



## 日本公布 2030 年各種電源發電成本之估算結果

—核能發電成本為每度 10.3 日元，仍是最低廉之電源

林祥輝

工業技術研究院 綠能與環境研究所

### 摘要

影響日本能源政策方向的一個重要指標是各種電源的發電成本。對此，日本政府組成發電成本檢證工作小組，進行2014年與2030年發電成本的估算。結果顯示，核能發電成本仍是最低廉，2030年每度電10.3日元。相較之下，一般水力(小水力除外)為11.0日元/度、燃煤12.9日元/度、燃氣13.4日元/度。再生能源中，住宅太陽光電為12.5~16.4日元/度、非住宅太陽光電12.7~15.6日元/度、陸域風力13.6~21.5日元/度，離岸風力則因政策費用(約10.1日元/度)墊高了發電成本，達30.3~34.7日元/度。以日本2014年的家庭平均電價25.51日元/度來看，2030年太陽光電與陸域風力的發電成本已降低到有競爭力的價格，在未來將有很大的發展空間。此外，重要的是，這些電源成本的估算結果，提供日本政府制定2030年能源供需結構方案的重要參考數據。

### 一、前言

日本政府於2014年4月11日公布新的「能源基本計畫」，要求檢討中長期的能源供需結構，日本經濟產業省於是自2015年1月23日起廣泛徵求民眾對長期能源供需結構的意見，並在總合資源能源調查會基本政策分科會之下，成立「長期能源供需展望小委員會」(以下簡稱「能源供需委員會」)，對2030年的能源供需結構進行討論。該專家委員會於2015年1月30日首次召開能源供需檢討會議，同時下設「發電成本檢證工作小組」(以下簡稱「成本檢證小組」)，估算各種電源的發電成本，提供能源供需委員會決定最適當的能源供需結

構。

日本曾於2011年12月由成本檢證委員會估算過各種電源的發電成本，但隨著時空環境的轉變，相關成本計算基礎已有所不同，為確實反應實際現況及未來能源供需結構，因此成本檢證小組自2015年2月18日起開會討論，並自2015年3月4日至4月10日期間募集民眾的意見，在參考2011年成本檢證委員會的成本估算方法，進行討論與重新估算後，於4月27日的第6次會議中，公布2014年與2030年各電源發電成本之估算結果，並向能源供需委員會提出了「發電成本檢證報告案」。能源供需委員會依此份報告進行檢討，並於4月28日公布日本2030年度的能源供需結構方案，其中提出的電源結構方案為：再生能源占22~24%、核能22~20%、LNG 27%、煤炭26%及石油3%。成本檢證小組再依據該電源結構方案，重新估算2030年度時各種能源之發電成本，於5月11日公布[1]。有關其計算基準、發電成本估算結果，以及2011年估算的發電成本，整理於附件之表6。

## 二、日本各種電源之發電成本

就日本2030年各種電源的發電成本進行比較，核能仍為最便宜的電源，每度電10.3日元以上；其次依序為一般水力(小水力除外)為11.0日元/度、燃煤12.9日元/度、燃氣(LNG)13.4日元/度。再生能源中，住宅太陽光電12.5~16.4日元/度、非住宅太陽光電(MW級)12.7~15.6日元/度、陸域風力13.6~21.5日元/度，這些再生能源的發電成本，已趨近於燃煤或燃氣的發電成本。此外，燃油發電為各電源中最高者，達28.9~41.7日元/度。

日本成本檢證委員會曾於2011年估算過2030年各種電源的發電成本，而成本檢證小組這次則公布2014年與2030年各種電源的發電成本。依據這些發電成本資料，以下分別就核能、再生能源、燃煤與燃氣等之發電成本進一步分析比較。

在分析比較前，先就發電成本之項目組成做一說明：

1. 資本費：包括建設費、固定資產稅、水力權使用費、設備廢棄費用等。
2. 維運費：包括人事費、修繕費、諸費(廢棄物處理費、消耗品費、租賃費、委託費、保險費、雜支等)、業務分攤費等。
3. 燃料費：燃料採購費用，核電包括核燃料再處理與儲存費用。
4. 追加安全對策費(核能)：福島核災後，核能相關設備依據新規制基準與自主提升安全，所追加的安全對策費用。
5. CO<sub>2</sub>對策費(化石燃料)：使用化石燃料發電，CO<sub>2</sub>排放權之購買費用。
6. 事故風險對應費(核能)：核能嚴重事故的風險對應成本。
7. 政策經費：包括預算支援、地方回饋金、研究開發費用，固定價格買取制度之 IRR(內部收益率)等政策費用。

### (一)核能發電

核能發電成本係以標準電廠(120萬瓩)、設備利用率(容量因素)70%、運轉年數40年、貼現率3%、建設費37萬日元/瓩等基本參數進行估算，由6項費用組成，如表1和圖1所示。

在發電成本中，主要為資本費(包括除役措施費用)與維運費，資本費由2011年估算的2.5日元/度，大幅提高至2015年估算的3.1日元/度；維運費也由3.1日元/度提高至3.3日元/度。至於，核燃料循環再處理費用由1.4日元/度提高至1.5日元/度；為符合2013年7月新規制基準所追加的安全對策費用，由0.2日元/度大幅提高至0.6日元/度。對於核能事故風險對應費用，則由0.5日元/度以上降至0.3日元/度以上，這是因為福島核災後加強了核電廠的安全措施，未來發生事故的風險將降低，賠償等預定費用將隨著減少。政策經費包括地方回饋金、研究開發費用，由1.1日元/度提高至1.3日元/度(2014年)、1.5日元/度(2030年)。

因此，2030年總核電成本估算為10.3日元/度以上(2014年為10.1日元/度以上)，比較下限值，仍為各種發電方式中最低，比2011年估算



的成本8.9日元/度以上，增加1.4日元/度。

核能發電成本的計算是較困難的，其中資本費與維運費較容易估算，其他4項費用的不確定性高，特別是「追加的安全對策費」「核燃料循環費用」，很可能低估。對於追加的安全對策費，由於43部機組中，有許多老舊機組，實際安全對策費可能在1,000億日元以上，比估算值601億日元高出許多。此外，儘管目前核燃料循環設備仍未運轉，使用過核燃料一半儲存20年後、一半儲存45年後進行再處理的前提下，估算其費用，這可能因不切實際的假設而低估核燃料循環費用[3]。再者，為符合新規制基準所追加的安全對策費用，以及使用過核燃料的循環費用，與火力發電的CO<sub>2</sub>對策費用比較，也顯然低許多。

表 1、日本估算 2014 年、2030 年之核能發電成本[1, 2]

費用單位：日元/度

	2014年成本 2015年估算	2030年成本 2011年估算	2030年成本 2015年估算
設備利用率	70%	70%	70%
運轉年數	40年	40年	40年
資本費	3.1	2.5	3.1
維運費	3.3	3.1	3.3
核燃料循環費	1.5	1.4	1.5
追加安全對策費	0.6	0.2	0.6
事故風險對應費	0.3以上	0.5以上	0.3以上
政策經費	1.3	1.1	1.5
合計	10.1以上	8.9以上	10.3以上

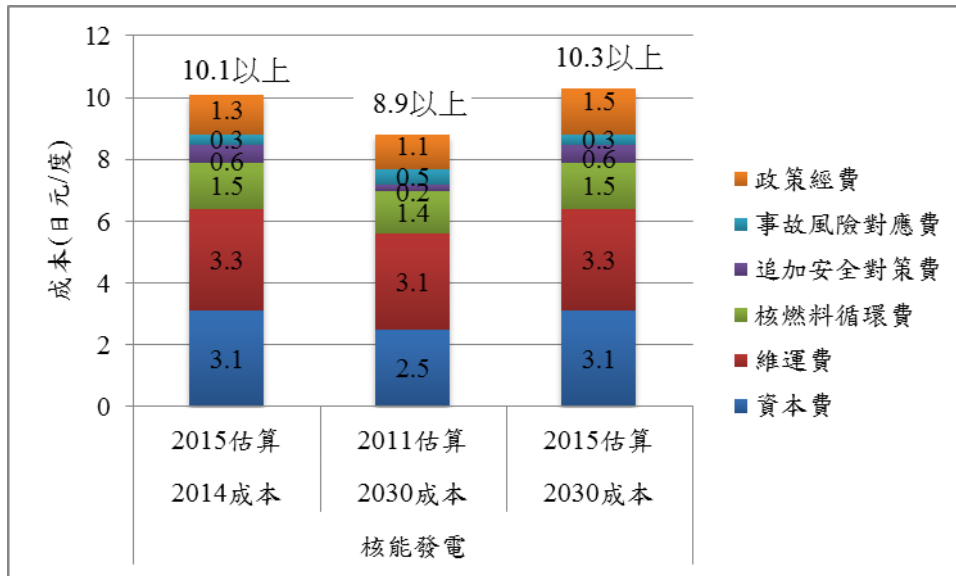


圖1、日本核能發電成本估算之比較[1, 2]

## (二)再生能源

對於再生能源的發電成本，特別針對住宅用與非住宅用太陽光電，以及陸域風力發電，做一詳細說明。

### 1. 太陽光電

對於太陽光電，2015年的成本估算中，非住宅用係以標準電廠(2MW)、設備利用率14%、建設費29.4萬日元/瓩；住宅用以標準電廠(4kW)、設備利用率12%、建設費36.4萬日元/瓩等基本參數進行估算。發電成本包括資本費、維運費、政策經費等三項費用，如表2、圖2和圖3所示。

考慮太陽光電板價格的下跌，非住宅用的資本費由2014年的17.9日元/度跌落至2030年的10.3日元/度，跌幅42.4%，住宅用則由23.9日元/度跌落至12.9日元/度，跌幅46.0%。在2015年的估算中，預估2030年非住宅太陽光電成本12.7~15.6日元/度、住宅太陽光電成本12.5~16.4日元/度，分別比2014年的24.2日元/度(非住宅)、29.4日元/度(住宅)約低一半。值得注意的是，2014年非住宅太陽光電成本24.2日元/度，比2014年家庭平均電價25.51日元/度低，已達市電同價之情況；2030



年的太陽光電成本，不管住宅或非住宅，更可低於福島核災前2010年的家庭平均電價20.37日元/度(參考附件之圖7)。

比較2030年的成本，非住宅太陽光電的發電成本由2011年估算的12.1~26.4日元/度，變更為2015年估算的12.7~15.6日元/度；住宅太陽光電成本則由2011年估算的9.9~20.0日元/度，變更為2015年估算的12.5~16.4日元/度。雖然，2015年的成本估算中，增加了政策經費，但是2030年太陽光電的成本，將與燃煤(12.9日元/度)、燃氣(13.4日元/度)之成本相當。

表2、日本估算2014年、2030年之太陽光電成本[1, 2]

費用單位：日元/度

	非住宅用			住宅用		
	2014成本 2015估算	2030成本 2011估算	2030成本 2015估算	2014成本 2015估算	2030成本 2011估算	2030成本 2015估算
設備利用率	14%	14%	14%	12%	12%	12%
運轉年數	20年	35年	30年	20年	35年	30年
資本費	17.9	6.5~16.8	10.3	23.9	7.2~14.6	12.9
維運費	3.0	5.5~9.7	2.6	3.4	2.7~5.5	2.4
政策經費	3.3	-	2.0	2.1	-	0.2
合計	24.2	12.1~26.4	12.7~15.6	29.4	9.9~20.0	12.5~16.4

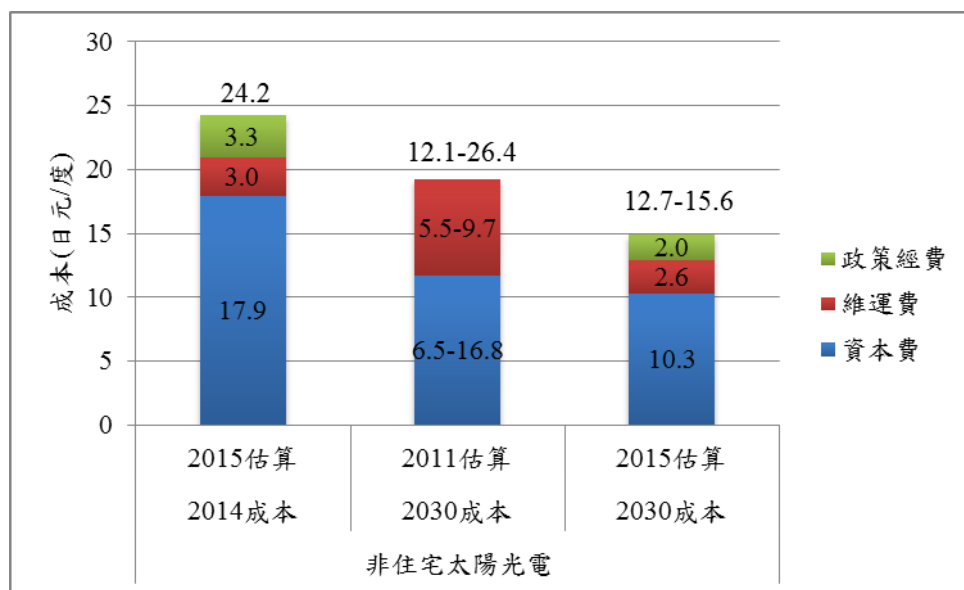




圖2、日本非住宅太陽光電成本估算之比較[1, 2]

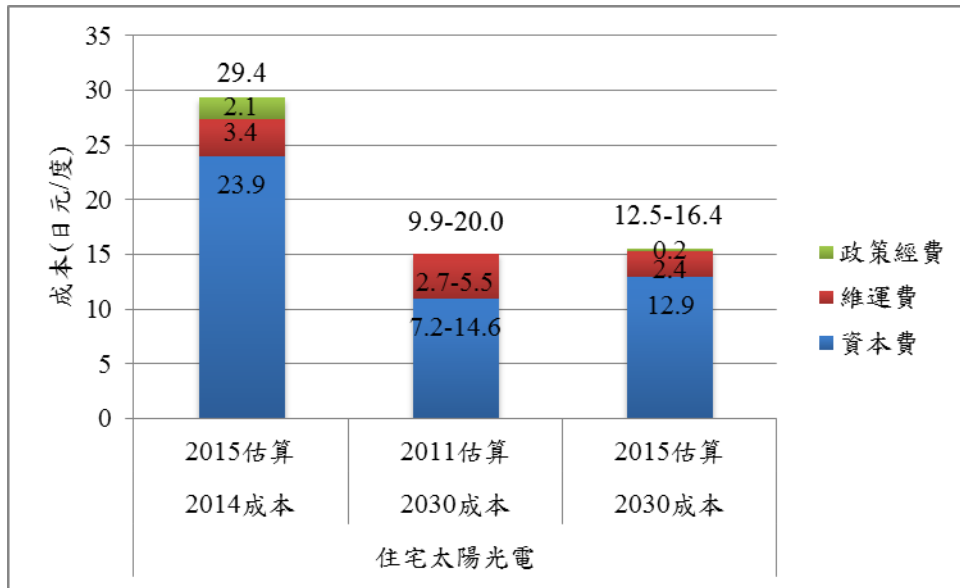


圖3、日本住宅太陽光電成本估算之比較[1, 2]

## 2. 風力發電

對於陸域風力發電，2015年的成本估算中，以標準電廠(2萬瓩)、設備利用率20%、運轉年數20年、建設費28.4萬日元/瓩等基本參數進行估算。發電成本包括資本費、維運費、政策經費等三項費用，如表3和圖4所示。

資本費由2014年的12.1日元/度降至2030年的10.8日元/度，降幅10.7%。相對太陽光電而言，其維運費與政策經費均較高，特別在2015年的成本估算中，增加了政策經費(包括研究開發費用)，2014年為6.0日元/度，占總成本21.6日元/度的27.8%；2030年為5.3日元/度，占總成本19.1日元/度(平均值)的27.7%。

比較2030年的陸域風力發電成本，由2011年估算的8.8~17.3日元/度，提高至2015年估算的13.6~21.5日元/度，主要是多出了政策經費，若政策費用不算，則為9.8~15.6日元/度。



表3、日本估算2014年、2030年之陸域風力發電成本[1, 2]

費用單位：日元/度

	2014年成本 2015年估算	2030年成本 2011年估算	2030年成本 2015年估算
設備利用率	20%	20%	20~23%
運轉年數	20年	20年	20年
資本費	12.1	6.5~12.8	10.8
維運費	3.4	2.3~4.6	3.0
政策經費	6.0	-	5.3
合計	21.6	8.8~17.3	13.6~21.5

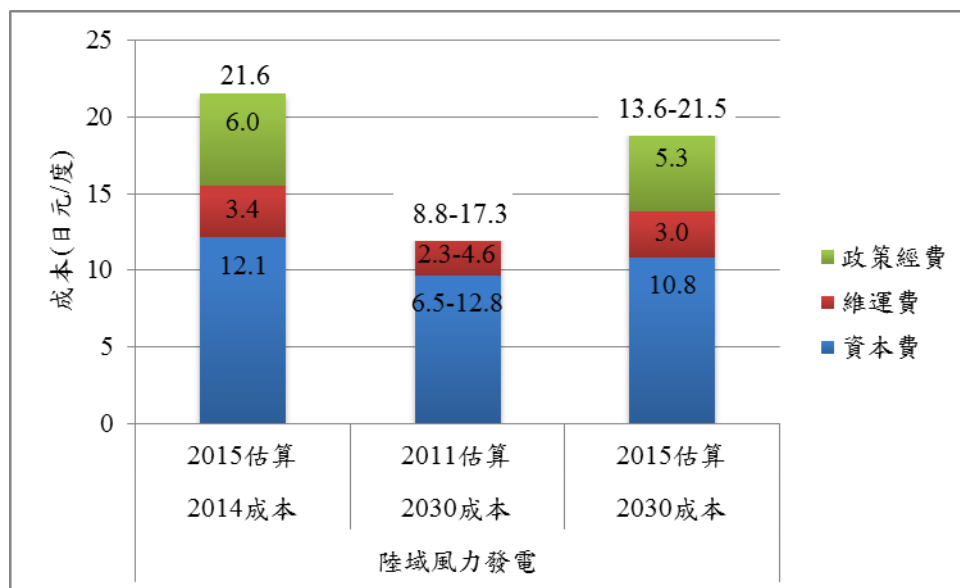


圖4、日本陸域風力發電成本估算之比較[1, 2]

至於離岸風力，2030年的發電成本，由2011年估算的8.6~23.1日元/度，提高至2015年估算的30.3~34.7日元/度，其中，離岸風力的政策費用墊高了發電成本，若政策費用(約10.1日元/度)不計，則為20.2~23.2日元/度，也比2011年的估算值高。

### 3. 其他再生能源

對於地熱2030年的發電成本，參考附件之表6，2015年估算為16.8日元/度，比2011年估算值9.2~11.6日元/度高。這是因為在固定價格



買取制度(2012年7月起實施)下，躉購價格包括發電業者的利潤，此政策費用5.9日元/度(占總成本的35.1%)，墊高了發電成本。

至於水力與生質能部分，2015年估算的2030年發電成本，小水力(80萬日元/瓩)為23.3日元/度(政策費用不算，為20.4日元/度)；小水力(100萬日元/瓩)為27.1日元/度(政策費用不算，為23.6日元/度)，相較於一般水力11.0日元/度，發電成本高出許多；生質能(混燒)為13.2日元/度(政策費用不算，為12.9日元/度)，均比2011年估算高，加入政策費用應是原因之一。

### (三) 燃煤發電與燃氣發電

燃煤發電成本係以標準電廠(80萬瓩)、建設費25萬日元/瓩；燃氣(LNG)以標準電廠(140萬瓩)、建設費12萬日元/瓩等基本參數進行估算，由5項費用組成，如表4、圖5及圖6所示。

在燃煤發電成本中，主要為燃料費與CO<sub>2</sub>對策費，燃料費由2011年估算的3.9~4.2日元/度，提高至2015年估算的5.5日元/度(2014年)、5.1日元/度(2030年)；CO<sub>2</sub>對策費則由3.0日元/度提高至4.0日元/度(2030年)。至於，資本費由1.8日元/度提高至2.1日元/度；維運費由1.6日元/度提高至1.7日元/度。在2015年估算中，新增政策經費0.04日元/度。

在燃氣發電成本中，主要為燃料費，由2011年估算的8.2~8.7日元/度，提高至2015年估算的10.8日元/度(2014年)、10.0日元/度(2030年)；其次為CO<sub>2</sub>對策費則由1.3日元/度提高至1.8日元/度(2030年)。至於，資本費由0.7日元/度提高至1.0日元/度；維運費則由0.7日元/度降至0.6日元/度。在2015年估算中，新增政策經費0.02日元/度。

因此，對於化石燃料的發電成本，考慮全球碳排放權的交易價格及化石燃料價格的變動，2030年燃煤發電成本比2011年估算值增加2.6日元/度，達12.9日元/度。燃氣(LNG)發電則增加2.5日元/度，達13.4日元/度。

在2015年的成本估算中，2030年的發電成本相較於2014年，燃煤發電變高，燃氣發電變得更便宜。雖然，這兩者預期發電效率改善，燃料費降低，但是燃煤發電的CO<sub>2</sub>對策費用增加。

對於，2014年燃煤發電的CO<sub>2</sub>對策費用為3.0日元/度，預估2030年擴大到4.0日元/度，這是在排放交易價格上升的前提下之估算值，但是目前CO<sub>2</sub>的回收、儲存成本很難估算，因此未納入估算中。

表4、日本估算2014年、2030年之燃煤/燃氣發電成本[1, 2]

費用單位：日元/度

	燃煤發電			燃氣發電		
	2014成本 2015估算	2030成本 2011估算	2030成本 2015估算	2014成本 2015估算	2030成本 2011估算	2030成本 2015估算
設備利用率	70%	80%	70%	70%	80%	70%
運轉年數	40年	40年	40年	40年	40年	40年
資本費	2.1	1.8	2.1	1.0	0.7	1.0
維運費	1.7	1.6	1.7	0.6	0.7	0.6
燃料費	5.5	3.9~4.2	5.1	10.8	8.2~8.7	10.0
CO <sub>2</sub> 對策費	3.0	3.0	4.0	1.3	1.3	1.8
政策經費	0.04	-	0.04	0.02	-	0.02
合計	12.3	10.3~10.6	12.9	13.7	10.9~11.4	13.4

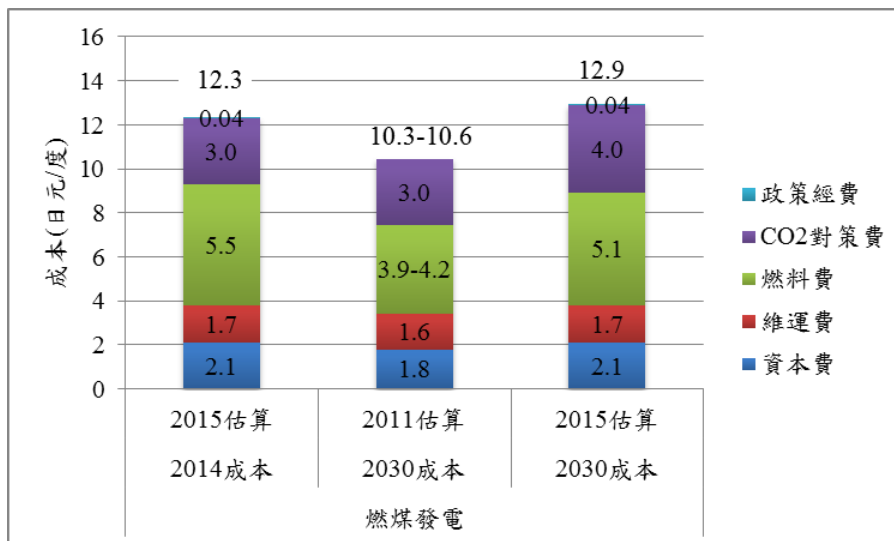


圖5、日本燃煤發電成本估算之比較[1, 2]

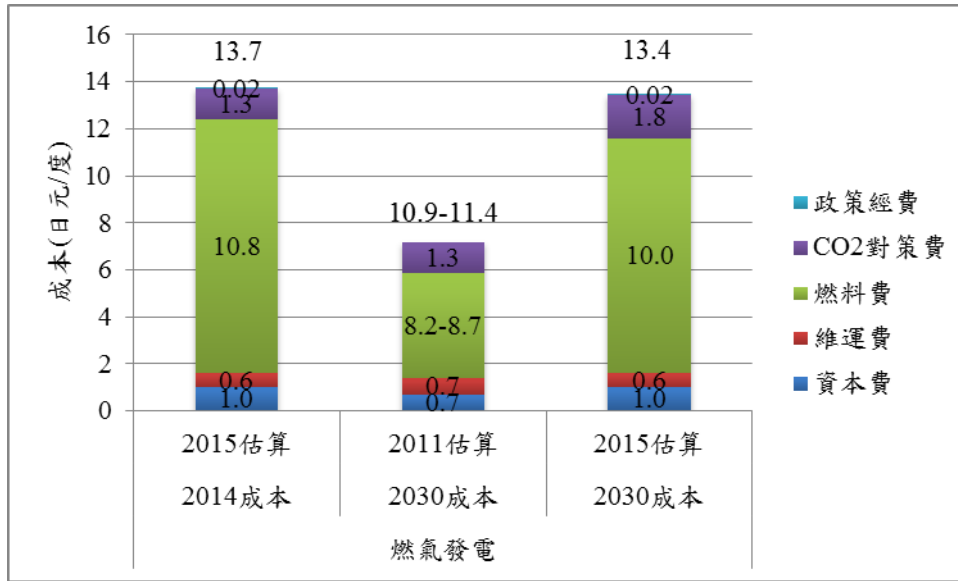


圖6、日本燃氣發電成本估算之比較[1, 2]

### 三、我國各種電源之發電成本

比較2014年台電公司與日本各種發電方式的成本，如表5所示。核能發電成本：台電約1元/度，日本約2.5元/度以上(換算成新臺幣)；燃氣發電成本相差不多，約3.5元/度；燃煤發電成本：台電較低約1.3元/度，日本約3.1元/度；一般水力：台電約1.54元/度，日本約2.8元/度。因此，核能、燃煤及水力等基載電力的成本，台電公司均低許多。至於再生能源電力成本，台電風力發電(自發)成本3.48元/度，比日本5.4元/度低，但太陽光電(自發)成本10.14元/度比日本6.1~7.4元/度高，而且日本預估2030年太陽光電成本可以再降低一半，至3.2~3.9元/度，此顯示我國太陽光電成本仍有很大的調降潛力。

表 5、各種發電成本之比較[4]

單位：元(新臺幣)

發電方式	台電公司		日本 (2015年估算)	
	2014年自編決算	2015年6月底止	2014年	2030年
燃油	6.63	4.67	7.7~10.9	7.2~10.4
燃煤	1.30	1.22	3.1	3.2
燃氣	3.92	2.96	3.4	3.4
核能發電 (扣除後端基金孳息 收入之淨成本)	0.96 (0.88)	1.14 (1.04)	2.5~	2.6~
慣常水力	1.54	1.97	2.8	2.8
風力發電(自發)	3.48	2.02	5.4	3.4~5.4
風力發電(購入)	2.25	2.24		
太陽光電(自發)	10.14	8.87	6.1~7.4	3.2~3.9
太陽光電(購入)	7.21	6.76		

註：日本發電成本以1日元換算新臺幣0.25元。

#### 四、結論與建議

綜觀日本成本檢證小組所估算的各種電源之發電成本，雖然核能發電追加了安全對策費與政策經費，仍顯示其2030年發電成本的估算結果(10.3日元/度以上)仍為各電源中最低。但是，這是在某些條件下的估算結果，除了已經決定除役的核電機組外，假設目前所有43部機組都運轉的前提下，所估算的發電成本，未來是否可以全數重啟運轉，目前情況不是很明確；若運轉的核電機組數量較少，當然發電成本就會提高。

日本自2012年7月導入固定價格買取制度(FIT)後，由於太陽光電系統的開發時間相對較短(住宅約需2~3個月、非住宅約1年，陸域風力則約需4~5年、地熱約9~13年)，且躉購價格優惠(非住宅太陽光電，初期為40日元/度，目前為27日元/度，保證收購20年；住宅太陽光電，初期為42日元/度，目前為33日元/度，保證收購10年)，使得太陽光電的設置量快速成長。值得注意的是，日本再生能源的躉購費用是以附加費的方式，由消費者的每月電費帳單中分攤。到2015年3月底止，在FIT制度下，實際導入的太陽光電系統累計達18.1GW，其中非住宅



為15.0GW，約占總再生能源導入量18.8GW的80.0%；住宅為3.1GW，約占16.5%[5]。因為太陽光電系統的大量導入，日本政府因此預估2030年太陽光電的發電成本，將可再降低一半，非住宅為12.7~15.6日元/度、住宅為12.5~16.4日元/度。由日本太陽光電的發展情況來看，我國未來太陽光電仍有很大的發展空間。

我國與日本雖然在各種電源之成本結構與計算基準不盡相同，但是日本在核能上納入追加安全對策費與事故風險對應費，在化石燃料上納入CO<sub>2</sub>對策費，以及包括各項政策經費的作法，均值得我國參考。同時，藉由比較二國的發電成本，可以瞭解到我國各種發電方式的優劣。

### 參考文獻

1. 長期エネルギー需給見通し小委員会に対する 発電コスト等の検証に関する報告(案)，総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 長期エネルギー需給見通し小委員会 発電コスト検証ワーキンググループ(第7回)，資料1，2015/5/11。  
[http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/007/pdf/007\\_05.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/007/pdf/007_05.pdf)
2. コスト等検証委員会報告書，エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会，2011/12/19。  
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111221/hokoku.pdf>
3. 2030年の発電コストが決まる、原子力は10.1円、太陽光は12.7円，Smart Japan，2015/4/28。  
<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1504/28/news036.html>
4. 各種発電方式之發電成本，台電公司。  
[http://www.taipower.com.tw/content/new\\_info/new\\_info-a02.aspx?LinkID=22](http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-a02.aspx?LinkID=22)



5. なっとく！再生可能エネルギー

[http://www.fit.go.jp/statistics/public\\_sp.html](http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html)

6. 「平成26年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2015)，第1部第3章 エネルギーコストへの対応，経済産業省，2015/7/14。

<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2015pdf/>

附件

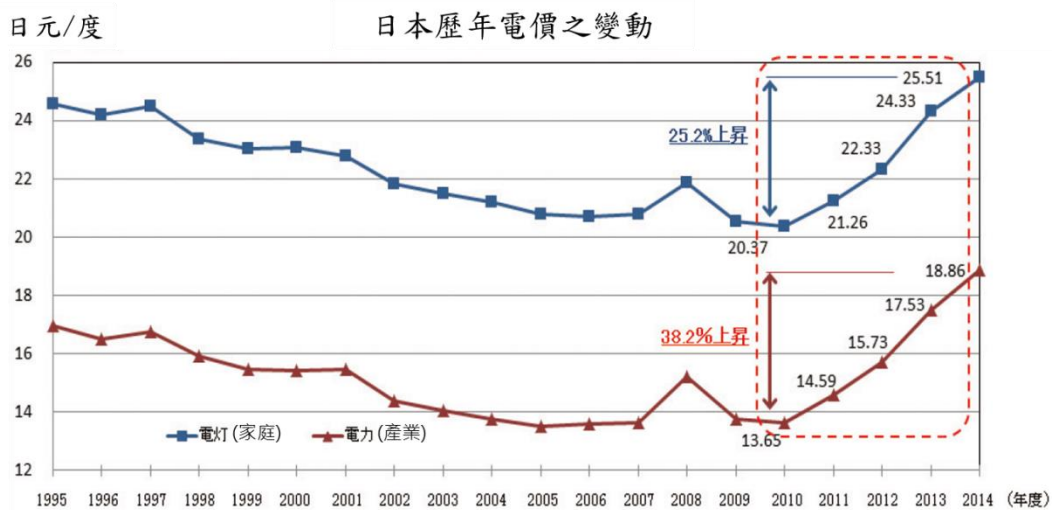


圖 7、日本歴年電價之變動情況[6]



表 6、日本 2030 年度發電成本估算結果[1, 2]

電源	計算基準		2030 年發電成本估算(日元/度)								2011 年 成本估算
	設備利用 率	運轉 年限	合計	資本費	維運費	燃料費	追加安全 對策費	CO <sub>2</sub> 對策費	事故風險 對應費	政策 經費	
核能	70%	40 年	10.3~	3.1	3.3	1.5	0.6		0.3~	1.5	8.9~
煤炭火力	70%	40 年	12.9	2.1	1.7	5.1		4.0		0.04	10.3~10.6
LNG 火力	70%	40 年	13.4	1.0	0.6	10.0		1.8		0.02	10.9~11.4
風力(陸域)	20~23%	20 年	13.6~21.5	10.8	3.0					5.3	8.8~17.3
風力(離岸)	30%	20 年	30.3~34.7	12.7	7.4					10.1	8.6~23.1
地熱	83%	40 年	16.8	5.8	5.1					5.9	9.2~11.6
一般水力	45%	40 年	11.0	8.5	2.3					0.2	10.6
小水力 (80 萬日元/瓩)	60%	40 年	23.3	7.6	12.8					2.9	19.1~22.0
小水力 (100 萬日元/瓩)	60%	40 年	27.1	9.5	14.1					3.5	19.1~22.0
生質能(專燒)	87%	40 年	29.7	3.0	4.2	21.0				1.6	17.4~32.2
生質能(混燒)	70%	40 年	13.2	2.1	1.7	5.1		3.9		0.4	9.5~9.8
石油火力	30%, 10%	40 年	28.9~41.7	3.8~11.4	2.6~7.7	19.3		3.2		0.04	25.1~38.9
太陽光電 (非住宅)	14%	30 年	12.7~15.6	10.3	2.6					2.0	12.1~26.4
太陽光電 (住宅)	12%	30 年	12.5~16.4	12.9	2.4					0.2	9.9~20.0
天燃氣汽電共生	70%	30 年	14.4~15.6	1.1	1.7	14.8~16.7		2.6		0.03	11.5
石油汽電共生	40%	30 年	27.1~31.1	2.2	2.3	27.4~32.9		4.2		0.03	19.6

註 1：2011 年成本估算之設備利用率：煤炭 80%，LNG 80%，石油 50%、10%。

