

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 建立無效率補償資料包絡分析法改善企業環境績效評估 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 100-2221-E-009-008-  
執行期間：100年08月01日至101年07月31日  
執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人：高正忠

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101年08月21日

中文摘要：全球環境保護議題及國際企業對環境管理的重視均日益增加，建立適當的環境績效評估方法因而已是近年國內外的研究重點。資料包絡分析 (Data envelopment analysis, DEA) 法常用於分析企業績效，由於其可整合多項投入與產出指標以及不必先設定參數等優點，故常被用以評估企業環境績效。然而，企業若有少數表現較優異的績效指標，即使該企業其他績效指標表現甚不佳，仍有可能使其於資料包絡分析法中獲得相對有效率的結果。因此，本研究以一些廠商為案例，以廢棄物產生量與二氧化碳排放當量為產出指標，銷售額為投入指標，發展無效率補償資料包絡分析 (Inefficiency Countervailed DEA, IC-DEA) 法改善企業環境績效評估。本研究首先建立逆向包絡分析 (Reverse DEA, RDEA) 法，定義無效率前緣 (inefficiency frontier) 且據以判識出相對無效率之企業，進而綜合傳統 DEA 與 RDEA 結果評估企業環境績效。本研究所提出的 ICDEA 法可藉由考量無效率績效補償改善企業環境績效評估。

中文關鍵詞：企業環境績效、資料包絡分析法、無效率前緣、決策分析、永續環境系統分析

英文摘要：Global environmental protection and corporate environmental management have gained increasing attention in recent years. Establishing methods to assess corporate environmental performance has thus become a worldwide essential research area. Data envelopment analysis (DEA) is a method frequently used to evaluate relative firm performance because its advantages of multi-inputs and outputs can be integrated without assigning pre-defined parameters. However, high values in a few indicators can lead to a company being regarded as 'efficient,' despite valuing poorly in other essential indicators. Therefore, a new method called Inefficiency Countervailed DEA (IC-DEA) method is developed. For establishing the DEA and IC-DEA models, two output indicators, waste generated and eCO<sub>2</sub> emission volume, and one input indicator, sales, are considered. The proposed IC-DEA method first defines an inefficient frontier using the proposed Reverse DEA (RDEA) model. An IC-DEA value is then determined by summing both the DEA and RDEA values. The IC-DEA method is applied to assess the environmental performance of several

major companies in Taiwan. It is believed that the proposed method can significantly improve corporate environmental performance assessment.

英文關鍵詞： Corporative environmental performance； data envelopment analysis； inefficiency frontier； decision analysis； sustainable environmental systems analysis

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告    期中進度報告

建立無效率補償資料包絡分析法改善企業環境績效評估

## Inefficiency Countervailed DEA (IC-DEA) Method for Assessing Corporate Environmental Performance

計畫類別：個別型計畫    整合型計畫

計畫編號：NSC 100-2221-E-009 -008

執行期間：100年 08月 01日至101年 07月 31日

計畫主持人：高正忠

共同主持人：

計畫參與人員：黃宥禎

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：精簡報告    完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

中華民國一百一十一年七月三十一日

## 摘要:

全球環境保護議題及國際企業對環境管理的重視均日益增加，建立適當的環境績效評估方法因而已是近年國內外的研究重點。資料包絡分析 (Data envelopment analysis, DEA) 法常用於分析企業績效，由於其可整合多項投入與產出指標以及不必先設定參數等優點，故常被用以評估企業環境績效。然而，企業若有少數表現較優異的績效指標，即使該企業其他績效指標表現甚不佳，仍有可能使其於資料包絡分析法中獲得相對有效率的結果。因此，本研究以一些廠商為案例，以廢棄物產生量與二氧化碳排放當量為產出指標，銷售額為投入指標，發展無效率補償資料包絡分析 (Inefficiency Countervailed DEA, IC-DEA) 法改善企業環境績效評估。本研究首先建立逆向包絡分析 (Reverse DEA, RDEA) 法，定義無效率前緣 (inefficiency frontier) 且據以判識出相對無效率之企業，進而綜合傳統 DEA 與 RDEA 結果評估企業環境績效。本研究所提出的 ICDEA 法可藉由考量無效率績效補償改善企業環境績效評估。

**關鍵字：**企業環境績效、資料包絡分析法、無效率前緣、決策分析、永續環境系統分析。

## Abstract:

Global environmental protection and corporate environmental management have gained increasing attention in recent years. Establishing methods to assess corporate environmental performance has thus become a worldwide essential research area. Data envelopment analysis (DEA) is a method frequently used to evaluate relative firm performance because its advantages of multi-inputs and outputs can be integrated without assigning pre-defined parameters. However, high values in a few indicators can lead to a company being regarded as 'efficient,' despite valuing poorly in other essential indicators. Therefore, a new method called Inefficiency Countervailed DEA (IC-DEA) method is developed. For establishing the DEA and IC-DEA models, two output indicators, waste generated and eCO<sub>2</sub> emission volume, and one input indicator, sales, are considered. The proposed IC-DEA method first defines an inefficient frontier using the proposed Reverse DEA (RDEA) model. An IC-DEA value is then determined by summing both the DEA and RDEA values. The IC-DEA method is applied to assess the environmental performance of several major companies in Taiwan. It is believed that the proposed method can significantly improve corporate environmental performance assessment.

**Keyword:** Corporative environmental performance; data envelopment analysis; inefficiency frontier; decision analysis; sustainable environmental systems analysis.

## 一、前言

近年來，全球暖化、環境意識及綠色消費概念的興起，使得政府、社會大眾對於環境績效與社會責任的要求也逐漸提高，因此企業需要分析氣候變遷對於營運所造成的影響與衝擊，並將環境相關因子納入企業整體經營決策與發展策略中。面對逐年增加的廢棄物產生量與溫室氣體排放量，企業必須改善環境績效以減少其對環境與社會的衝擊(Moneva and Ortas, 2010)。而評估企業環境績效為檢視企業經營活動對環境保護及改善環境管理成效的重要方法之一，許多企業甚至已將評估企業環境績效作為朝向永續經營的主要政策之一。

目前國內外評估環境績效的方法有 ISO 14031 (Putnam, 2002)、平衡計分卡 (Kaplan and Norton, 1992a)、Delphi Method (Dalkey, 1969)及資料包絡分析法 (Data envelopment analysis, DEA) (Charnes *et al.*, 1978)等。DEA 運用柏拉圖最適解 (Pareto optimality) 理論，綜合多項投入與產出指標計算企業的相對績效，其最大的優點為投入與產出指標權重不受人為因素

影響且不必事先設定 (Seiford and Trall, 1990)，因此許多研究已應用 DEA 來評估環境績效 (e.g., Sarkins, 2000; Zofio and Prieto, 2001; Lansink and Bezlepkin, 2003; Ramanathan, 2005; Lu and Lo, 2007; Alsharif *et al.*, 2008; Lins, 2008; Feroz *et al.*, 2009)。然而，這些研究皆存在一個共同問題，即當某企業若有一或少數項產出指標的績效較優異時，儘管其他項產出指標的績效明顯相對較差，其仍能獲得最高的 DEA 效率值而被認為是有效率的企業 (Angulo-meza and Lins, 2002)。因此，本研究發展 Reverse DEA 方法(RDEA) 計算企業無效率績效值，並無效率補償 (Inefficiency countervailed) 方法改善企業環境績效評估。

由於 DEA 以對各企業最有利的出發點產生權重，因此各企業用來計算績效的權重組合不同，雖然這種權重彈性是 DEA 的主要優點之一，但某些企業會因少數表現好的指標得到極端的權重，表現差的指標被忽略(其權重設為 0)以得到有效率的績效值。此外，某些部分評估指標表現不佳的企業，亦可能以較低權重來提高其績效或被評為有效率。雖然過去其他研究亦已提出數種權重限制法嘗試解決上述問題，例如 Direct weight restrictions (Dyson and Thanassoulis, 1988)、Contingent weight restrictions (Pedraja-Chaparro *et al.*, 1997)、Assurance region (Thompson *et al.*, 1986)以及 Polyhedral cone-ratio (Charnes *et al.*, 1990)等，這些方法主要是設定上下限限制權重的可變動範圍，然而上下限值需藉由專家建議等人為主觀判斷決定，此外，某些企業在權重限制下仍可藉由分配權重限制的最低值來忽略表現不佳的指標以獲得相對有效率。本研究因此建立無效率補償資料包絡分析 (inefficiency countervailed DEA, IC-DEA) 法改善傳統 DEA 評估之公平性。並以台灣一些廠商為案例，首先提出 RDEA 法定義無效率的企業與無效率前緣，若企業同時落於效率前緣與無效率前緣，則不該被定義為有效率企業。此外，以無效率值與原本 DEA 效率值相加為零作區隔，可分析各企業於環境績效是趨向有效率或偏向無效率，可作為企業未來改善策略制定或決策評估時的重要參考。

## 二、文獻回顧

過去已有不少研究應用 DEA 法評估環境績效，例如 Sarkis (2000) 比較 DEA 與其他多準則決策分析工具用於評估廢棄物管理系統的可行性；Nakashima *et al.* (2006) 運用 DEA 法評估日本消耗電子產品業與汽車業的相對環境績效；Lu and Lo (2007) 使用提高 DEA 鑑別度的交叉效率 (cross-efficiency) 法 (Sexton *et al.*, 1996) 計算中國 31 個行政區的經濟環境績效；Alsharif *et al.* (2008) 運用 DEA 法評估美國供水系統的相對績效。這些研究皆指出 DEA 在評估上有不需事先假設分析模式與易於後續分析等優點。Zofio and Prieto (2001) 運用 DEA 法計算 OECD 中各工業的相對環境績效；Lansink and Bezlepkin (2003) 考量 CO<sub>2</sub> 及能源使用量，運用 DEA 法評估荷蘭企業的環境整體技術效率；Feroz *et al.* (2009) 使用 DEA 法估計東京議定書之公約締約國的全球暖化與環境生產績效。這些研究皆提出廢棄物與 CO<sub>2</sub> 排放量為工業所產生的主要劣產物，於評估環境績效時應納入考量。然而，上述研究中若當某評估對象有一個或少數個產出指標的表現較優異時，其即能獲得最高的 DEA 效率值而被認為是有效率的企業，而其他表現較差的指標會被賦予極小權重值而予以忽略，因此，本研究針對此問題提出以定義無效率績效改善 DEA 法的評估公平性。

DEA 法採對各企業最有利之權重計算效率值，一個企業無論各主要績效指標表現多差，只要有一個主要績效指標表現比其他企業好一些，即會被評為有效率，過去因而有一些研究針對此問題提出使用權重限制的方式來改善。例如，Dyson and Thanassoulis (1998) 提出 Direct weight restrictions 法，設定主要績效指標的權重的上下限，以避免主要績效指標的權重被設為 0 而忽略之；Pedraja-Chaparro *et al.* (1997) 提出 Contingent weight restrictions 法亦設定主要績效指標權重的下限值，以避免某些指標被忽略；Thompson *et al.* (1986) 則提出

有時某兩指標間的比值會有某種關係，因此建立 Assurance region 法，設定某兩指標的權重比值的上下限，而當限制達極限時，所採用權重將相同；Charnes *et al.* (1990) 提出的 Polyhedral cone-ratio 法則將權重限制在一封閉的凸性多面錐範圍內以計算相對效率，此方法首先使用 Assurance region 法定出兩權重之比值，再假設所有權重間的多面錐線性不等式，再據以找出滿足此式的權重組。然而，上述方法雖可限制模式不分配權重值 0 至被忽略的主要績效指標，但仍會分配最低的權重值，此外，權重上下限的值需要經由專家意見或問卷調查等取得，其結果易受問題之詢問方式影響，且主觀性較高，因此本研究基於傳統 DEA 權重不需須人為定義之優點建立 RDEA 法以計算企業之無效率績效及 IC-DEA 法計算無效率補償的績效值。

### 三、研究目的

本研究主要在於發展無效率補償資料包絡分析(IC-DEA)法改善傳統的 DEA 法，用以評估企業環境績效，研究主要目的有以下兩項：

1. **建立評估無效率績效之 Reverse-DEA(RDEA)方法**，以利於找出無效率企業及無效率前緣：改善傳統 DEA 法忽略表現不佳的主要績效指標及分配極小的權重前，需先了解這些指標是否亦會導致企業無效率，故本研究建立方法評估無效率的績效，以改善 DEA 分析的公平性。
2. **建立無效率補償法(Inefficiency countervailed DEA, IC-DEA)評估企業環境績效**：結合 DEA 法及所建立之 RDEA 法發展出 IC-DEA 績效評估方法，分析企業環境績效是趨向有效率或無效率，改善傳統 DEA 方法的缺點，以期更適切的評估企業環境績效，及作為訂定相關策略之依據。且以所建立方法評估及比較台灣與廠商的環境績效。

### 四、研究方法

本研究的研究流程與方法主要分為資料收集、無效率補償資料包絡法模式之建立、案例探討與主要投入及產出指標篩選，以下逐一說明之。

#### 1. 資料收集

收集以下資料以作為建立無效率補償資料包絡法改善企業環境績效評估分析的參考依據：

- (1)相關文獻：收集國內外環境績效評估方法、權重限制等相關文獻。
- (2)環境績效相關數據：收集案例廠商及案例研究所需要資料，包括一些廠商之廢棄物年產生量、年碳排放量及銷售額等。

#### 2. 無效率補償資料包絡法模式之建立

本研究發展方法改善企業環境績效評估分析，首先建立RDEA法推估無效率績效；再依無效率績效值辨識出無效率企業，並綜合傳統DEA法與RDEA法，建立無效率補償IC-DEA法評估企業環境績效。本研究以台灣一些廠商為案例，依據所推估之IC-DEA結果分析新效率值之適用性及績效趨向之分析，亦比較IC-DEA與傳統DEA法所得績效值之差異。

#### A. DEA法

在使用DEA法評估企業環境績效前，應先決定合適的主要投入與產出指標。主要投入指標通常與企業的投資花費或營業額有關，而主要產出指標通常則為企業所產生之影響環境的污染排放或是廢棄物。當篩選完主要的投入與產出指標後即可應用DEA法計算企業環境績效。而效率前緣(Efficiency frontier)由有效率的企業組成，所有的企業於指標座標繪圖中皆包在效率前緣內，此外，各企業用於計算績效值的權重組由被評估企業至效率前緣的距離而定。本研究首先參考Nakashima *et al.* (2006) 所使用的 Linear constant return-to-scale output-oriented DEA法計算各企業的初始權重組與相對績效 (Charnes *et al.*, 1987)，計算模式

如下列：

$$g_k^{-1} = \text{Minimum} \quad \sum_{i=1}^s v_{ik} X_{ik} \quad (1a)$$

Subject to

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} = 1, \quad j \in C \quad (1b)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} \geq 0, \quad j=1, \dots, n \quad (1c)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq 0, \quad r=1, \dots, s, i=1, \dots, m \quad (1d)$$

其中  $g_k^{-1}$  為受評企業  $k$  的DEA值;  $s$  及  $m$  分別為主要產出與投入指標的指標數量;  $u_{rk}$  為受評企業  $k$  於主要產出指標  $r$  的權重;  $v_{ik}$  為受評企業  $k$  於主要投入指標  $i$  的權重;  $X_{ij}$  為受評單位  $j$  於主要投入指標  $i$  之值;  $Y_{rj}$  為受評企業  $j$  於主要產出指標  $r$  的值;  $C$  為所有評估企業的集合。

目標式(1a)目的為找出一組最佳的權重組合使受評企業  $k$  獲得最大的DEA值( $g_k$ )，各受評企業皆有不同的權重組合用以計算其能獲得的最大效率值。式(1b)由分數型模式轉換而來，目的為限制使受評企業  $k$  獲得最佳效率值的權重組用於其他企業時，其績效不得超過1。式(1c)限制受評企業  $k$  的效率值最高不得超過1，以確保所有企業的DEA值皆小於或等於1。式(1d)限制主要投入與產出指標之權重不得小於0。

圖1舉例說明指標座標繪圖中的DEA值與效率前緣，資料參考Nakashima *et al.* (2006)。企業A、B及F經DEA法計算後為有效率企業，因此，此效率前緣由此三個企業組成。雖然企業A與F皆獲得最高的DEA值1，但此兩企業中皆有一個主要產出指標的表現相對較不佳：企業A與F分別在主要產出指標2與主要產出指標1表現不佳，且指標權重皆被設定為0，因此，這兩個企業不應被評為有效率企業。本研究進而建立RDEA法以解決此問題。

## B. RDEA 法

由於使用DEA法計算績效時，模式會設定極小的權重給表現不佳的主要指標，以忽略表現差指標的方式取得較佳效率。為解決此問題，本研究基於DEA法的概念提出逆向DEA (RDEA)法，藉由計算各企業的相對無效率值來定義各企業無效率的程度，計算模式如下列：

$$-g_k'^{-1} = \text{Minimum} \quad \sum_{i=1}^s v_{ik} X_{ik}^{-1} \quad (2a)$$

Subject to

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}^{-1} = 1, \quad j \in C \quad (2b)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}^{-1} - \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}^{-1} \geq 0, \quad j=1, \dots, n \quad (2c)$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq 0, \quad r=1, \dots, s, i=1, \dots, m \quad (2d)$$

其中  $-g_k'^{-1}$  為受評企業  $k$  的RDEA值;  $s$  及  $m$  分別為主要產出與投入指標的數量;  $u_{rk}$  為受評企業  $k$  於主要產出指標  $r$  的權重;  $v_{ik}$  為受評企業  $k$  於主要投入指標  $i$  的權重;  $X_{ij}$  為受評單位  $j$  於主要投入指標  $i$  之值;  $Y_{rj}$  為受評企業  $j$  於主要產出指標  $r$  的值;  $C$  為所有評估企業的集合。

目標式(2a)目的為找出一組最佳的權重組合使受評企業  $k$  獲得最小的RDEA值( $g_k'$ )，各受評企業皆有不同的權重組合用以計算其能獲得的最小效率值。式(2b)由分數型模式轉換而來，目的為限制使受評企業  $k$  獲得最佳效率值的權重組用於其他企業時，其績效不得超過1。式(2c)限制受評企業  $k$  的效率值最高不得超過1，以確保所有企業的DEA值皆小於或等於1。式(1d)限制主要投入與產出指標之權重不得小於0。

由範例圖 1 所示，企業 A、D 及 F 皆位於 RDEA 的無效率前緣上，表示此三家企業的環境績效表現為無效率，而企業 A 與 F 亦同時位於 DEA 效率前緣上，因為此兩家企業中皆存在一個表現比所有企業差的主要指標，而獲得最低的無效率值-1。因此，企業 A 及 F 中存在有表現最差的主要指標，則不該被視為有效率企業。本研究因而發展 IC-DEA 法，藉由於企業環境績效評估中加入無效率績效以改善現有 DEA 法的評估方式。

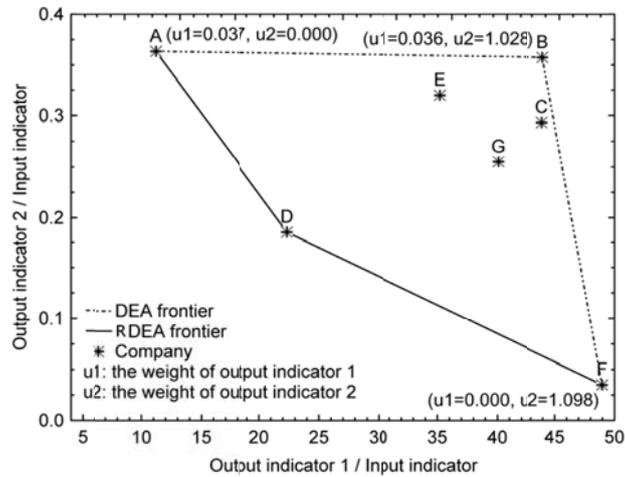


圖 1. DEA 法與 RDEA 法之效率前緣與無效率前緣範例。

### C.IC-DEA 法

由於評估績效時不應只考量有效率的部份，亦應考量無效率的情況，因此本研究結合 DEA 法與 RDEA 法以建立 IC-DEA 法，其計算方法如下列：

$$E_k = g_k^{-1} - g_k'^{-1}, \quad k \in C \quad (3)$$

其中  $E_k$  為 IC-DEA 績效值； $g_k^{-1}$  為 DEA 法所計算出之績效值； $-g_k'^{-1}$  為 RDEA 法所計算出之績效值。

圖 2 舉例說明使用 DEA 法、RDEA 法及 IC-DEA 法所計算出的績效值差異，企業 A 及 F 的 IC-DEA 績效值皆為 0，因為此兩企業皆同時得到最高的有效率 DEA 值(1)與最低的無效率 RDEA 值(-1)，由於此兩企業皆有表現較差的主要產出指標，因此被評為無效率企業。此外，企業 B、C 與 E 的 IC-DEA 績效值為正值，因此此三家企業的環境績效相對較佳優；企業 D 與 G 的 IC-DEA 績效值為負值，則此兩企業的環境績效相對較差。

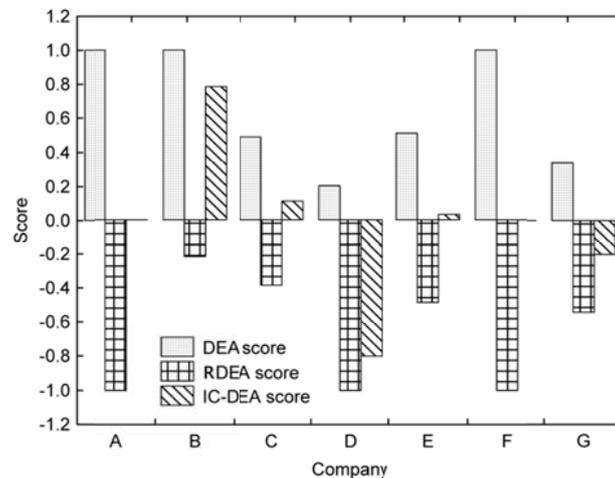


圖 2. DEA 法、RDEA 法與 IC-DEA 法所計算出之績效值。

## 五、案例探討與主要投入及產出績效指標篩選

在運用DEA法計算企業環境績效前，必須先決定主要投入及產出指標。因此，本研究考量目前台灣各產業對環境衝擊情況及參考了過去評估企業環境績效之研究裡所使用的主要指標，以作為案例研究與主要評估指標。

### A. 案例介紹

本研究以台灣一些廠商為案例進行企業環境績效評估，以評估所發展方法的適用性。光電業近年來已成台灣主要的經濟中樞，亦扮演國際光電供應與行銷鍊的主要角色。光電製造業約佔台灣工業的35%，產值由2002年新台幣0.24兆增加至2008年新台幣0.47兆，已是國內主要產業(ROCEY, 2009)。台灣光電業主要生產半導體、光電元件、光電設備等，這些生產活動所排放的污染物對環境會造成顯著的影響。台灣光電業主要排放的溫室氣體包含PFC<sub>s</sub>與SF<sub>6</sub>，雖相較於其他溫室氣體，此兩種氣體排放量雖小，但其二氧化碳當量(CO<sub>2</sub>-equivalent, eCO<sub>2</sub>)頗高，PFC<sub>s</sub>與SF<sub>6</sub>的全球暖化潛勢(Global Warming Potentials, GWP)(IPCC, 2001)皆甚高，分別約65,000-92,000及23,900，且在大氣中的生命期較長。此外，光電業的製造設備耗電量亦甚大，亦明顯增加溫室氣體排放量。同時，光電業的廢棄物產生量亦逐年增加，至2008年已約200,000公噸(ROCEPA, 2009)，因此有必要評估光電產業的環境績效以檢視其環境管理效率與降低其生產過程中對環境造成的影響。

### B. 主要投入指標

過去研究中有多種主要投入指標可用於評估企業環境績效，例如銷售量、生產量、成本、員工數、土地使用量、股本額等。所使用的主要投入指標應要能直接與造成環境影響的生產過程相關，員工數與土地使用量雖然是企業經營過程中必須考量的主要因素，但與環境衝擊較不相關；成本與供應、服務、雇員、生產、設備等相關經營項目的支出有關，股本額反應股東的初始投入資本與設備的投資，因此成本與股本額皆會受多種不同的經營活動所影響，因此低於生產量或行銷股份的銷售量；雖生產量對獨立企業來說是個不錯的主要投入指標，但不同的企業生產不同的產品，因此產品的計量方式不同，亦不易互相作比較。因此，本研究參考Nakashima *et al.* (2006)，使用銷售量為主要投入指，此指標過去亦有許多企業用來當作計算生產生態效率的主要評估指標，如Sony Corporation (2008)、Hewlett-Packard Development Company (2008)、Chi-Mei Corporation (2008)等。此外，依銷售量計算環境績效亦可提供顧客購買產品時的參考因子之一。

### C. 主要產出指標

大量的污染排放與廢棄物為企業生產過程中的主要劣副產品且造成明顯的環境惡化，因此，必須評估污染排放管制與廢棄物減量情況以檢視企業於改善環境品質之成效。台灣光電業主要排放的溫室氣體有CO<sub>2</sub>, PFC<sub>s</sub>, SF<sub>6</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC<sub>s</sub>，由全球暖化潛勢計算出的二氧化碳當量頗顯著，本研究因而使用二氧化碳當量排放量為主要產出指標之一。

光電產業產生的廢棄物包含有害工業廢棄物與一般工業廢棄物，例如：清洗溶液、蝕刻溶液、印刷溶劑、強鹼溶液、吸附有害氣體材料、污泥、包裝材料、操作用手套、口罩、鞋套...等。光電產業的有害廢棄物產生量均頗高，為全台廢棄物產生量比例最大的產業。生產過程中使用大量的毒性化學材料亦導致高危險性的致癌廢棄物產生，若無適當的處理與處置，將對員工、周遭居民與環境造成危害，因此，本研究亦以廢棄物產生量作為主要產出指標之一。

二氧化碳排放當量與廢棄物產生量為本研究應用DEA法的主要兩項產出指標，經由各企業的企業環境報告書與問卷調查收集所需資料。

## 六、結果與討論

### A. DEA 模式—CEP 績效評估值結果

依據所選擇指標應用 DEA 模式計算有效率績效值。表 1 所列為 DEA 模式計算出之效率值及權重。如表 1 與圖 3 所示，O4、O9 與 O8 等三家公司位於 DEA efficiency frontier 上，雖然公司 O4 與 O8 皆被評為有效率且獲得最高的效率值 1，但皆分別有一項產出指標被分配到極小的權重 0，亦即有一項產出指標的值表現不佳，公司 O8 廢棄物產出量較多以致產出指標值不佳，公司 O4 則排放相對較多的 eCO<sub>2</sub> 使得產出指標值亦不佳。儘管 O4 與 O8 兩家公司獲得高 DEA 績效值 1，但皆各有一項產出指標的表現較差，不應被評估為有效率。本研究因而建立 RDEA 模式以計算各公司的無效率績效情況。

表 1. 十家案例公司應用 DEA 模式所計算出的效率值與產出指標權重。

Company code	DEA score	Indicator weight	
		(Quantity of waste generated) <sup>-1</sup> / Sales	(eCO <sub>2</sub> emission volume) <sup>-1</sup> / Sales
O1	0.447	0.120	0.162
O2	0.355	0.151	0.205
O3	0.452	0.119	0.161
O4	1.000	0.054	0.000
O5	0.369	0.145	0.197
O6	0.395	0.136	0.184
O7	0.161	0.172	5.185
O8	1.000	0.000	0.871
O9	1.000	0.054	0.073
O10	0.708	0.039	1.177

### B. RDEA 模式—CEP 績效評估值結果

圖 4 為 RDEA 模式所得結果，包括 RDEA inefficiency frontier 及十家案例公司之無效率情況，如圖示，O4、O7 及 O8 等三家公司皆位於 RDEA inefficiency frontier 上，而 O4 與 O8 亦同時位於 DEA efficiency frontier 上(請參見圖 3.1)，此兩家公司各有一項產出指標的值為在所有公司中相對較低，而被評估為無效率，獲得最低的無效率值-1，因此，不應被視為高環境績效的公司。藉由 DEA 模式可以判別出表現佳的績效指標，同時，所建立的 RDEA 模式能辨別出表現不佳的績效指標，以作為後續改善項目的參考。評估環境績效時亦應考量無效率之情況，因而本研究建立 IC-DEA 法改善傳統之評估方法，詳細結果如下節說明。

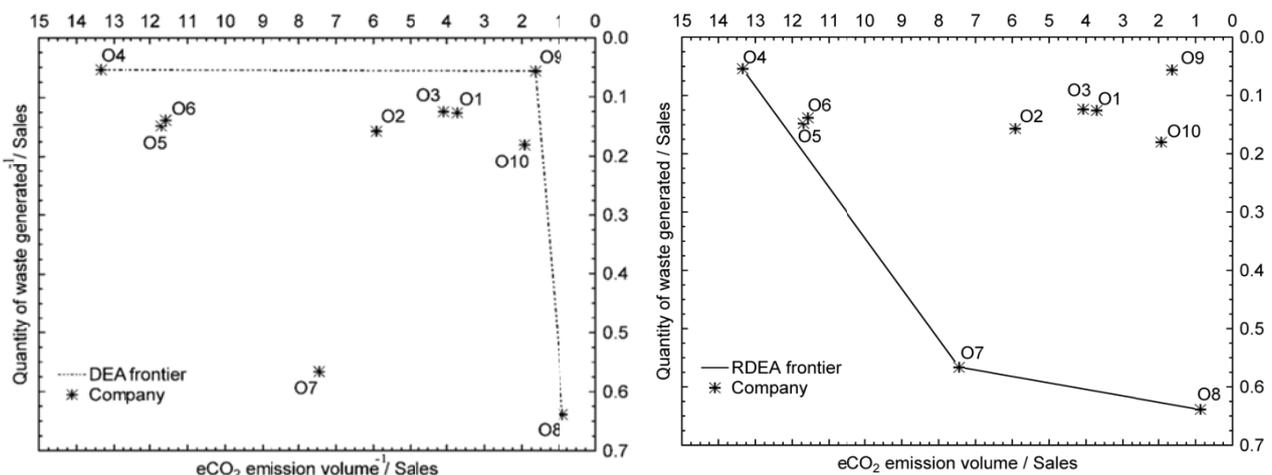


圖 3. 案例之 DEA efficiency frontier 及各公司之績效值分佈。

圖 4. 十家案例公司與 RDEA inefficiency frontier。

### C. IC-DEA 績效評估－ CEP 績效評估值結果

圖 5 所繪為十家案例公司應用 DEA 模式與 RDEA 模式所計算出的效率周線，當 DEA 周線值與 RDEA 周線值相等的交點即為 neutral point，而所有 neutral point 的連線即為 neutral line，在此曲線上的 IC-DEA 值為 0。若公司於座標繪圖中位於 neutral line 的右上方，則為較有效率；反之，若位於 neutral line 的左下方，則為較無效率。而最佳的 IC-DEA 值為 1。圖 6 比較各公司應用 DEA 模式、RDEA 模式與 IC-DEA 法所計算出的績效值，由圖可知，O4 與 O8 的 IC-DEA 績效值皆為 0，因為它們均同時獲得最高的 DEA 績效值 1 與最低的 RDEA 績效值 -1。O1、O3、O9 與 O10 等四家公司獲得大於 0 的 IC-DEA 績效值，亦即此四家公司的效率較優，且在單位營業額下產生較少的廢棄物量與 eCO<sub>2</sub> 排放量。O2、O5、O6 與 O7 等四家公司獲得小於 0 的 IC-DEA 績效值，亦即此四家公司的效率較差，且在單位營業額下產生較多的廢棄物量與 eCO<sub>2</sub> 排放量。

相較 IC-DEA 法與 DEA 模式，IC-DEA 效率值範圍在 -1 至 1 之間，與 DEA 績效值的 0 至 1 之間不同；而與 DEA 模式相似處為獲得較高 IC-DEA 績效值的公司仍被視為較有效率。若受評估公司有一個或多個表現優異的指標則會被 DEA 模式評為有效率公司，儘管其他主要指標的表現不佳。因此，受評估公司若有任一主要指標表現明顯不佳時，則不該被認為其有效率，同時，效率評估亦須加入無效率的情況以作為評估補償，本研究所建立之 IC-DEA 法能有效辨別出非真正有效率的公司。

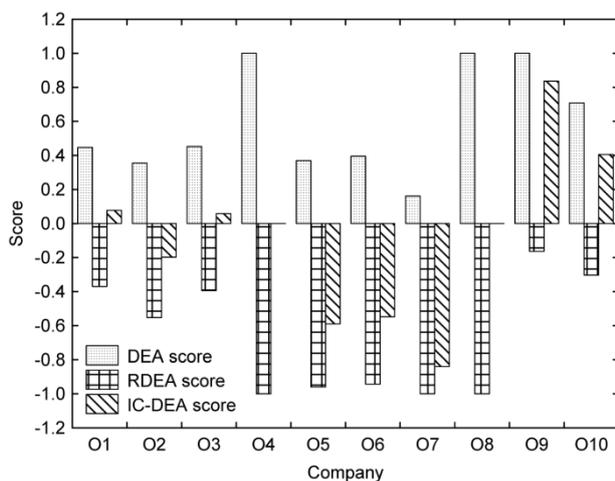


圖 5. 十家案例公司應用 DEA 法、RDEA 法與 IC-DEA 法所計算出之效率周線及 IC-DEA neutral line。

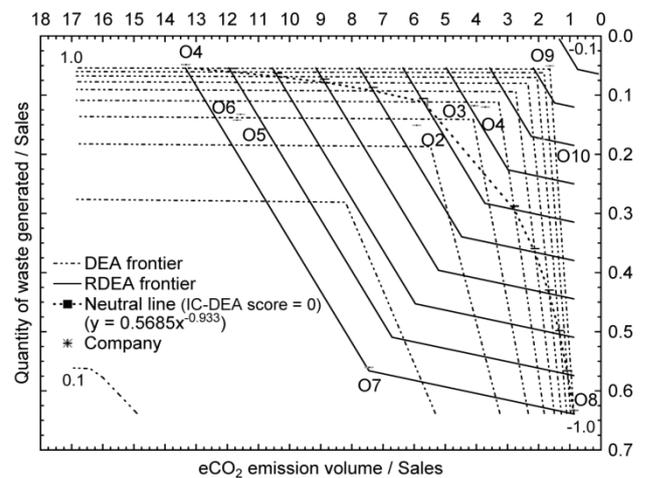


圖 6. 十家案例公司應用 DEA 法、RDEA 法與 IC-DEA 法所計算出之績效值。

### 七、參考文獻

林泉宏 (99 年)，綜合大學永續性指標之建立。碩士論文，國立交通大學工學院碩士在職專班永續環境科技組，新竹，台灣。

陳嘉俊 (97 年)，車輛綠色評量方法之建立。碩士論文，國立交通大學工學院碩士在職專班永續環境科技組，新竹，台灣。

黃宥禎 (96 年)，廢棄物清運績效綜合指標。碩士論文，國立交通大學環境工程研究所，新表 C012

竹，台灣。

楊舒閔 (99 年)，有害廢棄物清運風險分析。碩士論文，國立交通大學工學院碩士在職專班永續環境科技組，新竹，台灣。

環保署 (98 年)，2009 年環境統計年報。行政院環保署，台北，台灣。

Alsharif, K., Feroz, E.H., Klemer, A., and Raab, R. (2008). "Governance of water supply systems in the Palestinian Territories: A data envelopment analysis approach to the management of water resources." *Journal of Environmental Management*, 87, pp. 80-94.

Angulo-meza, L., and Lins, M.P.E. (2002). "Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis." *Annals of Operations Research*, 116, pp. 225-242.

Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., (1978). "Measuring the Efficiency of Decision Making Units." *European Journal of Operation Research*, 2, pp. 429-444.

Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E. (1978). "Measuring the Efficiency of Decision Making Units." *European Journal of Operation Research*, 2, pp. 429-444.

Charnes, A., Cooper, W.W., Huang, Z.M., and Sun, D.B. (1990). "Polyhedral cone-ratio DEA models with an illustrative application to large commercial banks." *European Journal of Operational Research*, 46, pp. 73-91.

Chi-Mei Corporation (2009). *Corporate social responsibility report 2008*. Chi-Mei Corporation: Tainan, R.O.C.

Dyson, R.G., and Thanassoulis, E. (1988). "Reducing weight flexibility in data envelopment analysis." *Journal of the Operational Research Society*, 39, pp. 563-576.

Feroz, E.H., Raab, R.L., Ulleberg, G.T., and Alsharif, K. (2009). "Global warming and environmental production efficiency ranking of the Kyoto Protocol nations." *Journal of Environmental Management*, 90, pp. 1178-1183.

Gomes, E.G., and Lins, M.P.E. (2008). "Modelling undesirable outputs with zero sum gains data envelopment analysis models." *Journal of the Operational Research Society*, 59, pp. 616-623.

HP (2008). *Global citizenship customer report 2008*. Hewlett-Packard Development Company: Texas, U.S.A.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)(2001). *IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001*. Working Group I: The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York: NY, U.S.A.

Kao, J.J., Pan, T.C., and Lin, C.M. (2009). "An environmental sustainability based budget allocation system for regional water quality management." *Journal of Environmental Management*, 90, pp. 699-709.

Kaplan, R. S., and Norton, D.P. (1992a). "The balanced scorecard: Measures the drive performance. In Harvard Business School." *Haward Business Review on Measuring Corporate Cerformance*, pp. 123-146. Boston, MA: Harvard Business School Press.

Lansink, A.O., and Bezlepkin, I. (2003). "The effect of heating technologies on CO<sub>2</sub> and energy efficiency of Dutch greenhouse firms." *Journal of Environmental Management*, 68, pp. 73-82.

Lu, W.M., and Lo, S.F. (2007). "A benchmark-learning roadmap for regional sustainable development in China." *Journal of the Operational Research Society*, 58, pp. 841-849.

- Moneva, J.M., and Ortas, E. (2010). "Corporate environmental and financial performance: a multivariate approach." *Industrial Management and Data Systems*, 110 (2), pp. 193-210.
- Nakashima, K., Nose, T., and Kuriyama, S., (2006). "A new approach to environmental-performance evaluation." *International Journal of Production Research*, 44, 18-19, pp. 4137-4143.
- Pan, T. C. and Kao, J. J. (2009). "An inter-generational equity index for assessing environmental sustainability: an example on global warming." *Ecological Indicators*, 9, 4, pp. 725-731.
- Putnam, D. P. E., (2002). "ISO 14031 : Environmental Performance Evaluation." *Draft Submitted to Confederation of Indian Industry for publication in their Journal*.
- Pedraja-Chaparro, R., Salinas-Jimenes, J., Smith, J., and Smith, P. (1997). "On the role of weight restrictions in DEA." *Journal of productivity Analysis*, 8, pp. 215-230.
- ROCEY (2009). *The Republic of China Yearbook 2008*. Government Information Office, Executive Yuan: Taipei, R.O.C.
- Ramanathan, R. (2005). "Estimating energy consumption of transport modes in India using DEA and application to energy and environmental policy." *Journal of the Operational Research Society*, 56, pp. 832-837.
- Sarkis, J. (2000). "A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool." *European Journal of Operational Research*, 123, pp. 543-557.
- Seiford, L.M., and Thrall, R.M. (1990). "Recent developments in DEA: The mathematical programming approach to frontier analysis." *Journal of Econometrics*, 46, pp. 7-38
- Sony (2008). *Corporate social responsibility report 2008*. Sony Corporation: Japan.
- Thompson, R.G., Jr Singleton, F.D., Thrall, R.M., and Smith, B.A. (1986). "Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas." *Interfaces*, 16(6), pp. 35-49.
- Zofio, J. L., and Prieto, A. M. (2001). "Environmental efficiency and regulatory standards: the case of CO<sub>2</sub> emissions from OECD industries." *Resource and Energy Economics*, 23, pp. 63-83.

本研究成果已發表於：

**Huang, Y.-T. and Kao, J.-J. (2012). Inefficiency countervailed DEA (IC-DEA) method for assessing corporate environmental performance. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 63, pp.470-477.**

# 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/08/21

國科會補助計畫	計畫名稱: 建立無效率補償資料包絡分析法改善企業環境績效評估
	計畫主持人: 高正忠
	計畫編號: 100-2221-E-009-008- 學門領域: 環境工程
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：高正忠		計畫編號：100-2221-E-009-008-					
計畫名稱：建立無效率補償資料包絡分析法改善企業環境績效評估							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	1	1	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究發展了無效率補償資料包絡分析（Inefficiency Countervailed DEA, IC-DEA）法改善企業環境績效評估。所建立的逆向包絡分析（Reverse DEA, RDEA）法定義了無效率前緣（inefficiency frontier），可用以判識出相對無效率之受評企業，IC-DEA 法則綜合傳統 DEA 與 RDEA 的績效值，藉由考量無效率績效補償改善企業環境績效評估。所建立的方法可有效改善傳統 DEA 評估時會將一些主要指標明顯表現不佳的企業仍判識為有效率的缺點。