

出國報告（出國類別：實習）

小水力機組施工監造及檢驗試驗實習

服務機關：台灣電力公司 再生能源處

姓名職稱：劉全榜 工務組組長

派赴國家：英國

出國期間：105.06.20 ~ 105.07.08

報告日期：105.08.31

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：小水力機組施工監造及檢驗試驗實習

頁數 21 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司 / 陳德隆 / 02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

劉全榜/台灣電力公司/再生能源處/工務組組長/04-26580151

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 6 月 20 日~105 年 7 月 8 日 出國地區：英國

報告日期：105 年 8 月 31 日

分類號/目

關鍵詞：小水力發電 Small Hydropower，水頭 Head，水輪機 Turbine，
川流式水力發電 Run of River Hydropower

內容摘要：(二百至三百字)

小水力發電屬自產的再生能源，工期短風險較低，僅需規模較小的土木工程，環境影響較小，轉換效率可達70~90%，較其他再生能源高的容量因數（通常>40%），較低的運轉維護成本，既有成熟可靠的技術，設備壽命可達50年；缺點則為發電量受季節性影響變化大，且具經濟性的場址有限等。

現今可用的水輪機技術已更為廣泛，選擇最適合的技術與容量大小需要不同的方法，主要考慮因素包括環境保護及長期發電量等，且由考量裝置容量轉而聚焦在發電量，表示運轉時間必須在選擇水輪機的過程中列為重要考量。蓄水式的水力發電當然是以最高發電量時的性能來選擇水輪機，對於川流式水力，則須考慮整年水流量的資料及相對不同水輪機的性能。

英國小水力電廠的設計、施工，多已將環境生態維護、容入當地特色及噪音與汙染防制等考慮其中，可減少設置電廠的反對意見。小水力電廠設備簡單且僅需少量運轉維護工作，可由1人透過手機APP監控多個電廠，並搭配水輪機廠等協力廠商定檢或查修，可達到具成本效益之營運模式。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw>)

目 錄

頁次

壹、研習目標與行程	1
一、緣起及目標	1
二、行程安排	2
貳、小水力發電概要	2
一、定義及分類	2
二、水力發電原理	4
參、研習過程與內容	6
一、Renewables First Ltd公司研習	6
二、Gilbert Gilkes & Gordon Ltd公司研習	7
三、Freemans Reach小水力發電廠研習	10
四、各類型水輪機原理及應用	11
五、小水力發電系統設置流程	17
肆、心得與感想	18
伍、建議事項	19
附件1：斜衝式(Turgo)水輪機佈置圖.....	20
附件2：Gilbert Gilkes & Gordon公司水輪機適用範圍.....	21

壹、研習目標與行程

一、緣起及目標

2015年聯合國氣候峰會（COP 21）後，全世界更加重視氣候變化的議題，低碳能源已是未來必然的趨勢，台灣為抑制二氧化碳排放量及因應廢核及長期依賴的化石燃料日益枯竭及價格飆漲等問題，亟需開發符合環保並取之不盡的再生能源。

目前各國傾力發展再生能源，水力發電資源之開發再受重視，尤其是環境衝擊較小的小水力發電已是推動再生能源之重要項目。本處負責再生能源發電相關規劃設計、施工及運維工作，惟目前欠缺相關小水力發電之設計、施工監造及營運經驗，且國內小水力發電廠商亦無具規模之實績經驗可供參考應用，爰擬訂本次出國研習計畫。

本次出國研習計畫，赴英國Renewables First Ltd工程顧問公司研習小水力發電規劃評估及設計、施工等議題，並至Gilbert Gilkes & Gordon Ltd水輪機公司研習水輪機製造、試驗及相關應用及選用條件等，另前往Romney、Scandale Beck、Rydal Beck、Pershore Weir及Freemans Reach等小水力發電廠研習電廠相關設計、施工及運轉維護經驗。

藉由本次出國計畫，可以瞭解英國小水力發電相關技術觀念及應用情形，以增進本處小水力發電領域之知識、技術及經驗，對於將來公司開發小水力發電系統在規劃設計、規範制訂、施工監造及運維規劃等各階段工作皆能有所助益。

二、行程安排

本次出國研習透過英國商會台北辦事處British Chamber of Commerce in Taipei協助聯繫相關公司，並根據研習目的及需求安排行程如下表1：

表 1：出國行程表

日期	地點	天數	工作內容
105.6.20		1	往程（台北 — London）
105.6.21~ 105.6.22	London	2	Romney Hydropower Station 研習小水力電廠相關設計、施工及運轉維護
105.6.23~ 105.6.28	Stroud	6	Renewables First Ltd 研習小水力發電規劃評估及設計、施工等議題 Pershore Weir Hydropower Station 研習小水力電廠相關設計、施工及運轉維護
105.6.29~ 105.7.6	Kendal	8	Gilbert Gilkes & Gordon Ltd 研習水輪機製造、試驗及相關應用及選用條件等 Scandale Beck Hydropower Station Rydal Beck Hydropower Station Freemans Reach Hydropower Station 研習小水力電廠相關設計、施工及運轉維護
105.7.7~ 105.7.8		2	返程（London — 台北）

貳、小水力發電概要

一、定義及分類

依電業法第8條規定，水力發電之容量在二萬瓩以上者國營，但經中央主管機關特許者，不在此限。另依台電「收購小水力電能實施辦法」，總裝置容量未達二萬瓩者稱為小水力。故依據現行規定，裝置容量2萬瓩（20MW）以下之水力發電應可界定為小水力。

世界各國對於多少裝置容量以下是屬於小水力，並無一致性的定義，此外，對於小水力發電通常依裝置容量又可區分為迷你水力（Mini）及微型水力（Micro），經整理主要國家對於小水力之區分方式，如下表2。

表 2：小水力之區分定義

	聯合國	美國	英國	台灣(台電)
Small Hydropower	1~10MW	< 30MW	< 1MW	< 20MW
Mini Hydropower	100~1000kW	-	-	100~1000kW
Micro Hydropower	< 100kW	< 100kW	< 100kW	< 100kW

歸納小水力發電的優點：屬自產的再生能源，工期短風險較低，僅需規模較小的土木工程，環境影響較小，轉換效率可達70~90%，較其他再生能源高的容量因數（通常>40%），較低的運轉維護成本，既有成熟可靠的技術，設備壽命可達50年。缺點則有發電量受季節性影響變化大，具經濟性的場址有限等。

水力發電通常依其設施及水流的方式區分為四種類型，水庫式（Reservoir）、抽蓄式（Pumped Storage）及川流式（Run of River），此外還有較新且較少開發的水中式（In-Stream）利用水流速度之動能（Hydrokinetic energy）推動水輪機發電。水庫式及抽蓄式屬傳統大型水力發電方式，多數的小水力發電系統都屬川流式，而In-Stream則是較新式且多屬容量較小的微型水力。

川流式水力發電（Run of River hydropower, ROR）主要藉由河川中可用的水流來發電，當水流量低於設計流量時，則電廠無法發電。川流式水力發電大多無設置儲水設施，或僅興建短時間（小時或日）的儲水設施，這種儲水設施稱為調整池或前池；由於沒有大型儲水設施的建置，川流式發電通常視下雨量及河水流量，可能每日、月或季的發電量變化很大，如無設置儲水設施或位於較小河川，則發電量變化將更大，因此川流式發電廠通常歸類為間歇性的電力來源。而如果川流式發電廠中建置可以調節水流量的調整池，將可作為調峰電廠或是基載電廠。典型的川流式水力發電廠如下圖1。

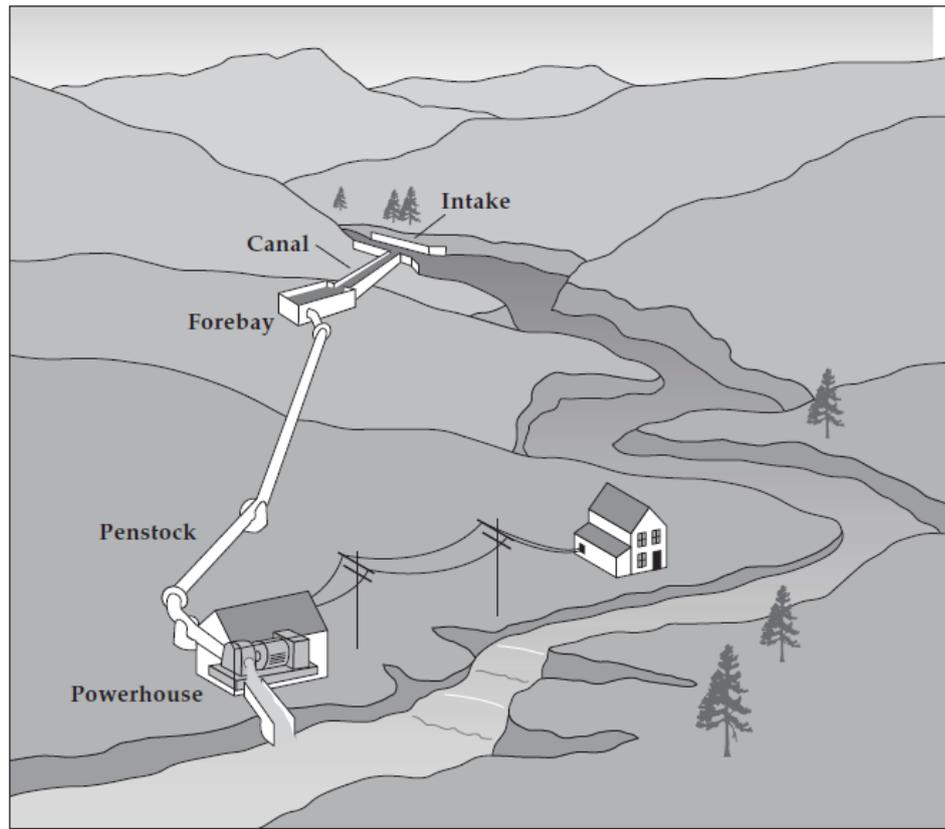


圖1：典型之川流式水力發電廠

依「再生能源發展條例」第3條之定義，川流式水力是「指利用圳路之自然水量與落差之水力發電系統」，另依「再生能源發電設備設置管理辦法」規定，圳路是「指灌溉水渠或其他用途之水流渠道」。故河川小水力發電雖屬再生能源，目前不適用「再生能源發展條例」之躉購費率（105年度再生能源電能躉購費率，川流式水力為每度2.9078元），而適用台電「收購小水力電能實施辦法」之併網電能計價費率，若以一般川流式小水力電廠估計，平均躉購費率每度約1.9~2.5元。

二、水力發電原理

水力發電的基本原理是利用水位落差，利用水的位能轉換為水輪機（Turbine）的機械能，再以機械能推動發電機（Generator）而產生電力。水力發電主要組成部分包括攔水構造物（壩、堰及進水口）、引水構造物（引水渠道、隧道或壓力鋼管）、發電廠房（包括尾水路）及輸變電設備四大部分組成。

水力發電的要素是水的流量（Flow）與水頭（Head），流量是單位時間水流體積的移動量，流量的單位是每秒多少立方公尺（ m^3/sec ）；水頭是水從高處流到低處的垂直距離落差，單位是公尺。水力發電的最大發電量取決於可用的流量與水頭，一般而言，有較高的水頭比較大的流量更為有利，因為可採用較小的設備，通常水頭需至少2公尺才可能具有設置水力發電的經濟效益（BHA）。

評估水力發電的發電量可用簡單的公式計算如下：

$$P = Q \times g \times H_{\text{net}} \times \eta$$

其中：P 為發電量（kW）

Q 為質量流量mass flow rate（因水密度為1故質量流量
 $1000\text{kg}/\text{sec} = 1\text{m}^3/\text{sec}$ 之體積流量volume flow rate）

g 為重力加速度（ $9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ ）

H_{net} 為淨水頭（m），是水流經水輪機的有效水頭

η 為水力發電系統的整體轉換效率，包括水輪機、齒輪箱、
發電機、升壓變壓器等之效率總和

典型的小水力機組，如採用優良的水輪機，轉換效率可達80%~超過90%，惟效率會隨著容量減小而降低；另齒輪箱效率約95%，發電機效率約93%，升壓變壓器效率約95%，因此通常估算小水力發電量的公式可簡化為如下公式，此亦為英國水力協會British Hydropower Association(BHA)提出之評估計算公式：

$$P (\text{kW}) = 7 \times Q (\text{m}^3/\text{sec}) \times H_{\text{net}} (\text{m})$$

參、研習過程與內容

一、Renewables First Ltd 公司研習

Renewables First Ltd 位於史特勞德(Stroud)，為英國再生能源領域著名之工程顧問公司，其主要專精於小水力發電及小型風力發電，從初期可行性評估、許可申請、工程設計、施工、試運轉及運轉維護等，都能提供相關服務。

本次研習主要與該公司工程師及顧問William Houghton、Richard Rider及Adrian Ezard討論包括小水力發電設置流程、工程成本、防洪水設計、水輪機應用情形、運轉監控模式、運維人力需求等議題（圖2），並安排至該公司設計及統包完成的Persnore Weir小水力電廠，由其工程師解說相關設計概念及施工過程（圖3）。



圖2：Renewables First Ltd公司研討 圖3：Persnore Weir小水力電廠研習

Persnore Weir小水力發電廠裝置容量224kW，設置於雅芳河River Avon旁，水頭約2M，由Renewables First負責設計及統包，共安裝2台長度8M直徑4M的阿基米德螺旋式水輪機（Archimedes Screw），安裝水輪機之水泥結構須確保與水輪機緊密結合以使效率及性能達到最大。

因為英國春夏季為乾季，電廠在2014年春夏季進行施工，設置一長140M 寬35M的引水渠道將水流由雅芳河的攔河堰引至水輪機房，渠道施工時須管控及保護其邊坡土壤不被侵蝕，並確保施工後之環境生態能維持良好。水輪機進水口設置有自動水閘門，於必要時可關閉水流進行

維修。機房約長17M 寬10M 高4M，機房內安裝有水輪機、發電機、齒輪箱、液壓系統、水質監測、水輪機控制系統及變頻器等（圖4、5）。該小水力電廠於2014年8月由阿基米德螺旋式水輪機製造廠商Spaans Babcock試運轉完成，透過地下電纜將電力供給位於對岸的Persnore Leisure Centre，年發電量約85萬度，因該電廠設計及施工品質優良，曾獲得當地土木工程學會2015年永續獎及年度工程獎。



圖4：Persnore Weir電廠發電機



圖5：Persnore Weir電廠變頻器

二、Gilbert Gilkes & Gordon Ltd 公司研習

Gilbert Gilkes & Gordon Ltd 位於肯德爾(Kendal)，為國際著名之水輪機及泵浦製造公司，從事水輪機製造已經有160年歷史，生產的水輪機容量範圍涵蓋50kW~20MW，生產的水輪機種類包含佩爾頓(Pelton)式、斜衝(Turgo)式及法蘭西斯(Francis)式水輪機。

本次研習由該公司國際業務主管Julia Chaplin、Andrew Eton及Gareth McMann工程師等接待，除研習各式水輪機製程及品管檢驗外(圖6、7)，並與該公司人員討論水輪機相關應用及選用條件、成本、保固及維修服務方案、水輪機性能與發電量分析方法等。後續期間並安排至該公司投資及供應水輪機並甫於近期完工之Rydal Beck與Scandale Beck小水力發電廠參訪，以瞭解小水力電廠之相關設計布置及施工與試運轉要領。



圖6：水輪機製程研習



圖7：Pelton式水輪機runner

Rydal Beck小水力發電廠投資金額約2百萬英鎊，位於英國知名的湖區(Lake District)國家公園內，經湖區國家公園核准後才得以興建。由主教區Diocese及水輪機公司Gilbert Gilkes & Gordon與規劃設計公司Ellergreen Hydro合作完成，替代原址超過90年的水力電廠。

經Gilkes公司人員說明，因電廠設置於環境敏感度極高的國家公園，施工時需極度小心，埋設壓力鋼管需讓對於林地的影響降至最小，甚至請生態學者監督施工過程，而特別設計之石造水輪機房與當地建築保持一致性，且設置專業隔音設施以降低對鄰近住宅的影響（圖8、9）。

電力供應Rydal Hall使用且有多餘電力可併入國家電網，可對湖區國家公園的低碳願景有重大貢獻。依廠商提供之發電量及售電金額數據，運轉1年(至2016年4月)之平均容量因數約41%，售電收益約7萬英鎊，估計並換算其售電費率約每度1.9元新台幣，並未較我國為高。



圖8：Rydal Beck小水力發電廠

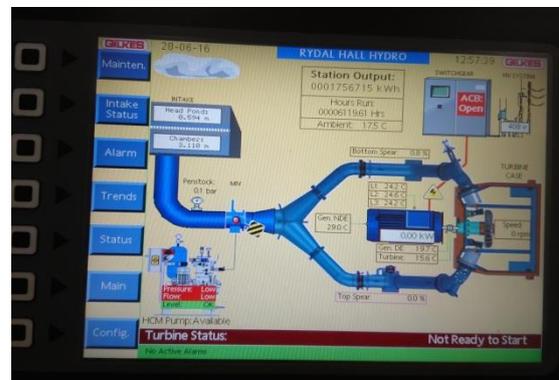


圖9：Rydal Beck機組監控系統螢幕

Rydal Beck小水力發電廠之基本資料經整理如下表3。

表 3：Rydal Beck 小水力電廠基本資料

Consenting timeline:	June 2012~Dec 2013
Construction timeline:	2014~2015
Commissioning date:	August 2015
Turbine:	Gilkes Turgo
Generator:	synchronous
Intake type:	coanda screen
Gross head:	99m
Catchment area:	6.6km ²
Max turbine flow:	690lps(liter/sec)
Max output:	500kW
Penstock length:	710m

Scandale Beck小水力發電廠亦位於英國湖區(Lake District)國家公園內，總投資金額2.8百萬英鎊，淨水頭達195m，裝置容量907kW 為湖區最大(圖10、11)。由主教區Diocese及水輪機公司Gilbert Gilkes & Gordon與規劃設計公司Ellergreen Hydro共同投資並合作完成。

電廠採用Gilbert Gilkes & Gordon製造的Twin Jet Pelton水輪機，額定轉速為750rpm。水輪機房設計以當地石塊包覆，以確保在高度敏感的國家公園保護區造成的視覺影響最小。Gilkes水輪機設計過程中使用CFD modelling以達到水輪機性能最佳化，水力電廠的整體效率可達到90%以上，依廠商提供啟用後5個月之累計發電量，計算容量因數達55%。



圖10：Scandale Beck小水力機組



圖11：Scandale Beck水輪機房

Scandale Beck小水力發電廠之基本資料經整理如下表4。

表 4：Scandale Beck 小水力電廠基本資料

Consenting timeline:	August 2011~ Dec 2013
Construction timeline:	Sept 2014~Sept 2015
Commissioning date:	Nov 2015
Turbine:	Gilkes Pelton
Generator:	synchronous
Intake type:	coanda
Gross head:	195m
Catchment area:	4.8km ²
Max turbine flow:	555lps
Max output:	907kW
Pipeline length:	2100m

三、Freemans Reach 小水力發電廠研習

為了解社區合作開發小水力的模式，本次行程安排前往位於杜倫(Durham)的Freemans Reach小水力發電參訪，電廠位於杜倫市中心的威爾河River Wear河畔(圖12)，僅安裝1台阿基米德螺旋式水輪機(Archimedes Screw)驅動容量100kW之發電機(圖13)，阿基米德螺旋式水輪機長13M，重20公噸。

Freemans Reach小水力發電系統是由Freemans Reach開發商與杜倫市議會合作開發，主包商Carillion負責土木施工，Spaans Babcock負責水輪機等安裝，水力電廠完成後由杜倫市議會運轉維護，可以提供該新開發區75%電力需求。電廠是由Renewables First Ltd負責可行性研究、設計、試運轉、監控以及魚通道fish pass設計工作。

電廠之淨水頭僅約2.83M，河流總平均流量14M³/sec，水力系統可利用其中的流量達6M³/sec，依設置時之評估，年發電量約49.6萬度。經廠商說明，威爾河River Wear有鮭魚等魚類會通過場址的上下游，水力系統為改善生態環境讓魚可以迴游，於是在水輪機旁設置魚通道Larinier fish pass，且魚類可以安全地穿過阿基米德螺旋式水輪機到下游，因此不須

在水輪機上游安裝魚網。



圖12：Freemans Reach電廠進水口



圖13：Archimedes Screw水輪機

四、各類型水輪機原理及應用

水力發電最重要的機械設備為水輪機，水輪機是將水的動能與位能轉變為機械能的設備，目前廣泛被使用的水輪機有相當多種類型，通常依水頭（Head）的高低及流量（Flow）大小選擇適合的水輪機，此外，效率及成本也是考慮要項。經本次出國至Gilbert Gilkes & Gordon公司及Renewable First公司交流研習，整理各類型水輪機之原理及應用如下。

依動作原理水輪機可分為以下三種類型：

(一) 衝擊式（Impulse）：將水流的壓力水流，轉換為速度水流，以推動水輪機並將水流經由噴嘴噴射在水輪周邊的輪葉，以推動水輪機發電，一般用在高水頭，小流量的地方。衝擊式的水輪機主要有佩爾頓（Pelton）式、斜衝（Turgo）式及橫流（Crossflow）式三種型式。

1. 佩爾頓（Pelton）式水輪機：

佩爾頓式水輪機(圖14)藉由水流的衝擊擷取能量，水流經噴嘴（Nozzles）以水輪機轉輪切線的方向衝擊轉輪圓周上的輪葉，

衝擊輪葉後的水只剩非常小的速度，佩爾頓的設計幾乎把水流全部的能量轉移到轉輪的輪葉，因此效率可以達到很高。

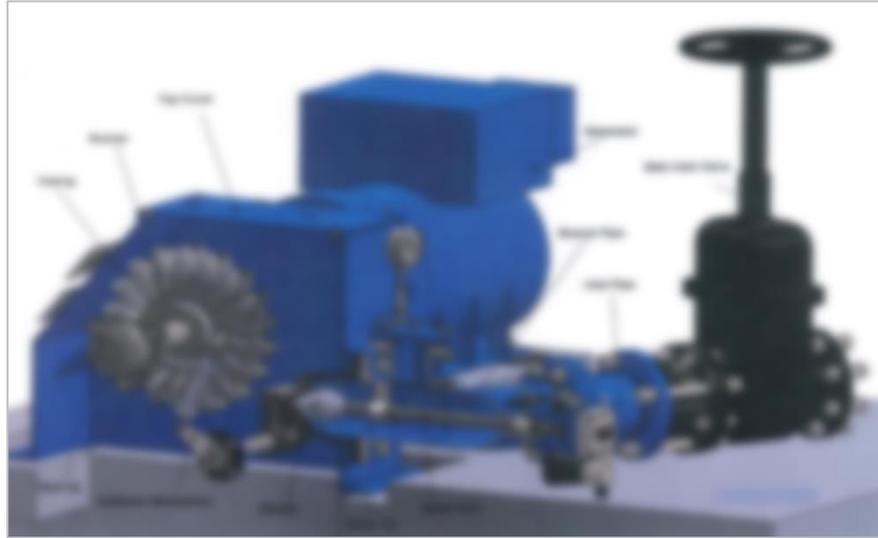


圖14：Pelton式水輪機（Gilbert Gilkes & Gordon Ltd.）

2. 斜衝（Turgo）式水輪機：

斜衝式水輪機(圖15)為佩爾頓（Pelton）式的改良型，為Gilbert Gilkes & Gordon公司所發明，噴嘴（Nozzles）以某一角度噴射衝擊輪葉，其特點為可運轉於較大的流量範圍；在相同的流量下，可比佩爾頓式有較小直徑的水輪機轉輪以及更高的轉速，且可運轉在低流量的條件下，因此特別適合川流式發電系統。

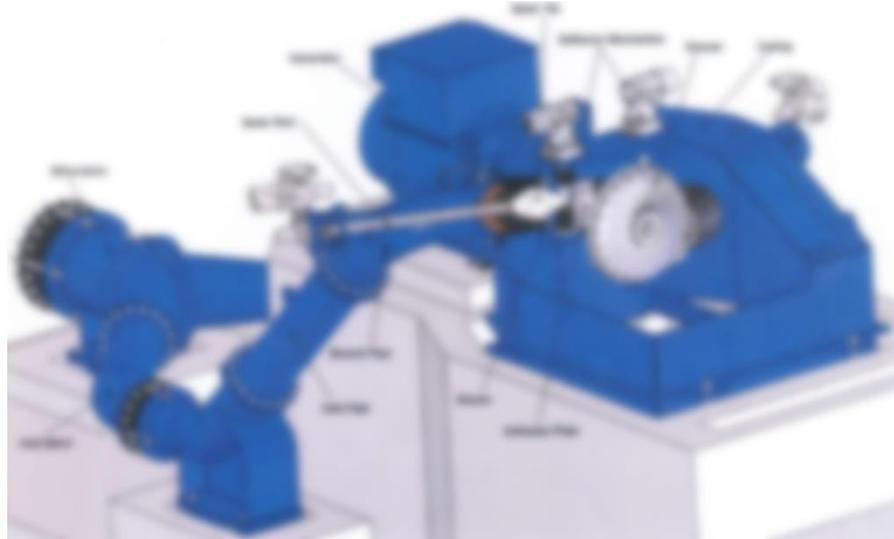


圖15：斜衝式Turgo水輪機（Gilbert Gilkes & Gordon Ltd.）

3. 橫流式 (Crossflow) 或稱雙擊式水輪機：

橫流式水輪機(圖16)由圓筒狀的轉輪 (Runner)、葉片及水平式的轉軸 (Shaft) 組成。水流由轉輪上方經過導翼 (Guide vanes) 進入轉輪，水流橫向地通過水輪機，或是直接穿過葉片，水由水輪機外部流經內部，然後穿過轉輪流出水輪機，因為水流經過轉輪兩次而提高了轉換效率。橫流式水輪機屬於一種低速裝置，因此其適合安裝於低水頭，高流量的廠址。



圖16：橫流式Crossflow式水輪機

- (二) 反動式 (Reaction)：反動式水輪機利用進入的水流產生流體動力推動轉輪 (Runner) 的葉片，流體的一部分能量是未進入轉輪以前，亦即經過可調式導翼 (Guide Vanes) 時，被轉換為動能，另一部分是經過轉輪時被轉換為動能。所有的通路，包括從轉輪到下游尾水管，均充滿流體，此運作方式與衝擊式水輪機有很大不同。當流體離開轉輪時還保持相當可觀的動能，尾水管的功用就是將此動能換回成流體位能。反動式輪機主要有兩種形式：法蘭西斯 (Francis) 式水輪機與螺旋葉片 (Propeller) 式水輪機。

1. 法蘭西斯 (Francis) 式水輪機：

法蘭西斯式水輪機(圖17)的動作原理是將有壓力的水流導入封閉而飽和的渦輪室中，使水流作用在整個轉輪上，轉輪一般有9片以上的固定葉片，驅動時水自輻射方向進入，經過葉片後沿中心軸向流出，而在中水頭的水力系統，轉輪通常置於螺旋型且具有可調式導翼 (Guide Vanes) 的外殼裡。

法蘭西斯水輪機主要用在中水頭及大流量的水力發電系統，通常用在蓄水式的較大水力電廠，且由於橫流式 (Crossflow) 水輪機成本較低，在小水力系統已較少採用螺旋型的法蘭西斯式水輪機。

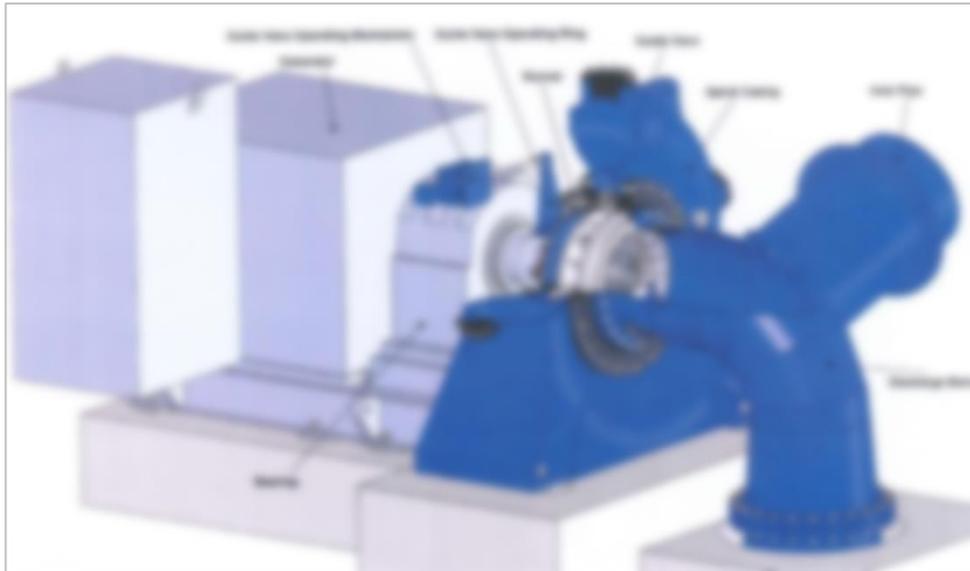


圖17：法蘭西斯Francis水輪機 (Gilbert Gilkes & Gordon Ltd.)

2. 螺旋葉片 (Propeller) 式水輪機：

螺旋葉片式水輪機的轉輪(Runner)通常具有3至7個葉片，類似船的螺旋槳推進器，其水流經由管路讓水流的壓力持續驅動葉片，轉輪葉片的角度可為固定或可調式，螺旋葉片式的水輪機又分為數種不同類型，包括卡普蘭 (Kaplan) 式、管狀 (Tube) 式及燈泡型貫流 (Bulb Tubular) 式水輪機等。其中卡普蘭 (Kaplan) 式水輪機(圖18)最被廣泛使用，為法蘭西斯式

(Francis)水輪機演變而來，具有可自動調整角度的螺旋葉片以及可自動調整的導翼組合，為內流反擊式水輪機的一種。水流進入水輪機後，流體壓力因而改變，也使得能量的損失，而能量便從水頭與水流的動能兩者上取得。此種水輪機設計結合了徑向和軸向水輪機的功能，目前廣泛使用於高流量、低水頭的水力發電廠中。

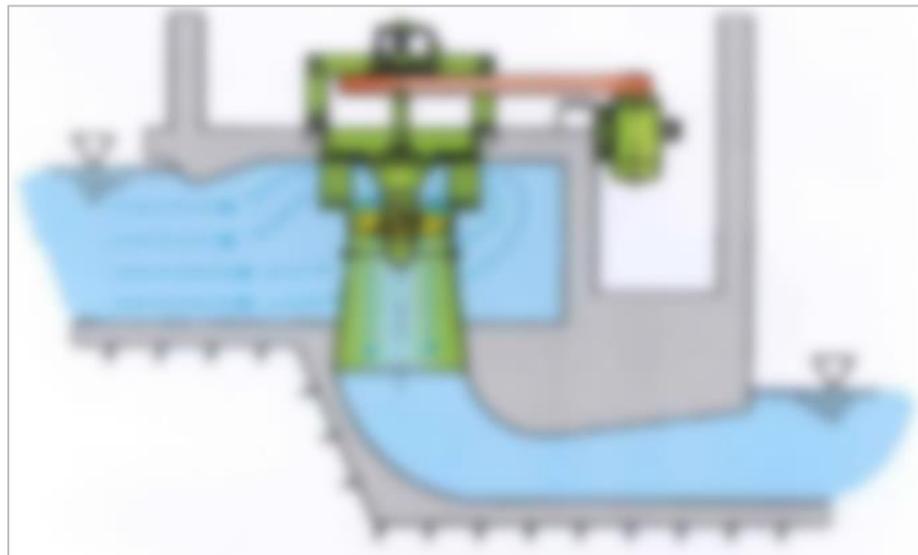


圖18：卡普蘭Kaplan水輪機 (Renewable First Ltd.)

(三) 重力式(Gravity):阿基米德螺旋式水輪機(Archimedes Screw)
(圖19)為重力式水輪機，此型式機組國內尚未被使用，本次研習參訪之Pershore Weir及Freemans Reach小水力電廠皆採用此型機組。

Archimedes Screw之設計原來使用作為抽水機，已經有數百年的歷史，現今將其設計反向使用做為水輪機，近十年才發展應用在小水力系統。水流由上方進入，水的重力推動螺旋狀的水輪機轉動後由下方流出，其動作原理與上射型(Over-shot)水車相似，但其螺旋外形可使其轉速較相似的水車更高且轉換效率可超過80%，惟其仍屬慢速運轉的機組，因此需要多級的齒輪箱來驅動標準發電機。其主要優點是不需要細的進水濾網及

自動清洗系統，因為大部分的水中雜物可以安全通過水輪機，且具有對於魚類生存較為友善的特點。

依Renewable First Ltd 提供之資料，螺旋式水輪機正常是與水平22度之角度安裝，此為最具成本效益的最佳安裝方式，較佳的螺旋式水輪機為可變速運轉，轉速可隨流量的大小而改變，主要適用於中高流量、低水頭的小水力系統。

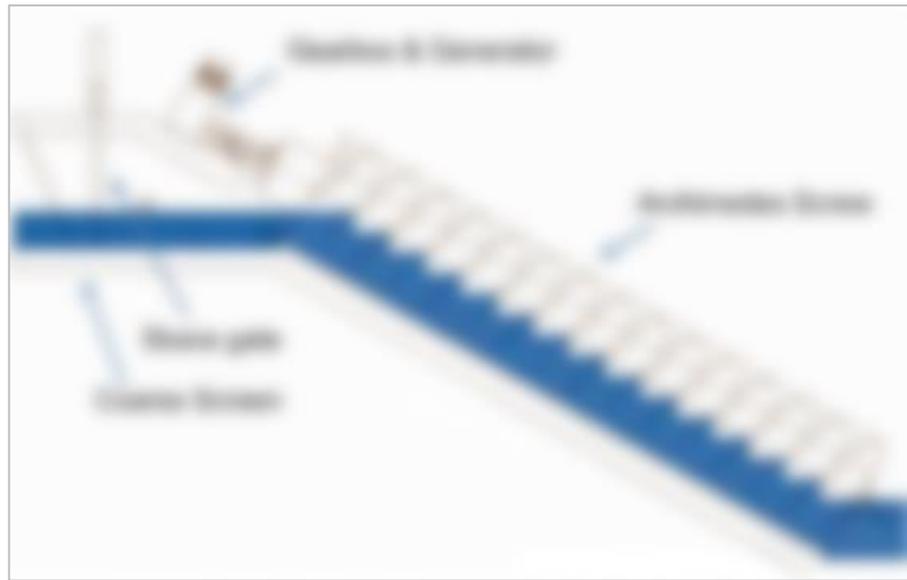


圖19：阿基米德螺旋式水輪機（Renewable First Ltd.）

現今可用的水輪機技術已更為廣泛，選擇最適合的技術與容量大小需要不同的方法，主要考慮因素包括環境保護及長期發電量等，且由考量裝置容量轉而聚焦在發電量，表示運轉時間必須在選擇水輪機的過程中列為重要考量。蓄水式的水力發電當然是以最高發電量時的性能來選擇水輪機，對於川流式水力，則須考慮整年水流量的資料及相對不同水輪機的性能。

另依Gilbert Gilkes & Gordon Ltd 提供之資料，通常水頭（Head）如大於300m，只有佩爾頓（Pelton）式適用，水頭小於50m 則考慮法蘭西斯（Francis）式，若水頭50~300m 則佩爾頓（Pelton）式、斜衝（Turgo）式及法蘭西斯（Francis）式皆可做為選項。

五、小水力發電系統設置流程

小水力發電的開發流程基本上包含可行性研究、初步規劃、許可申請、細部設計、施工安裝及試運轉等各階段，Renewable First公司提供之開發流程(圖20)大致上與國內之開發步驟相同，顯示總期程約需24個月，此應屬相當順利之案例，實務上設置期程應該需要更長的時間，尤其水力開發往往涉及水權、環評、籌設及施工許可等前置作業耗費時日且涉及外部關係人較多，實際上如進入施工階段以後，所需時間應相對容易掌控。

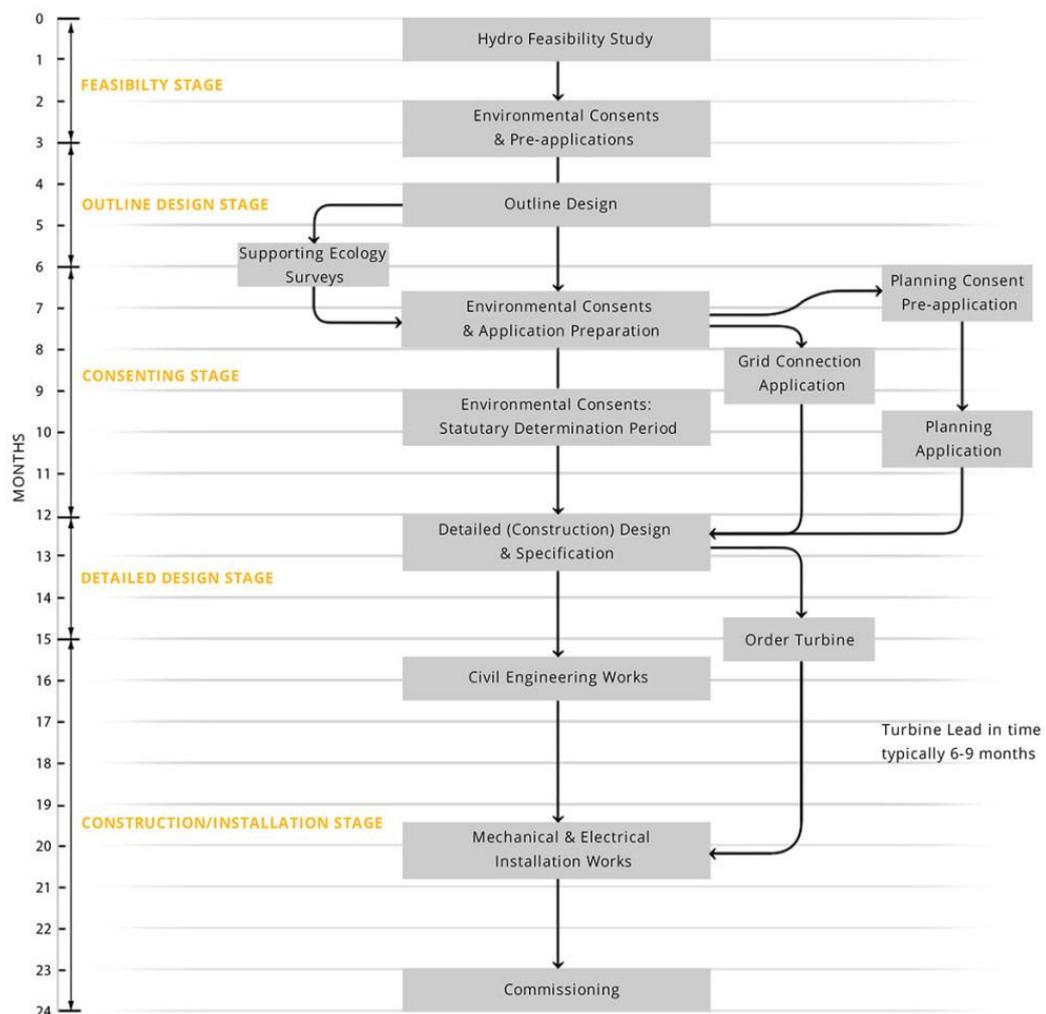


圖20：小水力發電系統設置流程(Renewable First Ltd)

肆、心得與感想

- 一、感謝公司給予本次出國實習的機會，尤其能前往再生能源技術及觀念領先的英國，雖然出國實習時間緊湊，透過這次實習仍對於英國在小水力發電之設置及應用有一定程度瞭解，並且增加很多關於小水力發電系統規劃設計、施工及運轉維護各方面的知識與經驗。此外，本次出國行程安排承蒙英國商會台北辦事處 British Chamber of Commerce in Taipei 的 Jenny Lin 協助聯繫英國相關公司，以及本公司電源開發處水源組林組長於行程前提供相關參考資料，特別在此表達謝意。
- 二、本次出國於夏季屬英國乾季，可見到部分電廠進口水位不足無法發電。小水力發電量受季節性影響變化大，尤其小水力電廠多屬川流式，發電通常視下雨量及河水流量，可能每日、月或季的發電量變化很大，如無設置儲水設施或電廠位於較小河川，則發電量變化將更大。此特性應於廠址評估時列為重要考量，因此長期水文調查及流量分布資料之正確性相當重要。
- 三、水輪機多屬訂製品，選擇適合之水輪機需考量廠址條件，如水頭、流量、安裝空間、合理預算等。而現今可用的水輪機技術已更為廣泛，選用水輪機由考慮裝置容量轉為考慮環境保護及長期發電量等，且流量分布及機組運轉時間必須列為重要考量。
- 四、Gilbert Gilkes & Gordon 公司所發明之斜衝式 (Turgo) 水輪機，其特點為可運轉於較大的流量範圍；在相同的流量下，可比佩爾頓式有較小直徑的水輪機轉輪以及更高的轉速，且可運轉在低流量的條件下，因此頗適合川流式小水力系統。該機組之佈置圖如附件 1，適用之水頭及流量範圍如附件 2。
- 五、我國再生能源發展條例對於川流式水力之定義局限於灌溉水渠，此舉與各國普遍對於川流式之認知有相當歧異，且縮限了國內小型水

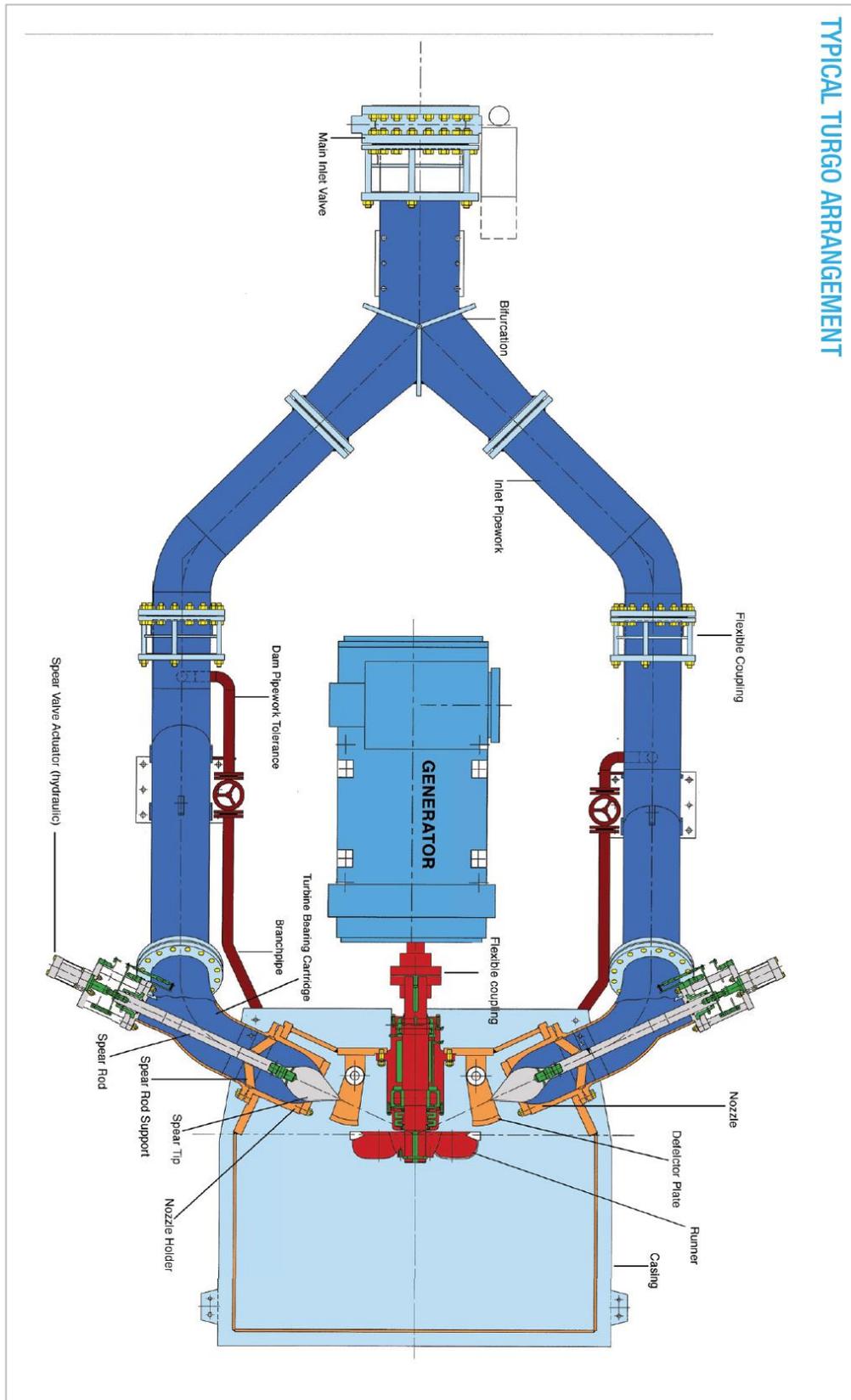
力開發的潛力及誘因，一般河川的川流式水力發電恐易被忽略而未善加開發利用。

六、 Gilbert Gilkes & Gordon 公司所提供相關水輪機規格、性能及價格資料已轉送營建處及開發處主管水力發電之人員參考，希望能增加本次出國實習之效益。

伍、建議事項

- 一、小水力具有優點：屬自產的再生能源，施工期短風險較低，環境影響較小，轉換效率可達 70~90%，較其他再生能源的容量因數高（通常 >40%），較低的運轉維護成本，且為既有成熟可靠的技術。於現今推展再生能源需求孔急之環境下，本公司應積極尋找合適且具經濟性之廠址開發小水力，而單一廠址的裝置容量建議仍應篩選至少 100kW 以上，才較具有規模效益亦可降低電廠營運之單位成本。
- 二、近年國內部分業者及學術單位推廣於圳路中設置微型水力，屬目前較新且較少開發的 In-Stream 水力發電，利用水流速之動能推動水輪機，惟依英國顧問公司意見，此類型技術多尚未成熟且屬容量較小的微型水力，經濟性不足且尚無相關驗證及運轉維護經驗，目前似仍不適合本公司自己發展。
- 三、英國小水力廠的設計、施工，多已將環境生態維護、容入當地特色及噪音與汙染防制等考慮其中，可減少設置電廠的反對意見，值得本公司在規劃設置相關發電設施時參考學習。
- 四、小水力電廠設備簡單且僅需少量運轉維護工作，可由 1 人透過手機 APP 監控多個電廠，並搭配水輪機廠等協力廠商定檢或查修，可達具成本效益之營運模式。小水力電廠亦屬分散式再生能源，相關監控營運模式可作為本公司營運同屬分散式之風場或光電廠參考。

附件1：斜衝式(Turgo)水輪機佈置圖



附件2：Gilbert Gilkes & Gordon公司水輪機適用範圍

