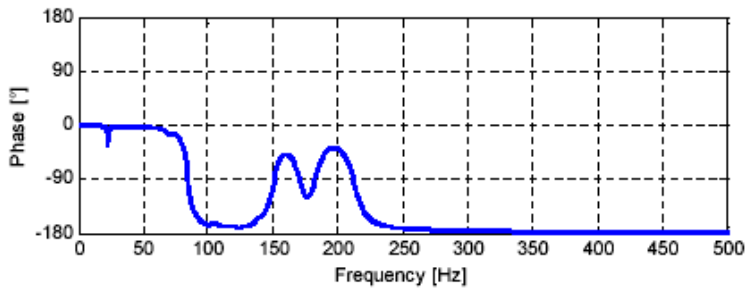
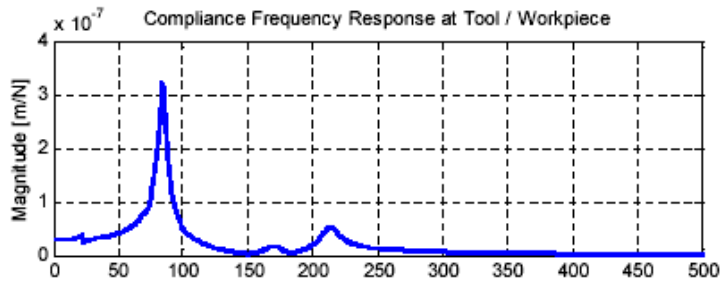
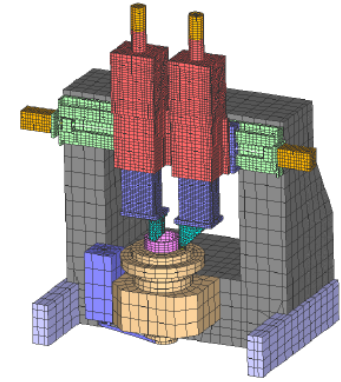
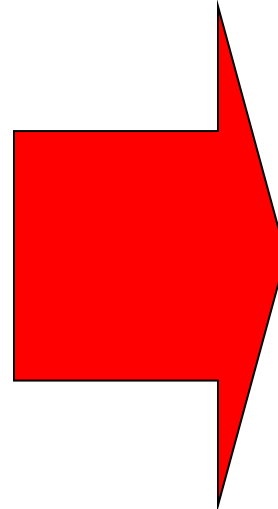
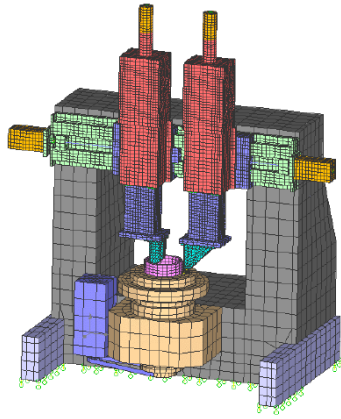
- **技術說明：**依據時頻分析及頻譜分析技術，並加入時間軸資訊，判斷其機械聲紋。再經由建立各種損壞狀況的特徵聲紋時頻圖，架構品質知識資料庫。以非破壞方式診斷機械品質狀況，改善機台出廠前品質問題，降低機台維護成本。

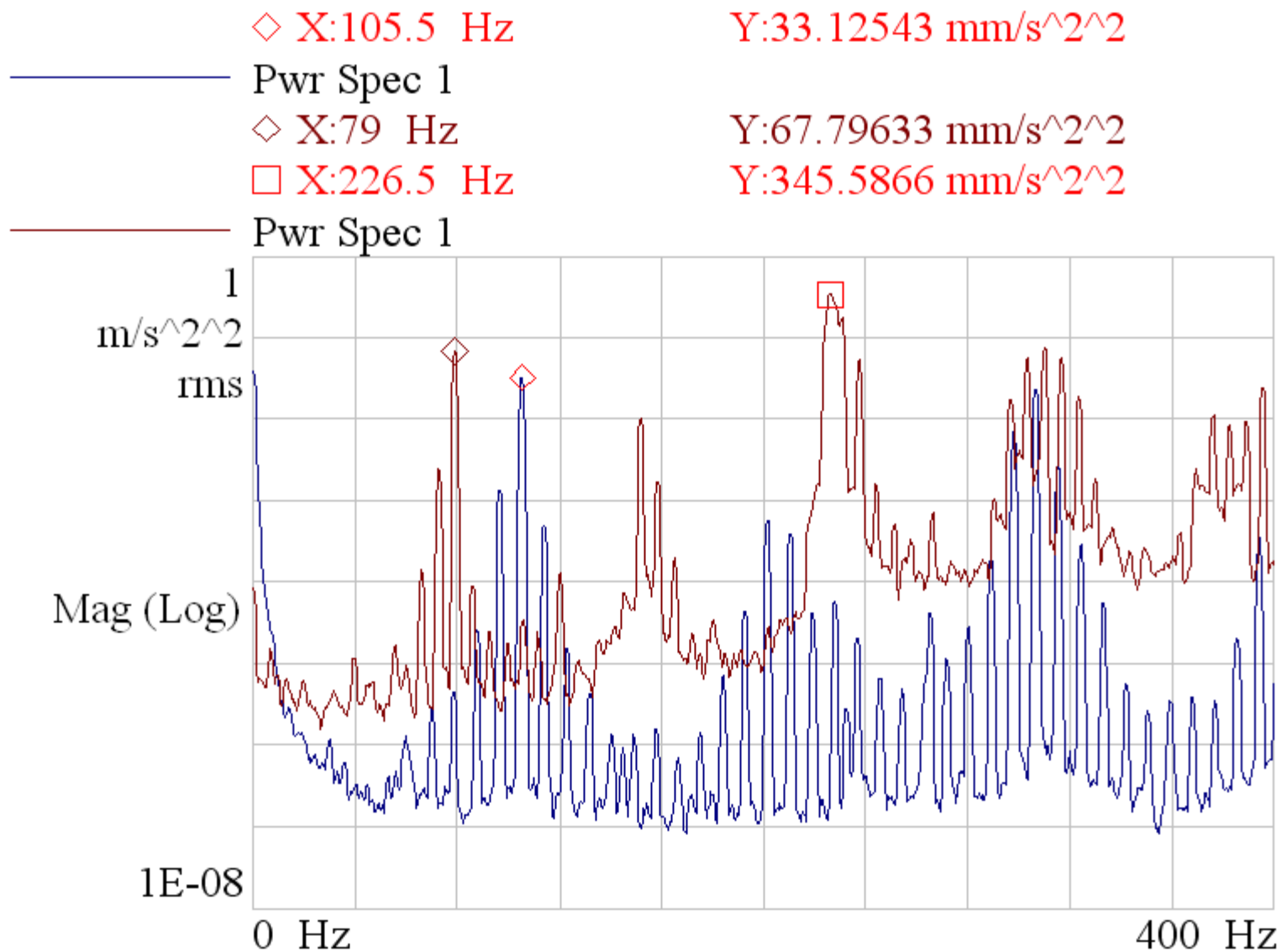


聲紋量測於高精度之工具機械檢測應用

- 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







切削力之比較，藍色為改善後，紅色為改善前



改善前後之切削工件，上面工件為改善前，下端為改善後



- ITRI精度壽命監控計畫
- ITRI加工製程優化計畫

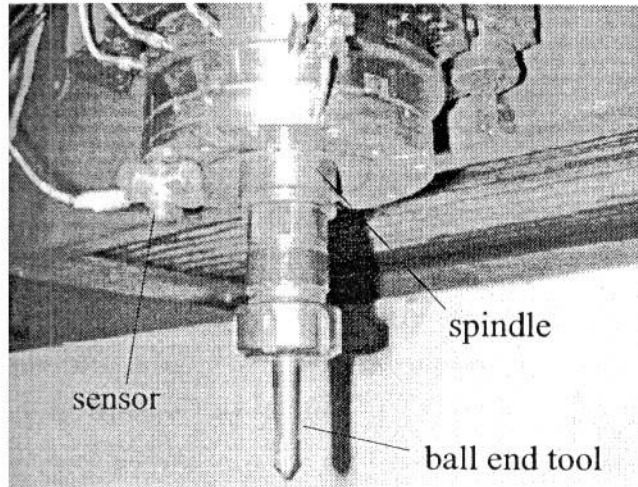


顫紋消失對策項目			對策順序	
			車削	面銑
工直機	1	用水平儀正確安裝(安裝檢查)	9	7
	2	調整軸承及滑動斜銷等之間隙	10	8
	3	檢查活動頂心、夾盤	檢查	檢查
	4	檢查工件夾治具之剛性	8	6
	5	檢查傳動機構如齒輪、皮帶輪之振動	11	檢查
	6	檢查馬達之振動(轉子之不平衡)	12	9
	7	改用剛性及動力強大之機器		檢查
切削刀具	8	確實安裝	檢查	
	9	盡量減短外伸長度	3	
	10	改用剛性較高者(尺寸改大1號)	7	5
	11	使刀尖與工件中心一致(宜稍高些)	4	
	12	減小刀尖半徑	6	
	13	檢查刀刃是否鬆動		4
切削條件	14	增大進給量(不可微小進給)過大時減小	1	2
	15	減小切削深度(銑削最有效)	2	1
	16	降低切削速度(或增高)	5	
	17	注意切入角		3

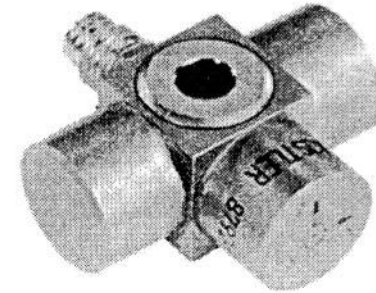


傳統的切削顫振和刀具磨耗監控線上監控技術

a) 震動量測

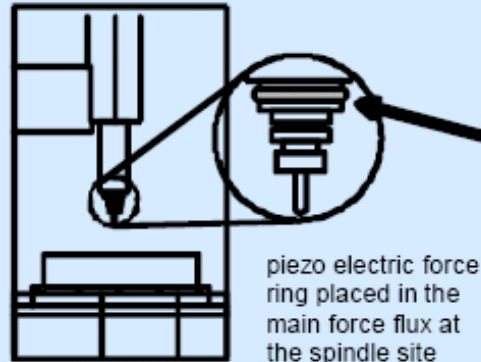


Triax-accelerometer



b) 切削力量測

Integration to FIDIA Digit 165

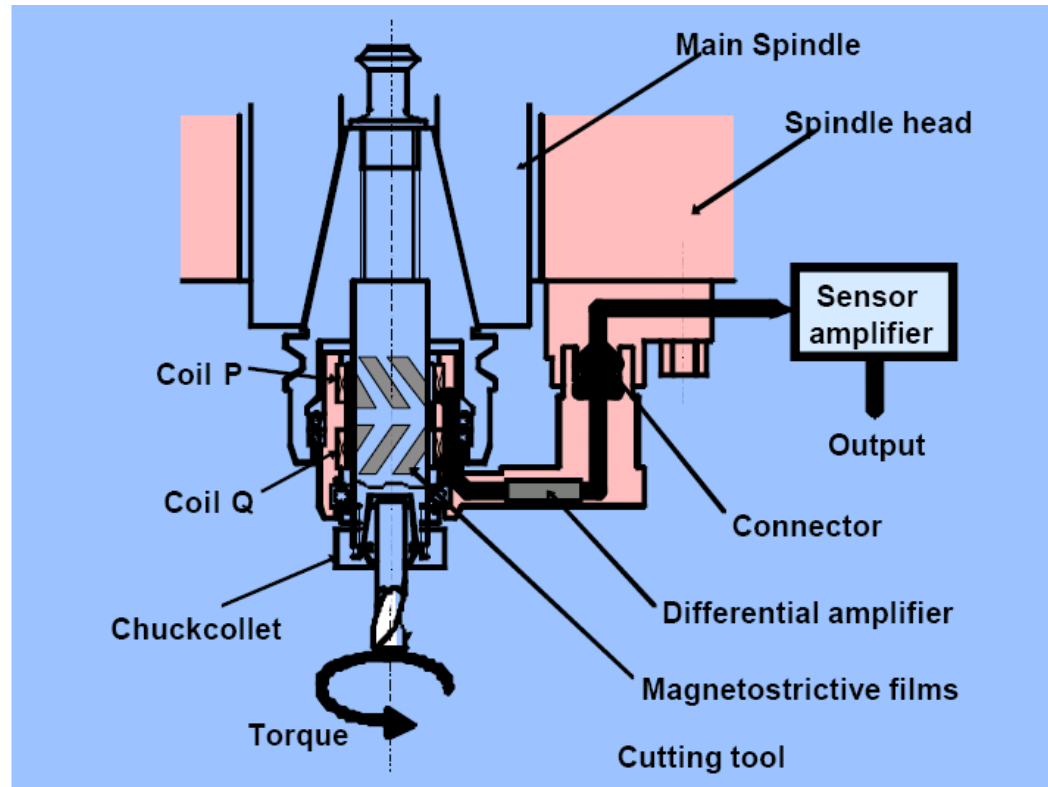


Sensor ring





Keio大學的旋轉軸的扭力感測計



Source: Keio University, Mitsubishi Materials

利用非接觸式的磁場感應方式來量測切削扭力，優點是結構緊湊，而且電子零件是做在轉動體外，因此可以承受高速旋轉，但缺點是靈敏度不佳；且由於體積較大，因此會加長刀具的延伸量(tool overhang)，因此會降低切削顫振的穩定性。



Kistler公司的旋轉切削動力計

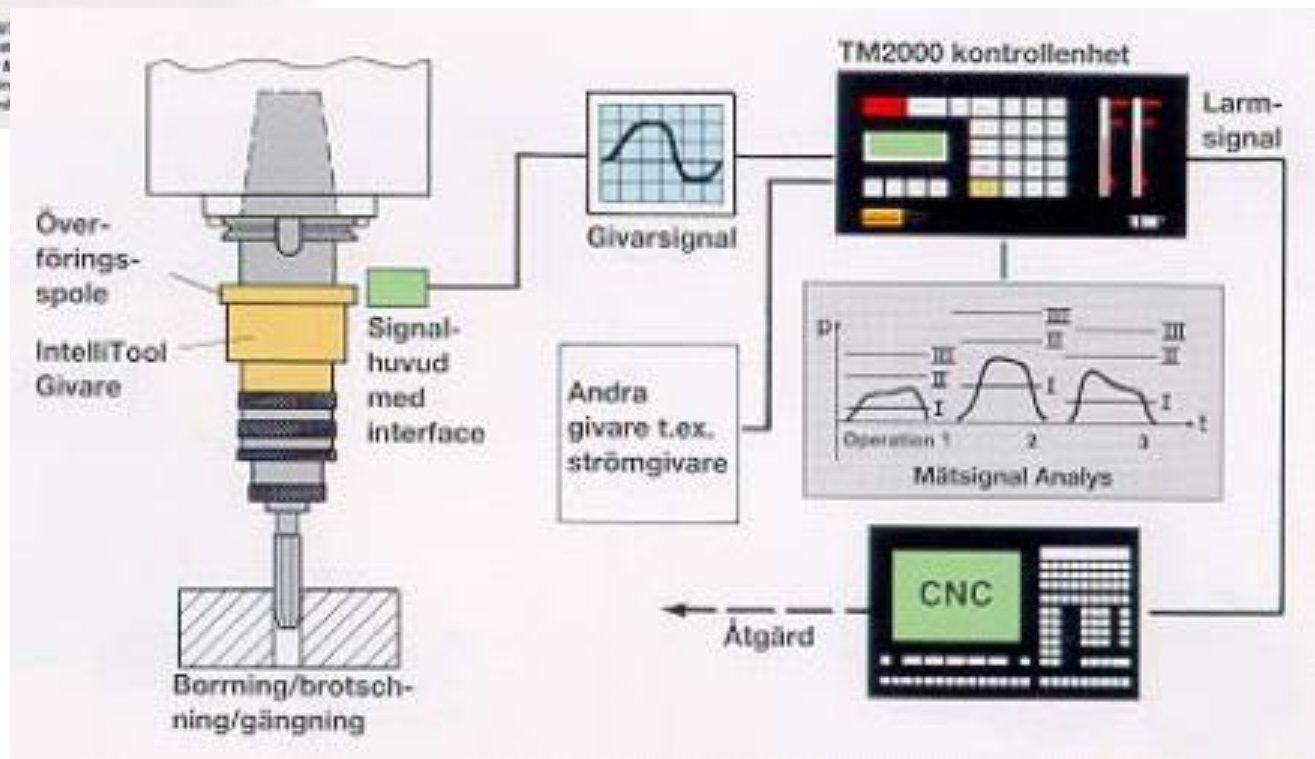
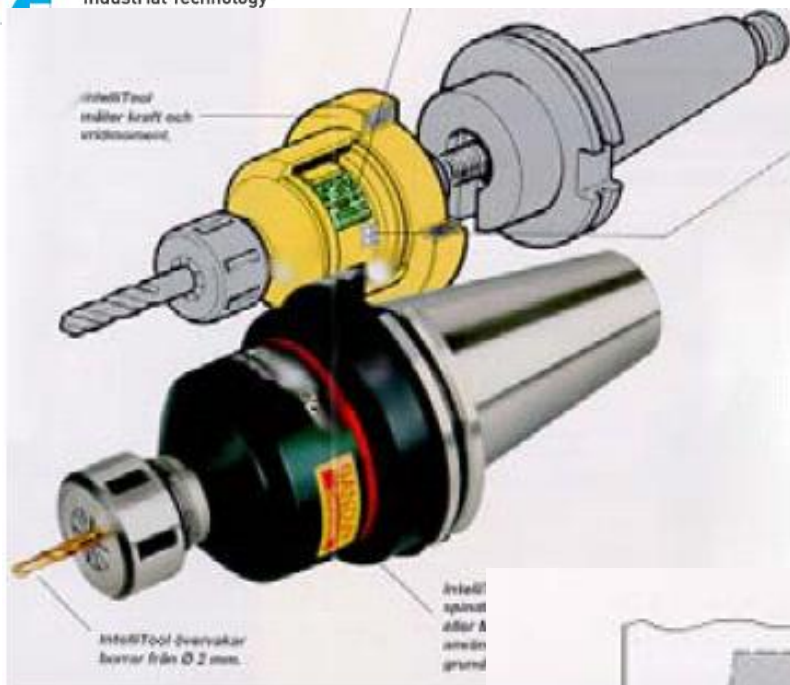


Maximum speed: 10000 rpm

Weight: 5Kg

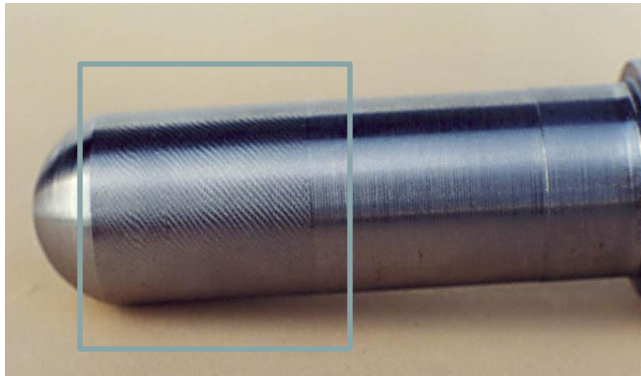
Price: > 100萬台幣/支

由電池驅動的壓電材料做力量量測，然後在利用電磁感應或紅外線感應原理和外界做通訊，具有高靈敏度之優點和由於構造複雜而且電子主動元件與電池做在轉軸內，無法承受高離心力，因此最高轉速只能到達10000rpm左右，由於體積較大，因此會加長刀具的延伸量(tool overhang)，因此會降低切削顫振的穩定性。

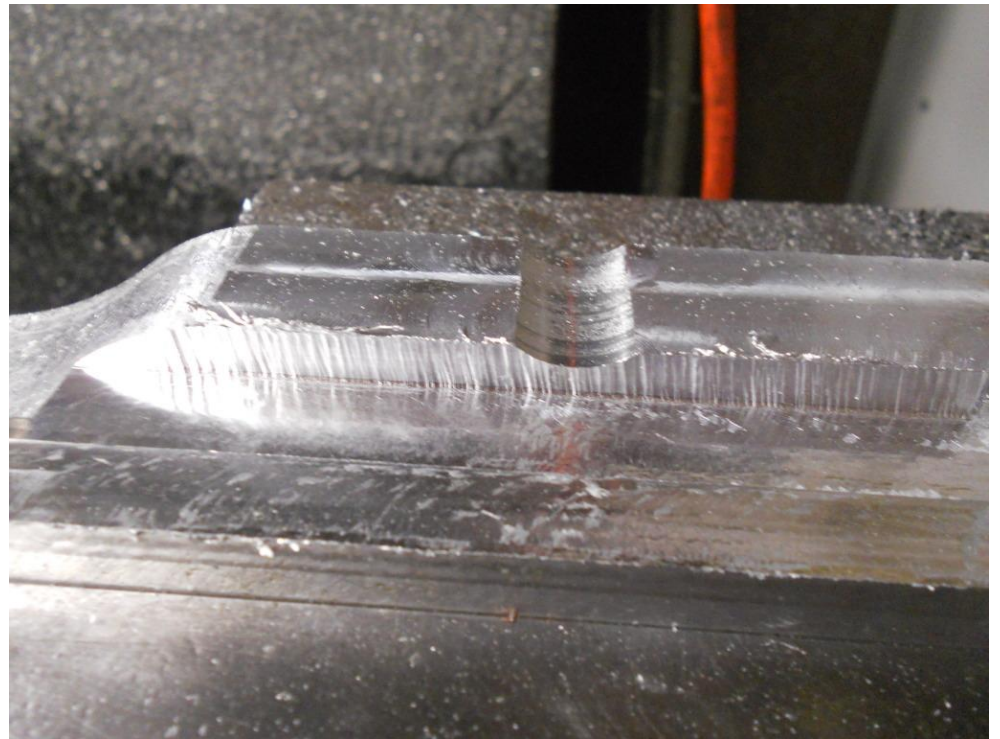




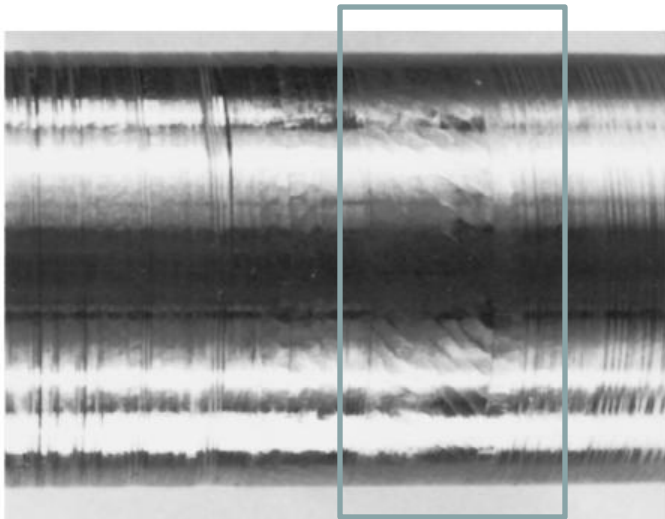
切削顫振紋路



車削顫振紋路



端銑顫振紋路

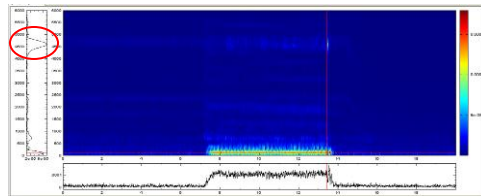




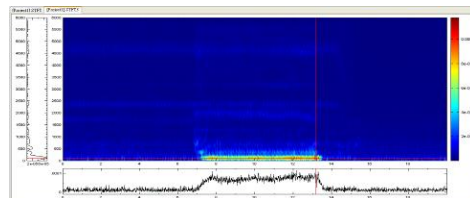
加工製程優化技術

- 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



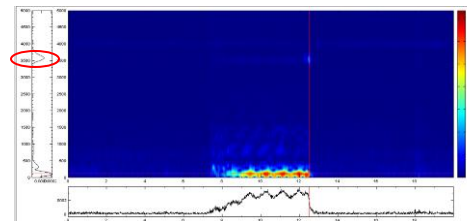
B5 (發生顫振)



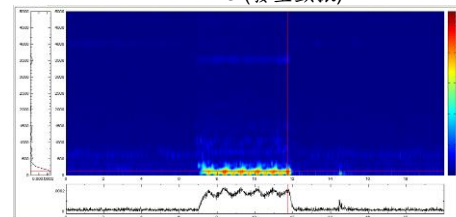
B2(無發生)

- 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)

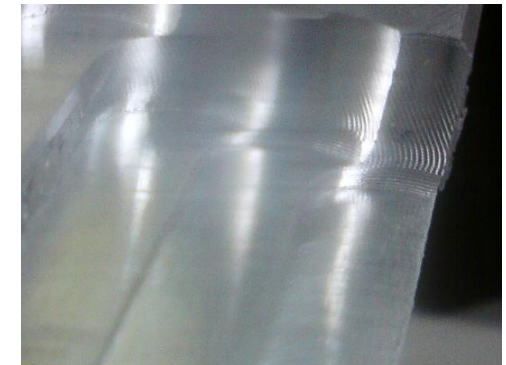


A7(無發生)

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。

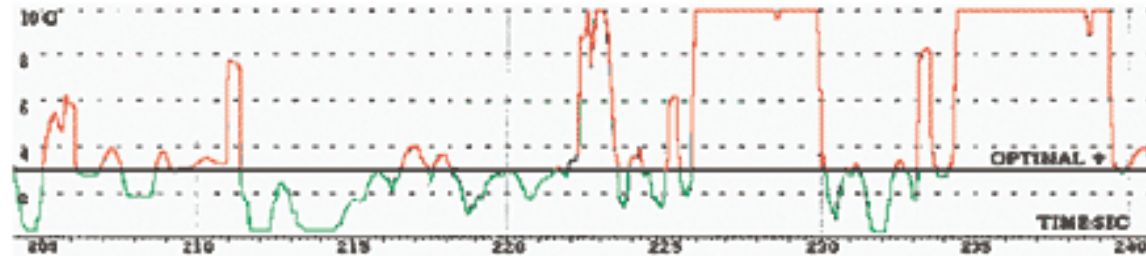




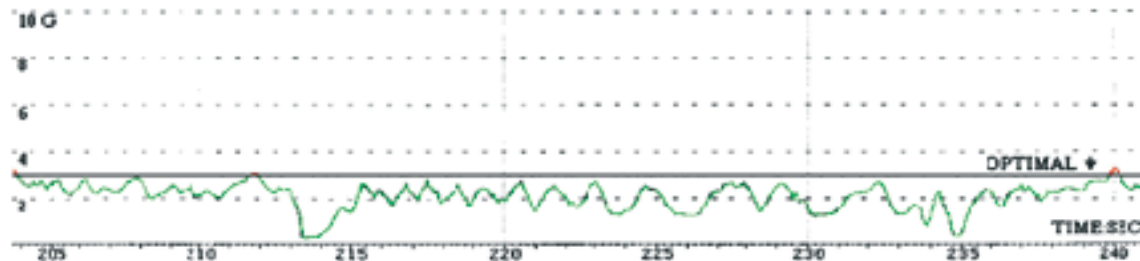
技術指標：

1、主軸振動抑制 $\leq 3G$

Before
optimization



After
optimization

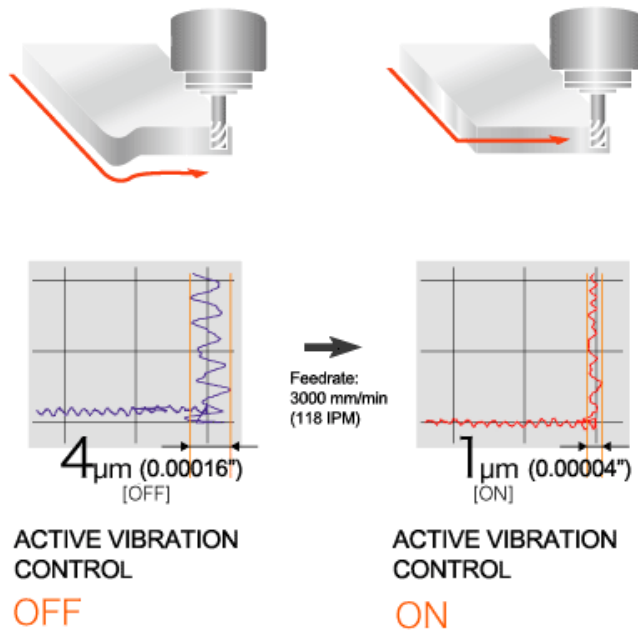


將主軸切削振動分為0-10G等級，0-3G表示良好與安全狀態（綠色指示），3-7G表示操作人員必須調整加工條件以避免縮短主軸壽命（黃色），7-10G表示必須立即停止否則主軸、刀具或刀具會造成損傷（紅色）



技術指標：

2、主軸振幅由 $4\mu\text{m}$ → $1\mu\text{m}$ (@FeedRate:3000mm/min)

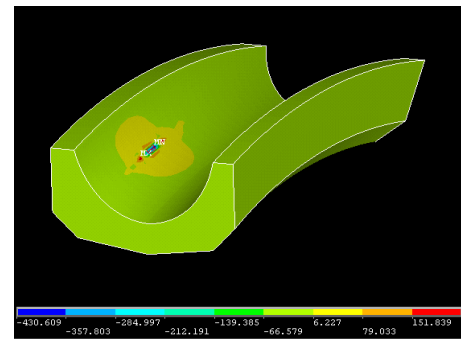
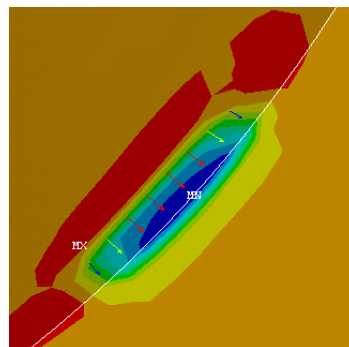
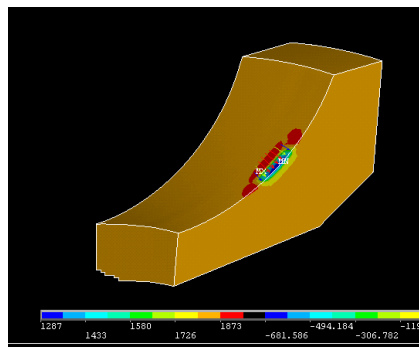


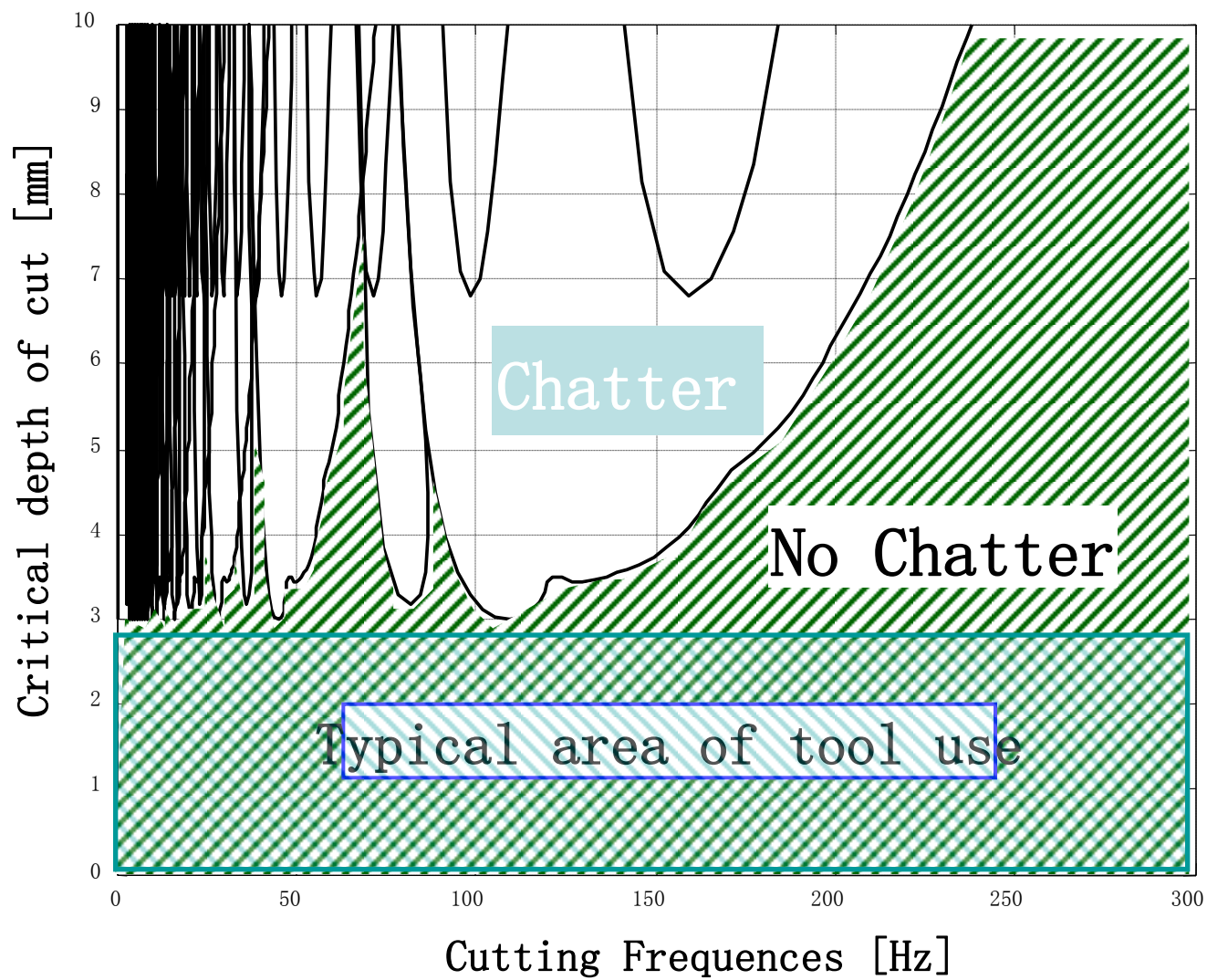
透過自動改變加工參數，達到顫振振幅抑制75% ($4\mu\text{m}$ → $1\mu\text{m}$)

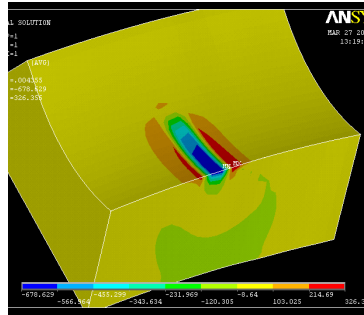


磨耗與切削資料庫(ANSYS)

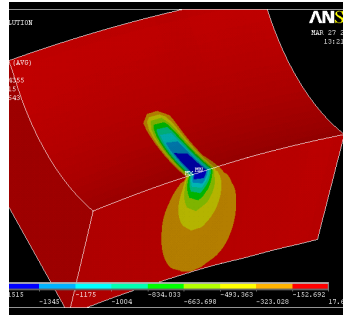
對於滾動接觸行為之探討，通常可以應用赫茲接觸理論（Hertz contact theorem）來描述鋼珠與接觸介面的一些接觸力量與變形關係，根據理論可知，當外力將兩接觸物相互擠壓時，接觸介面之變形量與外力形成非線性關係。因此，當接觸力增加時，兩物體間變形量變大而接觸介面勁度也會相對提高，此時整個系統的動態行為就有所不同。所以為了得到正確的動態反應，必須定義適當的介面勁度。有關Hertz接觸介面勁度計算的方法，利用接觸勁度可計算磨耗量。提案人可確切掌握磨耗分析技術



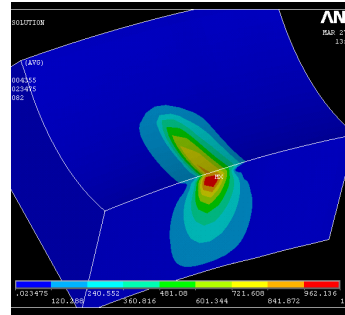




Max principal stress



Max compressive stress



Max Shear stress

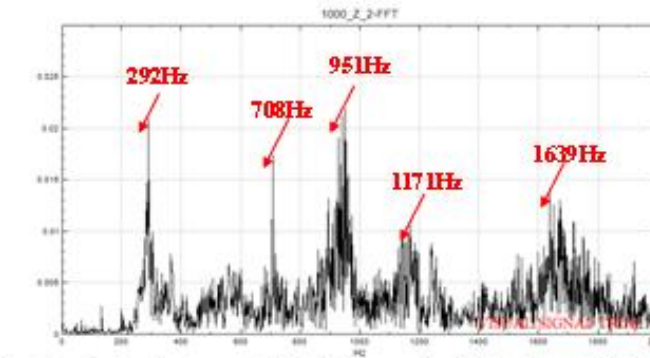
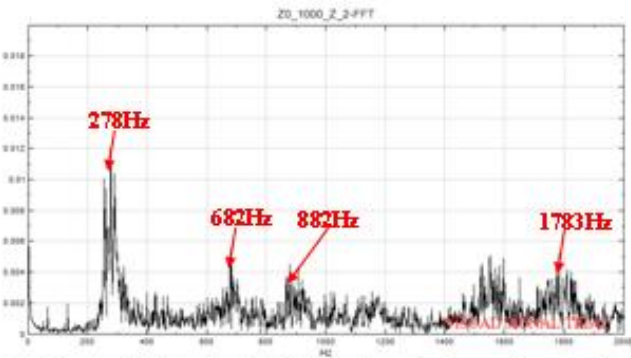
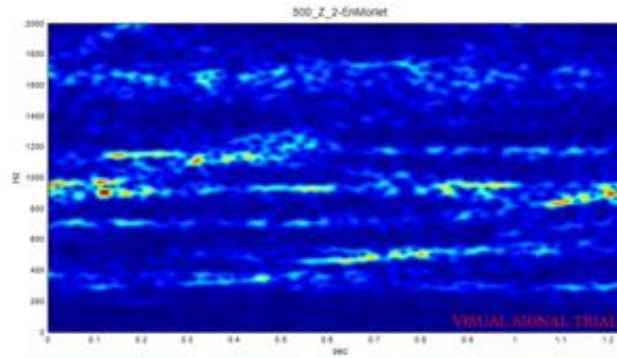
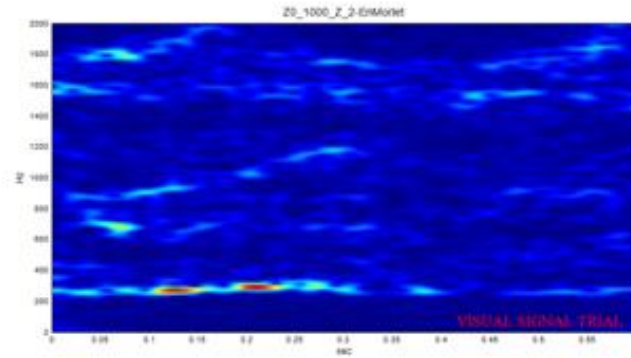
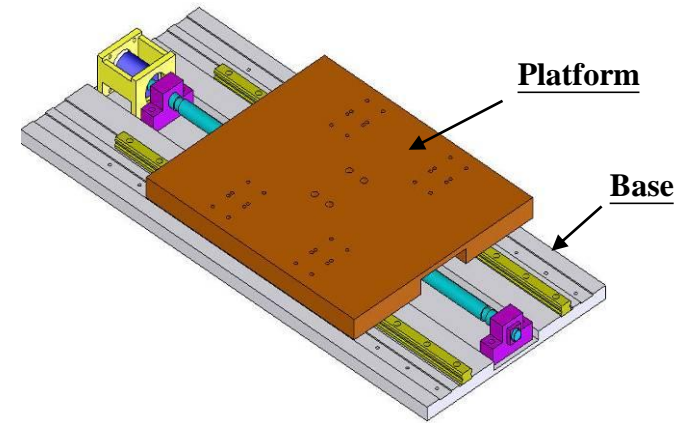
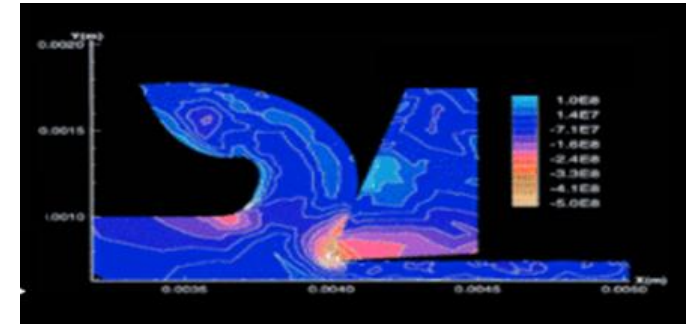
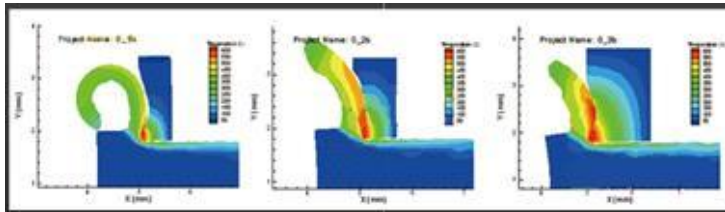


圖 2 進給平台在 Z 軸向 (上下) 之振動特徵 (左) 低預壓線軌 (右) 高預壓線軌 (轉速 1000RPM)



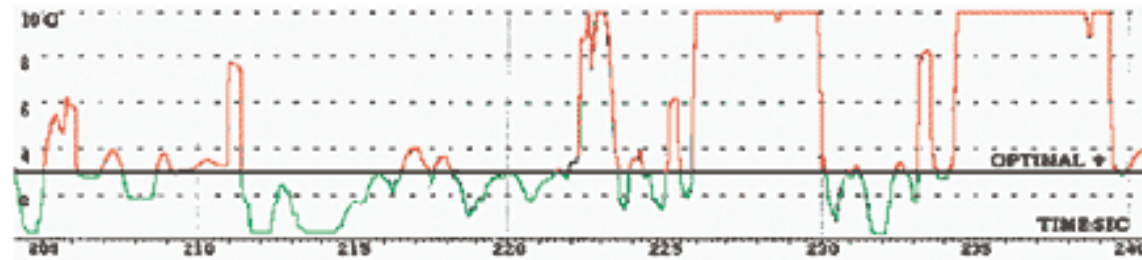
加工製程優化技術

技術指標：主軸振動抑制 $\leq 3G$

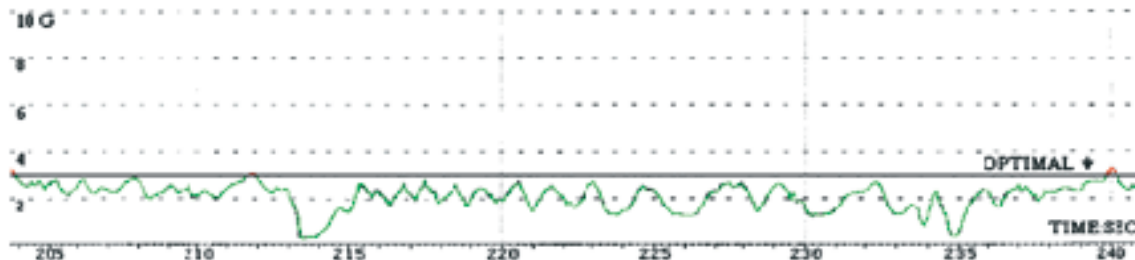


建構切削力學之有限元素模式(ANSYS)

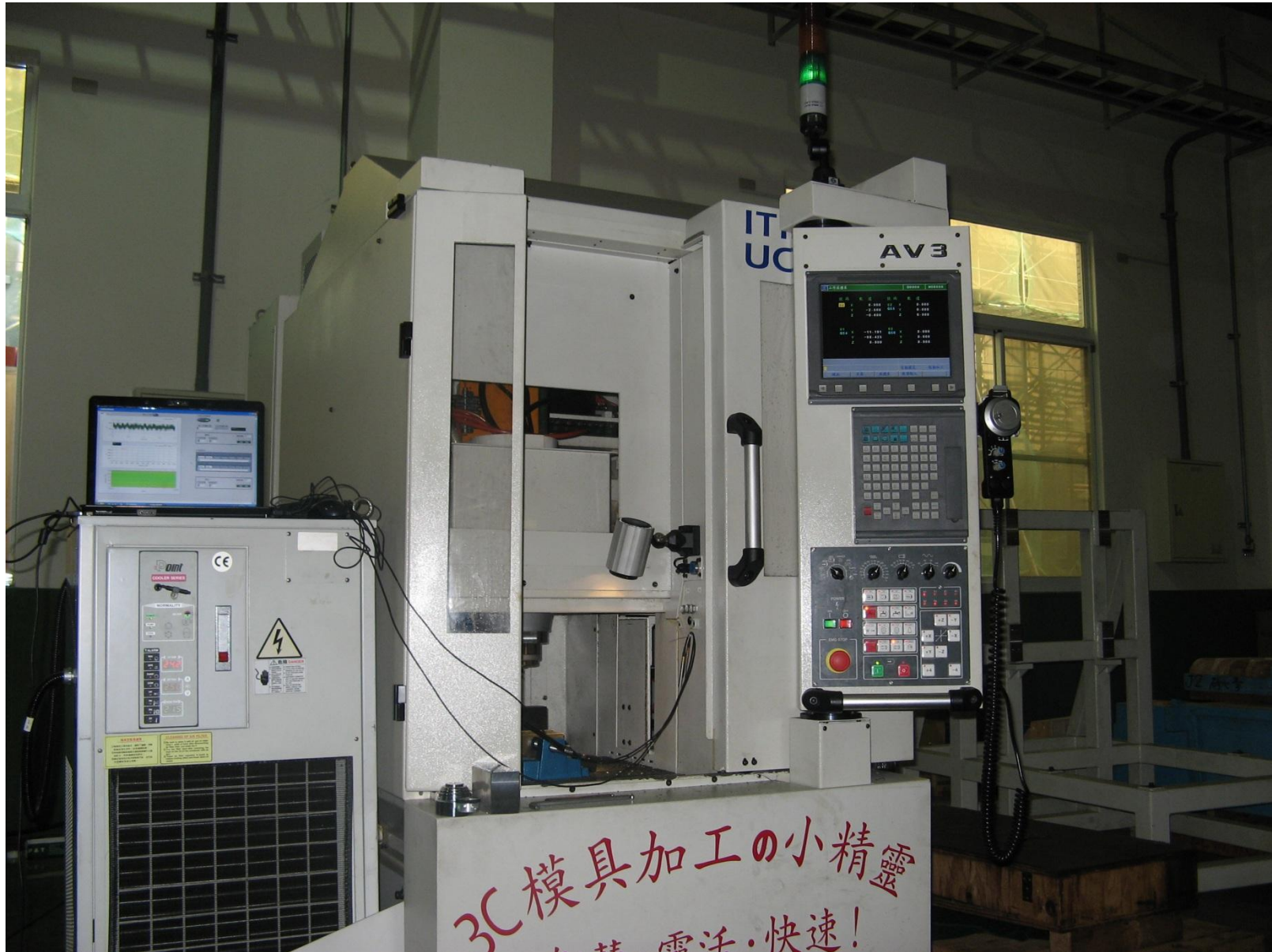
Before
optimization

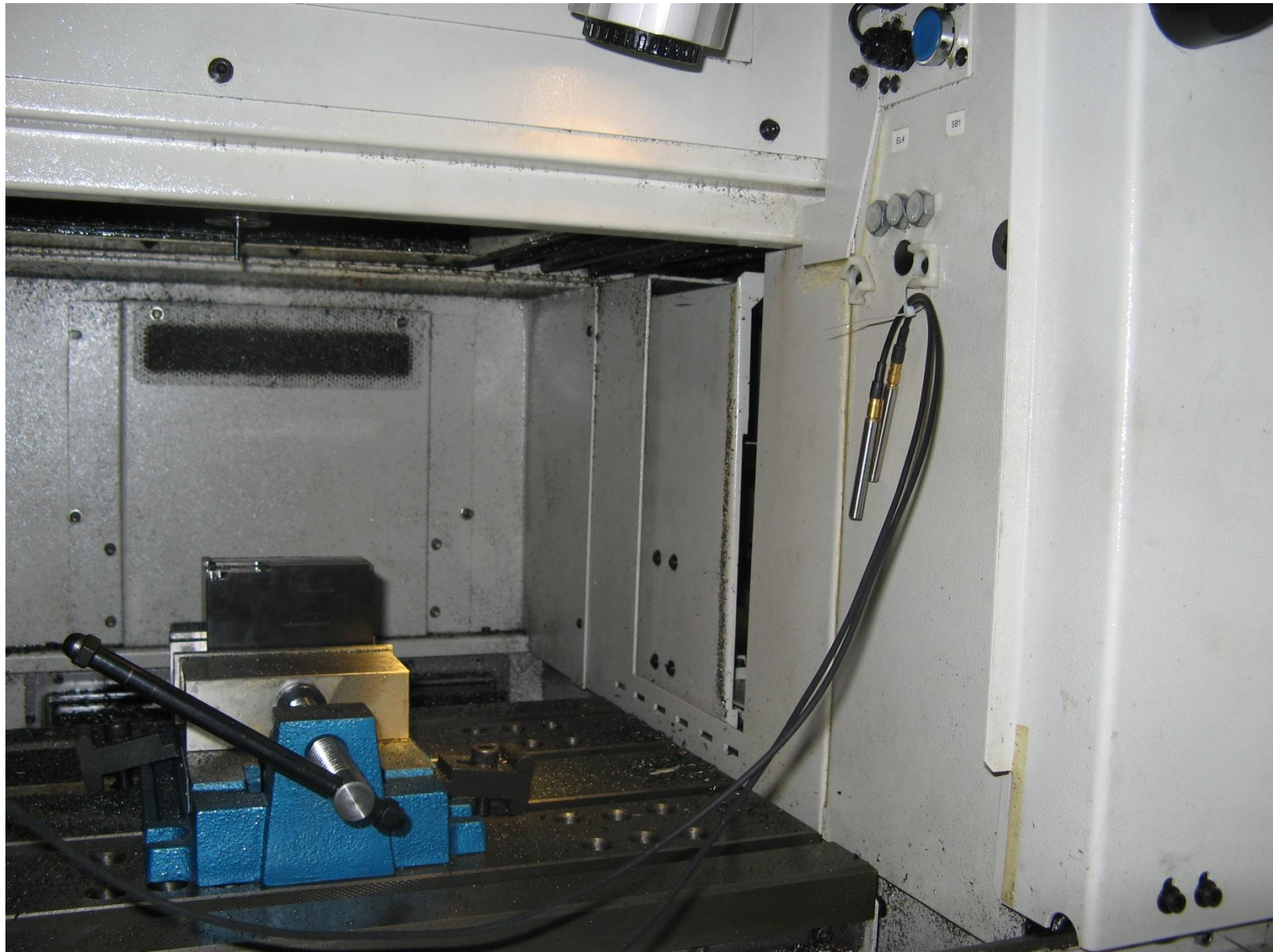


After
optimization



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）







切削聲紋頻譜監測

顯示 設定 停止分析

Sound Pressure

Pa

Time (sec)

Sound Pressure (FFT - (Peak))

Pa

Frequency (Hz)

Frequency (Hz)

Time (s)

步階控制開啓 7

最小持續秒數 2 目前持續秒數 0

轉速 總增量 10

步階增量 1 增量極限 20

4 3 2 1 0

FFT警戒值設定

Limit (Pa)

900.00m 900.00m inf inf inf inf inf

Frequency (Hz)

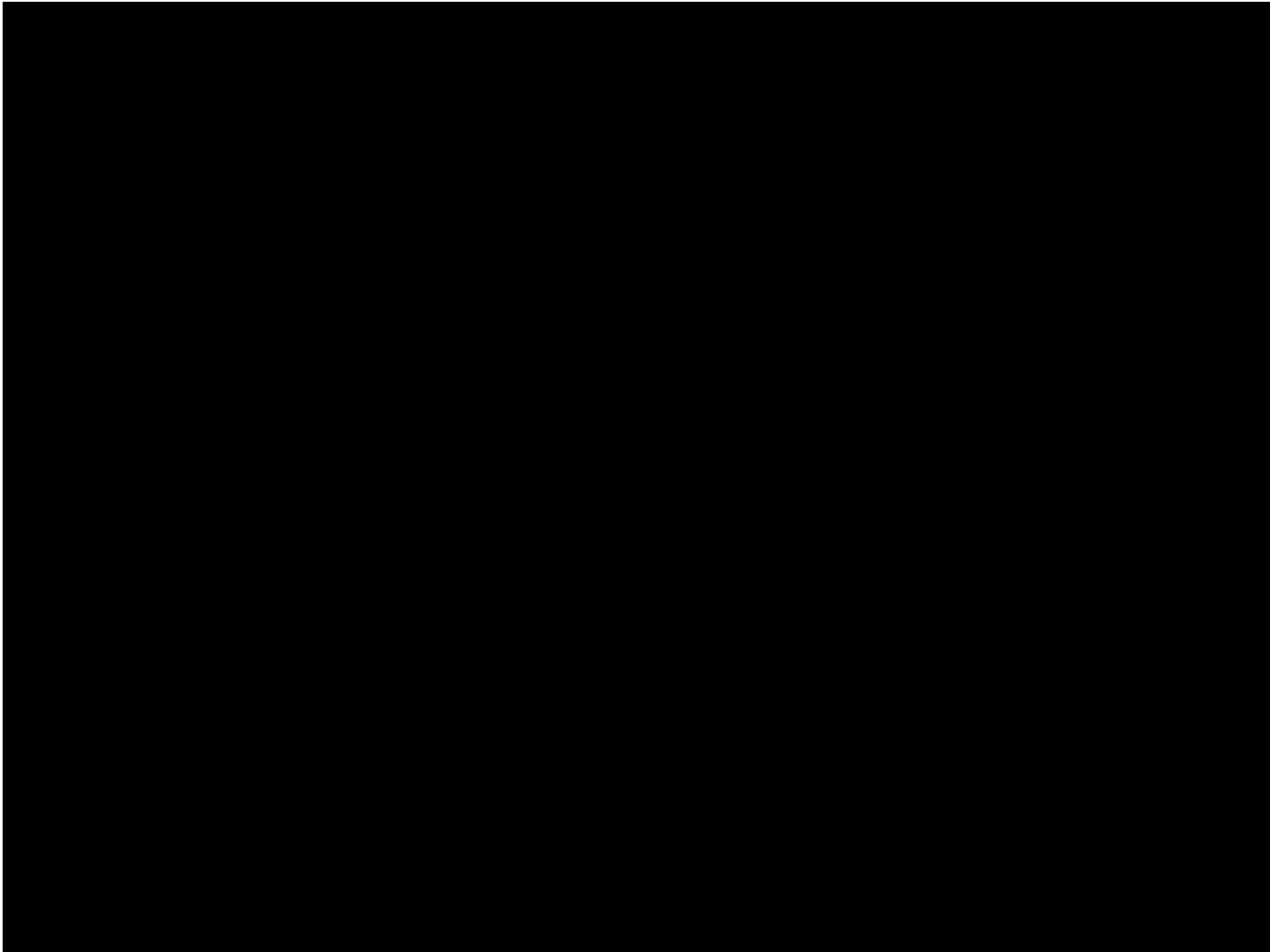
900.00 1.40k 12.80k 12.80k 12.80k 12.80k 12.80k

進給 總增量 10

步階增量 1 增量極限 20

4 3 2 1 0

開始 資源回收筒 切削聲紋頻譜監測 CH 上午 10:47





Thank you for your attention!