

出國報告(出國類別：實習)

# 經濟部 112 年度臺日技術合作計畫 日本再生能源混燒發電之政策及推 動技術探討

服務機關：經濟部工業局、經濟部工業局、  
經濟部能源局、經濟部標準檢驗局

姓名職稱：葉繼開科長、劉德賢科長、  
黃靖涵管理師、李璟昇技士

派赴國家：日本

出國期間：112 年 7 月 23 日至 112 年 7 月 29 日

報告日期：112 年 9 月

## 摘要

我國 2050 淨零排放路徑及策略已於今（112）年正式公布，其中將使用生質能等前瞻能源列為淨零轉型之十二項關鍵戰略之一，而日本將燃煤電廠中使用生質燃料混燒視為實現其 COP21 承諾之主要作法，亦為目前國際上推動生質能發電最為成功國家之一。

本次研習由工業局、能源局及標準檢驗局共同派員組團赴日，針對我國正推動之以廢轉能及淨零轉型議題，以參訪、交流方式深化臺日互動，強化合作創造連結基礎，及與日方進行生質能相關政策交流，並參觀當地生質能源生產、應用及灰渣處理等以瞭解相關執行措施與技術。

本次研習主要包括拜會亞太能源研究中心、日本能源經濟研究所，與其交流討論目前亞太地區與日本在再生能源方面規劃方向，作為國內相關政策參考。並與日本木質生質能協會、有機資源協會、日本 RPF 工業會及阪和興業株式會社共同召開生質能研習會，針對日本生質能應用、混燒發電等相關現況及作法進行討論。

本次研習亦參訪西部服務株式會社神戶廠，瞭解目前日本針對廢塑膠、廢紙等製成 RPF 之作法；及參訪德山下松港等生質燃料進口倉儲、運送等作法；以及參訪王子製紙，瞭解其混燒 RPF 之作法與相關經驗，作為後續推動國內以廢轉能等再生能源之參考。

# 目次

壹、緣起	2
一、背景說明	2
二、目的	2
貳、成員及行程	2
一、研習成員	2
二、研習行程與重點	2
參、過程紀要	3
一、亞太能源研究中心	3
(一) APEC 各國生質能發展現況	4
(二) 日本生質能發展情形	5
(三) 日本燃煤電廠混燒生質燃料情形	11
二、日本能源經濟研究所－再生能源發展討論	13
三、生質能研習會	16
(一) 日本木質生質能協會－木質生物質能源介紹	17
(二) 日本有機資源協會－生質物利用介紹	19
(三) 沼田正俊－日本林業及木質生質能探討	22
(四) 日本 RPF 工業會－日本 RPF 概況	24
(五) 阪和興業株式會社－生物質燃料商情介紹	26
四、參訪西部服務株式會社神戶廠 RPF 製造情形	29
五、參訪德山下松港生質燃料卸載與輸儲及討論周南電力公司鍋爐混 燒生質燃料	33
六、參訪德島縣王子製紙株式會社富岡工場混燒 RPF	38
肆、心得與建議	40
一、心得	40
二、建議	42
伍、參訪相關照片	43

## 壹、緣起

### 一、背景說明

我國 2050 淨零排放路徑及策略已於今(112)年正式公布，其中將使用生質能等前瞻能源列為淨零轉型之十二項關鍵戰略之一，而日本將燃煤電廠中使用生質燃料混燒視為實現其 COP21 承諾之主要作法，亦為目前國際上推動生質能發電最為成功國家之一。

日本政府為推動再生能源發展，自 2012 年推動上網電價補貼政策(Feed-in tariff, FIT)，鼓勵民間參與再生能源產業，2022 年 4 月導入溢價補貼制度(Feed-in Premium, FIP)，讓電力市場自由及自主化，同時減輕民眾負擔。在完善的再生能源政策規劃下，截至 2022 年 10 月 31 日，日本已有 991 座各式生質能火力電廠，其中包含 772 座受 FIT 補助之生質能電廠。

日本規劃於 2030 年將溫室氣體排放量比 2013 年減少 26%，且其設定再生能源配比短中長期目標的解決方案，可為我國推動生質能及國內燃煤鍋爐轉型之重要參考。而我國現亦採取 FIT 政策鼓勵民間投資再生能源相關技術發展與建置，未來可借鏡日本的 FIP 推動經驗，規劃合適政策引導再生能源進入下一階段。

### 二、目的

我國目前正推動「以廢轉能」及「淨零轉型」政策，本次研習以參訪、交流方式深化臺日互動，強化合作創造連結基礎，及與日方進行生質能相關政策交流，並參觀當地生質能源生產、應用及灰渣處理等以瞭解相關執行措施與技術，汲取日本生質能混燒的經驗與淨零轉型作法，以作為我國推動相關政策之參考。

## 貳、成員及行程

### 一、研習成員

本次參加研習之成員包括經濟部工業局葉繼開科長、劉德賢科長、經濟部能源局黃靖涵管理師及經濟部標檢局李璟昇技士等 4 位。

### 二、研習行程與重點

本次出國期間為 112 年 7 月 23 日至 112 年 7 月 29 日，研習行程及拜

訪單位摘要如表 1 所列。

表 1 研習行程與重點

日期	行程	重點說明
7 月 23 日(日)	去程	—
7 月 24 日(一)	拜會亞太能源研究中心及日本能源經濟研究所	瞭解日本再生能源政策與發展現況及使用生質能之情形
7 月 25 日(二)	辦理生質能研習會，日方參與單位： - 日本有機資源協會 - 日本木質生質能協會 - 日本 RPF 工業會 - 阪和興業株式會社	日本生質能混燒發電 FIT 制度現況與探討、日本生物質發電前景、日本木質生物質能源現狀及協會介紹、日本 RPF 現況說明
7 月 26 日(三)	參訪西部服務株式會社神戶廠	瞭解日本廢棄物分選製造 RPF 的製程與作法
7 月 27 日(四)	參訪德山下松港生質燃料卸載與輸儲及討論木顆粒煤炭混燒發電	瞭解生質燃料卸載、暫存與陸地運方式與注意事項 瞭解燃煤鍋爐混燒注意事項及混燒灰渣再利用經驗分享
7 月 28 日(五)	參訪德島縣王子製紙株式會社富岡工場鍋爐混燒 RPF	瞭解燃煤鍋爐混燒 RPF 注意事項及經驗分享
7 月 29 日(六)	返程	—

## 參、過程紀要

### 一、亞太能源研究中心

亞太能源研究中心(Asia Pacific Energy Research Center, APERC) 是根據亞太經濟合作組織(APEC)經濟領導人在 1995 年 11 月大阪峰會上通過的行動議程，於 1996 年在東京成立，並獲日本政府支持主辦該中心。APERC 的主要目標是促進 APEC 經濟體對全球、區域和國內能源需求和供應趨勢、能源基礎設

施發展、能源管理等相關政策問題的了解。APERC 倡導合理制定能源政策，加強 APEC 地區能源研究能力及基礎建設，遵循 APEC 非約束性能源政策原則，促進能源安全、經濟增長和環境品質。

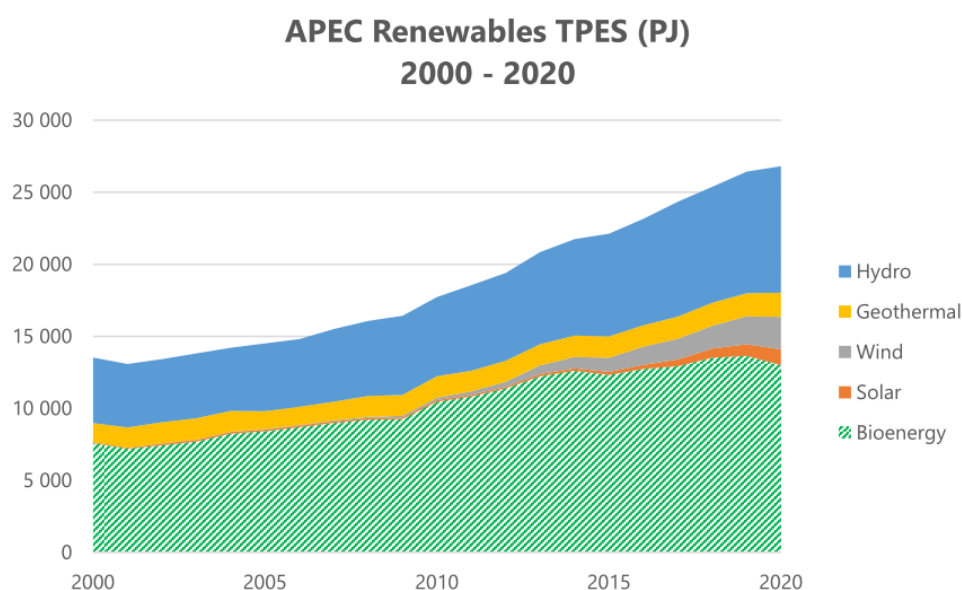
本次研習由該中心入江一友(KAZUTOMO IRIE)所長及 Glen E. Sweetnam 副所長帶領該中心同仁與我們進行交流，並由該中心 Nabih Matussin 研究員說明有關 APEC 使用生質能現況及未來發展情形，及由澤村信宏(NOBUHIRO SAWAMURA) 研究員說明有關日本的生質能發展情形。

### (一) APEC 各國生質能發展現況

APEC 各國的生質能(biomass energy)占其總再生能源(renewable energy)之 46%(如圖 1 所示)，在 2000 年至 2020 年間，生質能平均每年增長近 3%，較水力(hydro)和地熱能(geothermal)成長快，但遠低於太陽能(solar)和風能(wind)。

在 2020 年，工業部門的消費占生質能之 39%，其次是住宅部門（28%）和交通部門（26%），但交通部門之生質能使用在近年成長非常快速，主要係因中國大陸及美國大力推動使用生質柴油及生質汽油。其中生質汽油使用最多的是美國，約占 APEC 生質汽油使用之 80%，另生質柴油則以中國大陸使用最多。

整體生質能的使用，APEC 各國中還是以美國之消費量為最多。而工業部門中，生質能需求的增加主要來自紙漿和造紙工業將原使用之燃煤改為使用生質能。



## 圖 1 APEC 會員國再生能源發展情形

另外在發電部分，由於中國大陸等國大量使用生質能進行發電，使生質能發電量在 2020 年約為 2000 年之三倍。而有關供熱部分，也因俄羅斯大量使用廢棄物進行產熱，故生質能之供熱在 2020 年亦較 2000 年增加了一倍。但在中國大陸未來整體燃料需求仍以電力及氫能為較為可能之發展方向，而非以生質能為優先。

### (二) 日本生質能發展情形

根據亞太能源研究中心(APERC)的統計，日本在 2019 年之發電量以天然氣占最多(37%)，其次為燃煤(32%)及再生能源(18%)，而日本規劃在 2030 年，再生能源之發電量將為最高(達 36%~38%，且生質能約為 5%)，其次則為核能(20~22%)、天然氣(20%)、燃煤則降至 19% (如圖 2 所示)。

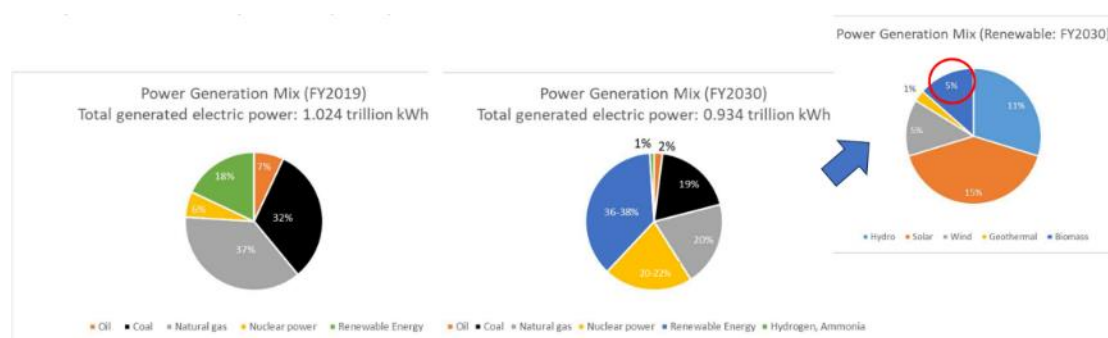


圖 2 日本發電組成

另依再生能源研究所(Renewable Energy Institute, REI)的統計，日本固體生質物的消費量目前正穩定成長(如圖 3 所示)，目前使用量每年已高達 2,530 萬噸。另根據國際能源總署(IEA)的數據，日本的生質能供應亦為上升之趨勢(如圖 4 所示)，目前已達過 400 PJ( $10^{15}$ 焦耳)。

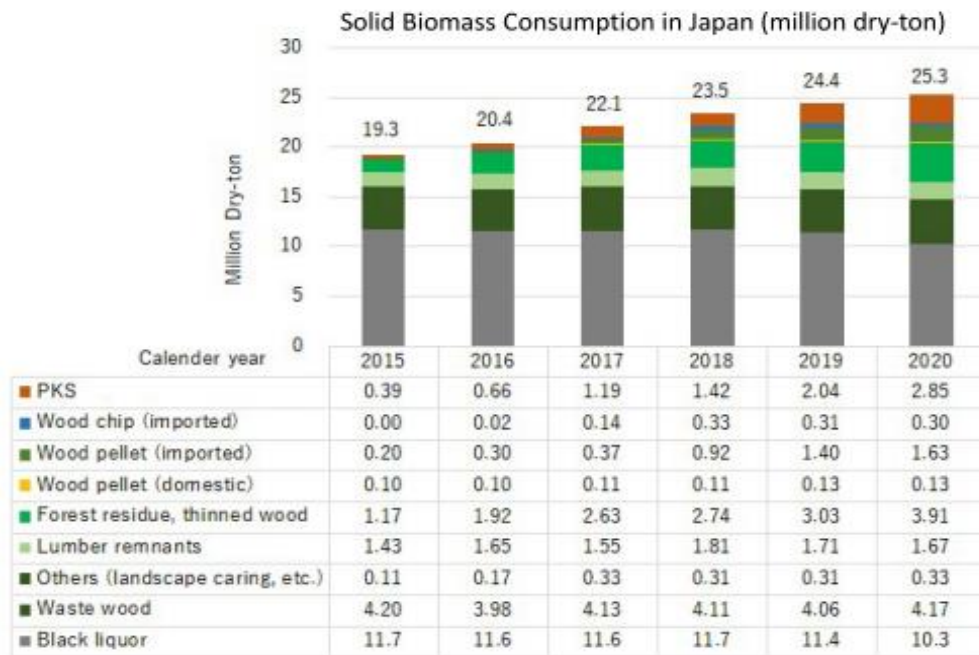


圖 3 日本固體生質物消費情形

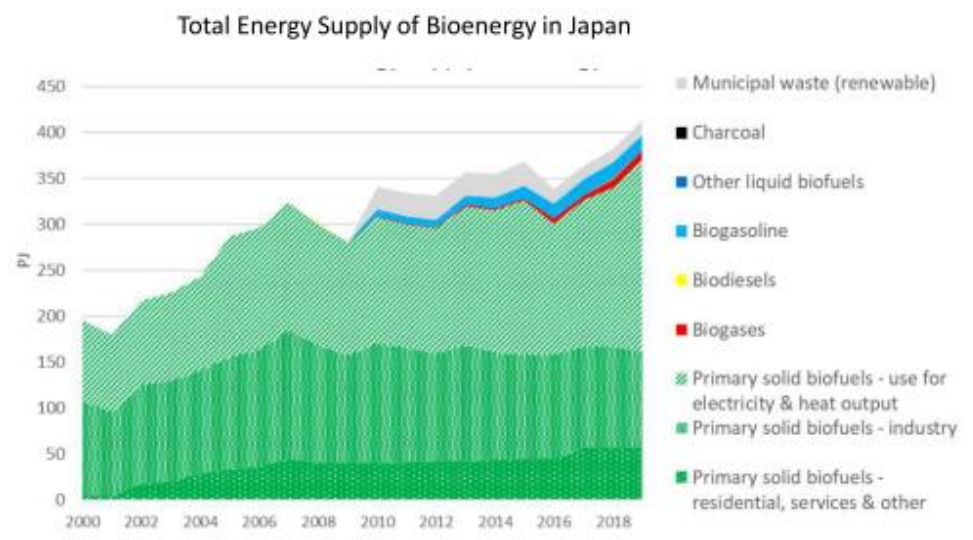


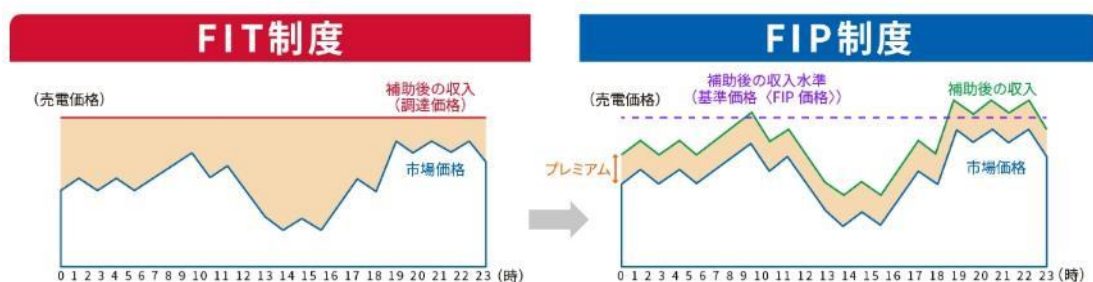
圖 4 日本生質能供應情形

日本早期為鼓勵再生能源發展，最早推行之制度係為「再生能源配額」(Renewable Portfolio Standard, RPS) 制度，要求電廠發電時應有一定比例之再生能源發電，或是向外購買一定比例之再生能源憑證，但由於未達到要求時之罰款過低(小於 100 萬日元)，許多電廠經評估相關成本後寧可繳納罰款，而不願進行再生能源發電。以日本十大電力公司最小的沖繩電力公司在 2003 年為例，其最少需負擔之再生能源為 688 萬 kWh，而當年平均綠色能源憑證證書之價格為



5.5 日元/kWh，故如其再生能源皆採向外購買憑證，則需 3,784 萬日元，遠高於未完成目標之罰款，造成 RPS 執行效率不彰。加上 RPS 制度下，電力公司都朝最廉價之再生能源發展，長期之市場不明，造成再生能源廠商投資意願不高。日本 RPS 制度原預定 2010 年再生能源占總能源之 3%，但最後只達約 1%，低於預期之目標，故於 2012 年，日本開始改用電費躉購補貼制度。

電費躉購補貼制度最早是美國在 1978 年所使用，隨後德國在 1990 年亦跟隨使用該制度。目前電費躉購補貼制度主要可分為 2 種，一種為固定補貼費率的「固定電價收購制度」(Feed-in-Tariff, FIT)制度，另一種則為跟隨市場價格浮動調整補貼價格的「溢價補貼制度」(Feed-in-Premium, FIP)FIP 制度(如圖 5 所示)。目前固定補貼費率的 FIT 制度仍為最多國家採用，但有越來越多的國家開始使用 FIP 制度，如西班牙、荷蘭、捷克…等。



資料來源：[https://denki.docomo.ne.jp/article/28\\_levy.html](https://denki.docomo.ne.jp/article/28_levy.html)

圖 5 FIT 與 FIP 制度比較

FIP 制度主要可分為 3 種類型(如圖 6 所示)，包括「溢價固定型」(Constant Feed-in Premium)、「溢價固定型結合上限和下限」、「溢價變動型」(Sliding Feed-in Premium)，其差別及優、缺點彙整如表 2 所示。

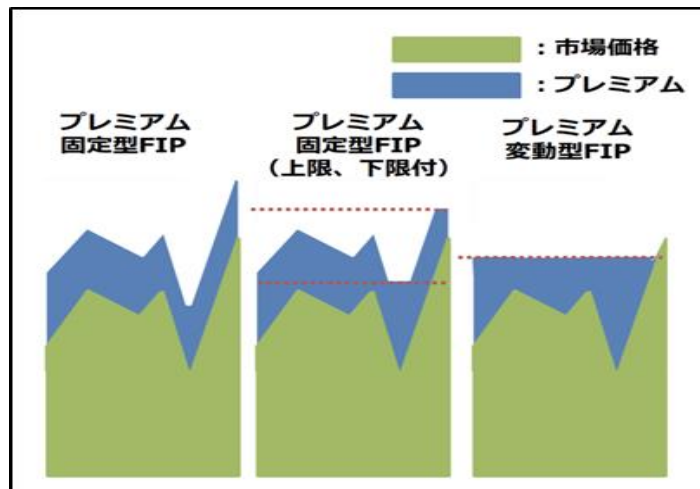


圖 6 3 種類型之 FIP 制度

表 2 3 種類型 FIP 制度之比較

FIP 制度分類	概要	優點	缺點	有實績的國家
溢價固定型	給予電力批發市場價格固定的溢價。	在電力需求高時期供應可增加再生能源的激勵措施。	批發電價的波動恐影響再生能源公司的利潤。	• 西班牙(-2007)
溢價固定型結合上限和下限	市場價格和溢價之和的上限和下限。	批發電價波動可降低對企業盈利的影響。	很難設定合適的上限和下限。	• 西班牙(2007-2013) • 丹麥
溢價變動型	根據批發電力市場價格的波動，授予的溢價波動。	減少批發電價波動對盈利的影響	如果市場價格下跌，徵稅將會增加。	• 義大利 • 德國 • 荷蘭 • 瑞士

目前日本推廣生質能之鼓勵措施，主要係透過 FIT 及 FIP 等制度來推行。日本 FIT 制度於 2012 年開始實施，其優點為購電價格固定(如表 3)，並提供一定

時間內的收入保證(一般為 20 年)，對廠商來說，其風險較小，成本之透明度、效益較容易掌握。

表 3 日本生質能發電 FIT 費率

類別	規模	2021 費率	2022 費率	2023 費率
生質能發電 (一般木材、農作物渣等)	小於 10,000KW	24 日元	24 日元	
生質能發電 (未使用過的生質材料)	小於 2,000KW	40 日元	40 日元	
	大於 2,000KW	32 日元	32 日元	
生質能發電 (營建廢棄物等)	不限規模	13 日元	13 日元	
生質能發電 (非有害廢棄物等)	不限規模	17 日元	17 日元	
生質能發電 (厭氧消化之沼氣等)	不限規模	39 日元	39 日元	35 日元

日本 FIP 制度於 2022 年 4 月開始實施，是在市場電價上提供一定額度的溢價進行購買電力，其中市場電價是由發電業跟購電者自行協商，而溢價則由政府依下列的方式進行計算而提供的補助。

- 溢價=基價-參考價
- 基價：概念相當於 FIT 制度下的採購價格
- 參考價=上年度平均批發電市場價格+(當年月平均批發電市場價格-上年度月平均批發電市場價格)+非化石燃料價值當量-平衡成本。

FIP 制度的特點為發電業者可以在市場價格上漲時享受高額回報，但在價格下跌時也承擔相應的風險；為了避免盈虧背離過大，FIP 制度在設計上可以限定支付上限和/或下限。

日本 FIT 制度實施後，對廠商有高額的經濟誘因，使日本再生能源發展有長足進步。但因投入再生能源之廠商太多，導致日本電費成本增加，政府除基本電

費外，又加徵再生能源賦課金，造成全國電價上升。另考量目前日本再生能源發電已有初步的成效，且部分廠商 FIT 制度期滿後可能無法再獲得補助，故日本政府檢討 FIT 制度後，於 2022 年 4 月導入 FIP 制度(如圖 7 所示)，期能透過 FIP 制度以降低再生能源之費用。

• 日本2022、2023年生質能適用獎勵制度

Biomass (General Wood, etc.)			
FY2022	0 kw - 50 kW	FIT (With regional utilization requirements)	FIP (Bids)
	50 kW - 2,000 kW	FIP (Ineligible for bids) *Selectable	
FY2023	0 kw - 50 kW	FIT (With regional utilization requirements)	FIP (Bids)
	50 kW - 2,000 kW	FIP (Ineligible for bids) *Selectable	FIP (Ineligible for bids)
	2,000 kW - 10,000 kW		FIP (Bids)
Biomass (Liquid Fuel)			
FY2022, FY2023	0 kw - 50 kW	FIP (Bids)	
	50 kW - 2,000 kW		
	2,000 kW - 10,000 kW		
Biomass (Other)			
FY2022	0 kw - 50 kW	FIT (With regional utilization requirements)	FIP (Bids)
	50 kW - 2,000 kW	FIP (Ineligible for bids) *Selectable	
FY2023	0 kw - 50 kW	FIT (With regional utilization requirements)	FIP (Bids)
	50 kW - 2,000 kW	FIP (Ineligible for bids) *Selectable	FIP (Bids)
	2,000 kW - 10,000 kW		

圖 7 日本導入 FIP 制度

日本政府制定第 6 次能源戰略規劃，將重新改變能源結構，並推動綠色轉型 (GX) 政策，來實踐淨零目標：

1. 2019 年日本能源結構：石化(7%)、煤炭(32%)、天然氣(37%)、核能(6%)、再生能源(18%)及氫(氨)能(0%)。
2. 2030 年目標：石化(2%)、煤炭(19%)、天然氣(20%)、核能(20-22%)、再生能源(36-38%，其中生質能佔 5%)及氫(氨)能(1%)。
3. 在 GX 政策推動下，預估將帶動 20 兆日圓投資再生能源(如太陽能、風能、地熱、水能及生質能)及 6 兆日圓投資可持續航空燃料(SAF，由生質物產生)(如圖 8)。



圖 8 GX 政策預估帶動投資效益

### (三) 日本燃煤電廠混燒生質燃料情形

日本自 2012 年 FIT 制度施行後，燃煤電廠即開始大量使用燃煤混燒生質能以取得優惠之躉購費率，燃煤電廠混燒生物質的優點是無需進行設備改造，即可使用現有燃煤設施繼續運作。一般電廠混燒生物質的比例開始時大約以 3% 進行嘗試，之後混燒比例則取決於每個電廠運營商的使用規劃。

日本產業經濟省(METI)指出以生質物及氨、氫混燒方式，是帶領電力業脫碳轉型的路徑，而生質物混燒對於促進溫室氣體減排和能源轉型至關重要。METI 在其電力部門脫碳轉型路線圖(Transition Roadmap)中，已將混燒氨、氫和生物質納入發展目標(如圖 9)。



圖 9 日本電力部門脫碳轉型路線

在目前日本 FIT 制度中，發電設施若採取生質物與煤炭混燒，就燃燒生質物部分，可適用 FIT 補貼，以燃燒單一生質物的方式(包含燃料成本、營運成本及資金成本)計算。因此，煤炭電廠若混燒生質物如操作良好，可降低操作維護費，

進而獲取更多利潤(如圖 10)。但日本目前亦在檢討混燒制度，未來與煤混燒之部分生質物(未使用過的木材、營建廢棄物)將可能無法取得 FIT 優惠，但仍可於發電容量市場(capacity market)中販售(如圖 11)。

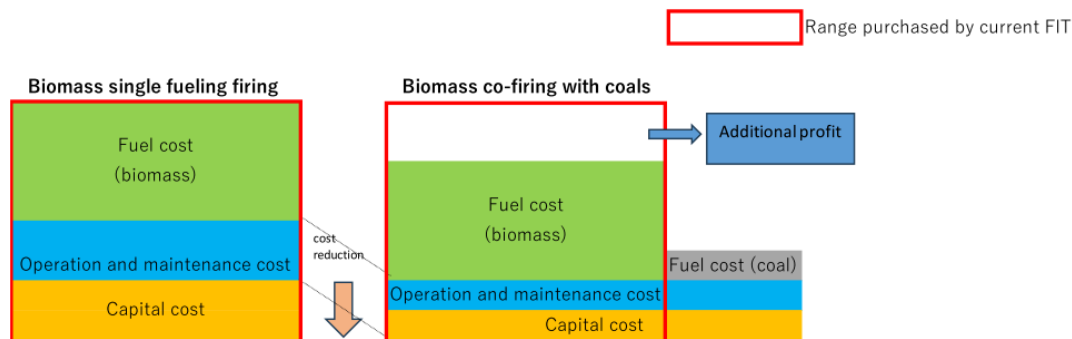


圖 10 混燒能取得額外利潤

Category of biomass fuels	Timing of FIT approval			
	Before FY 2018	FY 2019	FY 2020	After FY2021
Co-firing of ordinal woods, unused woods, wastes from construction and coals	Operators could choose to apply for FIT scheme or join the capacity market	Operators cannot apply for FIT scheme. But they can join the capacity market		
Co-firing of non-industrial wastes, other biomass fuels and coals		Option1: If facilities can be approved by FIT scheme, they can continue to enjoy FIT Option2: They join the capacity market	Operators cannot apply for FIT scheme. But they can join the capacity market	

APERC METI, 2019 11

圖 11 部分特定生質物不再適用 FIT

日本認為混燒為促進溫室氣體減排和能源轉型初期的關鍵作法，應予以鼓勵推動，但更重要的是生質料源的來源，在 2019 年，日本生質能發電有一半以上的生質燃料為國內供應，但近年國內生質燃料產能維持不變，而進口生質燃料持續增加(如圖 12)。目前日本仍有許多生質料源係由進口而來，未來將致力於擴大國產料源，使生質能之料源能自給自足。



圖 12 日本國內(外)生質燃料之供給情形

## 二、日本能源經濟研究所—再生能源發展討論

日本能源經濟研究所(The Institute of Energy Economics, Japan (IEEJ)) 是一個針對國際能源、經濟、環境問題以及中東等國家地緣政治進行調查研究的智庫，在全球智庫排名中，IEEJ 在能源領域一直保持前三名的位置。本次研習由該所 Clean Energy Unit 轄下 Renewable Energy Group 的研究員池田隆男(TAKAO IKEDA)博士說明有關日本的再生能源政策及淨零碳排相關事宜。

日本前首相菅義偉(YOSHIHIDE SUGA)於 2020 年 10 月宣誓日本要在 2050 年達到淨零碳排，並在 2021 年 4 月的氣候變遷會議中宣布日本將在 2030 年達到較 2013 年減碳 46%的目標。

池田博士表示，日本為達成減碳目標，有關能源政策發電配比部分，能源結構將重新改變，未來再生能源會是主要電力來源，並將減少火力發電比例，同時發展氫(氨)發電及碳回收技術(CCUS)，而能源穩定供應是重要的原則。在 2019 年日本非化石燃料的發電比例約為 24%(再生能源 18%、核能 6%)，日本政府設定在 2030 年的非化石燃料的發電比例預計提升至 59%(氫/氨發電 1%、再生能源 36~38%、核能 20~22%)，使其能達到 2030 之減碳目標。其中再生能源種類包含水力、生質能(含 waste to energy, WtE)、風電、光電及地熱等，而有關廢轉能(WtE)發電部分，在 2019 年日本共有 384 座廢轉能發電廠，總裝置容量為 2,079MW，發電量為 9,981GWh/year。

有關碳排部分，2019 年日本的碳排放量在非發電部門部分約為 590 百萬噸、發電部門約為 440 百萬噸，而非發電部分以工業部門排放 280 百萬噸最多，其次

為交通部門 200 百萬噸。為達到 2050 淨零碳排之目標，日本政府規劃採取的減碳策略如下：

1. 2030 年前：
  - (1)非發電部門：提高能源效率及投入氫能使用等；
  - (2)發電部門：投入再生能源使用、重建核能發電政策，使在穩定供電的前提下，逐漸減少火力發電的比例，並開始使用氫、氨發電。
2. 2030 年後：
  - (1)非發電部門：藉由脫碳能源實現電氣化(Electrification by decarbonized power)、使用氫、氨作為燃料，並推動 CCUS/碳循環，以及使用去碳技術來處理剩餘物等方向努力；
  - (2)發電部門：朝向最大化使用再生能源、使用核能，及使用氫/氨、發展 CCUS/碳循環等方向邁進。

日本政府於 2021 年 6 月更新其綠色成長策略(Green Growth Strategy)，規劃能源部門及交通/製造部門的綠色成長藍圖(roadmaps)，引導相關產業投入資源朝向 2050 年淨零碳排努力：

1. 能源部門：將朝下列四個方向進行
  - (1)發展離岸風電、太陽能及地熱發電：預計 2030 年太陽能發電成本將降至 14 日元/KW，另 2040 年離岸風電將達到 30~45GW。
  - (2)推動使用氫氣、燃料氨：預計在 2050 年約有 2,000 萬噸的氫氣使用，另在東南亞燃料氨的市場預估可達 5,000 億日元。
  - (3)研發下一代熱能利用：預計在 2050 年將至少 90%的合成甲烷投入使用於能源基礎設施。
  - (4)核能：在 2030 年前將建立高溫氣冷式核反應爐(High Temperature Gas cooled Reactor, HTGR)，以生產零碳排的氫氣。
2. 交通及製造部門：
  - (1)汽車/電池：預計在 2035 年前所生產的小客車新車 100%皆為電動車。
  - (2)半導體及資通訊：預計在 2040 年半導體及資通訊產業的生產將實現



碳中和。

- (3)海運：預計在 2028 年將實現零排放海運的商業運作。
- (4)物流和土木工程基礎設施：預計在 2050 年實現港口物流及土木工程的碳中和。
- (5)食物、農林漁業：預計在 2050 年實現農林漁業使用化石燃料的排碳將可達到碳中和。
- (6)航空：預計於 2030 年飛機將開始分階段研發使用電池驅動。
- (7)碳循環：預期 2050 年將可研發出人工光合作用塑料(artificial photosynthesis plastics)，並使鋼鐵生產達到零碳排。

日本政府亦規劃推動增加使用氫能，將氫能定位為政策戰略之優先領域，並與民間企業共同推動 GX 聯盟，促進民間投資氫能產業，擴大氫能使用及降低其成本，希望由目前使用約 2 百萬噸，於 2030 年增加至 3 百萬噸，在 2050 年更可達 2 千萬噸。而氫能的價格則預期由目前的 100 日元/Nm<sup>3</sup> 下降至 2030 年的 30 日元/Nm<sup>3</sup>，更預期在 2050 年價格可降至 20 日元/Nm<sup>3</sup>。

為實現綠色轉型(Green Transformation, GX)，日本政府預計未來 10 年在再生能源之投資將會是過去 10 年的 8 倍以上，且在核能方面，將研發新的核反應爐以替代即將退役的核反應爐，且目前營運中的核能發電廠營運期間亦將再延長，由原預計的 40 年再增加 20 年。

日本政府預期投入 20 兆日元的經費用於促進 2050 達成碳中和，目標為帶動公共及私人在未來十年投入超過 150 兆日元，以增加相關產業競爭力及實現經濟成長之目標，並在今(2023)年 5 月 12 修訂綠能轉型促進法(Act on Promoting Transition to the Decarbonized Growth Economic Structure, GX Promotion Act)，其初步作法如圖 13 所示，並預定在法案通過後 2 年依日本和世界 CO<sub>2</sub> 排放量與經濟狀況進行檢討，相關作法說明如下：

1. 日本政府透過發行綠色轉型債券，在未來 10 年投入 20 兆日元。
2. 引入碳定價以激勵產業投入綠色轉型，包括：
  - (1)自 2026 年針對高碳排行業全面施行碳交易制度，並自 2033 年分階

段使發電業者進行配額拍賣(GX-ETS, Emissions Trading Systems)。

(2)自 2028 年起針對化石燃料進口商徵收 GX 附加費(GX-Surcharge)。

3. 在金融政策上支持公私立企業投入綠色轉型。

4. 成立 GX 推廣機構，負責協助事業對 GX 進行投資、收取 GX 附加費和 GX-ETS 拍賣費用等。

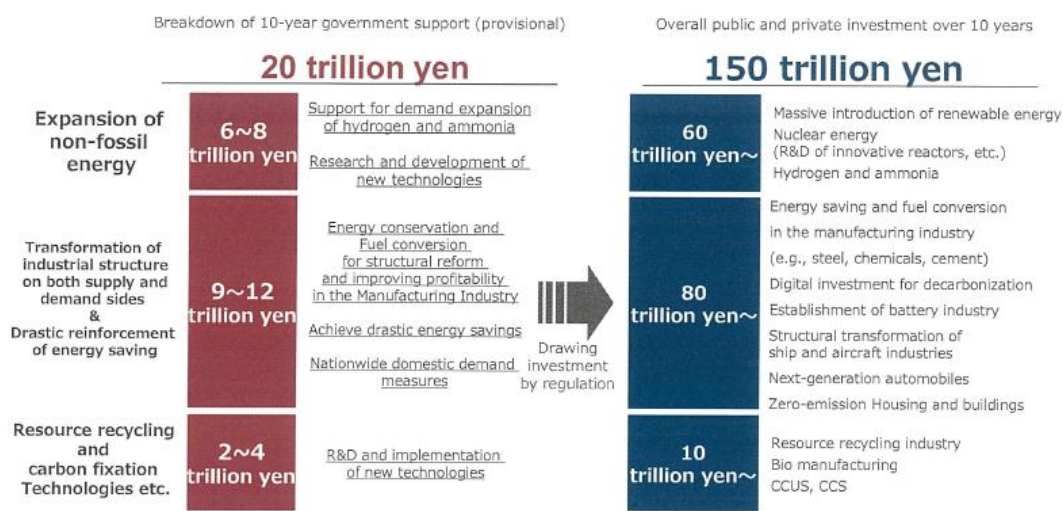


圖 13 日本政府預期投入 GX 之規劃

### 三、生質能研習會

本次研習特別邀請沼田正俊(林野庁退休官員)、日本有機資源協會(Japan Organics Recycling Association, JORA)、日本木質生質能協會(Japan Woody Biomass Association, JWBA)、日本 RPF 工業會(Japan RPF Association)及阪和興業株式會社(HANWA Co., Ltd.)等辦理生質能研習會，就日本生質能發電現況、日本生物質發電前景、日本木質生物質能源現狀及協會概況、日本 RPF 現況等作交流討論。日方的出席人員如下：

- 沼田正俊(林野庁退休官員)
- 日本木質生質能協會：酒井秀夫 會長、澤田直美 專務理事
- 日本有機資源協會：柚山義人 專務理事
- 日本 RPF 工業會：田墨啓治 常務理事、加山順一郎 常務理事、  
片境邦喜 理事、岡弘 事務局長
- 阪和興業株式會社：岸本広一 執行役員、田邊桂祐 部長、

## (一) 日本木質生質能協會－木質生物質能源介紹

日本木質生質能協會成立於 2012 年 7 月，目前企業會員 110 家，個人會員 110 家，贊助會員 142 家，會員總數 362 家，協會旨在日本全國推廣利用木質生物質發電和供熱，並提供日本木材生產狀況、從海外進口木質燃料材料狀況、燃料材料價格動向等調查結果的數據庫，及提供木質生質物熱利用技術手冊，內容包括歐洲先進地區技術介紹、符合日本國內法律和使用模式。此外，協會亦研究木質生物質能源推廣利用收集、轉化、利用體系建設問題，構建相關商業模式，以帶動日本木質生質能之應用。

日本森林面積約日本總面積的 66%(約 2500 萬公頃)，占日本全國面積三分之二，其中天然林約 1484 公頃、人工林約 1020 公頃。森林與木材循環模式可作為碳中和及減碳重要成果，木質燃料可替代化石燃料，轉換料源不僅可促進林業及木材工業發展，對於區域性的經濟也具重要意義。

以木質生物質發電不僅取代化石燃料成為再生能源，而且木材資源具有多種價值(如可作為建材、木製品原料、造紙原料等)，在確保木材資源永續性的同時，實現森林與當地社區共存共榮的商業模式顯得非常重要，可以與當地社區形成循環經濟模式，永續性使用及保護木材資源(如圖 14 及圖 15)。



圖 14 木質生質能階梯式循環利用



圖 15 木質生質能之循環經濟模式

1990 年代，日本生物質發電主要為都市垃圾發電，約占日本能源供應總量的 1% 左右，隨著 2002 年實施「RPS 法」（「電力公司使用新能源特別措施法」，2012 年廢除），占比增加到 2% ，再隨著 2012 年 FIT 制度的導入，目前生物質（包括廢物）約占日本能源供應總量的 4%。

日本政府的第六次能源戰略計畫中，規劃 2030 年至 2050 年之能源政策，制定了以再生能源成為核心能源的方向，其能源結構的目標為於 2030 年生物質能的占比約為 5%。

目前生物質能源中 55% 用於發電，40% 用於熱能利用。其中，大部分木質生物質用於發電，一小部分用於供熱。目前日本木質生質能源之使用方式有 3 種，包含發電、汽電共生及供應熱能（蒸氣或熱水），最多的是用於鍋爐及汽輪機（steam turbine）發電，其規模較大，從 2MW 到 100MW 都有（但因燃料限制，超大型鍋爐與傳統化石燃料混燒的比較多）。

比較太陽能、地熱及木質生質能等 3 種再生能源中（如圖 16 所示），木質生質能是目前熱能可用範圍最大的，其主要優勢在於它可以處理從蒸汽到冷熱水的廣泛需求，溫度範圍約為 60°C 至約 400 °C。

日本 FIT 制度之木質生質能收購價格可分為原始木材、一般木材（廢棄農作物）、回收材料（如建築廢材）等三種類型，截至 2022 年 3 月統計，符合 FIT 認證木質生質能發電設施共計 433 所。國內木質生質燃料供應逐年增加，但木質生質燃料使用需求急速增加，日本的棕櫚殼（PKS）進口量也快速成長（主要來自印度及

馬來西亞)。

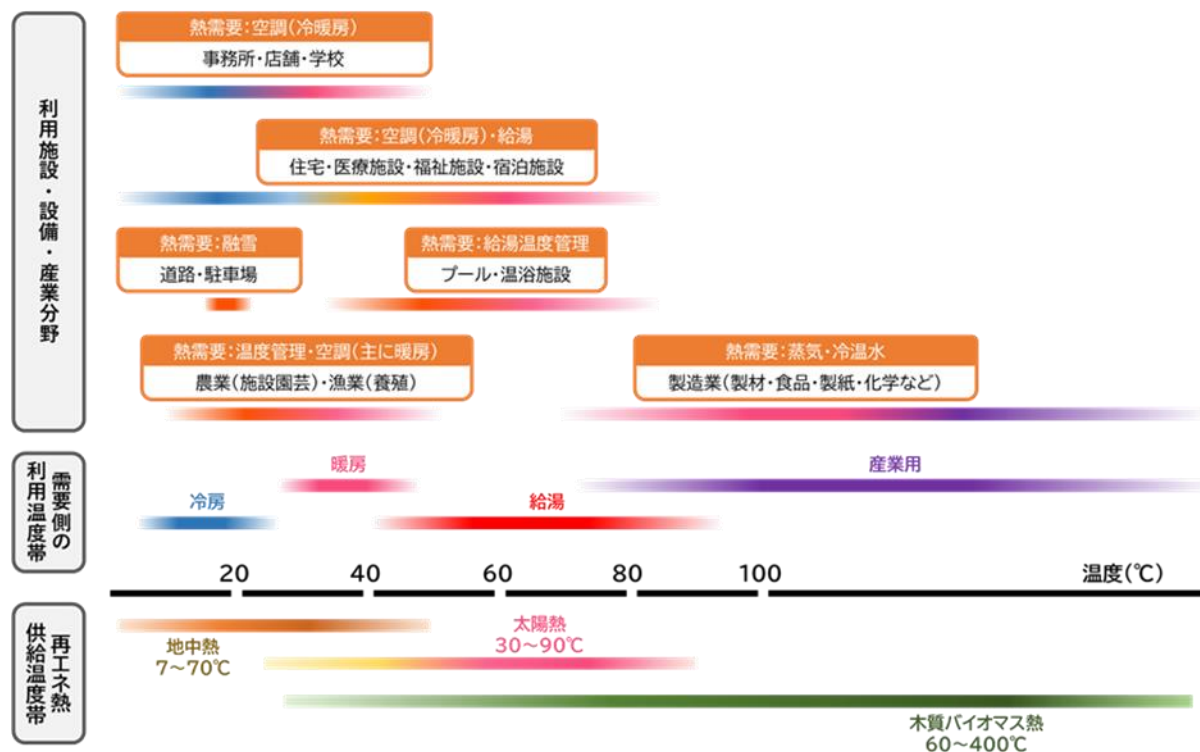


圖 16 不同再生能源應用範圍

## (二) 日本有機資源協會－生質物利用介紹

日本有機資源協會成立於 2002 年 3 月 29 日，該協會的宗旨是促進有機資源的有效利用，從而為創建永續的循環型社會和增進環境保護，主要業務為推動日本國內生質物之各種能源利用方式。

目前日本生質物之轉換技術主要有 10 大類(如表 4 所示)，由於其原料、產品的多樣性，其運用之方式亦有所不同，但因生質物具有吸收二氧化碳之功能，故其利用大多有減碳效果，唯在整體利用過程中，其收集與運輸之成本較高，但其合理的利用對當地的社會經濟具有良好的影響，包括提高就業機會、增加人民收入、提高社會資本，且對於減少災害損失、增加安全性等皆有助益。

日本在 2022 年 9 月 6 日修訂促進生質物利用基本法，提出綠色食品體系戰略，推動將生質物採多階段方式，朝高附加價值產品(如生產奈米纖維)、汽電共生等高效能源進行利用，並針對沼氣生產甲醇、氫氣等術進行研發，及通過先進的生質物混合利用技術進行本地能源生產(如以日本特有之樹種日本柳杉為原料)

與消費，此外亦推動生質物朝航空用燃料發展與發展 CCU 等。期望在 2030 年促進日本生質物再利用率達 80%。

表 4 日本主要生質物轉換技術

名稱	概述	原料	使用形式
飼料化	乾燥或液化生物質以製造飼料	廢棄食物	飼料（用於畜牧業和養魚業）
堆肥化	利用好氧微生物分解生物質，使其對作物生長安全	畜禽糞便、餐廚垃圾、污水污泥	肥料、土壤改良劑、再生墊料
甲烷發酵	利用厭氧微生物分解生物質並回收甲烷氣體	畜禽糞便、食品垃圾、污水污泥、造紙垃圾、農作物殘渣	電/熱（燃氣發動機發電）、天然氣、生物液體肥料、回收垃圾
乙醇發酵	生物質發酵、蒸餾和脫水生產乙醇	資源作物、作物殘渣、木質生物質	生物乙醇（汽油替代品）
轉換為柴油燃料	通過廢棄食用油的酯化反應製造輕油替代燃料	廢棄食用油	生物柴油燃料（用於發動機，替代輕油）
炭化	將生物質在低氧氣氛中加熱、熱分解（乾餾），製成木炭。	木質生物質、牲畜糞便、食物垃圾	土壤改良劑、燃料
直接燃燒	直接燃燒生物質並用汽輪機發電	木質生物質、農業廢棄物、家禽糞便	電/熱（汽輪機發電）
氣化	生物質氣化用於減重和發電	餐廚垃圾、一般垃圾、工業垃圾、污水污泥、糞便、污泥	電/熱（汽輪機發電）、熔融物料（礦渣、金屬）
轉化為固體燃料	用生物質製造固體燃料	木質生物質、食物垃圾	固體燃料（顆粒、方石、RDF）
塑料製造	通過化學或生物方法合	甘蔗、玉米（玉	生物質塑料

	成生物質以製造聚合物(米) 材料	
--	---------------------	--

日本沼氣發電其原料多為有機廢棄物為主，包括以禽畜糞作為能源利用等，日本的沼氣發電設施多為地區性的，容量大部分在 2000kW 以內，平均每台設備約為 500kW，且截至 2022 年 12 月底，於 FIT 制度下已促成新認證沼氣發電設施 305 座，發電量達 134.6GW，另有設置中 244 個新項目，預估發電量新增 87.3GW，自 FIT 制度開始以來，每年認定數都有增加 15-30 件，可證明 FIT 制度對生質物轉換為能源是有助益的。且沼氣發電可持續利用當地資源、脫碳、建立自力更生的分散能源系統，對環境和產業具有良好貢獻。

日本生質能發電部分主要分木質生質能發電與沼氣發電二大部分，預計在 2030 年上述二類生質能發電容量分別可達到 6.26GW 及 0.21~0.24GW(如表 5 所示)。其中經 FIT 制度認定之木質生質物發電設施已達 433 座，其中以未經使用之木材為主要燃料者有 243 座。

表 5 2030 年日本生質能發電展望

項目	木材(間伐木、普通木材、營建廢棄物等)	沼氣發酵系統
導入容量	6.26GW	0.21~0.24GW
導入前置時間	預計約需 4 年	預計約需 2~4 年
發電量	409 億度	13.6~15.6 億度
容量系數等前提條件	未使用的材料/營建廢棄物等 76.5%~80.9% 一般廢棄物、其他生物質等約 46.0%	禽畜糞 80% 下水道污泥 80% 食品廢棄物 70% 混合利用 70%
發展方向	需建立生產供應體系、開發新燃料材料、規範建置發電機制及與地方政府合作等	妥善處理有機廢棄物、促進資源化、應對全球暖化、振興當地經濟
導入所需經費	發電成本以 15 日元/KW 為目標，盡可能降低發電成本，另一方面則盡量使用當地資源生產木質	設備成本(醱酵槽等)：220 萬日元/KW 運轉維護費：10 日元/KW/年

	顆粒。	
限制條件	如以國內木質料源為主，因其距用電需求地區較遠，容易受限於電網，因此通過全國分散式系統，較能確保達到目標裝置容量。	需要解決系統限制。輸出穩定性很高。地理位置因原料種類而有很大差異。基本上是小規模分散型

生質物可替代化石燃料，同時具備經濟與環保價值，雖然原料輸送至使用端所產生的環境成本較高，但生質能相較於太陽能與風能不同，其具備種類多樣性的特質，因此日本政府提出「推動促進生質物利用基本方案」，運用料源供應與轉換之關聯性，以生質物產業為中心，建構出具有地方特色產業鏈。如日本農林水產省也提出「綠色食品體系戰略」，透過沼氣發電、集中供熱及其他能源進行供需管理(原料及能源達到去進口、去碳化、減少環境負荷)，建構就地生產就地消費型能源體系。通過農田中堆肥、生物液體肥料的有效循環利用，減少化學肥料、減少二氧化碳排放，以最大限度利用當地資源(包含生質資源)。

### (三) 沼田正俊－日本林業及木質生質能探討

日本的森林面積約為 2500 萬公頃，占全國面積的三分之二。森林蓄積量每年增加約 6000 萬立方米，主要是人工林，目前約為 54 億立方米。按面積計算，一半的人工林樹齡超過 50 年，成熟且可供使用(如圖 17)。且為有效利用這一豐富的資源，在使用的同時，需要系統地進行重種，以供循環使用。

■ 按林齡劃分的人工林面積

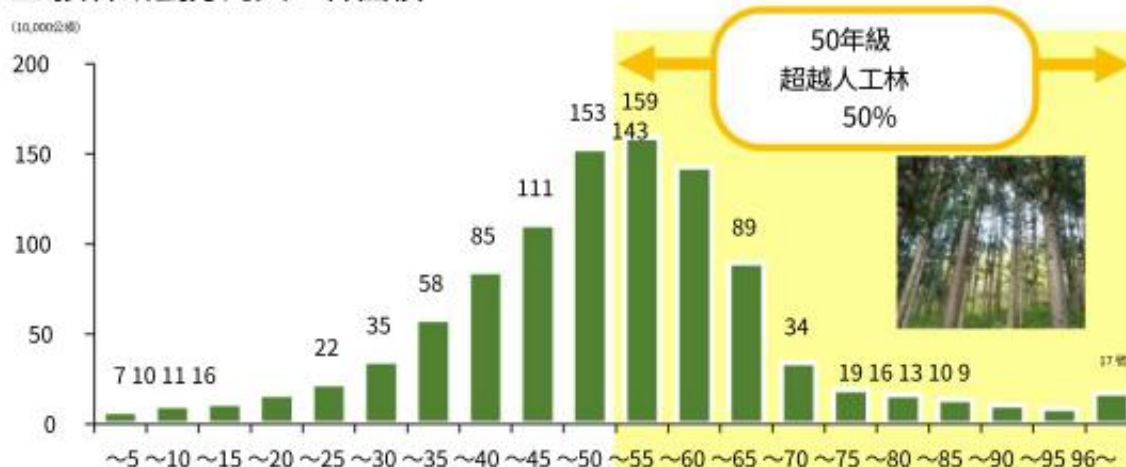


圖 17 日本人工林面積與樹齡



由於日本國內森林資源的成熟（進入主伐期的人工林迅速增加）和技術發展的進步，國內木材的供應量正在增加。木材自給率自 2002 年的 18.8%，一直呈上升趨勢至 2021 年的自給率約為 41.1%，供應國產和進口原木的供應端的工廠規模也在不斷擴大。此外，在木材需求快速增長的同時，木材出口也在增加。

日本以木質生質物用作能源的量逐年增加，2021 年日本國內燃料材料消費量為 1474 m<sup>3</sup>，較 2019 年增加 15%。其中屬國產者約 934 萬 m<sup>3</sup>、進口量則為 539 萬 m<sup>3</sup>（如圖 18 所示）。

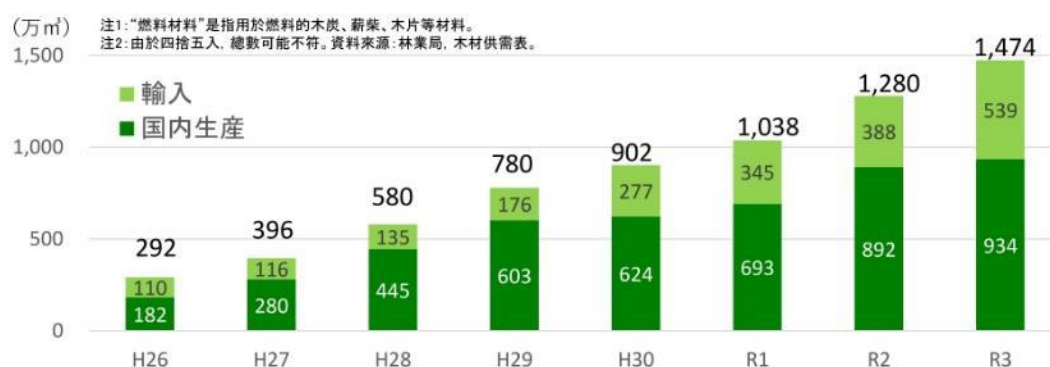


圖 18 日本木質生質物能源化之量

日本 2021 年進口 630 萬公噸的生質顆粒燃料(包含木質顆粒與棕櫚殼(PKS))(如圖 19、圖 20)，近 10 年已運營及未來預計興建之生質能電力機組皆採用循環式流體化床鍋爐(Circulating Fluidized Bed Boiler, CFB)，相較於粉狀燃料鍋爐(Pulverized Fuel Boiler, PF)，具有更高彈性可靈活使用各種固體生質燃料。

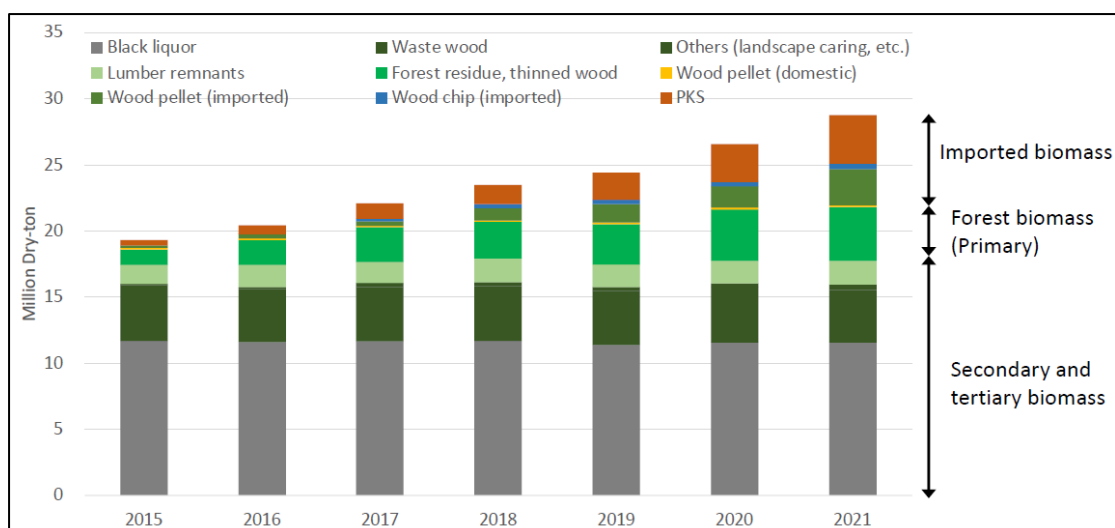


圖 19 日本固體生物質消費的發展(REI, 2023)

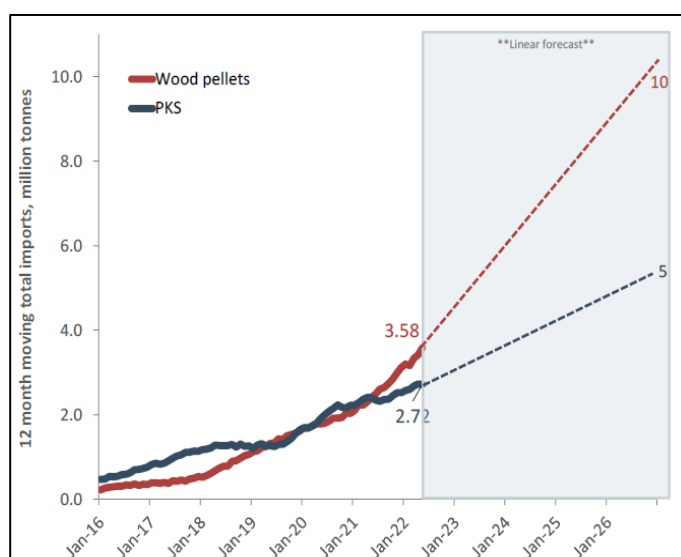


圖 20 日本 PKS 與木顆粒歷史進口量與預測(Hawkins Wright, 2022)

#### (四) 日本 RPF 工業會－日本 RPF 概況

日本 RPF 協會(Japan RPF Association, JRPF)成立於 2012 年 4 月 5 日，目前會員共有 136 家廠商，包括 RPF 製造業及相關機械製造與商會等，其主要業務包括：RPF 相關行政、業界動態報告與行業之建議；RPF 製造販賣相關行業安全性及先進管理措施之政策推動；RPF 品質規劃、安全性與多元化研究；RPF 生產設施和燃燒設備調查研究與統計；RPF 之普及與宣導活動；RPF 製造相關技術評估測試等。

RPF(Refuse Paper & Plastic Fuel) 是一種以工業廢棄物中難以分類回收的廢紙和廢塑料製成的固體再生燃料，主要原材料是廢紙和廢塑料，並可混合木

屑、纖維屑、橡膠屑等。RPF 可作為煤炭和焦炭等化石燃料的替代品，受到了許多行業的好評，包括大型造紙廠、鋼鐵廠和水泥廠。

RPF 具有以下特點：

1. 質量穩定：採用明確的工業廢棄物及精選一般廢棄物(相當於符合分類標準的廢棄物)為原料，品質穩定。
2. 熱值可控制：只需改變廢紙和廢塑料的混合比例即可輕鬆地改變熱值，以符合不同規格鍋爐的需求。
3. 熱值高：由於它以廢塑料為原料，因此具有較高的熱值，可以作為化石燃料的替代品，可與煤炭和焦炭相媲美。
4. 操控性好：由於 RPF 為固體且密度高，因此與焦炭、煤粉等一樣方便，並具有優良的儲存特性和運輸效率。
5. 廢氣易於處理：由於 RPF 品質穩定，且雜質少，燃燒後廢氣中氯氣、硫氧化物及氮氧化物少，廢氣處理容易。
6. 具經濟性：目前日本 RPF 價格比煤炭便宜 1/4 至 1/3，且可降低未來購買碳排放信用額度或碳費的成本。
7. 具減碳效益：使用 RPF 可提高整體能源效率和減少化石燃料來減少二氧化碳排放。

目前日本 RPF 生產量每年約為 150 萬噸，產業整體的需求量及產出量如下圖

21：

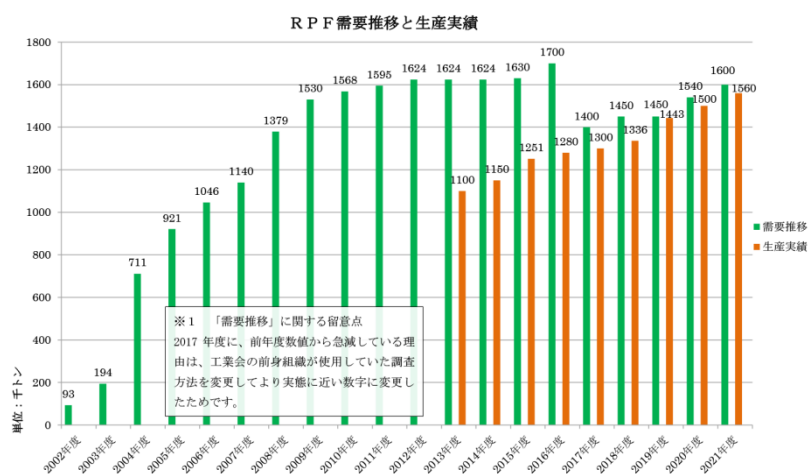


圖 21 日本 RPF 需求量與產出量

目 RPF 僅可使用廢紙及廢塑料為原料，但由於近年廢塑料之產出量下降，故目前有研究是否能開拓新的料源。而目前 RPF 使用後之混燒灰渣，在日本還是以掩埋處理為大宗，部分則有作為道路基底材或水泥原料使用。

此外，針對 RPF 的未來發展，RPF 工業會認為有下列 3 個方向：

1. 推動煤炭淘汰政策，對使用 RPF 替代有立竿見影的效果。
2. 國家明確的減碳政策，對 RPF 減碳效果的評估數據可促進 RPF 的銷售。
3. 未來之國際塑料政策，由永續資源管理 (Sustainable Resource Management, SRM) 中的能源循環 (ER) 走向碳循環 (CR)。

### (五) 阪和興業株式會社－生物質燃料商情介紹

阪和興業株式會社成立於 1947 年 4 月 1 日，資本額約 457 億日圓，營業項目包含鋼鐵、鋼鐵原料、建材、非鐵金屬、能源、化學產品、食品、木材、水泥、機械等商品的國內外銷售及進出口，是日本的大型商社之一，其海外據點有 50 處遍佈世界各地。

阪和公司目前經營販售的生物質燃料有 3 種，包含：棕櫚殼 (Palm Kernel Shell, PKS)、木質顆粒及炭化木質顆粒 (如表 6)，主要係售予日本及南韓的廠商使用。

表 6 阪和公司販售的生物質燃料

		PKS (Palm Kernel Shell)	木質顆粒	炭化木質顆粒
外觀				
主要產地		印度尼西亞，馬來西亞	美國，加拿大，俄羅斯，東南亞	美國，加拿大，東南亞
一般規格 ※ 僅為參考值	低位發熱量 (NCV)	3,500kcal以上/kg	4,000kcal以上/kg	約5,000~7000kcal/kg
	水分值	15~25%	約10%	—
	Na+K	1,500ppm以下	2,000ppm以下	—
	Cl	1,000ppm以下	500ppm以下	—
	其他	—	—	HGI：約50~65%、揮發分：約約10~30%、固定炭素：約70~85%
保管		室外保管可能	室內保管	強耐水性
備考		印度尼西亞品種與馬來西亞的品種不同	北美的產品卡路里相對較高	更多能量的高密度輸送、提高儲存效率

其中炭化木質顆粒擁有更好的耐水性及熱值 (如表 7)，可以室外貯存，比普通木質顆粒有更好的耐水性，是阪和公司推廣的新興產品。

表 7 木質顆粒及炭化木質顆粒規格比較表

	一般煤炭 (發電用)	木質顆粒	炭化木質顆粒	
			半炭化木質顆粒	炭化木質顆粒
NCV	5200-7100 kcal/kg	4,000~4,200kcal/kg	5,000~6000kcal/kg	6,000~8000kcal/kg
灰分	1.2~8%	0.3~3%	1-6%	1-6%
固定炭素	40~57.5%	14.2%	約20~50%	約70~85%
揮發分	43~31%	85	約10~30%	約10~30%
耐水性	○	×	○	○
石炭混燒性(機械的耐久性、HGI、真球度)	30-100%	98%	約50~65%	約50~65%
堆積密度 (kg/m3)	700-1100	650~750	750-850	750-850
GHG排出量 gCO2/MJ	85~	20~	12~	比半炭化木質顆粒稍低

有關生質燃料需求部分，阪和公司表示依照 Hawkins Wright 的預估，在世界各國大力推動減碳的趨勢下，對於生質燃料的需求將大幅增加，尤其是木質顆粒的需求，2022 年世界木質顆粒的需求量為 4,500 萬噸，預期 2023 年會增長到 6,600 萬噸，其中日本的需求量會由 450 萬噸成長到 1,000 萬噸，南韓的需求量會由 400 萬噸成長到 500 萬噸，目前英國使用木質顆粒約 920 萬噸，是使用木質顆粒最多的國家，但是預期日本會在 2025 年之後超過英國成為世界第一大木質顆粒進口國。

在木質顆粒的供給部分，阪和公司表示在 2021 年全球前 5 大的木質顆粒出口國分別是：美國(750 萬噸)、越南(310 萬噸)、加拿大(290 萬噸)、拉脫維亞(240 萬噸)、俄羅斯(200 萬噸)，這些國家合計占 2021 年全球木質顆粒出口市場的 66%以上。阪和公司在印尼蘇拉威西島的 Gorontalo 市設立自己的木質顆粒工廠，每年木質顆粒產量約 90 萬噸，可長期穩定提供木質顆粒給客戶。

為實現綠色轉型(Green Transformation, GX)，日本經濟產業省成立了 GX 聯盟(GX League)，導入「碳排放交易制度」(GX-ETS(Cap and Trade))，自 2023 年度開始試行運作，先由企業自願參與、設定目標。目前日本很多的上市公司都參與了 GX 聯盟，參與者的二氧化碳排放量預計將占日本二氧化碳總排放量的 40%。

「碳排放交易制度」將參考國外案例，中長期逐步調升碳定價為前提，並設定適當上限價格與下限價格，藉此明示價格範圍，可提高交易價格之可預測性，

以促進企業投資；預計 2026 年正式運作後開始設定價格範圍，並訂定後續 5 年價格預估值以提高可預測性。2023 年度起，中央政府將與 GX 聯盟之企業合作，收集必要數據、累積專業知識及作法。參與者的二氧化碳實際排放量如果大於設定目標值，則必須支付費用購買碳權，如果小於設定目標值，則可出售碳權。

在 GX-ETS 制度下，納入碳的交易價格後，木質顆粒、PKS 及 RPF 的整體燃料使用成本會比煤炭更便宜(如表 8 及表 9)。例如：煤炭的熱值是 5500Kcal/kg、每噸價格約 150 美元，木質顆粒的熱值是 4000Kcal/kg、每噸價格約 180 美元，經過熱質平準換算與煤炭熱質相當後，木質顆粒的成本價格會變為 247.5 美元，但是使用煤炭(化石燃料)會排放二氧化碳，其排放係數為 2.409kg-CO<sub>2</sub>/kg，木質顆粒(生質燃料)的排放係數為 0，以兩者皆使用 1 萬噸來比較，煤炭購買成本為 150 萬美元、木質顆粒則為 247.5 萬美元，單以購買成本來看，木質顆粒較煤炭貴 97.5 萬美元，但因煤炭會排放二氧化碳，使用煤炭需繳交碳費，如費率為 50 美元/噸，則使用 1 萬噸煤炭需繳交約 120 萬美元碳費，故使用 1 萬噸煤炭的總成本為 270 萬美元，會高於木質顆粒的使用成本。

表 8 GX-ETS 後煤炭與 PKS、木質顆粒成本比較表

	煤炭	PKS	木製顆粒
			
NCV(Kcal/kg)	5500	3500	4000
價格(/mt)	150 美元	150 美元	\$180
排放係數(kg-CO <sub>2</sub> /kg)	2.409	NIL	NIL
▼ NCV 後價格		\$235	247.50 美元
▼ 1萬噸成本	1,500,000 美元	2,350,000 美元	2,475,000 美元
(差異)		(+850,000 美元)	(+975,000 美元)
▼二氧化碳含量生成的	24,000噸	0噸	0噸
▼信用值(/t)	A : +480,000 美元		
A : 20 美元 B : 50 美元	B : +\$1,200,000	←購買 PKS / WP 會更便宜!	

表 9 GX-ETS 後煤炭與木質顆粒(WP)、RPF 成本比較表

	Coal 	WP 	RPF 
(1) Net Calorific Value(Kcal/kg)	5,500	4,000	5,975
(2) Price ( /mt )	\$150	\$180	\$70
(3) After NCV Price ( /mt ) vs Coal		\$247.50	\$64.43
(4) Product Cost *10,000mt ( vs Coal )	\$1,500,000-	\$2,475,000- (+\$975,000 )	\$644,300 – (-\$855,700)
(5) Emission Factor (kg-CO2/kg)	2.33	NIL	NIL ( 1.57 )
(6) Credit procurement amount for (5)	23,300mt	NIL	NIL
(7) Credit amount \$20 base / \$50 base	\$460,000 / \$1,150,000		

#### 四、參訪西部服務株式會社神戶廠 RPF 製造情形

阪和興業株式會社旗下的西部服務株式會社，成立於 1988 年，並於 1995 年在神戶完成設廠開始收受處理事業廢棄物，是收受廢紙及廢塑膠類事業廢棄物產製 RPF 的再利用廠商，目前有神戶及大阪 2 個廠，員工人數共約 59 人，本次參訪對象為神戶廠，由該會社的片境邦喜(KUNIYOSHI KATAZAKAI)社長及福沢大五郎(DAIGORO FUKUZAWA)接見及介紹神戶廠的情形。

神戶廠表示，該廠原本為事業廢棄物處理廠，主要為將污泥類廢棄物轉製為水泥原料，在 2004 年才開始進行 RPF 之生產，其原料主要以事業之廢塑膠、廢木材、廢紙等及部分家戶產出之廢塑料、廢紙等為原料，這些廢棄物原本大多送至焚化爐處理，費用約 35 日元/公斤，而該廠收受這些廢棄物作成 RPF，其收受處理費用僅 30 日元/公斤。

神戶廠占地約為 2000 坪、廠房建築面積約 1200 坪，主要機械設備包含機械分選機及磁選機、二軸破碎機、風力分選機、光學分選機、單軸破碎機、RPF 成型機、壓縮打包機等，整廠配置圖如下圖 22、製造流程如下圖 23。其主要製程包括廢棄物進廠後先稱重，接著透過破碎機進行粗破碎，並進行磁選，再進行細破碎，將廢棄物破碎至 50 毫米至 60 毫米的尺寸，再進行風選，依比重大小進行分類，最後則使用 Unisort 光學紅外線分揀機來剔除不適合做為 RPF 原料的廢料 (PVC)，而產品則依客戶需求，選擇進行造粒或不造粒(直接壓縮捆包)。

西部サービス株式会社 神戸工場処理施設図

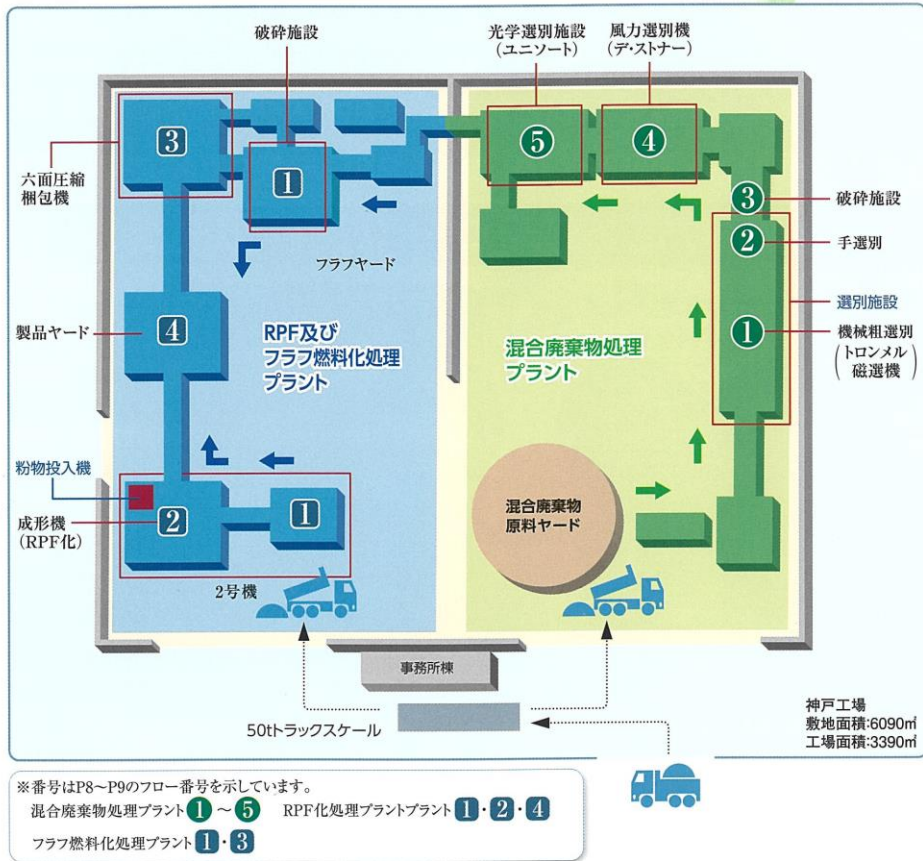


図 22 西部サービス株式会社神戸工場配置図

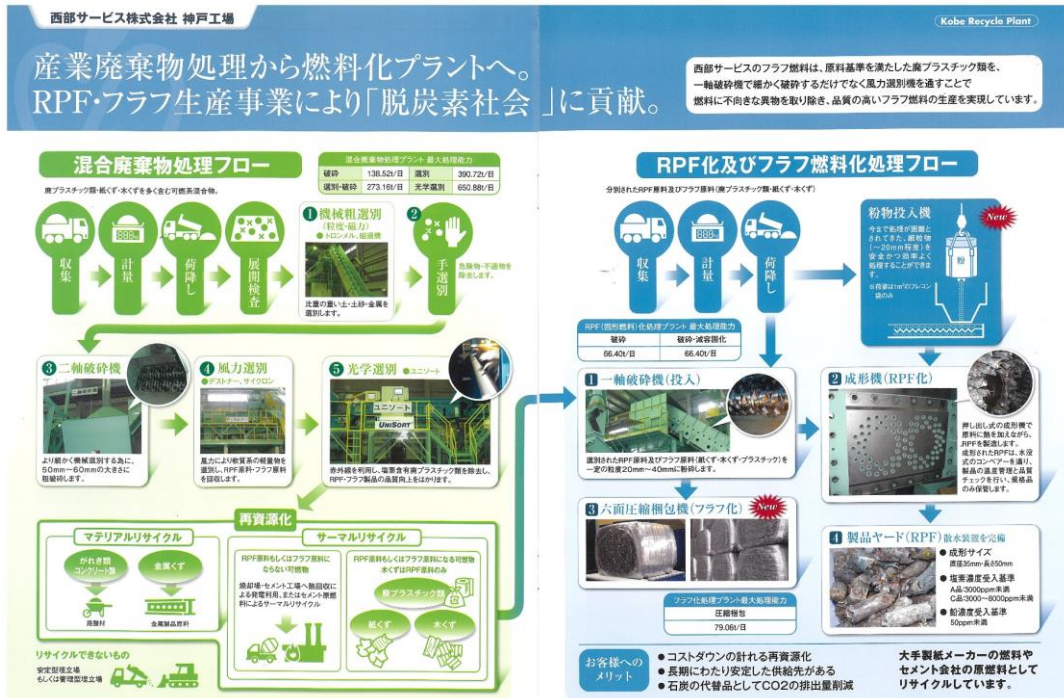


図 23 西部サービス株式会社神戸工場 RPF 製造流程



神戸廠從客戶清運收集的事業廢棄物是各種廢料的混合物(但主要是廢塑料及廢紙)，製造作成 RPF (如圖 24)，每月 RPF 產量 2000 公噸。為了再利用這些廢料混合物，必須將其分類分選，神戸廠利用上述主要機械設備，讓分類分選作業自動化，可減少人工作業、提升效能及大幅降低成本。該廠的最大特點是設置了光學分選機(Unisort)，是一種紅外線分選設備，藉由紅外線掃描經破碎後的廢料，藉由讀取反射光的波長來辨別出含 PVC 的廢料(含氯塑膠)，再運用風力將 PVC 廢料吹除，另外，神戸廠辦公室檢測區內設有一台 X 射線螢光光譜儀(X-ray Fluorescence Spectrometer，XRF 光譜儀)，可對原料樣本及 RPF 樣本即時檢測氯含量，因此可確保所作成 RPF 產品的氯含量符合品質規範及後端使用者的需求。



圖 24 西部服務有限公司 RPF 製造原料及產品

神戸廠表示 RPF 具有下列特性：

1. 採用工業廢棄物或經挑選過的工業廢棄物做為原料，製造成品之品質穩定。
2. 可依據鍋爐規格等調整廢紙和廢塑料的混合比例，機動性調整業者所需

之成品。

3. 主要成分為廢塑料，具有較高的熱值，可以替換煤炭等化石燃料。
4. 經分類壓縮處理的固體燃料，存放管理與煤炭相同，且雜質較少，不會造成鍋爐耗損，也不易產生有害氣體。
5. 具有較高的經濟價值，其價格較煤炭低，可以降低燃料成本，產生的灰渣也較少，去化的問題也較容易處理。

目前日本 RPF(Refuse Paper and Plastic Fuel)依照 JIS Z7311:2010 標準，可分為 A、B、C 三級(如表 10 所示)：

表 10 日本 RPF 分級標準

品種\等級	RPF 分級			測量方法
	A	B	C	
高熱值 MJ / kg	$\geq 25$	$\geq 25$	$\geq 25$ 或	JIS Z 7302-2
Kcal/kg	$\geq 5,981$	$\geq 5,981$	$\geq 5,981$	
水分(wt.%)	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	JIS Z 7302-3
灰分 (wt.%)	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	JIS Z 7302-4
總氯含量 (%)	$\leq 0.3$	$>0.3$ 且 $\leq 0.6$	$>0.6$ 且 $\leq 2.0$	JIS Z 7302-6

神戶廠有兩條 RPF 生產線，一條收取低含氯量之廢塑料及廢紙混合製成符合 A 級之 RPF，另一條收取含氯量高的廢塑料及廢紙，以光學分選去除其中 PVC (含氯塑膠)後，製成 C 級 RPF，提供工業用鍋爐使用。且由於日本國內 RPF 生產者日益增加，競爭激烈，使用者對於 A 級 RPF 品質要求一直被提高，且 A 級 RPF 是採販售(到廠價約顆粒狀約 3~5 日元/公斤，散料約 2~3 日元/公斤)，而 C 級則為補貼運費供廠商使用，故該廠目前只生產 A 級與 C 級之 RPF，如需 B 級產品，則採用 A 級及 C 級產品混摻後而得。

日本 RPF 分級標準，主要針對熱值、水分、灰分及總氯含量進行分類(如表 10)，與歐盟所用 ISO 21640 SRF 標準(如表 11)比較，其第一級(日本 A 級)的產品熱值要求相同，氯含量歐盟要求小於 0.2%，較日本要求小於 0.3%嚴格，但日

本 RPF 另有針對水分、灰分進行要求，而歐盟則是針對汞含量進行要求，其主要原因應為日本 RPF 其原料限定以廢紙、廢塑膠為主，而歐盟則為非有害廢棄物(含家戶垃圾)，故日本 RPF 原料來源不含汞，故無針對汞進行要求，而歐盟之家戶垃圾中可能含有汞之垃圾，故其標準針對汞進行要求。

表 11 歐盟 SRF 分級標準

品種\等級		SRF 分級				
		1	2	3	4	5
淨熱值 MJ / kg		≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
總氮含量 (%)		≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3.0
Hg(mg/MJ)	Median(mg/MJ)	≤0.02	≤0.03	≤0.05	≤0.10	≤0.15
	80% (mg/MJ)	≤0.04	≤0.06	≤0.10	≤0.20	≤0.30

## 五、參訪德山下松港生質燃料卸載與輸儲及討論周南電力公司鍋爐混燒生質燃料

德山下松港為天然港灣位於日本山口縣周南市，由於港灣運輸便利性，各種產業(如化工廠、水泥廠及電廠)群聚在港灣內。德山海陸運送株式會社(トクヤマ海陸運送株式会社, Tokuyama Kairiku Unso K.K.)，1950年9月1日成立，由德山株式會社 100%持股。提供港口貨物裝卸、中間代理業務、沿海航運、倉儲、陸運等綜合物流業務，主要業務地區為德山市下松港。

本次參訪由德山海陸運送株式會社的安中利彥(T. ANNAKA)、山崎美佳(H. YAMASAKI)及德山株式會社的井上保史(YASUSHI INOUE)、柿園兼一(KENICHI KAKIZONO)、清水勝之(KATSUYUKI SHIMIZU)接待，本次參訪路線分別為海上及陸地參觀，乘船一覽德山下松港產業聚落，瞭解煤炭、棕櫚殼(PKS)及木質顆粒原料貯存方式，及乘車至港區內現地參訪生質燃料卸載與輸儲情形，並討論電廠鍋爐混燒事宜。

德山海陸表示，PKS 及木質顆粒運輸方面，船舶靠港後，由岸上特殊機具進行裝卸(screw unloader)，透過輸送管直接從船上將生質燃料抓取至岸上貨櫃，這樣作法可大幅減少揚塵產生，快速進行裝卸(如圖 25)。



圖 25 特殊機具輸送生質燃料

德山海陸表示木質顆粒之貯存主要可分為倉庫式、筒倉式及特殊集裝箱等 3 類(如圖 26 所示)：



圖 26 木質顆粒主要之貯存方式

1. 倉庫式：

(1)優點：運作簡易，只需要在發電廠附近建設一個倉庫就可以很方便的儲存木質顆粒，且倉庫中可以建立幾個不同房間，分別管理不同批次的木質顆粒。

(2)缺點：

- A. 容量問題：日本的木質顆粒倉庫大多容量很小，物流管理運作較為複雜。
- B. 消防問題：常有發生木質顆粒倉庫火災事件，建立倉庫很難取得消防許可。
- C. 初期投資費用高：15,000 噸的木質顆粒倉庫需要 15 億日元，所需費用不低。
- D. 粉塵問題：木質顆粒的粉塵會進入鏟車或抓機等設備的發動機，增加火災風險。

## 2. 筒倉式：

(1)優點：在於可分別管理、可控制溫度及容易計量等，因不同批次木質顆粒可以裝進不同筒倉，實現簡易分別管理；且筒倉基本都會設計有溫度計，可以即時掌握筒倉溫度，防止火災；並且筒倉排出口都會設計有計量器，不用稱重也可計量。

### (2)缺點：

- A. 容量問題：日本現有筒倉多為穀物用，很少有能切換給木質顆粒使用的。
- B. 高額的初期投資費用：日本的筒倉多為穀物用，改造成貯存木質顆粒的話，需要很高的初期投資，以及保存木質顆粒需要取得消防認證，這樣會增加更多成本。

## 3. 特殊集裝箱：由於建造木質顆粒貯存倉庫所耗費成本較高，德山海陸提出解決方案，以特殊貨櫃取代傳統貯存倉庫，原料從船隻抓取直接從特殊貨櫃上方開口卸貨(貨櫃只有上方開口及下方卸料開口)，裝滿後特殊貨櫃可以直接運送至客戶端(或指定地點儲放)，提供貨物運送的便利性

### (1)優點：

- A. 可更細緻的分別管理：集裝箱可保管約 20 噸之木質顆粒，可簡單區分不同批次貨物。
- B. 可掌握溫度：每 50 個集裝箱中會有 1 個集裝箱有附帶溫度計，可即

時監控溫度，防止火災發生。

C. 防止火災擴散：與倉庫、筒倉的保管不同，每個集裝箱都只裝有相對少量木質顆粒，可降低火災發生的損害。特殊集裝箱採用特殊隔絕火源材質，若發生內燃時，不會影響到其他特殊集裝箱。而集裝箱內部安裝溫度監控設備，掌握內部木質顆粒溫度(警戒線為 50 度)，並透手機隨時查看貨櫃狀況。

D. 消防問題：因為有上述特徵，消防許可的取得相對容易。

E. 初期投資的費用低：初期投資費用在倉庫、筒倉的一半以下。

F. 解決粉塵問題：倉庫粉塵不只會增加火災風險，也會對現場工作人員的健康產生影響，集裝箱可以完全解決這個問題。

(2)缺點：包括特殊集裝箱有很多部件組成，使用 2~3 年需進行保養。

另外特殊集裝箱比一般集裝箱高約 30cm，容積也大約增加 12%，所以比一般集裝箱的存放需要更大的地面強度來堆積存放。此外，特殊集裝箱最大的問題是一氧化碳濃度控制，如超過 3000ppm 則有風險。

周南電力有限公司(周南パワー株式会社)是由東京世紀株式會社、德山株式會社、丸紅清潔電力株式會社的合資公司，於 2017 年開始建設電廠，已於 2022 年 9 月開始商業運營(裝置容量 300MW)，該生物質混合燃燒發電廠鍋爐使用木質顆粒與煤炭混燒，以減少溫室氣體排放並減少煤炭使用量，並為當地社區提供穩定的電力供應，而其使用之木質顆粒為從國外海運至德山下松港(德山海陸運送株式會社營運之港口)，再送至電廠使用。

周南電力有限公司經評估後採用特殊集裝箱作為木質顆粒之儲存設施，集裝箱為長方形，每個集裝箱寬 2.438m，長 6.058m，高 2.896m，重量為 2.5 噸，可裝載木顆粒約 20 噸，其裝載方式為裝載木顆粒之散裝船靠岸後，利用特製之卸料機(screw unloader)，由螺旋輸送機將木顆粒由船上直接輸送至集裝箱頂部朝上打開之進料口進行裝載，而卸料口在側面靠下方處(如圖 27 所示)，可使用特殊之吊車將集裝箱吊起傾斜卸料。且每 50 個集裝箱中有 1 個具有溫度監控設備，以降低火災風險。



圖 27 特殊之集裝箱外觀及裝載方式

周南電力有限公司商轉時之木質顆粒混燒比例雖預設為 20%，但因溫室氣體減量之急迫性，初期規劃將木質顆粒及炭化木質顆粒混燒比例提高至 29%。另外在技術與經濟條件均具備之前提下，2025 年規劃以炭化木質顆粒為主之混燒比例提高至 50%，以達 GHG 排放減少 33%之目標(與運轉之初相比)(如圖 28)。而該廠混燒後之灰渣主要(90%)送至德山水泥廠作為原料使用，或依 JIS 規定於大型工程中與混凝土混拌使用，另有少部分(10%)則採掩埋處理。據該廠說明後續混燒生質物超過 50%以上時，其灰渣將不再進行再利用，而改採掩埋處理。

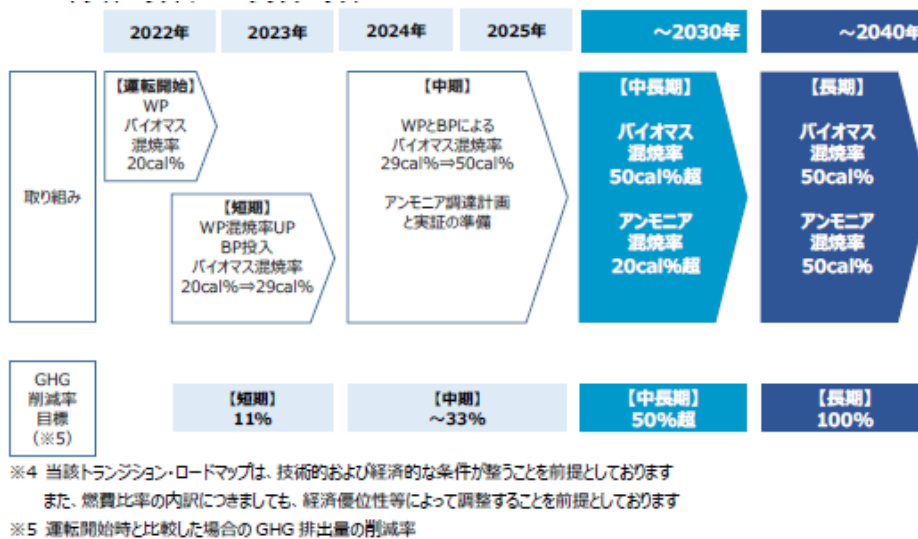


圖 28 周南電力有限公司混燒生質燃料規劃

## 六、參訪德島縣王子製紙株式会社富岡工場混燒 RPF

王子製紙株式会社(OJI PAPER Co.,Ltd.)為王子控股株式會社 100%控股的子公司，主要業務為生產新聞紙、印刷出版紙、通訊紙、家庭用紙及紙漿，在日本境內有 5 座紙廠，本次研習係參訪其位於德島縣阿南市的富岡工場，並由王子製紙株式會社村的村松拓(TAKU MURAMATSU)及 CPF 能源株式會社的引木達也(TATSUYA HIKIGI)說明富岡工場鍋爐混燒煤炭、RPF 及生質燃料等的情形。

CPF 能源株式會社是 RPF 的製造廠商，目前每年生產並向日本國內造紙廠和其他鍋爐設施供應超過 10 萬噸「立方塑料燃料(Cubic Plastic Fuel, CPF)」產品作為燃料。CPF 能源株式會社在德島縣阿南市王子製紙株式會社富岡工場附近設有 1 座 RPF 製造廠，其原料主要是廢舊塑料，經過粗破碎、分選、細破碎成 40 至 50 mm 或更小的碎片、再經壓縮、打包等程序製成(如圖 29)，打包後的立方體尺寸為 1.2m x 1.2m x 1.2m，再售予王子製紙株式會社富岡工場當燃料。





圖 29 CPF 株式會社廢塑料原料及 RPF 生產線

王子製紙株式會社富岡工場是以原木及廢紙為原料，生產板紙、加工用原紙及家庭用紙等。在應對地球暖化問題，也進行了從化石燃料轉型到廢棄物燃料的推動，不僅利用廠內回收的黑液作為燃料，也引進了生質能源鍋爐，實現了零重油使用的業者。

該廠之流體化床鍋爐早期使用燃煤 15000 噸~20000 噸及重油為燃料，目前考量燃料成本及淨零碳排的要求，鍋爐改以少量的煤炭(2000 噸，約 5%~10%)混燒廢塑膠(10000 噸，A 級料，約占 40%)、顆粒狀 RPF(3000 噸，A 級料)、營建廢木屑(12000 噸，約 30%)等為燃料進行混燒後提供廠內所需的蒸氣及發電，目前廠內貯存之燃料量散狀之 RPF 約 4000 噸，顆粒狀 RPF 約 2000 噸、木屑約 6000 噸，其燃燒後之灰渣主要付費給附近 3~4 家再利用機構作為土壤改良或道路基底層使用。

## 肆、心得與建議

### 一、心得

- (一) 日本在通過 FIT 制度下設定了中長期價格目標、利用競標制度以及開發技術來降低相關成本，再生能源將成為未來主要電力來源，必須是長期穩定的電力來源。所以到目前為止，日本 FIT 制度促進了再生能源的引入，但也提出了一些問題，例如即使獲得 FIT 制度認證但長期不運營的企業以及設置後卻無法正常運轉等問題，目前也需要解決這些問題。瞭解日本生質能與廢棄物能源相關歷史淵源、執行方向、規劃與未來發展、後續再生能源政策發展等相關內容，均可更進一步思考我國未來再生能源發展的方向及未來 FIT 躉購費率制定的適當對策。
- (二) 國際上常見之生質能之推動政策作法包括使用強迫性規定(RPS)及經濟誘因(FIT 或競標)方式為主要之政策，而日本主要採用 FIT 制度，其躉購電費之補貼 13~40 日元(約台幣 3.6~11 元)，比對目前國內生質能補貼之躉購電費約 2.8~5.14 元，國內的補貼費率仍較為偏低，未來如國內要發展生質能源，日本相關補貼費率及作法十分值得我們參考。
- (三) 日本在 FIT 制度後，目前生質能電廠數目已逐漸達規劃目標，為避免電價過高，並使後續生質能電廠能持續運作，故日本於 FIT 制度外已開始併行 FIP 制度，將生質能發電設施費用逐步回歸市場機制，後續國內如生質能電廠達預定目標後，亦可考量相關作法。
- (四) 日本為達 2050 淨零碳排之目標，目前已開始研究氫、氨及新一代核能發電等製造與應用，而我國亦應加速投入相關無碳能源之開發與應用之研究，以加速推動淨零碳排政策。
- (五) 日本現有混燒灰目前以掩埋為大宗，而國內目前事業廢棄物掩埋場少，後續如大量使用 SRF 或生質燃料時，混燒灰渣之去化宜盡早規劃相關再利用方式，避免灰渣去化造成問題。
- (六) 世界各國為了響應 2050 年碳中和目標，積極發展再生能源，減少化石能源依賴，我國亦是如此。近年我國政府積極發展再生能源，制定相關法令

及措施，促進國內再生能源迅速發展，其中太陽能、風能成長最為明顯。但在一個健全及穩定能源結構，需要多元能源供應方式，而生質能是非常值得關注及重視。環境部推動固體再生燃料(SRF)，鼓勵民間業者使用事業廢棄物作為替代燃料，有效運用資源及減少廢棄物處理壓力，但仍缺乏誘因。

(七) 為了因應淨零碳排目標及歐盟碳關稅制度，環境部規劃建立「碳費」機制。而日本所提出的綠色轉型(GX)法，是透過民間與政府共同成立 GX 聯盟，將減碳政策目標導入產業中，參與 GX 聯盟企業就自身產業屬性指定減碳目標。當企業減碳成果高於減碳目標時，超出的減碳量可於市場上進行交易，提供減碳成果不足的企業購買。因此，民間企業從經濟成本考量上，以生質燃料取代化石燃料(碳排較高)，自然淘汰化石燃料及提升生質燃料使用意願。我國值得參考日本再生能源推動經驗，與民共同合作朝向 2050 年淨零排放目標。

(八) 實地參訪了西部服務株式會社神戶廠、德山下松港、王子製紙株式會社富岡工廠等，瞭解了相關業者在對於 RPF 製造的來源取得、倉儲管理、風險評估、製成品的檢驗及後續銷售，均有一定規範和標準，而業者本身在產品的要求上也進行諸多的檢測和調整，可彈性調整業者所需的成品組成比例，客製化的方式讓 RPF 更多元更能符合不同業者的需求，這部分亦可提供國內 SRF 相關業者參考。

(九) 生質燃料儲放問題是個非常重要而須嚴格執行的管控的問題，在參訪了運用特殊集裝箱替代了舊有的倉儲管理，不僅運輸機動性更高、相對的產生風險的問題也降低非常多，特殊設計不僅有溫度管控，且櫃體是隔火隔熱的設計，當不小心自燃時，不會去影響到其他生質燃料，大大降低庫存量的存放風險。

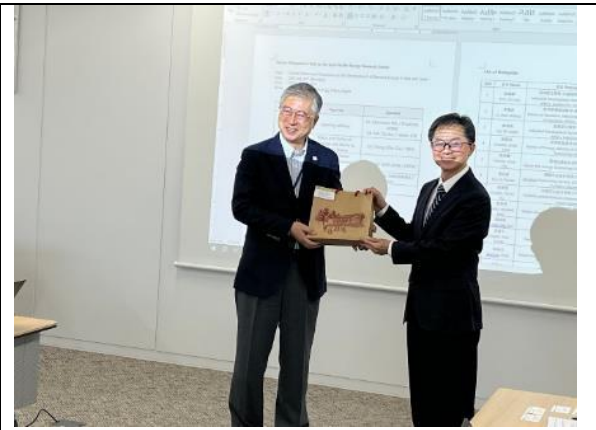
## 二、建議

- (一) 為實現綠色轉型(GX, Green Transformation)，日本政府預計未來 10 年在再生能源之投資將會是過去 10 年的 8 倍以上，而我國相對於綠色轉型之投入，亦建議應加大投資，以利達到淨零碳排政策目標。我國可參考日本 GX 聯盟作法，與民間共同合作推動，提供健全及良性競爭的交易環境，有助於民間企業積極發展再生能源及節能減碳。
- (二) 日本於推動生質能部分，皆以發展國內相關產業為主，尤其於林業資源部分，日本政府考量如不使用，廢棄林被留在森林中，將逐漸腐爛並釋放出甲烷氣體，對推動減碳恐有負面效果，故投入相當多之資源於國內生質能之開發。建議政府可參考相關作法，以提高國內生質料源之開發。而國內發展生質能源，必須提供穩定生質燃料供應環境，參考日本生質能推動經驗，除了對外進口生質燃料，對內應提升生質燃料自給能力。
- (三) 日本為加速再生能源之使用，其 FIT 制度針對以燃煤混燒生質燃料之情形下仍可取得躉購費率，並且視混燒為初始使用生質能源之必要作法，而國內目前生質能源為初始發展階段，但混燒生質燃料仍無法視為再生能源，建議宜參考日本作法，將混燒生質燃料納入躉購，以加速推動國內生質能之發展。
- (四) 我國能源主要以進口為主，與日本類似，故日本之能源政策方向，可作為國內後續能源政策規劃之參考，建議可參採目前日本相關能源政策之規劃，以多元化之再生能源為主，且生質燃料可作為穩定的基載發電使用，並評估混燒氫或氨，以減少對化石燃料之使用。另外，日本經濟產業省指出氫(氨)與生質燃料混燒方式可帶領電力業脫碳轉型，我國亦應持續開發氫(氨)混燒及碳捕捉(CCUS)技術。
- (五) 日本不論在環境、社會與經濟面都非常積極進永續的再生能源發展，其中對於替代化石燃料的問題，政府鼓勵且建議混燒廢棄物燃料 RPF 或生質燃料，惟國內目前對於混燒業者尚未有相關的補助或獎勵，建議可參採日本經驗，納入國內政策推動的另一項指標。

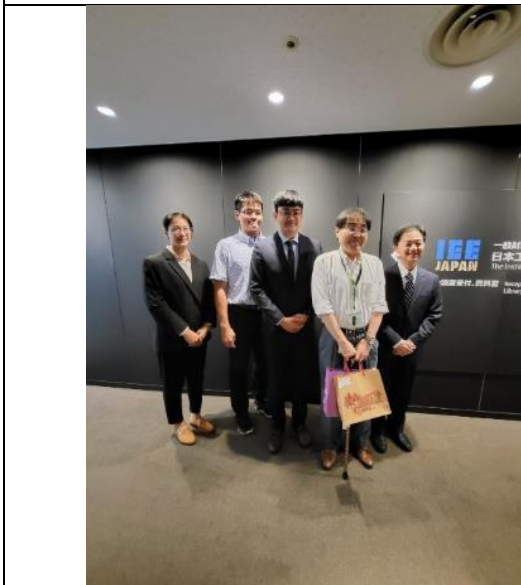
伍、參訪相關照片



拜會亞太能源研究中心



致贈禮物給亞太能源研究中心



拜會日本能源經濟研究所



日本生質能混燒發電 FIT 制度現況與探討研習會—日本木質生質能協會介紹



日本生質能混燒發電 FIT 制度現況與探討研習會—日本有機資源協會介紹



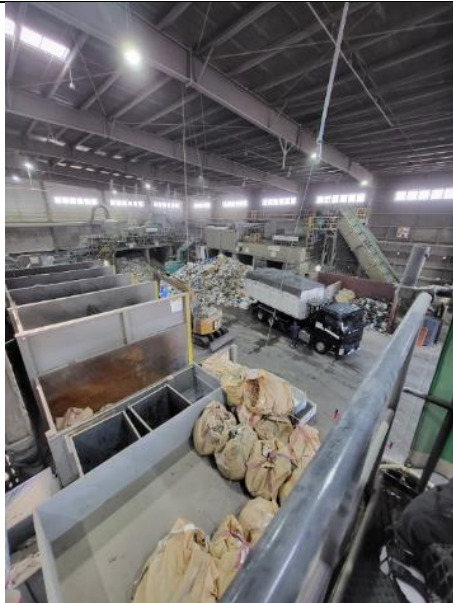
日本生質能混燒發電 FIT 制度現況與探討研習會—沼田 正俊(原日本林野庁長官)介紹



日本生質能混燒發電 FIT 制度現況與探討研習會—阪和株式會社生能能源介紹



日本生質能混燒發電 FIT 制度現況與探討研習會—RPF 協會



西部服務株式會社神戶廠進料流程



西部服務株式會社神戶廠製程設備



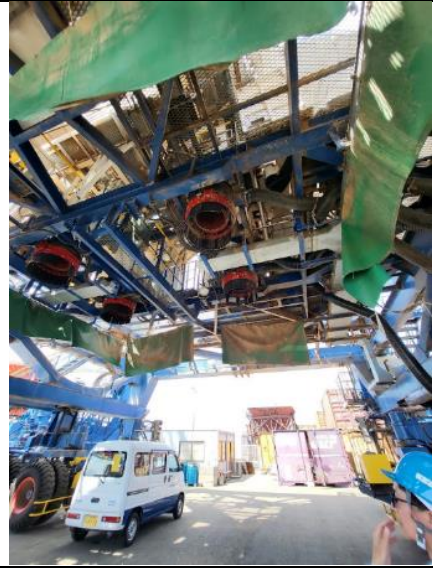
西部服務株式會社神戶廠合影



周南電廠木顆粒載運船



德山株式會社 PKS 儲存區



德山下松港木顆粒卸料機



德山下松港氫、氮儲槽



致贈禮物給德山株式會社



致贈禮物給周南電廠



王子製紙合影