

模糊設計相容性分析與電腦輔助材料製程選擇的應用

陶方冠 余志成

機械工程技術研究所
國立台灣科技大學

摘要

本論文結合模糊理論與設計相容性分析，發展模糊設計相容性分析法 (FDCA)，作為同步工程中設計需求與產品生命週期中各階段工程的配合度分析架構，並應用於材料與製程專家系統 (FUMPS) 的建立。本文分析 8 種近成型製程與 15 種工程材料的特性與限制，將其資料予以均量化，並研究各因子間可能的交互作用，以利各種材料製程因子間的比較。FUMPS 除提供設計者進行概念設計階段，選擇出適當的材料與製程組合外，也提供設計修改建議，以提升零件的可製造性。

關鍵詞：同步工程，材料與製程選擇，模糊推論，專家系統

前言

同步工程主張將產品的生命週期，由市場需求、設計、生產、行銷、消費者使用、報廢、回收再生做一完整的規劃，相關的研究在近幾年來發展得相當迅速，也實際應用於各個機械設計的領域。但一個機械設計師要掌握產品生命週期各個階段的考量因素，設計出最佳的產品，確實是一件困難的工程，因此各種電腦輔助軟體與分析方法相繼推出。

1988 年 Ishii [1] 提出一套設計相容性分析 (Design Compatibility Analysis)，DCA 為一履行同步工程的理論框架，他定義了設計的表現法、知識庫的建立架構與評比設計好壞的方法，將原本定性的敘述 (qualitative) 轉為定量 (quantitative) 的比較，建立一種同步工程專家系統的分析方式，後來有許多研究文獻就是以 DCA 為基礎；包含 Yu 等 [2] 的電腦輔助製程選擇、Gershenson 等 [3] 的組裝適宜性分析、Beiter 等 [4] 的塑膠材料選擇與 Ishii 等 [5] 的產品的可回收性分析。

近來有許多學者投入適宜製造設計方面的研究，1989 年、Ishii 等 [6] 研究設計對於射出成型製造的適宜性，1990 年，Shah 等 [7] 則從事機械加工的程序製程選擇 (切、削、磨、銑等)。1989

年，Maloney 等 [8] 針對設計需求與鍛造進行相容性研究。1991 年，Webster 等 [9] 則分析適宜壓鑄的設計。但這些研究侷限於單一製程與需求的相容性分析，並未比較不同製程對設計需求的適宜性。Yu 等 [2] 將 DCA 的方法應用於製程的選擇上，並建立一套專家系統 DFPS。但因材料直接影響製程的選擇，材料特性的需求不僅關係到材料的選定，也間接改變設計需求與製程的相容性，材料與製程應同步與設計需求作比較。

傳統的設計中，設計工程師在概念設計階段通常只考慮功能需求，而直接採取習用的材料與製程進行細部設計，而這種材料與製程的組合不見得是最適合的選擇，因此可能造成製造性不佳，成本過高等問題。而同步工程的設計方式，在設計初期便考慮到材料及製程的特性與限制，分析設計需求與材料製程間的相容性，在細部設計前，先選出與設計需求最相容的材料與製程組合，以提高設計的可製造性。本文提出模糊設計相容性分析，結合傳統設計相容性分析與模糊理論作為同步工程的評比方法，並將此法應用於材料與製程選擇專家系統的建立。

材料與製程選擇

在製造程序的選擇方面，因大量生產的需求，本文主要針對近成型製程 (Net-Shape Manufacture)，包括鍛造 (Forging)、擠製 (Extrusion)、砂鑄 (Sand Casting)、壓鑄 (Die Casting)、精密鑄造 (Investment Casting)、粉末冶金 (Powder Metallurgy)、射出成型 (Injection Molding) 與鈹金 (Metal Forming)。材料與製程選擇所考慮的因素如圖 1 所示，可分為材料、幾何與生產因素三大類。材料因素中主要考量製程與材料的適合性，而幾何因素以尺寸公差的需求為例，假設有一元件的長度為 100mm，尺寸精度的需求為 0.06mm，若使用砂鑄或擠製等製程便可能產生成本過高或是無法製造的問題。另一方面在生產因素中如產量需求，若產量需求較低，便不適合採用射出成行或粉末冶金等方法，因為其製程模具成本較高，低產量導致單位零件所負擔的模具費太高，便

不符合經濟效益。

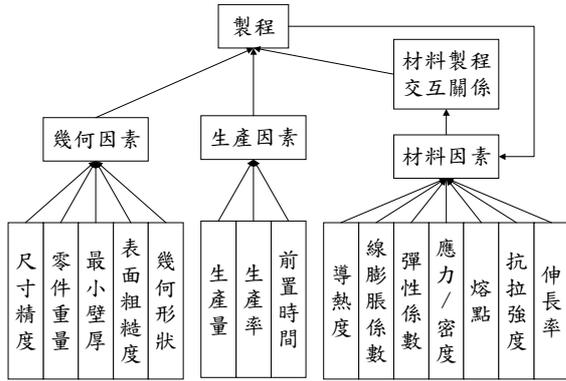


圖1 材料選擇所考慮的因素

工程材料的種類非常多，要在如此多的材料中選出一種最適合的材料，必須考慮到材料的特性與設計者的需求，材料選擇因素主要考慮機械性質與物理性質，機械性質包括抗拉強度、衝擊值、硬度、疲勞強度、彈性係數等，物理性質包括密度、熔點、導熱度、線膨脹係數、抗腐蝕性、比熱等。在做選擇時必須針對設計需求與材料本身的特性考量選出適合的材料，之後再由符合設計需求的材料中找出成本最低的材料。

材料與製程選擇間存在有交互關係，在材料選定時，製程就會受到限制，例如若選用鉛合金作為元件的材料，就不適合採用粉末冶金製造，粉末冶金較適合採用鐵、銅合金等金屬。某些因子需求，會同時受到製程與材料的影響，如抗拉強度，同一材料不同製程所產生的材料強度將有所差異。所以在初始設計時，製程與材料必須同步考慮。在進行機械元件設計時，製程與材料的選擇除了要考慮到設計需求外，也必須考慮到成本控制，在符合設計要求的製程與材料中選擇出最經濟的組合。

當考慮與二次加工組合時，將變得更加複雜，某些製造可能受於局部的幾何因子，導致 incompatible 的配合度，而被排除於可能的製程裏，但我們可配合局部的特徵或精度加工，即可改善與設計需求間的相容性。

圖2中製程A，製程B與製程C分別表示某項元件可行的三種主要製程，但其中製程A的成品直接可滿足設計需求，而製程B與製程C在主製程完成後還需進行二次加工，三種方案需考量模具、加工與工資成本分析後，始能選擇出最經濟的方案。

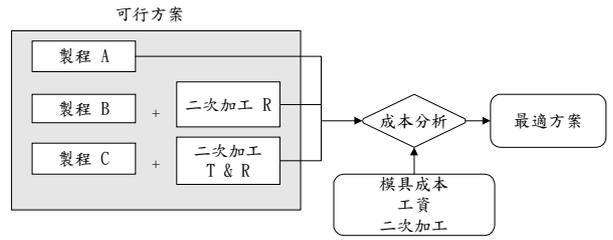


圖2 成本分析流程

模糊設計相容性分析

Ishii(1985) 的設計相容性分析 (Design Compatibility Analysis) 在將設計評比量化的過程採用離散式的對應方法，此種階梯函數式的量化法並無法真正接近人類的推論模式。本文將模糊理論導入 DCA 的概念，作為建構同步工程專家系統的重要考量，期望能更客觀的計算出設計相容性，此法我們稱之為模糊設計相容性分析 (Fuzzy Design Compatibility Analysis)。

FDCA 由設計需求結合專家知識庫 (Knowledge Base)，依序做模糊化、推論、解模糊化，求出相容性指標 (Compatibility Index)，並且提出設計修改的建議，其流程如圖3所示：

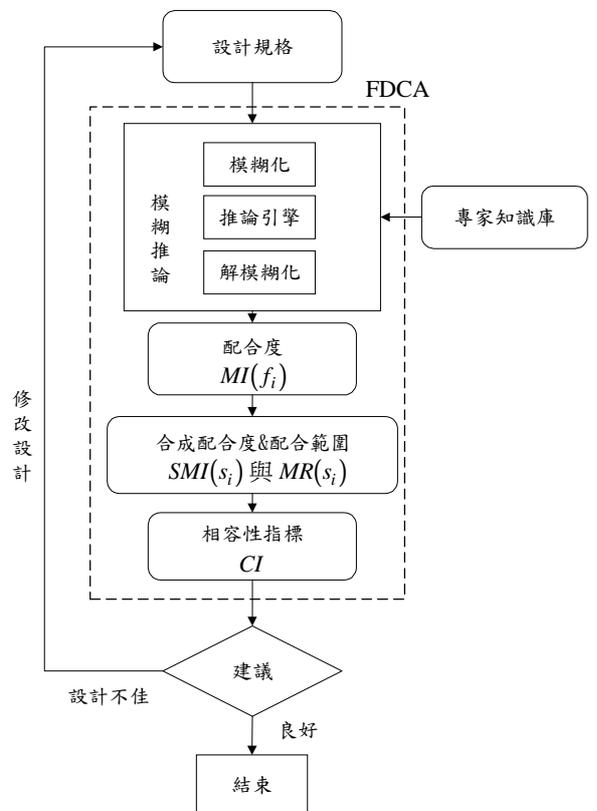


圖3 FDCA 的分析流程圖

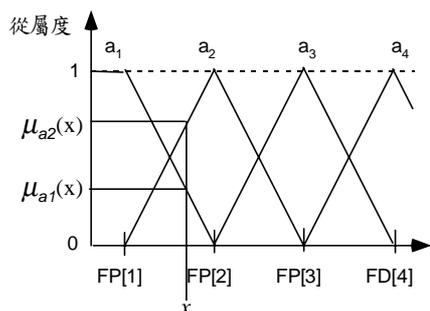


圖4 設計需求的模糊化

FDCA 的推論過程如下：

Step1. 模糊化：

以利用模糊理論的方法，求出設計需求 (x) 對各個狀態述詞 a_i 的從屬度 $\mu_{a_i}(x)$ ，以從屬度的方式將設計需求表示成一個從屬函數：

$$X = \frac{\mu_{a_1}(x)}{a_1} + \frac{\mu_{a_2}(x)}{a_2} + \frac{\mu_{a_3}(x)}{a_3} + \dots = \sum_i \frac{\mu_{a_i}(x)}{a_i} \quad (1)$$

其中 $a_i \in A$ ，而 A 為狀態述詞的集合，如公差太緊、材料強度稍小等口語化的述詞， $\mu_A(x)$ 表示設計需求 x 對於狀態述詞 A 的從屬度。

Step2. 推論引擎：

FDCA 採取“若...則...”的推論方式，當一項規則的前提成立時，則該項規則則被啟動，便可推論到該規則的結果，其推論概念如圖 4：

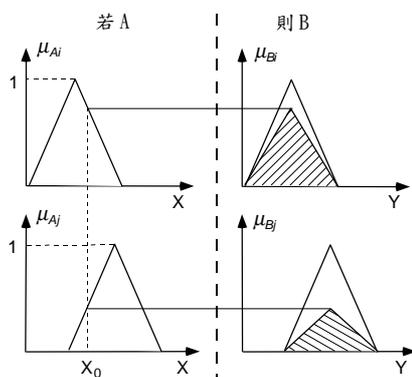


圖5 模糊單點集的推論

在 FDCA 中，前提為狀態述詞 (A)，結果為配合述詞 (Matching Descriptor)，推論步驟可簡述如下：

$$a_i \Rightarrow MD_i \quad (2)$$

則推論結果可表示為一個從屬函數：

$$X = \frac{\mu_{a_1}(x)}{MD_1} + \frac{\mu_{a_2}(x)}{MD_2} + \frac{\mu_{a_3}(x)}{MD_3} + \dots = \sum_i \frac{\mu_{a_i}(x)}{MD_i} \quad (3)$$

其中配合述詞 MD 為專家評論的集合，即

{excellent, good, poor, fair, bad, incompatible}。

Step3. 量化對應：

量化對應的目的在將專家評論得到的配合述詞 (MD)，模糊地對應到一介於 [0,1] 的數值，以利於電腦量化的運算，由數值來區別配合程度的好壞，如 excellent 對應到以 1 為中心的三角形模糊化函數，bad 對應到以 0.2 為中心的三角形模糊化函數。我們將對應所得的結果稱為配合值 (Matching Value) $MV(f_i)$ ，其中 f_i 為因子 i。

Step4. 解模糊化：

本文採用高度法 (圖 6) 作為解模糊化的方法，計算因子 f_i 與設計需求間的配合度 $MI(f_i)$

$$MI(f_i) = \frac{\sum_i MV(i) \times \mu_{a_i}(x)}{\sum_i \mu_{a_i}(x)} \quad (4)$$

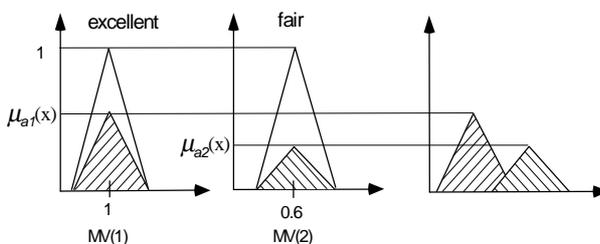


圖6 解模糊化圖示

Step5 合成配合度 (SMI)：

在進行一項設計時，常需考慮許多的元件，每個元件包含許多特性因子，每個因子都會得到一個與設計需求的配合度 (MI)，而此項元件與設計的配合度，則稱為合成配合度 SMI。本篇論文採用模糊集合的運算方法，當所有的 MI 都大於 0.5 時，取交集運算，若存在一個 MI 值小於 0.5，則取聯集運算，因為專家在做評論時常以最極端的例子作為考量，若所有的因子評比都很好，但其中有一個因子的評比非常低時，常會導致設計的不可行，其通式如下：

$$\text{if } \forall MI \geq 0.5 \text{ then } SMI = \max\{MI(s)\} \\ \text{else } SMI = \min\{MI(s)\} \quad (5)$$

Step6 相容性 (CI)：

相容性為表示整個設計與需求之間的相容程度，相容性越高代表比較佳的設計，反之，相容性越低表示此項設計仍有缺點尚待改進。設計、元件與因子階段的評比關係如圖 7 所示。本文建議兩種相容性計算方法：幾何平均法與權重法：

幾何平均法：

$$CI = \sqrt[n]{SMI(1) \times SMI(2) \times \dots \times SMI(n)} \quad (6)$$

權重法：

$$CI = \sum_i \omega_i \times SMI(i) \quad (7)$$

其中 $\sum_i \omega_i = 1$

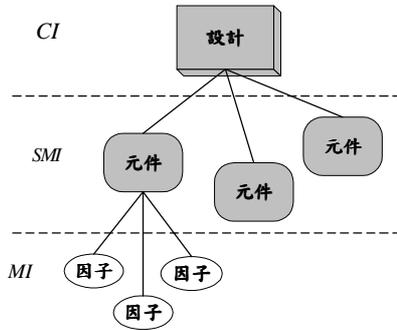


圖7 設計的配合度關係圖

FDCA 分析例

我們以鍛造的表面粗糙度的設計需求為例，分別以 DCA 與 FDCA 的方法對鍛造的相容性作評估討論，圖 8 的黑色部分為鍛造件表面粗糙度的常用區，其範圍為 3.2~12.5 μm ，灰色部分為可用區，其範圍為 1.6~3.2 μm 與 12.5~25 μm 。

表面粗糙度 (Roughness ; μm)	
	50 25 12.5 6.3 3.2 1.6 0.8 0.4 0.2
鍛造 (Forging)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="width: 10%; background-color: #cccccc;"></div> </div>

圖8 鍛造的表面粗糙度圖示

而其相對的專家推論規則如下：

- IF(設計所需之表面粗度在常用區附近)，THEN(表面粗糙度需求與此製程的配合度評比為 excellent)
- IF(設計所需之表面粗度在稍細的可用區)，THEN(表面粗糙度需求與此製程的配合度評比為 fair)
- IF(設計所需之表面粗度在稍粗的可用區)，THEN(表面粗糙度需求與此製程的配合度評比為 good)
- IF(設計所需之表面粗度較常用區細很多細很多)，THEN(表面粗糙度需求與此製程的配合度評比為 incompatible)
- IF(設計所需之表面粗度較常用區粗很多)，THEN(表面粗糙度需求與此製程的配合度評比為 fair)

若採用 DCA [2] 的方法：當表面粗糙度需求為 13 μm 落於鍛造的可用區範圍 12.5~25 μm 之間，經由推論可得表面粗糙度需求與鍛造的配合述詞為 good。當表面粗糙度需求為 12 μm 落於鍛造的常用區範圍 3.2~16.5 μm 之間，經由推論可得表面粗糙度需求與鍛造的配合述詞為 excellent。雖然 13 μm 與 12 μm 差距只有 1 μm ，卻落於不同的範圍，經由 DCA 量化對應到 [0, 1] 的配合度 {excellent \rightarrow 1, good \rightarrow 0.8, fair \rightarrow 0.6, incompatible \rightarrow 0}，其配合度分別為 1 與 0.8，其推論結果卻有 0.2 的差距。採用 FDCA 分析方式，首先將原始資料的範圍以三角模糊函數予以模糊化 (圖 9)，將需求與製程的表面粗糙度特性的對應狀態分成 5 個述詞集合：

$$A = (\text{粗很多, 稍粗, 常用區內, 稍細, 細很多}) \quad (8)$$

我們以對數化數軸來作為粗糙度的分類，若表面粗糙度需求為 12mm，則模糊化可得從屬函數為：

$$X = 0/\text{粗很多} + 0.92/\text{稍粗} + 0.08/\text{適用區} + 0/\text{稍細} + 0/\text{細很多}$$

經由推論引擎結合專家知識庫推論，表面粗糙度需求對鍛造的從屬函數可改寫為：

$$MD = 0/\text{fair} + 0.92/\text{good} + 0.08/\text{excellent} + 0/\text{fair} + 0/\text{incompatible}$$

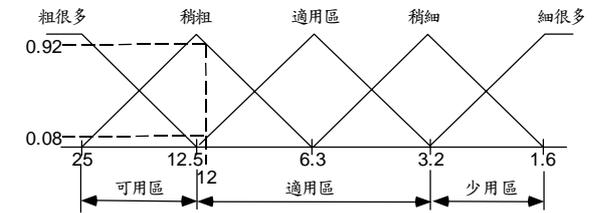


圖9 鍛造件粗糙度的模糊化

下一步將配合述詞 MD 模糊對應到配合值 MV，由圖 10 可知 good 對應到以 0.8 為中心的三角模糊函數，excellent 對應到以 1 為中心的三角模糊函數，而後以高度法解模糊化，便可推論得表面粗糙度的需求與鍛造的配合度 MI=0.82

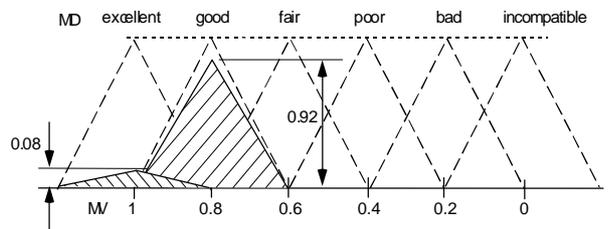


圖10 模糊化的推論對應

$$h = \frac{z_1 h_1 + z_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{0.92 \times 0.8 + 0.08 \times 1}{0.92 + 0.08} = 0.82 \quad (9)$$

採用離散式的推論的方法，當表面粗糙度需求為 $12\mu\text{m}$ 時，配合度為 0.8，需求若為 $13\mu\text{m}$ 時，配合度為 1。若採用 FDCA 的方法，當表面粗糙度需求為 $12\mu\text{m}$ 時，配合度為 0.82，需求若為 $13\mu\text{m}$ 時，配合度為 0.79。可得知 FDCA 的推論方式所得結論較 DCA 為客觀。若將表面粗糙度需求由 $1.6\mu\text{m}$ 連續變化到 $25\mu\text{m}$ ，DCA 與 FDCA 所推論出的配合度分別如圖 11 與圖 12 所示。比較兩者可明顯看出 FDCA 避免了離散對應式推論可能產生的不連續現象。圖 12 採用三角形從屬函數，而圖 13 採用 S-PI-Z 從屬函數，採用 S-PI-Z 函數所得的配合評比更為平滑，但三角形從屬函數仍表現出類似的評比趨勢，因此本文的推論將採用較簡便的三角形函數。

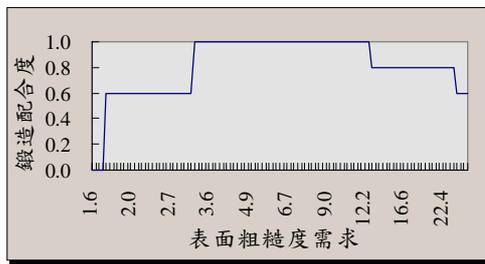


圖 11 DCA 推論所得的製程配合度

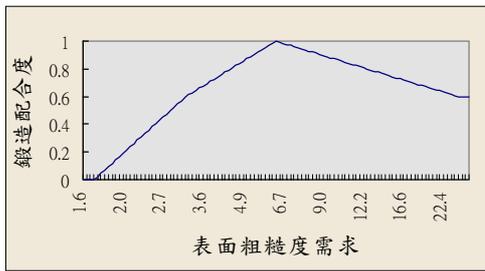


圖 12 FDCA 採用三角模糊化函數所推論的製程配合度

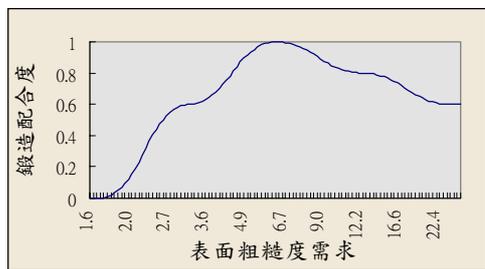


圖 13 FDCA 採用 S-PI-Z 模糊化函數所推論的製程配合度

電腦輔助材料與製程選擇

模糊材料製程選擇系統架構：

我們將前面提出的 FDCA 方法應用於材料製

程選擇中，發展出一套電腦輔助的選擇系統 FUZZY Material and Process Selection (FUMPS)，FUMPS 所考慮的近成型製程包括有鍛造、擠製、壓鑄、砂鑄、精密鑄造、粉末冶金、射出成型與鍍金等八種。所分析的材料有鐵、碳鋼、合金鋼、鋁、鋁合金、銅、銅合金、鎂合金、鎳合金、鋅合金、錫合金、鉛合金、鈦、鈦合金、塑膠等十五種。FUMPS 將在這些製程與材料中評比，選出符合設計者所輸入的設計需求的可行組合，使用者可由這些建議中選出最經濟的一項組合作為將來細部設計的依據。

此系統共包含三個主要的模組，分別為使用介面模組 (FUMPS.EXE)、模糊相容分析模組 (FDCA.EXE) 與資料庫模組 (DATABASE.EXE)。筆者利用 Asymetrix Multimedia ToolBook 3.0 設計使用介面模組，提供使用者輸入設計元件的需求規格、檢視執行結果與材料製程資料的查詢。FDCA 模組則是採用 Borland C++ 3.1 構建，其主要工作是將設計者的設計需求與資料庫的知識輸入推論引擎，以求取設計元件與需求之間的相容性指標，而後傳回使用介面模組，提供使用者查詢結果與作為未來修改設計的依據。而為了考慮到未來製程與技術的進步，資料庫的知識有可能需要更新，資料庫模組以交談視窗的方式提供專家在必要時修改資料庫內的知識。

圖 14 代表軟體運作的流程，灰色部分為系統的核心，白色部分為資料儲存或各執行檔之間的溝通橋樑。

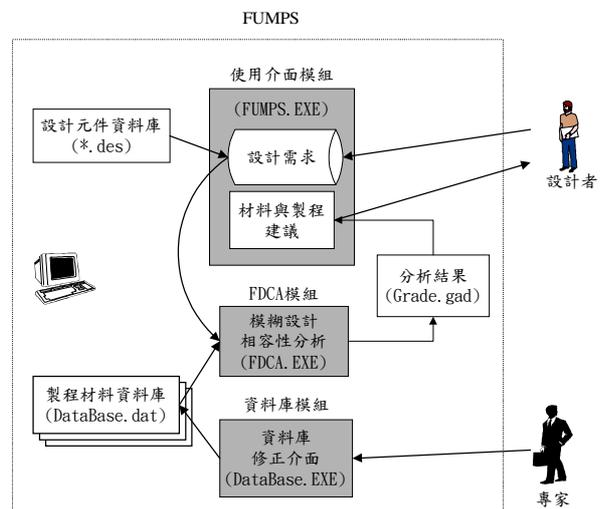


圖 14 FUMPS 運作流程圖

FUMPS 的資料庫結構：

FUMPS 的資料庫知識的功用是記錄各個因子的適用範圍與解模糊化時的配合值 (MV)，其知識結構包括兩種資料形式。

F_data :

$$\text{Fuzzy} \langle \text{Candidate}, \text{Category}, \text{Factor}, \text{FuzzyPoint} [] \rangle \quad (10)$$

F_data 的目的在於將需其所在的區間予以模糊化，並記錄定義從屬函數所需用的參考點。Candidate 表示設計時可供選擇的製程 (如 Forming, Casting 等)，Category 表示選擇 Candidate 時所考慮的因素類別，包括幾何因素、材料因素與生產因素，Factor 代表設計時在各個 Category 中所包含的考慮因子 (如抗拉強度，生產量等)，Fuzzy Point[] 表示模糊化過程中，三角形從屬函數所採用的參考點。

M_data :

Match<Candidate, Category, Factor, MatchDescriptor[]> (11)

M_data 將各個區間分別對應到配合述詞 MD，代表各規則模糊推論的結果。

以鋁合金的熔點為例，鋁合金的熔點範圍在攝氏 476~654 度，首先將熔點空間以鋁合金的熔點範圍當作參考點分成三個模糊子集合 (圖 15)，分別是小於材料熔點、約等於材料熔點與大於材料熔點，而此模糊化的過程則以 F_data 表示

FUZZY<NULL, Al_Alloy, MeltPt, 428.4 565 719.4> (12)

L 為鋁合金熔點範圍的下限，U 為範圍上限，若熔點的設計需求為不小於 x 值，與 F_data 相對應的推論結果以 M_data 可表為式(13)。

MATCH<NULL, Al_Alloy, MeltPt, excellent fair incompatible> (13)

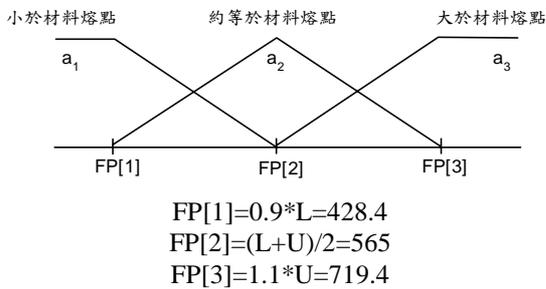


圖15 鋁合金熔點的模糊化

M_data 表示當熔點的設計需求為不小於 x 值，而 x 落在小於材料熔點的模糊集合中，則熔點需求與鋁合金材料所對應的配合述詞為 excellent，而落在模糊集合約等於材料熔點所對應到的配合述詞為 fair，落在模糊集合大於材料熔點所對應的配合述詞為 incompatible。

在資料庫的建立，我們考慮到未來可能由於材料與製程技術的改良，資料庫的資料可能需要更新，所以採用 ToolBook 設計一個資料庫維護介面，而另一方面將各材料與製程的特性表列出來，方便使用者查詢 (圖 16)。

MeltPoint		材料因素
	下限	上限
鐵	1536.5	1536.5
碳鋼	1371	1572
合金鋼	1371	1572
鋁	660	660
鋁合金	476	654
銅	1083	1083
銅合金	885	1260
鎂	610	621
鎂合金	1110	1454
鋅	386	525
鋅合金	386	525
鉛	182	326
鈦	1668	1668
鈦合金	1549	1649
塑膠	110	330

材料因素: 伸長率, 彈性係數, 密度, 導熱係數, 線膨脹係數, 熔點

開啟瀏覽視窗 更新規則庫

圖16 資料庫維護介面

FUMPS 的推論過程：

模糊化的過程中在輸入設計需求後，將需求對應到製程特性因子的模糊函數，再由推論引擎，啟動的規則所推論的配合述詞與其各別從屬度。並以高度法解模糊化求出配合度指標 MI 。

所求出的配合度，存於 G_data ，其結構如下：

G_data : Grade<Candidate, Category, Factor, MatchIndex> (14)

在求出各個因素的配合度 (MI) 後，再分別依材料因素、幾何因素與生產因素三個類別採用式 (7) 的方法，求出材料、幾何、生產三個類別的合成配合度 (SMI)。最後採用幾何平均法求出每一個材料製程組合與設計需求的相容性指標 (CI)。

$$CI = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 SMI(i)} \quad (15)$$

採用幾何平均的原因在於當設計與某一材料製程組合存在一個以上完全不相容 incompatible 的因素時，不管其它因素的配合度為何，其組合的相容性變為 0，除非使用者針對不相容因素修改設計，否則此材料與製程組合將不建議採用。

FUMPS 的應用例

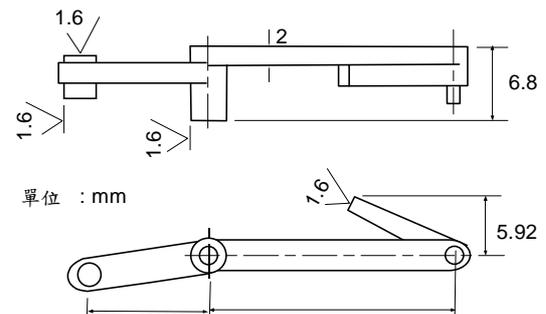


圖 17 搖臂的概念設計圖

本文以隨身視聽設備中的機構搖臂設計為例（圖 17），以 FUMPS 分析找出最適合下列設計需求的材料與製程組合。

- 由受力分析與空間尺寸得知，抗拉強度不小於 $5Kg/mm^2$
- 為減低撓性變形，彈性係數不小於 30Gpa
- 為求設計之可攜帶性與輕量化，材料之應力/密度不小於 1000(m)
- 為求機構在環境溫度變化下之準確度，線膨脹係數不大於 $30 \times 10^{-6} / ^\circ C$
- 與其它零件配合或觸動部分，表面粗糙度需求為 $1.6\mu m$
- 由圖 17 可知長度 20.6mm 的尺寸公差 0.06mm 為最高的精度要求
- 空間限制搖臂某部分的壁厚不得大於 2mm
- 零件重量需小於 0.06kg
- 幾何形狀歸類於複雜的長條形狀（圖 19）
- 產量：60000 件
- 前置時間：60 天以內

圖 18與圖 19顯示 FUMPS 在材料因素與幾何形狀的輸入介面，圖 20表示 FUMPS 的分析結果，在搖臂目前的設計需求下，FUMPS 建議三種適合的製程，依相容性指標高低依序為粉末冶金、射出成型與精密鑄造，而相對於不同材料製程組合的相容性指標與各類因素的合成配合度也列於製程推薦的畫面。圖 21 則列出適合所推薦製程的材料及其組合之相容性指標。



圖 18 搖臂的材料因素需求

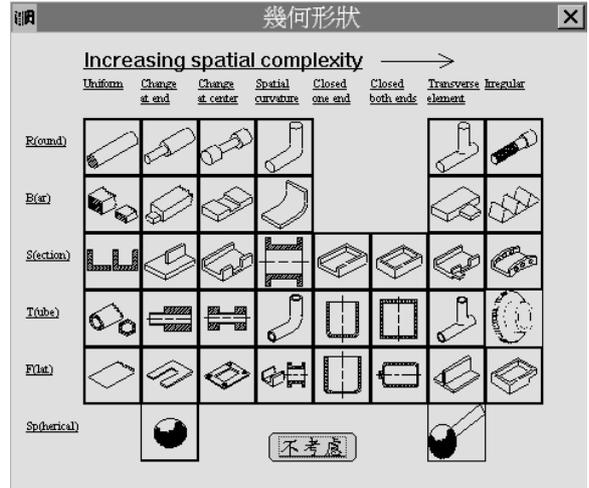


圖 19 幾何形狀的選擇視窗

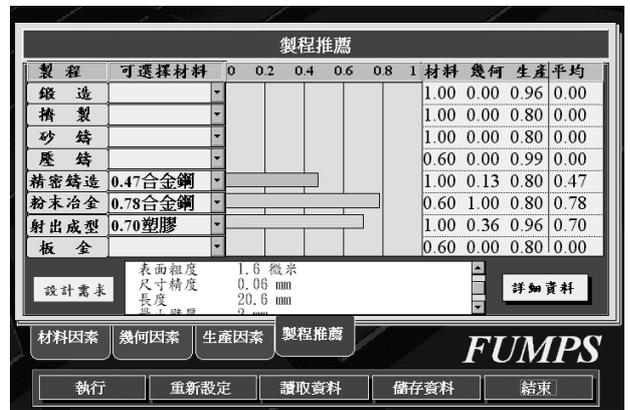


圖 20 搖臂設計的製程推薦

精密鑄造		粉末冶金		射出成型	
合金鋼	0.47	合金鋼	0.78	塑膠	0.7
鎂合金	0.4	鈦	0.78		
鎳合金	0.25	鈦合金	0.78		
鋁合金	0.2	鎳合金	0.49		
		鋁合金	0.4		

圖 21 搖臂的適用材料製程組合與其相容性指標

另外我們若是想採用精密鑄造與合金鋼的組合方式製造，也可藉由 FUMPS 查詢各項因子的評比，作為修正設計的依據，以提高設計的可製造性。首先，我們先查詢先前的分析精密鑄造與合金鋼組合之各項因子的配合度（圖 22），由圖可看出合金鋼與精密鑄造的組合相容性不佳的原因在於幾何因素中的尺寸精度以及零件重量的配合度（MI）太低。所以我們可查詢壓鑄的尺寸精度範圍（圖 22）。得知精密鑄造在長度為 20.6mm 的尺寸精度適用範圍在 0.07mm~0.14mm 之間。

為提高設計與精密鑄造／合金鋼組合的相容性，若設計許可我們將尺寸精度要求放寬為 0.2mm

後再次執行，得到結果如（圖 23）所示，設計需求與精密鑄造合金鋼的相容性指標由 0.47 提升至 0.61，如此可繼續檢討其它因子的配合度，修改設計藉以提高此項材料製程組合時的可製造性。

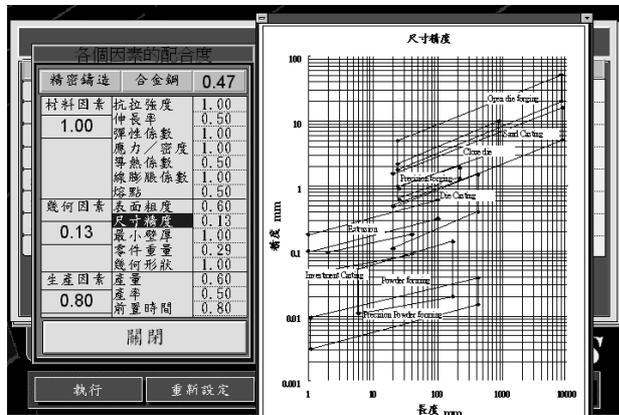


圖 22 各項因子配合度與尺寸精度資料



圖 23 搖臂設計修改後的製程推薦

結論

本文結合模糊理論與設計相容性分析，提出模糊設計相容性分析法（FDCA）。FDCA 在專家評論的模糊地帶加入從屬度來表示相容性的好壞。我們也以實例比較 FDCA 與 DCA 的差異，FDCA 將配合述詞以從屬函數的方式表現出來，配合推論引擎與解模糊化，可求得較客觀的分析結果。

本文並針對材料與製程的選擇分析 8 種近成型製程與 15 種工程材料的特性與限制，研究其間可能的交互作用，並系統地量化各種材料製程間因子的比較。而後我們應用所提出的 FDCA 建構材料製程選擇的專家系統 FUMPS，進行材料與製程選擇的同步評估。而在另一方面 FUMPS 也可就所指定的材料與製程組合提供分析建議，用以修改設計，提高其可製造性。

參考文獻

1. Ishii, K., Adler, R. and Barkan, P., "Application of Design Compatibility Analysis to Simultaneous Engineering" AI EDAM, Vol. 2(1), pp. 53-65 (1988)
2. Yu, J., Krizan, S. and Ishii, K., "Computer-aided Design for Manufacturing Process Selection" Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 4, pp. 199-208 (1993)
3. Gershenson, J. and Ishii, K., "Life-Cycle Serviceability Design" Design Theory and Methodology, Vol. 31, pp. 127-134 (1991)
4. Beiter, K., Krizan, S. and Ishii, K., "An Intelligent Design Aid for Plastic Material Selection" Advances in Engineering Software Vol. 16 pp. 53-60 (1993)
5. Ishii, K., Eubanks, C.F. and Marks, M., "Evaluation Methodology for Post-manufacturing Issues in Life-cycle Design" Concurrent Engineering "Research and Application Vol. 1, pp. 61-68 (1993)
6. Ishii, K., Hornberger, L. and Liou, M., "Compatibility-based design for Injection Molding," Proceedings of the Concurrent Product and Process Design Symposium, ASME Winter Annual Meeting, San Francisco, CA, pp. 153-160. (1989)
7. Shah, J., Hsiao, D. and Robinson, R. "A framework for manufacturability evaluation in a feature based CAD system," Proceedings of NSF Design and Manufacturing Systems Conference, Tempe, AZ, pp. 61-66 (1990)
8. Maloney, L. M., Ishii, k. and Miller, R. A. "Compatibility-based selection of forging machines and processes," Proceedings of the Concurrent Product and Process Design Symposium, ASME Winter Annual Meeting, San Francisco, CA, pp. 161-167 (1989)
9. Webster, C.A. and Weller, M. "Alexsys - An expert system for the aluminum pressure die casting industry," Applications of Artificial Intelligence in Engineering, Vol. 2 (1993)
10. Yu, J., Lotfi, S. and Ishii, K., "Process selection for the design of aluminum components," Advances in Engineering Software, Vol. 18 pp. 177-186 (1993)
11. James G. Bralla, Handbook of product design for manufacturing New York :McGraw-Hill (1986.)

Fuzzy Design Compatibility Analysis and the Application to Computer-Aided Material and Process Selection

F. G. Tao
Jyh-Cheng Yu

Department of Mechanical Engineering
Nation Taiwan University of Science and Technology
Taipei, Taiwan, R. O. C.

ABSTRACT

This paper proposed the Fuzzy Design Compatibility Analysis (FDCA) that introduces fuzzy inference to the design compatibility analysis. FDCA is an analysis scheme to compare the design requirement with the compatibility of the subsequent stages in the life-cycle engineering. Our study analyzes the characteristics and constraints of eight different net-shape manufacturing processes and 15 engineering materials. We normalize the data and study the possible interaction amount various factors. FDCA is then applied to the design of a window application FUMPS for the concurrent selection of materials and processes. FUMPS also provides suggestions of design modification to improve the manufacturability at the early stage of design.

Keywords : Concurrent Engineering, Material and Process Selection, Fuzzy inference, Expert System