

# 出國報告（出國類別：實習）

## 前瞻智慧電能應用之研習

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：蔡志祥/台電公司綜合研究所資訊工程專員

派赴國家/地區：日本/東京

出國期間：111/11/17-111/11/24

報告日期：111/01/07

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：前瞻智慧電能應用之研習

頁數 38 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡志祥/台灣電力公司/綜合研究所/資訊工程專員/(02)2360-1310

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：111/11/17-111/11/24

派赴國家：日本

報告日期：112/01/17

關鍵詞：虛擬電廠、家庭能源管理、需求面管理、非侵入式負載監測

內容摘要：

因應我國 2050 淨零排放目標，本公司已積極推動低碳轉型，未來致力朝淨零排放目標邁進，分別從電力供給面、電網面、需求面訂定策略。在供給以及電網方面，會積極導入再生能源，以及配合再生能源併網，投入各項電網轉型工程。除此之外，更可以透過需求面管理(Demand Side Management, DSM)措施，減緩用電需求與平抑負載變動。因此，瞭解日本電力公司於電業自由化下之數位轉型過程、日本電業於家居照護以及異業合作、日本電業發展 VPP 及家庭能源管理之技術等，有助於我國以及電業擬定需求面管理之相關策略，達成 2050 淨零排放目標。

# 內容

壹、實習簡介與日程.....	7
貳、實習內容.....	8
一、日本 NextDrive(聯齊)之交流內容.....	8
二、三菱總合研究所(MRI)之交流內容.....	13
三、亞太能源研究中心(APERC)之交流內容.....	20
1. 2050 淨零排碳電力結構規劃研討.....	20
2. 亞洲地區再生能源憑證發展趨勢交流.....	27
四、Infortetis 之交流內容.....	30
五、早稻田大學之交流內容.....	31
參、心得及建議.....	34
肆、附錄.....	35

## 圖目錄

圖 1 「Atto」 Gateway(LTE 版).....	9
圖 2 「Cube J」 Gateway(Wi-Fi 版).....	10
圖 3 「Ecogenie+」之功能示意圖.....	11
圖 4 日本東北 2022 年 8 月 28 日電力市場交易價格.....	12
圖 5 NextDrive 之能源管理構想.....	12
圖 6 國際燃料價格與日本批發電價趨勢.....	13
圖 7 全球三個主要碳中和路徑.....	14
圖 8 MRI 規劃之日本碳中和情境.....	14
圖 9 能源供需資源與投入產出經濟模型架構.....	16
圖 10 2018 年與 2050 年碳中和情境之能源供需結構比較.....	16
圖 11 能源自主程度與碳中和相關資源分布.....	17
圖 12 碳中和情境之各產業附加價值變動.....	18
圖 13 小時別及月份別之再生能源容量因數變動.....	19
圖 14 APERC 總體模型架構.....	21
圖 15 APERC 電力模型.....	21
圖 16 能源需求情境比較.....	22
圖 17 發電組成情境比較.....	23
圖 18 能源供給情境比較.....	23
圖 19 碳中和情境之部門別電力消費.....	24
圖 20 碳中和情境之區域別電力消費.....	24
圖 21 亞太地區 2018 及 2050 年發電占比與燃料占比.....	25
圖 22 亞太地區 2018 及 2050 年部門別碳排放量.....	25
圖 23 亞太地區 2018 及 2050 年裝置容量情境比較.....	26
圖 24 2022 年 7 月 APEC 東南亞六經濟體再生能源總註冊容量.....	27
圖 25 2022 年 7 月 APEC 東南亞六經濟體再生能源憑證總量.....	28
圖 26 泰國於 I-REC 平台註冊處之 REC 機制.....	30
圖 27 日本能源轉型之歷程.....	32
圖 28 日本的電網改革藍圖.....	33
圖 29 電網服務模式改變演變示意圖.....	33
圖 30 DER 整合進配電、輸電網之示意圖.....	33

## 表目錄

表 1	出國行程表.....	7
表 2	「Atto」 Gateway(LTE 版)規格.....	9
表 3	「Cube J」 Gateway(Wi-Fi 版)規格.....	10
表 4	MRI 規劃日本碳中和之情境比較.....	15
表 5	APERC 能源供需情境設計.....	22

## 壹、實習簡介與日程

因應我國 2050 淨零排放目標，本公司有必要了解國際電業於需求面管理之相關策略，透過新興家庭能源管理之技術，與異業結盟、建構能源服務商業模式，引進各方利害關係人加入綠能生態系，減緩用電需求與平抑負載變動，蒐集前述資料有助於我國落實能源轉型以及淨零碳排之目標。

依據台電公司 111 年度短中長程研發規劃重點項目「加強用戶端之電能管理與服務」之規劃：需求面電能分析與運用技術，參加有關前瞻智慧電能應用之研習，精進智慧用戶互動應用技術。

「前瞻智慧電能應用之研習」實習工作內容包含：(1)觀摩 NextDrive 於日本家庭能源管理之成功案例；(2)觀摩三菱研究所(MRI)於日本 VPP 最新發展試驗以及電動車之應用案例；(3)觀摩 APERC 瞭解亞太地區能源之最新發展技術以及概況；(4)參訪 Informetis 公司交流 NIALM 技術、電業於家庭照護之應用、電業於家庭照護之業務拓展方式；(5)觀摩早稻田大學交流 HEMS、能源物聯網技術、電網低碳轉型之應用。出國行程如表 1 所示。

本次實習預期成果包含：(1)應用 AMI 與商業模式分析，可加強需求面管理措施之誘因設計。(2)應用 VPP 相關技術，減緩台灣電動車滲透率增加對於電網之衝擊。(3)了解亞太地區對於 VPP 技術、NIALM 技術應用之潛力。前述預期成果有助於未來本公司在電力市場順利運行。

表 1 出國行程表

時間	地點	機構名稱	詳細工作內容
111.11.17			往程(台北→東京)
111.11.18-20	東京	NextDrive 株式會社、三菱綜合研究所 (MRI)	觀摩 NextDrive 公司並交流能源用戶服務應用及電動車相關議題。與三菱綜合研究所(MRI)交流 2050 碳中和相關議題。
111.11.21	東京	亞太能源研究中心(APERC)	2050 淨零排碳電力結構規劃研討及亞洲地區再生能源憑證發展趨勢交

			流
111.11.22-23	東京	Informetis 株式會社、早稻田大學	交流 NILM 技術、電業於家庭照護應用、能源物聯網技術及電網低碳轉型之應用
111.11.24			返程(東京→台北)

## 貳、實習內容

### 一、日本 NextDrive(聯齊)之交流內容

本次拜訪日本 NextDrive 的人員包含：石聖弘社長、小長井教宏部長、蕭名秀商業分析師。會議首先由蔡志祥專員介紹「Technology and Business Model of Non-Intrusive Appliance Load Monitoring」，接著由蕭名秀分析師簡報「NDKK 日本事業介紹」，最後綜合討論時間主要向日本 NextDrive 人員請益日本售電業以及日本 NextDrive 之發展現況，期盼借鏡日本售電業之經驗，擘劃台灣能源業之可能發展模式。以下介紹本次拜訪所獲取日本 NextDrive 之發展現況：

NextDrive 在 2013 年於台灣創立，事業擴展至日本，並於日本成立集團，持有台灣以及日本分公司。NextDrive 提供能源物聯網(Internet of Energy, IoE)一站式平台為主的服務，以「善用每一度電」為宗旨，透過智慧能源管理及資料分析最佳控制，達到能源轉型與淨零碳排的目標。

NextDrive 在日本的事業主要有三項：

- (1) 開發和應用「IoE 平台服務」，實現分散式能源設備的數據取得和遠程控制
- (2) 利用 IoE 平台開發並提供「能源數據應用服務」
- (3) 公共事業(電力、瓦斯、水)和智慧設備相關服務業者的「委託開發」業務。

IoE 平台：「Ecogenie+」，為 NextDrive 在日本的事業核心，提供(1)能源設備連結：(2)即時資訊可視化、(3)適當的管理與控制之主要功能。NextDrive 研發兩種產品，「Atto」(參考圖 1)以及「Cube J」(參考圖 2)安裝在用戶家中，經簡單設定後可以蒐集家庭中各式能源設備使用情形，並再傳送至 NextDrive 的能源聯網平台，整合家中能源資訊，可以協助用戶更聰明的節電，並發展數據應用服務。「Ecogenie+」之功能

示意圖如圖 3 所示。



圖 1 「Atto」 Gateway(LTE 版)

資料來源：NextDrive

表 2 「Atto」 Gateway(LTE 版)規格

CPU	ARM Quad-Core Cortex-A7
RAM	1GB
EMMC	16GB
安全晶片	Infineon OPTIGA™
Wi-SUN	ROHM BP35 C0 Module
Wi-Fi	802.11 (a/b/g/n/ac)
Bluetooth	BLE 4.2
LTE	Nano SIM內藏
I/O	RS485 1Port · USB2.0 TypeA 2 Port
Switch	Reset Switch(tactile switch)
LED	Red /Green 2色 * 3
溫度環境	-10 ~ 60℃
大小	122*122*38.6mm
重量	214g
認證	Echonet Lite /Telec/VCCI



資料來源：NextDrive



圖 2 「Cube J」 Gateway(Wi-Fi 版)

資料來源：NextDrive

表 3 「Cube J」 Gateway(Wi-Fi 版)規格

CPU	ARM Quad-Core Cortex-A7
RAM	1GB
EMMC	16GB
安全晶片	Infineon OPTIGA™
Wi-SUN	ROHM BP35 C0 Module
Wi-Fi	802.11 (a/b/g/n/ac)
Bluetooth	BLE 4.2
I/O	USB2.0 TypeA 1Port
Switch	Reset(tactile switch)
消費電力	2.5W
LED	Red / Green / Blue 3色
溫度環境	0 ~ 40°C
大小	48×48×43mm
重量	80g
認證	Echonet Lite / PSE/Telec/VCCI

資料來源：NextDrive



圖 3 「Ecogenie+」之功能示意圖

資料來源：NextDrive

NextDrive 創業之初是主要目標客群是家庭用戶，但由於接觸用戶成本高，推廣不易。而與此同時，日本能源界進行 4D(自由化、數位化、脫碳化、分散化)，從根本性地改變日本能源業之產業結構，(1)售電業從削價策略轉變成加值策略、(2)太陽能發電設備、儲能設備電動車等分散能源設備越來越普遍、(3)除了智慧電表涵蓋率達百分之百，各種能源設備數位化程度提高、(4)再生能源占比提高，導致電能價格波動大(參考圖 4)，用戶有誘因透過調控減少使用能源之成本。綜合上述契機以及自身過往經驗，NextDrive 轉往朝向 B2B 之商業模式，提供企業「Ecogenie+」之服務，再由企業提供自身客戶之加值服務。

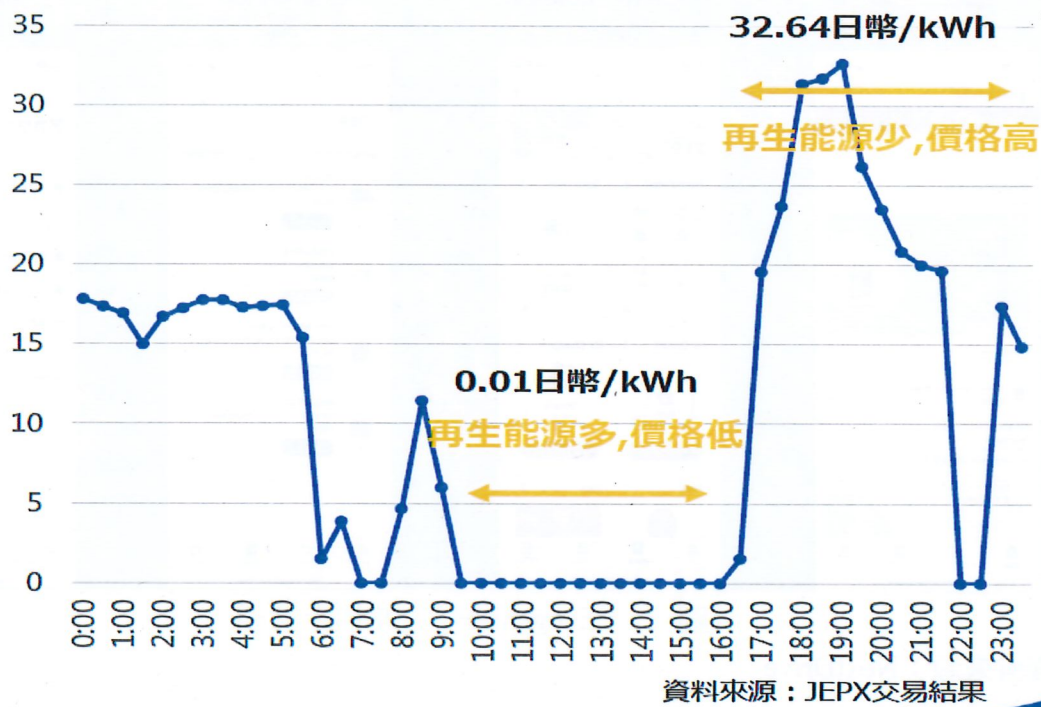


圖 4 日本東北 2022 年 8 月 28 日電力市場交易價格  
資料來源：NextDrive

NextDrive 以「Ecogenie+」為核心，對於用戶進行全面「點」的能源管理，再將不同用戶、不同用電場域之資源聚集，運用數據資料之整合，將分散式資源帶入電力市場，實現「面」的能源管理(參考圖 5)。近年來 2050 碳中和目標為各國重視之議題，NextDrive 亦參加動「區域性脫碳計畫」的政策，協助鳥取縣當地的區域性能源服務公司 Local Energy，推動非躉售型再生能源的地產地消與跨行政區域之排放量管理。

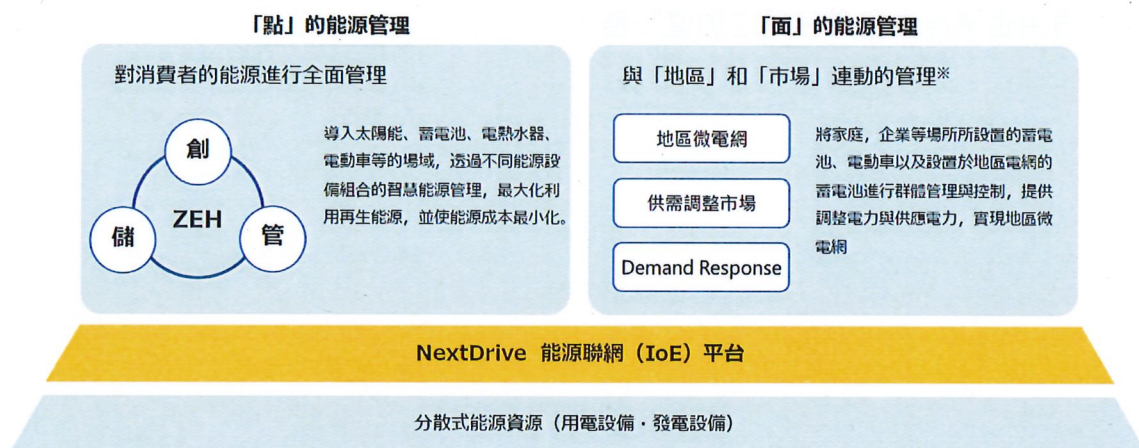


圖 5 NextDrive 之能源管理構想

資料來源：NextDrive

註：ZHE 為零號能住宅(Zero Energy House)之簡稱。

## 二、三菱總合研究所(MRI)之交流內容

本次拜訪 MRI 的人員包含：海外事業部首席顧問飯田康(Yasushi Iida)、經營創新部電力與能源組專案經理長谷川功(Isao Hasegawa)與顧問鈴木響子(Kyoko Suzuki)、政治經濟中心主席研究員志田龍亮(Ryusuke Shida)博士。

會議首先由台電方介紹「Issues and Challenges in the Development of Virtual Power Plant and Electric Vehicle」、我國國家發展委員會公布之「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」以及「台電公司具體的減碳策略規劃」，接著由志田龍亮博士簡報「2050 碳中和對日本社會與經濟之影響」，最後綜合討論時間主要向 MRI 專家請益對我國政府 2050 淨零政策與本公司減碳策略之建議，期盼借鏡日本經驗與 MRI 研究成果，從整體社會部門的角度，規劃出更為穩健的脫碳路徑。以下則詳細介紹本次拜訪所獲取的重要經驗與政策啟發：

### 1. 長期脫碳轉型目標已成為全球共識

2022 年 2 月烏俄戰爭爆發導致全球能源價格高漲，連帶拉升日本國內批發電價(圖 6)。能源安全議題成為歐洲各國關注的焦點，除了能源供應多元化、提高天然氣與煤儲存量之外，加速再生能源發展搭配儲能系統也是提升能源自主的重要解決方案。尤其，全球已有超過 130 個國家承諾達成碳中和，而長期脫碳轉型勢必對社會結構帶來巨大的轉變，其衝擊影響必須審慎評估，日本亦不例外。

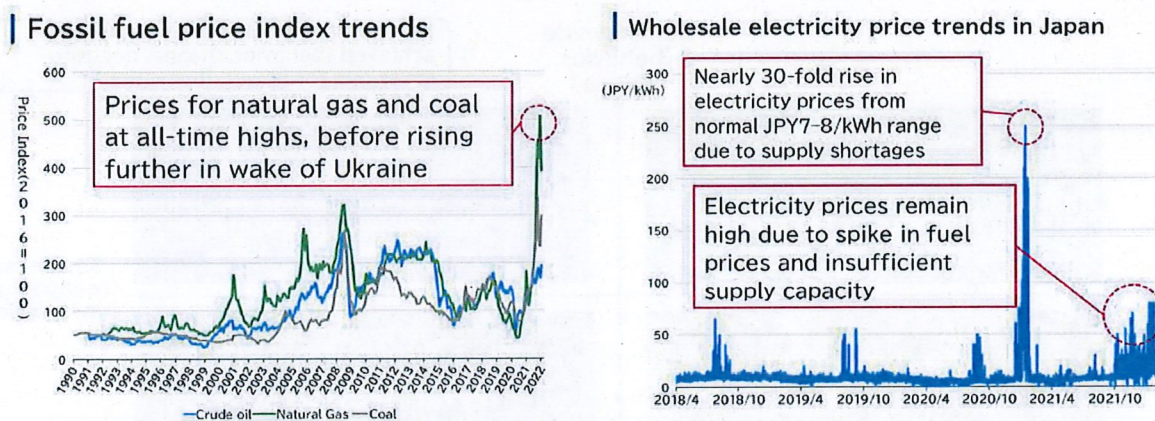
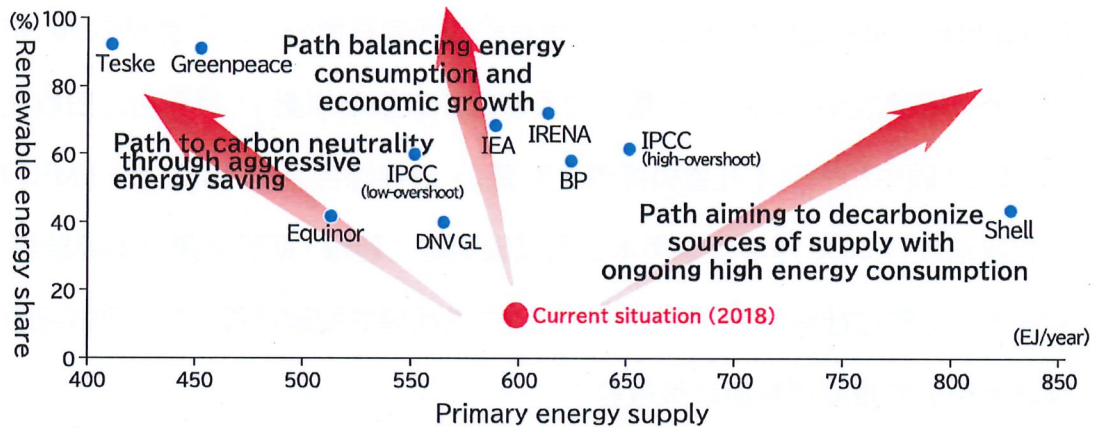


圖 6 國際燃料價格與日本批發電價趨勢

### 2. 行為改變與技術創新之相互搭配是穩健達成碳中和的關鍵

2018 年全球能源供給約  $600 \times 10^{18}$  焦耳、再生能源占比未達 20%，綜整各大能源研究機構預估未來全球碳中和情境，依照再生能源占比（Y 軸）與主要能源供給（X 軸），可大致區分三個主要碳中和路徑：(1)能源供給低碳化、能源消費持續成長；(2)主要仰賴積極節能；(3)權衡能源消費與經濟成長，主要能源供給微幅減少。如圖 7 所示。

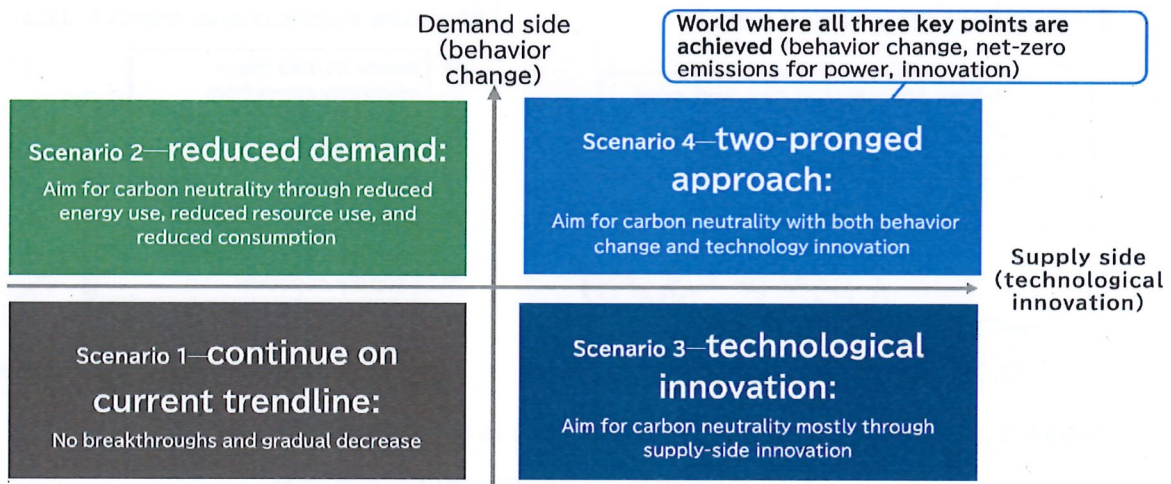
The net-zero scenarios from a number of research organizations and energy companies (global)



Source: MRI, from IRENA, World Energy Transition Outlook 2021

圖 7 全球三個主要碳中和路徑

基於上述全球能源趨勢，日本同樣以達成碳中和為終極目標，MRI 依照需求面行為改變（Y 軸）與供給面技術創新（X 軸）規劃出四個情境：情境一依照日本現行規劃持續減碳，在需求面行為與技術均未進步下，無法達成 2050 碳中和目標；情境二主要透過節能、降低資源使用與消費達成 2050 碳中和；情境三主要透過供給面技術創新達成 2050 碳中和，而能源消費持續成長；情境四則同時兼顧行為改變與技術創新，並強調電力部門淨零碳排時程。如圖 8 所示。



Source: MRI

圖 8 MRI 規劃之日本碳中和情境

四個情境的差異主要在於溫室氣體之減排量與減碳成本。情境四同時達成行為改變、電力淨零與技術創新，乃社會達成碳中和目標之最理想情境，相較於 2013 年水準，2050 年最終能源消費減少 54%，溫室氣體減量 90%，剩餘溫室氣體則須仰賴負排放技術（如 CCUS）；2022 至 2050 每年平均實質 GDP 成長率為 0.06%，相關數據均為四個情境之冠，如表 4 所示。

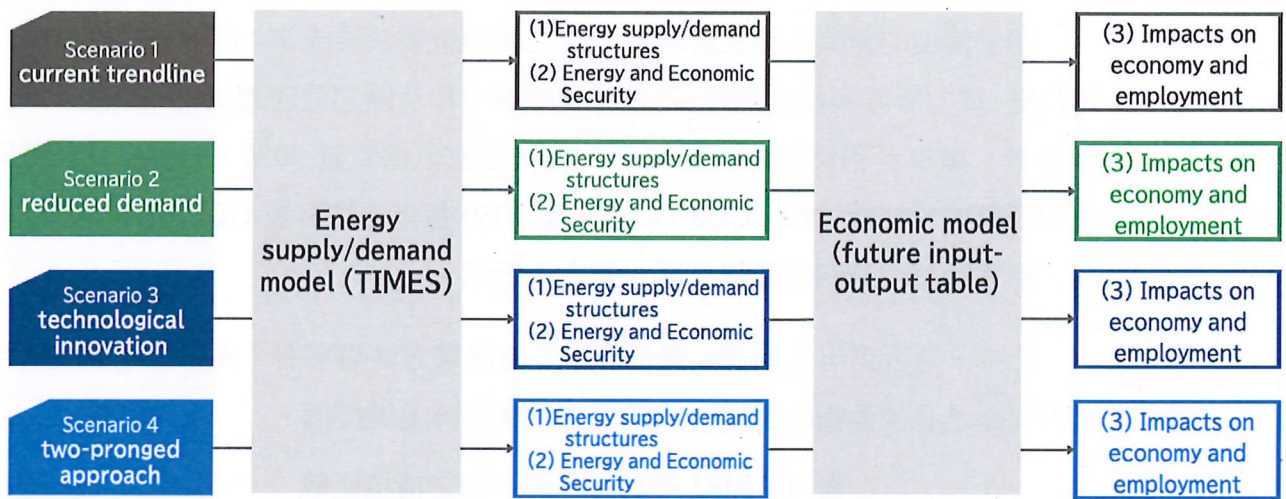
此外，為因應再生能源大量併網，並確保電力供需平衡，火力發電機組的存續與脫碳是必須面對的課題，例如導入氫氨燃料混燒技術。

表 4 MRI 規劃日本碳中和之情境比較

	情境一	情境二	情境三	情境四
行為改變	×	✓	×	✓
電力淨零	×	△	✓	✓
技術創新	×	×	✓	✓
2022-2050 年均 實質 GDP 成長率	+0.01%	-0.13%	+0.10%	+0.06%
最終能源消費 (versus 2013 levels)	-34%	-50%	-48%	-54%
GHG 減排量% (versus 2013 levels; before CCUS)	-48%	-83%	-89%	-90%

### 3. 產業結構變化將影響資源流動與人力資源策略

MRI 首先以能源供需資源模型(TIMES)為基礎，依照四個情境不同的總體經濟架構、能源消費與能源技術等參數，分析日本工商業、住宅、交通與電力部門之能源供需結構，以及能源與經濟安全。接著，再以投入產出經濟模型(Input-output table)評估不同情境下之經濟與就業影響，其中產業關聯效果包含：實質產出、附加價值、就業人口等，如圖 9 所示。

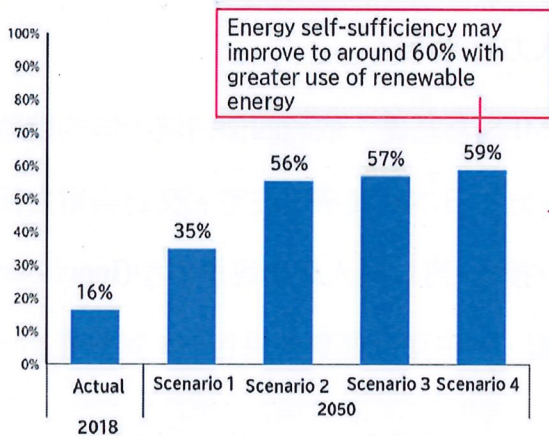


Source: MRI

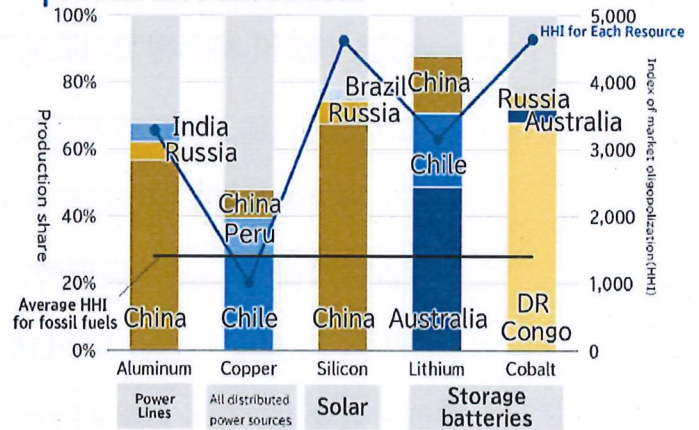
圖 9 能源供需資源與投入產出經濟模型架構

透過能源供需資源模型(TIMES)比較現行(2018 年)與情境四(2050 年)之能源供需結構，可以觀察到三個現象：(1)目前化石燃料占整體能源供給的 80%，2050 年則是低碳能源占 80%；(2)受惠於需求面節能與能源效率提升，2050 年最終能源消費降至目前水準的一半；(3)在電氣化趨勢下，目前電力占最終能源消費約 26%，2050 年將成長至 52%，如圖 10 所示。

### Energy self-sufficiency



### Production share of carbon neutral resources and market oligopolization

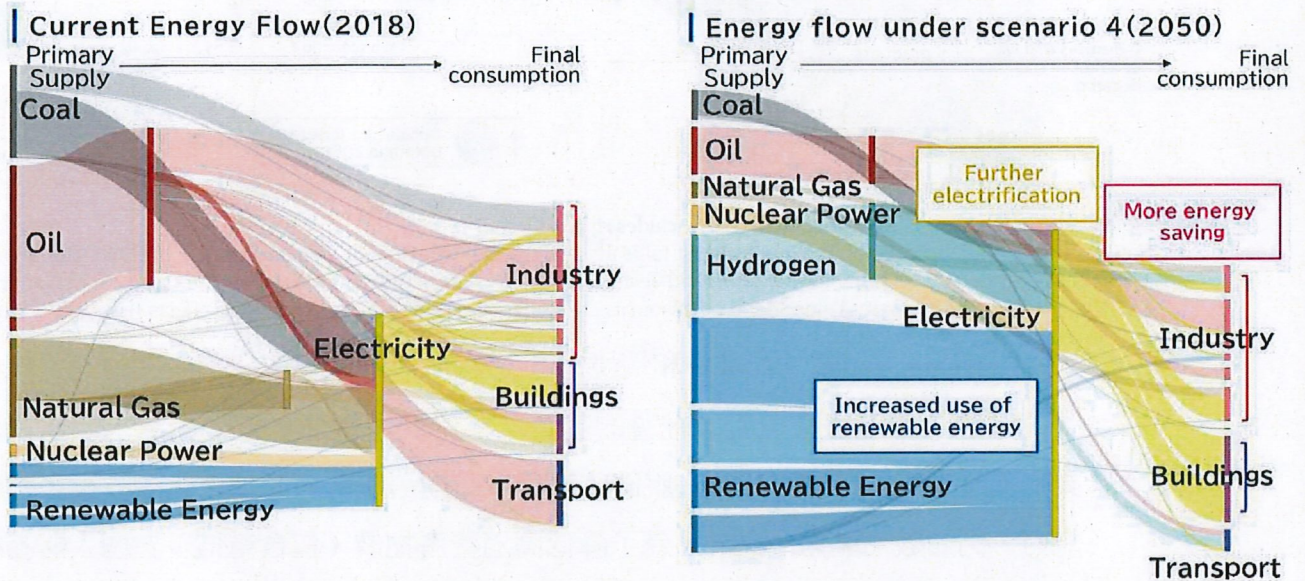


Source: (Left) MRI estimates, (right) MRI, from the U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries and BP, Statistical Review of World Energy 2021<sup>6</sup>

圖 10 2018 年與 2050 年碳中和情境之能源供需結構比較

日本缺乏化石燃料資源、長期仰賴進口，若發展再生能源與核能等低碳能源，有助於提升能源自主。目前(2018 年)日本自產能源占 16%，2050 年碳中和情境、大量使用再生能源情況下，自產能源占比可接近 60%，如圖 11 所示。

儘管日本未來「能源自主(energy self-sufficiency)」有望提升，卻不全然代表達成「技術自主(Technology self-sufficiency)」。因為達成碳中和的過程需仰賴更多的資產，包含：輸配電線路、再生能源設備、儲能電池等，上述設備的建置需仰賴特定資源(例如：鋁、銅、矽、鋰、鈷等)，而這些稀有金屬及礦物資源由少數特定國家(例如：中國、俄國、印尼、智利、祕魯、巴西、澳洲、剛果等)掌握，如圖 11 所示。因此資源流動與循環經濟將是日本必須面對的重要課題。



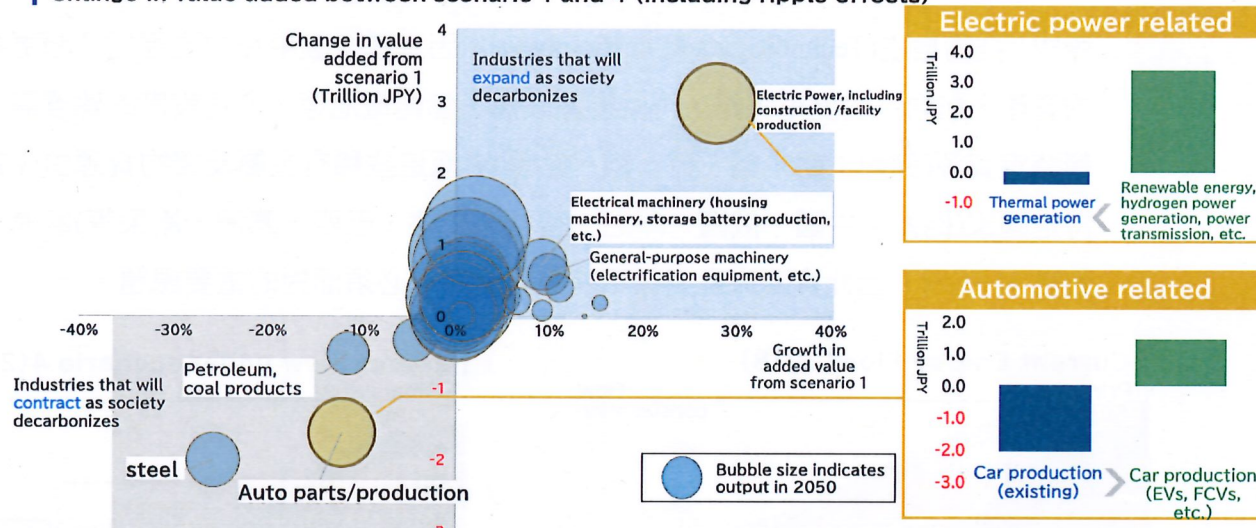
Source: MRI estimates; actual figures taken from Total Energy Statistics from the Agency of Natural Resources and Energy  
Vertical axis: 100% = total primary energy supply

圖 11 能源自主程度與碳中和相關資源分布

脫碳可望為日本經濟帶來正面影響，其外溢效果將因產業而有所差異，產業結構將產生巨大轉變，例如：發電與電力設備業將擴張，附加價值增加 3 兆日圓、成長率達 30%；而傳統汽車產業附加價值將萎縮近 2 兆日圓、負成長率超過 10%，其他負成長的產業包含石油及煤製品業、鋼鐵業等，如圖 12 所示。



## Change in value added between scenario 1 and 4 (including ripple effects)



Note: Comparison of scenario 4 with scenario 1, includes ripple effects

Source: MRI estimates, based on the Input-output table for analysis of next-generation energy system for 2015 from the Institute for Economic Analysis of Next-generation Science and Technology and Advanced Collaborative Research Organization for Smart Society (ACROSS) at Waseda University. Value added calculated as the total of direct effects + primary ripple effects + secondary ripple effects.

圖 12 碳中和情境之各產業附加價值變動

再者，穩健轉型至脫碳社會的基礎，在於就業轉移至有人才需求的新興產業，人力資源發展策略必須在脫碳的過程中長期培養新興產業所需的技術與創新能力，例如數位能力。此外，為了降低高消費者物價（包含電價）對個人財務的負面衝擊，政府必須面對如何公平分配社會負擔之重大挑戰。

#### 4. 行為改變需仰賴更為完善的資訊揭露

行為改變是邁向脫碳的第一步。儘管安裝再生能源發電設備能夠有效減少碳排放，MRI 問卷調查顯示，企業與消費者仍沒有動機採取必要減碳措施，主要因為需花費高額的初始成本、現有設備限制以及不清楚改善措施的潛在效果等。因此，提供完善的資訊揭露與選項具有促進行為改變的潛力。

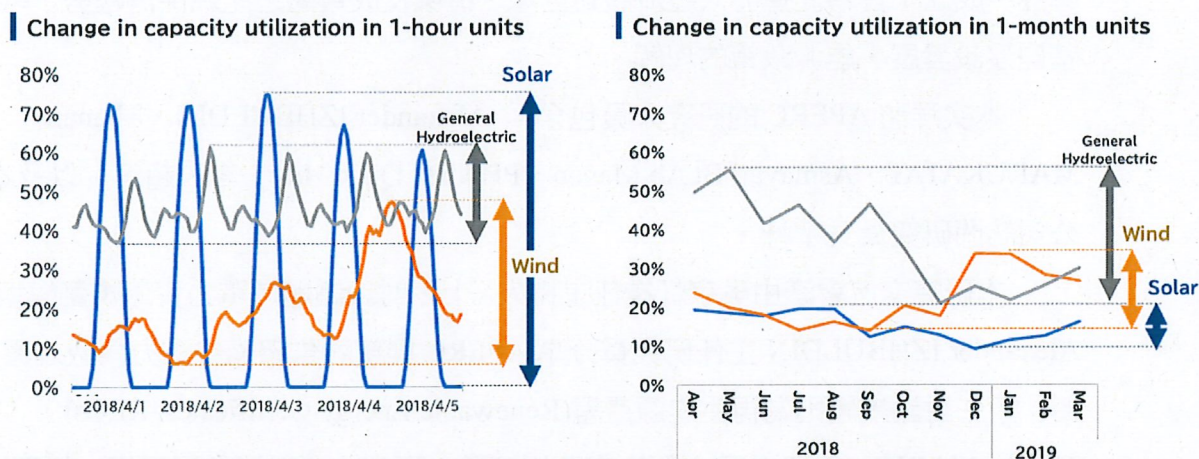
#### 5. 核能扮演與再生能源相互搭配的角色

近期能源市場波動與 2030 年減排目標設定，重新喚起日本對核能議題的討論。MRI 認為政府必須明訂將核能發電納入長期能源發展策略，並維持核能發電之技術、人才與創新研發。在創新研發方面，除了提升核能安全外，核能發電的使用必須與大規模再生能源相互搭配，例如負載追隨、製氫與熱利用等技術。此外，也需要制定相關配套措施，降低對核能發電相關企業的不信任，例如改善產業結構與公司治理、真誠與利害關係人溝通等。

#### 6. 需要假設未來資料量體增加與自然災害的發生

隨著數位轉型與社會發展，資料量體呈現指數型成長，科技必須持續演進以滿足能源消費需求增長。再者，分散式電力系統架構需要仰賴資料傳輸與發電相互搭配，讓有額外電力需求的區域以及再生能源發電過剩的區域相互連結。

氣候變遷導致風災、水災與地震的發生機率提高，而再生能源發電受氣候因素影響程度大，日本在邁向脫碳的過程中也必須考量自然災害的發生。由圖 13 可觀察不同時間粒度下的再生能源容量因數變化，太陽光電出力的日夜變化程度大，每月變化則相對穩定；相反地，水力發電每小時規律變化且變異程度小，月份別則受枯水期影響，季節變異程度大。



Source: MRI, based on data from actual area supply/demand by general power transmission and distribution companies and power survey statistics from the Agency of Natural Resources and Energy

圖 13 小時別及月份別之再生能源容量因數變動

因此，為了解決再生能源間歇性問題，因應氣候風險並提升電力系統韌性，日本必須建構多元的發電組合，避免過度依賴單一能源。例如在面對日常情況與特殊緊急狀態下，以儲能電池調和短期的系統參數變動；建構低碳合成燃料（如氫氨）的儲存與運輸體系，預先因應長期能源短缺問題。

## 7. 讓碳中和成為日本新的競爭優勢：跨領域整合是關鍵

碳中和將對日本社會及產業經濟帶來深遠的影響。首先，對能源資源的需求增加可能引發地緣政治風險，產業結構轉變會直接衝擊就業市場與政策。其次，資料量體擴充導致能源供不應求，可能阻礙碳中和與數位轉型的進程。這些議題超越傳統垂直整合能源產業與政府部門所能掌控的範圍，日本必須積極研擬跨領域整合的相關計畫。

在日本邁向碳中和的過程中勢必面臨諸多的挑戰，包含：目前產業結構製造業 GDP 占比相對高、國家能源主要來自火力發電、國內缺乏零碳能源供給、適合發展再生能源之土地有限、自然災害頻繁發生等。然而，其他國家也會面臨相同的問題，若日本能夠有效克服這些問題，除了創造新商機與國際競爭優勢外，

也可幫助其他國家達成碳中和目標。面對這一波不可逆的碳中和浪潮，日本產官學界之利害關係人必須共同合作，將碳中和的衝擊轉化為新產業競爭優勢。

### 三、亞太能源研究中心(APERC)之交流內容

亞太能源研究中心(Asia Pacific Energy Research Centre, APERC)在東京於 1996 年 7 月成立，係依據亞太經濟合作會議(Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)1995 年 11 月於大阪經濟領袖高峰會通過之行動議程，並由日本政府出資營運。成立宗旨為促進亞太經濟體對全球、區域及成員國之能源供需趨勢、能源基礎建設發展、能源政策的理解。

本次拜訪 APERC 的研究人員包含：Alexander IZHBULDIN、Thanan MARUKATAT、Asmayati Bt Ab Manan、PHUNG Quoc Huy、李志超等，以及本公司訪問研究員吳宇軒。

本研究交流會議由吳宇軒擔任主持人，上午討論議題為電力資源規劃模型，Alexander IZHBULDIN 主任研究員分享 APERC 展望報告架構中電力模型之應用。下午討論議題則為再生能源憑證(Renewable Energy Certificates, RECs)，Thanan MARUKATAT 分享六個東南亞經濟體之再生能源憑證發展現況。以下則詳細介紹本次拜訪 APERC 所獲得的研究知識與經驗：

#### 1. 2050 淨零排碳電力結構規劃研討

##### (1) APERC 總體模型架構與電力模型

APERC 能源供需模型屬於 Bottom-up 由下游能源需求端向上求解之架構，總體能源需求部門別包括：建築、工商業、交通、農業等，經由電力、熱能、燃料煉製、氫能等能源類別，轉換至上游的能源供給(生產與交易)。APERC 能源供需模型所需投入的相關資料，包括：能源供需實績值、總體經濟數據、技術參數、現行與未來政策、情境假設等。APERC 總體模型架構如圖 14 所示。

APERC 電力模型目標函數追求成本最小，涵蓋亞太地區 21 個經濟體(亦即 21 個電力系統)，模型架構如圖 15 所示。投入參數包含：電力與供熱需求、負載曲線、能源與燃料價格、資本支出與運維成本、現有裝置容量、容量因數、備轉容量率、政策資訊等，模型產出結果則包含：裝置容量與發電量、燃料消費量、碳排放量等。其中考量的發電技術包含：太陽光、風力、火力機組搭配 CCS、生質能、地熱、儲能等。

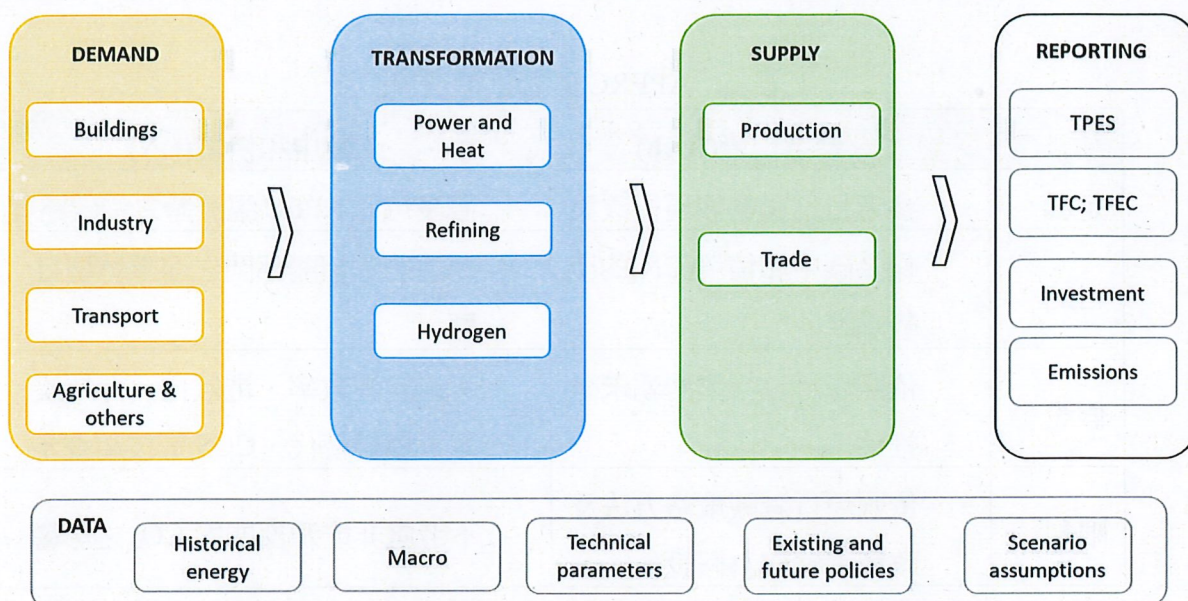


圖 14 APERC 總體模型架構

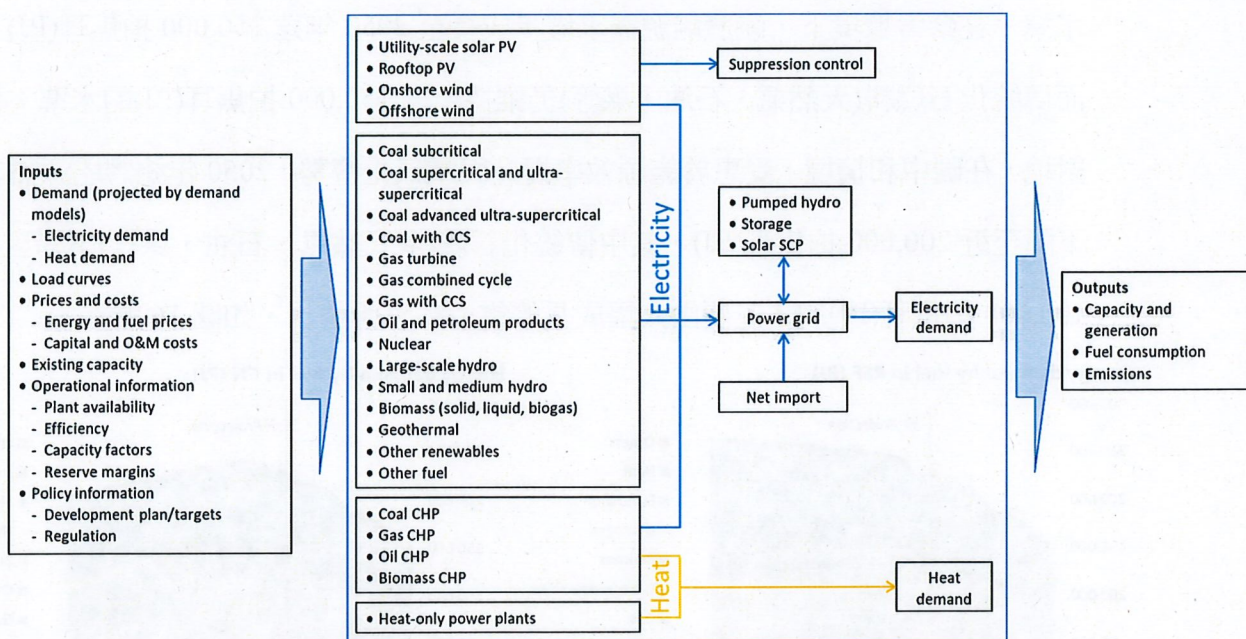


圖 15 APERC 電力模型

## (2) APERC 能源供需展望報告第 8 版重點摘要

APERC 運用上述能源供需模型工具，分析亞太地區 21 個經濟體之能源供需現況與未來發展趨勢，並設計兩個能源供需情境：參考情境(Reference, REF)與碳中和情境(Carbon Neutrality, CN)，如表 5 所示，評估亞太地區達成 2050 碳中和目標之路徑，相關研究成果出版於展望報告第 8 版，供 APEC 會員國參考。

表 5 APERC 能源供需情境設計

	參考情境(REF)	碳中和情境(CN)
定義	參考目前趨勢與現行政策	假設每個 APEC 經濟體之減碳路徑
目的	作為碳中和情境(CN)的比較基準	評估能源相關部門之淨零轉型目標
假設	依照現行政策趨勢朝未來推估	考量能源效率、電氣化、行為改變、燃料替代、CCS 等技術進步
限制	依照現行減碳策略方法及政策趨勢作為假設	不考慮非能源部門對 CO <sub>2</sub> 之影響

資料來源：APERC

受新冠肺炎疫情影響，2020 年能源需求均呈現跳空缺口，其後又回復正常水準。在參考情境下，總體能源需求緩步成長至 2050 年達 250,000 拍焦耳(PJ)，而傳統化石燃料(天然氣、石油、煤等)仍維持超過 150,000 拍焦耳(PJ)的水準；相對地，在碳中和情境，受惠於能源效率提升與電氣化趨勢，2050 年總體能源需求下降至近 200,000 拍焦耳(PJ)，其中傳統化石燃料(天然氣、石油、煤等)下降至 100,000 拍焦耳(PJ)的，主要由大幅成長的電力需求所替代。如圖 16 所示。

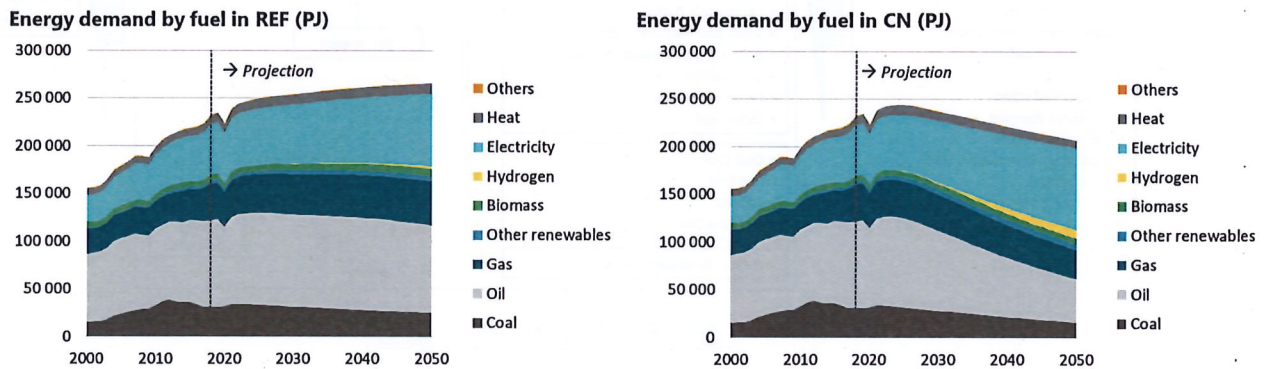


圖 16 能源需求情境比較

隨著未來建築與交通運輸部門電力需求增加，不同情境之發電組成與能源配比將有所差異，如圖 17 所示。在碳中和情境下，以太陽光電及風力發電的成長最為顯著，而天然氣機組選擇搭配 CCS，逐步替代燃煤發電，可有效降低碳排放量，亦可提供電能平衡與輔助服務，維持電力系統穩定運轉。

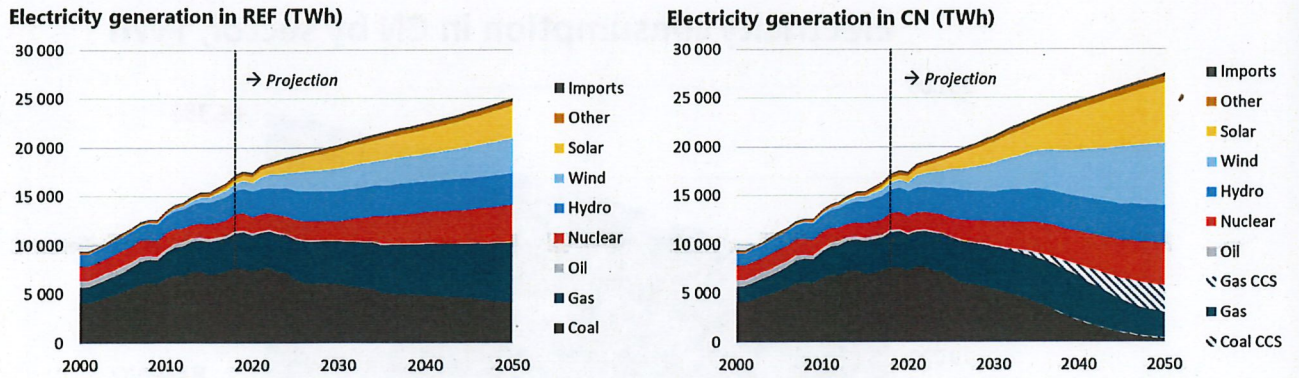


圖 17 發電組成情境比較

能源供給部分，兩個情境均顯示：隨著燃煤供給逐年減少，天然氣供應逐年增加。石油供給部份，參考情境之石油供給至 2050 年呈現持平，相對地，碳中和情境下，隨著亞太地區及全球石油使用量下降，石油供給則逐年降低。綜觀 2050 年亞太地區能源供給，化石燃料仍扮演確保能源安全之重要地位，供給量仍高，參考情境維持在 300,000 拍焦耳(PJ)，碳中和情境則超過 150,000 拍焦耳(PJ)，佔比均超過 50%。如圖 18 所示。

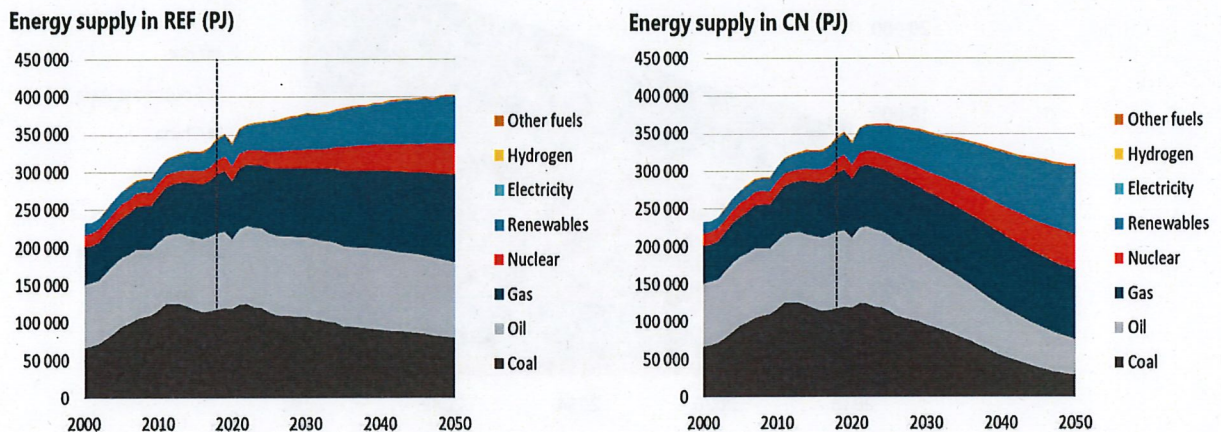


圖 18 能源供給情境比較

### (3)APEC 電力部門模型結果

目前亞太地區電力消費量約 15,000TWh，若要達成 2050 年碳中和目標，則電力消費需成長 63%，約 24,000TWh。其中，運輸、建築、產業部門之電力需求成長幅度分別為 44%、33%、17%，可見碳中和情境下電動載具之市場滲透率顯著提升，如圖 19 所示。從亞太地區各個國家區域來看，每個區域之電力消費均有所成長，其中有 84%成長集中於美國、中國及東南亞等三個具有廣大消費群眾的區域。相對地，東北亞地區(包含日本、韓國等)之電力消費成長則不顯著，如圖 20 所示。

### Electricity consumption in CN by sector, TWh

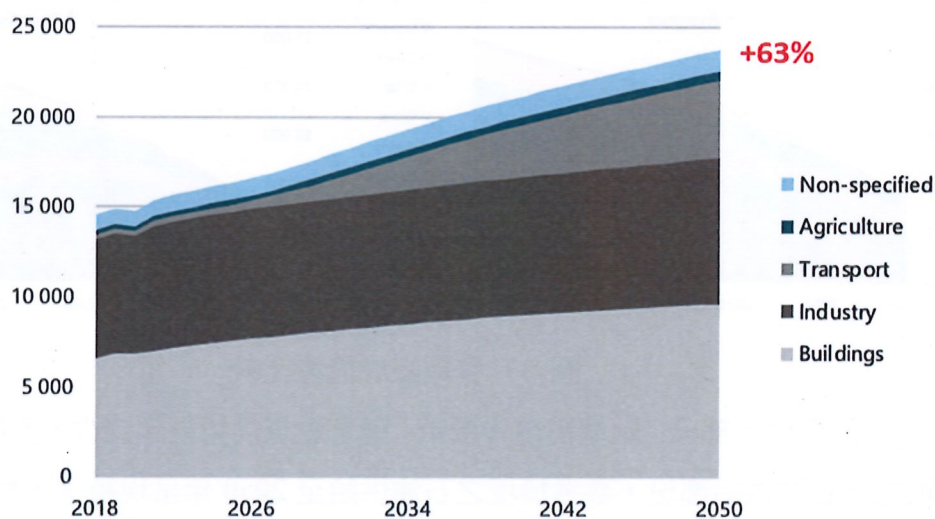


圖 19 碳中和情境之部門別電力消費

### Electricity consumption in CN by region, TWh

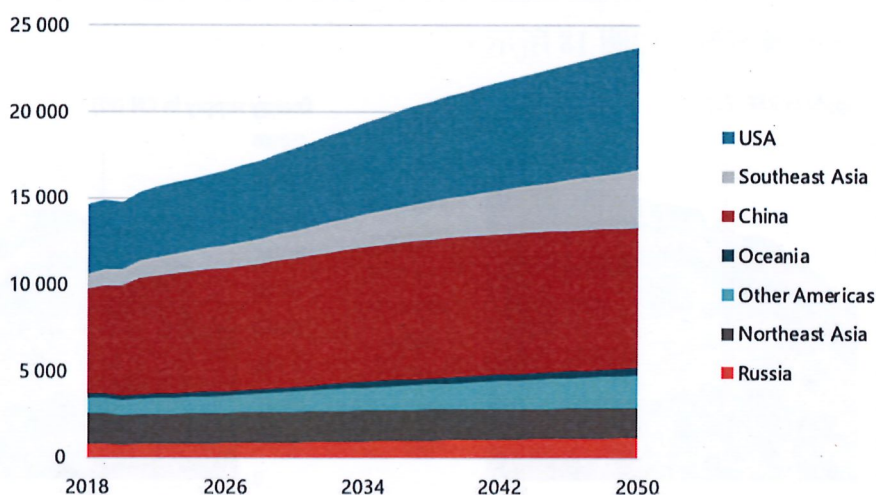


圖 20 碳中和情境之區域別電力消費

相對於 2018 年亞太地區總發電量，2050 年參考情境發電成長 45%、碳中和情境發電成長 59%，均超過 25,000TWh。其中，以風力及太陽光電成長幅度最大，發電占比達 28% (REF)、46% (CN)，而火力發電佔比降至 42% (REF)、21% (CN)。化石燃料主要由風力及太陽能、核能、水利、地熱能取代，如圖 21 所示。

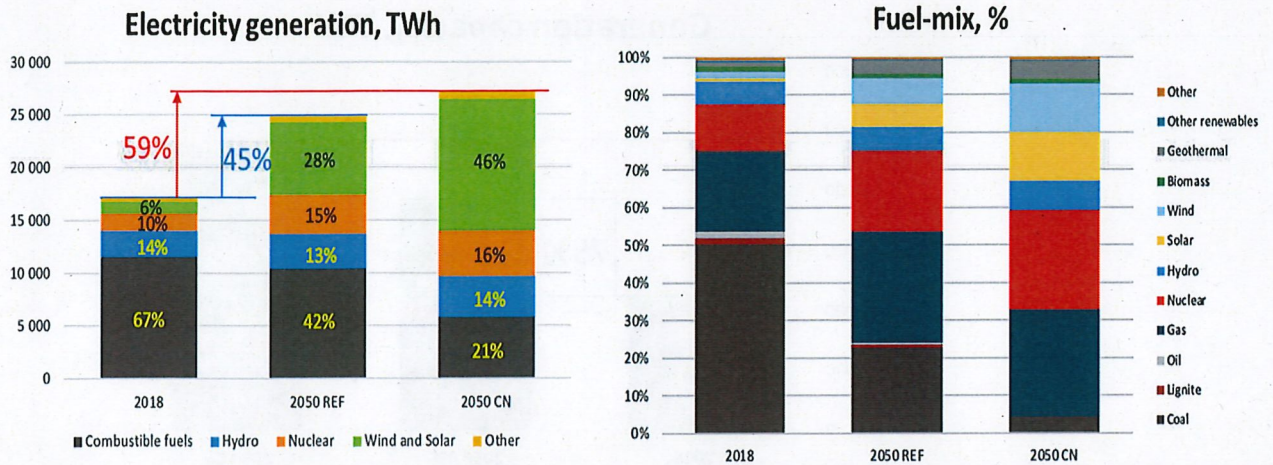


圖 21 亞太地區 2018 及 2050 年發電占比與燃料占比

碳排放量部分，2018 年電力部門碳排放量約 10,000 百萬噸，佔總排放量 46%，2050 年則可降至 42% (REF)、36% (CN)。其中，電力部門有 80% 的減碳來自燃煤發電量下降，改由天然氣取代，如圖 22 所示。

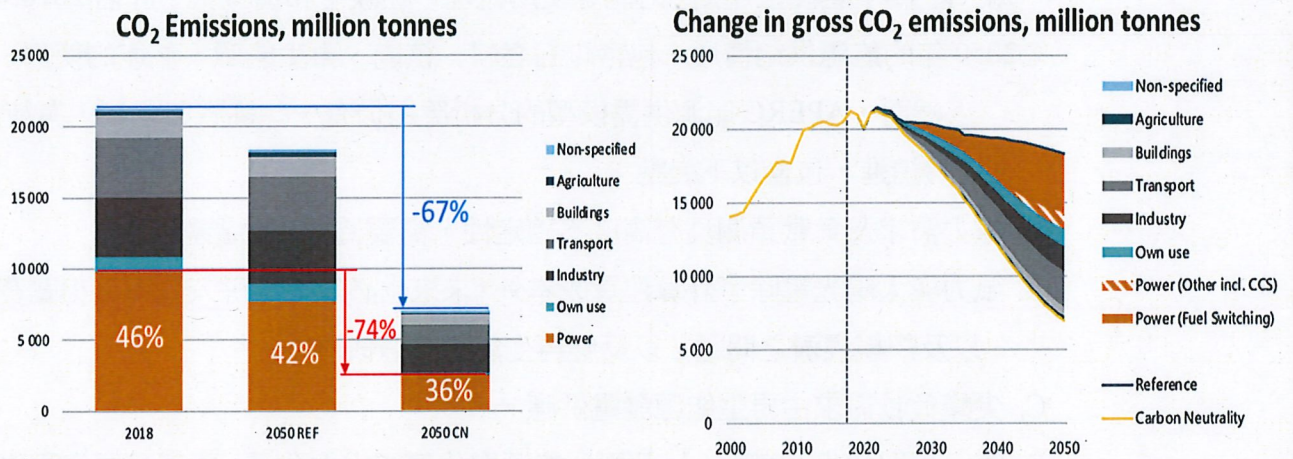


圖 22 亞太地區 2018 及 2050 年部門別碳排放量

相對於 2018 年亞太地區總裝置容量，2050 年參考情境裝置容量成長 75% (近 8,000GW)、碳中和情境裝置容量成長 117% (近 10,000GW)。其中，以風力及太陽光電成長幅度最大，裝置容量占比達 44% (REF)、64% (CN)，而火力裝置容量占比降至 37% (REF)、17% (CN)，如圖 23 所示。因此，整體機組平均容量因數，由 2018 年的 42%，降至 2050 年的 36% (REF)、32% (CN)。



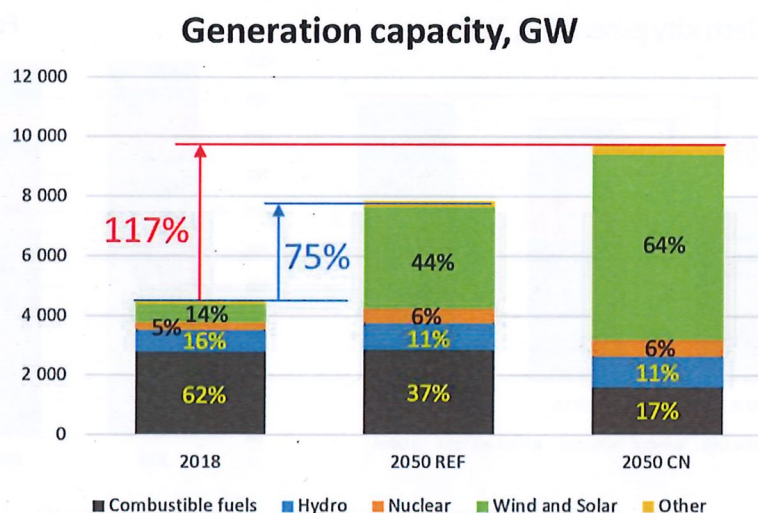


圖 23 亞太地區 2018 及 2050 年裝置容量情境比較

#### (4) 小結

APERC 能源供需模型從能源需求端出發，可分析農業、建築、交通運輸、產業等整體經濟部門之能源使用概況，在碳中和情境下，評估 2018 至 2050 年的能源供給情形，包含化石燃料、核能、再生能源、氫能的使用。

然而，APERC 能源供需模型的分析應用仍有一些挑戰與限制，有待未來持續精進，包含以下幾點：

- A. 電力需求及負載預測具有高度不確定性，需要持續滾動調整。
- B. 風力與太陽光電除了計算建置成本外，未來也必須考量併入電網之相關費用以及規模經濟之問題，以反應再生能源實質成本。
- C. 尖峰負載需求由再生能源發電供應。
- D. 電氣化取代化石燃料，以及再生能源取代傳統火力發電，兩者發展進程之相互影響。
- E. 從依賴傳統化石能源轉向依賴關鍵金屬礦物，乃能源安全重要議題。
- F. 電網可靠性議題，包含儲能系統與電動車的角色、備轉容量等，以及需量反應涉及用戶行為改變，有益於負載抑低與碳中和需求，未來均需納入模型考量。
- G. 未來 APERC 能源供需展望報告第 9 版的具體精進方向，包含：模型時間粒度細緻化(由 12 個區間：3 個季節\*2 種典型日\*2 個時段，進步至 36 個區間：3 個季節\*2 種典型日\*6 個時段)；模型化 CCS、氫能發電、儲能電池與電動車等電力技術。

## 2. 亞洲地區再生能源憑證發展趨勢交流

APEREC 近期研析並正在準備一份有關東南亞地區再生能源憑證(Renewable Energy Certificate, REC)報告，其目的在於分析東南亞六個 APEC 成員國(印尼、馬來西亞、菲律賓、新加坡、泰國和越南)的新興再生能源憑證市場發展概況，並介紹 REC 市場的成效及挑戰。

在上述 APEC 東南亞六經濟體中，再生能源憑證 REC 的重要性逐漸增加，由於越來越多企業希望達成 RE 100 的目標，對於 REC 的需求日益提升；再生能源業者則希望透過增加 REC 的供應，尋求額外的收入來源；此外，政策制定者認為 REC 可以促進再生能源投資，據以實現經濟體的脫碳化目標。

APEC 東南亞地區再生能源憑證市場於 2015 年陸續開始發展，截至 2022 年 7 月，APEC 東南亞六經濟體再生能源總註冊容量為 12,833MW，如圖 21 所示，占比仍未達總再生能源裝置容量的 3 成。而再生能源憑證的發行總量已超過 2,900 萬 MWh，如圖 22 所示，且近年呈現指數型增加趨勢。

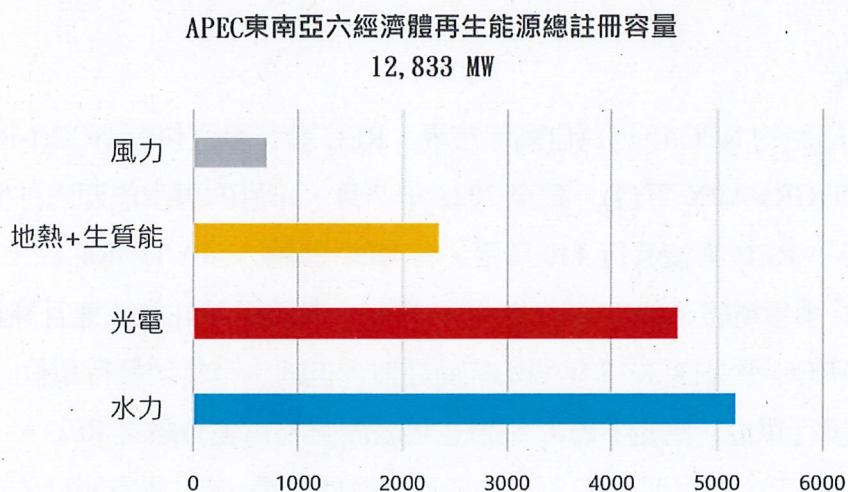


圖 24 2022 年 7 月 APEC 東南亞六經濟體再生能源總註冊容量

APEC東南亞六經濟體發行之再生能源憑證  
29,153,598 MWh

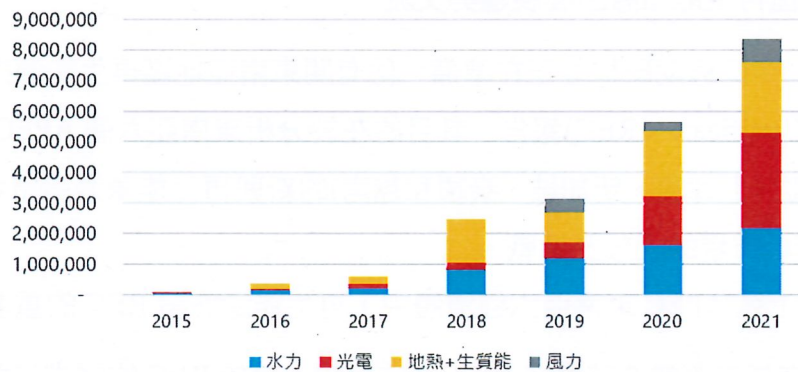


圖 25 2022 年 7 月 APEC 東南亞六經濟體再生能源憑證總量

APEC 東南亞六經濟體的再生能源憑證 REC 主要透過兩家公司：GCC(Green Certificate Company，1999 年創立，為第一個 I-REC 發行機構)、APX(Automated Power Exchange，2022 年 8 月 1 日由 An Xpansiv Company 收購)來認證、發行和追蹤，由 GCC 發行之 REC 會在 I-REC<sup>1</sup>平台交易，而由 APX 發行之 REC 則在 TIGRs<sup>2</sup>-APX 平台進行交易。本次交流中 APERC 主要分享印尼、越南、馬來西亞以及泰國四個經濟體之現階段研究成果，介紹東南亞地區再生能源憑證發展現況及挑戰。

### (1) 印尼

印尼的 REC 市場為自願性市場，REC 發行單位包含 GCC(I-REC 平台)和 APX(TIGRs-APX 平台)，截至 2022 年 7 月，印尼的再生能源總註冊容量約 1.5GW，REC 累積發行 430 萬張。在 REC 機制方面，TIGRs-APX 平台從 2020 年開始銷售電證分離(Unbundling)之 REC，其特點為註銷快速且註銷後不可交易；I-REC 平台從 2018 年開始接受註冊，但因沒有當地發行單位，以 GCC 作為 REC 發行單位，透過 I-REC 平台也可公開交易電證分離之 REC。

APERC 觀察到 REC 制度在印尼面臨的挑戰包括：未有明確的市場規範、PPA 合約下發電業者對 REC 所有權之潛在爭議、如何避免重複計算與宣稱 REC、國內 REC 可以在國內外銷售。

### (2) 越南

越南的 REC 市場為自願性市場，REC 發行單位包含 GCC(I-REC 平台)和

<sup>1</sup> International Renewable Energy Certificate，國際再生能源憑證

<sup>2</sup> TIGR，Tradable Instrument for Global Renewable，全球再生能源交易工具

APX(TIGRs-APX 平台)，截至 2022 年 7 月，越南的再生能源總註冊容量約 2.9GW，REC 累積發行 680 萬張。在 REC 機制方面，公用事業和發電設備擁有者可透過 I-REC 平台或 TIGRs-APX 平台直接參與 REC 市場，電證分離 RECs 則透過 I-REC 平台公開交易。

APERC 觀察到 REC 制度在越南面臨的挑戰包括：未有明確的市場規範、監管制度並未提及以 FiT 模式進入電證分離 REC 市場時所產生電力的環境屬性該如何處理、以及如何避免重複計算與宣稱 REC。

### (3)馬來西亞

馬來西亞的 REC 市場為自願性市場，REC 發行單位包含 GCC(I-REC 平台)和 APX(TIGRs-APX 平台)截至 2022 年 7 月，馬來西亞的再生能源總註冊容量約 2.3GW，REC 累積發行 400 萬張。

在 REC 機制方面，馬來西亞於 2017 年推出的 myGreen+計畫，馬來西亞國家能源有限公司 (Tenaga Nasional Berhad, TNB)的用戶可額外支付每度 8 美分的費用以取得再生能源電力，TNB 將頒發綠色消費者證書(Green Consumer Certificate, GCC) 給參與 myGreen+計畫的用戶，2021 年 11 月馬來西亞政府推出綠色電力關稅(Green Electricity Tariff, GET)計畫來取代之前的 myGreen+計畫，TNB 用戶可透過 TNBX(TNB 的子公司)額外支付每度 3.7 美分的費用以取得水力或光電之電力，並獲得 mREC(馬來西亞 REC)，mREC 可透過 mGATS(馬來西亞綠色屬性追蹤系統)進行市場交易。

另外 2019 年沙勞越能源公司 (Sarawak Energy Berhad, SEB) 在 TIGRs 註冊處發行 REC 並推動 REC 市場平台交易，目前在 APX 平台總註冊容量僅約 100MW，與 I-REC 總註冊容量約 2,000MW 相差甚遠。

APERC 觀察到 REC 制度在馬來西亞面臨的挑戰包括：不只有一個 REC 採購平台、年度 GET 額度低於實際需求、只有 TNB 的用戶可以透過 GET 專案購買 mREC、GET 專案下 mREC(電證合一)的價格高於在 REC 市場購買電證分離 REC 的價格。

### (4)泰國

泰國 REC 活動始於 2017 年，其 REC 市場亦為自願性市場，REC 發行單位包含 GCC(I-REC 平台)和 APX(TIGRs-APX 平台)，截至 2022 年 7 月，泰國的再生能源總註冊容量約 3.9GW，REC 累積發行 650 萬張。在 REC 機制方面，再生

能源發電設備的註冊和 REC 發行，可透過 GCC 和 EGAT(泰國電力局)管理的 I-REC 平台註冊及發行 REC (流程如圖 26)，或透過 APX 管理的 TIGRs-APX 平台註冊並發行 REC。

APERC 觀察到 REC 制度在泰國面臨的挑戰包含：未有明確的市場規範、產生的 REC 可以在國內外銷售(監管不易)、EGAT 同時是發電業者也是 REC 發行者(球員兼裁判)。



圖 26 泰國於 I-REC 平台註冊處之 REC 機制

APERC 於交流中亦分享對於東南亞經濟體 REC 市場的初步觀察：(1)認為每個經濟體都應建立 REC 市場相關法律框架和治理機構，以確保 REC 市場在適當的管制下發展；(2)應建立健全的會計核對系統，確保 REC 的完整性及避免重複計算；(3)REC 市場的健全發展可促進對於再生能源發電的額外投資；(4)六個經濟體之間 REC 交易與東協電網發展的關連性仍有待後續研究；(5)已簽訂 PPA 之再生能源發電業者與國有公用事業之間的利益衝突尚需解決。

#### 四、Informetis 之交流內容

只野(Tadano)社長原先隸屬於 Sony 之研究部門，於 2013 年以 NIALM 技術為核心，成立 Informetis 公司。NIALM 全名為「非侵入式家電負載監測」(Non-intrusive Appliance Load Monitoring)，是一種藉由分析住宅中的總電壓和電流的變化來推斷住宅中使用哪些電器以及其個別能耗的技術。

Informetis 因其產品優異表現，配合東電公司因應日本電力自由化、擴大事業領域之策略，在 2017 年與東電合作推出「遠處亦安心」之服務。在本次交流拜訪之前，

已與 Informetis 簽訂保密協議(Non-disclosure agreement, NDA)，交流期間 Informetis 提供之文件、談話內容皆亦被 Informetis 要求保密，故交流內容不便陳述於本報告中。

## 五、早稻田大學之交流內容

本次拜訪人員包含：石井英雄(Ishii Hideo)教授、本庄昇一(Honjo Shoichi)教授。會議首先由蔡志祥專員介紹「Issues and Challenges in the Development of Virtual Power Plant and Electric Vehicle」，接著由石井教授介紹早稻田大學能源管理系統（Energy Management System,EMS）新宿（Shinjuku）示範中心、日本面對碳中和之電網因應策略（Issues in Power System toward Carbon Neutrality in Japan），最後並由石井教授導覽示範中心之三座家庭能源管理(HEMS)展示屋。

早稻田 EMS 新宿示範中心，為前瞻電網科技研究所實驗場域，共有 10 個不同研究機構、59 個公司成員，並與中央及地方政府合作，結合產官學研之經驗，以日本 2030 年社會 5.0、智慧城市之目標，開展「低碳化(Decarbonization)、去中心化(Decentralization)、數位化(Digitalization)」為核心之相關技術研發及技術標準。主要研究領域有五項：

- (1)變動性再生能源(VRE)饋入電網相關技術、
- (2)分散式電網管理技術：電壓調節、最小線損等、
- (3)能源管理：需量反應、虛擬電廠、
- (4)智慧城市設計、
- (5)資料科學、資料分析以及應用。

日本能源轉型經歷五個重要的選擇(如圖 27)，現今非常重視 2050 碳中和(Carbon Neutral, CN)之國際目標，在能源政策上去碳化、電氣化(Electrification)兩個主軸，將所有產業部門進行電氣化，再將電力產出進行去碳化，而去碳化之政策包含：

- (1)極大化引入再生能源、電池儲能、離岸風電、
- (2)發展氫/氨能、
- (3)火力發電結合碳捕捉技術、

(4)發展次世代更安全的核能。

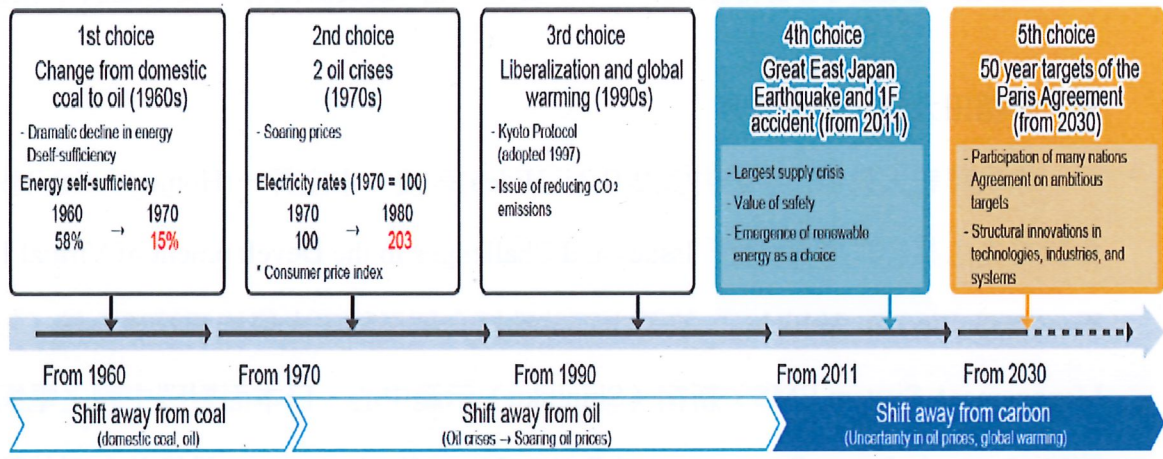


圖 27 日本能源轉型之歷程

資料來源：Waseda University

當 VRE 越來越多、發電資源從集中趨向分散，必須重新考量如何在時間、空間上將發電與用電需求對齊，電網系統也將面臨慣量不足而影響系統穩定性，現有的設備也可能無法承受從用戶端逆送電回電網之雙向負荷，因此日本的電網改革藍圖如圖 28，包含電網硬體面的技術及設備提升、制度面的改革容納更多 DER、市場面改革導入不平衡市場、容量市場，甚至是碳交易市場。

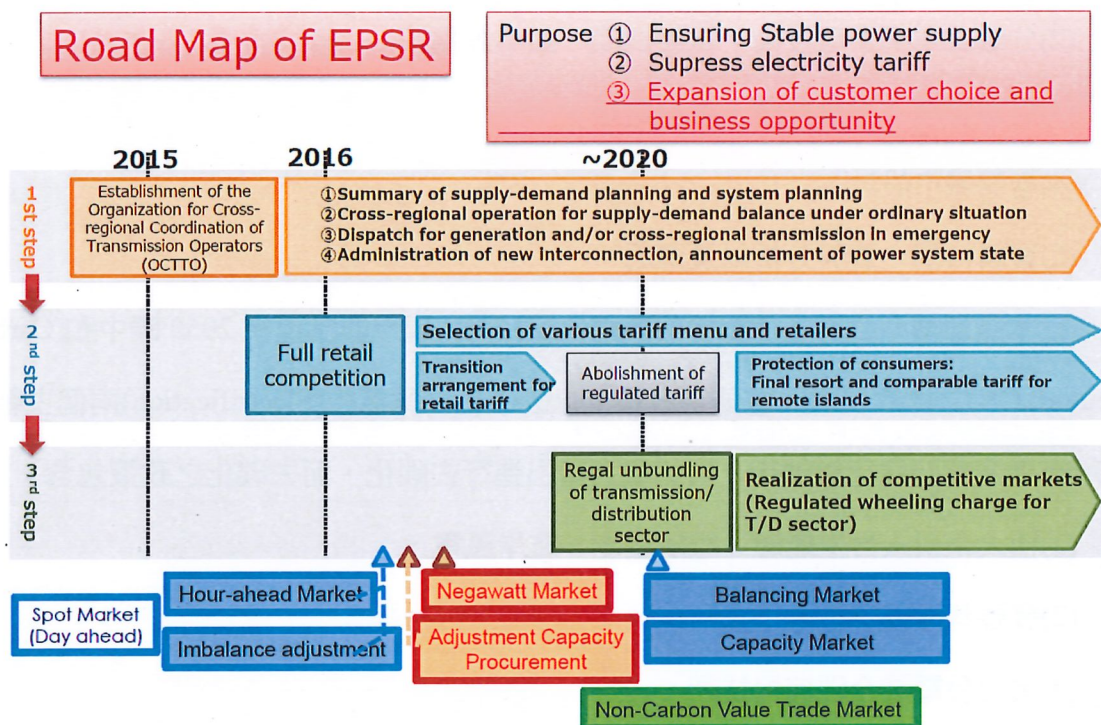


圖 28 日本的電網改革藍圖

資料來源：Waseda University

註：EPSR 為 electric power system reform

石井教授介紹電網也從圖 29 之上層，電廠發電單向傳輸至用戶模式，演變至圖 29 之下層，電力市場、聚合商、產消者(producer)加入電力生態系，電力流、服務價值流交錯之模式。在電網越來越去中心化，區域電網之協調、調頻、經濟調度等(圖 30)，將成為新興課題，虛擬電廠(VPP)可以整合更多小型資源，降低交易成本，提升再生能源併網之阻礙，進一步實現 2050 碳中和之目標。

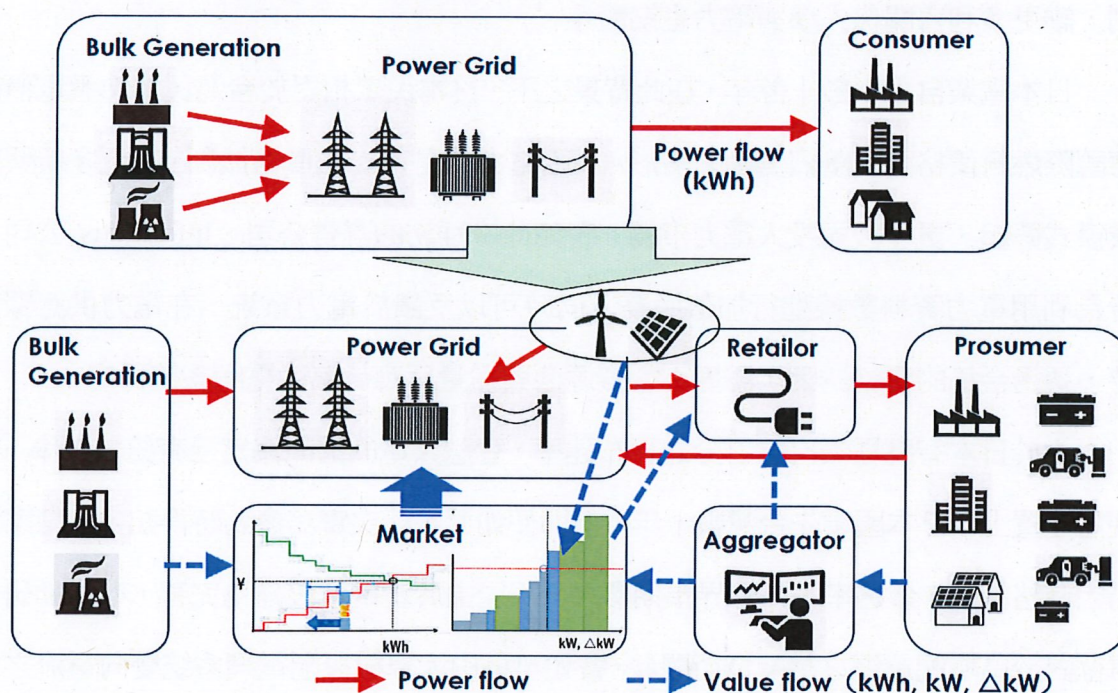


圖 29 電網服務模式改變演變示意圖

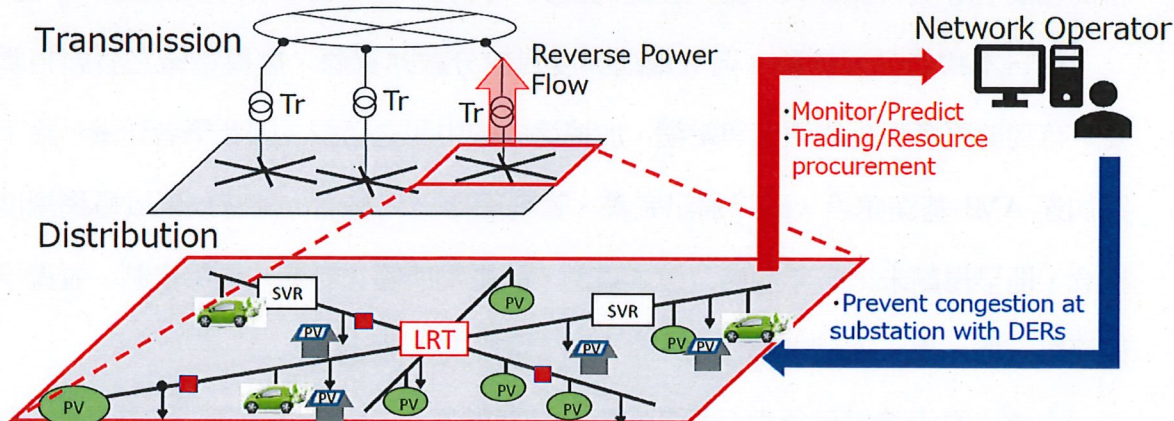


圖 30 DER 整合進配電、輸電網之示意圖



## 參、心得及建議

2050 碳中和已為各先進國家之目標，日本與台灣皆無例外。為實現碳中和，日本政府首先訂定目標，接著給予許多政策性支持，主要方向為各產業部門電氣化，再將電力生產去碳化。

電力去碳化的方法，包含碳捕捉、碳封存技術，導入大量再生能源，同時發展氫能、地熱能等再生能源。但為了因應再生能源間接性之議題，電網結構亦須從過往單一流向：發、輸、配，轉變為雙向、多向之議題。此一結構性改變，必須導入市場機制，讓更多利害關係人參與電力生態體系。

日本電業自由化數十餘年，在此背景之下，日本民眾相對於台灣民眾熟悉電價因應國際燃料價格而有劇烈變動之情形。而因電力交易市場之價格機制，有更多新興商業模式興起、更多公司投入電力市場，譬如此次拜訪的聯齊公司、Inforetis 公司，皆為利用電力資料數據進行加值服務，同時可以反饋於電力系統，在電力供應緊澀時，透過合適的價格誘因，誘導小型資源參與需量反應，協助電網系統穩定。

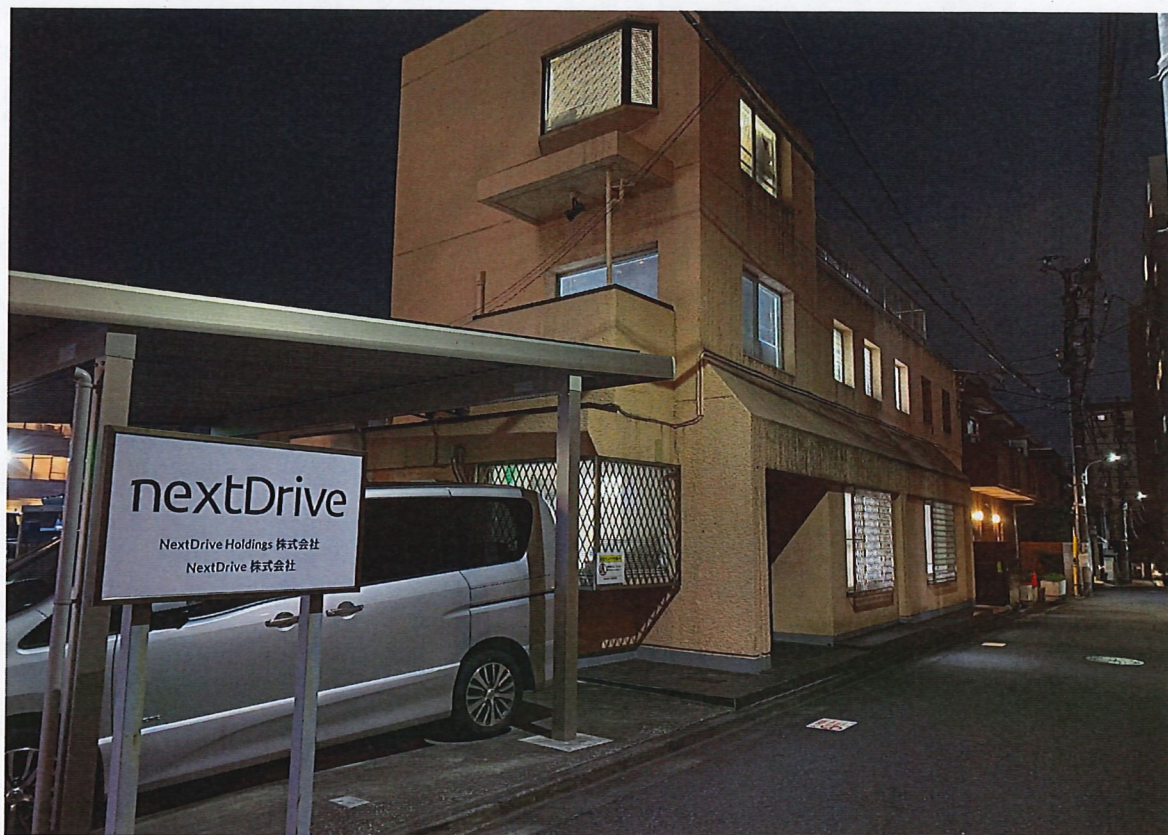
由於日本智慧電表已達百分之百布建率，智慧家電的通訊協定已有統一標準，在硬體建置上，日本國領先台灣數十年，但即便如此，此次實務參訪時得知，智慧家電仍因價格因素，參透率不如外界預期優異。不過由於基礎建設建為完善，亦推動研究單位對於區域配電網之相關技術開發，譬如早稻田大學模擬配電網系統雙向電流之電壓影響，進一步提升用戶端小型資源併網之可行性，進而孕育虛擬電廠、聚合商、聚合商協調者等利害關係人，進入正向的回饋，降低小型資源參與電網之進入障礙。

從日本國的發展經驗，區域電網調度對於分散式資源、虛擬電廠之發展相當重要，有利於更多再生能源參與電網，加速達成碳中和之目標。因此筆者建議，除了持續加速 AMI 基礎建設、確保通訊完善、資料回傳之完整性，同時以區域電網調度之概念，提早規劃未來十年因應分散式資源，配電網所需之設備、網絡規劃，並盡早研擬節點電價、導入區域市場機制，推動智慧電能應用服務。

上述心得與建議仍須由台電各單位及管理階層討論並形成政策，擬定目標，有系統之推動方能收到綜效。

## 肆、附録

(一) 11/17：参访日本 NextDrive 交流照片



(二) 11/18：參訪 MRI 交流照片

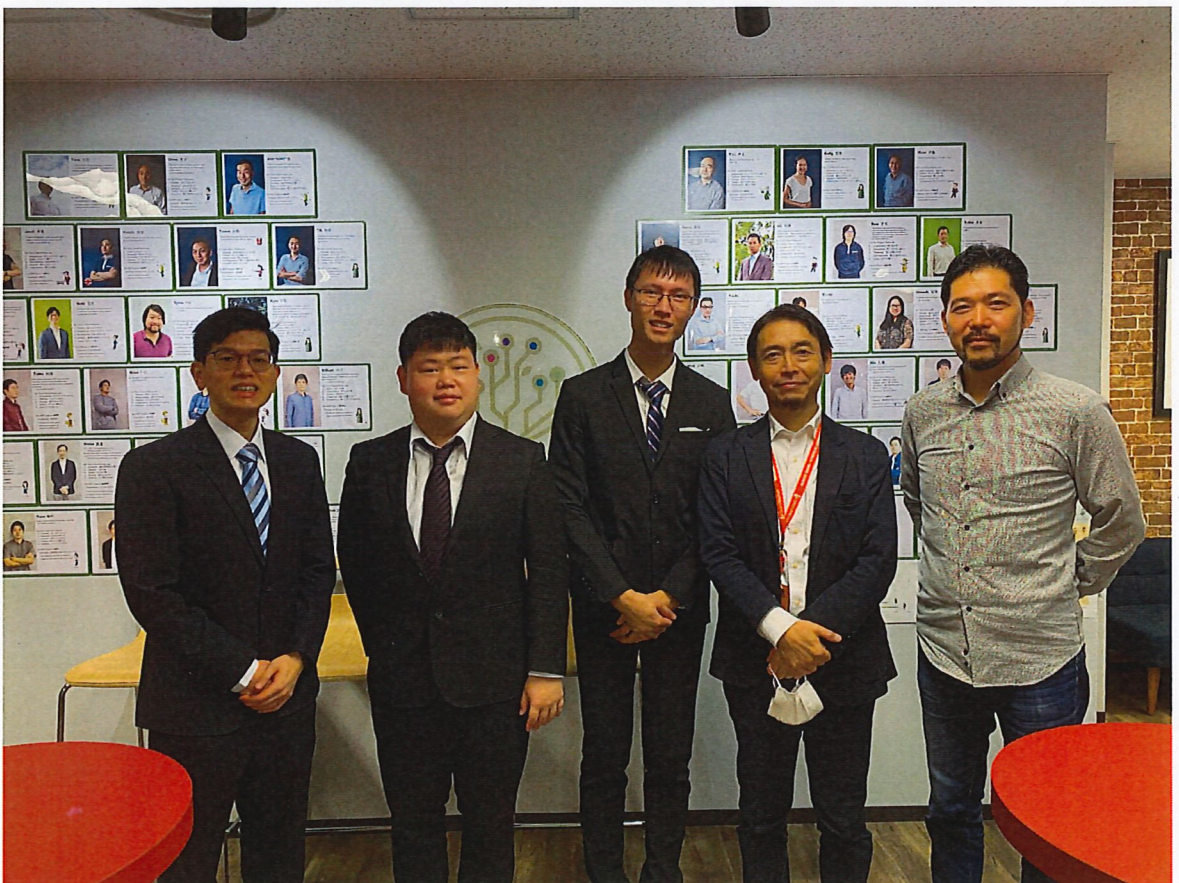


(三) 11/21：參訪 APERC 交流照片





(四) 11/22：參訪 Informetis 交流照片



(五) 11/24：参访早稻田交流照片

