

肆、專題分析：研析我國輔助服務運作模式

一、前言

輔助服務是屬於一種短時間的備轉容量，在電力系統的穩定上用於即時的電力調度。在不同的電力市場，由於電源結構、電網結構、負載分布和負載特性的不同，需要的輔助服務種類和數量也不同。在非自由化的市場中，由該調度單位所屬之電業發電機組提供，或由調度單位向可提供輔助服務的業者簽訂雙邊合約，其成本通常隱含在電能價格裡，若是開放電能轉供的區域，則是向轉供的客戶收取相關費用；在自由化電力市場中，頻率控制和備轉容量建立競爭性電力輔助服務市場，其價格是由市場競爭決定的，而無效功率與全黑啟動服務方面可以統一標準。合理的電力輔助服務價格對於電力市場發展是否健康長遠、電網安全是否穩定健全都有重要的意義。

本文將介紹國外輔助服務運作機制包括新加坡、日本、韓國、TVA、CAISO，含括自由化及非自由化電力市場。接著探討我國現行輔助服務運作機制及未來交易方式，最後彙整國外電力系統輔助服務之運作機制及項目，做為我國未來研擬輔助服務市場之借鏡。

二、國外電力系統輔助服務之運作機制

(一)新加坡

新加坡的電力系統操作由 PSO 執行，調度計畫由 EMC 提出，交由 PSO 確認，其內容包括發電廠可靠度、輸電線路的容量與瓶頸、用戶附載變化，以及意外事故的應變等。

新加坡輔助服務市場分為兩部分運作，第一部分為「即時市場」由 EMC 運作，買方賣方在此交易初級、偶發事故及調頻備轉容量；

第二部分為「採購市場」由 PSO 要求 EMC，透過雙邊合約向可提供輔助服務的對象，進行採購，項目包含無效功率與電壓控制服務、全黑啟動能力、快速啟動服務以及可靠度必須運轉服務。實際調度這些購買的輔助服務容量時，會另外結算產生的電能費用，以即時市場每半小時之結算金額計費。即時市場產生之輔助服務費用透過每半小時結算之新加坡統一能源價格(USEP)收取。

(二)日本

日本並未開放輔助服務市場自由競爭，在電力調度上採區域電力公司模式(EPCOs)，即由地區擁有輸配電系統之電力公司負責該區的電力調度，並維持電網可靠度，輔助服務也由各 EPCOs 負責採購及供應，提供輔助服務的發電機組，均為各 EPCOs 的發電部門，目前共有10間 EPCO。未來電業拆分後，將改為 TSO 模式，及由地區輸配電網擁有者負責。

此類型的輸配電業在日本係屬於管制產業，在轉供電能相關的費用，政府保障輸配電業成本回收及利潤。如圖 1所示，輔助服務成本及執行電力調度成本係包含在所有的轉供電能費用裡，並未像我國採取分離各別項目(如輔助服務費率、電力調度費率、輸配電費率)計算。轉供電能費用的成本裡包括變電、輸電、配電、及管理費等項目，完全由售電業(負載端)回收，並按其電壓等級收取轉供電能費用。但這些轉供電能費用的成本，53%是透過能量費率收取。一般而言，能量費率屬於變動成本，而固定成本一般係指容量費用，若以變動成本能量費率來回收固定成本的容量費用，可能會導致電廠在生命週期內之營運費用無法回，因此日本預計2020年引進容量市場解決此問題。確保電廠之固定成本回收，增加投資回收可預測性，促進電廠投資及設立。

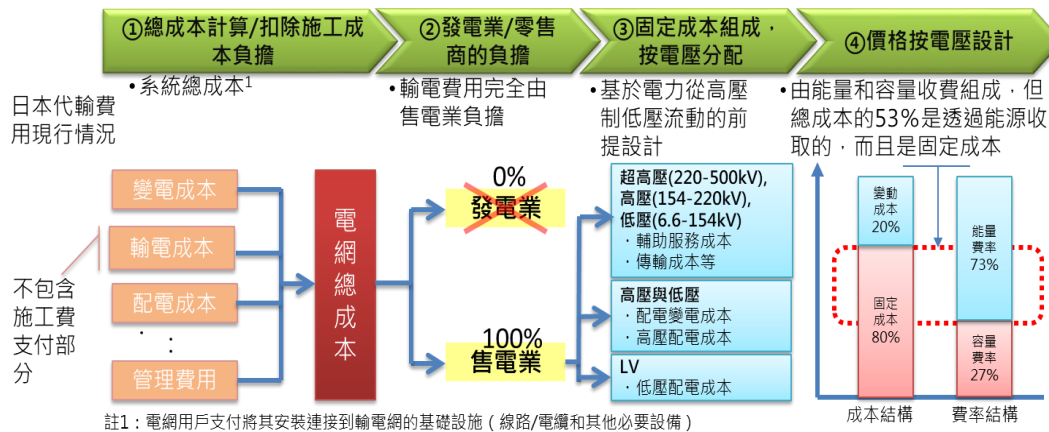


圖 1 日本轉供電能費率計算方式及收取對象

轉供電能費用的計算依據係為電業法內由經產省所公佈之「一般送配電事業託送供給等約款料金審查要領」，每三年審查一次各家 EPCOs 提報之成本及費率方案，並在經產省審訂後公告費率，如圖 2 所示，轉供電能費用的計算係由各 EPCOs 按公司總成本拆分至各部門別，進一步統計執行轉供電能所需要的總成本。再由轉供電能總成本向下細分至各服務項目所需要的費用。最後，以各電壓別之負載比例計算收取的費率。

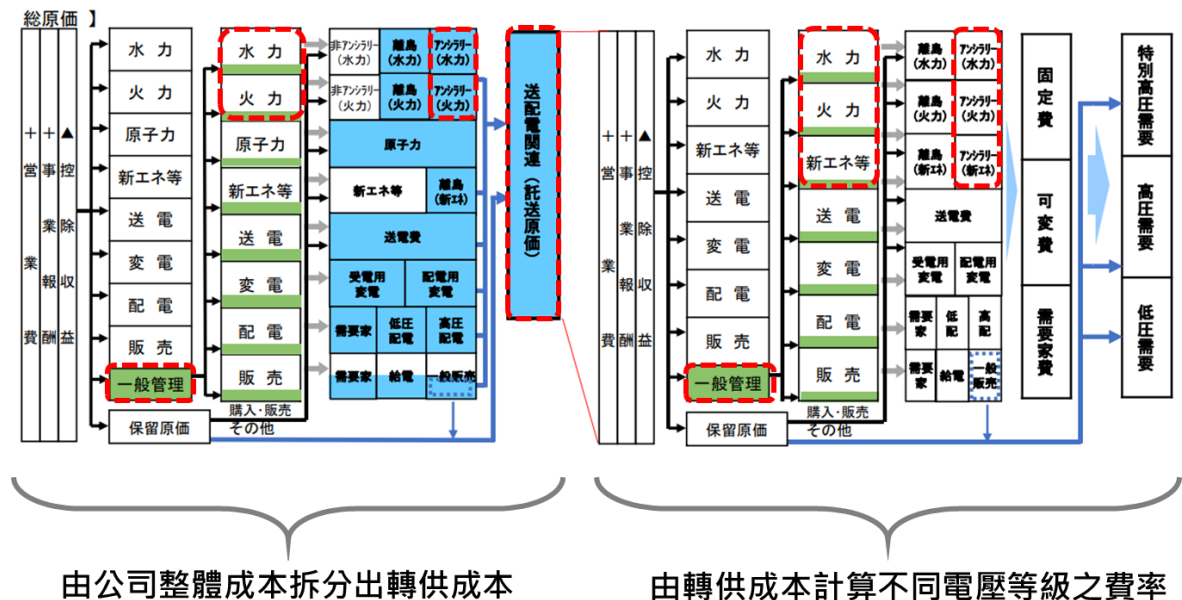
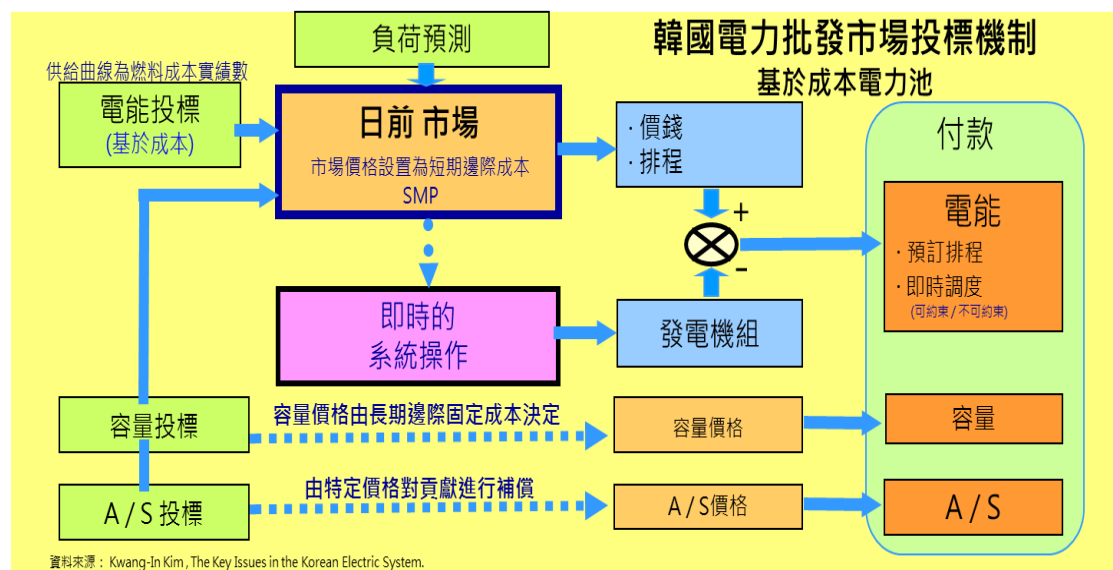


圖 2、日本轉供電能費用計算流程

日本規範輔助服務項目為頻率控制供需平衡調整、潮流調整、電壓調整、抽蓄水力(調頻)、must-run 電源、全黑啟動。

(三)韓國

韓國電業自由化始於1999年，暫停於2004年，電力調度運作方式採 ISO 模式，2001年成立 KPX 負責電力調度作業及營運批發市場。如圖 3 所示，韓國的電力批發市場係基於成本電力池概念設計，每日各發電公司必須要對電能、容量、輔助服務進行投標，電能以系統邊際價格結算、容量費用以長期固定邊際成本決定、輔助服務以特定價格對進行貢獻者進行補償。由此可知，韓國並未開放輔助服務自由競爭，發電公司按規定必須依 KPX 的調度指令提供輔助服務。對於電廠的固定成本給與容量費用，保證電廠固定成本回收。



目前韓國輔助服務項目包括自動發電控制（AGC）與調速機自由運轉操作、安全最佳備轉電力、無效功率之需求和供應、為特定發電廠提供全黑啟動服務、備轉容量管理標準。

(四) 美國-非自由化區域-以 TVA 為例

非自由化的區域屬於輸電系統營運者(TSO)的結構，因為 TSO 對其他業者，除了可對電能傳輸調度以外，對電源的輔助服務沒有調度及使用權利，只能用 TSO 自己所擁有的資源來提供這些電網輔助服務。因此雖然電網調度中心具備有維持電網的安全穩定性的完全責任，但只對自己的用電戶有提供穩定電能的責任，當轉供電能服務的資源跳機時，電網調度中心或電網業沒有為其提供替代電能之任何責任，也就是說只對自己的直接用電戶有最終供電義務。

以 TVA 來說，屬於一個未自由化的批發電力市場，由美國能源部管理，其服務地區位於美國東南部田納西河谷流域七個州。TVA 電力銷售方式共有三類，第一種方式為銷售予當地的電力公司(Local Power Companies)，TVA 與154家當地電力公司合作，電力公司從 TVA 購電，並將其分配給指定服務區域內的消費者，銷售對象包括住宅及工業用戶。透過此方式銷售之能源約佔 TVA 總收入的90.3%；第二種方式為直接服務的客戶(Directly Served Customers)，包括50家大型能源密集型工業用戶及聯邦政府機構6個單位，銷售之能源約佔 TVA 總收入的8.4%；第三種為非供電範圍之公用事業(Off-System Utilities)，美國東南部的12家公用事業公司從互聯的市場向 TVA 購買電力，佔 TVA 總收入的1.3%。

FERC Order 888於1996年4月要求所有輸電資產擁有者使用輸電網路開放轉供費率(Open Access Transmission Tariff, OATT)範本，TVA 的輸電服務手冊中，明訂必須向客戶提供以下6項輔助服務的：

- 排程、系統控制和調度(Scheduling, System Control and Dispatch)。
- 來自發電與其他資源的無效功率與電壓調整(Reactive Supply and Voltage Control from Generation or Other Sources)。
- 調頻與頻率反應 (Regulation and Frequency Response)。

- 電能不平衡(Energy Imbalance)。
- 即時備轉容量(Operating Reserve - Spinning)。
- 補充備轉容量(Operating Reserve - Supplemental)。

申請轉供的用戶不可以拒絕 TVA 提供的輔助服務，特別是後四項輔助服務，除非可證明自己可以提供或已獲得來自第三方之輔助服務。TVA 於輸電營業規則內清楚描述各項費率的計算及收費方式。

(五)美國-自由化區域-以 CAISO 為例

自由競爭的輔助服務及電能市場建立的前提，係必須在該服務區域內擁有充足的備用供電容量。CAISO 每年要訂立售電業的充足容量要求，而由電業間經由雙邊合約進行交易，以達到每個售電業個別可以滿足的充足容量之供需平衡，進而滿足整個市場的平衡。自2015年起，售電業必須在每月開始前把其充足容量的平衡表送交 CAISO 審查，而 CAISO 也會啟動採購機制為未滿足規定的售電業購買充足容量，並以具有懲罰性的採購機制價錢(約超過3倍的市價)向售電業收取。這就是 CAISO 的市場充足容量機制(Resource Adequacy Capacity Mechanism)。

電力自由市場以競標方式撮合交易，電能和輔助服務之市場競價交易原則相同其供需曲線如圖 5所示，在電力市場中用電需求者之需求曲線為圖中負斜率之曲線（藍線），該曲線表需求者對電能願意且可支付之價格，故用電需求者僅會購買價格在曲線下方之電能；而電能供給者之供給曲線為圖中正斜率之曲線（橘線），在該曲線上方為供給者願意且有能力生產之電能，因此電能供應者僅會提供在曲線上之電能。而供給與需求曲線之交點即為電力市場之均衡點（P 點），其為滿足電力市場中供給與需求雙方之平衡點，因此均衡點所對應之價格即為市場均衡電價。

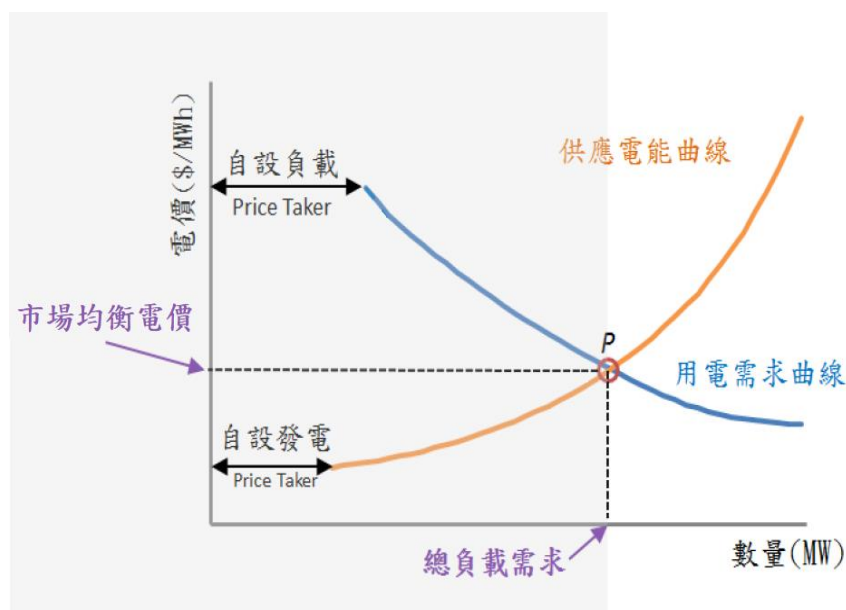


圖 5 電力市場供需平衡曲線圖

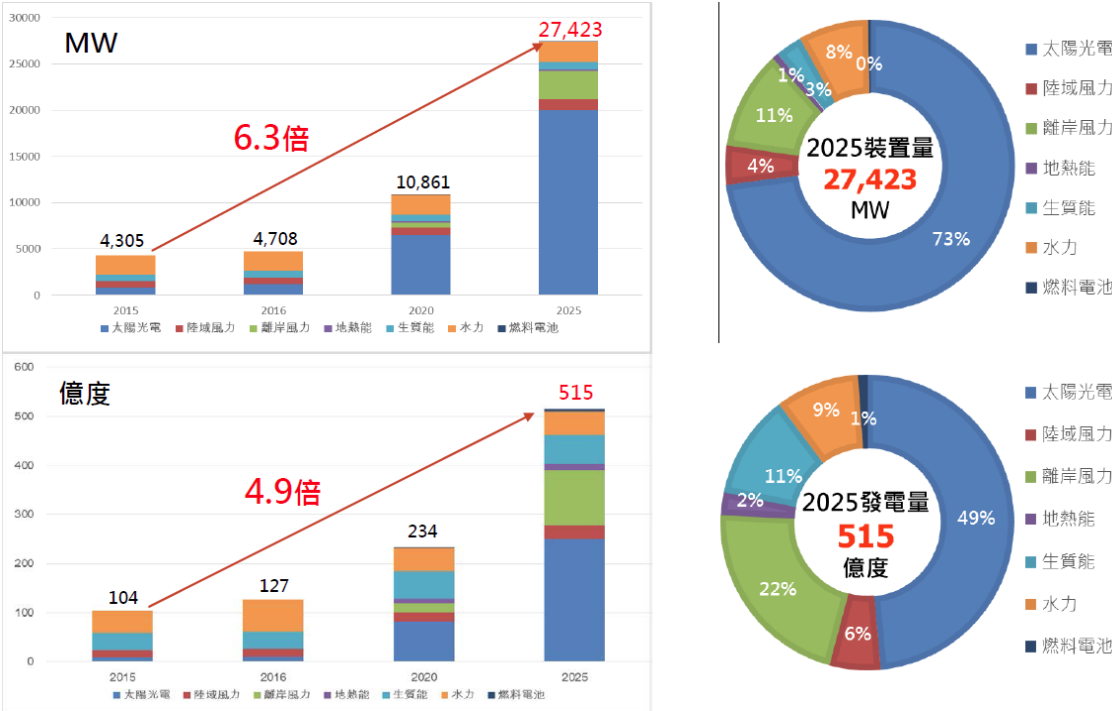
CAISO 目前在日前與即時市場之輔助服務項目為上/下調頻備轉容量、即時備轉容量、補充備轉容量，同時因應大量再生能源另有彈性升/降載及西部地區電能不平衡市場。另外針對不適合於日前及時市場交易的項目如全黑啟動、無效功率與電壓調整等，以雙邊合約的方式與合格供應商簽訂合約。即時市場與日前市場交易結果全部公開於 CAISO OASIS 網站，供市場參與者下載資料。ISO/RTO 每日公布電力系統需要之輔助服務需求量，合格輔助服務提供者可至交易平台投標，價格經由市場競標而決定，每日稍有不同，市場支付提供輔助服務的供應者，而成本由售電業分擔。

三、 我國輔助服務輔助服務運作模式研析

(一)我國再生能源設置目標與電網可靠度影響

邁向2025年，我國未來電能配比規劃為再生能源20%、燃煤30%、燃氣50%，如圖 6所示。IEA 對變動型再生能源(variable renewable energy, VRE)整合分為四個階段，如表 1所示，目前我國再生能源占比尚屬第一階段(<5%)，變動型再生能源對整個電力系統影

響甚小，負載和淨負載之間沒有明顯差異，對電網的影響可能發生於拼接點附近的局部電網，此階段主要的挑戰取決於所在地之電網條件，如饋線容量、變電所拱位等；2025年將進入第三階段(14-24%)。對整個電力系統而言，當大量漸歇性再生能源併入電網時，電網系統彈性與供應/需求平衡有重大關聯，此時淨負載之變化增多，傳統發電機組必須降載，同時因不同地點的天氣情況，整個電網的能流模式發生重大變化，對於電力系統的挑戰必須增加可用性的靈活的資源，如儲能系統、燃器複循環機組等。



資料來源：經濟部能源局

圖 6 我國再生能源設置目標

表 1 變動型再生能源整合的四個階段

屬性（增量與進度通過階段）

	第一階段 <5%	第二階段 5%-14%	第三階段 14-24%	第四階段 23%-52%
從透視系統角度描述	VRE 容量占比極小-不影響系統。	VRE 容量對系統操作員變得明顯	系統彈性與供應/需求平衡有重大關聯。	穩定性變得重要。VRE 容量可在某些時段 100% 供應需求。
對現有發電機組的影響	負載和淨負載之間沒有明顯差異。	淨負載的不確定性和可變性沒有顯著增加，但是現有發電機的運行模式略微改變以適應 VRE。	淨負載之變化增多。經營模式的主要差異；減少電廠持續運行	沒有發電廠整天調整輸出以適應 VRE。
對電網的影響	可能發生於併接點附近的局部電網狀況。	極有可能影響當地的電網條件；電力潮流的改變，可能發生輸電阻塞。	由不同地點的天氣情況驅動，整個電網的能流模式發生重大變化；電網的高壓和低壓部分之間的雙向流動增加。	要求電網範圍強化，增進電網從擾動中恢復之能力。
挑戰主要取決於	所在地之電網條件	需求和 VRE 輸出之間的匹配	可用性的靈活的資源	系統承受擾動強度

資料來源：IEA, Getting Wind and Sun onto the Grid-A Manual for Policy Makers, 2017.

(二)參與者及角色定位

我國修正《電業法》下與關於輔助服務市場之參與者及角色定位如表 2 所示，電業管制機關必須監督電業及電力市場，及電力調度之監督與管理；輔助服務係由輸配電業負責採購，來源對項可為發電業、自用發電設備、儲能系統、需量反應等；輸配電業取得輔助服務之程序與內容應公開透明，不得有歧視或差別待遇之情事。

表 2、電業法中對於輔助服務市場之參與者及角色定位

角色	電業法之定位
電業管制機關	監管：監督電業及電力市場、電力調度之監督與管理，擬定相關子法
輸配電業	提供輔助服務：提供輔助服務並收費，取得輔助服務過程必須公開透明
公用售電業	輔助服務來源：需量反應為輔助服務來之一
自用發電設備	輔助服務來源：可銷售裝置量之20%予輸配電業作為輔助服務
發電業	輔助服務來源：生產之電力容量得售予輸配電業作為輔助服務

再生能源發電業	輔助服務來源：生產之電力容量得售予輸配電業作為輔助服務
再生能源售電業	輔助服務來源：需量反應為輔助服務來之一

(三)交易模式

交易方式必須就電業環境及自由化程度考量，有不同的規劃，本研究以電力交易平台成立前後做為分界，分為台電試行方式及未來交易模式進行探討。

1. 台電試行方式

修正《電業法》尚未通過前，台電公司調度處自2014年起於公司內部試行輔助服務成本估算，參考 MISO 電力市場設計，建立一套火力機組競價平台。如圖 7所示參與投標的發電機組必須同時投標電能市場，透過全系統最低發電成本之目標函數，隨個時段負仔變化，計算出滿足電力系統運轉調條件之機組排程。截至目前已可將輔助服務成本從垂直整合的電價分離，並且於106年度完成輸配電業各項費率電價審議。但該部分成本尚未包含由需量競價機組提供輔助服務之成本，預計107年輸配電業各項費率成本中，開始納入計算。

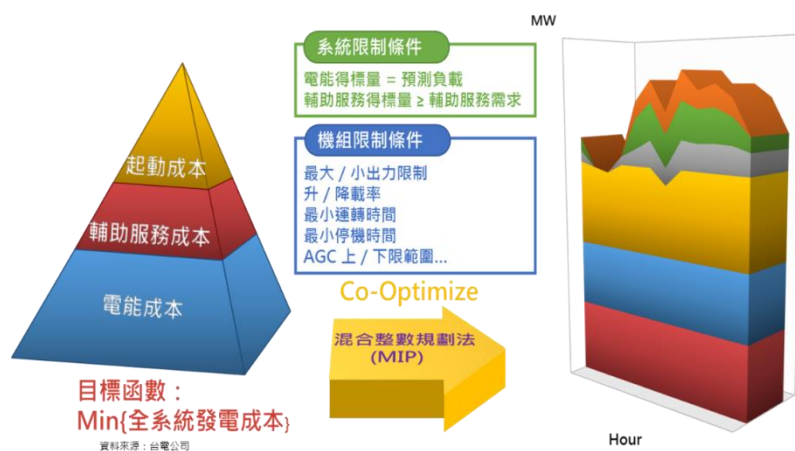


圖 7、台電火力機組競價平台計算算邏輯

現行之作法主要有三種取得方式，第一種係為「雙邊合約」制，主要對象為抽蓄水力和川流式水力等市場影響力較大的機組；第二種係為「競價」方式，主要對象為火力機組，各電廠需於調度日之前一日將能量及容量價格標單投標至競價平台，調度處於當天公布競價結果，隔日依此結果執行調度；第三種方式為「需量競價」，係透過業務處向用戶買回容量。

這三種取得方式之對象目前皆為台電內部部門，並未向非台電機組進行輔助服務採購，交易方式透過內部轉撥計價即可完成。修正《電業法》下規定自用發電設備可將電能售予輸配電業作為輔助服務之用，其銷售量以總裝置容量百分之二十為限。但台電公司國營企業，採購過程必須受《公共工程採購法》之限制，修正《電業法》並未將此採購行為排除採購法適用性，因此輸配電業向非台電機組採購輔助服務之議題，尚待採購法議題解套及台電公司對此之交易模式之規範確定後，經電業管制機關同意，即可實施。

2. 未來交易方式

由《電業法》之內容來看，未來輔助服務之採購方式應建立於電力交易平台上。輸配電業為電力市場發展之需要，經電業管制機關許可，應於廠網分工後設立公開透明之電力交易平台，預估為《電業法》通過後6~9年。電力交易平台之成員、組織、時程、交易管理及其他應遵行事項之規則，由電業管制機關定之。電力調度原則綱要條文中已明定輸配電業應建置相關軟硬體設備，以符合電力交易平台之需求。目前尚待解決的問題為電力交易平台之規範、電力交易平台所需之軟硬體設備及人力。並依電力系統情況，建立日前及即時輔助服務市場，滿足供電可靠度的要求。

表 2彙整電業法中對於輔助服務市場之參與者及角色定位，並以電力交易平台成立前後提出交易模式的建議。在電力交易平台成立之前，主要遵循台電調度處自行開發之競價平台，所有參與者必須符合台電調度處定出之技術規範，於交易日前競價，並公告隔日排程；電力交易平台成立後(預估6-7年後)，建議可設計即時市場，以滿足2025年之電力系統需求，以因應全系統20%之漸歇性再生能源變動。

表 3、電業法中對於輔助服務市場之參與者及角色定位

角色	交易平台成立前之交易模式	交易平台成立後之交易模式
電業管制機關	-	-
輸配電業	-	-
公用售電業	日前競價 (台電內部轉撥計費)	日前市場 即時市場
自用發電設備	日前競價 (目前尚無交易)	日前市場 即時市場
發電業	日前競價 (台電內部轉撥計費)	日前市場 即時市場
再生能源發電業	日前競價 (目前尚無交易)	日前市場 即時市場
再生能源售電業	日前競價 (目前尚無交易)	日前市場 即時市場

四、 結論與建議

綜整上述各國電力市場及輔助服務項目，如表 4所示，輔助服務的項目主要考量各國電力系統特性而設至，日本與韓國尚未建立輔助服務市場，也未將輔助服務費用從電能或轉供費用中分離，且日本輔助服務市場發展的進度稍落後我國，韓國則是暫停自由電力市場計畫；新加坡已具有以競價為基礎的輔助服務市場，其計費方式採節點計算；美國開放轉供已20年，針對相關費率的訂價方式也經過多年的討論，美國非自由化的區域採用固定的輔助服務費率向申請轉供的客戶收費，情況與我國相近，可做我國尚未建立輔助服

務市場前參考的依據；美國自由化的地區考量各區系統特性及再生能源設置量之差異，訂定之輔助服務項目略有差異。其中又以加州地區之再生能源設置比例達25%以上，其中又以太陽光電為最大占比，與我國未來電能配比規劃相似，因此加州 CAISO 輔助服務市場可作為我國未來發展自由競爭輔助服務市場之參考。

表 4 各國輔助服務項目

產品與服務	TVA	CAISO	ERCOT	ISO-NE	MISO	NYISO	PJM	SPP	NEMS	KPX	JAPAN
國家	美國								新加坡	韓國	日本
日前市場	#,*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	#	✓	*
即時市場	#,*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		*
調頻備轉	✓	Up/Dn	Up/Dn	✓	✓	✓	✓	Up/Dn	✓	以特訂價格對貢獻者進行補償	隱含於轉供費用內
即時備轉	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
補充備轉	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
全黑啟動		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
無效功率與	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

電壓調整											
電能不平衡		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			預備中
彈性升降載		✓		aim	✓	aim		aim			
壅塞產品		CRR	CRR	FTR	FTR	TCC	FTR	TCR			
容量市場		2003 容量要求		2010	2013	2006	2007				

指雙邊合約採購

* 指自我提供

CRR：Congestion Revenue Rights

FTR：Financial Transmission Rights

TCR：Transmission Congestion Rights

TCC：Transmission Congestion Contracts

參考資料

- [1] 10間 EPCOs 分別為北海道電力、東北電力、東京電力、東部電力、北陸電力、關西電力、中國電力、四國電力、九州電力、沖繩電力。
- [2] 電力システム改革貫徹のための政策小委員会中間とりまとめ（案），総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 電力システム改革貫徹のための政策小委員会（第4回），資料 3-2，2016/12/16。
- [3] Takehiko Matsuo, Secretary General, “JAPAN’S ENERGY OUTLOOK AND NEW CHALLENGES”, Jun. 2016.
- [4] 一般送配電事業託送供給等約款料金審査要領，平成29年4月1改正。
- [5] 費用の配賦・レートメーク，東京電力株式会社，平成27年11月。
- [6] Kwang-In Kim , The Key Issues in the Korean Electric System.
- [7] Korea Power Exchange, “The Korea Power Exchange and electricity market”.

- [8] Tennessee Valley Authority, “Transmission Service Guidelines FY2018 Edition,” TVA, Tech. Rep., October 2017. [Online]. Available: <https://www.oasis.oati.com/tva/> °
- [9] IEA, Getting Wind and Sun onto the Grid-A Manual for Policy Makers, 2017.