全方位屋頂型太陽光電發展策略

Bin-Juine Huang 黃秉鈞
台灣大學機械系特聘教授、新能源中心主持人
Director, New Energy Center
Professor, Department of Mechanical Engineering
National Taiwan University (NTU)

2018/7/19

內容

一. 解決能源與環保困境的戰略思維

二. 非核三部曲

三. 節電策略

四. 零能建築

五. 平價上網、發電自用與綠能產業

六. 結論

一、解決能源/環保困境的戰略思維

解決能源/環保困境的戰略思維

能源定律： 低能 ＋ 再生能源 ＝ 零能

（節流） （開源）

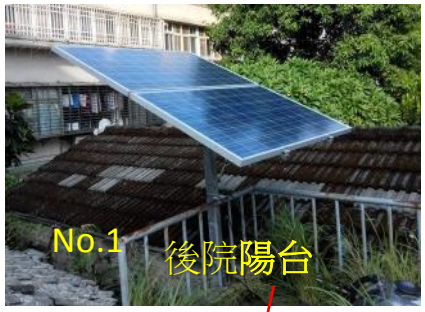
- 不同綠能用於解決問題有先後　太陽能(或單一綠能)不是萬靈丹

綠能: 再生能源、高效利用能源(節能)、廢棄物能源

節能 創能 儲能

實例: 太陽光發電 vs 空調耗電

- 太陽能(1.5kWp) 晴天發電功率0.8~1.2 kW, 日均發電量 4 kWh/day
- 舊冷氣機(耗電0.8kW/EER 2.8), 日耗電 8 kWh/day



1.5kWp太陽光電系統

新舊冷氣機耗電比較

冷氣能力：2.2 kW
耗電功率: 392W
年耗電量：472 度
能源效率比值EER： 5.60 W/W

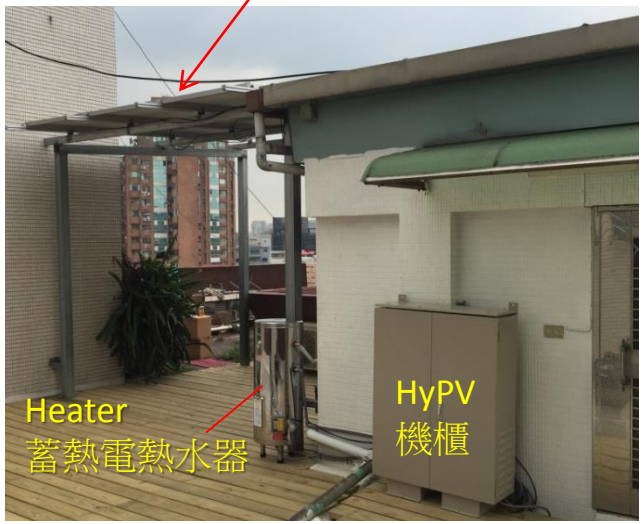
省電53%

項目 \ 型別	SA－L225
額定冷氣能力	2.3kW (2080 kcal/h)
額定電壓頻率	單相 220V 60Hz
額定冷氣消耗電力率 (W)	830
冷氣運轉電流 (A)	3.7
能源效率比值	2.77
起動電流 (A)	28
除濕量 (l/h)	1.3
除塵	特效濾塵網
外型尺寸(cm) (寬x高x深)	寬50 高34 深53
重量 (kg)	30
附屬品	1.安裝鐵架 2.泡棉墊條 3.安裝螺絲 4.排水塑膠管

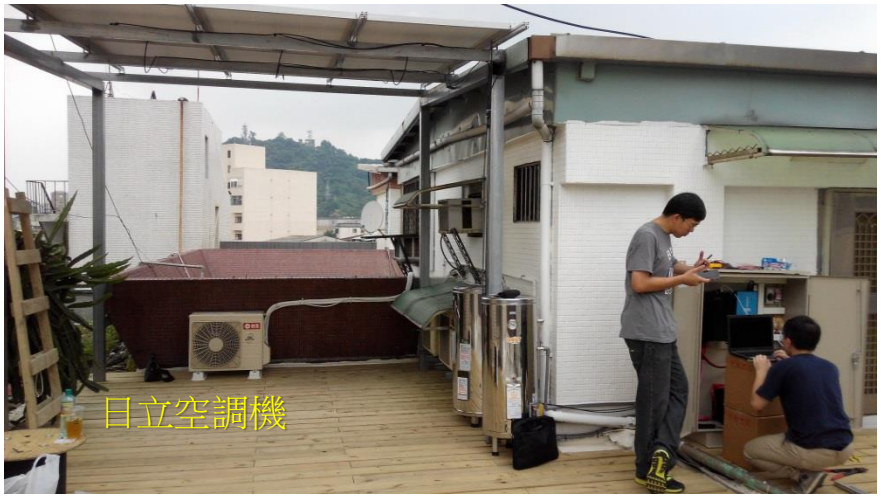
- 每台冷氣機省電0.5kW/台x120萬台/年 = 60萬kW年 (600MW/年) [核電 2,844MW]

Solar home system in an apartment (Taipei City景美)

- Energy saving: retrofit inverter-type A/C reduces energy, from 1.2 kW to 0.56 kW (saving 62%)
- PV installation: 1.5kWp (Li battery 48V/65Ah)
- Thermal storage: electric water heater (1kW, 100L/5kWh)
- PV panels as shading device to reduce heat load



Hitachi A/C 日立空調機機型	冷氣能力 cooling kW	EER W/W	消耗電力 input kW
室內機RAS-28NB 室外機RAC-28NB	2.8 (1.0-3.6)	5.00 (5.00-4.20)	0.56 (0.2-0.72)



Data 運轉記錄	Unit	2015 5/21-8/10	Daily average 日平均
太陽能總供電 PV generation	kWh	258.1	3.19
冷氣總用電 A/C energy	kWh	440.9	5.44
蓄熱器用電(PV) Heater	kWh	46.0	0.57
總負載total load	kWh	486.9	100%
市電供電 grid input	kWh	228.8	47%
太陽能供電 solar PV supply	kWh	258.1	53%
蓄熱提升發電量 increase	kWh	46.0	22%

二. 非核三部曲

非核三部曲沒有撇步(2012)

- 非核三部曲:

[核電供給8% (2017)]

1)空調照明熱水節電(目標30%以上)

2)分散式太陽光電(發電自用、不回售電網)

- 大量裝設太陽光電後，如全部賣入電網，將造成電網不穩成為不定時炸彈 (太陽不穩)，必須發電自用 [德國、中國已出現太陽光電發展瓶頸]
- 電網饋線不足，太陽光電無法送電 [電網強化需鉅額成本與時間]

3)蓄電

- 大量裝設太陽光電後，電網的白天尖載消失，尖載轉移至日落後
- 大量裝設太陽光電或風力發電後，如賣回電網，將造成電網不穩 (風力與太陽輻射不穩)，必須蓄電以穩定電網
- 太陽能替代核電基載需日間儲電供給夜間基載用電

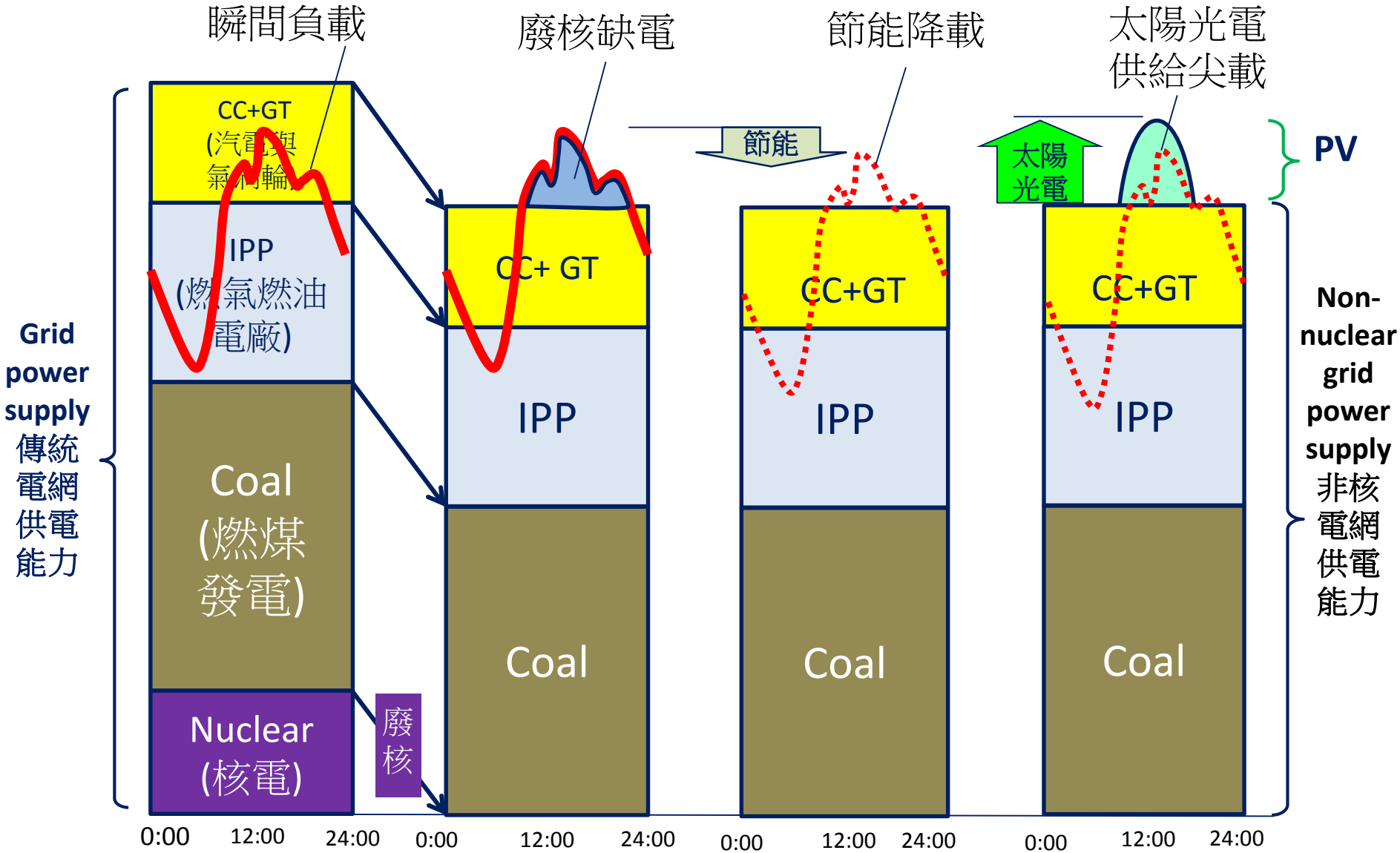
2016/2/18 蔡英文總統參觀林邊光采濕地微電網與零能高腳屋

- 沒節電沒非核家園
  - 太陽光電替代尖載

非核家園

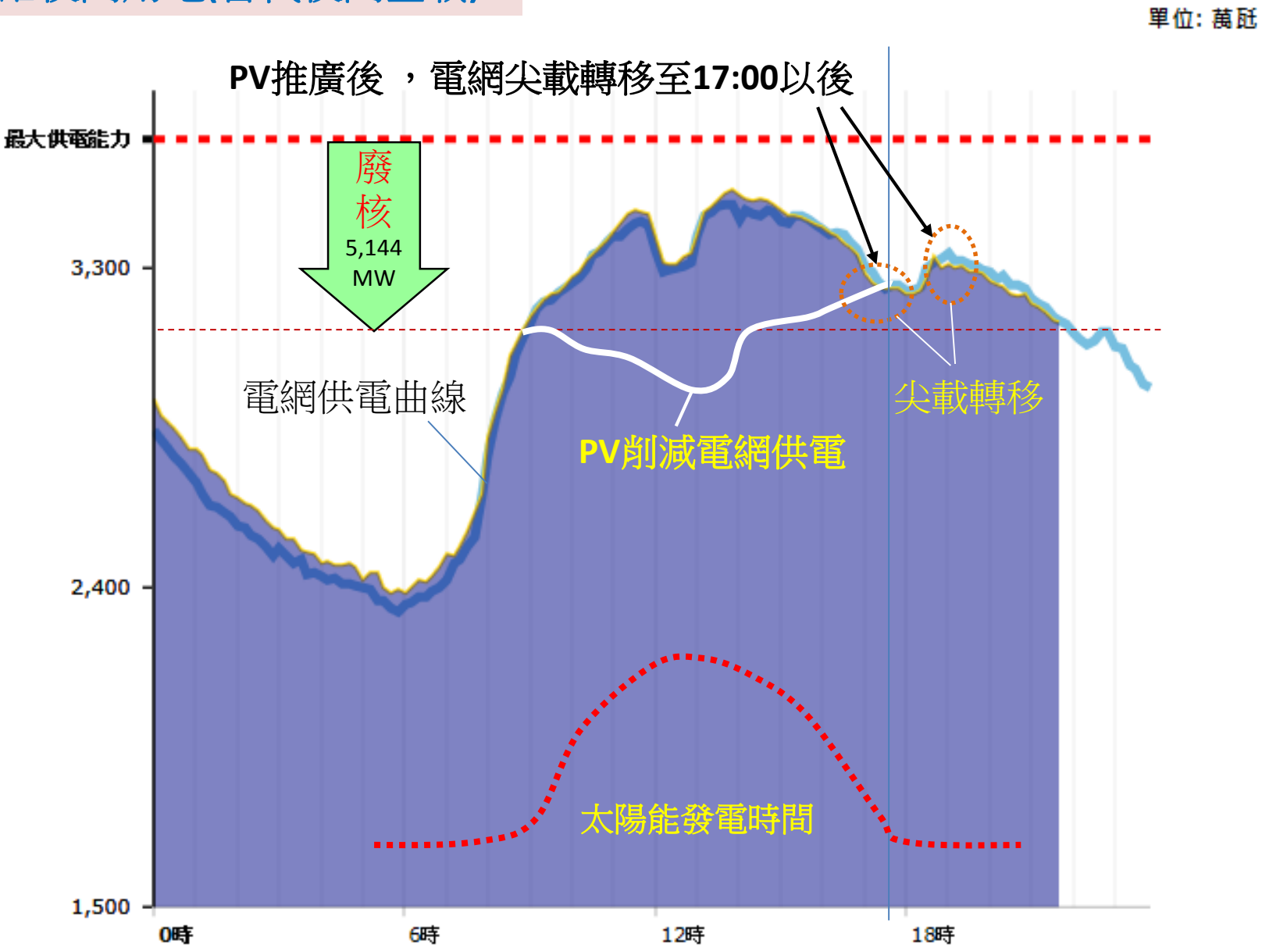
PV替代尖載(白天)

節能Energy saving + 太陽能PV → 非核non-nuclear



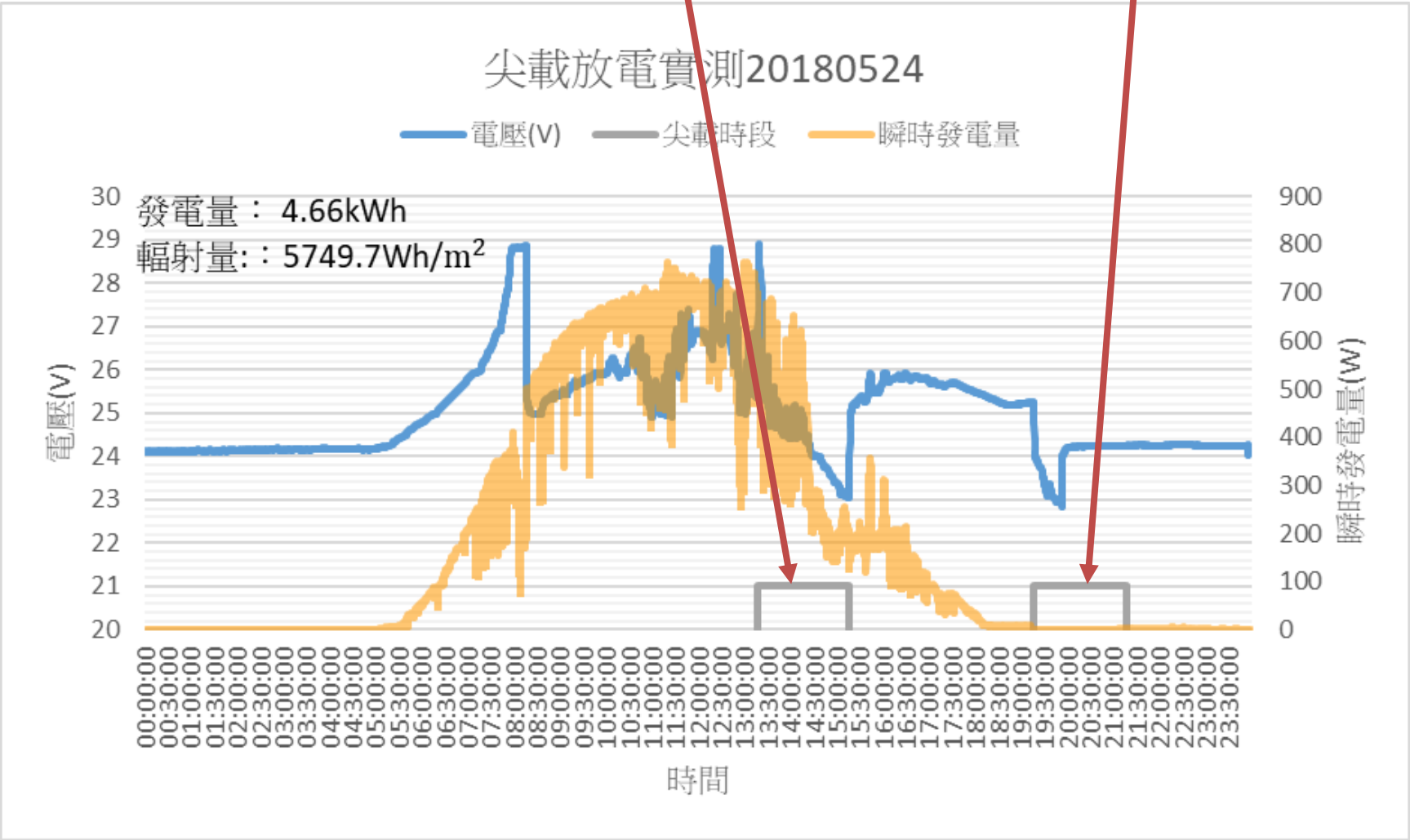
• 沒蓄電沒非核家園

➢供給夜間用電(替代夜間基載)



太陽光電系統的需量反應

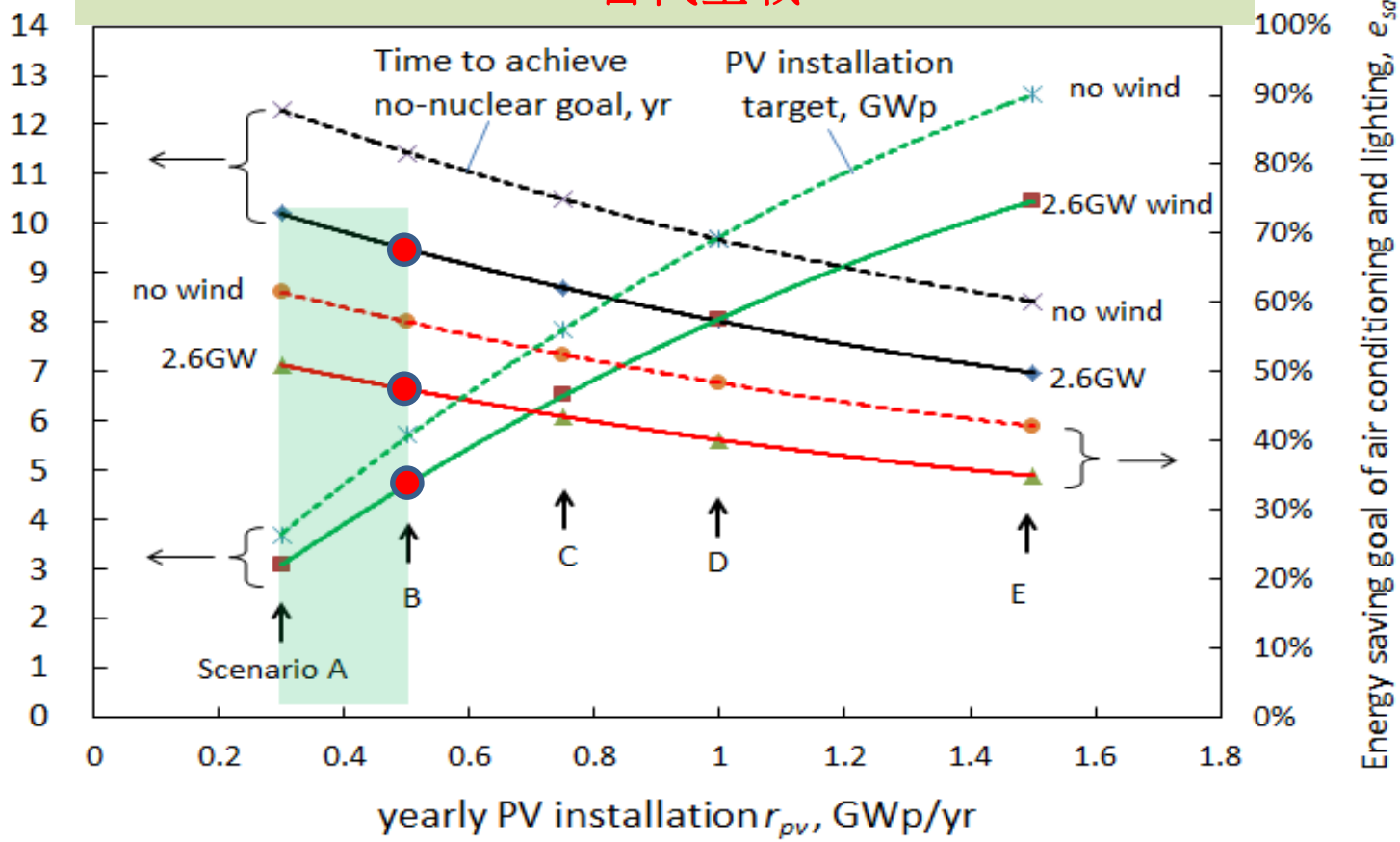
(電網尖載時段放電13:00~15:00, 19:00-21:00)



十年內達成非核家園 [替代核電18%(2012)]

A/C節電47% +太陽光電4,700MWp +2,600MW風能

PV 替代基載



No-nuclear policy : 47% A/C E-saving + 4.7GWp PV + 2.6GW Wind
(9.5 yr @500MWp/y annual PV installation)

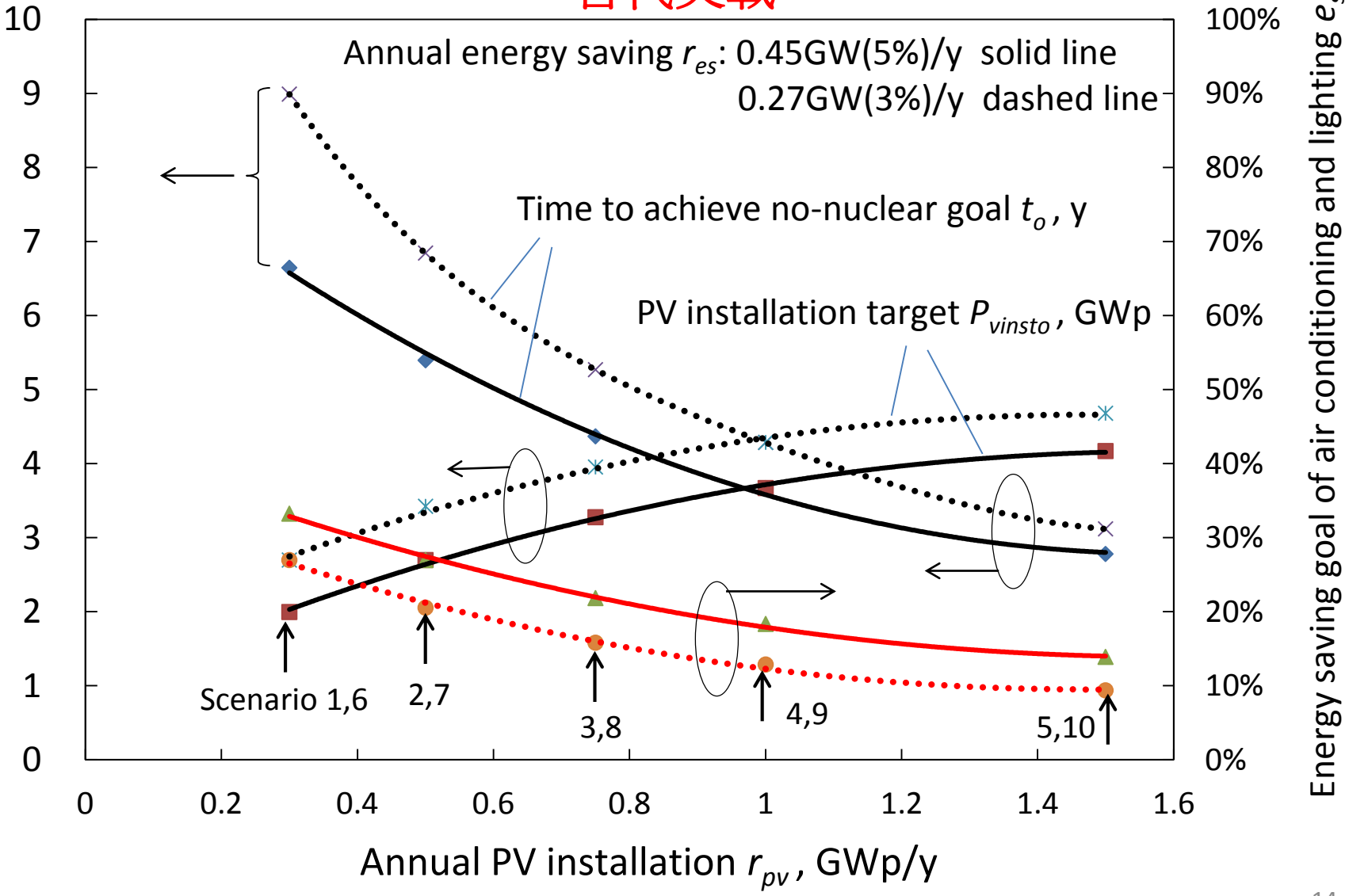
- 如果風能未加入替代核電缺口，節電、太陽光電裝設量都要增加

7年達成非核家園

[替代核電8% (2017)]

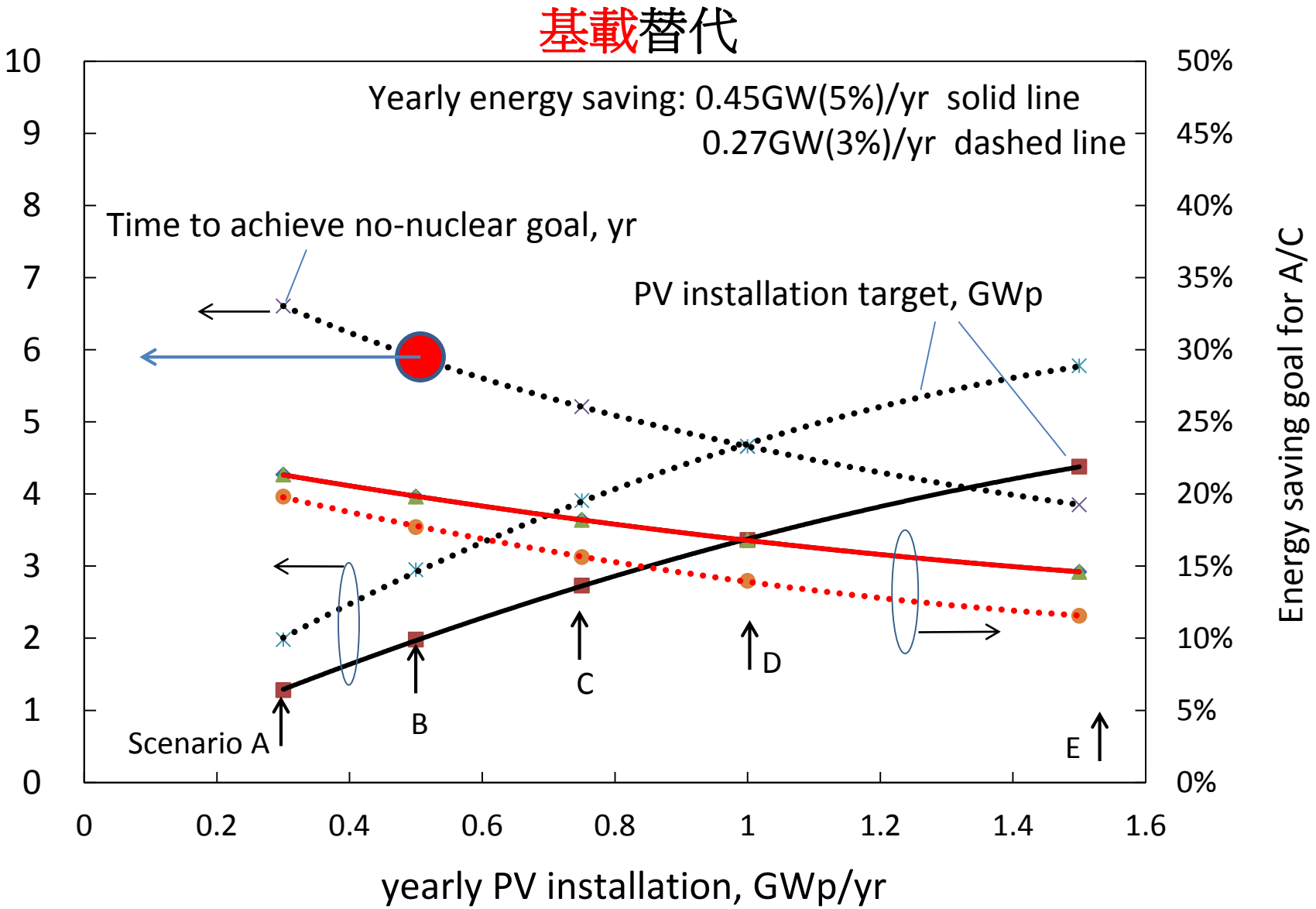
A/C節電30% +太陽光電3,500MWp

替代尖載



6年內達成非核家園 [替代核電8%(2017)]

A/C節電20% +太陽光電3,000MWp +風能2,600MW



不同太陽光電裝設率的五種情境

包含風能2.6GW [替代火力/核電18% (2012)]

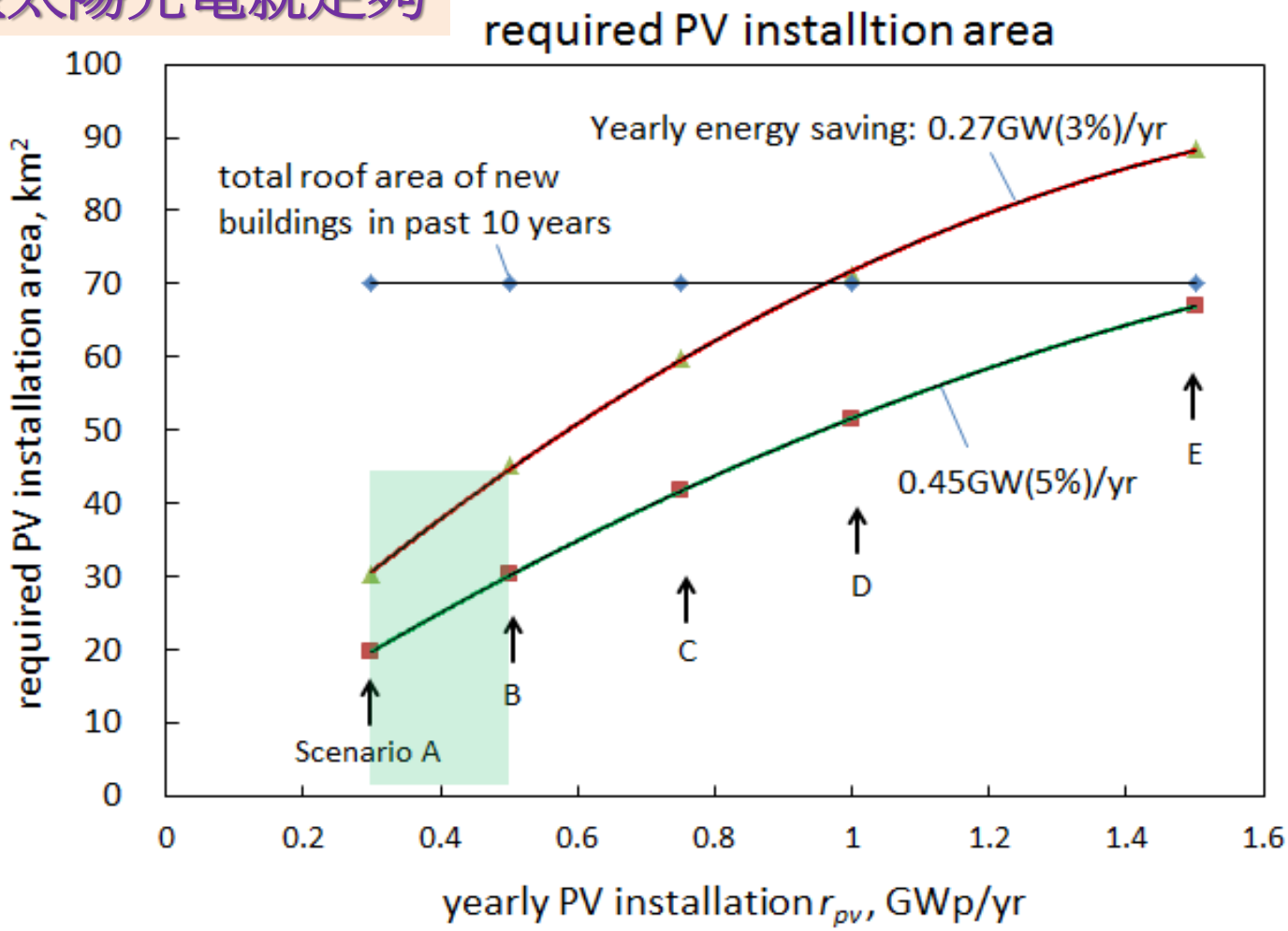
Scenario	Annual PV installation r_{pv}, GWp/y	Energy-saving target e_{save} , %	Time to achieve t_o , yr	Target PV installation W_{pv}, GWp	PV installation roof area, km^2
Wind: 2.6 GW; Yearly energy saving: 0.45GW(5%)/yr					
A1	0.30	51.0	10.2	3.06	19.6
B1	**0.50**	**47.3**	**9.5**	**4.73**	**30.3**
C1	0.75	43.5	8.7	6.52	41.7
D1	1.00	40.2	8.0	8.03	51.4
E1	1.50	34.9	7.0	10.46	67.0
Wind: 2.6 GW; Yearly energy saving: 0.27GW(3%)/yr					
A2	0.30	47.3	15.8	4.73	30.3
B2	0.50	42.3	14.1	7.05	45.1
C2	0.75	37.3	12.4	9.33	59.7
D2	1.00	33.4	11.1	11.14	71.3
E2	1.50	27.6	9.2	13.80	88.3

PV installation area 安裝面積 OK!

10年新建築總基地(屋頂)面積70km^2

[替代核電+火電 18%]

屋頂型太陽光電就足夠



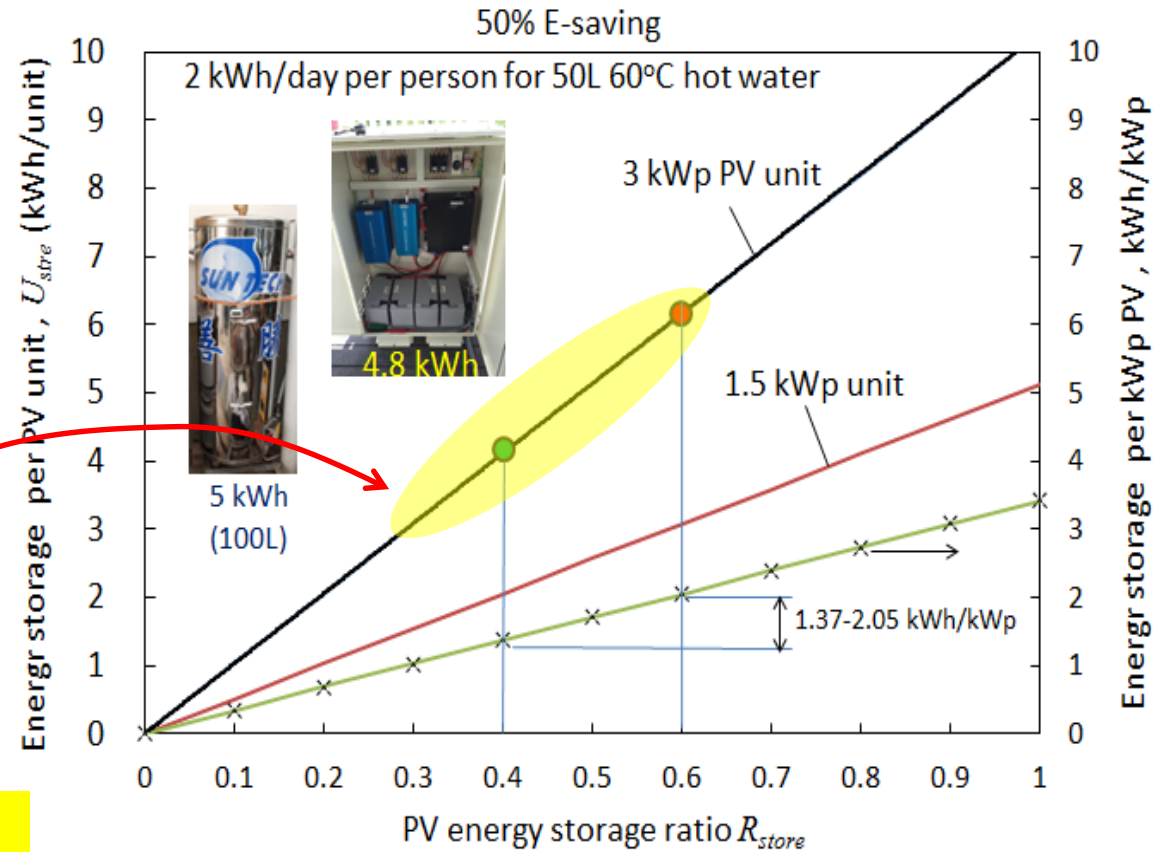
立法: 新建築近零耗能 (非核家園十年內可達成)

PV替代基載需蓄能

[替代核電+火電 18%]

Required energy storage for PV to replace base load

蓄電需求 battery storage: 4.1 kWh per unit (Rs=0.4) 1.5 kWh/kWp PV



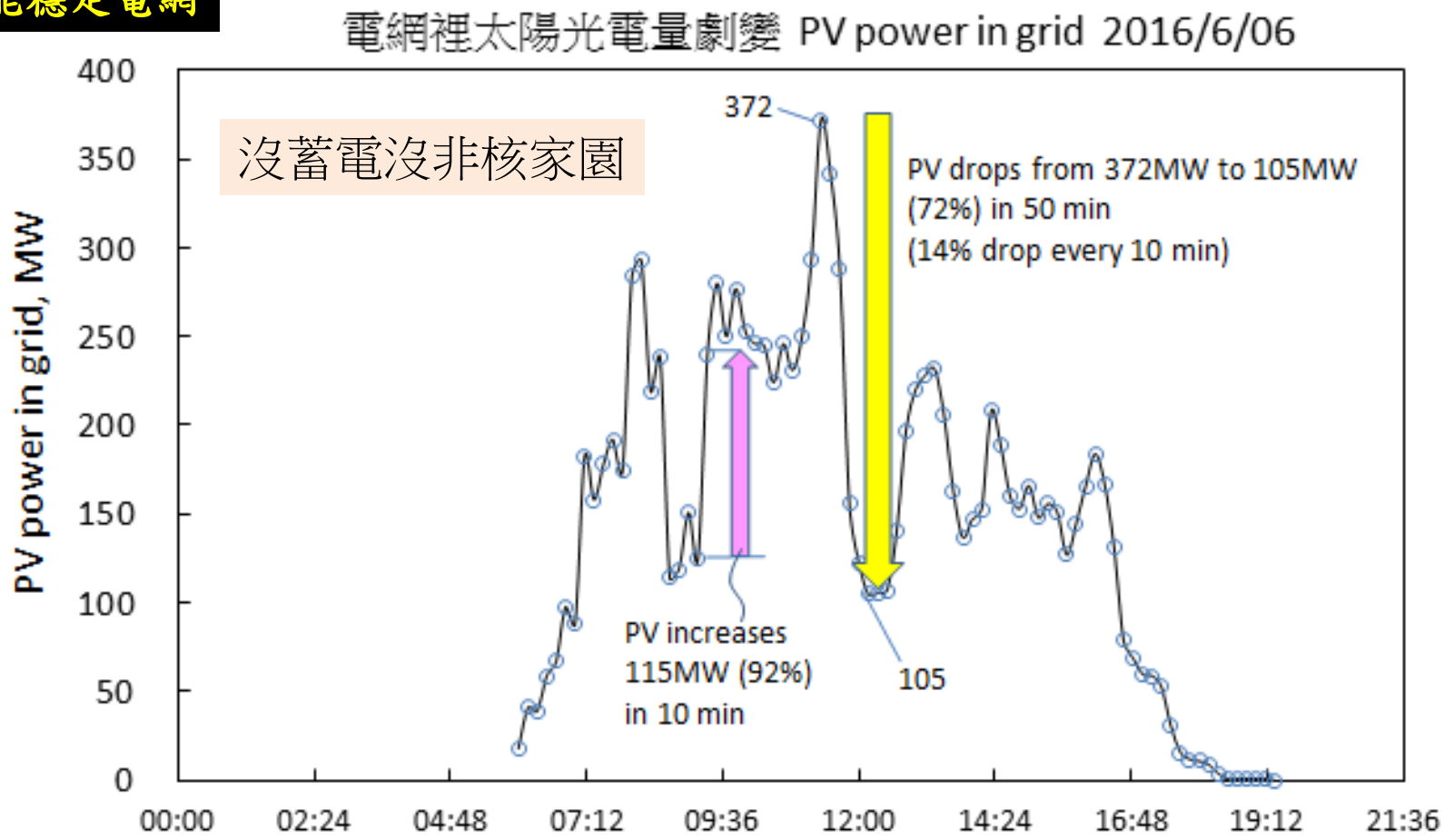
Hot water consumption
台灣每戶熱水耗能: 3-6 kWh/day

每戶蓄電 0.0-4.1 kWh; [4 kWh **Li-bat:** 成本 2,400USD; 600 USD/kWh]
蓄熱 4.1-0.0 kWh [100L 70°C 蓄熱5 kWh; 成本USD300, 60USD/kWh]

Li-battery cost 6-10 times of heat storage !

大量太陽光電成為電網不定時炸彈

需蓄能穩定電網



PV power drops from 372MW to 105MW (72%) in 50min (14% per 10 min)
If PV installed 20GWp (2025), it means 2,800MW per 10 min.

日全蝕 Germany experience: 2015/3/20 10-11AM PV power drop 7,000MW/h or 53% (9% drop in 10 min) (1,200MW per 10 min) @140GW total

台電電力調度現況: 夏季尖離峰差 12GW/12h (假設升降各半)
= 1,000 MW/h (每10分166 MW)

三. 節電策略

空調耗電

- 夏季尖載　36 GW
- 空調耗電　9~10 GW (佔25~30%)

• 非核策略的重點: 空調照明節電
- 空調 照明 熱水耗電最大，是節電重點

- 37.4%全國電能用於住商部門(2016)，其中空調與照明佔70%
- 即，空調與照明耗能佔全國總電能26% + 熱水4% ➔ 30%

Ref: 建築節能應用技術手冊。
台灣綠色生產力基金會(2013)

- **如空調照明熱水節電30%， 即可降低電網負載9% (目前核電佔8%)**

節電潛力

- 核電佔全國電力總供給約8% (2017) [2,844MW]
- 節電目標30%(住商為主)
  - 空調與照明節電30%: 9% (電力總供給百分比)
  - 家庭熱水節電一半: 2.3% (電力總供給百分比)

合計節電 11.3%

- 廢核缺口: 8% - 11.3% = -3.3% (多餘電力)

如再生能源供電佔5%(2025)，還可增加8.3%供電能力

節能優先次序

- 台灣產業節能已達世界一流，節能空間有限
  - 能源成本佔公司營業額 1~5% [能源局產業節能標竿獎選拔活動的田野調查數據]

產業界擁有技術、人才、資金與管理

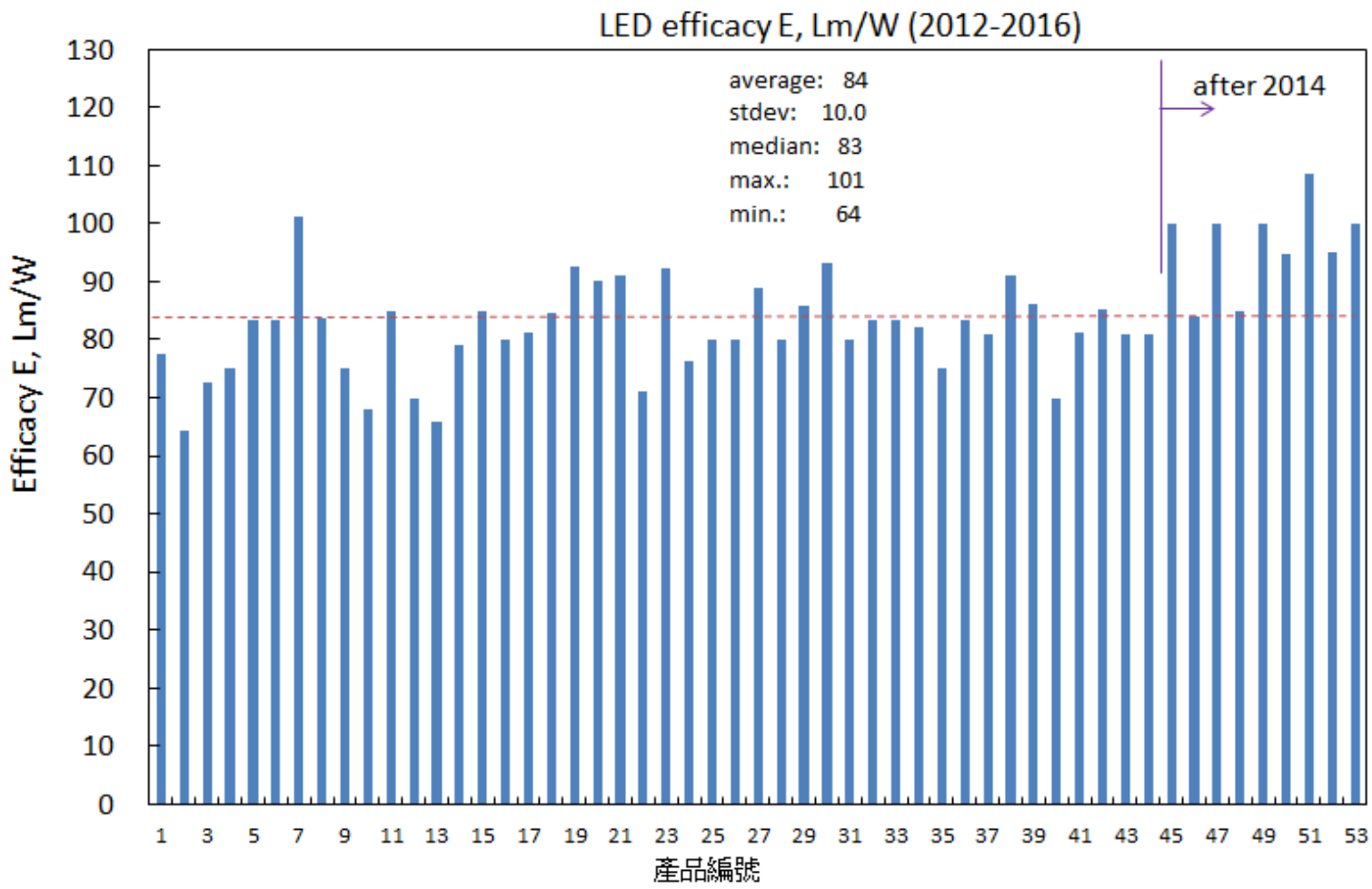
- 最有潛力的節電以**住商部門**為主:
  - 空調與照明用電: 佔電力總供給 26% (綠基會調查)
  - 家庭熱水用電: 佔電力總供給 4.7%

住商空調節電30%的可行性

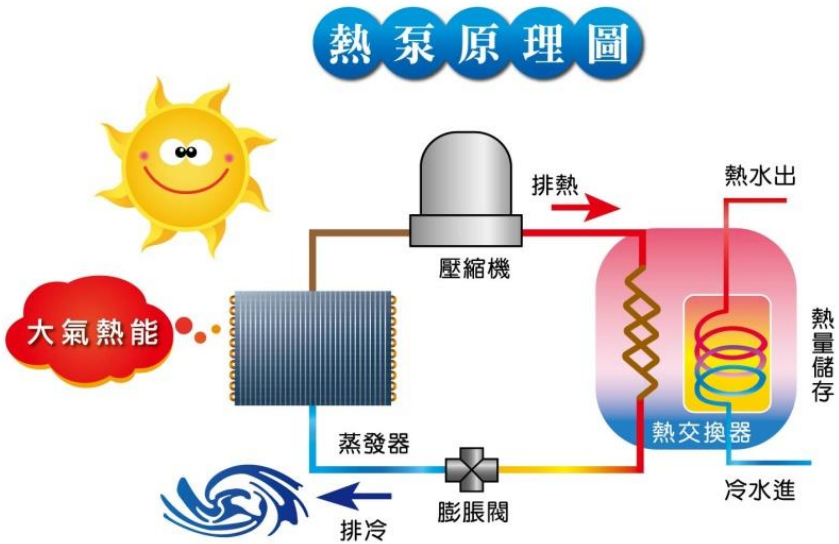
- 全國家用空調機安裝數量: 約3,000萬台
  (平均每戶2~3台)
- 每年空調機更新: 約120萬台 (市場銷售量)
  (全部更新一次要三十年)
- 使用中的老舊空調機(>10年): 至少2,000萬台
  [如更換現今高效機種可省電一半以上]

- 策略: 給予補助 鼓勵提早更新並回收舊機
  - 以平均每台節電0.5kW計，兩台省電1 kW
    [120萬台/年 x 0.5 kW/台 = 省電 600MW/年]
    核電總供給(2018) 2,844MW
  - 發電廠建廠成本: 6萬元/kW

LED照明可省電>50%


LED efficacy E, Lm/W (2012-2016)
average: 84
stdev: 10.0
median: 83
max.: 101
min.: 64
after 2014
Efficacy E, Lm/W
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41 43 45 47 49 51 53
產品編號

熱泵熱水器節電70%



四. 零能建築

節電+太陽光電 用於辦公室示範(D-1)

台大機械系辦公室(150平米/15人)

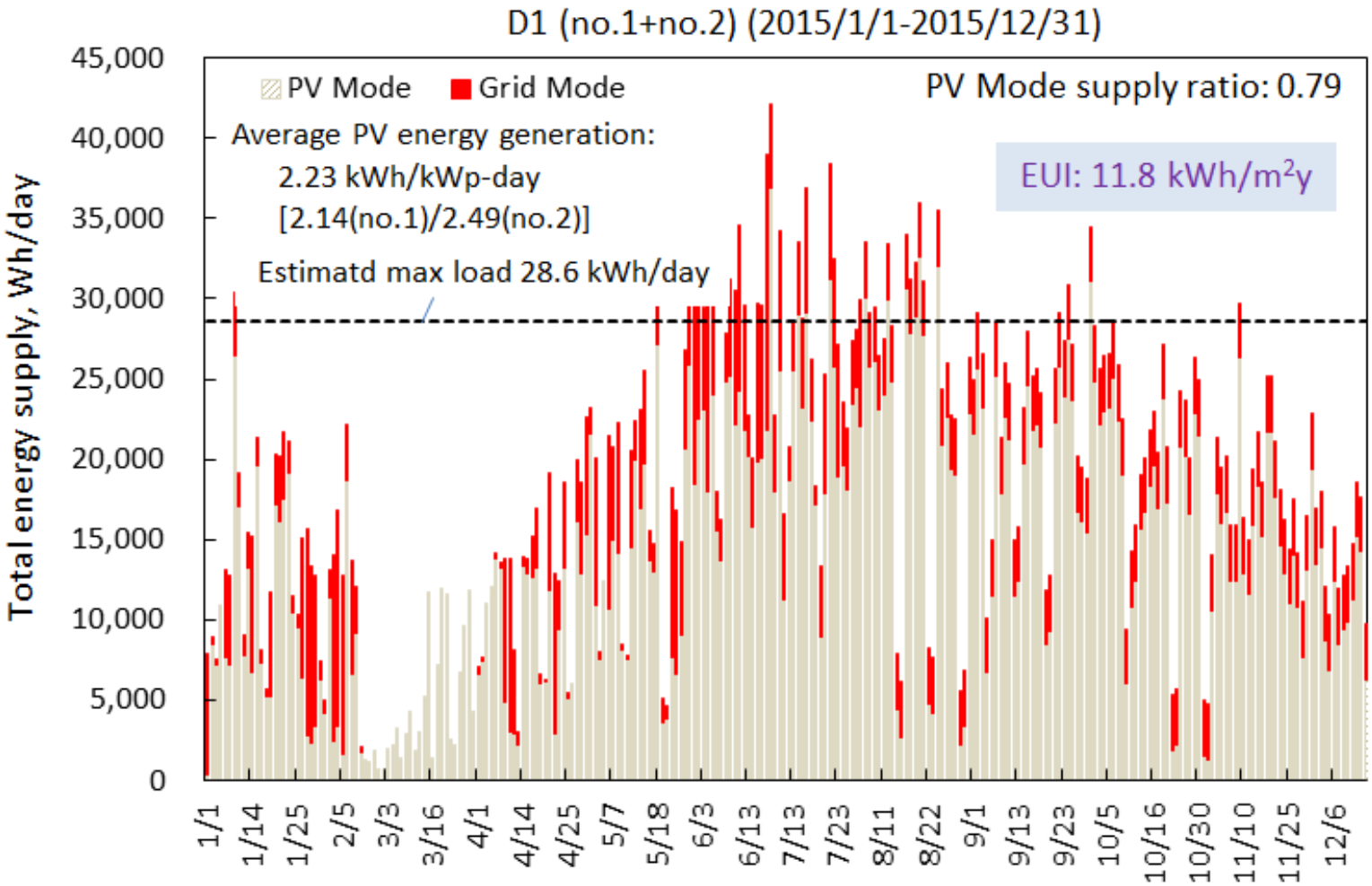
- 主被動節能(更換高效空調機與LED，玻璃窗貼抗紅外輻射膜)省電60%
- 桌電改筆電，省電10%，合計省電70%
- 裝設6kWp太陽光發電系統(含蓄電池2.88kWh)省電20%，合計省電90%
- 完成前每月電費10,388元(商業用電)，完成後每月電費593元(省94%)

Office, Department of Mech. Eng., National Taiwan University
台大機械系辦公室節電示範 (installed July, 2014)

改善前				改善後			節能量
	舊設備	耗電功率, kW	日耗電量, kWh/day	更新設備	耗電功率, kW	日耗電量, kWh/day	
(1)空調							
辦公室	分離式冷氣機一台: 製冷量 7.3kW, COP 2.92	2.5	20	分離式空調機五台(Hitachi RAC 22NB): 製冷量 2.2kW, COP 5.7	2	16	
	窗型冷氣機一台: 製冷量 5.8kW, COP 2.9	2	16				
會客室	窗型冷氣機一台: 製冷量 5.8 kW, COP 2.9	2	16	分離式空調機一台(Hitachi RAC 22NB): 製冷量 2.2kW, COP 5.7	0.4	3.2	
	空調耗能	6.5	52		2.4	19.2	63%
(2)照明							
辦公室	崁入式 T8 日光燈(47W) 26 組	1.222	9.8	崁入式 T8 LED 燈(30W) 20 組	0.60	4.8	
會客室	崁入式 T8 日光燈(47W) 4 組	0.188	1.5	崁入式 T8 LED 燈(30W) 4 組	0.12	0.96	
	照明耗能	1.41	11.3		0.72	5.76	49%
(3)電腦							
辦公室	13 部桌電, 150W each	1.95	15.6	13 部筆電, 30W each	0.39	3.12	
會客室	2 部桌電, 150W each	0.3	2.4	2 部筆電, 30W each	0.06	0.48	
	電腦耗能	2.25	18		0.45	3.6	80%
	空調、照明、電腦總耗能	10.16	81.3		3.57	28.6	65%
(4)窗戶隔熱膜節電, kWh/day						4	5%
(5)太陽光電系統(5.88kWp)節電, kWh/day						16.4	20%
淨耗能			81.3			8.2	90%

註: 每日運轉 8 小時

Long-term test results



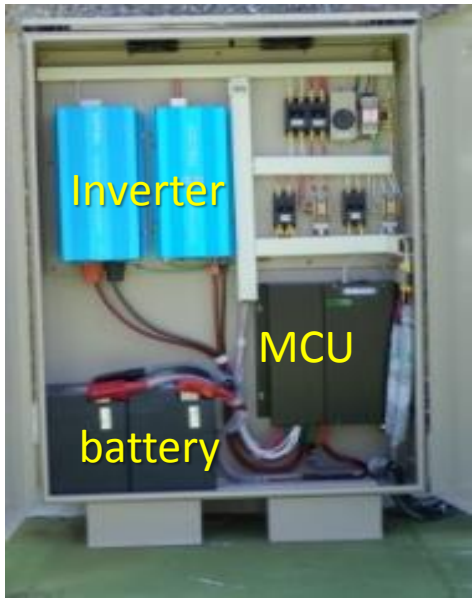
Energy Utilization Intensity 建築耗能指標

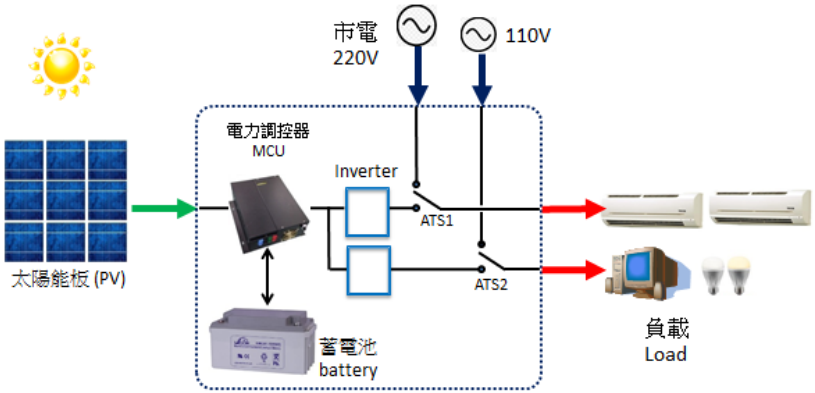
EUI = 11.8 kWh/m²y (145 kWh/mon)

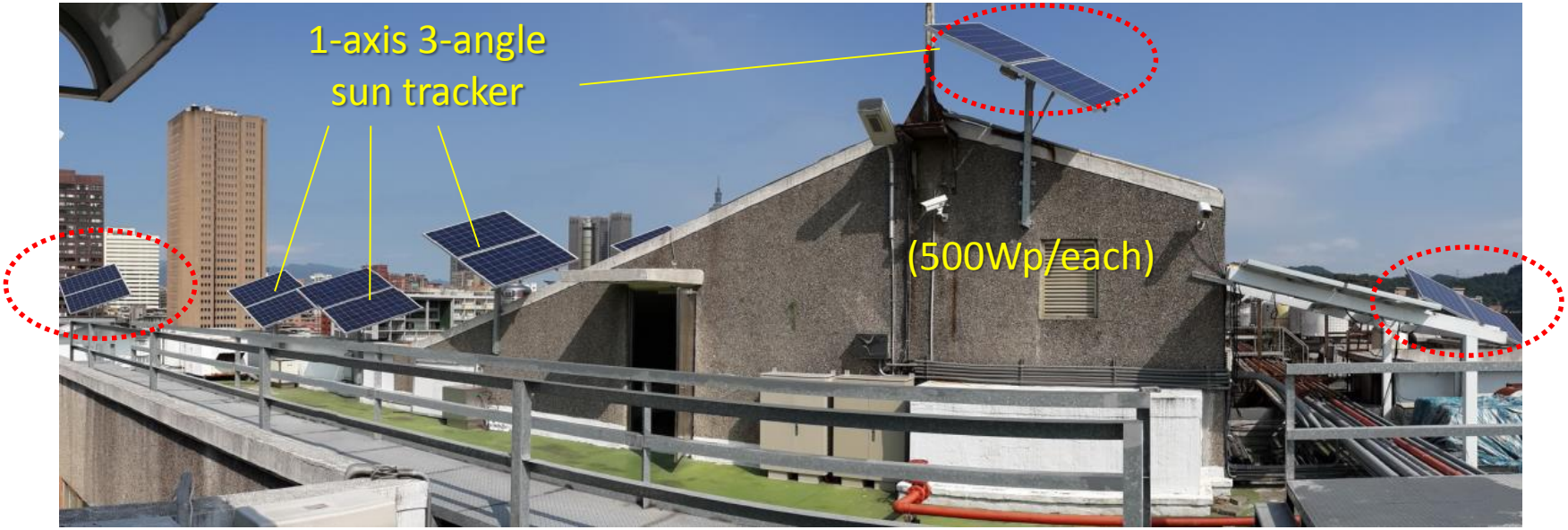
[類似建築EUI: 100-200 kWh/m² y]

Near Zero-Energy !

3 kWp 光伏 Solar PV (hybrid PV) x2

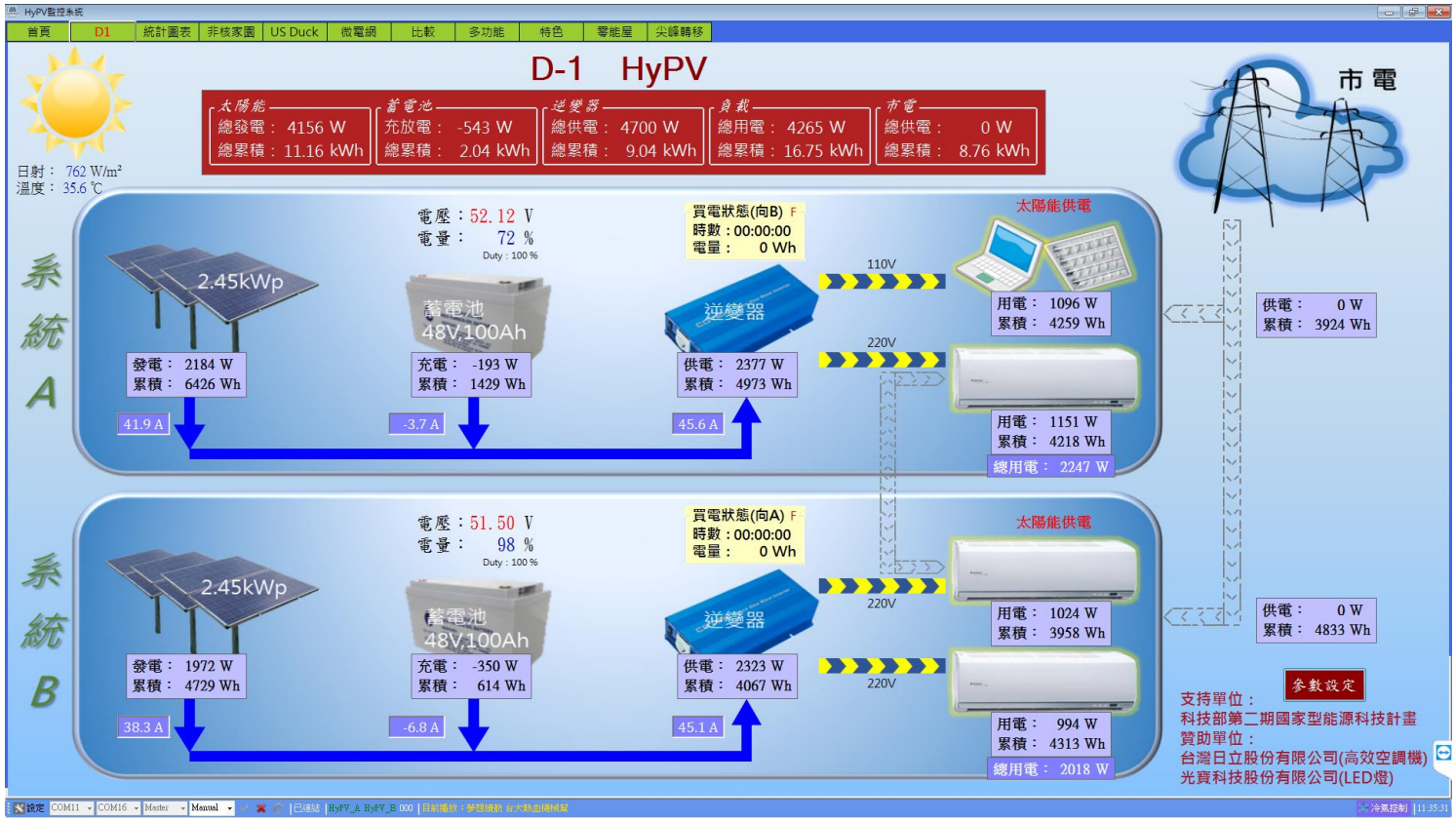


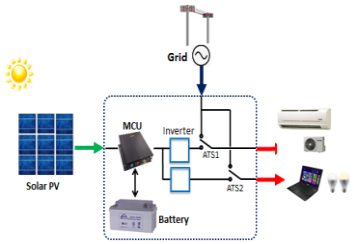


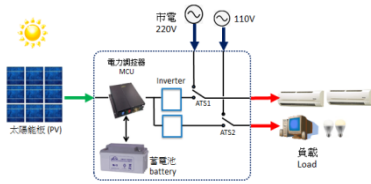


6 kWp Solar PV

尖載時段放電(需量反應)







經濟效益 Economic figure

用電時間: 每天8小時，每月22天		改善前		改善後(台北)			改善後(台南)		
		負載功率 (kW)	每日耗能 (kWh/day)	負載功率 (kW)	每日耗能 (kWh/day)	節省量	負載功率 (kW)	每日耗能 (kWh/day)	節省量
辦公室總耗能(空調、照明、電腦)		10.16	81.3	3.57	28.6	65%	3.57	28.6	65%
窗戶隔熱膜節電 (kWh/day)		-		4.0		5%	4.0		5%
太陽光電系統節電(kWh/day)		-		16.4		20%	23.6		29%
每日淨耗能 (kWh/day)		81.3		8.2		90%	1.0		99%
節能設備更新效益 (A)	月用電(kWh/mon)	1,788		540		70%	540		70%
	平均電價(NT/kWh)	5.78		4.7			4.7		
	月電費(NT/mon)	10,338		2,540		75%	2,540		75%
太陽能節電效益 (B)	太陽能發電(kWh/mon)	-		359			518		
節能設備更新效益(A) + 太陽能節電效益(B) (A)+(B)	市電月用電(kWh/mon)	1,788		181		90%	22		99%
	平均電價 (NT/kWh)	5.78		3.27			3.27		
	市電月電費(NT/mon)	10,338		593		94%	72		99%
	總節電量 (kWh/mon)	-		1,607		90%	1,766		99%
	總節省電費 (NT/mon)	-		9,745		94%	10,266		99%
	20年總省電 (NT)	-		2,338,695		94%	2,463,859		99%
	初期總投資 (NT)	-		906,400			906,400		
	年投資報酬率 (%/y)	-		7.90			8.59		
	回本時間 (y)	-		7.8			7.4		
耗能指標Energy Utilization Intensity EUI (kWh/m²y)		101		10.3 (2015實測11.8)			1.2 (~零能)		

台大機械系104年(2015)因這項改善措施使自付電費減少40萬元，如果合併計入節電效果，約兩年半可回本。

Zero-energy House (台大)

Zero-Energy House

Passive design 被動節能

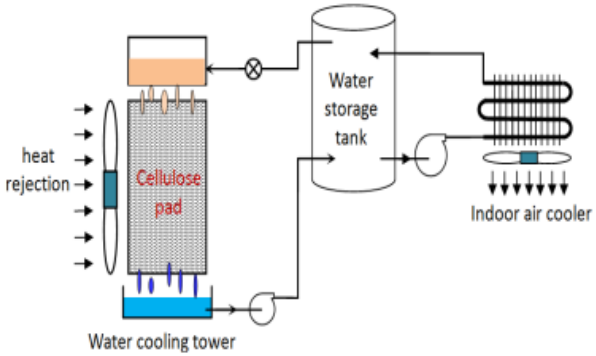
- Vacuum insulation panel (VIP)
- Low-E double glass window
- Ventilated sun shade
- plastic window
- Architecture

Renewable energy

- Hybrid PV
- 1A-3P sun tracking PV
- Battery

Active design 主動節能

- PV-driven air conditioner
- Fresh air exchanger
- Smart control
- Spot cooling
- Water cooling system
- LED lighting
- Heat pump



Test result of ZEH-1 (16m^2)

energy consumption 0.3 kW

2011	Measured	Simulation
	Average power (kW)	Average power (kW)
10/6	**0.319**	0.363
10/18	**0.272**	0.291
10/19	**0.243**	0.424

- **Energy consumption from 2,900W → 320W**
- **It is very easy to add small solar PV to supply 320W to reach zero-energy.**

嘉義市千屋計畫
（近零能屋）

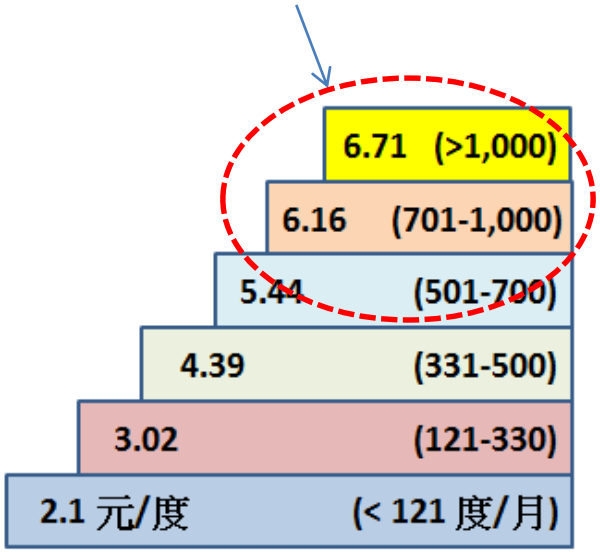
- **目的**
  - 對市民採取主動服務與全方位綠能輔導(包括節能與再生能源利用) [**綠能服務團**]
  - 完成小區域全方位綠能應用試辦(千屋)，估算節能成效，推估如何擴大以達成非核家園目標
  - 瞭解獎勵補助內容如何改進，以利於迅速推動全方位綠能應用
- **綠能技術內容**
  - 節能，包括高效率製冷空調、照明、家用熱泵；
  - 再生能源，包括自用型太陽光發電(含蓄電)
  - 儲能系統

五.平價上網、發電自用與綠能產業

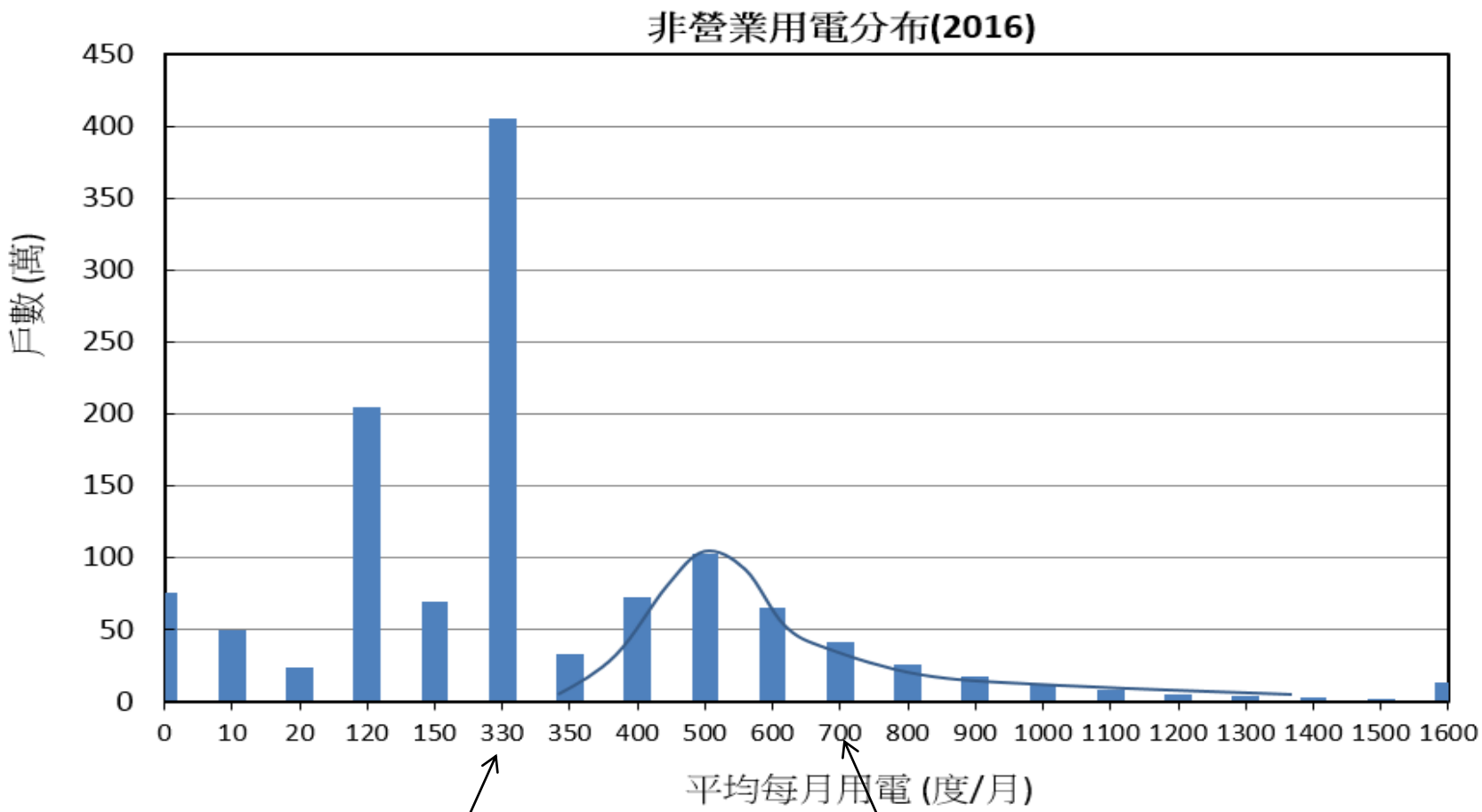
太陽光電成本每度3~6元台幣 貴嗎?

- 不同面向，不同結果

1) 電網端(發電業者 : 售電) → 貴
2) 電力用戶端: 發電自用 → 便宜 (平價上網)
3) 替代核電的社會效益
4) 緩和環境污染的社會效益



2016年非營業用戶用電分佈(1200萬戶)



電價>3.52 (元/度)

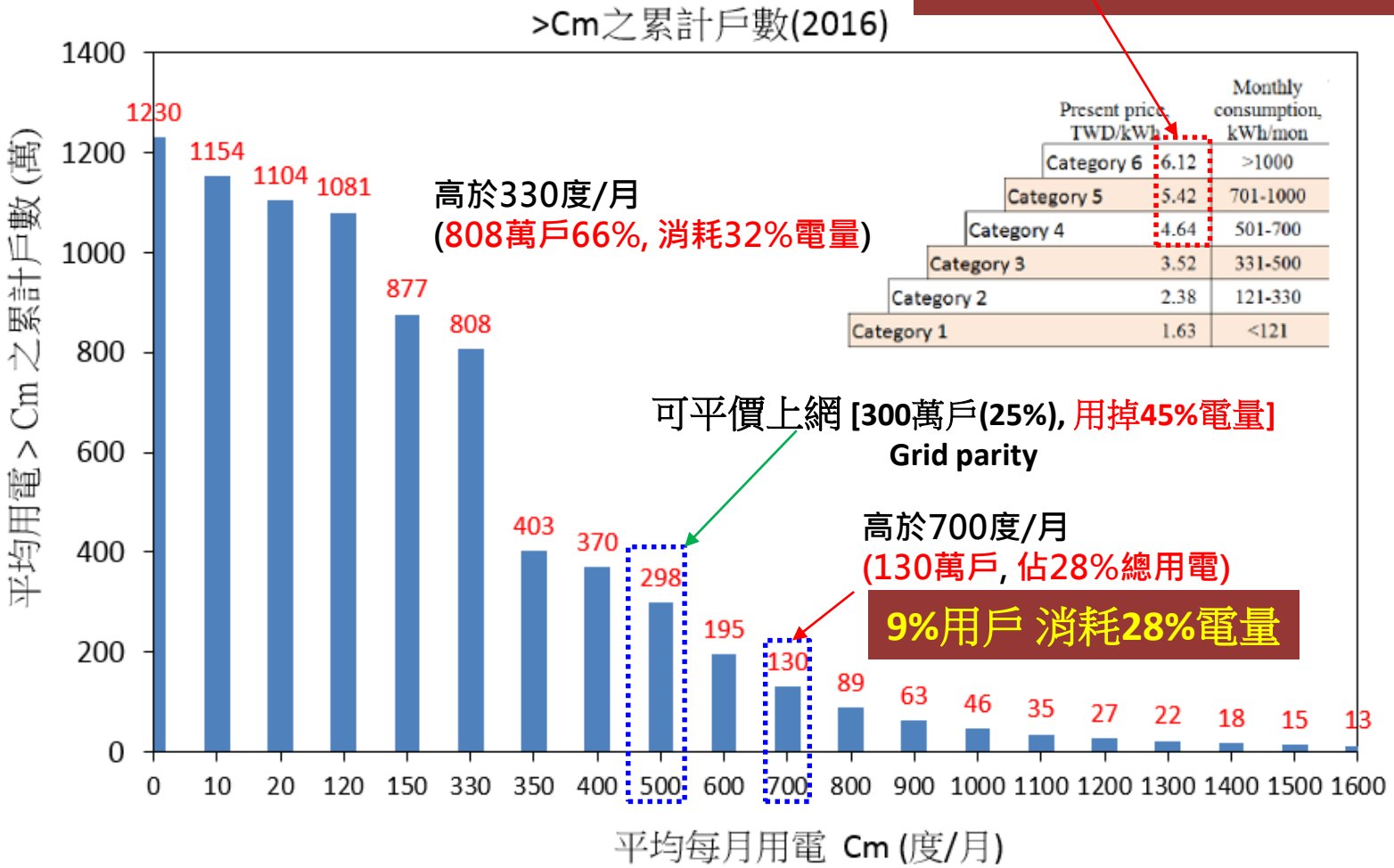
高於330度/月
(808萬戶, 佔68%總用電)

>5.42元/度

高於700度/月
(130萬戶)

2016年非營業用戶用電分佈(1200萬戶)

太陽光發電成本 3~6元/度

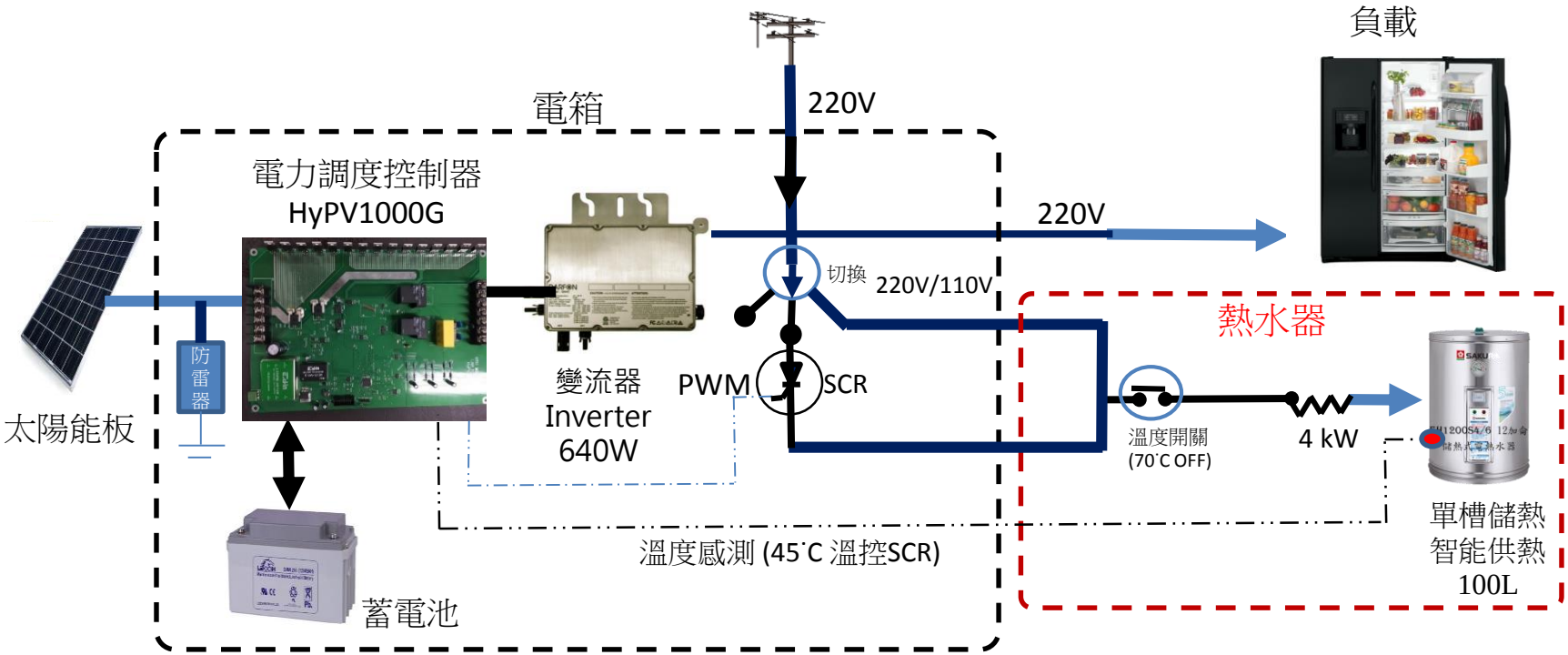


	Present price, TWD/kWh	Monthly consumption, kWh/mon
Category 6	6.12	>1000
Category 5	5.42	701-1000
Category 4	4.64	501-700
Category 3	3.52	331-500
Category 2	2.38	121-330
Category 1	1.63	<121

•太陽光電替代20~30%自用電(屬高單價市電)有經濟效益！

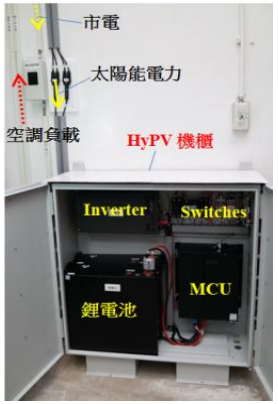
雙儲能併網自用型太陽光電熱水器

- 發電自用、不回售電網
- 雙儲能(儲電與儲熱)
- 全天候智能供熱水
- 電網尖載時段放電(需量反應)

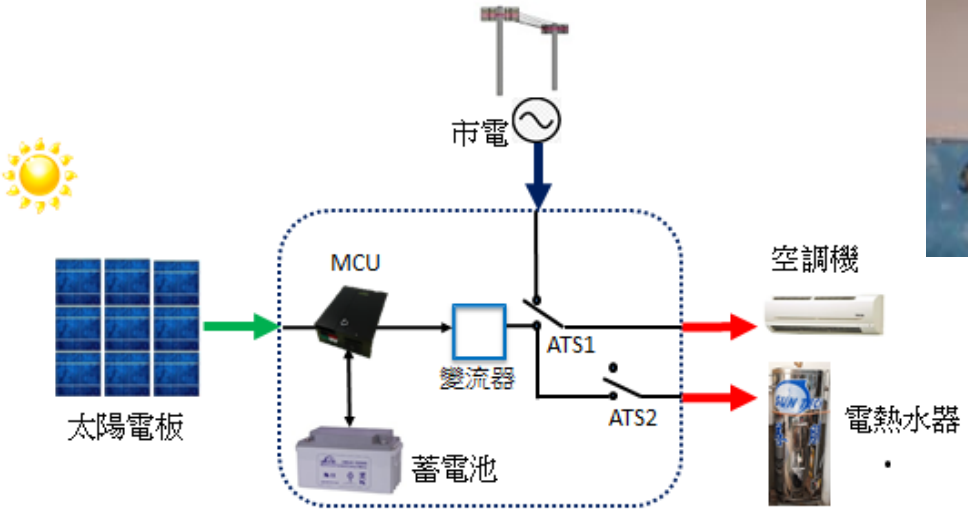


太陽能替代基載必須蓄能

- 蓄熱也可

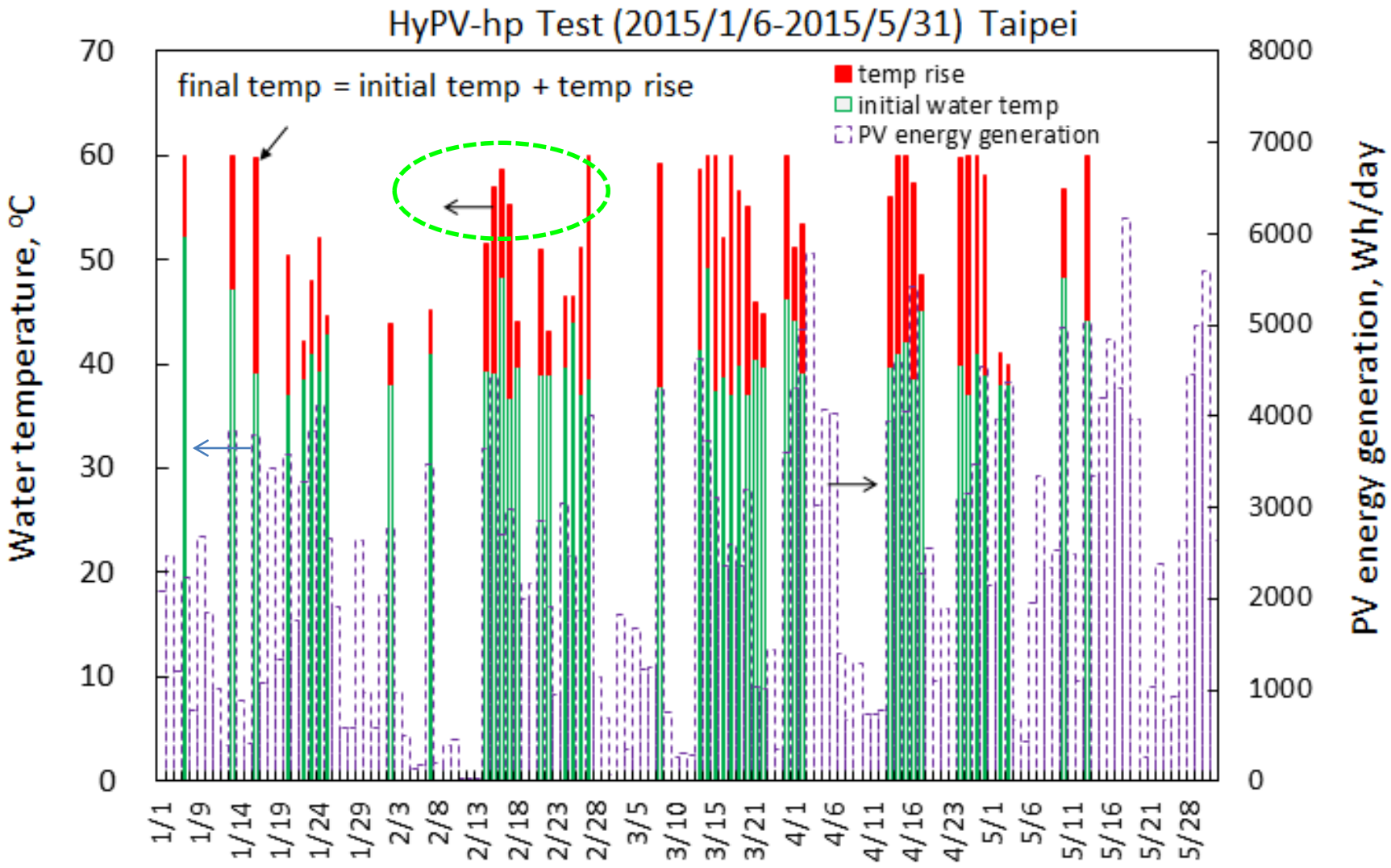


NTU Demo D-3
台大示範系統D-3(溫州街)



Hitachi A/C 日立空調機機型	冷氣能力 cooling kW	EER W/W	消耗電力 input kW
室內機RAS-22NB 室外機RAC-22NB	2.2 (1.0~3.2)	5.60 (5.60~4.50)	0.39 (0.18~0.71)

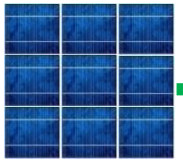
- 光伏替代15%用電 PV supplies 15% load at highest grid price (6.71 NTD/kWh - 20 cents USD)
- 多餘太陽電力蓄熱 Excess PV energy stored as heat



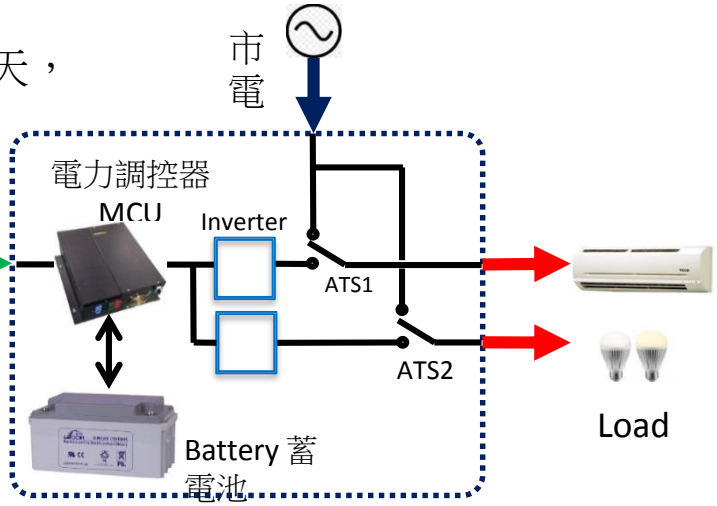
大甲幼獅工業區廠辦太陽能空調與照明

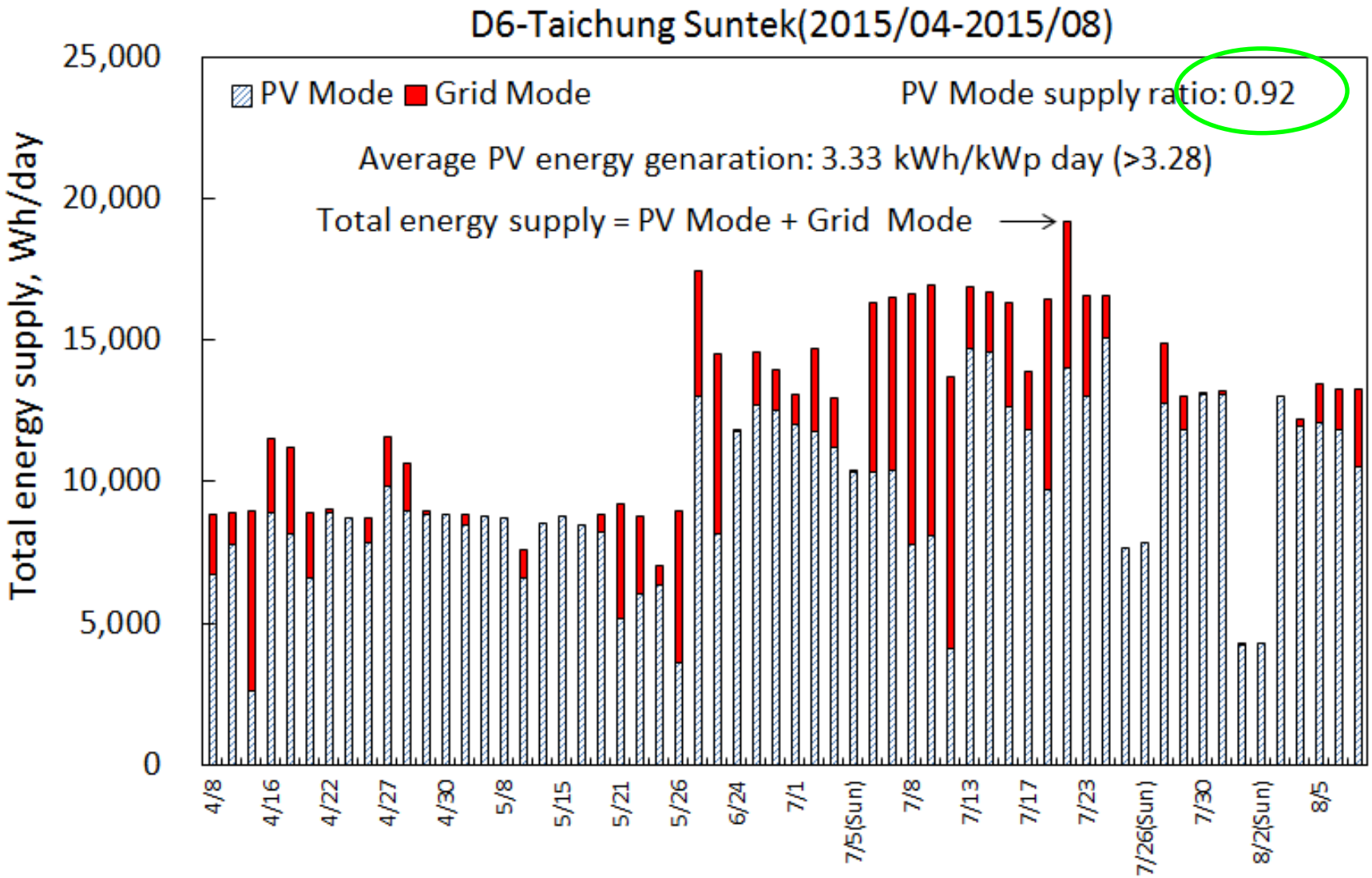
- 節電: 換高效空調機節電50% (由1.2 kW 降至0.6 kW)
- 太陽能板裝設量: 2.94kWp
- 發電能力: 每日3.29kWh/kWp (1,200kWh/年-kWp)
- 日平均發電量: 10 kWh/day
- 日最高發電量: 15 kWh/day (晴天最高值)
- Li蓄電池: 1.44 kWh
- 負載: 產線照明耗電1kW (8.5kWh/天)，辦公室空調耗能7kWh/天，合計15.5kWh/天 [發電自用]

Hitachi A/C 日立空調機	冷氣能力 cooling kW	EER W/W	消耗電力 input kW
室內機RAS-36NB 室外機RAC-36NB	3.6 (1.0-4.3)	4.30 (5.00-3.65)	0.83 (0.2-1.18)



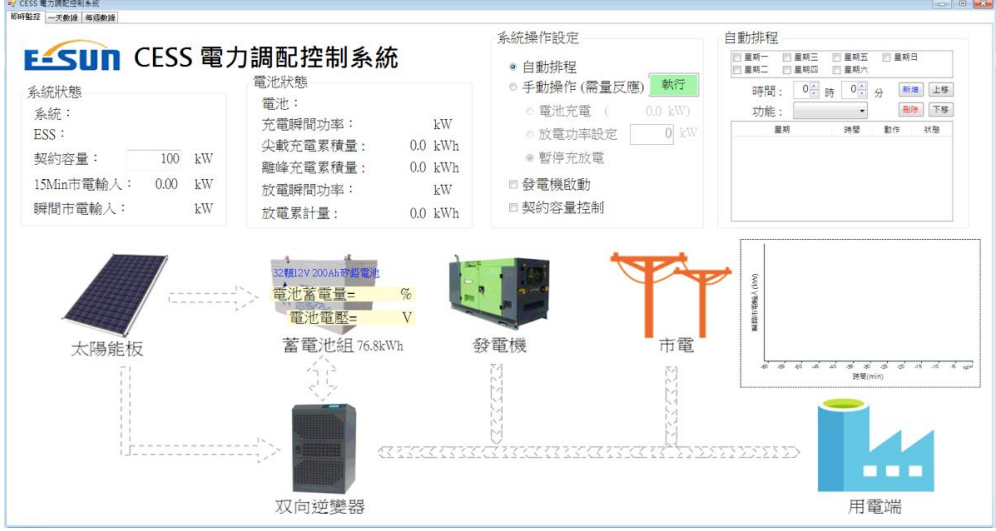
3 kWp PV
太陽能板

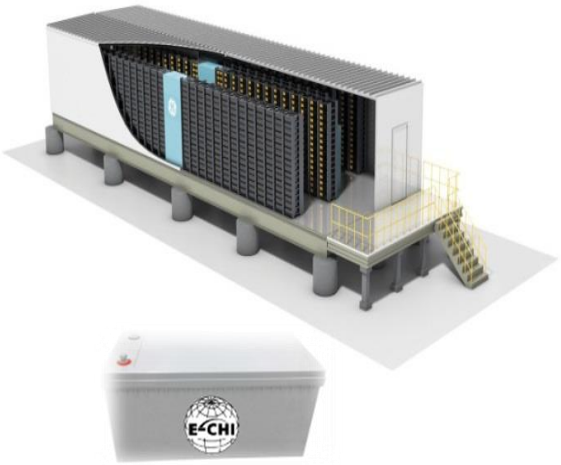


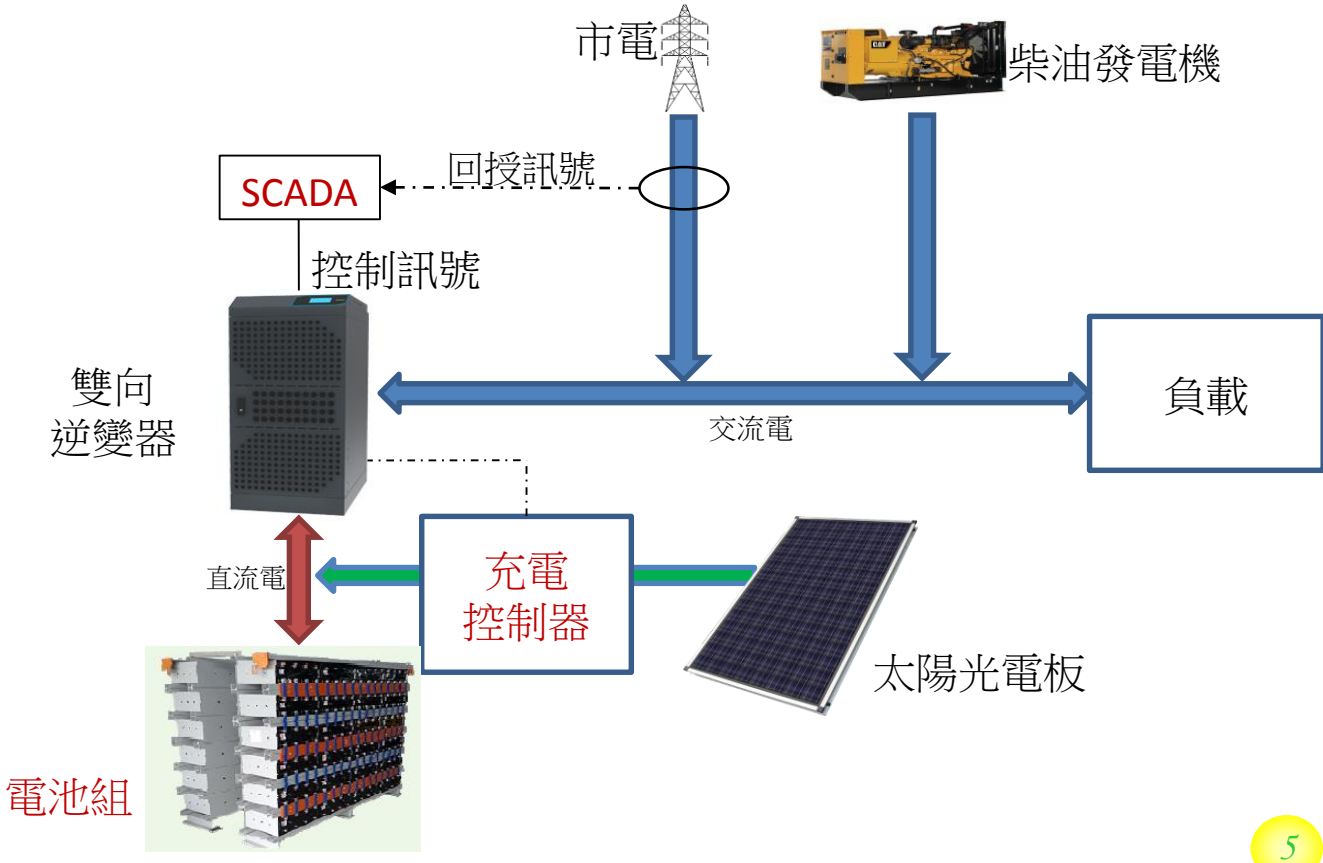

D6-Taichung Suntek(2015/04-2015/08)
PV Mode
Grid Mode
PV Mode supply ratio: 0.92
Average PV energy genaration: 3.33 kWh/kWp day (>3.28)
Total energy supply = PV Mode + Grid Mode
Total energy supply, Wh/day
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
4/8
4/16
4/22
4/27
4/30
5/8
5/15
5/21
5/26
6/24
7/1
7/5(Sun)
7/8
7/13
7/17
7/23
7/26(Sun)
7/30
8/2(Sun)
8/5

多功能儲電系統

- 轉移尖離峰用電(削峰填谷)
- 需量反應
- 契約容量控制
- 太陽光發電
- 緊急供電

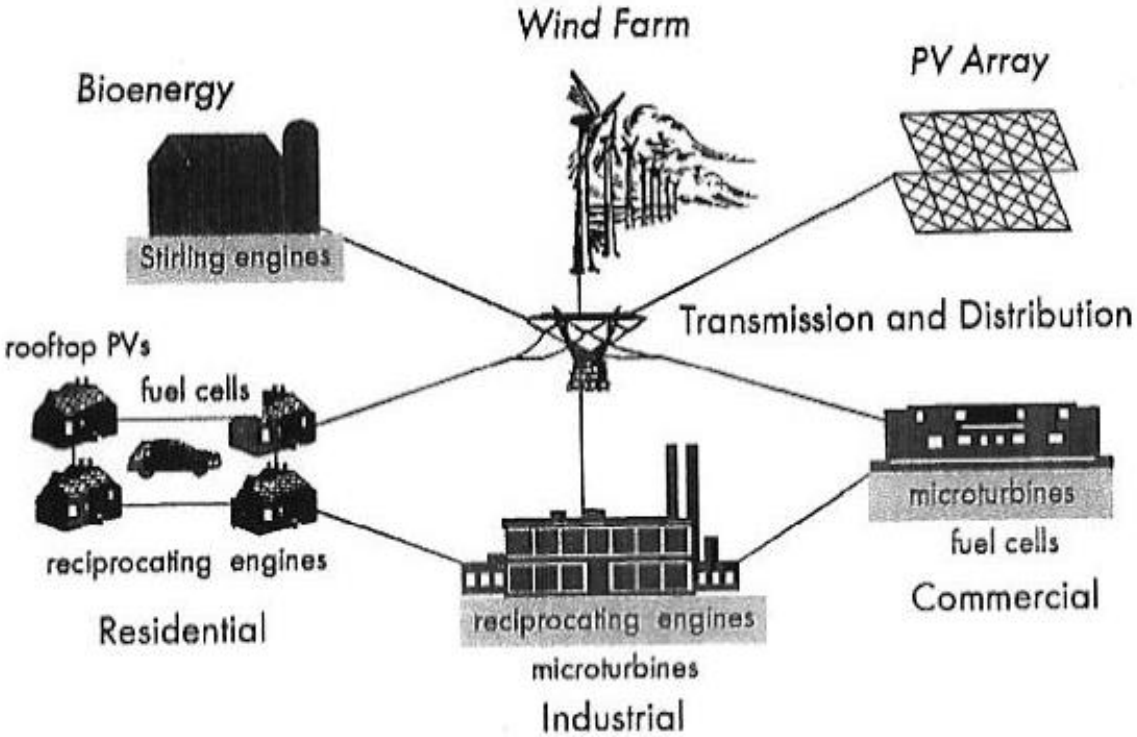




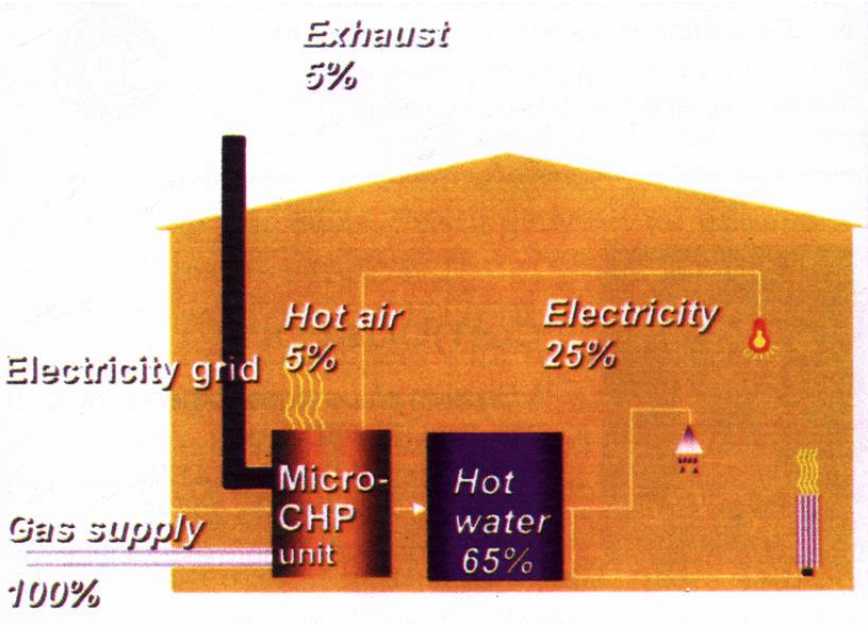


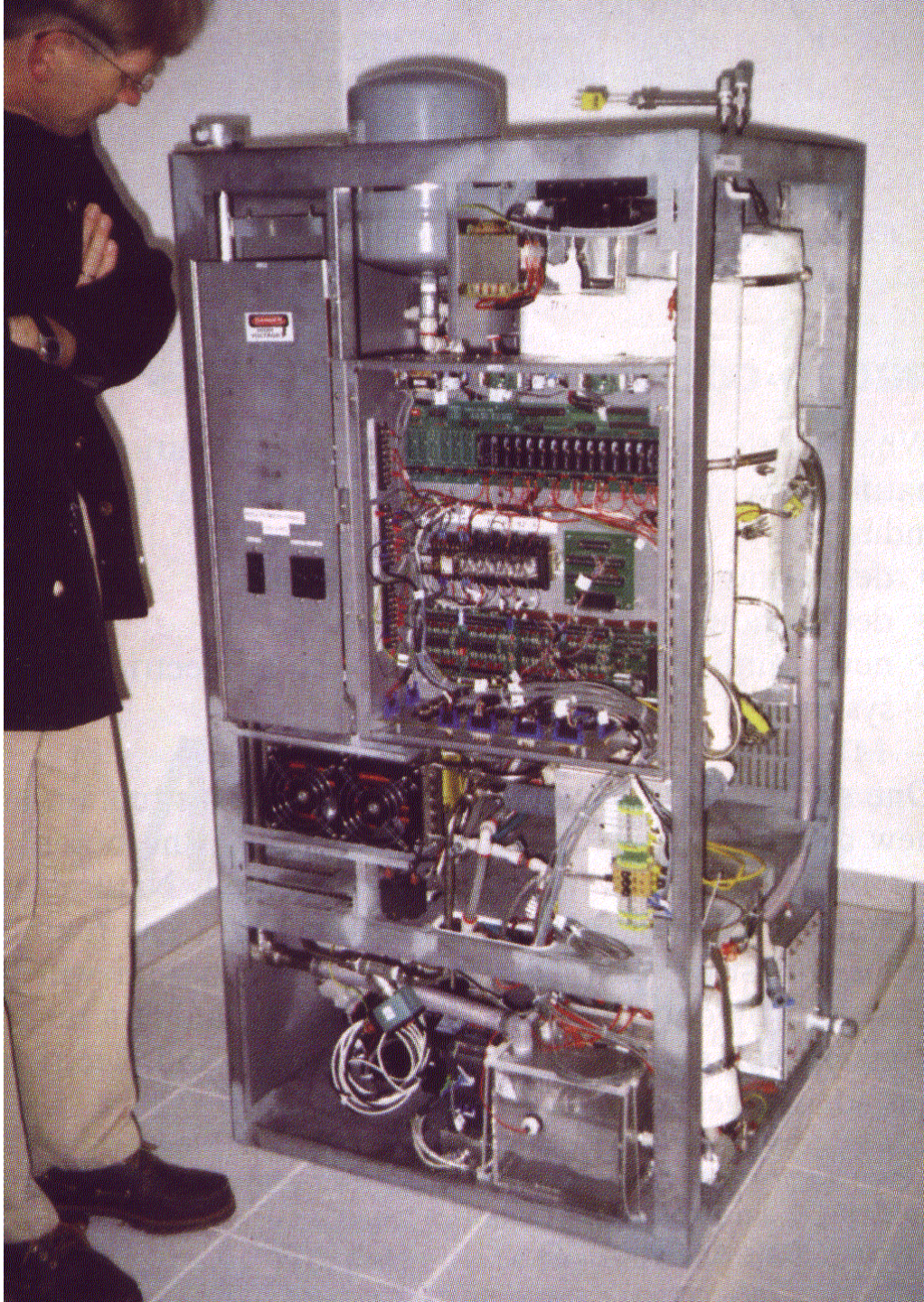
永續發展的能源供給趨勢

- 「分散式高效率供電系統」(分散式能源)
  - 建築物、社區供電系統，用戶自備部分電力
- 「多元化能源」(包括太陽能、風能、地熱、酒精汽油等再生能源) [能源互補]



7kW小型家用發電機
(熱電共生CHP)





綠能發展課題、產業化重點

- 零能建築
  - 建築設計 [低耗能、微氣候(micro-climate)]
  - 建材 [隔熱材料(窗與牆面)、隔熱塗漆、自潔塗佈技術]
  - 高能效設備
- 高能效設備
  - 空調機、換氣機
  - LED照明
  - 馬達 (洗衣機 etc)
  - 熱泵 (熱水器、CO_2熱泵)
  - 節電智能控制
  - CHP(熱電共生)
- 太陽光電
  - 分布式自用型太陽光電
  - 微電網
- 儲能
  - 蓄電技術

節電帶動巨大內需產業

六. 結 論

1. 全方位能源策略: 節能為首要，結合屋頂型太陽光電
2. 台灣非核家園策略: **20%空調照明熱水節電 + 3.5GWp** 屋頂型太陽光電 **+ 2.6GW** 風電，約6年可達標 **@PV 500MWp/yr**
1. 以再生能源替代基載或穩定電網需蓄能，蓄電蓄熱均可
2. 未來電力系統將以分佈式發電自用為主，包含微電網
3. 綠能發展重點: 零能建築、高能效設備、太陽光電、儲能
4. 綠能技術日新月異、產業競爭激烈，全方位發展才有機會

Thank you

謝 謝

台大新能源中心
New Energy Center in NTU