

近零耗能建築、 能源效率與消費者行為

Living Green Lifestyle: International Forum

@Taipei Tech

2025/11/7

Ritsumeikan Asia Pacific University

Associate Professor

Koichi Yamaura 山浦紘一

概述

- ZEB/ZEH 系統與政策背景
- 當前能源效率技術
- 按國家劃分的消費者行為與支付意願研究
- ZEB/ZEH 案例研究

引言

- 建築物約占全球能源消耗與二氧化碳排放的 40%。
- 要實現 2050 年碳中和目標，需建造能源效率高的建築物。
- 近零耗能建築（ nZEB ）與淨零耗能住宅（ ZEH ）為關鍵策略。
- 日本推動 ZEB/ZEH 在公共建築、住宅及商業建築的採用。
- 說明：**ZEB/ZEH 將可再生能源發電與節能設計結合，以實現全年淨零能源使用。

ZEB 與 ZEH 定義

- **ZEB（近零耗能建築）**：建築全年一次能源消耗達到淨零。
- **ZEH（淨零耗能住宅）**：ZEB 的住宅版本，特徵包括高隔熱性能、太陽光電系統及住宅能源管理系統（HEMS）。

政策目標（環境省，2023 年）：

- **公共建築**：2030 年前達到 ZEB 標準。
- **住宅**：2030 年前 60% 的新建住宅達到 ZEH 標準。

ZEB 與 ZEH 概念

- **ZEH（淨零耗能住宅）**：住宅中採用高隔熱、高效率設備及可再生能源系統，包括太陽光電板、熱泵系統及住宅能源管理系統（**HEMS**）。
- **ZEB（近零耗能建築）**：商業與辦公建築，目標達成全年淨零耗能，採用高性能隔熱、**LED** 照明，以及太陽能 / 地熱整合等技術。

關鍵技術：

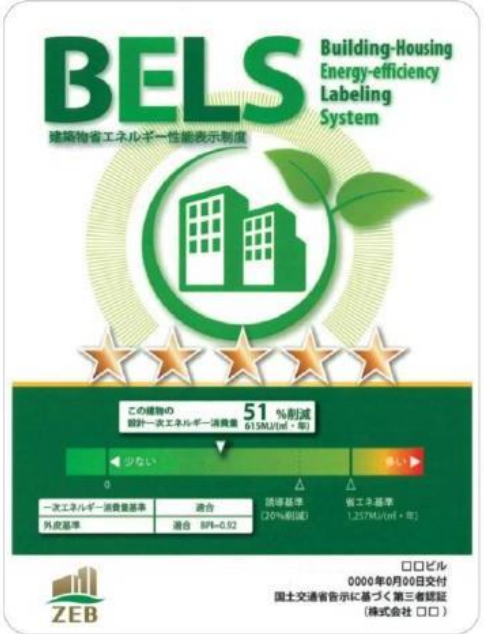
- 高隔熱、氣密性、**Low-E** 玻璃窗、效率高的設備與照明系統。
- 建築能源管理系統（**BEMS**）與住宅能源管理系統（**HEMS**）進行即時能源管理。

說明：ZEB 著重建築層級的能源平衡；ZEH 則優化家庭層級的能源使用。

當前趨勢和應用

ZEB 推行現況

- 截至 2024 年，日本已有超過 1,700 棟建築取得 ZEB 認證（IBEC，2024 年）。
- 分類占比：
 - ZEB Ready：約 60%
 - Nearly ZEB：約 25%
 - Full ZEB：約 10%
- 採用領先的部門：辦公室、政府建築、學校、醫院。
- 區域趨勢：北海道、東北及九州地區的地方政府機關採用最為積極（國土交通省，2024 年）。



『ZEB』	Nearly ZEB
ZEB Ready	ZEB Oriented

當前趨勢和應用

ZEH 推行現況

- 截至 2023 財年，約 30% 的新建獨棟住宅符合 ZEH 標準（環境省，2023 年）。
- 主要建商採用情況：
住宅大廠如積水房屋（Sekisui House）、大和房屋（Daiwa House）及三澤住宅（Misawa Homes）的 ZEH 達成率達 80–90%（積水房屋 CSR 報告，2023 年）。
- 地區綠色住宅計畫（Regional Green Housing Program）也促進了地方建商的參與度提升。



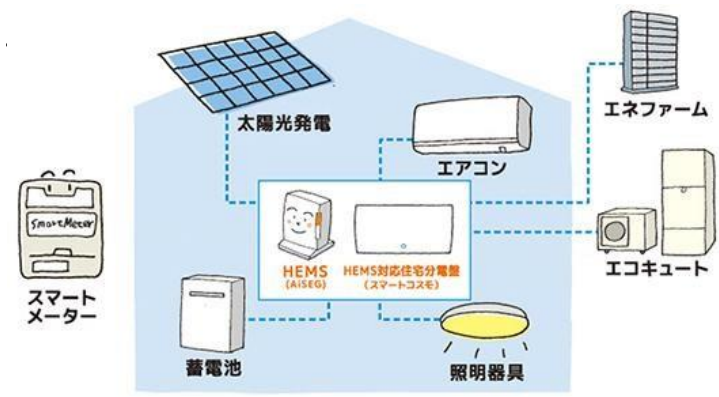
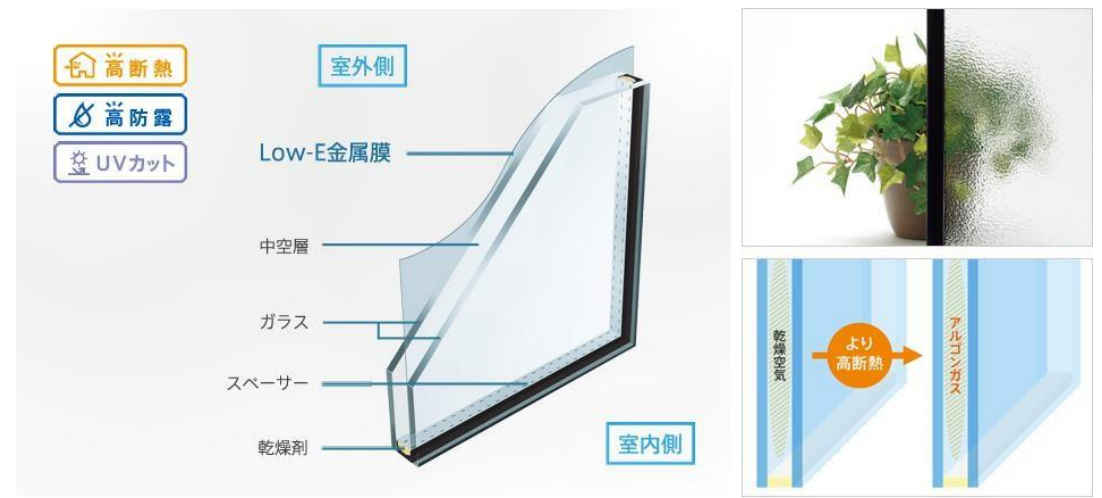
能源效率技術

- **高隔熱材料**、Low-E 玻璃、廢熱回收通風系統。
- **智慧控制**：透過建築能源管理系統（BEMS）及住宅能源管理系統（HEMS）進行控制。
- **可再生能源整合**：太陽光電、地熱及熱泵系統。
- **成效**：與傳統建築相比，可減少 40–60% 的二氧化碳排放（環境省，2023 年）。

技術發展

建築與設備技術

- 廣泛採用先進的隔熱材料（真空板、Low-E 玻璃）及高效率暖通空調（HVAC）與照明系統（LED + 感應器）。
- 正在擴展AI 驅動的建築能源管理系統（BEMS）與住宅能源管理系統（HEMS）整合應用（Panasonic 2024 年）。



HEMSの2大要素

使用電力量の見える化

どれだけのエネルギーをいつ・どこで・何に使用しているのか、目で見て確認できること

時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
消費電力量 (kWh)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

機器の最適制御

家中の機器を一括してコントロールしたり自動的にエネルギー使用量を最適化すること

技術發展

再生能源整合

- 太陽光電 (Solar PV) 仍為主要能源，但地熱及地方熱網 (Local Heat Networks) 的應用逐漸增加。
- 超過 40% 的 ZEB 已配備電池儲能系統 (SII 報告，2023 年)。



4

レジリエンス性能向上

様々な蓄電池によるレジリエンス性能向上などを支援

【公共・産業用】単相連系タイプ
太陽電池と連携可能。豊富な蓄電容量、出力のラインアップで、学校や公共施設から事務所まで幅広く対応。

パワーステーションダブルタイプ

蓄電容量	停電時自立出力	停電時自立出力	蓄電容量	停電時自立出力	停電時自立出力
22.4 kWh	6 kVA	16.8 kWh	5 kWh	11.2 kWh	4 kVA

太陽電池接続容量 5.5kW×2

パワーステーションシングルタイプ

蓄電容量	停電時自立出力	蓄電容量	停電時自立出力
11.2 kWh	3 kVA	5.6 kWh	2 kVA

太陽電池接続容量 5.5kW

先行事例

宮古島や沖縄電力さまの
かりーる一ふ事業

【公共・産業用】三相連系タイプ
動力のバックアップが必要な工場や倉庫などに最適。

壁掛けタイプ

蓄電容量	停電時自立出力
20 kWh	20 kVA

太陽電池接続容量 10kW×2

【産業・住宅用】
手軽な接続とコンパクトなサイズ。ECHO-NETライトにも対応。

壁掛けタイプ

蓄電容量	停電時自立出力
1 kWh	500 VA

スタンダードタイプ

蓄電容量	停電時自立出力
3.5 kWh	1.5 kVA

可搬型蓄電システム e-block (イーブロック)

バッテリーと制御装置が一体になっており、設置・撤去が簡単。

蓄電容量	AC出力時最大
304 Wh	300 VA

※本製品は、イーブロックシステムに組み合わせて使用。

Panasonic

Electric Works Company

日本：對住宅能源管理系統（ HEMS ）的支付意願

研究：Washizu 等人，2019 年

方法：CVM（條件估價法） / 東京與紐約的偏好調查

主要發現：

- 對 HEMS 功能具有正向支付意願。
- 紐約的支付意願高於東京。
- 自動控制與環境功能在不同城市的價值認知不同。

說明：HEMS 採用同時考量節能成本與環境效益。

DOI：10.3390/su11174790

能源效率與消費者行為

- 技術採用依賴消費者行為

- 決策因素：

 - 初期投資成本

 - 能源費用節省

 - 環境意識

 - 對未來電價上漲的關注

- 政策支持：

 - 補助

 - 稅務優惠

 - 資訊提供

 - 行為誘導 (behavioral nudges)

- 說明：了解消費者的支付意願 (WTP) 有助於設計有效政策與產品

消費者行為特徵

- **主要動機**：能源費用節省、居住舒適度、環境意識。
- **障礙**：高額初期投資、資訊不對等。
- **社會影響**：社區成功案例可促進採用。

日本：再生能源支付意願

研究案例：Gao、Hiruta 與 Ashina (2020)

方法：使用條件估價法 (CVM) 模型，評估全國對可再生電力的支付意願 (WTP) 。

主要發現：

- 提供不同可再生能源滲透情境下的全國支付意願估算。
- 對政策評估與能源規劃具有參考價值。

DOI : 10.1016/j.renene.2020.08.049

日本：ZEH 認知與支付意願

研究：Yamaura 等人，2024 年

方法：大型家庭問卷調查；調查對象包括 ZEH 組件的認知、興趣與支付意願（WTP）

主要發現：

- 對可再生能源的認知較低
- 對住宅現場太陽能板（PV）的支付意願相對較低
- 對未來電價上漲的擔憂會提高支付意願

DOI：10.1007/s11625-024-01501-w

與國際比較

- 歐洲：自 2021 年起，近零耗能建築（ nZEB ）為強制性要求（ 依據歐盟指令 ）。
- 德國：採用被動式建築（ Passivhaus ）模式。
- 南韓：自 2020 年起，公共建築必須達到零耗能建築（ ZEB ）標準。
- 台灣：針對潮濕氣候調整之零能耗住宅（ ZEH ）示範屋（ 台灣大學，2022 年 ）。

東亞：中國-住房市場

研究: Yuan 等人., 2022

方法：在深圳二手房市場中進行享樂價格分析（ Hedonic Price Analysis ）

研究結果：

- 具有綠色標章的住宅呈現約 **11.9%** 的價格折扣
- 並非所有情況下都能觀察到「綠建築溢價」現象

DOI：10.1016/j.seta.2022.102171

補充說明：

「享樂價格（ Hedonic Price ）」指的是產品各項屬性的隱含價格，用以表示每一個特徵對整體市場價格的貢獻程度。

歐洲：產品 / 家電

研究：Kesselring，2023

方法：使用歐盟家電市場的掃描數據（ Hedonic Scanner Data ）
進行享樂價格分析

研究結果：

- 估算出能源效率的**隱含價格**（ Implicit Prices ）
- 消費者對能源效率具備**支付意願**（ WTP ），但在不同國家
與產品之間存在**異質性**
- 實際市場中的溢價幅度” 小於以往基於陳述性偏好研究
（ Stated Preferences ）” 所得結果

DOI：10.1007/s10640-023-00819-w

歐洲：住宅 / 舊屋改造 (Retrofit)

研究：Banfi 等人，2008

方法：針對房客與屋主進行選擇性實驗 (Choice Experiment)

研究結果：

- 對於**隔熱與通風改善**皆有正向支付意願 (WTP)
- 支付意願的高低會因感知到的**附帶效益** (如舒適度、噪音降低) 而有所不同

DOI : 10.1016/j.eneco.2006.06.001

北美：家電 / 能源標籤

研究：Ward 等人，2011

方法：線上陳述性選擇調查（ Stated-Choice Survey ），全國樣本

研究結果：

- 消費者願意為 **ENERGY STAR** 冰箱支付額外約 **250–350 美元**
- 標籤價值通常**超過實際能源成本節省**

DOI：10.1016/j.enpol.2010.12.017

北美：暖氣

研究：Roberts 等人，2023

方法：條件價值評估法（Contingent Valuation） / 針對阿拉斯加家庭的再生能源供暖調查

研究結果：

- 居民對**再生能源供暖**具有正向支付意願
- 當地環境因素（如韌性、燃料價格）對支付意願有顯著影響

DOI：10.3390/en16083413

比較分析

- 日本：支付意願受到社會規範和社區關係的影響。
- 東亞：教育與政府支持是主要驅動因素。
- 西方國家：市場透明度與信任是主要因素。
- 年輕世代重視社會認同與象徵性的環保效益。

挑戰與未來方向

挑戰：

高初期成本、資訊缺口、地區不平等。

未來方向：

- 運用行為經濟學工具（社會比較、預設選項）
- 提升消費者教育並使用視覺化工具
- 將實證支付意願（WTP）結果納入政策設計

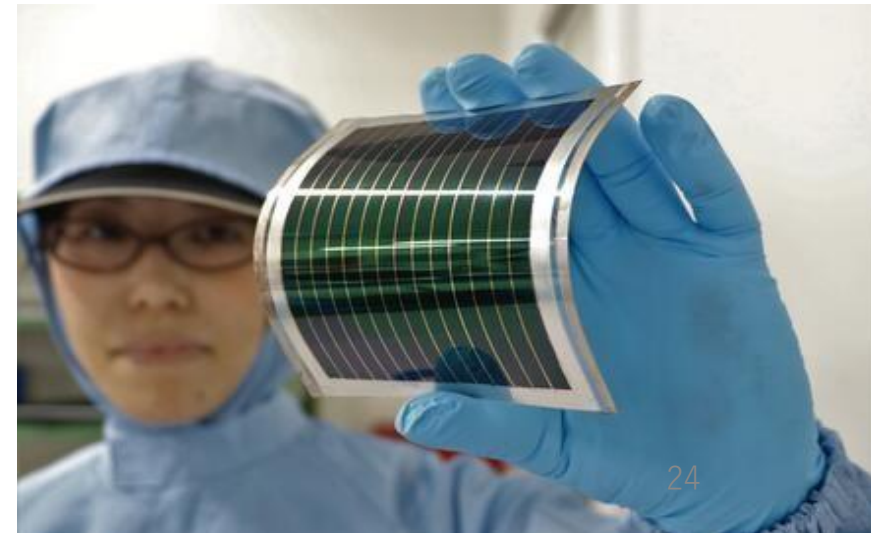
日本創新 — 鈣鈦礦太陽能電池

什麼是鈣鈦礦太陽能電池（ Perovskite Solar Cells, PSCs ）？

- 一種薄膜太陽能技術，使用鈣鈦礦結構化合物，具有**高光吸收率**和**低製造成本**。

日本領先地位：

- 由東京大學與日本材料研究所（ NIMS ）開發
- 已達到 **26% 的轉換效率**（ Kojima 等人，Nature Energy，DOI: 10.1038/s41560-023-01285-4 ）
- 推動 **卷對卷（ roll-to-roll ）** 模組，
可用於近零耗能建築（ ZEB/ZEH ）的立面及
窗戶整合



日本創新 — 鈣鈦礦太陽能電池

- 優點：
 - 輕量、柔性高，非常適合既有建築改造使用。
 - 能源回收期（Energy Payback）小於 0.5 年。
 - 與 BEMS/HEMS 整合良好，可提升建築自給自足能力。
- 政府與產業：
 - 日本經產省（METI, 2024）：在綠色創新基金架構下，設定 2030 年達成 PSC（鈣鈦礦太陽能）國產化目標。
 - 產業合作：Panasonic、積水化學、東芝等公司共同投入。
- 挑戰：
 - 耐候性，特別是濕度與紫外線下的耐久度。
 - 生產規模化與鉛回收技術的發展。
- 展望：
 - 預估全生命週期可減碳達 70%。
 - 日本目標在 2035 年前將 PSC 模組推向全球出口市場。



日本：創新 - 鈣鈦礦太陽能 (Perovskite PV)

- Guan 等人 (2023) , Nature Energy
- 新一代薄膜太陽能電池：輕量、柔性、高度低成本化。
- 由東京大學與日本物質材料研究機構 (NIMS) 共同開發；
達成 26% 能量轉換效率。
- 適合導入 ZEH/ZEB (零能住宅 / 零能建築) ，可降低建築全生命週期 CO₂ 排放。
- 屋頂與立面安裝比傳統晶矽更容易、安裝成本更低。
- DOI: [10.1038/s41560-023-01209-8](https://doi.org/10.1038/s41560-023-01209-8)

未來政策方向

- 日本 **ZEB** 路線圖：公共建築在 2030 年前達成 **ZEB**。
- 透過「行為誘因（ behavioral nudges ）」與資訊提供，促進民眾採取節能行為。
- 「技術創新」 + 「消費者行為改變」 = 成功的推廣與採用。

結論

- ZEB／ZEH 是日本邁向碳中和路徑的核心。
- 技術創新（如鈣鈦礦太陽能 PSC） + 行為改變 = 推動轉型的關鍵。
- 跨區域的願付價格（WTP）研究凸顯不同文化與市場的多樣性。

附錄：日本願付價格（WTP）研究 （含 DOI）

Yamamoto & Peterson (2022, Energy Economics, DOI: 10.1016/j.eneco.2022.106027)

- ZEH 住宅的額外願付價格約 150～250 萬日圓。

Kato et al. (2021, Journal of Environmental Management, DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113596)

- 環境意識與社會規範會 正向影響 願付價格。

Tanaka & Uchida (2023, Sustainability Science, DOI: 10.1007/s11625-023-01306-z)

- 智慧家電的資訊回饋能提升 節能行為。

附錄：東亞地區願付價格（WTP） 比較研究

South Korea: Kim & Kim (2021, Energy Policy, DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112448)

- 高隔熱住宅的願付價格約為 房價的 7.8% 額外溢價。

Taiwan: Huang et al. (2022, Sustainability, DOI: 10.3390/su14084763)

- 年輕消費者對使用再生能源供電的住宅具有 較高的 WTP。

China: Li & Luo (2020, Building and Environment, DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106762)

- 教育程度與環境意識 對 WTP 的影響大於收入水準。

西方國家關於願付價格（WTP）的研究

Europe: DellaValle & Zubaryeva (2021, Energy Policy, DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112675)

- 能源效率住宅可帶來 7–12% 的價格溢價。

USA: Brounen & Kok (2020, Energy Economics, DOI: 10.1016/j.eneco.2020.104769)

- ENERGY STAR 認證住宅的願付價格約 4.5%。

Nordic: Nielsen et al. (2023, Renewable Energy, DOI: 10.1016/j.renene.2023.120194)

- 生態標章能提升民眾信任度，並提高願付價格。

謝謝各位的聆聽

