



氣候變化下的工地安全改善 —物聯網與人工智能的耦合應用

國立陽明交通大學環境工程研究所教授兼所長、工學院國際辦公室主任 / 楊德忠
點子建執行長 / 陳建勇

關鍵字：氣候變化、物聯網、感測器、營建工地安全、營建工人職業健康、人工智能分析、中暑

摘要

面對全球氣候變化的挑戰，工程企業在永續發展行動中扮演日益重要的角色。點子建的研究和開發團隊是由一群在營建技術、電子工程、產品工程和資訊科技方面都擁有豐富知識和經驗的專業人員組成，專注於開發和創建可增強營建工人職業健康、工地安全、通訊效能和生產力的物聯網產品和系統軟體。

大部份營建工人都在沒有空調的環境下進行體力勞動，受氣候變化的影響遠較其他行業為大。點子建憑藉其在營建技術、電子工程、產品工程和資訊科技的豐富知識和經驗，開發了一個智慧雲端平台，充份利用物

聯網和感測器，去即時監測營建工人的生理狀態、環境條件、及其與營建重型車輛、機具的相對位置，以減低營建工地作業的系統性風險。同時，利用人工智能分析數據，預測營建工人中暑的可能性，提升人事決策和救援能力的即時性與準確度，確保營建工人的職業健康和工地安全。

本文將闡述如何有效地將物聯網與人工智能的耦合應用去改善氣候變化下營建工人的職業健康和工地安全。

一、前言

「營建工程業」一向給外行人的直覺印象是一個所謂 4D 行業，即是一個骯髒



(Dirty)、危險性高 (Dangerous)、干擾性強 (Disruptive) 及要求苛刻 (Demanding) 的行業。因此，很多人，尤其是年青人，都不大願意加入營建工程業界工作。其實，營建工程業是一個龐大、複雜、專業、跨領域、高科技和高價值的行業，對民生、經濟及社會發展有着重要、深遠和決定性影響。每個工程項目都有其獨特性，而且是亂中有序，從構思、諮詢公眾、可行性研究、環境評估、探土、設計、施工、測試到驗收的每一個步驟，都是有法可依，有規可循，需要考量的因素非常多，包括極其龐大資金的有效運用，冗長的研究、設計和施工時間，工程師和營建商的能力和經驗，大自然的挑戰、施工期間必要的設計改動，必要的交通和地下公用設施改道，施工時所產生的塵埃、振動和噪音對民生的影響等等。同時，要面對的未知因素也非常多，例如天氣和地質條件都不是工程人員可以完全預知和控制，再加上施工程序的錯綜複雜，引伸出來的實際執行問題變成非常複雜。

營建工程業工人的職業安全和衛生尤其重要，一般來說，他們都是從事體力勞動，當然，很多不同工種的技術含量是非常高的。同時，很多時候他們都要在戶外工作，在沒有空調的環境下，風吹日曬，汗流浹背，很多時候都會因為疲累而失去專注力，容易發生意外，利用先進科技和人工智能，我們希望能夠加強對他們的保護，同時，增進工程進度效率，達到雙贏局面，本文旨在介紹如何利用物聯網、感測器和人工智能去達到這個目的。

二、營建工程業工業傷亡情況

營建工程業的工作場所包括都市、鄉村、上山、下海、高空、地下、密封空間及坑道等眾多樣態，有些更是危險及受污染環境，作業現場情況隨工程進度變化而持續變動，且營建工程之種類、機具、勞工人數及工種等為數繁多，屬高風險行業。表 1 和圖 1 顯示了勞動部職業安全衛生署過去 10 年的統計資料 [1]，在過去 10 年，營建工程業的平均意外死亡千人率為 0.1710，遠高於製造業的 0.0265 及所有勞工合計的 0.0278，營建工程業的工業意外死亡千人率明顯地比其他行業高出多倍。

勞動部職業安全衛生署民國 113 年的月平均統計資料顯示，營建工程業勞工職業災害陳報事業單位為 1,183 家，這些單位的月平均僱用總勞工人數為 131,307，佔全臺勞工職業災害陳報事業單位所僱用勞工月平均總人數的 3.05%，營建工程業月平均工業傷亡

表 1 過去 10 年不同行業的工業意外死亡千人率

年度	意外死亡千人率			
	行業			
	合計	營建工程業	製造業	其他行業
104	0.0318	0.1857	0.0312	0.0136
105	0.0285	0.1635	0.0317	0.0106
106	0.0277	0.1576	0.0289	0.0113
107	0.0259	0.1469	0.0267	0.0114
108	0.0286	0.1983	0.0253	0.0101
109	0.0282	0.1686	0.0296	0.0111
110	0.0252	0.1602	0.0204	0.0112
111	0.0291	0.1835	0.0254	0.0125
112	0.0271	0.1766	0.0268	0.0097
113	0.0258	0.1686	0.0193	0.0117
平均值	0.0278	0.1710	0.0265	0.0113

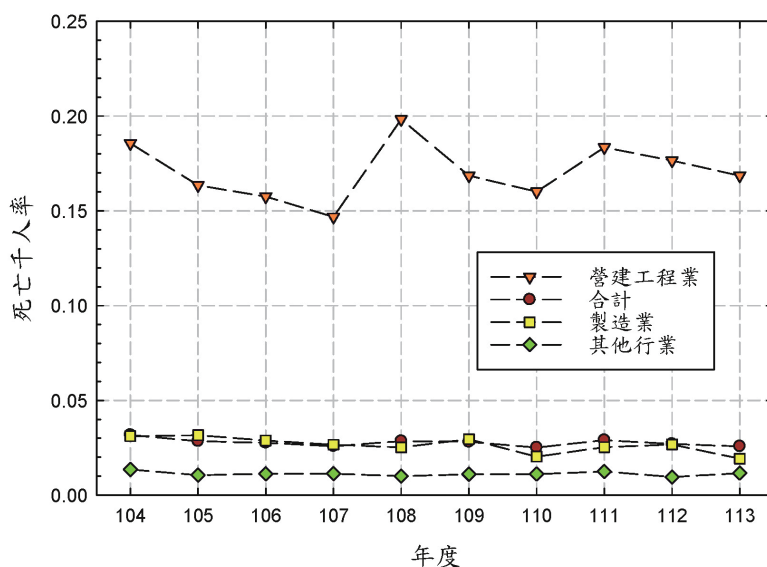


圖 1 過去 10 年不同行業的死亡千人率

人數為 365，佔全臺工業傷亡人數 2.57%，但最遺憾的是，其中 20 人死亡，佔全臺月平均工業意外死亡人數的 26.32%，永久部份失能的，有 13 人，佔全臺同類的 5.56%，過去 5 年的同類統計數字如表 2。

如果把這些統計數字和其他行業相對的數字比較，如圖 2，不難觀察得到，營建工程業的嚴重傷亡個案比重，如死亡人數比例、永久失能人數比例、及永久部份失能人數比例，都遠比其他行業為高。例如，從

表 2 過去 5 年臺灣營建工程業的月平均工業傷亡數字

	年度				
	109	110	111	112	113
勞工職業災害陳報事業單位僱用勞工人數	105,490	98,717	110,710	126,419	131,307
百分比 (%)	2.22	2.25	2.45	2.94	3.05
工業傷亡人數	347	371	359	451	365
百分比 (%)	2.75	2.76	2.69	3.12	2.57
死亡人數	10	17	14	10	20
百分比 (%)	13.70	17.71	16.09	17.92	26.32
永久失能	0	1	1	5	0
百分比 (%)	0	3.85	6.67	20.83	0
永久部份失能	7	11	10	13	13
百分比 (%)	2.82	3.96	3.75	4.63	5.56

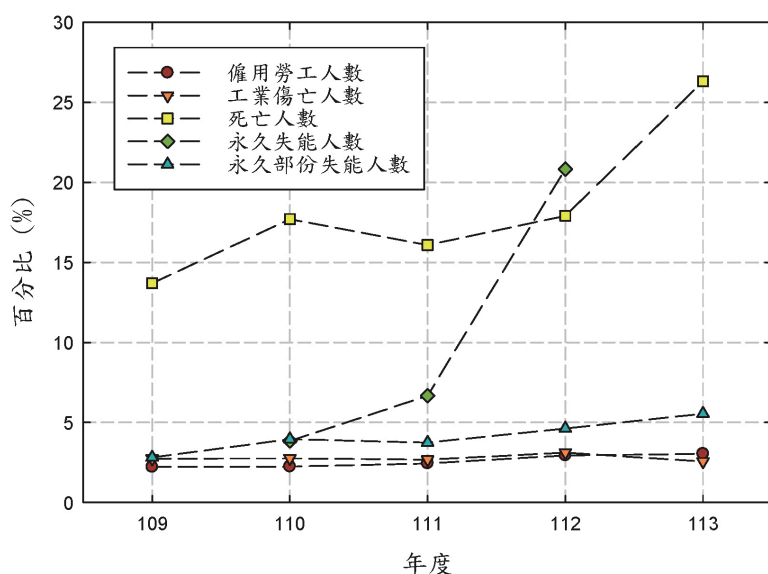


圖 2 營建工程業的月平均工業傷亡率與其他行業比較

109 年到 113 年的 5 年期間，營建工程業勞工職業災害單位僱用的勞工人數平均佔勞工職業災害陳報單位總勞工人數的 2.58%，工業傷亡人數也佔總工業傷亡人數的 2.78%，比例相若，可是，死亡人數卻佔總死亡人數的 18.35%，永久失能人數佔 6.27%，同時，永久部份失能的人數也佔 4.14%。這些比重都遠高於 2.58%，由此可見營建工程業意外的嚴重傷害比例都比他行業為高。

在民國 113 年營建工程業的 365 宗意外事故中，主要之災害類型為跌倒 (61)、墜落滾落 (47)、被夾被捲 (44)、被刺、割、擦傷 (44)、被撞 (38)、公路交通事故 (23)、物體飛落 (19)、衝撞 (15)、不當動作 (13)、及物體倒塌崩塌 (10) 等 [1]，括號內數字為該災害類型在 113 年在營建工程業的發生宗數。主要之媒介物為材料、營建物及施工設備、裝卸搬運機械之交通工具、起重機械、環境、

人力機械工具、木材加工機械、動力搬運機械、其他媒介物和無媒介物等。

營建工地通常存在著許多隱藏的安全隱患，容易引發事故，造成工人傷亡、財產損失和工期延誤。營建工地存在著許多問題，尤其是在大型、多學科的基礎設施建造工程項目中。這些問題大致可分為三大類：(1) 與營建工人相關的問題；(2) 與營建工地危險和惡劣工作環境相關的問題；和 (3) 與意外後處理的相關問題。以下將對這些問題進行詳細探討和研究其解決方案。

無論如何，這些職業災害很多都是可以預防和避免的，最低限度也可以減輕它們的負面影響和傷害。充份利用感測器、物聯網與人工智能更能有效地加強預防這些職業災害，保障營建工人的職業健康和人身安全。



2.1 與營建工人相關的職業災害問題

許多營建管理和安全問題都是與營建工人的行為和健康狀況有關，先把這些問題詳述如下：

1. 安全帽的使用

很多政府勞工監管機構，例如美國的職業安全與健康管理局（OSHA）、英國的健康與安全執行局（HSE）、香港特別行政區政府勞工處、和韓國職業安全與健康局等，出於對工人安全的考慮，都對所有人在營建工地內需要佩帶安全帽制定了嚴格的強制性規定。在工地內佩帶安全帽對營建工人有六大主要好處：(1) 保護工人免受墜落物傷害；(2) 降低頭部受傷風險；(3) 防止觸電和燒傷；(4) 高能見度安全帽可提高工人的可見度；(5) 提供惡劣天氣防護；及 (6) 有助於明確顯示工地人員的角色和職責。雖然某些地區可能有特定的規定，但常見的安全帽顏色及其用途已在表 3 中列出。一些地區，例如香港特別行政區，還規定了安全帽的可使用壽命，以防止安全帽因材料老化而降低其防護能力，這些司法管轄區強制要求在安全帽上標示其出廠日期 [2]。

表 3 常見安全帽顏色及其用途

顏色	用途
白色	主管、經理、工程師和工頭
黃色	普通工人和土方作業人員
藍色	技術工人，例如電工和木工
綠色	安全員或新工人（實習生）
紅色	消防人員或安全人員
橙色	道路人員或重型機械操作員（需要高能見度）
棕色	焊工或在高溫環境下工作的人員
灰色	工地訪客

雖然安全帽是營建工程業中至關重要的個人防護裝備，是防止個人受傷和潛在危險及生命事故發生的第一道防線，但不少營建工人仍然選擇工作時不佩帶安全帽。不佩帶安全帽的原因包括：(1) 缺乏對安全帽在預防頭部受傷方面重要性的認識；(2) 對營建工地風險程度的誤解；(3) 佩帶後感覺不適；(4) 安全帽設計不良或尺寸不合適；(5) 佩帶後對體力勞動強度大的工作感到不便；(6) 同儕間的相互錯誤影響；(7) 對規則的抗拒；(8) 美觀原因；(9) 不易取得；(10) 疲勞；(11) 特定任務的挑戰；和 (12) 過度自信等等。為了監測工地人員適當地佩帶安全帽，電腦視覺和各種電腦演算法，包括神經網路、人工智慧和深度學習等，已被開發用於佩帶安全帽的檢測，但效果不確定和不張顯 [3-5]，還有，這些技術需要營建工人的即時影像和大量的計算資源。要確保營建工人在工地內佩帶安全帽仍然是營建管理的一大挑戰。

2. 營建工人的健康狀況

大多數營建工人都在戶外或沒有空調的環境下工作，而且工作的體力勞動較大，營建工地的地形也可能對營建工人構成危險。例如，在進行邊坡加固工程作業時，營建工人可能會從斜坡上跌落；在進行地基或地下室工程施工期間的臨時深基坑挖掘作業時，也可能發生跌落事故。因此，他們的個人健康狀況至關重要，因為他們在這些有潛在危險的場所工作時，必須時刻保持冷靜、警惕和謹慎。由此可見，有必要即時監測營建工人的生命徵象以了解其健康狀況。此外，環境天氣和條件也會對人體機能產生顯著影響。因此，營建工人的生命徵象必須結合環境天氣和條件來仔細分析。



3. 營建工人對工作環境的專注力

營建工地的工作條件非常艱苦，令人疲憊。長時間在炎熱和潮濕的環境中進行體力勞動後，營建工人的專注力會自然下降。因此，由於對周圍環境缺乏專注力，可能會發生事故。例如，當營建工人沒有注意到工地上有移動物體接近時，可能會被移動的工程重型車輛或機具撞倒。此外，由於這些車輛和機具體積龐大，操作員的視線可能被遮擋，因此可能無法注意到工人在危險位置。結果，營建工人很容易被工地上移動的車輛或施工設備撞倒，尤其是在倒車時，因為在混亂的營建工地環境或惡劣天氣中，駕駛員可能無法清楚地看到重型車輛後方的情況。同時，如果這些車輛和或機具的操作員在操作過程中短暫地失去專注力，也可能導致工地上的意外碰撞。當然，對這些車輛、機具和工地人員相對位置的誤判也是造成碰撞的另一個重要原因。

在營建工程施工中，將重物從一個地點吊運到另一個地點是一項常規工作，但同時也是一項危險活動。許多機構，例如英國的健康與安全執行局、香港特別行政區建築業議會等，都制定了關於吊重作業的指引或規則。在通常情況下，出於安全考慮，進入正在作業吊重機的影響區域範圍內會受到限制。有專門從事起重作業的索具工負責監督作業，還有信號員負責控制施工車輛／設備和人員進入影響區域範圍。吊重作業中的起重主管、吊重機操作員、信號員和索具工的角色和職責，以及與吊重機和吊重設備相關的通用安全操作指引，都已經充分確立 [6]。然而，營建工人可能會無意中進入吊重影響區域範圍，使自身處於危險之中而不自知。當鬆散的物體從吊重機上掉落，擊

中施工車輛、設備或工地人員時，往往會發生嚴重甚至致命的工業意外。

2.2 與營建工地惡劣工作環境相關的職業災害問題

營建工地的工作環境可能極為危險且惡劣。例如，使用壓縮空氣的隧道施工環境可能具有高氣壓、高溫、高濕度、惡劣空氣品質、高噪音、潛在毒性和低能見度等高危特性。由於不可預見的地質條件，存在著地質結構不穩定、地下水湧現、或岩土墜落的風險。營建工人在進行邊坡穩定工程、開挖和側向支撐工程、高層建築施工以及公路或鐵路結構施工等工作時，可能需要高空作業。密閉空間環境下的空氣可能存在著有毒氣體。用於管道或公用設施施工的坑槽可能發生坍塌。由於未知的地下空洞，地面可能會突然下陷。常見的營建工地職業災害事故包括：高空墜落；被飛來物體、墜落物體、擺動物體或滾動物體擊中；滑倒和絆倒；觸電或電擊致死；火災和爆炸；被施工車輛撞擊；拆除過程中接觸到有毒或有害物質，例如有毒氣體、鉛、石棉或其他化學物質；過度勞累；起重機事故；堆高機相關事故；不穩定結構的倒塌；溝渠或地面坍塌；機械事故；被困或擠壓事故；腳手架故障；噪音過大影響聽覺；振動工具的危險；密閉空間事故；電梯井事故；天氣相關事故等等。然而，其中許多事故是可以預見和避免的。

2.3 與意外後救援相關的問題

在營建工地發生重大意外時，例如邊坡失穩或在建隧道坍塌，救援隊必須盡快救出所有正在現場工作的營建工人。由於工人很



可能被活埋在廢墟下，可用的救援時間非常有限。此外，事故發生後通訊網路可能已經中斷或故障。使用生命探測器隨機搜尋被活埋工人是非常耗時且效率低。因此，工人的最後已知位置至關重要，以便救援隊能夠在有限的救援時間內集中挖掘這些最有可能有工人被活埋的位置。因此，營建工人在工地內的最後已知位置是成功救援的重要資訊。

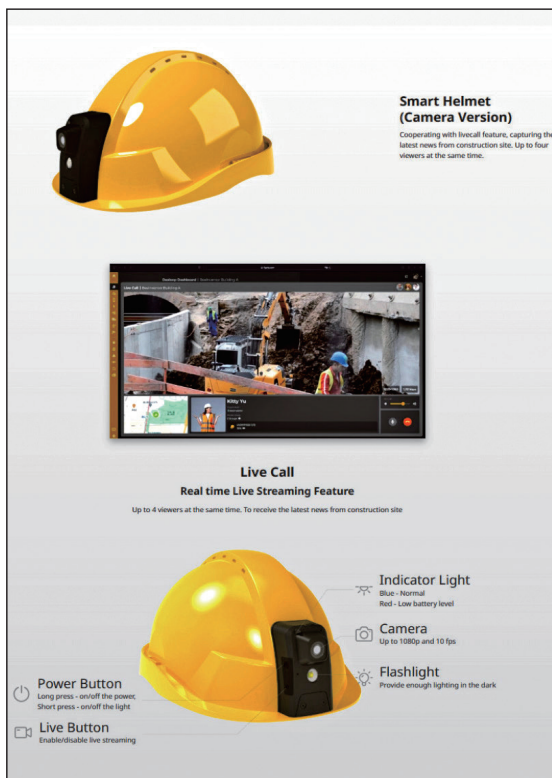
三、解決方案一雲端平台

所有這些營建工地問題都可以透過雲端平台解決。雲端平台包含四個主要組件：(1)

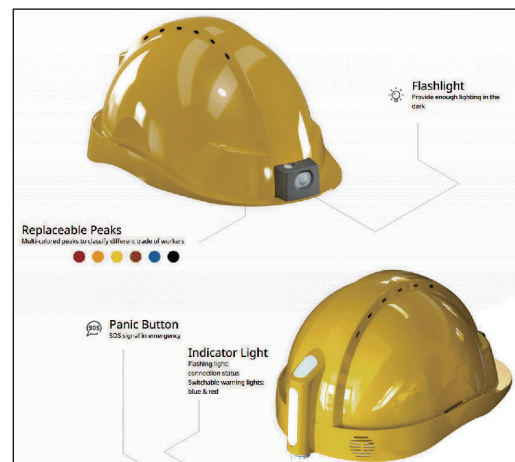
安裝在營建工人智慧安全帽中的感測器；(2) 安裝在重型營建車輛、機具上的感測器；(3) 連接所有組件的雲端平台；和 (4) 控制這些感測器的系統軟體。

3.1 智慧安全帽

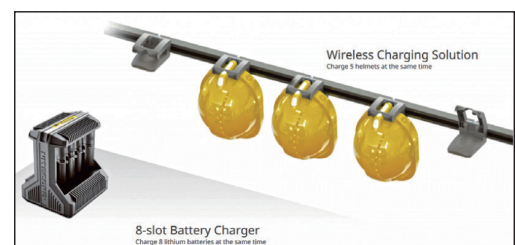
安全帽是營建工人最重要的個人防護裝備（PPE）。我們開發的智慧安全帽 DasLoop 內裝有全球定位系統（GPS）、體溫感測器、心率感測器、環境溫度計、環境濕度感測器、加速度計、指示燈、手電筒、警報器、緊急按鈕、通訊系統和攝影機。圖 3(a) 和圖



(a) 智慧安全帽（附攝影機版）



(b) 智慧安全帽（不附攝影機版）



(c) 充電設備

圖 3 智慧安全帽 DasLoop



3(b) 分別展示了兩種可選版本的智慧安全帽細節。另外，圖 3(c) 展示了智慧安全帽的充電設備。

智慧安全帽的全球定位系統可即時偵測每位營建工人在工地內的位置，當一個營建工人安全帽的位置長時間不變動時，該名工人可能已經發生意外，失去活動能力，可能甚至已經暈倒和失去知覺，及時救援變得非常重要，因為這個有可能是生死攸關的時刻，也可能是工人已經意外墮下，遠離他原來的工作位置，知道他的現存位置才能成功進行救援，另一個可能是工人已經將安全帽違法地除下，隨便擱置在一旁，這種情況也需要及時糾正，以免發生危險，這也是對工人佩戴安全帽的最佳檢測方法。偵測安全帽隨著時間變動的位置可以由系統軟體簡單地監測和處理。

當工地發生嚴重意外時，例如邊坡失穩或在建隧道坍塌等，通訊系統可能也被破壞，但系統仍能提供每位工地人員事故前的最後位置，以利救援。

體溫感測器和心率感測器可追蹤工人的生命徵象，加上環境因素如氣溫和濕度，可了解工人的健康狀況，檢測是否有異常。加加速度計可偵測工人從高空墮下。附攝影機版的智慧安全帽拍攝到的即時影像可供最多四位不同觀眾在不同地點同時觀看，接收來自施工現場的最新視頻資訊，讓工程師不用親臨現場都能掌握現場情況，作出正確無誤的工程決定。

所有這些感測器和攝影機都連接到雲端平台，以便即時處理和儲存數據。因此，營建工人的生命徵象和位置資訊會被持續記錄。這些數據也可以有多種其他用途，包括建立考勤報告、提醒執照到期、確認適當的工地人員到場、及紀錄安全帽的佩帶和脫卸等等。

3.2 額外的感測器和系統

工程車輛、機具上安裝了互動式感測器，用於執行各種重要功能。工程車輛、機具通常體積龐大而且沉重，因此其機動性相對有限，駕駛員、操作員的視線也可能被其他車輛、機具的體積和雜亂的施工現場遮擋，安裝在車輛、機具上的感測器卻可以偵測其精確的即時位置。一旦營建工人在不知情或疏忽的情況下進入行駛中的工程車輛或機具的預設工作半徑影響範圍內時，公分級的高精度防碰撞系統 DasTrack，結合超寬頻無線網路和 DasLoop 技術，會透過營建工人的智慧安全帽向其發送警告信號，並同時透過與感測器連接的信號系統向駕駛員發送警告信號，車輛、機具也會同時被停駛，以防止與營建工人發生意外碰撞。

當駕駛員、操作員換班時，此功能對於提高施工效率尤其有用，因為接班駕駛員、操作員可能無法與下班駕駛員、操作員聯繫以取得車輛、機具的停泊位置。尤其是在大型營建工地或礦山，如果車輛、機具被下班駕駛員、操作員隨意停放，導致接班駕駛員、操作員難以找回車輛、機



具開工，此功能就成為尋回車輛、機具的最有效方法。

類似的 DasCAS 系統是特別為塔式吊重機開發，將感測器放置在重物懸掛點，偵測塔式吊重機在吊運時危險區域範圍內的清場情況，同時，將警報燈和蜂鳴器安裝在操作員艙，用來減低與吊重相關的風險和預防與吊重相關的工業意外。

智慧電流錶 DasPower 是新一代綠色科技

產品，透過無線方式，將設備的功耗數據和其他運作資訊傳輸到雲端平台，是實現淨零排放的關鍵設備。

DasAoA 是一款高精度室內定位器，採用高精度室內定位技術，並運用革命性的 AoA 技術，無需三角測量即可完成定位計算，如圖 4，可降低設備和安裝成本的 2/3，平均定位精度可達 5 公分。標籤可採用腕帶式、卡片式、普通安全帽插接式、或是 DasLoop 內建式，如圖 5。

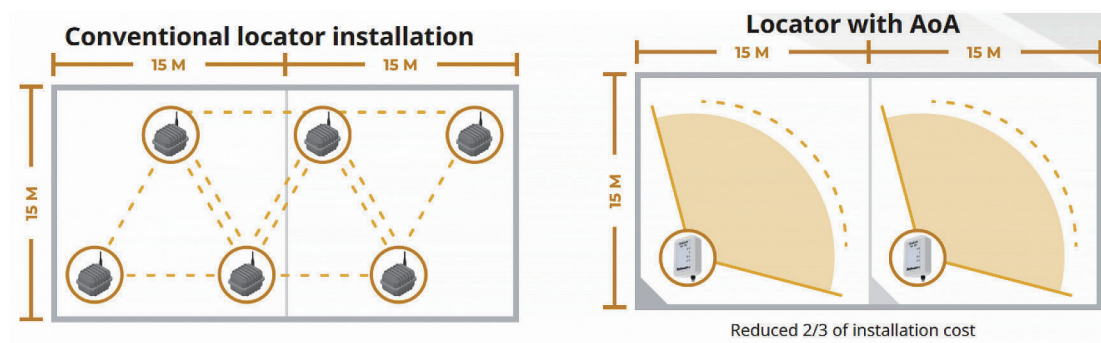


圖 4 革命性的 AoA 技術

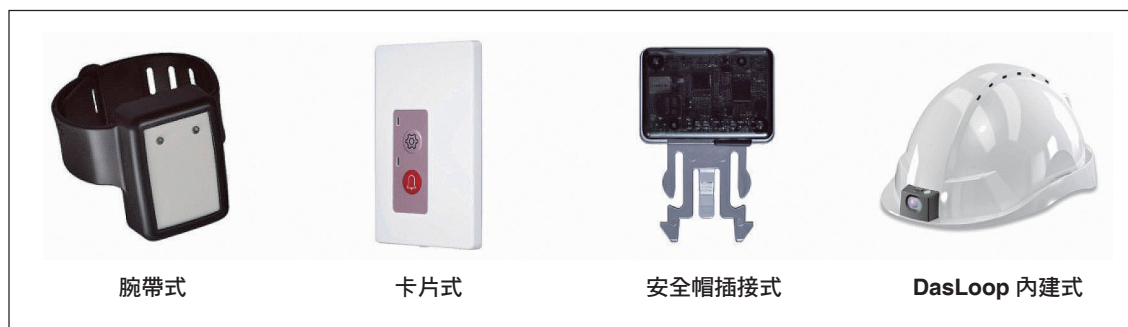


圖 5 不同類形的標籤



室內空氣品質感測器 DasAir 採用高品質感測器去提供多種感測選項，可測量室內氣溫、濕度、和 CO、CO₂、TVOC、HCHO、O₂ 和 NH₃ 等多種氣體及 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的濃度。

攜帶式有毒氣體偵測儀 DasGas 可偵測佩帶者附近的有毒氣體，包括 CH₄、HC、CO、H₂S、O₂、SO₂ 和 CO₂ 等，當氣體濃度達到警戒值時，會立即發出警報，並透過智慧安全帽 DasLoop 的語音系統通知附近人員疏散，非常適用於密閉空間的環境和職安監控。

DasWater 是一款超音波的遙距液位感測器，用於檢測各種環境中的液位，例如地下、涵洞和隧道內的水位。當偵測到異常液位時，它可以向雲端平台發送警報進行管理，並透過 DasLoop 的公共廣播系統通知所有在現場受影響人員，排除受水淹風險。

3.3 雲端平台

點子建提供一體化的雲端平台，如圖 6，透過客製化的物聯網設備集成，幫助業主、顧問工程師和營建商有效地管理工程施工現場。我們可以從物聯網透過感測器收集並即時監測營建工人的個人生理數據、環境數據、營建車輛數據和機具數據等，例如工人位置、體溫和心跳率、環境氣溫和濕度、空氣質素、電力消耗、車輛位置和機具位置等。透過與 BIM 和 GIS 集成，可以為營建工程業界提供更深入的施工現場洞察和更有效率的工地管理。

3.4 已經解決的職安難題

營建工程業的意外事故中，主要之災害類型為跌倒、墜落滾落、被夾被捲、被刺傷、被割傷、被擦傷、被撞、物體飛落、及物體倒塌崩塌等。這個系統已經解決了不少這類職安難題，最低限度，也減少了這類事故對營建工人的傷害。配合雲端物聯網平台，每件組件的實際應用表列如下：

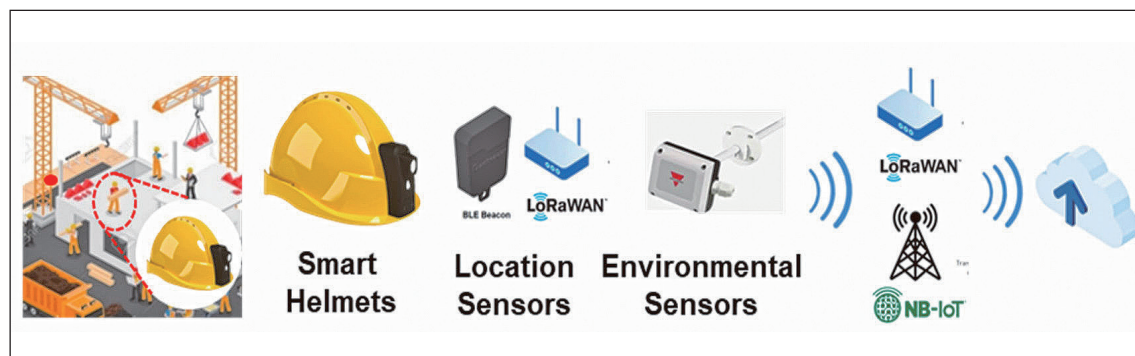


圖 6 雲端物聯網平台



表 4 雲端物聯網平台實際應用

組件		實際應用
智慧 安全帽	全球定位系統	• 確保每位在工地上工作的營建工人都有佩戴安全帽 • 監測每位營建工人的即時位置都沒有即時危險 • 當工人暈倒或工地發生崩塌意外時，提供工人的最後位置，以便及時現場搜救
	加速度計	• 監測每位營建工人的跌倒或墜落滾落，及時現場搜救
	體溫及心率感測器	• 監測工地上每位營建工人的生命徵象及即時身體健康情況，如有需要，及時採取適當措施
	環境溫度計及濕度感測器	• 監測工地上每位營建工人周遭環境的溫度及濕度 • 配合營建工人的生命徵象，預測環境因素對工人健康的影響
	通訊系統	• 提供即時通訊設備
	攝影機	• 將現場影像即時傳送給有關人員
	手電筒	• 提供現場照明設備
	指示燈	• 顯示工人位置，也可用作基本照明
	警報器	• 在發生意外或危險時，火速通知附近所有人員撤離
	緊急按鈕	• 個人發生意外或危險時，發出求救訊號
工程車輛、機具	全球定位系統	• 監測每台工程車輛、機具的即時位置 • 確保在其工作活動範圍沒有其他工程車輛、機具或工人
	互動式感測器	• 適時發出警告，並關閉引擎，防止意外發生
智慧電流錶		• 將設備的功耗數據和其他運作資訊即時傳輸到雲端平台，向淨零排放邁進
室內定位器		• 運用革命性的 AoA 技術，無需三角測量即可完成高精度的室內定位計算
室內空氣品質感測器		• 用於測量室內氣溫、濕度、和 CO、CO ₂ 、TVOC、HCHO、O ₂ 和 NH ₃ 等多種氣體及 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 的濃度
有毒氣體偵測儀		• 用於偵測佩帶者附近的有毒氣體濃度，包括 CH ₄ 、HC、CO、H ₂ S、O ₂ 、SO ₂ 和 CO ₂ 等，並適時發出警報
液位感測器		• 用於檢測各種環境中的即時液位，排除受水淹風險
雲端平台和系統軟體		• 透過客製化的物聯網設備集成，幫助業主、顧問工程師和營建商有效地管理工程施工現場

四、與人工智能的耦合

隨着近年的氣候變化，天氣變得越來越熱，為了保護營建工人的職業健康，當氣溫達到某個既定度數之後，不少政府都強制營建工人要馬上停工休息，以防止他們在炎熱天氣下中暑。中暑可以在極短的時間內及無任何症狀情況下病發，如果沒有得到適當休息和水份補充，中暑病人病情可以在極短的時間內惡化，甚至死亡。對營建商而言，經常停工會增加他們的施工成本、延誤工程完工日期，同時，這種一刀切的做法是否真的能夠保障營建工人的職業健康，用氣溫作為

單一指標是否足夠？現行的法規是否適當？也成疑問。

利用我們收集到的大量生命徵象，我們正在利用人工智能進行分析，希望找出營建工人中暑前的生命徵象和其他環境因素的相互關係，例如人種、環境溫度、空氣濕度等等，希望能夠正確地找出在不同地方和不同人種的中暑臨界點，讓營建工人可以適時停下來休息，避免中暑。

我們正在分析在台灣、新加坡、日本和香港收集到的生命徵象和環境數據，希



望找到不同地方、人種之間的異同。從而找到他們跟中暑之間的關係，將來希望利用 DasLoop 收集到營建工人的連續生命徵象和環境數據時，將在中暑臨界點的營建工人確認出來，讓他休息和補充水份，排除他的中暑的風險 [7]。下一步可以客制化成果，並應用到農民、送外賣員、警察、消防員等需要戶外工作和面對相若中暑風險的不同行業。

五、臺灣現況

從圖 1 和圖 2 可以清楚觀察得到，臺灣營建工程業的工傷數字，尤其是死亡數字，都比其他行業嚴重和有上升趨勢，要知道一次工業意外足以影響甚至毀滅一個家庭，可是，面對這刻不容緩和生死攸關的嚴重情況，臺灣政府並沒有推出任何相應的重要改善政策。反觀我們鄰近的經濟體，已經全面採用數位技術來改善營建工人的職業健康與安全。例如：香港特別行政區政府已經在 2023 年初立法規定，所有招標估價超過三千萬港元（約一億兩千萬新臺幣）的工程合約，必須採用一套由數位和物聯網技術組成的智慧工地安全系統（Smart Site Safety System），提高工地安全。日本國土交通省（Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism）已於 2020 年 7 月正式啟動其專門的數位轉型框架，成立了基礎設施數位轉型推進的專職部門。新加坡的職業安全健康委員會（Workplace Safety and Health Council）及建設局（Building and Construction Authority）於 2024 年 4 月規定，所有價值三百萬新加坡元（約七千四百萬新臺幣）及以上的公共部門建設工程項目必

須採用成熟的職業安全與健康技術（mature Workplace Safety and Health technologies）。沒有這些全面的政府政策和措施的支持，雖然有本文詳述的成熟及隨時可用的數位技術，臺灣營建工程業對數位工地安全技術的採用是非常緩慢，與週邊經濟體的技術差距也在擴大。這與臺灣在半導體和人工智慧領域的世界領先地位形成鮮明對比。同時，臺灣營建工程業在這方面的落後，因為人命關天，很容易形成社會的不滿和反彈，也造成年青人對營建工程業的卻步，營建工程業人材不足，嚴重影響廠房建設的進度和質量，也簡接打擊了臺灣在半導體和人工智慧領域的長遠發展。

六、結論

無可否認，營建工地是多變和危險的工作場所，所以，營建工程業者需要不停地開發不同的系統去改善營建工人的職業健康和人身安全，隨着感測器和物聯網的高速發展，我們發展了一個雲端物聯網平台，去管理營建工人的職業健康和人身安全，同時加強效率、增進工程項目的進度，達到雙贏目的。本文對這個系統作了詳細的闡述。同時，亦希望政府能夠為工地安全數位化的推動提供政策和措施的支持。高科技的實際應用能提升營建工程業的形象，讓年青人有興趣加入這個充滿挑戰性的行業，加強臺灣在半導體和人工智慧領域的長遠發展。為了面對全球氣候變化的挑戰，我們正利用人工智能去分析我們利用這個平台收集到的大量生命徵象和環境數據，希望能夠把在工地上達到中暑臨界點的營建工人確認出來，讓他得到充份休息和補充水份，排除他的中暑的風險。



參考文獻

1. 勞動部職業安全衛生署勞動檢查統計年報 <https://www.osha.gov.tw/48110/48331/48333/48339/?Page=1&PageSize=10>
2. Labour Department (2018). Guidance Notes on the Selection, Use and Maintenance of Safety Helmets. 3rd Edition. Occupational Safety and Health Branch, Labour Department, the Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Hong Kong.
3. Ren, D., Sun T., Yu, C., and Zhou, C. (2021). "Research on safety helmet detection for construction site." Proc., 2021 International Conference on Computer Information Science and Artificial Intelligence (CISAI), Kunming, 186-189.
4. Qian, Y., and Wang, B. (2023). "A new method for safety helmet detection based on convolutional neural network." PLoS ONE, 18(10), e0292970.
5. Lin, B. (2024). "Safety helmet detection based on improved YOLOv8." IEEE Access, 12, 28260-28272.
6. Construction Industry Council and Development Bureau (2020). Lifting safety handbook. Construction Industry Council and Development Bureau, the Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Hong Kong.
7. Chan, A.P.C., Yi, W., Wong, D.P., Yam, M.C.H., Chan, D.W.M. (2012). "Determining an optimal recovery time for construction rebar workers after working to exhaustion in a hot and humid environment." Building and Environment, 58, 163-171.