



作者：余家杰(2002-11-28)；推薦：徐業良(2002-11-28)；最近更新：余家杰(2003-03-02)。

本文為余家杰碩士論文「鋁合金輪圈鑄造參數最佳化設計」第二章。

## ProCAST 鑄造軟體使用簡介

### 1. 鑄造分析軟體的選用評估

經由前一章對於鋁合金輪圈問題的討論，我們知道要選用一套合適的輪圈鑄造分析軟體需有以下幾項特性：

- (1) 具有建立與修改模型網格及檔案交換的能力。在進行電腦輔助分析之前，我們通常先藉由 CAD 繪圖軟體建立鋁合金輪圈的幾何外型，經由檔案的交換匯入 CAE 分析軟體，對模型進行網格與分析，由於不同的資料格式進行轉換，有時會遺失某些資訊，因此需在 CAE 軟體進行修補的工作。
- (2) 完整且彈性的材料物理性質資料庫。不同的材料有不同的物理特性，舉如密度、比熱、熱傳導係數、潛熱、固液相線溫度、介面熱組抗、黏滯係數、表面張力等，對於分析的結果易有截然的影響，若有完整的材料物理資料庫，並可依情況彈性修改其性質，將更增加分析結果的準確性。
- (3) 具有分析鑄造過程流動以及凝固熱傳現象的能力。經由金屬溶液的流動以及熱傳遞的現象，可以提供我們鑄造程序的現象說明，幫助判斷鑄造程序中可能產生的問題。
- (4) 分析資料的處理能力。完善的資料處理能力可以幫助工程師得知分析的結果，舉如圖層影像或是數據資料，軟體所能提供求解過後的資料形式亦是我們所考慮的要點之一。

目前商用鑄造模流分析軟體有 MGMA、CastCAE、AFS-3D、Pro/Casting & Plastic Adviser、Flow 3D、ProCAST 等，大部分鑄造分析軟體皆符合先前提到的選用特性，

其中由於軟體試用的取得與軟體價格的因素，於是我們進一步從中篩選出 AFS-3D 以及 ProCAST 兩套分析軟體進行仔細的選用評估。表 1 為兩套軟體的功能比較表，由表 1 可以看出 ProCAST 對於鋁合金輪圈的鑄造分析上，提供較大的彈性，除了可以針對流動跟凝固進行分析外，ProCAST 還可以針對不同鑄造程序提供相關的鑄造條件，並可獨立考慮鑄件與模具部分的熱傳效應，在材料的使用與邊界條件的設定可依時間或溫度等相關條件做定義，於資料的處理上亦提供相關的結果輸出，並以影像與數據兩種方式呈現。

表 1. AFS-3D 與 ProCAST 分析軟體比較表

	AFS-3D	Pro-Cast
幾何模型處理	需藉由CAD軟體，軟體本身之幾何能力薄弱	同左
分析時間與電腦設備	分析時間短，設備較不要求，不支援多處理器	分析時間長，Ram至少1G，支援多處理器
分析方式	FDM 有限差分法	FEM 有限元素法
軟體功能	凝固分析（不考慮流動相關，僅相變化、熱傳分析）	凝固分析、流動分析、各種製程分析（高壓、低壓鑄造、沙模、蠟模、重力鑄造、擠出等）、模具與鑄件殘留熱應力、變形分析
材料性質提供	多種制訂材料，可加以修改	提供常用材料，並可依不同的合金元素來提供材料各種性質，包含一般物理及機械性質
邊界條件	可考慮噴水吹氣及模具與外界空氣的熱交換分析	同左，且可單獨處理模具熱分析部分
分析輸出	一般溫度、密度等輸出，幾種分析判斷準則	與AFS-3D同樣具有基本的分析資料，且提供更多種類的分析資訊與顯示介面
資料處理	圖形式	圖形、數據

## 2. ProCAST 鑄造軟體使用簡介

ProCAST 為一套使用有限元素法的鑄造分析軟體，整個軟體包含 6 個模組 Meshcast 為建立分析時所需的幾何與有限元素模型，Precast 為給定分析模型的材料性質、邊界條件與分析的解題參數，Datacast 則是將上一個程序所設定之條件轉為可被 Procast 讀取的檔案，Procast 則為求解的計算器，Postcast、Viewcast 則是將求解後的分析資料輸出，提供工程師數據與圖形化的資訊。以下以一個簡單模型進行整個分析的流程說明。

## 2.1 幾何模型的匯入與網格化

ProCAST 在有限元素模型的建構上有兩種方式，第一種為直接匯入經由其他前處理軟體所完成之有限元素模型如 Ideas、ANSYS，匯入時需注意有限元素之品質，避免產生狹長、扁平的元素。第二種則是以 Meshcast 作為幾何模型的建立及模型的網格化。Meshcast 可接受經由 CAD 軟體所建立之幾何實體模型，以 STEP、IGES 等交換檔案格式匯入至 Meshcast 進行網格化，也可於 Meshcast 中直接以點、線、面的方式進行模型的建構或模型的修改。如圖 1 左上圖的功能圖像即為修改及建立模型的功能鍵，要注意 Meshcast 並無提供布林運算，因此在定義物體間幾何的關係亦需從點、線、面依序建構。建立好幾何模型後，接下來進行面的網格，在面的網格上可利用圖 1 右上圖的功能，依照所要的網格條件選定不同的邊緣集合給予不同的元素尺寸，並點選圖 1 紅色圓圈處的功能鍵開始網格表面，再至圖 1 藍色圓圈處建立實體的網格，圖 1 右下之「Aspect Ratio」為控制有限元素品質之參數，越小的 Aspect Ratio 值，越好的有限元素品質。

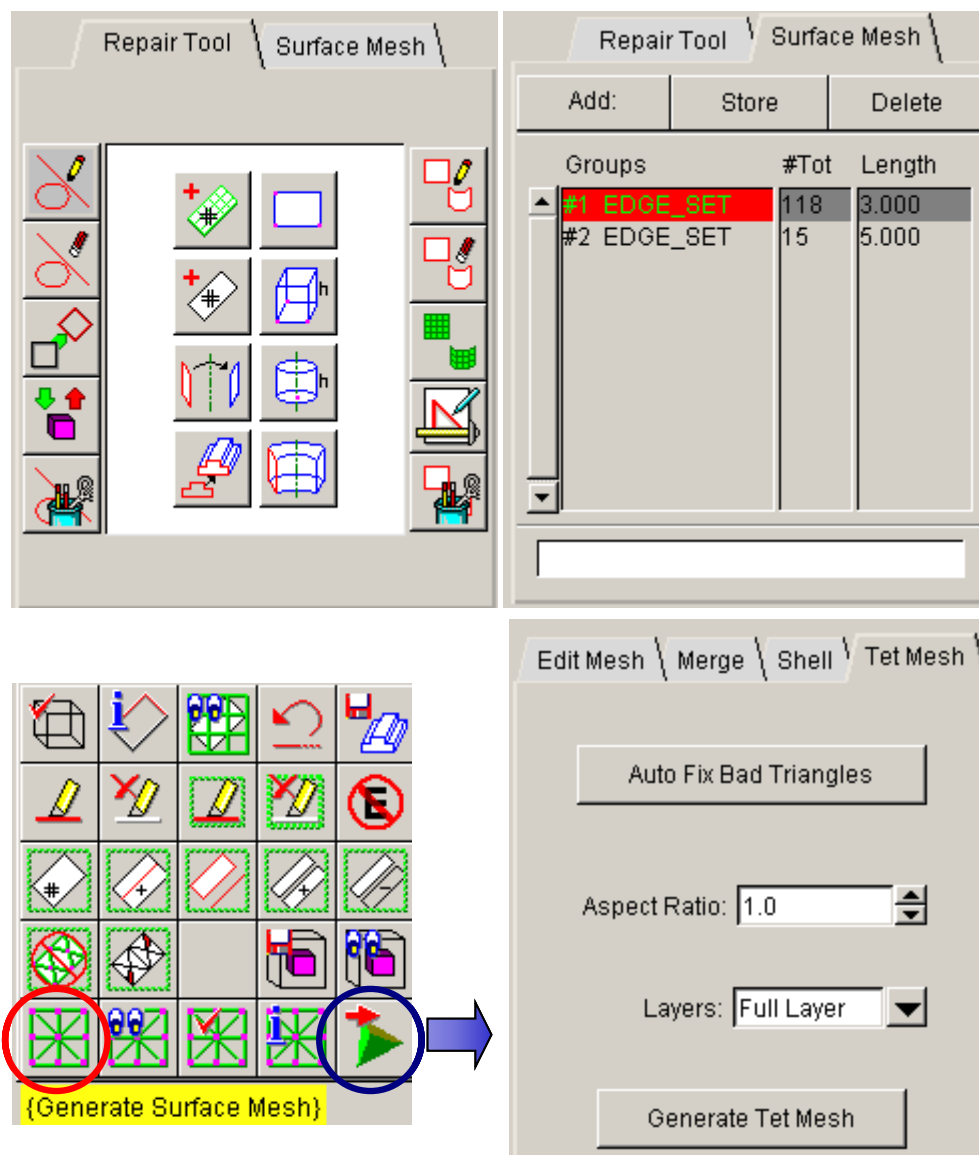


圖 1. Meshcast 幾何與網格工具

## 2.2 分析條件設定

將網格好的有限元素模型匯入至 Precast 並針對不同的製程分析給予適當的分析條件，在此一簡單的範例中，我們使用 Precast 所提供的「虛擬模具(Virtual Mold)」配合先前於 Meshcast 中所建立的鑄件有限元素模型進行分析，圖 2 為虛擬模具對應之功能選項，圖形部分為分析鑄件的有限元素模型，白色方框即為經由 Precast 所產生之虛擬模具，顏色的分佈代表虛擬模具到鑄件表面的距離，建立虛擬模具時需注意澆注口處需切齊模具邊界。

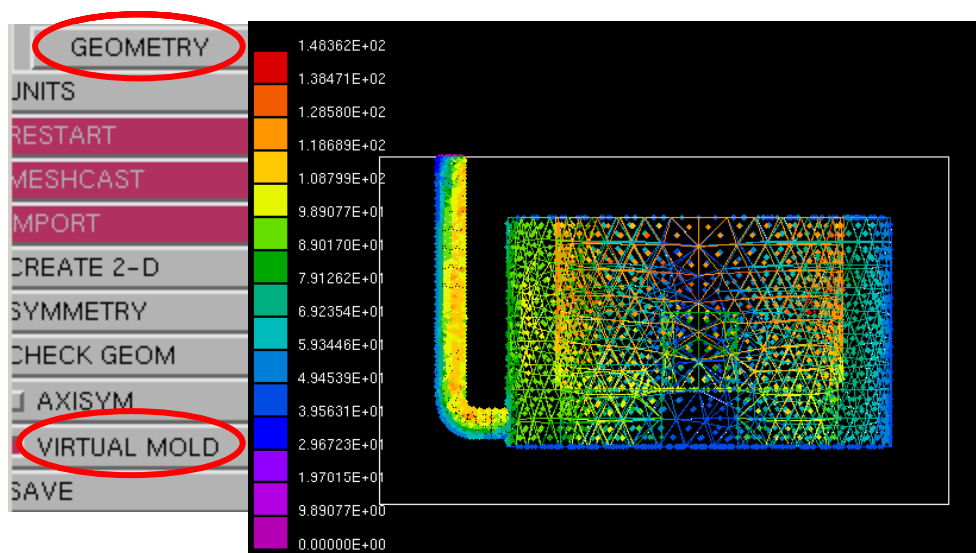


圖 2. 虛擬模具功能示意圖

### (1) 材料物理性質設定

Precast 提供的 Material Database 相當多樣，包含材料的各種物理性質諸如熱傳、流體、機械等性質參數，如圖 3 點選材料後（紅色方塊顯示處），按下上方「READ」鍵，即出現此材料的相關物理性質，包含合金元素的成份，此處使用者可以任意修改各個性質，或將之儲存成另一種材料。確認分析的材料已於資料庫中出現後，輸入各部位所屬的材料與型態，圖 4 中「ASSIGN」材料 1 為 44-AL, ASTM A356, JIS AC4C，「TYPE」為 CASTING。

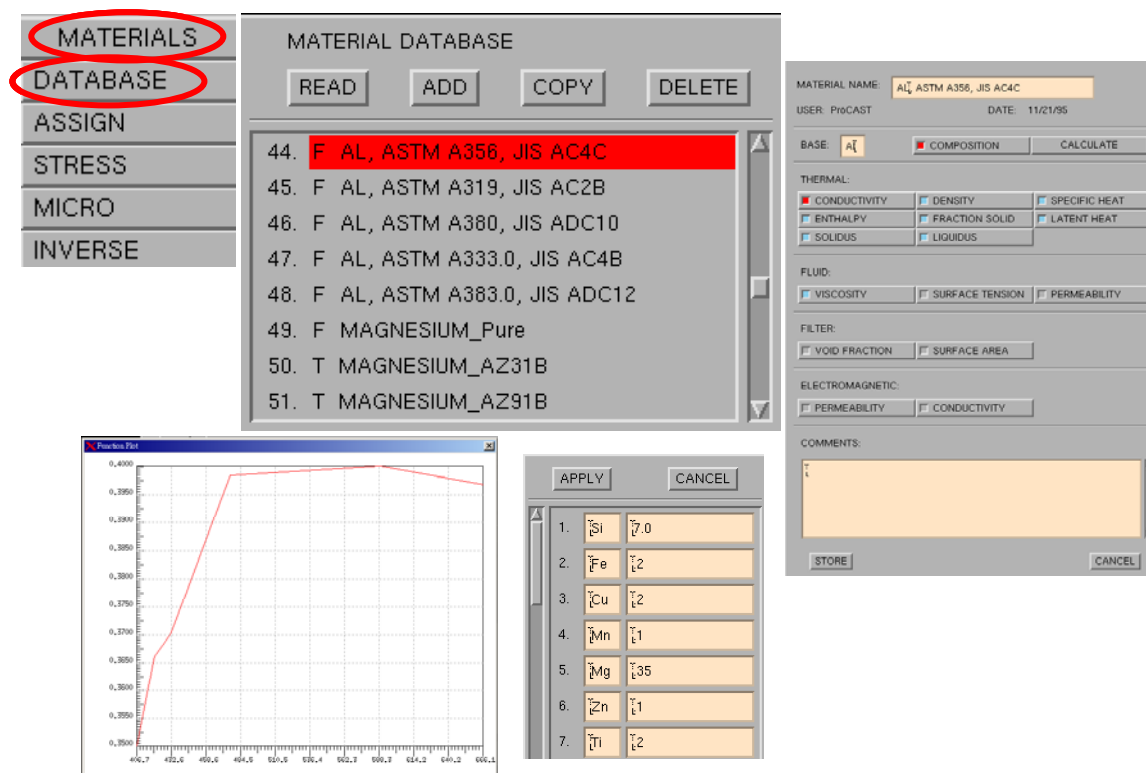


圖 3. 材料資料庫

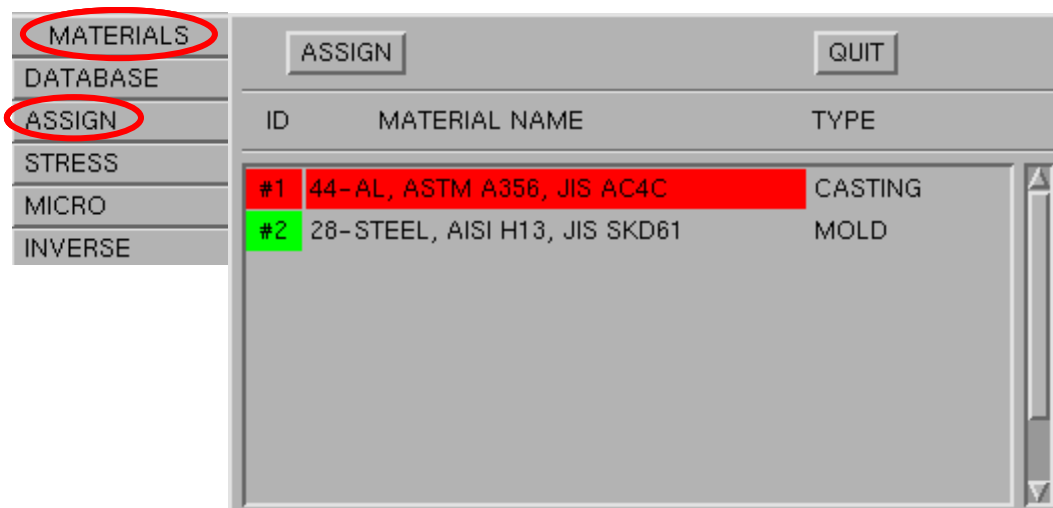


圖 4. 材料性質與型態

## (2) 物件之間的表面熱傳係數設定

與設定材料性質相同，物件之間的表面熱傳係數亦有一資料庫儲存，如圖 5 使用者可以依據不同的接觸材料給予不同的熱傳係數，再將表面熱傳係數施加於對應的位

置，如圖 6 我們「ASSIGN」資料庫的第一筆「test」作為此次分析的接觸表面熱傳係數。

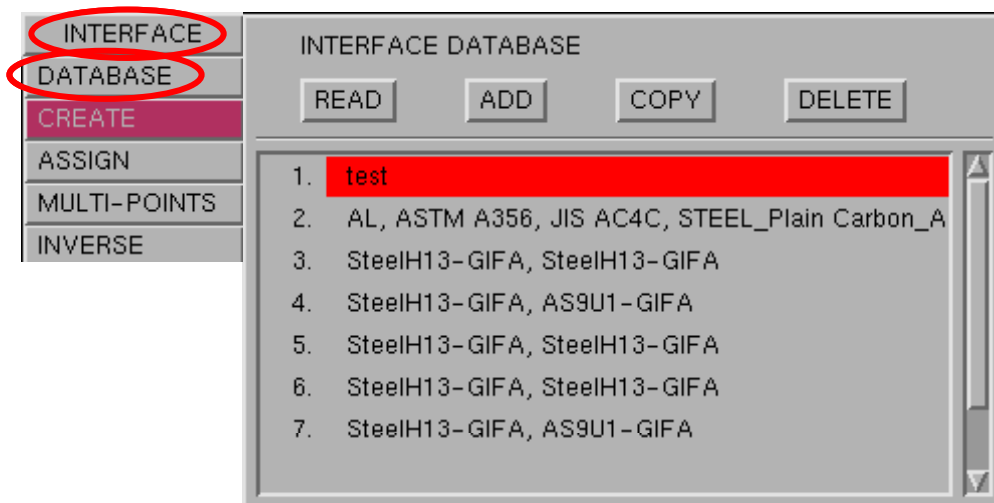


圖 5. 表面熱傳係數資料庫

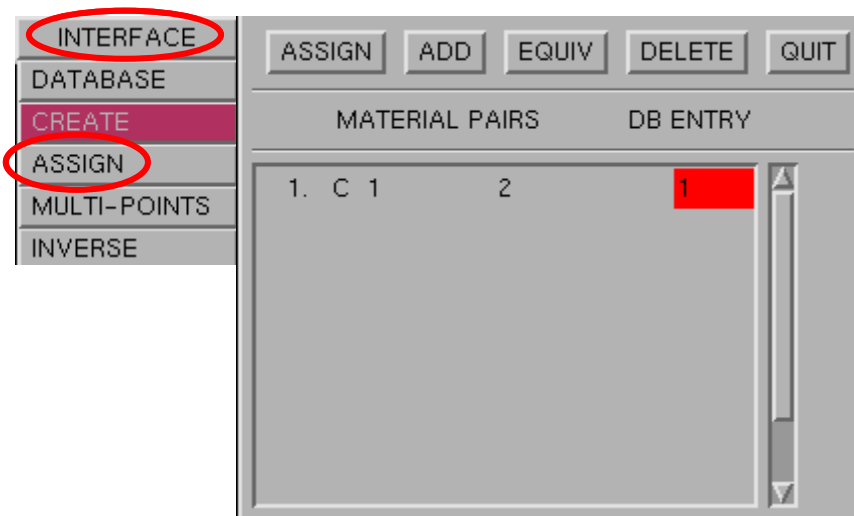


圖 6. 施加物件接觸表面熱傳係數

### (3) 其他邊界條件設定

「BOUNDARY」所設定的邊界參數為澆注鋁水的條件，數值的給予亦是從 DATABASE 上施加，因此也需從圖 7 處「ADD」所要施加的邊界條件數值，圖 8 中選定澆注口面積範圍並施加鋁水澆注之溫度與速度。

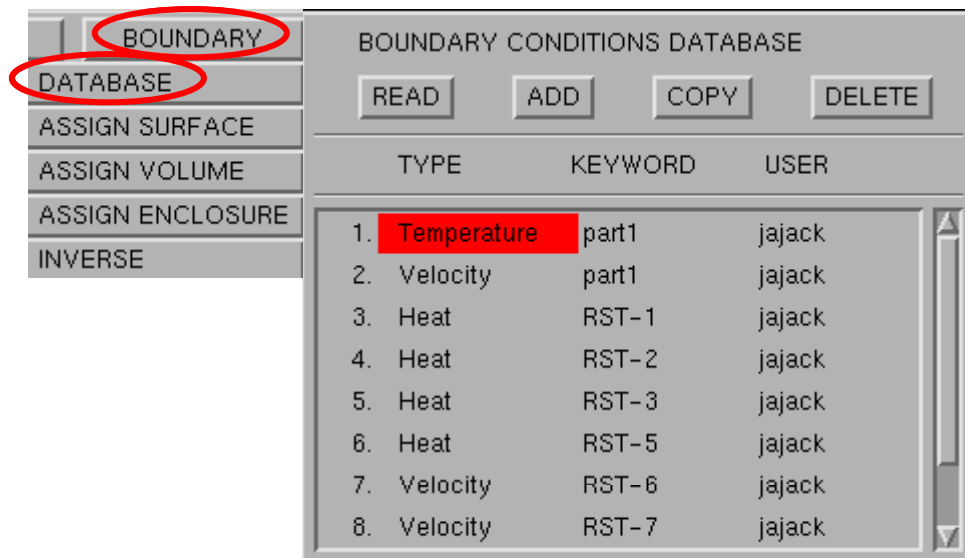


圖 7. 邊界條件資料庫

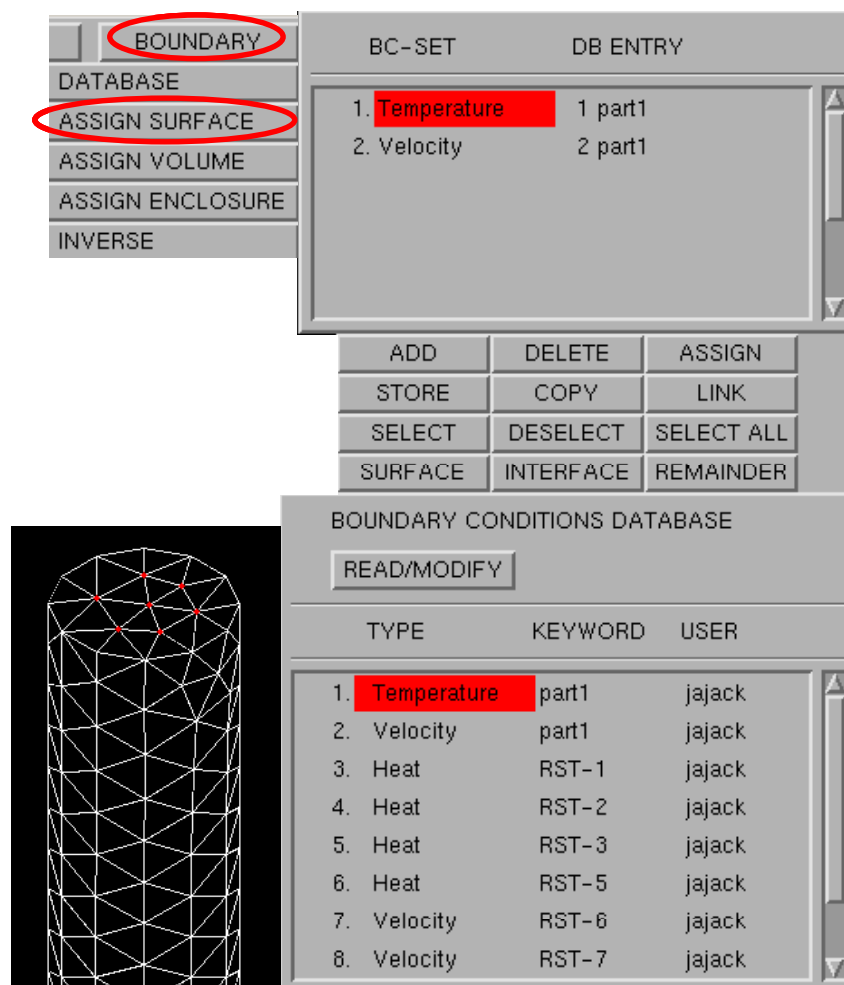


圖 8. 施加鋁水澆注之條件



「PROCESS」中給定重力方向為 $+Z:9.8\frac{m}{s^2}$ ，如圖 9。

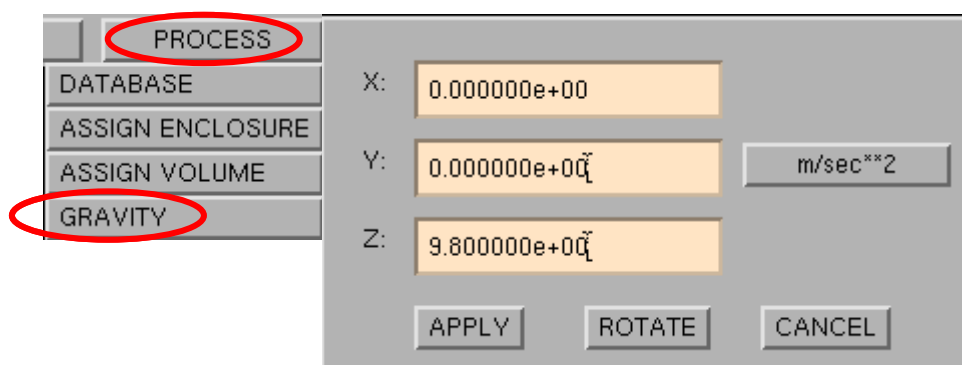


圖 9. 施加重力向量

「INITIAL COND」內設定各部分的初始溫度與狀態，圖 10 設定材料 1 之初始溫度為 720°C，材料 2 為 360°C，圖 11 設定材料 1 為「EMPTY」沒有材料。

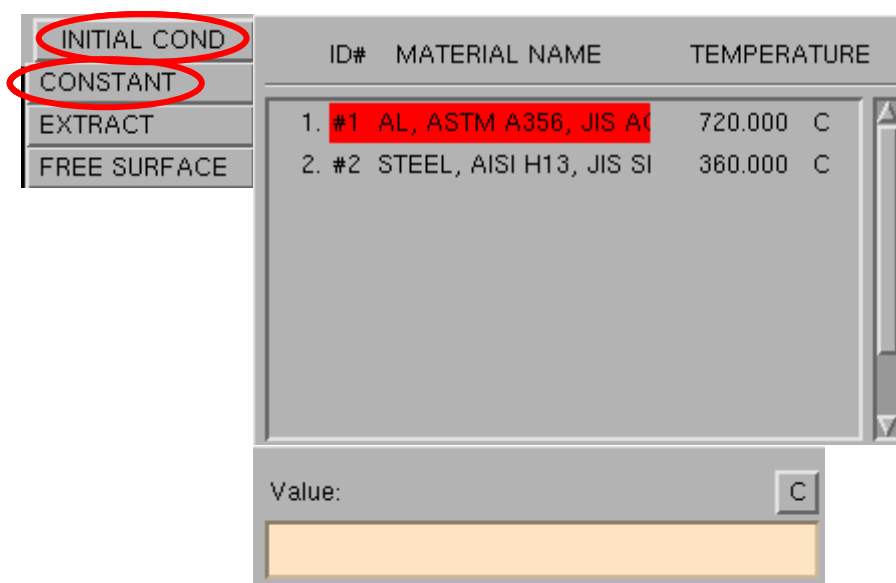


圖 10. 設定材料初始溫度

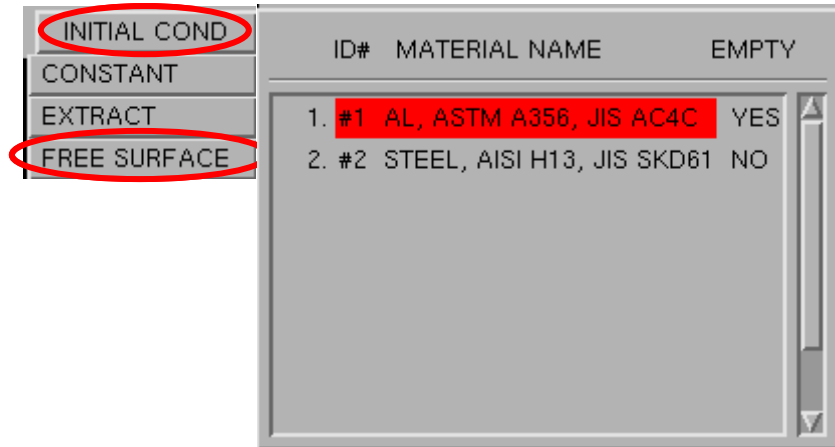


圖 11. 設定材料初始型態

#### (4) 設定 ProCAST 的解題參數

完成模擬的相關條件設定後，接下來設定 ProCAST 的解題參數。在「RUN PARAMETERS」處我們可以看見相關模擬所對應的選項，「UNITS」、「GENERAL」、「CYCLES」為基本設定，此範例僅對熱傳「THERMAL」及流動「FLOW」進行分析。

圖 12 中「GENERAL」為解題的一般選項，圖中「INILEV」為給定模擬開始的 step，若為初始模擬則此值為 0，若此次模擬為接續前一次之模擬則此處之數值需為上一次模擬結束時的 step 值，於「NSTEP」給予總共模擬的 step 數量（圖中設定之模擬 step 數為 10,000，當 step 數量達到 10,000 時則模擬結束），「DT」給定分析初始階段的時間，「DAMAX」給定每一個 step 的模擬時間最大範圍（圖中設定每個 step 模擬最大時間為 1 秒），而「TFINAL」為模擬的終止時間（圖中當模擬時間為 480 秒時模擬結束），其中「NSTEP」與「TFINAL」都代表模擬結束之條件，兩者並沒有優先性，視其中之一的條件誰先達成則誰先終止程式。

RUN PARAMETERS						
UNITS	INILEV	0.1	DT	1.00000e-01	sec	HELP
GENERAL	NSTEP	1000	DTMAX	1.00000e+00	sec	APPLY
CYCLES	THERMAL	NRSTAR	TFINAL	4.80000e+02	sec	CANCEL
RADIATION	FLOW	NPRFR	TMODS	2.00000e+00		
TURBULENCE		PRNLEV	TMODR	5.00000e-01		
STRESS		SDEBUG	CONVTOL	1.00000e-04		
ELECTROMAGNETICS		AVEPROP				
INVERSE		CGSQ				
CAFE		LUFAC				
		DIAG				
		NEWTONR				
		USER				

圖 12. 模擬之一般設定

圖 13 為熱傳分析的設定，「THERMAL」處為分析熱傳的方式，值 1 代表以能量方程式進行熱傳的分析，「MICRO」與「MFREQ」為晶像相關之參數設定，「TFREQ」與「QFREQ」此處之值決定寫入資料的 step 單位數，值為 1 代表每一個 step 分析資料皆被儲存，「TSTOP」為熱傳分析的結束時間，此處若有設定值則熱傳分析的時間將會以此為依據，若無，則以上述設定（一般設定）處為終止條件。

RUN PARAMETERS						
UNITS	THERMAL	1	TSTOP	0.00000e+00	K	HELP
GENERAL	MICRO	0.1	CONVT	1.00000e+00	K	APPLY
CYCLES	TFREQ	1	MOBILE	3.00000e-01		CANCEL
THERMAL	QFREQ	1	TRELAX	1.00000e+00		
RADIATION	MFREQ	1	CRELAX	1.00000e+00		
FLOW	POROS	1	CLUMP	1.00000e+00		
TURBULENCE	LINSRC	0.1	CINIT	3.00000e-01		
STRESS						
ELECTROMAGNETICS						
INVERSE						
CAFE						

圖 13. 熱傳分析設定

圖 14 為流動分析的設定，「FLOW」為分析流動的方式，值 3 是代表當充填完畢時則流動分析結束，「VFREQ」與「FREESF」此處之值為決定寫入資料的 step 單位數，類似「TFREQ」與「QFREQ」。

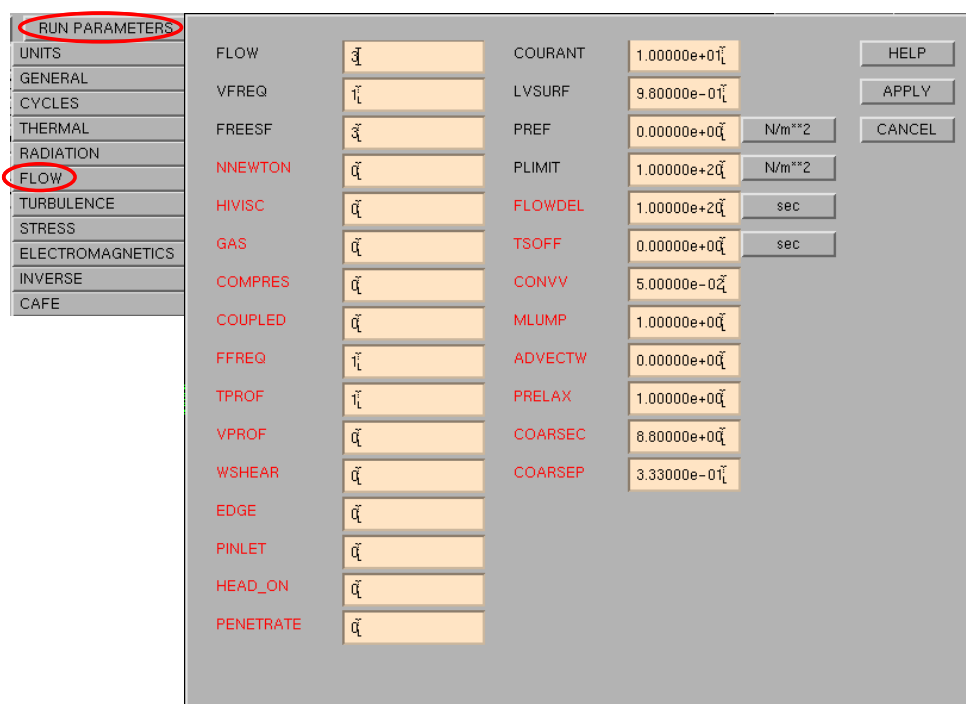


圖 14. 流動分析設定

最後點選「EXIT」選項結束 Precast 的設定，圖 15 為點選「EXIT」後出現的畫面，視窗中會顯示你所設定的參數類型與數量，下方處之「CONTINUE」為結束 Precast 並儲存資料，「ABANDON」為放棄此次的設定並離開程式，「GO BACK」為再回至 Precast 中另行其他設定。

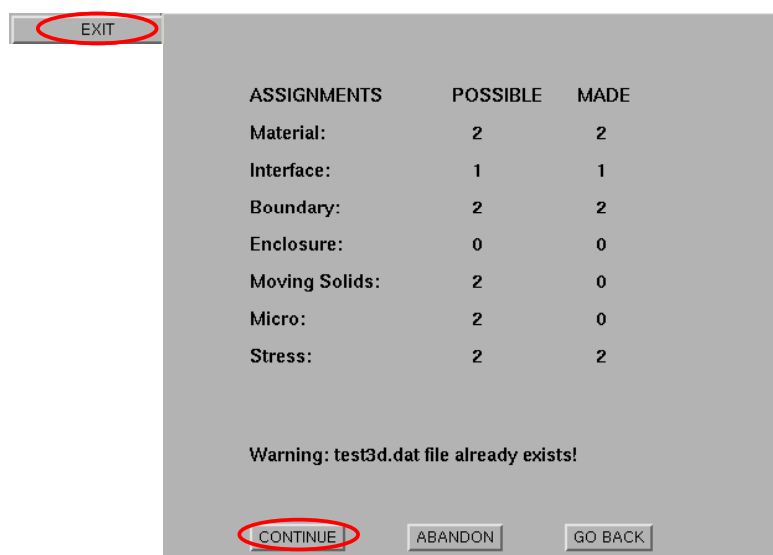
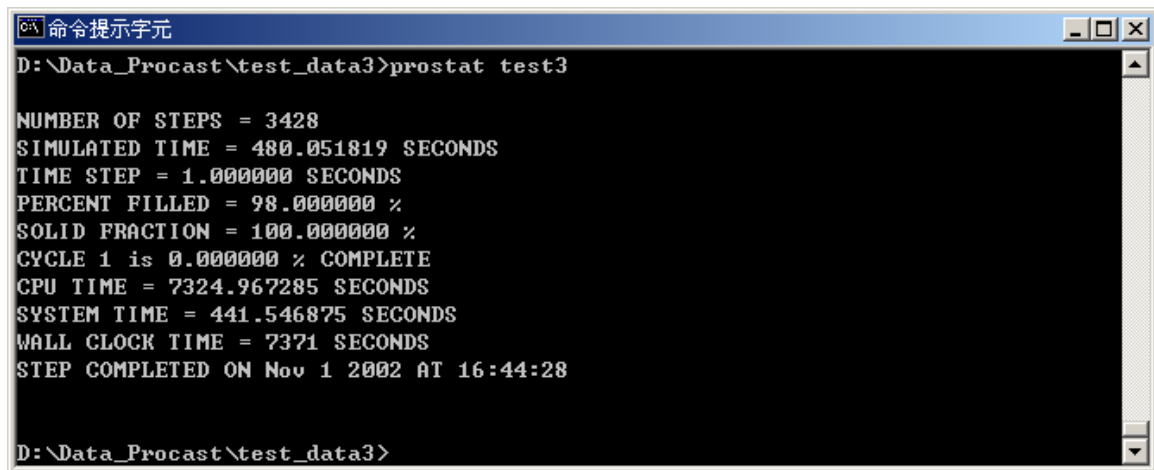


圖 15. 結束 Precast 設定

## 2.3 求解與輸出結果

至此完成前處理作業，開始進行模擬分析的工作，ProCAST 以 Datacast 與 Procast 作為求解的模組，其中 Datacast 負責將 Precast 中所設定的所有資料寫成可被 Procast 接受的檔案，而 Procast 則負責分析計算。其中 Datacast 與 Procast 為命令式的輸入方式，於「DOS 模式」或「命令提示字元」中，直接 KEY 上「Datacast 檔案名稱」與「Procast 檔案名稱」。不若 Meshcast 一般具有圖形化視窗，若想瞭解目前的分析進度與分析狀況，可另外開啟「命令提示字元」視窗，於視窗下 KEY「Prostat 檔案名稱」，將會出現圖 16 之內容，圖中「NUMBER OF STEPS」代表第 3428 個 step，「SIMULATED TIME」為模擬的鑄造時間，「TIME STEP」為此 step 的時間間隔，「PERCENT FILLED」為充填的百分率，「SOLID FRACTION」為凝固比率，「CYCLE NUMBER」為設定的循環分析，其他則為系統方面的相關訊息。



```

命令提示字元
D:\Data_Procast\test_data3>prostat test3

NUMBER OF STEPS = 3428
SIMULATED TIME = 480.051819 SECONDS
TIME STEP = 1.000000 SECONDS
PERCENT FILLED = 98.000000 %
SOLID FRACTION = 100.000000 %
CYCLE 1 is 0.000000 % COMPLETE
CPU TIME = 7324.967285 SECONDS
SYSTEM TIME = 441.546875 SECONDS
WALL CLOCK TIME = 7371 SECONDS
STEP COMPLETED ON Nov 1 2002 AT 16:44:28

D:\Data_Procast\test_data3>

```

圖 16. 分析狀態

分析完成後，ProCAST 以 Postcast 及 Viewcast 提供數據與圖像的輸出，Postcast 主要將分析的資料擷取出來並寫成固定格式提供 Viewcast 或其他程式（IDEAS、PATRAN）作為圖像式的輸出（如圖 17），各種分析資料的輸出均於「OPTIONS」中點選，相關的分析資料必須先於此處讀取，如此才可於 Viewcast 中顯示，「FORMAT」提供了 IDEAS、PATRAN 的輸出格式，「STEPS」決定要輸出的 step 範圍，「UNITS」提供單位的設定，「MATERIALS」讓使用者以材料選定輸出的資訊，圖 18 則顯示部份節點的時間與溫度關係圖，以輸入座標位置的方式輸入節點，或拉動圖中橫桿對應模型相關位置的方式選擇。

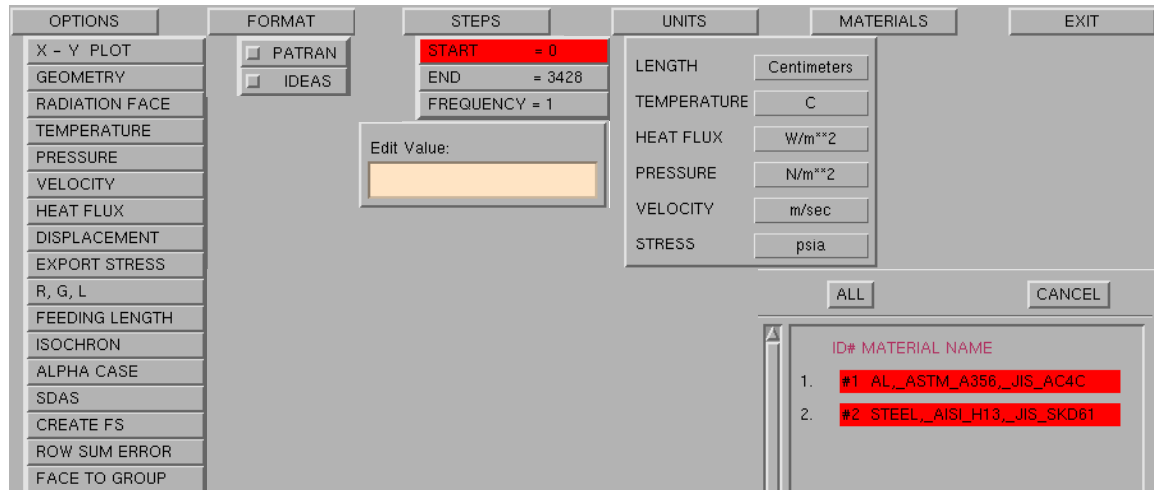


圖 17. Postcast 介面環境

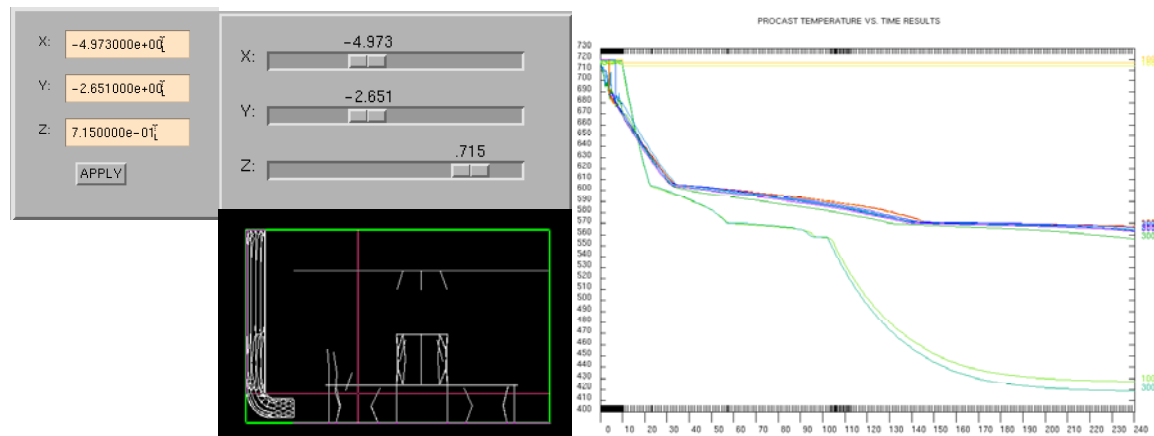


圖 18. Postcast 圖形輸出

分析資料讀取完畢後，使用 Viewcast 將分析結果以圖像的方式輸出，圖 19 為 Viewcast 介面環境，「CONTOUR」與「VECTOR」則是讓使用者選擇所要的分析資訊，「STEPS」決定要輸出的 step 範圍，「PARAMETERS」給定輸出圖形的設定如設定為「AUTOMATIC」則圖形以預設方式顯示，若要修改顯示方式，可以依據視窗下的選項進行修改，例如要改變不同的顏色梯度與範圍，點選「ADJUST COLORS」進行修改，「MATERIALS」讓使用者以材料選定輸出的資訊，按下「VIEW」內的「PICTURE」則將結果顯示出來，其中「ROTATE、ZOOM、CENTER、DRAG、HIDDEN、RESTORE」改變模型顯示的視角，「XYZ PLANES」提供三個軸方向的切面，如圖 20 設定三個軸方向的切面觀察溫度的變化，「ANYPLANE」則為選定任一切面進行觀察，如圖 21 利用平移與選轉三個軸向，調整觀察的切面，「N VIEW」提

供同一畫面不圖的視窗角度，如圖 22 以數字鍵 1、2、3、4 調整所要觀察的模型角度，再從選擇視窗數目給定要觀察的視窗數。

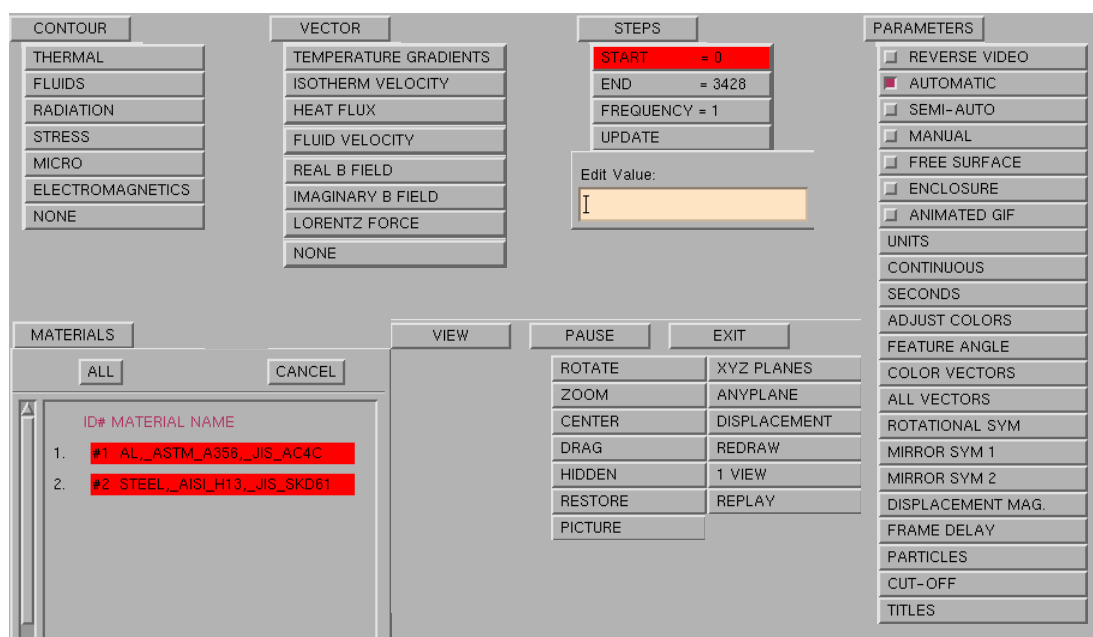


圖 19. Viewcast 介面環境

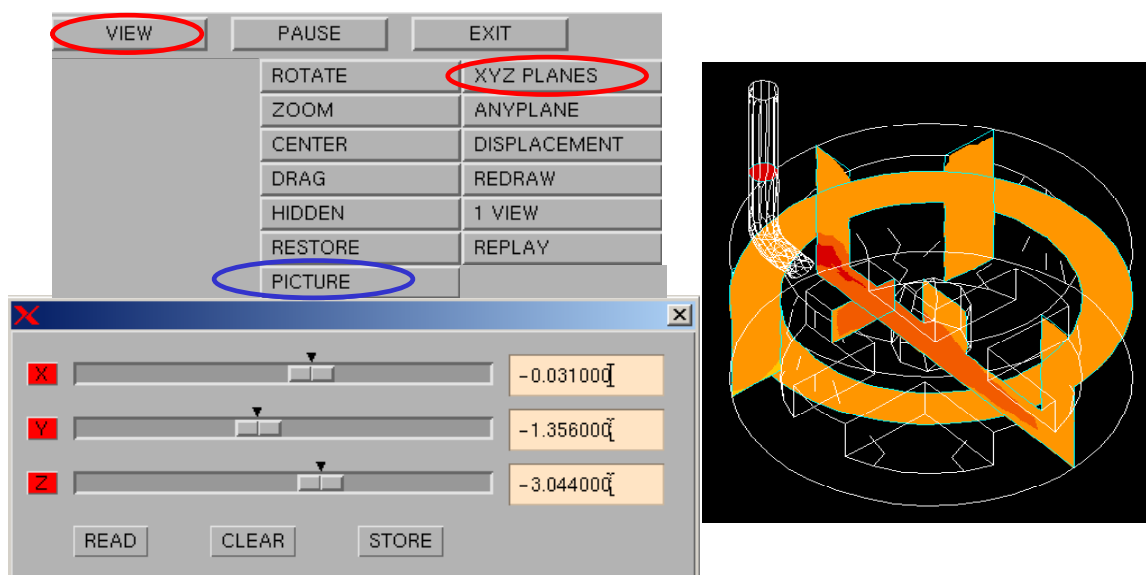


圖 20. XYZ 三軸切面

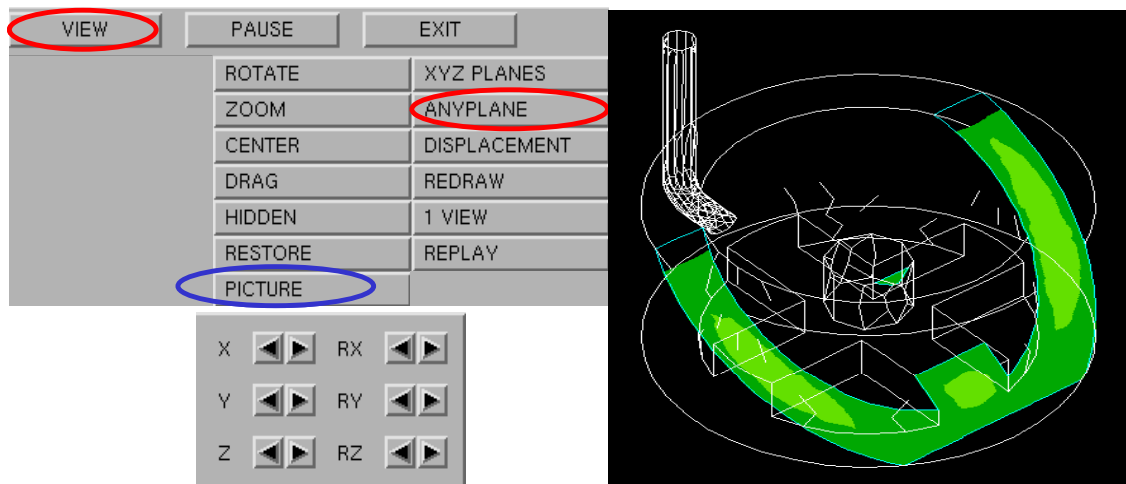


圖 21. 任意切面圖形

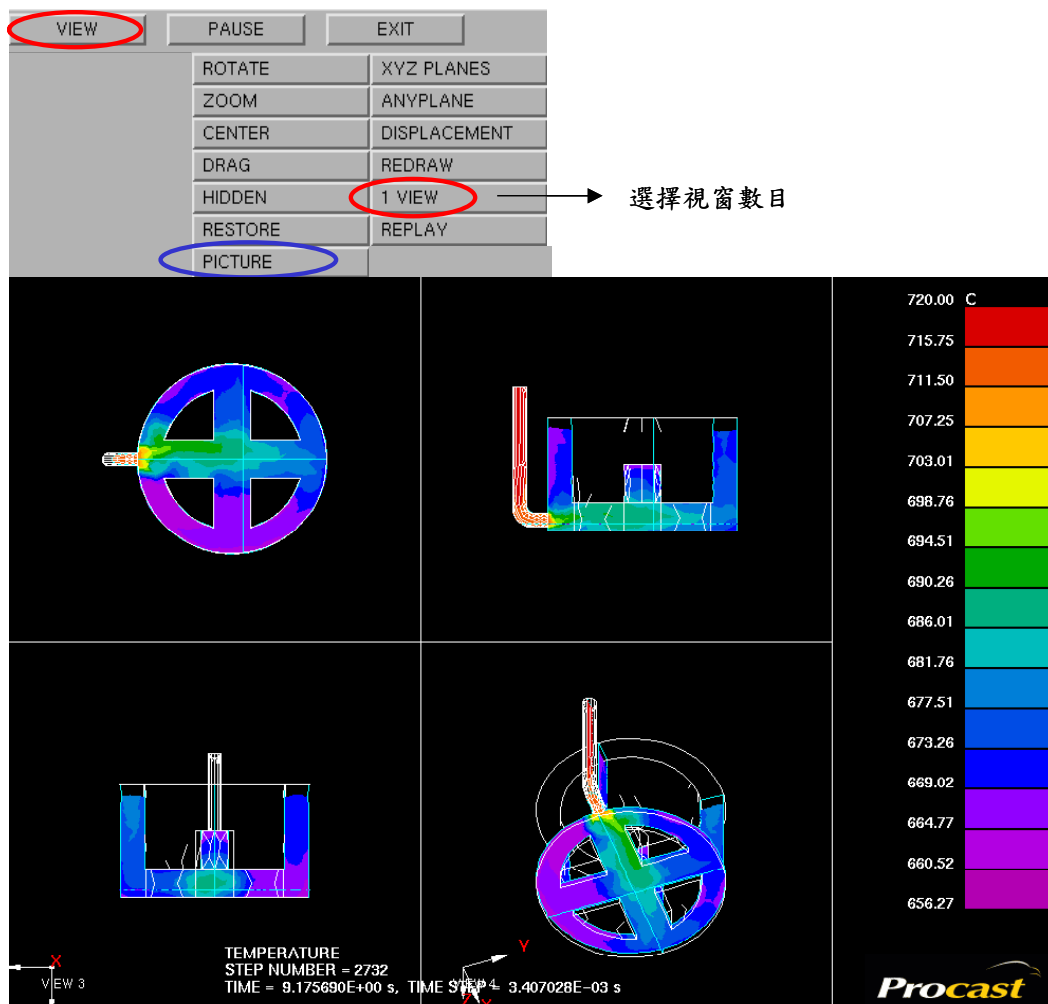


圖 22. Multi-view



以上的輸出資訊顯示溫度與時間關係，至於其他的輸出資訊例如凝固比率、氣孔比率、縮孔性以及其他判斷準則皆可以同樣方式顯示。