

整合物理模型與資料模型的 PdM/AI 電控設備平台

鄭宇翔, 蔡易霖, 余承翰, 吳柏鋒, 吳家明

蔡清雄博士 | 機電事業群

台達電子 3/30/2023

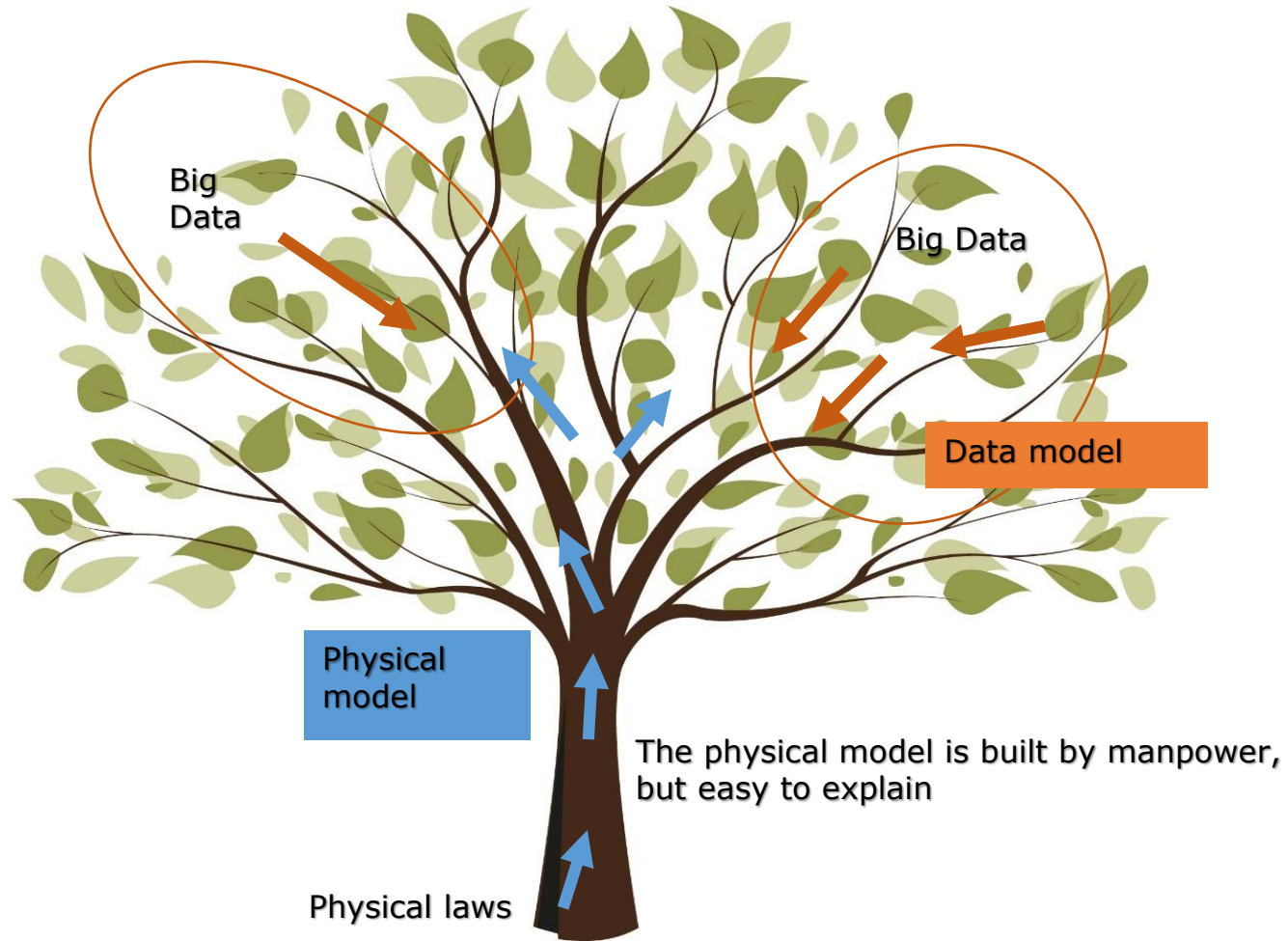


物理模型 與 資料模型

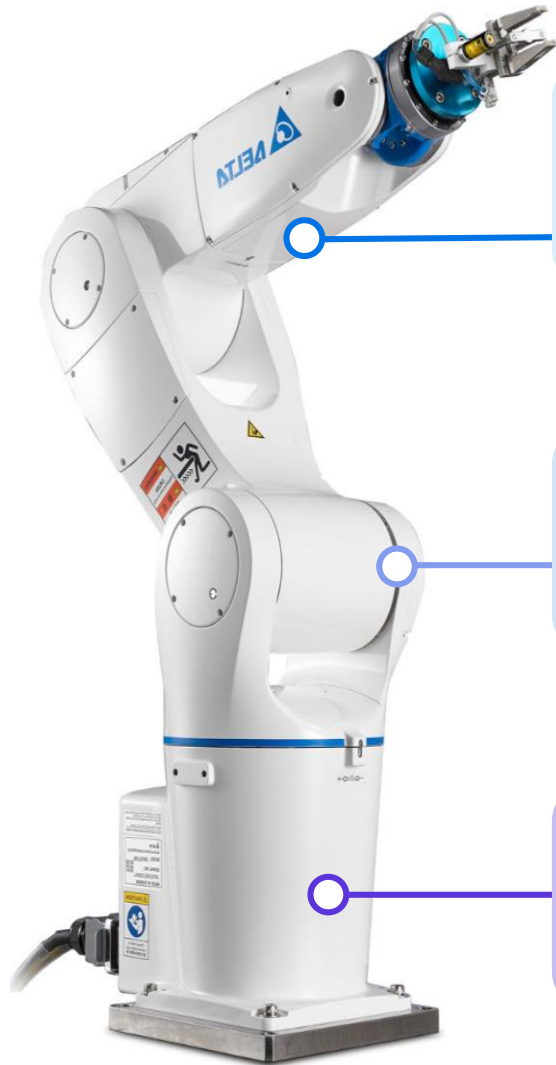
1. 物理與資料模型
2. 物理模型從樹根往樹梢發展, 需要知識, 需人力建模, 模型容易解釋
3. 資料模型從樹梢往樹根溯源, 需要數據, 可自動建模, 模型缺少解釋
4. 整合物理模型與資料模型於機台健康診斷

物理模型 與 資料模型

AI data model can be modeled automatically,
but lacks explanation



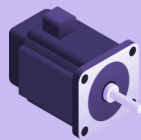
甚麼是物理模型？



$$\tau_s = J_\ell \frac{d\omega_\ell}{dt}$$

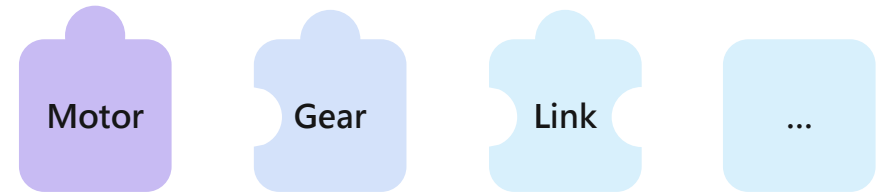


$$\tau_s = K_f \int \omega_m - \omega_\ell dt + C_f(\omega_m - \omega_\ell)$$



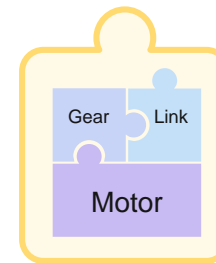
$$\tau_m - \tau_s = J \frac{d\omega_m}{dt}$$

任意機構可以用不同種類的傳動單元來組成。
各傳動單元均可以透過物理公式描述。

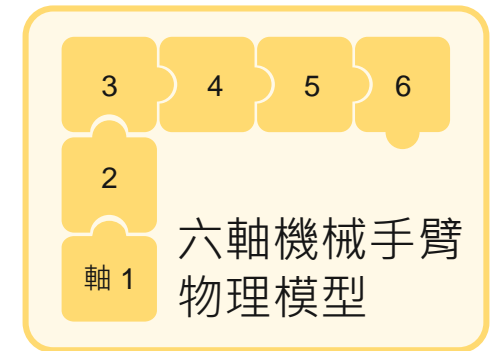


任意傳動機構物理系統

均可以由這些傳動單元的物理模型組合成。

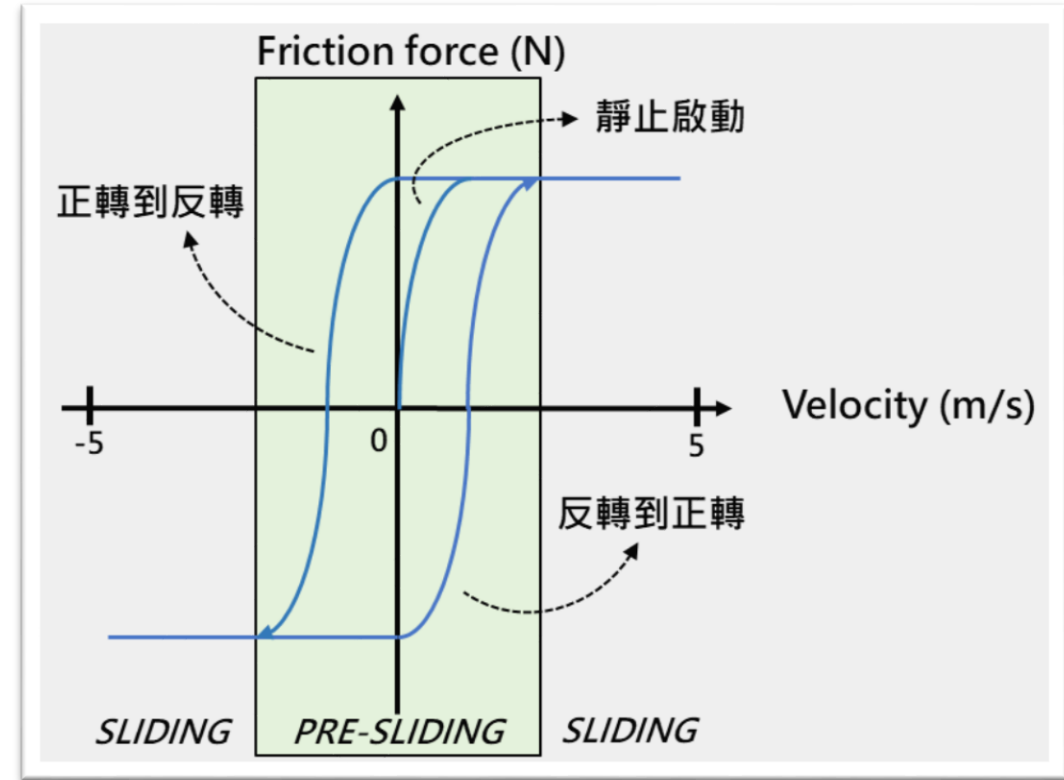
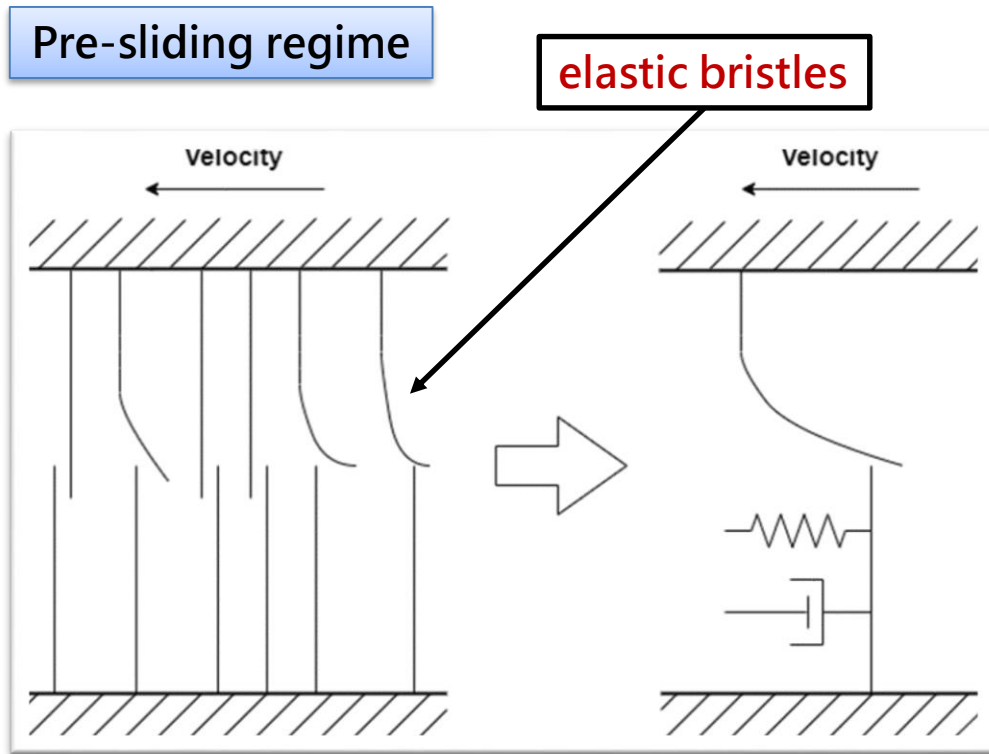


單軸

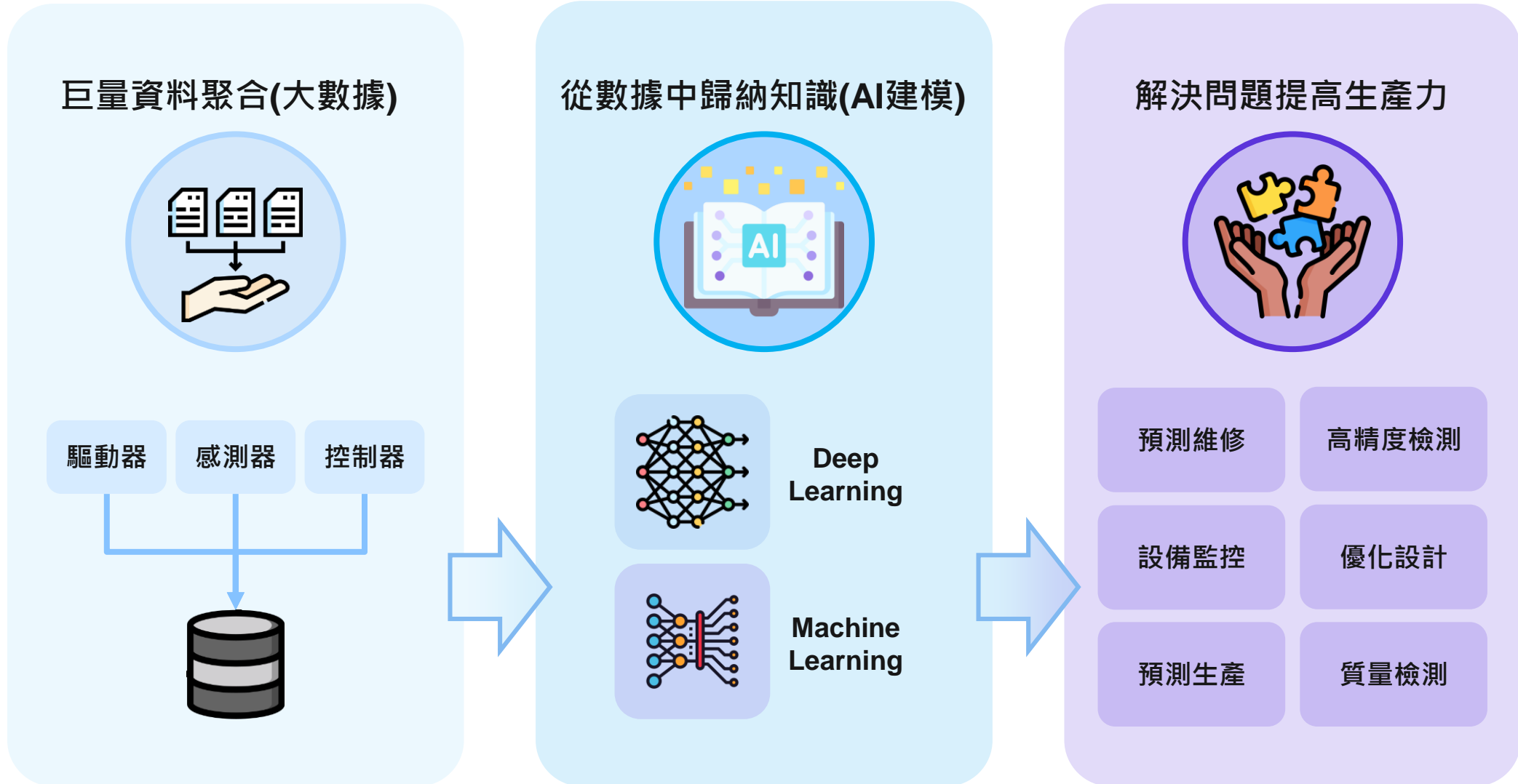


Example 物理模型: 摩擦力

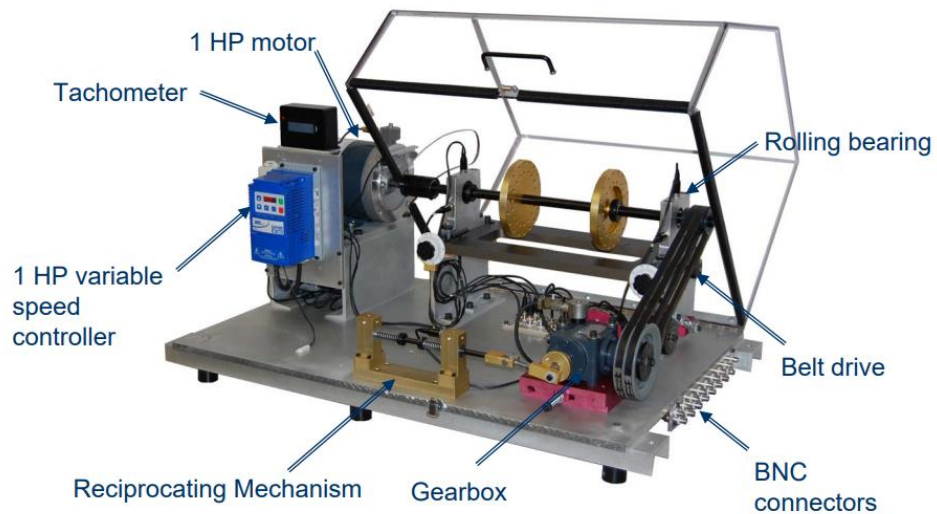
- 摩擦力是高精度加工中非常重要的物理現象
- 機床的摩擦行為是非線性的、複雜的和時變的，對運動控制的任何應用有重大影響(Lee *et al.*, 2015)



甚麼是資料模型？



Example 資料建模：機械故障類型



圖片來源: <https://spectraquest.com/>



機械故障資料

機械水平錯位資料

機械垂直錯位資料

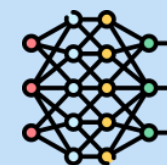
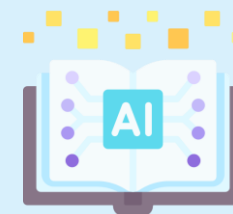
機械齒輪斷齒

機械皮帶張力不足

機械負載不平衡

AI模型(資料模型)

機械故障分類



Deep Learning



Machine Learning

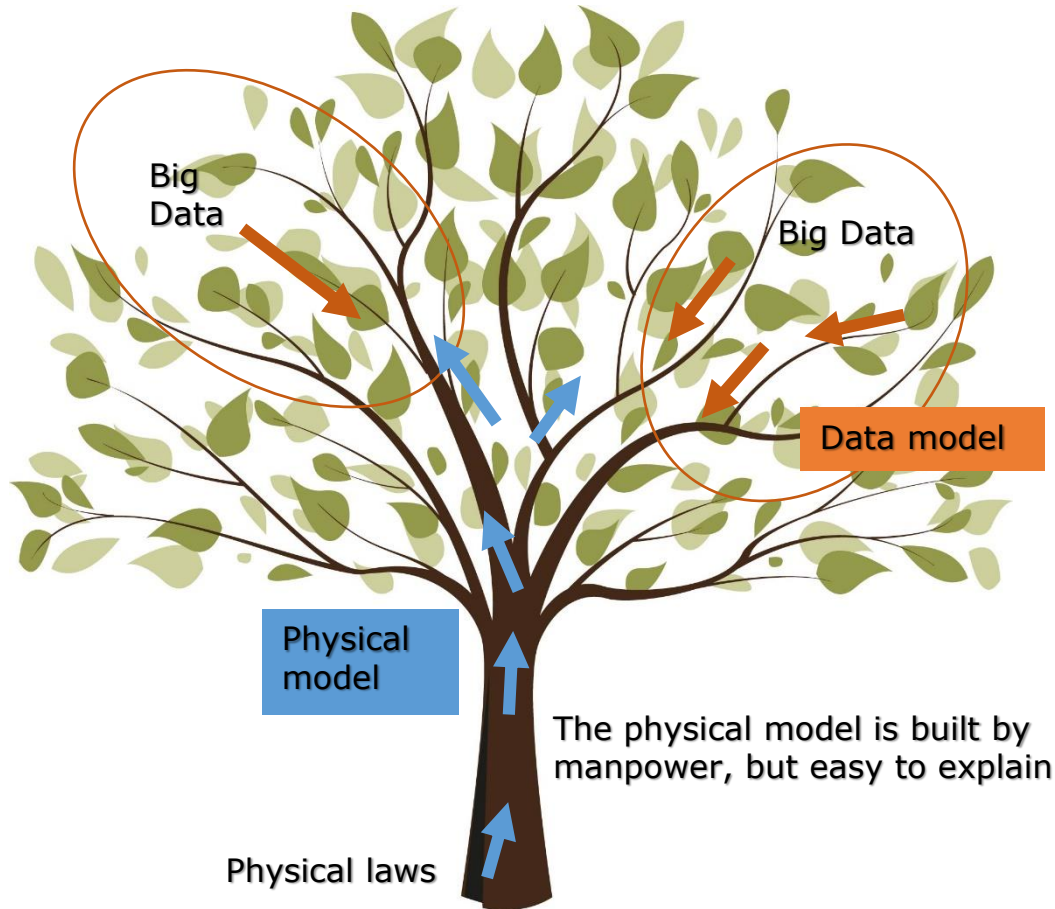
推論
故障類型

PdM combine physics and data model



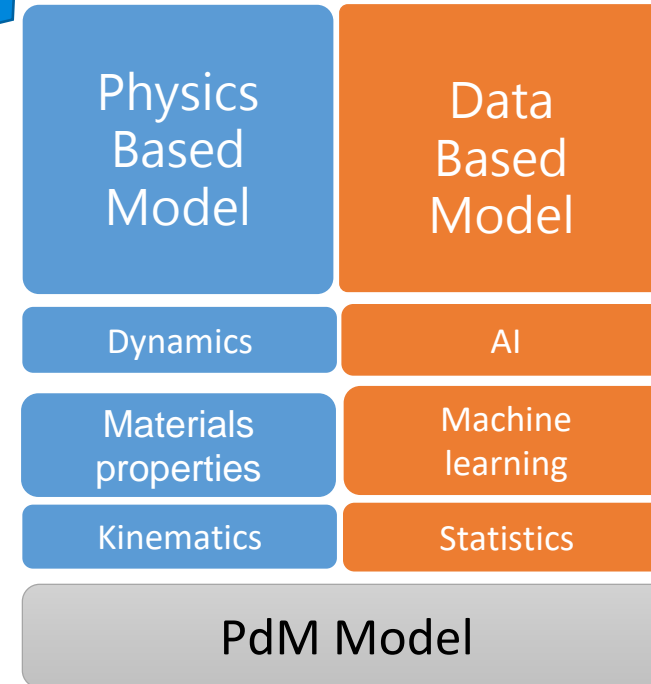
AI data model can be modeled automatically, but lacks explanation

Benefits: Less computing resource
better predictive accuracy



Domain Knowledge

Big Data

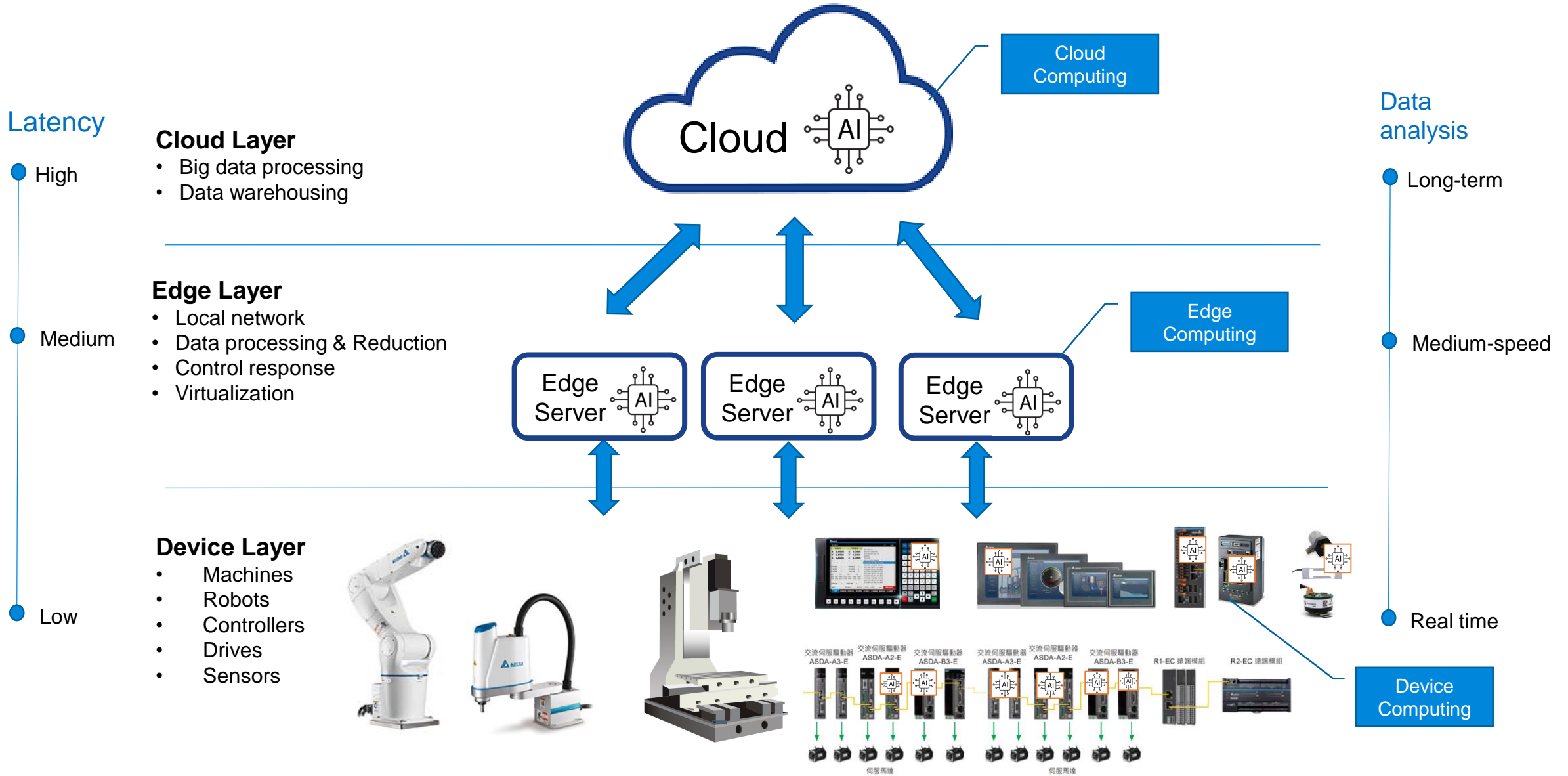


PdM : Predictive maintenance

應用架構

1. 集中式運算架構(Cloud 或 Edge Computing)
2. 分算式運算架構(Smart Device)
3. 如何實現分散式 PdM/ AI運算架構

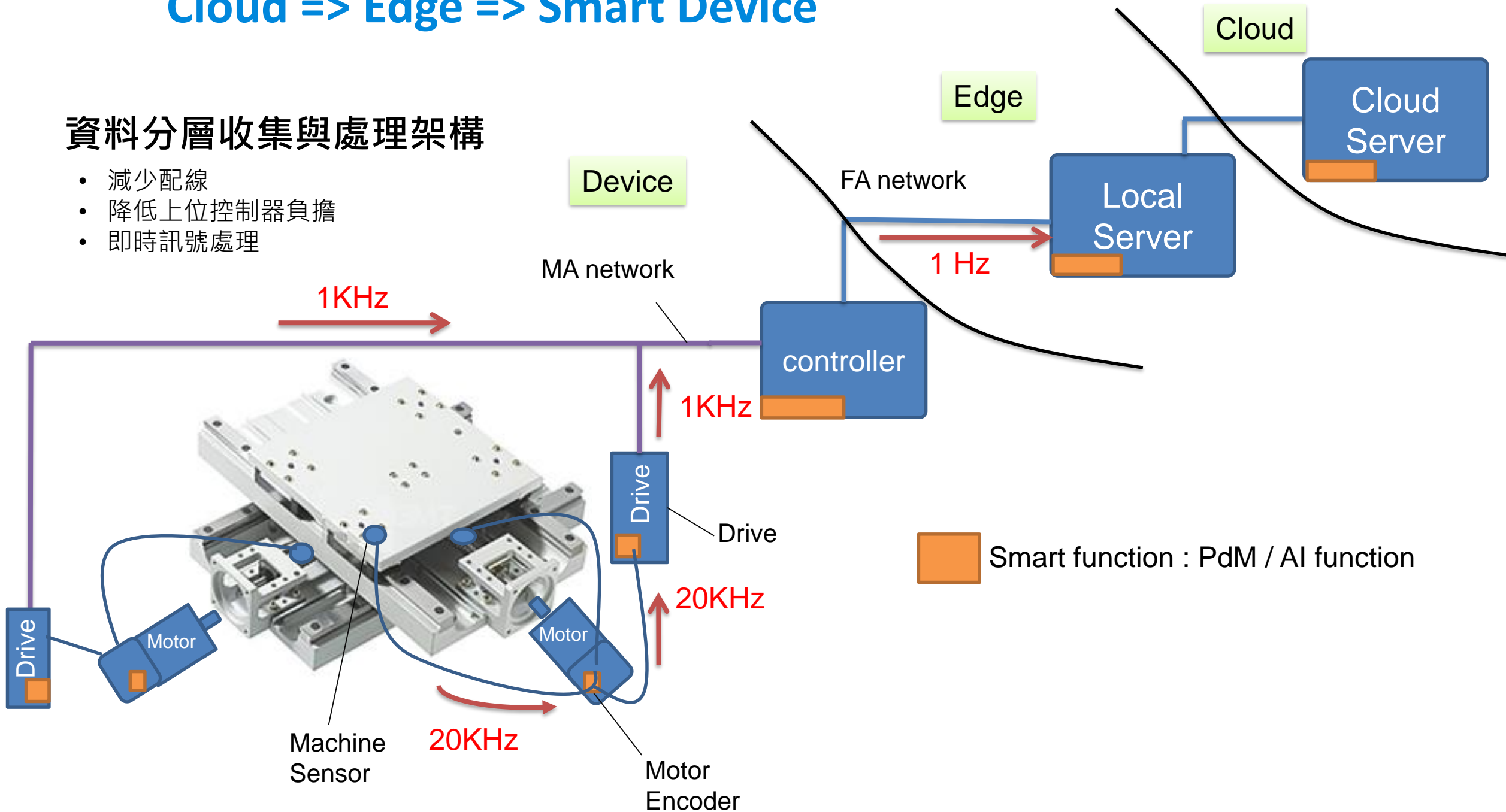
Cloud / Edge / Device



Cloud => Edge => Smart Device

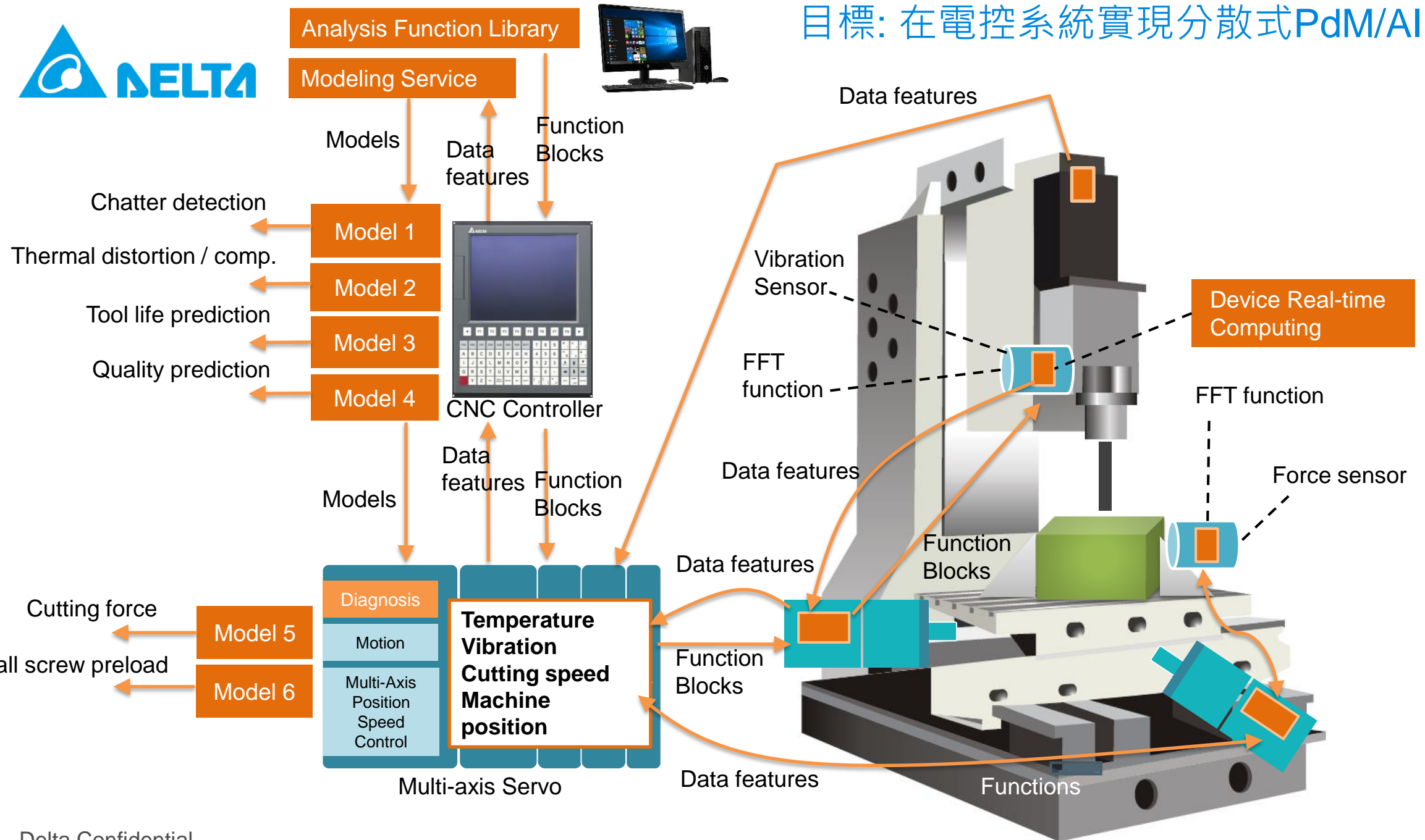
資料分層收集與處理架構

- 減少配線
- 降低上位控制器負擔
- 即時訊號處理

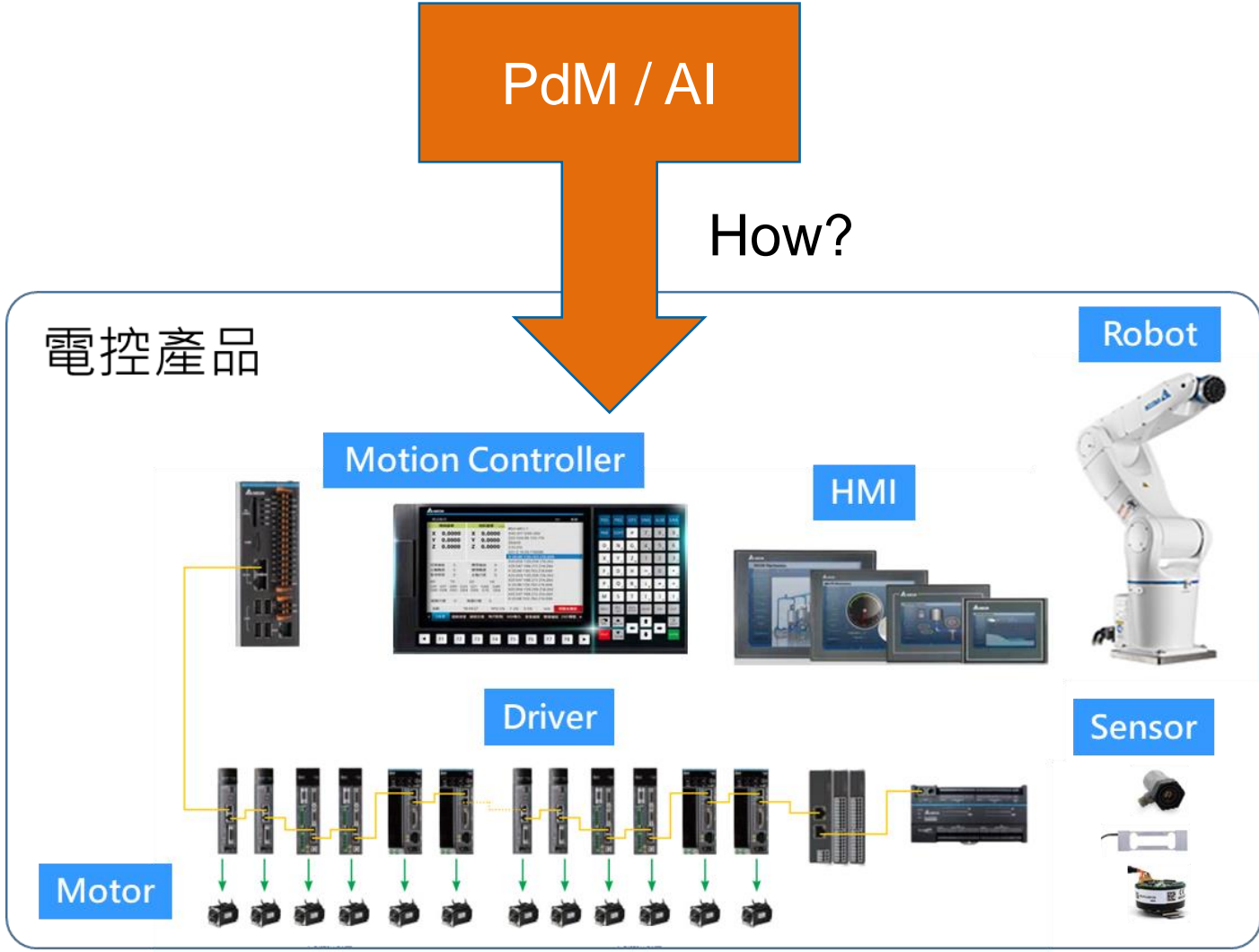




目標: 在電控系統實現分散式PdM/AI 運算

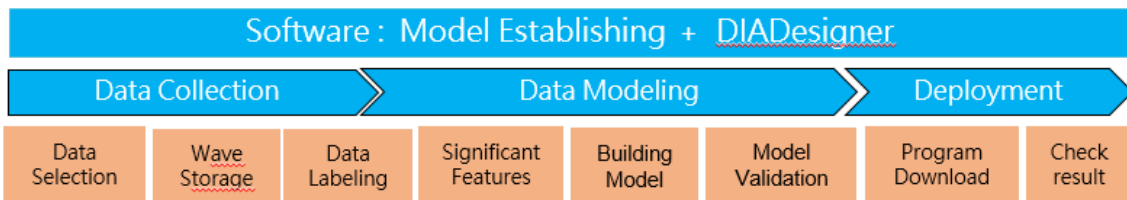


如何放入PdM / AI 功能到 Devices ?

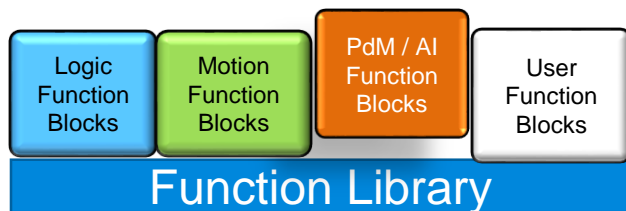


電控產品配置二次開發平台

軟體



功能庫



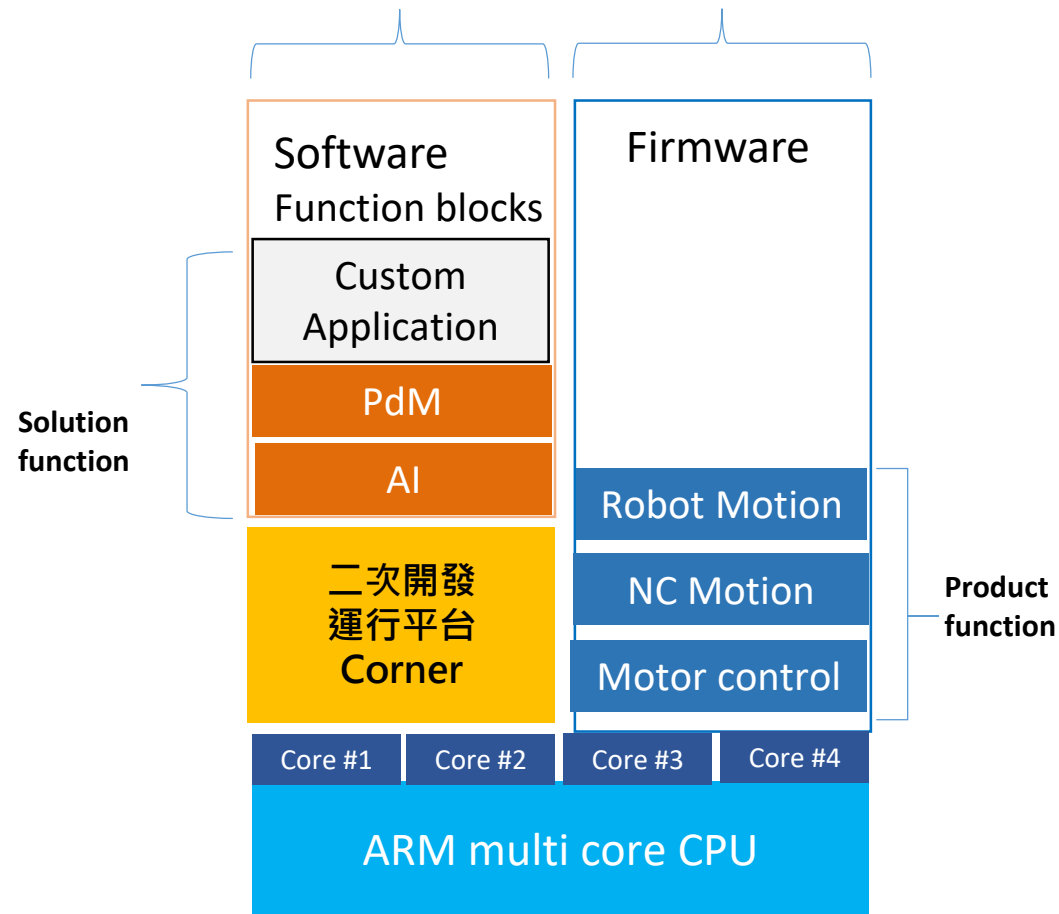
平台



產品

Solution function

Product function



產品裝置 CPU

PdM /AI Platform : Functions by Software and on-line work

PdM / AI data flow Design



Download AI / PdM function



Work on-line

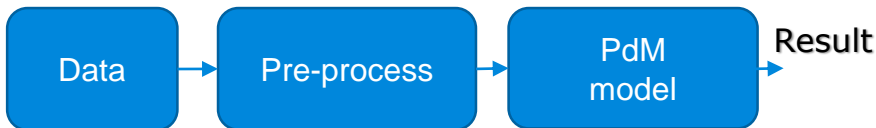
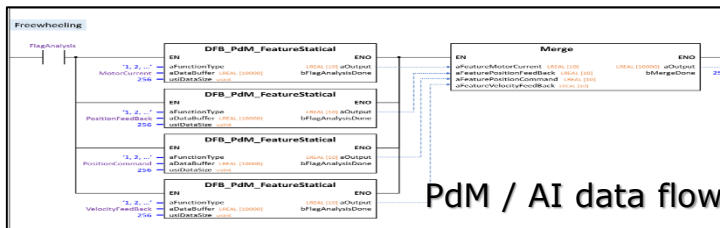
1. Easy to customize
2. Low codes
3. Shorten development time.



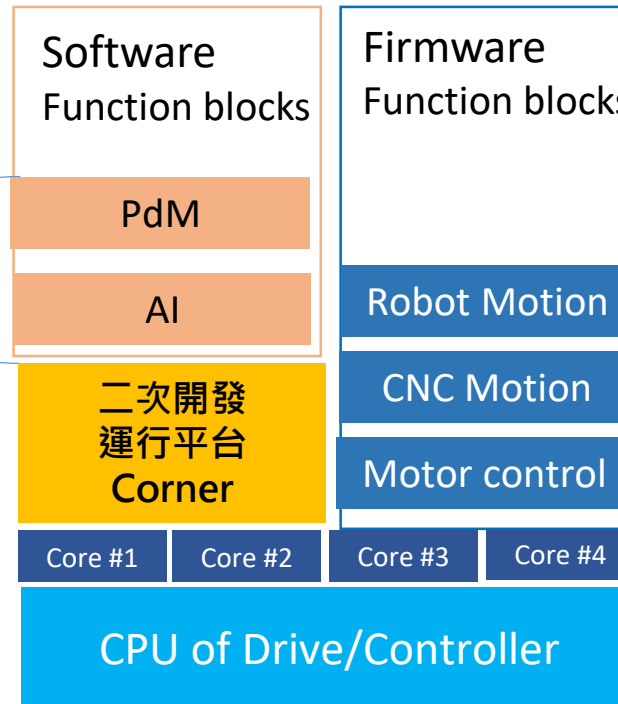
功能佈建

Providing during machine operation:

1. Equipment diagnosis
2. Quality prediction
3. Parameter optimization



Solution function



Product function



如何加速導入PdM / AI 於電控系統



預建功能塊 加速功能實現 (減少編程)

內建資料

1. 馬達位置(編碼器位置)
2. 馬達速度
3. 馬達電流
4. 馬達輸入電壓
5. 運動命令

預建功能塊

	數學函數
	頻域分析
1	FFT
2	Order Spectrum
3	Kurtogram
	統計類
1	Mean
2	Root Mean Square
3	Root
4	Standard Deviation
5	Skewness
6	Kurtosis
7	Shape Factor
8	Crest Factor
9	Impulse Factor
10	Clearance Factor

預建 機械診斷

模型

物理模型	摩擦力分析 齒隙分析 皮帶張力分析 機構模型參數迴歸 軸承故障診斷分析
------	---

預建 AI 功能

模型

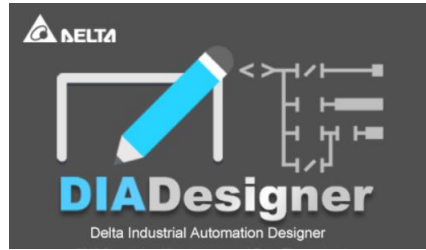
機器學習 (scikit-learn)	Linear regression, Logistic regression, KNN, SVM, Decision Trees, Random Forest, XGBoost, K-means, Isolation Forest, OneClass SVM
深度學習 (TensorFlow, PyTorch)	DNN, CNN, 1DCNN, RNN, LSTM, GRU

資料

預處理

物理模型 & AI模型

快速 AI 功能實現



AI Inference Subsystem

Function Planning Software

Model Establishing Software

Solution function

Product function

Software Function blocks

Firmware Function blocks

Custom Application

PdM

AI

二次開發
運行平台
Corner

Robot Motion

NC Motion

Motor control

Product function

Core #1

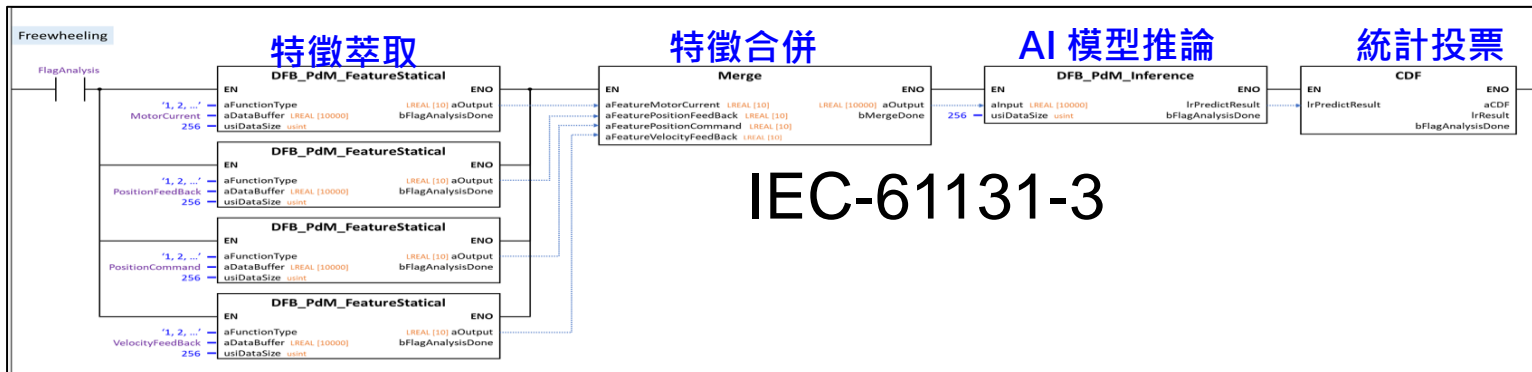
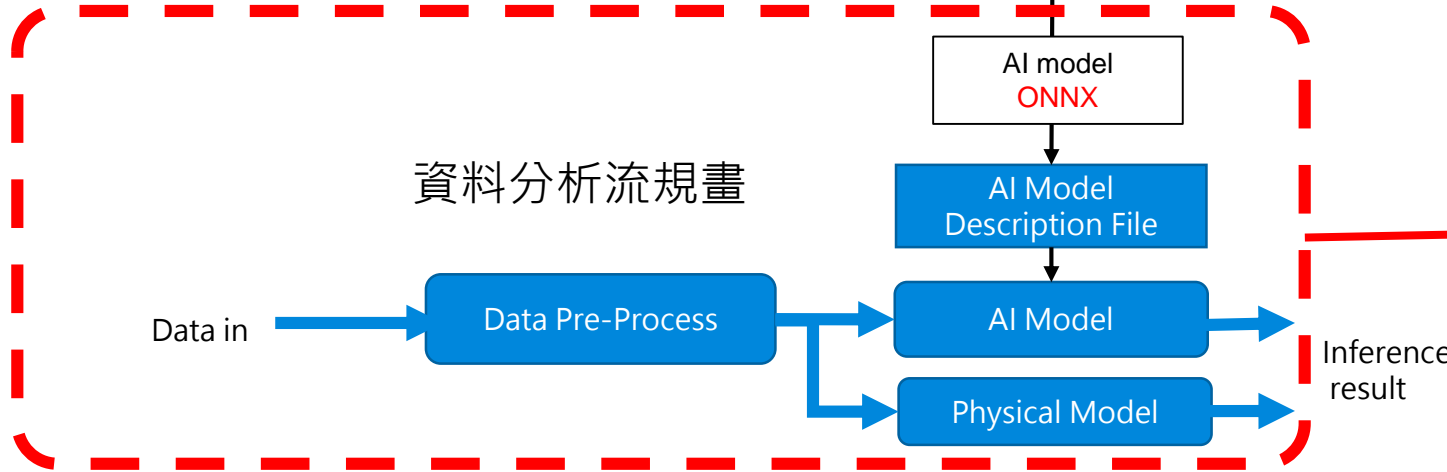
Core #2

Core #3

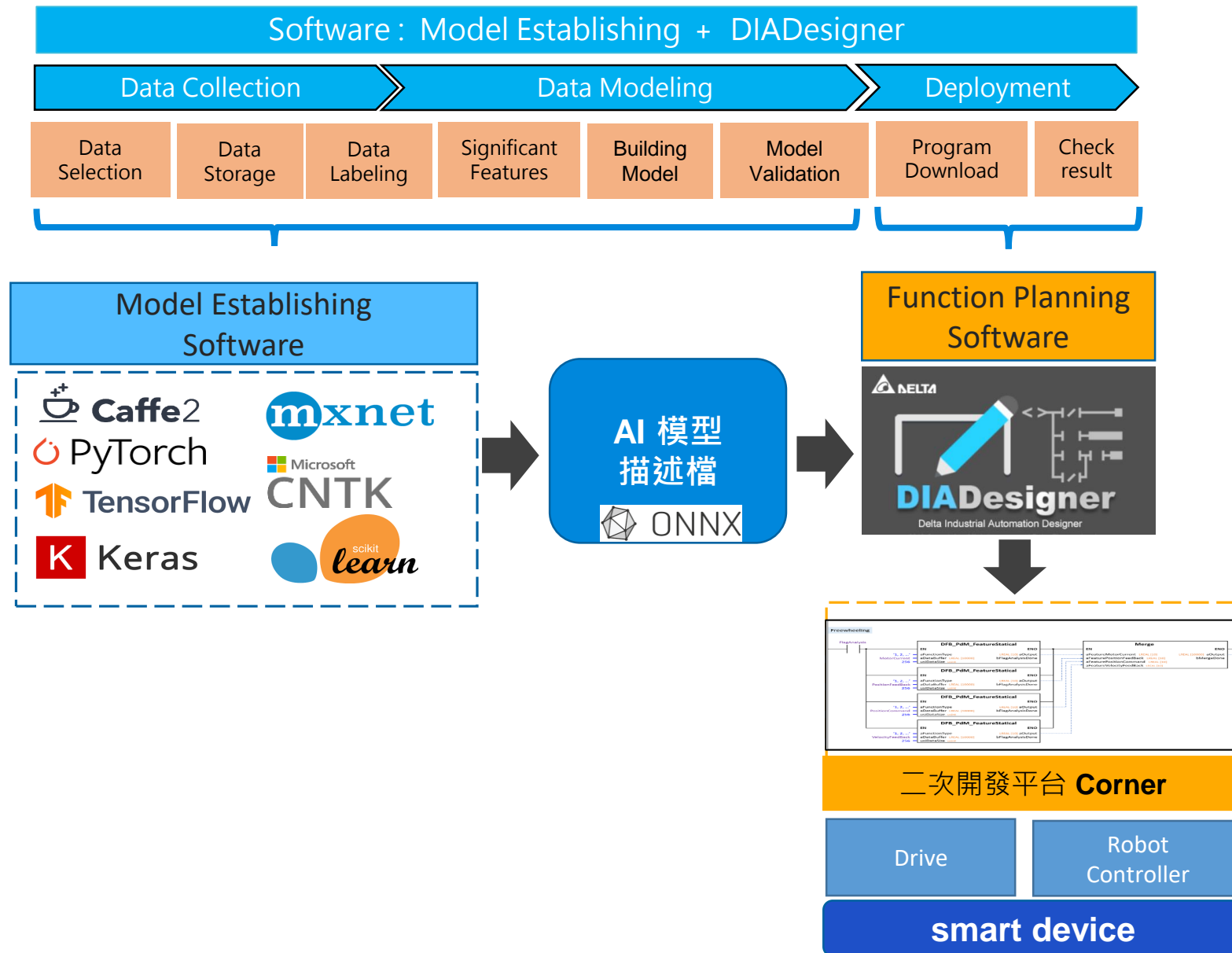
Core #4

ARM multi core CPU

產品裝置 CPU



以ONNX 作為Smart Device載入AI 模型的格式

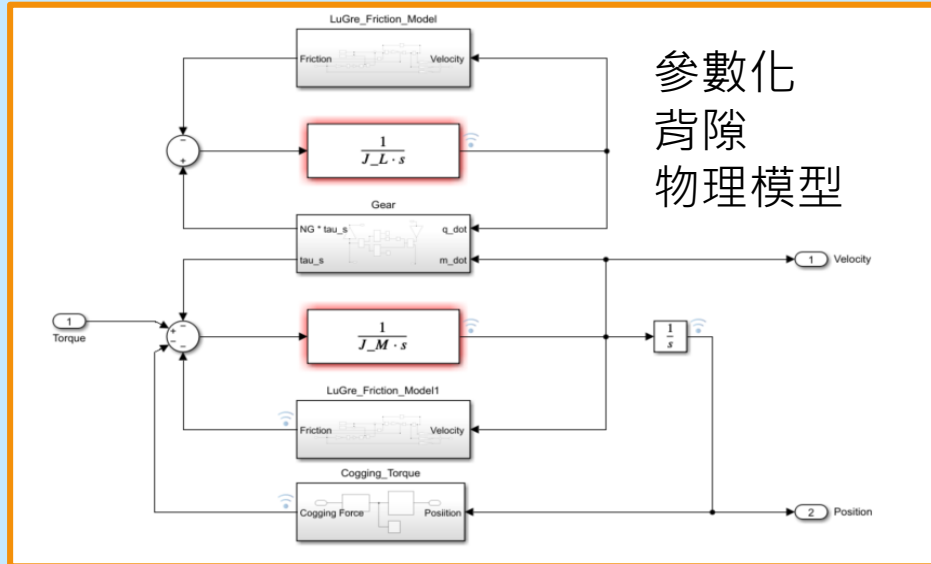
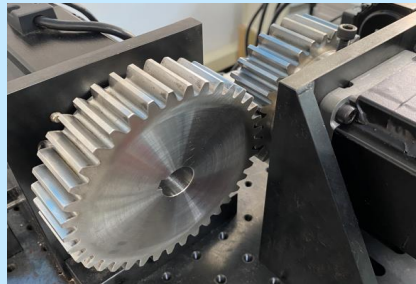


AI 模型學習物理模型大數據

齒輪背隙物理模型 (大數據產生器)

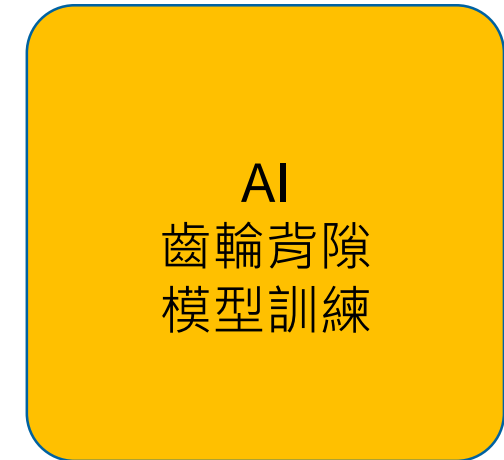
各種操作條件

馬達位置
馬達轉速
馬達電流



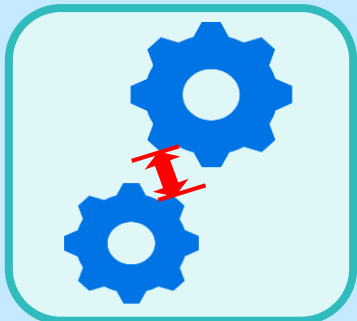
參數化
背隙
物理模型

模擬
背隙大小

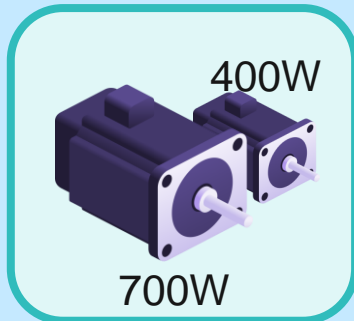


預測
背隙大小

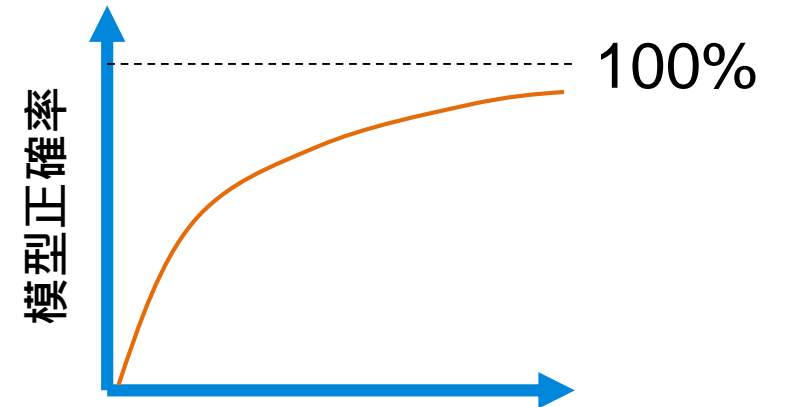
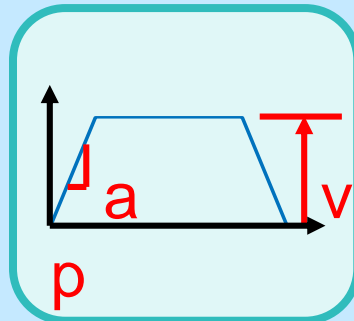
不同齒輪/背隙大小



不同大小馬達



不同軌跡命令

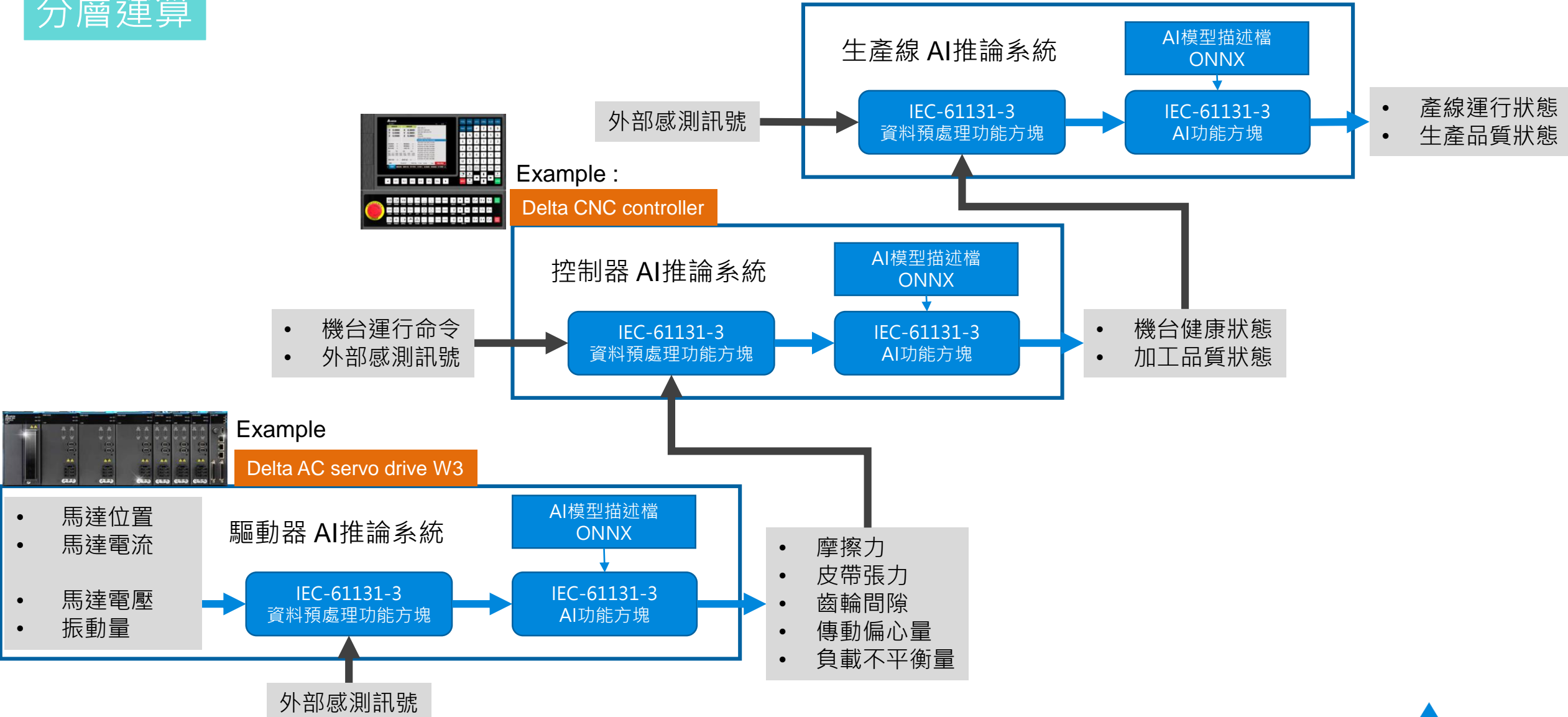


訓練資料量

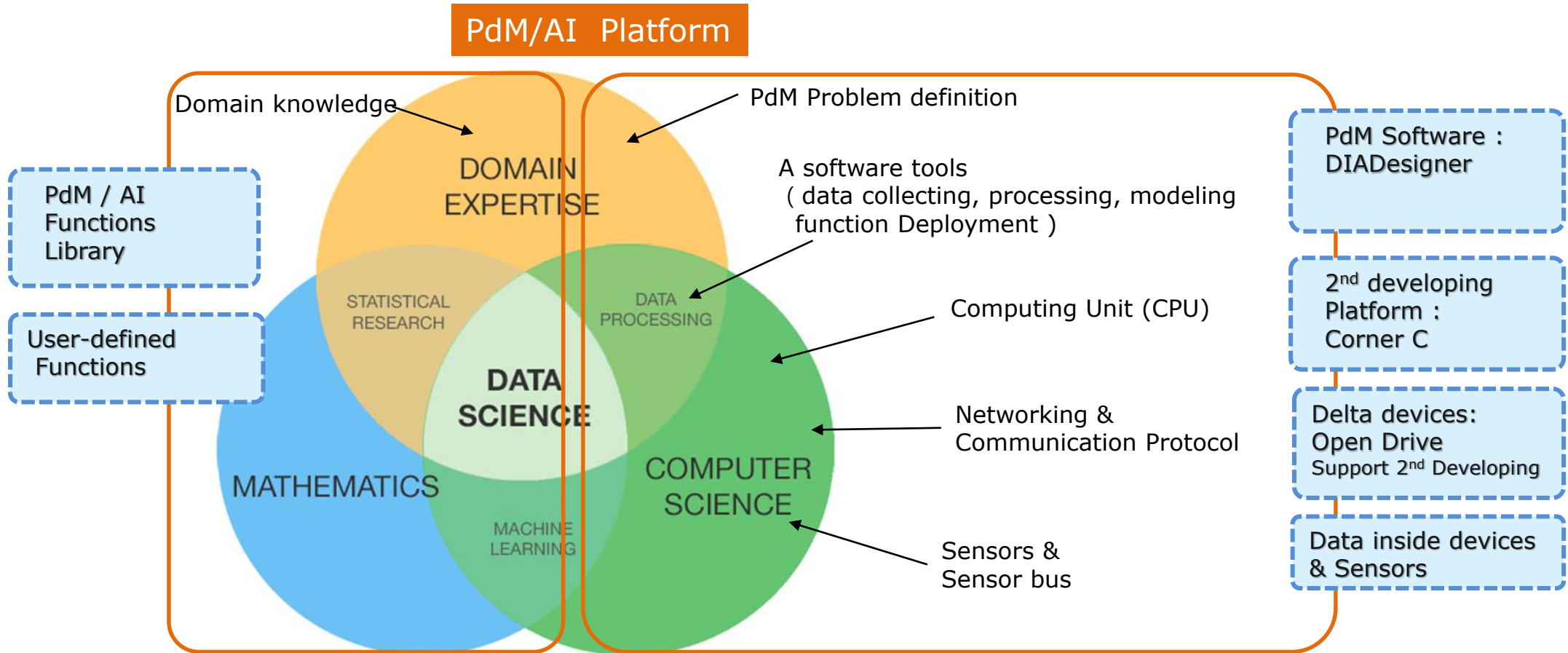


可擴展的PdM /AI應用架構 (Scalable PdM /AI)

分層運算



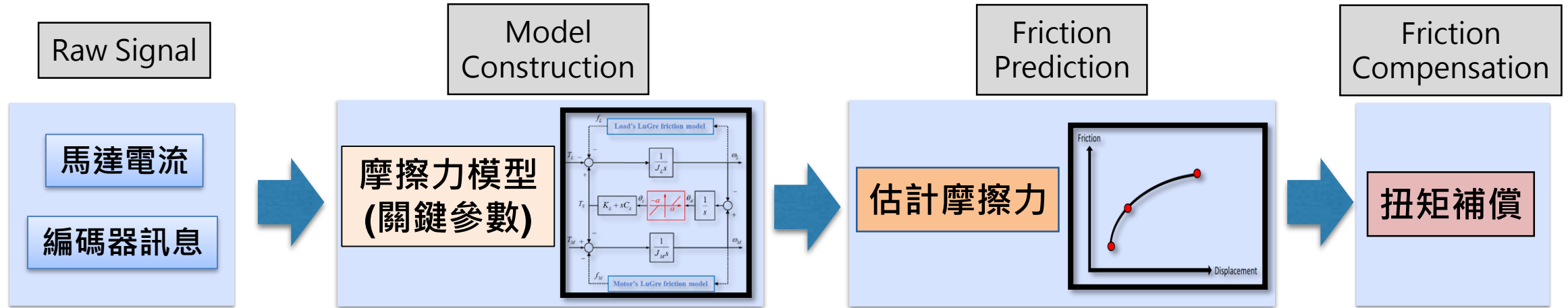
Summary of PdM / AI platform



Source: Palmer, Shelly. *Data Science for the C-Suite*. New York: Digital Living Press, 2015. Print.

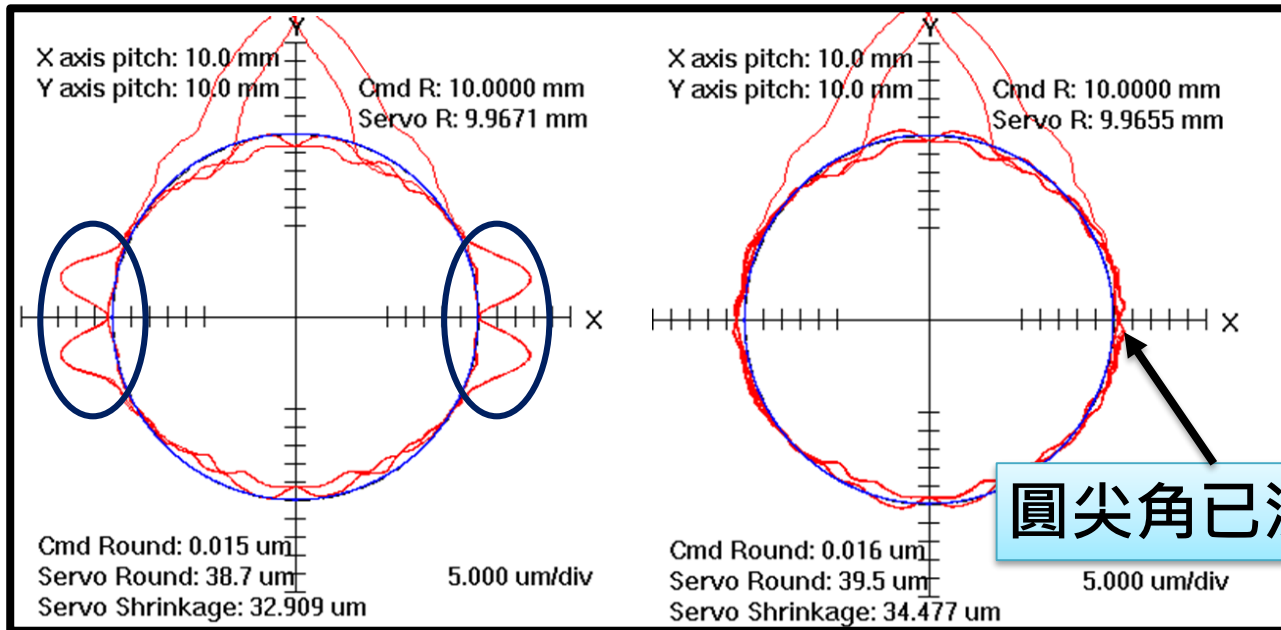
Examples : 伺服驅動器佈建 PdM/ AI 功能

1. 機械螺桿摩擦力診斷功能 (物理模型)
2. 旋轉機械故障分類與程度判定 (物理特徵+ AI模型)
3. 機械背隙 診斷 (AI 模型)
4. 物理模型與AI模型比較 (機械背隙診斷)

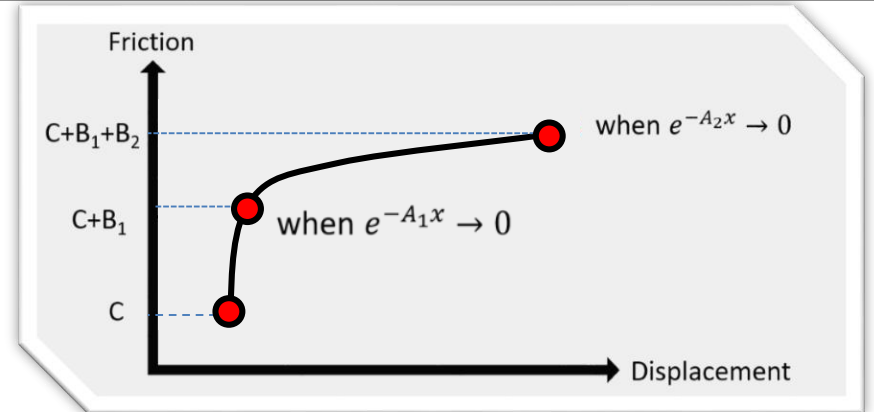


未補償

已補償



Pre-sliding區域(低速近零速)中，摩擦力是運動位移的函數!

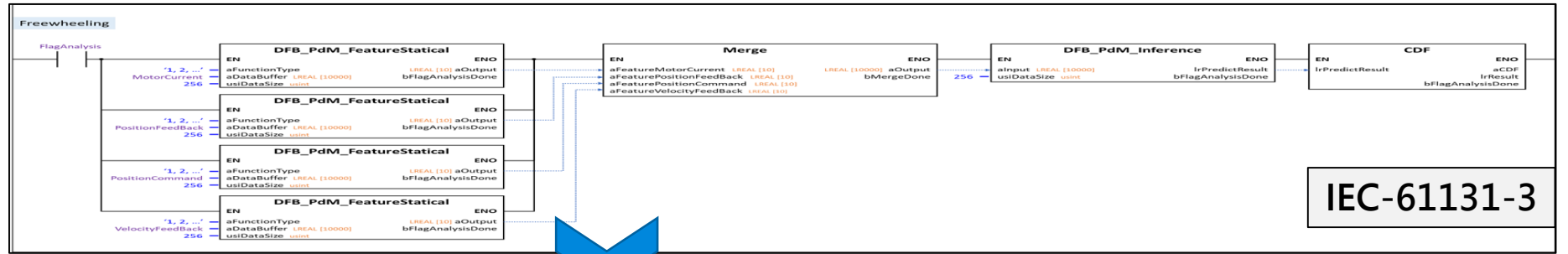
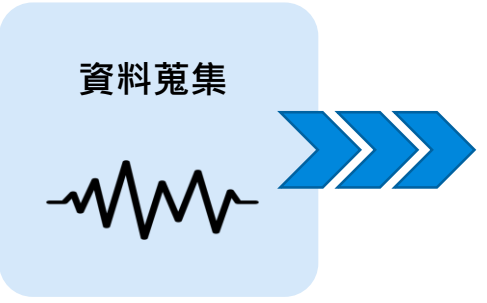
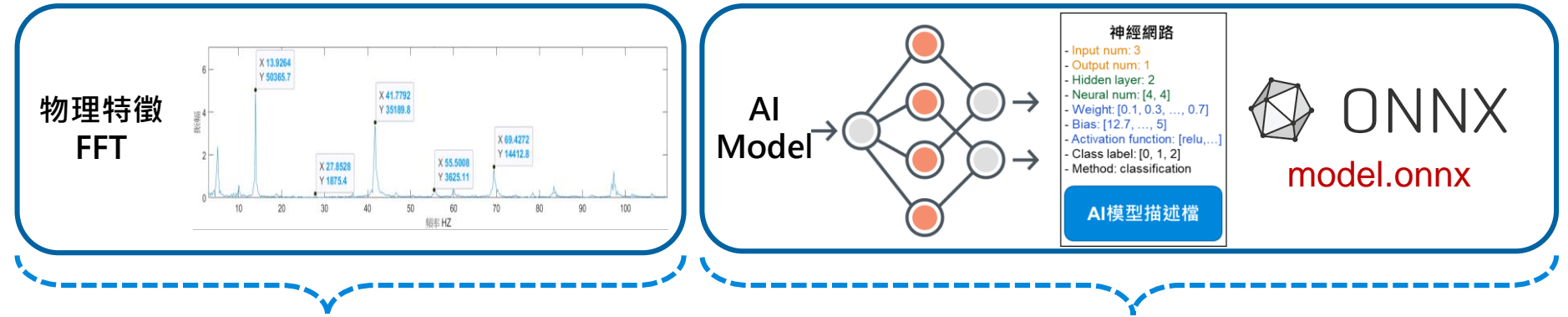


$$y = C + B_1(1 - e^{-A_1x}) + B_2(1 - e^{-A_2x})$$

(專利號碼I731699)

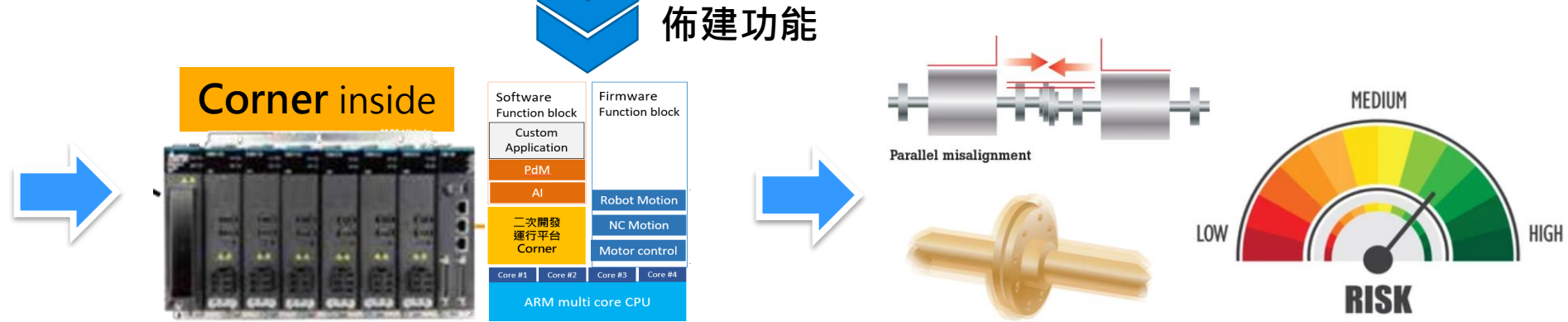
旋轉機械故障分類與程度判定 (物理特徵+ AI模型)

Off-line
建模階段

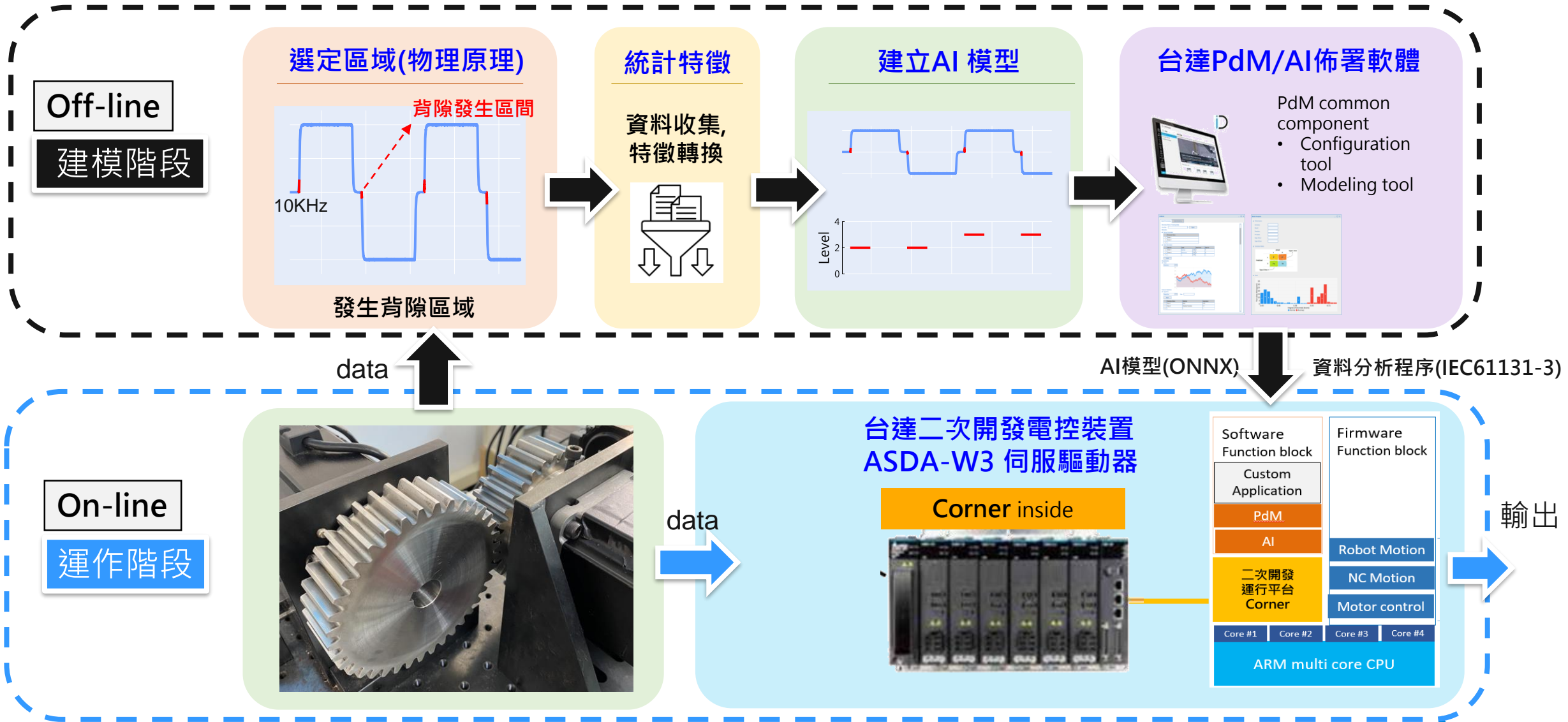


On-line
運作階段

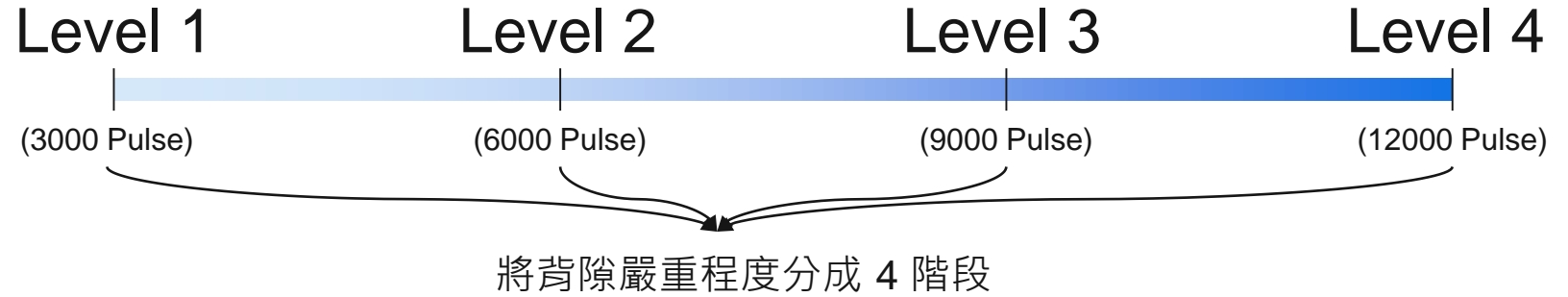
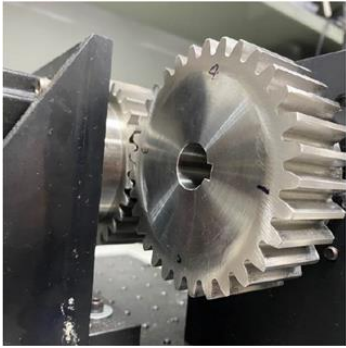
- Current
- Position
- Velocity



機械背隙 診斷 (AI 模型)



物理模型與AI模型比較 (背隙分析)



AI 機器學習SVM

AI 深度學習1DCNN

物理法則

Method	Model	特徵萃取	Training	Validation (不同工況)	Validation (不同機台)
AI	SVM	無 特徵轉換	0.75	0.74	0.25
		有 特徵轉換	0.98	0.96	0.45
	1DCNN	無 特徵轉換	0.99	0.97	0.32
		有 特徵轉換	0.99	0.98	0.55
物理模型			不需要訓練	0.97	0.95

特徵轉換能提高 SVM 模型正確率

1DCNN 模型 不需特徵轉換 但需要更多的資料量 進行訓練

物理模型 比 AI 模型 在不同的機台 有較高的正確率

Smarter. Greener. Together.

