

# 中華民國國家標準

## C N S

### 積層製造檔案格式 (AMF) 第 1.2 版之規範

#### Specification for Additive Manufacturing File Format (AMF) Version 1.2

#### CNS 草-制 1120006:2022

制定說明：

本標準參照 ISO/ASTM 52915:2020 國際標準，編擬為 CNS 國家標準草案，依國家標準制定辦法辦理徵求意見，敬請 惠賜卓見。

中華民國 年 月 日制定公布

Date of Promulgation: - -

中華民國 年 月 日修訂公布

Date of Amendment: - -

本標準非經經濟部標準檢驗局同意不得翻印



## 目錄

節次	頁次
前言 .....	2
1. 適用範圍 .....	3
2. 引用標準 .....	3
3. 用語及定義 .....	3
4. 重要注意事項 .....	4
4.1 一般 .....	4
4.2 納入未來新元素之指引 .....	5
5. 本規範之結構 .....	5
5.1 格式 .....	5
5.2 彈性 .....	5
5.3 精密度 .....	5
5.4 未來修訂及增補 .....	5
6. 一般結構 .....	5
7. 幾何形狀規範 .....	6
7.1 一般 .....	6
7.2 平滑幾何形狀 .....	8
7.3 幾何形狀限制 .....	8
8. 材料規範 .....	9
8.1 一般 .....	9
8.2 混合及梯度之材料及子結構 .....	11
8.3 多孔材料 .....	11
8.4 隨機材料 .....	11
9. 顏色規範 .....	11
9.1 一般 .....	11
9.2 顏色梯度及織構映射 .....	13
9.3 透明度 .....	14
10. 織構規範 .....	14
11. 群集 .....	14
12. 元資料 .....	15
13. 壓縮及分送 .....	16
14. 最少建置 .....	16
附錄 A (參考) AMF XML 綱要建置指引 .....	17
附錄 B (參考) 性能資料及未來特性 .....	27
名詞對照 .....	30
參考資料 .....	31

## CNS 52915:2022

### 前言

本標準係依據 2020 年發行之第 3 版 ISO/ASTM 52915，不變更技術內容，制定成為中華民國國家標準者。

本標準係依標準法之規定，經國家標準審查委員會審定，由主管機關公布之中華民國國家標準。

依標準法第四條之規定，國家標準採自願性方式實施。但經各該目的事業主管機關引用全部或部分內容為法規者，從其規定。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，主管機關及標準專責機關不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

## 1. 適用範圍

本標準提供積層製造檔案格式(AMF)之規範，其為一種交換格式，處理當前及未來積層製造技術的需求。

本標準對 AMF 規範其準備、顯示及傳輸之要求。當以結構化之電子格式製作時，需要嚴格遵守可延伸標示語言(XML, extensible markup language)[1]綱要，以支援符合標準的互操作性。

備考：AMF 之 W3C XML 綱要定義(XSD)，可參照 ISO 網址

<https://standards.iso.org/iso/52915>。附錄 A 提供此 XML 綱要之實作指引。

已知另有本標準當前版本未涵蓋之其他資訊。建議之未來特性如附錄 B 所示。

本標準未規範任何用以確保資料完整性、電子簽章及加密之明確機制。

## 2. 引用標準

本標準無引用其他標準。

## 3. 用語及定義

下列用語及定義適用於本標準。

### 3.1 AMF 消費器等(AMF consumer)

讀取(剖析)積層製造檔案格式，以製作、視覺化或分析之軟體。

備考：通常藉由積層製造設備及檢視、分析與查證軟體匯入 AMF 檔案。

### 3.2 AMF 編輯器(AMF editor)

讀取及重寫積層製造檔案格式檔案，以進行轉換之軟體。

備考：AMF 編輯器應用程式，用於將一種 AMF 型式轉換為另一種，例：將所有曲線三角形轉換為平面三角形，或將多孔材料規格轉換為明確網格表面。

### 3.3 AMF 產生器(AMF producer)

從原始幾何資料編寫成(生成)積層製造檔案格式檔案之軟體。

備考：通常藉由電腦輔助設計(CAD)軟體、掃描軟體或直接從計算幾何演算法匯出 AMF 檔案。

### 3.4 屬性(attribute)

資料之特性，代表元素中資料的一或多個層面或描述符。

備考：在 XML 框架中，屬性為元素之特性。

### 3.5 註解(comments)

積層製造檔案格式中附屬於任何資料，但會被匯入軟體忽略之所有文字元素。

備考：利用註解提升人員對檔案之易讀性並用於除錯。

### 3.6 元素(element)

XML 文件中之資訊單位，包含開始標籤、結束標籤、標籤間之內容及任何屬性。

備考：在 XML 框架中，元素可包含資料、屬性及其他元素。

### 3.7 可延伸標示語言(extensible markup language, XML)

全球資訊網聯盟(W3C, WorldWideWeb Consortium)之標準，用以標籤化文件內的

資訊內容，提供一種呈現內容的格式，讓人及機器皆可讀取。

備考：透過使用可自定義之樣式表單及綱要，能以一致的方式呈現資訊，以利內容(資料)及格式(元資料)之交換。

[參照：ISO/ASTM 52900:2015 之 2.4.7]

### 3.8 STL

以三角形密舖(tessellation)描繪物件表面幾何形狀之模型資料檔案格式，用以將3D幾何傳遞至機器中，以建構成形實體工件。

備考：STL 檔案格式原本開發為 CAD 套裝軟體之一部分，用於早期的光固化立體成型設備(STereoLithography Apparatus)，因此用以指稱該製程。有時亦稱為“標準三角化語言(STL, standard triangulation language)”或“標準密舖語言(STL, standard tessellation language)”，但其從未被任何標準化組織認可成為正式標準。

[參照：ISO/ASTM 52900:2015 之 2.4.16]

## 4. 重要注意事項

### 4.1 一般

4.1.1 檔案格式之通用性與其對特定目的之有用性間，本來即要有所取捨。因此，設計用以符合一個社群需求之特性，可能妨礙此檔案格式用於其他用途。為成功地涵蓋積層製造各領域，設計本標準所述之檔案格式 AMF，以處理 4.1.2 至 4.1.7 列出的考量。

#### 4.1.2 技術獨立性

此 AMF 以一般之方式描述物件，使任意機器均可在其最佳能力進行建構成形。其不受解析度及疊層厚度之影響，且不含任何製程或技術特定的資訊。此並非拒絕納入僅特定先進機器支援之功能(例：顏色及多種材料)的特性描述，而是以避免排他性定義此等特性。

#### 4.1.3 簡單性

此 AMF 容易實施與理解。能用簡單之文字檢視器讀取格式並進行除錯，此有助於理解及採用。完全相同之資訊不會儲存在多個地方。

#### 4.1.4 可縮放性

檔案大小及處理時間，完全隨工件複雜度之增加及製造設備解析度與準確度的提升而變更。此包含能處理相同物件之大型陣列、複雜的週期性內部特徵(例：網格及晶格)及在以極高解析度製作時之平滑曲面。

#### 4.1.5 性能

此 AMF 實現合理之讀寫作業持續時間(互動時間)，並為典型的大型物件提供合理之檔案大小。附錄 B 提供詳細之性能資料。

#### 4.1.6 向後相容性

可直接將任何現有之 STL 檔案轉換成有效的 AMF 檔案，而不會遺失任何資訊，

亦不需要任何額外之資訊。AMF 檔案亦可輕易地轉回 STL，以便在舊系統上使用，雖然此會失去進階特性。此格式維持三角形網格幾何呈現，以利用既有之最佳化切層演算法及已存在的編碼基礎結構。

#### 4.1.7 未來相容性

為能在快速變化之產業中保持有用，此檔案格式可輕易延伸，同時保持與先前版本及技術相容。此可在技術授權中以升級之方式加入新特性，同時仍能在最舊之硬體上完美地執行簡單的均質幾何形狀。

### 4.2 納入未來新元素之指引

4.2.1 任何提出之新元素，應適用於涵蓋想像所及能用以產生所需結果的所有硬體平台及技術。

4.2.2 為支持上述考量，對本標準提出之新元素應描述最終物件，而非如何進行建構成形。舉例而言，可能會容許假設之未來元素<hollow>，以告訴積層製造系統在可能的情況下留下空心體積。但不應納入描述如何建構成形一中空體積之元素<objectLayerFillPath>，因其採用特定的製作程序。

## 5. 本規範之結構

### 5.1 格式

本規範規定之資訊以 XML 1.0 格式儲存。XML 為由元素及屬性條列所組成之文字檔。利用此廣泛接受之資料格式，可使用許多工具進行創建、檢視、操縱、剖析及儲存 AMF 檔案。人員可讀取 XML，故有可能改正檔案中的錯誤。若需要，可利用高度最佳化之標準化常式，可在後處理步驟中壓縮或加密 XML，或兩者兼做。

### 5.2 彈性

XML 之另一顯著優勢為其本身的彈性。只要文件符合 XML 標準，則遺失或增加參數均不會對剖析器造成問題。實務上，使用 XML 名稱空間(namespace)可加入新特性，而不會破壞如舊軟體中之舊版剖析器。

### 5.3 精密度

此檔案格式具跨平台之數值呈現精密度。由生成程式負責，視需要儘量編寫多或少之位數，以正確呈現目標物件。但 AMF 消費者應以雙精密度讀取及處理實數(64 位元)。

### 5.4 未來修訂及增補

雖然可暫時將額外 XML 元素加至任何 AMF 檔案供內部使用，但此等增補不應視為本規範之一部分。任何 AMF 消費者可能會忽視非正規之 AMF 元素，且編輯器應用程式可能不會加以儲存或再製。唯有在取得本規範之正式認可後，才會變成正規元素。

## 6. 一般結構

6.1 AMF 檔案應從指定 XML 版本及編碼之 XML 宣告行開始，例：

```
<?xml version= "1.0" encoding= "UTF-8" ?>
```

XML 版本應為 1.0。僅指定 UTF-8 及 UTF-16。無法識別之編碼會導致檔案無法載入。

6.2 可在檔案中穿插空格字元及標準 XML 註解，且任何解譯器(interpreter)均應忽視之，例：

```
<!-- ignore this comment -->
```

6.3 檔案中之剩餘部分應置於開始</amf>與結束</amf>之元素標籤間。此元素表示檔案類型，且滿足所有 XML 檔案具單一元素的要求。宜使用表示所符合之 AMF 標準版本的版本屬性。亦可使用標準 XML 名稱空間屬性，例：設計用以識別所用自然人類語言的 lang 屬性。亦可規定單位系統(mm、inch、ft、m 或 μm)。若無單位規範，則假定屬性值為 mm，例：

```
<amf unit= "millimeter" version= "1.0" xml:lang= "en"  
xmins:amf= "www.astm.org/Standards/F2915-14" >
```

6.4 包夾在<amf/>元素開始及結束標籤內為 5 種頂層元素，如 6.4.1 至 6.4.5 所述。

6.4.1 <object>物件元素定義一或多個材料體積，每個體積亦可能引用材料識別符(ID)以利積層製造加工。物件元素亦應宣告一唯一之物件 ID。檔案中至少應具一物件元素。可選擇是否納入其他物件。

6.4.2 <material>選擇性之材料元素，定義一種用以製作的材料，每種材料宣告一個所屬之材料 ID。宣告之材料 ID 應為唯一且不得為 0。若未納入材料元素，則假定為單一預設材料。

6.4.3 <texture>選擇性之織構元素，定義一種用於顏色或織構映射的圖像或織構，每種宣告一個所屬之織構 ID。宣告之織構 ID 應為唯一。

6.4.4 <constellation>選擇性之群集元素，以階層的方式將物件及其他群集組合成用於列印之相對圖樣。群集元素亦可宣告應為唯一之物件 ID。若未指定群集元素，則應在不匯入相對位置資料之情況下匯入每個物件元素。若檔案中指定多個物件，則消費軟體可決定物件之相對定位。

6.4.5 <metadata>選擇性之元資料元素，規範檔案中所含物件及元素的增補資訊。

6.5 一個能完整運作之 AMF 檔案，僅需一個物件元素。

## 7. 幾何形狀規範

### 7.1 一般

7.1.1 頂層<object>元素宣告一唯一之 ID，且應包含一<mesh>網格子元素。<mesh>元素應包含兩個子元素：<vertices>頂點及<volume>體積。<object>元素可選擇性地引用 1 種材料。

7.1.2 所要求之<vertices>元素，應包含該物件中使用的所有頂點。按照宣告之順序，每一頂點隱含著由零開始並單調遞增的識別整數。其所要求之子元素<coordinates>坐標，利用<x>、<y>及<z>子元素，提供該頂點在三維(3D)空間中的位置。

7.1.3 在頂點資訊之後，至少應納入一個<volume>元素。每一 volume 包裹一個封閉之

物件體積。單一物件中可能包含多個體積。不同體積在界面處可共用頂點，但不應有任何體積重疊。

**7.1.4** 在每一 volume 內，應使用多個<triangle>三角子元素，以定義密鋪該體積表面之三角形。每個<triangle>元素應引用先前定義之頂點索引集中的三個頂點。應使用<v1>、<v2>及<v3>子元素，以指定三角形三個頂點之索引。頂點應按照右手定則排序，即從體積外觀看時，頂點係以逆時針排序。按照宣告之順序，每個三角形隱含著由零開始並單調遞增的識別整數(參照圖 1)。

**7.1.5** 不應使用幾何形狀描述支撐結構。僅應描述最終之目標結構。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<amf unit="millimeter">
  <object id="0">
    <mesh>
      <vertices>
        <vertex>
          <coordinates>
            <x>0</x>
            <y>1.32</y>
            <z>3.715</z>
          </coordinates>
        </vertex>
        <vertex>
          <coordinates>
            <x>0</x>
            <y>1.269</y>
            <z>2.45354</z>
          </coordinates>
        </vertex>
        ...
      </vertices>

      <volume>
        <triangle>
          <v1>0</v1>
          <v2>1</v2>
          <v3>3</v3>
        </triangle>
        <triangle>
          <v1>1</v1>
          <v2>0</v2>
          <v3>4</v3>
        </triangle>
        ...
      </volume>
    </mesh>
  </object>
</amf>
```

備考：圖中顯示僅含有頂點及三角形之基本 AMF 檔案。此結構與 STL 標準相容，可藉由最少建置之 AMF 消費器等讀取。

圖 1 基本 AMF 檔案

## 7.2 平滑幾何形狀

- 7.2.1** 預設為假定所有三角形為平面三角形，且應假定所有三角形之邊為連接其兩個頂點的直線。然而，可選擇指定曲面三角形及曲線邊，以減少描述曲面所需要之網格元素數目。最基本之 AMF 消費軟體(參照第 13 節)可能會忽略三角形所屬的曲率資訊。
- 7.2.2** 匯入時，一個曲面三角形片應以遞迴之方式劃分為四個三角形，以生成最終的臨時平面三角形集合。遞迴次數應恰等於 5 (即一個曲面三角形轉換為 1,024 個平面三角形)。
- 7.2.3** 在產生期間，雖已知消費軟體會對任意曲面三角形進行 5 層再分割，生成曲面三角形的產生軟體，應自動決定將目標幾何形狀指定成符合預期許可差所需之曲面三角形數目。
- 7.2.4** 為指定曲率，頂點可包含一個子元素 <normal>法線，以指定頂點處所需之表面法線。法線宜為單位長度且指向外部。若指定此法線，則在該頂點處相交之所有三角形邊應為曲線，以使其與該法線垂直，且位於由法線與原始直邊定義的平面內。
- 7.2.5** 若有兩個體積引用一頂點，則每個體積之法線視為相同，但其方向應與所考量體積一致解譯之(以使其指向外部)。若由多個體積共用而會有模稜兩可之法線的頂點，不應指定法線。
- 7.2.6** 曲面三角形超出平面之部分不得超過 25 %，且不得包含反曲點。
- 7.2.7** 若無法定義頂點處體積表面之曲率(例：在尖端、轉角或邊緣處)，可使用 <edge>邊緣元素指定連接兩個頂點之單一非線性邊的曲率。利用該邊之起點及終點處的切線方向向量，指定曲率。若與 <normal>元素隱含的曲率有所衝突，應以 <edge>元素優先。
- 7.2.8** 不宜指定僅被平面三角形引用之頂點的法線。不宜指定平面三角形中線性邊之邊緣元素。
- 7.2.9** 解析法線及切線時，應使用二次 Hermite 內插。執行此內插之公式參照 A.3。

## 7.3 幾何形狀限制

所有幾何形狀應遵守以下限制。

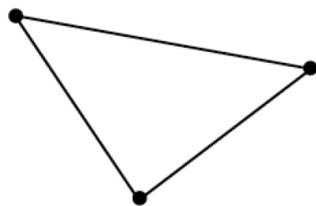
- 每個三角形應恰好有三個不同非共線頂點。
- 除共用邊或共用頂點外，三角形間不得相交或重疊。
- 體積應包覆一具非零體積之封閉連接空間。
- 體積不得重疊。
- 每個頂點至少應被 3 個三角形引用。
- 每個體積中，每 1 對頂點應正好被零個或 2 個三角形引用。
- 任兩頂點不應具相同之坐標。用以定義相等性之許可差為  $10^{-8}$  單位。
- 在同一體積內，共用一邊之三角形，其朝外方向應一致。以頂點之順序定義朝外方向。

## 8. 材料規範

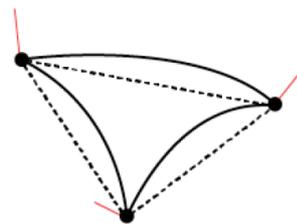
### 8.1 一般

**8.1.1** 材料可使用選擇性之<material>元素導入。對任意數目之材料的每一個，可分別使用 1 個<material>元素定義之。每種材料賦予一唯一之 ID。幾何體積可在引用 1 種材料之<volume>元素上，指定 1 個材料 ID 屬性值。保留材料 ID “0”，表示無選擇材料(空孔(void))，參照圖 2。

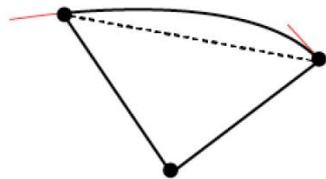
**8.1.2** 材料特性包含在每個<material>元素內。<colour>顏色子元素，用於指定材料之紅/綠/藍/alpha (RGBA)外觀(參照第 8 節)。可使用<metadata>元素指定其他之材料性質，例：用於操作性目的之材料名稱，或彈性性質以供可控制此等性質的設備使用，參照圖 3。AMF 元素之描述參照 A.1。



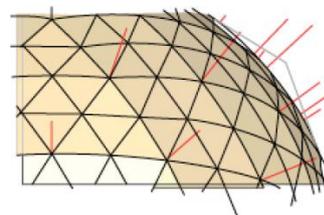
(a) 預設(平面)三角形片



(b) 使用頂點法線之曲面三角形



(c) 使用邊切線之曲面三角形



(d) 將曲面三角形片再分割為四個曲面小三角形片

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<amf unit="millimeter">
  <object id="0">
    <mesh>
      <vertices>
        <vertex>
          <coordinates >
            ...
          </coordinates >
          <normal>
            <nx>0</nx>
            <ny>0.707</ny>
            <nz>0.707</nz>
          </normal>
        </vertex>
      </vertices>
    </mesh>
  </object>
</amf>
```

```

...
<edge>
  <v1>0</v1>
  <dx1>0.577</dx1>
  <dy1>0.577</dy1>
  <dz1>0.577</dz1>
  <v2>1</v2>
  <dx2>0.707</dx2>
  <dy2>0</dy2>
  <dz2>0.707</dz2>
</edge>

</vertices>

<volume materialid="0">
  <triangle>
    ...
  </triangle>
</volume>
</mesh>
</object>
</amf>

```

(e) 含有彎曲幾何形狀之 AMF 檔案

圖 2 網格上使用之三角形類型

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<amf unit="millimeter">
  <material id="1">
    <metadata type="Name">StiffMaterial</metadata>
  </material>
  <material id="2">
    <metadata type="Name">FlexibleMaterial</metadata>
  </material>
  <material id="3">
    <metadata type="Name">MediumMaterial</metadata>
    <composite materialid="1">0.4</composite>
    <composite materialid="2">0.6</composite>
  </material>
  <material id="4">
    <metadata type="Name">VerticallyGraded</metadata>
    <composite materialid="1">z</composite>
    <composite materialid="2">10-z</composite>
  </material>
  <material id="5">
    <metadata type="Name">Checkerboard</metadata>
    <composite materialid="1">
      floor(mod(x+y+z,1))+0.5 </composite>
    <composite materialid="2">
      1-floor(mod(x+y+z,1))+0.5 </composite>
    </material>

```

```

<object id="0">
  <mesh>
    <vertices>
      ...
    </vertices>
    <volume materialid="1">
      ...
    </volume>
    <volume materialid="2">
      ...
    </volume>
  </mesh>
</object>
</amf>

```

備考：圖示為含有 5 種材料之 AMF 檔案。材料 3 為前 2 種材料之 40/60 % 均質混合物。材料 4 為具垂直梯度之材料，材料 5 具週期性之棋盤式子結構。

圖 3 均質及複合材料

## 8.2 混合及梯度之材料及子結構

**8.2.1** 可將新材料定義為其他材料之組成。`<composite>` 複合元素可用於該複合之比例，可為一常數或與  $x$ 、 $y$  及  $z$  坐標有關的公式。常數混合比例會形成均質材料，與坐標有關之複合會形成梯度材料。更複雜之與坐標有關的比例，會形成非線性材料梯度及週期性與非週期性子結構。比例公式亦可使用 `tex(textureid,x,y,z)` 函式以引用其織構映射(參照 A.1)。

**8.2.2** 複合物可使用任意數目之材料。

**8.2.3** 任何負之材料比例值應解釋為零比例。材料比例應正規化至總和為 1.0，以決定實際之比率。

## 8.3 多孔材料

**8.3.1** `materialid "0"` (空孔)可用於指定多孔結構。空孔比例應等於 0 或 1。任何分數應解釋為 1(意即任何分數空孔應視為 1 或完整空孔)。

**8.3.2** 雖然理論上可使用 `<composite>` 元素，以引用空孔的單一函式或織構描述 1 個物件之完整幾何形狀，但產生器不應採用此方式(參照 B.2.5 及 B.2.6)。引用空孔之 `<composite>` 元素，其預定用途在描述細胞狀的介觀結構(mesostructures)。

## 8.4 隨機材料

`rand (x,y,z)` 隨機函式可用於指定擬隨機材料。舉例而言，可由兩種基材以隨機比例組成一複合材料，而確切之比例可能以各種方式隨坐標而定。`rand (x,y,z)` 函式在 [0,1] 範圍內產生一隨機浮點純量，對同  $(x,y,z)$  值多次呼叫函式，該純量保持不變(參照 A.4)。

## 9. 顏色規範

### 9.1 一般

**9.1.1** 可利用 `<colour>` 元素，藉由在已指定之顏色空間中指定 RGBA (透明度)值，導入

顏色。預設之顏色空間應為 sRGB[2]，但可利用<amf>根元素中的元資料標籤，指定其他色彩特性檔(color profile)(參照 A.1)。<colour>元素可為下列各項之子元素，當其為<material>的子元素可將顏色關聯至材料，當其為<object>之子元素可為整個物件著色，當其為<volume>的子元素可為整個體積著色，當其為<triangle>之子元素可為三角形著色，或當其為<vertex>的子元素可將顏色關聯至特定之頂點(參照圖 4)。

**9.1.2** 若未指定顏色，預設為白色。

**9.1.3** 物件顏色會取代材料顏色規範；體積顏色會取代物件及材料顏色，頂點顏色會取代體積、物件及材料顏色，而三角形著色會取代頂點、物件及材料顏色。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<amf unit="millimeter">

  <material id="1">
    <metadata type="Name">StiffMaterial</metadata>
    <color>
      <r>0</r>
      <g>z</g>
      <b>1-z</b>
    </color>
  </material>

  <texture id="1" width="10" height="26" type="grayscale">
    TWFuIGlzIGRpc3RpbmdlaXNoZWQsIG5vdCB
    vbmX5IGJ5IGhpcyByZWZzb24sIGJldCBieS
    B0aGlzIHNoYm90IGFyIHh3c3NoYm90IGJldCBieS
    SBvdGhlcIBhbm90IGFyIHh3c3NoYm90IGJldCBieS
    ...
  </texture>

  <object id="0">
    <mesh>
      <vertices>
        ...
      </vertices>
      <volume materialid="1">
        <color>
          <r>0.9</r>
          <g>0.9</g>
          <b>0.2</b>
          <a>0.8</a>
        </color>
        ...
        <triangle>
          <v1>0</v1>
          <v2>1</v2>
          <v3>3</v3>
          <texmap rtexid="1" gtexid="2" btexid="3">
            <utex1>0.1</utex1>
            <utex2>0.21</utex2>
            <utex3>0.15</utex3>
            <vtex1>0.65</vtex1>
            <vtex2>0.72</vtex2>
            <vtex3>0.91</vtex3>
          </texmap>
        </triangle>
      </volume>
    </mesh>
  </object>
</amf>

```

備考：素色可被材料、體積或頂點所屬。頂點亦可被顏色織構檔案中之坐標所屬。

圖 4 顏色規範

## 9.2 顏色梯度及織構映射

9.2.1 亦可藉由使用包含織構映射函式在內之各種函式所引用的公式，指定顏色。

9.2.2 當引用公式時，<colour>元素可指定一與坐標相依之顏色，如顏色梯度。可使用組合 A.2 所述函式之任何數學表示式。舉例而言，使用 rand 函式可容許擬隨機顏色圖樣。tex 函式可使顏色取決於織構映射或圖像。通常需 3 個織構以指定全彩圖形，每一色版(colour channel)有一織構。通常一個織構即足已建立單色圖形。

**9.2.3** 當單一個三角形之頂點具不同的顏色時，除非已明確指定三角形之顏色(因三角形顏色優先於頂點顏色)，否則三角形的內部顏色應在該等顏色間進行線性內插。若三角形之 3 個頂點對任意色版( $r$ 、 $g$ 、 $b$  或  $a$ )均含有相同織構 ID 之映射，則應從織構映射中擷取該三角形此通道的顏色，以取代三角形顏色。

### 9.3 透明度

透明度色版(transparency channel)決定用以組合指定之前景顏色與背景顏色的 alpha 合成，以建立部分透明之外觀。數值 0 表示零透明度，即僅使用前景顏色。數值 1 表示完全透明，即僅使用背景顏色。中間值應於背景與前景顏色間進行線性內插。負值捨入為 0，大於 1 之值捨去至 1。三角形背景顏色之最高優先應為頂點顏色，其次為體積顏色，之後為物件顏色，最後為材料顏色。頂點背景顏色的最高優先應為體積顏色，其次為物件顏色，最後為材料顏色。體積背景顏色之最高優先應為物件顏色，最後為材料顏色。物件之背景顏色應為材料顏色。

## 10. 織構規範

**10.1** 使用<texture>織構元素將織構 id (textureid)被屬於特定之織構資料。應指定織構映射之大小，且支援二維(2D)及三維(3D)織構。資料應以介於[0,255]範圍內之一系列灰階值代表。每個值儲存在一個位元組中，並以 Base64 編碼。像素資料之順序應與織構映射的參考坐標一致。

**10.2** 產生器應確保資料量與指定之織構大小相符。若資料量過多，則消費者應將其截斷。若資料量過少，則消費者應視需要附加 0 值資料，以符合指定之織構大小。

**10.3** 為將織構映射至三角形上，可使用<texmap>織構映射元素定義此三角形每個頂點之  $u$ 、 $v$  及(選擇性的)  $w$  坐標。若織構之“tiled”(拼貼(tiled))性質為“true”，則應依坐標模數 1 決定[0,1]範圍外的任何  $u$ 、 $v$ 、 $w$  映射。若織構之拼貼性質並非為“true”，則任何落在[0,1]範圍外的映射應傳回零值。

**10.4** 應對每個三角形之織構進行線性內插。一三角形僅應包含單一<texmap>元素。在映射至網格上之前，應由產生器將重疊織構組合成單一織構。

## 11. 群集

**11.1** 可利用<constellation>群集元素將多個物件編排在一起(參照圖 5)。群集可指定物件之位置及方位，以提高填充效益(packing efficiency)並描述相同物件的大型陣列。<instance>實例元素指定位移及旋轉，藉此應將既有物件轉換以定位於在群集中。應相對於原始定義物件時之原始位置及方位，定義此位移及旋轉。指定之旋轉角度應以度為單位，且應先繞 X 軸旋轉，再繞 Y 軸，最後繞 Z 軸。

**11.2** 群集可包含另一個群集，採用多階層架構。但不應使用群集之循環性定義。

**11.3** 若在單一檔案中定義多個物件及群集，則消費軟體可能僅會最佳化<amf>元素之直接子物件及子群集的位置及相對方位。

**11.4** 當解譯方位時，應假定  $z$  軸為垂直軸，以正方向朝上且零係指底座表面。 $x$  及  $y$  方向應與右手定則一致，對應至主要建構成平台之軸。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<amf unit="millimeter">
  <object id="1">
    ...
  </object>
  <constellation id="2">
    <instance objectid="1">
      <deltay>5</deltay>
      <rz>90</rz>
    </instance>
    <instance objectid="1">
      <deltax>-10</deltax>
      <deltay>10</deltay>
      <rz>180</rz>
    </instance>
    ...
  </constellation>
</amf>

```

備考：群集可將多個物件組合在一起。

圖 5 群集

## 12. 元資料

可選擇性地使用<metadata>元資料元素，以指定其他與所定義之物件、幾何形狀及材料有關的資訊(參照圖 6)。舉例而言，此資訊可指定名稱、織構描述、作者身分、著作權資訊及特殊說明。可在<amf>元素中納入<metadata>作為子元素，以指定整個檔案之屬性，或作為物件、體積及材料的子元素，以指定其母元素之局部元資料。A.1 列出保留之元資料類型及其意義。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<amf unit="millimeter">
  <metadata type="description">Product 123</metadata>
  <metadata type="author">John Smith</metadata>
  <metadata type="cad">SolidX 2.2</metadata>
  <metadata type="name">Part 1</metadata>
  <metadata type="revision">1.3A</metadata>
  ...
  <object ObjectID="0">
    <metadata type="name">Component 1</metadata>
    ...
  </object>
</amf>

```

備考：可利用元資料元素儲存與物件有關之額外資訊。

圖 6 元資料

自定義之元資料類型，宜使用不同的名稱空間，例：

```
<xamf:metadata type= `myattribute `>mydata</xamf:metadata>
```

### 13. 壓縮及分送

**13.1** AMF 應以純文字格式或經壓縮後儲存。若壓縮，應採用 ZIP 檔案庫格式[3]且可由使用者或由應用程式在寫入時，利用數種如參考資料[4]所示開放式壓縮函式庫中之任一種執行。

**13.2** 檔案之壓縮及未壓縮版本均應具 AMF 延伸檔名，且消費軟體應判定檔案是否已壓縮，若已壓縮，則在讀取時進行解壓縮。任何並非以<?xml>標籤開頭之檔案，應解譯為壓縮的 xml 檔案。

**13.3** 此外，ZIP 檔中可能包含其他檔案，例：清單文件或電子簽章。但僅會剖析具與檔案庫檔案相同名稱之 AMF 檔案。若無具該名稱之檔案即會構成錯誤。

### 14. 最少建置

**14.1** AMF 產生器之最少建置，應能生成具單一物件且無顏色、材料、織構、群集或元資料的壓縮檔案。單一物件將由僅含有一體積之網格組成。

**14.2** AMF 消費器之最少建置應能剖析具一物件的壓縮檔，並忽略任何顏色、材料、織構、群集或元資料資訊。

## 附錄 A

(參考)

## AMF XML 綱要建置指引

## A.1 AMF 元素

表 A.1 列出 AMF 元素。

表 A.1 AMF 元素

元素	母元素	屬性	容許多元素	描述
<amf>			否	XML 根元素。
		單位		可使用之單位包括 "inch"、"mm"、"m"、"ft" 或 "µm"。
		版本		此檔案之 AMF 規範版本為 X.XXX 格式。
<object>	<amf>		是	物件定義。
		id		供鑑別此物件之唯一整數。
<colour>	<material> <object> <volume> <vertex> <triangle>		否	顯示物件之顏色，且若支援即以該顏色製作。
				若顏色規範有所衝突，則依規範中所示之優先順序。
<r>, <g>, <b>, <a>	<colour>		否	顏色在 sRGB 空間中之紅、綠、藍及 alpha (透明度)分量，為介於 0 與 1 間的浮點值。其數值可指定為常數或為與坐標相依之公式。
<mesh>	<object>		否	3D 三角形網格定義。
<vertices>	<mesh>		否	在定義網格中三角形時使用之頂點列舉。
<vertex>	<vertices>		是	三角形將引用之頂點。
<coordinates>	<vertex>		否	指定該頂點之 3D 位置。
<x>, <y>, <z>	<coordinates>		否	x、y 或 z 坐標，分別為頂點在空間中之位置。
<normal>	<vertex>		否	指定物件表面在該頂點處之 3D 法線。

表 A.1 AMF 元素(續)

元素	母元素	屬性	容許多元素?	描述
<edge>	<vertices>		是	指定兩個頂點間之物件邊緣的 3D 切線。
<dx1>, <dx2> <dy1>, <dy2> <dz1>, <dz2>	<edge>		否	分別表示第一或第二邊緣方向向量之正規化 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 分量。
<nx>, <ny>, <nz>	<normal>		否	分別表示在頂點處表面法線之正規化 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 分量。
<volume>	<mesh>		是	從已建立之頂點列舉中定義一個體積。
		material id		用於該體積之材料 ID。
<triangle>	<volume>		是	依右手定則(從外側觀看時為逆時針), 用 3 個頂點定義一個 3D 三角形。
<v1>, <v2>, <v3>	<triangle> <edge>			定義三角形或邊緣之頂點索引。
<texture>			是	指定顏色或公式中 <code>tex</code> 函式使用之織構資料。包含一系列指定織構像素值之 Base64 編碼值。
		id		為新織構指定唯一之織構 ID。
		width		織構之寬度(水平尺寸, $x$ ), 單位為像素。
		height		織構之高度(橫向尺寸, $y$ ), 單位為像素。
		depth		織構之深度(縱向尺寸, $z$ ), 單位為像素。
		tiled		定義織構是否宜拼貼。“true”值表示啟用拼貼。任何其他值表示無拼貼, 故任何在定義圖像以外之織構映射應傳回零值。

表 A.1 AMF 元素(續)

元素	母元素	屬性	容許多元素？	描述
		type		在織構元素中之資料編碼。目前應為“灰階”。在灰階模式下，每個像素由一個在 [0,255] 範圍內之位元組表示。若利用 <code>tex</code> 函式引用該織構，則將此等值轉換為介於 [0,1] 範圍間之單一浮點數(參照 A.2)。全彩圖形通常可能需 3 種織構，每一色版有一織構。牽涉到透明度之圖形可能需第四個的透明度色版。
<code>&lt;texmap&gt;</code>	<code>&lt;triangle&gt;</code>		否	將該三角形之頂點映射至指定織構的 ( $u$ 、 $v$ 及 $w$ ) 坐標。若未指定，應假定 $w$ 坐標為零。
		rtexid		紅色色版之織構 ID。
		gtexid		綠色色版之織構 ID。
		btexid		藍色色版之織構 ID。
		atexid		alpha 色版之織構 ID。
<code>&lt;utex1&gt;</code> , <code>&lt;utex2&gt;</code> <code>&lt;utex3&gt;</code>	<code>&lt;texmap&gt;</code>		否	描述：三角形頂點 1、2 及 3 的 $u$ 、 $v$ 及 $w$ (選擇性)坐標。
<code>&lt;vtex1&gt;</code> , <code>&lt;vtex2&gt;</code> , <code>&lt;vtex3&gt;</code>				
<code>&lt;wtex1&gt;</code> , <code>&lt;wtex2&gt;</code> , <code>&lt;wtex3&gt;</code>				
<code>&lt;material&gt;</code>	<code>&lt;amf&gt;</code>		是	可供體積或複合物引用之材料。
		id		唯一之材料 ID。保留材料 ID “0” 用以表示無材料(空孔)或犧牲材料。

表 A.1 AMF 元素(續)

元素	母元素	屬性	容許多元素	描述
<composite>	<material>		是	混合現有之材料。該值提供一固定數值或 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 坐標之數學函數，用以指定 <b>materialid</b> 類型的材料之比例。若為負值，應將其視為零。比例應正規化使總和為 1；除非其全部為零，即未指定材料(空孔)。 <b>materialid</b> 值“0”應視為表示無材料(空孔)。不得混合空孔材料。容許之數學函數清單如 A.2 所示。
		<b>materialid</b>		引用現有材料。不應採用遞迴或循環引用。
<constellation>	<amf>		是	具特定相對位置之一組物件或群集。
		<b>id</b>		所定義之新群集的物件 ID。
<instance>	<constellation>		是	待列印之物件或群集的實例。
		<b>objectid</b>		引用所實例化之現有物件或群集的 ID。不應使用遞迴式或循環式引用。
<deltax>, <deltay>, <deltaz>	<instance>		否	分別表示在引用物件之坐標系統中， $x$ 、 $y$ 或 $z$ 方向的平移距離，以在當前群集中建立物件的實例。
<rx>, <ry>, <rz>	<instance>		否	以度為單位之旋轉，分別繞引用物件的 $x$ 軸、 $y$ 軸及 $z$ 軸旋轉，以在當前群集中建立物件之實例。應依先繞 $x$ 、其次為 $y$ ，最後為 $z$ 之順序旋轉。
<metadata>	<amf> , <object> , <volume> , <material> , <vertex>		是	指定與其母元素有關之額外選擇性資料。

表 A.1 AMF 元素(續)

元素	母元素	屬性	容許多元素？	描述
				<p>屬性之類型。值應為下列之一：</p> <p>“name” – 當與使用者互動時，解譯器可使用之實體字母數字標籤。</p> <p>“description” – 實體內容之描述。</p> <p>“url” – 與實體有關之外部資源連結。</p> <p>“author” – 指定實體之作者姓名。</p> <p>“company” – 指定生成實體之公司。</p> <p>“producer” – 指定起源軟體(originating software)之名稱及版本。</p> <p>“revision” – 指定實體之修訂。</p> <p>“tolerance” – 在實體之單位系統中指定所需的實體製造許可差。</p> <p>“volume” – 在實體之單位系統中指定供驗證用的實體之總體積(僅適用於物件元素及體積元素)。</p> <p>“elasticmodulus” – 指定實體之彈性模數，採用公制單位(僅限材料)。</p> <p>“poissonratio” – 指定實體之蒲松比，採用公制單位(僅限材料)。</p> <p>“colourprofile” – 用以詮釋 3 個色版 &lt;r&gt;、&lt;g&gt; 及 &lt;b&gt; 的 ICC 顏色空間。可能為 9sRGB9、9AdobeRGB9、9Wide-Gamut-RGB9、9CIERGB9、9CIELAB9 或 9CIEXYZ9 其中之一(僅限頂層 &lt;amf&gt;)。</p>

## A.2 數學運算及函式

表 A.2 列出數學運算及函式。

含有在 XML 中受到限制之字元如 "<" 及 ">" 的公式，應置於 CDATA 子句內(即以 "<![CDATA]" 開頭並以 "]">" 結尾)。

表 A.2 數學運算式及函式<Tbl\_large\_span></Tbl\_large\_span>

優先順序	運算子	描述
1	()	圓括號區塊
2	^	次方
3	*	乘
3	/	除
4	+	加
4	-	減
5	=	等於 <sup>(a)</sup>
5	<, <=	小於(或等於) <sup>(a)</sup>
5	>, > =	大於(或等於) <sup>(a)</sup>
6	and	交集(邏輯 AND) <sup>(a)</sup>
6	or	聯集(邏輯 OR) <sup>(a)</sup>
6	xor	差異(邏輯 XOR) <sup>(a)</sup>
6	1	否定(邏輯 NOT) <sup>(a)</sup>
6	mod (a,b)	模數，包含分數。將 a 除以 b 後傳回餘數。
6	sin(x)	正弦值，x 之單位為 rad (弧度)
6	cos(x)	餘弦值，x 之單位為 rad (弧度)
6	tan(x)	正切值，x 之單位為 rad (弧度)
6	asin(x)	反正弦值，單位為 rad (弧度)
6	acos(x)	反餘弦值，單位為 rad (弧度)
6	atan(x)	反正切值，單位為 rad (弧度)
6	floor(x)	無條件捨去至最接近之整數
6	ceil(x)	無條件進位至最接近之整數

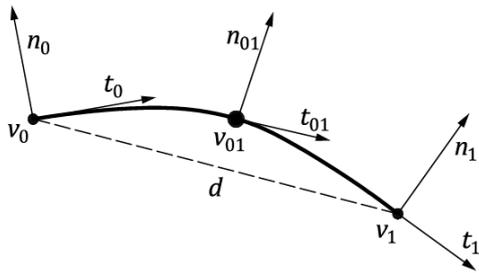
表 A.2 數學運算式及函式(續)

優先順序	運算子	描述
6	Sqrt ( $x$ )	平方根
6	Ln ( $x$ )	自然對數
6	log10 ( $x$ )	以 10 為底之對數
6	exp ( $x$ )	自然指數
6	abs ( $x$ )	絕對值
6	max ( $x, y$ )	最大值
6	min ( $x, y$ )	最小值
6	Rand ( $x, y$ ) rand ( $x, y, z$ ) rand ( $x, y, z, k$ )	映射 2D 或 3D 坐標至一實(分數)擬隨機數, 該數在 [0,1]範圍(不含 1)內均勻分佈。在多次呼叫應傳回不變之數字(意即對相同的坐標, 永遠應傳回相同之數字)。若 $k=1$ , 則對該坐標應傳回第二個數字(可能不相同)。參照 A.4 之建置示例。
6	tex (textureid, $u, v, w$ ) tex (textureid, $u, v$ )	傳回介於 [0,1]範圍內之浮點純量值, 其在 3D 織構的 ( $u$ 、 $v$ 及 $w$ )坐標及 2D 織構之 ( $u$ 及 $v$ )坐標上, 以織構 id (textureid)內插取得織構值。若織構類型為 "grayscale", 則 [0,1]範圍對應至織構資料中之 [0,255]範圍。整體坐標值應以織構映射像素中心為依據, 且第一個像素之索引為 1。若為分數值, 則應採用線性內插。若坐標落在非拼貼織構之外, 則應傳回零值。若為 2D 織構且已指定 $z$ 坐標, 則應忽視 $z$ 坐標。
註 <sup>(a)</sup> 邏輯運算會傳回 1 或 0 布林值, 分別表示 TRUE (真)及 FALSE (假)。當非布林數字視為布林數字處理時, 零值代表 FALSE, 非零值代表 TRUE。		

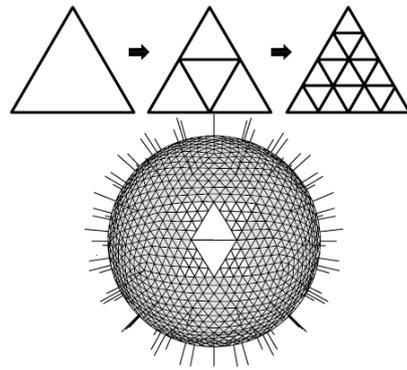
### A.3 內插曲面三角形片之公式

**A.3.1** 具表面法線或邊緣切線之非平面三角形片, 應使用內插的二階 Hermite 曲線, 從其三個頂點及六個切線向量及/或三個表面法線進行內插, 如 A.3.2 至 A.3.4 所示。

**A.3.2** 對三角形之每一邊(參照圖 A.1(a)), 依 A.3.2.1 至 A.3.2.6 所述步驟進行。



(a) 用於曲線分割之標記



(b) 將三角形遞迴地分割五次

備考：以 320 個三角形表示一球面之圖例，藉由遞迴地使用 A.3 所述的程序，每一個三角形劃分為 16 個小三角形。

圖 A.1 內插一個曲面三角形邊

**A.3.2.1** 若未明確使用 <normal> 元素指定在  $v_0$  處之法線  $n_0$ ，則藉由計算兩個邊緣在該處相交的切線間之向量積 (cross product)，得到法線  $n_0$ 。對此計算，使用以 <edge> 元素指定之邊緣切線或前一次遞迴地執行 A.3.2.6 的結果，若兩者皆無法取得，則使用連接邊緣端點之直線。

宜將產生之法線  $n_0$  正規化至單位長度，並設定符號為指向外部。

**A.3.2.2** 重複 A.3.2.1 計算之  $v_i$  法線  $n_i$ 。

**A.3.2.3** 若未在 <edge> 元素中或前一次遞迴中明確指定切線  $t_0$ ，則計算切線向量  $t_0$  使其與  $v_0$  處之法線  $n_0$  垂直，且留在由該法線及連接兩個頂點  $v_0$  及  $v_1$  的向量所定義之平面上。可使用公式 (A.1) 計算  $t_0$ 。已知  $v_0$ 、 $n_0$  及  $v_1$ ，定義  $d=v_1-v_0$ ：

$$t_0 = |d| \frac{-(n_0 \times d) \times n_0}{\|(n_0 \times d) \times n_0\|} \dots\dots\dots (A.1)$$

**A.3.2.4** 重複 A.3.2.3 計算點  $v_1$  之切線  $t_1$ 。

**A.3.2.5** 利用二階 Hermite 曲線內插，計算中心點  $v_{01}=h(0.5)$ ，如公式 (A.2) 所示：

$$h(s) = (2s^3 - 3s^2 + 1)v_0 + (s^3 - 2s^2 + s)t_0 + (-2s^3 + 3s^2)v_1 + (s^3 - s^2)t_1 \dots\dots (A.2)$$

**A.3.2.6** 利用二階 Hermite 曲線內插之導數，計算中心切線  $t_{01}=t(0.5)$ ，如公式 (A.3) 所示：

$$t(s) = (6s^2 - 6s)v_0 + (3s^2 - 4s + 1)t_0 + (-6s^2 + 6s)v_1 + (3s^2 - 2s)t_1 \dots\dots (A.3)$$

**A.3.3** 利用三個新頂點及法線，將三角形分成四個子三角形。

**A.3.4** 對每個三角形重複 A.3.3 且遞迴五次 (參照圖 A.1(b))。

#### A.4 擬隨機空間映射(PRSM)程式碼

rand 函式之目標為容許在材料及顏色定義中使用擬隨機織構。Rand  $(x,y)$ 、rand  $(x,y,z)$ 及 rand  $(x,y,z,k)$ 傳回不變之隨機數字，作為給定坐標的函式。此等函式映射 2D 或 3D 坐標至範圍 $[0,1]$ (不含 1)內均勻分佈之擬隨機實數(分數)。在多次呼叫時將傳回不變之數字(意即對相同的坐標永遠應傳回相同之數字)。若  $k=1$ ，則對該坐標可傳回第二個數字(可能不相同)。若  $k=2$ ，則對該坐標可傳回第三個數字(可能不相同)，依此類推。圖 A.2 提供以 C++建置 prsm  $(x,y,z,k)$ 之示例。

```

/* prsm.h
 * Spatial random number generator based on the
maximally
 * equidistributed combined Tausworthe-88 generator.
 * By Daniel Ly and Hod Lipson (2010)
 */

#ifndef __SPATIAL_TAUS88_H__
#define __SPATIAL_TAUS88_H__

#include <climits>

/*****
 * Declarations
 *****/

typedef struct
{
    unsigned long int s1, s2, s3;
}
taus_state;

unsigned long int rand_seed(unsigned long int x);
unsigned long int taus_get(taus_state* state);
double prsm(double x, double y, double z=0, int k=0);

/*****
 * Definitions
 *****/
unsigned long int rand_seed(unsigned long int x)
{
    return (1664525*x+1013904223) & 0x7fffffffUL;
}

unsigned long int taus_get(taus_state* state)
{
    unsigned long b;

    b = (((state->s1 << 13UL) & 0xffffffffUL) ^ state->s1) >> 19UL;
    state->s1 = (((state->s1 & 0xffffffeUL) << 12UL) &
        0xffffffffUL) ^ b;

    b = (((state->s2 << 2UL) & 0xffffffffUL) ^ state->s2) >> 25UL;
    state->s2 = (((state->s2 & 0xfffffff8UL) << 4UL) &
        0xffffffffUL) ^ b;

    b = (((state->s3 << 3UL) & 0xffffffffUL) ^ state->s3) >> 11UL;
    state->s3 = (((state->s3 & 0xfffffff0UL) << 17UL) &
        0xffffffffUL) ^ b;

    return (state->s1 ^ state->s2 ^ state->s3);
}

double prsm(double x, double y, double z,
int k)
{
    taus_state state;

    float tx, ty, tz,
    tx = (float) x;
    ty = (float) y;
    tz = (float) z;

    /* Convert floating point numbers to
ints*/
    unsigned long int ts1 = *(unsigned
int*)&tx;
    unsigned long int ts2 = *(unsigned
int*)&ty;
    unsigned long int ts3 = *(unsigned
int*)&tz;

    /* Convert coordinates to random seeds
*/
    state.s1 = rand_seed(ts1);
    state.s2 = rand_seed(ts2);
    state.s3 = rand_seed(ts3);

    state.s1 = rand_seed(state.s1 ^
state.s3);
    state.s2 = rand_seed(state.s2 ^
state.s1);
    state.s3 = rand_seed(state.s3 ^
state.s2);

    state.s1 = rand_seed(state.s1 ^
state.s3);
    state.s2 = rand_seed(state.s2 ^
state.s1);
    state.s3 = rand_seed(state.s3 ^
state.s2);

    /* "warm up" generator and generate k-
th number */

    for (int i=0; i<k+9; i++) {
        taus_get(&state);
    }

    return
((double)taus_get(&state)/UINT_MAX);
}

#endif /* __SPATIAL_TAUS88_H__ */

```

圖 A.2 PRSM 函式之 C++ 程式碼建置示例

## 附錄 B

(參考)

## 性能資料及未來特性

## B.1 性能

容許對檔案之讀寫具互動式時間性能，及對一般大型資料集具合理檔案大小，為本規範的目的。表 B.1 彙整列出對一範圍內之檔案大小的性能統計。處理時間指讀取檔案、剖析 XML 物件及構建內部資料結構所花費之時間，參照表 B.1 至表 B.4。

備考 1. 與處理檔案以進行製作(例：切層)所需要之總時間相比，讀取及剖析時間相對較少。

備考 2. 供 AMF 檢視器及轉換器(BSD 開放源)建置之樣本碼，參照文件[5]。

表 B.1 檔案大小

三角形數目	二進位 STL (未壓縮)	二進位 STL (壓縮)	AMF (未壓縮)	AMF (壓縮)
1,016,388	49.6 Mb	25.3 Mb	205.9 Mb	12.2 Mb
100,536	4.9 Mb	2.3 Mb	20.1 Mb	1.2 Mb
10,592	518 K	249 K	2.1 Mb	129 K
1,036	51 K	20 K	203 K	12 K

表 B.2 寫入時間(s)

三角形數目	二進位 STL (未壓縮)	二進位 STL (壓縮)	AMF (未壓縮)	AMF (壓縮)
1,016,388	0.372	~ 3.4	6.8	15.5
100,536	0.038	0.038	0.79	1.78
10,592	0.005	0.005	0.11	0.21
1,036	0.001	0.001	0.06	0.06

表 B.3 讀取及剖析時間(s)

三角形數目	二進位 STL (未壓縮)	二進位 STL (壓縮)	AMF (未壓縮)	AMF (壓縮)
1,016,388	0.384	~ 1.3	6.447	6.447
100,536	0.043	0.043	0.669	0.687
10,592	0.005	0.005	0.107	0.107
1,036	0.001	0.001	0.056	0.056

表 B.4 準確度(在單位球面上計算之誤差)

三角形數目	STL	AMF (有法線)
20	0.102 673	0.006 777
80	0.032 914	0.000 788
320	0.008 877	8.28E <sup>-05</sup>
1,280	0.001 893	1.01E <sup>-05</sup>
5,120	0.000 455	1.95E <sup>-06</sup>
20,480	1.13E <sup>-04</sup>	4.51E <sup>-07</sup>
81,920	2.81E <sup>-05</sup>	1.11 <sup>-07</sup>
327,680	7.03E <sup>-06</sup>	2.75E <sup>-08</sup>
1,310,720	1.76E <sup>-06</sup>	6.87E <sup>-09</sup>

## B.2 未來特性列表

**B.2.1** 已知另有本標準當前版本未涵蓋之其他資訊。本版本中省略此等資訊之元素及規範，以簡化其初次採用，但預期將納入本標準的後續版本中。後續版本待考慮各項特性如 B.2.2 至 B.2.9 所示。是否採用任何新特性，宜取決於實施該特性之開放源免授權程式碼之可取得性。

**B.2.2** 尺度及幾何公差之未來規定。本標準之後續修訂版，可提供指定重要尺度及幾何公差之方法。日後可能在<object>元素下導入<tolerance>公差元素，以描述頂點集間之重要關聯性，例：距離、垂直度或平行度等。製程規劃器可利用此等資訊，自動設定各種列印參數，例：工件方位及列印解析度，以儘可能滿足重要之公差。

**B.2.3** 表面粗糙度之未來規定。本標準之後續修訂版，可提供指定完成工件的特定網格面之重要表面性質的方法。製程規劃器可利用此等資訊，自動設定各種列印參數，例：工件方位及列印解析度，以儘可能滿足所需要之表面光度。

- B.2.4** 支撐結構之未來規定。日後可能在<mesh>元素下導入<support>支撐元素，以描述支撐結構。在本標準之現行版本中，<volume>元素僅能用以描述在最終工件中存在的封閉體積。<support>可描述自定義之非體積支撐結構。
- B.2.5** 函式表示法之未來規定。日後可能在<object>元素下導入<frep>函式表示法元素，以利用函式表示法描述一個物件。在本標準之現行版本中，僅<mesh>元素可用以描述使用密鋪表面的體積。函式表示法將以如公式、嵌套公式或演算法等方式，計算任何空間位置之值，以描述一個幾何形狀邊界。可利用該值表示該位置是否有材料存在及其他性質。雖然藉由利用單一函式描述一個物件之完整幾何形狀，<composite>元素理論上已可使用於支援此函式表示法，但不鼓勵此等用法；目前<composite>元素的主要用途，僅限於描述細胞狀之介觀結構。
- B.2.6** 三維像素(voxel)表示法之未來規定。日後可能在<object>元素下導入<voxel>三維像素元素，以利用三維像素表示法描述一個物件。在本標準之現行版本中，僅<mesh>元素可用以描述使用密鋪表面的體積。三維像素表示法將利用三維點陣圖描述幾何形狀。此類表示法特別適合醫療造影技術。雖然藉由利用 `tex()` 函式描述物件之完整幾何形狀，<composite>元素理論上已可使用於支援三維像素表示法，但不鼓勵此等用法；目前<composite>元素的主要用途，僅限於描述細胞狀之介觀結構。
- B.2.7** 版權保護及浮水印之未來規定。後續修訂版中可能提供指定版權資訊之元素。目前可藉由浮水印方式編入印出版權資訊碼，例：藉由依某些隱藏圖樣或訊息，修改頂點坐標的最低有效數位。將版權訊息與資料交織在一起之更明確的方法，值得進一步探索。
- B.2.8** 表面織構及被覆之未來規定。後續修訂版可能提供元素，以指定工件表面之幾何及材料調整，例：某一觸覺圖樣或某一表面被覆(在多材料列印中)。目前，可利用建立新複合材料並沿表面使用該材料，間接地描述此等性質。
- B.2.9** 更緊湊之頂點坐標及網格編碼的未來規定。後續修訂版可能提供更緊湊之方法，以提供頂點坐標及網格資料。舉例而言，在 `base64` 格式區塊中，編碼所有頂點坐標，檔案大小最多可減少 30 %。但此等作法可能防礙非專業使用者之易讀性及易實現性，而此為成功採用的關鍵。

名詞對照

可延伸標示語言	extensible markup language, XML
AMF 消費者	AMF consumer
AMF 編輯器	AMF editor
AMF 產生器	AMF producer
屬性	attribute
註解	comments
元素	element
光固化立體成型	stereolithography, STL
標準三角化語言	Standard Triangulation Language, STL
標準密鋪語言	Standard Tessalation Language, STL
名稱空間	namespace
解譯器	interpreter
空孔	void
色彩特性檔	color profile
色版	colour channel
透明度色版	transparency channel
拼貼	tiled
向量積	cross product

參考資料

- [1] W3C Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition). W3C, 2008, [www.w3.org/TR/REC-xml](http://www.w3.org/TR/REC-xml)
- [2] IEC 61966-2-1, Multimedia systems and equipment – Colour measurement and management – Part 2-1: Colour management – Default RGB colour space – sRGB
- [3] FILE FORMAT SPECIFICATION Z.I.P. Version: 6.3.4. PKWARE Inc., 2014, <https://pkware.com/cache/lynet/webdocs/casestudies/APPNOTE.TXT>
- [4] INFO-ZIP. [www.info-zip.org](http://www.info-zip.org)
- [5] ADDITIVE MANUFACTURING FILE FORMAT A.S.T.M. (AMF) (wiki). Tangient LLC, <http://amf.wikispaces.com>

相對應國際標準

ISO/ASTM 52915:2020 Specification for additive manufacturing file format (AMF)  
Version 1.2