

出國報告（出國類別：考察）

日本建築智慧營造工法發展觀摩 研習計畫報告

服務機關：內政部建築研究所

姓名職稱：王所長榮進

蔡組長綽芳

劉副研究員青峰

派赴國家/地區：日本

出國期間：112年8月6日至12日

報告日期：112年10月16日

目錄

目錄.....	1
圖次.....	2
摘要.....	8
壹、研習目的.....	9
貳、研習過程.....	10
參、參訪紀要.....	11
一、竹中工務店.....	11
二、大成建設.....	50
三、鹿島建設.....	73
四、東京國立競技場.....	87
五、區域再開發計畫.....	91
肆、研習心得及建議.....	101
一、心得.....	101
二、建議.....	106
參考資料.....	110

圖次

圖 1	竹中工務店之公司概要（來源：經同意拍攝之簡報內容）	11
圖 2	竹中工務店之事業概要（來源：經同意拍攝之簡報內容）	12
圖 3	竹中工務店之體制概要（來源：經同意拍攝之簡報內容）	12
圖 4	竹中工務店之台灣主要作品（來源：經同意拍攝之簡報內容）	13
圖 5	竹中集團 2025 年成長戰略圖（來源：經同意拍攝之簡報內容）	13
圖 6	竹中工務店智慧建築實例（來源：竹中工務店網站）	16
圖 7	竹中工務店新型態建築服務（來源：竹中工務店網站）	17
圖 8	應用 BIM 解決業界課題（來源：經同意拍攝之簡報內容）	17
圖 9	竹中工務店 BIM 遠景（來源：經同意拍攝之簡報內容）	18
圖 10	竹中工務店 OPEN BIM 說明_1（來源：經同意拍攝之簡報內容）	19
圖 11	竹中工務店 OPEN BIM 說明_2（來源：經同意拍攝之簡報內容）	19
圖 12	竹中工務店 OPEN BIM 說明_3（來源：經同意拍攝之簡報內容）	20
圖 13	竹中工務店 OPEN BIM 說明_4（來源：經同意拍攝之簡報內容）	20
圖 14	竹中工務店 BIM 應用分析（來源：經同意拍攝之簡報內容）	21
圖 15	竹中工務店 BIM 應用案例說明_1（來源：經同意拍攝之簡報內容）	22
圖 16	竹中工務店 BIM 應用案例說明_2（來源：經同意拍攝之簡報內容）	22
圖 17	竹中工務店 BIM 應用案例說明_3（來源：經同意拍攝之簡報內容）	23
圖 18	建築機器人平台示意圖（來源：竹中工務店網站）	24
圖 19	建築機器人平台應用示例（來源：竹中工務店網站）	25
圖 20	四足行走機器人「Spot」（來源：竹中工務店網站）	26
圖 21	ZEBIA 檢討流程改善圖（來源：竹中工務店網站）	27
圖 22	ZEBIA 模擬各種設計代替方案（來源：竹中工務店網站）	27
圖 23	竹中技術研究所概要（來源：經同意拍攝之簡報內容）	29

圖 24	ビルコムプラス建築智慧管理系統（來源：竹中工務店網站）	31
圖 25	ビルコムプラス控制中心（來源：竹中工務店網站）	32
圖 26	サーキュラーエコノミー（Circular Economy）循環經濟解說圖（來源： 經同意拍攝之簡報內容）	33
圖 27	北菓樓的札幌本館整修（來源：經同意拍攝之簡報內容）	34
圖 28	竹中工務店關東支店的新建工程（來源：經同意拍攝之簡報內容） ..	35
圖 29	日本淺沼組名古屋支店的改建修繕工程（來源：經同意拍攝之簡報內容）	36
圖 30	「循環的設計建造」3 策略（來源：經同意拍攝之簡報內容）	37
圖 31	「循環的設計建造」解說圖（來源：經同意拍攝之簡報內容）	38
圖 32	「循環的設計建造」流程（來源：經同意拍攝之簡報內容）	39
圖 33	「循環的設計建造」玻璃回收使用流程（來源：經同意拍攝之簡報內容）	40
圖 34	「循環的設計建造」地毯回收使用流程（來源：經同意拍攝之簡報內容）	41
圖 35	WAF2022 大獎 Quay Quarter Tower 案例（來源：經同意拍攝之簡報內容）	42
圖 36	世界各地高層木構建築（來源：經同意拍攝之簡報內容）	43
圖 37	日本巴黎協定承諾減少 CO ₂ 的目標量（來源：經同意拍攝之簡報內容）	43
圖 38	利用森林的砍伐與復育的循環來固化 CO ₂ ，同時實現永續社會（來源： 經同意拍攝之簡報內容）	44
圖 39	日本木構造建築比例（來源：經同意拍攝之簡報內容）	44
圖 40	「燃エンウッド」解說圖_1（來源：經同意拍攝之簡報內容）	46
圖 41	「燃エンウッド」解說圖_2（來源：竹中工務店網站）	46

圖 42	Flat Woods Kiba (來源：經同意拍攝之簡報內容)	47
圖 43	Flat Woods Kiba 木構造解說 (來源：竹中工務店網站)	48
圖 44	竹中工務店將興建木造鋼構 (Hybrid) 的 17 層建築 (來源：經同意拍攝之簡報內容)	48
圖 45	竹中工務店簡報照片 (來源：本計畫拍攝)	49
圖 46	本所王所長榮進與竹中工務店岩下敬三先生合影 (來源：本計畫拍攝)	49
圖 47	大成建設技術中心組織 (來源：經同意拍攝之簡報內容)	50
圖 48	大成建設技術配置圖 (來源：經同意拍攝之簡報內容)	51
圖 49	ZEB 分級解說 (來源：大成建設網站)	52
圖 50	ZEB 實證棟外觀 (來源：本計畫拍攝)	53
圖 51	T-Green Multi Solar 解說圖 (來源：大成建設提供)	54
圖 52	T-Green Multi Solar 樣品 (來源：本計畫拍攝)	54
圖 53	T-Light Cube 解說圖_1 (來源：大成建設網站)	55
圖 54	T-Light Cube 解說圖_2 (來源：大成建設網站)	56
圖 55	T-Light Cube 實際效果 (來源：本計畫拍攝)	56
圖 56	T-Personal Air III 解說圖 (來源：大成建設網站)	57
圖 57	T-Personal Air III 地板出風孔 (來源：本計畫拍攝)	58
圖 58	T- e Concrete® /Carbon-Recycle 樣品 (來源：本計畫拍攝)	60
圖 59	T- e Concrete 各級產品說明 (來源：大成建設網站)	60
圖 60	T- e Concrete® /Carbon-Recycle 構想解說 (來源：大成建設網站)	61
圖 61	本所王所長榮進與大成建設技術研中心常務董事長島先生合影 (來源：本計畫拍攝)	62
圖 62	綠色更新 ZEB 意象圖 (來源：大成建設網站)	63
圖 63	橫濱支店大樓 T-Green Multi Solar 解說圖 (來源：大成建設提供)	64

圖 64	T-Zone Saver 解說圖（來源：大成建設提供）	65
圖 65	T-Zone Saver 感測器單元樣品（來源：本計畫拍攝）	65
圖 66	T-Zone Saver Connected 解說圖（來源：大成建設提供）	66
圖 67	T-Workstyle concierge 解說圖（來源：大成建設提供）	66
圖 68	T-LED DUV Light 解說圖（來源：大成建設提供）	67
圖 69	T-Green Radiant Duct 解說圖（來源：大成建設提供）	68
圖 70	T-Green Radiant Duct 實裝（來源：本計畫拍攝）	68
圖 71	T-Light Blind 解說圖_1（來源：大成建設提供）	69
圖 72	T-Light Blind 解說圖_2（來源：大成建設提供）	69
圖 73	T-Light Blind 實裝效果（來源：本計畫拍攝）	70
圖 74	T-Green DI Window 解說圖（來源：大成建設提供）	71
圖 75	T-Green DI Window 實裝（來源：本計畫拍攝）	71
圖 76	健康空間（來源：本計畫拍攝）	72
圖 77	鹿島技術研究所組織（來源：經同意拍攝之簡報內容）	73
圖 78	鹿島建設全球網絡（來源：經同意拍攝之簡報內容）	74
圖 79	鹿島技術研究所各實驗室位置（來源：經同意拍攝之簡報內容）	75
圖 80	鹿島技術研究所新加坡實驗室（來源：經同意拍攝之簡報內容）	75
圖 81	本所王所長榮進與鹿島建設技術研究所閑田副所長合影（來源：本計畫 拍攝）	77
圖 82	鹿島技術中心施工模型（來源：本計畫拍攝）	78
圖 83	鹿島技術中心鋼構工法（來源：經同意拍攝之簡報內容）	79
圖 84	鹿島技術中心預鑄工法（來源：經同意拍攝之簡報內容）	79
圖 85	鹿島技術中心各項異構工法（來源：經同意拍攝之簡報內容）	80
圖 86	鹿島技術中心飛箱工法（來源：經同意拍攝之簡報內容）	81
圖 87	鹿島技術中心飛箱工法施工模型（來源：本計畫拍攝）	81

圖 88	鹿島技術中心傳統工法施工模型（來源：本計畫拍攝）	82
圖 89	鹿島技術中心飛箱工法宿舍管道間（來源：本計畫拍攝）	83
圖 90	鹿島技術中心傳統工法宿舍內部（來源：本計畫拍攝）	84
圖 91	鹿島技術中心模板實尺寸教具（來源：本計畫拍攝）	85
圖 92	鹿島技術中心鋼筋籠實尺寸教具（來源：本計畫拍攝）	85
圖 93	鹿島技術中心 SRC 實尺寸教具（來源：本計畫拍攝）	86
圖 94	東京國立競技場立面_1（來源：本計畫拍攝）	87
圖 95	東京國立競技場立面_2（來源：本計畫拍攝）	88
圖 96	東京國立競技場觀眾席與屋頂（來源：本計畫拍攝）	89
圖 97	位於大成技術中心的東京國立競技場施工模型（來源：本計畫拍攝）	90
圖 98	澀谷站區車站區開發計劃範圍圖（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網 站）	91
圖 99	澀谷站區車站區開發計劃立面意象圖（從新宿看）（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）	92
圖 100	車站廣場及月台網路（澀谷站前交岔路口附近鳥瞰圖）（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）	93
圖 101	連接車站大樓和道玄坂區域空間規劃示意圖（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）	93
圖 102	車站東出口城市核心區未來形象（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）	94
圖 103	SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 立面（從澀谷站前交岔路口看）（來源： SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）	95
圖 104	澀谷站體增建工程（望向澀谷站前交岔路口）（來源：本計畫拍攝）	96

圖 105	東京中城八重洲外觀（從東京車站看）（來源：本計畫拍攝）	97
圖 106	東京中城八重洲位置圖（來源：三井不動產網站新聞稿）	98
圖 107	東京中城八重洲樓層介紹圖（來源：三井不動產網站新聞稿）	99
圖 108	八重洲智慧能源專案能源流圖（來源：三井不動產與東京燃氣合作的 八重洲能源中心竣工新聞稿）	100
圖 109	竹中工務店數位雙生遠景圖（來源：竹中工務店網站）	102
圖 110	鹿島智慧型生產遠景圖（來源：鹿島建設網站）	103
圖 111	「TawaRemo」專用駕駛艙（來源：鹿島建設網站）	105
圖 112	「TawaRemo」概述（來源：鹿島建設網站）	105
圖 113	竹中工務店（左）、鹿島建設（中）、大成建設（右）採用木構造 ..	106
圖 114	營建機器人轉型產業聯盟 logo（來源：營建機器人轉型產業聯盟網站）	107
圖 115	竹中工務店建設機器人平台構念圖（來源：營建機器人轉型產業聯盟 網站）	107
圖 116	清水建設搬運機器人（來源：營建機器人轉型產業聯盟網站）	107
圖 117	「使用 BIM 以流暢化建築生產和維護管理流程」的補助計畫（來源： 日本國土交通省網站）	109

摘要

推動新興智慧型產業為國家當前重要政策之一，為善用我國 ICT 智慧型高科技產業之優勢並發揮更大整合效益，內政部刻正積極研訂推動建築產業數位轉型之相關計畫。

國際間先進國家推動建築產業數位轉型之進步極為快速，尤其英、日、新加坡等國家，近年來亦皆積極投入智慧營造之研發應用，成果斐然，包括相關技術、推動策略及措施等，均極具參考意義。因此，本計畫前往日本考察該國建築產業智慧營造技術研發情形，並就落實應用之重要成果示範場域進行觀摩，同時與該國相關業者進行相關課題之探討與意見交流。

本次考察主要參訪了竹中工務店、大成建設、鹿島建設等三大主要建設公司，發現日本建築產業已積極合作開發結合數位、機器人技術到建築全生命週期的各階段上，實現全生命週期的數位轉型，同時也配合配合森林循環、減碳等日本國內政策，積極採用國內木材，開發木構造技術，建造木構建築，以解決所面臨到的勞工時間縮短、高齡缺工、節能減碳等課題。建議可以進一步了解日本建築業界共同開發建築工地用輔助機器人的過程與成果，以及日本國土交通省透過補助的方式，鼓勵建築工程採用 BIM、數位轉型技術之作法與效益。希望能將日本經驗，轉化為我國建築產業數位轉型之發展基礎，加速帶動智慧營造，以及數位轉型等相關產業發展，同時與世界先進建築科技接軌，提升擴大建築產業數位轉型相關研究推動效益。

壹、研習目的

根據聯合國統計，世界各國政府人口結構將迅速老化，高齡少子化問題儼然成為全球人口變遷趨勢，導致種種問題逐漸浮現，致使 ICT 科技發展迅速，持續創造各項創新規劃理念與對策議題，讓 5G、IoT、AI、大數據等技術的興起的智慧化時代的來臨。而營造產業為因應世界各地營建工程人員數量結構的改變，工程技術人力逐漸短缺，加上更嚴謹的工地安全及環保的要求下，追求更精密、品質優良及施工環境安全且環保，以提高生產率的工法，勢在必行，因此數位轉型將成為必要課題之一。

為推動建築產業轉型升級，內政部建築研究所持續規劃建築產業數位轉型相關研究計畫，範圍包含建築資訊建模(BIM)、智慧管理雲平台、智慧營造等技術面向。希望透過建築資訊建模技術讓建築工程從規劃設計就開始走向數位化，並且在建築全生命週期蒐集，共享各階段所產生的大量數據，協助建築從規劃設計、施工、使用到維護管理各階段均能透過電腦模擬輔助，優化工作流程，同時有效的在各階段將資訊予以整合運用，才能真正達到落實建築產業數位轉型之目的。

本次考察係為瞭解日本建築產業界於智慧營造工法之發展，如何利用數位及機器人科技輔助傳統建築生產作業，並且進一步加以實踐之現況，以作為未來國內發展智慧營造及建築數位轉型相關應用時之參考。同時掌握與日本業者合作之可能性，達成推動發展建築數位轉型的目標，同時可促進我國智慧營造之國際交流，提升相關產業發展及國際化程度，以加速帶動智慧營造相關產業發展，對政府政策之落實推動及促進經濟發展實有莫大助益。

貳、研習過程

本次日本觀摩研習行程自 112 年 8 月 6 日至 8 月 12 日合計 7 天，行程詳如表 1。

表 1 日本建築智慧營造工法發展觀摩研習行程表

日期	地點	參訪行程
8/6(日)	臺北、日本	自臺北市飛抵日本
8/7(一)	日本	竹中工務店東京本部 東京澀谷車站區域再開發計畫
8/8(二)	日本	大成建設技術研究中心 大成建設橫濱支店
8/9(三)	日本	鹿島建設研修中心 鹿島建設技術研究所
8/10(四)	日本	竹中工務店技術研究所 竹中工務店案例—Flat Wood Kiba
8/11(五)	日本	東京新國立競技場 東京中城八重洲區域再開發計畫
8/12(六)	日本、臺北	自日本飛抵臺北

參、參訪紀要

一、竹中工務店

竹中工務店於 1610 年於名古屋創業，迄今已有 400 多年歷史。創始人織田信長前家臣初代竹中藤兵衛正高為一木匠，創業初期以興建寺廟、神社為主。1899 年進駐神戶開始興建一般的建築物。竹中工務店的經營理念為「創佳作品傳承於世，並為社會付出最大貢獻」。目前公司營業額為每年 1 兆 900 億日圓，約合新臺幣 2,414 億。主要的業務為建築的設計與監造的一貫作業，但不包含土木水利工程。總員工數為 7,751 人，設計監造品質為日本屈指可數的公司之一。依照日本建設業聯合會的統計資料，竹中工務店累計得到最多的 BCS 賞¹。

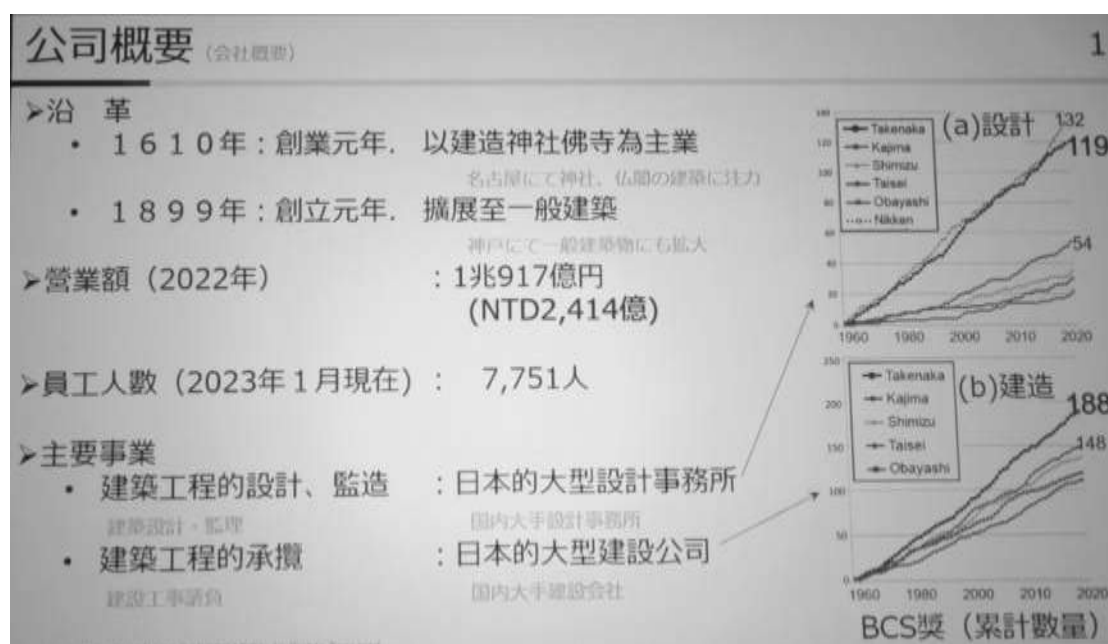


圖 1 竹中工務店之公司概要 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

¹ ビーシーエスしょう，或稱「建築業協會賞」

事業概要 3

➢ 事業内容

- 建築工程及土木工程相關承攬 (建設・土木関連請負)
- 建築工程相關設計及監造 (建設関連設計及び施工監理)
- 建設工程、地區開發、都市開發、海洋開發、宇宙開發、能源供給及環境整備等提案相關調查、研究、測量、企画、評価、診断等技術提供及管理



建設、地域開発、都市開発、海洋開発、宇宙開発、エネルギー供給、環境改善への提案に関する研究、研究、計測、企画、評価、診断等の技術提供及び管理

Design/Engineering/Consulting

- Architectural
- Mechanical & Electrical
- Structural
- Interior
- Environmental
- Landscaping
- Information Technology
- etc.

Construction

- Design-Build
- Turn-key
- General Contracting

日本最高建築案の設計・施工 (高度300m、預計2014年完成)

TAKENAKA

圖 2 竹中工務店之事業概要 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

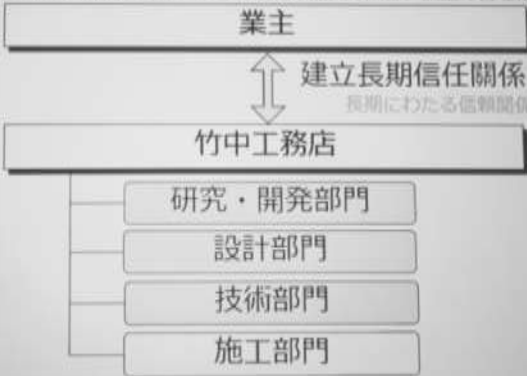
設計及施工的體制 (設計・施工体制) 4

➢ 具備施工技術部門、研究・開發部門的支援、執行設計作業

建設技術部門と研究開発部門の協力を得て設計

➢ 透過建築設計、技術、研究・開發、施工團隊的努力、提高建築物的品質、執行流程的合理化、為業主實現投資效率

研究開発、建築設計、技術、施工各部門の努力により、建物の品質の向上、施工の合理化、建築主の投資効率化を実現



業主

建立長期信任關係
長期にわたる信頼関係構築

竹中工務店

- 研究・開発部門
- 設計部門
- 技術部門
- 施工部門

TAKENAKA

圖 3 竹中工務店之體制概要 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

竹中工務店由「研究開發」、「設計」、「技術」、「施工（監造）」等4大部門所組成。設計作業由具備施工技術的部門，以及研究開發部門的所支持，再透過4大團隊的努力，提高建築物品質，施工過程的合理化，為業主實現更高的投資報酬率。竹中工務店業務涵蓋各類型建築物，特別是日本國內巨蛋類型的大型運動場建築，均為竹中工務店所設計監造。



圖 4 竹中工務店之台灣主要作品（來源：經同意拍攝之簡報內容）

竹中工務店雖是建築設計監造公司，但竹中集團中還有負責土地開發、維護營運的分公司，全體的經營戰略是從全球化的觀點，透過城鎮循環的企劃、計劃、建造、維護和營運來推動實現永續發展的社會。

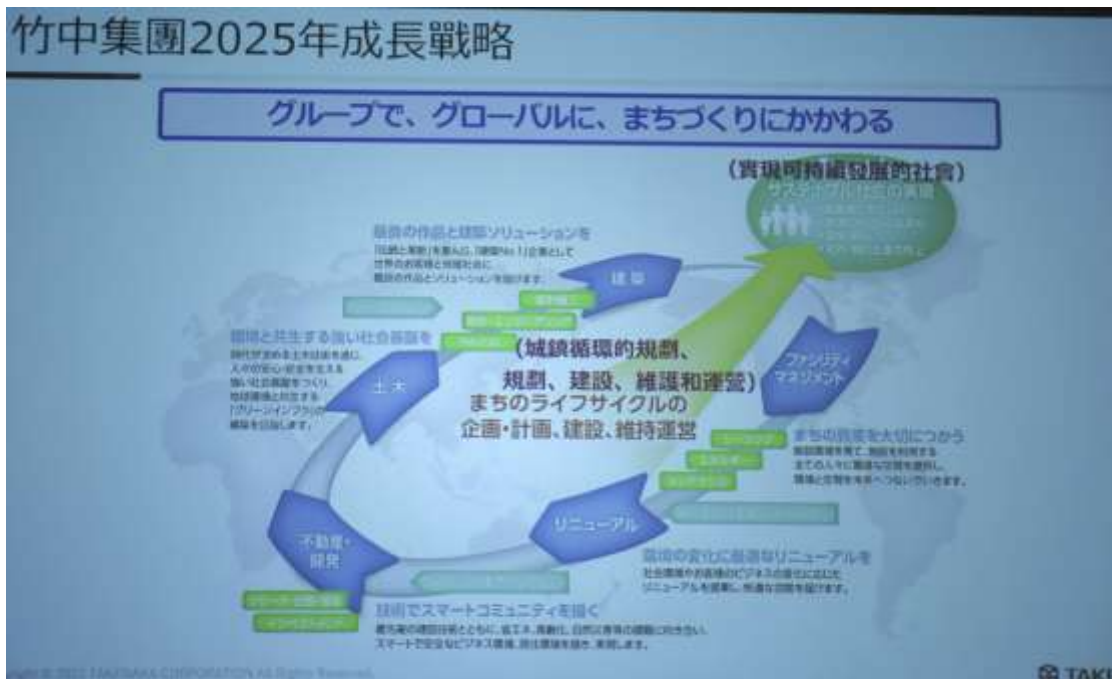


圖 5 竹中集團 2025 年成長戰略圖（來源：經同意拍攝之簡報內容）

(一)竹中工務店的數位轉型概要

日本營建業的生產力要比其他產業低，甚至只有一半。另外，因為高齡化社會以及年輕人不願意投入營建業，可以到工地現場的專業職人也愈來愈少，據統計在日本 2014 年還有 340 萬人，但到 2024 年可能只剩下 210 萬人，減少了三分之一。再加上日本將在 2024 年改正勞動基準法，降低每年工作時間上限。為了維持營業額，竹中工務店以及其他營建業者，都面臨改革的課題。改革的第一步是改變工作方式，在 2019 年 2 月竹中工務店創立 120 週年會議上社長提到，為提高生產力，要將全部的業務儘量數位化。

順應 2010 年起的世界數位革命浪潮，即所謂第 4 次產業革命，竹中工務店 2019 年開始進行業務的數位化，範圍包含業主關於工程專案的企畫階段開始到設計、施工、維護等各個階段，尺度也從建築擴大到都市。2022 年完成所有業務的數位化，2025 預計完成整合活用各階段的數據資料，預計到 2030 年的目標是將數位化資料上傳到雲端，再分析回饋給關於智慧城市的營業、設計、建造等各項工作，並發揮竹中工務店在建築設計、施工甚至到營運一貫的作業模式，為業主提供滿意的服務。

AI 應用

在業務數位資料整合方面，將透過 AI 依據所累積公司各個工程專案全生命週期各項資料的大數據進行分析和預測，其中不只是新案，包含以往的案件都會再數位化，累積的案件數據愈多，對新的案子幫助愈大。資料的內容也包含應用在各階段作業如與業主溝通、估價、施工等的 BIM 模型資料。實際案例如設計階段的樑、柱斷面尺寸已經可以透過 AI 輔助判定，且其正確率已不遜於專業人員的計算結果；其次在施工階段，也可以運用 AI 推估不同總工程費的工地現場，從開工到完工期間每個月所需要的管理人員數量，以便預估所有在建、預計新建工程的人員需求，並控制在公司總員工數之內，同樣的方式也可用來預估管理設計或其他技術人員數額。

建設機器人

為提高工地現場生產力，就必需引入輔助機器人，也是日本建築業界都會面臨的課題。竹中工務店目前並沒有在工地現場引入如汽車生產線上看到的大型機械手臂，且工地現場需要工人親自執行的工作還有很多。竹中工務店的作法是創建一個產業聯盟來整合分享開發工地現場的機器人技術，即「建設 RX コンソーシアム」²，以促進與建築機器人的開發和使用以及物聯網應用相關的機器人技術轉型。通過聯盟的活動，提高整個建築產業的生產力和吸引力，改善工人的工作與生活平衡並改善他們的待遇，最終促進年輕人的就業並減輕合作夥伴公司的負擔為社會永續發展、人民生活穩定和改善作出貢獻。目前聯盟會長為竹中工務店的村上陸太先生，且包含日本五大建設公司在內，此聯盟已經有會員企業 213 家（正式會員 29 家，合作會員 184 家）。

維護管理階段

目標在節能與減碳，竹中工務店開發了名為「ビルコミ」的建築維護管理資訊系統。³此系統是一個基於雲服務的數據平台，通過建築設備系統和各種傳感器獲得的大數據可以得到高效、安全的處理，從而能夠持續提供高附加值的建築服務可以將所收集到的建築能源使用數據轉變為可視化，並回饋給使用者。竹中工務店深耕智慧建築已有很長一段時間，並累積許多實例（如圖 6）。自 2009 年以來一直致力於智能建築領域。基於竹中工務店豐富的經驗，利用「ビルコミ」處理建築大數據，可將建築功能從可視化推進到人工智能的應用。

² Construction RX Consortium，<https://rxconso-com.dw365-ssl.jp/index.html>

³ 竹中工務店の建物 OS「ビルコミ®」，<https://www.takenaka.co.jp/solution/future/builcomi/>



圖 6 竹中工務店智慧建築實例（來源：竹中工務店網站）

為了實現「通過數位化轉型實現 2030 年的目標」，竹中工務店將使用已經構建的「建設デジタルプラットフォーム」⁴，深化結合智慧建築「ビルコミ®」服務平台、自主機器人與駕駛/遠程管理的「建設ロボットプラットフォーム」⁵，開發從建築專案到設施運營的綜合服務。此外，並將通過與當地社區的各種數據平台合作，開發超越企業邊界的業務和數據利用，竹中工務店的目標是作為綜合性城市開發工程公司提供新的建築和城市開發服務。

⁴ 「建設デジタルプラットフォーム」の構築によるデジタル変革の取組み，
<https://www.takenaka.co.jp/news/2021/12/01/>

⁵ 建設ロボットプラットフォーム，<https://www.takenaka.co.jp/solution/shinseisan/platform/>、
<https://www.takenaka.co.jp/news/2020/02/03/index.html>

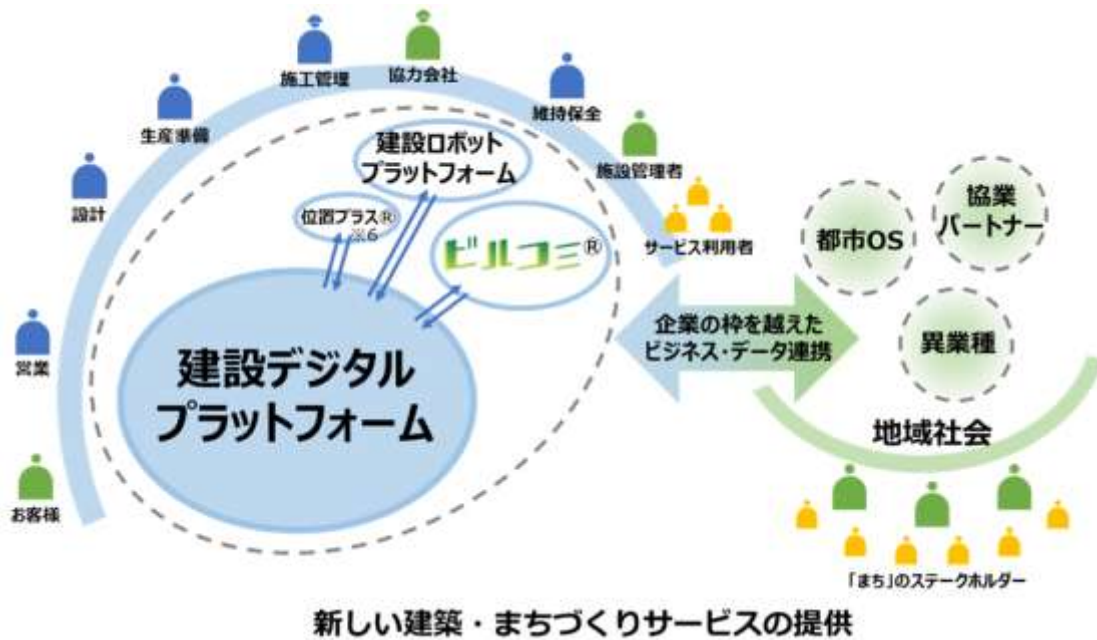


圖 7 竹中工務店新型態建築服務（來源：竹中工務店網站）

(二) BIM 應用

面對日本勞動時間的限制、高齡缺工、性別平衡、人員能力繼承等課題，竹中工務店認為應用 BIM 可以有助於遠距監控、居家辦公，同時提高女性的參與，減少總勞動時間，以克服以上課題。

圖 8 應用 BIM 解決業界課題（來源：經同意拍攝之簡報內容）

竹中工務店推動 BIM 遠景在於將業務流程轉換為以 BIM 模型基礎，透過建立以 BIM 模型為中心的業務風格，實現包括客戶在內的所有專案相關人員都有效益的建設流程。例如可以將下包廠商整合到 BIM 系統內，提升營建生產力、性別平衡，同時也提升客戶的利益。因此擬訂以 BIM 模型為中心的 4 個業務風格：

1. BIM 作業流程的標準化
2. BIM 模型製作的標準化
3. 應用 OPEN BIM
4. 數位化構件製造

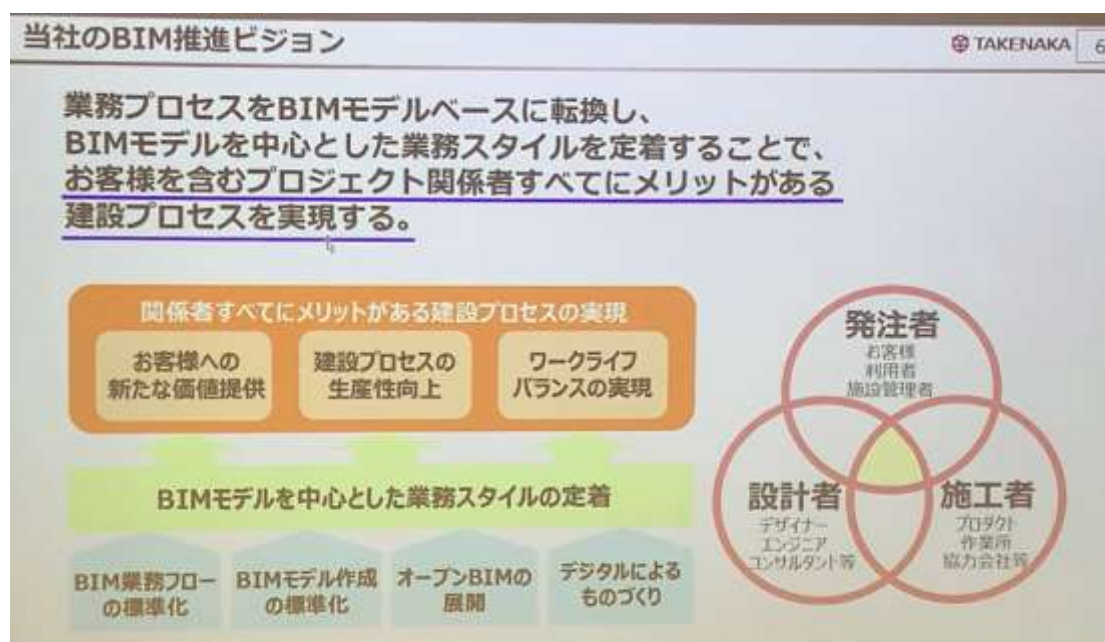


圖 9 竹中工務店 BIM 遠景（來源：經同意拍攝之簡報內容）

OPEN BIM

業界應用 BIM 技術有兩種模式，即 OPEN BIM 與 ONE BIM。竹中工務店採用的是 OPEN BIM 模式。即竹中工務店內外部、各協力廠商建置各自的專業 BIM 模型，再透過 IFC 與 Solibri 來疊合使用各個 BIM 模型，以便在設計、施工階段進行事先檢討，並可生成數位製造用的模型。採用 OPEN BIM 的優點在於可以廣

泛使用符合客戶、合作公司需求的 BIM 軟體的環境。即：

- 各專業公司可以自由選擇並使用易用的 BIM 軟體，充分利用其優點。
- 重要的是相關人員無縫連線，不被各專業的 Know How 所限制，無障礙地吸收知識。

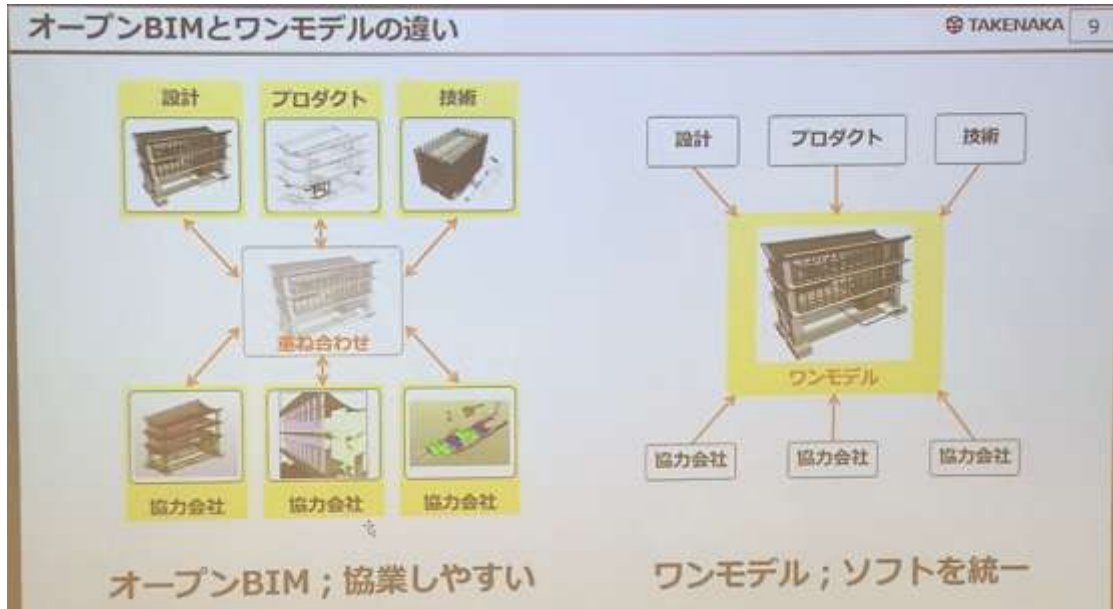


圖 10 竹中工務店 OPEN BIM 說明_1 (來源：經同意拍攝之簡報內容)



圖 11 竹中工務店 OPEN BIM 說明_2 (來源：經同意拍攝之簡報內容)



圖 12 竹中工務店 OPEN BIM 說明_3 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

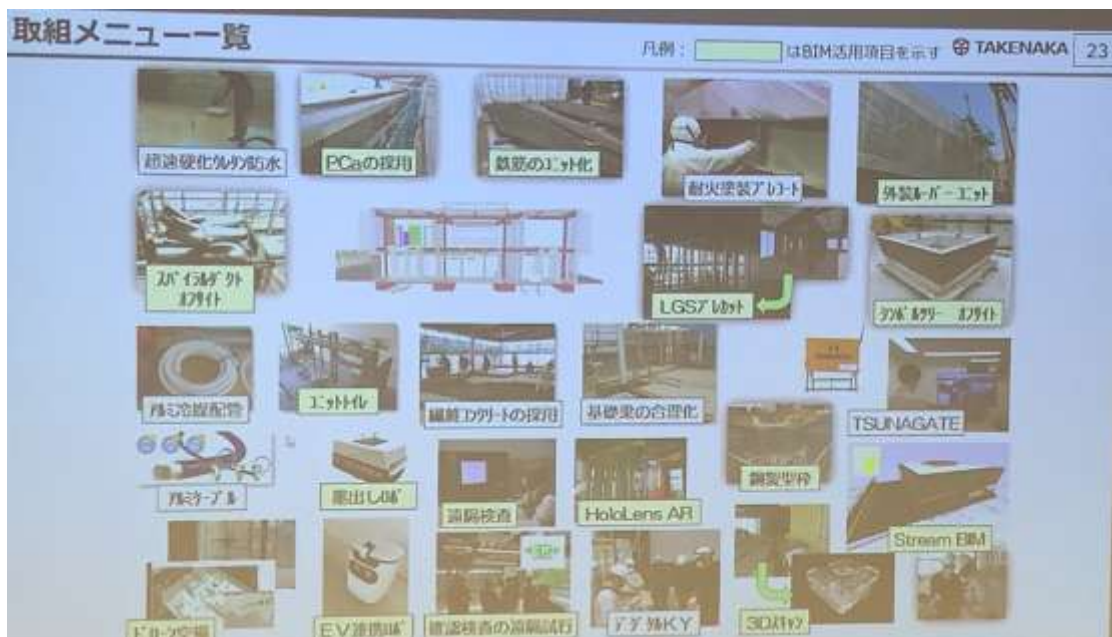


圖 13 竹中工務店 OPEN BIM 說明_4 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

竹中工務店為本身推動 BIM 擬訂了 8 個等級的應用目標，從易到難分別為：

- A. OPEN BIM 的實踐 (Solibri 的使用)

- B. 應用於施工計畫（工序、模擬等）
- C. 共通資料環境的實礎
- D. 材料數量估算
- E. 構件數位製造
- F. 產出施工圖
- G. 工程進度管理
- H. 品質管理，輔助檢查

目前僅有 A 到 C 等級的實踐穩定率較高，其餘各項尚賴人員的知識與技能的訓練，將會持續配合國交省 2023 年的 BIM 加速化補助金制度來辦理。

普及 レベル	内容・目的	対象	全体	北海道	東北	東京	名古屋	大阪	広島	九州
				N=1	N=3	N=28	N=16	N=18	N=2	N=7
A	オープンBIM実践による合意 (協力会社含む)⇨Solibri活用	建築	77%	0%	67%	79%	81%	81%	50%	71%
	設備	79%	100%	33%	75%	75%	89%	100%	86%	
B	施工計画の利用(予備・仮設等)	全体	85%	100%	100%	82%	94%	78%	50%	100%
C	共通データ環境の実践 等	全体	58%	100%	100%	41%	75%	62%	33%	60%
D	⇩ StreamBIM活用 数量積算・活用	建築	72%	0%	33%	71%	94%	72%	0%	71%
		設備	25%	0%	0%	43%	19%	22%	0%	0%
E	デッサン活用	建築	36%	0%	0%	43%	19%	56%	0%	29%
		設備	33%	0%	0%	54%	19%	22%	0%	43%
F	施工図出力	建築	35%	0%	0%	36%	25%	33%	0%	86%
		設備	36%	0%	0%	39%	56%	22%	0%	43%
G	進捗管理(出来高)活用	建築	35%	0%	0%	39%	31%	50%	0%	14%
		設備	12%	0%	0%	18%	13%	0%	0%	29%
H	品質管理・検査活用	建築	12%	0%	0%	14%	13%	17%	0%	0%
		設備	55%	0%	0%	61%	50%	61%	50%	57%

圖 14 竹中工務店 BIM 應用分析（來源：經同意拍攝之簡報內容）

竹中工務店以岡山營業所案例(申請國交省建築 BIM 環境整備會檢證計畫)了解應用 BIM 數位平台於資訊整合、工地外建造的實際應用效益。即在設計階段輔助立面採光遮陽的模擬，施工階段應用鋼構、鋁板、空調風管等的數位製造，減少現場施工作業量，管理人員、與成本。並結合 AR 技術輔助施工查驗。目前了解在提升生產力上，獲得了時間有效管理，周六日不施工，工地與公司內部人

力需求均降低 25%的效果。



圖 15 竹中工務店 BIM 應用案例說明_1 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

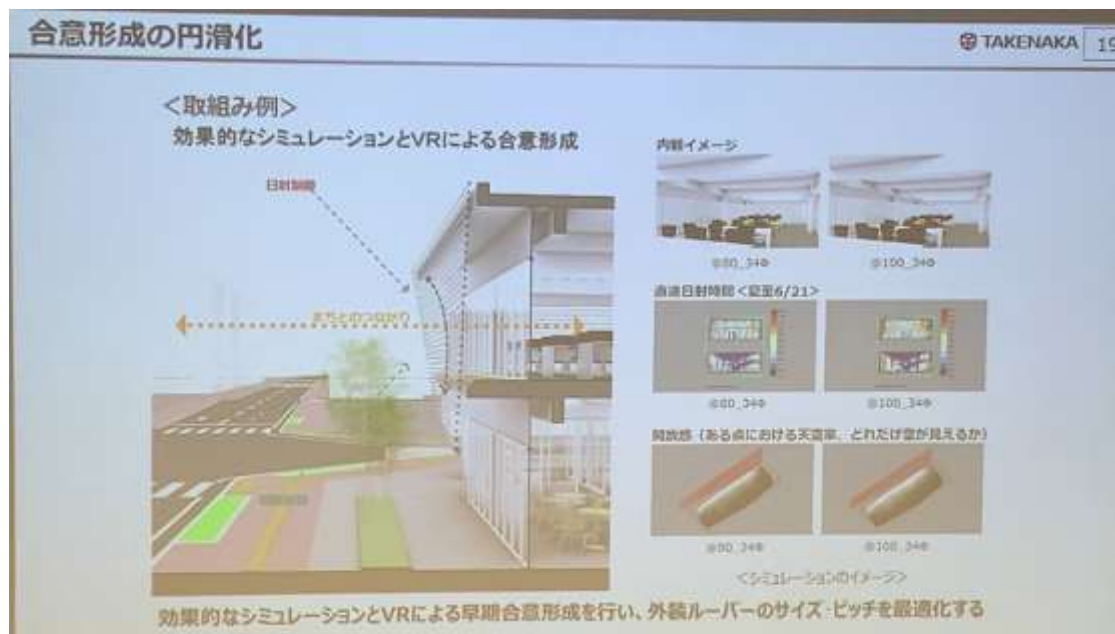


圖 16 竹中工務店 BIM 應用案例說明_2 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

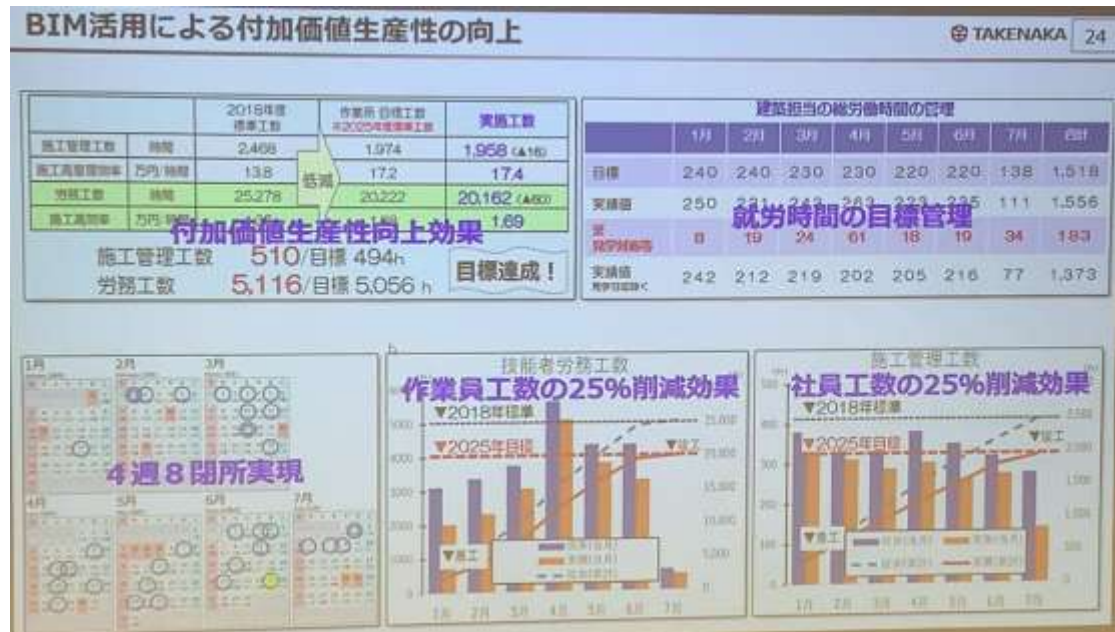


圖 17 竹中工務店 BIM 應用案例說明_3 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

(三)建設 DX—工地機器人的活用

「ロボティクス (ROBOTECHS)、人與機器共同走向未來」為竹中工務店開發機器人技術的目標，並預期在 2030 年時將大量的機器人引入工地現場輔助施工。目前有以下五大方向：

1. 搬運自動化—目標是希望技術人員早上到工地時，施工作業所需的材料，都已經透過機器人搬運到定位。
2. 提昇高處作業效率—透過機器人的協助，技術人員能在適當的高度施工。
3. 測量與記錄的 ICT 化—透過機器人在晚間協助放樣。
4. 施工管理 telwork—透過網路技術隨時監看工地現況。
5. 機器人協助監管—透過機器人來協助監看測量工地現況。

竹中工務店在開發機器人時也有過錯誤、失敗的情形。從 1980 年就開始嘗試開發應用機器人技術，當初的想法是要利用機器人來代替技術人員，雖然所開發機器人的機能都非常好，卻都沒有能成功延用在現在。失敗的主因在於前述機

器人都太重、太大、而且造價太高，其次，在移動與設置這些機器人時，也相當費工。

基於前述經驗，機器人技術開發的方向改變為如何輔助現場人員簡化施工作業為主。在這個方向下，有兩個主要的開發成果：

1. 建設ロボットプラットフォーム（建築機器人平台）

傳統上，當在正在施工的建築物內操作建築機器人時，需要使用色錐作為目標來指定工作範圍，並且隨著操作機器人和機器的數量的增加，提高各項管理業務的效率成為迫切需要解決的問題。竹中工務店開發了利用 BIM 數據的基礎系統「建築機器人平台」，可以模擬多數機器人自主運行的路徑和範圍，並進行遠程控制和監控。該系統在雲端運行，有助於機器人在建設中的建築物中進行操作，不僅不需要指定運輸路線，而且免除了以前只能在色錐的可見範圍內使用的限制，擴展了機器人的工作範圍。此外，也可通過與擁有機器人的租賃公司一起管理越來越多的建築機器人的運行狀態，期望能提高維護操作的效率。

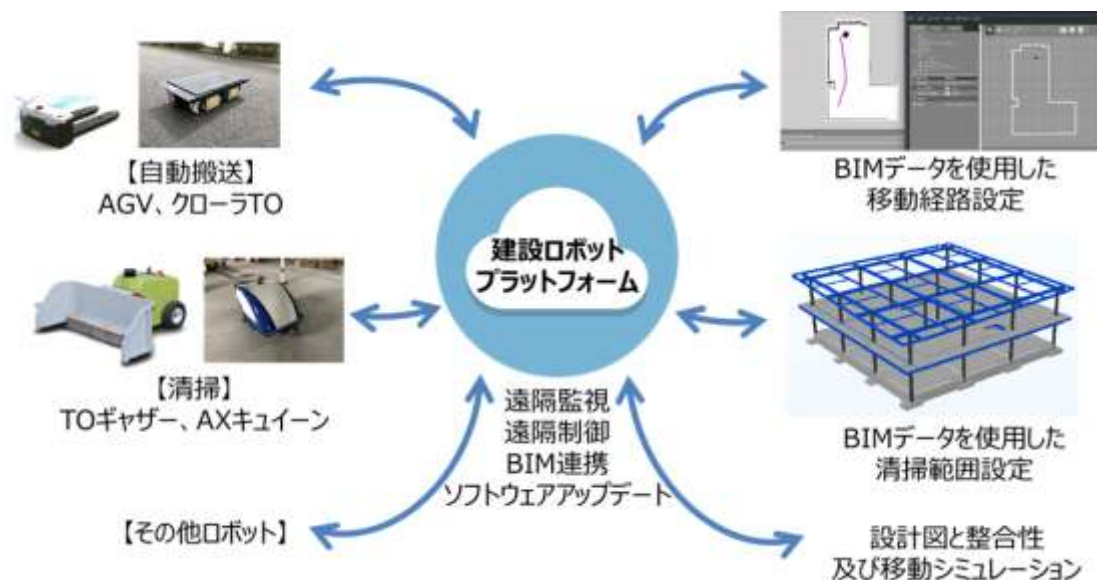


圖 18 建築機器人平台示意圖（來源：竹中工務店網站）



圖 19 建築機器人平台應用示例（來源：竹中工務店網站）

2. 四足機器人於工地的應用⁶

為了協助工地管理減少相關人力需求，竹中工務店正在研究和開發利用四足行走機器人「Spot」進行建築工地施工管理的技術。四足行走機器人的特點在於靈活性與地形適應性，可以在斜坡上行走、爬樓梯及自行跨越部份障礙物，通過使用這款機器人巡邏建築工地、遠程或自動執行現場攝影等管理任務，將增加無需現場即可執行的工作和任務的數量。目標是創建一個即使是不在現場的人員也可以參與的未來建築工地。

⁶ 四足歩行型ロボット「Spot」の建築現場活用，
<https://www.takenaka.co.jp/rd/robotics/01/index.html>



圖 20 四足行走機器人「Spot」（來源：竹中工務店網站）

(四) 建築減碳

從建築全生命週期來看，建築物使用 30 年所排放碳的量，約是施工階段蘊含碳的兩倍。竹中工務店為配合日本政府 2030 年推動 ZEB 建築認證的減碳目標，也積極建造能取得日本 ZEB 認證的建築物。目前在日本取得 ZEB 認證的建築物的 642 件中有 70 件是竹中工務店的實績。但為取得 ZEB 認證，將可會增加總工程造价的 5% 到 25%，因此需要作有效的設計以控制造價。因此，竹中工務店開發出朝向實現 ZEB 為目標的設計輔助工具—「ZEBIA」⁷。

「ZEBIA」涵蓋了實現 ZEB 所需的工具，例如考慮最大限度地利用自然能源，同時考慮節能和追求舒適度。同時具有以下特點：

⁷ 「ZEB」実現に向けた設計ツール「ZEBIA」を開発，
<https://www.takenaka.co.jp/news/2023/05/02/>

1. 快捷：設計和環境績效評價可同時進行，短時間內做出決策。

在開始設計時一併執行環境模擬，可以較傳統作業節省大約一半的時間內驗證性能並決定策略。

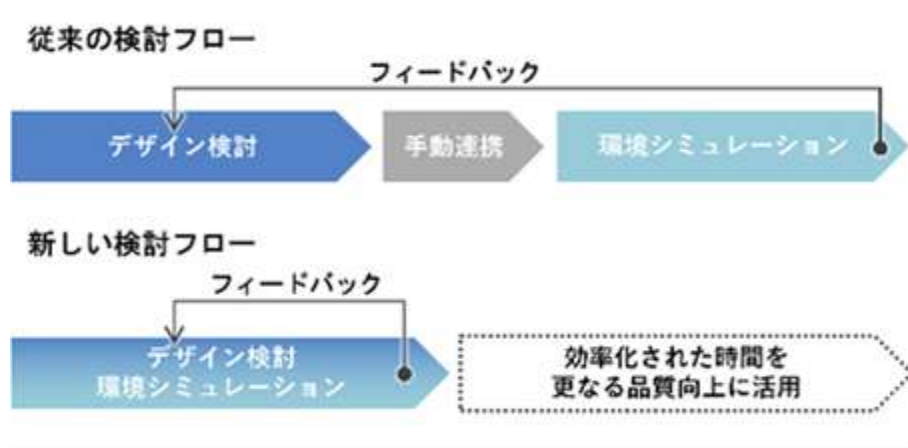


圖 21 ZEBIA 檢討流程改善圖（來源：竹中工務店網站）

2. 簡單：透過反映業主需求的模擬來實現 ZEB

結合「ZEBIA」與「ZEB 設計指南」，將設計流程和程序系統化。只需從數據庫選擇必要條件，就可以適當地反映在設計中。

3. 功能強大：同時運行多個模擬以探索各種設計代替方案

可以根據基地周圍的天氣數據同時驗證能源消耗、光熱環境等。

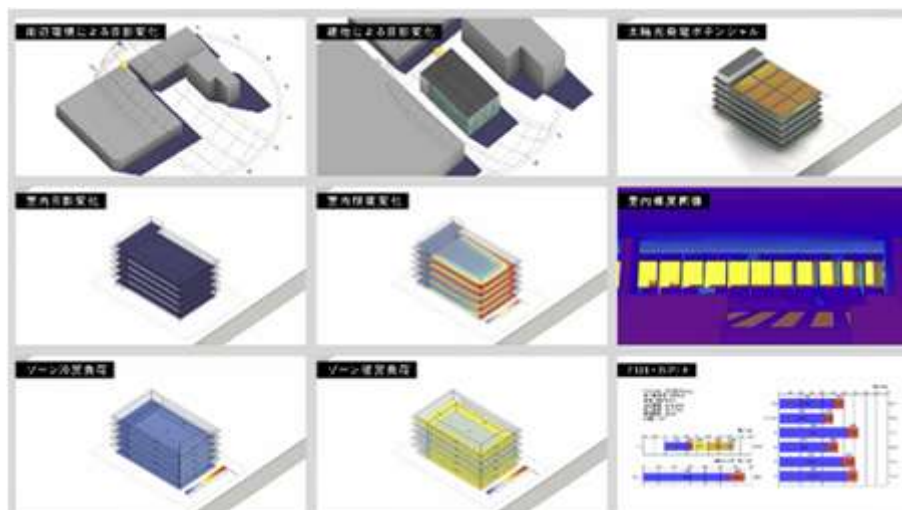


圖 22 ZEBIA 模擬各種設計代替方案（來源：竹中工務店網站）

前面提到的「ZEB 設計指南」內容包含建築設計、施工、完工移交等各階段

的建議內容，協助相關人員能快速進行 ZEB 設計。同時指南內也收錄世界各地計 228 個 ZEB 建築實例調查，包含台灣魔法學校案例，作為設計之參考。

在節能的同時，也需要提供舒適的環境，竹中工務店同時也正在開發一套評估建築室內環境品質的工具「GISTA」，利用數位手環、手機所構成的系統，可以偵測辦公空間中不同位置的不同年齡員工在不同時間段的工作集中度、壓力值、放鬆值來評估舒適度，甚至可以適用於居家辦公。使用同一個系統也可以知道辦公室空間的使用情形，以及不同部分的空間使用模式。希望累積上述的偵測數據能回饋到相關建築設計，提供最佳的工作環境與居住空間。

(五) 竹中技術研究所

竹中技術研究所已有 70 多年的歷史，共分為三個部門，分別為：

1. 建設基盤技術研究部—研發關於建築與城市發展的工程技術，包含結構和施工方法地面和基礎、耐火性、地震、結構材料等。
2. 環境社會研究部—以人為本的角度提供有助於解決環境和社會問題的先進服務，包含全球環境、社會系統、城市氣候等。
3. 未來先進研究部—引入來自不同領域的尖端數位技術和專有技術來持續創新，如機器人等。

研究所內有 163 位研究員，其中有 50 名具有博士學位。研究所的配置平面有一個直徑 300 公尺的圓形，其設計構思來自於月亮上的隕石坑，在 Google Map 中一眼就能認出。



圖 23 竹中技術研究所概要 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

世界領先之一負載能力防火實驗室

具備世界上最大的多用途耐火爐之一，爐深度約 4.5 米，其中 3.5 米位於地下，可以容納一層樓高的建材。耐火爐使用瓦斯可連續燃燒 8 個小時，溫度可達攝氏 1,200 度。爐上的加壓機具承載能力為 3,000 噸，為日本最大的設備，可以對柱、梁和地板進行耐火實驗。

用於抗風城市發展風洞實驗室

可將其圓盤形模型放置在風洞中的轉盤上，在改變角度的同時施加風力，並研究規劃建築物建造後周圍風的運動和建築物上的風載重。

Kazamidori (風見雞)⁸

為了預測颱風等「不斷變化的風向」，若使用風洞傳統技術需要大量的時間和成本。而數值風洞「風見雞」是一種數值類比技術，可以高精度地預測「不斷變化的風」。在電腦上再現市區建築，並通過數值類比計算施加到建築物上的風荷載，並可視化了風的強度和流動。由於可以降低模型製作成本，因此更容易應

⁸ Kazamidori®, <https://www.takenaka.co.jp/solution/disaster/kazamidori/>

用於中小型專案。同時減少了研究所需的時間，並允許從設計的最早階段開始進行風荷載評估。

(六)竹中セントラルビル サウス（竹中中央建築 南棟）⁹

將現有辦公樓改造成不斷發展的智慧建築

為了應對近年社會對低碳的需求，以及工作方式多樣化，竹中工務店將 1999 年落成的現有辦公樓—竹中中央建築南棟，於 2022 年改建為智慧建築辦公室，並定位為與各種先進技術共同成長和發展的智慧建築的示範點。改建工程採用了以竹中工務店開發的“ビルコミプラス”為中心的建築物低碳和運營管理相關的解決方案技術，將碳排放量降低為改建前的 50%。

“ビルコミ®”由基於雲端的建築操作系統所組成，其中包括快速響應環境變化和技術變化的“物聯網感測器網絡”，可擴展和選擇性的“設施功能模組”，以及追求使用者便利性的“應用程式功能模組”。通過簡單地更新軟體而不更新建築設備，可以提高建築和設備系統的運行性能。

⁹竹中中央建築 南棟介紹，<https://www.takenaka.co.jp/central-building-south/index.html>

<https://www.takenaka.co.jp/news/2022/10/01/>

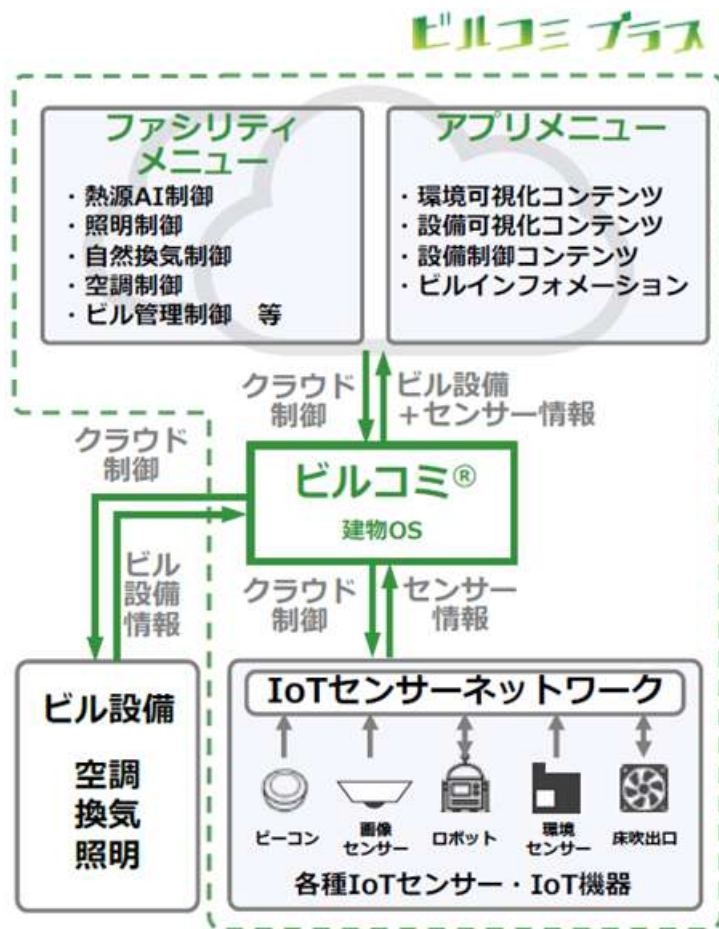


圖 24 ビルコムプラス建築智慧管理系統（來源：竹中工務店網站）

通過「提高外殼性能」、「引入高效熱源並改用 LED 照明」、「控制引入的外部空氣量」、「引入太陽能發電」和「引入自然通風」，將碳排放量從現有建築物改建前的實際值減少約 50%。未來的目標是通過將建築設備數據與建築ビルコムプラス連接起來，即使在建築物開始運營後，也能進一步減少碳排放量。

為了收集建築物運行相關數據並分析，回饋作為下一棟新建築設計之參考，在天花板設置了許多感測器，並將所收集的數據進行可視化。除了建築設備數據外，還將利用應用 AI 技術（識別人體位置資訊、衣服數量等）和環境感測器的全向攝像頭的圖像分析資訊作為“設施功能模組”引入空調出風口和自然通風口的自動控制。例如，透過每個員工配戴的識別裝置，可以透過電腦螢幕看到辦公室某人正在某個位置工作。同時了解工作環境的光線強度，及其他環境品質溫

度、濕度數據，並可以連動開關窗簾。



圖 25 ビルコムプラス中控中心（來源：竹中工務店網站）

(七) 建築與循環經濟

日本推動 3R 經濟，即 Reduce（減少使用）；Reuse（物盡其用）；Recycle（循環回收），竹中工務店也開始採用與 3R 有關的措施。基於傳統的大量生產、大量廢棄、購買更換所形成的經濟模式是一種從產品製作、使用、最終廢棄的線性經濟。而在這個線性經濟中，將被認為是廢棄物的東西作為資源再利用，不斷製造、使用、製造物品的迴圈則形成了 3R 經濟模型。循環經濟模型與以廢棄為主的線性經濟不同，其最大的特點在於從一開始即採用了不會產生廢棄物的設計。而所謂的 3R 經濟，則是設法將使用過的東西重新再利用。但因為 3R 經濟還是一種線性經濟，還是會產生廢棄物，所以另一個目標即是廢棄物零排放。竹中工務店在工地管理上，為能促進廢棄物環循再利用，也開始推動廢棄物的分類回收。

サーキュラーエコノミーとは

従来の大量生産・大量廃棄・買い換え需要に頼った経済モデルは、物をつくり、使い、最終的に廃棄するリニアエコノミー（一方通行型モデル）でした。このリニアエコノミーにおいて廃棄物とされていたものを資源として再活用して物をつくり、使い、つくり続けるという循環を繰り返すのが、サーキュラーエコノミー型の経済モデルです。廃棄を前提としているリニアエコノミーと異なり、**最初から廃棄が出ない設計やデザインが実装されている点**がサーキュラーエコノミーの大きな特徴となります。

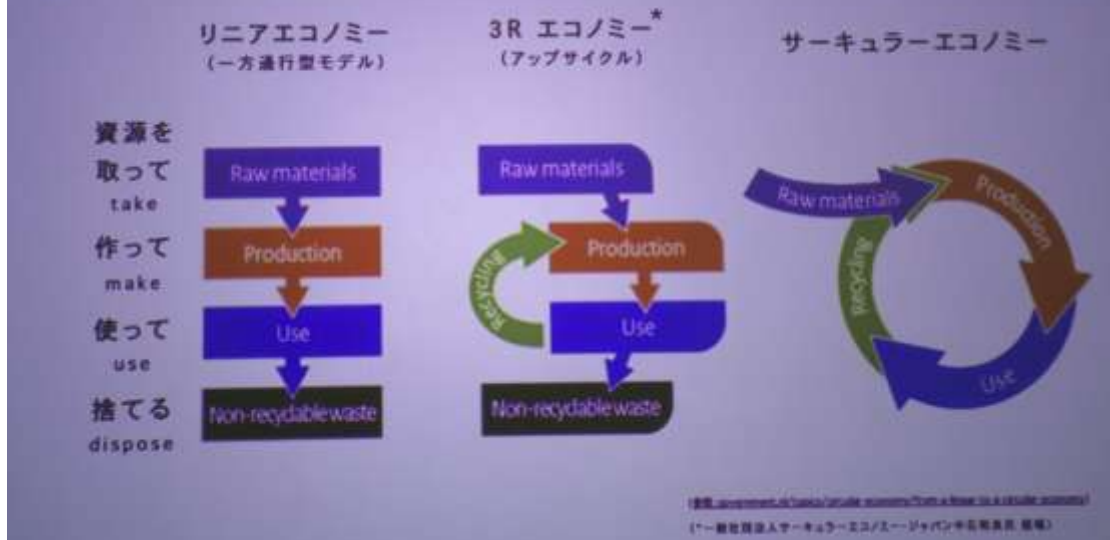


圖 26 サーキュラーエコノミー（Circular Economy）循環經濟解說圖（來源：經同意拍攝之簡報內容）

除了新建工程之外，竹中工務店也將 3R 應用在歷史建築的維修上，如將北菓樓的札幌本館（1962 年建成）的原有地磚、壁磚拆下後重新鋪貼，以及原有樓梯的重新利用。以及在竹中工務店關東支店的新建工程中，回收利用原建築拆除後留下的外遮陽板、空調風管與窗戶玻璃等構件，以實現零廢棄物的目標。

歴史的建造物の特長を活かした3R:北菓楼札幌本館



圖 27 北菓樓的札幌本館整修（來源：經同意拍攝之簡報內容）



圖 28 竹中工務店關東支店的新建工程 (來源: 經同意拍攝之簡報內容)

關於更進一步的循環經濟，因應國際趨勢，日本產業經濟省已在研擬推動循環經濟產業。在建築循環產業方面，日本的淺沼組利用該公司已有 30 年歷史的名古屋支店的改建修繕工程，實現被稱為“GOOD CYCLE BUILDING”的理念，其特徵是考慮到地球環境和身心健康的空間設計。其所採用如吉野杉柱子經過歲月乾燥後可以拆下來轉用為傢俱等設計，目標是當建築物達到壽命時，其所有構件都可以「回歸到土壤中」的設計。

浅沼組（名古屋支店）

建物の再生事業の一環として築30年の浅沼名古屋支店のビルを改修した。
「GOOD CYCLE BUILDING(グッドサイクルビル)」と呼ばれるビルは、地球環境と心身の健康に配慮した空間デザインが特徴。吉野杉の柱は歳月を経て乾燥した後には取り外して家具などに転用できる設計になっているほか、本来は捨てられる建設残土をふんばんに有効活用し、それを社員自ら土壁として施工し、建物が寿命を迎える時には「土に戻る」設計が行われている。



リニューアル前



リニューアル後



圖 29 日本浅沼組名古屋支店の改建修繕工程(來源:經同意拍攝之簡報內容)

基於竹中工務店 2050 年的環境概念路徑圖的規劃，預計 2030 年要減少營建廢棄物 50%、2050 年要達到零廢棄物。為實現上述目標，就一定要推行循環經濟。也因此，竹中工務店提出了「循環的設計建造」¹⁰的概念，來取代傳統的「拆除與新建」¹¹。「循環的設計建造」包含以下 3 個策略：

- 1.不產生廢棄物的設計與施工（生產的循環）
- 2.延長使用建築物與建材（生產的循環、使用的循環）
- 3.城鎮的資源循環（生產的循環）

¹⁰ サーキュラーデザインビルド、Circular Design Build

¹¹ スクラップ&ビルド、Scrap & Build

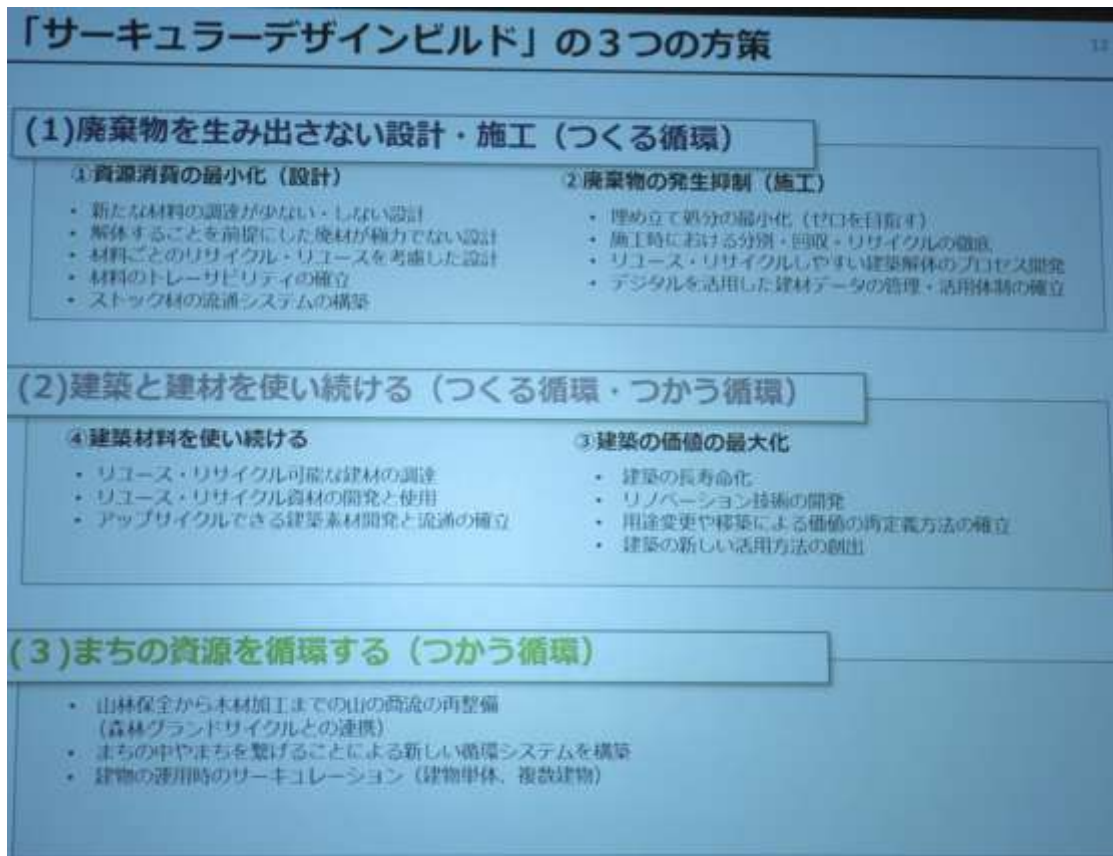


圖 30 「循環的設計建造」3 策略 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

竹中工務店為了宣傳上述理念，特別繪製了一副插圖以便能以更具親和力的方式，更清楚的向各界說明。圖中展示的理念有下：

1. 儘量不使用自然資源
2. 儘量不產生廢棄物
3. 在前述兩條件下進行建築循環

0

廢棄物中可能含有許多不知來源的地毯，為了保證回收再生產的地毯的品質，所以廠商只願意回收自己生產的產品。這方面需要日本政府的產業經濟省、環境省與國土交通省再作一系列的討論以改善法令環境。

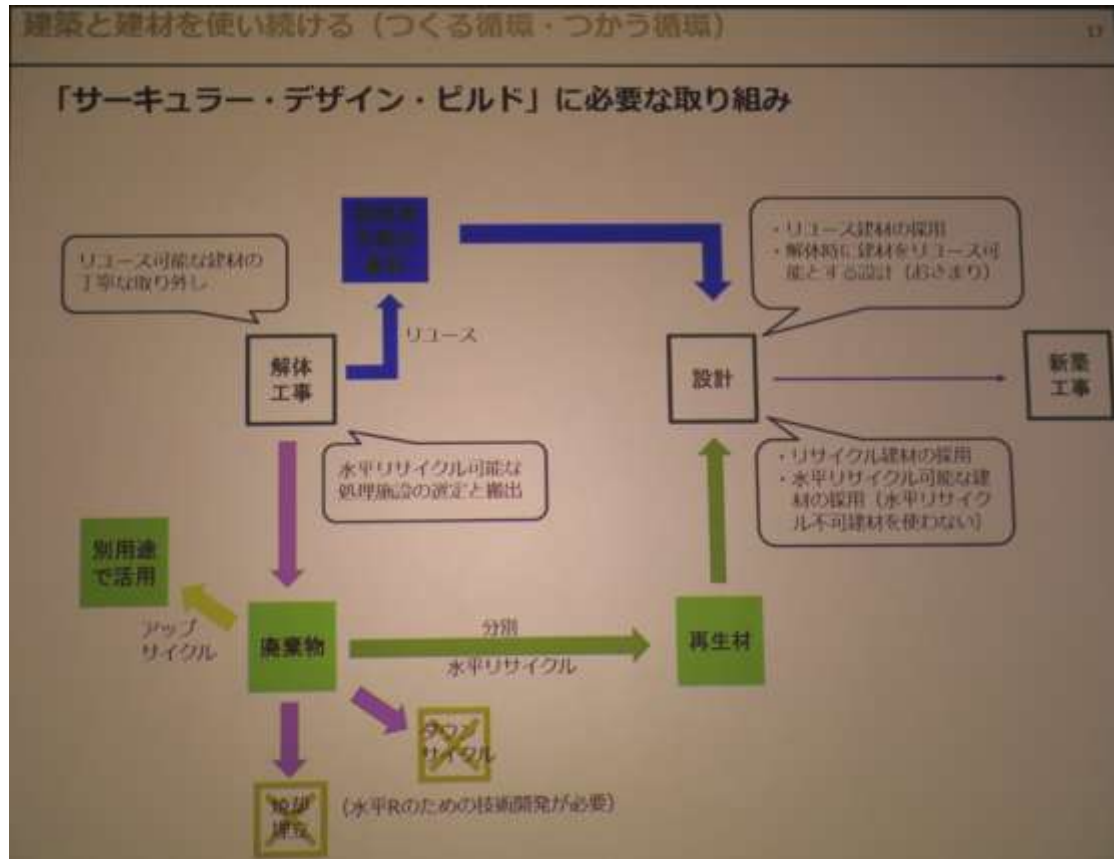


圖 32 「循環的設計建造」流程 (來源：經同意拍攝之簡報內容)



圖 33 「循環的設計建造」玻璃回收使用流程（來源：經同意拍攝之簡報內容）



城鎮的資源循環（生產的循環）方面，竹中工務店則是以建築物的整建再利用工程來實現，如優衣庫在東京銀座的店舖即是由原本是百貨公司所翻新改建，位於澳洲雪尼獲得 WAF 2022 大獎的 Quay Quarter Tower 案例¹²，對現有大樓進行升級改造，保留原大樓 65%的梁、柱和樓板，以及 95%以上的現有建築核心，僅混凝土就減少了 7,500 噸以上的碳排放，竹中工務店未來也將朝向能再現前述案例持續前進。

¹² Quay Quarter Tower 案例，

<https://www.worldbuildingsdirectory.com/entries/quay-quarter-tower/>

サーキュラーエコノミーに合致するPJを発掘し、社外へ発信

海外：アップサイクル事例

キー・クォーター・タワー（オーストラリア：シドニー）建築スタジオ3XN・BVN



世界最大規模の国際建築アワード WAF 2022（ワールド・アーキテクチャ・フェスティバル）にて「ビルディング・オブ・ザ・イヤー」に選出されるとともに、2022年 国際高層建築賞（International Highrise Award）も受賞しています

圖 35 WAF2022 大獎 Quay Quarter Tower 案例(來源:經同意拍攝之簡報內容)

(八) 木構造建築的減碳與防火

木構造與減碳

日本在 1950 年制定建築基準法以來，對木構造高度有所限制。但在 2000 年的日本建築基準法改正中，取消了對木構造設計高層的限制，直接以結構設計標準作為建築物設計高層的依據。¹³竹中工務店於 2016 年成立「木造・木質建築推進本部」，因應世界各地如加拿大、美國、挪威、澳大利亞等國家發展高層木構建築潮流¹⁴，研究創新木構建築。

¹³ 木構造建築物高度、樓層數相關設計規定檢討研究，內政部建築研究所協同研究報告，中華民國 108 年 12 月，第 9 頁。

¹⁴ 位於美國威斯康辛州密爾瓦基市的 Ascent 大樓，高約 86.56 公尺、達 25 層樓，為底層鋼筋混凝土、上層木構造的複合式集合住宅。<https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/1474771>



圖 36 世界各地高層木構建築（來源：經同意拍攝之簡報內容）

日本為能達成 2015 年巴黎協定減少氣候變遷的風險和影響的目標，希望能利用森林吸收 CO₂，協助在 2050 年達到承諾減少 CO₂ 的目標量。即利用森林的砍伐與復育的循環來固化 CO₂，同時實現永續社會。而推動都市木造，將木構造大量應用於日本 4 層以上的建築，將有助於達成上述目標。

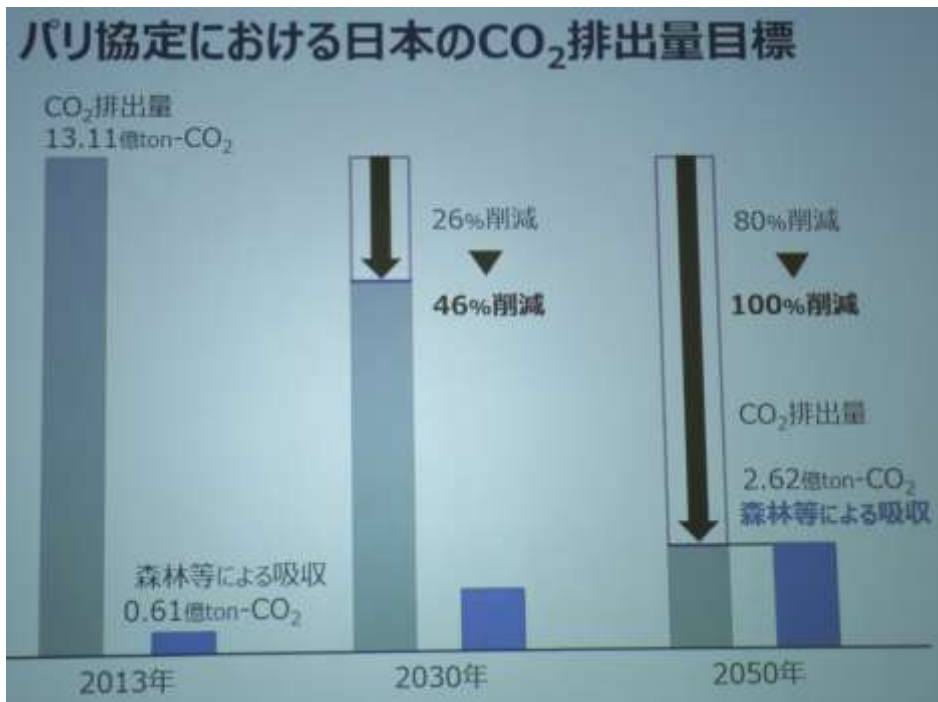


圖 37 日本巴黎協定承諾減少 CO₂ 的目標量（來源：經同意拍攝之簡報內容）

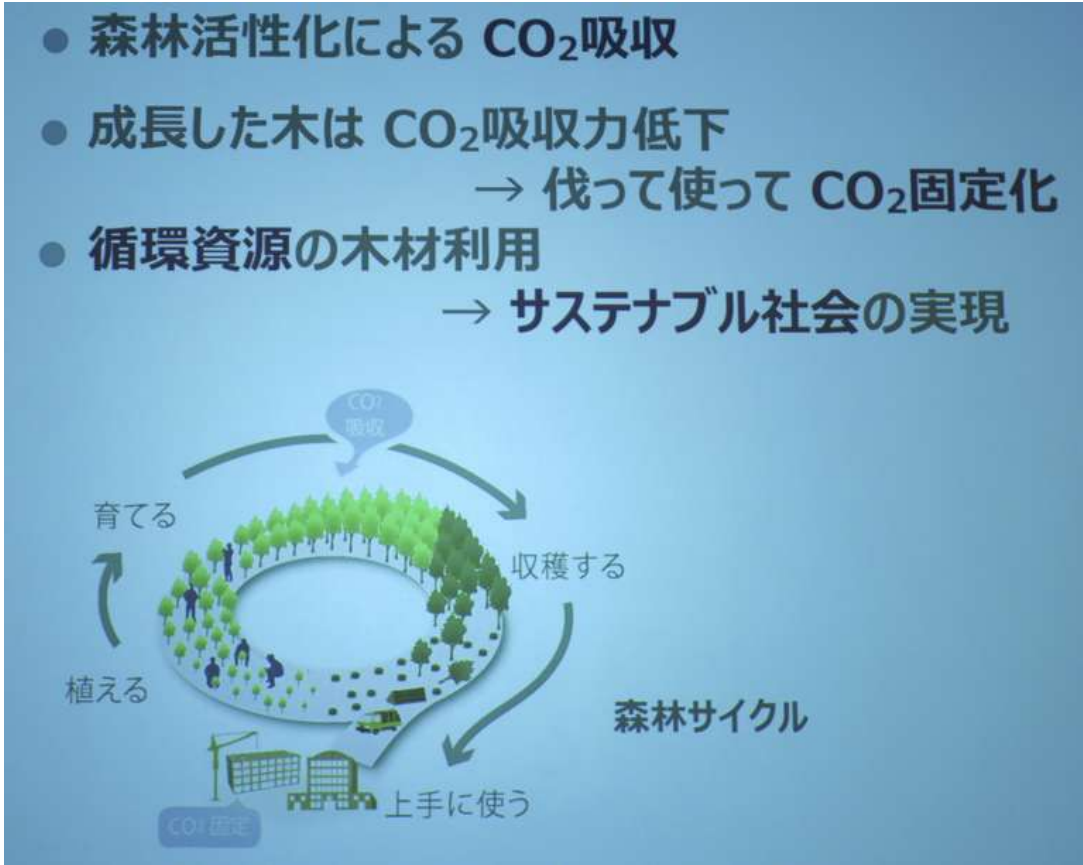


圖 38 利用森林的砍伐與復育的循環來固化 CO₂，同時實現永續社會（來源：經同意拍攝之簡報內容）



圖 39 日本木構造建築比例（來源：經同意拍攝之簡報內容）

木構造與防火

依據日本法規要求都市內耐火建築物必需在火災發生時能讓人員避難、火災後不倒塌，同時不能延燒鄰房。竹中工務店為推動都市木造理念，特意開發了名為「燃エンウッド」¹⁵的承壓耐火集成材，與 RC 或鋼材同樣是得到國家認定的建材，可以作為建築物的柱或樑。「燃エンウッド」利用在集成木材內填充石膏、灰漿來形成吸熱層，保護中央的荷重支撐部，可以符合日本法令在中高層建築物依樓高不同而有不同的耐火時效要求，同時也因為在木構造的上的火焰會自己熄滅，不會延燒到中央的荷重支撐部，所以可以符合火災後不倒塌的要求。燃エンウッド作為樑使用時，若在內部加入鋼筋，其跨距可從 8 公尺增加到 12 公尺。目前竹中工務店在日本應用此一建材的木構建築工程總計有 36 件，包含醫院、購物中心、學校、辦公室等建築。

¹⁵燃エンウッド，<https://www.takenaka.co.jp/solution/needs/design/service20/index.html>
<https://www.takenaka.co.jp/news/2017/02/03/index.html>
<https://www.takenaka.co.jp/solution/environment/moenwood/>
<https://www.takenaka.co.jp/news/2022/11/02/>

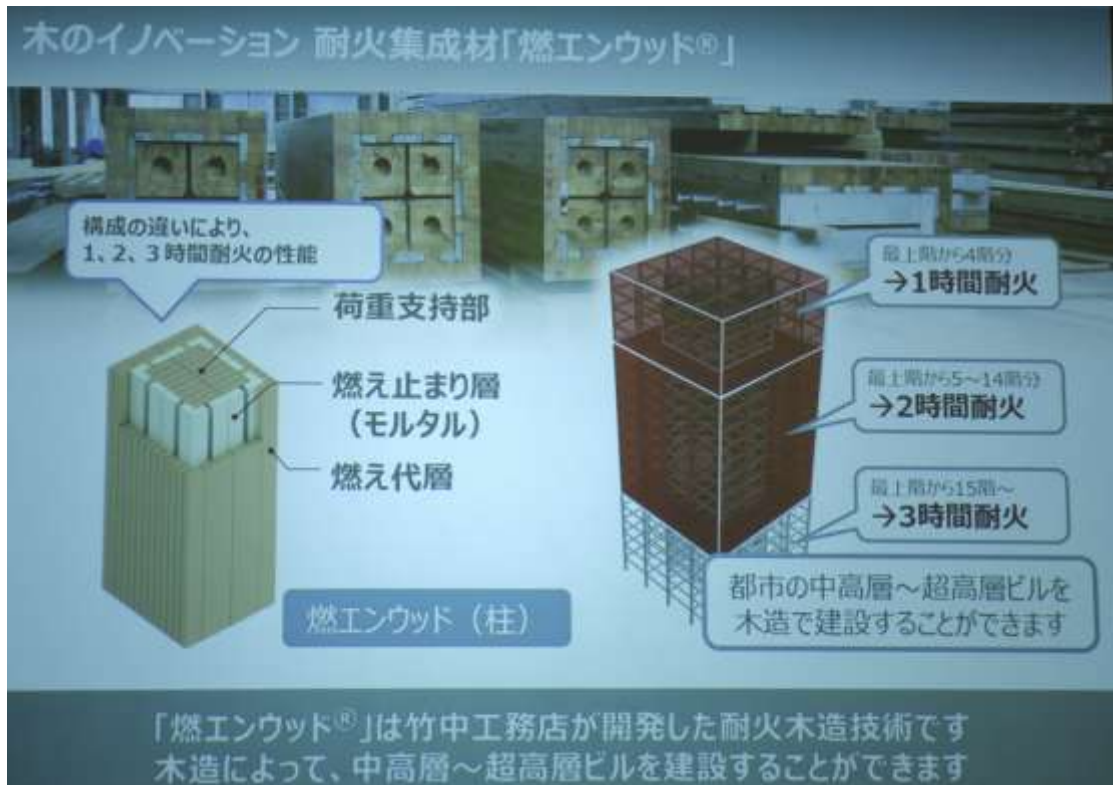


圖 40 「燃エンウッド」解説圖_1 (來源：經同意拍攝之簡報內容)

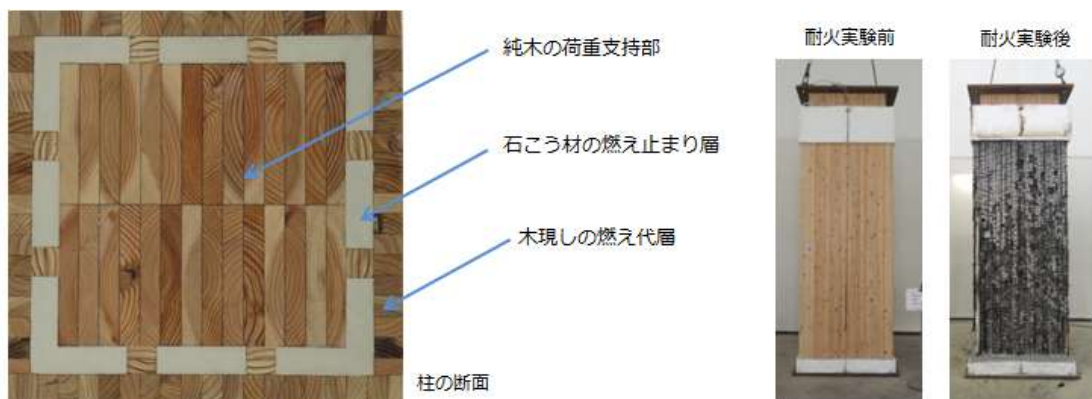


圖 41 「燃エンウッド」解説圖_2 (來源：竹中工務店網站)



圖 42 Flat Woods Kiba（來源：經同意拍攝之簡報內容）

Flat Woods Kiba（フラッツ ウッズ 木場）¹⁶是竹中工務店所擁有的一棟 12 層單身宿舍。其設計與 12 年前完工的鄰棟相同，但改用木構與 RC 結合興建，以 RC 來承載地震力。除了通過隔震結構確保抗震性外，並採用竹中工務店開發並投入實際使用的「2 小時「燃エンウッド」和木材抗震加固技術“T-FoRest®”外，還首次應用了許多下一代木結構建築技術，在城市地區實現木結構建築。

竹中工務店也將在東京興建日本最高、最大的木造結合鋼構（Hybrid）的 17 層建築。（如圖 44）

¹⁶ Flat Woods Kiba ， <https://www.takenaka.co.jp/news/2020/02/02/index.html>

<https://kinomachi.jp/1105/>

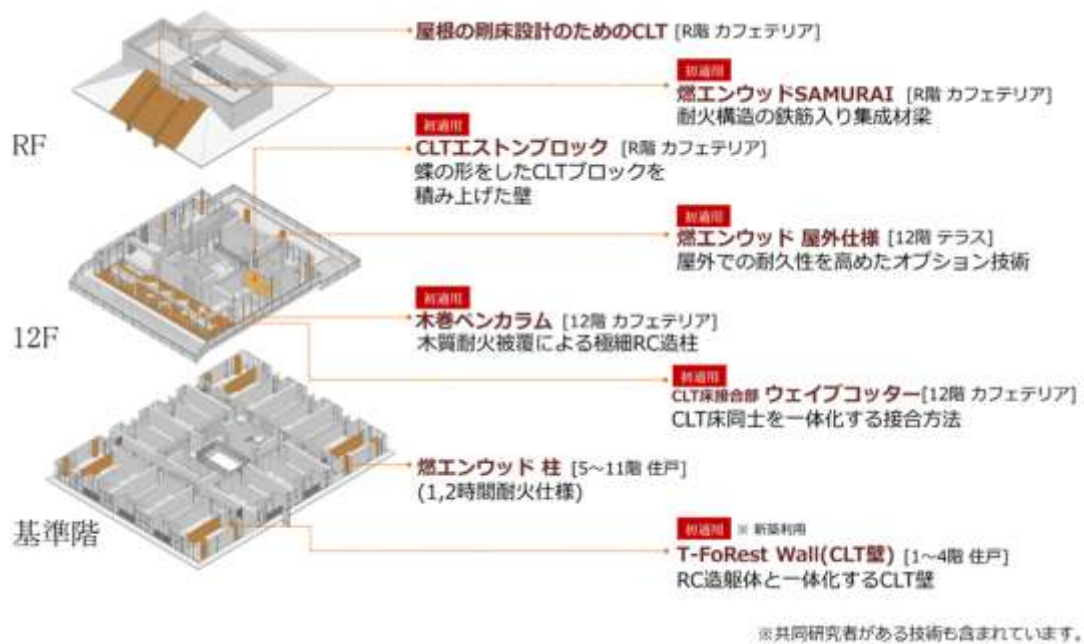


圖 43 Flat Woods Kiba 木構造解説（來源：竹中工務店網站）

(仮称) 日本橋本町一丁目計画
東京都中央区・事務所、商業施設
地上17階・延床面積 約26,000m²

- 国内最大・最高層の木造建築
- 2025年完成予定
- 高層ハイブリッド木造

完成予定「ハイブリッド」高層木造建築・竹中工務店
*色パースは現時点でのイメージであり、今後変更になる可能性があります。

圖 44 竹中工務店將興建木造鋼構 (Hybrid) 的 17 層建築（來源：經同意拍攝之簡報內容）



圖 45 竹中工務店簡報照片（來源：本計畫拍攝）

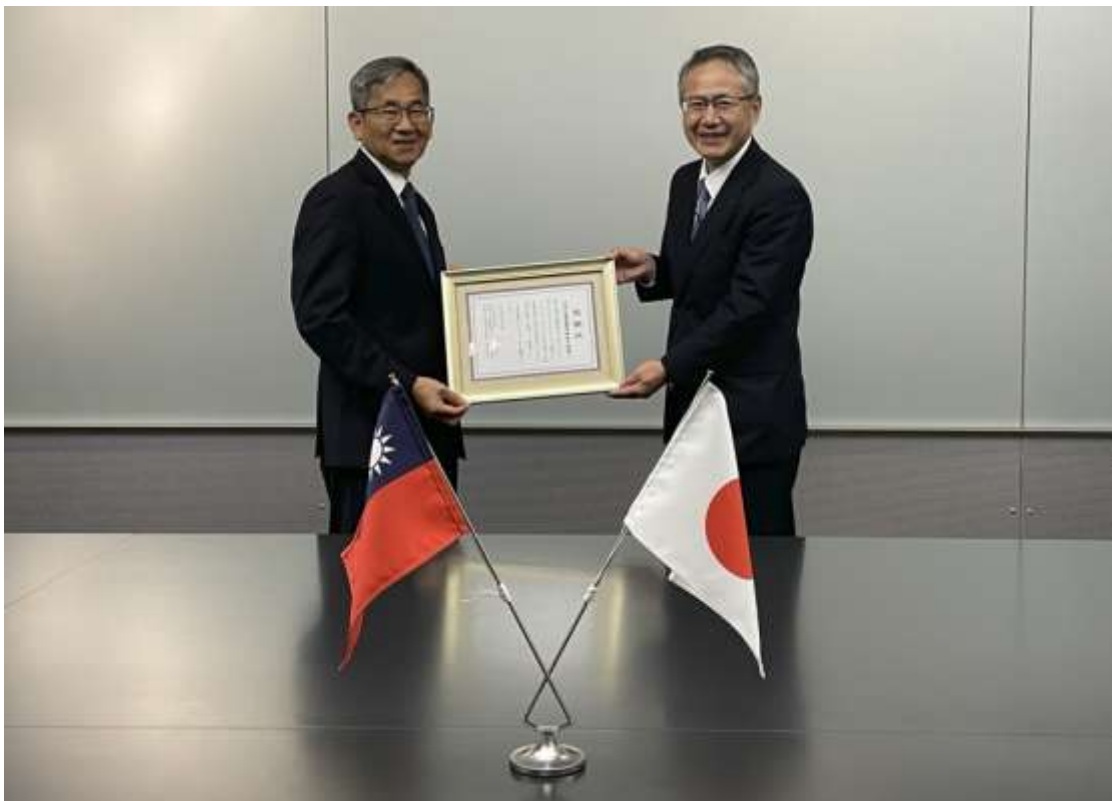


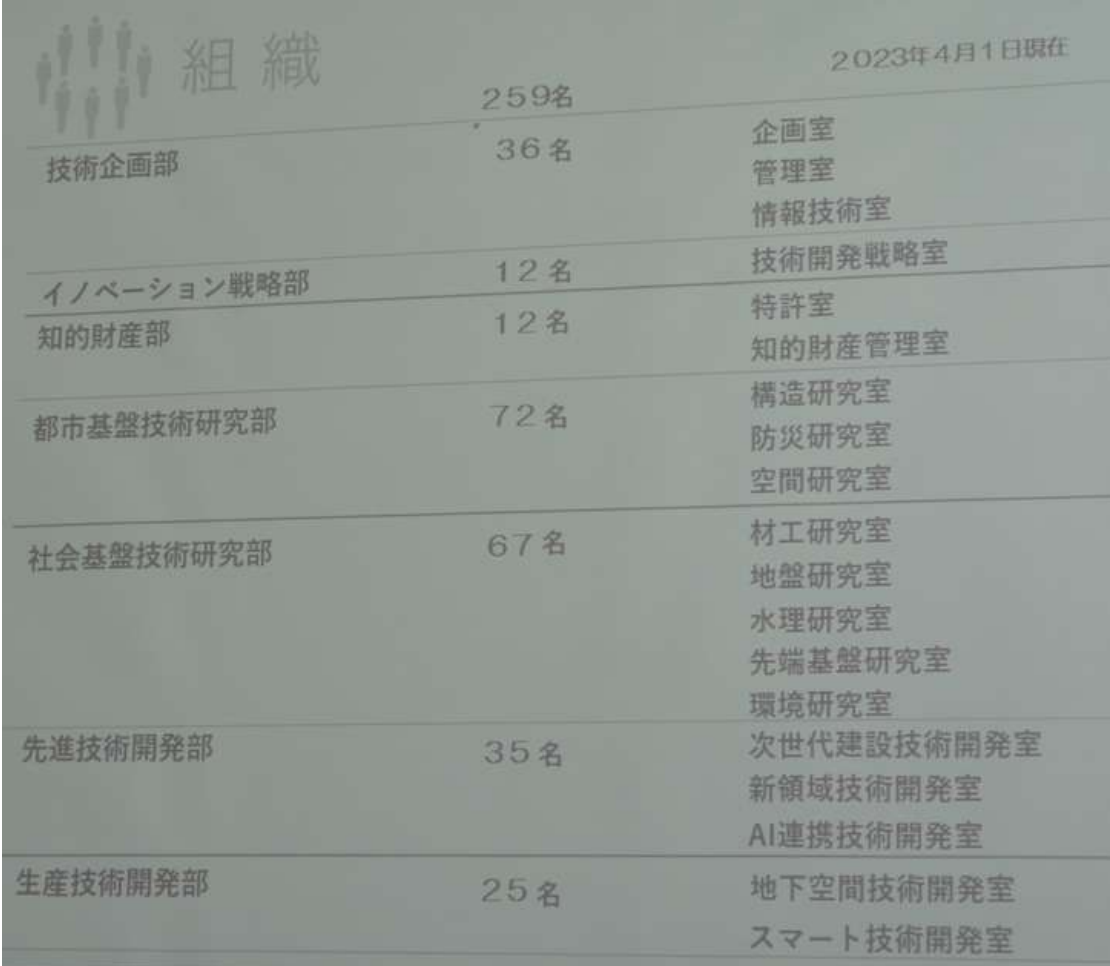
圖 46 本所王所長榮進與竹中工務店岩下敬三先生合影（來源：本計畫拍攝）

二、大成建設

(一)大成建設技術中心

大成建設於 1873 年創業，今（2023）年正好為創業第 150 週年，現有海內外員工共計 14,466 人，年營業額為 1 兆 6,427 億日圓。

大成建設技術中心負責建築材料、工法等相關研究開發，如赤坂王子飯店超高層建築的無聲拆樓，開發潛盾、高強度橋樑桁架等。技術中心佔地約 35,000m²，其上有 14 棟建築，包含了建築、土木、環境、能源、結構、材料、地盤、防災、水理、生物、化學、植物、音響、電磁、IoT、AI、ICT 等等共計 13 個實驗室，大約有 259 個跨越各個領域的研究人員在一起工作。



組織		2023年4月1日現在
技術企画部	259名	企画室 管理室 情報技術室
イノベーション戦略部	36名	技術開発戦略室
知的財産部	12名	特許室 知的財産管理室
都市基盤技術研究部	12名	構造研究室 防災研究室 空間研究室
社会基盤技術研究部	72名	材工研究室 地盤研究室 水理研究室 先端基盤研究室 環境研究室
先進技術開発部	67名	次世代建設技術開発室 新領域技術開発室 AI連携技術開発室
生産技術開発部	35名	地下空間技術開発室 スマート技術開発室
	25名	

圖 47 大成建設技術中心組織（來源：經同意拍攝之簡報內容）

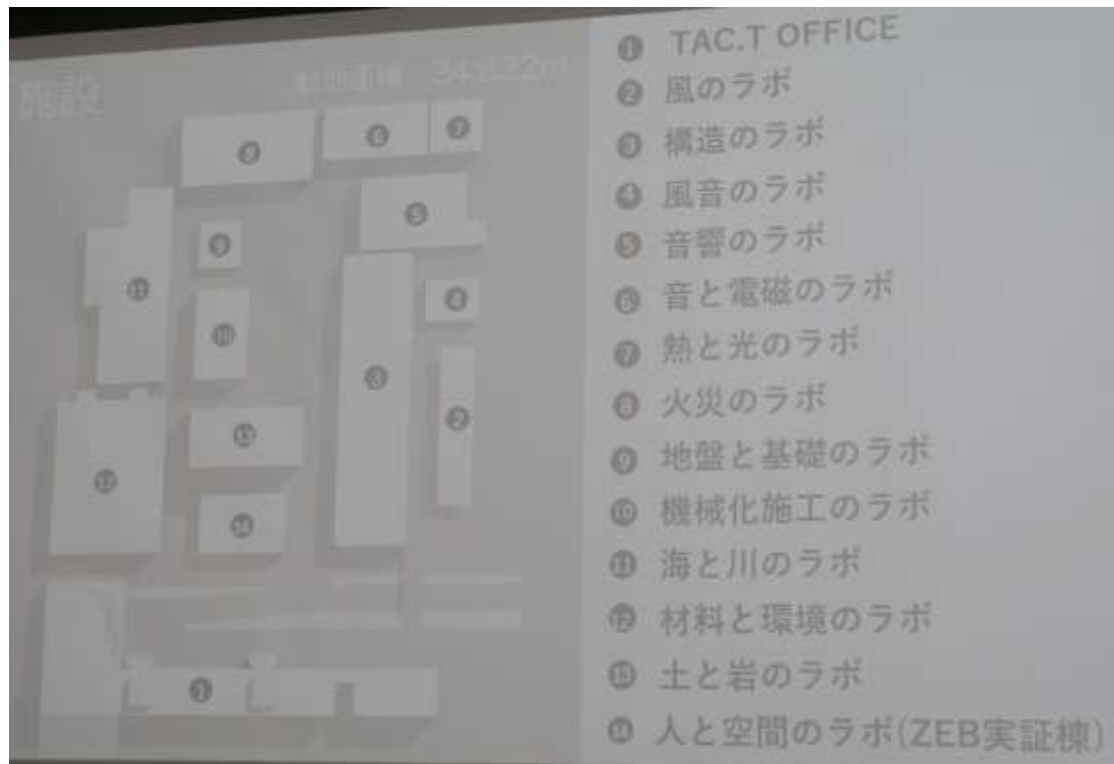


圖 48 大成建設技術配置圖（來源：經同意拍攝之簡報內容）

(二)人と空間のラボ（Human Space Lab）ZEB 實證棟¹⁷

日本業界慣例是負責興建的營造廠，也會負責同一棟建築物完工後的內部裝修、修繕改建等相關工程。也因此，被政府要求協助業主改善舊建築物的能源使用效能。

2014 年 5 月，為了作為國家政策先驅，推廣普及 Urban ZEB®，大成建設在技術中心建造了 ZEB 實證棟並開始運營。並在接下來的五年裡，透過太陽能發電達成建築本身的年度生產與使用的能源平衡。

2020 年 2 月，為了進一步提高能源性能，提高了外部使用的太陽能電池單元的效率，使外殼更加隔熱，並更新了空調和照明設備。同時也引入人工智能和物聯網來支援辦公室工作人員多樣化的工作方式，打造一個安全且可以專注工作、更自然的創意辦公室。

¹⁷人と空間のラボ（Human Space Lab）ZEB 實證棟，
https://www.taisei-techsolu.jp/tech_center/topics/zeb/

ZEB 實證棟為地上三層，雖無開挖地下室，但設有都市型小變位免震設備，可確保大地震時的安全性以及中小地震時的安心感。外牆及屋頂上設有太陽能光電板，蓄電池設於屋頂，暫時存儲發電的剩餘電力以備不時之需。但電力在存儲和使用之間轉換會有損失，故將多餘的電力送到現場的其他實驗設施現場使用。而當沒有足夠的發電量時，則是購買商業電力補足，所以並不是一座完全獨立能源的建築。

2014 年這座 ZEB 實證棟竣工後，實際營運發現要達到能量平衡完全為零，具有相當高度的障礙與成本，特別是發電裝置，所以現在 ZEB 被定義為四個階段。即是，ZEB ready 節能 50%以上，Nealy ZEB 超過 75%，Net ZEB 節能 100%，以及，最近增加的 ZEB Oriented，並且根據建築物的大小和用途放寬了 ZEB 標準。自本 ZEB 示範大樓竣工以來，大成建設已在各類建築物中取得 ZEB 認證，例如札幌分店所在的大樓是 ZEB ready，博多分店所在的福岡 JS 博多渡邊大廈則是第一個實現 ZEB ready 並成為 ZEB 大樓建築。¹⁸



圖 49 ZEB 分級解說 (來源：大成建設網站)

¹⁸ 博多渡邊大廈，https://www.taisei-techsolu.jp/solution/ct_renewal/zeb_zeb.html



圖 50 ZEB 實證棟外觀（來源：本計畫拍攝）

T-Green Multi Solar¹⁹

ZEB 實證棟於 2014 年完工時，使用了一種非常薄和輕的材料所製成的太陽能光電板，稱為有機薄膜，但存在發電效率問題。因而在 2019 年更新時改採用了正在開發的高效率晶體太陽能光電板。新的光電板有兩種類型，其一是固體型太陽發電板，與可以看到電極線的傳統太陽能電池板不同，固體型具有難以看到電極線的結構。

另一種是可以看到外面的透明型，是一種玻璃集成太陽能光電板，在玻璃之間夾有發電元件，通過將太陽能電池排列成條紋，能讓光線穿透，可用於代替窗玻璃。由於它不會破壞建築物的設計和房間的景色，因此可以安裝在窗戶部分。

¹⁹ T-Green Multi Solar ，

https://www.taisei-techsolu.jp/solution/ct_savingenergy/t-green_multi_solar.html

https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/221011_9103.html

排列成條紋狀的太陽能光電板可以在兩側發電。當陽光反射照射到室內側的太陽能光電板時，不僅可以在室外發電，還可以在室內產生電力。因為無需特殊維護，可以像一般窗戶玻璃一樣清潔窗戶。目前，由於需要沿天花板佈線的問題，只能安裝在固定窗戶上，但正在開發可以安裝在活動窗戶上的產品。

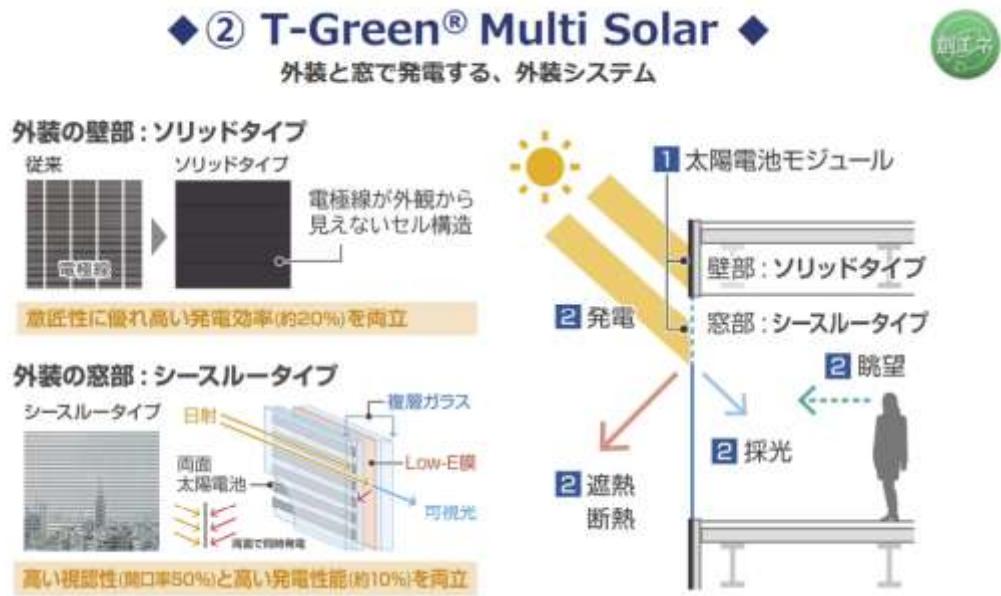


圖 51 T-Green Multi Solar 解說圖 (來源：大成建設提供)



圖 52 T-Green Multi Solar 樣品 (來源：本計畫拍攝)

T-Light® Cube

雖然太陽的高度會根據季節和一天中的時間而變化，但透過特別設計的開窗橫截面形狀，無論陽光以什麼角度進入，光線都可以反射進入到房間的天花板。天氣好時，亮度會非常高，可以不必開燈。但在晚上或天氣不好的時候，就會用 LED 照明來補充。此外，個別座位的照明可由人體檢測感測器控制自動開關。

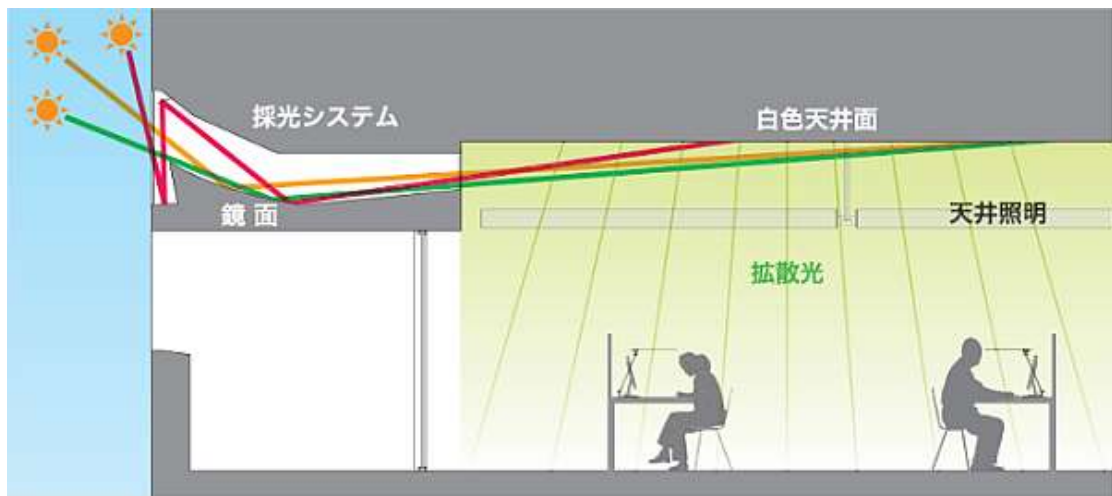


圖 53 T-Light Cube 解說圖_1 (來源：大成建設網站)

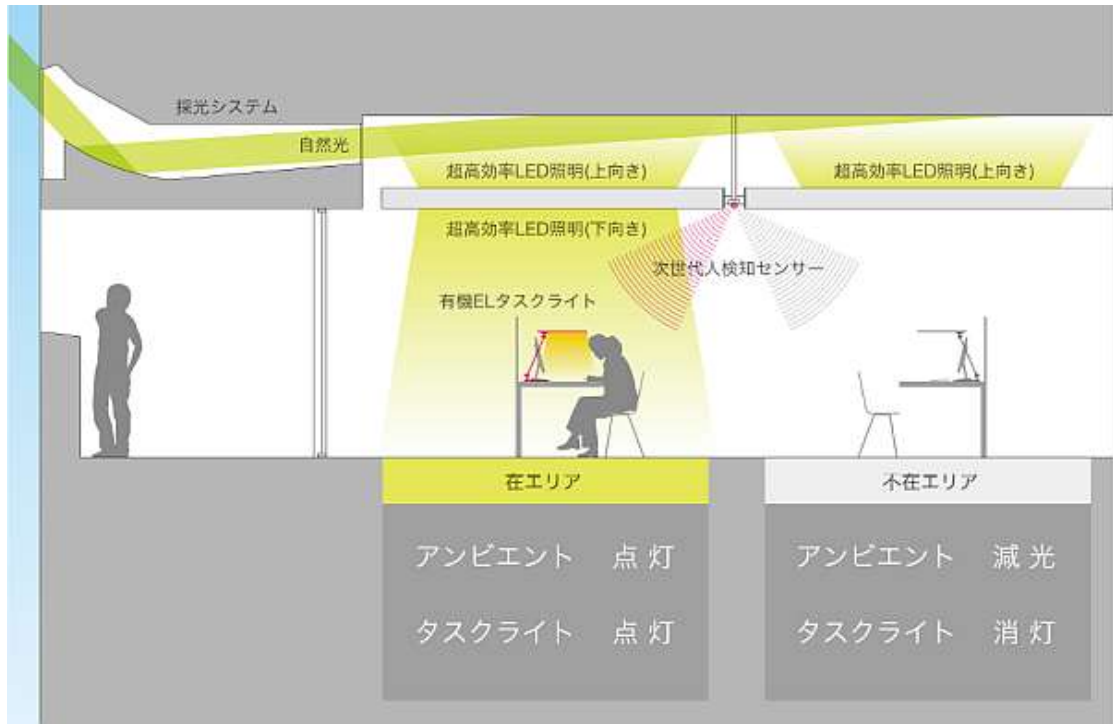


圖 54 T-Light Cube 解說圖_2 (來源：大成建設網站)



圖 55 T-Light Cube 實際效果 (來源：本計畫拍攝)

T-Personal Air III²⁰

為一種通用的個人地板井噴空調。空調舒適度是最有可能有個人差異，因此最好能夠根據自己的喜好進行調整以帶來舒適感。因為天花板設有檢測人的感測器，當人坐下時，出風口會自動打開，讓空調風吹出。也可以從自己的電腦上根據自己的喜好單獨調節風量。

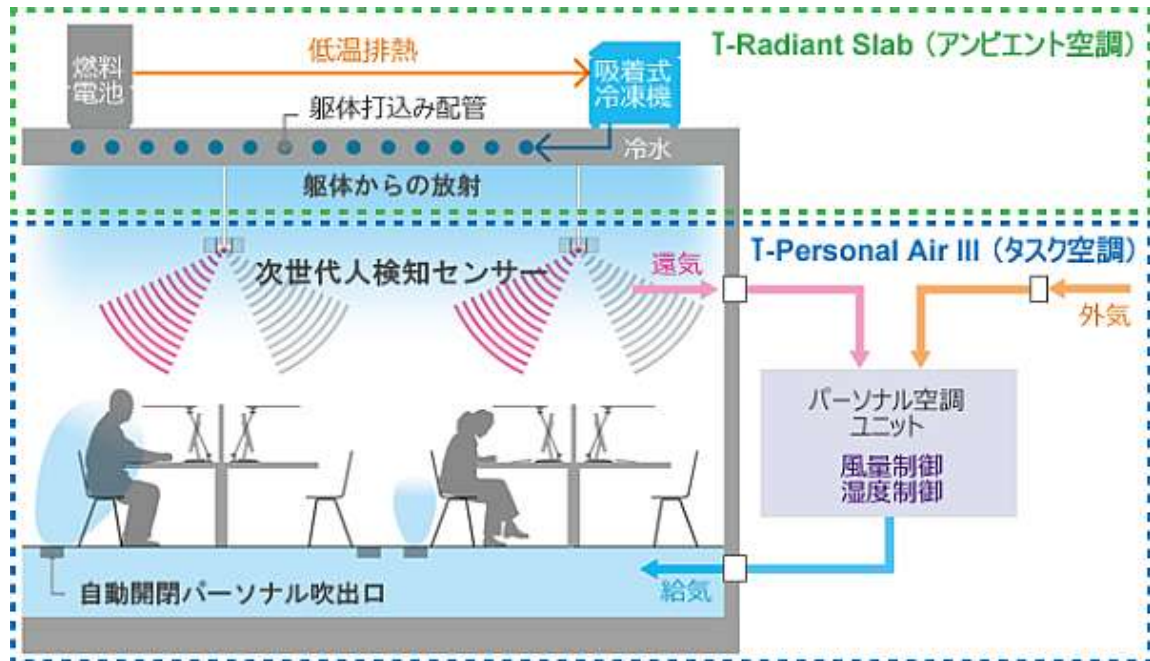


圖 56 T-Personal Air III 解說圖（來源：大成建設網站）

²⁰ T-Personal Air III，<https://www.taisei.co.jp/ss/tech/F3018.html>



圖 57 T-Personal Air III 地板出風孔 (來源：本計畫拍攝)

(三)材料と環境のラボ²¹

材料與環境實驗室設有促進與其他行業合作的開放實驗室，主要作為材料與環境領域的研發基地。該設施是於 2018 年利用現有結構進行改造，但其目標是成為日本第一個實現“近 ZEB”的私人研究設施。

T- e Concrete® /Carbon-Recycle²²

日本政府已經開始要求國內各大傳統營造廠開始推動工程專案的節能減碳，其中重點在於使用階段降低能源使用，以及在興建過程中減少碳排放量，這些都是營造廠的技術研究所要努力的地方，例如，如何在生產混凝土的過程中減少碳排放，以及如何將二氧化碳封入混凝土之中等相關技術。此外，如何減少設計、施工作業所產生的碳排，也是研發重點。

為了在 2050 年實現碳中和，大成建設開發了各種類型的環保混凝土“T- e Concrete® ”。T- e Concrete ®減少了水泥用量，但保持了與普通混凝土相同的強度和工作性，因此減少了碳排放。

根據代替水泥的工業副產品的配合情況，可分為符合建築標準型、粉煤灰利用型、水泥零型、碳回收型（Carbon-Recycle）四種類型，.

- 符合建築規範—減少水泥並使用高爐礦渣（煉鋼的工業副產品）代替。適合建造符合建築標準的建築物。
- 粉煤灰利用型—減少水泥，用高爐礦渣和粉煤灰（粉煤灰的一種）代替。粉煤灰是燃煤電廠產生的工業副產品。
- 零水泥型—完全不使用水泥，使用特殊反應物使高爐礦渣硬化。最高可減少 CO₂排放量高達 80%。
- 碳回收（Carbon-Recycle）：不使用任何水泥，利用吸收二氧化碳的碳回

²¹材料と環境のラボ，https://www.taisei-techsolu.jp/tech_center/topics/melabo/

²² T- e Concrete® /Carbon-Recycle ，<https://www.taisei.co.jp/t-econcrete/>

收產品（例如碳酸鈣）、高爐礦渣和特殊反應物硬化而成。通過將 CO₂ 固定在混凝土內部，因此碳排放量（吸收和排放的平衡）變為負值。

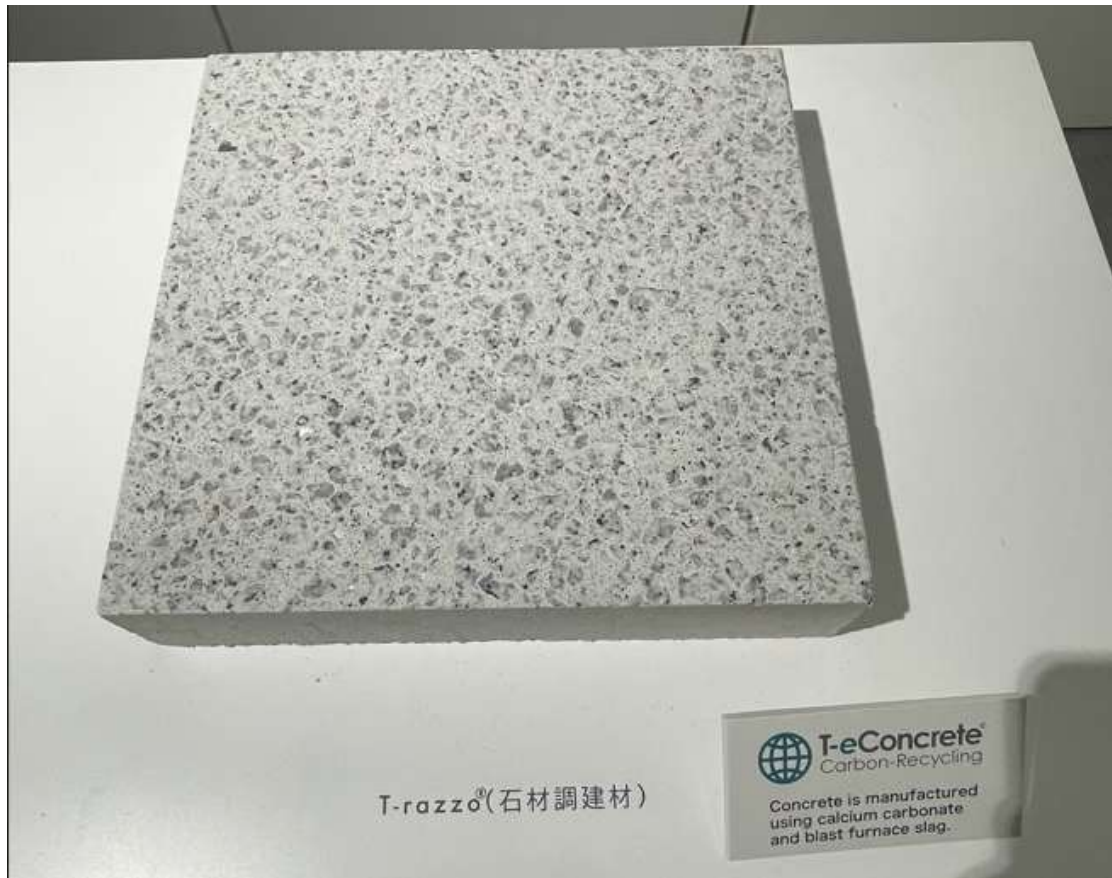


圖 58 T-e Concrete® /Carbon-Recycle 樣品（來源：本計畫拍攝）

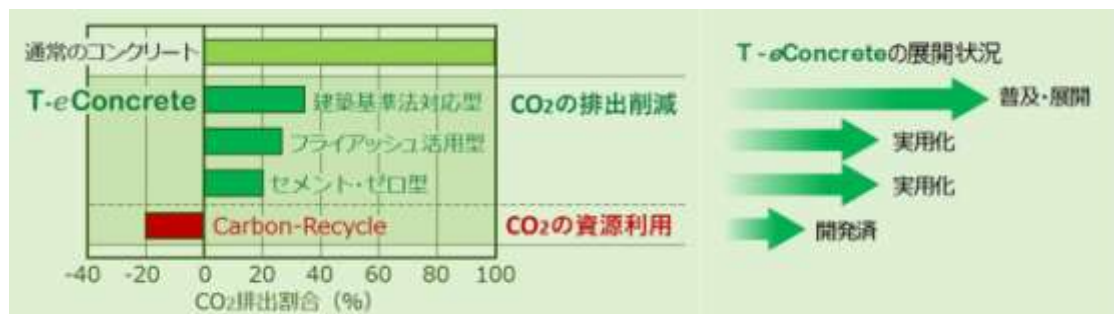


圖 59 T-e Concrete 各級產品說明（來源：大成建設網站）

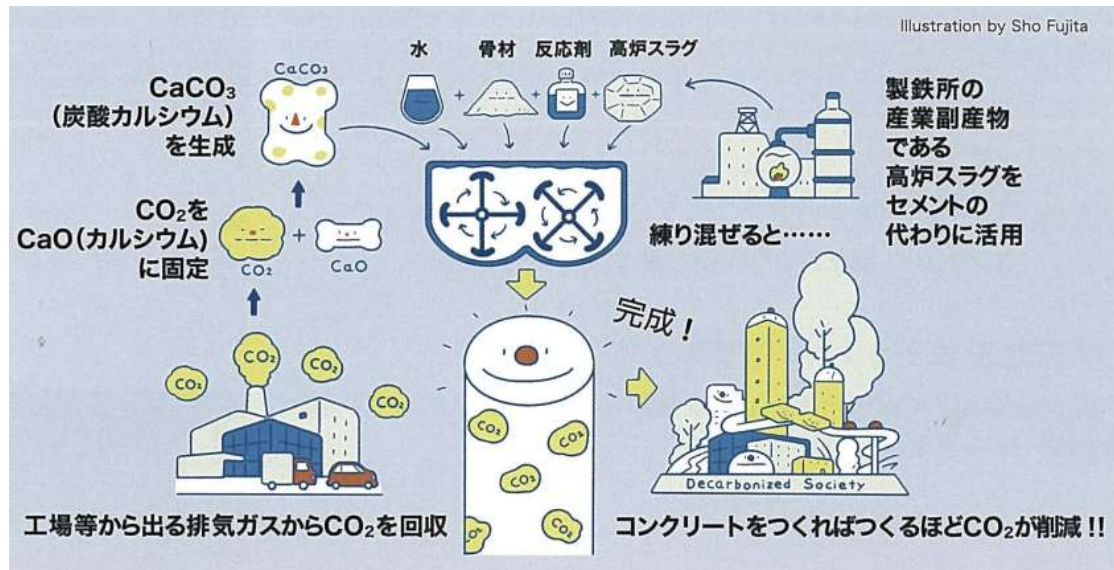


圖 60 T- e Concrete® /Carbon-Recycle 構想解說（來源：大成建設網站）

其中 T- e Concrete® /Carbon-Recycle 目前正在開發中，尚不能大量生產，且尚未符合建築標準法和 JIS 法規，還不能用於建築框架的梁或柱，僅能用在牆構件，其特點如下：

- 可以達成負碳排
- 保持混凝土內部強鹼性，防止鋼筋腐蝕，保持鋼筋混凝土結構的耐久性
- 一般設備即可製造，且強度與工作性與傳統混凝土相同

通過吸收廢氣中的 CO₂ 來生產碳酸鈣，並將其與高爐礦渣混合以製造碳再生混凝土。依據大成建設提供資料，每 1m³ 碳再生混凝土，碳酸鈣吸收的 CO₂ 量為 171kg/m³，而碳酸鈣和高爐礦渣製造過程中釋放到大氣中的 CO₂ 量為 55kg/m³，因此，碳再生混凝土的 CO₂ 排放平衡為「-116 kg/m³」，達到“負碳”狀態。



圖 61 本所王所長榮進與大成建設技術研中心常務董事長島先生合影（來源：本計畫拍攝）

(四)グリーン・リニューアル ZEB（Green Renewal ZEB）—大成建設 横濱支店大樓

從建築修繕開始實現碳中和

為了在 2050 年實現碳中和，日本政府的目標是加強家庭和建築的節能措施，並擴大可再生能源的引進。在此背景下，大成建設正在推動現有建築的 ZEB 改造，不僅要快速實現目標，還要促進人、建築和地球的健康，大成建設稱之為“綠色更新”。其中，引進“節能”和“創造能源”技術並將現有建築改造為 ZEB（零能耗建築）的努力被稱為“綠色更新 ZEB”²³，作為實際行動的一部分，大成建設將所擁有的現有建築改造為 ZEB 並已開始運營。

²³ <https://www.youtube.com/watch?v=6CyPDxntGts>



圖 62 綠色更新 ZEB 意象圖（來源：大成建設網站）

大成建設橫濱支店大樓

本大樓於 1974 年建成迄今約有 50 年，為地上 9 層、地下 2 層、總建築面積 9,340m² 的鋼筋混凝土辦公室建築。於 2023 年透過綠色更新 ZEB 計畫改善獲得 ZEB Ready，每年減少 150 噸二氧化碳（減少率 39.0%）²⁴。本大樓採用可應用於中型辦公室的通用 ZEB 技術，例如外牆/窗戶發電系統（T-Green Multi Solar）和使用 BEMS 的先進環境控制，並獲得了“ZEB Ready”認證。此外，還通過引入健康、低碳材料、傳染病控制等措施，以打造辦公新常態，吸引更多人員加入建設業。引入的主要 ZEB 技術如下。

T-Green Multi Solar

與大成建設技術中心的 ZEB 示範大樓使用同樣的技術與材料（請參考前面說明內容）。在橫濱的這座分店大樓和城市型建築中，因無法確保能在屋頂平面上安裝太陽能電池板，因此改將太陽能光電板安裝在屋頂突出物的四個側面，約佔整個面積的 60% 左右。

²⁴ https://www.taisei-techsolu.jp/solution/ct_renewal/zeb_zeb.html



圖 63 橫濱支店大樓 T-Green Multi Solar 解說圖（來源：大成建設提供）

T-Zone Saver一次世代節電・省能源的自動環境控制系統

透過設置高性能人體檢測感測器，檢測人員的存在與否並控制照明和空調，以減少能源消耗。一個感測器單元負責 3.6 m²面積，並以 1.8m²的單位檢測人員的存在與否。該感測器檢測體溫，而不是人的動作，因此即使坐著不動，燈也不會熄滅。由於系統可以分段設置亮度和溫度，因此不僅可以控制開/關，還可以更改調光比，例如在沒有人時稍微打開照明。配備這些感測器的建築物在照明和空調用電量分別減少了約 25%和 20%。到目前為止，T-Zone Saver 是日本唯一可以同時控制照明、空調和通風的感測器系統。



圖 64 T-Zone Saver 解說圖（來源：大成建設提供）



圖 65 T-Zone Saver 感測器單元樣品（來源：本計畫拍攝）

T-Zone Saver® Connected

T-zone Saver 僅檢測“有没有人”，但是結合讓每個員工攜帶具有個人資料的 IoT Beacon 信標標籤，則可以準確標示“誰”和“在哪裡”。

◆ ⑨ T-Zone Saver[®] Connected ◆

どこに(在/不在)と「誰が(個人ID)」を正確に判別



圖 66 T-Zone Saver Connected 解説圖 (來源：大成建設提供)

T-Workstyle concierge

員工可以在隨身的信標標籤上提前設置個人的環境喜好，系統便可以在人員移動時自動調整環境品質的技術。它還具有人員搜索功能來找到您的位置，也可以自由設置個人資訊公開程度，例如公開生日和愛好。

◆ ⑩ T-Workstyle Concierge[®] ◆

自由な働き方を支援するクラウドサービス



圖 67 T-Workstyle concierge 解説圖 (來源：大成建設提供)

T-LED DUV Light

可以對辦公桌表面進行消毒的自動消毒燈，作為預防傳染病輔助措施之一。一般殺菌燈需要 1~3 天才能殺菌，但本消毒燈使用高能量的深紫外線，可以在 2~3 小時內殺菌 99%。如果將其安裝在人們經常進出的會議室中，則可以提高效益。

但為了避免傷害到人員，只有在滿足以下三個安全條件時，才會亮燈。

“當電燈開關已關閉時”

“當門可以通過開門/關閉感測器確認門關閉時”

“當可以用 T-Zone Saver 確認有人不在時”



圖 68 T-LED DUV Light 解說圖（來源：大成建設提供）

T-Green® Radiant Duct

與傳統的輻射板需要重新配置冷水和熱水管不同，大成建設開發使用建築物現有空調出風口的輻射板技術。只要距離原有天花板 10 釐米就可以安裝，因此可以安裝在較低天花板上而不會感到壓迫感。

輻射面板特有的輻射效應可以將空調的設定溫度調高 1°C 至 2°C，使空調能

耗降低約 10%。該輻射板以現有空調出風口的蓋子的形式連接，來自空調的空氣撞擊附著在面板內部的蓄熱材料，面板的溫度發生變化，使房間保持均勻的溫度。此外，該面板的兩側都有間隙，撞擊面板的風從這裡吹出。

使用這種技術能夠消除像普通空調會有強風只吹到一些人的不舒服環境，此外，表面的不均勻性可以反射光線加強側面的照明，



圖 69 T-Green Radiant Duct 解說圖（來源：大成建設提供）



圖 70 T-Green Radiant Duct 實裝（來源：本計畫拍攝）

T-Light Blind

傳統的百葉窗主要功能是「遮陽」，即防止陽光進入房間。而大成建設開發的百葉窗，與普通百葉窗的安裝方式相同，但會主動讓陽光從頂部進入，照亮天花板表面。再配合照明感測器，就可以減少不必要的照明用電。



圖 71 T-Light Blind 解説圖_1 (來源：大成建設提供)



圖 72 T-Light Blind 解説圖_2 (來源：大成建設提供)



圖 73 T-Light Blind 實裝效果（來源：本計畫拍攝）

T-Green® DI Window

DI 是 Dynamic Insulation（動態絕緣）的縮寫。

建築物的窗玻璃表面隔熱性差，是室內熱負荷的主要來源之一。大成建設通過安裝內窗來增加隔熱性。以冬天為例，可以利用內窗下緣的通風口吸入室內空氣，在經過設置在內外兩扇窗之間的百葉窗的導流後將其排出到室外。如此，在達成室內換氣的同時，內外兩扇窗之間的氣流也形成熱屏障，使其隔熱性能與混凝土牆一樣好。通過改善窗戶的隔熱性，便可以安裝馬力較小的空調設備。

◆ ⑦ T-Green® DI Window ◆

断熱と換気を兼ね備える特殊な二重窓



- ・外壁と同等の断熱性能を実現し、**省エネ性と快適性が向上します。**
- ・既存窓(単板ガラス)と比べ、**冬期表面温度 約5~7℃程度向上します。**
- ・窓付近の温熱環境が改善するので、**空調負荷の削減が可能です。**

圖 74 T-Green DI Window 解説圖（來源：大成建設提供）



圖 75 T-Green DI Window 實裝（來源：本計畫拍攝）

健康空間

大樓內也設置結合了木材和親生物設計的休息空間。中央的桌子是按照一艘

船的形狀設計，所使用的木材是由神奈川縣織田的雪松製成，沙發上的燈罩也是用雪松製成的，桌上種植耐陰植物。通過這種方式將自然、回收材料建材融入各個地方來創造一個“健康空間”。



圖 76 健康空間（來源：本計畫拍攝）

三、鹿島建設

(一)鹿島技術研究所（西調布實驗場）

鹿島技術研究所於 1949 年成立，為日本首座民間營建技術研究所，基於鹿島建設「透過事業的發展為社會做貢獻」的經營理念，旨在透過傳統領域與人工智慧、ICT、機器人等尖端技術的高度整合，解決環境與能源、防災減災、基礎設施維護管理與更新等社會問題，以及透過智慧建築、智慧城市等實現新價值。目前有研究人員 319 人，其中有 87 位具有博士學位。主要工作為技術研發、協助工地解決問題，以及工地技術訓練。



KaTRI's Profile	
Name	Kajima Technical Research Institute (KaTRI)
Established	In 1949 as a research institute on construction technology in Japan
Number of employees	319 (As of April 1, 2023) Research engineers: 266 (including Ph.D. holders: 87)
Activities	<ul style="list-style-type: none">- Research and development- Technical cooperation and consultation- Technical training and information promotion

圖 77 鹿島技術研究所組織（來源：經同意拍攝之簡報內容）

1968 年霞關大樓（霞が関ビルディング）是位於日本東京都千代田區霞關三丁目，地上 36 層、地下 3 層、高 147 米被認為是日本第一座摩天大樓，即是鹿島建設技術研發應用的成果之一。而在其後 15 年間，日本超高層建築幾乎都是由鹿島建設完成。

2000 年起，因應高齡化社會缺工、節能減碳等課題，鹿島研究所也開始轉

型研發相關數位化施工、智慧建築、減碳、資源再利用等技術。

鹿島研究所在日本國內各地設有不同設施進行不同的研究。此外，因為鹿島建設在全球設有 261 個據點、總員工數約有 2 萬人（其中約有 7 千人在日本）、海外營收貢獻佔比較高，為持續開發海外市場，也在 2023 年設立新加坡實驗室（KaTRIS），促進與大學、公司、新創公司等在全球的聯合研發，並促進支持未來城市發展的創新。

鹿島建設業務涵蓋房地產開發、建築/基礎設施設計、施工營造和建築/基礎設施運營，研發對每個業務部門都有良好的貢獻。其中以整合設計施工的工程計劃為業務收入的主要來源，而且可以有效地利用直接反映研發成果的價值。如台積電熊本廠，即是由鹿島建設技術支持達到工程短、成本低、品質高等三大目標。以技術來驅動一直是鹿島業務的核心，而技術驅動必需由研發工作所引領，所以鹿島建設積極維持強大的研發量能。

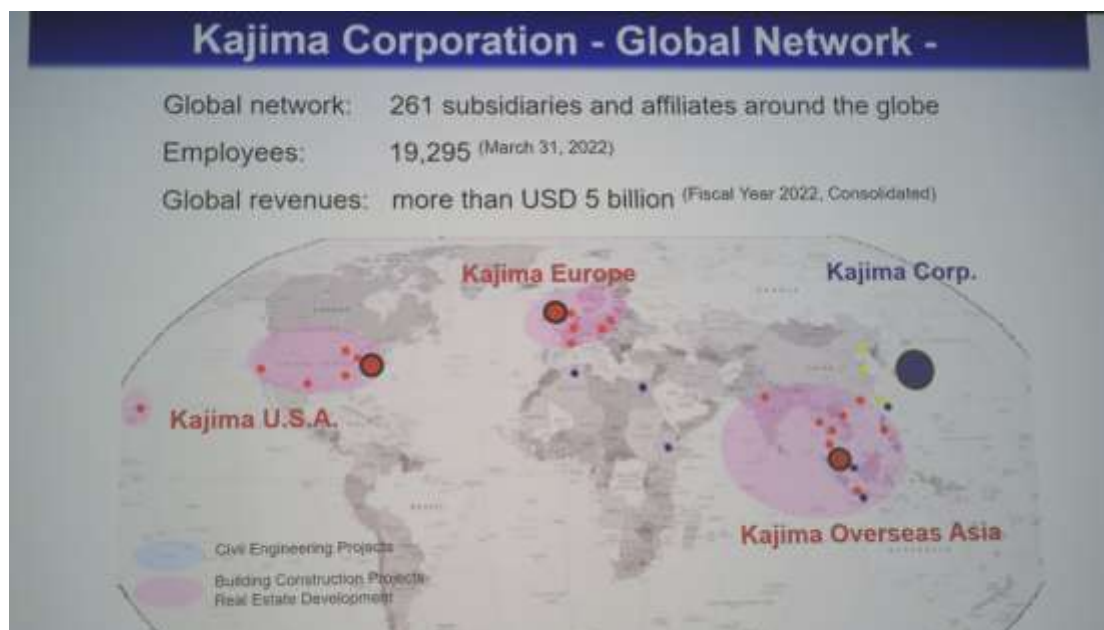


圖 78 鹿島建設全球網絡（來源：經同意拍攝之簡報內容）

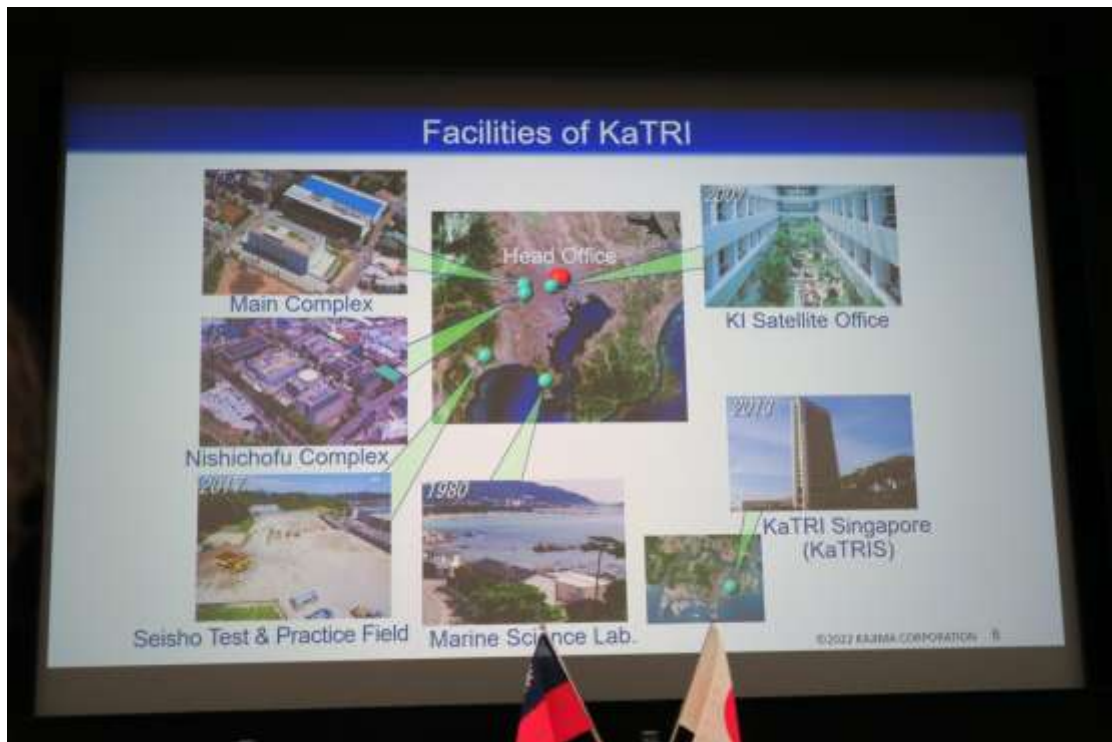


圖 79 鹿島技術研究所各實驗室位置（來源：經同意拍攝之簡報內容）



圖 80 鹿島技術研究所新加坡實驗室（來源：經同意拍攝之簡報內容）

混凝土研發

用於支持日常生活的基礎建設，需要使用耐久性高與使用年限長的建築材料，鹿島將特殊的鋼鐵纖維混入製成提高強度及耐久性的混凝土，可以在海上機場跑

道等嚴苛的環境下發揮其實力。另外，著眼於提高混凝土的表層品質，同時大幅提升整體耐久性，鹿島開發出在混凝土表面貼上特殊膠膜，使其品質升級的劃時代工法。也開發出只要塗抹於混凝土結構物上就可以延長使用壽命的材料。其他還開發出將光纖埋入，即可正確的把握結構是否歪曲的監測技術，在施工管理上也有一定的貢獻。

地震防災技術

技術研究所設有可以重現世界最大等級長週期地震，日本最高水準的三次元大型振動臺，以及可驗證結構實體強度的設備、重現地盤活動的離心實驗裝置，並可利用高解析技術從各個角度驗證地震對建築物所帶來的影響。振動臺規模為5X7公尺，最大承載60噸，可以再現日本311大地震的振動情形，以便了解建築物內裝傢俱如天花板震動破壞的情形，或是對高科技產房設備的損害，可以為業主提供提高建築物整體耐震能力的解決方案。

另外，也開發於工程動工前所使用的地層調查車，並能應用於狹小或不平整的地形，以細詳掌握地層狀況，發展最適合的設計。

由鹿島所引領的制震及隔震技術，包含將既有的超高層大樓轉變成可抵抗長週期地震的最新型制震大樓的制震裝置，以及將歷史建築隔震化的工法。活用震動破壞試驗所獲得的資訊，開發建築安全度判斷系統，支援客戶的企業永續運作計畫。

永續減碳環境方面

應因業主所面臨的ESG課題，即對工程的要求重點是工期、成本、碳排放量。其中有關碳排方面，因為工程中所使用的材料佔最多碳排，例如1噸水泥會產生800公斤CO₂，而工地內機具碳排可能不到前者的1/10，因此鹿島將目標放在減少水泥用量或使用再生水泥，而研發固碳混凝土，利用高爐微粉等代替7

成水泥。所開發的 CO₂-SUICOM 特殊混和材 (γ -C₂S)，目前可以用在陽台等非主結構體，但因為吸收 CO₂ 的原因，可能會導致鋼筋生鏽，正在針對這個課題開發新技術。

為了實現與地域共生的社會，鹿島背負著對下一代的責任及使命進行研究。在災後復興地區，加入環保的輔助，簡易分辨出被污染的土地的技術。在廢棄物處理的領域上，提供從食物殘渣及食品廢棄物中取出沼氣作為能源活用的系統。在生物多樣化的領域上，研究創造螢火蟲棲息地，自然復育珊瑚礁，為人類與生物可共生的環境作出貢獻。



圖 81 本所王所長榮進與鹿島建設技術研究所閑田副所長合影（來源：本計畫拍攝）

(二)鹿島技術中心（鶴見研修中心）

2024 年起，日本關於建築業的工作方式改革相關法律，將開始對員工的工

作時間進行限制，因此鹿島建設正在努力透過內部訓練提高工作安全和品質控制的準確性，並提高勞動生產力。

鹿島技術中心是一座位於橫濱，新落成的實用訓練設施，於 2022 年 12 月完工。該設施培訓的主要精神是“感受和思考：用五種感官感受並仔細思考”，係針對參與施工的年輕技術人員提供“實踐體驗培訓”。因此，設施內佈滿了允許學員透過五種感官獨立獲取技能和知識的系統。

該設施是結合鹿島建設公司的新一代建築生產系統而建造，並刻意融入了各種建造方法和新研發技術，包含木造、鋼結構、PCa（預鑄）和傳統 RC 工法等，達成「全樓實教材」的目標，成為具有與真實物體相同比例的構造教材。讓參與建設過程，以及在設施內接受訓練的年輕工程人員可以透過實際的實踐經驗磨練的技能。



圖 82 鹿島技術中心施工模型（來源：本計畫拍攝）



圖 83 鹿島技術中心鋼構工法 (來源：經同意拍攝之簡報內容)



圖 84 鹿島技術中心預鑄工法 (來源：經同意拍攝之簡報內容)



圖 85 鹿島技術中心各項異構工法（來源：經同意拍攝之簡報內容）

使用 CLT 建材的住宿房間

設施內總共 81 間住宿房間中，有 53 間房間採用傳統現地施工方法建造，但使用 CLT 作為剪力牆。另外，28 間房間採用日本首個「フライングボックス工法」²⁵建造，除地板外的五個面均採用 CLT 板，即在工廠內將 CLT 板牆體和天花板組裝在室內地面的 PC 樓板上，並完成室內裝修後，再運至工地現場吊裝至指定位置。在施工過程中，還利用了鹿島智慧生產相關技術，包括外部安裝輔助機「マイティフェザー®」²⁶和塔式起重機遠端控制系統「TawaRemo®」²⁷，從而形成從施工開始就充分利用鹿島技術的設施。

²⁵ フライングボックス工法，<https://www.kajima.co.jp/news/press/202205/31a1-j.htm>

²⁶ マイティフェザー，

https://www.kajima.co.jp/news/digest/may_2017/feature/arrow_03/index-j.html

²⁷ TawaRemo，<https://www.kajima.co.jp/news/press/202104/7a1-j.htm>



圖 86 鹿島技術中心飛箱工法（來源：經同意拍攝之簡報內容）



圖 87 鹿島技術中心飛箱工法施工模型（來源：本計畫拍攝）



圖 88 鹿島技術中心傳統工法施工模型（來源：本計畫拍攝）



圖 89 鹿島技術中心飛箱工法宿舍管道間（來源：本計畫拍攝）



圖 90 鹿島技術中心傳統工法宿舍內部（來源：本計畫拍攝）

真實建築工地的實訓區

設施內充滿展示各種施工方法和技術的實尺寸教具，其最大的特點就是可以

同時看到和直接接觸到如此多的技術。此外，一些看似組裝完成的教具可能含有多達 100 個隱藏的“錯誤”，找到它們是學習的重要元素。



圖 91 鹿島技術中心模板實尺寸教具（來源：本計畫拍攝）



圖 92 鹿島技術中心鋼筋籠實尺寸教具（來源：本計畫拍攝）



圖 93 鹿島技術中心 SRC 實尺寸教具（來源：本計畫拍攝）

四、東京國立競技場

東京奧林匹克主場館-國立競技場，地上 5 層、地下 2 層，建築面積約 6 萬 9600 平方公尺，可容納約 6.8 萬名觀眾，由隈研吾建築師設計，大成建設建造。隈研吾所提出的「生命之樹」(living tree)方案，以奈良古廟法隆寺五重塔的垂木為靈感，頂部由木柱、鋼構及鋼筋混凝土構成，將日本傳統建築的智慧，融合現代的形狀創造新的建築。



圖 94 東京國立競技場立面_1 (來源：本計畫拍攝)

隈研吾建築師運用大量木材來展現日本傳統，採用原木建材打造 360 度圍繞的外簷屋頂，並使用傳統建築技法「和」的設計元素，加上木材皆是使用來自日本全國 47 個都道府縣提供的杉樹，其中因為沖繩不產杉木，改以松木材。可說是象徵全民同心協力共同參與奧運主場館的建設。



圖 95 東京國立競技場立面_2（來源：本計畫拍攝）

除了外觀搶眼外，國立競技場的觀眾席分為3層，近地面的第一層傾斜度20度、第二層29度、第三層34度，使觀眾觀賞賽事時能有良好視野。場內座椅也布滿五種大地色系，包括深褐、深綠、灰、黃綠、白，靠近地面色澤較深，越往上則色調越淡，配色呈馬賽克狀，以運動員視角向上望，漸變色彩則會有如森林裡樹葉伴著陽光閃爍的感受。因為沒有空調，建築師隈研吾在外牆採用木板圍塑時，在木板間留有寬度不一的垂直間隔，設計初期是由大成建設協助進行競技場與週遭建築的氣流模擬。以便引導自然風吹入座位區。



圖 96 東京國立競技場觀眾席與屋頂（來源：本計畫拍攝）

礙於預算關係，新國立競技場最終屋頂改以開放式設計為主，屋頂(遮陽棚)的出挑跨距達 60 米，採用鋼骨和木構混合的構造。屋簷主要使用落葉松木材，而白色屋頂在南向側部分使用強化玻璃透明設計，目的在於能引光線入場館內，減少陰影落在草皮，讓館內天然草皮能獲得充分光照，符合國際奧會的標準，。



圖 97 位於大成技術中心的東京國立競技場施工模型（來源：本計畫拍攝）

五、區域再開發計畫

(一) 東京澀谷車站區域再開發計畫—SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE

以日本代表性車站澀谷站為中心的澀谷站周圍，於 2005 年 12 月被指定為城市更新緊急開發區，依據「澀谷站中央地區町發展指南 2010（澀谷區於 2005 年 3 月制定）」等城市發展政策，與澀谷站街區土地調整專案和鐵路改善專案合作進行大刀闊斧的重建。其後，東京都政府決定根據《城市振興特別措施法》於 2013 年 1 月 23 日提出的三個計畫分開進行重建，分別為，澀谷站區車站區開發計畫、澀谷站區道玄坂地區開發計畫和澀谷站南區專案（澀谷 3-21 區）。

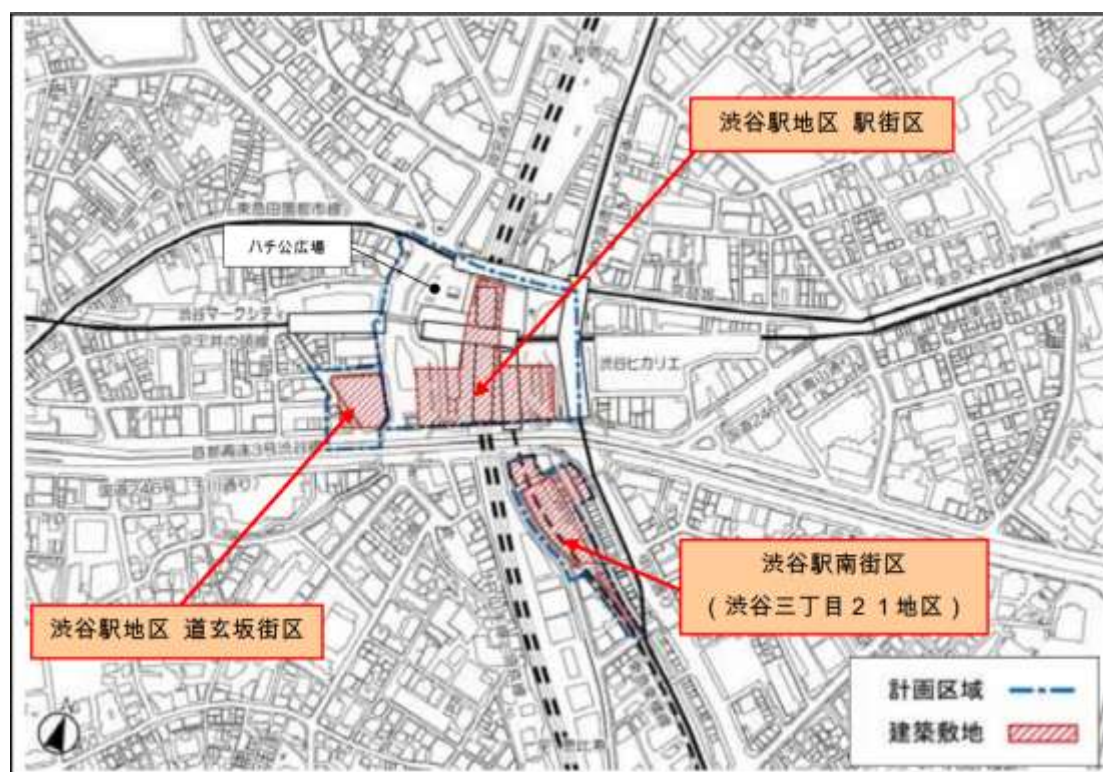


圖 98 澀谷站區車站區開發計畫範圍圖（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）²⁸

其中，澀谷站區車站區開發計畫，由東京急行電鐵株式會社主導，並與東日本鐵道株式會社、東京地下鐵株式會社等共同開發。規劃中的建築將是澀谷站週

²⁸ SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站，<https://shibuya-scramble-square.com/>

邊地區最大的建築之一，集辦公空間（可出租建築面積約 70,000m²）和商業設施（約 70,000 m² 零售空間）於一體，同時，以電梯、手扶梯擴大連接澀谷站前東、西廣場的自由通道，將創造一個持續吸引人們以及世界各地的關注的區域。

同時開發向外開放的垂直軸空間，透過升降機垂直連接多層城市基礎設施，引導人們從地下和甲板到地面層，並開發連接車站大樓、宮益坂與道玄坂的空中甲板可以為發生災害時無法回家的人提供臨時住宿設施，為所有使用者創造一個安全舒適的城鎮。

此外，並委由備受全球好評的隈研吾建築與城市設計事務所和 SANAA 事務所共同設計，負責建築和廣場下層的開發，以及重點關注的大型公車總站。



圖 99 澀谷站區車站區開發計劃立面意象圖（從新宿看）（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）

透過發展建築和廣場的多層次步行網絡連結車站廣場及月台，以增強城鎮的團結感。



圖 100 車站廣場及月台網路（澀谷站前交岔路口附近鳥瞰圖）（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）

規劃連接車站大樓和道玄坂區域的人行甲板（按照下方位置圖 101 的箭頭方向看），以便行人前往車站西側，並將在 3 樓建造連接 JR 線和銀座線檢票口與道玄坂地區的人行甲板。



圖 101 連接車站大樓和道玄坂區域空間規劃示意圖（來源：SHIBUYA SCRAMBLE

SQUARE 網站)

車站東出口城市核心區未來形象

整合東急東橫線、東京地鐵副都心線、JR 線的轉乘空間，打造無障礙動線。作為一個高度可見的垂直運動空間，並成為向城市開放的車站前的地標。

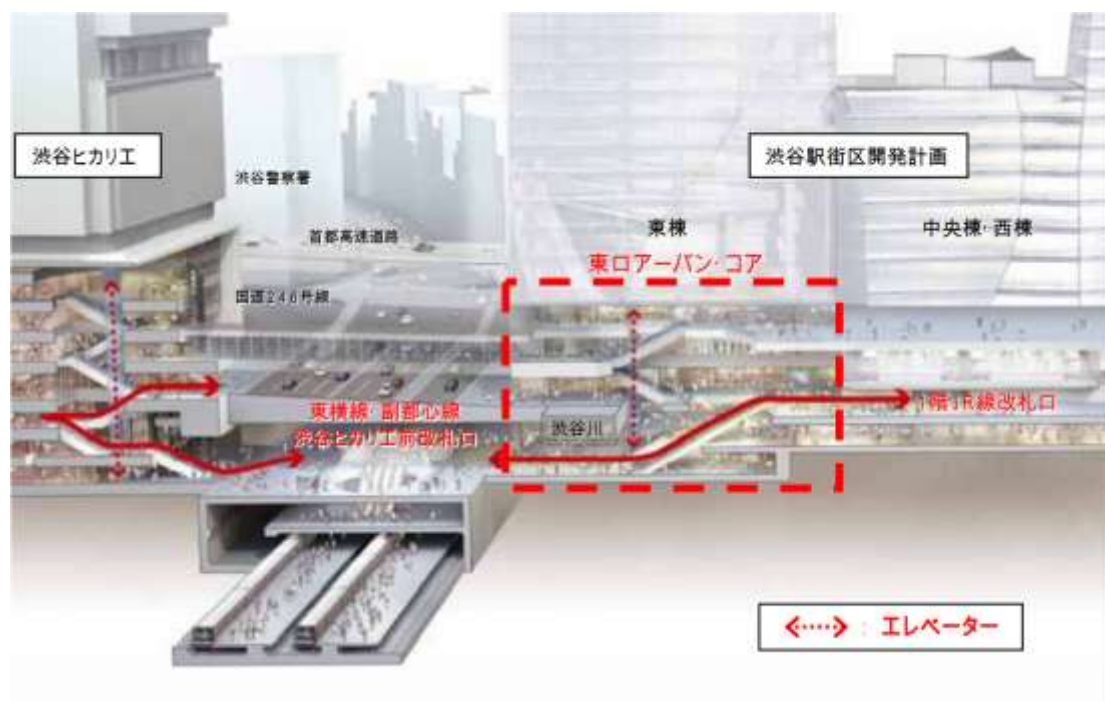


圖 102 車站東出口城市核心區未來形象（來源：SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站）

澀谷站區車站區開發計劃第一期的東棟—大型複合設施「SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE」已於 2019 年 11 月 1 日開幕。作為辦公室、購物商城等用途，地上 47 層、高達 230 公尺的建築也將成為這個區域最高的大樓。大樓最頂層更打造戶外景觀設施「SHIBUYA SKY」，不僅可以無邊際地欣賞東京街景，輕鬆俯瞰紅遍國內外的澀谷十字路口，還能 360 度無死角遠眺富士山、晴空塔等知名景點。

「SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE」並具有以下對環境友善的措施：

1. 珍惜水資源

- 有效利用水資源
- 降低對下水道設施的負荷

於地下 6 層設有中水設備。將排出的廚房排水和雜排水，用自然溫和的微生物等分解，以及活性炭淨化後，再利用作為廁所的清洗水，實現水資源的有效利用和降低下水道設施的負荷。

2. 抑制 CO₂ 排放

- 太陽能發電
- 牆面綠化

在離地面約 230 米的屋頂上設置太陽光板，提供建築內部電能使用。南側立面則採用融入立面設計的牆面綠化。再配合未來開發的澀谷站區車站區開發計劃中央樓、西樓屋頂綠化計畫，可進一步豐富澀谷的綠色環境。

3. 節約能源

- BEMS（大樓能源管理系統）
- 能源優化
- 排熱的再次利用

大樓內設置著各種感測器等，用以控制照明和空調來優化能源。另外，還設置了 2 台可發電 1500kW 的燃氣熱電系統，作為大樓的電源之一，削減白天的需電峰值，同時進一步回收發電時排出的熱量，用於供給熱水和暖氣。



圖 103 SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 立面（從澀谷站前交岔路口看）（來源：

SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站)



圖 104 澀谷站體增建工程（望向澀谷站前交岔路口）（來源：本計畫拍攝）

(二) 東京中城八重洲區域再開發計畫

「東京中城八重洲」是三井不動產基於東京市區再開發項目開發的大型綜合設施「東京中城」品牌，繼「東京中城（六本木）」（東京都港區）、「東京中城日比谷」（東京都千代田區）之後，作為東京中城品牌開發的第三個設施。



圖 105 東京中城八重洲外觀（從東京車站看）（來源：本計畫拍攝）

八重洲是東京車站區域集結新幹線、火車、地鐵、巴士等多種交通的樞紐，並擁有直達機場的鐵路和巴士路線，使其成為名副其實的日本門戶。「東京中城八重洲」是位於日本門戶東京車站八重洲區域的大型綜合用途再開發專案之一，於 2022 年 8 月完工。

八重洲巴士總站」。

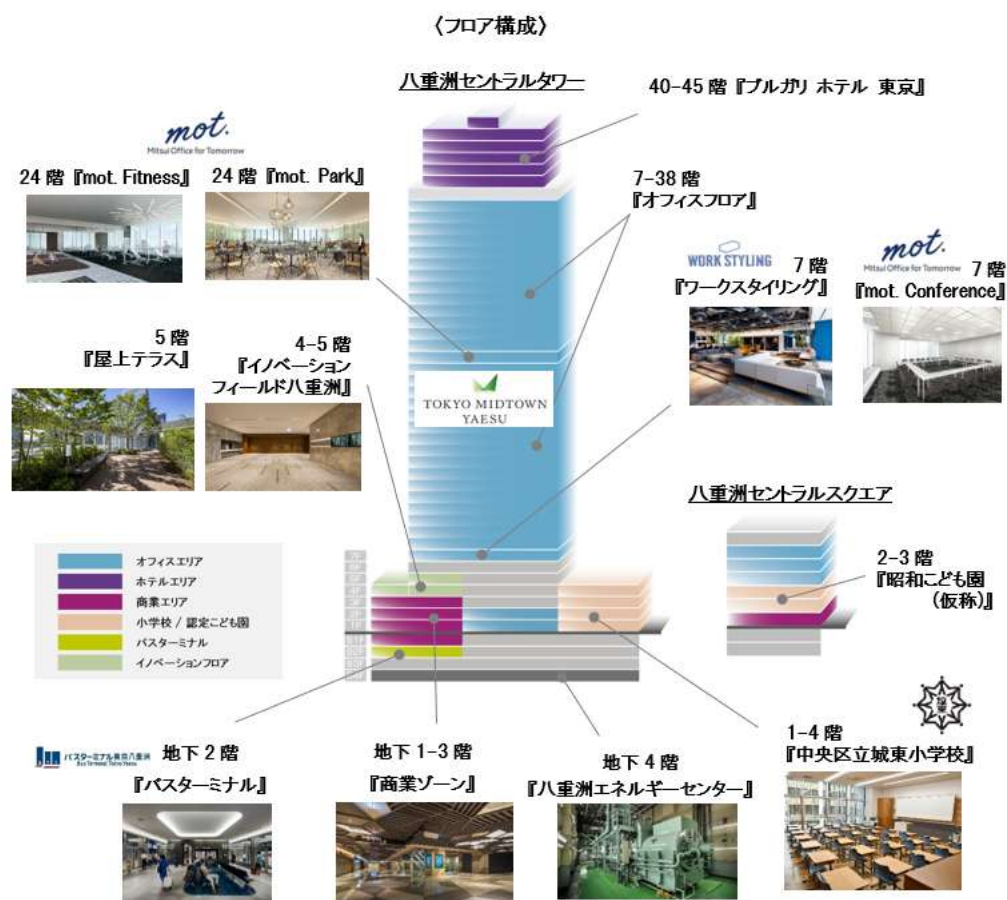


圖 107 東京中城八重洲樓層介紹圖（來源：三井不動產網站新聞稿）

東京八重洲巴士總站

位於建築地下層的「東京八重洲巴士總站」整合了分散在東京車站周圍人行道上的高速巴士站，包含國際機場以及當地城間的高速巴士等路線。該巴士總站將分三個階段開發，並由京王電鐵巴士綜合運營，預計於 2028 年竣工。完全開業後，將成為日本最大的高速巴士終點站之一，擁有 20 個上下車泊位。車站的第一期區域位於東京中城八重洲地下一層和地下二層，已於 2022 年 9 月 17 日開放。

ZEB Ready 與八重洲智慧能源專案

「東京中城八重洲」是日本獲得 ZEB Ready 認證的最大辦公大樓之一。大樓在公共區域安裝了 LED 照明和動作感測器，在辦公室區域安裝了 LED 照明、日光感測器、高效能空調室外機，並設定了適當的照明亮度。這些措施使每年能源消耗比同級標準建築減少 50% 以上。此外，並安裝太陽能電池板以產生建築物內所需的能源。同時配合「八重洲智慧能源專案」³⁰，安裝以 CGS (Co-Generation System) 為中心的獨立、分散的能源系統、高抗震中壓天然氣和電網電力，在緊急情況下繼續向八重洲地區供應能源，提高整個八重洲地區的防災能力，並在正常情況下使用最新的能源系統，透過利用 ICT 的高效設備運作來減少二氧化碳排放，提高八重洲地區的國際競爭力。

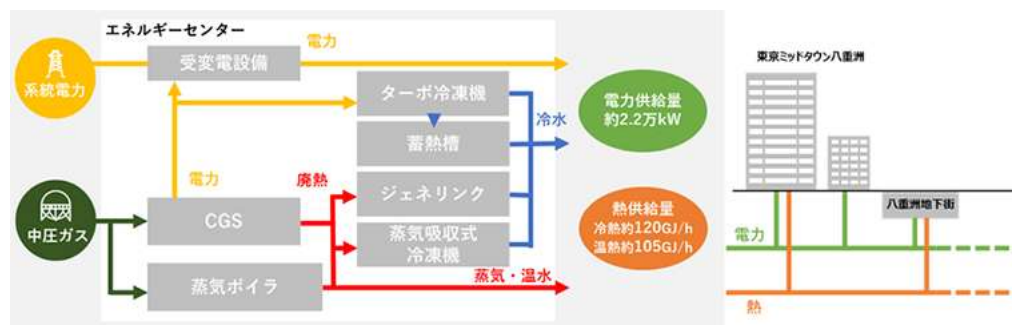


圖 108 八重洲智慧能源專案能源流圖（來源：三井不動產與東京燃氣合作的八重洲能源中心竣工新聞稿）

³⁰ 三井不動產與東京燃氣合作的八重洲能源中心竣工新聞稿，
<https://www.mitsui-fudosan.co.jp/corporate/news/2022/0801/>

肆、研習心得及建議

一、心得

(一)結合數位、機器人技術，實現全生命週期的數位轉型

營建業的生產力要比其他產業低。再者，在日本因為高齡化社會以及年輕人不願意投入營建業，可以到工地現場的專業職人也愈來愈少，依竹中工務店簡報內容，據統計 2014 年日本還有 340 萬人，但到 2024 年可能只剩下 210 萬人，減少了三分之一。加上日本將在 2024 年改正勞動基準法，降低每年工作時間上限。日本大型建設公司面對缺工、減碳、企業成長的課題，均將數位技術、機器人技術的應用，納為技術研究發展的主軸，實現全生命週期的數位轉型。

竹中工務店改革的第一步是改變工作方式，於 2019 年即開始進行業務的數位化，範圍包含從業主擬訂工程專案的企畫階段開始到設計、施工、維護等各個階段，尺度也從建築擴大到都市，預計到 2030 年的目標是將數位化資料上傳到雲端，再分析回饋給關於智慧城市的營業、設計、建造等各項工作，並發揮竹中工務店在建築設計、施工甚至到營運一貫作業模式的優勢，為業主提供滿意的服務。

竹中工務店正在開發在一系列建築和城市開發過程中利用數位雙生的技術³¹。例如，在實體空間收集資料的物聯網技術、在網路空間分析資料的技術、以及控制實體空間的技術。透過對網路空間中的物理空間元素進行建模，可以實現高精度模擬。

數位雙生應用於施工前、施工中和施工後的所有流程，建築工程全生命週期資訊的收集、串連、共享、無縫接軌使用。建築中涉及各種類型的資訊間相互作

³¹竹中工務店數位雙生技術，<https://www.takenaka.co.jp/rd/digitaltwin/index.html>

用，例如，天氣、交通、人口等“城鎮資訊”，使用者、工程師、操作人員等“人員資訊”，以及結構、設備、管理等“建築資訊”。而且，透過將資訊累積和連接為數據，可以創建更真實的模擬。

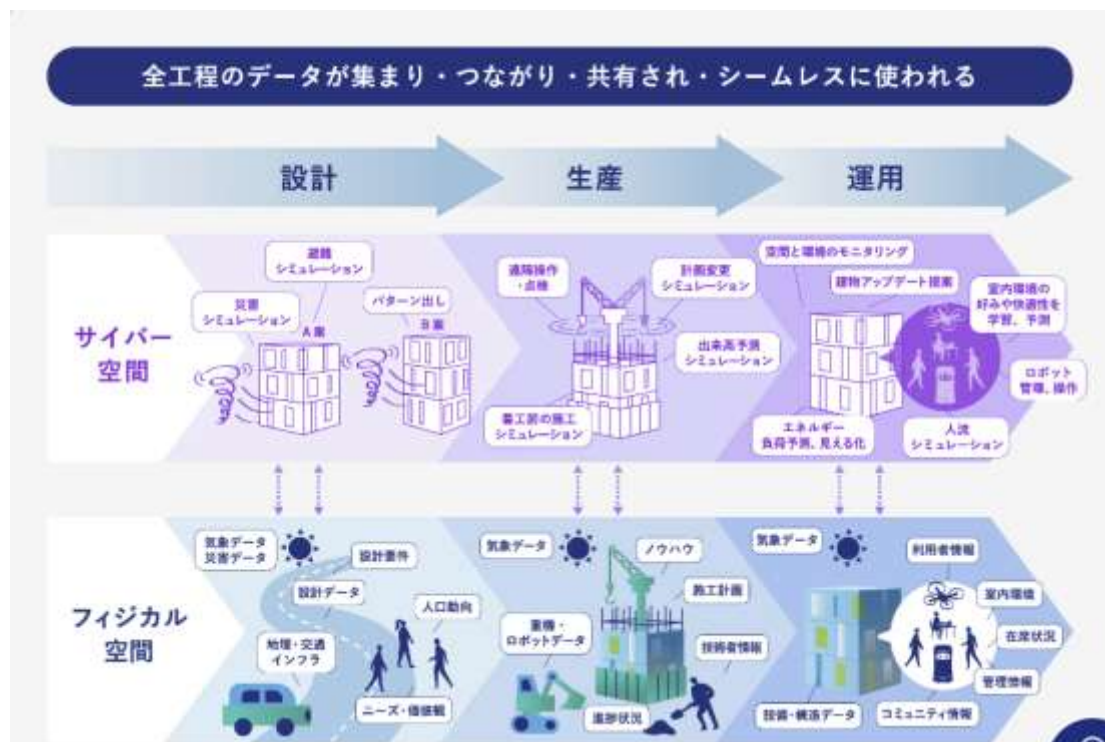


圖 109 竹中工務店數位雙生遠景圖（來源：竹中工務店網站）

同樣地，鹿島建設則在工地現場導入 ICT、機器人的工廠化技術，以建立新世代的建築生產系統—「鹿島智慧型生產技術」³²。如透過平板下達指令，無人操作的重機器便可自動且自律的進行施工，以及將累積於 BIM 的設計資訊與施工資訊活用於各種流程中，並開發提升各類機器人機能，進而提高生產力。另外，透過活用遠端管理技術，讓工地現場的管理營運智慧化，實現更具有魅力的建築生產流程。

「鹿島智慧生產願景」有以下三個核心理念。

- 一半的工作將由機器人完成

³²鹿島智慧型生產技術，<https://www.kajima.co.jp/news/press/201811/12a1-j.htm>

人機協作，提高生產力。雖然運輸材料等簡單任務和噴塗防火塗料等困難任務已經日益機械化，但需要建造特殊組件或複雜調整的任務將繼續由專業人員執行。

- 一半的管理將透過實體確認和遠端管理相結合的方式在遠端完成

旨在改革現場管理人員的工作方式。將工作進度等簡單的確認任務從施工辦公室或異地轉移到遠端管理，並推動與分包商、材料製造商等相關方的即時資訊共享。

- 所有流程數位化

基於 BIM（建築資訊建模），將所有流程數位化，提高生產力。透過利用 BIM，可以確定詳細規格、檢查圖說上的衝突和不一致、加快修正工作速度，並透過將數據與施工機器人和現場管理工具連結來節省勞動力。此外，還將建立一個文件自動創建系統，以節省現場管理任務的勞動力，並將施工期間和完工後獲得的性能數據和專有技術反饋到未來的設計和施工計劃中。

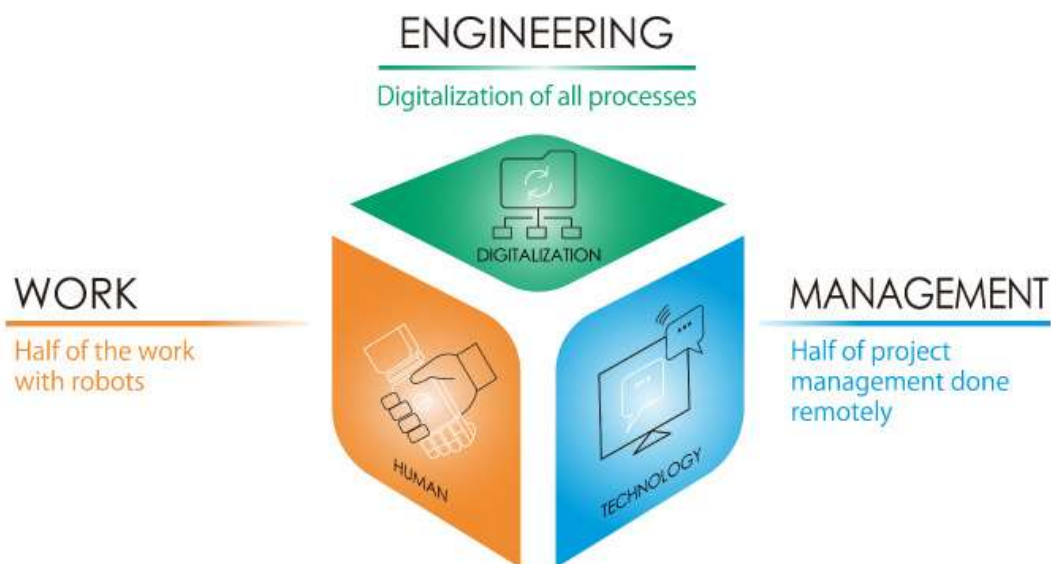


圖 110 鹿島智慧型生產遠景圖（來源：鹿島建設網站）

(二)技術研發相互競爭也有合作關係

日本各大建設公司在技術研發相互競爭，如固碳混凝土。日本政府要求國內各大傳統營造廠開始推動工程專案的節能減碳。另外，應因業主所面臨的 ESG 課題，即對工程的要求重點也包含控制碳排放量。而關於興建過程中的碳排放量中，工程使用材料佔最多碳排，尤其 1 噸水泥會產生 800 公斤 CO₂，但工地內機具的碳排還不到前者的 1/10。因此，各大建設公司都在研究如何在生產混凝土的過程中減少碳排放，以及如何將二氧化碳封入混凝土之中等相關技術，例如，減少水泥用量或使用再生水泥，利用吸收 CO₂ 的碳回收產品、高爐礦渣和特殊反應物硬化而成，將 CO₂ 固定在混凝土內部的相關技術，各家作法又有所不同。

為了在 2050 年實現碳中和，大成建設利用碳酸鈣相關技術，生產可以替代水泥的材料，開發了各種類型的環保混凝土—“T-e Concrete”，在減少了水泥用量，但保持了與普通混凝土相同的強度和工作性，因此減少了碳排放。

鹿島建設則開發 CO₂-SUICOM 特殊混和材 (γ-C₂S)，並利用高爐微粉等代替 7 成水泥。目前用在陽台等非主結構體，因為吸收 CO₂ 的原因，可能會導致鋼筋生鏽，正在針對這個課題開發新技術。

日本各大建設公司在技術研發也有合作的情形。例如在工地導入機器人技術上，鹿島公司和竹中公司與 Actio 公司和 Kanamoto 公司合作開發 TawaRemo³³，可以利用 4G 或 5G 通訊遠端控制塔式起重機。以往工作時，塔式起重機操作員必須使用梯子上下爬行，最大距離約為 50 米，以到達安裝在塔式起重機頂部的操作員座位。此外，一旦操作人員入座，將長時間被限制在高架駕駛座上。因此，需要在「工作方式改革」上下功夫，減輕操作人員的體力負擔，改善工作環境。相較之下，如果使用 TawaRemo 系統將駕駛艙放置在地面上，則無論塔吊實際位置在哪裡，都可以從辦公室或遠端控制中心操作塔式起重機。此外，由於可以在

³³開發塔式起重機遙控系統 “TawaRemo”，

<https://www.kajima.co.jp/news/press/202006/16a1-j.htm>

同一位置放置多個駕駛艙，因此經驗豐富的操作員可以為大量年輕操作員提供指導和培訓，這有助於將經驗豐富的操作員的技能傳授給年輕工人，提高年輕工人的技能。



圖 111 「TawaRemo」專用駕駛艙（來源：鹿島建設網站）



圖 112 「TawaRemo」概述（來源：鹿島建設網站）

(三)配合森林循環、減碳政策，積極採用國內木材，建造木構建築

日本為能達成 2015 年巴黎協定減少氣候變遷的風險和影響的目標，希望能利用森林的砍伐與復育的循環來固化 CO₂，協助在 2050 年達到承諾減少 CO₂ 的目標量，同時實現永續社會。配合前述政策目標，竹中工務店積極開發高層木構造建築技術以及防火木材，鹿島建設也在興建其技術中心時大量使用木構造技術於宿舍與公共空間內裝。即便是既有建築，大成建設也在其橫濱支店的綠色低碳改造工程中採用大量的木材內裝。更遑論由隈研吾設計、大成建設負責建造的東京國立競技場，更是用上了來自日本 1 都、1 道、2 府、43 縣等各地的木材，在在

都顯示出日本建築業採用木構造的熱潮。



圖 113 竹中工務店（左）、鹿島建設（中）、大成建設（右）採用木構造

二、建議

(一)研究了解日本建築業界共同開發建築工地用輔助機器人的過程與成果

於工地現場引入機器人技術是智慧營造、數位轉型的重點之一。日本建築產業在這一點上，各大建設公司並未各自研究開發，而是採取合作的模型，目前由竹中工務店主導創建一個營建機器人轉型產業聯盟來整合分享所開發的工地現場機器人技術。包含日本五大建設公司在內，已有會員企業 213 家。日本建築業界為什麼成立聯盟的背景、沿革，以及目前的研發成果等，值得再進一步透過參訪、研究，收集相關經驗，以作為國內未來開發相關技術之參考。



圖 114 營建機器人轉型產業聯盟 logo (來源：營建機器人轉型產業聯盟網站)



圖 115 竹中工務店建設機器人平台構念圖 (來源：營建機器人轉型產業聯盟網站)



Robo-Carrier

Robo-Carrier Fork

建築資材を自動で目的地へ運搬

圖 116 清水建設搬運機器人 (來源：營建機器人轉型產業聯盟網站)

(二) 研究了解日本國土交通省以補助的方式，鼓勵建築工程採用 BIM、數位轉型技術之作法與效益

日本政府針對 BIM 在建築領域的應用現狀調查發現，儘管 BIM 在設計領域的使用有限，但仍有不少建築師事務所有興趣引進它。然而，設備設計專業廠商對 BIM 的使用仍相當有限，很少有公司有實施 BIM 的記錄或有興趣實施 BIM。另外，BIM 在施工領域（大型總承包商等）反而有相當多的應用，反觀中小型建築公司則很少使用。

調查的同時也了解到建築領域 BIM 應用的相關問題，如：

- 即使使用 BIM，設計和施工的各個領域也是分開使用的，無法確保 BIM 資訊的一致性。
- 因此，在維護與管理階段並不能保證 BIM 使用的一致性。
- 引進和營運需要大量的資金投入，且缺乏熟練的人力資源（特別是對中小企業來說是一個挑戰）。

因此，為了讓公私部門共同努力推廣 BIM 的使用，提高建築生產流程和維護管理的生產力。日本政府在 2019 年由國土交通省成立「建築 BIM 推進會議」，規劃未來願景並凝聚建築業的共識，共同整理實現未來願景所需的路徑圖，已提出許多推動計畫³⁴。其中一個即為輔助業界「使用 BIM 以流暢化建築生產和維護管理流程」的補助計畫³⁵。

前開計畫的目的在於調查並推廣有助於提升建築領域生產效率的 BIM 應用方法，擬透過補助業界在自己的 BIM 試建專案中，於設計、施工等階段中跨流程整合應用 BIM，並驗證引入 BIM 之後的效果。計畫自 2020 年起補助民間業者

³⁴ 建築分野における BIM 活用促進，
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/sankankyougikai2019/infrastructure/dai3/siryou4.pdf>

³⁵ BIM を活用した建築生産・維持管理プロセス円滑化モデル事業，
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001512791.pdf>

参考資料

1. 竹中工務店の建物 OS 「ビルコミ®」，
<https://www.takenaka.co.jp/solution/future/builcomi/>
2. 「建設デジタルプラットフォーム」の構築によるデジタル変革の取り組み，
<https://www.takenaka.co.jp/news/2021/12/01/>
3. 建設ロボットプラットフォーム，
<https://www.takenaka.co.jp/solution/shinseisan/platform/>、
<https://www.takenaka.co.jp/news/2020/02/03/index.html>
4. 四足歩行型ロボット「Spot」の建築現場活用，
<https://www.takenaka.co.jp/rd/robotics/01/index.html>
5. 「ZEB」実現に向けた設計ツール「ZEBIA」を開発，
<https://www.takenaka.co.jp/news/2023/05/02/>
6. Kazamidori®，<https://www.takenaka.co.jp/solution/disaster/kazamidori/>
7. 竹中中央建築 南棟紹介，
<https://www.takenaka.co.jp/central-building-south/index.html>
<https://www.takenaka.co.jp/news/2022/10/01/>
8. Quay Quarter Tower 案例，
<https://www.worldbuildingsdirectory.com/entries/quay-quarter-tower/>
9. 燃エンウッド，
<https://www.takenaka.co.jp/solution/needs/design/service20/index.html>
<https://www.takenaka.co.jp/news/2017/02/03/index.html>
<https://www.takenaka.co.jp/solution/environment/moenwood/>
<https://www.takenaka.co.jp/news/2022/11/02/>
10. Flat Woods Kiba ，<https://www.takenaka.co.jp/news/2020/02/02/index.html>
<https://kinomachi.jp/1105/>
11. 人と空間のラボ（Human Space Lab）ZEB 実証棟，
https://www.taisei-techsolu.jp/tech_center/topics/zeb/
12. 大成建設 ZEB，https://www.taisei-techsolu.jp/solution/ct_renewal/zeb_zeb.html
13. T-Green Multi Solar ，
https://www.taisei-techsolu.jp/solution/ct_savingenergy/t-green_multi_solar.html
https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/221011_9103.html
14. T-Personal Air III ，<https://www.taisei.co.jp/ss/tech/F3018.html>
15. 材料と環境のラボ，https://www.taisei-techsolu.jp/tech_center/topics/melabo/
16. T-e Concrete® /Carbon-Recycle ，<https://www.taisei.co.jp/t-econcrete/>
17. フライングボックス工法，
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202205/31a1-j.htm>

18. マイティフェザー，
https://www.kajima.co.jp/news/digest/may_2017/feature/arrow_03/index-j.html
19. TawaRemo ，<https://www.kajima.co.jp/news/press/202104/7a1-j.htm>
20. SHIBUYA SCRAMBLE SQUARE 網站，<https://shibuya-scramble-square.com/>
21. 三井不動産網站新聞稿，
https://www.mitsufudosan.co.jp/corporate/news/2022/0915_01/
22. 三井不動産與東京燃氣合作的八重洲能源中心竣工新聞稿，
<https://www.mitsufudosan.co.jp/corporate/news/2022/0801/>
23. 竹中工務店數位雙生技術，<https://www.takenaka.co.jp/rd/digitaltwin/index.html>
24. 鹿島智慧型生產技術，<https://www.kajima.co.jp/news/press/201811/12a1-j.htm>
25. 建築分野における BIM 活用促進，
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/sankankyougikai2019/infrastructure/dai3/siryoku4.pdf>
26. BIM を活用した建築生産・維持管理プロセス円滑化モデル事業，
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001512791.pdf>
27. 建築分野における BIM の標準ワークフローとその活用方策に関するガイドライン（第2版），<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/content/001488797.pdf>
28. RC 造及び S 造のプロジェクトにおける BIM 活用の効果検証・課題分析，令和3年度 BIM モデル事業成果報告会，株式会社竹中工務店，
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001599861.pdf>