

知識物件上傳表

計畫名稱：112 年度能源先期管理制度執行、查核與研究 (1/2)

上傳主題：我國資料中心最佳可行節能技術規範基準之研究

提報機構：台灣經濟研究院

提報時間：112 年 11 月 27 日

與計畫相關	☒ 1.是 ☐ 2. 否
國別	1. ☒ 國內 2. ☐ 國外：美、日、韓、新、中、德
能源業務	☒ 1.能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) ☐ 2.石油及瓦斯 ☐ 3.電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) ☐ 4.新及再生能源 ☒ 5.節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) ☐ 6.其他
能源領域	☐ 1.能源總體政策與法規 ☐ 2.能源安全 ☒ 3.能源供需 ☐ 4.能源環境 ☐ 5.能源價格 ☐ 6.能源經濟 ☐ 7.能源科技 ☐ 8.能源產業 ☒ 9.能源措施 ☐ 10.能源推廣 ☐ 11.能源統計 ☐ 12.國際合作
決策知識類別	☐ 1.建言（策略、政策、措施、法規） ☒ 2.評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) ☐ 3.標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 ☐ 4.其他：
重點摘述	近年來，由於地緣政治、積極招商以及我國 ICT 技術與經濟發展實力廣泛受到國際普遍重視，因此陸續有多家國際知名國際網路公司來台布建大型資料中心

	(data center)，為確保我國產業能源使用效率與技術發展現況適時與國際接軌，達到能源供需平衡與安全，使產業更穩健發展之目標，故而邀約相關領域之專家先進，籌組專家小組協助蒐研相關資料共同研議與探討，並產出一最佳可行技術審查基準草案，以做為未來當相關產業為能源先期管理制度所納管之參考指引。																		
詳細說明	一、 前言 由於我國 98%的能源需依賴進口，因此為維護我國未來能源供應之穩定、兼顧經濟發展與環境保護，有必要對產業未來投資計畫導入能源先期管理概念。為此，政府依據「預防原則」之考量，規範大型投資生產計畫，預作能源使用評估，採行能源效率最佳可行技術規劃，並援引歐盟最佳可行技術參考文件(BREFs)作為審查參考依據，經能源使用說明書審查核准後始得興建。近年來，由於地緣政治、積極招商以及我國 ICT 技術與經濟發展實力廣泛受到國際普遍重視，因此陸續有多家國際知名國際網路公司來台布建大型資料中心(data center)。但另一方面，由於資料中心耗能密度極大，且援引歐盟最佳可行技術參考文件(BREFs)作為審查參考依據之條文並不包含關於資料中心的能源效率規範。因此，規劃於本年度(112)預先研擬『資料中心能源效率最佳可行技術規範基準』，並透過產官學研座談會方式，向產官學研各界利害關係人說明內容，作為我國資料中心先期投資規劃之參考指引。 二、 資料中心能源效率指標評估 由台電資料顯示，如表 1 所示，截至本年度 11 月底為止，資料中心申設共 40 件，用電契約容量之總量為 2,563MW，平均每個資料中心之用電需量高達 65MW 以上，故資料中心之高用電情形引起關注，因而就其能源使用效率是否應管制而受到廣泛討論。 表 1 台電提供之資料中心案件 <table><tr><th>資料中心提送 用電計畫書年度</th><th>案件數</th><th>容量(MW)</th></tr><tr><td>107</td><td>2</td><td>640</td></tr><tr><td>110</td><td>14</td><td>482</td></tr><tr><td>111</td><td>20</td><td>1,241</td></tr><tr><td>112</td><td>3</td><td>180</td></tr><tr><td>合計</td><td>39</td><td>2,543</td></tr></table> 資料來源：台電能源大用戶動態追蹤季報。 資料中心基礎設施包含：電力系統、空調系統、照明系統、監控系統及其他設施設備等。目前國際間資訊機房最通用之能源評估及設計基準目標，是由 Green Grid 協會針對資訊機房能源使用合理化，所訂定之電源使用效率 PUE(Power Usage Effectiveness)耗能指標，並可依 Green Grid 設計建議，進行規劃以達能源最佳使用率。PUE 定義為資訊機房總耗能與 IT 設備耗能的比值，此	資料中心提送 用電計畫書年度	案件數	容量(MW)	107	2	640	110	14	482	111	20	1,241	112	3	180	合計	39	2,543
資料中心提送 用電計畫書年度	案件數	容量(MW)																	
107	2	640																	
110	14	482																	
111	20	1,241																	
112	3	180																	
合計	39	2,543																	

數值越接近 1 代表能源使用效率越佳。

$$\text{PUE} = \frac{\text{資料中心基礎設施電力使用量} + \text{資訊設備電力使用量}}{\text{資訊設備電力使用量}}$$

由於國際上近 15 年來積極推動資料中心節能設計與效率評價標準，全球資料中心之平均 PUE 值由 2.50 降至 1.55，如圖 1 所示(Davis et al. 2022)。

美國綠建築學會 LEED 綠建築評估系統有針對資料中心節能設計之 PUE 指標建議值，如表 2 所示(ASHRAE, 2016)。ASHRAE 之 PUE 規範包含評估尖峰電功率(kW)之 PUE0 與評估全年能源使用(kWh)之 PUE1 都不可大於表 2 所示之基準值。PUE0 之計算定義是指資訊機房的總消耗電功率(kW)除以 UPS 輸出電功率(kW)，ASHRAE 規範在冷卻設計的氣候條件下(1%的外氣乾球溫度極值典型氣候條件)，IT 設備分別在 100%負載及 50%負載時，最大 PUE0 都不可大於表 2 所示之基準值。PUE1 之計算定義是指資訊機房的全年總消耗電能(kWh)除以 UPS 全年總輸出值電能(kWh)。以台中以北氣候區(2A 氣候區)而言，PUE 值至少須達 1.49 以下，台中以南(1A 氣候區)須達 1.61 以下，才能符合基本門檻。



圖 1 國際之資料中心 PUE 統計值(Davis et al. 2022)

資料來源：Davis et al. 2022

表 1 美國冷凍空調學會訂定之全球氣候區 PUE 標準

Climate Zone	PUE ^a
0A	1.64
0B	1.62
1A	1.61
1B	1.53
2A	1.49
2B	1.45
3A	1.41
3B	1.42
3C	1.39
4A	1.36
4B	1.38
4C	1.38
5A	1.36
5B	1.33
5C	1.36
6A	1.34
6B	1.33
7	1.32
8	1.30

a. PUE0 and PUE1 shall not include energy for battery charging.

資料來源：美國冷凍空調學會 ASHRAE。

三、國內外資料中心能源管理制度研究

國外近年來訂定之規範不盡相同，本研究蒐集了日本、澳洲、美國、韓國、新加坡之國家管理資料中心設置之管理制度，各國管理資料中心制度比較表如表 3 所示。

表 3 各國管理資料中心制度比較表

制度	事後管理					事前管理
管理方式	透過既有制度管理				透過創設制度管理	
	我國	日本	澳洲	美國	韓國	新加坡
						
納入年份	2016/2021	2022	2013	2007/2015/2016	2022	2022
制度屬性	非強制性	非強制性	非強制性	非強制性*	非強制性	強制性
標準值 (如：PUE)	1. 公部門：新設資料中心PUE值應小於1.6；既有資料中心應逐步降低PUE值 2. 私部門：無硬性數值規定，僅要求業者應監測記錄	於2030年前PUE值應小於1.4	無硬性數值規定，僅要求業者應監測記錄	1. 公部門：新設資料中心PUE值應小於1.4；既有資料中心PUE值應小於1.5 2. 私部門：無硬性數值規定，僅要求業者應監測記錄	參考ISO/IE 30134-2：2016分數評分	PUE值應小於1.3

我國能源先期管理制度管理資料中心作業評估：

1. 需建置最佳可行技術(BAT)效率審查基準：刻正研擬適用於我國資料中心的最佳可行技術效率審查基準，擬可參考他國制度訂定PUE值等相關數值。
2. 須修正能管法相關子法：能源開發及使用評估準則、能源用戶適用之範圍、能源使用說明書格式及應記載事項。

*美國各州則按各自天候、地理環境、產業、經濟需求，各有不同法規或政策倡議，推動進度亦各自不同。

資料來源：本研究團隊整理。

現行我國有關資料中心業者之能源管理相關制度如表 2.10 所示，為經濟部能源署所訂定之能源查核申報，納入年分為 2021 年。依據能管法，要求業者針對 PUE 值進行監測記錄。該管理制度屬於事後管理，管理對象為用電契約容量超過 800 瓩之能源用戶。依據 2022 非生產性質行業能源查核年報，關於資料中心 PUE 之統計資料如表 2.11 所示。

關於我國資料中心用電申設情形，依據目前台電所提供資料可知資料中心提送用電計畫書均以超過 25MW 者居多，39 件中共有 35 件，並達總申設用電容量之 97.8%，其中以 Google、微軟等公司較多。若於能源先期管理制度管理，建議以目前初步規畫之 25MW 為管理門檻，即可對絕大多數用戶進行先期管理，確保使用最佳可行技術。

表 4 我國管理資料中心業者之相關制度

既有制度管理 (非強制性)	 我國
管理制度名稱	能源查核申報
納入年份	2021年
制度性質	事後管理
主管機關	經濟部能源局
管理依據	1. 能管法第9條、第12條、第19-1條。 2. 能管法施行細則第1條、第5條、第6條、第7條。 3. 能源供應事業及能源用戶達應辦理能源管理法規定事項之能源供應數量、使用數量基準及應儲存之安全存量。
管理對象	用電契約容量超過800瓩之能源用戶
Power Usage Effectiveness (PUE)規範	程序性規定：要求業者針對PUE值應為監測記錄。
制度重點	1. 需於每年1月底前，彙整前一年使用能源資料，併同當年能源查核制度、節約能源目標及執行計畫，報請中央主管機關核備。 2. 能源用戶於104至113年平均年節電率應達1%以上。

資料來源：本研究團隊整理。

表 5 資料中心用戶之能源使用效率(PUE)

用戶分類		統計樣本 (家)	資料中心能源使用效率 (PUE) (註 1)							
主類別	次類別		平均值 (A)	標準差	標準差 / 平均值	最小值	最大值	Top5% (註 2)	Top25% (註 2)	Btm25% (註 2)
電信 機房	電信公司 (電信機房)	29	1.69	0.12	7.38%	1.47	1.92	1.51	1.59	1.76
	電腦機房 (資訊設備)	13	1.65	0.16	9.79%	1.36	1.94	1.43	1.56	1.74
	電腦機房 (電信交換 機設備)	5	1.74	0.29	16.67%	1.49	2.2	1.50	1.55	1.83

註：
1. 資料中心能源使用效率 (Power Usage Effectiveness, PUE) = (資料中心基礎設施電力使用量 + 資訊設備電力使用量) ÷ 資訊設備電力使用量；資料中心基礎設施包含：電力系統、空調系統、照明系統、監控系統及其他設施設備等。
2. Top5% 係指將該用戶分類次類別統計樣本 PUE 由小至大排列後，取落在第 5 百分位之用戶、Top25% 取第 25 百分位之用戶、Btm25% 則取第 75 百分位之用戶。
3. 各用戶分類統計樣本係以該用戶分類次類別總樣本 PUE 平均數 2 倍標準差內之能源用戶進行能源效率指標統計，統計期間為 2021 年 1 月至 12 月。
4. 資料來源為 2021 年非生產性質行業能源查核申報資料。

資料來源：經濟部能源署-非生產性質行業能源查核年報。

四、 能源使用效率測量等級(PUE Measurement Levels)

根據 ASHRAE 及 The Green Grid 發布之報告 PUE™ : A Comprehensive Examination of the Metric，表 6 概述了測量 PUE 的三種不同等級的方法，包括基礎、中級和高級測量。圖 2 顯示了一個典型的資料中心，其中包含針對列出的建議 PUE 測量級別確定的測量點。這些點在圖中用儀表表示，並帶有相關的 1 級到 3 級（L1 到 L3）標籤。

- **Level 1 Basic**：IT 負載是在 UPS(不斷電系統)設備的輸出處測量的，可以藉由 UPS 輸出上的計量器或在多個 UPS 模塊的情況下，藉由公共 UPS 輸出匯流排上的單個計量器讀取。進入的能源是從供電、冷卻和資料中心所需的所有電氣和機械設備的公用事業服務入口處測量的。基本監控最低要求每月收集功率測量數據；對於能源測量，建議使用該量測頻率，這通常涉及到一定程度的人為活動以進行測量。
- **Level 2 Intermediate**：IT 負載是在資料中心內的 PDU（即插條）輸出處測量的，通常可以從 PDU 前面板上讀取，或藉由 PDU 變壓器的次級上的計量器讀取。對於級別 2，也可以接受個別分支電路的測量。進入的能源是從供電、冷卻和資料中心所需的所有電氣和機械設備的公用事業服務入口處測量的。中級監控要求最低每日收集功率測量數據；對於能源測量，建議使用該量測頻率。這可能需要比級別 1 涉及的人為活動更少，因為數據將藉由計量器以電子方式收集。對於級別 2，預計數據將實時記錄，可以進行廣泛的趨勢分析。
- **Level 3 Advanced**：IT 負載是在資料中心內的每個個體 IT 設備上測量的，可以藉由計量的機架 PDU 在插條或插座級別上進行監控，或者可以藉由 IT 設備本身進行監控，需注意這些測量必須排除非 IT 負載。進入的能源是從供電、冷卻和資料中心所需的所有電氣和機械設備的公用事業服務入口處測量的。高級監控最低要求每 15 分鐘或更短的時間內收集一次功率測量數據；對於能源測量，建議使用該量測頻率。級別 3 的測量不應需要人工活動來收集和記錄數據；數據將由自動系統實時收集，應支持廣泛的趨勢分析。其挑戰在於以簡單的格式收集數據，以滿足各種用戶的需求，並最終將數據匯總為資料中心的完整圖像。

表 6 ASHRAE 及 The Green Grid 之 PUE MEASUREMENT LEVELS

Measurement	Level 1 (PUE ₁) L1 Basic	Level 2 (PUE ₂) L2 Intermediate	Level 3 (PUE ₃) L3 Advanced
IT equipment energy	UPS outputs	PDU outputs	IT equipment input
Total facility energy	Utility input	Utility input	Utility input
Measurement interval	Monthly/weekly	Daily/hourly	Continuous (15 min or less)

資料來源：ASHRAE

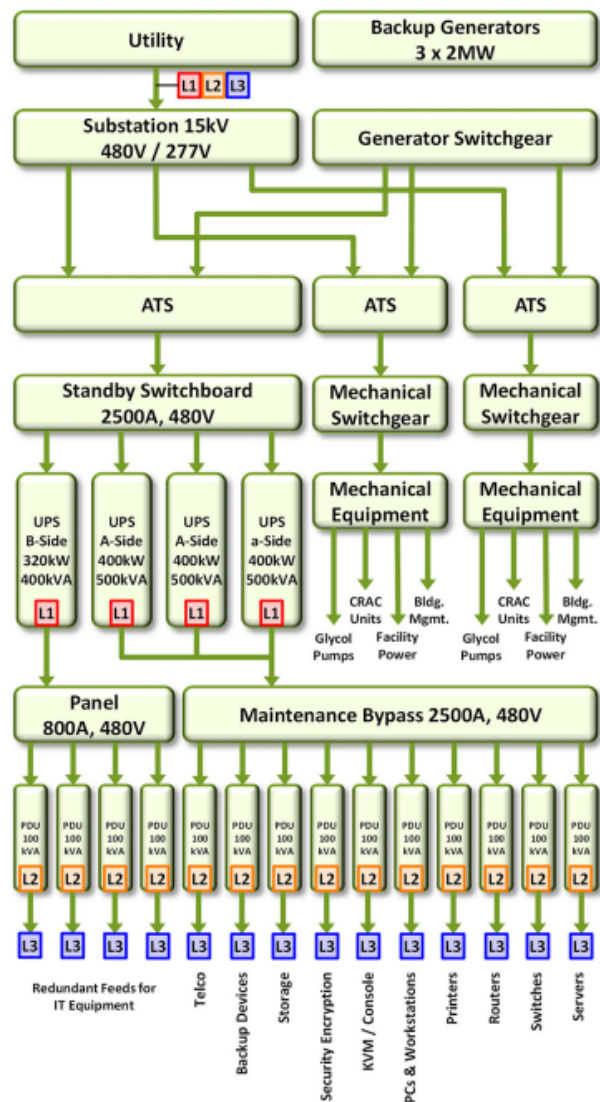


圖 2 ASHRAE 及 The Green Grid 之 PUE 量測方法

資料來源：ASHRAE

根據 ISO/IEC 30134-2，此規章 PUE 也分成三個級別 $PUE_1 \sim PUE_3$ ，如表 7 所示，圖 3 顯示了資料中心基礎設備，其中包含針對表 7 中列出的建議 PUE 測量級別確定的測量點。

表 7 ISO/IEC 30134-2 之 PUE MEASUREMENT LEVELS

	PUE_1	PUE_2	PUE_3
Location of IT equipment energy consumption measurement	UPS output ^a	PDU output ^b	IT equipment input ^c
^a Includes impact of fluctuating IT and cooling loads. ^b Excludes impact of losses associated with PDU transformers and static switches. ^c Excludes impact of losses associated with electrical distribution components and non-IT related devices.			

資料來源：ISO/IEC 30134-2

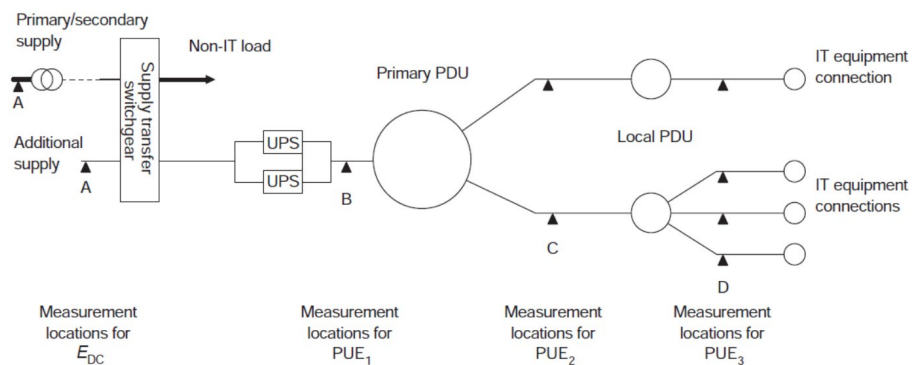


圖 2 ISO/IEC 30134-2 PUE 量測方法

資料來源：ISO/IEC 30134-2

由上述可知，若是進行 PUE₃ 之量測，雖然可以取得詳盡的量測資料，然而量測成本將大幅度的增加；而我國各資料中心、機房，並非均設置有 PDC (Power Distribution Unit) 配電櫃設備，因此，若國內要有合適、基礎相同之資料中心能源使用量測方法，以 PUE₁ 方式量測。根據國家發展委員會 109 年度之資料中心能源使用效率量測方法(草案)，其中國發會定義了能源使用效率 10 種樣態，其中第一樣態如圖 4。

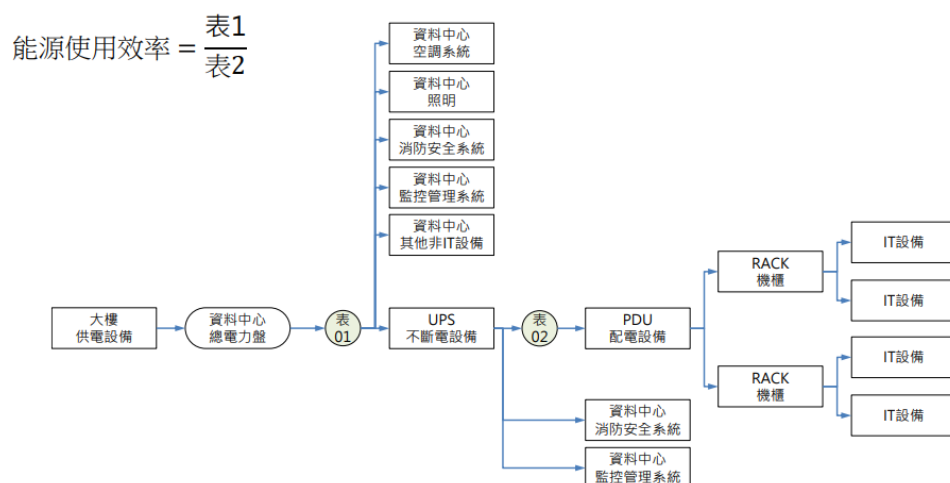


圖 4 國發會建議之 PUE 量測樣態 1

資料來源：國發會

台灣智慧能源產業協會(TaiSEIA)以 PUE₁ 方式為基礎，調整總耗電量量測位置變壓器之後，其中一量測樣態如圖 4 示。理論上 PUE 之量測計算方式如圖 3 之方式量測，但考量台灣建築多用途使用特徵及量測便利性，故建議採用如圖 5 之 PUE 計算方式。

$$PUE'_1 = \frac{\text{Meter A} + \text{Meter B}}{\text{Meter C} + \text{Meter D}}$$

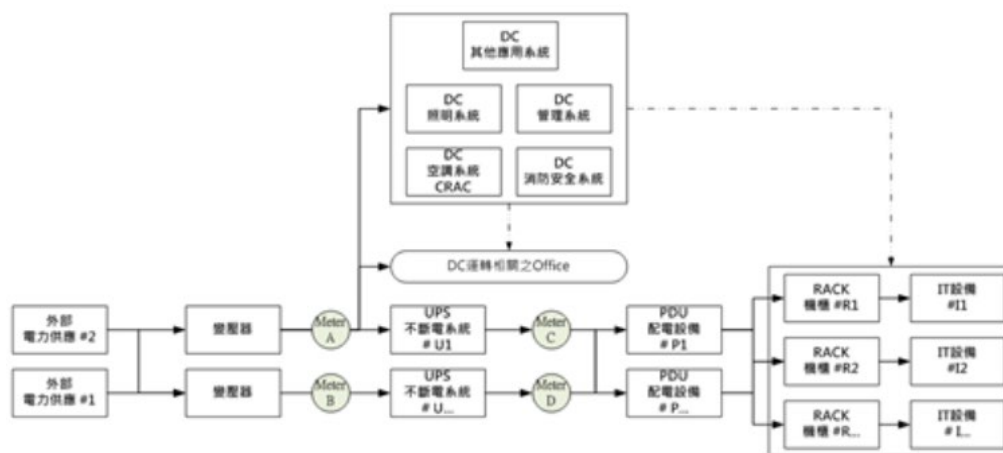


圖 5 台灣智慧能源產業協會建議之 PUE 量測方法

資料來源：台灣智慧能源產業協會(TaiSEIA)

五、PUE 效率規範訂定建議之推算

1. 超大型資料中心

氣候比台灣炎熱之新加坡訂定資料中心強制管理之 PUE 應小於 1.3，台灣和新加坡皆屬於能源資源缺乏國家，且鑒於淨零碳排與課徵碳稅之國際趨勢，建議台灣之新建超大型資料中心 (Hyperscale Data Center) 的 PUE 也應小於 1.3。台灣氣候相對涼爽，若新加坡可以做到，台灣也應具有可行性。以下說明達成 PUE 等於 1.3 之推算方法：

1. 依據圖 5 之計算方法 $PUE = \text{資料中心總設備能耗} / \text{IT 設備能耗}$ 。
2. IT 設備能耗(P_{it})：假設以每單位能耗 1 kW 為例。
3. 不斷電系統能源損失(P_{ups})：以目前成熟之商業技術與產品，一般而言不斷電系統能源損失平均可達到 5%，因此 $P_{ups}=0.05 \text{ kW}$ 。
4. 線路損失(P_{wire})：經過妥善設計以及採用成熟之商業技術與產品，一般而言線路能源損失可降低到 2%，因此 $P_{wire}=0.02 \text{ kW}$ 。
5. 其他能耗(P_{other})：由於大型資中心的人員密度很低、且目前大多已可採用高效率之 LED 照明及節能控制技術，以大型資中心(25MW 以上電力需量)而言，其他設備之能耗佔總體資料中心總能耗的比例極低，因此可忽略不計，令 $P_{other}=0 \text{ kW}$ 。
6. 空調能耗(P_{hvac})：以目前成熟之冷凍空調之商業技術與產品，且資料中心符合國際最新之高溫熱環境標準，空調系統之系統 COP 可達到 4.4 以上，例如參考新加坡節能標準 2021 Green Mark，空調系統總效率為 0.8 kW/RT (BCA-IMDA, 2023)，因此，依據能源守恆原理：

$$P_{\text{hvac}}=(P_{\text{it}}+P_{\text{ups}}+P_{\text{wire}}+P_{\text{other}})/\text{COP}=(1+0.05+0.02+0)/4.4=0.24 \text{ kW}。$$

7. 若考量耗電佔空調 25%之風機在資料中心內部產生之熱及台灣全年約 10%自然冷卻效益(Lee, 2013)，

$$\text{則 } P_{\text{hvac}}=(0.24 + 0.24*0.25/4.4)*0.9=0.23 \text{ kW}$$

$$\text{PUE}=(P_{\text{it}}+P_{\text{ups}}+P_{\text{wire}}+P_{\text{other}}+ P_{\text{hvac}})/ P_{\text{it}}=1.30$$

2. 主機代管資料中心

考量我國尚有諸多代管資料中心之需求，為考量代管資料中心多樣之 IT 設備類型，較難設計高效率、精密高溫控之熱環境，因此參考 ASHRAE 2021 Thermal Guidelines 及歐盟 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency，建議最高溫控可允許降低 3 °C。一般而言，溫控每降低 1 °C 多耗能 6%，又依據國際文獻(Lee et al., 2013)，以台灣普遍之氣候區，每降低 2°C 溫控，自然冷卻之節能效益降低 5%。

因此，以自建自營運資料中心為基準，代管資料中之空調能耗

$$P_{\text{hvac}}=0.23*1.18*1.075=0.29 \text{ kW}$$

$$\text{PUE}=(P_{\text{it}}+P_{\text{ups}}+P_{\text{wire}}+P_{\text{other}}+ P_{\text{hvac}})/ P_{\text{it}}=1.36$$

故建議代管資料中心 PUE 可訂為 1.4

六、 結論

氣候較台灣炎熱之新加坡訂定資料中心之 PUE 不應大於 1.3，依據本研究參酌國內外相關管理制度及專家小組與產學研座談會之研究結果，建議考量台灣和新加坡皆屬於能源資源缺乏國家，且鑒於淨零碳排與課徵碳稅之國際趨勢，建議台灣之超大型資料中心 (Hyperscale Data Center)之 PUE 也不應大於 1.3。由於台灣氣候相對較新加坡涼爽，並且經過推算後，該基準值應具有可行性。

另考量我國尚有諸多代管性質資料中心之需求，因其具較多樣性之 IT 設備類型，較難設計高效率、精密高溫控之熱環境，故建議主機代管資料中心 (Colocation Data Center) 之 PUE 不應大於 1.4。

最後，政府依據「預防原則」之考量，規範大型投資生產計畫，預作能源使用評估，採行能源效率最佳可行技術規劃，並援引歐盟最佳可行技術參考文件 (BREFs)作為審查參考依據，經能源使用說明書審查核准後始得興建。本研究經邀請國內具有多年實務經驗之資料中心專家學者，依據台灣之業界資料中心能源效率特性，將歐盟之 2023 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency 條文修訂適用為台灣之資料中心能源效率最佳可行技術 BAT。其項目共包含七大面向：(1)IT 設備之選用、(2) IT 軟體服務之佈署、(3)資料管理、(4)冷卻系統、(5)電力系統、(6)能源監控及管理及(7)資料中心整體效率。

參考資料	[1] ASHRAE, 2021, Equipment Thermal Guidelines for Data Processing Environments [2] ASHRAE, 2016, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings [3] EU, 2023, 2023 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency [4] BCA-IMDA, 2023, Green Mark for Existing Data Centres Version EDC/1.1: https://www.imda.gov.sg/how-we-can-help/bca-imda-green-mark-for-data-centres-scheme [5] Davis, J, D Bizo, A Lawrence, O Rogers, M Smolaks, L Simon, D. Donnellan, 2022, Uptime institute global data center [6] ISO/IEC, 2016, ISO/IEC 30134-2:2016 Information technology - Data centres - Key performance indicators - Part 2: Power usage effectiveness (PUE) [7] Lee, Kuei-Peng, Hsiang-Lun Chen, 2013, Analysis of energy saving potential of air-side free cooling for data centers in worldwide climate zones, Energy and Buildings, Volume 64, Pages 103-112, [8] The Green Grid, 2012, PUETM : A Comprehensive Examination of the Metric [9] JDCC, 2015, PUE 計測・計算方法に関するガイドライン [10] 台灣智慧能源產業協會(TaiSEIA), 2022, TaiSEIA 資料中心能源使用效率量測方案 [11] 經濟產業省資源エネルギー庁, 2022, ベンチマーク制度 [12] 國發會, 2020, 資料中心能源使用效率量測方法(草案)
附件	
建檔者	施威廷/112 年度能源先期管理制度執行、查核與研究 (1/2)

註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。

2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。

3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。